 DOI: https://doi.org/10.12349/tie.v3i9.11800

Optimization Practice of Electrical Lighting Pipeline Construction in Commercial Complexes

Bo Yang

Shenzhen Mingjiahui Technology Co., Ltd., Shenzhen, Guangdong, 518000, China

Abstract

Commercial complex buildings feature functional diversity, large spatial spans, varied business formats, and high pedestrian density. Their electrical lighting systems are characterized by numerous circuits, dense pipeline distribution, complex control methods, and high energy efficiency requirements. Electrical lighting pipeline construction is a critical component of mechanical and electrical installation projects, with construction quality directly impacting the operational reliability of the lighting system, fire safety assurance, and post-commissioning maintenance convenience. This paper focuses on the technical challenges of electrical lighting pipeline construction in commercial complexes, adopting prefabrication as a support method, information-based management as a control approach, and system commissioning as a safeguard. It establishes a fully integrated collaborative process system to achieve multi-objective improvements in quality, capability, and cost under complex construction conditions.

Keywords

commercial complex; electrical lighting; pipeline construction; process optimization; BIM Technology

商业综合体电气照明管线施工工艺优化实践

杨波

深圳市名家汇科技股份有限公司，中国 · 广东 深圳 518000

摘　要

商业综合体建筑有着功能复合、空间跨度大、业态多样、人流密集等特点，其电气照明系统有着回路数量多、管线分布密、控制方式繁复、能效要求高等技术特点。电气照明管线施工属于机电安装工程的重要部分，施工质量直接关系到照明系统运行可靠、消防安全保障、后期运维方便。本文以商业综合体电气照明管线施工技术难点为立足点，以预制加工为支撑、信息化管控为手段、系统调试为保障，形成全链条协同的工艺体系，在冗杂的施工条件下实现质量、能力、成本的多目标改良。

关键词

商业综合体；电气照明；管线施工；工艺优化；BIM技术

1 引言

商业综合体属于城市功能复合型建筑形态，集商业零售、餐饮娱乐、办公酒店、文化休闲等多元业态于一身，其电气照明系统担负着功能照明、环境创造、应急保障、智能控制等多重任务。照明系统功能的实现不能只靠着灯具选型以及控制系统设计，还要靠着管线施工工艺的精细化水平。电气照明管线是连接配电装置及终端灯具的物理通道，敷设质量直接影响系统的电气安全、运行可靠性和后期可维护性。目前商业综合体电气照明管线施工存在较大的技术难题。一方面建筑空间高度复合，机电系统多达十余个专业，管线密集交错，施工空间极小；另一方面照明回路数量大，控制方式越来越智能化，对管线路由、线径选择、屏蔽接地等提出更高的要求。传统的施工工艺是以二维图纸为依据、以现场加工为特点，在解决上述考验时出现定位偏差频发、管线碰撞大多、返工率高、工期延误等问题。所以，研究适应商业综合体特点的电气照明管线施工工艺改良途径，有重要的理论意义和工程应用价值。

2 商业综合体电气照明系统特征分析

商业综合体电气照明系统由供配电线路、控制网络及终端灯具三大部分组成。供配电线路使用放射式以及树干式相结合的配电方式，由变配电室引出的照明干线经竖井内配电箱分配到各楼层的照明终端箱，再经分支管线连接到各功能区域的灯具以及开关面板。照明回路数量一般为常规公共建筑的 2-3 倍，标准层照明回路就多达数十路 [1]。

控制系统的复杂性是商业综合体照明同普通建筑照明

【作者简介】杨波（1982–），男，本科，工程师，从事电气工程研究。

的不同之处。除传统的手动开关控制外，智能照明控制系统已经被大多使用。该系统使用总线通信或者无线通信方式，用中央控制主机、场景控制面板、调光模块、感应探测器等设备来实现分区控制、定时控制、场景切换、照度调节以及与消防系统的联动等功能。智能照明控制系统出现以后，信号线、控制线和电力线共存的情况就变成常态，对管线的分类敷设、屏蔽接地、防干扰措施提出了更高的要求。

3 电气照明管线施工工艺优化策略

3.1 基于 BIM 的深化设计与管线综合排布

加深设计是施工工艺改良的第一步。传统加强设计以二维 CAD 图纸为载体，各个专业分别绘制管线平面图，在平面上解决标高冲突的能力非常有限。引入建筑信息模型（BIM）技术之后，可以把建筑结构模型同各个专业机电模型整合到同一个三维平台上，继而达成管线融合排布的精确规划 [2]。

电气照明管线加深设计阶段优化策略有三个。第一步，建立包含照明配电箱、电气导管、接线盒、开关插座底盒、灯具安装基座等全部构件的精细化 BIM 模型，构件精度应到了施工下料级别。模型中要正确输入管线规格、材质、标高、坡度等参数。第二步，对电气照明管线模型及结构模型、其他机电专业模型实行碰撞检测，重点检查管线以及梁柱、风管、水管的冲突点。检测结果以碰撞报告的形式输出，对碰撞位置、碰撞类型、严重程度实行标注。第三步，根据碰撞检测结果实行管线融合调整。调整遵循有压让无压、小管让大管、电管让水管的原则，同时考虑照明回路供电半径要求、控制线缆传输距离限制等技术约束条件。经过多次调整后得到融合管线排布方案，导出各专业加强设计图纸及管线定位坐标表。

3.2 预制加工与模块化安装工艺

传统电气照明管线施工以现场加工制作为主，工序含有现场测量、导管切割、煨弯、套丝、连接等，受作业面条件限制，加工能力低、质量波动大。预制加工工艺的核心理念就是将管线的弯头制作、管段切割套丝、盒（箱）体组装等工序转移到加工车间完成，现场只实行拼装连接，然后增加施工能力和质量稳定性。

一是根据下料清单在车间内对镀锌钢管实行切割、去毛刺、弯制、丝扣加工，每一段管经检验合格后编号标识，按楼层、区域分类打包运至作业面。现场作业人员只需要按照编号及定位坐标将预制管段依次连接并固定在结构钢筋上。此方式比传统的现场加工方式，每工日安装长度可以增加 40% 以上，管口切口平整度、螺纹加工精度明显提高。

二是对明敷设的金属线槽、桥架在车间内完成线槽节段切割、开孔、连接件安装、接地跨接线预制，节段长度以方便运输、安装为原则确定。线槽节段在车间内预拼装检测合格后拆解运输，现场按顺序组装，减少高空作业时间。照明灯具的吊杆、悬吊钢索在车间内定长切割、端头加工、附件装配，现场直接安装。

三是模块化安装方式的应用也是预制加工的重要方向。业态相似区域（标准商铺、走廊等）照明管线布置形式相似，可将同一配电箱出线的多路管线集变成一个管线模块，在车间内完成模块整体加工以及预调试，现场整体吊装就位。此种方式在减少现场作业量的时候，也利于施工质量的标准化控制。

3.3 施工过程信息化管控

施工过程控制是工艺措施执行的重要环节。商业综合体电气照明管线施工工序繁杂、作业面分散，传统的巡检式管控方式很难对施工质量实行全方位的把控。引入信息化管控手段，可以有效地增加过程管理的精细化水平。材料进场时用二维码或者射频识别（RFID）标签对管材、线缆、接线盒等主要材料实行标识，标签内存储材料规格、批次、检验状态等信息。作业人员领用材料时扫码确认，保证所用材料与设计规格一致，可追溯材料来源。工序验收环节把隐蔽工程验收、分项工程检验批验收等质量停止点纳入移动端验收流程。验收人员在施工现场实测实量后，借助移动端拍摄照片、录入实测数据、上传验收结论，系统自动比对设计值及实测值，对超差项目发出预警。验收记录实时上传到云端管理平台，形成可追溯的电子施工档案 [3]。进度控制环节，根据 BIM 模型关联施工进度计划，把每一管线敷设区域、每一配电箱安装位置设置为进度控制节点。现场作业人员每天更新完成状态，系统自动生成进度前锋线，直观折射实际进度以及计划进度的偏差，为资源调度决策给出依据。

信息化管控的价值不单是增加管理效率，更在于创建起“数据采集 - 偏差识别 - 纠偏措施 - 效果验证”的闭环管控体系，把施工质量问题的发现和处理从事后整改转向过程控制。

3.4 照明系统综合调试与验收优化

照明系统调试是检验管线施工质量、检验系统功能的最后环节。商业综合体照明系统调试的复杂性在于，调试内容除了常规的绝缘电阻测试、接地电阻测试、照度测试外，还要实行智能照明控制系统的功能验证，囊括通信测试、场景切换测试、调光响应测试、消防联动测试等。

融合调试的组织流程改良是增加调试能力的重要方式。使用分区调试、逐级集成的方式。将建筑分成若干调试区域，各个区域分别对照明配电箱送电测试、回路绝缘检测、灯具点亮试验、控制功能验证。区域调试合格后实行楼层级联调，最后完成中央控制主机的全局联调。

各个调试阶段要重点关注以下技术要点。绝缘电阻测试应在管线敷设完成后、灯具安装前实行，照明线路绝缘电阻值不应小于 0.5MΩ。智能照明控制系统调试之前要先检验通信线路的连通性，用专用仪器测试总线终端电阻、信号电平、波形，无误后才能实行控制软件功能测试。消防联动

调试要模拟火灾报警信号，检验强制点亮应急照明、切断非消防照明电源等联动逻辑的响应时间和可靠性 [4]。

调试过程中发现的问题要分类记录，形成问题清单。对管线施工质量问题（线路接地不良、相零接反、控制线断线等）实行追溯，分析原因并制定整改措施，纳入施工质量总结，为以后工程给予经验参照。

4 工程实践案例

4.1 工程概况与优化目标

某城市商业综合体项目总建筑面积约 18.6 万平方米，地下三层，地上六层，有大型超市、精品零售、餐饮娱乐、儿童体验、影院等业态。电气照明系统包含正常照明、备用照明、疏散照明、景观照明等子系统，共设计照明配电箱 96 台，照明回路 680 余路，智能照明控制模块 120 多个。照明管线使用镀锌钢管暗敷以及金属线槽明敷相结合的方式，其中暗敷钢管约 4.2 万米，明敷线槽约 1.8 万米。

该工程主要的考验有地下空间层高受限，管线融合排布空间紧张，各业态交叉施工，作业面协调难度大，智能照明控制系统接入楼宇自控系统，调试接口冗杂。项目施工前设定的改良目标为管线施工返工率比同类项目低 30%，照明系统调试一次通过率不低于 95%，工期比定额工期缩短 10%。

4.2 优化措施实施

在加强设计阶段，项目创建 BIM 协同平台，电气、结构、暖通、给排水等专业共同加入，完成全专业管线融合模型。电气照明模型包含全部配电箱、管线、接线盒、开关插座、灯具模型。碰撞检测共发现照明管线以及风管、水管的冲突点 137 处，经过三轮协调调整，全部冲突点都得到了解决。加深设计成果输出有照明管线融合平面图、各区域管线剖面图、预留预埋定位图、预制管段下料清单等。

施工现场设置镀锌钢管预制加工车间，配备全自动液压弯管机、数控套丝机。根据 BIM 模型生成的下料清单，共预制加工管段 2800 余节，按楼层、区域编码后分批配送到作业面。对走廊、商铺区域标准照明单元制作了 8 种类型共 120 余套预制管线模块。

施工管控上使用移动端质量验收系统，在预埋管线隐蔽前、管线连接完成后、穿线完成后等核心节点设置验收停止点，共形成电子验收记录 620 余份。系统预警机制在预埋阶段发现定位偏差问题 23 项，全部在混凝土浇筑前整改完毕 [5]。

调试阶段按照分区调试、逐级集成的方案，将调试区域划分为 12 个区域，每个区域独立完成绝缘测试、送电试亮、控制功能验证后，再实行全楼联调。智能照明系统调试按照通信测试、单灯控制、场景切换、时序控制、消防联动的顺序逐项实行。

4.3 优化效果分析

管线施工质量方面，经隐蔽工程验收记录统计，管线定位偏差超出规范要求的比例由同类项目的平均 12.6% 减少到 3.2%，管内穿线绝缘电阻测试一次合格率达 97.8%。暗敷管线在混凝土浇筑后出现堵塞剔凿处理的共 5 处，比同类项目减少约 70%。

施工能力上照明管线施工总工期为 68 天，比定额工期 102 天缩短了 33.3%。预制加工管段现场安装工效为每工日 18 ~ 22 米，是传统现场加工方式的 1.5 倍。

返工及成本方面，由于管线碰撞、定位偏差等原因造成的返工只有 9 个施工段，返工率比同类项目低约 35%。材料损耗率控制在 3.5% 以内，比行业平均水平低。

系统调试，照明系统一次送电成功率为 100%，智能照明控制系统功能测试一次通过率为 96.7%。消防联动测试中应急照明强制点亮响应时间均小于 3 秒，符合规范要求。

5 结论

商业综合体电气照明管线施工工艺改良，是包含设计、加工、施工、调试等全过程的综合性工程。本文研究说明，以 BIM 技术为支撑的加强设计可以将管线空间冲突前置化解，是减少施工返工的根本性措施；预制加工及模块化安装把传统现场分散作业变成车间集约化生产，施工能力以及质量稳定性得到明显提高；信息化施工管控靠着数据采集和过程预警，可以实现质量问题的早期识别及即时纠偏；系统化调试验证保证了照明系统从单点功能到全局联动的可靠实现。四类改良措施互相联系、逐层推进，一起形成适应商业综合体繁复施工条件的工艺改良体系。工程实践证明，该改良体系可以有效地减少返工率、缩短施工周期、增加调试一次通过率，为同类项目的电气照明管线施工给予了一条技术途径。

参考文献

[1] 刘泽伟.物联网技术在商业建筑电气智能照明系统中的应用[J].光源与照明,2025,(3):96-98.

[2] 邹高丰.商业办公楼建设过程管理与技术问题解析[J].四川水泥,2020,(5):169-170.

[3] 林赐文.建筑电气照明系统节能设计研究[J].四川水泥,2019,(12):99-100.

[4] 程荣军.常州市南大街商业步行街夜景照明设计要点浅谈[J].江西建材,2013,(5):37-38.

[5] 曹涛,张蕾.商业街区的光环境营造及夜景照明设计[J].现代建筑电气,2013,(S1):253-255.