

浙江省挥发性有机物污染防治可行技术指南

装备制造

浙江省生态环境厅
2021 年 11 月

目 次

前言	1
1 适用范围.....	2
2 规范性引用文件.....	2
3 术语和定义.....	2
4 生产工艺与 VOCs 产排情况.....	4
5 污染预防技术.....	5
6 污染治理技术.....	5
7 环境管理措施.....	7
8 VOCs 污染防治可行技术.....	10
附录 A.....	11
附录 B.....	12

前 言

为贯彻《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》《浙江省大气污染防治条例》，防治挥发性有机物（VOCs）污染，推动装备制造业污染防治技术进步，制定本指南。

本指南以当前技术发展和应用状况为依据，可作为浙江省装备制造业 VOCs 污染防治工作的参考技术资料。

本指南由浙江省生态环境厅组织制定。

本指南起草单位：浙江省生态环境科学设计研究院、浙江省环境科技有限公司、浙江恒诺环保科技有限公司。

1 适用范围

本指南适用于装备制造行业生产过程中产生的挥发性有机物污染控制。

2 规范性引用文件

本指南准引用了下列文件或其中的条款。凡是注明日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本指南。凡是未注明日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本指南。

GB14554	恶臭污染物排放标准
GB 16297	大气污染物综合排放标准
GB 37822	挥发性有机物无组织排放控制标准
GB/T 4754	国民经济行业分类
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 38597	低挥发性有机化合物含量涂料产品技术要求
GB/T 19292	金属和合金的腐蚀 大气腐蚀性
HJ/T 397	固定源废气监测技术规范
HJ 942	排污许可证申请与核发技术规范 总则
HJ 944	排污单位环境管理台账及排污许可证执行报告技术规范总则（试行）
HJ 1086	排污单位自行监测技术指南 涂装
HJ 1093	蓄热燃烧法工业有机废气治理工程技术规范
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废气治理工程技术规范
DB 33/2146	工业涂装工序大气污染物排放标准

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本指南。

3.1 装备制造

GB/T 4754-2017 中规定的集装箱及金属包装容器制造（C333）、通用设备制造业（C34）、专用设备制造业（C35）。

3.2 涂料

涂于工件表面形成具有腐蚀保护，装饰或特殊性能（如标示，绝缘，耐磨等）的连续固态涂膜的一类液体或固态材料的总称。

3.3 涂装

将涂料涂覆于基底表面形成具有防护、装饰或特定功能的涂层过程，又叫涂料施工。

3.4 工业涂装工序

工业生产中涂料调配、表面预处理（脱脂、除旧漆、打磨等）、涂覆（含底涂、中涂、面涂、罩光等）、流平、干燥/固化等环节的生产工序。

3.5 固化

由于热作用、化学作用或光作用产生从涂料形成所要求性能的连续涂层的缩合、聚合或自氧化过程。

3.6 刷涂

利用漆刷蘸涂料进行涂装的方法。

3.7 喷涂

将涂料雾化并射向工件表面进行涂装的方法。

3.8 浸涂

将工件浸没于涂料中，取出，除去过量涂料的涂装方法。

3.9 淋涂

将涂料喷淋或流淌过工件表面的涂装方法。

3.10 辊涂

利用蘸涂料的辊子在工件表面上辊动的涂装方法。

3.11 电泳涂装

利用外加电场使悬浮于电泳液中颜料和树脂等微粒定向迁移并沉积于电极之一的基底表面的涂装方法。

3.12 干燥

涂层从液态向固态变化的过程。

3.13 溶剂型涂料

以有机溶剂为介质的涂料（或用有机物作为溶剂的涂料）。

3.14 水性涂料

完全或主要以水为介质的涂料。

3.15 粉末涂料

不含溶剂的粉末状涂料。

3.16 辐射固化涂料

通过辐射固化方式固化的一类涂料。注：例如，紫外光（UV）固化涂料、电子束（EB）固化涂料等。

3.17 即用状态

原料调配好后，即可用于涂装作业的状态。

3.18 挥发性有机物（VOCs）

参与大气光化学反应的有机化合物，或者根据有关规定确定的有机化合物。

在表征 VOCs 总体排放情况时，根据行业特征和环境管理要求，可采用总挥发性有机物（以 TVOC 表示）、非甲烷总烃（以 NMHC 表示）作为污染物控制项目。

3.19 密闭

污染物质不与环境空气接触，或通过密封材料、密封设备与环境空气隔离的状态或作业方式。

3.20 密闭空间

利用完整的围护结构将污染物质、作业场所等与周围空间阻隔所形成的封闭区域或封闭式建筑物。该封闭区域或封闭式建筑物除人员、车辆、设备、物料进出时，以及依法设立的排气筒、通风口外，门窗及其他开口（孔）部位应随时保持关闭状态。

3.21 污染预防技术

为减少污染物排放，在生产过程中采用避免或减少污染物产生的技术。

3.22 污染治理技术

在污染物产生后，为了消除或者降低对环境的影响而采用的处理技术。

3.23 环境管理措施

企事业单位内，为实现污染物有效预防和控制而采取的管理方法和措施。

3.24 污染防治可行技术

根据一定时期内环境需求和经济水平，在污染防治过程中综合采用污染预防技术、污染治理技术、环境管理措施，使污染物排放稳定达到污染物排放标准、规模应用的技术。

4 生产工艺与 VOCs 产排情况

4.1 生产工艺

装备制造行业的 VOCs 主要来于工业涂装工序。装备制造行业涂装生产工艺根据生产类型主要分为独立式和流水线式。各工段相对独立的装备制造企业一般采用独立式涂装工艺，各工段相对连续的装备制造企业一般采用流水线式涂装工艺。

典型的装备制造涂装工艺流程见附录 A。

4.2 VOCs 产排特征

涂装（装备制造）生产过程中，产生 VOCs 废气的环节主要包括调漆、喷涂、流平、烘

（晾）干等。

5 污染预防技术

5.1 原辅料替代技术

使用符合国家有关低 VOCs 含量产品规定的涂料、清洗剂等，有组织和无组织排放浓度稳定达标且排放速率满足相关规定的，相应生产工序可不要求建设 VOCs 末端治理设施。

对于涂料产品，低 VOCs 含量产品指符合 GB/T 38597 的水性涂料、无溶剂涂料和辐射固化涂料。对于胶粘剂产品，低 VOCs 含量产品指符合 GB 33372 的水基型胶粘剂和本体型胶粘剂。

使用 VOCs 含量（质量比）均低于 10%原辅材料的工序，无组织排放浓度达标的，可不要求采取 VOCs 无组织排放收集和处理措施。如果存在颗粒物等其他非 VOCs 大气污染物，应采取必要的收集处理措施，确保该类大气污染物达标排放。

企业环评文件及批复或排污许可证中对 VOCs 排放总量有控制要求的，从其规定。

根据涂装工艺的不同，鼓励使用粉末、水性、非溶剂型辐射固化等低 VOCs 含量原辅材料源头替代。

在条件允许情况下，对集装箱及金属包装容器制造、通用设备制造业，鼓励优先采用粉末涂料或水性涂料替代；

对专用设备制造业，腐蚀等级为 C1、C2 和 C3 的环境，优先使用水性涂料或粉末涂料进行源头替代；腐蚀等级为 C4、C5 和 CX 的环境，建议升级优化涂装（喷涂）工艺，优先使用无溶剂涂料替代（腐蚀等级参考 GB/T 19292.1-2018）。

5.2 设备或工艺革新技术

鼓励企业采用密闭型生产成套装置，推广应用自动连续化喷涂线，降低油漆过喷量（降低油漆消耗量）。大件喷涂可采用组件拆分、分段喷涂方式，兼用滑轮运输、可系统喷涂房等装备。

鼓励企业采用静电喷涂、无空气喷涂、空气辅助/混气喷涂、热喷涂等效率较高、VOCs 排放量少的涂装工艺。鼓励采用废气热能回收-烘干一体化的清洁生产设备。

6 污染治理技术

6.1 一般原则

应加强对涂装（装备制造）生产工艺过程废气的收集，减少 VOCs 无组织排放。VOCs 无组织废气的收集和控制应符合 GB 37822 的要求，废气收集技术可参考附录 B。

高浓度 VOCs 废气，优先采用冷凝、吸附回收等技术对废气中的 VOCs 回收利用，并辅以催化燃烧、热力燃烧等治理技术实现达标排放及 VOCs 减排。采用燃烧法 VOCs 治理技术

产生的高温废气宜进行热能回收。

中、低浓度 VOCs 废气，有回收价值时宜采用吸附技术回收处理，无回收价值时优先采用吸附浓缩－燃烧技术处理。

含非水溶性 VOCs 的废气不得仅采用水或水溶液洗涤吸收方式处理，原则上禁止将高浓度废气直接与大风量、低浓度废气混合。

苯乙烯废气优先考虑采用分子筛吸附-脱附处理工艺，其余无法使用吸附-脱附工艺的含不饱和键且易聚合的 VOCs 废气可选用“氧化+喷淋吸收”方式进行处理，吸收液和其他耗材应定期更换。

末端治理设施应按照相关技术规范要求进行设计、建设与管理，相关技术规范包括但不限于 HJ 1093、HJ2000、HJ 2026、HJ 2027、HJ/T 397 等。

生产或使用 VOCs 物料的工序，如不符合国家有关低 VOCs 含量产品规定，当收集的废气中非甲烷总烃初始排放速率 $\geq 2 \text{ kg/h}$ 时，配置 VOCs 治理设施的处理效率不应低于 80%。行业排放标准中有更严的处理效率要求的，从严执行。

6.2 吸附法

该技术利用吸附剂（活性炭、分子筛等）吸附废气中的 VOCs，使之与废气分离，简称吸附技术，主要包括固定床吸附技术、移动床吸附技术、流化床吸附技术、旋转式吸附技术。工业涂装工序常用的吸附技术为固定床吸附技术和旋转式吸附技术。以活性炭为吸附剂的宜采用颗粒炭，不建议年溶剂型原辅料使用量大于 5 吨的企业采用一次性活性炭吸附抛弃法。配套吸附处理单元的含尘、含气溶胶、高湿废气、高温废气，应事先采用高效除尘、除雾装置、冷却装置等进行预处理。

6.2.1 固定床吸附技术

该技术适用于装备制造行业涂装工序调漆、喷涂或混合废气的治理。吸附过程中吸附剂床层处于静止状态，对废气中的 VOCs 进行吸附分离。工业涂装工序一般使用活性炭或分子筛（沸石）作为吸附剂。应根据污染物处理量、处理要求等定时再生或更换吸附剂以保证治理设施的去除效率。入口废气颗粒物浓度宜低于 1 mg/m^3 ，温度宜低于 40°C ，相对湿度(RH)宜低于 80%。若废气中的污染物易在活性炭存在时发生聚合、交联、氧化等反应，不宜采用活性炭吸附技术。该技术的技术参数应满足 HJ 2026 的相关要求。活性炭吸附材料通过解吸而循环利用，脱附的 VOCs 可通过冷凝技术进行回收或通过燃烧技术进行销毁。

6.2.2 旋转式吸附技术

该技术适用于工况相对连续稳定的喷涂废气收集后的预浓缩。吸附过程中废气与吸附剂床层呈相对旋转运动状态，对废气中的 VOCs 进行吸附分离，一般包括转轮式、转筒（塔）式。涂装（装备制造）行业一般使用分子筛作为吸附剂，用于低浓度 VOCs 废气的预浓缩，

脱附废气一般采用催化燃烧或蓄热燃烧技术进行治理。入口废气颗粒物浓度宜低于 1 mg/m^3 ，温度宜低于 $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度（RH）宜低于 80%。该技术的技术参数应满足 HJ 2026 的相关要求。转轮中沸石分子筛含量不宜低于 50%（wt%），设计风速不宜高于 3.5 m/s ，转轮厚度不宜低于 400mm。

6.3 燃烧法

通过热力燃烧或催化燃烧的方式，使废气中的 VOCs 反应转化为二氧化碳、水等物质，简称燃烧技术，涂装（装备制造）行业常用的燃烧技术包括热力燃烧技术（TO）、蓄热燃烧技术（RTO）、催化燃烧技术（CO）、蓄热催化燃烧技术（RCO）。采用燃烧法处理含卤化物废气时，应采用高效大孔树脂吸附装置等进行预处理。处理含腐蚀性废气，应采用高效水喷淋装置、化学喷淋吸收装置等进行预处理。

6.3.1 热力燃烧技术（TO）

该技术适用于烘干废气的治理。该技术采用燃烧的方法使废气中的 VOCs 反应转化为二氧化碳、水等物质。该技术产生的高温废气宜进行热能回收，并用于烘干工序。

6.3.2 蓄热燃烧技术(RTO)

该技术适用流水线自动涂装+减风增浓后的工艺废气的治理。采用燃烧的方法使废气中的 VOCs 反应转化为二氧化碳、水等物质，并利用蓄热体对燃烧产生的热量蓄积、利用。工业涂装工序采用的典型治理技术路线为“沸石转轮吸附浓缩-RTO”。无组织废气收集后，宜采用吸附技术进行预浓缩，再经 RTO 治理。采用固定换热床的 RTO 装置宜设计不少于三室，技术参数应满足 HJ 1093 的相关要求。

6.3.3 催化燃烧技术(CO)

该技术适用于装备制造行业涂装工序烘干废气的治理。在催化剂作用下，废气中的 VOCs 反应转化为二氧化碳、水等物质。该技术反应温度低、不产生热力型氮氧化物。工业涂装工序采用的典型治理技术路线为“活性炭/固定床分子筛/沸石转轮吸附浓缩-CO”。当废气中含有硫化物、卤化物、有机硅、有机磷等致催化剂中毒物质时，不宜采用此技术。该技术的技术参数应满足 HJ 2027 的相关要求。

6.4 水喷淋吸收法

该技术适用于喷漆工艺废气的预处理。使废气中的污染物与吸收剂充分接触，作为除漆雾预处理的手段之一。

水喷淋吸收技术还适用于水溶性污染物废气的治理。利用醇类、醚类等组分易溶解于水的特点，在废气通过水喷淋塔时，吸收易溶解组分，达到净化目的。

7 环境管理措施

7.1 一般原则

企业应根据实际情况优先采用污染防治技术，若仍无法稳定达标排放，应采用适合的末端治理技术。

新建、改建、扩建项目应优先使用水性涂料、辐射涂料、粉末涂料等污染物产生水平较低的涂料。

规范涂料、稀释剂、固化剂、清洗剂等含 VOCs 化学品的储存。对所有有机溶剂和含有有机溶剂的原辅料采取密封储存和密闭存放，以减少 VOCs 无组织排放。属于危化品的管理应符合危化品储存相关规定。

7.2 环境管理制度

企业应按照 HJ 944 的要求建立台账，记录含 VOCs 原辅材料的名称、采购量、使用量、回收量、废弃量、去向、VOCs 含量，污染治理设施的工艺流程、设计参数、投运时间、启停时间、温度、风量，过滤材料更换时间和更换量，吸附剂脱附周期、更换时间和更换量，催化剂更换时间和更换量，以及溶剂回收量等信息。台账保存期限不少于五年。

7.3 无组织排放控制措施

7.3.1 储存和贮存过程控制措施

对所有有机溶剂和含有有机溶剂的原辅料采取密闭存储和密闭存放，减少使用小型桶装涂料、稀释剂，减少无组织废气排放。

7.3.2 原料调配过程控制措施

溶剂型涂料、稀释剂等调配作用在独立密闭间内完成。

7.3.3 物料输送过程控制措施

宜采用集中供料系统，无集中供料系统市原辅料运转应采用密闭容器封存，缩短运转路径。

7.3.4 喷漆、烘干过程控制措施

喷漆室、烘干室等产生 VOCs 的工艺场所应设置成完全封闭的围护结构体，原则上禁止露天和敞开式喷涂作业，若工艺有特殊要求，不能实现封闭作业的，应报环保部门批准。

所有涂装作业应尽量在有效 VOCs 收集系统的密闭空间内进行，无集中供料系统的浸涂、淋涂等作业应采用密闭的泵送供料系统。

应设置密闭的回收物料系统，淋涂作业应采取有效措施收集滴落的涂料，涂装作业结束应将剩余的所有涂料及含 VOCs 的辅料送回调配间或储存间。

7.4 污染治理设施的运行维护和监测监控

企业应按照相关法律法规、标准和技术规范等要求运行污染治理设施，并定期进行维护和管理，保证治理设施正常运行，污染物排放应符合 GB 16297、GB 37822、GB 14554、DB33 2146 等的要求，有更严格国家标准、行业标准发布的，从严执行。

企业应按照 GB/T 16157 技术规范的要求，设计、建设、维护永久性采样口、采样测试平台和排污口标志。

环保设施应先于其对应的生产设施运转，后于对应设施关闭，保证在生产设施运行波动情况下仍能正常运转，实现达标排放。产生大气污染物的生产工艺和装置需设立局部或整体气体收集系统和净化处理装置，集气方向应与污染气流运动方向一致。

废气燃烧装置应按设计温度运行，并安装燃烧温度连续监控系统。采用一次性活性炭吸附技术的，应定期更换活性炭，废旧活性炭应及时再生或处理处置。

严格执行 HJ 942、HJ 1086 等规定的自行监测管理要求。

纳入重点排污单位名录的，排污许可证中规定的主要排污口安装自动监控设施。

限产、停产、检修等非正常工况下，应保证自动监控设施正常运行。

8 VOCs 污染防治可行技术

VOCs 污染防治可行技术见表 8.1。

表 8.1 VOCs 污染防治可行技术

类型	可行技术	技术适用范围
预防技术	粉末涂料替代技术	适用于集装箱及金属包装容器制造、通用设备制造、腐蚀等级为C1、C2和C3环境下的专用设备制造涂装过程的涂料替代
	水性涂料替代技术	适用于集装箱及金属包装容器制造、通用设备制造、腐蚀等级为C1、C2和C3环境下的专用设备制造涂装过程的涂料替代
	辐射固化涂料替代技术	适用于具规则平整表面产品涂装过程的涂料替代
	无溶剂涂料替代技术*	适用于腐蚀等级为C4、C5和CX环境下的专用设备制造涂装过程的涂料替代
	静电喷涂工艺技术	适用于具良好导电性产品、具备流水线的喷涂
	高压无气喷涂技术	适用于传统空气喷涂的替代
治理技术	TO/RTO/CO技术	适用于烘干工序废气的VOCs治理
	多级过滤(仅针对喷涂废气) +活性炭/固定床分子筛/沸石转轮吸附浓缩-CO	适用于调漆、喷漆工序或混合废气VOCs治理
	多级过滤(仅针对喷涂废气) +沸石转轮吸附浓缩-RTO技术	适用于喷漆工序废气VOCs治理
	喷淋吸收法	适用于水性涂料工艺废气治理

注*：腐蚀等级为 C4、C5 和 CX 的环境，建议优化喷涂工艺（如：双进料高压喷涂），优先使用无溶剂涂料替代。

附录 A

（资料型附录）

涂装（装备制造）工艺流程

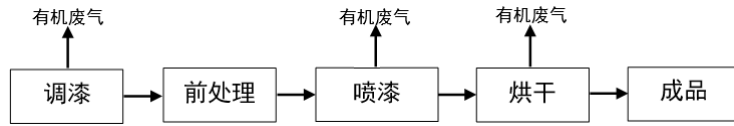


图 A.1 独立式涂装（装备制造）工艺流程示意图

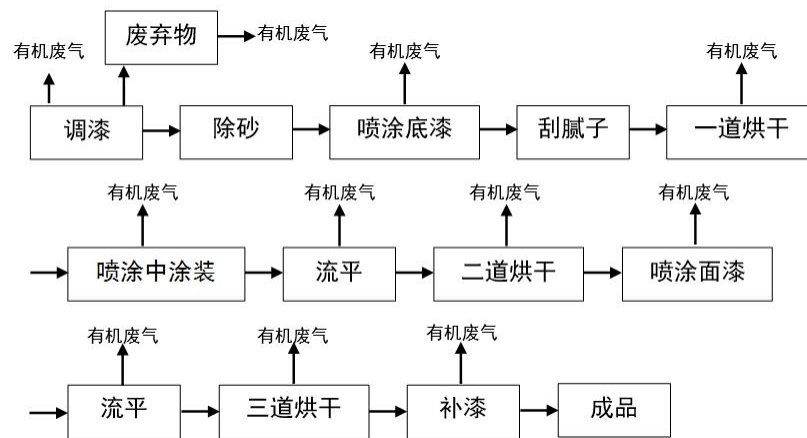


图 A.2 流水线式涂装（装备制造）工艺流程示意图

附录 B
（资料型附录）
涂装生产废气收集技术

B.1 废气收集的一般规定

装备制造行业涂装工艺产生废气的生产线是调漆、喷涂和烘（晾）干等工序。为减少无组织排放，最大限度的控制 VOCs 排放量，应做好废气收集工作。

应根据废气性质、排放方式及污染物种类、浓度等，分类收集工业涂装工序产生的废气。

废气收集可采用密闭罩（如局部密闭罩、整体密闭罩、大容积密闭罩）、外部罩（如上吸罩、下吸罩、侧吸罩等）等方式收集，应符合 GB/T 16758 要求，要遵循形式适宜、位置正确、风量适中、强度足够、检修方便等设计原则，罩口风速或控制点风速足以将发生源产生废气吸入罩内，确保达到最大限度收集废气。废气收集系统宜避免横向气流干扰。

采用外部罩收集时，应该根据不同的工艺操作要求和技术经济条件选择适宜的外部罩。设置有采暖设备或空调的车间，废气宜优先采用局部收集措施。采用外部排风罩的，应按 GB/T 16758、AQ/T 4274 规定的方法测量控制风速，测量点应选取在距排风罩开口面最远处的 VOCs 无组织排放位置，控制风速不应低于 0.3 m/s（行业相关规范有具体规定的，按相关规定执行）。

采用密闭罩收集时，可根据实际需求采用生产线整体密闭或车间整体密闭的形式（如涂装车间、烘干车间、流平晾干车间等），换风次数应满足设计要求。密闭区域内换风次数原则上不少于 20 次/h，采用车间整体密闭换风，车间换风次数原则上不少于 8 次/小时。

采用整体收集并且有人员在密闭空间中作业时，废气收集系统风量应同时考虑控制风速和有害物质的接触限值；气流组织宜确保送风或补风先经过人员呼吸带，并保证空间内无废气滞留死角。

设置有采暖设备或空调的车间，废气宜优先采用局部收集措施。

纯颗粒物的收集系统应独立于 VOCs 收集系统，收集处理应符合相关规范要求。VOCs 废气中的漆雾及颗粒物进入收集系统前应先行除尘预处理。水帘柜（或水幕）需定期换水时，应做好换水台账记录（包括换水水量、时间等），并确保换水废水达标排放。如颗粒物有爆炸危险性，收集系统应符合 AQ 4273 的规定。

VOCs 污染气体的收集和输送应满足 HJ 2000 要求，管路应有明显的区分及走向标示。所有产生 VOCs 的密闭、半密闭空间原则上应保持微负压，并设置负压标识。

废气收集系统的输送管道应密闭。废气收集系统应在负压下运行，若处于正压状态，应对输送管道组件的密封点进行泄漏检测，泄漏检测值不应超过 500 $\mu\text{mol/mol}$ ，亦不应有感官可察觉泄漏。废气收集的管路系统宜设置用于调节风量平衡的调节阀门。

废气收集系统应与生产设备同步运行，VOCs 废气收集处理系统发生故障或检修时，对

应的生产工艺设备应停止运行，待检修完毕后同步投入使用；生产工艺设备不能停止运行或不能及时停止运行的，应设置废气应急处理设施或采取其他替代措施。涂装工艺设计及废气收集应注意满足安全作业相关规定。

废气排风量应纳入车间的风量平衡计算；对于有洁净度和压差要求的车间，压差控制应考虑排风量的影响。

废气收集系统不宜跨越防火分区，如无法避免，在跨越处的风管应设置防火阀并符合 GB 50016 的规定。

B.2 工艺过程废气收集

所有产生 VOCs 的涂装生产工艺装饰或区域必须配备有效的废气收集系统，减少 VOCs 排放，主要包括调漆废气、涂装废气和干燥（含烘干、晾干、风干等）的废气。

产生 VOCs 的涂装废气应进行密闭收集，废气收集措施应采用密闭罩或半密闭罩的方式，并符合下列规定之一，保证涂装废气总收集效率不低于 90%：

a) 采用密闭收集时，应满足的条件为：四周墙壁或门窗等密闭性好，收集总风量能确保开口处保持微负压（敞开截面处的吸入风速不小于 0.5m/s ），保证废气不外泄。

b) 采用半密闭罩收集时，应满足的条件为：污染物产生点（面）处，往吸入口方向的控制风速不小于某一数值（喷漆不小于 0.75m/s ，其余不小于 0.5m/s ）。

严格执行废气分类收集，新建、改建、扩建废气处理设施时禁止喷涂废气和烘干废气混合收集、处理。