火电汽水系统管道阀门泄漏风险识别及综合防控对策

黄金均

中国能源建设集团浙江火电建设有限公司　浙江　杭州　310016

摘　要：火电汽水系统管道阀门长期服役于高温高压复杂工况，结构损耗、装配缺陷及运维不当等问题，极易引发多类型介质泄漏故障，直接影响火电机组运行稳定性。结合汽水系统设备结构特征与现场运行规律，本文系统划分管道本体、阀门功能、密封界面及辅助构件四类泄漏风险，深入剖析材质、施工、工况、运维层面的核心致险诱因。立足全周期、前置化、精准化及常态化管控逻辑，搭建系统性防控框架，从源头质量、运行管控、检修排查、隐患优化维度制定专项治理举措，可为火电汽水系统设备安全稳定管控提供科学的技术参考。

关键词：火电汽水系统；管道阀门；泄漏风险；风险识别；防控对策

引言：汽水系统作为火电机组能量传输的核心载体，管道与阀门设备的密闭性、完整性直接关系机组安全生产工况。复杂多变的运行环境会持续对承压管路、调控阀门及各类连接构件造成损耗，各类细微设备缺陷会随运行时长不断累积，逐步演变为介质渗漏、高压喷射等故障问题。泄漏问题不仅会破坏系统介质平衡、降低设备运行效率，还会诱发各类安全隐患。依托现场设备运行状态与故障特征，梳理各类泄漏风险形态，深挖风险滋生的核心诱因，搭建科学完善的防控体系，能够有效遏制设备泄漏问题频发，稳固火电设备常态化运行状态。

1 火电汽水系统管道阀门泄漏风险类型识别

1.1 管道本体结构性泄漏风险

火电汽水系统长期处于高温、高压的复杂运行环境中，各类承压管道会持续承受介质冲刷、压力波动与温度交变作用。长期运行过程中，管道管壁会逐步出现磨损、厚度减薄等物理损伤，管路整体结构也会产生形变、开裂等结构性问题[1]。管道焊缝区域受焊接工艺与长期应力影响，容易出现开裂、破损等缺陷，严重时会造成管壁穿透，引发汽水介质外泄。该类风险广泛存在于机组主蒸汽、高温高压给水等主力管道，也会出现在低压辅助管路及各类疏水支路管道中，直接破坏管道承压结构的完整性。管道弯头、变径等应力集中区域损伤速度更快，交变温度会不断累积结构疲劳损伤，逐步弱化管材承压性能，让细微缺陷逐步发展为穿透性泄漏缺陷。

1.2 阀门本体功能性泄漏风险

火电汽水系统配置的启闭阀、调节阀等各类阀门，是控制介质流通、调节系统工况的核心设备。阀体壳体在长期承压运行下，会出现材质疲劳、局部破损等问题。阀杆频繁往复动作，会产生持续磨损，逐步丧失原有工作性能。阀芯密封面长期接触水汽介质，容易出现划伤、腐蚀、老化损伤，无法实现严密闭合。阀体内部结构滋生细微裂隙后，会引发介质内漏或外部渗漏问题。这类故障会直接打乱汽水系统介质调控状态，干扰机组稳定运行。高低负荷交替工况会加剧阀芯贴合面磨损，阀杆密封行程持续偏移，会小幅降低阀门闭合精度，逐步形成持续性内漏缺陷。

1.3 连接密封部位界面泄漏风险

火电汽水系统设备管路布局繁杂，管道与阀门、管道与辅机设备、管道对接法兰及螺纹接口等连接界面数量众多，是泄漏故障的高发区域。各类密封垫片、密封圈等密封配件，会随运行时长增加出现老化硬化、弹性衰减、破损失效等问题。设备安装或检修阶段的装配操作不规范，会造成接口贴合间隙偏大、对接精度不足。系统工况变动产生的应力拉扯，会让管路接口出现松动偏移，最终造成汽水介质从连接缝隙处渗漏溢出。机组启停产生的微量形变会持续拉扯连接界面，弱化密封贴合效果，低温停运阶段还会加速密封件硬化，扩大介质渗漏通道。

1.4 辅助配套构件失效泄漏风险

汽水系统管道阀门的稳定运行，依赖各类辅助配套构件的协同支撑。阀门填料长期受高温介质烘烤与阀杆摩擦，会逐步损耗失效。管路膨胀节持续补偿管道热胀冷缩形变，容易出现老化变形、开裂破损。各类螺栓、紧固件长期承压震动，会出现松动脱落的情况。疏水接头、转接配件等附属构件长期接触水汽，会产生锈蚀磨

损。以上构件出现损伤故障后，都会引发介质微量渗漏甚至高压喷射泄漏，直接影响汽水系统密闭运行状态。长期高频震动会加速附属构件疲劳老化，水汽凝结形成的腐蚀介质会持续侵蚀构件表层，逐步扩大损伤范围。

2 火电汽水系统管道阀门泄漏风险成因分析

2.1 设备固有材质缺陷成因

火电汽水系统设备对材质性能有着严苛的承压耐温要求，部分管道与阀门出厂材质存在质量偏差。金属基材内部组织均匀性较差，承压耐温指标达不到机组长期运行标准，材质抗腐蚀、抗疲劳性能存在短板[2]。设备投入运行后，持续的高温高压环境会持续侵蚀基材性能，让金属材质慢慢发生脆化、老化现象。基材表面及内部会滋生点状、片状的微小损伤缺陷，逐步破坏设备结构稳定性，诱发各类结构性泄漏问题。材质冶炼与轧制残留的细微气孔、夹杂缺陷，会在高压高温工况下逐步扩张，弱化金属结构强度，降低设备抗疲劳承载能力。

2.2 施工安装工艺缺陷成因

汽水系统管道阀门的安装施工质量，直接决定设备后期运行的密闭性与稳定性。现场管道焊接作业操作不标准，会让焊缝存在夹渣、未焊透、微裂纹等隐性缺陷。阀门定位装配、法兰对接对位精度不足，会造成接口间隙分布不均。各类紧固零件力矩调试不均衡，会让设备整体受力分布失衡。这类不规范施工行为会埋下永久性设备隐患，破坏管路接口的密封基础。现场施工环境温度、施焊参数把控不当，会改变焊缝金相组织，降低焊缝韧性与抗裂性能，增加后期结构破损概率。

2.3 运行工况环境扰动成因

火电机组日常运行状态处于动态变化过程，频繁的启停操作、大幅度的负荷调整，会让系统内部介质温度与压力快速升降。剧烈的工况变化会产生交变热应力与水锤冲击，反复撕扯、震荡管道阀门结构。介质内部残留的细小杂质会持续冲刷管路内壁与阀门接触面，逐步磨蚀设备表层结构。内外环境的氧化、潮湿腐蚀会持续侵袭设备裸露部位，持续加速设备结构破损进程，催生泄漏故障。水质波动产生的微量结垢与酸碱物质，会缓慢腐蚀设备内壁表层，持续弱化结构完整性，加速缺陷萌生与扩展。

2.4 运维操作管控缺失成因

现场操作人员对管道阀门的启闭、调节操作把控不到位，容易出现操作幅度偏差、操作节奏错乱等问题。日常设备养护工作流于表面，未针对性清理设备锈蚀、排查部件损耗问题。隐患排查工作覆盖不全，难以发现细微的结构损伤与密封老化问题。检修拆装过程随意性较强，未严格遵循标准化工艺拆装复位。各类细微缺陷会持续叠加累积，逐步演化成显性的设备泄漏故障。日常巡检侧重显性故障排查，对微渗漏、密封弹性衰减等隐性问题关注度不足，造成微小隐患持续累积恶化。

3 火电汽水系统管道阀门泄漏综合防控总体思路

3.1 全生命周期防控思路

火电汽水系统管道阀门的运行损耗与隐患滋生贯穿设备完整使用周期，单一环节的管控手段无法阻断泄漏问题的发生。防控工作需覆盖设备选型采购、现场安装投用、日常运行监控、定期检修维护、老旧部件更新改造的全部流程。细化每个阶段的管控标准与作业要求，补齐传统管控模式中阶段性管理漏洞[3]。打通各作业环节的管理壁垒，实现各阶段管控工作有效衔接，构建覆盖设备全使用周期的风险管控体系。衔接各阶段管控数据记录，统一设备状态评判标准，消除分段管理带来的管控盲区与标准偏差。

3.2 源头前置化防控思路

管道阀门多数泄漏隐患根植于设备投运前期的各项基础环节，后期隐患治理只能被动处置故障，无法从根本上解决问题。主动前移防控关口，严格把控设备材质选型标准，筛选适配机组高温高压工况的优质设备构件。严控现场施工工艺质量，规范焊接、对接、装配等关键作业流程。持续优化汽水介质品质，减少杂质冲刷与化学腐蚀对设备结构的破坏。细化机组工况管控标准，稳定设备运行环境，从根源阻断各类缺陷的生成条件。提前核验设备适配性与施工工艺合规性，从设备投产前期减少缺陷生成基数，降低后期运维隐患处置压力。

3.3 分类精准化防控思路

汽水系统不同设备的结构特性、运行机理、故障形式存在明显区别，粗放式统一管控难以适配各类泄漏风险的治理需求。管道本体多出现结构破损、管壁减薄、焊缝开裂等结构性问题，阀门设备易发生密封失效、阀体破损等功能性故障。连接密封位置多发界面渗漏，各类辅助构件易出现老化、松动、形变引发的泄漏问题。结合各类设备的风险成因与故障特点，定制对应的管控手段与防护方案，摒弃笼统单一的管控模式，提升风险防控的针对性与有效性。按照设备位置、承压等级、运行频次划分风险等级，匹配差异化检查频次与养护标准，提升管控精准度。

3.4 常态长效化防控思路

火电机组具备连续不间断运行的生产特点，设备损

耗与隐患积累属于动态过程，短时专项整治无法维持长期安全工况。将泄漏风险防控融入日常生产管理体系，落实常态化设备状态监测工作。有序开展周期性隐患排查，及时发现隐蔽性、微小性设备缺陷。对现存隐患逐项落实整改处置流程，针对管控漏洞持续优化防控举措。搭建监测、排查、整治、优化的闭环管理模式，持续抑制各类泄漏隐患滋生，稳固汽水系统设备的运行稳定性。保持管控工作连贯性，依托日常运维积累设备状态数据，动态调整防控重点，适配设备老化损耗的动态变化规律。

4 火电汽水系统管道阀门泄漏专项综合防控对策

4.1 源头质量管控对策

火电汽水系统各区域运行环境差异较大，不同管段的承压能力、介质温度和运行负荷各不相同。设备选型需要结合现场实际工况条件进行合理匹配，针对高温高压主管道、低压辅助管路以及疏水支路等不同区域，选用参数适配的管材、阀体与密封配件[4]。严格落实设备进场质检流程，逐项核验构件材质、加工精度以及耐温耐压性能，剔除存在内部瑕疵、性能不达标的设备。现场施工全过程执行标准化作业要求，细化管道焊接、阀体安装、法兰对接、螺栓紧固等关键工序的操作规范。统一各工序验收标准，规避焊接缺陷、装配偏移、密封不严等常见施工问题。通过严格把控设备硬件质量与现场施工工艺，有效规避设备投运前的原生缺陷。

4.2 运行过程管控对策

机组运行状态的频繁波动，会持续加速管道与阀门结构损耗。优化机组负荷调控方式，放缓负荷升降节奏，降低温度、压力骤变带来的结构冲击与应力损伤。细化现场作业标准，明确阀门启闭、管路调节、工况切换的规范流程，约束不标准的操作行为。持续优化汽水水质治理工作，通过净化处理降低介质杂质含量，减轻介质流动冲刷和化学腐蚀对管壁、密封面的持续损伤。搭建全覆盖的设备运行监测机制，对管路压力、介质温度、设备形变状态开展持续跟踪。精准捕捉设备运行中的细微异常变化，为隐患提前处置提供可靠依据。

4.3 检修排查管控对策

依据汽水系统管路布局特点和故障高发规律，划分独立排查区域，推行分区、分类的常态化隐患排查模式。重点覆盖法兰连接位置、焊缝热影响区、阀门密封结构、膨胀节及各类转接接头等易泄漏部位，提升排查精细程度。细化外观检查、结构检查、密封性能检查等检查内容，深度挖掘不易发现的隐性缺陷。结合设备运行时长、工况强度和损耗状态划分检修等级，实行差异化检修管理方式。严格把控设备拆解、故障处理、复位安装的整套工艺标准，避免检修作业产生二次损伤。及时更换老化、失效、变形的密封部件和紧固配件，清除潜藏在设备内部的泄漏隐患。

4.4 隐患迭代优化对策

建立规范完善的设备隐患动态台账，如实记录泄漏隐患的发生位置、故障表现、诱发因素和整改方式。按照隐患危害程度划分等级，匹配对应的整改方案与整改时限，逐项推进各类隐患清零工作。定期梳理台账数据，总结现场泄漏故障的发生规律与薄弱点位特征。针对反复出现故障的设备部位，制定针对性改造方案，优化局部结构与设备配置。对性能落后、老化严重、故障频发的老旧设备开展更新替换，提升整套汽水系统的运行可靠性[5]。依托现场隐患处置经验补齐管理短板，持续优化适配现场工况的泄漏风险防控体系。

结束语

汽水系统管道阀门泄漏属于火电生产过程中高发的设备故障，风险诱因涵盖设备材质、施工工艺、运行环境及运维管理多个维度，风险表现具备多样性与隐蔽性特征。落实全生命周期管控理念，前移风险防控关口，结合不同设备的故障特点实施精准治理，可有效补齐传统管控模式的短板。常态化开展隐患排查与问题迭代优化，持续规范设备安装、运行及检修全流程作业标准，能够有效降低各类泄漏故障发生概率，持续提升火电汽水系统设备运行的安全性与稳定性，保障火电机组持续平稳投产运行。

参考文献

[1] 赵彦. 电厂阀门泄漏原因分析及针对性维修策略研究 [J]. 中国科技纵横,2025(22):119-121.

[2] 彭道刚, 陈晨, 王丹豪, 等. 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(9):2977-2986.

[3] 赵强. 电厂锅炉阀门检修及故障处理方法研究 [J]. 电力设备管理,2024(14):86-88.

[4] 孙小翔. 电厂热力系统阀门内漏检测研究 [J]. 中国机械,2024,(09):96-99.

[5] 史晓磊. 电厂锅炉阀门检修技术要点分析 [J]. 中国设备工程,2024,(01):157-159.