

Analysis and treatment of organic waste gas characteristics in home appliance sheet metal spraying industry

Qiuqiu Xie

Oudal Environmental Protection Technology Co., Ltd., Guangdong, Shenzhen, 518000, China

Abstract

With the continuous development and progress of society, the market size of the electrostatic powder coating industry continues to expand, which also increases pollution to the atmospheric environment and poses a threat to human health. This article focuses on the VOCs toxic and harmful substances, teratogenic and carcinogenic issues, as well as environmental pollution caused by the spraying industry. Using “a certain electrical company in Zhuhai” as an example, it discusses a specific VOCs exhaust gas treatment plan for the “electrostatic powder coating-drying curing” process. Based on the characteristics of high temperature, dust content, oil presence, and low concentration in the exhaust gas from the drying curing stage, the designed treatment process includes: high-temperature resistant bag filter + spray cooling + dry filtration + activated carbon adsorption + catalytic combustion + centrifugal fan. After the treatment of this exhaust gas system, the equipment operates stably, and the exhaust gas meets emission standards.

Keywords

VOCs; electrostatic powder spraying; curing; treatment process; catalytic combustion

家电钣金喷涂行业有机废气特征分析及治理研究

谢球球

深圳市欧达尔环保科技有限公司, 中国·广东 深圳 518000

摘要

随着社会不断的发展进步, 静电粉末喷涂行业市场规模持续扩大, 同时也增加了对大气环境的污染和对人体健康的危害。本文章针对喷涂行业产生的VOCs有毒有害、致畸致癌以及污染环境等问题, 以“珠海某电器公司”为例, 探讨“静电粉末喷涂-烘干固化”特定工段VOCs废气治理方案。根据烘干固化段废气高温、含尘、含油、低浓度特性, 设计处理工艺为: 耐高温布袋除尘+喷淋降温+干式过滤+活性炭吸附+催化燃烧+离心风机。经该废气处理系统治理, 设备稳定运行, 废气达标排放。

关键词

VOCs; 静电粉末喷涂; 固化; 治理工艺; 催化燃烧

1 引言

在大规模生产过程中, 钣金喷涂工艺产生的废气对环境影响备受关注。烘干固化段废气由于其特殊性质, 若未经有效处理直接排放, 将对周边大气环境和居民健康造成严重危害。研究“珠海某电器公司”钣金喷涂废气特征并探索高效治理方法, 不仅有助于公司自身的可持续发展, 也能为整个喷涂行业的环保工作提供参考范例^[1]。

2 钣金喷涂烘干固化段废气性质分析

2.1 高温特性

在钣金喷涂后的烘干固化环节, 为确保涂层迅速干燥并达到理想的固化效果, 烘干设备内部温度通常维持在较高

水平, 一般在 120℃ -180℃之间。如此高温的废气, 如果直接进入后续处理设备, 普通材质的设备难以承受, 会导致设备变形、损坏, 影响处理系统的正常运行^[2]。

2.2 含油特点

喷涂所使用的涂料中含有多种有机成分, 包括油性树脂、溶剂等。在烘干固化过程中, 这些油性物质会受热挥发, 混入废气之中。经检测, 废气中的油类物质主要包括各种长链脂肪酸酯、芳香烃类油剂等, 它们以气态和微小油滴的形式存在, 不仅带有明显的刺激性气味, 还具有较强的粘性, 容易附着在处理设备的内壁和过滤材料上, 造成设备堵塞, 降低处理效率。

现场物质取样, 送专业检测机构分析物质组分主要物质为: 苯偶酰 (质量百分比为 98.9%)

2.3 粉尘量大

在钣金喷涂操作时, 喷枪喷出的涂料并非全部能附着在工件表面, 部分会形成漆雾飞散; 同时, 工件表面预处理

【作者简介】谢球球 (1987-), 男, 中国江西人, 助理工程师, 从事废气治理研究。

过程中也会产生一些金属粉尘。这些粉尘在烘干固化时被裹挟进废气。粉尘粒径分布较广，从几微米到几十微米不等，其中主要包含未附着的涂料颗粒、金属氧化物以及少量的杂质颗粒，如硅、钙等的化合物。

现场物质取样，送专业检测机构分析物质组分主要物质为：硅酸钙（质量百分比为 99%）

3 处理工艺

喷涂固化废气含有油雾及较多粉尘，首先进入袋式除尘器内，进入袋除尘器前设计自动喷粉装置，滑石粉附着在布袋除尘器表面形成一层保护膜，防止油性物质粘附在滤袋上产生糊袋。然后废气中粗颗粒直接落入灰斗底部，细颗粒

粉尘被布袋拦截，附在滤袋表面。再进入喷淋塔，在喷淋塔的高速旋流冲洗下，余下的绝大部分粉尘被水捕捉。气体经过除雾层后通过初效及亚高效过滤器，去除废气中剩余的水雾和微粒，作为后面活性炭吸附的预处理环节。除尘后的废气进入活性炭吸附床，气态有机污染物被吸附在活性炭表面，而干净的气流沿排气管高空排放。

经过一段时间的吸附，活性炭对污染物吸附饱和，此时需要启动系统的活性炭脱附再生过程，将活性炭里的有机废气脱附出来，通过催化燃烧将有机污染物降解成 CO_2 和 H_2O ，脱附后的高温气流部分用于循环脱附，剩余部分通过排气管高空排放。如图 1

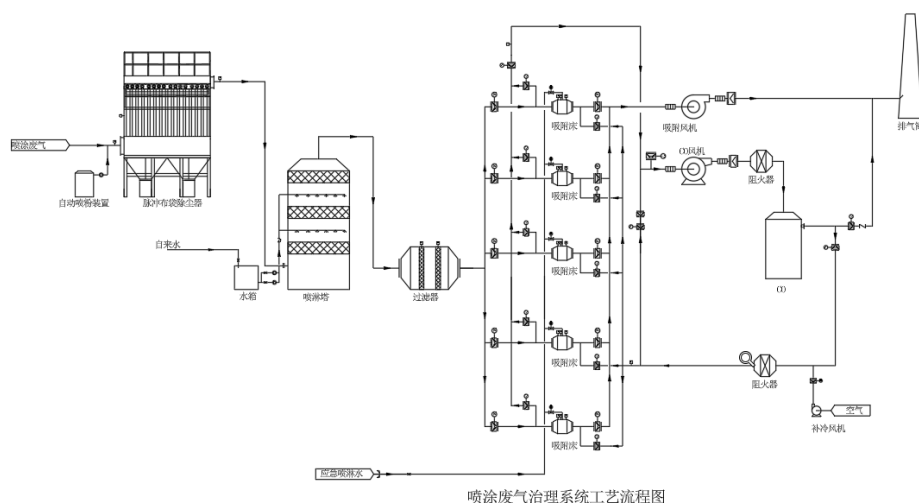


图 1

3.1 耐高温布袋除尘

3.1.1 工作原理

选用的耐高温布袋除尘器采用先进的脉冲喷吹清灰技术。其核心过滤部件布袋由耐高温、高强度的 P84 纤维制成，这种纤维具有良好的耐高温性能，可承受 260°C 的瞬间高温和 220°C 的连续工作温度，同时具有较高的过滤精度。含尘高温废气从除尘器的进气口进入后，较大颗粒的粉尘在惯性力的作用下首先沉降入灰斗。其余粉尘随着气流进入布袋区域，在通过布袋纤维间隙时被拦截，净化后的气体则从布袋内部流向出气口排出。

3.1.2 流程

高温废气首先进入耐高温布袋除尘器。废气均匀进入布袋过滤区，随着过滤的进行，粉尘在布袋表面逐渐堆积形成粉尘层。定时 1 分钟脉冲喷吹系统启动，压缩空气通过脉冲阀瞬间喷入布袋，使布袋产生强烈的振动，附着在布袋表面的粉尘被抖落至灰斗，通过卸灰阀定期排出。

3.2 喷淋塔

3.2.1 工作原理

喷淋塔采用逆流喷淋的方式，塔内填充有高效的鲍尔环填料，以增加气液接触面积。循环液选用特制的碱性吸收液，除了水之外，还添加了氢氧化钠。废气从喷淋塔底部

进入，自下而上流动，循环液由塔顶的喷淋装置均匀喷洒而下，形成细密的液滴。在气液逆流接触过程中，废气中的部分水溶性污染物被循环液吸收，同时高温废气也被迅速降温。

3.2.2 流程

废气进入喷淋塔底部的进气段，然后进入填料层。在填料层中，废气与自上而下的循环液充分接触，进行传质传热过程。吸收了污染物的循环液落入塔底的循环水池。循环液通过循环泵不断输送至塔顶的喷淋装置循环使用，定期更换循环液，以维持吸收液的处理效果。

3.3 干式过滤器

3.3.1 工作原理

干式过滤器采用 G4+F8 两级过滤。其过滤原理基于深层过滤机制，当废气通过滤料时，微小的粉尘和油滴在惯性、扩散、拦截等作用下被过滤棉纤维捕获。

3.3.2 流程

废气带着少量的水雾和未被完全去除的微粒进入干式过滤器。在风机的作用下，均匀通过过滤棉纤维，污染物被拦截在过滤棉纤维表面。随着过滤时间的增加，过滤棉纤维表面的污染物逐渐增多，当过滤器两端的压差达到限定值 500Pa 时，需要更换过滤器，以确保过滤器的正常运行和过

滤效果。

3.4 活性炭吸附

3.4.1 工作原理

采用的是 VOCs 专用蜂窝活性炭，其具有丰富的微孔结构和巨大的比表面积，比表面积 $\geq 750 \text{ m}^2/\text{g}$ 。当经过前处理的废气通过活性炭吸附床时，有机分子在分子引力和化学键力的作用下被活性炭表面的微孔吸附。活性炭对不同有机污染物的吸附能力与其分子结构、极性等因素有关，对于废气中的 VOCs、苯、甲苯、二甲苯等常见有机污染物具有良好的吸附效果^[3]。

3.4.2 流程

废气从活性炭吸附床的一端进入，在吸附床内缓慢通过活性炭层，有机污染物被活性炭吸附。净化后的气体从吸附床的另一端排出。吸附床通常设置多个吸附单元，当其中一个单元的活性炭吸附饱和后，切换至备用单元继续进行吸附，饱和的单元则进行脱附再生。

3.5 催化燃烧

3.5.1 工作原理

催化燃烧装置采用贵金属催化剂，如铂、钯等负载在陶瓷载体上。催化剂能够降低有机废气氧化反应的活化能，使有机废气在较低温度下（一般为 $250\text{--}350^\circ\text{C}$ ）即可发生氧化分解反应，生成 CO_2 和 H_2O 等无害物质，并释放出大量的热量。

3.5.2 流程

从活性炭吸附床解吸出来的高浓度有机废气首先进入预热器，利用催化燃烧产生的部分余热将废气加热到催化燃烧所需的起燃温度。然后，废气进入催化反应床，在催化剂的作用下迅速发生氧化反应。反应后的高温气体经过换热器，与新进的低温有机废气进行热交换，回收部分热量后通过烟囱排放。

4 处理结果

4.1 污染物浓度变化

通过对“珠海某电器公司”钣金喷涂烘干固化段废气治理设施进出口污染物浓度的长期监测。处理前，废气中颗粒物浓度平均值为 $34\text{mg}/\text{m}^3$ ，非甲烷总烃浓度平均值为 $52\text{mg}/\text{m}^3$ 。经过“耐高温布袋除尘+喷淋塔+干式过滤器+活性炭吸附+催化燃烧”工艺处理后，颗粒物浓度降至 $4\text{mg}/\text{m}^3$ 以下，非甲烷总烃浓度降低至 $1\text{mg}/\text{m}^3$ 以下，各项污染物浓度均远低于国家和地方相关环保排放标准。

4.2 去除效率分析

经计算，该处理工艺对颗粒物的去除效率达到 90% 以上，对非甲烷总烃的去除效率达到 99% 以上。各处理单元在整个工艺中发挥了关键作用，耐高温布袋除尘对颗粒物的初效过滤去除率可达 80% 左右，喷淋塔对油雾和部分水溶性污染物的去除率达到 70% 左右，干式过滤器进一步去除细微颗粒和残留油滴，活性炭吸附对有机污染物的吸附去除率达到 90% 以上，催化燃烧对解吸出来的高浓度有机废气的净化率达到 99% 以上。

有组织废气检测结果

采样日期	检测点位	检测项目	检测频次	排放浓度 (mg/m ³)	排放速率 (Kg/h)
2022.11.14	废气排气筒进口	非甲烷总烃	1	67.1	0.87
			2	46.3	0.59
			3	43.7	0.54
		颗粒物	1	32.4	0.061
			2	35.5	0.058
			3	33.9	0.055
	废气排气筒出口	非甲烷总烃	1	0.371	4.4×10^{-3}
			2	0.309	3.5×10^{-3}
			3	0.279	3.4×10^{-3}
		颗粒物	1	3.3	0.038
			2	3.2	0.038
			3	3.6	0.044

4.3 排放达标情况

在一年的监测期内，“珠海某电器公司”的废气排放始终保持稳定达标。无论是在生产旺季设备满负荷运行，还是在设备日常维护后的重新启动阶段，废气中的各项污染物排放浓度均能满足环保要求。这充分证明了“耐高温布袋除尘+喷淋塔+干式过滤器+活性炭吸附+催化燃烧”处理工艺在钣金喷涂废气治理中的有效性和可靠性，为企业的绿色生产提供了有力保障。

5 结论

钣金喷涂烘干固化段废气因其高温、含油、粉尘量大的特性，对环境治理提出了严峻挑战。通过采用“耐高温布袋除尘+喷淋塔+干式过滤器+活性炭吸附+催化燃烧”的综合处理工艺，能够针对废气的不同性质进行层层净化。实际运行数据表明，该工艺对废气中的颗粒物、油雾和有机污染物具有显著的去除效果，污染物去除效率高，排放稳定达标。这不仅为钣金喷涂实现环保生产目标奠定了基础，也为整个喷涂行业以及其他类似工业废气治理提供了可复制的成功案例和技术参考。在未来，随着环保要求的不断提高，可进一步探索优化工艺参数、研发新型环保设备，以实现更低的运行成本和更高的处理效率，推动喷涂行业废气治理技术向更高效、更环保的方向发展。

参考文献

[1] 王.HN-3000钣金喷漆车间喷涂废气治理方法[EB/OL].(2017-11-10)[2024-12-20].<http://m.hbzhan.com/Product/detail/16901775.html>.

[2] 长沙市生态环境局关于《长沙格力暖通制冷设备有限公司有限公司喷漆房改建及扩建印刷车间项目环境影响报告》拟审批意见公示[EB/OL].(2024-11-18)[2024-12-20].http://www.nxcity.gov.cn/zw229/fdzdgknr/msxx/hjbh1/jsxmhjyxpjps/202411/t20241118_11658752.html.

[3] 钣金喷涂与VOCs资源化再利用[EB/OL].(2024-08-14)[2024-12-20].http://mp.weixin.qq.com/s/?__biz=MjM5MDA1ODU1Nw==&mid=2712774753&idx=1&sn=46fdfe11936c9fc06988572240dc0e22&scene=0.