

# 智慧工地在发电工程建设数字化管理中的应用

黄晶<sup>✉</sup>, 朱敏华, 李行义, 邓超怡

(中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司, 广东 广州 510663)

**摘要:** [目的]为实现发电工程建设期智能化精细化管理, 各类物联网设备已经开始替代传统作业方式, 智慧工地建设成为加快建造方式转型升级的突破口和着力点。[方法]从发电工程工地管理实际需求出发, 基于数字化技术与施工现场深度融合, 构建支撑施工现场管理、信息共享、互联协同、智能决策的智慧工地平台。[结果]该研究降低了工地安全风险, 提高了施工质量, 成为助力广东院工程项目在建造期高质量发展的重要路径。[结论]本研究实现由一个企业级智慧工地平台生成多个项目级智慧工地系统的快速衍生模式, 为多项目人员设备、安全、质量、进度等管理提供强有力的支持服务, 为类似工程的智慧工地建设提供一定的借鉴。

**关键词:** 智慧工地; 发电工程; 数字化; 建筑信息模型; 管理体系

中图分类号: TM611; TU71

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2023)S1-0117-06

开放科学(资源服务)二维码:



## Application of Intelligent Construction Site in the Digital Management of Power Generation Project Construction

HUANG Jing<sup>✉</sup>, ZHU Minhua, LI Xingyi, DENG Chaoyi

(China Energy Engineering Group Guangdong Electric Power Design Institute Co., Ltd., Guangzhou 510663, Guangdong, China)

**Abstract:** [Introduction] To achieve intelligent and refined management during the construction period of power generation projects, various types of Internet of Things (IoT) devices have been used to replace traditional operation methods, and the construction of intelligent construction sites has become a breakthrough and focus point for accelerating the transformation and upgrading of construction methods. [Method] To be geared to the actual needs of site management of power generation project projects, an intelligent construction site platform that supports construction site management, information sharing, interconnection and collaboration and intelligent decision-making was built based on the deep integration of digital technology and construction sites. [Result] The study reduces site safety risks, improves construction quality, and thus becomes an important path to boost the high-quality development of GEDI projects during the construction period. [Conclusion] This study realizes the rapid derivation model of generating multiple project-level intelligent construction site systems from one enterprise-level intelligent construction site platform and provides strong support services for the management of personnel, equipment, safety, quality and schedule of multiple projects as well as some reference for the construction of intelligent construction sites for similar projects.

**Key words:** intelligent construction site; power generation project; digital; BIM (Building Information Modeling); management system

2095-8676 © 2023 Energy China GEDI. Publishing services by Energy Observer Magazine Co., Ltd. on behalf of Energy China GEDI. This is an open access article under the CC BY-NC license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).

## 0 引言

随着数字化技术的不断发展和应用, 国家提出发展数字经济及推出各项数字化引领政策, 数字化技术在电力工程建设领域得到了推广和应用。在此背景下, 智慧工地建设和应用在工程建设阶段也得

到了广泛开展。政府监管部门通常是在全国建筑施工安全监管信息系统共享交换数据标准基础上, 运用5G技术、物联网技术等数字化管理手段补充完善对工程现场的监管<sup>[1]</sup>。利用建筑信息模型 (Building Information Modeling, BIM) 与智慧工地结合在设计过程中进行管线碰撞检测、超高层工程项目<sup>[2]</sup>

中工程量统计、内河航道整治工程<sup>[3]</sup>中施工模拟、桩基施工<sup>[4]</sup>中可视化技术交底、设备安全管理<sup>[5]</sup>等类型工程项目中均有应用,将设计阶段与施工阶段结合,在进度、安全、质量方面提供智能化、可视化的工具,显著提升各方协同<sup>[6]</sup>和现场精细化管理水平。本研究从大型发电工程项目建造期面临的人、机、法、环等环节出发,分析基于 GIS(地理信息系统, Geographic Information System)技术、BIM 技术、智能分析等发电工程智慧工地需求,为推进发电领域工程数字化管控提供借鉴。

## 1 项目概况

本项目为广州珠江 LNG 电厂二期工程(机组编号 3 号、4 号机组),建设 2×600 MW 级燃气-蒸汽联合循环机组,为国内首个 H 级联合循环机组,建成后可有效缓解广州中南部和南部区供电压力,提高广州市电力自给率,夯实区域低碳绿色发展的能源保障基础。工程采用 EPC 总承包模式,包含勘察设计、采购、施工、调试等,具有施工现场人员复杂、多点同时施工、管控难度大、安全环保压力大、质量安全标准高的特点。智慧工地对建设期工程实体数据收集、处理、管理和展示,通过智能化管控方式实现对工程实体管理的数字孪生,提升日常人员管理的规范性和建设过程安全管理的及时性,实现桩基础施工进度及高空吊装作业施工的可视性,直观展示项目全貌,创造管理价值和效益。

## 2 发电工程建造期数字化管理体系

广东院智慧工地数字化体系通过强化顶层设计、整合与共享数据,由项目级智慧工地功能模块和企业级智慧工地平台两部分组成。基于云原生的低代码 PaaS+SaaS 技术实现企业级和项目级智慧工地系统的双模式搭建,PaaS 为平台属企业级,SaaS 为服务属项目级。项目级智慧工地系统运用大数据、物联网、云计算、BIM 等信息技术与传统施工过程结合,实现工程管理中“人、机、法、环”等生产要素进行实时、全面、智能的监控和管理;企业级智慧工地系统建立一体化信息数据平台,为解决各类不同项目之间的业务壁垒与数据孤岛,在院内建立数据中心集中存储各个项目智慧工地系统的实时数据,无需到达工地现场,在院内通过一体化平台即可全局

可视化掌握各个项目施工现场的具体情况,为公司决策层和分支机构管理层提供一个更全面、便捷、高效监管多项目的形式,为决策层提供数据支持。

### 2.1 智慧工地平台研发

本研究包含开发企业级智慧工地平台和项目级智慧工地模块,可多项目复用。企业级平台主要是可对企业所属工程进行统一管理,并与数字政府进行对接。整体进行 BIM+GIS 技术整合应用,开展点云、倾斜摄影、全景摄像、机器视觉等方式的三维建模应用;建设全院数字工程地图,开展电厂建设、并网送出工程、大件设备运输过程、商混车运输过程等方面的数据;以及基于北斗的位置服务。平台层与我院自有的项目协同管理平台进行数据接口研发,使人员、机械、车辆信息,进度、质量、HSE 等数据互联互通。项目级智慧工地主要是集成各类所需的硬件设备和第三方服务,包含项目现场的视频监控、环境监测、人员车辆管理、桩基础管理、安全隐患管理及 AI 隐患识别、危大重大危险源实时监控预警、安全教育培训、设备管理、施工晴雨表、车辆冲洗、智慧安全帽和深基坑监测等。

### 2.2 智慧工地安全管理要素

表 1 列出了智慧工地安全要素,图 1 为其中的塔吊监测页面。通过对智慧工地的安全要素及指标分析,明确改进方向,精确制定、实施改正措施<sup>[7]</sup>。实现安全质量巡检及质量评定,通过 app 及时对检查发现的人员违章、施工机械及施工作业等安全隐患及违章行为、质量不合格项等进行考核及整改。根据工程重大危险源识别情况,将危险源录入系统,形成危险源清单,在系统中进行公示;根据施工进度,实时更新重大危险源实际状态,并自动提醒相关责任人落实管控措施;系统制定对应的监管任务,包含日常巡查、施工方案提交、监测数据上传等,并通过系统跟进重大危险源管控措施的落实情况。

### 2.3 发电工程进度可视化

在进度可视化管理中,目前常用基于 GIS 和 BIM<sup>[8-9]</sup>的可视化技术,不仅可以工程地理信息、人员及施工过程等管理信息相结合,进行更加直观的管理。结合设计模型,将传统工程报表信息转化成图表、影像等可视化动态界面,供管理方远程、直观地掌握工程现场进度。项目中以桩基础施工进度管理为应用场景如图 2,从二维、三维、报表三种形式展示桩基

表 1 智慧工地安全要素体系表

Tab. 1 Intelligent construction site safety element system table

一级指标	二级指标	描述
人员管理	劳务实名制	对接住建局施工实名制管控系统,及核查安全教育记录、违章信息、工种资质等进行准入判别,并联动门禁等物联网设备。
	安全带识别	对高空作业未佩戴安全带等行为进行识别。
机械设备管理	视频监控	接入政府建设工程监管一体化平台,需在工地车辆出入、人员出入、项目部会议室、工地施工活跃区、工地最高点、塔吊处、建筑物材料堆放处等位置安装视频监控设备,支持实时查看和监控。
	现场环境	通过监测设备,对施工现场的气象参数、扬尘参数、噪音、风速、风向、温度、湿度等进行监测与显示。
监测预警	深基坑监测	对接土压力盒、锚杆应力计、孔隙水压力计等自动化监测设备,接入其实时数据,实时监测基坑水平位移、顶部沉降、地下水位、支撑轴力、倾斜监测并直观展示检测状态。
	塔吊监测	指塔吊监测和吊钩可视化,针对施工中的吊钩进行作业动态监测,结合风速、幅度、倾角、载重、力矩传感器设备感应塔吊工作过程中的各项参数,判读是否符合标准,并报警提示;吊钩可视化指在塔吊吊臂处安装球形摄像机,360°监测吊臂工作范围内是否出现人员入侵。
	高支模监测	高支模监测结合压力、位移和倾斜度等传感设备,实时接入智慧工地系统,后台对数据进行分析判断,对监测指数越限的危险状态通过声光报警、短信发送传讯预警。



图 1 智慧工地-塔吊监测页面

Fig. 1 Monitoring interface of intelligent construction site and tower crane

础施工的进度信息,并通过系统和手机 APP 即可随时掌握进度信息,进行后续施工安排。



图 2 桩基础施工进度管理

Fig. 2 Construction schedule management of pile foundation

## 2.4 发电工程质量

在工程质量管理中,影响工程质量的几大因素主要是人、器械、物料、管理方法。基于 BIM 技术的可视化、模拟性、协调性以及优化性的特点,构建

涵盖工程质量问题评估标识<sup>[10]</sup>、评估、分析。相较于传统工程质量主要依靠人工审查,易出现疏漏,本研究从质量问题标识、质量节点控制、质量管理协同、质量问题关闭的角度,全面提升质量管理的精细化。设置 VR 教育培训,对重要施工节点、施工技术交底,保证工人正确理解操作方法,并形成交底台账,以保证工人技术水平质量。基于 BIM 可视化特性进行关键部位施工模拟,完善施工方案。接收我院协同系统下发的监管信息,移动端进行质量数据采集,并上报至智慧工地系统,确保设计、施工、监理方、业主多方协同监督质量事件的处理及处理结果的跟踪。通过手机 APP 查询人员、机具、部位施工信息;记录并发起安全、质量整改流程,记录形式包括:扫描人员、机具二维码,拍摄现场照片;现场复核并对整改事项,实现实时闭环。

## 3 系统设计与实现

本智慧工地平台采用 B/S 模式,利用微服务架构设计实现业务逻辑和功能的复用;数据架构采用分布式存储架构,实现数据的高并发和高扩展。

### 3.1 系统架构设计

智慧工地系统由数据采集层、基础设施层、数据层、业务应用层和用户层组成见图 3。

数据采集层:实现施工安全管理各类信息的收集,包括无线定位、视频感知、自动监测、智能移动

终端采集、传感设备等,具有身份识别、位置感知、图像感知、状态感知等能力。基础设施层:搭建起信息系统运行的软件、硬件、网络环境等基础设施。数据层:包括施工现场的基础数据、监管数据及其他数据,建立专门的共享数据库。业务应用层:由安全

管理系统各业务应用系统组成,包括安全可视化、现场人员管理、车辆、视频、施工机械、危大工程等。用户层:包括建设主管部门、质量安全监督站、建设单位、总包单位、施工单位和监理单位等相关业务人员以及系统管理员和数据维护人员等。

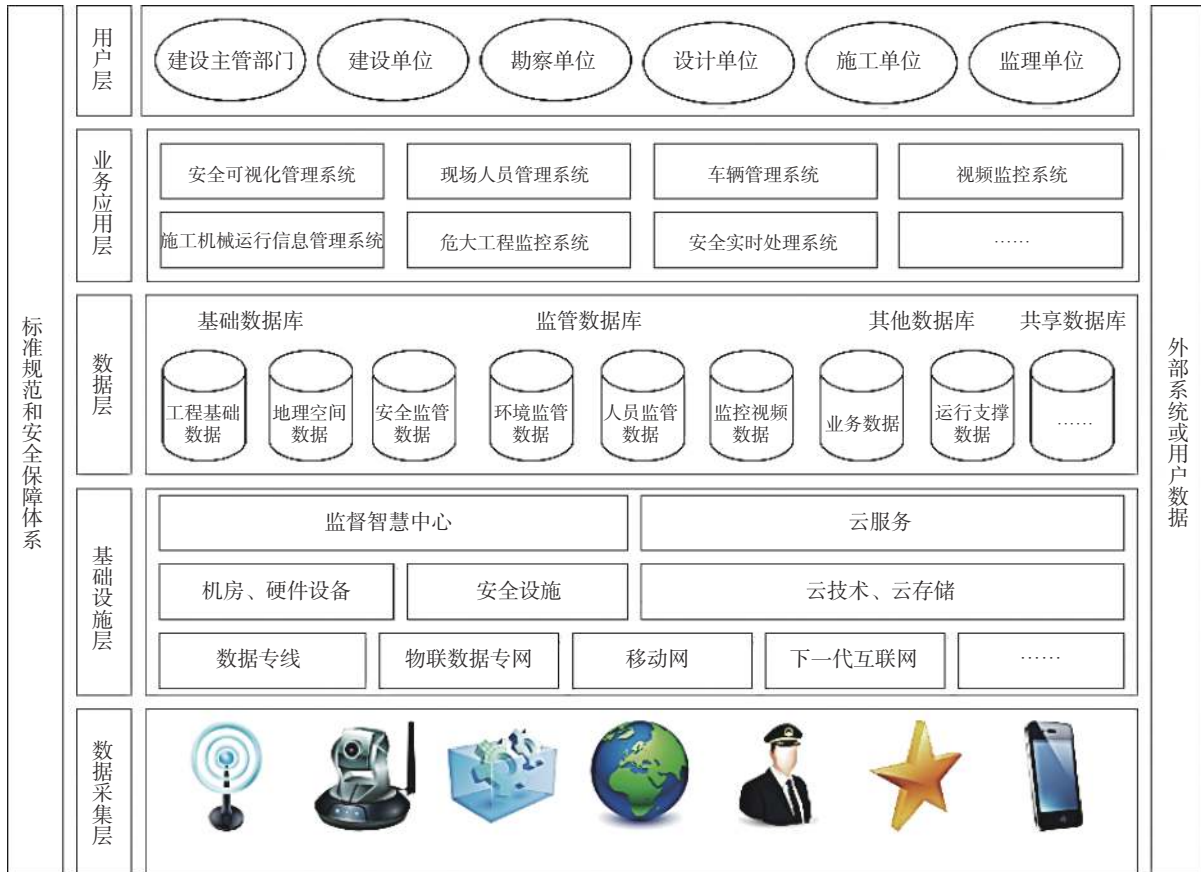


图 3 系统架构图

Fig. 3 System architecture diagram

### 3.2 技术架构设计

本项目将系统分解为多个相对独立的服务,通过服务之间的调用实现不同子系统与平台之间的协作与依赖见图 4。系统、平台之间的协作通过松耦合的方式设计,使得特定业务逻辑或服务可以复用,根据不同的业务需求对服务进行组合,实现系统的灵活性。应用架构共分为 5 大微服务:系统管理微服务、业务流程微服务、任务调度微服务、计算微服务以及 AI 计算微服务。系统管理微服务包含系统管理和监控功能;业务流程微服务统一实现系统的整个业务流程并对接外部信息接入;任务调度微服务通过 REST 接口进行数据对接;计算微服务包含除 AI 计算外的其他数据处理分析功能;鉴于

AI 计算依靠第三方 SDK 且计算时对计算性能和资源要求较高,故 AI 计算独立拆分为一个微服务。

### 3.3 数据架构设计

图 5 研究采用分布式数据存储架构,利用备份策略实现容错,客户端可从多个备份服务器同时读取,从而提高数据访问速度。利用分布式数据库可通过增加存储节点从而实现数据容量的线性扩展。同时采用多台主机组成存储集群,支持更高的用户并发访问。

其中,数据源通过门禁、智慧安全帽、监控摄像头、扬尘环境监测等物联网传感器进行采集,结合关系型数据库、流媒体数据库、文件服务器、时序数据库,以文档、对象存储的形式进行存储。通过分析模

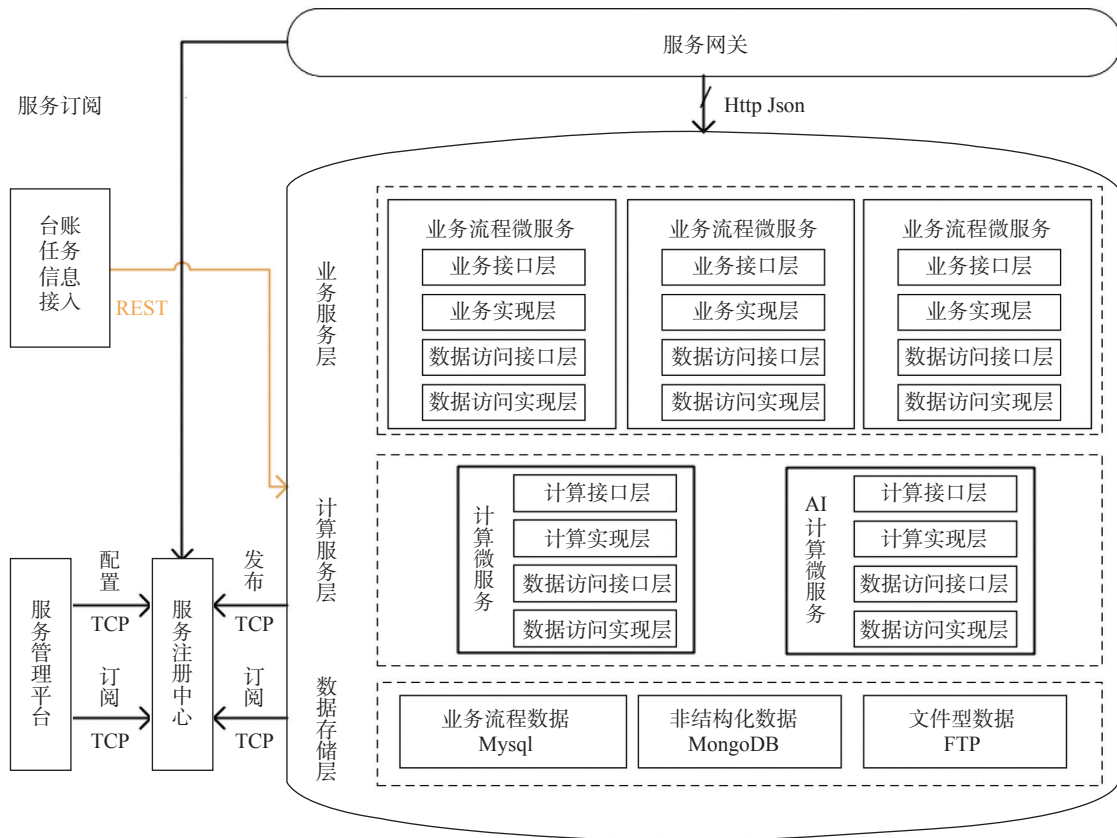


图 4 系统技术架构图

Fig. 4 System technical architecture diagram

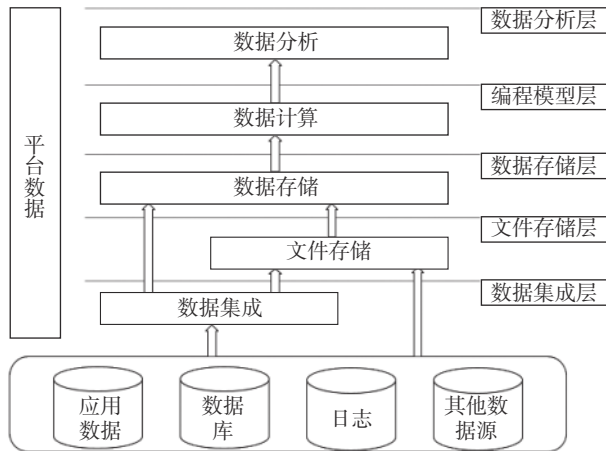


图 5 数据架构图

Fig. 5 Data architecture diagram

型进行人脸识别、视频 AI 分析、机械趋势分析、异常行为分析、重大危大分析、环境气象分析,并在此过程中进行数据流的流转,从而实现人脸识别、重大危险源监测、安全实时预警等业务,并通过可视化报表的方式展现。

### 4 结论

本研究遵循顶层设计的统一规划,以数字化技术为支撑,研究了公司平台级和工程项目级两级架构层次,促进工程建设管理数字化转型升级。主要从工地安全、人员管理、施工机械管理、环境监测、危大重大危险源实时监控预警、施工过程可视化六个方面针对性进行建设,集成了从人员入场时的劳务人员实名制考勤闸机子系统、机械设备进出的车辆道闸子系统、材料管理子系统、利用 AI 技术识别规范施工人员行为及周界防护的视频监控子系统,施工环境监测子系统、扬尘噪音监测子系统、车辆冲洗监控子系统,以及贯穿施工全过程的安全隐患管理、设备管理、文档信息管理子系统。提供了深基坑、塔吊、高支模、升降机的实时监测与预警,并将 BIM 应用于桩基、钢结构安装可视化和施工模拟中,实现了智能联动,有效提升了施工现场安全管理的有效性。如何实现恶劣环境下通信网络全覆盖,

以及融合大件设备运输过程信息管理、商混车运输过程信息管理是下一步的研究重点。

#### 参考文献:

- [1] 台州市住房和城乡建设局. 台州: 建设全国“智慧工地”样板城市 [J]. 中国建设信息化, 2022(3): 28-31.  
Housing and Urban Rural Development Bureau of Taizhou City. Taizhou: building a national model city of intelligent construction site [J]. Informatization of China construction, 2022(3): 28-31.
- [2] 刘杰, 张国真, 梁江滨. BIM+智慧工地数据决策系统在超高层项目管理中的应用 [J]. 广东土木与建筑, 2022, 29(2): 9-12. DOI: 10.19731/j.gdtmyjz.2022.02.003.  
LIU J, ZHANG G Z, LIANG J B. Application of BIM + intelligent site data decision-making system in super high-rise construction project management [J]. Guangdong architecture civil engineering, 2022, 29(2): 9-12. DOI: 10.19731/j.gdtmyjz.2022.02.003.
- [3] 赵建豪, 秦斌, 邬德宇. BIM技术与智慧工地在内河航道整治工程中的综合应用 [J]. 水运工程, 2022(3): 139-145. DOI: 10.16233/j.cnki.issn1002-4972.20220228.007.  
ZHAO J H, QIN B, WU D Y. Comprehensive application of BIM technology and intelligent construction sites in inland waterway regulation works [J]. Port & waterway engineering, 2022(3): 139-145. DOI: 10.16233/j.cnki.issn1002-4972.20220228.007.
- [4] 张志伟, 曹伍富, 苑露莎, 等. 基于BIM+智慧工地平台的桩基施工进度管理方式 [J]. 城市轨道交通研究, 2022, 25(1): 180-185. DOI: 10.16037/j.1007-869x.2022.01.034.  
ZHANG Z W, CAO W F, YUAN L S, et al. Pile foundation construction schedule management based on BIM + smart site platform [J]. Urban mass transit, 2022, 25(1): 180-185. DOI: 10.16037/j.1007-869x.2022.01.034.
- [5] 陈强. 智慧工地技术在建筑施工起重机械设备安全管理中的应用探讨 [J]. 现代制造技术与装备, 2022, 58(1): 176-178. DOI: 10.3969/j.issn.1673-5587.2022.01.056.  
CHEN Q. Application of smart site technology in safety management of hoisting machinery and equipment in construction [J]. Modern manufacturing technology and equipment, 2022, 58(1): 176-178. DOI: 10.3969/j.issn.1673-5587.2022.01.056.
- [6] 李玫. 基于BIM技术的施工可视化应用研究 [J]. 智能建筑与智慧城市, 2020(6): 53-54. DOI: 10.3969/j.issn.1671-9506.2020.06.017.  
LI M. Research on construction visualization application based on BIM technology [J]. Intelligent building & smart city, 2020(6): 53-54. DOI: 10.3969/j.issn.1671-9506.2020.06.017.
- [7] 李华, 张旭旭, 高红, 等. 智慧工地本质安全度评价方法研究 [J]. 中国安全生产科学技术, 2022, 18(1): 139-145.  
LI H, ZHANG X X, GAO H, et al. Research on evaluation method for intrinsic safety degree of smart construction site [J]. Journal of safety science and technology, 2022, 18(1): 139-145.
- [8] 熊巍, 雷宗建. 基于GIS的公路工程进度可视化系统功能设计与应用 [J]. 中国交通信息化, 2020(7): 118-120,128. DOI: 10.13439/j.cnki.itsc.2020.07.012.  
XIONG W, LEI Z J. Function design and application of highway engineering progress visualization system based on GIS [J]. China ITS journal, 2020(7): 118-120,128. DOI: 10.13439/j.cnki.itsc.2020.07.012.
- [9] 叶飞, 李正焜, 梁巧真. 基于BIM的可视化工程进度管理优化 [J]. 太原学院学报(自然科学版), 2020, 38(3): 51-56. DOI: 10.14152/j.cnki.2096-191X.2020.03.011.  
YE F, LI Z K, LIANG Q Z. Optimization of visual project schedule management based on BIM [J]. Journal of Taiyuan university (natural science edition), 2020, 38(3): 51-56. DOI: 10.14152/j.cnki.2096-191X.2020.03.011.
- [10] 杜存苍. 基于BIM技术的特长隧道工程质量管理分析 [J]. 工程建设与设计, 2022(4): 179-181. DOI: 10.13616/j.cnki.gcjsysj.2022.02.257.  
DU C C. Quality management analysis of extra long tunnel project based on BIM technology [J]. Construction & design for engineering, 2022(4): 179-181. DOI: 10.13616/j.cnki.gcjsysj.2022.02.257.

#### 作者简介:



黄晶

黄晶(第一作者, 通信作者)

1988-, 女, 高级工程师, 中南大学地理信息系统硕士, 主要从事电力空间地理信息、电力工程数字化研究等方面工作(e-mail)huangjing@gedi.com.cn。

#### 朱敏华

1975-, 男, 高级工程师, 广州大学电气工程学士, 主要从事变电工程设计、电力工程数字化研究等方面工作(e-mail)zhuminhua@gedi.com.cn。

#### 李行义

1985-, 男, 高级工程师, 武汉大学地图制图与地理信息系统硕士, 主要从事电力工程勘测设计及数字化研究等方面工作(e-mail)lixingyi@gedi.com.cn。

#### 邓超怡

1990-, 女, 高级工程师, 武汉大学摄影测量与遥感硕士, 主要从事电力工程勘测及空间地理信息等方面工作(e-mail)dengchaoyi@gedi.com.cn。

(编辑 赵琪)