

# 废气治理在涂装工艺中的关键问题分析

温旭斌

杭州金田工程设计咨询有限公司

DOI:10.12238/eep.v8i8.2783

**[摘要]** 针对涂装工艺中废气治理问题,研究分析了涂装行业VOCs废气排放特点及治理技术,并以“活性炭吸附脱附+催化燃烧”工艺为切入点,系统阐述了该工艺存在的问题,并提出针对性的优化措施。优化效果表明,非甲烷总烃污染物排放浓度稳定处于 $50\text{mg}/\text{m}^3$ 以下,VOCs废气去除效果达80%~90%。

**[关键词]** 废气治理; 活性炭吸附脱附+催化燃烧; 涂装

**中图分类号:** X701.7 **文献标识码:** A

## Analysis of Key Issues in Exhaust Gas Treatment in Coating Process

Xubin Wen

Hangzhou Jintian Engineering Design Consulting Co., Ltd.

**[Abstract]** In response to the problem of exhaust gas treatment in the painting process, this study analyzes the characteristics and treatment technologies of VOCs exhaust gas emissions in the painting industry. Taking the "activated carbon adsorption desorption+catalytic combustion" process as the starting point, the problems of this process are systematically expounded, and targeted optimization measures are proposed. The optimization effect shows that the emission concentration of non methane total hydrocarbon pollutants remains stable below  $50\text{mg}/\text{m}^3$ , and the removal efficiency of VOCs waste gas reaches 80% to 90%.

**[Key words]** exhaust gas treatment; Activated carbon adsorption desorption+catalytic combustion; painting

### 引言

在涂装工艺流程中,容易产生挥发性有机物(VOCs)等,对环境以及人体健康造成严重威胁。随着国家“双碳”目标及环保法规的日益严格,涂装废气治理已成为行业可持续发展的关键<sup>[1]</sup>。常见的VOCs处理方法主要有吸附、吸收以及蓄热氧化等。在这些方法中,一般采用沸石转轮吸附、活性炭吸附、减风增浓等组合技术,但是在实际应用过程中,由于有机废气的不稳定性,导致废气处理难度增加。因此,探索废气处理过程中存在的问题,并提出相应的优化方案具有十分重要的现实意义<sup>[2]</sup>。

### 1 涂装行业VOCs废气排放特点及治理技术

#### 1.1 涂装行业VOCs废气的排放特点

在涂装车间中,喷漆室、烘干室以及晾干室均会产生不同浓度的VOCs废气,其排放特点详见表1。

表1 VOCs废气排放特点

序号	生产工段	废气排放特点
01	喷漆室	气量大、VOCs浓度低等
02	烘干室	VOCs成分复杂、风量小
03	晾干室	风量小、浓度低

#### 1.2 VOCs废气处理技术

通过上述分析得知,涂装车间产生的废气具有浓度低、风量大等特征。目前,适用于此类废气的处理工艺主要为“活性炭吸附脱附+催化燃烧”。该工艺主要是以活性炭作为吸附剂,借助其较强的吸附功能,吸附废气中的VOCs,并通过风量相对较小的高温气体,进行VOCs的脱附<sup>[3]</sup>。将其脱附出来后,输送至催化燃烧炉中,以此来实现废气的净化,并促进活性炭再生,具体工艺流程如图1所示。

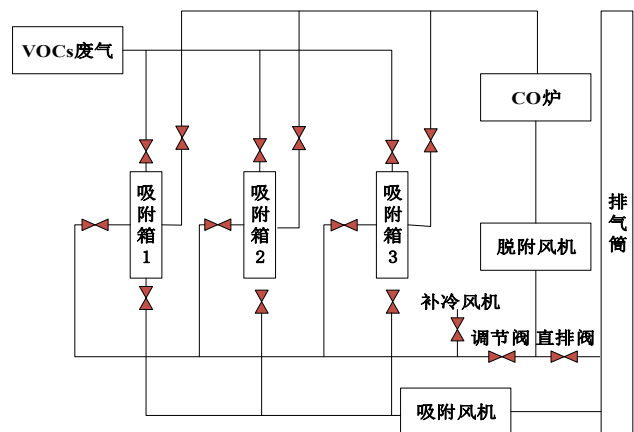


图1 废气处理工艺流程

### 1.2.1 吸附阶段

将含有VOCs的废气通入活性炭(蜂窝炭)吸附系统中,再经过布风均流后,

使废气均匀通过各吸附床,在停留至少0.5s后,使污染物被充分吸附,并将经过净化的气体由排气筒实现高空达标排放。

### 1.2.2 脱附+催化燃烧阶段

在吸附床达到饱和状态后,关闭吸附控制阀门,并打开脱附阀门切换至脱附状态,启动催化燃烧设施(CO炉)加热催化室,直至温度达到设定值(80℃~120℃)后,将产生的热风送入吸附床,从而脱附出高浓度VOCs废气<sup>[4]</sup>。随后,将脱附废气在CO炉内经换热预热、补热升温,最终在250℃~350℃的催化剂层中燃烧分解为二氧化碳与水。此过程产生的反应热被换热器回收,用于维持脱附所需的热量。若系统温度过高,补冷装置则启动以维持温度稳定。整套系统的热量回收与补偿均通过自控实现,达到了节能环保的效果。

对于“活性炭吸附脱附+催化燃烧”工艺而言,其设备投资成本与运行费用较低,且具有较高的净化效率,适用范围相对较广。

## 2 VOCs废气处理工艺存在的关键问题及优化

通过上述分析得知,“活性炭吸附脱附+催化燃烧”工艺具有较多的优势,但在工艺运行过程中还存在相应问题。为此,本文系统分析了该工艺在运行过程中存在的问题,并提出针对性的优化措施。

### 2.1 活性炭吸附剂存在的问题及优化措施

#### 2.1.1 活性炭硬度问题与优化

在VOCs废气处理过程中,选用的活性炭主要是以蜂窝炭为主。普通的蜂窝炭硬度相对较低,在填装过程中容易破损,且残渣容易堵塞下层通道,严重影响吸附床的通风效果,进而影响吸附效果<sup>[5]</sup>。为此,在活性炭选择时,需选用质地较为坚硬的活性炭,避免气流冲蚀的情况发生,在确保吸附剂完整性的同时,进一步提升吸附剂使用寿命,这对于提升吸附效果有着十分重要的作用。

#### 2.1.2 活性炭防水问题及优化

在吸附过程中,由于VOCs废气中含有部分水分,使得水分子附着在活性炭上。随着水分子的聚集,当采用高温气体进行脱附操作时,水分子会变成水蒸气率先被脱附出来。在水蒸气接触炭箱内壁后,会遇冷产生冷凝形成水滴,并下落至活性炭表面<sup>[6]</sup>。若活性炭的防水性能较差,则会导致炭层被浸蚀,使其表面产生孔洞。由于孔洞内的气流阻力极小,部分未被吸附的VOCs废气便会从孔洞中逸出,进而影响吸附效果,导致系统排气无法达到相关标准。为此,在活性炭选择时,需选择防水性能相对较好的活性炭,在避免VOCs废气逸出的同时,进一步提升吸附效果。

### 2.2 活性炭吸附床存在的问题及优化措施

#### 2.2.1 耐高温防腐处理

在吸附完成后,进入脱附阶段。在该阶段内,吸附床温度较

高,且湿度相对较大。若吸附床的防腐不到位,则会导致吸附床受到腐蚀。为此,需进行吸附床耐高温(大于250℃)防腐处理,这样不仅可有效延长吸附床的使用寿命,而且还可进一步提升吸附效率,确保废气治理工作的顺利开展。

#### 2.2.2 进行保温处理

在脱附阶段,由于需要较高的温度才能脱附出高浓度的VOCs废气,若在该阶段保温措施不到位,则会严重影响脱附效果<sup>[7]</sup>。此外,在夏季温度相对较高时,保温措施不到位会导致吸附床内温度升高,同样也会影响脱附效果。因此,需采取相应的保温措施,对吸附床进行保温处理,在保证脱附温度适宜的同时,进一步提升吸附效果。同时,需在活性炭吸附床进出口增设均风板,确保废气在催化加热后均匀的穿过炭层,确保脱附时整个炭层均匀升温,进而有效提升脱附效果。

### 2.3 催化燃烧炉存在的问题及优化措施

对于催化燃烧炉而言,其作用在于有机物的无害化处理,是整个工艺流程的核心部分。然而,在催化燃烧炉燃烧过程中,存在净化效率低、使用寿命短等问题。为此,可从以下几个方面对其进行相应的优化,进而有效提升催化燃烧炉运行效果,延长使用寿命<sup>[8]</sup>。

#### 2.3.1 壳体采用SUS304材质

在现阶段的“活性炭吸附脱附+催化燃烧”工艺中,主要选用碳钢材质的催化燃烧炉。由于催化燃烧炉长时间处于高温环境(300℃~400℃),其炉体容易出现变形、开裂等问题,严重影响净化效果,且缩短了催化燃烧炉的使用寿命。为此,在催化燃烧炉选用时,可采用SUS304材质的催化燃烧炉,这样可有效避免上述问题的产生。

#### 2.3.2 提高换热器的换热效率

催化燃烧炉中常用的碳钢板式换热器存在易锈蚀的缺陷,脱落的锈垢可能造成堵塞,进而引起系统阻力上升与换热性能下降。在高温工况下,这类换热器还容易出现热变形和焊缝开裂,导致进、出口气流互窜,严重影响燃烧炉的净化效果与热回收效率。采用SUS304不锈钢材质制作换热器,能够有效避免锈蚀、变形与串气问题,从而延长设备使用寿命。作为催化燃烧炉中关键的热能回收装置,增大换热面积有助于提高传热效率,维持炉内温度稳定,并最终降低系统运行成本<sup>[9]</sup>。

### 2.4 吸附/脱附阀存在的问题及优化措施

目前,吸附床常用的吸附/脱附阀多为电动多叶阀,此类阀门泄漏量相对较大,且在运行过程中容易发生故障。其中,高泄漏易导致脱附与吸附过程之间发生气体互窜,加重吸附剂负荷,降低整体净化效率;同时,频繁故障也影响系统稳定运行。为解决上述问题,可采用SUS304材质制造的气动提升阀作为替代,并配合耐高温硅胶密封条进行密封。此类阀门不仅运行稳定,还能实现接近零泄漏,有效提升系统可靠性。

### 2.5 脱附温度存在的问题及优化措施

在脱附过程中,吸附质的脱附性能与其沸点密切相关。对于沸点相对较高的脱附质,其与吸附剂之间存在较强的相互作用,

在一定程度上增加了脱附难度。目前工业中常用的脱附温度约为100℃,这一温度条件难以有效脱除如涂装行业常用的二甲苯(沸点137℃~140℃)等高沸点有机物。脱附温度不足,已成为导致活性炭吸附效率快速衰减和使用寿命缩短的主要原因。为突破这一技术瓶颈,需要从材料和工艺两个维度进行改进:在材料方面,可通过在蜂窝活性炭中添加阻燃剂来提升其着火点,为实施高温脱附提供硬件支持;在工艺方面,则应开发智能化的脱附程序,根据废气成分特性实施精准控温,从而实现对不同吸附质的高效脱附。

### 3 优化效果分析

在经过优化后,将其投入某涂装企业中,并取得了显著效果。在运行期间,定期由第三方检测机构及手持式设备(PID)定期跟踪监测,非甲烷总烃污染物排放浓度稳定处于50mg/m<sup>3</sup>以下,满足《工业涂装工序大气污染物排放标准》(DB33/2146-2018)限值要求,VOCs废气去除效果达80%~90%,达到设计效果。

### 4 结语

综上所述,“活性炭吸附脱附+催化燃烧”工艺投资成本与运行费用较低,且具有较高的净化效率。但在其运行过程中也存在相应的问题,主要涉及活性炭、吸附床等方面。为此,研究针对其运行过程中存在的问题,进行了针对性的优化,并将其投入具体生产实践中,取得了较好的成效,可为相关行业的发展提供参考。

### [参考文献]

- [1]马红妍.沸石转轮+RTO蓄热焚烧工艺治理涂装工业VOCs废气研究[J].皮革制作与环保科技,2022,3(13):124-126.
- [2]易师,周益辉,雷细平等.大型船舶制造涂装废气治理组合工艺和装备设计[J].电镀与涂饰,2024,43(3):157-162.
- [3]茅佳俊,查浩,李宝荣.船舶涂装废气治理工艺设计要点分析[J].科技资讯,2024,22(14):96-99.
- [4]吴举,陈强,蔡志辉等.吸附+催化燃烧工艺在涂装行业废气治理中的问题和工艺优化[J].盐科学与化工,2020,49(12):7-9.
- [5]王翼鹏,王涛,蒋伟.沸石吸附转轮+蓄热燃烧工艺在涂装工业废气VOCs治理中的应用[J].中国环保产业,2020(12):33-35.
- [6]田明辉.汽车涂装工艺对环境的污染及其治理措施[J].内燃机与配件,2022(1):187-189.
- [7]闫伯骏,薛强,卢晓东.VOCs组合治理工艺在某工程装备涂装车间的应用[J].铁路节能环保与安全卫生,2020,10(6):38-41.
- [8]周玉娇.中小型涂装企业VOCs废气治理现状及建议[J].四川化工,2021,24(3):59-62.
- [9]陈林梅,李超,江玉婷.汽车行业VOCs废气治理工艺效果检测[J].中国环保产业,2024(7):31-34.

### 作者简介:

温旭斌(1987--),男,汉族,浙江衢州人,本科,中级工程师,研究方向:环境影响评价。