

附件 2

四川省汽车涂装行业挥发性有机物 控制技术指南

目 录

1. 适用范围	39
2. 规范性引用文件	39
3. 术语和定义	40
4. VOC _s 的产生及排放	43
4.1 行业生产工艺及排污节点	43
4.2 污染物排放.....	43
5. 最佳可行技术	44
5.1 清洁生产工艺.....	45
5.2 污染治理技术.....	48
5.3 环境管理	62

前 言

为贯彻执行《中华人民共和国环境保护法》《中华人民共和国大气污染防治法》等法律法规，完善汽车涂装行业挥发性有机物控制技术支撑体系，指导和规范汽车涂装行业排污单位挥发性有机物控制，制定本指南。可作为四川省汽车涂装行业挥发性有机物治理工作的参考技术资料。

本指南起草单位：四川省环境保护科学研究院。

本指南主要起草人：叶 宏、钱 骏、陈军辉、姜 涛、
孙 蜀、杨怡阁

四川省汽车涂装行业挥发性有机物控制技术指南

1. 适用范围

本指南适用于小汽车、客车、货车驾驶舱、厢式货车、货车的整车喷涂企业在涂装过程中挥发性有机物的控制，主要包括喷漆室有机废气、流平室有机废气和烘干废气。

2. 规范性引用文件

GB 3836.4 爆炸性环境 第4部分：由本质安全型“i”保护的
的设备

GB 6514 涂装作业安全规程 涂漆工艺安全及其通风净化

GB 7691 涂装作业安全规程 安全管理通则

GB 12348 工业企业厂界环境噪声排放标准

GB 14443 涂装作业安全规程 涂层烘干室安全技术规定

GB 14444 涂装作业安全规程 喷漆室安全技术规定

GB 16297 大气污染物综合排放标准

GB 20101 涂装作业安全规程 有机废气净化装置安全技术
规定

GB 24409 汽车涂料中有害物质限量

GB 50016 建筑设计防火规范

GB 50019 工业建筑供暖通风与空气调节设计规范

GB 50051 烟囱设计规范

GB 50057 建筑物防雷设计规范

GB 50058 爆炸危险环境电力装置设计规范

GB 50140 建筑灭火器配置设计规范

GB 50160 石油化工企业设计防火规范

GB 50187 工业企业总平面设计规范

GB 50726 工业设备及管道防腐蚀工程施工规范

GB 50727 工业设备及管道防腐蚀工程施工质量验收规范

GB/T 13347 石油气体管道阻火器

GB/T 16157 固定污染源排气中颗粒物测定与气态污染物
采样方法

GB/T 50087 工业企业噪声控制设计规范

HJ 2000 大气污染治理工程技术导则

HJ 2026 吸附法工业有机废气治理工程技术规范

HJ 2027 催化燃烧法工业有机气体治理工程技术规范

HJ/T 1 气体参数测量和采样的固定位装置

HJ/T 386 环境保护产品技术要求 工业废气吸附净化装置

HJ/T 387 环境保护产品技术要求 工业废气吸收净化装置

HJ/T 388 环境保护产品技术要求 湿法漆雾过滤净化装置

HJ/T 389 环境保护产品技术要求 工业有机废气催化净化
装置

JJF 1049 温度传感器动态响应校准

DB 51/2377 四川省固定污染源大气挥发性有机物排放标
准

污染源自动监控管理办法

3. 术语和定义

挥发性有机化合物 **Volatile Organic Compounds (VOCs)**

在293.15K条件下蒸气压大于或等于10Pa, 或者特定适用条

件下具有相应挥发性的除 CH_4 、 CO 、 CO_2 、 H_2CO_3 、金属碳化物、金属碳酸盐和碳酸铵外，任何参加大气光化学反应的碳化合物。主要包括具有挥发性的非甲烷烃类（烷烃、烯烃、炔烃、芳香烃）、含氧有机化合物（醛、酮、醇、醚等）、卤代烃、含氮有机化合物、含硫有机化合物等。

涂装 Coating

将涂料涂覆于基底表面形成具有防护、装饰或特定功能涂层的过程。

底漆 First Coating

直接涂到物体表面作为面漆坚实基础的涂料。

底色漆 Base Coating

表面需要涂装罩光清漆的色漆。

罩光清漆 Overcoat Varnish

涂于面漆之上形成保护装饰涂层的清漆。

溶剂型涂料 Solvent Coating

溶剂型涂料是以有机溶剂为分散介质而得到的涂料。

水性涂料 Waterborne Coating

用水作溶剂或者作分散介质的涂料。

粉末涂料 Powder Coating

粉末涂料是与一般涂料完全不同的形态，它是以微细粉末的状态存在的。由于不使用溶剂，所以称为粉末涂料。

高固体分涂料 High Solid with Content Coating

溶剂含量比传统涂料低得多的溶剂型涂料。一般指固体组分质量百分含量为60%~80%的溶剂型涂料。

爆炸极限 Explosive Limit

可燃气体或蒸气与空气混合后能发生爆炸的浓度范围称为爆炸极限。

爆炸极限下限 Lower Explosive Limit

爆炸极限的最低浓度值。

催化剂中毒 Catalyst Poisoning

由于某些物质的作用使催化剂的催化活性衰退或丧失的现象。

空速 Space Velocity

单位时间内单位体积催化剂处理的废气体积流量，称为空间速度，简称空速。单位为 $\text{m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^3)$ ，简写为 h^{-1} 。

FID监测设备 Flame Ionization Detector

火焰离子化检测仪，对低浓度气体和有机蒸气具有很好灵敏度的检测器，优化的配置可以测不同的气体和有机蒸气。

净化效率 Purification Efficiency

治理工程或净化设备捕获污染物的量与处理前污染物的量之比，以百分数表示。计算公式如下：

$$\eta = \frac{C_1 Q_{sn1} - C_2 Q_{sn2}}{C_1 Q_{sn1}} \times 100\%$$

式中：

η ——治理工程或净化设备的净化效率，%；

C_1 、 C_2 ——治理工程或净化设备进口、出口污染物浓度， mg/m^3 ；

Q_{sn1} 、 Q_{sn2} ——治理工程或净化设备进口、出口标准状态下

干气体流量，m³/h。

4. VOCs 的产生及排放

4.1 行业生产工艺及排污节点

汽车涂装生产流程中，VOCs的产生工段主要是喷涂工段、流平工段以及烘干工段，现以小汽车的涂装生产为例，简要说明传统的4C 3B涂装生产工艺流程图。客车、货车驾驶舱、厢式货车、货车的表面涂装工序与其基本保持一致。

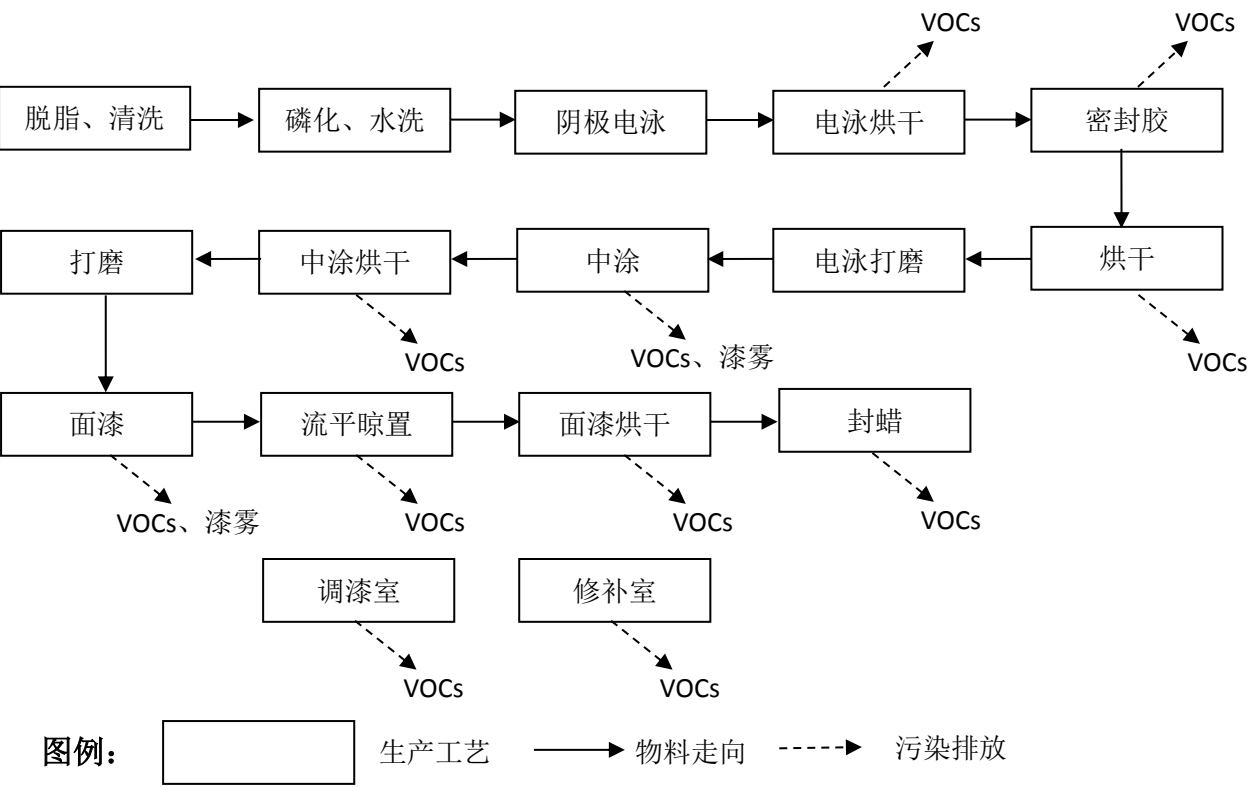


图4-1 传统4C 3B的小汽车涂装生产工艺

4.2 污染物排放

(1) 喷漆室废气

根据《涂装作业安全规程 喷漆室安全技术规定》(GB14444)规定，为维持喷涂的作业环境，喷漆室应在喷涂作业时连续换

风，换风速度应控制在 $0.25 \sim 1\text{m/s}$ 的范围内。喷漆室换风排气的废气主要组成成为喷漆挥发的有机溶剂，其主要成分为芳香烃、醇醚类、酯类有机溶剂，由于喷漆室的换气量大，所以排放的VOCs废气浓度较低，通常在 100mg/m^3 以下。另外，喷漆室的排气中经常还含有少量未处理完全的漆雾，特别是干式漆雾捕集喷漆室，排放废气中漆雾较多，可能对VOCs的处理产生不利影响，废气处理前必须预处理将其去除。

（2）流平室废气

面漆在喷涂之后烘干之前，要进行流平晾晒，将湿漆工件表面的溶剂型挥发气体在一定时间内挥发掉，以保证漆膜的平整度和光泽度，为防止流平室内有机溶剂聚集发生爆炸事故，流平室应连续换风，换风速度一般控制在 0.2m/s 左右，排风废气的成分与喷漆室排风废气的成分相近，但不含漆雾，有机废气的总浓度比喷漆室废气偏大，根据排风量大小不同，一般是喷漆室废气浓度的2倍左右，通常与喷漆室排风混合后集中处理。另外，调漆室、修补室和封蜡车间也会排放类似的有机废气。

（3）烘干废气

烘干废气的成分比较复杂，除包含有机溶剂、部分增塑剂或树脂单体等挥发成分，还包含热分解生成物、反应生成物。电泳底漆、密封胶、中涂与面漆烘干均有废气排出，烘干废气属于中、高浓度有机废气，由于工段不同，其成分、浓度与喷漆室废气、流平室废气差异较大。

5. 最佳可行技术

5.1 清洁生产技术

5.1.1 原料控制

采用环保型涂料可有效降低VOCs的排放总量。在汽车涂装中常见的低VOCs含量涂料有水性涂料、粉末涂料、高固体分涂料三种。

水性涂料：采用水性涂料替代有机溶剂型涂料是汽车涂装降低VOCs排放量的主要途径，也是降低汽车涂装火灾危险性主要措施之一。水性涂料包含浸用水性涂料、阳极电泳涂料、阴极电泳涂料、水性中涂、水性底色漆、水性防腐涂料、水性罩光涂料、自泳涂料、水性浆状粉末涂料等多种类型。在汽车涂装领域阴极电泳涂料的品种最多，用量最大。采用水性底色漆替代有机溶剂型底色漆，可削减车身涂装VOCs总排放量50%左右。

粉末涂料：粉末涂料理论上不含VOCs，但在烘干固化过程中可能散发出小分子的有机化合物。采用粉末和粉末浆涂料的成本仅为溶剂型涂料的15%~20%。当采用静电涂装法喷涂粉末涂料时，多余的喷涂粉末涂料可回收利用。在汽车金属零部件制造工业中已得到较多的应用。在汽车车身涂装领域，粉末涂料适用于中涂和罩光。粉末涂料的发展趋向是薄膜化（40 μm左右）和固化温度低温化（140℃以下），可达到节能目的。

高固体分涂料：由美国在20世纪80年代研究开发，在美国汽车工业使用较多，高固体分涂料采用低黏度的聚酯、丙烯酸树脂及高固体分氨基树脂制成，在汽车中涂、面涂和修补漆等

方面都得到了应用。通常溶剂型涂料的固体含量为30%~50%，而高固体分涂料的施工黏度固体含量在60%以上，达到65%~85%。由于它的施工性能及所需的施工条件与传统的溶剂型涂料相同，原有的涂装线不需改造就可采用。与水性涂料、粉末涂料相比，VOCs排放量的降幅虽然不够彻底，可在同样膜厚及施工条件下，随涂料的施工固体分提高，VOCs排放量的削减非常显著，如施工固体分提高10%，则VOCs削减可达20%~30%。

5.1.2 生产工艺改进

(1) 减少涂装和烘干工段

以最为传统的小汽车为例，其表面涂装工艺流程为4C 3B工艺，该工序属于最为基本的涂装烘干工序。

4C 3B工艺：底涂 → 底涂烘干 → 中涂 → 中涂烘干 → 色漆 → 清漆 → 面涂烘干

可以通过涂装工艺升级，将涂装和烘干工段减少，变为3C 2B工艺、3C 1B工艺（湿碰湿技术）甚至2C 1B工艺。

3C 2B工艺：中涂 → 中涂烘干 → 色漆 → 清漆 → 面涂烘干

3C 1B工艺：中涂 → 色漆 → 清漆 → 面涂烘干

2C 1B工艺：色漆（具有部分中涂功能或者要求电泳后很平整） → 清漆 → 面涂烘干

3C 1B工艺可比4C 3B工艺减少VOCs排放40%左右，降低能耗15%左右，减少CO₂排放4%左右，降低中涂消耗40%左右。

2C 1B工艺要比4C 3B工艺的成本降低50%左右，减少VOCs排放87%左右，减少CO₂排放52%左右，废弃物排放减少40%左

右。

（2）提高涂着效率。

提高涂着效率，不仅可以减少VOCs排放量，还能降低涂装成本。提高涂着效率的主要措施如下：

①改善和提高喷涂的一次合格率；

②提高喷涂操作人员的熟练程度和优化操作手法；

③减少换色产生的浪费（减少喷杯数，减少换色次数及容量）；

④采用静电喷涂设备（其中弹匣式供漆的静电涂装法，可大幅度地缩小换色容量，能减少换色时涂料和溶剂的损失，清洗溶剂可减少93%以上）；

⑤垂直对涂面进行喷涂（对工件倾斜 $10^{\circ} \sim 20^{\circ}$ ，则涂着效率变化10%~20%）。

（3）用机器人喷涂替代人工喷涂

当采用人工喷涂时，为了保障工人的职业健康，必须将喷涂房内的含VOCs气体在达到一定浓度之前排入VOCs处理系统进行处理。此时，进入VOCs处理系统的废气性质为大风量、低浓度废气。而采用机器人喷涂时，由于其工作效率不受气体中VOCs浓度的影响，仅需要补充一定量的新鲜空气，控制车间内的VOCs浓度不大于爆炸下限的25%即可。此时，排入VOCs处理系统的废气性质为中风量、中浓度废气。废气量的下降，可有效简化处理流程，降低系统造价，节省运行费用。

（4）其他措施

①使用涂料中的相关成分需要符合《汽车涂料中有害物质限量》（GB 24409）中的相关要求。

②加强涂料和溶剂的管理，溶剂和含溶剂物料容器间的转移宜通过管道输送或桶泵输送，除必要的操作时段外，其余时段含挥发性有机物的容器必须密封或加盖，减少有机溶剂的挥发，加强清洗溶剂的回收再利用。已开盖的或非密封的含挥发性有机物的物料须设置专门的收纳储存场所，并设有排气及净化系统。

③含挥发性有机物的清洁抹布等材料，使用后须收纳到密闭的容器中，清洗等过程产生的废溶剂和废料须及时密闭收存，按照国家固体废物污染环境防治法有关要求进行管理、处置。。

④专门设置指定的油漆间或密闭场所进行油漆的配置和调色，调漆间按负压设计要求设置排气净化系统。

⑤开发或引进移动式喷漆雾捕集装置，将涂装过程中产生的漆雾向周围空气的散发率控制在10%以下。

⑥对于客车、货车驾驶舱、厢式货车、货车的表面涂装，建议设置通风量与喷枪数量的联动系统，确保排风中有机废气浓度在一定可控范围内波动，保证后续处理装置的净化效率。

5.2 污染治理技术

5.2.1 企业排放量分析

按照企业的生产规模和VOCs排放量，将企业分为中型排污企业和大型排污企业。中型排污企业的两项条件均满足，则可认定为中型排污企业。符合表中大型排污企业的任意一项条件，

则直接认定为大型排污企业，见表5-1。

表5-1 企业排污规模分类

企业排污规模	企业年产值	VOCs 年排放量
	(万元/年)	(吨/年)
中型排污企业	< 5000	< 100
大型排污企业	≥ 5000	≥ 100

5.2.2 VOCs 废气的收集

汽车涂装行业的VOCs废气应建立喷漆室、流平室、烘干房、调漆室和修补室废气收集系统，废气的收集方式分为全面收集与局部收集等两种方式。

全面收集：是为了将车间内的所有生成的VOCs全数收集处理而进行的。按照气流方向，可分为上吸式和下吸式，上吸式系统简单，投资少，但是VOCs的运动途径经过人的呼吸区，会对职工身体造成一定的负面影响。下吸式可以更好的保护工人的身体健康，但是吸气系统设计复杂，投资高。

局部收集：是通过集气罩来实现的，通过VOCs污染物相对于空气的比重来确定集气罩的安装位置，可提高VOCs的收集比例，目前主要安装位置分别在污染源的上方、侧方或下方。集气罩按照捕集原理，可以分为密闭型、包围型、捕集型和诱导型等4类。

(1) 密闭型

集气罩完全密封，罩子把污染源局部或整体密闭起来，使污染物的扩散被限制在一个很小的密闭空间。同时，从罩子内排出一定量的空气，使罩内保持一定的负压，罩外空气经过罩

上的缝隙流入罩内，防止污染物外逸。

（2）包围型

集气罩属于半密闭型，不受周围气流影响，对人体健康有一定保护作用。把产生VOCs的操作工段放在罩内进行，人在罩外操作。吸风口位置有上吸式、下吸式和上下联合抽气式。

（3）捕集型

由于工艺条件限制，污染源设备较大，无法密闭时，只能在污染物附近设置捕集型集气罩，它是利用废气本身的运动方向（如热气上升等）在污染物移动方向等待并加以捕集。

（4）诱导型

这种集气罩对于气态污染物的捕捉方向与污染物本身运动方向不一致，例如对工业槽设置的槽边集气罩，废气由槽内向上运动，集气罩对污染物进行侧方诱导，让污染物从侧向排出。这样既不影响工艺操作，废气排出时又不经过人的呼吸区。

表5-2 不同废气收集方式比较

全面收集	设置区域	喷漆室、烘干房、调漆室、修补室、流平室
	气体收集效率	90%以上
	特征	室内污染源分布广、污染点多、污染面积大、污染物不易捕捉
局部收集	设置区域	固定喷涂点、调漆室、修补室
	气体收集效率	80-90%
	特征	固定污染源、污染源数量少

废气收集原则：

（1）废气收集应与生产工艺协调一致，宜不影响工艺操作。在保证收集能力的前提下，应力求结构简单，便于安装和维护

管理。

(2) 集气方向尽可能与污染气流运动方向一致，避免和减弱干扰气流和送风气流等对吸气气流的影响。

(3) 采用局部收集时使用集气罩，应保持罩口呈现微负压状态，且罩内负压均匀。

5.2.3 汽车涂装行业 VOCs 处理技术选择原则

由于不同汽车涂装企业所用涂料和产污工段均有不同，导致产生的有机废气在气量、浓度和组分上存在较大差异。因此 VOCs 处理工艺的选择必须结合废气的规模、污染物种类和浓度、企业经济状况等实际情况选择适合的处理工艺，总体应该遵循以下5个原则。

分类处理。由于汽车涂装生产流程中，喷漆室、调漆室、修补室、流平室等工段产生的废气属于大风量、低浓度的常温含 VOCs 废气。烘干房产生的废气为中、高浓度的高温含 VOCs 废气。废气浓度、温度等物理特性的差异，决定了如果将两类气体收集后合并处理，相较于分类单独处理会造成处理设施建设成本和运行成本大幅上升，不利于企业进行有效的成本控制。

资源回收利用。结合 VOCs 的浓度和实际成分，尽量提高废气收集率，优先选择能够对废气中 VOCs 进行回收利用的技术方案。回收下来的有机物可以用于生产或出售，降低治理成本。

处理达标。项目建设应按国家相关的基本建设程序或技术改造审批程序进行，总体设计应满足《建设项目环境保护设计规定》和《建设项目环境保护管理条例》的规定。经过治理后

的废气排放应符合《四川省固定污染源大气挥发性有机物排放标准》（DB 51/2377）中的相关规定。治理过程避免产生二次污染。治理设施噪声控制应符合《工业企业噪声控制设计规范》（GB/T 50087）和《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB 12348）的规定。

效率稳定。生产企业应把治理设施作为生产系统的一部分进行管理，应根据待处理废气的参数和要求，选用适合企业实际、处理效率稳定的废气处理技术。尽量选择运行、操作、维护及管理简便易行，自动化程度高的技术方案，减少人为操作导致处理效果不稳定的可能性。

经济实用。在保证稳定达到排放要求的基础上，选择与企业经济承受能力相适应，建设成本和运行成本较低，经济实用的技术工艺；建设中充分利用地形和可用场地面积，缩短废气管网长度，降低废气处理能耗，节约成本。尽量采用经济节能型工艺设备，减少处理设施的数量。

5.2.4 汽车涂装行业 VOCs 处理技术选择基本方法

首先对企业产生VOCs的工段进行分析，并对产生气量和浓度、温度、湿度等参数进行测量，作为处理工艺选择的基础资料。根据《四川省固定污染源大气挥发性有机物排放标准》（DB51/2377），确定经过处理后VOCs的排放浓度，结合测量得到的原始废气浓度，计算VOCs处理工艺需要达到的处理效率，将可达到该处理效率的处理工艺作为备选。其次，以适宜温度范围、预处理复杂程度作为条件，筛选备选的VOCs处理工艺。

再通过企业的经济状况，筛选建设成本和运行成本、自动化程度都适宜的VOCs处理工艺。

5.2.5 汽车涂装行业 VOCs 预处理技术

在大多数情况下，VOCs在处理之前要进行一定的预处理，颗粒物、油雾、催化剂毒物及难脱附的气态污染物和气体湿度过大均会导致堵塞吸附材料微孔，降低吸附容量，因此在进入吸附床层之前应尽可能的除去。预处理一般包括：除去颗粒物、油雾、催化剂毒物及难脱附的气态污染物等，并调节气体温度、湿度、浓度和压力等以满足后续处理工艺要求。进入吸附系统的废气温度一般应低于40℃。颗粒物的去除宜采用过滤及洗涤等方法，保证进入后续处理装置的废气中颗粒物浓度低于1mg/m³。同时，进入吸附系统的含易燃、易爆VOCs废气浓度应控制在其爆炸极限下限的25%以下。对于含有混合VOCs的废气，其控制浓度P应低于最易爆炸组分或混合气体爆炸极限下限值的25%，即 $P < \min(P_e, P_m) \times 25\%$ ， P_e 为最易爆炸组分爆炸极限下限值（%）， P_m 为混合气体爆炸极限下限值（%）， P_m 按照下式进行计算：

$$P_m = (P_1 + P_2 + \dots + P_n) / (V_1/P_1 + V_2/P_2 + \dots + V_n/P_n)$$

式中：

P_m ——混合气体爆炸极限下限值，%；

$P_1, P_2, \dots, P_n$ ——混合气体中各组分的爆炸极限下限值，%；

$V_1, V_2, \dots, V_n$ ——混合气体中各组分所占的体积百分数，%；

n——混合含VOCs废气中所含有机化合物的种类数量。

表5-3列出了部分适用于汽车涂装企业开展VOCs治理的预处理技术，企业可根据废气的性质选择一种或多种预处理工艺串联使用。

表5-3 预处理工艺简介

预处理工艺	目的及作用
冷却	降温
过滤	去除油雾（漆雾）及水分
洗涤	去除油雾（漆雾）及颗粒物
喷淋	去除颗粒物及催化剂毒物
吸收	去除催化剂毒物

5.2.6 汽车涂装行业有机废气处理技术

（1）吸附

吸附浓缩技术是利用各种固体吸附材料（如活性炭（包括活性炭纤维）、分子筛、活性氧化铝和硅胶等）对排放废气中的VOCs进行吸附浓缩，同时达到净化废气的目的。吸附工艺主要分为吸附段和脱附段。

吸附段需要注意的事项主要有：

①在理想状态下，中低浓度 VOCs（一般在 $<1000\text{mg}/\text{m}^3$ ）净化效率能达到 90%以上，但吸附材料吸附能力接近饱和时，吸附效率显著降低，无法保证处理后废气稳定达标排放，同时，目前没有成熟可靠、经济实用的技术对吸附材料的吸附能力变化情况进行实时监测分析，因此吸附工艺一般与其他处理工艺组合使用。

②在不使用深冷、高压的条件下，可有效回收有价值的有

机物组分。

③吸附剂应选择具有大比表面和孔隙率的；具有良好选择性的；吸附能力强，吸附容量大的；易于再生；机械强度、化学稳定性、热稳定性好；使用寿命长的。

④更换填料或是运行维护过程中产生的固废以及危险废物按照国家固体废物污染环境防治法有关要求进行管理、处置。

⑤固定床吸附器应符合《环境保护产品技术要求 工业废气吸附净化装置》（HJ/T 386）的规定。吸附层的风速应根据吸附剂的材质、结构和性能共同确定。

⑥常用的吸附剂有两类，分别为活性炭吸附剂和沸石分子筛吸附剂。

（a）活性炭吸附剂特点：操作简单，吸附能力强，吸附效果好，可以对活性炭进行再生，重新使用。

（b）沸石分子筛吸附剂特点：作为离子型吸附剂，吸附选择性强，吸附能力强，材料不燃烧，因此在较高的温度下，吸附效率仍然比较高，同时，脱附温度也相应较高。

表5-4 部分活性炭物性参数

性质	单位	粒状活性炭	粉状活性炭	活性炭纤维
真密度	g/cm ³	2.0-2.2	1.9-2.2	0.2-0.8
粒密度	g/cm ³	0.6-1.0	-	-
堆积密度	g/cm ³	0.35-0.6	0.15-0.6	0.03-0.05
孔隙率	%	33-45	45-75	50-80
细孔容积	cm ³ /g	0.5-1.1	0.5-1.4	0.6-1.1
平均孔径	Å	1.2-4.0	1.5-4.0	5.0-14.0
比表面	m ² /g	700-1500	700-1600	800-2000

⑦吸附装置用于处理易燃、易爆气体时，应符合安全生产及事故防范的相关要求。除控制处理气体的浓度外，在管道系统的适当位置，应安装符合《石油气体管道阻火器》（GB/T 13347）规定的阻火装置。接地电阻应小于 2Ω 。

脱附段需要注意的事项主要有：

①脱附操作可采用升温、降压、置换、吹扫和化学转化等脱附方式或几种方式的组合。

③脱附气源可采用热空气、热烟气和低压水蒸气。

③当回收脱附产物时，应保证脱附后气体达到设计要求的冷却水平。

④有机溶剂的脱附宜选用水蒸气和热空气，当回收的有机溶剂沸点较低时，冷凝水宜使用低温水；对不溶于水的有机溶剂冷凝后直接回收，对溶于水的有机溶剂应进一步分离回收。

⑤采用活性炭作为吸附材料时，脱附气体的温度宜控制在 120°C 以下；采用沸石分子筛作为吸附材料时，脱附气体的温度宜控制在 220°C 以下。

（2）直接燃烧

直接燃烧分为常规直接燃烧（TO）和蓄热式燃烧（RTO）。它利用辅助燃料燃烧所发生热量，把可燃的含VOCs气体温度提高到 $700-900^{\circ}\text{C}$ 的区间，从而发生氧化分解。由于燃烧设备可于较短时间内进入工作状态，非常适合用于高浓度废气及间歇性排放工艺。蓄热式燃烧（RTO）处理系统中加温和氧化分解产生的热能利用具有高热容量的陶瓷蓄热体作为蓄热系统，实现

换热效率达到90%以上的节能效果。

使用直接燃烧时，应注意：

①净化效率高，能达到95%以上，连续运行稳定，技术成熟且安全可靠、操作维护简单，使用寿命长。

②一次性投资成本高，运行成本较高。

③严格控制进口VOCs的浓度，使其入口浓度必须远低于爆炸下限，控制在一个安全的水平。

④不适宜处理小于8000m³/h以下风量的废气，对含有机硅成分较多的废气容易造成蓄热体堵塞，更换蓄热材料费用较高。

（3）催化燃烧

催化燃烧分为常规催化燃烧（CO）和蓄热式催化燃烧（RCO）。利用结合在高热容量陶瓷蓄热体上的催化剂，使VOCs在300~400℃的较低温度下，氧化为H₂O和CO₂。蓄热式催化燃烧（RCO）的处理系统加热和氧化产生的热量被蓄热体储存并用以加热待处理废气，以提高换热效率。

使用蓄热催化燃烧时，应注意：

①净化效率较高，能达到95%以上，比蓄热式燃烧节约25%~40%运行费用，其热回收效率可达90%以上；较少产生NO_x和SO_x，不受水气含量影响。

②催化剂的选择需要与处理对象相吻合，严格避免催化剂的中毒。在汞、铅、锡、锌等金属蒸气和磷、磷化物、砷等存在时，随使用时间的延长，这些物质覆盖在催化剂表面，催化剂将失去活性。卤素和大量的水蒸气存在时，催化剂活性暂时

衰退；当这些物质不存在时，其活性在短期内即可恢复。尘埃、金属锈、煤灰、硅和有机金属化合物等覆盖在催化剂表面上，将影响废气中可燃成分与催化剂表面接触，从而使催化剂活性降低。

③催化剂的工作温度应低于700℃，并能够承受900℃短时间的高温冲击，设计工况下催化剂使用寿命应大于8500h。

④设计工况下蓄热式催化燃烧装置中蓄热体的使用寿命应大于24000h。

⑤催化燃烧装置预热室的预热温度宜控制在250-350℃，不宜超过400℃。

⑥催化剂床层的设计空速应考虑催化剂的种类、载体的型式、废气的组分等因素，宜大于10000h⁻¹，但不宜大于40000h⁻¹。

（4）冷凝

废气中的VOCs在冷凝器中冷凝，通过降低气体温度使VOCs达到过饱和后从气体中液化出来而得到净化，冷凝下来的有机物可以回收利用。

使用冷凝法时，应注意：

①主要用于处理高浓度废气，特别是组分比较单纯的、有一定回收经济价值的废气，净化效率为50%-80%。

②冷凝法吸收效率波动幅度大，可作为燃烧或吸附处理的预理工段，特别是VOCs含量较高时，可通过冷凝回收降低后续净化装置的操作负担。

④可处理含有大量水蒸气的高温蒸汽。

④冷凝法对废气的处理程度受到冷凝温度限制，要处理效率高或处理低浓度废气时，需要将废气冷却到非常低的温度，经济上不合算。

5.2.7 汽车涂装行业有机废气治理组合技术

通过对废气的成分进行分析，汽车涂装行业废气中VOCs废气通常分为两类：一类为常温的中低浓度（ $<1000\text{mg/m}^3$ ）废气，根据该废气特性，通常采用物理吸附-（回收）-销毁的处置方法。一类为高温（ 100°C - 200°C ）的中高浓度（ $2000\text{-}8000\text{ mg/m}^3$ ）废气，根据该废气特性，通常采用销毁的处置方法。

常温的中低浓度（ $<1000\text{mg/m}^3$ ）废气处理采用物理吸附-（回收）-销毁法，具体分为三个步骤，其一为使用介质对产生的原始常温、大风量、低浓度VOCs进行吸收，并将其中的污染物转移到介质上；其二为通过特定条件，将介质吸收的有机污染物释放出来，成为小风量、高浓度的含VOCs废气；并采用物理冷凝法，将VOCs转换为液态回收利用。其三为将通过回收后（可省略）的VOCs通过燃烧，转换为无机物，以达到对小风量、高浓度有机废气进行销毁的目的。其中，步骤一及步骤三为治理VOCs的必要步骤，企业可根据废气是否具备回收价值选择实施或省略步骤二中的回收工段。

中高温（ 100°C - 200°C ）的中高浓度（ $2000\text{-}8000\text{mg/m}^3$ ）废气采用销毁法，使VOCs加热后通过燃烧，转换为无机物，以达到对中高浓度VOCs进行销毁的目的。

表 5-5 汽车涂装行业 VOCs 治理技术推荐

废气性质	企业规模	步骤一适用的 处理工艺	步骤二适用的处理 工艺	步骤三适用的处理 工艺
常温中低浓 度	中型排污企业	活性炭吸附（浓缩）	冷凝	直接燃烧、催化燃烧
	大型排污企业	活性炭吸附（浓缩） 沸石分子筛吸附（浓缩）	冷凝	直接燃烧、催化燃烧
高温中高浓 度	中型及大型排污 企业	-	-	直接燃烧

（1）典型组合处理技术介绍

活性炭吸附浓缩（沸石分子筛吸附浓缩）+蓄热催化燃烧（蓄热式燃烧）

首先采用活性炭（沸石分子筛）对废气中的VOCs进行吸附浓缩，通过升温脱附，将大风量、低浓度的含VOCs废气转变为小风量、高浓度的含VOCs废气，再通过蓄热催化燃烧（蓄热式燃烧）对其进行销毁处理。

（2）典型组合处理技术的优缺点分析

表5-6 组合技术特点比较

典型组合技术	优点	缺点
活性炭吸附浓缩+蓄热式燃烧	造价相对较低，前期投入较少 蓄热式燃烧有一定的自我调节能力，抗干扰能力强，热回收效率90%以上	脱附时有燃烧危险，风险相对较高 燃烧温度高，产生 NO _x
活性炭吸附浓缩+蓄热催化燃烧	造价相对较低，前期投入较少 起燃温度低，节约能源，处理效率高，无二次污染	催化剂成本高，存在中毒和寿命问题 脱附时有燃烧危险，风险相对较高
沸石分子筛吸附浓缩+蓄热式燃烧	沸石不具备可燃性，不会引发溶剂反应 吸收 VOCs 产生的压降低，电耗少	造价高，维护成本高 容易发生高沸点 VOCs 残留，必须进行预处理，脱附温度较高，脱附出的 VOCs 容易与氧气反应
沸石分子筛吸附浓缩+蓄热催化燃烧	沸石不具备可燃性，不会引发溶剂反应 吸收 VOCs 产生的压降低，电耗少 起燃温度低，节约能源，处理效率高，无二次污染	造价高，维护成本高 容易发生高沸点 VOCs 残留，必须进行预处理，脱附温度较高，脱附出的 VOCs 容易与氧气反应

5.2.8 各种处理技术的指标分析

几种治理技术的各项经济和技术指标列于表5-7，供企业技术选择时参考之用。

表 5-7 治理技术的经济、技术参数简表

类型	治理技术	净化效率	建设成本	运行成本	安全系数	自动化程度	监控难度	占地面积
单一技术	蓄热式燃烧	> 95% (仅限高浓度)	***	***	*****	*****	*	***
组合技术	活性炭吸附浓缩+蓄热式燃烧	> 90%	*****	***	***	*****	*	*****
	活性炭吸附浓缩+蓄热催化燃烧	> 90%	*****	***	*****	*****	*	***
	活性炭吸附浓缩+直接燃烧	> 90%	***	*****	***	*****	*	***
	活性炭吸附浓缩+催化燃烧	> 90%	***	*****	*****	*****	*	***
	沸石分子筛吸附浓缩+蓄热催化燃烧	> 90%	*****	***	*****	*****	*	***
	沸石分子筛吸附浓缩+蓄热式燃烧	> 90%	*****	***	*****	*****	*	*****

说明：“*”越多，代表建设成本越高，运行成本越高，安全系数越高，自动化程度越高，监控难度越高，占地面积越大。

5.2.9 二次污染控制

废气预处理过程中产生的废水应进行集中收集，并通过处理达到相应标准后排放。

废气预处理过程中产生的颗粒物、废渣及更换后的过滤材料、催化剂，应按照国家固体废物污染环境防治法有关要求进行管理、处置。

燃烧后产生的二次污染物应采用吸收等方法进行处理后达标排放。

噪声的控制应满足《工业企业噪声控制设计规范》（GB/T 50087）和《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB 12348）的

相关规定。

5.3 环境管理

5.3.1 汽车涂装行业 VOCs 排放设施

企业的车间或生产设施排气筒应在规定的监控位置设置采样口和永久监测平台，采样口的设置应符合《气体参数测量和采样的固定位装置》（HJ/T 1）要求，同时设置规范的永久性排污口标志。还应在处理设施进、出口处设置采样孔，并满足相关的采样设置条件。若排气筒采用多筒集合式排放，应在合并排气筒前的各分管上设置采样孔。监测平台面积应不小于4m²，并设有1.1m高的护栏和不低于10cm的脚部挡板，监测平台的承重应不少于200kg/m²，采样口距平台面约为1.2m~1.3m高度，监测平台距地面大于5m时需安装旋梯、“Z”字梯或升降电梯。

企业应将挥发性有机废气终端治理设备信息接入中控系统；大型排污企业应对挥发性有机废气末端处理装置安装在线监测系统，鼓励中型排污企业对挥发性有机废气末端处理装置安装在线监测系统。污染源排放在线监测系统的安装及运行维护，按照有关法律、《污染源自动监控管理办法》中相关要求及国家和四川省的相关法律和规定执行。使用的FID监测设备必须为本质安全型设备或按相应防爆等级的安装要求进行安装。

5.3.2 企业管理要求

保证涂装生产过程中单位涂装面积的VOCs排放总量满足《四川省固定污染源大气挥发性有机物排放标准》（DB51/2377）中相关规定。治理设备正常运行中废气排放应符合《四川省固定污染源大气挥发性有机物排放标准》（DB51/2377）中相关规

定，且治理设施不得超负荷运行。

治理工程应先于产生废气的生产工艺设备开启、后于生产工艺设备停机，并实现连锁控制。

现场应设置就地控制柜实现就地控制。就地控制柜应有集中控制端口，具备与集中控制室的连接功能，在控制柜显示设备的运行状态。

污染治理设施应和正常的生产设施一并管理，并配备专业管理人员和技术人员，治理设施启动前，应对人员进行培训，同时在系统运行后也要开展定期培训，使管理人员和技术人员掌握治理设备及其它附属设施的具体操作。培训内容主要为：

- （1）基本原理和工艺流程；
- （2）启动前的检查和启动应该满足的条件；
- （3）正常运行情况下设备的控制、报警和指示系统的状态和检查，保持设备良好运行的条件，以及必要时的纠正操作；
- （4）设备运行故障的发现、检查和排除；
- （5）事故或紧急状态下人工操作和事故排除方法；
- （6）设备日常和定期维护；
- （7）设备运行和维护记录；
- （8）其他事件的记录和报告。

废气的采样方法应满足《固定污染源排气中颗粒物测定与气态污染物采样方法》（GB/T 16157）的要求，采样频率和检测项目应根据工艺控制要求确定。

每月应记录VOCs排放量（废溶剂、废弃物、废水或其他方式输出生产工艺的量）、污染控制设备处理效率、排放监测等

数据。

采用蓄热燃烧装置处理 VOCs 时，燃烧室温度应保持在 700-900℃ 之间，应记录并保留运行时间及燃烧室的在线温度数据备查。

采用蓄热催化燃烧或催化燃烧装置处理挥发性有机物时，燃烧室温度应保持在 300-400℃ 之间，应记录并保留运行时间及燃烧室的在线温度数据备查。

采用催化燃烧装置的设备，其运行记录中必须包括催化剂种类、净化效率和空速、催化剂的装填、更换时间和数量。每日记录催化剂床进出口温度、压降等参数。

吸附装置应记录吸附材料种类、更换/再生周期、更换量，并每日记录操作温度等参数，同时还应记录更换下来后的吸附材料的处置方式。

其他污染控制设备，应记录保养维护事项，并每日记录主要操作参数。

应根据实际生产工况和治理设施的设计标准，建立相关的各项规章制度以及运行、维护和操作规程，明确耗材的更换周期和设施的检查周期，建立主要设备运行状况的台账制度，保证设施正常运行。

按照国家和地方相关污染源监测要求，自行或委托三方监测单位对厂区有组织排放废气和无组织排放废气进行定期监测，并对治理设施的治理效率定期评估。

5.3.3 企业安全要求

当废气含有腐蚀性介质，需要采用防腐蚀材质的设备、管

路和管件等，施工和验收应符合《工业设备及管道防腐蚀工程施工规范》（GB 50726）以及《工业设备及管道防腐蚀工程施工质量验收规范》（GB 50727）的规定。

制定污染治理设施突发环境事件应急演练方案，熟悉紧急情况下的处理措施。由于紧急事故或设备维修等原因造成治理设备停止运行时，应立即报告当地环境保护行政主管部门。

治理措施应该设置事故自动报警装置，并符合安全、事故防范的相关规定。

电力系统设计应满足《爆炸危险环境电力装置设计规范》（GB 50058）的要求。

治理系统与主体生产装置之间、治理系统与收集系统之间应安装阻火器（防火阀），阻火器的性能应符合《石油气体管道阻火器》（GB/T 13347）和《环境保护产品技术要求 工业有机废气催化净化装置》（HJ/T 389）的规定。

燃烧装置、吸附装置等的电气仪表不低于现场防爆等级，宜选用符合《爆炸性环境 第4部分：由本质安全型“i”保护的 设备》（GB3836.4）要求的本安型防爆器件。

燃烧装置应该设置VOCs浓度检测和报警连锁装置，当气体浓度达到VOCs爆炸下限的25%时，立即发出报警信号，启动安全放散装置。应该具有过热保护功能。

催化装置应该设置事故应急排空管，排空装置与冲稀阀、报警联动，用排空放散防止爆炸。

吸附装置应该设置吸附床层温度控制系统，具体要根据处理对象确定临界温度，一般应该低于40℃，当吸附装置超过临

界温度时候，应能自动报警，并立即启动降温装置。

燃烧装置的温度传感器应按照《温度传感器动态响应校准》（JJF 1049）的要求进行标定后使用。

直接燃烧和催化燃烧装置应进行整体保温，外表面温度应低于60℃。

直接燃烧和催化燃烧系统的管路系统和燃烧装置的防爆泄压设计、消防通道、防火间距、安全疏散的设计和消防栓的布置应符合《石油化工企业设计防火规范》（GB 50160）的要求。

治理工程应按照《建筑灭火器配置设计规范》（GB 50140）的规定配置移动式灭火器。

治理工程应具有短路保护和接地保护功能，接地电阻小于2Ω。

治理工程应该安装符合《建筑物防雷设计规范》（GB 50057）规定的避雷装置。

5.3.4 环保部门监管

各级环境保护部门依法依规对汽车涂装企业生产全过程的VOCs收集、治理及排放进行监督管理，督促企业达标排放。