

# 建筑电气设计中低压配电系统可靠性分析

马桥阳

(山东省环能设计院股份有限公司, 山东 济南 250101)

**摘要** 低压配电系统是建筑电气设计的重要组成部分, 承担建筑内部电力的传输、分配与控制任务, 运行的可靠性关系到建筑使用的安全性与舒适性, 也影响建筑功能的正常发挥。本文结合实际工程经验, 分析低压配电系统可靠性的内涵与评价指标, 探究影响可靠性的主要因素, 提出优化设计措施, 以期为建筑电气设计中低压配电系统可靠性提升提供实践参考, 进而降低系统故障发生率。

**关键词** 建筑电气设计; 低压配电系统; 配电线路; 保护装置; 设备选型

中图分类号: TM72

文献标志码: A

DOI:10.3969/j.issn.2097-3365.2026.11.013

## 0 引言

低压配电系统是建筑电力供应的末端环节, 连接高压配电系统与建筑内部各类用电设备, 包含配电柜体、线路、保护装置等组成部分, 是保障建筑用电安全的基础。住宅、商业综合体等不同类型建筑的用电负荷数量与性质差异明显, 对低压配电系统可靠性的要求也各不相同, 设计水平的高低直接决定系统运行的稳定性与安全性。因此, 分析建筑电气设计中低压配电系统可靠性具有重要的现实意义。

### 1 建筑电气设计中低压配电系统可靠性的评价指标

平均无故障工作时间的计量单位为小时, 具体是低压配电系统从正式投入运行开始, 到第一次发生非计划内故障为止的平均时长, 是衡量系统稳定运行能力的重要指标。不同类型建筑的低压配电系统, 用电负荷的复杂程度、运行时间长短各不相同, 对这一指标的要求也有差异。住宅建筑的低压配电系统, 平均无故障工作时间不低于 8 760 小时; 商业综合体与工业厂房的低压配电系统, 负荷更复杂、运行时间更长, 平均无故障工作时间不低于 10 000 小时。指标数值越大, 系统发生故障的频率越低, 运行的可靠性也就越高, 电力传输与分配的稳定性也更强<sup>[1]</sup>。

故障平均修复时间以小时为单位, 反映低压配电系统发生故障后, 工作人员从发现故障、排查原因到修复系统、恢复正常运行平均耗时。与平均无故障工作时间不同, 故障平均修复时间数值越小, 故障排查与修复的效率越高, 故障对建筑用电的影响也越小, 能减少停电或电力不稳定带来的损失。普通建筑的低压配电系统, 故障平均修复时间应控制在 2 小时以内;

工业厂房对供电连续性要求高, 其低压配电系统的故障平均修复时间应控制在 1 小时以内, 保障生产活动连续进行。

供电可靠率以百分比呈现, 计算方式是规定时间内系统实际供电时间与计划供电时间的比值, 衡量低压配电系统供电的连续性, 指标数值越高, 系统供电中断的次数越少、时间越短, 可靠性越强, 能更好地满足建筑内部各类用电设备的运行需求。住宅建筑的供电可靠率应不低于 99.9%, 商业综合体与工业厂房用电负荷大、对供电稳定性要求更高, 供电可靠率不低于 99.95%, 避免频繁停电影响各类用电活动。

故障率是单位时间内低压配电系统发生故障的次数, 计量单位为次/年, 反映系统故障发生的频繁程度, 与系统可靠性呈反向关联。数值越低, 系统单位时间内故障次数越少, 运行状态越稳定, 可靠性越高。普通建筑的低压配电系统, 故障率应控制在 2 次/年以内, 工业厂房的低压配电系统负荷波动大、设备运行强度高, 故障率可适当放宽, 但不能超过 3 次/年, 避免影响生产、造成经济损失。

### 2 建筑电气设计中影响低压配电系统可靠性的主要因素

#### 2.1 配电系统结构设计的合理性

配电系统结构设计的合理与否, 是影响低压配电系统可靠性的首要因素, 决定系统电力传输与分配的效率, 也决定系统运行的稳定性, 结构设计的任何疏漏, 都可能导致系统故障, 影响建筑用电供应。在实际设计中, 部分设计人员对建筑用电负荷的计算不够精准, 未结合建筑使用功能、负荷分布特点, 导致配电系统

作者简介: 马桥阳 (1993-), 女, 本科, 助理工程师, 研究方向: 建筑工程。

结构存在不合理之处。部分建筑采用四级及以上配电级数,增加线路损耗与电压降,提高故障概率,某一级配电故障会影响整个系统运行;部分设计人员未结合实际选择配电方式,导致区域负荷过载与负荷不足并存,破坏系统运行稳定性,降低可靠性<sup>[2]</sup>。

## 2.2 配电设备选型的规范性

配电设备是低压配电系统的重要组成部分,包括断路器、接触器、熔断器、变压器、配电柜等,设备的质量、规格与性能,关系到系统运行的可靠性,选型的规范性是系统稳定运行的关键。部分设计人员为控制成本,选用质量不合格、规格与系统需求不匹配的设备,甚至选用淘汰型号,导致系统频繁出现设备故障。部分设计人员选型时未考虑配电回路的负荷电流、短路电流,断路器额定电流、分断能力与回路参数不匹配,出现误动作或拒动;变压器容量过小会长期过载运行,加速绝缘老化、缩短使用寿命;接触器选型不当会出现触头粘连、线圈烧毁,影响回路通断;质量不合格的设备易出现零部件损坏、接触不良,增加故障发生率。

## 2.3 线路布置的科学性

低压配电线路是电力传输的载体,线路布置的科学性与合理性直接影响电力传输的效率与安全性,也影响系统的可靠性。线路布置的敷设方式、截面确定、固定防护及接头处理,任何环节不规范,都可能引发线路故障。一些设计人员未考虑建筑结构特点、环境条件,线路布置不合理。潮湿、多粉尘环境采用明敷方式,会导致线路绝缘层受潮损坏,引发短路、漏电;高温环境线路敷设过密,散热不良、温度升高,加速绝缘老化、缩短寿命。线路截面过小会增加电阻与损耗,电压降过大无法满足设备额定电压,易发热烧毁;截面过大则增加成本、加大敷设难度,浪费电力资源。

## 2.4 保护装置配置的合理性

低压配电系统的保护装置有短路保护、过载保护、漏电保护、过电压保护等,作用是系统故障时快速切断故障回路,避免故障扩大,保护设备安全、减少损失,配置的合理与否决定保护效果,影响系统可靠性。部分设计人员对保护装置重视不足,配置存在不合理之处。一些设计人员为控制成本,未按规范配置漏电保护、过电压保护等必要装置,故障时无法及时切断回路,易引发电气火灾、设备损坏。保护装置参数设置不当,短路保护参数过大无法及时跳闸、过小易误动作;过载保护参数不合理,无法及时发现过载故障,线路长期过载易发热烧毁。

## 3 建筑电气设计中低压配电系统可靠性的优化设计路径

### 3.1 优化配电系统结构设计

配电系统结构的优化设计,是提升低压配电系统可靠性的关键手段。设计人员应精准把握建筑使用功能与负荷分布的实际特点,把用电负荷的精准计算落到实处,科学确定配电级数与配电方式,从结构设计的源头减少故障隐患,保障系统长期稳定运行。用电负荷的计算是结构优化的基础前提,设计人员可先明确建筑的具体类型与实际使用功能,划分出不同的功能区域,逐一统计建筑内部各类用电设备的数量与额定功率,精准核算出建筑总用电负荷与各区域的分项用电负荷,同时充分考虑负荷的同时系数与波动系数,避免因计算偏差造成结构设计的不合理。配电级数应严格控制在三级以内,一级主配电柜的主要作用是将高压电降压后进行分配,二级分配电柜承担着电力中转与分流的任务,三级终端配电柜直接为各类用电设备供电,这样的分级设置能有效减少故障的传导。住宅建筑的负荷分布相对均匀,可采用树干式与放射式相结合的配电方式,商业综合体与工业厂房的负荷集中且波动大,采用放射式配电,为各功能区域与重要用电设备划分独立回路,避免负荷过载情况的发生<sup>[3]</sup>。对供电连续性要求高的建筑,可以设置柴油发电机作为备用电源,电源容量需结合重要用电负荷总量确定,切换时间控制在10~30秒内,最大限度减少主电源故障带来的损失。

### 3.2 规范配电设备选型

规范配电设备选型,确保设备的质量、规格与性能符合系统运行的实际需求,是提升低压配电系统可靠性的重要环节。断路器的选型需结合回路的负荷电流与短路电流,精确定额电流与分断能力,短路电流较大的动力回路,选用分断能力较强的塑壳断路器,负荷波动较大的回路,选用具备过载长延时、短路瞬时保护功能的断路器,防止出现误动作或拒动现象。接触器的选型需结合负荷类型与额定电流,额定电流需大于负荷电流的1.2倍,以应对运行过程中可能出现的瞬时过载,同时根据感性、阻性负荷的不同,选择适配的接触器型号,避免触头粘连、线圈烧毁等问题的发生。变压器的选型需结合建筑总用电负荷,预留10%~15%的负荷余量,防止变压器长期处于过载运行状态,优先选用节能高效的干式变压器,这类变压器的散热效果好,适配建筑内部的运行环境,且后期维护便捷。配电柜的选型应结合系统结构、设备

数量与环境条件,潮湿多粉尘的环境选用防护等级不低于 IP54 的产品,干燥清洁的环境可适当降低防护等级,配电柜的尺寸要适配内部设备的安装与后期维护。在选型过程中,优先选用符合国家标准的知名品牌,仔细查看设备的质量检验报告与认证证书,确保设备的兼容性与可维护性。

### 3.3 科学布置配电线路

科学布置配电线路,减少线路故障的发生,保障电力传输的效率与安全性,是提升低压配电系统可靠性的重要举措。设计人员应结合建筑的结构特点、环境条件与负荷分布情况,合理选择线路敷设方式、精准确定线路截面,规范处理线路接头,做好线路的固定与防护工作。干燥清洁的区域,可采用明敷方式敷设线路,这种方式便于后期的维护与检修;潮湿、多粉尘、高温、腐蚀性较强的环境,需采用暗敷方式,将线路敷设在墙体、楼板或电缆沟内,同时选用防水、防尘、耐高温、耐腐蚀的绝缘导线,防止线路绝缘层损坏引发故障。在线路敷设过程中,需避免线路交叉与重叠,敷设间距需符合相关规范要求,保障线路散热良好与传输稳定,避开建筑的结构受力部位与易燃易爆物品,降低安全隐患<sup>[4]</sup>。

线路截面应根据回路的负荷电流与传输距离精准计算,优先选用导电性能好、损耗小的铜芯导线,负荷小、传输距离短的回路可选用铝芯导线;传输距离长、负荷大的回路,需适当增大线路截面,减少线路损耗与电压降,兼顾经济性与实用性。线路接头需采用压接、焊接等可靠的连接方式,连接后做好绝缘处理,接头位置尽量设置在配电柜、接线盒等便于维护的地方,避开恶劣环境。线路需用支架、卡子固定牢固,振动较大的区域需加强固定,线路穿越墙体、楼板时,需设置保护套管,防止线路松动、磨损与损坏。在控制逻辑中,系统应当构建动态窗口切换器与负荷响应均衡器,实现负载切换频率的统计调节与同步冲击的控制性削弱。在图纸设计与控制说明文档中最好明确调频区间划分规则、负载切换延迟容忍度及负荷聚集系数的时间趋势图。同时,路径调频控制信号应设定优先转发机制,防止关键负载在调频过程中的响应滞后影响系统主功能的实时性。

### 3.4 合理配置保护装置

合理配置保护装置,确保其充分发挥保护作用,在系统发生故障时快速切断故障回路、避免故障扩大,是提升低压配电系统可靠性的重要保障。设计人员应严格按照规范要求,结合系统运行特点与负荷参数,配置完整的短路保护、过载保护、漏电保护、过电压

保护装置。短路保护装置可选用断路器或熔断器,安装在配电回路的首端,其分断能力需大于回路的最大短路电流,确保能快速切断短路故障;过载保护装置可选用热继电器或断路器,与用电设备、线路配合使用,动作电流需略大于回路的额定负荷电流,根据过载程度调整动作时间,及时切断过载故障回路<sup>[5]</sup>。

漏电保护装置可选用漏电断路器或漏电保护器,重点安装在住宅、潮湿环境等易发生漏电的区域,漏电动作电流控制在 30 mA 以内,潮湿环境与手持电动工具使用场景,漏电动作电流需控制在 15 mA 以内,保障人身安全;过电压保护装置可选用避雷器或浪涌保护器,安装在配电系统的输入端,抵御雷电与过电压对系统的冲击,保护设备与线路不受损坏。保护装置的参数应精准设置并反复校验,选用性能稳定、质量合格的产品,定期进行校验与维护,每年至少校验一次,及时处理触点氧化、参数漂移等故障,根据配电系统的运行情况与负荷波动变化,及时调整保护装置的参数,确保其能精准响应各类故障,保障系统稳定运行。

## 4 结束语

建筑电气设计中低压配电系统的可靠性直接关系到建筑用电的安全与稳定,也深刻影响建筑各项功能的正常发挥,其设计质量的高低决定建筑投入使用后用电的安全性与连续性,更是保障建筑内人员生命与财产安全的重要基础。设计人员开展电气设计工作时,需重视低压配电系统的可靠性设计,结合建筑的具体使用功能与用电负荷的实际特点,全面考虑各类影响系统可靠性的因素,严格按照国家相关设计规范与行业标准,优化设计方案、规范设计流程,确保设计质量。同时,应加强系统运行后的维护与管理,定期检查保养设备与线路,及时处理运行中的问题,延长设备与线路的使用寿命,进一步提升系统的可靠性,保障建筑用电安全与建筑功能正常发挥。

## 参考文献:

- [1] 罗柳萍. 试析高层建筑电气设计中低压供电系统可靠性[J]. 中国住宅设施, 2020(10):27-28.
- [2] 张霏年. 高层建筑电气工程中低压供电系统可靠性设计研究[J]. 房地产世界, 2024(03):42-44.
- [3] 毛澍, 闫志彬, 闫涛, 等. 基于改进最小路的低压配电系统可靠性评估[J]. 宁夏电力, 2021(03):6-11, 24.
- [4] 雷小军. 低压电气配电系统安全运行及维护策略研究[J]. 产品可靠性报告, 2025(04):116-117.
- [5] 崔旻. 低压配电系统升级改造[J]. 中国氯碱, 2025(02):1-3, 8.