

电力系统节能降耗技术改造与能效提升管理

李 兵

陕西陕化煤化工集团有限公司 陕西 渭南 714100

摘 要：双碳目标与新型电力系统建设推进下，电力系统能效提升是全社会节能降碳的关键环节，直接决定能源利用效率与电网低碳运行水平。现阶段国内配电网仍存在线路损耗过高、老旧设备能效不足、智能调度精度不足、能效管理机制不健全等突出问题，造成电能资源无效损耗，制约电网安全、经济、低碳运行。本文聚焦电力系统各核心环节能耗短板，系统剖析电网损耗构成与成因，从设备改造、网架优化、智能调控、电能治理方面梳理节能降耗技术路径，搭建全方位、长效化的能效管控体系，为电网降损增效、提质升级与低碳转型提供科学的技术及管理支撑。

关键词：电力系统；节能降耗；技术改造；能效管理

引言：新能源规模化并网与社会用电负荷稳步增长，大幅增加了电力系统运行复杂度，传统电网粗放式运行模式已难以适配新时代节能降碳与高质量供电需求。老旧设备存量多、网架布局不合理、无功配置失衡、运维管控松散等现存问题，致使输配电损耗常年偏高，推高电网运行成本，存在显著的能效提升空间。基于此，本文坚持技术革新与管理优化双向协同的思路，结合电网实际能耗特征，深度挖掘各类损耗产生的核心诱因，针对性探索系统化降损改造方案与标准化能效管理模式，助力电力系统实现安全稳定、高效低碳、经济高质的可持续运行。

1 电力系统能耗现状与损耗构成分析

1.1 电力系统主要能耗环节

电力系统能耗损耗贯穿发电、输电、变电、配电、用电全流程，损耗类型多、覆盖范围广，其中配电网环节是电能损耗的主要集中区域。从整体运行结构来看，系统能耗主要包含电网输配损耗、变电设备损耗、无功功率损耗、电能质量损耗以及运维管理损耗五大板块。输配电环节依托线路传输电能，受线路参数、负荷特性、网架布局影响产生固定损耗与可变损耗，占电网总损耗比重最大。变电环节损耗主要来源于变压器、开关设备、互感器等设备的铁损与铜损，老旧设备长期运行会进一步加剧能耗浪费。同时，系统无功功率失衡会引发线路电流增大、损耗攀升，谐波、电压偏差等电能质量问题也会增加设备能耗。此外，传统电网调度粗放、负荷匹配度低、数据监测滞后，造成大量隐性能耗，整体能效利用水平有待进一步提升。

1.2 线路损耗的构成与成因

配电网线路损耗分为固定损耗与可变损耗两类，是电力系统最主要的能耗来源，直接决定电网整体能效水

平。固定损耗又称空载损耗，不受负荷大小影响，主要源于线路绝缘介质损耗、电晕损耗等，多产生于高压输电线路，在电网全天候运行中持续存在。可变损耗为负载损耗，与负荷电流的平方成正比，负荷越大、线路阻抗越高，损耗越严重。线路损耗的核心成因主要包含三方面，一是电网网架布局不合理，部分区域线路过长、供电半径偏大，导致线路阻抗持续偏高；二是负荷分布不均衡，峰谷差值过大、局部线路过载运行，加剧传输损耗；三是老旧线路设备老化、导线截面偏小、绝缘层破损，导电性能下降^[1]。同时，三相负荷不平衡、功率因数偏低等问题，会进一步放大线路传输损耗，造成电能资源持续浪费。

1.3 变压器与无功系统的能效短板

变压器与无功补偿系统是电力系统变电环节的核心设备，也是能效短板突出、能耗浪费显著的关键环节。当前电网仍存在大量老旧高损耗变压器，这类设备铁芯材质落后、工艺老旧，空载铁损、负载铜损数值偏高，长期轻载、空载运行状态下能耗浪费问题突出。同时，部分区域变压器容量配置不合理，存在“大马拉小车”或超负荷运行现象，设备运行工况与负荷需求不匹配，大幅降低变电能效。在无功系统方面，无功补偿装置配置不足、布局分散、投切滞后问题普遍存在，导致系统功率因数偏低。无功功率过剩或缺失会引发线路电流升高、电压波动，不仅增加输配电与变电损耗，还会造成电压质量不达标、设备发热老化加速，进一步加剧电力系统整体能耗，制约电网高效经济运行。

2 节能降耗核心技术改造路径

2.1 变压器节能改造

变压器节能改造是电力系统降损增效的核心举措，主要围绕老旧设备更替、容量优化、运行调控三个维度

开展。首先,全面淘汰高损耗老旧变压器,替换为新型节能型干式变压器、非晶合金变压器,这类设备铁芯损耗更低、运行效率更高,能够从源头大幅降低空载与负载能耗。其次,结合区域负荷特性与用电趋势,优化变压器容量选型与布点布局,杜绝容量冗余过剩与过载运行问题,保障设备始终处于高效运行区间。同时,推行变压器经济运行调控技术,通过负荷监测、智能研判,合理调整变压器投运台数与运行方式,规避轻载空载高损耗工况。此外,定期开展变压器检修维护、绝缘检测与损耗校准,及时处理设备老化、性能衰减问题,稳定设备运行能效,持续降低变电环节综合能耗。

2.2 无功补偿与电压优化

无功补偿与电压协同优化是改善电网功率因数、降低线路损耗、稳定供电质量的关键技术手段。针对电网无功分布不均、补偿滞后等问题,采用集中补偿与就地补偿相结合的改造模式,在变电站配置大容量无功补偿装置,实现电网层级整体无功调控,在用户侧、配变台区安装分布式补偿设备,精准就地平衡无功功率。通过智能投切技术,根据负荷波动实时调整补偿容量,避免过补偿与欠补偿问题,持续提升系统功率因数。依托调压装置、分接头调控技术,动态优化全网电压水平,抑制电压偏差与波动,保证电压始终处于经济运行区间。电压与无功的协同优化,能够有效降低线路与变压器的无功损耗,减少设备发热能耗,提升电网整体传输效率与运行稳定性^[2]。

2.3 配电网线路降损技术

配电网线路降损改造聚焦网架优化、设备升级、负荷治理三大方向,针对性解决线路损耗偏高问题。首先,优化电网网架结构,缩短供电半径,整改迂回供电、长线供电等不合理布局,降低线路固有阻抗,从结构层面减少基础损耗。其次,实施老旧线路升级改造,更换截面偏小、老化破损导线,采用高导电率节能导线,提升线路传输性能,降低负载损耗。同时,开展三相负荷不平衡专项治理,通过负荷调相、分区均衡供电,缩小三相电流差值,有效降低不平衡损耗。此外,推广线路绝缘化改造、防电晕处理技术,减少介质损耗与漏电损耗,结合线路状态监测技术,及时排查处理线路故障隐患。通过全方位线路技术改造,可显著降低配电网线损率,提升电能传输利用效率。

2.4 智能调度与需求侧响应

智能调度与需求侧响应是依托数字化技术实现电网精细化节能降耗的重要路径,可有效解决传统调度粗放、负荷匹配度低的问题。通过搭建智能调度控制系统,实

时采集全网负荷、电压、电流、设备运行数据,依托大数据算法精准预判负荷变化趋势,科学优化电网运行方式、机组出力与线路负载配比,实现全网资源最优配置,规避局部过载、轻载等低效运行工况。同时,完善需求侧响应机制,引导工商业用户、居民用户错峰用电、避峰负荷,平抑电网峰谷差,缓解高峰线路过载、低谷设备空耗的能耗浪费问题。通过源网荷协同调控,提升电网负荷利用率与运行经济性,减少无效能耗,实现电力系统动态节能与智能增效。

2.5 电能质量治理技术

谐波、电压闪变、三相不平衡等电能质量问题是电力系统隐性能耗的重要诱因,开展电能质量治理可有效补齐能效短板。针对工业负荷、新能源并网带来的谐波污染问题,加装有源滤波器、无源滤波装置,精准抑制电网谐波,降低谐波引发的线路发热、设备损耗、电能浪费等问题。针对电压闪变、波动问题,采用静止无功发生器、稳压调控装置,稳定电网电压输出质量,保障设备高效运行。强化新能源并网电能质量管控,优化并网滤波与稳压配置,减少新能源间歇性、波动性带来的能效损耗^[3]。通过系统化电能质量治理,不仅能够降低电网综合能耗,还能减少设备损耗老化,延长设备使用寿命,实现节能降耗与设备提质双向增益。

3 能效提升管理体系构建

3.1 能效管理组织架构

完善的组织架构是电力系统能效管理落地实施的基础保障,需搭建层级清晰、权责明确、协同高效的专业化管理体系。依托电网运维管理体系,设立专项能效管理领导小组,统筹负责节能改造规划、能效制度制定、项目统筹推进与整体考核管控。下设技术执行部门,负责节能技术改造方案编制、现场实施、技术指导与质量管控,保障各项降损技术落地见效。同时设置运维督查部门,常态化开展电网能效巡查、设备损耗检测、现场问题整改,及时排查低效能耗隐患。明确各岗位人员的能效管理职责,细化分工、责任到人,构建“统筹规划、技术落地、运维督查、闭环整改”的一体化组织模式,彻底解决传统能效管理分散、权责模糊、执行乏力等问题,全面提升能效管控执行力。

3.2 能效指标体系与考核机制

构建科学化、量化的能效指标与考核机制,是推动电力系统能效持续提升的核心抓手。结合电网运行实际,建立全方位能效指标体系,涵盖综合线损率、变压器损耗率、功率因数合格率、电压合格率、设备能效利用率、峰谷负荷差等核心指标,全面覆盖电网输、变、配、用

各环节能效状态。同时,依据区域负荷特征、网架基础、设备现状,制定差异化、可量化、可考核的指标标准,杜绝一刀切管控模式。建立常态化考核机制,将能效指标完成情况纳入部门与岗位绩效考核,实行月度统计、季度考评、年度总结的考核模式。配套建立奖惩激励与整改机制,对能效提升成效显著的团队和个人予以物质与精神双重奖励,对能耗超标、管控不力的岗位严肃约谈并限期整改。通过经济杠杆与行政约束双管齐下,激发全员节能内生动力,形成“指标引领—过程管控—结果兑现”的长效能管控闭环^[4]。

3.3 能效数据采集与分析平台

数字化数据平台是实现电力系统精准能效管控、智能降损的重要支撑。依托物联网、大数据、云计算技术,搭建一体化能效数据采集分析平台,在变电站、配电线路、台区用户侧部署智能监测终端,实时采集电压、电流、负荷、损耗、功率因数、设备运行状态等全维度能效数据,实现数据全覆盖、实时化、精准化采集。平台通过数据清洗、统计分析、智能研判,自动生成线损分析、设备能效评估、负荷特性分析报告,精准定位高损耗线路、低效设备、能耗异常台区,为技术改造与运维优化提供决策支撑。搭建能耗预警功能,对超标损耗、异常工况实时推送预警信息,实现能耗问题早发现、早处置。平台还支持历史数据回溯与趋势分析,帮助管理人员识别季节性、周期性能耗规律,提前制定应对策略,推动能效管理从传统经验运维向数据化、精细化智能运维全面转型。

3.4 全生命周期能效管理

全生命周期能效管理打破传统阶段性运维模式,实现电力设备与电网系统从规划、选型、投运、运维到退役的全流程能效管控。在规划设计阶段,优先选用高能效设备、科学布局网架结构,从源头降低系统能耗;在设备选型阶段,严格执行节能设备标准,综合考量初始

投资与全寿命运行成本,杜绝高损耗设备入网。在运行运维阶段,依托数据平台常态化监测设备能效状态,定期开展节能检修、损耗治理、负荷优化,持续维持高效运行工况。在退役更新阶段,建立设备寿命台账,预判设备老化衰减趋势,及时推进老旧设备更新改造,避免超期低效设备运行造成能耗浪费。积累各阶段能效数据,形成设备能效档案,为后续选型和改造提供实证依据^[5]。通过全寿命周期闭环能效管控,实现源头控损、过程降损、末端治损,最大化提升电力系统长期运行能效与经济效益。

结束语

电力系统节能降耗与能效提升,是新型电力系统构建与双碳战略落地的关键举措,更是电网实现安全、低碳、经济高质量运行的必然趋势。本文全面分析电网线路、变压器、无功系统等核心环节的能耗现状与损耗机理,总结设备改造、网架优化、智能调控、电能治理等节能技术路径,构建了集组织架构、考核指标、数据平台、全周期管控于一体的综合能效管理体系。未来应持续深化智能化技术应用,优化电网网架结构,完善长效管控机制,稳步降低电网综合损耗,全面提升电力系统能效水平与低碳运行质量。

参考文献

- [1]徐见见,董伟.浅析电力系统输配电线路节能降耗技术[J].科学与信息化,2025(18):145-147.
- [2]谢硕,潘小欢,梁建利.基于AI的电力系统输配电线路节能降耗技术[J].电力设备管理,2025(18):270-272.
- [3]陈展.简谈电力系统输配电线路节能降耗技术[J].大众标准化,2024(8):43-45.
- [4]潘子博.电力系统节能降耗改造技术分析[J].科技视界,2022(27):61-63.
- [5]姚鹏.基于ZigBee系统的电力输配电线路节能降耗技术研究[J].电气技术与经济,2025(12):107-110.