

建筑电气设计中导线选型与敷设方式的优化

张通

中核华伟工程设计研究有限公司, 河北 石家庄 050000

[摘要]随着“双碳”目标的深入推进, 建筑电气设计面临安全性、经济性与节能环保的多重挑战。导线作为电力传输的核心载体, 其选型与敷设方式直接影响系统效率、工程投资与运维便利。文章系统梳理当前建筑电气设计中导线选型与敷设存在的常见问题, 结合 GB 51348—2019 等最新国家标准与工程实践经验, 从导体材料、绝缘类型、载流量校正、保护装置灵敏度配合及敷设工艺优化等方面提出系统的优化策略。文章重点探讨不同桥架形式对载流量的影响、民用与工业建筑敷设方式的差异化设计, 论证精细化设计在提升系统可靠性方面的重要意义。

[关键词]: 建筑电气; 导线选型; 载流量校正; 灵敏度校验; 敷设方式; 桥架散热

DOI: 10.33142/ec.v9i3.19267

中图分类号: TU9

文献标识码: A

Optimization of Wire Selection and Laying Methods in Architectural Electrical Design

ZHANG Tong

CNNC Huawei Engineering Design and Research Co., Ltd., Shijiazhuang, Hebei, 050000, China

Abstract: With the deepening of the "dual carbon" goal, building electrical design is facing multiple challenges in terms of safety, economy, and energy conservation and environmental protection. As the core carrier of power transmission, the selection and laying method of wires directly affect system efficiency, engineering investment, and maintenance convenience. The article systematically summarizes the common problems in wire selection and laying in current building electrical design, and combines the latest national standards and engineering practice experience such as GB 51348—2019 to propose systematic optimization strategies from the aspects of conductor materials, insulation types, current carrying capacity correction, sensitivity coordination of protective devices, and laying process optimization. The article focuses on exploring the impact of different bridge forms on current carrying capacity, the differentiated design of laying methods between civil and industrial buildings, and demonstrating the importance of refined design in improving system reliability.

Keywords: building electrical; wire selection; current carrying capacity correction; sensitivity verification; laying method; bridge heat dissipation

1 概述

1.1 研究背景与意义

建筑电气系统是现代建筑的“神经网络”, 其设计质量直接关系到建筑功能的实现、能源消耗水平以及人民生命财产安全。导线作为电力传输的“血管”, 其选型与敷设往往被视为基础性工作, 但技术复杂性常被低估。据统计, 电气火灾中相当比例是由于导线过载、绝缘老化或敷设不当引发的短路所致。特别是在高层建筑和大型综合体中, 电气线路密布, 一旦发生故障, 后果不堪设想。

与此同时, 铜材作为导线主要原材料, 其价格波动显著影响电气工程造价。近年来铜价持续高位运行, 电气工程中导线部分造价占比可达 15%~25%。如何在保证安全可靠的前提下, 通过科学选型和合理敷设减少不必要的浪费、降低线路损耗, 实现“节能降耗”与“精细化设计”, 已成为电气工程师的重要课题。

1.2 国内外研究现状

国际电工委员会(IEC)及欧美发达国家在导线载流量计算、环保型绝缘材料应用方面已建立较为完善的标准

体系。IEC 60364-5-52 对不同敷设方式下的载流量校正作出了详细规定, 为各国标准制定提供了依据。国内自《民用建筑电气设计标准》GB 51348—2019 实施以来, 对导线燃烧性能、环保要求及敷设保护提出更严格规定, 明确了人员密集场所必须采用低烟无卤导线的强制性要求。

然而在实际工程中, 仍存在设计人员计算维度单一、考虑因素不全等问题。近年来的研究表明, 除传统的载流量和电压损失校验外, 保护电器的灵敏度配合、谐波影响下的中性线选择等问题日益凸显, 亟需在设计实践中得到重视和规范。

2 导线选型的现状与问题分析

2.1 计算维度的局限性: 忽视保护装置灵敏度校验

当前导线选型实践中, 大多数设计人员能够依据设备功率计算负荷电流并校验电压损失, 这固然是设计基础。然而根据笔者多年的设计经验与工程回访发现, 保护装置(断路器、熔断器)的灵敏度校验与热稳定往往是设计环节中最容易被忽视、也是后期运行中最容易出现故障的环节。

具体表现为：当线路较长、截面选择偏小时，线路阻抗增大。一旦发生远端(末端)单相接地故障或相间短路，故障电流可能不足以使保护装置在规定时限内可靠动作。这将导致故障不能及时切除，故障点持续发热，甚至引发电气火灾。在实际工程中，曾出现厂房内远端插座回路发生接地故障，断路器拒动，最终导致线路烧毁的事故案例。因此，仅靠计算电流和电压损失选出的截面，若不经接地故障灵敏度校验，可能埋下严重安全隐患。

2.2 绝缘及护套材料的误区

聚氯乙烯(PVC)绝缘导线(如BV线)因价格低廉仍在大量使用，但其燃烧时发烟量大、释放卤酸气体，且耐温等级较低(通常70°C)。在消防线路或人员密集场所，本应使用低烟无卤(WDZ)或矿物绝缘电缆，但部分设计为降低成本仍采用普通阻燃PVC，埋下火灾隐患。值得注意的是，普通PVC在燃烧时产生的HCl气体遇水形成盐酸，会对精密设备和逃生人员造成二次伤害。

2.3 敷设环境考虑的粗放化

许多设计在确定载流量时仅参考标准工况数据，未结合具体敷设环境进行校正。特别是电缆桥架，不同结构形式的散热能力差异显著，若统一采用同一校正系数，将导致载流量计算失真，影响系统安全运行。此外，环境温度的季节性变化、多回路并列敷设的相互热影响等因素也常被忽略。

3 导线选型的优化策略

3.1 导体材质的优化：坚持铜芯，合理分级

在铜芯导线前提下，优化主要体现在根据负荷性质和供电距离合理选择截面。照明支线通常采用2.5mm²铜芯线，除灵敏度不满足要求外，不应随意放大造成浪费；普通插座回路2.5mm²可满足10A以下负荷，但若回路过长导致电压降或灵敏度不足，应适当放大至4mm²；大功率设备应根据计算电流严格选择截面，并预留适当裕量。

3.2 绝缘材料的升级换代

(1)推广交联聚乙烯(XLPE)：相较于PVC，XLPE绝缘耐温等级可达90°C，载流量可提升约15%~20%。以YJV电缆为例，相同截面下其载流量较BV线提升显著，在长距离供电时可有效减小截面选择，节约材料成本。同时XLPE绝缘具有更好的耐老化性能，使用寿命更长。

(2)强制使用低烟无卤(WDZ)：依据GB 51348—2019，超高层建筑、大型商场、医院、学校等人员密集场所线路必须采用燃烧性能不低于B1级的低烟无卤导线。WDZ导线在燃烧时发烟量低、无毒气释放，为人员逃生争取宝贵时间。

(3)矿物绝缘电缆的应用：消防水泵、消防电梯、防排烟风机等应急供电线路，矿物绝缘电缆(如BTTZ、NG-A)虽成本较高，但其在950°C火焰下可持续供电3小时以上的特性不可替代，是保障生命安全的“最后一道

防线”。

3.3 精细化截面计算：纳入灵敏度校验的四维设计法

摒弃仅考虑电流与电压损失的二维设计，建立包含“计算电流、电压损失、热稳定、灵敏度”的四维校验体系：

(1)载流量校正：严格按敷设环境温度、土壤热阻系数进行折减。特别需注意不同电缆桥架形式的校正系数差异：

①电缆敷设于封闭式(槽盒)电缆桥架时，散热条件较差，空气流通受阻，载流量校正系数通常取0.7。

②敷设于梯级式或托盘式桥架时，散热条件较好，空气可自然对流，校正系数可取0.78。

③对于多根电缆并列敷设，需根据IEC标准查取并列校正系数，当并列根数超过6根时，校正系数可能降至0.7以下。

④设计人员应在图纸中明确桥架类型，据此进行载流量精确计算，避免因散热不良导致过热隐患。

(2)电压损失校验：长距离供电回路需确保末端电压偏差在允许范围内。根据GB 50052规定，电动机端子电压偏差不宜超过±5%，照明灯具不宜超过±5%或-10%。对于供电半径超过100m的回路，应重点校验电压损失。

(3)热稳定校验：确保导体截面能承受线路预期的

短路电流热效应。根据公式 $S \geq \frac{\sqrt{I_t t}}{K}$ 进行校验，其中K为导体材料系数，铜芯取143。对于靠近变压器的出线回路，短路电流大，需重点复核。

(4)保护装置灵敏度校验(关键优化点)：

①必须对线路末端最小短路电流(通常是单相接地故障电流)进行计算。计算公式为 $I_d = \frac{U_0}{Z_{ph-pe}}$ ，其中 Z_{ph-pe} 为相保回路阻抗。

②确保该电流值 I_d 大于保护断路器瞬时脱扣整定值 I_{set} 的1.3倍(或符合GB 50054规定的1.3~1.5倍)，以保证故障时保护装置可靠跳闸。

③若灵敏度不满足要求，可依次考虑：增大导线截面(降低线路阻抗)、调整保护装置整定值(如采用短延时脱扣)、缩短供电半径(优化配电级数)或采用剩余电流保护装置(RCD)作为后备保护。这在厂房供电、长距离路灯配电及住宅公共照明回路中尤为重要。

3.4 谐波影响的考虑

对于三相四线制系统，若存在大量谐波源(如LED照明、计算机负载、变频设备)，中性线截面不应小于相线截面。当3次谐波含量较高时，即使三相负载均衡，中性线电流也可能达到相电流的1.73倍，此时中性线截面需按1.73倍相电流选择。

具体而言，对于LED照明集中场所(如大型办公楼、

商场), 3 次谐波含量可达 20%~30%, 设计时应明确要求灯具谐波限值, 并按中性线放大截面配置。对于数据中心等含有大量开关电源的场所, 除中性线放大外, 还应考虑采用 K 系数变压器或加装有源滤波器。设备选型时, 应对可能产生大量谐波的设备提出谐波限制要求, 从源头控制谐波水平。

4 导线敷设方式的优化

导线敷设不仅关乎美观, 更直接影响散热、电磁兼容及后期维护。优化设计应结合建筑功能需求灵活应对。

4.1 基于散热效率的桥架优化设计

(1) 桥架形式的选择: 封闭式桥架虽防尘美观, 但散热系数较低 (0.7), 适用于环境洁净度要求高的场所如洁净车间、精密仪器室。在防尘要求不高的场所 (如设备机房、普通工业厂房、地下车库), 宜优先选用梯级式桥架以提高散热效率, 降低线路损耗。

(2) 单层敷设原则: 截面较大的电缆 (通常指 $\geq 35\text{mm}^2$ 发热量较大的干线), 在桥架内宜采用单层敷设, 避免堆积或叠放。大截面电缆发热量大, 若多层叠放, 中间层热量无法散出, 会使绝缘工作温度超过允许值, 加速老化。设计时应根据电缆数量和截面预留足够桥架宽度, 确保大电缆能平铺排列, 一般建议桥架填充率不超过 40%。

(3) 间距控制: 即使单层敷设, 电缆之间应留有一定的间隙, 便于固定并利于空气对流散热。

4.2 基于建筑功能的出线方式优化(民用与工业的差异化设计)

导线出桥架后至用电设备的末端敷设方式, 应根据建筑类型和美观要求进行优化:

(1) 民用建筑 (办公楼、商业楼、住宅):

原则: 美观优先, 兼顾防护。

做法: 电缆从桥架引出后不宜直接明露, 通常采用穿管暗敷设。电缆出桥架后, 通过金属软管或镀锌钢管引入墙内、吊顶内或地板内暗埋。这种方式虽施工稍复杂、后期维修更换难度大, 但能最大程度保证室内空间整洁美观, 满足商业和居住需求。在吊顶内敷设时, 应采用可开闭的检修口, 方便日后维护。

(2) 工业建筑 (厂房、仓库、车间):

原则: 方便施工与检修, 兼顾安全。

做法: 工业建筑对管线美观度要求相对较低, 且设备布局可能随工艺调整变动, 宜采用穿管明敷设。电缆沿墙壁、柱面或梁架采用钢管或金属线槽明敷。明敷设优势在于:

①施工便捷: 免去开槽、埋管、修补等工序, 施工速度快, 特别适合工期紧张的项目。

②散热良好: 明敷管处于空气中, 散热条件优于埋墙暗敷, 载流量可适当提高, 一般可放大 5%~10%。

③便于维护与扩容: 线路故障或需要增容时, 明敷管线易于查找故障点、拆卸更换或增加新回路, 适应工业生

产的动态需求。

4.3 基于 BIM 技术的路径优化

利用建筑信息模型 (BIM) 进行管线综合排布, 是提升敷设质量的有效手段。BIM 技术的核心价值在于将二维设计转化为三维协同, 提前发现并解决空间冲突。

(1) 碰撞检查: 自动检测电气桥架与风管、水管、消防管的位置冲突, 避免施工阶段返工。通过 BIM 模型, 可在设计阶段优化管线走向, 减少不必要的翻弯和绕行, 降低线路长度和电压损失。

(2) 空间管理: 优化桥架层叠顺序, 遵循“强电在上, 弱电在下, 给水在侧, 风管最大”的原则, 强、弱电桥架间距不小于 0.25m, 既保证散热, 又避免电磁干扰。同时合理利用梁窝空间, 提高吊顶净高。

(3) 支吊架优化: 采用综合支吊架, 将多专业管线整合在同一支架上, 减少钢材用量, 提升空间利用率。BIM 可精确计算支吊架荷载, 优化布置方案, 避免过度设计。

4.4 特殊场所的敷设优化

(1) 潮湿场所 (水泵房、室外、地下室): 采用镀锌钢管 (SC 管) 壁厚不小于 2.0mm, 导线选用防水型 (如橡胶套电缆), 管口密封处理防止凝水进入。埋地敷设时应选用铠装电缆, 并做防腐处理。

(2) 高温场所 (锅炉房、厨房、热处理车间): 采用耐高温导线 (如云母绝缘或硅橡胶绝缘) 并穿金属管明敷, 管口密封防止油气侵蚀。电缆选型时应按实际环境温度校正载流量。

(3) 电气竖井: 竖井内温度通常高于环境温度 3~5°C, 设计时应考虑温度校正系数。同时注意强、弱电分侧敷设或采用屏蔽分隔, 避免干扰。竖井内应设置防火封堵, 每层楼板处做防火分隔。

(4) 变配电所: 电缆夹层或电缆沟内敷设时应考虑排水措施, 避免积水浸泡。高压电缆与低压电缆宜分侧敷设, 间距满足规范要求。

5 结论与展望

5.1 结论

本文通过对建筑电气设计中导线选型与敷设方式的系统研究, 结合工程实践经验, 得出以下结论:

(1) 选型科学化: 坚持以铜芯为主体, 结合绝缘材料升级 (XLPE、WDZ、矿物绝缘), 建立包含灵敏度校验在内的四维计算体系, 杜绝因远端故障无法切除引发的安全风险。灵敏度校验应作为长线路设计的必要环节。

(2) 计算精细化: 必须区分不同桥架形式 (封闭式 0.7、梯级式 0.78) 的散热差异, 考虑环境温度、并列根数等多重校正因素, 对大截面电缆严格执行单层敷设原则, 确保载流量计算与实际运行工况相符。

(3) 敷设功能化: 末端敷设方式不应千篇一律。民

用建筑应优先考虑美观采用穿管暗敷;工业建筑则应注重检修便利性采用穿管明敷。BIM 技术的应用可有效优化路径,减少冲突,提升空间利用率。

(4)安全底线化:在涉及消防的关键场所,导线的燃烧性能、耐火时间必须作为强制性指标优先考虑。矿物绝缘电缆和低烟无卤材料的应用是必要的安全投入,不可因成本因素降低标准。

5.2 未来展望

随着“双碳”战略的深入实施和建筑电气技术的快速发展,导线选型与敷设将面临新的挑战与机遇。

直流配电的发展:建筑光伏(BIPV)、储能系统和直流电器的普及,将推动建筑直流配电技术的应用。直流系统不存在集肤效应和谐波问题,但需考虑直流电弧的检测与保护,导线的选型标准或将迎来修订。

绿色环保要求:环保法规的加码将推动可降解、易回收的环保型绝缘材料的研发与应用。生物基塑料、无卤低烟材料的成本将进一步降低,应用范围不断扩大。同时,全生命周期碳排放评估将成为导线选型的重要考量因素。

智慧建造技术:BIM技术的深化应用将与施工管理、运维管理深度融合,形成数字孪生模型,为建筑电气的全生命周期管理提供支撑。

设计人员只有紧跟技术前沿,严守规范底线,秉持精细化设计理念,才能在保障安全可靠的前提下,实现经济合理、绿色低碳的目标,打造安全、高效、绿色的现代化

建筑电气系统。

[参考文献]

- [1]中华人民共和国住房和城乡建设部. GB 51348-2019 民用建筑电气设计标准[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2019.
- [2]中国航空规划设计研究总院有限公司.工业与民用供配电设计手册(第四版)[M].北京:中国电力出版社,2016.
- [3]中国建筑标准设计研究院.建筑电气常用数据 19DX101-1[M].北京:中国计划出版社,2019.
- [4]王厚余.建筑物电气装置 600 问[M].北京:中国电力出版社,2013.
- [5]李英姿,张颖.建筑电气设计中的电缆选型及经济性分析[J].建筑电气,2022,41(5):12-17.
- [6]陈众,刘洪波.基于全生命周期成本的建筑电气线路优化设计研究[J].现代建筑电气,2023,14(2):25-29.
- [7]王晓东,张立华.BIM 技术在建筑电气管线综合优化中的应用[J].智能建筑电气技术,2021,15(4):45-48.
- [8]赵建华,李明明.建筑电气设计中谐波抑制与中性线选择探讨[J].电气应用,2022,41(8):62-66.
- [9]孙志强.低压配电线路保护电器灵敏度校验的工程实践[J].建筑电气,2021,40(3):33-37.

作者简介:张通(1994.2—),毕业院校:河北工业大学城市学院,所学专业:电气工程及其自动化,当前工作单位:中核华伟工程设计研究有限公司,职称级别:工程师。