

Research on Design and Safe Operation Management of Power Supply and Distribution System in High-rise Building

Mou Huang

Drainage Affairs Center Zhong District Zaozhuang City Shandong Province, Zaozhuang, Shandong, 277100, China

Abstract

With the continuous advancement of urbanization in China, high-rise buildings have become the predominant form of urban architecture. The reliability and safety of power supply and distribution systems directly impact the normal functioning of buildings and the protection of lives and property. Based on current national electrical design standards and engineering practices, this paper systematically organizes the key design considerations for power supply and distribution systems in high-rise buildings, identifies major risk factors during safe operation, and proposes corresponding design optimization and full-cycle operation management strategies. Statistical analysis of power supply and distribution failure data in urban high-rise buildings demonstrates that design control and standardized management significantly reduce failure risks. These findings provide valuable references for the design and operation management of similar projects, ensuring the safe and stable operation of power supply and distribution systems in high-rise buildings.

Keywords

High-rise building; Power supply and distribution system design; Safe operation management

高层建筑供配电系统设计与安全运行管理研究

黄谋

山东省枣庄市中区排水事务中心, 中国 · 山东 枣庄 277100

摘要

伴随着我国城镇化进程的不断推进, 高层建筑已经成为城市建筑的主要形式, 供配电系统可靠、安全直接影响到建筑功能的正常发挥和人员生命财产的安全。本文根据现行国家电气设计规范以及工程实践, 对高层建筑供配电系统的主要设计要点进行系统地整理, 找出安全运行过程中存在的主要风险因素, 并提出相应的设计优化和全周期运行管理策略。通过对城市高层建筑供配电故障数据进行统计分析, 证明设计控制、标准化管理对于减少故障风险的作用是十分明显的, 可以为其他类似工程的设计和运维管理提供一定的借鉴, 保证高层建筑供配电系统安全、稳定地运行。

关键词

高层建筑; 供配电系统设计; 安全运行管理

1 引言

伴随着城镇化进入高质量发展阶段, 土地资源越来越紧张, 高层、超高层建筑由于高利用率成为城市的主要形式。到 2025 年, 百米以上超高层建筑有 3000 多座。该类建筑人员密集、负荷大, 供配电系统是“能源中枢”, 直接关系到电梯、消防等重要设施的安全, 一旦发生故障很容易造成重大伤亡。但是目前项目普遍存在着设计缺陷和运维的痛点, 造成故障频频发生。本文根据国家规范和工程实践, 从设计优化和运维管理两个方面入手, 建立科学的设计体系和标准化的管理模式, 给高层建筑供配电系统安全稳定运行提供有力的保障。

【作者简介】黄谋(1976—), 男, 中国重庆人, 本科, 工程师, 从事建筑电气研究。

2 高层建筑供配电系统核心设计要点

高层建筑供配电系统设计必须严格按照《民用建筑电气设计标准》GB51348-2019、《供配电系统设计规范》GB50052-2009、《建筑设计防火规范》GB50016-2014(2018 年版)等现行国家规范执行, 以“安全可靠、经济合理、节能环保、运维方便”为原则, 主要控制以下设计要点^[1-3]。

2.1 负荷分级与供电电源设计

负荷分级属于供配电设计的关键环节, 一类高层建筑的消防、应急照明、客梯等为一级负荷, 其中消防和安防属于特别重要的负荷。必须由两路独立的 10kV 市电供电, 保证其中一路发生故障时, 另一路可以承担全部一级负荷, 并且两路电源应具有抗同时损坏的能力。特别重要的负荷还要增设柴油发电机作为应急电源, 不能接入非应急负荷, 容量应满足持续供电, 启动时间不大于 30 秒。负荷计算要结合

需要系数法和单位面积指标法,根据业态、同时使用率和远期扩容需求准确计算,防止出现过载或者冗余造成浪费和能耗增加的情况^[4]。

2.2 配电系统架构设计

配电系统结构要兼顾可靠性与经济性,采用放射式和树干式相结合的方式。消防、电梯等一级负荷必须采用双回路放射式供电,由不同的母线分段和末端自动切换来保证供电的连续性,在故障发生时可以无缝衔接;普通负荷采用分区树干式以降低成本。超高层建筑要进行竖向分区供电,在避难层设置区域变电所,把低压半径控制在200m以内,减少电压损失。接地系统全部采用TN-S制,中性线和保护线完全分开敷设,从根本上降低触电风险和电磁干扰,保证人员密集场所的安全^[5]。

2.3 继电保护与防雷接地设计

继电保护与防雷接地是防止事故扩大的两道防线。继电保护需精准整定:10kV高压侧设过流、速断、零序保护,变压器设温度及瓦斯保护,低压出线设过载、短路及漏电保护,上下级必须满足选择性配合,确保故障时仅切除故障点,避免全楼停电。防雷接地方面,一类高层按二类、超高层按一类标准设计。外部利用结构主筋作引下线与基础接地构成联合接地,电阻不大于1Ω;内部需在高压进线、变压器低压侧、楼层配电箱及弱电进线处分级配置浪涌保护器,抑制过电压,保护精密设备。

2.4 应急供配电系统专项设计

应急供配电系统是高层建筑突发事件时的核心保障,除了柴油发电机组之外,对于消防控制室、安防监控机房等不能中断供电的负荷,应该配置在线式UPS不间断电源,后备供电时间应大于等于180min,保证市电中断和发电机组启动之间供电的连续性。应急照明和疏散指示系统应该采用集中电源集中控制型系统,与火灾自动报警系统联动,在发生火灾的时候自动切换到应急点亮状态,保证人员疏散的需求。

3 高层建筑供配电系统安全运行的核心风险因素

3.1 设计阶段遗留的先天性安全缺陷

部分项目为了压缩建设成本、缩短设计周期,出现规范执行不到位、设计深度不够的情况,比如负荷分级错、消防负荷没有做到末端双电源切换、继电保护整定值偏差、配电半径过大等,这些先天性缺陷很难通过运维来完全消除,是故障产生的主要原因。

3.2 设备老化与运维管理不到位

在设计阶段,往往存在过载、短路问题。不仅如此,断路器与熔断器没有高效动作,还会导致供电线路与设备面临严重安全隐患。大多数物业单位没有建立完善的运维体系,没有按照电力设备预防性试验规程定期进行试验和维

护,设备隐患不能及时消除,最终导致故障^[6]。

3.3 谐波污染与电能质量问题突出

高层建筑内部各种变频空调、电梯、LED照明等非线性负荷同时工作的时候会大量产生高次谐波,造成电网电压畸变、变压器过热、继电保护误动作等问题。同时部分项目无功补偿装置配置不合理或者老化失效,造成系统功率因数低,增加线路损耗和运行风险^[7]。

3.4 安全管理体系不完善与人员操作风险

一些物业单位没有建立标准的安全管理体系,没有制定操作规程、作业审批制度、应急预案。运维人员专业水平参差不齐,部分人员没有取得相应的证书就上岗,存在违规操作、误操作等行为,高压作业没有严格执行两票三制,很容易造成短路、触电等安全事故。

3.5 外部环境与临时用电不规范影响

高层建筑大多位于城市的中心地带,很容易受到市政电网故障、雷击、暴雨等外部突发事件的影响。建筑内装修施工等临时用电管理不规范,私拉乱接、保护装置缺失等问题很容易造成短路、电气火灾等事故的发生。

4 高层建筑供配电系统安全运行管理的优化策略

本次研究选取了该一线城市2021年至2025年期间一共32栋一类高层民用建筑(包含商业综合体、办公建筑、住宅公寓)的供配电故障统计数据进行分析,2021—2025年总供配电故障量为128起,各种类型的供配电故障占总故障比例统计如下表1所示。

表1 某城市2021—2025年高层建筑供配电系统故障类型及比例分布

故障类型	故障数量(起)	占总故障比例(%)
设备老化与运维缺陷	52	40.63
人员违规操作与误操作	28	21.88
谐波污染与电能质量问题	18	14.06
设计遗留缺陷	16	12.50
外部环境与临时用电影响	14	10.94

从表1的数据可以发现,设备运维缺陷和人员操作风险加起来占了大部分,是造成高层建筑供配电故障的主要原因;其次电能质量问题、设计遗留缺陷。因此本文提出如下全方位的优化策略。

4.1 强化全生命周期设计管控,消除先天性安全隐患

加强全生命周期设计管控,是消除先天缺陷的根治办法。建设单位必须委托有高层建筑设计经验的机构,严格按照国家规范执行,重点控制负荷分级和电源配置的主要参数。建立以供电、消防、施工和运维四方参加的图纸会审制度,从后期运维的痛点出发对设计进行反向优化^[8]。对已经投运的项目历史遗留问题开展全面排查,形成问题清单并制订分阶段整改方案,依靠技术改造手段彻底解决短板问题,

保证系统从诞生之日起就符合要求。

4.2 构建智能化运维与状态监测体系，防范设备故障风险

创建智能运维、状态监测体系，可以防止出现故障。必须建立设备全生命周期电子档案，对参数、投运时间、检修历史进行详细地记载，按照设备的年限制定差异化的维护计划，并且严格执行预防性试验规程。同时推广使用智能在线监测技术，对变压器绕组温度、开关柜局部放电、回路剩余电流等重要参数实行24小时不间断监测，依靠大数据创建故障预警模型，把隐患识别的门槛前移，促使运维模式由“被动抢修”转变为“主动预防”，有效削减了突发故障的发生频率^[9]。

4.3 开展电能质量专项治理，优化系统运行环境

开展电能质量专项治理属于改善系统环境的必要措施。对由于非线性负荷引起的谐波污染要定期委托有资质的第三方机构进行检测，准确了解谐波含量和功率因数。采用静态、动态无功补偿相结合的方式保持功率因数大于0.9，从而降低线损。在变频器、LED灯具集中使用的回路中加装有源电力滤波器（APF），实时消除高次谐波，使电压畸变率符合国家标准，防止由于电能质量不高造成的精密设备损坏或者保护装置误动作^[10]。

4.4 建立标准化安全管理体系，严控人员操作风险

建立标准的安全管理体系，就是控制人员风险的防火墙。完善供配电安全管理制度，严格执行两票三制，明确各个岗位的安全责任清单，实现全过程闭环管理。加强运维人员资质审核，实行特种作业持证上岗制，定时组织技能实操训练、应急演练活动，提高人员的专业水平。严格高危作业审批，高压操作和停电检修必须办理审批手续，设专人监护，验电、接地、悬挂标示牌等技术措施到位，杜绝违章作业造成的人员伤亡事故。

4.5 完善应急保障体系，提升突发事件处置能力

完善应急保障体系属于提高处置能力的最后一道防线。制定包含市电中断、电气火灾、雷击等场景的专项应急预案，确定指挥机构及处置程序。每年至少开展2次全要素实战演练，检验各部门协同作战能力。加强应急电源维保，柴油发

电机每月空载试机、每季度带载测试，UPS和应急照明定期放电试验，保证关键时刻“拿得出、用得上”。另外，在装修阶段临时用电必须有专业电工持证安装验收，严禁私自乱接，从源头上防止临时用电事故的发生。

5 结语

高层建筑供配电安全是保证建筑功能和人员安全的底线，必须实行全生命周期的管控。本文根据国家规范和32栋建筑5年来的故障数据，找出设备运维缺陷、人员违规、谐波污染等主要风险，并提出相应的管控措施。通过实践可知，只有源头上杜绝设计上的隐患，制定标准化的运维制度，加强电能治理及应急保障工作，才能减少故障率。未来要加快智慧供配电系统应用，依靠大数据和人工智能来完成全天候风险预警，从而提高系统的安全保障以及智能运行水平。

参考文献

- [1] 民用建筑电气设计标准: GB 51348-2019 [S].北京: 中国建筑工业出版社, 2019.
- [2] 供配电系统设计规范: GB 50052-2009 [S].北京: 中国计划出版社, 2009.
- [3] 建筑设计防火规范: GB 50016-2014 (2018年版)[S].北京: 中国计划出版社, 2018.
- [4] 中华人民共和国住房和城乡建设部.建筑电气与智能化通用规范[S].北京: 中国建筑工业出版社, 2022.
- [5] 国家能源局.电力设备预防性试验规程[S].北京: 中国电力出版社, 2021.
- [6] 滕思远. 高层建筑供配电系统中的电气防火技术探讨[J].城市建设理论研究(电子版),2026,(06):67-69.
- [7] 李树庭,李成波,欧阳东. 既有公共建筑智慧化改造中供配电系统设计探讨[J].现代建筑电气,2026,17(01):49-55+61.
- [8] 陈晓丽. 基于高层建筑电气工程供配电系统设计分析[J].江西建材,2023,(03):130-131.
- [9] 万力,王友亮. 居住区供配电系统设计与技术标准研讨[J].智能建筑电气技术,2023,17(01):11-18.
- [10] 刘卓然. 高层建筑电气工程供配电系统设计研究[J].建材与装饰,2020,(13):232-233.