

主汽门阀杆密封引起的真空泄漏案例分析与治理

马腾飞

内蒙古大唐国际托克托发电有限责任公司, 内蒙古呼和浩特, 010200;

摘要: 主汽门阀杆密封引发的真空泄漏是汽轮机运行与检修中的典型故障, 此类泄漏不仅影响机组效率, 还可能导致设备损坏与停机。主汽门阀杆密封泄漏的治理需结合设备检修、密封件质量控制和运行维护。主汽门阀杆密封引起的真空泄漏是汽轮机运行中的常见问题, 需从治理、预防、运行维护及停机保护等多方面综合应对。重点在于预防阀杆卡涩、选用适配工况的密封材料, 并严格执行定期试验与维护规程。

关键词: 真空泄漏; 氦气测漏; 主汽门; 盘根

DOI: 10. 64216/3104-9664. 25. 01. 014

主汽门长期处于高温高压环境, 其关键部件易发生材料性能变化。预启阀弹簧在长期运行后可能发生蠕变, 导致弹簧刚度下降, 提供的关闭力不足以克服增大的摩擦力。同时, 阀杆与衬套表面产生的氧化皮会增加运动部件的摩擦阻力, 进一步削弱阀门的有效关闭力。

1 泄漏原因分析

1.1 阀杆卡涩受限

泄漏案例概述, 在汽轮机运行中, 主汽门阀杆密封失效导致的真空泄漏是一个典型问题。例如, 热电厂有限公司的 300MW 机组中, 就存在中压主汽门阀杆漏汽现象, 导致传动端门轴保温温度高达 190℃, 不仅造成工质损耗, 还恶化了运行环境。另一个案例中, 某电厂的中压主汽门在活动试验时出现无法打开的情况, 这与阀杆卡涩受限有直接关系。泄漏原因分析, 阀杆密封失效和卡涩受限的主要原因包括: 密封结构设计缺陷: 中压主汽门采用摇臂翻板式结构, 阀杆的密封依赖于球面密封环与轴套的配合。当阀门关闭时, 非传动端形成真空, 传动端为大气压, 压差使阀杆被推向传动端, 密封环与轴套间隙消失; 反之, 阀门开启时, 压差消失, 间隙恢复。若此动态密封机制失效, 就会导致真空泄漏。阀杆卡涩受限: 这是导致阀门无法正常开启或关闭的常见原因。卡涩可能由以下因素引起: 氧化皮堆积: 长期运行后, 蒸汽在阀杆、套筒等部位结垢, 尤其在蒸汽品质不佳时更为严重, 导致活动部位卡涩。油质问题: 如果 EH 油质不合格, 可能导致自动主汽门关闭器活塞与活塞筒表面锈蚀并产生杂质, 影响主汽门的快速动作, 进而引发卡涩。热应力与膨胀不均: 机组启停或运行中, 若温度

变化剧烈, 阀杆与阀体因膨胀系数不同可能产生卡涩。维护不足: 未按规定进行阀门活动试验, 或试验不充分, 可能导致阀杆长期不动作而卡涩。其他因素: 填料老化、安装不当、阀杆弯曲或磨损等机械因素, 以及蒸汽带盐、温度骤变等工艺因素, 也会加剧密封面的磨损和泄漏风险^[1]。预防与解决措施, 加强维护: 定期进行阀门活动试验(如每月一次全行程活动试验), 并密切监视试验过程。控制油质与蒸汽品质: 确保 EH 油质合格, 加强汽水品质监督, 防止结垢和腐蚀。优化操作: 严格按照规程进行机组启停, 避免温度剧烈波动。结构改进: 对于设计缺陷, 可考虑改造密封结构, 如优化平衡孔设计或采用更可靠的密封方式。

1.2 密封件质量与安装问题

泄漏案例概述, 在电厂运行中, 主汽门阀杆漏汽是一个常见问题。例如, 汾热电厂有限公司的 300MW 机组投运后, 中压主汽门就存在阀杆漏汽现象, 现场测量传动端门轴保温温度高达 190℃, 不仅造成工质损耗, 增加煤耗, 还恶化了周围环境, 威胁设备及人身安全。另一个案例是某厂#2 机组高压主汽伺服阀因密封件 O 型圈破损导致泄漏, 最终引发机组跳闸。泄漏原因分析: 密封件质量与安装问题, 阀杆泄漏的主要原因可归结为密封件质量缺陷和安装工艺不当。密封件质量问题: 这是导致泄漏的直接原因。密封件(如 O 型圈)如果非原厂配件或截面尺寸不符合标准, 其回弹性和抗撕裂强度无法满足高压高温环境的要求, 容易老化破损。例如, 在#2 机组事故中, 破损的 O 型圈截面尺寸偏大, 且非原厂配件。安装工艺问题: 即使密封件质量合格, 如果安装

工艺执行不到位,也会导致泄漏。这包括安装时未正确对准、紧固力矩不足或过大、未清理干净密封面等。例如,阀门安装时管道不对中会导致阀体承受额外弯矩,影响密封效果。解决方案与建议,严格把控备品质量:确保采购的密封件为原厂或质量达标的产品,在验收环节严格检查。规范安装与检修工艺:使用专用工具和正确的力矩进行安装,确保密封面清洁、平整,并定期进行维护保养。例如,对于阀座与阀体的连接,可以使用螺纹密封胶或增加密封垫片,并按要求施加 480Nm 的紧固力矩。加强日常检查与维护:定期检查阀门的密封状态,及时更换老化的填料和垫片,避免因维护不足导致泄漏加剧。

1.3 材料与工况不匹配

主汽门阀杆密封引起的真空泄漏案例中,材料与工况不匹配是导致泄漏的关键原因之一。泄漏原因分析,材料与工况不匹配,阀杆密封材料(如 O 型圈、填料)若无法适应高温、高压或腐蚀性介质,易发生老化、龟裂或变形,导致密封失效。例如,非原厂配件的 O 型圈因截面尺寸偏大或材质不达标,在高压高温环境下易破损,引发泄漏。此外,填料若与工作介质的温度、压力或腐蚀性不匹配,也会加速老化。密封件安装与维护不当,安装时未按规范操作(如填料盘放入、压盖未压紧)或长期未更换老化密封件,均会导致阀杆处泄漏。例如,某电厂因 O 型圈安装工艺不严,导致密封圈提前失效。阀杆与密封面损伤,阀杆表面光洁度不足、弯曲或腐蚀,以及密封面被颗粒杂质冲刷,均会破坏密封性。中压主汽门阀杆漏汽案例中,阀杆氧化皮堆积和高温环境加剧了密封磨损。解决方案与预防措施,选用适配材料:根据工况(温度、压力、介质)选择耐高温、耐腐蚀的密封材料(如金属缠绕垫、聚四氟乙烯)。规范安装与维护:按标准安装填料,定期更换老化密封件,并加强备品质量验收。优化运行管理:控制蒸汽温度波动,定期进行阀门活动试验,避免氧化皮堆积。

2 治理与预防措施

2.1 技术措施

(1) 检修与试验:密封修复与更换,动态密封技术:采用 PTFE+V 型石墨组合填料,泄漏率可控制在 50ppm 以下。波纹管密封:适用于剧毒介质,符合 API622 标准,可彻底消除阀杆外漏。在线处理:带压密封

(GB/T26467-2011)或超声波检漏(灵敏度 0.001mL/s)。检修规范,氧化皮清理:大修时需彻底清除阀杆及阀体氧化皮,避免卡涩。密封面修复:激光熔覆 Stellite6 合金(硬度 HRC40-45)或机械再加工($Ra \leq 0.4 \mu m$)。润滑管理:每 1000 小时补充 NLGI2 级润滑脂,减少阀杆摩擦。预防性维护策略,运行期监控,状态监测:振动值 $>2.8 mm/s$ 或温度超材料许用值 80%时需预警。定期活动试验:主汽门、调门每班至少活动一次,防止结垢卡涩。设计优化,材料选择:含硫介质需增加 2-3mm 腐蚀余量,密封面按 API598ClassVI 标准选型。结构改进:中压主汽门可加装轴向力拉紧装置,减少阀杆受力变形。检修与试验要求,静态试验:机组大小修时需进行阀门整定及全开关试验,记录曲线分析。EH 油质管理:启动前需连续运行滤油装置,油质合格后方可通油。疏水维护:停机后及时开启主汽门疏水阀,防止锈蚀卡涩。典型案例参考,中压主汽门漏汽:某 300MW 机组因阀杆漏汽导致轴瓦温度升高,通过加装拉紧装置及优化密封材料解决。阀门卡涩预防:某厂因未定期活动主汽门导致停机事故,后续严格执行活动试验制度。(2) 油质与汽质管理:油质管理措施,EH 油系统维护,机组启停前需投入 EH 油系统滤油装置连续运行,油质合格后方可向调节系统通油。运行中定期化验 EH 油油质,建立监督档案,保持净化装置运行,防止部件锈蚀卡涩。每周对阀门传动部位注脂润滑,避免因缺油导致磨损或卡涩。气动执行器维护,定期检查气源管路连接是否泄漏,确保电磁阀、定位器等部件正常工作。检查气缸进出口气接头,避免因泄漏影响阀门性能。汽质管理措施,蒸汽品质监督,启动前加强汽水品质监督,指标不合格时需加强排放冲洗,防止主汽门结垢。运行中控制蒸汽温度稳定,避免大幅波动导致氧化皮生成。阀门活动试验,定期执行主汽门、调门活动试验,密切监视开关情况,异常时及时处理。汽质较差时,增加活动试验频率,防止门杆结垢卡涩。设备维护与改造,密封件检查与更换,检修时检查阀杆密封圈、盘根等状态,老化或损坏需更换^[2]。采用带中间引漏结构的法兰或密封焊技术,减少外漏风险。安装与工艺优化,安装前清理阀门内部杂物,确保密封面清洁。对中压主汽门阀杆漏汽问题,可改造拉紧装置,消除轴向力影响。运行规范,停机后及时开启主汽门疏水阀,防止部件锈蚀卡涩。避免阀门长期不动作,定期进行开关操作,防止卡涩。(3) 密封件选型与安装:密封件选型,材料选择,根据介质特性(如

温度、压力、腐蚀性)选用适配材料。例如,高温环境可选用碳石墨或金属密封材料(如不锈钢、镍基合金),其耐温性及抗腐蚀性能更优。对于腐蚀性介质,聚四氟乙烯(PTFE)因化学稳定性高、摩擦系数低,是理想选择。若介质含固体颗粒,需优先考虑耐磨性强的材料(如碳石墨)或采用硬质合金密封面。密封结构设计,采用波纹管密封技术,通过金属波纹管的弹性变形实现阀杆动态密封,可显著减少外部泄漏风险,尤其适用于高真空或剧毒介质环境。对于高压工况,可选用组合式密封(如 PTFE+V 型石墨填料),兼顾密封性与耐久性。安装工艺优化,密封面处理,安装前需对密封面进行研磨,确保平整度($Ra \leq 0.4 \mu m$),避免因研磨不均导致密合线不完整。使用着色检测法检查密封面,确保无压痕、裂纹等缺陷。安装规范,严格按制造商指导安装密封件,避免过紧或过松。过紧易导致密封件变形,过松则无法形成有效密封。阀杆与关闭件连接需牢固,防止因顶心悬空或阀杆弯曲导致密封面歪斜。对于高温阀门,需预留热膨胀间隙,避免冷缩后出现细缝泄漏。运行维护措施,定期检查与润滑,每周检查阀杆润滑状态,及时补充润滑脂(推荐 NLGI2 级),防止因干涸导致磨损加剧。监测阀杆振动值($>2.8 mm/s$ 需预警)及温度(超过材料许用值 80% 应报警)。预防性维护,每 1000 小时对填料函密封进行维护,调整压盖紧固度,平衡密封效果与操作阻力。对闲置阀门定期吹扫内部杂质,保持清洁,避免库存期间密封面腐蚀。泄漏应急处理,在线修复技术:采用带压密封夹具(符合 GB/T26467-2011 标准)注胶工艺,可在不停机情况下临时封堵泄漏。更换密封件:若密封面磨损严重(如出现掉线现象),需及时更换阀瓣或阀座密封圈,并重新研磨密封面。

2.2 运行维护

(1) 定期活动试验:治理措施,密封件更换与材质优化,若阀杆密封圈老化或材质不达标(如回弹性不足、抗撕裂强度低),需更换为定制化密封件(如符合 GB6172-86 标准的薄螺母)。对于中压主汽门阀杆漏汽,

可考虑加装轴向力拉紧装置,平衡阀杆受力,减少密封面磨损。安装与检修规范,安装前需清理阀杆及阀体内部杂质(如氧化铁、沙粒),确保密封面清洁。检修时需精细研磨密封面,并检查盘根压盖是否拧紧,避免因安装不当导致泄漏。预防措施,定期活动试验,机组运行中需严格执行主汽门活动试验,定期验证阀门开关灵活性,防止阀杆因长期静止而卡涩或结垢。试验时需密切观察阀门行程指示及反馈信号,异常卡涩需立即处理。蒸汽与油质控制,严格控制蒸汽温度波动,避免氧化皮生成脱落导致阀杆卡涩。定期化验 EH 油油质,保持滤油装置连续运行,防止油质劣化引发调节系统锈蚀。长期停运的阀门需进行吹扫清洁,并定期加注润滑脂,防止传动部件卡涩。运行维护要点,日常检查:定期检查阀杆保温温度(如中压主汽门传动端温度应低于 $190^{\circ}C$)及泄漏情况。环境管理:保持阀门周围清洁,避免粉尘、油污堆积影响密封性能。(2) 停机保护:停机保护措施,规范停机流程:先打闸汽轮机,再解列发电机,避免阀门因热应力卡涩。检查轴封压力:停机时确保轴封供汽压力正常,防止空气倒灌影响真空。凝汽器水位控制:监测热水井水位,避免淹没铜管导致真空下降。检测与验证,采用水压或气压试验(如 ANSI/FCI70-2 标准)检测阀门密封性,确保泄漏率符合 ClassV 要求。现场测试时需注意阀门入口侧打压,避免误操作。

总之,主汽门阀杆密封引发的真空泄漏,根源往往在于机械结构、部件性能、检修工艺及备品管理的综合作用。治理此类故障,必须从精细化的检修实践、严格的备品质量控制、基于结构原理的优化调整以及完善的预防性维护体系等多方面系统推进,才能有效消除隐患,保障机组的长周期安全稳定运行。

参考文献

- [1]何浩宇. 氮质谱检漏仪检测原理及应用. 2020.
- [2]张新华. 浅谈主汽门阀杆密封引起的真空泄漏案例分析与治理. 2023.