

DOI: 10.7672/sgjs2025230021

基于智能物联网技术的构件全流程追溯管理*

陈龙¹, 翟光耀¹, 朱坤², 卢泉¹, 朱鸿鑫¹, 涂禾禾¹, 径廷¹

(1. 中建四局第六建设有限公司, 安徽 合肥 230011; 2. 合肥东部新中心投资建设有限公司, 安徽 合肥 230011)

[摘要] 针对部品化构件在生产、运输、安装等全流程中, 具有流动性大、来源多、加工和施工过程不透明、安装出错率高等问题, 基于智能物联网技术构建构件全流程追溯管理系统, 实现构件信息的准确传输、全流程可溯源, 并通过构件信息集成平台, 为生产和施工等各方协同工作提供基础, 打通了构件工厂化生产、机械化施工、信息化管理、智能化应用流程的壁垒, 使监管更加透明。该技术提升工程建造质量、加快工程进度, 实现了高效、环保、经济、安全的协调与统一, 响应国家绿色施工号召, 同时带来较大的经济效益、社会效益。

[关键词] 智能建造; 建筑信息模型; 物联网; 全流程追溯

[中图分类号] TU758.11

[文献标识码] A

[文章编号] 2097-0897(2025)23-0021-06

Full Process Traceability Management of Components Based on Smart IoT Technology

CHEN Long¹, ZHAI Guangyao¹, ZHU Kun², LU Quan¹, ZHU Hongxin¹, TU Hehe¹, JING Ting¹

(1. China Construction 4th Engineering Bureau 6th Co., Ltd., Hefei, Anhui 230011, China;

2. Hefei East New Center Investment and Construction Co., Ltd., Hefei, Anhui 230011, China)

Abstract: In response to the problems of large mobility, multiple sources, opaque processing and construction processes, and high installation error rates of modular components throughout the entire production, transportation, and installation process, a component full process traceability management system is established, based on intelligent IoT technology, to accurately transmit component information and ensure full process traceability. By building an integrated component information platform, it provides a foundation for collaborative work among production and construction parties, breaking down the process barriers between factory production, mechanical construction, information management, and intelligent application of components, makes supervision more transparent. This technology improving the quality of engineering construction and accelerating project progress, achieves a harmonious and unified balance of efficiency, environmental protection, economy, and safety, responding to the national call for green construction, while also generating significant economic and social benefits.

Keywords: intelligent construction; building information modeling (BIM); internet of things (IoT); full process traceability

0 引言

近年来, 新型工业化、信息化、现代化发展为建筑行业新趋势, “双碳”战略要求行业走脱碳减排的发展道路。钢结构、装配式混凝土结构、低能耗幕墙等建筑、结构系统应用更加普遍^[1]。然而, 这些系统所用部品化构件在生产、运输、安装等全流程

中因流动性大、来源多、加工和施工过程不透明等原因, 导致材料质量无法保证。此外, 施工阶段各方信息割裂, 构件生产、运输和施工间缺乏联动性, 施工进度受各方计划相互冲突影响, 推进困难。再次, 各环节间缺乏充分的信息共享, 加工、安装人员责任心不强, 加工、安装出错率高^[2]。因此, 迫切需要建立构件全流程实时追溯管理系统, 以实现构件从生产到使用的全过程追踪、记录, 确保构件质量、安全、性能符合要求。

* 中建四局六公司科技与设计管理部; 全过程构件可追溯数字化施工技术研究与应

[作者简介] 陈龙, 高级工程师, E-mail: 695220103@qq.com

[收稿日期] 2025-06-14

1 工程概况

合肥市博物馆(见图 1)位于合肥市瑶海区龙岗路与桃花潭路交叉口东南角,占地面积约 56 亩(1 亩≈666.67m²),总建筑面积约 54 800m²,其中地上建筑面积 40 834m²、地下建筑面积 13 966m²,单体最高 55m,单体最大跨度 39m,主要为钢框架结构。钢结构总量 17 900t,构件约 2.1 万个,单个构件最重 51t。西立面为全立面倾斜 70°的门式桁架结构,与高、中、低 3 层叠落的钢结构屋盖相拉结,形成扬帆起航的造型。

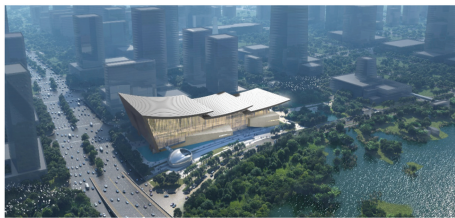


图 1 合肥市博物馆

Fig. 1 Hefei Museum

在钢结构施工过程中,构件数量庞大、节点复杂,在多环节、多参与方条件下管理构件质量、进度等难度较大^[3],需构建集成设计、生产、施工的数字化工追溯系统,以实现以下目标:①信息透明化,实时追踪构件状态;②流程标准化,统一编码规则与操作流程;③管理智能化,降低人工干预,提升容错率。

2 构件全流程追溯系统架构与关键技术

2.2 技术架构

构件全流程追溯系统从技术层面设计为多层体系结构。前端 UI 层使用 HTML, CSS, jQuery 技术,实现与用户的界面交互,并通过 Ajax 交互与后端服务进行通信。展示层采用模板引擎渲染技术,根据用户请求动态生成页面内容。功能层包含基础管理、生产管理、编码管理、大屏管理等模块。数据层通过存储过程、数据缓存、自定义函数等技术,实现对数据的存储和高效访问。权限控制模块保证系统的安全性,日志记录模块用于系统维护和调试。在阿里云主机和独立服务器环境中运行系统,并使用 Redis, MySQL 数据库。技术架构如图 2 所示。

2.3 业务架构

构件全流程追溯系统的业务架构(见图 3)涵盖用户管理、项目绑定、专业与流程配置、待处理任务、信息管理、规则管理、模型编码与台账、二维码模板管理等模块。前端通过 HTML, CSS, jQuery 构建交互界面,利用 Ajax 与后端交互,展示层采用模板引擎动态生成内容。数据层借助存储过程、数据

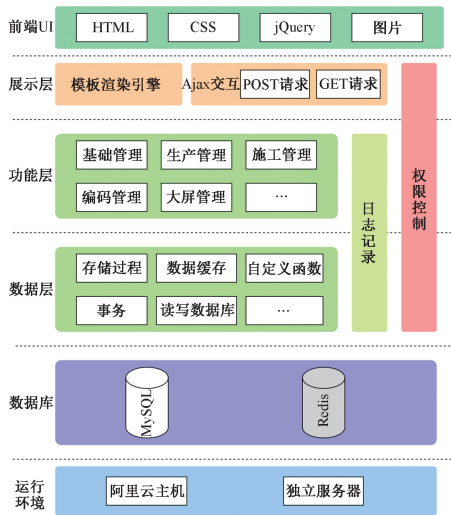


图 2 全流程追溯系统的技术架构

Fig. 2 Technical architecture of full process traceability system

缓存、自定义函数实现高效存储、访问,权限控制与日志记录确保了系统安全与可维护性。在阿里云主机和独立服务器中运行系统,依托产业互联网实现数据集中展示与监控。

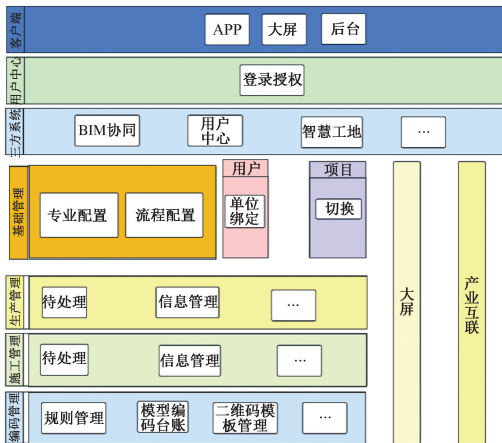


图 3 全流程追溯系统的业务架构

Fig. 3 Business architecture of full process traceability system

2.3 各业务管理流程图及运行原理

全流程追溯管理包括构件模型建立、追溯编码系统建立、数据识别采集、智慧管理平台搭建等^[4]。构件全流程追溯管理流程如图 4 所示。

1) 导入 BIM 模型

在设计或深化设计阶段建立 BIM 模型并导入平台进行深化,经各参建方审核确认后,将相应构件名称、加工图纸、材料、位置、尺寸等信息录入平台作为基础数据。项目 BIM 模型如图 5 所示。

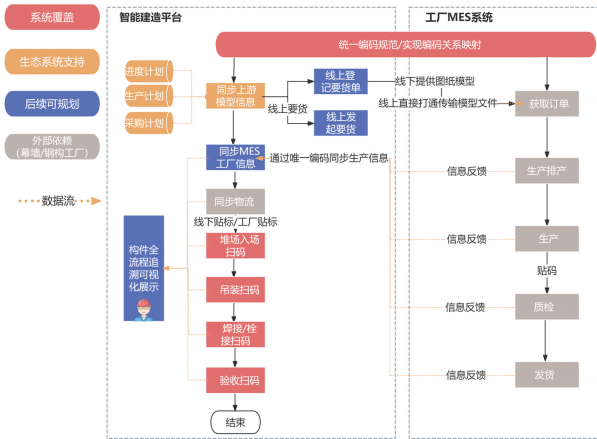


图 4 系统管理流程

Fig. 4 Management process of system

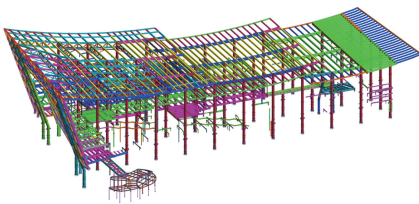


图 5 项目 BIM 模型

Fig. 5 BIM model of the project

2) 完成构件的批量赋码

工厂 MES 或 ERP 系统进行构件编码后与设备对接,并批量完成构件编码^[5]。

3) 工厂加工阶段的信息录入

构件加工完成后再次读取构件二维码,通过移动设备录入加工过程及完成信息。根据构件全流程追溯小程序,当工厂控制室计算机端接收构件信息后及时进行核对、更新,并补充生产日期、生产人员、生产设备、出厂时间、质检结果、构件存放信息等内容。

构件全流程追溯系统顺利运行的基础条件是可靠识别构件全流程。因此,精准有效识别构件是完成信息录入、读取的关键。通过调研,目前主流的构件识别技术^[6-8],如表 1 所示。

由表 1 可知,一维码识别安全性较低,RFID(射频频识别)技术接收信号的稳定性不好,NFC(近场通信)技术使用距离过短、适用性差,BLE 标签(蓝牙)技术信号易受钢结构干扰、传输不稳定^[9],AI 识别技术使用成本较高。综上,选择二维码作为构件识别的技术途径。

4) 运输阶段定位信息的实时录入

构件装车前,应读取二维码并核对构件信息。构件出厂运输时,应及时将全球导航卫星系统(GNSS)定位信息实时上传平台。当构件运至施工

表 1 构件识别技术

Table 1 Technology of component recognition

识别方式	解析方式	安全性	使用距离	适用场景	成本
一维码	条形码扫描器或相机进行扫描	相对较低,易被伪造	约几毫米到几十厘米	商品销售、库存管理等	低
二维码	手机或二维码扫描器	相对较高,可存储更多信息	约几毫米到几米	手机支付、票务、物流追踪等	适中
RFID	RFID 读写器通过射频频信号与标签通信	取决于具体实施,可用加密等技术提高安全性	从几厘米到几十米,取决于 RFID 频段	物流追踪、库存管理、门禁系统等	较低至中等
NFC	通过 NFC 设备的近场通信功能进行读写	取决于具体实施,可用加密等技术提高安全性	通常在几厘米范围内	移动支付、门禁系统、智能标签等	适中
蓝牙	通过支持蓝牙的设备读取	支持加密通信,但钢结构周边易受干扰	几米到十米左右	室内定位、广告推送等	适中
AI 识别	使用卷积神经网络(CNN)等深度学习模型分析图像	安全性较高,可使用加密技术保护模型、数据	远程图像分析取决于图像质量和分辨率	人脸识别、物体检测、图像分类等	较高

现场后,通过小程序扫码完成验收,并及时更新构件运送信息。

5) 存放阶段信息的实时录入

在存放阶段,当构件入场前,应根据施工顺序确定构件堆放位置及其次序,并绘制相应图表录入平台。构件进场后存放于预先设定处,再读取二维码,在平台更新构件存放信息。

6) 现场吊装及加工阶段的信息录入

在安装阶段,相关人员读取二维码核对构件安装信息无误后进行吊装。在焊接或螺栓连接前,扫码录入操作人员证件,确认后施工。焊接或栓接完成后质检人员进行外观检查及焊接检测等操作,并录入质检信息。

7) 构件验收阶段信息录入

将 BIM 模型与实际构件进行比对,在允许误差范围内完成验收。验收合格后系统向各相关方发送信息告知进度,并更新构件安装信息及 BIM 信息。该全流程建造信息的 BIM 模型作为竣工交付

模型,用于运维阶段。

3 工艺流程及施工要点

3.1 工艺流程

工艺流程如下:创建构件信息模型→优化构件信息模型→加载构件非几何信息→编码物料清单(BOM)→加载二维码及其信息→制作二维码标识→粘贴二维码→首先进行扫码管理,包括构件制作加工、运输仓储、进场验收、安装吊放、现场验收、竣工交付,当进入信息追溯管理平台后,完成信息录入、管理及查询,进行可视化和报表、数据备份与恢复、日志记录与审计、权限管理,以及 BIM 集成与兼容。

3.2 操作流程

1) 进入系统

用户使用微信软件扫描二维码进入构件追溯小程序,该系统分为 PC 端与移动端。企业通过 PC 端实现基础信息管理、追溯码管理等功能。移动端可进行构件生产信息录入、运输信息采集及查看等操作。

用户进入首页后,可选择游客、项目管理人员、劳务人员身份进行登录。

2) 系统管理工作台界面

管理工作台包含构件追溯、人员管理、构件管理模块。物流计划管理主要依托构件全流程管理平台和工厂 ERP 系统(或 MES 系统)的对接,工厂 ERP 系统(或 MES 系统)将构件材料采购、排产计划等信息推送至全流程管理平台后台。

3) 构件位置追踪

使用管理人员身份登录后,点击施工管理页面内的物流计划模块进入物流计划台账,点击当日到场模块即可进入当日到场台账,页面内显示预计时间为系统时间的车次计划,且有入场动作纪录。

4) 人员管理

在加工、生产过程中,点击施工管理页面的工作证件录入按钮即可录入涉及的工人证件。

5) 钢构管理

用户点击施工管理页面内的入场扫码按钮即可成功进入页面,通过扫描二维码检验堆场是否合规。

拥有焊接工作证的人员才可进入构件焊接模块,用户可查看其基础信息与证件,进行安全确认后扫描构件二维码记录即将焊接的构件。点击确认当前信息即可进入焊接状态,当按钮变换为完成焊接按钮,在此状态下,工人可再次扫描构件二维码增加或减少焊接的构件。同时,页面提供螺栓类

型、连接情况等信息,用户通过扫描构件二维码记录连接的构件,完成螺栓连接。连接检查页面内分为待检查和检查不合格的板块。

3.3 系统孪生界面

该系统实现了构件全流程进度可视化。在实时孪生网页端可显示构件情况,实现构件实时孪生。通过现场信息录入,可清晰展示构件已排产、生产中、运输中、堆场中、施工中、已完成等各流程。生产、出厂、进场、安装等阶段被触发后,信息同步自动挂接模型。平台手机端可实时查看构件状态信息与加工图纸,自动对漏掉的程序分发催促确认的提醒标识。

孪生界面的操作区域可切换不同状态在模型区域的渲染效果,并可执行模型爆炸、旋转、重置等动作,在屏幕上可看到每个构件的明细清单。

4 构件全流程追溯系统 1.0 智能化提升

4.1 弊端

1) 构件全流程追溯系统 1.0 实现了构件从生产(包括排产、生产、出厂质检)到进场(包括入场检验、堆场管理),再到施工(包括焊接、螺栓连接、质检)的完整流程跟踪,但在流程标准化和管理智能化方面还有欠缺。

2) 构件全流程追溯系统 1.0 在构件出厂、入场环节,可批量录入同一批次、单一构件的扫描信息。但在构件安装环节,由于单一构件的安装周期较长,构件数量多、信息复杂,录入工作繁重,易出错。

4.2 构件批量编码技术

构件设计模型或深化设计模型编码与工厂生产系统的构件编码一致时,构件编码简便、易操作^[10]。但绝大多数情况下,常遇到 2 套编码体系,无法直接对接,需解决以下问题。

1) BIM 模型编码与工厂端构件编码不统一

应提取 BIM 模型中的构件信息和字段,通过编码规则符与工厂端的构件编号进行映射对接,并确保不同来源的数据、编号体系能够有效对接,保持一致。实施程序如下:①提取 BIM 模型信息,从 BIM 模型中提取材质、尺寸、位置、编号等详细字段的数据;②匹配工厂编号习惯,不同工厂可能有不同的构件命名规则,通过分析各工厂的构件命名习惯,制定针对性的映射规则;③根据构件材质、尺寸、位置、功能等特征,制定不同的编码规则符号,匹配 BIM 模型中的构件信息与工厂编号体系;④编码统一维护,结合构件供应商的生产编码管理功能,采用灵活的编码维护机制(供应商维度多种编码方式的映射),以确保不同系统间的统一。

2) 多对一映射问题

构件经工厂深化后,深化部件与构件存在多对一关系,即多对一映射问题。通过以下方法解决预制构件编码管理不一致的问题,以确保设计、生产、施工间的数据流畅连接与一致:①系统集成,通过接口打通工厂 MES 或 ERP 系统,关联生产过程中的深化部件与 BIM 系统中的构件模型;②数据上传与接口实现对接,工厂生产过程中的深化图纸、模型或部件编号信息通过接口或数据上传至 BIM 系统,实现多对一的映射;③系统应用,通过系统结合深化设计数据与原始 BIM 构件信息,确保生产过程中的每个部件都能正确追溯至对应构件编号,并应用于施工中。

4.3 构件智能自动化识别技术

1) 基本原理

构件全流程追溯系统 1.0 以二维码形式作为构件识别、录入的技术途径,在构件信息录入的各环节均需大量人工。因此,在多个环节中创新应用 AI 技术(见图 6)^[11]。

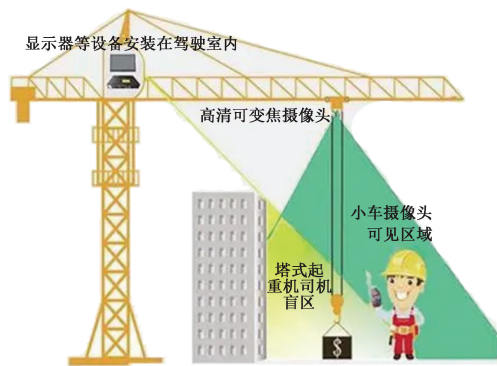


图 6 AI 摄像头工作示意

Fig. 6 Operation of AI camera

2) 实现过程

在塔式起重机吊钩正上方设置能够多倍变焦的 AI 摄像头,可自动捕捉构件二维码。高空吊装过程中,3~15m 长的构件识别后生成仅有 20cm 长(二维码最小模块 5mm 长)的二维码场景,AI 摄像头采用基于 YOLOv8 的深度学习目标检测算法。

为实现多模态数据采集,要求摄像机分辨率 $\geq 4096 \times 2160$,并带偏振片以抗金属反光,顶部辅助光源为 850nm 红外补光。同时考虑施工环境中的粉尘、各种干扰因素,在数据增强策略上添加高斯噪声模拟粉尘环境,以及随机遮挡模拟施工干扰。二维码识别算法的核心在于从复杂背景中高效提取有效信息。预处理阶段需解决光照不均、噪声干扰、畸变校正等问题。

采用智能标注工具链,依据不同材料的原始图片,实现类型、实例分割、密度热图、关键特征的自动标注^[12]。

针对高空拍摄的小尺寸二维码(常小于图像面积的 1%),需设计高效的检测网络,在 YOLOv8 的 Neck 层引入跨阶段局部注意力(CSLA),通过通道注意力与空间注意力进行级联,增强对小目标的敏感度。

在动态训练策略方面,根据分类损失筛选难例(如模糊、部分遮挡的二维码),在训练中提高其采样权重。

在塔式起重机移动场景中,需确保二维码持续处于视野中心,故根据吊钩运动模型(匀速或匀加速)预测下一帧的二维码位置。使用稀疏光流法(Lucas-Kanade)跟踪定位标记角点,计算实际位移。若预测与观测偏差超过阈值,则增大过程噪声协方差 Q ,增强算法容错性。当二维码被临时遮挡时,使用历史图像中的二维码模块生成模板,通过归一化互相关(NCC)进行局部搜索。

3) 部署应用过程

对吊钩摄像头高空捕捉识别的钢构件二维码进行训练,再对训练过程进行验证及性能分析。

训练过程中,损失函数均呈下降趋势,验证集的损失函数存在一定波动,但总体呈下降趋势。同时,评估指标中的精度、召回率有所波动,而平均值精度 mAP 中的 mAP_{50} , $mAP_{50 \sim 95}$ 呈上升趋势,表明模型性能不断提升。

当自动捕捉到钢结构二维码时,可读取构件全流程进度、质量信息,并同步上传至构件全流程追溯系统。

4) 存在的问题及改进方向

施工过程中产生的噪声给构件智能识别带来较大干扰。随着置信度阈值变化,调和平均值 F_1 的变化并不稳定,调和平均值 F_1 的平均值仅约 0.46,后续需改善运动模糊补偿及抗遮挡处理设计。构件识别受天气影响较大,后续需借助多传感器融合措施进行气象数据补偿等工作。

5 综合效益分析

建筑构件全流程追溯管理显著提高了工程质量、优化管理效率,并增强建筑可追溯性,实现从原材料采购到构件出厂、施工、验收等环节的信息记录与追踪^[13]。按照合肥市博物馆钢结构分包单位提供的返工率数据可知,该钢结构构件一般尺寸偏差为 6%、焊缝缺陷为 4%、制孔误差为 7%,综合返厂率为 2%。经过此系统管理后,构件返厂率由 2%

降至0.5%。该项目钢结构共17900t,返厂钢构件预计减少268.5t。该构件全流程追溯系统开发成本共91300元。综上,不考虑软件摊销及硬件周转费用,采用该建筑构件全流程追溯系统进行管理,共获得经济效益43.624万元。

6 结语

1) 确保数据准确性

在数据采集、录入、传输过程中,要确保数据准确性和完整性,避免出现错误或遗漏。钢结构构件的全过程信息追溯是对构件从设计、生产、运输、施工到运维的全过程信息追溯,应确保所有环节都有详尽的可追溯数据。

2) 统一编码标准

建立统一的构件信息编码体系,确保每个构件具有唯一识别码,便于追溯、查询。构件出厂时宜统一粘贴二维码等电子信息技术标识,实现全过程质量追溯。自研编码工具,通过自定义编码规则和设备对接技术,批量完成构件编码工作,结合赋码规则,连接赋码设备,支持对构件进行批量赋码。

3) BIM 技术支持

基于物联网的构件追溯搭建需要扫描设备、二维码、网络平台进行支持。二维码及扫描设备属于客户端,网络平台在服务器端。BIM技术实现数据集成、构件可视化、数据交换、工序管理等功能。二维码技术承担唯一标识、数据关联、信息追溯的功能。

4) 定期维护系统

对追溯系统进行定期维护、更新,以确保其稳定运行和数据安全。根据相关技术标准完善项目质量保证体系,对项目建设过程进行质量控制,并保证项目质量可追溯。

5) 强化责任追究

对于追溯过程中发现的问题和违规行为,要严格按照相关规定进行责任追究、处理。建立包括追溯参与方资源管理要求、实施要点和运维保障等内容的追溯计划,明确追溯目标、范围,制定数据收集、记录和管理流程。

6) 加强人员培训

对施工人员进行追溯知识培训,提高追溯意识和操作能力。

7) 注重信息保密

在追溯过程中,要注重信息保密工作,防止将敏感信息泄露给无关人员。

智能物联网和BIM技术在构件全流程追溯中还存在一些问题和挑战,但通过加强技术创新,制

定合适的管理措施和政策支持,使物联网和BIM技术获得更广泛和深入的应用。针对具体问题,建筑业企业应围绕质量、安全、造价、施工难易等要素,进行综合分析,形成最具有价值的技术方案。

参考文献:

- [1] 任洪玉.“双碳”目标下绿色低碳建筑推广的必要性及对策[J].住宅与房地产,2024(26):80-82.
REN H Y. Necessity and countermeasures of promoting green and low-carbon buildings under the goal of “double carbon” [J]. Housing and real estate, 2024(26):80-82.
- [2] 李娟,梁工谦.再制造质量信息割裂研究[J].机床与液压,2012,40(3):8-10.
LI J, LIANG G Q. Research on remanufacturing quality information fragmentation[J]. Machine tool & hydraulics, 2012, 40(3):8-10.
- [3] 李楠.装配式建筑施工过程中的质量控制与管理[J].中国住宅设施,2024(S1):99-101.
LI N. Quality control and management in the construction process of prefabricated buildings [J]. China housing facilities, 2024 (S1): 99-101.
- [4] 于茜.建材质量管理信息化追溯体系的研究[D].北京:北方工业大学,2021.
YU Q. Research on information-based traceability system for building materials quality management [D]. Beijing:North China University of Technology, 2021.
- [5] 王欢,李含嫣.基于MES/ERP的造纸企业管理信息化模型搭建研究[J].造纸科学与技术,2024,43(7):110-113.
WANG H, LI H Y. Research on construction of electronic information model of paper enterprise management based on MES/ERP [J]. Paper science & technology, 2024, 43(7): 110-113.
- [6] 张逸豪.基于BIM-RFID的装配式建筑构件质量追溯系统研究[D].成都:西华大学,2023.
ZHANG Y H. Research on quality traceability system of prefabricated building components based on BIM-RFID [D]. Chengdu: Xihua University, 2023.
- [7] 章馨如,李哲威,陈国军,等.基于物联网技术的设备标识管理系统设计与开发[J].通信世界,2024(1):41-44.
ZHANG X R, LI Z W, CHEN G J, et al. Design and development of equipment identification management system based on Internet of Things technology [J]. Communications world, 2024 (1): 41-44.
- [8] 向颖刚,彭华建.基于计算机视觉的建筑工程结构构件影像识别模式[C]//第十七届全国信号和智能信息处理与应用学术会议论文集,2023.
XIANG Y G, PENG H J. Image recognition mode of building engineering structural components based on computer vision [C]//Proceedings of the 17th National Academic Conference on Signal and Intelligent Information Processing and Application, 2023.

- Cambridge: Cambridge University Press, 2022.
- [2] 曾韩军,严晓东. 基于 LCA 预制管片物化阶段的碳足迹测算与应用研究 [J]. 施工技术(中英文), 2025, 54(17): 89-93.
ZENG H J, YAN X D. Research on carbon footprint measurement and application based on the physical and chemical stage of LCA prefabricated segments [J]. Construction technology, 2025, 54(17): 89-93.
- [3] 杨子艺,胡姗,徐天昊,等. 面向碳中和的各国建筑运行能耗与碳排放对比研究方法及应用 [J]. 气候变化研究进展, 2023,19(6):749-760.
YANG Z Y, HU S, XU T H, et al. Method and application of global building operation energy use and carbon emissions comparison in the context of carbon neutrality[J]. Climate change research, 2023,19(6):749-760.
- [4] 周杰. 碳中和目标下零碳建筑标准体系研究 [J]. 中国质量与标准导报, 2021(3):21-23.
ZHOU J. Research on zero carbon building standard system under the carbon neutrality target [J]. China quality and standards review, 2021(3):21-23.
- [5] 董恒瑞,刘军,秦砚瑶,等. 从绿色建筑、被动式建筑迈向零碳建筑的思考 [J]. 重庆建筑, 2021,20(10):19-22.
DONG H R, LIU J, QIN Y Y, et al. Thoughts on steps from green building and passive building to zero-carbon buildings [J]. Chongqing architecture, 2021,20(10):19-22.
- [6] 李预江. 欧盟建筑物节能管理法规解读及节能管理行为分析 [J]. 上海节能, 2023(12):1832-1838.
LI Y J. Interpretation of EU building energy conservation management regulations and analysis on energy efficiency management behavior [J]. Shanghai energy saving, 2023(12): 1832-1838.
- [7] 张强. 建筑“光储直柔”配电系统设计要点浅析 [J]. 现代建筑电气, 2023,14(12):17-24,28.
ZHANG Q. Analysis of the key points in the design of the “photovoltaics, energy storage, direct current and flexibility” distribution system in buildings [J]. Modern architecture electric, 2023,14(12):17-24,28.
- [8] 卢昱杰,王娜,朱彤,等. “双碳”背景下我国绿色建造技术发展策略研究 [J]. 施工技术(中英文), 2024, 53(17): 77-84,106.
LU Y J, WANG N, ZHU T, et al. Research on development strategy of green construction technology in China under the background of “dual carbon” [J]. Construction technology, 2024, 53(17): 77-84,106.
- [9] 高唯芷,孙菁芬,褚英男,等. 拱辰零碳社区中心——低碳建筑原型与围护结构的系统性探索 [J]. 建筑技艺(中英文), 2024,30(8):54-64.
GAO W Z, SUN J F, CHU Y N, et al. Gongchen ZEB Community Center: a systematic investigation of the low-carbon building prototype and envelope [J]. Architecture technique, 2024, 30(8):54-64.
- [10] 司琪,徐非凡,马瑞江,等. 国内建筑碳排放研究可视化分析 [J]. 施工技术(中英文), 2023, 52(15): 138-143.
SI Q, XU F F, MA R J, et al. Visualization analysis of domestic building carbon emissions research [J]. Construction technology, 2023, 52(15): 138-143.
- [11] 蔡爽,张筠之,查金荣. 启迪设计大厦可持续建筑设计策略研究 [J]. 建筑技艺(中英文), 2025,31(3):44-55.
CAI S, ZHANG Y Z, ZHA J R. Research on the sustainable architectural design strategies of Tus-Design Building [J]. Architecture technique, 2025,31(3):44-55.
- [12] 张湘苹,鲍莉. 居住类地段城市更新项目的全生命周期碳排放测算方式初探 [J]. 建筑技艺, 2023,29(6):36-42.
ZHANG X P, BAO L. Preliminary study on carbon emission accounting throughout the whole life cycle of urban regeneration projects in residential areas [J]. Architecture technique, 2023,29(6):36-42.

(上接第26页)

- [9] 周文豪. 射频识别 VS 无线互联:哪个更“泛在”——谈射频识别在我国的纵深发展 [J]. 中国电子商情(RFID 技术与应用), 2008,3(3):9-10.
ZHOU W H. RFID VS wireless connection: witch one of them more ubiquitous—development of RFID in China [J]. Radio frequency identification technologies and applications, 2008, 3(3): 9-10.
- [10] 张成英,姜涌,官名昊,等. 建设工程数字化管理的建筑信息模型构件编码标准及应用 [J]. 建筑技术, 2025,56(1):4-7.
ZHANG C Y, JIANG Y, GUAN M H, et al. Component coding standard and application of building information model for digital management of construction engineering [J]. Architecture technology, 2025, 56(1):4-7.
- [11] 胡芸浩. BIM 模型一致性检查及构件智能化识别研究 [D]. 西安:西安建筑科技大学, 2023.
HU Y H. Research on BIM model consistency check and intelligent component recognition [D]. Xi'an: Xi'an University of Architecture and Technology, 2023.
- [12] 乔磊. 基于机器视觉的复合材料自动铺丝缺陷检测算法研究 [D]. 杭州:浙江大学, 2020.
QIAO L. Research on automatic filament laying defect detection algorithm for composite materials based on machine vision [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2020.
- [13] 赵言. 基于区块链的装配式建筑构件信息协同管理系统架构优化 [D]. 哈尔滨:哈尔滨商业大学, 2024.
ZHAO Y. Architecture optimization of information collaborative management system for prefabricated building components based on blockchain [D]. Harbin: Harbin University of Commerce, 2024.