

《汽车维修行业大气污染防治可行技术指南》

(征求意见稿)

编制说明

标准编制组

二〇二〇年八月

目 录

1 项目背景	1
1.1 任务来源	1
1.2 工作过程	2
2 标准编制的必要性、总体思路及基本原则	3
2.1 必要性	3
2.2 总体思路	3
2.3 基本原则	4
3 行业概况	5
3.1 行业定义	5
3.2 汽修行业现状及发展趋势	5
3.3 汽修行业生产工艺及设备	7
4 行业产排污情况及污染控制技术分析	12
4.1 汽修行业产排污情况分析	12
4.2 汽修行业挥发性有机物排放现状	13
4.3 污染控制技术现状	16
5 国内相关标准和控制技术研究	18
5.1 国内相关标准	18
5.2 国内控制技术	23
6 标准主要技术内容	27
6.1 标准适用范围	27
6.2 标准结构框架	27
6.3 术语和定义	27
6.4 大气污染防治要求	28
6.5 可行技术推荐与应用要求	28
6.6 治理技术监管要求	32
7 实施本指南的环境效益及经济技术分析	33
7.1 环境（减排）效益分析	33
7.2 经济技术分析	33

1 项目背景

1.1 任务来源

近年来，随着国民经济的飞速发展和人民生活水平的提高，汽车保有量急剧增长。相应的汽车修理养护服务需求不断扩大，汽车修理养护企业扩展势头迅猛。汽车修理养护企业类型有品牌 4S 店，综合修理厂、快修（连锁）店和专项修理店等，一般 4S 店和综合修理厂都配有喷漆烤漆房，开展喷漆烤漆维修业务。喷漆烤漆工艺产生的废气含多种挥发性有机物。研究表明，挥发性有机物（VOCs）在城市群区域大气复合型污染过程中扮演着关键角色。一方面，VOCs 是光化学污染的重要前体物，在一定的光照和温湿度等条件下，活性较强的 VOCs 物种可和氮氧化物发生光化学反应，生成臭氧、过氧化物和醛类等光化学氧化剂，增加大气氧化性，形成光化学污染。另一方面，VOCs 与二次有机气溶胶 SOA 也有着密切的关联。一些活性较强的 VOCs 物种，能与大气中的羟基自由基·OH、O₃ 等氧化剂发生多途径反应，形成有机酸、多官能团羰基化合物、硝基化合物等半挥发性有机物，再通过吸附、吸收等过程进入颗粒相，生成二次有机气溶胶。

根据《汽车维修业开业条件第 1 部分：汽车整车维修企业》（GB/T 16739.1-2014）和《汽车维修业开业条件第 2 部分：汽车综合小修及专项维修户》（GB/T 16739.2-2014），国家质量监督检验检疫总局对汽车维修企业在人员、组织管理、安全生产、环境保护、设备、设施等方面应满足的条件提出了要求，促进了汽车维修业的健康发展。目前我国对汽修行业大气污染防治执行《汽车涂料中有害物质限量》（GB 24409-2009）和《大气污染物综合排放标准》（GB 16297-1996）中相关规定，各地方也针对汽修行业大气污染物排放出台了地方标准，但对治理技术推荐、应用要求和监管要求并未与排放标准配套发布。随着污染控制技术快速发展，迫切需要制定汽修行业大气污染防治的可行技术指南，并按照全过程管理的思路，提出明确源头控制、过程管理和末端治理要求。该指南的制定是应对大气复合型污染控制、促进环境质量改善的迫切需要，也是完善环境标准体系、提升行业污染控制管理水平的现实要求。

根据《中华环保联合会关于〈汽车维修行业大气污染防治可行技术指南〉等十一项团体标准的立项公告》（中环联字〔2020〕43 号）有关要求，中华环保联合会委托北京市环境保护科学研究院组建标准编制组编制《汽车维修行业大气污染防治可行技术指南》（以下简称《指南》）团体标准。

1.2 工作过程

该《指南》立项后，北京市环境保护科学研究院成立了标准编制组，并邀请中华环保联合会 VOCs 污染防治专业委员会、深圳市生态环境监测站作为合作单位，共同开展了标准的编制工作。标准编制组对国内汽修行业相关标准政策中大气污染物污染控制技术经验进行了深入的调研；对我国典型地区多家汽车修理企业开展了现场调研及监测，并对部分企业分发了生产设备及原辅材料使用情况调查表，以了解汽修行业的生产状况、发展趋势、产排污情况、现有控制技术水平等；并结合国家环境保护的具体要求进行了分析与应用结合，形成《指南》（征求意见稿）。

具体工作过程包括：

a) 文献、资料调研—包括对国内相关排放标准、污染物控制技术、汽车修补行业发展情况、管理部门控制要求的调研；2018年3月-2018年6月编制组查阅了我国汽车修理厂相关的行业现状、行业标准，对现有汽车修理厂的分类、规模、分布进行了大致的了解；梳理总结了国外及国内典型地区汽修行业排放标准、管理要求和控制技术指南；同时查阅了关于治理技术方面的科研文献、研究进展。

b) 实地调研座谈—2018年7月-2018年10月，参照汽修分类、品牌、规模等调研资料，对我国典型地区汽修行业企业进行了筛选，选取部分典型汽修企业对其基本情况、生产设备、原辅材料应用、处理设施、检测情况等信息进行调研，通过分发汽车修理企业资料调研表、企业走访等形式比较详细地了解了部分汽修企业的实际情况。

c) 成本-效益分析—2018年10月至今，结合现场调研与资料调研，在全国典型地区众多数量的汽修企业中，按照不同汽车品牌、不同规模，分别选择比较具有代表性的汽修企业进行现场调研和监测工作，开展了不同控制技术的成本-效益分析。

d) 编写指南征求意见稿和编制说明—2018年10月至今，在国内标准、控制技术资料调研和汽修企业现场调研、监测的基础上，综合我国实际情况，并组织标准编制单位召开了多次研讨会，对《指南》框架及标准内容进行讨论，在此基础上形成了《指南》（征求意见稿）及其编制说明。

2 标准编制的必要性、总体思路及基本原则

2.1 必要性

a) 应对大气复合型污染控制，促进环境质量改善的迫切需要

据中国产业调研网发布的 2016-2020 年中国汽车维修行业现状分析与发展趋势研究报告显示，随着我国汽车产业的高速发展与汽车进入千家万户，私家车已经占据民用车辆保有量 73% 以上，汽车维修服务已成为名副其实的最基本的民生服务业。随着中国汽车保有量的逐年增加，在 2011-2014 年汽车维修行业的经营增长走势稳定在 20% 以上，显示出良好的发展表象。据预测，到 2020 年，中国汽车保有量将达到 2.5 亿辆，未来几年汽车维修行业年均增长在 15%-20% 之间，维修产值有望超过 1 万亿元，市场规模将可能达到 2500 亿元。

VOCs 不仅是 O₃ 生成的前体物，也是二次粒子（PM_{2.5} 主要组分）转化生成的重要参与者，因此加大对 VOCs 排放的控制力度是我国大气污染控制工作的重点。汽车修理行业因其工艺特点，在生产过程中存在一定程度的涂装工序，导致 VOCs 的排放。面对目前严峻的环境形势与紧迫的环境压力，促进汽修行业水性涂料使用，制定并出台该行业大气污染物防治技术指南，是本行业大气环保工作的迫切需要，更是实现 VOCs 减排的现实要求。

b) 完善环境标准体系，提升行业污染控制管理水平的现实要求

目前我国对汽修行业大气污染防控执行《汽车涂料中有害物质限量》（GB 24409-2009）和《大气污染物综合排放标准》（GB 16297-1996）中相关规定，各地方也针对汽修行业大气污染物排放出台了地方标准，但对治理技术推荐、应用要求和监管要求并未与排放标准配套发布。随着污染控制技术快速发展，迫切需要制定汽修行业大气污染防治的可行技术指南，并按照全过程管理的思路，提出明确源头控制、过程管理和末端治理要求。该指南的制定可以引导汽修行业促使工艺改进更新，提升 VOCs 污染治理技术水平，是完善环境标准体系、提升行业污染控制管理水平的现实要求。

综上所述，制定《指南》，既可填补我国在该行业领域环保标准的空白，为行业主管部门提供监管依据，又可满足当前市场需求和创新需要，根据环境技术发展状况，采取有效手段削减 VOCs 排放，改善大气环境质量，在当前紧迫的环境形势下是非常必要的。

2.2 总体思路

a) 加强对汽修行业大气污染物的排放控制，最大限度的减少汽车修理时喷涂、烘干过程中大气污染物的排放。

b) 通过新标准的制定与推广使用，引导汽修行业加强规范化管理和污染防治，有效推行清洁生产。

2.3 基本原则

a) 科学性和可行性兼顾的原则

在充分调研和参考借鉴国外及地方相关大气污染物排放标准和先进的污染物控制技术的基础上，结合我国环境空气质量要求和总量控制的具体要求，提出科学的大气污染防治可行技术；考虑到新旧污染源的实际情况，为现有污染源留有一定改造时间，鼓励有条件的新污染源采取先进控制技术，充分体现标准的可行性原则。

b) 先进性和前瞻性兼顾的原则

挥发性有机物在国家大气污染防治方面已成为一类受到重点关注的污染物，行业标准需考虑到未来全国推广使用时现场执法落地的实际情况，同时又满足当前市场需求和创新需要，在充分调研现有控制技术的基础上大胆预测未来污染物控制技术发展水平，充分体现标准的先进性和前瞻性的原则。

3 行业概况

3.1 行业定义

《机动车维修管理规定》实施细则中机动车维修经营包括从事汽车维修、危险货物运输车辆维修、摩托车维修和其他机动车维修（指从事转向作业的轮式车辆和拖拉机运输机组的维修）经营。本标准主要对（机动车维修中）从事汽车维修行业企业中大气污染物的排放进行限制和管理。

汽车维修企业根据经营项目和服务能力分为可从事一类维修或者二类维修业务的整车维修企业和可以从事三类维修业务的综合小修、专项维修企业。一类汽车整车维修企业和二类汽车整车维修企业（GB/T 16739.1-2014 汽车维修业开业条件 第 1 部分：汽车整车维修企业）是指有能力对所维修车型的整车、各个总成及主要零部件进行各级维护、修理及更换，使汽车的技术状况和运行性能完全（或接近完全）回复到原车的技术要求，并符合相应国家标准和行业标准规定的汽车维修企业。按规模大小分为一类汽车整车维修企业和二类汽车整车维修企业。汽车专项维修业企业（GB/T 16739.2-2014 汽车维修业开业条件 第 2 部分：汽车综合小修及专项维修户）是指从事汽车发动机维修、车身维修、电气系统维修、自动变速器维修、轮胎动平衡及修补、四轮定位检测调整、汽车润滑与养护、喷油泵和喷油器维修、曲轴修磨、气缸镗磨、散热器维修、空调维修、汽车美容装潢、汽车玻璃安装及修复等专项维修作业的业户（三类）。

在所有汽车维修项目中对环境空气产生污染的最主要项目是喷涂漆和烘干，因此本标准主要对使用或部分使用溶剂型或水性涂料进行喷涂、烘干等作业的汽车维修企业的大气污染防治技术进行了具体规范和要求。

3.2 汽修行业现状及发展趋势

3.2.1 汽修行业现状

据公安部统计，随着我国经济持续快速发展，人民群众表现出了极强的购买能力，汽车保有量继续呈快速增长趋势，2019 年全国新注册登记机动车 3214 万辆，机动车保有量达 3.48 亿辆，其中新注册登记汽车 2578 万辆，汽车保有量达 2.6 亿辆；机动车驾驶人达 4.35 亿人，其中汽车驾驶人 3.97 亿人。全国 66 个城市汽车保有量超过百万辆，30 个城市超 200 万辆，其中，北京、成都、重庆、苏州、上海、郑州、深圳、西安、武汉、东莞、天津等 11 个城市超 300 万辆。

改革开放以来，中国经济的快速发展在汽车行业体现的尤为明显，而汽车行业的快速发展也孕育了庞大的汽车维修经济，相关数据统计表明，截至 2018 年底，我国汽车维修经营业户 44 万多家，汽车维修从业人员 278 万多人，完成年维修量 3.9 亿辆次，年产值 6800 亿元以上。其中一类维修厂占总数的 15%-20%，二类维修厂占总数的 25%-30%，三类维修厂占总数的 50% 以上，大型汽修厂的比例约为 20%。相较于汽车市场的快速发展，中国的汽车维修行业依然处在较为粗放甚至混乱的发展模式中，最突出的问题是行业极度分散、标准规范欠缺、配件价格虚高和消费习惯落后等，以中国汽车维修的现有水平与国外同期汽车保有量的维修水平和规模相比仍相差甚远。

近年来，信息化浪潮席卷全球，信息化的发展催生出了“互联网+”概念的普及应用，我国汽车行业也乘势而上，进行了供给侧的优化，O2O 商业模式的出现，大力处理汽车维修行业的转型。此外，一部分汽车维修企业已开始向国外同行业吸取先进经验，引入连锁规模化经营理念和方式，在树立服务品牌的同时，设置统一服务标准和流程，借此产生规模效应。随后开始出现维修保养服务类电商，有 B2C、B2B 等多种运营模式，但对如何进行规模化发展仍处于探索阶段。

3.2.2 汽修行业发展趋势

虽然我国汽车维修行业面临着许多问题，但是随着社会的不断进步，加上维修行业自身的发展意识，汽车维修行业最终也将迎来一个好的发展开端。

a) 提高维修人才的技术水平

我国目前人们生活水平越来越高，汽车的使用量也越来越大，随着大家对生活质量的要求越来越高，汽车维修行业不能只停留在传统的阶段。一个行业想要进步，就需要大量专业人才，汽车维修技术也是一样。虽然汽车维修技术听起来是一个不起眼的技术，但是随着汽车行业技术的提升，汽车维修技术也不再是一份简单的工作。现在人们对汽车维修的概念不再像过去一样，等到出现了问题才送去维修场进行检修，而是像人们爱惜自己身体一样，定期的对汽车进行检查，这就需要汽车技术人员同样也拥有一个新的理念，这样才能顺应市场发展的要求，使得我国汽车维修行业拥有更好的发展未来。

b) 维修行业经营模式规范化、专业化

我国汽车市场目前已经扩展，越来越多的私家车出现，使得维修市场不再仅仅为了公家车服务，所以现在每个地区基本都建立了快修连锁维修店。这样的维修店投资小，维修专业技术过关，资源共享便捷，以维修者作为主要服务的对象，一切从客户的角度考虑，坚持为客户的权益负责，这样的服务状态很容易吸引到大多数客户的注意。另外，由于这样快捷的

维修店都是由总部统一规划的，所以他们管理的制度相对完善，拥有相对稳定的市场，收费标准都是相同的，赢得了更多汽车车主的信赖，加强了企业的社会认知度，在市场激烈的竞争中提高了自身的竞争力。

c) 维修工艺组织的标准化

目前汽车的种类虽然众多，但是其根本的结构原理相差并不大，所以汽车检测和维修方法都是大同小异的。因此企业应该结合自身发展的特点，制定适合自己的维修组织工作和工艺标准，并向外开放自身的维修过程，提高工作效率的同时赢得更多人的信赖。

3.3 汽修行业生产工艺及设备

3.3.1 生产工艺

本标准主要控制汽修行业的挥发性有机物排放，在整个汽车修理过程中产生挥发性有机物污染排放的工艺主要是车身修补工序，因此本编制说明仅介绍具有涂漆工序的汽车修补生产工艺。汽车修理行业修补生产工序主要包括修补部位表面处理，打腻子，喷底漆，喷面漆，喷罩光，上蜡打磨等步骤。

a) 表面处理

表面处理一般包括钣金、清洗、彻底清除已遭破坏的漆膜、打磨除锈以及最后清洗等工艺；受损较严重的车辆（如碰撞引起的表面凹陷）表面处理步骤：①通过钣金使车身进行修复，使车身恢复碰撞前的状态；②清洗受损表面，包括灰尘、油脂等附着物，去除油脂常用的有机溶剂是煤油、汽油、甲苯、二甲苯、三氯乙烯及四氯化碳等，近年来表面活性剂也常用于表面清洗，我国汽车修理厂主要以水清洗待修补表面的灰尘/污物，部分附着在旧漆膜表面的污物可以通过打磨去除；③清洗后的车身要进行打磨（部分车辆在清洗工序后需要对裸露金属进行表面调整，去除可能给金属带来腐蚀的其他污垢，增强基材表面的附着力和整个涂装系统的耐介质性能），打磨的主要作用是除锈以及清除那些旧的、已经遭到破坏了的涂层以及砂薄其周围并未破损的涂层等，打磨可分为机械打磨和手工打磨两类，依照待修补部位的损坏面积及损坏程度选取不同打磨方式、不同规格的砂纸，打磨后的汽车表面通过擦拭去除浮渣。

b) 打腻子

表面处理后的待修补汽车进行第二步工作——打腻子，腻子又被细分为“填眼灰”、“原子灰”等，是为了填平由于各种原因造成的汽车待修补表面的机械凹陷，提高平整度而必不可少的一类辅料；腻子是一种粘稠物质，主要由体质颜料、固化剂（催干剂）、溶剂组成，

在使用前按照比例将原子灰与固化剂（催干剂）调配至待用状态，并在规定时间内用完，使用时将调配好的腻子均匀涂抹在待修补表面，用刮板抹平。待腻子晾干后，用打磨机将不平整的地方打磨平滑。常用腻子种类包括醇酸腻子、硝基纤维素腻子、环氧腻子、原子灰等。

1) 硝基纤维素腻子的组成与硝基纤维素面漆类似，大体由硝基纤维素、醇酸树脂、增韧剂、颜料、填料以及助剂所组成。硝基腻子具有廉价、快感、与各类中间涂料配套性良好等特点；

2) 环氧腻子既有双组分环氧树脂型，也有单组分环氧树脂型，双组分环氧树脂采用的固化剂多为多元胺类；单组分环氧酯腻子用的不多，主要是这类腻子的干燥速度，尤其是实干速度太慢；

3) 醇酸腻子施工性能好，住成膜物质为短油度醇酸树脂、改性醇酸树脂、酚醛树脂等；

4) 原子灰为填补基材上较大凹陷、焊缝、裂缝等缺陷所采用的一种腻子，实际上这是一类不饱和聚酯树脂型腻子的通称，具有常温干燥、干燥速度快、附着力好、打磨性能良好、刮涂施工方便，是最常用的修补材料。

c) 底漆

底漆就是直接涂装在经过表面处理的车身表面上的第一道涂料，是整个涂层的开始，其作用主要是防腐蚀和填平金属基材的细微缺陷以及锈斑等，要求底漆与基材有良好的附着力，并与上面的面漆具有良好的配套性，底漆常用颜色为白色、红色、黑色。在使用前按照比例添加固化剂和稀释剂，于喷烤漆房内采用喷涂方式喷涂于待修补部位。常用种类为硝基纤维素底漆、环氧底漆、聚氨酯底漆、磷化底漆等。

d) 面漆

面漆又包括本色漆、金属闪光漆等，用于表面颜色修补并起到遮盖作用，常用种类为热塑性丙烯酸树脂类涂料、聚酯-聚氨酯树脂涂料、丙烯酸-聚氨酯类涂料等，按照原厂车所采用的调色系统调配出合适的色母，在使用前按照比例添加固化剂和稀释剂，用于修补遮盖。

自汽车面世以来所采用过的汽车修补涂料大体可分为以下几类：①溶剂挥发型②氧化固化型③双组份添加固化剂固化型④热固化型⑤催化固化型。

目前不同种类涂料市场占有率大致如下（不同文献资料可能有所不同）：

聚酯-聚氨酯树脂涂料（60%~65%），丙烯酸-聚氨酯树脂涂料（20%~25%），热塑性丙烯酸树脂涂料（5%~10%），CAB 改性丙烯酸树脂涂料（1%~3%），其它（1%~3%）。

色母（色浆）：主要由成膜物质、颜料、溶剂以及助剂所构成，是面漆的主要成分之一，根据面漆的色母系统调配成所需的颜色，主要的色母系统包括赫伯茨“施必快”“施得乐”

系统、ICI 公司色母系统（如：NEXA AUTOCOLOR）、巴斯夫公司的 R-M 系统、杜邦公司色母系统（如：先达利 600）等。

e) 罩光清漆

罩光清漆（俗称光油）通常用作汽车修补最后一道工序，主要特性是透明度高，光泽高，耐候性优异，附着力好，硬度高，丰满度好，优异的耐水、耐汽油、耐化学品性能，可自干亦可低温烘干。起到提高车身光泽、明亮程度及防 UV，避免颜色淡化、抗冲击及砂石等作用，在使用前要按照比例配套固化剂和稀释剂。

3.3.2 生产设备配置

a) 喷烤漆房（喷漆间+烘房）

喷烤漆房是汽修企业进行喷涂和烘干工序不可或缺的主要设施之一，除了部分汽车总装厂外，一般汽车修理厂的喷漆和烤漆两个步骤都是在一间喷烤漆房中完成的，喷烤漆房的具体规格按照修理车型有所差异。

喷烤漆房去除漆雾和防止灰尘混入的方式可以分为干法和湿法两大类；一般汽车修理厂所采用的方式为干法，在喷烤漆房顶设有进风过滤顶棉，喷房地面设有过滤地棉，常用材料为玻璃棉，可以有效的过滤颗粒物等物质，并按照生产情况定期更换。在生产过程中喷烤漆房的门必须是关闭的，整个房间必须具有良好的封闭性，防止周围环境中的灰尘、颗粒物等进入，影响喷涂质量，也防止房间内的漆雾和 VOCs 进入环境中。喷烤漆房按照进风和出风方式不同分为三种：上进风下出风、上进风旁路出风、平进风平出风，喷烤漆房常用上进风下出风的方式，进风前顶棉过滤，出风前地棉过滤。

汽车喷涂完毕后，为了保证施工质量，使漆膜完成挥发固化，需要增加温度，加快表面干燥速度。常用加温方式包括红外加热，适用于局部小面积加温；热空气循环，通过加热空气并吹入喷烤漆房，提高房间整体温度，适用于喷涂面积大以及需要加温时间较长的情况；在汽车修补过程中最常用的还是热空气加热方式，只在局部需要快干的情况下采用红外加热，或吹风机加热，通常控制喷烤漆房温度在 40-60℃ 左右。

b) 加热系统

通常喷烤漆房整体附有为烘干过程提供热量（加热空气）的加热系统，常用加热系统包括电加热和燃油机加热，通过电加热或燃油加热进入喷烤漆房的空气，使空气温度达到烘干所需温度，完成漆膜烘干成型。

c) 喷枪和供漆系统

喷枪的种类和型号很多，各家涂装设备制造公司的命名方式和分类虽然有所不同，但是

大体上有以下几种分类方法：

1) 按供漆方式：吸上式、压送式、重力式；

2) 按喷嘴类型：对嘴式、单嘴式、扁嘴式；

3) 按雾化方式：枪内混合式、枪外混合式；

通常汽车修补时汽车漆用量相对较少，采用吸上式和重力式即可满足修补漆用量；修补不同车辆时颜色更换频繁，采用漆壶调配，免去了压送式管道清洗的过程，节约时间也可以减少清洗剂用量。

通常企业喷涂用喷枪以空气喷枪为主，其虽然雾化效果较好，但喷涂效率低，浪费汽车漆的同时也增加了环境污染；除了空气喷枪外，常用喷枪还包括无气喷枪、气助喷枪等，另外一些喷涂效率较高的新型喷枪也逐渐被市场所采用：

——AA 系列喷枪，即辅助式无气喷枪，综合了空气雾化式与高压无气式喷枪的优点，主要特点如下：比传统空气雾化喷枪节省材料 25%~30%，比高压无气喷枪节省材料 10%；供漆压力远远低于高压无气喷涂，由于其供漆压力较低，因此供漆量比较容易控制；空气消耗量低于空气雾化喷枪。

——HVLP 系列喷枪，包括 HVLP，高流量低压力喷枪和 LVLP，低流量低压力喷枪，具有以下特点：喷涂效率高，大约在 65%~90%左右，与一般传统喷枪相比可节省涂料 50%以上；雾束均匀；压缩空气压力较低；喷涂效率较高，涂料损耗较低，利于环保。

d) 打磨系统

汽车修理工序中在钣金修理后、喷漆前需要对受损部位进行表面处理，表面处理应根据具体情况区别对待，一般来说应该包括清洗、除油污、润滑脂、彻底清除已遭破坏的漆膜、打磨除锈以及最后清理等工作。

表面清洗干净后，对损伤部位需采用打磨系统去除掉已损坏的漆膜，对于待修补部位不大或部位外形比较复杂的情况下多采用手工砂纸打磨，主要目的是：除锈、去除已被破坏的旧涂层、打掉底漆、砂薄临近并未破损涂层的边缘、2 将基材表面打磨平整并将它砂光；对于待修补面积部位较大的情况下多采用机械打磨——电动磨光机对基材表面进行打磨、砂光、抛光等操作。

e) 环保系统

汽车修理过程中，喷漆过程中未附着在待喷涂表面的漆雾以及汽车漆中挥发的溶剂会在喷漆以及烘干过程中释放挥发性有机物，进而污染环境空气，必须经过环保装置的处理，达到相关环保要求。

在修补操作过程中，喷漆和烘干均在封闭的喷烤漆房中进行，漆房中的顶棉、地面可以过滤漆雾等颗粒物，挥发性有机物经送风系统抽出，进入活性炭吸附等处理设备，使排出气体达到环保标准要求。除活性炭吸附外，挥发性有机物的处理方法还包括液体吸收法、催化燃烧法和生物处理法等。

4 行业产排污情况及污染控制技术分析

4.1 汽修行业产排污情况分析

整个汽车修补生产工序中,排放的特征污染物 VOCs 主要来自于汽修工序中打腻子中的溶剂挥发、喷烤漆工艺中汽车漆溶剂挥发、储存及调配中的固化剂及稀释剂挥发等环节,具体产排污情况如下:

a) 腻子中溶剂挥发

腻子中含有以二甲苯为主的挥发性有机物,在使用过程中也会挥发到空气中。腻子调配时通过估算待修补部位用量,取用相应量的原子灰(以原子灰为例)与固化剂至调配板上,利用涂抹板将其混合均匀,成为待用修补腻子。修补时用涂抹版取适量腻子均匀涂抹在经过表面处理后的待修补位置,涂抹完成后晾干,采用打磨机或手工将不够平整的地方打磨平整。

汽车修理过程中打腻子是在车间中露天进行的,调配以及涂抹过程中(约 15-30 分钟)腻子中的挥发性有机物会直接挥发到车间环境中,依照每辆车修补面积和腻子用量不同,挥发量有所不同。

b) 喷烤漆工艺中油漆溶剂挥发

汽车漆包括底漆、面漆、罩光清漆,按照修补工艺流程依次在喷烤漆房中施用于汽车待修补表面,在喷漆过程中部分原料漆以漆雾的形式飞散在喷烤漆房中,并随着喷烤漆房内气流向抽气方向移动,通过处理设备处理,排放至空气中。

喷涂时所采用的喷枪转移效率越高,到达汽车表面的漆量越多,反之飞散到空气中的漆雾越多,产生的挥发性有机物也越多。喷到汽车表面的漆料中的挥发性有机物也会逐渐挥发至空气中,剩余的固体成份形成漆膜,烘干工序可以加速漆膜形成过程中挥发性有机物的挥发转移,挥发至空气中的有机物也随着气流经过地棉过滤进入处理设备并排放至空气中。

通过采用高转移效率的喷枪、使用低挥发性有机物含量的涂料、采用高效处理设备可以减少喷烤漆房的 VOCs 排放量。

c) 储存及调配油漆溶剂的挥发

除了喷涂、烘干时会产生挥发性有机物以外,喷涂前的储存以及调配也会产生有机物挥发。储存过程中,一经开盖的涂料(含固化剂和稀释剂)其中挥发性有机物就会挥发至环境中,未盖盖和密封不严的涂料挥发量会增加;调配、取用过程中也会有 VOCs 挥发至空气中;操作过程中遗撒到桌面、地面的涂料 VOCs 也会完全挥发至空气中。只有增强操作管理,减少遗撒、减少涂料暴露时间才可以降低储存及调配过程中 VOCs 的排放。

综上所述，汽修厂在所有可能产生 VOCs 的工序中，底漆、面漆、罩光清漆的喷涂操作都在喷烤漆房内完成，废气经过处理设备集中从排气筒有组织排放；抹腻子 and 涂料储存及调配都没有收集处理设备，会产生无组织排放。具体排放环节主要包括：1) 打腻子环节的无组织排放；2) 漆料储存及调配时调漆间的无组织排放；3) 喷烤漆房密封不严造成的无组织排放；4) 喷烤漆房排气筒的有组织排放。具体产排污节点如图 1 所示：

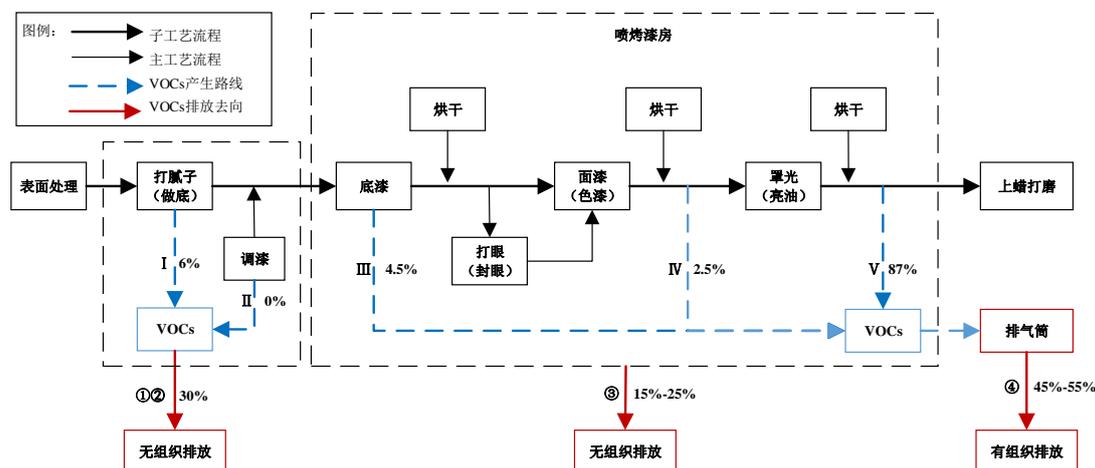


图 1 汽车修补工艺产排污节点示意图

4.2 汽修行业挥发性有机物排放现状

近年来，针对于汽修行业产生 VOCs 主要组分的相关研究显示，主要有芳香烃、酯类、醇类、酮类和醚类五种组分，其中芳香烃中的苯、甲苯和二甲苯为主要组分。VOCs 进入大气后和空气中的 O₃ 或 NO_x 在阳光作用下二次反应，形成光化学污染。此外，汽车涂料需稀释后使用，稀释剂主要成分有苯、醇、酮、酯类。涂料和稀释剂中含有的大量有机物导致喷烤漆工艺排放的废气成分复杂。为服务便利，大部分 4S 店和综合汽修厂与居住区相邻，而排气筒高度大多在 15m 以内，排放的废气对人的嗅觉感官和健康影响较大。

4.2.1 汽修用漆组分分析

a) 水性漆 VOCs 组分分析

本研究中的汽修企业采用的漆料为 BMW 原厂水性漆系统，其水性漆系统含水达 70%，有机挥发溶剂只占 10%。其中腻子（原子灰）中主要为苯乙烯（10-20%）；清漆中主要含有乙酸丁酯（10-20%）、二甲苯（10-20%）、2-丁酮（5-10%）、4-甲基-2-戊酮（5-10%）以及轻芳烃溶剂石脑油（石油）（3-5%）；固化剂中主要含有 1-6 二异氰酸根合己烷的均聚物（40-50%）、乙酸丁酯（20-30%），轻芳烃溶剂石脑油（石油）（5-10%），二甲苯（5-10%），1, 2, 4-三甲苯（3-5%）；使用的稀释剂为硝基漆稀释剂，主要成分有：二甲苯、甲醇、乙

酸丁酯等。

从上述漆料有机物组分可以看出，主要包括二甲苯、三甲苯、乙酸丁酯、甲醇、苯乙烯、2-丁酮、4-甲基-2-戊酮、轻芳烃溶剂石脑油（石油）、1-6 二异氰酸根合己烷的均聚物等。清漆中的挥发性有机物种类较多，除正戊醇外，其余有机物均包含在清漆中；而面漆中挥发性有机物种类较少，只含有正戊醇；乙苯、二甲苯、三甲等苯系物以及乙酸丁酯分布较广，底漆和清漆中均含有。

b) 油性漆 VOCs 组分分析

相较于水性漆，溶剂型漆料仍然是汽车补漆的主要涂料类型，其 VOCs 的组分比水性漆要更多一些。各类品牌油漆中 VOCs 成分略有差异，主要包括二甲苯、三甲苯、甲苯、乙苯、乙酸乙酯、乙酸丁酯、正丁醇、2-丁氧基乙醇、环己酮、5-甲基-2-己酮、乙酸戊酯、丙二醇甲醚醋酸酯、1,6-己二异氰酸酯、乙酸-2-乙氧基乙酯、乙酸-2-丁氧基乙酯、乙酸-1-甲氧基-2-丙基酯、1,2-丙二醇二乙酸酯、轻芳烃溶剂石脑油（石油）等 20 余种 VOCs 组分（李亚军，2017）。

4.2.2 末端排放组分分析

a) 实地监测排放情况

根据实际情况，按照不同的汽车品牌、规模（4S 店、综合修理厂、快修连锁店、其他通用小型修理厂等）和不同治理技术等因素，编制组选取了多家汽修厂进行实地调研和现场监测喷烤漆房烟囱 VOCs 排放浓度及车间无组织监控点环境浓度。其中出台相关地方标准的，分析其标准实施后的排污状况。根据不同类别修理厂数量占比及排放占比，确定不同种类、规模企业的监测数量。

目前编制组选取了北京市 8 家具有喷漆业务的汽修企业对其进行实地调研和现场监测，兼顾水性涂料和溶剂型涂料的使用。监测内容主要对喷烤漆房烟囱排放 VOCs 的种类和组分进行了检测分析。喷烤漆房烟囱排放 VOCs 的种类分析结果见图 2 所示，不同汽修厂喷烤漆房烟囱 VOCs 的种类分布并不完全相同，包括烷烃、烯烃、卤代烃、芳香烃、醛酮类、酯类及其他物质，主要污染物为芳香烃类和酯类物质。其中芳香烃类包含 14 种组分，约占 54.8%；酯类物质包含 4 种组分，约占 24.1%。因此，汽修行业 VOCs 排放的特征污染物应重点考虑从芳香烃类和酯类物质中选取。

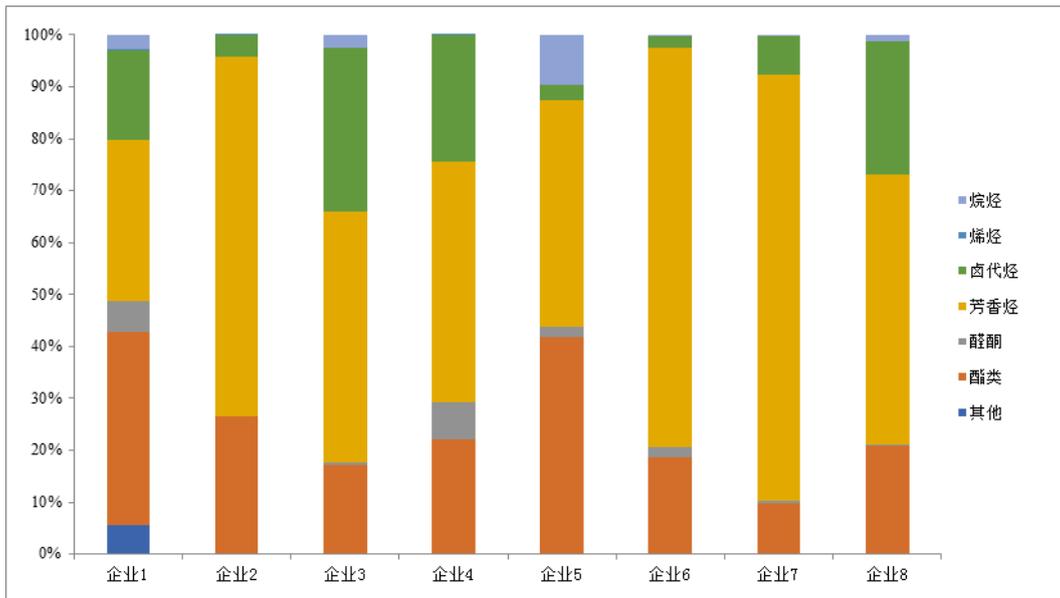


图 2 实测喷烤漆房烟囱排放 VOCs 种类分布

由于一些活性较强的 VOCs 物种，能与大气中的羟基自由基·OH、O₃ 等氧化剂发生多途径反应，形成半挥发性有机物，再通过吸附、吸收等过程进入颗粒相，生成二次有机气溶胶。因此，对其中 2 家汽修厂的喷烤漆房烟囱排放的颗粒物浓度进行实地监测，颗粒物浓度的平均值分别为 1.3 mg/m³ 和 1.2 mg/m³。

2) 文献调研排放情况

通过文献调研，全国范围内不同地方或区域的 VOCs 种类及组分也有一定的区别。上海汽修企业的废气监测结果显示主要组分为苯、甲苯、二甲苯，同时还检测出较高浓度的乙酸丁酯以及乙苯、苯乙烯、环己酮等（乔燕，2016）；另有研究表明，喷漆和烘漆的废气中芳香烃所占比例可达 77.3% 和 90.6%，其中，间/对-二甲苯、乙苯和邻-二甲苯是汽车喷漆和烘漆 VOCs 中含量最丰富的物种，而苯的含量较低（乔月珍，2011）。天津汽修行业 VOCs 排放种类主要是甲苯、乙酸正丁酯、对间二甲苯、对间二甲苯、1, 2-二氯丙烷、乙苯、乙酸甲酯、环己烷、丙二醇单甲醚等，且不同的企业以及同一企业不同生产工序排放的特征 VOCs 浓度有较大的差异（王文秀，2017）。广州汽车生产喷涂工艺中的涂装喷漆室和涂装烘房室内的主要特征污染物为三甲苯类和四甲苯类物质（区润桦，2010）。浙江杭州汽修企业的废气监测结果显示大部分企业乙酸丁酯的浓度含量明显高于甲苯、乙苯、二甲苯，最高可达 77.9%，同时乙苯、苯乙烯、环己酮等组分也常有检出（徐建芬，2012）。江苏南京汽修企业喷烤漆房的 VOCs 组分主要是甲苯、二甲苯、酯、氨、醚、醇和非甲烷总烃（刘浏，2016）。

长三角地区汽修企业不同处理工艺差异较大,活性炭吸附处理对 VOCs 的物种组成并无明显影响(芳香烃为主),而催化燃烧的处理过程会使 VOCs 排放的物种组成产生显著变化(烯烃和炔烃为主)(莫梓伟,2015)。珠三角地区汽修企业的废气组分中,最主要种类为芳香烃(间/对二甲苯、1,2,4-三甲苯、邻二甲苯、乙苯和间乙基甲苯);其次是 VOCs(丙二醇甲醚醋酸酯和乙酸丁酯);烷烃、烯烃和其他 VOCs(戊烷和己烷类物质)所占比例较小(高宗江,2015)。

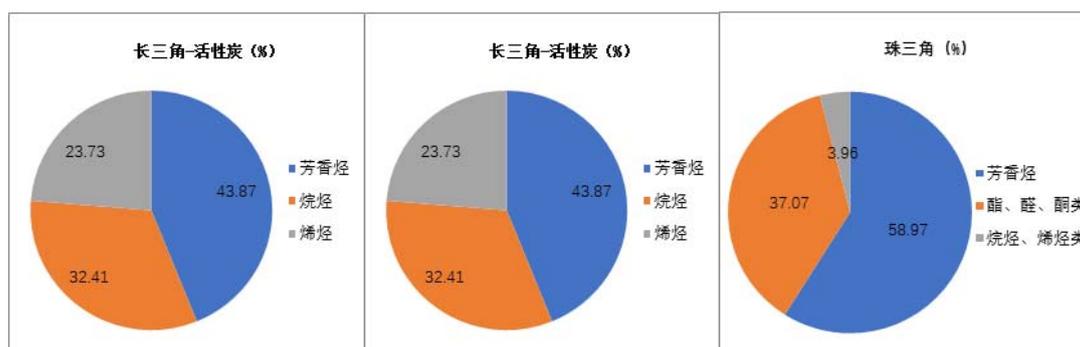


图 3 长三角与珠三角地区汽修企业 VOCs 废气排放组分比例

4.3 污染控制技术现状

汽修行业的污染控制可分为源头控制、过程管理和末端治理。

源头控制是指提倡使用低挥发性有机物含量的原辅材料。汽修行业 VOCs 排放主要来源于修补用料,包括底漆、面漆、清漆、稀释剂、固化剂。研究表明:作为以水为溶剂或分散介质的涂料,水性漆区别于传统溶剂型色漆高达 80% 以上的 VOC 含量,水性色漆 VOC 含量仅为 10%。采用水性漆替代可以有效减少 VOCs 的产生量,但由于产品成本问题以及施工方面的挑战,近两年我国水性漆应用的推广才刚刚起步。除水性漆外,还有高固体分涂料、粉末涂料等,可依照工艺、质量要求选择合适的低挥发性有机物含量的原料替代。

过程管理是指在原料漆调配、使用过程中按照要求对涂料、稀释剂等原料的储存、运输、调配及使用过程进行管理。要求运输过程中必须保证原料密封良好,避免泄露损坏;使用过程中随取随开,用后必须马上封闭漆桶以减少挥发,使用完毕的漆桶也必须密封保存。使用喷涂效率较高的喷枪,加强对操作工人的培训,提高涂料的使用效率,减少 VOCs 的排放。

末端治理是指采用收集装置收集所产生的废气,并通过治理技术减少排放废气中的 VOCs 浓度,达标排放。汽车修补过程主要收集处理喷涂和烘干过程中的废气,其排放特点为不连续排放,排放浓度较低。目前我国汽修企业较多采用活性炭串联吸附法或光氧催化+活性炭吸附法(喷漆房配有 UV 光照和活性炭吸附装置),通过定期或不定期更换颗粒活性

炭来吸附和净化喷漆烤漆废气。根据北京市、杭州市、渭南市汽修厂调查问卷统计结果，喷漆烤漆房里活性炭平均更换周期约为 1-2 个月；过滤顶棉或地棉平均更换周期约为 3 个月。

5 国内相关标准和控制技术研究

5.1 国内相关标准

5.1.1 排放标准

a) 国家相关标准

我国第一部关于汽车涂料 VOCs 含量限值的国标是《汽车涂料中有害物质限量》（GB 24409-2009），该标准适用于乘用车、商用车、挂车、汽车列车用原厂涂料、修补涂料和零部件涂料，但标准仅只对溶剂型涂料的 VOCs 含量做出了限值规定，而对水性漆的 VOCs 含量没有要求（见表 1）。我国对 VOCs 治理的起步虽晚，但发展势头迅猛。国家层面已出台征收涂料消费税的政策，该政策以 VOCs 含量 420 g/L 为界，超出限值的涂料产品统一征收 4% 的消费税。国家征收涂料消费税的初衷是以经济杠杆限制溶剂型涂料的生产，促进节能减排。

表 1 涂料中 VOCs 和限用溶剂含量

涂料品种		VOCs 含量 (g/L)	限用溶剂含量 (%)	
溶剂型涂料	热塑型	底漆、中涂、底色漆 (效应颜料漆、实色漆)、罩光清漆、本色面漆	≤ 770	
	单组分交联型	底漆	≤ 750	苯 ≤ 0.3 甲苯、乙苯和二甲苯 总量 ≤ 40 乙二醇甲醚、乙二醇乙醚、 乙二醇甲醚醋酸酯、乙二醇乙醚醋酸酯、二乙二醇丁醚醋酸酯 总量 ≤ 0.03
		中涂	≤ 550	
		底色漆 (效应颜料漆、实色漆)	≤ 750	
		罩光清漆、本色面漆	≤ 580	
	双组分交联型	底漆、中涂	≤ 670	
		底色漆 (效应颜料漆、实色漆)	≤ 750	
		罩光清漆	≤ 560	
		本色面漆	≤ 630	
	水性涂料	水性涂料 (含电泳涂料)	限用溶剂含量 (%)	
		乙二醇甲醚、乙二醇乙醚、乙二醇甲醚醋酸酯、乙二醇乙醚醋酸酯、二乙二醇丁醚醋酸酯 总量 ≤ 0.03		

对于汽修行业大气污染物的有组织和无组织排放，国家《大气污染物综合排放标准》（GB16297-1996）规定了苯、甲苯、二甲苯、非甲烷总烃最高允许排放速率二级标准值以

及无组织排放监控浓度限值，目前大部分没有汽修大气污染物排放地方标准的省市依旧参照 GB16297-1996 的控制限值进行执法。

汽车喷烤漆房 JT/T324-2008 规定了喷烤漆房的各项技术要求，其中对于废物排放的要求包括：喷烤漆房应有专用排气净化装置，包括漆雾过滤与废气净化；苯系物等气体排放应符合 GB 16297 和国家现行法规的规定；作业区内 1.5m 以上（呼吸带）苯系物最高允许浓度应符合 GB 6514 的规定。

《涂装作业安全规程有机废气净化装置安全技术规定》（GB 20101-2006）中针对“活性炭吸附净化装置”，明确提出“活性炭吸附器气体进出口应设置气体浓度检测仪，定时检测气体浓度。当出口有机气体浓度超过设定最大值时，应停止吸附，进行脱附。活性炭吸附器气体进出口的风管上应设置压差计，以测定经过吸附器的气流阻力（压降），从而确定是否需要更换活性炭”等相关规定。

b) 主要地区相关排放标准

目前北京、重庆、天津、江苏、深圳及香港已颁布或正在制定汽车维修业涂料限值及大气污染物排放的地方标准（见表 2）。部分地区对喷烤漆房排气筒大气污染物及无组织排放制定了相关标准和控制要求（表 3 和 4），其中北京、天津和江苏标准选择了苯、苯系物、非甲烷总烃和颗粒物作为控制指标，天津和深圳标准选择了苯、甲苯和二甲苯与 VOCs 作为控制指标。部分地区也针对汽车修补涂料的 VOCs 含量限值进行了规定（表 5 和表 6），以期借助立法迫使维修企业使用水性漆及低 VOCs 的环保型涂料。

表 2 国内现有汽修行业大气污染物排放相关标准规范

地区	标准名称	代码	主要内容
北京	《汽车维修业大气污染物排放标准》	DB 11/1228-2015	大气污染排放控制、监测与检测、涂料检测、工艺管控要求等
天津	《工业企业挥发性有机物排放控制标准》	DB 12/524-2014	规定汽车制造与维修行业 VOCs 排气筒排放浓度、排放速率限值等
深圳	《汽车维修行业喷漆涂料及排放废气中挥发性有机化合物含量限值》	SZJG 50-2015	规定涂料含量限值、排放浓度、排放速率、无组织排放监控点浓度限值、监测方法、工艺管控要求等
重庆	《汽车维修业大气污染物排放标准》	DB 50/661-2016	大气污染排放控制、监测与检测、自愿性排放限值、工艺管控要求等

地区	标准名称	代码	主要内容
香港	《空气污染管控（VOCs） 规例指南》	—	规定十四种车辆修补漆和涂料VOCs含量 限值
江苏	《汽车维修行业大气污染 物排放标准》	征求意见稿	大气污染物排放控制要求、监测和监督 管理要求等

表 3 喷烤漆房排气筒大气污染物排放浓度限值（单位：mg/m³）

污染物	北京	重庆			江苏		天津		深圳
		城市 建成 区	其 他 区 域	推 荐 限 值	一 般 地 区	重 点 地 区	溶剂储运/混合/ 搅拌/清洗/涂装 工艺	烘 干 工 艺	
苯	0.5	1	1	0.5	1	0.5	1	1	1
苯系物	10	30	35	10	18	10	—	—	—
非甲烷总烃	20	50	60	20	25	20	—	—	—
甲苯和二甲苯	—	—	—	—	—	—	20	20	18
VOCs	—	—	—	—	—	—	50	40	75
颗粒物	—	10	20	10	10	10	—	—	—

注：北京地标同时对喷烤漆房加热炉排气筒大气污染物进行了限值规定（颗粒物 10mg/m³，二氧化硫 20mg/m³，氮氧化物 100mg/m³）。

表 4 无组织排放监控点浓度限值（单位：mg/m³）

污染物	北京	重庆	江苏		天津	深圳
			排放限值	特殊限值		
苯	0.10	0.10	0.40	0.40	0.10	0.10
苯系物	1.0	1.0	—	—	—	—
非甲烷总烃	2.0	2.0	5.0	3.0	—	—
甲苯	—	—	—	—	0.60	0.60
二甲苯	—	—	—	—	0.20	0.20
VOCs	—	—	—	—	2.0	1.8
颗粒物	1.0	1.0	—	—	—	—

表 5 涂料挥发性有机物含量限值（单位：g/L）

涂料种类	北京	深圳		
底漆	540	溶剂型 涂料	底漆	≤670
中涂	540		中涂	≤550
底色漆	420		色漆	≤750
罩光清漆	480		清漆	≤560
本色面漆	420	水性涂	底漆、中涂	≤540

涂料种类	北京	深圳		
		料	色漆	≤420

表 6 香港汽车修补漆 VOC 含量限值（单位：g/L）

涂料种类	VOC 最高限值
粘合促进剂	340
透明涂料（非哑光装饰）	420
透明涂料（哑光装饰）	340
彩色涂料	420
多彩涂料	580
预处理涂料	780
底漆	540
单级涂料	420
临时保护涂料	50
纹理及柔软效果涂料	340
卡车货斗衬垫涂料	310
车身底部涂料	430
均匀装饰涂料	340
其他汽车修补涂料	250

5.1.2 技术指南

目前广东省、四川省、上海市已颁布汽车制造或涂装行业挥发性有机物控制技术指南的地方标准（见表 7），重点对源头控制、过程控制、末端治理技术及监管要求进行了规范。

表 7 国内现有汽车制造或涂装行业大气污染防治技术相关标准规范

地区	标准名称	年份	主要内容
广东	广东省表面涂装（汽车制造业）挥发性有机废气治理技术指南	2015	涂装工艺及 VOCs 排放、表面涂装（汽车制造业）VOCs 防治技术推荐（源头控制、生产过程控制、废气治理、治理技术监管要求）等
四川	四川省汽车涂装行业挥发性有机物控制技术指南	2018	VOCs 的产生及排放、最佳可行技术（清洁生产工艺、污染治理技术、环境管理）
上海	整车制造业挥发性有机物控制技术指南（试行）	2020	总体要求、清洁生产、过程控制、末端治理等
	汽车零部件制造业（涂装）挥发性有机物控制技术指南（试行）	2020	行业生产与 VOCs 污染的产生、污染预防技术、过程控制技术、末端治理等

其中，针对涂装工艺的技术指南，广东省分为轿车和商务车、载重车和客车两个方面进行讨论，前者的涂装涂层至少包括底漆、中途、色漆和清漆四层，对于有密封要求的焊缝部分，在中途与电泳底漆之间还需要加涂 PVC，对于底漆涂装基本采用环保型水性阴极电

泳涂料进行阴极电泳浸涂，对于中涂基本采用水性涂装工艺，由于水性溶剂挥发慢，其工艺与油性漆涂装稍许不同，主要在“3C1B”工艺中涂之后或者是“2C1B”工艺底色漆1之后增加一段闪干工段（闪干室）加快水性涂料的干燥；而载重车、客车底漆涂装则大多采用溶剂型底漆进行手工喷涂，涂装工艺以底漆、面漆两层涂装为主，也逐渐趋同于轿车涂装。上海市针对汽车零部件制造业涂装主要生产工艺分为前处理，涂料涂覆，涂料干燥和清洗四个步骤，根据零部件材料或外观要求的不同，零部件喷涂分为3涂层体系（底漆，色漆，清漆）、2涂层体系（色漆，清漆）和单涂层体系等，主要VOCs污染产生相关的原料包括电泳液、底漆、中涂漆、色漆、清漆、罩光漆、粉末涂料、UA涂料等，主要辅料包括涂料配套的助剂、稀释剂、固化剂。

针对VOCs的产生及排放分析，广东省汽车涂装过程VOCs的产生量主要由涂料种类，涂装设备工艺水平和企业溶剂管理决定。在中涂、面涂过程中，约80-90%的VOCs在喷漆室和流平室排放，10-20%的VOCs随车身涂膜在烘干室中排放。溶剂型涂料体系的VOCs主要来源于底色漆，其次来源于清漆和中涂，还有少量来源于清洗溶剂。一般来说，对于中低固体分的涂料体系而言，色漆VOCs占总VOCs的50%左右、清漆占35%、中涂占15%。表面积80m²左右的普通轿车用单位涂装面积排出的VOCs量（g/m²）表示，平均为125gVOCs/m²。当涂装生产线为水性涂料化时，电泳、中涂、底色涂采用水溶性涂料涂装，仅罩光清漆采用溶剂型涂料，VOCs可大量降低，达到30gVOCs/m²以下，最低可降到12~13gVOCs/m²。汽车制造业涂装工序产生VOCs成分与所使用的原辅材料直接相关，主要包含芳香烃类、醇类、酯类、醇醚类，还有少量的酮类。上海根据金属工件预处理工序来对VOCs产生量进行说明，其中，预处理的工序分为：碱性或酸性清洗、水冲洗、磷酸盐处理、水冲洗、在碱性或酸性清洁中冲洗等步骤。四川省在汽车涂装的生产流程中，VOCs的产生工段主要是喷涂工段、流平工段以及烘干工段，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。

针对VOCs治理技术，广东省优先推荐选择蓄热式直接焚烧法（RTO）技术进行高浓度废气的处理、吸附浓缩-（催化）燃烧法进行低浓度废气的处理，并说明吸附法处理废气不能单独使用，需与其他可行的技术进行联合应用，吸附剂需定期更换，保证处理效率。对于吸附法，包括联用技术中采用吸附法，除有配套脱附装置，都应安装VOCs在线监测仪器，以便实时监测吸附剂的饱和更换情况。上海市针对汽车零部件制造业VOCs治理，要求生产企业使用涂料应符合GB24409中有害物质含量限值规定，宜采用低VOC型涂料替代传统的溶剂型涂料，根据工艺情况宜使用其他种类的低VOCs涂料（高固体份涂料、水性涂料、粉

末涂料、UV 涂料) 替代传统涂料, 水性涂料应符合 HJ 2537 中汽车涂料中 VOCs 浓度含量限值。四川省提出了清洁生产技术的理论, 表明在原料控制阶段可以采用环保型涂料来有效降低 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; 在生产工艺流程, 提出可以通过涂装工艺的升级降低 VOCs 的排放, 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, 并采取提高涂着效率的方法, 不仅可以减少 VOCs 排放量, 还能降低涂装成本。

5.2 国内控制技术

喷涂有机废气的处理技术主要包含吸附法、吸收法、生物处理法和联用的吸附-光氧催化法、吸附-催化燃烧法是目前 VOCs 治理常用的技术方法(钱程, 2017; 蒋彬, 2017; 乔燕, 2016)。在技术难易程度、设备成本和运行成本方面, 不同有机废气的处理工艺对比如表 8 所示。其中最近几年发展起来的吸附+UA 光解氧化组合处理技术以其处理效果好、成本低、安全性高、无二次污染等特点在多种技术中具有明显的优势, 值得大范围推广; 吸附-催化燃烧法目前在广州地区的汽修企业广泛使用, 虽投入和运行成本较高, 但治理效果最佳, 也是未来 VOCs 治理技术发展的主要方向。

表 8 不同有机废气处理工艺对比

技术名称	技术难易程度	设备成本	运行成本
吸附法	易	低	中
吸收法	易	低	中
热力燃烧法	难	高	高
催化燃烧法	易	中	高
生物处理法	易	中	低
光氧催化法	易	中	中
沸石转轮浓缩	难	高	中

汽车修补过程主要收集处理喷涂和烘干过程中的废气, 其排放特点为不连续排放, 排放浓度较低。由于各种技术的投资成本、成熟程度、治理效果等因素, 国内汽车维修行业目前大部分均采用活性炭串联吸附法或光氧催化+活性炭吸附法处理喷烤漆过程产生的 VOCs。

a) 技术选择

汽修行业大气污染防治技术选择的原则, 主要考虑技术和经济两方面因素:

——技术因素: 安全性; 了解尾气排放情况、工艺过程及废气组份等; 设计兼顾治理设备与生产工艺相协同; 重视预处理和 VOCs 治理相统一; 必要的附属设施适用性(电、水、

蒸气等)；设备可利用的场地空间大小切割、焊接、干打磨工位应设置单；操作、运行及管理便利性。

——经济因素：设备投资、建设费用；设备运行及管理费用；使用周期及运行稳定性。

针对汽修行业 VOCs 的处理技术主要包括以下几种：

1) 低温等离子体技术

原理：是利用介质放电所产生的等离子体，以极快的速度反复轰击废气中的异味气体分子，去激活、电离、裂解废气中的各种成分，通过氧化等一系列复杂的化学反应，打开污染物分子内部的化学键，使复杂的大分子污染物转变为一些小分子的安全物质（如二氧化碳和水），或使有毒有害物质转变为无毒无害或低毒低害物质。

存在问题：不适合 VOCs 处理，且生成副产物和大量的臭氧，有拉弧引燃 VOCs 等安全问题。处理效率很低并会次生很多中间副产物，导致 VOCs 成分更复杂、同时设备运行时会产生大量无用臭氧。

2) UV 光解氧化技术

原理：在借助光催化剂的光催化作用下，废气中的有机物和一氧化碳等进行深度无焰氧化，将 VOCs 气体分子氧化降解成二氧化碳和水等小分子从而达到净化目的的技术。近年来将光催化技术应用于 VOCs 治理中取得了一定成效，光催化剂是光催化过程的关键部分，其活性的高低严重影响光催化效果，因此关于光催化技术的研究也越来越多。由于二氧化钛 (TiO_2) 催化活性较高又不产生光腐蚀、化学性质稳定、催化效率高且费用低，且无毒价廉，已成为目前常用的光催化剂。整体而言此技术处理条件温和、设备简单、运行平稳。

存在问题：在 UV 光催化氧化技术应用中，包括 UV 管的波长、光催化材料、反应时间、相对湿度、灰尘颗粒物等都是处理 VOCs 成败的瓶颈要素。目前普遍认为光催化氧化法能够将 VOCs 完全降解生成无毒无害的 CO_2 和 H_2O 等，且在会产生过量臭氧。因反应条件的制约，使产生的臭氧转换成自由基和负氧离子的效率极低，同时因反应时间过短，导致设备产生的大部分臭氧未能实现对 VOCs 处理而直接排放。而且催化剂是关键因素之一，但同时存在催化剂易失活，难以固定，且固定后催化效率变低的缺点，需要其他技术配合。

3) 吸附技术

原理：吸附法净化气态污染物是指利用固体吸附剂对气体混合物中各组分吸附选择性的不同而分离气体混合物的方法，即一种传质分离过程的单元操作，所涉及的主要是物理吸附。气态污染物通过吸附作用被富集到吸附剂表面上后，再进行后续处理。吸附法是利用活性炭、硅藻土、硅胶、沸石和分子筛等吸附剂对工业废气中的 VOCs 进行吸附净化，是我国 VOCs

治理最常用方法之一。

适用范围：主要适用于低浓度气态污染物的净化，对于高浓度的有机气体，通常需要首先经过冷凝等工艺将浓度降低后再进行吸附净化。

存在问题：单纯使用吸附法处理 VOCs 达标排放实际运维费用较高。适用性受多种因素影响，不适合含粉尘、水汽、乳状物等废气处理，难稳定环保达标；大量饱和后的吸附材料处理更耗费巨大；该方法仅是将污染物吸附转移，如对饱和后活性炭转移过程无严格把关跟踪，则极易造成二次污染；但因前期投资少，企业选用较多，监管难度极大。

优化措施：相关研究（蒋彬，2017）提出了以下三个方面：在活性炭种类选取方面，目前多采用煤质颗粒活性炭，可通过更换比表面积更大的蜂窝活性炭、纤维活性炭等，并进行疏水处理，以提高其吸附能力；在活性炭装填量核定方面，目前多根据废气量来核定，而根据废气量、废气浓度、活性炭容量等进行综合核定则更具有科学性；在废气预处理方面，目前多采用顶棉和地棉去除漆雾，改进措施可包括增加水洗、滤筒等过滤装置或除湿装置，或者在活性炭吸附装置前端增加换热器的方式，以降低废气的温度。

4) 多组合技术

三级净化 VOCs 排放标准：50~70 mg/m³；五级净化 VOCs 排放标准：20 mg/m³。

——玻璃纤维毡+滤袋+2 级等离子+活性炭 三级净化

——玻璃纤维毡+滤袋+2 级 UV 光氧催化+活性炭 三级净化

——玻璃纤维毡+滤袋+2 级等离子+2 级 UV 光氧催化+活性炭 五级净化

上述多组合技术综合了等离子、UV 光氧化、活性炭等的综合问题，但安全性、长期治理效果、危废等问题需要慎重考虑。

5) 吸附+光氧催化技术

吸附浓缩-光氧催化技术是将吸附技术和催化氧化技术有机地结合起来的一种组合技术，是指将光催化剂负载在吸附材料上，在一定的紫外光照下将 VOC_s 有机废气降解为 CO₂、H₂O 的技术。该技术是将低浓度有机废气吸附到光催化剂表面进行富集浓缩提高 VOC_s 浓度，从而充分进行光催化反应，提高降解效率。同时，吸附剂可以吸附反应过程所产生的有害副产物，减少二次污染。该技术是目前我国喷涂、印刷等行业大风量、低浓度有机废气治理的主流技术，治理效果最佳。

b) 存在问题

1) 水性涂料面临的主要难题是在成本为市场接受的前提下如何提高产品的性能，使之达到与溶剂型涂料相同或接近的水平。随着我国水性涂料技术的不断发展和涂料配方的不断

改进，水性涂料产品中 VOCs 量将越来越低，产生新的、更科学的合成水性涂料技术，提高水性涂料的性能和市场需求，需要政策的扶持和技术的成熟完善。

2) 对有机废气的处理措施有待进一步制定技术规范和监管要求。通过调研发现，目前企业采取的废气治理措施主要是活性炭吸附法，但是由于各汽车维修企业的修补量不同，所需使用的活性炭量也不同，修补量较大的企业会在更换期前达到活性炭的最大吸附量，造成吸附穿透，使活性炭失效。目前在管理过程中只能监管企业是否具有活性炭的更换记录和活性炭装载情况，对于实际已经超过活性炭吸附量而超标排放的企业实际很难在监管上达到应有的效果。针对汽修行业量大面广的“小散”企业很难做到监察到位，需要在排放浓度指标的基础上适当增加更易执行的监管要求。

6 标准主要技术内容

6.1 标准适用范围

本指南提出了汽车维修行业大气污染防治可行技术和环境管理措施要求。

本指南适用于使用或部分使用溶剂型或水性涂料进行喷涂、烘干等作业的汽车维修企业。

6.2 标准结构框架

标准的主要内容包括适用范围、规范性引用文件、术语和定义、污染物排放控制要求（大气污染物产生与排放、挥发性有机物污染防治、其他废气污染防治、可行性技术应用要求、治理技术监管要求）等4个章节。

6.3 术语和定义

1) 汽车维修企业（Autobody refinishing plant）

从事汽车修理、维护和保养服务的企业和个体经营户。

2) 喷烤漆房（Spray booths）

可以加热空气介质，并在其中进行喷漆、烘烤作业的装置。

3) 挥发性有机物（Volatile organic compounds）

参与大气光化学反应的有机化合物，或者根据规定的方法测量或核算确定的有机化合物。

4) 非甲烷总烃（Non-methane hydrocarbons）

采用规定的监测方法，氢火焰离子化检测器有响应的除甲烷外的气态有机化合物的总和，以碳的质量浓度计。

5) 无组织排放（Fugitive emission）

大气污染物不经过排气筒的无规则排放，包括开放式作业场所逸散，以及通过缝隙、通风口、敞开门窗和类似开口（孔）的排放等。

6) 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。

7) 水性涂料（Waterborne coating）

以水为溶剂或以水为分散介质的涂料。

6.4 大气污染防治要求

a) 挥发性有机物污染防治

在源头控制阶段，提倡使用低挥发性有机物含量的原辅材料。汽修行业VOCs排放主要来源于修补用料，包括底漆、面漆、清漆、稀释剂、固化剂。研究表明：水性面漆和稀释剂中VOCs含量远低于溶剂型，采用水性漆替代可以有效减少VOCs的产生量，除水性漆外，还有高固体分涂料、粉末涂料等，依照工艺、质量要求选择合适的低挥发性有机物含量的原料替代。

在过程管理阶段，对原料漆调配、使用过程中需按照要求对涂料、稀释剂等原料的储存、运输、调配及使用过程进行管理。要求运输过程中必须保证原料密封良好，避免泄露损坏；使用过程中随取随开，用后必须马上封闭漆桶以减少挥发，使用完毕的漆桶也必须密封保存。使用喷涂效率较高的喷枪，加强对操作工人的培训，提高涂料的使用效率，减少VOCs的排放。

在末端治理阶段，需采用收集装置收集所产生的废气，并通过治理技术进行处理，减少排放废气中的VOCs浓度，达标排放。汽车修补过程主要收集处理喷涂和烘干过程中的废气，其排放特点为不连续排放，排放浓度较低。目前全国汽修企业主要采用活性炭吸附法，大多数喷漆房都配有活性炭吸附装置（部分配有水膜式漆雾处理装置），通过定期或不定期更换颗粒活性炭来吸收、吸附和净化喷漆烤漆废气。

b) 其他废气污染防治

切割、焊接、干打磨工位应设置单独隔离间或隔离帘，并配备固定式、摇臂式、移动式除尘装置，干打磨工位应配备无尘干磨机。

喷、烤漆房加热装置禁止使用燃煤、废油等作为燃料，非电加热装置应设置专门的废气排气筒，排放的污染物浓度应符合GB 16297的排放标准要求。

机修、调试工位应设置汽车尾气收集净化装置。

6.5 可行技术推荐与应用要求

喷涂有机废气的处理技术中，吸附法、吸收法、生物处理技术和联用的吸附-光氧化法、吸附-催化燃烧法是目前VOCs治理常用的技术方法，其技术难易程度、设备成本和运行成本不尽相同，如表1所示。其中最近几年发展起来的吸附-光氧化组合法以其处理效果好、成本低、安全性高、无二次污染等特点在多种技术中具有明显的优势，值得大范围推广；吸附-催化燃烧法目前在广州地区的汽修企业广泛使用，虽投入和运行成本较高，但治理效果最佳，也是未来VOCs治理技术发展的主要方向。

从方法原理与应用实例来看，以上技术均有一定的治理效果。关键是治理设施技术参数符合设计要求、与企业工况匹配、后期运行管理规范合理。但是由于各种技术的投资成本、成熟程度、治理效果等因素，国内汽车维修行业目前大部分均采用活性炭吸附法处理喷烤漆过程产生的VOCs，因此需重点针对活性炭吸附工艺运行过程提出相应的技术规范，并对其他处理技术提出达标要求。但是工业中排放的 VOCs 成分复杂，利用单一治理技术处理时在净化率、安全性及经济性等方面具有一定的局限性，难以达到预期治理效果，多种技术组合应用可以充分发挥单一治理技术的优势，进行协同互补，突破现有局限性，在满足达标排放的同时，最大程度降低成本。

a) 吸附法治理技术应用要求

1) 汽车维修过程中使用的处于即用状态的涂料挥发性有机物含量应符合GB 24409-2009要求；

2) 应记录使用的涂料、稀释剂、固化剂、清洗剂等原辅材料的种类、数量及挥发性有机物的含量，至少保存3年；

3) 调漆作业应在密闭空间内进行，产生的含挥发性有机物废气应经活性炭等净化设施处理后排放；

4) 喷漆作业应采用高效喷涂设备；使用有机溶剂清洗喷枪，应采用密闭洗枪设备，或在密闭设施内清洗并配备挥发性有机物处理设施；

5) 所有喷漆、烤漆作业应在密闭喷、烤漆房内进行，废气经挥发性有机物处理设施处理后达标排放；

6) 喷、烤漆房排气筒排放的污染物浓度应符合GB16297-1996（排放标准）要求，排气筒应设置废气排放口图形标志并按照HJ/T 1的规定设置废气采样口和采样平台；无组织排放监控点大气污染物浓度应符合GB37822-2019（排放标准）要求；

7) 采用非原位再生吸附处理工艺，每万立方米/小时设计风量的吸附剂使用量不应小于1立方米，更换周期不应长于1个月；

8) 采用煤质颗粒活性炭为吸附剂时，其性能参数应符合GB/T 7701.1的要求；

9) 采用吸附式挥发性有机物处理设施，应按照GB20101要求在进、出口的风管应设置压差计，以测定经过设施的气流阻力（压降），压差宜控制在300~350 Pa，超出该压力范围时应对处理设施进行维护；

10) 异位再生或废弃的吸附剂在转移处理之前应采用密闭容器贮存，防止被吸附的挥发性有机物挥发；

11) 使用后的废活性炭/沸石等吸附剂应按照相关管理要求规范处置，购买吸附剂的票据、废吸附剂处理的危险废物转移联单至少保存3年。

b) 吸附+光催化氧化技术应用要求

吸附-光催化技术是指将光催化剂负载在吸附材料上，在一定的紫外光照下将 VOCs 有机废气降解为 CO₂、H₂O 的技术。该技术是将低浓度有机废气吸附到光催化剂表面进行富集浓缩提高 VOCs 浓度，从而充分进行光催化反应，提高降解效率。同时，吸附剂可以吸附反应过程所产生的有害副产物，减少二次污染。吸附-光催化治理技术包括预处理单元、吸附单元和光催化单元。应用要求需包含以下几点：

1) 治理技术的安装与运行需满足《吸附法工业有机废气治理工程技术规范》（HJ 2026-2013）；

2) 吸附装置的应用要求同吸附法。配套的原位再生手段（脱附）设施，应有规范的管理制度，明确再生周期，并有相应的记录；

3) 根据废气浓度、废气排放量、吸附剂的使用量以及企业的生产时间，明确吸附剂的再生周期，定期进行吸附剂再生。

4) 需给出与废气浓度、吸附剂再生周期相适应的催化剂使用寿命，更换周期；

5) 设计方案应明确光催化氧化装置净化 VOCs 的反应时间，废气在光催化氧化装置中的停留时间；

6) 废气的温度控制在 60℃ 以下左右，因为温度太高会影响净化效果和设备使用寿命；

7) 净化器安装在风机前面，净化器前端应该有水喷淋降解有机废气中的大型颗粒，以保证净化器内部洁净度和使用年限和延长维护时间；

8) 净化器如安装在支架之上时，应与支架紧固连接，净化器与排风管道之间的连接必须密封；

9) 净化器可以安装在室外，也可以安装在室内，但应有足够的空间用来维护与维修，根据使用情况设备每 1-3 个月维护清洗一次；

10) 净化器箱体应可靠接地，安装过程中不准许磕碰紫外线管，严禁异物落在净化器中，净化器本体及电控箱中各电器连接应可靠无误；

11) 设备外接电源 380W, 因设备内有超强紫外线, 检修时要佩戴深色墨镜以免伤害眼睛;

12) 治理设施能实现自动控制, 有应急处理方案;

13) 吸附-光催化装置的净化效率不得低于 95%, 废气排放达到标准的规定。

c) 其他废气污染防治

1) 切割、焊接、干打磨工位应设置单独隔离间或隔离帘, 并配备固定式、摇臂式、移动式除尘装置, 干打磨工位应配备无尘干磨机;

2) 喷、烤漆房加热装置禁止使用燃煤、废油等作为燃料, 非电加热装置应设置专门的废气排气筒, 排放的污染物浓度应符合 GB 16297 的排放标准要求;

3) 机修、调试工位应设置汽车尾气收集净化装置;

4) 废气收集系统应保证与生产同时正常运行;

5) 废气收集系统材质应防腐防锈, 定期维护, 存在泄露时需及时修复。

d) 可行性技术应用要求

针对吸附浓缩-(催化)燃烧法治理技术提出以下应用要求:

1) 治理技术的安装与运行需满足《吸附法工业有机废气治理工程技术规范》(HJ 2026-2013)和《催化燃烧法工业有机废气治理工程技术规范》(HJ 2027-2013)。

2) 吸附装置的应用要求同吸附法。配套的原位再生手段(脱附)设施, 应有规范的管理制度, 明确再生周期, 并有相应的记录。

3) 催化剂的工作温度应低于 700℃, 并能承受 900℃短时间高温冲击;

4) 根据废气成分明确(催化)燃烧装置的起燃温度, 确保废气温度达到起燃温度并燃烧完全;

5) 废气吸附阶段可选用各种类型活性炭或其它吸附材料作为吸附剂, 浓缩后废气的混合爆炸极限应低于废气中最易爆组分爆炸极限下限的 25%;

6) 进入催化燃烧装置前废气中的颗粒物含量高于 10mg/m³ 时, 应采用过滤等方式进行预处理;

- 7) 燃烧过程产生的热量应进行回收，热能回收效率不得低于 35%；
- 8) 催化燃烧装置的压力损失应低于 2k Pa；
- 9) 治理设施能实现自动控制，安装有警报防火防爆装置，有应急处理方案；
- 10) 排气筒的设计应满足《烟囱设计规范》（GB 50051-2013）的规定；
- 11) 吸附浓缩-（催化）燃烧装置的净化效率不得低于 95%，废气排放达到标准的规定。

6.6 治理技术监管要求

治理设施的管理应纳入生产管理中，配备专业管理人员和技术人员，并对其进行培训，使管理和运行人员掌握治理设备及其它附属设施的具体操作和应急情况下的处理措施。

企业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。

企业应建立治理工程运行状况、设施维护等的记录制度，主要维护记录内容包括：

- a) 治理装置的启动、停止时间；
- b) 涂料、稀释剂、吸附剂、吸收剂、过滤材料、催化剂、絮凝剂等的质量分析数据、采购量、使用量、存放区域及（或）更换时间；
- c) 治理装置运行工艺控制参数，至少包括治理设备进、出口浓度和装置内温度；
- d) 主要设备维修情况；
- e) 运行事故及维修情况；
- f) 定期检验、评价及评估情况；
- g) 吸附法、吸收法产生的危险废物、污水，漆雾捕集装置产生的漆渣等处置情况；
- h) VOCs在线监测设施应参与数据有效性审核工作；
- i) 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。

7 实施本指南的环境效益及经济技术分析

7.1 环境（减排）效益分析

根据中国涂料工业协会与艾仕得涂料系统联合发布的《中国水性修补漆技术和应用白皮书》相关数据统计，2015-2017 年我国水性汽车修补漆消费量分别为 205 万 L、235 万 L、281 万 L，溶剂型修补漆分别为 9265 万 L、9285 万 L、9349 万 L，并预测到 2022 年水性修补漆将达 699 万 L，溶剂型修补漆将达 10261 万 L。相关研究表明，水性漆排放量约为溶剂型漆的三分之一（该核算中按 1/3 计）。假设 2017-2022 年两种类型的修补漆消耗量呈匀速增长的趋势，若采取一定的治理措施使污染物非甲烷总烃达到团体标准中拟定的排放浓度（40 mg/m³），与执行《大气污染物综合排放标准》（GB 16297-1996）中非甲烷总烃的排放限值（120 mg/m³）所产生的排放量进行对比，则 2020-2022 年我国汽修行业非甲烷总烃排放量和减排量的核算结果如表 9 所示：

表 9 我国汽修行业 2020-2022 年非甲烷总烃排放量核算表

年份	溶剂型漆 (万 L)	水性漆 (万 L)	执行国家标准 排放量 (万 t)	执行拟定标准 排放量 (万 t)	减排量 (万 t)
2020	9896	532	1.209	0.403	0.806
2021	10079	615	1.234	0.411	0.823
2022	10261	699	1.259	0.420	0.840

根据表中减排量可知，本指南实施后，将促进企业对汽车修理工作过程中所产生挥发性有机物的治理工作，通过末端治理和过程管理减少挥发性有机物的产生量，虽然企业的治理成本会不同程度的增加，但是污染物治理有利于改善企业职工劳动环境，并降低对周围环境的损害，取得的环境效益显著。

7.2 经济技术分析

汽车维修行业 VOCs 污染的治理逐年得到重视，北京、天津、重庆已颁布了地方污染物排放标准，对汽修业大气污染物排放要求已严于本标准相关要求。经调研，北京市汽修企业当前的环保投资约占总投资的 8-10%，设置环保处理设施后的排污单位，达标率可达 90% 以上。根据北京市汽修行业 VOCs 排放情况及控制技术应用现状，本研究构建成本-效益分析模型，对吸附-光氧催化和吸附（活性炭串联）两种常用处理技术的控制成本和效益进行了定量计算，如表 7-2 所示：

表 10 汽修企业 VOCs 控制成本和效益构成

费效评估参数	单位 (万元)	案例一	案例二
技术类别	——	吸附-光氧催化	吸附 (活性炭串联)
脱除率 (%)	%	90	70
VOCs 减排量	Kg/a	105	83
年运行时间	H	480	450
系统初投资	万元	7.7	5.9
年折旧能本	万元	0.48	0.37
年管理成本	万元	0.44	0.34
年维修成本	万元	0.23	0.17
年人工成本	万元	1.5	1.2
固定成本	万元	2.65	2.08
年可变动成本	万元	3.57	2.88
年总成本	万元	6.22	4.96
环境容量收益	万元	1.16	0.83
人体健康收益	万元	1.32	1.12
效费比	——	0.40	0.39

汽修行业 VOCs 控制技术的成本-效益分析, 本研究定量计算了经济成本和环境及健康效益, 并结合脱除率进行定性分析, 是由于 VOCs 成分复杂, 与 SO₂、NO_x 废气排放量相比量很少, 而企业是根据所有废气排放量缴纳环保税, 难以核算单独排放 VOCs 需缴纳的环保税; 多数 VOCs 排放无进出口浓度检测, 根据调研情况无法获得准确数据进行减排量的核算; 仅有冷凝和吸收技术有副产物回收, 这两种技术应用较少, 且回收副产物量有限, 可忽略。因此, 在进行 VOCs 控制技术的成本效益分析时, 采取以上指标进行定量计算和分析。本研究将初始投资经折旧分摊到每年的运行成本中, 所以在考虑不同技术的成本情况时, 主要关注年运行成本, 根据上述计算结果可知, 吸附-光氧催化技术设备较为复杂, 初始投资较高, 导致固定成本核算较高, 但其后期能耗物耗相对较少, 整体年运行成本在 3.60~4.33 万元, 波动不大, 脱除率达 90%, 效费比更具优势; 吸附技术 (活性炭串联) 初始投资较低, 但吸附剂消耗较大, 即变动成本较大, 且脱除率相对较低, 容易在应用过程中会产生二次污染, 环境容量收益与人体健康收益均较吸附-光氧催化技术低。

为借助立法迫使汽修企业使用水性漆及低 VOCs 的环保型涂料, 同时加强控制 VOCs 排放的工艺管制和管理要求, 对于我国汽修行业大气污染处理技术的投资及运营费用有待进一步调研分析, 目前大部分企业仅采用了单一活性炭吸附处理技术, 由于监管不严导致处理效果不佳, 因此需在一定程度上加强末端处理的成本投入和后期维护, 以期达到本标准规定的排放限值要求。