

火电厂脱硫吸收塔日常检修维护要点

赵海峰

内蒙古京能检修工程管理有限公司 内蒙古 乌兰察布 012000

摘要: 石灰石-石膏湿法脱硫吸收塔是火电厂环保系统的核心装备, 长期处于强腐蚀、高磨损及温度交变的极端工况, 其运行可靠性直接决定脱硫效率与环保达标水平。本文系统梳理了吸收塔防腐层失效、塔壁穿孔、设备磨损、结垢堵塞及机械密封损坏等典型故障模式, 揭示了多因素耦合的失效机理, 并从维护管理体系、安全管控、人员培训和备件管理等方面提出组织保障措施, 详细阐述了运行监控、巡回检查、定期检测及特殊工况维护的操作要点。研究表明, 构建运行监控预警、定期状态检测与精准计划检修三位一体的维护策略, 可有效降低非计划停运风险, 保障脱硫系统长周期安全稳定运行。

关键词: 火电厂; 湿法脱硫; 吸收塔; 检修维护; 防腐防磨

引言: 湿法脱硫技术在我国火电厂烟气治理中应用广泛, 吸收塔承担烟气洗涤、二氧化硫吸收及石膏结晶等核心功能, 其运行条件极为苛刻, 酸性腐蚀、颗粒冲刷、结垢与温度交变等多重损伤因素共存, 设备故障频发。脱硫系统非计划停运多源于吸收塔本体或内件故障, 严重时导致机组限负荷甚至停机, 环保与经济损失显著。现有研究多侧重脱硫工艺优化与防腐材料开发, 对吸收塔日常检修维护的系统性论述不足, 现场运维缺乏规范化的技术指引。本文基于失效机理分析与维护实践经验, 系统总结吸收塔检修维护的组织管理、检查内容与操作规范, 旨在为火电厂脱硫设备可靠运行提供实用参考。

1 火电厂脱硫吸收塔的结构原理与运行工况分析

1.1 吸收塔的基本结构与功能

吸收塔为立式圆柱形钢结构, 内部自下而上依次为浆液池、喷淋吸收区、除雾区和烟气通道。浆液池储存石灰石浆液, 配置搅拌器防止沉降, 并布置氧化空气管网将亚硫酸钙氧化为石膏。喷淋区通常设置多层喷淋层, 每层布置大量喷嘴, 通过循环泵将浆液提升喷淋, 形成致密液幕与逆向上升的烟气充分接触, 完成二氧化硫吸收反应。喷淋层上方安装除雾器, 捕集烟气夹带的浆液液滴, 确保净烟气含液滴量达标。塔体侧面设烟气入口, 顶部或侧上方设烟气出口, 塔壁不同高度布置人孔门供检修进入。理解各部件的结构特征和功能定位, 是制定针对性维护方案的前提基础^[1]。

1.2 吸收塔运行工况与环境特征

吸收塔运行呈现强腐蚀、高磨损、多相耦合的鲜明

特征。入口烟气温度较高, 经气液接触后降温排出。浆液呈弱酸性, 氯离子浓度高, 形成多种酸混合体系, 对金属和防腐涂层具有极强侵蚀能力。浆液含大量固体颗粒, 包括飞灰、石灰石颗粒及石膏晶体, 在循环和冲刷过程中对过流部件产生持续磨蚀。此外, 气液固三相耦合的流体条件及烟气入口干湿交变区域的反复润湿-干燥循环, 加速了腐蚀与磨损的协同破坏。这些严苛复杂的工况条件, 决定了吸收塔薄弱环节分布广泛, 日常维护须具备全面覆盖与重点突出相结合的系统性思维。

2 吸收塔常见故障模式与失效机理分析

2.1 腐蚀失效

腐蚀失效主要表现为防腐衬里失效和金属基体腐蚀。塔体内壁的橡胶衬里或玻璃鳞片涂层在长期运行中因温度超限、负压抽吸、施工缺陷或机械损伤等因素, 可能出现鼓包、开裂、剥离等问题, 防腐层破损后酸性浆液直接接触碳钢塔壁, 在电化学作用下迅速发生孔蚀乃至穿孔。浆液循环泵叶轮和蜗壳在酸性浆液的高速冲刷与电化学联合作用下表面快速减薄, 搅拌器叶片及氧化空气浸没段管道同样面临严重腐蚀减薄。此外, 不同金属材料在浆液环境中接触时因电位差异产生电偶腐蚀效应, 不锈钢与碳钢接触部位往往优先腐蚀。掌握各部位腐蚀机理和速率影响因素, 对制定防腐蚀维护策略至关重要。

2.2 磨损失效

磨损失效集中于浆液循环系统、喷淋系统和烟气入口区域。浆液循环泵过流部件长期输送含固浆液, 叶轮和蜗壳在硬质颗粒冲击下表面材料不断被切削, 导

致水力性能持续下降,表现为压力降低、电流下降、流量不足。喷嘴在高压喷射过程中内壁受强烈磨蚀,孔径扩大、喷雾角度偏离,喷淋覆盖率下降形成局部烟气短路,直接降低脱硫效率。烟气入口干湿交界区域,高温含尘烟气与喷淋浆液交汇,干湿交替的热应力和颗粒冲刷产生腐蚀-磨损耦合效应,该处壁厚减薄速率远高于其他部位,是吸收塔最易腐蚀穿孔的关键位置。

2.3 结垢与堵塞

结垢堵塞主要影响除雾器、氧化空气管网和浆液管道。除雾器叶片冲洗不充分时,石膏晶体和飞灰在间隙沉积形成致密垢层,差压持续升高,严重时造成烟气憋压、浆液溢流,甚至导致支撑结构超载坍塌。氧化空气分布管网浸没在浆液中,支管喷嘴因浆液倒灌或结晶沉积逐步堵塞,导致氧化不均、石膏品质恶化,严重时整条支管报废^[2]。喷淋层喷嘴堵塞使该区域喷淋失效,形成烟气走廊降低脱硫效率。浆液管道及阀门内壁同样存在结垢趋势,尤其在小流量或间歇运行管段,垢层逐渐增厚直至完全堵塞。

2.4 机械故障

机械故障涉及转动设备、支撑结构和密封系统。浆液循环泵机械密封在颗粒磨损与腐蚀双重作用下端面快速磨损导致泄漏,若未及时发现,浆液喷溅会造成轴承损坏和电机进水。搅拌器减速机长期运行后齿轮磨损、轴承游隙增大,产生异响振动,搅拌器轴在交变载荷下可能发生疲劳断裂。除雾器坍塌虽发生率不高但后果严重,主要由于支撑梁应力腐蚀导致截面削弱,在自重和差压载荷下断裂,或冲洗水集中冲击造成模块破坏。喷淋层支撑吊架腐蚀变薄后强度下降,可能导致主管断裂坠落砸坏下层设备。法兰垫片老化泄漏也是日常频繁处理的机械类故障。

2.5 失效模式的综合影响分析

吸收塔各类失效模式相互关联、互为诱因,构成复杂的耦合关系。防腐层破损引发塔壁腐蚀穿孔,浆液泄漏冲刷相邻管壁,加速更大范围结构失效。喷嘴磨损导致喷淋覆盖率下降,未充分洗涤的烟气携带干态石膏粉尘加剧除雾器叶片磨损和结垢,除雾器差压升高又造成塔内液位波动,影响循环泵运行稳定性。氧化空气管网堵塞使浆液中未氧化亚硫酸盐含量升高,其强腐蚀性和黏附性加速搅拌器和循环泵的腐蚀结垢。浆液密度和 pH 值偏离正常范围时,既加剧腐蚀反应速率,又改变石膏结晶条件促进结垢趋势。因此吸收塔维护必须从单一故障应对转向系统性综合防控,建立失效耦合分析意识,

准确识别优先处理项和预防措施。

3 吸收塔日常检修维护的组织与管理

3.1 维护管理体系的建立

吸收塔维护需建立完善的制度管理体系。电厂应制定覆盖日常检查、定期维护、计划检修和状态检修四个层次的维护规程,明确各级工作的周期、内容、标准和记录要求。日常检查由运行当班人员每班次执行,定期维护由检修班组按周、月、季度开展,计划检修结合机组停运对塔内各部件进行全面解体修复。维护台账需动态更新,完整记录运行时长、维修历史、备件更换和检测数据,形成设备全生命周期档案。在此基础上,推行基于失效模式与影响分析的维护策略优化,对高故障率部位进行风险优先排序,将有限资源集中于关键薄弱环节,实现从被动救火向主动预防的转变。

3.2 安全管控要求

吸收塔检修涉及有限空间、高空作业和有毒有害介质等多重风险,安全管理须作为一切维护工作的前置条件。有限空间作业须严格执行审批制度,作业前对塔内残留气体连续监测,确保氧气含量合格、有毒有害气体浓度低于限值,并设置强制机械通风,入口配备专职监护人。高空作业须规范搭设脚手架,作业人员系挂安全带并高挂低用。工艺隔离须将吸收塔与烟气、浆液、氧化空气系统物理隔离并断电挂牌上锁。塔内残留浆液须彻底清理,所有进入人员必须佩戴防酸防护服、手套和防冲击面屏,以刚性制度确保检修全过程安全受控^[3]。

3.3 维护人员能力建设

吸收塔维护人员应具备脱硫工艺原理、设备结构与材料特性、防腐施工、无损检测等多学科知识,同时具备缺陷识别、故障判断和处置方案制定的实操能力。电厂应构建分级培训体系:新员工开展塔内结构认知与安全规范入门培训,骨干人员提供防腐施工、转动设备精密检修及振动分析等进阶培训,技术管理岗位强化失效分析和状态检修决策能力培养。培训采取理论授课与现场实操结合、厂家培训与内部传帮带结合的方式。同时建立特种作业资质管理制度,有限空间、高空、焊接、防腐作业人员须持有效证件上岗并定期复审,通过系统化培养打造懂原理、会判断、精操作的专业队伍。

3.4 备品备件与工器具管理

备品备件管理直接影响故障处理效率。关键备件清单应包括喷嘴、机械密封及轴承、阀门密封件、防腐修补材料、除雾器模块等,库存策略基于采购周期、故障频率和后果综合制定,进口长周期备件保持最低安全

库存, 常规易损件按季度消耗量合理储备。备件入库须严格检验材质、尺寸和防腐性能, 严防假冒伪劣产品。专用检测工器具需配置超声波测厚仪、电火花检测仪、内窥镜、涂层附着力测试仪、红外热成像仪等并定期校准, 大型检修工具须检验合格。建立备件信息化管理系统, 实现库存预警、出入库追溯和消耗规律分析, 确保维护工作有件可用、用得放心。

4 日常检查与运行维护要点

4.1 运行参数监控与分析

运行参数是吸收塔运行工况的直接映射, 系统化监控与分析是实现故障早期预警的有效手段。运行人员每班次应重点关注关键参数及其变化趋势: 出入口烟气温差反映气液热交换效率, 入口烟温异常升高可能指示燃烧调整问题或旁路泄漏; 除雾器差压持续上升预示冲洗不足或结垢加速, 需立即调整冲洗策略; 浆液 pH 值偏离设计范围时需迅速调整供浆量, 防止过低加速腐蚀或过高引起结垢; 浆液密度反映浓缩程度, 过高加速磨损且影响脱水, 过低则排石膏效率低下; 浆液循环泵电流异常下降通常指向叶轮磨损或入口滤网堵塞; 氧化空气流量和压力变化反映管网畅通状态。运行人员应养成阅读趋势曲线的习惯, 对日变化、周变化保持敏感, 将异常苗头消除在萌芽阶段, 避免小偏差累积酿成大故障。

4.2 巡回检查要点

巡回检查是发现设备早期缺陷最直接的手段, 须制度化、标准化执行。塔体外部巡检应沿固定路线进行, 重点观察塔壁焊缝及外表有无渗漏或防腐层鼓包渗液, 尤其在烟气入口法兰、人孔门周围、塔底裙座等应力集中和腐蚀敏感区域, 应仔细查看保温层有无变色或潮湿点, 这往往是塔壁腐蚀穿孔的早期表征。浆液循环泵区域须每班次检查轴承温度、振动、机械密封泄漏量和润滑油位油质, 确认泵出口压力稳定、法兰无滴漏^[4]。搅拌机巡检重点检查电机电流、减速机油温、密封水流量压力是否正常, 倾听运行声音判断有无异常。塔顶除雾器通过观察孔查看冲洗喷嘴工作情况。对跑冒滴漏实行发现即记录、记录即处理的闭环管理, 巡检记录须规范真实, 作为劣化趋势分析的基础数据。

4.3 定期检验与检测

定期检验检测是利用专业仪器对设备状态进行量化评估的重要手段。塔壁厚度检测应在不同高度布置固定测点, 重点覆盖烟气入口干湿交界区、喷淋层对应塔壁环带和浆液池液面波动区, 每季度检测一次, 建立壁厚衰减曲线, 减薄接近设计裕度时提前策划补焊或加固。

防腐层检测采用电火花检测仪对衬里进行针孔扫描, 结合目视检查和附着力测试, 每半年对重点区域全面检测一次, 发现针孔或剥离及时修复。除雾器结垢程度通过差压趋势判断, 必要时停机目视检查并取样分析垢层成分。喷嘴磨损程度每季度抽检各层不同位置的数只喷嘴, 测量孔径和喷雾角度推算更换周期。

4.4 季节性 & 特殊工况维护要点

不同季节和特殊运行工况下吸收塔维护重点有所差异, 须采取针对性措施。迎峰度夏期间机组长期满负荷运行, 环境温度高导致浆液冷却效果变差, 温度升高加速衬里老化和腐蚀反应, 应加强冷却水系统检查, 增加循环泵轴承温度监测频次, 适当提高除雾器冲洗频率防止蒸发结垢。深度调峰工况下负荷频繁波动, pH 和密度控制难度增加, 循环泵频繁启停加剧磨损和热冲击, 须关注浆液品质和启停操作规范性, 减少不必要空转磨损。冬季停运期间设备防冻是重点, 管道须彻底排空或保持伴热投运。机组启停阶段严格控制升降温速率, 减缓热应力对衬里和塔壁的损伤。煤种切换导致烟气含硫量和含尘量大幅变化时, 须及时调整制浆量和排石膏量, 加密除雾器检查冲洗频次, 防止适应性不足引发故障。

结束语

吸收塔作为火电厂湿法脱硫系统的核心装备, 其长周期安全运行直接关系到机组环保达标和发电可靠性。本文从设备工况分析入手, 系统梳理了腐蚀、磨损、结垢与机械四大类故障模式及其耦合机理, 阐明了维护管理体系建设、安全管控、人员培养和备件保障等组织层面的保障要求, 并详细论述了日常参数监控、巡回检查、定期检测及特殊工况维护的实践要点。随着状态监测技术、预测性维护算法和数字孪生技术在电力行业的深入应用, 吸收塔维护将逐步从经验驱动转向数据驱动, 实现故障的提前预判和检修的精准施策, 为脱硫系统更高水平的可靠性提供技术支撑。

参考文献

- [1] 李忠民. 火电厂烟气脱硫热工设备常见故障分析[J]. 电力系统装备, 2022(9): 142-144.
- [2] 张继升. 火电厂锅炉检修中注意的问题及维护对策分析[J]. 应用能源技术, 2022(10):43-45.
- [3] 李波铮. 火电厂脱硫系统吸收塔液位智能预测控制算法研究[J]. 河南科技, 2026,53(5):19-23.
- [4] 黄晓松. 火电厂灰硫设备检修管理创新策略[J]. 商品与质量, 2021(47):39-40.