

燃气分布式能源系统全生命周期评价与优化

张敬辉

奉新大华燃气有限公司, 江西宜春, 330700;

摘要: 燃气分布式能源系统作为一种高效、环保的能源利用方式, 其全生命周期评价与优化对于实现能源系统的可持续发展具有重要意义。本文首先探讨了燃气分布式能源系统全生命周期评价的重要性, 分析了其在能源利用效率、环境影响和经济性方面的评价指标。接着, 详细介绍了全生命周期评价的方法与技术, 包括生命周期评估(LCA)、成本效益分析(CBA)和多目标优化方法。进一步, 本文提出了燃气分布式能源系统的优化策略, 如系统设计优化、运行管理优化和维护策略优化。同时, 讨论了全生命周期评价与优化的实施难点与对策, 如数据获取、技术更新和政策支持。最后, 总结了全生命周期评价与优化的综合效益, 指出其对提高能源利用效率、减少环境影响和提升经济效益的重要作用。

关键词: 燃气分布式能源; 全生命周期评价; 优化策略; 生命周期评估; 成本效益分析

DOI: 10.69979/3060-8767.25.12.054

引言

随着全球对环境保护和能源可持续利用的关注不断增加, 燃气分布式能源系统作为一种高效、环保的能源利用方式, 受到了广泛关注。燃气分布式能源系统通过在用户端或靠近用户端的地方生产电力和热能, 能够显著提高能源利用效率, 减少能源传输过程中的损失, 降低对环境的影响。然而, 为了实现燃气分布式能源系统的可持续发展, 需要对其全生命周期进行综合评价和优化。全生命周期评价不仅考虑系统的初始投资和运行成本, 还涵盖了系统的环境影响、能源利用效率和经济效益等多个方面。通过全生命周期评价与优化, 可以为燃气分布式能源系统的规划、设计和运行管理提供科学依据, 推动能源系统的可持续发展。

1 燃气分布式能源系统全生命周期评价的重要性

1.1 提高能源利用效率

燃气分布式能源系统全生命周期评价对提高能源利用效率的重要性, 体现在其覆盖系统从规划设计到报废回收的完整流程, 能精准识别各阶段能源损失节点。传统评价多聚焦运行阶段, 而全生命周期评价可提前在设计阶段优化能源匹配方案, 避免因供能与用能需求错位导致的浪费。在建设阶段, 通过评价选用高效设备和合理工艺, 减少施工过程中的能源消耗; 运行阶段借助动态监测调整参数, 实现电、热等多能协同供应; 报废阶段则通过回收利用设备残值和余热, 最大化能源利用价值, 从全链条提升系统能源利用效率。

1.2 减少环境影响

全生命周期评价能全面考量燃气分布式能源系统各阶段的环境排放, 这是减少环境影响的关键所在。不同于仅关注运行阶段尾气排放的传统评价, 全生命周期评价可追溯燃气开采、运输及系统设备生产、制造等前期环节的环境足迹, 识别潜在污染源头。通过评价可优化燃气采购渠道, 选择低碳开采和运输方式; 在系统设计中融入环保理念, 采用低排放燃烧技术和尾气处理设备; 报废阶段通过规范拆解和污染物处理, 避免设备废弃造成的土壤、水体污染, 实现从源头到末端的全流程环境影响管控。

1.3 提升经济效益

全生命周期评价通过整合系统全阶段的成本与收益, 为提升经济效益提供科学支撑。传统评价易忽视设备维护、残值回收等隐性成本, 而全生命周期评价可全面核算初始投资、运行能耗、维护保养、报废处理等各环节成本, 同时考量能源节约、碳减排补贴等多元收益。基于评价结果, 可在规划阶段合理配置设备规模, 避免过度投资; 运行阶段优化调度策略, 降低能耗和运维成本; 通过预判设备生命周期, 制定合理更新和残值回收计划, 减少资金浪费。这种全流程成本收益分析, 能帮助决策者制定最优方案, 显著提升系统长期经济效益。

2 燃气分布式能源系统全生命周期评价的方法与技术

2.1 生命周期评估 (LCA)

生命周期评估 (LCA) 是一种系统化的环境影响评估方法, 用于评估产品或系统在其整个生命周期内的环境影响。LCA 包括目标和范围定义、生命周期清单分析

(LCI)、生命周期影响评估 (LCIA) 和解释四个阶段。通过 LCA，可以全面评估燃气分布式能源系统在生产、运行和废弃处理阶段的环境影响，包括温室气体排放、污染物排放和资源消耗等。例如，通过 LCA 评估燃气分布式能源系统的温室气体排放，可以识别系统中的主要排放源，优化系统的运行和维护策略，减少系统的温室气体排放。

2.2 成本效益分析 (CBA)

成本效益分析 (CBA) 是一种经济评估方法，用于评估项目或系统的经济效益和成本效益。CBA 包括成本分析、效益分析和净现值 (NPV) 计算三个阶段。通过 CBA，可以评估燃气分布式能源系统的经济效益，优化系统的投资和运行管理策略，提高系统的经济效益。例如，通过 CBA 评估燃气分布式能源系统的经济效益，可以识别系统的成本和效益，优化系统的投资和运行管理策略，提高系统的经济效益。同时，通过 CBA，可以为系统的投资决策提供科学依据，降低投资风险，提高投资回报率。

2.3 多目标优化方法

燃气分布式能源系统的全生命周期评价涉及多个目标，如能源利用效率、环境影响和经济效益等。多目标优化方法可以同时考虑多个目标，优化系统的性能和效益。常见的多目标优化方法包括目标规划、多目标遗传算法和多目标粒子群优化等。通过多目标优化方法，可以优化燃气分布式能源系统的系统设计、运行管理和维护策略，提高系统的综合性能和效益。例如，通过多目标优化方法优化燃气分布式能源系统的系统设计，可以提高系统的能源利用效率，减少系统的环境影响，提高系统的经济效益。

3 燃气分布式能源系统的优化策略

3.1 系统设计优化

系统设计优化是提高燃气分布式能源系统性能和效益的重要环节。通过优化系统的热电联产 (CHP) 配置、系统布局和设备选型，可以提高系统的能源利用效率，减少系统的环境影响，提高系统的经济效益。例如，通过优化系统的热电联产配置，可以提高系统的整体能源利用效率，减少能源浪费。同时，通过优化系统的布局和设备选型，可以减少系统的投资成本，提高系统的经济效益。系统设计优化需要综合考虑系统的能源需求、环境要求和经济目标，通过科学的优化方法和技术手段，实现系统的最优设计。

3.2 运行管理优化

运行管理优化是提高燃气分布式能源系统性能和效益的重要手段。通过优化系统的运行策略、运行时间和维护计划，可以提高系统的能源利用效率，减少系统的环境影响，提高系统的经济效益。例如，通过优化系统的运行策略，可以提高系统的热电联产效率，减少系统的能源浪费。同时，通过优化系统的运行时间和维护计划，可以减少系统的运行成本，提高系统的经济效益。运行管理优化需要综合考虑系统的运行状态、能源需求和环境要求，通过科学的优化方法和技术手段，实现系统的最优运行管理。

3.3 维护策略优化

维护策略优化是提高燃气分布式能源系统性能和效益的重要保障。通过优化系统的维护计划、维护时间和维护内容，可以提高系统的可靠性和稳定性，减少系统的故障率，延长系统的使用寿命。例如，通过优化系统的维护计划，可以及时发现和处理系统的潜在故障，避免因故障导致的停机时间和维修成本。同时，通过优化系统的维护时间和维护内容，可以减少系统的维护成本，提高系统的经济效益。维护策略优化需要综合考虑系统的运行状态、维护成本和维护效果，通过科学的优化方法和技术手段，实现系统的最优维护策略。

4 燃气分布式能源系统全生命周期评价与优化的实施难点与对策

4.1 数据获取与管理

全生命周期评价与优化需要大量的数据支持，如系统的运行数据、环境数据和经济数据等。数据获取与管理是实施全生命周期评价与优化的重要环节，但也是实施过程中的难点之一。数据获取的难度较大，数据的准确性和完整性难以保证，数据的管理和分析需要专业的技术支持。为解决这些问题，需要建立完善的数据采集和管理系统，确保数据的准确性和完整性。同时，需要加强数据的管理和分析，提高数据的利用效率。例如，通过安装传感器和监测设备，可以实时采集系统的运行数据和环境数据，为全生命周期评价与优化提供数据支持。

4.2 技术更新与创新

燃气分布式能源系统的技术更新与创新是提高系统性能和效益的重要手段，但也是实施全生命周期评价与优化的难点之一。技术更新与创新需要大量的资金投入和技术支持，技术的更新速度较快，技术的成熟度和

可靠性难以保证。为解决这些问题,需要加强技术研发和创新,提高技术的成熟度和可靠性。同时,需要加强技术的推广应用,提高技术的市场占有率。例如,通过开展技术研发和创新项目,可以提高燃气分布式能源系统的能源利用效率,减少系统的环境影响,提高系统的经济效益。

4.3 政策支持与市场机制

政策支持与市场机制是实施全生命周期评价与优化的重要保障,但也是实施过程中的难点之一。政策支持和市场机制的不完善,影响了燃气分布式能源系统的推广应用和市场竞争力。为解决这些问题,需要加强政策支持和市场机制建设,提高燃气分布式能源系统的市场竞争力。例如,通过制定相关政策法规,可以鼓励燃气分布式能源系统的推广应用,提高系统的市场占有率。同时,通过建立市场机制,可以优化系统的投资和运行管理策略,提高系统的经济效益。

5 燃气分布式能源系统全生命周期评价与优化的综合效益

5.1 提高能源利用效率

全生命周期评价与优化带来的综合效益中,提高能源利用效率最为显著。通过评价明确各阶段能源利用短板后,针对性的优化策略可实现全链条能效提升。设计优化阶段采用多能互补架构,根据用户负荷特性匹配最优供能方案,减少能源转换损失;运行优化通过智能调控系统,实时匹配供需变化,避免冗余供能;维护优化则通过定期检修和状态监测,保持设备高效运行状态,延缓性能衰减。同时,优化后的报废回收流程可实现能源和资源的二次利用,使系统能源利用效率较传统模式大幅提升,形成从设计到回收的闭环高效用能体系。

5.2 减少环境影响

全生命周期评价与优化在减少环境影响方面的综合效益,体现在通过精准评价与靶向优化实现全流程污染减排。评价环节全面排查各阶段环境风险,明确燃气开采、设备生产、系统运行等关键污染节点;优化策略则从源头发力,选择环保型原材料和低碳燃气供应渠道,降低上游环节排放。运行阶段通过燃烧效率优化和尾气净化技术升级,减少 SO_2 、 NO_x 等污染物排放;维护阶段采用绿色运维方式,减少运维过程中的废弃物产生;报废阶段通过无害化处理和资源回收,降低固体废弃物污染。多环节协同优化使系统全生命周期环境影响显著降低,契合绿色发展需求。

5.3 提升经济效益

全生命周期评价与优化通过全流程成本管控和收益挖掘,实现经济效益的显著提升。评价环节全面梳理各阶段成本构成,识别成本浪费节点;优化策略从多维度降低成本,设计阶段通过合理选型和规模配置,减少初始投资;运行阶段通过能耗优化和智能调度,降低燃气消耗和运营成本;维护阶段采用预测性维护,减少非计划停机损失和过度维护成本。同时,优化后的系统因能效提升和排放降低,可获得更多能源节约收益和碳减排政策补贴;报废阶段通过设备残值最大化回收,进一步增加收益。成本的精准控制与收益的多元挖掘,大幅提升了系统的投资回报率和长期盈利水平。

6 总结

燃气分布式能源系统的全生命周期评价与优化对于实现能源系统的可持续发展具有重要意义。通过全生命周期评价,可以全面评估系统的能源利用效率、环境影响和经济效益,优化系统的投资和运行管理策略,提高系统的综合性能和效益。通过优化系统设计、运行管理和维护策略,可以进一步提高系统的能源利用效率,减少系统的环境影响,提高系统的经济效益。实施全生命周期评价与优化需要解决数据获取、技术更新和政策支持等难点问题,需要加强技术研发和创新,提高技术的成熟度和可靠性。未来,随着技术的不断进步和应用,燃气分布式能源系统的全生命周期评价与优化将更加科学、高效和可持续,为能源系统的可持续发展提供有力支持。

参考文献

- [1] 何兵. 天然气分布式能源全生命周期环境影响评价研究[D]. 成都理工大学, 2023.
- [2] 王兵, 姜鑫茹, 陆峰, 等. 全生命周期视角下煤基燃气发电碳足迹及成本评估[J/OL]. 煤炭学报, 1-17 [2025-10-31]
- [3] 徐应勇, 何准. 打造韧性燃气, 高压管线全生命周期管理的研究与实践[C]//中国城市燃气协会安全管理工作委员会. 2025年燃气安全交流研讨会论文集. 马鞍山港华燃气有限公司; , 2025: 463-467.
- [4] 吕振国, 王加哲, 武煦. 燃气类特种设备的全生命周期管理[J]. 化工管理, 2024, (17): 106-111.
- [5] 张平. 基于价值工程的天然气分布式能源系统评价研究[D]. 上海交通大学, 2017.