

Key Technologies and Quality Control System for Fire Protection in Prefabricated Building Construction

Derui Zhang^{1,2} Guijuan Wang¹

1. Shandong Bochen Construction Engineering Co., Ltd., Jinan, Shandong, 250100, China

2. Shandong Hongming Zinc Construction Engineering Co., Ltd., Jinan, Shandong, 250100, China

Abstract

With the advancement of industrialized construction, prefabricated buildings have emerged as an industry trend due to their advantages of shorter construction periods, energy efficiency, environmental protection, and high integration. However, they differ from traditional cast-in-place buildings in structural systems, construction techniques, and fire safety aspects. Particularly in fire protection engineering, complex prefabricated component interfaces and dense pipeline layouts often lead to quality risks. This paper analyzes key fire protection technologies and quality risks based on the characteristics of prefabricated buildings, proposing a comprehensive quality control system covering the entire process from “design-production-installation-acceptance”. Through research on fire node design, pipeline layout, and sealing techniques, a digital quality management model based on BIM and intelligent monitoring is constructed. The study demonstrates that the integrated application of BIM collaborative design, standardized prefabrication, and information-based monitoring can significantly enhance construction precision and fire protection reliability, achieving dual improvements in quality and efficiency.

Keywords

prefabricated construction; fire protection engineering; key technologies; quality control; BIM technology

装配式建筑消防工程施工关键技术及质量控制体系构建

张德瑞^{1,2} 王桂娟¹

1. 山东博辰建筑工程有限公司, 中国·山东 济南 250100

2. 山东洪铭锌建筑工程有限公司, 中国·山东 济南 250100

摘要

随着建筑工业化的推进,装配式建筑以施工周期短、节能环保和集成度高等优势成为行业发展趋势。然而,其在结构体系、施工工艺及防火安全方面与传统现浇建筑存在差异,尤其在消防工程中,预制构件接口复杂、管线密集,易引发质量隐患。本文基于装配式建筑特点,分析消防施工关键技术与质量风险,提出涵盖“设计—生产—安装—验收”的全过程质量控制体系。通过研究防火节点设计、管线布置与封堵技术,构建基于BIM与智能监测的数字化质量管理模式。研究结果表明,BIM协同设计、标准化预制与信息化监控的融合应用,可显著提升消防系统施工精度与防火可靠性,实现质量与效率的双重提升。

关键词

装配式建筑; 消防工程; 关键技术; 质量控制; BIM技术

1 引言

装配式建筑是实现建筑业工业化与可持续发展的重要途径。在我国建筑安全标准日趋严格的背景下,消防工程已成为装配式建筑施工质量控制的关键环节。由于结构体系复杂、施工环节多样、专业交叉频繁,若缺乏科学的质量管理体系,极易出现防火封堵失效、喷淋系统偏位、线缆穿墙未封等问题,影响建筑整体安全。本文通过对装配式建筑消防工程施工技术的系统分析,提出关键技术优化与全过程质量

控制体系构建策略,以期对装配式建筑施工质量管理与防火安全提升提供技术支持与理论参考。

2 装配式建筑消防工程施工的技术特征与难点分析

2.1 装配式建筑消防系统的集成化特征

装配式建筑采用“结构—机电—装修”一体化设计,消防系统与结构构件、机电管线深度融合。喷淋管道、报警线路、排烟系统多在工厂阶段预留预埋,现场以模块化连接为主。这种集成化模式提高施工效率,但对设计精度与接口匹配要求极高,任何节点偏差均可能造成系统功能失效。此外,消防设备模块化安装对构件尺寸、预埋件位置与施工容

【作者简介】张德瑞(1987-),男,中国山东冠县人,本科,工程师、建造师、消防设施操作员,从事工程消防研究。

差提出严格标准，要求设计、生产、施工三方实现信息共享与动态协同。

2.2 施工阶段的多专业交叉与协调难点

装配式建筑消防工程涉及结构、机电、暖通等多个专业的穿插施工。由于构件安装顺序固定，管线布置空间有限，施工协调不当易造成管道碰撞、支架布置不合理、防火封堵空间不足等问题。尤其在吊装阶段，预埋件定位偏差会导致喷头无法与吊顶平齐，严重影响系统可靠性。因此，施工组织必须通过 BIM 协同设计和三维可视化审核，提前优化管线走向与构件连接节点，实现多专业施工路径的空间协调。

2.3 防火封堵与密封施工的质量控制难点

装配式建筑防火封堵多集中在构件接口与管线穿越处，现场拼装工艺差异导致封堵材料不均匀、粘结性能下降。若防火涂料与构件材质不匹配，容易形成“隐蔽性裂隙”，在火灾条件下快速失效。此外，装配式建筑多采用轻质墙体或空腔结构，传统湿作业封堵方式难以满足密封要求。因此，需要采用柔性耐火材料、模块化防火盒等新技术，并建立标准化检测流程，确保封堵质量与防火性能的一致性。

3 装配式建筑消防工程施工关键技术研究

3.1 预制构件防火节点的设计与施工控制

防火节点是装配式建筑消防工程中的关键与薄弱环节，其性能直接关系到建筑整体防火隔离效果与安全等级。装配式建筑的楼板接缝、墙板拼缝及管线穿墙口等位置往往同时承担结构连接与防火阻隔功能，稍有疏漏即可形成“火势通道”。为此，在设计阶段应引入 BIM 三维建模技术，通过参数化设计实现节点尺寸、位置与构造形式的精确控制。模型可提前识别各专业管线穿越位置及防火分区冲突，指导工厂预制构件留设预埋件与封堵槽口，实现工厂化防火预制。施工阶段需采用防火砂浆、膨胀密封条、阻燃泡沫及耐高温包覆材料，形成“结构连接+防火密封+保护层”复合防火体系。节点施工完成后，应通过红外热像检测、耐火性能试验与现场抽检验证密封效果，确保构件拼缝处的防火连续性与耐久性。该方法实现了设计、施工、防护一体化控制，显著提升了装配式建筑消防系统的可靠性。

3.2 消防管线模块化施工技术

为适应装配式建筑施工空间受限、交叉作业频繁的特性，消防管线施工需转向模块化、标准化的装配方式。工程实践中普遍采用“管道预制—支架集成—现场拼装”技术路径。喷淋、消火栓、报警系统等管道在工厂统一切割、预制标准化模块，现场通过快速接头、定位夹具与螺纹连接实现精准安装，避免传统焊接与高空操作带来的误差与安全隐患。为保证安装精度，项目应配备数字化测量系统与激光定位仪，全站仪与 BIM 模型进行实时比对，确保管线位置误差控制在 $\pm 5\text{ mm}$ 以内。该技术模式不仅有效提升了装配精度与施工效率，还实现了施工工序的标准化与信息化管理，

便于后期检修与扩展。模块化施工使消防系统的可维护性、可追溯性显著增强，为大规模装配式工程提供了可靠技术保障。

3.3 智能检测与调试技术应用

在装配式建筑消防系统的竣工调试与质量验收阶段，智能化检测技术的引入成为提高精度与效率的重要手段。通过物联网传感器与数据采集模块，可实现对喷淋系统流量、报警装置灵敏度、排烟系统负压等关键参数的实时监测。检测数据自动上传至质量管理平台，与 BIM 模型联动比对，实现施工偏差的自动识别与参数优化调整。系统能对各节点的安装状态、压力测试结果、防火封堵完好性进行可视化显示，形成全过程、全节点的质量监测网络。每一构件、设备、管段均对应唯一二维码编码，关联设计、生产、检测与安装数据，构建可追溯的质量档案。该智能检测体系使竣工调试从人工抽检转向数字化全覆盖，实现“数据即验收”的管理模式。实践表明，该技术显著缩短了调试周期，提升了数据可靠性与维护便利性，为装配式建筑消防工程的高质量交付提供了强有力支撑。

4 装配式建筑消防工程的质量控制体系构建

4.1 全过程质量控制理念

装配式建筑消防工程的质量控制必须遵循系统化与全周期原则，将设计、生产、施工与验收视为互联的动态过程。在设计阶段，应以防火安全性能为核心导向，充分考虑构件尺寸、节点构造及耐火极限要求，确保所有设计参数满足国家与行业标准，并通过 BIM 建模提前识别设计缺陷与空间冲突。生产阶段需建立完善的工厂质量追溯制度，对原材料进行批次检验与性能检测，严格执行过程抽检与出厂验收，形成数字化质控档案。施工阶段应实施动态监测与第三方检测相结合的质量控制机制，重点管控防火封堵、喷淋安装及电缆敷设等关键环节。验收阶段通过 BIM 模型与现场实测数据联审，确保消防系统的空间一致性与性能稳定，实现数字化交付、全过程可追溯与质量可视化监管，为后期运维提供数据支撑。

4.2 数字化质量监控体系的建立

在装配式建筑消防工程中，传统人工抽查方式已难以满足高精度质量管理需求。依托 BIM 与物联网技术，可构建智能质量监控体系，实现施工数据的实时采集、分析与反馈。每一预制构件在生产、吊装及拼装阶段均设有唯一二维码标识，系统自动记录其原材料来源、安装时间与检测数据，实现信息全生命周期追踪。监控平台通过传感器网络实时获取温度、湿度、位移及喷淋流量等关键参数，自动比对设计模型与现场施工状态，识别偏差并发出预警。平台集成施工进度、材料检测、节点影像、耐火试验等多维数据，为项目管理人员提供量化决策依据。该体系可在异常检测、过程纠偏与质量追溯中发挥核心作用，大幅提升监管的科学性与响

应速度,实现质量控制由“静态监督”向“智能监测”的转变。

4.3 多维度协同管理机制

装配式建筑消防工程的复杂性决定了质量管理必须具备跨专业、多层次协同特征。应建立“设计—制造—施工—监理”四方协同管理机制,形成质量控制的闭环体系。通过数字化协同平台,各参与方可实时共享设计模型、生产进度、检测数据与监理记录,实现信息透明化与任务可视化。设计单位依据现场反馈动态优化构件参数;制造方通过云端接口上传生产检测结果;施工单位实时更新安装状态与检验数据;监理方利用平台数据对关键节点进行动态复核与抽检。建设单位则可通过平台对各阶段质量实施综合评估,确保防火性能与工程目标同步达成。该机制突破了传统质量管理中信息割裂与反馈滞后的局限,实现了全过程、全参与方、全数据的协同控制,为装配式建筑消防工程的高质量建设提供了坚实的组织与技术保障。

5 典型工程应用与实践成效分析

5.1 BIM 技术在消防施工中的集成应用

在装配式建筑消防工程中,BIM 技术的应用已成为提升施工精度与协同效率的重要手段。在某装配式住宅项目中,项目团队以 BIM 三维模型为核心,构建了结构、机电与消防系统的综合模型,实现了设计—施工一体化管理。通过模型预演,提前开展管线布置优化与碰撞检测,识别并消除了管道与构件间的空间冲突,使施工冲突率降低 82%,管线空间利用率提升 21%。在材料管理方面,BIM 模型实现了自动生成施工材料清单与预制件加工图,减少人工统计误差,确保工厂预制构件与现场安装精准匹配。同时,利用模型可视化功能对施工人员进行技术交底与吊装路径模拟,大幅提高现场施工的安全性及效率。事实表明,BIM 技术不仅优化了消防管网布局与设备安装精度,还实现了施工全过程的可视化与可追溯管理,为装配式建筑消防工程提供了高效的数字化支撑平台。

5.2 防火节点标准化与封堵技术优化

防火节点是装配式建筑消防系统防护性能的核心部位,其施工质量直接影响建筑整体防火安全。在某预制办公楼项目中,针对传统砂浆封堵施工周期长、密封不均匀的问题,采用模块化防火封堵装置替代传统湿作业工艺,实现了装配式施工与快速安装。标准化防火模块在工厂预制完成后现场直接嵌入节点,封堵效果稳定且可重复利用。应用结果显示,

施工周期缩短 40%,封堵合格率由 92% 提高至 99%。经第三方机构耐火性能检测,节点耐火极限提高至 2 小时以上,全面满足《建筑设计防火规范》(GB50016-2014)的相关要求。该项目的成功经验表明,标准化防火节点技术通过统一材料体系与模块化设计,不仅显著提升了施工效率与安全性能,还降低了人工操作误差,为装配式建筑消防防护提供了可复制的技术路径。

5.3 质量信息化管理的经济与安全效益

在装配式建筑消防工程的全过程管理中,信息化平台的引入为质量控制提供了科学依据。项目通过建立基于物联网与 BIM 集成的质量信息管理系统,实现了施工过程的实时监测与数据共享。每个消防构件均设有二维码标识,记录设计参数、生产批次、检测数据及安装位置,形成完整的电子化质量档案。系统可自动比对设计模型与现场施工数据,实时预警偏差情况。实践数据显示,信息化管理实施后,项目返工率下降 30%,安全隐患减少 45%,消防系统一次性验收合格率达到 98%。同时,质量数据的可追溯性有效提升了监管效率,为后期维护提供决策依据。通过数字化监督与闭环管理,工程实现了“事前预控—事中监测—事后评估”的全过程质量控制模式,显著提升了项目的经济效益与安全水平,验证了信息化质量管理体系的可行性与推广价值。

6 结语

装配式建筑的快速发展对消防工程施工与质量管理提出了更高要求。本文通过对装配式建筑消防工程关键技术的研究与质量控制体系的构建分析,明确了施工中的技术难点与管理要点。研究表明,预制化、模块化与数字化是提升装配式建筑消防系统施工质量的核心途径。通过 BIM 技术驱动的协同设计、信息化质量监控与标准化施工管理,可实现防火性能与施工效率的双重提升。未来,应进一步完善装配式建筑消防工程的行业标准体系,推动防火材料与智能监测技术的创新应用,形成以科技赋能为核心的高质量发展模式,为建筑安全与绿色施工提供坚实支撑。

参考文献

- [1] 欧阳榴.浅析高层建筑消防工程施工中常见问题及质量控制措施[J].消防界(电子版),2025,11(04):91-93.
- [2] 杨冬,李园园,李戈扬.房屋建筑消防工程施工问题及安全隐患研究[J].消防界(电子版),2025,11(02):91-93.
- [3] 鲁文浩.建筑消防工程施工验收难点与解决对策研究[J].消防界(电子版),2024,10(15):114-116.