

首届工程建造微创新技术大赛 成果汇编



中国施工企业管理协会

2021年12月

目 录

CNOTENTS

【特等奖】

基于 AI 的智能质量监控平台及混凝土质量检测机器人的研究与应用	1
“须弥山”型多曲率双层斜交空间镂空网格结构施工技术创新.....	3
单肢钢塔牵引竖转施工技术.....	6
深井降水同步密实饱和回填砂和超载预压深厚软土快速加固技术.....	9
一种带尾舵的地下线缆自动开沟铺设装置.....	11
高速铁路无砟轨道板预埋套管智能安装机器人系统.....	13
45°缓倾斜井反导井开挖及复杂结构滑模衬砌技术.....	15
公路桥梁装配化施工技术.....	18
超高层住宅高效施工装备集成平台体系.....	20
装配式数字高效机房和智能模块化机电系统集成研究与应用.....	23

【一等奖】

高速铁路粗粒盐渍土路堤结构及构筑方法.....	26
严寒地区大型室内滑雪场施工关键技术.....	28
高铁桥梁万吨级支反力支座不停运更换施工技术.....	31
大跨径曲线高墩槽型梁无支架顶推工艺.....	34
基于智能建造理念的地下工程施工风险自动化监控关键技术.....	36
倾斜钻孔灌注桩基坑支护施工关键技术.....	38
土壤固化改良成套技术研究.....	40
复杂造型多曲面衬模制作技术创新.....	42
金属屈服型阻尼器逆作法安装施工方法.....	44
空间球面网架逐环扩大顶升施工方法.....	47
建筑机电装配式智能化模块应用技术.....	49
短期围堰填海地质基础综合施工技术.....	52
智能全站仪与 GPS 协同 BIM 技术工程测量施工技术.....	55

多层建筑原位 3D 打印技术.....	58
大跨度混凝土屋盖托换及组合预应力加固施工技术.....	60
劲性混凝土双向斜柱组合结构建造技术.....	62
大跨度空间钢结构高空拼装液压同步顶推滑移施工技术.....	65
复杂地质条件下植入法沉桩施工技术.....	68
异形多曲面复杂空间结构展厅数字化建造关键技术.....	71
超厚斜曲薄壁方箱现浇混凝土大坡度屋面施工技术创新与应用.....	73
应用可调节滑落式操作平台拆除砦烟囱技术.....	76
大跨度斜屋面鱼腹式管桁架施工技术.....	78
大型立式储罐内壁自动喷涂装置设计与应用技术.....	81
预成孔置换强夯地基处理技术.....	83
大型储罐自动焊辅助工作仓.....	86
移动式管道预制加工厂.....	88
内爬塔吊不倒梁技术研究与应用.....	90
钢-混装配式带肋空心楼盖体系研究与应用.....	93
超高层核心筒轻量化内顶外爬协同工作平台研发与应用.....	96
多高层装配式钢结构住宅室内隐梁隐柱体系的设计、制造、安装综合关键技术.....	98
水蓄冷空调智控技术及多级等压流体布水系统.....	101
大跨钢结构大倾角带支架滑移及有约束提升施工技术.....	103
装配式混凝土结构同层浇筑施工技术.....	105
气旋型网球中心主体结构关键技术.....	108
新型逆作法梁板施工悬挂支撑体系施工技术.....	111
装配式预制构件与现浇构件三向连接施工技术.....	114
减重降刚空腔混凝土外墙施工技术.....	117
基于数字技术的历史建筑清水砖墙精细化修缮技术.....	119
装配式钢结构高层住宅设计与建造一体化技术研究与应用.....	122
一种双球嵌套网架施工方法.....	124
塔吊置换及双预埋节施工技术.....	127
基于顶模施工条件的超高层建筑核心筒局部水平结构随竖向结构同步施工技术.....	129

PC 卫生间沉箱整装施工技术.....	132
大型仿唐建筑翼角飞檐现浇施工关键技术研究与应用.....	134
梯度混凝土施工技术.....	137
超高超重拱形钢索塔提滑组合安装关键技术.....	140
空间异形扭转反对称钢主塔安装施工技术.....	143
大型烧结机精准快速安装施工方法.....	146
铁尾矿透水混凝土制造与应用技术.....	149
不良地质条件下桥梁基础施工关键技术.....	151
大吨位试桩用锚桩的施工结构及施工方法.....	154
高压线下超低位 900 吨箱梁纵移架设施工技术.....	157
一种大型钢管拱纵移及提升安装施工方法.....	159
桥梁钢塔陆地化大节段安装施工技术.....	162
绞旋平移法拆装大型轧机牌坊施工技术.....	165
变宽不等跨钢-混混合连续梁双转体施工技术.....	167
曲线轨道梁预制施工高精度智能化模板系统.....	170
斜拉桥索塔钢横梁施工技术.....	173
大跨度贝雷梁支架整体顶升浮运拆除施工方法.....	175
矮塔斜拉桥临时体外预应力实现拉索滞后张拉.....	178
桥面除冰能量桩系统关键技术研究.....	180
增加临时对拉装置拆除系杆拱桥施工工艺.....	183
先张法预应力混凝土轨道板生产线张拉系统.....	186
一种具备大角度荡移和爬坡能力的缆载吊机.....	189
一种液压组合式提吊旋转安装技术.....	191
一种适用于喷射混凝土速凝剂的研制.....	193
高海拔恶劣环境破碎卵石下沥青路面施工工法.....	196
柔性-连续钢箱梁小应变整节拼装及多点自平衡顶推施工.....	199
双线重载铁路大跨度简支钢桁梁无支墩架设关键技术.....	202
跨既有城市立交钢箱梁顶推施工工装.....	204
大潮差海域高桩承台钢吊箱围堰施工关键技术.....	207

高速铁路桥梁墩身质量控制五项工装.....	210
EMC-I 便携式装药器中小型矿山的工程应用	213
振动搅拌在特殊沥青混合料中应用.....	216
钢桥面涂布式防水施工技术.....	218
大吨位钢沉井长距离运输施工技术.....	221
悬索桥索夹螺杆紧固施工技术.....	223
报废摊铺机改造路肩土摊铺机.....	226
水上钻孔桩施工泥浆多孔同步循环回收绿色施工技术.....	229
主塔施工测量控制技术.....	232
高压电缆接地系统带电检修仪创新与应用.....	234
水电工程 800MPa 级高强度压力钢管制造焊接关键技术及应用	237
高危环境地质灾害外部变形监测技术创新与开发.....	240
高压电缆加热校直智能一体机及控制方法.....	242
基于数据挖掘技术的塔式光热电站集热系统建设优化.....	245
轻型加强板式风力发电塔架制作关键技术研究.....	247
AP1000 压力容器安装技术研究	250
“华龙一号”钢衬里模块化施工技术	253
架空输电线路铁塔智能化设计技术.....	255
27.5kV 无源型等电位带电指示装置.....	258
高陡边坡脚手架结构设计与施工技术研究及应用.....	261
高水头深覆盖大型岩塞与淤泥层协同爆破关键技术.....	264
重型燃机安装施工新技术研究与应用.....	266
SEPD 智能光伏设计平台	269
注浆法渗漏水治理材料开发及其应用技术.....	271
高填方地基强夯施工智能监测装置及系统.....	274
百万千瓦发电机组锅炉重型顶板梁翻转技术.....	277
一种碎石铺设整平系统建造技术研究.....	280
大跨度钢箱拱肋整体提升施工技术.....	282
地下空间大直径管道系统安装关键技术研究及应用	285

自行式桥面吊机吊装施工技术	288
道路路基智能化施工与监管关键技术研究与应用	290
大型绞吸船开挖风化岩艏吹装驳施工工艺研究	293
单桩基础风机整体安装技术	296
无外接电源箱涵道路智能化自动排水系统施工技术	298
开发 C70 大管桩产品	300
中粗砂地层超长距离大直径钢管定向对穿钻孔拖拉法施工技术	302
码头现浇胸墙相邻顶悬吊底模施工方法	305
城市大跨度钢桥梁顶推施工技术	308
河湖疏浚超长排距多泵接力施工关键技术	311
岸桥大车行走整体发运技术攻关	313
长大引水隧洞高效钻孔灌浆施工机械研发与应用	316
超大跨度超高回填荷载明洞衬砌结构设计关键技术研究	319
装配式轻钢—轻混组合墙体关键建造技术	322
长距离高内水压小直径隧道薄壁二衬施工关键技术	325
铁路有砟无砟轨道铺设一体式牵引车	327
机制砂混凝土和易性调节关键聚羧酸减水剂研究	329
长距离大截面无肥槽管廊施工技术	331
内嵌空心六棱砖骨架护坡机械化高效施工技术	334
盾构管片钢筋焊接自动化技术	337
沿海双曲面浪花造型站房关键施工技术	340
城市综合管廊环境智能控制装置	343
钢结构智能建造-北京丰台火车站钢结构制造及安装 BIM 应用	346
强透气透水地层盾构带压开仓方法	349
北京新机场南航基地第五标段快速建造关键施工技术研究及应用	352
地质灾害地面三维激光扫描监测技术应用与示范	355
隧道支护作业台车技术研究及应用	358
潜伏固化型盾尾密封油脂产品开发技术	361
仿汉代大型艺术宫殿装饰建造技术研究与应用	364

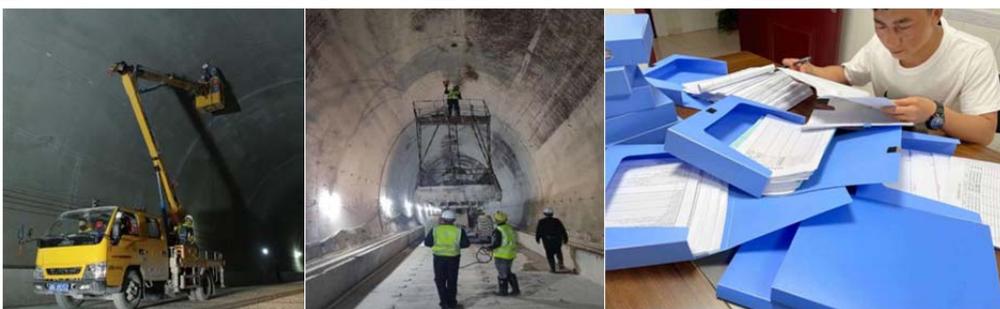
岩质地层拼装式隧道管片衬砌仰拱支撑组件.....	366
基于散装模板体系下的大体量全构件饰面清水混凝土成套施工技术.....	368
智能化液压步进式自爬升转料平台施工技术.....	371
大跨度弧形变截面张弦梁施工创新技术.....	374
预制装配式下穿隧道设计、成套施工技术及装备研究.....	377
模块化建筑（PPVC）标准化内模结构技术研究.....	379
机电 BIM 二三维一体化装配式自动万能族制作方法.....	381
斜井安全预报警系统.....	384
地铁再生电能吸收设备研究.....	387
智能建筑管理系统开发和应用.....	390
合肥市高新区地下综合管廊施工关键技术研究与应用.....	392
基于 3D Laser Scanner 技术的深基坑工程信息化动态监测技术.....	394
一种振捣整平装置及配套工装.....	397
城市轨道交通用内置式泵房轨道技术研究.....	400
工程设备物联网.....	403
接触网整体吊弦全自动预配技术.....	406
建筑钢结构冷丝复合埋弧焊技术研究与应用.....	408
建筑施工升降机运行空间“光电感应式”安全装置的应用研究.....	410
大断面超长湖底隧道双台车联动快速施工技术.....	413
隧道智能开槽机器人.....	415
地铁隧道打孔机器人.....	418
大型枢纽站房空间网架健康监测及结构评损设备安装技术.....	420
多功能模块化自行式盾构移动基座的研发与应用.....	422
单线隧道矩形框架台车.....	425
三维空间可调的曲面铝板幕墙挂接系统创新.....	427
预制保温外墙免支模一体化关键技术.....	429
铁路智能建造成套信息化技术开发及应用.....	432
一种隧道涌水止水方法.....	435
测量对中杆圆水泡校正设备及配套使用方法.....	437

复杂地层下盾构穿越高危风险源施工工法.....	439
开敞式异形折面穿孔铝板吊顶安装技术创新.....	441
装配式吸声降噪站台墙及其模具.....	443
CRTSIII型板式无砟轨道底座施工装备研制及工艺研究.....	446
高空大跨度混凝土连廊少支点支撑体系设计与施工技术.....	449
装配式外墙板连接可循环附墙外围护架体施工技术.....	452
盾构机标靶法与棱镜法融合定位技术创新.....	454

基于 AI 的智能质量监控平台及混凝土质量检测机器人的研究与应用

一、项目立项背景

当前国内对隧道衬砌质量的无损检测仍主要以机械作业车辅助人工托举雷达天线方式进行，该方法检测效率低，机械车辆行走不平稳导致采集图像质量差，数据采集可靠度低；特别对隧道拱部以上部位进行检测时，一般要利用升降装置帮助检测人员将检测设备贴紧衬砌表面，高空作业多，安全风险高，且与现场施工交叉干扰，难以高效完成检测工作。随着隧道数量多，里程增加的情况下，传统检测方法无法满足隧道衬砌及时检测归档的要求，庞杂的数据资料整理、分析、反馈周期偏长，无法做到衬砌质量及时预警、及时反馈，为提升隧道衬砌质量管理水平，立项研发混凝土质量检测机器人及智能质量监控平台，推动行业改革。



二、关键技术内容

1、研发了混凝土质量检测机器人，可完全替代传统检测车辆依靠人工托举雷达天线检测方式，搭载无线空气耦合雷达极大提升了检测效率和数据传输速度，避免了人工高空作业风险和现场施工干扰，降低检测成本；

2、研制了国内首套无线空气耦合雷达，可实现悬空 5cm 耦合检测、高清图像采集、200m 数据无线传输，雷达、天线同步存储数据实现“双保险”，能搭载无人机、机器人等操控平台，使用灵活多变；

3、开发了混凝土智能质量监控平台，由无线空气耦合雷达通过 5G 信号实时回传并利用 AI 大数据分析及时反馈检测结果智能推送至相关管理人员，3D 建模实景还原现场检测，追溯性强，质量问题及时消缺，极大提升现场质量管理水平。



三、与同类技术对比优势

	传统方法	本创新方法
检测模式	升降车、装载机搭载人员高空作业，检测效率低，既有线检测难	机器人携带雷达代替人工手持检测、检测效率高，适应各种检测环境
雷达天线	密贴程度影响电缆线传输数据的准确性	数据无线高速回传，双向存储保护
数据整理	纸质版资料、邮寄等方式查阅存档	资料数据 3D 可视化，智能分析及及时预警，闭合周期短
对比结论	检测效率提升 3 倍以上，数据整理提升 5 倍以上，实现智能化管理，及时预警整改，极大提升管理水平，降低时间、经济成本	

四、已推广应用情况及应用前景

本项目创新成果已在川藏铁路、湖杭铁路、中部引黄引水隧洞中得到成功应用，检测效率提升显著，减少了机械车辆的租赁使用及辅助人员数量，仅在湖杭铁路检测中节约成本 600 余万元，受到了建设单位和质量监督站的一致好评，尤其适用于既有线及复杂环境下的质量检测工作，适用范围广。

智能监控系统及检测机器人在检测效率、安全性、检测数据智能化管理等方面达到国内领先水平，受邀参加了中国建筑科技博览会，经济社会效益凸显，并已成功并入全国铁路工程管理平台，将极大提升铁路行业混凝土质量检测及管理水平，丰富和完善了现有检测技术，填补行业空白，推动检测行业改革，推广应用前景十分广阔。



五、相关知识产权

本项目目前已申请专利 59 项（发明专利 2 项），已授权实用新型专利 21 项，外观专利 3 项；登记软件著作权 28 项，发表专著《探地雷达检测技术与管理》，注册“铁航”商标。

完成单位：中铁十二局集团有限公司、中铁十二局集团第二工程有限公司、中国电波传播研究所、北京三一智农数据技术有限公司、山西易凡通科技有限公司

完成人：王可心、胡建国、刘文俊、赵香萍、魏军、孙雪双、伏浩、吴树丰、于景兰、李毅

“须弥山”型多曲率双层斜交空间镂空网格结构 施工技术创新

一、立项背景

本成果以国内首个“毗卢观音”外形为建筑形态的现代复杂佛教建筑——普陀山观音圣坛项目为载体，总建筑面积 10 万 m^2 ，地上十层，建筑高度 91.9m。观音圣坛内部的核心空间须弥山工程，下部“多曲面双层斜交网格空间清水混凝土结构”是以轴心对称的旋转体，国内首例，高 24.5m，底部直径 60m，上部直径 17m，为结构、装饰、艺术一体化。上部“装配式铝合金网壳结构”为异形双曲面结构，呈宝瓶瓶颈状，高 32.7m，底部直径 18.17m，中部 7.6m，顶部直径 21.65m，弯扭构造复杂。



图 1 观音圣坛剖面图

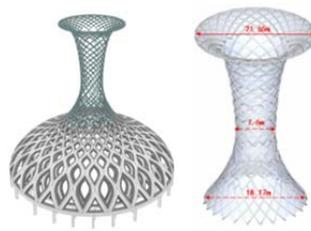


图 2 须弥山结构立面图

目前，针对结构、装饰、艺术一体化的多曲面斜交钢筋混凝土网格结构体系设计及施工案例极为罕见，建造存在技术瓶颈。中建八局成立科研攻关小组，致力于研发一种多曲率双层斜交空间镂空网格结构施工技术，以缩减工期，降低成本，提升工作效率，填补技术空白，为今后类似工程施工提供借鉴。

二、关键技术内容

2.1 “须弥山”多曲面双层斜交空间镂空网格结构施工技术

1) 发明了由固定径向及环向定位龙骨组成的球形模架体系及施工方法，研制出球壳体混凝土结构模架的曲率校准装置，解决了多曲率结构模架体系施工及曲率控制难题。（图 3）

2) 发明了多曲面造型衬模的模具及施工方法，研发了模具表面处理技术、用于多曲面造型衬模及其制造方法等，解决了多曲面造型衬模高精度高效施工难题。（图 4）

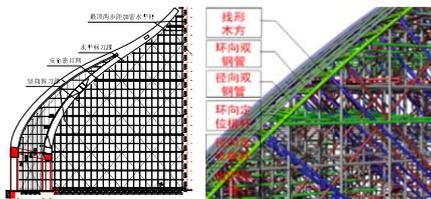


图 3 球形模架体系构造示意

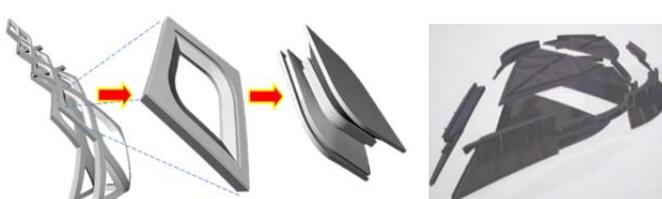


图 4 多曲面造型衬模形成过程示意

3) 发明了异形变截面柱状体钢筋绑扎施工方法, 研发了混凝土多点提升振捣装置及施工技术, 开发了单侧受载满堂支撑架及顶托结构装置, 解决了变截面节点混凝土施工难题。

4) 针对须弥山复杂棱角造型空间混凝土品质控制难等, 发明了高流态性、高抗裂性、耐腐蚀性清水混凝土, 解决了须弥山狭小空间混凝土成型质量难题, 确保了清水混凝土品质。

5) 发明了胶合模板球形底模+镂空网格处造型衬模+外表面玻璃钢定制外模的组合模板体系及曲率校准装置, 解决了 15 种 360 个样式各异的菱形镂空网格的施工难题。(图 5)

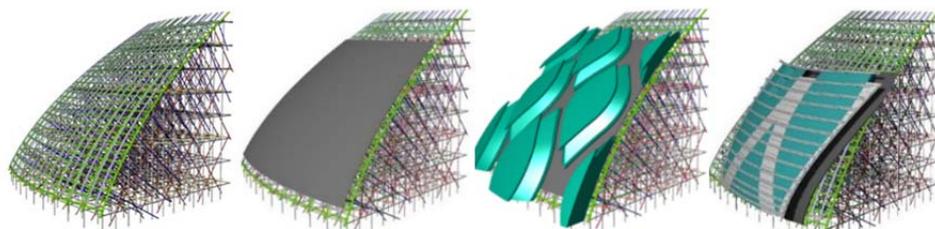


图 5 组合模板体系工艺 BIM 模拟

2.2 “须弥山”异形空间铝合金结构施工技术

1) 研发了铝合金空间弯扭杆件制作技术, 改进了三维冷弯专用数控滚轮式三辊, 开发了一种新型铝合金板式节点结构, 解决了“须弥山”异形铝合金结构制作难题。(图 6)

2) 发明了空间弯扭铝合金结构及装饰玻璃安装方法, 研制出底部钢平台+高空盘扣架的组合操作架, 解决了“须弥山”异形铝合金结构在圣坛室内密闭空间的施工难题。(图 7)

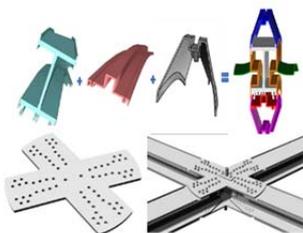


图 6 新型铝合金板式节点结构

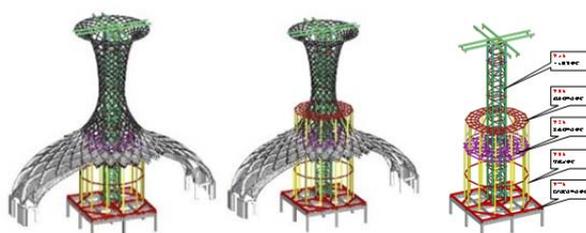


图 7 “底部钢平台+高空盘扣架”组合操作架

三、与同类技术对比

关键技术	与同类技术对比创新点	优势说明
“须弥山”型多曲面双层斜交空间镂空网格结构施工技术	1.高流态性、高抗裂性、耐腐蚀性清水混凝土； 2.多曲面双层斜交空间镂空网格结构模架施工技术； 3.斜交网格双模夹衬体系关键施工技术。	国内外首次提出高性能清水混凝土, 国内首次提出复杂空间现浇多曲面双层斜交网格结构造型施工技术, 国内外首次提出双层斜交网格双模夹衬模板体系, 具有新颖性和创新性。工期缩短 53 天, 产生经济效益达 980 万元。
“须弥山”空间异形双曲面铝合金网壳结构施工技术	1.“底部钢平台+高空盘扣架”组合操作架体系施工技术； 2.空间弯扭铝合金结构杆件加工技术。	国内首次提出“底部钢平台+高空盘扣架”组合操作架体系施工技术、空间弯扭铝合金结构施工技术, 具有新颖性和创新性。工期缩短 22 天, 产生经济效益达 313.4 万元。

四、推广应用情况

本成果填补了大型复杂造型装饰结构建造领域的技术空白, 相继在日照天台山太阳神殿、

江苏园博园、山东尼山圣境等项目成功应用，实用性突出，具有较高的推广价值。



图 8 日照太阳神殿工程实施效果

图 9 江苏园博园工程实施效果

图 10 山东尼山圣境过程实施效果

五、 相关知识产权及荣誉

授权国家专利 38 项（发明专利 16 项）；获省部级工法 2 项，发表论文 2 篇。

获 2021 年中施企协“首届工程建造微创新技术大赛”特等奖。

完成单位：中国建筑第八工程局有限公司

完成人：孙晓阳、杨锋、赵海、赵旭

单肢钢塔牵引竖转施工技术

太原迎宾桥桥型为大倾角独塔双索面吊杆空间主缆自锚式悬索桥，跨度组合为86+93+155+86m。主梁为分幅式钢箱梁，钢塔高出桥面103m，立面倾斜为 22.8° ，钢塔全重约1200t，塔梁固结。

创新采用“卧式拼装、竖向转体”的牵引竖向转体法施工，竖转系统由竖向转铰、拉压杆、后锚系统、临时风撑组成。钢塔在钢主梁上搭建的拼装支架上组拼焊接成形，利用塔梁固结段设置竖向转铰，在3号墩主梁处设置同步液压牵引系统，通过千斤顶张拉实现钢塔竖向转体施工，最后进行体系转换。

1、单元节段桥位长线法卧拼技术

现场拼装场设置的长线法拼装支架上拼装成相应的钢塔吊装节段，在钢主梁上搭建的拼装支架上组拼焊接成形，钢塔分为塔梁固结段、试转节段、嵌补节段、其余钢塔节段，塔梁固结段、试转节段之间设置竖向转铰，试转节段、嵌补节段、其余钢塔节段为需竖转的部分。

可将高空作业转化为地面作业，保证了塔的空间焊接质量和钢塔的空间安装精度，降低了现场施工难度；塔梁固结区与钢塔后面节段可同步拼装，施工进度快，节约了工期。

2、采用拉压杆竖转体系结构

钢塔竖转体系由竖向转铰、拉压杆系统、后锚系统、临时风撑组成。

①竖向转铰上、下转铰均在工厂内制作成合拢件发至现场安装。塔梁固结段、试转节段对位准确且保证位置准确后焊接铰座。

②拉杆采用平行钢丝成品拉索，按照竖转最不利状态（初始状态阶段）进行计算选择，考虑3倍左右安全系数。拉杆安装时确保拉杆锚头拔出量使拉杆等长。

③后锚系统由钢锚座、转向锚梁组成，钢锚座采用整块进行下料；转向锚梁销轴与耳板相连，锚梁中间开孔穿入牵引索，于锚梁后安装千斤顶锚固。

锚索共设置2组4束，采用高强度低松弛预应力钢绞线，钢绞线和千斤顶配置可按照竖转最不利状态进行计算选择，考虑6倍安全系数。

④计算机控制液压同步牵引系统由锚索及转体油缸集群、液压泵站、传感检测及计算机控制和远程监视系统等几个部分组成。

在传统拉压杆竖转技术基础上，研发了单向销轴转动装置，将钢塔主体结构局部加固形成组合转铰，节约建造成本；增加节段试转工序，确保了钢塔对接合龙口的精度。

3、牵引竖转施工技术

根据当地最不利风速设计刚性防倾覆风撑，布置在单肢钢塔两侧，随竖向转铰一起转动，采取工具轴和精密测量技术，实现主转铰与风撑较轴“四铰共转”。临时风撑结构包括支撑架、竖杆、水平连杆、斜撑、转动铰轴及铰座。

待钢梁、钢塔焊接完成，竖转体系安装完成后，根据气象部门预测及连续风场观测，做好竖转前的准备工作，选择无风（或小于设计风速）的天气进行竖转工作。

①试转体

试转体时，选择风力小于4级时，先对牵引索钢绞线进行预紧，使各束牵引索钢绞线受力及垂度基本一致，通过千斤顶对牵引索进行牵引，带动拉压杆与钢塔组成的三角体系，沿主铰轴转动。千斤顶加载按20%、40%、60%、70%、80%、90%、95%、100%逐级加载，保持位移和拉力同步，各台千斤顶之间位移差小于2mm，拉力差小于20t，使钢塔顶端脱离支架约400mm，静止观察12h。

②正式转体

经过气象预报与连续风场观测资料分析，选择无风（或小于设计风速）的天气进行正式竖转。转体现场组织设指挥部、技术组、牵引组、监控组、测量组、观察组分工负责。转体过程中观察转动体的平稳状态、主转铰平稳转动情况、牵引索两端自由转动情况、牵引系统设备运行情况和转动体内力变形情况。

待端口密贴即在匹配件上打入冲钉，安装工具螺栓，进行临时锁定，此时牵引系统进行机械自锁，完成正式转体。然后焊接转铰处钢塔合龙口，将铰接状态转换为固结状态。



正式转体

通过刚性防倾覆风撑设置可以有效解决风荷载作用下单肢钢塔面外稳定性较差的问题。工具轴和精密测量技术的应用实现主转铰与风撑较轴“四轴同心”，达到共同旋转的目的。拉、压杆与钢塔组成三角体系，保证了转体过程中转动体始终保持稳定状态，在全方位测量、监控下顺利完成牵引竖转施工。

经过工艺技术研究，并通过工程实践检验验证，其工艺技术已经成熟并形成工法，本技

术先进、快速高效、安全可控、质量可靠，可用于桥梁、工民建、港口与码头等各类工程的类似单肢钢结构竖向转体施工，适用范围广阔。

“单肢钢塔牵引竖转施工工法”获得了中国中铁工法、公路工程工法。授权 1 项发明专利、4 项实用新型专利、公布 2 项发明专利，获湖北省工程建设 QC 成果二等奖、中国建筑业协会 QC 二类成果，《太原市迎宾桥钢塔牵引竖向转体施工技术》已发表至《世界桥梁》中文核心期刊，“单肢钢塔牵引竖转施工技术”获得首届工程建造微创新技术大赛特等奖。

完成单位：中铁大桥局第七工程有限公司、中铁大桥局集团有限公司

完成人：樊志飞、陈开桥、拓守俭、叶旱庆、聂井华、张友光、杜操、蒋本俊、文杰、李勇波

深井降水同步密实饱和和回填砂和超载预压深厚软土快速加固技术

一、立项背景

外海人工岛筑岛面积较大，回填砂石料厚，软土地基一般采用排水固结法，软土地基处理完成后采用振冲或强夯的方式密实回填料。软土地基排水固结根据加载方式可分为堆载预压、真空预压和降水预压，堆载预压由于外购堆载料及外抛卸载料，工程造价高，同时堆载对岸坡稳定不利；回填砂石料较厚的地基，由于密封较困难，且真空度随加固深度衰减，真空预压也不适用这种地基的加固。

本项目研究目的是探索外海人工岛饱和回填砂及深厚软土地基的同步快速加固技术，并通过关键技术研究保证该加固技术的成功应用，达到加固效果显著、快速、安全和经济的目标。

二、关键技术内容

通过降水预压与回填料自重堆载预压结合，可实现同步开展深井降水密实饱和和回填砂和深井降水超载预压处理深层软土，既节约了造价又加快了施工速度。深井降水同步密实饱和和回填砂和超载预压深厚软土关键技术包括：

(1) 深插塑料排水板技术：选用日立 EX-600 型液压插板机，桩架为型钢焊接成的桁架结构，每节桩架长 6 米，采用法兰盘连接，机架靠大臂和液压支撑杆，可抗 6~7 级大风，同时改进桩管断面，可实现 40m 超深板长打设。

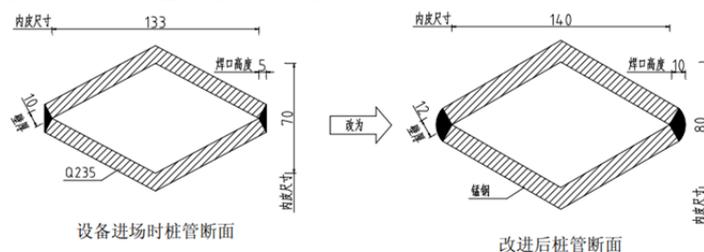
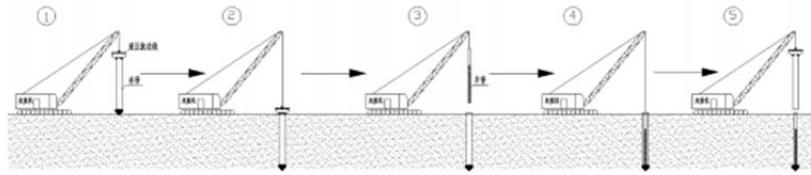


图 3-1 桩管断面图

(2) 管井施工技术。

采用振动沉管成孔工艺代替传统的泥浆护壁成孔工艺，振动沉管成孔工艺既可达到泥浆零排放的效果，保证井壁周边填料及砾料的渗透性，又可将成井耗时由传统工艺的 6 小时缩短至 1.5 小时，其工艺流程如图 3-2 所示。



备注：1、定位放样；2、打设套管；3、管内灌水；4、安放井管；5、拔管成井。

图 3-2 降水井施工工艺流程图

同时通过采用 160T 大功率液压振动锤实现管井成井深度约 20m，穿透约 15m 中粗砂，解决了深井埋设的问题。

三、与同类技术对比

国内外大面积筑岛工程一般采用排水固结法进行深层软土地基加固，之后采用振冲或强夯法密实上部回填砂石，国内外未见有实现密实上部回填砂及超载预压深厚软土地基的同步加固的先例。本技术与传统堆载预压+强夯或振冲技术相比具有速度快，效果好，经济性显著的特点。在港珠澳大桥中，以该技术为支撑的筑岛技术缩短工期 2 年以上，陆域形成及地基处理较传统技术节省造价达到 12 亿元，施工效率和经济性显著。

四、推广应用情况

本技术在港珠澳大桥岛隧工程人工岛（完工）和深中通岛人工岛（建设中）得到了应用，对加快施工进度、提高建设质量、降低工程造价、减少施工安全风险和保护环境等发挥了特别显著的支撑作用。本课题形成的关键技术可在类似人工岛工程中推广应用。



图 3-3 港珠澳大桥人工岛图片

五、相关知识产权及荣誉

依托本技术获得了两项发明专利和一项实用新型专利，分别是一种排水井的施工方法、一种液压式塑料排水板打桩机及其工作方法和一种饱和松砂密实系统。

获 2021 年中施企协“首届工程建造微创新技术大赛”特等奖。此外，依托本技术的外海深插钢圆筒快速筑岛技术获得中国航海学会科技进步特等奖。

完成单位：中交第四航务工程勘察设计院有限公司、中交第三航务工程局有限公司

完成人：卢永昌、梁桁、李建宇、黎亚舟、王坤、王征亮、林佑高、何洪涛

一种带尾舵的地下线缆自动开沟铺设装置

一、研究背景

近年来，全球能源结构体系加快转型，各国均致力于扩大清洁可再生能源的使用占比，其中，光伏电站作为一种新能源开发模式，将太阳能直接转化为电能，实现了社会效益、经济效益和环境效益多赢的局面。

本次微创新主要依托越南油汀光伏电站工程开展，越南油汀光伏电站是“一带一路”建设中典型的光伏项目，总装机容量 500MW，占地 580 公顷，是东南亚地区规模最大的光伏项目。该光伏电站场区占地广，导致线缆入地工程量巨大，因此对能够实现电缆沟高质量机械化开挖、线缆自动铺设装置的需求尤为迫切。

二、关键技术内容

关键技术一：电缆沟高质量开挖及电缆同步铺设技术

(1) 发明了带有挖掘轮及线缆轮的施工模块，将其安装在拖拉机尾部，驱动挖掘轮转动及水平移动，实现电缆沟机械化开挖；

(2) 施工过程中，挖掘轮和线缆轮异向旋转实现自动同步铺设电缆，从而将开沟、铺缆两个工序合并成一个，大幅缩短了电缆铺设施工工期，减少资源投入；

(3) 设置了防偏尾舵，避免挖掘轮左右摆动，提高了沟槽顺直平整度。



关键技术二：光伏场区地下缆铺设施工导航技术

通过在挖掘设备上安装导航终端，结合定位系统将电缆沟走向进行图形化有向展示，机械

操作手可在无地面标注点情况下实施沟槽开挖作业，实现数字化放样和开沟铺缆施工一体化。

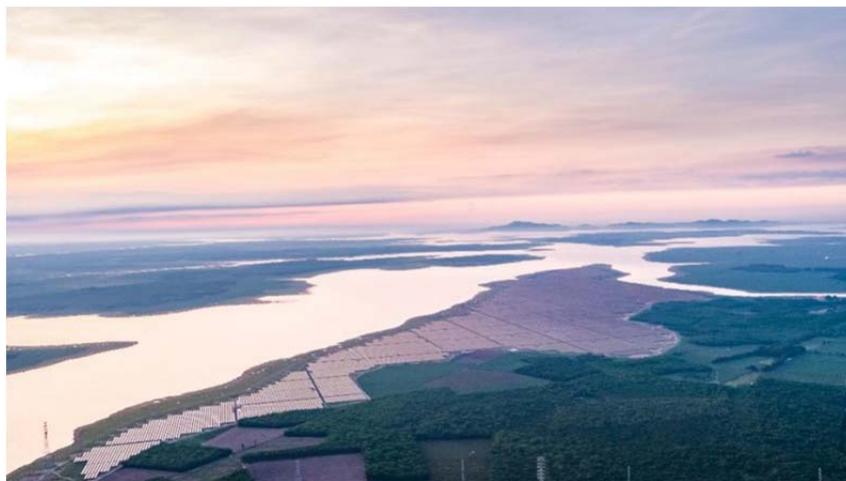
三、与同类技术对比

为了解决大容量光伏电站项目开沟布缆施工工期长、效率低的难题，通过小改造、微创新，实现数字化放样、机械化开挖电缆沟、自动同步铺设电缆，减少资源投入，降低成本，提高效率，保证工期。

	本项目技术	同类技术
· 可匹配、易组合、适用程度高	可对任意拖拉机进行改造，在尾部加装施工模块，实现机械化自动开槽布缆	现有的开槽设备多为专用机械
· 沟槽开挖与电缆铺设自动同步进行	带有挖掘轮与线缆轮，挖掘轮开挖的同时，线缆轮自动同步铺设电缆	功能较为单一，仅能实现开槽功能，沟槽开挖后还需人工铺设电缆，费时费力，效率低下
· 成槽平整度、顺直度高	装有尾舵，尾舵接触地面对挖掘轮形成支撑，避免挖掘轮摆动，从而保证沟槽的顺直度	挖掘轮容易左右摆动，导致成槽不顺直
· 智慧化程度高	配置施工导航终端，开沟前无需人工放样	智慧化程度低

四、推广应用情况

本技术成果已成功运用到越南油汀 500MW 光伏电站、越南 HCG 光伏电站，大幅提高了施工效率，并保证了施工质量。本成果的应用助力油汀项目获得亚洲能源大奖、中国电力优质工程奖、中国安装协会科技进步奖一等奖等十余个奖项



五、相关知识产权

本技术具有自主知识产权，已获授权发明专利 1 项，实用新型专利 1 项。

完成单位：中国电建集团华东勘测设计研究院有限公司、浙江华东工程建设管理有限公司

完成人：胡顺利、任金明、王永明、孙子元、叶志江、张哲、赵建永、杨坤、董晓宝、邵利刚

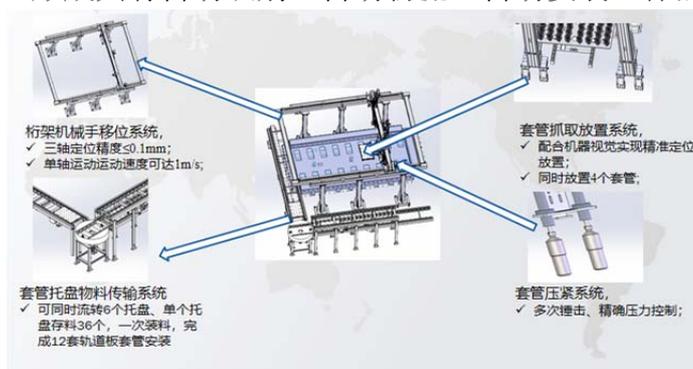
高速铁路无砟轨道板预埋套管智能安装机器人系统

一、立项背景和整体思路

中铁九局为响应“中国制造 2025”及“建设交通强国”战略，组建了科研创新团队。从领导、技术人员到工人，大家集思广益，共同研发了预埋套管智能安装机器人系统，解决轨道板生产过程中人工安装套管劳动强度大、模具喷涂脱模剂后表面湿滑存在安全隐患、无压紧力检测等技术难点。

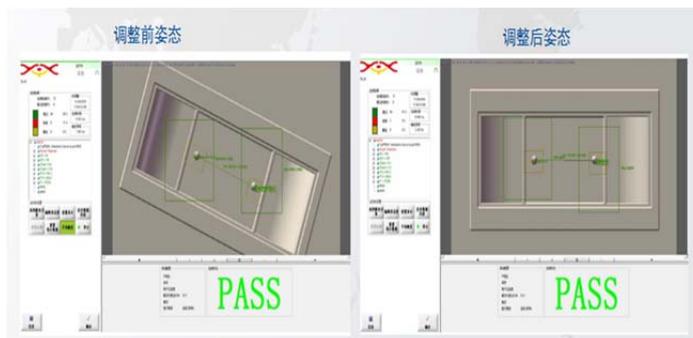
二、关键技术及创新点内容

关键技术：应用机器人技术、传感技术、机器视觉技术、大数据采集系统、可视化人机交互系统等关键技术，形成具有自动识别、自动物流、自动安装一体化的智能化系统。



创新点 1.智能视觉系统技术

通过工业相机对预埋套管安装位置进行拍摄、图像处理、特征提取后计算目标位置，实现精准定位。



创新点 2.智能压力检测技术

在压紧装置上安装智能压力传感器，及时测试出每次压紧套管时的压力值，并将数值传送到控制系统。对套管安装实时进行数据分析并反馈，实现套管打击压力的精准控制，提高套管的安装质量。



创新点 3.智能物流技术

套管托盘实现自动上下料功能，节约占地，出入库迅速、准确、缩短作业时间，提高工效。



三、推广应用情况

该研究成果技术已成熟，分别在中铁九局盐通客专、朝凌客专、牡佳客专等国内重点高铁干线得到了应用，累计生产轨道板 11.14 万块，目前应用于新建南沿江铁路中，技术先进，质量优良，作业高效，实现无人化生产，受到了业主单位及监理单位的高度评价，具有广阔的市场推广前景。

四、相关知识产权及荣誉

预埋套管自动安装机器人系统获得国家发明专利 1 项（适用于高速铁路无砟轨道板预埋套管自动安装机器人”，专利号为 ZL2016 1 1113635）；获得辽宁省工法和铁建部级工法各 1 项。获得中国中铁科学技术一等奖和辽宁省科学技术奖二等奖。



完成单位：中铁九局集团有限公司、烟台中科蓝德数控技术有限公司

完成人：陈晓鹏、贾有权、全萍、王启迪、崔好林、谢鹏杨、王培、王露鸣、凤若成、王立明

45° 缓倾斜井反导井开挖及复杂结构滑模衬砌技术

随着我国工程建设的迅猛发展,斜井工程施工将会越来越多,国内外目前主要采用经济、快速、安全的反井法进行斜井掘进,此法适用倾角一般在 60°~90°。猴子岩斜井距离长达 185.1m 且倾角为 45°,加上城门洞型复杂断面和踏步及排水沟等结构等需同步浇筑,采用反井法施工尚无先例,在 45°倾角下导孔轨迹到底会如何变化、精度控制方法、正向开挖轮廓线及块度控制、滑模受力以及如何快速、安全和优质进行衬砌浇筑均受到极大挑战。课题组依托猴子岩水电站出线洞工程进行深入研究。

猴子岩水电站出线洞总长 703.6m,其中斜井段长 185.1m,倾角 45°,开挖及衬砌断面均为城门洞型,开挖断面 6.72m×6.78m(宽×高),衬砌后断面 5.52m×6.18m,衬砌厚度 48cm,底板厚度 50cm,斜井底板范围内设置 25×25cm 通长踏步共计 1572 个,两侧设置 30cm 宽排水沟。关键技术内容包括以下 4 部分。

1 45°斜井反井法导孔轨迹与溜渣力学模型。通过开展开挖渣料粒径大小、粒径分布规律、粒径形状特征的导井溜渣规律理论分析和研究,建立了相关模型并进行了相应的核算,提供了 45°斜井采用反井法实施的理论支撑。

2 45°复杂断面斜井反井法导孔施工控制技术。通过开展钻机结构布置、钻井受力条件、导井钻进轨迹等综合研究,解决了反井钻机设备构件冲突、钻孔精度不足等一系列难题,总结出一套完整的导孔施工精度控制技术。

3 45°斜井正向掘进一次成型控制爆破技术。通过对开挖轮廓、爆破规模和爆破粒径的理论分析和现场试验,有效避免了堵井现象发生,解决了常规二次扩挖面临的进度和安全风险,形成一种整套环形密孔微差控制爆破技术。

4 45°城门洞型断面斜井一体化“导梁自行式”滑模研制及一次成型同步施工技术。通过开展复杂结构滑模设计及边顶拱与踏步一体化施工的研究,有效解决了常规施工方法面临的牵引系统与材料运输系统的干扰、荷载产生的摩阻力大、边顶拱台车受力复杂、滑升行程及方向不一致及踏步结构与边顶拱结构需二次浇注的问题,研发出一套安全、经济、高效的一体化滑模设计、制作、运行技术。

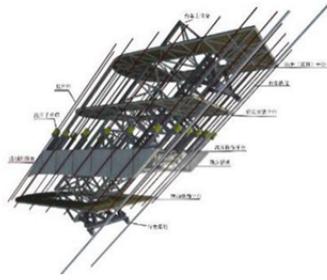


图1 滑模台车结构示意图

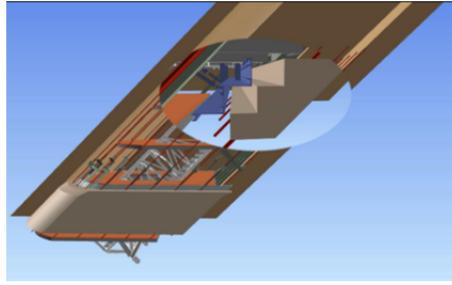


图2 滑模一体化施工模拟图

与同类技术对比的创新点、优势如下：

1 开展了斜井导井溜渣规律理论分析和研究，运用理论分析、数学建模和力学推导等方法，结合工程实际条件推导出的导孔轨迹以及构建出的 45°斜井溜渣力学模型，开发出采用反井钻机进行 45°斜井的施工技术，提出切实可行的一系列控制技术与参数，为 45°缓倾角斜井采用反导井法自上而下一次扩挖成型的施工方案提供了依据。

2 基于反井法导孔钻进轨迹研究，提出了钻机开孔角度补偿的方法，对钻机进行了适当改造和优化，使得反井钻机钻孔角度最大化；研究采用倾斜机座及可伸缩式吊杆，提高了反井钻机对缓倾角斜井钻孔的适应性，保障了斜井反井法的顺利实施。

3 通过理论分析和现场试验，研究采用环形密孔微差控制爆破技术，即提出一整套包括钻孔、循环进尺、炸药单耗、孔网参数、微差间隔、起爆分段以及振动控制等控制爆破技术，实现了开挖轮廓、爆破规模和爆块粒径的精确控制，避免了堵井现象发生。

4 研发了 45°复杂结构城门洞型斜井边顶拱、排水沟、踏步一体化“液压伸缩导梁自行式滑模”，形成了成套工法技术，实现了 45°斜井带有踏步及沟槽的城门洞型复杂结构一次连续浇筑成型。

研究成果已在大渡河猴子岩水电站出线洞工程、猴子岩水电站压力管道工程、阳江抽水蓄能电站高压电缆洞工程成功应用，有效规避了常规施工方法所面临的一系列施工难题，保障了工程施工质量及安全、降低了施工成本、提高了施工进度、将施工干扰降到了最低程度，应用效果良好，得到业主单位、监理单位等的一致好评。研究创新成果可成功运用到水利水电工程、矿山工程中，具有较强的推广运用价值。



图3 斜井导孔贯通效果图



图4 猴子岩出线洞衬砌完成效果图

研究取得发明专利 2 项（一种用于城门洞型斜井混凝土浇筑的滑模台车）（专利号：ZL 2015 1 0400375.1）（一种钻孔轨迹精度控制方法）（专利号：ZL 2017 1 0946062.5）和实用新型专利 3 项（一种缓坡斜井开挖施工设备）（专利号：ZL 2014 2 0865600.X）（一种城门洞型斜井滑模台车牵引移动结构）（专利号：ZL 2015 2 0494573.4）（一种斜井台车踏步模板结构）（专利号：ZL 2015 2 0495058.8），获得省部级工法（城门洞型缓坡斜井施工工法）（工法编号：SCGF 082-2017）等 4 项。经中国电力建设集团有限公司组织业内专家鉴定，结论为项目研究成果实现了该类斜井施工技术的突破，达到国际领先水平。

完成单位：中国水利水电第七工程局有限公司

完成人：张学彬、王峻、刘培伟、王再强、李霞、张华武、刘清名、陈林

公路桥梁装配化施工技术

一、立项背景

在国家推进基础设施建设和加快推进绿色低碳发展的大方向下，传统的施工方式造成了基础建设和环境保护之间的矛盾。而装配化施工，是将结构的主要构件在预制场预制、运输至现场拼装的施工模式。具有环境污染少、对交通影响小、劳动力投入低、安全性高、施工工期短等优点。因此对桥梁装配化施工技术进行系统、深入的研究具有重大的意义。

二、关键技术内容

公路桥梁装配化施工技术主要涉及：构件场规划、构件预制、运输及构件安装等方面，主要包括以下 7 个创新点：

1、基于 BIM 的装配化桥梁施工方法

主要利用 Revit 建模模拟施工过程，并对设计参数进行复核，提前校定现场施工图纸。特别是针对异形结构，可以通过建模发现各种预埋件是否冲突，提前做好参数校核。

2、箱梁“大模板”技术

箱梁侧模采用 32m 整体式大模板技术：采用整体安装、拆卸方式。使模板安装时间大大减少，缩短了施工周期，保证了外观质量。

3、防撞墙“柔性大模板”技术

防撞墙采用 32m “柔性大模板”技术：柔性是指在模板节段间放入 1-2cm 厚橡胶板，通过螺栓紧固挤压橡胶板，以调整防撞墙平面曲线。防撞墙模板整体安装、整体拆卸，可以通过橡胶板进行平面曲线调整，确保了防撞墙线型的平顺。

4、钢筋预埋定位装置

为满足预制构件预制及安装精度要求，设置专用定位板，钢筋定位板、套筒定位板及承台预埋插筋定位板等须配套使用并精确钻孔，固定牢固。

5、边梁防撞墙一体化施工防倾覆结构

防倾覆措施其特征是通过支撑架和拉杆形成一个一拉一撑的平衡体系，防止在边梁防撞墙施工时发生倾覆。

6、预制箱梁钢绞线吊点

钢绞线吊点是在箱梁中预埋钢绞线形成吊环，利用吊环对箱梁进行起吊。采用钢绞线吊点起吊，受力均匀，使箱梁能够平稳吊装，避免箱梁偏心发生的倾斜。

7、立柱垂直度调整装置

利用套筒灌浆出浆孔设置牛腿，利用千斤顶调整立柱垂直度，既保证预制立柱在架设完成后的稳定性，又能快捷、平稳地对预制立柱的垂直度以及水平面位置进行调节。

三、与同类技术对比

公路桥梁装配化施工与传统施工方法比较，人力资源大大减少，机械利用率充分提高，节约大量的劳动资源，有效缩短施工周期，节约施工成本。

序号	项目	费用（万元）
1	公路桥梁装配化预制构件场地规划及资源配置	150
2	公路桥梁下部结构工厂化预制拼装施工技术	882.6
3	小箱梁自密实混凝土规模化应用	135
4	小箱梁防撞墙一体化预制架设施工技术	60
合计		1277.6

四、推广应用情况

公路桥梁装配化施工技术已成功应用于上海嘉闵高架、上海 S3 公路先期实施段、上海 S7 公路一期、上海 S7 公路二期等多个项目，其中 S7 公路（月罗公路-宝钱公路）段合同工期 3 年，实际于 2020 年 4 月开工，于 2021 年 7 月通车，缩短工期 20 个月，具有较强的推广应用价值。

五、相关知识产权及荣誉

本成果已获得发明专利授权 2 项，实用新型专利授权 4 项。省部级工法 3 项，科学技术进步奖 3 项并参与编制上海市规范《预制拼装桥墩技术规程》，科技查新报告显示国内外未见公开文献报道。

发明专利	实用新型
一种承台立柱一体化施工调整结构	预制箱梁边梁防撞墙施工一体化防倾覆结构
基于 BIM 的装配化桥梁施工方法	预制箱梁钢绞线吊点
	一种模块化承台中立柱预埋筋定位装置
	一种预制立柱垂直度与水平面调节装置

完成单位：中铁上海工程局集团有限公司、中铁上海工程局集团第一工程有限公司

完成人：李光均、王永明、童伟伟、周向国、李其洪、张义龙、刘文涛、刘鹏飞、刘广、徐子邦

超高层住宅高效施工装备集成平台体系

一、研究背景及目的

目前，各行各业创新求发展，我们针对高层住宅施工开发一种集成平台系统，可将露天作业变成准工厂化施工，通过平台功能集成，最终形成自动化施工、智能化控制、全天候作业的智能装备，颠覆性改变高层住宅传统施工方式，引领高层住宅建造发展。

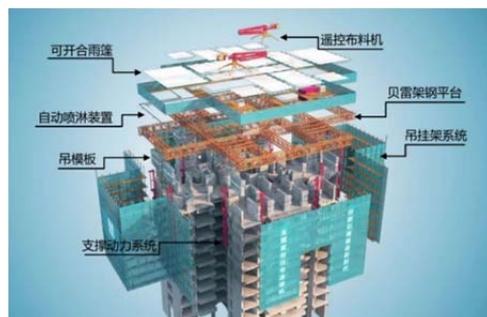


图1 住宅造楼机系统集成示意图

二、关键技术内容

1、轻型通用支点受力骨架关键技术

贝雷片桁架平台+集成小行程油缸的立柱组成轻型通用支点受力骨架，克服住宅建筑剪力墙杂、碎、多、承载力较差等困难，相比传统“空中造楼机”单个支点重量由 50T 减至 5T，架体重量从 1000T 以上减至 270T。

2、全天候施工作业关键技术

采用外挂架、雨棚等形成一个相对封闭的空间，在保障施工安全的同时，配合喷淋及排风系统实现中雨、小雨等下雨天气施工作业基本不受影响，夏季高温天气施工作业时间与正常施工保持一致，实现准工厂化环境施工作业，在改善工人作业环境等方面起到很好的作用。

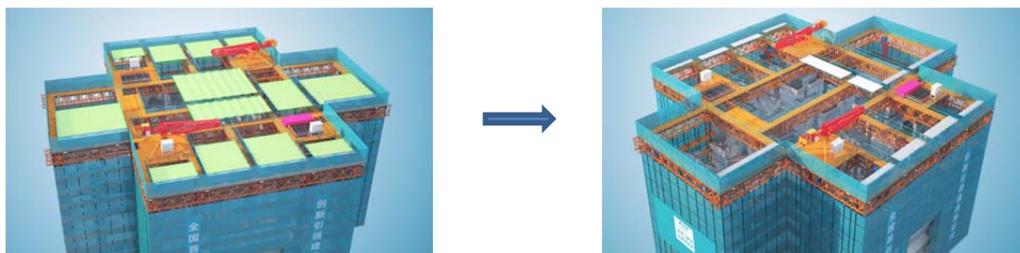


图2 可开和雨棚开合前后对比图

3 低位顶升支点施工技术

因标准层工期可达 4 天/层，在该条件下造楼机支点部位 N-1 层混凝土强度因时间短可能不达标强度要求，为保障安全，特将支点设置在 N-2、N-3 层，保证支点位置混凝土强度达到附着要求，同时为高效施工创造有利条件。

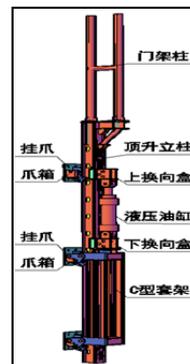
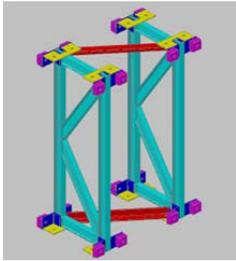
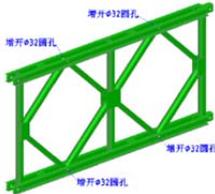
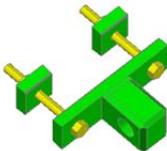


图3 顶升支点示意图



图4 顶升支点实际效果图

4 模块化、标准化、系统化平台集成技术

<p>本集成平台的设备材料大多采用装配式节点设计，在深化时尽量将构件标准化、单元化、模块化，以便构件单元在不同项目通用周转，仅需增加少量非标准化构件拼装即可，提高周转率。同时，集成平台由钢平台、动力及控制等系统组成，在平台集成液压布料机、喷淋养护装置等附属设施设备，可实现功能拓展。</p>	<p>模块化单元</p>		
		<p>图 5 刚性连接单元</p>	<p>图 6 挂架走道标准化单元</p>
	<p>标准化构配件</p>		
		<p>图 7 标准贝雷片</p>	<p>图 8 标准化连接</p>

三、与同类技术对比

1、施工进度方面：与爬架+铝模工艺相比,架体提升时间缩短 80%，模板转运及安装时间缩短 30%，混凝土浇筑时间缩短 40%~50%,施工进度平均每层缩短一天，达到 4 天一层。

2、安全方面相比爬架，在冒顶作业、临边防护缺失、提升时架体坠落、露天作业中暑、电箱电线外露、触电危险、塔吊司机攀爬时坠落、布料机转位坠落伤人等方面隐患减少 80%。

3、质量方面，对主体结构、安装管线预埋、外墙保温等施工质量有巨大提升。

4、绿色施工方面：

(1) 施工降噪：利用钢平台及雨篷，形成降噪棚，有效降低噪音 20 分贝；

(2) 扬尘控制：利用喷淋，有效实现降尘；

(3) 作业环境改善：利用雨篷将传统的室外作业变为准室内作业，遮阳挡雨，配合喷淋及通风，夏季有效降低现场温度 7~9 度，极大改善了工人的作业环境条件。

四、推广应用情况

装备集成平台相对爬架，费用有一定提高，但周转率达到 90%，且在施工效率、安全质量以及环境改善方面均有十分明显的提升，综合经济效益高于爬架。

五、相关知识产权及荣誉

1、科技查新

已通过国内外科技查新，并经重庆市建委组织工程建设关键技术鉴定，处于国际领先水平。

2、发明专利

申报 7 项专利，已获得 4 项实用新型专利，3 项发明专利审核中。

3、工法、论文

已获得重庆市级工法，并发表论文 3 篇。

完成单位：中建三局第三建设工程有限公司

完成人：廖继、许国伟、张步月、王军、邓惠文、陈东、苏松、王皓楠、苏杰、
康崑峰

装配式数字高效机房和智能模块化机电系统集成 研究与应用

1.1 背景

目前，国内建筑企业正着力研究和推广装配式机电技术。现有装配式机电技术仍存在机房运行能耗高，机房运维状态反馈不及时、不全面，装配式机电集成化产品种类单一等问题。

2.1 关键技术

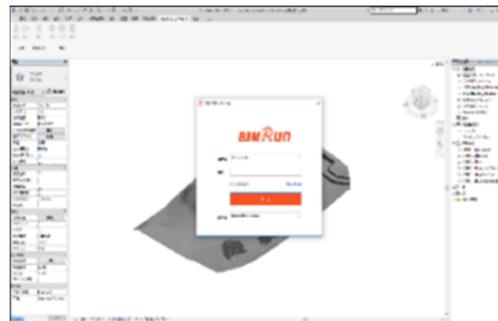
2.1.1. 装配式高效机房建造技术

装配式高效机房是在装配式机房的基础上，融入高效机房技术，分成机房设备选型、低阻力阀部件选型和管路优化降阻等 6 个步骤，包含高效建造、高能效比等方面内涵。

通过对高效机房模型进行水力损失模拟和分析，创建低水利损失构件模型族库。如悬空集分水器、大倍径弯、大型号过滤器等。通过物联网平台采集相关的设备基础信息，结合 BIM 技术通过“一张屏”展示出各个机房、设备所在的位置以及设备运行状态信息，实现可视化运维工作。



系统拓扑图



Revit 插件系统

2.1.2. 智能模块化机电系统集成技术

(1) 装配式一体化屋顶防排烟机房

通过装配式屋面防排烟机房的研究解决了规范要求“风机应设置于机房内的要求，并通过工厂定制预制生产，较传统砖混风机房重量减轻。

(2) 板换水泵一体化集成

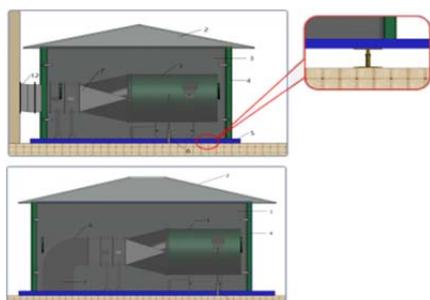
板换水泵一体化集成技术：将板换、水泵、阀门、管道在工厂集成一个模块，可以有效的减少机房设备占地面积，缩短管道路径，减少水头损失。

(3) 配电箱与桥架一体化集成

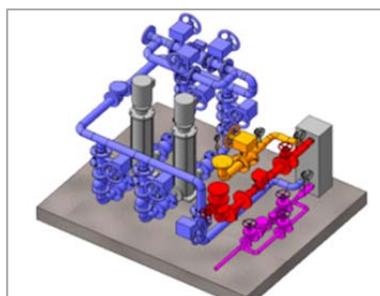
在配电箱出厂前根据电缆型号数量和连接桥架配置好喇叭口，喇叭口和配电箱一起进行质量检测，节约现场施工工艺，提升桥架施工质量。

(4) 装配式一体化管井

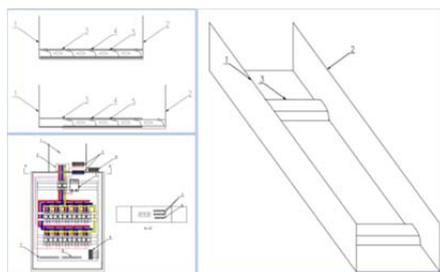
将楼板、墙体、空调水、排水、电气照明一体化设计集成及装配技术的研究，在主体施工过程中将管井内所有专业施工内容一次装配到位。



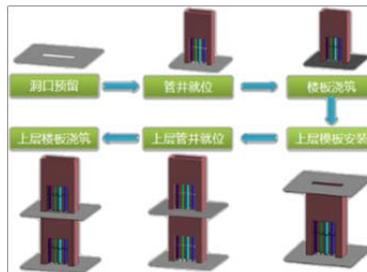
装配式屋面防排烟机房



一体化板换泵组



配电箱与桥架一体化



一体化装配式管井

3 创新点及优势

(1) 提出了装配式技术与高效机房融合建造的方法，研发了低阻力构件产品和三维可视运维平台，解决了传统机房建造效率低、运维耗能高，运维不便利的难题。运行期的平均 EER 均超过 5.0，较改造前的 EER 提高 30%以上。

(2) 研发了以机电为主的多项标准装配式机电模块集成产品，实现了高度集中的装配式机电建造技术，解决了机电工程“散、杂、小”的建造难题。

4 应用情况

本技术已在地铁、医院、商业综合体等 20 余个不同类型项目应用，累计产生经济效益 5246 万。其中，西安市幸福林带建设工程地下空间工程应用本项技术产生经济效益 495.4 万元。郑州市轨道交通 3 号线一期工程应用本项技术产生经济效益 445.4 万元。常州市轨道交通 2 号线工程应用本项技术产生经济效益 464 万元。

本成果适用于所有建筑机电安装工程，特别是质量要求高、工期紧张、管线密集空间狭小的管井、机房安装，以及安装工序复杂、施工部位分散、体量小等的施工部位。

5 相关知识产权及荣誉

- (1) 授权发明专利 3 项，
- (2) 实用新型专利 10 项，
- (3) 省部级工法 4 项，局级工法 1 项
- (4) 科技论文 5 篇，

(5) 参与编制了《建筑设备安装工程支吊架计算书编制标准》等标准，荣获国家级 BIM 奖项 6 项。

完成单位：中建五局第三建设有限公司

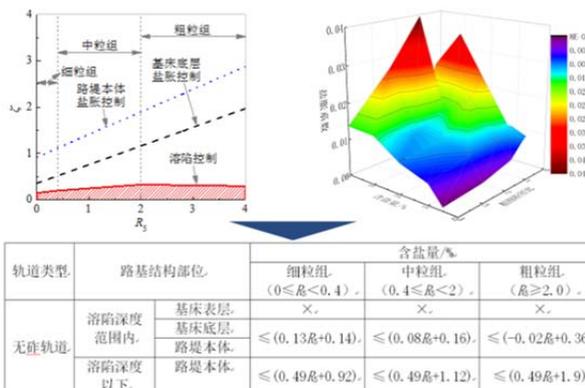
完成人：唐艳明、吕基平、曾波、李湖辉、邓磊、张宁、樊仕成、侯俊杰、杨盼、孙睿

高速铁路粗粒盐渍土路堤结构及构筑方法

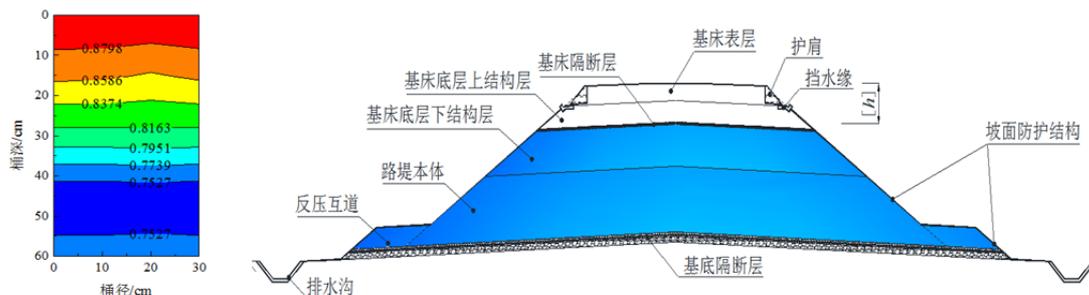
中国西北及中亚、西亚、中东等地区广泛分布不同程度盐碱化的盐渍土，具有溶陷、盐胀和腐蚀等复杂工程特性。“一带一路”规划的高速铁路频繁穿梭于盐质荒漠区，沿线土质地基盐渍化严重，工程施工用水含盐量高，优质不含盐路基填料极其匮乏。高速铁路路基填料要求高，现行规范严禁以盐渍土填筑高速铁路基，若采用远运填料或开山块石填筑路堤等技术方案，工程投资均会急剧增加，开山块石与盐渍土弃渣也将严重破坏生态环境。在盐渍土地区建造高速铁路基工程亟需解决三大核心技术难题：突破现行铁路规范要求，提出粗粒盐渍土构筑高速铁路路基的技术指标；面向轨道类型及时速设计需求，发明高速铁路的路基结构新形式和构筑方法；围绕施工用水及施工质量控制，研发高含盐地下水改良方法及现场反应装置。

课题历时多年科技攻关，采取了“理论分析 → 数值模拟 → 模型试验 → 现场试验 → 工程应用”的技术手段。研究了粗粒盐渍土填筑高速铁路路堤的技术指标、水-盐迁移、结构型式及构筑方法，突破了三方面的关键技术：

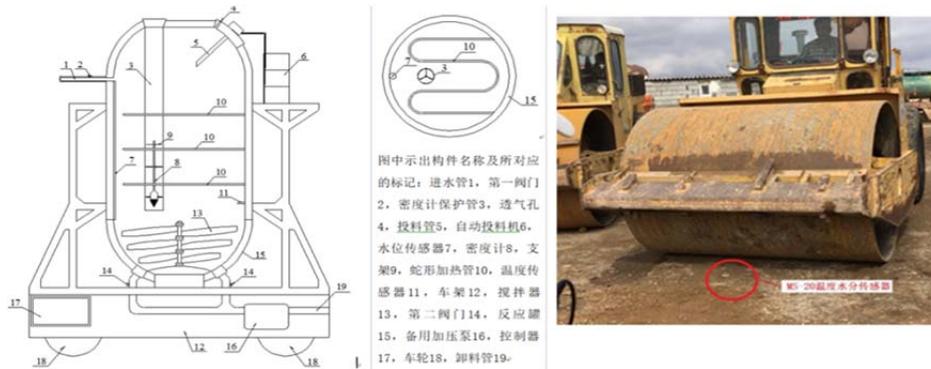
创新点一：首次提出了粗粒盐渍土填筑高速铁路路堤的关键技术指标，建立了盐渍土盐-冻胀力计算方法。



创新点二：揭示了水-热-盐多场耦合作用下粗粒盐渍土路基的水盐迁移规律，发明了高速铁路路堤结构新形式及构筑方法。



创新点三：提出了盐渍荒漠地区用于路基施工的高含盐地下水改良方法，研发了一种现场改良含盐施工用水的反应装置。



通过与国内外同类技术的综合比较可知，本成果在粗粒盐渍土填筑高速铁路路堤的技术指标、结构型式、构筑方法及水体改良等方面具有领先优势，**获授权发明专利 13 项，实用新型专利 5 项，发表论文 12 篇（SCI/EI 论文 8 篇）**，经知名岩土专家鉴定，成果整体达到国际领先水平。项目建立了具有完全自主知识产权的高速铁路粗粒盐渍土路堤结构新型式及构筑技术体系，解决了盐渍荒漠地区建造高铁路基工程面临的三大瓶颈技术难题，奠定了我国在该领域的世界领先地位。

与国内外同类技术的综合比较

主要内容	本项目技术水平	国内技术水平	国外技术水平	对比结果
填料技术指标	粗粒盐渍土填筑高速铁路路堤	开山块石或远运填料构筑路堤	无	工程投资降低40%以上
路堤结构型式	不同时速有砟/无砟轨道路堤结构新型式	无	无	首创
路堤构筑方法	高速铁路路堤施工质量检验指标	无	无	首创
含盐水体改良	3~5次改良试验确定配合比	多次改良试验确定配合比	多次改良试验确定配合比	效率提高不少于60%



成果成功应用于伊朗德伊高铁设计及施工中，解决了盐渍荒漠地区缺乏优质填料、路基变形控制、施工用水含盐量超标等系列工程技术问题，避免了开山块石或远运价购填料构筑高速铁路路堤，节约工程投资 5.4 亿元，减少盐渍土弃渣达 3000 余万方，保护了生态环境，经济、环境效益显著。



本成果推动了中国高速铁路技术“走出去”，为今后盐质荒漠区高速铁路路基建造提供技术储备，保障了盐渍土地区高速铁路顺利建设，提高了中国在全球高铁建设领域的竞争力，成果应用前景十分广阔。

完成单位：中铁二院工程集团有限责任公司

完成人：陈伟志、李安洪、郭在旭、张志明、薛海洋、胡会星、张莎莎、林东升、朱曦、杜猛

严寒地区大型室内滑雪场施工关键技术

一、立项背景

2013年6月，国际奥委会宣布启动2022年第24届冬季奥林匹克运动会的申办程序，而我国的首都北京以及联合主办城市张家口已经提出申请，这次冬奥会的申办向全国人民释放了另一个信号：近年来，我国的冰雪运动项目势必将会出现一次爆发性的发展。但是与冰雪运动息息相关的冰雪主题运动娱乐场所却非常少，而与之相关的工程设计及施工规范在国内尚属空白，对大型室内滑雪场进行研究是对行业和企业的重要贡献。

2. 分析问题，找到主要矛盾

钢结构已经在超高层建筑、大型场馆建筑中广泛应用，如上海中心、上海环球金融中心、广州电视塔、国家体育场、国家游泳中心等，施工工艺有滑移、提升、综合吊装等，但是对于“冰城”哈尔滨市，冬季严寒、夏季高温，温差非常大，有必要对能够有效抵抗大温差的结构体系进行研究，并选择最合适的施工方案。

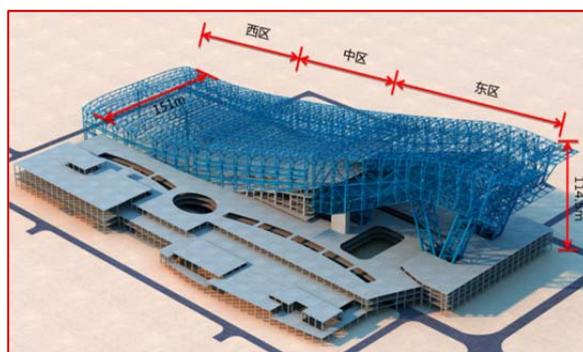
室内滑雪场涉及到的专业多，有常规的机电安装工程、滑雪场的冷风、造雪、除湿、冷乙二醇、热乙二醇、环境检测、智能控制等系统工程、内保温工程、室内缆车、魔毯、斜行电梯等设备工程、雪道层、精装修、钢结构防火喷涂等，而且多个专业的作业面空间交错复杂，作业面协调和工序交接管理难度非常大，如何最好多专业高效协同，同时为公司以后承接的类似工程提供经验，是本工程另一个重要的课题。

3. 提出解决问题的工作思路和技术路线

对重载大跨、大落差钢结构结构形式进行不断的设计和节点优化，研究出一套适用于严寒地区大跨钢结构体系，通过大型有限元软件进行模拟计算，并对其进行抗震性能、倒塌性能分析，确保设计体系安全适用经济。

对大倾角雪道层进行抗滑移能力测试、SBS卷材蠕变性能和大面积混凝土面层抗裂性能进行研究，通过节点创新设计达到大倾角雪道的防止滑移、大面积混凝土抵抗开裂的目的。

针对万达茂室内滑雪场体量大、系统多的特点，技术开发主要从以下几个方面着手：首先是优化造雪机，不再在每个造雪机内单独设置冷源，而是将冷源集中设置在机房内；其次，

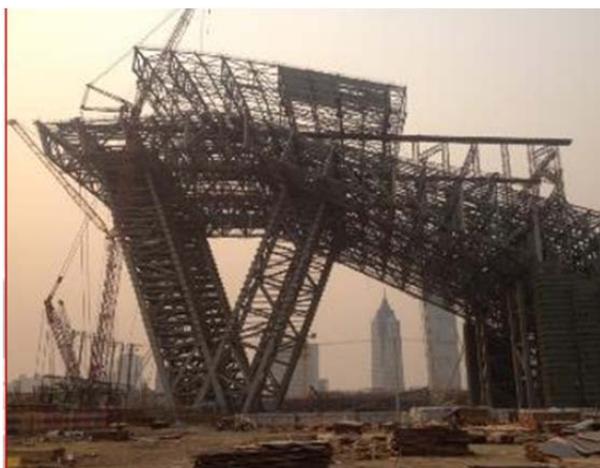


在制冷系统中增设热回收系统，用于融雪、融霜及地面防结露系统等，节约运营能源；再次，通过对保温体系的深化设计和验算，实现其保温性能；最后，设计使用全自动的智能控制系统根据不同使用环境切换系统负荷，实现能源合理利用。

二、关键技术内容

(1) 大倾角巨型框架结构体系和“纵向框架+粘滞阻尼器”的支承耗能系统东区首创大倾角巨型框架结构体系，通过优化巨型框架柱和框架梁悬挑得到合理的结构布置形式，整体钢结构与下部框架结构脱开；中、西区采用粘滞阻尼器替代了柱间支撑。

(2) 大倾角巨型框架结构抗震扭转效应计算及适应于大温差和低温环境的结构设计技术通过质量简化，提出了大倾角巨型框架结构抗震扭转效应的计算方法，实现了该类结构抗震性能的评价。通过对低温钢材性能的研究，形成了适应于大温差和低温环境的结构设计技术。



(3) 大跨钢结构大倾角带支架滑移施工技术设计使用沿滑移方向向下倾斜的滑移轨道。轨道与楼板之间设置支架；屋盖与滑靴之间设置支架。在滑靴一侧设置顶推油缸，另一侧设置防滑夹轨器。选用由计算机智能控制的电液比例控制技术，并在滑移结构和油缸上设置精密传感器，确保滑移就位精准。

(4) 大倾角大面积多层复合雪道层施工技术和新型防滑防开裂构造方法对 25.4° 倾角雪道进行雪道抗滑移能力测试、卷材蠕变性能预测、混凝土裂缝分析。使用大倾角室内滑雪场雪道防滑防开裂节点，同时具有抗滑移和将面层进行分隔的功能，达到防滑和防开裂

三、推广应用情况

随着冬奥会的申办成功，冰雪娱乐和运动产业必将有一次爆发性的发展，冰雪场馆的需求量和建设量将会如雨后春笋般开工建设，大倾角大面积室内滑雪场雪道斜向剪切变形及混凝土裂缝控制技术和大型室内滑雪场环境制造及控制技术为室内滑雪场建设提供了成熟的经验和创新思路，上述两项技术已经推广应用到贵州关岭室内滑雪场、银基



冰雪世界等项目。

四、相关知识产权及荣誉

该成果获得中施企协科技技术进步奖 1 项、专利 17 项、省部级工法 6 项，核心期刊发表论文 13 篇，相关技术已在银基冰雪世界、贵州关岭室内滑雪场等项目成果应用，保证了工程质量，综合效益显著。并获得中国建设工程“鲁班奖”、国家优质工程金奖、住建部绿色施工科技示范工程优秀项目、中国钢结构金奖杰出大奖等。

完成单位：中国建筑第二工程局有限公司、中建二局第四建筑工程有限公司

完成人：张伟光、王全逵、王健涛、高清涛、裴金春、张运、林长胜、李志民、王芳、杜怡

高铁桥梁万吨级支反力支座不停运更换施工技术

一、项目研究背景

随着高铁行业迅猛发展，和时间推移，越来越多的桥梁支座由于各方面原因，会出现不同程度、不同类型的病害。比如支座部件异常变形、支座钢盆开裂破坏、支座上下座板错位、支座上座板偏斜等。

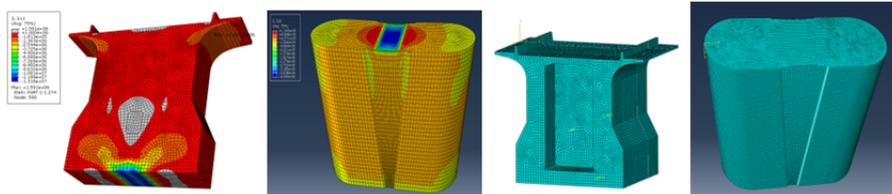
高铁桥梁病害支座更换施工，面临着以下五个方面施工重难点。

- (1) 高铁须不中断运营，施工组织和安全控制困难
- (2) 支座反力大（支点反力达万吨级），顶升设备能力需求大
- (3) 梁体同步顶升控制严格（无砟轨道及无缝钢轨），顶升控制精度要求高
- (4) 超静定结构，支点顶升对结构影响大，全过程施工监控要求高
- (5) 施工存在体系转换，临时支撑结构必须安全可靠

二、关键技术研究及创新点。

关键技术一，支点顶升对高铁桥梁结构及无砟轨道的影响。

为保证施工期间结构安全，通过查找相关的技术规范 and 规定，并进行各种工况下的建模计算分析，确定支点顶升限值：5mm 为第一阶段限值，10mm 为第二阶段限值。若仍不满足施工要求，通过综合研讨分析，确定最终顶升值或采取其它措施。



关键技术二：桥梁顶升总体方案设计

施工采用单墩顶升方式，在墩顶布设同步顶升系统，采用计算机控制分泵组多点位移同步顶升系统进行顶升控制。在顶梁过程中，梁体脱空前以应力控制为主，位移控制为辅；支座更换完成且垫石达到强度后，落梁以位移控制为主，应力控制为辅。

施工中采用了大吨位高程精确可调式楔形临时支座，并对其性能进行了专项设计和试验验证，保证其性能满足要求。

关键技术三：超大吨位支座更换施工工艺

施工中存在两次体系转换，然后第一次体系转换，同步顶升梁体，将其支撑在临时支座上。



第二次体系转换，同步顶升梁体，将梁体从临时支座转换至新支座上。

采用“倒拆法”和“倒装法”，进行支座更换施工，这种工艺，对作业空间要求较少，也是保证上方铁路运营不需要中断的关键保障。

关键技术四：高铁不中断运营施工全过程监控技术

施工过程中，对梁体顶升位移量和主控截面的应力情况进行实时监控。



根据三个阶段的监控数据结果，我们可以知道：

桥梁结构在施工全过程中始终受力安全，且满足不中断运营要求，顶升系统及临时支座等其它设施性能可靠、稳定。

本项技术形成以下三个技术创新点：

技术创新点一：设计并成功应用了大吨位高程精确可调式楔形临时支座

相对于传统临时支座，该新型临时支座承载能力大，单个可达 3000t；设置滑动层或限位层等措施，可代替原永久支座的约束功能；具有连续可调功能，可保证在梁体顶升过程中做到平滑、来纳许、稳定、可靠。

技术创新点二：应用大吨位支座“倒拆”及“倒装”施工工艺

相对于传统施工工艺，本工艺可在有限的天窗时间完成梁体的顶升与落梁，适应梁体顶升高度小；对桥上轨道线路影响小，轨道不需进行解锁处理等；同时，“倒装”工艺通过对新支座的加压消除其装配间隙，同时消除压缩量，保证梁体在顶升、落梁前后的标高不发生较大变化。

技术创新点三：实施了施工全过程实时监控技术

该技术与计算机控制多点位移同步顶升系统互相配合、校核，能够实时及监控施工全工程中梁体位移的变化和关键部位的受力情况，及时反馈指导现场施工，提高顶升工作的安全性。

这项支座更换施工技术，已经经过权威认证，具有技术上的先进性，大道了国际先进水

平，也发表了多篇论文，获得了中国公路工程工法，并获得了相关专利。

本技术在项目实施过程中，不仅可以节约施工时间，也可以显著有效的节约成本，对社会效益的提升十分明显。

本技术目前已推广应用至多个高铁简支梁、连续梁桥的支座更换施工中。可为各类高铁桥梁，尤其大跨度高铁桥梁的支座病害整治及更换施工，提供借鉴和参考，应用前景十分广阔。

完成单位：中交路桥建设有限公司

完 成 人：石兆斌、彭永胜、王佳贵、徐绍尉、姚清涛、贲立刚、胡玉强、熊 伟

大跨径曲线高墩槽型梁无支架顶推工艺

一、研究背景

背景工程沙埕湾跨海大桥南引桥采用钢混组合梁桥，单幅两联，跨径布置左幅为 $6 \times 80 + (64 + 4 \times 80 + 64) \text{ m} = 928 \text{ m}$ ，右幅 $6 \times 80 + (64 + 4 \times 80) \text{ m} = 864 \text{ m}$ ，采用智能步履顶推法安装。单幅顶推距离最长 928m，平均墩高近 50m，标准跨径 80m，顶推竖曲线交替变化，带有 1%、2%、2.5% 三种纵坡，平面位于 $R_1 = \infty$ 、 $R_2 = 1730 \text{ m}$ 的缓和曲线及 $R = 1730 \text{ m}$ 的圆曲线段上。结合工程建设场地条件与工程结构设计情况，背景工程有如下几个难点：（1）弯桥顶推需要保证千斤顶的同步性，减少结构的偏转的不利工况发生。（2）钢梁槽口较大，顶推过程中梁体截面正负弯矩交替变化，应对变形需采取合理保障措施。（3）温度影响、日照不均匀、焊接累计误差产生纵向长度变化，顶推过程槽形梁挠度的影响，底板与垫墩接触影响，也可产生钢梁变形。（4）受竖曲线和平曲线的影响，钢梁在总拼过程中需不断修正，顶推过程中严格按预警值（5cm）纠偏。

二、关键技术及创新点

（1）研发了复合曲线大跨径槽型梁无支架综合顶推技术，和无线遥控步履式纵向同步横向差异化纠偏顶推调控系统，形成了大曲率高墩无支架槽型梁施工工艺。（2）研发了桥梁顶推施工用变截面承载梁，确保了槽型梁结构顺利顶推。（3）通过 BIM 等技术，对槽型梁拼装过程中的线型偏差进行预控和多轮次连续调整纠偏，实现了施工信息全覆盖及管理动态可视化。

三、与同类技术对比

（1）单幅顶推距离长，最长 928 米；（2）顶推单跨跨度大，最大单跨 80 米；（3）顶推过程需要同时克服三种竖曲线（1%、2.499%、2.5%）和两种平曲线（ $R_2 = 1730 \text{ m}$ 缓和曲线、 $R = 1730 \text{ m}$ 圆曲线）对线性的影响；（4）实现节约钢材用量 3418 吨，节约材料成本 2000 万元；（5）实现横向偏位设定 5cm 预警值，与横向单次最大纠偏能力 5cm。

四、推广应用前景

以背景工程为依托，通过本项目的研究，攻克海上大跨径大曲率高墩槽型梁顶推施工技术，融合智能化顶推千斤顶及 BIM 技术，提出无支架顶推工法和托梁系统，及钢槽梁顶推线性控制技术关键技术。该项技术成果可填补目前国内在该领域研究的空白。随着我国一大批跨海通道及跨河、跨山谷桥梁的规划与建设，顶推法施工技术在这些工程中将得到更多的应

用。本项目研究成果将为上述桥梁工程建设提供技术支撑和方案指导，具有广泛的应用前景。

六、相关知识产权及荣誉

项目成果总体达到国际先进水平。目前已获实用新型专利 3 项，受理发明专利 2 项；省部级科学技术进步二等奖 1 项；省部级工法 1 项；发表核心期刊论文 5 篇；QC 成果获安徽省三等奖、中交集团三等奖；获中国施工企业协会微创新大赛一等奖。



图 1 大跨径大曲率高墩槽型梁无支架顶推施工工艺运用于沙埕湾跨海大桥工程



图 2 大跨径大曲率高墩槽型梁无支架顶推施工工艺中的承载梁



图 3 大跨径大曲率高墩槽型梁无支架顶推施工工艺中的中央控制系统

完成单位：中交二航局第四工程有限公司

完成人：张文龙、汪学进、陈宏宝、姚亚、李健、马允栋、王守印、邓智文

基于智能建造理念的地下工程施工风险自动化 监控关键技术

一、立项意义

随着城市中心城区地下空间逐渐向着更大、更深的方向发展，对城市地下空间开发与邻近管网设施保护等提出了新的要求和挑战；如何实现复杂软土地层和城市中心区苛刻周边环境保护条件下地下工程高效、安全建造已成为亟待解决的问题。为此，本项目聚焦城市高度密建成区地下工程施工风险管控涉及的互为制约因素的临时结构（支护体系）、永久结构（结构本体）以及紧邻环境（既有设施如管线等），通过将工程建造与智能化监测装置、数字化监测方法、信息化管控平台等一系列关键技术创新研发深度融合，形成高效、安全的地下工程建造风险自动化监测及管控系列关键技术。

二、主要创新点

本项目基于智能建造理念，开展了中心城区软土地层基于复杂环境及结构本体安全的地下工程建造风险自动化监测方法、装置及平台研发。成果创新性主要体现在：研发了地下工程围护体系全时自动化测斜技术（图 1），解决了地下工程测斜工作中自动化程度不高、数据反馈不及时、现有自动设备成本高、数据不稳定等不足，能够实现对围护结构变形的全天候在线值守、全时段数据传输、全自动检测分析和全终端结果共享的智慧化监测；研发了邻近地下工程建造雨水管全自动监测技术（图 2），解决了人工间接监测方法不能实时、准确、直接地测量邻近雨水管形变的问题，监测装置安设与雨水管内，监测装置与雨水管线形成刚性体同步变形，可实现雨水管线变形高频、连续监测，直接、准确测量深埋管线变形；建立了集全自动高精度立体扫描、点云曲面重构、制作与拼装精度对比分析等功能于一体的地下结构变形与力学性态自动测量及复核技术（图 3），通过虚拟拼装实现单块管片制作精度、整环管片拼装精度校核，为施工及运维期衬砌变形分析提供基准；研发了地下工程施工全断面三维扫描监测技术（图 4），基于三维扫描、虚拟拼装和数值仿真技术，精准获取隧道衬砌任意截面全断面变形数据，直观反应隧道整体变形，实现隧道结构不同工作状态（同步注浆阶段、浆液凝固阶段）下衬砌力学性态分析；开发了地下工程建造风险数字化信息智能管控平台，通过全自动实时监测技术、信息化数据采集和管理技术、智能预警技术和控制技术的深度融合，建立了复杂环境下地下工程施工本体及邻近既有设施安全状态自动化监测、智能预

警和控制系统，实现了地下工程施工安全风险“及时评估、超前预判、即时预警、快速反馈”，有效解决了中心城区多条件约束下的地下工程建造风险管控难题。

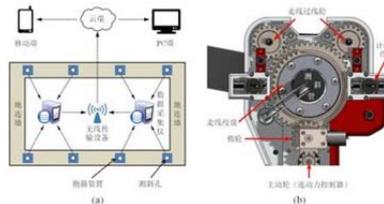


图1 地下工程围护体系实时自动化监测技术

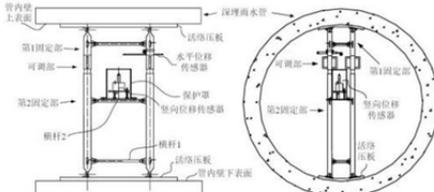


图2 雨水管自动监测技术原理图



图3 地下工程施工结构尺寸高精度量测及复核技术



图4 地下工程施工全断面三维扫描监测技术

三、推广应用情况

本项目已成功应用于虹桥临空地块地下连接通道工程和星港国际中心一期、二期等项目的地下空间开发建设，累计新增产值 8862.8 万元、新增利润 1329.42 万元，取得了良好的经济、社会和环境效益。

四、知识产权情况

项目研究取得了一批具有自主知识产权的技术成果，获授权发明专利 4 项、实用新型专利 1 项、软件著作权 2 项，发表论文 3 篇；项目成果经检索查新和专家验收总体技术达到国内领先、部分成果国际先进。

完成单位：上海建工集团股份有限公司

完成人：陈峰军、程子聪、张阿晋、孙廉威、沈蓉、沈雯、周泉吉、王新新

倾斜钻孔灌注桩基坑支护施工关键技术

一、立项背景

悬臂式支护具有施工简单、进度快、造价低等特点。与直桩支护技术相比，倾斜桩支护技术可显著减少围护桩的变形和内力，提高悬臂支护深度和安全性。关于斜桩施工，涉及到斜向成孔、孔壁稳定、斜向钢筋笼吊装及导管吊装等专项技术问题，解决好倾斜钻孔灌注桩基坑支护施工关键技术是促进新型支护方式应用的重要保障。

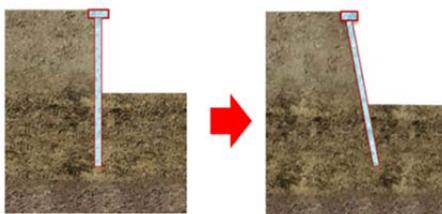
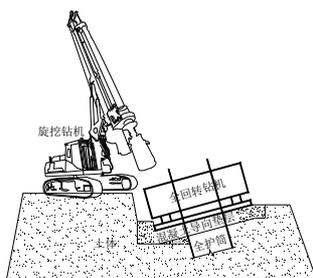


图 1.1 基坑单排倾斜支护桩示意图

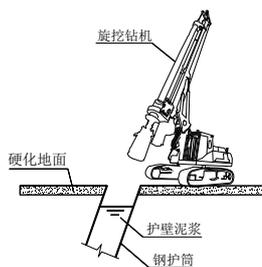
二、关键技术

(1) 多工况倾斜成孔施工方法

通过不同地层和不同支护条件的工程应用，探索形成全套管钻进、半套管钻进、无套管或泥浆护壁钻进等施工工艺的多工况倾斜灌注桩施工方法。



a. 全套管倾斜灌注桩施工



b. 泥浆护壁倾斜灌注桩施工



c. 施工机械

图 2.1 多工况倾斜成孔施工

(2) 导向垫层大倾角控制施工倾斜桩



现浇导向垫层



角度调整钢垫板



回转钻机导向就位

图 2.2 导向垫层大倾角控制施工

通过现浇或预制可重复利用导向垫层形成倾斜桩角度控制。采用各种角度的混凝土斜向导向垫层，可形成多种角度斜桩成孔，可施工 10°-25°内的各种大角度倾斜支护桩。

(3) 钢筋笼防卡、挂构造措施

设置防卡挂横向可转动钢管，注浆导管弧形端部沿横向钢管顺利下滑和上提。钢筋笼下端间断设计滑动钢滚轮，使钢筋笼沿孔壁斜向下滑至孔底，并确保保护层厚度满足要求。

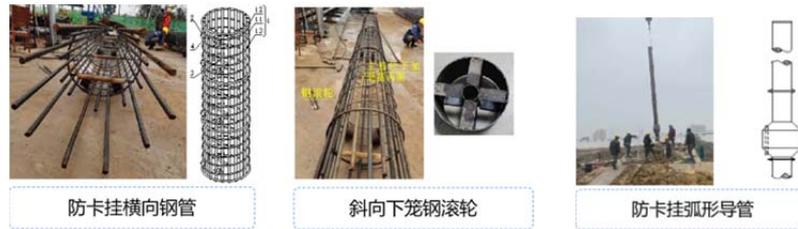


图 2.3 导向垫层大倾角控制施工

三、与同类技术对比

倾斜钻孔灌注桩基坑支护施工关键技术实现了大倾角、深桩长、大桩径的倾斜灌注桩基坑支护。可满足 9-12 米基坑的无支撑支护，简化施工、节约造价、缩短工期，有力促进环境低影响、高效节能、可持续发展新型倾斜桩支护技术的发展。土方开挖效率提高 25%以上，能以更少的建筑资源实现更优的支护效果，可大量减少建造材料的投入与建筑垃圾的产生，相比支撑支护节约造价约 20%以上，经济效益显著。

四、推广应用情况

倾斜钻孔灌注桩基坑支护施工关键技术完成深厚淤泥质地层、老黏土地层以及桩长 30m、桩径 1m、成桩角度 15 度的不同工况和应用场景的多个项目的成功应用，具有广泛的适用性，取得良好的基坑支护效果。



图 4 工程应用照片

五、相关知识产权及荣誉

研究成果获得国家授权发明专利 4 项、省级工法 4 项，取得软件著作权 3 项，发表论文 10 篇、发布技术标准 1 部。

完成单位：中建三局集团有限公司、天津大学

完成人：余地华、郑刚、汪浩、赖国梁、叶建、陈国、宋志、周祚海、田野、黄晓程

土壤固化改良成套技术研究

一、 立项背景义

2020年9月，我国向世界宣布了2030年前实现碳达峰、2060年前实现碳中和的目标，2020年底召开的中央经济工作会议，提出将“做好碳达峰、碳中和工作”作为2021年重点任务。在“双碳”目标下，低碳化已是大势所趋。由于建设行业特殊性，建筑领域的减碳，已成为我国实现碳达峰、碳中和目标的关键环节。当前，对于建筑业全行业而言，如何在生态文明框架中理解“碳达峰”“碳中和”、如何在“双碳”目标下加快转型升级步伐，抓住新机遇，实现高质量发展，是必须面对的新课题。以高科技为支撑，发展低碳经济，已经成为我国社会经济发展的重要方向。土木工程行业发展的大趋势是推广应用节能、绿色环保、节地、节材、成本省、工期短、效果好的创新技术。土壤固化技术就地取材，通过室内配合比设计和现场试验选择合理的固化剂配方，采用专用搅拌设备，把现场土和固化剂、胶结材料拌合后形成强度高、收缩量小、压实度高的一种性能优异的结构体，不会出现“再次泥化现象”，实现了人们“土变石头”的梦想。因此，“土壤固化改良成套技术研究”符合国家关于建设生态文明的要求，具有重大意义。

二、 关键技术

(1) 基于复杂工况场景，设计了有机无机新型土壤固化剂体系，系统探索了材料结构和性能的关系，研制了复合类土壤固化剂及配方，具有绿色环保、强度高、性能稳定、易于拌和及便于施工等优点。

(2) 首次研制了成套智能化可移动封闭式拌合设备，实现了计量准确、拌和均匀、绿色环保、快速施工。

(3) 研究提出了适用于不同道路等级、不同土质的系列环保型固化土配合比及配套的施工工艺，编制了技术标准，并成功应用于多项工程实践。

三、 与同类技术对比

本项目创新使用了土壤固化技术、振动拌和技术，使结构具有水稳定性好，板体性高，具有很大的刚性和荷载分布能力，且具有便于施工的特点，从根本上提高了物料拌和均匀程度，在保证施工使用品质，提高舒适性、安全性，减少结构因翻修而造成的对其功能性的影响，改善施工条件，降低对周围环境污染及对施工人员健康危害，并且最终能够达到缩短周期，节约投资。

该项目通过北京市住建委组织科技成果鉴定，研究成果整体达到了国际领先水平。

四、推广应用情况

本项目研究成果已在北京固结土基层工程、北京世界园艺博览会外围临时停车场、内蒙鄂托克旗复合固结土工程、内蒙古风积沙固化土面层工程、内蒙京乌高速等 20 余项工程中得到成功应用，采用固化改良技术处治的结构层，具有强度高、耐久性强的特点，大大减少了结构维护、维修的费用，可较传统的施工方法节约成本 15%-40%，缩短工期 30%-50%。以辽宁省某道路工程为例，使用固化土施工总造价为 125 万，利用二灰碎石总造价为 293 万，可最少减少投资 168 万元，经济效益显著经济效益显著。

土壤固化技术可以提高处理层耐久性，避免了传统石灰土强度受地下水侵入而衰减，造成结构的破损，加大结构的养护、维修和重建费用，进而延长了结构的使用寿命，取得巨大的社会效益。



目前全球大力提倡“低碳生活”，节约资源，保护环境是每个人应尽的义务。如何脱离以滥用资源和牺牲环境为代价实现经济增长的怪圈，从而在社会目标、环境保护目标和经济目标直接找到平衡点是构建资源节约型城市的着眼点，使用土壤固化改良技术，既顺应“我们既要绿水青山，也要金山银山。宁要绿水青山，不要金山银山”的环保理念，同时也适应国际建设资源节约型城市的倡议，推动可持续发展的强大引擎，在全球范围内具有很好的推广价值。

五、相关知识产权及荣誉

本项目研究过程中申请发明专利 6 项（其中 2 项已授权），授权实用新型专利 8 项，软件著作权 2 项，参编行业标准 1 项，获得企业工法 1 项，发表论文 1 篇，通过北京市新技术新产品认证 1 项。

完成单位：北京市政建设集团有限责任公司、北京高新市政工程科技有限公司

完成人：孔恒、郭飞、张丽丽、王凯丽、高胜雷、姜瑜、卢迁迁、田治州、鲍逸玮、王璐

复杂造型多曲面衬模制作技术创新

一、 立项背景

普陀山观音圣坛项目位于浙江省舟山市，总建筑面积 10 万 m^2 ，地上十层，建筑高度 91.9m。须弥山双层网壳清水混凝土结构位于观音圣坛建筑内部，是以轴心对称的旋转体，是国内首个大空间斜交网格镂空体混凝土结构，高约 23.7m，底部直径约 60m，上部直径约 17m。

须弥山镂空菱形网格结构造型由 24 组内外网壳单元组成，内外每一组包含 10 个菱形网格，共计 360 个大小不一的菱形网格，镂空菱形网格洞口内壁为不规则双曲面，且留有复杂线条网格构件内嵌灯光线槽，设计思路为结构、建筑、装饰一体化。



图 1 观音圣坛剖面图

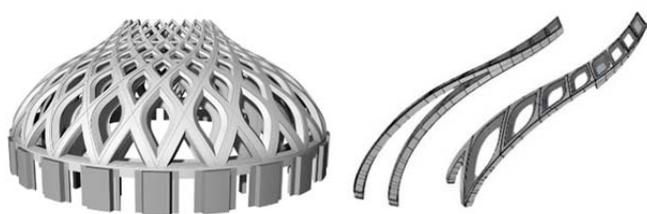


图 2 圣坛须弥山结构立面图

须弥山结构整体采用现浇成型的方法，针对结构造型的不规则曲面及复杂线条找形的难题，行业内成熟的找形方案有木模板“以直代曲”、“定型化金属模板体系”、“定制衬模（EPS）+球壳底模”，经过工法样板评价，存在精度难保证、脱模效果不佳、造价高、工期长等缺点，需创新现有衬模制作技术，研发一种复杂造型多曲面衬模制作技术，以缩减衬模的加工工期，降低成本，提升工作效率，确保结构、建筑、装饰一体化。

二、 关键技术内容

2.1 复杂造型多曲面衬模的模具装置制作技术

1) 研发了一种多曲面高密度木质雕刻母模，通过数控机床精密雕刻技术制作多个单元拼接模块，采用承插槽和插接头榫卯固定，形成制作衬模模具的高精度母模，解决了大型复杂造型混凝土母模受加工机械限制的难题。

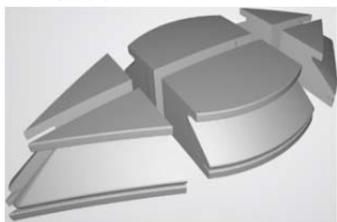


图 6-a 单元模块分块设计



图 6-b 雕刻木质母模榫卯拼装



图 6-c 高密度木质雕刻母模

2) 发明了用于制作多曲面衬模的模具及制作方法、模具表面处理方法等，在母模的表面分区设置法兰、分层涂刷树脂、分块设置侧壁肋板，形成多曲面衬模的模具装置，并在模具

拼缝处进行打磨、喷砂、耐磨材料及脱模剂涂刷，解决了玻璃钢模具制作及误差调整翻模成本高、工程工期影响大的问题。



图 8-a 模具分块设计示意

图 8-b 分层涂刷树脂、安装肋板

图 8-c 多曲面衬模的模具

2.2 多曲面玻璃钢注塑衬模制作技术

1) 研发了用于混凝土结构的多曲面造型衬模，衬模外壳为玻璃钢，内部为特制聚氨酯填充材料，聚氨酯材料中间定距离设置水平木方做支撑龙骨，玻璃钢衬模为整体性加工生产，产品质量轻、强度高、构造简单、造价较低。

2) 发明了用于混凝土结构的多曲面造型衬模及其制造方法等，通过在衬模模具内部分层涂刷 4mm 厚玻璃钢硬质材料，填充特制聚氨酯材料及木方支撑件，待满足强度后拆除模具形成玻璃钢注塑衬模，生产效率快，精度控制好，解决了多曲面造型衬模高效制作的难题。

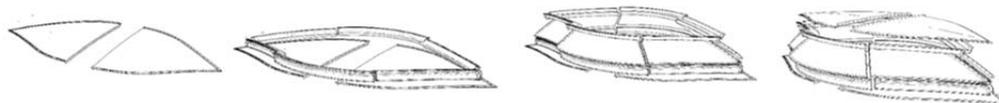


图 11 多曲面玻璃钢注塑衬模生产关键步骤示意（模具的组装）

三、与同类技术对比

关键技术	与同类技术对比创新点	优势说明
复杂造型多曲面衬模的模具装置制作技术	1.研发多曲面高密度雕刻母模制作技术； 2.研发多曲面衬模的模具装置制作技术； 3.研发多曲面衬模的模具表面处理方法。	国内首次提出多曲面高密度雕刻母模制作技术，具有新颖性和创新性。国内外首次提出多曲面衬模的模具装置制作及其表面处理方法。工期缩短 71 天，产生经济效益达 58.7 万元。
多曲面玻璃钢注塑衬模制作技术	1.多曲面玻璃钢注塑衬模的构造设计； 2.研发多曲面玻璃钢注塑衬模制作技术。	国内外首次提出多曲面玻璃钢注塑衬模的构造。多曲面玻璃钢注塑衬模制作技术，未见相同报道，具有新颖性和创新性。工期缩短 35 天，产生经济效益达 200 万元。

四、推广应用情况

本成果的关键施工技术在日照天台山太阳神殿、江苏园博园等项目成功应用，适用于常规木模板难以实现特定混凝土造型工程，其构造简单，精度控制高，周转次数多，施工效率提升 5 倍！具有良好的推广应用前景。

五、相关知识产权及荣誉

授权国家专利 7 项（发明专利 5 项）；

获省部级工法 1 项，发表论文 1 篇；

获 2021 年中施企协“首届工程建造微创新技术大赛”一等奖。

完成单位：中国建筑第八工程局有限公司

完成人：杨锋、孙晓阳、赵海、赵旭

金属屈服型阻尼器逆作法安装施工方法

一、立项背景

目前国内还没有该类型阻尼器的施工标准，没有适应该类型阻尼器的施工工艺，对部分已建成工程的调研发现该类型阻尼器的安装非常不规范，影响了应有的消能减震功能。金属屈服型阻尼器主要存在两个施工难点：首先，该类型阻尼器为水平受力构件，不能承受竖向荷载，在竖向荷载作用下阻尼器核心区耗能部件会产生屈曲甚至失稳，严重影响阻尼器的性能；其次，若采用后装法施工技术先施工上、下墩台，则墩台在施工过程中的偏差可能造成阻尼器后续无法安装就位。

针对上述问题，本技术采用建筑整体层面逆作法施工技术，通过先施工上墩台，再安装阻尼器，最后施工下墩台的逆作法安装工艺，解决了金属屈服型阻尼器不能承担竖向荷载的施工难点。

技术路线如图 1 所示。

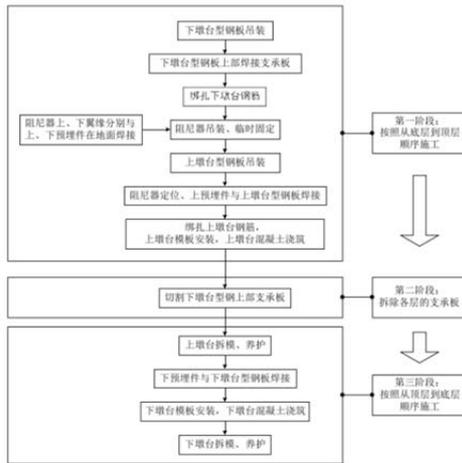


图 1 金属屈服型阻尼器逆作法安装施工技术

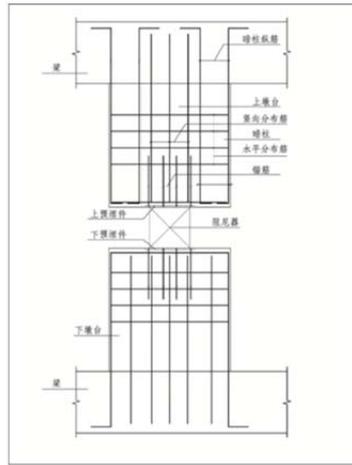


图 2 金属屈服型阻尼器典型节点构造

二、专利质量

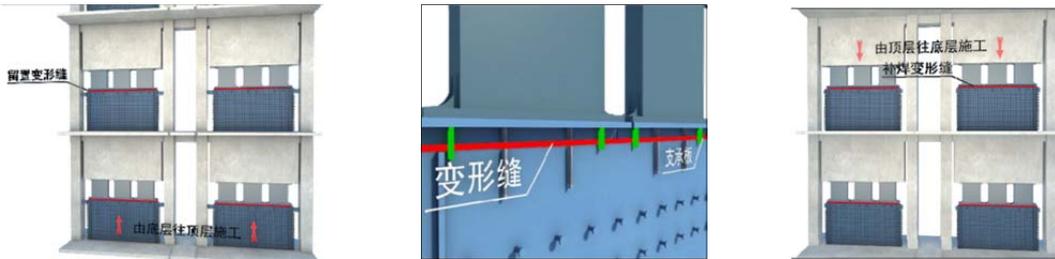
通过与国内外专利的比较，都只提供了一种软钢消能阻尼器系统自上而下的安装施工方法。相比之下本专利具有新颖性和创造性。本专利已成功应用于实际项目。本专利说明书对发明内容进行了清楚和完整的描述，权利要求以说明书为依据，清楚、简要。保护范围合理。

三、技术先进性

1、本专利具有原创性。专利内容解决了金属剪切屈服型阻尼器安装中的关键性的、共性的技术难题。专利内容经上海市住建委组织的科学技术成果鉴定，达到了国际先进水平。（科学技术成果评估（鉴定）证书编号：技字[2019-08]03）。

2、关键技术及创新点

(1) 关键技术一：建筑整体层面逆作法施工，分三个施工阶段。第一阶段按照从底层到顶层的施工顺序；第二阶段拆除各层的支承板；第三阶段按照从顶层到底层的施工顺序(图 3，图 4)。解决了金属剪切屈服型阻尼器不能承受竖向荷载的施工难点。



(从左到右分别为图 3，图 4，图 5)

(2) 关键技术二：单个楼层层面逆作法施工。阻尼器临时固定后，先将阻尼器挂装至上墩台型钢板，随后先施工上墩台，待上墩台变形稳定后最后施工下墩台(图 5)。通过单个楼层层面的逆作法施工，解决了金属剪切屈服型阻尼器不能承受竖向荷载的施工难点。

(3) 关键技术三：预留变形缝，释放上墩台变形。阻尼器下预埋件底面与下墩台型钢板间预留变形缝，变形缝宽度通过计算确定(图 6)。上墩台混凝土浇筑后，必须先切割下墩台型钢板上部支承板，再拆除上墩台混凝土模板，待上墩台变形稳定后再焊接预留的变形缝。通过预留变形缝，确保了竖向荷载不传递至阻尼器。



(从左到右分别为图 6，图 7，图 8)

(4) 关键技术四：上墩台混凝土分层浇筑。上墩台混凝土分层浇筑，利用上墩台中已浇筑的混凝土作为未浇筑混凝土的底模，解决了上墩台混凝土浇筑时底部模板强度不足的问题(图 7)。

(5) 关键技术五：设置定位键，实现阻尼器精确定位。阻尼器上预埋件与上墩台型钢板间预先设置定位键，通过先焊接阻尼器与预埋件，后焊接预埋件与上墩台型钢板的二次安装方法，确保了阻尼器的精确定位(图 8)。

四、运用保护措施及成效

本发明在昆明恒隆广场、海口希尔顿逸林酒店等项目中得到应用，共创造经济效益 296.25

万元。恒隆广场·昆明总承包工程共采用金属剪切屈服型阻尼器 8 类 2290 个，为国内金属剪切屈服型阻尼器应用规模最大、单个阻尼器屈服承载力最高的工程。公司建立了完整的知识产权管理体系，出台了《知识产权管理规定》等制度。

五、社会效益及发展前景

基于金属屈服型剪切阻尼器，组织了多场观摩。已形成企业标准和省部级工法、发明专利，以推广应用该技术。本发明解决了实际问题，工艺设计合理，安装操作方便，补齐了推广应用中的短板，有助于该类型阻尼器在建筑工程领域的推广应用，具有良好的社会效益和较强的推广应用价值。

完成单位：中国建筑第八工程局有限公司

完成人：马俊、刘涛、李鑫洋、吕想

空间球面网架逐环扩大顶升施工方法

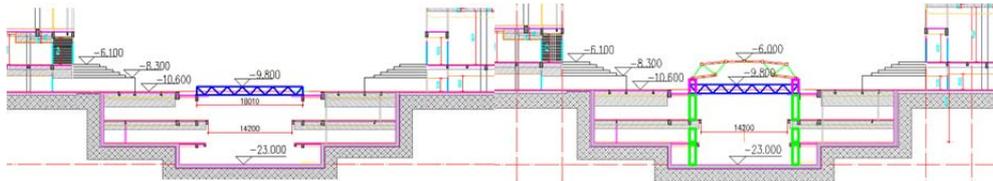
针对大型穹顶剧场类土建结构及看台优先施工完成后进行网壳施工，网壳下方室内有环状阶梯看台，中间有升降舞台洞口，网壳无整体拼装作业面，建筑外大型吊装机械无站点，施工作业空间受限。为此研发了网架逐环扩大分步顶升施工方法，采用同步液压顶升技术边顶边拼、分步逐环扩大进行网壳阶梯式施工，实现了受限空间内穹顶网壳的地面快速精准拼装；网壳及演艺马道同步安装，减少了高空作业，降低了施工安全风险；提高了焊接质量，保证了穹顶结构外形曲线平滑，安装精度高

关键技术步骤

a、施工准备：网架轴线复核，回顶架、顶升架位置确定；

b、安装舞台空洞封闭网架：舞台沉降空洞内搭设拼装钢平台作为舞台空洞封闭网架，拼装钢平台为专门制作的正四角锥组成的支撑网架的结构形式，支撑网架上铺设厚花纹钢板，厚花纹钢板上设置拼装胎架；

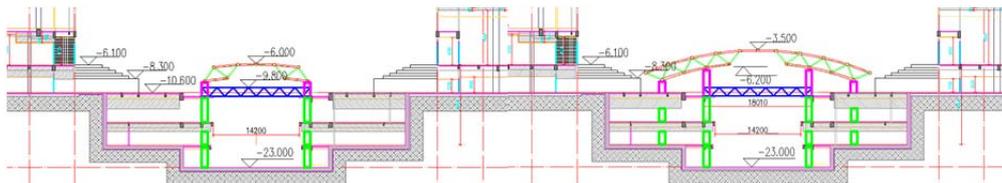
c、原位拼装中心网架：在步骤 b 中所述的拼装胎架上方原位拼装空间球面网架的中心网架和第二圈网架，中心网架和第二圈网架的每个下弦焊接球采用胎架进行定位，安装上弦焊接球时采用局部搭设的脚手架进行定位、焊接；



d、设置第一组顶升系统：第一组顶升系统包括第一组顶升支撑架及第一组楼层回顶架，第一组顶升支撑架设置在步骤 b 中所述的钢网架上方，第一组楼层回顶架搭设在楼层下方且与第一组顶升支撑架上下对应，第一组顶升支撑架的顶升支承座与步骤 c 中的中心网架的下弦架连接；

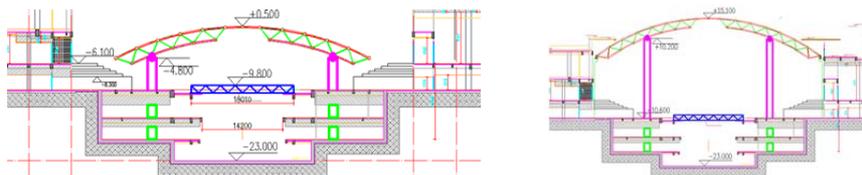
e、网架正式顶升及拼接：1) 中心网架试顶升后，控制步骤 d 中所述的第一组顶升支撑架进行正式顶升，顶升架上部与网架的节点球绑扎在一起，下部落在顶升支撑座上，液压千斤顶与顶升支撑座用 4M20 的螺栓固定连接，液压千斤顶起重能力为 50 吨，高度为 1.6m，行程 1.25m；顶升时把液压千斤顶放在第一标准节的底部，经检查、调试后开始顶升，顶升到上升高度大于 1.0 米后停止顶升，把第一标准节从下部装在顶升支撑架上，然后控制液压千斤顶回落，使顶升支撑架落在顶升支撑座上，液压千斤顶继续回落并取下液压千斤顶，然后将液压千斤顶换到倒数第一个标准节上，继续进行下一循环，如此往复，每次顶升 1.0 米，

直到把网架顶升至设计标高；经确认顶升至预定高度后，检测各点受力、结构总重量、各点顶升高度等数据，进行分析调整，然后中心网架在空中停滞 2 小时以上，检查整个顶升系统的情况；2) 中心网架每顶升一个网架的厚度，即拼接下一圈空间球面网架，检查网架整体水平度及焊接球空间坐标，四组安装人员对称安装顶升支撑架标准节，拼装完毕并经探伤合格后，继续顶升，由内向外安装，第三圈网架和第四圈网架拼装完成后焊接空间球面下部的马道连接板，并安装中心马道；



f、设置第二组顶升系统：第二组顶系统包括第二组顶升支撑架及第二组楼层回顶架，第二组顶升支撑架设置在支撑网架上方，第二组楼层回顶架搭设在楼层下方且与第二组顶升支撑架上下对应，第二组顶升支撑架的顶升支承座与第三圈网架和第四圈网架的下弦架连接；

g、进一步顶升及拼接：顶升安装好的空间球面网架的第一圈网架至第四圈网架，待第二组顶升系统顶升一个标准节高度后，方可拆除第一组顶升系统的第一组楼层回顶架及第一组顶升支撑架，同时，每顶升一个标准节高度后，检查网架整体水平度及焊接球空间坐标，四组安装人员对称安装顶升支撑架标准节，每顶升一个标准节高度拼接一圈网架；



2020 年 5 月 26 日，深科合创科学技术咨询服务有限公司组织有关专家对中建七局安装工程有限公司完成的“大跨度异形穹顶网壳屋面综合建造技术及应用”项目进行了科技成果评价。评价委员会听取了课题组的汇报、审查了相关资料，经质询和讨论，形成评价意见：该成果达到国际先进水平，建议进一步加快转化应用。

应用情况：目前已成功应用于汉文化博览园项目、西安华夏文化旅游综合体二期鲸豚馆工程，今年拟在郑州海昌海洋公园海豚剧场、海兽剧场屋面钢结构工程进行实施。

本发明保证了空间球面网架曲线的平滑性，避免了无法在空间球面网架下方搭设满堂脚手架的问题，空间球面网架的组件在工厂加工完成后运送至施工场地，既保证了施工场地的施工秩序，又保证了工件焊接的质量，空间球面网架逐环扩大安装保证了施工的稳定性和连接可靠性，逐步顶升的方式保证了施工的安装精度，本发明空间球面网架逐环扩大顶升施工方法解决了现有空间球面网架施工困难及安装精度低的问题，具有很好高的应用推广价值。

完成单位：中建七局安装工程有限公司

完成人：徐前、孙云峰、郭志鹏、张祥伟、李齐波

建筑机电装配式智能化模块应用技术

一、立项背景

现有装配式机电存在着机房建模耗时长、异形件的深化设计及标准化分段不规则、机房设备管线布置不合理、检修不便利等问题，本技术提出了一套最适合各个项目装配式施工方案，对空调机房设备运行情况进行监测，并对反馈情况自行处理。

二、关键技术内容

1. 装配式机房数字化建模平台技术

装配式数字化建模平台是在标准族库平台上持续改进，自主开发的软件平台—DBIM 平台，可自动创建模块，包括泵组模块、冷机模块、水处理器模块等常用设备模块的可调式标准化模型族库，实现数字化、智能化快速建模。

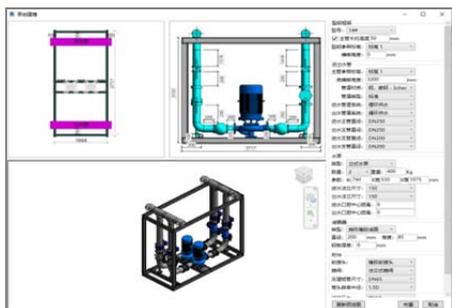


图1 数字化建模平台界面



图2 标准参数化泵组模块

2. EPC 模式装配式标准模块机房技术

针对 EPC 模式的项目，在设计前期根据制冷量需求、扬程阻力等参数在已有的模块化装配式机房族库内选择相应的机房，标准机房有 L 型与长方形两种，根据机房环境确定。极大提升装配式机电技术的经济性，做到 EPC 项目机房快速设计，施工快速装配。

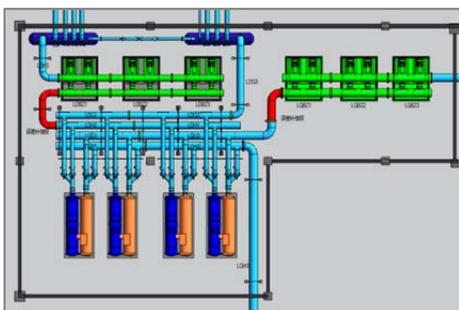


图3 L型标准机房

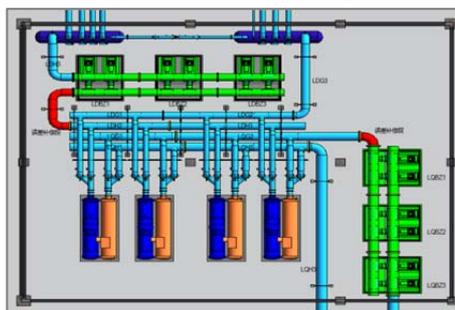


图4 长方形标准机房

3. 智能化泵组模块集成技术

智能化泵组模块集成技术是将水泵、阀部件、管线整合成模块，并集成强电、群控系统，

打造成标准化产品，实现了水泵震动、水泵渗水、水泵运行环境温湿度、水温、水压、能耗监测、电机温度、故障报警等监测功能，360°无死角监控功能。

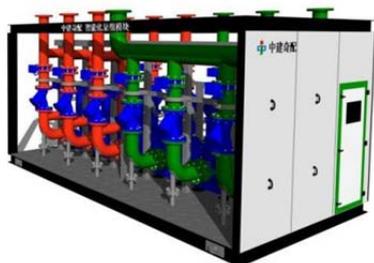


图5 内部设备管线



图6 智能化泵组模块外观

三、与同类技术对比

(1) 研发装配式机房数字化建模平台技术，提出了将不同类型泵组模块应用到 BIM 建模中，解决了装配式机电设备、阀组建模时需要耗费大量时间的难题，实现了装配式机电建造的快速建模。

(2) 研发装配式机房虚拟预拼装信息化检测技术，提出了应用 3D 激光扫描对装配式构件进行在线检测，解决了装配式机电一次成品率低的难题，实现了装配式机电产品的智能化检测。

(3) 研发智能化泵组模块集成技术，提出了将水泵、阀组、控制柜等设备整装为一个模块，实现了机房系统智能运维、无人值守、远程控制、高效运行的功能。

四、推广应用情况

本技术在汇景发展环球中心、郴州卷烟厂、合肥地铁 4 号线等多个项目应用，使原本需要 3 个月才能完成的面积约 2600m² 的空调机房可将机房建造时间压缩到至 14 天，提速 75% 以上；同时，优化机房布局，增加使用空间，节省空调机房面积 20%；并改善了传统施工作业环境的脏乱差，施工现场干净美观，真正的达到了绿色环保施工。



图7 装配式智能化泵组模块安装



图8 模块运行调试

五、相关知识产权及荣誉

本技术授权发明专利 2 项，实用新型专利 6 项，省部级工法 4 项，科技论文 9 篇，参与

编制《建筑机电装配式机房技术标准》、《机电工程新技术 2020》等标准和专著，荣获国家级 BIM 奖项 8 项，国家及省部级 QC 奖项 2 项。相关技术通过中建集团组织的科技成果评价会，鉴定为整体达到国际先进水平。

完成单位：中建五局第三建设有限公司

完成人：李湖辉、唐艳明、廖飞、黄水龙、邓小锋、林四化、胡明、王礼杰、张琛、张超

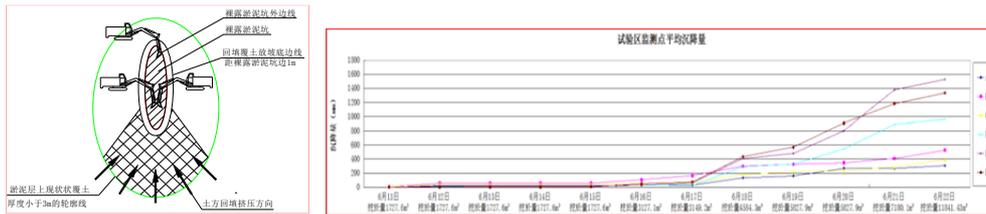
短期围堰填海地质基础综合施工技术

一、研究背景

青岛东方影都酒店群项目位于青岛市黄岛区滨海大道以南的填海区，属滨海浅滩地貌，外环围堰经回填强夯而成，回填厚度 10-15 米，回填材料以大直径的碎块石为主。短期围堰填海地基复杂，海泥由于围堰填海未完全排至岛外且地质未固结完毕，淤泥包置换地基处理、冲孔灌注桩成孔质量以及室外管道的不均匀沉降等，质量难以保证。本技术有助于提高此类地质条件下工程施工质量、施工进度，同时也有助于降低施工成本，为其他类似项目提供施工经验，对当地建筑行业具有一定的示范作用，应用前景较广。

二、关键技术内容

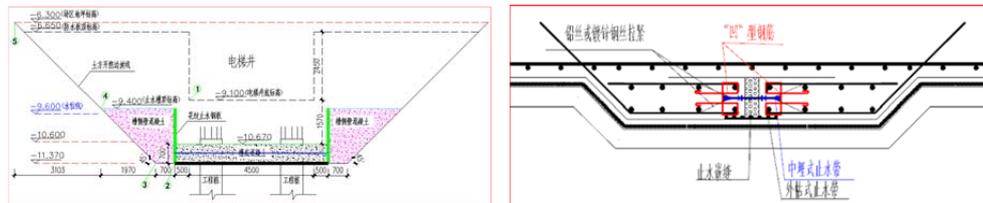
1、短期填海造陆地质条件下夯填挤淤置换施工技术。



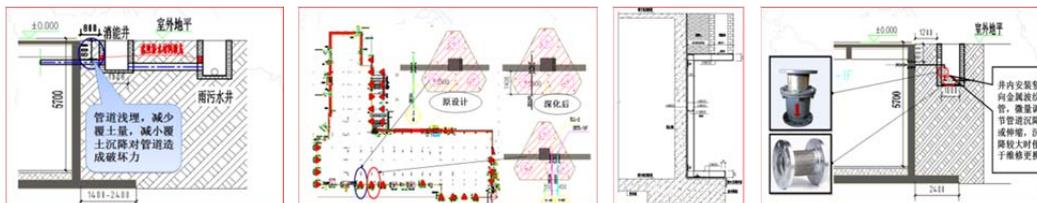
2、短期填海造陆超厚淤泥区长护筒冲孔灌注桩施工技术。



3、短期填海造陆地质条件下地下工程防水施工技术。



4、短期填海造陆地质条件下室外管道防沉降施工技术。



三、与同类技术对比

通过采用通过强夯工艺与抛石挤淤工艺的有效结合，采用边夯、边填、边挖的施工方法，保证了场区地质的稳定性，有效的控制了短期填海造陆地质的不均匀沉降。

2、采用泥浆护壁配合长护筒护壁成孔工艺，有效的解决了短期填海造陆地质条件下超厚淤泥区灌注桩成孔困难、速度慢等难题。



3、通过改进桩头防水节点做法解决了孔灌注桩桩头易渗漏问题；采用超前止水构造，解决了基础底板后浇带易渗漏的难题；通过研究制作钢板止水槽施工技术有效解决了潮汐动水条件下深基坑降水施工难题；创新采用成品化止水钢板解决了转角处止水钢板传统施工焊接质量差的难题。

4、通过研发的“防沉降结构板+防沉降井+防沉降柔性材料”的防沉降体系，解决了短期填海造陆地质条件下室外管道防沉降的难题，有效避免管道不受不均匀沉降而产生的剪力破坏。

四、推广应用情况



本成果通过在青岛东方影都酒店群工程的应用，工程项目实施顺利，确保了工程质量，缩短了施工工期，降低了工程成本，取得了经济效益 1100 余万元，获得了业主的一致好评。同时在城发城市广场等项目进行了应用，推广应用中重视节能与环保措施的应用，实现了绿色建造。



五、相关知识产权及荣誉

本成果包含关键施工技术 4 项，获得授权实用新型专利 13 项，受理发明专利 1 项，认定省级工法 4 项，经过国内查新，均未见与本成果相同的报道；通过了山东省住建厅组织的科技成果鉴定，鉴定结论为“该成果达到国内领先水平”。

完成单位：中建八局第二建设有限公司

完成人：朱宝君、陈刚、陈吉光、包希吉、李航、岳钊、史锦辉、陈国光、翟正杰

智能全站仪与GPS协同BIM技术工程测量施工技术

一、立项背景

目前，国内高层和超高层建筑普遍使用的传统测量方法是控制轴线+激光投点法。国外在高层和超高层建筑中使用的测量方法为：地面基点上设置至少两个 GPS 参考站，实时连接至少四台建筑物顶部安装有 GNSS 天线的双置棱镜，获取数据后使用传统仪器后视建筑顶部双置棱镜进行设站和放样。无论是国内的控制轴线+激光投点法，还是国外的中继式测量方法，均无法解决工序转换效率低、测量成本高、测量精度控制难、方法通用性差等问题。

二、关键技术内容

本技术涉及的关键技术有：（1）GPS-RTK 测量仪器快速定位方法精确性研究：导航卫星选择 GPS、北斗及格洛纳斯等导航系统；RTK 点校正时，每个点测量时间不少于 90"，点校正不少于 5 个均匀分布的点；（2）RTK 实测控制点坐标与智能全站仪坐标定向一体化关键技术研究：通过测量手簿将 GPS-RTK 快速定位技术测量的施工坐标值采用无线传输技术传输至智能全站仪，并在此点上不进行二次对点，由智能全站仪自动搜索、自动测量技术完成智能全站仪的定向工作。（3）BIM 模型任意空间坐标系坐标读取关键技术研究：基于 Revit 软件开发了“建筑 BIM 模型坐标读取软件 V1.0”；（4）BIM 模型任意空间坐标系与现场施工坐标系转换关键技术研究：通过边长和角度在施工坐标系和 BIM 模型坐标系之间建立联系，计算出 BIM 模型中读取的坐标，实现了对传统坐标系转换原理的优化；（5）无纸化、自动化、可视化放样技术关键技术研究：将 BIM 模型生成可被专业测量手簿识别的模型文件，并将模型文件和放样数据载入专业测量手簿，通过三维浏览功能，选取模型中待放样部位特征点即可控制智能全站仪完成放样。

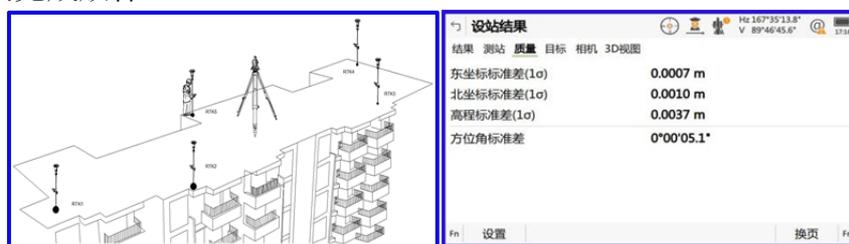


图1 楼层 RTK 实测坐标后视定向及设站结果



图 2 BIM 模型坐标分类读取、导出、坐标系转换和三维可视化放样

三、与同类技术对比创新点、优势

本技术与同类技术相比具有以下创新点：

- (1) 智能全站仪与 GPS-RTK 快速建站定向技术；
- (2) BIM 模型任意空间坐标系坐标分类读取和输出技术；
- (3) BIM 模型任意空间坐标系与现场施工坐标系转换技术；
- (4) BIM 模型三维可视化放样和自动测量技术；
- (5) 绿色环保、环境友好型测量新技术；

智能全站仪与 GPS 协同 BIM 技术工程测量施工技术，是对传统建筑施工测量技术的突破，实现了智能全站仪与 GPS RTK 技术的一体化定向和三维可视化、自动化测量放样，避免了误差累积，提高了测量放样的精度质量、环境质量和测量生产效率。与传统技术相比，不仅免去了每层楼板预留孔洞、孔洞封堵等造成的混凝土、模板、钢筋等材料和机械的浪费，而且提高了工序转换效率。节约成本约 497.09 万元。

郑州航空港河东四棚户区一标项目放样数据对比分析					中铁佰和佰乐巢湖老项目一期工程放样数据对比分析					凯里“未来城”一期房建三标段A2地块工程放样数据对比分析										
序号	X	Y	Z	ΔT	序号	X	Y	Z	ΔT	序号	X	Y	Z	ΔT						
1	23920.559	92917.904	23922.566	92917.910	-0.002	0.006	1	3499164.918	495475.099	3499164.920	495475.104	0.002	0.005	1	2939722.804	495068.608	2939722.800	495068.611	-0.004	0.003
2	23922.156	92999.804	23922.162	92999.801	0.004	-0.003	2	3499166.737	495480.525	3499166.733	495480.526	-0.004	0.001	2	2939724.183	495077.405	2939724.148	495077.402	-0.005	-0.003
3	23922.858	92854.804	23922.857	92854.809	-0.001	0.005	3	3499168.300	495488.606	3499168.311	495488.604	0.003	-0.002	3	2939725.516	495086.302	2939725.519	495086.300	0.003	-0.002
4	23922.858	92875.304	23922.861	92875.306	0.003	0.002	4	3499170.330	495493.233	3499170.331	495493.237	0.001	0.001	4	2939726.888	495095.198	2939726.885	495095.199	0.003	0.001
5	23934.208	92854.804	23934.214	92854.808	0.006	0.004	5	3499171.956	495476.039	3499171.958	495476.034	0.002	-0.005	5	2939728.243	495094.094	2939728.239	495094.096	-0.004	0.002
6	23934.208	92885.104	23934.204	92885.099	-0.004	-0.005	6	3499173.879	495481.805	3499173.871	495481.803	-0.004	-0.002	6	2939729.448	495091.903	2939729.443	495091.897	0.003	-0.006
7	23934.208	92917.904	23934.207	92917.898	-0.001	-0.006	7	3499175.511	495489.030	3499175.517	495489.033	0.006	0.003	7	2939737.448	4950910.675	2939737.444	4950910.677	-0.004	0.002
8	23934.278	92999.274	23934.281	92999.272	0.003	-0.002	8	3499177.867	495494.173	3499177.864	495494.178	-0.003	0.005	8	2939744.959	495099.524	2939744.964	495099.528	0.005	0.004

图 3 新技术与传统测量方法测量精度对比

四、推广应用情况

智能全站仪与 GPS 协同 BIM 技术工程测量施工技术，开创了一种新的测量体系。在减小测量误差的前提下，降低了施工成本，提高了工作效率，实现了绿色施工。该研究成果分别在郑州航空港河东四棚户区一标工程、凯里“未来城”一期房建工程和中铁佰和佰乐巢湖养老工程、厦门市轨道交通蔡厝车辆基地等工程项目上成功应用，经济、社会效益显著，推广应用前景广阔。



图 4 技术成果项目应用照片

五、相关知识产权及荣誉

目前，该技术已获得 2 项发明专利授权、2 项软件著作权登记、8 项实用新型专利授权、1 项发明专利已进入实审阶段；获得省部级科技奖 2 项、省级工法 1 项；成果发表科技论文 3 篇。

完成单位：中铁四局集团有限公司、中铁四局集团建筑工程有限公司

完成人：韩飞落、陈小文、王恒、管崇伟、秦波、詹涛涛、高媛、唐万成、罗勇、吕新然

多层建筑原位 3D 打印技术

一、立项背景

目前混凝土 3D 打印技术采用逐层堆叠的轮廓工艺，打印尺度和打印应用场景有一定的局限性。建筑 3D 打印材料的研究集中于水泥基胶凝体系的开发、工作性能、可打印性能和耐久性能试验研究，打印材料的应用环境相对稳定。针对环境多变、影响因素较多的现场 3D 打印相关的设计、建造技术等方面还处于空白，主要难点在于无相应的打印设备、结构设计、施工工艺及配套材料。

因此，项目组针对上述难题立项研究，以实现多层建筑的原位打印为目标，形成成套的设备、材料、设计、施工关键技术，同时开展示范工程，探索施工现场工业化，促进传统建造方式升级，助推我国建筑产业实现现代化。

二、关键技术和创新成果

1、设计开发了一种适合建筑工程现场的可扩展、可移动的组装式多层建筑 3D 打印设备，设备可打印有效范围为长 16m×宽 12m ×高 11m，可在工程现场原位打印一栋占地 192m² 的多层建筑的竖向围护结构。



图 1 3D 打印设备

2、开发了适合现场 3D 打印施工的 3D 打印混凝土专用添加剂。添加剂由凝结时间控制组分、抗裂组分、工作性能调节组分等多种功能组分组成。只需要按建议掺量添加，将普通硅酸盐水泥、骨料、水、添加剂四种组分搅拌混合均匀后即可制备出性能优良适合现场施工用 3D 打印混凝土。



图 2 3D 打印防裂材料

图 3 水平防裂钢筋试验验证

3、开发了一种适合现场的建筑 3D 打印路径控制及编辑软件，实现打印行走、挤料匹配、自动养护等协同。



图4 控制系统

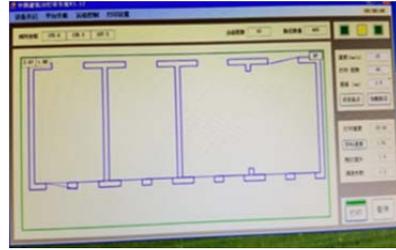


图5 路径规划软件

3、提出了一种建筑原位 3D 打印工艺及现场人机料的组织管理措施。



图6 首层打印过程



图7 二层打印过程

三、技术先进性

项目组总结形成的“多层建筑原位 3D 打印技术”，经鉴定达到了国际先进水平，并且根据以上研究成果申请专利 19 项，其中发明专利 4 项，申请受理 5 项，实用新型授权 9 项，外观设计专利授权 1 项；论文 10 篇；工法 2 部；软件著作权 3 项授权，出版专著 1 部；形成多角度的技术交流、成果应用与技术推广。为建筑行业向智慧建造领域的发展和转型升级提供技术支持。

四、技术应用情况

国际首例原位 3D 打印二层示范建筑（广东河源市中建二局阳光智造有限公司二层车间办公楼项目），该建筑占地面积约 120m²，建筑面积约 230m²，整体建筑 2 层，建筑一层高 3.5m，二层高 3.3m；北京中建柏利设计控制室。控制室尺寸长 3m×宽 2.5m×高 2.4m，混凝土用量 2m³，用工 4 名，整个房屋结构用时 12 小时建成。



五、社会效益及发展前景

目前，建筑 3D 打印技术不仅可以在古建筑凉亭、公厕、污水井、景观墙、市政产品等方面广泛运用，将来，随着设备、材料、工艺及规范的不完善，其在复杂曲面等特殊的非常规构件、适应恶劣环境作业、复杂地质施工条件下，该项技术的优势会更为明显。

完成单位：中国建筑股份有限公司技术中心、中国建筑第二工程局有限公司、廊坊中建机械有限公司、中建中东有限责任公司

完成人：苏铠、黄云、刘培、霍亮、蔺喜强、李国友、王永刚、张满江红、阙荣、罗琦曦

大跨度混凝土屋盖托换及组合预应力加固施工技术

一、立项背景

在国家大力倡导环保、节能的背景下，老旧建筑物的加固改造技术得到了广泛的推广及应用，通过结构改造加固，可以扩大建筑物的内部空间布局，从而改善建筑物的使用功能，增加构件承载能力及耐久性，延长建筑物的使用寿命。开展组合加固施工技术研究，改善加固改造施工工艺，形成关键技术和成果，可以供后续类似工程提供参考借鉴，推动行业进步。

二、关键技术内容

本装饰改造工程原建筑为框剪结构，因工程使用功能变更将建筑 26~27 层两层合并为一层，托换拆除两根框架柱，将原布置形式 $(16.00\text{m}+8.10\text{m}) \times (7.70\text{m}+8.10\text{m}+7.70\text{m})$ 的框架空间体系，扩大到了 $23.60\text{m} \times 24.25\text{m}$ ；屋面设计荷载由原来的 2.0kN/m^2 扩大到 4.0kN/m^2 。

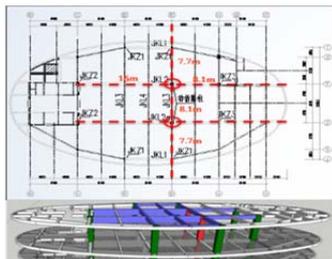


图 2.1 26、27 层改造前结构

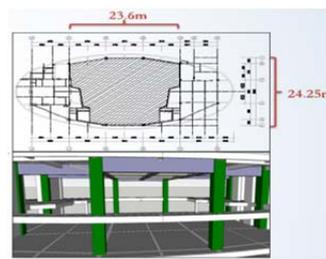


图 2.2 26、27 层改造后结构

2、工艺流程和关键技术

分析设计图纸，结合现场的实际情况、现有技术措施，研究确定了总体施工流程，按照施工流程，拆分为三个施工环节：顶托卸载支撑——钢绞线钢板安装——施加应力完成加固。

具体施工流程：利用型钢支撑体系及液压顶升设备，对原结构进行顶升卸载，同时加固结构柱、安装梁侧钢板。卸载完成后安装预应力钢绞线并张拉，使结构形成反拱。安装梁顶、梁底钢板并依次张拉，通过应力应变监测，利用钢绞线及钢板张拉锚固支座的高强螺栓来调整钢板应力，从而调整结构变形，通过观测数据分析是否达到施工控制要求。满足要求后，将钢板焊接成为一个类似于钢箱梁的整体，依次进行注浆，卸载及检测，完成加固。

在此过程中形成了 3 项关键技术：1.大跨度混凝土屋盖结构顶托卸载关键技术。

2.预应力钢绞线+预应力钢板组合加固关键技术。3.钢板预应力张拉锚固关键技术。

三、与同类技术对比

通过比较发现直接单纯使用钢板加固结构梁，会导致加固钢板厚度大幅增加，增加了混凝土结构梁的自重，且存在应力滞后问题，加固效率较低；或仅用钢绞线进行加固，会使得钢绞线的数量增加，而且张拉施工难度大。单一的加固方式增加施工成本和施工的难度。本

技术结合钢板和钢绞线加固特点，运用了预应力钢绞线+预应力粘贴钢板组合加固技术，通过预应力粘贴钢板与体内、外预应力钢绞线的协同作用，在预应力钢绞线能充分保证整体结构使用安全的同时，利用钢板的张拉应力对构件跨中正弯矩和两端负弯矩“削峰填谷”，使大跨度混凝土屋盖梁内应力重新分布，受力更趋合理，变形更小，满足建筑功能的使用要求。

1) 研究了一种大跨度混凝土屋盖结构顶托卸载技术。通过支撑桁架临时支撑被加固件，利用顶撑支撑点处设置的顶撑转换支座进行钢板安装和张拉，横梁液压千斤顶工作时安装纵梁底部钢板及张拉工作，同理纵梁，全部液压千斤顶工作时实现楼盖整体提升和卸载。

2) 采取了一种预应力钢绞线+预应力钢板组合加固技术。对需加固混凝土梁安装预应力钢绞线，再进行梁面包钢施工，钢板张拉至设计值后整体对称焊接成箱，通过静载试验观察应力变化及结构变形，通过调整预应力钢绞线，实现钢绞线与钢板协同作用，使钢板应力值保持在设计允许范围内，加固效果更加不容易失效。

3) 形成了一种钢板张拉锚固技术。系统由锚固支座、张拉支座、支撑杆件和液压千斤顶组成。张拉支座焊接在钢板张拉端，通过液压千斤顶顶撑张拉支座，实现对钢板的张拉。

四、推广应用情况

成功加固了工行广场（原金宫大厦）装修改造项目大跨度混凝土屋盖，顺利拆除两根结构柱，将原布置形式为（16.00m+8.10m）×（7.70m+8.10m+7.70m）的框架梁柱空间体系，扩大到了 23.60m×24.25m，且增加了原屋盖结构的承载能力，满足了新的使用功能。



图 4.3 体外预应力钢绞线安装现场照片



图 4.4 梁底钢板张拉锚固现场照片

五、相关知识产权及荣誉

[1] 杨婧、王小兵、徐长锋、温军伟、王凯。省级工法：大跨度钢筋混凝土楼盖组合预应力加固施工方法。工法编号：HBGF211-2018

[2] 徐长锋、李海鹏、王凯、井俊沛。实用新型专利证书：预应力钢板加固混凝土梁的钢板张拉锚固系统。专利号：ZL 2017 2 1090930.6

[3] 徐长锋、李海鹏、井俊沛。发明专利证书：预应力钢板与预应力筋组合加固大跨度混凝土梁施工方法。专利号：ZL 2017 1 0953856

完成单位：中建三局第三建设工程有限责任公司

完成人：温军伟、胡晓光、方翔、李玲、徐小琴、彭焜、宿佩君、徐长峰、王凯

劲性混凝土双向斜柱组合结构建造技术

一、立项背景

随着城市的不断开发建设，劲性混凝土双向斜柱组合结构经常被用作异形曲面公共建筑的外围护体系，但是传统的劲性混凝土双向斜柱组合结构具有倾角斜率大定位难，劲性柱斜向吊装困难，以及模板安装容易偏位，支撑架过于密集等施工难点。因此需要研究建立一套安全可靠且能够保证质量的劲性混凝土双向斜柱组合结构建造技术。

二、关键技术内容

1、BIM 模型提取坐标，构件贴反光片校核技术

通过 BIM 软件对劲性双向斜柱进行三维建模，导出每根斜柱不同角点钢筋的起弯点长度以及水平投影角点的坐标。用放样机器人将斜柱的各个位置的空间坐标实地放样，再抽取部分构件贴反光片进行三维坐标拟合以验证有效性。BIM 模型提取坐标，构件贴反光片校核技术有效的解决了劲性混凝土双向斜柱组合结构大倾角、双向倾斜，传统放样技术难以精准的定位放样的问题。

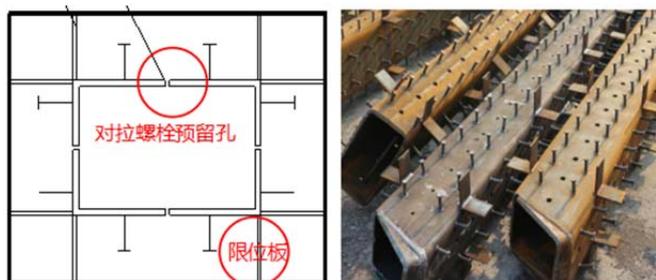
2、钢骨吊装临时支撑、临时连接技术

(1) 第一节钢骨吊装到位后按照定位点用 $\Phi 299\text{mm} \times 14\text{mm}$ 尺寸的圆钢管竖立于结构混凝土板上对钢骨进行临时支撑，圆钢管底部带有矩形钢板底座，用于加大受力面积，在圆钢管上面端部焊接一块耳板用于和斜柱钢骨焊接进行临时连接。(2) 第二节及以上的钢骨在吊装到位后需进行临时连接，临时连接采用“双夹板”措施既上、下段钢骨同一位置各设置一块耳板通过两块长钢板夹住耳板并安装高强螺栓，大致固定钢骨的位置。(3) 连接好后还需通过缆风绳进行临时固定，三根缆风绳拉设在地面上并固定于钢骨顶部，分担钢骨自重，通过花兰螺栓调节三根缆风绳的长度对钢骨顶部位置进行调节，从而达到调整钢骨斜率的目的。钢骨吊装临时支撑、临时连接技术有效解决了斜向吊装困难，作业不安全、劲性柱焊接由于倾斜导致焊接质量难以保证等问题。



3、钢骨角点焊接限位板技术

钢骨柱在工厂加工时按要求在钢骨柱四个角点每隔一段距离焊有限位板，在腹板上中间位置还按要求每隔一段距离留设预留孔，以方便模板对拉螺栓穿过进行加固，在模板安装时限位板可抵住模板，便于模板定位，确保合模后不会跑位。模板按斜柱设计尺寸加工，通过对拉螺栓拉紧模板主楞和次楞。在斜柱倾斜一侧还需架立支护系统，防止混凝土浇筑过程中模板发生位移，钢骨角点上每隔一段距离焊接限位板技术有效解决了劲性双向斜柱模板倾斜加固易偏位，大倾角位置加固安装效果差等问题。



三、与同类技术对比

利用全站仪将从 BIM 软件建立的斜柱模型中提取的坐标数据进行现场放样，利用圆钢管和缆风绳对钢骨进行临时支撑微调，钢骨就位后利用钢结构分段焊接技术进行二、三节钢骨的焊接，再利用限位板卡住钢筋骨架和模板等控制措施，保证钢筋模板施工质量，最后用自密实混凝土进行浇筑，完成劲性混凝土结构双向斜柱的整体施工，形成完整的劲性混凝土结构双向斜柱施工工艺，采用此建造工艺大大降低了施工难度，节约人力、物力、财力及缩减工期。

经济效益	人工放样	材料	机械	器材设备	架子搭设	合计（元/根）
传统工艺	1000	2000	2500	1000	2000	/
创新工艺	500	1500	1500	500	1000	/
节约值	500	500	1000	500	1000	3500

四、推广应用情况

海峡文化艺术中心多功能戏剧厅、歌剧院、音乐厅等 5 个场馆在结构上采用双向倾斜钢筋混凝土柱，共有 127 根双向斜柱，斜柱斜率大，最大高度达到 17.8m，最大斜向倾角达到 62°，最大倾斜水平距离为 7.2m，最大截面尺寸为 800×1200mm，在两个方向上均有倾斜，每根双向斜柱倾角又均不相同，且自重大，127 根双向斜柱均采用劲性混凝土双向斜柱组合结构建造技术。



五、相关知识产权及荣誉

(1) 2 项专利：“型钢定位卡”、“一种超重梁钢筋保护层钢筋支架”；

(2) 2 项工法：“劲性混凝土结构双向斜柱施工工法”福建省工法等；

(3) 1 篇论文及 4 项成果获奖：“提高大倾角超长斜柱施工精度”QC 成果全国一等奖、“BIM 在海峡文化艺术中心项目的综合应用”福建省首届 BIM 应用大赛二等奖等；

完成单位：中建海峡建设发展有限公司

完成人：徐超、李佳、余畅、张宾、官灿、付绪峰

大跨度空间钢结构高空拼装液压同步顶推滑移 施工技术

一、立项背景

1.1 研究背景

本课题研究基于提倡绿色建筑、落实节能减排、提倡集约、智能、绿色、低碳的建筑工程技术创新等政策性导向背景下实施，以及滑移技术日趋成熟，但不同环境下尤其涉及有限空间下滑移施工存在诸多不稳定因素且结合项目实际情况开展大跨度空间钢结构高空拼装液压同步顶推滑移施工技术的深入研究，进一步完善大跨度钢结构安装技术。

研究通过合理的布置，解决在复杂环境下实现滑移安装的拼装平台布置、滑移轨道设置、滑移过程检测以及扩大滑移单元等技术难题，拓展钢结构滑移施工技术、经验，为后续公司钢结构安装以及大型机械设备安装提供可鉴戒的经验和教训，同时提炼出一些科研成果。

随着我国钢材冶炼水平及钢结构制造、安装水平的不断提高，钢结构各类规范的不断完善，文化体育、交通运输及会议会展类等大跨度钢结构建筑将稳步发展，大跨度钢结构建筑已成为未来城市的发展方向。

二、关键技术

本项目大跨度钢结构特点明显，跨度大（横向跨度 77.8 米）、作业面小（无法满足正常吊装要求），单体重量大（约 20 吨）分 12 榀钢桁架，为实现安全、高效、高质量的完成安装任务，呈现建筑美感。将本技术作为核心技术进行研究，实施过程形成数项关键技术：

2.1 空间钢结构高空拼装平台的布置；根据体育馆结构形式，采用钢管、按照桁架分段型钢为支撑点，宽度需要宽于两榀桁架拼装宽度，拼装平台两侧设置滑轨便于拼装完桁架起始滑移。形成一体高空拼装平台克服拼装难的问题。

2.2 滑移轨道的支撑装置以及轨道固定技术；空间钢结构滑移过程中滑移桁架的荷载基本上由滑移轨道来支撑，同时大荷载结构滑移过程中对结构造成瞬间冲击力，采用鱼腹式钢梁在悬空部位作为支撑确保整体轨道滑移安全。



2.3 单榀桁架拼装起拱控制及卸载技术；针对滑移安装高空拼装大跨度多榀桁架由于分段点多，易反复进行施工，造成大量人工浪费拼装过程起拱及卸载在施工过程中操作不当存在安全隐患，同时质量得不到有效保证

2.4 滑移过程稳定性及同步性控制技术；针对大跨度桁架滑移过程往往存在桁架稳定性差、不同步的现象为了更进一步的提高稳定性以及同步性，研发同步监测贴片。避免滑移过程出现结构变形引起安全事故。

2.5 高空钢结构滑移设置辅助结构增加滑移单元；采用结构相同材质辅助单元进行弧形区段两端加固，增加滑移单元，减少机械、措施料等的投入，提高滑移过程安全性以及效率。

三、与同类技术对比

序号	创新点	优势	性能指标
1	滑移过程稳定性及同步性控制技术	提高滑移安全；质量精度；同步性及滑移进度	对比缩短工期约 25%
2	高空钢结构滑移设置辅助结构增加滑移单元	减少机械及措施投入，节约成本；缩短工期	减少滑移单元，对比缩短工期约 15%
3	单榀桁架拼装起拱控制及卸载技术	实现起拱及卸载一体化，半自动控制；减少劳动力及材料投入，节约成本；缩短拼装工期	对比缩短工期约 35%

四、推广应用情况

本技术在国内同类型采用属先进,质量保证、安全易行、可操作性强。其工期快、成本低、占用面积小、专业化强的特点得到人们的普遍认可。由高空拼装，液压顶推滑移、整体卸载的方法，解决了空间狭小、不利于地面整体拼装分段吊装的矛盾，满足设计要求；使常规吊装方法无法得以实现的技术难题，实现立体交叉作业，给空间钢结构该技术的应用提供了广阔的空间。本技术已在甘肃省体育馆项目、兰州现代职业学院项目、兰州新区佛慈制药项目、兰州奥体中心项目、滁州奥体中心项目，濉溪县文化中心项目等数个重大建设项目的屋盖钢结构领域得到广泛应用



五、知识产权及荣誉

5.1 知识产权

公司制定实施了《十七冶知识产权管理办法》、《十七冶知识产权管理手册》、《企业知识产权管理规范》等文件，本项目中使用技术在实施过程中形成了 9 项专利，其中 5 项发明均授权，4 项实用新型专利均授权，形成专利群对本技术形成知识产权保护，并申报发布两项部级工法对本技术进行支撑。

5.2 应用项目获得荣誉

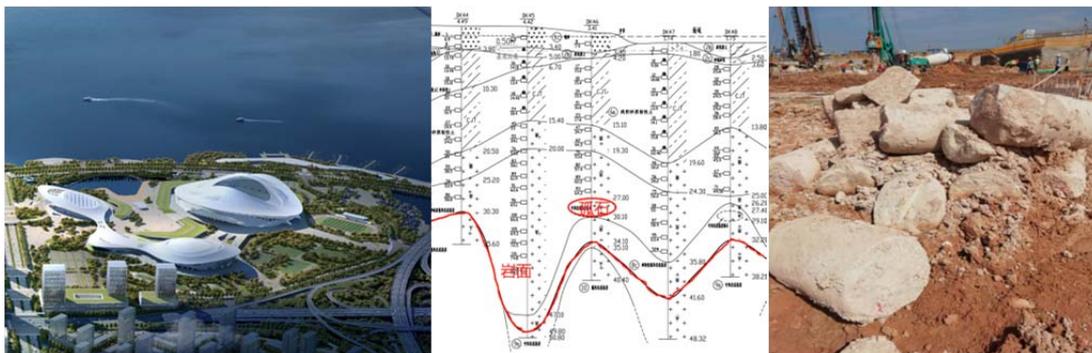
序号	项目名称	奖励名称	颁发部门	年度
1	甘肃省体育馆项目	中国钢结构金奖工程	中国建筑金属结构协会	2018
2	甘肃省体育馆项目	全国建筑业创新技术应用示范工程	中国建筑业协会	2017
3	甘肃省体育馆项目	全国冶金行业优质工程建设优秀成果奖	中国冶金建设协会	2021

完成单位：中国十七冶集团有限公司

完成人：戚二舟、任智、程声祥、邢尊胜

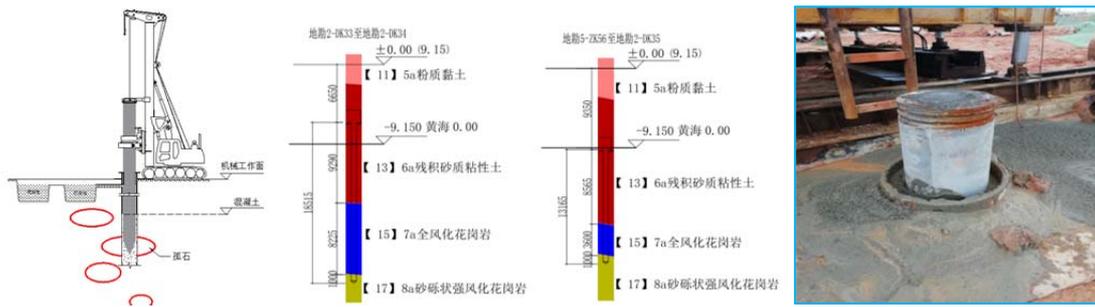
复杂地质条件下植入法沉桩施工技术

随着城市的快速发展，城市可利用空间逐渐减少，为推进城市化进程的稳步前进，盘活城市土地资源，城市滨海地区的开发利用越来越成为热点话题。滨海地区地质条件复杂，地质岩层分布广、岩面起伏大；局部孤石发育，孤石率高达 35%；地下砂层厚度大且密实度高；临海地下水位高，腐蚀性强；淤泥层深度厚，地基承载力差。在滨海地质条件建设大型公共建筑对桩基的施工技术提出了巨大的挑战。大型公共建筑建筑风格具有时代性，建筑结构复杂，虽然高度较低，但占地面积大，大面积采用预制管桩可保证成桩质量、节省工期、降低桩基造价等优势。同时滨海地质条件复杂，地下水腐蚀性强，影响桩基的耐久性，预制管桩水平承载力低，抗倾覆能力差，管桩施工过程中遇深厚砂层、孤石发育地带，孤石呈串珠状，管桩难以下沉，易出现桩头破坏甚至断桩，重新补桩造成工期延误和巨大的经济损失。若采用引孔方式辅助管桩下沉减小了桩身与桩孔壁的摩擦力，大大削弱桩基的抗拔承载力。为解决上述技术难题，我司经过不断研讨和实践，提出一种复杂地质条件下，该工法在处理滨海不利地质问题优势突出。详下图：



复杂地质条件下植入法沉桩施工技术主要施工流程：施工前期准备→BIM 技术应用→材料进场及验收→放桩位线及埋设护筒→护壁泥浆制备→旋挖钻孔及成孔检测→清孔→下导管浇筑及水下混凝土→安装垂直度控制装置→测量定位及复核→防倒灌安装及锤击沉桩→锤击沉桩收锤→桩孔安全防护及桩基验收。主要关键技术如下：（1）旋挖成孔技术：采用正循环泥浆护壁旋挖成孔，成孔孔径比预制管桩大 20cm，旋挖孔深应达到持力层且不小于设计有效桩长。（2）水下混凝土控制技术：采用导管法浇筑水下混凝土，确保混凝土的工作性，混凝土浇筑高度为有效桩长 2/3 高度的钻孔体积量。（3）植入法沉桩控制技术：植入法沉桩过程垂直度的控制、采用锤击植入预制管桩，收锤标准为最后三阵贯入度累计不大于 10cm，每阵不超过 4cm 控制。

本技术主要创新点：（1）使用一种滨海环境串珠状孤石区域预制管桩植入法沉桩施工工法进行预制管桩施工，有效解决了预制管桩无法沉入密实厚砂层、遇孤石地带异常桩率高、管桩抗拔力及水平抗剪承载力低的问题。该工法具有成桩质量好、施工工期短、适用地层广等优点。（2）将 BIM 技术应用于滨海环境串珠状孤石区域预制管桩植入法沉桩施工，通过建立地基模型还原现场地质实际情况，利用三维模型进行地质的复核、有效桩长的预判，提高施工工效，保证桩基质量。（3）滨海环境串珠状孤石区域预制管桩植入法沉桩施工工法采用了自主研发的“一种植桩法垂直度控制装置”，在旋挖孔洞比预制管桩直径大 20cm 的水下混凝土中植入预制管桩，创新使用“一种植桩法垂直度控制装置及其使用方法”，提高植入预制管桩垂直度、平面定位精度。同时使用“一种植桩法预防混凝土倒灌装置，避免植入过程中因混凝土流动性较大导致水下混凝土流入预制管桩桩芯。详下图：



本技术在新体育中心工程（施工）II 标段项目应用为福建省首例，在厦门新会展中心-展览中心项目等多个项目成功推广应用。有效解决了复杂地质（eg 串珠状孤石）预制管桩无法沉桩等问题。同时本技桩周混凝土与桩身结合提升了桩的整体刚度，混凝土渗入桩周土层，加固周围土层，提升了桩身的侧阻力。详下图：



本技术在中国建筑第四工程局有限公司的策划之下，业主、监理、地勘等相关单位的大力支持下，经过攻关、努力和项目的实际应用，研发一套完整的“复杂地质条件下植入法沉桩技术”，该技术成功地解决了复杂地质条件下的桩基施工难题，桩基施工质量得到了极大的保证。加快了施工进度，节约了施工成本。也为以后工程项目的桩基施工提供一个借鉴，该技术具有广泛的应用和推广前景。同时本技术已获国家知识产权局授权 3 项实用新型专利：受理 1 项实用新型专利，4 项发明专利。详下图：



完成单位：中国建筑第四工程局有限公司、厦门路桥工程投资发展有限公司、中建四局建设发展有限公司

完成人：祝国梁、陈业伟、苏凌云、蒋晨、余东、陈忠文、蓝明红、王源兴、蓝永炆、兰明扬

异形多曲面复杂空间结构展厅数字化建造关键技术

一、立项背景

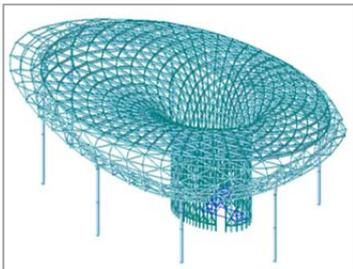
1.1 背景：独角兽岛为全球启动的首个独角兽岛建设项目，作为独角兽岛的样板工程，独角兽岛启动区项目从设计阶段开始就面临着各种困难，如何实现其结构对方案异形建筑的造型需求、现场施工如何呈现室内外高标准的要求均是本工程建设需要突破的困难点；主要矛盾体现在现有的设计经验及现场施工水平很难达到预期的建设标准。

1.2 研究目的及意义：通过对独角兽岛启动区工程展厅建设的相关施工技术的研究，总结出一套针对异形多曲面复杂空间结构展厅数字化建造关键技术，为后续独角兽岛的整体建设、其它类似工程及公园城市建设提供宝贵经验。

二、关键技术内容

2.1 针对 ZHA 对多重流线形曲面构建而成的复杂空间异性造型需求，设计团队通过对多种结构方案的对比与推敲，研发了一种与常规单层网壳结构相比，壳体作用不明显，受力状态介于梁受力和壳体受力之间的一种“扁平 T 型截面”异形多曲面单层网壳结构形式。

2.2 针对异形多曲面复杂空间网壳的高精度安装要求，项目团队研制了一种由柱脚钢梁、标准格构胎架、顶部钢梁及分配梁相结合的联合胎架工艺装置。



“扁平 T 型截面”网壳结构

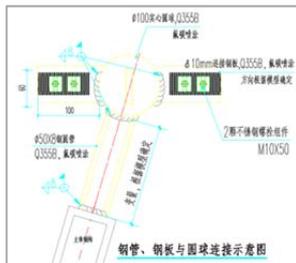


联合胎架工艺装置



结构实施完成效果

2.3 针对中筒及屋面玻璃幕墙系统采用平板拟合双曲面的设计，项目团队研发了一种钢圆管、钢球及连接钢板组合而成的可调节球形节点。



可调节球形节点图



现场安装实施照片



目前实施完成效果

2.4 针对异形多曲面复杂空间建筑的结构及内外装等诸多设计及施工难题，项目团队研究并采用了设计、生产及施工为一体的数字化模拟技术，解决了异形多曲面复杂空间结构展厅的结构、外装及内装的施工难题，提高了施工工效及质量。

三、与同类技术对比

与同类技术相比，本工程从设计到施工，全过程采用了 BIM 数字化建造关键技术，提高了可建造性，同时现场所采用的这种“扁平 T 型截面”异形多曲面单层网壳结构形式，丰富了网壳结构截面形式，满足了异型建筑造型要求；施工中所采用的联合胎架工艺装置，解决了常规施工方法无法解决的异型多曲面复杂空间网壳结构的高精度安装需求；研发的一种可调节球形节点，完美解决了类似复杂异型组合幕墙构件偏差难题。

四、推广应用情况

该关键技术成功在独角兽岛启动区工程、成都广汇雪莲堂美术馆工程及龙泉山森林公园狮子宝景点综合服务中心及配套工程进行了推广运用。



独角兽启动区工程运用照片



龙泉山森林公园狮子宝工程运用照片



成都广汇雪莲堂美术馆工程运用照片

五、相关知识产权及荣誉

该技术课题获得发明专利 1 件,省部级工法 2 项, 国家级 BIM 一等奖 2 项, 省级 BIM 一等奖 2 项, 国家级 QC 成果一等奖 1 项、省部级 QC 成果一等奖 5 项, 发表论文 2 篇, 取得了良好的经济和社会效益, 具有广阔的推广应用前景。

完成单位: 中建五局第三建设有限公司、中国建筑西南设计研究院有限公司、成都天投地产开发有限公司、中建五局装饰幕墙有限公司

完成人: 唐国顺、张烈、张军、钟鹏、刘踊、贺鑫鑫、张志、周竹坚、文骞、廖凡凯

超厚斜曲薄壁方箱现浇混凝土大坡度屋面施工 技术创新与应用

一、立项背景

随着建筑业不断发展和人们生活选择多样化需求的增长，在建筑设计上呈现出许多新颖别致、多彩纷呈的坡屋面结构。创新型薄壁方箱现浇混凝土坡屋面形式既可以满足大跨度大荷载的结构要求，又可以呈现新颖别致的建筑造型，且有优异的抗震性能、能大幅度节省材料，将成为建筑结构工程技术领域的必需。

二、关键技术内容

(1) 研发了一种可快速拆卸的超厚坡屋面芯模浮力测试装置与方法，试验研究了浇筑薄壁方箱坡屋面时泵送混凝土浇筑高度、速度和振捣对芯模上浮力的影响，形成了有效控制芯模上浮的施工措施；创新了一种使用方便的建筑板材钻孔装置。



图1 芯模上浮力测试装置与方法

(2) 研发了超厚斜曲坡屋面混凝土结构高大模板施工体系和大斜曲坡屋面的架体搭设方法，创新性的将施工安全监测与无线通讯技术相结合，实现了模板下部架体浇筑变形、架体杆件轴力的实时监测与控制；发明了建筑预埋钢管穿孔技术，解决了工作效率低、穿孔质量不好的难题；创新了一种便于拆卸的建筑脚手架，完善了超厚斜曲薄壁方箱坡屋面架体拆卸安装困难，使用不方便的缺点；

(3) 研发了一种新型薄壁方箱芯模形式，避免了浇筑过程中的箱体破损，并提高了薄壁方箱坡屋面振捣盲区混凝土的密实度；发明了高自动化程度的建筑水泥板成型技术，大大提高了超厚斜曲薄壁方箱坡屋面施工效率；提出了大斜度坡屋面混凝土浇筑防下坠施工技术，

有效的阻挡、防止混凝土浇筑时混凝土下坠。

(4) 研发了针对预应力大坡度斜曲薄壁方箱型坡屋面混凝土浇筑跳仓法施工的具体思路和做法,通过对施工缝与后浇带留设进行优化设计,最大程度的减少施工缝和后浇带的数量,保障后期预应力筋的张拉时间,达到高效施工,大大缩短工期的目的;开发了基于 BIM 技术的二维码交底系统,编制了 BIM 技术建筑信息模型应用标准,为 BIM 技术更广泛的应用推广奠定了基础。



图2 浇筑完成图片

三、与同类技术对比

① 研发了可快速拆卸的超厚坡屋面芯模浮力测试装置与方法,能快速得出浇筑薄壁方箱坡屋面时芯模上浮力;② 研发了一种可快速插拔挡混凝土篦子,可有效解决了大坡度屋面混凝土浇筑时混凝土下坠严重,浇筑速度慢的问题;③ 研究了超厚斜曲坡屋面混凝土结构高大模板施工体系,设计了大斜曲坡屋面的架体搭设方式,并应用了建筑施工安全监测与无线通讯技术相结合的高支模智能监测系统;④ 研发了一种新型薄壁方箱芯模形式,减少了薄壁方箱在浇筑过程中的破损,并提高了薄壁方箱坡屋面振捣盲区混凝土的密实度;

四、推广应用情况

本技术已成功应用于南水北调干部学院项目、南阳三馆一院等工程,创造直接经济效益 3968 多万元,社会效益显著;可为今后施工同类工程提供借鉴,具有广阔的应用前景。



图3 南水北调干部学院项目

五、相关知识产权及荣誉

该成果形成专利 9 项，其中发明专利 1 项，实用新型专利授权 8 项；论文 4 篇，其中核心期刊 1 篇；获批省部级工法 1 项；参编省级标准 1 项。

完成单位：中建七局第四建筑有限公司

完成人：翟国政、高宇甲、张文明、莫江峰、李小猛、项萌、牛彦平、刘云鹏、陈伟、汪显庭

应用可调节滑落式操作平台拆除砼烟囱技术

一、立项背景

随着工业和科技的发展，很多企业均会面临产业升级换代或建筑物达到使用年限，现有厂房、建筑物等需拆废立新，而烟囱类的高耸、圆形建筑的拆除一直都是该领域的难题，往往此类建筑还需在不停产、不影响周边环境的情况下施工，而本项技术的研发就解决了在不停产、场地和环境受限的特殊环境下拆除烟囱的难题，在建筑拆除领域有广泛推广利用的前景。

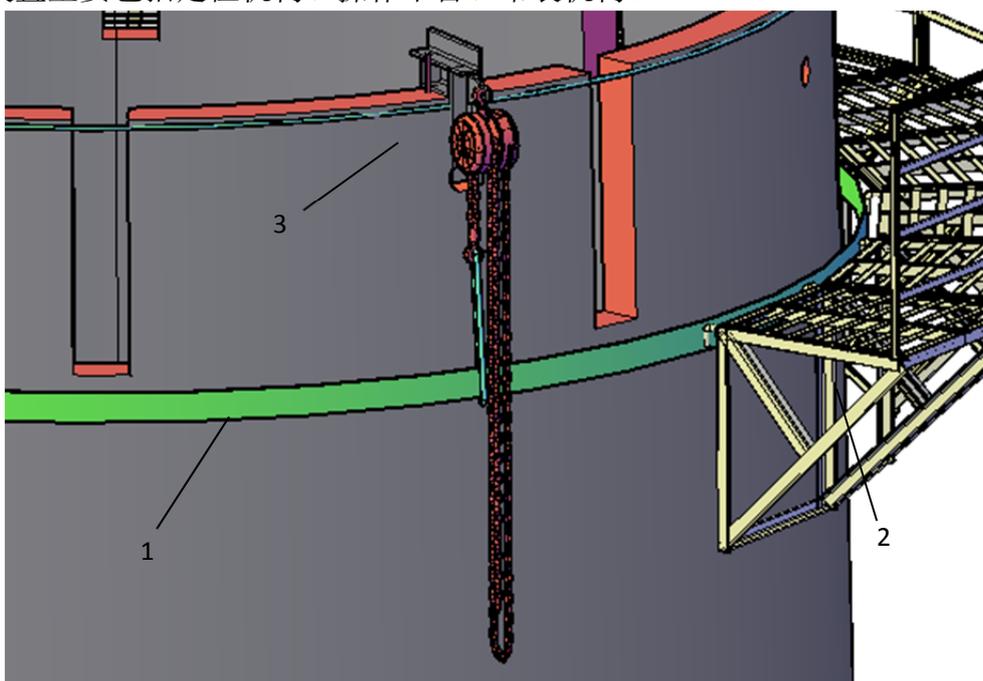
二、关键技术内容

该项技术是一种采用了可调节的抱箍和可自由组合平台的拆除方法，其操作平台利用烟囱原有平台和爬梯在空中组合，组好的平台通过自重沿烟囱外壁向下滑移、并利用烟囱外壁直径变大的特点，紧固抱箍后会连带拆除装置卡在烟囱外壁，从而起到稳定防止下滑的目的，保证了该拆除装置能稳稳的固定在烟囱外壁，为作业人员提供一个安全可靠的操作平台。

该项技术共有 4 项关键技术：

1、拆除装置设计、制作

拆除装置主要包括定位机构、操作平台、吊装机构。



1--定位机构 2--操作平台 3--吊装机构

拆除装置示意图

2、操作平台的安装技术

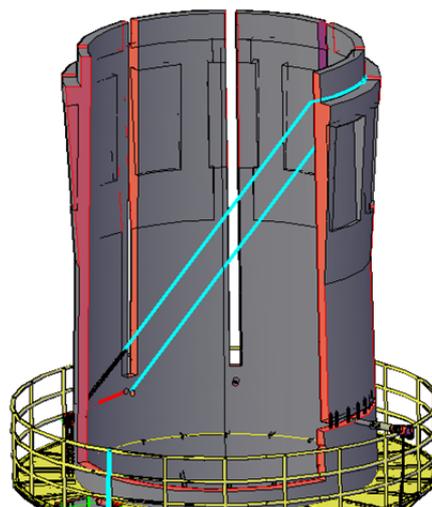
定位装置在烟囱底部周围组对成圈后用麻绳提升，提升至顶部平台下紧固在烟囱外壁，从爬梯位置开始逐个提升单个平台并挂在定位装置上，并连成整体。

3、烟囱壁拆除技术

用风镐分割烟囱壁，用手拉葫芦、气割、钢丝绳等辅助烟囱壁分割块向烟囱内部脱落并集中清理。

4、操作平台滑移操作技术

用 4 个吊装机构挂手拉葫芦提住组合平台，慢松定位机构长螺栓，慢慢同步卸落手拉葫芦，定位装置可随直径变化添加，就位后紧固定位机构连接螺栓。



烟囱壁拆除示意图

三、与同类技术对比

与本技术相比整体放倒技术施工速度快，但是需要足够的场地，并且是个过程中产生粉尘和噪声污染；定向爆破拆除具有作业速度快、经济实惠，但是也需要足够的场地，并且是个过程中产生粉尘和噪声污染；人工搭设脚手架不受场地限制，但是搭设脚手架比较耗时，安全性不高，难以满足业主的工期要求。

四、推广应用情况

本项技术已在“唐山轨道客车有限责任公司锅炉房能源改造项目”60m 混凝土烟囱拆除工程、“宁波众茂杭州湾热电有限公司 120 米烟囱上部 107.9 米保护性拆除项目”和“贵州黔桂发电有限责任公司盘县电厂 210 米烟囱拆除工程”、“承德建龙炼铁厂 1350m³高炉本体大修技改工程等项目”60m 烟囱拆除工程等项目中有有效实施。



五、相关知识产权及荣誉

该项技术于 2015 年 9 月 13 日获授权发明专利，专利号 ZL201310436264.7。

该项技术于 2019 年度获冶金建设行业一级工法。

完成单位：中国二十二冶集团有限公司

完成人：吴长德、张甲立、黄炎、王艳伶、张园园、张丽、项菲

大跨度斜屋面鱼腹式管桁架施工技术

一、立项背景

鱼腹式管桁架作为一种新型的大跨度结构形式，有着结构合理、传力明确、自重较轻、结构承载力高、造型美观、能够较好的满足建筑功能要求，同时具有较大的使用价值等优点。

随着国内大跨度斜屋面鱼腹式管桁架结构建筑的增多，其施工过程中面临着加工精度高、构件跨度大、临时支撑投入量大、竖向砣构件水平推力大、高空作业难度高、工期紧等难题。

为此我公司以绿地国博城会展中心项目为依托，针对此类结构的特点，通过专业研讨、团队创新，总结形成了本技术。

二、关键技术与创新

大跨度斜屋面鱼腹式管桁架施工技术由以下三项关键技术组成。

1、鱼腹式管桁架深化设计及加工制作技术

1) 技术概况

基于 BIM 技术，结合异形结构详图设计辅助软件和专用相贯线编程软件对钢结构深化设计及加工制作全过程深度融合，确保加工制作精度。

2) 技术创新

采用 BIM 技术对钢结构建模，指导关键节点分析制作、提取圆管弯曲模具参数、相贯线下料、管口切割、检验及模拟预拼装。

3) 实施效果

保证了管件弯曲线型精度，保证了杆件相贯口切割的质量，满足现场拼装要求，确保了桁架吊装单元的外形尺寸。

2、可周转式管桁架拼装胎架基础技术

1) 技术概况

研发可周转胎架基础，降低了成本，解决了展厅多、拼装量大、精度要求高的难题。

2) 技术创新

通过对桁架拼装各支撑点受力计算，对最大荷载进行混凝土条形基础设计，基础强度高、满足拼装要求，同时可周转使用，对比传统地面硬化、铺垫路基箱节约成本。

3) 实施效果

保证了拼装质量和安装精度，控制了焊接的质量，同时降低了成本，解决了展厅多、拼

装量大的难题。

3、大跨度斜屋面鱼腹式管桁架双跨整体同步对称吊装技术

1) 技术概况

解决了吊装跨度大、屋面两侧高差大的问题，消除了桁架吊装过程中对低跨框架柱的水平推力，保证了结构稳定，减少高空焊接和临时支撑投入。

2) 技术创新

(1) 管桁架双跨整体同步对称吊装技术

采用双跨整体同步对称吊装和调整支座约束的方法，减小了吊装过程中屋面桁架对竖向砼构件的水平推力，保证了整体结构稳定安全。

(2) 双支临时支撑架

保证桁架的侧向稳定性和安装精度，相比传统吊装方式大大降低了临时支撑的投入，节约了工期和成本。

3) 实施效果

对桁架吊装过程、卸载和体系转换阶段关键部位的应力及混凝土柱变形进行实时监测，经监测桁架及框架柱变形和受力符合设计及规范要求，结构整体安全稳定。



三、相关知识产权情况

本技术形成的省级优秀工法 1 项，申请国家专利 10 项，已授权 3 项，省级科学技术奖 1 项。

四、客观评价

经省级科技查新单位查新，目前国内外未见与本技术相同的文献报道。

通过山东土木建筑学会的科技成果评价，技术成果达到“国际先进”水平。

五、应用推广经济与社会效益

本技术在绿地国博城会展中心项目的应用，共获得经济效益 188.5 万元。

项目采用本技术成功完成钢结构首榀桁架吊装，中央及省市各级媒体纷纷报道，累计转

载点击量过百万。

得益于本技术的成功应用，各级领导多次到访并对项目各项管理给予高度评价，项目累计接待各级观摩及采访 50 余次。

通过本技术在工程实体中的应用，从理论和实践角度为此类建筑工程提供示范和指导，在未来的建筑中具有推广和引领意义。

完成单位：中建八局第二建设有限公司

完成人：潘玉珀、刘雄、刘永涛、刘晋、张志腾、赵锦设、姚一凤、赵旦明、张彦彬、刘昊松

大型立式储罐内壁自动喷涂装置设计与应用技术

一、立项背景

化工储罐是广泛应用于存储化工产品的设备，运营过程对其耐酸、耐碱、防静电等性能要求较高，否则可能因腐蚀加快使得强度下降、缩短使用寿命，甚至可能导致泄漏或崩罐等事故。防腐施工过程包含喷砂和涂漆两大工序，传统施工过程会满堂搭建脚手架进行人工喷涂，工作负荷大且效率低下，可能导致安全事故。本研究旨在发明一种化工储罐内壁自动化喷涂装置，解决“满堂搭”脚手架进行储罐内壁防腐的技术弊端。

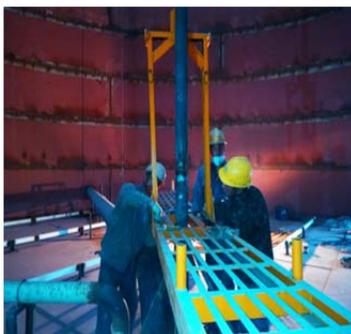
二、关键技术内容

本研究所实施的自动旋转升降平台是采用 $\Phi 114*8$ 的多节钢管，螺纹连接成1根由罐底至罐顶的中心立管，使其穿过一个宽0.6m，高1.2m，长度略小于罐内直径的操作平台（操作平台单个长度6米，可根据罐内直径调整）。在罐顶安装1台电动葫芦，电动葫芦倒链与操作平台连接，使操作平台可沿中心立管上下移动。操作平台两端各系有1条绳索，在作业时，下方的辅助人员可拉动绳索使操作平台围绕中心立管旋转移动，到达作业位置后，启用操作平台端部吸附磁铁，可吸附操作平台不移动，就可完成储罐内壁除锈防腐作业。

自动旋转升降平台组装步骤实物图



组装中心立管



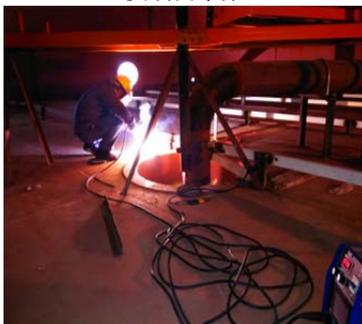
安装门字架



安装电动葫芦



安装千斤顶



焊接中心立管支撑架



组装操作平台



安装 8 根斜拉钢丝绳



安装护栏杆及安全网



自动旋转升降平台现场施工

三、技术创新点

创新性采用一种新型自动旋转升降平台进行储罐内壁防腐蚀施工，构件制作简单、平台组装技术成熟、制作安装成本低、施工过程安全可靠，提升了储罐内壁防腐施工的效率，能够显著缩短工期，而且不受作业空间、施工季节的影响，具有广阔的市场前景，适用于石油、化工及粮油储罐等领域。

按照 3 台储罐内壁同时防腐施工、进行流水作业的工程量进行技术对比，经过计算分析比较发现，该自动旋转喷涂技术施工方法共节省经济效益约 77 万元，可缩短工期 7~10 天。

四、推广应用情况

该技术目前已在我司承接的春金（天津）油脂有限公司罐区项目、成都天府国际机场供油工程——供油工程机场油库项目、成都市粮油储备（物流）中心粮食现代物流扩建项目得到应用，在降低施工成本、提高施工质量、保障技术安全可靠等方面取得了满意的结果，得到业主、监理和业内专业人士的高度肯定。

五、相关知识产权及荣誉

该技术共获得国家实用新型专利 1 项；湖北省省级施工工法 1 项；中建三局局级科技进步奖 1 项。



完成单位：中建三局第三建设工程有限责任公司

完成人：吴光海、刘鸿、闫志奇、徐静、孙炎彬、杨林、杨梅竹、雒平、王浩宇

预成孔置换强夯地基处理技术

一、立项背景

强夯法地基处理技术适用于处理碎石土、砂土、低饱和度的粉土与粘性土、湿陷性黄土、杂填土和素填土等地基。但对于饱和粘性土、淤泥、淤泥质土等渗透性差的地基，强夯法的处理效果较差。

强夯置换法地基处理技术适用高饱和度的粉土、与软塑-流塑的粘性土等对变形控制要求不严的工程。在强夯置换施工时，置换墩体底部会产生很大的超孔隙水压力，在其作用下墩体底部与硬持力层之间往往存在 0.5m~1.0m 厚的软弱夹层，使得置换墩体难以有效着底。

如何有效处理下卧层为饱和粘性土、淤泥、淤泥质土、软弱夹层等类型的地基具有很大技术难度。我公司利用自身技术优势开展技术创新，成功取得了“预成孔置换强夯技术”这一国内领先的新技术，有效解决强夯法与强夯置换法存在的技术问题，实现置换墩体与下卧硬层良好接触。

二、关键技术内容

预成孔置换强夯技术在强夯施工前通过旋挖钻机、长螺旋钻机等成孔机械在地基土中预先成孔，直接穿透软弱土层至下卧硬层顶面或进入下卧硬层；在孔中填入块石、碎石、粗砂等材料，连续回填至孔口标高，形成松散置换墩体；松散置换墩体与下卧硬层良好接触，同时形成良好的排水通道，有利于软弱土体加速固结。

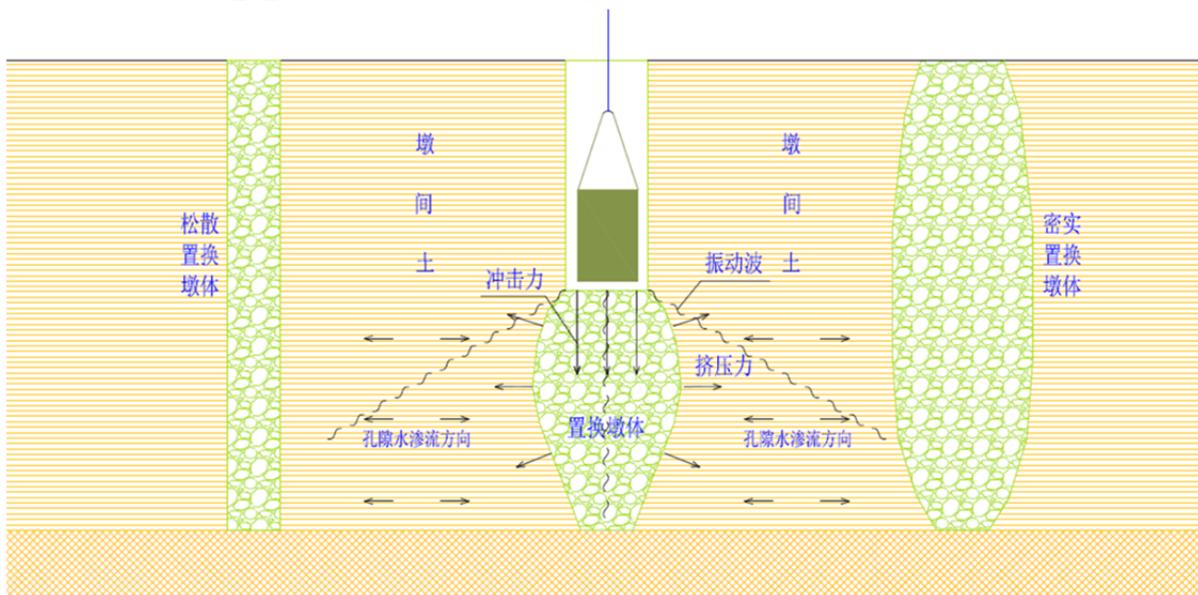
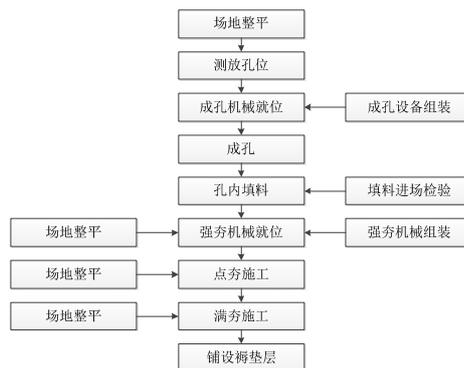


图1 预成孔置换强夯技术加固原理示意图

通过动力夯实加固松散墩体与墩间土，夯锤采用平锤或柱锤；采用高能级强夯反复夯击松散墩体，墩体在动力夯实作用下得到密实，同时其直径增大，墩间软弱土在冲击、挤压等作用下，快速固结；密实后的置换墩体与墩间土共同承担上部结构荷载，形成复合地基。施工工艺流程如下：

- (1) 场地整平，测放孔位；
- (2) 在地基土中预先成孔。
- (3) 孔内进行填料。
- (4) 进行点夯施工。
- (5) 采用满夯加固表层土体。
- (6) 铺设垫层。



三、与同类技术对比

(1) 预成孔置换强夯技术可对饱和粘性土、淤泥、淤泥质土、软弱夹层等类型的地基进行有效加固处理，同时具有施工便捷、造价低、工期短、绿色环保、地基承载力高、沉降变形小等优点。

(2) 与强夯法相比，预成孔置换强夯技术实现了对饱和粘性土、淤泥、淤泥质土等土层进行有效加固。

(3) 与强夯置换法相比，预成孔置换强夯技术有效解决软弱地基中强夯置换墩不能有效着底的问题，可显著减小工后沉降并提高地基稳定性。

(4) 与振冲碎石桩、挤密碎石桩相比，预成孔置换强夯技术可使欠固结的淤泥、淤泥质桩间土得到有效固结；

(5) 与刚性桩相比，预成孔置换强夯技术可应用于各类欠固结、湿陷性土体。

(6) 具有施工便捷、造价低、工期短、处理效果显著、绿色环保的特点。

四、推广应用情况

随着工程建设的飞速发展，回填深度大的填海造地且下卧淤泥及淤泥质土等深厚软弱层的工程越来越多，该类工程的地基处理需要很高的技术水平。本技术是专门针对该类工程开展创新研究取得的技术成果，已在青岛海业摩科瑞油品罐区地基处理工程、葫芦岛港柳条沟港区石化码头配套罐区扩建项目地基处理工程、青岛港董家口港区原油商业储备库（一期）工程地基处理强夯置换工程、青岛港董家口港区原油商业储备库（二期）工程地基处理强夯置换工程等多个同类工程中成功应用并取得良好的社会与经济效益。

五、相关知识产权及荣誉

1. 2016年10月获得发明专利 ZL201510137008.7 “预成孔填料置换平锤强夯法”授权；
2. 2017年3月通过中国化工施工企业协会化工工程建设新技术成果鉴定。
3. 2017年3月荣获中国化工施工企业协会颁发的部级工法；
4. 2018年4月荣获中国化工施工企业协会2017年度化工工程建设科技创新成果一等奖；
5. 2018年12月获2017年度中国施工企业管理协会科学技术进步奖二等奖；
6. 2020年2月获广东省科技进步二等奖；
7. 2021年1月获2020年度华夏建设科学技术奖三等奖。

完成单位：中化岩土集团股份有限公司

完 成 人：柴俊虎、高斌峰、张仲道、张新蕊、杨洁

大型储罐自动焊辅助工作仓

LNG（液化天然气）被公认为是地球上最干净的能源，且使用安全，热值高，因此使用日益广泛，用途日益增加。而 9%Ni 钢以其优良的低温性能和焊接性能被认为是制造低温压力容器、储罐的最佳材料，被广泛应用于 LNG 储罐的制造中，因此采用 9%Ni 钢板进行各种位置的焊接加工是大型储罐制作安装关键技术之一。目前手工电弧焊和埋弧焊是目前我国 LNG 储罐本体普遍采用的焊接方法，一般壁板环缝、底板以及大角缝焊采用埋弧自动焊，而壁板立缝、操作空间受限的地方采用手工焊条电弧焊。由于 LNG 储罐焊接工作量大，虽然手工焊条电弧焊可以焊接各种位置、且灵活便捷，但人工效率较低、成本高昂，且容易产生焊接缺陷，因此在很大程度上限制了大型 LNG 储罐的制造效率。



图1 五号沟 10 万 m³LNG 储罐

为进一步提高大型 LNG 储罐的生产效率，降低生产成本，我司根据现场实际情况，在项目实施前期自主研发了一种大型储罐自动焊辅助工作仓，该工作仓包括：矩形框架、圈板横向移动滚轮、电机以及减速机，该装置能够（1）解决 9%Ni 钢立焊缝的自动焊接；（2）解决自动焊机沿罐体能够自由行走；（3）解决高处焊缝时焊工安全自由作业；（4）解决狭小空间的焊接烟尘问题；（5）解决超宽圈板焊接全程跟踪困难问题；（6）能够覆盖从 2 万 m³ 到 20 万 m³ 不同容积的罐体。



图2 大型储罐自动焊辅助工作仓

本项目针对 9%Ni 钢壁板立焊缝自动的焊接工艺，设计并研发了相应的自动焊辅助工作仓，使其更能适合本项目的使用，并申请了专利。该技术在 9%Ni 钢储罐上的使用，在国内

属首创，该装置填补了国内 9%Ni 立焊自动焊技术的空白，大大提高了储罐壁板焊接的效率和安全性，有效提高了安装施工效率 30%，进一步保证了焊接质量。同时辅助工作仓的应用，相较于传统的施工工艺，降低了 40%的工人劳动强度，具有显著的经济效益。本技术在上海燃气有限公司五号沟 LNG 事故气源备用站两台 10 万 m³LNG 低温罐的现场实际应用，研发了立焊缝焊接的相关设备，并制定了相应的焊接工艺，符合低温储罐要求的焊接规范及工艺评定，使其具备实际操作价值，今后将在两台 10 万 m³ 双金属壁 LNG 低温罐等项目上进行推广应用。



图3 大型储罐立焊缝焊接

本发明专利所依托的科研项目曾荣获：中国安装协会科学技术进步奖二等奖（2021 年），中国职业安全健康协会科学技术奖二等奖（2019 年），上海土木工程科学技术奖二等奖（2018 年），上海市安装行业协会科技创新一等奖（2017 年），授权专利 7 项（其中发明专利 4 项），发表论文 7 篇。



图4 各类科技成果及相关工程汇总

完成单位：上海市安装工程集团有限公司

完成人：陆欢军、曹智云、倪志海、孙纪军、曹晓程、汤毅

移动式管道预制加工厂

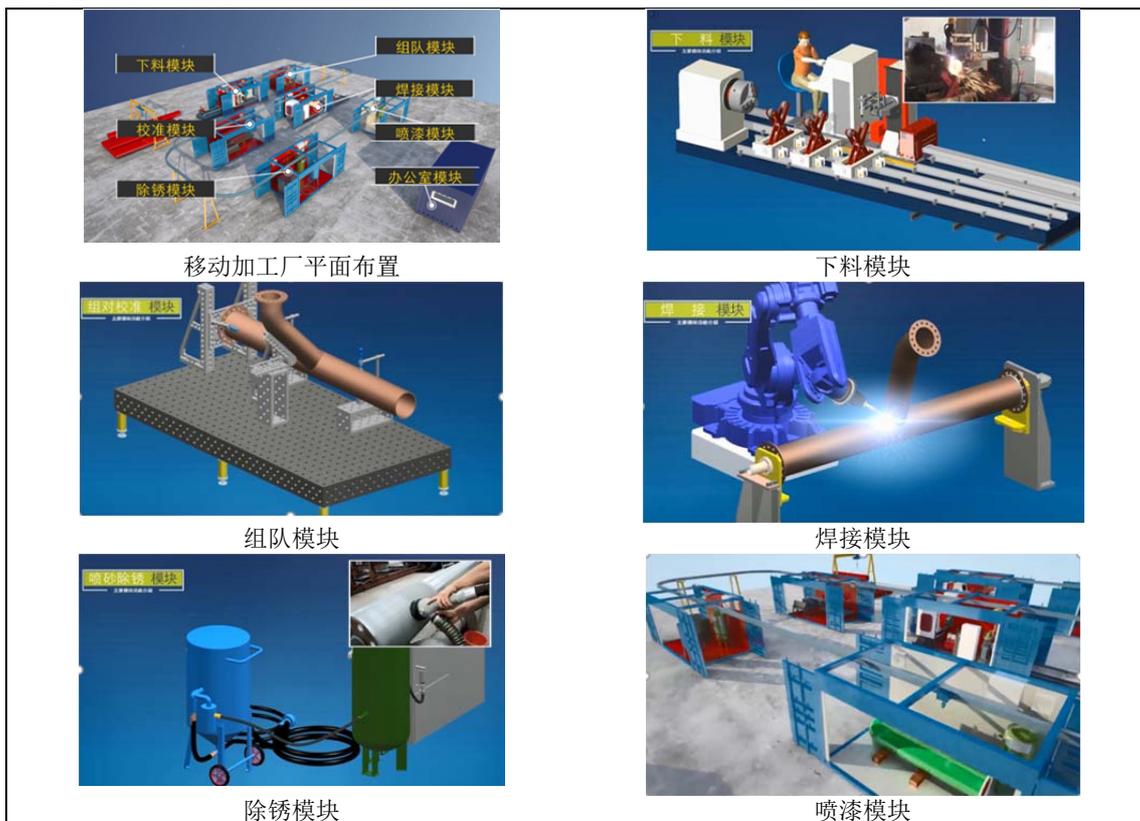
一、立项背景

传统建筑机电施工存在与土建交叉作业进度受限、手工作业工艺质量参差不齐且效率低、现场焊接火灾触电风险高、施工作业环境差等问题。预制化装配法施工结合 BIM 技术，能够很好的解决上述存在的问题。目前国内管道预制化装配施工主要以固定式为主，该预制模式辐射周边项目范围有限，不适合项目分布较广的企业。而本技术所提出的移动式管道预制加工厂是一种全新理念的管道预制加工方法，可降低材料及预制件的运输成本、提高加工效率，可移动灵活性高。

本技术主要研究目的是为了解决固定式管道预制加工与安装现场协调沟通难、材料运转费用高等难题，彻底摸索出一套移动式管道预制加工厂的设计、组装、制造流程和方法。

二、关键技术内容

主要研究移动式加工厂生产流水线模块组成设计方案,包括每个模块的设备型号、尺寸、加工范围、占地面积的设计方案,根据现场实际场地情况、管道尺寸等，选择适合项目运用的加工模块，深入研究加工厂移动式的可行方案，总结出移动式加工厂从拆卸、打包、运输到再组建的过程标准化技术体系。



三、技术创新点

(1) 创新发明一种移动式管道预制加工厂，减少运输成本，节约工期。

(2) 提出一种切割、组对、焊接等加工工序设备现场模块式拼装连接模式，可快速组装拆卸、可高效周转。

(3) 创新提出移动式管道预制加工厂的设计标准化、安装模块化作业流程。

四、推广应用情况

本技术在岭南新世界、欧德油储公用石化码头、南郊机场迁建等多个项目应用，通过移动式管道预制加工厂关键技术的研究与应用，把原来的建筑工人转变为机械操作工人，实现无粉尘作业，大大节约人力、时间和能耗成本，创效显著获得业主及监理好评。

五、相关知识产权及荣誉

该技术共获得国家实用新型专利 1 项，湖北省、四川省工法 2 项，发表论文 4 篇，科技查新国内未见相关报道。



完成单位：中建三局第三建设工程有限责任公司

完成人：吴光海、刘鸿、闫志奇、徐静、王浩宇、张诚、刘晓宇、游建华、杜能辉、吴帅

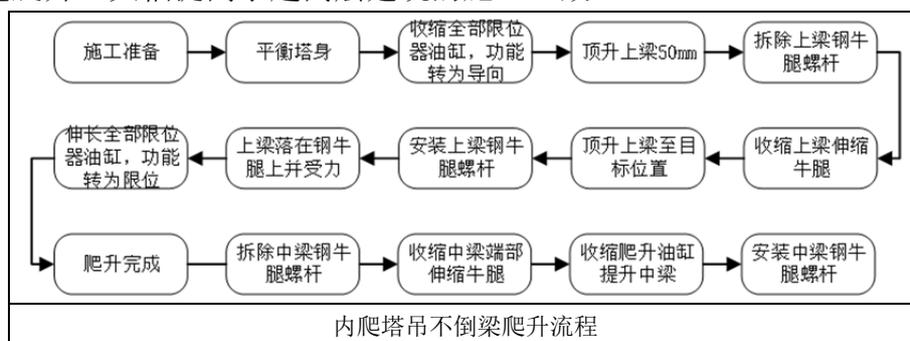
内爬塔吊不倒梁技术研究与应用

一、立项背景

超高层工程一般采用内爬或外挂式塔吊满足垂直吊运需求，其爬升过程均需要“倒梁”作业。倒梁操作属于高空、狭小空间作业，操作人员一般需背戴安全带临空作业，无可靠防护措施，整个过程存在较大的安全隐患；在倒运梁的过程中需要使用其他塔吊配合吊运，降低塔吊利用率和施工效率，造成大量工人窝工；支撑梁与结构多采用预埋件焊接连接，焊接质量存在不稳定性。整体上常规的倒梁爬升存在安全隐患大、效率低、质量控制难度大等缺点。为解决上述问题，中建三局第一建设工程有限责任公司成立课题小组，以内爬式动臂塔吊为研究对象，研究开发内爬塔吊不倒梁爬升技术，包括内爬塔吊不倒梁受力模拟分析、内爬塔吊不倒梁爬升关键节点研究、内爬塔吊不倒梁一体化施工、基于顶模支撑系统的内爬塔吊不倒梁等技术。旨在降低内爬塔吊爬升安全隐患、提高施工效率，同时促进超高层建筑施工技术进步，提升建筑行业施工水平。

二、关键技术

结合内爬塔吊不倒梁的整体设计及各工况受力模拟计算，对内爬塔吊的安装、使用、爬升及拆除进行了系列技术创新，形成了内爬塔吊不倒梁一体化施工技术，实现内爬塔吊 1 小时安全、快速爬升，大幅提高了超高层建筑的施工工效。



三、与同类技术对比

内爬塔吊不倒梁爬升技术通过创新，解决了常规内爬塔吊倒梁爬升方式中人工倒梁倒梁安全隐患大（高空临边作业、缺有效安全防护）、效率低（爬升 2 天/次）、质量控制难度大的缺点，同时创新的将框架侧顶式内爬塔吊支撑体系和顶模系统支撑体系相结合实现内爬塔吊不倒梁技术，可完全满足项目塔楼和部分裙楼的材料吊运和材料、设备周转需求，保证施工达到核心筒和外框不等高同步攀升效果，保证 4 天一个结构层，爬升时间从 2 天/次减少至 2h/

次，减少了各项资源投入，技术效益显著，填补了内爬塔吊不倒梁爬升的技术空白，该研究为行业进步做出了贡献。该技术经湖北省建筑业协会组织业内专家进行鉴定，鉴定技术水平为整体达到国际先进水平，部分技术达到国际领先水平。

四、推广应用情况

由中建三局第一建设工程有限责任公司承建珠海市横琴国际金融中心大厦集商业、办公、公寓为一体，共 69 层，总高度 337m，核心筒竖向结构采用顶模系统施工，项目垂直运输设备塔吊选择 M600D 和 JCD260 两台内爬动臂塔吊，采用了内爬塔吊不倒梁技术，分别位于核心筒西北角和东南角。两台内爬动臂塔吊完全满足项目塔楼和部分裙楼的材料吊运和材料、设备周转需求，保证施工达到核心筒和外框不等高同步攀升效果，保证了 4 天一个结构层，节约工期 20 天(爬升时间从 2 天/次减少至 2h/次)，减少了各项资源投入。



五、相关知识产权及荣誉

(一) 专利

<p>一种内爬塔吊不倒梁爬升方法</p>	<p>一种基于顶模系统的框架侧顶式内爬塔吊不倒梁爬升方法</p>	<p>一种用于箱梁支撑钢牛腿的同步提升装置及方法</p>

(二) 工法

(三) 论文



完成单位：中建三局第一建设工程有限责任公司

完成人：程源、吴彪、张恩、黎攀、董晓刚、叶阳明、朱词恩、俞佳航、陈权、王恩群

钢-混装配式带肋空心楼盖体系研究与应用

一、立项背景

随着社会经济的快速发展和结构设计理念的不断更新，楼盖需要实现功能上的多样化和现代化，应用于商业综合体、停车场和写字楼等大跨度、大开间使用需求。楼盖的跨距增大将会导致板厚尺寸大，自重增大，侵占使用空间。在跨长大于 9m 的建筑中，楼盖比重达到 60%-80%，若减小楼盖的厚度，将导致楼盖的抗裂性能及承载力降低。因此在不影响楼盖体系自身结构性能的基础上减轻楼盖自重成为了新楼板体系推进的关键课题。

本项目钢-混装配式带肋空心楼盖作为一种由传统楼盖创新发展而来的创新型楼盖，相比常规楼盖体系，该新型楼盖可增大建筑净空和跨度，提升保温隔音性能，密肋空心楼板采用装配式工艺，工厂化生产，自承重免支模，实现绿色建造。

二、关键技术内容

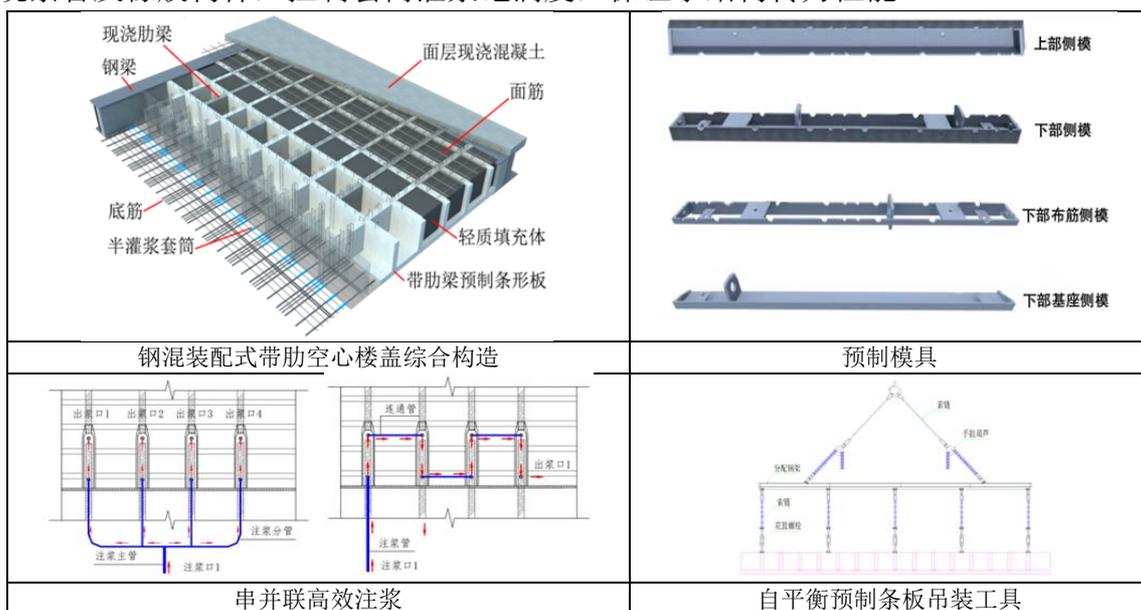
1、钢-混装配式带肋空心楼盖结构设计技术研究：首次提出并完善“钢骨梁+预制条板+空腔构造”组合型楼盖的设计体系。该楼盖通过采用钢骨暗梁的协同受力来传递楼板荷载，达到大跨度、高净空建筑效果；通过采用半灌浆套筒水平向连接方式，实现单向受力条板拼接成双向受力整体底板；通过加强预制带肋条板自身刚度，来承担上部逐步增加的结构自重荷载和施工荷载，实现施工免支撑模板；通过采用预制肋梁和后置芯模形成叠合空心混凝土楼盖，提高建筑节能保温效果。

2、钢-混装配式带肋空心楼盖预制构件生产技术研究：首次提出并完善水平密集半灌浆套筒预制条板高精制作技术。针对单块预制条板（10.3m 长）底板密集钢筋套筒（间距 50mm-200mm）的高精度要求（ $\leq 2\text{mm}$ ），发明一种新型单层高精出筋构件的组合侧模。该出筋钢模具设计为内外双层出筋挡板，保证生产阶段钢筋、套筒定位精度控制，提高预制条板养护期间钢筋抗扰动性；出筋模具采用上下拆分组合形式，实现快速固定拆模；采用标准模数尺寸和螺栓连接，实现钢模具灵活组装接长；通过采用 BIM 技术结合数控加工技术的联合应用，实现模具自动化高精度加工，极大提高了预制构件的生产精度。

3、钢-混装配式带肋空心楼盖施工关键技术研究：提出并完善钢混装配式带肋空心楼盖施工关键技术。将钢混装配式带肋空心楼盖拆分为“预制条板组拼底模+中间后置空心模合+上部叠合钢筋砼层”，随施工过程逐步成型。吊装阶段采用可调平衡单点单索钢吊具解决薄长型预制条板吊装稳定性问题；滑移对孔阶段，采用有限元软件建模分析总结出预制条板累积

拼装变形规律，以钢梁翼缘作为滑轨，分区对称安装，在高空采用卸载式牵引滑移法将预制条板水平向推动对孔，解决超长预制钢筋砼条板（长 10.3m）、密集型半灌浆套筒（间距 50mm~200mm）高精度对孔（半灌浆套筒内径和钢筋外径的容错误差 6.4mm）的问题。

4、水平密集半灌浆套筒高效注浆施工技术：首提出并完善水平密集半灌浆套筒高效注浆施工技术。针对半灌浆套筒数量较多时，单仓注浆工作量大、注浆速度慢的技术难题，创新性提出并联单腔注浆方式和串联连腔注浆方式，通过理论计算和试验总结出注浆压力与灌浆料扩展度、腔数、管径的灵敏度关系，改进了串联注浆工况下的半灌浆套筒的溢浆口方向，研发了一种并联多管注浆设备，提高了水平向注浆效率，缩短了注浆周期。通过设计排气及补浆观察管及橡胶构件，控制套筒灌浆饱满度，保证了结构传力性能。



三、与同类技术对比

本课题研究的“钢-混装配式带肋空心楼盖”结构体系为装配式楼盖的新尝试，赣州市综合文化艺术馆项目是该新型楼盖在国内首次应用。经国内外查新，未见与课题《钢-混装配式带肋空心楼盖体系研究与应用》提出的查新要点内容相同的报道。研究成果获得国家实用新型专利 7 项，受理发明专利 1 项，获得省级工法 3 篇，发表论文 4 篇，获得全国 BIM 大赛一等奖 1 次、二等奖 2 次。该课题研究内容丰富了场馆类建筑楼盖体系的种类，为密集水平套筒拼接、注浆施工提供了借鉴。

四、推广应用情况

本课题研究成果已成功应用于综合文化艺术馆项目的装配式带肋梁预制条板叠合空心楼盖结构施工，采用水平密集半灌浆套筒预制条板拼接施工技术，通过深化设计、高精出筋模具、施工理论验算，达到构件自承重吊装、达到免支撑、免支模效果，为后道工序插入施工

提供良好条件，取得了良好的经济和社会效益，具有良好的推广应用价值。根据过程监测数据，楼盖各项指标均符合设计要求。

五、相关知识产权及荣誉

本课题于 2020 年 7 月经湖北省建筑业协会鉴定总体达到国际先进水平，通过对课题研究内容总结，受理发明专利 1 项、授权实用新型专利 7 项，获得省级工法 3 项、局工法 1 项，发表论文 4 篇，出版书籍 1 部，获得中建三局科技进步奖二等奖 1 项、设计奖 2 项、全国 BIM 大赛一等奖 1 次、二等奖 2 次。

完成单位：中建三局集团有限公司、广东省建筑设计研究院、赣州建筑工业化有限公司

完成人：陈浩、王伟、姜志浩、任俊杰、刘玮、方长江、李乾峰、戴标、李柔锋、严子军

超高层核心筒轻量化内顶外爬协同工作平台 研发与应用

南宁华润中心东写字楼整体模架平台研发和应用的主要技术难题是在爬模、顶模的基础上进行创新，既能实现水平结构与竖向结构同步施工，降低超高层施工的消防安全风险，又能在满足平台堆载的情况下，降低成本，增加平台的使用面积，同时还要适应核心筒的复杂变化，斜墙施工的拆改方便。

核心筒经历 3 次大的收缩，5 层斜墙，需要对模架系统进行多次大量拆改；核心筒墙体截面变化不仅内收，还有外扩，对模架系统的支撑系统布置及顶升带来困难；核心筒墙体北侧钢骨柱密集，影响模架系统钢梁的布置，钢梁无法直接穿过钢骨柱，模架系统钢梁需要布置于钢骨柱顶部，且对钢骨柱的安装带来困难。

采用新型顶模系统，各内筒之间互相独立，适应核心筒由“9 宫格”→“6 宫格”→“3 宫格”的变化，满足非标层、墙体收缩、伸臂桁架加强层等的施工要求，拆改简单快速，加快了塔楼核心筒的施工速度，主要技术包括：

1) 内顶外爬协同工作平台设计技术

发明了一种用于超高层建筑施工的内顶外爬式模架施工平台，兼具爬模体系重量轻、适应性强，顶模体系堆载能力大的优点。针对现有模架不能实现水平与竖向结构同步施工的问题，发明了水平结构与竖向结构同步施工方法，采用“U”形施工工艺流程，减少了偏心核心筒水平位移。发明了可实现外模架和钢平台整体和局部顶升的液压顶升钢平台，减少了施工空间限制，提高系统的冗余度。

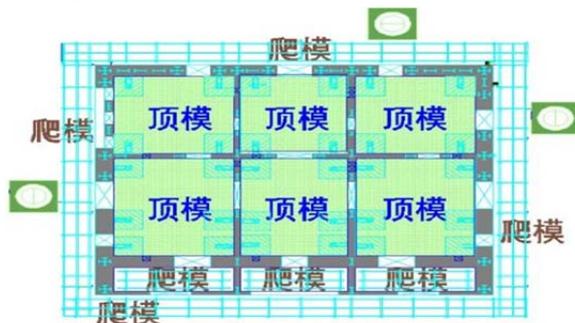


图 1-1 模架平台平面图

2) 模架体系轻量化设计技术

针对传统体系重量大的问题，采用 Van-Mises 应力和 R-Stab 软件校核，提出了多点支撑

设计技术，减小平台的跨度，提出了底部支撑系统采用上下三角撑设计，避免设置大型支撑钢梁。实现了模架设计的轻量化，每平方米核心筒面积模架重 750kg，较整体顶模平台降低约 30%~60%。

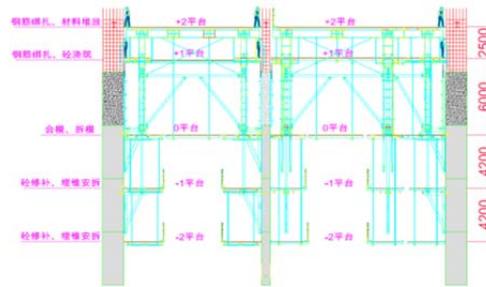


图 1-2 模架平台剖面图

3)内顶外爬模架平台集成优化技术

通过 BIM 技术模架平台检查埋锥碰撞。提出一种用于顶升施工平台的吊模装置，解决吊挂在顶模上的大模板移动难题。提出一种墙体阴角模模板构造，解决阴角模板缝隙大、易漏浆问题。提出一种可靠性高的大间距超高层建筑剪力墙施工模板拉杆结构，增大模板拉结杆件间距，减少贯穿钢结构。提出一种用于超高层建筑施工的退模装置，解决爬模进退模板难题。创新了对模架平台顶升、塔吊爬升、钢结构的安装、布料机的协同管理方法。提出了一种能使施工电梯到达平台工作面的平台连接结构，解决施工电梯悬臂端过长的附着难题，确保了逃生安全。

4) 内顶外爬模架平台关键施工技术

提出了模块化快速安装技术，进行快速组装安装。发明便于组装和维护的整体顶升钢平台顶升油缸系统，实现小油缸多点位精准顶升。发明了用于斜墙施工的爬模系统及其施工方法，解决倾斜剪力墙处架体顶升和模板支设难题。发明了用于变截面核心筒施工的爬模及其施工方法，解决墙体剪力墙厚度变化施工难题。创新了变层高的剪力墙施工技术，解决层高变化多的问题。创新核心筒收筒施工技术，解决模架系统大规模拆改影响施工工期的难题。创新整体式快速拆除技术，解决超高层狭小场地下模架平台快速拆除难题。

本成果适用于超高层多变核心筒施工，已在广西第一高楼南宁华润中心东写字楼（403m）、深圳 CBD 北区地标深业上城（南区）三期（388m）、西北第一高楼中国国际丝路中心 DK1 项目总承包工程（498m）等项目成功应用，近三年产生直接经济效益 5020 万元，经济与社会效益显著。

完成单位：中国建筑第八工程局有限公司

完成人：唐际宇、戈祥林、黄贵、刘东、丁云波、林忠和、唐阁威、宁华宏、梁月利、颜家甲

多高层装配式钢结构住宅室内隐梁隐柱体系的设计、制造、安装综合关键技术

一、立项背景

在国家、自治区大力推广装配式建筑的背景下，各地装配式建筑得到了较大的发展，与此同时，装配式建筑在设计、部品部件、施工过程中的相关技术问题需要技术人员攻关解决。本技术针对装配式钢结构住宅室内隐梁隐柱体系的设计、制造、安装进行攻关研究。

本课题以我公司承建的广西首个装配式钢结构高层住宅试点项目——柳州市莲花城保障性住房项目为依托，对装配式钢结构住宅室内隐梁隐柱体系的设计、制造、安装进行了较系统的研究，在设计、建设过程把钢结构建筑的“绿色、节能、环保”充分体现出来。

二、关键技术

(1) 多高层装配式钢结构住宅室内隐梁隐柱体系的设计：a. 标准化扁钢管混凝土柱框架支撑结构体系，b. 新型梁柱连接节点体系。

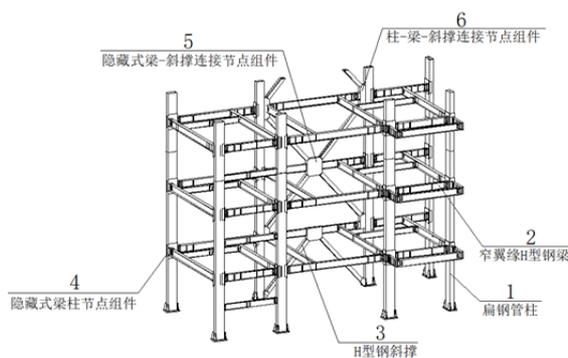


图1 框架结构体系设计图



图2 框架结构体系现场图

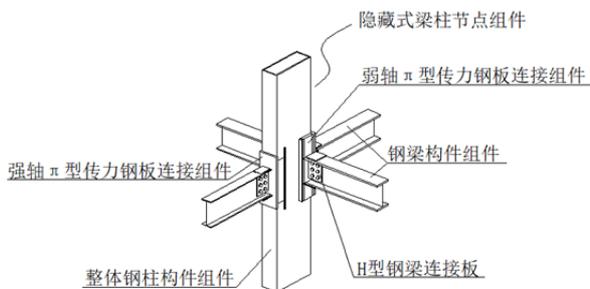


图3 隐藏式梁柱节点设计图



图4 隐藏式梁柱节点现场图

(2) 多高层装配式钢结构住宅室内隐梁隐柱体系的制造：a. 小截面构件防变形、防扭曲

加工技术；b.装配式建筑钢构件高效便捷切割技术；c. 自主研发半自动化生产线技术。

(3) 多高层装配式钢结构住宅室内隐梁隐柱体系的安装：a.高空钢柱便捷式高效安装技术；b.塔吊附墙锚固连接技术。

三、与同类技术对比

该技术被成功运用在柳州市莲花城保障性住房项目，确保了项目的顺利实施、同时降低了成本。与同类技术对比，本技术主要有以下优势：

(1) 本技术结构体系用钢量少，可降低建造成本，实用性好。

(2) 本技术梁柱及支撑均可隐藏于墙体内，与传统钢结构体系相比避免凸梁凸柱现象。

(3) 本技术结构体系形式简单，可有效提高制作安装效率。

通过在试点项目的应用测算，可产生的直接经济效益主要有：

a.体系用钢量成本直接节约情况：平均用钢量约 $57.5\text{kg}/\text{m}^2$ ，与传统结构体系相比每平方用钢量可节约 30%~40%。

b.室内有效空间增加情况：该体系的梁柱及节点能够有效隐藏于墙体内部，可以有效提高住宅的使用面积，室内空间使用率可至少提高 3%左右。

c.人工费节约情况：由于标准化程度高，构件均为工厂加工，现场装配，在制作及安装方面，综合单价可节约约 15%~20%。

四、推广应用情况

本技术首次使用在柳州市莲花城保障性住房项目一期(共 3 栋),经过该项目一期的实践,并经过总结和改进后,被再次成功应用在柳州市莲花城保障性住房项目二期(共 7 栋)。该项目为广西及国家级绿色科技示范工程,在行业内起到了积极的示范作用。经过实践证明,本技术成熟度较高,该技术具有很强的可复制性,可以较大面积的推广。



图 5 室内装修完成效果图

五、相关知识产权及荣誉

该技术获得发明专利授权 2 项，实用新型专利授权 6 项，省部级工法 5 项，发表论文 1 篇，主编地方标准一部，工程建设科学技术进步奖二等奖 1 项等，广西建筑业联合会科技成

果评价为国内领先、装配式钢结构住宅方面国际先进。

完成单位：广西建工集团第五建筑工程有限责任公司

完成人：吴嘉琦、高志鹏、李书文、白洁俊、彭何新、莫德荣、陆深成、徐书佳、潘家祺、梁超群

水蓄冷空调智控技术及多级等压流体布水系统

当前电力系统的峰谷用电矛盾日益突出，为平衡电网峰谷负荷、减缓电厂和输配电设施的建设和投资，许多地方电力公司纷纷推出应对峰谷电需求的分时电价政策，国家发改委、工业和信息化部等六部门发布《电力需求侧管理办法》，明确提出鼓励低谷蓄能，水蓄冷空调正是基于此得以应用。

创新点一：冷水机组上下游串联大温差蓄冷智控系统

由常规的冷水机组并联系统改为串联系统，蓄冷温差达到 9°C ，实现水蓄冷要求的 4°C 蓄冷温度，同时在主机供冷时满足冷冻水进出水温度 $7/14^{\circ}\text{C}$ 的目标。针对本次研究项目自控系统应用了蓄能系统多工况优化智控技术、冷冻水大温差智控技术、机组高效运行群控技术、多区域能量平衡智控技术等。借助这几项智控技术分别实现了以下功能：

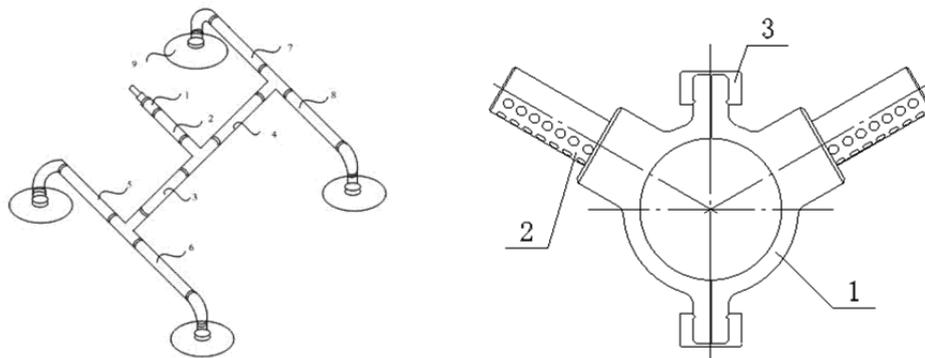
系统自行判断负荷情况，拟定最佳负荷策略表，得出系统所需的运行工况，然后自动切换至所需工况值；

采用定温差变流量自控技术，保证大温差系统节能高效并稳定地运行；

利用自控管理系统，检测各机组的运行状态，在满足系统用户负荷的基础上，根据负荷变化，通过关闭一些冷水机组，使运行的冷水机组尽量处于高 COP 区域运行，提高机组的运行效率，达到冷水机组节能降耗的效果；

基于能量分配平衡的动态水力平衡控制装置，实现全局水力工况的系统性水力控制，确保各个环路回水温度趋于一致，使得末端设备所获得的冷量与需求量大致平衡。

创新点二：采用带均流装置布水器的多级等压流体布水系统

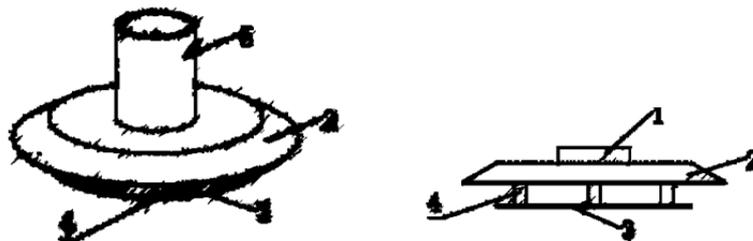


布水系统由带均流装置的布水器、多级等径同长的连接管及管件和节流均压管组成，布水系统通过节流管与其之外的主干管相连，起到流体各进口均压作用。流体由主干管流经节流均压管，经稳压均分后再通过短管分配至多级等径同长的连接水平管，在最后一级水平管

端部布置带均流装置的布水器，实现布水点各区域均匀。

带均流装置的布水器由套筒、喷嘴和压扣组成，通过调节小孔数量改变出流的截面积，以达到调节流量的目的。根据布水点距布水器管道入口的距离，可调节水流分配大小及出流的方向，减小出水对周围水域的扰动，保持斜温层的稳定；该布水器占用空间较小，布水范围较广，可有效利用水池的空间。

创新点三：采用带碟形布水器的多级等压流体布水系统



布水系统由碟形布水器、多级等径同长的连接管及管件和节流均压管组成，布水系统通过节流管与其之外的主干管相连，起到流体各进口均压作用。流体由主干管流经节流均压管，经稳压均分后再通过短管分配至多级等径同长的连接水平管，在水平管两端在垂直分配至等径同长的连接垂直管，垂直管端部安装碟形布水器。

碟形布水器由扩散盘、挡水盘、布水器连接件、挡水盘连接件组成。该布水器增大了出流截面积，降低了水流速度，水流在扩散盘和挡水盘的整流作用下实现水平方向 360° 均匀布水，提高了布水的均匀性，减弱了水流对斜温层的冲击，有利于保持斜温层的稳定；同时由于水流在垂直水平面方向上速度分量大大减少，有效降低了混流层的厚度，提高了水蓄能装置的有效利用容积。

获授权发明专利 1 项、实用新型专利 2 项、软件著作权 4 项。发表《新型 H 型水蓄冷布水器的设计与数值模拟研究》。

以上技术的应用，使水蓄冷系统的综合蓄冷性能系数 COP 得到提升，相同蓄冷量所需输入电能减少，运行费用降低。

该水蓄冷技术在许多项目中得到实践应用，如中国第一汽车股份有限公司技术中心项目（总蓄水容积 15000 m^3 ）、上海浦东前滩天然气分布式能源项目（总蓄水容积 29340 m^3 ）、武汉光谷国际生物城水蓄冷工程（ 7368 m^3 ）。通过项目实践，获得了实地的安装调试经验，技术也更加成熟。

完成单位：杭州华电华源环境工程有限公司

完成人：郭盛桢、王宜新、孟祥来、王子焯、谭志雄、周慧文

大跨钢结构大倾角带支架滑移及有约束 提升施工技术

一. 研究背景及意义

1.1 提出问题或需求

随着全民生活水平的不断提升，人们对旅游、娱乐、运动等活动方面的追求不断提升，上述活动的增加对大空间钢结构场馆的需求也大幅增加，近年来各类体钢结构育场馆、展览馆、机场甚至是室内滑雪场的建设量越来越大。

1.2 分析问题，找到主要矛盾

1) 跨度大、高度高、造型复杂，施工难度大。

2) 场地狭小，由于城市用地越来越紧缺，一般可供钢结构使用的场地都非常小，如何高效运用有限的施工场地对工程的顺利开展十分重要。

3) 工期紧、交叉作业多，一般与混凝土结构施工、维护结构施工等交叉进行，需要合理的安排工序。

1.3 提出解决问题的工作思路和技术路线

本课题依托哈尔滨万达文化旅游城产业综合体-万达茂项目，总结出可以解决以上难题的相应技术，旨在提升大型钢结构场馆的施工技术，从而推动大型钢结构场馆施工技术的发展。

二、 关键技术内容

根据倾斜的屋盖以及倾斜雪道层楼板之间的关系，创新设计使用倾斜式滑移轨道。选用承载力较大雪道层桁架作为轨道支架的着力点，支架根部与雪道结构刚性连接，保证稳定性，顶端与轨道铰接，确保竖向传力；屋盖与轨道之间的支架为避免在顶推滑移过程中变形，在支架沿滑移方向设置斜撑和预应力钢绞线斜拉索，屋盖支架根部设置滑靴。在滑靴上设置顶推油缸，另一侧设置防滑夹轨器，避免整个滑移体系在受到外力作用下向下串行。选用先进的电液比例控制技术，控制精度高；

为克服施工场地的局限性，实现屋盖整体提升，将屋盖与侧桁架之间的刚性连接临时断开。综合考虑提升变形和杆件附加应力，将提升点设置在跨中，在提升点处设置临时提升架。提升架根部为混凝土结构，采用在混凝土梁受荷点位置做人字撑的形式将竖向力通过支撑传递给两边混凝土柱上，或在架体根部做框架转换，将提升架竖向荷载通过转换梁转换到周边的柱子上。

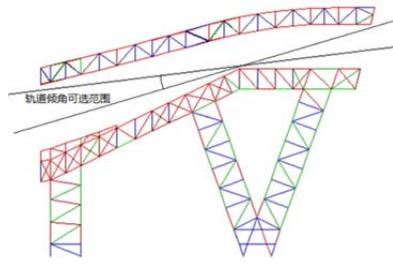


图1 滑移轨道可选倾角范围示意图

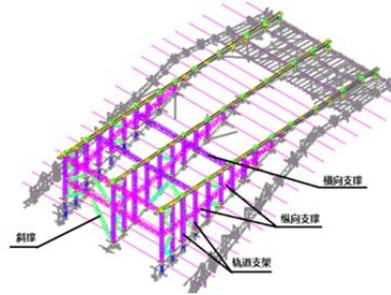


图2 轨道斜撑及支撑示意图

三、推广应用情况

与传统采用综合吊装的安装方法相比，带支撑大跨度屋盖高空倾斜累积滑移施工技术具有以下优点：1) 大部分工作由地面拼装完成，高空分块数量减少，施工速度快，施工周期短，节约工期 15 天；2) 临时支撑数量减少，节约胎架约 160 吨；3) 缩短大型吊装机械的使用周期，节约成本 200 万元。大跨屋盖跨中两点式有约束提升施工技术具有以下优点：1) 大部分工作由地面拼装完成，高空补杆数量少，施工速度快，节约工期 18 天；2) 避免了对混凝土结构进行结构加固；3) 通过约束系统降低了提升架规格尺寸，共计节约成本 162 万元。



哈尔滨万达茂东区钢结构屋盖施工中针对其屋盖体量大、跨度大、高度高、场地狭窄等特点，创新采用的“带支撑大跨度屋盖高空倾斜累积滑移施工技术”、“大跨屋盖跨中两点式有约束提升施工技术”在钢结构领域有着非常广泛的推广应用前景。本施工技术为今后类似的钢结构工程施工提供了可靠的成功应用经验。

四、相关知识产权及荣誉

该成果获得中施企协科技技术进步奖 1 项、专利 6 项、省部级工法 2 项，核心期刊发表论文 13 篇，并获得中国建设工程“鲁班奖”、国家优质工程金奖、住建部绿色施工科技示范工程优秀项目、中国钢结构金奖杰出大奖等。

完成单位：中国建筑第二工程局有限公司、中建二局第四建筑工程有限公司

完成人：张伟光、王全逵、王健涛、高清涛、张运、林长胜、裴金春、宁鑫、李志超、姚立超

装配式混凝土结构同层浇筑施工技术

一、研究背景

目前国内装配式混凝土剪力墙结构技术研究应用已取得了一定成就，最具代表性的是套筒灌浆连接及约束浆锚连接两种方式。但以上技术存在套筒等孔道埋件用量多、安装对孔繁琐、注浆作业量大、连接质量不易检查、楼板无法连续施工等共性难题。我公司依托国家部委科技支撑计划等重点研发项目，开展装配式混凝土结构建筑技术与应用攻关，研发出“装配式混凝土结构同层浇筑施工技术”，攻克了上述技术瓶颈，作为套筒灌浆、浆锚连接以外的第三种工艺，颠覆了社会对装配式建筑成本高、难度大、隐患多的认知，从根本上解决了装配式建筑高效施工（要求构件连接工艺简单，提高现场施工速度）与工程质量（要求构件连接可靠，满足结构性能要求）之间的矛盾，提升了装配式剪力墙结构在住宅建筑领域中成本、效率、质量等方面的优势，填补了国内外相关技术空白，对于推动我国装配式混凝土建筑的发展具有重要意义。

二、关键技术内容

1.创新研发出预制剪力墙竖向搭接连接技术。该技术是将预制墙体竖向钢筋在底部与下部预留竖向钢筋进行搭接连接。不同于全部使用套筒、浆锚搭接连接的预制墙体，该技术应用可大量减少灌浆套筒、波纹管用量，现场钢筋安装便捷高效，有效降低生产建造成本（如图1）。

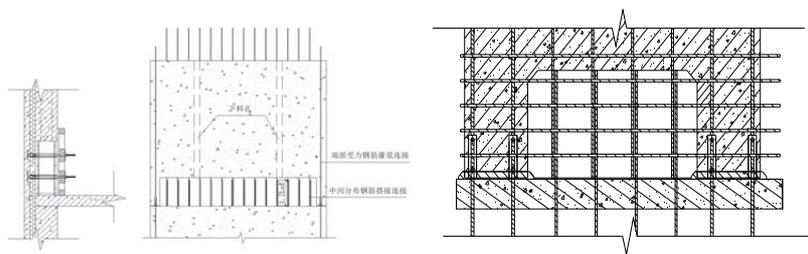


图1 剪力墙竖向搭接连接技术

2.创新研发出预制剪力墙底部预留后浇区施工技术。该技术主要通过预制墙板底部预留“凹”型后浇区域，后期浇筑混凝土来实现结构墙体连接。该技术可以实现墙体安装全程“透明化”施工，便于钢筋连接质量检查验收，同时使线盒管线安装更为便捷，作业更高效质量有保证。通过42片足尺试验构件的结构力学性能和抗震性能试验，采取多种不同轴压比、配筋方式、剪跨比等变量测试，对比同规格现浇剪力墙，验证了本技术应用结构“等同现浇”的抗震性能（如图2）。



图2 剪力墙结构墙体竖向连接结构抗震性能试验和施工应用

3.本专利技术首创了预制混凝土墙体预留孔道灌注技术。在墙体制作时预留有贯穿顶部与后浇区的孔道，混凝土通过孔道灌入，实现同层墙体与叠合楼板混凝土一次性浇筑。缩减工序间隔时间，提升施工效率。(如图3)。

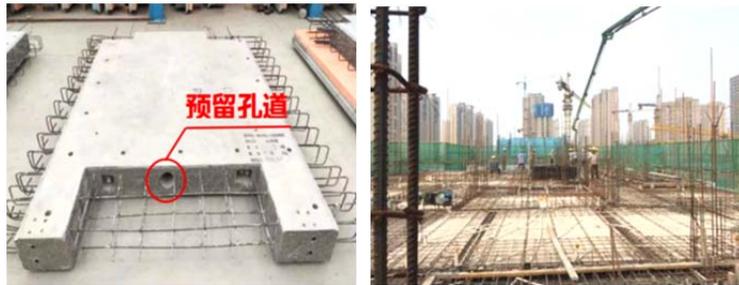


图3 预制剪力墙底部预留后浇区施工技术

三、与同类技术对比

序号	底部搭接连接技术	套筒、浆锚连接技术	技术优势
1	节省 80% 以上孔道埋件， 缩减 生产周期及成本。	灌浆套筒等孔道预埋配件多，制作步骤多，精度要求高。	制作效率高
2	后浇区搭接连接，混凝土替代灌浆料， 节省 材料 降低 成本。	现场用料多，拌制工序多。	建造成本低
3	现场对孔、灌浆作业少，墙体楼板 一次性 浇筑， 缩减 工期 1天/层 。	孔道数量多，安装纠偏繁琐；注浆工作量大；楼板、墙体施工间隔期长。	安装效率高
4	后浇区钢筋、管线全程 透明化 作业， 隐蔽质量有保障 。	现场注浆过程无法控制，只能凭借出浆孔溢浆观察，后期检测麻烦。	质量有保障

四、推广应用情况

本技术通过企业研发和营销的有机相结合于 2013 年开始批量应用，在唐山市丰润区浭阳新城项目五区 9#楼 10#楼、唐山浭阳新城二区 A-4-6 地块商住楼项目 7#楼、浭阳新城五区一期项目、浭阳新城 D-1 地块商住楼项目等工程中完成了该技术的推广应用工作，具有显著的经济效益和社会效益。



图4 技术推广与应用

五、相关知识产权及荣誉

该技术累计申请专利 44 件，授权 20 件；获省部级工法 2 项；参编地方标准 1 项。获中施协科技进步一等奖 1 项、河北省建设行业科技进步一等奖 1 项。

完成单位：中国二十二冶集团有限公司

完成人：张晓峰、常彬、徐亚婷、索屹楠、覃小军、孙世生、田若瑜、任浩德、鲁川、高杰文

气旋型网球中心主体结构关键技术

一、立项背景

武汉光谷国际网球中心主场馆工程是一座多功能体育场馆。该工程建设期间，创造了 6 项中国“之最”。该工程完工后即作为国际女子职业网球赛比赛用地。

本工程环形预应力张拉长度 117m，且环梁与斜梁节点设有钢骨柱，预应力环梁同步张拉预应力筋难度较大，如何确保结构安全和施工质量。本工程，空间网格结构固定屋盖最大跨度达 123m，预应力拱形桁架结构活动屋盖最大跨度 76m、可开合面积 4200m²。如何解决安装、施工、验收等施工难点，确保结构安全和施工质量。本工程造型独特，由 64 根双曲变径钢结构气旋与曲线拱共同组成“旋风”的造型。气旋的截面随着扭曲方向和空间位置的不同而改变。如何解决曲线拱及双曲结构钢板气旋一次性施工的支撑体系问题、双曲结构不规则钢板气旋现场拼接的不稳定性问题、双曲结构钢板气旋的吊装不稳定性问题。本工程看台支承结构为 Y 型柱上悬挑预应力斜梁。为满足看台板要求，斜梁上部设置挑耳，施工难度较大。斜梁截面尺寸大，端部截面尺寸达 1000mm×2400mm。斜梁内置工字形钢骨，最多处要穿 59 根钢筋。斜梁内置预应力波纹管管径较大。如何解决超重大斜梁与高出梁面挑耳一次性施工的模板支撑体系问题、斜梁混凝土浇筑对斜构件的下部产生较大的水平推力问题、预应力波纹管无法通过和波纹管破坏，无法进行预应力钢绞线穿束的问题。本工程结构复杂，存在大量斜梁，脚手架验算无法采用品茗等计算软件计算，如何在保证工程安全及质量的前提下，节约了成本及工期。如何通过施工过程中对主体结构、固定屋盖钢结构、活动屋盖钢结构、关键节点的受力及变形量情况进行监测来确保结构的施工质量和工期。

二、关键技术内容

1、通过实施“斜梁预应力铺放、预应力筋与梁箍筋和吊筋的位置关系处理，梁柱节点处非预应力筋绑扎顺序，张拉端设置扶壁技术，张拉端临时张拉孔的留设方式，预应力张拉顺序及方法、环形预应力张拉、施工监测”等关键施工技术，解决了环梁与斜梁节点的预应力施工，117m 长环形预应力张拉等施工难点。

2、通过计算机模拟大跨度预应力钢结构安装过程，模拟分析张拉过程，通过分析设备调试内容确定调试过程；成功实施了“开合屋盖结构施工、大跨度预应力钢结构施工、活动屋盖设备调试及验收”等关键施工内容，解决了屋盖跨度达 72m 的双层开启屋盖的安装、施工、验收等施工难点。

3、通过“梁外侧面焊接半球形支座，固定屋盖网架焊接球节点处焊接钢管支座”、“气旋侧面放置于胎架平面上，其余部位用加筋板或垫型钢”、“双机抬吊法进行钢板气旋吊装，主吊机在构件中部和上部设两个吊点，辅助吊机在构件根部设置吊点”等关键施工技术，解决了曲线拱及双曲结构钢板气旋一次性施工的支撑体系问题，解决了双曲结构不规则钢板气旋现场拼接的不稳定性问题，解决了双曲结构钢板气旋的吊装不稳定性问题。

4、通过“斜梁与挑耳同步施工支模架技术、穿高跟鞋原理对斜梁分段、采用 BIM 建模技术提前确定开孔和连接板位置、根据波纹管位置对预应力梁的钢筋深化设计”等关键施工技术，解决了超重大斜梁与高出梁面挑耳一次性施工的模板支撑体系问题，解决了斜梁混凝土浇筑对斜构件的下部产生较大的水平推力问题，解决了劲性斜梁钢骨预开孔，解决了预应力波纹管无法通过和波纹管破坏，无法进行预应力钢绞线穿束的问题。

5、利用有限元软件，对满堂架杆件变形、二层楼盖承载力进行验算分析，同时通过结构构件分段、分层、混凝土多次浇筑等施工技术措施，解决了线荷载达 72kN/m，局部预应力扶壁位置达 120kN/m 的模板支撑安全问题。

6、通过“测定节点初始弹性刚度、弹性承载力和极限承载力、测定节点部位主要构件在竖杆壁板表面产生的局部凹凸相对变形、孔道摩阻试验、钢绞线截面应力监测、固定屋盖结构监测、活动屋盖结构监测”等关键指标监测，预测后续施工过程的结构状态，提出防范措施，调整施工工艺和技术方案，使结构的位置、变形和内力处于有效的控制之中。

三、与同类技术对比

1、湖北省建设科技计划项目《复杂多层焊接球网架施工技术》达国内领先水平；《高空超大截面重载梁满堂架施工技术》达国内领先水平；《体育馆复杂结构体系施工过程中结构健康监测施工技术运用》达国内领先水平；《体育馆预应力整体施工技术》达国内领先水平；

2、《超长环向预应力施工方法》，查新结论：国内未见研究与委托方查新点相同的超长环向预应力施工方法的报道。《变截面斜梁施工方法》，查新结论：国内未见研究与委托方查新点相同的变截面斜梁施工方法的报道。《钢板气旋及曲线拱施工工法》，查新结论：在所检国家级工法、浙江省级施工工法中未见有报道。

四、推广应用情况

可在类似工程中推广运用，为类似结构施工的研究和发展提供了很好的工程实践经验。

第五段 相关知识产权及荣誉

1、专利

(1) 获得发明专利 2 项：“变截面预应力斜梁的施工工艺”、“体育馆看台斜梁及其施工

工艺”。

(2) 获得实用新型专利 4 项：“变截面预应力斜梁”、“双曲变径钢结构气旋的拼装结构”、“体育馆看台斜梁”、“一种超长环向预应力环梁”。

2、工法

获得省级工法 3 项：《钢板气旋及曲线拱施工工法》、《变截面斜梁施工方法》、《超长环向预应力施工方法》。

完成单位：浙江省一建建设集团有限公司

完成人：崔峻、丁民坚、焦挺、朱珉、柯步敏、钟逸晨、郑晓烽、张加铖、应佳航、沈利斌

新型逆作法梁板施工悬挂支撑体系施工技术

一、技术研究背景

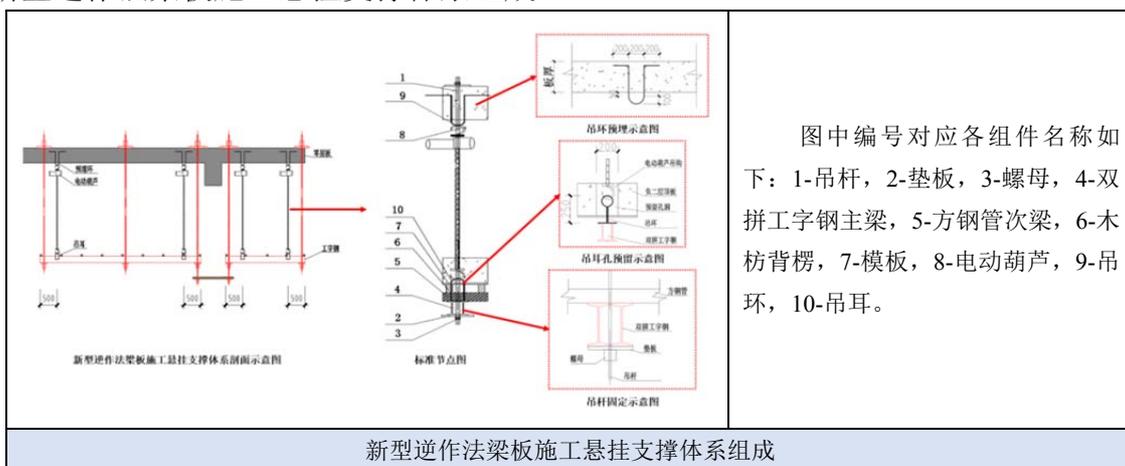
逆作法施工中在逐层向下施工各层水平结构时，传统做法为采用土模法或超挖搭设满堂架法。土模法具备施工速度快、成本低等优点，但结构外观施工质量差，易受地基沉降影响，雨季施工困难。

超挖搭设满堂架法结构外观质量易保证，但需等上一层水平结构的混凝土强度达到拆模条件后将模板架料拆除倒运至地上，然后再进行下一步土方开挖及结构施工。每施工一层水平结构，模板架料需倒运两次，且地下室顶板施工完成后材料转运困难，工期长、成本高，超挖对基坑的变形控制极为不利。若基槽内遇淤泥质土，承载力较低，土模法及超挖搭设满堂架法均存在一定的质量、安全隐患。

如上所述，因为传统逆作法地下水平结构施工时，模板架体重复安拆、倒运工序多，工人劳动环境恶劣、工作强度大，模板工程施工占用工期长，所以有必要对逆作法模板悬挂技术进行探索研究。

二、关键技术内容

新型逆作法梁板施工悬挂支撑体系组成

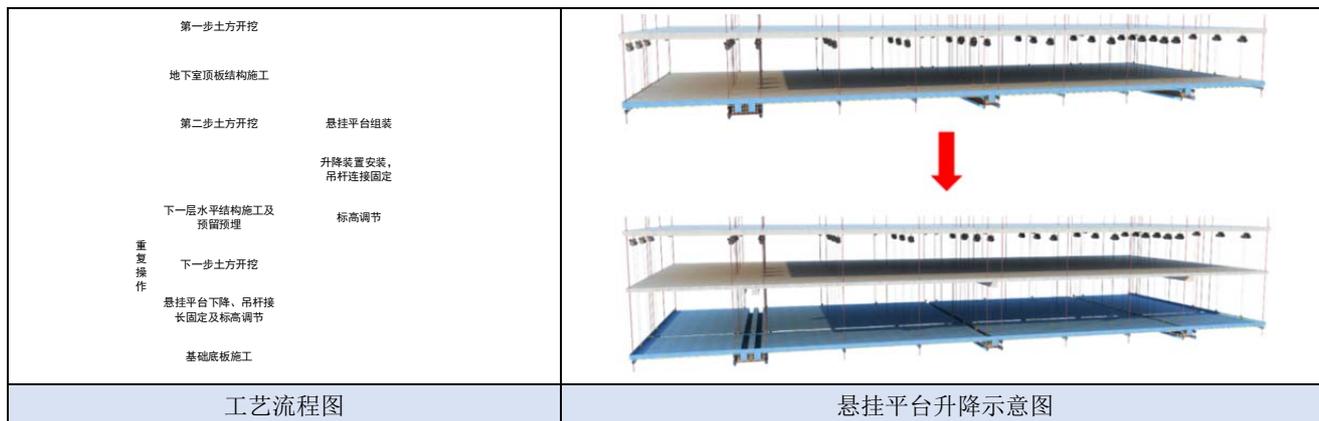


施工工艺流程及操作示意

本技术设计并应用了一种用于逆作法梁板施工的悬挂支撑体系。该体系采用型钢作为水平结构模板支撑，利用吊杆将支撑体系悬挂在上层水平结构上，不需搭设架体，施工方便，可大大缩短施工工期，同时也可有效保证结构施工质量，解决软土地基承载力不足等难题。

此外，该体系还设计了电动升降装置，每层结构施工完成后，可将悬挂体系下放至下层

标高直接使用，直至基础底板施工。大大提高了施工自动化水平，降低了施工成本，提高了施工效率。施工工艺流程及悬挂平台升降示意图如下。



三、与同类技术对比

本技术相较于传统做法具有可缩短施工工期、岩土地质条件适用性广、有利于基坑变形控制、结构施工质量好等优点。并且本技术的最大优势在于悬挂平台可以层层递进连续使用，梁板施工体系一次成型之后，就可以使用至地下施工结束，逆作法地下建筑施工层数越多，其产生的效益就越高。

以本技术为重要组成的课题成果经湖北省建筑业协会科技成果评价为国内领先水平。

四、推广应用情况

地铁 3 号线王顶堤站整理地块（迎顺大厦）项目位于天津市南开区迎水道与苑中路交口位置，距离地铁车站结构近、场地狭窄、地下水位高、土质差，若采用常规超挖搭设满堂支撑架法施工，需要超挖 2.5m 左右，并需对淤泥质土层进行处理。

因此该工程在地下室水平结构施工阶段采用新型逆作法梁板施工悬挂支撑体系施工工艺，有效控制了基坑变形，减少了地基处理工序，同时加快工期进度 15 天。



五、相关知识产权及荣誉

本技术已于 2020 年授权新型专利 1 项；以本技术为核心内容新型逆作法梁板施工悬挂支撑体系施工工法获得天津市工法 1 项。本技术相关内容获得中建三局集团有限公司，局工法 1 项、局优秀专利 1 项、局“百项新技术”1 项。

本技术在应用后获得天津市 2020 年度建设系统 QC 一类成果 1 项，中国施工企业协会 QC 成果一等奖 1 项，并获得中国施工企业协会首届工程建造微创新技术大赛一等奖 1 项。

完成单位：中建三局集团有限公司

完成人：汪浩、童伟猛、李文旭、商栏柱、尹文龙、张植伟、李建峰、闫晓冉、侯永宾；张水生

装配式预制构件与现浇构件三向连接施工技术

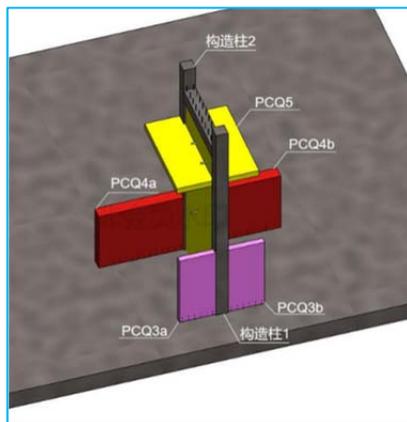
一、立项背景

本施工技术以中山大学·深圳建设工程项目设计施工总承包(I标)项目为研究背景,项目位于深圳市光明区,共16栋单体,包括8栋研究生宿舍,6栋本科生宿舍以及2栋食堂,建筑面积约36万m²,地下1层,地上25层,建筑高度92.7m。宿舍楼均为装配式建筑,包括预制外墙板、预制阳台栏板、预制分户墙、预制空调板、预制楼梯等,预制率17.78%,装配率58.17%。



项目效果图

本工程装配式结构典型连接节点如下:PCQ3a、PCQ3b、PCQ5与构造柱1后浇混凝土连接,PCQ4a、PCQ4b、PCQ5与构造柱2后浇混凝土连接,后浇混凝土连接处三个方向钢筋相互交叉打架,在吊装过程中,先吊装的PC构件的钢筋会挡住后吊装PC构件的钢筋,预制构件无法顺利吊装。

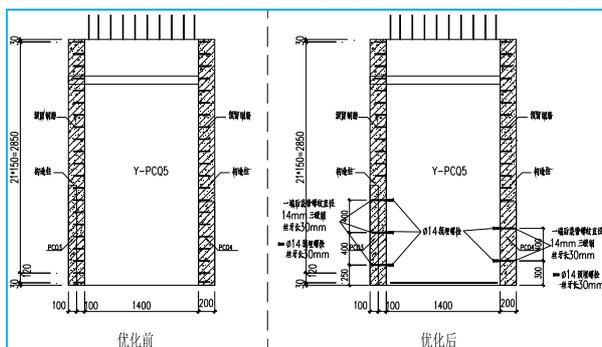


预制构件三向连接典型节点示意图

二、关键技术内容

1、预制构件预留套筒连接技术

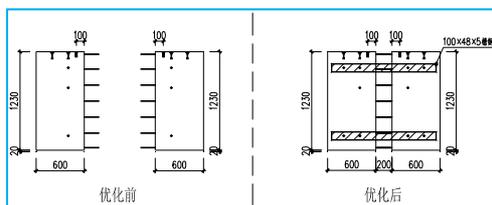
PCQ4a、PCQ4b、PCQ5与构造柱2后浇混凝土连接,后浇混凝土连接处三个方向钢筋相互交叉打架,在吊装过程中,先吊装的PC构件的钢筋会挡住后吊装PC构件的钢筋,预制构件无法顺利吊装。为解决这一难题,取消PCQ5在PCQ4标高位置区域的连接钢筋,改为预埋套筒,以保证PCQ5顺利吊装,安装就位后再将车丝钢筋拧入套筒内。



预制构件预留套筒连接技术优化对比

2、预制构件合并技术

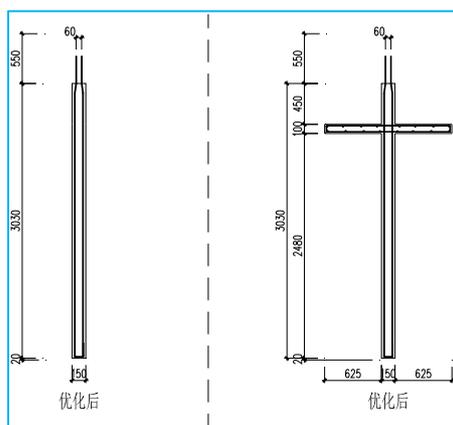
阳台栏板 PCQ4a 与 PCQ4b 钢筋连通，两块预制构件合并为一块预制构件，有效解决两块预制构件预留钢筋相互冲突问题，标准层构件吊装次数减少一半，节约工期。为保证合并后构件吊装发生扭曲，用 2 根 100*48*5 槽钢固定，保证构件吊装安全。



预制构件合并技术优化对比

3、预制空调板一次成型技术

PCQ5 原设计为一块竖板，在竖板上安装支架，用于放置空调室外机，该技术落后，支架存在掉落的安全隐患，固优化为混凝土结构板，常规做法为二次植筋（或预留钢筋），搭设支撑架、支模、绑扎飘板钢筋，浇筑混凝土，空调板成型质量难以保证。为了保证空调板的一次成型质量，避免空调飘板二次现浇结构施工，研发形成“十字”板，十字空调板在构件厂一次成型。



预制空调板一次成型技术优化对比

三、与同类技术对比

该项目针对装配式预制构件与现浇构件三向连接施工技术进行研究,将钢筋连通的预制构件阳台栏板，通过槽钢连接固定合并吊装，有效解决两板预留钢筋相互冲突问题，减少吊次，节约工期;采用预埋套筒连接技术，解决了构件间钢筋阻挡吊装困难;采用预制空调板一次成型技术，避免空调飘板二次现浇结构施工,提高了安装质量和效率，并形成了相应的施工新技术。

四、推广应用情况

应用工程名称：中山大学·深圳建设工程项目设计施工总承包(I 标)

应用时间：2018 年 5 月~2019 年 12 月。

应用效果：节约工期 84 天；节省费用 264.68 万元。

五、相关知识产权及荣誉

该项技术获得国家专利 2 项，广东省工法 1 项，荣获广东省土木建筑学会科学技术奖，上海市职工先进操作法创新奖，科技成果鉴定达国际先进水平，项目荣获建筑信息模型服务-荣誉白金级认证，第十届创新杯一等奖、第五届科创杯一等奖。

完成单位：上海宝冶集团有限公司

完成人：周晶晶、聂凤珍、朱月清、朱志鹏、夏猛、雷中华、杨勇、杨卫平、陈文博、张晓

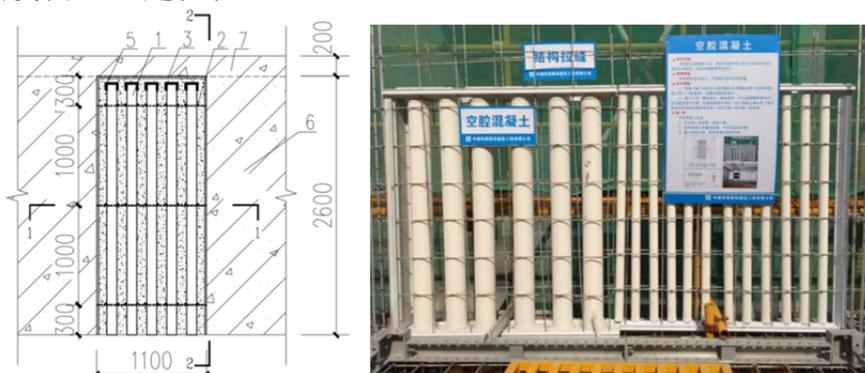
减重降刚空腔混凝土外墙施工技术

一、立项背景

在建筑施工中，在于“安全、质量、进度、环保、利润”。建筑施工领域中，剪力墙间的填充墙多数采用砌体，尤其是在铝合金模板+爬架快速施工体系中，传统砌体外墙施工需待主体结构强度达到设计值且混凝土子分部中间验收后方可介入施工，无法在爬架主体结构施工时一次性完成外墙砌筑，延长了施工工期；同时因砌体材料运输、砌筑需大量的人工及机械，无法高效利用有限的劳动力及机械设备，造成资源浪费和污染；其次因砌筑工人水平不一，砌筑质量无法保证，砌筑外墙后期抹灰等施工容易发生空鼓、裂缝、渗漏等质量问题。因此，有必要改进传统施工做法。为此，我们成立了技术攻关小组，针对传统砌筑外墙在铝合金模板+爬架快速施工体系中存在的问题进行技术攻关，通过提出优化方案→优化方案对比→设备选型/图纸深化设计→现场实施、工艺改进→技术总结→编写技术成果的工作思路和技术路线展开研究，最终形成了减重降刚空腔混凝土外墙施工技术。

二、关键技术内容

在剪力墙间的填充外墙位置，根据深化图纸竖向布置 PVC 管（1），用 PVC 管帽（5）将 PVC 管（1）封闭，并采用定位筋（2）将 PVC 管（1）固定；绑扎空心混凝土墙抗裂钢筋网片（4）；空心混凝土墙与剪力墙交接处采用结构拉缝材料（3）分割；待模板安装完成后，空心混凝土墙与剪力墙一起浇筑。



减重降刚空腔混凝土外墙结构示意图与样板

1-PVC管，2-定位筋，3-结构拉缝材料，4-抗裂钢筋网片，5-PVC管帽，6-剪力墙，7-梁（虚线为梁底）

三、与同类技术对比

（1）通过在墙体内部预埋 PVC 管，并采用定位钢筋对 PVC 管进行安装固定，来减轻墙体重量，节省施工成本；

（2）在 PVC 管外侧采用抗裂钢筋网片，防止空腔混凝土墙体开裂，提高墙体抗裂、防

渗能力；

(3) 对空腔混凝土墙与现浇结构采用结构拉缝材料进行分隔，使二者保持柔性连接，减小了结构的整体刚度，提高了承载力和抗震性能。

四、推广应用情况

本技术研究成果依托于厦门马銮湾保障房地铁社区一期工程项目进行研发，并推广至我司万科广场 2012JP05 地块 07 子地块等多个项目，受到业主、监理、政府相关部门以及社会媒体的一致好评，吸引国内各省政府单位、业主、同行慕名而来参观交流。



现场实施照片

五、相关知识产权及荣誉

本技术研究至今取得了 1 项实用新型专利、受理了 1 项发明专利；获得省部级工法 2 项；国家级 QC 一类成果 1 项；以本技术为关键技术的课题《超高住宅工程绿色快速施工集成技术研究与应用》获得省部级科技进步奖二等奖 2 项。同时，该技术经国内查新，国内无相关文献报道，经专家鉴定，达到了国内领先水平。



相关知识产权及荣誉

完成单位：中建四局建设发展有限公司

完成人：祝国梁、陈业伟、陈景镇、尧华峰、邓志民、何义龙、林凤英、刘华长、刘月霞、郭昌燮

基于数字技术的历史建筑清水砖墙精细化修缮技术

一、立项背景

近代上海清水砖建筑的艺术形式被广泛应用于各类建筑中，在“海派历史建筑”的外立面形式中颇具代表性。然而数年来，被破坏性修缮或粉刷覆盖的清水砖建筑不占少数，错误的修缮方法，正在使这些城市的“珍宝”逐渐失去光彩。目前的清水砖墙修缮工作中，存在历史资料不足、损伤情况不明、修缮方案不精细以及修缮效果不确定等诸多问题，由此，准确且可控的修缮技术对上海近代清水砖墙建筑的保护影响极大，研究如何根据建筑的历史信息与现状，科学地、精细化地对历史建筑清水砖墙进行修缮，是一项必要且迫切需要的重要工作。

二、关键技术内容

1 多源数据融合的清水砖墙查勘检测技术

将多种数字化测绘查勘手段叠加运用，提出了基于多源数据融合的清水砖墙几何信息获取技术，在实现清水砖墙原状信息采集的同时，通过逆向建模技术进行墙体变形、倾斜等损伤情况的精确查勘。通过多种取样实验检测与分析对比，形成了基于检测试验的清水砖墙物理信息获取技术，以及清水砖墙损伤视觉表征校核技术。

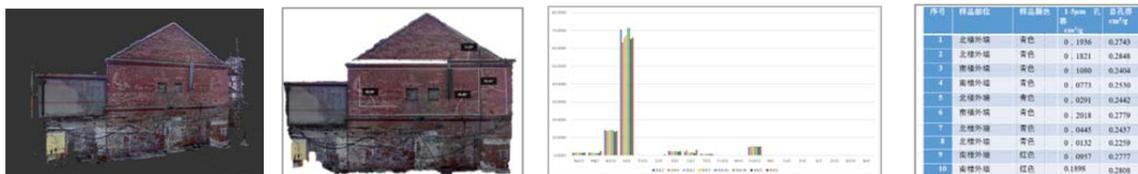


图 1 墙体倾斜情况分析 图 2 X 射线衍射实验物质比例分析图 图 3 砖块取样压汞实验结果分析

2 基于人工智能的清水砖墙损伤智能识别与诊断技术

基于清水砖墙各类损伤表现形式与成因，形成了清水砖墙损伤特征提取技术；根据损伤的视觉特征，运用神经网络深度学习模型，研发了基于复杂神经网络的清水砖墙损伤智能识别与分类技术，并以此为基础，形成了基于深度学习和计算机视觉的清水砖墙损伤评估与样本自动提取技术，建立了清水砖墙损

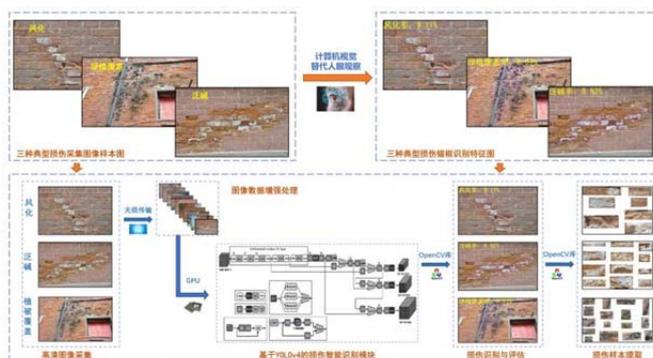


图 4 清水砖墙损伤智能识别、分类、评估与样本自动提取

伤图像样本数据库与清水砖墙损伤智能化评估体系。

3 基于数字化的清水砖墙精细化修缮工艺适配与深化设计技术

基于砖面的外观特点及损伤情况，研发了基于计算机视觉的清水砖墙自动排版技术。提出了基于传统工艺与数字化的清水砖墙修缮工艺精细化适配技术，实现了细部传统砌筑构造、适宜修缮材料的选取；创新地运用了基于数字化深化设计的清水砖墙分类分区修缮施工技术、基于数字化的清水砖墙精细化修缮深化设计技术，指导、规范现场施工并形成系统性的技术交底文件。

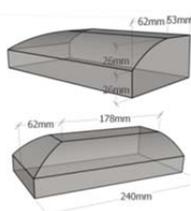


图 5 砖柱线脚精细化剔砌

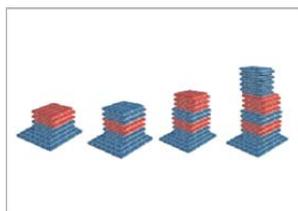


图 6 传统砖墙砌筑构造建模



图 7 清水砖墙拱券修缮排砖

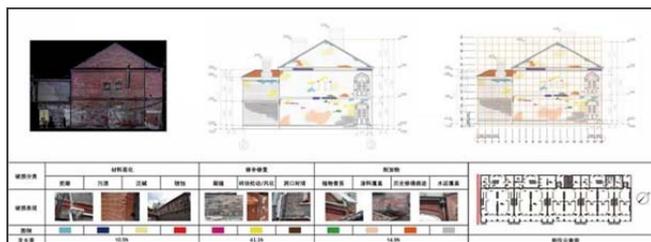


图 8 清水砖墙损伤分类分区定位图

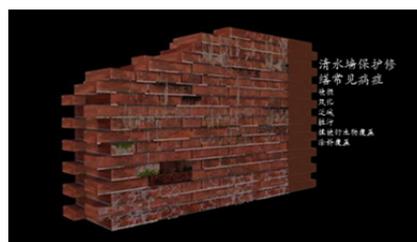


图 9 清水砖墙修缮数字化工艺动画

4 基于数字化的传统工艺传承与修缮效果评估技术

将清水砖墙修缮工艺通过高清影像及三维动画等可视化、数字化方式得以展示，在指导现场修缮施工的同时，将工艺进行传承。针对清水砖墙修缮的效果及可持续性，形成了清水砖墙修缮效果评估技术，建立了定性定量的评估标准，并重点对清水砖墙墙面平色效果、排盐效果、墙体勾缝毛细吸水率进行了研究评估，不断完善形成清水砖墙修缮效果评估体系。

三、推广应用情况

准确且可控的修缮技术对上海近代清水砖墙建筑的保护影响极大，本项目基于历史信息与现状，借助人工智能、数字化技术，实现了科学地、精细化地历史建筑清水砖墙保护修缮。形成的技术成果在上海犹太难民纪念馆、春阳里、承兴里更新改造试点项目中的得到应用，为历史建筑清水砖墙修缮技术的传承与发展提供了参考，推动了清水砖墙修缮的精细化施工与管理，保证了修缮质量与效果，取得了良好的社会效益。



图 10 上海犹太难民纪念馆

图 11 春阳里修缮前后对比

图 12 修缮后的承兴里

四、相关知识产权及荣誉

本项目共取得了 9 项成果，授权发明专利 2 项，登记软件著作权 4 项，发表论文 3 篇。获得 2020 年度建工集团科技成果三等奖。

完成单位：上海建工四建集团有限公司

完成人：谷志旺、王伟茂、何娇、张英楠、蔡观生、辛佩康、沈钟蕊、陈雪峡、任瑛楠、孙沈鹏

装配式钢结构高层住宅设计与建造一体化 技术研究与应用

一、研究背景

装配式建筑是国家近些年推进建筑业改革的重要方向，随着我国人工价格的快速上涨和劳动力的短缺，建筑工期的缩短可有效降低工程总体造价，而装配式钢结构建筑的高度工业化，使得施工现场对劳动力需求大幅减少，工期与混凝土结构相比缩短 1/3-1/2，可大大缩短建造周期和资金占用时间，提升投资效益，因此研发推广潜力巨大。因此，我司研发了适合高层住宅的模块标准化钢框架结构及“三板组合”相结合的钢结构装配式建筑体系，其经济社会效益显著，可推广性强，对十四五期间建筑产业现代化的相关政策制定有实践指导意义，对装配式建筑的推广应用具有重大意义。

二、关键技术

1、创新提出装配式钢结构高层住宅全专业一体化设计技术。综合考虑平面布局、连接节点、设备管线布置与结构的关系，采用大柱网、可改善结构抗震性能的部分钢结构偏心支撑、钢梁顶面平齐、避免室内露梁露柱等设计，使功能模块和户型布局合理，通过基于 BIM 的建筑标准化设计和多专业的一体化设计，将问题前置于设计阶段，减少现场后期拆改工作量，易于实现标准化、工业化生产。



全专业一体化 BIM 深化模型

2、创新提出了装配式钢结构高层住宅建筑性能保障和提升技术。通过对钢结构装配式高层住宅功能进行系统性研究，改进了钢结构装配式高层住宅墙板、楼板连接等细部构造做法，设计并采用可拆卸式钢筋桁架楼承板实现快速安拆，提出了一种新型楼承板与钢柱连接节点

做法、一种新型的降板连接结构，开发了 ALC 与主体结构之间的新型柔性连接节点体系，创造性采用了三道防水体系+三种防水方法相结合的防水措施等，系统改善了住宅建筑防渗、抗裂、隔声、保温性能，提高了建筑品质和居住舒适性。

三、与同类技术对比

主要创新成果	国内现有技术	本项目成果
研发了钢结构装配式高层住宅标准化、一体化设计技术	一般只针对其中一个子系统，未将建筑体系的结构、围护、机电、内装作为一个有机的整体去研究，且不关注全产业链技术，信息化很少从设计贯穿始终	形成标准化、一体化设计方案，通过全过程信息化管理协同平台，将问题前置设计阶段，实现了工厂化生产，大大提升了设计和建造效率
研发了免支撑可拆卸钢筋桁架楼承板施工技术、提出了一种新型楼承板与钢柱连接节点和一种新型的降板连接结构	在非住宅中有少量应用，但未与装配式建筑相结合形成高效建造技术	形成新的楼承板施工工艺，单栋减少工期 78 天，大大提升楼板施工效率
开发了一系列 ALC 与主体结构之间的新型连接节点体系	未见相关技术	提高了施工效率，保证了施工质量，有效改善了住宅抗裂性能
开发了与钢结构配套的“三道防水措施+三道防水方法”相结合的装配式围护系统防水体系	未见相关技术	提出了三道防水体系+三种防水方法，有效改善住宅的防水性能
研发了装配式钢结构分户墙+窄翼缘 H 型钢梁窝填充隔声体系	未见相关技术	解决了住宅保温隔声技术难题，提高了建筑品质和居住舒适性。

四、推广应用情况

本成果已成功应用于蔡甸经济开发区麦山街产城融合示范新区一期工程、湛江市东盛路南侧和农林二路公租房等项目。蔡甸经济开发区麦山街产城融合示范新区一期工程 8#楼作为公司钢结构装配式重点项目和示范工程，自 2019 年来共接待包括住建部、住建厅、区政府、行业各级协会、城投公司、设计院等外部单位参观调研共计 70 余次，为钢结构装配式业务推广与交流合作奠定了良好基础。通过一系列技术推广，公司陆续成功承接了江西信江航运枢纽工程管理区房建工程钢结构装配式建筑 EPC 项目、九江濂溪区保障性住房项目钢结构装配式 EPC 项目等 10 余个钢结构装配式项目。

五、知识产权及荣誉

项目共授权实用新型专利 21 项，发明专利实质审查 8 项，获得湖北省工法 1 项。经湖北省建筑业协会评价，项目成果总体达到了国际先进水平，赢得了社会各界的认可，对装配式建筑的推广应用具有重大意义。

完成单位：中建科工集团有限公司、中建科工集团武汉有限公司、中建钢构武汉有限公司

完成人：张耀林、欧阳超、许航、周瑜、高杰、张伟、孙一、严小霞、李萧、朱湃

一种双球嵌套网架施工方法

一、研究背景及意义

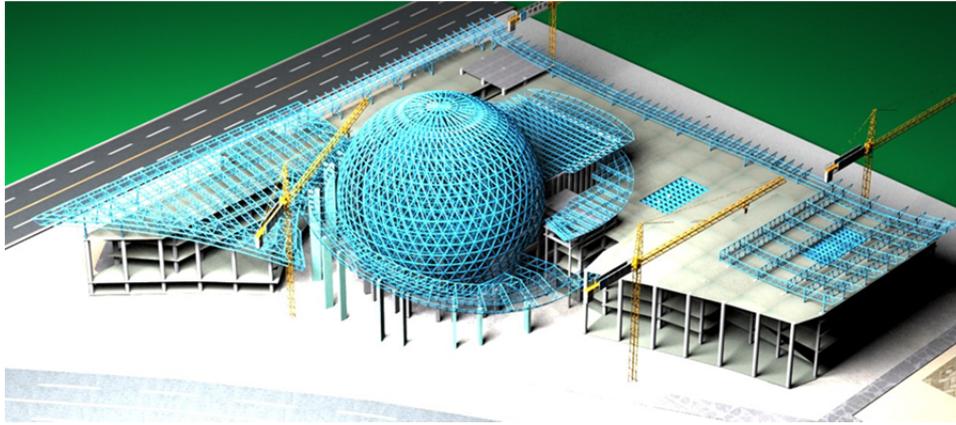
商丘文化艺术中心项目球幕影院结构为内、外两个不同心的单层球形网壳，节点采用新型鼓型节点且具有向心性，内球直径 44m，外球直径 57.2m。该结构具有构件、节点数量繁多，焊接工作量大、焊接应力变形控制难，空间曲面大、角度复杂多变，测量定位难，安装精度要求高，高空作业量大等特点，采用常规高空散件安装不仅费工费时而且很难确保施工质量，为有效缩短球形网壳施工周期长、减小高空业量和焊接应力变形、提高安装精度，降低施工成本和安全风险，研究出此创新技术成果。

二、关键技术内容

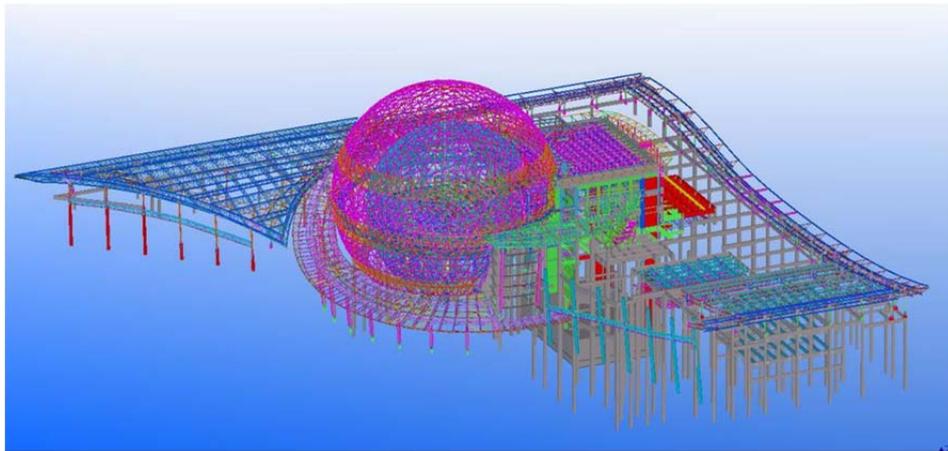
- (1) 空间单层网壳向心性鼓型节点施工测量及精度控制技术；
- (2) 一种劲型钢管平面中心定位装置；
- (3) 一种桁架拼装胎架；
- (4) 钢结构装配式支撑体系；
- (5) 分层、分区、分片的吊装方法；

三、与同类技术对比

鼓节点向心定位技术，通过坐标转换，有效解决了原有测量控制点难以捕捉的问题，实现了鼓节点在拼装及安装过程中的定位精度，减少高空作业风险，缩短了施工工期，节约了施工成本；球形网壳逐层分片安装技术，减少了高空作业量，在拼装过程及安装过程实现了整体精度控制，保证了整体安装质量。在施工过程中，利用 BIM 技术建模、工厂定制化加工与配送，现场装配化施工，充分体现了绿色建造、绿色施工、绿色发展的理念，既节约施工资源、缩短工期，又能保护生态环境，实现建筑工程绿色可持续发展。为大直径双球嵌套异形钢结构艺术场馆的建设积累了经验，随着现代社会对大型场馆需求的提高，该成果将具有广阔的应用前景。



项目整体 BIM 模型



钢结构 BIM 模型



施工效果图

四、推广应用情况

通过运用空间坐标转换，将高空中的安装单片坐标点转换到地面拼装场地，将大量的高空拼装工作转换为地面拼装作业，同时在本施工方法中创新的桁架拼装胎架、装配式支撑体

系以及分层分片的安装方法，施工操作简单，特别对于构件数量多、直接安装难度大的钢结构，标准化生产的支撑体系更简单、规范化的保证了安全施工，先地面拼装后高空安装的方法既保证了安装精度、减少了高空作业风险，又提高了施工效率，分层、分片、分区的安装方法通过补偿有效的消除拼装、安装过程以及焊接过程产生的累积误差，保证了整体的安装精度，整体施工思路清晰，操作过程更规范化、更简单、更易于控制。本发明目前已成功应用于商丘文化艺术中心项目、焦作南水北调纪念馆项目。

五、相关知识产权及荣誉

该项目最终荣获“中国钢结构金奖”，此专利通过在项目上的成功实施，取得工法成果两项：（1）向心性鼓节点内外不同心单层球形网壳施工工法（2）球形网壳鼓节点向心定位施工工法；实用新型专利授权 5 项：（1）一种可调节的钢结构临时支撑架（2）一种桁架拼装胎架（3）一种用于传递楼板集中荷载的回顶架（4）一种可重复使用的钢结构临时支撑转换节（5）一种劲型钢管平面中心定位装置。

完成单位：中建七局安装工程有限公司

完成人：卢春亭、沙庆杰、牛敬森、张世伟、龙志磊、王建、李晓辉、杜新红、李超、杨亚敏

塔吊置换及双预埋节施工技术

一、研究背景

在装配式建筑中，预制构件通常用于上部结构，地下结构仍为传统的钢筋混凝土结构。因此，地下室结构与上部主体结构施工对塔机的吊重要求、使用频率相差甚大。不同型号塔机费用相差较大，若为满足预制构件吊装，从基础施工就安装大型塔机，则基础及地下室结构施工阶段塔吊运力严重溢出，且增加了施工成本。

而不同阶段采用不同型号的塔机，则需解决塔吊置换问题。常规做法设置两个不同尺寸塔机基础，将增加施工成本，且增加穿地下室楼板的预留洞口，留下质量、安全等隐患。因此，创新性提出塔吊置换及双预埋节施工技术，可根据不同施工阶段对塔机需求，安装不同型号的塔机，且能实现在同一基础承台上进行大、小型号塔吊置换。该技术能有效解决施工过程中大、小型号塔机的置换难题，大幅度减少塔吊使用成本。

二、关键技术内容

该技术通过设计发明一种塔机双预埋节，以大预埋节内嵌小预埋节的整体形式埋入塔机混凝土基础中，无需分别埋置，就能解决大小型塔机在同一个基础承台上进行置换的技术难题。

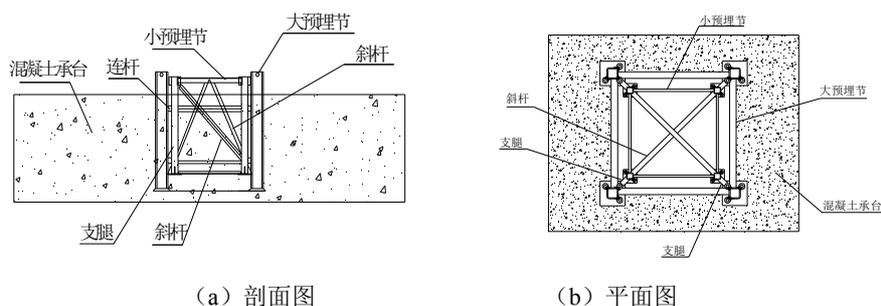


图1 双预埋节结构示意图

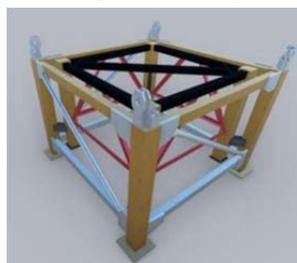


图2 双预埋节三维效果图

三、主要创新点

(1) 根据项目上不同施工阶段对塔吊臂长、吊重能力需求，结合塔吊性能参数，进行大、小型塔机选型。

(2) 发明了一种塔机双预埋节，具体技术方案为：包括大预埋节、小预埋节、连杆、斜支撑和斜杆；其中小预埋节安装在大预埋节内，大、小预埋节上表面平行，并通过连杆连接。

(3) 创新性采用塔吊置换及双预埋节施工技术，关键工艺为：双预埋节设计、制作（联合专业塔机厂家）→进场验收（对其尺寸大小、焊接质量进行验收）→基础垫层施工→双预埋节安装、加固（双预埋节水平度误差要求控制在 1‰内）→塔吊基础承台施工（在汽车吊等停放位置处的支撑梁及板面配筋做加强处理）→根据工程需要进行塔吊置换（塔吊置换时，利用围护结构作为受力面，塔吊拆除与安装严格按照大型设备要求进行，并做好安全防护）。



图 3 双预埋节进场



图 4 双预埋节定位、预埋



图 5 双预埋节安装、加固



图 6 塔吊基础承台施工



图 7 塔吊基础施工完成



图 8 塔吊与预埋节连接

四、推广应用情况

塔吊置换及双预埋节施工技术，通过多个工程实践，满足了不同阶段对塔吊需求，且有效降低了施工成本，赢得了各参建单位好评。

五、相关知识产权及荣誉

塔吊置换及双预埋节施工技术在技术创新、实践应用过程中，获得实用新型专利“一种塔机双预埋节”（ZL 2016 2 0757552.1）、国家 QC 一等奖“塔吊双预埋节创新技术”、浙江省省级工法“塔吊置换及双预埋节施工工法”等相关知识产权及荣誉成果。

完成单位：中天建设集团有限公司

完成人：陈万里、黄杰卿、曹跃军、包纯南、肖婷、王炎伟、徐红献、顾鑫、董朝晖、马云晋

基于顶模施工条件的超高层建筑核心筒局部 水平结构随竖向结构同步施工技术

一、立项背景

超高层建筑施工过程中通常采用顶模施工核心筒竖向结构，水平板后施工，与普通建筑相比，超高层建筑施工过程中无法通过水平楼板紧急上下，施工人员仅能通过施工电梯直达顶模作业层，若发生特殊情况时，仅依靠施工电梯无法紧急疏散人员，存在极大的安全隐患。同时竖向结构领先水平结构 10-20 层，随着施工高度不断增高，已完成的主体结构受力情况复杂，对于端柱、角柱的稳定性有无法预估的风险的问题。我们通过传统木模工艺，特殊部位木模+钢模结合，实现局部水平结构与竖向结构同步施工。作业人员通过挂架行走至核心筒水平楼板，通过楼层间的疏散通道逃生至地面。

二、关键技术内容

1、顶模深化设计

(1) 顶模支点、施工电梯、塔吊平面布置设计时进行合理部署，优化支点数量和布置，使内爬塔吊箱梁和顶模箱梁处于同一井筒，减少筒体空间占用，为水平结构施工提供更好的条件。

(2) 对同步施工水平结构井筒的外挂架增设覆盖一个楼层的挂架作为施工人员行走至水平结构拆模层进行拆模和建渣清理的通道并提供可靠的防护。

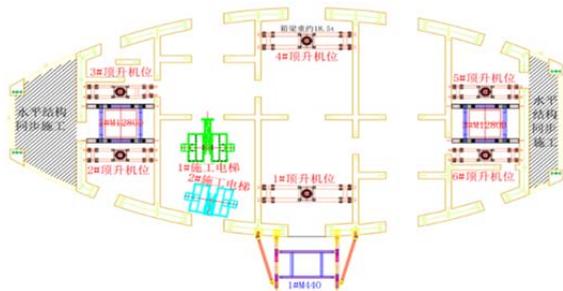


图 1 顶模支点、塔吊电梯、同步施工楼板相对位置关系



图 2 外挂架增设覆盖一个楼层的挂架

2、水平结构随竖向结构同步施工

在具备施工条件的井筒内，搭设支模架施工水平结构，水平结构周转架料配制三层，利用水平结构上的预留洞和安装在顶模钢平台桁架层的卷扬机进行架料吊运周转，实现同步施工，工艺原理如右图所示。

目标井筒采用顶升模板和散拼模板形式，完成单层结构后只需顶模系统顶升至下一个楼层。

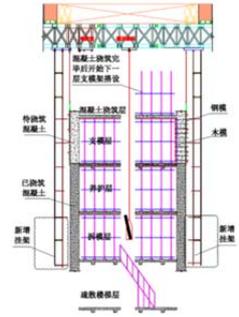


图3 剪力墙位置同步施工示意

3、应急疏散通道搭设

水平结构施工完成后，使用水平结构上机电预留洞作为应急疏散楼梯搭设洞口，上下两层预留洞口通过疏散楼梯连接，可使实现紧急条件下的人员上下，从而形成超高层建筑核心筒应急疏散系统。



图4 疏散通道搭设



图5 疏散通道效果图

三、与同类技术对比

1) 挂架内施工避免临边高处作业；

2) 定期组织工人进行应急演练，作业人员熟悉紧急通道布置，发生紧急情况时，作业人员可直接利用逃生通道紧急逃生，现场实施效果良好；

3) 局部水平板同步施工，角柱与主体结构可靠连接，结构稳定性高，避免了结构隐患风险。

4) 相对传统采用定型化钢楼梯作为应急逃生通道，将悬挂于顶模桁架上，其设计、制作、安装复杂。实施本施工技术，采用钢管搭设疏散楼梯，下部钢管可随外框进度周转，此项减少措施费用投入约 109 万元。

四、推广应用情况

核心筒局部水平结构同竖向结构施工，提高了顶模施工效率，利用水平楼板结构预留洞口搭设钢管架疏散楼梯，操作简单，成本低廉，产生总体直接经济效益约 122.28 万元。

本技术解决了顶模作业人员在施工电梯损坏、突发断电、火灾等特殊情况时上下顶模的问题，为超高层解决消防问题提供了经验和思路，施工作业安全得到保障。本施工技术将促进超高层施工技术的进步，项目多次获得业主表扬信表彰。

五、相关知识产权及荣誉

1、科技查新

已通过科技查新，并通过重庆市建筑业协会鉴定，达到国内领先水平，具有较好的推广前景。

2、发明专利

已获得实用新型专利 1 项，受理发明专利 1 项。

3、工法、论文

已获得重庆市级工法，并发表论文 1 篇。

完成单位：中建三局第三建设工程有限公司

完成人：廖继、张志华、张步月、田喜胜、王军、冯吉、文方仁、苏松、杨鑫、杨彪、李胜朝

PC 卫生间沉箱整装施工技术

一、研究背景

卫生间的渗漏是所有房屋内的渗漏问题影响最大的地方，对人民的美好居住生活的是影响最大的，因此提出了保证卫生间沉箱 100%无渗漏的需求。分析卫生间产生渗漏的关键原因，是在进行混凝土沉箱浇捣时受工人操作情况、天气原因、混凝土质量控制等各方面原因，容易引起质量的不均衡，因此提出了卫生间沉箱采用工业化制造工艺，最大限度地提升卫生间沉箱的施工质量，并将相关的对应与结构楼板结合的部位都布置在卫生间沉箱外，用以保证卫生间的施工质量。并利用铝模施工精度高的优势，可以确保卫生间沉箱的安装精度。

二、关键技术内容

该技术通过对卫生间结构板（包括高低跨降板）、卫生间反坎、卫生间 N-1 层处下挂结构梁、卫生间给排水管道、强电套管等组合成整体的 PC 卫生间沉箱，整体吊装安装在标准层卫生间处，PC 构件四周预留钢筋与周边现浇结构梁板内钢筋绑扎锚固，然后与现浇板浇筑成一个整体。

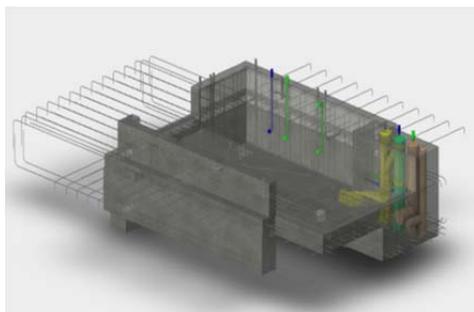


图 1 PC 卫生间沉箱模型



图 2 PC 卫生间沉箱安装样板

工艺流程：铝膜及 PC 图纸深化、方案编制→PC 卫生间沉箱工厂化预制及养护→PC 沉箱运输并进场验收→标准层铝模拼装→PC 构件支撑架安装→PC 卫生间沉箱吊装→PC 沉箱预留钢筋与周边梁板钢筋绑扎→铝模与 PC 构件之间空隙的塞缝处理→楼面混凝土浇筑→拆模及浮浆处理

通过在工厂化拼装铝合金模板，所有水电及预埋都直接贴合到铝模模板上，确保每个 PC 沉箱构件预埋的一致性，同时在室内浇筑混凝土，避免了因为室外恶劣天气（大风、大雨、大雪）的原因而影响每个卫生间 PC 构件的浇筑质量，养护阶段是统一专人管理，养护天数及温度都能满足要求。



图3 沉箱 PC 浇筑



图4 铝模拼装及卫生间位置留洞



图5 PC 沉箱安装

三、主要创新点

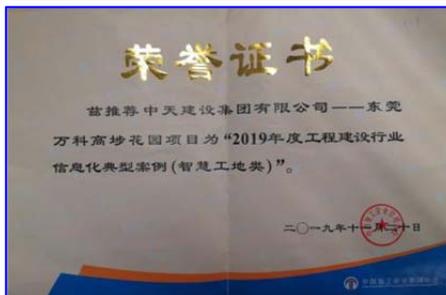
- (1) 卫生间结构板、卫生间反坎、卫生间给水管、卫生间强电管道整体预制，整体安装；
- (2) PC 卫生间沉箱预留与周边梁板锚固的钢筋，PC 整体吊装安装完成后预留的钢筋直接跟现浇板钢筋绑扎锚固，现浇板浇筑完成后与 PC 构件形成一个整体；
- (3) 标准层卫生间湿作业区全部在 PC 卫生间沉箱整体部分，在干作业区与现浇板拼接，避免了卫生间的渗漏风险；

四、推广应用情况

PC 卫生间沉箱整装施工技术在东莞高埗万科花园项目、佛山万科美的西江悦花园、东莞翡翠花园项目部应用了大量的 PC 卫生间沉箱整装施工技术，

五、相关知识产权及荣誉

获得中国建筑业协会 QC 成果 II 类成果、中国施工企业管理协会智慧工地应用、广东省级工法、广州市工程建设科学技术进步奖及相关专利等荣誉及知识产权。



完成单位：中天建设集团有限公司、中天华南建设投资集团有限公司

完成人：彭建良、邓志峰、刘路、吉登松、王立新、卢帅、刘华、贺阳、纪学灵、陈志军

大型仿唐建筑翼角飞檐现浇施工关键技术 研究与应用

一、研究背景

翼角是古建筑屋顶的显著特点之一，挑出深远、反宇向阳的檐头和檐口两端渐渐起翘的翼角，使得中国古建筑的造型极其优美生动。翼角也是施工难度最大的部位。

本工程中的翼角飞檐模板施工是工程实施过程中的重点、难点：

1、为尽量贴近唐式原汁原味的建筑风格，需要在业主方案图以及设计院图纸基础上进行大量的深化设计工作，尽可能的按照唐式的建筑法式完成施工。深化设计工作是建筑成型效果的关键所在。

2、飞檐椽子分为正身椽和翼角椽，正身椽的椽子间距 150mm 一道，椽子数量多，翼角处飞檐结构复杂，翼角处有起翘和冲出，翼角处椽子成放射形排布，要做到“阴阳角一刀切、平整一条线”的效果，椽子的间隙大小确定、如何均匀排布及模板支设是难点所在。

3、翼角椽根部间距狭小，模板支设和拆除的难度很大，模板的选型和安装方法是本工程需要解决的难点所在。

4、翼角飞檐要有平面和竖向的双曲度，双曲部位的底模标高定位测量放线技术是重点。

5、飞檐距离地面高，悬挑长度长，模板支撑体系要保证足够的稳定性和强度，尤其是重檐部位的模板支设是施工时重点。

二、关键技术及创新点

1、运用 BIM 软件进行施工模拟和深化设计；

深化顺序：①古建设计的初步深化图→ ②利用 SketchUp 草图大师建立飞檐翼角模型 → ③将翼角模型导入到 Revit 建立整体结构三维立体模型 → ④通过利用 Revit 建立的不同造型，通过古建专家认可，择优选定最终的优化方案 → ⑤再将翼角飞檐导出平面 CAD 图纸，进行飞檐翼角椽子排布及翼角平面定位 → ⑥最终形成完整的深化图

翼角飞檐模板曲面测量定位施工技术；

椽子底模的控制是翼角曲面造型的基础和关键所在。利用前述的 Rvit 软件，我们就可以在已确定好的模型中选取任一点直接得出此点的坐标，将相关参数列成表格，直接用于现场椽子底模标高的控制。其控制点主要内容包括：翼角向上弯曲起翘点、翼角向外弯曲冲出起

点、翼角终点、挑出椽子外边沿控制线、椽子放射形布置的起点等。

3、翼角飞檐椽子聚苯板模板施工技术；

(1) 翼角飞檐椽子模板设计

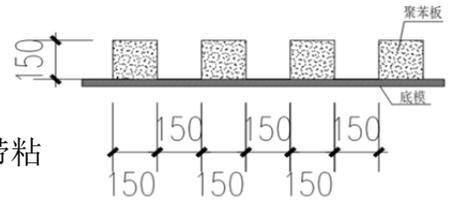
飞檐椽子底膜采用 15mm 厚覆膜木胶合板模板，正身飞檐椽子间的空隙采用粘贴聚苯板，翼角飞檐处的椽子之间，采用覆膜木胶合板中间夹聚苯板，辅助胶粘和钢钉固定于底模之上。

(2) 聚苯板粘贴

①正身飞檐

正身飞檐模板设计为椽子间的空隙采用粘贴聚苯板。

聚苯板采用密度 18kg/m^3 、截面尺寸 $150*150\text{mm}$ ，由厂家定做，粘接剂采用珍珠棉专用胶。聚苯板四面均采用宽胶带粘贴保护。



②翼角飞檐

翼角飞檐的椽子呈放射形分布，因此椽子根部之间的空隙相对较小。采用聚苯板，则无法防止混凝土浇筑时其跑位。如全部采用覆膜木胶合板，拆模时势必破坏混凝土结构。此处椽子之间的模板支撑采用两层覆膜木胶合板中间夹聚苯板，木模板与聚苯板粘贴而成，聚苯板底部与顶部均粘贴胶带，底部采用粘贴同时两侧用钢钉固定的方式固定于底模上，即可防止模板跑位，亦能防止拆模造成结构的破坏。

③ 聚苯板二次固定

为防止混凝土浇筑造成聚苯板上浮，应对聚苯板二次固定。加固方法：采用 10#铅丝沿聚苯板两边穿模板固定 (@1500mm)，要穿过底模与支撑架的水平杆进行绑扎拉紧。

4、翼角飞檐模板支撑体系；

飞檐的模板支撑体系要考虑标高调整的方便、支撑体系的承载力、超高架体的稳定性，重檐模板还要重点考虑在飞檐上架体的防滑。经过综合考虑，支撑体系采用钢管架配合可调 U 托钢支撑。

三、同类技术对比

本技术中飞檐椽子成型采用聚苯板条代替传统木模板施工方法，能在保证椽子尺寸统一和翼角飞檐的起翘弯曲弧度的基础上，从加快钢筋混凝土现浇飞檐椽子的施工速度出发，解决飞檐施工难度大、工期长等问题，此施工方法能节约成本 36元/m^2 。

四、推广应用情况

通过仿唐建筑翼角飞檐现浇施工技术的成功应用，大大降低了异型结构对木模板的依赖。

对类似工程的施工具有借鉴和推广价值。降低了施工造价，加快了工程的施工进度，保证了施工质量，为仿古建筑飞檐结构的施工提供了宝贵的施工经验和可靠的依据，有很高的社会效益和经济效益。

五、知识产权及荣誉

获得知识产权：发明专利 3 项；实用新型专利 2 项。省部级工法：北京市工法 1 项；天津市工法 1 项；科技成果鉴定：该成果整体达到国内领先水平。

获得荣誉：2013 年度天津市优秀项目管理成果一等奖；2017 年度中国施工企业管理协会科学技术进步奖二等奖。2021 年度中国施工企业管理协会首届工程建造微创新技术大赛一等奖。

完成单位：中建二局第三建筑工程有限公司

完成人：贾学军、郑丽华、李慧、王春艳、王培铃、张帆

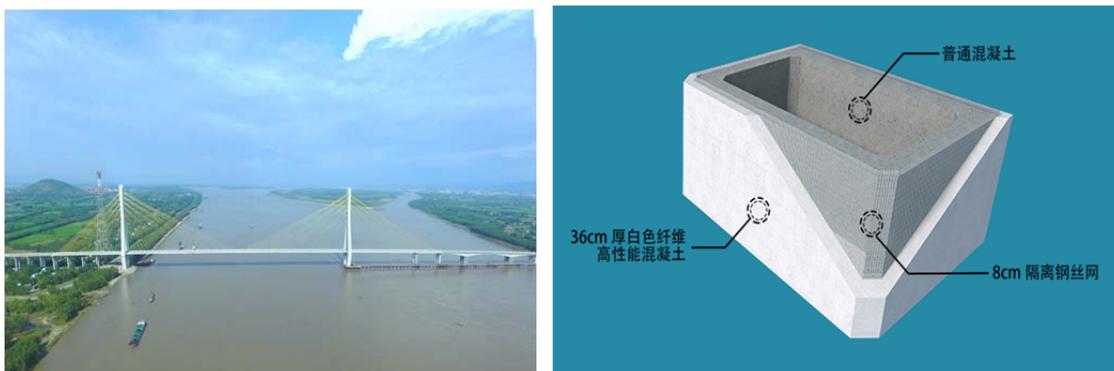


梯度混凝土施工技术

一、立项背景

混凝土索塔是悬索桥、斜拉桥的重要结构物，由于其超高的结构特点，现实情况中存在超高空环境下施工及养护作业困难，通常会出现裂缝、气泡、蜂窝、麻面等质量病害，塔柱节段间存在明显色差，影响了索塔的外观质量及耐久性，且桥梁运营期间需进行反复涂装，运维成本大，施工安全风险高，因此索塔混凝土施工技术急需再次突破，以适应桥梁建设的要求。

池州长江公路大桥桥梁全长 1448m，为主跨 828m 的等高塔混合梁双塔斜拉桥，塔高 243m。依据“人体皮肤效应”原理，首次将梯度混凝土技术引入斜拉桥塔柱施工中，通过在普通混凝土外侧设置一层 36cm 厚白色纤维高性能混凝土，以提高塔柱结构的抗裂性、耐久性和观赏性。

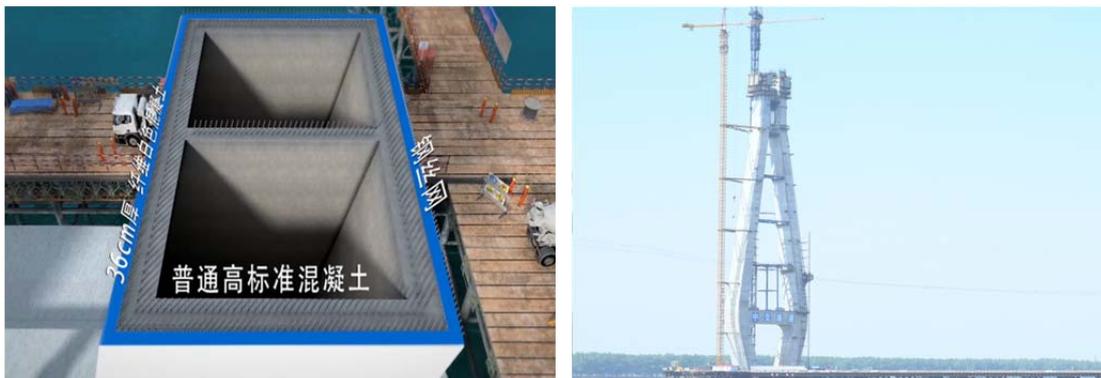


二、关键技术内容

根据“人体皮肤效应”原理创新性引入梯度功能混凝土新型施工技术，在普通混凝土结构层表面设置一层 36cm 厚白色纤维高性能混凝土，通过数百次混凝土配合比试验及 13 次实体模拟试验，研究解决了梯度混凝土施工配比及现场施工控制难题，首次实现了梯度混凝土应用于斜拉桥索塔中的重大技术创新。

梯度混凝土施工主要技术是将玄武岩纤维加入白色混凝土中，通过材料复合来改变混凝土的抗拉强度以及抗渗、抗裂能力，并根据仿生学“皮肤效应”理念，梯度混凝土内层设置为普通混凝土，外层设置为白色纤维高性能混凝土。由于内外设置不同混凝土，结构外层混凝土与内层普通混凝土间采用口径为 8mm 钢丝网作为隔离技术，通过两台一体化多点平衡布料系统以及分层定点循环浇筑法，分层定点布料、分层振捣、循环进行内外侧混凝土的同步浇筑，浇筑过程中控制内外侧两种混凝土浇筑的高度，使两种混凝土在各自的水平面均衡上

升，实现了内外两种混凝土浇筑完成后能高度融合的技术，解决了内外两层混凝土串料互溶问题，保证了内外层结构强度。



三、与同类技术对比创新点、优势

①首次将梯度混凝土应用到斜拉桥索塔混凝土中，解决了混凝土表面开裂的问题，提高了塔柱抗渗性、耐久性及观赏性。

②通过对索塔内外层混凝土研究，研发了一种适合斜拉桥索塔混凝土施工的梯度混凝土配合比。

③为保证索塔梯度混凝土与普通混凝土浇筑，项目团队研发主塔混凝土一体化多点平衡布料系统，满足内外层梯度混凝土浇筑施工。

④通过对梯度混凝土浇筑方法研究，提出循环梯度浇筑法，解决混凝土形成施工缝的问题。

四、推广应用情况

梯度混凝土施工技术在安徽省池州长江公路大桥南主塔施工中得到了成功应用，效果良好，提升了塔柱混凝土施工工效并降低了作业危险，提高了整体施工质量，同时凭借自身在结构受力、外观观赏性等明显优势，解决了传统普通混凝土抗裂性及耐久性较低、索塔外层防腐涂装及整体反复检修的问题。通过桥梁检测结果显示，符合设计及规范要求，形成新工艺、新材料的成熟技术。采用梯度混凝土代替现有普通混凝土后，梯度混凝土外观质量、抗裂性及耐久性大大提高，大大减少了后期养护机械、人员与材料的使用，使本项目投入直接减少 320 万元。

五、相关知识产权及荣誉

梯度混凝土施工技术的成果应用尤其在施工质量以及工艺成本上均有较大的提升，通过对本次创新性研究在保证其达到施工要求的条件下，最大限度地降低成本，取得了良好的经济效益，在索塔混凝土的外观质量、耐久性、强度及观赏性等方面得到了较大的提升，经过公路学会成果评价达到了国际先进水平。

截止目前取得发明专利与实用新型专利各一项，中文核心期刊发表论文 1 篇，研究成果被中国公路学会评为“国际先进”水平。

完成单位：中交路桥华南工程有限公司

完成人：王海伟、夏江南、刁先觉、陈杨、唐代新、苏莹、刘望、谢南锋、邓富勇、吴斌

超高超重拱形钢索塔提滑组合安装关键技术

一、立项背景

韩城市太史大街西延桥梁建设项目为跨径 108+128m 的独塔双索面钢拱钢梁斜拉桥，主跨跨越梁山路。其中，钢结构拱形塔塔高 117.5m，索塔重量约 2100t。

基于钢索塔自重大、高度高，若采用三角起扳法，转铰根部的水平推力抵消难度大；而梁山路必须保持畅通，现场不具备设置导行路的条件，致使钢索塔无法实现单侧卧拼；若采用塔外提升，提升横梁的高度需超过塔顶高度，塔架越高安全风险越大。为解决本项目拱形钢索塔安装难题，同时降低安全质量风险及措施费用的需求，设法利用设计横梁作为锚固横梁，降低钢材的投入费用，变高处作业为地面作业，提高拼装、焊接质量，降低安全作业风险。通过竖向提升系统与水平牵引系统的配合完成钢索塔的 90° 竖转。

二、关键技术内容

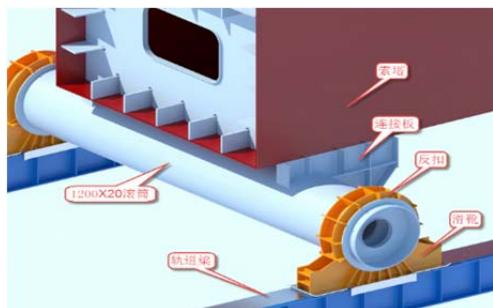


自主研发并形成了拱形钢索塔内侧提滑组合的竖转安装成套技术，采用“卧式拼装，边提边转”的方式施工，解决了本项目拱形钢索塔安装难题。

(1)研发了“结构主横梁节段移位作为提升锚梁”的拱形钢索塔竖转提升安装技术，对设计主横梁进行加强，提高其抗扭转能力，将结构主横梁中间节段移位至锚固横梁位置，提升完成之后将结构主横梁中间节段移位至设计位置安装，有效降低了临时结构的钢材用量。



(2)设计研发了拱形钢索塔内侧设置 4 组提升塔架，降低提升装置的高度，通过合理设置提升吊点及分级同步置换液压钢绞线缆风绳，将竖



向提升与水平滑移组合的提升方法，节约了拼装场地资源，保证了周边的交通需求。

(3)自主研发了大吨位钢拱脚双滑靴装置，在滚轴与滑靴之间设置 MGE 滑板，较好地消除轨道不平造成的局部高压带来的危害，克服了单滑靴抗扭转能力差

的缺陷，解决了拱形钢索塔 0~90°转动与滑行的协调一致的技术难题。

(4) 研发了一种适用于超大吨位拱形钢索塔提升的塔架提升装置，解决了高大塔架的稳定性问题和提升装置的排列定位问题。

(5) 研发了一种适用于同步提升的水平牵引装置，确保了竖向提升位移与水平牵引位移同步，提高了竖转过程中拱脚的稳定性，解决了需要正向牵引与反向带紧切换的难题。



三、与同类技术对比创新点、优势

该成果技术在国内已施工完成的 6 座钢索塔的研究基础上进行创新、改进，形成了一套完整的拱形钢索塔提升安装技术，创下了国内钢索塔在同类施工方式下的重量和高度之最。经现场实施证明，提升锚梁实测应力与理论应力的偏差均在 5%以内，远小于设计及规范容许范围 10%。钢索塔垂直度及安装标高均满足设计和规范要求，整体安装精度较高。

相对于原位分块拼装法，该成果技术能有效的减少高处作业、降低安全措施费的投入，将高空焊接变为地面焊接、高空线型控制变为地面线型控制，可以有效的提高施工质量，同时规避了塔吊与异形结构之间的扶壁难题和曲线段钢结构合龙难题。

相对于三角起扳法，该成果技术无需设置固定转铰，减少了转铰水平推力需要抵消的措施投入，无需将索塔在单侧拼装，可根据索塔重心位置和提升点位置实现地面位置的灵活卧拼，降低场地限制和减少对既有道路的交通影响。

四、推广应用情况

该成果技术成功应用于陕西省韩城市太史大街西延桥梁建设项目景观大桥钢索塔提升安装。经测算，利用部分主横梁作为提升锚梁节约钢材约 101t，节省费用约 122.34 万元。经过精心组织，相较于其他施工方式缩短工期约 3 个月。同时，降低了安全措施费用的投入，施工质量有较好的保证，综合效益显著。可推广应用到行业内重量较大、高度较高的拱形、门式、H 形等桥梁钢索塔的施工。

五、相关知识产权及荣誉

获发明专利授权 2 件、实用新型专利授权 3 件，获省级工法 1 项，对外发表论文 4 篇（其中核心期刊 3 篇），省部级获奖论文 3 篇。

关键技术通过国内外科技查新。经成果鉴定，项目总体技术达到国际先进水平，其中拱

形钢索塔内侧设置提升塔架技术、结构主横梁节段移位作为提升锚梁技术达到国际领先水平。

该成果技术获中国核工业华兴建设有限公司科技进步一等奖，获江苏省土木建筑学会土木建筑科技奖二等奖，获中国施工企业管理协会首届工程建造微创新技术大赛一等奖。

完成单位：中国核工业华兴建设有限公司

完成人：龚振斌、陈清华、刘成群、郭雪珍、卞北平、魏岗、马海雄、朱燕、王东杰、程金霞

空间异形扭转反对称钢主塔安装施工技术

一、立项背景和总体思路

柳州市白沙大桥造型由芭蕾舞演员站立起舞姿势灵感启发而来，结合现代化城市建设理念，以一个现代富有扭力的圆环造型，寓意“传承与融合”，造型现代而富有张力。该桥是目前世界上规模和用钢量最大的“反对称结构斜拉桥”。空间异形扭曲结构，吊装过程需要对三个轴向坐标进行调整，常规施工方法无法保证塔节段空中对位姿态调整，需要通过针对性的施工方法确保钢主塔施工精度、结构稳定性及施工安全，其反对称体系造成桥梁承受水平力，并在边墩处设置剪力卡隼抵消水平力，其特点鲜明，施工技术难度大，在国内外属首创桥型。



柳州市白沙大桥

二、关键技术及创新成果

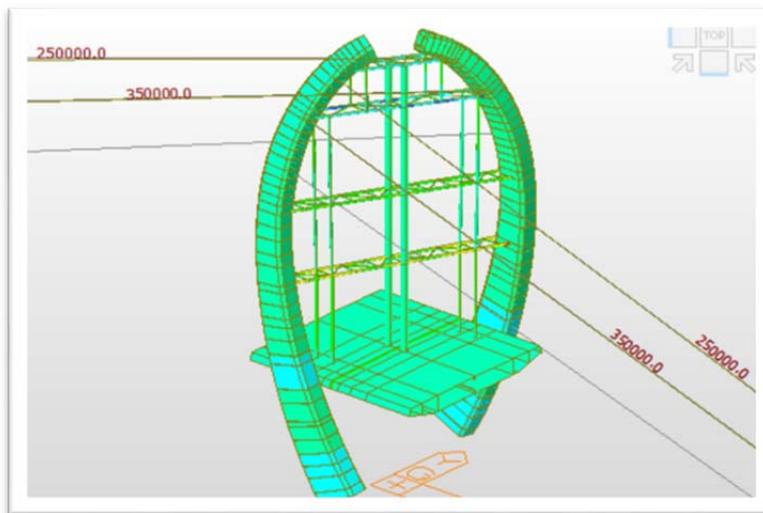
(1) 异型反对称钢主塔吊装门架施工关键技术

白沙大桥钢塔塔柱形似门形，由空间曲线扭曲构成，塔高 108 米，共计 27 个节段，最大节段重量为 206t（T2 节段），主塔总重 4206.9t。为解决节段重量重，国内内河大型浮吊难以进入、柳江汛期周期长、单个吊点无法实现塔节段的空间对位姿态调整等问题，通过前期对方案反复研讨、理论计算分析、软件模拟、实物试验等手段，综合现场施工条件，逐步完善形成异形反对称钢主塔吊装门架施工关键技术，吊装门架由钢管混凝土桩基承台+高位栈桥平台+大跨度特制桁架移动横梁+提升系统组成，该技术获得发明专利 1 项，实用新型专利 1 项，省部级工法 1 项。

(2) 异型反对称钢主塔内支撑及张拉系统施工关键技术

施工过程中为了保障吊装塔节段时稳定性及线型控制，吊装过程采用横向内支撑及纵

向预应力临时索张拉钢绞线两种措施保证主塔横向及纵向稳定。根据计算和分析，在主塔节段吊装至一定高度时设置横向内支撑及纵向临时索，共同组成钢主塔内支撑及张拉系统，形成异型反对称钢主塔内支撑及张拉系统施工关键技术，该技术获得发明专利 2 项，实用新型专利 1 项。



吊装线形施工计算模型

(3) 异型扭曲塔塔节段全向翻转施工关键技术

主塔为空间八角的扭曲结构，在吊装过程中需要不断调整塔节段的空中姿态，吊装过程塔节段共设置 4 个吊点，通过提升系统张拉单个吊点处钢绞线来实现姿态调整，塔节段对位时需要调整横桥向与顺桥向两个方向的姿态，所以吊点设计中配置十字吊耳，通过两个方向的销轴转动来实现塔节段的准确对位，形成异型扭曲塔塔节段全向翻转施工关键技术，该技术获得发明专利 1 项，实用新型专利 1 项。

三、实施效果及应用情况

针对钢主塔空间扭转曲线的特点，创新应用钢构件全自动定位测量技术，采用塔梁交错施工及塔梁固结方案，自主研发应用超高门架智能提升系统、钢管内支撑加预应力临时索辅助稳定系统，利用双向转动十字吊具全向翻转主塔节段等专利技术和空间曲线测量定位技术，实现了钢塔节段安装的精确、稳定、安全、高效，主塔施工完成后各项验收指标均满足规范及设计要求，主塔安装误差均控制在 $\pm 10\text{mm}$ 以内。该技术可根据实际吊重重量进行重复设计，适用于各类型大构件精准安装作业。

四、相关知识产权及荣誉

发明专利 4 项，实用新型专利 3 项，《空间异形扭转反对称钢主塔安装施工工法》获中国中铁股份公司、广西壮族自治区省部级工法，发表论文 7 篇，QC 成果奖两项。

柳州市白沙大桥自开工以来，备受柳州市政府及各大新闻媒体的关注，建成后照片荣登国家求实杂志封底，主塔合龙施工央视网全程在线直播，同时中华人民共和国中央人民政府、央视直播、央视新闻、人民网新华网、中国网南国今报、中新网等媒体进行了 10 余次报道。

大型烧结机精准快速安装施工方法

一、立项背景

烧结做为钢铁生产过程中的重要单元，是钢铁生产过程中的高能耗和高污染单元，随着国家对环保和能耗的要求日益严格，烧结逐步向大型化、低能耗、低污染方向发展。给建造技术带来了新的挑战。本项目依托大型烧结机安装工程，在烧结机精确安装技术、环冷机模块化安装技术、大直径降尘管安装技术领域取得了一系列具有自主知识产权的技术成果，既解决了工程建设难题，又取得了良好的效益，使我们在大型烧结施工领域继续保持领先地位。

二、关键技术内容

烧结机密封滑道底板安装技术，使用专用定位工具进行密封滑道底板定位安装（图 1 所示），密封滑道底板纵向间隙使用固定标尺进行控制，在密封滑道底板焊接过程中采用防变形夹具进行加固，确保了烧结机密封滑道底板调整安装精度（图 2 所示）。烧结机台车轨道精确调整技术在烧结机台车轨道调整过程中使用全站仪紧靠轨道投设控制线，采用全站仪直接将中心线投设在过渡线架上，挂设通长钢线进行烧结机台车轨道调整，直接使用卷尺测量轨道中心到钢线的距离，提高了轨道安装精度（图 3 所示）。

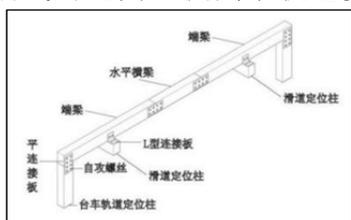


图 1 专用定位工具结构

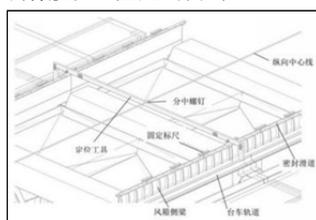


图 2 密封滑道底板安装

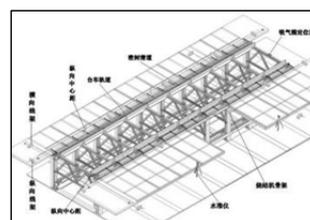


图 3 烧结机骨架安装

烧结机头部星轮精准安装技术，优化了头部星轮吊点设置方式、通过合理布置头部骨架临时运输轨道的设置方式、将柔性传动提前运输到位待头部星轮安装到位后再将其就位。

该方法有效解决了受限空间内大型设备吊装难题（图 4 所示）。大型烧结机小格漏斗与沉降管快速安装技术是使用可移动式安装台车，分片拼装小格漏斗，使用电动倒链多点同步提升小格漏斗就位固定（图 5 所示）。在沉降管的安装过程中，使用可移动式安装台车配合电动葫芦及电动倒链的使用，在受限空间内分别就位管托及两片沉降管。实现了烧结机小格漏斗及在受限空间内进行大直径沉降管的快速安装（图 6 所示）。烧结环冷机模块化安装技术是按 12 度等分圆将环冷机主要设备分解成多个模块进行安装，在支撑辊调整的同时进行环冷机台车的拼装、传动装置拼装，安装环冷机托轨并就位环冷机台车组合体。通过对环冷机设备进行合理分段预制、离线组装实现了模块化安装，实现了大型环冷机快速高效安装。

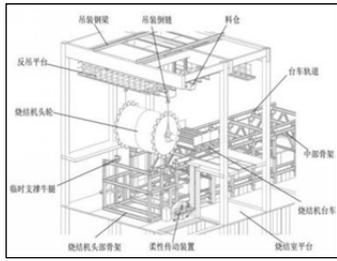


图4 头部星轮安装

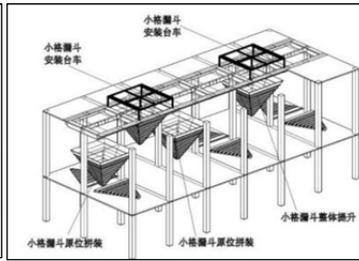


图5 小格漏斗安装

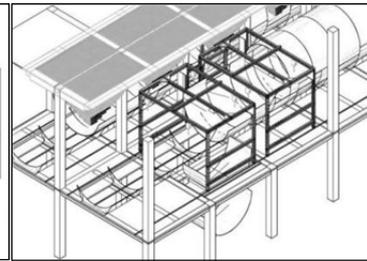


图6 降尘管安装

三、与同类技术对比

序号	技术名称	现有技术	创新技术特点
1	密封滑道定位工具	挂钢线拉卷尺调整	用铝合金方管固化各部件相对位置，实现快速调整
2	密封滑道底板安装	热膨胀间隙控制精度低，焊接容易变形	采用固定标尺控制间隙，使用防变形工具进行焊接
3	烧结机台车轨道安装	分段调整	整体调整提高效率减少误差
4	头部星轮和料仓安装方法	各部件顺序安装、使用卷扬机吊装	简化了轨道铺设方法、柔性传动提前放置到位
5	环冷机模块化安装	散件安装，进度慢	分段预制模块化安装，施工效率高
6	小格漏斗及降尘管安装	分段预制吊装，重量大施工难度大	分片预制吊装，重量小，施工快速

四、推广应用情况

本项目关键技术应用于山东钢铁集团有限公司日照钢铁精品基地项目 2#500m² 烧结工程（荣获国家优质工程奖）及江苏张家港宏昌钢板有限公司 1 号 550m² 烧结机改造工程（图 7-9 所示）。



图7 头部星轮安装



图8 密封滑道安装



图9 降尘管安装

五、相关知识产权及荣誉

本项目共取得 5 件授权发明专利（烧结机密封滑道底板安装方法 ZL201910814430.X、大型烧结环冷机模块化安装方法 ZL201910824150.7、烧结机头部星轮和料仓安装方法 ZL201910566341.8、烧结机台车轨道精确调整方法 ZL201910566319.3、大型烧结机小格漏斗和降尘管安装方法 ZL201910387156.2）。荣获中国冶金建设协会授予的部级一级工法，上海市安装行业协会授予的上海市安装行业科技创新二等奖，上海市总工会、上海市知识产权局联合授予的上海市优秀发明选拔赛优秀创新银奖。

完成单位：上海二十冶建设有限公司、中国二十冶集团有限公司、长江三峡勘测研究院有限公司（武汉）

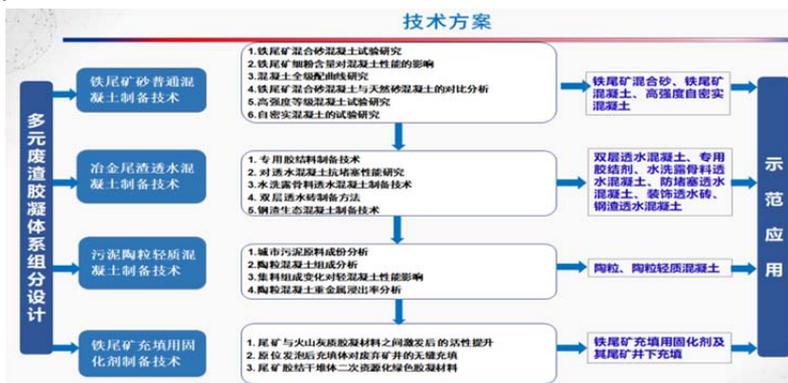
完成人：黄轶、宋文智、洪陈超、孙国梁、周宣兆、王君、王贵如、徐秀珍、王祖庚、吴丹

铁尾矿透水混凝土制造与应用技术

一、立项背景

当前阶段透水系列路面产品的研究正是基于改善城市生态环境和雨水利用的考虑，它能减轻环境负担、与自然协调共生，为人类构造舒适的生活环境。基于对国内外透水混凝土研究现状的了解，针对目前国内研究的不足之处，建筑业面临着天然资源开采受到极大限制的难题，混凝土行业如何实现绿色、环保、持续的低碳经济发展模式，是摆在我们面前的重大课题；在此背景下，中国十七冶集团公司开展了钢铁尾渣与城市固废资源化的生态建材制备关键技术研究，解决建材行业长期依赖天然资源以及尾矿排放危害生态环境的现状，提出了多元废渣胶凝体系的组分设计方法，采用冶金尾渣制备混凝土、以城市污泥为原料配制陶粒轻质混凝土和尾矿充填用固化剂及其制备技术，实现冶金与城市污泥全量资源化利用、尾矿零排放目标。本项目为国家治理矿山，建设海绵城市、长江生态大保护技术体系中的重大共性关键技术突破提供了一种有价值的解决方案。对解决全国突出的环境问题，促进经济、社会与环境协调发展和实施可持续发展战略具有重要的意义。

二、技术内容



三、同类技术比较

国内外同类技术比较

技术内容	国内外技术	本项目技术
废渣胶凝体系设计方法	单掺	多元复合
	反复试验试凑	多元废渣配伍图
铁尾矿混凝土	① 以普通碎石为原料，资源少、成本高； ② 胶结剂粘度高，表面易掉粒；	① 首次开发了以铁尾矿废弃材料为骨料制备透水混凝土； ② 研制胶结剂强度高、包裹性好，解决掉粒现象； ③ 首创了水洗骨料透水混凝土技术。
	① 制备C20~C30透水混凝土；抗折强度≥2.5 (MPa)； ② 透水系数为2.1~10.5mm/s； ③ 抗冻融循环次数≥25。	① 制备C20~C40透水混凝土；抗折强度≥3.5MPa； ② 透水系数为2.7~21.0mm/s； ③ 抗冻融循环次数≥50。

拓展废渣利用范围，固废取代率70%以上。

力学性能提高35%，降低成本22%，实现大暴雨不积水。

国内外同类技术比较

技术内容	国内外技术	本项目技术	
防堵塞透水路面制备技术	国内外技术空白	国际先进	显著延长使用寿命，实现人居环境。
	①普通透水混凝土使用5年后，渗透性能降低了90%； ②透水砖表面粗糙，无图案。	①首创了防堵塞透水混凝土技术； ②透水率大于1mm/s，有效过滤大于1mm的颗粒杂质； ③研发带装饰面的双层透水砖。	
城市污泥陶粒制备技术	国内外技术空白	国际先进	保温、力学性能指标更好。
	①传统污泥陶粒容重大、强度低、烧结能耗高； ②污泥中重金属的稳定和固定作用较弱。	①首创了利用铁尾矿泥、城市污泥和粉煤灰制备中空陶粒； ②陶粒结构对重金属有较强的稳定和固定作用； ③在同等容量情况下力学强度提高1.3-2倍，导热系数降低20%-40%。	
铁尾矿充填用固化剂及其制备技术	国内外技术空白	国际先进	实现无尾矿库开采的绿色矿山目标。
	①尾矿充填无法高效固结； ②充填体接顶困难。	①首创了充填体充分接顶技术； ②可高效固化细泥尾矿。	

四、推广应用情况

项目研发出双层透水混凝土、露骨料透水混凝土、防堵塞透水混凝土、装饰透水混凝土砖、尾矿烧结透水砖和钢渣生态混凝土制品等透水混凝土产品，在海绵城市建设、废渣利用和环境保护领域广泛应用。2012年来利用冶金尾矿制备透水混凝土产品，至今已应用到马鞍山采石古镇一期、薛家洼生态园、马鞍山金福花园、银塘组团安置房、当涂塘南乡 137 万 m² 重度污染养殖水体的生态修复等项目。



马鞍山薛家洼生态园



马鞍山采石古镇

五、知识产权和荣誉

授权发明专利 8 件，授权实用新型专利 14 件，申请发明专利 11 件，共计 33 件；获省部级以上科技奖励 10 项：其中 2017 年“一种泡沫混凝土发泡机及其发泡方法”荣获中国专利优秀奖；2018 年“冶金尾渣制备水泥基透水路面关键技术及其应用”获中冶集团有限公司科学技术奖一等奖【国科奖社证第 0035 号】；2019 年“冶金尾渣制备水泥基透水材料关键技术及其应用”获安徽省科技进步奖二等奖。2020 年“基于冶金尾渣全量化资源利用的环保节能建材关键技术研究”获中国施工企业管理协会科技成果一等奖。

不良地质条件下桥梁基础施工关键技术

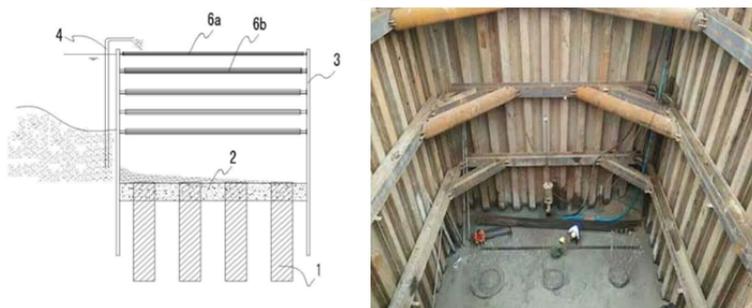
一、立项背景

本课题解决了在砂质深水河床条件下，围堰难以着床、下沉、固定和封底的技术难题，也解决了深水下承台施工时内外水压差较大的技术难题；本课题解决了在岩溶地质条件下桩基易出现漏浆、断桩、溶洞垮塌等施工问题；同时，课题解决了大直径超长灌注桩钢筋笼制备与吊装变形问题、护筒留用及吊装接长问题和桩侧土体承载能力难以有效发挥的问题。

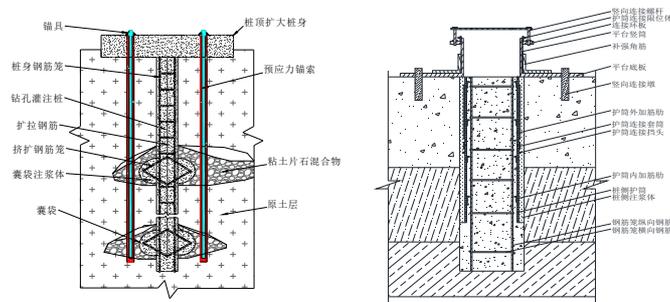
二、关键技术内容

根据钢板桩围堰在砂质深水河床施工时的工作机理，结合岩溶地区灌注桩施工时易出现的技术难题，充分发挥桩基的承载能力，本课题的关键技术内容有以下三点。

(1) 钢板桩围堰施工后，利用气举法将钢板围堰外侧周边高于封底混凝土层的砂土吸入到钢板围堰内，减少钢板围堰内外砂土高度差。



(2) 利用挤扩支盘机在岩溶地区挤扩旋转，形成挤扩支盘孔洞，将挤扩钢筋笼布囊袋放置挤扩支盘孔洞位置，分别通过提升方式及高压旋喷技术使得挤扩钢筋笼及布囊袋扩大，待浇筑混凝土后，基桩与硬土层的接触面增大，发挥了支盘的端承作用及抗剪能力，提高了扩大桩身与主桩身的连接强度。



(3) 设置钢筋笼撑架来确保钢筋笼吊装过程中的变形，通过组拼式平台实现钢筋笼和桩侧护筒定位的精度，通过钢护筒上连接挡头的设置实现钢护筒的接长，通过钢护筒外侧注浆实现桩基承载力的提升。

三、与同类技术对比

(1) 基于回砂平衡法条件下围挡式深水承台施工方法，能够实现围堰内外的砂土压力平衡，使得陡坡、深水砂质河床上的围堰承台施工易于实施。

(2) 一种岩溶地区钻孔灌注桩结构及施工方法，通过在岩溶位置分别通过提升方式及高压旋喷技术使得挤扩钢筋笼及布囊袋扩大的施工技术，能够加快施工进度、保证施工质量、提升单桩承载能力。

(3) 一种大直径超长组合灌注桩施工方法，可降低桩侧护筒和钢筋笼接长难度，防止钢筋笼发生吊装形变，改善灌注桩的承载性状和施工安全性。

四、推广应用情况

本技术已在安徽省公路桥梁工程有限公司承建的安徽济祁淮河特大桥、陕西渭河正阳大桥等工程中应用了 2 年以上，并逐步推广到类似工程中的钢板桩围堰、岩溶等不良地质的灌注桩施工等技术领域。该技术的成功应用，降低了钢筋笼吊装、钢板桩围堰的施工难度，保证了钢筋笼下沉的精度，提升了灌注桩的施工质量，增强了灌注桩的承载能力及抗剪强度，促进了钢板桩围堰及灌注桩施工的技术提高。随着研究成果进一步推广应用，将对提高我国的桥梁基础工程建造水平和相关行业的技术进步起到极大的推动作用，同时将产生更大的经济社会效益。

五、相关知识产权及荣誉



本技术获得了三项授权发明专利：《一种基于回砂平衡法条件下围挡式深水承台施工方法》、《一种岩溶地区钻孔灌注桩结构及施工方法》和《一种大直径超长组合灌注桩施工方法》；一项实用新型专利：《一种深水桩技术用加强肋嵌入式钢护筒》；安徽省省级工法一项：《水中

厚砂层大直径超长钻孔灌注桩施工工法》；中国公路建设行业协会奖二等奖一项：《水中厚砂层大直径超长钻孔灌注桩施工技术》。

完成单位：安徽省公路桥梁工程有限公司

完成人：钱申春、彭申凯、杜海峰、任杰、程涛、刘晓晗、崔健、危明、沈维成、徐磊

大吨位试桩用锚桩的施工结构及施工方法

一、立项背景

现阶段工程试桩一般采用预制块堆载法，利用已完成桩基，在其顶面进行预制块堆载，对于小直径受力较小结构，此方法施工简单，操作性较高，现场易于实现。对于大吨位试桩（如 16700KN）荷载试验，采用堆载法无论在成本、工期、安全，还是在场地布置方面都受很大的制约，无法满足试桩施工的要求。

通过研究、方案比选，最终选择预应力锚固法试桩，能够满足持荷要求，同时该方法仅需要较小的场地。通过解决柔性钢绞线定位难；预应力锚固端深入桩基内部，施工质量难以保证；试验数据采集难度大，试桩与工程桩存在个体差异等技术难题，形成了预应力、试桩、反力梁、锚桩为主要构件创新成果。

二、关键技术内容

1、 锚固桩预应力结构设计

1) 锚固法试桩引入预应力锚桩的设计概念，利用锚固桩桩身反向摩擦力反压试验桩，并在工程桩内设置传感器进行数据采集

2) 锚桩钢绞线安装采用“笼中笼”结构辅助定位，锚桩设置于工程桩内部，内笼由主筋、箍筋、无缝钢管组成，钢绞线通过无缝钢管实现柔性结构向刚性结构转换，从而保证柔性钢绞线的精确定位。

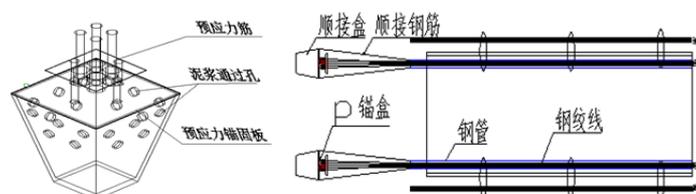


图 1 顺接盒及笼中笼结构示意图

2、“顺接盒”锚固端

为保证预应力系统正常工作，内笼底部预应力锚固端采用 P 锚和“顺接盒”的形式，在 P 锚后侧安装螺旋锚固钢筋，保证 P 锚在混凝土中的锚固力，然后将钢绞线结构穿过内笼已焊接完成的钢管内。技术特点：

- 1) 正棱台钢结构“顺接盒”，锥形结构保证内笼安装、封孔时导管不与钢筋笼碰撞；
- 2) 顺接盒对 P 锚起到限位作用，同时在顺接盒与钢管之间用钢筋顺接，使其顺滑防止导管下放过程中发生碰撞；

3) 在“顺接盒”顶面及侧面布设小圆孔，在封孔过程保证盒内泥浆及水泥浆能从小圆孔挤出，防止桩基在该部位夹渣导致断层。

3、孔口定位架设计

为保证锚固桩钢筋笼定位准确，在孔口位置处设计了外延定位架装置，在预应力穿管上焊接 2 根呈 90 度 40cm 长“┌”形 $\phi 20$ 钢筋，钢筋为顺桥向或垂直桥向，其弯折端与地面呈 90 度。测量人员现场对定位架外延长度及角度测量，确定其外延定位点坐标，在下放过程中对其进行矫正。

4、试桩荷载试验

试桩总共分 3 组进行，分别对 10 根工程桩 3 根试验桩进行试验。试验步骤一反力梁、预压设备安装；步骤二设备调试；步骤三按照预压方案进行分级加载；步骤四检测试验桩的承载力、沉降量，通过传感器采集工程各部位、各阶段的应力应变数据。

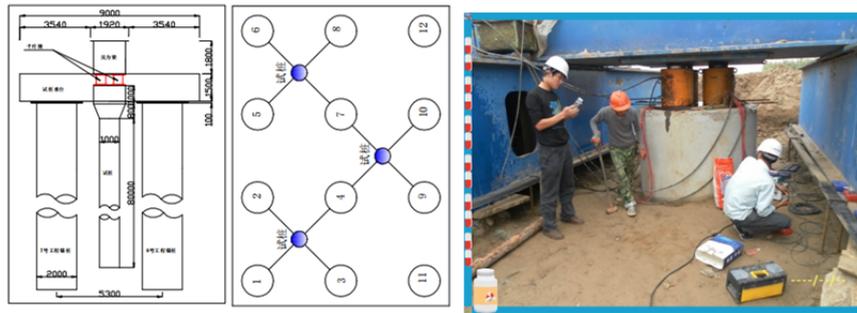


图 2 试桩布置图及现场实施

三、与同类技术对比创新点、优势

创新点	对比指标	该项目研究成果	同类项目施工情况	结论
预应力锚固法试桩	先进性	可承担 2000KN 以上的荷载试验	与传统压静载相比承载力大、占地小	先进
笼中笼技术	施工能力	柔性预应力向刚性结构转换，施工方便	该施工方法为项目原创	领先
顺接盒设计	施工能力	保证锚固性能的同时，减少工程桩质量缺陷	该施工方法为项目原创	领先
传感器数据采集	先进性	从单一承载力检测，到完成承载力、沉降量、应力应变数据采集	可同时从试桩与工程桩采集数据，相互印证	先进

四、推广应用情况及知识产权



大吨位试桩用锚桩的施工结构及施工方法先后应用与德大铁路黄河特大桥、济齐黄河公路大桥应用 1 德大铁路黄河特大桥，项目于 2010 年 9 月开工建设，2015 年 8 月建设完成。试桩选择在堤内 96 号墩进行，共计对 10 跟工程桩和 3 根试验桩进行试验。



在堤内 96 号墩进行，共计对 10 跟工程桩和 3 根试验桩进行试验。

济齐黄河公路大桥，项目于 2014 年 12 月开工建设，2017 年施工完毕。试桩选择在主塔 25 号墩进行（该斜拉桥主塔离地高度为 135.5m）。试桩桩径 1.0m，桩长 80m，试桩布置在四根工程锚桩中心位置，分三组进行。

大吨位预应力锚固法试桩施工技术，其关键技术共获得 1 项发明专利、1 项实用新型专利，获得铁路工程建工法；该项技术还获得中国铁路工程总公司科学技术奖、铁道科技奖、中国建筑协会科技进步奖、中施企协科技成果奖。

完成单位： 中铁一局集团有限公司、中铁一局集团桥梁工程有限公司

完 成 人： 赵金鹏、邹松柏、秦定松、赵 斌、陈文斗、冯四超、毕张龙、沈 捷

高压线下超低位 900 吨箱梁纵移架设施工技术

一、立项背景

随着高速铁路的快速发展，900 吨箱梁预制架设施工由于具有施工速度快，施工质量高的特点被国内外广泛采用，架桥机需要满足箱梁喂梁、落梁等净空要求，架桥机架设箱梁时有最低高度限制，但盐通铁路海安特大桥 1914-1921#墩箱梁架设施工中存在高压线无法拆除高度仅有 6.9m 的情况，导致常规架桥机无法施工，为此开展 900 吨箱梁超低空间驼架施工技术研究。

二、关键技术内容

本技术通过研制箱梁纵移梁装置、三维落梁滑移装置千斤顶等，并改进原有 900 吨箱梁运架设工艺，实现了自行式托梁门架系统辅助完成低高压线特殊工况下的 900 吨双线箱梁架设施工。箱梁纵移梁装置包括自行式驮梁门架承轨梁。

通过研制新型自行式驮梁门架，驮梁门架系统由主梁、支腿立柱、连接立柱的伸缩套、下横梁、走行小车组成。在架桥机无法通过高压线时，代替架桥机进行箱梁架设，并研制配套工艺；通过对提梁机的主梁和起重小车，卷扬装置改造，配合自行式托梁门架，解决了现有设备无法通过高压线施工等问题，突破了传统架梁设备的局限；通过驮梁门架及起重小车之间的电气信号线联动，研制配套施工工艺，实现自行式托梁门架装置完成非标梁架设施工。



自行式驮梁门架

三、与同类技术对比创新点、优势

国内外现有的行业内使用的 900 吨架梁设备是针对标准梁型设计，需要进行喂梁、落梁工序，所以需要 900 吨箱梁穿过净空要求，再加上本身架梁设备主结构限制，架桥机最高点与梁面有最低要求，但不同型号架桥机高度不同。超低高压线下法实现架梁施工。该技术不

受架桥机高度限制，通过纵移方式，辅助设备支撑在梁下，实现整体高度可控的形式完成超低高压线下箱梁施工。

四、推广应用情况

中铁三局集团有限公司承揽的盐通铁路海安特大桥 1914#-1921#墩箱梁架设采用本技术进行施工，该技术通过利用原有设备进行技术革新，并增加新型设备，研制配套工艺及工装，突破传统设备局限，实现在特殊工况下自行式托梁门架进行箱梁架设施工，受到了业主的高度评价，推广应用前景广阔。



盐通铁路应用现场

五、第相关知识产权及荣誉

高压线下超低位 900 吨箱梁纵移架设施工技术成功解决了在架桥机无法通过高压线时，无法施工的难题，研制纵移梁装置代替架桥机进行箱梁架设，突破设备局限性，实现了新设备进行箱梁架设，缩短工期，降低工程成本。成套技术经中国中铁股份有限公司科技成果鉴定，整体技术达到国际先进水平，依托该技术申请发明专利 1 项，开发授权实用新型专利 4 项，形成工法 1 项。



完成单位：中铁三局集团有限公司、中铁三局集团线桥工程有限公司、中铁三局华东建设有限公司

完成人：徐超、黄祥、常兆松、张旭、张晨迪、朱敬通、崔涛、卢火青、贾广林、王景文

一种大型钢管拱纵移及提升安装施工方法

一、项目背景

目前我国高速铁路工程中大跨度桥梁工程越来越多，跨径越来越大，但是大跨度钢管混凝土拱桥均存在矢量高、跨度大、自身重量重、工艺复杂等特点，对施工流程、工艺等要求严格。

由于郑万高铁汉江特大桥铺轨关工期限定，主桥钢管拱安装有效施工时间不足 2.5 个月，工期特别紧张。按常规的施工方法，无法在规定的工期下完成钢管拱施工。因此非常有必要地进行大跨径钢管拱快速安装研究，以保证主桥安全顺利如期完工。

二、关键技术内容

钢管拱分为拱脚段、合龙段、纵移段三部分。拱脚段采取“原位支架拼装”法施工；纵移段采用“异位支架拼装+纵移+提升”方法施工，合龙段在预定温度下采用“配切法”进行安装。具体施工方法如下：

(1) 在连续梁施工过程中，利用汽车吊在引桥简支箱梁上搭设纵移段钢管拱拼装支架，然后利用梁面 2 台 130t 汽车从拱脚向拱顶对称拼装钢管拱。主桥连续梁施工完成后，张拉纵移段 4 根 140t 临时系杆，并拆除拼装支架，形成 800 吨重、28.6 米高的“临时系杆拱”结构。

(2) 在纵移段钢管拱前台车轮箱组后部对称安装顶推千斤顶，由夹轨器提供反力，顶推纵移段钢管拱在轨道上纵移直至抵达垂直提升位置。

(3) 利用汽车吊采用“原位支架法”拼装拱脚段钢管拱。

(4) 采用“门”型提升塔架和液压连续千斤顶作为承重结构，将纵移段钢管拱同步提升至设计位置，进一步调整合龙口位置和主拱线形并完成钢管拱合龙施工。

(5) 拆除提升系统和临时系杆完成体系转换。

钢管拱安装施工总体示意如图 1 所示：

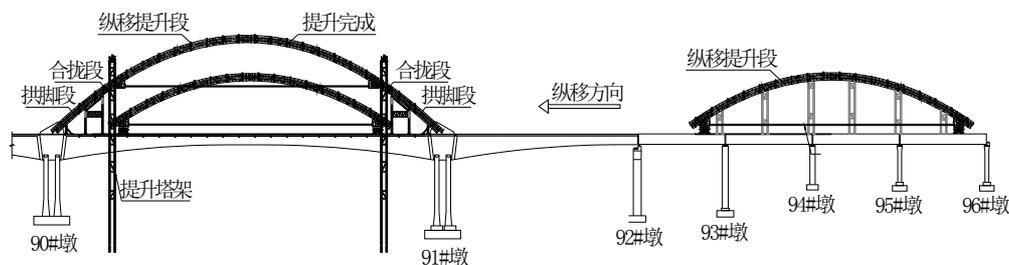


图 1 钢管拱安装施工总体示意图

三、同类技术比较

本施工方法是在传统钢管拱纵移法的基础上，增加了提升结构，与传统纵移法和常规原位拼装、提升施工方法相比，具有以下方面的优势和创新：

（一）通过增加提升结构，可根据纵移线路上永久结构承载能力灵活选取纵移长度，提高了顶推施工的适用性，同时提高了钢管拱安装施工的安全性和工效，并形成了发明专利技术“一种大型钢管拱纵移及提升安装施工方法”（专利号：ZL201910309553.8）；

（二）本施工方法提出了连续刚构拱桥主拱纵移提升施工线形计算分析方法和动态控制技术，保证了钢管拱与刚构桥成桥线形控制精度，研发形成 3 项实用新型专利技术“一种用于钢管系杆拱吊杆孔道测量的支撑定位装置”（专利号：ZL202020317224.6）、“一种哑铃型钢管拱合龙段下弦杆安装吊具”（专利号：ZL202020317247.7）和“一种钢管拱临时减振装置”（ZL202020317221.2）；

（三）研发了一种新型大吨位钢管拱纵移提升组合式台车，提高了拱肋纵移提升的安全性和稳定性，并形成了实用新型专利“一种大跨径钢管拱纵移及提升组合式台车”（专利号：ZL202020317206.8）。

（四）采用本施工方法，全跨钢管拱安装施工工期合计为 75 天，较常规施工方法节省工期 45 天以上；

（五）与常规原位拼装、提升施工方法相比，可节省成本约 106.8 万元。

四、应用情况

本施工方法已在郑万 4 标汉江特大桥主桥成功实施。大桥自 2019 年 12 月 1 日建成通车以来，大桥一直保持良好的结构受力性能，混凝土表面平整光洁，线形顺适，桥面平顺，具有良好的景观效果。大桥整体效果如图 2 所示。



图 2 大桥完成后整体效果图

实践证明，本施工方法适用于主拱安装受限条件多，工期紧张的相类似工程，推广应用至其他类似桥梁建设项目中，将会产生巨大的经济效益和社会效益。

五、相关知识产权及荣誉

围绕本施工方法形成的《连续刚构拱桥主拱大节段异位拼装、纵移和提升施工关键技术研究》课题获得 5 项授权专利，在核心期刊发表 5 篇科技论文。

完成单位：中交路桥华东工程有限公司

主要完成人：唐 剑、汪泉庆、周彦文、杨军宏、杨俊平、柳 林、于梦龙、高佳峰、龚鹏鑫、孙 鹏

桥梁钢塔陆地化大节段安装施工技术

一、背景、研究目的

近年来，随着我国桥梁建设和钢铁行业的迅猛发展，越来越多的钢结构桥梁出现在我们的视野，有港珠澳大桥、马鞍山长江大桥这类跨海、跨江大桥，也有大量的内陆城市桥梁。内陆城市钢结构桥梁施工通常有结构复杂多样、运输条件限制、缺乏大型起重设备、建设工期紧、外观质量要求高等特点，在不具备江、海上整体运输吊装的条件，只能采用常规分段施工方法。

常规施工方法需要投入大量的施工人员、机械设备，安全风险大，施工周期长，不能满足项目快速化施工的要求，采用陆地化大节段安装施工方法有效的解决了这些难题。通过研究桥梁钢塔陆地化大节段拼装和高空快速精准对位技术，在减少吊装节段数量提升安装速度的同时将大部分高空焊接焊缝数量转移至地面进行，提高了施工效率，节省了工期，确保了施工安全和工程质量。

二、关键技术内容

2.1 斜拉桥钢塔的内陆河道陆地化大节段施工技术

摄乐桥为内陆城市跨汾河的钢结构桥梁，在不具备江、海上整体运输吊装的条件，钢塔采用常规分段的施工方法需要投入大量人员、机械，安全风险大，施工周期长，不能满足项目快速化施工的要求。为此特采用陆地化大节段安装施工方法，通过河道内筑岛的方式，将需水上施工的部分全部变为陆地施工，再将工厂内分节段制造好的钢塔节段运输至施工现场，在现场组拼成大节段后用 D5200 塔吊吊装。



图1 陆地化施工及大节段组拼安装

2.2 D5200 塔吊附墙与钢塔斜撑一体化设计

采用 D5200 塔吊附墙与钢塔横撑一体化设计方案，将塔吊附墙与第 2 道塔肢临时对撑设计成整体桁架结构。整体桁架结构可形成工厂化加工，大部分构件在地面安装并随钢塔节段吊

装，安装及拆除安全便捷；整体桁架结构受力合理，刚度大，钢塔的偏移及相对扭转值较低，与塔身的协调变形好，利于塔身线形控制。

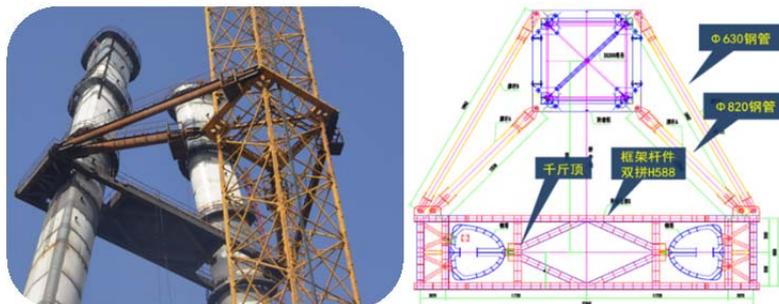


图2 D5200塔吊附墙和钢塔横撑一体化设计

2.3 钢塔节段快速精准施工技术

利用三维软件建立模型确定准确的重心位置，采用定尺长度钢丝绳，合理布置吊点位置，实现钢塔在吊装状态下由自重作用自然形成与设计值一致的倾斜角，避免了钢塔在高空姿态下的二次调整；钢塔高空对位时，利用变径导向销轴作为导向，实现高空快速精准对位；在钢塔节段之间设置临时锁定装置，将待安装钢塔与已安装钢塔临时锁定，实现了塔吊快速松钩，塔吊可以立即进行下一个节段的吊装。

三、与同类技术对比

2.1 斜拉桥钢塔的内陆河道陆地化大节段施工技术

创新点：通过河道内筑岛的方式，将需水上施工的部分全部变为陆地施工，并利用 D5200 塔吊，减少了钢主塔吊装节段数量，将需高空焊接焊缝总量的一半以上转到地面进行，大大缩短了钢主塔施工时间，降低了安全风险，提高了施工质量。

2.2 D5200 塔吊附墙与钢塔斜撑一体化设计

创新点：通过塔吊附墙和钢塔横撑一体化设计，巧妙的将二者结合在一起，增大整体刚度。同时，附墙和横撑可作为整体桁架结构工厂化加工，大部分构件在地面安装并随钢塔节段吊装，安装及拆除安全便捷，解决了附墙与钢塔斜撑施工步骤多、难度大、时间久的问题。

2.3 钢塔节段快速精准施工技术

创新点：利用经计算的定尺长度钢丝绳和吊点，保证钢塔节段吊装状态下与钢塔自身设计倾角一致，并用变径导向销轴快速精准对位，最后使用临时锁定装置实现塔吊快速脱钩。

四、推广应用情况

该技术于 2016 年 4 月至 2016 年 12 月应用于太原摄乐桥施工。全桥只用了 9 个月的工期达到全桥通车条件，技术方案在施工中应用成功，并起到重要作用，实现了项目预期管理目标。

五、相关知识产权及荣誉

5.1 发明专利《一种异形截面斜钢塔吊装的定位导向及锁定装置》(ZL201710056470.3)。

5.2 论文《摄乐大桥塔吊扶墙与塔肢临时对撑整体桁架设计》发表 EI 检索期刊《桥梁建设》。

5.3 作为关键技术获评中施企协工程建设科学技术进步二等奖、中国铁路工程总公司科学技术二等奖。

5.4 《桥梁钢塔陆地化大节段安装施工工法》被评为中国中铁工法、公路工程工法。

完成单位：中铁大桥局第七工程有限公司、中铁大桥局集团有限公司

完成人：聂井华、文杰、蒋本俊、拓守俭、陈开桥、方乃平、程建华、李勇波、易卫平、伍杰

绞旋平移法拆装大型轧机牌坊施工技术

一、立项背景

在京津冀协同发展战略背景下，首钢钢铁产业二期搬迁工程，作为国家京津冀协同发展领导小组确定的 2015 年启动的重大产业项目，正式启动建设，针对轧机搬迁空间狭小，大型超重设备利旧难度大及复杂管道零散搬迁效率低、板形适时控制等技术难题，成立课题组进行研究。项目组本着“绿色、经济、高效”的理念，以大型板带轧机搬迁工程可搬迁利用的轧机设备及管线、电气设施、利旧板带轧机运行自动化控制为研究对象进行系列创新研发。

二、关键技术内容

2.1 超重大型轧机设备模块化整体搬迁新技术，通过研发绞旋龙门架，克服传统工艺无法满足拆除以及安拆工序中存在的不安全因素，实现高效的作业，采用“钢绞线悬挂承重、液压提升千斤顶集群、计算机控制操作台控制同步”的方法,进行轧机牌坊拆除。

2.2 复杂高精密轧钢电气管线设施完整可逆拆装技术，对拆除构件形成云端数据存储，实现多类别数据的组合比对，为轧机构件“可逆性”修复、维检提供了数字化和信息化支撑，避免高精密大型电气设施拆迁和运输损伤，保障设备利用率达 95%以上。

2.3 复杂高精密轧钢板形自动化控制技术，采用辊道机组多区块动态跟踪技术，适时感知跟踪参数变化，通过对轧线钢板的头尾位置的模拟计算，确定轧线钢坯运行的安全距离，避免发生钢板碰撞事故，实现了轧线多块钢板数据跟踪准确、位置跟踪准确，无冲突高效轧制。

三、与同类技术对比

关键技术	对比指标	该项目研究成果	对比国内外	结论
绞旋式龙门架	施工能力	工效为同级别的 2-3 倍	该设备为项目原创；国内外无同类设备	国际先进
吊装工装的自动化控制系统	施工能力	实现龙门架、吊具、液压仪表等设备的有机结合，工效高	该设备为项目原创	国内领先
绞旋平移法拆装大型轧机牌坊（机架）施工工法	工艺先进性	形成了复杂工况环境下超大型轧机牌坊拆除的成套技术	国内无类似成果	国内领先
轧钢电气管线设施完整可逆拆装技术	设备信息处理	采用了二维码技术，开发信息化标识及构件跟踪系统，提高搬迁效率 31%，保障设备利用率达 95%以上。	该设备为该项目原创	国内先进

四、推广应用情况

首钢京唐公司利旧北京园区原中板厂 3500mm 轧机拆装采用此施工技术，大大的提高了

牌坊安装时牌坊与底座的对口精度，同时保证了施工的安全有效性，提高了安装效率，降低了成品的耗材成本，节约经济成本 2749.22 万元，缩短工期 15 天。该项成果在首钢 3500mm 四辊轧机拆除安装应用后表明，保证了施工的安全有效性，提高了安装效率，缩短了施工工期，降低了人工成本，保证了拆改设备的完整性及运行稳定性。该技术成果对于后期类似工程，特别是今后各钢厂对大型轧机配套设备拆装提供了宝贵的经验并形成套系、集成式技术服务方案，有广泛的推广应用价值。

五、相关知识产权及荣誉

该技术成果申报国家知识产权局专利 5 项，授权发明专利 1 项，实用新型专利 5 项，该项目的技术成果已获得了冶金行业部级工法一级工法。



完成单位：北京首钢建设集团有限公司

完成人：张天正、张超、王廷玺、赵晓明、李建辉、魏鹏、韩易桐、靳广强、齐阔、刘伯伟

变宽不等跨钢-混混合连续梁双转体施工技术

一、立项背景和总体思路

1.1 立项背景

随着我国经济的迅速增长，路网建设逐步趋于完善，但新旧结构日益增多的交叉施工逐步成为施工中需要关注的重点。近年来我国桥梁在设计、施工方面有了大幅度的提高，跨径大、承载外荷载能力强的桥梁已经成为桥梁结构的发展方向，如何降低结构的自重进而提升桥梁跨度、如何减小对既有建筑的影响进而保证施工安全是桥梁施工中面临的主要问题。

1.2 研究思路

延崇高速上跨大秦铁路及京新高速采用（52+140+49）m 双转体钢-混混合连续梁结构，跨中设置 60m 耐候钢箱梁，其余部分使用预应力混凝土结构，利用转体 T 构边跨侧混凝土锚固和压重作用，加大了连续梁桥的跨越能力，解决了单一材料不合理配跨比的问题。连续梁中跨一次跨越既有大秦铁路及京新高速，两侧主墩转体跨径分别为 48m+70.25m、66.25m+45m，此外 T 构桥面存在横向变宽段，纵横向均为非对称结构。双转体单体重量为 22000t，采用双侧主墩双转体对接、跨中合龙方式成桥。

通过采用非对称整体转体施工，减小了复杂结构在线路上方的施工时间，解决了跨越多线铁路、高速公路、工程场地严重受限、桥下净高小、重载繁忙电气化铁路运营安全要求等带来的技术及安全难题，同类桥梁结构在国内外尚属首次采用。

二、关键技术内容

1.采用滑道调节螺母、底座板精调支架、砂箱预压反力架以及承台分层浇筑方式提高了大吨位转体球铰安装精度；

2.对钢混结合段存梁支架进行分体分离、渐变的预沉设计，研发一种钢箱梁空间姿态调整装置，保证了钢混结合段钢箱梁与混凝土箱梁衔接顺畅、重心一致、变形连续协调；

3.通过龙门吊的多向轨道转换装置研发及应用，将龙门吊由安、拆轨道移动至施工轨道，解决了场地受限、临近重载电气化铁路吊装的安全难题；

4.研制出兼具微膨胀性能的 C55 自密实钢纤维混凝土，保证了钢隔室混凝土施工质量；

5.通过耐候钢促锈技术，使耐候钢表面快速形成致密、稳定锈层，解决了前期锈液流挂、飞散等问题。

三、与同类技术对比

本项目通过理论研究、关键技术重点攻关和高标准示范工程建设，在转体结构、转体施工技术、耐候钢促锈及高性能自密实钢纤维混凝土配合比研发等方面技术经济指标均处于国际先进水平。

序号	主要技术指标	国内外研究	本项目研究
1	钢-混混合连续梁桥	国内外钢-混混合梁桥主要为斜拉桥，连续梁桥应用较少	跨中设置 60m 耐候钢箱梁，双转体重量 4.4 万吨
2	耐候钢促锈剂	国内工程处理为周期水浸法处理，周期为 4~6 个月；国外有锈层稳定处理剂，但大多数周期较长，且适用于工厂内促锈，促锈温度要求较高	本项目促锈剂利用耐候钢不同金属元素间电位差异快速形成稳定锈层，促锈周期为 5~7 天，且促锈前无需清理表面氧化层，温度适应性较好
3	自密实钢纤维混凝土	国内尚无相关规范，国外有相关研究，但混凝土长距离泵送性能无相关报道。	本项目钢混结合段采用 C55 自密实钢纤维混凝土，坍落度在运输过程中及 72m 汽车泵泵送中坍损较小，具有良好施工性能。
4	预配重、称重及二次配重技术	国内外目前均为称重、配重施工流程。	转体采用建模计算，分析不平衡，通过预配重加你小不等跨转体不平衡重，减小称重设备投入及称重难度，另一方面也可依据后续称重结果校核施工控制水平。

四、推广应用情况

本项目以延崇高速（北京段）工程为背景，通过课题关键技术的研究和成功实践，延崇高速上跨大秦铁路及京新高速（52+140+49）m 双转体钢-混混合连续梁采用双幅桥不对称整体转体施工并完成顺利合龙。



本课题研究成果不仅将丰富我国桥梁领域的科研成果，还将弥补我国在公路跨铁路桥梁上使用耐候钢-混凝土混合结构技术领域内的空白，为连续梁桥的设计与施工提供了一种崭新的、可靠的思路和经验，对推动行业进步，促进城市交通走绿色低碳发展道路发挥积极作用，市场前景广阔，具有很好的推广和应用价值。

五、相关知识产权及荣誉

1. 依托本项技术形成《上跨铁路及高速双转体钢-混混合连续梁施工技术研究》经中国中铁股份有限公司、北京市公路工程协会及中国公路建设行业协会鉴定为一国际先进。
2. 本项技术总结《变宽不等跨钢-混混合连续梁双转体施工工法》发表于中国公路建设行

业协会，工法编号：GGG（中企）C4344-2019。

3.形成专利 6 项，其中发明专利 1 项，实用新型专利 5 项。



曲线轨道梁预制施工高精度智能化模板系统

一、立项背景

随着我国城镇化的发展规划，城市规模与人口的持续增长，城市交通面临的压力随之增大，城市交通渐趋于层次化、多元化地发展。跨座式单轨交通系统是作为一种解决城市公共交通问题的新兴技术，具有噪声低、转弯半径小、爬坡能力强、投资小、建设周期短，智能环保等特点，该技术在国内仍处于起步阶段，目前仅在重庆市开通运行了少量线路，引进日本日立单轨技术，其轨道全部为简支结构形式。

芜湖市轨道交通1号线、2号线一期工程是国内首条自主设计并施工的跨座式单轨交通，国内首次创新采用连续刚构体系，轨道梁设计为先简支后连续，采用工厂化预制，最大跨30m，达到国内第一，国内尚属罕见，缺少成熟经验可以借鉴。从自动化、智能化、数字化方面进行出发，研发了一种新型轨道梁预制施工的模板系统，解决现阶段曲线轨道梁模板施工线形控制差、施工效率低的难题，并且能满足曲线梁多梁型、多跨径、高精度的预制要求，以节约生产成本，提高施工工效。

二、关键技术内容

(1) 通过综合钢模型的设计原则，工程采用了门架式曲线梁模型，模板采用侧模固定、底模台车滑移的生产模式。侧模顶部通过可调式调节器悬挂在型钢门架横梁的上，侧面通过加力器与门架立柱连接，形成一个整体。

(2) 模板组拼安装分为基础施工、门架立柱安装、台车安装、底模安装、侧模安装、支座安装、堵板安装调试、整套模板直线零调试及模板曲线调整。

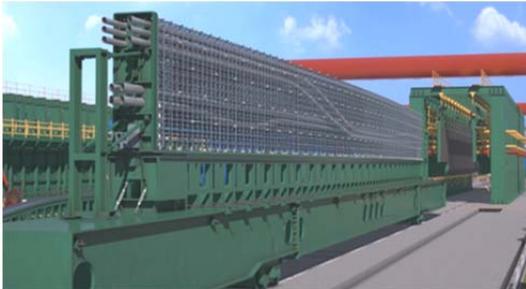
(3) 梁体侧面倒角通过在模板上设置倒角来实现，底部倒角采用橡胶倒角，既可满足任意曲线线形的调整，又可与侧模密贴不产生漏浆。顶部倒角与线形条共用，可为梁体收面提供基准。

(4) 底模在台车上进行调整，利用测量机器人进行放样定位，人工逐节调整到位。侧模利用中控系统，数字化操控，通过伺服电机驱动加力器带动模板弯曲，形成设计理论曲线。



高精度智能化模板系统

(5) 模板整体采用的是侧包底的设计思路，主要由门架立柱、底模台车、侧模板、数控加力器、线性条等组成，采用侧模固定、底模滑移的模式，通过台车纵、横向移动完成工序间的衔接与转换，实现流水线作业。模型整体采用节段式设计，通过拆装、增减节段的数量达到满足不同跨径、梁型、曲线半径的轨道梁预制施工。



曲线轨道梁底模台车



曲线轨道梁合模调整

三、与同类技术对比

创新点：(1) 是研发了曲线循环生产线模式，一套固定侧模配四套滑移式底模，台车通过在固定台位间的移动进行工序间的转换、衔接，形成循环流水作业。(2) 是节段式拼装底模技术，通过不同型号、节段的数量、位置的组合，满足不同梁长、梁型的施工。(3) 创新采用了数显曲线模具连接装置，可根据模板倾角、线形自由转动，减少模板变形。(4) 研发了高精度智能化模板调节系统，侧模自动化开合与调节，实现机械化、自动化、智能化调节，利用伺服电机智能同步顶升调节，且伺服电机调节精度可达到 0.1mm。(5) 各种梁型均可便捷转化，灵活性高，一套模板即可完成三种梁型的预制任务。

优势：一榀轨道梁生产周期 $\leq 6h$ ；可实现多种梁型轨道梁混线生产，曲线轨道梁预制精度 $\leq 3mm$ ，自动化程度高，中控系统一键操作；该模板系统操作简单、实用，提高了施工工效及精度，实现了机械化换人、智能化无人的生产目标，技术先进。

四、推广应用情况

曲线轨道梁预制施工高精度智能化模板系统操作简单、实用，节约项目成本，提高了施工工效，施工期间总结出了曲线 PC 轨道梁预制-检测成套的施工新工艺、新设备，满足了曲

线 PC 轨道梁施工高精度的要求，填补了国内跨座式单轨连续刚构轨道梁预制施工的空白。依据该工艺预制的轨道梁成品外观质量优美、线性流畅、工程实体质量可靠，受到了业主和监理单位的一致好评，并作为全线示范工地组织外部单位参观交流。施工中所采用的新设备、新技术、新工艺被多家媒体多次报道，目前已推广应用于柳州轨道交通建设，并为合肥新型轨道交通产业园试验线预制 79 榀轨道梁。项目接见了巴拿马总统府外交司司长，对跨座式单轨技术进行深入交流，为拓宽国际市场打下了基础。

五、相关知识产权及荣誉

本成果共计申请了 4 项实用新型专利，3 项发明型专利，1 项软件著作权。获省级工法两项，国家 QC 成果奖一项。中铁四局万众创新一等奖。

完成单位：中铁四局集团有限公司、中铁四局集团第二工程有限公司

完成人：马超龙、余秀平、岑峰、陈列虎、严郑应、孟晓东、蔡跃龙、朱利荣、李勇海、魏少兵

斜拉桥索塔钢横梁施工技术

一、立项背景

随着公路桥梁建设的快速发展，斜拉桥作为跨越江河湖泊的重要结构载体，正发挥着至关重要的交通枢纽作用。目前斜拉桥多采用钢锚梁、钢锚箱及预应力混凝土拉索结构形式，使得塔柱易受到部分不平衡水平力作用，而产生裂纹等诸多问题，影响索塔受力结构及其耐久性，因此对于大跨径斜拉桥拉索锚固技术急需再次突破，以适应桥梁建设的要求。

池州长江公路大桥桥梁全长 1448m，为主跨 828m 的等高塔混合梁双塔斜拉桥，塔高 243m，索塔创新性采用集聚锚钢横梁结构形式，在上塔柱塔间设置 6 道钢横梁，通过集聚锚钢横梁结构设置将塔柱两侧拉索水平力传递至钢横梁、竖直分力由钢横梁传递至塔柱混凝土，使得塔柱不受拉力仅传递剪力，解决了传统塔柱上部拉索区因受到不平衡水平力作用而产生的各类结构问题，提高了索塔混凝土结构的安全性与耐久性。

二、关键技术内容

通过新型钢横梁科学合理的结构设计，塔柱两侧拉索的水平分力通过钢横梁承受，竖直分力传递至塔壁柱混凝土中，塔柱不受拉力，仅传递剪力，有效解决了斜拉桥索塔受到不平衡力后产生裂纹、影响索塔结构受力等诸多问题；同时钢横梁采取工厂化预制完成，锚固点的位置和角度易控制。

主要创新技术：（1）为减少承重结构自身累加变形对钢横梁安装精度的影响，设计研究出刚度控制为主、应力控制为辅的鱼腹式桁架结构承重梁，并通过足尺模型荷载试验，验证了安装平台的刚度、强度满足钢横梁精确定位要求；（2）采用三维建模分析方式计算钢横梁块体重心位置，设计专用吊装吊耳，保证钢横梁起吊姿态平顺以及顺利落位；（3）针对新型结构钢横梁施工，采用“动臂塔吊+装配式重型钢牛腿+鱼腹式桁架+三向千斤顶调位系统+型钢与钢丝绳软硬结合防倾覆系统”成套创新施工技术；

钢横梁安装完成后，将金属板与主筋的焊接，采用锚杆吊架提升钢横梁锚固拉杆系统，利用锚杆定位架辅助设备将锚杆逐根安装到位并进行张拉，后进行钢横梁块体间拼接板高强螺栓初拧、终拧施工。



三、与同类技术对比

①研发了斜拉索集聚锚钢横梁模块化安装新技术、三向液压调位系统和导向限位装置，提高了钢横梁的安装精度；

②研发装配式重型钢牛腿为主及刚度控制为主、应力控制为辅的鱼腹式桁架结构为辅的承重梁，减少结构自身累加变形对钢横梁安装精度的影响。

③研发了动臂塔吊+装配式重型钢牛腿+鱼腹式桁架+三向千斤顶调位系统+型钢与钢丝绳软硬结合防倾覆系统成套创新技术，实现钢横梁的精确定位。

四、推广应用情况

斜拉桥索塔钢横梁施工技术在安徽省池州长江公路大桥南主塔施工中得到了成功应用，钢横梁位于塔间，直接替代了混凝土横梁，将大大降低施工成本；集聚锚钢横梁施工对比钢锚梁、箱施工，只需在每道钢横梁处增加塔柱壁厚，同时采用集聚锚结构形式无需在塔柱内进行锚固，减小了塔柱结构尺寸，总体可节省 10%混凝土；采用新型钢横梁集聚锚施工只需在上塔柱设置 6 道钢横梁，对比现有钢锚梁、钢锚箱等技术，将缩短工期 3 个月，大大减少了机械、人员与材料的使用使，使本项目投入直接减少 680 万元。

五、相关知识产权及荣誉

目前项目已取得实用新型专利 6 项、公路工程工法一项、中文核心期刊发表论文 1 篇，研究成果被中国公路学会评为“国内领先”水平。

完成单位：中交路桥华南工程有限公司

完成人：王海伟、夏江南、刁先觉、陈杨、唐代新、苏莹、刘望、谢南锋

大跨度贝雷梁支架整体顶升浮运拆除施工方法

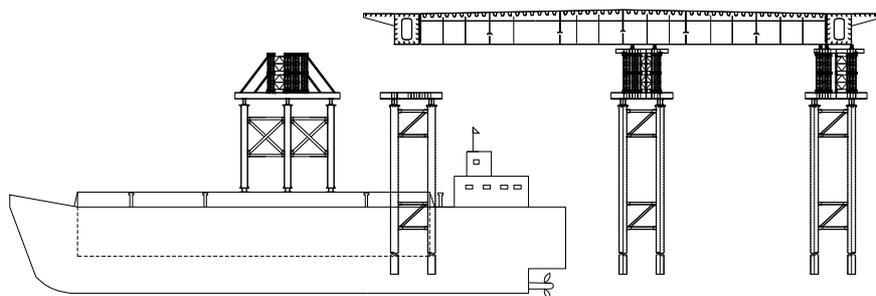
一、立项背景

阜阳市向阳路颍河大桥主桥为三跨梁拱组合体系拱桥，跨径布置为（47+148+47）m，全长 242m，宽 42m，采用搭设钢管立柱+贝雷梁或型钢的组合支架先梁后拱逐节拼装成桥。为解决桥梁施工对通航干扰的问题，梁部拼装支架预留大跨度通航孔保证施工期间河道正常通航。桥梁完工后，受钢梁底部空间限制，大跨度贝雷梁临时支架拆除有一定的技术难度和安全风险。

常规拆除梁底贝雷梁临时支架的方法是先打散分离贝雷梁组，将贝雷梁组拆分成若干个桁架片，然后逐个节段导出并吊装上岸。为解决这种拆除方式施工效率低，占用航道时间长，施工成本及安全风险高的难题，对跨河桥梁底大跨度贝雷梁临时支架拆除进行技术攻关。

二、关键技术内容

借鉴浮拖法架梁的基本原理，在船体上搭设顶升支架，通过船体浮力将贝雷梁组整体顶升并浮运出梁底，最后用大型浮吊将贝雷梁组吊装上岸。考虑贝雷梁组跨度大，采用双船并行顶升浮运以确保浮运过程船体稳定及施工安全。通过理论分析及施工实践表明，该支架拆除方案在技术上是可行的，但需确保贝雷梁与桥梁底部一定的顶升空间及河道水深需满足运输船、大型浮吊的吃水深度要求。



施工流程结构图



施工流程实物图

三、与同类技术对比

1、经济效应

与先打散分离贝雷梁组，后逐个节段拆除的传统拆除方法相比，阜阳市向阳路颍河大桥主桥梁底贝雷梁临时支架运用该方法拆除施工，施工效率显著提高，降低了施工成本 206.52 万元，节约工期 55d，经济效益显著。

2、技术效益

该拆除施工方案保证了梁部拼装支架拆除施工安全。该工法首次将浮拖法运用于临时支架结构拆除，扩大了浮拖法的应用范围，该工法核心技术已申请了国家发明专利，技术效益显著。

四、推广应用情况

应用项目 1：阜阳市向阳路颍河大桥及接线工程

阜阳市向阳路颍河大桥位于阜阳市市区，跨越颍河，连接颍东区和颍州区，主桥跨径布置为（47+148+47）m，全长 242m，宽 42m，为三跨下承式梁拱组合体系拱桥，钢结构总重 9032t。

采用该创新技术仅用 24d 就安全顺利拆除了 2350 片贝雷梁及其配件，共计 728.5t。实践证明，该施工工法在技术上是可行的，保证了跨河桥梁底部贝雷梁临时支架拆除施工安全，得到了业主、监理及海事部门的一致好评，为公司在桥梁施工临时支架积累了经验。

应用项目 2：阜阳市颍柳路泉河大桥及接线工程

由中铁四局集团有限公司承建的阜阳市颍柳路泉河大桥主桥跨径布置为（22+82+115+22）m，主桥全长 241m，宽 43.5m，为独塔自锚式悬索桥。全桥钢箱梁采用部分梁体拖拉法+部分梁体原位组拼法的施工方案，为保证通航净宽不小于 28m、净高不小于 7m，滑道梁采用 2 道 1100mm×1500mm 定制矩形钢箱梁作为滑道梁。两道纵向 72m 长钢道梁横断面为 1.1m 组装式箱梁（总重量为 310t）。受梁下空间限制，拆除梁底滑道梁存在一定的技术难度及安全风险。阜阳市颍柳路泉河大桥梁底滑道梁临时支架拆除运用该创新技术施工，安全高效完成了滑道梁临时支架拆除，施工过程无事故。

五、相关知识产权及荣誉

1、本工法的关键技术已在《铁道建筑技术》（2018 年第 9 期）发表名为《跨河桥梁底部大跨度贝雷梁临时支架整体顶升浮运拆除施工关键技术》的技术论文。

2、本工法的关键技术已申请名为《跨河桥梁底部大跨度贝雷梁临时支架顶升浮运拆除施工方法》（申请号：201720887480.7）的国家发明专利 1 项。

3、《跨河桥梁底部大跨度贝雷梁临时支架顶升浮运拆除施工工法》获得 2020 年安徽省省级工法。

完成单位：中铁二十四局集团安徽工程有限公司

完成人：周伟明

矮塔斜拉桥临时体外预应力实现拉索滞后张拉

一、立项背景

传统矮塔斜拉桥主梁悬臂浇筑施工流程： n 节段混凝土强度达到设计要求→ n 节段斜拉索挂索、张拉→挂篮行走至 $n+1$ 节段→ $n+1$ 节段施工，循环施工。矮塔斜拉桥无索节段与常规悬臂浇筑无异，但有索节段增加了斜拉索施工这道工序，而斜拉索施工往往就是有索节段施工时间最长的一道工序，成为制约桥梁质量、进度的关键点。

通过对矮塔斜拉桥临时体外预应力实现拉索滞后张拉进行研究，达到缩短工期、提高工效的目的，有力的提高本企业的科技水平及人才培养，同时推进桥梁技术的发展。

二、关键技术

采用临时体外预应力工艺，即在有索区每两个节段采用临时体外预应力进行预张，给予顶板预应力不连续节段足够的压应力储备，用以抵消顶板预应力不连续节段挂篮前移（先于斜拉索施工）施工产生的拉应力。从而满足先移挂篮后挂索、 n 节段挂索施工同 $n+1$ 节段挂篮钢筋模板工程施工同步进行，从而将挂索施工从关键工序剔除出来，有效缩短工期。

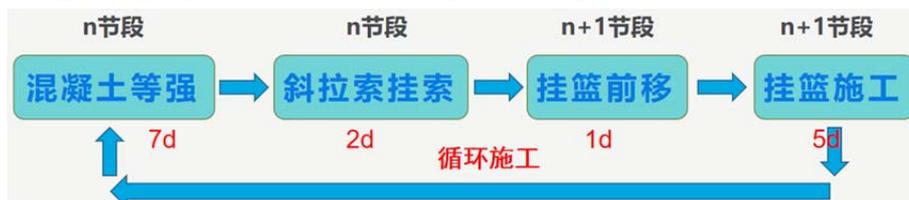


图 2-1 常规挂索施工流程图

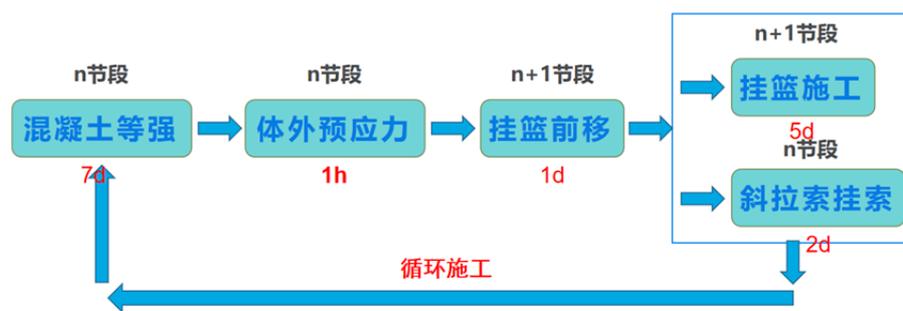


图 2-2 滞后挂索施工流程图

三、与同类技术对比

本工艺将斜拉索施工与节段其他工序由流水施工变为了平行施工，斜拉索将不作为节段施工的关键工序，与传统工艺相对比，每个节段工期至少节约 2 天，共至少节约工期 32 天；有效缩短了节段工期，提高了施工效率。

表 3-1 工期分析对比表

斜拉索滞后张拉工法试验	传统方法需用时间	预期目标	斜拉索滞后张拉时间
洪溪特大桥左线1号桥单节段	15	13	12.5
洪溪特大桥左线2号桥单节段	15	13	12.5
洪溪特大桥右线1号桥单节段	15	13	13
洪溪特大桥右线2号桥单节段	15	13	12
平均时间	15	13	12.5

采用斜拉索滞后张拉施工,经济效益主要体现在工期缩短引起的人工、机械成本的节约,四个墩位挂篮施工完全同步的前提下经济效益共计为 372.59 万元。

表 3-2 经济效益分析对比表

工法	单节段 工期 (d)	机械费用(元)						人工费用(元)		节段数	合计(万 元)
		塔吊费用		罐车19辆及 铲车3辆、拌 合站费用 (元)	电梯4 台费用 (元)	拖泵费用(元)		人工费 (元)	项目管理成本 (元)		
		7525型2台 (元)	7015型2台 (元)			8018型 2台	HBT110- 26-390RS型 2台				
常规工 艺	15	84000	62500	318300	73700	85000	25000	144人 ×15×300 =648000	30000×15=45 0000	16	2794.4
采用该 工法的 工艺	13	72800	54167	275860	63873	73667	21667	144人 ×13×300 =561600	30000×13=39 0000	16	2421.81

四、推广应用情况

在实施的过程中,完成文泰4标洪溪特大桥4个塔共计64节主梁拉索滞后张拉施工,至少节约工期32天,使用成效显著,质量可靠,得到了业主方、监理方的认可。



表 4-1 洪溪特大桥应用实景

五、相关知识产权及荣誉

本科技创新共获得一项实用新型(一种桥梁施工方法及体外束装置(202010072480.8))、一项发明专利(一种体外束装置(202020141586.4))、一项省部级工法(《斜拉索滞后张拉施工工法》)、课题经交通建设科学技术成果鉴定为国内领先。

完成单位:浙江交工金筑交通建设有限公司

完成人:范远林、翁杨、谢兰夫、张红黎、姚正权

桥面除冰能量桩系统关键技术研究

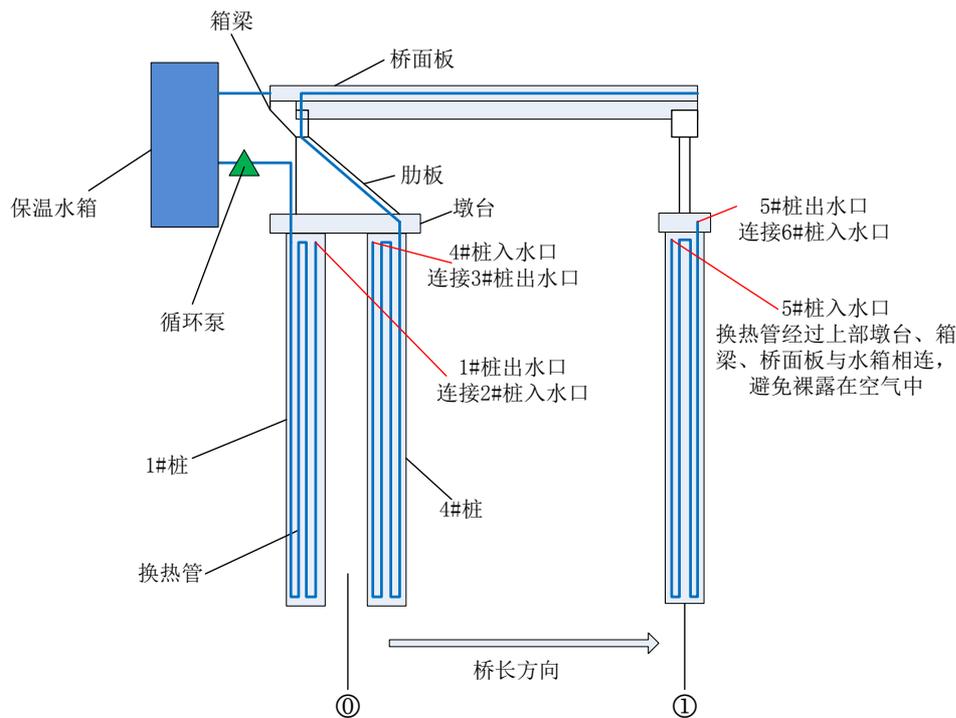
一、技术背景

黄河流域及华北地区桥梁冬季下雪结冰期较长，桥梁是公路交通的咽喉，由于桥面积雪结冰而引发的交通事故逐年增加，造成较大的人员伤亡和经济损失；同时，桥面除雪常用的方法是撒工业盐，“盐化”现象、地下水污染等环境问题严重，还会对路面结构产生损伤、桥梁路面耐久性下降。因此，快速、环保、有效地桥面融雪除冰系统是急需解决的重要技术问题。

二、关键技术内容

1. 桥梁地源热泵换热系统及其施工技术

目前桥面除冰以撒盐式和机械式为主，盐会加速桥梁结构的腐蚀并威胁到结构整体稳定性，针对此问题，发明了一种桥梁地源热泵换热系统及其施工方法，在桥墩内布置第一换热管和在桥面内布置第二换热管，在冬季将地热传导桥面进行加热除冰，在夏季将桥面热量传递至地层避免桥面因热膨胀而损坏，环保绿色。



桥梁地源热泵换热系统

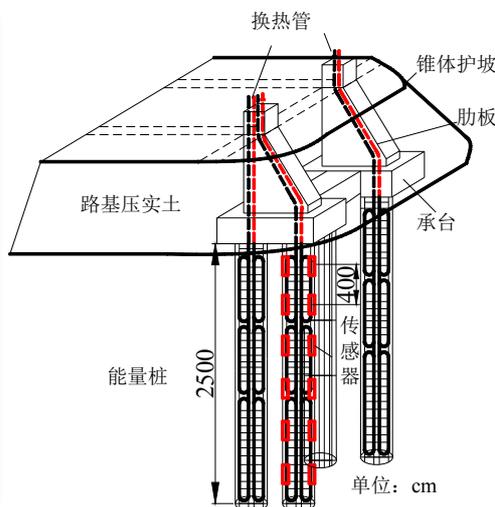
2. 桥面能量桩除冰系统换热管制作与安装技术

发明了新 U 型埋管能量桩桥面除冰施工技术、W 型热交换管的预制管桩桥面除冰施工技术、吸塑声测管能量桩桥面除冰施工技术、确定桩内最佳埋管形式，总结出桥面工程能量桩

除冰系统换热管制作与安装技术。



换热管绑扎



传感器固定

钢筋笼下放

新 U 型能量桩施工图

3. 桥面能量桩除冰系统结构响应分析

进行了无桩顶荷载下的承台式能量桩现场热响应、冬季路堤荷载和温度联合作用下大直径灌注桩热力响应特性现场试验，在能量桩桥面除冰系统布设相关传感器，得出循环温差下的结构响应，找出了相关规律，保证了结构安全和耐久性，为后续工程提供技术参考。

4. 桥面能量桩除冰系统关键技术优化

对桥面能量桩除冰系统关键施工技术进行探究并优化，通过现场试验、模拟分析，研发出一套针对桥面能量桩除冰系统的优化设计方案和关键施工技术，为今后类似工程施工提供技术参考。

三、与同类技术对比

桥面除冰能量桩系统关键技术属于绿色施工技术范畴，可有效预防冬季桥面结冰，解决了桥面传统除冰工艺形成的不可避免的能源消耗、质量缺陷和环境污染，减少人材机等各种费用的投入（经测算桥梁每平米经济效益节省 20 元）；同时，还能避免昼夜温差对桥面的损伤，以及夏季桥面沥青热融问题，创新技术具有新颖性和先进性。

四、推广应用情况

研究成果已成功推广到公司国道 310 新建南移项目、焦作市东海大道项目等多个工程，取得了理想的实施效果。该技术应用绿色能源-地热能进行桥面除冰融雪，实施过程中为企业储备科技创新人才，扩大了企业影响，同时该技术响应国家绿色建造、碳中和号召，绿色清洁环保，可为后续其他桥面除冰项目提供技术参考，具有显著的经济、环保、社会效益。

五、相关知识产权及荣誉

该技术获得发明专利 5 项，实用新型专利 5 项；发表知网检索论文 3 篇，发表核心期刊论文 1 篇，已录用 EI 论文 1 篇，投稿 EI 论文 1 篇；获得省部级工法 1 项；荣获省部级科学技术成果特等奖。

完成单位：中建七局第四建筑有限公司

完成人：翟国政、高宇甲、申岩、韩明涛、李洪亮、何涛、焦继伟、牛彦平、赵展、韩志攀

增加临时对拉装置拆除系杆拱桥施工工艺

一、立项背景

丹阳市云阳大桥老桥主桥为 70m 跨径三拱肋钢筋混凝土系杆拱，满足四级航道通航净空 $55 \times 7\text{m}$ ，但已无法满足三级航道通航标准，须拆除原址重建。现状桥位水域水深和空间位置不能满足大型浮吊作业要求，同时京杭运河航道内不能长时间断航，不能搭设水中支架。

目前系杆拱桥常规拆除方法主要有三种形式，分别为支架法、拱肋系杆整榀吊装拆除法和倒塌法。支架法在受航道限制时无法采用。拱肋系杆整榀吊装拆除法对作业水域、空间位置等要求高，同时设备的进场及施工费用高。倒塌法需要调遣起重船进行打捞，打捞拱肋作业周期长，对航道影响大。

经技术分析在系杆、拱肋单独吊移时，如先拆除拱肋，长度较长的系杆无法满足受力要求，若先拆除系杆，则需要解决拱肋产生的水平推力平衡问题。通过增加临时对拉装置，并利用有限元软件建立模型，对拆除过程中构件的应力及稳定性进行分析，形成拆除施工工艺步骤，为系杆拱桥的拆除提供了一种新的方法。

二、关键技术内容

在系杆拱桥拱肋端部增加临时对拉装置（如图 1），先拆除系杆，拆除系杆后临时对拉装置承受拱肋端部的水平推力，使拱肋在系杆拆除后处于平衡稳定状态，再拆除拱肋，实现系杆和拱肋依次吊装拆除。

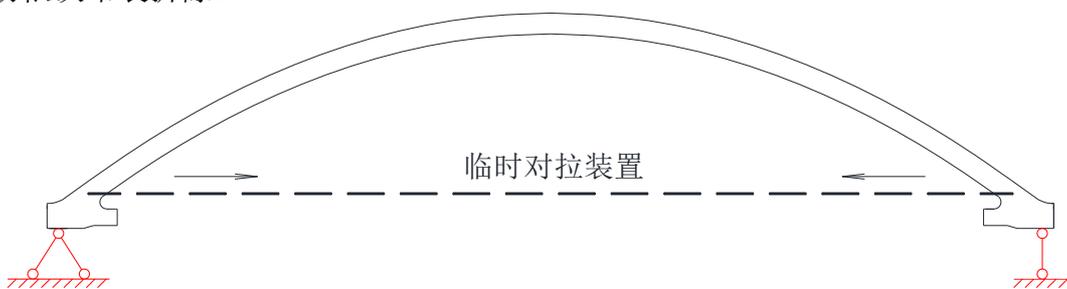


图 1 临时对拉装置受力示意

1、桥面附属设施拆除

拆除桥上附属设施，将拆除物运至临时弃点。

2、人行道挑梁拆除

拆除人行道板，汽车吊配合绳锯拆除挑梁。

3、临时对拉装置安装

在同一拱肋的两拱脚之间安装精轧螺纹钢临时对拉，承受系杆拆除后拱肋端部的水平推

力。搭设拱脚支架保证系杆、拱肋拆除后剩余的拱脚不会侧翻。

4、风撑拆除

汽车吊配合绳锯拆除中风撑，留两端边风撑保持拱肋之间横向稳定。

5、桥面板及中横梁拆除

汽车吊配合绳锯，由跨中向两侧拱脚交替拆除桥面板、中横梁。

6、混凝土系杆拆除

两台浮吊四点捆绑起吊系杆，施加预紧力后，按成桥张拉的逆向顺序切断吊杆底端，然后靠拱脚位置将系杆切断，浮吊将系杆吊离（如图2）。系杆拆除后由临时对拉装置承受拱肋端部的水平推力。

7、拱肋拆除

两台浮吊四点捆绑起吊拱肋，施加预紧力后，绳锯在靠拱脚位置将拱肋切断，浮吊将拱肋吊离。采用1台小浮吊对最后拆除的单片拱肋进行稳固式提吊（如图3），保证单片拱肋的结构安全。



图2 两台浮吊将系杆吊离

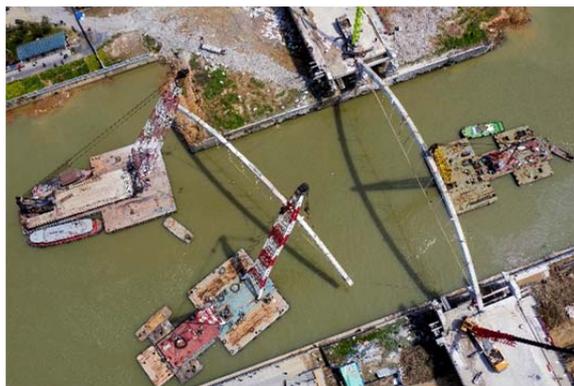


图3 小浮吊对单片拱肋稳固式提吊

8、拱脚拆除

1台浮吊两点吊将拱脚及端横梁吊离。

三、与同类技术对比创新点、优势

1、创新点

按照先系杆、后拱肋、再拱脚的顺序进行拆除；拱肋、系杆不分段拆除，无需搭设拱肋、系杆拆除支架；系杆一次切断，无需释放系杆中的预应力。

2、优势

丹阳市云阳大桥老桥拆除施工采用该工艺，利用小型起重设备降低了设备费和措施费，节约成本约玖拾捌万元（98万元）。

四、推广应用情况

2020年3月至2020年4月，江苏省交通工程集团有限公司应用本工艺，在云阳大桥老桥拆除中，实现了系杆和拱肋依次吊装拆除，成功地解决了航道上无法搭支架和拱肋系杆整榀拆除大型浮吊无法进场情况下系杆拱桥拆除施工难题，系杆、拱肋和拱脚采用小型起重设备并在海事部门批复的封航时间内拆除。

五、相关知识产权及荣誉

- 1、《系杆拱桥增加临时对拉装置拆除方法》（专利号：ZL 2018 1 0490774.5）；
- 2、《增加临时对拉装置拆除系杆拱桥施工工法》获得2020年度江苏省省级工法；
- 3、《增加临时对拉装置拆除系杆拱桥施工工艺》获得2020年度江苏省公路水运工程施工工艺创新大赛“三等奖”；
- 4、《增加临时对拉装置拆除系杆拱桥施工工艺》获得2021年度中国施工企业管理协会举办的首届工程建造微创新技术大赛“一等奖”；
- 5、《系杆拱桥增加临时对拉装置拆除方法》获得2021年度中国施工企业管理协会举办的首届工程建设行业高推广价值专利大赛“优胜专利”；
- 6、《增加临时对拉装置拆除系杆拱桥的施工技术》2021年9月份在《公路》上发表。

完成单位：江苏省交通工程集团有限公司

完成人：丁玉春、李勇、杨志忠

先张法预应力混凝土轨道板生产线张拉系统

“先张法预应力混凝土轨道板生产线张拉系统”现应用于高速铁路先张法轨道板的预制生产中，同时可拓展应用于“地铁板”、“道面板”等有预应力张拉工艺的预制构件生产中。其独创的“液压驱动机械锁紧螺母”、“单根单端同步张拉”等技术有效解决了传统张拉工艺占地较大、张拉同步不稳定、有效张拉力不准确等多个技术难题，是我国高速铁路轨道板智能制造技术的核心。整体结构主要由支撑框架、定位框架、定位装置、张拉横梁、连接器、张拉装置、锁紧装置、张拉控制系统等组成。作业时，定位框架采用销孔结合的方式实现与模具精准对位，张拉控制系统通过力值传感器反馈信号，自动控制液压千斤顶的流量实现同步张拉及持荷，并采用液压驱动机械锁紧螺母的方式实现有效张拉力的锁定。在整个张拉过程中，张拉数据实时自动采集并反馈给张拉控制系统，实现了预应力张拉工艺动态在线优化。本技术的应用将轨道板有效张拉力离散值控制在 2.38% 以内，同时使生产效率提升 20% 以上，实现了轨道板预应力张拉工艺的无人值守。应用本技术的“轨道板流水机组法生产线”，截止目前共计生产轨道板 111470 块，创造新增利润 2015 万元。

一、背景

为使中国高铁快速发展走出国门，满足一带一路以及《中国制造 2025》综合战略要求，适应当前国际间高速铁路建设的激烈竞争需要，研发更为先进、工艺自动化、工序简洁科学的 CRTSIII 型先张轨道板生产流水线势在必行。由于先张法轨道板生产中预应力施工技术是轨道板质量的核心，预应力施工质量的关键取决于张拉机构的安全和准确。张拉工序及配套设施作为其中的关键工序及配套设施不仅是设计及生产过程中的技术难点之一，同时也是本领域的重要研发方向。

二、关键技术内容

“先张法预应力混凝土轨道板生产线张拉系统”整体结构主要由支撑框架、定位框架、定位装置、张拉横梁、连接器、张拉装置、锁紧马达、张拉控制系统等组成。作业时，定位框架整体通过与主框架连接的升降油缸实现上、下升降，完成与轨道板模具上四个定位孔及端面的脱开分离、接合定位。在纵向和横向的张拉横梁上对应每一根预应力筋独立设置有单独的锚固电机、张拉千斤顶及力值传感器。张拉控制系统通过力值传感器反馈信号，自动控制液压千斤顶的流量实现同步张拉及持荷，并采用液压驱动锚固电机机械锁紧螺母的方式实现有效张拉力的锁定。在整个张拉过程中，张拉数据实时自动采集并反馈给张拉控制系统，

实现了预应力张拉工艺的动态在线优化。



图 1: 本技术



图 2: 传统张拉工艺

三、与同类技术对比

1.单根单端同步张拉技术

本系统首创的“单根单端同步张拉技术”采用液压驱动、PLC 控制的整体技术思路，将不同轨道板型的预应力体系分解成若干个独立的张拉单元，一端设为张拉端，一端设为固定端，通过独立设置的力值传感器实时反馈张拉数据至张拉控制系统，实现单根单端同步张拉。该技术彻底革新了传统轨道板张拉工艺需要批量建设张拉矩阵反力台座的整体张拉模式，使张拉工艺更为简捷，同步性差值由 2KN 提升至 0.5KN。

2.液压驱动机械锁紧螺母技术

本系统首创的“液压驱动机械锁紧螺母技术”对张拉杆锁紧六棱螺母及锚固电机锚头进行了精确的匹配性设计，使其对位速率在 5s 以内，对位精度达到 100%。在张拉工艺持荷阶段结束后，液压马达驱动六棱锁紧螺母快速锁紧张拉力，相比其他张拉工艺的机械锁顶、皮带锁紧、楔形块锁紧等模式，有效张拉力更精准，损失值控制在 3% 以内，离散值更小，控制在 2.38% 以内。

3.轨道板平面度得到有效控制

本系统对比原张拉方式的轨道板平面度得到了有效的控制，平面度设计偏差为不大于 2mm，通过本系统技术将轨道板平面度的平均值控制在 1.3mm，大大提高了轨道板平面度质量。

四、推广应用情况

本系统技术应用于中国铁路设计集团盐通铁路工程 YTZQ-8 标工程，完成轨道板预制 53794 块；应用于中铁十四局牡佳客专 6 标工程，完成轨道板预制 20716 块；应用于中铁十二局朝凌铁路联络线工程 TJ-3 标工程，完成轨道板预制 35210 块；应用于新建江苏南沿江城际铁路工程，当前完成轨道板预制 1750 块，计划 2022 年全部完成 45248 块轨道板的预制。

五、相关知识产权及荣誉

1、知识产权证明：2018 年取得实用新型专利证书（专利号：ZL2018 2 0015383.3）；2、荣誉：

(1) 股份公司科技一等奖证书 (2) 工法：国家铁路局部级工法 辽宁省工法

(3) 辽宁省科技进步奖二等奖 (4) 沈阳市职工技术创新成果奖 (5) 中国中铁成果评审证书 (中铁股份工评字 (2017) 第 213 号)

完成单位：中铁九局集团有限公司，河北益铁机科技电有限公司，中国铁道科学研究院铁道建筑研究所，北京铁科首钢轨道技术股份有限公司

完成人：贾有权、陈晓鹏、王启迪、全萍、曹继伟、崔好林、马仲举、王培、白元平、李石永

一种具备大角度荡移和爬坡能力的缆载吊机

悬索桥是特大跨径桥梁的主要型式之一，大跨径悬索桥主梁吊装主要采用：缆索吊、桥面吊机、缆载吊机三种设备进行，吊装设备的选择往往需要结合结构设计、桥位地形、场地、道路运输情况等因素。在具备通航条件的开阔水域施工，利用缆载吊机进行加劲梁整节段吊装施工，在施工进度、成本及安全等方面具有较大优势，面对不同的施工环境、桥梁结构特点（主缆直径、主缆中心间距、主缆倾角、索夹长度等），需提升桥梁专用施工设备的适用性、安全性及设备周转率，继而提升经济效益。

课题历时多年科技攻关，采取了“理论分析 → 数值模拟 → 模型试验 → 现场试验 → 工程应用”的技术手段，实现了部分缆载吊机的结构性能指标的突破，进一步提高了缆载吊机的适用性能。

创新点一：优化了缆载吊机结构形式，行走机构采用滚轮形式，单个滚轮可自由调节高度以适应不同主缆倾角，其最大爬坡倾角达 30 度；主桁架与行走夹持机构采用销轴连接，主桁架在水平分力的作用下能够实现转动，减小夹持固定机构的水平分力，进而在确保钢梁吊装安全前提下实现大角度荡移，最大荡移角度为偏移法向 20 度。相关指标均为目前国内之最，有效提升了设备的周转利用率，解决了特殊条件下的钢梁吊装难题。

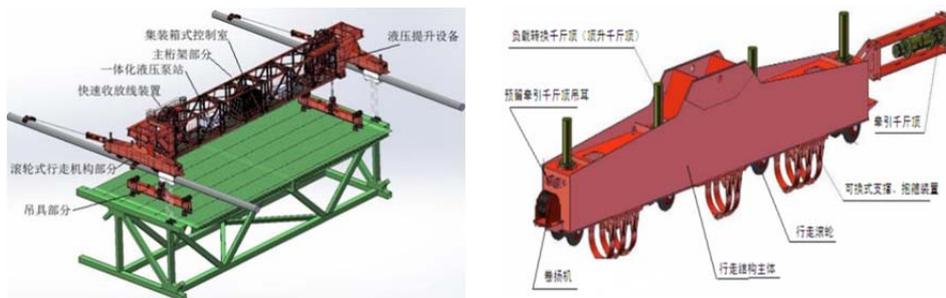


图 1 缆载吊机总成图及行走及夹持机构图

创新点二：优化了缆载吊机行走系统锚固装置，采用销轴式结构，能自动适应主缆倾角的变化，使牵引千斤顶牵引力的方向与锚固方向始终一致，减少了牵引力的损失，也相应提高了爬坡能力，最大适应爬坡倾角可达到 30°。

创新点三：缆载吊机主桁采用单元式结构，可适应不同主缆间距；并发明了多跟钢绞线排绳装置，提高缆载吊机安全性能；发明了吊点可调式吊具，以适应不同结构钢梁重心变化，实现快速平稳起吊。



图2 缆载吊机行走锚固装置

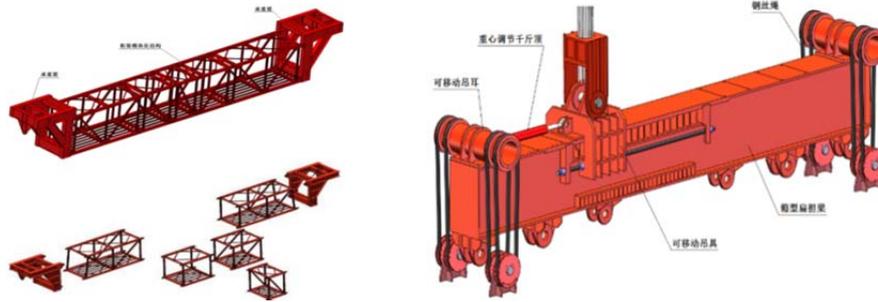


图3 缆载吊机主桁架及吊具结构

通过与国内外同类技术的综合比较可知，本成果缆载吊机在适用主缆倾角、荡移角度等技术指标，适用桥梁结构性能及后期周转利用率等方面具有领先优势，获授权实用新型专利7项，发表核心期刊论文4篇，形成省部级工法1项，经鉴定成果整体达到国际先进水平，并获中国交建科技进步二等奖、优秀专利奖。

表1 缆载吊机适用主缆倾角及荡移角度参数国内外研究对比表

主要内容	本项目技术水平	国内、外技术水平	对比结果
适用最大主缆倾角	30°	25°	主缆适用能力提升 20%
最大荡移角度	20°	未见报导	首创

成果成功应用于杭瑞高速洞庭湖大桥施工，解决了复杂结构及有限空间条件下的钢梁吊装难题，降低安全风险，提高施工效率，减少大型辅助设备投入，合理压缩施工周期 1.5 月，节约施工直接成本 174 万元、间接成本 751 万元，且周转利用率高，成果应用前景广阔。



图4 杭瑞高速洞庭湖大桥缆载吊机应用情况

完成单位：中交路桥华东工程有限公司、中交路桥建设有限公司

完成人：刘钊、石强、蒋德林、叶剑明、周俭、陈宵梅、李忠周、张振、陈昭安、杨军宏

一种液压组合式提吊旋转安装技术

现代金属板材或型材生产线的建设与改造时，由于业主基于经济效益和节约资源的考虑，减少了工厂内起重设备的配置，只满足生产的需求，同时对工期要求十分苛刻。

在施工中，轧机设备安装多采用闭口施工，由于轧机机架重量超重、外形体积超大，厂房内的行车起重能力远不能满足设备安装的要求，如采用传统的旋转平衡法施工，存在一定的安全风险和弊端：①机架在顶升和下降过程中，下降速度及同步性较难控制，框架的稳定性较差；②随着顶升（下降）落差越大，稳定性越差，曾发生过立柱倾斜超差现象，给安装过程及操作人员带来极大的安全隐患；③冲击载荷不仅对设备本身产生不利影响，而且也影响了工艺设备安装的精度和定位。

为此，我公司对传统旋转平衡法进行优化升级、技术改造，将原采用人工增减垫块的阶梯式顶升工艺改为液压提升工艺，并对整体支撑框架进行更新设计、制作，对其强度及稳定性进行了建模验算等，以提高其工艺可靠性、操作安全性、实施通用性，并提升工程施工的技术能力，其关键技术及创新点如下：

1、研发了液压提吊和旋转平衡的优化组合安装技术，将推移、提降和旋转融为一体，加强了吊装作业的连续性，降低了操作人员的风险和作业人员的劳动强度，提高了设备安装的工作效率；

2、优化了组合式支撑体系装置，保证提升框架的稳定性，确保了安全，减少了材料堆放、场地占用；

3、创新了液压升降装置的控制系統，开发了特大、重型设备无级匀速、平稳精准安装与监测技术，保证了设备安装精度。

液压组合式提吊旋转安装施工技术是我公司首创，最大提升载荷达 700 吨，最大提升高度达 8m，在国内外尚无先例，经查新和专家鉴定，一致认为《液压组合式提吊旋转安装技术》具有新颖性和先进性，达到国际先进水平。



液压组合式提吊旋转安装过程

本成果在研发过程中，授权了 1 件发明专利《大型牌坊的吊装用具及其施工方法》(ZL201510582842.7)和 2 件实用新型专利《大型轧机机架的吊装用具》(ZL201520709624.0)、《中小型轧机机架安装吊具》(ZL201520696882.X)；通过实践和总结，形成了 1 部部级工法《YGYJ006-2019 液压组合式提吊旋转安装机架工法》



本成果在天津忠旺 1 号热轧工程（单片牌坊重量约为 309.15t）、邯郸钢铁 3800mm 轧机改造工程（轧机整体重量约 900 吨）、济南钢铁 4300mm 宽厚板轧机拆除工程项目(单片轧机机架重量约为 370t)中得以成功地应用，有效降低了作业人员的投入量和工作强度，实现了绿色文明施工，投产至今，设备运行良好，满足生产工艺的要求，得到业主的一致好评。产生直接经济效益约 133.9 万元。

随着轧制技术的进步以及轧制产品的升级换代，厚板轧机越来越多，板厚增加和轧制力增大导致机架庞大、宽度增加，传统的旋转平衡法越来越难以满足要求施工要求。本成果对原有的平衡装置进行二次优化、更换部件和改造，解决了传统旋转平衡法安装轧机顶升高度受限制的技术难题，实现了绿色文明施工；本成果还可应用于大型结构、行车等设备的安装施工，应用前景十分广泛。

完成单位：上海宝冶集团有限公司

完成人：宋茂祥、张啸风、徐云、赵斌、孙建军、冯涛、杜成林、傅洪、黄鸣钟、王学珍

一种适用于喷射混凝土速凝剂的研制

一、研究背景

1、提出问题或需求

隧道湿喷技术经过近 50 年的发展，已成为世界各国喷射技术的主流，在我国湿喷射技术也得到了长趋进步和大力推广，但与之相配套的液态速凝剂研究却尚未成熟。

2、分析问题，找到主要矛盾

目前国内液体速凝剂大致分为无碱液体速凝剂和有碱液体速凝剂。无碱液体速凝剂对喷射混凝土后期强度保持较好，但掺量大，回弹率高，对设备腐蚀严重，而有碱液体速凝剂成本较低，设备腐蚀不严重，回弹率稍低，但喷射混凝土后期强度损失大。这两种液体速凝剂都各有利弊，还没有哪一种液体速凝剂可以在成本，质量，性能等各方面均衡兼顾。

3、提出解决问题的工作思路和技术路线

项目通过与厂家合作，共同研发一种新型双组份速凝剂，兼顾有碱液体速凝剂和无碱液体速凝剂两种产品优点，使得喷射砼具备回弹率低、强度高、速凝剂掺量少等优点，并逐步在公司范围内推广应用，为湿喷砼技术进一步发展提供参考和借鉴。

二、关键技术及创新点

1、关键技术

双组份速凝剂由两种液态速凝剂组合而成，是两种完全不同的化学组份，A 组份速凝剂主要为铝酸 3 钙、铝酸 4 钙或类似溶剂，起到平衡矫正水泥中微量元素的作用，达到将喷射混凝土预制到一个最佳喷射状态的实际效果。B 组份速凝剂为普通型速凝剂，可以是低碱速凝剂或无碱速凝剂。使用 A 组份速凝剂在预拌喷射混凝土时加入到搅拌机中，B 组份速凝剂在湿喷作业时掺入，速凝剂掺量：A 组份速凝剂 2%+ B 组份速凝剂（低碱）1%-3% \leq 5%。A 组份速凝剂 2%+B 组份速凝剂（无碱）2-4.5%，综合掺量 5%。

2、创新点

双组份速凝剂兼顾有碱液体速凝剂和无碱液体速凝剂两种产品优点，A 组份速凝剂在预拌喷射混凝土时加入到搅拌机中，B 组份速凝剂在湿喷作业时掺入，综合掺量 5%。拌制好的喷射砼采用湿喷机械手进行湿喷，满足喷射砼高强度、低回弹、速凝剂掺量少、工作和易性高等性能指标。

三、取得的知识产权

获得实用新型专利 2 项，发明专利 1 项；《基于双组份速凝剂在长大隧道湿喷中的优势探讨》获得中交一公局集团有限公司论文二等奖。

四、应用情况及经济社会效益

1、技术质量效益

AB 组份速凝剂与有、无碱速凝剂综合指标对比表

速凝剂名称	普通有碱速凝剂	无碱速凝剂	AB 组份速凝剂
抗压强度比	56%	>90%	>90%
综合掺量	7.80%	7.50%	5%
回弹量	20%	18%	8%
28 天强度	12.8MPa	27MPa	27.9MPa

2、经济效益

传统速凝剂成本核算表

序号	材料名称	材料用量	材料单价	合计（元）
1	水泥	498	0.355	176.8
2	机制砂	915	0.06	54.9
3	碎石	663	0.06	39.8
4	减水剂	4.48	2.89	12.9
5	速凝剂	38.8	2.53	98.2
混凝土成本（元/m ³ ）：382.6+382.6×0.2（喷射混凝土回弹量）=459.1				

AB 组份速凝剂成本核算表

序号	材料名称	材料用量（kg）	材料单价（元）	合计（元）
1	水泥	377	0.355	133.8
2	机制砂	940	0.06	56.4
3	碎石	769	0.06	46.1
4	减水剂	4.475	3.85	17.2
5	速凝剂	24.021	2.62	62.9
6	粉煤灰	94	0.175	16.45
混凝土成本（元/m ³ ）：332.9+332.9×0.08（喷射混凝土回弹量）=359.5				

通过上表可以看出，使用 AB 组份后强度得到保证，对配合比进行了优化，喷射混凝土可以节约 459.1-359.5=99.6（元/m³），按桐梓隧道（出口端）喷射混凝土设计量 95163m³ 计算（不考虑喷射砼超耗），整个工程喷射混凝土可节约 947.8 万元。

五、推广应用前景

新型双组份速凝剂喷射混凝土施工技术适用于高铁、高速公路隧道或者地下空间湿喷混

凝土施工，该混凝土在桐梓隧道施工过程中应用，喷射外观质量效果较好，且回弹率低，节约经济成本，得到业主中心试验室的认可，同时极力推广应用至相邻标段。公司内部也已大规模推广使用，取得了较好的社会、经济效益，在同类大跨公路隧道施工中有很好的借鉴价值，推广应用前景良好

完成单位：中交一公局第四工程有限公司

完成人：熊成宇、宋宝顺、朱吉斌、李维、王永刚、何銛、陈章元、卢鸿阁

高海拔恶劣环境破碎卵石下沥青路面施工工法

西部高海拔、高寒地区，气候多变、气温低、空气稀薄、大气干燥、紫外线强，对该地区修建的公路沥青混凝土路面路用性能提出了更高的要求，对优质沥青混凝土路用碎石如石灰岩、玄武岩等的需求量也越来越大。然而，西部高海拔地区地表植被层薄，生态环境脆弱，路面原材料开采受限，且西部高海拔地区沿线缺乏石灰岩、玄武岩等优质路用石料。考虑到上述地区分布着丰富的河滩卵石，卵石质地坚硬，抗压强度高、耐磨耐腐蚀，如果能就地取材，采用科学的破碎工艺，将卵石破碎后应用于沥青混合料，同时，优化沥青混合料配合比设计，采取抗剥落措施，提高破碎卵石集料与沥青的黏附性，并针对高海拔寒区特殊的气候条件，研究沥青混合料的拌合、运输、摊铺、碾压等温度控制方法及合理的施工机械组合、施工工艺等，提高高海拔寒区环境下沥青路面路用性能，必将产生巨大的经济社会效益和生态环保效益，对推进我国西部建设及一带一路建设有重大的意义。

该工法关键技术及创新点在于采用河滩卵石破碎加工路面集料，通过对破碎设备的组合，对卵石进行分级加工，使破碎面和各项指标满足要求，对破碎卵石进行相关试验，在沥青混凝土配合比设计时综合考虑沥青混合料的高温稳定性、低温抗裂性、及抗水损害等性能，并通过施工验证对配合比设计进行优化，使沥青混合料性能达到规范标准，主要有以下优势。

1.为了使混凝土具有较好的保水性和降温效果，发明了保水降温混凝土及其制备方法，有效抑制路面扬尘，同时能缓解城市“热岛效应”并有效地减小车辙。

2.为了保证筛分效果，计算筛分率，发明了多功能振动筛分机。能对待筛分物料进行自动加热干燥，可以控制储料仓的出料量，直接获取每层筛网上物料的重量信息，整个筛分过程处于密封环境，健康环保。

3.发明了沥青接触角测试试样成型干燥储运装置，该装置结构简单，整体密闭性好，能够同时悬挂固定多个测试试样，储运量大，并可除去箱体内的水分和灰尘等杂质，干燥使用方便，操作简单，省时省力，便于携带，内部组件便于拆卸清洗且可以反复多次使用，经济环保。

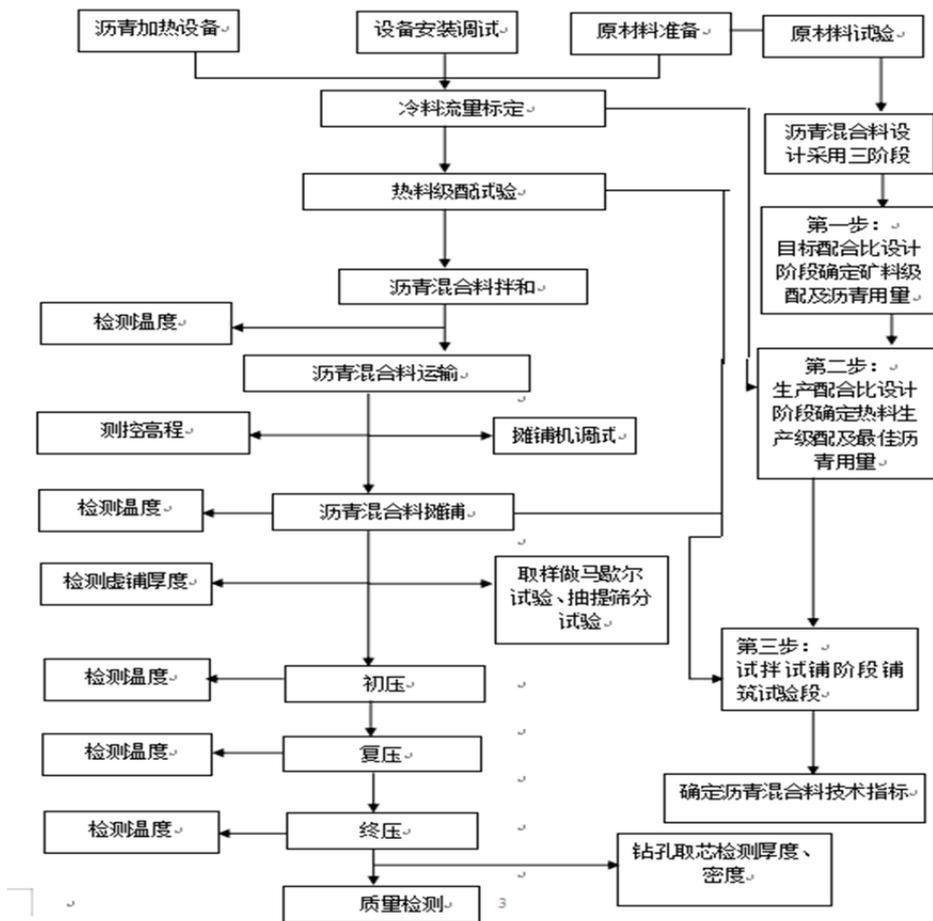
4.基于涡流扰动技术，开发了适应于卵石特性的卵石螺旋洗选系统、延长了螺旋叶片的使用寿命，有效地剔除了10mm以下的小卵石。

5.针对卵石的力学性能，研制了专用卵石破碎装备和加工工艺，提出了成套卵石精细加工技术。

高海拔恶劣环境破碎卵石下沥青路面施工技术应用，实现了西部高海拔高寒地区公路建设的就地取材，减少了高海拔寒区公路建设对优质石料的依赖，减少优质石料矿产资源的开采，减少了远运外购石料带来的运输安全隐患和成本增加，减少了资源消耗。

国外较早开展了将砂砾（卵）石材料应用于路面基层、底基层的建设中的研究，但是，尚未有将砂砾（卵）石材料大规模用于沥青面层混合料的技术研究，同样也无高海拔寒区恶劣环境下破碎卵石沥青路面施工技术的研究。

该项技术成功应用于西藏林芝至米林机场专用公路项目，节约外购碎石成本 652.8 万元，并已推广应用在西藏国道 318 线工米项目、西藏国道 318 线林达路面项目，取得了显著的经济和社会效益。



高海拔恶劣环境下沥青路面施工工艺流程图

该成果获得 4 个实用新型专利：ZL201721265472.5 一种鹅卵石筛分破碎料仓，ZL201821747447.5 一种多功能振动筛分机，ZL201920364323.7 一种沥青接触角测试试样成型干燥储运装置，ZL201721265474.4 一种螺旋鹅卵石洗选系统。同时被也评为 2020 年度中国公路建设行业协会工法。



完成单位: 中交二公局第四工程有限公司、中交第二公路工程局有限公司

完成人: 薛成、段德峰、赵阳、李晓刚、王晓川、张耀阳、刘润喜、陈耀科、苏艺博、李海风

柔性-连续钢箱梁小应变整节拼装及 多点自平衡顶推施工

一、立项背景

昭华湘江大桥主桥为独塔自锚式悬索桥结构，主梁为宽度 39.6m 钢箱梁，总长 364.9m。本桥钢箱梁跨越水中航道且箱梁超宽，不适于水中吊装，因此采取顶推法进行施工；顶推临时墩高度较高，顶推过程中产生的水平力影响临时墩稳定性，而且顶推过程如果同步性较差，支撑力不均匀，水平力会进一步影响临时结构的稳定性。如何实现柔性-连续钢箱梁精细化同步顶推，临时结构稳定和安全以及顶推过程的可控可纠偏，是本工程建设重点。

二、关键技术内容

本项目采用顶推法进行施工，首先将钢箱梁+前导梁作为整体梁段，并对顶推方案模拟分析；通过方案比选，确定顶推方案。在此基础上选择合适的前导梁布置方案，设计顶推临时墩，完成顶推技术研究。设计合理智能顶推控制系统，确保顶推同步性，开发智能监控软件，实时纠偏，实现顶推过程多点同步、受力均匀、实时纠偏。柔性-连续钢箱梁小应变整节拼装及多点自平衡顶推主要关键技术如下：

(1) 单元件制作反应变胎架，消除应力。采用计算机三维放样技术，绘制各构件详图，精准放样，数控切割、焊接编程。单元件制造时，采用机械化自动焊接技术；设计反应变胎架，减小温度、焊接应力。制作完成后，进行节段总装，并采用“5+1”的模式试拼装，确保钢梁的成品线型。

(2) 多点自平衡顶推，荷载均匀。顶推过程分析主要采用 midas 建立顶推模型，设计合理的临时墩，确保顶推过程中内力和变形均匀。前后导梁结构优化，减小结构内力和变形，达到顶推内力平衡。

1) 顶推临时墩。结合钢梁自身线型和顶推过程分析，确定临时墩顶标高；计算得出不同顶推工况临时支墩的最大反力，设计支墩。临时支墩采用直径 1.0m、壁厚 16mm 钢管桩组成，根据地质情况支墩桩基嵌岩深度 6m。

2) 前、后导梁。设计了实腹式和桁架式相结合的前后导梁，前导梁 60m，后导梁 40m。前导梁前端 30m 为桁架结构，后端 30m 为双翼缘板实腹结构，两榀桁架之间由单片桁架和支撑组成，后端部与大桥钢箱梁 1#分段刚性连接。后导梁为双翼缘板实腹结构与 36#节段刚性

连接。

3) 步履式顶推设备选型及顶推。根据顶推过程分析,采用步履式顶推装备(BL720),顶升能力400t,顶升量25cm,前移量30cm,全桥共计34套。每个顶推循环包含:顶升、前移、落梁、回程四个步骤。根据顶推总体设计,每3个分段为一个轮次,共15个顶推轮次。

(3) 自动信息化控制,同步顶推。顶推过程中,通过自动化信息控制系统,将34套顶推设备进行同步控制,保证顶推过程千斤顶统一步调顶进钢箱梁。

(4) 全方位监控量测,实时纠偏。顶推时在钢箱梁中轴线的前部、中部和尾部设置GPS观测点,实施监测顶推偏位情况,设置轴线偏位限值5.0cm,发出警报及时启动纠偏系统进行纠偏工作。

(5) 自动与手动纠偏,确保精度。钢箱梁过程中采用我司顶推自动化监测系统对前导梁和箱梁的监测点进行实时测量,并对轴线偏差进行预警,采用侧向千斤顶进行实时纠偏。

- 1) 在设备脱空的情况下将上部滑移梁转移到偏移的一方;
- 2) 进行同步顶升,直到钢箱梁脱离临时垫梁,将另一侧的导向约束去除;
- 3) 用横向调整油缸进行调整,同步下降到底,然后回复到初始状态。

三、与同类技术对比

2020年6月4日,上海市土木工程学会组织对该课题进行技术鉴定,认为该成果达到国际先进水平。2020年8月,经中国科学院上海科技查新咨询中心对该课题进行查新分析,认为该科研成果达到国际先进水平。

(1) 数控精准制作:采用计算机三维放样技术,建立钢梁的三维模型,对各构件准确放样,绘制各构件详图,采用数控套料精准切割、焊接。

(2) 确定制作参数:考虑到现场加工精度及施工允许偏差,在满足标准梁段长度复核设计要求和规范要求前提下,计算确定了锚箱间距、横向挠度、长度修正等参数。

(3) 设计顶推临时墩:通过分析钢箱梁顶推过程中内应力、临时支反力分析,确定顶推临时墩下部基础和上部结构、确定顶推设备参数、设计前后导梁;

(4) 施工技术创新:结合内河深水岩质地基工况,研发了内河深水浅埋岩质地基嵌岩钢管桩快速施工系统,并获得实用新型专利1项,申报发明专利1项(实审中);

(5) 自动化监控:开发钢箱梁动态监控系统,动态化反映在钢箱梁顶推过程中轴线偏差,实时指导顶推施工,并申报实用新型专利1项。

四、推广应用情况

本工艺在昭华大桥的成熟应用,有效解决了大跨度钢箱梁精细化拼装和顶推施工过程中

施工难题，钢箱梁整体拼装变形得到有效控制，顶推精度控制在毫米级。目前三航局承建的株洲清水塘大桥水中引桥段 5×57.5m 钢混叠合梁，采用该课题成果进行施工。该研究成果具有良好的推广应用前景。

五、相关知识产权及荣誉

本成果成功应用于昭华湘江大桥钢箱梁顶推施工中，系统性地解决了施工进度及安全管理方面的管理难点。开发出集成度高的操控系统，步履式顶推设备集顶升、平推及横向调整于一体，能够进行横桥向及竖桥向的调整。在顶推施工过程中，调整顺桥向及横桥向导向调整油缸、顶升支撑油缸的行程，计算机控制系统能够自动纠偏，保证钢箱梁轴线精准度。拼装及对位时，采用手动操作模式，进行各点的微调和精调，实现精准拼装。目前该课题已获授权实用新型专利 1 项，另有 1 项发明在公开中。

表 5-1 已获得专利证书

序号	专利名称	类型	专利号
1	一种独塔自锚式悬索桥大跨度钢箱梁步履式顶推系统	实用新型专利	ZL201821136266.9
2	独塔自锚式悬索桥大跨度钢箱梁步履式顶推施工工艺	发明专利	201810788772.4

2019 年 12 月，通过上海市金属结构行业协会评审，该项目钢结构工程被评为 2019-2020 年度上海市建设工程金属结构（市优质工程）“金钢奖”。

完成单位：中交第三航务工程局有限公司、中交第三航务工程局有限公司上海分公司

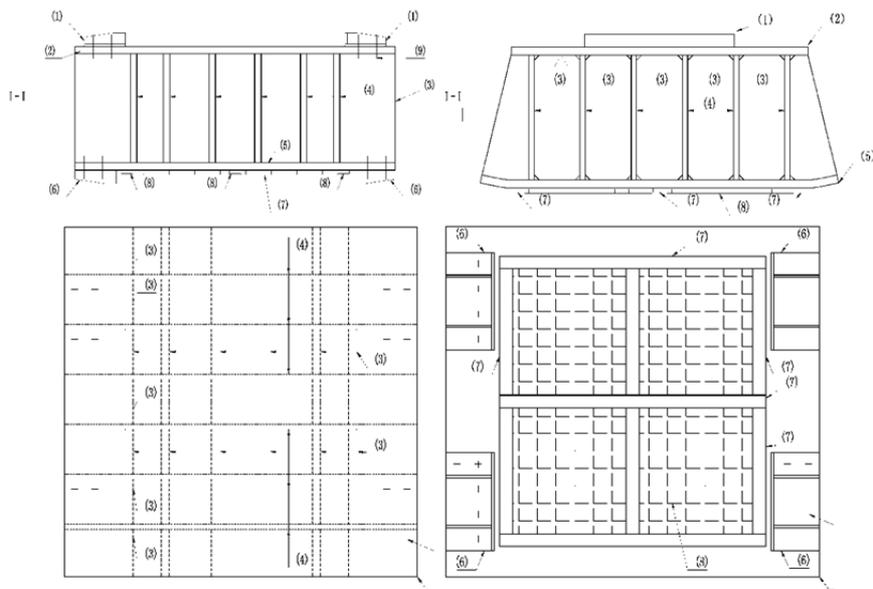
完成人：李业勋、赵云鹏、项勇、韩立勤、莫亚思、张坤鹏、王尔明、黄俊、于文津、王华南

双线重载铁路大跨度简支钢桁梁无支墩架设 关键技术

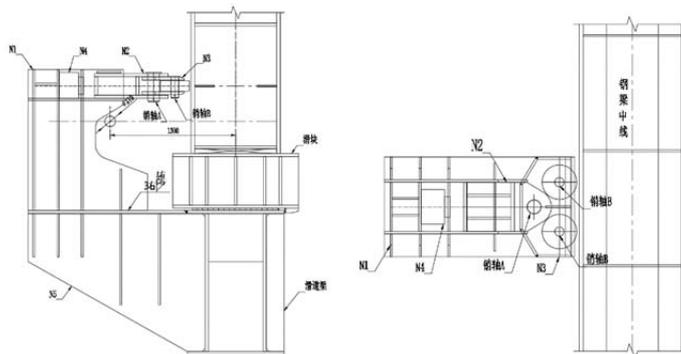
《双线重载铁路大跨度简支钢桁梁无支墩架设关键技术研究》课题以蒙华铁路跨南水北调大桥工程为载体开展技术研究。该桥为 1-108m 简支钢桁梁，总重 2000 吨。跨越南水北调中线干渠，其环保要求高，在保护区范围内禁止设置一切临时工程。

国内通常采用悬拼法、支架拖拉法及塔架拖拉法等方法施工，由于本项目为单跨简支钢桁梁无法采取悬拼施工，塔架拖拉法施工过程中索力不易监控，存在较大安全隐患。因南水北调工程保护区范围内无法搭设临时支架，故需对现有施工技术进行进一步研究，制定切实可行的施工方案，满足环保要求，确保安全施工。

创新点一：开发了一种集支撑、限位、防滑移于一体的支撑滑靴，减少了顶推滑移摩擦阻力、限制顶推路线、防止了底部滑板滑落，保证钢桁梁顶推前进的稳定与安全。



创新点二：开发一种集导向、纠偏于一体的装置，该装置保证了顶推过程中梁体的前进方向，在发生横向偏移时及时纠偏梁体，保证梁体按指定线路前进。



创新点三：首次提出了 2000 吨级钢桁梁顶推多点支撑变四点支撑控制技术，使各受力点在运行过程中与计算工况保持高度一致，避免多点支撑的复杂变化而导致的应力集中超限失稳现象，采用模拟检算、现场监测相结合的方式，确保施工过程中受力状况与模拟相符，确保施工安全

课题组开发了与课题相关的专利技术 5 项，其中 1 项发明专利，4 项实用新型专利。形成了与课题有关的工法 1 项，获得集团级和省部级工法，《创新型 QC 跨南水北调干渠 108m 简支钢桁梁架设方法研究》QC 成果获得了 2019 年度全国市政工程建设优秀质量管理小组一等奖；科技成果获得中国中铁股份公司国内先进。

该施工技术成果适用于跨引用水干渠大跨度简支钢桁梁顶推架设施工。其中，对大跨度钢桁梁顶推线形纠偏、控制技术，2000 吨级钢桁梁高位落梁同步控制技术，钢桁梁 110m 长钢绞线软牵引同步控制技术、简支钢桁梁顶推四点支撑滑座设计及施工技术、简支钢桁梁顶推限位、纠偏一体化装置设计及施工技术、108m 悬臂跨度承重 1500 吨级支墩技术等方面具有显著的推广价值，因此本成果对同类型桥梁具有很高的借鉴意义。

该成果已成功应用于跨南水北调简支钢桁梁工程施工中，效果理想。该桥采用本研究成果，提前 1 个月完成钢桁梁架设，节约成本 783.9 万元。

完成单位：中铁八局集团有限公司、中铁八局集团第一工程有限公司

完成人：付位勇、曹阳春、邹礼阳、姜建国、邓浩宇、方健、王蕴翔、李仲春、侯涛、潘均



跨既有城市立交钢箱梁顶推施工工装

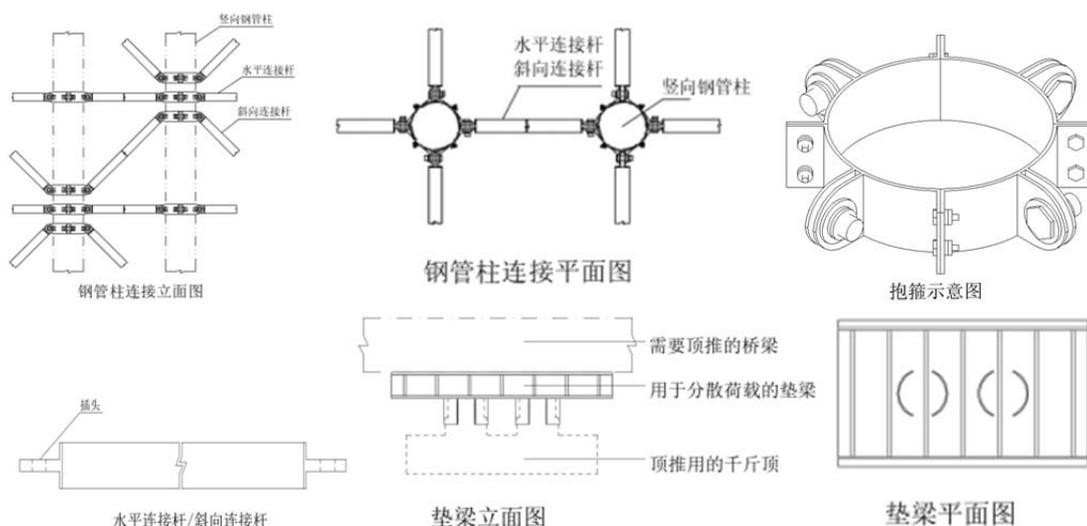
一、立项背景

随着桥梁工程数量和规模的不断增大，顶推法以其设备简单、施工速度快、不影响正常交通、节约用地等特点得到越来越多的应用。但顶推法所用的施工工装仍存在诸多问题，严重制约了顶推法的推广使用。本研究主要针对顶推工装，解决了以下问题：1.加快顶推工装的施工进度，2.保证顶推工装的施工安全，3.降低顶推工装的施工成本，4.减少工装产生的建筑垃圾，5.避免桥梁与顶推工装接触点位置可能产生的梁底变形。

二、关键技术内容

1.预制支架基础。预制基础时预埋吊耳，方便基础吊装安拆。安装钢管柱时先在混凝土基础上钻孔植入精轧螺纹钢，然后将竖向钢管柱通过法兰盘安放于混凝土基础上，最后在精轧螺纹钢上拧上螺帽进行紧固。

2.钢管柱侧向连接进行抱箍连接。在竖向钢管柱安装到一定高度后，首先通过钢管柱抱箍组件组装成抱箍安装到每个钢管柱上，然后将侧向连接杆（水平连接杆或斜向连接杆）插头插入抱箍插槽中，二者通过螺栓紧固形成铰接。



3.顶推千斤顶上“戴”垫梁。在顶推千斤顶上“戴”一个用于分散集中荷载的垫梁。垫梁由顶板、底板、腹板和横板焊接而成的空心钢箱梁结构，垫梁下方焊接由圆弧形钢板组成的限位块，使用时将限位块套在顶推千斤顶上，保证垫梁可以随着顶推千斤顶来回往复移动。

4.拼装平台前置。将桥梁拼装平台前置，设置于需要顶推的桥梁最后一跨下方，让最后一个拼装段原位拼装，不用再顶推。

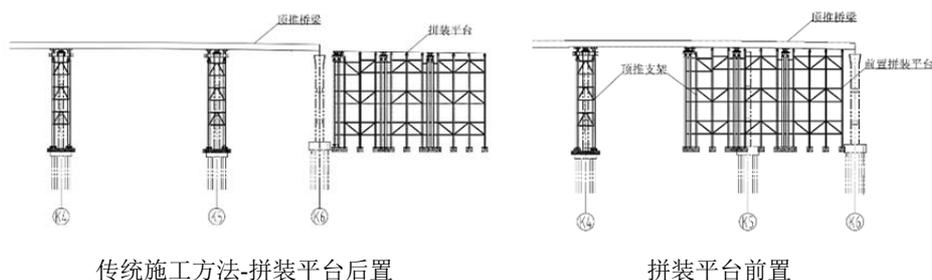
三、与同类技术对比

1.研制的拼装式支架基础混凝土块。减少了基础现场制作、养护、等强的时间，加快了施工进度；避免了基础使用一次后拆除，减少了建筑垃圾的产生，做到了绿色环保；同时预制基础能够重复利用，降低了施工成本。

2.使用自主创新设计钢管柱侧向抱箍连接，取代了焊接连接。减少了焊接连接杆时需预先在连接杆两端打磨出和钢管柱曲面贴合的槽口的时间，减少了支架拆除时人工切割连接杆、打磨钢管柱的时间，加快了立柱支架平台施工进度。使用抱箍连接取代焊接连接，消除了动火作业带来的安全风险，减少了拆除时切割连接杆接头产生的损耗，提高了周转使用效率，降低了施工成本。

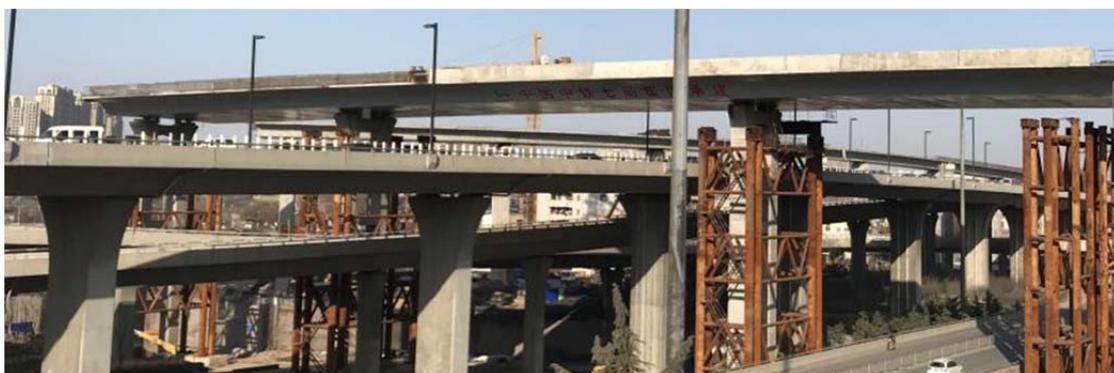
3.发明了适于顶推法顶升桥梁的集中荷载应力分散装置，通过增大桥梁与顶推支点之间接触面积，分散局部应力，避免了梁体可能产生的变形；同时在顶推时提供更大的摩擦力，形成了更有效的制动效果，达到了更高的安装精度。

4.将钢箱梁拼装平台前置，减少了顶推次数，节约了占地面积，有效解决了有限空间下作业困难问题。



四、推广应用情况

本工装应用于郑州市农业路快速通道工程主线桥钢箱梁顶推施工，利用有限场地空间，提高了钢箱梁顶推施工效率，达到了施工现场装配化，增强了顶推设备稳定性，提升了安装精度，节约了 75%的临时台架施工时间，降低了 55%的临时台架成本，取得了良好的应用效果。



五、相关知识产权及荣誉

本工装获得 1 项国家发明专利《跨既有城市立交钢箱梁顶推施工方法》(专利号: ZL201910139956.2), 1 项实用新型专利《适于顶推法顶升桥梁的集中荷载应力分散装置》(专利号: ZL201821998364.3), 获得了 2019 年公路工程工法和河南省工程建设省级工法, 获得了 2020 年河南省工程建设科学技术成果特等奖。

完成单位: 中铁七局集团有限公司、中铁七局集团郑州工程有限公司

完成人: 李世茂、刘建文、胡晓飞、赵灏、鲍建文、张帆、邓朝辉、李辉、梁文奇、丁新胜

大潮差海域高桩承台钢吊箱围堰施工技术

一、研究背景

以浦坝港特大桥为载体，针对钢吊箱在受潮汐、暗涌和风浪影响的恶劣海况下封底混凝土漏水现象、吊箱变形漏水、吊箱结构整体失稳等现象频发开展技术攻关，研究大潮差海域高桩承台钢吊箱围堰施工技术，总结关键技术及创新点，旨在为同类桥梁施工提供技术依据。

二、关键技术及创新点

关键技术 1：大潮差海域异形承台钢吊箱围堰施工技术

根据围堰特点，通过对钢吊箱进行模块化设计底板和侧板通用模块，以实现加工、安装方便，提高板材利用率的目的。在桩基护筒周围焊接牛腿，安放工字钢纵梁、横梁，作为吊箱底板的拼装平台。利用潮差时间差进行吊箱围堰封底及拆除，利用连通器原理设置连通孔保证吊箱在涨潮和落潮期间内外水压始终一致。



底板拼装



下放系统安装



侧板拼装



钢吊箱整体拼装完成

创新点 1：对吊箱围堰进行模块化设计及深入优化

根据桩基位置和承台形状，对钢吊箱底板进行模块化设计，提高制作效率，降低底板加工制作难度。并对底板承重系统设置回收装置，减少资源浪费，降低施工成本。对钢吊箱壁板进行模块化设计，提升壁板的通用性，提高周转利用率。

创新点 2：利用潮差时间差进行钢吊箱封底

本施工技术巧妙的利用潮汐间隙时间进行干封底作业，有效保证封底混凝土质量，同时在壁板上设置连通孔，保证潮汐期间钢吊箱围堰内外水位一致，保证了围堰的安全。

创新点 3：利用 BIM 技术对吊箱围堰进行建模设计及深化

方案设计采用 BIM 技术进行建模设计、对钢吊箱进行深度优化、调整。

充分考虑大潮差对各工况下钢吊箱的影响，将 BIM 技术与有限元软件进行融合，采用 MIDAS 软件进行各工况力学分析模拟，保证钢吊箱围堰力学性能指标满足要求。

关键技术 2：锁扣拼接组合式钢围堰技术

该结构包括两个侧板、数个与侧板呈直角拼接的外横接板以及将外横接板两两相连的中横接板，拼接为呈矩形的密封腔体。钢围堰的顶部和底部设置有开口，侧板、外横接板、中横接板均采用插装实现两两锁扣式可拆卸拼接，提高了围堰施工的效率，节约了设备进出场的费用，节省机械使用费及人工等费用。

三、技术先进性及知识产权

1、技术先进性

- (1) 通过对底板进行可拆除设计，提高了材料的利用率。
- (2) 模块化设计降低了底板、壁板的制作难度，提高了通用性、周转率、利用率。
- (3) 封底混凝土浇筑时利用涨潮退潮之间的时间差进行，保证了封底混凝土的施工质量。
- (4) 基于 BIM 技术设计优化、调整，模拟指导吊箱围堰施工，降低成本，提高效率。

2、知识产权

- (1) 发明专利：一种组合式围堰结构及施工方法（ZL 2015 1 0032452.2）
- (2) 实用新型专利：锁扣拼接组合式钢围堰（ZL 2017 2 0038587.4）
盘圆钢筋存放架（ZL 2016 2 1444530.6）
- (3) 省级工法：《大潮差海域异形承台钢吊箱围堰施工工法》（EGGF53-2018）
- (4) 中国建设工程 BIM 大赛：中国建设工程 BIM 大赛--单项二等奖

四、应用情况及经济社会效益

1、推广应用情况

已成功应用在台州湾大桥及 G310 至吉利黄河大桥工程施工过程中，取得了良好的施工效果。采用该项关键技术，提高了桥梁桩基、承台施工效率，加快了施工进度，降低了项目施工成本。

2、经济效益

通过工期优化、施工方案优化、BIM 放样优化，经测算，共计节约成本约 460.9 万元。

3、社会效益

关键技术在施工中的成功运用，得到政府、业主和社会的一致好评，促进了地方经济和我国桥梁事业的发展。

五、推广应用前景

本施工技术主要旨在解决沿海大潮差特殊环境下深水高桩承台施工中遇到的复杂工况下的承台钢吊箱围堰设计、加工制作及施工问题，具有很强的适用性，能广泛借鉴和应用在沿海桥梁高桩承台施工建造中，具有很好的推广应用前景。

完成单位：中国建筑第七工程局有限公司

完成人：姚兵、吴靖江、张永、岳盟、李佳男、景玉婷、李享达、王刚、李建伟、方玉成

高速铁路桥梁墩身质量控制五项工装

一、立项背景

1、背景

随着我国高速铁路的发展，运营里程进一步突破记录，我国新建的高速铁路中桥梁占比也逐渐攀升，桥墩在高速铁路建设中施工体量庞大，施工质量却难以控制，针对此情景，特创新研发桥梁墩身质量控制五项工装，旨在有效提升墩身质量，提高施工水平。

2、研究目的、意义

2.1 墩身垫石预埋孔精确定位工装：解决墩台垫石施工预埋孔留设平面位置不准，深度不够，垂度不满足的问题，垫石模板轻便，安装快捷，提高施工工效。

2.2 墩身喷淋养护：提高工程品质，避免常规养护覆盖不严实、湿度不易达标的弊端。

2.3 墩身模板开窗设计：既保证了U型螺栓的精确定位，又满足了模板拆卸要求。

2.4 墩身吊围栏附着装配式操作平台：解决安装操作空间狭小，保证施工人员的安全。

2.5 墩身护面钢筋定位胎具：钢筋定位准确，操作方便，提高护面钢筋绑扎工效，确保钢筋骨架搭设整体效果。

二、关键技术

1、墩身垫石预埋孔精确定位工装：由定位骨架、限位盘、成孔器、压杆等部件组合而成，利用精确加工的定位骨架与垫石模板连接固定，根据不同的支座形式选用限位盘，采用螺栓使其与模板连接为整体，再安装成孔器，最后安装压杆限制成孔器移动，实现了垫石孔位精确定位，同时保证混凝土浇筑过程中孔位不偏移、不上浮。

2、墩身喷淋养护工装：主要由供给湿度自动感应器、自动控制系统、水箱、高扬程水泵、输水管道、喷淋管、吊挂系统组成。自动控制系统采用时间计时器及电磁开关控制，根据养护膜内的湿度，实现及时自动喷淋养护功能。

3、模板开窗设计工装：厂家定制整体钢模，在设计预埋孔位置对模板采用机械车床控制开孔，嵌入活动盖板，再在活动盖板上开直径2.2cm预埋螺栓孔，将预埋螺栓插入螺栓孔内，外面使用螺母拧紧固定。

4、墩身吊围栏安装操作平台：操作平台利用角钢根据墩顶圆弧焊接成型，并上满铺钢板；吊装系统连接为滑道法，在墩顶进行连接成整体。

5、墩身护面钢筋定位胎具：根据墩身图纸的外观尺寸和钢筋的规格和间距进行定制，在

钢板胎具内侧整齐切割出钢筋位置开槽，胎具使用螺栓进行连接。

三、与同类技术对比

1、墩身垫石预埋孔精确定位工装

(1) 模板材质：模板采用的易安特新型模板，重量较轻。(2) 精确定位限位盘：施工中通过限位盘构件的多重定位功能，使成孔定位精确，且不产生变形、位移和转动。(3) 圆台形成孔器：保证预埋孔深度，安装拆卸方便快捷，保证了成孔质量。(4) 节能环保：组合式工装及圆台式成孔器价格低廉循环使用、节能环保。

2、墩身喷淋养护工装

(1) 自动化控制：代替了人工操作，首次实现了控压控时的自动控制提高工程品质。

(2) 湿度自动感应：湿度感应器根据湿度自动判定养护，进行洒水养护。

(3) 循环水装置：在底部设置集水井，墩身底部周围设置集水槽进行循环收集水资源。

四、推广应用情况

桥墩在我国工程建设中施工体量庞大，质量却难以控制。桥梁墩身质量控制五项工装，可有效解决了桥梁墩身施工中钢筋定位不准、混凝土养生不到位、垫石孔位预埋易偏移等质量通病，将垫石预埋孔合格率由原来的 80%提升至 98%，混凝土强度增长速度提高 15%，降低围吊篮预埋螺栓 30%的植筋工程量，墩身吊围栏附着装配式操作平台作业空间增大 30%、安全性、可靠性提高 50%，节约劳动力 20%。实施后单个墩身综合节省费用约 1617 元。经公司核算，单个项目可节约成本约 540 余万元，在为企业提质增效带来助力。

1、墩身垫石支座预埋孔定位成孔装置与垫石模板一体化设计，采用螺栓连接，操作简单，安拆方便，定位精确；成孔器采用倒圆台形不锈钢制作，不锈钢材质与混凝土壁的摩擦阻力小，倒圆台形设计使得成孔器与砼容易脱离，成孔器周转使用，环保节能；采用双层角铁贴面限位及压杆设计，及限制平动又限制了转动，定位牢固，抗扰动能力强；成孔器直径小，防治灌浆料浪费，节约成本。

2、墩身喷淋养护系统：该系统为墩身养护提供了全方位养护，克服了湿度不够、墩身养护效果不佳等传统养护方法的弊端。提高了混凝土的耐久性，增大了墩身混凝土的安全性能。工装可循环利用，节省了人工，降低了施工成本。

3、墩身模板开窗设计：模板安拆方便，未对预埋螺栓造成损伤，预埋螺栓定位精确，保证了施工质量；减少了返工费用，节约了成本。

4、墩身附着装配式操作平台：设计合理且安装使用方便，增加了操作空间，便于围栏的钢料运输；安全性能提高，便于施工。

5、墩身护面钢筋定位胎具：钢筋定位准确，满足设计及规范要求，保证了钢筋保护层厚度，提高了施工质量；提高护面钢筋绑扎工效，操作方便，减少了人工。

五、相关知识产权及荣誉

本项目共计授权获得了 2 项实用新型专利，分别是墩身垫石预埋孔成孔装置（ZL·2016 2 1488531.0）和一种高铁圆端型墩柱保湿喂水养护装置（ZL·2016 2 0382483.0）。高速铁路桥梁墩身质量控制五项工装投入使用后现场效果良好，由京福铁路公司组织同标段兄弟单位观摩，得到了参会人员一致认可，并获得了业主的通报表扬。该项目申请获得中国中铁股份公司科学技术成果评审证书，专家组同意通过评审，认为其整体技术达到国际先进水平，同时也在 2017 年度获得了中国建筑业协会颁发的全国工程建设质量小组活动优秀成果表彰。

完成单位：中铁四局集团有限公司

完成人：王世强、高雨、董文虎、薛通情、陈金发、刘加飞、陈平、安刚建、袁正璞、陈俊峰

EMC-I 便携式装药器中小型矿山的工程应用

目前，国内分布众多、类型多样、项目分散、工作面狭窄的中小型爆破工程，依然采用人工方式装填成品炸药，存在劳动强度大、危险程度高等不足。同时，这些中小型爆破工程施工现场普遍是道路崎岖、工作面狭窄、施工环境恶劣等情况，国内现有的现场混装炸药车受道路、工作面及爆破振动药量控制等影响，不能在中小型爆破工程应用现场混装炸药进行爆破作业。

针对以上问题，中国葛洲坝集团易普力股份有限公司研制的 EMC-I 便携式装药器（以下简称“装药器”）已安全、可靠地应用于中小型砂石矿工程爆破。该装药器中的联动柱塞泵模块，可依据现场岩石特性快速调整乳化炸药组份配比，以适应于不同岩性爆破应用需求。

《EMC-I 便携式装药器中小型矿山的工程应用》项目采用模块化设计思路，实现配置灵活，便于现场应用；自主研发的柱塞泵联动结构，保证了敏化剂泵与基质泵联动工作，精确配比，并且比例可调。

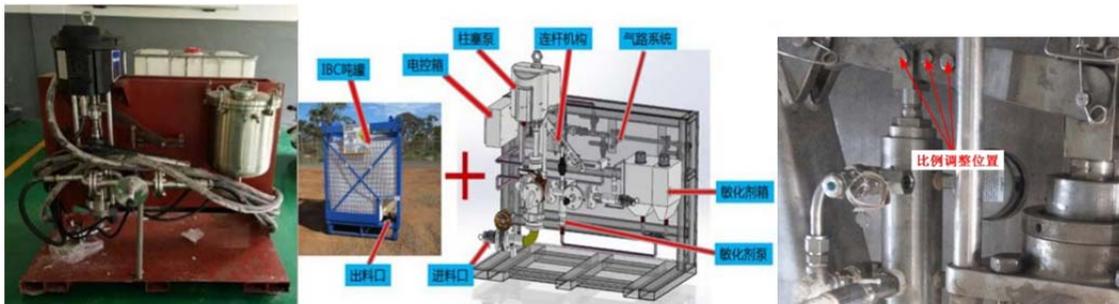


图1 EMC-I 便携式装药器

项目采用水环装置将敏化剂和乳化基质分层输送，敏化剂在输药胶管内壁形成一层薄膜，避免乳化基质和管壁接触，减小了乳化基质的输送压力，实现了低压力（ $\leq 0.4\text{Mpa}$ ）小管径（管径 $\phi 19$ ）长距离（60m）输送。项目应用数值模拟流体仿真等新技术，实现了乳化基质与敏化剂的静态敏化研究，取得了混合时间短、均匀性好的静态敏化单元结构。

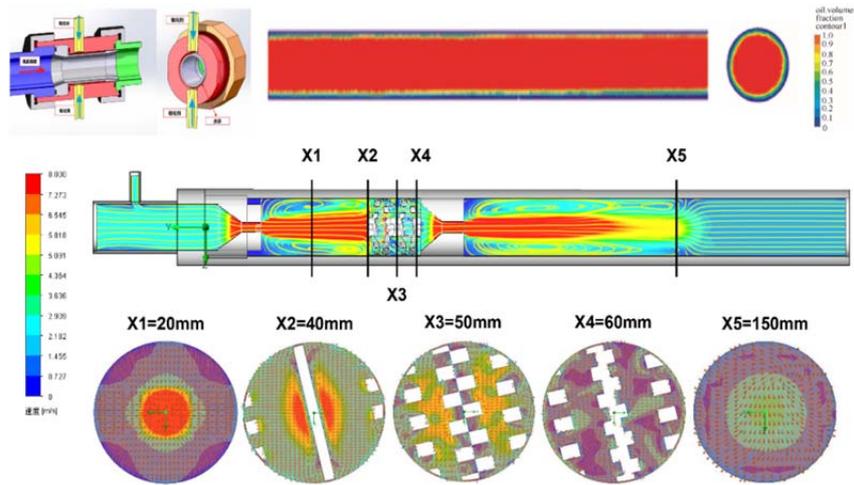


图2 水环减阻及静态混合器数值模拟仿真

本项目应用动态平衡法、高低温循环法和水溶性测试硝酸铵析出量相结合的试验研究方法，得到了耐储存、抗颠簸的乳化基质工艺配方。开发的乳化基质经过了国家民用爆破器材检验检测中心的检验，可以采用罐式运输车运输。



图3 乳化基质性能试验

项目基于亚硝酸钠敏化体系，研发了可在 $-20^{\circ}\text{C}\sim 60^{\circ}\text{C}$ 宽温度范围内稳定可靠敏化乳化基质的敏化配方。

通过 EMC-I 便携式装药器中小型矿山的工程应用，为“小、散、零”等矿山项目提供了一种现场混装“一体化解决方案”，完善了乳化基质的多点配送体系。并针对不同的应用需求，开发了 30t 级乳化基质配送车、IBC 罐配送车及皮卡式配送车等形式多样的乳化基质补给车辆，突破了国内现场混装炸药“一站一点”的作业模式，丰富了一体化作业模式。



图4 乳化基质一体化解决方案及系列化配送装备

本项目于 2017 年，通过了中国爆破行业协会的科技成果评价。2018 年 2 月~2020 年 12 月，分别在重庆东方希望水泥有限公司石灰石矿山爆破工程及贵州省惠水县大坝乡蛤蟆坑石灰石矿山爆破工程中应用 EMC-I 便携式装药器在狭窄工作面及裂隙孔进行爆破作业。

依托该项目，在《化工管理》、《爆破》、《爆破器材》等期刊上发表论文 3 篇；获得专利授权 5 项。

EMC-I 便携式装药器通过在不同中小型工程爆破中的应用，完善了现场混装炸药工艺技术在不同爆破环境下的落地应用，解决 EMC-I 便携式装药器在储存、运输、爆破应用中存在的问题；通过 EMC-I 便携式装药器在狭窄工作面、裂隙发育岩石爆破工程的应用，拓宽了现场混装炸药的应用领域，让 EMC-I 便携式装药器的过程更加规范化、制度化，达到了安全、高效、质量可控的目标。

振动搅拌在特殊沥青混合料中应用

柳州（鹿寨）至南宁高速公路改扩建工程是交通运输部绿色公路建设示范工程，也是广西品质工程建设典型示范工程，因此沥青路面工程品质受到使用者和社会的高度关注。该项目沥青面层采用 SMA 沥青混合料又称沥青马蹄脂碎石混合料，为粗集料断级配颗粒骨架密实结构，具有沥青、矿粉用量大，且掺和的木质素纤维不易打散，搅拌温度和成型温度较高等特点。传统搅拌工艺为在静力强制式搅拌机的圆周搅拌作用下进行混合，由于沥青黏稠的特性，混合料里的细集料和粉料很难完全的分布均匀，更无法达到材料间的微观均匀。

本项目从搅拌工艺着手进行 SMA 沥青混合料的性能优化，实现 SMA 沥青路面节能和绿色环保。振动辅助搅拌工艺通过机械振动降低混合料的黏度，从而降低搅拌过程中的剪切阻力和能耗，是 SMA 沥青路面节能环保的重要途径。由于振动作用的加入，沥青黏度降低，沥青在搅拌过程中得到更有效地利用，使得最佳油石比得以下降。而且振动搅拌增加集料对沥青的稳定吸收，提高 SMA 沥青混合料的高温稳定性和水稳定性，从而提高潮湿、高温、多雨地区沥青路面耐久性。这就为提高 SMA 沥青路面和路用品质和提早开放交通创造了条件，对于改扩建工程交通流组织意义重大。

“一种轴振动强制式搅拌机”属于全领域变频振动搅拌技术，是将振动源水平设置在搅拌缸外侧四周，通过缓冲器与固定架连接定位的四方框形振动架，将搅拌轴的两端通过轴承座及其轴承与振动架的上方固定连接，在两条搅拌轴两端轴承座之间的振动架上，分别水平和垂直设置两台振动器，两条搅拌轴的另一侧端分别通过联轴器与各自的减速机输出轴连接。搅拌筒内的搅拌轴和搅拌叶片在搅拌电机和减速机的驱动下转动，同时四方框形振动架在振动器的作用下产生振动，振动架的振动带动轴承座及其轴承，以及两搅拌轴和搅拌叶片振动。由于振动架两端的振动器是相互成水平和垂直设置的，产生的是全方位的立体激振力，沥青、粗细集料和矿粉等混合料在搅拌轴和搅拌叶片的振动搅拌下，产生了圆周、径向循环运动的同时，叠加产生了垂直于搅拌轴和搅拌叶片轴向循环运动，混合料在搅拌运动和振动强力波的双重作用下，沥青、粗细集料和矿粉等各种材料得到充分弥散相互嵌挤，均匀融合，使成品混合料同时达到了宏观和微观上的均匀，尤其是矿粉和沥青得到了充分融合而形成了高强度的“浆状”胶凝材料，同时也解决了粉料中易形成的“矿粉团粒”现象，消除了“沥青油团”聚集的车辙隐患。沥青混合料在振动搅拌形成的反复相互碰撞过程中，沥青胶凝材料及细集料和粗集料间的粘合更加牢固，在实际观察中会发现，细集料牢固粘附于粗集料的表

面。实践中，振动搅拌后的沥青混合料自然堆积密度也有相应提高，粗骨料的滚落特性下降，大大减少了沥青混合料在装车、运输、卸料和摊铺过程的滚落离析，也减少碾压过程中沥青混合料的推移现象，有利于提高了沥青混凝土路面的碾压密实性能，使得沥青混合料更容易压实，表面更加均匀、美观，极大的提高了沥青混凝土路面的高温稳定性、低温抗裂性、抗水损坏能力、抗车辙能力和耐久性，从而也最终实现了长寿命和高品质沥青混凝土路面体验。

通过此项研究本项目自主研发了轴振动强制式沥青混合料搅拌机，增大了混合料的流动值，促进了沥青与填料的融合，提高了沥青混合料高温，水稳定性等性能。确定了 SMA 沥青混合料振动拌和生产振动参数，从而形成了沥青混合料振动搅拌生产，摊铺碾压整套工艺。



目前国内外采用振动搅拌技术主要用在中刚性基层用以搅拌水泥稳定碎石类材料，在沥青面层结构上的应用并不多见。该技术在现在广西柳南高速上得到了推广应用，填补了振动搅拌技术在沥青面层上应用的空白，为广西高等级路面建设提供了更优更好的选择。

本项目课题顺利通过中交路建验收，获得实用新型专利一项，申请发明专利一项（202110378747.0），软件著作权一项，获得中交路建 2019 年度科学技术进步一等奖。2020 年参评中国公路学会科技成果评价达到国际领先水平。2021 年评选为广西壮族自治区交通运输厅“科技示范”创新典型案例，2021 年中国公路学会微创新大赛金奖。依托工程项目先后获得中交集团优质工程奖、广西省真武阁最高质量奖，李春奖等。

完成单位：中交路桥建设有限公司、中交路桥华南工程有限公司、广西正路机械科技股份有限公司

完成人：江微、邹海军、归立发、黄启明、邹凯、张展

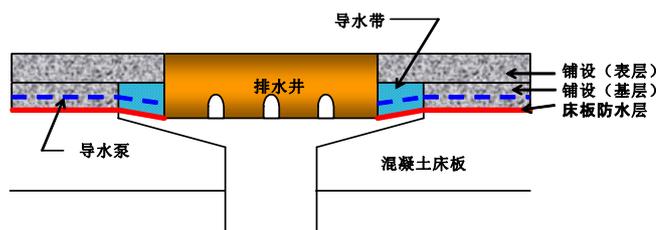
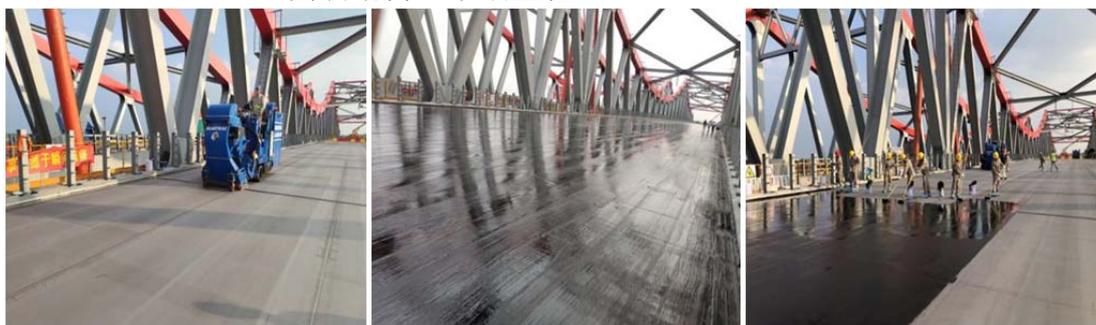
钢桥面涂布式防水施工技术研究

一、立项背景

针对目前市政道路钢桥面施工相关技术与规范不健全的现状，为解决城市交通荷载大、应力应变复杂、纵坡大、城市温度高、建设有效工期短等问题，我公司结合具体工程应用案例，提出了钢桥面涂布式防水施工技术，有效提高钢桥面铺装结构界面功能层与钢板的防水能力和粘结能力，增强钢桥面耐久性。

二、关键技术内容

喷砂除锈:喷砂前保证钢桥面干净、干燥，采用车载式抛丸机喷砂除锈，边部及护栏底侧采用角磨机处理；溶剂型粘结剂涂布:施工前吹风机、吸尘器等尘埃的清除，粘结剂用滚筒或毛刷均匀涂布，干燥养生；热熔型特种沥青的溶解:溶解温度 230~280℃适合，采用大功率专用沥青加热釜加热;热熔型沥青防水粘结剂涂布:热熔型沥青防水材料用特制进口棕毛刷涂布；细部构造处理:对护栏底侧壁采用贴缝条进行处理，重点针对钢桥上的雨水孔等特殊部位重点处理，确保在沥青混凝土摊铺时能够有效粘接，达到封水目的；桥面铺装结构:双层 SMA (SMA-10+SMA-13) 倒装结构 (下细上粗)。



铺装上面层	40mm SMA13 (高弹高黏改性)
铺装下面层	35mm SMA10 (高弹高黏改性)
防水粘结层	热熔型超高黏改性沥青涂膜防水材料, 用量:1.2~1.5 kg/m ²
溶剂型沥青粘结剂	用量:0.3~0.4 kg/m ²
钢板	喷砂除锈, 清洁度 Sa2.5 级; 粗糙度: 60~100 μm

三、与同类技术对比

- 1.防水粘结层采用溶剂型沥青粘结剂+热熔型超高黏改性沥青涂膜防水体系。
- 2.钢桥面抛丸处理。采用“车载式抛丸机+手扶式抛丸机”的机械组合进行钢桥面抛丸处理，快捷有效的去除钢板表面油脂、污垢、氧化皮、铁锈和油漆涂层等附着物，提高钢桥粗

糙度和清洁度。

3.涂布式施工。溶剂型沥青粘结材料（CATICOAT）和热熔沥青防水材料（FreshCoat）均按照打线划格方式进行涂布式施工，通过方格用量控制、总用量验证、厚度反算等手段对材料用量进行控制，同时涂布式施工工艺更利于对边部、端部、高强螺栓等特殊部位的处理。热熔沥青 FreshCoat 材料软化点需达到 120℃ 以上，能有效避免材料老化。

4. 设置防水贴缝条、导水管。钢桥中分带护栏下部边侧 6cm 以下粘贴热熔防水贴缝条，与保护层沥青混凝土充分融合，有效防止雨水从边侧渗入；钢桥边侧沿纵向增设 BALADRAIN 导水管（高分子耐热材料），该导水管在高温下不熔化，重载下不变形，有利于纵横向表面水与层间水迅速排出，提高了钢桥耐久性。

5.硅砂保护层。沥青保护层施工前铺设硅砂，保证界面功能层避免摊铺机履带损坏，进一步增强了防水层与保护层的粘结效果。

6. 双层 SMA 铺装结构层。桥面铺装结构层沥青混合料采用高粘高弹改性沥青，下面层 SMA-10 使用石灰岩并使用干法掺加高粘剂和聚酯纤维，有利于提高该体系的防水性能和抗车辙性能。

四、推广应用情况

本技术适用范围广泛，特别适用于工期要求较高的城市道路、改扩建工程的中等跨径钢桥面施工。能有效提高钢桥面铺装结构界面功能层与钢板的防水能力和粘结能力，延长钢桥面使用寿命。施工操作简单快捷，安全风险小，速度快，节约成本。采用的防水体系结合双层高粘 SMA 结构体系具有维护技术成熟、维护周期短的特点，极大的降低了后期运维成本。该技术通过对传统钢桥面防水施工体系进行技术创新，为钢桥面施工提供了新的技术措施，给企业带来了良好的品牌效益；通过在多座钢桥面的实施应用，使用效果良好，得到业内一致好评。目前本技术已在合肥市内所有钢桥面全面推广应用。

五、相关知识产权及荣誉

本技术获得“安徽省交通科技进步一等奖”、“全国市政工程优秀质量管理小组二等奖”、省部级工法五项、实用新型专利 3 项。





完成单位：安徽省公路桥梁工程有限公司

完成人：曹祝林、薛斌、余跃、陈智、韩健、沈守涛、屈波、肖必忠、周慧菊、吕荣海

大吨位钢沉井长距离运输施工技术

一、立项背景

温州瓯江北口大桥中塔基础底节钢沉井平面尺寸为 66×55m，高度 27.5m，包括附属结构总重达 1 万吨，由南通韩通船厂制造，制造地点距离桥址约 360 海里，如此大吨位，长距离的钢沉井运输在国内尚属首次，运输航线水域复杂，距离长，无先例可循。

当拖运距离较长、航道情况复杂时，单纯依靠拖轮难以克服复杂危险水域环境所造成的施工困难，将会造成极大的安全及质量隐患，钢沉井急需寻求一种高效、安全的运输方式。

如能实现如此大吨位、长距离复杂水域的钢沉井运输，一方面将解决本项目的实际施工问题，另一方面也将填补国内此类施工空白，为后续类似工程施工提供借鉴。

二、关键技术内容

底节钢沉井制造完成并下水→底节钢沉井自浮后由拖轮拖运至狼山锚地（第一阶段）→半潜驳提前在狼山锚地下潜接载钢沉井→半潜驳配合拖轮将底节钢沉井拖运至温州圆屿锚地（第二阶段）→半潜驳下潜，底节钢沉井脱离半潜驳→半潜驳返航，底节钢沉井由拖轮拖运至桥址（第三阶段）。

三、与同类技术对比

1、浮运的底节钢沉井重量较大，为满足钢沉井下水及浮运吃水深度要求，将 25 个井孔底口采用底封板全部封闭，一部分封底板在底节钢沉井上半潜驳船后拆除，剩余封底板待运输至桥址后适当时机拆除，与增压助浮、设置浮箱子等传统方式相比，助浮结构更加安全，拆除时安全风险较小。

2、底节钢沉井采用半潜驳船运输，与水中钢沉井普遍采用拖轮直接拖运的方式相比，半潜驳船具有受到海上波浪影响小，能够保持较佳稳定性的优点。解决了大吨位钢沉井长距离运输、复杂危险水域直接拖运风险高的的难题。

中铁大桥局集团温州瓯江北口大桥项目部采用了“三阶段，两方式”的运输模式，利用韩通船厂即有车间分块加工、船台组拼下水，无需进行加工场地建设、新规格气囊定制（首节下水重量大）、下水场地清淤及后防护，取得了良好的经济效益。

与原投标方案利用现场场地、气囊下水方案相比，节省费用 597 万，具体见下表。

采用大吨位长距离运输方法与利用现场场地气囊下水节省费用表

序号	项目名称	增加费用(万元)	减少费用(万元)
1	钢沉井制造厂区建设		85
2	新制气囊下水		416
3	厂区拆除、恢复原地貌		30
4	下水场地清淤(包括淤泥及片石)		312
5	对清淤堤岸进行防护(抛填处理)		451
6	桥位拖轮下水拖带		238
7	拖轮及半潜驳三阶段长距离拖带	935	
合计		减少 597 万	

四、推广应用情况

温州瓯江北口大桥底节钢沉井于 2017 年 5 月 16 日 4:38 分成功下水, 历经 7 天, 通过三阶段运输, 于 5 月 22 日 19:40 成功浮运至桥址位置。途中运输顺利, 未发生险情, 底节钢沉井结构完好, 未发生安全与质量事故。今后在大吨位、长距离、复杂水域钢沉井运输施工时将积极推广应用此种工法, 拖运过程中使用半潜驳船进行长距离的运输, 极大的减小了安全风险, 同时减小了钢沉井碰撞损坏的风险, 也能最大程度上为项目施工节约成本, 总体应用前景非常广阔。



五、相关知识产权及荣誉

本施工关键技术已在温州瓯江北口大桥中塔沉井基础工程中得到成功应用, 总体应用情况良好, 并已于 2019 年通过企业级工法评审, 工法编号 GZSJGFDQ-2019-23; 且于 2020 年通过中国公路建设行业协会评审, 工法编号 GGG(中企)C1189-2020。



完成单位: 中铁大桥局集团有限公司、中铁大桥局集团第四工程有限公司

完成人: 于宏伟、乔力、洪海涛、田继开、张玉东、唐生银、周强强

悬索桥索夹螺杆紧固施工技术

一、立项背景

杨泗港长江大桥是武汉市第 10 座长江大桥，为主跨 1700m 的单跨双层钢桁梁悬索桥，主跨跨径布置为（465+1700+465）m，是目前世界上已建成跨度最大的双层钢桁梁悬索桥。其吊索与索夹采用骑跨式连接，索夹为左右两半式结构，采用 M52 螺杆连接紧固。全桥索夹共分 6 种类型（螺杆数量为 4 根、6 根、8 根、12 根、16 根、18 根）。安装张拉力为 1070kN，设计张拉力为 750kN。

索夹作为主缆与吊索间连接的关键构件，索夹螺杆预紧力不足将导致索夹在主缆上发生滑移，影响吊索结构受力和主缆密封性能。而传统千斤顶张拉紧固施工存在螺杆拉力回缩损失大（20%~60%），需反复多次张拉，费时费力，且回缩损失难以定量控制，螺杆拉力准确度高且受力不均，质量难以保证的问题，因此需对索夹螺杆同步张拉、螺母转角定量控制补偿索夹回缩损失等施工技术进行针对性研究，以保证大跨度悬索桥索夹螺杆紧固施工质量。

二、关键技术及创新点

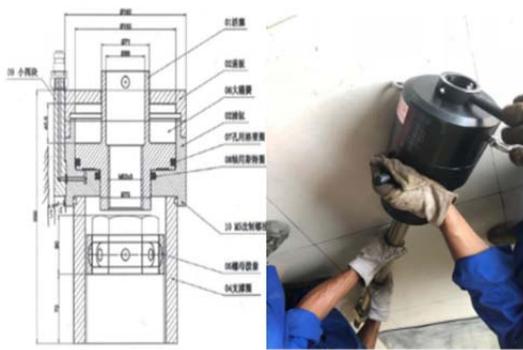
1、索夹螺杆同步张拉技术

索夹螺杆小于等于 12 根时采用一次性张拉，超过 12 根螺杆时分两组张拉，张拉过程分级加载，分级紧固。

创新点：设计研制了索夹螺杆同步拉伸器，拉伸器具有张拉和螺母紧固功能，每个油泵配套六个拉伸器，既满足了现场同步张拉和分组张拉的要求，又便于设备转运安装。研究了同步张拉和分组分级张拉工艺，避免了索夹螺杆的多次反复张拉，保证了螺杆轴力的均匀性。



索夹螺杆同步张拉



同步拉伸器构造，集张拉与螺母紧固功能于一体

2、螺母转角定量控制技术

将传统张拉法与转角法结合，将螺杆回缩损失值转换成螺母的转动角度以控制最终的有

效张拉力满足设计要求。螺杆终张拉时，通过专用工具扳手将螺母转动一个确定的 θ 角度。

创新点：提出了螺母转角与螺杆轴力关系的数学公式，用超声轴力仪测试拉伸器卸载前后的螺杆轴力，计算螺杆轴力卸载回缩损失值，通过旋紧螺母一个角度 θ 对螺杆轴力回缩损失进行补偿。

3、螺杆轴力预估及监测技术

根据主缆承载后的泊松效应和几何变化计算主缆直径及索夹螺杆伸长量变化，预测并监测螺杆轴力，分阶段张拉螺杆。

创新点：提出了螺杆轴力随主缆承载变化的关系，并结合超声测量手段，完成螺杆轴力的监测、预估。

4、超声轴力检测技术

在实验室对螺杆相关超声应力与温度参数进行标定，确定螺杆轴力与回波声时的关系曲线。在不同施工阶段用超声轴力仪测索夹螺杆轴力，掌握螺杆真实轴力。

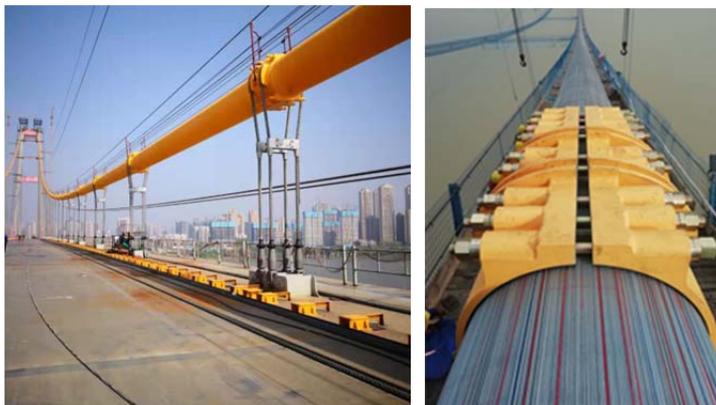
创新点：实测索夹螺杆回波声时，通过分析软件确定螺杆轴力。

三、与同类技术对比

	传统张拉工艺	本技术
螺杆轴力合格率	不到 10%	98%以上
精确张拉控制	无法完成	不同螺杆轴力偏差可小于 5%
分组张拉	缺乏依据、粗糙	理论支撑、质量可控
成桥时轴力情况	轴力仍然衰减严重	轴力衰减大幅降低
吊装主梁时的应对	反复补拉或存侥幸心理	轴力可控，按实际需求补拉
螺杆轴力衰减状态	盲目张拉或索夹滑移	轴力状态可以预测，提前安排补拉
节省施工工期	10 次以上张拉，耽误工期	加速主缆收紧，节省工期

四、推广应用情况

“索夹螺杆紧固张拉技术”在武汉杨泗港长江大桥索夹紧固施工中得到成功应用。索夹螺杆张拉控制技术解决了索夹螺杆紧固力不足、离散性大、施工中大量反复张拉、轴力状态难以估计等诸多工程难题，实现了大桥建设期和运营期间的螺杆轴力精确控制，显著降低了索夹滑移的风险与几率。



五、相关知识产权及荣誉

本技术相关成果获得授权发明专利 4 项，实用新型专利 2 项，先后获得 2020 年度中国中铁股份有限公司优秀工法、2020 年度公路工程工法，获得 2020 年度中国铁路工程集团有限公司科学技术一等奖。

完成单位：中铁大桥局集团有限公司

完成人：李兴华、郑大超、陶俊、申世靖、伊建军、李一石、陆占锋

报废摊铺机改造路肩土摊铺机

一、立项背景

我国的公路路基、路面施工基本都已经机械化了，但是个别工序还存在人工为主的施工过程，路肩土施工就是其中一种。这种传统工艺受限于人工，以至成本高、效率低，已经成为制约施工生产质量和进度的重要因素之一。

此前国内摊铺机主要用于公路路面稳定土和混凝土的摊铺，没有用于路肩土摊铺的先例，因此也无法选用现成路肩土摊铺机械，只能对路面摊铺机的结构进行改造。

我公司有很多台废旧的不能满足路面施工的闲置摊铺机，公司课题组就产生了用废旧摊铺机改造路肩摊铺机的想法，用改造完的摊铺机进行路肩土一次成型摊铺，改善传统施工工艺带来的问题。

二、关键技术

通过对原有摊铺机的改造，我们完成了“输料系统”、“路肩土模具”、“压实系统”的改造，最终形成了“土路肩”滑模摊铺机施工技术。

本课题的关键技术在于：

1、输料系统

输料方向：传统摊铺机：前→后，螺旋布料器-熨平板。路肩土摊铺机：右→左，路肩土模具。输料量的多少由料位传感器控制液压马达实现。

2、路肩土模具

摊铺模具位置：传统摊铺机：熨平板后置。路肩土摊铺机：主机左侧。①解决了自卸车过重无法靠近路肩卸料的问题。②摊铺模具可伸缩控制摊铺宽度。

3、压实系统

原有的摊铺机压实系统无法使用，开发新的压实系统。①在模具上安装振捣梁。②在模具后方安装平板振动器。



三、与同类技术对比

和传统的摊铺技术相比，本技术的创新点有：速度快、效率高、质量好、高程控制准确、线形美观。在经济效益方面，摊铺机施工相对于传统人工施工每延米降低了 5.3 元成本。

主要创新点：1.取代传统支模和人工作业，生产效率高、作业质量好、成本低。2.刮板输料稳定高效，底部无漏料。3.夯实机具振动频率高、夯实效果好，压实度达到 85%以上；摊铺宽度和厚度液压无级调节。4.履带式行走装置，牵引力大，不打滑。5.液压驱动,优点多，能适应多种尺寸宽度、厚度要求。6.除路肩土摊铺外，亦能实现沥青路面帮宽功能。

四、推广应用情况

对报废铺机再利用的全面研究，对土路肩施工具有指导意义。从而使得工程施工从依靠大量人力进行低效施工阶段，发展到以机械为主的施工阶段，可以更好地指导土路肩施工，既能缩短总体工期，减少土路肩施工对结构层的污染，降低施工成本，又能减少安全隐患，使投资更早地得到回报。

本课题研究以来，推广应用于公司各个项目施工过程中，自 18 年到 20 年，摊铺机总施工长度为 1107km，通过此项摊铺技术所节省的成本共 581.5 万元。

课题组利用输料系统在窄帮宽路段对沥青混凝土进行了侧方传料，取得了良好的效果，

路面整洁无污染，施工效率高。

五、相关知识产权及荣誉

本课题共获得实用新型专利 1 项：《多功能侧面摊铺机》：专利号 ZL201721760892.0，外观设计专利 1 项：《摊铺机外挂水平找准机》专利号：ZL201930224247.5，发表相关论文 1 篇；获得省级工法 1 项：《“土路肩”滑模摊铺机施工工法》，公路工程工法 1 项：《“土路肩”滑模摊铺机施工工法》，通过鉴定两项，均为国内领先水平；获得黑龙江省城乡建设科学技术奖三等奖一项，同时进行了科技成果登记。

完成单位：龙建路桥股份有限公司、黑龙江省龙建路桥第六工程有限公司

完成人：谭洪亮、陈彬、王永明、金毅、刘航、吴宗玺、周吉森、周舰航、黄鑫、曾晨露

水上钻孔桩施工泥浆多孔同步循环回收 绿色施工技术

一、立项背景

在跨越大江、大海等桥梁桩基施工时，常规方法多采用原位泥浆处理方案，其施工期间泥浆池投入多，泥浆材料投入及损耗大，泥浆外运排放量大，循环工效低，环境污染风险高，难以满足现今国家对节能减排、绿色施工、环境保护等方面的标准要求。厦门轨道4号线跨同安湾跨海段为海上高架桥，施工海域属于中华白海豚海洋保护区，对海洋保护、环境保护、文明施工标准化要求极高。

针对钻孔桩施工常规原位泥浆处理方案，现有技术存在的局限性，厦门轨道4号线项目部采用海上钻孔桩施工泥浆多孔同步循环回收绿色施工方法进行泥浆处理，该技术的成功运用，解决了海洋保护区采取传统钻孔灌注桩施工无法做到泥浆“零污染”的施工难题。经过对该项工艺技术研究，并通过一年多的工程实践检验验证，其工艺技术已经成熟并形成工法，可以在今后类似工程中推广应用。

二、关键技术内容

因常规原位泥浆处理方案现有技术的局限性，特研究一种用于水上钻孔灌注桩施工的泥浆循环系统。该系统总体思路利用大功率砂石泵配合泥浆回浆、出浆管道，形成泥浆出浆和回收的循环管路，将净化处理前、后的泥浆输送至各墩孔位进行往复循环，多根桩基同时钻进施工时，可通过泥浆回浆、出浆管路的分流止浆阀进行单根或多根桩基同步循环回收施工。水上泥浆循环回收系统设计原理详见“图1水上泥浆循环回收系统设计原理示意图”。

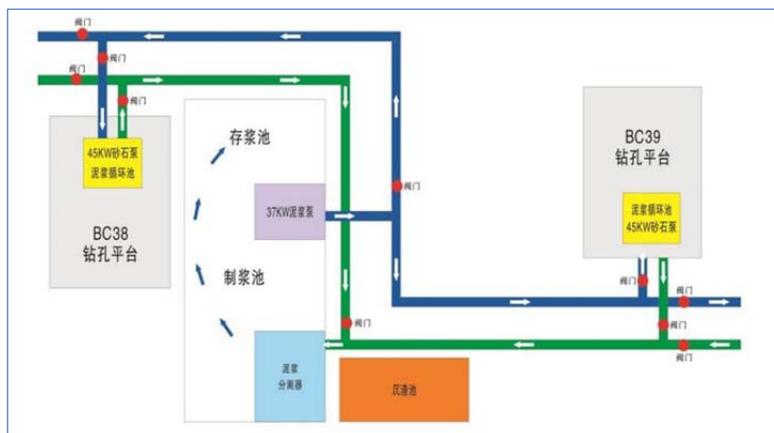


图1 水上泥浆循环回收系统设计原理示意图

关键创新点 1：泥浆循环回收系统关键创新技术

泥浆循环回收系统的成功研发，通过泥浆制配和存储池、泥浆沉淀分离、泥浆输送、泥浆同步分流止浆等系统，解决了海洋保护区域钻孔桩施工泥浆“零污染”的施工难题。

关键创新点 2：多孔同步循环控制关键创新技术

建立了多孔同步循环控制技术体系，通过泥浆输送系统与泥浆同步分流止浆系统的相互配合，有效控制泥浆同步分流止浆蝶阀，以避免多孔泥浆循环时相互影响。克服了泥浆存放困难，造浆成本高，环境污染大等问题，有效保证了泥浆输送至待循环墩位。

关键创新点 3：泥浆性能的控制关键创新技术

建立了循环泥浆性能控制技术体系，通过有效控制循环泥浆砂、浆分离，定期做好泥浆性能的检测和调配。保证了泥浆性能的稳定，确保了钻孔灌注桩成桩质量。



图2 水上泥浆循环回收系统现场图片

三、与同类技术对比

国内外同类技术（逐桩循环或逐墩循环）指标先进性对比，具有以下优点：

- ◆ 1. 无需考虑泥浆及时运出的问题，满足项目文明环保施工目标要求。
- ◆ 2. 泥浆循环系统大大节约泥浆池的制作成本并能确保泥浆性能的稳定。
- ◆ 3. 大大提高了泥浆使用频次，形成了“标准化、快速化、绿色化”施工。
- ◆ 4. 减少泥浆外运工程量，大大降低了施工成本，并达到了节能减排的效果。
- ◆ 5. 可同时作用于多个钻孔平台，缩短了泥浆制备及清孔时间，提高了桩基施工工效。

综合国内外文献查新，未见相同文献报道，具有新颖性、创造性。

四、推广应用情况

钻孔桩泥浆通过“集中造浆、集中排放、集中回收”的原则，达到了对周边环境“零污染”的要求。有效确保了钻孔桩施工质量，提高作业工效，缩短工期，节约成本，保护了海洋环境。

该项技术已在珠海白石桥项目、漳州环线马洲大桥项目、珠机城际 HJZQ-1 标金海特大桥项目进行了推广应用，取得了较好的经济效益和社会效益。为今后类似江、河、湖、海甚

至陆地钻孔桩施工泥浆循环“标准化、快速化、绿色化”提供了参考与借鉴。

五、相关知识产权及荣誉

已先后通过中国公路建设行业协会、湖北省住房和城乡建设厅、江西省专利事务所、中国中铁股份公司等单位评比为“国内先进”、“国内领先”水平。先后荣获实用新型专利授权、中铁股份公司级工法、全国公路工程工法、湖北省省级工法等七项知识产权及荣誉成果。

完成单位：中铁大桥局集团第五工程有限公司、中铁大桥局集团有限公司

完成人：詹超、樊伟、曾高、贺修林、叶绍其、王耀正、吴科

主塔施工测量控制技术

一、立项背景

1.1 项目背景

武汉青山长江公路大桥,作为武汉市四环线东段控制性工程,设计为双塔双索面斜拉桥,主跨跨度 938m,一跨过江。主塔采用 A 型结构,为世界最高 A 型桥塔,无下横梁,塔柱顺直到底,下塔柱不内收,为世界上跨度最大的全漂浮体系斜拉桥。全塔包括上塔柱、中塔柱、下塔柱、中上塔柱连接段、中下塔柱连接段、上横梁及塔冠。其中北塔塔高 279.5m,为超高型主塔。北塔位于长江主航道中,距天兴洲岸边约 150m,距南岸岸边约 1km。天兴洲滩地地势平坦,地面标高仅为 21m 左右,顺桥向狭窄,不利于控制点布设,且由于上塔柱施工工期集中在秋冬季节,视线受江面大雾及雾霾影响较大。

1.2 研究目的

解决测量点与控制点不通视及高塔风振的问题;确定塔柱变形规律,找准塔柱施工“零状态”,并实现云平台数据自动采集;解决漂浮体系主塔变形及高程变化导致跨距变化带来的影响;解决多孔径索导管中心标定难题;解决索导管旋转难题;提高钢锚梁定位效率。

1.3 意义

该项技术可拓宽超高索塔施工测量控制的研究和发展方向,适用于塔地高差大,尤其是控制点只能单侧布设的项目,可提高索导管、钢锚梁等精密定位效率;该技术有效抵消大气折光等因素引起的测量误差,可以减弱风振对高塔施工测量的影响,直接消除超高主塔由于高程面不一致导致跨距变化情况,对提高定位精度有积极作用,可在类似桥梁建设中继续推广应用。

二、关键技术内容

- (1) 全站仪天顶轴线传递法进行附和修正技术。
- (2) 后处理测距后方交会法布设工作基点技术。
- (3) 多种管径索导管“十字法”快速定位技术。
- (4) “线定向法”钢锚梁预拼验收及“三点快速定位法”钢锚梁安装定位技术。
- (5) 超高主塔高程分段控制技术。
- (6) 自动采集+云平台主塔变形监测技术。

三、与同类技术对比

- (1) 全站仪天顶轴线传递法进行附和修正技术:目前国内大跨度跨江施工测量受江面雾

霾及大雾天气影响，秋冬季节江面通视条件较差，通视大气折光对观测结果影响大大增加。为此采用全站仪天顶轴线传递法进行附和修正技术，对后处理后方交会布设工作基点技术进行复核，保证观测结果的准确性及精确性。此技术方法的成功应用，在国内尚属首次。

(2) 后处理测距后方交会法布设工作基点技术：目前塔上内控法进行工作基点布设采用测距后方交会法，本桥桥址工作基点与塔下控制点高差较大，仪器计算平距受归化改正影响较大，降低了点位精度。采用后处理测距后方交会法布设工作基点技术，保证了工作基点点位精度。

(3) 索导管“十字法”快速定位技术：传统索导管定位技术仅通过观测调整索导管锚固点及出塔点中心从而达到索导管精确定位的目的，对索导管中心轴线偏角不予考虑。采用该技术通过在出塔壁处放样出索导管出口最高点、最低点及里程控制线并焊接限位，形成十字线，现场只需将索导管出口各标记点对准限位即可实现快速定位及防止发生扭转。

(4) 创新索导管出塔点中心标定器：传统索导管出塔点中心标定器为型号匹配专用标定器，一种型号标定器仅能匹配与其对应的索导管型号，本技术创新采用可调、可视、自吸附滑槽式标定器，解决多种管径索导管出口中心标定难题，同时实现了重复利用。

(5) 钢锚梁验收“线定向法”：目前国内钢锚梁验收多采用临时坐标系技术，误差难以控制且针对卧拼难以实施。“线定向法”可以保证相邻节段间匹配性良好，不带入控制点点位误差。验收合格后在相邻两节交接处焊接限位装置，现场拼接时只需对齐限位，实现钢锚梁快速初定位。

(6) 主塔变形监测技术：目前国内多利用实时温度气压计记录环境温度，本技术利用塔柱内已预埋的温度传感器，直接测量塔柱内部混凝土温度，同时利用自动采集技术+云平台，配合象限法分析日照，实现塔柱温度数据自动采集、储存、分析。

四、推广应用情况

本课题“主塔施工控制测量技术”已于2015年3月至2018年12月期间成功应用于武汉青山长江公路大桥主塔建设。本技术在平潭大桥应用中，测量观测平台及高程接收平台均获得实用新型专利。而课题的相关技术也进一步应用在目前正在施工的赤壁长江大桥，鳊鱼洲长江大桥及宜宾临港长江大桥。

五、相关知识产权及荣誉

序号	知识产权类别	知识产权具体名称	授权单位	授权日期	证书编号	有效状态
1	发明专利	斜拉桥塔柱索道管定位测量装置及其测量方法	国家知识产权局	2019年2月22日	3264618	有权
2	工法	主塔施工测量控制工法	中铁大桥局集团	2020年6月23日	CREC-II-2020-179	有效
3	工法	主塔施工测量控制工法	中国公路建设行业协会	2020年12月3日	GGG(中企)C4465-2020	有效

高压电缆接地系统带电检修仪创新与应用

一、项目背景

电缆作为电力血管，为城市发展、交通、医疗、高铁、地铁提供重要支撑。截止 2020 年底，我国 35kV 以上高压电缆线路回长 4.6 万公里，并且每年以 8% 左右的速度增长。接地箱作为高压电缆的减压阀，主要作用是降低运行电缆金属护层感应电压和降低故障过电压，一旦受损，将引起整条电缆发烧。由于高压电缆接地箱长期暴露在户外、地下沟道中，受到自然环境、人为因素等影响，易造成接地箱体进水、过热、盗割、保护器击穿等缺陷，传统的消缺方法是电网停电检修，一般检修平均时长约 36 小时，由于接地箱缺陷停电检修频次多，给用电客户及供电企业造成极大的经济损失。

为了从根源上解决停电作业带来的问题，团队历时 3 年科技攻关，提出了高压电缆接地系统故障不停电作业理论。发明了高压电缆接地系统带电检修仪 1 套和三种地电位带电作业法，提升了电网供电可靠性，挽回了部分停电检修带来的经济损失。

二、关键技术内容

目前高压电缆接地系统有“单点接地、一端接地一端保护、交叉互联接地”三种方式，其中接地侧为地电位，保护器侧为等电位。由于高压电缆等电位工作复杂，项目发明了一套高压电缆接地箱带电检修仪，可以实现电缆接地箱等电位向地电位的转换。为了应对目前高压电缆接地系统的三种接地方式，分别发明了三种地电位带电作业法，并给出了高压电缆保护接地箱、直接接地箱、交叉互联箱带电检修方案。

三、主要创新点和优势

该项目发明了高压电缆接地箱不停电检修技术，发明高压电缆接地箱带电检修仪，实现了电缆接地箱等电位向地电位转换技术；提出了高压电缆接地系统‘单点接地’、‘一端接地一端保护’、‘交叉互联接地’三种接地方式地电位带电作业法，并给出了高压电缆保护接地箱、直接接地箱、交叉互联箱带电检修方案，实现电缆接地箱不停检修作业，带电检修相比停电检修，平均时长从 36 小时降至 4 小时。

创新点 1：发明了高压电缆接地箱带电检修仪，该仪器由接地装置、带电监测、转换开关、护层保护器、绝缘壳体等部分组成。通过转换开关，实现了电缆接地箱等电位向地电位转换带电检修技术。其中带电监测装置可实现 200A 泄露电流及 500V 感应电压检测实时监测数据，遇到数据异常时提前告警，受到大电流冲击时，护层保护器动作击穿主动接地，通过以上两种主动保护模式，可有效防止人身触电伤害。

创新点 2：利用研制的高压电缆接地箱带电检修仪，将接地系统等电位转换成地电位进行带电工作，实现带电作业。提出了高压电缆接地系统在“一端接地一端保护”时的地电位带电检修方法。

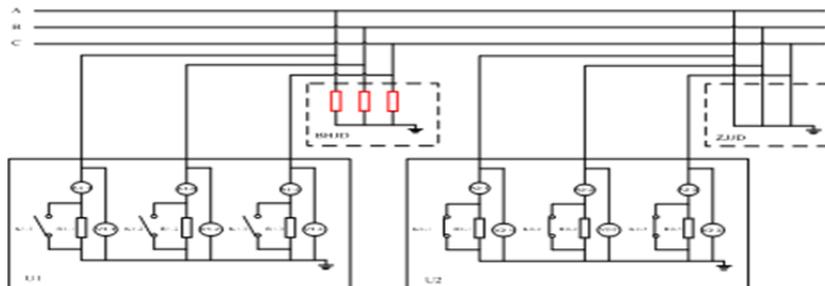


图 2：高压电缆一端接地一端保护方式带电检修原理图

创新点 3：提出了高压电缆接地系统在“单点接地”时的地电位带电检修方法。假设直接接地箱出现故障，现场需要一台检修仪，先将检修仪接地，然后接线端子与直接接地箱进线侧相连，开关闭合调制至接地模式，受到检修仪地电位保护，可将直接接地箱接地点断开，进行检修工作。

创新点 4：提出了高压电缆接地系统在“交叉互联”时的地电位带电检修方法。假设交叉互联箱故障，用 4 台检修仪分别并联至交叉互联段两侧，并拆掉箱内交叉连板，通过调节转换仪开关，让原‘交叉互联’方式转换成‘一端直接一端保护’方式进行地电位带电作业，可实现既定目标。

四、推广应用情况

高压电缆接地系统带电检修仪自研发以来，先后在石家庄 48 条高压电缆线路上进行应用，以 2018 年 110kV 柳岔线电缆接地系统带电检修为例，带电检修与停电检修所用时间同比缩短 19 小时，减少工作人员 5 人，改造成效显著。



图 3 接地箱带电接线检修

据统计，近三年在河北省高压电缆不停电作业中，减少人员作业 500 余次，减少电网停电时长 1200 小时，销售设备 800 余套，经计算人工费节约 55 万元，减少停电负荷损失约 2200 万元，销售利润 430 万元，为企业创效 2685 万元，推动了带电作业及智能电网域技术进步与

发展。

五、相关知识产权及荣誉

该成果在历经三年研究过程中，其核心技术已获得发明专利 6 项，外观专利 2 项。发表论文 3 篇、技术标准 4 项、技术专著 1 册。获得河北省电力公司专利一等奖 3 项。经国家电网公司专家组鉴定，该成果达到了国际领先水平。同时国内多家媒体对项目进行了报道，在带电作业、民生保障方面给予了高度评价。

完成单位：石家庄思凯电力建设有限公司

完成人：李宏峰、刘德佑、马琳、郗富强、李海刚

水电工程 800MPa 级高强度压力钢管制造焊接 关键技术及应用

一、立项背景

为了推动 800MPa 材质压力钢管焊接技术的进步,解决施工过程中的钢板焊接性能较差、质量要求高、作业难度大,行业内焊接自动化程度不高等难题,我公司经历 3 年自主创新研发,在制定焊接工艺、改进焊接设备、提高自动化程度、确保焊接质量稳定等方面取得全面突破。本课题研究有目的、有计划,并严格按照“调查筛选——课题论证——制订方案——实践研究——交流总结——申请结题”的程序进行。先对已有水电工程中的高强度钢管制作焊接项目作全面了解,明确研究的内容、方法和步骤;再组织本课题组成员学习课题研究的内容、任务和具体的研究步骤。从焊接设备选型、焊接工艺设计、自动化焊接等出发,通过一系列的实践研究活动,形成了 800MPa 高强钢技术研究体系。依托公司在安徽绩溪抽水蓄能电站压力钢管制安项目、白鹤滩水电站压力钢管制安项目,以此为技术交流平台,完成 800MPa 高强钢焊接技术研究内容,一系列的生产实践后进行总结提炼,形成技术研究成果。

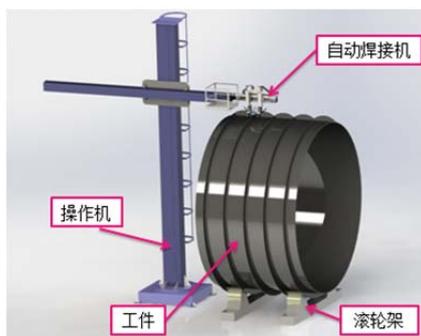
二、关键技术

该项目开发出了新一代大型水电站用 800MPa 级高强度压力钢管制造焊接工艺成套技术,可满足水电站压力管道流水线、大批量自动化生产。该项成果总体技术达到国内领先水平,其中加劲环自动化焊接集成技术达到国际领先水平。突破了多方面的关键技术:

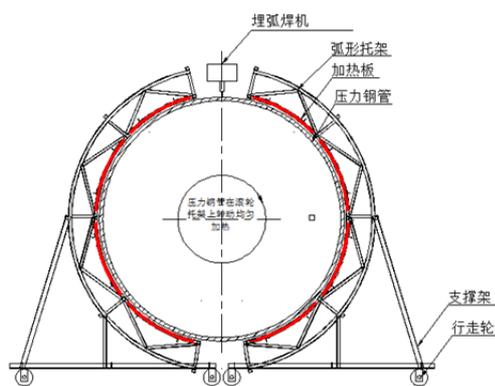
创新点一:提出了新的 800MPa 焊接工艺技术,优化了改进工艺参数,确保了焊缝机械性能,将焊缝内部质量一次检验合格率提升 4 个百分点。

旁证材料:焊接技术论文《水电站用高强钢焊接线能量对接头性能影响研究》,论文《高强度小直径压力钢管制造焊接技术》,论文《水电站 1000MPa 级高强钢焊接性技术应用研究》

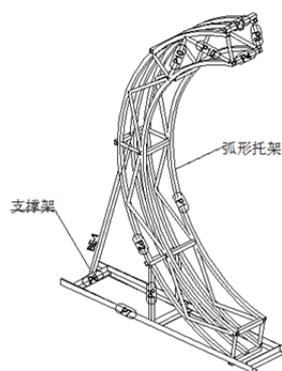
创新点二:研发了适用 800MPa 级别钢管加劲环的自动化焊接装置及方法,确保了焊接质量,提高了加劲环焊接自动化程度,大幅提高了生产效率。(金属结构;旁证材料:发明专利 ZL201610858069.7, ZL201610549139.0, 实用新型专利 ZL201621086928.7)



创新点三：研发了一种新型的纵缝焊接平台，提高了生产效率，降低了安全隐患。设计了钢管在滚轮架上转动时的防串动装置，减少了串动量，确保了焊接质量。（金属结构；旁证材料：,实用新型专利 ZL201720856852.X, ZL201821342360.X, ZL201721179164.0）。



弧形加热工装工作示意图



弧形加热工装三维结构图

三、与同内技术对比

通过与国内外同类技术的综合比较可知，项目主要成果达到国际领先水平，获得广泛应用，国内市场占有率超过 60%，效益特别显著。项目成果正在开拓国际市场，具有较强的国际竞争力。通过本项目的开展，共获得 9 项专利的授权，其中发明专利 4 项，实用新型专利 5 项，发表论文 3 篇，获得中国电机工程学会和中西南十省市焊接学会联合会论文奖。

四、应用情况

项目成果在高水头电站及抽水蓄能电站压力钢管制造焊接项目的应用，不仅提高了生产效率，缩短了制造工期，降低了施工成本，在取得良好经济效益的同时也为公司开拓水电市场 800MPa 级高强钢自动化焊接技术提供了强有力的支撑，推动了 800MPa 级高强钢在水电工程的应用，为水电工程金属结构焊接自动化技术提供应用典范，实现了国产 800MPa 级别钢材和焊材的完美融合，推动了水电施工技术进步。

目前成果即将推广应用到巴基斯坦达苏和 SK 项目、埃塞俄比亚复兴大坝、安哥拉凯凯、阿根廷基塞等项目，助推发展中国家的水电能源开发，缓解其能源短缺的困境，为国家“一带一路”战略和中巴经济走廊建设贡献葛洲坝力量。四十年来，中国能建葛洲坝集团锤炼出

卓越的水电设计与施工能力，开创国内流域开发综合利用的先河，也为国际水利水电工程与流域综合开发提供范本，助力“一带一路”建设不断走深走实。葛洲坝正在努力成为“中国标准”的制定者和输出者，在积极参与世界能源建设的同时，大力推动中国标准走向世界舞台。

完成单位：中国葛洲坝集团机械船舶有限公司、中国葛洲坝集团机电建设有限公司

完成人：贺振、陈卫平、张建中、左琛、何启忠、边俊军、张庆军、王娟、王宽贵、彭本荣

高危环境地质灾害外部变形监测技术创新与开发

现有变形监测技术在高山峡谷及重植被覆盖区等复杂环境下监测精度保障困难，在面对突发且处于高危状态的地灾情况时，现有技术在监测的连续性、实时性保证方面显得无能为力。因此本成果针对工程与地质灾害监测面临的迫切需求，重点对危险滑坡监测面临的实施困难、效率低下与精度控制困难的技术瓶颈与难题问题进行了系统研究。针对突发地质灾害难以开展实时连续跟踪监测与预警的技术问题，从高山峡谷控制网布设方法、测量机器人的应急监测方法、高危变形体无人机 GNSS 监测技术、高危变形体测量机器人监测尺度方位基准维持技术和专用外部变形的三维激光扫描技术基准建立与维持等方面进行了系统研究。提出了测前规划设计、高危变形体布置方法、应急监测、监测精度控制技术，形成了较为系统的高危环境监测控制关键技术体系，研制了具有自主知识产权的 GNSS 自动化监测仪器，研究了高危变形体投放飞行平台，结合北斗导航系统全球组网的完成及对北斗监测系统的深入开发与应用，将显著降低对美国等国家技术的依赖。

课题历时多年科技攻关，取得了三方面的关键技术：

创新点 1：提出了一套高山峡谷区复杂环境工程变形监测的基准优化设计方法，建立了监测精度估算模型，研发了多源数据大气折射等环境效应改正及数据处理方法，显著提高了自动全站仪与 GNSS 变形监测的精度及效率。（学科分类：水工建筑物监测与原形观测；发明专利 ZL201510385884.1、ZL201710187042.4、ZL 201710279027.2、ZL201611248217.X、2017SR179311；软件著作权软著登字第 1770359 号、软著登字第 1765345 号；支持专著 1 部，学术论文 25 篇。）



图 1 研发的全国产自主可控的高精度位移监测终端

创新点 2：提出了滑坡深层位移监测基准精度控制新技术，研发了隧洞监测辅助装置，并改进了隧洞环境下大气折射抑制方法，显著提高了洞室基准传递的精度和效率。（学科分类：水工建筑物监测与原形观测；发明专利 ZL201710187043.9、ZL201610231029.X；学术论文 4 篇。）

1) 针对滑坡深层位移监测基准精度保障困难，提出了一套洞室监测基准传递精度控制方

法，揭示了隧洞约束环境下大气折射对精密水准测量成果质量的影响机理，解决了深层狭小地下空间坐标传递精度保障困难及效率低下问题，使其精度保障能力和工作效率均得到较显著提升。

2) 研究了轨道及隧洞等轴线投影方法缺乏最优的投影参数确定方法，提出并解决了基于多项标准的最优化参数确定问题。

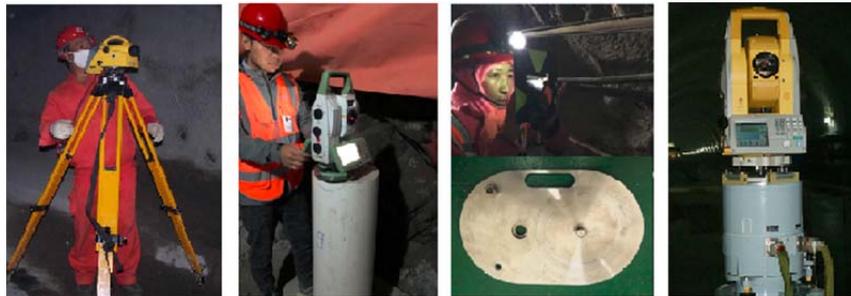


图2 滑坡深层位移监测实施

创新点 3: 针对不稳定滑坡体提出了基于无人机平台的基准快速建立、长基线 GNSS 连续自动化应急变形监测等技术，实现了高危地质灾害体的快速实时、连续自动化监测。(学科分类: 水工建筑物监测与原形观测; 发明专利 ZL 201710187043.9、ZL201710279037.6; 软件著作权 2017SR179311; 学术论文 5 篇。)

1) 实现高危边坡快速应急监测系统自主运行，规避了人工布设大型监测终端风险高、周期长的弊端，解决了突发地质灾害难以实时连续监测难的技术瓶颈问题。

2) 研究了 GNSS 监测在顾及峡谷效应的基准点布置准则，峡谷地区 GNSS 监测测量计划制定方法，重点观测控制点同步观测基线的筛选及确定，基于精密测距边长尺度基准的变形监测成果确定等内容，能够较显著提升高山峡谷区变形监测质量。

3) 研究了一套应急与高危环境变形监测技术体系，实现高危边坡快速应急监测系统自主运行，规避了人工布设大型监测终端风险高、周期长的弊端，解决了突发地质灾害难以实时连续监测难的技术瓶颈问题。



图3 高危变形体 GNSS 自动化应急监测系统

完成单位: 中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司

完成人: 李祖锋、赵志祥、尚海兴、吕宝雄、刘潇敏、曹钧恒、张耀、缪志选、张钊

高压电缆加热校直智能一体机及控制方法

一、研究背景

高压电缆作为电力动脉，为城市发展提供重要支撑。截止 2020 年底，我国 35kV 及以上的高压电缆回长度 4.6 万公里，并且每年以 8% 的速度增长。电缆接头作为线路的关键节点，一旦发生故障将会引起电网停电。据统计，国家电网公司每年停电处理高压电缆缺陷 4000 次以上，其中电缆接头故障占 70%，电缆加热、校直是高压电缆接头制作过程中的关键工艺，传统方法经常出现电缆加热不均、校直度不够、绝缘二次损伤等问题。

形成问题如下：一是电缆终端绝缘加热不均。传统电缆加热方法，采用人工缠绕加热带对电缆绝缘进行加热，人工调节温度控制加热时间，由于人为操作影响，常出现电缆加热不均、绝缘回缩不充分等问题。二是电缆终端绝缘直线度不够。传统电缆校直方法，当电缆加热完成后人工用角钢、木棍或悬吊的方法将电缆固定平直，由于就地取材不规范，常会出现电缆受力不均、电缆直线度不够等问题。三是多次装卸造成电缆二次损伤。由于传统方法需要人工对电缆进行加热、校直时，要对电缆终端进行多次检查、套装、固定设备等工艺，易造成电缆绝缘、导体等关键部件损伤。

二、关键技术内容

研究总体思路：以提升高压电缆接头制作工艺、增强电网可靠性为目标，重点解决电缆加热不均、电缆平直度不够、电缆绝缘受损伤等问题。团队经过四年探索，在电缆加热校直机械化、自动化、标准化等方面取得了突破，发明了一款“高压电缆加热校直一体机”。

该装置的工作原理是：首先按下电源开关，启动校直机，然后打开升温按钮，系统加热升温至预设温度（80 度），达到预设温度后，装置自动恒温 3 小时，加热结束后，自动加紧电缆，自然冷却 8 小时后，自动松开电缆操作完成。

三、与同类技术对比

该成果提供一种集电缆恒温加热与恒力校直于一体的安全、智能、高效的全自动设备，该设备可以有效的提电缆加热校直的安全性和标准性。

创新点 1：发明了高压电缆终端恒温加热装置，利用封闭空间加热技术，通过轴流循环风系统，解决了电缆终端绝缘加热不充分问题，实现了电缆终端绝缘快速均匀加热，受热质量从 80% 提升至 100%。

创新点 2：发明了高压电缆终端恒力载荷装置，利用伺服电机、卡抓压力调节、铝合金

角钢等装置对电缆终端加载恒力，实现了多角度对电缆绝缘进行校直，达到了电缆终端绝缘直线度 $\leq 600\text{mm} \pm 5\text{mm}$ 。

创新点 3：研发加热校直一体机智能控制系统，采用终端控制技术，利用分控器和应力控制单元解决加热与校直过程的连续性，成功解决了人工分体加热和校直的难题。减少现场作业 3 人次，工作现场简洁有序，杜绝了人员机械损伤和其它意外的发生，达到标准化工艺要求。

创新高度：经过高压电缆加热校直智能一体机的应用，电缆附件安装工艺水平大幅度提高，经试验分析，电缆接头的使用平均寿命从 15 年提高到了 30 年。与国内外同类技术比较，该成果在高压电缆热绝缘回缩度、校直度、标准控制、适用性等方面，均显著优于国内外同类技术。

表 1：国内外同类技术比较

项目比较	国外技术	国内技术	本专利成果
高压电缆加热	缠绕加热带	缠绕加热带	程控加热校直技术
高压电缆校直	角铁、木棍校直	角铁、木棍校直	
加热绝缘回缩度	50-70%	50-70%	90-100%
校直度	5mm<偏心率 600mm<20mm	5mm<偏心率 600mm<20mm	偏心率 600mm<5mm
标准控制	一般	一般	优秀
适用性	多人参与	多人参与	装置便携，1 人操作

四、推广应用情况

该成果适用于 35kV 及以上高压电缆附件安装、出厂试验、型式试验、投运前验收试验等。国内市场可推广至设备制造业、检测机构、铁路、钢铁、石化等与电力相关行业，预计每年可实现 2 亿元经济效益。国际市场可推广至美国、英国、德国、日本等国际电力领域，具有较大的市场和经济社会效益的前景。

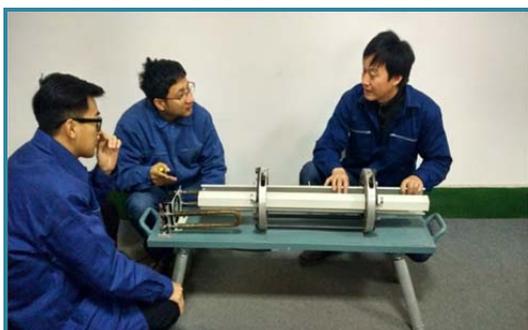


图 1：研发图



图 2：实物图

五、相关知识产权及荣誉

成果通过了河北省电力公司专家鉴定，项目在高压电缆加热校直标准化自动化上显著提升，达到国际领先水平，弥补了电缆加热校直工艺标准可把控，加热校直连续化的技术空白。

成果通过了河北省专利保护协会查新，该项目在高压电缆加热校直技术上的应用系国内首创，并成功授权同族发明专利 8 项，技术标准 1 项，发表相关论文 1 篇。2018 年该专利获得河北省电力公司专利一等奖 2 项。

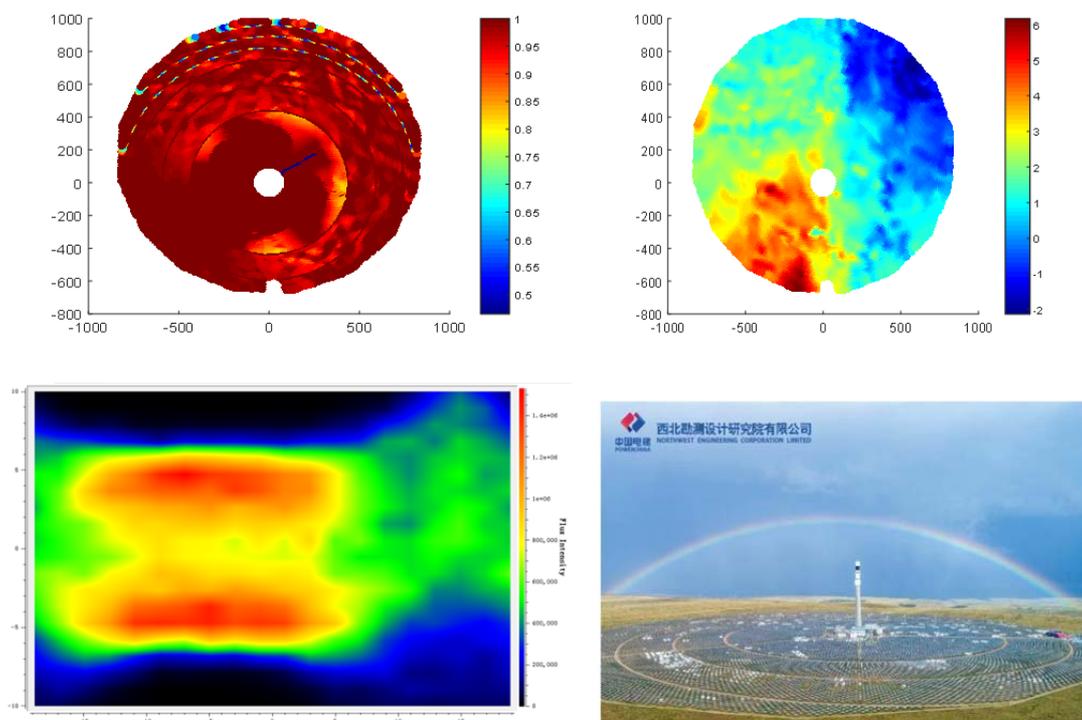
完成单位：石家庄思凯电力建设有限公司

完成人：李宏峰、李浩月、刘鹏、佟莹莹、刘玢

基于数据挖掘技术的塔式光热电站集热系统建设优化

风电、光伏的装机容量在电力系统中的占比逐步增加，电网对于储能电站的需求日益明显。光热电站的储能环节具有无污染、成本低、不衰减（不受循环次数限制）、安全性及可靠性高等优势，发展前景光明。在塔式光热电站中，太阳岛包含数万面定日镜，需要进行实时跟踪和调度；考虑多种工况下的安全策略；实时跟踪过程存在海量信息交互。投资占比高，技术难度最高，精度要求高；本项目针对相关的难点问题开展研究，形成突破性技术。

本项目系统研究了塔式定日镜场镜元运动规律和余弦、大气衰减、阴影遮挡、溢出等损失随时间变化的分布规律，建立了镜场各分项光学效率的数理模型。改进多边形链表法和光线追迹法，提出了可快速准确评估定日镜场全年任意时刻各分项光学效率的计算方法，大幅提高了光学效率的计算速度。提出了定日镜的精度检测流程，建立了定日镜光斑成像评价体系。自主开发了适用于大规模商业电站的定日镜光斑及组合光斑仿真软件，形成了吸热器表面热流密度分布分析方法。通过改进大规模商业化电站的仿生型镜场的仿生螺线生成流程，提出了结合地形的群体智能算法多分区组合型镜场布置方法，在国际上首次将该方案应用于实际项目，镜场年均光学效率达到 53% 以上。



基于中电建青海共和 50MW 塔式光热发电示范工程，在镜场布置、光热能流密度、吸热塔结构、子系统管理调度等方面进行优化。在同类项目中，占地面积最小，镜场施工最快，太阳岛系统造价最低。可以在不增加硬件成本的基础上，通过设计优化提升镜场的光学效率，利用仿真模型提高运维水平，50MW 级别的单个电站全生命周期可创收数千万。

项目形成专利 11 项；其中发明专利 7 项，已授权发明专利 3 项,已发布行业标准 1 项，在编 2 项，论文 10 余篇。项目相关内容获“2018 年陕西省科技工作者创新创业大赛”银奖，2019 年“陕西省职工十大创新创业项目”，2020 年“中国电建科学技术奖一等奖”。

完成单位：中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司

完成人：肖斌、周治、王晓、陈康、陈鹏飞、文龙、段杨龙、赵跃、孙夏思、张思远

轻型加强板式风力发电塔架制作关键技术研究

一、立项背景

风电装备制造市场竞争日益加剧，各大主机厂家对机型进行优化，增加加强板式结构，制作难度增加。根据前期投标市场机型分析，金风机型占据大部分风电市场，加强板变截面式设计为金风主打设计机型，且国内外大型主机厂家如歌美飒、明阳、远景等，均为采用类似设计，由于此种机型结构为新型设计，塔筒厂制造安装工艺均还在摸索阶段，未形成系统化工艺文件。因此，形成一整套科学先进的加强板变截面式风力发电机组整体制作工艺尤其重要，将极大的提高生产效率，节省人工，降低生产成本，对公司风电设备市场开发意义重大。

二、关键技术内容

(1) 下料：采用“六合一”整体排料定制钢板，预先加入每片加强板拆分切割时切割余量、收缩量。

(2) 卷制：采用卷板机多次卷制，用内弧样板对钢板弧度进行检查。

(3) 加强板焊接：焊接过程应严格控制焊接变形。焊接方式为内、外坡口交替焊接，防止变形过大。

(4) 加强板解体：采用半自动火焰切割机进行解体切割，采用先预留后切断方案，降低了解体后单片加强板变形量。

(5) 加强板安装洞切割：切割时，利用特制的反变形工装对塔架采用外加刚性拘束，强制塔架在切割时不能自由变形。

(6) 加强板与塔筒焊接：遵循“先纵向焊缝，后横向焊缝，先筒体一侧环缝后法兰一侧环缝”的原则施焊，最大程度减小焊接变形。

(7) 焊后消应力处理：采用风电塔架整体振动时效消应力工艺及加强板与筒体拼接焊缝局部加强超声波消应力工艺。



三、技术创新点及实施效果

技术的创新点：(1) 加强板变截面式风力发电塔筒结构，加强板通常占据圆周 60° ，根据加强板展开钢板形状呈窄条状特点，针对加强板钢板单独排料，采用先 6 合 1 整体排

料卷制，再切割拆分，单片安装的特殊排料制作工艺。(2) 加强板板厚 60mm 以上，存在非常大内应力，整圆加强板分片切割时，由于应力释放，分片切割后极易产生较大变形，针对这一情况，采用反变形切割工装，控制切割后单片加强板开口尺寸，保证安装精度。(3) 卷制成型加强板采用“实物法”与筒体适配划线切割并无间隙组装，确保安装精度。(4) 针对筒体切割、焊接时极易存在下塌变形情况，研制加强板与筒体安装防变形辅助焊接装置，保证下段筒体平面度 $\leq 2\text{mm}$ 、平行度 $\leq 2\text{mm}$ 。(5) 加强板整体为矩形，尖角处以 200mm 半径圆滑过渡，针对加强板外形特点，加强板与筒壁拼装焊接时，采用埋弧自动焊与气体保护焊相结合焊接方式。

整套施工流程，减少了装配焊接时间，有效提高了制作效率，可以实现每日 10 段产能；节省了主材采购成本，也攻克了因板厚差值过大，对接完成困难的难题。为保证筒体椭圆度及平面度，装配前利用加强板防变形固定装置，在加强板安装洞口上下位置进行支顶，装配过程中严格按照精细化管理和标准化生产，确保产品一次合格率 99% 以上。

四、推广应用情况

成果应用到广核安徽东至沼潭风电场项目、青海黄河上游水电开发有限责任公司共和 450MW 风电项目、山西省榆社县禅山一期、二期 50MW 风电场项目、都兰绿扬都能源有限公司都兰 5 万千瓦风电项目、中电投黄龙县崾崄风电场 50MW 风电项目等 20 余个项目 1300 余套风电塔架的制作，业主单位涉及中广核新能源有限公司、上海电力设计院有限公司、国家电力投资集团公司等。

加强板板厚达到 60mm，采用“六合一”排料，6 片加强板整体卷制再解体方式，每套可节省钢材约 1.53 吨，大大节省主材，按市场价钢材 5380 元/吨，则 1300 套风电塔架主材费用可节省 $1.03 (\text{吨/套}) * 1300 (\text{套}) * 5381 \text{元/吨} = 720.52 \text{万元}$ ，仅主材采购成本即可节省 720 万元，经济效益非常可观，随着公司全国风电市场的拓展，后续还会有持续回报。



五、知识产权及荣誉

项目研究过程中形成了“一种带加强板的风电塔筒施工方法”、“一种适用于风力发电塔筒运输及安装的吊运工装”、“一种风电塔架筒节与法兰组对变位装置”等 3 项国家发明专利。形成了“一种风力发电塔筒加强板的安装洞防变形加固装置”、“一种使用加强板的风电塔架”、“一种用于风力发电塔筒外缝与加强板焊接的安全平台”等 14 项国家实用新型

专利，技术创新效果显著。



完成单位：中国水电四局（酒泉）新能源装备有限公司

完成人：高治学、何鹏飞、管伟

AP1000 压力容器安装技术研究

一、立项背景

AP1000堆型压水堆是电功率为百万千瓦级的先进压水堆，三门核电项目及海阳核电项目是国务院正式批准实施的首批采用世界第三代先进压水堆核电AP1000技术的依托项目，采用了“开顶法”等先进的施工工艺，反应堆压力容器等主设备的结构、安装工艺不同于常规国内M310堆型，为解决依托项目建造过程中的技术难题，促进技术进步，确保工程质量安全，提高经济效益，进行AP1000核电站反应堆压力容器安装技术研究，能为后续AP系列及其它堆型反应堆压力容器的安装提供技术及数据支持。

二、关键技术内容

AP1000压力容器安装技术研究课题关键技术内容如下。

1) 在压力容器保温安装过程中，研发的“壁挂式”保温层安装工艺及保温支架样板架专用工装，有效避免了保温支架单个安装、独立测量所带来的缺点，同时保证了保温层安装工作的顺利进行。

2) 在压力容器支撑安装工作中，通过研发的现场高精度沉头盲孔制作工艺以及工装设备，解决了现场空间狭小、定位孔（钻孔总深 220.7mm，上部孔直径 $\phi 69.85+0.05\text{mm}$ ，下部孔螺纹 M60 \times 4-6H，上下孔对中要求小于等于 $\phi 0.08\text{mm}$ ）制作精度要求高的难题。

3) 在压力容器安装工作中，通过研发出压力容器就位调整系统，可以精确、平稳、快速的对压力容器进行定位，避免碰伤及多次调整对中的工作。

三、与同类技术对比

国内反应堆压力容器常规安装工艺是先进行整体支撑环的安装，接着在压力容器本体上安装保温层，最后在反应堆厂房里采用环吊进行压力容器本体安装。

AP1000压力容器安装工艺是先压力容器房间腔室钢墙壁上安装“壁挂式”保温层，接着进行四个独立的支撑座的安装，最后是采用“开顶法”安装工艺，使用大型履带吊车将压力容器本体在核岛厂房外翻转、竖立后吊运越过安全壳厂房，安装就位。

主要创新点有：

1) 研究开发的专用模板工装将不同标高位置及中心保温支架统一为唯一的安装基准，可以快速、准确的安装压力容器保温；

2) 研制专用钻孔工艺和专用工装，解决了压力容器支撑沉头盲孔现场高精度制作的难题；

3) 研制的压力容器专用就位调整工装，保证了压力容器就位间隙小的高要求。

四、推广应用情况

AP1000反应堆压力容器安装技术研究成果已成功应用于三门、海阳AP1000核电一期工程的四台机组以及CAP1400压水堆示范工程以及“华龙一号”海外巴基斯坦卡拉奇核电项目。项目应用照片，参见如下。



图1：反应堆压力容器的保温和就位调整工装



图2：压力容器支撑高精度沉头盲孔制作和钻镗一体机

五、相关知识产权及荣誉

5.1 知识产权

获得发明专利授权 2 项、实用新型专利授权 3 项。含《核岛压力容器金属反射式保温层安装工艺》（发明）、《AP1000 反应堆压力容器中部保温层安装方法》（发明）、《压力容器就位调整系统》（实用新型）等。

5.2 科技奖

获省部级奖励 7 项，其中一等奖 3 项，上海安装行业协会发明金奖 1 项。其中《AP1000 压力容器安装技术研究》获中国化工施工企业协会的工程建设科技创新一等奖，《AP1000 型压水堆核岛压力容器金属反射式保温层安装工艺》获上海安装行业协会发明金奖。

5.3 行业标准

主编国家能源局行业标准 1 份，为《非能动压水堆核电厂反应堆压力容器安装及验收技术规程》（NB / T-20392-2016）。

5.4 工法

获省部级工法 2 份，为《压力容器支撑高精度沉头盲孔制作工法》、《AP1000 核电压力容器安装工法》。

5.5 学术论文

发表学术论文2篇。

完成单位：中国核工业第五建设有限公司

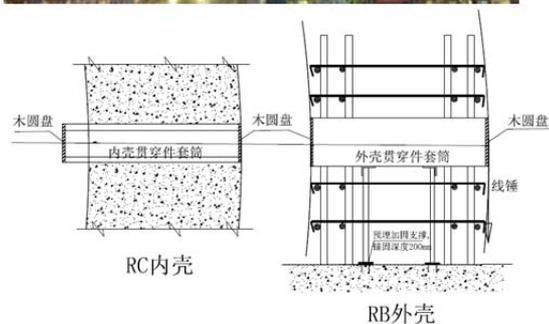
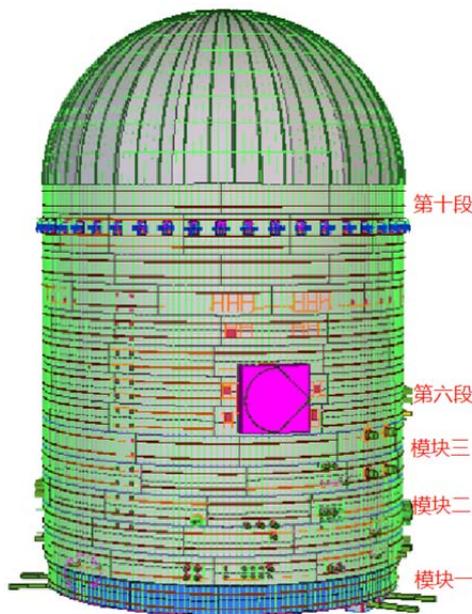
完成人：李建、孔丽朵、苟锐、甘锐、皮兴刚、覃明保、陈赞科、初绍桦、黄昊、段小勇

“华龙一号”钢衬里模块化施工技术

“华龙一号”是我国自主研发的百万千瓦级三代压水堆核电技术，融合了“能动与非能动”的先进设计理念，主要技术指标和安全指标满足我国和国际最新安全要求，单台机组设计功率 100 万千瓦时，是我国打造“一带一路”核电工程技术“走出去”的推荐堆型，其安全性和经济性具有广泛的推广意义，在我国核电建设发展中具有广阔的发展前景。

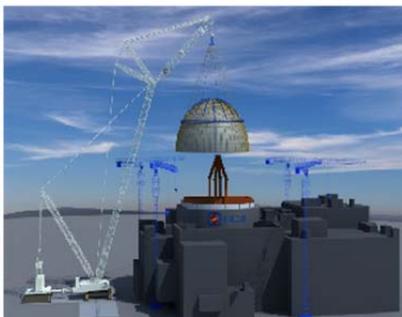
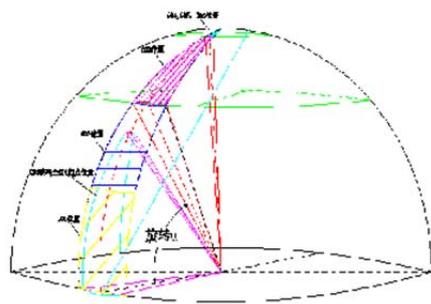
“华龙一号”安全壳钢衬里作为反应堆厂房预应力钢筋混凝土安全壳的重要组成部分，与预应力混凝土结构共同组成核反应堆的第三道安全屏障，包括钢衬里底板、筒体及穹顶三大部分。钢衬里外观呈圆柱形，直径 46.8m，高 77.93m，由 6mm 厚特制 Q265HR 钢板、外侧加强型钢背肋、锚固钉焊接而成的密封容器结构，其中还包含 45 个环吊牛腿、194 个贯穿件、3 个大型闸门套筒、1054 个锚固件等附属构件，其制作、安装难度大且精度要求高。钢衬里属于核安全 2 级设备，质保等级 QA1 级，抗震类别 I 类，连接以焊接为主，设计要求采用的钢板弹性性能好，并具备较高的可焊性。安全壳钢衬里施工位于关键路线上，且与土建交叉施工，管理难度大，前期策划要求高、过程实施工作强度大，为此经过大量研究及技术攻关，我司提出了一种核电站安全壳钢衬里模块化施工方法，其创新点如下：

创新点一：自主研发了筒体模块化工艺，包括：专用桁架吊索具系统、薄壁大直径超高偏心模块防变形工艺、模块贯穿件及锚固件精准定位工艺、薄壁大直径模块对接就位技术。



创新点二：优化了穹顶拼装、吊装工艺，自主研发了底板及周边环板安装防变形工艺和

环吊牛腿组拼焊接防变形工艺，提高了工效，保证了施工质量。



创新点三: 改进了双曲率成型卷板设备, 提高了薄壁半球结构穹顶预压成型质量和工效。

该关键技术成果在中国核工业集团有限公司组织的“华龙一号钢衬里施工关键技术研究与应用”项目成果鉴定会上, 评价委员会一致认为: 项目研究成果整体达到国际先进水平。

本项目取得授权发明专利 4 项, 授权实用新型专利 3 项, 省部级工法 1 项。



该成果已经成功应用于“华龙一号”全球示范工程福清核电工程项目 5、6 号机组核岛安全壳钢衬里施工, 应用效果良好, 获得了监管方、管理方的一致好评。目前已经推广应用到漳州华龙一号 1、2 号机组, 经济社会效益显著, 同时已在苍南、昌江、太平岭、防城港等核电工程中积极推广应用。

完成单位: 中国核工业二四建设有限公司

完成人: 汤志孟、温新中、曾庆威、周玉东、刘勇、乔军辉、王丹、许松年、苏洪委、张希旭

架空输电线路铁塔智能化设计技术

一、研究背景

输电线路铁塔具有结构复杂、构件多、几何形状不规则、杆件传力过程曲折等特点（一个 500kV 铁塔构件数量约 3 万个，特高压铁塔构件约 5 万个）；节点的设计更是繁琐，要考虑安装方式、连接类型、杆件规格、空间布置与碰撞等。

本技术大力推行自主创新，旨在输电线路铁塔设计领域实现“先见实物，后见图纸”的铁塔智能精细设计，即先完成达到施工图精度的铁塔三维实体模型，再利用三维数据转换为结构施工图。推动输电线路铁塔设计行业进入智能化、数字化设计，实现设计、加工、施工及运维的数字化无缝衔接。

二、关键技术及创新点

（1）提出铁塔结构智能分析方法，着重研究结构逻辑关系、构件空间摆放、碰撞处理、节点和节点板智能设计，形成一套较完整的铁塔结构智能分析体系。

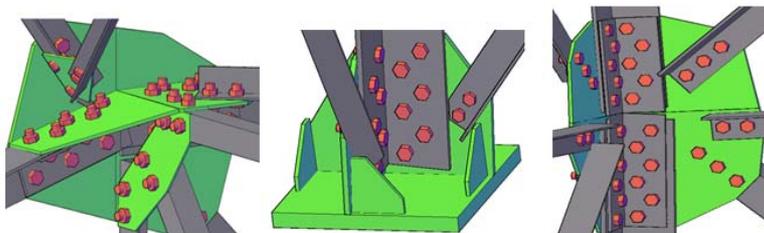
1) 拟定铁塔各类型构件的计算机表达模型。构件模型需满足铁塔结构分析过程中几何信息输入、设计信息传递、构件自动布置、节点构造设计、节点板自动确定等。

2) 各类构件三维空间数字表达及自动摆放分析模型。提炼各类型构件空间摆放的基本要素，使这些要素可以数字化模拟成为各类构件的基本属性。

3) 角钢杆件的空间位置智能分析。将杆件从受力计算时的单线自动转换为端头有螺栓排布连接的角钢构件，需要经过复杂的信息识别、逻辑分析、优化计算和碰撞处理。

4) 节点的构造分析。将节点处相连的杆件根据所在的板平面进行划分；对每个节点各平面所属的杆件进行逻辑关系判断；根据每个节点板的连接杆件的空间位置及螺栓排布等。

5) 节点板优化。节点板的所有板边节点都已确定后，将这些孤立的节点连接成满足相关要求的节点板。



（2）完成智能分析铁塔受力和构造软件开发,软件自动化程度高，有效减少了工作量，降低了出错概率。

1) 在输电线路铁塔设计领域实现了“先见实物，后见图纸”的铁塔三维智能设计，即先完成达到施工图精度的铁塔三维实体模型，再从三维数据提取结构施工图。

2) 利用在铁塔计算过程已建立的铁塔单线模型及杆件选材结果，添加少量数据，便可智能地对铁塔所有杆件、节点板、螺栓等的逻辑关系、空间位置及碰撞等进行优化分析。

3) 智能化识别辅助材信息。通过软件读取二维司令图获取辅助材信息，根据其中辅助材与受力材的位置关系确定辅助材在三维坐标系中的位置，实现智能化识别分析辅助材。

4) 构件的碰撞分析及优化处理。通过两种方式解决构件间的碰撞处理：a)分析碰撞角钢的负头值（端头缩短值）；b)将碰撞构件移动分开一定距离。

(3) 构建数字化铁塔三维设计成果信息链，实现设计、加工、施工及运维的数字化无缝衔接。

1) 软件建立的是数字化的三维模型，每个构件都有属性档案，记录其在每一设计环节中的材质、规格、受力、尺寸、位置、朝向、连接、安装等信息，供用户调用或二次开发。

2) 将铁塔三维设计成果与加工生产自动化深度融合，构建统一复用的铁塔三维模型，实现铁塔设计、加工信息整合，实现设计、加工、施工及运维的数字化无缝衔接。

3) 为无图纸化的工程建设奠定基础，三维施工图取代平面纸质施工图。

三、技术经济指标先进性及取得的知识产权

国外尚没有类似铁塔智能化设计技术；国内相关软件生成的铁塔三维模型主要用于演示大概的铁塔形状，不能进行施工图设计；一些加工厂使用的铁塔放样软件，是根据铁塔结构图纸，将构件手工输入后完成铁塔三维模型，这种软件没有设计分析功能，不能有效提升铁塔施工图设计的质量和效率。

本技术成果取得两项专有技术：1) 架空输电线路铁塔三维设计软件包；2) 东北院自立式铁塔内力分析软件 TTA3.0。取得三项实用新型专利：1) 一种特高压直流输电线路直线塔；2) 一种输电线路多回路防舞装置测试用四回路杆塔；3) 一种防止微风振动的钢管塔。

四、应用情况及经济社会效益

项目的研发成果已推广应用于黑龙江、辽宁、陕西、云南、内蒙等多个省的输电线路工程，涵盖了 220kV、500kV、750kV 以及 ± 800 kV 线路工程。研发成果也应用于老挝、菲律宾、柬埔寨等国家的输电线路工程中，本技术的应用极大地推进了工程的建设进度，为工程节省铁塔钢材 5%左右。

五、推广应用前景

本项目成果可实现输电线路领域正向三维设计，符合行业发展需求。推广使用本项目成

果，可实现铁塔精细化三维设计，大幅提升设计效率，同时有效加快设计成果与加工、施工及运维的无缝衔接。由于本三维成果包含了设计环节中的所有信息，包括构件的材质、规格、力学特性等，因此可实现设计不出具施工图，以三维成品交货，加工厂家以此精细化三维模型直接加工铁塔，施工单位参照此三维模型进行铁塔安装，运行单位可根据三维模型进行铁塔维护。

推广应用本技术研究成果，可在电力行业输电线路领域产生划时代的变革，三维施工图取代纸质施工图，设计信息全寿命化。

完成单位：中国电力工程顾问集团东北电力设计院有限公司

完 成 人：张 健、姜玉挺、吴光臣、高汝涛、黄金龙、李文枫、王彦飞、苑士岩、张孟雅

27.5kV 无源型等电位带电指示装置

一、立项背景

电气化铁路牵引供电系统的施工经常涉及牵引供电设施带电后的调试、检验。电气化铁路的接触网和变电所高压设备的额定电压为 25kV，远超人体安全承受电压，因此施工前必须严格遵守停电、验电、挂接地封线等流程，保证施工人身和设备安全。

铁路牵引供电系统传统验电方式为人工验电，使用抽拉式验电杆，在作业中存在验电时间长、操作复杂、受环境影响大等缺点。中铁二院结合铁路自动化的发展方向，研制出一种适用于电气化铁路牵引变电所和接触网的高压带电指示装置，解决了电气化铁路验电程序的这一难题，取得了显著的社会和经济效益。

二、关键技术

该装置由当地显示单元，射频发射单元，射频接收单元，数据处理单元（包括远方显示和远方出口继电器）组成。自动验电装置设计思路和工作原理为采集电压信号、能量存储、识别带电信息、信息无线传输、信息的接受和应用。

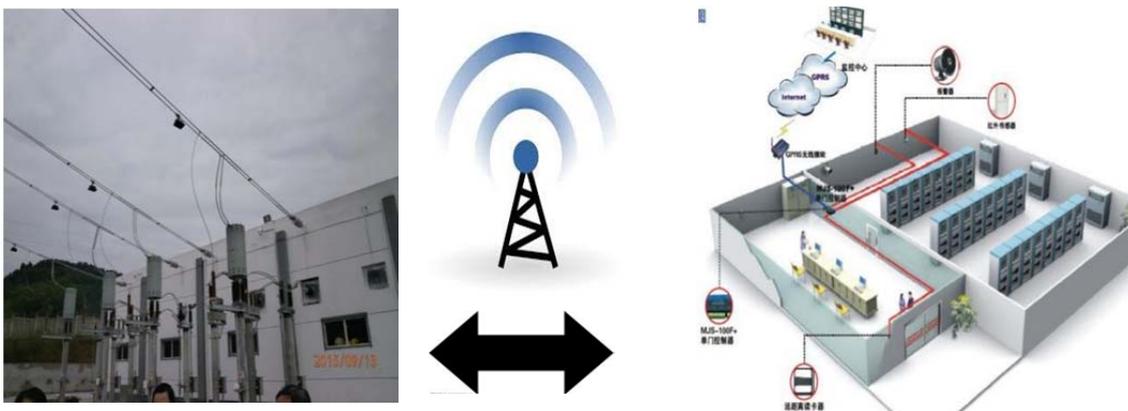


图 1 带电指示装置系统原理图

当地显示单元和射频发射单元等电位安装在在牵引变电所和接触网的带电导线和高压设备处，利用电磁感应原理从带电导线获取能量。当地显示单元通过 LED 灯闪光的方式显示导线的带电状态，为当地施工人员提供直接、实时的安全信号；同时，射频发射单元把带电信息以无线信号的型式发射出来，远方的射频接收单元接收信息后，数据处理单元把带电信号转换为指示电路，让远方的施工监管人员方便、直观掌握施工现场情况，指导安全生产作业，并可以和综合自动化系统的内部相关逻辑配合，实现对开关的连锁、闭锁功能，为安全施工提供多套保证措施。

带电指示装置的关键技术内容如下：

(1) 功耗与传输距离的优化：无线发射功耗非常大，需对对处理器和无线发射模块进行联合设计，使多个模块之间工作紧密配合，实现总功耗的最小化。

(2) 无线发射和接收技术：牵引变电所内有大量的高压设备，电磁环境复杂，对无线数据传输会造成一定的干扰影响，需要多重手段进行数据完整性校验。

(3) 嵌入式软件开发：采用嵌入式软件开发系统，分别安装在无线发射和接收设备上。

三、与同类技术对比

(1) 国内首创。首次提出并成功研制了适合电气化铁道的 27.5kV 无源型等电位带电显示装置，完成装置的设计、制造、试验及试运行，填补国内空白。

(2) 无外接低压电源。国内外同类装置一般为有源型，装置需要使用低压 220V 交流或直流电源，使用成本高，受外界环境因素的影响大。本装置利用感应原理取能，通过电子放大，频率控制等技术，使装置发光。不需要外接电源，环保节能。

(3) 装置与高压带电体等电位。国内外同类装置均需要同被检测的高压设备和导线绝缘，考虑到高低压设备安全检修距离的因素，探测器一般距离被探测设备和导线 2 米以上，探测器精度受限。本装置直接安装在输电线路的设备和导线上，同本探测物体等电位，输电线路与显示装置之间不会产生电流、不存在绝缘击穿的风险、不影响输电线路的正常运行。

(4) 无线传输和数据处理功能。装置不仅具有当地显示功能，而且具有数据的无线传输和数据处理功能，这是国内外类似装置均不具备的功能。

四、推广应用情况

从 2013 年至今，27.5kV 带电指示装置已经批量使用在成渝高铁、成贵高铁、鲁南高铁、郑万高铁、西成高铁、沪昆高铁等国家重点工程项目中，产品销售 3300 多台套，累计实现产值 1883 万元。多年的运行业绩，证明了该装置性能稳定可靠，功能完备，有效的提高了生产效率，获得铁路局和施工单位的一致好评。



图 2 运行在川藏铁路拉萨到林芝段上的带电显示装置

五、相关知识产权及荣誉

本装置 2014 年获得实用新型专利，2018 年获得发明专利。本装置 2015 年通过四川省科学技术厅科学技术鉴定，2019 年通过四川省经信委新产品鉴定。

完成单位：中铁二院工程集团有限责任公司

完成人：陈纪纲、杨可、陈刚、许晓蓉、袁勇、林宗良、唐元方、尹磊、李剑、代文平

高陡边坡脚手架结构设计与施工技术研究及应用

一、立项背景

我国水能资源丰富的西南地区是地质条件极其复杂的区域，该地区河谷深切狭窄，谷坡陡峻，地应力水平高，岩体卸荷强烈，且地质结构复杂，地震烈度高，天然岸坡稳定性较差。水电工程高边坡治理多采用脚手架搭设施工平台。作为实现边坡加固治理的重要临时设施和大型承载结构的钢管脚手架，关系施工安全、质量、进度及成本控制，对其进行系统研究意义重大。本课题以锦屏一级水电站高陡边坡脚手架为研究对象，对高边坡脚手架的设计、计算和构造进行研究分析，开发了高陡边坡脚手架设计计算软件，形成了一套高边坡脚手架搭设施工技术方法。

二、关键技术内容

1. 关键技术一：建立了水电高陡边坡工程脚手架结构计算理论方法，不但考虑了施工荷载和机械振动对脚手架结构产生的影响，同时也考虑了脚手架连墙件、柔性拉锚、斜撑及剪刀撑等构造措施对脚手架结构受力及稳定性的作用。

高陡边坡脚手架的计算理论和设计方法：通过工程资料搜集、现场调研和理论分析相结合的方法，利用岩土工程技术、材料力学、结构力学、钢结构设计原理及计算机技术等基础理论，对复杂高陡边坡支护脚手架进行分类和设计，提出了合理的简化计算模型和设计方法。

2. 关键技术二：结合水电高陡边坡脚手架的结构计算理论及设计方法，开发了一套高陡边坡脚手架结构计算和设计软件（软件著作权：2015SR085355），可对高陡边坡脚手架进行构件和结构计算，分析高陡边坡脚手架施工期的稳定性和安全性。

高陡边坡脚手架计算程序软件的研发，形成一套操作简便、计算正确、符合工程实际情况的“高陡边坡脚手架工程稳定设计和计算软件”。软件可以对常见的高陡边坡脚手架进行构件和结构计算，分析高陡边坡脚手架在施工期间的稳定性和安全性，可以得到各主要受力构件的内力图 and 挠度图，软件还能自动出具计算文本文件和绘制初步的施工图。

3. 关键技术三：建立了脚手架搭设前对原始地质条件的地勘钻孔复核的技术保障体系，有效地查清了脚手架基础的工程地质条件，确保脚手架基础承载体的稳固。

为提高脚手架基础的承载力和完整性，应用地基加固处理方法，对其进行加固处理；研制了一种化学灌浆补强加固技术对其进行处理，使地基质量满足脚手架施工需要。

4. 关键技术四：提出多层次防止高陡边坡脚手架失稳和倾覆的加固措施，设计了一种柔

性连墙件装置（实用新型专利：ZL 2012 2 0309796.5）两套保护方案，解决了复杂地质高陡边坡脚手架安全稳定问题。

5. 关键技术五：在高陡边坡垂直、倒悬部位，采用型钢设计脚手架基础平台，在中部按一定垂直高差设置的型钢或锚杆束制作脱层减载平台，确保脚手架受力稳定。

在高陡边坡垂直、倒悬部位，采用型钢设计脚手架基础平台，自密实砂浆锚固深入岩体，实现垂直、倒悬部位脚手架起坡搭建的目的；对于特高脚手架，在中部按一定垂直高差，采用型钢或锚杆束制作脱层减载平台，确保脚手架受力稳定。

6. 关键技术六：将高清摄像头、全站仪、锚杆应力计等监测工具、仪器引入到高边坡脚手架的安全监测中，适时的对脚手架安全运行进行监测，保证了脚手架的安全运行。

三、与同类技术对比

本课题专项技术与国内外同类技术比较，在脚手架设计方便充分考虑了搭设边界条件，特别是能够适应边坡工程地形多变的特点；根据边坡工程脚手架的运行工况特点，将架体计算模型简化为半刚性连接，更贴近工程实际；考虑了动力荷载对架体的影响，引入动载系数简化计算模型，荷载相对简单，传力明确。同时设计并应用柔性连墙件装置、悬挑平台、脱层减载平台构造提升了架体运行安全性。

四、推广应用情况

本课题的研究成果可用于各种高陡边坡治理工程中的排架结构的设计、分析及其监测、预警，填补国内大型水电工程在相关技术环节上的空白，适用于水电、铁路、公路（高速公路）等工程边坡。本项目高陡边坡脚手架已被国内类似的六个工程引进，其中包括：①桐子林水电站左岸坝肩边坡（坡度约 63° ）；②猴子岩水电站引水发电系统边坡及洞室支护，脚手架搭设面积达 8 万 m^2 ；③黄金坪水电站左岸调压室、斜井等部位排架搭设高度超过 50m ；④立洲水电站右岸下游边坡脚手架搭设高度为 94m ；⑤金沙江白鹤滩水电站尾水洞出口边坡、进水口边坡脚手架搭设最大高度超过 80m ；⑥锦屏一级水电站左岸 550m 级人工开挖高陡边坡，坡比多为 $1:0.5\sim 1:0.3$ 、泄洪雾化区两岸边坡最大高度 330 余米，多为 80 度以上近垂直边坡。被众多水电建设专家、院士誉为“世界级工程”。

五、相关知识产权及荣誉

1. 获得知识产权情况

该项目获得国家实用新型专利 3 项：①一种柔性连墙件装置(专利号 ZL 2012 2 0309796.5)；②一种风动钻机除尘器(专利号 ZL 2012 2 0192060.4)；③一种组合钻孔装置(专利号 ZL 2010 2 0563530.4)。该项目获得国家发明专利 2 项：①一种地基加固处理方法(专利号 ZL 2012 1

2018195.8); ②一种化学灌浆补强加固处理办法(专利号 ZL 2009 1 0308695.9)。该项目获得获得软件著作权 1 项: 高边坡脚手架设计软件 (2015SR085355)。

2. 获得荣誉

《高陡边坡脚手架结构设计、计算软件及预警监控系统研究施工技术研究》获得 2013 年度中国水利水电第七工程局有限公司科学技术进步奖二等奖; 课题成果《复杂地质高陡边坡钢管脚手架搭拆施工工法》获评四川省住房和城乡建设厅省级工法 (SCGF131-2014)、中国电力建设集团有限公司中国电建工法 (ZGDJGF050-2014)。

完成单位: 中国水利水电第七工程局有限公司、中国水利水电第七工程局成都水电建设工程有限公司

完成人: 李正兵 陈旭东 王波 漆巨彬 柏波 周家文 刘鹏程 黄平 钟声 冯均才

高水头深覆盖大型岩塞与淤泥层协同爆破关键技术

岩塞爆破是一种水下控制爆破。在已建水库或天然湖泊中取水、发电、灌溉、供水和泄洪时，为修建隧洞的取水口，避免在深水中建造围堰，采用岩塞爆破是一种经济而有效的方法。一般其作业环境复杂、技术含量、施工难度大，对施工的可靠性、钻孔精度、装药、网络布置、起爆等各环节要求很高。受环境及技术水平的限制，尤其预裂钻孔精度控制、淤泥钻孔及精度控制、水下淤泥扰动爆破等技术十分复杂，行业内的之前还没有在深厚淤泥层覆盖条件下成功实施水下岩塞爆破的先例。针对高水头深覆盖大型岩塞与淤泥层协同爆破，我们开展科技研发，进行技术攻关，经反复试验验证，成功攻克并研发出高水头深覆盖大型岩塞与淤泥层协同爆破与深厚淤泥层的冲砂下泄技术、高水头深厚淤泥层钻孔成孔及装药技术、爆破钻孔的优质快速施工技术、药室与导洞精确定位与放样技术、贯穿探测孔封堵技术、深水下爆破器材防水技术、精细化爆破技术等技术，形成系列成果。该研究成果在刘家峡洮河口排沙洞扩机工程、刘家峡洮河口排沙洞及扩机工程岩塞爆破 1:2 模型试验项目等工程中推广应用，取得了良好的经济效益与社会效益。

经专家对该研究成果进行了科技成果鉴定，鉴定结论为：该技术依托的课题成功实施了高水头深厚覆盖层大型岩塞爆破，拓展了岩塞爆破技术，总体达到了国际领先水平。

创新点一：提出了高水头深厚淤泥层钻孔成孔及装药技术

通过现场试验，研究采用大套管孔口定位、水体与淤泥层两层钢套管叠加保护，水上跟管钻进工艺，并采用套管内下设硬质 PE 管置换钢套管的护孔工艺，优化钻进参数，研究采用柔性 PE 材料保护药包，沙袋配重吊绳法孔内装药的新头深厚淤泥层钻孔成孔及装药技术难题。



淤泥孔钻孔平台



淤泥钻孔施工

创新点二：提出了曲线形小型药室开挖精度控制技术

药室开挖过程中，采用基于计算机 CAD 三维成图的全站仪激光定位精确放样技术，有效

控制了曲线形小型药室开挖精度。

创新点三：研发了高水头下爆破器材防水施工技术

通过现场水下试验，研究采用了高水头下导爆索设置端头帽和环氧树脂、高压绝缘防水材料相结合的防水技术，保证了起爆可靠性。合理延时分段，采用数码雷管复式网路，实现了洞内岩塞体与水下淤泥爆破孔的协同起爆。

创新点三：提出了岩塞体周边预裂加小型集中药室和洞外深厚淤泥层水下深孔扰动的协同爆破方案



起爆后的进水口



起爆后的排沙洞出口

提出了岩塞体周边预裂加小型集中药室和洞外深厚淤泥层水下深孔扰动的协同爆破方案，利用延时起爆技术，爆破预扰动淤泥层后，岩塞体预裂及药室起爆成型形成通道，再次爆破启动淤泥冲刷，在实施岩塞爆破的同时，实现了深厚淤泥层的冲砂下泄。



完成单位：中国水利水电第六工程局有限公司

完成人：邓立南 李江 沈文学

重型燃机安装施工新技术研究与应用

一、研究背景

根据前瞻产业研究院发布的《燃气轮机行业市场前瞻与需求预测分析报告》数据显示，到 2020 年，全国燃气轮机联合循环装机容量将达到 5500 万千瓦，是 2000 年之前 50 年已建成同类装机容量的 25 倍。近年来，在下游行业的推动下，我国燃气轮机市场发展迅猛，2015 年我国燃气轮机市场规模达 355 亿元，预计到 2022 年我国燃气轮机市场规模将达到 900 亿元左右。面对燃气轮机行业广阔的市场前景，如何实现燃气轮机快速、准确的安装，降低施工成本，无疑是企业抓住燃气轮机市场发展机遇的有利条件。

做为近些年来新兴的燃气轮机，其主要由燃机本体、润滑油模块、液压油模块、燃气模块、进排气管道、燃机罩壳等部套组成。燃机各部套安装工艺的合理安排，燃气轮机预埋件的快速安装、燃气轮机转子的精确找中、燃机转子的防轴窜等问题直接影响着燃气轮机安装的质量及进度。

二、关键技术及创新点

2.1 通常工艺流程图仅采用箭线指向方式制作，仅单一表明工艺过程顺序，无法显示其关键节点。本科技成果通过对燃机工艺流程中的关键节点增加过程判定条件，增强对燃机关键节点的质量检查，提高整体安装工艺质量。

2.2 本科技成果地脚螺栓采用倒 T 型螺栓，通过其底部 T 头，与地脚螺栓套管内 2 根平行槽钢相互垂直卡住，倒 T 型螺栓则可沿平行槽钢方向来回移动，可快速准确的调整地脚螺栓方位。同时其顶部放置调准圆盘，通过调准圆盘自身的球面接触产生自卫能力，保证调整圆盘表面水平，加快预埋件安装施工速度。

2.3 传统转子对轮找中采用磁性表座架表方式进行轴系找中，在盘转子过程中容易因重力作用和百分表架设偏斜等原因，造成测量偏差。本成果采用机械对轮找中调整装置，其采用延伸杆与旋转夹相结合方式，可快速调整并固定对轮找中心用百分表。同时其机械锁紧结构使百分表可垂直、牢固的指向对轮，有效避免了百分表歪斜、下垂造成的读数误差，提高轴系找中精度。

2.4 燃气轮机找中过程中，因为转子前后轴窜，造成转子测量的不准确，传统防轴窜装置采用螺栓刚对刚顶住对轮端面防止轴窜，易造成转子端面的摩擦损伤。本成果采用滚轮式设计，使对轮端面与防轴窜装置改面接触为线接触，同时盘转子过程中，防轴窜装置滚轮随转

子盘动而滚动，提高找中精度的同时亦能减少对轮端面磨损。

2.5 燃机油系统管道冲洗时间的长短，直接影响燃机调试及正整套启动时间。本成果采用一种新型管道冲洗设备及燃机油系统化学清洗方法，将回水箱、循环泵、加药口、温度表、压力表等设备安装于一个标准模块，可以轻便的移动。泵出口设置旁路和变向阀门，可以调整冲洗流量及方向，整个化学清洗过程为闭式系统，保证了整个工序的质量，提高燃机油系统管道的洁净程度，使燃机整个油循环时间大大缩短，为后续燃机整套启动奠定良好基础。

三、经济及社会效益

通过对施工工艺、工序和方法的改进，项目累计节约机械投入等费用共计 150 万元。本成果共产生经济效益 $27+54+150=231$ 万元。该节省的费用仅为焦作佰利联电厂项目的费用，如果广泛推广，经济效益更加可观。

同时本成果针对燃气轮机发电项目，涉及燃气轮机安装、管理等重要领域，其研究成果使整个燃机施工过程更加清晰、透彻、明了，施工单位更易把控整个施工进度、施工质量，增强了整个燃机安装的可操作性，降低企业的施工成本，有利于普通技术人员完成燃机现场安装指导工作，同时有助于指导未来燃气轮机发电项目的开发与履约。

四、推广应用前景

随着我国能源转型和环保新形势的要求，近几年来煤炭去落后产能工作持续推进，2018 年，我国就计划煤电去产能退出煤炭产能 1.5 亿吨左右；淘汰煤电落后产能 400 万千瓦。仅山西，去年就淘汰煤电产能 203.3 万千瓦。伴随着更加严峻的环保形势，能源转型大潮，煤电去产能将进入快车道。燃气轮机采用天然气、煤气等清洁能源做为其燃料，具有单位热值高、排气污染小、供应可靠、价格低等优点。如果再考虑综合气化联合循环等燃煤、燃气、蒸汽联合循环等洁净燃煤技术的开发和应用，可以说我国重型燃气轮机产业的市场前景广阔。

五、相关知识产权及荣誉

5.1 采用了实用新型专利《大型燃机模块透平端支撑装置》(专利号:ZL 2018 2 2058172.0);

5.2 采用了实用新型专利《大型燃机模块压气机端支撑装置》(专利号: ZL 2018 2 2058429.2);

5.3 采用了实用新型专利《机械对轮找中调整装置》(专利号: ZL 2015 2 0865968.0);

5.4 采用了实用新型专利《压气机透平支撑安装块》(专利号: ZL 2019 2 2093097.6);

5.5 采用了发明专利《一种管道系统冲洗设备及燃机油系统化学清洗方法》(专利号: ZL 2017 1 0584325.2);

5.6 获得了省部级工法《6F.03 重型燃机安装施工工法》;

5.7 获得了省部级科技成果二等奖《AE94.3A 型燃机安装技术研究与应用》。

完成单位：中国电建集团河南工程有限公司

完 成 人：崔 征、单洪亮、唐燕海、李晓东、牛卫林、张 峰、侯琳琳、冯 浩、吴星昊、
李得生

SEPD 智能光伏设计平台

本研究基于 BIM 软件的二次开发功能，对新能源光伏发电各项设计功能进行研究，通过二次开发插件实现正太阳时计算、地形偏移、地形命名、光伏组件单选布置、光伏组件自动布置、组件间阴影模拟、桩基布置、光伏组件移动、阵列在内的多项技术功能。

本研究的关键技术如下所示：

1) 解决数字化设计效率与应对复杂地形组件布置，SEPD 智能光伏设计平台，通过运用人工智能算法，以参数驱动设计结果，减少地形起伏较大区域的设计工作量，对于地形条件较为平坦区域则可完全由程序智能生成，设计人仅需审核结果即可；

2) 解决复杂地形下山地光伏电缆敷设问题，SEPD 智能光伏设计平台引用人工智能理念，综合利用 A*算法与遗传算法，以具有高程信息的地形为基础，实现山地光伏电缆的自动敷设功能，彻底解决复杂山地情况下电缆计算不精确的问题；

3) 解决多时段地形阴影分析：在光伏设计初期，地形阴影分析由于地形复杂、起伏交错等情况，往往是个难点。根据实际设计流程与习惯，开发了可根据不同时间、地域进行地形阴影分析的阴影分析功能，通过输入模拟时间段即可进行既定时间内的地形阴影模拟，寻找最为合适的光伏布置区域。

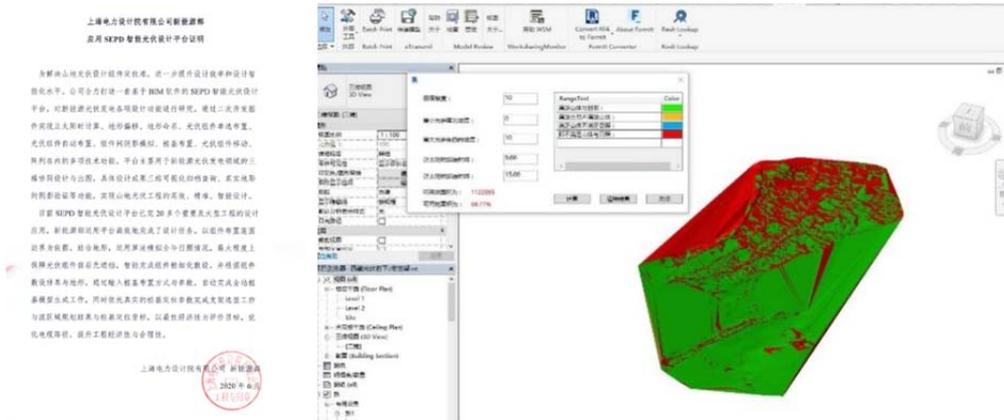
4) 解决光伏汇流区域绘制与编号，在光伏设计中光伏阵列区域划分与逆变器布置、电缆规划及道路设计均有联动关系，在传统设计模式下光伏阵列规划与组件编号耗时巨大，本平台依据多个工程典型方案，提取参数特征，运用智能算法实现智能化阵列规划，自动化组件编号，设计人员仅需对结果校核即可，以往需耗费数天的工作，运用 SEPD 智能光伏设计平台仅需几分钟即可完成。

5) 解决光伏电站智能出图问题，复杂山地情况下因组件布置不再是标准矩形而是平行四边形，从而导致了出图复杂与出图缓慢的问题，针对此类问题 SEPD 智能光伏设计平台通过计算机自动生成。

通过 SEPD 智能光伏设计平台可有效解决三维数字化设计平台无法利用原先积累问题，上海院通过预先建立参数化光伏组件族、常用图集、详图构件、标准化图框等手段减轻三维数字化设计“陌生感”，帮助设计人员更好、更快地接受三维数字化设计。通过工程知识中心建设，将三维数字化设计经验及光伏设计经验进行系统化整理，形成结构化数据加快设计人员成长速度与三维数字化设计技能。同时 SEPD 智能光伏设计平台是基于数据与算法的数字

化智能设计软件，通过多个工程的数据积累，慢慢的会构建院内自主的工程特征库，设计院的数字化产品提供一个前景无限的数据增值机会，同时数字化技术可完美融合人工智能算法，结合数据与智能演化为智能、自主的设计，SEPD 智能光伏设计平台将是企业破除资源和劳动力等要素的关键。

自 2018 年起，上海电力设计院新能源部运用 SEPD 智能光伏设计平台起，截至至目前先后已经运用约 20 个总包工程的设计应用，新能源部运用平台高效地完成了设计任务。以组件布置范围边界为依据，结合地形，运用算法模拟全年日照情况，最大程度上保障光伏组件前后无遮挡，智能完成组件精细化敷设，并根据组件敷设结果与地形，通过输入桩基布置方式与参数，自动完成全站桩基模型生成工作，同时依托真实的桩基定位参数完成支架选型工作与流区域规划结果与桩基定位坐标，以最佳经济性为评价目标，优化电缆路径，显著提升工程经济性与合理性,应用证明见下图所示。



SEPD 智能光伏设计平台目前已通过中国电力规划设计协会鉴定，鉴定结果为国内领先水平并获得软件著作权 1 项，相关知识产权及荣誉见下图所示。



完成单位：上海电力设计院有限公司

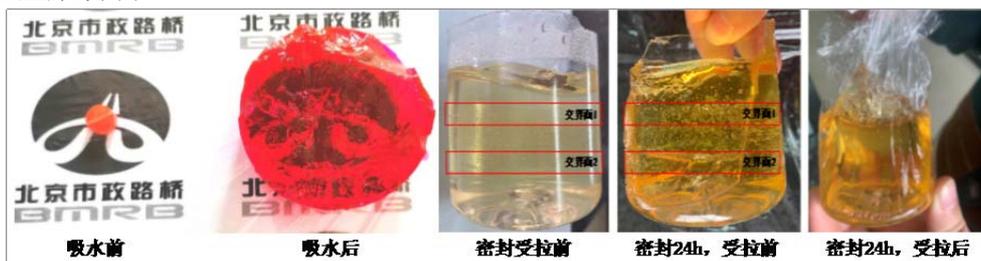
完成人：吕嘉文、孟毓、郭瑞、仲雅娟、陈丹丹、赵鹰、吴守城、赵大乐

注浆法渗漏水治理材料开发及其应用技术研究

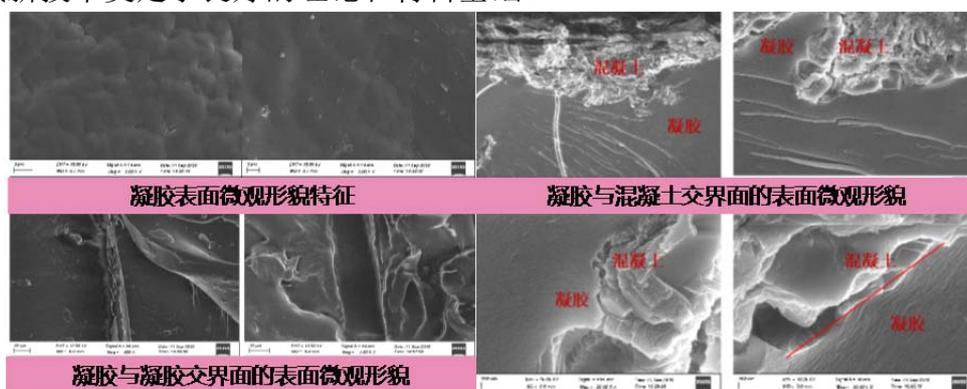
随着我国城镇化进程推进，城市地面空间资源日益匮乏，大力开发地下工程建设，是城市发展的必然趋势。但由于环境的特殊性，地下工程极易发生渗漏水问题。我国不少地区新建和现有地下结构的渗漏率高达 60% 以上，有一些地方甚至达到 90%。注浆法从结构外侧出发治理渗漏水，其对整体结构的破坏程度较低，能从根本上解决渗漏水问题，是当前治理渗漏水工程难题的最佳工艺。

针对现阶段注浆法整治渗漏水问题存在的不足，本项目研制了针对于不同涌水量、水压、地层以及裂缝类型的系列具有高吸水、高保水、高膨胀、高寿命和低渗透的环保型注浆材料，并成功应用于多项渗漏水治理工程。关键技术内容如下：

(1) 基于互穿网络聚合物技术，采用高效水相引发、平衡交联聚合工艺，研制了针对于不同涌水量、水压、地层以及裂缝类型的系列具有高吸水、高保水、高膨胀、高寿命和低渗透的环保型注浆材料。



(2) 提出了“富水注浆胀塞”结构裂缝堵漏理念，研发了“以水堵水”的新工艺，为开拓注浆领域新技术奠定了良好的理论和材料基础。



(3) 研发了系列注浆材料智能化生产设备及配套生产线，实现了工业化生产。

(4) 研发了一套可视化单裂隙动水注浆封堵试验及评价装置，可实现对浆液扩散、末端液体流量、注浆压力以及浆液堵水率等的实时观测。

(5) 依托具体工程，对漏水病害进行了科学分类，提出了整套注浆材料渗漏水治理施工工艺，形成了渗漏水治理技术，为工程应用提供理论和实际指导。

该系列注浆法渗漏水治理材料开发及应用技术创新成果与同类材料和技术相比具有以下优势：

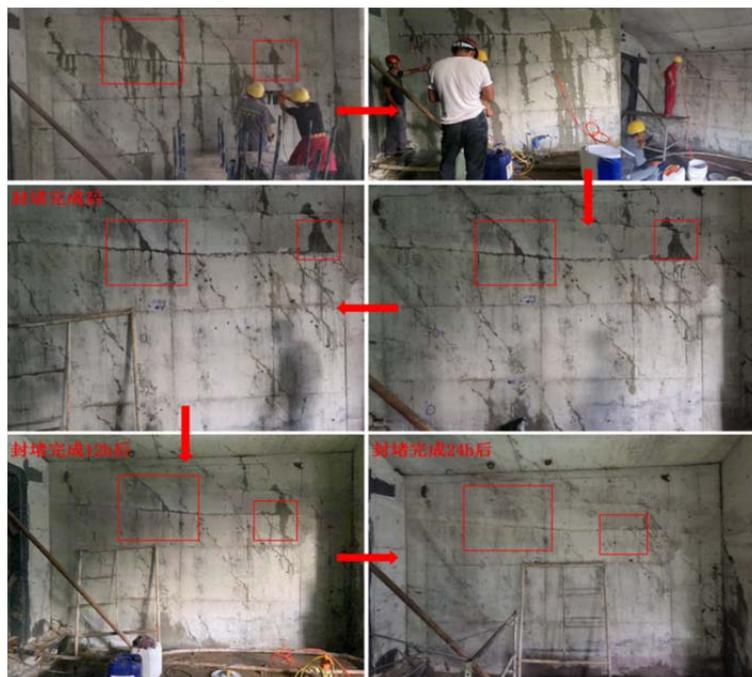
① 系列注浆材料无毒、无害、无污染液体状材料，施工简便，易于存储和运输。小分子单体组成的水溶液，粘度极低，可渗透到混凝土细裂缝，凝胶时间可以根据不同施工条件进行动态控制。

② 系列注浆材料均采用“以水堵水”新工艺，通过黏结、胀塞和填塞的机理来封堵渗漏水，显著地减小材料的用量和成本，提高耐久性，避免了日后反复堵漏。

③ 建立了以关联度为依据的耐久性等级划分原则，避免了治理材料选用的随意性和盲目性，大大降低渗漏水整治成本，提高治理效率。

④ 可视化单裂隙动水注浆封堵试验及评价装置，能快速判定注浆材料封堵可行性，并确定注浆效果影响因素。通过观测浆液扩散状态即可得出封堵机理，为工程应用提供理论指导，避免施工凭经验进行。

近两年，本项目开发的系列注浆法渗漏水治理材料已成功应用于北京地铁九龙山站、太原地铁1号线、北京东坝热力管线等多个渗漏水治理工程，经济社会效益显著。



创新成果通过北京市住房和城乡建设委员会组织鉴定，结论为“成果整体达到国际领先水平”。此外，申报专利12项，其中授权实用新型6项，软件著作权4项。在核心期刊发表论文3篇，获工程建设科学技术进步二等奖、北京公路学会科学技术二等奖等多项科技奖，并

获得北京市六部委新技术新产品（服务）证书。

随着我国城镇化进展快速推进，如何治理渗漏水将是行业的巨大挑战。因此，注浆法渗漏水治理材料开发及应用技术研究成果具有广阔的推广应用前景。

完成单位：北京市政建设集团有限责任公司、北京高新市政工程科技有限责任公司

完成人：孔恒、郭飞、姜瑜、张丽丽、乔国刚、田治州、鲁赞、孙博通、王杰、鲍逸玮

高填方地基强夯施工智能监测装置及系统

一、立项背景

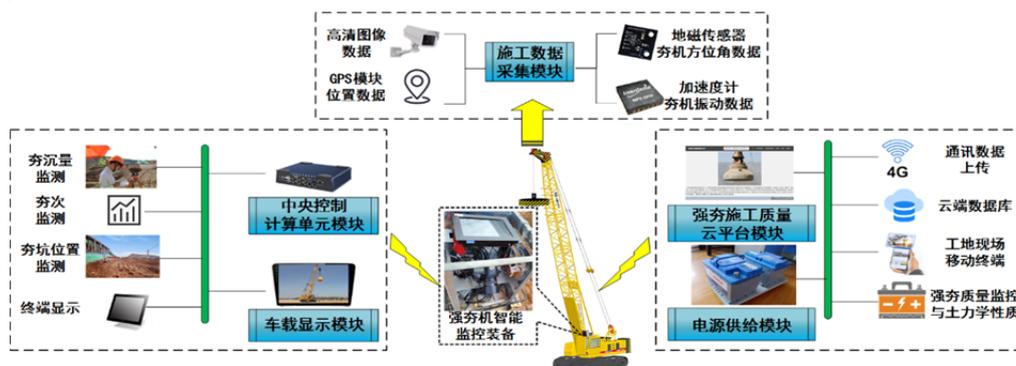
白鹤滩水电站是中国第三座 10GW 级的巨型水电站，工程需要实现于 2021 年 7 月蓄水发电的总任务，需要在 2021 年 5 月底完成移民安置专项验收工作。移民项目中巧家县是移民搬迁安置的实施主体，是移民工作的重点。在建设过程中面临以下四方面的挑战：（1）地形、地质条件复杂；（2）大多涉水且运行条件复杂；（3）高填方地基填筑料源复杂；（4）无预沉降期、高强度填方地基。

强夯施工质量控制指标主要有夯沉量、湿陷性系数、承载力、干密度等。在强夯施工过程中，夯沉量是反映施工质量和决定止夯次数的关键指标，其多采用两次夯锤落地后下沉量（夯程）变化量收敛（小于某个控制量）进行控制，然而现有的人工水准测量测算夯沉量的方法科学性差、工效低、人力成本高，且强夯现场土石飞溅、易发生安全事故。

综上，强夯法在我国水利水电工程等大型土建工程领域有广阔的应用空间，近年物联网、智能识别、移动计算快速发展，然而强夯施工质量仍缺乏有效的智能监测手段。亟待建立一套科学、高效、适应复杂环境的强夯施工质量智能监管系统。对强夯的夯击位置、夯击次数、提锤高度、夯击时间和夯坑深度等进行实时监控，确保工程施工过程和质量符合要求，提高设备利用效率，避免留下隐患。

二、关键技术

（一）创新构建了现代强夯设备构架体系，系统提高了强夯施工的生产效率，解决了安全性问题。



（二）率先研发了基于单目摄影测量的夯次夯沉量实时监测技术，系统解决了强夯施工夯沉量快速监测的问题。

（三）首次研发了强夯施工管理信息可视化平台，解决了大体量强夯的施工质量监管难题。

三、与同类技术对比

主要技术指标		同类技术	本项目技术
	强夯监测设备	国内无成熟产品	研制了较为稳定运行的原型机
测量技术	夯锤夯沉量测量	强夯施工规程中并未提出规范的夯沉量测量方式	利用摄影测量技术中三点透视位姿求解法快速测量夯锤空间姿态和位置
	单视单像夯锤监测	无，目前国内仅有双目测量夯锤起吊高度的专利	本项目首创
	夯锤姿态测量	利用像空间与物方空间的几何映射关系，坐标系转换复杂，误差大	直接实现在像空间坐标系与自定义物方坐标系间的转换，投影关系简单，精度高
	夯坑定位	无，目前仅在夯击前进行夯点布置，夯击之后不进行复测	利用高精度 GNSS 传感器和地磁传感器，并测定夯锤到 GNSS 天线距离，从而计算夯坑位置。
	项目信息化和智能化	纸本记录或者一般工程管理信息，内容繁杂琐碎且不成系统，不便于维护和查找相关信息，效率低下	构建了强夯施工过程监测信息云平台，设计了后台数据库，全时高效服务，提高了数据的安全性和访问效率
	数据可视化	手工制图或者不加处理，数据不直观性，且误差较大，数据的分析利益率较低	将云平台与 GIS 系统结合到一起，将夯坑位置、夯机行走路线、夯次、夯沉量等关键信息展绘到地图上，直观高效。

四、推广应用情况

(1) 硬件装备、云平台具备量产条件，适用性好，可大规模应用于国内外的强夯施工工程，从而解放人力、降低生产成本、提高强夯施工管理效率。

(2) 技术方案、研究方法与设计范例具有普适性，对强夯施工管理及建设具有指导性作用，为国内外的强夯施工工程质量管理与建设提供了技术参考。

(3) 强夯施工实时智能系统的研究工作，将对相关技术的深入研究与发展起到有益的启发和促进。

综上所述，本项目在市场经济效益方面具有明显的优势，本项目将计算机视觉与摄影测量的相关技术进行改进后应用于强夯施工，所提供的技术方案与方法均具有良好的普适性，因而可进行大范围的推广与应用。

五、相关知识产权及荣誉

专利一项：一种链接复式强夯锤

标准一项：水电工程施工机械选择设计规范

软著五项：强夯施工空间定位及振动信息采集系统 V1.0

华东建管远程云视频云台综合管理系统软件 V1.0

华东建管移动远程视频监控平台（IOS 版）V1.0

华东建管移动远程视频监控平台（Android 版）V1.0

白鹤滩库区高填方工程智慧碾压监控系统 V1.0

完成单位：中国电建集团华东勘测设计研究院有限公司、浙江华东工程建设管理有限公司、武汉大学

完成人：朱鹏、邬志、任金明、张宏阳、高乔裕、梅龙喜、王永明、陈文龙、金银龙、刘全

百万千瓦发电机组锅炉重型顶板梁翻转技术

一、技术背景

顶板梁的翻转作业在锅炉钢结构施工中是经常遇见的一项工作，也是顶板梁在吊装过程中非常关键的一步。以往施工中遇到的顶板梁结构相对较简单，重量轻，体积小。随着技术的进步，吊装能力的提高，顶板梁的重量及体积也在不断的增加，其结构变得复杂，应用范围也在不断的扩大。特别是超临界锅炉钢架中的重型顶板梁，有重量重，体积大，超长超宽，重心偏心等特点。常规的施工方法是用起重机械通过垫枕木配合的方式进行翻转，该方法存在较大的安全风险，且操作复杂、工期较长。本成果开发出一种新型翻转技术，该技术安全可靠，简单方便，缩短工期，有效的解决了重型顶板梁翻转的安全技术难题。

二、技术原理

2.1 常规方法

顶板梁重达 180t，重心低，是个典型的“不倒翁”结构，且倾覆角达到 33° 。常规翻转方法是在顶板梁的一侧垫枕木，同时需增加两台辅助翻转起重机械，为主要起重机械提供翻转力矩，完成顶板梁的翻转作业。

翻转过程中，顶板梁重心未越过倾覆临界点之前，翻转力矩由主要起重机械（ F_2 ）及辅助翻转机械（ F_1 ）提供，重心越过倾覆临界点后，翻转力矩则主要由顶板梁重力 G 提供，此时，倾覆力矩亦迅速加大，瞬间产生巨大的冲击力，存在巨大的安全风险。如图 1-1 所示：

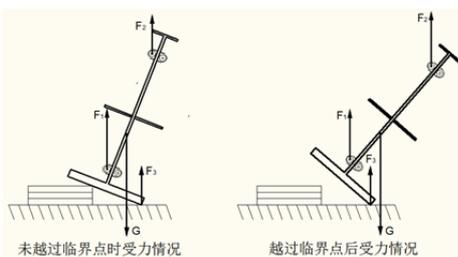


图 1-1 常规方法翻转时受力分析图

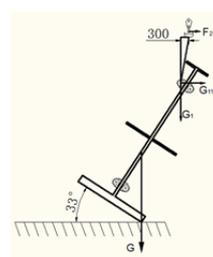


图 1-2 起重机械在倾覆临界点处的受力图

通过受力分析及计算，在顶板梁重心到达倾覆临界点时，主要起重机械分担的负荷为 427KN。为确保主要起重机械不承受过大的斜拉力，以顶板梁摆动 300mm 来计算主要起重机械产生的水平力，通过计算，主要起重机械承受的水平力 F_{21} 为 15KN（理论计算值，实际更小），当顶板梁重心越过倾覆临界点后，顶板梁作用在主要起重机械上的横向力 G_{11} 为 195KN。如此巨大的冲击力，极易造成顶板梁瞬间倾覆，存在巨大的机械和人员安全风险。如下图 1-2 所示：

2.2 新型翻转技术

设计发明一种顶板梁翻转架，并使顶板梁重心与翻转架受力支撑点不在同一条垂直线上。经过计算，顶板梁重心线与翻转架受力支撑点之间的最佳距离为 265mm，这样，顶板梁重力与翻转架支撑力就形成一个翻转力矩，再通过主要起重机械的配合，使顶板梁和翻转架往指定的一侧翻转。如下图 1-3 所示：

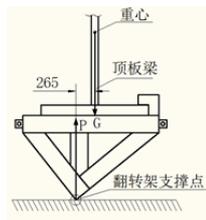


图 1-3 翻转力矩示意图

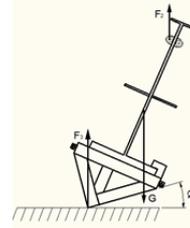


图 1-4 新型翻转技术受力分析图

顶板梁在翻转过程中，受到顶板梁自身重力 G、主要起重机械的垂直拉力 F2 和地面支撑力 F3 的共同作用。其中，顶板梁重力 G 不变，主要起重机械的垂直拉力 F2 和地面支撑力 F3 随翻转角度的变化而产生互补的变化。因此，在整个翻转过程中，只要控制主要起重机械垂直拉力 F2 的变化，即可控制顶板梁的翻转速度，避免产生巨大的瞬间冲击力，从而确保翻转过程平稳，安全可靠。其受力计算公式为：

$$F2 = G \cdot 3 \cdot \sin(\alpha + 6^\circ) / (3 \cdot \sin(\alpha + 6^\circ) + 2 \cdot \sin(\alpha))$$

$$F3 = G - F2$$

三、与国内外同类技术比较

本科技课题与同类型电厂锅炉顶板梁采用常规吊装方案进行对比，主要技术指标对比如表 1-1 所示：

表 1-1 技术指标对比表

项目	新型翻转技术作业方法	常规作业方法
顶板梁尺寸	45.66m×1.5m×4m	45.66m×1.5m×4m
顶板梁最大重量	180t	180t
施工机械	600t履带吊+140t塔吊	600t履带吊+140t塔吊
翻转辅助机械	25t汽车吊	150t履带吊+200t汽车吊
大板梁吊装工期	15天	22天
需要人工	4个	15个
特点	1、安全可靠； 2、操作简单； 3、缩短工期； 4、节省作业场地。	1、安全风险较大； 2、操作复杂； 3、工期较长； 4、需要作业场地大。

通过表 1-1 的对比可知，采用新型翻转技术进行重型顶板梁翻转施工，其性能指标为安全、省时、经济、工效高。

四、成果的推广情况

本成果除在广东宝丽华甲湖湾电厂 1 号、2 号机组（1000MW）应用外，还在陕西雷龙湾电厂 1 号机组（1000MW）、广东大唐雷州电厂 1 号机组（1000MW）、广东粤电博贺电厂 1 号、2 号机组（1000MW）、越南永新电厂 1 号、2 号机组（660MW）进行推广应用，均得到业主的一致好评。应用效果好，推广应用前景广阔。

本成果不仅适用于电厂锅炉重型顶板梁翻转施工，还适用于其他重型结构件、设备等翻转作业，应用范围广泛。

五、授权专利及获得荣誉

5.1 授权专利

该成果获得发明专利 1 项，实用新型专利 1 项。

5.2 获得荣誉

该成果获得中国安装协会 2018~2019 年度科技进步奖一等奖。

完成单位：中国能源建设集团广东火电工程有限公司

完 成 人：谢誉军、陈玉潮、杨荣东、易旭光、黄超强、黄海生、周福、郭水祥

一种碎石铺设整平系统建造技术研究

我国港口建设逐步向深水化、大型化方向迈进，水下基床抛石整平是港口工程施工中的重要工序，特别是作为沉管隧道基础的碎石垫层需承受来自隧道本身、回填、管顶保护层以及回淤荷载，并将该荷载传递至海床基础。为避免基础局部高点，使沉管底板受力均匀，底板和地基间铺设碎石垫层的铺设范围、施工水深、整平精度要求很高、难度极大，属于世界性技术难题。

在承担港珠澳大桥、深中通道等世界性工程施工建设中，针对沉管隧道基础铺设及整平具有环境恶劣、施工难度大等特点，工程基床铺设宽度、施工水深和整平精度在国内外前所未有的，在国家科技支撑计划项目“外海厚软基大回淤超长沉管隧道设计与施工关键技术”等项目的资助下，通过攻克离岸深水环境下碎石整平船升降系统、锁紧系统、基床整平管理系统、碎石供料系统、铺设整平质量检测系统等一体化施工作业过程中的一系列关键技术难点，自主研发了具有抗风浪能力强、作业效率与精度高的自升式碎石铺设整平船，提出了科学先进的高精度碎石铺设整平施工工艺，满足了沉管隧道碎石基床铺设整平的高精度、高效率、高可靠要求。



本项目研发建造了集定位测量、水下抛石、深水整平、质量监测功能为一体的大型多功能碎石基床整平船，主要创新成果如下：

(1) 设计了“回”字形新型船体结构，并采用独特的“之”字形抛石整平新工艺，确保沉管隧道基床碎石整平的高效率、高可靠、低成本。提出了深水环境条件下的高精度碎石铺设整平施工工艺，整平速度为 5m/min，创造了 4~5 天完成一个标准沉管管节碎石垫层的世界纪录，整平的碎石基床表面精度高达 $\pm 40\text{mm}$ ；

(2) 自主设计开发了集基准定位、石料输送、高精度铺设整平、检测验收功能于一体的抛石整平船施工一体化管理控制系统，实现了对整平船定位、石料输送系统的控制、抛石管升降与料位的控制、抛石整平管高程的自动调节、碎石整平基床的同步质量检测等自动化管理控制；

(3) 研发了深水环境下高精度碎石铺设整平船大载荷升降和锁紧机构，采用可拆卸分段桩腿设计，设计单腿暴风载荷达到 4860t，工作寿命达到 2000 小时以上。本项目研发的 S40M 自升式高精度碎石铺设整平船是目前世界上最大的外海施工船舶，也是世界上最先进的先铺法碎石基床整平船。该装备在最大铺设水深、整平精度、一次整平面积、整平效率等技术指标均处于国际先进水平，并具有完全自主知识产权，被誉为深水碎石铺设的“3D 打印机”。

项目成果申请专利 16 件，其中授权发明专利 8 件，实用新型 4 件，发表学术论文 30 余篇。成功应用于港珠澳大桥、深中通道等世界性工程建设中，累计产生经济效益达 10.35 亿元，被中央电视台、江西卫视、东方卫视、江苏卫视以及国务院国有资产监督管理委员会官网等主流媒体报道，是当之无愧的“国之重器”。

本项目成果适用于所有外海深水沉管隧道高精度碎石垫层铺设整平施工，对促进我国交通设施建设技术进步，提升离岸水工工程和大型跨海通道建设综合实力具有十分重要的意义；同时，本项目结合深水碎石高精度铺设整平作业工程船的研发，攻克了诸如升降系统、锁紧系统、抛石整平管理系统等关键技术，有助于企业掌握自升式抛石整平船设计与制造核心技术，形成自主知识产权，提高产品国际市场竞争力，取得了良好的经济和社会效益。

完成单位：南通振华重型装备制造有限公司

完成人：孙敏锋、吴正峰、季秋兵、葛华、沈鹏鹏、方龙、刘晓超、曹凤丽、俞航天、施浩杰

大跨度钢箱拱肋整体提升施工技术

一、技术背景

柳州市官塘大桥为中承式有推力钢箱拱桥，主跨 457m，拱肋内倾 10°；单节拱肋重达 304t，拱顶距水面高 107m，高空定位难。该桥穿越三门江森林公园，横跨广西山区河流—柳江；受柳江沿线水坝多大型浮吊无法进入和两岸生态保护等制约，中铁上海工程局开展超长超重节段整体提升和少支架安装等科技攻关，总结形成《大跨度钢箱拱肋整体提升施工技术》，成功解决了桥梁超长 262m 超重 5885t 节段的安装难题，创造了 3 项世界纪录，社会效益显著。

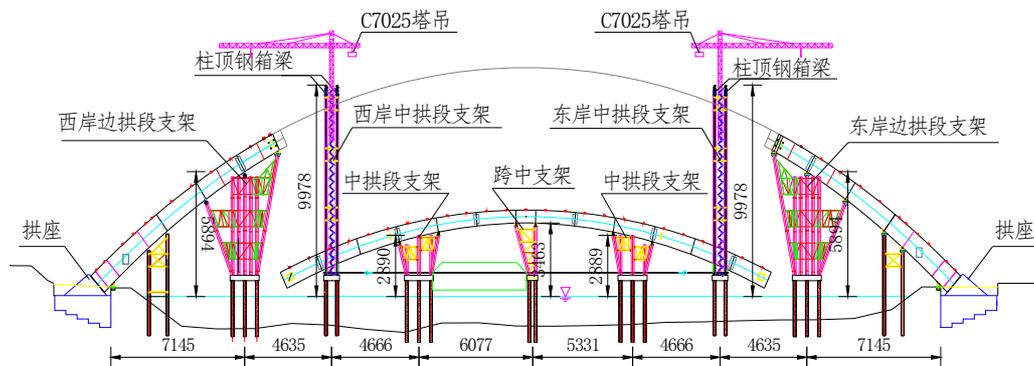
二、关键技术

(1) 将主跨 457m 的钢箱拱肋分为边拱、中拱、合拢段。首先在拱下设置紫荆花式钢管支架，钢管支架采用装配式安装工艺，在钢结构加工场分层整体拼装验收后，用 660t 浮吊分层整体吊装至设计桥位处安装，边拱段采用浮吊分节拼装定位；

(2) 中拱段采用 660t 浮吊在支架上逐节拼装成 262m 超长节段，通过水平约束索与竖向提升索横竖匹配、分级、同步、对称施加索力，使中拱段由低位拼装支架受力转换至提升支架系统受力，确保拱肋提升时姿态平稳。

(3) 中段拱肋整体提升时，在支架和拱肋上分别安装应力感应器，无线传输至自主研发的《柳州官塘大桥主拱提升检测指挥系统》进行实时监控；采用 LSD 提升系统同步提升，运用工业自动化和信息化技术，确保提升同步，姿态稳定。

(4) 采用 660t 浮吊将合拢段吊装，使主拱肋合龙后，支架拆除顺序合理与否将对结构内力、变形及支架结构造成不同的影响；通过建立 Midas 杆系单元模型计算分析多种拆除顺序时结构的应力与应变，最终选择最优的拆除顺序，确保拱肋合理成拱。



注：本图尺寸均以mm为单位。

低位拼装+中段拱肋门架法整体提升施工布置图

三、创新点

(1) 采用拱下少支架多点支撑体系，解决了空间异形拱肋支撑点分散问题，通过设置的混凝土高桩承台减少了桩基数量，减少临时工程数量，同时又大大提高了支架体系抗洪能力。

(2) 针对中段拱肋提升总重量达 5885t、构件跨径 262m、提升高度达 67.27m 的技术难点，通过在拱肋两端设置柔性超高门式整体提升支架构造体系，同时利用 LSD 液压同步整体提升系统连接地面指挥中心，实现网络化整体提升，确保中段拱肋整体提升安全稳定、高精度安装。

(3) 拱肋线型为悬链线，拱平面与垂直平面的夹角为内倾 10° ，采用一种内倾式钢箱拱桥在施工中的快速测量方法，将大地坐标系转换成切点坐标系，在钢箱拱肋每个顶、底板的相应位置布置测点，可快速掌握拱肋的姿态。

(4) 采用 LSD 同步提升修正技术，针对提升千斤顶行程误差、多点匹配油路偏差、以及拱肋提升行程值、受力偏差等方面进行数据修正，确保拱肋提升时 16 台 500t 液压提升千斤顶的同步性。确保拱肋整体提升行程、受力匹配。

(5) 采用自主研发的主拱提升监测指挥系统对主拱提升位置偏差值和支架进行动态监测，实时预警、数据超限报警等功能，并通过现场视频监控系统、BIM 三维仿真动画形式反应拱肋及支架应力、位移状态，使现场施工与指挥中心无缝对接，全方位保证整体提升的安全性，降低施工风险。

四、关键技术应用情况

边拱段拱肋采用少支架法桥位拼装工艺施工，有效节省大量钢材和空间；中拱段拱肋采用“中段拱肋整体提升施工方法”，实现了跨度 262m、重量 5885t、提升高度 67m（跨度、重量、高度均为世界之最）的中拱段拱肋整体安装，解决了行业共性技术难题，有效降低拱肋线型控制难度，降低了高空作业的风险。该技术首次应用于柳州市官塘大桥主桥工程，得到了成功应用示范。



五、获得的知识产权和荣誉

依托本技术共申请了省部级工法 4 项、省部级科技进步奖 5 项、国家软件著作权 1 项，

研发了《一种桥梁拱肋整体提升安装的方法》核心专利和 30 余项外围实用新型专利。涉及的科研课题经第三方科技成果评审，整体技术达到“国际领先水平”。

完成单位：中铁上海工程局集团有限公司

完成人：唐俊、吴宇、何鹏、韦干、肖延军、吴回标

地下空间大直径管道系统安装关键技术研究及应用

一、立项背景

随着城镇化的逐步推进，城市用地尤其是核心区域的土地日益缺乏，使得地下空间的合理开发利用，成为了一条新出路。

本项目位于重庆市江北城 CBD 区域，为解决江北城约 400 万 m² 的公共建筑空调冷热源供应问题，在江溉路聚贤岩立交下将原有的地下广场改建成为地下能源供应中心。在地下空间厂房的改建中，由于是利用原有的地下空间进行的改建，导致管道系统在安装过程会遇到“空间净高的不足导致大型吊装设备无法使用、大直径管道与法兰的焊接与安装质量难以保证、有限空间内管道运输困难”等诸多问题，如何能够在施工过程中有效的解决面对的问题，成为了施工单位的一大难题。



二、关键技术

创新点一：基于 BIM 技术的大直径阀门预拼短接技术

1.1 BIM 辅助下料技术

项目部成立 BIM 应用小组，建立管道设备系统 BIM 模型，对管道、阀门、梁、墙柱进行碰撞检测，根据检测结果修正完善模型。在完善后的 BIM 模型中，模拟预拼装方案，对阀门处的管道进行结构形体拆分，将拆分后的管道依据阀门位置编号，分节点短管尺寸下料分析。统计不同编号阀门处的短管长度、直径，导出分节点短管尺寸下料表。

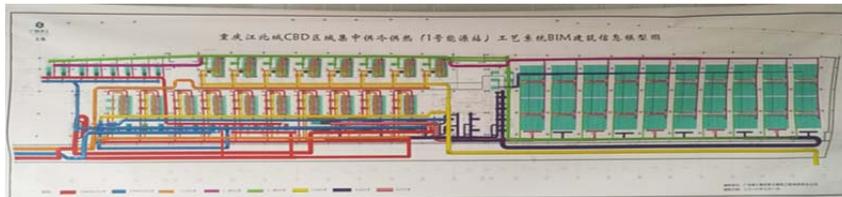


图 1.1 BIM 信息模型

1.2 大直径管道与阀门连接技术

大口径阀门预拼短接成品主要安装在管道支撑架至地下室结构梁底之间，用手动葫芦进行起吊，手动葫芦固定于钢筋混凝土结构梁上。用吊装带将大直径阀门预拼短接成品吊运至设计位置后，借助 2 个手动葫芦与卡具保证大直径阀门预拼短接成品与管道的同心度后，焊

接成整体。

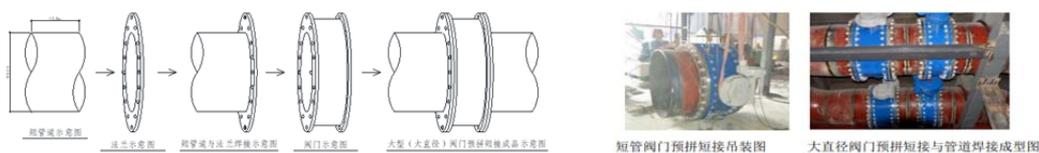


图 1.2 阀门连接设计与成型图

创新点二：高架牵引滑移法安装多条平行大型管道技术

首次建立了型钢立柱综合高支架支撑体系,并提出利用牵引滑移法运输技术,解决狭小空间超大直径复杂管段运输、布置难题,达到了节省室内空间,形成流水作业,管道布局整齐有序,操作空间宽敞明亮。

2.1 大型管道高支架技术

高支架立杆采用 20 号工字钢,立杆工字钢两端均焊接一块 300×300 的钢板作为连接焊接面,钢板与立杆采用 4 片三角钢板焊接固定,每根立杆高度为 5.2m。立杆工字钢加工完成后采用螺栓连接方式与预埋件连接,立杆垂直度要求控制在±10mm 以内



图 2.1 大型管道高支架

2.2 大型管道垂直调运、横向滑移、纵向牵引技术

在操作平台上方及外端的主体结构上植入两组电动葫芦固定件,将电动葫芦挂钩挂至管道吊耳,启动 A 组电动葫芦,垂直提升管道至操作平台斜上方 1.5m 处,启动 B 组电动葫芦,将管道滑移至操作平台上,实现大型管道的,垂直调运与横向滑移。

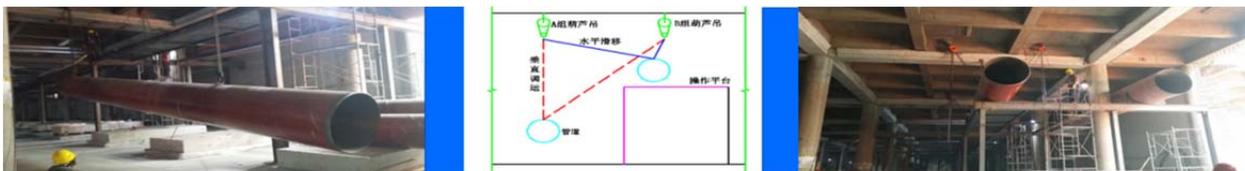


图 2.2 管道垂直调运、横向滑移

在高支架上最外侧一条管线的位置铺设操作平台,在操作平台内侧安装卷扬机,管道调运至预定位置后,将卷扬机钢丝绳挂钩挂到管道吊耳上;启动卷扬机纵向牵引至设计位置,精调后焊接半圆形限位装置,完成一根管道安装,实现了大型管道的纵向牵引技术。

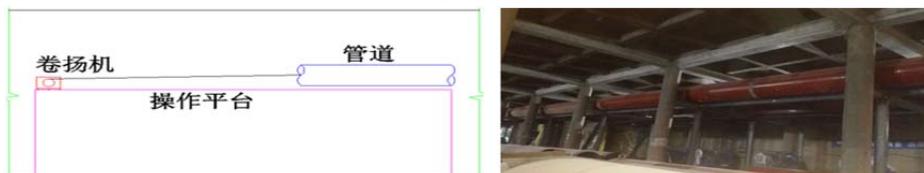


图 2.3 管道纵向牵引

三、与同类技术对比

1、利用 BIM 技术模拟预拼装，大直径短管与阀门在地上焊接、整体吊装，充分利用了有限的建筑空间并提高工作效率，减少大型吊装机械的投入。

2、采用垂直调运、横向滑移、纵向牵引方式，解决了高支架上安装多条大型平行超长管道需要将管道逐一调运安装效率低下、增加施工费用、占用施工空间，影响交叉作业的难题。

四、推广应用情况

本工程一系列关键施工技术已成功运用重庆市江北城 CBD 区域江水源热泵集中供冷供热项目三期工程、万州区杨柳水厂水处理及污泥处理设施安装工程、西宁市第六污水处理厂工程项目。本技术的使用提供了一种大直径管道安装方案，克服了狭小空间无法使用大型设备的困难，减少净空限制因素对施工进度的影响。

五、取得的荣誉成绩

本工程通过此成果，我单位授权发明专利一项、获得省区及工法二篇、发表科技论文一篇、参编地方标准一部。在广西建筑业联合会召开的成果评价会上，获得了评委会成员的一致认可，此项技术达到了国内领先水平，具有良好的推广价值和应用前景。

本工程取得“国家优质工程奖、中国安装之星奖、重庆市巴渝杯奖、重庆市优质工程奖、广西建设工程施工科技进步奖、重庆市 BIM 技术成果应用三等奖”等多项奖项。

完成单位：广西建工集团第五建筑工程有限责任公司

完成人：何显文、莫树攀、朱洪涛、邓永忠、吴登国、袁君、袁禹龙、廖福银、陈永炎、梁柳英

自行式桥面吊机吊装施工技术

钢结构空中森林栈道通常绵延数公里甚至数十公里，施工过程中大量破坏原有林地环境，并且恢复困难。多功能全装配式栈道铺设机与渐进式施工技术，有效解决塔吊、汽车吊、缆索等传统施工技术对山林环境的破坏，实现微创生态施工。

关键技术内容：

(1) 研发设计自行式桥面吊机，能够快速组装和分离，设计配套的行走机构、防倾覆机构、固定机构以适应栈道施工要求；



(2) 首创自行式桥面吊机吊装施工技术：利用已成形的桥段作为构件运输平台，其上铺设轨道，桥面吊机在轨道上开行及吊装作业，再以行走小车作为构件运输设备，依次向前逐段安装景观步道钢结构；

(3) 接驳吊装技术：当步道曲率半径较小时，用已施工区域的栈道铺设机将待施工区域的吊机和运输小车接驳吊装至安装位置，完成后续安装。



自行式桥面吊机吊装施工技术，与塔吊、汽车吊、缆索吊等技术相比，未发生施工便道开挖、基础拆除爆破费及垃圾处理、绿化恢复费等费用，并且可以多区域同时施工，缩短工期，技术经济效益显著。

表 1-技术经济指标对比（以福州某项目为例）

序号	方案	技术经济性分析	措施费用	工期
1	塔吊吊装	塔吊基础、塔吊费用、施工便道开挖、塔吊基础拆除费及垃圾处理、绿化恢复费	2950 万元	275 天
2	汽车吊吊装	施工便道开挖、山体爆破、汽车吊费用、绿化恢复费	2920 万元	235 天
3	悬索吊吊装	索塔基础、索塔费用、索塔基础拆除费及垃圾处理、绿化恢复费	3450 万元	280 天
4	自行式桥面吊机吊装	自行式桥面吊机设计、加工和维护费	2720 万元	200 天

该技术成果已应用于福州福道、深圳光明小镇运动森林公园红桥、珠海凤凰山山地步道、珠海板樟山山地步道等项目。

福州福道总长 6.3 公里，施工未破坏林地环境，CCTV 央视《新闻联播》等栏目多次专题报道该工程，倡导保护生态的原则，介绍该技术。福州晚报以《空中修建福道，不伤金牛“皮毛”》进行专题报道，该技术的应用取得了显著的社会效益。



深圳光明小镇运动森林公园红桥项目，全桥共 3.45 公里，该技术的吊装设备安全可靠，吊装施工简单，减少对山区环境的破坏效益显著。



该技术共获实用新型专利授权 4 项，省级工法 1 项，发表论文 2 篇，省级及以上 QC 成果 2 项。获得微创新技术大赛一等奖、中国钢结构协会技术创新奖、浙江省建设科学技术奖三等奖、浙江省建筑业行业协会科学技术创新成果奖三等奖。

完成单位：浙江中天恒筑钢构有限公司

完成人：徐 晗、徐山山、段坤朋、蒋金生、金建勇、徐闽涛、崔凤杰、钱 利、吕骅昕、詹 潇

道路路基智能化施工与监管关键技术研究与应用

一、研究背景

道路路基传统施工方法，因过度依赖于工人技术经验水平，极易出现超欠挖、过压、漏压等施工质量问题，质量检测主要依靠现场“抽样”检测，存在漏检和误判，为道路路面质量埋下极大的隐患。为了改善传统施工方法的不足，研究并应用智能化、数字化施工技术，针对工程管理中质量、工期、成本、安全等多项指标进行技术控制。

二、关键技术

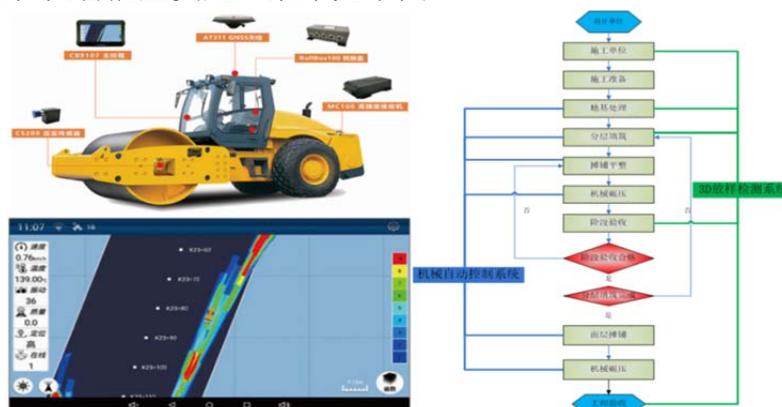
1、3D 挖掘机（推土机）施工引导控制系统技术

研究道路路基智能施工关键技术涉及的各项技术原理。研发的道路路基智能施工关键技术是当前各种先进测量、定位技术的综合应用成果，其有效性、适用性已得到多个项目验证。系统结构及施工引导控制效果见下图：



2、智能压实施工技术

提出道路路基智能施工技术系统及其应用。结合实际工程内容，提出道路路基智能施工技术系统在土方挖掘、填料推平、路基压实等关键过程中的应用，并阐述各项关键施工技术。系统结构、施工流程及智能压实施工效果见下图：



3、BY-市政云监控技术

针对市政道路点多面广、施工条件复杂的特点研发的施工质量管理云平台，首创实现多种机械施工技术参数信息的集成处理、传递共享和指令下达等功能，确保各监管方能实时了解现场的施工质量。将项目管理由人为信息反馈转变为主动监控各项技术指标数据。



4、道路工程测量放检系统技术

是针对道路等复杂工况进行研发，该技术解决了在 GPS RTK 设备测量时，卫星信号差易中断的问题；并对手簿软件的功能进行了深化，实现路基工程任意点快速放样检核、厚度检查，现场土方量计算等功能，将测量“内业+外业”工作有机结合，实现一步到位。

三、技术指标创新点

该技术成果从系统稳定性、施工精度、施工措施、施工效率及施工质量等方面与国内外相关技术进行对比分析，分析内容如下：

序号	比较类别	国内外智能化施工技术	本课题智能化施工关键技术
1	系统稳定性	国内中海达，国外拓普康等大型公司研究过类似产品，但仅可接收单一卫星信号，易中断，稳定性不强。	可同步接收北斗，GPS，格洛纳斯、伽利略等卫星信号源，避免因通信中断造成的施工中断。
2	施工精度	1) 采用GPS、AFLT、A-GPS等定位技术进行定位； 2) 采用超声波测距传感器、24GHz雷达传感器、激光测距传感器和红外线测距传感器等进行测距。 结论：施工精度不高，仅可用于粗放型施工。	1) 采用北斗GNSS高精度RTK定位技术，及与华测合作研发的高灵敏度多轴传感器进行定位； 2) 采用自主研发270°高频激光传感器进行测距。 结论：北斗GNSS+传感器施工精度可达±2cm；北斗GNSS+高频激光传感器精度可达±5mm。
3	施工措施	仅靠原有机械加装智能引导系统完成施工。	在对原机械设备进行改造的前提下，加装智能引导系统，可在土方开挖和平整作业中实现一次到位，提高精度和工效。
4	施工效率	1580平方米/天，以智能削坡为例。	1920平方米/天，以智能削坡为例。
5	施工质量	以智能压实管理系统为例，无法提供成果报告，只能以经验值估算，合格率85%-90%。	以智能压实管理系统为例，可提供压实成果报告，实现了在役检测，合格率100%。

四、推广应用情况

该技术成果在南京浦口道路项目中首次应用后，相继在安徽宁国配套路网项目及浙江省台州路桥项目中推广应用，并通过展览会、交流会及对标学习等手段向行业推广。

五、相关知识产权及荣誉

- (1) 一种挖掘机施工作业方法、系统及挖掘机 (201810897575.6);
- (2) 一种机械开挖边坡的施工方法及系统 (201811011336.2);
- (3) 用于路基填筑压实的在役质量检测方法 (201810942757.0);
- (4) 一种挖掘机及其施工作业系统 (201821275671.9);
- (5) 一种挖掘机及挖掘机铲斗 (201821427724.4);

- (6) 一种智能压实监控系统 (201710551674.4);
- (7) 一种推土机引导系统 (201710552959.X);
- (8) 一种挖机引导系统 (201710552956.6);
- (9) 一种基于高程的路基压实自动分层算法 (201811293206.2);
- (10) 宝冶智能化施工道路路基压实监控系统 V1.0 (2019SR0505952)

该项目先后荣获中国交通运输行业科技进步三等奖、上海市政公路行业 2019 年优秀 QC 成果一等奖、上海市优秀发明选拔赛职工技术创新成果奖。

完成单位：上海宝冶集团有限公司、南京天辰礼达电子科技有限公司

完 成 人：高 彬、朱长根、魏广峰、张华山、曾胜军、杨伟华、沈礼伟、孙文明、李飞龙

大型绞吸船开挖风化岩艧吹装驳施工工艺研究

大型绞吸船在长距离航道内开挖风化岩时往往不具备吹填条件，一是采用直接装驳挖岩工艺，存在泥驳靠离主船时间长、避让营运船舶安全风险高、航道内溢流易造成二次淤浅等问题；二是采用固定平台装驳工艺，由于平台相对固定，而绞吸船移动范围较大，接管比较频繁，使得疏浚船舶综合生产效率降低。首次研究出艧吹装驳绞吸船疏浚风化岩施工工艺，在航道挖岩施工中，提高了挖泥船有效作业时利率，降低了能耗，经济效益显著。

项目组从加快泥驳靠驳、换驳时间、减少施工安全风险入手，先进行理论基础研究，再与工程实践相结合，使项目顺利开展，填补了国内挖岩装驳施工工艺的空白，该技术有如下三个创新点：

创新点一：首次采用艧吹装驳绞吸船疏浚风化岩施工工艺，在航道挖岩施工中，提高了挖泥船有效作业时间，降低了能耗，减少了施工船舶和运营船舶避让的次数和难度。首次提出并成功改造了移动式专用装驳平台，形成了与绞吸船作业同步平移、吹填管口垂直方向可调的装驳工艺。



固定平台实景平面图



固定平台装驳管口图

固定平台装驳管口效果图

创新点二：通过水力输送计算，确定了合理的艧吹管线长度，满足了水下泵单泵岩石输送的要求，降低了油耗，提高了生产效率。

$$V_c = (90C)^{1/3} g^{1/4} D_d^{1/2} V_{ss}^{1/2} d_s^{-1/4}$$

$$\lambda_m = \lambda_w \left\{ 1 + CK_D \left[\frac{V^2}{gD(\gamma_s - 1)} \sqrt{\frac{gd_s(\gamma_s - 1)}{V_{ss}^2}} \right]^{-3/2} \right\}$$

创新点三：利用改造后的吊机调整装驳管口垂直高度，使输送泥浆按预定位置散布在泥驳纵向中线附近，避免了偏载险情发生。采用接管在航道外艧吹装驳，减少了溢流疏浚物对

已浚深航道产生的回淤，提高了成槽效果。



该技术明显缩短泥驳靠离驳的辅助时间，提高自航绞吸船开挖风化岩时运转时利率，船舶平均时利率达 65%；避免装驳期间航道内直接溢流情况，有效改善施工质量，绞吸开挖实现一次成槽，平均超深在 0.35m 以内；与固定装驳平台相比，减少大量的移接管线的的时间，实现抓斗装驳平台、配套泥驳、浮筒管线与施工主船（挖岩绞吸船）同步移动；减少航道内通航水域占用宽度，平均每日减少避让次数 2 次，节约避让时间，安全风险降低。与直接装驳工艺相比，减少船舶占用期，同时保证较低综合成本。该成果获授权实用新型专利 5 项，发表论文 1 篇，水运工程一级工法，国家二级工法，水运科学技术进步三等奖。经知经中国水运建设行业协会鉴定：该成果总体达到了国际先进水平。



采用移动平台进行装驳，经过防城港 20 万吨航道工程的推广和试用，解决了挖岩主船时利率偏低的问题，而且提高了工程浚后施工质量、减少了航道内施工避让的安全风险。船舶综合实力率较直接装驳工艺时利率提高约 10%，直接节约成本 168 万元，缩短工期 15 天，节省船舶占用费用 420 万元，两项合计约 588 万元。该工艺转化应用于“钦州湾外湾 B 区海砂开采船舶租赁服务项目”，形成了适用于杂物多、含泥量高的水域的新型洗砂工艺，完成约

74 万吨优质海砂，节约工程成本约 348 万元，经济效益显著。

该成果适用于大型绞吸挖泥船疏浚挖岩施工，对于不具备吹填条件的长距离的航道或港池挖岩时有较好的效果，对于普通绞吸船开挖粘性土、砂性土装驳也有一定的借鉴作用，具有较高的推广应用价值。

完成单位：中交天航南方交通建设有限公司、中交天津航道局有限公司

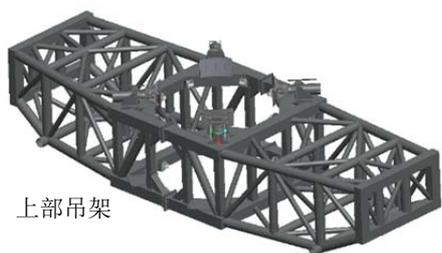
完成人：彭旭更、史本宁、程继、王朋、杨刚、刘斌、高伟、秦亮、田桂平、刘昊

单桩基础风机整体安装技术

一、研究背景

2020 年我国在联合国大会上明确提出，CO₂ 排放力争于 2030 年前达到峰值，努力争取 2060 年前实现碳中和。要实现这项目标，就要大幅发展可再生能源，降低化石能源的比重。而风力发电作为绿色能源，势必会大力建设。为了更好的提升施工工效、提高施工质量、缩短施工工期，从而提高项目的综合效益，为工程创优奠定坚实基础。同时通过开展大量应用基础研究工作，解决新问题、提出新技术、形成新标准，努力实现海上风电施工关键技术的工程化、产业化，以适应我国海上风电的建设步伐。基于以上原因，我公司开展“单桩基础风机整体安装技术”的课题研究。

二、关键技术



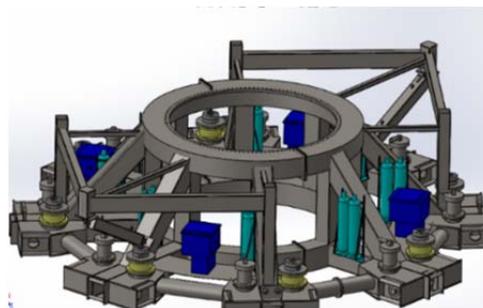
上部吊架

1、深入研究整体安装技术特点，根据单桩基础结构特点，通过理论分析、有限元建模和计算，设计出适用于单桩基础的整体安装软着陆系统，具备缓冲安装、同步升降、精确定位等功能，保证整体安装加速度 $\leq 0.25g$ ，平面定位精度 $\leq \pm 2mm$ ，同时海上安装方式简单便捷；

2、根据设计的整体安装软着陆系统，针对现有单桩基础结构特点，设计出一种单桩基础上软着陆系统的支撑方案，并进行各种工况的建模计算，确保安全可靠；

3、根据工艺需求和集成一体式附属构件特点，进行优化设计一种模块化附属构件方案，便于风机整体吊装完毕后安装；

4、形成一整套单桩基础海上风机整体安装工艺。



下部就位软着陆系统

三、与同类技术对比

目前国内已建成的海上风电场基础型式主要为高桩承台结构、单桩结构和导管架结构，在基础结构施工完成之后需要采用专用的海上风电设备进行风力发电机组的安装，主要的安装方式为风机整体安装和风机分体安装。

其中，整体安装首次应用于英国 Beatrice 示范风电场，2 台 RE-Power 5M 风电机组由比利时 Scald is Salvage&Marine Contractors NV 公司使用重型起重船进行“吊运一体式”整体安装。国内首个海上风电场——东海大桥海上风电示范项目成功应用“吊运分离式”整体安装

技术。即在岸上使用岸吊在运输驳上进行整机的拼装，然后通过大型的运输驳将拼装好的风机整体运送至工程区域，后选用性能优越的大型起重船，配合软着陆及定位功能吊装体系，实现风机整机的缓冲着陆和精确定位。相较于分体式安装，整体式安装特别适用于规模大的风场建设，具有施工安全、效率高等特点。鉴于整体式安装技术的一些优点，目前国内外对风机整体安装技术的基础型式应用范围进行拓展研究。如：在珠海桂山海上风电场示范项目中，首次将整体式安装技术应用于导管架基础型式，共安装 29 台明阳 3MW 风机和 5 台联合动力 3MW 风机，最快 47 小时完成 4 台风机安装；2017 年 7 月，挪威国家石油公司的 30MW Hywind 苏格兰浮动项目的五台 6MW Siemens Gamesa 风力发电机通过整体吊装的方式安装至 Spar 结构浮式基础上。

四、推广应用情况

而单桩基础作为目前近海风电场最为广泛应用的基础型式，在单桩基础型式上应用整体安装技术国内外尚无先例。经科技查新，成果具有新颖性。



课题依托国华东台四期（H2）300MW 海上风电场项目工程，该风场离岸直线距离 42km，为目前国内离岸距离最远的海上风电场。工程所处海域受季风、波浪、涌浪、水深等自然条件影响大，采用单桩基础的风机整体安装技术，国内外没有应用先例，无先例可学习、无经验可借鉴、无规范可参考，风机总体重量近 500t，重心高度达到 42m，高耸和大迎风面的海上安装，作业难度极大，同时风机部件对安装的精度和加速度要求高，项目复杂程度较高。

五、相关知识产权及荣誉

- 1) “海上风力发电机组整体安装下部就位系统及柔性安装系统”（专利号：ZL201721352292.0）——国家知识产权局；
- 2) 2020 年度中国水运建设行业协会科学技术一等奖；
- 3) “海上风力发电机组整体安装下部就位系统及柔性安装系统”获 2020 年度中交集团暨中国交建专利奖；
- 4) 获 2021 年度中施企协“工程建造微创新技术大赛”一等奖。

完成单位：中交第三航务工程局有限公司、中交三航（上海）新能源工程有限公司、中国交建海上风电施工技术研发中心

完成人：张成芹、刘璐、王俊杰、吴亚波、丁静静、张晨天、高丹丹

无外接电源箱涵道路智能化自动排水系统施工技术

一、立项背景

城市道路常采用辅道以箱涵下穿主道的形式提高交通效率，而箱涵道路路面标高常低于市政排水系统标高，降雨后道路内易积水，影响交通。如遇强降雨，积水深度远超正常标准，危及人民生命安全。近年来因暴雨致使箱涵道路内大量积水致人死亡的事件屡次发生，付出了惨痛代价。

多数箱涵道路附近常无工业取电点和有线网络接口，如采用传统排水泵站，需建设值班控制房、集水池、泵房、配电房等，占地面积大，且需从几公里外供电环网柜敷设高压电缆到泵站。敷设通讯光纤，亦增加建造成本，审批建设慢，造价高，短期无法建设并投入使用；且需人员值守，增加了运行维护成本。

二、关键技术

1、无外接电源箱涵道路智能化自动排水泵站由集水井及水泵系统、动力系统、配电及控制系统、远程监控系统组成。

2、在箱涵道路或城市低洼处设立集水井及水泵系统；集水井内设置 3 台潜水泵及水位监测设备；水位监测设备采用超声波液位计，动态测量集水井内液位。

3、动力系统使用智能静音柴油发电机组提供水泵动力，太阳能电池系统维持柴油机启动电池日常充电、泵站自控系统及监控系统 UPS 系统电力。

4、配电及控制系统采用 S7-200 可编程逻辑控制器(PLC)，对泵站配电以及工艺流程进行监控，收集水位监测数据和系统运行数据，控制柴油发电机组及水泵的自动开停。与 GPRS DTU 远程通讯接口配合，将测量控制信号无线传输到监控中心计算机。

5、远程监控系统采用 GPRS DTU 移动网络技术与远程监控中心进行无线通信，具有网络拓扑功能，监控中心可对多个泵站进行监控管理。

6、采用 Profibus-DP 现场总线通信。液位计、软起动器、发电机等通过现场总线 Profibus-DP 与 PLC 柜通信，构成设备的远方自动运行方式。PLC 柜设置一块触摸屏进行可视化操作。



三、与同类技术对比

机电一体化“无外接电源箱涵道路智能化泵站”施工技术。集成应用了如下先进技术：

1、智能化静音柴油发电机组技术；2、太阳能 UPS 电源技术；3、PLC 智能控制技术；4、3G/4G 无线远程监控技术；5、超声波水位监测技术；6、现场触摸屏操作技术；7、潜水泵变频启动技术；8、系统故障自诊断技术。其中，主要关键技术有 PLC 智能控制及系统故障自诊断技术、太阳能 UPS 电源技术、3G/4G 无线远程监控技术。



四、推广应用情况

丹平快速路一期工程泵站于 2011 年 4 月份安装完成，一次调试运行成功，至今已经连续运行多年，其中每年至少要经受两次以上的台风暴雨季节考验，完全达到设计和使用要求。

经过工程实践证明，该应用明显增强了工程低洼处积水排水能力，并且有效的减少箱涵道路排水泵站建设时间，有效规避了施工对成品道路通行的影响，降低工程造价和缩短施工工期，同时利用太阳能，节能环保，降低了运维费用。



五、相关知识产权及荣誉

通过技术查新，目前国内外无相同泵站用于箱涵道路排水(科技查新报告 J201502013403)，属于首创技术，已授权两项国家发明专利：1、一种箱涵道路自动排水系统（专利号：ZL201410066184.1）；2、一种城市内涝预前应急处置方法及内涝预前应急处置系统（专利号：ZL201410511235.7）。

完成单位：深圳市建设（集团）有限公司

完成人：罗斯、吴晓丹、王如恒、邢奇志、廖艳飞、车明升、单逸、杨松

开发 C70 大管桩产品

一、立项背景

随着水运工程建设的不断发展，码头岸线越来越紧缺，码头的建设逐步朝向大型、深水化方向发展，随之也带来了地质情况越来越复杂、靠泊等级越来越大、码头结构承受荷载越来越高新的问题，给码头建设带来了全新的挑战。大管桩由于良好的力学性能和较合理的造价，尤其是良好的耐久性，对降低维护成本效益显著，而得以广泛应用，但随着大管桩本体和钢桩组合桩长度越来越长，大管桩沉桩选用的锤型和锤能也越来越大，在水流、波浪、偏心锤击等不利因素的作用下，沉桩时桩身承受的压应力可能超过管桩 C60 混凝土应力的设计值，引起管桩的损伤；而且大管桩个别生产工序自动化程度偏低，造成产品生产成本居高，市场竞争力不强。因此，很有必要针对超长大管桩抗弯、抗锤击能力要求高的特点，研发创新 C70 超长大管桩预制关键技术，提高超长预制大管桩综合性能、生产效率。

二、关键技术内容

1. 通过原材料优选、室内试验和现场试验等一系列试验的进行，通过分析不同胶凝材料、不同外加剂掺量、不同搅拌时间和养护方式对大管桩混凝土的影响，最终确定较为经济合理的 C70 施工配合比，将大管桩干硬性混凝土强度由 C60 提升到 C70，同时优化 M50 灌浆配合比，在此基础上提高有效预压应力，使之具有较高的抗弯能力和抗锤击性能，形成 C70 大管桩系列产品。

附表 1.2 常用大管桩型号、规格和力学性能 (C70 混凝土)

序号	大管桩型号	D1200B16-2	D1200B32-2	D1200B32-2'	D1200B32-3	D1200B48-2	D1400C20-2	D1400C40-2	D1400C40-2'	D1400C40-3	D1400C60-2
1	大管桩外径 D (mm)	1200	1200	1200	1200	1200	1400	1400	1400	1400	1400
2	大管桩内径 d (mm)	910	910	910	910	910	1100	1100	1100	1100	1100
3	截面积 A (m ²)	0.481	0.481	0.481	0.481	0.481	0.589	0.589	0.589	0.589	0.589
4	单位长度重量 W (kN/m)	12.37	12.37	12.49	12.37	12.54	15.17	15.17	15.33	15.17	15.39
5	截面惯性矩 J (m ⁴)	0.0708	0.0707	0.0716	0.0707	0.0720	0.1213	0.1212	0.1229	0.1212	0.1235
6	预留孔数	16	16	16	16	16	20	20	20	20	20
7	预留孔直径 (mm)	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
8	钢绞线股数	1	2	2	2	3	1	2	2	2	3
9	单股钢绞线直径 (mm)	21.6	15.2	17.8	15.2	15.2	21.6	15.2	17.8	15.2	15.2
10	钢绞线抗拉强度标准值 f_{pk} (MPa)	1860	1860	1860	1860	1860	1860	1860	1860	1860	1860
11	混凝土有效预压应力 σ_{pe} (MPa)	11.64	11.44	15.41	12.08	16.87	11.87	11.67	15.72	12.32	17.20
12	未考虑压屈影响的轴心受压承载力设计值 (kN)	10811	10880	9461	10572	8926	13156	13242	11466	12857	10796
13	不含混凝土抗拉强度的抗弯弯矩设计值 (kN·m)	1374	1350	1843	1425	2028	2059	2023	2764	2136	3040
14	含混凝土抗拉强度的抗弯弯矩设计值 (kN·m)	1660	1636	2134	1711	2320	2471	2435	3181	2547	3460
15	抗弯强度设计值 (kN·m)	2539	2512	2901	2570	2965	3729	3691	4236	3772	4317

2. 通过自主研发超长预制大管桩自动穿束一体机，整合超长预制大管桩拼接过程中钢绞线下料、切断和穿束几道工序，降低劳动强度，提高工效。钢绞线自动穿束系统包括钢绞线放料装置、穿束装置、自动测量切割装置，钢绞线由放料装置可安全平稳的实现钢绞线的前进和后退，通过两组主动轮一组被动轮的传送方式实现钢绞线传送，采用被动轮轴端的光电编码器准确测量穿束长度并自动切割钢绞线。钢绞线由所述放料装置的出口贯穿至所述压轮组的凹槽，且钢绞线由所述压轮组的凹槽经过切割装置穿束至管桩的预留孔内。

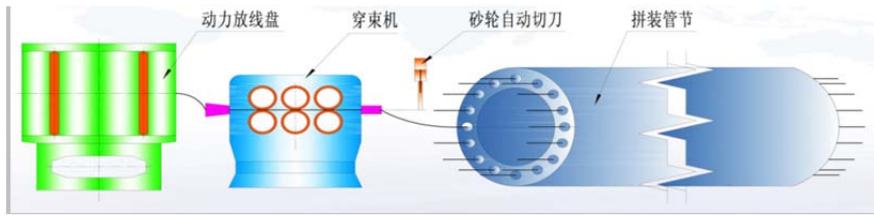


图1 自动穿束系统示意图

3. 整合了大管桩车间已有的搅拌站、离心成型监控等计算机采集的数据，建立起一套可以实现生产信息管理等功能的管理系统。实现对大管桩生产过程中数据的收集、分析、管理，通过信息化技术，提高大管桩生产的自动化程度。

4. 基于 C70 超长管桩抗弯能力等综合性能的提升，优化了现场吊运沉桩工艺，将原超长管桩 6 点吊改进为 4 点吊，确定了超长管桩吊运沉桩的施工关键技术。

三、与同类技术相比

1. 研发了 C70 大管桩新的系列产品，具有较高的抗弯能力和抗锤击性能，解决了超长管桩在实际工程应用中的难题。

2. 研制了预制大管桩钢绞线下料、切断和穿束一体机，降低了劳动强度，提高了工效。

3. 开发了大管桩生产管理信息化系统，提高了大管桩生产的自动化程度。

4. 优化了现场吊运沉桩工艺，将原超长管桩 6 点吊改进为 4 点吊，可提高沉桩效率。

四、推广应用情况

目前该技术成功应用在宁波-舟山港梅山港区 6 号至 10 号集装箱码头工程、宁波舟山港鼠浪湖矿石中转码头工程、台州港头门港区二期工程等多个项目的超长管桩制作中，充分发挥了该技术的先进性和质量可靠性，经济效益和社会效益显著，推广应用前景广阔。

五、相关知识产权及荣誉

（一）专利

1. 实用新型专利“吊线架装置”（专利号：ZL201520778754.X）；

2. 实用新型专利“放线盘装置”（专利号：ZL201520781298.4）；

3. 软件著作权“大管桩信息管理系统”（登记号：2020SR0330887）。

（二）工法

已取得省部级工法 1 项：《C70 超长管桩预制施工工法》SYGF-1-08-2020

（三）荣誉：经中国水运建设行业协会鉴定，该成果总体上达到国内领先水平，获得中国水运建设行业协会科学技术进步三等奖。

完成单位：中交第三航务工程局有限公司、中交第三航务工程局有限公司宁波分公司

完成人：胡金雄、潘根强、刘君、仇志秀、林东、章银兵、高继红、童琪君、程镇生、黄艳慧

中粗砂地层超长距离大直径钢管定向对穿钻孔拖拉法施工技术

一、立项背景

国际上的穿越难度及水平星级评判标准一般为穿越长度乘以管道直径，我公司此次施工难度达到了国际的定向钻高难度水平，引起了国内及国际的非开挖领域专家的高度关注。

对于定向钻穿越工程，较为困难的穿越地层为中粗砂地层，主要原因是中粗砂地层没有胶结能力，成孔难度较高，施工中需要先期采用套管隔离或地质改良的方法处理，且砂粒呈楔形，一旦抱钻，解卡极为困难，此地层对泥浆技术性能和钻进工艺要求极高，同时，由于管线距离过长，导向孔无法一次完成，需要采取对穿工艺，施工中对导向孔对穿工艺要求极高，回拖管线在孔内浮力较大，与孔道上壁摩擦，增大管道摩擦力，为减小摩擦力，管道配重降浮技术的选择变得极为重要。

中粗砂地层超长距离大直径钢管过江穿越施工由于地质复杂、管径大、穿越距离长，极易引起施工过程中钻杆断裂、卡钻、冒浆等问题，针对以往及在建工程，开展中粗砂地层超长距离大直径钢管定向对穿钻孔拖拉法施工技术研究，确定施工技术方案，最终形成这一领域较强的先进施工技术，旨在提升穿越施工质量水平，提高施工工作效率，降低施工成本，为国家供水管网铺设做贡献。

二、关键技术

1、对接技术在导向孔施工中的技术研究

单根穿越钢管 2935m，管线过长，单台钻机无法一次完成导向孔穿越，只能采用对穿工艺，导向孔对穿过程中的穿越曲线控制，两台钻机的钻杆对接工艺成为工程的一大难题，我公司采用目前国际最先进的 Paratrack II 控向软件和地面信标系统，创新采用轴向磁铁对接技术，实现导向孔钻进的精准控向和精确对接。

相对于传统的磁场对接，轴向磁铁对接技术，对接位置选择不受地形、地貌及建筑物影响，对接位置选择更广，周围其他磁场干扰小，对接位置更精确。

2、穿越钢管配重降浮技术在钢管回拖中的技术研究

钢管回拖过程中，钢管自重远轻于泥浆浮力，造成钢管紧贴孔洞上壁滑行，易造成钻杆的折断及钢管的卡管事故，严重的可能造成钢管无法回拖成功，我公司创新采用穿越钢管内

PE管注水配重降浮施工技术，不仅有效地保护了输水管线内壁防腐涂层，而且减小了穿越钢管与孔壁的摩擦，实现了大管径长距离曲线管道的回拖安装。

与传统的穿越钢管内直接通入注水管相比，避免了因孔道起伏不定造成的配重不精确，更好的保证了穿越钢管能够悬浮于孔道泥浆中。

3、泥浆制备及回收系统技术研究

穿越钢管主要从第四纪一般沉淀层的中粗砂地层穿过，由于中粗砂地层没有胶结，成孔难度较高，且砂粒呈楔形，一旦抱钻，解卡极为困难，对泥浆技术性能和钻进工艺要求极高，我公司研制专用泥浆，根据实际情况，调整泥浆配比，增加循环管路长度，延长膨润土及添加剂的熟化和混合时间，采用中、高速离心机泥浆回收系统，降低了扩孔扭矩，加快了钻进速度，确保长距离中粗砂层钻孔及拖拉的顺利实施。

4、保证钢管顺利回拖关键技术研究

回拖管线将近3公里，受场地限制，只能采用曲线回拖，我公司研究采用开挖管道发送沟、架设滚轮支架、吊篮及安装推管机组合回拖施工措施，减小了超长距离钢管回拖过程中受到的摩擦阻力，同时，也减小了钢管回拖过程中被划伤的风险，增强管道抗腐蚀性。

四、推广应用情况

近几年来水平定向钻对穿施工技术在世界各国、各个行业得到了广泛的应用，尤其在城区供污水管网改造、城镇通信电力管道、天然气管道、油气长输管线、自来水管网施工中，穿越大型河流、高速公路、市政道路、铁路等项目上显示了独特的优势。采用中粗砂地层超长距离大直径钢管过江穿越技术进行管道穿越施工是最佳方案，是不破坏地貌状态和保护环境的最理想施工方法，对国家管网基础设施建设具有重要意义。

2017年，哈尔滨市松花江水源松北区域供水工程-过江管线工程采用定向钻工艺将三根 $\Phi 813\text{mm}$ 钢管由江南的一水源处经松花江底穿越至松北区科技五路与创新一路交汇处。穿越管线长度2935m，穿越钢管规格 $\Phi 813\text{mm} \times 16\text{mm}$ ，主要穿越地质为中粗砂层。

本工程穿越距离长，地质条件恶劣，施工难度成几何倍数激增，施工风险极高。对此，我公司应用了世界上最前沿的对接穿越技术，并采用泥浆对注技术及中、高速离心机回收系统优化泥浆性能，穿越钢管配重等有效措施，为有效规避穿越超长距离中砂地层摩阻大、携屑难、成孔能力差、易发钻杆抱死、折断和卡钻的致命风险打下坚实的基础。

我公司此次施工难度达到了国际的定向钻高难度水平，引起了国内及国际的非开挖领域专家的高度关注。为了应对国内外公认的复杂的地质条件的管道穿越，我公司精心组织，合理安排施工部署，优化施工方案，使得施工合格率100%，得到了各方的高度评价，经济效益

明显。

五、相关知识产权及荣誉

截止目前，该技术研究通过了中国电力建设集团有限公司的科技成果鉴定，研究成果达到了国际领先水平，该成果取得了1项实用新型专利，1项发明专利进入审核阶段，1项省级市政金杯示范工程称号，2项省部级施工工法，1篇论文，同时，取得了7项省部级科技进步奖。

完成单位：中国水利水电第六工程局有限公司

完成人：李 锰、孙文勇、黄 海、张忍臣、宁富刚、张春雷、胡国兴、刘乃洋、张红强、张书平

码头现浇胸墙相邻顶悬吊底模施工方法

一、立项背景

(一) 课题背景

现浇胸墙是重力式码头施工重要的工序，模板安装、钢筋绑扎及混凝土浇筑等往往需要赶潮作业。胸墙迎水面一般比沉箱迎水墙面向外侧悬臂 30~50cm，底面低于沉箱顶约 30cm，需要铺设现浇底模板。底模板传统的做法是在沉箱前墙外侧顶部一定的位置预埋一排支模螺栓，通常采用台型螺母，间距 1~2m，然后安装三角形钢架，三角架上铺设底模分配梁和底板。胸墙浇筑完成后，拆除底模及三角架，拆除台型螺母，最后采用修补砂浆对这些拆除台型螺母后形成的孔洞进行封堵修补，防止预埋螺栓及孔洞附近的钢筋锈蚀。

(二) 研究目的

一般用于支撑胸墙底模的台型螺母的预埋位置通常在水位变动区，在一些潮差大的港区，台型螺母位置低潮时可露出水面，赶潮作业可进行干法封堵修补；在一些潮差小的港区，台型螺母位置低潮时都不一定露出水面，只能由潜水员进行水下湿法修补。台型螺母孔的封堵修补质量受人为与环境因素影响大，如封堵砂浆材料本身的质量；拆除台型螺母后预埋螺栓外露部分的保护层厚度；孔壁清理的质量；堵孔工艺及操作质量；封堵修补过程潮水或浪溅侵袭等，对修补质量不利。在码头水位变动区这个受腐蚀最为严重的部位，当封堵修补质量不可靠时，台型螺母孔内的预埋螺栓就会锈蚀，形成锈蚀通道，进一步引起预埋螺栓附近的沉箱墙体的钢筋的腐蚀，并逐步扩大，而沉箱墙壁本身属于薄壁结构，该区域的墙体就逐步被破坏。另外由于工程所处的海域潮差小，沉箱顶与胸墙底标高低，可干法作业时间短，传统方法在沉箱墙顶预埋较多的支模铁件，拆模后支模铁件遗留孔洞的修补封堵因无足够低潮位，难以干法施工，质量难以保证；其次因沉箱沉降总有差异，预埋的支模铁件存在标高差异，需要逐个调整，需要散拼铺设底模，作业时间较长，而满足施工的低潮位时间短，需要多个低潮位时段才能完成施工。在沉箱上预埋支模铁件多，底模散拼散拆是主要矛盾。

本课题研究的目的在于减少在沉箱墙上预埋外露支模铁件或不采用在沉箱墙身上预埋支模铁件的底模支撑体系，改散拼安装的底模为整体装拆的底模，提高装拆效率，缩短赶潮作业时间。

(三) 课题意义

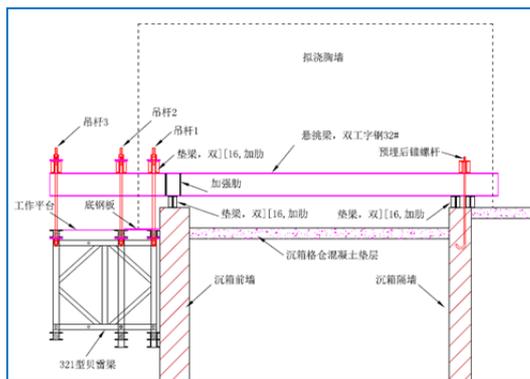
借助相邻结构提供底模支撑条件，承担底模荷载，用悬臂梁反吊单跨梁式底模，实现整

体装拆，缩短赶潮作业时间。反吊杆采用螺栓形式，调整标高快捷准确。

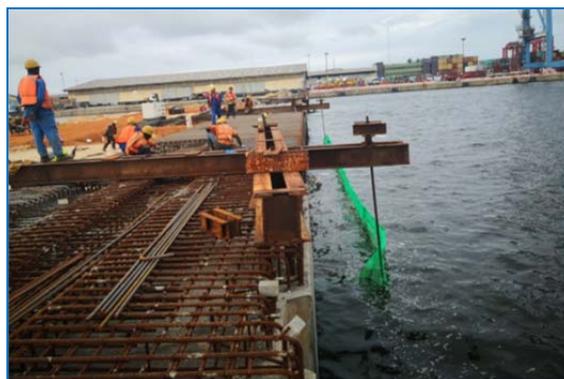
二、关键技术

沉箱结构码头现浇胸墙一般为一个沉箱上设一段胸墙。现浇胸墙施工常采用先奇数段后偶数段或先偶数段后奇数段的跳段法。现浇底模采用单跨梁，梁上铺设底模板，在梁两端设置吊杆，吊杆由悬臂梁悬吊，悬臂梁安装在相邻沉箱墙顶上或已浇筑胸墙墙顶上，悬臂梁。对于先行施工奇数或偶数段胸墙的悬臂梁安装在相邻沉箱墙顶上，对于后施工的胸墙的悬臂梁安装在相邻两侧已浇筑的胸墙墙顶上。码头端部胸墙一侧没有相邻的结构物支承悬吊底模悬臂梁的，局部采用传统的方法。

对于先行施工奇数或偶数段胸墙的底模贝雷梁两端的吊杆由安装在相邻沉箱墙顶的悬挑钢梁悬吊。悬挑钢梁采用双拼工字钢，悬挑梁的后锚杆在沉箱预制时在墙顶对应位置预埋竖向的螺杆。结构图如下：



先浇段悬吊底模剖视图



现场施工实物图

三、与同类技术对比

采用悬吊梁式底模解决了传统工艺预埋件、孔洞封堵困难的难题，保证了工程质量。利用相邻沉箱墙顶或已先行施工的胸墙顶悬吊梁式底模技术，在沉箱预制时，无需在沉箱墙壁上预埋支模螺栓或支模孔洞，沉箱薄壁墙侧面水位变动区不存在外露支模螺栓或支模螺栓孔洞封堵修补质量隐患，沉箱耐久性可靠度高，具有长远的社会效益和经济效益。

研发了码头胸墙底模的整体装拆、受潮水影响小，可周转使用施工关键技术，实现了快速准确调整底模标高，拆装方便快捷，提高了施工效率。

四、推广应用情况

相邻墙顶悬吊大跨度梁式底模现浇技术于 2017 月首次在科特迪瓦阿比让港口扩建项目中应用，2018 年加纳特码集装箱码头扩建工程应用了该施工技术。2 个项目的成功应用，对项目质量、进度、安全、成本均有巨大促进作用，得到著名国际咨询公司 ICOM 的认可，具有很好的示范作用，该技术具有广泛的应用前景。

五、相关知识产权及荣誉

该技术形成的成果《一种沉箱码头现浇胸墙的梁式底模》获得实用新型专利（专利号 ZL 2019 2 1511836.2），形成的科技成果《悬吊梁式底模现浇码头胸墙施工关键技术》2019 年获得中国水运协会“国内领先水平评价”，形成的工法《相邻墙顶悬吊底模现浇胸墙施工工法》先后获评四航局工法、中交集团工法、水运工程二级工法(工法编号 SYGF-2-15-2019)。

完成单位：中国港湾工程有限责任公司，中交第四航务工程局有限公司，中交四航局第三工程有限公司

完成人：陈汨梨，莫宏武，廖世强，杨建冲，潘志刚，刘深，毕莉莉，张志斌，徐亮，陈继军

城市大跨度钢桥梁顶推施工技术

一、立项背景

钢箱梁桥安装常规方法有固定支架法和顶推法施工。固定支架法，支架及机械台班费用高，搭设支架严重影响交通；传统顶推法施工，过程需要引导梁，大跨径需设置临时墩等辅助措施，施工周期长，辅助材料用料多，对交通影响较大。

为了解决上述问题，项目团队对城市大跨度钢箱梁桥顶推施工技术进行研发。该技术在传统顶推施工的基础上，利用移动支架代替前端引导梁，很大程度上减少对施工现场原有道路的破坏，施工成本低、速度快、不影响交通。

二、关键技术

采用顶推施工技术安装钢箱梁桥，在安装过程中，钢箱梁顶推段在相邻墩柱处安装临时支架作为顶推平台，并设置可移动式支架，移动式支架底部设置智能步履式顶推系统，同时钢箱梁末端设置智能步履式顶推系统，上下两套智能步履式顶推设备将钢箱梁顶推到设计位置，并通过红外装置对顶推位置进行复核，利用固定支架油顶微调箱体到设计标高，完成作业。

在项目施工中主要由以下几部分完成箱梁顶推安装工作：

1、智能步履式顶推装置

根据重型构件或大型设备的空间三维位置精确定位，研制了专业调整设备。该产品可进行对铁路、公路桥梁或类似梁式构件等多支点结构进行位移控制，实现横向(X)纠偏，纵向(Y)推进，及竖直(Z)顶升的精确定位。顶升负载大，位置控制精度高，操作简便，自动化程度高。

2、智能步履式顶推装置设计要点

顶推机构进行顶推时，顶推滑移机构底部有4路油缸，其主要是在设备工作时，受力的重心点一直在4台油缸的重心点位置，以确保在桥梁顶推过程中，临时墩的受力点不变。同时，该油缸可以实现设备落梁工作。也可实现往复式顶推工作。

(1) 同步性要求：顶升同步要求箱室两侧 $\leq 4\text{mm}$ ，各箱室处 $\leq 5\text{mm}$ ；同侧顶落同步要求 $\leq 4\text{mm}$ ；

(2) 考虑最不利工况：第二联中间顶推段在平台处设置4套顶推设备，移动支架处设置4套顶推设备，最不利情况当梁段末端到达4#墩柱前支架时，此时有4套顶推设备受力。

3、顶推循环步骤：步履式顶推装置进行顶推，工作原理是竖向千斤顶顶起钢梁，水平千斤顶完成向前顶推，千斤顶回油完成一个行程的顶推工作，顶推过程中是一个自平衡的顶推动作过程。



图3 顶推前



图4 顶推后

三、与同类技术对比

(1) 顶推梁段箱体在梁段前端、末端箱室内为保证箱室在顶推过程中不变形，设计隔板间距 2.5m，在对应顶推装置处箱室内进加设 δ 16mm 间隔 500mm 隔板以保证箱体强度。

(2) 顶推机构进行顶推时，顶推滑移机构底部有 4 路油缸，其主要作用是设备工作时，其受力的重心点一直在 4 台油缸的重心点位置，以确保在桥梁顶推过程中，临时墩的受力点不变。同时，该油缸可以实现复式顶推的工作及设备落梁工作。

(3) 在顶推过程中梁体的受力状态与成桥时受力状态完全不同，整个顶推过程的监控应以支反力控制为主，标高控制为辅的原则进行。

该技术相比于传统的顶推施工，增加了加劲数量，真正做到“自平衡多点顶推”。相比利用钢绞线拖拉方式的顶推施工，步履式顶推系统具有安全性高、顶推平稳、轴线调整方便等特点。在整个顶推过程中，由于滑动面在顶推装置的滑箱与滑道之间，属设备之间的内力，这样就改善了桥梁与桥墩的结构受力，对结构没有损伤。

四、推广应用情况

1.应用情况

九冶建设有限公司自 2014 年至今在钢箱梁桥施工中采用城市大跨度钢桥梁顶推施工技术，主要应用“西安市西咸新区泾河新城正阳大道南延伸工程”“西安市西延路与西影路立交工程”“西安市空港新城沣泾大道立交工程”等三个项目，解决了固定支架法费用高、影响交通，顶推法需设置临时墩等缺点，填补了钢桥梁施工工艺部分空白，缩短了整体施工工期，共计节省人工 530 工日，节约钢材 141t，同时也节约了大型吊装设备租赁费，为企业创收经济效益 96.96 万元。

2.社会效益：作为首批在城市内安装大跨度钢箱梁的施工单位，对城市大跨度钢桥梁顶

推施工技术的研究投入了大量的人力、物力、财力，同时在项目运用中取得圆满成功，推动了我国城市大型钢桥梁安装技术的进步发展。

五、相关知识产权及荣誉

该创新技术获实用新型专利 2 项。获冶金行业部级工法 1 项；获第四次陕西省绿色建筑产业科技创新成果二等奖 1 项；获中铝集团第二届创新创意大赛西北片区复赛一等奖 1 项。

完成单位：九冶建设有限公司

完成人：万明、卢军安、王玖宏、万福储、袁志宏、左雪艳、赵亚军、闫红波、赵卫军、李建辉

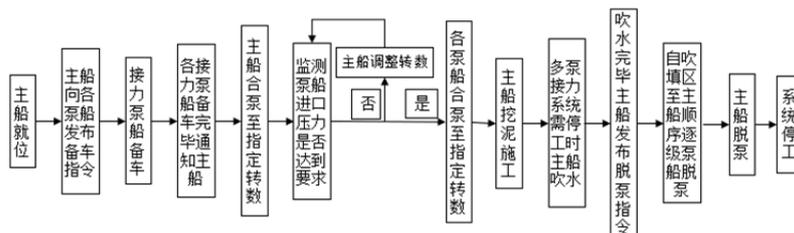
河湖疏浚超长排距多泵接力施工关键技术

一、立项背景

国内大部分湖泊的环保疏浚项目，排泥场较远，环保绞吸船单船施工受扬程限制，难以直接将疏浚土输送至排泥场。中交天航局和天航环保公司共同研发了环保绞吸船加多条接力泵的施工技术，有效解决了长排距问题。

二、关键技术

疏浚施工时，泥浆浓度变化导致系统压力发生瞬时变化，通过计算和现场情况分析，确定多条接力泵布置范围和位置，绞吸船疏挖的泥浆通过泥泵进入输送管道，再利用多级接力泵接力将泥浆输送至吹填区。采用该技术的施工流程图如下：



1、工前准备

- ①选定绞吸船船型
- ②确定接力泵船数量
- ③确定接力泵船位置

接力泵吸入口压力不小于 0.1MPa，泥泵出口压力不大于泥泵和管线承压，采用正常施工时船舶与管线内输送物料的不同组合情况进行计算分析，确定接力泵的布设位置。

④工况分析

接力泵与管线均存在清水、泥浆两种工况，总计 $2^{(1+n)*2}$ 种。第 m 个接力泵铺设位置离绞吸船最大距离和最小距离充分考虑最不利的工况确定。

2、合泵流程

绞吸船备车时通知泵船备车，绞吸船得到接力泵船确认后合泵并逐渐加转至施工转速，各接力泵船的注泥泵进口压力 $>0.15\text{MPa}$ 时，自绞吸船至吹填区方向接力泵船逐级合泵，泵船根据泵前压力逐步提高泥泵柴油机的转速，接力泵船合泵正常后，将本船运行状态通知主船。

3、加转流程

由于泥层厚度变化和倒桩、换向及倒锚造成的横移速度变化会使得绞吸船吸入泥浆浓度

发生变化，接力泵前压力会产生较大波动。需密切注意接力泵前夜里变化，适当进行泥泵主机转数的调整，泵船进口压力 $>0.30\text{MPa}$ 时，泵船增加转速，使接力泵前压力控制在 $0.10\text{—}0.3\text{MPa}$ 。

4、停泵流程

主船停泵前通知接力泵船停泵，自吹填区向绞吸船逐级依次停泵。接力泵船需要停泵时，立即通知主船，主船通知其它接力泵船自吹填区向绞吸船逐级依次停泵。各级接力泵船停泵指令全部由主船发出。

三、与同类技术对比

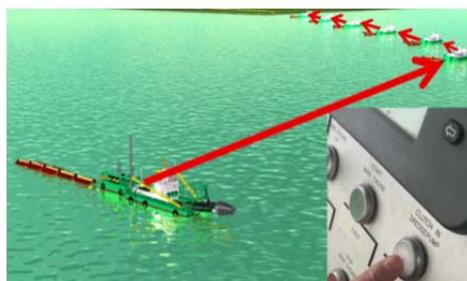
创新点 1：提出了一种基于管道内泥浆密度和泥浆流速等参数瞬态变化理论的超长排距输送系统设计方法，包括管道布设、输送装备和动力装备选型、接力泵位置确定、清水和泥浆瞬态变化压力分析等内容。

创新点 2：研发了一种工作主船、分级接力泵站整体联动的超长排距多泵接力施工工艺。

创新点 3：针对河湖超长排距多泵接力输送，提出了多泵接力系统中防水击及压力突变的措施，并编制了相应的操作规程。

四、推广应用情况

本技术已成功应用于太湖西岸（胥江口附近水域）应急清淤工程（排距 30km ）和杭州西湖底泥疏浚二期工程（排距 22.6km ），解决了超长排距难题，显著提高了运输效率，有效改善了水环境，增加了库容，提升了防洪除涝的能力，经济效益、社会效益显著。



五、相关知识产权及荣誉

本技术已通过天津市科学技术信息研究所的查新，国内外未见相同的相关研究报道，并由中国水运建设行业协会鉴定为“该成果达到国际先进水平”。形成实用新型专利 1 项《一种接力泵船泥泵入口管道压力智能控制系统》，国家核心期刊论文 1 篇《多泵串联技术在疏浚工程中的应用》。

完成单位：中交天航环保工程有限公司、中交天津航道局有限公司

完成人：吴金勇、袁宝来、陈益钟、刘宇智、王琦、钟瑞、李谦益、郭文瑶、肖堃、王苗苗

岸桥大车行走整体发运技术攻关

一、立项背景

一、背景

由于岸桥项目在用户码头调试交机过程中，时常出现大车直线度超差啃轨现象，导致大量现场调整工作量，甚至延误交机罚款。为解决岸桥大车直线度超差问题，提高大车产品质量和完整性，改变散装发运及现场二次组装的总装方式，实现大车一次排装和整体发运的需求与日俱增。

二、研究目的

为了推进岸桥大车行走机构模块化制造和装配，改变散装发运方式避免总装现地二次排装，减少产品油漆损伤并提升岸桥总装效率，通过技术攻关和工艺革新，研究大车整体转运转运关键技术、产品制造流程再造，实现岸桥大车行走产品一次排装与整体发运。

二、关键技术

1、通用性、柔性化设计

1) 整体转运托架：可满足 2 组行走机构同时转运，并能覆盖所有大车行走，通用性强、运输效率高；

2) 大车防倾装置：能柔性调整高度满足各类大车行走整组平稳摆放，安全性高。

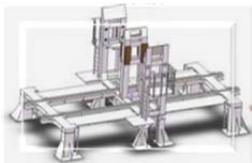


图1 转运托架模型图



图2 大车防倾装置图

3) 大车跨运车：3.1) 吊具横纵方向设计多档吊装孔，满足不同吊距、吊宽的物件吊挂钩。3.2) 门架结构设计成侧片分段法兰对接形式，方便设备加高改造。3.3) 跨运车采用单点双轮组合共 8 轮，有效减少对地轮压影响。3.4) 行走系统可及时反馈整机平衡状况，实现自平衡调整，并适时分配动力。

2、实用性设计

1) 行走系统采用同侧双驱动，具备多档调速功能，转向半径小。

2) 布置升降、锁销三联动快捷装置，提高操作便利性。

3) 装备实用功能，如：无线遥控、安全报警系统、全景视频系统等。

3、工艺性及安全性设计

- 1) 设计折叠调整平台、绑扎系固、故障应急装置等。
- 2) 设计自动锁销装置和防摇装置，避免起升油缸串油溜钩及吊运晃动。



图3 装备关键技术设计

三、与同类技术对比

大车整体跨运车对比常规集装箱跨运车，不仅设计新颖、机动高效，且组合功能多、可靠、实用，与常规集装箱跨运车的设计实用性对比如下表所示。

序号	项目	常规集装箱跨运车	大车整体跨运车
1	提升方式	卷筒+钢丝绳缠绕	液压缸+绳索
2	吊具防摇	门架导轨限位	吊具自动锁销
3	工件防摇	无	液压缸顶升+吊带缠绕
4	吊装工件	集装箱	起重机大车行走、钢结构等
5	偏载调整	无	吊具偏载自调整
6	行走平衡	无	行走平衡梁自平衡调整
7	车轮形式	空气胎	聚氨酯填充实心胎
8	门架结构	门架高度固定	门架高度可调

四、推广应用情况



图4 大车跨运车投用照片

五、相关知识产权及荣誉

1、知识产权

申报专利共 15 项，其中发明专利 5 项，实用新型 10 项，6 项已获得授权，详见下表所示。

序号	专利名称	专利号	专利类型
1	一种跨运车	ZL 2020 2 1886217.4	实用新型
2	起重机双组行走机构搬运工装	ZL 2018 2 0205361.3	
3	起重机行走机构搬运工装	ZL 2018 2 0204480.7	
4	起重机行走机构支撑装置	ZL 2018 2 2063547.2	
5	一种稳定受力装置、大车及岸桥	ZL 2020 2 0329292.4	
6	一种岸桥集装箱起重机保护装置	ZL 2020 2 0121187.1	



2、获得荣誉

- 1)《大车行走整体跨运车关键技术研究》—申报 2020 年度振华重工科学技术进步二等奖；
- 2) 项目内子课题获得 2019 年度中交建“五小”创新银奖。

六、应用情况及经济社会效益

1、应用情况

- 1)、截止目前，陆续已有多个项目落实大车整体发运及其拓展应用，助推了产品制造工艺升级。
- 2)、为拓展开发新型跨运车的市场应用提供了参考样机。
- 3)、大车整体跨运车纳入公司车联网流动机械调度平台，统一进行联网调度。
- 4)、大车跨运车除转运大车行走外，还完成了其它用途拓展，如：调试水箱、撑管、拉杆、联系梁、下横梁（重量≤45T）等构件的场外运输。

2、经济社会效益

《大车行走整体跨运关键技术研究》其项目经济性和社会效益显著。有力推动了产品完整性、提升质量及生产效率，实现降本增效：1) 实现大车产品一次排装，避免现场二次组装；2) 实现大车模块化、成品化制造；3) 提高岸桥总装效率，缩短总装周期。4) 提升产品质量和完整性，提高装配精度；5) 减少人员和设备投入，降低生产成本。

大车整体发运技术创新项目直接经济效益全年累计可达约 176 万元，间接效益还可发挥巨大的社会效益，大幅减少产品油漆复涂、总装整改、交机售后等工作遗留的环境污染、资源消耗等问题。

完成单位：上海振华重工（集团）股份有限公司

完成人：钱旭强、卢玉春、王兆荣、杜渝、徐建中、余福灵、季爱军、樊文彬、郑光洪、张三军

长大引水隧洞高效钻孔灌浆施工机械研发与应用

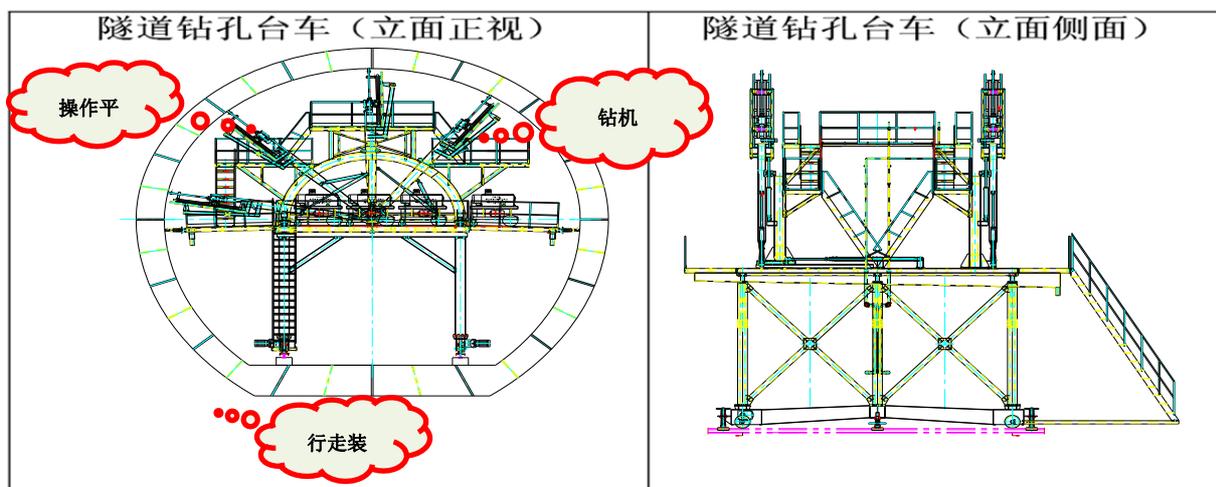
一、背景、研究目的、意义

锦屏二级水电站主要 4 条长约 16.7km 引水隧洞构成，隧洞之间的中心间距 60m，一般埋深 1500~2000m，最大埋深约 2525m。钻爆法施工洞段为马蹄形断面，混凝土衬砌后洞径 11.8m。TBM 开挖隧洞为圆形断面，混凝土衬砌后洞径为 11.2m。经查新，其设计、施工技术水平处于世界前列，为世界最大规模水工隧洞。

由于锦屏二级水电站引水隧洞施工战线长达 23.2km，其中 TBM 洞段 5.8 公里，平均每 500 米一个施工通道，通风散烟条件差。其中固结灌浆钻灌 110.2 万米，施工强度最高达 7 万米每月。隧洞的开挖支护、衬砌、灌浆、混凝土消缺等多工序、多点、密集、交叉、高强作业，施工难度和施工强度世所罕见。如何按期完成如此巨大、高强的灌浆工程，具有极大的挑战性和风险性。

二、关键技术内容

1.关键技术一：研制的自行式液压坑道钻孔台车，通过液压油缸可移动悬臂和调节环距模块，实现钻机孔位和环距的自由变换，进行洞室上部全部钻孔作业。自行式坑道钻孔台车适用于直径 $\Phi 11200$ 以上隧洞的上半圆任意位置分布的孔，钻孔直径小于 $\Phi 110$ 。适用于水电工程引水洞、导流洞、泄洪洞、交通洞、通风洞、公路隧道的建设，适用于长度大于 500m 以上的隧洞。



自行式液压坑道钻孔台车结构示意图

2.关键技术二：研制的自行式液压栈桥台车，利用大型液压钻机解决圆形洞室下部钻孔作业。辅以研制的自行式液压钻孔平台，可解决异形洞室钻孔作业。栈桥台车是专门为大型

全液压凿岩机提供的特殊设备。该设备为大型全液压凿岩机提供了一个 80 余平方米的工作平台，钻机可以在该平台上施工洞室腰线以上的灌浆孔，解决了钻孔台车无法施工的部位，还可以让两种钻机在圆形洞室内调头，减少钻机来回行走的时间以及避免不必要的磨损，增加了钻孔作业时间，提高设备工作效率。

3.关键技术三：研制的自行式灌浆台车，集储浆、灌注、操作、控制于一体，实现了灌浆作业机械化施工。设计“自行式灌浆台车”，满足台车下方能通过钢筋运输车辆、混凝土运输车辆；在灌浆台车上，完成洞室边顶拱灌浆孔的卡塞作业问题。使用灌浆台车完成全洞段灌浆作业。

4.关键技术四：研制的金刚石柱齿钻头扶正器提高了钻孔质量，研制的钻孔降尘集尘装置及废水废浆收集系统，改善了施工环境。①钻孔扶正器，扶正器施工使用效果：孔壁较光滑，能够顺利卡塞及升压；能够保证钻孔笔直度，12m 深的灌浆孔，最大偏差不超过 0.1m。②钻孔降尘集尘装置，针对洞内使用风动钻机降尘除尘困难的问题，专门设计了一种粉尘收集袋、集尘罩是可移动式的，在开孔时司机可以很清晰地观察到开孔情况，提高开孔精度。粉尘收集袋配备了高效的粉尘预分离器，可保证除尘器工作更安全，除尘效果更佳。

三、与同类技术对比创新点、优势

本课题专项技术自行式隧洞灌浆台车、全液压自行式栈桥台车、自行式坑道钻孔台车、一种组合钻孔装置、一种贯通式潜孔锤反循环钻进集尘装置、自行式液压坑道钻孔台车施工工法，国内外未见相关报道，均属国内外首创。

四、推广应用情况

本项目成果对锦屏二级水电站引水隧洞施工具有实用性，而且能保障各个钻孔灌浆工序快速、高效、经济的实施，从而保证项目在工期极其紧张、施工强度极大的情况下快速高效的完成各项施工任务，确保了东端 1#、2#引水隧洞按期充水发电。课题研制灌浆台车被国内类似的三个工程引进，其中包括：（1）长河坝水电站 10 台（用于 1#、2#泄洪洞，断面尺寸 15.6~22.15 米）；（2）黄金坪水电站 4 台（引水发电系统 II 标 1#、2#引水隧洞，洞径 14.5 米）；（3）锦屏二级水电站 C5 标 4 台（北京振冲公司，锦屏二级水电站 3#、4#引水隧洞）。台车的应用确保了交通和文明施工的同时，保证了各个工序快速、高效、经济的实施

五、相关知识产权及荣誉

1. 获得知识产权情况

该项目获得国家实用新型专利 2 项：①一种组合钻孔装置（专利号 ZL 2010 2 0563530.4）；②一种贯通式潜孔锤反循环钻进集尘装置（专利号 ZL 2013 2 0146670.5）。

该项目获得国家发明专利 3 项：①自行式隧洞灌浆台车（专利号 ZL 2012 1 0217554.8）；②全液压自行式栈桥台车（专利号 ZL 2012 1 0217451.1）；③自行式坑道钻孔台车（专利号 ZL 2012 1 0217393.2）。

2. 获得荣誉

《长大引水隧洞高效钻孔灌浆施工机械研发与应用》获得 2014 年度中国电力建设集团有限公司中国电建科学技术奖一等奖；2015 年度中国水利发电工程学会水力发电科学技术奖三等奖；2017 年度中国电力企业联合会中国电力创新奖一等奖；2017 年度中国电力建设企业协会电力建设科学技术进步奖三等奖；2019 年度中国大坝工程学会科技进步二等奖。课题成果《自行式液压坑道钻孔台车施工工法》四川省住房和城乡建设厅省级工法（SCGF171-2014），中国电力建设集团有限公司中国电建工法（ZGDJGF056-2014），中国电力建设企业协会 2017 年度电力建设工法（DJGF-SD-05-2017）。

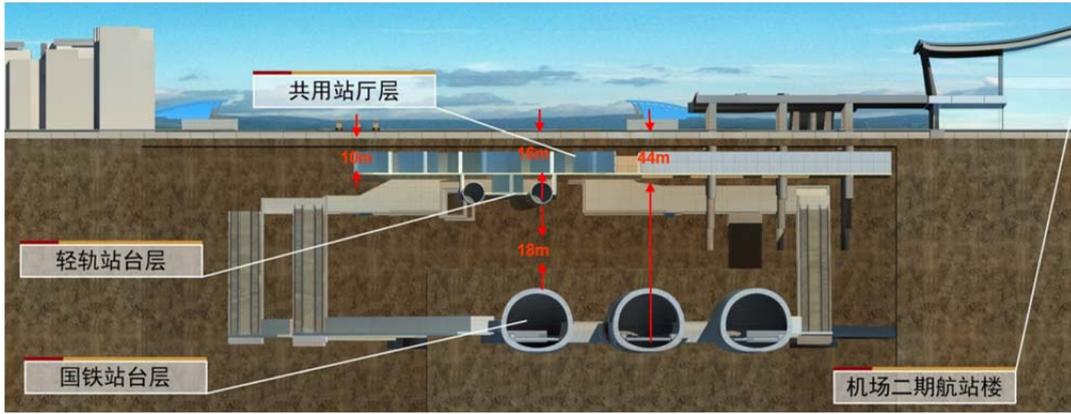
完成单位：中国水利水电第七工程局有限公司、中国水利水电第七工程局成都水电建设工程有限公司

完成人：殷国权 王天西 沈琦 张刚武 曾健 李翔 熊雄 宋宁 李德兵
应海波

超大跨度超高回填荷载明洞衬砌结构 设计关键技术研究

一、立项背景

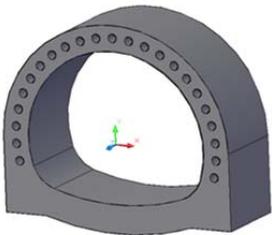
项目依托的贵阳龙洞堡机场隧道是全国首座垂直“零”换乘的大型立体化综合交通枢纽，隧道设计时速 250km/h，全长 3009m。经科技攻关，解决了工程面临的明洞结构跨度超大(28m)、回填土超高（34m）、大体积混凝土水化热大、有害裂缝难于控制等难题，确保了工程按期优质建成。



龙洞堡机场隧道车站布置图

二、关键技术内容

首次提出开孔新型明洞衬砌结构；确定了开孔衬砌结构的临界开孔直径及最优空心率等关键技术参数，建立了超大跨度超高回填土开孔明洞衬砌结构设计理论及方法；探明了明洞“拱效应”影响因素，首次建立了超大跨度超高回填土明洞衬砌结构作用荷载计算方法，为现行规范明洞设计方法的修订奠定基础；探明了大体积混凝土明洞衬砌结构裂缝产生的机理及其扩展规律，形成适用于超大跨度超高回填土明洞结构的裂缝控制技术，为大体积混凝土衬砌结构的推广应用奠定基础。



开孔新型明洞衬砌结构

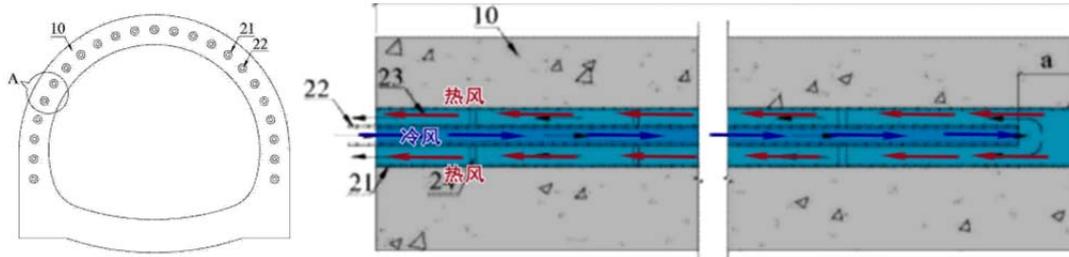
衬砌厚度 (m)	最优开孔尺寸 (cm)
1.2	30
1.5	30~40
1.8	30~50
2.0	40~60

最优开孔尺寸

$$\sigma_v = K\gamma H$$

$$\begin{cases} K = 1.0 & (0 < H/D \leq 1) \\ K = f(H, D, b_0, e) & (H/D > 1) \end{cases}$$

荷载计算方法



用于浇筑大体积空心混凝土隧道衬砌结构的降温装置

三、与同类技术对比

项目研究成果与国内外相关技术比较，总体达到国际领先水平。

与国内外相关技术的综合比较

对比项目	本项目	国内外	对比
超大跨度明洞	单孔拱形明洞 28m	成绵乐双流机场单孔拱形明洞 27.6m; 京广高铁石家庄六线隧道三联孔结构 38m	单孔明洞跨度最大
明洞顶回填土高度	34m	渝利铁路丰都桥改隧明洞工程 28m	填土最高
开孔明洞衬砌	Φ20cm-Φ50cm 开孔衬砌，每延米节省投资 3000-4000 元	无	国内外首次
超大跨度超高回填土明洞衬砌结构受力分析与结构选型	<ul style="list-style-type: none"> ● 受力特征分析 ● 经济性对比分析 ● 裂缝特征对比分析 	定性为主，非系统性	能结合实际、创新性的提出中心开孔结构； 国际领先。
超高回填土明洞荷载	首次建立了超高回填土明洞荷载计算方法及计算公式 $K=1.0 \quad (0 < H/D \leq 1)$ $K=f(H,D,b,c) \quad (H/D > 1)$	<ul style="list-style-type: none"> ● 土柱法 ● 马斯顿法 ● 卸载拱法 ● 弹性理论法 	综合运用理论分析、颗粒散体数值仿真、现场试验等手段，首次建立超高回填土明洞衬砌结构作用荷载的计算公式； 国际领先。
超大跨度超高回填土大体积明洞衬砌裂缝控制技术	<ul style="list-style-type: none"> ● 结构设计（开孔） ● 施工控制（全周纵向开孔通循环水、根据温度时程曲线动态把握浇筑时机和温控措施） ● 研发程序计算明洞衬砌结构裂缝宽度，进行结构优化及控制 	<ul style="list-style-type: none"> ● 材料（中低热水泥+外加剂） ● 施工工艺（分层等） ● 特殊措施（预埋冷却水管、后浇缝） 	在衬砌中心附近温度最高的混凝土区域开孔散热，使结构具备自身开孔循环通水降温功能，无需采用特殊材料的混凝土及外加剂； 超高回填荷载作用下结构裂缝宽度不超过 0.2mm，提出开孔衬砌裂缝指导性判断技术标准； 国际领先。
超大跨度超高回填土新型开孔明洞衬砌结构设计理论及方法	获得多场内外荷载作用下开孔明洞结构的关键设计参数，提出一种开孔衬砌裂缝宽度计算方法及其指导性判断技术标准，以“裂缝”与“强度理论”对明洞结构进行评判，形成开孔明洞衬砌设计理论及方法。	全截面荷载-结构模型设计、未考虑水化热，简单的以强度理论进行评判。	创新性解决了超大跨度超高回填土开孔明洞衬砌结构的设计方法； 国际领先。

四、推广应用情况

应用本项目研究成果，龙洞堡机场隧道顶部地面直接成为机场功能用地，为机场提供约 220 亩建设用地，并有效解决贵阳枢纽铁路范围 118 万方土石方弃碴问题，节约铁路 295 亩弃碴场征地费用。总计节约投资约 1.63 亿元。此外，成果在渝利高铁丰都桥改隧明洞工程、重庆江北机场隧道工程、南宁吴圩机场隧道工程的建设中全面推广应用，经济社会效益显著。



龙洞堡机场隧道工程



渝利高铁丰都桥改隧明洞工程

成果填补了超大跨度超高回填土明洞衬砌结构设计技术的空白，有效降低了山地环境的城市复杂地形条件以及远期规划对线路选线的影响，提升了我国大型综合枢纽的设计技术水平，具有广泛的推广应用前景。

五、相关知识产权及荣誉

工程获中国建设工程鲁班奖，并获省部级科技进步奖及创新成果奖 6 项、优质工程奖 1 项、优秀工程设计奖 1 项，省级工法 2 项，发明专利 10 项，实用新型专利 15 项。并荣获 2013 年“第三届全球系统性创新展示与竞赛”金奖，成果于 2017 年录入国家铁路局铁路重大科技创新成果库。

完成单位：中铁二院工程集团有限责任公司、西南交通大学、中铁二十一局集团有限公司、中国铁路经济规划研究院有限公司

完成人：赵万强、刘金松、张志强、杨昌宇、李光军、齐春、曹晟、张永平、唐国荣、琚国全

装配式轻钢—轻混组合墙体关键建造技术

一、立项背景

在国家装配式建筑政策的大力指引下，为推动新型轻质“钢-混”装配式组合结构以及绿色建材在装配式建筑中的研发和推广应用，实现绿色建筑行业的可持续发展，本项目依托国家 863 计划、住建部等多项国家及省部级重点科研课题，结合兰州现代职业学院等多个省市重点工程的丰富实践，率先开展了基于固废资源化的高性能泡沫混凝土制备与轻钢组合墙体关键技术研究，形成了新型轻钢-轻混组合结构的生产制造、构造设计、安装施工和质量验收的成套技术，充分集成绿色建材研发、资源综合利用、节能减排、生态环保等多项新技术，为绿色宜居“无废城市”、“生态城市”、“一带一路”装配式住宅建造技术体系中的重大共性关键技术突破提供一种有价值的解决方案。

二、关键技术内容

1、多源固废资源化高性能泡沫混凝土制备技术：首创了多源固废（市政污泥/粉煤灰/矿渣粉）中空陶粒轻骨料制备技术，研发了秸秆纤维增强、原位可控发泡高性能陶粒泡沫混凝土，全面提升了泡沫混凝土力学强度、保温隔热、隔音、抗裂等性能。

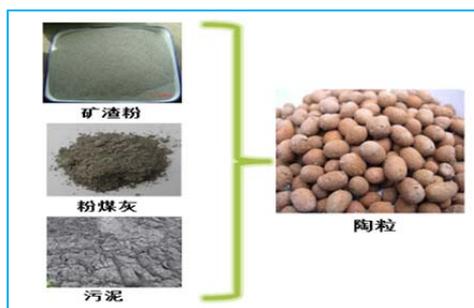


图 1 工业固废中空陶粒制备

重金属	2#样品浸出液 / (mg·L ⁻¹)	4#样品浸出液 / (mg·L ⁻¹)	6#样品浸出液 / (mg·L ⁻¹)	浸出液中浓度限值 / (mg·L ⁻¹)
Cu	0.136	0.167	0.213	100
Zn	0.039	0.045	0.083	100
Pb	0.067	0.075	0.094	5
Cr	0.002	0.04	0.071	15
Hg	-	-	-	0.1
As	0.012	0.036	0.045	5
Cd	0.004	0.008	0.016	1

图 2 陶粒重金属含量试验

2、高效稳定的泡沫混凝土发泡设备及其使用方法：基于高速搅拌和压缩空气组合法，研制开发出一种高效稳定的发泡混凝土一体机，解决了常规泡沫混凝土混合料分布不均匀、力学强度偏差大、浇筑稳定性差、墙体保温隔音效果不佳等关键共性技术难题。



(a) 发泡效果

(b) 24h 稳定状态

(c) 内部孔隙结构

图 6 稳定细小泡沫及泡沫混凝土内部孔隙结构

3、轻钢龙骨-高性能泡沫混凝土组合墙体构造设计：研发了一种新型的纤维增强免拆模板-轻钢龙骨-高性能泡沫混凝土组合墙体系统，并提出了相应的设计方法，提高了墙体整体性、抗震性、抗裂性以及节能保温效果。



图8 轻钢-轻混组合结构墙体

3.4 轻钢龙骨-高性能泡沫混凝土组合墙体高效施工技术：研发了一种高效泡沫混凝土轻钢龙骨复合墙体施工技术，通过发泡混凝土一体机快速灌浆以及管线预埋，降低劳动强度，提高墙体安装精度和施工效率；发现了高寒地区墙体开裂规律，提出了墙体裂缝有效控制措施，接缝部位采用秸秆纤维+ECC 复合纤维增强的自保温高强干混砂浆以及接缝布绷带+碳纤维布双层板缝防裂处理技术。

三、与同类技术对比

本墙体与同类墙体材料性能比对

序号	名称	高性能泡沫 砼-轻钢组 合墙体	蒸压加气 板材	轻骨料混凝 土板	模板周转钢 网片泡沫砼 墙体	聚苯颗粒混 凝土/钢骨架 墙板	GRC 板	硅酸钙板 灌浆复合 墙体
1	墙体厚度 mm	150	150	120	150	150	120	150
2	容重 kg/m ³	750 实心	900 加抹灰	850 加抹灰	950 加抹灰	1200 实心	800 空心	850 实心
3	抗冲击性能	≥15	≥6	≥8	≥5	≥12	≥5	≥10
4	防水性能	优	差	良	差	良	良	差
5	导热系数 W/m.k	0.09	0.15	0.4-0.7	0.2	0.35	0.22	0.18
6	隔音系数 dB	51	46	45	47	49	42	49
7	防火 极限	≥4h	≥2h	≥3h	≥2h	≥3h	≥2h	≥2h

四、推广应用情况

项目成果已应用于兰州、芜湖、马鞍山、上海等多个省市重点工程项目，通过对现场技术支撑和管理，运用创新理念解决技术难题，缩短工期，降低施工成本，提高轻质墙体施工质量，近三年实现销售额 73128 万元，墙体应用面积约 332 万平方米，增加使用面积约 11.8 万平方米，经济、社会、环保效益显著。

五、相关知识产权及荣誉

本项目主编技术标准 12 部，授权专利 53 件，其中发明授权 22 件；获部级工法 2 项，省

级高新技术产品 12 项，发表论文 25 篇，国家商标 2 项。分别通过中国冶金建设协会关键技术鉴定和中冶集团科技成果鉴定，鉴定等级均为国际先进水平。

完成单位：中国十七冶集团有限公司，建筑材料工业技术监督研究中心，中国建筑材料科学研究总院有限公司，南京航空航天大学，中国建筑标准设计研究院

完成人：钱元弟，金仁才，陈志纯，刘晨，耿飞，雷团结，郝伟，叶胜军，黄维军，王慧

长距离高内水压小直径隧道薄壁二衬施工技术

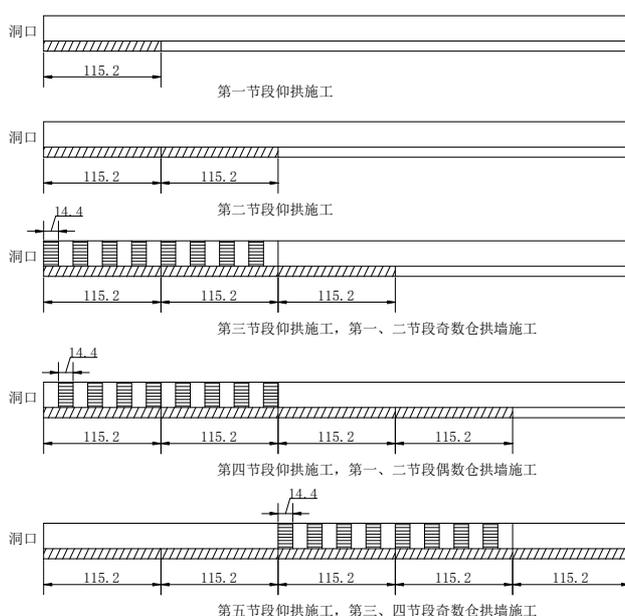
一、立项背景

随着工程建设行业的发展，穿江越湖及水文地质复杂区域隧道、输水隧道等出于结构耐久性考虑，采用盾构法双层衬砌隧道设计的情况日益增多。以大东湖深隧工程为例，隧道设计为管片外衬+现浇钢筋混凝土二次衬砌的双层衬砌形式，隧道断面小（最小仅 3.0m），区间距离长（最长达 3.6km），二衬厚度薄且承受有高内水压，其施工过程中面临着施工效率低，质量风险高、安全风险高等问题。

本技术的研究将充分解决长距离高内水压小直径隧道薄壁二衬施工面临的施工效率低，质量风险高、安全风险高等问题，为以后类似工程提供参考和指导。

二、关键技术内容

长距离高内水压小直径隧道薄壁二衬施工技术主要包含仰拱先行、拱墙跳仓跟进，长节段、多台车、机械化施工工法及卸料轮式起重机、仰拱模板体系及转运设备、可通行式拱墙衬砌台车等成套设备研制两大部分。



总体工艺示意图

区间二衬从两端向中间施工，仰拱领先两个节段，一次 115.2m 长节段，拱墙一段 8 组 14.4m 台车，分奇偶仓跳仓施工；研发的小断面隧道内卸料轮式起重机，可在小直径隧道内无轨行走、转向、吊装材料，实现钢筋高效转运；研发的新型高效仰拱模板体系，模板集成轨道，底部设置可调斜向撑杆，支承自重及上部荷载，钢管支撑及花篮螺栓分别抵抗浮力及

不对称浇筑水平荷载，转运采用 2 台悬臂吊车及平板车配合进行；研发可穿行式小直径大曲率全圆隧道拱墙衬砌台车，采用可穿行式设计，保障小直径隧道运输通道，采用分节式铰接设计，提高台车对大曲率隧道的适应性，单仓施工长度达 14.4m；提出定制轨行式大容量罐车+拖泵泵送的洞内混凝土运输技术，罐车通过搅拌筒小倾角实现 7 方大容量设计，并具备自行行走自搅拌功能，设计轨道平移摆渡车实现竖井内两台罐车接力运输；研发的仰拱薄壁混凝土分料浇筑装置，实现仰拱混凝土对称有序入模，浇筑效率高；提出拱墙单浇筑口水平挤推工法，保障混凝土密实度。

三、与同类技术对比

长距离高内水压小直径隧道薄壁二衬施工关键技术提出了仰拱先行、拱墙跳仓跟进、拱墙混凝土水平挤推浇筑工法，研制了卸料轮式起重机、仰拱模板体系及转运设备、可通行式拱墙衬砌台车等成套设备，较国内外小直径隧道采用的全圆针梁式模板台车或散拼模板工艺，施工效率提升至少 3 倍。

四、推广应用情况

长距离高内水压小直径隧道薄壁二衬施工关键技术在全国首条污水深隧——大东湖核心区污水传输系统工程中进行了应用，保障了 17.5km 二衬施工的高质与高效，用时 3 个月就完成了最长 3.6km 的 3#~1# 区间二衬施工，全线二衬施工用时 5 个月，单作业面最高月衬砌 690m，较常规施工工效提升了 330%，节约关键线路工期达 5 个月，减少劳动力投入 800 人以上，直接经济效益 1900 万元，且二衬成型质量经第三方检测均满足要求，质量有保障。

技术的应用推动了工程的良好履约，化解武汉 130km² 污水处理困局，全面提升区域生态环境，助力“长江大保护”与“美丽中国”建设，经济效益与社会效益突出。



五、相关知识产权及荣誉

该技术已授权发明专利 2 项，实用新型 6 项，受理发明专利 10 项(含 2 项国际发明专利)，获得省级工法 1 项，录用论文 7 篇，经专家评价达到国际领先水平，填补了行业技术空白。

完成单位：中建三局基础设施建设投资有限公司

完成人：刘开扬、陈伟、蒋尚志、苏长毅、谷海华、彭文韬、刘康宇、鲁文博、周浩、鲁翔翔

铁路有砟无砟轨道铺设一体式牵引车

一、立项背景

我国现有的履带式牵引车和轮胎式牵引车分别用于有砟轨道和无砟轨道的长钢轨牵引作业，当线路出现有砟、无砟轨道结构并存且频繁交替设计时，传统施工方法需两种牵引车频繁倒换。

铁路有砟无砟轨道铺设一体式牵引车集履带、轮胎和轮轨走行装置于一体，有砟轨道铺设时由履带走行装置驱动，无砟轨道铺设时由轮胎走行装置驱动，转线运输时由轮轨走行装置导向后桥轮胎压于轨面驱动整机前行，实现无缝切换有砟及无砟轨道施工和轮轨走行，满足有砟无砟并存线路铺设。

二、关键技术

2.1 首创了履带与轮胎两种走行方式的集成，满足有砟、无砟线路铺轨牵引作业和设备轨道转线要求，一机多用。

2.2 研发了履带与轮胎行走驱动及其切换、互锁和相关的功能转换技术。

有砟作业模式信号进入 PLC 后，PLC 输出驱动信号给履带走行驱动电磁阀，使履带走行装置的两个液压马达工作，实现有砟作业时的履带牵引；无砟作业模式信号进入 PLC 后，PLC 输出驱动信号给轮胎走行驱动电磁阀，使轮胎走行装置的四个液压马达工作，实现无砟作业时的轮胎牵引；两个驱动信号之间由 PLC 进行互锁。

2.3 研发了方向盘式操作控制履带转向的电液转向机构和轮胎推杆式转向机构的设计及其切换、互锁和相关的控制技术。

有砟转向：转动方向机，机轴编码器将转动信号传输给 PLC，PLC 将控制信号传给比例阀，改变泵的排量，使马达产生速度差，实现滑移转向。同时 PLC 输出电信号切断轮胎走行转向电磁阀，实现转向互锁。

无砟转向：转动右侧驾驶位方向机，方向机带动转向器转动，转向器提供压力油给转向油缸，转向油缸推动回转支撑，带动同步拉杆实现无砟铺轨作业时前桥的转向。

2.4 研发了履带、轮胎和轮轨走行功能快速转换的液压多维控制技术。

液压系统由一个闭式系统和一个开式系统组成，闭式系统实现轮胎与履带的驱动、正反向换向和无极调速，开式系统实现执行机构油缸驱动、正反换向。

2.5 开发了一套与 CPG500 型有砟轨道长钢轨铺轨机和长钢轨推送车相适应的铺设有砟及

无砟轨道的施工技术。

三、与同类技术对比

铁路有砟、无砟轨道铺设一体式长钢轨牵引车适用于有砟和无砟轨道 500m 长钢轨铺设，集履带走行、轮胎走行和轮轨走行于一体，可无缝切换有砟牵引和无砟牵引的工作模式，工作模式转换安全可靠、方便快捷，长钢轨铺设综合效率提高了 30%，取代了原有单一功能长钢轨牵引、铺设设备的倒换作业，解决了有砟、无砟轨道并存线路设计的轨道铺设难题，一机多用，减少了设备投入成本，经济实用，且维护保养成本低，适用范围广。

四、推广应用情况



研究成果成功应用于杭黄、成贵和蒙华等铁路项目，共计完成 1640km 铺轨任务，实现了在 20%的线路坡度上铺轨作业，有砟轨道日铺轨 2.5km，无砟轨道平均日铺轨 8km，施工效率高，创造了铁路铺设的新模式，书写了铁路建设领域施工装备的新篇章。

五、相关知识产权及荣誉

已获得实用新型专利授权 1 项：一种铁路有砟、无砟轨道铺设一体式长钢轨牵引车（ZL 201720574513.2），正在申请发明专利 1 项：一种铁路有砟、无砟轨道铺设一体式长钢轨牵引车（ZL 2017110363919.0），目前发明专利已进入实质审查阶段，获得了安徽省 2021 年度省级工法 1 项，一篇论文获得安徽省铁道学会 2018 年优秀论文奖。



完成单位：中铁四局集团有限公司

完成人：段启楠、陈志远、王道成、管新权、汪国龙、裴玉虎、贾炳义、李云浩、王薇、李玉清

机制砂混凝土和易性调节关键聚羧酸减水剂研究

一、立项背景

混凝土是当今社会用量最大、应用领域最广的一种建筑材料，而河砂是生产混凝土的重要原材料之一，每年需求量巨大。天然河砂为不可再生资源，肆意开采将对河道、耕地等造成不可逆的破坏。在西部大开发、“一带一路”以及基础设施建设对混凝土巨大需求的大背景下，机制砂替代天然砂已成为必然趋势，并且国家统计局发布《战略性新兴产业分类(2018)》中将“机制砂”列为战略性新兴产业重点产品。然而机制砂混凝土和易性差，施工中容易出现离析、泌水、堵管等问题。项目针对机制砂应用过程中存在的和易性问题，创新提出化学外加剂技术解决方案，研发了具有靶向结构的聚羧酸减水剂用于机制砂混凝土的生产，大大提高混凝土和易性，破解了机制砂混凝土施工性能差的行业技术难题。该成果的研发不仅保障了工程施工效率与施工质量，也促进国内机制砂的规模化使用，减少天然砂的开采。在科技创效、保护生态环境方面具有重要的现实意义。

二、关键技术内容

机制砂颗粒与河砂颗粒在形貌、化学成分等方面存在明显差异，导致两者配制混凝土的施工性能差异明显。针对机制砂混凝土和易性差，易离析、泌水等问题，研发了新型功能单体与烯丙基聚氧乙烯基醚大单体聚合得到具有和易性调节性能的聚羧酸减水剂，该减水剂能明显降低机制砂混凝土泌水率和离析率。国内外科技查新表明，除本项目外，国内外公开文献、专利中未见上述结构特点的聚羧酸减水剂报道。项目关键技术内容如下：

(1) **功能结构单体的研发。**外加剂功能设计跳出了传统设计方法，创新性地研发了一种具有多羟基结构和强吸附基团的功能单体，引入聚羧酸减水剂的结构，通过改变浆体的表面化学性质，增强水泥浆体在机制砂颗粒表面的吸附，改善了水泥浆体对骨料的包裹性。

(2) **高效引发体系的开发。**将功能单体成功应用于聚羧酸减水剂的合成中，开发了双氧化还原引发剂，成功匹配聚醚和功能单体聚合活性，形成了一种对机制砂混凝土具有和易性调控功能的新型外加剂。

三、与同类技术对比

开发的和易性调节功能型聚羧酸减水剂与普通聚羧酸减水剂相比，压力泌水率降低10%~20%，离析率降低7%以下，堵管频次由0.67~1.38次/万方降低至0.34次/万方。混凝土2h内工作状态稳定，中途无放大泌水现象，且对不同地区机制砂表现出良好的适应性，掺量敏

感性较低，产品鉴定优于国内外同类产品。

表 1 产品性能对比

项目	压力泌水率	离析率	堵管频次
普通 PCE	30%以上	15%以上	0.67~1.38 次/万方
本项目成果	10~20%	小于 7%	0.34 次/万方

四、推广应用情况

机制砂混凝土和易性调节关键聚羧酸减水剂技术成果，累计生产超过 12000 余吨，直接经济效益 1020.00 万元。研究成果先后应用于成都群光广场、成都绿地蜀峰 468、成都地铁 11 号线、华丽高速、成都壹捌捌大厦等十余个大型工程项目，并推广应用至“一带一路”沿线国家的房建工程、市政交通、高速桥梁等工程，如“非洲第一高建筑”——阿尔及利亚嘉玛大清真寺、“中国首个海外高铁项目”——雅万高铁、马来西亚富力公主湾、印尼美丽雅加达等，创造了多项行业领先纪录，社会经济效益显著。

	
西南在建第一高楼“成都绿地蜀峰 468”	马来西亚“富力公主湾”
	
华丽高速公路（“一带一路”建设重点项目）	阿尔及利亚嘉玛大清真寺(非洲第一大清真寺)

五、相关知识产权及荣誉

成果获授权发明专利 1 项，发表研究论文 2 篇，经四川省科技厅组织专家进行第三方科技成果评价，该成果整体技术达到国际先进水平。

完成单位：中建西部建设建材科学研究院有限公司

完成人：高育欣、刘明、杨文、张磊、曾超、王福涛、叶子、闫松龄、李毅

长距离大截面无肥槽管廊施工技术

一、立项背景

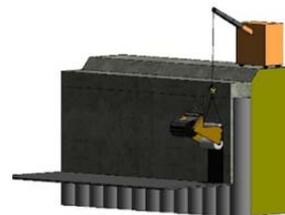
西安市地下综合管廊呈“一环、六放射、多组团”的格局，干支线管廊建设总规模为 350.5 公里（远期）；“十三五”期间将建设干支线管廊 130.5 公里，缆线管廊 365 公里（近期），整体项目分两个项目包，每个项目包投资规模约 70~80 亿元。

西安市地下综合管廊 PPP 项目 II 标段工程是由“中国中冶”作为牵头方、中国十七冶集团作为实际操作者中标的国内在建最大城市地下综合管廊建设项目。本项目投资建设干支线管廊 73.13 公里，缆线管廊 182.5 公里。涉及西安市 5 个行政区、11 个市级开发区以及多个区级开发区，工程施工区域覆盖 4000 多平方公里。项目多位于城市核心区域；随着城市经济的快速发展，城市对公用设施的需求随经济增长和城市规模的扩大而与日俱增，地下空间资源开发也受到了重视；城市综合管廊的建造为减少对地下空间的占用，往往通过压缩管廊建造空间来实现，这将是后续城市综合管廊建造的趋势，如何实现在狭小空间内保证入廊管线需求的情况下完成地下综合管廊建造？最有效的方法是取消管廊两侧肥槽；通过对长距离大截面无肥槽管廊建造关键技术进行研究，为后续狭小地下空间内管廊建设提供技术支撑和建造经验。

二、关键技术内容

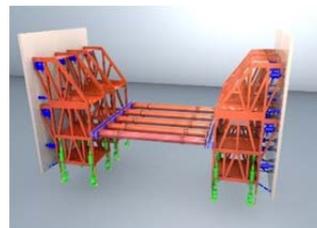
关键技术一：无肥槽管廊防水卷材竖向铺贴装置及其施工技术

防水卷材竖向铺贴的装置，竖向卷材铺贴装置包括复压压辊、卷材压轮、卷材薄膜收集辊、连接杆件组成，卷材铺贴装置通过连接杆件进行连接固定，竖向卷材铺贴装置通过伸缩臂杆调节位置，通过小车卷扬机提升进行自粘卷材竖向铺贴作业。



关键技术二：无肥槽管廊边墙内支撑加固装置系统

管廊边墙另一侧为外贴式防水卷材，无法采用常规的对拉止水螺杆，故在施工中考虑边墙取消对拉螺杆加固，但给边墙模板加固带来了难题通过制作一种管廊内支撑结构体系，提高管廊边墙施工效率。模板支撑体系采用两个平行的模板台车和可调对撑钢管，实现了管廊边墙模板支撑快速安拆，加快了施工进度。



关键技术三：管廊中墙加固一体化模板系统



管廊中墙加固一体化模板主要为大钢模和三角支撑组成，利用管廊中墙标准构件的特点，大钢模尺寸根据管廊中墙尺寸确定，大钢模两侧附着有人行走道架，便于工人施工时行走；大钢模通过两侧的三角斜撑固定；大钢模下部设有滑动装置，便于工人拆装，周转用于下一施工段。

三、与同类技术对比

本技术是针对城市核心区域地下管廊建造场地空间狭小的难题，在克服现有技术不足的情况下，通过关键技术创新，提出了一种长距离大截面无肥槽管廊施工技术，来解决在狭小空间内保证入廊管线需求的情况下完成地下综合管廊建造的难题；通过管廊各舱室竖向叠加以减小管廊占地空间，无肥槽管廊防水卷材铺贴采用防水卷材竖向铺贴装置，保证了防水卷材竖向铺贴质量，提高了施工效率；管廊边墙通过采用无肥槽管廊边墙内支撑加固系统，实现了管廊边墙模板支撑快速安拆，加快了施工进度；利用管廊中墙标准构件的特点，采用加固一体化模板系统，提高了管廊中墙施工效率。

序号	施工技术	同类技术	本项目技术
1	无肥槽防水卷材竖向预铺施工	移动脚手架铺贴技术	无肥槽防水卷材竖向铺贴装置
2	边墙单侧支模加固技术	三角桁架单侧模板支模技术	无肥槽管廊边墙内支撑加固系统
3	管廊中墙施工技术	传统模板加固技术	管廊中墙加固一体化模板系统

第四段 推广应用情况

本技术在中国十七冶集团承建的西安市地下综合管廊建设 PPP 项目 II 标段-航空城大道和振兴路项目中得到了应用。



五、相关知识产权及荣誉

本项目共获得 3 项授权发明专利，8 项授权实用新型专利；本项目获陕西省建筑业协会 2019 年陕西省工程建设优秀质量管理小组；本项目工法《长距离大截面无肥槽管廊施工工法》获中国冶金建设协会 2019 年部级工法。



完成单位: 中国十七冶集团有限公司

完成人: 林涛

内嵌空心六棱砖骨架护坡机械化高效施工技术

一、立项背景

目前，国内路基边坡防护一般采用混凝土拱形截水骨架+内嵌空心六棱砖+客土植草防护的复合结构形式，但是在施工中，存在骨架基槽传统人工开挖效率低、成本高，开挖质量难控制；骨架核心土采用传统人工铁锹拍打夯实，实体质量控制难度大；传统挂线检测空心六棱砖安装工效低、线形精度差等一系列问题。大部分骨架护坡工程采用人工及简单的模具进行施工，机械化程度低，质量控制难度极大。

以“机械化、标准化”为施工理念，通过对骨架基槽高效铣挖设备、拱形骨架开挖预留土机械夯实设备、空心六棱砖精确安装设备等内嵌空心砖骨架护坡施工所需关键工装及设备的研发和应用，解决了传统内嵌空心六棱砖骨架护坡施工方法工效低、工序繁琐、质量难控制、资源投入大等问题。

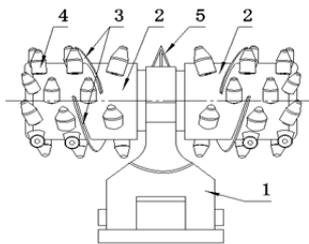
二、关键技术内容

关键技术一：路基边坡骨架基槽高效铣挖技术

针对拱形骨架结构形式及成槽特点，设计开发了专用的竖向沟槽和弧形沟槽铣挖施工机具，安装于挖掘机前臂，完成拱形基槽的开挖作业。

竖向沟槽的铣挖：采用横向铣挖头实现竖向沟槽的铣挖（见图1），在铣刨头表面分布有合金铣牙，用于铣削土体；同时，横向铣刨头表面上设计有螺旋叶片，以便于将铣削下来的碎土在旋转的同时离心甩出槽外。

弧形沟槽的铣挖：采用竖向铣挖头实现弧形沟槽的铣挖（见图2），在铣刨头表面分布有合金铣牙，用于铣削土体；同时，横向铣刨头表面上设计有螺旋叶片，以便于将铣削下来的碎土在旋转的同时离心甩出槽外。



1-铣刨头；2-辊轴；3-螺旋叶片；4-钻头；5-铣牙

图1 横向铣挖头结构设计图及实物图



1-铣刨头；2-辊轴；3-螺旋叶片；4-钻头

图2 竖向铣挖头结构设计图及实物图

关键技术二：路基边坡骨架内开挖预留土机械化夯实技术

针对骨架核心土采用传统人工铁锹拍打夯实，实体质量控制难度大等问题，设计开发了专用的平板夯实机具，安装于挖掘机前臂，采用平板夯实机对开挖的沟槽底部进行整平、夯实（见图 3，图 4），平板夯实机底板采用四边形，在边缘处设计为 45 度斜面，可使夯实机夯土时对前方土屑形成挤压，避免呛土现象。

关键技术三：骨架内嵌空心六棱砖精确高效铺装技术

针对传统挂线检测空心六棱砖安装工效低、线形精度差等问题，设计开发了专用的空心六棱砖铺设快速精确定位装置（见图 5），使用时将定位装置两端固定于骨架挡水沿，六棱砖依次安放至固定模具凹槽中，有效控制空心砖表面平整度、缝隙均匀线形顺直，确保一次性铺装成型，减少二次返工。



图 3 竖槽夯实



图 4 弧形槽夯实



图 5 空心六棱砖铺设快速精确定位装置

三、与同类技术对比

与国内外同类型技术相比有如下创新：

序号	项目名称	国内外情况	该技术成果特点
1	路基边坡骨架基槽高效铣挖技术	人工开挖	研制应用了路基边坡骨架基槽高效铣挖设备，开槽尺寸准确，一次性成型，相比人工开挖施工工效由 29.7m ³ /工天提升至 80.3m ³ /工天，费用由 58.8 元/m ³ 降低至 29.12 元/m ³ 。
2	路基边坡骨架内开挖预留土机械化夯实技术	骨架核心土人工拍打夯实	采用液压平板夯对拱形骨架内开挖预留土进行夯击，对下步六棱砖安装提供了良好条件，避免二次修面，提高工效指标
3	骨架内嵌空心六棱砖精确高效铺装技术	人工挂线安装，安装工效低、线形精度差	研制应用了用于空心六棱砖铺设快速精确定位装置，有效控制空心砖表面平整度、缝隙均匀线形顺直，施工效率高。

四、推广应用情况

“内嵌空心六棱砖骨架护坡机械化高效施工技术”2016 年至 2021 年期间，先后在济青高铁、京张铁路、郑济客专等项目中成功应用，进一步完善了我国路基边坡防护机械化配套施工工艺，有效解决了传统内嵌空心六棱砖骨架护坡施工方法工效低、工序繁琐、质量难控制、资源投入大等问题，在路基边坡防护新技术、新设备应用等方面综合效益显著，适用于铁路、公路、市政内嵌空心六棱砖骨架护坡施工，推广应用前景广阔。

五、相关知识产权及荣誉

该微创新成果关键技术成熟完善，已转化为生产力。目前已授权国家发明专利 1 项，实

用新型专利 4 项，获省部级工法 3 项；其中路基边坡骨架内开挖预留土机械化夯实技术和骨架内嵌空心六棱砖精确高效铺装技术，入库国家铁路局 2019 年度铁路重大科技创新成果；路基边坡骨架基槽高效铣挖技术，入库国家铁路局 2020 年度铁路重大科技创新成果。

完成单位：中铁三局集团有限公司、中铁三局集团第五工程有限公司、中铁三局集团第二工程有限公司

完成人：刘贤良，赵海波，刘承宏，段久波，刘志如，傅重阳，马良，王文明，陈宇博，张龙

盾构管片钢筋焊接自动化技术

一、立项背景

目前，盾构管片钢筋骨架结构较突出的一个特点是盾构管片钢筋骨架四周小梁的箍筋数量较多，每环接近 500 多个。大多数盾构管片预制生产企业对箍筋末端的构造采取焊接封闭式箍筋型式，并采用传统的人工焊接工艺进行管片封闭式箍筋的焊接施工，焊接工作量非常大，工人劳动强度大，且受焊接工人的技能水平影响，焊接质量难以保证，容易出现漏焊，焊伤钢筋的现象，盾构管片钢筋制作的人工成本高。

针对国内技术现状，本项目依托承建的厦门地铁 1 号线盾构管片预制工程，开展盾构管片钢筋焊接自动化技术研究，旨在通过项目的研究和实践，掌握盾构管片钢筋自动化、智能化预制施工、质量及管理控制的关键技术，为提高管片钢筋制作质量，创造预制构件精品，树立中交品牌提供有效的技术支持，实现企业的转型升级。

二、关键技术

（1）一种钢筋弯箍自动焊接机的研制

钢筋弯箍自动焊接机，解决了手工焊接钢筋弯箍质量不稳定和效率低的缺陷。该焊接机的研制，使箍筋焊接技术实现了自动化、智能化、标准化，箍筋焊接有了质的飞跃。

（2）钢筋弯箍自动焊接机工装系统研制

钢筋弯箍自动焊接机的工装系统，改进了电焊工用卡具将两端钢筋卡在一起焊接的工艺，解决了箍筋焊接效率低、精度低、影响焊接质量的缺陷。该系统实现了对箍筋的精确定位及快速固定，既保证了箍筋焊接质量，同时提高了箍筋焊接的效率。

（3）钢筋弯箍自动焊接机回转载料系统的研制

钢筋弯箍自动焊接机回转载料系统，解决了人工送料效率低及摆放不稳定的缺陷。该系统的研制，实现了箍筋自动焊接系统的流水化生产，大大提高了箍筋的焊接工效，为取得良好的经济效益奠定基础。

（4）钢筋弯箍自动焊接机的载料托架研制

钢筋弯箍自动焊接机的载料托架，解决了用定制的钢架来安装和固定钢筋弯箍时，装料不方便、固定精度低和装料效率低的缺陷。该载料托架的研制，提高了操作人员装料的效率，并起到了固定箍筋宽度的作用，保障了箍筋成型的尺寸，从而确保了箍筋成型的精度，是箍筋焊接质量和效率的保障。

(5) 钢筋弯箍自动焊接机的焊接机械手研制。

钢筋弯箍自动焊接机的焊接机械手解决了只能焊接单—尺寸箍筋的缺陷，实现了多种型号箍筋的焊接应用；焊接机械手的研制，实现了焊接工艺的机械化、智能化、自动化、多样化，拓展了机器人的应用领域。



三、与同类技术对比

所研制管片钢筋弯箍的自动焊接系统及钢筋弯箍定位生产流水线，实现了管片钢筋的焊接生产从传统的生产方式向现代工业化的生产方式转变，在提高盾构管片封闭式箍筋搭接接头焊接自动化程度及焊接效率（焊接速度由人工焊接的每小时 100 个提升至自动焊接的每小时 360 个），提高封闭式箍筋搭接接头的焊接质量（良品率由人工焊接的 85%提升至自动焊接的 98%、焊缝质量由人工焊接的局部有夹渣、气孔、焊瘤较多、焊缝长度有偏差转变为自动焊接的焊缝饱满、无焊接缺陷、焊缝长度一致），减少劳动力需求和减轻工人作业强度、降低成本（由人工焊接的（人工费：0.12 元/个、焊材费：0.124 元/个）降低至自动焊接的（人工费：0.036 元/个、焊材费：0.094 元/个）、节能减排等方面效果显著，生产出了高品质的地铁盾构管片，体现了现代新型建筑工业化的特点。

创新点：管片钢筋弯箍的自动焊接系统的研制，首次在盾构管片生产中采用机器人自动焊技术，研制管片钢筋弯箍的自动焊接系统及钢筋弯箍定位生产流水线，使箍筋焊接效率和焊接质量得到显著提高。

四、推广应用情况

项目通过本创新技术的研究和实践，实现了盾构管片封闭式箍筋焊接智能化生产，研发所取得的成果，已先后在公司承接的厦门市轨道交通 1 号线、2 号线、福州市轨道交通 2 号线、4 号线、福州滨海快线的盾构管片预制工程中得到成功推广应用，盾构管片钢筋焊接自动化技术有着广阔的应用前景。

五、相关知识产权及荣誉

项目获得授权 1 项发明专利，4 项实用新型专利。同时取得相关省级标准 1 项、省级工

法 1 项，成果已被纳入福建省工程建设地方标准《福建省预制混凝土衬砌管片质量验收规程》（DBJ/T13-244-2016）。项目成果于 2019 年 11 月 5 日通过上海市力学学会技术成果鉴定，鉴定结论为研究成果总体上达到国际先进水平。项目关键技术成果于 2020 年 9 月荣获中国交建 2020 年度科学技术奖一等奖。

完成单位：中交第三航务工程局有限公司、中交三航（厦门）工程有限公司、中交第三航务工程局有限公司厦门分公司

完成人：蔡清程、刘晓燕、许艺杰、郭新杰、李佳峰、段德恩、许卫红、吴健娃、彭江能、薛建伟

沿海双曲面浪花造型站房关键施工技术

一、立项背景

沿海双曲面浪花造型站房关键施工技术以济青高速铁路红岛站项目为载体，进行施工技术的应用。该项目难点如下：建筑造型飘逸，构件种类繁多、异型构件精密加工、大跨度桁架及浪花型幕墙的高效精准建造等汇聚了系列难题。项目特点是钢结构设计复杂，施工难度突出；屋面造型特点鲜明，精度要求高。解决钢结构及金属屋面施工中存在的问题，完美体现设计观念，是本技术研究解决的重要内容。

二、关键技术内容

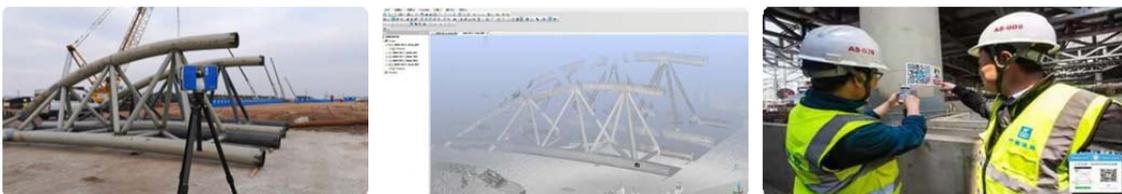
（一）直立锁边金属屋面构造节点及相关施工工艺综合技术

采用风洞试验对屋面抗风性进行检验，创新了直立锁边金属屋面构造节点及相关工艺，达到抗风效果。



（二）浪花形大跨拱双向交叉组合桁架结构吊装施工及精度控制技术

采用钢结构吊装仿真分析，保证吊装精度和施工安全。采用基于 BIM+3D 扫描的测量放线技术，提高了拼装质量及安装精度。基于 BIM 可视化平台，采用 BIM+物联网技术，实现大体量复杂钢结构在不同加工厂的精细化加工。



（三）超大面积浪花形大跨拱双向交叉组合桁架结构卸载技术

基于数值模拟技术，对卸载过程中的整体变形和应力分布高精度模拟分析，优化了卸载顺序。构建了卸载过程中的多方法协同测控技术，实现了卸载过程中变形情况的检测，解决了卸载精度控制问题。

（四）行走式塔吊安装在楼板工况下施工应用技术

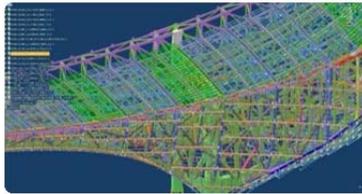
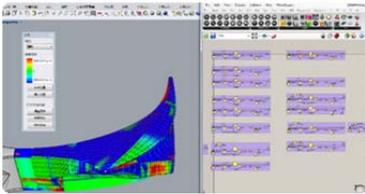
采用多种软件对行走塔吊的工况及楼板受力情况进行分析，对行走机构进行完善，对轨道形式进行比选，对加固方式进行设计，满足了钢结构施工对行走式塔吊的要求。



(五) 沿海地区高铁站房双曲面幕墙及金属屋面施工技术

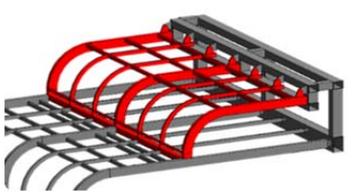
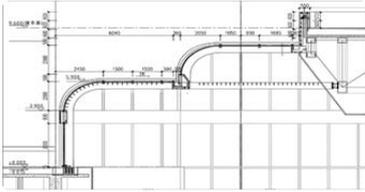
针对非线性双曲幕墙的设计及安装技术难题，从结构连接的角度进行了技术创新与研究，解决了双曲连接受力杆件的结构稳定性问题和铝板连接的强度问题以及铝板快速装配式安装的问题。

通过 BIM 技术、3D 扫描技术结合全站仪对主体钢结构进行校核，对双曲铝板幕墙龙骨及面板进行放线复测，确定施工精度控制及铝板板面调整，保证了建筑效果的实现。



(六) 大型高铁站房外装饰钢龙骨装配式施工技术

采用 BIM 技术对龙骨分块，进行单元化设计、加工、安装的研究，实现大面积的工厂预制加工，装配式安装，提高施工质量、安装精度，大幅缩短工期。



通过施工技术的研究与实施，保证了工程质量，取得了良好的效果。不仅解决了实际问题，而且降低了成本，缩短了工期。本技术科技查新显示：目前国内外未见与该查新课题研究内容相同的文献报道。

针对工程重难点，项目部开展了对高铁站房的大跨度钢结构、双曲面幕墙、金属屋面等关键技术研究，解决了施工难题，有效确保了施工质量、安全、工期，取得良好的经济效益。通过本工程关键技术研究，技术水平达到行业领先，可为国内类似工程提供施工经验和参考，应用前景广阔，极具有推广价值。



本技术研究至今，获得“型建香港”、“龙图杯”、“创新杯”等多项 BIM 奖；获得省部级施工工法 3 项；获得省部级 QC 成果 6 项；申请专利 55 项；发表学术论文 13 篇。

本工程应用了大量新技术，获得省建筑工程优质结构奖，组织过全国观摩活动，建设过程中，山东省电视台、青岛市电视台、凤凰网、搜狐网、齐鲁网、青岛新闻网、半岛网等多家媒体对红岛站进行采访和宣传报道，取得了良好的社会效益。总结的技术成果为类似工程提供了参考，推动了高铁站房工程的经验总结和理论研究，提高了类似工程建设水平。

完成单位：中建八局第一建设有限公司

完成人：于科、程飞、鞠方伦、杨鑫、郭志鹏、庞茜、何默、秦昌庚、王志鹏、王洋

城市综合管廊环境智能控制装置

一、研究背景及目的

随着社会、经济发展，地下空间的价值得到越来越充分的认识，地下综合管廊建设被上升到国家战略高度，写入“十三五”规划，多个城市正在大量建造管廊。综合管廊，是保障城市运行的重要基础设施和“生命线”，也正是由于管廊的重要性，其安全性关系到整个城市的正常、安全、有序运行；但因管廊特殊的地理位置和构造，造成管廊具有封闭、空间狭长、潮湿、通风不良等先天的不足，这些给管廊的建设和运营维护带来很多问题和困难。

密闭空间施工导致窒息死亡案例时有发生，长期在恶劣的粉尘环境导致的尘肺、油漆等化工原料导致的白血病等职业病对工人的健康和家庭影响巨大，焊接烟尘在国际癌症研究机构公布的致癌物清单中是一类致癌物。在施工过程中，特别是机电安装阶段，密闭的狭长空间，导致大量的焊接烟气聚集，如何保证管廊内施工环境，保障施工人员的职业健康安全是重点研究内容。

二、关键技术及创新点

2.1 首次提出地下综合管廊施工环境应检测的6大危险因素，并确定了各危险因素的监测报警阈值。

通过研究提出地下管廊施工环境中存在着粉尘、一氧化碳、可挥发性有机物、缺氧、高温、高湿等六大威胁施工人员身体健康的危险因素。识别危险因素的目的是为了开展施工环境监测，从而有效的控制危险因素的产生，从而实现保护施工人员人身安全的目的，因此，危险因素报警阈值的确定是监测和控制的基础。但是现行的各类标准中并没有明确的规定，课题组通过收集大量数据，结合劳动强度等级分析，对照职业健康标准，确定了六大危险环境因素的量化指标：①粉尘：以总悬浮颗粒物（TSP，粒径小于 $100\mu\text{m}$ 的颗粒）作为监测范围，报警监测值设定为 $4\text{mg}/\text{m}^3$ 。②一氧化碳：对于非高原地区，一氧化碳报警监测上限值定为 $20\text{mg}/\text{m}^3$ 。③缺氧环境量化指标：氧气浓度的检测数值定为19.5%。④挥发性有机物：地下综合管廊内总挥发性有机物（TVOC）的浓度限量设定为 $0.6\text{mg}/\text{m}^3$ 。⑤高湿环境量化指标和⑥高热环境量化指标：温度的报警值定为 37°C ，湿度的报警值定为相对湿度75%。

2.2 首创研发了城市综合管廊环境智能控制装置，填补了该领域空白。



该装置可实现六大参数的实时监测，主动采样、自动分析，测量浓度直接在显示屏上显示。可以设定报警值，环境参数检测达到报警阈值时会自动发出声光报警信号；并可以自动启动风机或降尘器，进行机械强制排风或喷雾降尘等措施，改善环境危险因素，保证施工人员安全，总的来说，该设备具有如下五大特点：

1)多参数监测，全面保护：通过六合一、高度集成的传感部分，实现了一台设备可以同时监测六个危险因素，而且探测器量程足够宽，适应于施工作业的恶劣环境；

2)主动采样、自动分析：装置内设吸气扇，可以实现主动采样，保证了检测的及时性，提高了灵敏度；

3)自动启动，及时保护：基于可编程逻辑控制器的控制部分，可以直接/自动启动风机或降尘设备，实现对施工环境的改善；

4)工业设计，经济适用：本装置设计为便携式，便于移动；预留了通讯接口，可实现数据上传至监控平台，设置了工业专业快插插头，便于现场快速插拔安装，并具有良好的防护性能，接触安全稳定；

5)技术先进，功能满足：第三方检测由中国建筑科学研究院有限公司建筑能源与环境监测中心进行并出具检验报告，本装置具有探测功能、控制功能和通讯功能。装置被北京市科学技术委员会等六个局委联合认定为“北京市 2019 年度新技术新产品”。

三、推广应用情况

本项目科技成果在徐州市新淮海西路综合管廊 PPP 项目安装工程、泛海武汉地下交通环廊综合机电工程等多个项目中得到推广，取得了良好的效果。通过系统的研究和实践检验，总结出了一系列的关键技术，实施后的效果也得到了各方肯定，可在类似的工程借鉴和应用。

四、技术经济指标先进性及取得的知识产权

1)科技成果评价：中建集团主持“城市综合管廊建设和运管全寿命周期环境监控系统的应用技术研究”科技成果评价，达到“国际先进”水平，该设备是其中一个研究子项。

2)国际、国内科技查新，未见与本查新项目特点完全相同的相关文献报道。

3)获得第三方实验室产品检验报告。

4)获得北京市新技术新产品（服务）证书。

5)获得专利 3 项，发表科技论文 2 篇，参编标准 2 部，发表著作 2 部。

完成单位：中建一局集团安装工程有限公司

完 成 人：张 宝、唐葆华、刘宴伟、赵 艳、张晓明、费立敏、张项宁、蒋建云、孙 征、
王有发

钢结构智能建造—北京丰台火车站钢结构制造及安装 BIM 应用

一、立项背景

随着信息化技术的发展，钢结构业务管理系统逐步走向数据互联互通，需要实现生产过程的数据传递，构件成品信息与项目现场的数据互通互联。目前国内大部分钢结构企业还没有使用钢结构管理系统部分钢结构工厂虽然使用或者自主研发了生产管理系统，但系统的功能比较弱。BIM 技术在新型建筑工业化全寿命期的一体化集成应用急需有突破性的创新管理才能满足建筑行业的高效发展。通过本应用技术，实现了设计、采购、生产、建造、交付、运行维护等阶段的信息互联互通和交互。

二、关键技术内容



1、钢结构智能套料、材料管理技术：将深化模型录入智能套料软件，使用超级算法算出最佳排版方式，将板材利用率最大化。以上智能建造技术达到了建筑过程的自动化、数字化、网络化、可视化。融合了优势的资源，极大提升了企业运营效率。



2、智能焊接管理系统云端控制技术：智能焊接云管理系统具备线上焊机控制功能，能远程操控焊机开关机、制定焊接工艺评定等，根据焊评的参数要求，详细规定焊机电流电压可用范围。针对焊机使用者的报警记录制定奖惩措施，能有效规范焊工的焊接作业，大大提高了焊接质量管控。



3、物联网的项目物资全过程监管技术：利用信息化手段建立从工厂到现场的“仓到仓”全链条一体化物资、物流、物管体系。通过手持终端设备和物联网技术，实现集装卸、运输、仓储等整个物流供应链信息的一体化管控，实时掌握车辆位置，并形成构件运输轨迹信息，实现项目物资的高效管控。



4、基于 BIM 的现场施工进度管理技术：通过 BIM 模型调整计

划进度时间线控制工程模型展示的内容。利用无人机自动起飞、巡航、回归充电，将无人机自动巡航扫描的数据进行自动实景建模并进行简单处理，最后将工程模型与实景模型进行自动数据对比分析，得到进度偏差百分比的数据。在最短的时间内有效的完成工程进度管理的自动化数据采集和分析，为工程进度管理解决人力、机械、资源的投入和调配提供了有利的数据保障。

5、基于 BIM 的复杂环境下大型双层车场站房重型钢构件吊装技术：重型构件吊装前使用 Midas Gen 软件进行建模放样，并依据现场实际情况设置参数，计算出构件吊装状态下的应力应变，对吊装方案的编制有指导作用，利用 BIM 模型进行施工模拟，可视化交底，节省大量机械、人工成本并且加快工程进度的有效实施。

三、与同类技术对比

北京铁路枢纽丰台站改建工程采用 ERP 系统协同各模块系统的工作方式，深入管控施工各个环节，从设计、排版、下料、组对、焊接、探伤、三维扫描、除锈涂装、构件运输、进场、吊装、焊接、探伤、补漆等全施工流程进行有针对性的深入管理，保证了施工进度、施工质量及施工安全，这种全生命周期智慧建造模式在行业内达到领先地位。

四、推广应用情况

北京铁路枢纽丰台站改建工程 BIM 应用在大型站房钢结构施工中发挥带头优势，现场钢结构施工中应用的信息化管理技术，加快钢结构施工向信息化数字化的转型。采用信息化直观的数据进行分析处理来管理钢结构施工，可以实时掌握钢结构的施工状态信息，及时的对钢结构施工过程以及资源配置进行管理和调整，保证钢结构施工的顺利进行，大大降低了人为因素的影响，管理效率更高，采取的决策更准确。实现了应用系统集成化，不同系统之间实现共享信息和信息交换，实现数据应用最大化，同时利用新技术提升管理水平和管理深度。通过本技术研究形成一套完整 BIM 应用施工技术。对同类工程的施工具有指导、参考作用。



五、相关知识产权及荣誉

北京铁路枢纽丰台站改建工程 BIM 技术应用先后获得：2019 年冶金建设行业 BIM 应用技能大赛二等奖、2020 年中冶集团 BIM 技术应用大赛二等奖、2020 河北省燕赵杯 BIM 大赛一等奖、2020 Tekla BIM 模型竞赛获奖证书、2020 年荣获全国智能建筑及居住区数字化标准化技术委员会颁发的“BIM 应用成熟度评价等级证书-3 星级”的最高评价。公司自有软件著作权两项：钢结构构件运输管理系统、中国二十二冶智料管理系统。利用 BIM 技术研发专利 21 项，其中已受理发明专利 8 项，授权实用新型专利 13 项。

完成单位：中国二十二冶集团有限公司、中铁建工集团有限公司

完成人：孙海、孙岩、王磊、许慧、董无穷、于晓利、常乐、严晗、冯坤坤、雷帅

强透气透水地层盾构带压开仓方法

一、研究背景和目的

1. 研究背景

深圳地铁 10 号线福田口岸站~福民站区间沿线 920m 长度范围，涉及上跨运营线路、下穿运营车站、2 座居民小区住宅楼、2 处需进行 11 次桩基托换的运营高速公路桥；穿越地质条件复杂多变，尤其是在卵石含量高粒径大、软硬相间混合、硬岩等地层中掘进，易造成刀盘、刀具磨损，需采取停机开仓检查及更换刀具。

2. 研究目的

为解决在强透气透水地层和敏感地表环境下，盾构带压开仓保压的安全、稳定、持久且经济。

二、关键技术内容

1. 关键技术及创新点

针对地质条件复杂多变，地面加固不具备条件的带压开仓，创新性提出采取复合黏土混合浆液建立泥膜新方法，复合黏土混合浆液建立泥膜是选用膨润土、高钙材料（如消石灰）、复合粘土稳定剂（如甲基纤维素）、水玻璃材料，按特定配合比拌制成的混合浆液。通过材料制作设备、运输设备、盾构机同步注浆系统、二次注浆设备、按照一定的工艺流程，将拌制物注入到盾构机土仓，通过注入填充及挤压、置换渣土、转动刀盘搅拌及挤压、逐级后退刀盘在盾体外壁和盾构开挖掌子面前方建立有一定厚度、强度、防水性、持久性的保压泥膜。

2. 操作要点

(1) 盾构停机带压开仓前 1~3 环逐步释放铰接，将铰接长度伸出 100~150mm，为后续刀盘后退形成泥膜预留空间，并采用聚氨酯和二次注浆进行封环。

(2) 通过同步注浆系统注入膨润土浆液保管；利用地面砂浆搅拌站制作膨润土浆液（含有钙基膨润土、钠基膨润土、消石灰、纤维素），通过隧道电瓶车浆车运至隧道内。

(3) 在同步注浆箱中添加设计量 1/3 体积的水玻璃，进行充分搅拌均匀形成呈稍粘稠膏状的膨润土混合浆液。

(4) 通过同步注浆系统，往土仓内边注入膨润土混合浆液，边对土仓内渣土进行置换，并通过渣样检测判定仓内渣土置换是否完成。

(5) 根据注入土仓膨润土混合浆液总量，核算需补充注入剩余 2/3 体积的水玻璃用量，

采取二次注浆机间歇性补充注入水玻璃形成复合黏土混合浆液；启动刀盘，刀盘转向始终保持同一方向转，持续转动刀盘 2h，过程观察土仓压力变化，扭矩波动情况；如若土仓压力和扭矩相对稳定，维持时间不少于 1h，即可启动螺旋输送机排出少量复合黏土混合浆液，取样检测性状，如符合要求则进行下一道工序。

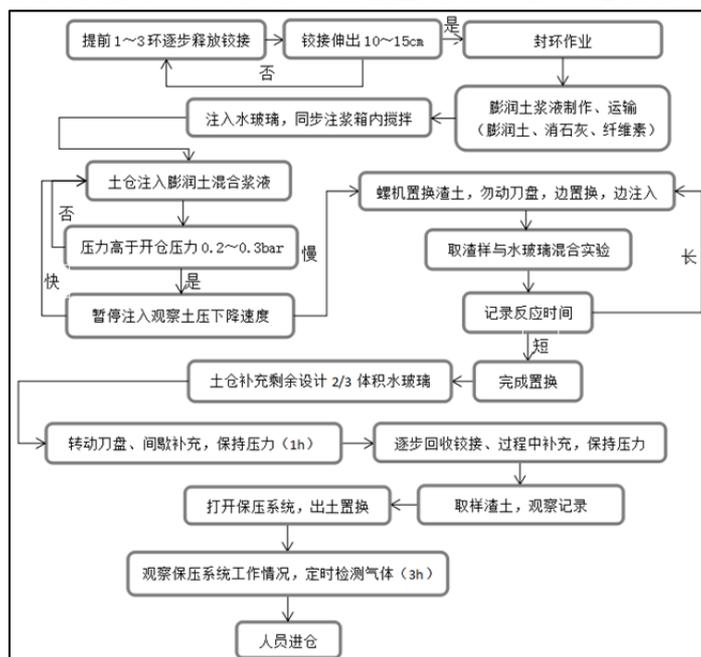
(6) 开启保压系统，逐级退刀盘（每次控制在 3~4cm），边退刀盘边注入膨润土混合浆液和水玻璃。每级退刀盘完成后启动刀盘，刀盘转速 0.5rpm，刀盘同方向转动 2 小时，形成一级保压泥膜，停机 1 小时观察土压压力变化速率，相对稳定（盾构开仓设定压力上下波动幅度控制在 0.4bar/h）后即可进入下级退刀盘。依次循环形成约 10cm 厚的保压泥膜。

(7) 通过保压系统建立土仓气压逐步置换土仓内的复合黏土混合浆液。

(8) 保压系统打开，同时打开 3、9 点球阀，置换土仓内空气，降低土仓内温度，对球阀出气孔气体进行气体检测。

(9) 观察土仓压力变化情况，时间不少于 1h，同时保压系统打开，刀盘不转，每 10min 测一次空压机加卸载情况；若加载时间小于卸载时间，证明泥膜质量符合要求，土仓保气性良好；加载时间小于卸载时间差值越大，表明掌子面稳定性、泥膜质量越好。

(10) 按照正常流程进行带压开仓作业操作，开仓人员主要观察掌子面泥膜稳定性情况；若泥膜效果良好，则可以进仓开始清理刀箱，检查刀具磨损情况以及换刀作业。



三、技术经济指标先进性

对比衡盾泥建立泥膜，每次带压开仓可节约工期 1 天，费用 16.96 万，年节约成本约 237.4 万元，创造了较高的经济效益。

四、推广应用情况

此方法在广佛城际、厦门地铁等类似工况下的带压开仓作业，合肥地铁 5 号线、昆明地铁 4 号线下穿既有地铁、嘉兴配水下穿既有民房、深圳地铁 10 号线下穿既有居民小区以及淮安空间开发、杭海城际铁路等项目控制建筑物沉降、盾构接收等方面进行了推广应用。

五、相关知识产权及荣誉

目前已授权 3 项发明专利，并于 2019 年获中铁四局集团有限公司“万众创新”一等奖。

完成单位：中铁四局集团有限公司

完成人：金平、邓能伟、夏童飞、赵志祥、颜磊樑、罗浩、刘东、楚涛、范嫣楠

北京新机场南航基地第五标段快速建造关键 施工技术研究及应用

一、研究背景

北京新机场南航基地第五标段生产运行保障设施运行及保障用房项目 I 期综合业务用房（3 号楼）和机组过夜用房（4 号楼）工程，位于北京市大兴区榆垓镇、礼贤镇和河北省廊坊市广阳区之间，北京新机场工程红线范围内。工程作为国家重点建设项目，政治意义大，452 天完成全部 16 万平方米工程建设，须提前 110 天，工期紧张。

二、关键技术内容

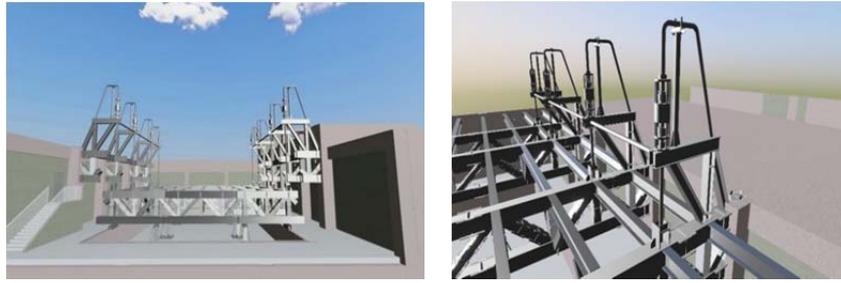
2.1 电梯井多功能操作平台施工技术

电梯井多功能操作平台施工技术解决了在操作平台上用升降装置顶升电梯井筒模，筒模采用可内缩液压铝模，利用液压杆实现筒模的支设与回收，保证筒模的重复利用；利用电梯井四周结构墙体上的预留卡槽，实现升降装置的上下交替爬升固定；上平台与筒模可拆卸连接，利用升降装置自身液压升降的功能，使平台上下移动实现物料周转垂直运输；筒模顶部设有防护平台，实现了上层洞口的有效防护，研发施工技术提高了操作的灵活性、机械化和多用途，使用效率显著提高。



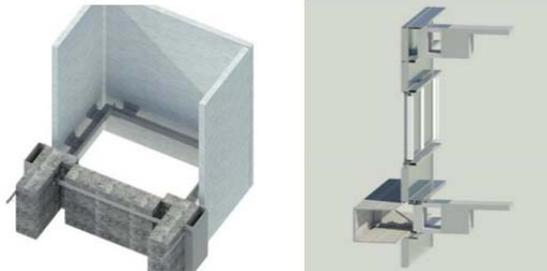
2.2 地下泳池承重钢桁架施工技术

地下泳池承重钢桁架经深化设计将桁架按单元分解，由加工场分批加工制作为构件单元，运输至现场后整体拼装。采用同步控制系统进行提升过程全程控制，采用行程及位移传感监测和计算机控制，通过数据反馈和控制指令传递，实现同步动作、负载均衡、姿态矫正、操作闭锁、过程显示和故障报警等多种功能。解决了地下室承重屋盖钢结构施工中的诸多不利因素，场外加工与场内拼装相结合，采用液压提升，克服地下室施工作业面小、材料倒运不便等困难条件，缩短了施工工期。



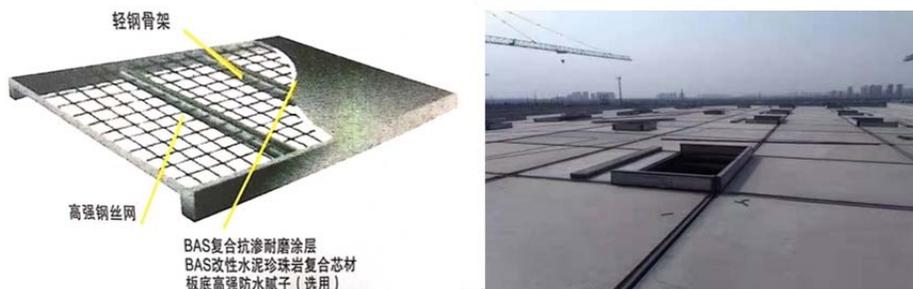
2.3 组装式低能耗幕墙系统施工技术

本技术将玻璃、石材两种幕墙特性相结合与主体结构实现分立面分区分层快速穿插多点施工，减少了因个别材料滞后导致无法安装而影响进度的困境局面；单元式玻璃幕墙与石材幕墙均通过转接组件与主体结构连接，实现快速吊装安装；此外，采用的双银 LOW-E 暖边双中空超白玻璃热工性能好，可以有效降低能耗。



2.4 装配式轻集料复合板施工技术

该轻集料复合板的强度、耐久性、保温、隔热隔声、耐火性能优异，边框为 C 型钢，内衬钢筋网片，芯材为轻集料混凝土，施工安装快速，并为后续机电设备安装提供了预制机电吊杆螺栓孔，缩短了后续机电安装工序的施工工期。



二、与同类技术对比

快速建造关键技术应用对技术节约分部分项施工内容工期 102 天，对后续相关工序产生影响、提前插入施工节约工期 63 天，确保项目按期投入使用。

三、推广应用情况

工程通过采用新技术获得了多方盈利的效果，新技术的使用可加快施工进度，降低施工成本，提高了施工质量，保证了施工安全，本工程建筑总合同额 10.35 亿元，综合经济效益 2951.31 万元，综合进步效益率达到 2.8%。

四、相关知识产权及荣誉

项目在施工过程中，采用先进的管理手段，创造了丰硕的成果，获得国家专利 12 项，其中发明专利 2 项，实用新型专利 10 项。获得 2020 年北京市工法 2 项，河北省建筑业新技术应用示范工程，河北省建设科技示范工程（绿色施工类），论文 5 篇，第八届“龙图杯全国 BIM（建筑信息模型）大赛荣获三等奖，2020 年中施企协科学技术进步奖二等奖，2020 年度中国建设工程鲁班奖。

完成单位：中国建筑第二工程局有限公司

完成人：黄旭腾、常嘉贤、百世健、王万贺、谢建刚

地质灾害地面三维激光扫描监测技术应用与示范

地质灾害监测是一种减灾、防灾的重要手段，其地表形变监测最常用全站仪、GPS、水准等传统方法，缺点是监测点数少，需要人工安装，不能发现无监测点区域的变形情况，单一的单点监测形式对基于点形变部位的变化而判断局部或整体存在以点概全的片面性、难以准确界定变形与非变形区、高危陡峭复杂区布点无法有效实施以及一些滑坡、崩塌和泥石流等突发性地质灾害的失稳破坏无法即时监测等问题，给地质灾害的监测预警工作带来制约瓶颈和痛点。三维激光扫描技术是一种能快速、非接触、高精度和高密度获得逼近表面真实模型的全新技术，已然成为三维空间信息数据获取的主要技术手段之一。它的出现改变了传统地质灾害监测的理念和技术方法，突破传统单点监测方法的弊端，适宜于高山峡谷、高陡滑坡、高危泥石流等人员难以企及地区的地质灾害监测、应急抢险救灾等工作。

研究成果的关键技术内容主要包括：（1）根据三维激光扫描监测特点，按不同地质灾害类型特征特征划分为孤立型、凸型、凹凸相间型，按不同扫描方式、不同距离监测的采样和精简点间距，选择扫描设备站点，确定点云获取作业方式，提出了基准标靶和监测标靶，进而给出了7种不同地质灾害类型的监测标靶布设方法。（2）建立了基于特征分层的多维点云多尺度整合方法，实现多维点云的时空基准自动统一分类和提取方法，建立了多维点云的三维动态场景中各类要素的特征描述、分类与建模方法。（3）通过监测扫描标靶组的研发，解决了标靶安置不稳固、激光垂直入射等问题，提高了点云获取精度。按点、线、面的变形分析数据，对地质灾害的整体、重要分区、重点部位等位移变形量、变形速率、变形方向进行综合、定量评价。通过数据建模和多期数据叠加，模型特征色度变化图侧重反映灾害体整体形变，分析其形变速率和方向趋势，可从不同矢量方向或点到面最小距离的矢量进行分析。

（4）针对不同规格激光扫描设备特点、不同的数据存储格式，基于长距离、大空间点云数据、多方案的融合分析与协同识别技术难题，研发了激光扫描三维空间数据管理平台，跨越了不同设备、多源数据的融合技术瓶颈。构建了统一时空基准下多源数据的复杂环境三维空间数据管理平台，为地质灾害变形监测与预警预报提供依据和基础。

与国内外同类技术水平相比具有技术先进、成果资料价值大幅提升、作业效率提高明显。创建了大型滑坡与高边坡蠕变演化全信息场变形监测系列集成技术，研发了技术三维空间数据处理软件和管理平台，规范了该技术在滑坡监测中的系列标准，突破了点云数据按点、线、面等不同维度空间模型定量分析技术瓶颈，解决了高陡山区、临界威胁大的变形体无法实施

的问题。

该研究成果在青海黄河拉西瓦水电站坝前果卜倾倒体、西藏老虎嘴水电站右岸开挖高边坡等工程工程项目中得到了应用，获取了监测体表面全信息场点云数据，通过提取信息及模型叠加与分析，得到了定量变化信息，其监测成果为边坡的安全评价提供了直接依据。



图1 地面三维激光扫描监测

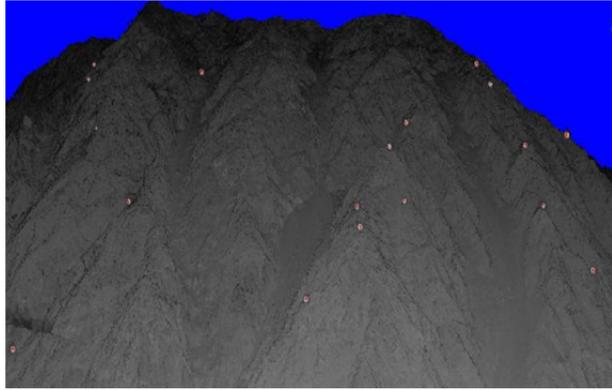


图2 灾害体岸表人工特定标靶

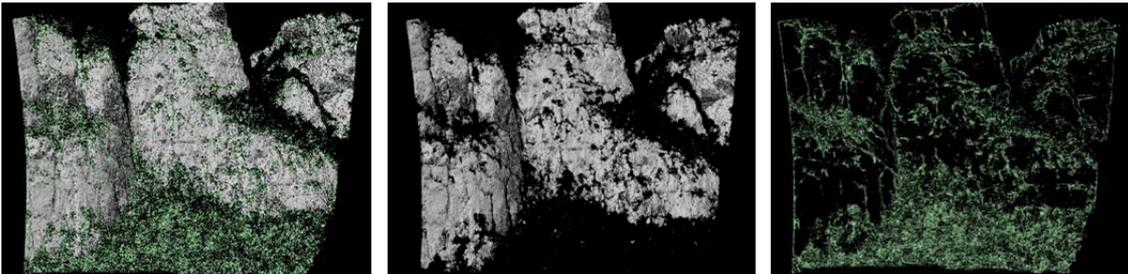


图3 多维度尺度点云数据自动分类

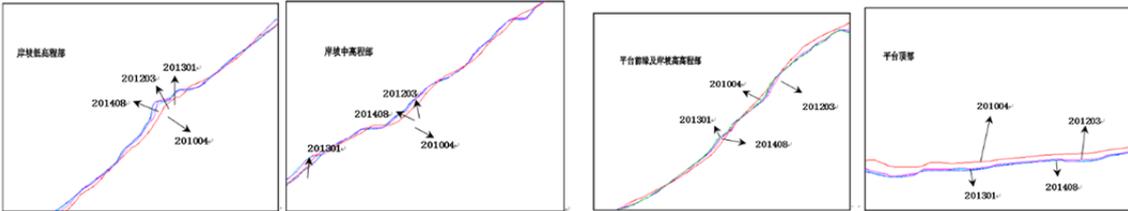


图4 研究边坡各期次细部变化特征剖面图

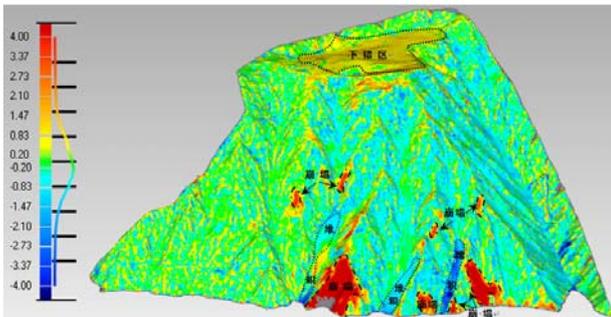


图5 研究边坡相邻监测期形变色度图

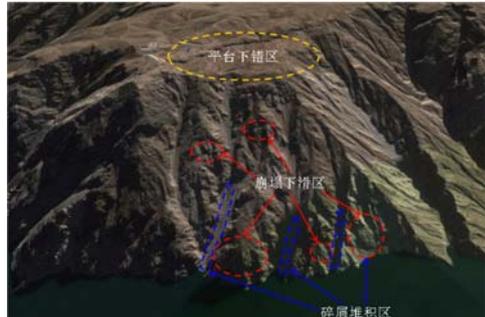


图6 研究边坡相邻监测期变形分区图

依托项目成果，出版科技著作 2 部，主编和参编行业标准 5 部，已授权的各类知识产权 41 项（发明专利 13 项、实用新型专利 11 项、外观专利 2 项、软件著作权 13 项、省部级工

法和专有技术 2 件), 发表科技论文 16 篇, 获得厅局级各类科技进步奖 3 项。研究成果成熟度高、转化程度高。

完成单位: 中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司、成都理工大学

完成人: 赵志祥、吕宝雄、董秀军、李祖锋、王小兵、赵悦、刘潇敏、李为乐、唐兴华、赵延岭

隧道支护作业台车技术研究及应用

一、立项背景

研究背景：长期以来，基于节省成本、扩大就业等方面的考虑，我国主要采用人工的方式进行隧道施工特别是拱架安装作业。但经长期调查发现：一是人工立架安全隐患巨大；二是因工人执行力与规范性存在差异导致难以满足隧道施工质量的要求；三是现阶段隧道作业工人老龄化严重；四是现市场上三臂拱架安装台车价格偏高，实用性、推广性不足。

研究目的：因此，研发出一款机械化、智能化、高效、环保、低成本以及安全的隧道多功能作业台车，力求达到：一是保障施工现场安全；二是提高现场作业效率；三是进一步提高施工质量；四是降低后期维护成本；五是能够实现连续施工作业。

研究意义：隧道多功能作业台车的研制能大幅减少人工，现场人员只需简单操作和后续辅助，既省时又安全，可真正控制支护质量的同时，保障施工现场的有序、规范，这不仅保障工人的施工安全，同时减少安全、质量事故的发生，避免不必要的安全、质量损失，达到解决隧道施工中支护人员劳动强度大、施工效率低下、安全保障性差、施工质量难以保证等问题；同时解决现有市场三臂拱架安装台车投入成本太高的问题。

二、关键技术内容

隧道多功能作业台车关键技术：

1、隧道多功能作业台车包括车体、伸缩平台、机械臂和机械手。其中机械臂布置在车体平台上，机械臂的末端设有机械手，其能够采用机械臂进行工字钢夹持及完成相应托举作业，从而能够降低参与者劳动强度，使得钢拱架的安装快捷安全。

2、台车采用工程车为底盘系统，能够实现复杂路面行走和转向，并利用液压支腿支撑确保工作时不会产生倾覆。

3、顶部设置一处机械臂，液压驱动，实现上下、左右、前后调整抓举的工字钢，实现对拱架空中姿态的小幅调整。

4、采用电动液压自动调平机构，同时还可以在平台上进行手动操作，确保平台始终保持水平位置。

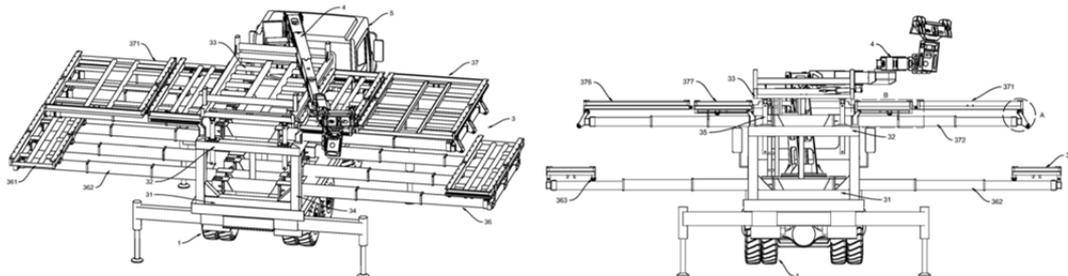
5、工作平台为可伸缩的大平台固定在基座上，正常工作时长度大于 5m 以覆盖整个工作断面，运输状态下长度小于 4m 以保证车辆通行方便，同时可以利用工作平台上进行隧道缺陷处理、系统锚杆施作、挂网、安装通风管等其他操作。

6、作业台车可自由收缩，满足在衬砌台车和挂布台车下通行。

隧道多功能作业台车使用流程：

台车上人工辅助对型钢拱架装运、绑扎及运输→台车前后液压支腿工作并支撑；底层及二层可伸缩作业平台展开→台车机械臂对隧道两侧拱腰分段型钢拱架抓取并安置到预定位置→台车机械臂对隧道拱顶段型钢拱架抓取、人工辅助对拱架安装→人工对型钢间的连接筋及钢筋网进行焊接作业→台车收回作业平台及前后液压支腿，驶离掌子面。

隧道多功能作业台车结构图：



隧道多功能作业台车实物图：



三、与同类技术对比

在隧道施工中使用隧道多功能立架台车，在一定程度上能减少现场施工操作人员在危险地段作业，进而防止隧道局部小范围坍塌情况的出现对人的伤害，同时钢架安装的垂直度相比人工调试较好，功效比传统人工高出 50%。

四、推广应用情况

隧道多功能作业台车具有降低工人劳动强度、提高劳动生产率、提高生产安全性、节约循环时间等特点，可取代人工密集型的钢拱架安装，同时对今后大力推广机械化作业方式也是一种较大的改进。且隧道多功能作业台车还可以进行锚杆安装、通风管安装、挂网片、隧道缺陷处理等操作，也可以作为施工平台进行其他作业。

控制性工程兴隆隧道长 8843 米，计划工期为 3 年，于 2020 年 3 月采用自研的隧道多功能作业台车负责隧道出口 2 个工作面，至 2021 年 1 月顺利贯通，使用 11 个月共节约 10 个立架工人的成本，约计 110 万；同时兴隆隧道相比原计划工期提前 2 个月顺利贯通。

五、相关知识产权及荣誉

目前《一种隧道支护作业台车》已获得国家知识产权局授权的发明专利，同时隧道多功能作业台车研究获得青海省质量创新项目成果一等奖，且《隧道多功能作业台车施工工法》获得 2020 年度中国电建集团工法与青海省省级工法，依托的《特长隧道机械化施工组织研究与应用》科技成果获得工信部科学技术成果登记证书，其关键技术达到国内领先水平。

完成单位：中国水利水电第四工程局有限公司、中水电四局南方（珠海）工程有限公司

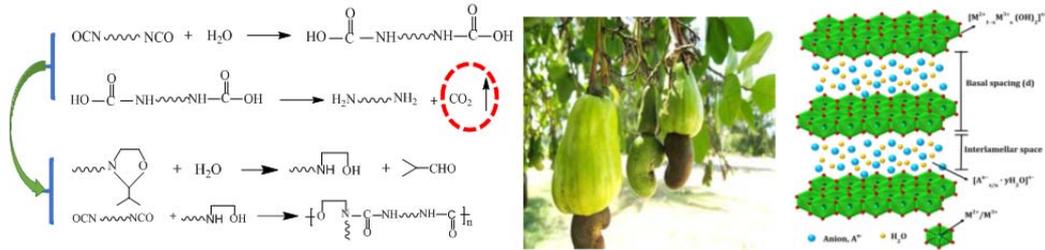
完成人：韩永阳、徐 斌、张永生、陶文江、刘 坤、张本敬、张高飞、王 飞、凤小东、陈兴齐

潜伏固化型盾尾密封油脂产品开发技术

盾构由于其具有自动化程度高、安全高效、对环境危害小等优势，成为了隧道及地下工程施工的主要方法。盾尾密封系统是保障盾尾安全的关键，一旦密封失效，盾尾将发生喷涌，造成极大的质量和安全威胁。而一种高性能盾尾密封油脂应具备出色的抗水压密封性能、宽温度范围内优异的泵送性、稳定的产品质量、较强的粘附能力以及环境友好等特点，以有效地保障盾构掘进施工的安全和高效。但由于我国盾构朝着大直径、高水压、长距离发展，施工条件的复杂性导致盾尾密封更为棘手，因此对盾尾密封油脂的多功能性要求更高。

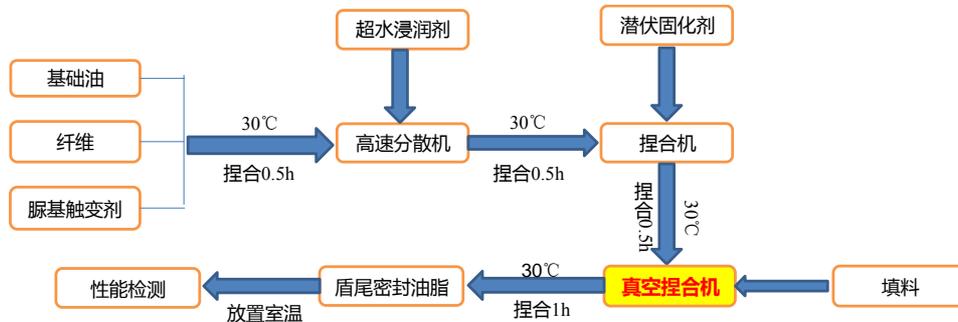
本项目首次利用潜伏固化剂制备的盾尾密封油脂是目前国内外唯一具有化学反应型的盾尾密封油脂，也是水敏性智能化盾尾密封油脂材料的开端。关键技术内容如下：

(1) 合成了超水浸润剂、脲基触变剂和潜伏固化剂三种助剂材料，成功制备了具有温域宽、抗水压密封性强、泵送性好、粘结强度高特点的环保型盾尾密封油脂。



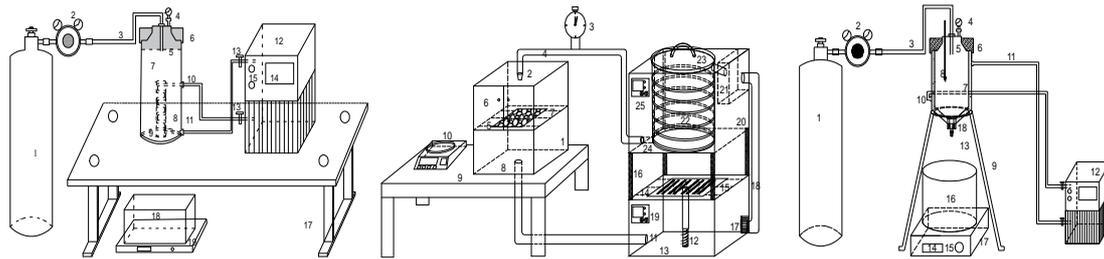
多巴胺型浸润剂，提高明水界面密封。创造性地引入脲基触变剂，使得盾尾密封油脂具有较强粘结力，赋予了盾尾密封油脂明水界面高抗水压性能和力学性能。棕榈油是植物基可再生油料，能实现全产业链环境友好。选用比表面积较大片状插层无机填料，进一步减小温度对产品粘度影响，赋予盾尾密封油脂良好的泵送性能。采用位阻噁唑烷与钝化异氰酸酯制备潜伏剂，能与外界水汽可以刺激引发油脂化学交联固化反应，形成良好的防水密封层。

(2) 基于定量加料捏合机及原位反应工艺技术，形成了绿色环保生产线和智能化生产设备，实现了产品工业化生产，显著降低产品气体含量，保证了产品性能稳定。





(3) 建立了盾尾密封油脂技术标准及质量检测方法，确保了施工安全与质量。

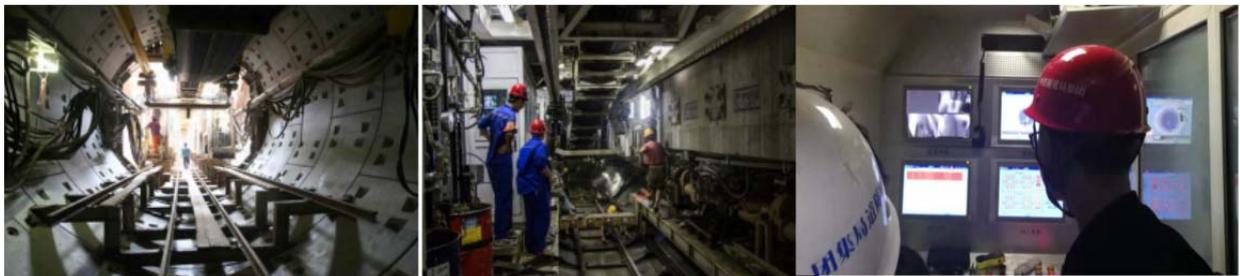


该潜伏固化型盾尾密封油脂与同类产品相比具有以下优势：

① 采用植物油成分为主导，实现全产业链环境友好，无毒、无害、无污染，使用方便，易于存储和运输。

② 胺基触变剂赋予了产品较好的粘附性和宽温域，不溶于水，防水性能优良。多巴胺型浸润剂，与明水界面形成超水浸润，进一步提高明水界面密封性能。4.5MPa 压力作用下不漏水。施工完成后，潜伏型固化剂可以固化为弹性体防水层、避免蠕变和冷流，形成一层与隧道同寿命的迎水面防水层，降低运行维护频率。

近两年，该潜伏固化型盾尾密封油脂已成功应用于北京地铁 16 号线 18 标、17 号线 18 标等工程中，新增销售额为 459.8 万元，新增利润 153.7 万，新增税收 7.6 万。



该成果通过北京市住房和城乡建设委员会组织鉴定，结论为“成果整体达到国际领先水平”。此外，申报专利 8 项，其中 5 项已授权。发表核心期刊论文 2 篇，并获得北京市六部委

新产品认证和北京公路学会科学技术二等奖。

目前，为缓解城市交通和拉动内需，我国各大城市正处于大规模地铁建设高潮，国内对盾尾密封油脂的市场需求量巨大。该潜伏固化型盾尾密封油脂能为今后全国盾尾密封上的应用提供了强有力的新材料支持。

完成单位：北京市政建设集团有限责任公司、北京高新市政工程科技有限责任公司、北京化工大学

完成人：孔恒，郭飞，姜瑜，张丽丽，姜志国，姚明，林雪冰，鲁贇，孙博通，王杰

仿汉代大型艺术宫殿装饰建造技术研究与应用

中华民族拥有五千多年的悠久历史文化。随着社会经济的不断发展，人们对美好生活的需要日益增长，对传统文化的需求、弘扬与保护意识不断增强。因此，与历史文化相关的景区景观新建、提升与改造工程逐渐增多，绚烂的传统文化也吸引着更多的游客前来探寻与体验，不断增强文化自信。汉代文化是中国文化的主体，汉代建筑的中轴对称、高台建筑、名堂辟雍、阙等显著特征，很好地展现了汉代文化的特点和风格。



汉文化博览园全景图

汉文化博览园，为大型仿汉代文化建筑群，由汉源博物馆、汉乐府和城市展览馆三个单体建筑组成，是为弘扬和传播传统文化而建立的省级重点工程。借鉴汉风基台、墙身、屋顶等元素关系，提炼“殿”、“廊”、“台”、“基”等中国传统建筑中各要素的构成及比例关系，将其在现代设计手法、地域文化等新背景下归纳演绎为新经典，彰显汉代建筑的中轴对称、高台建筑、名堂辟雍、阙等四大显著特征。汉文化博览园通过解读汉代建筑的基本特征，以现代大型仿汉代文化建筑来承载其特定的文化传承和现代功能。

针对汉文化博览园建筑结构、屋面、室外装饰、室内装修、园林景观等关键建造技术进行深入研究，用现代材料和工艺展现古建筑的特点，达到仿古如古、仿真如真的效果。形成创新成果如下：

1、高大空间混凝土结构高效施工技术

针对大截面竖向构件多、结构层高大、支模跨度大等难题，研发了安拆方便的方柱模板紧固件装置和工具式卡箍+槽钢组合紧固件组合的大截面柱模板加固技术，发明了网架+钢管组合的高大空间模板支撑体系，减小了搭设高度，降低了胀模风险，提高了施工质量。

2、双层空间网壳穹顶结构施工技术

针对空间网壳穹顶跨度大、定位精度要求高等难题，研发了阶梯式拼装分步顶升技术，研制了回顶架预紧装置，进行了顶升方案计算优化和有限元加卸载受力有限元分析，实现了受限空间内直径 58m 双层网壳焊接球穹顶结构的高精度回顶和施工。

3、室外仿古装饰绿色施工技术

研发了仿汉代建筑屋面叠级装饰铝板施工技术，解决了仿古建筑屋面漏水的问题；开发了 4D 蚀刻仿木纹装饰铝单板幕墙信息化生产与安装技术，解决了建筑外立面装饰铝板仿木材效果呈现难度大、施工速度慢的难题；研究形成了开放式自然面石材背栓干挂施工技术，降低了劳动强度，保证了施工质量。

4、室内仿古装修智慧建造技术

针对室内仿古墙面壁龛高大、结构复杂，装饰柱材质多变、吊顶层级多，安装精度要求高，研发了超大空间异形仿古壁龛装配式建造技术，开发了装饰造型铝板、组装封闭式铝方通、弧形檩条铝板等装饰吊顶施工技术，创新了吊顶骨架整体单元块焊接和整体吊装技术，建立了基于 BIM 的建筑室内装修数字建造技术，用参数化“虚拟样板”代替实体样板，减少了材料浪费，提高了施工效率。

5、园林景观关键建造技术

提出了“一池三山一园”的高端景观园林规划设计理念，研发了名贵古树移前复壮、移植运输中及移植后复壮养护等工艺，形成了百年古树全冠移植成套技术，开发了枯木艺术加工增值技术，解决了古树名木迁移折损及死株废弃的问题，减少了古树折损，将废弃枯木变废为宝，实现了再利用。

本项目研究成果达到国际先进水平。获授权发明专利 6 项、受理 7 项，授权实用新型专利 26 项，发表论文 44 篇，参编地方标准 1 部，获省部级工法 7 项，国家级 BIM 应用大奖 2 项、省部级 3 项，国家级 QC 成果 3 项、省部级 3 项；获河南省工程建设科技创新成果特等奖、中建七局科技进步一等奖。

通过大型仿汉代文化建筑关键建造技术的研究和应用，再现了汉代文化艺术气势与古拙的美学风格，展现汉代文化建筑具有的独特魅力。研究成果推广应用到汉文化博览园、汉中汉苑酒店、南阳三馆等项目，产生经济效益 1.7 亿元，社会和环境效益显著。其中，汉文化博览园项目荣获大国装饰 70 周年百项经典工程，成为集世界汉文化大会会址、世界汉语大会会址、世界汉学大会会址于一体的永久会址；举办陕西省首届汉文化旅游节，承办了北京卫视、上海卫视、凤凰卫视、陕西卫视四大卫视联袂举行的 2018 年“汉风秋月”中秋晚会、2018 年世界环球小姐总决赛、全球创新创业教育论坛等活动。提高了大型仿古建筑建造技术水平，推动了行业技术进步，为国家制定相关技术规范、规程提供技术和实践支撑。

完成单位：中建七局建筑装饰工程有限公司

完成人：张立伟、冯大阔、菅俊超、李宇、卢春亭、贺颖、翟国政、王叙瓴、刘雪亮、王彩峰

岩质地层拼装式隧道管片衬砌仰拱支撑组件

一、立项背景

岩石隧道掘进机（TBM）已广泛应用于水工、铁路和城市轨道交通隧道。受制于城市轨道交通特殊的周边环境和复杂的地质条件，一般选用护盾式 TBM 施工，例如重庆轨道交通选用单护盾 TBM、青岛轨道交通选用双护盾 TBM。衬砌结构一般选用地质适应性强、施工快速的预制钢筋混凝土管片衬砌结构。

由于护盾式 TBM 施工过程中钢筋混凝土预制管片需在盾体内拼装完成后再推出盾尾，因此 TBM 开挖直径略大于预制管片的外径；护盾式 TBM 无盾尾密封装置，不能通过同步注浆来充填管片外径与开挖直径间的间隙。因此，当管片脱出盾尾时，仰拱管片会自然下沉占据管片外径与开挖直径间的间隙；同时管片脱出盾尾后，需通过吹填豆砾石进行壁后回填，豆砾石吹填一般很难密实，管片在自重及施工荷载作用下的下沉较为严重。在上述综合原因的作用下，护盾式 TBM 隧道衬砌管片错台及隧道椭圆度超标较为普遍，渗漏水较为严重，直接影响到隧道的成型质量和后期的安全运营。

二、关键技术内容

根据管片可能的拼装点位，包络性的在管片预制过程中，在仰拱管片背面预埋带螺纹套筒；管片在拼装前，将带螺杆的支撑组件（位于隧道中垂线两侧各设置两个，共计 4 个；支撑组件的高度与开挖外径和管片外径差值的 1/2 匹配）与螺纹套筒连接；同时盾尾相应位置开槽，使拼装完成的管片在盾尾开槽位置直接坐落在开挖的完成面上，解决衬砌管片脱出盾尾自然下沉的问题，确保管片的拼装质量和防水效果。

本创新产品成品照片如下：



图 1 护盾式 TBM 仰拱支撑组件成品

三、与同类技术对比

本项目创新点如下：

- 1) 结合现场施工工况条件，进行适合管片预制过程的预埋套筒创新设计；

- 2) 仰拱支撑组件与螺纹套筒的联接的创新设计;
- 3) 结合现场施工工况条件, 对仰拱支撑部件外形进行创新设计;
- 4) 高强度材料的选择与试验。

经四川省科学技术信息研究所的科技查新, 针对护盾式 TBM 的技术特点和全环预制管片的衬砌结构拼装形式, 采用本仰拱支撑组件来解决护盾式 TBM 预制管片安装过程中的诸多问题在国内尚属首次, 具有开创性的作用。

四、推广应用情况

本创新产品已成功应用于青岛地铁 4 号线、青岛地铁 2 号线一期工程调整段, 即将应用于青岛地铁 6 号线的双护盾 TBM 隧道工程, 管片拼装质量大幅提升, 错台合格率从未使用前的 60%提升到 98%以上, 大大减小了后期注浆堵漏的费用, 每公里减少工程投资约 100 万元, 社会和经济效益显著。本产品已被写入了青岛地铁集团有限公司《关于推荐地铁四新技术应用的通知》, 要求在后续线路的双护盾 TBM 衬砌管片中推广使用。

五、相关知识产权及荣誉

本创新产品获得了实用新型专利授权两项:《一种适用于护盾式 TBM 隧道预制管片衬砌结构的仰拱支撑组件》、《适用于掘进机法隧道预制管片衬砌结构的仰拱支撑组件》, 发明专利《一种适用于护盾式 TBM 隧道预制管片衬砌结构的仰拱支撑组件》已被国家专利局受理, 并进入实审阶段。

本创新产品在获 2019 年第二届中国城市轨道交通科技创新创业大赛西部赛区基础研究类一等奖、2019 年第二届中国城市轨道交通科技创新创业大赛全国总决赛优秀项目奖。

完成单位: 中铁二院工程集团有限责任公司、四川迈铁龙科技有限公司

完成人: 史宣陶、林刚、柴家远、王颖、张建祥、何旭苏、李辉、彭健海、张先富

基于散装模板体系下的大体量全构件饰面清水混凝土成套施工技术

一、项目背景及研究目的

1.1 项目背景

饰面清水混凝土展开面积约 14 万平米，为国内单体体量最大的清水混凝土项目；国内暂无大体量全构件清水混凝土成套施工技术。

1.2 研究目的

形成一套完整的大体量清水混凝土施工技术，从而积累大体量清水混凝土施工经验。

二、主要关键技术

本成果共采用了 13 个关键技术,分别为：轻量化散装木模板体系、清水模板精密度加工与后台拼装技术、清水模板前台安装技术、清水混凝土配合比优化技术、清水混凝土浇筑技术、解决梁柱接头处不同强度等级清水混凝土色差技术、钢筋异侧绑扎技术、钢筋保护层厚度控制技术、清水顶板区域套管预留预埋技术、清水墙体套管预留预埋技术、BIM 排布预留预埋一次成型技术、增加线盒对拉通丝杆技术、吊杆螺帽预留预埋技术。以上技术分别克服了模板体系稳定性、工期成本、模板精密加工与安装、混凝土强度与外观质量、钢筋露筋隐筋、钢筋保护层厚度控制、机电安装一次性预留预埋等难题，节约了工期，降低了成本，提高经济效益。保证了施工的安全、质量。同时，通过这一整套施工技术应用与总结，充分发挥各关键施工技术的优点，确保施工质量符合现行国家、行业及地方标准要求和设计要求，受到监理、业主的一致好评。其中主要核心技术为散装木模板体系、混凝土配合比库及施工技术、利用 BIM 技术对模板以及机电安装进行排布

2.1 散装木模板体系技术



散装木模板体系即使用 50mm 钢包木+方钢管、18mm 厚清水模板利用专利“水平禅缝操

作台”紧密拼装组成轻便灵活的单元板块，拼接处采用 45° 倒角拼装，然后采用专利“五段式对拉螺杆”、“阴、阳角加固件”、“竖向禅缝夹具”、进行紧固。拼缝处“钢包木”做次背楞，中间“方钢管”做次背楞，这两种背楞给模板提供了足够的刚度，垂直平整度良好。

2.2 混凝土配合比库及施工技术

CCPA 预拌混凝土专家多次指导。累计 1100 余次清水混凝土适配，形成清水混凝土配合比库。

混凝土型号	水胶比	砂率	粉煤灰烧失量	矿粉	碎石粒径
C40	0.36~0.39	40%~44%	0.20~0.21	0.10~0.13	5~25mm 连续级配
C50 早强防冻	0.30~0.33	34%~37%	0.16~0.17	0.07~0.09	5~20mm 连续级配



采用“充气式隔板技术”有效解决了梁柱接头密封不严、浇筑不均匀的问题。

2.3 利用 BIM 技术对模板以及机电安装进行排布

利用“BIM 技术”对模板拼缝、螺栓孔眼、机电安装预留洞口、箱体位置进行综合优化排布，做到禅缝、螺栓孔眼与机电安装孔洞居中、整齐划一、一次成型，同时利用“BIM 技术”精确定位吊杆位置，采用专利“固定预制支架”预埋一次成型，并利用“多功能楼板埋件”+专利“顶板定位划线装置”+专利“线管固定装置”+专利“衬板”等专利技术完成机电安装预留预埋，避免后期剔凿开洞现象。

三、与同类技术对比

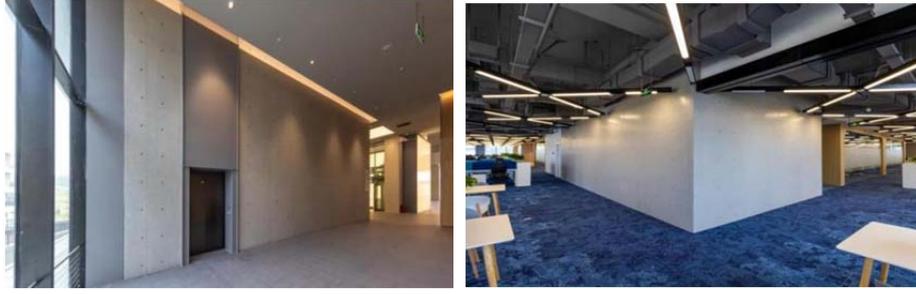
3.1 优化了模板配置，提高模板周转次数，减少了不必要的模板裁边，可以最大限度的减少模板投入；

3.2 BIM 技术的应用，土建、机电安装、装饰作业提前碰撞，避免了后期开槽、开洞等造成的成本浪费；

3.3 有利于大体量清水混凝土施工技术的推广应用，减少二次装饰，助推绿色建筑应用。

四、推广应用情况

该套技术在歌尔科技产业项目一期工程施工中成功的应用，反映了该套施工技术成熟、内容严谨、实用可靠，为大体量清水混凝土的施工积累了宝贵的施工经验，饰面清水展开面积 14 万平米，完全不适用砂浆，符合绿色施工理念。



五、知识产权及荣誉

项目在此过程中已取得 80 余项专利，获国家级和省部级 BIM 奖项分别为 4 项、2 项，获国家级、省部级 QC 成果各 2 项，省部级工法 2 项，施工技术经工信部专家组评价达到了国际先进水平，并荣获国家级科技进步奖。

完成单位：中建八局第一建设有限公司

完成人：程飞、叶恒山、牛域、刘勇、张圣鑫、秦昌庚、拓斌、薛晓剑、杨旭

智能化液压步进式自爬升转料平台施工技术

一、研究背景

目前在建筑工程中普遍使用的周转式转料平台，存在的弊端有需要依靠塔吊等外部起重设备进行提升，每层重复安装、拆除、验收后才能投入使用等。除此之外，对于复合框架-核心筒结构，常规转料平台无法在无水平楼板的筒内核心筒竖行结构外侧安装、使用。

常规的超高层核心筒内水平结构必须依靠外框钢梁周转材料，核心筒内水平结构施工受外框结构施工影响，导致低位核心筒内水平楼板严重滞后于高位核心筒竖向结构施工，安全隐患加剧，甚至造成核心筒内水平楼板无法施工，影响整体施工进度。

二、关键技术内容

2.1、智能化液压步进式自爬升转料平台设计

(1) 导轨物料平台组件设计

液压步进式自爬升转料平台是一种带动力系统的整体自升式转料平台，依靠液压油缸顶升原理爬升，主要包括：导轨物料平台组件、抱箍附着装置、液压动力控制系统三大部分。

(2) 液压油缸步进式同步顶升原理

液压油缸步进式同步顶升原理是在每支油缸处安置一套位移编码器，将测量的位移行程传送到 PLC 控制中心，对送来的信号进行比较，控制 2 只油缸行程的同步性。

(3) 转料平台防坠设计

该自带防坠作用的液压步进式油缸配套支座主要包括可支座架、导向轮组、滑动承重轴。滑动承重轴通过支座架上的长孔和弹簧作用下，可与导轨内侧防坠抓起下坠单向锁死功能。

(4) 转料平台导向、定位设计

转料平台通过上、中、下共 6 道带导向轮组的附着装置，横跨 2 个结构层悬挂于内外都无楼板的筒内核心筒结构外侧连梁处，前端设施导向轮组、固定承重轴控制转料平台导向、定位。

(5) 导轨物料平台组件设计

导轨物料平台组件为导轨立柱、物料平台、拉杆、抱箍周转卷扬机及其他配件的一体化设计整体，自首次安装完成后，该组件就作为整体组件完成全施工过程爬升周转作业。

2.2、超高层核心筒可调节周转式结构附着装置设计

料平台附着装置设计为环抱式抱箍附着装置，将整条连梁抱住，采用可调节丝杆适应梁厚度截面变化；抱箍附着装置前端设施导向轮组、固定承重轴控制转料平台导向、定位。

2.3、液压步进式自爬升转料平台施工技术

(1) 安装流程

材料数量整理、清点→脚手架搭设→抱箍辅助系统安装→导轨物料平台骨架地面预拼装→导轨物料平台骨架吊装→液压动力控制系统安装→调试、验收合格后使用。

(2) 转料平台爬升流程

脚手架通道搭设→抱箍辅助系统安装→载货平台地面预拼装→载货平台吊装→液压动力控制系统安装→调试、验收合格后使用。

(3) 拆除流程

转料平台上材料和物件清理→料台用吊钩吊好→拆除导轨物料平台整体组件和附着结构的连接→自爬式升导轨物料平台整体组件导至地面解体→拆除附着装置

三、与同类技术对比创新点、优势

(1) 智能化液压步进式自爬升转料平台依靠平台两侧液压油缸作为爬升动力系统，油缸顶升采用 PLC 系统控制的编码器控制行程，通过步进式原理实现液压油缸同步顶升。

(2) 智能化液压步进式自爬升转料平台特制液压油缸顶座、底座可兼做转料平台防坠器，实现顶升全过程全自动化控制。

(3) 智能化液压步进式自爬升转料平台不需要依靠塔吊等外部起重设备进行周转，采用整体安拆技术，免除多次安装、拆除等重复性工作，减少劳动力投入，提高作业安全性。

(4) 智能化液压步进式自爬升转料平台集附着、导向、定位功能于一体，通过抱箍等附着系统及可调丝杠适应结构尺寸变化、满足混凝土、钢结构等结构形式的附着要求。

四、推广应用情况

智能化液压步进式自爬升转料平台在广州保利琶洲项目得到了成功应用，实现了在无水平楼板外侧安装使用转料平台，有效解决了主塔楼核心筒内材料周转问题，使核心筒水平结构和外框钢结构能紧跟核心筒竖向结构顶模施工进度。

超高层通常采用钢结构外框架+框剪核心筒的结构体系，智能化液压步进式自爬升转料平台可适用于采用顶模、爬模等模架平台的“内筒外框”超高层施工，有效解决此类型超高层核心筒内水平楼板施工时材料无法周转的问题，促进超高层建筑施工的发展，为类似超高层项目施工提供可借鉴经验，为推进机械化施工起到了积极作用，具有良好的推广应用前景。

五、相关知识产权及荣誉

(1) 科技奖励情况

2016 年度中国建筑第三工程局有限公司科技进步奖二等奖

2019 年度工程建设科学技术进步奖二等奖

2016 年第四届龙图杯全国 BIM 大赛二等奖

2015 年首届中国建设工程 BIM 大赛卓越工程项目奖二等奖

(2) 知识产权情况

发明专利：一种液压步进式自爬升转料装置及方法

实用新型专利：一种用于钢筋半成品运输的装置

湖北省工法：智能化液压步进式自爬升转料平台施工工法

中建三局工法：液压步进式自爬升转料平台施工工法

完成单位：中建三局第一建设工程有限责任公司

完 成 人：寇广辉、董晓刚、刘辉、苏浩、叶阳明、俞佳航、严宗宇、吴彪

大跨度弧形变截面张弦梁施工创新技术

一、研究背景

本工程的施工难点与重点，主要从张弦梁卧拼、高空安装、预应力索张拉与应力变形检测等几个环节考虑、安全、经济、科学合理的施工方案，以确保施工效果达到设计预期要求。

1) 单支张弦梁为弯弧梁，散段在地面卧拼精度较难控制，地面卧拼精度直接关乎高空对接是否满足要求。

2) 本张弦梁为空腹箱式梁，竖向撑杆铰接对位只有 1mm 余量，对接难度高，常规安装方式效率极低。

3) 根据设计要求预应力张拉完成后，张弦梁滑动端支座与柱顶形心必须完全重合，起拱精度满足设计要求，才能避免偏心受力带来后期的安全隐患，因此滑动支座与柱顶形心对位及起拱精度是技术难点。

4) 设计要求在支座与柱顶间设置一层 4mm 厚聚四氟乙烯板作为滑动介质，但现场因箱式梁体刚度较大，可能存在达不到预期的滑动效果。

二、关键技术及创新点

1、计算机 Tekla Structures 建模模拟地面卧拼施工技术

因整榀张弦梁跨度较大，运输时将其分为 7-8 段箱式梁体，到达施工现场后，根据 Tekla Structures 建模模拟，在支撑胎架上进行测量放线，并根据模型图与放线坐标对分段箱式梁体分三段进行组装焊接。根据各段张弦梁尺寸放线并布置胎架，胎架距离地面高度 1m，方便仰焊焊接。胎架使用 HN450*200*9*14 型钢，根据实际拼装尺寸进行放线并布置支撑胎架。胎架横杆避开张弦梁拼装焊接位置及支撑杆连接位置。

钢梁段吊装焊接：张弦梁分段吊装至胎架上，根据放线位置摆放；就位后通过点焊的方法将焊缝临时连接；连接完成后进行张弦梁的尺寸复测，保证尺寸的精度；复测合格后进行焊接，焊接顺序为对称施焊。

2、大跨度张弦梁撑杆安装施工技术

该张弦梁上弦为截面 1100×600 空腹箱式梁，撑杆位于箱式梁中间下方位置，为确保撑杆安装对位精度及安装效率，本施工特为此研究发明了“[”型工装吊具。吊具上端横梁设置 2 处吊点，下端横梁端头位置与上端横梁吊距中心点垂直，避免吊装时吊具的倾斜失稳，确保撑杆销轴圆心安装精准度，大大提高了施工效率，较常规采用吊带捆绑式吊装降低了安全

风险，提高施工效率节约了人工。

3、大跨度张弦梁预应力索安装施工技术

本预应力索单榀索重 3.1 吨，索先由滑动端安装，滑动端安装完成后安装固定端，然后再逐一按照索体出厂时索夹标记位置安装索夹。预应力索安装采用 2 组 20 吨级液压千斤顶辅助卷扬机进行安装就位，索安装提升速度控制在 3mm/s。

该种安装方式较常规吊车安装大大提高了施工效率，也避免因吊装索体受力不均导致的跳丝等现象，特别是索体上根据建模要求标记的张弦梁零状态下索夹安装位置，确保了张拉后张弦梁撑杆达到垂直的设计目标，较好的实现了其竖向受力效果。根据设计提出常规做法，在张拉过程中在柱子顶部设立斜向回顶抛撑，以满足张拉过程柱顶不发生侧向位移，但因柱体较高，斜向支撑安装难度较高，地面支撑点受力难以满足施工要求。经分析研究使钢柱不发生侧向位移即在柱顶增加一个支座反力即可，讲过计算分析，在柱顶焊接一个“L 型”工装，在张拉过程中随着张拉分级，间隔 15 分钟采用 20T 液压千斤顶回顶张弦梁施加支座反力，使柱顶归位，随之张弦梁索力降低固定端柱顶归位。

4. midas 和 sap2000 有限元分析张弦梁预应力索张拉与监测施工技术

张弦梁预应力索张拉以每相邻两榀为一个张拉单元并同时张拉。张拉前首先采用 midas gen 有限元分析软件进行计算，分析出每榀张弦梁的起拱高度值，梁体平面内、外位移值，预应力索索力值，滑动端滑移量及柱顶平面外位移值，并按照要求在每榀张弦梁相应观测点粘贴反光片，采用全站仪全程跟踪测量，记录各点形、力、位移值变化，直至满足设计要求。

首先确定滑动端滑动介质选取，根据设计要求在支座与柱顶间设置一层 4mm 厚聚四氟乙烯板作为滑动介质，但现场因箱式梁体刚度较大，特别是两组梁间采用连系梁刚性连接形成弦支网壳体，整个张拉单元刚度迅速升上，张拉力值满足时起拱较为困难，经过分析聚四氟乙烯板摩擦系数约为 0.016，为降低摩擦系数，经过现场试验本施工选取两层 3mm 厚聚四氟乙烯板，摩擦系数降低至 0.01，实现理想滑动效果。

该类弦支网壳张弦梁预应力张拉将张拉端放置在固定端，较好的避免在滑动端张拉造成的两端平面外侧移失稳。采用双层聚四氟乙烯板滑动及液压千斤顶辅助张拉的综合技术大大提高了张拉效率，实现了“力变与形变”的双重目标。

三、同类技术对比

从结构类型和受力角度讲，空间结构类型相似，均是一种以预应力空间结构的构想而设计的。与本项目相同点：均是大跨度的预应力空间结构，且结构下弦均是采用钢索结构；不同点：广州国际会展中心、上海市源深体育发展中心、哈尔滨国际体育与会议展览中心，这

三个工程实例应用的预应力空间上弦均为：张弦桁架体系。上海市源深体育发展中心的游泳馆部分、日本前桥绿色穹顶，这两个工程实例应用的预应力空间上弦均为：H型钢桁架结构。上海浦东机场航站楼这一工程实例应用的预应力空间上弦均为：张弦箱梁体系。综上举例，其中上海浦东机场航站楼与本项目各构件形式最为相似，在这里讲的是结构相似，也就是说，还有其他不同点，例如张弦梁与竖向结构的连接，上部构件的截面变化，梁、梁间的连接、支座形式和空间受力状态等都是不同的。本项目超大跨度弧形变截面箱型张弦梁，特点是张弦梁结构单榀、单向、单跨、弯弧、变截面、空腹箱型张弦梁。其受力明确，轻盈而通透，跨越能力大。目前的设计、施工技术处于提升和转型阶段，张弦结构的受弯构件桁架体系到空腹箱式梁体系，多榀受弯构件到单榀受弯构件过度，单截面到变截面等相关技术的跨越。为大跨度空间钢结构领域积累了丰富的施工经验，特别是张弦梁预应力张拉前预留滑动端滑移量的辅助形心归位的施工方法及采用一端张拉，一端回顶辅助张拉的综合技术措施填补大跨度弯弧型空腹箱型张弦梁起拱方法的空白。

四、推广应用情况

天津体育学院，体育场看台张弦桁架结构采用格构式支撑架，根据张弦桁架组数，在底部设置不等高度支撑架，上部安装张弦桁架对接操作平台，中间预留缝隙拱预应力索安装，安装简便，高效，大大提高了施工效率。结构架体稳定，安拆方便灵活，而且可以周转使用，节约了大量的钢材，实现了降本增效。环境效益：通过使用该方法，降低材料成本和人工成本及机械成本，降低碳排放，保护环境。社会效益：成果从项目实际出发，所采用的施工技术及技术集成很好的满足了设计与使用要求，保证了工程质量。

五、知识产权及荣誉

获得知识产权：实用新型专利 9 项；省部级工法：吉林省工法 1 项；科技成果鉴定：该成果整体达到国内领先水平。2019 年 11 月获得中国国学学会“优秀奖”；2020 年 5 月获得吉林省第二届 BIM 大赛“一等奖”。

获得荣誉：2018 年度全国工程质量优秀管理小组；2019 年 5 月获得中国金属协会颁发的“中国钢结构金奖”。

完成单位：中建二局第三建筑工程有限公司

完成人：王忠鑫、张忠浩、苏立健、谷明亮、王春艳、李慧、王立强、刘辉、郎迪、官希贺

预制装配式下穿隧道设计、成套施工技术及装备研究

一、立项背景

面对资源环境的过度消耗和劳动力的日益匮乏，建筑业急需转型升级，提高劳动生产效率，为资源节约型社会奉献一份力量，现代化发展已成为行业必然的趋势，城市下穿隧道作为市政工程中的一种立交道路形式，是一种能有效分离过境交通，解决区域交通矛盾的地下空间结构，它能够提高道路的畅通性，是当前行业的研究方向之一。

二、关键技术

1. 城市矩形框架式下穿隧道全预制拼装结构体系

该技术针对城市框架式下穿隧道大断面第一次在国内实现了全预制拼装结构体系。利用在需要安装沉降缝的预制节段预留侧墙及底板燕尾槽解决了大节段间的沉降缝安装要求；同时也实现了框架内电力、电缆、消防箱、中墙横通道等孔洞预留预埋设置，真正意义上实现了框架结构的全预制拼装体系。

2. 直观可靠的预制构件连接技术

设计上采用夹板式机械连接接头技术，并配合预埋小钢箱，满足结构断缝处的抗剪、抗拉、抗震要求，可目视直观的判定预制构件间连接的可靠性。并通过试验研究了焊接接缝对混凝土的影响，提出在焊缝处设置圆形空腔散热孔洞，并根据试验确定了影响范围及孔洞大小，利用钢混结合的设计理念，配合 PBL 剪力键，提出了焊接连接的可行性指标要求。

3. 预制框架结构的防水技术

该技术在设计中系统的解决了预制构件接缝防水，包括环向缝、水平缝、以及沉降缝的成套防水设计技术。根据预制构件的特点，除提高结构自身的抗渗性能外，分别采用环氧树脂、止水胶条、止水带、压浆、预应力预压等综合技术，对可能存在漏水隐患的接缝接头、预留孔道、螺栓孔等全面进行封堵，并结合结构的受力特点，在重点接缝处采用多重防水体系，经实验验证以及工程闭水实验，本防水体系能较好的满足全预制构件的防水要求。



三、与同类技术对比

国内同类型项目中厦门疏港路下穿隧道，无论其吊装重量及跨度均没有本项目大，同时其水平缝连接方式为钢板焊接，可靠度指标没有本项目高，其沉降缝防水采用预留 2m 现浇段连接，而本项目实现了全预制目标，疏港路下穿隧道采用全部构件匹配预制，底板块与顶板块也采用匹配预制方式，导致投入模板数量大，且顶板块预制临时支架投入大，本项目采用高精度端模及轨道系统，有效的提高了生产效率与减少了模板数量，在其基础上有较大的改进，实现了节约化的目标要求。

四、推广应用情况

一环路磨子桥隧道，该隧道全长 1280m，隧道宽度 18.6m-22.1m。本次装配式预制拼装位于直线 5 车道上，全长共计 130m。一环路磨子桥隧道工程首次引入大断面装配式预制拼装技术，构件设计、构件高精度预制、构建运输（隧道位于一环路，周边环境复杂，车流及人流量大交通疏解极其困难）、构件拼装、构建防水处理等技术难题给施工造成了很大困难。中铁二十三局集团有限公司在施工中认证进行科技攻关，形成了装配式下穿隧道组装的拼装结构、装配式下穿隧道施工方法、装配式下穿隧道组合的拼装装置等系列配套技术成果，并在一环路磨子桥隧道预制瓶装段得到了全面推广和应用，有效解决了构件高精度批量生产、构件拼装质量和进度、构件防水问题、构建狭小空间实现转体等问题，保护了周边环境，加快了施工进度，保证了施工质量，降低了劳动强度，改善了作业环境，消除了安全隐患，确保了隧道施工安全、质量和工期。



五、相关知识产权及荣誉

取得相关知识产权 10 余项，获得荣誉：中铁建科学技术奖一等奖

完成单位：中铁二十三局集团建筑设计研究院有限公司、中铁二十三局集团有限公司、中铁二十三局集团轨道工程有限公司、成都城投建筑科技投资管理集团有限公司、成都城投城建科技有限公司

完成人：田宝华、刘延龙、奚成、魏运鸿、吴波、孙春平、谭斌、王智、罗刚、肖东

模块化建筑（PPVC）标准化内模结构技术研究

一、立项背景

新型建筑工业化是通过新一代信息技术驱动，以工程全寿命期系统化集成设计、精益化生产施工为主要手段，整合工程全产业链、价值链和创新链，实现工程建设高效益、高质量、低消耗、低排放的建筑工业化。

模块化建筑（Prefabricated Prefinished Volumetric Construction，简称 PPVC），是指在经过授权的工厂中按照设计方案完成三维精装修模块的生产，然后运输到现场并安装。让尽量多的结构、装饰和机电工作在工厂流水化作业，提高质量和安全标准。将这些模块构件运至施工现场，就像“搭建积木”一样拼装在一起的建筑，是建筑工业化的高端产品，自身具备高度的完整性。

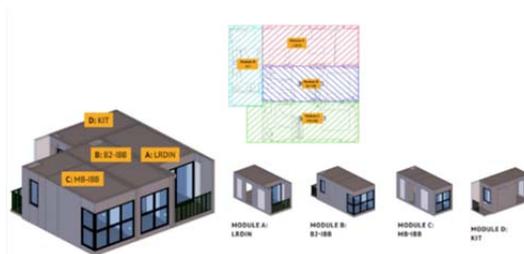


图 1 PPVC 模块示意图

二、关键技术内容

研究发明一种 PPVC 内模结构，包括底座、支撑架、侧板、后板、以及顶板。由侧、顶板、后板拼接成立方体形内模支撑结构，可使构件浇筑时获得稳定支撑，待浇筑完成后，通过可伸缩连接件的牵引，使侧板、顶板、后板分别与构件表面脱离，即完成浇筑工作。

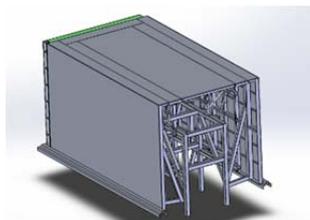


图 2 内模支撑结构效果图

三、与同类技术对比

创新点 1，模具进行标准化、通用化设计，以标准周转块、定制尺寸边块、角块的形式，提高模具周转利用率，降低生产建造成本。

创新点 2，通过滑轨、直线滑槽、控制器、电控可伸缩连接件（优选电动缸）等高精度

部件，结合相互配合且按照精度要求设计的底座、侧板、角板、后板、顶板、翼板，可以使内模结构的精度大幅度提高，避免了人为操作或者简单的机械操作带来的精度误差，使浇筑构件的浇筑效果进一步提高。

创新点 3，突破了传统内模模具人工操作的技术瓶颈，使内模结构可以自动化构建支撑面，也可以自动化分解支撑面，使用者只需要操控控制器按钮，极大地降低了劳动强度，提高了工作效率。

创新点 4，通过设置振动器以及特殊的角板结构，使角板从构件表面脱离困难的难题得以解决，有利于对角板模具的保护，进一步降低了劳动强度。

创新点 5，设有支撑架及可伸缩连接件，通过各部件之间的相互配合，构成稳定的支撑结构，充分满足构件浇筑的需要。

四、推广应用情况

山东泰迅智能建造产业园 2#宿舍楼，创新采用 PPVC 建造体系，用于生产宿舍楼模块的内模结构采用该项技术，能够快速高效实现模块化混凝土内部拆模。

五、相关知识产权及荣誉

本技术突破了传统内模模具人工操作的技术瓶颈，是内模结构可以自动化构件支撑面，也可以自动化分解支撑面；通过设置振动器以及特殊的角板结构，使角板从构件表面脱离困难的难题得以解决，有利于对角板模具的保护。使用者只需操控控制器按钮，极大地降低了劳动强度，提高了工作效率。本技术取得发明专利 2 件，新型专利 6 件。

完成单位：山东泰迅装配式建筑科技有限公司

完成人：杨志明、陈德刚、张大宝、孙晓莉、董成、姜博瀚、杜梦、牟炳强、张文廷、惠明明

机电BIM二三维一体化装配式自动万能族制作方法

一、立项背景

BIM 深化设计对机电施工有着重要辅助作用，在 Revit 中对机电、土建优化设计，施工时就可以一步到位。

但业内非常多的项目，BIM 设计周期长，遗留问题多，起不到应有的指导效果，导致施工质量大打折扣。问题的根源主要在族上：

- 1.机电系统大量的设备族都需按真实尺寸制作，人员时间成本高。
- 2.水暖电二维图例多，为每个族添加修改图例非常耗时。
- 3.好多所谓的参数化族，其实没有实现自动化，参数不联动，很难看懂。
- 4.很多参数化族，不同构件的公式、参数堆在一块，不成架构，维护难。
- 5.各种来源的族风格不一，企业建模出图标准难保证。

6.Revit 中安装运维空间等设计施工要点，只能靠人工判断，而目前行业现状并不理想，就是 BIM 设计师专业能力参差不齐，设计质量难保证。

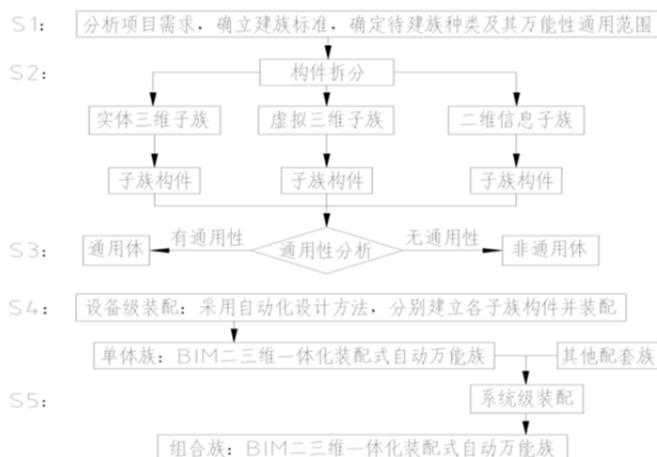
- 7.模块化设备嵌套族，修改麻烦，出详图和料单只能靠手工。

为解决以上痛点，我们将自动化、万能化、二三维一体化、装配化思想进行深度整合，将尽可能多的工作交给计算机来做。

二、关键技术内容

关键技术实施步骤如下：

把实体、虚拟、二维信息、专业设计流程、审核要素打包到族中，分层级进行装配，形成自动化万能族。



三、与同类技术对比

1.二三维一体化：

图例、标注、料单等二维信息与三维实体高度集成联动。

2.自动化：

大量的数据和运算过程封装于族内，并利用自适应机制，常用的构件组合可一键布置。

3.万能化：

将同类别构件抽象提炼成同一个族，以不变应万变。

4.阶段性成果复用化：

构件模块化装配，单体整体均可重复利用，结构清晰，思路清晰。

5.内嵌专业设计能力：

将规范图集设计手册技术措施、成熟的设计经验抽象成算法，让族具备专业设计能力，不再单纯体现外形。

6.自动化审查：

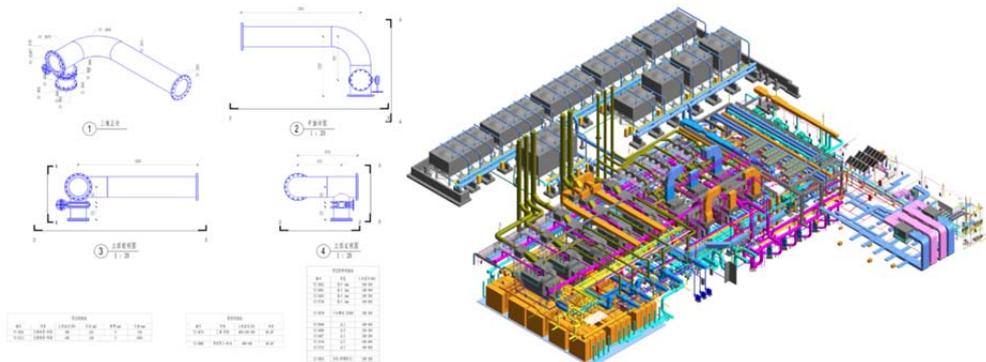
让安装运维空间等审查要点参与碰撞检查，让模型能实现自我专业审核。



四、推广应用情况

该技术可广泛应用于，设备、模块化机电系统、模块化建筑单元等所有 BIM 项目的高质量快速设计。

如：北京环球能源中心工艺水系统 100%实施装配式施工，该技术快速实现了毫米级精细化出图。



经济效益：该技术在公司内部 6 个项目中做的推广，效率提升 15%，产生经济效益 356.2 万元。

社会效益：提高人员劳动效率、提升装配式效率、推动绿色节能建造。

对企业技术进步的影响：设计指导施工效率提升、企业 BIM 族库升级、BIM 设计流程的重要革新。

五、相关知识产权及荣誉

该技术已取得国家发明专利，易于推广，可大幅提升整个 BIM 设计施工行业的效率质量。

完成单位：中建一局集团建设发展有限公司

完 成 人：刘阔、高惠润、郝建刚、李春丽、吴瑞、刘现伟

斜井安全预报警系统

一、立项背景

在西部大开发和一带一路战略背景下，基础设施建设不断向西部地区倾斜，为满足地质地形的需求，长大隧道成为工程建设首选，社会和经济效益突显。斜井既是解决长大隧道施工的有效途径和方法，将长隧短打；又是隧道施工阶段交通要道、安全通道和生命通道。在过去的长大斜井隧道施工中，施工安全管理手段单一，措施简单；采用的报警系统功能单一，无预警功能，效率不高。本系统采用多种传感器和电子电路，来弥补人类知觉和触觉的不足，代替安全管理人员繁重劳动，使斜井溜车、隧道内突水、火灾、有害气体等重要危险源具有自动预警和报警、防灾与减灾结合，实现安全管理自动化。斜井安全预报警系统为隧道斜井工程安全管理打开新的思路，对其他类似地下工程领域安全管理具有借鉴和指导作用，助推未来安全预报警系统朝智能化方向发展，提高隧道建设行业的综合施工能力和技术水平。

2、关键技术

本系统以斜井隧道施工过程中常见危险源为研究对象，建立起地下空间-监控单元-报警源的空间网络关系。涉及关键技术有单片机与接口电路、通信、雷达测速、数据库等技术。系统主要包括传感器、无线发射器、基站、声光报警器、终端控制器、上位机、辅助显示器、UPS 电源等八个单元。



图1 斜井安全预报警系统样机

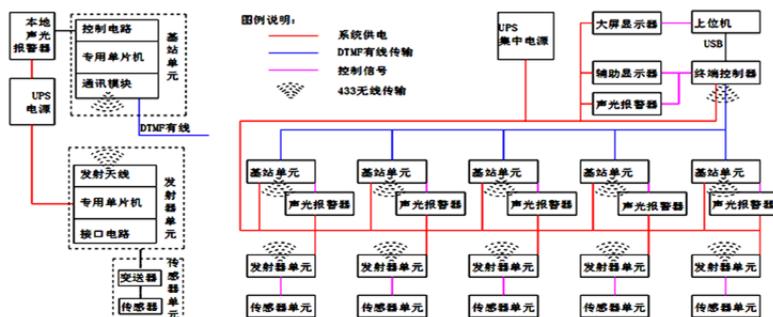


图2 系统通信结构图

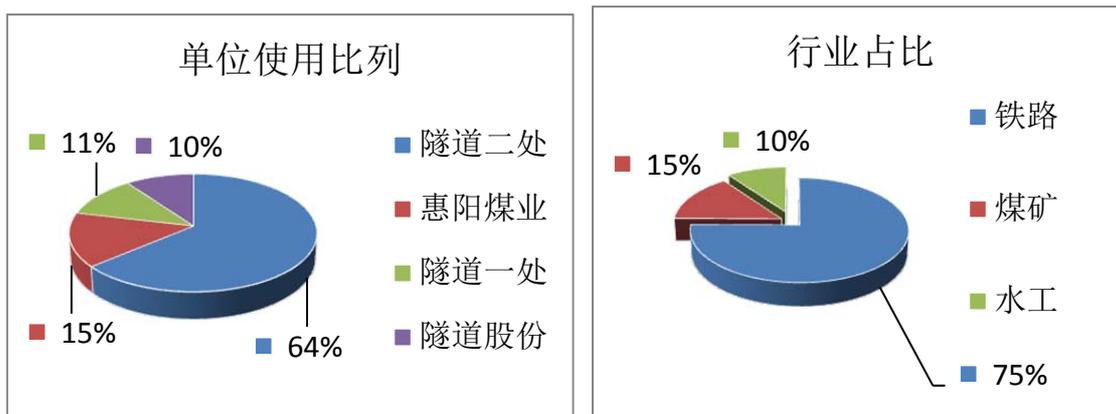
3、与同类技术对比

对比项目	对比点	同类产品性能	本产品性能
车辆测速模块	1 测速方法及精度 2 超速处置措施	1 常采用机械测速、电感式或磁电式，无控制信号输出接口；精度低。 2 无超速控制措施。	1 采用非接触式雷达主动测速方法，预报警值可以修改设置，有自动控制信号输出；速度精度±1。 2 发出超速控制信号，启动防斜井溜车拦阻装置，强制降速。
水位测控模块	1 智能程度和测量精度 2 输出信号形式	1 无水位上涨趋势预测报警功能；精度不高； 2 输出信号形式单一。	1 自动计算，趋势预测报警，智能控制，自动化程度高；综合精度 0.5%FS，水位变化精度±1 厘米。 2 输出信号丰富，灯、光报警信号，百分比光柱显示，数值显示，继电器输出。
空气质量监测模块	通风机联动控制	仅能对空气质量监测报警，无联动控制功能。	空气质量监控与通风机变频控制器联动，自动调节通风量，最大限度改善空气质量。
系统通信模块	1 抗干扰、稳定性 2 控制信号远距离传输	1 通讯模式单一，信号衰减，大不稳定； 2 距离较低，或靠增加中继器解决长距离传输问题。	1 有线与无线通讯结合，双重冗余，保证通讯稳定性和抗干扰能力； 2 双音多频(DTMF)解码技术解决控制信号远距离稳定传输，实现 1-30Km 的传输。

4、推广应用情况

斜井安全预报警系统的推广及应用，从 2017 年 4 月至 2020 年底累计新增销售额 1435 万元，新增利润 11883.9 万元。下面是系统应用数量统计表和并分图。

序号	应用公司名称	工程名称	行业	数量
1	中铁隧道股份	引汉济渭秦岭隧道 3-4 号支洞	水工	57
2	中铁隧道集团一处	成昆铁路小相岭隧道 1-2 号斜井	铁路	65
3	中铁隧道集团二处	蒙华铁路中条山隧道 1-6 号斜井	铁路	185
4	中铁隧道集团二处	蒙华铁路段家坪隧道 1-2 号斜井	铁路	80
5	中铁隧道集团二处	银西铁路庆阳隧道 1-2 号斜井	铁路	70
6	中铁隧道集团二处	赤喀客专天秀山隧道 1 号斜井	铁路	30
7	惠阳煤业有限公司	山西阳城惠阳煤矿主副斜井	煤矿	85
合计				572



5、知识产权及荣誉

关键技术申报发明专利 3 项，一种隧道施工斜井安全报警系统已授权，实用新型授权 2 项；发表相关学术论文 2 篇《隧道斜井安全预报警系统的设计及应用》、《隧道陡坡斜井抽排水施工技术》；成果获 2016 年中国铁路工程总公司企业管理现代化创新成果二等奖，获 2017 年中国建筑业协会优秀质量管理小组一等奖，分别获 2020 年河北建筑业协会和中国建筑业协会工程建设技术发明二等奖。

完成单位：中铁隧道局集团有限公司，中铁隧道集团二处有限公司

完成人：杨正雄、杨成春、冯兴龙、刘志成、杨娟、朱英会、秦召、闫有春、王光伟、张迅

地铁再生电能吸收设备研究

一、立项背景

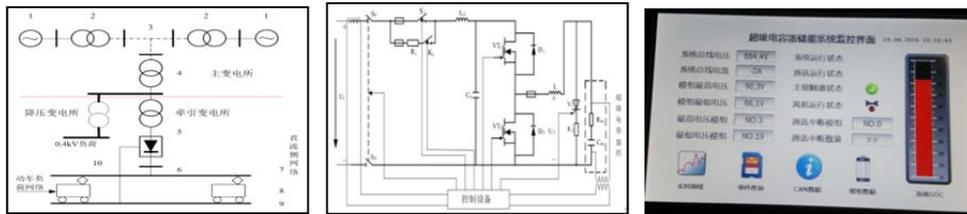
随着地铁给人们出行带来方便的同时，其运营成本居高不下，而运营成本中地铁的运行能耗所占比例较大。尽快降低地铁运行能耗已成为国内地铁可持续发展必须解决的重要问题之一。随着科技进步及环保节能意识的增强，“在变电所设置再生电能吸收利用装置，提高列车再生制动的效率，以减少运营电能即降低运营成本，同时减少大气污染”的设计理念，在国内外的轨道交通建设运营中已经越来越受到重视。随着地铁给人们出行带来方便的同时，由于其运营成本居高不下的问题也日显突出，而运营成本中有 50%来自于地铁的运行能耗。尽快找到大幅降低地铁运行能耗的方法，已成为保持国内地铁高速度可持续发展必须解决的重要问题之一。本项目的研究，主要通过对国内外再生电能吸收装置及应用情况的技术调研，结合青岛地铁 2 号线的工程条件（线路、车辆、行车组织）及国内具有代表性的相关地铁线路的工程条件，建立牵引供电系统再生电能吸收研究数学模型，通过模拟计算及分析、技术经济比较，并结合国内外相关设备技术的成熟和应用情况，提出合理的再生电能吸收利用系统设置方案，为实现地铁线路将来的“绿色环保节能”运营奠定重要基础，为后续国内其他线路牵引供电系统再生电能设备选型提供指导。

二、技术内容

根据再生制动能量的利用模式，对业界主要的电阻耗能型、电容储能型、飞轮储能型、逆变回馈型（包括逆变至中压和逆变至低压）四种类型综合分析，搭建不同数学模型，对各方案数学模型综合分析，结合青岛地铁 2 号线一期工程线路、车辆、客流量及牵引所布点等情况，最终在高雄路站和石老人浴场站各安装一套电容型储能装置。针对高雄路站和石老人浴场站电容型储能装置搭建交流网络数学模型、直流侧网络数学模型、整流机组数学模型、牵引网数学模型和电容型再生制动电能吸收装置的数学模型，在本课题的研究过程中，为了能够得到更为准确可靠的研究结果，通过我院系统仿真软件，对相关的系统进行了大量的模拟分析与比较，以获得全线列车再生制动被相邻列车吸收利用的情况，根据模拟数据，确定高雄路站和石老人浴场站电容容量。根据确定的供电系统再生电容装置方案，在高雄路站和石老人浴场站设置变电所安装方案、系统接入方案和数据测试方案等，最终通过数据分析确定本科研的科研效果。

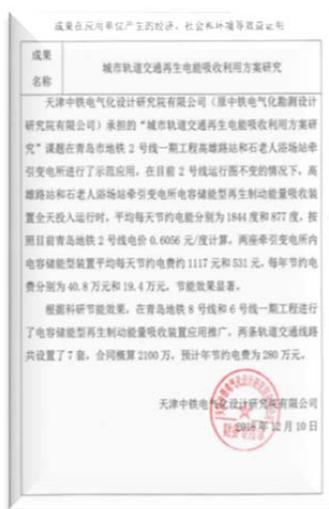
三、同类技术对比

本科研主要有以下创新点及优势：（1）第一次对占轨道交通用电量比重最大的牵引供电系统的主要节能方案进行系统性、理论性的研究，对轨道交通建设节能型工程具有前瞻性和指导性，对后期建设的轨道交通线路具有参考和借鉴意义；（2）建立轨道交通牵引供电系统再生电能吸收研究数学仿真模型，模拟各种运行方式下的牵引供电和再生电能吸收系统电气数据和装置吸收状况；（3）首次将基于干电极技术的双层超级电容器应用于 1500V 城市轨道交通供电系统；（4）将超级电容串联最高电压提高到 1350V，提升了设备峰值功率；（5）实现了超级电容系统实时数据采集、主动均压、自动保护、实时传输、数据存储（日志、事件）功能。



四、应用情况

该科研在轨道交通行业推广应用前景十分广阔。在青岛市地铁 2 号线一期工程高雄路站和石老人浴场站牵引变电所进行了示范应用，按照目前青岛地铁 2 号线电价 0.6056 元/度计算，两座牵引变电所内电容储能型装置平均每天节约电费约 1117 元和 531 元，每年节约电费分别为 40.8 万元和 19.4 万元。本研究成果为后期青岛地区轨道交通 8 号线、6 号线等工程提供了方案选型指导，两条轨道交通线路共设置了 7 套，合同概算 2100 万，预计年节约电费为 280 万元，取得了客观的节能效益。研究成果还在北京、苏州、无锡等地区轨道交通得到运用，为城市轨道交通“绿色环保节能”贡献了力量。



五、知识产权及相关荣誉

本科研在进行过程中获得了发明、实用、外观等多项知识产权及多项奖项。其中，知识产权包括：（1）发明专利：《城市轨道交通再生制动能量回收装置的配置系统及方法》；（2）实用新型专利：《再生制动能量 IGBT 吸收装置》、《基于 CAN 通讯的超级电容器采集终端》、《抽拉式超级电容储能柜》、《轨道交通用超级电容双 CAN 网络监控装置》、《城市轨道交通超级电容储能系统》、《一种多模块并联的双向变流装置》；（3）外观设计专利：《三电平双向变流模块》、《超级电容储能系统电脑的图形用户界面》；（4）计算机软件著作权：《恒信逆变回馈型再生制动能量吸收装置 MCP 主控软件》、《恒信逆变回馈型再生制动能量吸收装置 NPC 模块软件》、《恒信逆变回馈型再生制动能量吸收装置 HMI 人机界面软件》、《中铁电化院城市轨道交通牵引计算仿真软件 V1.0》、《城市轨道交通牵引供电系统仿真模拟软件 V3.0》。获奖情况包括：“中国铁路工程集团的科学技术获二等奖”、“中铁六院集团科技进步一等奖”、“全国工程建造微创新技术大赛一等奖”等奖项。

完成单位：中铁电气化勘测设计研究院有限公司

完成人：芮学宝

智能建筑管理系统开发和应用

一、研究背景

智能建筑管理系统 IBMS (Intelligent Building Management System) 充分利用现代物联网技术、云计算技术及通信网络技术实现建筑物内机电设备的智慧管理。系统集成建筑物内多个子系统, 通过信息交换和数据共享, 将各个具有完整功能的独立子系统从逻辑上连成一个有机的整体, 以提高系统维护管理能力, 进而使建筑物更安全、更舒适、更节能。目前, 国内外 IBMS 软件大多基于 Windows 平台开发的 C/S 或单机软件, 无法完全满足当前大型智能建筑对系统集成管理的需求。

通过对课题的研究, 解决多个系统接入、大量设备的通讯、海量数据的交互、统一通讯构架、兼容移动和 PC 端的组态界面等多个技术难题, 满足项目现实需要, 最终形成一套“实用”、“适用”、“管用”、“通用”的智能建筑管理系统。

二、关键技术内容

1. 基于传统 RPC 和现代 RESTful 通讯框架概念, 通过 HTTP+JSON 协议, 研发出的一种新的 RPC 通讯框架, 解决了分布式应用程序通讯的难题。该分布式微服务框架通过接口描述元数据获得接口信息, 支持对象接口自描述; 客户端采用各种语言如 C#、JAVA、C++、CJS、GO 等编写, 具有广泛的兼容性, 适用基于 Web 的 JS 程序进行服务调用, 支持多种底层通讯协议和对象序列化协议; 结合 RESTful 和 Web Service 优点创建了一种新的接口调用方式, 提高了系统通讯效率, 简化了程序部署, 可定制优化组件性能; 创建服务容器, 使得内置的服务的安装和运行更容易管理。

2. 基于分布式总线和负载均衡技术, 开发了一套满足百万点级别点位的数据交互物联网平台, 满足了智能建筑海量数据实时交互需求。该平台借鉴工业自动化中 OPC 的多个思路, 但抛弃了 OPC 中基于 COM/DCOM 繁复的访问方法, 通过简单高效的 Web API 方式进行外部访问; 基于树形节点的平台结构设计, 几乎可无限扩展数据节点; 客户端通过采用 HTTP 长轮询的方式进行请求的订阅, 形成高效的数据订阅机制, 提高了通讯效率; 通过增加或缩减物联网平台应用部署的数量, 形成与项目应用大小相匹配的业务集群, 利用 Nginx 对外提供服务, 为底层设备和 Web 组态平台提供数据支持, 满足整个系统数据交互的要求, 实现更大的数据容量, 更快的程序响应速度。

3. 基于 HTML5 人机界面组态技术, 开发了一套 Web 组态软件, 实现了智能建筑多平台

人机交互界面显示功能。对于组态编辑部分，基于 HTML5 标准和 SVG 技术，运用面向对象设计思想，设计图元编辑操作界面，实现一套能在多种 PC 浏览器支持下运行的组态编辑画面；监控显示运用 HTML5 的 Canvas 技术，实现在客户端层面进行监控画面的绘制，解决了组态画面放大缩小不失真的问题。

三、与同类技术对比

研发成果经评价，整体达到国际先进水平。

主要技术先进性对比

技术成果一：远程方法调用(RPC)			
对比指标	本系统技术参数	国内外同类系统技术参数	结论
控制指令响应速度	0.5 秒	2 秒	响应速度提高 4 倍
技术成果二：分布式物联网数据交互平台			
对比指标	本系统技术参数	国内外同类系统技术参数	结论
系统冗余	支持	不支持	能有效提高系统的可靠性
负载平衡	支持	不支持	系统资源分配更合理，系统更稳定
数据点位	100 万点	10 万点	可管理数据点位提高 10 倍
接入设备数量	1 万个及以上	1 千个	可接入设备数量提高 10 倍
并发用户数	500 个	50 个	并发用户数提高 10 倍
客户端数	500 个	100 个	客户端数量提高 5 倍
全年故障时间	小于 10 分钟	小于 24 小时	全年故障时间缩小了 2 个数量级，系统极为稳定可靠
二次开发	支持	不支持	支持接入非标准协议接口设备
技术成果三：基于 HTML5 的人机界面组态技术			
对比指标	本系统技术参数	国内外同类系统技术参数	结论
组态工具	可运行在 PC，平板，手机	一般只运行在 PC	支持移动终端，实现泛在管理
矢量图元	支持	不支持	支持自定义矢量图形

四、推广应用情况

项目成果已在重庆仙桃数据谷二期一标段项目、成都露天音乐广场项目等 19 个项目中成功应用，建筑智能化实现创收 89812.96 万元，成果创效 509.4 万元。



五、相关知识产权及荣誉

项目获计算机软件著作权 4 项，获授权发明专利 2 件，实用新型专利 1 件，发表论文 2 篇，形成成套技术 1 篇。项目应用工程获鲁班奖 1 项，四川省天府杯奖 1 项。

完成单位：中国五冶集团有限公司

完成人：邓杨均、申新亭、张学智、杨汉林、代小强、杨柳、云志鑫、王杨、高志惠、陈艳

合肥市高新区地下综合管廊施工关键技术研究与应用

一、立项背景

通过分析国内外地下综合管廊建设情况,从研究管廊 BIM 信息化施工管理技术、基坑开挖支护技术、模架体系施工技术、清水混凝土施工技术、防水施工技术等五个方面入手,研制出一套适用明挖现浇综合管廊主体高质量、快速施工的方法。最终形成一套成熟可靠的施工理论成果,为后期同类工程施工中提供科学、可靠的指导意见。

二、关键技术内容

主要关键技术有施工图纸漫游复核碰撞检查;管廊可视化施工进度模拟; BIM+无人机实景模型整合技术; 4.BIM+VR 综合管廊全景交互技术; 管廊模架体系施工技术

三、与同类技术对比

研发了智慧管廊大数据监控管理平台及 BIM 协同办公管理平台,融合无人机、VR、AR、QR 等技术,提出了一套基于 BIM 及物联网技术的智慧管廊数字建造方法,实现了地下管廊建设管理三维可视化,同时为管廊后期运维提供了精确数据。

研究提出“土钉挂网喷射砼和灌注桩+旋喷桩止水帷幕+冠梁+钢支撑”综合围护支撑技术,解决了复杂环境下综合管廊的基坑围护难题。

自主研发出一种高效便捷的管廊墙体快速施工装置,构建了管廊“侧模台车+格林顶模”组合式模板快拆体系,实现了管廊廊体结构侧墙及顶板快速分仓施工,确保了管廊外观质量,施工工效提高 50%。

首创了基于丙烯酸盐喷膜工艺的综合管廊复合防水技术,解决了平原富水地区综合管廊高标准防渗难题。

四、推广应用情况

城市地下综合管廊施工关键技术在合肥高新区综合管廊得到了很好的应用。取得了一系列施工技术参数和成果,对以后在城市开发区等复杂条件下进行类似的管廊、渠道等线性工程快速、高效施工提供借鉴和参考经验。

五、相关知识产权及荣誉

获得授权实用新型专利 2 项，软件著作权 2 项，参与标准和规程规范编制 3 项，发表专业论文 6 篇。

完成单位：中国葛洲坝集团市政工程有限公司

完成人：刘祥群、付新城、祝金川、向未来、于春明、张义、魏明辉、赵方国、连海蛟、邱兴斌

基于 3D Laser Scanner 技术的深基坑工程信息化 动态监测技术

一、研究背景

近年来，受土地资源制约，国内外城市深基坑工程越来越多，深基坑工程施工属于重大危险源，施工与监测安全控制与快速推进一直是重难点，事关深基坑工程的一些关键技术问题如土石方工程量计算不准、主要受力构件实际坐标位置与设计工况一致性现场实测实量难以实现、施工阶段面层变形实时三维可视化无有效手段等尚未解决，且一旦在城区发生灾害，将对周围环境和人民生命财产安全造成极大地威胁，因此，深基坑工程结合高科技手段实现数字化、信息化施工与监测越来越受到重视。

为此我公司开展了 3D Laser Scanner 技术的在深基坑工程土方量高精度快速量算、构件施工质量快速检验、基坑变形点云获取与实时动态监测方法等方面的技术研究和现场应用，创新性提出扫描基准点与靶点布设新方法、数据扫描采集方案、变形可视化云图分析法，通过三维激光扫描测量，将现场获取的点云信息通过建模同设计阶段的 BIM 模型相比较，获取与设计差异信息，并根据差异进行有针对性的变形监测布设，同时，根据扫描的点云数据建立变形可视化云图，实时得到基坑变形信息三维可视化与应用，达到强化施工数字化、信息化目的，确保施工快速、安全、高效。

二、关键技术内容

1.深基坑工程土方量测量计算：依据基坑扫描方案，对基坑进行扫描，获取原始点云数据，然后经过拼接、去噪、合并、三角化模型处理后，在检测模块中进行土方量的计算；

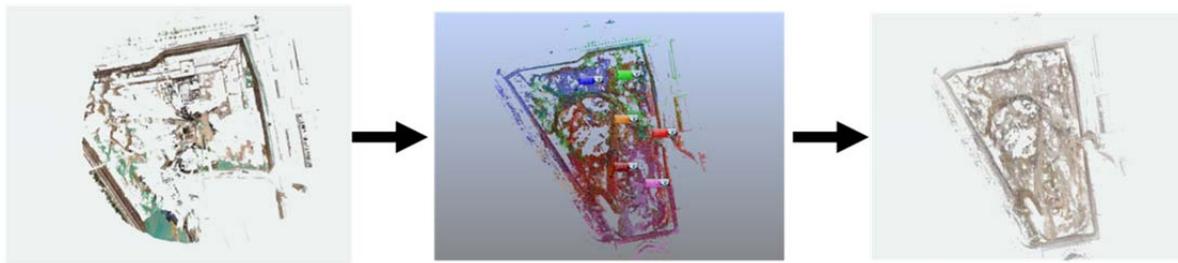


图1 基坑变形点云进行拼接

2.基坑点云变形可视化分析：根据现场实际情况，在试验室进行测量精度试验，在试验中通过相关仪器观测，获得模型表面变形信息，以反映模型所代表的实际原型的变形信息。

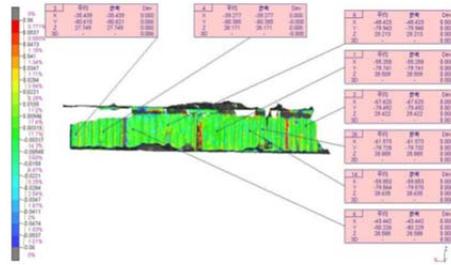


图2 3Dreshaper 进行点对比

3.基坑支护实体构件施工质量快速检验：基坑扫描完成后，首先将点云导入 Scene 软件中进行配置处理及降噪精简等操作。然后通过注解功能，可以快速定位出锚杆等构件的位置及坐标，并通过测量确定构件之间的间距。把点云逆向建模与设计阶段的 BIM 模型进行对比，即可快速核查主要受力构件坐标、定位尺寸偏差。

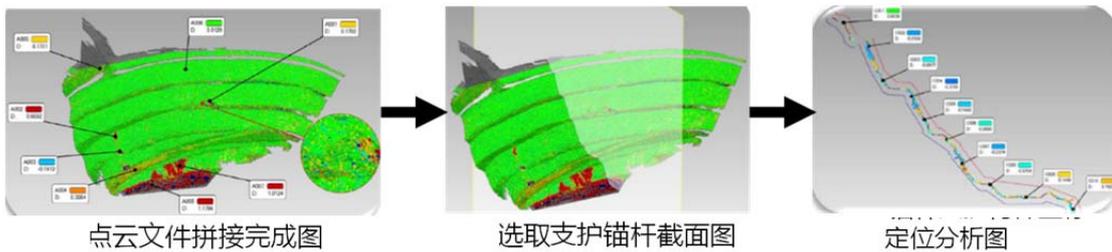


图3 基坑支护实体构件施工质量快速检验

三、与同类技术对比

传统的土石方量基于野外采集地形特征点信息采用方格网法、等高线法等计算，测量精度和工作效率低。基坑施工过程中常用的基坑监测方法使用全站仪、水准仪设备通过建立控制网，然后进行变形点的监测。该方法属单点观测，缺乏观测点之间变形信息，一般认为相邻点之间的变形是线性的，实际上是非线性的；同时由于仪器误差，使得在外业进行长时间观测时，受环境影响大，经常出现监测结果不满足要求的现象，需要进行反复测量。本项目提出基于 3D Laser Scanner 技术的深基坑工程信息化动态监测与施工方法摒弃了传统的单点观测法，避免了传统方法测点较多时较难捕捉变形点实时信息，可实现深基坑工程土方量高精度快速量算、构件施工质量快速检验、基坑变形点云获取与实时动态监测，保证了深基坑施工精度，避免因施工偏差造成的对临近隧道安全性的影响

四、推广应用情况

本技术在青岛市山东路 17 号海信创业中心项目和台东邮电局（当代广场）旧城改造项目得到较好的应用，该项目基坑深度较深，由于周围都是建筑，施工场地狭小，土石方开挖与爆破量较大。采用 3D Laser Scanner 技术进行了土方量量算，精准测算了土石方工程量，比传统测算方式准确率提高了 15%左右，由此减少亏方损失约 35 万元。同时，根据精准量算及时合理配置挖掘运输机械，在土石方量比投标预算量高的情况下，工期提前 12 天左右，经济

效益十分明显。为确保施工标准化和准确反映基坑变形，对支护构件位置进行了动态跟踪检测，避免由于支护构件施工偏差而引起的基坑受力与设计文件不符、变形较大等缺点，同时对施工过程中基坑局部变形和受力较大情况，加强扫描监测，及时将监控数据向相关方反馈，采取措施避免了灾害发生，确保工程顺利实施。

五、相关知识产权及荣誉

1、山东省省级工程建设工法：基于 3D Laser Scanner 技术的深基坑工程信息化动态监测与施工工法

2、计算机软件著作权：基于深基坑竖向位移非线性特征的预测最佳时程计算软件



完成单位：中青建安建设集团有限公司 青岛理工大学

完 成 人：贾杨、袁长丰、王晓平、李兆龙、赵庆武、王英汀

一种振捣整平装置及配套工装

一、研究背景

底座施工控制点除结构尺寸及结构强度外，重点在于表面平整度、顶面标高及两侧排水坡度。由于底座属于常规钢筋混凝土结构，其施工技术难度不大，故对施工工艺和配套工装方面的研究甚少，导致各施工单位的施工水平参差不齐，表现为工艺原始、机械化程度低、人工用量大、工效低、成本高，诸如模板漏浆导致的混凝土逊强及“烂根”、标高控制误差大、平整度差（表面积水）、排水坡度不标准、凹槽损伤等质量通病较为普遍。

二、关键技术

2.1.研发轨行式底座混凝土整平振捣装置，替代了传统的人工作业模式。创新设计了振捣装置主梁与振捣梁之间的连接方式，实现作业高度的精细调整和锁定；采用液压或齿轮传动机构配合升降滑杆实现振捣梁的大行程升降，便于跨越底座结构缝横向模板等障碍；振捣梁两端采用承插式组合结构，有效解决了装置在直线、曲线、桥梁、路基等地段的通用性。

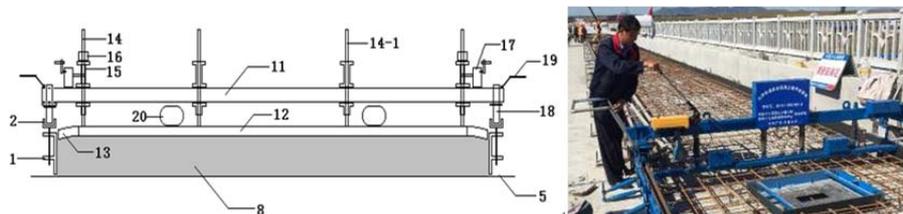


图1 座现浇混凝土振捣整平装置

2.2.研发了底座侧向“F”形模板及整平振捣装置的走行轨道，将传统模板底部的“面”接触改进为“线”接触方式，便于模板底部漏浆点的观察和封堵；在“F”形模板之上配套设计了走行轨道的固定和调节机构，实现了走行轨道的精确定位。



图2 “F”形侧向模板及振捣装置走行轨道

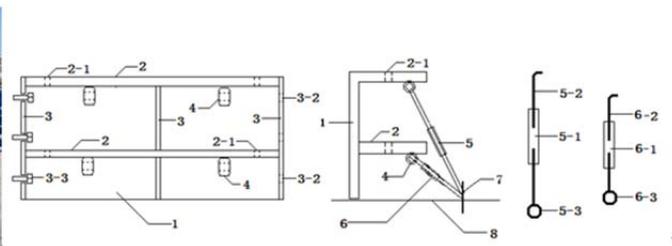


图3 底座侧模临时固定示意图

2.3.开发了底座浇筑用凹槽模板，采用“独立式”替代了传统的“轿杆式”支撑固定方式，消除了整平振捣装置走行作业的障碍；采用2根定向杆确定模板的方向，利用3根调高支撑螺杆实现模板高程的调整与控制；利用支撑螺杆顶升凹槽模板实现无损伤拆模；配套设计的盖板可防止混凝土进入凹槽模板腔内。

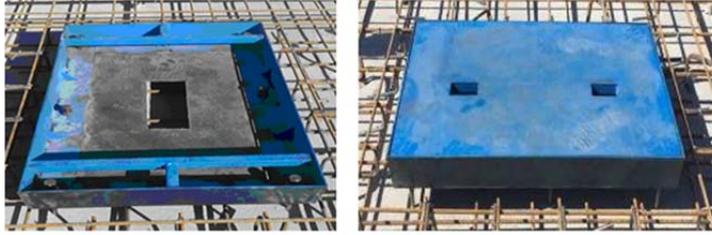


图4 独立式限位凹槽模板实物

2.4.配套研发的底座结构缝横向模板、底座外悬部支撑模板及模板安装装置、跨越障碍的工具车等施工装备，妥善解决了底座结构缝横向模板的快速装拆、梁缝处底座外悬部分的模板支撑及利用线间进行工器具倒运跨越梁缝挡水坎障碍等技术问题。

三、与同类技术对比

本综合技术水平与传统工艺相比大幅提升。表现为：底座施工质量得到有效控制、机械化程度高、用工量及成本大幅降低。其中独立式凹槽模板为机械化作业创造了条件，侧向“F”形模板和走形轨道一体化设计为施工精度控制和高效施工奠定了基础。该技术亦适用于其他形式无砟轨道底座施工。采用机械作业方式替代人工进行顶面高程、平整度及两侧排水坡度的精准控制，实现了标准化作业。在插入式振捣的基础上，增加了水平振捣梁浅层振捣工艺，混凝土振捣的均匀性得到改善。同时，采用走形式振捣装置，实现了快速连续作业。侧向模板：本发明提供的“F”模板底部与基面呈“线”接触，便于观察及封堵漏浆点，杜绝了混凝土逊强及烂根现象。凹槽模板：采用“独立式”设计，消除了机械化施工障碍，实现了凹槽无损伤拆模。单个作业面施工效率达到 230m/d。

四、推广应用情况

依托郑徐客专工程对 CRTSIII型无砟轨道底座施工工装进行研究，又依托京沈客专工程进行了补充深化研究，形成了机械化连续作业模式的 CRTSIII型无砟轨道底座施工配套工装，整体提升了 CRTSIII型板式无砟轨道底座施工机械化程度及工艺水平。目前整体技术成熟可靠，技术通用性好，除适用于 CRTSIII型无砟轨道底座施工，亦适用于类似轨道结构底座施工。该工装先后在昌赣、商合杭、合安铁路工程等客运专线 CRTSIII型无砟轨道底座施工中推广应用。

五、相关知识产权及荣誉

本技术获授权专利 7 项，一种振捣整平装置（ZL201610631951.8）、一种混凝土浇筑用模板（ZL201610631940.X）、一种无砟轨道底座浇注用模板（ZL201610632038.X）、无砟轨道底座浇注用振捣行走装置（ZL201610632039.4）、无砟轨道钢筋混凝土底座浇筑用凹槽模板（ZL201610627739.4）、无砟轨道底座外悬部浇注用支撑模板及模板安装装置

(ZL201620803849.7)、一种能够跨越障碍的工具车(ZL201720015868.8); 获河北省技术发明二等奖, 获中国铁道建筑总公司科学技术一等奖。

完成单位: 中铁十七局集团有限公司、中铁十七局集团第三工程有限公司

完 成 人: 周永明、王新民、贺雷宁、李浩宇、袁俊青、张新波

城市轨道交通用内置式泵房轨道技术研究

城市轨道交通地下线区间隧道，通常将联络通道与废水泵房合并建设，设置在区间最低点，由于废水泵房位于线路外侧，一般称为“外挂式泵房”。“外挂式泵房”一般处于承压水层，在承压水层进行联络通道及废水泵房的开挖，施工风险大，目前国内地铁建设通常采用“冷冻法”对周围土体进行加固处理。“冷冻法”是利用冷冻机将冷冻液进行降温，通过敷设的循环管路将其输送到需要冷冻的地层中，保持低温向外扩散，使土体冻结形成帷幕，起到加固土体的作用。“冷冻法”虽然一定程度上降低了施工开挖风险，但仍存在风险系数高、施工工期长、需要使用专用的施工设备、工程造价高、上覆土体可能发生冻胀和融沉等问题，是地铁工程建设中的控制性因素之一。城市轨道交通用内置式泵房轨道技术是将轨道结构特殊设计，在道床中心设置集水坑并内设排水泵进行排水，以取代传统区间废水泵房的新型轨道结构与配套技术。内置式泵房在满足区间排水功能性需求的基础上，采取优化措施对轨道结构进行加强设计及防水设计，增加内置式泵房轨道结构的稳定性及可靠性，为运营后的养护维修提供便利。内置式泵房轨道技术的研究与应用为取消传统的“外挂式泵房”提供了可能，降低了土建施工风险，缩短了施工工期，减少了工程投资，在城市轨道交通普遍面临工期紧张、投资控制严格的情况下，内置式泵房轨道技术的研究与应用，对城市轨道交通的建设具有显著的实际意义和工程价值。

内置式泵房的关键技术内容包括道床中部要开足够大的水槽，将轨道结构切割为左、右两部分，需要保证轨道的整体性和稳定性。盾构管片和道床混凝土为不同时期浇筑，二者之间存在“冷缝”，需防止水进入二者间的空隙从而造成道床剥离。需预留专业接口，保证水泵正常安装。需将钢轨、扣件等易腐蚀部件与水槽隔离开，同时保证疏散功能。地铁轨道的内置式泵房结构主要包括内置式泵房预制轨道板整体道床和内置式泵房现浇整体道床两种结构形式。内置式泵房预制轨道板整体道床，自上而下由钢轨、扣件、轨道板、盖板、自密实混凝土、混凝土底座、防水钢槽等组成。轨道板采用框架式轨道板，混凝土底座中部开槽并设置钢槽，形成中心水沟，水泵安装在中心水沟中，并对管片进行植筋处理。内置式泵房现浇整体道床，由上而下由钢轨、扣件、盖板、道床结构等组成。道床之间设置横撑，对设置水泵位置进行加深处理，对泵房范围设置环形止水材料并在横撑之上设置集水坑盖板。经过相关理论计算分析，内置式泵房轨道结构力学特性均满足使用需求。

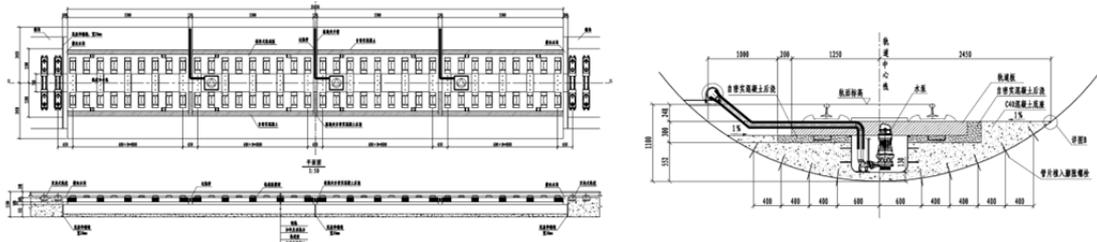


图1 城市轨道交通用内置式泵房预制轨道板结构图

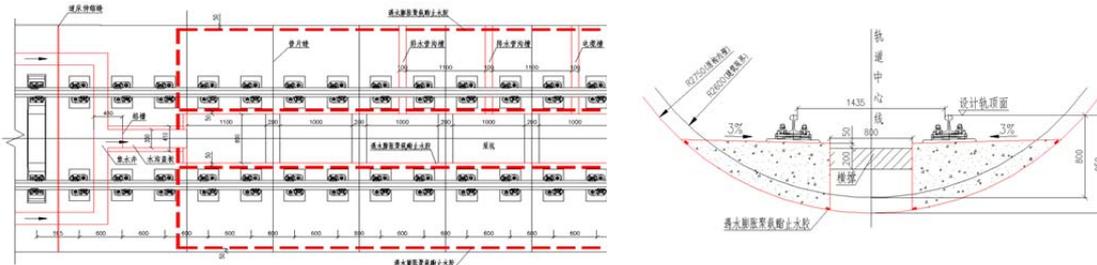


图2 城市轨道交通用内置式泵房现浇轨道结构图

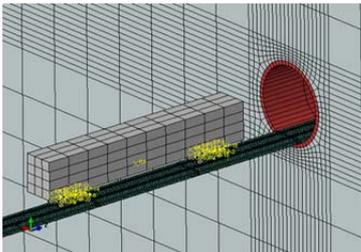


图3 有限元模型

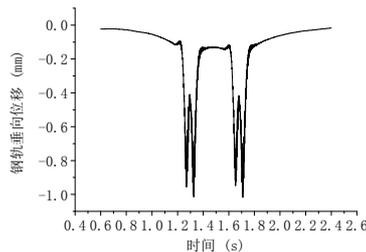


图4 钢轨垂向位移

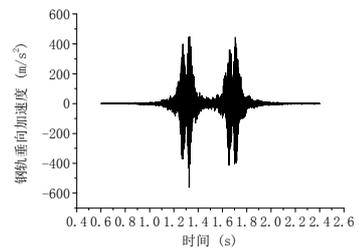


图5 钢轨垂向加速度

城市轨道交通用内置式泵房轨道技术是将轨道结构特殊设计，在道床中心设置集水坑并内设排水泵进行排水，以取代传统区间废水泵房的新型轨道结构与配套技术。轨道道床中心处设置满足水容量要求的集水坑，采取优化措施以加强轨道结构，保证轨道的稳定性及可靠性。内置式泵房轨道技术方案工程造价低、施工方便、缩短了施工工期，规避了传统区间废水泵房存在的问题，减少了土建施工风险，提高了工程进度，并且在后期运营过程中方便清理和检修。

该技术在天津地铁5号线、6号线，宁波地铁3号线以及北京地铁大兴机场线等工程中采用了内置式泵房轨道技术，北京地铁大兴机场线采用了内置式泵房预制轨道板结构，天津、宁波地铁采用了内置式泵房现浇道床结构。其中天津地铁6号线首开段于2016年8月开通运营，运营状况良好。据测算，取消每处传统区间废水泵房并设置上下行合计2处内置式泵房，综合造价节省约350万元。城市轨道交通用内置式泵房轨道技术具有显著的经济、社会和环境效益。

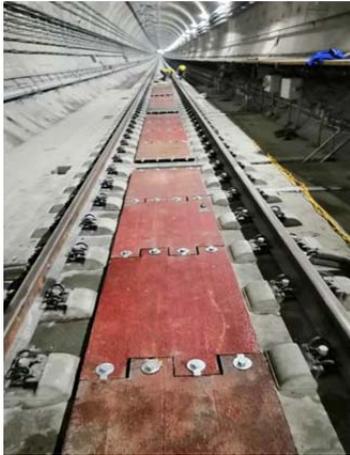


图6 内置式泵房预制轨道板



图7 内置式泵房现浇轨道结构



图8 专利证书

完成单位：中铁工程设计咨询集团有限公司

完成人：杨松

工程设备物联网

一、立项背景

2010年6月，工业和信息化部在上海召开了“2010中国国际物联网大会”，物联网作为国家重点关注的五大战略性新兴产业之一，被纳入“十二五”规划之中。2017年1月，工信部发布的《物联网“十三五”规划》则明确了物联网产业“十三五”的发展目标：完善技术创新体系，构建完善标准体系，推动物联网规模应用，完善公共服务体系，提升安全保障能力等具体任务。2020年10月，十四五规划再次从政策层面明确提出要“推动互联网、大数据、人工智能等同各产业深度融合,推动先进制造业集群发展”。

目前，物联网已开始在许多领域进行试点应用，包括智能电网，智能交通，远程医疗，智能家居等。虽然短期内难以实现各行业的普及，但工程机械在技术应用成熟度、资金与企业标准易于整合等方面具有优势。与各种行业的物联网相比，工程机械的物联网更具有物联网的特点和优势。同时，作为建筑领域新的经济增长点，工程机械产业的升级换代也必将加快。

二、关键技术内容

2.1 工程设备物联网远程终端设计与应用研究

针对工程现场环境和设备的使用要求，设计基于 NB-IoT 的远程终端硬件模块，系统结构为双重总线结构，其中内部的板级总线挂载了窄带物联网模块、九轴姿态模块、精确授时的北斗定位模块、高精度 RTC 模块和电源管理模块；外部的设备级总线挂载了油量传感器、正反转传感器等外设。



2.2 工程设备物联网管理系统设计及应用研究

设计开发工程设备物联网管理数据库，实时、稳定的收集工程设备的运行数据并建立大数据库，根据工程设备运行特点，设计一套工作状态判定算法，通过对姿态、油料等传感器数据的大数据综合分析，准确判定工程设备的实时运行状态。对于不同种类工程设备油箱形状不同的情况，引入 BIM（建筑信息模型）技术精准建模分析，建立油料消耗曲线，提高油

量数据的准确性。同步设计开发工程设备物联网配套管理系统。

三、创新点

3.1 基于大数据的差异性统计分析

建立发动机工作状态与工程设备振动信号的计算模型，揭示其变化规律及阈值，并提出有效工作时长优化算法；

3.2 基于三维建模技术的多项式回归分析

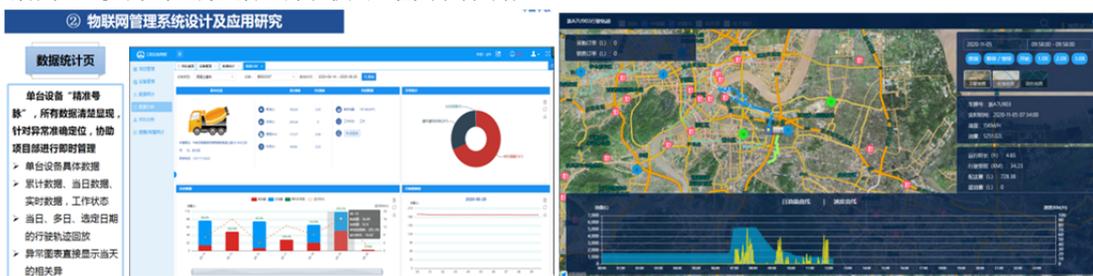
本系统在监测油量中，对各种异形油箱进行了三维建模，并通过多项式回归分析的方法拟合出油量消耗的多段曲线，结合传感器采集的实时数据，精确计算工程设备加/耗油量。

3.3 地理信息系统技术

与第三方拥有地理信息系统服务的公司合作，利用第三方公司的地理位置数据和地图API，在系统上对地图工具实现灵活运用。

3.4 窄带物联网数据传输及数据库技术

基于蜂窝通讯的窄带物联网技术，支持低功耗设备在广域网的蜂窝数据连接，同时建立自有数据库，实现大数据的分析和自有存储。



四、推广应用情况

通过采用工程设备物联网，用户可全面、实时掌握工程设备工作状态、运行轨迹、油料消耗、有效工作时长等运转数据，全面掌握各类型设备的单位时间内燃油消耗，及时更换或清退高耗能设备，节约成本。

工程设备物联网已在中铁四局集团苏锡常南部高速公路、茂湛高速、雅叶高速、杭绍台铁路、盐通铁路、福厦铁路、贵南客专铁路、黄黄铁路、合安九铁路、赣深铁路、西安地铁五号线、南宁地铁等 30 余个项目进行了广泛、长期的应用测试，覆盖挖掘机、装载机、罐车、洒水车、平板车、汽车吊、渣土车、油罐车等 10 多种常见的工程设备。测试结果表明：工程设备物联网在减少现场机械管理人员数量、降低工作强度的同时，提高了工程设备监管力度，监控的数据的维度更多，实用性更强。施工企业通过对信息提取和分析，可以为生产管理提供可靠的技术支持，帮助企业提升管理水平、作业效率、节约管理成本、扩大品牌效应，让企业走在市场的最前沿，具有较为可观的推广应用价值及广阔的应用前景。

五、相关知识产权及荣誉

在该技术研究过程中，共申请发明方法 1 项（实审）、实用新型 2 项（授权）、软件著作权 2 项（授权）。

完成单位：中铁四局集团有限公司、安徽数智建造研究院有限公司

完成人：梁超、陈平、于健、刘文乐、贾波、李福健、周双强、耿天宝、刘道学、程维国、赵静文、尹君

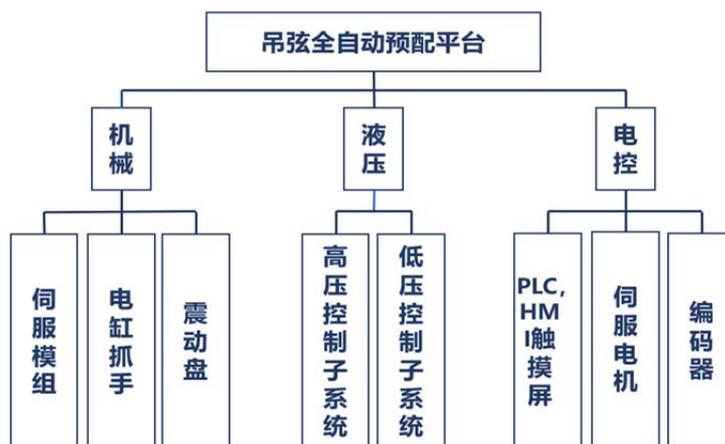
接触网整体吊弦全自动预配技术

一、立项背景

随着我国铁路建设的发展，铁路工程建设不断向智能化、信息化迈进，从而推进施工总承包方不断推出和改进施工工艺和施工方法。中铁武汉电气化局联合相关单位开发的接触网整体吊弦全自动预配装备，将吊弦预配从人工预配提升到了全自动化预配，解决了人工预配容易出错、误差较大、质量不易掌控等缺点；进一步提高了生产效率，降低了人力成本，提升了产品质量。

二、关键技术内容

1. 接触网整体吊弦预配平台结构图



2. 整体吊弦加工

启动按钮，送线电机开始送线，线头通过全封闭的导向管道依次穿过两个压接管，出口侧伺服抓手机构到定位点精准抓线、穿压接管、穿连接线夹并压接，完成吊弦线一端的加工，然后根据设定的吊弦线长度，移动夹钳和送线电机同步移动自动送线到计算长度，二次穿压接管、穿连接线夹并压接、完成吊弦线另一端的加工。吊弦完成后再进行承载力及长度检测。

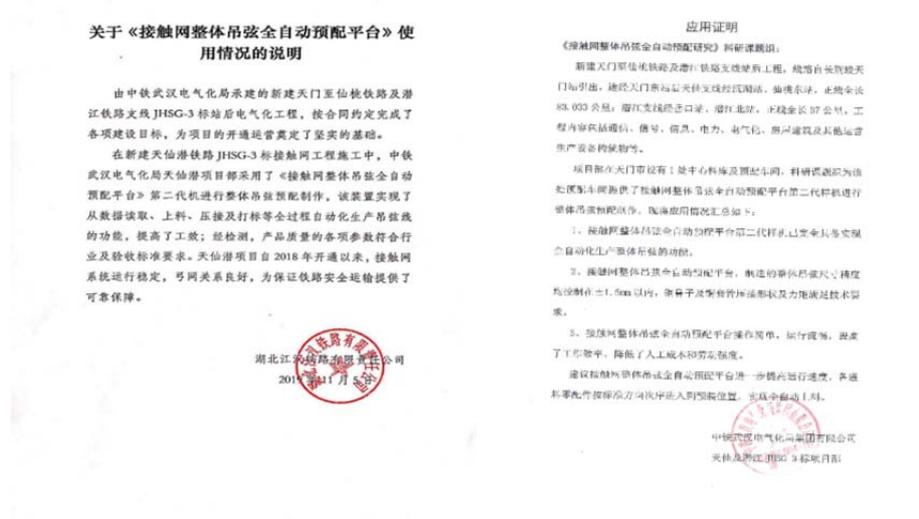
三、与同类技术对比

- 1.通过软件计算实现长度的精确控制，实现心形环、压接管、铜鼻子的准确定位；
- 2.抓手精准抓线、穿线，采用三坐标伺服模组，精确定位坐标，实现抓线穿线旋转功能；
- 3.吊弦线校直机构和张力检测机构为一体，节约了机器的整体尺寸；

四、推广应用情况

该成果在武黄、天仙潜、连锁等项目接触网工程施中进行了应用，产生了良好的技术经

济效益和社会效益，在行业内得到了普遍认可。



五、相关知识产权及荣誉

获得 2019 年度中国铁路工程总公司科学技术奖二等奖，获得发明专利 2 项、实用新型专利 7 项，核心期刊发表论文 1 篇。

1.中国铁路工程总公司科学技术奖二等奖

2.发明专利：

- (1) 一种心形环环绕机构
- (2) 一种铁路吊弦线全自动智能制造装备

3.实用新型：

- (1) 一种和机械手配合紧固铁路接触网定位环的安装夹具
- (2) 一种用于整体吊弦预配全自动生产设备的剪线机
- (3) 一种用于整体吊弦预配全自动生产设备的矫直机
- (4) 一种用于整体吊弦预配全自动生产设备的机械手机构
- (5) 一种用于整体吊弦预配全自动生产设备的工作台
- (6) 一种心形环环绕机构
- (7) 一种铁路吊弦线全自动智能制造装备

4.论文：论智能控制在整体吊弦预配中的应用

完成单位：中铁武汉电气化局集团有限公司

完成人：冉伯扬、余勋华、刘洋、祝晓红、吴荣超、陈珊珊

建筑钢结构冷丝复合埋弧焊技术研究与应用

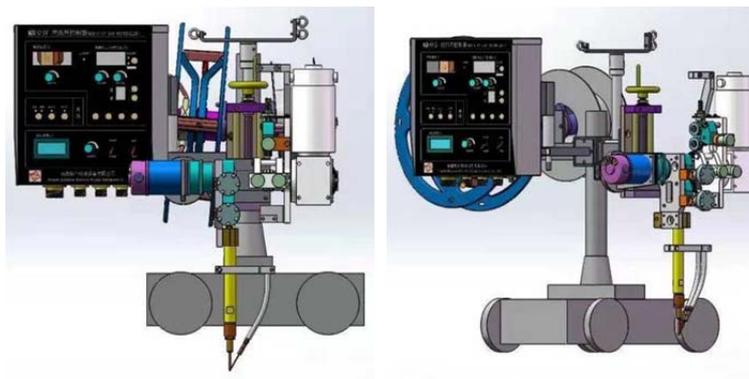
一、立项背景

建筑钢结构具有自重轻、建设周期短、适应性强、外形丰富、维护方便等优点，其应用越来越广泛。同时随着材料制造工艺水平的不断提高，超厚板也越来越多地应用到工程建设中。焊接作为构建钢结构的一种主要的连接方法，在建筑钢结构中发挥了重要的作用。据统计，约 50%以上的钢材在投入使用前都需要经过焊接加工处理。因此，迫切需要优质高效的焊接技术。

二、关键技术

1、集成双细冷丝的复合埋弧焊装备研制

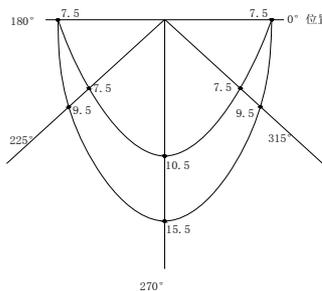
设计复合埋弧焊装备运动机构，根据冷丝埋弧焊原理确定送丝装置的结构形式，整体结构符合配重要求。集成控制箱尺寸为 330*300*120mm。小车整体重量 80kg，实现冷丝送丝机头的上下、左右、旋转三个自由度的调节，调节精度满足插入熔池位置。冷丝送丝速度调节范围 0~60mm/s。集成复合埋弧焊控制系统，设计复合埋弧焊机头系统，对设备强度和刚度进行校核，确保设备操作过程中的简便性与平稳性。



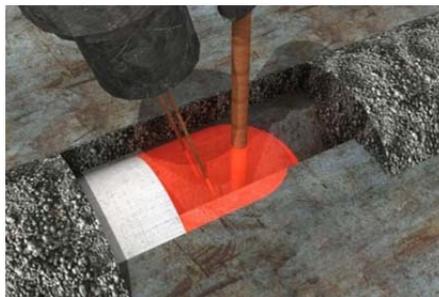
二代设备整体效果图

2. 集成细冷丝的复合埋弧焊焊丝排布方式及匹配参数控制技术

首创双细冷丝+热粗丝的三角形排布方式，在焊接过程中，热丝与焊接中心线的夹角为 75-90°，冷丝与焊接中心线的夹角为 74-76°。两个冷丝的端头位置齐平且比热丝的端头位置高 2-3mm。通过在实际构件上焊接计算：和传统单粗粗丝埋弧焊相比，在不增加能耗的条件下，焊接效率提升 26%，焊接使用量降低 24%。确定冷丝最佳插入位置，形成热丝与冷丝三角形排布分析，充分利用焊接热源。分析复合埋弧焊焊接过程中的热平衡，在箱型构件上成功应用集成冷丝复合埋弧焊技术，焊接效率提升，同时减少了焊剂使用量。



焊丝插入理论图



冷丝与热丝布置图

3. 基于剩余焊丝二次利用的碎丝埋弧焊技术

自研焊丝粉碎机，可将剩余气保焊丝粉碎至尺寸为 10~20mm 的碎丝。当碎丝铺设厚度 ≤ 5mm 时，碎丝可完全熔化，随焊接熔池的移动而形成焊缝。通过该技术，可有效解决气保焊操作过程中焊丝浪费问题，实现车间焊丝零剩余。



焊丝破碎机



粉碎焊丝填充焊道

三、应用情况

该成果已在武汉瑞安、郑州奥体、长沙大王山等项目构件加工过程中成功应用，累计创效 691.4 万元。该技术成果在不增加能耗的情况下利用焊接过剩能量实现焊接效率提升，同时可显著降低焊接热输入对母材的损伤，具有广泛的应用前景。



郑州奥体项目



武汉瑞安项目

四、知识产权及相关荣誉

该项成果获取获 5 项国家专利，其中发明专利 2 项、获省级工法 4 项、发表中文核心期刊论文 2 篇、获 2019 中国建筑集团 QC 成果二等奖、2019 中建钢构科技进步二等奖。

完成单位：中建钢构武汉有限公司、中建钢构工程有限公司、中建科工集团有限公司

完成人：王志强、刘欢云、金伟波、李卫华、董晶、杨高阳、康宁、邓凌云、许帅、郭继亮

建筑施工升降机运行空间“光电感应式” 安全装置的应用研究

一、研究背景

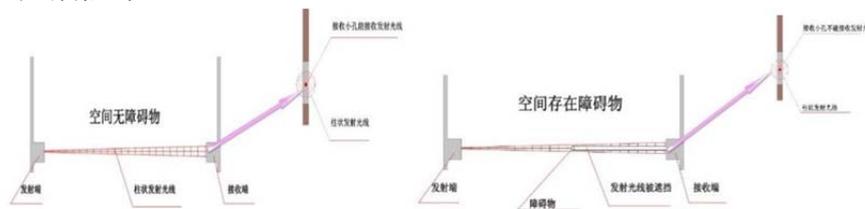
随着我国城市化建设不断推进，建设投资规模逐年上升，建筑行业进入高速发展时期，在民用建筑中高层及超高层建筑比例逐步加大，施工升降机作为高层及超高层建筑必备的垂直运输设备，其扮演着越来越重要的作用。施工升降机在广泛运用的同时，因施工升降机与运行空间内的障碍物碰撞，造成人员伤亡、设备损坏等安全事故频发。本技术主要针对上述问题，研发出一种简单可靠、经济性高、适应性强的建筑施工升降机运行空间“光电感应式”安全装置，可有效避免建筑施工升降机与运行空间障碍物发生碰撞造成人员伤亡、设备损坏等安全事故。

二、关键技术内容

“光电感应式”安全装置由光电式感应装置、手动停止复位器和伸缩机构三部分构成。

(1) 关键技术一：施工升降机空间障碍物感应与拦截技术

通过光电式拦截装置采用对射型光电开关对障碍物进行感应与拦截，当施工升降机运行空间内无障碍物时，发射端发射光线顺利被接收端接收，不发出感应信号，不产生拦截信号，施工升降机正常运行；施工升降机运行空间内有障碍物，障碍物阻碍接收端接收光线，发出感应信号，产生拦截信号。



拦截装置工作原理图

(2) 关键技术二：施工升降机运行控制技术

研发了手动停止复位装置功能，实现对施工升降机运行控制。施工升降机运行控制技术主要包括三大功能：根据拦截信号控制施工升降机停止或运行；为防止施工升降机越过障碍物后重新启动，施工升降机需实现运行停止自锁；实现施工升降机重新启动或应急启动。



手动停止复位器外观图



手动停止复位器内部结构图

(3) 关键技术三：拦截装置伸缩技术

研发了施工升降机拦截装置伸缩装置，通过在“光电式”拦截装置基础上设置伸缩机构，达到适应施工升降机地面不同缓冲高度的目的。在施工升降机下端部左右两边安装套筒，伸缩杆（矩管）下端与光电开关通过螺栓连接，上端穿过套筒，在套筒内部设置弹簧。



伸缩装置

三、与同类技术对比

性能指标	同类技术		本技术
	机械式	视频影像	
防护全面性	全状态	启动时，无影像	全状态
自动化程度	自动化控制	人工控制	自动化控制
现场适应性	易变形	易损坏	适应性强
拦截安全性	不安全	不安全	安全性好

四、推广应用情况

本技术已在我公司成熟运用多年，先后在公司鲁班奖工程“伊泰天骄”、“成都绿地中心4号地块”等30余项工程进行运用。我公司结合本技术装置及自主研发的施工升降机层门联锁、工具式楼层平台、风速检测、人数检测、附着平层等装置形成了施工升降机安全防护系统并进行整体推广，取得了良好效果，目前该施工升降机安全防护系统已在10余家施工企业进行运用。



拦截装置应用图



下部拦截装置实物图

五、相关知识产权及荣誉

该技术经专家鉴定达到国内领先水平，获得发明专利2项，实用新型专利5项；荣获中

国施工企业管理协会科学技术奖创新成果奖、成都市科技进步奖、成都市职工创新成果奖等多项荣誉。



完成单位：成都建工第四建筑工程有限公司

完成人：李熊飞 徐开华 贾鹏坤 李科 刘飙 李小平 李光睿 李闯 罗颖 陈思为

大断面超长湖底隧道双台车联动快速施工技术

一、立项背景

苏锡常南部高速公路太湖隧道工程为国内在建截面最大、长度最长的湖底隧道，隧道按双向六车道高速公路标准建设，隧道主体结构为两孔一管廊，断面布置为(17.45+4.5+17.45)m，隧道暗埋段结构采用浅拱、中拱、深拱以适应隧道不同深度受力需要。面对工程体量大、工期紧、技术难度高、安全风险高、环保压力大等难题，进行技术创新，设计了分离式模筑液压台车及提吊式钢筋绑扎台车，并总结出一套双台车联动作业的快速化施工方法，在加快工程进度、提高隧道混凝土自防水性能、适应隧道多断面施工、减少劳力、降低施工风险等方面达到显著效果。双台车的设计与联动施工创新技术的运用，可为江、河、湖底隧道施工提供借鉴。

二、关键技术内容

每断面模筑台车由2套外侧模，2套主孔道内模，1套管廊内膜组成。一套台车由模板总成、平移机构、骨架总成、走行机构、液压支撑系统等组成



图1 模筑台车

每个断面钢筋绑扎台车由2个主孔道钢筋绑扎平台车和一个管廊钢筋绑扎平台车组成。台车主要由钢筋绑扎平台、钢筋悬挂梁、走行机构组成。钢筋绑扎平台由平台结构、工作平台、液压系统组成。钢筋悬挂梁由主吊梁、前支腿、中支腿、后支腿、配重、吊轮、前后辅支腿及液压动力系统组成。

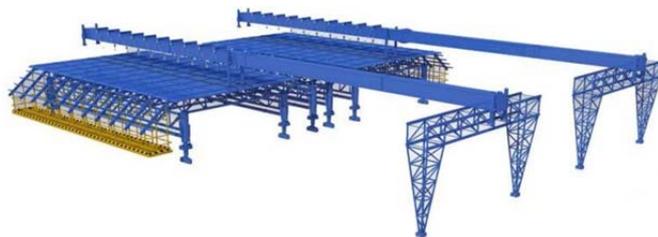


图2 钢筋绑扎台车

上一节段混凝土养护等强时进行下一节段钢筋绑扎，钢筋绑扎时间不占总工期，模筑台车和钢筋绑扎台车实现了无缝对接，降低了安全风险，节约了工期。

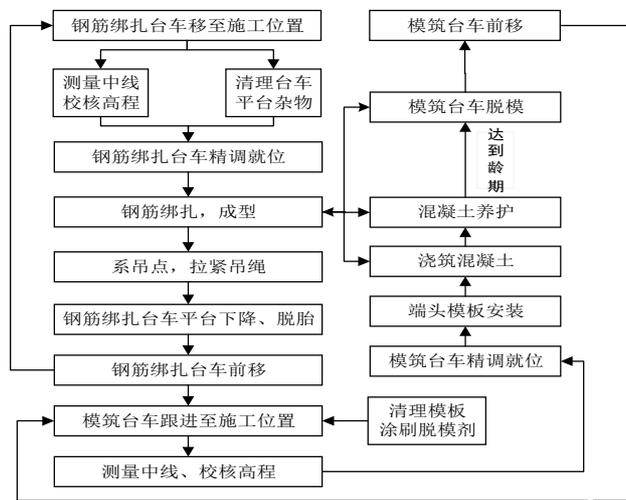


图3 施工工艺流程图

三、与同类技术对比

较传统工艺（支架体系）比较，使用双台车进行湖底隧道施工更具优势。

表1 综合比选表

序号	对比项目	木模板+ 盘扣支架	模筑台车+ 自提式钢筋绑扎台车	备注
1	浇筑混凝土	340 元/m ³	115 元/m ³	不提供支架模板
2	浇筑一模费用	51 万	17.25 万	一模 20m 墙身+顶板
3	模板可周转次数	/	200 次	
4	一次性投入	/	860 万+330 万=1190 万	
5	使用 36 次成本	1836 万	621 万	720m
6	人力	35 人	5 人	搭支架、立模
7	施工速度	30 天	10 天	20m 一节段
8	混凝土成型效果	一般	好	

从表格看出，循环使用 36 次，即完成成本回收，根据工程量，模筑台车+自提式钢筋绑扎台车周转次数在 40 次以上。混凝土模筑台车单独完成一模 20m 段施工需要 15~18 天，搭配钢筋绑扎台车需 10~12 天完成一模 20m 段施工，节省工期 5~6 天。

四、推广应用情况

双台车联动快速施工技术使得钢筋绑扎工序与模筑台车作业工序同步进行，实现无缝对接，不占用主线工期，从而加快施工进度，提高模筑台车使用效率，节约工程成本，具有安全、环保、高效、快速施工的优势，在太湖隧道、苏州金鸡湖隧道、无锡周铁隧道等工程成功应用。

完成单位：中铁四局集团第二工程有限公司

完成人：费晓春、狄鹏、廉云亮、赵菲菲、余秀平、刘宠、陈永恒、黄河、朱利荣、孙天赦

隧道智能开槽机器人

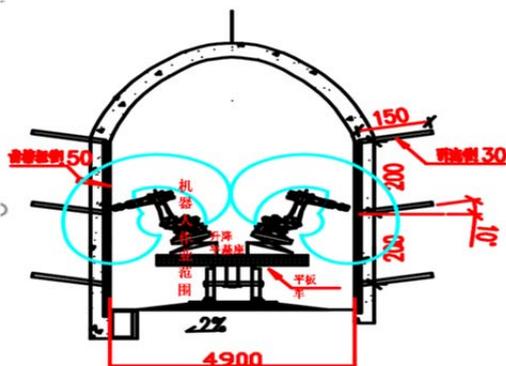
一、立项背景

截至 2019 年底，中国铁路营业里程达 13.9 万 km。其中，隧道 16084 座，总长 18041km。然而已建成的隧道由于多种原因，诸如渗漏水、衬砌裂损（裂缝）、冻害、衬砌腐蚀及隧底翻浆冒泥等病害严重，影响铁路的安全运行及扩能提速。

针对隧道渗漏水病害，主要的整治方式为开槽引排。目前行业内常规施工方式为人工进行开槽引排，没有自动化程度和效率较高的机械施工方式，工效低，如在铁路既有线运营天窗点作业，难以保证工期兑现且成本极高。为提高工效，减少施工周期，降低人工成本，项目提出了研发隧道智能开槽设备的需求。

二、关键技术内容

本项目关键技术为利用铁路平板车为设备载体，能适应隧道环境，可在老旧隧道不平整的混凝土墙面上开出相对顺直的排水槽，并尽可能的智能自动化。为达成以上目标，研究采用铁路平板车为载体，工业机器人为作业机具，开发大功率开槽机，基于激光断面扫描分析技术控制开槽轨迹，研发操作系统进行一体化操作，设置应急、除尘、降温等辅助系统。



三、与同类技术对比

隧道智能开槽机器人研制及应用成功，改变了隧道病害渗漏水人工开槽效率低下等现状，填补了国内外该领域的空白，经查新属国内外首创。

创新点 1：国内外首创智能机器人隧道开槽系统，填补了国内外空白，具有能快速进出铁路作业供电，开槽快速、准确。替代了以往人工小型机具开槽。工效提高 72 倍。

创新点 2、采用自行研发的变频大功率开槽机，更换刀具可开不同宽度、深度的槽，利

用运动轨迹控制可开燕尾槽等特殊断面。

创新点 3、隧道智能开槽机器人系统具有装配式、可编程、自动化程度高等特点，通过更换作业平台、更改控制程序等就可以适应各种不同使用场景。

四、推广应用情况

2019 年 1 月至 2021 年 4 月，隧道智能开槽机器人在中铁二局集团有限公司焦柳电气化改造 JLDH-1 标等工地隧道渗漏水病害开槽引排中成功运用。



五、相关知识产权及荣誉

2021 年 9 月荣获中施企协首届工程建造微创新技术大赛一等奖，目前本项创新技术已形成了发明型专利 2 项（已受理），实用新型专利 5 项（3 项已授权，2 项已受理）。



完成单位：中铁二局集团有限公司，中铁二局第五工程有限公司，四川工程职业技术学院
 完成人：杨凌武、唐豪、谢卜均、胡明华、张开军、周维明、廖杰、罗文龙、董兵、薛岳

地铁隧道打孔机器人

一、研究意义

城市轨道交通需在隧道区间敷设环网电缆，通信、信号光电缆及漏缆，刚性接触网悬挂安装以及疏散平台搭建等工作，需安装大量环网电缆支架、弱电托臂支架、疏散平台支架以及刚性接触网悬挂，以满足地铁安全运营的要求。一条地铁线路，大概需要各种不同深度不同大小的安装孔共计 62 万个，目前如此庞大的工程量全靠人工完成。

本设备通过技术攻关，解决人工打孔速度慢、精度低的弊端，提高了站后机电施工进度，将使研发的钻孔设备在工程实施效率、精度及施工成本等方面得到改善，通过开发新型智能化的施工设备，提高基础设施领域的技术装备水平。

二、关键技术内容

(1) 隧道轨行式全向内壁打孔机械设备隧道壁打孔及调试技术

通过研究设计自动化机械设备改变传统的打孔作业方式，新型的隧道轨行式全向内壁打孔机械设备实现自动打孔，提高工程的作业效率，有效的保证了安装的孔位精度准确性和安装孔的质量。



图1 打孔精确定位

(2) 隧道打孔深度测量及控制技术

通过液压系统驱动，比例阀控制钻头驱动油缸，油缸侧并列安装直线位移传感器用作钻孔深度的实时反馈，位移传感器信号由放大器将其放大后输入给 PLC 计算。控制系统对设定数据与反馈数据计算并自动控制，使钻孔的深度与设定钻孔深度一致，有效的保证了打孔精度。

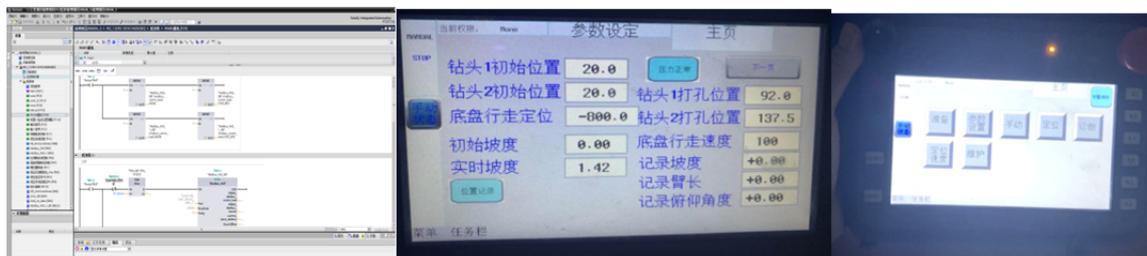


图2 PLC 控制系统及手持端

（3）轨行向孔位位置控制技术

通过轨行向孔位位置控制技术研究，减少前期人工划线标点时间和人为误差，底盘位移通过高精度的伺服电机、减速器、主传动轨行轮实现孔位位置控制。

（4）折臂反馈角度测量技术

轨道交通线有多种隧道形状，有圆形的、马蹄形、方形等，为了实现适用于各种形状的隧道内设备都能全方位钻孔，设计了执行机构使用折臂机械结构并在各机械臂上都安装了高性能角度传感器。在各空间点作业时，能够测量出对臂的运动姿态的角度、角速度等数据信息，实时反馈给控制系统。



图3 不同类型断面打孔作业

三、与同类技术对比

地铁隧道打孔机器人技术水平达到：钻孔位置与目标位置偏差 2mm，孔间距的相对为位置 5mm，方向偏差 1°，钻孔直径 8-30mm，适应的隧洞直径为 5m-8m，平均单孔作业时间小于 24s（较传统人工缩短 5 倍）。

四、推广应用情况

地铁隧道打孔机器人在徐州市城市轨道交通 3 号线银山站~创业园站左线投入使用，进行了打孔精度、打孔位置、自动打孔的调试，同时对地铁隧道打孔机器人通过盾构区间、马蹄形隧道、道岔等多地段进行了修正和调整，确保了打孔机器人在全断面和各道床类型的顺利安全运行，并即将在长春地铁进行推广应用。



图4 推广应用情况

五、相关知识产权及荣誉

本设备获得实用新型专利授权 7 项，申请发明专利 7 项，获得第三届中国建筑创新创效大赛银奖，南京市创新创业大赛优秀奖。

完成单位：中建安装集团有限公司

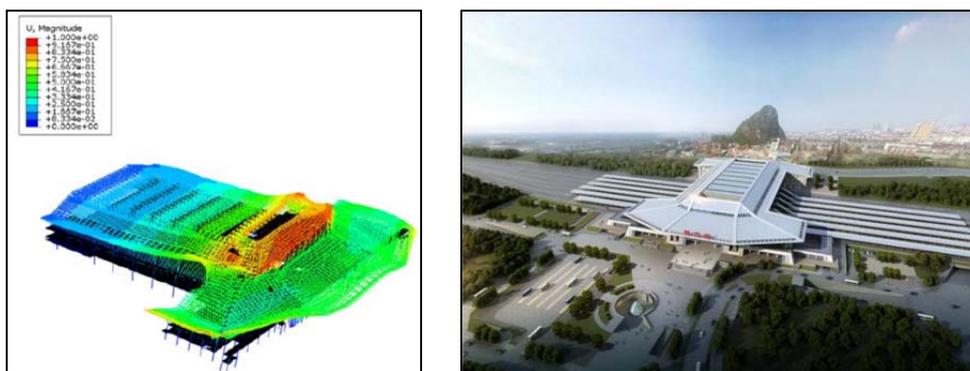
完成人：王宏杰、张睿航、贾玉周、张国华、张震刚、李政、王会乾、张强杰

大型枢纽站房空间网架健康监测及结构 评损设备安装技术

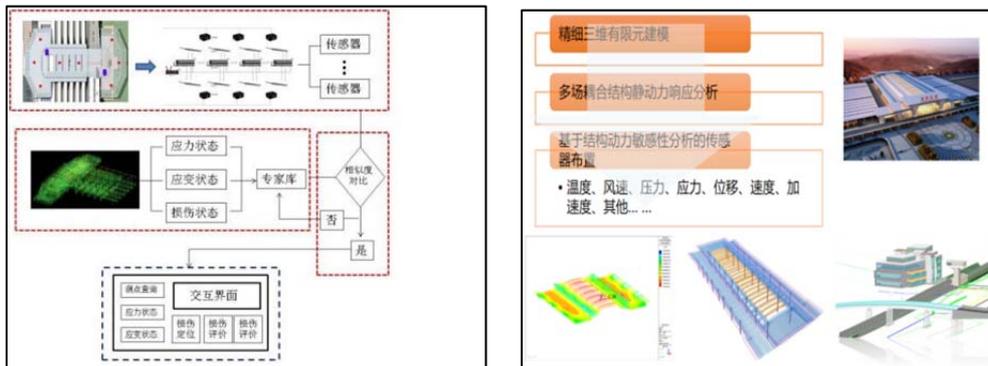
近年来，随着我国国民经济的快速发展，新建筑体系和结构要求也逐渐增多，尤其我国对高速铁路和军民机场的等大型公共设施的大量投入，具有整体性好、稳定性强、空间刚度大以及便于施工等优点的大跨度结构得到了蓬勃发展。随着工程项目体量逐渐增大，拟(在)建项目工程质量和安全控制标准逐年严格。进度和成本控制难，质量难以保障，盲目加快施工进度导致工程事故频发，危害极大！

基于此，本课题采用理论分析、有限元分析与现场监测相结合的方法，对大型高铁站房结构的健康监测和损伤评判进行了综合研究，依托实际工程开展了不同工况下大型高铁站房结构整体及局部的动态响应分析研究。建立了针对大型复杂工程结构健康监测点位优化的技术方法，突破了以下三方面技术

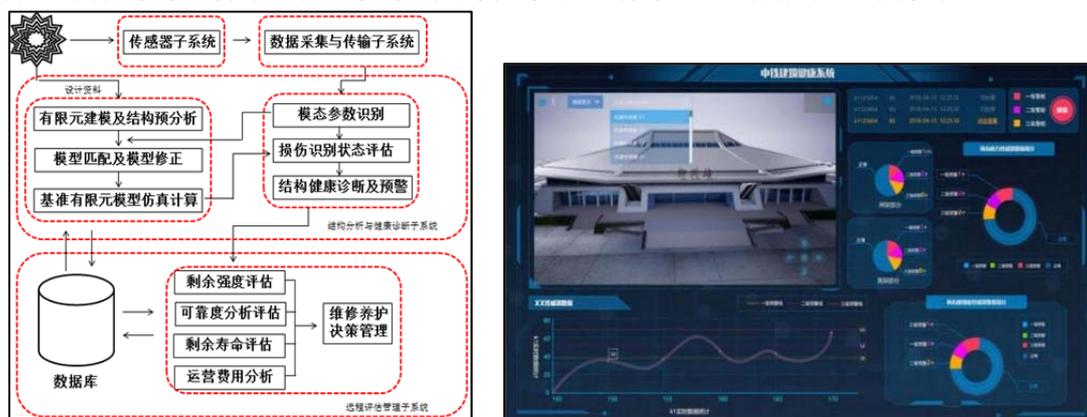
创新点一：率先提出了基于敏感系数的判别关键结构(构件)的分析方法，通过建立高铁柳州站的三维有限元模型，解决了针对大型复杂工程结构健康监测点位优化的技术。



创新点二：采用因果关系分析，建立多类型传感器数据的耦合算法，同一或相邻测量截面上关联传感器信号数据的相互校验，提高了安全评估系统的冗余度。



创新点三：建立工程结构在不同服役环境工况下的全模型数据库，形成了针对大型高铁车站健康监测的预警分级制度，提高了大型复杂结构损伤的评定精度。研发了大型高铁站房结构健康监测及损伤评判系统，实现了高铁车站工作状态的智能化监测管控。



通过与国内外同类技术的综合比较可知，本成果在高铁站站房改扩建工程中得到充分应用，该系统的成果应用，有效解决了大型复杂工程监测点位布置数量大、多类传感器信号协议统一难及非荷载响应数据“跃点”避免难等一系列关键难题，具有：安装简单，监测成本低，监测效率高，呈现效果好等一系列优势。获授权发明专利 1 项，软件著作权 2 项，发表论文 3 篇。成果整体达到“国内领先”水平。该技术的成功应用有效保障了大型高铁站房空间网架结构的安全运行，并受到铁路局的一致好评。

与国内同类技术综合比较

主要内容	本项目技术水平	国内技术水平	对比结果
无线透传技术	传感器采用数字识别	人工监测和数据识别	监测成本低，监测效率高
健康监测及损伤评判系统	工作状态的智能化监测管控。	无	首创
敏感度权系数	对比筛选整体结构的重要关键构建	无	首创
多类型传感器的耦合算法，	实现同一或相邻测量区域关联传感器信号数据的相互校验	无	保证了监测系统的可靠性

该技术已应用于中铁建设集团柳州站改扩建项目中，监测对象包括该站大跨度异形钢屋架应力应变监测，主体结构位移、振动监测，风速、温度等环境监测等。监测点位 100 余个，覆盖了该工程项目各阶段的所有安控节点，有效保障了该工程的施工和运维安全。解决了人员设置多、结构相应慢、损伤定位难等重大问题，解决人工费和设备费用约 400 余万元。

课题成果具有一定的代表性，具有很强的推广价值，为今后中大型高铁站房健康监测提供了经验借鉴。

完成单位：中铁建设集团有限公司、中铁建设集团基础设施建设有限公司、中铁建设集团（杭州）建设有限公司

完成人：陈静、韩锋、李晓阁、李海龙、任松波、刘鹏

多功能模块化自行式盾构移动基座的研发与应用

一、立项背景

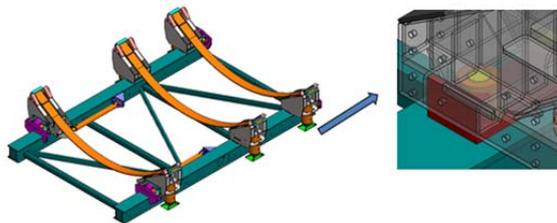
1、立项背景：（1）地下工程建设中盾构法普遍应用，但与之配套的设备研发技术相对落后，制约了盾构整体施工效率和绿色文明施工水平；（2）城市建筑物密集度高，地面可利用空间少，盾构在受限空间的整体移动问题成为目前要解决的主要问题之一；（3）现有盾构基座尺寸难以满足受限空间盾构移动过站需求，存在以下问题：1）受限空间，无法使用大型吊运设备，物料运输困难。2）现有基座存在离地间隙大，稳定性差，效率低等诸多不足。3）现有基座难以做到循环利用。因此研发多功能通用型移动基座是行业发展的必然趋势。

2、研究目的及意义：该项目旨在解决受限空间盾构移动基座存在的诸多问题及利用该基座实现盾构平移、转体、调头等施工。项目成果的应用降低了基坑开挖难度及造价，降低了运输及吊装成本，基座可以重复利用，大大降低施工成本，具有明显的经济效益；研究成果有效解决受限空间盾构机始发、接收、过站、平移调头等施工难题，可有效缩短盾构机穿越风井的施工工期，人员需求少，劳动强度低、不产生污染，满足绿色、环保施工要求，具有较好的社会效益；研究成果解决了工程施工难题，实现了盾构移动设备向装备自动化的发展。成果形成后，在行业内部进行了推广，具有广阔的应用前景。

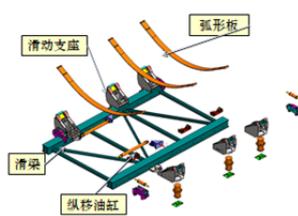
二、关键技术及创新点

本项目移动基座采用自行走模式，液压驱动，实现六个自由度运动。实现最小离地间隙200mm 工况下的盾构始发、接收、过站、平移调头等多项功能。采用模块化的设计和组装，使拆装便捷化、轻量化。

创新点 1. 研制的移动基座具有盾构始发、接收、平移、过站、调头等功能，离地间隙小，具有集成化程度高、自适应能力强、施工速度快等特点。

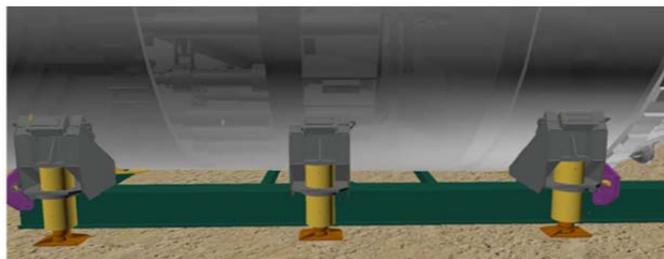


创新点 2. 采用模块化设计，使基座具有吊装容易、搬运便利、拆装快捷等优点。



创新点 3. 设计了高度补偿结构，使各支座受力均衡，具有整体自稳性。

创新点 4. 项目成果在实际工程中成功应用，形成了一套使用多功能模块化自行式盾构移动基座的施工方法。



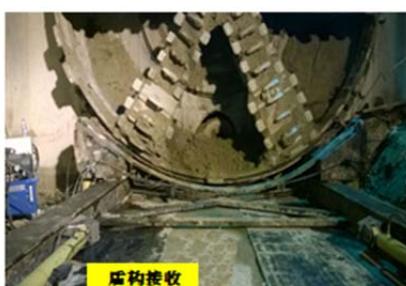
三、与同类技术对比

本项目成果由教育部科技查新工作站进行了国内外查新，给出查新结论为：在所查国内外公开发表的文献和专利中，未见与本项目特点相同的报道。与类似项目相比具有明显优势：

项目	固定基座下垫滚杠	固定基座下垫滚液动件	滚轮基座	液压提升循环移动基座	液压双层梁基座	本成果基座
吊装运输能力要求	高	高	较高	高	高	低
运输通道尺寸	大	大	较大	大	大	小
姿态操控性	困难	困难	困难	较好	好	好
施工中的焊接	大量焊接	大量焊接	与盾壳焊接	与盾壳焊接	不需焊接	无焊接
盾构离地间隙	大	大	较大	较大	很大	小
是否可重复使用	否	否	需修复	需修复	是	是
效率	低	低	较高	较高	较高	高

四、推广应用情况

该移动基座首次在北京地铁 16 号线 3 标盾构工程中进行应用，成功在尺寸空间狭小的暗挖接收井内进行盾构机的接收、整体移动通过长度 30m 风井，并进行了二次始发。



五、相关知识产权及荣誉

该项目成果获得国家发明专利和实用新型专利各一项。2019年北京市住房和城乡建设委员会组织召开了科技成果鉴定会，形成鉴定结论：研究成果总体达到国际领先水平。2016年获北京市轨道交通“五小”成果创新奖。2019年获得中国施工企业管理协会科学技术进步二等奖。2021年获得中国安装协会科学技术进步二等奖。

完成单位：北京市政建设集团有限责任公司、北京市市政四建设工程有限公司

完成人：张海鹰、孔恒、吴钦刚、汪健、郑仔弟、刁春仁、王京磊、耿富林、张仲宇、林雪冰

单线隧道矩形框架台车

一、研究背景

在单线、狭窄隧道的二衬施工过程中，因隧道断面尺寸窄小，考虑过车，传统台车侧模底部难以有效支撑，因支撑力不足侧模易产生内收、上浮及跑模问题。严重影响施工现场作业人员、设备的安全，二衬质量较差。

目前，对于单线、狭窄隧道二衬台车普遍存在的以上问题，国内各生产台车厂家，都还没有从设计角度上加以改进完善，使问题得以彻底解决。因此我公司进行了单线隧道矩形框架台车的设计。台车为全液压控制，自动行走，主要由模板、门架、栈桥、支撑系统、走行机构、液压系统、爬梯平台等构成。台车多榀门架组合



传统的单线模板台车



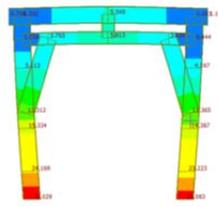
单线隧道矩形框架台车

形成矩形框架，形成闭环结构作为模板的支撑体系，有效克服了侧模底部通过丝杠传递至矩形框架底部的压力，解决了传统台车门式框架立柱刚度不足，侧模内收、上浮及跑模问题。

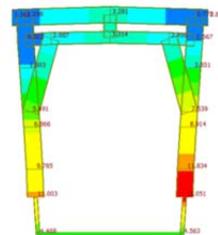
二、关键技术和创新点

2.1 矩形门架支撑体系

传统隧道衬砌模板台车门架为门式结构，但在单线隧道中，因断面尺寸小，为保证车辆通行，侧模底部往往难以有效支撑。因此我公司创新设计了矩形门架，形成闭环支撑体系，门架刚度大，给台车侧模支撑提供可靠支点。



不考虑轨道横推力，门式门架底部横向位移30mm。



不考虑轨道横推力，增加1100方管横向支撑，相同材料矩形门架底部横向位移13mm。

2.2 浮放式栈桥

因矩形门架底部设计有横梁，车辆无法通行，因此匹配设计随行栈桥，满足施工车辆通行；且栈桥为浮放式设计，保证了栈桥支撑于地面，而不与门架横梁接触，车辆通行不影响。台车受力。

2.3 栈桥提升机构

台车衬砌施工完成后，为方便移动栈桥，特设计了栈桥提升机构，人工倒链提升或液压提升。



可提升浮放式栈桥

三、推广应用情况

目前该台车分别在大临铁路、水蚌铁路、银西铁路、郑万铁路等进行了应用，效果良好。

台车有效施工长度 12m，轨距 4m，可满足 $\geq 2.7 \times 4.1\text{m}$ （宽 \times 高）的过车净空，保证 1.5m 的风管通过，顶拱脱模空间 170mm，侧拱脱模空间 200 mm。



施工现场使用情况

四、相关知识产权及荣誉

4.1 专利

目前该台车已取得发明专利。

专利名称：一种基于矩形支架的隧道二衬施工模板台车

专利号：ZL 2014 1 0675237 .X

4.2 获奖

该台车于 2019 年 12 月获得了中国铁道学会科学技术奖三等奖。



专利和获奖证书

完成单位：中铁一局集团公司 中铁一局集团物资工贸有限公司

完成人：齐永前 刘红梅 张琪 石学智 李晶 刘腊梅 曹清伟

三维空间可调的曲面铝板幕墙挂接系统创新

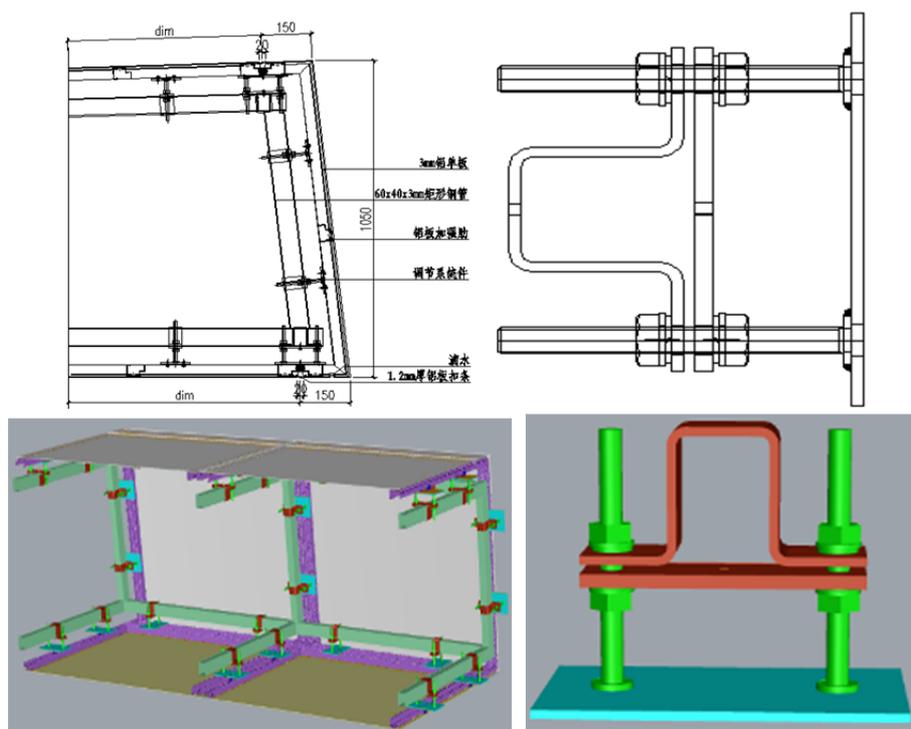
一、立项背景

传统铝板幕墙做法对于异型复杂铝板面板的安装存在着诸多弊端，尤其在安装过程中对铝板面板变形有很大的影响，同时对龙骨的加工、安装精度要求极高，且本工程环型铝板幕墙工程量大。所以，急需改善传统做法，创新一种非线性曲面铝板幕墙安装系统。

二、关键技术及创新点

关键技术：钢板转换件+螺钉固定系统：钢板转换件一端与幕墙龙骨采用抱箍固定，通过松紧抱箍两边的螺栓可以实现顺龙骨方向调节以及龙骨进出位调节，前端的固定钢板与调节螺栓通过焊接固定，固定钢板可以对龙骨的左右偏差进行调节，保证面板胶缝位置，铝板面板采用螺钉固定，再通过塞泡沫棒、打硅酮耐候密封胶、塞扣条压扣条等程序完成非线性曲面铝板幕墙安装工作。

方案特点：本方案通过钢板转换件与调节螺栓直接焊接，将部分工作提前缩短实际安装用工，有利于保证按时完成，不使用定制铝板转换件，降低了工程造价。同时也具备三维灵活调节特性，最大限度的保证了安装完成效果。



铝板幕墙节点示意图

三、取得效益及获奖情况

以临沂高新区软件园一期外幕墙装饰工程为依托，公司研发的“非线性曲面密缝铝板幕墙安装系统创新”自实施以来，在十余个项目中进行了技术转化和推广应用，取得了显著的经济效益。

核心技术——《一种三维空间可调的曲面铝板幕墙挂接系统》已荣获国家实用新型专利，专利号 ZL2017212829700。其中 BIM 技术在高新区软件园幕墙中的应用，分别荣获临沂市建筑施工 BIM 技术优秀作品奖、山东省建筑 BIM 技术应用成果施工组一等奖、中国建设工程 BIM 大赛幕墙单项一等奖；非线性曲面铝板幕墙安装系统创新，分别荣获临沂市建筑业优秀 QC 小组一等奖、山东省建筑业优秀 QC 小组一等奖、全国工程建设质量管理小组活动一等奖；编写的施工工艺荣获山东省省级工法；应用工程高新区软件园先后荣获临沂市“沂蒙杯”奖、第五届山东省优秀建筑设计方案、全国建筑装饰行业科技示范工程奖、山东省建筑质量“泰山杯”奖、全国装饰行业科技示范工程奖、中国建筑工程装饰奖、国家优质工程奖，得到设计师的一致认可和建设单位的一致好评，经济效益和社会效益显著。

四、推广应用情况

以临沂高新区软件园一期外幕墙装饰工程为依托，公司研发的“非线性曲面密缝铝板幕墙安装系统创新”自实施以来，已在北城医院、河东水利展览馆、日照安泰、青岛上戏、罗庄双子楼等多个工程中应用。本微创新施工成熟，技术先进，采用新型转换件技术，可批量加工，避免焊接污染和风险；转接件三维可调，有效吸收铝板加工误差和工人安装误差，使铝板安装不再受限于龙骨，从而保证非线性曲面造型要求，推广应用前景广阔。



推广应用工程

完成单位：山东天元装饰工程有限公司

完成人：王贵亮、李宝光、史沛美、刘昌武、刘洋洋、邵长月、张晓阳、赵庆娜、孙明亮、艾玉花

预制保温外墙免支模一体化关键技术

建筑外墙保温结构一体化作为一种新型复合剪力墙结构，其特点为保温板、保护层随结构一体施工，其优点为结构的保温层耐久性好、耐火极限高；建筑保温与结构同寿命，该结构型式混凝土保护层一般为 6cm 左右，且外侧混凝土内有双向 $\phi 4@100$ 钢筋网片，振捣不到位易产生漏筋、蜂窝麻面、孔洞等质量缺陷。

为从根本上解决混凝土保护层浇筑质量问题，通过将保护层和保温板在工厂预制加工为一体，吊装至现场并作为模板使用，从而达到控制混凝土浇筑质量的效果。研发并总结形成以下技术：

1、预制外墙保温保护层一体化节点设计技术

预制外墙保温层一体化技术不同于整体装配式混凝土结构中 PCF 板应用于 PC 结构连接现浇部分节点，不同于预制外挂板将结构、装饰层整体预制与现浇结构连接，该技术出发点为将建筑保温与结构一体化技术中外墙保温板与保护层预制加工，首次系统地完成了 PCF 板之间及 PCF 板与剪力墙之间的建筑、结构节点设计，包含 110mm 和 310mm 厚两种形式，形成不承受结构荷载的装配式混凝土模板体系，且节点设计不改变结构的受力形式，确保了结构受力安全与连接可靠性、适用性、耐久性，满足防火、防水等建筑功能需求。

2、PCF 板四段式止水螺杆连接技术

PCF 板与外墙连接传统方法为专用连接件和对拉螺栓相结合的方法，施工过程中吊装 PCF 板时剪力墙钢筋容易与专用连接件发生碰撞，从而影响其安全性能，另外，后期封堵螺杆洞存在漏水质量隐患。我们设计了一种新型连接方式，将专用连接件与对拉螺杆一体化，PCF 板与剪力墙通过四段式止水螺杆连接。两端丝杆重复利用，在 PCF 板内预埋一段螺杆，剪力墙内设置一段螺杆。该方法现场施工方便，避免后期封堵螺杆洞产生的漏水隐患，且两端丝杆可以周转使用。

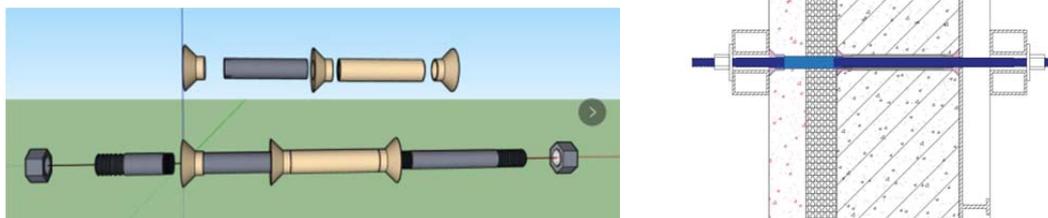


图 四段式止水螺杆

3、PCF 板外墙排版技术

整体装配式混凝土结构中一般采用 TC7013 以上规格的塔吊，吊重能力强，单个构件重量大，且内侧无模板。而 PCF 板内侧剪力墙为现浇结构，内侧采用模板，塔吊一般采用普通的 TC5613 规格。PCF 板排版时需要考虑与内侧铝模板 400mm 模数相对应，方便螺丝孔设置。PCF 板施工较现浇方法多了吊装工序，对工期要求高，构件个数要考虑尽可能少，构件宽度要考虑塔吊最大吊重，按照 1600mm 设置。考虑尽量减少 PCF 板拼缝，窗下墙、窗间墙非承重墙 PCF 板按照 U 型、T 型设计。经过 2 次调整后，7 号楼标准层由 78 块调整至 63 块，每块 PCF 板吊装时间 15 分钟，合计吊装时间为 15.75 小时。尽量将吊装时间压缩至最短。

4、PCF 板精确定位及安装一体化技术

传统的 PCF 板及 PC 构件固定和调整就位方法为 PCF 构件内侧安装 L 型角铁，分别与楼板与保温板连接。由于内侧有剪力墙钢筋，操作不方便；另外保温板有弹性，PCF 板仅能向内侧调整，无法向外侧调整就位。我们创新施工方法，采用 PCF 板临时固定和定位采用背楞+预埋内丝+螺杆的方法，外侧临时固定采用 2 个竖向背楞，在 PCF 板内预埋 4 个内丝，通过调整螺杆至上下层 PCF 板与背楞紧密贴合，使 PCF 板上下层间接茬处于同一平面，完成临时固定与精确定位垂直度和位置。采用该方法施工效率较传统方法提升 20%。



图 L 型角铁 图 1 预埋内丝与螺杆、背楞调整位置

5、PCF 板拼缝防水、防火一体化技术

PCF 板企口间 6cm 宽水平缝隙采用 A 级保温板堵塞，确保不漏浆及保温连续。PCF 板拼缝处理参考 PC 结构采用 PE 棒和建筑密封胶的形式。PCF 板竖向拼缝处，为了防止水从 PCF 板拼缝流向外墙内侧，设计时考虑 PCF 板竖向拼缝低于剪力墙施工缝 4cm，施工时设计 4cm 高、6cm 宽的角钢放置在 PCF 板上侧，确保 PCF 板拼缝下移 4cm。

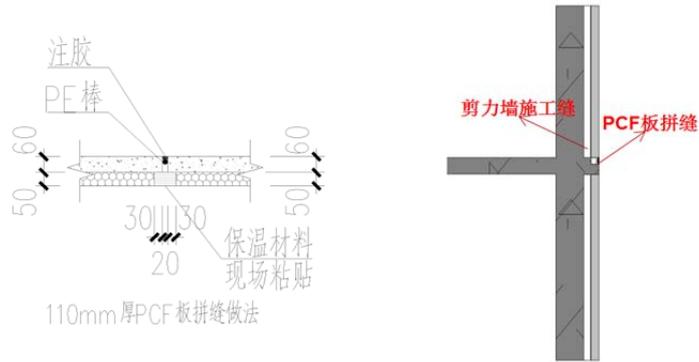


图 PCF 板拼缝防水、防火处理节点 图 PCF 板竖向拼缝下移防渗漏技术

该技术解决了建筑保温与结构一体化体系外墙保温板外侧混凝土浇筑质量问题，达到清水混凝土效果，后期免抹灰，减免了后期维修费用和抹灰费用。

完成单位：中国建筑第七工程局有限公司

完成人：何海英、杨伟涛、孙忠国、侯振国、曹战峰、窦国举、訾建涛、李合清、何飞龙、吴迪

铁路智能建造成套信息化技术开发及应用

一、立项背景

铁路施工目前仍为我公司的主营业务，但铁路施工板块的利润率比其他板块低，劳动生产率低，施工精细化管理水平不高，管理普遍粗放，从而导致铁路施工盈利能力低，以铁路施工项目为依托，开展铁路智能建造成套信息化技术开发与应用，通过实践应用并加以改进完善，最终达到在铁路施工中推广应用，从而提高企业铁路施工精细化管理水平。

二、关键技术内容

1.研发 Real BIM 协同管理平台，“三模一平台”云端应用技术。

BIM、GIS、DTM 数据打通并轻量化处理，平台中 BIM 与 GIS、DTM 实现数据无损融合，实现宏观（GIS、DTM）与微观（BIM）的统一，为项目管控搭建了一个全面、完整、准确的模拟、分析、论证、展示云平台。

2.研发 AR 质量样板软件，轻量化、可视化交底技术。

自主研发了桥梁和异型钢构 AR 模型质量样板软件，将既有施工族库录入系统，实现基于 AR 技术的轻量化、可视化交底，提高交底效率，一次开发投入重复应用，节约成本。

3.铁路 BIM 建模命名标准与软件解决方案

对模型单位和坐标、精细度（LOD）要求等进行规定、明确构件命名、代码规则。通过实践对比分析，得出了各专业创建铁路 BIM 模型的软件解决方案。

4.基于 BIM 的铁路工程施工数字化技术

开展地质模拟、GIS 地形实时分析、4D 施工进度模拟、方案比选、碰撞检查、三维定位等应用，并形成相关技术供铁路施工借鉴。

5.路基填筑智能化施工技术

利用 BIM 技术与 DTM 模型，决策填料调配方案，辅助决策者进行土石方平衡调配，得出调配最佳方案。确定最佳 CMV 值后，通过路基连续压实系统与 BIM 技术相结合，评定和控制路基压实质量。

6.桥梁工程信息化施工技术

利用 BIM 技术模拟连续梁施工方案、地质模拟、智能张拉数据回传平台与具体 BIM 模型位置挂接，保证施工质量，提高协同效率。

7.数据互通实现“BIM+”应用技术

通过软件数据互通、数据转换、研发插件等方式，实现了 BIM+无人机、BIM+二维码、BIM+3D 打印、BIM+VR、BIM+AR、BIM+Google、BIM+Midas 应用，进一步探索、扩展了 BIM 技术应用范围。

8.基于 BIM 的铁路工程施工节能减排技术

BIM 技术配合拌合站和预制场建设选址，降低了临时用地的使用面积；BIM 技术助力大土方调配，减少了装卸土的运距，降低了机械燃油消耗，达到节能减排的目的。

三、与同类技术对比

1.开发了 Real BIM 协同管理平台，将 BIM、DTM、GIS 模型融合于管理平台进行轻量化、共享化应用，实现地理信息分析、施工模拟、场地管理、安全质量管理；

2.开发了 AR 质量样板管理软件，实现轻量化、可视化交底；

3.建立了面向铁路工程的 Revit 模型建模与命名标准；

4.实现了 BIM 模型的多种数据转换技术路线，将 BIM 模型用于土方算量、3D 打印、VR、大临选址、受力检算，提高模型利用率。

四、推广应用情况

该微创新成果已经成功应用于黔张常、衢宁、银西、赣深等高速铁路项目，通过成果的应用，显著的提高了铁路施工精细化管理水平，提高了铁路增收创效能力。截止目前，在 4 个铁路项目成功应用产生直接经济效益 1000 余万元，经济效益显著。通过微创新成果的实施与应用，显著提高了施工质量，得到业主和监理单位好评，应用微创新成果中先进的技术多次被媒体关注报道，社会效益显著。



五、相关知识产权及荣誉

通过实践证明该技术成熟完善，技术经济指标先进，基于微创新成果获得科技进步奖 2 项，开发 4 项专利，2 项软件著作权，1 项省部级工法，获 3 项 BIM 大赛大奖，2 项节能低碳技术，发表论文 2 篇。

完成单位：中铁三局集团有限公司、中铁三局集团有限公司运输工程分公司

完 成 人：吕燕军

一种隧道涌水止水方法

一、立项背景

随着轨道交通、铁路基础设施建设的发展及需要，对地下空间的开发和利用也越来越重视，隧道建设是其中的重要组成部分，然而隧道工程往往线性穿越各种类型的地质条件，当遇到溶洞、暗河、断层破碎带、软弱围岩、粉质土层等特殊构造或复杂不良地质体时，若提前处理不当，容易诱发隧道涌水，隧道涌水案例在我国已有不少。隧道涌水不但影响施工进度，还容易造成地下水位下降、水资源匮乏，若突出的水里含有土体，可能诱发管涌灾害，造成隧道围岩脱空，甚至地表塌陷等灾害。为避免发生隧道施工突水突泥灾害，发明了一种隧道涌水止水方法，具有实施速度快、止水效果好的优点。

二、关键技术内容

基于传统的帷幕注浆及径向注浆工艺的基础上，采用液态氮沥青注浆浆液，经过多条隧道施工实践总结出此止水方法。

1、独创液氮沥青水泥混合浆料

液氮沥青水泥浆混合止水料，并采取三重管同步注浆方式，通过液态氮将高温沥青液快速冷却，由水泥浆与沥青生成高强度膨胀固化体达到高效止水的目的。

液氮沥青水泥浆的配比为 1:1:0.8，其中固态沥青需加热到 115 摄氏度，水泥浆搅拌时间不宜超过 30s。最后将沥青液、水泥浆液及液态氮混合浆液通过注浆高压泵迅速引入三重注浆管，进行注浆作业。

技术优势：该浆料具备憎水性强，凝结时间可控，浆液强度高、止水效率高等优点。

2、独创三重管同步注浆方法

为满足三重浆料注浆需求，独创三重管同步注浆法进行施工，该方法共分 5 步，分别为注浆打孔、设备连接、浆料调配、快速注浆、管头切除。

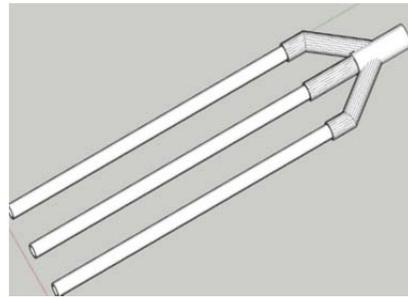
技术优势：于三重管外侧增设绝热层，隔绝了液态氮和高温沥青液之间的热交换，浆液原料混合后仅需 10s 内就可以生成具有高强度、低渗透性的止水隔层。

表 1 注浆数据表

注浆压力 (MPa)	注浆数度 (L/min)	有效止水长度 (m)	扩散半径 (m)
4.2	27	9.6	2



打设注浆孔



三重管

三、与同类技术对比

通过将液氮沥青水泥浆混合快速注浆，取得了良好的实施效果。具备以下特性：1、浆液其特性对地下水而言，不易溶解；2、对不同地层，凝结时间可调节；3、浆液强度高、止水好、有效缩短凝结时间。

表2 同类技术数据对比表

名称	凝结时间 (s)	渗透系数 (cm/s)	有效止水长度 (m)	扩散半径 (m)
双液浆	10-36	3.8-4.1	6.2	0.6
液氮沥青水泥浆	2-10	4.6-4.9	9.6	2

四、推广应用情况

一种隧道涌水止水方法，成果应用于拉林铁路工程，解决了雅鲁布江南岸高原应力场涌水条件下杰德秀 1 号隧道开挖及支护问题；应用于厦门地铁 4 号线城双区间工程，解决了隧道高水压大涌水条件下初支变形问题；应用于昆明地铁 4 号线斗鲜区间工程，解决了隧道软弱地质超高水压条件下，联络通道开挖坍塌问题。因此，随着隧道工程修建数量增多，地质条件日趋复杂，控制隧道重大地质灾害事故发生，保障隧道建设安全，具有重大的意义和工程价值。

五、相关知识产权及荣誉

一种隧道涌水止水方法，获得发明专利 1 项，专利号 201911305283X；2020 年获得沈阳市职工技术创新成果三等奖。

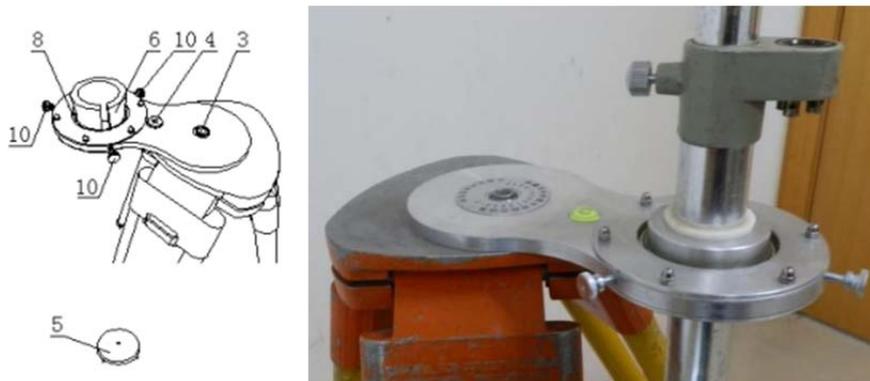
完成单位：中铁九局第四工程有限公司

完成人：杨柳枝、尹苏江、韩佳鹏、王义平、李辉、刘东升、韩瑞鸣、潘婷、塔怀义、张思琪

测量对中杆圆水泡校正设备及配套使用方法

一直以来，测量对中杆因其使用简单、对中整平迅速在工程施工测量中得以普遍使用，但是，测量对中杆圆水泡的检查校正一直是个难题。现场的测量人员人手、仪器有限，检查校正的方法落后，难以满足高精度测量对中杆的校正。对中杆顶端棱镜中心与下端杆尖所对目标点需要保持在一条铅垂线上，是依靠测量对中杆上安装的圆水泡来实现的。正常状态下，安装好的测量对中杆圆水泡竖轴与对中杆轴线平行，当圆水泡处于居中状态，则测量对中杆处于铅垂状态，测量人员就是依靠观察圆水泡居中状态来调节测量对中杆，达到棱镜中心与对中杆尖端目标点在铅线上重合。因测量对中杆在使用、运输过程中经常发生碰撞、抖动，使得圆水泡偏离正确位置，这就需要测量工作人员在日常使用过程中需要频繁的检查、校正。目前的检查、校正方法需要测量人员有较高的技术水平，工作效率低，精度难以保证，本设备及配套使用方法成功解决了上述相关问题。

本设备及配套使用方法主要用于工程测量对中杆圆水泡校正。本发明设备包括:连接固定组件、自由旋转组件、支承组件三部分。连接固定组件由连接固定板、环形挡板、调节螺栓组成；自由旋转组件由大轴承、圆套管、紧固螺栓组成；支承组件由小轴承、圆垫板组成。本设备可直接用仪器三脚架连接螺栓连接，将测量对中杆插入圆套管内，利用两条相互平行的轴线，一条绕另一条旋转任然平行的原理，进行圆水泡轴线垂直度进行检查校正。



本设备有安装方便、使用简单、校正时间短、校正精度高、加工成本低等优点，可有效解决工程测量人员校正测量对中杆圆水泡难的问题。利用本设备和配套的检查、校正方法，一名测量人员坐在室内，3~5分钟不动用任何仪器即可完成对测量对中杆圆水泡的检查、校正，所校正的对中杆精度优于0.5mm,可用于各种测量环境。而且这种设备和检查、校正方法的使用，任何一名测量人员10分钟内即可掌握使用。

本设备及配套使用方法于2016年在中铁二局集团有限公司作为强制推广使用项目进行

推广，目前在中铁二局累计有 200 个以上项目应用，在中国中铁一局、四局、六局等部分项目也有应用；本设备及配套使用方法 2014 年 9 月~2017 年 5 月在杭黄铁路紫高尖隧道(9770m)、2014 年 9 月~2019 年 11 月成兰铁路云屯堡隧道(11122m)、2016 年 12 月~2020 年 8 月在玉磨铁路友谊隧道 (9592m) 等国家重点工程都有成功应用。本设备及检查、校正方法的应用，解决了施工现场测量对中杆检查、校正难题。每个工程应用可节约 1000 元送往城市专业的维修点进行检查校正总费用，工程应用一年约产生约 20 万直接经济效益，而且不会再因对中杆偏差造成工程瑕疵，对中杆用于各种测量场景，可以提高测量作业效率，有利于工程工期保证，经济效益和社会效益显著。



本设备及配套使用方法获得国家发明专利 2 项（ZL 201310709077.1 和 ZL 201410011940.0），作为科研项目“高速铁路长大隧道平面控制测量关键技术研究”中一项重要内容，获得中铁铁路工程总公司科学技术一等奖和中施企管理协会首届工程建造微创新技术大赛一等奖。



完成单位：中铁二局集团有限公司

完成人：郭平、王靠省、段太生、刘立正、郭润秋、杨维裕、江华、周适、李小龙、晏勇

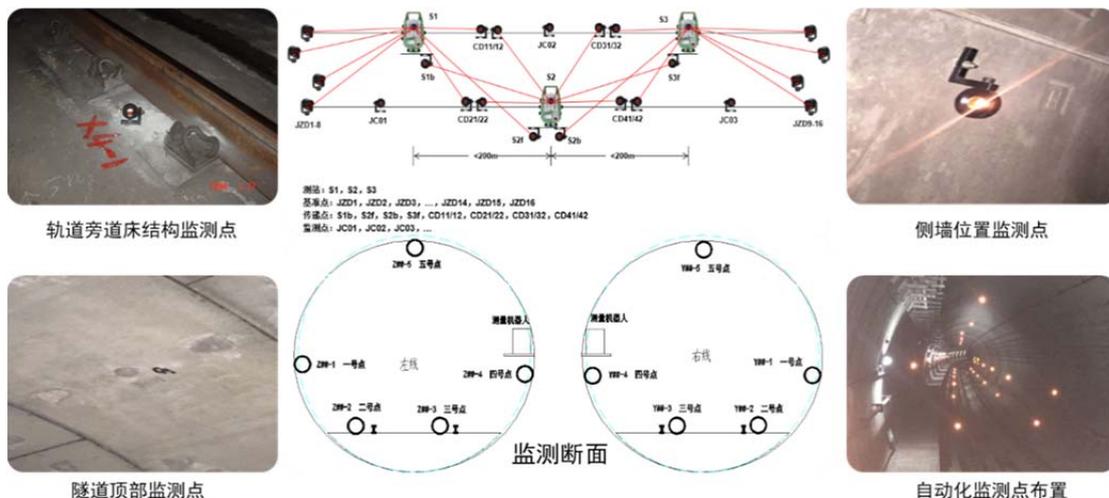
复杂地层下盾构穿越高危风险源施工工法

一、立项背景

随着国内城市轨道交通日益发展与完善，新建地铁线路不可避免与现有重要建构筑物纵横交错，以武汉地铁 16 号线老国区间在长江 I 级阶地软土地层超近距离侧穿既有运营地铁线路 6 号线、侧穿高压塔群、下穿大型桥及运行铁路专线等重大建构筑物工程实例为背景，如何保证在不影响既有建构筑物正常运行的情况下安全施工新地铁隧道，是我们需要研究的方向。

二、关键技术内容

1、高自动化程度监测：采用既有建构筑物自动化监测技术可以在不影响既有建构筑物运营条件下，实时提供盾构隧道结构在三维方向的局部范围和隧道整体的变形监测数据信息，并提供轨道是否偏移和隧道轴线是否变位的监测数据。



2、地面加固保护措施：有效隔断减小施工地铁隧道过程中对建构筑物产生的扰动，保护现有结构的安全，对社会影响降至最低。



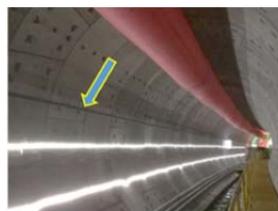
3、隧道内深孔注浆：通过洞内注浆加固措施对隧道所处不良地层进行加固，减少掘进、运营期间隧道沉降变形以及对既有建构筑物的影响。



地面设水泥搅拌罐



自动拌浆
(配合比能够保证、无扬尘)



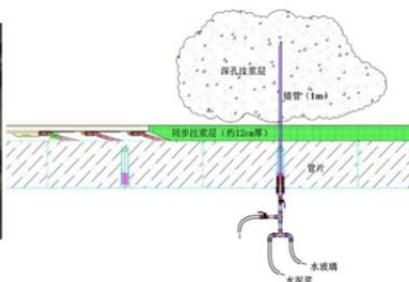
轻型浆管输送



增设七号台车
(浆液中转)



深孔注浆



三、与同类技术对比

1、《注浆头及注浆结构》（专利号 ZL202020425842.2）：解决了盾尾附近管片打入钢花管时同步浆液渗漏的问题。

2、《盾构法隧道深孔注浆芯管、注浆管及注浆设备》（专利号 ZL202020425823.X）：解决了全断面深孔精准注浆的问题，保证了土体加固效果。

3、《钢花管插管装置及注浆设备》（专利号 ZL202020425867.2）：解决了盾尾附近管片预留孔快速压入钢花管问题。

4、《隧道注浆设备移动装置及注浆设备》（专利号 ZL202020425834.8）：解决了隧道内需进行大量深孔注浆加固组织施工问题。盾构机后配套增设七号注浆台车，用于放置浆罐、注浆泵等设备，能够跟随盾构机掘进向前行进，能够实时跟随深孔注浆。

四、推广应用情况

针对运营地铁请点施工程序繁琐，请点施工时间较短，监测工作无法正常开展，同时近距离下穿既有 6 号线存在扰动风险问题；针对区间盾构隧道下穿货运铁路问题；针对区间连续侧穿高压塔群问题，项目部通过采取了既有运营地铁线路自动化监测、地面加固保护措施、隧道内深孔注浆等技术，顺利下穿风险源。

五、相关知识产权及荣誉

本技术研究共获得 6 项实用新型专利、1 项发明专利、2 项湖北省工法、3 项六局工法。

完成单位：中铁六局集团有限公司、中铁六局集团有限公司交通工程分公司

完成人：王家亮、刘伯韬、刘冰、李扬、江鹏、毕浩然、范尊峰、赵晨华、董宇、冯建龙、王志超

开敞式异形折面穿孔铝板吊顶安装技术创新

一、立项背景

青岛邮轮母港客运中心项目位于青岛大港片区南端的 6 号码头，风帆造型，以寓青岛“帆船之都”的美誉，建成后为青岛的新地标。作为该装饰工程的特色之一的开敞式异形折面穿孔铝板吊顶系统位于一、二层出入境大厅，共计 23450 m²。整个吊顶系统平面微波荡漾呈波浪型，与外面蓝色海洋随风起伏的海浪遥相呼应，大大提高了建筑的观赏性和艺术性。该吊顶系统中板块拼接缝隙有多种尺寸规格，在东西方向板块拼接缝隙尺寸有 4mm、20mm 两种，南北方向板块拼接缝隙尺寸有 4mm、20mm、80mm、200mm 四种，常规的吊顶安装工序繁琐、调节不灵活、焊接作业较多、工人劳动强度大、造价成本高，传统节点构造难以适应如此多而大的缝隙变化。为了克服现有技术的上述缺点，急需创新一种开敞式异形折面穿孔铝板吊顶安装技术。

二、关键技术及创新点

该关键技术及创新点在于通过设计创新、结构分析给出了开敞式异形折面吊顶系统的具体形式，并通过了实践验证。相对于目前建筑吊顶的安装工序繁琐、调节不灵活、焊接作业较多、工人劳动强度大、造价成本高。本方案提供了一种异形折面吊顶挂接系统来解决上述问题，一种吊顶挂接系统包括吊顶面板、面板 J 型加强边肋、连接转换装置、吊顶转接件。连接转换装置的一端通过面板 J 型加强边肋连接吊顶面板，另一端通过吊顶转接件固定于建筑结构主体的埋板或吊顶龙骨上。该连接转换装置，包括两种调节转换钢板、两种螺纹调节杆。调节转换钢板的角部贯穿四根螺纹调节杆，中部通过贯穿一根螺纹调节杆连接调节转换钢板，再固定于吊顶转接件上。可以通过选择适当长度的吊顶转接件，来适应不同的建筑吊顶面板高度；通过面板 J 型加强边肋底部的任意角度满足各种异形折面吊顶要求；通过连接转换装置可实现三维立体灵活调节，方便安装施工，适应性强。



吊顶节点三维图

三、技术指标及专利情况

主要技术性能指标：开敞式金属板、多角度异形折面、多种间隙组合的吊顶通过采用此吊顶系统，表面平整度允许偏差不大于 2mm，接缝直线度允许偏差不大于 2mm，接缝高低差允许偏差不大于 1mm。

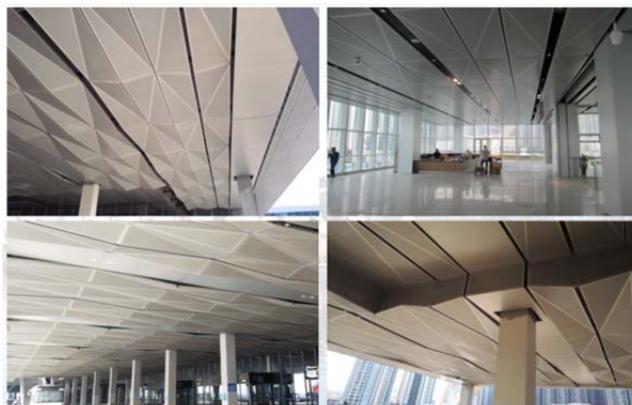
本解决方案的吊顶挂接系统结构简单，适应性强，通过面板 J 型加强边肋可以实现整体大板块吊顶，其底部的任意角度满足各种异形折面吊顶要求，并且吊顶面板光滑无露钉；通过连接转换装置可实现三维灵活调节，满足各种大小接缝要求，方便安装施工；现场安装作业时，无需焊接，有效的避免了焊接给作业现场带来的火灾隐患，安装过程环保、安全。

本创新成果已经取得了 1 项国家发明专利《一种吊顶的挂接系统》(专利号 201410781695.1) 和 1 项国家实用新型专利《一种吊顶的挂接系统》(专利号 201420800146.X)。

四、推广应用前景

以青岛邮轮母港客运中心项目为依托，公司研发的“开敞式异形折面穿孔铝板吊顶安装技术创新”，在一、二层出入境大厅共计 23450 m²穿孔铝板吊顶系统成功研发应用，吊顶平面微波荡漾呈波浪型，与外面蓝色海洋随风起伏的海浪遥相呼应，大大提高了建筑的观赏性和艺术性。

本技术创新方案浅显易懂，适用范围广，通用性强；造价低、构造简单，组装快捷，提高了工作效率。创新技术的应用实施，完美的实现了设计师建筑造型多变的意图，自实施以来，分别在唐山南湖国际会展中心项目、临沂国际商贸城电子产业园会展中心项目、费县文化体育综合活动中心项目等项目中进行了技术转化和推广应用，创造了一批优质工程，得到了建设单位的一致好评，经济效益和社会效益显著，推广应用前景广阔。



工程应用情况

完成单位：山东天元装饰工程有限公司、天元建设集团有限公司设计研究院

完成人：刘建林、张宝泉、黄义军、张俊斌、曹广胜、王庆丽、王星、薛汝成、张明宝、李云芳

装配式吸声降噪站台墙及其模具

一、应用背景

装配式建筑是新型建筑工业化的代表，具有减少环境污染、缩短工期、提高建造质量等优点，是我国建筑业发展的趋势，也越来越受到铁路行业的重视。在高铁站房领域推进装配式建筑是提升高铁站房建筑品质的重要途径和趋势，雄安站采用站桥合一的设计模式，桥上跑火车，桥下候车厅，对降噪提出了更高要求。传统高速铁路站台为现浇混凝土墙体结构，施工需要大量支模及现场浇筑混凝土，不利于提高站台的施工效率和缩短工期。为达到吸声降噪的目的，多采用墙体施工完成后，再进行贴附吸声材料施工，工序繁琐且站台墙外观质量不佳。因此需要研发一种既可以提高站台施工效率，又可以达到吸声降噪效果的装配式站台墙体系。在此背景下，中铁建工集团依托雄安站，开展了装配式站台吸声降噪施工技术研究，并取得了突破性进展，为装配式站台技术在铁路系统的推广奠定了坚实基础，社会效益非常显著。

二、关键技术内容

本技术成果包括装配式吸声降噪站台墙及其模具。该站台墙把吸声材料与站台墙合二为一，通过在站台墙中部设吸声材料、表面穿孔的方式，形成一种结构安全的墙板构件，达到更好的吸声效果。有效改善了火车、动车、高铁等铁路车辆进站，特别是进站不停车时所引起的噪音污染问题。

装配式吸声降噪站台墙，包括混凝土浇筑正面层、吸声降噪层和混凝土浇筑背面层，通过保温连接件连接固定。吸声降噪材料采用离心玻璃棉。装配式吸声降噪站台墙采用角钢连接件，与站台柱进行连接。在角钢连接件端部，使用定制加长膨胀螺栓和顶部穿孔锁死装置，最大限度防止了列车振动引起的墙板松动，大大提高了装配式站台吸声墙的整体稳定性。

装配式吸声降噪站台墙模具包括底钢板和侧钢板，底钢板与侧钢板共同构成浇筑槽，底钢板上设有呈矩阵形式排列的橡胶孔洞成型块，孔洞成型块从底钢板向浇筑槽内凸出。

三、特点及创新点

1. 技术特点

该站台墙标准化程度高，外形美观，操作简单，施工快捷，生产效率高，施工成本低，工人劳动强度小，降噪效果明显，是实现建筑行业绿色、健康、可持续发展的手段，顺应了发展需求，推动了节能环保。为装配式站台技术在铁路系统的推广奠定了坚实基础，社会效益

非常显著。成功解决了现浇混凝土站台墙，工序繁琐、施工效率低且站台墙外观质量不佳的难题。

2. 技术创新点

将装配式技术引入站台墙生产制造环节，把吸声材料与站台墙合二为一，通过在站台墙中部设吸声材料、表面穿孔的方式，形成一种结构安全的墙板构件，达到更好的吸声效果。

四、推广应用情况

1. 应用效果

京雄城际铁路雄安站房作为装配式站台试点，预制吸音站台墙作为装配式站台一部分，通过内嵌离心玻璃棉这种吸声降噪材料，极大削减了火车、动车等铁路车辆进站，特别是进站不停车时所产生的噪音，吸声降噪效果好，降噪系数可达到0.5~0.7，达到了降低候车厅噪声的目的。同时通过平口连接方式实现了装配式站台施工方便、观感质量好的效果。降低施工成本，加快施工进度，降低工人劳动强度，提高了生产效率，混凝土外观质量控制方面也取得了较为满意的结果，得到了各级领导、业主、监理的一致好评。

雄安站装配式吸声降噪站台墙在国内属首次应用，每1000延米站台减少吸音降噪材料费约 $25 \times 1000 \times 1.31 = 32750$ 元，雄安站站台长450米，7-11站台采用装配式站台墙，节约材料费约 $5 \times 2 \times 450 \times 32750 / 1000 = 147375$ 元。采用装配式站台只需要采用小型吊装设备进行施工，减少了塔吊的使用，单个站节约机械费3万元，共计节省机械费15万元。材料费和机械费总计节约29.74万元。

2. 应用前景

该技术不但可以确保施工质量、提高安装效率、节约工期、减少劳动力成本等，还可以满足国铁集团对客站减震降噪的要求，是实现建筑行业绿色、健康、可持续发展的手段，顺应了发展需求，推动了节能环保，可广泛推广于高铁站台的设计与施工过程中。



图1 装配式吸声降噪站台墙现场应用实例

五、相关知识产权及荣誉

1. 该成果已经取得国家实用新型专利授权，专利号：ZL2020 2 0143704.5，发明专利正在实质审查阶段。

2. 该成果荣获中铁建工集团“100项实用技术成果”

3. 该成果荣获中国施工企业管理协会“首届工程建设行业高推广价值专利大赛”二等奖。

4. 该成果荣获中国施工企业管理协会“首届工程建造微创新技术大赛”一等奖。

完成单位：中铁建工集团有限公司

完成人：郭新贺、张胜超、葛红云、杨月新、陶然、吴亚东、李国帅、付立博、祝佳伍、丁宏图

CRTSⅢ型板式无砟轨道底座施工装备研制及 工艺研究

一、技术背景

2017年，中铁四局集团有限公司承担新建南昌至赣州铁路客运专线CGZQ-2标段工程，起止里程DK29+520.41至DK63+032.36，全长33.588km。新建南昌至赣州铁路客运专线全线415km，正式大规模应用具有我国自主知识产权的CRTSⅢ型板式无砟轨道技术。

课题组先后调研郑徐高铁、京沈客专等应用CRTSⅢ型板式无砟轨道施工技术，CRTSⅢ型板式无砟轨道工程施工工序繁多，技术复杂，质量标准高，需专业化队伍精心施做。底座施工、自密实混凝土配置及灌注、铺板及精调技术含量高，施工难度大。施工现场发生施工完成的底座存在平整度差、线型控制不理想、限位凹槽四角易开裂等质量通病，造成无砟轨道实体施工质量不易控制，甚至影响后期铁路运营安全。

因此，课题组提出“CRTSⅢ型板式无砟轨道底座施工装备研制”课题，结合自身工装设备研发的经验和能力，进行底座工装优化，总结无砟轨道底座施工工法，解决底座施工质量通病问题。

二、设备简介

CRTSⅢ型板式无砟轨道底座板施工装备，主要由侧模板及支撑系统、可调节坡度调节装置、伸缩缝定型装置、限位凹槽模板及支撑装置等组成，用于高速铁路CRTSⅢ型板式无砟轨道底座板施工，能精确控制底座板两侧排水坡坡度和顶面平整度。具体见图1所示。

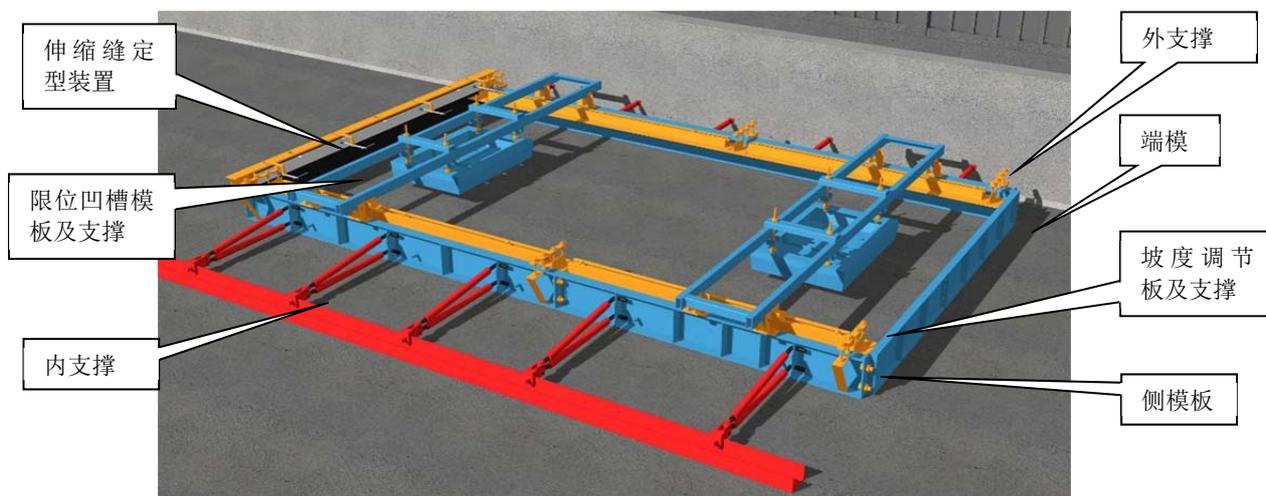


图1 32.6m 直线段梁面底座工装单元节段设备模型图

三、技术先进性

经教育部科技查新工作站国内外查新，未见相关报道。

经中国中铁股份有限公司科学技术评审委员会鉴定，成果整体技术达到国际先进水平。

经工程实践，采用本设备施工，在确保成品检测合格率达 100%的前提下，每工作面平均施工效率可达 130.4m/d，相较于采用传统施工方法，平均施工效率仅为 97.8 m/d，提高了 32.6 m/d，昌赣客专首件验收后推广至全线。

四、推广应用情况

新建铁路南昌至赣州客运专线 CGZQ-2 标三分部位于江西省宜春市，标段起止里程为 DK29+520.405 ~DK63+032.360，标段全长 33.588km。

CRTS III无砟轨道首件工程包含 1928.88m 小港特大桥（0#台~60#墩）+102.06m 长路基段，全长 2030.94m，为昌赣客专全线 8 个标段的无砟轨道线上工艺试验首件段工程。2016 年 12 月 26 日，首件段底座首次浇筑，历时 50 天，底座成品合格率达 100%，成型底座线型顺直、美观，排水坡度及底座高程均符合相关规范要求，平整度控制在 5mm（标准为 10mm/3m）以下，施工工艺成果和首件段工程施工质量顺利通过验收。

2017 年 3 月 7 日，由昌九城际铁路股份有限公司组织，建设指挥部、设计单位、各标段施工、监理单位 100 余人，到我标段 CRTS III型板式无砟轨道底座施工现场观摩学习，均给予高度评价，取得了良好的社会效益。



五、相关知识产权及荣誉

- (1) “一种 CRTSIII型板式无砟轨道底座板施工成套工装”（ZL201720532087.6）；
- (2) “高速铁路 CRTSIII型板式无砟轨道底座精确控制施工工法”被评定为 2017 年度江西

省省级工法；

(3) 本技术成果荣获 2020 年度安徽省科技进步三等奖；

(4) 本技术成果荣获 2018 年度中国设备管理创新成果一等奖；

(5) 本技术成果荣获 2017 年度中铁四局集团“万众创新”技术成果一等奖。

完成单位：中铁四局集团机电设备安装有限公司

完 成 人：王建华、李亮、熊勇、陈秀花、孙中河、赵孟、余鹏飞、陈浩、马延林

高空大跨度混凝土连廊少支点支撑体系设计与施工技术

一、立项背景

随着国内经济的快速发展和近代建筑科学技术的提高，现代建筑的结构形式不仅要求安全可靠，更要求外表新颖、造型美观，大跨度塔楼混凝土连廊结构的建筑也越来越多，连廊高度也越来越高，对于工程施工难度也进一步加大。

南沙建滔广场项目为超高层连体结构，北塔楼与南塔楼在3层、18层结构处相连。18层空中连接处高度为64.7m，南北塔跨度15m，宽度为22.5m。如何在高空中搭建操作平台用以进行混凝土连廊及连廊下幕墙吊顶的施工，是本工程结构施工中最为重大的难题。

对于南沙建滔个广场项目的大跨度混凝土连廊施工，传统的施工工艺多采用满堂架施工工艺。满堂施工工艺从下往上施工，由于现场高度过大，对于安全性较低，且容易发生架体坍塌，造成人员伤亡，同时废材耗工。如若采用大跨度钢牛腿结合贝雷架的钢平台支模体系，在高空搭设钢结构操作平台，平台上进行正常混凝土施工，施工过程具有操作方便、安全可靠、造价便宜等特点。钢结构临时支撑平台整体性、耐久性更好，支撑效果和性能更能满足施工需求，在同类工程中有推广价值。

二、关键技术内容

一、高空大跨度贝雷梁少支点支撑体系设计技术

1) 大跨度贝雷梁少支点支撑体系设计

少支点贝雷梁支撑体系的设计是本项技术的关键，其体系是通过预埋件、钢牛腿，支撑平台通长钢梁、贝雷梁等组成，其中少支点钢牛腿设计，预埋件设计与加固设计均是创新点。

2) 少支点钢牛腿的设计、预埋与焊接

钢牛腿及预埋作为贝雷梁载重体系中最重要的一环，利用 MADIS 软件对预埋钢牛腿的形式、大小及位置等进行分析与计算，除要求所有焊接部位达到一级焊缝外，在预埋时对预埋点的剪力墙或梁的钢筋进行了加大加密加强处理；并在方案设计的基础上增加了牛腿两块预埋钢板间对拉拉钩与角钢的数量，并将预埋点与剪力墙交接的板钢筋锚固长度加大，锚固段伸入剪力墙至牛腿钢板底部，增大了剪力墙抗倾覆强度，进一步确保预埋件的安全可靠。

二、高空大跨度贝雷梁少支点支撑体系安装技术

1) 贝雷梁的高空吊装与拼接技术

本工程通过塔吊的吊装，利用缆风绳控制贝雷片的位置与方向，防止风荷载影响梁体定位。13 根贝雷梁完成吊装后，利用槽钢与 U 型卡将所有平行的贝雷梁连接成整体，使平台更加稳定、安全、可靠。

2) 钢平台受力的水袋预压技术

本项目采用加载超过理论重量 1.2 倍的荷载对平台进行大荷载预压并实施监测；考虑高度及施工难度问题，采用水袋灌水预压方式，能使平台整体荷载分布更为均匀，且可以更为方便对分阶段加载进行控制及最后的卸载。

三、高空大跨度贝雷梁少支点支撑体系拆除技术

1) 利用自制组装式滑动式轨道小车拆除贝雷梁的施工技术

自制组装式移动小车，在其两侧焊接对应 I45a 工字钢大小的 u 型卡槽，卡在工字钢翼缘上防止侧滑。用 50mm×50mm 方钢焊接三脚架，当贝雷片两端置于小车上后，在贝雷片两边各连接两个三脚架，用卡扣固定，与贝雷片形成整体。

三、与同类技术对比

国内大跨度连廊的民用建筑多采用传统满堂架和悬挑脚手架桁架体系，以预埋牛腿板来搭设基于贝雷梁的钢平台体系应用极少，但是在平中如何进行牛腿预埋板的受力分析和实际加固、贝雷梁吊装定位、平台安全性的测算评估和后期幕墙完成后进行拆除工作，均是一项需要攻克的技术难题。

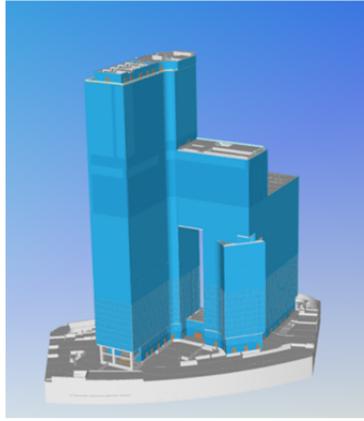
经科技查新，国内未见其他与本课题技术特征完全相同的专利及非专利文献报道，该技术难点较大，在国内具有一定的先进性。

四、推广应用情况

高空大跨度混凝土连廊少支点支撑体系设计与施工技术，已成功应用于广州市南沙区黄阁镇凤凰大道东供电局西侧南沙建滔广场项目取得了良好的效果，很好的完成了连廊支模，获得了业主、设计、建立及相关部门的一致好评，施工具有经济、高效、施工简单、材料转运容易等特点得到广泛应用，具有较高的技术推广价值。

五、相关知识产权及荣誉

本项目通过广东省建筑业协会科技成果鉴定，获得国内先进技术评价。本项目获得实用新型专利 1 项、受理发明专利 1 项，发表论文 4 篇，获得第四届建设工程 BIM 大赛三类成果，2020 年广东省省级工法，2019 年度广州建设行业优秀 QC 小组三等奖，2020 年广东省科技示范工程。



完成单位：中建三局第三建设工程有限责任公司

完 成 人：陈杨、袁利军、周红卫、齐从月、王火华、宋长军、李明、邹宏增

装配式外墙板连接可循环附墙外围护架体施工技术

一、立项背景

装配式建筑具有节能、环保、绿色、低碳的特点，是对传统建造方式的一种变革，更是国家为了达到低碳环保、节能减排的目的，大力推广的建筑模式。目前，随着国家的推广，政策的支持，建筑业已进入装配式建筑发展的快车道。尤其在全装配式建筑主体施工配合使用传统外围护架过程中产生诸多不便，急需一种新型架体提施工技术高施工效率。

由于传统的外围护架体已满足不了其施工要求，天津住宅集团建设工程总承包有限公司，依托集团产业化优势，通过在实际工程中不断创新和优化，总结出适用于全装配住宅工程的装配式外墙板连接可循环附墙外围护架体施工技术。

二、关键技术内容

(1) 通过制图软件对外围护架体进行初步设计后，利用 BIM 软件优势，对外围护架体的安装及循环应用等环节进行全景模拟施工，提前考虑到预制墙体规格尺寸多、线脚复杂、造型多样等问题，并在模拟施工中制定好解决方案，使外围护架体的循环安拆施工具有操作简便、施工快速的特点，架体在使用中能够达到安全可靠的要求。(如图 2.1)

(2) 外围护架体的制作全程在钢结构公司完成，尺寸规格根据现场实际需要确定详图。通过工厂生产，既能保证尺寸精度避免材料浪费，也能减少由于现场加工对环境产生的破坏。

(3) 外围护架体零部件运至施工现场，直接安装到对应的预制墙版上，随墙板一起吊装与传统外围护架体施工相比，很大程度上降低了高空作业存在的风险，同时也节约了工期。

(4) 外围护架体的组装过程不需要现场焊接，全部采用栓接、铆接等连接方式，随墙板掉装就位后，相邻架体再进行二次加固，通过预制钢网片、剪刀撑等防护措施，确保架体安全可靠。同时，拆除方便，周转使用灵活，具有节能环保、低碳降耗的优点。(如图 2.2)

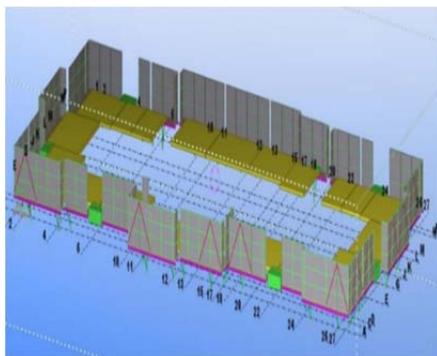


图 2.1 外围护架体 3D 模拟效果图

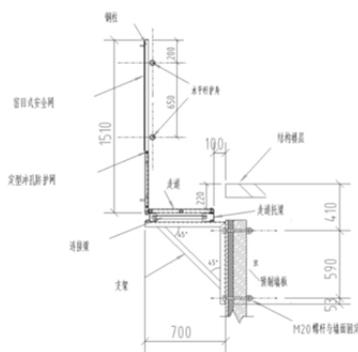


图 2.2 防护单元剖面构造图

三、与同类技术对比

(一) 创新点

(1) 在预制墙板上安装支架时，将螺栓用铁链焊接在支架上，避免在拆除架体时，螺栓掉落室外形成高空坠物；

(2) 内外侧走道托梁用连接梁连接，提升稳定性；

(3) 安装斜拉撑和纵向水平杆，将钢柱连接牢固，加强了架体整体性和防护效果；

(4) 水平加强板和竖向加强板的焊接，为走道板的安装提供了支点，也加强了外侧托梁的稳定性；

(5) 将防护架体与预制墙板同时吊装，并做到防护架体的循环利用，节省了工期和材料。

(二) 优势

以双青新家园荣畅园 7#楼（地上 27 层）为例，4-26 层如果采用落地式脚手架或悬挑式脚手架，价格 38 元/平米，总计 32.3 万元，此次采用新式架体制作 2 层，架体造价约为 13 万元，安装及拆卸人工费约为 15 万元，合计约 28 万元，节约成本 13%。制作后的架体归总包方所有，如遇类似工程，可以后期再次使用，分摊成本将成倍递减。

四、推广应用情况

此架体在天津北辰区双青新家园荣畅园 1-16 号住宅楼、配建 1 及地下车库项目和双青新家园荣悦园 1-18 号楼、配件一、配建二及地下汽车库项目中进行了应用。



图 4.1 防护单元正立面效果



图 4.2 防护单元侧立面效果



图 4.3 防护单元起吊



图 4.4 防护单元就位



图 4.5 斜支撑固定



图 4.6 外围护架体完成效果图

五、相关知识产权及荣誉

本外围架体施工技术获得发明专利 1 项，实用新型专利一项，获得天津市市级工法，在《工程质量》杂志发表论文 1 篇。

完成单位：天津住宅集团建设工程总承包有限公司

完成人：尹洪江、刁晓翔、白金、赵君、尹鹏，马亮、扈超、宋倩倩，郭莹、张欣欣

盾构机标靶法与棱镜法融合定位技术创新

一、研究背景及意义

目前我国的城市地铁隧道施工采用盾构法施工，在盾构法隧道施工中对隧道贯通精度的要求非常高，需要自动导向测量系统对盾构机掘进姿态进行实时测量监控。在国内施工中自动导向系统的使用基本被国外品牌所垄断，主要品牌有德国 VMT、日本演算工坊。国内品牌有上海力信、上海米度，但国内系统稳定可靠性尚未获得施工单位的认可。

在这种局面下，由于国外品牌自动导向系统价格昂贵，供货周期长，售后维护响应及时性不够，给我们盾构行业发展带来了障碍。为了打破国外品牌的垄断，踏实走好从中国制造向中国创造之路，研究一套具有自主知识产权的盾构自动导向系统具有十分重要的意义。

二、关键技术及创新点

1、优化了姿态解算模型，提高盾构姿态解算速度

针对盾构机自动导向系统的功能需求，结合国内外系统硬件的搭建结构及软件使用逻辑，通过对系统的硬件架构设计、盾构姿态测量原理研究，研发出标靶法盾构姿态解算模型，并实现盾构姿态单周期测量时间小于 20 秒，有效提高盾构机姿态解算速度，进而提高了现场施工效率。

2、首次构建了集标靶法、棱镜法于一体，实现多种测量方法灵活切换

在研发的标靶法、两棱镜法、三棱镜法三种测量模式基础上，通过对三种测量模式算法及其矩阵换算关系进行融合，研发出一套集三种测量模式于一体的测量算法，可根据用户自定义测量模式进行自动识别，实现多种测量方式的灵活切换。

三、与同类技术对比

基于本技术创新成果自动导向系统历经四条隧道近三年的现场测试与应用，我们与第三方系统进行了功能与性能对比，实现了国内外领先系统功能及性能全覆盖，并在其基础上进行了多项功能提升与创新，尤其标靶法与棱镜法融合定位测量，大大提高了测量效率。

功能	VMT (进口)	演算 (进口)	力信 (国产)	米度 (国产)	自研
自动测量	√	√	√	√	√
姿态显示	√	√	√	√	√
测量日志与数据	√	√	√	√	√
地面地下同步	√	√	—	—	√
标靶始发	√	—	—	√	√
棱镜法、标靶法测量灵活切换	—	—	—	—	√
换站操作	√	√	√	√	√
换站姿态对比	—	—	√	—	√
权限管理	√	√	√	√	√
纠偏曲线与自动排环	√	√	√	√	√
风险源预警	√	—	√	—	√
操作记录	—	—	√	—	√
全站仪操作	√	√	—	—	√
人工姿态计算	√	√	—	√	√
远程传输	√	√	—	—	√
历史回放	—	—	—	—	√

四、推广应用情况

以本技术为核心开发的盾构机自动导向系统在南京和燕路过江隧道左线进行了示范性应用，并在成都地铁 17 号线白佛桥-机投右线、成都地铁 17 号线机投-终点站右线、福州滨海快线风机右线进行了产业化应用，新增利税提高 15%，由于该系统施工中的优异表现，未来将在隧道施工中进一步应用并取代进口系统，已新签合同 20 套，节省采购成本近 25%。



南京和燕路过江隧道监控室



成都 17 号线白机右线司机室



福州滨海快线风机右线监控室



成都 17 号线机终右线顺利贯通

五、相关知识产权及荣誉

基于本技术创新申请的相关知识产权及荣誉如下：

1、发明专利（2篇）：一种管环平整度自动测量系统、一种隧道管环端面平整度自动测量系统

2、实用新型专利（1篇）：一种应用于盾构机导向系统的全站仪供电线缆的布置系统

3、软件著作权（2项）：盾构机自动测量系统 V1.0、盾构机掘进管理系统 V1.0

4、成果鉴定：由中国工程机械工业协会组织鉴定该项创新成果达国际先进水平。

5、获 2021 年度中交集团科学技术进步奖二等奖。

6、获中交疏浚集团 2020-2021 年度职工技术创新成果二等奖。

完成单位：中交疏浚技术装备国家工程研究中心有限公司、中交天和机械设备制造有限公司

完成人：缪袁泉、庞景墩、张红升、瞿代佳、何彦行、徐庆、宋伟浩、张连昊、王龙驹、于毅鹏