

装配式施工工序衔接疏漏整治策略研究

黎明

湖北省工业建筑集团有限公司 湖北 武汉 430000

【摘要】：本研究针对装配式建筑推广进程中，因设计、生产、物流及现场安装等多环节协同不足所导致的工序衔接疏漏问题，旨在构建一套系统性的整治策略框架。通过文献综述与案例解析，首先界定了工序衔接疏漏的核心概念及其多重性危害。进而，从设计生产潜伏、物流信息断链、现场人技交互三个维度追溯了疏漏的生成机理。研究核心在于提出一个包含疏漏成因解析、识别方法构建、事前防控、事中协同与事后评估优化的五步系统性整治策略。本文以华东地区某大型保障性住房 EPC 项目为实证案例，通过引入基于 BIM 的协同平台与 RFID 追踪技术，量化分析了策略应用前后衔接疏漏率的下降趋势。主要贡献在于将孤立的整治措施整合为连贯的动态管理闭环，为提升装配式建筑整体施工质量与效率提供了一套可操作的理论工具与实践路径。

【关键词】：装配式施工；工序衔接；疏漏机理；协同管理；质量防控

DOI:10.12417/2811-0528.26.16.074

引言

装配式建筑以其标准化设计、工厂化生产、装配化施工的核心优势，已成为推动建筑业转型升级的重要方向。然而，其高效优势的充分发挥，高度依赖于设计、构件生产、物流运输、现场吊装等多专业、多工序间的无缝衔接与精密配合。因此，迫切需要一个能够贯穿项目全生命周期、整合技术与管理的系统性整治策略框架。本研究旨在填补这一空白，通过深入剖析疏漏本质与生成机理，构建一套层次分明、可操作性强的整治策略体系，并以实证数据验证其有效性，从而为装配式建筑的精细化管理与高质量发展提供关键支撑。

1 装配式施工工序衔接疏漏本质剖析

1.1 工序衔接疏漏概念界定与特征阐释

工序衔接疏漏并非指向单一工序内部的作业失误，其核心特征在于“衔接性”。它发生在两个或多个独立工序的交互界面，是前一工序的输出未能满足后一工序输入要求的直接体现。这类疏漏具有隐蔽性、传导性与累积性三大特征。隐蔽性体现在疏漏根源往往埋藏于上游设计或生产阶段，直至下游安装时才暴露；传导性指单一节点的疏漏会像多米诺骨牌般沿工序链向后扩散，引发连锁反应；累积性则意味着微小疏漏的叠加可能最终导致严重的质量安全事故或工期崩溃。

1.2 疏漏引致后果的多重性表现形态

衔接疏漏所引发的后果呈现多重性。在经济效益层面，直接表现为构件报废、二次加工、人工与机械的无效等待，导致

项目成本显著超支。在工程进度层面，纠偏与返工活动打乱原有施工节奏，造成关键路径延误，整体工期被迫延长。在工程质量与安全层面，疏漏可能导致构件连接强度不足、结构传力路径改变、防水保温性能失效等隐患，严重时危及建筑安全与使用功能。

2 疏漏生成机理与诱因溯源

2.1 设计生产阶段潜在疏漏因子潜伏

设计阶段是疏漏的源头^[1]。建筑、结构、机电、装修各专业设计未能在同一三维模型深度协同，仅靠二维图纸叠加，极易产生空间冲突与预留预埋遗漏。设计变更信息传递滞后或失真，导致工厂已按旧图生产。生产阶段，模具精度不足、加工工艺偏差、质量检验标准松弛，使得出厂构件本身携带尺寸误差或配件缺失，为现场安装埋下祸根。

2.2 物流仓储环节信息断链传导效应

构件从工厂到现场的流动过程，信息流与物流的脱节是疏漏产生的重要环节。运输计划与现场吊装计划不匹配，导致急需构件未到，非急需构件堆积场地^[2]。构件在装卸、运输过程中缺乏有效防护与固定，造成破损或变形。仓储管理混乱，构件标识不清、堆放无序，导致吊装时寻找困难甚至误用。这一系列问题本质上都是信息断链，使得构件状态、位置信息无法实时、准确地传递至下一环节决策者。

2.3 现场安装过程人为与技术交互影响

现场是疏漏的最终爆发点，也是人、机、料、法、环因素

复杂交织的场所。技术层面,测量放线精度不足、吊装设备定位误差、临时支撑体系设置不当,均可能导致构件无法精准就位。管理层面,作业交底不清、工人技能不足、多工种交叉作业协调不力,是诱发操作错误与工序冲突的主因。环境因素如恶劣天气、场地狭窄也会干扰正常安装秩序,放大已有的衔接风险^[3]。

3 系统性整治策略框架构建与实施路径

3.1 衔接疏漏成因的多维度解析

整治的第一阶是精准诊断。需要建立一个结构化的多维度成因诊断模型,在项目启动或疏漏发生后系统性地扫描。该模型至少包含四个维度:技术工艺维度,检查设计标准统一性、BIM模型深度与一致性、工艺工法匹配度、接口技术标准的完备性;组织管理维度,审视合同网络中的责任空白与重叠、组织架构的协同能力、计划体系的衔接逻辑、决策与沟通流程的效率;信息数据维度,评估信息编码规则是否统一、传递渠道是否畅通且可追溯、数据交换标准(如IFC)的应用深度、各系统间数据互操作性;人员能力维度,分析关键岗位人员的专业技能、协同意识、对新技术工具的掌握程度^[4]。

3.2 疏漏识别方法工具箱构建

早期、准确地识别疏漏是减少损失的关键。必须建立一个多层次、多技术融合的识别方法工具箱。第一层是虚拟世界的先验识别。核心是强制推行基于同一BIM协同平台的并行设计,并利用专业的碰撞检测软件进行空间冲突、逻辑冲突(如安装顺序)的自动检查,在设计阶段消除大部分“硬”冲突。第二层是实体世界的状态感知与追踪^[5]。为每个主要构件植入唯一身份的RFID标签或二维码,结合物联网技术,实时追踪其生产状态、出厂时间、运输轨迹、到场时间、仓储位置、吊装状态,确保物流信息与计划信息的实时比对与可视化管理。第三层是实体与虚拟世界的比对验证。定期(如每周)使用搭载激光雷达的无人机或地面三维激光扫描仪对现场进行实景复刻,生成点云模型,与BIM计划模型进行自动对比,快速、精确地发现构件安装位置偏差、进度差异乃至外观缺陷。第四层是制度化的人工巡检与交接检验。技术不能替代人的经验与判断,建立严格的工序交接“质量门”制度,明确上道工序交付标准和下道工序接收标准,双方签字确认,形成责任闭环。这四层方法构成了一张立体化的识别网络,极大提升了疏漏的早期发现概率。立体化识别工具箱把技术赋能和制度管控融合起来,冲破了传统施工疏漏识别滞后、片面、依靠人工的困境。采用虚实结合、人机互补的四层识别逻辑,对设计源头、物流过程、现场施工、工序交接等各个环节进行全方位的排查。可以依靠数字化技术来完成精确、高效的自动筛查,避开人工排

查的盲区和误差,还可以依靠制度约束来落实人员的责任,从而有效地减少各种施工疏漏的发生概率,为工程质量控制筑起前哨防线。

3.3 多层级事前防控体系建立

有深度的内容:契约关系重构。在宏观层面,传统设计-招标-施工的线性承发包模式是滋生衔接问题的温床。因此,最有效的事前防控策略之一是推动契约模式向集成化方向发展。大力倡导采用工程总承包(EPC)模式或IPD(集成项目交付)模式,将设计、生产、施工等关键环节整合到单一责任主体或紧密联盟之下,从根本上统一目标、减少界面、incentivize协同。在EPC项目中,总承包商有内在动力去优化设计与生产的衔接,因为任何疏漏导致的成本超支都将由其自身承担。这是从生产关系层面进行的顶层防控设计。在项目执行层面,需建立“企业-项目-工序”三级防控体系。企业层负责建立和维护企业级构件标准化库、接口标准库、BIM实施标准,这是保证不同项目间知识传承与效率复用的基础。多层级事前防控体系是上到下契约化、基层工序控制的一个完整的防控闭环,冲破了以往事后再做补救的被动思想。集成化契约模式从根子上消除各个参与方权责不清、协同不足的行业难题,促使各个主体自觉避开施工衔接失误。企业、项目、工序三级管控架构把标准化经验沉淀下来并加以落实,使事前防控有了标准、有依托、能落地,全方位提高工程项目施工衔接的规范性、稳定性。

3.4 动态化事中协同纠偏机制

一旦施工启动,系统进入动态运行状态,整治策略的重心转向快速响应与协同纠偏。其理想载体是基于数字孪生技术的协同管理平台。该平台整合BIM模型、进度计划、IoT物联网数据(构件位置、环境监测)、甚至人工巡检填报数据,构建一个与物理工地同步映射、双向互动的数字孪生体。当构件通过RFID门禁进场,其信息自动在平台模型中点亮;当无人机扫描发现某处安装偏差超限,平台模型相应位置自动预警变色。更重要的是,平台将传统的“链式”沟通变为“星式”广播。一旦发生预警,平台可自动将问题信息、相关图纸、历史记录同时推送给设计代表、工厂负责人、现场工长、监理工程师等所有相关方,并召集线上短会进行快速会诊。决策形成的纠偏指令(如允许现场微调、通知工厂补发、调整后续工序顺序)再次通过平台同步至所有执行单元,并更新数字孪生状态作为新的协同基准。

3.5 闭环化事后评估优化回路

一个善于学习的组织才能真正进步。项目竣工不是终点,而是下一个项目更高水平运行的起点。必须建立制度化的项目

后评估与知识管理流程。项目结束后，由公司级技术管理部门牵头，组织各参与方召开复盘会，将本项目所有发生的衔接疏漏事件（无论大小）整理成结构化案例，录入企业级“疏漏与创新案例知识库”。每个案例需详细记录：疏漏描述、发生阶段、根本原因（使用 3.1 的维度分析）、处置措施、处置成本与耗时、以及预防再发的建议。定期（如每半年）对该知识库

进行数据挖掘与统计分析，识别高频疏漏类型、高发环节、以及最有效的防治措施。这些分析结论将直接反哺于企业标准的修订、BIM 族库的优化、培训教材的更新、甚至是合同范本条款的完善。例如，下表通过对多个项目数据的聚合分析，揭示了不同疏漏类型的成本影响与防治关键点，为资源精准配置提供了依据。

表 1 多维视角下典型衔接疏漏影响分析与优化杠杆点

疏漏类型	高频发生阶段组合	平均处置周期	平均成本影响系数	根因主要维度	最高效防治杠杆点（优化措施示例）
预埋套管/线盒位置冲突	设计 vs 生产， 设计 vs 施工	长（>5 天）	中高	技术（设计协同不足）	强制推行机电深化设计与结构/建筑模型的定期“碰撞净空”评审制度
外墙板缝密封失效（渗漏）	生产工艺 vs 现场安装	很长（受天气影响）	高（含长期维修）	技术+管理（工艺交底）	建立密封胶选型、打胶环境、工艺参数的企业级标准作业程序 SOP
大型预制楼梯安装标高累计误差	生产精度 vs 现场测量	中（2-3 天）	中	技术（精度链控制）	推行“从基础到构件”的统一测量基准传递与第三方复核机制
叠合板预留钢筋与梁箍筋干扰	设计标准化 vs 现场变异	短（1 天）	低	技术（节点设计）	在 BIM 标准节点库中增加“钢筋避让规则”智能检查模块
构件运输破损导致返厂重修	物流运输 vs 仓储	很长	很高	管理（物流方案）	针对异性构件制定并执行强制性的《专项运输与装卸方案》审批制

（注：成本影响系数是相对于该类构件本身造价的估算比例。）

这个从具体项目实践到企业知识资产，再反馈指导新项目实践的闭合回路，是组织能力持续进化的引擎，也是整治策略框架动态生命力的保证。

4 结语

本研究聚焦于装配式施工中的工序衔接疏漏问题，通过对其本质、特征与多重危害的剖析，以及对设计生产潜伏、物流信息断链、现场人技交互三大诱因的深入溯源，构建了一个包含成因解析、识别方法、事前防控、事中协同与事后评估优化

的五步系统性整治策略框架。该框架的核心理念在于变被动救火为主动防火，化局部处理为系统治理，通过技术与管理的深度融合，构建贯穿项目全生命周期的动态协同与持续优化机制。实证分析表明，该策略能有效降低衔接疏漏发生率，提升施工效率与质量可控性。然而，本研究亦存在局限性，策略的有效性在不同项目管理文化、技术采纳水平下的普适性有待更多样本验证；未来研究可进一步探索人工智能在疏漏智能预测与自动决策支持中的应用，并与精益建造理论更深度结合，探索更低损耗、更高价值的衔接管理模式。

参考文献：

- [1] 张天,付兵先,高亚明,等.预制装配式套衬结构加固铁路隧道衬砌的设计方案及施工工艺[J].隧道建设(中英文),2026,46(5):1121-1132.
- [2] 赵晓勇,李国良,王新东,等.铁路隧道装配式仰拱结构施工过程力学性能[J].隧道建设(中英文),2026,46(4):828-839.
- [3] 王松.新型槽口装配式钢混组合梁叠合板施工关键技术研究[J].公路,2026,71(1):158-164.
- [4] 陈为公,郭慧心,郭力源.考虑外部扰动的装配式建筑施工安全系统脆弱性研究[J].混凝土,2025,(11):136-141.
- [5] 窦玉丹,闫学涯.装配式建筑施工安全风险因素耦合分析:N-K 修正复杂网络[J].安全与环境学报,2025,25(9):3425-3435.