工业锅炉检验过程中的重点风险与管控要点

王建军
内蒙古自治区特种设备检验研究院　内蒙古　呼和浩特　010020

摘　要：本文立足工业锅炉标准化检验流程，构建四级风险分级评价体系，系统辨识设备本体、安全控制系统、作业人机环境及管理体系四大类核心风险，深入剖析各类风险的形成诱因与危害特征。结合锅炉检验作业场景，针对性提出设备精准检测、系统运维管控、现场安全防控及长效管理体系搭建等管控策略，为规范工业锅炉检验作业、排查安全隐患、防范检验安全事故提供专业参考与实操依据。

关键词：工业锅炉；检验过程；重点风险；管控要点

引言：工业锅炉作为工业生产核心承压特种设备，长期处于高温高压工况，检验作业存在隐蔽性、突发性、高危性安全风险，极易引发爆炸、中毒窒息、高空坠落等安全事故。当前部分企业存在检验流程不规范、风险辨识不全面、隐患整改不彻底、安全管理薄弱等问题，严重制约锅炉安全稳定运行。基于此，本文全面梳理锅炉检验重点风险，分析成因并制定精细化管控方案，助力筑牢特种设备安全生产防线。

1 工业锅炉检验基础与风险分级体系

1.1 工业锅炉检验核心内容与流程

（1）法定检验分类，包括定期检验、监督检验、专项隐患检验。定期检验按运行周期实施内外部检验和水压试验；监督检验覆盖制造、安装与改造环节的质量管控；专项隐患检验针对事故、停炉重启或疑似缺陷时开展。（2）核心检验项目，涵盖受压部件、安全附件、燃烧系统、水处理系统检验。受压部件检验侧重腐蚀、裂纹与变形检测；安全附件验证压力表、安全阀及水位计的灵敏可靠性；燃烧系统排查燃料泄漏与火焰监测装置；水处理系统评估水质指标及结垢腐蚀倾向。（3）标准化检验作业全流程规范要求，包括资料审查、方案编制、现场勘查、条件确认、实施检验、结果评定及出具报告七个环节，各环节须留存完整记录，确保检验行为可追溯[1]。

1.2 工业锅炉检验风险定义与特征

（1）检验作业风险的核心定义，区别于锅炉运行风险的专属特性。检验风险特指检验人员在停炉检修或带压检测过程中，因残余能量释放、环境受限及人为失误所面临的即时性人身伤害与健康损害，区别于运行风险侧重设备失效导致的灾难性后果。（2）风险主要特征，包括隐蔽性、突发性、高危性、关联性、人为诱导性。隐蔽性体现为炉内残留有害气体与未泄尽压力难以直观识别；突发性表现为能量瞬间释放；高危性指事故后果严重；关联性涉及多风险叠加转化；人为诱导性突显检验人员操作失误是重要致因。（3）风险危害形式，爆炸、高温烫伤、中毒窒息、设备损坏、作业坠落等。爆炸主要源于残余压力或可燃气体积聚；高温烫伤来自炉体余热与蒸汽；中毒窒息由炉内残留CO、N_2等引发；坠落多发生于锅筒内检或高处作业。

1.3 检验风险分级评价标准

（1）风险分级依据，基于国标规范、事故概率、危害程度划分等级。主要参照GB/T6441、GB18218等标准，结合历史事故统计与现场检测数据，综合判定风险严重度与发生可能性。（2）四级风险分级体系，低风险、一般风险、较大风险、重大风险界定标准。低风险为概率低且后果轻微，一般管控即可；一般风险需加强日常巡查；较大风险需制定专项方案并限期整改；重大风险须立即停工处置，经监管部门复核后方可复工。（3）风险分级管控适用场景与判定流程。适用于定期检验、故障排查及停炉检修等场景，判定按辨识—分析—评价—分级—管控五步实施，动态调整管控层级，保障检验作业安全有序。

2 工业锅炉检验过程重点风险识别与成因分析

2.1 设备本体结构性风险

（1）受压部件风险。锅筒、水冷壁、对流管束存在腐蚀、结垢、裂纹、变形隐患。给水溶氧超标或停炉保养不当引发腐蚀致壁厚减薄；水质硬度偏高导致结垢，垢层阻碍传热诱发管壁过热鼓包；焊接残余应力、交变热应力及频繁启停引起裂纹，尤以水冷壁向火侧和锅筒开孔接管区最集中。（2）密封与连接部位风险。法兰垫片长期受热压易老化硬化，螺栓预紧力不均或热胀冷缩致密封失效泄漏；焊缝缺陷（气孔、夹渣、未熔合）在交变应力下扩展，引发蒸汽或炉水喷出，严重时导致爆

管。（3）设备老化与维护缺失风险。部分企业延期检验、超负荷运行加速材料蠕变与疲劳劣化；日常除垢、排污、停炉保护等环节缺失使腐蚀加快，整体承载能力持续下降，降至临界值以下时将发生突发性结构破坏。

2.2 安全附件与控制系统风险

（1）安全附件失效风险，安全阀、压力表、水位计失灵、校验过期隐患。安全阀阀芯卡涩或整定压力漂移致使其未在规定压力下开启泄压；压力表指针卡顿、传动磨损造成示值偏差，误导操作人员判断；水位计云母片污染或冲洗阀堵塞引起假水位，直接危及锅炉安全运行。（2）联锁保护系统故障，高低水位、超压、超温保护失效风险。联锁回路中继电器触点氧化、控制电源模块老化或逻辑控制器程序异常均可能引发保护拒动。当锅筒水位触及极限或压力、温度超过阈值时，保护装置未能及时触发停炉指令，事故连锁扩大[2]。（3）自控系统参数偏差、传感器失灵导致的检验数据失真风险。热电阻、变送器等传感元件长时间运行后出现零点漂移与测量偏差，PLC或DCS系统参数设定不合理，加之缺乏定期比对校准，致使检验过程中采集的运行参数不能真实反映设备工况，导致检验结论误判。

2.3 检验作业人为与环境风险

（1）作业人员风险，操作不规范、专业能力不足、安全意识薄弱、违规作业。检验人员对检验规程理解不深，检测手段选用不当，缺陷识别与判定能力欠缺；加之安全培训流于形式，在未办理相关作业手续或未落实隔离措施的情况下盲目进入受限空间或带压拆检，酿成事故。（2）作业环境风险，高温高压、有限空间、易燃易爆介质残留作业隐患。锅炉内部检验属于典型的受限空间作业，炉膛、锅筒内通风不良，残留CO、H_2S等有毒有害气体可能积聚；此外残余蒸汽导致环境温度偏高，可燃气体积聚达到爆炸极限，遇点火源即发生爆燃。（3）检验工具设备缺陷、防护用品配备不足引发的次生安全风险。检测仪器未定期检定导致测量失准，电动工具绝缘破损漏电，照明灯具不符合防爆要求均可能引发次生事故；个体防护方面，未配备过滤式防毒面具、耐高温手套或安全绳等装备，一旦发生异常缺乏避险条件。

2.4 管理体系类风险

（1）检验制度不完善，作业流程不规范、风险排查流于形式。部分企业检验管理制度照搬模板缺乏针对性，检验方案与现场实际脱节；风险辨识与隐患排查仅停留在纸面记录，未按标准逐项落实，作业许可审批流于走形式，安全交底敷衍了事。（2）企业主体责任落实不到位，重生产、轻检验、轻隐患整改。企业为赶工期、保产量，擅自缩短检验停炉时间或压缩检验项目，对检验机构下达的整改通知推诿拖延；安全投入不足，检验检测费用被削减，导致应检未检、应改未改。（3）检验记录不规范、隐患闭环管理缺失，遗留长期安全隐患。原始检验记录填写随意，缺项漏项较多，数据记录不完整且无追溯性；隐患整改环节未建立排查—登记—整改—复查—销号的闭环流程，前期已发现缺陷长期搁置，直至累积演变为严重事故。

3 工业锅炉检验重点风险管控要点与实施策略

3.1 设备本体风险精准管控措施

（1）强化无损检测，精准排查裂纹、腐蚀、壁厚减薄等隐蔽缺陷。对锅筒环焊缝、水冷壁向火侧、对流管束弯头及开孔接管等高风险部位，综合运用超声相控阵、TOFD、数字射线成像及磁粉、渗透检测互补验证。壁厚异常减薄区实施网格化加密测点，绘制剩余壁厚等值线图，动态追踪缺陷扩展速率，支撑维修决策。（2）严格结垢、腐蚀治理，规范水处理系统运维。监督企业按标准配备除氧器、反渗透及离子交换装置并保持连续稳定运行，每周至少两次开展给水与炉水全项目化验。根据垢种制定差异化清洗方案，酸洗后须进行内窥镜抽检与腐蚀试片失重测定，确认达标后方可投运[3]。（3）建立设备生命周期台账，落实超期、缺陷设备停用整改。逐台建立涵盖设计参数、运行工时、历次检验评级、维修记录及缺陷演化档案的全生命周期台账。依据剩余寿命评估划定绿、黄、红三级预警，红色预警设备强制停用并启动安全评估，未经技术机构鉴定不得恢复运行。

3.2 安全附件与系统管控要点

（1）落实安全附件定期校验、更换制度，杜绝过期、失效配件投入使用。严格执行安全阀每年、压力表每半年、温度计及水位计每季度的强制检定周期，依托数字化台账系统实现到期前30天自动预警。新更换附件须具备型式试验合格证明，安装前在校验台上完成整定压力复测，校验铅封与合格标签缺失的一律视同无效。（2）常态化开展联锁保护系统联动测试，保障应急保护功能有效。每季度开展涵盖极限低水位、超压、熄火及炉膛正压等全部联锁项目的全回路实态联动测试，模拟信号注入与执行机构实际动作同步验证。测试过程中任何环节动作超时或拒动，立即停止检验工作并组织控制系统专项排查修复，测试报告须经安全总监审核签章后归档保存。（3）智能化升级检验监测设备，提升参数采集、隐患识别精准度。引入分布式光纤测温、超声波在线测厚及声发射泄漏检测等

智能传感系统，构建检验现场物联网感知层，实现检验数据自动采集、无线回传与云端存储。配套部署基于机器视觉的腐蚀坑形态自动识别算法，提高微观缺陷检出率，减少人工判读主观误差[4]。

3.3 作业现场安全管控策略

（1）规范作业准入管理，落实有限空间、高危作业审批流程。严格执行作业许可三级审批制度，锅筒与炉膛内部作业前须完成隔离切断、余压释放、强制通风及气体四合一连续检测（$O_2 \geqslant 19.5\%$，CO ≤ 24ppm，$H_2S \leqslant 7ppm$，可燃气体浓度低于爆炸下限10%），任一条件不满足严禁签发作业票。（2）强化作业人员专项培训，提升实操能力与应急处置水平。建立年度培训矩阵，涵盖检验标准更新解读、新型检测设备操作、典型事故案例沙盘推演及心肺复苏实操四个模块。新进人员须累计完成不少于40学时的跟岗实训并经盲样考核合格方可独立作业，在岗人员每年复训考核覆盖率须达100%。（3）完善现场安全防护配置，落实作业全程监护、风险预警机制。作业现场按一级防护标准配备正压式空气呼吸器、防爆通讯设备及速差防坠器，锅筒入口设置应急三脚架与提升绞盘。专职监护人须持有紧急救护证，每10分钟与内检人员通话确认状态，遇突发状况60秒内启动应急提拉救援程序。

3.4 长效管理保障体系构建

（1）健全检验管理制度与风险分级管控清单，细化岗位责任。以四级风险分级成果为基础编制岗位责任矩阵，逐岗界定作业审批、检测操作、安全监护、技术复核及监督管理五类角色的权责边界。每项检验活动配套专项风险管控卡，将管控责任分解到具体岗位、具体人员，实现责任无盲区覆盖。（2）建立隐患排查、整改、复查闭环管理机制，杜绝隐患遗留。依托信息化管理平台搭建隐患排查治理数据库，按隐患等级设定整改时限并自动派发至责任人。整改完成后须经专人现场核验并上传影像佐证资料方可销号，超期未闭环的系统自动升级督办并计入年度安全绩效考评，确保整改完成率达100%[5]。（3）完善应急处置预案，常态化开展检验安全应急演练。围绕有限空间中毒窒息、残余能量意外释放及高处坠落三类典型事故场景编制专项处置方案，明确应急响应启动条件、现场指挥架构及医疗后送路径。每半年组织一次全要素实战演练，邀请专业应急救援队伍现场指导评估，演练结束后48小时内完成复盘报告，持续修正预案缺陷。

结束语

工业锅炉检验风险贯穿作业全流程，风险类型复杂、叠加危害大，安全管控是特种设备管理的核心关键。本文梳理的各类检验风险及针对性管控措施，覆盖设备、系统、现场、管理全维度，可有效破解锅炉检验安全管理痛点。未来需持续落实分级管控与隐患闭环治理，强化人员实操能力与智能化检测应用，常态化开展应急防控，全面提升工业锅炉检验作业安全规范化、标准化水平。

参考文献

[1]沈功田,胡智军,李泉.工业锅炉检验典型风险隐患分析与防控技术[J].中国特种设备安全,2023,39(08):45-50.

[2]刘超,肖显斌.工业锅炉运行检验中的重点风险识别与安全评价[J].机械设计与制造,2024,37(07):289-292.

[3]张宏亮,周勇.老旧工业锅炉检验难点及风险管控优化研究[J].安全与环境学报,2023,23(06):218-223.

[4]王健.工业锅炉定期检验关键风险点及精细化管控措施[J].中国设备工程,2025,28(09):124-126.

[5]李瑞峰.工业锅炉无损检测检验风险成因及防控对策[J].设备管理与维修,2024,13(16):78-80.