

上海市船舶工业涂装过程挥发性有
机物控制技术指南
(发布稿)

上海市环境保护局

2016 年 9 月

目 录

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 总体要求.....	3
5 清洁生产措施.....	4
6 通风措施.....	5
7 排气净化措施.....	5
8 监督管理措施.....	8
附件：	10
1 国内外船舶工业挥发性有机物污染控制相关标准	10
2 船舶工业涂装及挥发性有机物控制技术现状及发展趋势	12

前 言

为贯彻《中华人民共和国环境保护法》和《中华人民共和国大气污染防治法》，配合上海市《船舶工业大气污染物排放标准》（DB31/934）的实施，规范上海地区船舶工业涂装过程的挥发性有机物污染控制，制定本指南。

本指南规定了船舶工业涂装过程的清洁生产、通风、排气净化、监督管理等方面的技术要求。

本指南为指导性文件。

本指南为首次发布。

本指南由上海市环境保护局组织制订。

本指南主要起草单位：同济大学，上海市环境科学研究院

本指南由上海市环境保护局解释。

1 适用范围

本指南适用于指导上海市辖区内现有以及新建、改建、扩建的船舶工业钢质船舶造修与海洋工程装备企业的涂装作业过程挥发性有机化合物（VOCs）的排放控制，包括涂料改性，溶剂替换，涂装工场涂装率、涂装工艺改进、排气净化等措施。

2 规范性引用文件

本指南引用了下列文件或其中的条款。凡是不注明日期的引用文件，其有效版本适用于本指南。

- DB31/934 船舶工业大气污染物排放标准
- GB 3836.4 爆炸性气体环境用电气设备第4部分：本质安全型“i”
- GB 12348 工业企业厂界噪声标准
- GB 50016 建筑设计防火规范
- GB 50019 采暖通风与空气调节设计规范
- GB 50051 排气筒设计规范
- GB 50057 建筑物防雷设计规范
- GB 50058 爆炸和火灾危险环境电力装置设计规范
- 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
- GBJ 87 工业企业噪声控制设计规范
- HGJ 229 工业设备、管道防腐蚀工程施工及验收规范
- HJ/T 386 工业废气吸附净化装置
- HJ/T 389 工业有机废气催化净化装置
- 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

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1 船舶工业 shipbuilding industry

本规范船舶工业是指建造、修理、改装钢质结构船舶和/或建造、修理海洋平台及装备制造等海洋工程装备的企业。

3.2 表面涂装 Surface Coating

将涂料覆于基底表面形成具有防护、装饰或特定功能涂层的过程，船舶涂装包括预处理

涂装、分段涂装、总段涂装、船坞涂装、码头涂装、完工涂装及舾装涂装等所有工序。

3.3 涂装工场 Coating Booth

涂装工场包含喷砂间、涂装间，本指南中是指装备有涂装机具用于船体部分构件、分段等涂装作业的车间。

3.4 刷涂 brush coating

采用漆刷为工具的一种涂装方式，用于无法辊涂或喷涂的被涂件边缘、螺栓等处的涂装及补漆，修漆。

3.5 辊涂 roller coating

采用辊筒为工具的一种涂装方式，一般用于宽大、平整的表面。

3.6 无气喷涂 airless spraying coating

无气喷涂是利用柱塞泵、隔膜泵等形式的增压泵将液体状的涂料增压，然后经高压软管输送至无气喷枪，最后在无气喷嘴处释放液压、瞬时雾化后喷向被涂物表面，形成涂膜层。

3.7 涂着效率 Coating efficient

涂装过程中涂着于工件表面的涂料质量与所施用涂料总质量的比率。

3.8 挥发性有机化合物 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。

a) 用于核算或者备案的 VOCs 是指 20℃时蒸汽压不小于 10 Pa 或者 101.325 kPa 标准大气压下，沸点不高于 260℃ 的有机化合物，或者实际生产条件下具有以上相应挥发性的有机化合物的统称，但是不包括甲烷。

b) 以非甲烷总烃（NMHC）作为排气筒和厂界大气污染物监控的挥发性有机物的综合性控制指标。

3.9 即用状态船用涂料 ship coating as applied

将船用涂料处理至可即时使用的状态，即在该状态下的涂料无需再稀释或调配。

3.10 即用状态船用涂料 VOCs 限值（g/L） VOCs in ship coating as applied

即用状态下船用涂料中允许的 VOCs 最高含量。计算公式如下：

$$C_{VOCs} = (C_p V_p + C_t V_t) / (V_p + V_t)$$

式中：

C_{VOCs} ：即用状态船用涂料的 VOCs 含量，g/L；

C_p 、 C_t ：船用涂料和稀释剂的 VOCs 含量，g/L；

V_p 、 V_t ：船用涂料和稀释剂的用量，L。

4 总体要求

- 4.1 污染控制设施应遵循综合治理、循环利用、达标排放、总量控制的原则。污染治理工艺设计应该本着成熟可靠、技术先进、经济适用的原则，并考虑节能、安全和操作简便。
- 4.2 污染控制设施应与生产工艺水平、废气来源和风量、挥发性有机物浓度水平相适应。
- 4.3 生产企业应把污染控制设施作为生产系统的一部分进行管理，污染物控制设施应该与产生废气的相应生产设备同步运转。
- 4.4 船舶工业生产过程须控制涂料中挥发性有机物的含量。
- 4.5 船舶制造企业 60%以上的涂装工作量须在封闭且带有排气净化系统的空间内进行；船舶修造企业的喷涂作业宜在局部封闭空间内进行并采取通风净化措施。
- 4.6 污染控制设施应该按照国家相关法律法规、DB31/881、本标准和地方环境保护部门的要求设置在线连续监测或者运行监控设备；并满足 HJ 477 和上海市环境保护管理部门相关规定的要求。
- 4.7 宜加快开发适合于船舶工业的 VOCs 排放特征的收集和净化系统。

5 清洁生产措施

5.1 采用环保型涂料(低 VOC 型涂料)或绿色涂料

5.1.1 对于溶剂性涂料应优先采用高固分涂料，即用涂料中 VOCs 溶剂含量在满足 DB31/934 标准要求的基础上，宜进一步控制在表 1 所示的水平。

表 1 船舶工业涂料有机物含量建议控制限值

序号	涂料类别	VOCs 含量的 最高限值 (g/L)
1	防污涂料 Antifouling coating	400
2	不沾污涂料 Foul release coating	300
3	底漆 Primer	500
4	连接漆 Tie Coat	500
5	面漆 Cosmetic coating	450
6	通用底漆 Universal primer	350
7	甲板涂料 Deck coating	250
8	车间底漆 Shop primer	650
9	压载水舱涂料 Water ballast tank	350
10	货油舱涂料 Cargo tank coating	500
11	耐磨涂料 Abrasion resistant Coating	350
12	饮水舱涂料 Potable water tank coating	250
13	耐热涂料 Heat resistant coating	420
14	防火涂料 Fire resistant coatings	100
15	阻燃涂料 Fire retardant coatings	450
16	其它船舶涂料 Other vessel coating	250

5.1.2 对于部分仓室的内壁及部分构件宜考虑采用水性涂料；

5.1.3 应通过涂装工艺设计调整推广采用通用型底漆；

5.2 涂装工艺系统改进

5.2.1 须精细化涂装过程，包括使用大容量油漆筒，减少油漆桶残留，严格控制减少溶剂储运，避免配色调制等过程洒漏现象的出现等。

5.2.2 应合理设计涂装调漆生产工艺，减少不同色漆使用过程的浪费；

5.2.3 应开展预涂层综合保护利用研发，减少涂料使用量。

5.3 涂装工艺及设备

5.3.1 对于制造过程的小型配件宜采用浸涂工艺。

5.3.2 应采用高压无气喷涂，刷涂或辊涂方式。

5.3.3 宜采用无气静电喷涂方式。

5.3.4 涂装过程的涂着效率应高于 70%。

6 通风措施

6.1 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。

6.2 须设置专门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。

6.3 扩大现有室内涂装工场的涂装量，须保证 60%以上的涂装工作在室内进行，并采取有效的排气和净化措施。

6.4 对于室外涂装过程中要求单道涂层厚度大于 320 μm 或涂料中有机物含量较高的作业区域，宜设立围挡以提高涂着效率，同时为含有机物气体的收集净化提供基础条件。

6.5 对于室外喷涂过程宜在周边设置防风网，以减少涂装漆雾向周围空气的散发量，

6.6 宜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 5%以下。

6.7 宜设置通风量与喷枪数量的联锁系统，确保排风中有机废气浓度在一定范围内波动，保证后续净化装置的净化效率。

6.8 宜开展涂装工场内部吸附富集净化技术研究，一方面有效控制涂装工场内的温度和湿度，减少空调能耗，另一方面有效减少 VOCs 排放量。

7 排气净化措施

7.1 涂装工艺排放气体的净化须包括预处理漆雾净化及气体调制，气体的浓缩和最终净化等基本工艺过程。

7.2 宜采用干式漆雾捕集装置

- 7.2.1 可采用石灰石粉预涂层的袋式除尘系统，排气中的颗粒物浓度宜小于 $2\text{mg}/\text{m}^3$ 以下；
- 7.2.2 可采用机械漆雾捕集装置，由滤材机械组成的箱式分离模块，设计有电动挡板，可快速更换，过滤过程不应消耗水和其他添加剂。排气中的颗粒物浓度宜小于 $2\text{mg}/\text{m}^3$ ；
- 7.3 采用吸附、吸附浓缩或蓄热燃烧、催化燃烧等工艺处理有机废气应先去除颗粒物，颗粒物浓度须小于 $5\text{mg}/\text{m}^3$ ($T=293\text{K}$, $P=101.325\text{kPa}$)；
- 7.4 有机废气处理系统的设计寿命应与生产装置的剩余寿命相适应，不应小于 10 年。
- 7.5 有机废气处理系统的总体处理效率应大于 90%，并能满足相关排放标准的要求。
- 7.6 处理设备的防火、防爆设计须符合《建筑设计防火规范》GB50016，《建筑内部装修设计防火规范》GB50222，《石油化工企业设计防火规范》GB50160，《爆炸危险环境电力装置设计规范》GB50058 等有关标准的规定。
- 7.7 进入处理系统的有机物浓度须小于爆炸下限的 25%。
- 7.8 当废气中挥发性有机物具有回收价值且浓度大于 $1500\text{mg}/\text{m}^3$ 时，应采用吸附回收等工艺进行回收。
- 7.9 当废气中有机物浓度大于 $1500\text{mg}/\text{m}^3$ 时，宜直接采用蓄热燃烧或催化燃烧净化工艺。对于连续排放的废气净化工艺宜采用蓄热燃烧，对于非连续排放的废气宜采用蓄热催化燃烧净化工艺。
- 7.10 当废气中有机物浓度小于 $1500\text{mg}/\text{m}^3$ 时，宜采用预浓缩再回收或热氧化处理工艺。
- 7.11 采用预浓缩加热氧化工艺处理含有机物排气时，预浓缩宜采用非亲水性的沸石转轮浓缩装置，严禁采用对本身可燃的吸附材料通过超过 120°C 热空气进行吹脱的浓缩工艺。
- 7.12 可通过活性炭吸附收集有机气体，活性炭床可通过蒸汽等加热脱附，回收的有机液应集中精制回用、焚烧处理或按危险废弃物管理要求处置。
- 7.13 可设置一些可移动标准规格箱式吸附装置在一些重点涂装区域对散发的有机气体进行吸附，在达到一定的工作时间后将吸附饱和的吸附装置运送至集中再生车间，通过蒸汽或热惰性气体进行再生。再生后的箱式吸附装置继续回用。再生出的溶剂可视其组分、特性进行回用、热氧化或作为危废处置。
- 7.14 典型的转轮吸附浓缩加蓄热燃烧工艺如图 1 所示。

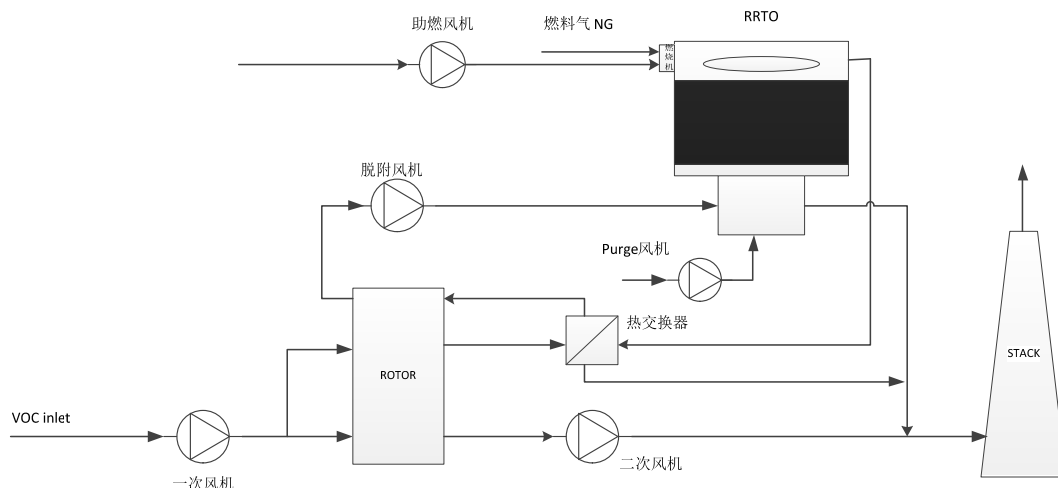


图 1 转轮吸附浓缩加蓄热燃烧工艺

7.15 沸石转轮浓缩加热氧化工艺，应符合以下要求：

- (1) 转轮浓缩+燃烧系统由转轮吸附浓缩系统、燃烧系统和自动控制系统等组成。
- (2) 转轮分为吸附区、脱附再生区和冷却区三个区域。
- (3) 宜采用工艺排风作为转轮冷却用。
- (4) 脱附风温度宜为 180-220℃，不应高于 300℃。
- (5) 蓄热燃烧宜采用三床及以上或旋转式的工艺布置方式。
- (6) 蓄热燃烧装置的切换阀门泄漏率不应大于 1%。
- (7) 蓄热材料的热效率不应小于 90%
- (8) 蓄热燃烧装置的炉膛应设置超温强制排风措施。
- (9) 蓄热材料压力损失不应大于 3000Pa。
- (10) 热氧化效率不应低于 99%。
- (11) 热氧化后烟气中的氮氧化物浓度不应大于 50mg/m³。

7.16 转轮浓缩加蓄热催化燃烧工艺应符合以下要求：

- (1) 转轮浓缩+蓄热催化燃烧系统由转轮吸附浓缩系统、蓄热催化燃烧系统和自动控制系统等组成。
- (2) 蓄热催化燃烧宜采用两床及以上的工艺布置方式。
- (3) 选用催化剂的空间反应速度应大于 1/15000 h⁻¹。
- (4) 处理气体须不含可能造成催化剂中毒的物质。
- (5) 催化床应配设预热功能。
- (6) 其它应满足本指南第 7.15 条中 2~4，6-11 款

7.17 转轮浓缩设备，应满足以下要求

- (1) 转轮吸附区的设计面风速不应小于 3m/s，转轮厚度不宜小于 400mm。
- (2) 转轮的转速宜为 2~6 rph。
- (3) 转轮应配置自动灭火装置。

(4) 转轮系统应确保吸附区、脱附区和冷却区间的密封隔离设施的漏气率不大于 1%。

7.18 蓄热燃烧装置，应满足以下要求

气体燃烧室温度应控制在 800℃ 以上，停留时间不宜小于 0.75s。

(2) 蓄热层的断面风速宜设定在 1.1~1.5m/s 范围。

(3) 蓄热材料的高度宜控制在 0.8~1.6 m 范围。

(4) 气流切换阀门的漏风率应小于 1%。

(5) 蓄热燃烧装置应设置超温强制排风措施。

(6) 蓄热燃烧装置应设置保温，并保证炉体外表面温度须小于 60℃。

(7) 蓄热材料的膨胀系数须小于 $6 \times 10^{-6} \text{ m}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$

(8) 蓄热燃烧装置应设置自动控制。

7.19 蓄热催化燃烧装置

(1) 气体蓄热催化燃烧室温度应控制在 300-500℃，停留时间不小于 0.75s。

(2) 其余要求参见 7.18 条的 2-8 条

8 监督管理措施

8.1 含挥发性有机物的原料及废弃物管理

8.1.1 溶剂和含溶剂物料的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。

8.1.2 应制定规章制度和激励机制控制船舶工业的单位涂装面积的涂料消耗量。

8.1.3 含挥发性有机物残留的容器须加盖密封后再行储存或运输。

8.1.4 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,最终按危险废弃物处理要求处理。

8.1.5 清洗等过程产生的废溶剂和废料须及时密闭收存。

8.1.6 企业应按照 DB31/934 标准的要求，于每年三月三十一日前向所辖环保局提交上一年度涂料使用情况报告。

8.2 集气通风系统的管理

8.2.1 涂装空间须建立挥发性有机物无组织散发控制制度。

8.2.2 喷涂空间的进出口、门窗及喷漆室的连接口等易于向外泄漏的区域须设置和标识监测点位，并绘制出日常无组织控制巡测点位图。

8.2.3 工厂的 EHS 人员须携带 PID 等类型的防爆型便携式 VOCs 测定装置，定期在正常生产期间按以上监测点位图进行巡测并记录留存相关数据。

8.2.4 对于监测数据大于 $4 \mu\text{mol/mol}$ 的场所，应及时检查密封等环节，并及时采取密封、修复等处理措施。

8.3 排气净化装置的管理

8.3.1 治理设施的管理应纳入生产管理中，企业应根据实际生产工况和治理设施的设计标准，建立相关规章制度及运行、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。

8.3.2 须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。

8.3.3 治理设施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，并实现联动控制。经过治理后的废气排放应符合国家和地方环境保护相关规定，治理过程应避免产生二次污染。

8.3.4 企业应将有机废气终端治理设备信息接入中控系统；有机废气处理规模大于 10000m³/h（含）的末端处理装置应配置在线监测系统。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》、HJ/T 75 中相关要求及其他国家和上海市的相关法律和规定执行。使用的 FID 监测设备须为本质安全型设备或按相应防爆等级的安装要求安装。

8.3.5 车间或生产设施排气筒应在规定的监控位置设置采样孔和永久监测平台，同时设置规范的永久性排污口标志。有排放处理设施的还应在处理设施进、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，高度距地面大于 5m 时需安装旋梯、“Z”字梯或升降电梯。

8.3.6 每月应记录 VOCs 排放量（随废溶剂、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。

8.3.7 采用蓄热燃烧装置处理排气时，燃烧室温度不应低于 800℃，应记录并保留运行时间及燃烧室的在线温度数据备查。

8.3.8 采用蓄热催化燃烧或催化燃烧装置处理排气时，燃烧室温度不应低于 300℃，应记录并保留运行时间及燃烧室的在线温度数据备查。

8.3.9 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、去除效率和空速、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。

8.3.10 吸附装置应记录吸附剂种类、更换/再生周期、更换量，并每日记录操作温度等参数。

8.3.11 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。

8.3.12 台账记录应至少保存两年。

附件：

1 国内外船舶工业挥发性有机物污染控制相关标准

美国针对排放毒性 VOCs 的排放源，必须执行国家毒性空气污染物排放标准(National Emission Standards for Hazardous Air Pollutants, NESHAP)，该标准代表了最大可控技术(Maximum Achievable Control Technology, MACT)水平。其中涉及到涂料涂装的主要有家电表面涂层、汽车和轻型卡车表面涂层、木结构建筑产品表面涂层、木家具表面涂层、造船及船舶修理表面涂层、金属家具表面涂层、金属卷材表面涂层等。造船及船舶修理表面涂层标准主要规定了不同类型和功能的涂料中V O C s 的含量限值(表 1)。

标准中对用于造船设施 23 种涂料的 VOHAP 含量制订了限值，为每单位体积的涂料减去水和减去（豁免）几乎不会进行光化学反应的成份 VOHAP 的质量来表示的。

表 1 各种船用涂料有害空气污染物排放美国国家标准

涂料种类	克/升涂料（减去水和豁免的组分）	VOHAP 限度（克/升固体）	
		t≥4.5℃	t<4.5℃
一般涂料	340	571	728
专用涂料	-	-	-
空气瓶涂料	340	571	728
天线涂料	530	1439	-
防污涂料	400	765	971
耐热涂料	420	841	1069
高光泽涂料	420	841	1069
高温涂料	500	1237	1597
富锌涂料	340	571	728
军用外表面	340	571	728
黏油	610	2235	-
导航设备涂料	550	1597	-
防滑涂料	340	571	728
核能涂料	420	841	1069
有机锌涂料	360	630	802
预处理磷化底漆	780	11095	-
修理，维护用热塑性涂料	550	1597	-
橡胶伪装涂料	340	571	728
热喷铝封闭剂	610	2235	-
特殊标记漆	490	1178	-
专用室内涂层	340	571	728
粘结层	610	2235	-
水下武器系统	340	571	728
预处理锌粉底漆	650	2885	-

标准中同时制订了符合性程序。根据该程序要求，污染源（造船或修船厂）必须每个月证明其挥发性有害空气污染物（VOHAP）的排放符合标准限值要求。船厂有多种选择方案可以证明其符合性：

（1） 船厂可以按照涂料制造厂的证明，证明供货态涂料有机挥发物（VOCs）含量的符合性。如果在不添加任何稀释剂的情况下使用供货态涂料的话，船厂可以用证书等书面形式证明该批涂料的涂敷态 VOCs 含量等同于供货态 VOCs 含量。如果证明的 VOCs 含量低于上述表中规定的 23 种船舶涂料的 VOHAP 的限值，则达到标准要求；

（2） 如果每种涂料稀释剂的实际用量均小于最大许用稀释剂量，则可证明是符合的；

（3） 船厂可以提供所有涂料稀释剂的实际总用量小于最大许用总量的数据，证明其符合性。

（4） 船厂还可以通过测量涂料的实际 VOHAP 含量证明其符合性。

标准要求加强所有主要固定污染源的监督和符合性鉴定。通过足够精确、可靠、规定频次的检测，来确定在报告期内的符合性是否持续。

除了国家标准外，美国加州各地区也发布了针对造修船企业排放的法规。这些法规中对涂料中 VOCs 的限值提出了要求。企业使用涂料的 VOCs 含量必须小于法规的要求，或者 VOCs 处理设备的处理效率可达到 85% 及以上。

欧盟自 1999 年颁布了涂料环保限值指令 1999/13/EC，2004 年对该指令进行修改，发布了指令 2004/42/CE，以减少装饰涂料、汽车涂料和清漆的挥发性有机化合物含量。该指令分别在 2007 年和 2010 年分两个阶段实施。2010 年欧盟发布《工业排放指令》（IED，2010/75/EC）后，将涂料环保指令纳入其中。

综合污染预防与控制指令 96/61/EC、2008/1/EC 和 2010/75/EC 强调多环境介质(水体、大气、土壤、噪声等)的统一管理，引入许可证制度，规定基于最佳可用技术(Best Available Techniques, BAT)的污染排放限值(废水、废气、噪声、固废等)、等效的技术参数或工艺措施，在不影响环境质量的前提下灵活考虑了工业设施的技术特点、地理位置和当地的环境状况。综合污染预防与控制指令将工业生产活动划分为能源工业、金属工业、无机材料工业、化学工业、废物管理及其他活动 6 大类，涉及 VOCs 排放的主要行业包括石油精炼、有机化学品、有机精细化工、贮存设施、涂装、皮革加工等。指令中提出了两种 VOCs 达标的方式：

（1）达到指令中提出的 VOCs 排放限值，并提交年度或连续监测结果；（2）实施溶剂削减项目达到质量排放要求。针对造船行业的金属涂装工艺，指令中提出的 VOCs 排放限值如表 7 所示，包括有组织排放及无组织排放限值。针对不同溶剂使用量阈值，限值不同。根据指令要求，企业应每年递交监测数据，总有机碳排放平均超过 10kg/h 的点源需进行连续监测。对于连续监测，应达到以下要求：（1）24 小时算数平均值不超过指令限值要求；（2）小时平均值不超过指令限值的 1.5 倍。对于非连续监测，则要求如下：（1）所以监测数据的

平均值不超过指令限值要求；（2）小时平均值不超过指令限值的 1.5 倍。

为配合综合污染预防与控制指令以及许可证制度的实施，欧盟委员会出版了行业 BAT 参考文件(BREF)，各成员国结合本国的工业污染控制实践，将其转化为本国的标准。欧盟委员会 BAT 参考文件涉及到涂料涂装的主要有 Surface Treatment Using Organic Solvents 和 Surface Treatment of Metals and Plastics 两个文件，主要的约束对象有铝质板材和配件、大型钢材连续涂层、铝质卷材连续涂装、印刷、汽车涂装、面包车、卡车，卡车驾驶室涂装、客车涂装、火车涂装、农业和建筑设备涂装、船舶和游艇涂装、金属包装涂装和印刷、塑料制件涂装、家具和木质材料涂装等。

我国《大气污染物综合排放标准》GB 16297-1996 规定了氯乙烯、苯、甲苯、二甲苯、氯苯类、硝基苯类、非甲烷总烃苯胺类、酚类、甲醛、乙醛、丙烯醛、丙烯腈、甲醇、等 13 种 VOCs 的最高允许排放浓度、最高允许排放速度和无组织排放限值。

2 船舶工业涂装及挥发性有机物控制技术现状及发展趋势

20 世纪 70 年代以前，在传统的造船工程中，船舶涂装技术相当落后，曾被称为“敲铲油漆”。从 20 世纪 80 年代初开始，船舶涂装领域发生了一系列的重大变革。钢铁原材料预处理和涂装车间底漆的新工艺获得普遍应用；以室内喷丸除锈和动力工具除锈代替了原始落后的手工敲铲除锈；国外各种新型的高性能涂料不断受到应用；各种先进的设计与生产技术、管理方式不断获得应用，并结合我国实际情况逐步得到发展提高。

从 20 世纪 90 年代中期开始，船舶涂装技术领域得到了长足的进步。世界主要造船国在涂装工艺发展趋势是涂装工艺向机械化、自动化方向发展，用得最多的是自动喷涂工艺，包括有气喷涂(常压、低压)、无气喷涂、静电喷涂、无气静电喷涂和有气静电喷涂，各工艺的涂装效率见表 2。

表 2 各种涂装方式的涂装效率

喷涂方式	涂装效率(%)
有气喷涂	40
低压有气喷涂(HVLP)	65
无气喷涂	65
空气辅助无气喷涂	65
有气静电喷涂	50~85
无气静电喷涂	60~85
空气辅助无气静电喷涂	60~85

静电喷涂的涂装效率较高，一般可达 85%，有气喷涂的涂装效率仅为 40%。

国内主力船厂建成了一大批与造船发展相适应的先进的大型涂装设施，如钢材预处理生产线分段涂装工场配备磨料自动回收、自动喷漆、自动除尘装置，以及温度、湿度自动控制装置等，大大提高了涂装工作效率和质量；在涂装设计、施工、质量管理、物料管理等方

面完善了标准体系；开始确立涂装作业周期应有的地位，推进并建立了壳舾涂一体化造船模式；实现了应用计算机辅助涂装生产设计和生产管理，大大提高设计质量和效率，提高工料可控率；逐步推广应用采用高性能专用涂料，低表面处理涂料，通用型底漆，较大幅度提高了劳动生产效率；大力开展船舶涂装设计人员、质量检验人员、施工人员的技术培训，提高了涂装专业人员的专业素质，和处理相关问题的应变能力。

由于造船行业的特殊性，早期的涂装过程主要是在露天室外进行，气体的收集难以进行，也就无从进行排气处理。近 10 多年来，由于涂装工艺质量要求、涂装生产效率及环境保护等多方面的要求，原料、分段构件等体积相对不大的工件的涂装工作越来越多的在室内涂装工场进行。

2006 年 12 月 8 日,国际海事组织(IMO)第 82 届海上安全委员会通过了《船舶专用海水压载舱和散货船双舷侧处所保护涂层性能标准》,并将其列入《国际海上人命安全公约》,使之成为强制性标准,该标准明确指出,2008 年 7 月 1 日以后签订建造合同的 500 总吨以上所有类型船舶专用海水压载舱及船长不小于 150m 的散货船双舷侧处,2006 年 12 月 8 日以后签订建造合同的船长 150m 以上的油船和船长 90m 以上的散货船都必须符合这一标准。该标准有四要点: (1) 保护涂层系统的目标使用寿命为 15 年; (2) 对环氧树脂涂层干膜厚度不小于 320 μm ,建议使用低挥发性有机物的涂料; (3) 压载舱涂料系统应是由主管当局认可的涂料; (4) 船厂的涂装和表面质量控制系统须由主管当局或其承认的组织认可。此外对钢板盐分浓度、涂层破损率以及板材边缘圆弧度等都比过去有了更加严格的要求。例如要求每个分段大合拢后涂层的破损率即涂层损坏面积占舱室总面积的比率不得超过 2%,以我国目前船厂的硬件设备和管理水平很难达到。我国船厂分段大合拢后涂层的破损率普遍在 10%以上。

《船舶专用海水压载舱和散货船双舷侧处所保护涂层性能标准》的实施，对涂装环境的要求变高，传统的露天涂装已无法满足要求，分段涂装工场内进行表面处理和涂漆施工的工作量明显增大，这也给船舶涂装过程的挥发性有机物的收集和净化提供了有利条件。近 10 年来，涂装工场室内涂装的工作量明显增大，很多船厂现有的涂装车间已无法满足生产需要。

船厂的涂装排气的收集是污染控制的关键难点之一。室内涂装使得大规模的收集和处理挥发性有机气体成为可能。其余包括部分船体的搭棚涂装，并对围挡的空间进行通风集气，对于一些相对密闭的舱室内部的涂装可在其现有的工艺通排风系统上安装标准化的活性炭吸附装置以减少排放。而吸附饱和的活性炭罐可运送至集中再生车间进行集中再生。

目前船厂涂装工场的污染气体的收集系统形成的是大风量低浓度且浓度波动的气体。而目前大风量低浓度气体的净化技术主要有吸附浓缩加催化燃烧，及吸附浓缩加蓄热燃烧（RTO）。从安全的角度考虑，目前与各类热力氧化过程耦合的吸附浓缩工艺采用的吸附剂已由传统的炭基材料向疏水性分子筛转变。但转轮浓缩加蓄热燃烧系统对于排风强度波动的排气净化的适应性还须完善。