

火电厂汽机管道、阀门设备缺陷管控方法探究

付火平

江西大唐国际抚州发电有限责任公司 江西 抚州 344128

摘要: 火电厂汽机管道与阀门是机组热力系统的核心设备,长期在高温高压工况下运行,易出现腐蚀泄漏、阀芯卡涩、焊缝裂纹等缺陷,严重威胁机组安全稳定与经济运行。本文系统梳理设备典型缺陷类型与成因,剖析当前监测诊断、检修处置、预控管理及人员制度等管控短板,从智能监测、闭环检修、全周期预控、体系建设四方面提出精细化优化策略,为火电厂汽机设备缺陷治理与长效管控提供技术与管理参考。

关键词: 火电厂;汽机管道;阀门设备;缺陷管控方法

引言:在火电行业提质增效、安全严控的发展背景下,汽机管道、阀门设备的运行可靠性直接关乎机组发电效率与生产安全。受复杂工况、设备先天短板及运维管理漏洞影响,各类缺陷频发且隐蔽性、衍生性增强,传统人工巡检与事后检修模式已难以适配现代化运维需求。为有效规避设备故障、降低能耗损失、杜绝安全隐患,本文针对性分析设备缺陷问题,探究科学高效的精细化管控方法,助力火电设备运维体系规范化、智能化升级。

1 火电厂汽机管道、阀门设备常见缺陷及成因分析

1.1 设备核心缺陷类型

(1) 管道类缺陷:主要包含管道焊缝裂纹、管壁腐蚀磨损、管路变形、介质冲刷损伤、接口泄漏等典型缺陷。这些缺陷分布于汽机主蒸汽、再热蒸汽及给水等关键管段,直接影响介质输送安全性。(2) 阀门类缺陷:涵盖阀门内漏、外漏、阀芯卡涩、阀位偏移、执行机构故障、密封件老化失效等高频缺陷。内漏多见于闸阀与截止阀,外漏常发生在阀盖法兰及填料函部位,导致控制精度下降。(3) 系统性衍生缺陷:因管道阀门匹配性不足、工况波动引发的联动缺陷,如压力失衡导致的部件疲劳损伤、管路共振引发的紧固件松动等。此类缺陷隐蔽性强,往往在机组启停或变负荷过程中集中暴露。

1.2 缺陷主要成因剖析

(1) 工况环境因素:长期高温高压、介质冲刷、温度交变工况,造成设备金属疲劳、材质老化,加速缺陷滋生与扩展。主蒸汽温度循环波动产生的热应力是管道焊缝开裂的重要诱因。(2) 设备本体因素:设备选型不符、制造工艺缺陷、材质抗氧化抗腐蚀性能不足、安装施工不规范等先天问题。如弯头壁厚减薄量超标、阀门密封面堆焊层质量不良等,均为投运后早期失效埋下隐患^[1]。(3) 运维管理因素:日常巡检不到位、定期检修

不彻底、缺陷处理不闭环、运维操作不规范等后天管理漏洞。例如,管道支吊架检查缺失、阀门定期动作试验流于形式,均会加速缺陷恶化。

1.3 缺陷对机组运行的危害

(1) 安全危害:管道破裂、阀门失效易引发蒸汽泄漏、系统承压异常,诱发机组故障,甚至造成人身安全事故。高温蒸汽泄漏是现场最突出的危险源,必须高度警惕。(2) 经济危害:阀门内漏、管道泄漏会造成热能与介质损耗,降低机组发电效率,增加运维检修成本与机组能耗指标。内漏导致的再热蒸汽旁路损失,可使煤耗显著上升。(3) 设备危害:微小缺陷持续扩展会加剧设备损伤,缩短管道、阀门使用寿命,引发连锁设备故障,破坏热力系统稳定性。蒸汽冲刷造成的管壁渐薄若未及时干预,最终可能发展为爆管事故。

2 火电厂汽机管道、阀门设备缺陷管控现存问题

2.1 缺陷监测诊断体系不完善

(1) 监测方式传统:多依赖人工巡检、定期拆机检测,智能化在线监测设备覆盖率低,难以实时捕捉微小隐性缺陷。高温高压环境下,管道壁厚减薄、阀门密封面早期损伤等隐蔽问题缺乏有效监测手段,往往在缺陷发展至较严重阶段才被发现,错失最佳干预时机。(2) 诊断精度不足:缺乏多源数据融合分析手段,对缺陷类型、发展趋势、损伤程度的精准判定能力薄弱,易出现误判、漏判。振动监测、温度场分析、声发射检测等数据未能有效整合,无法形成诊断合力,导致缺陷风险评估结果可信度不高,影响后续处置决策的科学性。(3) 预警机制缺失:尚未建立缺陷发展趋势预测模型,无法根据监测数据提前预判缺陷演变路径。当参数出现异常波动时,缺乏分级预警响应流程,运行人员难以及时获取明确的预警信号,被动应对局面普遍存在。

2.2 缺陷处置与检修机制不规范

(1) 应急处置滞后: 缺陷预警、响应流程不顺畅, 微小缺陷拖延处置, 逐步演变为重大故障, 扩大故障影响范围。缺陷从发现到上报、从审批到实施处置各环节衔接不畅, 职责划分模糊, 检修窗口期利用率低, 频繁出现小缺陷拖成大故障的被动局面。(2) 检修质量参差不齐: 检修工艺标准化程度低, 针对性修复方案缺失, 部分缺陷修复不彻底, 易出现重复缺陷问题。焊接修复工艺参数控制不严、阀门研磨精度不足、紧固力矩缺乏统一标准等具体问题突出, 直接影响修复质量和设备服役寿命^[2]。(3) 检修记录不规范: 缺陷描述、处理措施、更换部件等信息记录不完整、不统一, 可追溯性差。后续检修人员无法全面掌握设备缺陷历史, 同类缺陷重复发生时长依据不足, 检修经验难以有效积累和传承。

2.3 预防性管控与运维体系缺失

(1) 重检修、轻预防: 管控重心集中在缺陷事后处理, 缺乏常态化预防管控措施, 未建立缺陷预判、提前干预机制。年度检修计划与设备实际健康状态脱节, 检修项目设置缺乏针对性, 预防性更换周期缺乏数据支撑, 过度检修与检修不足并存。(2) 全生命周期管理不足: 未结合设备服役年限、工况特点制定差异化运维方案, 设备老化、性能衰退问题未得到有效管控。长期服役管道的蠕变损伤累积、阀门执行机构逐年性能退化等问题缺乏系统评估, 设备更换时机选择随意性大, 经济性与安全性难以统筹兼顾。(3) 备件管理不到位: 关键阀门、管件备件储备不科学, 紧急消缺时无件可用或备件型号不匹配现象时有发生, 被迫采取临时性处理措施, 留下安全隐患, 同时也延长了缺陷处理周期, 降低了设备可用率。

2.4 人员与管理制度存在短板

(1) 专业能力不足: 运维、检修人员对新型缺陷、隐性缺陷的识别与处置能力不足, 专业技能适配性有待提升。新技术、新设备应用后培训跟进滞后, 现场人员对在线监测系统操作不熟练, 对异常数据的分析解读能力欠缺, 直接影响缺陷管控效能。(2) 管理制度不完善: 缺陷台账管理、闭环管控、考核监督机制不健全, 管控责任落实不到位。缺陷登记、分级、流转、验收各环节缺乏标准化管理流程, 责任追溯困难, 同类问题反复出现而得不到系统性根治, 管理短板制约技术措施有效落地。

3 火电厂汽机管道、阀门设备缺陷精细化管控优化方法

3.1 构建智能化缺陷监测诊断体系

(1) 完善在线监测配置: 在主蒸汽、再热热段管道

弯头及三通部位部署声发射传感器, 捕捉早期裂纹扩展与蒸汽微量泄漏产生的特征声波信号; 在关键调节阀、截止阀执行机构加装高精度阀位变送器与扭矩传感器, 实时感知阀芯卡涩、阀杆弯曲及阀位漂移异常; 同时在管道外壁关键截面敷设壁温热电偶与高温应变片, 连续监测壁温异常波动与热膨胀形变, 构建全天候、多维度的在线感知网络, 全面弥补人工巡检的时空盲区^[3]。

(2) 搭建数据诊断模型: 运用深度卷积神经网络对历史缺陷案例的时频域特征进行训练学习, 建立涵盖焊缝裂纹扩展、密封面冲蚀、壁厚薄弱、阀芯磨损等典型缺陷模式的智能诊断算法。同步引入数字孪生技术, 将管道热力计算与应力场模拟结果同实测数据进行耦合分析, 实现缺陷损伤程度的量化评估与未来演变速率预判, 为检修窗口的精准选择提供可靠的数据支撑。(3) 建立分级预警机制: 设置四级预警体系——Ⅳ级(蓝警)对应参数轻微超差, 触发加密观察与状态跟踪; Ⅲ级(黄警)对应确认性缺陷但不危及安全, 触发专业诊断与方案编制; Ⅱ级(橙警)对应缺陷快速发展接近临界值, 触发停机检修准备与备件调拨; Ⅰ级(红警)对应严重缺陷威胁机组运行安全, 触发紧急停机与隔离消缺。各级预警配置独立推送通道与分级响应时限, 确保信息直达对应责任人。

3.2 优化缺陷闭环处置与检修工艺

(1) 规范缺陷处置流程: 建立“发现—登记—研判—处置—验收—复盘”全闭环管控流程, 发现环节落实首问负责制, 当班内完成系统录入与影像上传; 登记环节由专业工程师进行分级归档, 自动生成追踪编码; 研判环节由技术团队评估风险并出具书面方案, 重大缺陷须经总工程师审批; 处置环节严格执行方案并全程记录施工参数; 验收环节对照标准逐项确认; 复盘环节在缺陷消除后七个工作日内完成原因剖析与改进措施制定, 各环节均明确责任人与时限要求, 彻底杜绝缺陷遗留。(2) 推行差异化检修方案: 针对焊缝表面微裂纹, 采用打磨消除后磁粉探伤确认, 深度超2mm者须开坡口重新施焊并严格执行后热消氢处理; 对于阀门密封面点蚀及冲刷沟痕, 依据损伤深度选用研磨修复或等离子堆焊后精加工方案, 修复后密封面硬度须恢复至母材性能水平; 对于管道局部冲刷减薄, 依据剩余壁厚与设计值比值确定补强或整体更换方案, 杜绝不合规临时修补, 从工艺源头保障修复质量^[4]。(3) 强化检修质量验收: 实行施工方自检、专业工程师复检、运行方冷热态验证三级验收制度, 各级验收出具书面报告并附完整检测数据。焊接修复类缺陷须100%无损检测合格, 阀门密封修复后须经

历1.5倍工作压力的严密性试验,泄漏量控制在标准范围内。热态验证阶段模拟实际工况连续运行不少于4小时,确认无异常后方可终结缺陷工单,杜绝重复故障发生。

3.3 建立全周期预防性管控机制

(1) 常态化隐患排查:依据管道等级与阀门重要性划分为A、B、C三级——A级设备实施每日专检、每周深检、每月精密检测;B级实施每周巡检、每季详检;C级实施月度常规巡查。排查内容涵盖管道支吊架承载状态、保温层完好性、外壁氧化皮状况、阀门动作灵活性及填料函渗漏情况,排查结果当日报入系统并自动比对历史数据,偏差超阈值自动触发预警。(2) 设备升级优化:对频繁冲蚀减薄的弯头部位整体更换为内壁堆焊司太立合金或采用P92新型马氏体耐热钢材质;对反复内漏的调节阀门换装迷宫式多级降压阀芯组件,通过多级节流降低介质流速与冲刷强度;对高温法兰连接处全面更换金属波纹复合垫片并配合碟形弹簧垫圈,补偿热态螺栓松弛,提升连接密封可靠性,从源头降低缺陷发生率。(3) 工况运行优化:制定精细化启停曲线,主蒸汽升温速率严控在 $1.5^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 以内,热态启动时上下缸温差不得超过 50°C ;变负荷过程中负荷变化率限制在额定负荷的 $1.5\%/\text{min}$ 以下,避免大幅快速升降引发的热冲击;长期低负荷运行时定期安排满负荷清洗工况,防止蒸汽中盐类在密封面及管壁沉积加速腐蚀,多措并举延缓设备老化进程^[5]。

3.4 完善管理制度与人员能力建设

(1) 健全管控管理制度:建立设备终身电子健康档案,完整记录从安装投运至退役全过程的缺陷发生、处置及更换信息。制定量化考核指标,涵盖缺陷检出率、按时消缺率、重复缺陷率、预控措施执行率等维度,月度统计评分与绩效薪酬挂钩。对重复发生两次以上的同类型缺陷启动责任追溯程序,从技术方案、备件质量、施工质量、验收把关四维度倒查管理漏洞,切实压实管控责任。(2) 强化人员专业培训:每年制定专项培训计划并分解至季度实施,涵盖管道焊缝缺陷无损检测判

别方法、智能监测系统数据分析操作、新型阀门解体检修与组装工艺等核心内容。培训采取理论授课与实操考核相结合方式,设置模拟缺陷查找、数据诊断分析、阀门研磨修复等实操科目,考核合格方可上岗作业。每半年组织一次缺陷应急处置演练,检验突发泄漏等紧急工况下的快速反应能力,确保人员技能与管控需求匹配。

(3) 建立案例复盘机制:每月召开缺陷分析例会,选取典型案例从技术与管理双维度深度复盘——技术维度分析缺陷产生机理、检测方法与处置工艺的适宜性;管理维度倒查巡检覆盖率、响应速度、备件保障等环节薄弱点。每季度编制《缺陷案例汇编》供全员学习,将有效处置方法固化为标准化作业指导书,同步迭代预警模型阈值参数与诊断规则库,实现管控体系螺旋式持续提升。

结束语

本文全面分析火电厂汽机管道、阀门设备缺陷的产生原因与运行危害,总结当前缺陷管控工作中的各类突出问题,构建了集智能监测、闭环检修、全周期预控、人员制度赋能于一体的精细化管控体系。通过优化监测手段、规范检修工艺、强化事前预控、完善管理机制,可有效降低设备缺陷发生率与复发率。研究成果可切实提升汽机设备运行稳定性,降低运维成本,为火电厂同类设备缺陷管控提供实操借鉴。

参考文献

- [1]彭道刚,陈晨.基于改进YOLOv7的火电厂管道及阀门泄漏分割与检测[J].控制与决策,2024,39(09):2977-2986.
- [2]张金生,王庆峰,刘彦如,许亮.通流改造机组高压主汽联合阀焊缝开裂分析及处理建议[J].电焊机,2024,54(07):112-117.
- [3]史海燕.电站汽轮机中压调节汽阀阀杆断裂原因分析[J].金属世界,2023,14(01):52-56.
- [4]卢玉秀,周生存,翟永军,焦红军.电站锅炉主蒸汽管道阀门裂纹失效分析[J].化工装备技术,2023,44(02):42-44.
- [5]周迪.火力发电汽轮机阀门常见故障诊断及预防性检修规划[J].工程技术研究,2025,10(18):89-91.