

装配式建筑机电管线集成施工技术

王立杰

(金隅住宅产业化(唐山)有限公司, 河北 唐山 064100)

摘要 本文以装配式建筑机电管线集成施工技术为核心研究对象, 主要论述其技术体系、技术特点和技术构成。采用 BIM 平台下的管道综合设计技术以及模块化装配类预制构件技术, 其最大的特点就是采用了标准接口技术设计和防误操作技术。同时使用管线分离空间优化方案, 使该项目具有明显的优势, 成效广泛而显著。该技术可以大幅度减少现场湿作业, 降低交叉污染和频次调整, 在保证安全的前提下, 可控的环境下实现全生命阶段动态监测能力达标, 给项目执行提供强有力的技术支持。在项目实施过程中构建质量服务体系, 数据信息在工程中都有所体现。项目运维阶段依靠协同管理网络支撑设备维修工作, 优化运维系统以提高装备维修能力, 实现相似数据的整合, 助力数字孪生模型和实体建筑深度融合, 促进绿色环保建造概念的实现, 为绿色建造服务。

关键词 装配式建筑; 机电管线集成; BIM 技术; 全生命周期管理

中图分类号: TU85; TU767

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.11.012

0 引言

建筑行业正朝着工业化和智能化相结合的方向发展, 而装配式建筑是其重要发展形式。机电管线系统是建筑的重要组成部分, 其安装质量、效率直接影响建筑的整体性能以及交付时间。装配式建筑机电管线集成技术应运而生, 依靠多专业协同设计、标准化生产、数字化管理来实现机电管线系统与装配式结构的高效衔接, 为解决传统机电安装难题提供了一种有效的方法, 具有重要的研究与应用价值。

1 装配式建筑机电管线集成技术体系

1.1 技术内涵与特征

装配式建筑机电管线集成技术的核心精神是“机电和结构一体化协同规划”。其本质特点是依靠三维数字模型, 综合建筑、结构、机电、装修等各方面的因素, 打破传统先结构后管道的分步施工流程, 用标准化接口定义、模块化单元划分、工厂预制工艺流程把机电管线系统转变为具有工业化属性的产品形式, 大幅度提高现场装配效率, 明显减少资源浪费现象。

1. 标准化: 制定统一管线规格、连接方式、预埋预留标准, 彻底消除现场加工时随意操作的现象。制定管槽、桥架的标准化尺寸, 严格控制穿墙套管直径、安装位置, 保证模块之间高度兼容。

2. 模块化: 将机电管线系统分为独立的功能单元,

如电气箱体单元、给排水管路单元等。工厂完成预制加工后运送到现场进行组装, 大幅度降低高空作业以及交叉施工造成的安全隐患。

1.2 技术架构

利用 BIM 技术创建多专业协同设计平台, 用统一的数据标准实现建筑、结构、机电、装饰工程之间实时碰撞检测和动态调整。自动生成带精确预留预埋信息的三维施工图, 用管线综合优化算法找到最优布设方案, 输出加工详图和模块化构件清单, 用于工厂预制。

用 BIM 技术对机电管线系统进行模块化设计, 管路联接、设备装置和防腐工艺在工厂内完成。施工现场用螺栓紧固或者卡扣固定的方式快速搭建, 施工路径融合了“装配式建造+智能化辅助”的生产技术。利用 BIM 空间定位引导机械臂准确布置管线, 用激光测距仪校正模块垂直度偏差, 提高作业精度和效率^[1]。

2 关键技术方法

2.1 基于 BIM 的管线综合设计技术

利用 BIM 平台将建筑、结构、机电、装饰等多专业模型数据整合起来, 创建三维可视化协同作业环境。设计阶段用碰撞检测算法 (Clash Detective) 来自动找出管线与结构构件、设备之间存在的硬性或柔性碰撞情况, 并生成详细的报告引导模型随时进行修改。使用 BIM 技术进行协同设计后, 管道碰撞率比传统的

作者简介: 王立杰 (1988-), 男, 本科, 工程师, 研究方向: 装配式建筑预制构件设计、生产及安装。

二维设计下降了大约 87%，现场返工费减少近 30%。

依靠 BIM 技术提取机电管线穿墙及楼板重要节点信息，制作孔洞位置、大小、标高的预留预埋图。施工时用激光投影仪或者增强现实（AR）设备把虚拟模型实时投射到实体结构表面上，指导作业人员准确定位开孔，避免二次凿破造成的结构损伤。某医院项目采用 BIM 定位系统，预留孔位精度控制在 ± 2 毫米以内，使机电设施与建筑主体高度契合。

2.2 预制模块化施工技术

按照机电系统的功能属性（电气、给排水、暖通）以及施工逻辑属性将管线集成分成不同的模块单元，如配电箱体组件、卫生间供水供排模块等。每个模块的设计都按照少规格多组合的原则来设计，统一接口标准以及连接方式。用自动化流水线设备在工厂车间完成管道切割、焊接等工序，用数控机床保证加工精度。某住宅工程项目的电气管线预制比例为 85%，现场装配效率提高约 60%。

预制构件运到现场之后，采用定位销和螺栓或者卡扣式的机械装配技术拼接，大大减少了焊接环节和传统湿法施工的工作量。对于管线穿过墙体等复杂节点处，设计专用配套件，伸缩套管、快速密封接头等，制定标准作业程序来缩短单体模块的安装时间。例如：某商业综合体项目采用装配式支撑体系之后，管线敷设时间由原来的 15 天缩短为不超过 5 天^[2]。

2.3 标准化接口与防呆设计

为解决传统管线连接中容易出现的错位、漏装等问题，在物理防呆接口设计上，采用梯形槽口、异形螺栓孔等特殊形状，确保模块只能按照唯一正确的方向进行对接。同时，研发 D 型电气导管接口，通过独特的形状设计有效防止不同电压等级的管线发生混接；开发磁吸式快速接头，利用磁力引导作用，实现管线的盲装操作，提升安装便捷性与准确性。

考虑到预制构件在现场安装时可能存在的各种情况，建议在预制构件上预先留出余量接口。这些余量接口不仅能应对现场安装过程中因尺寸偏差、位置调整等带来的连接难题，还能为后续可能出现的管线增设、改造等情况提供便利，方便现场安装时灵活借用。

在接口处构建双重防护体系，一方面运用结构冗余方法，如加大连接件的截面面积，以此提高其抗拉、抗剪能力，增强连接的稳固性；另一方面采取功能冗余策略，预留多条备用管线通道，满足未来维修及可能的管线增设需求。此外，在高层建筑的消防系统中，

可在管道接头处安装压力传感器装置，实时检测密封状况，一旦发现异常便自动发出警报信息，实现异常情况的及时预警与快速处理。

2.4 管线分离与空间优化技术

在实际工程建设中，为提升建筑的使用功能与运维便利性，需积极推行结构主体和管线系统分离、管线层与装饰面层独立的双分离体系。结构构件专注于发挥其承载作用，不再承担管线布置的复杂任务。而各类管线设施则巧妙地安置于预制墙体或者架空层（架空层本质上可视为装修层）内部，采用可拆卸模块化组件进行安装。这种设计方式极大地便利了后期的运维工作，当需要对管线进行检修、更换或升级时，无需大规模破坏建筑结构，只需对相应模块进行操作即可。

以某实际酒店项目为例，该项目在装修过程中采用了双层吊顶和模块化管线舱的创新设计。在双层吊顶结构中，上层吊顶主要用于隐藏和布置各类管线，下层吊顶则作为装饰面层，营造出美观舒适的室内环境。模块化管线舱将不同类型的管线进行集中整合，每个舱体都具备独立的功能和便捷的开启方式。在实际检修工作中，工作人员无需破坏原有的装修界面，只需打开相应的模块化管线舱，就能轻松完成设备的调试、维修等工作，大大缩短了检修时间，降低了对酒店正常运营的影响^[3]。

对于设备机房、管井等受限空间，管线布置的合理性直接关系到设备的运行效率和空间的利用效果。为解决这一问题，建立了一个基于遗传算法的三维管道排布模型。该模型以实现最优的管线布置方案为目标，其目标函数综合考虑了多个关键因素，包括最短路径，以减少管线的长度和材料成本；最少交叉冲突，避免管线之间的相互干扰，降低故障发生的概率；最大检修通道宽度，确保在后期运维过程中有足够的空间进行操作。通过该模型强大的计算能力，能够自动生成三维排布方案，为管线布置提供科学合理的指导。

3 装配式建筑机电管线集成施工技术核心优势分析

3.1 减少现场湿作业，缩短工期

传统的机电安装工程大多采用现场焊接、浇筑和防腐，湿作业占到 60% 左右，受天气、环境影响较大。而装配式技术工厂预制 80% 管线组件，现场组装，现场湿作业比例降至 15% 以下。采用该技术以后，机电安装周期由平常的 120 天缩短为 55 天，整个项目竣工时间提前了近四分之一。该模式大幅度减少了建筑工地扬尘、噪声污染，符合绿色建筑的发展方向。

3.2 降低交叉污染与返工率,提升质量

传统施工时,机电管线和结构装修工程交叉作业,经常发生碰撞返工,平均返工率为8%到12%。而装配式建筑依靠BIM技术实现全生命周期协同设计,在前期用三维建模完成碰撞检测与空间优化之后,整体返工率降到了约2%。例如:某医院项目在深化设计阶段用BIM软件找出并解决了上千项管线冲突,经少量现场调整控制实际返工量只有23处,节约了超过300万元的相关费用。预制构件的生产环节严格按照标准化的工艺流程和质量控制方法进行,有效地改善了管道的连接密封性能以及设备的安装精度,在运维阶段故障率比一般情况低近四成^[4]。

3.3 提升施工安全性与可追溯性

装配式技术用模块化安装降低高空作业和交叉施工的风险。采用预制支架系统之后,现场脚手架搭设量减少70%,高空坠落事故的发生概率下降65%。再加上RFID或者二维码标识技术,实现“一物一码”全生命周期追溯,原材料检验、运维检修等数据都可以扫码查询。例如:某数据中心项目依靠质量追溯系统,在3小时内发现某段电缆接头松动的问题,避免了火灾隐患,责任追溯效率提高了90%。

4 全生命周期管理支撑体系

4.1 质量追溯系统构建

4.1.1 RFID/二维码标识技术应用

给机电管线模块创建唯一的编码标识(RFID标签或者二维码),整合类型、规格、生产批次、安装位置等重要信息。工厂预制阶段用自动化设备完成标识嵌入,施工现场操作人员手持终端扫描并读取标识数据,自动关联BIM平台上的设计参数和施工记录,创建“一物一码”的数字化档案系统。用这项技术来管理2万个模块的全生命周期,故障排查的速度比传统方法要快80%左右。

4.1.2 施工过程数据实时采集与存储

依托物联网传感器与移动终端,实时采集施工关键数据:(1)环境数据,通过温湿度传感器监测焊接、防腐等工艺的环境条件。(2)工艺数据,利用激光测距仪、扭矩扳手等工具记录管线安装精度、连接强度。

(3)人员数据,通过人脸识别系统绑定操作人员与施工任务,落实质量责任追溯。所有的数据都通过5G网络实时上传到云端数据库,和BIM模型建立动态关联,形成从原材料检测、工厂加工、现场安装、竣工验收全过程质量管理的数字化档案。例如:某医院建设项目用过程监控法使机电工程验收合格率从92%大幅提高到98%,说明了过程监控法对保证工程质量的积极作用^[5]。

4.2 运维阶段协同管理

4.2.1 管线检修与空间改造支持

基于BIM运维模型开发智能检修系统:(1)故障定位,利用扫描管线标识或者输入设备编号来获取三维模型中管道位置、阀门分布及相关设施的数据信息,给维修工作提供准确的指导。(2)空间冲突预警,在管线或者设备布置的时候,系统自动分析新布局 and 已有设施的空间关系,并出具碰撞检测报告及改良建议方案,防止盲目施工造成原有系统受损。在前期规划阶段,系统提前发现了新增消防管道和电缆桥架存在潜在冲突的问题,避免了后续返工造成经济损失。

4.2.2 数字化模型与实体建筑映射

建立BIM模型与实体建筑的动态映射机制:(1)数据同步更新,物联网传感器实时采集管线运行数据(流量、温度、压力等),发送到BIM平台,使虚拟模型和物理系统动态同步更新。(2)可视化运维,用增强现实(AR)技术把BIM数据和物理环境深度结合,运维人员通过移动终端可以直观地看到管线分布、设备参数、历史维修记录等重要信息,大大加快了决策速度。例如:某住宅工程试点研究表明,使用AR辅助设施维修之后,一处管道检修耗时比传统方法减少约70%,从原来的2小时缩短到20分钟以内。

5 结束语

装配式建筑机电管线集成施工技术依靠先进的技术体系,利用多种关键技术手段,大大提高了施工效率、质量、安全性。质量追溯系统建立和运维阶段协同管理的完成,拓宽了该技术的应用领域以及深度,使建筑全生命周期数据贯通并高效地管理。随着建筑行业的发展,装配式建筑机电管线集成施工技术将不断完善和普及,为提高建筑工业化水平、推动建筑行业转型升级提供有力支持,助力建筑行业迈向绿色、智能、高效的新时代。

参考文献:

- [1] 彭鹏,张文文.装配式建筑实施管理策略分析[J].建筑技术,2022,53(01):124-127.
- [2] 刘东卫,李静,秦姝.装配式建筑设计与系统集成建造的探究[J].建筑技艺(中英文),2021,27(02):6.
- [3] 樊则森,张玥.装配式建筑的物质性特征及其系统集成设计方法[J].新建筑,2022(04):15-19.
- [4] 郑云德.装配式建筑叠合楼板上机电管线的配合施工[J].四川建筑,2021,41(增刊1):159-164.
- [5] 张海峰.装配式建筑机电工程施工技术研究[J].建材与装饰,2019(15):39-40.