

# 浅析制药业腐蚀环境下 RTO 的工艺结构设计

蒋武, 李泮林, 李俊波

四川源之蓝环保科技有限公司, 四川 绵阳 621000

**摘要 :** 二氯甲烷在制药领域中是一种应用较多的有机溶剂。近年来, 通过饱和树脂骨架分子与氯代烃分子之间的高选择性吸附工艺, 逐步替代吸附材料寿命较短的活性炭吸附剂处理工艺来处理 VOCS, 已形成行业里二氯甲烷回收工艺的主流。但由于吸附剂受分子结构、分子量、分子极性、分子大小、分子面积、分子沸点以及动力学直径等特性的影响, 介于多种成分的溶剂参与, 一种孔径的吸附剂不可能同时高效吸附或拦截多种不同 VOCS 分子直径的废气物质, 其排放不完全达标, 树脂吸附器成为了氯甲烷预处理设备, 后端仍采用 RTO 进行高效治理<sup>[1]</sup>。本文主要针对精细化工<sup>[3]</sup> 制药业的废气治理工艺、腐蚀环境下 RTO 的结构优化方案、安全<sup>[2]</sup> 等设计要求进行论述, 减小 RTO 的运行安全风险。

**关键词 :** 制药; 二氯甲烷; RTO; 结构; 安全

## Analysis of RTO Process Structure Design in Corrosive Environment of Pharmaceutical Industry

Jiang Wu, Li Fenglin, Li Junbo

Sichuan Yuanzhan Environmental Protection Technology Co., LTD., Mianyang, Sichuan 621000

**Abstract :** Dichloromethane is a kind of organic solvent widely used in pharmaceutical field. In recent years, through the highly selective adsorption process between saturated resin skeleton molecules and chlorinated hydrocarbon molecules, gradually replace the activated carbon adsorbent treatment process with a short life span of adsorption materials to deal with VOCS, which has formed the mainstream of dichloromethane recovery process in the industry. However, because the adsorbent is affected by the characteristics of molecular structure, molecular weight, molecular polarity, molecular size, molecular area, molecular boiling point and kinetic diameter, between the participation of a variety of solvents, an adsorbent with a pore size cannot efficiently adsorb or intercept a variety of exhaust gases with different VOCS molecular diameters at the same time, and its emission is not fully up to standard. The resin adsorber becomes a chloromethane pretreatment device, and RTO is still used for efficient treatment at the back end. This paper mainly discusses the design requirements of waste gas treatment process of fine chemical and pharmaceutical industry, structural optimization scheme and safety of RTO in corrosive environment, so as to reduce the operation safety risk of RTO.

**Keywords :** pharmaceutical; dichloromethane; RTO; structure; secure

## 引言

近年来, 随着精细化工和制药行业的快速发展, 其有机废气治理的工艺技术也不断成熟, 传统的有机废气治理技术已经无法满足当今高标准、低排放的环保要求, 蓄热式热力氧化 RTO 处理技术以其独有的优势, 被广泛应用在制药行业。在化工制药工序的原料药<sup>[3]</sup> (中间体) 车间、污水站等在生产过程中, 多组分、聚合物、腐蚀性废气的产生是制药行业的典型特征。制药行业废气中成分复杂, 大量的二氯甲烷、乙酸乙酯、DMF、正己烷、正庚烷、四氢呋喃、异丙醇、石油醚、甲醇、乙醇等, 有的还含苯系物。但大部分企业认为前端已经投入了几百万的树脂吸附-蒸汽脱附-冷凝回收预处理装置, 进入后端的腐蚀性卤素成分较少, 不会有太大风险, 都会选择低价格的、按照常规工况去设计和选材的治理装置。事实证明, 微量的腐蚀性成分, 也会导致系统在短时间内腐蚀性非常严重, 而且增加了系统的安全风险与不达标因素, 变成了每年都在技改与维护, 给企业造成了很大的困惑。

文章通过实际工程案例介绍了精细化工、制药业腐蚀环境下的废气治理工艺路径<sup>[3]</sup>、结构设计及材料选型。通过应用对比, 优化后设计使整个系统完全达到了高效、节能、持续达标、延长了系统设备使用寿命的特点, 设备安全可靠, 相比常规工况的设计工艺具有较大推广优势和实用价值。

作者简介: 蒋武 (1994-), 男, 汉族, 籍贯: 四川三台, 学历: 本科, 职称: 无, 研究方向: 环境工程项目管理及大气污染治理工艺研究;

李泮林 (1994-), 男, 汉族, 籍贯: 四川省绵阳市高新区, 学历: 本科, 二级建造师/工程师, 研究方向: 大气污染与处理技术研究与工程应用;

李俊波 (1972-), 男, 汉族, 籍贯: 四川省绵阳市高新区, 学历: 本科, 职称: 环境工程高级工程师, 研究方向: 大气污染控制研究与治理工程技术应用。

## 一、精细化工 - 制药业的废气治理工艺

生产废气经前端树脂吸附 - 蒸汽脱附 - 冷凝回收预处理装置处理后，与污水站高浓废气混合后进入末端预处理设备：经碱洗塔、水洗塔，再经 RTO 高温氧化后（含氯甲烷废气被氧化成 HCl、CO<sub>2</sub> 和 H<sub>2</sub>O）再经过烟气降温塔、碱洗、除雾装置后进入烟囱达标排放（图一）。

### （一）碱洗塔基本要求

1. 自带循环液槽，洗涤塔材质采用 FRP，自带除雾；循环管路系统应包括液位计、碱洗塔 PH 计、电导仪、自动排水、自动进自来水阀门、自动进碱阀门等，设置观察窗及检修人孔。
2. 喷淋泵需设计一备一用，两台泵自动定期切换使用，且在故障时自动切换备用泵；喷淋泵材质：耐腐蚀，要求 IP55 以上防护等级，整机防爆，电动机为二级及以上能效等级。
3. 碱洗塔配置在线 PH 检测器、远传耐腐蚀磁翻板液位计（PP）、自动补排水装置（喷淋塔液位设置低液位连锁停循环泵，避免液位过低泵抽空）。
4. 使用液碱进行 PH 调节，现场需设置自动加药管路、气动球阀，配备液碱高位罐液位连锁，液碱储罐，配 304 不锈钢磁力泵。
5. 水洗塔、降温塔设计符合系统工艺处理要求。



> (图一)

### （二）RTO 结构的基本要求

1. RTO 采用三室结构形式，材质 Q235-B，设计使用寿命不低于 15 年。温度维持在 800-900℃ 之间，燃烧废气在焚烧系统中停留时间不低于 1.2s，燃烧废气中 VOC 的去除效率不低于 99%；蓄热室隔栅，隔栅上布置陶瓷蓄热体，比表面积大于 650M<sup>2</sup>/M<sup>3</sup>，阻力小，耐高温达 1200℃，抗裂性能好，寿命长。

壳体内设耐火保温层，材料为硅酸铝耐火纤维炉内保温共三层，其中含两层硅酸铝纤维毡及一层硅酸铝纤维模块，隔热厚度 ≥ 280mm；与氧化室高温区接触部分硅酸铝纤维模块容重应不小于 220kg/m<sup>3</sup>，下部硅酸铝纤维模块容重应不小于 168kg/m<sup>3</sup>，陶瓷纤维毯容重应不小于 128kg/m<sup>3</sup> [5]。

2. RTO 进排气阀门采用高效结构切换阀，阀板、阀座、阀杆至少 2507 材质，泄漏率必须保证低于 0.05%，其他部位须耐腐蚀；阀门执行机构提供阀位反馈。

3. 应设置易拆卸清洗、防铵盐堵塞、便于清理的防堵填料层减缓盐类晶体等对蓄热体的堵塞。蓄热体上下均安装温度传感器，对温度变化，进行检测，对蓄热换热效果进行控制。蓄热室安装压差计，对蓄热体堵塞情况进行检测。

4. 防堵填料支架要考虑至少采用双相不锈钢 2507 防止废气中含腐蚀性成分的腐蚀及防填料坍塌。要合理设置检修口，方便清理防堵填料。

5. 应设计自动程序对防堵填料层进行高温逆洗高温反烧逆洗程序，提高系统的运行周期。

6. 废气焚烧系统安装在线 VOC 浓度测定（LEL）和报警连锁装置，显示进出口 VOCs 浓度上传至中控室，预留气体检测口。当气体 VOC 浓度超过规定的危险值时，立即发出报警信号，并自动关闭加热气源，同时自动切断原始废气和焚烧系统天然气供给，开启焚烧系统自动泄气功能，原始废气自动切换为紧急模式。

7. 焚烧系统应包括燃烧控制器、UV 火焰检测器、压缩空气冷却装置、高压点火器、相应的阀门组合、燃烧室压力监测（压差表）、点火前预吹扫、熄火保护、超温报警、燃气泄漏自检和超温切断燃料供给等功能。

8. 焚烧系统控制柜设有：火焰控制器，风压开关，点火变压器，温度控制器，高温限位控制器，热电偶、温度记录仪等。

9. 配置的阻火器，能够有效阻止易燃气体燃烧造成回火而引起爆炸，确保系统安全。

10. RTO 必须做好泄爆、防雷及防漏电设施，电器类防爆，保证设备安全使用。

11. 设备管路要考虑防静电措施。

## 二、腐蚀环境下 RTO 的结构优化方案

### （一）材质的要求与防腐

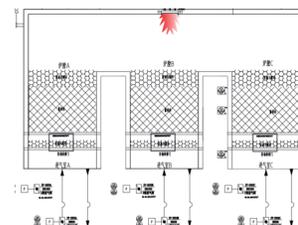
1. RTO 采用 Q235-B 材质，炉体内部、风道内采用防氯离子的重防腐涂装 [9] 后再进行保温 [6]，进排气阀门采用高效结构切换阀，阀板、阀座、阀杆至少 2507 材质，泄漏率必须保证低于 0.05%，其他部位须耐腐蚀；蓄热体支架、防堵填料支架要考虑至少采用双相不锈钢 2507。

### （二）无机盐类导致的蓄热床底层堵塞的优化方案

在化工制药业，因为洗涤效率的差异，仍有部分无机物、聚合物等物质进入蓄热床，伴随的是高湿甚至是有液态水进入蓄热床的状况，还有部分在氧化过后随着温度降低冷凝下来到了蓄热床底层，造成堵塞。



> (图二)



> (图三)

优化方案一:

①蓄热床底层使用大孔径的蜂窝陶瓷<sup>[7]</sup>,如:蜂窝25孔,孔径4.9mm4.9mm;32孔,孔径3.8mm3.8mm。

②使用致密材质的陶瓷,降低吸水率。

③大孔蜂窝陶瓷的填充厚度为150mm-300mm。



> (25孔蓄热陶瓷)

(32孔蓄热陶瓷)

优化方案二:

①采用双层格栅形式。上部主承重格栅,安装常规的40/43孔蜂窝陶瓷,承担热回收的作用。下部格栅,安装1寸或1.5寸马鞍环,起到抗堵和过滤的作用。

②上下格栅之间的空间约为700-900mm(此位置留有检修口和大空间-图三,方便更换和清理马鞍环)。

③马鞍环的填充厚度为400—450mm左右。

双格栅形式,会使蜂窝陶瓷免于堵塞,马鞍环堵塞之后方便清洗,更换代价更小,降低清洗和更换的频率,为客户节省了运维成本和时间。

复合性方案三:

①常见的更换陶瓷或取出清洗或高温煅烧;之后上下层颠倒安装,尽量重复利用。

②反烧:通过加大燃烧机开度,延长切换时间等方式,提高将中下层温度提高到350℃左右,使聚合物气化,使交联物质结焦,减少聚合物或焦油堵塞。

③高温吹扫,从炉膛中引来高温风,混风降温到250-350℃进行吹扫,效果明显。

④底部安装大孔径陶瓷,厚度450mm。

⑤采用双格栅形式,底层马鞍环填充厚度400—450mm。

### 三、RTO系统的安全设计

①在系统开机时有一个系统“吹扫”过程,可以清扫集气室、蓄热室、燃烧室及管线内残留的有机废气和燃料,以避免点火时发生闪爆等;同时,在RTO燃烧室装有泄爆装置,最大限度降低系统爆炸损失。

②蓄热室、燃烧室温度报警及连锁,蓄热室陶瓷床上、下部压差报警等。

③蓄热室陶瓷床上、下部温度及燃烧室温度都设有高高、高、低、低低四级报警。通过工控机上设置相应的报警参数,实现所有的温度测点都可以设置相应的报警;蓄热室、燃烧室温度高、低报警时,在工控机上显示相应的报警信息;当蓄热室、燃烧室温度高高或低低报警时,控制系统会禁止燃烧器点火,使RTO离线,系统进入离线模式;当温度恢复正常范围后,RTO进

入人工启动“RTO在线”模式。

④RTO提升阀设置“开到位”“关到位”反馈信号:当开/关阀门时,在3s内未收到相应的“开/关到位”信号,发出“开/关阀门故障”指示,RTO离线。

⑤燃烧室温度下限报警,当燃烧室温度低报警时,RTO离线。

⑥火焰控制器火检信号和大火电磁阀连锁:必须监测到火焰控制器火检信号,大火电磁阀才能开启,否则立即关断;同时,大火电磁阀采用冗余配置,确保关断动作的可靠执行。

⑦燃烧室温度设置均温偏差报警:为了防止燃烧室温度检测元件故障情况下,导致系统控制异常,把同一测点不同安装位置的温度检测元件设置均值偏差报警;当产生报警后,RTO离线。

⑧在炉体进出口有压力变送器,在蓄热室陶瓷床上下部装有差压变送器,用来观测蓄热陶瓷的工作情况,用来判断蓄热床是否有堵塞或者破损。

⑨系统会根据蓄热室陶瓷床的上部温度自动调整各个蓄热室的切换周期,使各蓄热室/陶瓷床的上部温度基本平衡。

⑩RTO系统内所有的压力、温度等测点都可以设置相应的报警参数。甲方可根据需要进行相应的设置。所有的报警信息都可长期保存在U盘或硬盘上。同时,对重要工艺参数都以历史趋势曲线形式供用户查询,数据可长期保存。

⑪系统发生故障时,轻度故障,会有蜂鸣器报警;中度故障,会有声光报警器报警,此报警可以安装在控制室外,便于操作人员听见;重度故障时,系统立即停车,声光报警器报警。

⑫为防止陶瓷床下部的蓄热体结焦,设置自动/手动及在线/离线两种方式的“反烧系统”。

### 四、结论

RTO具有高效节能、处理效率高、应用领域的广泛性等方面的优点<sup>[10]</sup>,但在大量粘性物质气体、聚合物、腐蚀性等环境下,确保系统安全运行的关键还是在于工艺、结构设计、材料的选择等方面的特殊要求<sup>[9]</sup>。一旦系统设计或材料选型错误,加速了系统的腐蚀程度,造成系统的不稳定运行,甚至出现较大的安全风险。

### 参考文献

- [1] 蓄热燃烧法工业有机废气治理工程技术规范: HJ 1093-2020 [S]. 2020.
- [2] 蓄热式焚烧炉系统安全技术要求: DB32/T 4700-2024. [S]. 2024.
- [3] 向杰、录华. 精细化工概论(第三版) [M]. 化学工业出版社: 201610.
- [4] 管国锋、赵汝涛. 化工原理(第四版) [M]. 化学工业出版社: 201509.
- [5] 李鸿发. 设备及管道的保冷与保温 [M]. 化学工业出版社: 200207.
- [6] 工业设备及管道绝热工程设计规范: GB50264-2013. [S]. 2013
- [7] 崔海亭、杨锋. 蓄热技术及其应用 [M]. 化学工业出版社, 2002年7月.
- [8] 李守信、苏建华、马德刚. 挥发性有机物污染控制工程 [M]. 化学工业出版社出版, 201708
- [9] 高瑾、米琪. 防腐蚀涂料与涂装 [M]. 武汉音像出版社, 200702.
- [10] 罗国民. 蓄热式高温空气燃烧技术 [M]. 冶金工业出版社, 201107.