

城市配电网节能改造的成本效益分析及策略研究

卢晨^{1,2} 辛美青³ 杨亚三⁴ 卢圣泽⁵

(1. 水发南宫新能源有限公司 2. 水发新能源投资(山东)有限公司 3. 山东新纪源电力技术有限公司
4. 山东品源工程咨询有限公司 5. 天津大学环境科学与工程学院)

摘要: 随着城市化进程的加速,城市配电网作为能源供应的重要环节,其节能改造对于优化能源结构、减少环境污染具有重要意义。本文通过分析山东某市城市配电网能耗问题与节能改造的必要性,借助成本效益分析模型,考虑初始投资、运行维护及节能减排收益等,用净现值和内部收益率评估经济效益,展示不同策略下成本效益特性。探讨技术、资金、电价政策和市场机制的影响,提出智能电网技术等策略。重点分析市场驱动和政策支持对城市配电网节能改造的促进作用,指出适度政策引导结合市场化手段是关键,强调用户中心节能服务和创新金融机制的重要性。

关键词: 城市配电网; 节能改造; 成本效益分析; 策略研究; 智能电网

0 引言

配电网节能改造的必要性体现在多个方面。首先,随着城市化进程加速,电力需求持续增长,导致电能浪费和供电压力加大。据统计,城市配电网能耗占城市总能耗约30%,且这一比例预计将继续上升^[1]。因此,实施节能改造势在必行。

从经济角度看,尽管初期投资较大,但长期来看,通过降低电力损失和提高电能利用率,年度运营成本可降低15%~20%。

在环保方面,配电网节能改造是实现减排目标的重要途径。数据显示,传统配电网运行产生大量温室气体排放,而节能改造后预计能减少20%~30%的二氧化碳排放量,有助于推动环保政策实施和生态文明建设^[2]。

最后,国家政策支持也为配电网节能改造提供

了助力,各级政府出台多项激励措施,鼓励企业和用户参与改造。

成本效益分析是评估项目和配置资源的关键工具,在城市配电网节能改造中尤为重要。它通过定量定性方法,以净现值为主要指标,综合评估经济效益,实现资源最优配置。实际应用中涉及多参数计算,还应纳入非经济效益,采用多指标决策分析。

1 研究现状

1.1 国内外节能改造研究进展

节能改造是提升城市配电网效率的重要手段,在国内外均得到广泛研究和实践。国外较早引入智能电网技术,实现配电网自动化和精细化管理。如美国通过智能变电站和分布式能源系统降低损耗15%~25%,

日本通过能源管理系统在高峰负荷期间降低运营成本10%。国内则多集中于传统配电网的改造与升级,近年来随着“智慧城市”建设的推进,越来越多的城市开始探索新路径^[3]。

1.2 配电网节能技术应用现状

配电网节能技术应用成为研究热点,智能配电网通过优化电能管理提高节能效果15%~30%。高效化电缆和变压器改造使新型电缆损耗率降至3%以下。变频调速电动机在负载波动时调节转速实现节能20%~50%。接入分布式光伏和风能降低传统能源依赖,光伏发电节省电费20%~30%^[4]。节能型配电设备如高效散热及动态补偿配变、自动化配电设备降低了运行损耗,高效变压器较传统提升10个百分点的能效水平。

配电网节能技术的应用现状展示了技术创新与政策驱动相结合的趋势,对推动城市配电网的可持续发展具有重要意义。

1.3 成本效益分析方法探讨

城市配电网节能改造的成本效益分析涉及现金流量、生命周期成本和净现值法等量化工具。现金流量分析评估项目各阶段的资金进出,计算年度净现金流;生命周期成本分析考虑全周期成本及未来节能价值;净现值法则衡量预计寿命内的总现值与总成本差额,作为项目可行性的核心指标^[5]。

实施中,引入敏感性和情景分析探讨关键参数对成本效益的影响。针对高效变压器、智能配电系统和分布式发电等节能措施,实施动态评价机制,定期更新数据,确保分析结果的实时性与准确性。

1.4 节能改造政策及实施现状

我国节能改造政策旨在提升城市配电网效率、降低能耗。《节能减排综合性工作方案》等政策明确了目标和方向,通过财政补贴、税收减免及技术研发支持,推动配电网智能化和能效提升。智能配电系统实时

监测和优化调度,预计降低损耗5%~15%。高效变压器和电缆材料更换减少线路损耗,能效提升20%以上^[6]。

部分城市取得初步成效,但仍面临资金不足、政策执行不均、技术水平参差不齐等挑战。

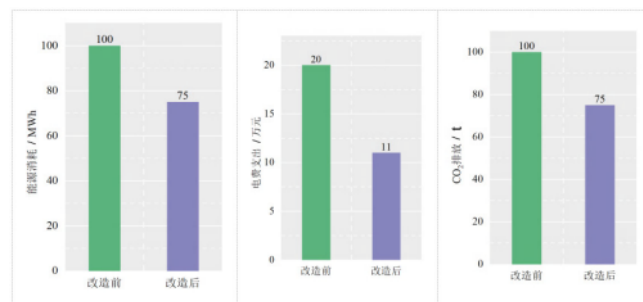
2 成本效益分析模型构建

2.1 配电网节能改造成本模型

配电网节能改造成本模型涵盖投资、运营和维护成本。投资成本中设备采购占总投资60%~70%,如智能配电变压器每台约2万元,传统的每台1万元;安装费用占20%~30%,劳动力费用200元~500元/h。运营成本包括电能消耗、管理和监控系统费用,节能改造后电能消耗可减少15%~30%,智能监控系统成本5万元~20万元。维护成本是设备检查、修复和更换零部件费用,改造后维护频率降低20%~30%,传统设备维护成本每年3000元~5000元,现代设备可降至2000元^[7]。

2.2 节能效益量化评估

节能效益量化评估是城市配电网节能改造的核心环节,通过对投入与产出进行系统分析,明确经济可行性。如图1所示,评估包括能源消耗降低、设备效率提升和运行成本节省等指标,基于未实施改造前的能耗水平对比。研发投入通常在200万元~500万元之间,综合性节能技术可降低能耗15%~30%^[8]。采用生命周期成本分析法(LCCA)量化节能效果,如改造后能耗下降量为25MWh,减少约25吨CO₂排放。



(a) 能源消耗 (b) 电费支出 (c) CO₂ 排放
图1 改造前后能源消耗、电费支出、CO₂ 排放对比

如图 2 所示, 通过对比改造前后电费支出, 年度电费节省可达 9 万元, 内部收益率达到 15%, 预计五年内收回投资。设备更新和维护周期也是重要依据, 故障率下降 20%, 提高供电可靠性。

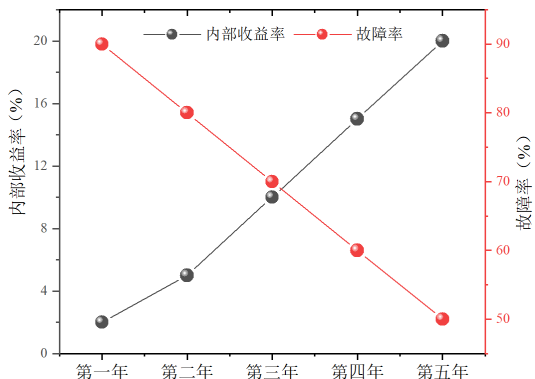


图 2 改造前后内部收益率与故障率对比

选择策略应考虑政策支持与补贴, 利用智能配电监控系统优化调度与预测模型减少能耗。

2.3 综合成本效益分析框架

城市配电网节能改造成本效益分析框架涵盖技术选择、经济评估、环境影响和社会效益。技术选择需考虑技术成熟度和投资回报周期, 如智能配电管理系统可降低能耗。经济评估使用净现值和内部收益率, 十年内净现值正值表明项目可行。环境影响通过生命周期分析量化碳减排, 每年可减少 1000 吨碳排放^[9]。社会效益包括改善居民生活质量和增加就业机会, 增强用户忠诚度。

2.4 模型应用与案例分析

在城市配电网节能改造研究中, 生命周期成本分析法被广泛应用。山东济南某区县通过采用高效变压器和智能配电管理系统, 实现了年节电率 15%, 初始投资 200 万元, 预计五年内收回成本。具体策略包括负荷预测模型与时段定价机制结合, 用电高峰期电力负荷下降了 20%, 智能化终端设备如远程监测和控制系统进一步提升运行效率。投资回报评估显示, 内

部收益率达 18%, 净现值达 100 万元, 均超出行业平均水平。先进算法如遗传算法和动态规划用于线路优化, 线路损耗降低 30%, 供电可靠性提高。针对不同城市需求, 应灵活采用个性化改造策略。沿海城市特别关注可再生能源接入, 建设分布式光伏系统, 预计新增装机容量 500kW^[10]。综上, 城市配电网节能改造具有显著的成本效益和良好的适应性。

3 节能改造策略研究

3.1 技术创新与应用策略

城市配电网的节能改造涉及多种技术创新与应用策略, 智能电网通过实时监测和控制优化电能分配, 降低能耗, 先进的监测设备可使配电损耗降低约 15%。分布式能源应用中, 光伏发电与风能结合提升了可再生能源比例, 年均电力输出可达 70000kWh。储能系统提高灵活性, 锂离子电池组实现超过 20% 的峰值需求削减。大数据分析 with 人工智能技术提升管理与运营效率, 运维成本有望降低约 25%, 故障修复时间缩短 30%^[11]。综合考虑成本与效益, 技术创新为城市配电网节能改造提供了可行路径。

3.2 政策法规与市场机制

城市配电网的节能改造在政策法规与市场机制的推动下, 形成了有效的实施框架。市场机制引入竞争性元素, 通过招标和电力直接交易, 促进技术应用^[12]。经济评估采用净现值和内部收益率方法, 案例显示项目投资 200 万元, 年节能效益 100 万元, 回收期约五年。递延税收政策和政府补贴减轻企业负担。综上, 依托政策法规和市场机制, 城市配电网节能改造实现资源合理配置和能效提升。

3.3 配电网智能化改造路径

配电网智能化改造路径包括多个关键方面, 旨在提高电力系统的运行效率和经济效益。首先, 通过引入数字化监控技术, 经过高频率数据采集和实时监

控，确保系统对异常情况的快速响应。其次，数据分析与管理平台的构建对配电网的智能化发展至关重要，集成物联网、大数据和人工智能技术，实现数据的综合分析和预测^[13]。此外，增设储能系统是实现更深层次智能化改造的重要路径，平衡电网负荷，降低运营成本。

配电网智能化改造涉及技术升级与管理创新，能适应复杂城市用电需求和可再生能源并网挑战。

4 结论与研究展望

城市配电网节能改造聚焦成本效益和策略研究。引入智能电网技术降低能损率，接入分布式和可再生能源降低成本。用生命周期成本分析法评估，案例展示良好投资价值。

未来推广智能配电系统，利用物联网技术提高响应速度和稳健性；优化电网结构与设计，引入模块化和灵活化理念，应用新材料降低能量损耗；完善经济性与环境影响评估方法，结合政策激励与市场机制；这些方向为实际应用提供了理论支持，也为政策制定者和行业实践者提供了参考依据。

研究表明，城市配电网节能改造在成本效益、技术应用及管理策略方面前景广阔，为进一步设计与实施提供理论支持与实践指导。

参考文献

- [1] 石晓磊. 输配电技术发展趋势及应用前景 [J]. 中国新技术新产品, 2019 (14): 114-115.
- [2] 张永明, 于杰生, 颜哲, 等. 面向老旧小区的建筑供配电低碳改造技术研究 [J]. 建筑节能 (中英文), 2023, 51 (6): 96-101, 42.
- [3] 李敬如, 万志伟, 宋毅, 等. 国外新型储能政

策研究及对中国储能发展的启示 [J]. 中国电力, 2022, 55 (11): 1-9.

- [4] 蒋民锁, 王颢钧, 罗凡. 基于改进混合遗传算法的智能电网现货市场负荷资源调度 [J]. 电器工业, 2024 (10): 86-90.
- [5] 王茜. 供电企业配电网工程项目风险管理研究 [D]. 扬州: 扬州大学, 2021.
- [6] 李滨, 舒晴川, 梁宇帆, 等. 实现可靠自动转供的城市配电网改造规划 [J]. 电力系统自动化, 2019, 43 (6): 177-183.
- [7] 翁伟南. 基于供电不平衡的低压用户业扩报装供电方案设计 [J]. 电器工业, 2022 (11): 51-54.
- [8] 张有绮, 石晶, 刘毓, 等. 能源互联网视角下城市配电网与其他能源系统的转化研究 [J]. 电器工业, 2023 (10): 71-74.
- [9] 章晓凯. 龙湖区配电网供电可靠性提升策略研究 [D]. 广州: 华南理工大学, 2020.
- [10] 钱广超, 李朝阳, 洪运福, 等. 基于全寿命周期可持续性的城市煤改电工程经济效益提升研究——在现有煤改电补贴政策框架之下 [J]. 价格理论与实践, 2020 (12): 66-70.
- [11] 郭大鑫. 基于智能控制的配电网一体化运维方案 [J]. 电器工业, 2022 (9): 39-42.
- [12] 孙晓晨, 王金锋, 温栋, 等. 需求侧可调节负荷资源应用研究 [J]. 能源与节能, 2023 (1): 163-166, 209.
- [13] LU S, CUI M, GAO B, et al. A comparative analysis of machine learning algorithms in predicting the performance of a combined radiant floor and fan coil cooling system [J]. Buildings, 2024, 14 (6): 1659.

(收稿日期: 2024-12-03)