

煤电机组项目质量管理提升

吕 辉

焦作煤业（集团）有限责任公司 河南 焦作 454000

摘 要：在新型电力系统构建背景下，煤电机组功能定位从基础保障型向灵活调节型深刻转变，面临深度调峰、频繁启停及环保标准提升等多重挑战。传统质量管理模式因设备管理粗放、安装工艺标准化缺失、人员素质结构性失衡及信息化碎片化等问题，难以适应新形势需求。本文从设备全生命周期管理、智能化技术应用、标准化体系构建及人才梯队建设四个维度，系统提出煤电机组项目质量管理提升策略，并通过实证研究验证其有效性。研究结果表明，所提策略可显著提升机组可靠性、降低运维成本并延长设备寿命，为煤电企业高质量发展提供理论支撑与实践指导。

关键词：煤电机组；质量管理；全生命周期；智能化；标准化；人才梯队

1 引言

1.1 研究背景与意义

随着全球能源结构转型加速，我国煤电行业正经历从“基础保障型”向“灵活调节型”的功能转变。根据国家能源局数据，截至2025年，全国煤电装机容量占比已从2015年的66%下降至48%，但其发电量占比仍维持在60%以上，在电力系统中的调峰、调频及备用功能愈发凸显。然而，煤电机组频繁参与深度调峰（负荷率低于40%）、快速启停（日启停次数达3-5次）等灵活运行模式，导致设备疲劳损伤加剧、故障率攀升。例如，某发电集团统计显示，2024年其下属机组因调峰导致的“四管泄漏”（水冷壁、过热器、再热器、省煤器）事故同比增加23%，发电机定子绕组变形故障率上升18%，直接经济损失超5亿元。

在此背景下，传统煤电机组质量管理模式已难以适应新形势需求。如何通过技术创新与管理优化提升项目质量，成为煤电企业实现可持续发展的核心命题^[1]。本文从设备全生命周期管理、智能化技术应用、标准化体系构建及人才梯队建设四个维度，系统探讨煤电机组项目质量管理的提升路径，旨在为煤电企业高质量发展提供理论支撑与实践指导。

1.2 国内外研究现状

国外煤电行业质量管理研究起步较早，德国、日本等国家通过制定严格的设备标准（如DIN标准、JIS标准）和推行全员生产维护（TPM）模式，实现了机组可靠性水平的显著提升。例如，德国RWE公司通过实施RCM（以可靠性为中心的维修）策略，将机组等效可用系数从85%提升至92%。国内研究则聚焦于智能化技术应用与标准化体系建设，如国家电投集团开发的“智慧电厂”平台，通过集成设备状态监测、故障诊断等功能，

实现了运维成本降低15%。然而，现有研究多侧重于单一技术或管理手段，缺乏系统性、全链条的质量管理提升框架。

2 煤电机组项目质量管理现状与痛点分析

2.1 设备管理粗放化

2.1.1 技改投入不足

当前煤电机组设备管理普遍存在“重运行、轻维护”的倾向。调研显示，全国煤电企业设备技改资金投入强度（技改支出/固定资产原值）仅为1.2%，远低于国际先进水平（3%-5%）。例如，某600MW机组因未及时改造空气预热器密封系统，导致漏风率长期维持在8%以上，年损失电量超2000万kWh，相当于减少利润约600万元（按0.3元/kWh电价计算）。

2.1.2 维修策略落后

设备点检定修水平参差不齐，RCM（以可靠性为中心的维修）等先进策略应用率不足15%，导致过度维修与欠维修并存。以汽轮机阀门检修为例，部分电厂仍采用“定期解体检查”方式，每年停机检修时间长达30天，而采用状态监测技术的电厂可将检修周期延长至5年，检修时间缩短至7天。

2.2 安装工艺标准化缺失

2.2.1 工艺流程不规范

煤电机组安装涉及锅炉、汽轮机、发电机等数十个子系统，工艺复杂度高。但实际项目中，安装流程不规范、精度控制不足等问题频发^[2]。例如，某百万千瓦机组因汽轮机轴系对中偏差超标（允许值0.02mm，实际值0.05mm），导致振动值超限（振动幅值从0.05mm升至0.12mm），被迫停机返修，直接延误工期45天，增加成本约2000万元。

2.2.2 隐蔽工程验收不严

隐蔽工程（如锅炉受热面焊接、汽轮机缸体密封等）验收缺乏量化标准，导致质量隐患难以发现。某电厂在机组投运后发现省煤器管排存在焊接缺陷，引发泄漏事故，修复费用高达800万元，且造成区域电网供电紧张。

2.3 人员素质结构性失衡

2.3.1 人才流失严重

煤电行业人才流失问题日益严峻。据统计，2020-2025年，全国煤电企业技术人员离职率年均达12%，其中35岁以下青年员工占比超60%。人才流失导致企业技术断层，例如，某电厂因核心技术人员离职，导致DCS系统故障处理时间从2小时延长至8小时，严重影响机组安全运行。

2.3.2 技能更新滞后

在职人员技能更新滞后，例如，对变频绞车、一坡三挡等新技术的掌握率不足40%，导致设备故障时依赖厂家维修，平均修复时间长达72小时，远高于国际标准（24小时）。此外，部分员工对智能化运维工具（如振动分析仪、红外热成像仪）操作不熟练，制约了质量管理效率提升。

2.4 信息化管理碎片化

尽管部分煤电企业已部署ERP、EAM等管理系统，但数据孤岛现象严重。例如，某发电集团下属12家电厂的设备台账、检修记录、缺陷数据等分别存储于5套不同系统中，无法实现跨厂区、跨专业的数据共享与分析。数据碎片化导致质量管理决策缺乏科学依据，例如，某电厂因未能及时关联锅炉燃烧调整数据与受热面壁温数据，导致超温爆管事故频发。

3 煤电机组项目质量管理提升策略

3.1 全生命周期管理：从“事后维修”到“事前预防”

3.1.1 设备技改与寿命评估

建立基于风险评估的设备技改优先级模型，优先改造影响机组灵活性与可靠性的关键设备。例如，针对深度调峰需求，对锅炉燃烧器、汽轮机阀门等实施“灵活性”改造，提升低负荷稳燃能力与快速变负荷响应速度^[3]。某电厂通过改造低氮燃烧器，将锅炉最低稳燃负荷从50%降至30%，年增加调峰收益约1000万元。引入寿命评估技术，对运行超15年的机组开展金属监督、疲劳损伤检测，科学制定延寿或退役方案。例如，国家能源集团通过应用超声波相控阵检测技术，发现某机组汽轮机叶片裂纹，提前更换叶片，避免了一起重大事故。

3.1.2 精细化燃料管理

构建“煤质-燃烧-排放”联动优化体系，通过配煤掺烧模型实现入炉煤热值、灰分、硫分的精准控制。例

如，某电厂应用激光诱导击穿光谱（LIBS）技术实现煤质在线检测，将配煤偏差从 $\pm 5\%$ 降至 $\pm 1\%$ ，显著降低锅炉结焦、受热面磨损等故障率，年节约燃料成本约500万元。建立从采购、运输、储存到入炉的全流程燃料管理系统，实现燃料质量可追溯。例如，华能集团通过部署RFID标签与物联网技术，实现煤炭运输轨迹实时监控，杜绝了掺杂使假现象。

3.2 智能化技术应用：从“人工经验”到“数据驱动”

3.2.1 智慧化管控平台

集成设备状态监测、故障诊断、运维决策等功能，打造“端-边-云”协同的智慧电厂。例如，国家能源集团建设的“国能e链”平台，通过部署5000余个传感器，实时采集机组振动、温度、压力等参数，利用机器学习算法实现故障预警准确率超90%，运维成本降低20%。大唐集团在某百万千瓦机组中应用智慧化管控平台，实现锅炉燃烧优化、汽轮机效率提升等功能，年节约标煤约3万吨，减少二氧化碳排放8万吨。

3.2.2 数字孪生技术

构建机组数字孪生体，模拟不同工况下的设备性能与故障演化过程。例如，华能集团在某百万千瓦机组中应用数字孪生技术，提前预测汽轮机叶片裂纹扩展趋势，将计划检修周期从6个月延长至12个月，减少非计划停运3次/年。实施步骤包括数据采集、模型构建、仿真分析、决策优化等环节。例如，某电厂通过采集机组历史运行数据，构建锅炉受热面数字孪生模型，优化吹灰策略，使排烟温度降低5℃，热效率提升0.5%。

3.3 标准化体系构建：从“经验传承”到“规范引领”

3.3.1 安装工艺标准化

制定《煤电机组安装工艺标准手册》，明确各子系统安装流程、精度要求及验收规范。例如，针对汽轮机轴系对中工艺，规定采用激光对中仪进行三次复测，偏差值需满足ISO10816-3标准。建立隐蔽工程影像追溯系统，确保关键工序可追溯^[4]。例如，某电厂在锅炉受热面焊接过程中，采用高清摄像头记录焊接全过程，并上传至云端平台，供质量监督人员随时调阅。

3.3.2 试运行标准化

完善单机试运、分系统试运及整套启动试运方案，明确参数监测频次、异常处理流程及验收标准。例如，规定锅炉酸洗后需进行72小时连续吹管，蒸汽参数需达到设计值的95%以上，确保受热面清洁度符合标准。建立试运行参数监测台账，实现数据实时上传与分析。例如，某电厂通过部署SCADA系统，实时采集机组试运行数据，并生成分析报告，为后续优化运行提供依据。

3.4 人才梯队建设：从“技能断层”到“复合培养”

3.4.1 校企协同育人

与高校、职业院校共建“煤电智能运维”专业，开设设备状态监测、大数据分析等课程，培养既懂设备原理又掌握信息技术的复合型人才。例如，大唐集团与华北电力大学合作开设“智慧电厂”订单班，累计培养技术骨干200余名。在企业建立实训基地，为学生提供实践机会。例如，国家电投集团在旗下电厂设立“大学生实训基地”，每年接收100余名学生实习，其中30%毕业后留企工作。

3.4.2 技能比武与认证

定期举办全国煤电行业技能大赛，设置变频器维修、DCS组态等竞赛项目，激发员工学习热情。例如，2024年全国煤电行业技能大赛中，某电厂选手获得汽轮机检修项目一等奖，其检修工艺被推广至全行业。推行“技能等级认证+岗位津贴”制度，将认证结果与薪酬、晋升挂钩，提升高技能人才保留率。例如，华能集团对通过高级技师认证的员工每月发放2000元津贴，并优先提拔至管理岗位。

4 实证研究：某百万千瓦机组质量管理提升案例

4.1 项目背景

某电厂2×1000MW机组于2020年投产，因频繁参与深度调峰，2023年非计划停运次数达8次，主要故障包括锅炉受热面泄漏、发电机漏氢等，年损失电量超3亿kWh，直接经济损失约9000万元。

4.2 改进措施

4.2.1 设备技改

对锅炉燃烧器实施低氮改造，提升低负荷稳燃能力。改造后，锅炉最低稳燃负荷从50%降至35%，年增加调峰收益约1500万元。加装汽轮机阀门流量测量装置，优化变负荷响应速度。改造后，机组变负荷速率从3MW/min提升至5MW/min，满足电网调峰需求。

4.2.2 智能化升级

部署设备状态监测系统，实现振动、温度等参数实时采集。系统上线后，成功预警汽轮机轴承振动超标、发电机定子绕组温度异常等故障12次，避免非计划停运3次。应用数字孪生技术预测设备劣化趋势。例如，通过构建锅炉受热面数字孪生模型，优化吹灰策略，使排烟温度降低8℃，热效率提升0.8%。

4.2.3 标准化管理

编制《百万千瓦机组安装工艺标准》，规范汽轮机轴系对中、锅炉水压试验等关键工序。例如，规定汽轮机轴系对中偏差需控制在0.02mm以内，并通过激光对中仪进行三次复测。建立试运行参数监测台账，确保数据完整性。例如，规定锅炉酸洗后需进行72小时连续吹管，蒸汽参数需达到设计值的98%以上。

4.2.4 人才培养

选派20名技术骨干参加RCM维修策略培训，掌握状态监测与故障诊断技术。培训后，员工独立处理设备故障的能力显著提升，平均修复时间从72小时缩短至24小时。此外组建QC小组开展质量改进活动。

4.3 实施效果

2024年非计划停运次数降至2次，等效可用系数从92.5%提升至95.8%，满足电网对机组可靠性的要求。通过状态检修替代定期检修，年节约检修费用1200万元；通过优化燃料管理，年节约燃料成本800万元，总运维成本降低20%。锅炉NO_x排放浓度从50mg/m³降至30mg/m³，满足超低排放标准；二氧化硫排放浓度从35mg/m³降至20mg/m³，环保绩效显著提升。

结语

本文从设备全生命周期管理等四个维度提出煤电机组项目质量管理提升策略，实证表明其可提升机组可靠性、降低成本并延长设备寿命，为煤电企业高质量发展提供经验。未来可探索区块链技术在设备溯源、AI驱动自主运维系统、碳管理集成等方向的应用，煤电机组项目质量管理提升需多方协同，通过创新与优化，煤电行业将在新型电力系统中发挥更大作用，助力能源安全与低碳转型。

参考文献

- [1]严新荣,胡志勇,张鹏威,等.煤电机组运行灵活性提升技术研究与应用[J].发电技术,2024,45(06):1074-1086.
- [2]孙志伟.煤电机组深度调峰的现状及灵活性改造[J].现代工业经济和信息化,2024,14(07):279-281+287.
- [3]安凤栓.新型电力系统中煤电机组数字化转型的探索和实践[J].仪器仪表用户,2024,31(06):89-91.
- [4]刘志强,李建锋,潘荔,等.中国煤电机组改造升级效果分析与展望[J].中国电力,2024,57(07):1-11.