

220kV 变电站配电装置优化布局与降本增效研究

温家昱

特变电工沈阳电力勘测设计有限公司天津分公司 天津 301700

【摘要】：本文围绕 220kV 变电站配电装置优化布局与降本增效展开研究，剖析布局固化、成本管控粗放、数字化应用薄弱、运维与前期工作脱节等问题，梳理创新布局、成本精控、数字赋能、运维一体化四大优化方向。依托 GIS 紧凑型布置、全生命周期成本分析、BIM 与数字孪生应用、状态检修及备品集约化管理，达成土地集约、全周期降本与运维提效目标，为电网工程提质增效、长效运营提供可落地的实践思路。

【关键词】：220kV 变电站；配电装置；降本增效

DOI:10.12417/2811-0722.26.06.065

引言

220kV 变电站是区域电网核心节点，配电装置区占地超总用地 60%，是工程投资与运维管控的关键环节。在土地资源紧张、投资管控精细化、新型电力系统对供电可靠性与智能运维要求提升的背景下，传统布局存在空间冗余、成本评估片面、数字化支撑薄弱、运维与设计施工协同不足等短板。本文结合行业导则与造价标准，梳理问题并明确四大优化方向，为变电站配电装置高效布局与全生命周期降本增效提供理论与实践参考。

1 220kV 变电站配电装置优化布局与降本增效的重要性

220kV 变电站是区域电网核心节点，配电装置区占地超变电站总用地 60%（数据源自电力规划设计总院《变电站总平面布置优化设计导则》），构成工程投资与运维成本管控的关键环节。电网建设当下遭遇土地资源紧张、投资管控精细化的双重制约，配电装置布局优化直接影响项目征地规模、土建工程量及设备材料用量，参照国家电网公司《输变电工程通用设计（220kV 变电站分册）》，GIS 紧凑型布置可压缩构架间距、缩短母线与线缆长度，相较常规敞开式布置减少一次性建设投资约 15%。合理布局能优化电缆与二次回路路径，降低线路损耗与后期运维检修难度，增强设备运行稳定性，在建设、运维至退役的全生命周期中达成成本系统性管控，为电网项目降本增效提供直接支撑^[1]。优化布局能够提升电网供电可靠性与故障响应效率，适配新型电力系统高可靠供电要求，契合电网绿色低碳、集约高效的发展导向，缓解城市核心区土地供需矛盾，为后续变电站扩容、智能化升级预留空间，推动电网工程向质量效益型转型。

2 220kV 变电站配电装置优化布局与降本增效面临的问题

220kV 变电站配电装置布局优化当下面临多重现实制约，多数工程依旧沿用常规敞开式布置思路，过度参照通用设计中的固定安全间距参数，未能结合场地地形、出线方向等具体条

件开展差异化优化，使得配电装置区占地存在明显冗余，征地与土建工程量超出实际需求。设计阶段成本管控多集中于设备初投资，未引入全生命周期成本分析模型，对 GIS 紧凑型布置等方案的长期运维效益评估不够充分，部分项目因片面压低建设成本，反而推高了后期检修、损耗引发的隐性支出。数字化设计工具应用欠缺，布局阶段缺乏对母线、电缆路径的精准仿真校验，容易出现施工阶段的设计变更与返工，进一步压缩了降本增效的实施空间。运维管理与前期设计、施工缺少高效联动，设备检修仍沿用传统定期模式，智能监测手段与闭环管控体系存在短板，统一优化评价标准尚未形成，各环节协同效能不足，降本增效的持续释放受到制约。见图 1

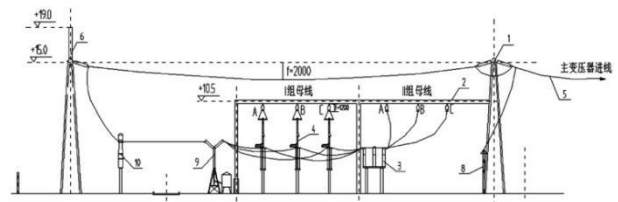


图 1 传统 220kV 屋外敞开式配电装置断面布置示意图

3 220kV 变电站配电装置优化布局与降本增效的优化路径

3.1 创新配电装置布局模式，完善空间利用与标准化设计方案

220kV 变电站配电装置布局优化需突破传统敞开式布置的固化思路，以空间集约与功能适配为核心打造差异化布局方案。户内 GIS 或半户内紧凑型布置模式应作为优先选择，电力规划设计总院《220kV 变电站用地指标控制导则》显示，常规敞开式布置的配电装置区占地约 0.8 至 1.2 公顷，GIS 紧凑型布置可将这一数值压缩至 0.35 至 0.5 公顷，土地利用率提升超 40%。设计环节需严格遵循国家电网《输变电工程通用设计 220kV 变电站分册》的模块参数，对配电装置区间隔宽度、构架高度、安全距离开展标准化校核，避免随意调整参数造成的空间浪费。

不同场地条件下需适配针对性布局优化，城区站优先选用全户内 GIS 布置，压缩占地规模，降低噪声与电磁影响；山地

站依托地形高差采用阶梯式布置,减少土方开挖量与边坡支护工程规模,从源头控制土建成本。出线方向单一或场地狭长的项目可采用单列式布置替代传统双列式,依据出线走廊方向调整配电装置区轴线角度,规避出线转角带来的额外占地;双回出线项目搭配同塔双回出线构架,减少出线间隔占地需求,相较单回出线布置节省出线走廊占地约30%。

设备集成化布置需同步落实,将断路器、隔离开关、接地开关等设备组合安装,减少独立构架设置数量——220kV 出线间隔的构架数量可由4组压缩至2组,缩短母线与设备连接线长度,降低设备材料用量^[2]。竖向空间利用需持续优化,采用分层式构架布置方案,母线与出线电缆分层架设,上层布设出线构架,下层设置母线构架,满足安全距离要求的前提下,进一步压缩水平占地规模。配电装置模块化预制设计应积极推进,将间隔单元、构架基础、电缆沟等构件标准化预制后现场快速拼装,缩短施工周期,减少现场施工损耗与人工成本,达成布局优化与施工效率的协同提升。

3.2 强化全流程成本管控,构建精细化成本控制与评估体系

配电装置降本增效需搭建覆盖设计、采购、施工、运维全流程的成本管控体系,以全生命周期成本分析为核心实现成本精准把控。设计环节推行限额设计,以国家电网《输变电工程通用造价 220kV 变电站分册》中配电装置区造价指标为基准,分解控制设备采购、土建、安装各项成本,明确各分项工程成本控制目标,220kV 配电装置区单位造价需控制在每公顷1200万元以内,同步建立成本预警机制,分项工程成本超出控制目标5%时,即刻开展偏差分析并制定整改措施,防止成本超支进一步扩大。

施工阶段需强化精益化成本管控,推行装配式与绿色施工模式,优化土方平衡、混凝土浇筑等施工方案,减少材料浪费与返工损耗,严格把控现场签证与设计变更,建立变更成本联动审核机制,规避无序变更造成的工程投资增加。全生命周期成本分析模型的引入意义关键,参照电力行业标准《输变电工程全生命周期成本计算导则》,设备采购、安装调试、运维检修、故障停电损失、退役处置等各类成本均纳入分析范畴,对比不同布置方案与设备选型的全生命周期成本差异。

GIS设备与敞开式设备的对比数据表明,GIS设备初投资较敞开式设备高出20%至30%,但依据《电力建设经济评价导则》相关数据,全生命周期运维成本可降低40%以上,综合核算后全生命周期成本整体降低10%至15%,为设备选型提供科学依据。采购环节采用集中招标与框架协议采购模式,依托电网企业集中采购平台扩大设备材料采购规模,压低采购单价,明确设备运维指标要求,避免低价中标带来的设备质量隐患。退役阶段需将设备回收、资源化利用纳入成本管控,对可复用的构架、二次设备等开展残值评估与再利用,降低全生命周期末端处置成本,构建“设计-采购-施工-运维-退役”闭环成本管

控体系。成本动态监控平台可同步搭建,实时追踪各环节成本数据,落实月度分析、季度复盘、年度总结的管控流程,提升成本管控的时效性与针对性。

3.3 推动数字化技术应用,提升设计优化与运维管理信息化水平

数字化技术为配电装置布局优化与降本增效提供重要支撑,需在设计、施工、运维各环节推动数字化工具深度融合。设计阶段采用BIM技术开展配电装置区三维建模,电力规划设计总院《输变电工程BIM应用白皮书》指出,三维建模可实现设备布置、母线走向、电缆路径的可视化呈现,同步开展碰撞检测与空间优化,提前排查管线碰撞、设备间距不足等潜在问题,将施工阶段设计变更率有效降低,返工成本减少8%至12%。电气仿真软件的应用可对配电装置区短路电流、母线电压、设备绝缘配合进行仿真校核,优化设备选型与布置间距,在满足安全运行要求的基础上,适当压缩冗余安全距离,进一步提升空间利用效率。

数字化移交的推进将配电装置区设备参数、布置图纸、运维手册、检修记录等数据整合至数字化移交平台,形成完整工程数字档案,为运维阶段信息化管理夯实数据基础。施工阶段运用激光扫描技术对已完工的配电装置区开展三维测绘,与设计模型对比校核,保障设备布置与设计方案高度契合,降低后期运维隐患。运维阶段借助数字化平台搭建配电装置全寿命周期管理台账,对设备运行状态、检修周期、备品备件实施精细化管理,结合在线监测数据判断设备运行情况,推行状态检修替代传统定期检修,减少计划外检修次数,降低运维成本。平台可自动关联设备历史数据与实时监测结果,辅助运维决策精准落地,进一步强化全流程信息化管控效能。

数字孪生与物联网技术的融合可构建配电装置数字孪生体,实时映射设备运行状态、环境参数与健康趋势,实现故障提前预警与智能诊断,缩短故障处置时间,减少经济损失。大数据分析技术能够深度剖析配电装置运行数据,识别线路损耗、设备故障潜在风险,优化运维策略,增强设备运行稳定性,降低故障停电引发的经济损失^[3]。数字化平台与电网调度系统的互联互通应积极推动,实现配电装置运行数据共享,为电网整体优化调度提供数据支撑,提升系统运行经济性。

3.4 强化运维检修一体化管控,筑牢长效降本保障基础

运维检修是配电装置全生命周期成本管控的收尾环节,也是保障降本增效成果长期落地的关键支撑,需打破传统重建建设、轻运维的管理模式,构建预防性检修、集约化运维、标准化处置的一体化管控体系,从运维效率、成本消耗、故障损失三方面实现长效降本^[4]。优化检修模式,降低无效运维成本。全面推行状态检修替代定期检修,依托配电装置在线监测、局放检测、温度监测等数据精准判断设备健康状态,取消固定周

期的盲目检修,可减少30%以上的无效检修作业,降低人力、耗材与停电损失。同时建立预防性检修台账,对GIS设备、紧凑型构架等核心设施开展周期性隐患排查,将故障发生率控制在0.5%以内,从源头减少故障检修成本。

标准化检修作业的推行可提升运维效率,参照国家电网《变电设备检修规程》制定220kV配电装置标准化检修手册,明确断路器、隔离开关、母线等设备的检修流程、工艺标准与质量验收要求,规避操作不规范引发的返工与设备损坏。针对紧凑型布置、集成化设备定制专项检修方案,简化检修工序,单间隔检修时长可缩短20%~25%,提升运维作业效率。集约化备品备件管理能够压缩库存成本,建立区域化备品备件共享库,整合辖区内220kV变电站通用备件资源,实现GIS终端、母线配件、二次元件等物资统筹调配,避免单站冗余备货。数字化库存管理系统实时监控备件消耗与储备情况,将备件库存周转率提升40%以上,库存资金占用降低15%~20%。

应急处置机制的完善可减少停电经济损失,搭建配电装置

故障快速响应体系,配备专用应急检修装备与移动抢修平台,针对紧凑型布置、GIS设备等制定专项应急处置预案,确保故障后1小时内抵达现场、4小时内完成核心故障处置。缩短停电时长可降低因停电造成的用户损失与电网经济损耗,放大全生命周期降本效益。运维人员数字化技能培训需加强,提升新型设备与智能工具的操作水平,结合季度技能考核与专项演练,打造专业化运维团队,为一体化管控落地提供人才保障^[5]。

4 结语

本文聚焦220kV变电站配电装置布局、成本、数字化及运维核心痛点,从布局创新、全流程成本管控、数字技术落地、运维检修一体化四方面梳理实操举措。集约式布局、全生命周期成本管控、BIM与数字孪生技术应用、状态检修及备品集约化管理,能够有效压缩占地规模、降低建设与运维投入、提升设备运行稳定性与故障处置效率。研究成果贴合电网集约化、绿色化、智能化发展导向,为同类变电站优化设计与长效运营提供实用参考。

参考文献:

- [1] 肖波,文一茗,庞瑞,高超凡,孙园园,岳龙飞.220kV全装配式混凝土户内变电站配电装置楼结构抗震设计[J].世界地震工程,2024,40(3):1-12.
- [2] 翟永国.220kV某变电站屋外配电装置布置优化分析[J].产城(上半月),2021(6):37-37.
- [3] 王喜俊,邵薇.洛阳电网220kV变电站(半)高型高压配电装置改造设计研究[J].电力系统装备,2021(12):87-88.
- [4] 田连波.变电站配电装置区倾斜式桩筏联合基础设计探讨[J].现代物业(中旬刊),2023(3):37-39.
- [5] 雷翔胜,张季超,杨勇,王炽欣,王浩,许勇,王亚辉.某全户内220kV变电站建筑隔震设计[J].施工技术(中英文),2023,52(13):121-125.