

附件3

《工业涂装工序大气污染防治技术规范》 编制说明

（征求意见稿）

二〇二六年九月

目 录

一、 编制目的	1
二、 编制意义	1
2.1 长三角区域大气环境质量改善的迫切需要	1
2.2 引导行业绿色转型与可持续发展的需要	2
2.3 完善长三角区域环境保护标准体系的需要	2
2.4 污染治理水平提高的需要	3
三、 编制过程	3
四、 编制原则	4
五、 行业生产与污染防治技术现状	5
5.1 涉及行业概况	5
5.2 行业污染防治技术分析	11
5.3 长三角区域典型行业大气污染防治案例	20
六、 国内外相关标准概况	38
6.1 国外相关技术标准	38
6.2 国内相关技术标准	38
七、 规范主要内容	40
7.1 范围	40
7.2 规范性引用文件	40
7.3 术语和定义	41
7.4 生产工艺与产污环节	42
7.5 源头管控	42
7.6 过程控制	42
7.7 末端治理	42
7.8 管理与台账	42
7.9 附录	42
八、 环境-经济效益分析	43
8.1 环境效益分析	43
8.1 经济效益分析	43

九、 实施标准的措施建议	44
--------------------	----

一、编制目的

工业涂装工序是涉及汽车制造、装备制造、家具制造等多个行业的涉及面很广的工序，目前以使用溶剂型涂料为主，是挥发性有机物（VOCs）重要排放领域。工业涂装工序涉及的行业多、使用 VOCs 物料类别多、生产方式多，各行业 VOCs 治理水平差异很大。

从全国来看，上海、江苏、北京等地均制定了涉工业涂装工序行业的大气污染物相关排放标准，但配套发布的技术规范较少。浙江省在 2018 年 9 月发布了《工业涂装工序大气污染物排放标准》（DB33/2146-2018），2020 年 9 月，浙江省生态环境厅配套发布了《浙江省工业涂装工序挥发性有机物污染防治可行技术指南》。2020 年 1 月，河南省生态环境厅印发了地方标准《工业涂装工序挥发性有机物污染防治技术规范》（DB41/T 1946-2020）。安徽省于 2022 年 6 月发布了《重点行业挥发性有机物治理环境管理技术规范第 11 部分：其他工业涂装行业》（DB34/T 4230.11-2022）。

从长三角来看，各省（市）地制订的工业涂装工序或涉涂装工序行业的大气污染物相关排放标准也较多，如上海制订过船舶、汽车制造业（涂装）、家具制造业大气污染物排放标准，但配套发布的技术规范较少。此外，目前国内发布的技术规范对工业涂装工序的大气污染物覆盖不全，大部分以直接控制 VOCs 为主，有机特征污染物和颗粒物控制等相关要求很少。

为在区域层面指导涉工业涂装工序企业的大气污染防治工作，规范涂装工序大气污染物的科学治理，实现涂装工序污染物有效减排，推动区域环境空气质量持续改善，助力长三角地区高质量一体化绿色发展，三省一市生态环境厅（局）一致决定开展《工业涂装工序大气污染防治技术规范》的编制工作。

二、编制意义

2.1 长三角区域大气环境质量改善的迫切需要

VOCs 是细颗粒物（PM_{2.5}）和臭氧（O₃）污染的重要前体物。近年来，臭氧污染已成为影响长三角区域环境空气质量的关键因素，制约着区域空气质量的持续改善。为应对这一挑战，国家与长三角各省市相继出台了一系列 VOCs 管控政

策，如《重点行业挥发性有机物综合治理方案》《浙江省“十四五”挥发性有机物综合治理方案》《安徽省空气质量持续改善行动方案》《上海市重点行业大气污染防治绩效提升行动方案》等，这些管控政策均将工业涂装行业列为 VOCs 治理的重点领域。

工业涂装工序覆盖面广，涉及汽车制造、家具、金属制品、机械设备、电子产品等多个行业，是长三角区域 VOCs 排放的重要来源之一。区域内涉工业涂装工序企业数量庞大，VOCs 排放总量显著。因此，制定一部适用于长三角全区域的工业涂装工序污染防治技术规范，是落实区域大气污染防治要求、精准施策降低 VOCs 排放、实现区域环境空气质量根本性改善的迫切需求。

2.2 引导行业绿色转型与可持续发展的需要

《长江三角洲区域一体化发展规划纲要》及《长三角生态绿色一体化发展示范区总体方案》均明确提出，要推动产业绿色低碳转型，构建区域协同的生态环境标准体系。国家《“十四五”节能减排综合工作方案》也要求深化 VOCs 综合治理。制定本技术规范，有助于将国家与区域的宏观战略转化为行业可执行、可操作的具体技术要求，引导企业主动采用低 VOCs 含量的原辅材料，优先选用先进的清洁生产和污染治理技术，提升资源能源利用效率，从源头、过程到末端全过程降低污染物产生与排放，推动涉工业涂装工序行业整体向绿色化、低碳化、集约化方向发展，实现经济效益与环境效益的统一，为行业可持续发展注入动力。

2.3 完善长三角区域环境保护标准体系的需要

随着长三角区域经济发展，对于排放 VOCs 的企业来说，产品结构逐渐多元化，涂装材料种类以及形态各异，涂装过程中所使用涂料的类型及工序也各异，造成 VOCs 排放环节和排放特征也各有不同，不利于涂装过程中 VOCs 排放控制；企业要想达标排放，迫切需要实用技术来指导防治挥发性有机污染物。

为强化企业挥发性有机物污染源管控水平，三省一市已分别针对工业涂装工序或涉涂装工序行业制定部分地方标准及管理规范，虽为区域污染防治提供了基础支撑，但各地标准在具体要求、管控范围及技术深度上存在差异，难以形成统一的区域监管合力。当前，区域内尚未出台专门针对工业涂装工序大气污染防治的统一技术规范。因此，制定实施长三角区域《工业涂装工序大气污染防治技术规范》，能为企业开展挥发性有机物科学防治提供精准技术指导，对进一步完善

长三角地区生态环境标准体系，适应新时期生态环境管理需求有重要意义。

2.4 污染治理水平提高的需要

当前，长三角区域工业涂装工序所采用的涂料仍以溶剂型涂料为主，高固体分涂料、水性涂料、粉末涂料等低 VOCs 含量涂料在各行业中的应用占比普遍不高，整体应用水平偏低；从涂装工艺来看，企业仍以涂料利用率较低的空气喷涂、手工刷涂为主，而高压无气喷涂、静电喷涂、流水线自动涂装等涂料利用率较高的先进技术应用占比极小，导致生产过程中不可避免产生大量有机溶剂挥发。加之区域内涉涂装工序企业多为中小型规模，普遍缺乏针对性技术指导与明确的法规标准约束，造成涂装过程中挥发的有机溶剂在收集、治理环节效果不佳，难以有效控制 VOCs 排放。因此，制定《工业涂装工序大气污染防治技术规范》，不仅能有效引导企业选用更环保的低 VOCs 原料、采用更先进的涂装工艺、应用更高效的末端治理技术，还能为涉工业涂装工序行业规范发展明确方向，助力区域系统性提升 VOCs 治理水平，支撑生态环境质量持续改善。

三、编制过程

根据三省一市的委托，浙江省生态环境厅牵头组建标准编制组负责起草标准。由浙江省生态环境科学设计研究院作为第一起草单位，华东理工大学、江苏省环境科学研究院、安徽省生态环境科学研究院作为合作起草单位，共同开展规范的编制工作。项目于 2024 年 4 月立项，编制组于 2024 年 4 月开始正式启动规范的研究工作坚持规范修订的科学性、先进性、前瞻性及可行性，编制组进行了大量工作，主要工作过程包括：

对国内发达地区和长三角区域的工业涂装工序挥发性有机物排放标准、技术规范、污染控制经验进行了深入的调研，对浙江省杭州市、江苏省南京市、安徽省合肥市、上海市等多家涉工业涂装工序企业开展了现场调研，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，以了解涉工业涂装工序企业的生产状况、发展趋势、产排污情况、现有控制技术水平等，结合长三角生态环境保护政策方面的具体要求进行了深入分析，形成《工业涂装工序大气污染防治技术规范》（征求意见稿）。

具体工作过程包括：

（1）成立编制小组

2022 年 7 月-2024 年 4 月，依据标准编制任务要求，浙江省生态环境科学设计研究院牵头组建标准编制组，负责《工业涂装工序大气污染防治技术规范》的预编制工作。

（2）项目立项

2024 年 4 月，经长三角区域统一标准立项评估论证会议确定立项，正式启动编制工作。

（3）数据资料收集

2024 年 4 月-2025 年 5 月，编制组系统收集、查阅并分析国内外涉工业涂装工序行业污染治理相关的政策、法规、标准，以及各类涂装废气治理技术资料与文献，确定了本标准的编制思路，初步确定了现场调研内容。

（4）行业现场调研

2024 年 8 月-2025 年 7 月，编制组在三省一市分别开展涉工业涂装工序企业现场调研。通过实地走访，掌握区域内涉工业涂装工序企业的分类、规模及分布情况，同步摸清企业涂料使用类型、核心涂装工艺，以及 VOCs 废气污染控制措施与实际排放水平。召开座谈会，征求了专家、不同单位和部分职能部门的意见，形成了技术规范初稿。

（5）内部讨论及改稿

2025 年 8 月-2026 年 6 月，编制组组织内部讨论、交流、意见征询，经内部多轮修改完善，2026 年 8 月，最终形成《工业涂装工序大气污染防治技术规范（征求意见稿）》。

四、编制原则

（1）系统性

《规范》的起草充分考虑与长三角涉涂装工序大气污染物排放标准相配套，相关排放标准中已明确的内容，一般不重复性纳入，对排放标准中未明确，需进一步细化的内容，在《规范》中提出具体的技术要求，规范汽修企业大气污染物排放控制行为。

（2）规范性

《规范》制定过程中，通过全面系统的调研，初步掌握了长三角区域涉工业涂装工序的企业类型、规模、生产工艺、涂料使用情况，以及大气污染物排放和治理现状等情况。在调研的基础上，依据国家及长三角相关政策和法规，同时参考国际和国内其他省市已发布的汽修行业大气污染物排放标准或技术规范，综合研究制定《规范》内容。

（3）科学性

《规范》以长三角区域涉工业涂装工序行业发展现状、大气污染物排放和治理现状等为基础，结合长三角区域现场调研生产过程及污染排放情况，同时以有组织及无组织大气污染物实测数据为依据，辅以第三方检测报告作资料性参考，体现制定科学性。

（4）绿色性

突出绿色低碳、减污降碳协同控制的特点，引领涉工业涂装工序企业在管控技术方面向低碳、高效、经济的方向转型。在技术可行的基础上，坚持系统治理、过程管控，推动企业使用水性涂料，加强全流程管理，规范末端治理，达到长三角区域的大气污染物排放要求。

（5）先进性

目前工业涂装工序大气污染防治技术规范在长三角区域尚未发布，为在全国起到示范作用，在强调绿色工艺、过程控制和末端治理管控方式的基础上，同步提出共享环保设备、智能喷涂工位、数智化监测监控等新理念，充分体现了规范的先进性原则。

五、行业生产与污染防治技术现状

5.1 涉及行业概况

工业涂装作为制造业产业链中的关键工序，兼具防护、装饰及特种功能等核心价值，广泛服务于汽车、机械、电子等众多领域，同时也是 VOCs 排放的重点来源，其治理成效直接关系到区域大气环境质量改善。从区域发展格局来看，长三角地区依托完善的制造业体系、密集的产业链配套及政策引导下的园区化集聚优势（如江苏泰兴涂料涂装产业园、常州绿色涂料集聚区等），已形成全国涉工业涂装工序行业的核心产业集群。

根据中国涂装工程行业市场调查报告，2024 年华东地区涂装工程市场规模达到 482.6 亿元，占全国总规模的 37.7%，其中长三角地区贡献了主要份额。在细分领域，长三角地区的产业竞争力尤为突出：汽车零部件涂装市场份额占全国的 38%；从产能与产能扩张维度看，江苏和浙江两地产能合计占比超 22%，新增涂装产线数量达到全国总量的 43.2%，进一步印证了其在全国工业涂装领域的核心地位。

5.1.1 行业分布

根据前期调研工作，涉工业涂装工序的行业主要为皮革、毛皮、羽毛及其制品和制鞋业(C19)、木材加工和木、竹、藤、棕、草制品业(C20)、家具制造业(C21)、文教、工美、体育和娱乐用品制造业(C24)、橡胶和塑料制品业(C29)、金属制品业(C33)、通用设备制造业(C34)、专用设备制造业(C35)、汽车制造业(C36)、铁路、船舶、航空航天和其他运输设备制造业(C37)、电气机械和器材制造业(C38)、计算机、通信和其他电子设备制造业(C39)、仪器仪表制造业(C40)、金属制品、机械和设备修理业(C43)。

5.1.2 长三角区域各省市概况

5.1.2.1 浙江省

(1) 企业概况

①企业数量

从 2023 年分行业规上企业单位数情况来看，浙江省涉及行业类别规上企业共计 35000 余家，其中，通用设备制造业(C34)、电气机械和器材制造业(C38)以及金属制品业(C33)的企业数量居多。

表 5.1-1 2023 年分行业规上企业单位数

国民经济行业类别	占比（%）
皮革、毛皮、羽毛及其制品和制鞋业(C19)	5.0
木材加工和木、竹、藤、棕、草制品业(C20)	1.7
家具制造业(C21)	3.3
文教、工美、体育和娱乐用品制造业(C24)	4.7
橡胶和塑料制品业(C29)	11.4
金属制品业(C33)	13.1
通用设备制造业(C34)	19.7

国民经济行业类别	占比（%）
专用设备制造业(C35)	8.6
汽车制造业(C36)	8.0
铁路、船舶、航空航天和其他运输设备制造业(C37)	2.4
电气机械和器材制造业(C38)	16.8
计算机、通信和其他电子设备制造业(C39)	7.3
仪器仪表制造业(C40)	2.9
金属制品、机械和设备修理业(C43)	0.2
总计	100

②分行业工业生产总产值

浙江省涉及工业涂装工序的行业工业总产值情况见下表。从工业总产值情况来看，涉及行业的工业总产值整体上处于增长态势，其中汽车制造业(C36)，电气机械和器材制造业(C38)，计算机、通信和其他电子设备制造业(C39)，仪器仪表制造业(C40)等涨幅明显。

表 5.1-2 分行业工业生产总产值

国民经济行业类别	2023 年
皮革、毛皮、羽毛及其制品和制鞋业(C19)	1134.8
木材加工和木、竹、藤、棕、草制品业(C20)	396.9
家具制造业(C21)	1098.0
文教、工美、体育和娱乐用品制造业(C24)	1517.1
橡胶和塑料制品业(C29)	3798.1
金属制品业(C33)	4692.3
通用设备制造业(C34)	7687.6
专用设备制造业(C35)	3312.8
汽车制造业(C36)	7752.4
铁路、船舶、航空航天和其他运输设备制造业(C37)	1198.5
电气机械和器材制造业(C38)	13443.1
计算机、通信和其他电子设备制造业(C39)	8964.3
仪器仪表制造业(C40)	1724.9
金属制品、机械和设备修理业(C43)	188.2

(2) VOCs 排放情况

根据《浙江省第二次全国污染源普查公报》，全省排放 VOCs 量为 78.79 万

吨，其中工业源为 54.81 万吨，约占 69.6%。主要来自金属制品业(C33)、家具制造业(C21)、汽车制造业(C36)和电气机械和器材制造业(C38)等行业。皮革、毛皮、羽毛及其制品和制鞋业(C19)和橡胶和塑料制品业(C29)部分 VOCs 排放来自非涂装工序。

5.1.2.2 江苏省

(1) 企业概况

①企业数量

从 2023 年分行业规上企业单位数情况来看，江苏省涉及行业类别规上企业共计 37000 余家，其中，通用设备制造业(C34)、电气机械和器材制造业(C38)以及专用设备制造业(C35)的企业数量居多。

表 5.1-3 2023 年分行业规上企业单位数

国民经济行业类别	占比（%）
家具制造业(C21)	1.2
文教、工美、体育和娱乐用品制造业(C24)	4.8
金属制品业(C33)	15.2
通用设备制造业(C34)	20.1
专用设备制造业(C35)	15.7
汽车制造业(C36)	8.3
铁路、船舶、航空航天和其他运输设备制造业(C37)	3.5
电气机械和器材制造业(C38)	15.9
计算机、通信和其他电子设备制造业(C39)	11.2
仪器仪表制造业(C40)	4.1
总计	100.0

②分行业利润总额

根据江苏省统计年鉴，2023 年各行业规上企业利润总额如下表所示。其中，电气机械和器材制造业(C38)以 1289.5 亿元利润总额居首；计算机、通信和其他电子设备制造业(C39)、通用设备制造业(C34)利润均超 800 亿元，三者合计占表中行业总利润 60%以上。专用设备、汽车制造等传统产业利润超 600 亿元，家具制造等轻工业利润较低，表明行业正向技术密集型方向升级。

表 5.1-4 2023 年分行业规上企业利润总额

国民经济行业类别	利润总额（亿元）
家具制造业(C21)	24.5
文教、工美、体育和娱乐用品制造业(C24)	93.2
金属制品业(C33)	456.1
通用设备制造业(C34)	818.7
专用设备制造业(C35)	688.6
汽车制造业(C36)	627.2
铁路、船舶、航空航天和其他运输设备制造业(C37)	296.0
电气机械和器材制造业(C38)	1289.5
计算机、通信和其他电子设备制造业(C39)	963.6
仪器仪表制造业(C40)	305.2

（2）VOCs 排放情况

根据江苏省《工业涂装工序大气污染物排放标准》编制说明统计数据，省内主要涉工业涂装工序行业中，电气机械和器材制造业(C38)、计算机/通信和其他电子设备制造业(C39)、铁路、船舶、航空航天和其他运输设备制造业(C37)、通用设备制造业(C34)、文教、工美、体育和娱乐用品制造业(C24)、仪器仪表制造业(C40)和专用设备制造业(C35)的涂料使用量居多

表 5.1-5 分行业涂料使用量和 VOCs 排放量

国民经济行业类别	涂料使用量 (万吨)	VOCs 排放量 (万吨)
电气机械和器材制造业(C38)	8.04	1.62
计算机、通信和其他电子设备制造业(C39)	10.23	5.87
铁路、船舶、航空航天和其他运输设备制造业(C37)	3.53	1.43
通用设备制造业(C34)	3.21	1.24
文教、工美、体育和娱乐用品制造业(C24)	0.56	0.34
仪器仪表制造业(C40)	0.04	0.41
专用设备制造业(C35)	1.4	1.43
总计	27	12.34

5.1.2.3 安徽省

（1）企业概况

安徽省工业经济规模持续扩大，2023 年全省规模以上工业企业营业收入突破 5.09 万亿元，总量跃居全国第 7 位、中西部第 1 位。从产业结构看，装备制

制造业营业收入达 2.35 万亿元，占规模以上工业比重 45.8%，较 2018 年显著提升；高技术制造业营业收入 6752.9 亿元，占规模以上制造业比重 14.7%。

在涉工业涂装工序重点行业中，汽车制造业(C36)表现最为突出，是安徽省的支柱产业之一。根据 2023 年数据，全省汽车制造业(C36)营收规模突破 1.16 万亿元，新能源汽车产量增速超 60%。其中，奇瑞集团作为龙头企业，营收达 1500.18 亿元，位列长三角百强企业第 45 位，排名较上年大幅提升 20 位。此外，计算机、通信和其他电子设备制造业(C39)和电气机械和器材制造业(C38)资产规模较 2018 年增长超 1 倍，成为全省工业支柱。在计算机、通信设备领域，联宝（合肥）电子科技有限公司 2023 年以 1186.97 亿元营收位列安徽民企百强榜首；在电气机械与器材制造领域，阳光电源股份有限公司（营收 778.57 亿元）与国轩高科股份有限公司（营收 353.92 亿元）表现突出，是行业的杰出代表，共同构成了安徽工业涂装产业链的关键环节。

（2）VOCs 排放情况

涉工业涂装工序行业是安徽省 VOCs 排放的重点管控领域，其排放特征呈现“工业源主导、重点行业集中、治理成效显著”的特点。从排放总量看，2023 年全省 VOCs 排放总量为 25.42 万吨，其中工业源排放量达 9.74 万吨，而工业涂装作为工业源 VOCs 的核心贡献环节之一，其排放主要集中于汽车制造、电子工业、家具制造等细分领域。

汽车制造业(C36)作为安徽的支柱产业，是涉工业涂装工序 VOCs 排放的核心行业，其整车及零部件生产中的喷涂、烘干等工序是 VOCs 的主要排放环节。为此，安徽省专门出台《重点行业挥发性有机物治理环境管理技术规范》(DB 34/T 4230.1-2022)，对包括汽车零部件制造在内的涉工业涂装工序企业的 VOCs 排放作出明确规定。此外，家具制造、电子工业等行业也因涂装工序成为区域排放关注点，需严格执行无组织排放管控要求。

5.1.2.4 上海市

（1）企业概况

上海市涉工业涂装工序的行业已形成“高端化引领、集约化布局”的发展格局，以汽车制造业、新能源产业及高端装备制造业为核心增长极，依托龙头企业的带动效应，实现产业链协同发展与绿色升级。

在龙头企业方面，上汽集团、中国宝武等长三角百强企业在整车制造与高端装备涂装领域具备显著竞争优势，成为推动行业技术迭代与质量标准提升的重要力量。从产业运行数据看，2025 年 1-7 月，上海汽车制造业产值同比增长 10.6%，汽车类商品零售额达 158.50 亿元，同比增长 5.0%，显示出该板块在工业涂装需求端的持续拉动能力。在绿色涂料与可持续制造领域，立邦中国连续三年入选“上海百强企业”，其上海工厂凭借低 VOCs 涂料应用与清洁生产工艺获评国家级“绿色工厂”，体现出上海在工业涂装工序绿色转型方面的示范作用。

（2）VOCs 排放情况

在涉工业涂装工序行业 VOCs 排放治理与管控方面，2023 年上海市启动第三轮清洁空气行动计划，将低 VOCs 含量原辅材料源头替代、VOCs 简易治理设施精细化管控列为重点任务，通过系统性措施削减涉工业涂装工序行业的 VOCs 排放，为区域大气环境质量改善提供支撑。

在排放基数方面，依据《上海市第二次全国污染源普查公报》（2022 年 12 月发布），全市工业源 VOCs 总排放量为 8.77 万吨。同时，根据上海市生态环境局统计，在全市 2360 余家涉 VOCs 重点工业企业中，工业涂装领域企业约 700 家，占比约 30%。基于此比例初步估算，全市涉工业涂装工序行业的 VOCs 排放量约为 2.63 万吨（8.77 万吨×30%）。

5.2 行业污染防治技术分析

5.2.1 源头管控

（1）原辅料替代技术

随着涂料技术的不断更新换代，涂料体系经历了从传统油性漆、硝基漆，到以醇酸树脂和酚醛树脂为主的合成树脂涂料，再到电泳涂料以及高性能合成树脂涂料（如环氧、氨基醇酸、丙烯酸、聚酯、聚氨酯等）的发展过程。近年来，随着环保要求的不断提高，低挥发性有机物排放的环保型涂料逐渐成为行业发展的重要方向。为减少 VOCs 排放，粉末涂料、水性涂料、辐射固化涂料、无溶剂涂料以及高固体分涂料等环境友好型涂料被重点推广，从源头降低有机溶剂使用量和污染物排放。

水性涂料目前在工艺性上与溶剂型涂料相比还有很多差距。首先，水性涂料对被涂工件表面温度有要求，一般需要在 15°C 以上，一些涂料厂家提供的涂料

已经能在 10°C 条件下施工。因此，采用水性涂料需要对已有涂装生产线进行改造，增设工件预热室，在冬季低温时对工件进行预热后才能进行喷涂。其次是水性涂料的漆膜干燥较慢。在同样的烘烤条件下，油漆漆膜已达到半硬干，而水性漆漆膜只能是指触表干。因此，将油漆切换为水性漆需进行设备改造及大量的工艺试验。

粉末涂料是一种含有 100% 固体份、以粉末形态涂装的涂料，与一般溶剂型涂料和水性涂料不同，不使用溶剂或水作为分散介质，而是借助空气作为分散介质。粉末涂料从固化成膜过程，可将其分为热固性粉末涂料和热塑性粉末涂料，当前使用较多的是热固性粉末涂料。热固性粉末涂料主要应用于静电喷涂。粉末涂料在工程机械领域的应用越来越广泛，粉末涂装技术也已经能适应大部分金属件的喷涂要求。粉末喷涂需要更换涂装设备，相对水性涂料而言，粉末涂料能耗相对水性涂料较高，后期维修的重涂性不如水性涂料方便快捷。

高固体分涂料替代方面，江苏省徐工集团、卡特彼勒集团经过 2-3 年的实验，已经实现了高固体分涂料在工程机械领域的成功应用，但高固体分涂料属于溶剂型涂料的一种，VOCs 减排比例在 30% 以下，目前在涉工业涂装工序行业内适用性有限，尚难以全面推广。

近年来，三省一市协同发力，密集出台政策推动挥发性有机物源头治理。其中，《浙江省低挥发性有机物含量原辅材料源头替代技术指南 总则》、《安徽省低挥发性有机物含量原辅材料替代工作方案》、《江苏省空气质量持续改善行动计划实施方案》等文件的相继印发，从技术规范、实施路径到总体目标等层面构建了完整支撑体系，为低 VOCs 含量原辅材料的全面替代提供了有力指引。

（2）设备或工艺革新技术

近年来，涉工业涂装工序行业重点推进使用涂料利用率高、VOCs 产生量少的自动化、连续化密闭式涂装技术与装备，以提升生产效率并减少污染物排放。同时，大力推广高压无气喷涂、静电喷涂、粉末静电喷涂、自动辊涂、电泳涂装等绿色涂装工艺技术，并鼓励配套应用机器人喷涂设备、集中输调漆系统等先进涂装装备。对于大型喷涂流水线，鼓励实施机器人自动喷涂改造，并结合喷漆室循环通风系统开展“减风增浓”技术改造，在显著降低排风量的同时提高 VOCs 浓度，为后续高效治理提供有利条件。

①高压无气喷涂技术

高压无气喷涂技术适用于传统空气喷涂的替代。使用高压柱塞泵，直接将涂料加压，形成高压力的涂料，喷出枪口形成雾化气流作用于玻璃制品。与传统的空气喷涂相比，高压无气喷涂提高了涂料利用率，可降低涂料使用量，从源头减少 VOCs 排放。

②静电喷涂技术

静电喷涂技术适用于可导电制品表面的涂装，且要求涂料电阻率较低静电喷涂是指利用电晕放电原理使雾化涂料在高压直流电场作用下荷负电，并吸附于荷正电基底表面放电的涂装方法。静电喷涂设备由喷枪、喷杯以及静电喷涂高压电源等组成。静电喷涂技术可有效提高涂料利用率，涂料使用量显著减少。

③机器人自动涂装+减风增浓技术

机器人自动涂装技术适用于形状较为规则的基材表面涂覆，涂装方式可采用喷涂、辊涂、淋涂。流水线自动涂装技术可有效提高涂料利用率，且有利于 VOCs 收集治理，无组织排放较少。涂装过程自动化后可实现部分废气内循环，达到“减风增浓”的效果。

5.2.2 过程控制

工业涂装工序中，VOCs 的排放不仅来自涂覆和干燥固化等主要工艺环节，还包括涂料储存与调配、物料转运、设备清洗以及废物管理等多个辅助环节，其中相当一部分属于无组织排放。因此，加强生产过程控制、提高涂装作业的密闭化水平、减少物料挥发和逸散，是降低工业涂装工序 VOCs 排放的重要措施。

（1）涂装工艺与设备选择

在涂装生产过程中，合理选择涂装工艺和设备是降低污染物排放的重要途径。鼓励企业优先采用自动化、连续化和密闭化程度较高的涂装工艺及装备，如自动喷涂流水线、电泳涂装生产线以及涂覆-固化一体化连续生产线等，以提高涂料利用率并减少挥发损失。同时，鼓励在条件允许的情况下采用高压无气喷涂、静电喷涂等涂料利用率较高的涂装技术，并合理设置喷漆室、流平室和烘干设备，使涂装作业在具有废气收集措施的密闭空间内进行，从源头减少 VOCs 逸散。

（2）涂装过程管理

VOCs 质量占比大于等于 10% 的含 VOCs 原辅材料，其使用过程应采用密闭

设备或在密闭空间内进行操作，废气应排至 VOCs 废气收集处理系统；无法密闭的，应采取局部气体收集措施，废气应排至 VOCs 废气收集处理系统。含 VOCs 物料的使用过程包括但不限于以下作业：

- a) 调配（混合、搅拌等）；
- b) 喷涂（喷涂、浸涂、淋涂、辊涂、刷涂、涂布等）；
- c) 流平；
- d) 干燥/固化（烘干、风干、晾干等）；
- e) 清洗；
- f) 回收。

（3）涂料和溶剂的运输、储存过程管理

涂料、稀释剂、清洗剂等含 VOCs 的原辅材料应密闭储存于专用储存场所，盛装容器或包装袋在非取用状态下应保持密闭，原则上不应在储存场所内打开包装取用含 VOCs 物料。物料的调配、使用、回收等过程应在具有废气收集措施的密闭设备或密闭空间内进行，并采用密闭管道或密闭容器进行输送；除工艺限制外，原则上实行集中调配。

废涂料、废胶粘剂、废清洗剂、废活性炭等含 VOCs 的危险废物应分类收集并储存于危废暂存间，并委托有资质的单位进行处置，以满足 GB 18597 及《危险废物转移联单管理办法》等相关要求。含 VOCs 物料在转运过程中应采用密闭管道或密闭容器，转移 VOCs 原辅材料的容器除操作时段外应保持密封或加盖，盛装过 VOCs 原辅材料的废包装容器也应加盖密闭。

（4）特殊涂装作业管理

在部分特殊作业或受生产条件限制的情况下，涂装作业可能无法完全在封闭车间内进行，例如大型船舶制造维修、超大型钢结构件、桥梁或风电叶片等现场涂装作业。针对上述情况，应采取差异化控制措施，如优先采用刷涂或辊涂方式；确需喷涂时，应采用高压无气喷涂等涂料利用率较高的工艺，并配套设置移动式废气收集装置或临时围护设施，以减少 VOCs 的无组织排放。同时，在设备检修、清洗或其他异常工况下，也应采取必要的收集与管理措施，防止污染物直接排放。

5.2.3 末端治理

工业涂装工序末端废气主要包括喷漆室、流平室、烘干室废气，另外还有调

漆、固废、前处理等环节的无组织排放废气。其中，喷漆室废气主要是企业涂料、稀释剂等有机溶剂包含的 VOCs，喷漆室废气具有风量大、浓度低特征，废气必须进行漆雾预处理，其中包含的物质与企业使用涂料等有机溶剂中组分相关。流平室废气的成分与喷漆室排放废气的成分相近，但不含漆雾，有机废气的总浓度比喷漆室废气偏大（2 倍左右），通常与喷漆室排风混合后集中处理。烘干室废气温度较高（60-180℃），废气浓度高，成分比较复杂，除有机溶剂挥发逸散外，还包含热分解生成物和反应生成物。

总体来说，喷涂行业废气具有以下特征：（1）风量大，尤其是喷漆室废气，通常风量在几万至百万立方米/时不等；（2）温度范围大，烘干室的温度在几十至一百多度之间；（3）含颗粒物，喷涂车间通常含有一定粘性漆雾和粉尘等杂质；（4）浓度低，喷漆车间的浓度一般来说较低，一般在 50-500mg/Nm³ 之间；（5）湿度大，由于大部分企业采用湿式漆雾处理工艺，废气湿度较大；（6）成分复杂，由于涂料类型与其中 VOCs 物质不同，包括醇类、醚类、芳香烃、酯类等；（7）时间不等，由于涂装企业间歇或连续性作业，排放废气时间不定。

（1）漆雾处理与无组织废气收集技术

涉工业涂装工序企业表面喷涂作业在喷漆室内完成，其 VOCs 废气中含有大量漆雾，会影响 VOCs 末端处理效率，因此处理喷漆室 VOCs 废气首先要进行漆雾处理，收集无组织 VOCs 废气。湿式（水吸收）、干式漆雾分离技术特征如表 5.2-1 所示。

湿式（水吸收）漆雾分离技术借助于循环水系统清洗喷漆室 VOCs 和有机溶剂等废气，使带漆雾的喷漆室废气通过涡旋作用与水充分混合，利用不同风速、挡水板和风向的多次转换，将漆雾颗粒从空气中分离出来，捕集漆雾，循环水中添加涂料凝结剂，使漆雾失去粘性，在循环水槽中漂浮或沉淀，在水槽中加入漆雾凝聚剂形成漆渣，带漆渣的水流回循环水槽，过滤后再循环使用，除掉漆渣的空气通过排风机高空排放或送往 VOCs 末端处理设备处理。湿式（水吸收）漆雾分离技术按水洗涤方式又可分为喷淋（水幕）式和水旋（漩涡）式（含文丘里型、水旋动力管型和漩涡型等多种），其中水旋（漩涡）漆雾分离技术在长三角区域应用较多。

由于湿式（水洗）漆雾分离技术会产生漆渣等危险废弃物，美国 and 欧洲已限

制其使用，并逐渐采用干式漆雾分离技术。与湿式（水洗）漆雾分离技术相比，干式漆雾分离技术利用喷漆室下部的干式过滤器分离漆雾，基本不产生化学凝结物。它们与机器人及喷涂参数匹配，使喷漆室排风不需追加过滤，可直接再循环使用，不需向喷漆室供给全部新鲜空气。干式漆雾分离技术实现了分离过程完全自动化，分离不用水和化学药品，过滤介质（元件）完全可再生利用。采用这种新的漆雾分离技术后，可节约 30% 的能源；通过排风再生循环利用，供给新鲜空气量的减少，有降低厂房和相关设备的投资 35% 的潜力，另外材料及维护费用也可降低涂装成本 10%，是目前环保性最好的捕集漆雾的工艺方法。

表 5.2-1 湿式（水洗）、干式漆雾分离技术特征

项目		湿式（水洗）漆雾分离技术		干式漆雾分离技术
		喷淋（水幕）式	水旋（漩涡）式	
除漆雾方式		借助泵喷淋水幕或水帘，分离去除漆雾	借助泵形成水膜，带漆雾的空气高速（20~30m/s）通过漩涡，水、气充分混合，从气流分离去除漆雾	借助过滤器、空气净化器、挡板等去除漆雾
漆雾去除效率（%）		80~90	97~99	90~95
使用条件		喷嘴无堵塞，水汽混合充分，喷雾（水幕）均匀	水膜不中断，散水板表面无异物	正确选择过滤器（材料），及时更换
设备投资费用		一般	较高	低
维护保养	内容	检查与清理泵、配管、喷嘴、分离器等	检查与清理泵、配管、散水板、过滤网等	根据过滤前后压差（或定期）更换过滤器（材料）
	影响	直接影响洗净效率，喷嘴堵塞部分效率严重下降	散水板上和文丘里管内 有异物，或水膜薄了影响洗净效率	直接影响风量、气流，到一定程度风量会急剧下降
	日常维护	每日检查和清扫喷嘴	每日确认水膜状态	根据涂装量和压差，约每周更换一次
	清扫维护难易度	费工夫	简单	简单（更换过滤器）
污水		有，需更新处理	有，需更新处理	无
特征		性能不稳定，维护较困难，已逐渐淘汰，中小型喷漆室尚采用	最适用于大型喷漆室，涂料使用量多的汽车车身涂装线	基于其节能、零污水排放，适用于大型喷漆室

（2）挥发性有机物处理

VOCs 处理技术主要包括回收和销毁技术。结合《浙江省工业涂装工序挥发性有机物污染防治可行技术指南》中的汇总，主要包括吸附法、燃烧法、喷淋吸

收法等几大类。

①吸附法

该技术利用吸附剂（活性炭、活性炭纤维、分子筛等）吸附废气中的 VOCs 污染物，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。采用吸附处理技术的含尘、含气溶胶、高湿、高温废气，应事先采用高效除尘装置、除雾装置、冷却装置等进行预处理。

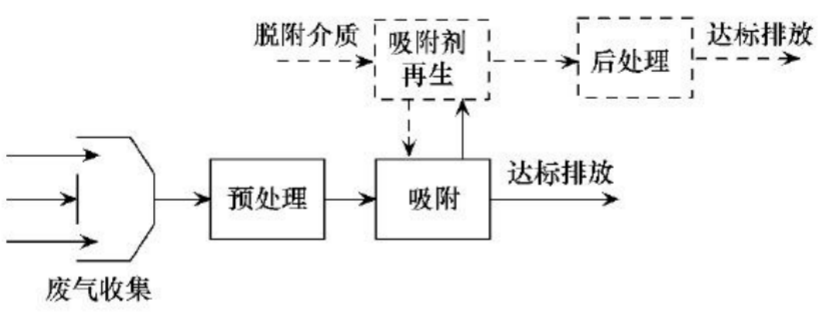


图 5.2-1 吸附技术流程

——固定床吸附技术

适用于调漆、喷漆、流平、晾干工艺废气的治理。工业涂装工序一般使用活性炭作为吸附剂，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/m³，温度宜低于 40℃，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。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。

——旋转式吸附技术

适用于工况相对连续稳定的工艺产生的中低浓度涂装废气处理，一般包括转轮式、转筒（塔）式。工业涂装工序一般使用沸石分子筛作为吸附剂，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/m³，温度宜低于 40℃，相对湿度（RH）宜低于 80%。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 400 mm。

——流化床吸附技术

适用于工况相对连续稳定的工艺产生的涂装废气处理，一般包括鼓泡式、湍动式及循环流化床等形式。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%。技术参数应满足 HJ 2026 的相关要求。

②燃烧法

通过热力燃烧或催化燃烧的方式，使废气中的 VOCs 污染物反应转化为二氧化碳、水等物质，简称燃烧技术，工业涂装工序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）。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。应控制进入燃烧系统的废气中卤化物的含量，可采用大孔树脂吸附等工艺进行预处理。

——热力燃烧技术（TO）

该技术适用于烘干工艺废气的治理。该技术采用燃烧的方法使废气中的 VOCs 污染物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。

——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 污染物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“旋转式分子筛吸附浓缩+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。

——催化燃烧技术（CO）

该技术适用于烘干工序废气的治理。在催化剂作用下，废气中的 VOCs 污染物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“活性炭吸附/旋转式分子筛吸附浓缩+CO”。当废气中含有硫化物、卤化物、有机硅、有机磷等可能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。

③喷淋吸收法

该技术适用于喷漆工艺废气的治理。使废气中的污染物与吸收剂充分接触，

从而达到污染物去除的目的，根据吸收原理的不同，喷淋吸收法可分为物理吸收和化学吸收。涂装工序常采用的喷淋吸收技术为水喷淋吸收。水喷淋吸收技术适用于水性涂料工艺废气的治理。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，易溶解组分被喷淋液吸收，达到净化目的。也可作为除漆雾预处理的手段之一。

④活性炭综合利用再生中心

为进一步降低中小微涂装企业采用活性炭吸附处理的成本，推行“分散吸附+集中再生”的 VOCs 治理模式，纳入各地活性炭分散吸附-集中再生体系，确保活性炭更换频率及品质。

⑤组合技术

由于 VOCs 废气成分及性质的复杂性和单一治理技术的局限性，在大多数情况下，采用单一技术往往难以达到治理要求，而且也是不经济的。利用不同治理技术的优势，采用组合治理工艺不仅可以满足排放要求，同时可以降低净化设备的运行费用。近年来在有机废气治理中采用两种或多种单一净化技术的组合工艺受到了极大的重视，并得到迅速发展。涂装行业主要的组合处理工艺包括：

吸附浓缩+燃烧技术：吸附技术主要适用于低浓度 VOCs 的净化，而燃烧技术则适用于中高浓度 VOCs 的净化。在工业上经常碰到的是低浓度、大风量的 VOCs 的排放（此种情况占到了工业 VOCs 排放的大部分），当不需要进行回收（回收价值低）时，直接进行催化燃烧和高温焚烧的运行成本非常高。为此，发展了吸附浓缩-催化燃烧或高温焚烧技术，用于不需要回收废气的处理。

日本在上世纪 90 年代开始研究利用改性硅铝分子筛（俗称为沸石）作为 VOCs 吸附材料。分子筛是强极性材料，具有极强的吸水能力，对有机化合物的吸附能力很低，因此需要对分子筛进行疏水改性。日本在上世纪 90 年代就已经掌握了分子筛的改性技术，并开始大量应用于 VOCs 的净化。分子筛的吸附能力通常低于活性炭，当采用固定床时其吸附效率要低于活性炭床层。为此日本于上世纪 90 年代开发了旋转式的吸附浓缩装置，其吸附效率要明显高于固定床吸附装置。需要回收废气的可采用吸附浓缩+回收技术，VOCs 废气经风机抽引至沸石转轮进行吸附，当转轮转至脱附区由热交换器提供热气，脱附区的 VOCs 在高温进行脱附，再经由风机抽引至冷凝器进行冷凝处理，冷凝后的有机溶剂储存至

储桶以便再利用。国外的主流组合工艺是沸石转轮吸附浓缩+热气流吹扫再生+催化燃烧工艺，目前也已成为国内低浓度 VOCs 处理的主流工艺。

5.3 长三角区域典型行业大气污染防治案例

5.3.1 典型案例汇总

为支撑本技术规范中各项技术要求的编制，确保其科学性、适用性与可操作性，编制组对长三角区域涉工业涂装工序行业的大气污染防治实践进行了广泛调研。本节系统梳理了区域内应用成效显著、具备代表性的先进技术案例。这些案例覆盖了源头管控、过程控制及末端治理等关键环节，充分论证了规范中相关技术路线的可行性与环境效益，为条款的制定提供了坚实的实践依据。典型案例汇总情况详见下表。

表 5.3-1 各省市典型行业大气污染防治案例一览表

省/市	序号	技术类别	案例名称
浙江	1	水性涂料替代技术	浙江 [] 有限公司喷涂生产线水性漆替代项目
	2	静电喷涂技术	浙江 [] 有限公司表面喷涂改静电喷粉项目
	3	水性涂料替代技术、UV 涂料替代技术	湖州 [] 有限公司水性漆+UV 漆替代项目
	4	高压无气喷涂技术	浙江 [] 科技有限公司新建厂房高压无气喷涂项目
	5	流水线自动涂装技术、粉末涂料替代技术、沸石转轮吸附浓缩-脱附+RTO/CO 技术	浙江 [] 有限公司涂装线绿色升级项目
	6	RCO+SCR 技术	浙江 [] 有限公司 NVOCs 催化燃烧尾气深度脱硝治理项目
江苏	7	粉末涂料替代技术	[] 科技股份有限公司“油改粉”源头替代项目
	8	静电喷涂技术	徐州 [] 有限公司粉末涂料源头替代项目
	9	自动辊涂技术	[] 有限公司高效喷涂项目
	10	水性涂料替代技术、高压无气喷涂技术、精密过滤沸石转轮+RTO 技术	[] 装备制造有限公司源头替代、高效喷涂及工艺废气高效治理项目
	11	活性炭分散吸附-集中脱附技术	[] 活性炭集中吸脱附中心再生、贾汪区骏发活性炭集中脱附中心“分散吸附-集中脱附”项目
	12	静电喷涂技术、高流低压喷涂技术、三级	[] 有限公司高效喷涂及废气高效治理项目

省/市	序号	技术类别	案例名称
		过滤+活性炭吸脱附-脱附+RCO 技术	
安徽	13	高固体分涂料替代技术	股份有限公司溶剂型 3C2B（三涂两烘）涂装线环保改造项目
	14	流水线自动涂装技术	技术股份有限公司智能涂装钣金基地环保喷涂项目
	15	水性涂料替代技术、自动化喷涂技术、沸石转轮吸附浓缩-脱附+RTO 技术	绿色智能工厂涂装项目
	16	干式过滤+活性炭吸脱附-脱附+CO 技术	制造有限公司涂装线高效废气治理项目
	17	水性涂料替代技术、自动静电喷涂技术、沸石转轮吸附浓缩-脱附+RTO 技术	股份有限公司新能源汽车绿色技术应用示范基地涂装项目
上海	18	水性涂料替代技术	股份有限公司涂装线水性改造及应用项目
	19	水性涂料替代技术、沸石转轮吸附浓缩-脱附+RCO 技术	股份有限公司水性环保油漆替代及废气治理项目
	20	水性涂料替代技术、高固体分涂料替代技术、沸石转轮吸附浓缩-脱附+RTO 技术	有限责任公司绿色涂装和废气高效治理项目
	21	自动涂装技术、水性涂料替代技术、沸石转轮浓缩+RTO 技术	工厂油漆车间绿色涂装升级项目

5.3.2 部分案例

5.3.2.1 科技股份有限公司“油改粉”源头替代项目

（1）企业及项目背景

科技股份有限公司位于南通市，所属行业为金属制品业(C33)，核心产品为罐式集装箱，现有不锈钢罐箱、碳钢罐箱两条生产线，于 2023 年完成“油改粉”源头替代改造。

（2）核心防治措施

主流产线采用粉末涂料替代传统油性涂料，从源头降低 VOCs 产生；少部分特殊箱型仍用溶剂型涂料，配套“沸石转轮+RTO”工艺处理废气。打造行业内

首条粉末喷涂生产线，形成可参考的替代模式。



图 5.3-1 粉末喷涂设备

（3）实施效果

根据企业第一季度提供资料，使用粉末涂料 49.25 t，其他涂料 14.22 t，使用比例约 3.5:1，粉末涂料使用比例显著提高，从源头减少了企业 VOCs 排放。

5.3.2.2 有限公司高效喷涂及废气高效治理项目

（1）企业及项目背景

有限公司位于扬州市广陵经济开发区，主营油缸产品生产，所属行业为“液力动力机械元件制造(C3445)/汽车零部件及配件制造(C3670)”，喷涂线使用涂料的 VOCs 含量为 45 g/L，符合《低挥发性有机化合物含量涂料产品技术要求》（GB/T 38597-2020）

（2）核心防治措施

企业实现全过程密闭，同时采用绿色喷涂技术和高效末端治理技术。调漆、喷漆、烘干、清洗等全工序均在密闭负压环境下进行，减少无组织排放。采用静电喷涂、高流低压（HVLV）两种技术，提升涂料利用率。喷漆房废气经“三级过滤+活性炭吸脱附+催化燃烧”工艺处理，确保达标排放。



图 5.3-2 静电喷涂设备



图 5.3-3 废气治理设备及废气在线监测站

5.3.2.3 工厂油漆车间绿色涂装升级项目

(1) 企业及项目背景

汽车有限公司所属行业为“汽车整车制造(C3611)/汽车零部件及配件制造(C3670)”，是国内最早的轿车合资企业之一。作为上海市 VOCs 减排领跑者，其 MEB 工厂打造了全球最大单体油漆车间，通过“源头-过程-末端”全链条升级实现减污降碳。

(2) 核心防治措施及实施效果：系统性绿色升级

①源头物料替代和工艺升级

一是硅烷薄膜工艺改造，从源头上杜绝了一类重金属镍的使用，而且不需要钝化工艺，也不需要高温生产环境。使用硅烷薄膜工艺后，废水排放量降低 16%，废渣产生量降低 90%，降低热能消耗 1.55 万 GJ。二是紧凑型工艺升级，MEB 油漆车间技术核心是自动化喷涂-烘干生产线实现紧凑型水性“两涂一烘”（色漆喷涂-闪干-清漆喷涂-面漆烘干）工艺，取消了中涂喷烘环节。三是低 VOCs 含量物料替代，将水性色漆和水性清洗剂替代溶剂型色漆和溶剂型清洗剂，色漆中 VOCs 含量从 70%削减至 12%-15%，清洗剂中 VOCs 含量从 100%削减至 3.5%-5%。四是减量化工艺应用，采用上漆率 70%以上的静电高速旋杯/盘、废清洗剂回收利用、提高同色连喷率等先进技术手段，减少物料的使用量。



图 5.3-4 喷漆室

②过程排风与收集优化

该油漆喷漆室采用循环风利用系统以减少新风供应量,总供风量 80%以上可进行循环使用,仅有 20%新风的供应和废气的排放,从而降低末端治理设备处理规模和负荷。

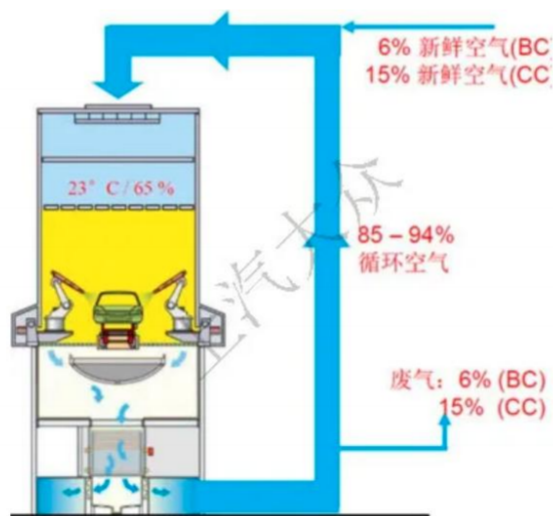


图 5.3-5 循环风利用技术示意图

③高效节能末端治理

一是干式石灰石吸附漆雾,漆雾净化效率可达到 99%以上,且不再使用水和化学药品,无废水和漆渣产生。吸附饱和的石灰石由供应商回收后重新回炉再制造成碳酸钙,实现 100%循环利用。二是 VOCs 废气处理选型阶段考虑减污降碳协同,根据废气浓度分类施治,大风量、低浓度喷漆废气采用沸石转轮浓缩+焚

烧设施处理，高浓度烘干废气直接进入焚烧炉进行处置。在提升处理效率的同时，降低了天然气的用量。

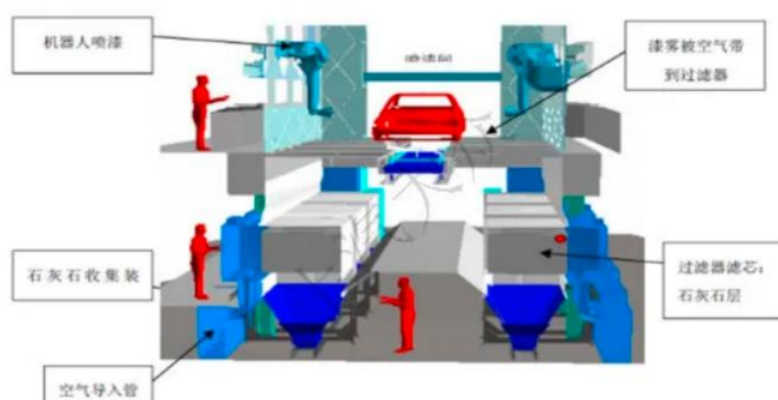


图 5.3-6 干式漆雾净化装置示意图



图 5.3-7 喷漆废气末端处理装置

(3) 核心防治措施及实施效果：专项技术创新

在系统性升级的基础上，[REDACTED]针对具体工艺进行深度创新，套色车顶项目是其中的典范。

①原辅料产品源头替代

工艺革新后，分别减少了一个喷漆室和一个闪干烘干室，相关喷涂设备也均有所减少，喷漆供排风量分别下降了 52.8%和 58.2%，从源头降低了对能源的消耗。

设备	改造前：水性免中涂工艺	改造后：二合一工艺
喷漆室数量	2	1
烘房数量	2	1
机器人台套数	6	3
供漆系统	2	1
喷漆供排风量	供风量：160,000m³/h	供风量：75,500m³/h
	排风量：140,000m³/h	排风量：58,500m³/h
VOCs末端处理系统	2套沸石转轮，1套焚烧炉	1套沸石转轮，1套焚烧炉

图 5.3-8 改造前后工艺设备对比

②烘干室布局结构优化

对喷漆线中烘干房进行了升级改造，将原有传统隧道式烘干室更新为横置式烘干室，紧凑的布局结构降低了 10%的占地面积。同时，优化了内部系统的循环风管，使循环风量及对应散热量大幅度降低，烘烤所需时间下降 10%。烘干室布局结构优化不仅减少了天然气、电能的消耗量，还提升了能源的利用效率。

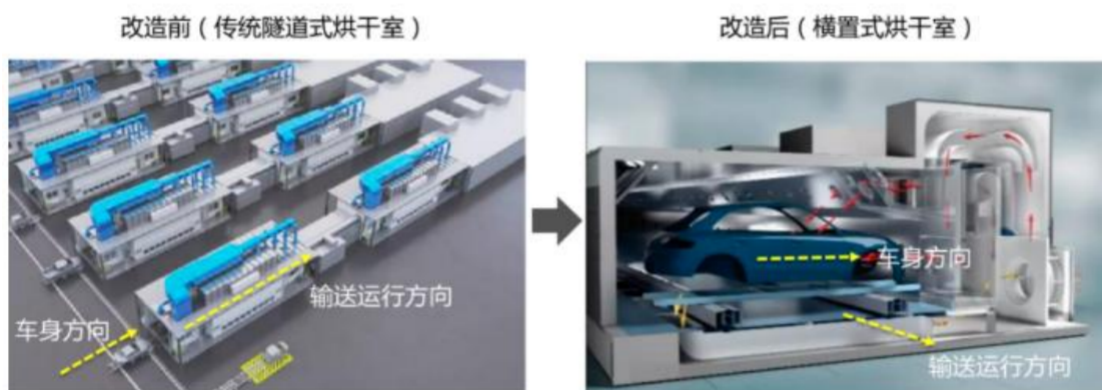


图 5.3-9 烘干室布局结构优化（图片为示意图）

③实施效果

套色车顶喷涂工艺升级改造项目实施后，在 VOCs 减排方面，单车 VOCs 排放量下降了 62 g/台，源头上预计可减少 VOCs 排放量 13.02 吨/年；降碳方面，预计每年可节约 11088 吨标煤，减少 16953 吨二氧化碳排放；经济效益方面，预计每年可节约能源费用和危废处置费用合计达到 3101.49 万元。

5.3.2.4 电工新材料有限公司 NVOCs 催化燃烧尾气深度脱硝治理项目

(1) 企业及项目背景

电工新材科技有限公司位于浙江省湖州市吴兴区，所属行业为电气

机械和器材制造业(C38)，主营特种线材研发生产，现有 13.2 万吨漆包线产能（含“年产 8.7 万吨高性能特种线材”“年产 4.5 万吨新能源汽车电机用扁平电磁线”两个方案）。

(2) 核心防治措施

企业现有项目实际使用的绝缘漆中含有机溶剂 NMP，其涉及氮元素，在包漆废气处理的三级催化燃烧过程中，氮元素会被氧化从而形成二次污染物 NOx。企业针对新发现的催化燃烧衍生出的氮氧化物排放问题进行治理设备提升改造。

企业采用低温 SCR 法，在三级催化燃烧装置后安装脱硝反应器，喷入氨水（液氨配置）在催化剂层反应脱硝，于 2023 年 3 月开始陆续安装第一套脱硝装置，直至 2023 年 12 月四个车间全部安装完成。

表 5.3-2 包漆废气脱硝改造情况

序号	车间	设备	数量(台)	设计风量(m³/h)	排放位置	脱硝设施	完成时间
1	一车间	漆包机	39	25000	DA001	一级 SCR 脱硝+二级 SCR 脱硝+水喷淋装置	2023 年 3 月
	六车间	漆包机	14				
2	一车间	30 台连轧扁线漆包机放置区域无组织废气		27500	DA005	/	/
2	二车间	漆包机	19	13000	DA002	一级 SCR 脱硝+二级 SCR 脱硝+水喷淋装置	2023 年 12 月
3	三车间	漆包机	13	8000	DA003	一级 SCR 脱硝+二级 SCR 脱硝+水喷淋装置	2023 年 12 月
4	四车间	漆包机	19	13000	DA004	一级 SCR 脱硝+二级 SCR 脱硝+水喷淋装置	2023 年 12 月
5	合计		104	86500	/		

注：沸石转轮吸附(处理风量约 25000m³/h)，催化燃烧装置(处理风量约 2500m³/h)。

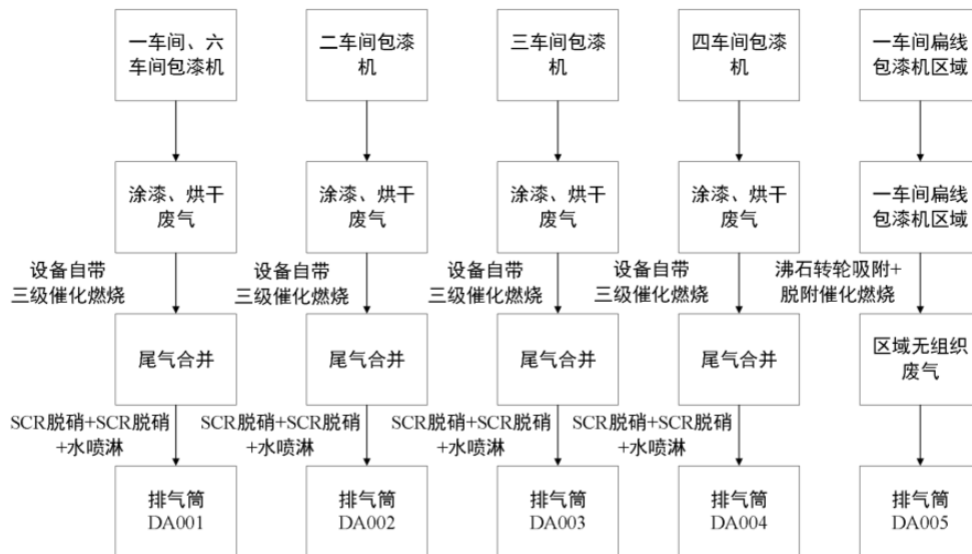


图 5.3-10 包漆废气处理系统图

(3) 实施效果

根据 [] 有限公司编制的监测报告(HJ240704)，一车间、六车间脱硝处理设施氮氧化物排放浓度 194 mg/m^3 ；二车间脱硝处理设施氮氧化物排放浓度 93 mg/m^3 ；三车间脱硝处理设施氮氧化物排放浓度 104 mg/m^3 ；四车间脱硝处理设施氮氧化物排放浓度 63 mg/m^3 。

企业改造后排气筒同步安装了氮氧化物在线监测，根据 2025 年 8 月 25 日至 2025 年 8 月 31 日正常生产状态废气小时均值数据，一车间、六车间脱硝处理设施氮氧化物小时值平均排放浓度 84.9 mg/m^3 ，最大值 92.1 mg/m^3 ；二车间脱硝处理设施氮氧化物小时值平均排放浓度 124.6 mg/m^3 最大值 134.1 mg/m^3 ；三车间脱硝处理设施氮氧化物小时值平均排放浓度 126.1 mg/m^3 ，最大值 133.6 mg/m^3 ；四车间脱硝处理设施氮氧化物小时值平均排放浓度 95.6 mg/m^3 ，最大值 110.9 mg/m^3 。

提升改造后，企业氮氧化物排放削减比例 93%以上，核算 NO_x 排放量如下：满负荷状态，年减排 1233.75 吨。

5.3.2.5 [] 装备有限公司涂装线绿色升级项目

(1) 企业及项目背景

[] 装备有限公司位于浙江湖州吴兴区，所属行业为专用设备制造业 (C35)，是三一集团履带起重机全球生产基地，现有年产 4560 台履带物料装卸机产能，配套 5 条涂装线（3 条油性漆、1 条水性漆、1 条喷塑）。本次升级依据《重点行业挥发性有机物综合治理方案》（环大气[2019]53 号）等文件，从源头

替代与末端治理两方面减排 VOCs。

（2）核心防治措施

①原辅材料替代及生产线改造

企业实施了小件油性漆涂装线和臂架油性漆涂装线源头替代改造，整改提升后，原小件和臂架各一条油性油漆生产线拆除，分别新建喷塑生产线，通过“流水线自动机器人喷粉”、“往复机+人工喷粉”替代原有的人工油性油漆喷涂，实现了生产工艺的优化。

其中，小件喷塑涂装线由[]有限公司改造安装，臂架喷塑涂装线由[]公司提供设备并实施改造安装。

表 5.3-3 企业现有主要产品方案及生产线提升情况一览表

产 品	产品主 要部件	产品方案及 规模	提升整治前	整改提升后
履带吊 4560 台/ 年	结构件	350 套/年	一条大件油性漆涂装线、 一条小件油性漆涂装线	一条大件油性漆涂装线、 一条小件喷塑涂装线
		4210 套/年	一条结构件水性漆喷涂线	一条结构件水性漆喷涂线
	臂架	350 套/年	一条臂架油性漆涂装线	一条臂架喷塑涂装线
		4210 套/年	一条臂架喷塑线 (另一条未建)	一条臂架喷塑线 (另一条未建)

企业提升改造后，企业共计年消耗各类油性漆（含固化剂）98 吨、稀释剂 26.5 吨、水性漆（含固化剂）384 吨、塑粉 688 吨。

其中，小件油性漆涂装线改为喷塑线，年消耗塑粉 50 吨，减少各类油漆（含固化剂）年消耗 18.2 吨、减少稀释剂年消耗 5.3 吨；350 套/年的臂架油性漆涂装线改为喷塑线，年消耗塑粉 120 吨，减少各类油漆（含固化剂）年消耗 61 吨、减少稀释剂年消耗 23.5 吨。

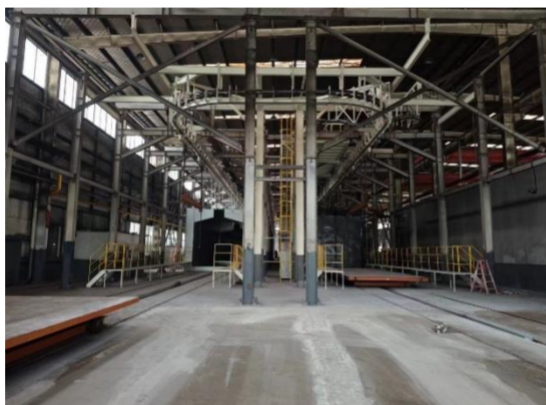
提升改造后各涂装线涉及 VOCs 产生的主要原辅材料消耗情况见下表。

表 5.3-4 企业提升改造之后主要生产线原辅料使用情况

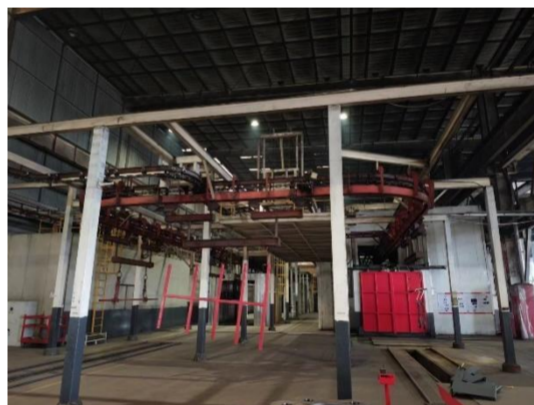
序 号	生 产 线	整改提升后		
		原料名称	VOCs 成分占比 (%)	年消耗量(t)
1	大件油性漆涂装 线	环氧底漆（含固化剂）	37.5	65
2		底漆稀释剂	100	15
3		丙烯酸聚氨酯面漆（含固化剂）	40	33
4		面漆稀释剂	100	11.5

序号	生产线	整改提升后		
		原料名称	VOCs 成分占比 (%)	年消耗量(t)
5	小件喷塑线	塑粉底粉	/	20
6		塑粉面粉	/	30
7	350 套/年臂架喷塑线	塑粉底粉	/	50
8		塑粉面粉	/	70
9	结构件水性漆涂装线	水性环氧富锌底漆	11.5	150
10		水性环氧富锌底漆固化剂	21.5	26
11		水性环氧底漆	5	105
12		水性双组份环氧固化剂	25	17
13		水性红色聚氨酯面漆	6	76
14		水性双组份聚氨酯固化剂	1	10
15	一条臂架喷塑线	塑粉	/	518

建成后，生产线设施现场情况如下：



臂架喷塑线



小件喷塑线

图 5.3-11 改造后的喷塑生产线

②废气治理设施提升

企业实施了 VOCs 低效治理设施改造，新建了“沸石转轮浓缩+RTO”废气处理设施。

该套“沸石转轮浓缩+RTO”处理系统由[]有限公司设计并安装，已装有 VOCs 在线检测系统，与生态环境部门联网。该套废气处理设施由两个并联的沸石转轮浓缩装置组成，涂装废气分别经转轮吸附后合并在一个排气筒排放。两个转轮的脱附废气合并后进入一个 RTO 装置焚烧，燃烧后尾气再分成两股，每股中的大部分废气和补氧新风混合后作为转轮脱附进气，其他小部分废气排放至转轮进口实现内部循环。整套处理系统的设计风量为 320000 Nm³/h，每

个转轮的设计风量为 160000 Nm³/h，RTO 装置的设计风量为 25000 Nm³/h。

具体工艺如下：

沸石转轮（KPR）装置采用沸石（Zeolite）分子筛作为吸附材料。分为吸附区、再生区和冷却区，浓缩转轮在各个区内连续运转。含有 VOCs 的有机废气通过前置过滤器后，在风机的作用下送至浓缩转轮的吸附区，废气中的 VOCs 被处理区的吸附剂吸附去除，被净化的空气直接排放。而吸附于浓缩转轮中的 VOCs 随着转轮转动先进入再生区，经热风处理后被脱附下来，形成小风量高浓度的有机废气，浓缩倍数一般在 5~40 倍。再生后的浓缩转轮随转轮转动进入冷却区被空气冷却，然后进入下一个吸附周期。本系统将浓缩后的废气通过 RTO 氧化室，使废气中的 VOCs 成份在 800℃左右氧化分解成为无害的 CO₂ 和 H₂O。设备内部增加蓄热陶瓷，回收热量，热回收效率可达 95%。

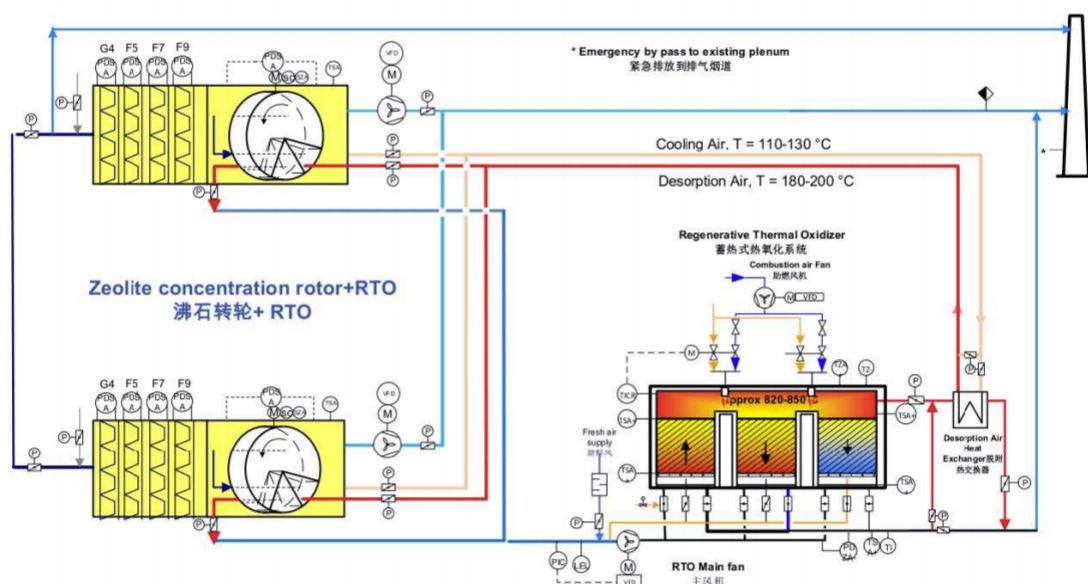
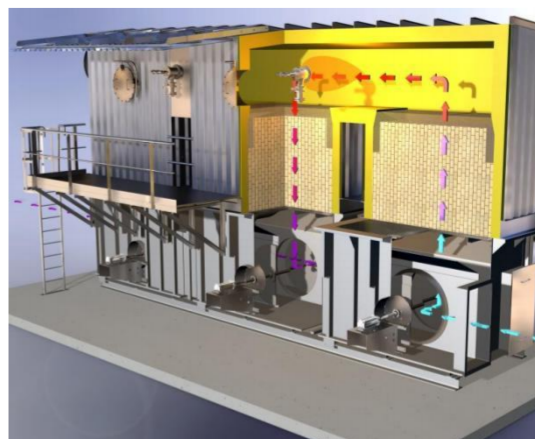
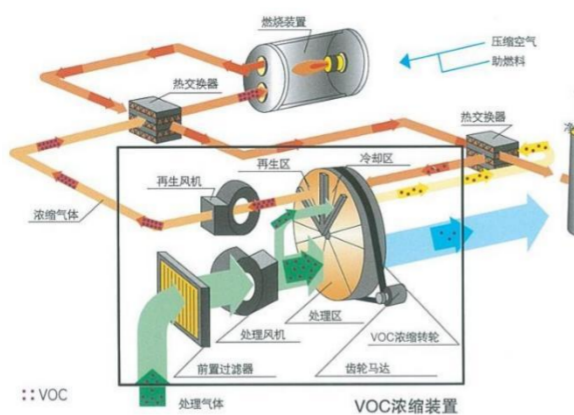


图 5.3-12 “沸石转轮浓缩+RTO” 废气处理设施工艺图



沸石转轮装置结构示意图

RTO 装置结构示意图

图 5.3-13 “沸石转轮浓缩+RTO” 废气处理设备结构示意图

该系统具有如下优势：

- a) “沸石转轮浓缩+RTO” 工艺为国内处理涂装线废气最先进的主流技术。
- b) VOC 净化效率最高，排放水平远低于国家和地方标准。
- c) 当废气中有机物含量 $>1.7\text{g/m}^3$ ，系统可以自运行，能耗低。
- d) 维护得当情况下，系统主体设备寿命 >20 年，寿命长。
- e) 当废气浓度高时，还可进行余热回收，可转化成热水、蒸汽、导热油等类型。或者用于喷漆房烘干废气预热，创造数十至数百万元经济效益。

设备主要涉及参数如下：

表 5.3-5 “沸石转轮+RTO” 装置主要设计参数

沸石转轮主要设计参数		RTO 主要设计参数（三塔式）	
处理风量	16 万 m^3/h	处理风量	$\geq 25000\text{m}^3/\text{h}$
数量	2 套	数量	1 台
设计浓度	$75\sim 200\text{mg/m}^3$	处理效率	$\geq 99\%$ （氧化温度 780~850，现场可 调）
浓缩倍数	12~20	热回收效率	$\geq 95\%$
去除效率%	95%	停留时间	≥ 1
转轮厚度	400mm	工作温度	780~900℃
浓缩后脱附风量	$20000\sim 25000\text{m}^3/\text{h}$	设备表面温度	$< \text{环境温度} + 25^\circ\text{C}$



图 5.3-14 “沸石转轮+RTO”装置现场装置图

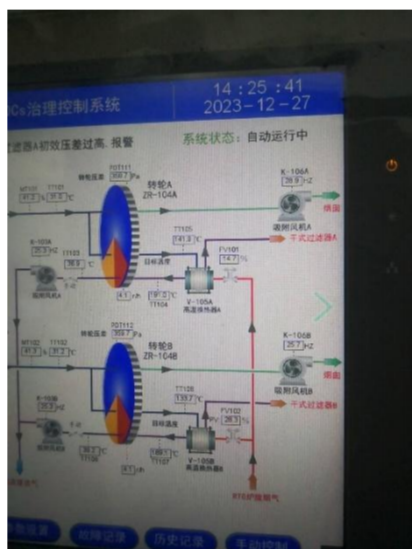


图 5.3-15 “沸石转轮-吸附-脱附” PLC 控制系统

③总体情况

表 5.3-6 提升改造情况汇总

序号	存在的问题	整改落实情况
1	经在线监测仪器进行 VOCs 检查，油性涂装线废气非甲烷总烃实测值最高 140.9 mg/m ³ ，面临环保部门处罚的风险；	大件油性漆涂装线实施废气治理设备提升改造，大幅提高 VOCs 治理效率；小件油性漆涂装线和臂架油性漆涂装线实施源头替代，大幅削减 VOCs 产生量；
2	目前公司使用的水洗喷淋+光氧+活性炭吸附的废气处理工艺，处理效率较低，对照《关于印发浙江省“十四五”挥发性有机物综合治理方案的通知》（浙环发[2021]10 号），	大件油性漆涂装线由原“喷淋+干式过滤+光解+活性炭吸附工艺”提升为“沸石转轮浓缩+RTO”工艺，完成 VOCs 低效治理设施；

序号	存在的问题	整改落实情况
	属于典型的 VOCs 低效治理设施, 需要开展 VOCs 低效治理设施改造;	
3	全厂油性油漆使用量大, 源头替代比例有待提升。对照《关于印发浙江省“十四五”挥发性有机物综合治理方案的通知》(浙环发[2021]10 号), 确保达到专用设备制行业整体替代比例 $\geq 70\%$ 的要求;	小件油性漆涂装线和臂架油性漆涂装线源头替代, 实施“流水线自动机器人喷粉”、“往复机+人工喷粉”替代原有的人工油性油漆喷涂, 原油性油漆全部替代为塑粉;

(3) 实施效果

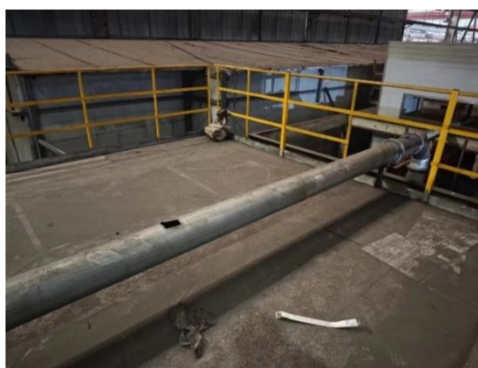
废气监测情况如下:

①源头替代改造建设的喷塑生产线有组织废气排放情况

企业于 2024 年 5 月 7 日-5 月 8 日对源头替代改造建设的小件喷塑生产线和臂架喷塑生产线的喷塑烘干尾气分别进行了监测。小件喷塑线、臂架喷塑线烘干尾气经布袋除尘器除尘后, 排放出口非甲烷总烃、颗粒物浓度值分别为 2.79 mg/m^3 、 3.0 mg/m^3 , 其排放浓度符合《工业涂装工序大气污染物排放标准》(DB33/2146-2018) 表 1 中的大气污染物排放限值。



臂架喷塑线



小件喷塑线

图 5.3-16 喷塑烘干废气采样点位示意图

②末端治理设施提升的大件油性涂装生产线有组织废气排放情况

企业于 2024 年 5 月 7 日-5 月 8 日、5 月 15 日至 5 月 16 日对大件油性涂装线废气处理设施 (“沸石转轮浓缩+RTO” 处理装置) 的进出口废气均进行了监测。

RTO 进口两日测得的非甲烷总烃浓度值分别为 29.5 mg/m^3 、 102 mg/m^3 , 排放速率分别为 0.259 kg/h 、 0.894 kg/h , 进口排放速率平均值为 0.5765 kg/h 。

转轮脱附尾气经 RTO 焚烧后, 出口两日测得的非甲烷总烃浓度值分别为 1#出口 0.66 mg/m^3 、未检出和 2#出口未检出、未检出, 选取最大浓度值进行测算,

出口排放速率为 0.00579 kg/h。

根据上述检测结果，经核算，RTO 装置对非甲烷总烃的去除效率为 99%。



进口

出口

图 5.3-17 RTO 装置废气进出口采样点位示意图

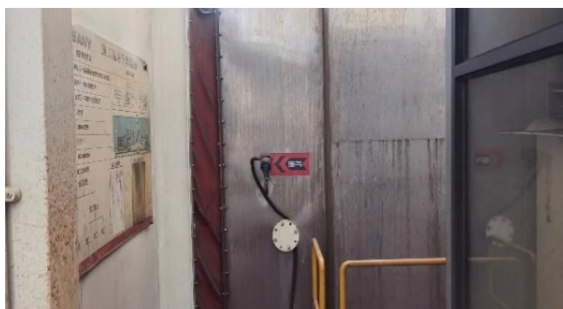
2024 年 5 月 7 日-5 月 8 日对沸石转轮装置出口排气筒苯系物、TVOC 进行了监测，5 月 15 日-5 月 16 日对沸石转轮装置的进出口废气非甲烷总烃进行了监测。

沸石转轮进口两日测得的非甲烷总烃浓度值分别为 1#进口 2.79 mg/m³、2.15 mg/m³，排放速率分别为 0.399 kg/h、0.303 kg/h，2#进口 1.63 mg/m³、1.71 mg/m³，排放速率分别为 0.23 kg/h、0.241 kg/h，进口排放速率平均值合计为 0.587 kg/h。

沸石转轮出口两日测得的非甲烷总烃浓度值分别为出口 1.86 mg/m³、2.27 mg/m³，排放速率分别为 0.439 kg/h、0.536 kg/h，出口排放速率平均值为 0.487 kg/h。

根据上述检测结果，大件油性涂装废气经“沸石转轮+RTO”装置处理后，排放出口非甲烷总烃浓度两日监测值分别为 1.86 mg/m³、2.27 mg/m³，苯系物浓度值分别为 0.676 mg/m³、0.419 mg/m³，TVOC 浓度值分别为 23.444 mg/m³、40.366 mg/m³，三类污染因子排放浓度符合《工业涂装工序大气污染物排放标准》（DB33/2146-2018）表 1 中的大气污染物排放限值，且均远低于排放标准值，非甲烷总烃和苯系物有组织排放浓度值甚至已低于企业边界大气污染物浓度限值。

另外，根据企业 VOCs 自动在线检测装置的检测数据可知，2024 年 4 月 4 日至 2024 年 4 月 10 日企业 RTO 处理系统出口在线检测的非甲烷总烃小时平均值的最大值为 24.864 Nmg/m³，最小值为 1.06 mg/Nm³，均远低于排放标准值。



进口 1# (2#类似)



出口-排气筒

图 5.3-18 沸石转轮浓缩装置进出口采样点位示意图

③源头替代改造建设的喷塑车间无组织废气排放情况

实施源头替代改造后，两个改造完成喷塑生产线的车间门窗或通风口、其他开口（孔）等排放口外 1 m，距离地面 1.5 m 以上位置处监测任何 1 小时平均浓度（以 1 小时内以等时间间隔采集 3~4 个样品计平均值）最大值 1.39 mg/m^3 ，最小值未检出。符合《挥发性有机物无组织排放控制标准》（GB 37822-2019）附录 A 规定的厂区内 VOCs 无组织排放特别排放限值要求，且均远低于排放标准值。

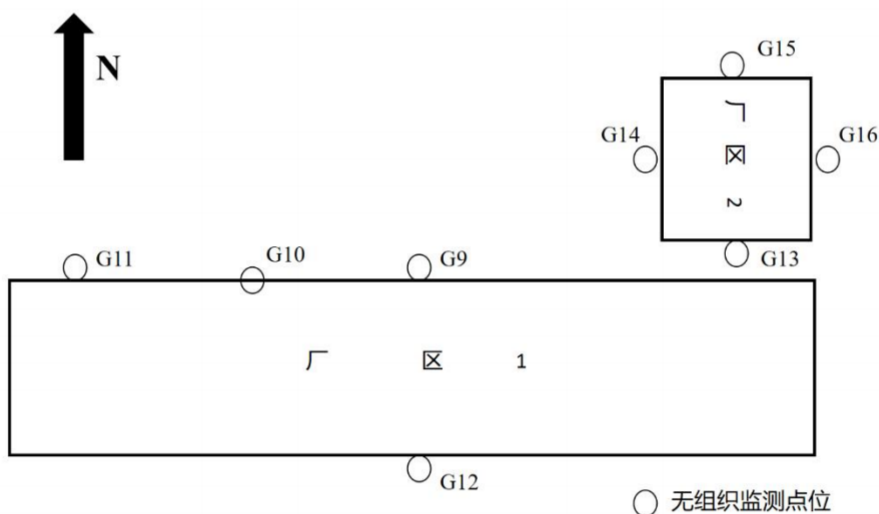


图 5.3-19 厂区内无组织监测采样点位示意图

整治前后 VOCs 削减情况如下：

①源头替代 VOCs 削减量

根据企业提供的整治前后原辅材料使用及成分资料，改造前，小件油性漆涂装线年消耗各类油漆（含固化剂）18.2 吨、稀释剂 5.3 吨，臂架油性漆涂装线年消耗各类油漆（含固化剂）61 吨、稀释剂 23.5 吨。根据物料衡算法，小件油性漆涂装线 VOCs 产生量为 12.3 吨/年，350 套/年臂架油性漆涂装线 VOCs 产生量

为 47.05 吨/年，合计 VOCs 产生量 59.35 吨/年。废气处理采用“喷淋+干式过滤+光解+活性炭吸附”，按照生态环境部发布的《主要污染物总量减排核算技术指南》（2022 年修订），废气收集率按 90%计，VOCs 去除效率按 10%计，VOCs 排放量 54.009 吨/年。

改造后，小件喷塑线年消耗塑粉 50 吨，减少各类油漆（含固化剂）年消耗 18.2 吨、减少稀释剂年消耗 5.3 吨；350 套/年的臂架喷塑线年消耗塑粉 120 吨，减少各类油漆（含固化剂）年消耗 61 吨、减少稀释剂年消耗 23.5 吨。根据《排放源统计调查产排污核算方法和系数手册》（生态环境部公告 2021 年第 24 号），33-37，431-434 机械行业系数表 14 涂装，喷塑后烘干过程挥发性有机物产生系数为 1.2kg/t 粉末涂料，则小件喷塑线 VOCs 产生量为 0.06 吨/年，350 套/年臂架喷塑线 VOCs 产生量为 0.144 吨/年，合计 VOCs 产生量 0.204 吨/年，符合《关于支持低挥发性有机物含量原辅材料源头替代的意见》（浙环发〔2021〕13 号）相关要求，满足低 VOCs 原辅材料无需建设 VOCs 末端治理设施，即 VOCs 排放量 0.204 吨/年。

经核算，源头替代后，两条生产线共计削减 VOCs 54.398 吨/年。

表 5.3-7 源头替代后 VOCs 的减排情况

生产线	源头替代前 VOCs 排放量 (t/a)	源头替代后 VOCs 排放量 (t/a)	减排量 (t/a)
小件涂装线	11.193	0.06	11.133
350 套/年臂架涂装 线	42.816	0.144	42.672
合计	54.009	0.204	53.805

②治理设施提升改造 VOCs 削减量

治理设施改造前，废气处理采用“喷淋+干式过滤+光解+活性炭吸附”工艺，按照生态环境部发布的《主要污染物总量减排核算技术指南》（2022 年修订），废气收集率按 90%计，VOCs 去除效率按 10%计，VOCs 排放量 58.308 吨/年。

治理设施改造提升后，废气处理更新为“沸石转轮+RTO”工艺，按照生态环境部发布的《主要污染物总量减排核算技术指南》（2022 年修订），废气收集率按 90%计，旋转式分子筛吸附-脱附-蓄热催化燃烧的 VOCs 去除效率可按 80%计，但由于企业废气进口浓度低，实际去除效率按照监测数据核算约为 20%。按照实际监测数据从严计算，VOCs 排放量 46.134 吨/年。

经核算，治理设施改造提升后，大件油性涂装线削减 VOCs 12.174 吨/年。

表 5.3-8 治理设施改造提升 VOCs 的减排情况

生产线	改造提升前 VOCs 排放量 (t/a)	改造提升后 VOCs 排放量 (t/a)	减排量 (t/a)
大件涂装线	58.308	46.134	12.174

③本轮提升改造合计 VOCs 削减量

企业通过源头替代和治理设施提升两方面改进，经核算，合计实现 VOCs 减排达 65.98 吨/年。

六、国内外相关标准概况

6.1 国外相关技术标准

20 世纪 90 年初，美国等欧盟发达国家对工业涂装工序挥发性有机物污染排放控制和标准进行了大量的研究，积累了大量的经验。如美国的《大气清洁法》为适应各区的环境基准又规定了相应的基准值 RACT(合理可行控制技术)、BAC(最佳可行控制技术)、LAER(最低可达排放速率)，并对污染源(包括原有和新增源)排放 VOCs 提出了明确限制，同时针对涂装工序挥发性有机物涉及的各种不同行业制定了非常细致和有针对性的排放标准；199 年，欧盟对包括石油冶炼、有机化学品、精细化工、储存、涂装、皮革加工等 6 大类 33 个行业制定了 VOCs 的排放标准，并且以各种指令的形式颁布，包括有溶剂使用指令、涂料指令、综合污染预防与控制指令等；2004 年，日本通过修订《中华人民共和国大气污染防治法》将挥发性有机物也列为规制对象，2006 年，发布实施《挥发性有机物排放控制制度》，制度中对 VOCs 排放规定中设定了不同排放设施各规模条件下的排放标准，除此之外还有世界银行、德国等地为了控制 VOCs 排放，也出台了相关的法规与标准。

6.2 国内相关技术标准

6.2.1 国家层面

近年来，国家陆续出台了涉工业涂装工序行业的技术指南，对挥发性有机物污染防治作出相应的指导意见。具体见下表 6.2-1。

6.2-1 国家层面涉工业涂装工序行业 VOCs 控制技术指南一览表

序号	标准名称	编号
1	挥发性有机物（VOCs）污染防治技术政策	国家环保部公告 2013 年第 31 号
2	2018 年国家先进污染防治技术目录（大气污染防治领域）	生态环境部公告 2018 年第 76 号
3	排污许可证申请与核发技术规范 汽车制造业工业	HJ 971-2018
4	排污许可证申请与核发技术规范 家具制造业工业	HJ 1027-2019
5	排污许可证申请与核发技术规范 金属铸造业工业	HJ 1115-2020
6	排污许可证申请与核发技术规范 铁路、船舶、航空航天和其它运输设备制造业	HJ 1124-2020
7	挥发性有机物无组织排放控制标准	GB 37822-2019
8	挥发性有机物治理实用手册	2020 年 6 月发布
9	家具行业工业污染防治可行技术指南	HJ 1180-2021
10	汽车工业污染防治可行技术指南	HJ 1181-2021
11	铸造工业污染防治可行技术指南	T/CFA0308023-2023

6.2.2 地方层面

近年来，河南、四川、广东、浙江、山东、安徽、江苏、上海等省（市）为控制挥发性有机物污染，陆续发布实施了挥发性有机物控制技术指南。具体见下表 6.2-2。

纵观各省市工业涂装 VOCs 控制技术指南的演进，其技术发展路径清晰地呈现出一条从“粗放末端治理”向“精细全过程管控”的升级轨迹。在源头控制层面，推广使用低 VOCs 含量涂料（水性、粉末、UV 固化、高固体分等）已成为贯穿始终、被反复强调的根本性措施。过程控制不仅局限于密闭与收集，更通过涂装设备与工艺的革新深入源头减排，其中高压无气喷涂、静电喷涂和流水线自动涂装技术作为提升涂料利用效率、从过程中削减 VOCs 产生量的关键工艺，已从推荐性措施逐步成为高标准项目的标配。而在末端治理领域，技术路线经历了显著的优胜劣汰：早期常见的单一活性炭吸附、低温等离子、光催化氧化等因其处理效率有限或存在二次污染风险，在近年指南中已被严格限制或降级为辅助手段；取而代之的是，针对中高浓度、大风量废气，“吸附浓缩+热力氧化/催化氧化”（尤其是旋转式 RTO）这一高效组合技术，凭借其稳定的高去除效率，已被各地指南共同验证并确立为当前最优的可行技术体系。这一技术共识的形成，标志着我国 VOCs 治理正迈向以全过程精细化管理为核心、以高效稳定达标为目标的成熟新阶段。

表 6.2-2 各省市涉工业涂装工序行业 VOCs 控制技术指南一览表

地方	序号	标准名称	编号/发布时间
河南	1	河南省表面涂装行业挥发性有机物污染防治技术规范	征求稿
	2	工业涂装工序挥发性有机物污染防治技术规范	DB41/T 1946-2020
四川	3	四川省汽车涂装行业挥发性有机物控制技术指南	2018 年第 5 号
	4	四川省家具制造行业挥发性有机物控制技术指南	
	5	四川省重污染天气金属表面处理及热处理加工等 10 个行业应急减排措施制定技术指南（试行）	2023.2
广东	6	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	2015.2.1
	7	广东省家具制造行业挥发性有机废气治理技术指南	2015.1.1
	8	广东省电子元件制造业挥发性有机物综合整治技术指南	2022.6
浙江	9	浙江宁波涂装行业挥发性有机物污染治理技术指南（试行）	2017.3
	10	浙江省挥发性有机物污染防治可行技术指南汽车维修	2021.11
	11	浙江省挥发性有机物污染防治可行技术指南家具制造	
	12	浙江省挥发性有机物污染防治可行技术指南船舶修造	
	13	浙江省挥发性有机物污染防治可行技术指南整车制造	
	14	浙江省挥发性有机物污染防治可行技术指南装备制造	
	15	浙江省挥发性有机物污染防治可行技术指南五金制造	
	16	浙江省挥发性有机物污染防治可行技术指南金属材料	
	17	浙江省工业涂装工序挥发性有机物污染防治可行技术指南	2020.9
山东	18	《企业污染治理技术规范彩涂板行业（征求意见稿）》	征求稿
	19	山东省挥发性有机物（VOCs）污染防治技术及典型案例汇编	2020.6
上海	20	《上海市船舶工业涂装过程挥发性有机物控制技术指南》	2016.10
	21	《整车制造业挥发性有机物控制技术指南（试行）》	2020.4
	22	《汽车零部件制造业（涂装）挥发性有机物控制技术指南（试行）》	
江苏	23	江苏重点行业挥发性有机物控制技术指南	2014.6.5
安徽	24	重点行业挥发性有机物治理环境管理技术规范 第 1 部分：通则	DB34/T 4230.1-2022

七、规范主要内容

7.1 范围

本文件规定了工业涂装工序大气污染防治技术的源头管控、过程控制、末端治理、管理与台账等要求。

本文件适用于工业涂装工序大气污染防治管控，可作为环境影响评价、环境保护设施设计、排污许可、竣工环境保护验收及其建成后的运行与大气污染物排放管理。

7.2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB 6514 涂装作业安全规程 涂漆工艺安全及其通风

GB 14443 涂层烘干室安全技术要求

GB 14444 喷漆室安全技术要求

GB 15607 涂装作业安全规程 粉末静电喷涂工艺安全

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 16758 排风罩的分类及技术条件

GB 17750 浸漆涂装安全规范

GB 20101 涂涂装有机废气净化装置安全技术要求

GB 30981.2 涂料中有害物质限量 第2部分：工业涂料

GB 33372 胶粘剂挥发性有机化合物限量

GB 37822 挥发性有机物无组织排放控制标准

GB 38508 清洗剂挥发性有机化合物含量限值

GB/T 38597 低挥发性有机化合物含量涂料产品技术要求

GB 46759 电泳涂漆安全规范

HJ/T 388 环境保护产品技术要求 湿式漆雾净化装置

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 1405 排污单位污染物排放口监测点位设置技术规范

HJ 2000 大气污染治理工程技术导则

HJ 2020 袋式除尘工程通用技术规范

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

WS/T 757 排风罩控制风速检测技术规程

7.3 术语和定义

本节根据工业涂装工序大气污染防治技术规范内容的设置，定义了工业涂装

工序、挥发性有机物、VOCs 物料等 9 个术语。上述部分术语来自相关国家排放标准、涂装技术术语等。同时，提供了涉及的主要废气治理设施缩写及其含义。

7.4 生产工艺与产污环节

本节列明了工业涂装工序的典型生产工艺环节以及工业涂装过程颗粒物、VOCs 的主要来源和排放环节。

7.5 源头管控

本节基于浙江省发布的《浙江省工业涂装工序挥发性有机物污染防治可行技术指南》，结合长三角区域涉工业涂装工序行业的科技进步，提出了原辅材料控制要求和工艺与设备控制要求。

7.6 过程控制

本节从涂料存储、调配与供料过程，涂装过程，清洗、退料回收及含 VOCs 废物管理过程以及特殊涂装作业管理过程等方面提出了具体的过程控制要求。同时列明了涂装过程其他减排技术与装备。

7.7 末端治理

本节从废气收集、无组织排放管控及废气治理三方面提出要求。

废气收集应覆盖所有 VOCs 及颗粒物产生环节，收集系统需与生产同步运行。污染物排放收集还应充分考虑涂装作业安全，通风设计应符合相关标准。

无组织排放管控应严格按照 GB 37822 及地方标准执行。

废气治理应遵循分类分质原则，根据行业类型、生产工艺环节及废气风量、浓度和组分特征合理选择治理工艺，优先采用成熟高效技术。进入治理设施的废气应先进行预处理，确保治理效果和安全运行。

7.8 管理与台账

本节从运行管理和台账管理两个方面提出管理要求。要求企业建立全过程环境管理制度，加强设施巡检维护，确保废气收集处理设施与生产设备同步运行。同时，规范原辅材料使用、治理设施运行及废气监测等台账记录，确保相关信息真实、完整并长期保存，以满足环境管理和监督检查需要。

7.9 附录

附录 A 给出了源头与过程管控可行技术及适用范围。

附录 B 给出了大气污染防治可行治理技术及适用范围。

八、环境-经济效益分析

本标准的制定与实施，旨在为长三角区域工业涂装工序的大气污染防治工作提供科学依据和技术支撑，其环境与经济效益相辅相成，具体分析如下。

8.1 环境效益分析

本标准的实施将产生显著的环境效益，主要体现在以下几个方面：

（1）有效削减污染物排放：通过规范涂料源头替代、强化过程无组织排放控制以及规范末端治理设施，本标准将直接并有效地减少 VOCs 的排放。VOCs 是 PM_{2.5} 和 O₃ 的重要前体物，其减排对持续改善长三角区域环境空气质量、协同应对复合型大气污染具有关键作用。

（2）引导行业绿色低碳转型：本标准系统性引导企业逐步淘汰高 VOCs 含量的溶剂型涂料，转向使用水性、高固体分、UV 固化、粉末等低 VOCs 含量涂料。此举不仅从源头减少污染，更将推动涂装行业生产工艺与技术的绿色升级，促进产业结构优化。

（3）提升企业环境管理效能：标准对工业涂装工序的全过程，包括原辅材料储存、输送、涂装作业及废弃物处理等环节均提出了明确的管控要求。这将促使企业建立并完善内部环境管理体系，实现从末端治理向全过程精细化管理转变，全面提升工业涂装企业的环境治理水平。

（4）实现减污降碳协同增效：推动低 VOCs 含量涂料的使用，在减少 VOCs 排放的同时，也降低了源于化石能源的有机溶剂消耗，间接减少了全生命周期的碳排放，契合国家“双碳”战略目标，实现了环境效益与气候效益的协同。

8.2 经济效益分析

本标准的实施在带来环境效益的同时，也将对行业经济产生积极而深远的影响：

（1）驱动技术升级，增强市场竞争力：为满足标准要求，企业需对涂装生产线、末端治理设施进行技术改造与升级。尽管短期内可能增加一定的设备投入和运营成本，但此举将倒逼企业淘汰落后产能，采用先进技术和工艺。从长远看，

技术升级有助于提高涂料利用率、降低物料损耗、提升产品一次合格率，从而摊薄合规成本，增强企业的核心竞争力和可持续发展能力。

（2）规避环境风险，稳定生产经营：顺应日益严格的环保法规趋势，提前进行环保合规改造，有助于企业规避因环保不达标而面临的行政处罚、限产停产等经营风险，保障生产活动的连续性和稳定性，属于前瞻性的风险管理投资。

（3）塑造绿色品牌形象，拓展市场空间：符合高标准环保要求的企业，更易获得政府绿色采购、国内外高端品牌供应链的认可，满足日益增长的绿色消费市场需求。良好的环境绩效成为企业宝贵的无形资产，有助于塑造负责任的绿色品牌形象，开拓新的市场领域。

（4）优化区域产业生态，促进高质量发展：在长三角一体化框架下，实施统一的环保标准有助于营造公平的市场竞争环境，避免“劣币驱逐良币”，引导资源向绿色、高效的优势企业集中，促进区域涉工业涂装工序行业向规范化、集约化、高附加值方向发展，提升整体产业竞争力。

九、实施标准的措施建议

为保障本标准得以有效贯彻与落实，特提出以下实施建议：

（1）明确标准属性与推进策略：建议将本标准作为推荐性标准在长三角区域统一发布实施。可考虑制定分阶段、分行业的实施路线图，对新、改、扩建项目严格要求立即执行，对现有企业设立合理的整改过渡期，确保标准平稳有序落地。

（2）加强标准宣贯与能力建设：组织编写标准的官方解读材料与实施指南，通过专题培训、技术交流、线上平台等多种形式，面向各级生态环境管理部门、行业协会及重点企业开展系统性、多层次的标准宣贯与培训，确保各方准确理解并执行标准规定。

（3）建立区域协同监管与信息共享机制：建议搭建长三角区域环保协作平台，建立统一的监督执法指引与信息共享渠道，定期开展联合执法检查与技术交流，防止污染转移和政策洼地，确保标准在区域内执行的一致性、公平性与权威性。

（4）开展试点示范与经验推广：在汽车制造、家具、船舶、钢结构等重点

行业，遴选一批实施效果好、技术水平高的企业作为标杆，建立“绿色涂装示范工程”，通过组织现场会、发布最佳实践案例等方式，推广成功经验，以点带面推动全行业整体水平提升。