

火力发电汽轮机阀门常见故障诊断及预防性检修规划

周迪

安徽华电宿州发电有限公司，安徽 宿州 234000

DOI:10.61369/ME.2025110030

摘要：本文针对火力发电汽轮机阀门常见故障问题，从故障类型、成因及危害等方面，以汽轮机阀门的设备运行特点以及具体故障实例为依据，提出一种基于多源数据融合的故障诊断方法，并提出故障预防性检修规划措施。基于汽轮机阀门典型故障，如阀门密封失效、卡涩、磨损的工作机理，分别运用振动监测、红外热成像检测、油液分析等手段来开展故障隐患的早期发现和准确定位。再结合风险评估与可靠性分析的结果，对火力发电企业的汽轮机阀门制定出科学合理的预防性检修计划，进一步优化检修周期和检修项目，以期达到提高汽轮机阀门的运行可靠性的目的，减少非计划停机的风险，更好地服务于火力发电企业设备管理实践。

关键词：火力发电；汽轮机阀门；故障诊断；预防性检修；可靠性分析

Common Fault Diagnosis and Preventive Maintenance Strategy for Steam Turbine Valves in Thermal Power Generation

Zhou Di

Anhui Huadian Suzhou Power Generation Co., Ltd., Suzhou, Anhui 234000

Abstract : This paper addresses the common fault issues in steam turbine valves used in thermal power generation. Based on the operational characteristics of steam turbine valves and specific fault cases, it proposes a fault diagnosis method using multi-source data fusion and outlines preventive maintenance planning measures. By analyzing the working mechanisms of typical faults in steam turbine valves, such as valve seal failure, jamming, and wear, early detection and precise positioning of potential faults are achieved through methods including vibration monitoring, infrared thermal imaging detection, and oil analysis. Combining the results of risk assessment and reliability analysis, a scientific and reasonable preventive maintenance plan is formulated for steam turbine valves in thermal power enterprises. This plan further optimizes maintenance cycles and projects, aiming to enhance the operational reliability of steam turbine valves, reduce the risk of unplanned shutdowns, and better serve equipment management practices in thermal power enterprises.

Keywords : thermal power generation; steam turbine valves; fault diagnosis; preventive maintenance; reliability analysis

引言

汽轮机阀门是火力发电厂对蒸汽的流量、压力和流向起到控制作用的重要部件，阀门的工作状况直接决定了机组是否具备安全性、经济性和稳定性。如前所述，汽轮机常见阀门主要有主汽阀、调节阀和抽汽逆止阀等，在高温、高压、高速的运行环境中运行时间长，容易发生密封失效、卡涩、磨损和振动等问题，有统计表明汽轮机阀门出现故障而导致火电机组故障停运的事件占比在15%~20%，由于故障导致火电机组非计划停机会造成极大的经济损失以及发生安全事故的风险。

一、汽轮机阀门常见故障类型

(一) 密封失效

汽轮机阀门密封失效是十分常见的一种故障，容易导致机组发生问题，影响机组运行的安全性以及工作效率。阀门密封失效有很多方面的原因除了密封面本身存在损伤外，还有随着阀门的

运行时间增长，蒸汽对密封面的冲蚀，密封面出现不同程度的划痕和凹坑。还有因介质内含有的颗粒物在开启过程中损伤密封面。密封件本身的衰老，阀门橡胶、聚四氟乙烯等密封材料因温度过高或过低，长期处于高温高压环境或者在强酸碱环境中使用而使密封材料变硬、发裂、失去弹性等不良现象都会使密封件不能紧紧压在密封面上而产生泄漏。还有安装问题也会导致密封失

效，由于密封件装配时错位，导致紧固不到位，造成压力不合理造成的密封面间隙大。

(二) 卡涩与卡阻

汽轮机阀门卡涩和卡阻将严重影响阀门的动作，从而影响机组的稳定运行，引起原因有多种，一方面是介质带入杂质，如蒸汽中带有的盐分、水垢等，在关阀门后容易在阀门的阀杆和阀套之间的缝隙中或阀座、阀瓣接触面处沉积下硬质的结垢物而影响阀门正常工作。二是阀杆锈蚀，由于长时间高温潮湿的运行环境，导致阀杆表面出现氧化和锈蚀现象，造成阀杆与阀套间的摩擦阻力加大，致使阀门动作迟缓甚至卡死。还有可能是阀体和阀杆安装存在不合理的地方或者手操阀门时用力不均造成的阀门卡涩^[1]。阀门卡涩与卡阻会导致阀门不能及时响应调节指令，影响机组负荷调节能力，严重的时候会造成阀门损坏，所以应该对介质定时清洁，同时做好阀杆防腐工作，并且严格按照操作规范操作。

(三) 异常振动与噪声

汽轮机阀门的异常振动、噪声是重要的故障报警信号之一，引起异常振动、噪声的因素很多。其中流体动力因素是最为常见的一个原因，因为介质流过阀门时，如阀门开度过大或者流道的设计不合理，会引起流体的涡流、湍流等不稳定流动，从而使阀门自身及其连接的管路产生振动，产生“嘶嘶”“嗡嗡”等噪声。此外，因为设备机构损坏或者零件之间的摩擦而产生振动，使得发出较大的响声或产生卡涩现象^[2]。除此，还有可能是因为各种共振效应，如果阀门及其管路系统的固有频率和流体脉动频率较近时，会出现共振现象，这样就会使振动幅值增大和噪声增大。

(四) 磨损与腐蚀

磨损和腐蚀是在汽轮机阀门长期运行使用中经常会遇到的问题，严重降低了阀门的工作质量和可靠性。其中磨损主要是由于介质对阀门各个部位产生冲刷作用造成的，高温高压的蒸汽环境使得蒸汽中的固态颗粒、水滴等物质以极高的速度撞击阀门表面，特别是对于阀门中的阀瓣、阀座等重点部位材料产生破坏，造成其表面的不断损耗，其表面会发生磨损，从而使得阀门密封面形状发生变化，配合间隙增大，造成泄漏。腐蚀主要是由于介质中含有化学成分，蒸汽中所含有的酸类物质、氧等会对阀门金属材料产生腐蚀现象，发生氧化腐蚀、电化学腐蚀等现象，造成金属材料表面腐蚀变薄，甚至形成局部的蚀坑，降低阀门的强度。

二、汽轮机阀门故障诊断方法

(一) 基于振动监测的故障诊断

利用加速度传感器采集到的阀门振动信号，运用频谱分析法、时域分析法等方法得到振动特征值，并根据频谱图中出现的某一种或几种频率成分的变化，判断是否存在卡涩(低频振动)或磨损(高频振动)。将振动特征值输入所建立的机器学习模型(支持向量机/神经网络)，将振动特征值和故障类型一一对应起来，然后用它来进行故障诊断。

对某大型火电厂汽轮机主蒸汽调节阀进行监测。阀门正常运

行时，传感器采集的阀体相关位置的振动信号通过频谱分析软件处理成稳定的振动频谱图，此时主频处在较低范围，即振频与正常机械设备振动频率一致。一次监测中，在某调节阀振动频谱图中出现异常高频成分，并且该处的振动幅值随时间逐渐加大，通过此分析了其可能的原因是由于阀杆与阀套配合间隙长期磨损而加大造成阀门运行时阀杆的振动引起了阀门振动的频率也随之变大，经过停机检查确认阀杆存在较严重的磨损问题，最后更换阀杆并重新调校配合间隙之后，此阀门振动问题得到解决，确保了机组的安全稳定运行^[3]。

(二) 红外热成像技术应用

采用红外热像仪测量阀门表面温度分布，分析异常热点区域。比如：密封漏点处因蒸汽漏出造成局部温度升高，卡涩故障点会使执行机构摩擦部位温度升高，因此采用热成像技术能够更直观地观测到阀门的运行状况，也可以在出现故障的初期就对其进行非接触式的测温。例如，某电厂运行人员通过红外热成像测温仪检测汽轮机阀门时发现：平常情况下，阀门各部位温度比较平均，温差不大。一次巡检时发现高压主汽门有明显的温差。一台电议的某一高压主汽门在巡检中发现有局部位置温度过高，比其它部位高了30℃以上，因此，根据以往经验初步断定此处可能有漏点或摩擦发热的现象^[4]。后经过查找最终结果是因为阀门密封面渗漏的原因造成蒸汽高温而引起附近的温度过高，最后请检修人员研磨修复之后再用红外热成像测温仪重新检测，阀门表面的温度都趋于平衡，所以避免了此事故的发生和扩大。

(三) 油液分析与性能监测

对液压驱动阀而言，定时采集液压油样，分析油液黏度、含水量、含铁量、污染指数等参数，通过观察油液中磨粒的形状和成分判断液压系统(液压缸、阀门传动部分)的磨损情况，预警故障隐患。例如，一家电厂定期对汽轮机阀门执行机构润滑油进行油液分析，在油液分析过程中检测到此次油液中金属颗粒物异常增加且形态为不规则形状，同时油液的各项物理指标发生较大偏离，包括油液的粘度、酸值等，据此推断出此缺陷来自于阀体内部存在一定磨损情况。通过对阀门体拆解情况观察，结果符合上述结论，即执行机构内齿轮副磨损严重，并且可见齿轮表面有划痕和剥落。

(四) 多源数据融合诊断

将振动监测、红外热像、油液分析及DCS(集散控制系统)的阀门开度、蒸汽压力、温度等数据相互融合，实现基于多源信息的综合故障诊断建模，比如当出现阀门振动异常、温度升高及蒸汽流量波动时，若同时出现了上述情况，则可以更加准确的判断为密封存在失效或者卡涩故障，从而提高了故障诊断的准确性与可靠性。例如，某电厂搭建了汽轮机阀门多源数据融合诊断平台，整合了阀门振动监测数据、温度监测数据、压力监测数据以及运行参数数据。一次，平台监测到某再热调节阀的振动、温度和压力数据同时出现异常波动。振动数据显示高频振动成分增加，温度数据表明阀门局部温度升高，压力数据显示阀门前后压差异常。通过多源数据融合分析，判断是阀门内部出现卡涩，导致介质流动受阻，引发振动、温度和压力变化。

三、汽轮机阀门预防性检修规划

(一) 基于风险评估的检修策略

使用风险矩阵法 ($R=P*C$)，基于阀门故障风险的可能和严重程度将阀门的风险等级划分为高风险、中风险和低风险3级，并根据不同的风险等级确定差异化的检修策略：对高风险阀门，缩短检修周期，采用超声波探伤、内窥镜检测等精密检测方法，加强对密封面、阀杆等重点部位的检查维修。对中风险阀门，按原计划检修时间开展检修，结合在线监测数据有针对性的调整检修内容。对低风险阀门，适当增加检修周期，仅开展状态监测，对于不需要拆卸的维修维护可暂停或取消。电厂开展汽轮机阀门的风险评估工作，综合考虑其重要程度、故障发生的可能性以及故障带来的危害程度大小。以主蒸汽截止阀为例，它负责机组启停、运行期间控制蒸汽通断的作用，一旦其出现故障就会造成机组停运，出现重大经济损失的情况，故障后果严重程度大。结合电厂历史运行状况和设备情况可知：该阀门一直位于高温高压下工作，密封面磨损及阀杆锈蚀的可能性较高^[5]。由风险评估结果得知主蒸汽截止阀属于高风险设备，针对该类故障制定相应的预防性检修措施，提高其检修频次，加强对其密封面和阀杆的检修力度，保证其安全可靠地运行。

(二) 检修周期优化

根据阀门的使用情况、以前的故障情况以及利用设备可靠性模型（威布尔分布），来决定检修的时间，对于需要经常调节的调节阀，是按照动作次数来定修还是按照运转时间来定修，这要看阀门的动作频率是多少。如果是时间很长，阀体也保持全开或者全关的状态的话，就没有必要常常检修。

前些年该电厂对汽轮机阀门执行的是固定的检修周期方式，即无论阀门工作状况如何，都按照周期来进行检修，其实大多数情况下，并不是所有的阀门都处在故障状态，但在临近检修期的时候，却出现阀门故障的现象较多。针对此问题，电厂引进了设备状态监测技术，把阀门运行过程中产生的振动、温度、压力等一系列参数的监控信息以及设备运行的时间和设备历史上的相关故障记录加以采集、整理，然后进行综合分析：例如对于一些工况比较稳定的中压调门可以适当延长其检修周期。对于一些运行负荷变化大且状态监测数据偏差大的高压旁路阀应适当缩短其检修周期，从而达到延长或缩短检修周期的目的，在提高检修利用效率的同时又能保障汽轮机各系统设备的安全可靠性运行。

(三) 检修内容设计

清洁阀门内、外表面，检查密封面是否磨损，更换密封件是否老化，并调整好螺栓的预紧力。拆下阀芯、阀杆进行检测，如果各零部件的尺寸精度出现偏差或发生变形，需对其进行修复或更换。最后需要进行压力试验、密封试验和动作灵活性试验，保证阀门各项参数符合规范要求。

为了更好地满足不同类型的汽轮机阀门及不同工况下的要求，电厂根据不同类型的汽轮机阀门制定不同的检修内容。高温高压主汽门：对密封面进行研磨修整，保证密封良好。检查阀杆的直线度与表面光洁度，并对磨损的阀杆进行更换。检测阀门动作的灵活程度，对执行机构进行调校。低温低压给水调节阀：重点检查阀芯、阀座是否磨损、是否需要更换、阀体内是否有杂质、阀门开度指示是否准确。

(四) 信息化管理系统建设

建立汽轮机阀门管理信息系统，集中采集并存储在线监测、检修记录、故障诊断等信息，采用大数据分析和趋势预测技术动态评价设备状态，辅助编制预防性检修计划，提高检修决策的科学性和及时性。某电厂建立汽轮机阀门信息化管理系统实现了汽轮机阀门全寿命周期管理，通过收集汽轮机阀门设计图样、安装记录、运行参数、检修史及故障处置等资料，在汽轮机阀门正常运行状态下通过传感器采集振动、温度、压力等信息，并将所采集的信息实时上传至系统。当汽轮机阀门存在异常状态时，系统会自动预警，提醒检修人员注意。检修人员可以根据系统内保存的检修记录或故障处理经验，参考相关材料，快速作出判断，并尽快制定出合理的检修方案。

四、结论

汽轮机阀门故障诊断和预防性维修是火力发电机组安全经济运行的重要保证，通过利用振动监测、红外热成像、油液分析等多种方式并行或互为补充，并以风险评估、可靠性分析作为支撑手段，可更好地完成汽轮机阀门故障的早期判断与精确判定工作。科学合理地开展汽轮机阀门的预防性维修工作，可有效减少意外停车次数，延长汽轮机使用寿命，增加发电企业收益。而随着智能传感技术、大数据分析、人工智能等技术的进步和发展，汽轮机阀门故障的诊断和检修也将朝向智能化、预测化方向发展。

参考文献

- [1]王永,李国庆.电厂汽轮机阀门关闭时间超时分析[J].电力设备管理,2024(6):53-55.
- [2]孙成田,牛浩东,毛中梁,等.汽轮机高压阀门关闭时间在线检测装置的性能评估与优化[J].中国高新科技,2024(22):99-101.
- [3]常文礼.发电厂大型汽轮机汽阀检修关键技术分析[J].科技资讯,2024,22(24):84-86.
- [4]刘彦文.汽轮机主蒸汽阀门常见问题及原因分析[J].山西电力,2022(4):44-46.
- [5]张平.火电厂汽轮机管阀的日常检修及管理探讨[J].百科论坛电子杂志,2021(14):2782.