

电力供电损耗原因与对策

常升阳¹ 贾淇²

1 国网米脂县供电公司，陕西省米脂县，719000；

2 国网子洲县供电公司，陕西省子洲县，718400；

摘要：本文探讨电力供电系统损耗问题，剖析损耗形成机理及防控策略。电力损耗根源包括线路传输中焦耳热与无功功率耗散、设备能量转换效率限制、运行调度偏差致使供需失衡、环境因素对绝缘性能侵蚀等。应对之道在于采取线路材料与网络拓扑优化、引入高效低损电力设备、完善负荷调度与潮流控制、强化绝缘防护与环境适应性设计等措施，有效降低电能传输转换损耗，提升电力系统整体能效与经济效益。

关键词：电力供电损耗；原因；对策

DOI：10.69979/3060-8767.25.12.081

引言

电能作为现代工业文明的血脉，其高效传输与利用直接关乎国民经济发展与社会生产生活。当前全球能源格局深刻调整，电力系统面临转型升级与绿色低碳双重压力，供电损耗问题日益凸显。据统计，电网线损率平均达5%-7%，部分老旧供电系统甚至高达15%以上，每年造成巨额能源浪费与经济损失。随着电力负荷密度增长与配电网复杂度提升，损耗治理已成为电力行业技术经济难题。电能在生产、传输、分配各环节的损耗机理研究与系统化防控策略探索，对提升电力系统运行效率、降低供电成本、促进能源资源合理配置具有重要理论价值与实践意义。

1 电力供电损耗的原因

1.1 线路传输损耗

电力供电系统中线路传输损耗主要源于两种物理现象。线路本身电阻属性引发的焦耳热量损耗占据主导地位，导线材料固有电阻值与电流负荷平方成正比关系，电流通过时产生热能散失于空气，使电能转化为热能而耗散。线路电感电容特性产生的无功功率损耗亦不容忽视，电力传输线路存在电感与电容效应，形成无功电流循环，电压与电流相位差异导致有功功率减少，实际输送效率下降，电网功率因数偏离理想值范围，造成电能在传输过程中额外损耗，影响整体供电效能^[1]。

1.2 设备自身损耗

电力供电系统中各类设备固有的物理特性导致能量转换过程中必然产生损耗。变压器铁芯中存在磁滞现象与涡流效应，磁场方向变化时铁芯内分子摩擦生热，

同时感应电流在铁芯内部形成环路产生热量，变压器绕组电阻也会将部分电能转化为热能散失。电力开关设备接触面微观凹凸不平引发接触电阻增大，电流经过时于接触点处产生局部温升，功率因数补偿装置内部电容器介质损耗与电感元件阻抗损耗持续存在。长期运行条件下，设备绝缘材料老化降解引起漏电流增加，电力电子器件内部半导体结构导通时的饱和压降与关断时的漏电流共同构成元件损耗，设备零部件机械磨损使摩擦阻力增大，致使电能向机械能转换效率下降，形成能量消耗链。

1.3 运行调度不当

电力系统运行调度失当会引发供需失衡与电网稳定性问题，导致额外损耗。负荷分配不均使部分输电线路超负荷运行，电流增大导致线损呈平方关系增长，而其他线路则未充分利用，整体传输效率降低；电力潮流控制欠佳致使电能在网络中流向选择次优路径，增加无谓的环流损耗。调峰调频方式不科学造成电力品质波动，频率偏离额定值时发电机组效率下降，电压波动则使电气设备工作在非额定状态，降低运行效率。功率因数调整不当导致无功功率分配失调，增加线路与设备承载压力，系统整体呈现高损耗运行特性，表现为电能输送过程中能量转化率下降，最终影响供电经济性与可靠性。

1.4 环境与绝缘影响

电力设施长期暴露于自然环境中，气候因素对供电系统造成显著损耗影响。高温环境导致导线电阻值上升，低温则引发金属材料热胀冷缩现象，改变导线机械特性；湿度增高时绝缘表面形成微薄水膜，降低绝缘电阻值；强风与冰雪负荷使导线产生机械振动与附加应力，加速

材料疲劳与微观结构变化。大气污染物质附着于绝缘子表面形成导电通路，雨雪天气下易产生爬电与闪络现象，绝缘子表面电阻降低导致漏电流增大；盐雾与工业废气加剧金属部件腐蚀，接触电阻值攀升，绝缘材料在紫外线辐射与氧化作用下出现老化开裂，介电强度下降^[2]。

2 电力供电损耗的对策

2.1 优化线路选型布局，降低传输能耗损耗

线路选型与布局优化是降低电力传输损耗的关键技术路径，通过科学规划与材料升级，能够从源头减少能量损失。在线路选材层面，高导电性材料的选用能显著降低线路电阻值，减少焦耳热损耗。传统铝导线可升级为铝合金导线或铝包钢芯铝绞线，在保持机械强度的基础上提升导电性能；碳纤维复合芯导线具有高强度低重量特性，允许更大弛度设计，减少塔基数量同时降低线路阻抗；超导材料在特定温度条件下近乎零电阻特性可应用于高密度负荷区段，从根本上消除电阻损耗。在网络拓扑设计层面，合理规划输配电网络结构有助于优化电力潮流分布。供电半径科学控制避免长距离低电压输送，减少线路长度引起的阻抗损耗；电压等级合理提升使同等功率下电流减小，线损随之降低；馈线分段设置能够实现负荷均衡分配，防止局部过载；环网结构布局增强供电可靠性同时减少冗余线路；分布式电源就近接入减少远距离输送需求，降低整体传输损耗水平^[3]。

例如，在具体实施中，可采取多维度技术手段实现线路传输损耗最小化。高导电低损耗导线材料选择应考虑全生命周期经济性，特殊铜铝合金导线在提高导电率的同时兼顾机械强度与抗腐蚀性能；大截面导线应用于负荷密集区域，减小电流密度；表面涂覆特殊材料改善导线散热性能，降低运行温度。线路路径规划需结合地理信息系统与负荷分布密度图，避开地形复杂区域，减少线路长度与转角数量；电压等级选择须与负荷容量和传输距离相匹配，中短距离传输宜采用中压配电网，降低变电环节损耗；无功补偿装置分散布置于线路关键节点，就地平衡无功功率需求，减少无功电流在线路中长距离流动。对于城市配电网，电缆直埋或管廊敷设方式选择需考虑热散失条件，合理设计电缆截面与敷设间距，防止互热效应导致载流量降低；农村电网改造中应优先解决“卡脖子”型线路问题，消除阻抗突变点，平衡线路负荷分布，实现电能高效输送与灵活调控。

2.2 升级高效节能设备，减少设备固有损耗

电力设备固有损耗构成系统能量消耗的重要部分，

设备技术参数与运行状态直接影响能效水平，升级改造与优化选型成为降损关键路径。电力设备节能升级应着眼于全系统能效提升，融合创新技术与精细管理实现损耗最小化。变压器技术改进路径体现为铁芯材料革新与结构优化，非晶合金铁芯可有效减少磁滞与涡流损耗，硅钢片厚度减薄与叠装工艺优化降低铁损水平；绕组采用铜箔或截面优化导线减少电阻损，油浸式变压器更换为干式或树脂浇注型提升散热效能。输配电设备连接点质量提升则关注接触面处理与连接工艺，采用压接、焊接或复合连接方式减小接触电阻，表面镀银或镀锡处理增强导电性与抗氧化能力。电力电子设备升级聚焦半导体器件迭代，碳化硅与氮化镓材料器件替代传统硅基器件，开关损耗与导通损耗双重下降；功率因数补偿装置引入智能控制策略，根据负载特性动态调整投切方式，避免过补或欠补状态。开关设备选型注重灭弧介质与触头材料优化，真空断路器与 SF6 断路器在适宜场合应用减少操作损耗，同时提升设备使用寿命^[4]。

例如，在具体实施中，变压器节能改造需精准评估现有设备损耗特性，结合负载曲线分析确定最佳容量与技术参数。对于运行年限超过设计寿命的老旧变压器，S13 系列低损耗变压器或 SH15 非晶合金变压器更换方案能显著降低空载损耗；变压器容量与负载匹配度优化则基于典型日负荷曲线，维持平均负载率在 50%–70% 区间，避免轻载运行引发的相对损耗率攀升；多变压器并联运行场景下，根据负载变化调整投运台数，保持单台变压器在经济运行区间。配电柜与开关设备接触部位应用导电膏并定期清洁处理，消除氧化层与污垢；螺栓连接点扭矩标准化管理，防止松动引起接触电阻增大；红外测温技术定期检测连接点温升异常，发现潜在高损耗点位。电动机系统配置变频调速装置取代传统启停控制，避免频繁起动与低负载运行损耗；电容器组选用低损耗金属化膜电容，分组控制方式替代整体切换，减少投切冲击与内部损耗；照明系统 LED 光源替代高压钠灯与荧光灯，驱动电源选用高效率设计。关键设备能效监测系统实时记录运行参数与能耗指标，建立损耗基准数据库，设备能耗异常时自动预警，辅助维护人员判断设备状态变化趋势，及时干预防止损耗恶化。

2.3 规范负荷调度机制，均衡供电运行状态

电力系统负荷调度是保障供电质量与效率的核心环节，合理的调度机制能够实现电网资源优化配置，平衡各区域负荷分布，降低系统整体损耗水平。科学的负荷分配体系有助于电力资源高效利用，避免局部线路超

负荷运行导致的线损激增。配电网区域均衡化负荷分布策略基于实时监测数据，动态调整各馈线承载比例，使线路运行电流维持在经济区间；智能配网自动化系统实现开关操作远程控制，及时响应负荷转移需求，消除电流密度过高区域。精细化电力潮流控制依托先进计算模型，综合考量网络阻抗特性与负荷分布规律，确定最优运行方式，减少环流与绕行损耗；电网无功功率优化配置与电压质量调节相辅相成，合理布置补偿装置使功率因数维持在0.95以上，降低无功电流在线路中的传输比重，实现有功功率高效传递^[5]。

例如，在具体实施中，智能负荷调度系统可构建多层级协同架构，实现精准负荷管理与损耗控制。配电网分区域负荷监测点设置需遵循关键节点覆盖原则，核心变电站出线回路与重要分支线路安装高精度电参数采集装置，实时掌握各区段负载率与功率因数变化；负荷预测模型结合历史数据与天气、节假日等外部因素，生成未来24小时至7天的负荷曲线，为调度决策提供科学依据。配电自动化主站系统与馈线终端单元形成信息闭环，馈线开关状态变更指令基于负荷均衡算法生成，执行结果反馈至调度中心，验证调整效果。重点企业与大型用电设施峰谷电价差别化设置，引导错峰用电行为，平抑日负荷曲线，减少发电侧调峰压力与损耗；可中断负荷协议机制应对极端用电场景，防止系统过载运行。配电台区负荷监测系统对三相不平衡度实施动态监控，超标区域采取相序调整措施，消除中性线电流引发的附加损耗；配电变压器负载率指标纳入调度评价体系，避免轻载变压器群并列运行造成的铁损浪费。

2.4 强化绝缘防护维护，规避环境诱发损耗

电力设施长期暴露于复杂多变的自然环境中，绝缘性能持续受到各种环境因素侵蚀与挑战，科学合理的绝缘防护体系是抑制环境诱发损耗的有效屏障。绝缘材料选型与防护结构设计构成环境适应性基础，高分子复合材料绝缘子具备优异的抗污闪性能与机械强度，适用于高污秽地区线路；硅橡胶涂层绝缘子表面疏水性能显著，减少污染物附着与水膜形成几率；陶瓷绝缘子结构优化增大爬电距离，提高绝缘裕度。防污防闪技术应用提升绝缘部件环境承受能力，RTV涂料喷涂处理形成持久疏水层，降低漏电流损耗；伞裙角度设计考量雨水冲刷效果，防止污垢堆积于保护区；重污区采用大爬距绝缘子或加装防污闪环，增强电气间隙安全裕度。

例如，在具体实施中，区域环境特性分析是绝缘防

护策略制定的前提。沿海地区电力设施面临盐雾腐蚀威胁，绝缘子选用超疏水硅橡胶材质，伞裙间距加大设计，增强爬电距离；金属构件采用热浸镀锌加环氧树脂复合涂装，形成双重防腐屏障；线路金具选用不锈钢或铝合金材质，避免电化学腐蚀引起的接触电阻增大。工业区污染物成分复杂，需综合应对酸性气体与导电粉尘，污秽物监测装置定期采样分析区域污染程度，指导清扫周期确定；自动喷淋系统针对重污染气象条件触发清洗程序，防止污秽层累积导致闪络事故。高海拔地区紫外线辐射强度高，绝缘材料添加抗紫外线老化剂，延缓表面微裂纹形成；高寒区域采用防冻型硅脂填充于连接处，防止低温收缩引起的密封失效。变电设备室内恒温恒湿系统确保环境参数稳定，防止温度剧变引起的凝露现象；地下电缆沟加装排水设施与防水层，杜绝积水侵入电缆外皮。绝缘状态监测系统采集局部放电信号与表面红外图谱，识别绝缘性能劣化趋势，实现缺陷早期发现与干预；特高压输电线路安装在线雷电监测装置，预警极端天气条件，启动特殊防护模式。

3 结语

电力损耗治理实为电能高效利用之根本，涉及物理特性、工程技术与管理体系多维交织。精细化损耗控制承载着能源资源优化配置重任，每一个百分点的线损降低都意味着巨大的能源节约价值。电力系统损耗管控关乎国民经济命脉，线路优化、设备升级、调度规范与绝缘防护构成立体化解决方案，彰显能源科技与精益运营相融共进的深层逻辑。电力效能提升道路漫长艰巨，唯有持之以恒、精益求精，方能实现电能传输转换全过程的高效协同，助力电力系统稳健运行与持续发展。

参考文献

- [1] 杨东升. 电力供电损耗原因分析与对策[J]. 科技风, 2018, (02): 97.
- [2] 胡膺. 中低压电网功率因数与供电损耗的关系[J]. 低碳世界, 2021, 11(05): 99-100.
- [3] 胡夏萍, 高健, 姬哲. 降低乡村居民小区供电损耗的方法[J]. 乡村科技, 2016, (29): 31-32.
- [4] 刘东. 供电企业电力营销管理风险研究[J]. 电子元器件与信息技术, 2021, 5(10): 59-60.
- [5] 谷千伟. 东非铁路电力供电系统关键技术分析[J]. 电气化铁道, 2021, 32(05): 76-79.