高层建筑电气供配电系统优化设计与节能措施研究

周　杰

成都建工工业设备安装有限公司 四川 成都 610000

【摘　要】：高层建筑负荷沿竖向分布，消防与普通动力对供电连续性和能耗的要求不同，单纯放大设备容量会增加低负载损耗。本文识别供电可靠性与运行能效的约束，设计变配电所、竖向干线、备用电源和保护配置，并提出变压器经济运行、无功补偿、分区控制及分项计量措施。设备选型应同时满足峰值负荷、故障隔离和重要负荷持续供电；节能控制以回路边界和计量反馈为依据，避免误切消防负荷与轻载过补偿。

【关键词】：高层建筑；供配电系统；优化设计；节能措施；分项计量

DOI:10.12417/2811-0536.26.10.005

引言

高层建筑的消防、电梯、给排水、照明和空调负荷分布在不同楼层，竖向干线长，回路故障与线路损耗容易相互牵制。扩大变压器和导体容量虽可缓解峰值约束，却会增加空载损耗及投资；缩小容量又可能使压降、温升和备用能力不足。

供配电设计应先厘清负荷等级与供电路径，再把设备容量、保护选择性和运行计量接成可校核的技术链条，并以故障状态和典型日负荷状态分别验算，明确安全约束与节能控制的先后顺序。

1 高层建筑供配电系统优化设计概述

1.1 高层建筑供配电系统供电可靠性保障

消防水泵、排烟风机、消防电梯、报警和应急照明须按停电后果确定供电等级，普通空调、照明和商业动力另列回路。先划定重要负荷的供电路径和故障隔离范围，再确定双路电源、分段母线及末端切换位置，使一条竖向干线故障不会同时切断相邻分区[1]。

双电源应追溯至不同上级母线或独立电源路径；若仅在楼内分接同一进线，外部故障仍会造成共同失电。上、下级断路器按时间—电流曲线整定，检修旁路只服务于规定负荷；备用电源承担的负荷组合应以最不利运行状态校核，而非把全部装机容量相加。

1.2 高层建筑供配电系统负荷分级适配

负荷分级应结合人员疏散、设备停运后果和使用时段，而不能只按房间名称判断。

消防及特别重要负荷接入独立供电边界，可调照明、空调与普通插座分别组织；同一分区内的电梯、水泵和风机还须核对启动电流对末端电压的影响。

分级清单还须标明允许中断时间及持续供电时长，以确定蓄电池、发电机和末端切换的承担顺序[2]。完成分级后，逐类计算峰值负荷、同时运行组合和备用电源承担范围，并把可切负荷列在控制逻辑之外。分级清单同步标注楼层配电箱、末端设备和备用回路编号，投运时据此核对接线与供电范围。

1.3 高层建筑供配电系统安全能效统筹

长距离竖向输电使导体温升、电压降和线路损耗共同受负荷电流影响；变压器轻载时则由空载损耗占据较高比例。

设计先检查短路电流、保护动作、导体载流量和消防回路耐火要求，再比较干线长度、截面及变压器运行台数。商业和机房的非线性负荷须另核谐波对中性线与变压器的热效应。普通照明、风机和水泵可分区控制，消防及事故照明独立供电。

节能控制点设定允许电压、温升与功率因数范围，越限或通信故障时恢复固定供电方式，避免削弱保护选择性。在低谷和峰值负荷状态下，分别校核变压器损耗、末端压降及消防回路连续性。

2 高层建筑供配电系统优化设计策略

2.1 高层建筑变配电所位置配置设计

先按办公、商业、住宅及机房绘制楼层负荷分布，确定低压供电半径，再比较地下层集中设所与竖向分区设所的进线长度、低压干线损耗和维护通道。

候选位置均绘设备平面与供电剖面，记录末端压降、电缆长度、设备通道和检修影响区；满足约束后再按损耗与投资选择[3]。

变配电所应靠近主要负荷中心，避开积水、强振动及不利散热位置；上部设所还须满足设备运输、承重和防火分隔条件。

位置确定后，把消防、重要动力与普通动力分别接入分段母线，标明正常运行、检修和故障转供路径，并逐段核对压降、温升及检修可达性。

地下设所与竖向负荷的相对位置见图 1。

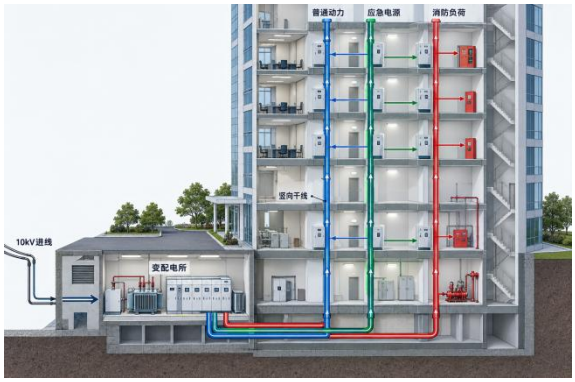

图 1 高层建筑变配电所与分层供电路径

2.2 高层建筑高低压配电与竖向干线配置

按建筑功能和供电等级划分竖向分区，在单线图上分别标出高压进线、普通低压母线、消防干线和应急干线；各区设可隔离的配电节点，避免末端故障牵连整条干线[4]。竖井施工图应逐层标出母线槽分支、转接点和防火封堵位置，投运时分段检查绝缘、接头温升及相序；支路故障注入时，试验确认上级干线持续供电。干线选型逐段核对计算电流、敷设温度、接头温升、短路热稳定和末端电压，穿越楼板处落实防火封堵。商业、机房和充电设施的整流负荷应核查三次谐波及中性线电流，再决定滤波或导体配置。普通干线与消防干线的分区布置见图 2。

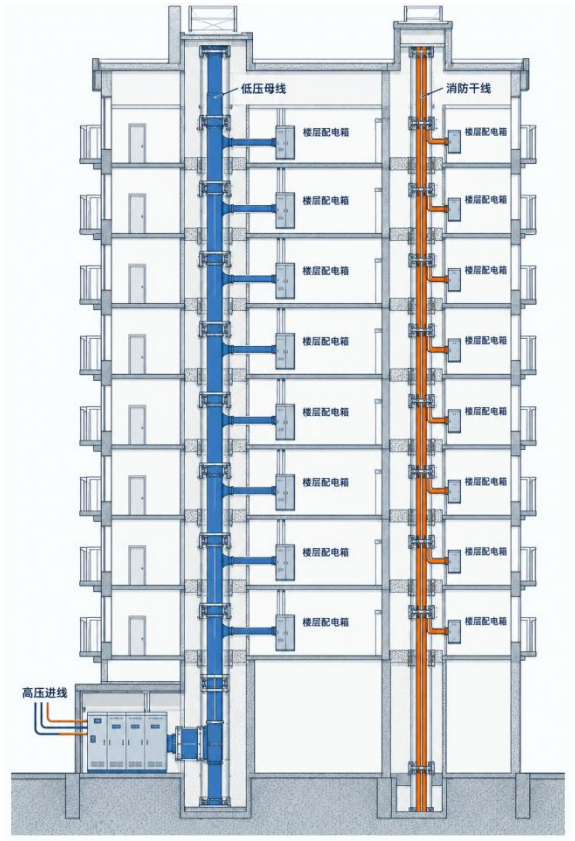

图 2 高层建筑高低压配电与竖向干线分区

2.3 高层建筑备用电源应急切换设计

先把消防水泵、排烟风机、消防电梯和应急照明列为不可卸载负荷，按同时运行组合确定备用容量，再区分双路市电失压转供与两路同时失效后的发电机供电。建筑高度大于 100m 的公众聚集场所，消防应急照明和疏散标志备用电源的连续供电时间不应少于 1.50h；建筑面积大于 10000m^2 的公共建筑不应少于 1h，同时满足时按较长时限配置；非集中控制型及集中电源供电的消防应急灯具，试验转换时间不超过 5s。联锁验收模拟单路失压、双路失压、备用拒动和市电恢复，记录开关位置、母线带电及消防负荷恢复顺序，异常转人工[5]。自动转换开关应设失压判据、延时、机械电气联锁和手动检修位，切换顺序依次核对电源状态、母线分段、末端负荷及恢复优先级，禁止非同期并列。消防回路不得被普通节能控制切断；自动转换开关的转供时间按所带负荷允许中断时间及产品动作曲线验收，发电机的燃油、散热和启动负荷另行校核。双路失压后的两级转供关系见图 3。

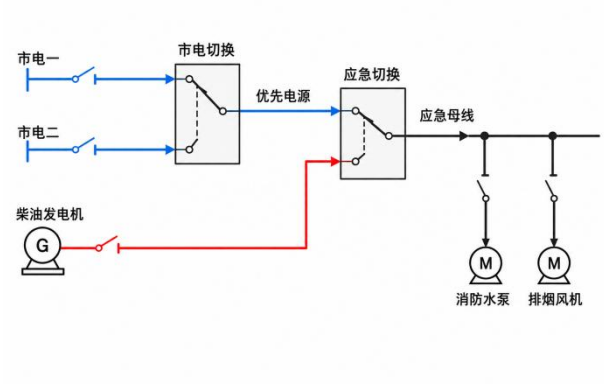

图 3 双路市电与柴油发电机分级应急切换

2.4 高层建筑负荷计算支撑变压器容量选择

把照明、插座、空调、电梯、水泵和风机分成独立负荷组，逐组计算需要系数、同时系数及季节峰值，再叠加电动机启动和重要负荷备用校核。各方案用同一负荷曲线比较低谷空载损耗、峰值温升和检修转供；参数缺口单列，不能仅按额定容量选型。比较低谷单台、峰值双台及检修转供三种状态，逐项检验峰值负荷、短路容量、温升、压降及增长余量。并列运行前核对变比、接线组别、阻抗与容量比，避免环流；整流和变频负荷较多的楼层另核谐波热效应。双台方案在单线图标明分段母线、母联联锁及三种状态的电流、温升和供电范围。高层建筑的数据中心功能区若有效面积为 4800m^2、负荷密度为 1500W/m^2，则该区需求功率为 7200kW，容量初选还须与其他分区的同时运行负荷合并。

多功能高层建筑应逐区核定面积、设备清单与同时运行组合，再汇总容量初选负荷。各功能区的平均需求功率和同时系数见表 1。

表 1 高层建筑不同功能分区的初选需求功率密度与同时系数

建筑功能分区	平均需求功率(W/m²)	同时系数(无量纲)
办公室	30—50	0.60
购物中心	30—60	0.60
酒店、宾馆	30—60	0.60
医疗中心	80—120	0.60
多层停车场	3—10	0.60

表 1 中，医疗中心的平均需求功率区间高于办公室和停车场；各功能区的同时系数虽均取相同初选值，各功能区的面积与用电设备仍需分别核对后才能合并需求负荷。

表 1 中的需求功率不能直接逐行相加作为变压器定值。商业空调与住宅照明的高峰可能错开，电梯与消防泵分别对应正常和应急工况；先列正常高峰、低谷及消防应急组合，分别核算视在功率，按最不利组合初选容量。单台检修转供若过载，先调整负荷分区或变压器台数，再复查母联联锁、干线载流量和保护整定。分区负荷汇总到容量初选的关系见图 4。

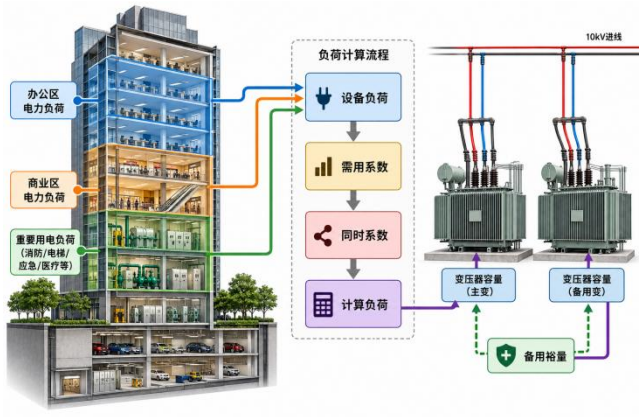

图 4 高层建筑分区负荷与变压器容量选择关系

2.5 高层建筑供配电保护配置支撑运行监测

以进线、变压器低压总开关、分区干线和末端回路为保护层级，逐级列出过载、短路和接地故障的保护对象与整定范围。整定表要注明每级断路器型号、保护阈值、延时及所保护的电缆截面；验收时从末端注入试验、干线故障模拟和通信中断三种状态核对动作与告警记录。先计算最小与最大故障电流，再比对上、下级时间—电流曲线，确保末端故障由最近保护器切除；消防和重要动力回路单独核验选择性。监测点对应进线电流、电压、功率因数、变压器负载率、母线温度及分项电能，但通信告警不能代替保护动作。高层建筑供配电保护配置中的本地跳闸与运行监测上传分工见图 5。

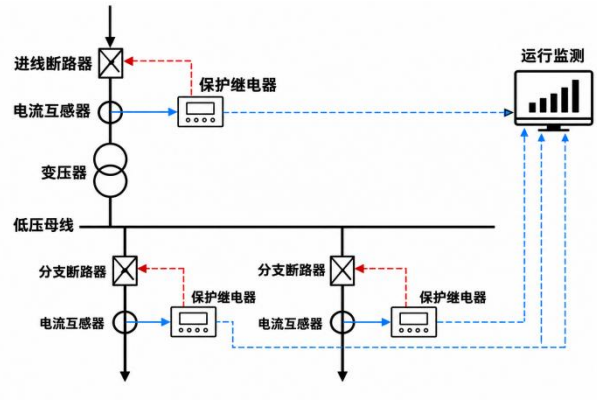

图 5 高层建筑分级保护与运行监测信号关系

3 高层建筑供配电系统节能措施

3.1 高层建筑变压器经济运行、损耗控制

变压器投切依据分时空载与负载损耗，不能仅看瞬时负载率。运行方式切换前应检查低压母联位置、备用变压器可用状态和转移后的电流上限；切换后连续观察绕组温度与分项电能，异常即恢复原运行方式。根据分项计量形成日负荷曲线，低谷时核对单台运行容量和重要负荷转供条件，峰值时再投入第二台；母联操作前确认相序、保护整定和消防母线状态[6]。切换设置最小持续时间与温度回退条件，避免频繁投切造成机械磨损或过载。依据进线电能、温升、低谷时长和中断次数判定，只在损耗下降且重要负荷连续时采用该方式。在合计需求功率 22.05MW、功率因数 0.90、容量初选目标负载率 0.80 的条件下，变压器总输出容量约为 30.60MVA；日常运行仍应按实负荷曲线核查低载损耗。低谷与峰值的投运台数差异见图 6。

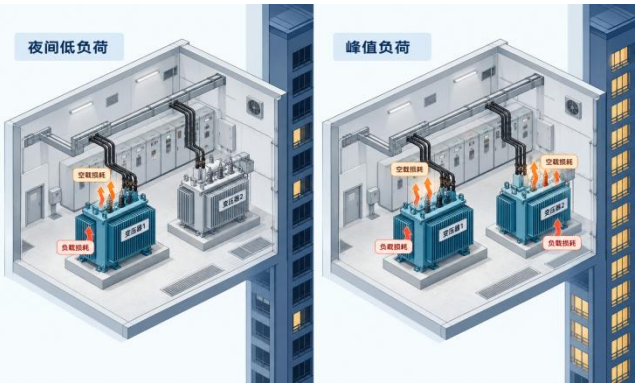

图 6 低负荷与峰值时双台变压器运行方式

3.2 高层建筑无功补偿改善功率因数

分区测量有功、无功、功率因数和谐波电流，定位无功来源。投切调试从最小电容组开始，逐级记录母线电压、无功方向与谐波变化；出现电压越限或谐波放大时停止追加电容并回退上一级。

补偿装置尽量靠近无功负荷中心，按负荷波动选择集中、分组或动态投切；变频器和整流设备集中的分区先核谐振风险，再配置电抗器及滤波措施[7]。

控制器按分组级差投入电容器，轻载、过电压和谐波异常时闭锁并退出，避免夜间过补偿。比较补偿前后线路电流和变压器负载，而不能把功率因数提高直接等同于节电量。

民用建筑变电所计量点的功率因数不宜低于 0.90；对 100kVA 及以上、35kV 及以下供电的用户，峰值负荷时变压器高压侧的功率因数另以 0.95 为核对界限。

采样、投切和补偿支路的接线关系见图 7。

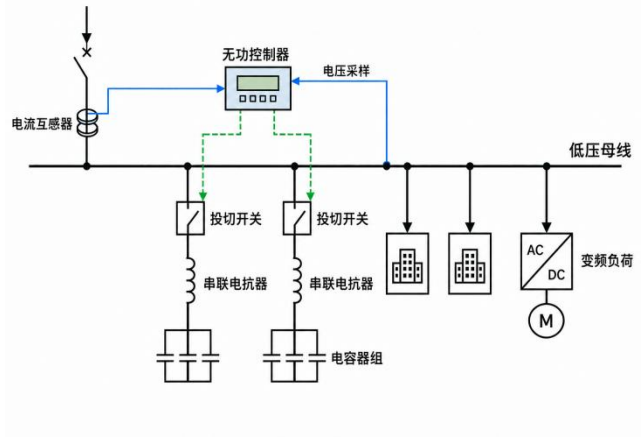

图 7 高层建筑低压母线分组无功补偿连接

3.3 高层建筑照明动力分区控制减少无效用电

将公共走道、车库、设备房、办公及商业区的普通照明分成独立回路，分别用时钟、照度和人员活动信号控制基础照明；消防应急照明不进入调光回路。

按“区域—回路—传感器—执行器—失效动作”编制控制矩阵，空载验证指令，人员活动及消防联动状态下复查服务。生活水泵、冷却塔与普通风机按压力、流量或温度反馈调速，消防泵、事故排烟及电梯安全回路保留专用控制。

每个分区明确传感器、执行器、允许时段、手动优先和通信故障回退位置，并在交付时逐项测试误触发与恢复动作。节能判断对比同运行时段的分项电能与服务水平。普通负荷与应急照明的控制边界见图 8。

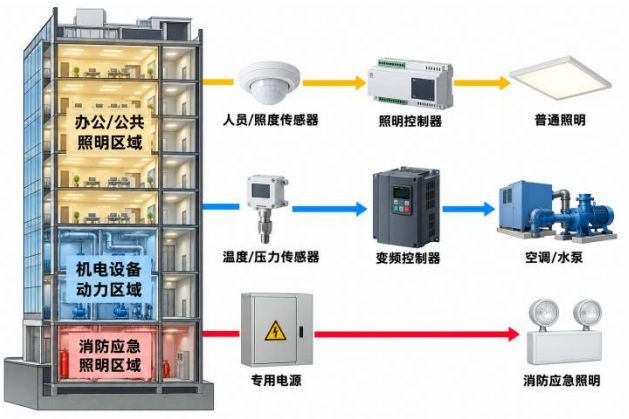

图 8 普通照明、动力与消防应急照明分区控制

3.4 高层建筑分项计量支撑运行调度节能

进线总表之外，公共照明、空调动力、电梯、给排水、商业租户和充电设施应设置独立分项计量边界，计量点与配电分区及控制权限一一对应。北京地区建筑面积不小于 20000m^2 且采用集中空调的公共建筑，应配置建筑设备监控系统及具备电能分项计量的能效监管系统；其峰值负荷调节能力不应小于峰值负荷的 0.05 倍。北京地区采用集中空调且建筑面积小于 20000m^2 的公共建筑，主要用能设备仍须采取节能自动控制措施。分项电能表精度等级不低于 1.0 级，电流互感器精度等级不低于 0.5 级，进线与主要出线回路连续监测用电负荷。用进线与分项电能核查采集完整性，异常时先排除倍率、时钟和通信丢包，再判断能耗变化。按日、周、月记录电能、电流、功率因数和负荷率，识别峰时与异常支路，调节变压器台数、补偿级次和非关键负荷。调度指令须核对消防优先、人工确认和异常回退，通信中断时保持重要负荷原供电状态。分项计量到峰时调度的传递关系见图 9。

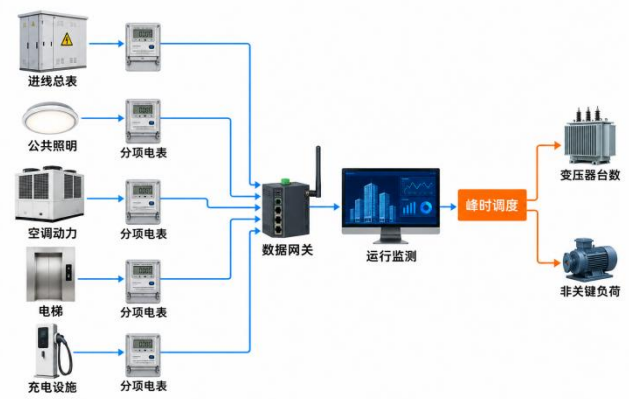

图 9 高层建筑分项电能采集与峰时调度关系

4 结语

高层建筑供配电优化应以负荷分级为起点，按故

障隔离范围配置电源、竖向干线、变压器和保护器件。节能运行依靠变压器台数切换、分组无功补偿、照明动力分区控制及分项计量；每项控制均须保留消防优先、手动接管和异常回退。容量及控制阈值应按建筑功能、实际负荷曲线和设备参数复核，不能用单一节电指标替代供电连续性判断。实施时应将分级负荷清单、切换逻辑、整定值和计量边界同步写入竣工文件，便于运行人员按相同条件复查。

参考文献：

[1] 佘枫邦.高层建筑电气设计要点及节能策略分析[J].城市建设,2026,(25):97-99.

[2] 王呈祥.高层建筑电气改造中的节能优化策略研究[J].张江科技评论,2025,(9):104-106.

[3] 纪海洲.高层建筑电气设计要点及节能策略分析[J].产品可靠性报告,2025,(3):113-114.

[4] 王伟方.超高层建筑电气系统节能优化设计与研究[J].电气技术与经济,2024,(12):54-56.

[5] 朱丹丹.双碳背景下的某超高层建筑电气节能探讨[J].城市建设理论研究(电子版),2025,(7):164-167.

[6] 郭普静,杨小琴.某超高层建筑电气消防设计要点分析[J].现代建筑电气,2025,16(4):12-17.

[7] 谢泉明.超高层建筑电气设计要点探析[J].福建建设科技,2024,(6):128-131+150.