

智慧工地建设的探索与实践

胡海燕

(重钢西昌矿业有限公司,四川 西昌 615041)

摘要:随着新型城镇化建设逐渐成熟,建筑业发展趋势从高速发展转化为高质量发展,传统的施工管理模式急需变革以适应新的发展需求,为了提升工程建设管理,数字技术与工程建造的融合显得至关重要。文章以某矿山建设工程为例,对智慧工地建设进行探索和研究,结合信息化技术在施工管理中的创新应用,以智慧云平台为中心,建立智慧云平台-传输网络-智慧工地子系统的网络架构,对工程施工进行适时全面全过程管控,并在安全、质量、效率等方面与传统管理模式进行了对比分析。研究表明:智慧工地的管理模式,特别是人员实名制管理、智慧安全在工程施工中的创新应用,大大提高了工程管理的效率和安全性,可为今后工程建设管理创新提供一些参考。

关键词:智慧工地; 智慧云平台; 监控子系统; 减员; 增效; 安全

中图分类号:TU71

文献标志码:A

文章编号:1673-8993(2025)10-0094-07

doi:10.13402/j.gcjs.2025.10.131

Exploration and practice of the construction of smart construction sites

HU Haiyan

(Chongqing Iron and Steel Xichang Mining Co., Ltd., Xichang 615041, Sichuan, China)

Abstract: As the construction of new urbanization gradually matures, the development trend of the construction industry is shifting from rapid growth to high-quality development. The traditional construction management model urgently needs transformation to adapt to this evolution. To enhance engineering construction management, the integration of digital technology and engineering construction has become crucial. Taking a mining construction project as an example, this paper explores and studies the development of smart construction sites. By incorporating innovative applications of information technology in construction management and centering on a smart cloud platform, a network architecture consisting of the smart cloud platform, transmission network, and smart construction site subsystems is established. This enables comprehensive, real-time, and whole-process control of the construction project. A comparative analysis with traditional management models is conducted in terms of safety, quality, and efficiency. The research demonstrates that the management model of smart construction sites, particularly the innovative application of real-name personnel management and smart safety in engineering construction, significantly improves the efficiency and safety of project management. The findings are expected to provide insights and references for future innovations in engineering construction management.

Key words: smart construction site; smart cloud platform; monitoring subsystem; staff reduction; efficiency enhancement; safety

近年来,高速发展的建筑业逐渐成为国民经济的支柱产业。随着新型城镇化建设逐渐成熟,建筑业发展趋势从高速发展转化为高质量发展,住建部《“十四五”建筑业发展规划》提出建筑业

化、数字化、智能化。传统的施工管理模式逐渐暴露出诸多问题,集中体现在管理粗放、生产率低、高耗能高排放、安全风险高等方面,建筑业高质量发展面临安全风险高、资源浪费大、协同

收稿日期:2025-05-28

作者简介:胡海燕(1972—),女,高级工程师,从事建设工程管理方面的研究。

效率低等瓶颈问题。随着信息技术的飞速发展，智慧化管理模式应运而生，为解决这些难题提供了可靠的技术支撑。近年来，数字化、智能化模式在各行各业被广泛应用并带动行业飞速发展，在这一背景下，“互联网+”、“大数据”带动智能建造成为建筑业绿色低碳转型发展的必要手段，智慧工地逐渐出现并迅速发展。建造领域通过BIM技术、物联网等信息技术与先进建造技术深度融合，实现信息化技术与生产过程深度融合，提高现场协同工作能力和管理者决策能力。

本文以某矿山建设工程为例，对智慧工地建设进行探索和研究，结合信息化技术在施工管理中的创新应用，以智慧云平台为中心，建立智慧云平台-传输网络-智慧工地子系统的网络架构，对工程施工进行适时全面全过程管控，并在安全、质量、效率等方面与传统管理模式进行对比分析，以期可为今后工程建设管理创新提供参考。

1 建设网络架构

1.1 设计思路

智慧工地建设，是以智慧云平台为中心，建立智慧云平台-传输网络-智慧工地子系统的网络架构。通过对智慧工地系统进行建设，能够为项目现场工程管理提供先进技术手段，构建工地智能监控和控制体系，能有效弥补传统方法和技术在监管中的缺陷，实现对人、机、料、法、环的全方位实时监控，变被动“监督”为主动“监控”。同时将VR技术引入施工安全教育中，真正体现“安全第一、预防为主、综合治理”的安全生产方针。系统采用四层技术支撑体系，如图1所示。

项目智慧工地的规划设计遵循“合理投资、设计一步到位、立足现在、适度超前”的指导思想，以实现系统的“科学性、合理性、先进性、实用性、可靠性、开放性、经济性、可维护性、可扩展性”为设计原则，不仅考虑施工期，还要考虑工程结束后设备迁移和重复再利用，为建筑企业节约成本。

1.2 网络架构

智慧工地网络架构包括智慧云平台、传输网络、智慧工地子系统3个板块，其中智慧云平台

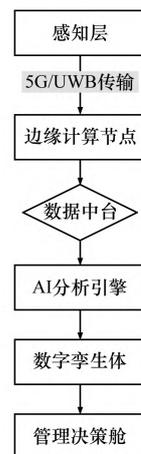


图1 四层技术支撑体系

是系统数据处理中心，智慧工地子系统，传输网络可利用工地所属区域的中国移动/电信/联通网络。工地前端各个子系统通过互联网将实时数据上传至云平台云端服务器，施工企业管理人员在手机端安装APP或者在电脑上打开网页即可通过云平台对项目进行管理。智慧工地网络架构如图2所示。

1.3 板块功能

1.3.1 智慧工地云平台

智慧工地云平台作为整个智慧化管理体系的核心枢纽，采用云端服务器架构，这一架构具有诸多优势。在传统的管理模式下，企业若要搭建管理系统，需要投入大量资金和人力来配置服务器和安装客户端，且后期维护成本高昂。而采用云端服务，大大简化了用户的操作流程。所有前端施工项目子系统都接入因特网，通过网络将数据上传至云端服务器。企业管理用户只需凭用户名和密码，登录电脑网页或者下载手机APP，即可随时随地使用该系统，不受地域和设备的限制。

智慧工地云平台系统具备丰富且实用的功能，涵盖组织及用户管理、工程信息维护、项目总览、项目生产、项目安全五大主要功能模块。这些功能模块并非孤立存在，而是相互关联、协同工作，共同为项目管理提供有力支持。通过组织及用户管理功能，能够对参与项目的不同人员进行清晰的权限划分，确保每个用户只能访问和操作其权限范围内的功能和数据，保障了系统的安全性和数据的保密性。工程信息维护功能则方便项目管理人员随时更新和完善工程的基本信息、施工进

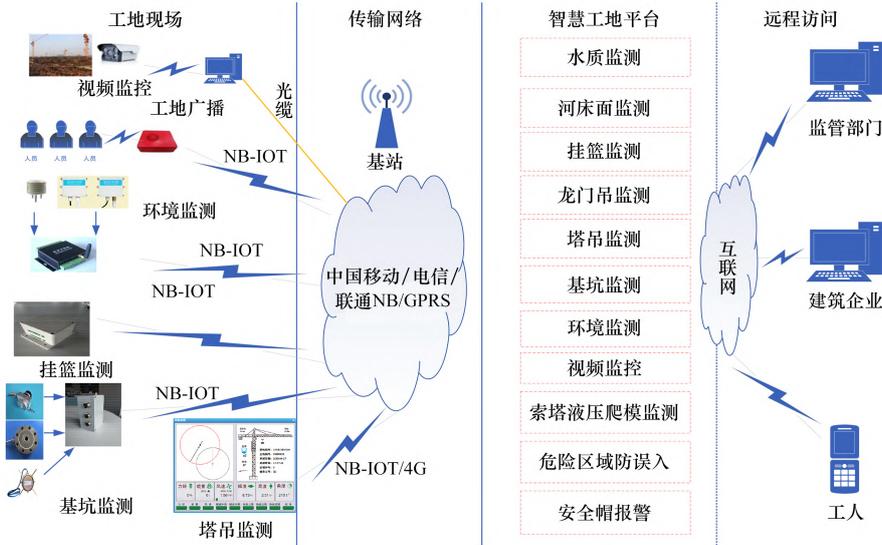


图 2 智慧工地网络架构示意

度计划、技术参数等内容，为项目的顺利推进提供准确的数据基础。

1.3.2 智慧工地子系统

智慧工地子系统，主要包括以下子系统：人员实名制管理子系统、视频监控子系统、环境监测子系统、车辆管理子系统、智慧安全管控子系统、动态进度管理子系统、物料智能追踪子系统、绿色施工管理子系统等，实际工作中根据工地具体情况，结合已知的各项目特点和需求方的功能需求，按照实用、经济的原则因地制宜确定具体建设哪些子系统。

1.3.3 传输网络

传输网络可利用工地所属区域的中国移动/电信/联通网络(图 3)。工地前端各个子系统通过互联网将实时数据上传至云平台云端服务器。企业

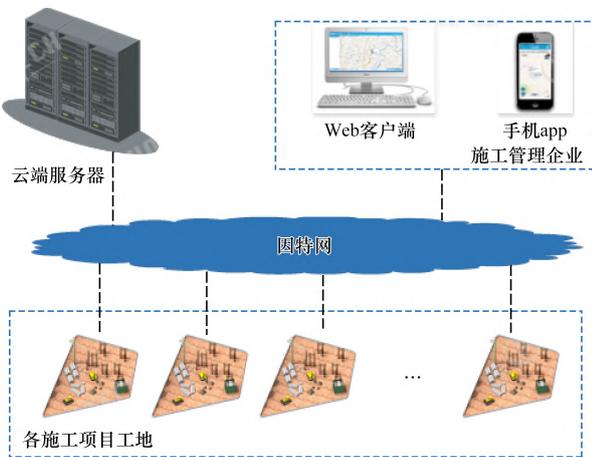


图 3 传输网络

管理用户通过登录电脑网页或者下载手机 app 实现对云平台的使用和前端各子系统的控制。采用云端服务的方式，可以简化用户的操作，不必配置服务器和安装客户端，只要有用户名和密码，在任何地点都可使用该系统。

2 管理流程重塑：从经验驱动到数据驱动

2.1 ADIC 管理模型创新

智慧工地的管理模式采用 ADIC 管理模型(图 4)，是一种深度融合信息技术与建造流程的现代化管理模式。它以数字化感知(A)为基础，依托数据智能分析进行决策(D)，通过流程化、智能化手段推动执行闭环(I)，并持续进行效果评估与优化改进(C)。核心目标是利用科技手段实现工地的可视化、可量化、可控化、可优化，最终达到提升安全、保障质量、优化进度、控制成本、绿色建造的目的。应用于智慧工地的管理，能够更好的实现管理的高效化目标，具备以下鲜明特点。

(1) 数据驱动、闭环管理：强调从感知到决策、执行、反馈的完整闭环，数据贯穿始终。

(2) 实时性与动态性：依靠 IOT 和 AI 实现信息的实时获取、分析、响应。

(3) 主动预防性：通过 AI 和大数据分析预测风险，提前干预。

(4) 协同与穿透式管理：打破信息壁垒，实现各参与方(建设、施工、监理)以及管理层级

(总部-项目-班组-工人)的协同与信息互通。

(5) 流程显性化与可追溯：管理动作电子化留痕，所有问题和处理过程可追溯。

(6) 知识沉淀与进化：系统本身通过学习不断进化，提升管理能力。

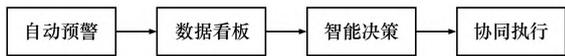


图 4 ADIC 管理模型示意

2.2 核心业务场景重构实践

2.2.1 智慧工地云平台

智慧工地云平台作为整个智慧化管理体系的核心枢纽，项目总览功能犹如一个全景仪表盘，让项目负责人能够在一个界面上快速了解整个项目的概况，包括各个子系统的运行状态、施工进度的整体情况、资源的配置状况等。项目生产功能聚焦于施工生产过程中的各项关键指标和任务，如施工设备的运行效率、材料的消耗情况、生产进度的实时跟踪等，为优化生产流程、提高生产效率提供数据依据。项目安全功能则重点关注施工现场的安全隐患排查、安全措施落实情况等，通过对安全数据的实时监测和分析，及时发现并预警安全风险，保障施工人员的生命安全。

智慧工地监管平台中的进度管理模块更是一大亮点。在项目执行和控制过程中，进度管理以项目进度计划为基准，对项目进度进行全方位、动态的跟踪。它重点关注关键工序，因为关键工序的进度直接影响着整个项目的工期。通过收集有关实际进度的信息，将其与计划进度进行细致的比较和分析，能够及时发现两者之间的偏差。

借助 BIM 模型与进度信息的深度融合，以模型漫游的形式进行展示，这种可视化的展示方式使工程管理人员能够更加直观地了解项目的实际进度情况。在模型漫游过程中，管理人员仿佛置身于施工现场，可以清晰地看到各个施工区域的进展情况，以及不同工序之间的衔接关系。此外，平台还通过多种数据图形控件进行形象进度展示和统计，如甘特图、柱状图等。这些图表以直观的方式呈现项目进度的各项数据，为工程管理人员提供了更为直观、准确的工程进度分析依据，帮助他们及时做出决策，调整施工计划，确保项

目能够按时交付。

2.2.2 人员管理子系统

智慧工地建设前，公司施工现场对施工人员及劳务工的管理主要依赖人工管理方式。人工考勤统计不仅耗费大量的人力和时间，而且由于人为因素的影响，经常出现考勤错漏的情况。例如，在手工记录考勤时，可能会因为字迹潦草导致信息难以辨认，或者在统计过程中出现数据错误。这些问题不仅影响了考勤数据的准确性，也给后续的工资结算、人员管理等工作带来了诸多不便，甚至引发劳务纠纷。

智慧工地建设后，采用了人员实名制管理子系统。在施工现场出入口搭建了双通道实名制人脸识别通道，这一举措彻底改变了人员管理的现状。实名制管理系统充分利用物联网技术，集成了各类智能终端设备，构建了一个综合信息化系统，实现了对建设项目现场劳务工人的高效管理。

该系统具备强大的功能，涵盖工人实名登记、安全教育、考勤管理、工资监管、现场管理以及各模块的统计分析等多个方面。在工人实名登记环节，通过智能终端设备采集工人的身份信息、照片、联系方式等，并将这些信息录入系统数据库，建立起完善的人员信息档案。安全教育模块则借助系统平台，为工人提供线上安全教育课程和培训资料，工人可以在闲暇时间自主学习，提高安全意识和操作技能。同时，系统还能够记录工人的学习进度和考核成绩，确保安全教育工作落到实处。

考勤管理方面，采用人脸识别技术，工人只需在上下班时刷脸打卡，系统便会自动记录考勤信息，杜绝了人工考勤可能出现的错漏问题。工资监管功能通过与银行系统的对接，实现了对工人工资发放的全程监控，确保工资按时、足额发放到工人手中，保障了劳务工人的合法权益。

此外，实名制系统还满足一体化管理平台与四川省住建厅劳务监管等平台的数据对接需求。通过与这些平台的数据共享，能够实现对项目经理、总监理工程师等关键岗位人员现场履职情况的在线监督。这意味着监管部门和企业管理层可以实时了解这些人员是否到岗、是否履行了相应

的职责,有效提高了项目管理的规范性和透明度。

以某矿山建设项目为例,在实施实名制管理系统后,根据施工现场封闭围挡的特点,采用劳务实名制闸机通道考勤模式,劳动管理效率得到了显著提升。综合管理部人事及报表人员因此减少了 2 人,不仅降低了人力成本,还提高了管理效率。同时,系统的应用保障了劳务工人与企业的合法利益,实现了双赢的局面。

2.2.3 视频监控子系统

视频监控系统是智慧工地建设的重要组成部分,它由前端感知设备、后台存储设备和传输设备三大部分构成。前端感知设备种类丰富,包括球型摄像机、枪型摄像机、鹰眼摄像机、全景摄像机等,不同类型的摄像机具有不同的功能特点,适用于不同的监控场景。

枪型摄像机具有固定的视角和焦距,适用于对特定区域进行清晰、细致的监控,如办公区、生活区出入口、过道、围挡、施工现场出入口等位置。在某矿山建设项目中,办公区设置 2 台枪机,生活区出入口 2 台枪机,过道处 4 台枪机,围挡 2 台枪机,施工现场出入口 4 台枪机,这些枪机的合理布局,实现了对人员活动频繁区域的有效监控。

球型摄像机则具有可旋转、变倍的功能,能够灵活调整监控视角和范围,适用于对较大区域进行全方位监控,如塔吊作业区域、矿石堆场等。项目中在 5 台塔吊上各安装 1 台球机,在矿石堆场设置 2 台球机,通过球型摄像机的监控,能够及时发现塔吊作业过程中的安全隐患以及堆场的物料堆放情况。

鹰眼摄像机和全景摄像机则具备更广的监控视野,能够对大面积区域进行宏观监控,为项目管理人员提供整体的监控画面。

后台存储设备主要负责对前端摄像机采集到的视频数据进行存储,网络硬盘录像机是常用的存储设备之一。它具有大容量的存储能力,能够长时间保存视频数据,方便后续查询和回放。传输设备则承担着将前端摄像机采集的数据传输至后台存储设备和其他系统平台的重要任务,包括光终端设备、交换机、物联网设备和无线传输设

备等。这些设备相互协作,确保视频数据能够稳定、快速地传输,不受距离和环境的限制。

在某矿山建设项目中,每一个作业点除了配备现场安全管控人员外,视频监控系统的覆盖范围广泛,涵盖了项目驻地、数控钢筋加工场、施工现场、临时堆土场等多个区域。针对周界、出入口、道路、人员聚集区、制高点、施工危险区域、堆料库房等重点部位,都进行了重点监控。摄像头采集的数据通过本地局域网传输至监控存储设备和其他系统平台。同时,借助 AI 视觉分析算法,系统能够对视频中存在的安全问题、异常行为、入侵行为等进行实时检测。一旦发现异常情况,服务平台会立即向管理人员发出提示信息。管理人员可以通过手机移动 APP 进行实时视频监控,无论身处何地,都能够及时查看施工现场的情况。通过对作业区的全面监控,实现了“无视频不作业”的管理目标。当发现违章行为时,管理人员可以通过 APP 及时制止纠正,有效提高了安全管理和技术管理效率。

2.2.4 环境监测子系统

在以往的建设工程施工过程中,环境监测一般采用人工取样送检,检测单位出具检测报告,公司人工上报环境监管部门,存在耗时耗力、人为误差、数据滞后等问题。因此环境监测子系统对于保障施工环境的安全和合规起着至关重要的作用。该系统在工地主出入口安装 1 台环境监测一体化设备,在硬件安装方面有着严格的要求。颗粒物采样口高度需设在距地面 $3.5\text{ m} \pm 0.5\text{ m}$,这一高度设置是经过科学研究和实践验证的,能够确保采集到的颗粒物数据具有代表性。同时,采样口四周必须无遮挡,以保证空气能够自由流通,避免因遮挡物影响采样的准确性。在设备投入使用前,需要进行全面的调试和测试工作,确保设备能够正常运行,数据能够准确采集并自动上传至智慧工地管理平台。经过调试和测试后,设备在现场 LED 屏幕上实时显示噪声、风速、PM2.5、PM10、湿度等环境信息,只有在验收合格后,设备才能正式投入使用。

环境监测系统主要由环境监控终端、数据监测及传输、服务器、监控管理软件、手机客户端

等组成。环境监控终端负责采集施工现场的各项环境数据，包括温度、湿度、PM2.5、PM10、风速、风向及噪音等指标。这些数据通过4G/5G网络上传至智慧工地管理平台，在后台进行实时监测。监控管理软件具备强大的数据处理功能，能够对上传的数据进行实时分析、存储和管理。它不仅具备数据查询、统计、报表输出、图表分析等多种功能，还能够根据预设的阈值对数据进行判断。当监测数据超标时，系统会自动发出预警信息，提醒管理人员及时采取措施进行处置。例如，当PM2.5或PM10浓度超标时，系统会立即通知管理人员，管理人员可以及时安排洒水降尘等措施，减少扬尘对环境的污染。

扬尘、噪声监测数据还可与政府监督管理平台连接，实现了数据的适时传输，接受政府的实时监督。这一举措不仅提高了数据的透明度，也减少了人工填报报表的工作量，大大提升了工作效率。通过与政府监督平台的对接，企业能够更加规范地进行施工，积极履行环境保护责任，为打造绿色工地奠定了坚实的基础。

2.2.5 高边坡、高挡墙、深基坑、高压塔架在线监测子系统

在某矿山建设项目，高边坡、高挡墙、深基坑、高压塔架等部位属于变形高风险区域，一旦发生变形失稳，可能会引发群死群伤的安全事故，造成不可估量的损失。因此，对这些部位进行实时在线监测至关重要。

该项目在高边坡顶、挡墙、深基坑、高压线塔架基础等重要设施高风险部位设置了在线监测点。通过采用无线倾角、无线位移、无线压力等传感器，实现了对位移、沉降等变形参数的自动采集和实时监测。这些传感器就像一个个敏锐的“电子眼”，能够实时捕捉到结构的细微变形，并将数据及时传输至监测系统(图5)。

以基坑监测系统为例，深基坑监测包含水平位移监测、深层水平位移监测、地表沉降监测、轴力监测等多个数据指标。这些指标从不同角度反映了基坑的稳定性状况。监测点数量和监测点在线数的设置经过科学计算和论证，确保能够全面、准确地监测基坑的变形情况。同时，系统还



图5 信息化监测与成果反馈示意

实时监控监测点的运行状态，采用无线倾角、无线位移、无线压力等传感器，自动采集、实时监测位移变化情况一旦发现某个监测点出现故障或数据异常，能够及时发出警报，提醒维护人员进行检修。监测到异常状况时系统向平台和相关负责人发出报警信号，第一时间掌握现场情况，及时进行整改、调整以及预判，起到预防安全事故的作用。

2024年6月，在线监测系统监测到3号挡墙位移出现异常。收到报警后，三方合署办公室高度重视，迅速组织人员进行紧急现场踏勘。经过详细的测量和分析，确认挡墙北段倾斜变形超过安全值。为了消除安全隐患，召集设计院制定纠偏加固方案。在各方的共同努力下，9月完成整改，成功消除了安全隐患，保障了工程的顺利进行和人员的生命安全。通过这种实时在线监测和预警机制，能够第一时间掌握现场情况，及时进行整改、调整以及预判，有效预防安全事故的发生，为工程建设的安全提供了可靠保障。

2.2.6 实践效果

通过项目实践，智慧工地在工程项目管理中充分发挥了经济实用、安全高效的管理优势，通过人员管理、视频监控、环境监测、设备管理、物资管理、进度管理、质量管理等智慧化系统的管理，项目的进度管理、物料管控、安全效率等方面都得到了明显提升，传统施工管理的弊端也得到了很大改善，劳动力数据人为误差大大降低，信息传输准确性实时性迅速提升，环境监测数据实时上传政府监督平台，重要结构安全保障大大提高。量化效益对比分析如表1所示。

表 1 量化效益对比

指标	实施前	实施后	改善幅度/%
万平米事故率	1.27 次	0.72 次	↓43
月进度偏差	9.3%	3.6%	↓61
混凝土损耗	4.8%	3.9%	↓18
协同响应速度	48 小时	8 小时	↑83

3 结 论

本文以某矿山建设工程为例,对智慧工地建设进行探索和研究,结合信息化技术在施工管理中的创新应用,建立智慧云平台网络架构,对工程施工进行适时全面全过程管控,并在安全、质量、效率等方面与传统管理模式进行了对比分析。研究得出适合大型建设项目的智慧工地管理模式,特别是人员实名制管理、智慧安全在工程施工中

的创新应用,大大提高了工程管理的效率 and 安全性。随着数字赋能的飞速发展,数字化智慧化在工程建设管理的应用前景将更加广阔,少人化、无人化施工,甚至智慧城市将不再是梦想。

参考文献:

- [1] 程炜. 智慧工地在项目安全管理中的应用与发展研究[J]. 中国科技投资. 2023(25):149-151.
- [2] 段玉洁,金睿,刘东海. 施工过程中智慧工地应用研究与实践[J]. 土木工程信息技术. 2022(6):92-97.
- [3] 李伟,王小斌,张硕英,等基于数字例会驱动的智慧工地落地应用研究[J]. 建筑经济. 2023(11):53-57.
- [4] 张鹏程,王岩飞. 推广智慧工地建设,推进工程管理精细化[J]. 中国建设信息化. 2024(3):30-35.

(上接第 93 页)

移比避免结构超限,屋顶大跨度屋盖采用钢梁+钢筋桁架楼承板。综合建筑室内效果、结构整体稳定性、用钢量和施工等因素采用了多种大跨屋盖结构方案,做到了结构设计安全、经济、适用和美观。

(3) 异形构件设计:遮阳板采用 8 mm 厚钢板焊接,内设多道纵向和横向加劲板,按悬挂结构设计,采用壳单元进行应力分析,分析结果表明构件承载力满足设计要求;半圆形柱廊钢柱采用椭圆柱,通过屈曲分析得到钢柱的计算长度系数,根据承载力和长细比限值要求确定钢柱的截面尺寸,实现了结构成就建筑之美。

(4) 楼盖舒适度:对大跨度楼盖进行了楼盖振动舒适度时程分析,结果表明展厅楼盖满足舒适度要求。

(5) 复杂节点设计:对空间桁架的支座节点进行节点有限元分析,节点承载力满足设计要求,节点连接安全可靠。

参考文献:

- [1] 赵建国,许瑞,张伟威,等. 天津国家会展中心结构设计综述[J]. 建筑科学,2020,36(9):27-35.
- [2] 周建龙,方义庆,包联进,等. 某大型会展中心大跨度楼盖结构体系比选[J]. 建筑结构,2013,43(增刊1):

1-5.

- [3] 刘彦生,刘培祥,周建龙,等. 上海国家会展中心 B1 展厅屋盖结构设计[J]. 建筑结构,2020,50(12):35-39.
- [4] 建筑地基基础设计规范:GB 5022—2008[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2011.
- [5] 建筑结构荷载规范:GB 50009—2012[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2012.
- [6] 建筑工程抗震设防分类标准:GB 5022—2008[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2008.
- [7] 何志力,黄用军,梁威,等. 深圳国际会展中心标准展厅结构设计[J]. 建筑结构,2020,50(2):9-13;24.
- [8] 樊钦鑫,孙亚琦,邹翔,等. 淮州新城国际会展中心复杂钢结构设计[J]. 建筑结构,2021,51(13):45-51.
- [9] 李丽,沈金,谢辽,等. 某会展中心展厅异形复杂大跨结构选型与设计[J]. 建筑结构,2023,53(20):14-19;97.
- [10] 陈宇,王四清,黄淳. 郴州市国际会展中心主体结构设计关键问题研究[J]. 建筑结构,2020,50(17):21-26.
- [11] 建筑楼盖结构振动舒适度技术标准:JGJ/T 441—2019[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2019.
- [12] 徐若天,李焱,包联进,等. 中国(杭州)国际快递会展中心结构设计[J]. 建筑结构,2023,53(20):450-454.
- [13] 龚灵力,阳波,李鹏,等. 长沙某大跨转换超限高层结构设计[J]. 建筑结构,2022,52(22):16-22;107.
- [14] 吴传侠. 鹰潭会展中心结构设计研究[J]. 建筑结构,2022,52(20):503-507.