

绿色低碳目标下电气工程配电网节能降损优化方案

王超

宁夏晟蓝工程咨询有限公司 宁夏 银川 750000

摘要: 绿色低碳目标下,配电网节能降损成为电力系统转型的核心任务。本文聚焦电气工程配电网节能降损需求,先剖析绿色低碳目标与配电网节能降损的核心关联,明确损耗治理的必要性。阐述了配电网技术性与商业性损耗,识别网架结构、运行方式等关键影响因素。基于此,从拓扑结构优化、节能设备选型、新能源协同调度及智能化管理四个维度,提出多元优化路径与方法。研究旨在通过技术与管理手段结合,降低配电网损耗,提升能源利用效率,为电力系统实现“双碳”目标提供实践支撑。

关键词: 绿色低碳;电气工程配电网;节能降损;优化路径与方法

引言:“双碳”目标推动能源行业向绿色低碳转型,配电网作为电力系统衔接源网荷的关键环节,其损耗问题直接制约能源利用效率与碳排放控制成效。当前配电网存在拓扑不合理、设备能效低、新能源消纳难等问题,导致技术性与商业性损耗居高不下,与绿色低碳发展诉求相悖。因此,探究配电网节能降损优化方案具有重要现实意义。本文以绿色低碳为导向,系统分析配电网损耗机理与影响因素,构建覆盖技术、设备、调度、管理的优化体系,助力配电网实现高效节能运行。

1 绿色低碳目标与电气工程配电网节能降损的核心关联

绿色低碳目标以能源高效利用和碳排放总量削减为核心导向,而电气工程配电网作为电力系统衔接电源与终端用户的关键枢纽,其节能降损水平直接关乎该目标的实现质量,二者存在深度耦合的内在关联。配电网的传输损耗本质是电力能源的无效消耗,这类损耗不仅降低整个电力系统的能源利用效率,更会通过发电侧的能源补偿机制转化为额外碳排放,与低碳发展的核心诉求形成根本冲突。因此,配电网节能降损并非单纯的技术优化问题,而是践行绿色低碳目标的基础性工程。从能源系统协同维度看,绿色低碳目标要求全产业链提升能源配置效率,配电网通过减少传输环节的能量流失,可直接强化电力系统的整体能效,契合低碳发展对资源高效利用的需求。从碳排放管控角度,配电网损耗的降低意味着发电侧无需为弥补损耗扩大发电量,进而减少化石能源燃烧带来的碳排放量,为“双碳”目标落地提供关键支撑^[1]。

2 配电网损耗机理与关键影响因素分析

2.1 损耗分类与量化模型

配电网损耗按性质可分为技术性与商业性两类。

(1)技术性损耗源于电力传输与转换过程中的能量耗散,核心包括导线电阻产生的有功损耗、变压器铁损与铜损,以及无功功率传输引发的附加损耗,此类损耗与电力系统物理特性直接相关,可通过技术手段精准测算与控制。(2)商业性损耗则源于管理与计量环节的漏洞,涵盖窃电、计量装置误差及抄表疏漏等,其产生与人为因素关联紧密,量化难度相对较高。在绿色低碳目标导向下,损耗治理需明确优先级,技术性损耗因直接关联能源高效利用与碳排放总量,应作为首要治理对象,商业性损耗则需通过强化管理实现协同管控。量化模型方面,需基于电力系统理论构建精准测算体系,结合负荷特性与设备参数,实现对各类损耗的动态量化,为后续优化提供数据支撑。

2.2 关键影响因素识别

配电网损耗受以下多维度因素综合影响:(1)网架结构是基础前提,线路长度过长、导线截面选型偏小会加剧电阻损耗,变压器容量与负荷需求不匹配则导致空载或过载损耗。(2)运行方式直接决定实时损耗水平,电压水平偏低会增加电流负荷,负荷分布不均易引发局部过载,功率因数偏低则会放大无功损耗,三者共同构成损耗波动的核心诱因。(3)设备能效是损耗控制的关键抓手,变压器、电容器等核心组件的能效等级直接决定基础损耗阈值,高效设备的应用可从源头降低能量耗散。(4)分布式能源接入带来新挑战,其出力波动性易引发电压波动,进而改变潮流分布,可能导致局部损耗增加,需通过科学调控实现其与配电网的协同运行,避免损耗恶化。这些因素相互作用,共同决定配电网损耗水平,是节能降损优化的核心靶点^[2]。

3 配电网节能降损的多元优化路径与方法

3.1 基于绿色技术的配电网拓扑结构优化设计

配电网拓扑结构是决定能量传输效率的核心基础, 基于绿色技术的优化设计通过结构重构与布局优化实现能源高效配置。(1) 网络结构精简与重构。依托电网规划平台, 对现有辐射状、环网等拓扑形式进行全面评估, 剔除迂回线路与冗余节点, 减少电力传输距离。针对负荷密集区域, 推广“手拉手”环网结构, 通过合理设置联络开关, 实现故障状态下的负荷快速转移, 避免因线路停运导致的负荷重分布损耗。运用拓扑优化算法, 结合负荷预测数据, 调整线路连接方式, 使电网潮流分布更趋合理, 降低线路有功损耗。(2) 节点布局与供电范围优化。基于区域负荷特性与发展规划, 科学调整变电站与配电台区的布局位置, 缩短供电半径。对于负荷增长较快的区域, 采用“小容量、多布点”的台区配置模式, 使配电变压器尽量靠近负荷中心, 减少低压线路的传输损耗。通过建立供电范围动态调整机制, 根据负荷变化情况实时优化台区供电边界, 避免出现台区过载或轻载现象, 提升整体供电效率。(3) 绿色导线与新型拓扑材料应用。在拓扑结构优化中融入绿色材料技术, 选用导电性能更优、损耗更低的铝合金芯导线或碳纤维复合导线, 替代传统钢芯铝绞线, 降低导线电阻损耗。针对特殊区域, 探索应用电缆入地技术, 结合新型绝缘材料, 减少外部环境对线路传输效率的影响, 同时提升电网的安全稳定性与环保性。在拓扑规划中预留分布式能源接入接口, 为后续新能源消纳提供结构支撑, 避免因新能源接入导致的拓扑重构成本增加。(4) 负荷中心导向的拓扑调整。以实时负荷监测数据为依据, 识别区域内的负荷核心节点, 通过线路延伸、分支优化等方式, 构建以负荷中心为辐射核心的拓扑结构。对于多电源供电区域, 优化电源点与负荷中心的连接路径, 实现各电源间的负荷均衡分配, 避免单一电源过载运行, 降低因潮流集中引发的线路损耗。

3.2 高效节能设备选型与配电网运行参数优化

高效节能设备是降低配电网基础损耗的关键载体, 结合运行参数的动态优化, 为绿色低碳目标落地提供硬件支撑与运行保障。(1) 核心设备的节能选型标准。在变压器选型方面, 全面推广S13及以上能效等级的油浸式变压器, 以及非晶合金变压器, 这类设备通过优化铁芯材料与绕组结构, 可显著降低铁损与铜损, 尤其在轻载运行时节能效果更为突出。对于配电开关设备, 选用低损耗真空断路器, 减少开关操作过程中的能量损耗与电弧损耗。在无功补偿设备选型上, 优先采用智能电容器与SVG(静止无功发生器), 提升无功调节的精准度与响应速度, 降低无功功率传输损耗。(2) 运行参数

的动态调控机制。电压参数优化方面, 建立基于负荷变化的调压策略, 通过调节变压器分接头、投切调压电容器等方式, 将配电网电压维持在额定电压的合理偏差范围内, 避免因电压偏低导致的电流增大损耗。负荷参数优化上, 依托负荷监测系统实现负荷的实时监控与均衡分配, 通过调整用户用电时段、优化线路负荷分配等方式, 减少线路过载与轻载现象, 提升线路负荷率。功率因数优化方面, 确保配电网功率因数维持在0.95及以上, 通过集中与分散相结合的无功补偿方式, 实现无功功率的就地平衡, 降低无功潮流传输损耗。(3) 设备全生命周期的能效管理。建立配电网设备能效档案, 对设备的运行损耗数据进行实时采集与分析, 识别能效偏低的设备并制定更新改造计划。对于老旧高损耗设备, 加快淘汰更新进程, 确保设备能效始终符合绿色低碳要求。加强设备运行维护, 定期对变压器、开关等设备进行检修与保养, 减少因设备故障或老化导致的额外损耗, 延长设备使用寿命的同时提升能效水平。(4) 谐波治理设备的科学配置。针对配电网中非线性负荷引发的谐波损耗问题, 合理配置谐波滤波器与有源电力滤波器(APF), 抑制谐波电流的产生与传播。通过谐波检测与分析, 确定谐波主要频次与分布范围, 针对性地选择滤波设备类型与安装位置, 降低谐波对设备能效的影响, 减少因谐波引发的附加损耗, 提升配电网电能质量与运行效率^[3]。

3.3 含新能源的配电网协同调度节能策略

随着分布式能源(DER)大规模接入, 配电网从传统无源网络向有源网络转变, 构建源网荷储协同调度体系成为降低损耗、提升新能源消纳能力的关键路径, 也是践行绿色低碳目标的重要举措。(1) 新能源出力预测与日前调度优化。依托大数据与人工智能技术, 构建分布式光伏、风电等新能源的出力预测模型, 结合气象数据、历史出力数据等多维度信息, 提升预测精度。基于预测结果制定日前调度计划, 优化新能源与传统电源的出力配比, 优先消纳新能源电力, 减少传统化石能源发电带来的碳排放与发电侧损耗。同时, 合理安排储能设备的充放电时段, 在新能源出力高峰时充电储能, 出力低谷时放电补能, 平抑新能源出力波动。实时协同调度与潮流优化。建立配电网实时监控与调度平台, 实现对新能源出力、负荷变化、电网运行状态的实时感知。通过实时调度算法, 动态调整新能源发电功率、储能设备充放电状态以及可控负荷的运行模式, 优化电网潮流分布, 避免因新能源出力波动导致的潮流反向、电压越限等问题, 减少由此引发的线路附加损耗。对于接入容量较大的新能源场站, 采用虚拟电厂(VPP)技术进行聚

合调控,提升其与配电网的协同运行能力。(3)源荷互动与需求响应机制构建。挖掘用户侧可控负荷的调节潜力,建立基于价格激励与指令控制的需求响应体系。在新能源出力高峰时,通过电价优惠引导用户增加用电负荷;在新能源出力低谷或电网负荷高峰时,引导用户削减非刚性用电负荷,实现负荷与新能源出力的动态匹配。通过源荷互动减少电网峰谷差,降低因负荷波动导致的线路过载损耗,同时提升新能源消纳率,减少弃风弃光现象。(4)储能系统与电网的协同运行策略。根据配电网运行需求,优化储能系统的配置容量与安装位置,优先在新能源接入集中区域、负荷中心以及电压薄弱区域配置储能设备。通过储能系统的灵活充放电控制,平抑新能源出力波动对电网的冲击,稳定节点电压,减少电压波动引发的损耗。建立储能与电网的实时通信响应机制,基于负荷预测与新能源出力预测动态调整充放电策略,实现削峰填谷、备用支撑功能,提升配电网接纳新能源的能力与运行稳定性、供电可靠性。

3.4 配电网节能降损的智能化管理体系构建

智能化管理体系通过融合信息技术与管理手段,实现对配电网损耗的精准识别、实时监控与高效治理,推动节能降损工作从被动应对向主动防控转变。(1)智能化监测与损耗精准诊断。构建覆盖配电网全域的感知网络,通过安装智能电表、馈线终端(FTU)、配电终端(DTU)等设备,实现对线路电流、电压、功率因数以及设备运行状态的实时监测。基于监测数据构建损耗诊断模型,运用数据挖掘技术识别损耗异常区域与设备,精准定位技术性损耗与商业性损耗的发生位置,为损耗治理提供精准靶向。(2)大数据驱动的损耗分析与优化决策。建立配电网损耗大数据平台,整合历史损耗数据、设备参数、负荷数据、气象数据等多源信息,通过大数据分析技术挖掘损耗变化规律与影响因素之间的关联关系。基于分析结果构建优化决策模型,为配电网拓扑优化、设备更新改造、运行参数调整等提供数据支撑,提升节能降损方案的科学性与针对性。(3)全流程

智能化管理与闭环管控。构建“监测-诊断-决策-执行-评估”的闭环管理体系,通过智能化平台实现各环节的无缝衔接。在执行环节,依托自动化控制技术实现对开关设备、无功补偿设备、储能系统等远程控制,确保优化方案快速落地;在评估环节,建立节能降损效益评估模型,对优化措施的实施效果进行实时评估,根据评估结果动态调整优化策略,持续提升节能降损成效。(4)商业性损耗的智能化防控。运用人工智能与视频监控技术,构建窃电行为识别模型,通过分析用户用电数据的异常波动以及现场监控画面,及时发现窃电线索。推广使用智能电表与远程抄表系统,减少计量误差与抄表疏漏,提升计量精度。建立商业性损耗预警机制,对计量装置故障、用电异常等情况实时预警,实现商业性损耗的早发现、早处理,降低管理类损耗^[4]。

结束语:配电网节能降损是绿色低碳目标落地的重要支撑,需依托多维度技术与管理手段协同推进。本文提出的拓扑结构优化、高效设备应用、新能源协同调度及智能化管理等方案,可有效降低技术性与商业性损耗,提升配电网运行效率。但新能源出力波动性仍给损耗控制带来挑战,未来需深化人工智能在调度中的应用。后续研究可聚焦多场景下优化方案的动态适配,进一步提升方案的实用性与灵活性,为配电网持续践行绿色低碳发展提供更有力的保障。

参考文献

- [1]林立宁.电气工程自动化及供配电系统节能控制研究[J].通讯世界,2024,31(3):123-125.
- [2]范莉平.供配电系统节能控制在电气工程自动化领域的创新应用与发展研究[J].中文科技期刊数据库(引文版)工程技术,2025(10):068-070.
- [3]汤红卫,王贤湖,谢光龙,冯蒙霜.计及低碳效益的配电网降损方案组合优化模型[J].电力系统及其自动化学报,2020,32(2):113-118.
- [4]杨昊天,张仰飞,赖仕达,陈光宇.低碳背景下含可再生能源配电网降损研究[J].节能技术,2022,40(1):25-29.