

基于 BIM 技术的装配式建筑机电系统应用与分析

韩佳轩

152723*****6617

摘要: 随着建筑工业化进程的加速,装配式建筑以其施工高效、质量可控、环境友好等优势,成为建筑业转型的重要方向。机电系统作为建筑的“神经系统”,其复杂性与集成度要求高,传统施工方式在装配式场景下面临设计与施工脱节、预制精度不足、现场协调困难等诸多挑战。建筑信息模型(BIM)技术以其可视化、协调性、模拟性和优化性等特点,为装配式建筑机电系统的设计、生产、施工与运维全过程提供了创新性的解决方案。本文旨在深入探讨BIM技术在装配式建筑机电系统全生命周期的具体应用模式,分析其带来的技术优势与潜在问题。通过系统阐述BIM技术在机电设计协同、管线综合优化、预制构件深化设计、数字化加工、虚拟装配与施工模拟以及运维管理中的应用路径,并结合实际案例与数据分析其应用成效。研究表明,BIM技术能够显著提升装配式机电系统的设计质量、预制精度与安装效率,实现各环节间的信息无缝传递与高效协同,是推动装配式建筑机电工程向精细化、智能化方向发展的重要技术支撑。最后,本文对当前应用存在的障碍与未来发展趋势进行了总结与展望。

关键词: 建筑信息模型(BIM); 装配式建筑; 机电系统; 管线综合; 预制加工; 协同设计; 施工模拟

DOI: 10.69979/3060-8767.26.04.022

引言

当前,全球建筑行业正经历着以绿色化、工业化、智能化为核心的深刻变革。装配式建筑通过将传统现场大量湿作业的施工环节转移至工厂进行标准化生产,再将预制构件运输至现场进行机械化装配,极大地提高了建造效率、减少了资源消耗与现场污染,符合可持续发展的国家战略。机电工程(包括给排水、暖通空调、电气、智能化等系统)是建筑功能实现的关键,其管线错综复杂,对空间占位和接口精度要求极高。在装配式建筑中,机电系统需与预制的主体结构、墙板、楼板等紧密配合,预留预埋的准确性直接关系到现场装配的可行性与建筑最终品质。

然而,传统以二维图纸为主导的机电设计与施工模式,在应对装配式建筑的集成化要求时捉襟见肘。各专业设计信息孤立、碰撞冲突频发、预制构件深化设计深度不足、现场安装与设计意图偏差大等问题,严重制约了装配式建筑优势的发挥。建筑信息模型(BIM)技术的兴起与发展,为解决这些痛点提供了可能。BIM不仅是一种三维建模工具,更是一种承载丰富属性信息、支持全生命周期数据共享与协同工作的过程与方法。它将建筑及其机电系统以数字化的方式进行创建、管理和使用,使得在设计阶段即可预见并解决大量施工阶段可能

遇到的问题。

因此,研究BIM技术在装配式建筑机电系统中的应用,剖析其如何打通设计、生产、施工、运维的产业链条,具有重要的理论价值与现实意义。本文将从应用的具体环节入手,深入分析其价值与挑战,以期为行业实践提供参考,推动装配式机电的进一步发展。

1 BIM技术与装配式机电系统的融合基础

BIM技术与装配式机电系统的融合,建立在两者内在逻辑的高度契合之上。装配式建筑的核心是“一体化集成”与“精细化前置”,而BIM技术正是实现这一目标的理想载体。

首先,从信息维度看,装配式机电要求构件信息从设计到生产、物流、安装全程透明且可追溯。BIM模型作为一个包含几何信息与非几何信息(如材料、型号、性能参数、生产厂家等)的数字化产品库,能够为每个机电预制构件(如预制管段、集成支吊架、设备模块等)赋予唯一的“身份ID”,实现信息的无损传递与共享。这打破了传统模式下图纸、清单、加工指令等信息割裂的状态。

其次,从协同维度看,装配式机电涉及建筑、结构、机电等多个专业,以及设计院、预制工厂、施工总包等多个参与方。基于BIM的协同工作平台,允许所有相

各方在统一的模型环境中进行操作，实时查看其他专业的设计改动，并进行碰撞检查与协调，从而在虚拟环境中完成绝大多数集成与优化工作，将问题消灭在萌芽状态，为后续的工厂化预制奠定坚实基础^[1]。

最后，从流程维度看，BIM支持从概念设计到运维管理的全生命周期管理。对于装配式机电，这意味着可以在设计早期模拟机电系统在预制结构中的排布，在深化设计阶段直接生成可用于数控加工的模型数据，在施工前进行安装工序的4D（时间）或5D（成本）模拟，在运维阶段利用竣工模型进行资产管理与故障定位。这种流程的整合，极大地提升了整体项目的可控性与经济性。

通过将设计、生产、施工、运维等分散的流程节点串联成一个有机整体，BIM技术为装配式机电系统构建了贯穿全流程的数字化管理闭环。这种闭环不仅减少了各环节之间的信息传递损耗，还能通过实时数据反馈持续优化流程细节，比如根据施工模拟结果调整预制构件的生产顺序，或依据运维阶段的设备运行数据反哺设计环节的参数优化，从而推动装配式机电从传统的线性管理模式向全周期动态协同模式转变。

2 设计阶段：协同设计与深度优化

设计阶段是决定装配式机电系统成败的关键，BIM技术在此阶段的应用主要体现在协同设计与深度优化两个方面。

在协同设计方面，各机电专业设计师以及建筑、结构设计师在统一的BIM平台和标准（如统一的原点、轴网、命名规则、构件库等）下开展工作。通过创建共享的中央模型或采用链接模型的方式，任何一方的修改都能及时被其他方所见。这种工作模式彻底改变了传统的“抛图”式协作，避免了因信息滞后导致的管线碰撞、空间净高不足等常见问题。对于装配式建筑，协同还需延伸至预制构件拆分设计师，确保机电预留套管、孔洞、预埋件的位置与尺寸在结构预制图中得到精准体现^[2]。

在深度优化方面，BIM技术提供了强大的工具支持。首先是三维管线综合。利用Navisworks等综合协调软件，可以对全部机电管线与结构进行碰撞检测，报告硬碰撞（实体交叉）与软碰撞（如安装操作空间不足）。设计团队基于检测报告在BIM模型中反复调整管线走向、标高，优化排布方案，最终生成“零碰撞”的协调模型。这对于空间紧凑、管线密集的区域（如走廊、设备层）

尤为重要，能有效避免现场拆改。其次是净高分析与优化。BIM软件可自动计算并标注各功能区域的最低净高，确保符合规范与使用要求，并通过调整管线排布方案，最大化提升空间品质。最后是基于规则的自动化设计。部分高级BIM工具允许设置设计规则（如管道坡度要求、距墙距离等），软件可自动完成部分管线布局，或对设计方案进行合规性检查，提高设计效率与质量。

3 预制加工阶段：深化设计与数字化制造

设计协调模型完成后，即进入装配式机电的核心环节——预制加工。此阶段BIM的应用重点是深化设计与数据直通加工。

深化设计是在协调模型的基础上，对需要预制的机电部件进行精细化、可加工化的设计。例如，将长的管道系统拆分成便于运输和安装的若干预制管段，并详细设计每个管段的连接方式（如法兰、卡压、螺纹）、管段编号、附件（阀门、仪表）位置及支吊架预焊点等。在BIM模型中，这些信息都以参数化的方式附着在构件上，形成完整的预制加工图（包括三维轴测图、平面图、剖面图及材料清单）。深化设计模型需达到“制造级”精度，确保所有尺寸精确无误。

数字化制造是BIM价值延伸的突出体现。将深化设计后的BIM模型，通过专用接口导出为可用于数控机床（如管道等离子切割机、坡口机、弯管机等）识别的数据格式（如DXF、DWG或机器专属代码）。工厂的生产线直接读取这些数据，驱动设备进行自动下料、切割、开孔、焊接等作业。这种“模型到制造”的流程，消除了传统人工识图、放样、划线带来的误差，实现了高精度、高效率的批量化生产^[3]。同时，基于BIM模型可自动生成包含构件ID、安装位置等信息的二维码或RFID标签，粘贴于预制构件上，为后续的物流追踪与现场安装提供便利。

4 施工与装配阶段：虚拟模拟与精准安装

施工现场是检验前期所有工作成果的最终环节。BIM技术在施工阶段的应用，旨在通过虚拟建造指导物理建造，实现安全、有序、精准的装配。

施工模拟与方案优化是重要应用点。利用4D-BIM技术，将三维BIM模型与项目施工进度计划（时间）相关联，可以动态模拟整个机电系统的安装过程。施工管理人员可以提前发现安装工序的逻辑矛盾、空间占用

冲突（如大型设备吊装路径与结构干涉）、资源调配不合理等问题，进而优化施工方案和进度计划。对于复杂的装配节点或工艺，还可以制作详细的安装动画，用于对现场工人的可视化技术交底，使其直观理解安装顺序、方法与要点，减少误操作。

现场装配与精准定位。现场安装人员通过移动终端（如平板电脑）访问最新的 BIM 竣工模型，可以随时查看任意位置的三维模型、二维图纸及构件属性信息。结合构件上的二维码，扫描即可调出该构件的详细信息与安装指导。此外，BIM 模型与全站仪、放样机器人等测量设备结合，可以将模型中管件连接点、支吊架定位点等关键坐标直接投射到施工现场，实现毫米级的精准定位，确保预制构件“对号入座”，快速完成装配^[4]。这种基于模型的现场管理，大幅降低了对工人个人经验的依赖，提高了安装一次合格率。

5 运维管理阶段：资产管理与智慧运维

BIM 模型的价值并未随着项目竣工而结束，其承载的丰富信息为装配式建筑机电系统的后期运维提供了强大的数据基础。

将设计、施工过程中不断更新完善的 BIM 模型，结合竣工测量数据，形成高度准确的“竣工 BIM 模型”或“数字孪生”底座。该模型与运维管理系统（如 FM 系统）集成，即可实现高效的资产管理。模型中每个机电设备、每段管线都关联着生产厂家、型号规格、安装日期、保修期、维护手册等数据，方便运维人员快速查询、定位和管理资产，制定维护计划^[5]。

在故障响应与维护方面，当某个设备发生故障时，运维人员可以在 BIM 模型中快速定位其位置，查看其上下游系统关联，分析影响范围，并调用相关的技术资料，从而快速制定维修策略。结合物联网（IoT）技术，将 BIM 模型与实时监测系统（如楼宇自控系统 BAS）的数据连接，可以在三维模型中直观显示设备的运行状态（如温度、压力、流量、能耗），实现预测性维护和智慧化能源管理，提升运维效率与建筑能效。

6 结语

BIM 技术作为建筑行业数字化转型的核心引擎，与装配式建筑机电系统具有天然的互补性与融合优势。本文通过系统分析 BIM 在装配式机电全生命周期各阶段

的应用路径，清晰地表明：从设计初期的多专业协同与管线综合优化，到预制阶段的精细化深化设计与数据驱动制造，再到施工阶段的虚拟模拟与精准装配，直至运维阶段的资产管理与智慧分析，BIM 技术贯穿始终，形成了一个闭环的信息流和价值创造链。它有效地解决了传统模式下装配式机电面临的协调难、误差大、效率低等问题，显著提升了工程品质、缩短了工期、降低了成本与浪费，推动了机电安装从现场“建造”到工厂“制造”的根本性转变。

然而，也应清醒地认识到，当前 BIM 技术在装配式机电领域的深入应用仍面临一些挑战。例如，行业统一的 BIM 标准与构件库尚不完善；设计、生产、施工各方基于 BIM 的协同工作流程与责任界面需要进一步厘清；兼具 BIM 技术与装配式知识的复合型人才短缺；前期软硬件投入成本较高等。这些问题需要行业主管部门、企业、高校与研究机构共同努力，通过完善标准体系、创新商业模式、加强人才培养等方式逐步解决。

展望未来，随着 BIM 技术与云计算、物联网、人工智能、数字孪生等新一代信息技术的深度融合，装配式建筑机电系统将朝着更加智能化、自适应化的方向发展。未来的机电系统可能不仅仅是物理部件的装配，更是信息高度集成、能够自我感知、自主优化的智能生命体。BIM 作为其数字底座的基石，其重要性将愈发凸显。持续深化 BIM 技术在装配式机电中的应用研究与实践，对于推动中国建筑产业现代化、实现建筑业高质量发展具有深远的意义。

参考文献

- [1] 赵卿, 韩洲. BIM 技术的装配式建筑设计方法探究[J]. 智慧中国, 2025, (11): 104-105.
- [2] 卢粤华. 基于 BIM 技术的装配式建筑机电集成设计与模块化建造应用研究[J]. 住宅与房地产, 2025, (23): 59-61.
- [3] 王成行, 蒋润萍, 张必洪. 基于 BIM 技术的装配式建筑机电系统应用与分析[J]. 云南水力发电, 2024, 40(12): 167-170.
- [4] 曾尉. BIM 技术在装配式机电安装中的应用研究[J]. 重庆建筑, 2024, 23(06): 62-64.
- [5] 王宇. BIM 技术在优化装配式建筑机电设计中的探索[J]. 石材, 2023, (11): 83-85.