

# 火电机组运行优化及工程师技术创新研究

曾晨 靳学钢

邹县发电厂，山东 邹城 273522

**摘要：**处于全球能源转型的现实背景下，火电机组面临效率方面瓶颈与灵活性欠缺的双重挑战，本文系统地研究火电机组运行优化及技术创新路径，探寻其热力系统能效提升的关键机制，借助构建热力学模型与智能算法相结合的优化体系，拟定基于数据驱动的负荷动态调节方针，可使供电煤耗下降 8 到 15 个百分点，同时实现对氮氧化物排放的精准把控。案例探究表明，应用声波测温、智能吹灰等技术让锅炉热效率提高了 1.2%，一年时间节约的燃煤成本超 200 万元，富氧燃烧、化学链技术以及数字孪生系统的深度运用，会推动火电向低碳与智能方向转型，未来需利用多能互补与分钟级响应控制实现调峰能力的拓展，本文为火电机组的清洁高效运作提供理论支撑与实践借鉴，对建设新型电力系统有重要的指导意义。

**关键词：**火电机组；运行优化；技术创新；热力系统；能效提升

DOI:10.63887/jeti.2025.1.3.21

## 引言

火力发电机组集控运行技术是提升机组运行安全性、经济性、环保性的关键支撑<sup>[1]</sup>。在全球能源转型背景下，火电机组仍承担着基础性调峰与供电保障职能。然而，随着可再生能源占比提升与环保政策趋严，传统火电面临效率瓶颈、碳排放约束及灵活性不足等挑战<sup>[2]</sup>。如何通过运行优化与技术创新实现火电清洁高效利用，成为学术界与工业界共同关注的课题。本文从理论分析与工程实践双重视角，系统梳理火电机组优化运行的技术路径与创新方向，旨在为行业技术升级提供参考。

## 1. 火电机组运行现状及挑战

### 1.1 火电机组的基本概述

火电机组作为传统电力生产的一种重要样式，主要借助煤炭、燃气及生物质等燃料的化学能转化环节，这类机组凭借锅炉生成高温高压蒸汽，推动汽轮机旋转进而带动发电机输出电能，构建起完整的热功转换体系，其核心的组成部分涉及燃料燃烧装置、蒸汽发生与循

环设备、尾气净化设施以及自动化控制模块。就能效相关指标而言，常规燃煤机组热效率一般维持在 35%至 45%的区间范围，而采用超超临界技术的先进机组能够跨越 48%的效率门槛<sup>[3]</sup>。值得重视的是，机组实际运行表现会受燃料特性、电网负荷需求、气候条件等多重变量联合作用，其动态响应特性与能源转化效率共同对电力系统的供电品质和运营效益起到决定作用。

### 1.2 火电行业运行效率与技术挑战分析

我国火电行业在运行效率方面实现显著提升，平均供电煤耗已下探至 305 克/千瓦时，但跟国际能效标准比起来，还有 5%-8%的差距，经济性维度呈现出燃料成本占比为 60%-70%、负荷率跟发电成本负相关的特性，碳交易成本上升与深度调峰造成的效率损失（负荷率每降 10%，成本增加 12%）形成双重压力。技术挑战聚焦于三大核心领域：负荷波动工况下热力系统协调不畅，造成锅炉燃烧稳定性与汽轮机效率同步下滑；烟气净化装置面临 3%-5%机组功率能耗和脱除效率方面的矛盾；超 60%服役

时间超过 15 年的机组面临材料老化引发非计划停机的风险，现阶段急需打破分钟级负荷响应的智能控制技术局限，以应对新型电力系统灵活性的实际需求。

## 2. 火电机组优化运行的理论基础

### 2.1 优化运行的定义及重要性

火电机组优化运行指的是依托系统建模、运行参数优化以及控制策略改进等技术方法，让机组在不同工况条件情况中均能维持最佳能源转换效率和最低污染物排放水平的运行样式，从经济收入的角度审视，实施优化运行能有效让单位发电成本降低 8%至 15%，同时把主要设备的使用年限延长 20%到 30%，同时让排放指标一直满足国家超低排放的要求，若实现这一目标，需要在热力学性能边界、设备安全运行限制跟经济效益指标之间营造平衡关系，最终构建一个兼顾多方面目标的综合优化格局<sup>[4]</sup>。

### 2.2 相关理论和模型

在火电机组优化运行的理论研究的体系框架里面，热力学基本原理搭建起重要的理论基础，诸如熵产最小化理论、烟效率分析方法以及热经济性状态方程等经典理论，为系统能效评估提供了科学凭据，在动态建模技术范畴内，以物理机理为基础构建的分布式参数模型能确切反映锅炉燃烧过程的动态特性，采用长短记忆神经网络这类数据驱动建模方法，在机组负荷预测和设备故障诊断中呈现显著优势，就优化算法的发展情形而言，把混合整数规划与强化学习搭配起来的创新举措，为解决复杂电力系统优化问题铺就了新的技术道路<sup>[5]</sup>。

### 2.3 现有优化技术的比较

在火电机组优化技术相关的对比研究里，传统方法跟应用前沿技术表现出明显不同，等微增率法、动态规划法这类经典优化手段代表，在稳定负荷工况调控这件事上有较好的鲁棒

性，但在处理非线性动态变化过程时存在明显弱项，以数字孪生系统为代表的新型智能优化手段，采用实时数据融合与虚拟仿真技术，可以让机组调节响应速度增长差不多 40%，值得注意的是，基于人工智能的优化算法在磨煤机运行优化范畴取得突破性进展，实际应用数据显示出，制粉系统能耗降幅处于 2.1%到 3.4%范围，这类模型的可解释性以及其在不同工况下的适应性有待强化。

## 3. 工程师在火电机组中的技术创新

### 3.1 技术创新的定义及必要性

火电领域的技术创新表示借助工程实践持续打破现有的技术壁垒，开发出兼顾经济效益和环保功效的新型技术方案及工艺方式，在实现碳达峰、碳中和目标这一背景下，工程师得在燃烧优化、余热回收、碳捕集与封存等关键技术方面实现突破性进展，用富氧燃烧技术当作例子，此技术规模化应用可明显降低碳捕集系统能耗达 25%，然而在实际工程应用里，还得攻克燃烧器耐高温腐蚀等关键技术难题。

### 3.2 工程师在优化过程中的角色与责任

在对火电机组进行优化期间，工程师起着极其重要的技术引领效用，现代的火电工程师不仅要掌握扎实的热力系统理论基础，还得把数据分析、智能控制等前沿技术知识融合起来，工程师主要从三个维度去开展优化工作：首先需在设备层面实施精细化参数整定，好比优化汽封间隙，以有效减少蒸汽泄漏造成的损失；其次需对系统级运行策略进行重构，借助建立预测性维护模型对检修决策进行优化；最后还得推进人机协同开展优化，研发智能监控系统以削减人工操作误差，该种多层次的优化实践充分展现出工程师在技术革新中的核心价值。

### 3.3 成功技术创新的案例分析

处于火电行业技术创新实践期间，两个典型案例有力体现了工程技术突破所产生的显著效益，某 1000MW 超超临界机组所实施的技

术改造项目极具代表性，工程团队以创新方式采用声波测温技术构建炉膛热负荷分布控制系统，且把自适应燃烧优化算法加以集成，最终实现锅炉热效率提高 1.2% 这一成果，同时保证氮氧化物排放浓度始终被控制在  $50\text{mg}/\text{Nm}^3$  以下，又一个具有示范效应的案例是智能吹灰系统应用成功，该系统借助在线灰污监测技术与模糊逻辑控制举措，每年差不多可减少蒸汽消耗 2.3 万吨，这些工程实践成果清晰印证了技术创新对提升火电行业运行效率与环保性能的重要意义。

## 4. 火电机组运行优化的新策略

### 4.1 数据分析与智能算法应用

处于火电行业技术革新的进程里，数据驱动跟智能算法融合起来应用，正引领机组运行优化新潮流，凭借厂级监控信息系统跟智能传感网络的协同部署，火电机组持续获取包含锅炉燃烧状态、汽轮机运行表现以及排放指标等方面的全维度实时数据，进而构建起一套完善的设备生命周期数据库。工程技术人员采用机器学习方法搭建的负荷 - 效率关联模型，可精准识别各种工况状况下的最优运行参数组合，某 660MW 机组借助引入智能优化算法达成二次风门动态调节后，锅炉排烟温度出现明显的 8 到 12 摄氏度下降，每年燃煤费用节省金额突破 200 万元大关，因数字孪生技术的深度应用，设备状态预测能力大幅改善，系统能提前三天鉴别潜在故障风险，为预防性维护给出科学层面的依据，充分体现了智能化技术在提高火电运行经济性与可靠性方面的显著价值。

### 4.2 设备改进与新技术的采用

实现火电机组性能提升的关键在于设备层面的技术创新与升级改造工作，就燃烧系统优化而言，依靠将旋流燃烧器与微油点火技术整合起来，可把机组冷态启动中的燃油消耗量降低六成，高温材料技术实现的突破尤为显眼，一旦采用镍基合金护瓦后，主蒸汽管道耐温的

性能冲破 620 摄氏度的门槛，为超超临界机组朝着更高参数迈进筑牢了根基。辅助设备的智能化改造同样成效十分显著，配备永磁调速技术的引风机在中低负荷的工作状况下，能够实现 15% 到 22% 的节电效果，在碳减排技术范畴，化学链燃烧示范项目呈现出明显长处，不但让二氧化碳直接分离效率实现 90% 以上，与传统胺法工艺相比，进一步将捕集能耗降低了三分之一以上，这些技术方面的进步共同成为火电行业转型升级的关键支撑。

### 4.3 持续优化机制的建立

建立火电机组持续优化机制，离不开技术标准、管理体系和激励措施多维协同，以引入国际能源管理体系标准的途径，建立计划、执行、检查、改进的闭环管理模式，可系统地提升机组的能源利用效率，开发智能优化平台，把理论模型跟运行数据深度融合在一起，可实时输出最优化控制策略。培养创新文化环境并设置专项奖励基金，能有效带动基层技术人员的改进积极性，实际例子说明，某发电企业靠建立定期优化会议机制，发动多专业团队协同破题，成功让汽轮机中压缸效率上升到理想水平，实现了机组整体热耗将近降低两个百分点，切实证明了系统化优化机制的实际意义，这种技术创新与管理创新相融合的模式，为火电企业做到持续革新提供了可借鉴的实施途径。

## 5. 火电机组运行优化的未来展望

### 5.1 未来的技术趋势

未来火电行业的发展将体现出低碳环保、智能协同以及多能融合三大核心特性，就燃烧技术创新而言，预计未来五年内富氧燃烧和化学链技术能完成商业化突破，二氧化碳捕集成本有把握控制在每吨三十美元以内，智能控制系统会利用联邦学习算法实现跨电厂的协同优化，破除传统单机运行的束缚，大幅增进区域电力系统的整体效能。值得注意的是，依靠整合熔盐储热等先进储能技术，火电机组将与

可再生能源形成彼此优势互补的混合发电系统,让机组调峰区间延伸到四分之一负荷至满负荷的宽大区间,为构建新型电力系统提供极为重要的技术后盾,这些前沿技术开展融合发展,会助力传统火电朝清洁高效方向实现重大飞跃。

## 5.2 火电行业转型路径分析

政策与标准的双重驱动正加速火电行业变革:碳交易市场扩容与国际碳关税倒逼碳捕集技术规模化应用,国内节能诊断新规推动能效评估体系向水耗、厂用电率等多维度延伸,2025年即将实施的全生命周期碳排放考核将重塑设备选型与运行逻辑。基于此,行业需实施阶梯式转型路径——近期聚焦机组灵活性与智能化改造(供电煤耗压降至290克/千瓦时),中期建成10+百万吨级碳捕集示范项目,远期定位电网调峰与安全保障功能。该路径需配套产学研协同创新体系、专项技术基金及电价市场化机制,在技术可行性与经济可持续性平衡中实现深度脱碳。

## 结束语

当全球能源结构转型步入纵深阶段,火电机组作为电力系统稳定及调节的关键要素,其实现清洁化、智能化转型成为必然走向,本文全面探究了火电机组在运行优化及技术创新领域的核心难题与突破方向:采用热力系统协同控制、智能算法应用并开展设备升级改造,机组供电煤耗可向290克/千瓦时的目标逐步靠近,深度调峰能力大幅提升,碳排放强度明显变好;基于数字孪生、化学链燃烧等技术实施起来的工程实践,证实了技术创新在提升能源利用效率、控制成本和降低碳排放方面的综合好处。伴随多能互补系统的建设与政策标准的迭代演变,火电将往“灵活性调峰+低碳保障”双功能的模式演进,此转型需借助产学研协同创新机制,在设备可靠性增强、分钟级响应控制优化、全生命周期碳管理等领域不断突破,最终达成传统火电跟新型电力系统的深度融合,为能源安全跟低碳发展提供坚实后盾。

## 参考文献

- [1] 沈翔宇,孙德玉,何翔,等.火电机组深度调峰的背压机供热运行方式及经济效益分析[J].发电设备,2025,39(03):155-161.
- [2] 胡宇.火力发电机组集控运行技术应用研究[J].科技创新与应用,2025,15(11):165-168.
- [3] 赵凡.火电厂火电机组运行状态智能监测系统设计与应用[J].电力设备管理,2024,(23):143-145.
- [4] 罗文强.火电厂集控运行技术与机组协调控制研究[J].电力设备管理,2024,(20):86-88.
- [5] 刘超,司瑞才,柳春晖,等.电锅炉辅助火电机组孤网运行的控制策略研究[J].吉林电力,2023,51(05):24-27