

超高层综合体建筑应急供电系统的设计与验算

李振宾

北京清大原点建筑设计有限公司河北分公司, 河北 石家庄 050000

[摘要]超高层综合体建筑因具备建筑高度高、人员密度大、功能业态复杂等特点, 应急供电系统设计的合理性与运行可靠性对功能的连续性以及人员生命财产安全有着直接的影响。文章研究针对系统设计中容量匹配不足、切换延迟等问题, 提出了应急电源选型、供电回路设计等关键环节的设计方法, 建立系统的验算体系, 确保应急供电系统在突发情况下依旧可以快速响应、稳定运行, 以供参考。

[关键词]超高层综合体; 应急供电系统; 电源选型; 设计方法; 验算体系

DOI: 10.33142/ucp.v3i1.19221 中图分类号: 文献标识码: A

Design and Verification of Emergency Power Supply System for Super High-rise Complex Buildings

LI Zhenbin

Hebei Branch of Beijing Qingda Yuandian Architectural Design Co., Ltd., Shijiazhuang, Hebei, 050000, China

Abstract: Due to the characteristics of high building height, high personnel density, and complex functional formats, the rationality and operational reliability of emergency power supply system design have a direct impact on the continuity of functions and the safety of personnel life and property in super high-rise complex buildings. The article studies the problems of insufficient capacity matching and switching delay in system design, proposes design methods for key links such as emergency power supply selection and power supply circuit design, establishes a verification system for the system, and ensures that the emergency power supply system can still respond quickly and operate stably in emergency situations, for reference.

Keywords: super high-rise complex; emergency power supply system; power supply selection; design methodology; verification system

引言

超高层综合体建筑凭借其土地利用率高、功能集成化强的优势成为城市建筑的主流形态之一。此类建筑通内部涵盖写字楼、地下车库等多种业态, 用电负荷种类繁多且疏散距离长, 与普通建筑相比较, 超高层综合体建筑对供电可靠性的要求更高。应急供电系统核心功能是在正常供电电源中断时可以快速切换至应急电源, 提供持续、稳定的电力供应, 保障应急处置工作的顺利开展, 减少财产损失。超高层综合体应急供电系统设计过程中需兼顾可靠性与实用性, 同时通过科学的验算验证设计方案的合理性, 规避切换延迟、线路损耗过大等问题。目前, 部分超高层综合体应急供电系统设计存在一系列不足之处, 如电源选型不合理、配电保护配置不当等。因此, 深入研究超高层综合体建筑应急供电系统的设计与验算方法, 为工程设计提供技术参考。

1 超高层综合体建筑应急供电系统负荷特性分析

超高层综合体建筑应急负荷种类多、分布散, 不同业态特性不同, 明确负荷特性是应急供电系统设计与验算的前提, 具体如下: 含 150m 及以上超高层公共建筑消防负荷、大型金融机构核心计算机系统, 断电后果严重, 要求持续供电长(通常 $\geq 180\text{min}$)、切换时间短、可靠性高, 需三重电源供电, 应急电源容量满足最大特级负荷需求。

消防水泵等断电会造成人员伤亡或较大财产损失, 要求应急供电 $\geq 180\text{min}$ 、切换 $\leq 0.25\text{s}$, 需双重电源加应急电源, 每个电源容量满足全部一、特级负荷需求。普通电梯等断电会造成一定财产损失或秩序混乱, 要求应急供电 $\geq 60\text{min}$ 、切换 $\leq 15\text{s}$, 可用双重电源或应急电源。

2 超高层综合体建筑应急供电系统的设计方法

2.1 应急电源选型设计

2.1.1 柴油发电机组选型

柴油发电机组是超高层综合体(150m及以上)大容量、长时间应急供电核心电源, 为特级、一级负荷供电。选型时, 容量需满足应急负荷总容量, 考虑感性负荷启动电流(为额定电流 3~7 倍)对电压的影响, 避免影响设备启动, 要结合稳定与启动负荷综合计算容量, 可采用以下公式计算:

$$P_G \geq K_1 \cdot P_\Sigma + K_2 \cdot P_m \quad (1)$$

式中: K_1 : 负荷系数, 取 0.8~0.9; P_G : 柴油发电机组额定容量(kW); P_Σ : 应急负荷总容量(kW),

$$P_\Sigma = \sum \frac{P_k}{\eta_k} \cdot \frac{1}{\eta_\Sigma} \quad (2)$$

(P_k 为单个负荷容量, η_k 为单个负荷效率, η_Σ 为总负荷计算效率, 取 0.82~0.88); K_2 : 启动系数, 取 1.2~1.5; P_m : 启动容量最大的电动机或成组电动机容量(kW), 需

考虑启动功率因数 $\cos\varphi_m$ (通常取 0.4) 和启动倍数 K 的影响。

也可用简化公式:

$$S_G \geq 0.8 \cdot \frac{P_E}{\cos\varphi} \quad (3)$$

(S_G 为发电机组现在容量 kVA, $\cos\varphi$ 为发电机额定功率因数, 可取 0.8~0.86)。根据应急负荷容量和可靠性要求确定柴油发电机组的台数。大容量负荷建议 2 台及以上并联, 选同型号规格产品。设置手动启动装置, 作为备用启动方式。采用自启动方式, 正常供电电源中断后, 机组需在 15s 内完成启动并达到额定转速、电压。

2.1.2 EPS 应急电源选型

EPS 应急电源计算公式为: $P_{EPS} \geq K \cdot P_L$, 式中: P_{EPS} : EPS 额定容量 (kW); K : 安全系数, 取 1.2~1.3; P_L : EPS 所带应急负荷总容量 (kW), 电动机类负荷需考虑启动电流的影响, 安全系数可提高至 1.5~2.0。依负荷等级确定应急时长, 一级负荷 EPS 应急持续 $\geq 180\text{min}$, 二级 $\geq 60\text{min}$, 配不同容量免维护铅酸蓄电池或锂电池组, 且符合环保消防要求。采用自动切换, 正常时 EPS 浮充, 由市电供电并给蓄电池充电, 断电时立即切换应急供电, 切换时间符合规范, 消防类 EPS 切换 $\leq 0.25\text{s}$ 。

2.1.3 UPS 不间断电源选型

UPS 不间断电源主要用于为关键电子设备提供无中断供电, UPS 容量计算公式为:

$$S_{UPS} \geq K \cdot \frac{P_E}{\cos\varphi} \quad (4)$$

式中: S_{UPS} : UPS 额定视在容量 (kVA); K : 安全系数, 取 1.2~1.3; P_E : 电子设备总额定功率 (kW); $\cos\varphi$: 电子设备功率因数, 取 0.7~0.8。根据电子设备的重要性确定应急持续时间, 核心设备 $\geq 180\text{min}$, 普通设备 $\geq 60\text{min}$, 蓄电池组需与 UPS 主机匹配, 采用在线式 UPS, 能够持续为电子设备提供稳定的电力, 符合关键电子设备的供电要求, 确保系统安全运行。

2.1.4 应急电源协同设计

超高层综合体应急供电系统需实现柴油发电机组、EPS、UPS 的协同配合, 所有应急负荷由正常供电电源供电, 柴油发电机组处于待机自启动状态, EPS、UPS 为蓄电池充电。正常供电电源中断初期 (0~15s) 由 EPS、UPS 立即切换至应急供电模式, UPS 为关键电子设备提供无中断供电, EPS 为应急照明、小型消防设备提供供电。应急供电持续阶段 (15s 后) 柴油发电机组切换开关切换至柴油发电机组供电, 为所有特级、一级应急负荷提供持续供电, 同时为 EPS、UPS 的蓄电池组充电。

2.2 应急供电回路设计

超高层综合体应急供电回路设计需遵循“分级配电、独立回路、避免交叉”的原则, 总应急配电柜设置在地下

应急电源机房, 与柴油发电机组、EPS、UPS 直接连接, 监测整个应急供电系统的运行状态, 防止反送电。分区应急配电柜按建筑楼层或功能分区设置, 针对不同负荷等级设置独立的配电回路, 同时设置回路监测装置, 及时发现回路故障。末端应急配电箱设置在应急负荷附近, 配备独立的保护装置和切换开关, 确保负荷能够快速切换至应急供电模式, 对于一级负荷中的特别重要负荷, 末端配电箱切换开关上端口宜设置电源监测和故障报警装置。特级负荷、一级应急负荷、二级应急负荷不得共用同一回路, 特级负荷回路需采用双重冗余设计, 应急供电回路不得接入非应急负荷, 消防应急负荷回路需采用耐火电缆。线路采用穿钢管暗敷或电缆桥架敷, 穿钢管暗敷时埋深不小于 0.3m, 避开可燃物; 电缆桥架敷时, 涂刷防火涂料, 与非应急供电线路分开敷。应急供电线路的电压降不得超过额定电压的 5%, 对于长距离线路, 需通过计算优化导体截面, 电压降计算公式为:

$$\Delta U = \frac{2 \cdot I \cdot L \cdot R}{U_N} \quad (5)$$

式中: ΔU : 线路电压降 (V); I : 线路负荷电流 (A); L : 线路长度 (m); R : 导体单位长度电阻 (Ω/m); U_N : 额定电压 (V)。

2.3 配电保护配置设计

针对不同类型的应急负荷和配电回路, 配置相应的保护装置, 总应急配电柜、分区应急配电柜采用断路器作为短路保护装置, 断路器的额定短路分断能力需大于回路最大短路电流, 确保短路时能够快速切断故障线路, 避免故障扩大。末端应急配电箱根据负荷类型配置短路保护装置, 照明类负荷采用熔断器或小型断路器, 电动机类负荷采用断路器。短路保护装置的整定电流需与线路导体截面匹配, 避免整定电流过大导致保护失效, 或整定电流过小导致误动作。过载保护采用断路器或热继电器, 电动机类应急负荷采用热继电器作为过载保护装置, 热继电器的整定电流与电动机额定电流匹配。照明类、电子设备类应急负荷采用断路器作为过载保护装置, 对于 EPS、UPS 供电回路, 过载保护装置的整定电流需考虑应急电源的额定容量。在应急电源机房、总应急配电柜、分区应急配电柜处设置防雷器, 应急供电系统采用 TN-S 接地系统, 所有应急设备的金属外壳、线路保护管、电缆桥架等均需可靠接地, 接地电阻不大于 4Ω 。

3 超高层综合体建筑应急供电系统的验算方法

3.1 负荷验算

负荷验算是应急供电系统设计与验算的基础, 结合超高层综合体建筑的功能业态, 复核应急负荷的种类、数量和额定参数, 明确特级负荷、一级应急负荷、二级应急负荷的划分是否符合规范要求。

采用需要系数法复核应急负荷总容量, 计算公式为:

$P_{\Sigma} = K_d \cdot \sum P_N$, 式中: P_{Σ} 为应急负荷总计算容量 (kW); K_d 为需要系数 (电动机类负荷取 0.7~0.8, 电子设备类取 0.7~0.85, 应急照明取 0.8~0.9); $\sum P_N$ 为所有应急负荷额定功率之和 (kW)。复核过程中, 需重点检查需要系数、负荷分类, 计算过程是否无误; 对于启动电流较大的感性负荷, 需额外复核启动负荷计算, 计算公式为: $P_{start} = K \cdot P_m / \cos\phi_m$ (K 为启动倍数, P_m 为最大启动负荷容量, $\cos\phi_m$ 为启动功率因数)。

3.2 应急电源容量验算

柴油发电机组容量验算公式为 $PG \geq 1.1 \cdot P_{\Sigma}$, PG 是机组额定容量 (kW), P_{Σ} 为应急负荷总计算容量 (kW), 1.1 是安全系数。启动容量验算公式为 $PG_{start} \geq K_{start} \cdot P_{start,max}$, PG_{start} 通常取额定容量 1.5~2.0 倍, K_{start} 取 1.1~1.2, $P_{start,max}$ 结合启动倍数和功率因数计算。多台并联运行时, 验算单台故障时剩余机组容量能否覆盖全部应急负荷。额定容量验算公式为 $PEPS \geq K \cdot PL_{\Sigma}$, 照明类 K 取 1.2~1.3, 电动机类 K 取 1.5~2.0; PL_{Σ} 用需要系数法复核。应急持续时间容量验算公式为 $C = (PEPS \cdot t \cdot U) / (\eta_{bat})$, 结合负荷等级定 t (一级 3h, 二级 1h)。额定视在容量验算主要验证能否满足功率需求, 公式为 $SUPS \geq K \cdot (PE_{\Sigma} / \cos\phi)$, 重点检查 K (1.2~1.3)、 PE_{Σ} 、 $\cos\phi$ (0.7~0.8) 取值, 确保应急供电全程不断电。

3.3 配电线路验算

线路载流量验算公式为 $I_z \geq I_{max}$, 式中: I_z 为电缆导体长期允许载流量 (A); I_{max} 为线路最大运行电流 (A), 正常运行电流 $I_n = \frac{P_{\Sigma}}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos\phi}$, 启动电流 $I_{start} = K \cdot I_n$ (K 为启动倍数, 电动机类负荷取 3~7)。验算时, 需结合线路敷设环境的环境温度, 修正电缆允许载流量。电压降验算公式 $\Delta U = (2 \cdot I \cdot L \cdot R) / (U \times 100)$, 需重点复核线路长度 L 、导体单位长度电阻 R 等, 在电压降验算中, 线路长度 L 要按实际敷设路径, 涵盖水平与垂直长度来计算, 长距离线路需精确测量。导体单位长度电阻 R 依电缆导体截面和材质确定, 铜导体电阻小于铝导体, 且运行温度高于 20°C 时要适当增大电阻。应急供电线路电压降一般不超额定电压 5%, 消防水泵等关键设备不超 3%。线路损耗验算公式为 $\Delta P = 3 \cdot I^2 \cdot R \cdot L \times 10^{-3}$ (ΔP 为线路总功率损耗, 单位 kW; I 是线路运行电流, 单位 A; R 是导体单位长度电阻, 单位 Ω/m ; L 为线路长度, 单位 m)。线路功率损耗, 一般不超应急电源额定容量 5%, 长距离配电线路不超 8%。损耗过大时, 优化电缆选型、配电方案, 减线路长度与运行电流。短路电流验算步骤如下: 计算三相短路电流周期分量有效值 I'' : 依应急供电系

统等值电路, 用公式 $I'' = U_c / (\sqrt{3} \cdot Z_{\Sigma})$ (U_c 取额定电压 1.05 倍, Z_{Σ} 为短路点总阻抗)。验证线路动稳定验算需满足 $I_{sh} \leq I_{es}$ ($I_{sh} = 2.55 I''$, I_{es} 由电缆型号定); 热稳定满足 $I_{\infty}^2 t \leq C^2 S^2$ 。若不满足, 增大电缆截面或缩短短路电流路径。

3.4 配电保护装置验算

配电保护装置验算公式为 $I_{set} \leq I_z \cdot K_{rel}$ (I_{set} 为整定电流, I_z 为线路载流量, K_{rel} 为可靠系数), 且大于负荷最大及电动机启动电流。遵循“速断优先、分级配合”, 总应急配电柜 $\leq 0.1s$, 分区 $\leq 0.2s$, 末端 $\leq 0.3s$, 上下级时间差 0.3~0.5s。过载保护装置整定电流与负荷额定电流匹配, 公式为 $I_{set,ol} = 1.05 \cdot 1.1 \cdot I_n$ ($I_{set,ol}$ 为过载整定电流, I_n 为负荷额定电流), 电动机类精准匹配, 照明等大于负荷最大小于线路载流量。轻度过载 (1.2 倍额定电流) 动作时间 $\geq 10min$, 严重过载 (1.5 倍) $\leq 1min$, 且大于电动机启动时间。接地保护验算一般接地电阻 $R_e \leq 4\Omega$, 关键区域 $\leq 1\Omega$, 结合接地网布置与土壤电阻率计算, 不满足则增加接地极等措施, 同时验算连接可靠性。防雷器验算公式为 $U_{n,SPD} \geq 1.1 \cdot U_{n,system}$ ($U_{n,SPD}$ 为 SPD 额定电压/kV, $U_{n,system}$ 为应急供电系统额定电压/kV)。

4 结论

本文结合负荷特性, 构建柴油发电机组、EPS、UPS 协同工作的多层次应急供电体系。柴油发电机组需重点考虑容量、台数、启动方式, EPS、UPS 需匹配负荷类型和应急持续时间, 回路设计采用三级配电、独立回路模式, 规避故障扩大风险。构建“负荷验算、应急电源容量验算、配电线路验算、配电保护装置验算”的完整验算体系, 为工程设计提供技术支撑。

[参考文献]

- [1] 李小青. 关于高层建筑供配电系统设计的探讨[J]. 智能建筑与智慧城市, 2023(4): 135-137.
 - [2] 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(3): 130-131.
 - [3] 刘浩东. 智能建筑电气供配电系统的负荷设计及优化[J]. 光源与照明, 2022(11): 176-178.
 - [4] 中国联合工程公司. 供配电系统设计规范: GB 50052—2009[S]. 北京: 中国计划出版社, 2010.
 - [5] 中国建筑东北设计研究院. 民用建筑电气设计标准: GB 50348—2019[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2020.
- 作者简介: 李振宾 (1991.9—), 毕业院校: 华北科技学院, 所学专业: 自动化, 当前工作单位: 北京清大原点建筑设计有限公司河北分公司, 职务: 主设, 职称级别: 工程师。