

基于 BIM 技术的建筑机电设备安装中管线布置综合平衡技术应用研究

詹松辉

广州飞英自控系统有限公司, 广东 广州 510655

DOI:10.61369/ERA.2026090021

摘 要： 建筑机电管线排布空间狭小、专业交叉冲突频发，二维图纸施工模式难以适配复杂施工现场需求。依托高层商业综合体机电安装工程，采用 BIM 建模、碰撞检测、分区管线优化及 4D 施工模拟等技术手段，开展机电管线综合平衡排布研究。通过竖向分层规划、综合支架一体化设计、现场实测动态校正，有效消解管线碰撞问题，优化施工工序与材料消耗。研究证实 BIM 管线综合平衡技术可解决狭窄空间机电安装痛点，提升施工精度与现场管理水平，为同类高密度管线工程施工提供技术支撑。

关 键 词： 机电管线综合平衡；碰撞检测；参数化建模

Research on the Application of Comprehensive Balance Technology for Pipeline Layout in Building Mechanical and Electrical Equipment Installation Based on BIM Technology

Zhan Songhui

Guangzhou Feiying Automatic Control System Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong 510655

Abstract： The layout space of building mechanical and electrical pipelines is narrow, and professional cross conflicts occur frequently. The two-dimensional drawing construction mode is difficult to adapt to the complex construction site requirements. Based on the mechanical and electrical installation project of high-rise commercial complexes, BIM modeling, collision detection, zone pipeline optimization, and 4D construction simulation techniques are used to conduct research on the comprehensive balanced layout of mechanical and electrical pipelines. Through vertical layered planning, integrated support design, and on-site dynamic calibration, the problem of pipeline collision is effectively resolved, and the construction process and material consumption are optimized. Research has confirmed that BIM pipeline comprehensive balancing technology can solve the pain points of mechanical and electrical installation in narrow spaces, improve construction accuracy and on-site management level, and provide technical support for the construction of similar high-density pipeline projects.

Keywords： comprehensive balance of electromechanical pipelines; collision detection; parametric modeling

建筑机电系统包含暖通、给排水、电气等多个专业，管线数量繁杂且安装空间受限，传统二维图纸施工模式无法精准体现管线竖向位置关系，施工前期碰撞问题预判不足，极易引发现场返工、吊顶净空不达标、施工工期延误等问题。机电管线综合排布是机电安装工程的核心环节，直接决定工程施工质量与后期运维效果。依托 BIM 数字化技术开展管线综合平衡设计，能够弥补二维施工图纸的先天缺陷。本文基于此，结合实际商业综合体项目，探究 BIM 管线综合平衡技术的落地路径与应用价值。

一、工程案例概况及管线施工难点

（一）项目整体工程概况

本案例为一栋地上 18 层、地下 2 层的高层商业综合体，总建筑面积 82640 m²，地下两层为停车库与机电设备机房，地上 2-4 层为商业中庭及配套商铺，5 层及以上为标准化办公空间。机电安

装涵盖暖通空调、给排水、消防喷淋、强弱电桥架、排烟排风五大系统，核心研究区域为 2-4 层连通中庭及狭长内走廊。走廊净宽仅 2.4m，两侧为实体商铺隔墙，吊顶设计目标净空 2.6m，梁底最低标高 3.35m，扣除吊顶龙骨及饰面厚度 50mm 后，管线可利用竖向安装空间仅 0.7m，布设空间极度受限。全区域机电管线总量共计 1386 根，其中风管 214 根、给排水及消防管线 572 根、强

弱电桥架600根，各类管线密集叠加，是本项目机电施工重难点区域，全文所有技术应用、数据测算、成效分析均围绕该固定区域展开。

（二）现场管线排布核心施工难点

本项目机电管线施工现场空间约束条件严苛，施工推进阻力较大。项目梁体最大下翻尺寸为0.65m，区域内竖向安装净空仅有0.7m，狭小的竖向空间难以满足多专业管线分层安装需求，常规排布方案无法容纳全部管线，极易发生管线实体交叉问题。施工现场走廊整体呈狭长形态，走廊两侧均已砌筑成型隔墙，管线没有额外绕行空间，横向可调距离最大仅150mm，无法依靠大范围管线改道化解管线碰撞问题。中庭大面积排布排烟风口与空调送风口，单块排烟风口规格为1200mm×800mm，风口上部连接管道和横向向管线冲突占比达到68%，直接干扰通风系统正常运行^[1]。同时传统二维施工图纸仅标注平面管线走向，缺少竖向标高参数，前期设计阶段仅排查出21处预估碰撞点，现场样板段施工后实测碰撞点多达79处，现场返工率突破35%，现场实际碰撞问题远比前期设计预判更严峻。

（三）BIM 管线平衡技术应用目标

依托 BIM 管线平衡技术开展全流程管线优化工作，结合现场施工痛点设定贴合现场实际的管控指标。经过多轮管线方案迭代优化，将施工现场硬碰撞点位严控至15处以内，保障吊顶所有区域净空尺寸全部符合施工验收标准。借助三维模型提前完成管线排布优化，从源头规避管线现场切割、改道等返工作业。通过综合支架一体化排布优化，实现综合支架钢材用量降低12%以上，同时压缩现场机电安装无效工期，相比原定施工计划整体工期缩短8天，最终兼顾管线排布观感质量、机电系统运行功能与项目建设成本三大核心管控要求^[2]。

二、BIM 管线布置综合平衡技术工程应用实践

（一）前期模型搭建与原始碰撞数据采集

1. 分专业高精度参数化建模

采用 Revit2024开展建模工作，统一项目建模基准，轴网误差控制在2mm以内，构件标高误差不超过1mm。建模前对齐项目基点与现场测量坐标系，土建模型导入后逐一复核轴网间距与构件标高，偏差超限构件同步修正。区分土建结构模型与机电五大专业模型，风管按实际成品尺寸建模，最大风管尺寸1250mm×400mm，壁厚与法兰尺寸严格遵循《通风与空调工程施工质量验收规范》GB50243-2016要求，建模时计入薄钢板法兰翻边尺寸与保温层厚度^[3]。水管区分冷热供水管、消防喷淋管，按含保温层的外径建模，桥架区分弱电MR-300x100、弱电MR-200x100规格，包含盖板厚度与侧边折边尺寸，完全还原现场构件真实尺寸。

2. 土建结构前置避让校核

优先完成机电模型与土建梁、板、柱、剪力墙的碰撞检测，提前避让固定结构构件。统计原始结构干涉点位47处，其中梁下翻导致净空不足点位29处，剪力墙预留洞偏差点位18处。对预留

洞偏差小于50mm的点位，通过微调管线标高完成避让，偏差超过50mm的点位同步反馈土建单位复核修正^[4]。前置完成固定结构障碍物避让，避免后续管线平衡阶段重复调整，无效优化工作量减少30%以上^[5]。

（二）定制化分区竖向管线分层平衡优化

1. 狭长走廊区域四层竖向标高划分

结合梁底3.35m标高，自上而下固定分层尺寸，第一层即最上层布设排烟风管，管底标高3.20m，风管顶部距梁底预留100mm安装操作空间；第二层布设空调供水管，管底标高3.00m，与上层风管竖向净距150mm，满足保温施工与日常检修需求^[6]；第三层布设强弱电桥架，桥架底标高2.85m，与下层水管净距150mm，符合电气管线防漏水浸泡的安全距离要求；第四层布设喷淋支管，管底标高2.70m，距吊顶完成面预留100mm喷淋头安装调节余量^[7]。

2. 中庭风口区域局部标高动态微调

中庭风口下方及周边1.2m范围设为管线禁布区，禁止布设大型风管与主干管线，防止阻挡气流影响通风效率。对临近风口的强电桥架整体抬高50mm，调整后桥架底标高2.90m，仍符合整体分层逻辑；空调冷水管道向远离风口一侧侧向偏移80mm，偏移后管道与风口法兰边缘净距达120mm，全程不改动主管道路由，通风系统水力平衡不受额外影响^[8]。风口与支管的衔接节点提前在模型中预拼装，确认法兰连接螺栓无空间干涉后锁定对应标高^[9]。

3. 管线水平错缝避让细化处理

同层并行管线间距统一控制在100mm以上，中心间距按管径的1.2倍动态调整，满足支架安装与检修操作的空间需求。小管径管线侧向避让大管径风管与水管，DN50及以下喷淋支管主动避让DN100以上主管，避让距离不小于80mm^[10]。所有管线的弯头、三通、阀门等节点位置逐一核对调整，避免同一断面集中布置多个管件，共计完成局部水平避让调整112处^[11]。

（三）综合支架与管线一体化联动平衡优化

1. 综合支架参数化族库建立

根据四层分层管线的总荷载，定制三类综合支架族，分别为双层风管支架、风管+水管组合支架、桥架+喷淋组合支架。单组综合支架最大承重12kN，采用5号与8号热浸镀锌槽钢组合加工。支架间距严格按规范设定，风管支架间距3m，符合GB50243-2016中水平风管支吊架最大间距规定；水管支架间距2.5m，对应DN150水管的支吊架间距要求；桥架支架间距2m，满足《建筑电气工程施工质量验收规范》GB50303-2015中电缆桥架的支吊架间距标准^[12]。所有支架族包含完整的吊杆、横担、螺栓构件，尺寸与现场加工尺寸完全一致^[13]。

2. 管线与支架同步碰撞校核

将综合支架模型按规范间距布置完成后，与优化后的机电管线模型合并开展二次碰撞校核，检出管线贴合支架横担无安装间隙点位18处，支架吊杆与管线侧壁干涉点位14处。针对此类二次碰撞问题，同步微调管线横向位置，调整幅度控制在30-60mm范围内，所有管线均布置在支架横担居中位置，支架受力均匀，避免偏载引发的支架变形^[14]。调整后再次复核碰撞，二次碰撞点位

全部清零，现场安装无需额外切割支架、改设螺栓孔位^[15]。

3. 集约化支架合并降本优化

将同路由、同竖向分层的多组独立支架合并为一体化综合支架，共用吊杆与上层横担构件。走廊区域原有独立支吊架216组，优化后合并为182组，支架钢材总用量减少13.8%，超出原定12%的降本目标^[16]。同时综合支架的整体性更强，管线安装后的线性顺直度更易控制，后期运维检修时的支架点位辨识度更高。

（四）4D 施工模拟与现场安装动态复核

1. 机电安装工序 4D 时序模拟

将整合完成的 BIM 模型导入 Navisworks，关联 Project 施工进度计划，以天为单位模拟机电安装工序。原计划中风管与水管同步进场施工，模拟后检出工序交叉冲突9处，集中在走廊中段狭窄区域，多专业同时作业无操作空间^[17]。调整后按自上而下、先大后小的顺序排布工序，先安装上层排烟风管，再依次安装空调水管、强弱电桥架、喷淋支管，支架安装随对应管线同步跟进，工序交叉冲突完全消除，作业面利用率提升约22%^[18]。

2. 三维出图与现场交底落地

按每10m一个断面输出管线综合剖面图，标注每根管线的管中心标高、管底标高与横向定位尺寸，支架安装大样图标注螺栓规格、焊接长度与防腐要求，配套生成标高定位明细表，对应每段管线的起止点与精准标高数据，图纸直接附带平面坐标值，现场可直接依据坐标弹线定位，无需二次复核尺寸^[19]。采用 VR 沉浸式交底替代传统二维图纸交底，交底过程中同步收集班组实操反馈，对3处操作空间局促的节点微调管线位置，将靠近墙面的喷淋支管外移20mm，预留套丝操作余量^[20]。

三、技术应用成效与综合效益分析

项目初始全域共计286处碰撞点位，经过多轮方案调整优化后，仅剩余12处不可避让的结构预留洞硬碰撞点位，所有软碰撞问题均已整改完毕，整体碰撞消除率达到95.8%，其中走廊区域优化效果最为突出，该区域碰撞点位由201处缩减至8处。依托前期管线碰撞校核工作，施工现场未发生管线切割改道问题，管线一次安装合格率为98.7%。

经现场实测，项目核心区域吊顶净空尺寸均满足2.6m设计标准。本次机电安装分项工期较计划提前9天，超额完成既定工期目标，现场返工量减少超75%。同时优化综合支架方案，钢材用量降低13.8%，单区域共计节约建设成本8.7万元，本次施工工艺也可同类狭小空间机电安装项目提供实操参考。

四、结语

综上所述，本次研究依托实际工程项目完成 BIM 管线综合平衡技术全流程应用，形成适配低净空狭长空间的管线分层排布方案，实现管线碰撞问题大幅消减，同时完成综合支架集约化优化与施工工序合理化调整，有效兼顾施工质量、工期与成本管控需求。本次研究仅针对中庭及走廊狭窄区域开展技术验证，未覆盖地下室大空间机电管线排布场景。在后续的研究中还应该结合不同建筑空间形态，完善 BIM 管线自动优化算法。

参考文献

[1] 杜运程. 智能建筑施工中机电设备安装的质量控制手段 [J]. 智能建筑与智慧城市, 2026, (4): 143-145.
[2] 汪娟, 杜涛. 建筑机电一体化设备安装技术及电动机的调试方法 [J]. 城市建设, 2026, (11): 39-41.
[3] 陆七红. 建筑机电设备安装存在的问题与技术措施探析 [J]. 中国设备工程, 2026, (7): 223-225.
[4] 严发祥. 建筑机电设备安装精度的测量误差补偿算法研究 [J]. 城市建设理论研究 (电子版), 2026, (8): 82-84.
[5] 傅盼. BIM 技术在建筑工程机电设备安装中的应用分析 [J]. 中国住宅设施, 2026, (2): 142-143.
[6] 郑耿杰. 建筑机电设备安装中精益建造理念的实践路径研究 [J]. 散装水泥, 2026, (2): 94-96.
[7] 李俏俏. 建筑机电设备安装施工中常见问题及对策探析 [J]. 城市建设理论研究 (电子版), 2026, (2): 55-57.
[8] 梁剑东. 新时期智能化建筑工程机电设备安装技术分析 [J]. 中国建筑金属结构, 2025, 24 (22): 61-63.
[9] 马聪. 建筑工程机电设备安装设计管理策略分析 [J]. 绿色建筑与智能建筑, 2025, (11): 151-154.
[10] 李珍福. 建筑机电设备安装的问题及质量控制方法 [J]. 建材发展导向, 2025, 23 (20): 127-129.
[11] 王红茹. 建筑机电设备安装技术要点与安全控制措施探讨 [J]. 城市建设理论研究 (电子版), 2025, (29): 75-77.
[12] 李铁军, 杨涛. 智能化建筑机电设备安装与管理 [J]. 房地产世界, 2025, (17): 80-82.
[13] 刘振华. 建筑机电设备安装质量问题解决策略 [J]. 智慧中国, 2025, (S1): 130-131.
[14] 赖达. 建筑机电设备安装噪声控制措施 [J]. 产品可靠性报告, 2025, (8): 90-92.
[15] 李如新. 建筑机电设备安装工程施工中的质量控制要点与实践 [J]. 散装水泥, 2025, (4): 58-60.
[16] 黄汇淮, 黄青, 刘畅, 等. 基于 BIM 技术的建筑机电设备安装数字化三维建模研究 [J]. 智能建筑与智慧城市, 2025, (8): 62-64.
[17] 周多彪. 建筑机电设备安装中管线布置综合平衡技术的应用分析 [J]. 全面腐蚀控制, 2025, 39 (3): 257-260.
[18] 黄智敏. 建筑机电设备安装中的管线布置综合平衡技术分析 [J]. 低碳世界, 2023, 13 (12): 88-90.
[19] 姚延峰, 张斌强, 吴宗庆, 等. 建筑机电设备安装中管线综合布置技术分析 [J]. 科技风, 2023, (33): 78-80.
[20] 汪彬. 民用建筑机电设备安装中管线布置综合平衡技术 [J]. 中国设备工程, 2023, (14): 212-214.