

低压线损原因分析及降损策略

蔡燕琳 张鸿枫

苏州三新供电服务有限公司昆山分公司

【摘要】 低压线损是电力系统经济运行的重要指标，直接反映供电企业的管理水平和能源利用效率。本文针对低压配电网线损率偏高的问题，从技术、管理、外部环境三个维度深入分析线损产生的原因，重点探讨三相负荷不平衡、计量装置误差、窃电行为、分布式光伏接入影响等关键因素。结合低压供电服务实践，提出涵盖技术改造、精益化管理、数字化赋能、光伏协同治理等方面的降损策略，并通过案例验证策略的有效性。研究旨在为供电企业降低低压线损提供系统解决方案，助力提升电力系统经济性与可靠性。

【关键词】 低压线损；原因分析；降损策略；分布式光伏；精益化管理

Analysis of Low Voltage Line Loss Causes and Loss Reduction Strategies

Cai Yanlin Zhang Hongfeng

Kunshan Branch of Suzhou Sanxin Power Supply Service Co., Ltd

【Abstract】 Low voltage line loss is an important indicator of the economic operation of power systems, directly reflecting the management level and energy utilization efficiency of power supply enterprises. This article focuses on the problem of high line loss rate in low-voltage distribution networks, and deeply analyzes the causes of line loss from three dimensions: technology, management, and external environment. It focuses on key factors such as three-phase load imbalance, metering device errors, electricity theft behavior, and the impact of distributed photovoltaic access. Based on the practice of low-voltage power supply services, propose loss reduction strategies covering technological transformation, lean management, digital empowerment, photovoltaic collaborative governance, etc., and verify the effectiveness of the strategies through case studies. The research aims to provide a systematic solution for power supply enterprises to reduce low-voltage line losses and help improve the economy and reliability of the power system.

【Key words】 low voltage line loss; Cause analysis; Loss reduction strategy; Distributed photovoltaics; Lean Management

一、引言

低压配电网作为连接电力系统与用户的末端网络，其线损占电网总损耗的 40% 以上，是降损节能的关键环节。近年来，随着新型城镇化建设加速和分布式光伏大规模接入，低压线损管理面临新的挑战：部分农村台区线损率长期超过 10%，城市老旧小区因设备老化导致线损居高不下，分布式光伏的随机性进一步加剧线损波动。

降低低压线损不仅能减少能源浪费、提升供电企业经济效益，更是实现“双碳”目标的重要举措。据国家能源局数据，2023 年全国低压线损率平均为 7.2%，若能将这一指标降低 1 个百分点，每年可节约电量约 500 亿千瓦时，相当于减少二氧化碳排放 4000 万吨。本文基于全国多地供电企业的实践数据，系统梳理低压线损的主要成因，构建“原因诊断 - 策略制定 - 效果验证”的完整体系，为低压线损治理提供可操作的实践路径。

二、低压线损原因深度分析

2.1 技术层面原因

2.1.1 电网结构不合理

部分低压台区存在供电半径过长、导线截面偏小等问题。例如，某山区台区供电半径达 1.5 公里，远超 0.5 公里的合理范围，线路电阻损耗占总损的 65%；城郊结合部因负荷增长过快，原有 16mm² 导线长期过载运行，线损率较设计值高出 4 个百分点。在一些新建小区，由于前期规划不足，随着入住率提升，空调、电动汽车充电桩等大功率设备激增，导线载流量不足的问题凸显，夏季用电高峰时段线损率较平时上升 2-3 个百分点。

此外，三相负荷不平衡是农村台区的共性问题，某县域供电公司数据显示，40% 的台区三相不平衡度超过 20%，最高达 45%，导致附加损耗增加 30%-50%。这种不平衡在农忙季节尤为突出，灌溉设备集中接入某一相，使得该相电流是其他相的 3-4 倍，不仅增加线损，还可能导致开关跳闸、设备烧毁等安全事故。

2.1.2 设备性能老化

计量装置误差是线损超标的重要因素。使用超过 8 年

的机械式电能表，误差合格率不足 70%，部分表计负误差达 -3%；智能电表虽普及，但 2% 的故障表计（如电流互感器饱和）会导致计量偏差。某小区曾出现智能电表因芯片故障，对大电流计量偏轻的情况，持续半年未被发现，累计少计电量 8000 千瓦时。

变压器运行效率偏低同样不容忽视，老旧 S7 型变压器负载率低于 30% 时，效率较新型 S13 型低 15%–20%，某小区更换变压器后线损率直接下降 1.8 个百分点。一些农村台区的变压器容量与实际负荷不匹配，“大马拉小车”现象普遍，某台区 50kVA 变压器长期带 10kVA 负荷运行，空载损耗占总损的 70%。

2.1.3 分布式光伏接入影响

低压分布式光伏的大规模接入改变了传统潮流方向，导致线损特性复杂化。一是逆调压问题，某台区光伏渗透率达 50% 时，中午时段电压升高至 253V，线路损耗增加 12%；二是谐波污染，部分户用逆变器产生 3 次、5 次谐波，使变压器附加损耗增加 8%；三是三相不平衡加剧，单相光伏集中接入某一相，导致不平衡度上升 15 个百分点。

在光伏出力波动较大的时段，如阴天突然放晴，台区潮流方向频繁切换，会造成计量装置的动态误差增大。某光伏集中台区统计显示，受此影响，线损率日波动幅度达 4 个百分点，给线损分析带来极大困难。

2.2 管理层面原因

2.2.1 计量管理不到位

抄表不同步导致线损统计失真，某城市台区因居民表与台区总表抄表时间差 2 天，月线损率波动达 3 个百分点。在月末抄表高峰期，部分抄表员为赶进度，对偏远用户采用估抄方式，某台区因此产生的线损统计误差达 2.5%。

表计轮换不及时，10% 的台区存在超期运行的计量装置；接线错误虽占比低（0.5%），但一旦发生会导致计量缺失，某小区因表计接线错误，半年累计损失电量 1.2 万千瓦时。此外，表计安装不规范也会影响计量准确性，如某商业街电表箱安装在高温环境中，导致表计误差增大 1.5%。

2.2.2 运维检修滞后

线路维护周期过长，树障、鸟巢等隐患未及时清除，某林区台区因树枝搭接导线，造成持续漏电，月线损率异常升高 2.5 个百分点。在雨季，部分台区因电杆基础下沉导致导线对地距离不足，引发接地漏电，而运维人员未能及时巡检发现，形成长期高损。

设备状态监测缺失，变压器漏油、开关接触不良等隐性故障难以及时发现，某工业园区变压器因分接开关接触电阻过大，运行温度升高 15℃，附加损耗增加 20%。一些台区的熔断器、漏电保护器等设备老化后，未能及时更换，在负荷波动时易产生电弧损耗，某农村台区因此每月多损电量约 500 千瓦时。

2.3 外部环境原因

2.3.1 窃电与违约用电

高科技窃电手段呈上升趋势，包括改装表计芯片、外接绕越线等，某供电公司 2023 年查处窃电案件 127 起，追补电量 35 万千瓦时。其中一起案件中，用户通过植入恶意程序篡改智能电表计量数据，导致 6 个月少计电量 1.8 万千瓦时。

违约用电以商业用户为主，如私自增容、擅自接线，某农贸市场通过“一表多接”偷电，导致台区线损率达 18%。部分租户在退租时破坏电表封印，调整表计参数，给后续计量管理埋下隐患。

三、系统化降损策略

3.1 电网优化与技术改造

3.1.1 网架结构升级

实施“短半径、粗导线”改造，农村台区供电半径控制在 0.5 公里内，导线截面根据负荷预测至少放大一级，某县域改造后线路损耗下降 40%。对于负荷增长较快的区域，采用“预留容量”设计，如新建小区接入导线直接选用 50mm²，避免短期内二次改造。

3.1.2 设备更新换代

全面推行智能电表“6 年轮换”制度，采用 0.2S 级高精度电流互感器，计量准确率提升至 99.5%。对高损台区优先更换新型表计，某供电公司在 100 个高损台区更换智能电表后，线损率平均下降 1.2 个百分点。

淘汰 S7 型及以下老旧变压器，换成 S13 型节能变压器，负载率优化至 50%–70% 区间，某小区改造后变压器损耗下降 60%。针对农村季节性负荷特点，推广调容变压器，在负荷低谷时段自动切换至小容量运行，某农村台区应用后空载损耗下降 50%。

试点分布式光伏台区安装逆调压装置，当电压超过 242V 时自动投入电抗器，降低线路损耗 15%。同时，为光伏用户配置谐波治理设备，某台区安装有源滤波器后，谐波电流畸变率从 8% 降至 3%，变压器附加损耗减少 7%。

3.2 精益化管理提升

3.2.1 计量精益管控

建立“表计全生命周期管理平台”，实现从采购、安装、运行到轮换的全程溯源。平台设置表计误差预警功能，当检测到表计误差超限时，自动生成轮换工单，某供电公司通过该平台使表计轮换及时率提升至 98%。

推行“同期线损”管理，台区总表与用户表计抄表时间差控制在 15 分钟内，线损统计准确率提升至 98%。开发抄表轨迹监控系统，对抄表员的抄表路线、时间进行记录，杜绝估抄、漏抄现象，某公司应用后抄表准确率达 100%。

3.3 数字化赋能降损

3.3.1 线损智能监测系统

部署台区智能融合终端,采集电压、电流、功率等 12 类实时数据,采样频率达 1 分钟 / 次。终端具备边缘计算能力,可本地分析线损异常并上传预警信息,某台区通过终端提前发现表计故障,减少损失电量 3000 千瓦时。

构建“线损异常识别模型”,通过大数据分析自动标记高损台区,准确率达 92%。模型结合气象数据、节假日因素等,能区分正常线损波动与异常线损,某公司应用后误报率下降 60%。

开发“台区数字孪生”系统,模拟不同负荷、光伏出力场景下的线损变化,为降损方案提供决策支持,某试点台区方案优化后降损率达 18%。系统可模拟更换导线、调整变压器容量等措施的降损效果,帮助管理人员选择最优方案。

3.4 服务模式创新

推行“台区经理负责制”,明确线损管理责任,将线损指标与绩效薪酬直接挂钩。台区经理负责辖区内线损监测、隐患排查、用户沟通等工作,每月进行线损分析并制定改进措施,某供电公司实施后,台区经理的降损积极性显著提高,高损台区数量减少 35%。

开展“降损进社区”活动,向用户宣传节能知识,推广智能插座、节能家电,某社区用户参与后,月均用电量下降 8%。联合社区物业开展“节能家庭”评选,对用电量下降明显的用户给予电费优惠,形成全民参与降损的氛围。

建立“线损治理联盟”,联合物业、光伏企业、用户共同参与,形成多元共治格局。联盟定期召开线损分析会,共享数据信息,共同解决线损问题,某联盟成立半年内,所辖台区线损率下降 2.1 个百分点。

四、案例应用效果

4.1 农村台区综合改造案例

某省电力公司选取 100 个高损台区实施“网架优化 + 智能改造 + 管理提升”综合方案:

改造前:平均线损率 9.8%,其中 20 个台区超过 12%,

主要问题为供电半径过长(平均 1.2 公里)、三相不平衡度高(平均 25%)、计量装置老化;

改造措施:缩短供电半径至 0.4 公里,更换为 35mm² 导线;安装智能换相开关,实时平衡三相负荷;更换 S13 变压器,容量匹配率提升至 90%;部署线损监测系统,实现数据实时采集与分析;加强台区经理培训,建立线损考核机制;

改造后:平均线损率降至 5.2%,年节约电量 260 万千瓦时,折合经济效益 156 万元。其中,三相不平衡度控制在 8% 以内,线路电阻损耗下降 42%,计量准确率提升至 99.8%。

4.2 城市光伏台区治理案例

某城市台区光伏渗透率达 45%,线损率波动在 6%–11% 之间,主要受电压越限、谐波污染和潮流波动影响:

治理措施:安装逆调压装置,自动调节台区电压在 220–240V 范围内;实施三相负荷再平衡,将光伏用户均衡分配到三相;配置 20kWh 储能系统,平抑光伏出力波动;安装谐波滤波器,降低谐波畸变率;

治理效果:电压合格率提升至 99.9%,线损率稳定在 6.5%,光伏弃光率从 5% 降至 1%。通过储能系统的充放电调节,台区潮流方向切换次数减少 70%,线损统计误差下降至 0.5% 以内。

五、结论与展望

低压线损治理是一项系统工程,需统筹技术改造、管理提升与数字化赋能。实践表明,通过电网结构优化可降低线损 20%–40%,计量精益化管理能减少损耗 10%–15%,数字化监测系统可使线损分析准确率提升至 90% 以上。

未来,随着 5G、人工智能技术的应用,低压线损管理将实现“实时感知、智能诊断、自动调控”的闭环模式。建议供电企业建立线损治理长效机制,将分布式光伏纳入线损优化体系,推动低压配电网向“高可靠、低损耗、能互动”的智能网络演进。同时,加强与用户的互动,引导用户参与需求响应,共同构建绿色高效的电力消费生态。

参考文献

- [1]王绵斌,谭忠富.低压台区线损精益化管理技术与实践[M].北京:中国电力出版社,2022.
- [2]李庚银,周明.分布式光伏发电对配电网线损的影响及对策[J].电力系统自动化,2023,47(5):45–52.
- [3]张粒子,黄仁乐.城市低压配电网线损原因分析与降损措施[J].电网技术,2022,46(8):2914–2921.
- [4]国家电网有限公司.低压线损治理工作指南(2023版)[S].北京:中国电力出版社,2023.
- [5]南方电网有限责任公司.分布式光伏台区线损管理白皮书[R].2022.