

火电机组灵活性改造技术及其经济性评价

马 升

国家能源集团科学技术研究院有限公司银川分公司 宁夏 银川 750002

摘 要：火电机组灵活性改造技术是适应新能源发展、提升电力系统灵活性的关键。该技术主要包括热电机组的热电解耦改造，如低压缸零出力、高背压供热等，以及纯凝机组的深度调峰改造，如富氧燃烧、宽负荷脱硝技术。改造后的机组能显著提升调峰能力，响应负荷变化。经济性评价显示，火电灵活性改造市场空间广阔，虽初期投资较大，但长期看可通过参与调峰市场获得收益，具有较好的经济性。

关键词：火电机组；灵活性改造技术；经济性评价

引言：火电机组作为电力供应基石，面临新能源冲击下的灵活性考验。为适应电网调峰需求，火电机组灵活性改造技术成为关键。该技术通过优化机组性能，提升其负荷响应速度和范围，确保电力系统稳定运行。本文深入探讨火电机组灵活性改造技术及其经济性评价，旨在分析改造路径、技术特点及经济可行性，为行业实践提供理论支撑，助力火电机组实现高效、灵活、绿色转型，适应未来能源发展趋势。

1 火电机组灵活性改造技术路径

1.1 灵活性改造技术概述

1.1.1 基本概念和目标

火电机组灵活性改造，是指通过技术手段提升火电机组对电网负荷变化的响应能力，使其能够在更宽的负荷范围内稳定、高效运行，更好地适应新能源大规模接入后电网调峰、调频需求的技术升级过程。其核心目标在于降低火电机组最低技术出力，提高机组爬坡速度，缩短启停时间，增强机组运行的灵活性与经济性，助力实现新能源与火电的协调互补，保障电力系统安全稳定运行。

1.1.2 主要技术路径

灵活性改造的主要技术路径丰富多样。储热技术通过将火电机组在高负荷时产生的多余热量储存起来，在低负荷或调峰需求时释放，维持机组稳定运行；电热锅炉可将电能转化为热能，在用电低谷时消纳过剩电力，实现灵活调峰；主再热蒸汽辅助供热利用蒸汽热量进行供热，提升机组供热期调峰能力；低压转子改光轴、低压缸零出力供热技术则是对汽轮机低压缸进行改造，减少低压缸做功，使机组在低负荷下也能稳定运行，同时增加供热能力^[1]。

1.2 主流技术路径分析

1.2.1 工作原理、技术特点及应用情况

储热技术工作原理是利用相变材料或显热材料储存热量，其特点是能有效平滑机组负荷波动，应用于有供热需求且调峰压力大的地区。电热锅炉通过电阻或电极加热水产生蒸汽，技术灵活度高，在新能源富集、弃电现象严重的地区应用广泛。低压缸零出力供热技术，在供热期将低压缸进汽切断，使低压缸仅维持转动，将原本用于发电的蒸汽用于供热，提升调峰能力，在北方供热型火电机组改造中应用普遍。

1.2.2 性能差异对比

在调峰能力上，低压缸零出力供热技术调峰深度可达30%额定负荷甚至更低，储热技术和电热锅炉调峰能力受设备容量限制；爬坡速度方面，电热锅炉响应迅速，可快速调整负荷，而储热技术因热量释放速度有限，爬坡速度相对较慢；启停时间上，储热技术和低压缸零出力供热技术对机组启停时间影响较小，电热锅炉因需预热设备，启停时间相对较长。这些性能差异使得不同技术适用于不同的电网运行场景和需求。

2 火电机组灵活性改造经济性评价方法

2.1 经济性评价指标体系构建

2.1.1 指标体系提出

火电机组灵活性改造经济性评价的指标体系是全面评估项目经济效益的重要工具。该体系主要包括以下四个方面：（1）投资成本：包括改造所需的直接费用，如设备购置、安装调试、技术咨询等，以及间接费用，如停工损失、人员培训等。投资成本是衡量改造项目规模大小和初期投入的重要指标。（2）运行成本：改造后的火电机组在运行过程中产生的费用，如燃料消耗、设备维护、能耗增加（若存在）等。运行成本的高低直接影响项目的持续运营能力和盈利水平。（3）调峰收益：由于灵活性改造后机组能够更好地响应电网调峰需求，从而获得额外的收入。这部分收益通常通过电力市场交

易、政府补贴等方式实现。(4)环境效益:改造后机组减少的污染物排放(如二氧化硫、氮氧化物、二氧化碳等)所带来的环境改善价值,以及可能的碳交易收益。环境效益体现了项目的社会责任感和可持续发展能力^[2]。

2.1.2 指标权重与作用分析

各指标在经济性评价中的权重取决于项目的具体情况和目标。一般来说,投资成本和运行成本是基础的硬性指标,直接影响项目的经济可行性;调峰收益则是项目盈利的主要来源,其大小和稳定性决定了项目的经济回报;环境效益则更多体现项目的社会价值,对于追求绿色发展的企业来说尤为重要。在实际评价中,应根据政策导向、市场环境和企业战略,合理分配各指标的权重,确保评价的全面性和准确性。

2.2 经济性评价模型构建

2.2.1 模型构建

火电机组灵活性改造的经济性评价模型应能够综合考虑上述指标体系,采用科学的方法进行量化评估。净现值法(NPV)和内部收益率(IRR)是常用的评价方法。(1)净现值法(NPV):通过将改造项目未来各年的净现金流量(收入减去支出)按一定贴现率折现到当前时点,计算项目的总价值。若NPV大于0,表示项目具有经济价值。(2)内部收益率(IRR):使项目净现值等于零的贴现率,反映了项目自身的盈利能力。IRR越高,说明项目的经济效益越好^[3]。

2.2.2 模型应用步骤与注意事项

(1)数据收集与整理:确保所有用于评估的数据准确、完整,包括但不限于投资预算、运营成本、电价政策、补贴政策、污染物排放标准等。(2)参数设定:合理设定贴现率、使用年限、税率等关键参数,这些参数直接影响评估结果。(3)敏感性分析:对关键变量进行敏感性分析,评估其变化对项目经济效益的影响,为风险管理提供依据。(4)综合判断:结合NPV、IRR等评估结果,以及环境效益、企业战略等因素,综合考虑项目的经济性和可行性。(5)注意事项:注意评估过程中的动态性,考虑未来政策、技术、市场等可能的变化,确保评价结果的时效性和适用性。同时,加强与其他利益相关方的沟通,确保评估的全面性和客观性。

3 火电机组灵活性改造实例分析

3.1 实例背景介绍

3.1.1 项目选择

本实例选取某电厂2×600MW超临界燃煤机组灵活性改造项目。该电厂位于新能源装机快速增长区域,近年来风电、光伏等新能源发电占比持续攀升,电网调峰压

力显著增大,火电机组深度调峰需求迫切,故选择该项目作为典型案例分析。

3.1.2 改造背景、技术路径及改造目标

改造背景方面,随着新能源大规模接入,传统火电机组运行模式难以适应电网“调峰主力军”的新定位,该电厂机组原最低技术出力为50%额定负荷,无法满足电网要求的30%额定负荷调峰需求,亟需通过灵活性改造提升调峰能力。

技术路径上,项目采用了“锅炉侧燃烧优化+汽轮机侧供热抽汽改造+辅机变频改造”的综合技术方案。在锅炉侧,通过改进燃烧器结构、优化配风方式,增强低负荷下的燃烧稳定性;汽轮机侧实施供热抽汽改造,提高机组在供热期的深度调峰能力;对引风机、给水泵等辅机进行变频改造,降低厂用电率。

改造目标设定为:将机组最低技术出力由50%额定负荷降至30%额定负荷,同时降低机组煤耗,提高机组运行经济性和环保性,更好地服务于电网调峰与新能源消纳。

3.2 技术经济性评估

3.2.1 经济性评价模型应用

运用第三章构建的经济性评价模型,从投资成本、运行成本、收益及环境效益等维度对该项目进行技术经济性评估。模型考虑了改造投资、燃料成本、厂用电成本、上网电价、补贴收入等因素,通过净现值(NPV)、内部收益率(IRR)、投资回收期(PBP)等指标衡量项目经济性。

3.2.2 成本、收益及环境效益分析

(1)成本方面,改造总投资约1.2亿元,主要包括设备采购、安装调试及技术服务费用。运行成本中,由于燃烧优化和辅机变频改造,厂用电率降低1.5%,燃料成本在低负荷运行时有所下降。(2)收益上,一方面通过参与电网调峰辅助服务市场获得调峰补偿收入,另一方面,改造后机组发电效率提升,在相同发电量下节约燃料成本。此外,因环保指标改善,获得了一定的环保补贴。(3)环境效益显著,改造后机组在低负荷运行时氮氧化物、二氧化硫和烟尘排放浓度均符合国家最新环保标准,且通过深度调峰促进新能源消纳,减少了因弃风弃光导致的能源浪费,间接降低了碳排放^[4]。

3.3 结果与讨论

3.3.1 性能变化和经济效益对比

改造前,机组最低稳定运行负荷为50%额定负荷,供电煤耗约310g/kWh;改造后,最低技术出力降至30%额定负荷,供电煤耗降低至305g/kWh,调峰补偿收入年均增加约2000万元。通过经济性评价模型计算,项目净现

值 (NPV) 为3500万元, 内部收益率 (IRR) 达12%, 投资回收期 (PBP) 约5年, 经济效益显著。

3.3.2 实施问题与解决策略

在实施过程中, 项目遇到了技术难题和资金压力。技术上, 锅炉低负荷稳燃存在不稳定情况, 通过邀请专家团队优化燃烧调整方案, 增加稳燃装置, 解决了这一问题。资金方面, 改造投资较大, 电厂通过申请政府专项补贴、银行低息贷款和引入社会资本等方式, 缓解了资金压力, 确保项目顺利实施。该项目的成功实施为其他火电机组灵活性改造提供了宝贵经验, 未来在推广过程中, 需进一步优化技术方案, 降低改造成本, 提高项目经济性和适应性。

4 火电机组灵活性改造政策与建议

4.1 相关政策分析

4.1.1 政策及支持措施梳理

在国家层面, 近年来围绕火电机组灵活性改造出台了一系列政策。《关于提升电力系统调节能力的指导意见》明确将煤电机组灵活性改造作为增强电力系统调节能力的重要举措, 提出到2025年实现3.5亿千瓦改造目标。《完善电力辅助服务市场机制工作方案》扩大了调峰辅助服务市场范围, 提高调峰补偿标准, 为灵活性改造后的火电机组提供收益保障。此外, 中央财政设立专项资金, 对符合条件的改造项目按改造容量给予补贴, 降低企业资金压力。地方政府结合区域能源结构特点, 制定配套政策。例如, 西北地区 (如宁夏) 因新能源装机占比高且电网调峰需求突出, 当地出台《火电机组灵活性改造专项规划》, 对参与深度调峰的供热机组给予容量补偿和辅助服务奖励, 并在电力调度中实施“新能源优先+火电调峰”的协调运行机制; 甘肃省则针对新能源消纳难题, 对完成灵活性改造的机组, 在新能源大发时段给予调峰补偿倾斜, 同时允许其优先参与跨省区电力交易。

4.1.2 政策对项目的影响及作用

政策的引导与支持显著推动了火电机组灵活性改造项目的落地。资金补贴政策直接降低了企业的前期投资成本, 缓解了改造资金短缺的困境, 使得企业更有动力参与改造。市场机制的完善, 如调峰补偿标准的提高和交易范围的扩大, 为改造后的机组创造了稳定的收益渠道, 提升了项目的经济性。同时, 优先发电权和调度安排等政策, 增强了改造机组在电力市场中的竞争力, 保障了其稳定运行。此外, 政策还促进了产学研合作, 吸引科研机构和企业联合攻关, 加速了灵活性改造技术的

创新与应用。

4.2 建议与展望

4.2.1 促进技术发展和经济性评价的建议

为进一步推动火电机组灵活性改造技术发展, 建议加大基础研究投入, 针对低负荷稳燃、余热利用等关键技术开展联合攻关; 建立技术示范基地, 加速新技术、新工艺的推广应用。在经济性评价方面, 应完善评价指标体系, 将环境效益、新能源消纳的间接收益等纳入评估范围; 建立动态评价模型, 结合电力市场价格波动、政策调整等因素, 实时更新评价结果, 为项目决策提供更科学的依据。

4.2.2 发展趋势及应用前景展望

未来, 火电机组灵活性改造技术将呈现智能化、低碳化和综合化趋势。智能化方面, 通过引入人工智能、物联网技术, 实现机组运行状态的实时监测与智能调控, 提升调峰响应速度和精准度; 低碳化发展促使改造技术与碳捕集、利用与封存 (CCUS) 技术深度融合, 在满足调峰需求的同时降低碳排放。从应用前景看, 随着“双碳”目标推进和新能源装机规模持续扩大, 火电机组灵活性改造需求将进一步释放, 不仅在传统火电集中地区, 南方新能源消纳压力较大的区域也将加快改造步伐。此外, 我国成熟的改造技术和经验有望向“一带一路”沿线国家输出, 助力全球能源结构转型。

结束语

综上所述, 火电机组灵活性改造技术不仅提升了机组的运行效率和响应速度, 还显著增强了电力系统的整体灵活性, 为新能源的大规模接入提供了有力支撑。经济性评价显示, 尽管初期投资较大, 但改造后机组在调峰收益、运行成本降低及环境效益等方面的表现, 使得项目具备良好的经济性和社会效益。未来, 随着技术的不断进步和政策的持续支持, 火电机组灵活性改造将迎来更广阔的发展前景, 为能源转型和可持续发展贡献力量。

参考文献

- [1]刘建.燃煤火电厂灵活性改造与深度调峰安全技术研究[J].建筑理论,2023,(12):115-116.
- [2]牛鑫磊.火电机组灵活性改造中的自动控制策略分析[J].电力系统及自动化,2024,(07):63-64.
- [3]王祥磊.双碳形势下火电机组灵活性改造技术浅析[J].电力系统及自动化,2023,(09):101-102.
- [4]汪林.基于火电厂灵活性改造的经济性研究[J].电力系统及自动化,2024,(05):60-61.