

RTO 装置在化工废气处理中的应用

于经纬 池保华 岳祎辰
西安航天源动力工程有限公司
DOI:10.12238/pe.v3i3.13590

[摘要] 针对江苏某能源化工企业废气处理稳定性低、废气来源广泛、成分复杂、处理难度大的问题,本文通过优化预处理体系、设计间接预热器、开发一键反烤功能以及构建安全防护与防腐体系等方法,显著提升了RTO装置的运行稳定性与安全性。结果表明,该系统在760–900℃高温下实现有机物去除率99%以上,陶瓷蓄热体寿命延长30%,维护成本降低25%,同时通过LEL双冗余监测与多级阻火设计,有效控制了爆炸风险,为化工行业废气治理提供了高效、安全的技术支持。

[关键词] RTO装置; 化工废气处理; 应用

中图分类号: TK421+5 **文献标识码:** A

Application of RTO device in chemical waste gas treatment

Jingwei Yu Baohua Chi Yichen Yue
Xi'an Aerospace Source Power Engineering Co., Ltd

[Abstract] Aiming at the problems of waste gas treatment, low stability, wide sources of waste gas, complex components and great difficulty in treatment in an energy and chemical enterprise in Jiangsu, this paper significantly improved the stability and safety of RTO device by optimizing pretreatment system, designing indirect preheater, developing one-button back-baking function and constructing safety protection and anti-corrosion system. The results show that the system can remove more than 99% organic matter at the high temperature of 760–900℃, prolong the service life of ceramic regenerator by 30%, and reduce the maintenance cost by 25%. At the same time, the explosion risk is effectively controlled through LEL dual redundant monitoring and multi-stage fire prevention design, which provides efficient and safe technical support for waste gas treatment in chemical industry.

[Key words] RTO device; Chemical waste gas treatment; app; application

引言

能源化工行业废气处理面临成分复杂、污染物浓度波动大及热值差异显著等难题,传统处理方式难以达到现行环保标准。蓄热式热氧化装置(RTO)通过高效热回收与稳定运行特性,为行业提供了有效解决方案。该装置采用多床式蓄热体实现热量循环利用,废气在高温氧化过程中转化为CO₂和H₂O,同时释放可回收热能,热回收效率超过95%,大幅降低辅助燃料消耗,尤其适用于低热值废气场景。针对废气中VOCs、硫化物及氮氧化物等复杂成分,RTO通过精准调控燃烧温度与停留时间,在分解有机物的同时抑制二噁英等二次污染物生成,有机物去除率稳定在99%以上。在环保法规趋严和资源节约需求提升的背景下,RTO技术凭借其高效性与可靠性,逐渐成为能源化工行业废气治理的核心技术路径。

1 项目概况

江苏某能源化工企业废气来源广泛且成分复杂,主要排放设备包括反应釜(35%)、离心机(22%)和干燥机(18%)。废气组分涵盖甲苯、四氢呋喃、二氯甲烷等18种有机物,呈现多组分混合

特征,其中甲苯浓度范围为150–2,800mg/m³,四氢呋喃为80–1,500mg/m³,二氯乙烷为50–900mg/m³,这些有机物的爆炸下限(LEL)分别为1.2%、1.5%和6.2%,对工艺安全性提出较高要求。废气中还含有HCl及胺类化合物,燃烧后生成腐蚀性物质,pH值波动范围为8–10,加剧了设备材质选择与防腐设计难度,VOCs浓度波动范围为200–5,000mg/m³,峰谷比高达25:1,进一步增加了处理系统的负荷适应性需求。根据《DB32/4041–2021》大气污染物排放标准,企业设计了一套处理规模为20,000Nm³/h的三室RTO系统,该系统通过蓄热体高效回收热能,废气在高温(760–900℃)条件下实现氧化分解,有机物去除率可达99%以上(见表1)。

表1 废气浓度与爆炸下限

主要组分	浓度范围(mg/m ³)	爆炸下限(LEL)
甲苯	150–2,800	1.2%
四氢呋喃	80–1,500	1.5%
二氯乙烷	50–900	6.2%

2 工艺设计

2.1 预处理体系优化

本企业废气在进入RTO装置前,要经过针对性预处理体系优化,以确保系统运行稳定性。废气组分中含HCl及胺类化合物等酸性或腐蚀性物质,在高温燃烧过程中易生成强腐蚀性产物,对RTO蓄热体及内壁造成不可逆损害,所以要根据废气性质采用分级洗涤处理,首先通过酸碱中和反应降低酸性气体浓度,减少其对后续系统的潜在影响。废气混合后,进一步引入RTO入口洗涤塔,利用高效填料塔与碱性吸收液的协同作用,去除残余酸性气体并调控pH值至适宜范围,从而显著降低RTO内部腐蚀风险。洗涤塔设计结合废气流量与污染物浓度特性,确保气液接触时间与传质效率满足工艺要求,有效延长了RTO设备的使用寿命,避免了因腐蚀产生系统停机维护问题(见图1)。

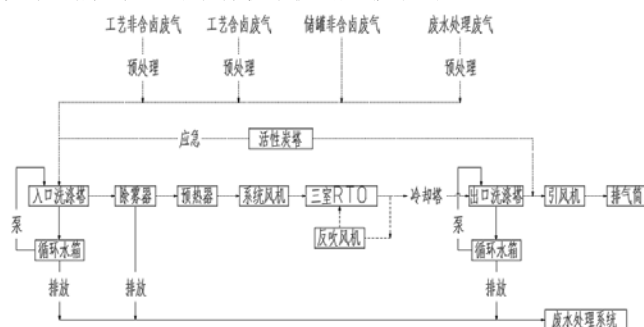


图1 废气处理工艺流程

2.2 间接预热器设计

在设计间接预热器时,设计人员要将目标放在优化热交换方式方面,采用科学、合理的设计方案,对间接预热器腐蚀、堵塞等方面进行全方面降低。在混合预热过程中,烟气掺和着大量Cl元素与废气中的胺类物质,一旦与外界物质进行相互接触,很容易产生化学反应,进而生成盐类物质。这些盐类在高温条件下析出,并沉积在陶瓷蓄热体表面,导致通道堵塞,严重影响系统的传热效率和运行稳定性。为解决这一问题,本企业采用了间接预热设计,通过物理隔离实现烟气与废气的非直接接触换热,从源头上避免了盐类物质的生成条件。间接预热器选用高效金属或耐腐蚀材料作为换热介质,在回收烟气余热的同时,使废气温度逐步升高至适宜范围,从而减少有机物冷凝积液现象的发生;设备材质选择方面,要综合考虑耐高温和抗腐蚀特性,进一步增强了预热器在复杂工况下的适应性,有效延长了陶瓷蓄热体的使用寿命,显著降低了系统维护频率和运行成本(见图2)。

企业	A 蓄热室			B 蓄热室			C 蓄热室		
	进气阀	出气阀	回风阀	进气阀	出气阀	回风阀	进气阀	出气阀	回风阀
T1	开	关	关	关	开	关	关	关	开
T2	关	关	开	开	关	关	开	关	关
T3	关	开	关	关	关	开	关	开	关

图2 运行时序

2.3 一键反烤功能开发

RTO装置在处理能源化工废气时,陶瓷蓄热体容易因盐类物

质(如氯化铵、硫化铵)及焦油等附着而发生堵塞,这些物质在高温条件下容易发生挥发,但其沉积行为会显著降低陶瓷层的透气性,进而对系统实际使用性能造成不同程度的影响。为解决上述问题,设计人员对RTO装置功能进行创新,优化设计一键反烤功能,利用该功能能将陶瓷底部温度提升至300℃,促使粘性物质气化或分解。其中,氯化铵在100℃以上开始挥发,并在300℃完全分解,部分焦油成分在该温度范围内可发生燃烧反应,从而实现自清洁效果。和传统水洗清理方式相比,一键反烤模式避免了水分对陶瓷材料和保温棉的侵蚀,同时省去了烘炉过程,大幅减少了天然气消耗和停机时间。在设计上述功能过程中,设计人员对废气组分特性和热力学原理进行充分思考,旨在对操作简便和高效进行提升,从而影响到RTO系统运行的稳定性。

针对盐类物质生成与堵塞问题,需从源头管控和工艺改进两个维度推进解决。当盐类物质来源于废气总管时,可通过增设水洗预处理环节去除酸性气体与胺类化合物,从而抑制盐类生成。在RTO入口处,间接预热设计通过物理隔离烟气与废气,有效规避了混合预热可能引发的化学反应条件。陶瓷底部堵塞物的特性直接影响清理方案的选择,而一键反烤功能通过精准温度控制实现定向清除。这种设计不仅延长了设备使用寿命并降低运维成本与能耗,还实现了技术可行性与环保效益的平衡,体现了工程应用中的综合优化思路。

3 安全防护体系构建

3.1 爆炸风险控制

LEL双冗余监测采用红外与催化燃烧双传感器技术,响应时间低于3秒,能够实时检测废气中可燃气体浓度并快速预警,避免因局部浓度过高引发燃爆事故。多级阻火设计结合管道阻火器与洗涤塔液封功能,其中阻火器利用火焰淬熄原理,火焰传播速度限制在0.45m/s以内,有效阻止火焰回流。洗涤塔液封旨在建立物理屏障,控制液位在800mm,对火焰蔓延路径进行隔绝。在泄爆防护设计方面,RTO装置采取多重安全措施保障系统稳定运行。炉膛顶部安装爆破片,设定动作压力为0.15MPa,可在超压情况下快速释放能量,保护设备主体结构安全。主管道每间隔60米设置防爆门,根据压力波动规律优化泄爆位置与间距,有效控制爆炸影响范围。这种安全设计充分考虑废气成分复杂性和工艺条件的动态变化,通过关键节点的精准控制与多重防护机制的协同作用,显著提升了RTO装置应对潜在爆炸风险的能力,为能源化工行业废气治理提供可靠技术保障,同时体现了工程设计的严谨性与创新性^[1]。

3.2 运行安全保障

RTO出口的高温防护系统通过冷却塔与洗涤塔的协同作用,将废气温度稳定控制在100℃以内。洗涤塔采用玻璃钢材质建造,兼具耐腐蚀性和结构强度;冷却塔则通过热交换机制降低废气温度,避免高温对后续设备造成损伤。当冷却塔温度控制失效导致出口温度超标时,系统自动启动应急响应:切断与生产线的连接,并将废气切换至活性炭处理系统进行应急处置,确保排放安全。这种设计思路遵循热传导规律与应急处置流程,

既保障极端工况下废气处理的连续性,又有效防范设备与人员安全风险。

针对失电、失气、失水等极端工况的设计优化,显著增强了系统的可靠性与抗风险能力。电控柜配置不间断电源模块,确保在断电情况下关键阀门仍能维持30分钟正常运行,为应急处置争取时间。压缩空气管路安装压力监测装置,实时追踪气源状态,压力异常时自动报警并触发停机保护,避免气动元件故障引发系统失控;冷却系统配置应急补水装置,在冷却介质不足时自动启用备用供水,防止温度异常升高。该设计方案充分考量行业工况复杂性,融合自动化控制与多重保障机制,有效降低运行风险。并且要建立关键资源的独立监控体系与应急方案,帮助装置在突发情况下能够正常运行其核心功能,全面提升废气治理的可靠性,有效增强工程设计的合理性。^[2]

4 防腐设计策略

4.1 材料优选方案

炉体入口前管道根据温度与腐蚀特性分区选材,预热后区域采用不锈钢316L材质,其优异的耐高温与抗氯化物应力腐蚀性能确保管路在高温废气环境下的长期稳定运行。预热前管道则选用防静电玻璃钢材质,兼顾防腐性能与防静电需求,避免因静电积聚引发安全隐患。新风风门及RT0入口联机/直排风门采用玻璃钢或碳钢衬防腐材料,三通提升阀结构则升级为双相钢2507材质,以应对高强度腐蚀与机械应力环境。RT0出口至冷却塔间管道选用双相钢2507材质并辅以外保温设计,既防止高温腐蚀又减少热量损失,而冷却塔至烟囱间管道则采用玻璃钢材质,平衡了成本与性能需求。

陶瓷床支撑架、进出口切换阀及蓄热床底腔体等核心部件统一采用双相不锈钢2507材质,该材料兼具奥氏体不锈钢的韧性和铁素体不锈钢的耐腐蚀性,能够承受高温氧化与酸性气体侵蚀,显著延长设备使用寿命;冷却塔内部采用碳钢内衬耐火材质,进一步增强抗高温与抗腐蚀能力,满足长期运行需求;压差开关采样管选用不锈钢316L材质,确保监测数据准确性的同时避免因腐蚀导致的测量偏差^[3]。上述材料优选方案基于废气组分特性、温度分布及工艺操作条件进行系统性优化,体现了防腐设计的科学性与针对性(见表2)。

表2 材料优选方案

部件	材料选择	耐腐蚀性能
预热器壳体	玻璃钢+碳纤维增强	耐 HCl 腐蚀(≤10%浓度)
蓄热室支撑架	双相钢 2507	耐点蚀指数 PREN≥40
切换阀	哈氏合金 C276	耐卤素离子腐蚀

4.2 工况优化措施

RT0装置在能源化工废气处理中的工况优化措施通过湿度

控制、化学中和与在线监测相结合,显著提升了系统防腐性能与运行稳定性。当入口废气加热至80℃以上,确保温度高于露点温度,避免水蒸气冷凝形成酸性液膜,有效防止了HCl、SO₂等废气中酸性气体在低温条件下溶解生成腐蚀性酸液,从而保护管道与设备内壁免受电化学腐蚀侵害。出口洗涤塔通过碱液喷淋系统将pH值稳定控制在6.5-7.5区间,利用中和反应有效去除废气中的酸性残留物,显著降低设备腐蚀风险。洗涤液pH值根据废气成分与流量变化进行动态调节,既保障中和效率,又减少药剂消耗。实时监测技术的应用提升了工况优化的及时性与准确性,Cl⁻浓度传感器布置于关键节点,设定50ppm的预警阈值,可快速感知氯化物浓度波动并触发警报。氯化物的存在会加速设备材质的腐蚀进程,并可能在高温环境下形成盐类沉积物导致通道堵塞。这种综合设计有效解决了废气处理末端的潜在风险,保障了系统运行的安全性与稳定性^[4]。通过实时监控Cl⁻浓度,可及时调整工艺参数或采取应急措施,避免腐蚀问题恶化。上述工况优化措施基于废气组分特性与热力学原理设计,充分考虑了温度、湿度及化学环境对材料性能的影响^[5]。

5 结束语

综上所述,在分析RT0装置实际应用方面,要重点分析其在能源化工废气处理中的应用,结合废气特性,制定科学的优化方案,利用分级洗涤预处理、间接预热设计、一键反烤功能,对废气处理中存在的问题进行妥善解决。然而在实际操作过程中,废气处理易受到各种外在因素影响,为此工作人员应对智能化控制技术进行深入探索,积极引进大数据技术和人工智能技术,全面优化算法,有效提升系统的自适应能力,助力化工行业向绿色化、可持续化发展迈进。

[参考文献]

- [1]曲宏霞.RT0装置在化工废气处理中的应用探讨[J].中国设备工程,2024(6):122-124.
- [2]王池东.RT0装置在化工废气处理中的应用及其经济性解析[J].中国化工贸易,2024(28):37-39.
- [3]王昊.RT0与T0组合工艺处理煤化工VOCs废气的应用研究[J].辽宁化工,2021,50(5):715-719.
- [4]彭飞翔.精细化工项目中RT0装置的安全设计分析[J].山西化工,2024,44(9):106-108.
- [5]张福亭,金占寿,师元华,等.RT0蓄热氧化装置在煤化工项目中的应用[J].肥料与健康,2021,48(2):33-35,67.

作者简介:

于经纬(1995--),男,汉族,山东青岛人,硕士研究生,工程师设计员,能源化工废气治理。