

THE WORLD OF STEEL STRUCTURE
《2024年钢结构智能建造工程项目典型案例汇编》专刊



◎ 祥雲樓茶樓





北京钢结构行业协会

BEIJING STEEL STRUCTURE INDUSTRY ASSOCIATION

北京钢结构行业协会(简称北钢协)(BEIJING STEEL STRUCTURE INDUSTRY ASSOCIATION, 英文简称:BSSIA)成立于2016年8月26日,是经北京民政局核准,由北京及周边地区钢结构、金属围护、模块化集成建筑以及总包、设计、院校等相关企业、组织和个人组成的公益性专业社会组织。

协会现有会员300余家,其中80%为京津冀地区钢结构产业链骨干企业。

自成立以来,协会不忘初心,始终秉承“服务会员、服务行业、服务社会”的办会宗旨,通过搭建政企平台、制定行业标准、组织研讨交流等形式,不断探索创新服务模式,深化行业交流,促进多方共赢,为推动钢结构产业高质量发展做出了巨大贡献,先后被评为“AAAA级社会组织”“信用建设试点单位”和“支持党建工作示范单位”等。

协会宗旨: 服务会员、服务行业、服务社会

协会使命: 努力打造一个开放、包容、共进的钢结构行业生态圈,推动企业技术创新、推动行业高质量发展

协会的愿景: 成为钢结构领域内具有高度认可度和权威性的专业组织



4A级单位



首批信用建设试点单位



支持党建工作示范单位



入会咨询加微信
微信号: bjgghx

卷首语

探索钢结构智能建造的卓越之路

在建筑领域的伟大征程中，钢结构智能建造正以前所未有的力量重塑着行业的面貌。当钢铁的坚韧与智能科技的灵动相互交织，一种全新的建筑范式应运而生，它宛如一座桥梁，连接着过去的匠心独运与未来的无限可能。《钢构世界》作为行业发展的忠实记录者和引领者，在这一伟大变革的浪潮中，追踪报道由北京钢结构行业协会发起的“钢结构智能建造项目典型案例”活动，意义非凡。

如今，钢结构智能建造项目如同繁星般在建筑天空中闪耀。这些项目不仅仅是一座座冰冷的建筑，它们更像是一个个有生命、有智慧的实体。每一个项目都凝聚着无数专业人士的心血和智慧，是技术创新与实践经验的完美结合。从设计之初，智能算法和建模技术就如同神奇的画笔，精准勾勒出钢结构的每一处细节，将设计师的奇思妙想以最优化的方式呈现，赋予建筑以独特的美学和功能。

在生产环节，智能化的制造工艺如同精密的交响乐，自动化生产线、机器人焊接、智能切割设备等相互配合，奏响高效与高质量的乐章。每一个钢结构构件都在智能系统的监控下诞生，误差被控制在极小范围内，确保了建筑整体的稳固性和可靠性。这不仅大幅提高了生产效率，更是为建筑质量提供了坚实的保障。

而在施工现场，智能建造技术则像一位指挥若定的将军。无人机巡检、BIM与GIS融合技术指导施工、智能传感器实时监测结构状态等，让施工过程变得更加安全、有序和高效。即使是面对复杂的施工环境和庞大的钢结构安装任务，也能有条不紊地推进，仿佛每一个建筑构件都知道自己的位置和使命，自动归位，最终组合成宏伟的建筑杰作。

这些钢结构智能建造项目典型案例，是行业的宝贵财富。它们是创新的火种，点燃了更多人对于智能建造的热情和探索欲望；它们是实践的丰碑，铭刻着行业发展过程中的每一次突破和进步；它们是交流的使者，携带着丰富的经验和教训，在行业内传递和分享。

协会发起的征集活动，旨在将这些璀璨明珠汇聚起来。通过《钢构世界》这一平台，让更多的人了解到钢结构智能建造项目的魅力和价值。这些案例将成为行业发展的指南针，为新的项目提供参考和借鉴；成为激发创新的催化剂，促进更多前沿技术在钢结构智能建造中的应用；成为凝聚行业力量的纽带，让所有从业者在共同的目标下携手前行。

无论是已经惊艳世界的大型钢结构智能建造项目，还是默默展现智慧之光的中小规模工程，都蕴含着无限的价值。《钢构世界》诚挚地邀请每一位参与钢结构智能建造的同仁，分享你们的项目故事，让我们共同开启这场钢结构智能建造的智慧之旅，为行业的辉煌未来添砖加瓦。

本刊编辑部

北京钢结构行业协会 2024 年钢结构智能建造工程项目典型案例汇编 专刊

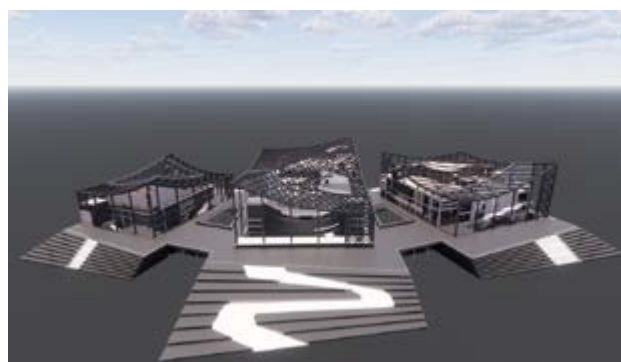
目 录

01 城市副中心剧院项目.....	01
02 国家金融信息大厦项目.....	06
03 东南组团二标段 166、170 地块钢结构智能建造项目.....	11
04 石家庄市城市基础工程提升二期泊水公园特大桥主桥钢箱梁、钢拱肋制作安装 工程项目	19
05 阿里巴巴华中总部项目	31
06 超低能耗被动式装配式住宅示范项目（瑞湖·云山府）	37
07 （印尼）红土镍矿化学品 2.3 万吨镍 / 年项目职工公寓楼项目	41
08 东溪河特大桥项目	47
09 中绿电乌鲁木齐市米东区 350 万千瓦光伏项目.....	56
10 琉璃河镇平各庄村集租房（集中医学观察点）项目.....	59



城市副中心剧院项目

北京建工集团有限责任公司
北京建工集团（雄安）建设有限公司



一、项目简介

(一) 项目背景

北京城市副中心剧院是三大文化设施组团项目中规模最大、施工难度最高的建筑，是落实习近平总书记视察北京重要讲话精神，落实北京市委市政府决策部署的具体体现。项目建设受到各级领导和社会各界的高度关注。2019 年 1 月 18 日，习近平总书记在视察北京城市副中心时，详细了解了剧院等重大工程项目规划建设情况。

北京城市副中心剧院项目与行政办公区隔大运河相望，城市副中心剧院是位于大运河畔的文化粮仓，即艺术表演创作教育等功能于一体。由国家大剧院运营使用的世界级文化艺术中心，属于地标性建筑，也是推进“京津冀一体化”和“通州副中心战略”的重点民生工程。将满足各类世界级演出要求。

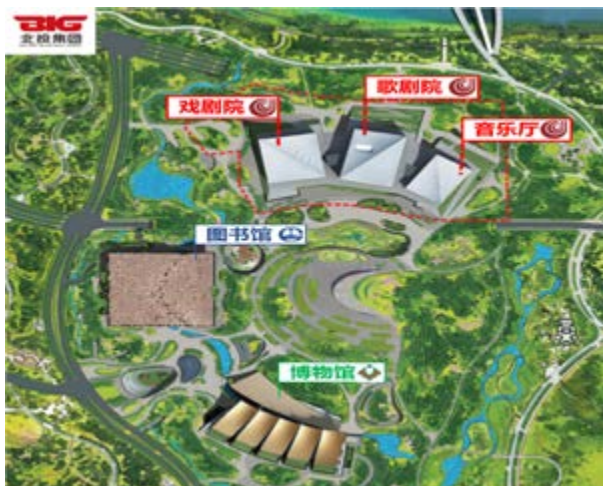


图 1 三大文化设施组团建筑总平面图

(二) 工程概况

1. 建筑概况

工程总建筑面积 125350 m²，其中地上建筑面积 82700 m²，地下建筑面积 42650 m²，包含歌剧院、戏剧院、音乐厅三座单体。



图 2 城市副中心剧院项目效果图

2. 结构概况

三座建筑的钢结构主要由：钢骨柱、钢骨梁及钢板墙等劲性结构、楼层钢梁及桁架（含大跨梁及夹层结构）、钢屋盖（含下部 V 撑及外围钢柱）、栅顶吊挂结构共计四个部分组成。钢结构总量约 14000 吨，屋顶造型结构体系为大跨度悬垂脊线单层双坡曲面网格结构，屋脊构件最大跨度达 155m，戏剧院结构最大标高为 +40.5m；歌剧院结构最大标高为 +48.5m，为本工程结构最高点；音乐厅结构最大标高为 +37.3m。吊挂结构体系，是剧场建筑特色本工程中有 14 处吊挂结构构件纤细、数量多、刚度低、叠层错落。

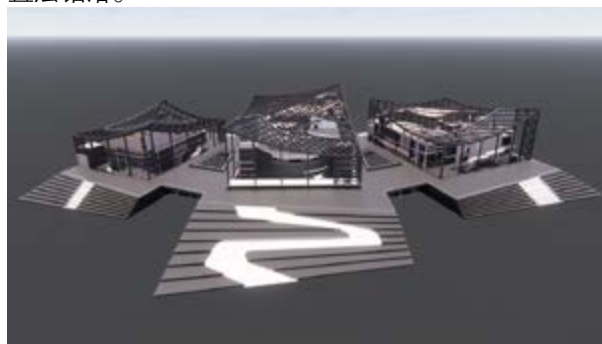


图 3 整体结构模型图

二、项目特点

(一) 项目智能化设计

1. 基于 BIM 技术的全过程施工模拟技术

在深化设计和方案制订过程中，利用 BIM 技术进行钢结构和金属屋面分段精细化深化设计和受力分析。在钢结构深化设计过程中还结合 Midas Gen 有限元计算软件的施工变形竖向位移分析，将结构变形控制分为加工厂预起拱和现场预起拱两种形式进行控制，将竖向位移变形超设计要求的杆件进行预起拱后通过模拟计算，最终施工完成状态的变形值达到设计要求。

严格执行“样板引路”的思路，通过“先试后造”、三维可视化方案交底等，切实提升工程建造质量。网格屋盖从两端依次往中心推进安装主、次杆件，钢结构施工模拟。

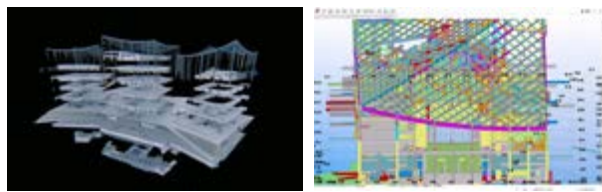


图 4 基于 BIM 技术的全过程施工模拟技术

2.BIM 协同管理平台与智慧工地平台应用

通过 BIM 协同平台将项目各部门连接起来，并使用协同平台作为信息数据库，将项目施工管理的信息储存在平台上，形成项目专用的信息传递工作，项目实施过程中及竣工后皆可通过此平台完成各类信息的查询和追溯。

项目利用智慧工地平台集成项目信息、数字工地、劳务管理、塔吊监控、环境监控、质量管理、安全管理等模块，通过集成现场各个终端的数据，在平台进行显示，更好的对现场人员安全、设备安全、生活安全进行控制。提高生产管理及协同效率。

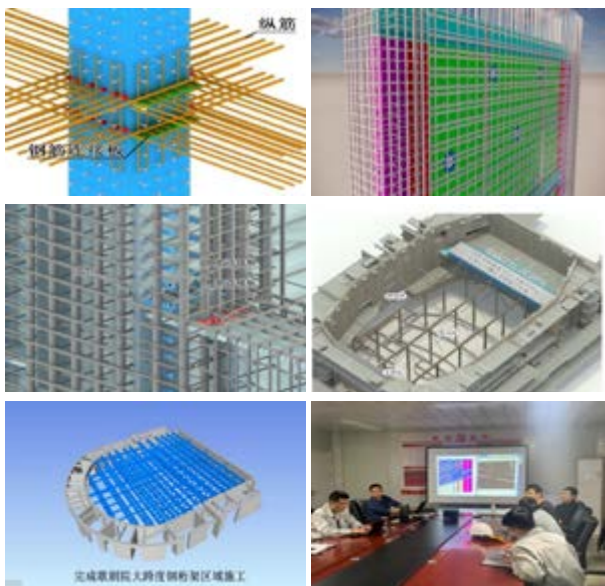


图 5 辅助节点深化

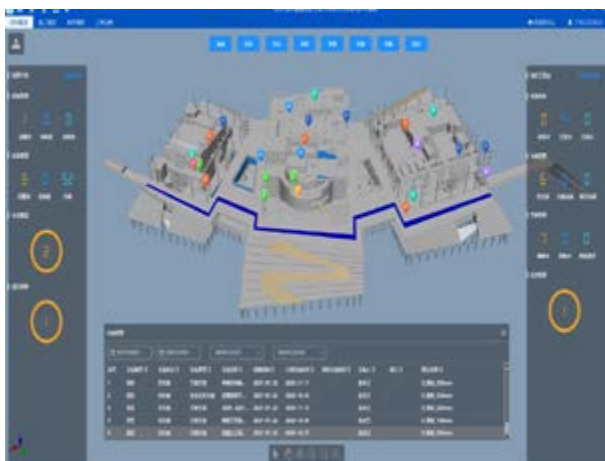


图 6 BIM+ 移动设备应用辅助质量安全管理平台

(二) 项目构件的智能制造

1.sinocam 自动套料系统应用

加工应用 sinocam 自动套料系统，覆盖本工程的所有零部件。后续的构件中的零件正在全面应用，

并且做到 100% 的数控切割率。

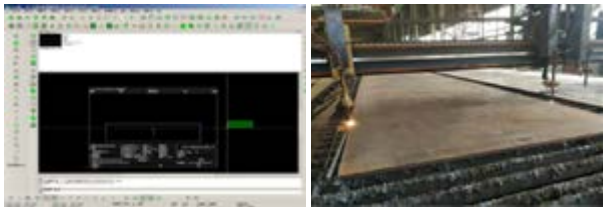


图 7 sinocam 自动套料系统应用

2. 虚拟预拼装技术应用

为确保构件运到现场后能准确安装并不发生碰撞，在工厂进行实体预拼装以检验结构的可拼装性，实体预拼装不仅需要占用工厂的场地、设备，还要设置胎架，耗费大量的人力物力，其成本很高，难以满足未来更为复杂的钢结构建造的需求，所以本工程使用虚拟预拼装相对节约成本。

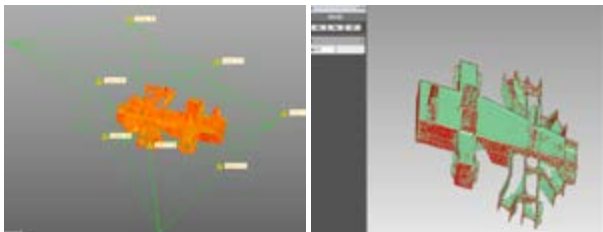


图 8 虚拟预拼装技术应用

3. 钢构件二维码管理应用

建筑施工现场，需要为原材料、构配件等工程材料制作标识牌，本项目通过二维码展示钢结构的基本参数、验收、检验等信息，确保材料及样品在仓储和流转过程中可识别、可追溯，防止材料非预期使用，确保产品代表性和真实性。



图 9 钢构件二维码应用

(三) 项目智能建造的创新、亮点

1. 钢结构全生命周期信息化管理平台

项目采用了 1 个平台，3 大管理中心，3 大技术中心，9 大模块，3 端应用的系统架构，期望打造一个建工特色、国内领先的 BIM+ 智慧工地平台。施工现场安装了包括塔基监测、人脸识别、视频监控、环境监测、VR 行走平台、智能电箱、智能水表等智能硬件，现场数据实时采集，自动汇总，风险实时预警，

实现了项目管理人员的远程监管，为项目提效减负。



图 10 钢结构全生命周期信息化管理平台

2. 智能测量技术应用

研发了一种便于安装的、高精度的、用于变形监测的、可旋转 360° 的装置，通过底座磁铁吸附在钢结构上，装置配合全站仪使用，有效解决了钢结构工程构件测量和变形监测点位复杂，安置难度大，角度变换难、测量精度低、操作不便的问题，使钢结构构件测量和变形测量更加精细、准确。

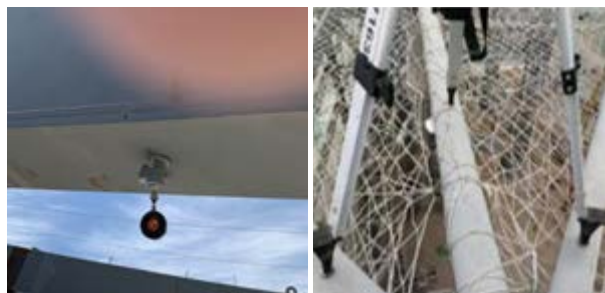


图 11 智能测量技术应用

3. 大跨空间钢结构焊接及自动检测技术

针对本工程箱型柱、梁现场焊接工作量大、工期紧、施工质量要求高的施工特点，本工程选用了 YC-ZB 轨道摆动焊接小车对钢柱的现场对接焊缝及箱型梁地面拼装焊缝进行自动焊接作业。

同时本工程部分焊缝检测采用远程超声 TOFD 扫查图像焊缝缺陷检测方法进行检测，超声 TOFD 法一次性检出率高，应用范围大，无需校准，检测精度高，检测得到的图片数据能够在计算机中长久保存。提高了本工程的检测效率和效果。



图 12 YC-ZB 轨道摆动焊接小车

图 13 超声 TOFD 现场扫查

4. 基于无线传输、云平台技术的应力、位移自动监测预警技术

引入无线传输、云平台、物联网等技术，实现相关实测数据的采集、传输、存储的自动化；并通过仿真计算等手段确定该重点难点的控制值，编制软件实现自动比对和报警预警功能，从而实现项目的高频次数据分析和安全把控，保障施工过程安全。

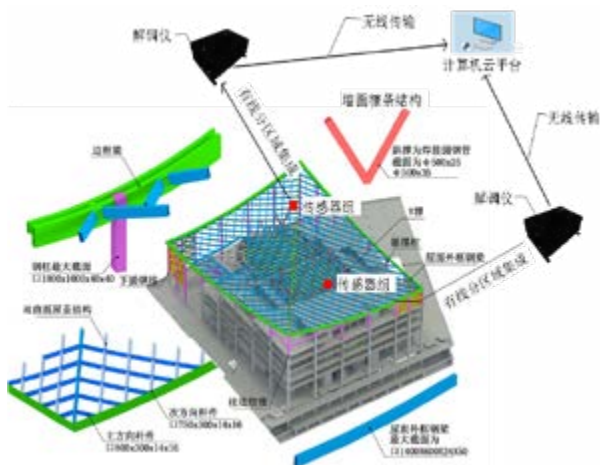


图 14 施工监测系统原理

5. 基于北斗卫星定位系统的变形监测平台

歌剧院部分超长、超重钢柱和网格屋盖结构的位形监测采用北斗系统。根据结构易损性分析，选取变形较大的超长、超重钢柱和屋盖杆件进行北斗全天候定位、高灵敏度、强实时性等监测，各监测点可实现同步测量，且相互之间无干扰，能够满足无人值守远程自动化监控的要求。

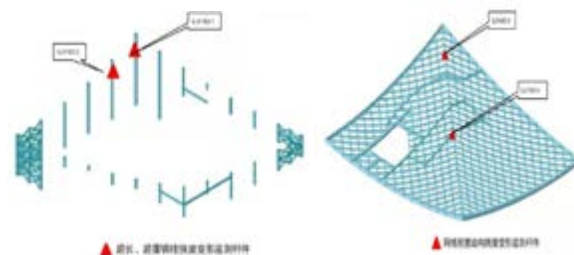


图 15 北斗卫星结构变形监测位置

6. 三维激光扫描安装及辅助验收技术

为控制钢结构在安装过程中的精度，利用 BIM+ 三维激光扫描技术，将虚拟模型与实体模型进行结合，在钢结构安装过程中进行纠偏，提升安装精度，为下一步施工工作、竣工验收提供有力的数据支撑。实现低成本、高效率、高质量、高效益的施工标准。

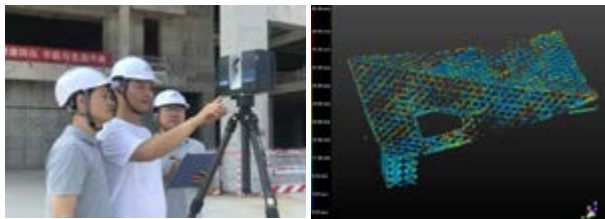


图 16 三维扫描技术应用

三、项目成效

(一) 取得的效果

1. 通过智能建造给项目和企业带来了良好的社会效益和经济效益。

本工程钢结构施工实现了方法上的创新和技术上的巧思创效，累积接待近千次观摩调研活动，得到了广泛的社会关注度、好评和影响力，社会效益和经济效益显著，具有良好的推广价值。

项目建设过程中成功应用了《建筑业 10 项新技术》（2017 版）的 4 大项 21 小项；《大跨空间双曲悬垂式单层网格结构建造关键技术研究与应用》通过北京市科技成果评价，整体达到国际领先水平；取得北京市级工法 4 项；获得发明专利 8 项、实用新型专利 8 项；BIM 成果奖项 4 项；发表国内论文 24 篇，国际 EI 期刊 15 篇；中国建筑金属结构协会科学技术奖一等奖 1 项。

经工程应用证明，技术成果施工工艺合理，操作性强，有效地保证了工程施工质量，荣获北京市绿色安全样板工地、北京市结构长城杯金奖、中国钢结构金奖、中国钢结构金奖年度杰出工程大奖等奖项。

(二) 借鉴意义

该工程的项项目智能建造相关科研成果研究应用的施工技术，可广泛应用于同类大跨空间钢结构工程，提供了宝贵的施工经验，具有较大的借鉴、推广价值，应用前景广泛。

四、总结展望

(一) 有益经验

1. 采用物联网、人工智能等先进技术，实现远程操控、实时监控、数据分析等功能，提升建造效率和质量，降低人力成本，提升安全性。

2. 利用智慧工地平台集成项目信息、数字工地、劳务管理、塔吊监控、环监控、质量管理、安全管理等模块，通过集成现场各个终端的数据，在平台进行

显示，更好的对现场人员安全、设备安全、生活安全进行控制。提高生产管理及协同效率。企业、高校、科研机构等加强合作，推动产学研用融合发展境，提升智能建造技术的创新能力和应用水平。

3. 三维激光扫描技术与传统的检测、预装工艺相比具有节约施工投入，减少施工区域、人力投入、机械设备投入等优点，还可提高施工效率和施工质量，并降低项目施工成本。实现低成本、高效率、高质量、高效益的施工标准。

(二) 存在问题

1. 技术不够先进

现应用的部分技术尚不够先进，存在性能不稳定、兼容性差、智能化程度不高等问题。影响了项目的智能建造效率，限制了部分技术技术在复杂场景下的应用。

2. 使用率低

尽管智能建造项目在技术应用上取得了显著进展，但部分项目的智能化系统使用率仍相对较低。

(三) 发展展望

在推进过程中仍面临着一系列问题与不足。为推动智能建造技术的广泛应用和深入发展，需要各方共同努力，加强技术研发、优化系统设计、提高设计质量、完善规范标准、严格图纸审核、加强管理能力和施工质量监控以等。只有这样，才能确保智能建造项目顺利实施并取得预期成效。

智能建造的未来发展展望十分广阔。在技术创新、市场需求、政策支持以及发展趋势等多个方面的推动下，智能建造将迎来更加快速、健康、可持续的发展。

国家金融信息大厦项目

中建钢构天津有限公司



一、项目简介

钢结构具有重量轻、抗震性强、施工周期短等优点，是实现建筑工业化和绿色低碳发展的重要途径。随着我国经济社会的快速发展，钢结构建筑在各类公共建筑、住宅建筑、特殊建筑等领域得到了大规模推广和应用。在国家大力推进建筑技术创新和提升施工质量的背景下，国家金融信息大厦项目不断攻关现场施工难题，结合我司重点实验室课题支撑，总结并开发了一套创新技术和数字产品，可为今后类似的结构施工提供参考。

本工程位于北京市丰台区丽泽金融商务核心区 E02 地块，地处西二、三环路之间，大厦东至规划中心广场，西至规划中环路，南至骆驼湾南路，北至丽泽路。用地东侧为丽泽 SOHO，西侧为平安金融中心，西南侧为鼎兴大厦，东南侧为通用技术集团大厦，用地北侧有在建的地铁 14 号线区间及车站，部分车站及区间已进入本项目用地红线。



图 1 国家金融信息大厦效果图

办公楼由塔楼和裙楼组成，主楼部分为双塔 + 连廊平面布局，塔楼位于北侧，分为东西 2 座，地下 5 层，地上 39 层，高度 198.5m（局部屋面钢架 203.4m）；裙楼位于南侧，地下 5 层，地上 3 层，高度 25.5m（局部屋顶机房 28.8m）。总用地面积 17372 m²，总建筑面积约 22.75 万 m²，地下 7.75 万 m²，地上 15 万 m²。塔楼长度约为 104.3m，宽度约为 42.5m；主要柱网跨度为：9.0×12.75m、9.0×15.0m；局部大跨楼面跨度为 45.1m，屋面跨度为 37.7m；配楼长度约为 104.4m，宽度约为 42.1m；主要柱网跨度为 9.0×8.4m、10.2×8.4m、6.9×8.4m；其中局部大跨楼、屋面最大跨度为 43.8m，局部悬挑 20.1m；地下室结构最大长度约为 138.0m，宽度约为 121.35m；主要柱网跨度为：9.0×12.75m、9.0×6.6m、9.0×8.4m、10.2×8.4m、6.9×8.4m。

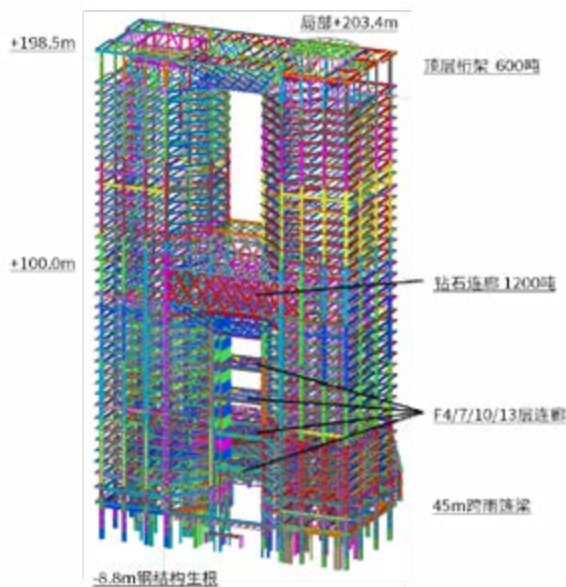


图 2 国家金融信息大厦钢结构模型

钢结构部分用钢量约 3.2 万吨，主要分布于地下室、塔楼及裙房地上部分。钢结构从 -8.8m 生根，主要包括箱型和 H 型构件，主要钢材材质为 Q390GJ、Q345GJ、Q355C、Q355B，最大板厚为 60mm。塔楼为双塔造型，采用矩形钢管混凝土柱框架（钢管混凝土柱 + 钢梁）- 钢筋混凝土核心筒结构体系，共 39 层，主要屋面高度 198.5m。双塔通过连桥连接，其中共享空间及空调机房（位于 F4、F7、F10、F13、F16、F18）为箱型、H 型钢梁结构，位于 100m 及 200m 的中心大厅及观光层（位于 F20~F22、F39~FR）含桁架结构。裙房位于塔楼南侧，采用钢框架（钢管混凝土柱）支撑筒体结构体系，地下 5 层，地上 3 层，屋面高度 28.8m。裙楼结构长度约为 104.4m，宽度约为 42.1m，主要柱网跨度为 9.0×8.4m、10.2×8.4m、6.9×8.4m，其中局部钢结构桁架屋面大跨度为 42.8m，桁架顶标高在 11.9m 和 23.85m 处；裙楼东、西两侧悬挑桁架长度为 17.85m。

二、项目特点

（一）项目智能化设计

1. 双塔式超高层平行桁架液压整体提升技术

（1）双塔超高层合龙施工关键技术

国家金融信息大厦主楼部分为双塔 + 连廊平面布局，双塔合龙前均为单独结构体系，合龙后整体受力，考虑到温度、风力、自重荷载对结构的影响，合龙前需要进行可行性分析以保证结构稳定，保证对复杂力学性能的系统性研究。

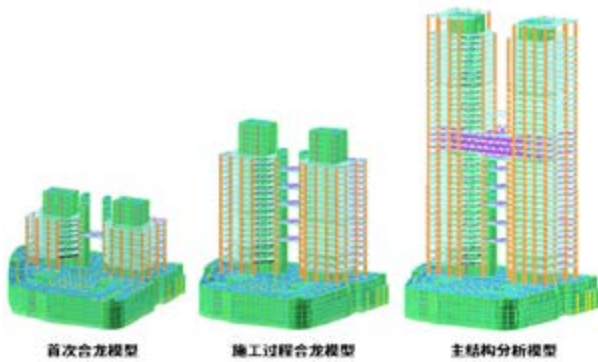


图3 双子塔楼合龙前 BIM 分析模型

针对平行桁架的提升，进行了独立的结构分析，深入评估其承载能力，并对原计算模型进行了合理拆分，以应对施工中的复杂性。完成平行桁架的数字模型分析后，开展液压整体提升操作，减少了高处作业，提高施工的安全性，提高合龙精度和焊接质量。

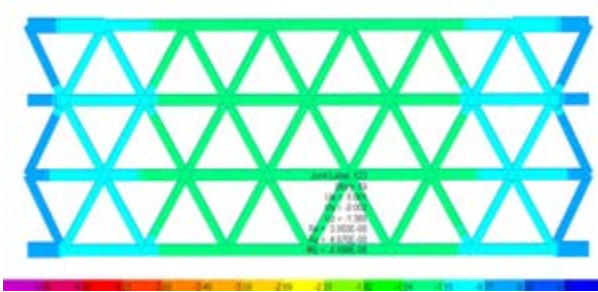


图4 平行桁架变形分析

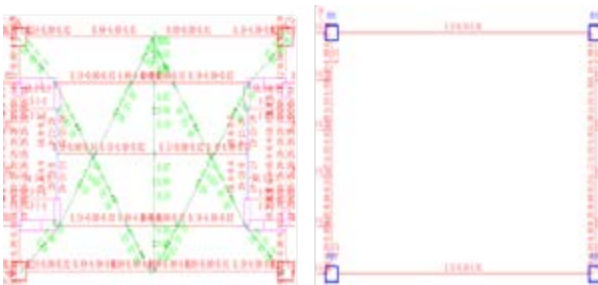


图5 已安装连廊承载力分析

(2) 桁架多肢嵌补段高空精准制作对接技术

在平行桁架就位后，针对嵌补段进行实测实量，通过实时采集和分析实际数据，指导工厂后续制作流程，从而显著提升制作精度。为增强施工稳定性，考虑到桁架提升点与塔楼主体之间的较远距离及悬臂较长的特点，特别设计了远端液压提升装置和智能提升控制装置，顶层加装了智能操作平台和抗侧力杆件，在提升过程中实时监测和调整，提高了提升过程中的稳定性。

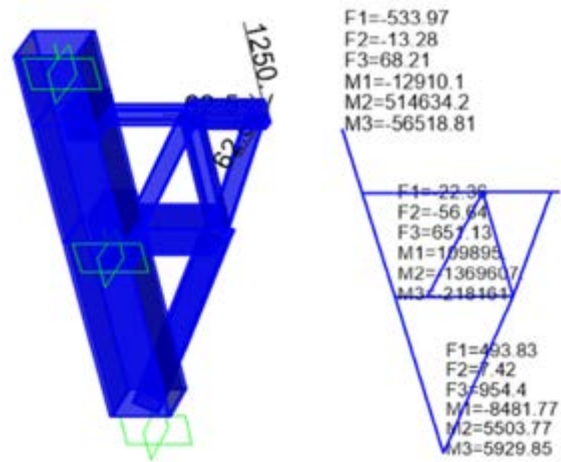


图6 远端悬臂液压提升控制装置荷载与节点反力计算

2. 斜挂式单层菱形网格圆管桁架吊装设计的智能化探索

极坐标法的吊装设计是施工领域的智能化探索之一，即通过导入构件模型和参数信息，基于构件坐标变换的空间三维距离检测算法进行就位角度和吊具设置的计算，高空就位安装时无需再调整杆件角度，简化了施工步骤，快速而精准地完成构件就位。同时，极坐标法允许工人实时监测吊装状态，及时调整作业策略，提高了整体吊装作业的安全性和可靠性。

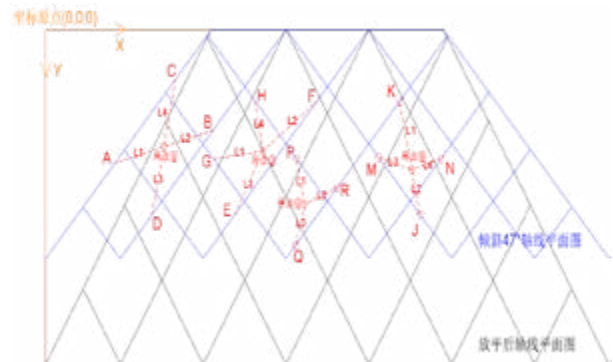


图7 极坐标吊装计算

(二) 项目构件的智能制造

1. 平行桁架的制安一体式快速预拼装施工技术

为实现制作与安装的快速衔接，将平行桁架分为“底、中、上”三层分别在工厂进行实体预拼装。该技术依托数字模型构建与分析，根据实际收集的数据分层进行模拟预拼装，确保出厂前的充分检验与优化，按拼装顺序分批发运构件，缩短了整体施工周期。同时减少了高空焊接作业的比重，工人可在更安全的环境中进行操作。此外，数字模拟为施工提供了科学依据，使施工团队能够实时监控与调整，确保施工过程的流畅与高效。



图 8 平行桁架的分层实体预拼装

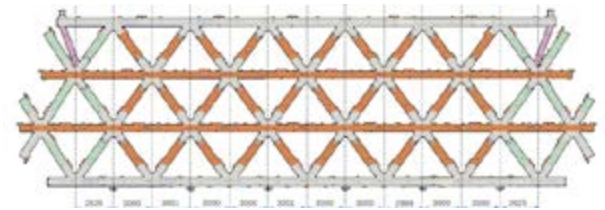


图 9 预拼装模拟

2. 桁架多肢嵌补段高空精准制作对接技术

平行桁架提升至设计标高后，对嵌补段进行实测实量，根据测量数据制作嵌补段，保证桁架与主体结构的对接间隙满足要求。嵌补段制作采用激光切割下料，智能坡口单元开设坡口，机器人焊接，激光除锈，智能涂装机器人进行油漆喷涂。



图 10 智能制造产线生产嵌补段

3. 智能化高效焊接设备的研发与应用

针对复杂环境下的金属表面除锈难题，公司研发了高功率激光除锈机器人，能进行多自由度运动控制，效率是传统人工方法的 6 倍，显著提升了作业质量和生产效率。

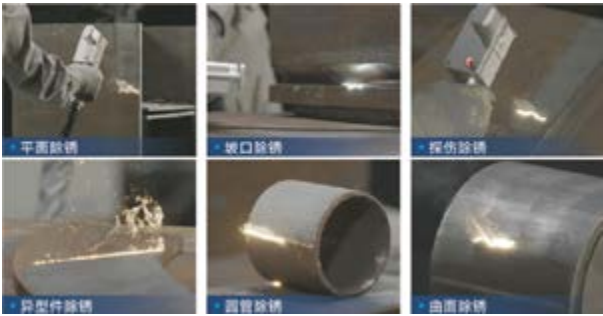


图 11 高功率激光除锈机器人

针对厚板构件焊接难题，引入了公司自研的激光-电弧复合焊技术，结合先进的工艺仿真和数值模拟验证，形成了厚度 14mm 范围内钢板高精度、低变形的焊接体系。



图 12 激光-电弧复合焊技术的应用

（三）项目智能建造的创新、亮点

1. 数字化施工管理的深度应用。通过数字模型的构建与分析，实现了施工过程的全面数字化管理。尤其在双塔合龙施工中使复杂的力学性能得到了科学评估。数字模型支持实时监测和调整，辅助纠偏。

2. 液压整体提升技术的智能化实现。在平行桁架的液压整体提升过程中，采用了智能化的提升控制装置，确保提升过程的稳定性。

3. 极坐标法的吊装设计创新。通过极坐标法的吊装设计，项目实现了施工步骤的智能化与简化。利用构件模型和参数信息，进行空间三维距离检测，确保快速精准安装。

4. 智能制造技术的集成应用。项目在钢结构构件的智能制造方面进行了创新。平行桁架的制安一体式快速预拼装施工技术，通过数字化模拟预拼装，确保了出厂前的充分检验和优化。

5. 高效焊接设备的研发与应用。针对焊接过程中的复杂挑战，引入最新高功率激光除锈机器人，显著提高了作业效率和质量。此外，激光-电弧复合焊接技术的引入，结合先进的工艺仿真和数值模拟，形成了高精度、低变形的焊接体系。

三、项目成效

（一）取得的效果

1. 社会和经济效益

通过智能建造技术的广泛应用，国家金融信息大厦项目不仅实现了施工效率的显著提升，还有效保障了工程的安全性与质量。提前 40 天完成安装任务，减少措施型钢 128t 及大型吊装设备台班 210 个。同时，数字化施工管理与智能化设备的结合，使得工程进度可控，资源利用率提高，从而缩短了施工周期，降低了项目成本。工程得到多家媒体宣传报道，社会效益显著，也为行业的智能化转型树立了标杆，推动了整个建筑行业的可持续发展。

2. 专家对项目的评价

国家金融信息大厦项目已通过验收，安全 and 质量均满足要求。其中平行桁架、菱形网格圆管桁架以及各层连廊施工完成后，结构性能效果良好，降本增效的经济作用明显，满足设计图纸要求及现行国家规范要求。工程中的技术成果于 2023 年 12 月进行了由中国钢结构协会组织的科技成果评价，经业内专家鉴定成果整体达到国际先进水平，其中“斜挂式单层菱形网格圆管桁架施工关键技术”达到国际领先水平。

本成果已形成专利 32 项，其中 4 项发明专利和 7 项实用新型专利已获授权；发表论文 6 篇；获得北

京市工法 1 项，为成果的推广应用奠定了基础。

（二）借鉴意义

通过数字化施工管理与智能化设备的结合，项目实现了高效、安全的施工过程，降低了风险和成本。这一经验表明，智能化技术不仅可以提升施工质量，还能加速项目进度，增强市场竞争力。其他企业在实施类似技术时，可以参考其成功的实践模式，从而推动行业的整体创新与可持续发展，形成良好的示范效应。

四、总结展望

（一）有益经验

国家金融信息大厦项目在智能建造方面积累了丰富的经验，形成了多项可借鉴、可推广的实践模式。通过数字化施工管理、液压整体提升技术和智能化焊接设备的应用，项目展示了如何在保障施工安全和质量的前提下，提升效率与降低成本。这些经验不仅适用于类似的超高层建筑项目，还可以为其他领域的智能化施工提供参考，促进整个行业的技术进步与发展。

（二）存在问题

尽管项目在智能建造方面取得了显著成效，但仍存在一些问题和不足。例如，部分智能设备在实际应用中面临技术适配性不足的问题，导致效率未能达到预期。此外，项目团队对新技术的培训和适应仍需加强，以充分发挥智能设备的优势。项目管理中的信息共享与协同工作机制也有待完善，以提升各方的协作效率。

（三）发展展望

未来，智能建造的发展方向将聚焦于进一步提升技术集成与应用能力，推动智能设备与施工流程的深度融合。应加强对新技术的研究与开发，提升智能设备的适应性与可靠性。同时，注重人才培养与技术培训，确保施工团队能够熟练运用智能化工具。此外，加强行业间的信息共享与协同合作，将有助于推动整个建筑行业向更高水平的智能化发展，促进建筑工程的可持续性与创新性。

东南组团二标段 166、170 地块 钢结构智能建造项目

北京住总集团有限责任公司
泛华建设集团有限公司



一、项目简介

北京城市副中心行政办公区二期东南组团二标段 166、170 地块，位于通州区潞城镇，该项目主要功能为会议、办公用房，总建筑面积 156771 m²，主体地下 3 层，框架剪力墙结构，地上 8 层，钢框架支撑结构，建筑高度 36m，其中，166 工程 81038 m²，170 工程 75733 m²。



工程外立面

二、项目特点

（一）项目智能化设计

1. 钢结构深化设计流程

深化设计流程详见下图。

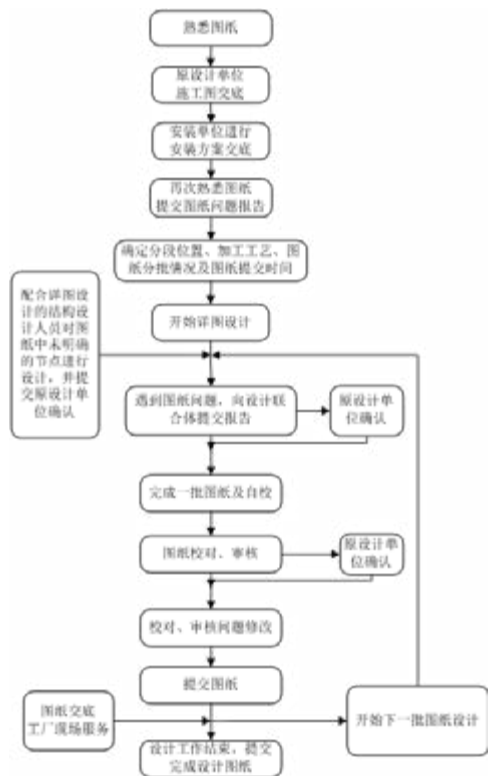


图 5-59 钢结构深化设计流程图

2. 深化设计软件

（1）软件配置

序号	名称	功能
1	XSTEEL	建模绘图软件
2	AutoCAD	建模绘图软件
3	SAP2000	结构设计软件
4	MIDAS	结构设计软件

3. 深化设计操作要点

（1）深化设计依据：

本工程深化设计部分将根据业主提供的招标文件、答疑补充文件、技术要求及设计蓝图为依据，结合工厂制作条件、运输条件，考虑现场拼装、安装方案、设计分区及土建条件进行钢结构部分的图纸深化。深化设计图是作为指导本工程工厂加工制作和现场拼装、安装的施工详图。

（2）深化设计遵循的原则

以电子版施工设计图纸和技术要求为依据，负责完成钢结构的深化设计，并完成钢结构加工详图的编制。

根据设计文件、钢结构加工详图、吊装施工要求，并结合制作厂的条件，编制制作工艺书包括：制作工艺流程图、每个零部件的加工工艺及涂装方案。

加工详图在开工前经详图设计单位设计人、复核人及审核人签名盖章，报原设计单位审核同意，业主确认后才开始正式实施。

根据电子版图进行深化，原设计单位要对深化的标高、截面、节点、定位予以仔细核对，承担相应的设计后果。投标单位对深化设计的构件尺寸和现场安装定位等设计结果负责。

4. 应用效果

本工程通过深化设计技术的运用，满足了钢结构加工制作和安装的设计深度需求。同时也提高了设计和施工速度，使用计算机辅助设计，推动钢结构工程的模数化、构件和节点的标准化，计算机自动校核、自动纠错、自动出图、自动统计，极大地提高了钢结构设计的水平和效率。

（二）工程 BIM 应用

1. 应用范围

本工程在钢结构专业进行 BIM 技术深化应用指导施工，结合 BIM 技术辅助工程管理与方案交底，计划最终形成竣工模型辅助建设方运维管理。

（4）钢结构节点深化

钢结构深化设计中节点设计是深化设计的重点和难点，传统二维图纸需要通过多张图纸才能达到多角度展示节点信息，往往会出现错误，直接影响施工进度和质量。通过 Tekla 软件三维视角下进行节点设计，可以多角度查看节点处各构件的空间位置关系、连接方式、连接件数量及施工工艺要求。所以只借助一个模型将节点展现的更加直观、清晰，提高了深化设计对细部节点的把控能力。

5. 应用总结

本项目总结以往经验，从管理层面进入，BIM 工程师深入项目现场参与，深化过程相关专业 BIM 工程师及现场人员积极参与，辅助 BIM 工程师一起进行钢结构深化工作，遇到问题及时联系各方面沟通解决，遇到难点总结各专业人员经验进行优化，主要体现在以下几个方面：

（1）参与项目前期投标 BIM 应用，与设计和钢结构制作方了解材料成本及采购基本情况，结合设计进行优化，项目前期应用 BIM 进行成本控制；

（2）相关专业人员进驻钢结构 BIM 团队，对地下结构跨专业间的连接节点处提供专业知识和经验，处理好钢筋钢结构幕墙专业间可能导致的节点连接问题；

（3）项目安排相关人员驻场车间及现场，了解 BIM 图纸加工和安装应用情况，及时反馈工长、安装人员对 BIM 模型和图纸的疑问，加强车间及现场沟通联系，减少了互相之间可能出现的推诿扯皮等现场，缩短问题处理时间；

（4）对钢结构分包的 BIM 深化工作过程参与及监管，对各模型及图纸资料校核及收集，对监理和业主的定期工作汇报总结，确保钢结构项目的准时保质量的实施。

钢结构 BIM 技术的深入应用，以深化设计模型为载体，可以在钢构件制造商与设计之间形成一种反馈循环，提前考虑了设计和制作方可能会产生的问题，钢结构模型与其它专业模型的整合也有助于减少现场发生的碰撞问题，降低安装成本，确保项目保质保量的完成。

（三）构件智能加工

1. 协同管理

通过调用 BIM 模型中的构件信息，生成构件现场需求清单和下一步排产清单，这样在保证现场施工顺利进行的前提下，合理安排库存量，有序的完成构

配件的生产工作。

住总和泛华监理在钢结构加工车间派驻现场驻场人员，参与并辅助钢结构深化设计，参加日常图纸会审及加工制造会议，了解并监管工厂加工制作情况，通过钢材管理系统、综合质安监控系统、钢结构 BIM 管理平台，对钢结构深化、采购、制作、加工、安装进行全过程信息化智能管控，高效便捷，实现项目一体化管理。

利用钢材管理系统，对计划管理、合同管理、材料入库、材料退货、材料排版等十方面进行可追溯管理（信息可追溯、人员可追溯、质量可追溯），做到权责统一、责任清晰，助力项目履约。



2. 智能监管

利用网络监控辅助人工检查，对外堆场及车间内部进行全方位可视化动态管理，最大程度消除“人的不安全行为”、“物的不安全状态”以及“质量违规行为”和加大进度管控力度。



3. 数字化工厂

将模型中的数据生成加工设备所支持的 NC 数据，工人运用机器设备在工厂中从事构件制作加工，不仅提高了构件生产的合格率，还降低了工人的劳动强度同时也改善了工人施工环境，使现场施工简化为装配吊装。



通过提取在深化设计阶段建立的 BIM 整合模型数据信息，准确加工部品构件，通过二编码的唯一性的特点，在构件中植入二维码标签，标签信息全部来自于一个 BIM 模型数据库，可以保证整个项目施工建造过程的准确性。将通过射频信号，自动识别二维码标签获取构件数据信息。每个二维码标签都有唯一的产品 ID。将 BIM 与二维码技术的结合，有效的控制构件的生产进度，保证库存在合理的范围内。构件运输到施工现场，质检人员通过二维码标签，快捷读取构件信息，方便进场验收。



构件详细信息	
项目信息	项目名称 北京城市副中心行政办公区 项目编号 0906地块钢结构工程 客户 北京城市副中心 工程位置 北京城市副中心二期106地块 结构分部 106楼之一层钢柱 制造厂 中建钢构天津有限公司 构件编号 16-09-022-113
1. 构件信息	构件名称 GZ 构件长度 7700mm 构件重量 2120kg 油漆要求 富油漆 200μm 面积 590m² 分装状态 已分装 生产分线 地上1层柱 制造单位 中建钢构 工作指令 已发布 备注 C14.1001021
生产信息	来源 工厂生产 主要材料厂家 莱钢、津西、永钢、包钢、首钢 原材料验收单位 天津市建设工程质量监督中心 有限公司 质量信息 天津市建设工程质量监督中心 有限公司 制造生产经理 李成武 制造质量经理 赵超 检验日期 2021-03-06 15:39:00 检验结果 合格

主要材料厂家 莱钢、津西、永钢、包钢、首钢	原材料验收单位 天津市建设工程质量监督中心有限公司
质量信息	天津市建设工程质量监督中心有限公司
制造生产经理 李成武	制造质量经理 赵超
检验日期 2021-03-06 15:39:00	检验结果 合格
工序追溯信息	
组立	完成时间 2021-02-08 16:05:00 完成人 马宁 焊接
完成时间 2021-02-08 16:41:00	完成人 马宁
QC	完成时间 2021-03-06 15:39:00
完成人 马宁	打漆
完成时间 2021-03-06 15:57:32	完成人 马宁
成品入库	完成时间 2021-03-06 15:58:09
QC	完成时间 2021-03-25 17:46:35
完成人 马宁	电焊验收
完成时间 2021-03-25 17:55:28	完成人 马宁
最终完成时间 2021-03-25 17:55:28	

构件粘贴二维码，通过扫码可显示构件基本属性、加工制作等信息内容

（四）项目智能建造的创新、亮点

1. 焊接机器人应用

本工程钢结构柱安装通过焊接机器人的机械臂能够自动获取构件板厚、坡口角度、根部间隙等数据，自动生成焊接电流、焊接电压、焊接速度等焊接参数，焊接过程中无需人工干预可根据焊接坡口角度和板厚及根部间隙自动生成焊接层数及焊枪摆幅等参数。

机器人焊接的焊缝排布均匀，焊缝匀称，外观相比较人工焊接的焊缝更加美观，饱满；机器人焊接的速度基本上是人工焊接速度的 2 倍；机器人焊接可连续作业，人工焊接时长时间作业容易造成疲劳，机器人可以在主体结构中一些人工无法实现的区域进行焊

接，能够更好地降低安全隐患。

经工程实际检验，相同条件下，机器人焊接比传统人工焊接至少节约 1/3 的时间，施工工期得到保证。



2. 栓钉焊枪固定支架技术

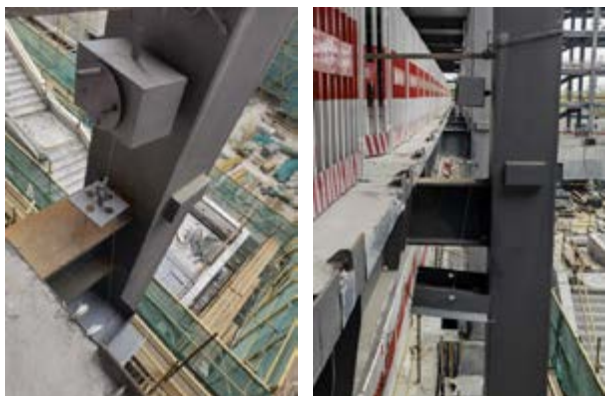
通过固定卡环将支撑腿与栓钉焊枪固定，栓钉焊接时，支撑腿撑设在楼承板上，避免了焊接时因人为晃动导致栓钉歪斜情况的发生，保证了栓钉焊接的垂直度，提高了栓钉焊接质量；固定支撑腿上设置有红外线激光瞄准器，栓钉焊接施工时，通过调整红外线激光瞄准器发出的红外线，使其对准钢柱上的控制线，将依次焊接的栓钉排列整齐，从而保证栓钉焊接质量，提高楼承板整体观感质量。



3. 钢结构焊接防火用接火斗

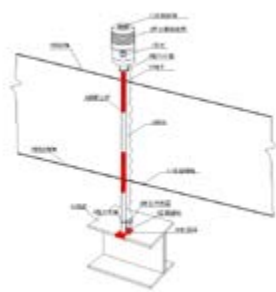
项目部创新了一种钢结构焊接防火用接火斗，新型接火斗通过上部连接挂钩、绞盘将防火斗调节至最佳接火位置；且防火斗下具有延伸板，可根据工程需要扩大接火斗的接火面积；解决现有的接火斗在使用

过程中不能根据现场环境调整安装的距离，难以接住全部的火星、焊渣，达不到最有效的防护效果，同时接火斗的尺寸不能调整，不利于使用的问题。



4. 钢结构生命线安全预警警示、隐患排查装置

通过应用钢结构生命线安全预警警示、隐患排查装置，能自动检测生命线安装立柱上的紧固螺栓是否松动，一旦螺栓松动会被立刻检测到，进而触发报警装置。提醒在钢结构梁上进行高空作业的人员及安全检查人员及时发现、紧固松动的螺栓，从而大大提高了生命线的安全质量和稳定性，给予作业人员安全得到可靠的保障。



5. BIM+ 智慧工地平台

项目对标副中心指挥部 BIM+ 智慧工地平台建设标准，结合指挥部建设标准及项目现状，阶段性建设智慧工地平台。

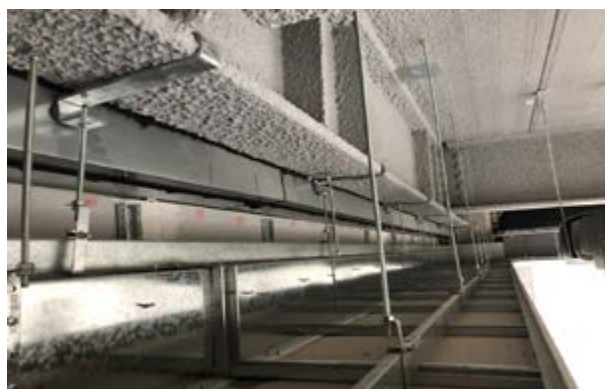
BIM+ 智慧工地解决方案，内容包括现场劳务管

理系统、智能安全帽、质量巡检系统、视频监控系统、会议室显示器大屏、斑马进度管理系统、物料验收系统、BIM 智慧建造系统、升降机和智能配电箱监测系统及协同办公系统。



6. 钢结构装配式建筑窗帘盒免焊接快速安装技术

传统安装方式一般采取钢结构钢梁下侧焊接钢架系统后在进行内凹窗帘盒吊挂系统的安装，此种安装方式需要进行防火涂料的前期剔凿、后期修补及焊接支架的防腐作业。这种安装方式浪费了大量的的劳动力资源、也对结构造成了一定程度的损害。另外，窗帘盒内凹造型也消耗了大量的木质阻燃板材。传统窗帘盒采用传统木质阻燃板受使用环境影响产生弯曲变形后对装饰面层带来了饰面层开裂、脱落风险。相对于传统技术方案能够简化施工、提高施工效率、节能环保。



三、项目成效

(一) 取得的效果

1. 经济效益

本工程通过设计深化、方案优化与新技术应用与创新手段度对施工全过程进行策划，最大限度的科技应用水平，不断提高工程质量、生产效率，缩短工期，节约成本，降低消耗，提升效益。

2. 社会效益

项目部以科技创新、科技应用为抓手有效提高工程质量、生产效率，缩短工期，节约成本，降低能耗，其中焊接机器人、智能安全帽等新技术应用得到各级领导 & 社会媒体的关注和好评。



3. 项目评价

(1) 结构长城杯金奖



(2) 中国钢结构金奖



(二) 借鉴意义

1. 提升项目效率 and 安全性

本项目通过全专业 BIM 技术、焊接机器人技术、智慧工地技术等先进智能建造技术显著提升了项目的施工效率，例如，BIM 技术的数字可视化功能可以全面提升前期设计效率，避免设计偏差，同时将建造过程信息延续到后续施工甚至运营阶段。此外，智能穿戴设备可以监控一线工人的身体状况，并在紧急情况下发送警报，以确保施工人员的人身安全。这些做法对同类项目而言，具有极高的借鉴价值，可以帮助提升整体项目管理的效率和安全性。

2. 优化资源配置和降低成本

项目运用的智能建造技术（如全专业 BIM 技术、栓钉焊枪固定支架技术、装配式建筑窗帘盒免焊接快速安装技术）对建筑过程中的资源进行合理化配置和管理，实现从设计到施工的全过程智能化。这不仅可以提高施工效率，减少劳动力成本，还保证了施工质量的可靠性。对于同类项目而言，借鉴本项目的智能建造技术，可以优化成本结构，提高项目的整体经济效益。

3. 推动技术创新和产业升级

钢结构智能建造工程的发展，离不开技术创新和产业升级的推动。采用机器人代替手工焊接作业是焊接建筑业的发展趋势，是提高焊接质量、降低成本、改善工作环境的重要手段。机器人焊接作为现代焊接技术发展的重要标志已被国内许多工厂所接受，将来势必进军建筑施工领域，特别是钢结构焊接施工中，越来越多的企业将会首选焊接机器人作为技术改造的方案。在未来钢结构智能建造的应用上将有广阔的前景。

四、总结展望

(一) 有益经验

1. 型钢混凝土组合柱-梁节点钢筋安装技术

本工程型钢混凝土组合柱与梁钢筋的连接方式采用一端可焊接套筒连接、一端连接钢板焊接，有效的解决了梁柱节点部位梁、柱钢筋穿插问题，可以做到提前规划、套筒采用钢结构加工厂作业，减少了现场

焊接工作量，提高了工作效率，施工进度明显加快，避免返工、避免材料浪费，使得各施工节点都能顺利完成，保证了工程施工质量。赢得了业主、监理的一致好评，为企业树立了良好的社会形象，提高了企业的市场竞争力，应大力推广应用于钢混凝土组合结构工程中。

2. 全专业 BIM 技术应用

随着人们对现代建筑工程智能建造需求的提升，实际工程建设过程中，根据智能建造施工标准开展具体施工，成为现阶段建筑工程施工企业需要重视的问题，BIM 技术在工程施工中的有效应用，大大提升了施工信息化管理能力，不仅能够有效降低工程成本，还能够大大提升整体施工效益，对推动智能建造施工建设有着极其重要的现实意义，有利于确保建筑工程企业长久稳定地发展与前行。

3. 钢结构建筑窗帘盒免焊接快速吊挂施工

钢结构建筑窗帘盒免焊接快速吊挂系统提高了生产率，不需要采取焊接方式固定、施工作业没有明火作业、安装后不需要进行防火涂料修补等繁琐工序。经工程实际检验，相同条件下，窗帘盒免焊接快速吊挂系统节约工时 80%，施工工期得到保证。

4. 钢结构焊接机器人

焊接机器人作为自动化程度高、焊接质量稳定、施工效率高的高度集成化的工业设备近年来大量应用于汽车、工程机械、船舶、金属结构和兵器工业等行业，大大的推动了我国制造业的发展。然而机器人焊接技术在传统建筑施工领域，尤其是施工现场应用非常少，对于大量采用钢结构的工程建设，探索焊接机器人在钢结构工程施工现场的应用，具有积极的创新和推广意义。

5. 驻厂监造控制加工质量

在钢结构构件开始加工前，由总包单位、监理单位派遣钢结构专业工程师到加工厂进行驻厂监造，一是核验设计深化节点在加工期间的准确性，二是控制构件加工各工序、材料的质量缺陷，落实各方质量管理责任，通过驻厂监造控制，极大的减少了钢结构构件加工错误率，通过驻厂监造日报、周报形式反馈构件加工进度、质量情况。

（二）存在问题

（1）部分智能建造技术未形成科技成果或工法。

改进方法：加强项目成果的提炼和总结，加强创新技术与应用的总结和效果分析。

（2）部分项目人员思维局限于传统施工生产，

对智能建造工程认识不到位，理解不深入。

改进方法：项目加大对管理人员的智能建造培训，多参加有关科技创新、智能建造等内容相关的讲座培训和交流活动，不断学习和掌握新技术和新方法。

（三）发展展望

1. 技术创新

加大对智能建造技术的研发投入，包括 BIM 技术、机器人技术、自动化技术、智慧工地技术等，推动这些技术在施工过程中的创新应用。

寻求企业、高校和研究机构之间的科研合作，共同研发具有自主知识产权的智能建造技术和产品。

2. 人才培养

加强施工团队的建设和管理，提高团队成员的协作能力和执行力。

加强人才培养和引进，提高智能建造技术人员的专业技能和综合素质。

3. 标准化与规范化建设

加快制定和完善智能建造相关的标准规范，包括技术标准、管理标准、安全标准等，为智能建造的发展提供有力的支撑。

加强对智能建造标准化实施情况的监督和管理，确保各项标准规范得到有效执行。

4. 可持续发展与绿色施工

推广使用绿色建材和环保技术，降低施工过程中的能耗和排放。

倡导绿色施工理念，将环保、节能、减排等要求贯穿于智能建造的全过程。

石家庄市城市基础工程提升二期泊水公园 特大桥主桥钢箱梁、钢拱肋制作安装工程项目

金环钢结构工程有限公司



一、项目简介

1.1. 工程概况

1.1.1. 钢结构安装工程概况

城市桥梁类项目，近年逐渐增多，城市桥梁的施工难度相对较大，包含众多异形结构与大跨度钢结构施工，泊水公园特大桥总体布置规模主要由路线纵坡决定，桥梁北端跨越现状景观路后向北延伸 60m 落地，南端跨越规划楼底路后向南延伸 150m 落地，整个桥梁全长 1111m。桥位处地势整体比较平缓。桥梁上跨环城水系，为城市内景观水道，测时水深约 0.4~2.5m。

桥位处无防洪要求，无通航要求，上跨环城水系主桥一孔跨越需控制在 120~150m 之间较合理，结合桥梁景观、两岸间距等因素拟定主桥跨径为 1~130m。

依托此项目，进行城市桥梁建造技术的研究与应用，适应城市桥梁产业快速发展的需求，为后续工程提供施工设计指导思路。金环钢结构工程有限公司作为建筑施工企业，应积极响应和贯彻实施国家有关建设政策和规定，积极推先进、成熟、适用的科技成果和现代化的管理技术，自觉淘汰落后的技术、禁用或限用产品，来提高企业整体素质，更快地将科技成果转化成为生产力。



拱桥整体效果图

1.1.2 项目基本信息

工程名称	石家庄市基础设施提升工程二期泊水公园特大桥		
建设单位	石家庄市交通投资开发有限公司	设计单位	中交第一公路勘察设计研究院有限公司
监理单位	石家庄市交通建设监理有限公司	勘察单位	中交第一公路勘察设计研究院有限公司
施工单位	石家庄市公路桥梁建设集团有限责任公司	钢结构专业单位	金环建设集团有限公司 (金环钢结构工程有限公司)
工程地点	位于河北省石家庄市	分包范围	钢结构/钢箱梁制造
结构类型	钢 0018t	工程造价	泊水公园特大桥工程总造价： 钢结构工程造价：3305.4643 万元 (不含增值税)
工程数量	必须达到全部，并符合国家、行业及地方强制性标准和技术要求，同时应符合本合同约定的质量要求。	施工工期要求	合同约定的工期： 2022.12.31~2023.09.01 绝对工期 120 天； 实际开工时间：2023 年 4 月 8 日~2023 年 9 月 28 日；

二、项目特点

(一) 项目智能化设计

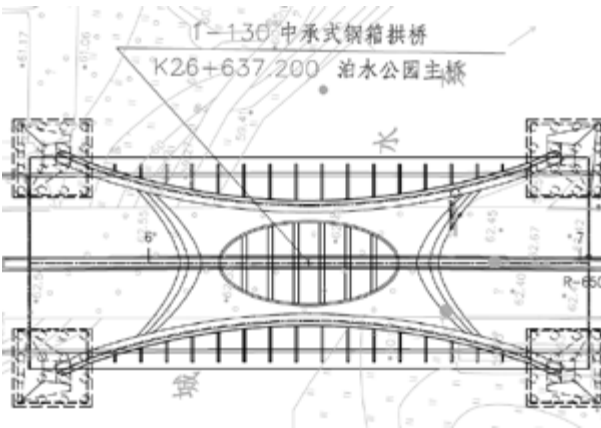
项目作为石家庄市政府重点项目，施工特点在于：

1) . 石家庄市重点工程，工期紧，任务重；



项目效果图

2) . 拱肋跨度大（长 130m* 宽 50m），提升控制难度大；



拱形整体布置图

3) . 施工过程测量监控



项目加工图



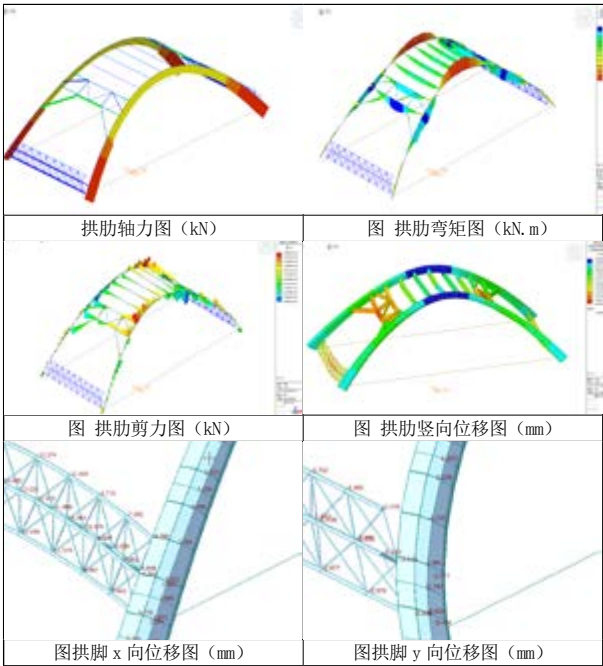
项目预拼装图



项目加工现场测控



项目安装点位测控



4) . 多种施工方法联合应用；

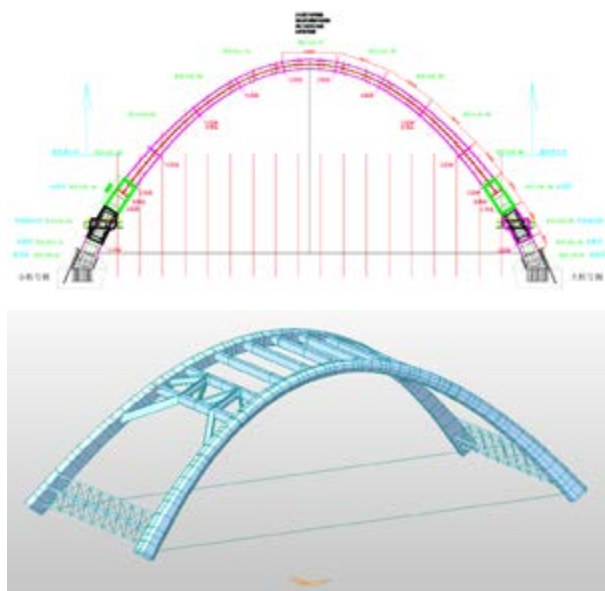


钢拱肋垂直提升施工图片



钢箱梁水平顶推施工图片

5) . 结构特点是矢跨比大；



项目拱肋

为了达到智能化设计目的，在项目施工每个关键节点环节都安排测量监控，检测数据同设计模型数据对比，及时纠偏。

（二）项目构件的智能制造

关键技术：BIM 正向设计技术在桥梁工程建筑实施中的应用技术

创新点 1：应用了 BIM（Tekla）模型虚拟建造技术
收集项目信息，采用 Tekla、犀牛、Revit 等软件创建三维模型，再进行模型整合，形成出图模型，打破传统二维平面图纸的局限。

完善深化信息数据共享，引入 NC 文件接口，通过接收 Tekla Structures 等深化软件输出的 NC 文件，实现零件的板材厚度，材质、数量、编号等信息批量转入。

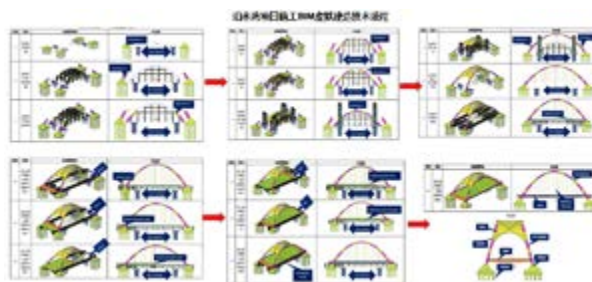
根据 NC 文件优化套料方案，可以对预制构件进行多维度分组，如按编号分组，按厚度分组等，由此自动区分板厚和材质进行套料分组，提高自动化程度。

通过中控室统筹管理，打造“无人”切割下料机组，智能排产下达加工指令；实现“无人化”自动上料—切割—钻孔—喷码—分拣。

拥有数台智能加工设备，具有全自动操控、智能监控、故障自诊断、设备云平台运维管理等功能。

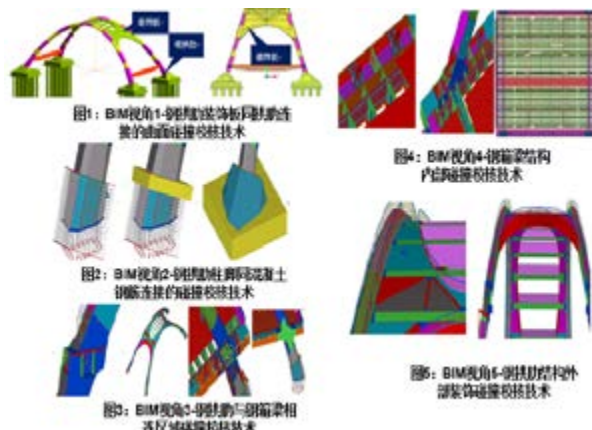


图：BIM模型软件绘制项目施工图



创新点 2：应用了 BIM 模型碰撞校核技术

采用标准的、高效率的、可实施推广的 BIM 正向设计技术，建立了从施工图设计阶段—专项设计阶段—深化设计阶段的全专业、全过程及全方位的正向设计应用体系。以 BIM 模型为基础，进行钢拱肋结构与装饰板，钢拱肋与钢箱梁结构连接位置等之间的三维实体校核，解决相关专业间节点连接对应问题和杆件外壁碰撞的问题。

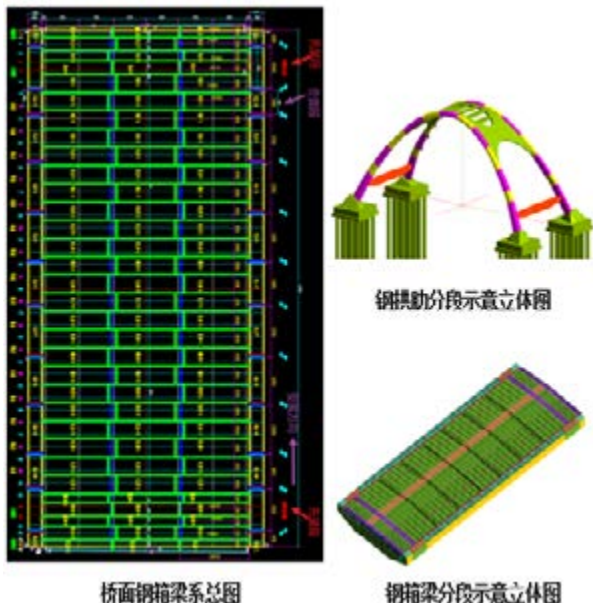


创新点 3：应用了 BIM 模型实体分段技术

通过对 BIM 模型可视化应用，根据钢拱肋构造特点，结合钢拱肋制造工艺、安装方法、运输条件等因素，在模型中对钢拱肋结构进行三维实体分段，能够有效解决二维图纸的空间局限性，提高出图的效率和准确度。

主梁采用双边系梁+横梁+小纵梁的梁格体系。纵向每 3 米设一道横梁，横梁共 3 种：在梁端处为端横梁，拱肋相交处为大横梁，其余位置为中间横梁。横梁为变截面结构，道路中心线处高 4 米，由中间向两侧逐渐减小，最终与系梁腹板高度对齐。横向除两

边的系梁外，增设了七道小纵梁，增加体系的稳定性。横梁与系梁、小纵梁与横梁间、小纵梁节段之间均采用焊接连接。具体如下图所示，全桥系梁共计 2 道（沿桥长方向），端横梁共计 2 道（桥宽方向），大横梁共计 2 道（桥宽方向），中间横梁共计 39 道（桥宽方向），小纵梁共计 294 件（桥长方向，位于端横梁、大横梁及中间横梁之间，共 7 道，每道 42 件）。



创新点 4：用于复杂空间构件的三维递归模拟拼装、动态纠偏技术应用

（1）现状问题：

随着建筑业智能化程度的快速发展，传统制造方式的生产弊端越来越明显，原因在人员技术水平不均衡所导致；主要体现在人工下料环节效率低下、人工焊接质量通过率不稳、人工仓储物流配送不精准等方面。

三维递归模拟拼装技术是将钢构厂制作完的装配式构件，采用坐标点测量和三维扫描的方式，提取构件外形信息，通过计算机软件复原成三维模型，在电脑中将超长构件进行模拟拼装，发现误差后在工厂或现场进行地面修复；有效减低了高空作业量，解决了构件实体拼装问题，降低了工程费用。

（2）应用效果：

从设计端开始，项目各参建单位采用 BIM 模型 + 图纸的方式进行信息传递，避免二维与三维反复转换带来的信息损失，根据不同专业需要，BIM 模型传递至末端后，调整生成对应专业的图纸。通过正向 BIM 手段，在图纸设计阶段充分解决了各专业交叉冲突的问题，使错综复杂、造型各异的专业建筑部品

部件得以顺利组合成为完整的建筑产品。



简图：三维递归模拟拼装技术应用简图

（三）项目智能建造的创新、亮点

关键技术：胎架模板可翻转、可自由更换模具、可调预加给焊接单元件反变形，使正交异性板焊接完成后收缩至设计要求。

创新点 1：角度可翻转满足焊件坡口工位处于最优焊接角度施工的技术

（1）现状问题

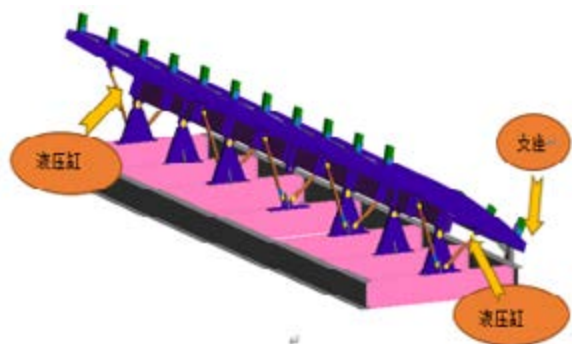
公司加工厂技术部门常规接到项目后，为满足施工项目的技术工艺要求，需要专门设计板单元施工焊接的胎架平台，该平台是固定的且无法翻转，而且待焊接完成板单元一侧焊缝后就需要利用龙门吊吊装翻转板单元，待翻转完后需要再次调试板单元弧度及进行测试工艺参数情况，如此板单元加工质量得不到保证，而且在板单元翻转期间焊接操作者产生窝工状态，施工效率低下。



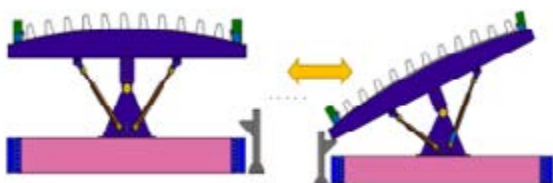
图 15 现状图片

（2）创新点

角度可翻转满足焊件坡口工位处于最优焊接角度施工的技术。“胎架平台”的支撑台与支撑架之间利用铰接销轴连接的成组液压缸伸缩来实现翻转功能，通过调节“胎架平台”旋转角度使得胎架平台上临时固定的焊件坡口工位处于最优焊接角度，从而满足焊接操作者施焊目的，形成了“胎架平台可翻转使得焊件坡口工位处于最优焊接角度施工关键技术”。



图：钢箱桥梁 U 型肋（板肋）焊接用翻转弧形钢板



图：“可拆卸 / 可调节”平台原理正视图设计

（3）应用效果

从设计端开始焊接胎架设备采用液压电控方式进行信息同步传递，避免每个点位采用手动转换带来的施工不协调，通过成组的液压缸来完成调节翻转角度，实现了胎架角度的可翻转焊接施工操作便捷，技术有保障。



图：钢箱桥梁 U 型肋（板肋）焊接用翻转弧形钢板可调曲面弧度的胎架示意图

创新点 2：可拆型全装配式施工技术

（1）现状问题

公司加工厂技术部门常规接到项目后，为满足施工项目的技术工艺要求，需要专门设计板单元施工焊接的胎架平台，该平台是固定的而且是唯一的连接点采用焊接方式无法拆解，而且待焊接完成板单元后就需要气焊切割，然后利用龙门吊吊装移走，如此不便于重复利用，更不利于运输，气割造成环境污染，拆解造成材料的极大浪费。

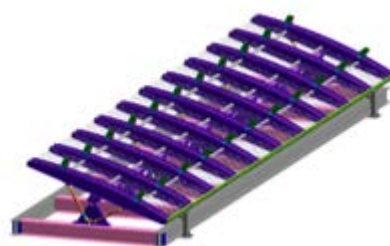


图：钢箱桥梁 U 型肋（板肋）焊接用传统固定胎架示意图

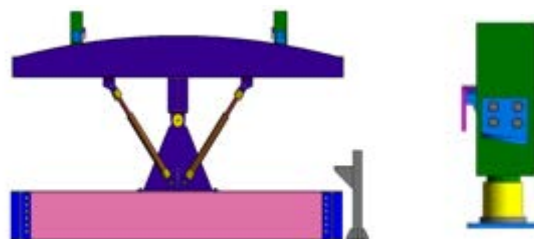
（2）创新点

可拆型全装配式施工技术，“胎架平台”通过栓接或销轴连接方式可进行自由组合，安、拆及运输更方便，满足不同长度板单元加工要求，形成了可拆装全装配式理念，形成了“可拆装全装配式胎架施工关键技术”。

该焊接胎架角度的各单元连接是依靠销轴及螺栓来完成，因此胎架的安装及拆卸均采用全装配式施工技术，而且考虑到便于运输、仓储存放及降低材料的浪费提高了材料的重复利用问题，对于最大杆件的尺寸也进行限制，要求胎架拆卸单元最大尺寸：长 * 宽 * 高满足 = 12000mm * 3500mm * 520mm。



图：胎架立体示意图



图：胎架侧视图

图：液压缸侧视示意图

（3）应用效果

从设计端开始胎架设备就采用可拆装全装配式理念，通过销轴及螺栓的连接方式，最终实现了杆件安、拆方便，便于运输、仓储存放简单，提高了材料的重复利用问题，体现了胎架的全装配式施工技术最优化

最简单环保理念。



图：钢箱桥梁 U 型肋（板肋）焊接装配式胎架示意图

创新点 3：钢板曲面弧度可调施工技术

（1）现状问题：

该平台是固定的，要实现板单元的可调节，预加给焊接单元件反变形就需要构造附加钢管或地胎，使正交异性板焊接完成后收缩至设计要求，而且待焊接完成板单元一侧焊缝后就需要利用龙门吊吊装翻转板单元，待翻转完后需要再次调试板单元弧度及进行测试工艺参数情况，如此板单元加工质量得不到保证，而且在板单元翻转期间焊接操作者产生窝工状态，施工效率低下。

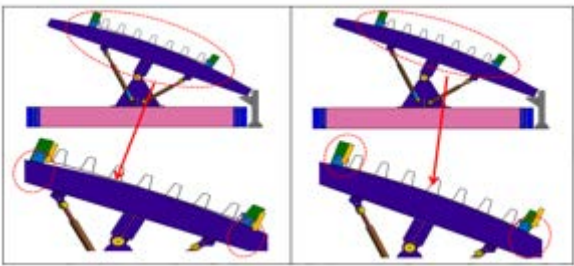


图：现状图片

（2）创新点

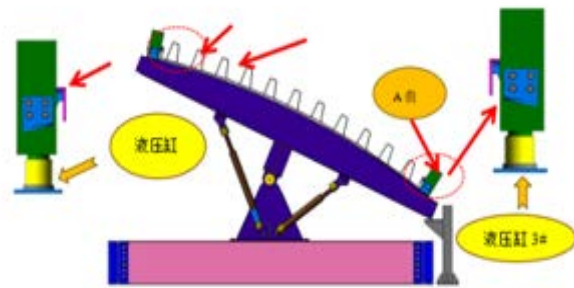
钢板曲面弧度可调施工技术，“胎架平台”通过支撑架与弧形面板之间铰接销轴连接的成组液压缸伸缩来实现胎架曲度调节功能，如此预加给焊接单元件产生反变形，使得正交异性板焊接收缩至设计要求的目,形成了“钢板曲面弧度可调胎架施工关键技术”。

纵肋与顶、底板定位装配完成后，进行纵肋与顶、底板间焊缝的焊接。由于顶、底板纵肋为单侧布置，焊后将引起顶、底板角变形，因此顶、底板单元件必须在反变形焊接胎具上焊接，胎具按 5% 的反变形起拱，焊接次序依然为先焊中间纵肋与顶、底板的焊缝，再焊接边缘纵肋与顶、底板的焊缝，每两条焊缝或 4 条焊缝同向平位施焊，均采用气保焊小车焊接。



图：翻转胎架放置

图：翻转胎架放置板单元



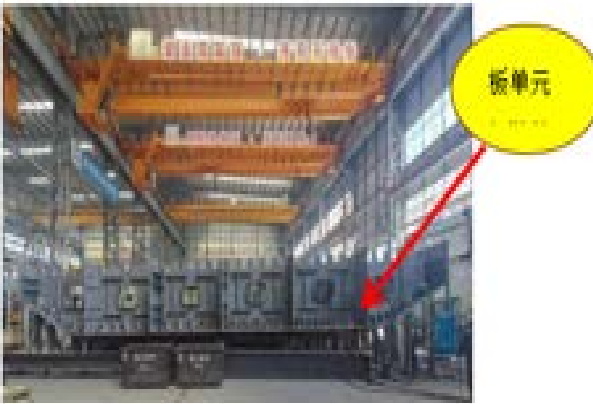
图：钢箱桥梁 U 型肋（板肋）

板单元 5# 最初状态经液压缸加力变更弧度焊接用翻转弧形钢板可调

曲面弧度的胎架示意图

（3）应用效果

从设计端开始考虑到板单元焊接后产生变形，即对焊接胎架板单元钢板在焊接前期就采取预变形措施，调节起拱弧度来满足反变形的要求。最终实现了板单元焊接施工规范要求，操作简单有效，既降低人工成本，又提高施工质量。



图：钢箱桥梁 U 型肋（板肋）利用胎架焊接完成板单元后组装效果示意图

（二）项目智能建造的创新、亮点（主要介绍钢结构数字化、智能化施工）。

项目智能建造的创新的关键技术有 4 项，创新点

有 6 项

关键技术	创新点
1. 双曲面巨型半圆弧钢拱肋竖向提升施工风险控制技术的设计及分析整施工技术	1. 特大拱桥拱肋提升单元竖直提升控制技术 2. 特大拱桥拱肋提升单元水平限位及调整防变形涨拉技术
2. 钢箱梁拖拉滑移安装施工技术	1. 钢箱梁水平拖拉滑移驮运小车滑靴支撑设计技术 2. 钢箱梁水平拖拉滑移钢绞线导向滚轮防护技术
3. 钢箱梁安装平台洞口边沿安全防护技术	1. 可拆装型简易装配式护栏防护装置
4. 桥梁工程建筑智慧安装施工技术	1. 对超危大工程采用了智慧监测技术

1. 关键技术 1：双曲面巨型半圆弧钢拱肋竖向提升施工风险控制技术的设计及分析整施工技术。

创新点 1-1：特大拱桥拱肋提升单元竖直提升控制技术

(1). 现状问题

目前国内有一些同类项目还在沿用传统单件吊装安装法，此类施工工艺方法存在三方面的问题：

其一是机械站位布置要有足够场地，而且起重机械性能为了满足工况要求，其工况往往选取的机械都相对较大，产生的机械费用超高；

其二是现场高空单件安装很难保证施工质量，主要是高空作业面防风、防雨措施很难做到位，如此产生质量问题的因素就会增加，导致结构验收很难通过；

其三是施工人员高空作业安全施工措施很难做到位，发生安全事故隐患的概率就会增加；



图 19 钢拱肋单件吊装安装法

(2). 创新点：双曲面巨型半圆弧特大钢拱肋提升单元竖直提升控制技术

双曲面巨型半圆弧特大钢拱肋提升单元竖直提升控制技术，是通过竖直提升油缸控制竖直钢绞线，能够实现拱脚灵活升降、精准入位，空中悬停安全可靠，缩短工期；采用装配式，构件可重复利用，提高桥梁临时设施的经济性。

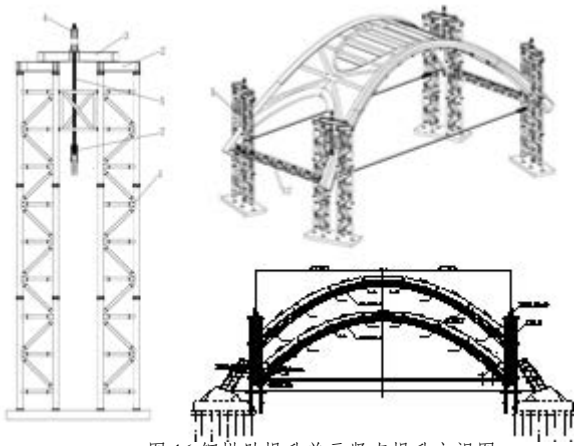


图 16 钢拱肋提升单元竖直提升主视图

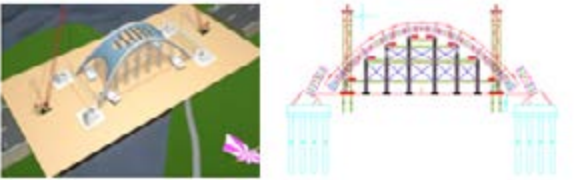


图 19 钢拱肋地面组装

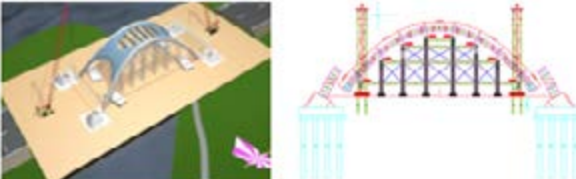


图 19 钢拱肋垂直提升就位

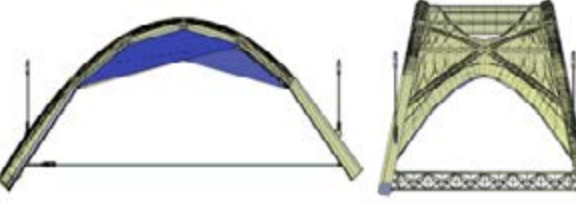


图 19 拱桥拱肋提升示意图

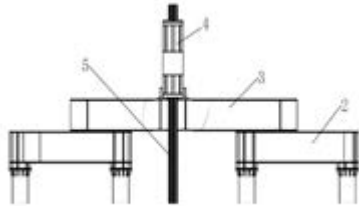


图 21 横梁的示意图

(3). 应用效果

由于双曲面巨型半圆弧特大钢拱肋提升单元在竖直提升过程中采取了专有的控制技术，其结果特大钢拱肋提升单元在提升过程中很平稳，而且经第三方检测单位检测数据显示，施工产生误差变形均符合施工规范及设计要求。

同时特大钢拱肋提升单元在竖直提升过程中采取

了专有的水平限位及调整防变形涨拉技术，其结果特大钢拱肋提升单元在提升过程中很平稳，而且经第三方检测单位检测数据显示，施工产生误差变形均符合施工规范及设计要求。



图 19 临时提升塔架图片 1



图 19 临时提升塔架图片 2

创新点 1-2：特大拱桥拱肋提升单元水平限位及调整防变形涨拉技术

拱肋提升单元为防变形设计了涨拉技术，该技术设置了水平纵向及横向限位的调整装置，利用该技术可根据需要调整拱肋线性及拱脚间距，及临时刚性桁架能够加强拱肋面外的刚度。水平纵向及横向限位调整装置采用装配式结构理念，构件可重复利用，提高桥梁临时设施的经济性。

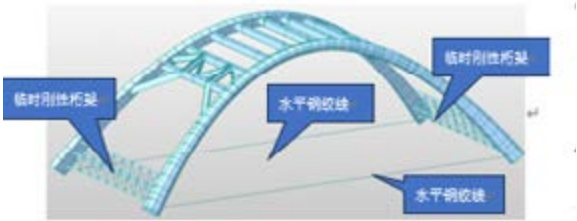


图 4 结构模型图

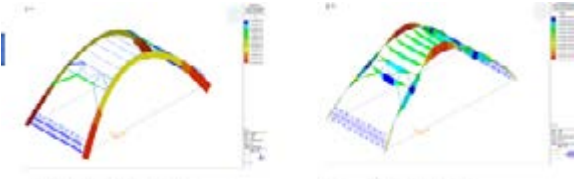


图 5 拱肋轴力图 (kN)

图 6 拱肋弯矩图 (kN.m)

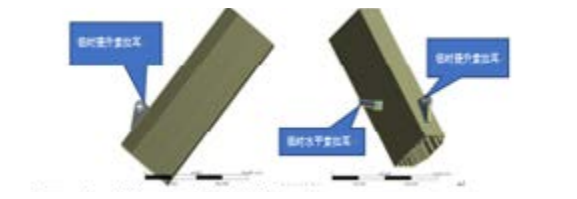


图 8 提升下吊点结构图



图 9 水平索锚点结构图

图 10 是拱桥安装结构示意图



图 19 临时水平索图片 图 19 临时刚性桁架图片

2. 关键技术 2：钢箱梁拖拉滑移安装施工技术

创新点 2-1：钢箱梁水平拖拉滑移驮运小车滑靴支撑设计技术

钢箱梁加工完成运至现场后，由于现场条件限制无法在桥梁沿线站位起重吊车，通常采用在桥梁的一端搭设拼装平台，沿钢箱梁线路搭设临时滑动支架导轨，通过起重吊车将小单元钢箱梁垂直运至临时搭设的组装平台进行组装，按照顺序将组装好的钢箱梁通过拖拉滑靴装置滚动驮运方式移位至安装一个单元位置，采用如此往复累积驮运滑移方式进行安装钢箱梁，直至组装完成。

钢箱梁所用滑靴装置，包括移动机构和支撑机构，移动机构设置于钢轨上，支撑机构固定设置于移动机构上，用于承载箱梁；移动机构包括移动台和转动设置于移动台上的滚动组件，滚动组件滚动设置于钢轨

上；支撑机构包括支撑箱和设置于支撑箱上的固定件，支撑箱固定设置于移动台上，支撑箱的一侧开设有穿线孔，固定件位于支撑箱上与穿线孔相对的一侧。将滑靴装置放置于搭设好的钢轨上，并将加工完成的箱梁安放与滑靴装置上，通过拉伸钢缆带动移动机构沿钢轨滑动，从而驱使箱梁水平滑动一个组单元，接着利用可直接将箱梁移动至安装处。

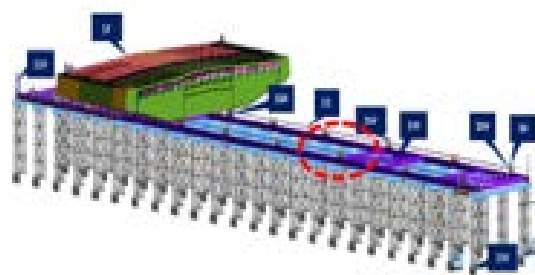
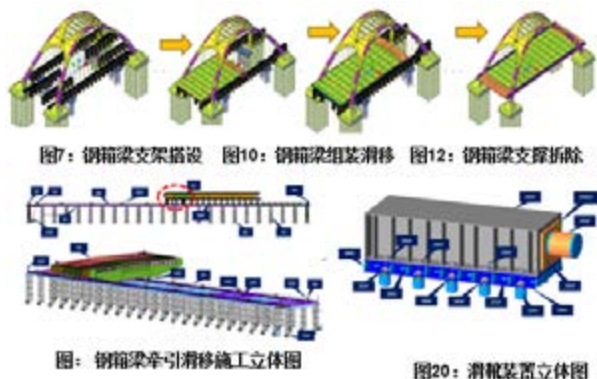


图 13：钢箱梁牵引滑移施工立体图 1

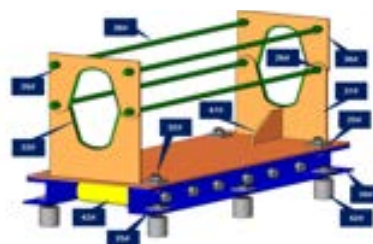


图 48：导向滚轮装置立体图

应用效果

箱梁用滑靴装置及钢缆导向装置安装简单，节省人力物力，降低施工成本。最大特点是可重复性使用，大大节省施工材料的浪费，使得结构施工安全更有保证，结构简单实用，值得推广。

创新点 2-2：钢箱梁水平拖拉滑移钢绞线导向滚轮防护技术

钢箱梁通过滚动滑移安装方式移动，即在桥梁临时支架上搭设临时钢轨，将箱梁设置在钢轨上并经过钢缆拖拽使箱梁水平滑移至指定位置，但是由于桥梁长度较长，因此需要的钢缆长度也比较长，钢缆在拖拽过程中会导致左右摇晃，导致箱梁移动过程中出现偏差，使箱梁无法准确安装到位，为此设计了钢绞线导向滚轮防护装置。

钢缆导向装置，包括移动机构和设置于移动机构上的导向机构，移动机构设置于钢轨上，导向机构用于对钢缆进行导向；导向机构包括底板和设置于底板上的导向板，底板与移动机构相连接，导向板设有两组，两组导向板平行设置，分别位于底板的两端，导向板上开设有导向孔，钢缆贯穿所述导向孔。在本实用新型中，钢缆穿过所述导向孔，导向孔能够对钢缆进行限位，防止钢缆左右摇晃，使箱梁滑移更加平稳。



图 48：成果应用照片图

3. 关键技术 3：钢箱梁安装平台洞口边沿安全防护技术

创新点：可拆装型简易装配式护栏防护装置

(1) 现状问题

近几年公司承揽大量的有关钢结构桥梁结构的安装工程，对于钢桥梁平台临边、孔洞口临边安全防护施工依然延续着常规做法，即在平台临边、孔洞口临边使用焊接方式将安全防护栏杆同平台梁焊接在一起，待道路铺装完成混凝土或沥青路面后作为不参与

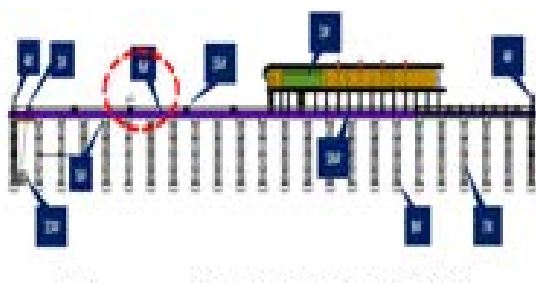
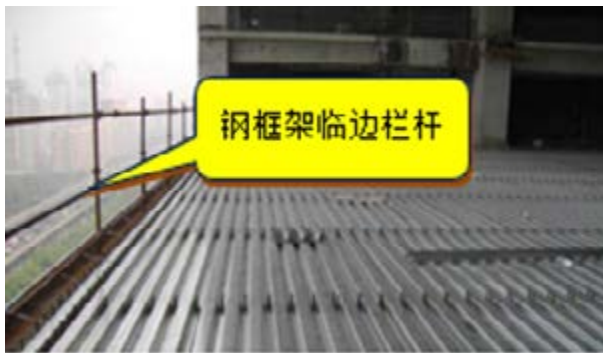


图 13：钢箱梁牵引滑移施工主视图

平台结构的栏杆需要切割拆除，如此焊接拆除会造成栏杆成品损伤缩短，而且平台焊接位置也需要打磨及防腐处理，这样无形中造成人力物力的浪费，不利于绿色环保施工理念。

由于高空结构临边安装焊接平台栏杆任务量大、每组栏杆支撑安装定位及焊接操作所占用的时间都较长，无疑存在一定的高空施工安全隐患，该方法显得很传统，操作施工措施存在效率低下，施工质量往往不尽人意，甚至导致施工企业浪费掉大量施工材料成本。

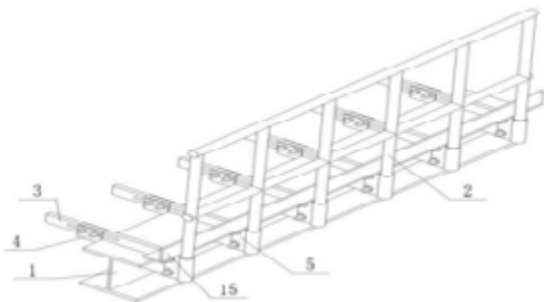
而且由于租赁材料切割后无法正常退租回收（这里的回收是指回收可重复使用的材料，而不是产生的建筑垃圾）造成大量的材料浪费，如此既不经济、也不环保、更不美观。如此既不利于整体造价控制，也不适应绿色低碳建筑的发展理念。



图：钢框架临边栏杆焊接图片

(2) 创新点

创新一种可拆装型简易装配式护栏防护装置，包括设置于型钢上的多个连接组件，连接组件上设置有护栏；所述连接组件包括卡板、调节板和固定件，卡板上设有卡槽，所述型钢卡设于卡槽内，调节板滑动设置于卡板上，调节板与型钢远离卡槽的一端抵接，固定件固定设置于卡板上，护栏与固定件相连接。



图：可装配框架平台栏杆调节支撑装置示意图

(3) 应用效果

通过对装配式栏杆结构在工程实施例中技术应

用，安装拆卸时无需焊接或切割，拆卸方便，并且能够回收利用，节省施工成本。进一步推动了城市桥梁类在施工安全方面进行低碳环保的发展创新应用。



图：成果应用照片

4. 关键技术 4：桥梁工程建筑智慧安装施工技术 创新点 1：对超危大工程采用了智慧监测技术

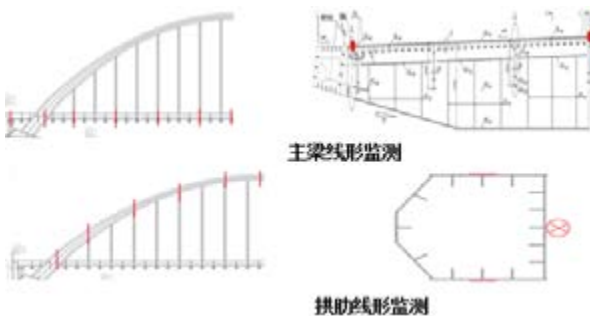
(1). 本项目对超危大工程采用了智慧监测技术，监控工作由铁道大学同我公司共同完成。

泊水公园特大桥是本项目跨越泊水公园环城水系的重要节点工程，是技术较复杂、规模较大的桥梁，建成后的泊水公园特大桥将是重要地标建筑。拱梁节点采用拱肋板件贯通、主梁板件断开的设计形式，通过在相应位置设置竖直、水平向隔板与系梁、横梁相连。该中承式拱桥的结构型式独特，构造复杂，施工环节多，工艺要求高，受外界影响的因素很多，为了确保主桥在施工过程中结构安全可靠，成桥后的线形符合设计要求，结构内力接近设计要求，在主桥施工过程中必须进行施工监控。

(2). 施工监测内容及方法

根据泊水公园特大桥主桥的结构形式及施工方法，施工监控主要分为几何线形和杆件内力（应力）监控两大部分，全桥整体及构件局部的稳定性控制也主要通过内力控制来实现。本桥施工监控主要包括以下内容：

- A) 施工过程仿真计算；
- B) 与施工监控有关的基础资料的收集；
- C) 施工过程结构线形、应力应变监测；
- D) 基础沉降及拱座位移观测；



创新点 2：对超危大工程采用了智慧监测技术



图：系梁应力和温度测试截面纵向布置图

图：拱肋应力和温度横纵向测点布置图



图：钢结构吊装过程监测

应用效果：

通过对泊水公园特大桥主桥 130m 中承式钢箱拱桥的智慧管控技术的综合应用，项目建设过程历经半年，正常施工状态下，阶段施工完成后 24 小时内提交监控指令。当出现异常情况时，2 小时以内向工区报告，并在 3 天内提交监控中间阶段报告。全桥竣工后 25 天内提交最终全过程监控报告。确保不因监控工作影响施工进度。根据施工进度，及时提供中间过程报告。监控工作完成后及时提供竣工后的全过程监控报告。中间过程报告及监控总报告按如下要求提供。在监控工程中，实时对监控结果进行整理，按甲方的要求以预警报告、月报的形式送达有关各方。检测期间没有发生任何不良事件，项目整体施工状态健康可靠，得到社会高度关注和一致好评。



图：钢拱肋结构吊杆张拉监测

三、项目成效

（一）取得的效果

泊水湾大桥项目已通过验收，安全和质量均满足

要求。结构性能效果良好，降本增效的经济作用明显，满足设计图纸要求及现行国家规范标准要求。工程中的技术成果于 2023 年 12 月 25 日进行了由金环钢结构工程有限公司组织的科技成果评价，经专家组鉴定成果整体达到国内领先水平。

本成果已形成授权专利 15 项；参编标准 6 项，发表论文 4 篇；获得企业级工法 6 项，QC 成果 4 项，为成果的推广应用奠定了基础。

（二）借鉴意义

通过数字化施工管理与智能化设备的结合，项目实现了高效、安全的施工过程，降低了风险和成本。这一经验表明，智能化技术不仅可以提升施工质量，还能加速项目进度，增强市场竞争力。其他企业在实施类似技术时，可以参考其成功的实践模式，从而推动行业的整体创新与可持续发展，形成良好的示范效应。

四、总结展望

（一）有益经验

泊水湾大桥项目在智能建造方面积累了丰富的经验，形成了多项可借鉴、可推广的实践模式。通过数字化施工管理、液压整体提升技术和智能化焊接设备的应用，项目展示了如何在保障施工安全和质量的前提下，提升效率与降低成本。这些经验不仅适用于类似的桥梁建筑项目，还可以为其他领域的智能化施工提供参考，促进整个行业的技术进步与发展。

（二）存在问题

尽管项目在智能建造方面取得了显著成效，但仍存在一些问题和不足。例如，部分智能设备在实际应用中面临技术适配性不足的问题，导致效率未能达到预期。此外，项目团队对新技术的培训和适应仍需加强，以充分发挥智能设备的优势。项目管理中的信息共享与协同工作机制也有待完善，以提升各方的协作效率。

（三）发展展望

未来，智能建造的发展方向将聚焦于进一步提升技术集成与应用能力，推动智能设备与施工流程的深度融合。应加强对新技术的研究与开发，提升智能设备的适应性与可靠性。同时，注重人才培养与技术培训，确保施工团队能够熟练运用智能化工具。此外，加强行业间的信息共享与协同合作，将有助于推动整个建筑行业向更高水平的智能化发展，促进建筑工程的可持续性与创新性。

阿里巴巴华中总部项目

北京首钢建设集团有限公司



一、项目简介

(一) 项目背景

武汉作为国家“十三五”规划的中心城市，是一带一路与长江经济带的国家战略交汇点。

本项目位于武汉内环核心区域—徐东商圈，隶属武昌滨江商务区。未来，华中总部将有阿里巴巴及生态企业入驻，同时将汇聚新零售等业态，打造集工作、商业、生活、创业为一体的智慧产业集聚区。2021 年非同寻常，华中总部安家武汉，意味着阿里巴巴与武汉不但同担风雨，更要共创未来。

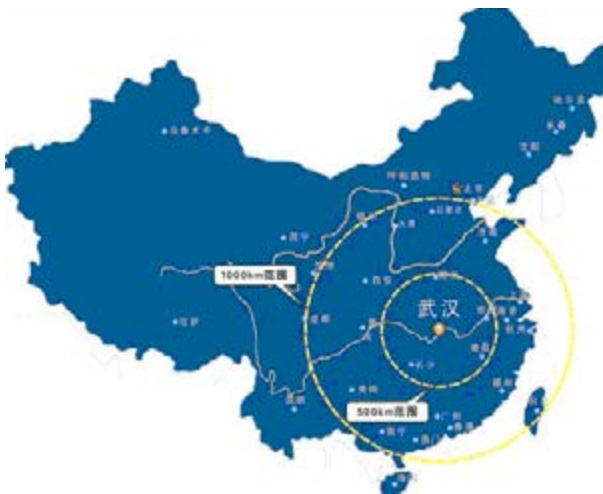


图 1 “十三五”规划中心城市

表 1 项目信息表

序号	项目	内容
1	工程名称	阿里巴巴华中总部项目
2	工程地点	武汉市武昌区滨江商务区徐东大街与友谊大道交汇处
3	建设单位	武汉传博科技有限公司
4	监理单位	中晟宏宇工程咨询有限公司
5	设计单位	悉地国际设计顾问（深圳）有限公司
6	总包单位	中国建筑第八工程局有限公司
7	钢结构单位	北京首钢建设集团有限公司
8	勘察单位	中南勘察基础工程有限公司
9	质量目标	确保获得湖北省建筑工程楚天杯奖（省优质工程），并保证 T2 塔楼获评中国建设工程鲁班奖。

(二) 工程概况

本项目占地面积 4.472 万 m^2 ，总建筑面积约 45.21 万 m^2 ，业态主要为商业综合体及办公，其中地上建筑面积约 31.6 万 m^2 ，商业综合体约 10 万 m^2 ，双塔楼办公约 21 万 m^2 ，T1 塔楼高度 272.35m，T2 塔楼 172.85m，地下建筑面积约 13.73 万 m^2 。

本工程塔楼为超高层建筑，塔楼采用钢筋混凝土框架—核心筒结构、裙房为框架剪力墙结构；防空

地下室位于地下负四层，人防面积为 18997 m^2 ；钢结构施工主要分布于 T1 和 T2 塔冠、裙房钢连廊位置，钢结构工程总量为 1.2 万 t。T1、T2 塔楼及商业裙楼地下共 4 层，底标高为 -18 米，其中 T2 地下无钢结构。

T1 塔楼地上 52 层 +7 层塔冠，顶标高约为 272.35m；钢结构分布于 1 层至 43 层，52 层至塔冠顶。

T2 塔楼地上 35 层 +2 层塔冠，顶标高约为 172.85m；钢结构分布于 2 层至 3 层，17 层至 27 层，35 层至塔冠顶。

裙楼地上 6 层大屋面高 27.85m，局部 15 层与 T2 相接，钢结构布于每层，多为劲性十字柱、部分为 H 型钢柱。6~9 层为景观坡道，边箱为箱型，踏步为 H 型钢。10~12 层为 HUB 访客接待中心大跨度钢连廊结构。



图 2 阿里巴巴华中总部项目效果图

二、项目特点

(一) 项目智能化设计

1、钢结构深化设计采用 TEKLA 建模软件，将蓝图轴线坐标套入模型软件，根据设计蓝图选用梁柱连接节点，劲性结构穿筋节点，实现钢结构整体模拟深化设计。

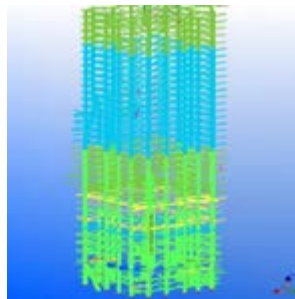


图 3 劲性结构整体模型

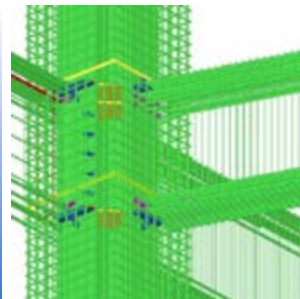


图 4 劲性结构穿筋模型

2、钢结构大跨度 HUB 钢连廊根据现场工况需求，需采用高空散拼的施工方法，受限空间临时支架的设置及定位、HUB 桁架安装工艺流程通过 BIM 模拟应用，实现 HUB 钢连廊施工全过程模拟。

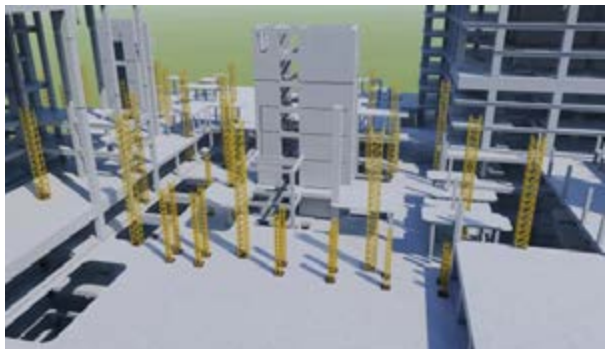


图 5 支架定位模拟

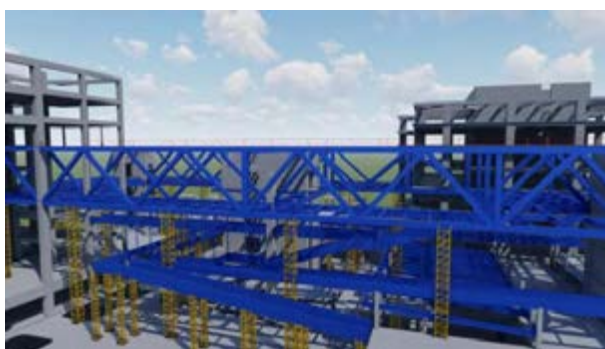


图 6 桁架整体模拟

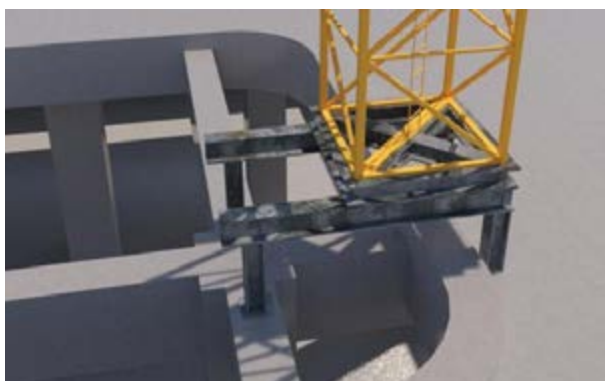


图 7 支架基础模拟



图 8 支架安装模拟

(二) 项目构件的智能制造

1、钢构件加工采用智能等离子数控机床设备，通过智能切割软件进行数控编程操作，实现钢板原材料的切割下料工作。



图 9 钢板智能数控等离子切割

2、钢构件焊接采用智能焊接软件“机器人焊接”此工艺软件系统对焊接工艺自适应，并可按设定的焊接位置和焊脚尺寸选择焊接参数；平焊、立焊、仰焊、横焊均可；点固焊、连续焊、断续焊均可；实心焊丝、药芯焊丝，CO₂、混合气均可使用；支持多种摆弧焊接工艺；机器人焊接质量稳定，成型一致性好，焊缝美观，提升构件质量及制作工效，具有良好的推广意义。

(1)、通过远程升级工具 SmartWeldTool 软件系统来操控机器人控制器面板，机器人可自动提取焊缝，完成构件焊接工作。



图 10 焊接机器人操控系统



图 11 机器人焊接实体图

(2)、使用 SmartWeldTool 软件系统,利用操作数控面板,还可以手动添加焊缝,根据被焊接件筋板的尺寸不同可以批量添加,实现自动焊接。

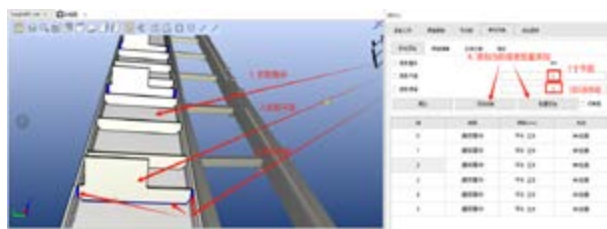


图 12 机器人手动添加焊缝操作面板

(3)、使用 SmartWeldTool 软件系统,可以对构件的焊接工艺进行编辑修改,已达到构件的焊接质量要求。

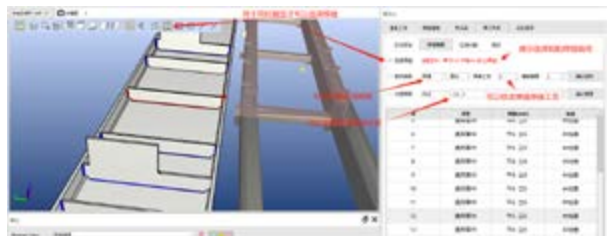


图 13 机器人焊缝工艺修改编辑面板

3、钢构件粘贴二维码实现构件在制作全程的信息化管理具有可追溯性。通过扫描二维码可查看制作人员、检查验收人员等所有实名制。



图 14 二维码信息化的应用

(三) 项目智能建造的创新、亮点 (主要介绍钢

结构数字化、智能化施工)。

1、超高层塔楼及大跨度 HUB 钢桁架 BIM 模拟施工技术,利用 BIM 模拟将使用工艺转化至现场实际,指导施工。



图 15 超高层钢结构 BIM 模拟技术的应用



图 16 大跨度钢桁架安装 BIM 模拟技术

2、智能测量技术的应用超高层测量采用智能全站仪先进技术，根据场布控制坐标点，GBS 定位系统，通过定位转点使用全站仪进行钢柱整体 X、Y、Z 坐标控制，研发一种超高层十字柱精准测控装置，通过装置更精准的对测量精度进行把控。从而保障梁柱节点钢筋连接板、套筒的标高及角度符合技术要求，满足穿筋。

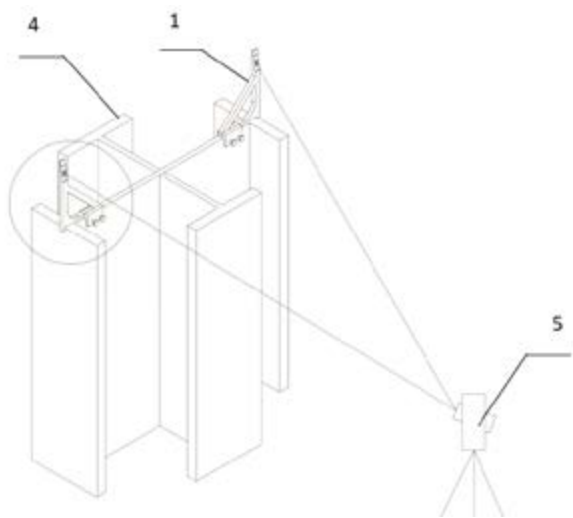


图 17 研发一种十字柱精准测控装置

HUB 大跨度桁架测量采用智能全站仪先进技术，根据场布控制坐标点，精准对支架埋件、支架平台、支架轴线标高进行定位，确保支架底部平台位置准确定位，从而保障支架安装满足桁架在 X、Y、Z 方向的精度。

安装过程中及安装完工制定沉降观测点，对其挠度进行监测，在沉降设置点粘贴反光贴，形成过程监测记录，实时掌握大跨度桁架的挠度变化，确保项目整体安全可靠。



图 18 沉降观测点布置

三、项目成效

（一）取得的效果

1. 智能建造社会效益及经济效益

（1）、通过智能建造技术的应用提高了施工效率，加快了项目建成速度，完成业主所定工期目标，得到业主及各参建单位一致好评。



图 19 仪式活动上业主讲话

（2）、通过智能建造技术的应用在超高层劲性结构钢柱坐标轴线测量、结构穿筋，节点对接等方面达到优质标准，提高结构整体施工质量，获得省部级观摩奖项，竣工验收一次通过。



图 20 省部级观摩



(3)、智能建造技术的应用在项目实体建设中得以应用及实现，提高了项目团队对智能建造技术的新认识、有益于在后续的项目建设持续推广，增强了企业品牌形象及在社会的影响力。



图 21 项目建成实体图

(4)、应用智能建造技术在加工制作方面节约人工 4880 个，每人工单价 300 元，合计节约成本 $4880(\text{个}) \times 300(\text{元}) = 146.4$ 万元，在现场安装方面通过模拟设计及模拟施工，提前预判项目在施工中的难点，选择最佳施工方案，合理安排施工工序，减少错误及返工，节约成本约 200 万元。智能测量技术的应用在钢结构安装方面节约人工 600 个，每人工单价 400 元，合计节约成本 $1600(\text{个}) \times 400(\text{元}) = 64$ 万元。为企业创造了行业品牌的同时获取更大的经济效益。

2. 项目评价及所获得的奖项

(1)、本项目智能建造技术的应用得到阿里业主、租户、业内专家及第三方评价机构的一致好评，科技成果评价达“国际先进领先”水平。

(2)、项目获得省部级工法 1 项、科技奖 1 项、发明专利 4 项、实用新型 1 项、省部级 QC 成果 2 项，获得 BIM 奖一等奖 1 项、学术期刊 2 篇，省部级观摩奖 1 项。

(二) 借鉴意义

由北京首钢建设集团有限公司承揽的“阿里巴巴华中总部项目”超高层及大跨度钢结构安装工程的顺利建成，标志着企业品牌已屹立于华中地区及社会市场，在华中地区继续承揽的其他超高层项目即“武汉三镇中心项目”超高层建筑在智能建造方面具有重要的推广及应用意义。

四、总结展望

(一) 有益经验

1、详图设计方面，TEKLA 模型软件与施工方案应相互结合，相互指导，采用方案指导模型、模型优化方案的原则，将设计逐步优化，为实现设计指导施工最大化。

2、BIM 模拟技术方面，先进的 BIM 模拟施工，全过程推演，利用推演并结合施工经验，预判每一道工序施工难点，提出方案对策，解决技术难题。

3、机器人焊接技术的应用目前已逐步走向成熟，在工厂化制造的应用中以机器代替手工，节约人工，提高焊接效率及焊接质量。

4、智能测量技术的应用，超高层建筑中的测量根据场布坐标使用 GBS 定位系统实现精确转点，达到全过程使用智能测量技术，高精度控制项目的建筑结构坐标及沉降位移。

(二) 存在问题

1、能真正掌握及了解智能建造的人才稀少，在智能制造产品应用中即使有设计图纸，也可能无法满足预期的要求。

2、在智能项目建造过程中各部门、各专业沟通协作不协调，有的部门对智能建造技术考虑不周到，无法熟悉应用智能建造技能。

(三) 发展展望

在智能建造技术方面要坚持全面协调可持续发展战略，提高自主创新能力，实现科技自动化，信息化。在智能化领域实现技术创新更高标准的要求，为中国智慧建筑的发展做出贡献。

大同市国际能源革命科技创新园 D 区 超低能耗被动式装配式住宅示范项目 (瑞湖·云山府)

大同瑞铖钢结构有限公司



一、项目简介

大同市国际能源革命科技创新园 D 区超低能耗被动式装配式住宅示范项目（瑞湖·云山府）位于太和路与云山街交会处，作为目前山西省内最大的被动房 + 装配式建筑，该项目从绿色健康的维度，为人们提供恒温、恒湿、恒氧、恒静、恒洁的健康舒适人居环境，入住后比传统住宅节能 90% 以上。



瑞湖·云山府效果图

工程建筑面积 300732.82 m²，采用钢管束结构，由高强度的钢材制成，使其具有出色的承载能力和刚度，有助于提高整体结构的抗震和抗风性能。钢管束的制造和安装相对迅速，可以加速建筑施工的进度，这对于需要快速竣工的项目非常有利。使用钢管束可以减少对传统建筑材料的需求，经过防腐处理，以提高其抗腐蚀性能，在建筑生命周期内具有较长的寿命，通过焊接、螺栓连接等方式容易地与其他结构元素相连接，形成一个整体稳定的结构，在结构中占用较小的空间，从而提高建筑的有效使用率。



瑞湖·云山府整体布局

结构材料：本工程选用材料钢梁、钢柱、钢管束墙及其肋板、连接板使用 Q355B，地脚锚栓、轧制型钢使用 Q355B。钢材的屈服强度实测值与抗拉

强度实测值的比值不应大于 0.85。钢材应有明显的屈服台阶，伸长率不应小于 20%；应有良好的焊接性和合格的冲击韧性，屈服强度波动范围不大于 120Mpa。偏心支撑耗能梁段所用钢材的屈服强度宜不大于 345Mpa，屈强比不大于 0.8，且屈服强度波动范围不大于 100Mpa。本工程高强螺栓不大于 M24 选用扭剪型高强度螺栓，大于 M24 高强度大六角头螺栓。其螺栓种类均为 10.9 级，摩擦面抗滑移系数 0.45。

二、项目特点

（一）项目智能化设计（主要介绍钢结构智能化设计或 BIM 应用）。

1、设计优化：

为了提高对应设计人员的工作效率，项目对于钢结构深化设计方面采取参数化设计，通过输入关键的参数实现对工件模型的快速绘制。通过编辑、更改图纸中的单个或者多个尺寸的数值，再根据预先设计的逻辑关系，自动完成设计零件的图形改动，有着草图设计高效、尺寸驱动图形修改、建模便于修改、实现动态设计以及提高设计效率等优点。

2、绿色环保：

项目采用钢管束结构，相较于传统混凝土建筑，钢结构建筑所使用的钢结构件由于在工厂预制造，具有“轻、快、好、省”，以及低碳、绿色等优势。钢管束结构由于其材料自身的特性，是一种可回收再利用的材料，具有很高的再利用率，钢结构建筑施工速度快、效率高，钢构件在工厂内预制完成，可以直接运往施工现场进行组装，大幅缩短了施工周期。这种高效的施工方式可以减少对周围环境的干扰，同时降低施工成本。钢结构建筑具有较好的抗震性能和承载能力。钢材具有较高的强度和韧性，能够承受较大的冲击力和动力荷载。同时，钢结构建筑采用焊接或螺栓连接方式，具有较好的整体性和稳定性，能够保证建筑的安全性。



钢管束安装



框架安装

（二）项目构件的智能制造（主要介绍钢结构构件的智能加工）。

1、智能化生产设备：

公司拥有数字化智能生产线，可年生产钢构件 10 万吨，实现了钢结构制造流程全数字化，成为大同市最大钢结构生产企业。项目中的钢构件全部采用智能板材分条机、智能激光切管机、智能喷漆烘干生产线等设备，采用智能自动化 H 型钢、箱型柱、钢卷开平、激光切割、拼装焊接等先进工艺，成功实现数字化智能制造。

2、模块化智能生产线：

随着钢结构智能制造技术的发展，在“机器换人”的大背景下，钢结构智能化生产必定能促进建筑钢结构的发展，既能有效提高效率和质量稳定性，又能减少操作人员数量，降低对人工的依赖，同时也能降低安全风险。项目钢构件全部采用钢智能生产线包括钢板的下料、倒运、焊接、抛丸、喷涂的自动化生产，整线按照功能分为智能下料线、智能焊接线和智能涂装线。



机器人焊接



双轨埋弧焊机

（三）项目智能建造的创新、亮点（主要介绍钢结构数字化、智能化施工）。

瑞湖·云山府工程建筑面积 300732.82 m²，是大同市首个大型装配式钢结构住宅小区项目。该项目地上所有建筑均采用装配式钢结构住宅体系建造，包括多栋高层住宅楼与多栋公共建筑。住宅部分整体采用装配式钢结构住宅体系建造，主体结构采用钢框架支撑体系，外围护墙采用蒸压加气混凝土墙板 + 保温装饰一体板，蒸压加气混凝土墙板采用内嵌式安装方式，将蒸压加气混凝土条板通过角钢与钩头螺栓系统性地与楼面及钢梁固定。

本项目全过程应用建筑信息模型（BIM）技术，为蒸压加气混凝土条板深化排版技术提供了较大的便利，相较于传统的平面标准层设计方式，以 BIM 技术为基础手段的深化排版技术的应用，可以实现 ALC 板材的精细化设计，精准排版可以为后续的精准切割和快速安装提供技术支持，通过明细表与模型联动，实现拆分与损耗的动态分析，实现设计的优化，节约了板材与人工。

三、项目成效

（一）取得的效果

1. 通过智能建造给项目和企业带来的社会和经济效益。

项目智能建造技术通过自动化和智能化手段，减少了人工干预，提高了生产效率，从而降低了生产成本，建筑信息模型（BIM）技术可以改善规划和设计方案，加强团队合作，促进更协调和高效的施工过程，装配式和模块化施工能将建设项目的工期缩短 20% ~ 50%，减少建设支出。

智能建造技术能够实现资源的精准配置，避免资

源浪费，提高资源利用效率，这种技术的应用推动了建筑产业的升级和转型，催生了一系列新的商业模式和产业形态。增强项目安全性和减少风险，自动执行项目任务、预测潜在风险等功能，通过智能建造技术，项目团队可以基于实时监控和场景测试做出科学决策，提升项目质量，提高了客户满意度。

2. 用户、专家或者第三方评价机构等对项目的评价，包括但不限于

项目所获得省部级质量奖、科技奖、创新奖、专利、标准或工法等。

（二）借鉴意义

项目采用的钢结构装配式施工技术作为现代建筑领域的一项创新技术，具有众多独特的优势，影响着建筑工程的各个方面。钢结构装配式施工技术的应用，能够极大地加速工程进度。相对于传统的现场施工方式，这一技术的主要优势在于将大部分工作转移到工厂预制环节，从而大幅度减少了施工现场所需的工作时间。此外，通过在工厂中同时进行构件的生产和装配，工程的周期得以极大地缩短。这一特性在应对紧急建设项目方面尤为重要。对于需要快速建设的项目，如紧急医疗设施或临时住房，时间通常是至关重要的因素。采用钢结构装配式施工技术，施工周期大幅缩短，可以更快地满足项目的紧急需求，确保项目按时完成，为社会提供迅速的支持和服务。

钢结构装配式施工技术有助于提高建筑质量。在工厂环境中进行生产和装配的构件可以更精确地控制尺寸和质量，减少了现场施工中的误差。此外，由于材料的高质量和工艺的严格控制，装配式建筑更容易满足建筑标准和规范，从而提高了建筑的整体质量水平。从长远来看，它通常能够显著降低总体建筑成本。这一降低成本的效益体现在多个方面。由于该技术能够显著加快工程进度，减少了施工现场所需的人力和设备投入，从而降低了劳动成本。

四、总结展望

（一）有益经验

BIM 技术的全面应用：通过 BIM 在设计、施工和运营各阶段的应用，确保信息的连贯性和可追溯性，提高项目管理效率。项目通过 BIM 实施全生命周期管理，实现了资源的最优化配置和使用效率的提升。设计可标准化的构件，进行批量生产，缩短建设周期，装配式住宅项目通过标准化构件的生产，成功降低了 30% 的施工时间和成本。采用模块化的施工方式，使得各个构件可以在工厂内预制，现场快速组装，提

高施工效率。

引入智能设备与机器人：通过数控机床和工业机器人进行自动化加工和焊接，提高加工精度和安全性。项目通过使用机器人焊接技术，提高了焊接质量，减少了人力需求。在施工和加工过程中，采用智能检测系统进行实时质量监控，确保产品符合设计标准。项目通过智能检测设备，成功降低了 20% 的质量缺陷率。

（二）存在问题

技术整合困难：各种智能建造技术之间的整合存在挑战，导致信息孤岛，影响系统的整体效率。人员技能缺乏：施工团队往往缺乏对新技术的掌握，导致智能设备和系统的使用效率低下，需要加强培训和技能提升。初期投资高：智能建造技术的引入通常需要较高的初期投资，可能对一些小型企业造成财务压力，影响技术的推广。标准与规范缺失：在智能建造的实施过程中，行业内缺乏统一的标准和规范，导致不同项目之间的兼容性和可复制性差。

（三）发展展望

钢结构装配式施工技术在建筑领域的发展前景广阔，未来有望在多个方面取得进一步突破和创新。钢结构装配式施工技术将更加智能化和数字化。通过采用先进的建筑信息模型技术，建筑设计、生产和施工将实现全面的数字化集成。智能化建造还包括自动化机器人施工、传感器监测和实时数据分析，以提高施工效率和质量。数字化建造将为项目管理、资源利用和决策支持提供更强大的工具。

绿色建筑与可持续性未来，可持续性将继续成为建筑领域的主要关注点，钢结构装配式施工技术将进一步发展，以满足绿色建筑的要求，这包括采用更多的可再生能源、节能技术和环保材料。建筑设计将更加注重生态系统的保护和社会可持续性。装配式建筑还可以更好地适应不同气候条件，降低能源消耗和环境影响。

定制化建筑和灵活性随着人们对住宅和工作空间的需求不断变化，未来的装配式建筑将更加定制化和灵活化。钢结构可以轻松适应不同的建筑设计和用途需求。将会有更多的模块化设计和可调整性，使建筑能够满足不同客户的特殊需求。这种定制化建筑还可以在更短的时间内完成，满足市场快速变化的需求。

（印尼）红土镍矿化学品 2.3 万吨镍 / 年项目 职工公寓楼

北京诚栋国际营地集成房屋股份有限公司



一、项目简介

项目为印尼红土镍矿化学品 2.3 万吨镍 / 年项目职工公寓楼。

公寓楼共七层，一层和二层采用钢结构框架体系，三至六层宿舍采用模块化箱式房屋，七层为电梯间、晾晒区，电梯井为钢结构，晾晒区结构采用四坡五脊的轻钢装配式结构体系。



公寓楼 (A 栋)

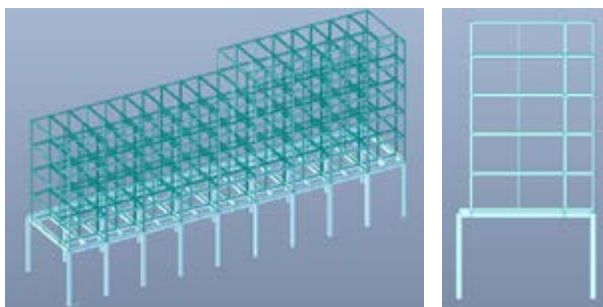
二、项目特点

(一) 项目智能化设计

1. 结构验算 (节选)

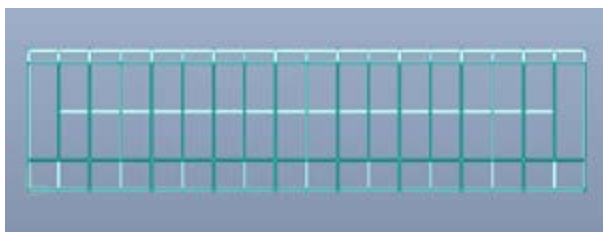
1.1 结构建模

为了保证公寓楼结构安全，房屋结构采用 Midas/Gen 整体建模验算，如图：



标准视图

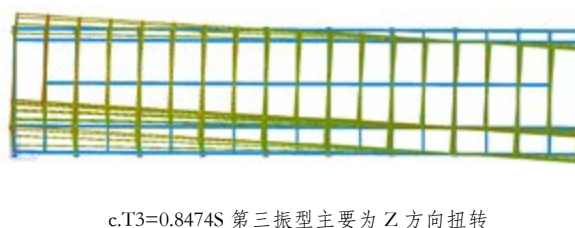
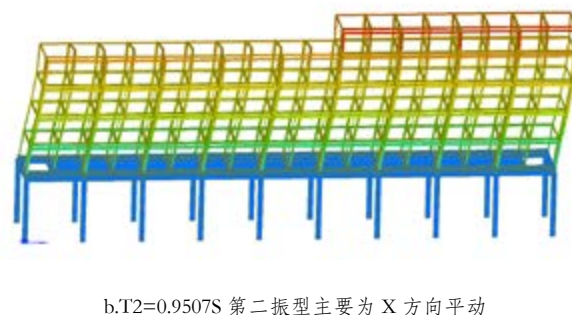
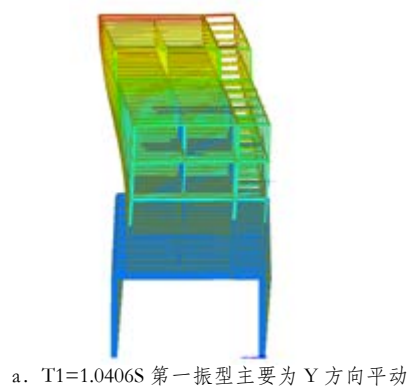
侧视图



俯视图

1.2 结构验算结果

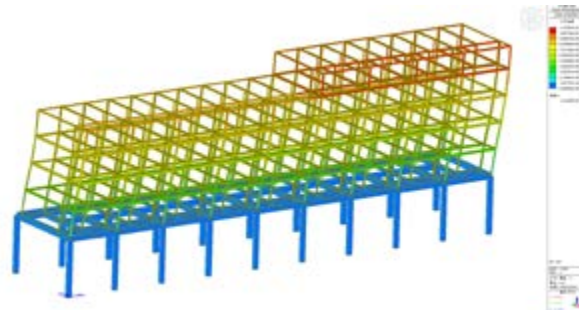
1.2.1 周期与振型



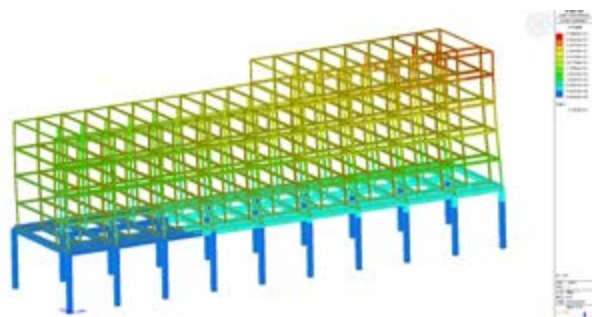
结构模型的周期 $T_3/T_1=0.8818 < 0.9$ ，满足建筑抗震设计规范 GB50011-2010 的条文说明关于周期比 0.9 的限值要求，另外结构模型的前 18 个振型， D_x 、 D_y 和 R_z 的振型质量系数均大于 90%，满足规范要求。

1.2.2 水平荷载下结构顶点位移及层间位移

结构在风荷载以及地震作用下的侧移云图如图所示，层间位移角如表所示。由此可见，结构顶点侧移及平均层间位移角满足钢结构模块建筑在水平荷载下的侧移限值 $1/300$ 的要求，结构的抗侧刚度满足要求。

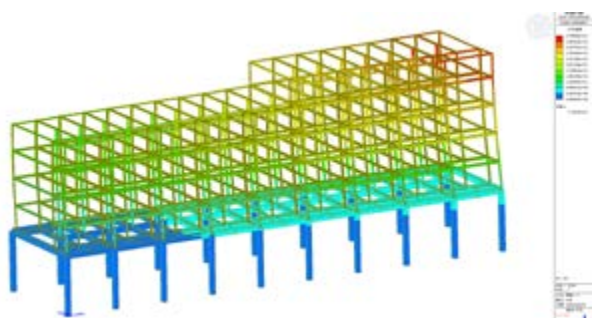


X 向风荷载下的顶点最大侧移为 11.74mm
 $< H/400=52.5mm (H=21m)$



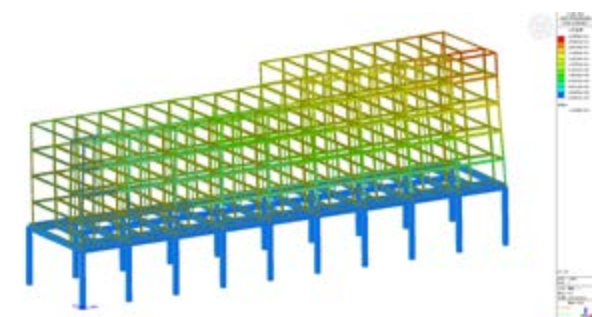
Y 向风荷载下的顶点最大侧移为 37.98mm

$< H/400=52.5\text{mm}(H=21\text{m})$



X 向地震作用下的顶点最大侧移为 12.22mm

$< H/300=70\text{mm}(H=21\text{m})$

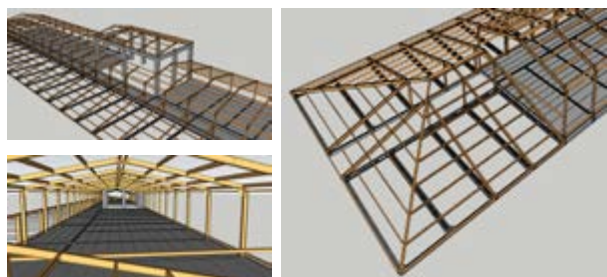


Y 向地震作用下的顶点最大侧移为 20.31mm

$< H/300=70\text{mm}(H=21\text{m})$

2. 轻钢结构体系三维建模

建筑局部七层结构采用公司 ZA 结构体系，为首个新 ZA 结构体系四坡五脊结构，全部构件现场螺栓装配，异形配件复杂，采用三维建模，辅助输出结构加工图，确保施工现场安装准确无误。



四坡五脊结构三维建模

(二) 项目构件的智能制造

1. 箱式房模块智能制造

1.1 角件焊接工作站

箱式房角件为整个模块的核心结构构件之一，角件不仅需要满足运输过程中吊装、倒运的强度要求，而且需要保证建筑拼装环节模块间的连接强度要求，因此角件的加工精度控制尤为重要。角件焊接工作站实现自动上料、拼焊、组焊、自动下料等工序，加工精度高，焊接质量可靠，如图。



角件焊接工作站



角件自动焊接

角件铣面自动上下料

1.2 箱式房梁、柱冷弯

箱式房梁柱檩条等构件均为冷弯型材，实现工厂自动下料加工，保证构件加工精度，如图。



屋面梁冷弯

地面檩条冷弯

1.3 箱式房梁柱冷弯、焊接

箱式房主要承重构件（立柱、屋面梁）采用机械手焊接，如图。



箱式房立柱机械手自动焊接 1



箱式房立柱机械手自动焊接 2



箱式房立柱机械手自动焊接 3



焊接半成品



屋面梁机械手自动焊接 1



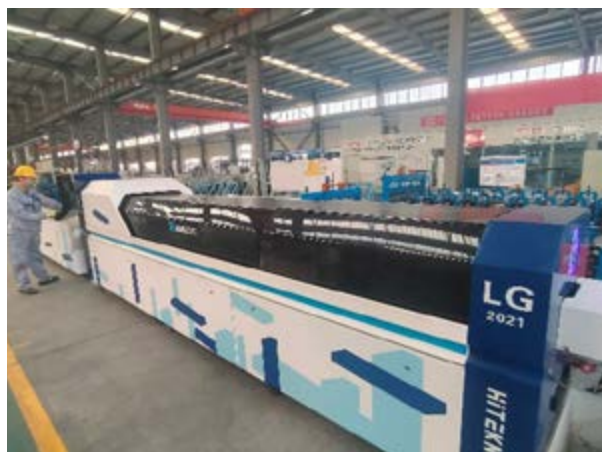
屋面梁机械手自动焊接 2

1.3 ZA 结构构件冷弯

通过人机交互自动输出冷弯构件并按设计图纸自动切割、冲孔，加工制造过程结构无需焊接处理，施工现场全螺栓装配，大大提高了加工精度和生产效率。



ZA 屋面梁冷弯



冷弯薄壁型钢体系冷弯

(三) 项目智能建造的创新、亮点

1. 集货、发运

为保障现场各环节顺利施工，公司从设计环节对

每个功能模块进行编号，并以单栋模块为单元对物料进行打包发运，施工现场仅按模块编号进行拼装摆放，现场打开模块包装，内部附有物料清单及所有安装材料，无需进行二次物料整合及分拣，大大提高现场施工效率。



箱式房模块出场前编号打码

2. 现场安装



模块拼装



模块吊装

三、项目成效

（一）取得效果

智能建造贯穿项目从设计、生产到现场施工全过程，覆盖公司所有项目执行。

设计环节将箱式房模块类产品进行标准化设计，结构构件均为标准构件，每个构件可分别进行流水线排产，避免特殊、异形构件影响生产效率。

生产环节通过智能制造，采用机械手、焊接工作站等自动化设备，不仅大大提高了构建加工质量和效率，而且节省了各环节人工，降低成本。

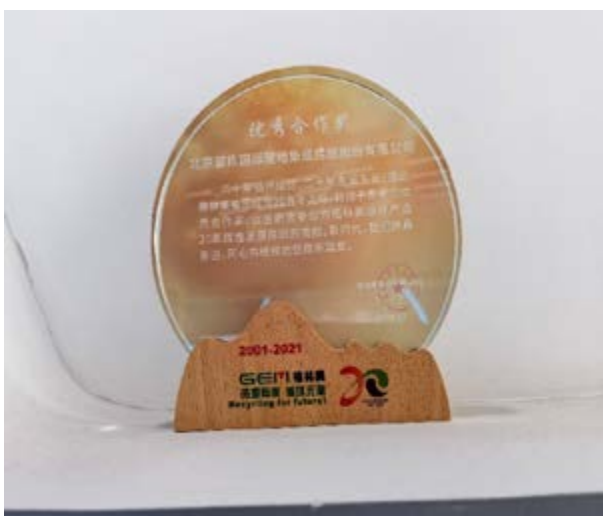
项目从设计到施工交付提炼总结一套完整的《项目执行标准化方案》，现场施工环节根据方案有序组织现场施工，大大提高现场施工效率。

截止目前，案例项目已全部竣工并顺利通过业主验收投入使用，项目从设计到竣工交付，各环节均得到了客户高度认。





项目室内效果



客户颁发的优秀合作奖

（二）借鉴意义

项目的顺利执行，为箱式房模块产品扩大了应用领域，模块单元从低于3层设计到满足4层局部5层的箱式房模块体系，通过项目执行，输出适合箱式房模块产品结构配置及加固处理标准方案，不仅可以作为标准化在行业内进行推广，同时在方案推荐中满足客户需求，提高客户满意度。

（三）知识产权成果

专利名称：一种箱式房专用的安全绳固定配件

专利号：ZL 2023 2 3256362.0

四、总结展望

（一）有益经验

智能建造的基础离不开产品的标准化设计，从建筑方案设计到标准构件加工制造，再到现场施工，箱

式房模块产品都遵循着一套产品标准化，通过标准化把项目全流程贯穿起来，每个环节可以更高效的执行。

（二）存在的问题

由于工程项目中客户需求多样，涉及国内、国外客户群体，实现产品标准化推广困难，目前项目执行全流程还未完全实现智能建造。

（三）发展展望

吸引高端人才：吸引掌握先进技术和管理理念的高端人才，包括人工智能专家、数据科学家、高级工程师等。这些人才能够为企业的技术创新和管理创新提供智力支持。

数字化转型：积极引入大数据、人工智能、物联网等数字技术。

绿色制造技术：注重环保和可持续发展，采用绿色制造技术，如清洁能源利用、节能减排技术等。

东溪河特大桥智项目

中铁长安重工有限公司



一、项目简介

东溪河特大桥是世界第二跨度山区上承式钢管拱桥，我国西南片区最高拱桥，桥址区属岩溶中高山深切河谷地貌河谷形态呈不对称‘V’字型，切割深度 200–600 m，河床宽约 20 m，高程约 469 m，两岸为陡峻的陡坡及陡崖。由于地形坡降较大，东溪河落差大、水流湍急，激流险滩比比皆是，雨季河水往往暴涨暴落，而枯季则因降雨少近于枯竭，枯洪水位变幅悬殊的山区河流特征明显。

针对高山深切斜交峡谷复杂施工地段，进一步研究钢管拱大节段拱肋智能建造关键技术，克服了狭窄场地大型梁段的姿态调整及运输和传统运梁车受场地局限没有操作空间的难题，有效解决了空间曲线结构施工图纸放样出图问题，在结构基准线布设、曲线零件成型、曲线单元制作、曲线大节段冷弯组拼与预拼装、焊接变形控制等方面，在产品质量提高和效率控制方面具有重大意义，降本增效显著，推广价值高。

二、项目特点

（一）项目智能化设计

东溪河特大桥建造过程中采用了智能建模出图技术，建模出图作为一种逆向设计制造思路，极大满足了异形钢桥的制造精度要求，也加快了钢结构的发展进程。

1. 建模出图的优势

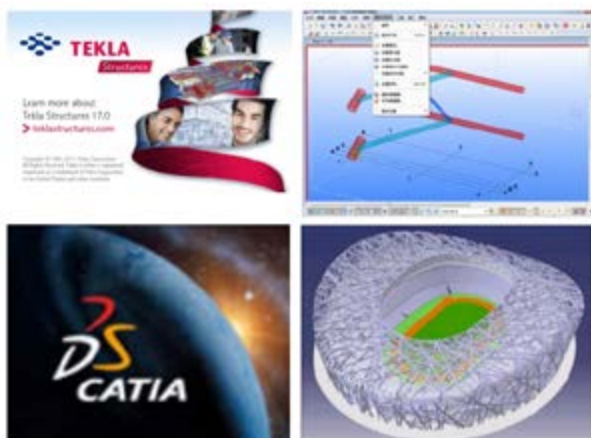


图 1 TEKLA 及 CATIA 界面

在常规异形钢结构设计图深化时，往往采用 CAD 二维平面放样出图，CAD 出图模式有利于制造车间对深化图纸进行再次放样和检核，但同时 CAD 出图模式也有较大的局限性。如：出图效率低、深化图纸材料表不能自动生成、设计变更后均需对相关杆件依次进行人工变更、智能化较低、深化图纸上没杆件立体效果、不利于制造人员了解结构形式、出图过

程中易出现碰撞且不易被发现等。

为避免以上缺点，建模出图模式势在必行。TEKLA 和 CATIAL 作为目前最具影响力的钢结构深化设计软件，对钢结构进行面向加工、安装的详细设计，及可生成钢结构施工图（加工图、深化图、详图）、材料表、数控机床加工代码等，在工期紧迫的情况下能极大提高出图效率。

建模出图相对于传统 CAD 出图的优势：

(1)通过整体建模，钢结构产品整体结构和细部构造一目了然，有利于施工人员对钢桥梁有一个整体认识。

(2)整体建模可通过软件的“碰撞”检查，减少结构性错误，同时可验核设计图的正确性。

(3)建模完成后，可通过软件转化为二维图纸，自动生成材料表，降低错误率，提高出图效率。

(4)建模后，如有设计变更，可在模型中更改相应尺寸，与之相关联的杆件结构与尺寸均相应更改，可避免更改不及时，变更内容不全面的情况发生。

(5)审核深化图时，以模型为准，可提高深化图的准确率。

(6)对于设计不明的具体细部构造，在模型中能更直观的反应问题，便于与设计沟通交流。

2. 建模出图的流程

建模出图时，先通过二维软件绘制出钢桥梁的平面与竖曲线的线型，导入建模出图软件后，将平竖曲线进行叠加，得到桥梁真实空间道路中心线，在该道路中心线端点处法平面上，建立桥梁截面，以截面为轮廓，以道路中心线为路径，建立桥梁真实立体模型并生成实体。按设计意图，结合厂内制作情况，对模型进行细化深化，最后进行图纸输出及修调审核。建模出图具体流程见图 2。



图 2 建模出图流程

3. 建模出图在异形钢桥梁中的应用

（1）钢管拱桥实例

重庆东溪河特大桥采用上承式钢管混凝土拱桥，计算跨径 330m，矢跨比 1/5。主拱圈采用等宽变高

度空间桁架结构。横桥设置两片拱肋，两片拱肋中心距为 18.0mm，单片拱肋断面由四根外径 $\phi 1300\text{mm}$ 的焊接直缝钢管组成，肋间设置横联和米字横撑。钢管拱肋吊装对接接头采用内法兰盘栓接、管外焊接的形式进行连接。

腹杆、横撑及横联杆采用无缝钢管。两个拱肋间共设置 13 道横撑，横撑在每个立柱对应位置设置，横撑均为“米”形钢管桁架。具体结构形式如图 3。

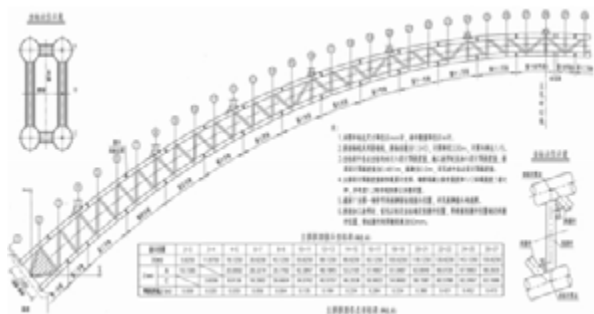


图 3 某钢管拱桥效果图及结构形式

建模出图过程：制造线形→模型骨架→生成模型→分切吊装块体→分割制作管节→转零部件施工图→复核图纸。

按照设计图，结合制作预拱度，通过二维软件绘制出钢管拱圈的竖曲线线型，并导入建模软件，以制作线形为准建立模型骨架，进一步生成桥梁实体模型，在实体模型基础上，按设计图纸要求，进行吊装块体的划分。在每一吊装块体基础上再进一步分割出制作管节。细化模型后，按零件—单元件—吊装块体—整体模型进行二维图纸输出，对输出的二维图纸做进一步修调，复核并下发施工图纸。具体建模流程见图 4。

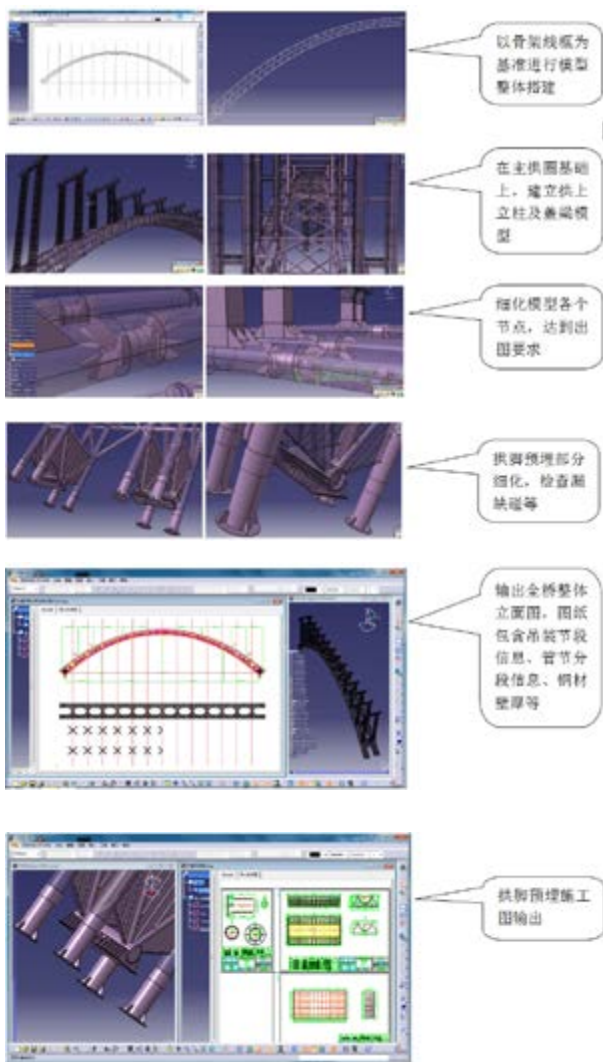


图 4 某钢管拱桥建模出图流程

(2) 钢箱梁匝道桥实例

匝道桥多为变高、变宽、变坡结构或者前几种的组合方式，如果结构出现斜底板、斜腹板，考虑平曲线、竖曲线及制造预拱度，其二维放样将是摆在技术准备工作面前的一大困难。

块体划分、吊装重量、套料图、材料清单、施工图绘制、厂内制作胎架、吊装重心位置等一系列问题，都受制于异形结构的二维信息获取。

如何顺利完整的将设计图转换为可用于指导生产制作的钢桥施工图，面临两大难点：一是进行翻模，按设计图纸要求，采用建模软件建立起可用于指导技术准备的三维实体模型；二是最大化利用建立好的模型输出全桥各零件、单元件、块体、节段以及总拼图。

以某三跨连续钢箱梁匝道桥为例。该桥首跨为变宽变高，全桥设 2% 横坡，顶底板平行，设两道中腹板、两道边腹板，边腹板为斜腹板。



图 5 某三跨三箱室匝道桥横截面图

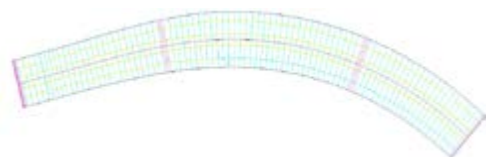


图 6 某三跨三箱室匝道桥正投影

传统做法需对道路中心面进行展开放样，再由设计给定的条件，计算出顶板、底板、腹板、隔板等各自轮廓定位点，同时需要将各组装位置线控制点计算出来，再将计算出的点按照坐标输入方式，输入 CAD 软件，生成点云图，进而绘制出各自轮廓大样，然后再进行施工图绘制。

可见，传统出图模式工作量很庞大，且易出错，亦不利于核对。

模型出图：根据既有设计道路中心线，桥梁平面投影图，道路中心立面展开线形，结合钢桥厂内制作预拱值，在三维建模软件中建立该匝道桥轮廓骨架线形。以骨架线形为约束，通过条件扫描、拉伸等，搭建匝道桥厂内制作整体模型。在模型中建立各块体划分线。将隔板组装位置线、基线、板厚变化位置线等属性信息投影到顶、底、腹板上，再将携带以上模型属性信息的顶、底、腹板按条件进行整体展开。具体建模流程见图 7。

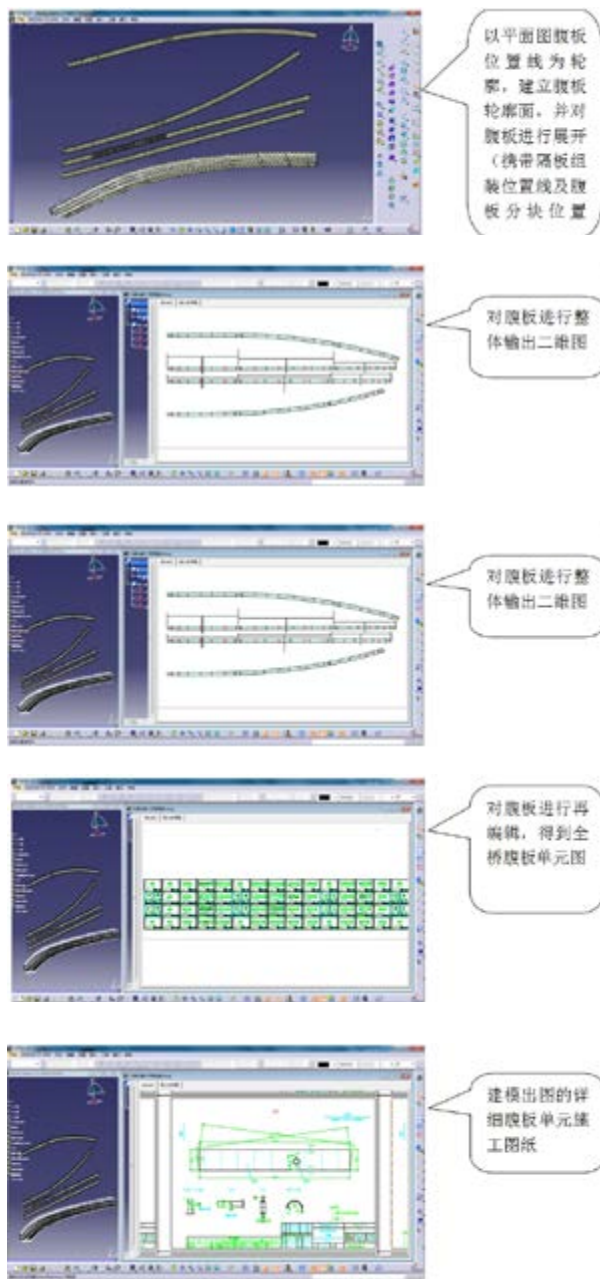
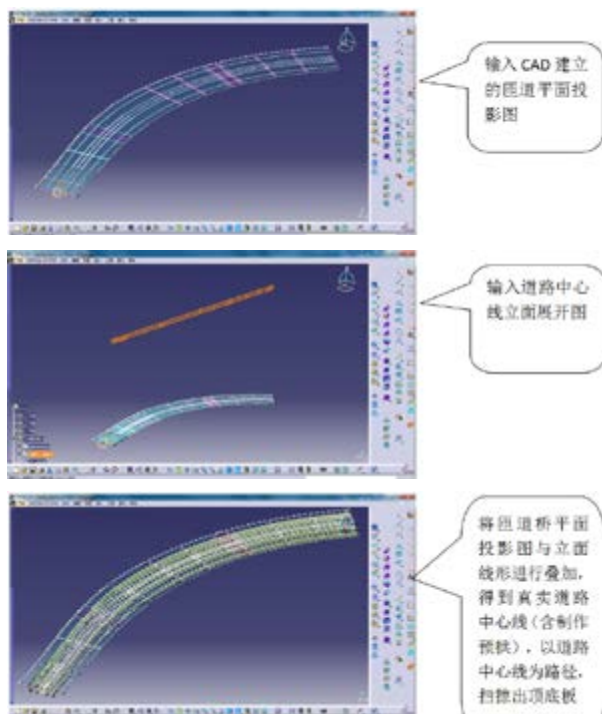


图 7 某匝道桥建模出图流程

在当今我国钢结构桥梁迅猛发展的时代，人们对钢桥梁的景观效果提出越来越高的要求，异形钢结构桥梁设计将大批涌现，传统 CAD 出图将在异形钢结构领域不再占有优势，且呈现逐步退化趋势；智能建模出图以其科学、高效的优点，必将引领异形钢结构深化设计的未来。

（二）项目智能建造的创新、亮点

1. 钢管拱桥节段整体冷弯成型定位组焊制作技术总体思路：

（1）复测主拱圈专用组焊平台，控制平台平面度 $\geq 1\text{mm/m}$ ，在主拱圈专用组拼焊接平台上进行划

- 线,将主拱圈CAD轮廓控制点、线投影到专用平台上;
- (2) 按主拱圈线型组焊主拱圈定位桩;
- (3) 液压千斤顶就位,将液压千斤顶与地平台固定牢靠;
- (4) 按定位点放置成品钢管至平台上;
- (5) 启动液压千斤顶,控制千斤顶行程,为防止钢管顶弯后回弹,辅以火焰定型;
- (6) 组装两主管间腹杆,复测拱圈桁片轮廓尺寸,焊接主管及腹杆焊缝,探伤合格后再次复测并修整其整体轮廓尺寸;组焊拱圈桁片间横联管,测量横联管定位尺寸并控制其标高;
- (7) 组装另一侧拱圈桁片,测量主拱圈整体轮廓尺寸,施焊过程中监测各项几何尺寸,随时反馈并给出修整指令,做到过程实时监控与控制。
- (8) 组装其他结构件,复测结构尺寸,卸胎吊装。
- 标准节段制作流程见图 6-3。

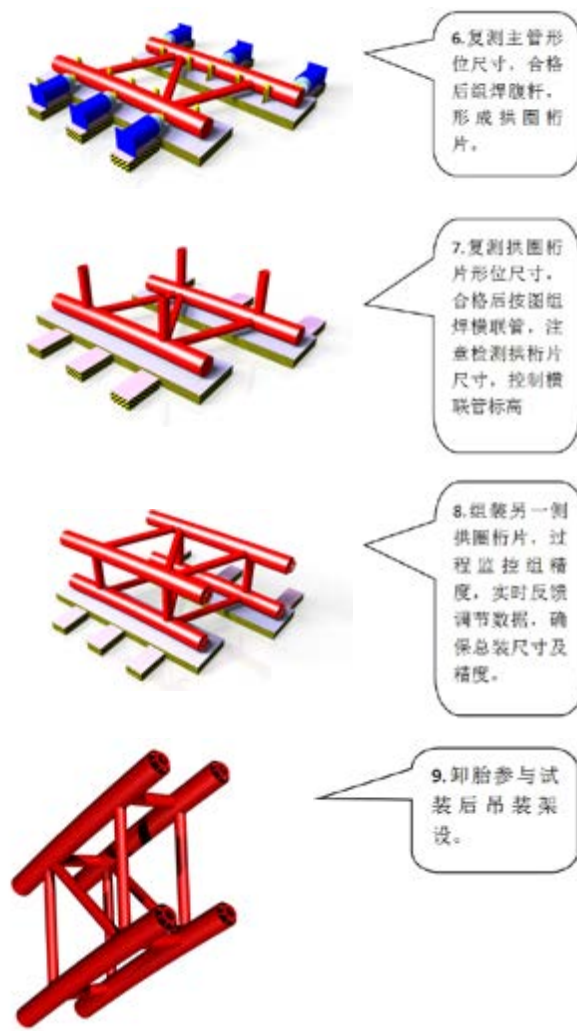
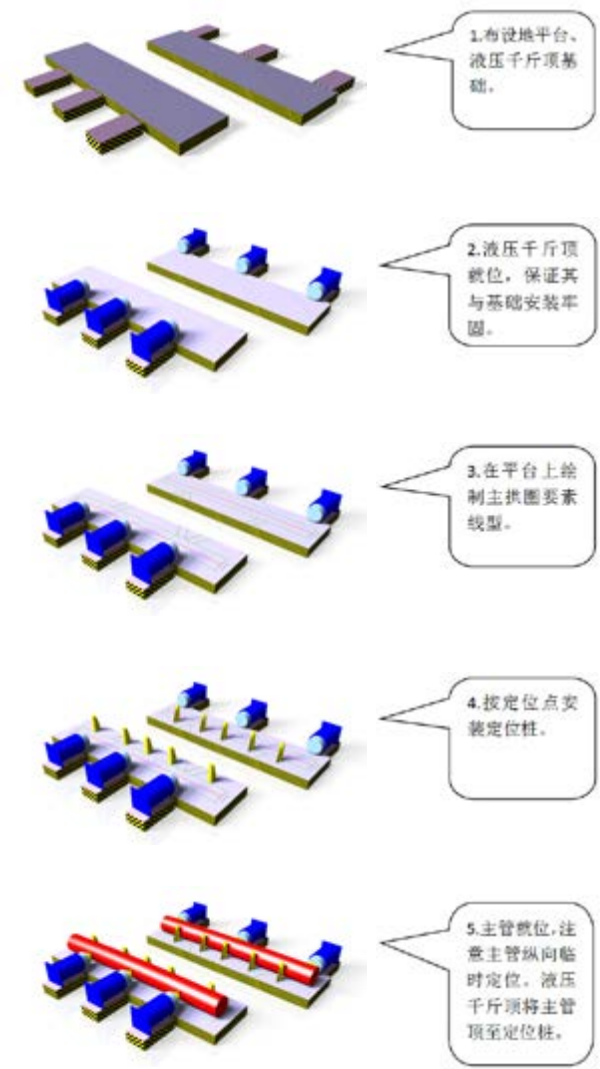


图 8 标准节段制作流程图

本方案已在重庆东溪河特大钢管拱桥制作中使用,通过本次发明的实施,减少了钢板辊板、切割下料、焊接、卷圆、主管组焊接长、探伤、主管修整等环节,主拱圈加工制作精度大幅提升,质量得到有力保障的同时,大大缩短了施工工期,减少了人员及设备投入力量,降本增效成果显著。

2. 有限空间下大节段钢梁运输关键技术研究

(1) 背景介绍

重庆东溪河特大桥是重庆巫溪至陕西镇坪高速公路(重庆段)跨越东溪河的一座重要的特大型桥梁,大桥全长 506.0m,主桥采用上承式钢管混凝土拱桥,桥梁主要由主拱圈(肋)、拱上立柱及钢盖梁组成,主拱圈采用等宽变高度空间桁架结构,单片拱肋断面由四根外径 $\phi 1300\text{mm}$ 钢管组成,肋间设置横联和“米”型横撑。拱上立柱及其盖梁采用钢箱结构。全桥计算跨径 330 米,矢跨比 1/5。

桥址区属岩溶中高山深切河谷地貌,桥梁横跨东溪河,河谷形态呈不对称‘V’字型,切割深度 200-

600m，河床宽约 20m，高程约 469m，两岸为陡峻的陡坡及陡崖。桥墩及桥台位于高程 678–753m 的陡坡之间。



图 9 东溪河特大桥

桥梁横跨东溪河，河流在桥址区呈 S 形转折，河流总体流向东西向，在桥址区近南北向，河床宽度约 20m，东溪河多年平均流量约 12.29m³/s，平均坡降 29.08%，河水水位 469.70m–471.50m，百年一遇洪水水位约 487.70m。由于地形坡降较大，东溪河落差大、水流湍急，激流险滩比比皆是，雨季河水往往暴涨暴落，而枯季则因降雨少近于枯竭，枯洪水位变幅悬殊的山区河流特征明显。

（2）钢梁运输现状

桥梁钢构件在制作及安装架设过程中涉及到多次倒运及姿态调整，其多采用运梁平车实现吊装段的运输及角度调整，但其对作业场地有一定的要求，例如场地要足够大，场地要具备一定承载力等。



图 10 常规平板车运梁

对于场地条件受限，作业空间狭窄等地段，以上方案则彻底行不通。例如山区深切峡谷地带钢管拱桥，其主拱圈吊装节段要从大拼场运输到缆索吊作业

区域，既要满足运输要求，又要具备吊装节段姿态调整能力，又要结合峡谷地带既有客观有限条件。



图 11 设计线路与大拼场及运梁路线



图 12 狭仄的运梁通道

（3）钢梁转运创新技术研究

通过设计一种转运一体平台，彻底解决狭窄场地超大超重构件姿态调整及运输问题。结合项目目前遇到的瓶颈，经过对场地勘察后，设计研发一套方案，通过在峡谷河道上打钢管桩，桩顶布置运梁平车轨道，运梁平车安放在轨道上完成梁段运输任务，通过在运梁平车上设计旋转平台，实现吊装段角度即时调整。

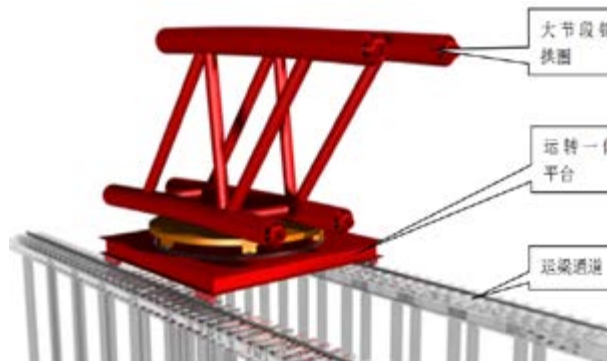




图 13 110 吨旋转平台运梁车

如下图所示，钢梁吊装节段在钢平台与运梁通道交汇处，由门机吊装到转运一体平台上，并进行第一次角度调整，确保运输梁段能够顺利通过峡谷瓶颈区域，梁段运输至缆索吊工作区域后，旋转平台进行二次转体，将梁段调整至架设角度，挂钩起吊。

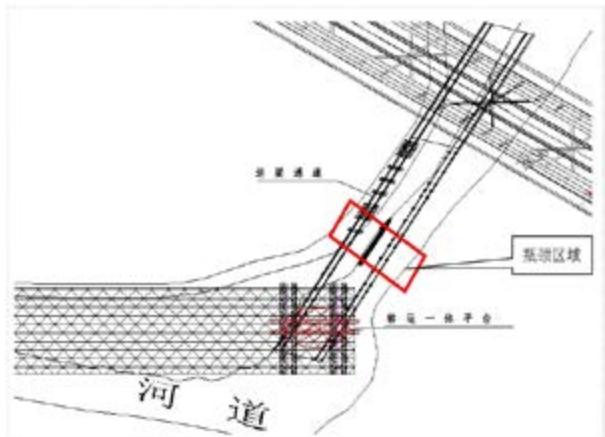


图 14 旋转运梁及运输线

转运一体平台结构如下所示，主要分为上部旋转部分和下部行走部分，旋转部分由转盘、环形轨道及小车运行机构组成，下部行走机构由车架、电器箱、车轮组及动车运行机构等组成。

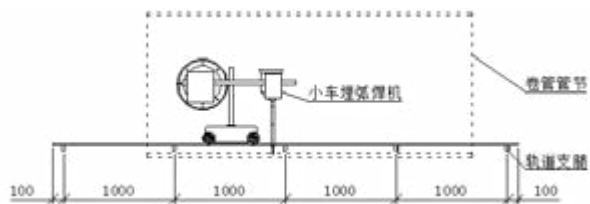


图 15 转运一体平台结构示意图

本创新技术在重庆东溪河特大桥中得到了成功应用，通过本次技术的实施，解决了狭窄场地大型梁段的姿态调整及运输难题，解决了传统运梁车受场地局限没有操作空间的难题。

3. 钢卷管内焊工艺技术

随着我国钢桥梁事业日新月异发展，钢桥梁结构形式千变万化，其加工制作工艺也需持续更新跟进。以目前国内钢管拱桥为例，其主拱钢管多采用厂内钢板卷制焊接而成，采用的常规焊接方法为：手工二保焊或二保焊打底埋弧半自动焊填充盖面。由于国内标准及规范对卷管直缝质量及外观有着严格要求，手工焊探伤一次通过率很低，且焊缝质量及外观难以得到保证。故管外侧焊缝可采用二保焊打底、半自动焊填充盖面，但管内因管径较小，半自动焊机施展空间极为有限，为规避这一问题，一般将焊缝坡口设计成管外单面坡口，即内壁衬垫，管外埋弧自动焊工艺。但对于厚壁管节，单面坡口填充量大，焊接工程量大，热影响区范围大，焊接变形不易控制，焊缝性能不稳定。国内虽然有卷管直缝内外焊设备，但由于价格过于昂贵，且一次投入后期利用率不高，资金占用时间



太长，钢结构制作厂商都望而却步。

本次发明围绕卷管管内直缝埋弧自动焊焊接空间不足这一问题，决定设计一种管内埋弧焊装置，用于解决管内直缝焊接操作空间不足这一技术问题。本装置由支架主体、小车轨道、操作平台组成，结构具体如图 16 所示：

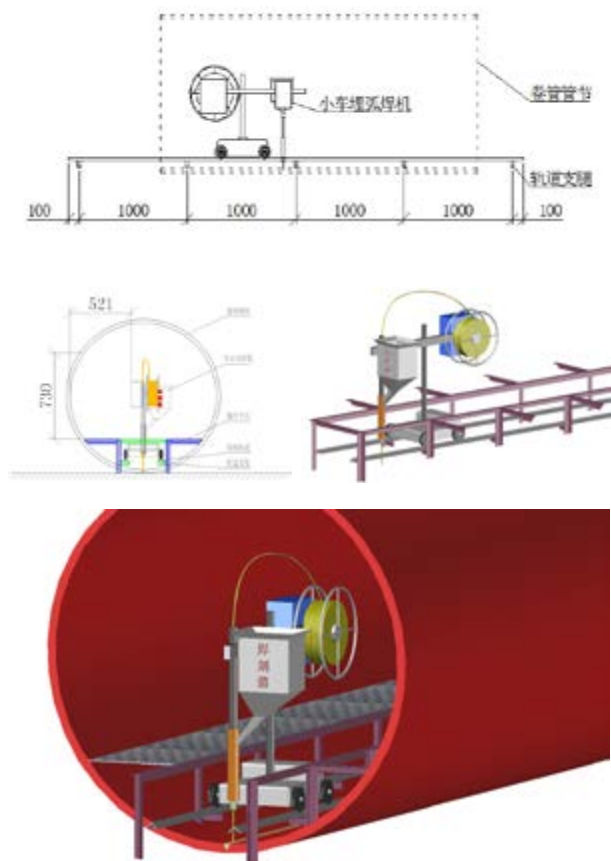


图 16 结构示意图

该技术的使用，解决了直缝管纵缝焊接作业空间不足这一难题，埋弧焊设备、人员操作空间得到了极大改善，主焊缝焊接质量及施工效率得到了提升。

经实践验证，本装置可以在同类产品中推广使用，不仅省去钢管专用内焊设备的采购费用，节约生产设备投入，降低成本，而且其使用更加灵活方便，可多点开展生产，大幅提高焊接效率，值得推广应用。

三、项目成效

（一）取得的经济效益

我单位自主研制的深切斜交峡谷环境下具有行走及角度纠偏功能的大型构件旋转式轨道运梁装置及方法，应用于东溪河特大桥项目，解决了高深、险峻、深切峡谷钢管拱安装过程中道路宽度及承载力受限、构件运输设备受限、姿态调整受限的难题，降低了吊

装的安全风险；避免因钢管拱运输对既有道路改造（近山侧炸山或另一侧填方扩大路基）所增加的巨大附加工程量及租赁运输设备的费用。带来直接的经济效益如下：

520 县道改造填方扩大路基 3 米计，路面距离河床平均高差 15 米，需要扩修 140 米长运梁通道，道路扩建费用为 $3 \times 15 \times 140 \times 450 = 2835000$ 元（不包含打桩费用）。运梁机械采用四轴联动板车，市场行情租赁费约 14 万 / 月（八轴）。按施工工期 8 个月计算，则节省板车租赁费用为 $140000 \times 8 = 1120000$ 元。该创新技术采用河床打桩铺设轨道，旋转运梁车在轨道上完成钢梁的运输及姿态调整，河床打桩用钢量约 600 吨，考虑后期可回收重复利用，每吨造价按 1000 元计算（包含材料折损），共计 $662 \times 1000 = 662000$ 元。旋转运梁车造价约 25 万元（含安装），则大型构件运转技术总费用需 $66.2 + 25 = 91.2$ 万。故本次创新技术在东溪河特大桥项目实现直接经济效益 $283.5 + 112 - 91.2 = 304.3$ 万元。

东溪河特大桥项目采用的一种大节段钢管拱整体同步精准定位、均匀弯曲、自动组焊、一次成型及线形自动监控装置和方法，减少了钢板辊板、切割下料、焊接、卷圆、主管组焊接长、探伤、主管修整等工序，主拱圈加工制作精度大幅提升，主拱圈一级熔透缝对接环缝减少 80% 以上，施工工期提高 50% 以上，经测算，该技术创新极大的缩短了主管生产周期，降低了加工成本，实现直接经济效益 86.4 万元。

项目团队发明的一种大直径钢管定位组装焊接装置和方法，通过管内新型焊接自动跟踪、纠偏、焊剂回收等装置替代了手工焊接工艺，避免了人为因素对焊接质量和外观难以保证的问题，省去了内外焊设备费用，该钢管定位组装焊接装置制作成本不足 3000 元，购置内外焊设备费用 24.4 万元，该创新技术在东溪河特大桥项目实现直接经济效益 24.1 万元。

综上所述，以上创新技术在东溪河特大桥项目实现直接经济效益 414.8 万元。

（二）取得的社会效益

“深切峡谷特大跨径钢管拱制造安装创新技术”在东溪河特大桥项目中成功运用，围绕大节段钢管拱加工工艺复杂、制作精度不易保证、深切峡谷吊装空间小以及钢管拱内焊空间不足等难题开展了研究，取得了多项创新性成果。为同类型工程项目的加工及安装提供了借鉴，具有非常巨大的推广应用价值。自项目首吊至主拱肋合拢，期间多家施工单位前来桥址参

观取经，对各项专利技术在工程实践中的应用大嘉赞赏。项目自开工以来，在国内多家媒体平台进行报道，包括重庆卫视、重庆日报、中央财经频道、新华网等。该关键技术也引起了行业内人士的注意，拓展了桥梁制作安装的新思路，增加了公司在我国钢桥梁施工领域的影响力，为打造铁建品牌奠定了坚实的技术储备。

（三）取得的成果

技术成果水平经专家评审鉴定为“国际先进”。项目成果获 2023 年度中国交通运输协会科技进步二等奖；同时获得 2024 年度陕西省土木建筑科技进步奖二等奖；获国家授权专利 5 项，适用新型专利 10 项，出版专著 1 部；获中国施工企业管理协会专利大赛奖二等奖、三等奖各一项。

（四）借鉴意义

通过本项目深入研究，为公司培养了一批高素质的人才队伍，引入了先进的加工制造工艺，形成了一套针对山区大峡谷特大跨径钢管拱桥制造、安装的工艺技术，推行了钢管拱桥整体冷弯、定位、组焊技术，山区峡谷特大钢管拱桥运输及角度调整技术，能够进一步提升大型钢管拱制造技术水平，引领其制造行业持续发展。

四、总结展望

（一）有益经验

1. 本项目研发了大节段钢管拱整体同步精准定位、均匀弯曲、自动组焊、一次成型及线形自动监控装置和方法，取代了传统钢管拱加工以直代曲的工艺，线形精度控制更高，提高工效 50% 以上，降低制造成本 20% 以上；

2. 本项目自主研制的深切斜交峡谷环境下具有行走及角度纠偏功能的大型构件旋转式轨道运梁装置及方法，解决了高深、险峻、深切峡谷钢管拱安装过程中道路宽度及承载力受限、构件运输设备受限、姿态调整受限的难题，降低了吊装的安全风险，提高工效 50% 以上；

3. 本项目发明了一种大直径钢管定位组装焊接装置和方法，通过管内新型焊接自动跟踪、纠偏、焊剂回收等装置替代了手工焊接工艺，避免了人为因素对焊接质量和外观难以保证以及定制内外焊设备利用率不高的问题。

（二）存在问题

1. 设计阶段

设计智能化程度有限：虽然有一些智能设计工具和算法，但在复杂的钢管拱桥结构设计中，仍然需要

大量的人工干预和经验判断。例如，对于拱肋的形状优化、节点设计等关键环节，智能算法可能无法满足实际工程的需求，设计人员需要花费大量时间进行调整和验证。

2. 施工阶段

设备智能化水平不高：吊装设备精度不足：钢管拱桥的拱肋节段重量大、长度长，对吊装设备的精度和稳定性要求很高。但目前的吊装设备在智能化控制方面还存在不足，例如缆索起重机的定位精度、索力控制精度等还有待提高，可能导致拱肋节段的安装位置偏差和应力分布不均匀。

项目管理软件功能不完善：目前的施工项目管理软件在功能上还不能完全满足钢管拱桥项目的特殊需求，例如对拱肋节段的拼装顺序、索力调整、焊接工艺等关键施工环节的管理和控制还不够精细，无法实现对施工过程的全面、实时监控和管理。

3. 发展展望

钢管拱桥项目智能建造未来可期，在设计、施工和运维方面有着明确的努力方向和广阔的发展展望。

在设计方面，深化数字化设计，研发参数化与智能化设计软件，完善多学科协同设计平台。利用大数据分析辅助设计决策，借助人工智能驱动设计创新，融入可持续设计理念，采用绿色材料并注重节能设计。

施工方面，升级智能施工设备与技术，研发高精度施工装备，拓展施工机器人应用，改进智能监测技术。建立数字化施工管理平台，模拟优化施工过程，发展装配式施工技术，实现预制构件标准化与智能化生产并推广装配式施工。

运维方面，建立智能化监测与评估系统，融合多源数据监测，利用人工智能评估桥梁健康状况。发展智能维护与修复技术，应用智能巡检机器人，开发自动化修复技术，制定预防性维护策略。通过这些努力，钢管拱桥项目智能建造将不断提升效率、质量与安全性，为交通基础设施建设带来新的突破。

中绿电乌鲁木齐市米东区 350 万千瓦光伏项目 配套设施

北京宝华国际钢结构有限公司



一、项目简介

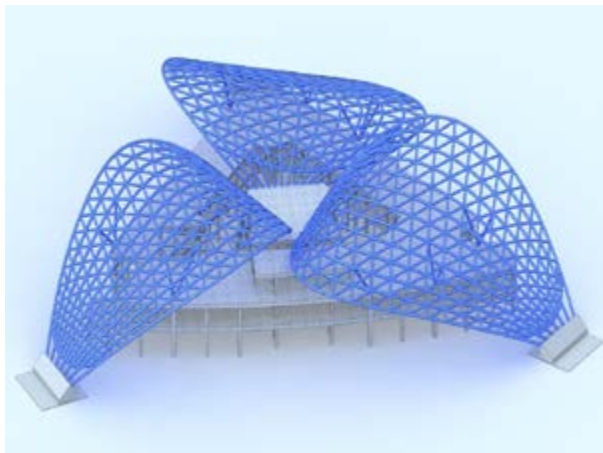
1. 项目背景

本工程拟建场址位于准噶尔盆地内古尔班通古特沙漠区地貌段，属于公共综合建筑，建筑面积 6330.19 m²，其中地下建筑面积 403.33 m²，地上建筑面积 5926.86 m²。建设单位是乌鲁木齐市中绿电新能源有限公司，总承包单位是中建八局总承包建设有限公司。

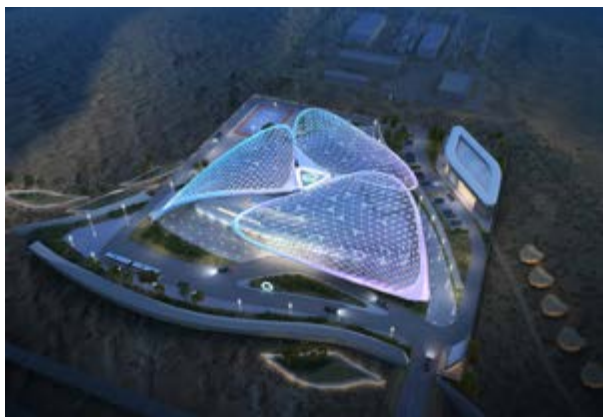
2. 工程概况

我公司承建的主体结构外面的钢网壳部分，钢网壳位于 1# 楼上空屋盖，由三片叶片组成，叶片在平面上呈品字形分布，三个叶片的结构相同。叶片屋盖采用空间相交平面钢管网壳结构体系，网壳节点采用钢管之间直接相贯的焊接节点，网壳镂空，无屋面板，网壳叶片最大结构高度约 23m。网壳下方的主体为钢筋混凝土框架结构，叶片下拱脚为三个相对独立的筏板基础，叶片上拱脚则埋入屋顶的混凝土支墩内，每个叶片均设有树形柱，落在混凝土结构上。

表 1.2.1-1 结构轴测图



结构整体轴测图



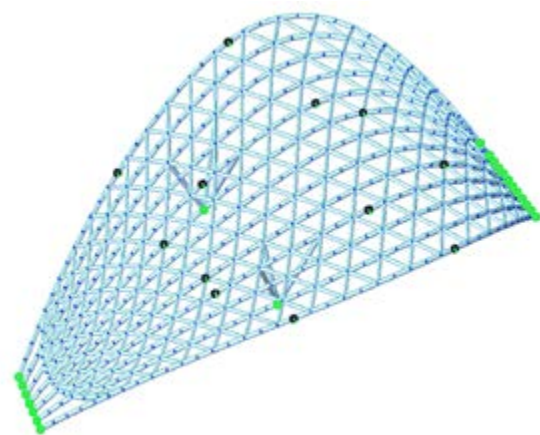
效果图

二、项目特点

1. 叶片施工模拟

本工程为空间钢网壳结构，空间结构复杂，长向跨度 50m，超过 36m，安装工程属于超过一定规模的危险性较大的分部分项工程。因此为了更加专业、快速的进行施工安装，我们在编制施工方案时首先应用了 ANSYS 有限元程序仿真分析软件，对每片网壳叶片进行了拼接安装模拟和位移应力分析，又对胎架、主体结构楼层等的承载力分别计算以确保满足安装需求。

以叶片一为例，本次计算为叶片一安装施工模拟。施工模型如下图所示。



整体模型

计算条件：

材料：Q355。

截面：详见施工图。

荷载：自重系数取 1.0。

支座：各临时支撑点只约束竖向约束；永久支座为刚接。

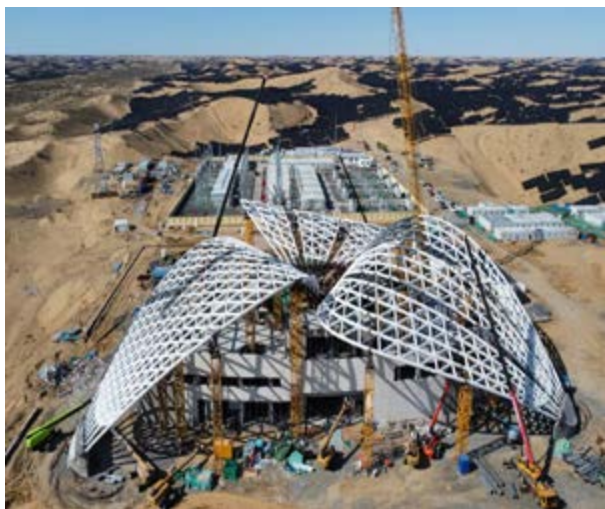
安装主要思路：安装完成网壳后再安装斜柱，卸载时，先行卸载主体结构上方胎架，再卸载其他部分胎架，卸载顺序总体从中间往四周卸载。

计算结果表明，施工过程中最大应力为 86.1MPa，应力小于 Q355 许用应力 295MPa，处于弹性变形阶段，满足要求。结构完成时，最大位移为 42.8mm，位于结构中部位置，挠跨比为 1/630<1/400，最大应力为 63.4MPa，满足要求。

2. 叶片加工拼接

叶片结构主要由斜柱、主管、支管组成，杆件均为圆管，截面规格 $\phi 450 \times 8$ 、 $\phi 500 \times 25$ 、 $\phi 450 \times 20$ 、 $\phi 550 \times 10$ 、 $\phi 550 \times 22$ ，材质均为 Q355C。这些构件

在加工厂加工的过程中均采用了自动化切割、自动化焊接等智能加工方式加工完成，大大提升了叶片结构



拼接的准确性和快速性。



现场施工图

三、项目成效

目前，该项目钢结构部分已经竣工验收，虽然沙漠地貌对施工造成了一些影响，但项目仍保质保量完成，施工质量收到总包和业主单位的一致好评。

四、总结展望

在本项目钢网壳加工和安装的过程中，可以看到通过运用智能化设计、智能制造等科技手段，一是可以提高生产效率，使我们生产企业可以更加高效地完成产品生产，减少制造过程中的资源浪费，达到降低生产成本和提高生产效率的目的；二是增加施工的准确性和有效性，运用一些智能化计算软件，能够对整个项目的施工有一个初步的控制和预演，使施工设计更加科学和安全。

尽管如此，对于我们来说，公司在项目智能化方面仍存在很多不足，比如缺少钢结构智能化设计人才、工人智能化设备操作水平有限、企业资金有限导致智能化设备并不齐全等等。

但是，建筑智能建造是目前整个建筑业的主流趋势，我们只有努力克服现有的问题，提升企业在各方面的智能化装备，才能市场中抢占先机，更好的迎接更多的机遇和挑战。

琉璃河镇平各庄村集租房（集中医学观察点）项目

北京市住宅产业化集团股份有限公司



一、项目简介

项目总概况：房山区琉璃河镇平各庄项目总占地面积约 7.4 万平米，总建筑面积约 15.33 万平米，其中非机动车总停车数 2185 个，机动车总停车数 649 个。项目共分为南北两区，其中南区总建筑面积 9.06 万平米，北区总建筑面积 6.27 万平米。

本工程南区共 14 栋建筑，其中包括：A01#-A12# 栋楼钢结构体系集租房，共 2330 户。地上 5 层，地下 1 层；2 栋框架结构体系配电室，地上 1 层，地下 1 层。

北区概况：共 7 栋建筑，其中 5 栋保租房（共 396 户），1 栋开闭站、1 栋公共建筑。实验楼：B01# 楼钢结构混合体系，地上 5 层，地下 1 层；实验楼 B02# 楼钢结构挂板体系，地上 5 层，地下 1 层；B03#、B04#、B05# 三个保租房钢结构挂板体系，地上 4 层，地下 3 层（地下 1 层自行车车库，地下 2、3 汽车库）；家园中心现浇框架结构体系，地上 3 层，地下 1 层汽车库；开闭站框架结构体系，地上 1 层，地下 1 层。

二、项目特点

（一）项目智能化设计（主要介绍钢结构智能化设计或 BIM 应用）。

1、基于云服务的一体化三维协同设计

基于平台化设计软件，统一各专业设计版本和深度，明确各专业设计协同流程、准则和专业接口，实现协同设计和信息共享。基于支持跨区域，构件级别的实时协同设计（建模）系统，实现“全员、全专业、全流程”BIM 技术应用。

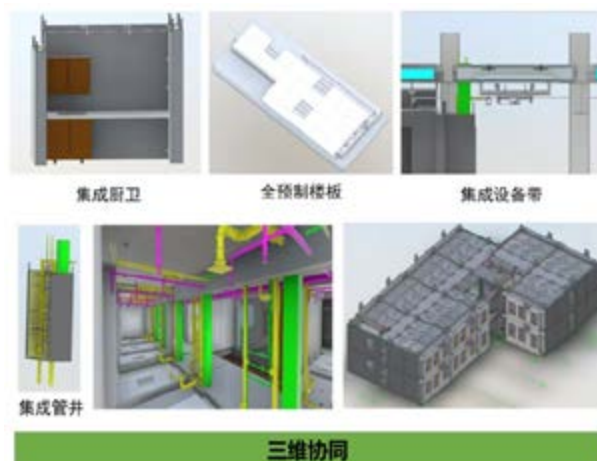


图 1 BIM 全流程设计

2、人工智能辅助设计

探索使用 AI 人工智能辅助设计，开展建筑设计方案智能比选及地库机房选址位置优化、管线排布统筹、智能复核计算等工作，提高设计效率。



图 2 人工智能辅助设计

3、标准化设计

项目设计过程中，建筑户型采取标准化单元模块，建筑户型的开间 X 进深是一个标准化单元，然后沿长度方向延展，形成一字形、L 字形、U 字形建筑。

前期建筑的标准化策划，在后期结构设计过程中，形成了主体结构标准化，同时形成钢结构构件的标准化，相同类型的构件可以在不同楼栋之间替换利用。

4、预制构件数字化正向设计

针对集团首创纵肋叠合混凝土剪力墙结构体系及设计关键技术，提出基于 Revit 平台的纵肋剪力墙结构墙板构件深化设计解决方案，开发“纵肋叠合剪力墙设计软件”，促进 EPC 项目 BIM 技术落地实施，提升深化设计效率，降低产品差错率。

软件主要创新功能包含：1、墙板拆分优化；2、异型墙板配筋；3、墙板便捷出图；4、标准化、参数化构件模型库。

软件突破了剪力墙结构异型墙板设计难题，扩展了传统模型库范围，促进纵肋剪力墙加工图标准化，进而促进纵肋剪力墙构件标准化，降低在预制构件深

化设计和生产过程中因非标准化问题造成的错漏碰缺等问题，实现 BIM 技术在设计、生产、施工环节一体化应用。

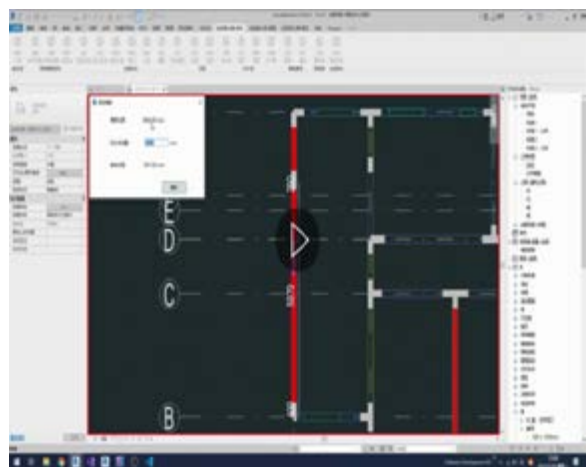
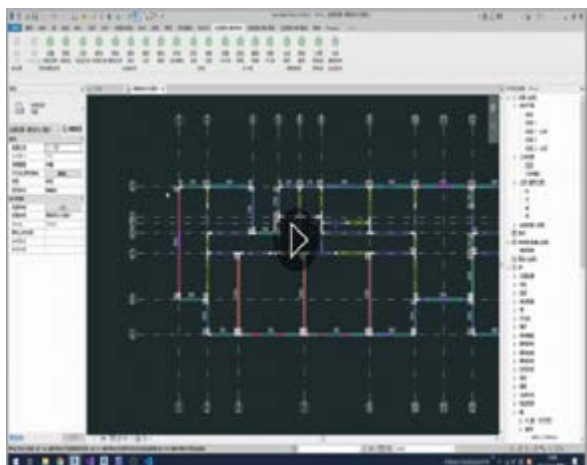


图 6 预制构件拆分

通过 BIM 建模，将各构件的三视图、透视图及各预埋孔位、预埋件进行分析，墙板配筋构件出图，为高效生产创造条件。

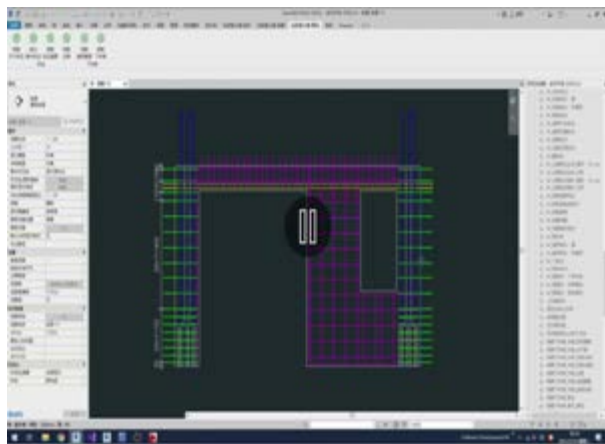
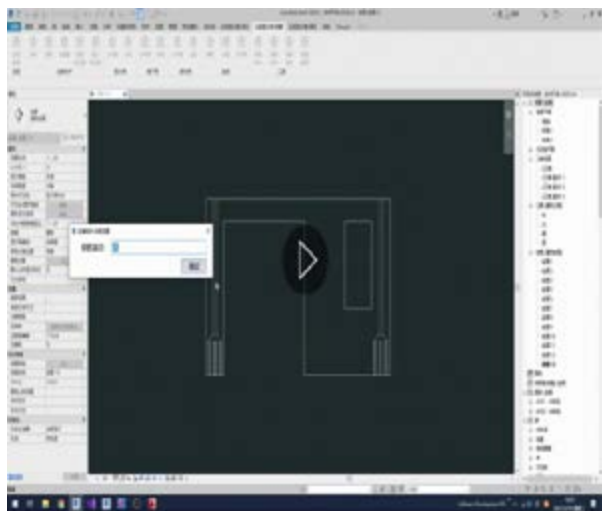


图 7 墙板配筋构件出图

软件对预制构件内部、预制构件之间进行碰撞检查，可以避免传统二维设计中不易察觉的“错漏碰缺”，对复杂部位和关键施工节点进行论证，保证施工的可行性，实现节点优化。

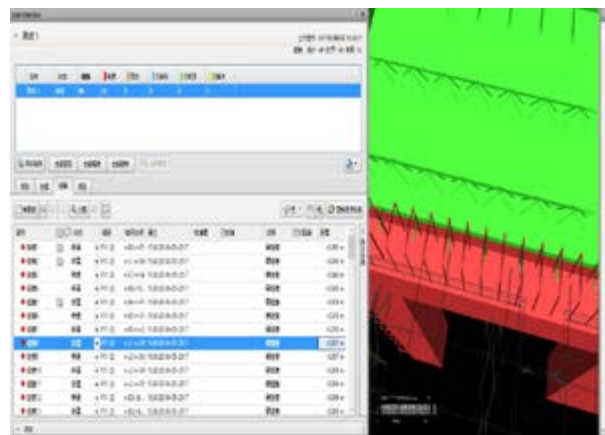
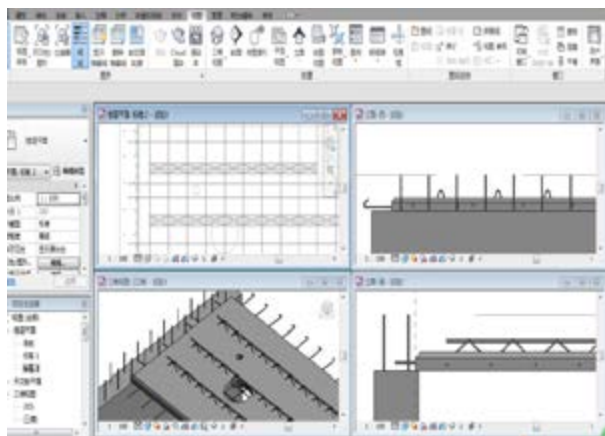


图 8 碰撞检查与节点优化

针对纵肋剪力墙结构常用钢筋形状、节点做法，制作构件库，并通过实际工程验证，总结形成标准化、参数化纵肋剪力墙结构构件库。

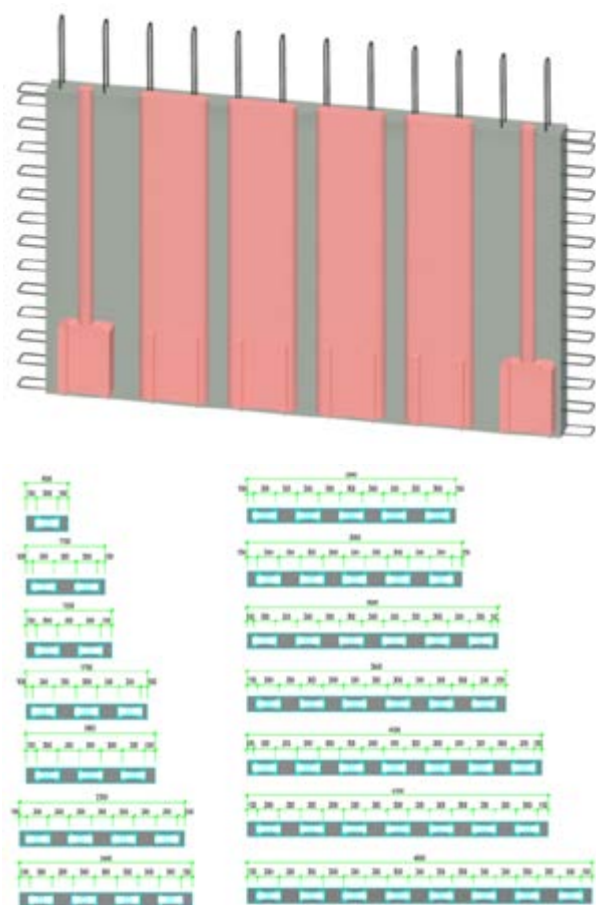


图 9 标准化空腔模型及墙板标准化、系列化

基于 BIM 模型提取物料清单，借助 RFID 芯片及 PCIS 管理系统，串联装配式建筑设计、生产数据流，通过一体化建造平台进行跟踪协调，满足装配式建筑信息化有序管理。



图 10 预制构件生产数据联通共享

5、钢结构深化设计

钢结构深化采用 tekla 软件进行深化设计，钢结构深化在初步设计阶段提前介入，待钢结构初步方案出来，开始进行深化，随着初步设计阶段转入施工图设计阶段，深化模型已基本完善，避免深化设计的反复确认，节约了设计时间，满足了项目进度要求。

(二) 项目智能建造的创新、亮点

钢构件数字化设计，简单化施工。由于钢结构工程专业性强，构件深化图纸多，在安装过程中来回查阅图纸较为繁琐，且施工班组自身识图能力有限，个别施工人员不懂识图。为了提高现场安装效率，提升钢结构安装质量。项目部在钢结构深化阶段开始介入，要求对每个钢构件进行编码设计，同时简化一版安装施工图，以便现场安装及后续检查。

钢构件编码命名规则：钢柱编码 5-2-3-GKZ1 则为 5 号楼 2 节柱第 3 颗柱 GKZ1；钢梁编码 5-2-5-GKL1 (3、6) 则为 5 号楼二层第 5 根梁对应编号 3、6 号柱子。

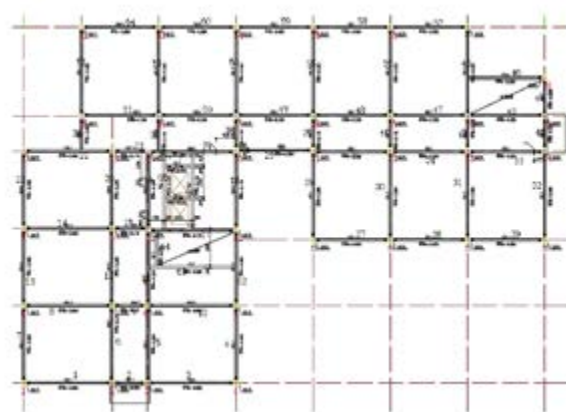


图 18 钢构件编码图

通过对钢构件编码设计，加工厂根据现场安装顺序装车来料，加快了现场安装效率，而现场安装班组根据钢构件编码能够快速找到对应的钢构件，避免因识图能力有限出现安装错误。同时在检查验收过程中能够快速核对现场钢构件的准确性，提升钢结构安装质量。

三、项目成效

(一) 企业效益

1、提高生产效率

通过采用自动化生产线和机器人焊接技术，钢构件的生产速度大幅提高。相比传统的人工生产方式，智能焊接可以实现 24 小时不间断生产，大大缩短了项目工期。

智能化的生产管理系统能够实时监控生产进度和质量，及时发现和解决问题，避免了因人为因素导致的生产延误。

2、提升产品质量

智能焊接技术可以实现高精度的加工和焊接，确保钢结构的尺寸精度和焊接质量。例如，采用激光切割和数控加工技术，可以将钢结构的尺寸误差控制在

极小范围内。

智能化的质量检测系统能够对钢结构进行全面的检测和评估，及时发现潜在的质量问题，提高产品的合格率。

3、降低成本

自动化生产和智能化管理可以减少人工成本和材料浪费。机器人焊接技术可以提高焊接效率，减少焊接材料的使用量。同时，智能化的生产管理系统可以优化生产流程，降低生产成本。

智能建造技术还可以提高钢结构的使用寿命和安全性，减少后期的维护和维修成本。

4、增强安全性

智能焊接技术可以减少工人在危险环境下的作业时间，降低安全事故的发生概率。例如，采用机器人焊接技术可以避免工人在高温、高辐射的环境下作业。

(二) 社会效益

1、节能环保

能源利用率高：半自动埋弧焊的电弧在焊剂层下燃烧，热量集中，能源利用率高，相比传统的焊接方法可以节约能源。

焊剂可回收利用：半自动埋弧焊使用的焊剂可以回收利用，减少了焊剂的浪费，降低了生产成本，同时也减少了对环境的污染。

2、用户、专家或者第三方评价机构等对项目的评价，包括但不限于项目所获得省部级质量奖、科技奖、创新奖、专利、标准或工法等。

成果 1：中国钢结构协会科学技术进步奖一等奖
成果 2：使用新型专利 1 项

成果 3：发表核心论文 1 篇

成果 4：取得企业级工法 1 项

(三) 借鉴意义

1、半自动电渣焊可以实现厚板的高质量焊接，焊缝质量稳定，强度高，能够满足大型钢结构工程的要求。

2、半自动火焰切割下料可以保证钢材的尺寸精度和切割质量，减少了后续加工的工作量。

3、半自动埋弧焊可以实现长焊缝的高效率、高质量焊接，焊缝外观美观，内部质量可靠。

4、钢结构安装数字化设计，提高现场安装效率，减少因施工人员识图能力有限出现错误。同时提高验收效率，提升整体安装质量。

四、总结展望

(一) 有益经验

技术创新：通过不断探索和实践，在半自动电渣焊、半自动火焰切割下料、半自动埋弧焊等技术方面取得了一定的创新成果，提高了焊接质量和切割精度。

工艺优化：对焊接和切割工艺进行了优化，提高了生产效率，降低了生产成本。例如，合理调整焊接参数和切割速度，减少了焊接缺陷和切割损耗。

人员培训：加强了对操作人员的培训，提高了他们的技术水平和操作技能，保证了生产过程的稳定和质量。

质量控制：建立了严格的质量控制体系，对每一个环节进行严格的检验和测试，确保钢构件的质量符合标准要求。

(二) 存在问题

设备稳定性：部分半自动设备在长时间运行过程中存在稳定性问题，需要加强设备的维护和保养，提高设备的可靠性。

技术瓶颈：在一些复杂结构的焊接和切割方面，还存在技术瓶颈，需要进一步加强技术研发和创新。

自动化程度：虽然采用了半自动设备，但整体自动化程度还有待提高，需要进一步引入先进的自动化技术，提高生产效率和质量。

安全管理：在焊接和切割过程中，存在一定的安全风险，需要加强安全管理，提高操作人员的安全意识。

钢构件数字化设计，对于构建命名随意性较大。未结合吊装方案进行。

(三) 发展展望

技术升级：加大对技术研发的投入，不断升级和改进半自动电渣焊、半自动火焰切割下料、半自动埋弧焊等技术，提高焊接质量和切割精度，突破技术瓶颈。

自动化提升：进一步提高钢构件制造的自动化程度，引入机器人焊接、自动化切割等先进技术，提高生产效率和质量，降低劳动强度。

智能管理：建立智能化的生产管理系统，实现对生产过程的实时监控和管理，提高生产效率和质量，降低成本。

人才培养：加强对专业技术人才的培养，提高他们的技术水平和创新能力，为钢构件智能制造的发展提供人才支持。

今日的辉煌 从黎明开始

全自动C/Z互换

- ✓ 世界首创，C/Z一键换型
- ✓ C/Z换型装置获得国家实用新型专利
- ✓ 实现全自动、无极、快速C/Z换型
- ✓ 合理的硬件配置，大大增加了设备的稳定性
- ✓ 西门子系列控制系统为设备高精度高效运行提供保障



厦门正黎明冶金机械有限公司
厦门黎明机械有限公司



公司微信公众号



手机网站地址

邮箱: sell_cn@xmiming.com
网站: <http://www.xmliming.com>
电话: 0592-6385802 转410
传真: 0592-6385810 6770905
地址: 厦门市同安区圳南二路187#