

变电站电气主设备优化配置策略研究

杨昊达

中国能源建设集团天津电力建设有限公司 天津 300380

摘要: 变电站电气主设备的合理配置是保障电网安全稳定、经济高效运行的关键。本文围绕变电站主设备优化配置展开研究,梳理主设备核心构成与配置影响因素,构建选型、容量、布局的全流程优化策略。通过构建评价指标体系、数学模型及智能求解算法,结合不同类型变电站场景,开展选型、容量、布局的优化设计与验证。研究表明,科学的优化配置策略可有效提升设备适配性、降低运行成本、保障供电可靠性,为变电站主设备配置提供实操性指导。

关键词: 变电站; 电气主设备; 主设备选型; 容量配置; 布局优化

引言: 随着电力系统规模化发展与智能化升级,变电站作为电网能量转换与传输的核心枢纽,其电气主设备配置的合理性直接影响供电可靠性与运行经济性。当前,部分变电站存在主设备选型适配不足、容量冗余或缺、布局不合理等问题,制约电网运行效益提升。基于此,本文聚焦变电站电气主设备优化配置策略,系统研究选型、容量、布局的优化路径,结合实用方法与现场场景开展分析,解决实际配置痛点,为变电站主设备优化配置提供理论与实践支撑。

1 变电站电气主设备配置的基础理论与影响因素

1.1 电气主设备核心构成与功能特性

变电站电气主设备是保障电网安全稳定运行的核心载体,主要包括变压器、断路器、母线、开关设备等关键设备。变压器作为能量转换核心,负责高低电压转换,技术参数决定供电效率,具有低损耗、抗冲击特性;断路器承担电路开合与故障切断功能,可快速隔离故障、避免事故扩大,操作可靠且灭弧性能优良;母线作为电能汇集与分配枢纽,连接各类主设备,需满足载流量大、绝缘性好的要求;开关设备(含隔离开关、负荷开关)辅助实现电路切换与设备检修,保障运维安全。各类设备协同运行,构成完整的电能传输、转换与控制体系,是变电站实现供电功能、保障电网稳定的基础。

1.2 主设备配置的关键影响因素分析

主设备配置受内外部多维度因素共同影响。内部因素主要有电网负荷特性、供电可靠性要求及变电站建设规模:负荷特性决定设备容量,峰谷波动大需配置可调变压器;可靠性要求越高,需配置冗余设备提升容错能力;建设规模约束设备数量与布局,小型站侧重简洁高效,大型站需兼顾扩容。外部因素涵盖技术发展、经济成本、环保政策与运维需求:新型智能化设备优化配置

模式,经济成本控制选型与冗余程度,环保政策推动节能低污染设备应用,运维需求要求设备兼顾便捷性与可维护性,多因素协同构成主设备优化配置的约束体系。

1.3 主设备配置的基本原则

主设备配置需遵循以下四大核心原则。(1)安全性是首要原则,要求设备选型、布局符合电力安全规范,避免电气故障引发安全事故;(2)可靠性原则强调设备运行稳定,通过合理配置冗余设备、选用优质设备,降低故障发生率,保障供电连续性;(3)经济性原则要求平衡建设与运维成本,避免过度配置造成资源浪费,在满足功能需求的前提下优选性价比高的设备与方案;(4)可扩展性原则需兼顾未来电网扩容与技术升级需求,设备配置预留一定空间,便于后期改造与升级,确保主设备配置长期适配变电站运行需求^[1]。

2 变电站电气主设备选型优化策略

2.1 主设备选型的核心评价指标体系构建

结合变电站实际运行需求,构建科学、可量化的主设备选型评价指标体系,指标选取贴合现场应用,避免空泛,具体包括:(1)技术指标,涵盖设备额定容量、额定电压、绝缘水平、灭弧性能等核心参数,直接决定设备适配性与运行稳定性,如变压器额定容量需匹配电网负荷峰值,断路器灭弧性能需满足故障切断要求;(2)经济指标,包括设备购置成本、安装成本、运维成本及全生命周期损耗,重点考量性价比,避免过度追求高端设备造成成本浪费;(3)可靠性指标,以设备无故障运行时间、故障修复效率、冗余能力为核心,确保设备长期稳定运行,降低停电风险;(4)适配性指标,涵盖设备与变电站建设规模、电网架构、运维模式的匹配程度,为选型优化提供明确量化依据。

2.2 典型主设备的选型优化路径

针对变电站核心典型主设备,结合实际应用场景,制定针对性的选型优化路径,具体如下:(1)变压器选型优化,优先选用节能型油浸式或干式变压器,根据负荷特性选取合适容量,负荷波动较大时选用有载调压变压器,同时兼顾绝缘性能与抗短路能力,避免容量冗余或不足;(2)断路器选型优化,根据变电站电压等级选取真空断路器或SF6断路器,中低压变电站优先选用真空断路器,高压变电站选用SF6断路器,重点关注灭弧可靠性与操作便捷性,匹配电网故障切断需求;(3)母线与开关设备选型优化,母线选用载流量大、散热性好的铜母线或铝母线,根据布局需求选取单母线、双母线等形式;开关设备优先选用智能化、免维护类型,提升运维效率,降低人工成本。

2.3 选型优化的适配性分析与方案比选

选型优化需立足变电站实际,做好适配性分析与多方案比选,确保策略落地可行:(1)适配性分析,结合变电站所在区域电网负荷特性、供电可靠性等级、建设规模及运维水平,分析各选型方案的适配程度,避免选型与实际需求脱节,如偏远地区变电站优先选用运维便捷、故障率低的设备;(2)多方案比选,针对同一设备选型,制定2-3套差异化方案,从技术适配性、经济成本、运维难度三个核心维度进行对比,明确各方案的优势与不足;(3)方案确定,优先选取技术适配、成本合理、运维便捷的最优方案,同时预留调整空间,针对特殊场景(如高可靠性要求变电站),适当提升设备配置标准,确保选型优化方案贴合现场实际、具备可操作性^[2]。

3 变电站电气主设备容量优化配置策略

3.1 容量配置的需求预测与负荷特性分析

容量优化配置的前提是精准开展负荷需求预测与特性分析,具体操作如下:(1)负荷需求预测,结合变电站近3-5年实际运行负荷数据,剔除异常数据干扰,采用时间序列分析、灰色预测等实用方法,重点梳理近期负荷变化规律,结合变电站所在区域产业布局、人口增长规划,开展5-10年远期负荷预测,明确负荷年增长速率、日峰值负荷、季节最低负荷等核心参数,精准把握负荷增长趋势与波动范围,避免因预测偏差导致容量配置不足或冗余。(2)负荷特性分析,重点剖析负荷峰谷差、负荷率及冲击性等关键特性,通过统计日、月、季节不同时段负荷分布情况,计算年平均负荷率、最大负荷利用小时数等指标,明确负荷波动规律;针对冶金、化工等工业用户的冲击性负荷,重点识别其出现的频次、持续时间及强度,明确容量配置需满足的负荷承载底线,同时结合区域电网规划要求,衔接上级电网供电能力,

确保预测数据与实际运行需求、电网发展规划高度契合,为容量优化配置提供坚实、精准的数据支撑^[3]。

3.2 主设备容量配置的数学模型构建

以变电站实际运行需求为导向,构建贴合现场的容量配置多目标优化数学模型,具体如下:(1)模型目标设定,以供电可靠性、运行经济性为核心目标,兼顾两者动态平衡,杜绝单一追求经济性导致可靠性下降,或过度强调可靠性造成成本浪费,避免单一目标优化导致配置失衡,确保模型目标贴合变电站实际运维需求。

(2)约束条件设定,经济约束方面,将设备购置投资成本、后期运维成本、负荷缺电损失成本全面纳入,明确各类成本的量化计算标准;技术约束方面,除设备额定容量、绝缘水平、负荷承载能力外,结合《电力系统安全稳定导则》,补充电压偏差不超过 $\pm 5\%$ 、短路电流不超过设备额定开断电流等具体约束条件,确保模型符合行业规范。(3)模型参数确定,明确决策变量为变压器容量、断路器额定电流等核心设备的容量参数,目标函数设定为综合成本最低、供电可靠性最高,结合变电站电压等级、供电范围确定参数取值范围,确保模型能够精准反映容量配置的核心需求与边界条件,具备较强的实操性和现场适配性。

3.3 容量优化配置的求解算法与方案确定

采用实用智能优化算法求解模型,结合现场场景验证方案可行性,具体步骤:(1)算法选取与应用,结合容量优化多约束、多目标的特点,引入遗传算法、粒子群算法等成熟智能算法,优化算法参数设置,简化求解流程,快速处理多约束、多目标优化问题,有效规避局部最优解,精准获取变压器、断路器等核心设备的最优容量配置参数。(2)方案求解与初步筛选,通过算法多轮迭代计算,得到3-5组差异化容量配置方案,结合变电站实际建设规模、占地面积、投资预算等现场条件,筛选出技术参数达标、成本控制合理、适配现场工况的候选方案,剔除技术不可行、成本超出预算的方案。(3)敏感性分析与方案确定,结合不同运行场景(如负荷峰值、设备故障工况、电网检修工况),开展方案敏感性分析,重点验证负荷波动、故障发生时方案的稳定性与适应性,分析参数变化对配置效果的影响程度,剔除适配性不足的方案,最终确定贴合现场实际、兼顾可靠性与经济性,且便于后期运维、预留扩容空间的最优容量配置方案^[4]。

4 变电站电气主设备布局优化策略

4.1 主设备布局的约束条件与布局原则

主设备布局需严格遵循技术约束与核心原则,确保

贴合现场实际、符合安全规范,具体如下:(1)约束条件梳理,重点明确电气主接线形式、安全距离、运维通道、电磁兼容四大核心约束,电气主接线形式决定设备连接逻辑,单母线、双母线等不同形式对应不同布局模式;安全距离需符合电力规范,明确设备与设备、设备与围墙的最小安全间距;运维通道需预留足够宽度,满足设备检修、故障处置的操作空间;电磁兼容需控制设备间电磁干扰,避免影响设备正常运行,明确布局设计的技术边界。(2)布局原则确立,坚持紧凑合理、运维便捷、安全可靠三大核心原则,紧凑合理侧重提升空间利用率,避免冗余布局;运维便捷要求设备布局集中有序,减少运维往返距离;安全可靠优先保障设备操作与检修安全,规避安全隐患,确保布局既满足运行需求,又符合行业规范。

4.2 主设备布局的优化模型与求解方法

结合变电站实际布局需求,构建科学优化模型并采用实用方法求解,具体步骤:(1)优化模型构建,以缩短电气连接距离、降低线路损耗、便于运维为核心目标,量化布局合理性评价指标,包括连接距离、空间利用率、运维便捷度等,将布局约束条件纳入模型,明确模型的目标函数与边界参数,确保模型贴合现场实际。

(2)求解方法应用,采用仿真模拟与空间规划算法相结合的方式,通过仿真模拟还原设备布局场景,模拟不同布局方案的电气性能与运维流程;运用空间规划算法,对设备位置进行迭代优化,梳理设备布局的最优排列方式,快速求解获取兼顾多目标的最优布局方案,避免盲目布局导致的损耗增加、运维不便等问题。

4.3 不同类型变电站的布局优化方案设计

针对不同类型变电站的结构特点,设计差异化布局优化方案,确保方案适配性与可行性:(1)分类方案设计,户外变电站侧重空间利用与安全防护,采用分散式

布局,合理划分设备区域,保障安全距离与通风散热;户内变电站侧重紧凑布局,采用分层、分区设计,将设备集中布置,提升空间利用率;智能变电站结合智能化设备特性,布局兼顾设备协同与数据传输,预留智能化运维接口。(2)方案对比与验证,对比不同布局方案的电气损耗、运维效率、建设成本,分析各方案的优势与不足;结合各类变电站实际运行场景,验证方案的可行性与优越性,形成分类指导的布局策略,确保不同类型变电站均能实现布局优化目标^[5]。

结束语:本文围绕变电站电气主设备优化配置,完成了基础理论分析、优化策略构建及场景验证,形成了选型、容量、布局协同优化的完整方案,有效解决了现有配置中适配性不足、成本偏高、运维不便等问题。后续可结合数字化、智能化技术,进一步完善优化模型与求解算法。未来,需持续结合电网发展需求,优化配置策略,推动主设备配置向更高效、更可靠、更经济的方向发展,助力电力系统高质量运行。

参考文献

[1]马辉.变电站一次设备电气保护配置设计[J].灯与照明,2025,49(6):164-166.

[2]韩韦韦,于雷.智能变电站变电运行中二次设备的状态检修策略与实践[J].中国科技期刊数据库工业A,2026(2):166-169.

[3]张驰,黄俊羽,刘粟雨,黄静雯,刘婧珂.智能变电站中一次设备的优化配置策略[J].今日自动化,2025(1):94-95+148.

[4]邵德厚.智能变电站电气主设备选型及优化配置研究[J].中国科技期刊数据库工业A,2024(6):0033-0036.

[5]张卜元,贺艳荣,刘世康.基于数据分析的变电站电气设备故障预警系统优化研究[J].通信电源技术,2025,42(12):213-215.