

脱硫废液制酸装置关键管道系统的设计与优化

王红梅 (南京合工智能环保研究院有限公司, 江苏 南京 210000)

摘要: 脱硫废液制酸技术是工业废弃物资源化的重要方式, 其关键管道系统的运行稳定性直接关乎装置生产效率、安全水平与经济效益, 针对该工艺介质具有强腐蚀性、高温、易结晶堵塞的核心特性, 本文从管道材料选型、结构布局、安全保障等方面阐述关键设计要点, 结合流体力学原理与工艺优化需求提出管道阻力优化、防凝堵优化、寿命延长优化等技术思路, 最后通过实际工程案例验证了设计与优化方案的可行性, 实践证明优化后的管道系统可显著提升运行稳定性、降低维护成本, 为同类装置的管道设计提供技术参考。

关键词: 脱硫废液; 制酸装置; 关键管道; 设计; 优化

中图分类号: TQ055; X781

文献标识码: A

文章编号: 1674-5167 (2025) 036-0103-03

Design and optimization of key pipeline system for desulfurization waste liquid acid production unit

Wang Hongmei (Nanjing Hegong Intelligent Environmental Protection Research Institute Co., Ltd., Nanjing Jiangsu 210000, China)

Abstract: The desulfurization waste liquid acid production technology is an important way of industrial waste resource utilization, and the operational stability of its key pipeline system is directly related to the production efficiency, safety level, and economic benefits of the device. In view of the core characteristics of the process medium, such as strong corrosiveness, high temperature, and easy crystallization blockage, this article elaborates on the key design points from the aspects of pipeline material selection, structural layout, and safety guarantee. Combined with the principles of fluid mechanics and process optimization requirements, technical ideas such as pipeline resistance optimization, anti condensation blockage optimization, and life extension optimization are proposed. Finally, the feasibility of the design and optimization scheme is verified through practical engineering cases. Practice shows that the optimized pipeline system can significantly improve operational stability, reduce maintenance costs, and provide technical reference for pipeline design of similar devices.

Keywords: Desulfurization waste liquid; Acid production unit; Critical pipelines; Design; Optimization

工业脱硫废液含有大量单质硫、副盐 NH_4CNS 和 $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_3$ 等, 直接排放会造成严重污染, 制酸法则是实现其资源化利用的有效方式, 在制酸装置中, 关键管道负责输送脱硫废液、高温烟气、稀硫酸及成品酸等强腐蚀、高温且易结晶的介质, 是各工艺单元连接的核心枢纽, 却常因腐蚀泄漏、结垢堵塞、振动破损等问题影响装置运行的安全性与稳定性; 目前相关研究多集中在工艺与核心设备的优化上, 管道系统设计缺乏系统性考量, 存在材料选型不当、布局规划不合理、防堵塞措施不足等问题, 本文结合制酸工艺特性, 深入剖析管道设计的核心要点, 提出针对性优化方案, 且该方案已通过工程实践验证, 可为同类制酸装置的管道设计提供理论支撑与实践参考。

1 脱硫废液制酸装置关键管道系统设计要点

1.1 设计核心原则

脱硫废液制酸装置关键管道系统设计, 需牢牢围绕工艺工况这一核心依据, 坚守安全性、经济性与可靠性相统一的核心原则, 其中安全性原则要求管道设计充分考量介质的腐蚀性、高温的特性以及潜在的泄漏风险, 需通过合理选用管道材料、优化结构设计的

方式杜绝各类安全隐患; 经济性原则强调在完全满足装置运行需求的前提下, 着力优化管道布局规划与规格参数设定, 以此有效降低设备购置成本、施工建设成本以及后续运维管理成本; 可靠性原则则着重指出管道系统必须具备适应长期连续运行的能力, 最大限度减少因管道故障引发的装置停机问题, 降低停机造成的各类损失^[1]。

1.2 关键管道分类及设计重点

结合输送介质的特性与工艺功能, 脱硫废液制酸装置的关键管道可分为脱硫废液输送、高温烟气输送、稀硫酸及成品酸输送、辅助介质输送四类, 各类管道因输送介质存在差异, 设计重点也有所不同。脱硫废液输送管道的设计核心在于防腐与防堵塞, 由于脱硫废液中含有铵盐与单质硫, 腐蚀性极强, 且部分组分在输送过程中易随温度变化结晶析出进而造成管道堵塞, 因此管道设计需重点关注材料的耐腐蚀性与耐磨性, 同时合理确定管道流速与管径以避免介质滞留结晶。高温烟气管道主要负责输送制酸反应过程中产生的高温烟气, 这类烟气不仅温度高还含有少量腐蚀性组分, 所以设计重点要放在材料的耐高温性能与热

膨胀补偿上,通过设置合理的膨胀节与支架缓解温度变化导致的管道形变,同时做好保温设计以减少热量损失。稀硫酸及成品酸输送管道的设计核心是耐腐蚀性与密封性,硫酸对管道材料具有强烈腐蚀作用,且酸液泄漏会造成严重的环境污染与设备损坏,因此需选用适配的耐酸材料并优化管道连接方式以确保密封可靠。辅助介质输送管道涵盖蒸汽、冷却水、压缩空气等输送管道,其设计重点在于适配各辅助工艺的运行需求,保障介质输送的稳定性,为核心工艺单元的正常运行提供有力支撑。

1.3 管道材料选型要点

材料选型是管道设计的核心环节,直接决定着管道系统的耐腐蚀性、耐高温性以及使用寿命,其选择需以输送介质的组分、温度、压力等关键参数为基础,结合材料自身的性能特性与经济性展开综合考量;对于输送强腐蚀性介质的管道,需优先选用耐腐蚀性优异的材料,同时还要考量介质温度对材料性能的影响,避免在高温环境下材料的耐腐蚀性能出现下降,而对于输送高温介质的管道,则要重点关注材料的耐高温强度与热稳定性,防止因长期高温运行导致管道强度降低^[2];在满足管道运行要求的前提下,材料选型还需兼顾经济性,合理挑选性价比高的材料,避免因过度设计造成成本增加。

1.4 管道布局与结构设计要点

管道布局设计需紧密结合装置整体工艺布局,严格遵循短直顺的核心原则,通过减少管道弯头、阀门等阻力部件的数量来降低流体阻力损失,同时要合理规划管道走向避免交叉重叠,为后续设备维护与检修预留充足空间;对于易结晶、易堵塞的管道,需着重避免出现死管段与低凹部位,还要设置合理的坡度与排放口,这样才能便于介质顺畅流动和沉积物及时清理。管道结构设计需将重点放在管道的支撑与热膨胀补偿上,要根据管道的规格、重量及运行温度来合理设置支架类型与间距,以此确保管道运行稳定,避免因振动导致管道破损^[3];对于高温管道,则需设置膨胀节等热补偿装置,通过这类装置缓解温度变化产生的热应力,防止管道出现变形或连接处泄漏的问题。

2 脱硫废液制酸装置关键管道系统优化方法

2.1 基于流体力学的阻力优化

管道阻力损失对装置运行效率有着关键影响,尤其是大流量、长距离的关键管道,其阻力损失过大会直接增加介质输送的能耗,还会降低整体生产效率;基于流体力学原理可知,管道阻力损失主要与管道内径、介质流速、管道长度以及局部阻力部件的数量相关,因此管道阻力优化可通过优化管道管径与介质流

速、减少局部阻力部件数量、优化管道弯头结构等方式实现。具体来看,可通过流体力学模拟计算确定最优的管道管径与介质流速参数,这样既能满足介质输送的实际需求,又能降低因流速过大而导致的阻力损失和管道磨损;同时要尽量减少管道弯头、三通等局部阻力部件的数量,对于必须设置的局部阻力部件则采用低阻力结构设计,以此降低局部阻力系数^[4]。

2.2 防凝堵与防腐蚀优化

凝堵和腐蚀是脱硫废液制酸装置关键管道系统最主要的故障形式,针对这两类问题开展优化设计是提升管道运行稳定性的核心所在,其中防凝堵优化需要结合介质本身的结晶特性,从温度控制、管道结构设计以及清堵机制设置这三个核心方面同步入手,通过为管道设置伴热装置来维持管内介质温度始终高于结晶温度,从而避免介质结晶析出,同时优化管道整体布局以杜绝介质滞留部位的出现,还需合理设置排污口与清堵口以便及时清理管道内的沉积物,对于那些容易发生结晶的管道则要加装保温层来减少热量散失,确保介质温度保持稳定;防腐蚀优化则需在优化材料选型的基础上,结合介质的腐蚀特性搭配采用防腐涂层、阳极保护等辅助防腐措施,对于输送腐蚀性极强介质的管道,要在其内壁涂抹专用耐腐蚀涂层来增强管道本身的耐腐蚀性或采用阳极保护技术来有效减缓腐蚀速率,此外建立完善的腐蚀监测机制也尤为重要,它能实时监测管道的腐蚀状态,帮助工作人员及时采取针对性维护措施,这也是实现防腐蚀优化的重要保障。

2.3 运行稳定性与寿命优化

管道系统的运行稳定性和使用寿命直接关系到装置的运行效益,其优化工作需要综合考量管道运行工况、材料性能变化以及维护策略,通过一系列科学措施提升整体运行质量;优化管道支撑结构能够有效减少管道振动,进而避免振动引发的焊接接头松动和管道疲劳破损,合理设置缓冲装置则可以缓解介质输送时的压力波动,降低压力冲击对管道造成的损害;结合材料性能衰减规律与运行工况数据制定科学的维护保养策略,定期对管道开展检测、清理与维护工作,及时更换老化或受损的管道部件,就能有效延长管道使用寿命^[5];同时建立管道运行数据库,详细记录管道运行参数与故障信息,借助数据分析进一步优化运行工况,避免管道在恶劣工况下长期运转,从而显著提升其运行稳定性。

3 实践案例分析

3.1 案例背景

某化工企业拥有一套年产 2.5 万 t/a 脱硫废液制酸

装置,该装置采用焚烧净化转化吸收工艺路线,核心流程为脱硫废液经预处理后送入焚烧炉燃烧,产生的高温烟气经余热回收后进入净化工序,经洗涤、降温、除尘后,送入转化器进行催化转化,转化后的烟气再经吸收塔吸收生成成品硫酸;装置的关键管道包含脱硫废液输送主管道、焚烧炉出口高温烟气管道、净化系统稀酸管道和吸收塔出口成品酸输送管道,运行期间曾出现管道腐蚀泄漏、脱硫废液管道堵塞以及高温烟气管道热变形等问题,这些问题导致装置频繁停机维护,严重影响了生产效率,为解决上述各类问题,需对该装置的关键管道系统开展设计优化与技术改造工作。

3.2 优化措施

结合前文设计要点与优化方法,针对装置关键管道现存问题制定如下优化措施:材料升级方面,脱硫废液输送管道将原普通不锈钢材质替换为耐蚀低碳不锈钢以提升耐腐蚀性,高温烟气管道舍弃原有碳素钢材质改用耐高温不锈钢且增设耐高温保温层,稀酸输送管道采用玻璃钢或衬胶钢管来增强耐酸性能,成品酸输送管道采用低碳不锈钢或不锈钢+阳极保护来提高耐腐蚀性;结构与布局优化上,脱硫废液输送管道优化管径参数、减少弯头数量,控制原料中含水率,同时设置伴热装置与定期清堵口,高温烟气管道增设膨胀节并优化支架布局以缓解热变形,硫酸输送管道采用短直化布局减少阻力损失;监测与保护装置增设环节,在关键管道部位设置腐蚀监测传感器、温度传感器及压力传感器实时监测运行状态,为脱硫废液管道与成品酸管道配置应急切断阀以提升安全保障水平。

3.3 优化效果验证

装置优化改造完成后已连续稳定运行12个月,对关键管道运行参数的统计分析结果如表1所示,由表1可看出优化后各关键管道运行稳定性显著提升,脱硫废液管道每月平均堵塞次数从3.2次降至0.3次,堵塞频率大幅降低;高温烟气管道腐蚀速率从0.12mm/年降至0.025mm/年,耐腐蚀性显著增强,成品酸管道泄漏次数从每年4次降至0次,密封可靠性大幅提升。与此同时管道系统运行能耗显著降低,脱硫废液

输送泵能耗降低15%,高温烟气输送阻力损失降低20%,管道维护成本也从每年120万元降至35万元,经济效益十分显著。

实践验证,本次提出的脱硫废液制酸装置关键管道系统设计与优化方案,能有效解决管道腐蚀、堵塞、热变形等核心问题,显著提升管道系统运行的稳定性与经济性,还可为同类装置的管道设计与优化提供可靠的工程借鉴。

4 结论

脱硫废液制酸装置关键管道系统的设计与优化,需充分结合介质强腐蚀性、高温、易结晶堵塞的核心特性,以安全性、经济性与可靠性为核心原则,设计阶段要合理划分管道类型,针对性开展材料选型、布局规划与结构设计;优化阶段可借助流体力学阻力优化、防凝堵与防腐蚀优化、运行稳定性与寿命优化等技术手段,提升管道系统运行性能。某2.5万t/a脱硫废液制酸装置的实践案例已验证该设计与优化方案的有效性,优化后管道系统堵塞频率和腐蚀速率显著降低,运行能耗与维护成本大幅下降,装置连续运行稳定性也明显提升,本文提出的设计要点与优化方法,可为脱硫废液制酸装置及同类腐蚀性介质输送管道系统的设计与优化提供理论支撑和工程参考,未来可进一步结合智能化技术开发管道运行状态智能监测与预警系统,实现管道系统全生命周期的智能化管理。

参考文献:

- [1] 张联军,马卫,原鹏鹏,等.脱硫废液制酸预处理工艺技术改造与应用[J].煤化工,2025,53(1):67-69.
- [2] 张飞飞,侯奇虎.焦化行业脱硫废液制酸工艺的分析与应用[J].煤化工,2022,50(6):94-97.
- [3] 阮志刚.脱硫废液浆法进料制酸工艺应用实践[J].硫酸工业,2024(1):10-11.
- [4] 司少龙,马腾,居井明,等.低品质硫磺和脱硫废液制酸尾气净化的改进[J].燃料与化工,2023,54(3):67-69.
- [5] 梁磊.焦化厂废液制酸预处理系统设计与应用[J].工业控制计算机,2023,36(7):33-34.

表1某2.5万t/a脱硫废液制酸装置关键管道优化前后运行参数对比表

管道类型	评价指标	优化前	优化后	改善幅度
脱硫废液输送管道	堵塞次数(次/月)	3.2	0.3	89.40%
	腐蚀速率(mm/a)	0.09	0.02	77.80%
	输送泵能耗(kW·h/h)	45	38.25	15.00%
高温烟气管道	腐蚀速率(mm/a)	0.12	0.025	79.20%
	阻力损失(kPa)	85	68	20.00%
硫酸输送管道	泄漏次数(次/a)	4	0	100.00%
	维护成本(万元/a)	120	35	70.80%