

沸石转轮吸附浓缩+催化燃烧(CO)技术在喷漆机库废气处理的应用

曾思聪

四川航空股份有限公司 四川成都 610000

摘要: 在航空行业,飞机维修尤其在机身喷漆维护作业时会产生大量有机废气,废气的处理一直是技术和环保的老大难问题。在粗放管理时代,废气直接高空排放而未做任何处理,不仅影响工作人员健康,更严重污染环境。如今,在国家“双90”环保政策的要求下,社会大力重视环保,有机废气处理技术不断更新和发展,沸石转轮吸附浓缩+催化燃烧(CO)技术就是其中一项快速发展成熟的新技术,本文实例作为其中杰出的应用代表之一,同时也是飞机维修行业国内仅有的几个应用案例之一,对沸石转轮吸附浓缩+催化燃烧(CO)技术处理有机废气具有较高的研究价值和借鉴意义。

关键词: 飞机维修;沸石转轮吸附浓缩;催化燃烧(CO)技术;喷漆机库;废气处理

1 沸石转轮原理简介

沸石转轮吸附浓缩+催化燃烧(CO)工艺适用于大风量、低浓度的有机废气治理,应用范围广,可用于各种喷漆车间(汽车制造、造船、飞机制造、钢铁制品、树脂制品等)的排气处理、各种印刷车间(凹版印刷、建筑装潢材料印刷、其他各种印刷过程)的排气处理等。原理是:利用沸石比表面积大、不同温度条件下分子间作用力不同的原理进行设计。低温条件下,大风量的有机废气通过沸石转轮,VOCs分子吸附在沸石表面,经过沸石转轮的废气被净化为达标气体,可直接排放。同时,吸附有大量VOCs的沸石转轮部分进入高温脱附区,利用小风量的高温气体将沸石上的VOCs分子脱附出来,形成高浓度废气,进入催化燃烧(CO)内低温(相较于RTO、TO等工艺)氧化处理,净化后的气体直接排放。

2 沸石转轮特性及CO系统

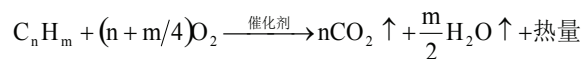
2.1 沸石转轮特性

(1) 高性能、高效率。使用吸附性极好的疏水性分子筛或活性炭作为吸附剂,可吸附各种VOCs,对各种工况均有较强的适应性。(2) 高沸点溶剂的处理。使用疏水性分子筛时,利用不燃性、高耐热型的特点可以在高温条件下再生。因此,对于使用活性炭时因为再生温度限值而无法处理的高沸点VOCs,也能够处理。(3) 清洗和活化。浓缩装置中的核心部件—浓缩转轮是在高温下烧结处理而成的,完全是无机物的结合体。如果发生蜂窝通路堵塞时,可以进行水洗、压送空气吹扫等;另外,分

子筛转轮也可以根据实际情况通过热处理进行高温活化。

2.2 CO系统

(1) 燃烧原理。催化燃烧治理方法是将挥发性有机气体源通过引风机作用送入净化装置,首先通过除尘阻火器系统,然后进入换热器,再送入到加热室,通过加热装置,使气体达到燃烧反应温度,再通过催化床的作用,使有机气体分解成二氧化碳和水,再进入换热器与低温气体进行热交换,使进入的气体温度升高达到反应温度。如达不到反应温度,这样加热系统就可以通过自控系统实现补偿加热,使它完全燃烧,这样节省了能源,废气净化率高。反应过程为:



为了最大节约能量,转轮脱附出来的高浓度废气被送入二级高效换热器,与从一级换热器排出的烟气发生热交换,温度升高到300℃(催化床进口温度),进入催化氧化床。废气流经催化剂固定床层时,在催化剂作用下和废气中的O₂发生催化氧化,最终产物变成无害的CO₂+H₂O,并放出反应热。反应后的高温气体(催化剂出口温度≥400℃)进入一级换热器,用来加热脱附热风完成本次循环工艺。CO装置由主机、引风机及电控柜组成,净化装置主机由换热器、催化床(含催化剂)、阻火器和防爆装置等组成。催化燃烧床内部主要由高效换热器、304不锈钢炉膛、燃烧系统以及装载有催化剂的催化燃烧室等组成,炉体表面温度不高于60℃。催化氧化

装置在废气处理系统开车前需要预加热，预热系统采用电加热方式，包括控制柜、温度检测器、温度控制器等。催化剂的选用：本方案选用贵金属（Pt-Pd）催化剂，具有催化活性高、机械强度高、热稳定性好、压降小、易于清洗、使用寿命长的特点，空速为10000 ~ 20000h⁻¹，目前已成熟应用于VOC废气处理系统上，能够满足排放要求。温度的控制要求：在催化氧化床进口安装有加热器，确保系统各节点气体温度不受废气浓度的变化而有大的波动。（2）催化剂。堇青石蜂窝瓷体作为第一载体， γ -Al₂O₃和稀土材料为第二载体，以贵金属Pd、Pt、Rh等为主要活性组分，是一种新型高效的有机废气净化催化剂。具有流动阻力低、反应起始温度低、活性高、空速适应范围宽的特点，其形状为方形蜂窝体，外形尺寸是100mm×100mm×40mm（长、宽、高），200目方形孔，孔密度32个/cm²，堆密度是600-700kg/m³，贵金属Pd、Pt涂层厚度约100μm，最佳使用温度是280-650℃，按正常操作要求使用，寿命一般为2~3年。

3 应用项目概况

工程名称：喷漆机库沸石转轮及工艺性通风系统安装。项目内容：针对飞机喷漆机库设计一套满足喷漆机库温度、湿度工艺需求，并使喷漆所产生的有机废气，经过处理满足环保达标排放要求的工艺性通风系统。治理工艺：采用送排风机组，通过镀锌保温风管及射流喷口送入喷漆机库大厅，满足机库内温湿度的工艺需求。喷漆所产生的有机废气（VOCs）经前置过滤箱、沸石转轮吸附浓缩、脱附催化燃烧（CO）工艺经44米高排气烟囱达标排放。项目目的：通过对有机废气进行专业性治理，有效减小挥发性有机化合物的排放，治理后严格按《大气污染物综合排放标准》（GB 16297）的相关排放限值执行，非甲烷总烃排放浓度≤60mg/m³，并应对在线监测达标的的需求。

4 设计条件

4.1 喷漆机库温、湿度条件

表1 喷漆机库温、湿度条件对比表

系统编号	服务房间	工况	温度/℃	室内相对湿度	送风量/M ³ /h	回风量/M ³ /h	排风量/M ³ /h
ZK1-3	喷漆机	喷漆	tn ≥ 15	≥ 30	660000	--	660000
ZK4-6	库大厅	干燥	tn ≥ 25	≥ 30	风机低频运行		

4.2 废气条件及处理论证

（1）排放风量统计。根据喷漆机库生产数据计算污染物浓度，按照规范要求的通风量和换气次数。计算得

到总排风量按660000m³/h设计。（2）废气成分。由于喷漆机库生产过程包含底漆、面漆两道工序，成分不同，本方案按两种工况设计计算，根据同类项目喷漆工序整理已知的VOC废气成分及占比如下表2、表3。

表2 喷底漆VOC废气成分信息表

溶剂类型		CAS NO.	排放浓度/mg/Nm	占比 m/m %
2-丁酮	MEK	78-93-3	50.00	25.00%
乙酸乙酯	Ethyl acetate	141-78-6	90.00	45.00%
甲苯	Toluene	108-88-3	60.00	30.00%
合计			200.00	100.00%

表3 喷面漆VOC废气成分信息表

溶剂类型		CAS NO.	排放浓度/mg/Nm	占比 m/m %
乙酸丁酯	Butyl acetate	123-86-4	70.00	35.00%
2-戊酮	Methyl propyl ketone	107-87-9	10.00	5.00%
正丁醇	n-Butanol	71-36-3	10.00	5.00%
乙醇	Ethanol	64-17-5	10.00	5.00%
二甲苯	Xylene	1330-20-7	30.00	15.00%
甲苯	Toluene	108-88-3	30.00	15.00%
三甲苯	Trimethylbenzene	108-67-8	30.00	15.00%
乙酸乙酯	Ethyl acetate	141-78-6	10.00	5.00%
合计			200.00	100.00%

（3）废气浓度。根据物料计算的数据以及同类项目经验评估，本项目废气设计浓度按400mg/m³取值。

4.3 废气排放达标要求

（1）排放标准。本项目废气治理后挥发性有机物尾气达到《大气污染物综合排放标准》（GB 16297）规定，排气筒高度不低于43m。（2）处理效率。VOCs控制设备去除效率指VOCs控制设备处理污染物的排放量与处理前污染物的量之比，可通过同时测定处理前后废气中VOCs排放浓度和排气量，以被去除的VOCs与处理之前的VOCs的质量百分比计，具体见下式：

$$P = \frac{\sum C_{前} \times Q_{前} - \sum C_{后} \times Q_{后}}{\sum C_{前} \times Q_{前}} \times 100\%$$

式中：

P——VOCs处理设施的处理效率，%；

C_前——进入处理设施前的VOCs浓度，mg/m³；

Q_前——进入处理设施前的排气流量，m³/h；

C_后——经最终处理后排放入环境空气的VOCs浓度，mg/m³；

Q_后——经最终处理后排放如环境空气的排气流量，m³/h。

表3 系统工艺设计设备配置表

分项	二级分项	设备	参数名称	单位	指标	备注	
工艺设计	预处理	过滤器	规格	CMH	115000		
			过滤材料		DPA	6x6 布置	
			终阻力	Pa	250		
			过滤材料		F7	6x6 布置	
			终阻力	Pa	250		
			过滤材料		F9	6x6 布置	
			终阻力	Pa	250		
			数量	台	6		
	VOC 浓缩装置	沸石转轮	品牌		进口品牌		
			转轮直径		≥ 3500		
			浓缩倍数	倍	15~25		
			DER		≥ 90%		
			数量	台	6		
	风机	主风机 (防爆防火花型)	风量	CMH	115000		
			设计温度	℃	25		
			风压	Pa	2500		
			功率	kW	110		
				数量	台	6	配消声房
		脱附风机 (防爆防火花型)	风量	CMH	7000		
			设计温度	℃	60		
			风压	Pa	3450		
			功率	kW	15		
				数量	台	6	配消声房
		CO 风机 (防爆防火花型)	风量	CMH	20000		
			设计温度	℃	60		
			风压	Pa	5500		
			功率	kW	55		
				数量	台	2	配消声房
		CO 炉体	规格	CMH	20000		
	数量		台	2			
DER			≥ 97%				
烧嘴 功率	功率	kCal/h	70×10^3				
	数量	台	2				
换热器设计	脱附 换热器	规格	NCMH	17000			
		换热形式		板式			
		设计温度	℃	550			
			数量	台	2		
	尾气 换热器	规格	NCMH	17000			
		换热形式		板式			
设计温度		℃	450				
		数量	台	2			

5 设计方案

通过计算和优化设计,喷漆机库大厅左右两侧设置设备耳房,每个耳房中设置三套沸石转轮机组。(1)沸石转轮负荷:115000m³/h,温度25℃,每套3组;(2)脱附温度:~200℃;(3)转轮净化效率:≥90%(进气浓度200mg/m³时);(4)CO处理负荷:20000Nm³/h,每套1组;(5)CO净化效率:≥97%;(6)CO系统工作温度:催化剂出口温度≥400℃;(7)排放:转轮净化后的气体由主风机引到标高约11m楼板处的相应送风口;(8)系统主风机、脱附风机、脱附汇总风机(CO风机)均为变频调节;整套设备进行相应的保温处理(室内非阳光照射的表面温度不超过60℃),电机、燃烧器、废气焚烧系统、系统控制元器件等主要关键部件(不含利旧部分)的寿命不低于10年。系统工艺设计设备配置表如表3。

结语

沸石转轮系统在喷涂行业运用比较广泛,是近几年跟随环保要求兴起的新型废气处理设备,拥有广阔的市场前景。在国内沸石转轮在航空领域的使用较少,相关的案例不多,本项目的成功实施是一次很好的实践。本项目已经实际投入试生产,废气处理效果良好,达到预期目的,在后期的大规模生产中计划积累数据,通过污染物监测和专业公司评价再对这套系统的性价比再做一个结论性的总结,对大规模推广该技术,具有积极意义。

参考文献

- [1]李文斐,刘冰,展飞等.沸石转轮吸附浓缩技术及其运行维护[J].中国环保产业,2023(11).
- [2]董庆建,高德坊,徐健等.沸石转轮处理工艺在涂装治理中的应用浅析[J].现代涂料与涂装,2022(10):36-38,57.
- [3]刘欢,尹树孟,单晓雯等.催化燃烧催化剂及其制备方法和应用:CN201810996176.5[P].CN110871069A[2024-08-29].
- [4]文勉聪.广州白云国际机场G3飞机维修库机库大厅屋面钢结构与通风消防管道综合施工技术[J].中国房地产业,2022(30):170-173.