

电力行业燃机汽机机务运维技术优化路径

谢晓凤

大唐苏州热电有限责任公司

DOI:10.12238/jpm.v6i7.8209

[摘要] 在全球能源结构深度转型与“双碳”目标驱动的背景下，电力行业作为能源供应核心领域，其燃机、汽机设备的安全稳定运行直接关系到能源输送效率与电力供应可靠性。本文系统梳理了当前燃机、汽机机务运维技术在能源与电力领域典型应用场景中面临的多维挑战：设备长期高负荷运转导致的结构性老化问题，传统故障诊断技术在复杂工况下的响应迟滞，以及依赖人工巡检与经验判断造成的运维效率瓶颈等。

通过深入研究智能监测、状态检修、数字化管理等前沿技术，创新性地提出机务运维技术优化路径体系。在设备监测维度，提出构建基于物联网（IoT）的智能传感网络，结合大数据分析机器学习算法，实现设备运行参数的实时采集与异常状态的早期预警；在运维管理层面，设计基于云计算架构的数字化运维平台，通过整合设备全生命周期数据，实现运维流程的智能化调度与资源的精准配置；在检修技术革新方面，倡导推广以激光熔覆、超声波检测为代表的先进非破坏性检测与修复技术，有效提升设备健康管理水平。

本研究成果旨在为电力企业突破传统运维模式桎梏，构建具有前瞻性、智能化的机务运维体系提供理论依据与实践参考，助力实现运维成本降低、设备可靠性提升与电力持续稳定供应的多重目标，对推动电力行业高质量发展具有重要的现实意义。

[关键词] 电力行业；燃机；汽机；机务运维；技术优化

Optimization path of gas turbine operation and maintenance technology in power industry

Xie Xiaofeng

Datang Suzhou Thermal Power Co., LTD

[Abstract] In the context of the global energy structure undergoing profound transformation and driven by the 'dual carbon' goals, the power industry, as a core sector in energy supply, directly impacts the efficiency of energy transmission and the reliability of power supply through the safe and stable operation of gas turbines and steam engines. This article systematically examines the multidimensional challenges faced by current maintenance and operation technologies for gas turbines and steam engines in typical applications within the energy and power sectors: structural aging due to long-term high-load operation, delayed responses from traditional fault diagnosis techniques under complex conditions, and operational efficiency bottlenecks resulting from reliance on manual inspections and experience-based judgments.

By conducting in-depth research on cutting-edge technologies such as intelligent monitoring, condition-based maintenance, and digital management, an innovative system for optimizing locomotive operation and maintenance technology has been proposed. In terms of equipment monitoring, a smart sensor network based on the Internet of Things (IoT) is proposed, integrating big data analysis and machine learning algorithms to achieve real-time collection of equipment operation parameters and early warnings of abnormal conditions. At the level of operation and maintenance management, a cloud computing-based digital operation and maintenance platform is designed to integrate the entire lifecycle data of equipment, enabling intelligent scheduling of operation and maintenance processes and precise resource allocation. In terms of maintenance technology innovation, advanced non-destructive testing and repair technologies, such as laser cladding and ultrasonic testing, are promoted to effectively enhance the health management level of equipment.

This research aims to provide theoretical basis and practical reference for electric power enterprises to break

through the shackles of traditional operation and maintenance mode and build a forward-looking and intelligent operation and maintenance system, so as to help achieve multiple goals such as reducing operation and maintenance costs, improving equipment reliability and continuous and stable power supply, which has important practical significance for promoting the high-quality development of the power industry.

[Key words] electric power industry; gas turbine; steam engine; operation and maintenance of machinery; technical optimization

引言

在全球能源结构转型和电力需求持续增长的背景下，燃机和汽机作为电力生产的核心设备，其稳定运行对保障电力供应的可靠性和稳定性至关重要。燃机具有高效、清洁、启动迅速等特点，在调峰调频、分布式能源等领域广泛应用；汽机则是传统火力发电的关键设备，在大型发电站中占据重要地位。然而，随着设备运行时间的增加以及电力生产对设备性能要求的不断提高，燃机和汽机在机务运维方面暴露出诸多问题，如设备故障率上升、运维成本增加、运维效率低下等，严重影响电力企业的经济效益和供电可靠性。因此，探索燃机汽机机务运维技术的优化路径，成为电力行业亟待解决的重要课题。

一、电力行业燃机汽机机务运维现状

（一）应用场景分析

在能源与电力行业的技术体系中，燃气轮机与汽轮机凭借独特的技术特性，形成了差异化的应用布局。燃气轮机以其高效、灵活的优势，在分布式能源系统领域占据重要地位。在工业园区场景中，燃气轮机通过冷、热、电三联供模式，实现能源梯级利用，将能源综合利用率提升至70%~90%，显著高于传统供能方式。以深圳某科技园区为例，其分布式能源站采用燃气轮机系统后，每年可减少标煤消耗约2.3万吨，降低碳排放6.2万吨。在电网调峰领域，燃气轮机从启动到满负荷仅需10~15分钟，这种毫秒级响应能力使其成为应对风电、光伏等新能源波动性的关键调节手段。

汽轮机则在集中式发电领域发挥核心作用，特别是在大型火力发电厂中，通过朗肯循环系统实现蒸汽热能到机械能的高效转换，其单机容量可达百万千瓦级。根据中电联统计数据，2023年我国火电机组中汽轮机装机占比超过85%，仍是电力供应的稳定“压舱石”。在工业自备电厂场景，汽轮机既承担着驱动工业设备运转的动力输出功能，又能通过余能发电实现能源循环利用。例如，在钢铁企业中，汽轮机可利用高炉余热发电，满足厂区30%~40%的用电需求，有效降低企业生产成本。

（二）现存问题

1. 设备老化与故障隐患：燃机和汽机长期处于高温、高压、高转速的严苛运行工况下，设备零部件承受着极大的物理与化学作用，极易出现磨损、腐蚀、疲劳等老化现象。以汽轮机为例，其叶片在高温蒸汽持续不断的冲刷侵蚀下，金属材料的机械性能逐渐下降，导致叶片发生蠕变变形、表面产生微小裂纹等问题，不仅会显著影响蒸汽做功效率，严重时甚至可能导致叶片断裂，进而引发重大安全事故。而燃机的燃烧室部件长期

暴露在高温燃气环境中，材料会因高温氧化、热应力等因素出现烧蚀、变形，这不仅会降低燃烧效率，还会导致氮氧化物等污染物排放量大幅增加。据相关研究数据显示，燃烧室部件的老化可能使燃烧效率下降5%~10%，氮氧化物排放量提升15%~20%。

2. 故障诊断技术滞后：当前，部分电力企业在设备故障诊断方面仍在沿用传统方法，如定期巡检、人工听诊等。这类方法过度依赖运维人员的个人经验和主观判断，存在检测精度不足、故障发现滞后等诸多弊端。对于一些处于萌芽阶段的早期故障和潜在故障，由于缺乏先进的检测手段，传统方法难以精准识别与判断，使得设备故障从初期的微小隐患逐渐发展成严重故障，不仅大幅增加了维修难度，还显著提升了维修成本。随着电力设备智能化程度的不断提高，传统诊断方法已难以满足现代电力系统对设备健康管理的需求，亟需引入智能化、数字化的故障诊断技术，如振动分析、红外热成像、油液监测等先进技术手段。

3. 运维管理效率低下：传统的运维管理模式存在着信息流通不畅、资源调配不合理等深层次问题。在实际运维工作中，运维人员进行设备维护和检修时，往往需要通过手动方式记录设备运行数据、维修记录等信息，后续的信息整理和分析工作耗时耗力，且容易出现人为误差。此外，由于缺乏统一、高效的信息共享平台，不同部门之间的沟通协作存在较大障碍，部门间的数据壁垒导致运维资源无法得到科学、合理的配置，从而严重降低了运维管理效率。这种低效的运维管理模式不仅无法及时响应设备突发故障，还可能造成运维资源的闲置与浪费，影响电力企业的整体运营效益。

4. 运维成本居高不下：设备老化导致故障发生频率显著增加，直接导致维修次数增多和维修成本上升。由于故障诊断不及时、不准确，在故障排查过程中，往往需要对设备进行大规模的拆检才能确定故障原因，这不仅延长了设备停机时间，还进一步增加了维修成本。同时，传统的定期检修模式，不考虑设备实际运行状况，机械地按照固定周期进行检修，这种“一刀切”的检修方式，造成了大量人力、物力和财力的浪费，使得运维成本居高不下。据行业统计，不合理的定期检修可能导致运维成本增加20%~30%，严重影响电力企业的经济效益和市场竞争力。

二、燃机汽机机务运维技术优化路径

（一）智能监测与故障预警

1. 智能传感技术应用：在燃机和汽机关键部位安装各类智能传感器，如振动传感器、温度传感器、压力传感器等。这些

传感器能够实时采集设备运行过程中的振动、温度、压力、转速等关键参数,并将数据通过无线通信技术传输至数据中心。例如,在汽轮机的轴承部位安装振动传感器,通过监测轴承的振动信号,能够及时发现轴承磨损、不对中、不平衡等故障隐患。在燃机的燃烧室安装温度传感器,实时监测燃烧温度,确保燃烧过程的稳定和高效。

2. 大数据分析故障预警:利用大数据分析技术对采集到的设备运行数据进行深度挖掘和分析。通过建立设备故障模型和预警指标体系,对设备运行状态进行实时评估和预测。当设备运行参数超出正常范围或出现异常趋势时,系统能够及时发出预警信息,提醒运维人员采取相应措施。例如,通过分析汽轮机的振动数据,运用机器学习算法建立振动故障模型,当振动幅值和频率出现异常变化时,系统能够准确判断故障类型和严重程度,并给出相应的维修建议。

(二) 状态检修与先进检修技术应用

1. 状态检修模式推广:摒弃传统的定期检修模式,推行基于设备状态的状态检修模式。通过对设备运行状态的实时监测和评估,根据设备的实际健康状况确定检修时间和检修内容。这种检修模式能够避免过度检修和检修不足的问题,提高设备的可用率,降低运维成本。例如,对于运行状态良好的燃机和汽机设备,可以适当延长检修周期;对于存在潜在故障的设备,则及时安排针对性的检修。

2. 先进检修技术应用:引入先进的检修技术和工艺,提高设备维修质量和效率。例如,采用激光熔覆技术对汽轮机叶片的磨损、腐蚀部位进行修复,该技术能够在不影响叶片基体性能的前提下,快速恢复叶片的尺寸和形状,提高叶片的耐磨性和耐腐蚀性。在燃机检修中,应用无损检测技术,如超声波检测、磁粉检测等,能够快速、准确地检测出设备零部件内部的缺陷和裂纹,为设备维修提供可靠依据。

(三) 数字化运维管理平台建设

1. 平台功能设计:建设数字化运维管理平台,集成设备运行监测、故障诊断、维修管理、物资管理、人员管理等功能模块。通过该平台,运维人员可以实时查看设备运行状态、历史数据、维修记录等信息,实现对设备全生命周期的管理。同时,平台能够根据设备运行状态和维修计划,自动生成物资采购清单和人员调配方案,提高资源管理效率。

2. 信息共享与协同工作:数字化运维管理平台打破了部门之间的信息壁垒,实现了信息的共享和协同工作。不同部门的人员可以通过平台实时交流设备运行情况、维修进度等信息,提高沟通效率。例如,运行部门发现设备异常后,可以通过平台及时通知维修部门,维修部门根据设备情况制定维修方案,并在平台上反馈给运行部门,实现部门之间的高效协同。

三、案例分析

(一) 某燃气电厂燃机运维优化案例

某燃气电厂在引入智能监测与故障预警系统后,在燃机的关键部位安装了振动、温度、压力等传感器,实时采集设备运行数据。通过大数据分析平台对数据进行处理和分析,建立了

燃机故障预警模型。在系统运行一段时间后,成功预测了一次燃机燃烧室部件的烧蚀故障,提前安排了检修,避免了设备故障停机,减少了经济损失。同时,该厂推行状态检修模式,根据设备状态调整检修计划,使燃机的检修周期延长了20%,运维成本降低了15%。

(二) 某火力发电厂汽机运维优化案例

某火力发电厂建设了数字化运维管理平台,实现了汽机设备运行数据的实时监测和管理。平台集成了故障诊断、维修管理等功能模块,运维人员可以通过平台及时了解设备运行状态和维修需求。通过应用先进检修技术,如采用激光熔覆技术修复汽轮机叶片,使叶片的使用寿命延长了30%,减少了叶片更换次数,降低了维修成本。同时,数字化平台的应用提高了运维管理效率,使汽机设备的故障处理时间缩短了30%。

四、结论

在能源与电力行业的发展进程中,优化燃机汽机机务运维技术是保障电力稳定供应、提升企业经济效益的关键举措。通过引入智能监测与故障预警技术,能够实现设备故障的早期发现和精准预测;推广状态检修模式和应用先进检修技术,可提高设备维修质量和效率,降低运维成本;建设数字化运维管理平台,有助于实现信息共享和协同工作,提升运维管理水平。电力企业应结合自身实际情况,积极探索和应用这些优化路径,不断提升燃机汽机的运维技术水平,为电力行业的可持续发展提供有力支撑。未来,随着科技的不断进步,燃机汽机机务运维技术还将朝着智能化、自动化、高效化的方向进一步发展,电力企业需持续关注技术发展动态,不断创新运维模式,以适应行业发展的新需求。

[参考文献]

- [1]沈士一,庄丽娟,肖大阔.汽轮机原理[M].中国电力出版社,2016.
- [2]徐建中.燃气轮机发电与分布式能源系统[J].中国工程科学,2008(02):1-7.
- [3]王松岭,刘扬,陈海平,等.电站设备状态监测与故障诊断技术的发展[J].热力发电,2012(02):1-5.
- [4]史进渊,杨宇,邓志成,等.发电设备状态检修技术研究与应用[J].中国电力,2006(01):1-8.
- [5]姚峻峰,魏新芳,张洪川,等.激光熔覆技术在汽轮机叶片修复中的应用[J].焊接技术,2019(05):102-104.
- [6]孙为民,王岩,刘宏伟.数字化运维管理平台在电力设备管理中的应用[J].电力信息化,2014(03):89-92.
- [7]黄其励,牛玉广,李争起,等.电站设备状态检修与故障诊断[M].中国电力出版社,2018.
- [8]陈海生,谭春青.燃气轮机发展现状与趋势[J].中国工程科学,2013(04):8-14.
- [9]于达仁,徐基豫.汽轮机故障诊断技术的研究进展[J].动力工程,2002(02):1615-1620.
- [10]李勇,曹祖庆.汽轮机变工况特性及运行优化[M].中国电力出版社,2006.