

# 高层建筑消防电气设计的实践策略研究分析

郑匡济

浙江美源建筑设计有限公司

DOI:10.12238/bd.v9i3.4400

**[摘要]** 消防系统的电气设计是一项重要内容,直接影响建筑运营的安全性。文章以某高层建筑项目为背景案例,指出消防电气系统的特殊性和设计要求;针对消防电气设计的主要问题,提出相应的解决措施,包括采用多重冗余设计、设置双回路供电、打造智能监控系统、创新应用供电技术等。通过本文,为高层建筑的消防电气设计提供新思路,提高消防系统的整体安全和运行可靠性。

**[关键词]** 高层建筑;消防电气设计;双回路供电;智能监控

**中图分类号:** TU97 **文献标识码:** A

## Research and Analysis on Practical Strategies for Fire Electrical Design of High-rise Buildings

Kuangji Zheng

Zhejiang Meiyuan Architectural Design Co., LTD.

**[Abstract]** The electrical design of the fire protection system is an important aspect, which directly affects the safety of building operation. The article takes a certain high-rise building project as the background case and points out the particularity and design requirements of the fire protection electrical system. In response to the main problems in the design of fire protection electrical systems, corresponding solutions are proposed, including adopting multiple redundant designs, setting up dual-circuit power supply, building an intelligent monitoring system, and innovatively applying power supply technologies, etc. Through this paper, new ideas are provided for the fire protection electrical design of high-rise buildings to improve the overall safety and operational reliability of the fire protection system.

**[Key words]** High-rise buildings Fire protection electrical design Dual-circuit power supply Intelligent monitoring

### 引言

高层建筑作为城市化进程中的一个重要标志,因设计新颖、结构复杂、建筑规模较大而受到社会关注,与此同时也对消防安全提出更高要求。在《建筑设计防火规范》(GB 50016-2014)、《火灾自动报警系统设计规范》(GB 50116-2013)中,明确提出消防电气系统的设计要求和功能指标。然而相关调查发现,高层建筑火灾事故中,消防电气系统失效是一个重要原因,反映出设计方案对复杂恶劣场景的适应性不足<sup>[1]</sup>。为提高火灾预警响应能力,促进人员疏散和灭火救援工作有序开展,就必须构建一套科学化、智能化的消防电气体系。以下结合笔者实践,探讨了高层建筑消防电气设计的实践策略。

### 1 工程概况

#### 1.1 高层建筑基本情况

某高层建筑项目,位于城市中心商务区,将办公、商业、住宅等功能集为一体。该建筑包括地上27层、地下3层,总高度88.5m,总建筑面积约8.14万m<sup>2</sup>。从功能分区来看,地下3层作为

车库和设备间使用,地上1层~5层为商业用房,6层~20层为写字楼,21层~27层为公寓住宅。

#### 1.2 消防电气设计方案

该建筑在消防电气设计上,严格执行相关规范要求,主要设计方案如下:①由市政电源供电,引入三路10kV母线;应急电源配备柴油发电机组2台,单台为1200kW,可满足正常电力负荷需求。②消防系统设备设置专用的应急电源,采用锂电池储能系统和UPS系统,避免受到非消防系统应急电源的干扰。③火灾自动报警系统中,配置感温光纤、火灾烟气探测器等新设备,具备早期预警功能,可提示物业管理人員尽早处理,消除火灾隐患。④疏散指示系统中设置智能模块,可满足动态指引需求,将其部署在每个安全出口和疏散通道。⑤明确划分竖向防烟分区,每个分区高度50m,共计4个分区,配置加压送风系统,确保楼梯间和前室处于正压状态。

### 2 高层建筑消防电气系统的特殊性和设计要求

#### 2.1 特殊性

在高层建筑中,消防电气系统的特殊性体现在:①供电可靠性高。高层建筑内的人员密集,火灾场景下的垂直疏散距离长,留给人员的逃生时间有限。在此背景下,消防水泵、应急照明、防排烟风机等消防设备需要在极端条件下正常运行,不论是电源的冗余性和切换速度,还是线缆的耐火性,均高于普通建筑。②电气系统复杂。高层建筑内的消防电气系统,其复杂性表现为:采用多级配电网,配电竖井较多,设备要满足联动需求等<sup>[2]</sup>。为了应对复杂的电气系统,需要设计智能化监控系统,才能对各个设备的运行工况进行精准协调。③火灾蔓延迅速。相较于普通建筑,高层建筑发生火灾时具有烟囱效应,因电缆桥架、配电竖井等贯穿整个楼层,容易成为火势的蔓延通道。因此,高层建筑消防电气系统的防火隔离措施更加重要,要严格执行分区配电设计方案。④应急电源多样。常用的应急电源分为集中EPS、发电机、蓄电池等,高层建筑的应急电源通常采用组合方案,同时满足快速切换、长时间供电和局部应急照明的需求,为灭火救援工作提供有利条件。

## 2.2 设计要求

总结起来,高层建筑消防电气系统的设计要求包括:①在一级负荷中,对于消防控制室、应急照明等重要负荷配置双电源和应急电源,保证供电持续性。消防设备的配电线路与其他线路分开设置,避免相互干扰。②电缆竖井在每层均设置防火隔板,当电缆穿越墙体、楼板等结构时,对其孔隙使用防火材料封堵。配电线路选材时,一般以耐火电缆、矿物绝缘电缆为主,敷设时使用配套的金属套管,经防火涂料处理,以保证线缆的使用性能。③在所有逃生路径设置应急照明和疏散指示标志,常见如避难层、楼梯间,持续供电时间要满足规范要求。考虑到火情严重程度、蔓延情况不同,设置智能控制系统进行协同控制,能动态调整疏散路径,提高救援能力。④设计火灾自动报警系统时,应设置高精度探测器,与喷淋、排烟等系统联动。送风机、防排烟风机的配电回路独立设置,且具有双电源自动切换功能,在发生火灾时不受影响。⑤消防控制室、水泵房等设施,要设置局部等电位联结,避免电位差引发二次灾害;建筑防雷系统与消防设备接地网独立设计,防止受到雷击影响。

## 3 高层建筑消防电气设计的主要问题

该建筑因高度高、功能复杂、人员密集且机电设备相互关联,对消防电气设计提出不小的挑战,设计工作中的主要问题如下。

### 3.1 电压质量问题

因建筑高度高,导致地下配电室至顶层设备的供电距离长,进而带来电压降问题。基于欧姆定律和功率因数,电压降的计算公式:

$$\Delta u\% = IR = \frac{P}{1.732U \times \cos \theta} \quad (1)$$

基于线路长度、电缆截面和电阻率,电压降的计算公式:

$$\Delta u\% = \frac{P \cdot L}{A \cdot S} \quad (2)$$

式(1)-(2)中,  $\Delta u\%$  表示电压降百分比,%;  $I$  表示电路的负荷电流,A;  $R$  表示电路的电阻,  $\Omega$ ;  $P$  表示功率,W;  $U$  表示电压,V;  $\cos \theta$  表示功率因数,无量纲;  $L$  表示线路长度,m;  $A$  表示导体的材质系数,无量纲;  $S$  表示电缆的标称截面,  $\text{mm}^2$ 。

以主消防电源为例,计算显示若采用400V低压供电方案,电压降达到9.0%;若采用10kV中压供电方案,电压降约为1.8%。电压降数值越大,对供电稳定性的影响越明显,如设备工作电压不足、使用寿命缩短。电压剧烈波动时,还可能导致火灾自动报警系统误动作。在规范中,要求重要消防负荷的电压偏差控制在-5%~+7%之间,需要解决长距离供电时的电压质量问题。

### 3.2 负荷分布不均问题

该建筑内部功能复杂,不同区域、不同时间的用电负荷有明显差异,不仅影响电力运行,也为消防电气设计增加了难度<sup>[3]</sup>。其中,商业用房的用电负荷集中,用电量与营业时间密切相关;写字楼的用电负荷表现出日间高、夜间低的特点;而公寓住宅的用电负荷较为均匀。根据配电设计和实际调查,商业用房、写字楼、公寓住宅的单位面积电力负荷密度分别是125W/m<sup>2</sup>、70W/m<sup>2</sup>和95W/m<sup>2</sup>,负荷监测显示最大、最小用电负荷比值达到3.7。因峰谷差异较大,消防电气设计中要考虑负荷的变化特点,并采取有效的稳定性措施。另外,不同功能区对消防设施的需求也不同,如商业用房需要配置高精度的火灾探测设备,提高火灾预警能力;写字楼内需要完善的消防设施和定位系统,方便开展灭火救援工作,最大程度上减少火灾带来的危害和损失;公寓住宅对疏散引导的要求更高,方便居民面对火情时及时有序撤离现场。

### 3.3 系统复杂性问题

高层建筑的电气系统结构复杂,包括中低压配电系统、控制管理系统、安全防护系统等,相应的系统故障发生风险也会提高,任何一个关键节点发生故障,就可能造成大面积供电中断。一方面,不同系统之间并非完全独立,而是彼此关联、相互影响的关系,其中一个系统发生故障,经连锁反应可能影响另一个系统的正常运行<sup>[4]</sup>。例如,消防电气中的主电源故障,此时应急电源投入运行,若应急电源响应不及时,所有消防设备均处于失电状态,就会造成整个消防系统瘫痪,无法控制火灾蔓延。另一方面,复杂的电气系统结构也会增加后期运维工作难度,尤其体现在故障诊断上,这对电力人员的专业技能和素养提出更高要求。

### 3.4 突发灾害问题

面对地震、火灾等极端情况,对消防电气系统的影响明显。其中,地震可能造成电气设备位移,火灾则会损坏供电线路和消防设施。根据现有规范,在火灾条件下消防设备的持续运行时间要>3h,为保证电气系统快速响应、正确决策,就必须在负载管理、电源切换等方面多下功夫。

## 4 针对消防电气设计问题的解决措施

#### 4.1 采用多重冗余设计

针对电压质量问题,该工程在消防电气设计中采用多重冗余设计,以提高供电可靠性,如下图1所示。设计要点如下:①引入三路独立的市政10kV电源,两路主用、一路备用,直接为消防系统提供电能。②配置2台柴油发电机组作为第一备用电源,单台功率为1200kW,设置专用线路将其连接至母线段。当市政供电出现故障,15s内柴油发电机组启动,满足消防系统的负荷需求,持续供电时间>3h。③配置锂电池储能系统作为第二备用电源,容量为500kWh,为消防设备供电,持续供电时间>4h。④针对关键消防设备,设置分布式UPS系统,提高局部供电可靠性。通过多重冗余设计,显著提高供电系统的可靠性,实际测试中任何一个电源发生故障,均可迅速完成切换,保证消防系统和设备的持续稳定运行。

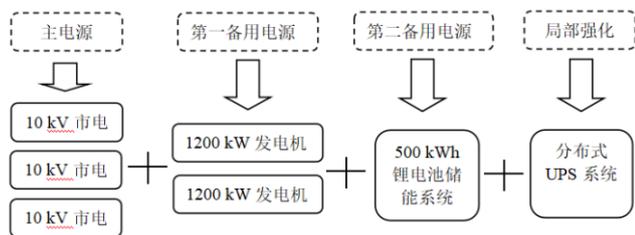


图1 消防系统多重冗余设计示意图

#### 4.2 设置双回路供电

针对负荷分布不均问题,该建筑在消防电气系统的设计中采用双回路供电模式,以提高系统运行可靠性。具体来说,是针对消防水泵、防排烟风机等重要的消防负荷,设计两个独立的供电回路,这两个回路分别与不同配电系统连接。若供电回路1发生故障,供电回路2立即投入使用,提供消防设备需要的全部负荷;若供电回路2发生故障,供电回路1亦可同样操作。

另外,在供电回路中设置负载自动转换开关(ATS),其技术优势包括:①主电源故障时,可将负载自动切换至备用电源,确保供电连续性和稳定性。整个过程无需人工干预。②由机械装置执行切换动作,虽然初期磨损可能较大,但长期运行可靠性高。③将回路切换时间控制在100ms以内,可满足大多数非关键性商业和工业场景的需求<sup>[5]</sup>。④成本效益高,尤其适用于需要电源备份但预算有限的场所。双回路供电联合ATS设计,一方面提高了消防电气系统的容错能力,保证关键消防设备的供电可靠性;另一方面方便设备维护作业,可在不断电的条件下完成检修工作。

#### 4.3 打造智能监控系统

针对系统结构复杂问题,该建筑消防电气设计中采用智能化的电力监控系统,该系统利用光纤网络,将各个监控节点连接起来,对电力系统的运行实时监测、分析并控制,主要功能包括负荷监测、电能分析、自动调节、故障预警等。以故障预警功能为例,依托大数据分析和神经网络算法,一旦检测某个区域的负荷异常,就能自动发出报警信息,提示工作人员及时判断处理。发生故障后,还能对故障点进行定位,显著缩短检修时间,

尽快恢复电能供应。相较于传统控制系统,智能监控系统的性能改善明显,具体见下表1。

表1 智能监控系统的性能改善情况

性能指标	传统控制系统	智能监控系统	改善率(%)
故障响应时间(s)	≤5	≤2	-60.0
计划外停电时间(h/年)	≤3	≤0.5	-83.3
系统协同延迟(s)	≤3	≤1	-66.7
电能利用率(%)	84.7	92.6	+9.3
误报率(%)	3.2	1.1	-65.6

#### 4.4 创新应用供电技术

针对突发灾害问题,该建筑消防电气设计中应用多种创新供电技术:①在13层设置区域配电中心,采用分层式供电方案,通过缩小供电半径、减小电压降,有效提高长距离供电的电压质量<sup>[6]</sup>。②在配电中心使用智能无功补偿器和电力滤波器,将电压波动幅度控制在±3%以内,从而满足规范要求。③在重要负荷的配电箱内,设置动态电压调节器(DVR),对电压波动快速响应并处理,减小电压波动对供电系统和电气设备的不利影响。以上技术的应用,消防电气系统的综合线损率降低2.4%,节约年度运行成本近60万元。

#### 5 结语

综上所述,高层建筑的消防电气系统具有特殊性,对电气设计提出更高要求。文章结合工程实例介绍了消防电气设计要点,为类似项目提供参考。未来,随着新材料、物联网、人工智能的发展,能为消防系统的电气设计提供更多技术支持,进一步提升运行安全性和可靠性。

#### [参考文献]

- [1]陈向阳.高层综合体建筑消防电气设计及实践应用探究[J].建筑与装饰,2021(8):24,30.
- [2]金辉.超高层公共建筑消防电气设计技术问题及对策研究[J].现代工程科技,2024,3(22):40-43.
- [3]李扬.关于高层建筑电气消防设计问题的探究[J].百科论坛电子杂志,2020(10):1831.
- [4]徐群.高层综合体建筑消防电气设计方法及实践[J].建筑工程技术与设计,2021(31):1630-1631.
- [5]谭小兰.高层民用建筑消防设计与实践问题研究[J].消防界,2024,10(21):127-128.
- [6]陈志锋.高层建筑消防电气设计及实践应用[J].建材发展导向,2024,22(23):26-28.

#### 作者简介:

郑匡济(1979--),男,汉族,浙江省嘉兴市人,本科,工程师,从事的研究方向或工作领域:建筑工程设计民用电气方向。