

# 化工企业热电锅炉与管道腐蚀泄漏及防范措施

杨俊飞 (中石化(河南)炼油化工有限公司, 河南 洛阳 471012)

**摘要:** 本文聚焦化工企业热电锅炉与管道腐蚀泄漏问题,旨在分析其成因并提出有效防范措施。研究方法上,从介质特性、运行工况、设备设计与维护三个维度剖析腐蚀泄漏原因,发现介质中的强腐蚀性成分、温度压力等工况变化以及设备设计不合理、维护不到位等都会引发腐蚀泄漏。针对这些原因,提出优化材料选型与表面防护技术,选用高性能材料并采用先进防护工艺;强化运行参数控制与介质品质管理,严格监控介质指标并优化运行参数;完善设备检修与寿命评估体系,建立“逢停必检”制度并引入先进监测技术进行寿命评估等防范措施,以降低腐蚀泄漏风险,保障化工企业热电系统的安全稳定运行。

**关键词:** 化工企业; 热电锅炉; 管道; 腐蚀

中图分类号: TQ050.9

文献标识码: A

文章编号: 1674-5167(2026)008-0154-03

## Corrosion leakage and preventive measures of thermoelectric boilers and pipelines in chemical enterprises

Yang Junfei (Sinopec (Henan) Refining and Chemical Co., Ltd., Luoyang Henan 471012, China)

**Abstract:** This article focuses on the issue of corrosion and leakage in thermoelectric boilers and pipelines of chemical enterprises, aiming to analyze its causes and propose effective preventive measures. In terms of research methodology, the causes of corrosion and leakage are analyzed from three dimensions: medium characteristics, operating conditions, and equipment design and maintenance. It is found that strong corrosive components in the medium, changes in temperature and pressure, as well as unreasonable equipment design and inadequate maintenance, can all lead to corrosion and leakage. In response to these reasons, preventive measures are proposed, including optimizing material selection and surface protection technology, selecting high-performance materials and adopting advanced protection processes; strengthening operating parameter control and medium quality management, strictly monitoring medium indicators and optimizing operating parameters; improving equipment maintenance and life assessment systems, establishing a “check every shutdown” system and introducing advanced monitoring technology for life assessment, in order to reduce the risk of corrosion and leakage and ensure the safe and stable operation of the thermoelectric system in chemical enterprises.

**Keywords:** chemical enterprise; thermoelectric boiler; pipeline; corrosion

在化工企业的生产运营里面,热电锅炉与管道发挥着极其关键的作用,为企业的能源供应以及工艺流程给予基础保障。然而腐蚀泄漏问题始终存在,对设备的安全运行、生产效率还有企业的经济效益均产生严重影响,介质特性、运行工况以及设备设计和维护等诸多方面的因素,都很有可能是腐蚀泄漏的诱因。深入剖析这些原因,并探寻切实有效的防范措施,对于保障化工企业热电系统的稳定运行、降低安全风险具有极其重要的现实意义。

### 1 化工企业热电锅炉与管道腐蚀泄漏后果

化工企业热电锅炉及配套蒸汽、给水、排污等管道系统长期处于高温、高压和复杂介质环境中,极易发生腐蚀与泄漏问题,一旦发生事故,后果极为严重。高温高压的蒸汽或者热水一旦泄漏,极有可能在一瞬间就造成大面积的烫伤,严重的甚至会导致致命伤害,对现场操作人员的人身安全构成直接威胁,若是泄漏发生在易燃易爆的区域,高温的介质就可能引燃周边的可燃气体或者物料,从而诱发火灾,甚至引发爆

炸,致使设备遭到损毁,生产也会被迫中断。而锅炉本体或者主蒸汽管道破裂的话,很可能会引发锅炉超压爆炸,这种爆炸的破坏力极强,波及的范围也非常广,会危及整个厂区的安全,另外,腐蚀产物(例如铁锈、垢层等)随着工质进入汽轮机或者工艺装置,会令关键设备的磨损速度加快,还会堵塞仪表或者换热器,对系统的稳定运行产生不良影响。

更为隐匿的情形是,持续不断的微小泄漏,不但会让能源白白浪费掉,还会增加补水以及水处理的成本,更会由于水质的恶化而加剧系统的二次腐蚀,进而形成一个恶性循环,尤其在化工企业当中,部分管道所输送的是含有硫、氯、氨等腐蚀性介质的物质,这就进一步加快了材料的劣化程度。所以,腐蚀泄漏不单单是设备管理方面的问题,更是一个重大的安全环保风险源,必须要凭借定期检验、材质升级、水化学控制、在线监测以及智能预警等一系列的综合手段来加以防范和控制,从而切实地保障生产的安全以及连续运行。

## 2 化工企业热电锅炉与管道腐蚀泄漏原因

### 2.1 介质特性引发的腐蚀

化工企业热电锅炉与管道输送的介质成分复杂，这是造成腐蚀泄漏的主要原因所在，倘若介质当中含有强酸、强碱或者强氧化性物质，就会直接针对金属材质的管道以及锅炉部件产生化学腐蚀。浓硫酸、氢氧化钠之类的介质，会和金属展开化学反应，破坏掉金属表面的保护膜，让金属逐步溶解，致使管道壁厚变薄，最终引发泄漏情况。同时，介质里面的氯离子、硫化物等杂质，会引发应力腐蚀开裂问题，在拉应力的作用影响下，金属处于含有这些腐蚀介质的溶液之中，会顺着晶界或者特定方向出现裂纹，伴随裂纹的扩展，管道或者锅炉部件的强度降低，最终造成泄漏事故的发生<sup>[1]</sup>。

### 2.2 运行工况导致的腐蚀

热电锅炉跟管道于运行当中，工况改变也能引发腐蚀状况，温度波动对腐蚀影响极大，温度升高之时，金属电化学腐蚀反应速度加快，并且，高温会让介质中的某些成分分解或者出现化学反应，生成腐蚀性更强的物质，好比在高温之下，水中溶解氧会加快对金属的腐蚀，压力变化同样会作用于腐蚀，压力升高能使介质中气体溶解度加大，压力降低时，溶解的气体逸出，在金属表面形成气泡，气泡破裂所产生的冲击力会损坏金属表面的保护膜，提升腐蚀速度。此外，流速的变化也不容忽视，流速过快会使介质对金属表面的冲刷作用增强，导致磨损腐蚀，尤其是在管道的弯头、三通等部位，磨损腐蚀更为严重<sup>[2]</sup>。

### 2.3 设备设计与维护不当引发的腐蚀

设备设计不合理属于导致腐蚀泄露的潜在因素，在管道设计之时，若是没有充分考虑介质的腐蚀特性，选用了不耐腐蚀的材料，或者管道布局不合理，设有死角、积液等方面的问题，会致使介质于局部区域浓缩，从而让腐蚀情况加剧，在锅炉设计里面，倘若受热面的布置不合适，会造成局部区域温度过高，产生高温腐蚀。设备维护不当同样会引发腐蚀泄露，比如，没有定期针对管道和锅炉开展清洗以及除垢，会使得管道内壁结垢，进而令垢下腐蚀加剧；没有及时把老化的密封件进行更换，会致使介质泄露，进而导致周围设备出现腐蚀；于检修过程当中，如果没有对腐蚀部位展开完全处理，仅仅做简单修补，会导致腐蚀问题没办法获得根本解决，留下了安全隐患<sup>[3]</sup>。

## 3 化工企业热电锅炉与管道腐蚀泄漏防范措施

### 3.1 优化材料选型与表面防护技术

化工企业热电锅炉以及管道的腐蚀泄漏问题，主要原因往往和材料选型紧密相关，在高温、高压还有

强腐蚀性介质的环境当中，传统的碳钢材料很容易因为电化学腐蚀或者高温氧化造成性能变差，比如，锅炉水冷壁处在高温烟气冲刷的情况下，如果没有选用耐高温腐蚀的合金钢，或是没有进行表面防护处理，金属表面会因为硫化物、氯化物等腐蚀性气体的侵蚀慢慢变薄，最后引发泄漏。所以说，在材料选型这个阶段需要全面考虑介质成分、温度、压力以及运行周期等一些因素，优先运用耐蚀合金钢、双相不锈钢或者复合钢板等高性能的材料，对于已经投入运行的设备，可以通过表面防护技术来延长使用寿命，就如运用超音速电弧喷涂技术在水冷壁表面喷涂镍基合金涂层，形成密闭的金属屏障，能够有效地把腐蚀介质和基材的接触隔离开；要么就是对省煤器弯头等容易磨损的部位安装陶瓷衬片，凭借陶瓷材料的高硬度这一特性减少飞灰颗粒的冲蚀影响。

以热喷涂来讲，在进行热喷涂前得运用喷砂工艺来处理基材表面，要保证表面粗糙度达到 Ra6.3—12.5 μm，借此增强涂层附着力；在热喷涂操作时要对喷涂距离、角度以及粉末粒度加以控制，防止涂层出现孔隙或者裂纹；喷涂完成后要开展封孔工作，选用有机硅树脂等材料来填充涂层孔隙，避免腐蚀介质渗入。对于高温管道而言，可以凭借渗铝工艺在金属表面构建起铝铁合金层，这一合金层在高温环境下会形成致密的氧化铝保护膜，极大程度提高了材料的抗高温氧化性能<sup>[4]</sup>。

### 3.2 强化运行参数控制与介质品质管理

热电锅炉跟管道的运行参数，会直接对腐蚀速率造成影响，拿锅炉给水 pH 值来谈，若是其过低，金属表面保护膜就会溶解，从而引发酸性腐蚀；若是过高，就可能导致碱腐蚀，使金属晶界结构被破坏，所以要构建严格的介质品质监控体系，定期对锅炉给水、炉水、蒸汽以及凝结水等关键介质展开化验分析，保证它们的化学指标能契合标准要求。针对含盐量比较高的水质，得借助离子交换、反渗透等除盐技术，降低水中氯离子、硫酸根离子之类腐蚀性离子的含量；对于含氧量超标的水质，要运用热力除氧或是化学除氧（如加入联氨）的办法去除溶解氧，防止氧腐蚀发生。

运行参数要进行优化，那得与设备特性以及工艺要求相结合，就好比在锅炉燃烧调整的时候，需要对火焰中心位置进行控制，防止火焰偏斜，不然会让局部过热，从而引发高温腐蚀；并且还要合理配风，来保证燃料能够完全燃烧，减少一氧化碳等还原性气体的产生，进而降低炉膛内的腐蚀风险。对于像过热器还有再热器这些高温部件，一定要严格控制管壁温度，避免超温运行，要不然会使材料蠕变加速或者氧化皮

剥落；而对于省煤器这类低温部件，要防止低温腐蚀，这可以依靠提高排烟温度或者选用耐腐蚀材料比如铝钢管的方式来达成。

此外，还需强化对热电锅炉及管道运行参数的实时监测。运用先进传感器以及自动化监控系统，连续精准监测压力、温度、流量等关键参数，及时发觉参数异常波动，一旦察觉到参数偏离正常范围，系统马上发出警报，以便操作人员及时采取措施予以调整，防止因参数失控致使腐蚀加剧或是其他安全事故出现，并且，要构建完善的运行参数以及介质品质管理档案。详细记录每次检测数据、调整措施还有设备运行状况等信息，凭借对这些历史数据的剖析，总结规律，找寻潜在问题与风险点，为后续优化管理给予有力根据，提高操作人员在运行参数控制以及介质品质管理方面的认识与技能水平，使其熟悉设备特性和工艺需求，掌握正确操作和调整办法，能够准确判断和处理各类异常情况，保证热电锅炉及管道一直处在安全、稳定、高效的运行状态<sup>[5]</sup>。

### 3.3 完善设备检修与寿命评估体系

设备检修属于预防腐蚀泄漏的关键之处，化工企业得建立“逢停必检”这种检修制度，每次停炉的时候，去对锅炉以及管道全面检查，着重排查易腐蚀部位比如水冷壁向火侧、过热器弯头、省煤器入口等的壁厚减薄、胀粗、裂纹之类缺陷，对于发现的这些缺陷，要依照其严重程度制定修复方案，像运用打磨、补焊、更换管段等方法来处理；对于无法修复的设备，要马上进行更换，防止带病运行导致事故。检修过程要严格依照工艺标准来开展，比如说，焊接修复的时候得选用与母材相匹配的焊材，控制焊接热输入，防止产生焊接裂纹；补焊之后要进行无损检测，保证焊缝质量契合要求。

化工企业得运用设备运行历史、腐蚀监测数据以及材料性能退化规律，构建设备寿命评估模型，来对锅炉和管道的剩余寿命加以预测，针对接近设计寿命的设备，务必要强化监测力度，缩短检修周期，必要的时候提前予以更换；而对于超期服役的设备，要开展安全性评估，订立有针对性的防护举措，保证其安全运转。同时，要采用先进的腐蚀监测技术，像超声波测厚、电化学阻抗谱、氧化皮监测等等，实时把握设备腐蚀状态，从而为寿命评估提供数据支撑，比方说，通过在高温管道上装置氧化皮监测装置，能够实时监测管内氧化皮厚度及堆积状况，马上清理氧化皮堆积部位，避免因氧化皮剥落使得管壁超温或者堵塞。

此外，企业要推动设备检修以及寿命评估朝着数字化、智能化的方向去转变，鉴于设备全生命周期管

理平台的建立，将设计参数、运行工况、检修记录、腐蚀监测数据以及失效案例等多源信息进行集成，借助大数据分析和人工智能算法，动态对设备健康状态评分以及剩余寿命预测结果加以更新。比如说，把历年超声波测厚数据和温度、压力、水质等运行参数相关联来建模，能够识别出腐蚀速率异常加速的早期信号，以实现从“定期检修”朝着“预测性维护”进行转变，并且，引入数字孪生技术，在虚拟空间当中构建锅炉以及关键管道的高保真模型，实时映射物理设备的运行状态，模拟不同工况下应力分布和腐蚀演化的趋势，为检修决策和寿命延寿赋予可视化的支持。从制度保障角度而言，企业得健全责任追溯机制，去明确设备管理、运行操作、检修维护各环节的责任主体，把寿命评估结果运用到设备更新改造投资计划当中，针对高风险、高龄化设备施行“一机一策”的管理方式，制定专门的监控以及应急预案，并且，还得加强人员能力建设，定期组织腐蚀机理、无损检测、寿命评估方法等专题培训，增进技术人员的专业判断力。通过“制度+技术+人才”三位一体的协同推进，真正构建起科学、精准、高效的设备检修与寿命评估体系，从根本上防范因设备老化、腐蚀劣化引发的泄漏、爆管乃至重大安全事故，保障化工企业热电系统的长周期、安全、稳定运行。

## 4 结束语

化工企业热电锅炉与管道的腐蚀泄漏问题不容小觑，它关乎着企业的生产安全与可持续发展。通过优化材料选型与表面防护技术、强化运行参数控制与介质品质管理以及完善设备检修与寿命评估体系等一系列防范措施的实施，能够从源头上减少腐蚀泄漏的发生几率，延长设备的使用寿命。化工企业应高度重视这一问题，积极落实各项防范措施，为企业的稳定发展筑牢坚实的安全防线。

### 参考文献：

- [1] 邓凯, 苏伟, 贺常育, 等. 火力发电锅炉过热器管道失效分析及维修策略 [J]. 冶金动力, 2025(06):46-49.
- [2] 张凌博, 王立勋, 巩建坤, 等. 工业热水锅炉内管道腐蚀与防护分析 [J]. 工业加热, 2025,54(09):79-84.
- [3] 翟法军, 张元元. 变换气废热锅炉换热管腐蚀泄漏自动监测方法 [J]. 化工机械, 2025,52(03):468-473.
- [4] 温金涛, 陈亚娟, 李六军, 等. 常压热水锅炉供暖系统一些常见问题及解决方法 [J]. 暖通空调, 2023,53(05):158-161.
- [5] 徐连勇, 荆洪洋, 霍立兴, 张玉凤. 热喷涂技术在电站锅炉“四管”防护上的应用 [J]. 湖北电力, 2003,27(02):48-50.