

# 超高层建筑电气系统供配电可靠性及应急电源配置研究

冯志强

济南市中城市投资集团城市建设有限公司 山东 济南 250000

**摘要:** 随着城市化进程的加速和土地资源的日益紧张,超高层建筑(通常指建筑高度超过100米的建筑)已成为现代都市天际线的重要标志。其内部功能复杂、人员密集、设备众多,对电力供应的连续性、安全性和可靠性提出了前所未有的严苛要求。一旦发生供电中断,不仅会造成巨大的经济损失,更可能引发严重的公共安全事件。因此,构建一个高可靠性的供配电系统,并科学合理地配置应急电源,是超高层建筑设计及运维的核心课题。本文旨在深入剖析超高层建筑电气系统的负荷特性与风险源,系统阐述提升供配电可靠性的多维度策略,并重点研究应急电源(包括柴油发电机组、UPS不间断电源、EPS应急电源等)的选型、容量计算、系统架构及智能控制策略。为超高层建筑电气系统的设计、建设与管理提供一套系统化、前瞻性的解决方案,以保障其在各种工况下,尤其是极端故障条件下,依然能够维持关键生命线系统的正常运行。

**关键词:** 超高层建筑;供配电系统;可靠性;应急电源;柴油发电机组;UPS

## 引言

21世纪,超高层建筑在全球大量涌现,是城市经济实力的象征,也是功能多样的垂直城市综合体。其内部机电系统复杂,电气系统作为“生命线”至关重要,既要满足常规用电需求,更要保障关键负荷持续稳定供电。但超高层建筑因独特形态与复杂结构,面临严峻供配电挑战:供电距离长,电压降等问题突出;垂直交通依赖电梯,停电疏散救援难;热负荷大,断电或致设备损毁;还有多种供电中断风险源。在此情形下,传统电源模式无法满足安全需求,需采用“多重冗余、分层设防、智能联动”理念构建供配电体系。应急电源是最后防线,其配置合理性关乎建筑灾难性断电时的生存能力。故对超高层建筑电气系统供配电可靠性及应急电源配置开展系统性研究,意义重大。

## 1 超高层建筑电气负荷特性与风险分析

超高层建筑电气负荷依据相关规范通常分三级:一级负荷中特别重要的负荷(最高优先级),中断供电会危及人身安全或造成重大影响,如消防控制室等,要求第三路独立应急电源毫秒级无缝切换供电;一级负荷(高优先级),中断供电会造成重大损失或影响,如客梯等,通常由双重电源供电并在末端自动切换;二级及以下负荷(普通负荷),紧急时可被选择性切除。其负荷特性表现为负荷密度高、波动大,谐波污染严重。超高层建筑供配电系统面临外部和内部风险,外部风险有区域电网故障、自然灾害等致市电中断,市政配套设施故障间接影响;内部风险包括关键设备故障、误操作等,电气火灾威胁大,地下变电站或设备机房防水不到位会致设备

短路损坏。全面识别评估这些风险是制定可靠性策略和应急电源配置方案的前提。

## 2 提升供配电系统可靠性的核心策略

### 2.1 电源引入的多重化与独立性

提升可靠性的基石在于电源的源头保障。超高层建筑必须至少引入两路完全独立的10kV(或更高电压等级)市电电源,这两路电源的理想状态是分别来自城市电网中地理位置相隔较远的不同上级区域变电站,或者即便源自同一变电站,也必须取自彼此电气隔离的不同母线段,以此最大限度地规避因单一变电站或母线故障而导致双路电源同时失效的共因故障风险<sup>[1]</sup>。对于一些承担特殊使命或位于电网薄弱地区的超高层建筑,甚至可以考虑引入第三路独立电源,例如来自另一个方向的电网馈线,或是直接接入正在兴起的区域性智能微电网,从而形成三重保险。

### 2.2 供配电网的分层与分区

面对超高层建筑动辄数百米的垂直高度所带来的巨大技术挑战,传统的从地下室一路向上敷设电缆的“一竿子插到底”模式已显得力不从心。取而代之的是一种更为先进和高效的分层、分区供配电架构。在垂直方向上,整栋建筑被科学地划分为若干个供电子区,每个子区的高度跨度通常控制在30至50层之间,并在该区域内设置独立的区域变电所,全权负责本子区内所有负荷的供电需求。这种做法不仅能有效缩短低压供电半径,显著改善电压质量、降低线路损耗和投资成本,更重要的是能够将潜在的故障影响范围严格限制在单个子区内,防止局部故障演变为全局性灾难。在水平层面,每个垂

直子区内部还需根据建筑功能（如办公、酒店、商业裙楼）或防火分区的要求进行二次划分，设置相应的楼层配电间，实现供电的精细化管理和故障的快速隔离。此外，将服务于全楼的“垂直干线”负荷（如电梯、水泵、排烟风机）与各楼层的“水平支线”负荷分开供电，也是避免相互干扰、提升系统整体稳定性的有效手段。

### 2.3 关键路径的冗余设计

对于一级负荷中特别重要的那些“生命线”负荷，其供电路径的设计必须贯彻N+1甚至2N的冗余理念。具体而言，需要从两个不同的区域变电所（或同一变电所内互为备用的两台变压器）引出两路物理上完全独立的低压电源线路，并最终在用电设备的末端通过高可靠性的自动转换开关（ATS）实现无缝切换。在一些对供电连续性要求达到极致的核心区域，例如大型数据中心或金融交易大厅，还可以采用环形或网格状的电缆敷设方式，形成多路径供电网络，确保即使某一段线路因故中断，电流依然能够通过其他迂回路径抵达负载，从而实现近乎完美的供电保障。

### 2.4 先进的电能质量管理

为了应对超高层建筑内部非线性负载所带来的谐波污染、电压暂降、闪变等一系列电能质量问题，必须在系统的关键节点部署先进的电能质量治理设备。有源滤波器（APF）能够动态地检测并注入反向谐波电流，从而实时消除谐波，同时改善系统的功率因数。动态电压恢复器（DVR）则像一个快速反应的“电压卫士”，当外部电网发生短暂的电压跌落时，它能在毫秒级时间内补偿缺失的电压，保护后端的敏感电子设备免受干扰或宕机<sup>[2]</sup>。而静态无功补偿装置（SVC/SVG）则通过快速调节系统中的无功功率，有效稳定母线电压，为整个供配电系统提供坚实的电压支撑。

### 2.5 智能化监控与自愈系统

依托物联网、大数据和人工智能等前沿技术，构建一个覆盖全楼的智能配电网管理系统（PMS），是实现供配电系统从“被动响应”向“主动防御”跃升的关键。该系统通过遍布建筑各个角落的传感器网络，能够对电压、电流、功率、温度乃至局部放电等数千个关键参数进行全景式、实时化的感知。基于海量的历史运行数据和先进的机器学习算法，系统可以提前预判变压器过热、电缆绝缘劣化等潜在故障，将运维模式从成本高昂的被动抢修转变为高效经济的主动预防。一旦故障不幸发生，智能系统能够在极短时间内精确定位故障点，并通过远程遥控指令自动或半自动地操作相关开关，迅速隔离故障区域，将停电范围压缩到最小。不仅如此，该系统还

能根据实时的负荷变化曲线和分时电价信号，智能优化变压器的投切策略、无功补偿装置的输出功率等，实现系统在安全可靠基础上的节能降耗与经济运行。

## 3 应急电源系统的深度配置研究

### 3.1 应急电源类型及其适用场景

超高层建筑通常采用多种应急电源组合，形成多层次的保障体系。（1）柴油发电机组（DGSet）：作为主力应急电源，承担一级负荷和部分重要二级负荷的长期供电任务。其特点是功率大、续航时间长（取决于油箱容量），但启动和加载需要一定时间（通常10-30秒）。适用于消防泵、客梯、主要照明、生活水泵等允许短时中断的负荷。（2）不间断电源（UPS）：作为瞬时无缝切换电源，为核心IT设备、消防报警主机、安防系统、应急照明（部分）等提供毫秒级无中断的纯净正弦波电源。UPS通常由整流器、逆变器和蓄电池组构成。其特点是切换时间为零，但成本高、续航时间相对较短（通常15-30分钟，用于支撑到发电机启动并稳定）<sup>[3]</sup>。（3）应急电源装置（EPS）：主要用于应急照明和消防动力设备。其工作原理是在市电正常时处于待机状态，市电中断后，通过静态开关在毫秒级时间内切换至由蓄电池经逆变器供电。相比UPS，EPS结构更简单、成本更低、过载能力强，但输出波形和动态响应性能略逊于UPS，不适合对电源质量要求极高的IT设备。

### 3.2 应急电源容量的精确计算

容量配置过大，造成投资浪费；容量过小，则无法满足需求。计算需遵循以下步骤：

#### 3.2.1 明确保障范围

根据建筑功能和规范要求，确定在应急状态下必须由应急电源供电的所有负荷清单。

#### 3.2.2 负荷统计与分类：

（1）稳定负荷：照明、插座等，按安装功率乘以需要系数计算。（2）电动机负荷：电梯、水泵、风机等。必须考虑其启动电流（通常是额定电流的5-7倍）对发电机容量的巨大冲击。不能简单累加额定功率。

#### 3.2.3 发电机容量计算（关键难点）

第一步：按稳定负荷计算。 $S_1 = \sum (P_i / \cos \phi_i) / \eta$ ，其中 $P_i$ 为各稳定负荷有功功率， $\cos \phi_i$ 为其功率因数， $\eta$ 为发电机效率。

第二步：校验电动机启动能力。这是最关键的一步。通常采用最大单台电机启动法或逐级加载法。（1）最大单台电机启动法： $S_{gen} \geq (S_1 - P_{motor}) + P_{motor} * K_{start} / X_d$ 。其中， $P_{motor}$ 是最大一台电机的额定功率， $K_{start}$ 是启动电流倍数， $X_d$ 是发电机的瞬态电抗（反映其承受突加载荷的能力，值越

小越好)。此方法偏于保守<sup>[4]</sup>。(2) 逐级加载法(推荐): 模拟发电机启动后, 按照预设的逻辑顺序(先启动大电机, 再逐步投入其他负荷)依次加载。通过专业软件(如 ETAP, SKM)进行动态仿真, 校验在整个加载过程中, 发电机的电压降和频率降是否在允许范围内(通常电压不高于-15%, 频率不低于-5%)。这种方法更精确, 能有效避免过度设计。

### 3.2.4 UPS/EPS容量计算

相对简单, 主要考虑负载的视在功率、功率因数以及所需的后备时间。 $S_{UPS} = \sum(S_{load})$ , 并根据后备时间要求计算蓄电池容量。

### 3.3 应急电源的系统架构与布置

(1) 发电机房选址: 应避开地下室最低层(防水风险), 宜设在中间避难层或屋顶。需充分考虑进排风、排烟、储油、降噪、设备吊装等要求。对于超高层建筑, 有时会采用多台小容量发电机分散布置于不同避难层的策略, 以缩短供电距离, 提高系统韧性。(2) 燃料储备: 按照规范, 柴油储备量应满足满负荷运行不少于3小时, 对于特别重要的建筑(如政府指挥中心、大型数据中心), 可能要求24小时甚至72小时。需设置日用油箱和地下储油罐, 并配备可靠的供油泵和油路系统。(3) UPS/EPS布置: 应尽可能靠近其所保障的关键负载, 以减少线路损耗和故障点。通常在消防控制室、安防机房、数据中心机房、各避难层配电间等处集中设置。

### 3.4 并联与智能控制策略

(1) 发电机并联: 当单台发电机容量不足或需要更高可靠性时, 可采用多台发电机并联运行。并联系统具有N+1冗余能力, 单台故障不影响整体供电; 可根据负荷大小自动投切机组, 提高运行效率; 便于未来扩容。但控制系统复杂, 初期投资高。(2) 智能启动与加载逻辑: 应急电源的启动和加载必须有序、平稳。当两路市电均失压并延时确认(防止电网瞬时波动误启动)后, 发出

启动信号。发电机启动建立电压和频率后, 首先投入最重要的负荷(如消防泵、应急照明), 然后按预设的优先级顺序和时间间隔, 逐级投入客梯、生活水泵、重要照明等。严禁所有负荷同时加载, 以免导致发电机过载宕机。(3) 与市电的无缝衔接: 当市电恢复后, 系统应能自动将负荷平稳地切换回市电, 并让发电机空载运行一段时间后自动停机。

## 4 结语

超高层建筑的供配电可靠性绝非简单堆砌备用设备所能达成。它要求设计师必须具备全局视野, 从顶层设计入手, 通过多重独立的电源引入、科学合理的分层分区架构、关键路径的深度冗余、先进的电能质量管理以及智能化的全生命周期运维, 共同编织一张立体的纵深防御网络。在此坚实的基础上, 对应急电源系统进行精细化的容量核算、优化的物理布局和智能化的控制逻辑设计, 方能在“黑天鹅”事件突袭之时, 确保建筑的关键生命线系统岿然不动, 从而最大限度地守护人民的生命财产安全和城市核心功能的稳定运转。未来的超高层建筑电气系统, 将不再仅仅是被动的能源消费者, 而是演变为集成了可再生能源、先进储能和智能控制的主动式“韧性能源节点”。这一转变不仅对电气设计师提出了跨学科融合与技术创新的更高要求, 也为行业的未来发展开辟了广阔的想象空间。

## 参考文献

- [1]穆晓霞.某超高层建筑供配电系统设计分析[J].智能建筑电气技术,2024,18(04):8-14.
- [2]周金永,芮剑彬.某超高层建筑供配电系统方案优化[J].建筑电气,2025,44(08):13-16.
- [3]林东东.高层公共建筑消防应急照明集中电源控制方法[J].建筑与预算,2025,(09):4-6.
- [4]曹学涛.装配式建筑应急电源线路设计与施工技术研究[J].电气技术与经济,2025,(06):405-408.