

# 配电网能效提升与用电负荷优化配置研究

王 博

国网江西省电力有限公司宜黄县供电分公司 江西抚州 344400

**摘要：**随着社会经济的快速发展和新型电力系统建设的推进，配电网作为连接电源与用户的关键环节，其能效水平与负荷配置合理性直接影响能源利用效率、供电可靠性及用户用电体验。本文针对当前配电网运行中存在的能效损耗偏高、负荷分布不均等问题，从技术与管理两方面入手，探讨配电网能效提升的关键路径与用电负荷优化配置策略。通过分析配电网结构优化、设备升级、无功补偿技术应用、分布式电源协同调控等能效提升措施，结合用户侧负荷特性分析、峰谷电价引导、智能调度算法等负荷优化手段，提出一套系统性的解决方案。研究旨在为配电网运行效率提升提供理论参考与实践指导，助力实现配电网的经济、高效、低碳运行。

**关键词：**配电网；能效提升；负荷优化

## 引言

配电网是电力系统“最后一公里”，负责将电能从输电网输送至用户，其运行状态影响能源供应稳定性与经济性。近年来，新能源渗透率提高、电力电子设备应用及用户用电需求多元化，使传统配电网在能效管理与负荷调控上面临挑战：一是部分区域设备老化、线路损耗大，能源利用效率低；二是用电负荷时空分布不均、峰谷差扩大，增加调峰压力，引发局部线路过载等问题。在此背景下，通过技术创新与管理优化提升配电网能效、科学配置用电负荷成热点课题。这不仅是降低电网运行成本、提高供电企业效益的需求，也是响应“双碳”目标、推动能源转型的举措。减少线损、提高设备利用率可降低能耗与碳排放；引导负荷分布、削峰填谷能提升电网接纳新能源能力，促进清洁能源消纳。因此，开展相关研究对构建现代配电网有重要理论与现实价值。

## 一、配电网能效现状与影响因素

### （一）配电网能效的重要性

配电网能效是电力系统经济运行与可持续发展的重要指标，关乎能源利用效率、供电可靠性及运行成本。在能源结构转型与“双碳”目标背景下，提升配电网能效至关重要，它能降低线损率、无效能耗，优化资源配置。高效配电网可减少电力传输与分配损耗，提高供电质量，降低设备过载与故障风险，延长设备寿命。同时，有助于降低发电侧能耗与碳排放，支撑电力系统绿色低碳转型。此外，配电网能效优化能降低用户用电成

本，提升社会整体能源利用效率，对保障能源安全、促进经济社会可持续发展意义重大。

### （二）能效提升面临的主要问题

当前配电网能效提升面临诸多技术与管理问题。在技术层面，部分配电网设备老化严重，变压器、线路等设备效率低下，导致高线损率；无功补偿装置配置不足或运行不合理，造成功率因数偏低，增加无功损耗；分布式电源（如光伏、风电）接入带来的波动性与不确定性，影响配电网潮流分布与电压稳定性，降低能效。在管理层面，缺乏精细化能效监测与评估手段，难以实时掌握配电网能效状态；能效提升措施缺乏系统规划，存在“重建设、轻管理”现象，导致部分能效改造项目效果不佳；此外，能效管理机制不健全，缺乏有效的激励政策与市场化手段，制约了能效提升的持续推进。这些问题相互交织，使得配电网能效提升面临复杂挑战，需通过技术创新与管理优化协同解决<sup>[1]</sup>。

### （三）影响配电网能效的关键因素

配电网能效受技术、运行、管理及外部环境等因素影响。技术方面，设备效率是核心，高效变压器、低阻导线等可降损；无功补偿与电压调节装置影响功率因数与电压水平；自动化与信息化水平决定配电网监测与控制能力。运行方面，负荷分布与特性影响潮流与损耗；运行方式对能效影响显著；分布式电源接入影响能效。管理方面，能效监测与评估体系决定问题解决能力；运维管理影响设备效率；政策与激励机制间接影响能效。外部环境方面，气候影响设备损耗与负荷特性；电价与

能源政策影响用户用电与电源发展。这些因素相互作用决定能效水平，需多维度分析与综合施策提升能效。

## 二、能效提升技术研究

### (一) 能效提升的主要技术手段

配电网能效提升技术手段主要包括设备升级改造、无功优化补偿、网络重构优化、分布式电源高效接入及智能监测与控制等。设备升级改造方面，采用高效变压器（如非晶合金变压器、S13型及以上油浸式变压器）替代老旧高损耗变压器，可显著降低铁损与铜损；更换低阻导线（如铝合金导线、碳纤维复合芯导线）及优化线路截面，减少线路电阻损耗；应用智能开关设备（如真空断路器、负荷开关）实现快速故障隔离与恢复，降低停电损失。无功优化补偿方面，配置动态无功补偿装置（如SVG、STATCOM）与分组投切电容器组，根据负荷变化实时调节无功功率，提高功率因数，降低无功损耗；在低压侧分散配置无功补偿装置，减少长距离无功传输带来的损耗。网络重构优化方面，通过调整开关状态改变网络拓扑结构（如环网开环点优化、联络开关操作），实现负荷均衡与潮流优化，降低重载线路损耗；采用动态重构技术，根据实时负荷与电源状态自动调整网络结构，适应运行工况变化。分布式电源高效接入方面，优化光伏、风电等分布式电源的接入位置与容量，减少反向潮流与电压波动；配置储能系统平抑出力波动，提高分布式电源的消纳能力与能效贡献。智能监测与控制方面，部署高级量测体系（AMI）与智能电表，实现用户侧用电数据实时采集；应用配电网自动化系统（DA/DMS）与SCADA系统，实现远程监控、故障诊断与能效分析；采用大数据与人工智能技术，对配电网能效状态进行评估与预测，支持优化决策。这些技术手段的综合应用，可从设备、网络、电源及控制等多个层面提升配电网能效<sup>[2]</sup>。

### (二) 技术适用条件与选择依据

能效提升技术的选择需结合配电网实际情况，综合考虑技术特性、经济性、运行条件及发展需求。设备升级改造适用于设备老化严重、损耗高的配电网，如运行超过20年的S7型变压器、LGJ-70及以下导线等，选择时需评估设备剩余寿命、改造成本与节能效益，优先更换损耗占比大、投资回收期短的设备。无功优化补偿适用于功率因数低（低于0.9）、无功损耗大的配电网，选择时需根据负荷特性（如波动性、三相不平衡度）确定补偿方式（动态补偿适用于快速波动负荷，分组投切适

用于缓慢变化负荷）；同时需考虑安装位置（集中补偿适用于变电站，分散补偿适用于线路末端）与容量配置（避免过补偿或欠补偿）。网络重构优化适用于多联络、多分段的城市配电网或复杂农村配电网，选择时需评估网络拓扑灵活性、开关操作频率与可靠性要求，动态重构需具备实时通信与控制能力，适用于自动化水平高的配电网。分布式电源高效接入适用于具备可再生能源资源（如太阳能、风能）的配电网，选择时需分析接入点短路容量、电压调节能力与消纳能力，优先接入中压线路且靠近负荷中心的位置；储能系统适用于波动性大、调峰需求高的区域，需根据负荷曲线与电源出力特性确定容量与充放电策略。智能监测与控制适用于数据采集不全、自动化程度低的配电网，选择时需考虑通信网络覆盖（如光纤、无线公网）、数据传输速率与系统兼容性，优先部署在负荷密集区或关键节点。技术选择需建立多属性决策模型，综合技术可行性、经济性（如投资回收期、净现值）、环境影响（如减排量）及社会效益（如供电可靠性提升），确保所选技术符合配电网实际需求与发展规划<sup>[3]</sup>。

### (三) 技术实施对能效提升的作用

能效提升技术的实施对配电网能效具有显著改善作用，具体体现在降低线损率、提高供电质量、优化资源配置及增强系统灵活性等方面。在降低线损率方面，设备升级改造可直接减少铁损与铜损，如非晶合金变压器比S9型变压器空载损耗降低60%以上，低阻导线可降低线路电阻损耗15%~30%；无功优化补偿通过提高功率因数（从0.85提升至0.95以上），降低无功电流引起的线路损耗，可减少总损耗10%~20%；网络重构优化通过均衡负荷与缩短供电半径，降低重载线路损耗，可减少线损5%~15%。在提高供电质量方面，无功补偿与电压调节装置可稳定电压水平，减少电压偏差（从 $\pm 7\%$ 降至 $\pm 3\%$ 以内）与电压波动；智能监测与控制技术可快速定位故障并恢复供电，缩短停电时间（从小时级缩短至分钟级），提高供电可靠性。在优化资源配置方面，分布式电源高效接入可减少化石能源消耗，提高清洁能源消纳比例（如光伏消纳率提升至90%以上）；储能系统通过削峰填谷，平衡负荷曲线，降低峰谷差（从30%降至15%以下），提高发电设备利用率。在增强系统灵活性方面，智能监测与控制技术实现配电网状态实时感知与动态调整，适应负荷增长与电源接入变化；网络重构与分布式电源协调控制可支持多种运行模式（如孤岛运行、

并网运行),提高系统应对极端事件的能力。技术实施的综合效果可通过能效指标量化评估,如线损率下降幅度、功率因数提升值、电压合格率、分布式电源消纳率等,这些指标的改善直接体现配电网能效提升的技术价值与经济效益,为配电网可持续发展提供技术支持。

### 三、用电负荷优化配置策略

#### (一) 负荷优化配置的基本原则

负荷优化配置需以配电网安全稳定运行为核心前提,安全性原则要求明确各节点电流、电压需严格控制及设备额定参数范围内,避免变压器、线路因负荷集中导致过热损坏,尤其需关注夏季空调负荷、冬季采暖负荷激增时段的设备承载能力;经济性原则围绕降低配电网线损展开,通过合理分配不同类型负荷(居民、商业、工业)的供电节点与时段,减少远距离输送产生的线路损耗,同时匹配负荷需求与供电容量,避免供电容量冗余造成的资源闲置;均衡性原则强调三相负荷平衡,需将三相电流不平衡度控制在国家标准允许的 $\leq 10\%$ 范围内,减少不平衡运行带来的附加线损与设备损耗;适应性原则需考虑用户负荷的动态变化特征,预留对应季节(如夏季、冬季)、时段(如工作日早高峰、晚高峰)的负荷增长空间,确保配置方案能应对短期负荷波动与长期负荷增长需求<sup>[4]</sup>。

#### (二) 优化配置的主要方法

优化配置可通过多类技术方法实现,2021年某城区供电公司采用基于LSTM神经网络的短期负荷预测方法,整合近3年历史用电数据、每日气象数据(温度、湿度、风力)及用户类型占比,提前72小时预测各供电区域的负荷峰值、谷值及持续时长,为负荷分配提供精准数据支撑;2022年某县域供电公司以配电网线损最小化为目标函数,将线路阻抗、变压器容量、节点负荷上限等纳入约束条件,建立整数规划模型,通过该模型将工业负荷(如机械厂、食品加工厂)与居民负荷在时段上错峰分配,避免日间工业负荷与晚间居民负荷叠加;部分地区还引入粒子群优化算法求解上述数学模型,相比传统枚举法,计算效率提升30%,且能更快速找到最优负荷分配方案,2021年某经济开发区应用该算法后,负荷配置精度较此前提升25%,有效减少局部过载情况。

#### (三) 优化配置对配电网运行的影响

优化配置能显著提升配电网运行效能,2022年某地区实施负荷优化后,通过均衡三相负荷、调整过载线路

的负荷分配,配电网线损率从6.8%降至5.2%,年节约电能约800万千瓦时,对应减少标准煤消耗约2560吨;供电可靠性方面,因避免局部负荷过载导致的线路跳闸,该地区2022年配电网故障停电时长从年均15小时/户降至9小时/户,用户供电可靠性提升40%;运维成本上,负荷优化后设备运行状态更稳定,变压器、线路的检修频次减少,某供电公司2021年运维费用同比下降12%,同时因负荷预测精准,避免不必要的供电容量升级投资,节约资本开支约500万元;此外,优化配置还能提升配电网对新能源的接纳能力,2022年某地区接入分布式光伏后,通过合理分配传统负荷与光伏出力,配电网电压偏差率控制在 $\pm 5\%$ 以内,满足国家标准要求,保障新能源稳定并网运行<sup>[5]</sup>。

### 结语

配电网能效提升与用电负荷优化配置是实现电力系统高效、可持续发展的关键环节。通过技术手段的综合应用与管理策略的持续优化,能够显著降低线损率、提高供电质量,并增强配电网对新能源的接纳能力。同时,负荷优化配置不仅提升了配电网运行的经济性与可靠性,还为应对未来负荷增长与能源结构转型提供了重要支撑。然而,当前在技术实施与管理机制方面仍存在诸多挑战,需进一步加强技术创新、完善政策支持体系,并推动智能化与精细化管理的深度融合。只有通过多方协同努力,才能实现配电网能效的全面提升,助力构建清洁低碳、安全高效的现代能源体系。

### 参考文献

- [1] 谢伟,王哲斐,蔡秋焯,等.基于最优系统能效的配电网规划方法[J].电力工程技术,2021,40(2):7.
- [2] 张雪莹,赖来源,曾庆彬,等.基于模糊评价的智能用电新技术成熟度模型[J].广东电力,2022(035-003).
- [3] 丁纪明,段浩伟.交直流配电网关键设备可靠性评估研究[J].电器与能效管理技术,2020.DOI:10.16628/j.cnki.2095-8188.2020.01.009.
- [4] 王云会,郑强仁,郭森,等.含分布式电源与多元化负荷的配电网可靠性提升研究[J].电器与能效管理技术,2022(002):000.
- [5] 赖旬阳,蔡清男.提升县级配电网运行能效及弹性创新与实践[J].农电管理,2020(11):4.