
广东省地方《集装箱制造业挥发性有机物排
放标准》
(征求意见稿)

编制说明

《集装箱制造业挥发性有机物排放标准》课题组

2015年5月

《集装箱制造业挥发性有机物排放标准》

制订主管部门：

广东省环境保护厅

起草单位：

广东省环境科学研究院

参加起草单位：

华南理工大学

目 录

1. 标准制订背景	1
1.1. 标准制订的必要性和意义.....	1
1.2. 标准编制的工作过程.....	2
1.2.1.任务来源.....	2
1.2.2.编制过程.....	2
1.3. 标准制订原则.....	3
1.4. 标准制订的总体思路.....	3
2. 集装箱制造业概况	5
2.1 行业定义.....	5
2.2 发展现状.....	5
2.2.1 我国集装箱制造业发展现状.....	5
2.2.2 广东省集装箱制造业发展概况.....	6
2.3 行业特征.....	8
2.3.1 企业规模.....	8
2.3.2 原辅材料.....	9
2.3.3 技术特点.....	11
2.4 发展趋势.....	12
3. 集装箱制造工艺和产污环节分析	14
3.1 工艺流程.....	14
3.2 VOCs 产生工艺环节分析.....	16
3.3 VOCs 产生特点分析.....	17
3.4 广东省集装箱制造业 VOCs 排放量估算.....	18
4. 集装箱制造业 VOCs 控制技术	19
4.1 使用水性涂料.....	19
4.2 集装箱涂装生产线升级改造.....	19
4.3 VOCs 废气末端净化技术.....	19
4.4 集装箱制造业废气处理分析与案例.....	24
5. 国内外集装箱制造业 VOCs 控制相关标准研究	26

5.1 美国.....	26
5.2 欧洲.....	28
5.3 日本.....	28
5.4 香港.....	29
5.5 台湾.....	30
5.6 小结.....	32
6. 标准主要技术内容.....	33
6.1 标准适用范围.....	33
6.2 术语和定义.....	33
6.3 污染源界定与时段划分.....	33
6.4 集装箱涂装生产线 VOCs 排放量限值.....	33
6.5 污染物项目的选择.....	34
6.6 排气筒高度的规定.....	36
6.7 监测与监控要求.....	36
6.8 生产工艺和环境管理要求.....	36
7. 集装箱挥发性有机物排放限值.....	38
7.1 集装箱涂装生产线 VOCs 排放限值.....	38
7.2 排气筒排放浓度限值.....	38
7.3 无组织排放监控点浓度限值.....	40
7.4 达标技术分析.....	40
8. 标准实施的环境和经济效益分析.....	42
8.1. 标准实施的环境效益分析.....	42
8.2. 标准实施的经济费用分析.....	42

1. 标准制订背景

1.1. 标准制订的必要性和意义

1、我省大气环境保护面临新形势

近年来，我省大气环境保护工作取得较大进展，二氧化硫和氮氧化物排放得到有效控制，但以臭氧（O₃）和细颗粒物（PM_{2.5}）为代表的二次污染仍十分突出。以珠三角地区为例，2013年粤港珠三角区域空气监控网络监测结果显示，O₃年平均值介乎于0.036 mg/m³和0.082 mg/m³之间，期间所有子站均曾录得最大时均值超出国家时均标准（0.2 mg/m³）。挥发性有机物（volatile organic compounds, 简称 VOCs）是指在20℃条件下蒸气压大于或等于0.01 kPa，或者特定适用条件下具有相应挥发性的全部有机化合物的统称，它具有光化学活性，排放到大气中是形成PM_{2.5}和O₃的重要前体物质。珠三角地区的研究表明，尽管近些年珠三角大气中SO₂、NO_x浓度呈下降趋势，但夏季O₃浓度却在增加。相关研究还表明，珠江三角洲臭氧生成处于VOCs控制区，以VOCs控制为重点才能有效降低该区域的O₃浓度水平。

2、国家和我省大气环境保护工作对VOCs控制提出了具体要求

- 《国家环境保护“十二五”规划》要求加强VOCs污染物控制，鼓励使用水性、低毒或低挥发性的有机溶剂，加强有机废气回收利用，完善重点行业污染物排放标准。
- 《重点区域大气污染防治“十二五”规划》将大气污染防治工作扩展至涵盖NO_x、O₃、PM_{2.5}、VOCs、有毒有害物质等污染因子，实现多污染同时控制。该规划明确要求开展重点行业VOCs治理，完善VOCs污染防治体系。
- 《大气污染防治行动计划》正式地从国家层面上提出了加强VOCs污染防治工作的要求，将VOCs和SO₂、NO_x、颗粒物一起列为改善大气环境质量的防控重点污染物，把开展VOCs防治工作作为大气污染联防联控工作的重要部分。
- 我省第一、二阶段《广东省珠三角清洁空气行动计划》均要求全面开展工业VOCs排放治理，提出制订包括集装箱等行业在内的重点行业VOCs排放控制标准。
- 《关于珠江三角洲地区严格控制工业企业挥发性有机物（VOCs）排放的意见》提出我省珠三角地区扎实推进VOCs污染控制的各项步骤，并要求加快出台重点行业挥发性有机污染物排放标准。

3、标准的缺失严重阻碍了环境保护工作

我省《大气污染物排放限值》（DB44/27-2001）规定了几种VOCs的排放限值。按照环境标准管理

办法的规定，未制订行业排放标准的行业一律执行综合污染物排放标准。集装箱制造业是我省典型的涂料和有机溶剂使用行业，VOCs产生和排放量较大，应予以重点控制。目前仅依照《大气污染物排放限值》（DB44-27-2001）不利于有效控制集装箱制造业VOCs排放。制订本标准，是完善我省环境标准体系，提升集装箱制造业有机废气污染控制管理能力的有力手段。

4、标准的制订能够促进我省集装箱制造业持续健康发展

我省是集装箱制造大省，集中了包括中集、新华昌、太平货柜、马士基、东方国际等十余家集装箱制造企业，集装箱年生产量约100万TEU。制订我省集装箱制造业挥发性有机物排放标准，加大该行业VOCs排放控制，引导企业逐步扩大水性原辅材料使用，提升涂装技术和设备水平，有利于推动整个行业的技术升级和进步，促进行业持续健康发展。

综上，为改善我省大气环境质量，完善我省行业环境标准体系建设，提升集装箱制造业VOCs污染控制管理能力，制订一份专门针对集装箱制造业VOCs控制的标准是十分有必要的。

1.2. 标准编制的工作过程

1.2.1. 任务来源

为深入贯彻落实省委省政府加强环境建设，改善空气质量，保障民众健康的要求，适应全省经济发展和环境保护工作的需要，更有效地控制工业污染物排放，省环保厅积极推进工业污染物排放标准体系建设，向广东省环境科学研究院和华南理工大学下达了制订广东省《集装箱制造业挥发性有机物(VOCs)排放标准》的任务。

1.2.2. 编制过程

2013年6月，广东省质监局印发《关于批准下达2013年广东省地方标准制定计划项目（第一批）的通知》，由广东省环境科学研究院承担《广东省集装箱制造业挥发性有机物排放标准》制定任务。

2013年6月~12月，开展行业资料收集和分析；进行国内外集装箱制造业大气污染物排放标准和法规政策的文献调研；进行集装箱制造过程VOCs排放特征研究；开展集装箱制造业VOCs排放控制技术研究。

2014年1月~2014年10月，对全省集装箱制造企业进行现场调研、问卷调查和废气排放监测，并对调研和监测结果进行分析和计算论证；与行业协会、集装箱制造企业、装箱涂料制造企业的专家和行业代表开展多次咨询和讨论。形成《集装箱制造业挥发性有机物排放标准》（征求意见稿）和编制说明。

2014年11月，组织召开“广东省集装箱制造业挥发性有机物排放标准”标准专家论证会；并发文

《关于征求〈集装箱制造业挥发性有机物排放标准（征求意见稿）〉意见的函》（粤环商〔2014〕813号）向环保部，省发改委、省质监局等省级部门，省环保厅有关处室及直属单位，21个地级以上市及顺德区环保主管部门，中国集装箱行业协会和集装箱制造企业征求意见。

2014年12月~2015年2月，监测科技处与课题组对专家论证意见和各单位反馈意见进行了多次研讨，对征求意见稿做了进一步修改完善。

2014年3月~2015年4月，省环保厅组织召开厅长专题讨论会，对标准内容进行审核。根据会议意见，对标准文本和编制说明进行进一步完善修改。

1.3. 标准制订原则

（1）遵循技术经济可行性原则

排放标准的制订一定要遵循技术经济可行性原则，以集装箱制造业现有成熟的清洁生产工艺和污染治理技术为依托，确定标准值及有关技术要求。要以国内先进的污染控制技术为依托，采用成熟可靠、经济合理的污染治理措施，控制水平要选在技术和经济的最佳结合点。全面贯彻清洁生产的思想，对企业生产实践全过程控制，促进集装箱制造企业的技术进步与发展，减少污染物排放。

（2）时段分类原则

体现现有项目和新建项目的区别，现源标准可宽于新源，但一定要有达标期限，经过若干年的技术革新与改造，应达到新源标准。

（3）贯彻总量控制原则，浓度控制和总量控制相结合，体现全过程控制。

（4）标准制订时，确保污染物排放符合大气污染防治的管理要求，起到改善大气环境质量的作用。

（5）借鉴国外、国内同行业的排放标准制订的经验，指导标准制订工作。

（6）标准的制订具有科学性和可操作性，真正为实现集装箱制造业 VOCs 污染控制服务。

1.4. 标准制订的总体思路

（1）明确本标准的适用范围是广东省辖区内所有的集装箱制造企业。

（2）提出集装箱制造企业涂料使用的相关要求，推动企业采购低 VOCs 含量的涂料，减少有机溶剂添加，源头削减 VOCs 产生量。

（3）设置“集装箱制造涂装生产线单位涂装面积 VOCs 排放量限值”指标控制指标，加强集装箱涂装生产线 VOCs 排放总量控制。

（4）划分现有项目和新建项目，分时段执行排放标准。排放限值、技术与管理规定未划分时段的，则自本标准实施之日起执行。

(5) 标准规定了集装箱制造企业原辅材料储存和使用、主要 VOCs 排放工艺环节要遵守的技术要求和环境管理要求。

2. 集装箱制造业概况

2.1 行业定义

集装箱是指具有一定规格、强度和容积,适用于不同运输方式之间转换使用的货运容器,也称货柜。集装箱适用于一种或多种运输方式运送,途中转运时货物无需装换 转换,是一种现代化的成组运输工具。随着世界经济一体化、贸易全球化和国际航运的迅速发展,集装箱作为一种先进的运输设备在全球海上、陆路和多式联运中均得到广泛应用。

集装箱制造业作为机械制造行业的一个分支,相对而言是分布范围比较小的行业。集装箱制造业主要包括干货集装箱、冷藏集装箱及罐式集装箱等其他各类特种集装箱的制造。按照《国民经济行业分类》(GB/T4754-2011),集装箱制造行业是集装箱及金属包装容器制造业下的 1 个子行业,如下表所示。

表 2-1 集装箱及金属包装容器制造子行业分类 (GB/T4754-2011)

行业及代码	子行业及代码	行业描述
333 集装箱及金属包装容器制造	3331 集装箱制造	指专门设计,可长期反复使用,不用换箱内货物,便可从一种运输方式转移到另一种运输方式的放置货物的钢质箱体(其容积大于 1 立方米)的生产和修理活动。
	3332 金属压力容器制造	指用于存装压缩气体、液化气体及其他具有一定压力的液体物质的金属容器(不论其是否配有顶盖、塞子,或衬有除铁、钢、铝以外的材料)的制造。
	3333 金属包装容器制造	指主要为商品运输或包装而制作的金属包装容器及附件的制造

2.2 发展现状

2.2.1 我国集装箱制造业发展现状

集装箱制造业上世纪 50、60 年代兴于欧美,70 年代转移到日本,80 年代转移到韩国和台湾地区,90 年代以后,我国大陆地区成为全球集装箱制造中心。我国集装箱产业在诞生初期只有 4 家生产厂家,通过十几年的努力,目前已经实现三个第一,即集装箱生产能力世界第一、集装箱种类规格世界第一、集装箱产销量世界第一。2008 年金融风暴,造成 2009 年集装箱全行业遭受严重打击。经过几年的发展,集装箱制造业生产情况有所回暖。总体上,我国制造的集装箱全球市场占有率 95% 以上。全球集装箱产销量 2011 年约为 360 万 TEU,其中我国产销量约为 345.6 万 TEU;2012 年约为 270 万 TEU,其中我国产销量约为 260 万 TEU。

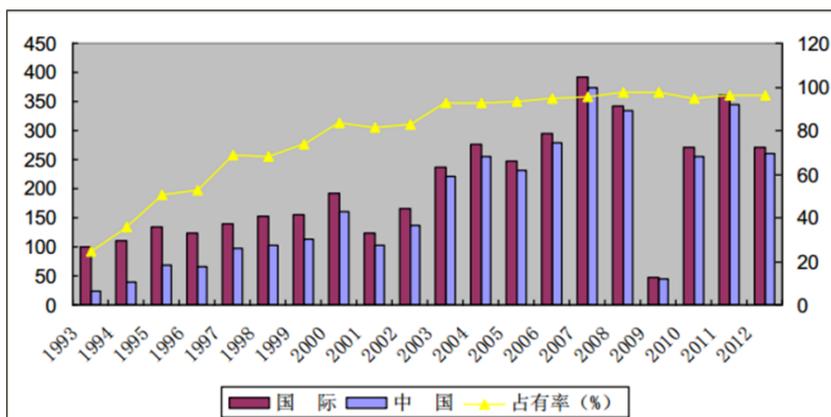


图 2-1 1993-2012 年中国集装箱产量在国际市场占有率统计

来源：中国集装箱行业协会

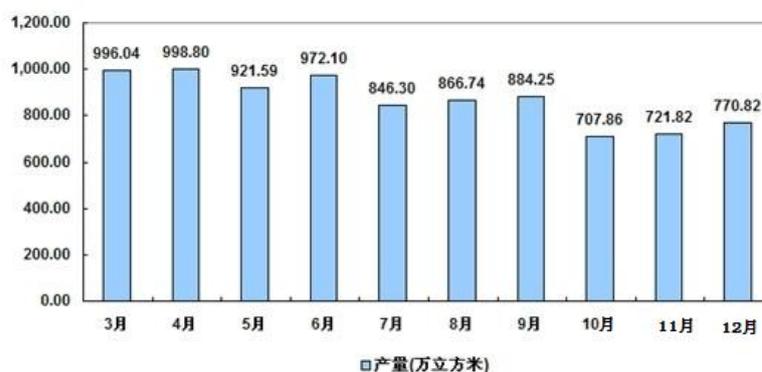


图 2-2 2013 年我国金属集装箱产量月度变化

国内目前有集装箱制造企业 20 余家，中集集团、胜狮、新华昌、中海运四大集团的制箱量占全国总制箱量的 97% 左右。其中，中集集团国际市场份额超过 50%，胜狮集团市场份额约占 20%，新华昌集团市场份额约占 10%。我国主要的集装箱出口市场集中在亚洲、美国和欧盟等国家和地区。按照集装箱出口数量排序，前十位的国家和地区依次是美国、中国香港、日本、欧盟、印度尼西亚、新加坡、马来西亚、瑞士和台湾，这 10 个国家和地区的集装箱出口量占我国集装箱总出口量的 95.7%。

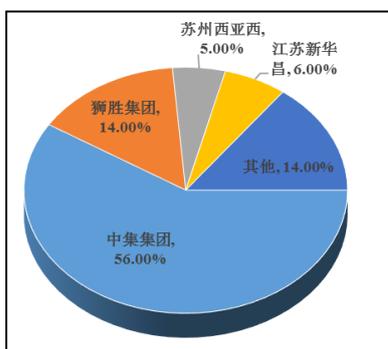


图 2-3 当前国内集装箱制造行业市场份额

2.2.2 广东省集装箱制造业发展概况

我省是集装箱制造大省，长期以来集装箱产量长期居全国前列。数据显示，2013 年我国金属集装

箱行业产量达到 10,2738.6 万立方米，其中我省以产量 36,112,628.3 立方米（占比 35.15%）位居首位，紧随其后的是江苏省 30,896,792.00 立方米、山东省 16,093,815.72 立方米，分别占金属集装箱行业全国总产量比重为 35.15%、30.08%、15.67%¹。

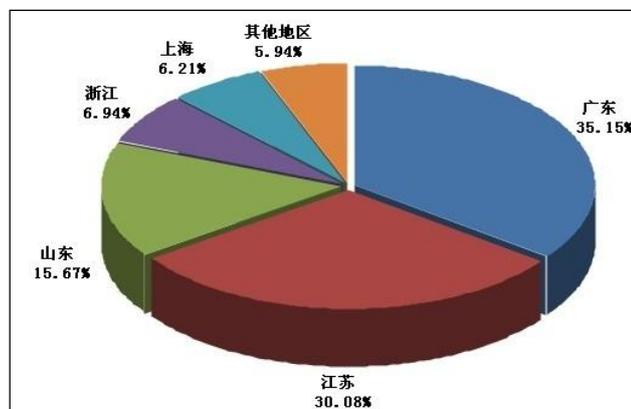


图 2-4 2013 年我国金属集装箱行业产业集中度分析

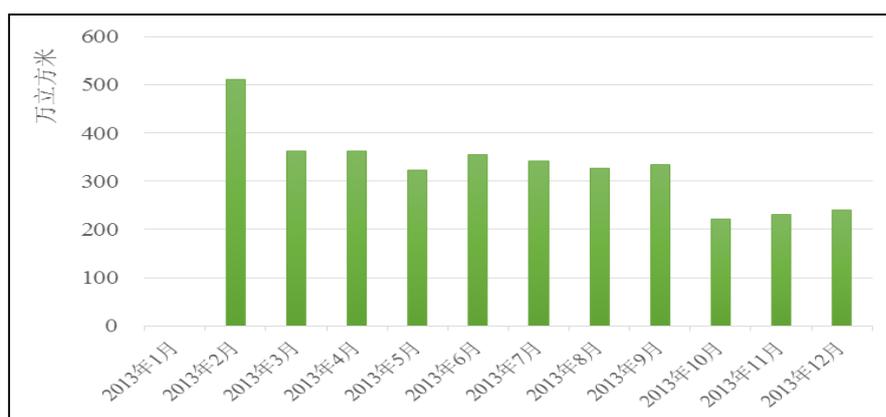


图 2-5 2013 年广东省金属集装箱产量月度变化

当前我省集装箱制造业有两个显著特点：

(1) 集装箱制造以 40 英尺和 20 英尺集装箱为主。

我省制造的集装箱以 20、40 英尺的干货集装箱为主，特种尺寸和特种用途的集装箱生产比例较小。近年来，集装箱呈现大型化和专门化的趋势，40 英尺的集装箱构成了集装箱产品结构中的主体，占比近 60%，并保持增长态势。2012 年，我省口岸分别出口 40 英尺和 20 英尺集装箱 33.9 万个和 11.9 万个，两者合计占同期广东口岸集装箱出口总量的 91.3%。

(2) 产品主要出口至美国、欧盟和香港。

我省集装箱加工贸易出口约占 90%，美国、欧盟和香港为我省集装箱制造和出口的主要市场。2012

¹ 内容选自产业信息网发布的《2013-2018 年中国集装箱制造行业运营态势及投资前景预测报告》

年，我省口岸以加工贸易方式出口集装箱 48.5 万个，占同期广东口岸集装箱出口总量的 96.7%。同期，以一般贸易方式出口 1.7 万个，占同期广东口岸集装箱出口总量的 3.3%。

2.3 行业特征

2.3.1 企业规模

我省是我国金属集装箱制造的最大产区。根据初步调查统计，我省集装箱制造企业设计产能共计约 152 万 TEU。近几年，我省金属集装箱年产量保持在约 100 万 TEU 左右。2013 年，我省金属集装箱制造量约占全国总产能的 35.15%，约占全球产能的 34%。

我省有中集集团集装箱控股有限公司所属的深圳盐田港集装箱制造有限公司、深圳南方中集东部物流装备制造有限公司、新会中集集装箱有限公司等集装箱制造厂，以及东莞马士基集装箱工业有限公司、惠州市太平货柜有限公司、惠州新华昌运输设备有限公司、东方国际集装箱（广州）有限公司、广东现代集装箱有限公司（广大现代摩比斯机电有限公司）等集装箱制造厂，普遍拥有 1~2 条生产线。其中，深圳南方中集东部物流装备制造有限公司具备 4 条自动化生产线，设计年产能约 70 万 TEU。

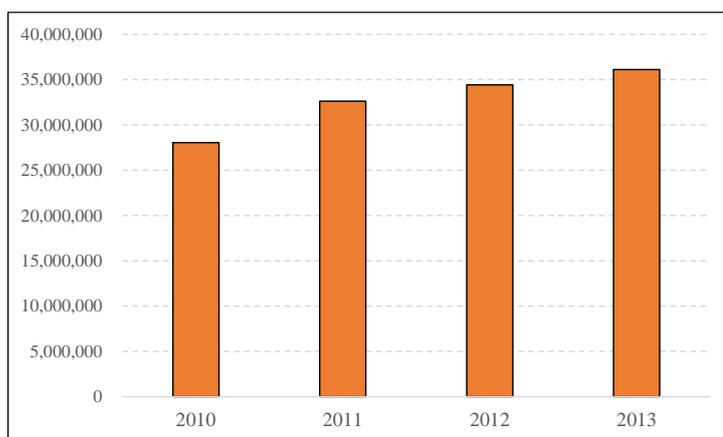


图 2-6 2010-2013 年我省金属集装箱产能（单位：立方米）

表 2-2 2012 年我省主要集装箱制造企业及其规模

序号	地市	企业名称	集装箱年产量 (TEU)
1.	深圳	深圳南方中集东部物流装备制造有限公司	700,000(设计年生产能力)
2.	江门	新会中集集装箱有限公司	150,000(设计年生产能力)
3.	东莞	东莞马士基集装箱工业有限公司	200,000(设计年生产能力)
4.	惠州	惠州新华昌运输设备有限公司	150,000(设计年生产能力) 86,431(实际年生产能力)
5.	惠州	惠州市太平货柜有限公司	120,000(设计年生产能力)
6.	广州	东方国际集装箱（广州）有限公司	150,000(设计年生产能力) 64,606 (实际年生产能力)

序号	地市	企业名称	集装箱年产量 (TEU)
7.	江门	广东现代集装箱有限公司 (广大现代摩比斯机电有限公司)	52,000(实际年生产能力)
8.	江门	广东新会中集特种运输设备有限公司	—

2.3.2 原辅材料

集装箱涂料包括车间预涂底漆、箱内漆、箱外中间层、面漆和箱底防腐漆。车间预涂底漆有富锌底漆和丙烯酸车间底漆，近年来处于对环保的考虑，集装箱外基本采用丙烯酸面漆。因为集装箱可能会运输食品或者药品，所以箱内采用环保、无毒的环氧油漆。集装箱的底漆采用锌含量在 80% 以上的环氧富锌底漆。目前，集装箱常用涂料系统是箱外部三道涂层、箱内部和箱底架两道涂层系统。常用的集装箱涂料的种类如表 2-3 所示。

集装箱涂料使用要满足两大特点。一是要适用于集装箱生产线的大批量生产特点。目前，一般集装箱生产线大约为平均 3~5 分钟一个生产工位，整条生产线耗时约 2 小时。二是要具备较强的防腐性和耐温度性 (-40℃~70℃)，还要不变色、耐磨损、耐冲击等。

表 2-3 常规集装箱涂料配套及膜厚

部位	油漆种类	干膜厚度 (μm)	备注
外侧			
底漆	环氧富锌底漆	40	包括车间底漆 15μm
中层漆	环氧磷酸锌中层漆	50	
外面漆	氯化橡胶漆或丙烯酸漆	40	
内侧			
底漆	环氧富锌底漆	30	包括车间底漆 15μm
面漆	环氧面漆*	45	
箱底			
钢结构	环氧富锌底漆	50	分沥青漆、半蜡型沥青漆、全蜡型箱底漆 3 种。 钢结构沥青漆 200μm, 木板沥青漆 150μm
	箱底专用漆	150~200	
木地板		150~200	

集装箱制造过程中使用的集装箱涂料主要为溶剂型涂料，同时涂料使用过程中至少还需添加 10%~20% 的稀释剂 (主要成分为甲苯、二甲苯)，因此产生大量的 VOCs。受限于水性集装箱涂料在成本、防腐性能、施工性能、成本等技术难题的制约，我省目前集装箱制造企业水性涂料²使用比例低，相关行

²水性涂料分为水溶型和水乳型两大基本类型。目前，人们更关注水乳型涂料，因为这类涂料能够得到几乎可与溶剂型涂料性能相媲美的漆膜，却大大降低了以重金属为代表的有害物质含量。

业专家估计小于 1%³。由于使用水性集装箱涂料可以节约能源、减少环境污染、减少对生产线工人的伤害。目前我省各集装箱制造企业纷纷开展了使用水性涂料的集装箱生产小型试验，但目前尚无一家能够完全实现彻底摒弃溶剂型涂料。

专栏一 集装箱涂料

一、集装箱涂料测试

按照国际惯例，集装箱制造厂和涂料商应向箱业主提供保证，保证在5年内集装箱涂抹锈蚀、剥落的面积不大于涂膜面积的10%。若超过10%，则应分清原因，由涂料厂或集装箱制造厂负责分批或整箱重喷，或作出相应的补偿。为确保集装箱涂料质量，国际集装箱标准化委员会

(ZSO/TC104)曾对集装箱涂料的鉴定和检测作了统一的规定，即按美国材料检测标准和测试方法，通过Konstandt Lab的8项产品质量标准13种性能的测试认可，总评分超过120分(满分130分)才能获得该实验室颁发的认可证书，才能用于ISO标准集装箱的制造。如果是运载食品的集装箱，其内侧面漆需通过FDA（美国食品药品监督管理局）的认可。后来，随着集装箱涂料及配套系列的规范化和集装箱涂料质量的提高，生产厂家的相对稳定，该规定才逐渐淡出。

二、四大集装箱涂料生产厂商

当前我国集装箱涂料市场基本被四大品牌占据，分别是中远关西、赫普涂料、韩国金刚化工（KCC）、日本中涂化工（CMP）。其中，中远关西市场份额超过30%，CMP约占25%，KCC和赫普分别为15%左右，其它的国内集装箱涂料厂约占10%。全球96%的集装箱涂料目前我国生产。集装箱涂料市场的竞争比较有序，基本上每年集装箱涂料的需求量约20多万吨。2006~2008年，我国集装箱涂料产量保持在28万吨；2009年受金融危机影响，跌至3万吨；2010年，经济的恢复促使集装箱涂料产量达到10万吨，占2010年涂料产量的10.4%。

三、水性集装箱涂料使用面临的难题

生产成本问题。水性集装箱涂料降低成本主要是自主研发水性树脂、防锈颜料、水性助剂，国内产品性能与国外公司仍有一定差距。与此同时，我国大部分箱厂没有配备与水性集装箱涂料工艺相适应的无气喷漆设备、加热、烘干设备，目前集装箱全部箱体不可能指定水性集装箱涂料配套。目前美国Graco公司、德国WIWA公司已研制出了水性涂料的专用无气喷漆设备，主要部件用不锈钢制作。**防腐性能和施工性能问题。**水性集装箱涂料的防腐性能要达到与溶剂型相同的防腐性能，在技术上存在一定的困难。目前集装箱的生产速度最快可达到3.5分钟/标准箱，为集装箱涂料的水性化增加了难度。目前，能够完全满足生产线要求的三涂层全水性集装箱涂料的厂家还为数不多。

³2013“倡导水性，集装箱用水性涂料高峰论坛”.<http://www.wbplatform.com/about/show.php?lang=cn&id=157>

四、我省集装箱制造企业水性化现状

本项目调研和监测显示：**(1) 涂料仍以溶剂型涂料为主。**预处理、面漆喷涂（底漆、内面漆、外面漆）工艺环节仍使用溶剂型为主，样品检测结果显示，其中底漆中 VOCs 含量约为 17.9%~25%（质量比，下同），面漆中 VOCs 含量约为 25%~70%。集装箱制造企业使用的稀释剂的主要成分为甲苯、二甲苯，其次还有甲基异丁基酮、异丁醇、醋酸丁酯等。箱体木地板漆和密封胶已可实现完全水性化。**(2) 目前水性涂装试生产效果不佳。**省内多家曾进行过全生产线改用水性涂料的箱体涂装试验，试生产量多在 1000~2000 个集装箱左右，但存在水性涂料价格偏高（较溶剂型高 20%~30%）、试验箱体效果不佳、涂装生产线整体改造费用高⁴、较大影响生产效率等诸多问题，因此企业目前仍主要采用溶剂型涂料及配套生产线。

2.3.3 技术特点

(1) 技术含量相对较低

目前，就制造技术而言，干货集装箱制造技术已经很成熟，冷藏箱制造行业的技术含量相对较高（因为其涉及到保温材料的制造技术），罐式集装箱的制造技术含量最高（存在进入技术堡垒）。就市场容量而言，干货集装箱占到全部集装箱产量的 90% 以上，而冷藏箱和罐式集装箱的市场容量相对干货集装箱要低很多，因此总体而言，集装箱制造行业的制造技术含量比较低。

(2) 属于劳动和材料密集型行业

集装箱制造业是较为典型的劳动密集型行业，需要大量人工，一个年产 10 万 TEU 的集装箱厂，工人的数量在 1500 人左右。集装箱制造业也是材料密集性行业，在集装箱的成本构成中，原材料占到全部成本的 85% 以上，人工成本占到 6%，折旧与摊销占到 1%，其他占到 7%，因此原材料价格的变化对集装箱的成本影响明显。对于集装箱生产企业，成本控制十分重要，规模较大的集装箱制造商可以通过大规模原材料采购降低材料成本，从而具有更强的竞争力。



图 2-7 全球集集装箱价格和与平均钢材成本历年变化

⁴据调查，一条水性涂装生产线的改造包括增加风量的改造（让水性漆尽快干燥）、改造涂装设备、改造烘房等。

(3) 生产具有波动性

集装箱收经济周期的影响比较大。如 2009 年的金融危机导致我省集装箱制造企业 2009 年业务急剧萎缩。我省集装箱制造业的生产和销售受季节影响大，一般的，一、四季度是淡季，二、三季度是旺季。此外，我省集装箱以出口为主，产品主要依赖订单进行生产，除了对客户信用的依赖较大外，由于生产滞后，容易造成集装箱企业较难把握经营形式。

2.4 发展趋势

预计未来几年我省集装箱制造业仍然会保持上升态势。2011 年以来，世界经济增速放缓和欧美债务危机并未对我国集装箱出口造成明显的影响，出口仍然保持增长。未来伴随世界经济、国际贸易、市场需求的继续平稳回升，以及我国大规模的港口建设，将促使了集装箱制造业的发展，因此预计未来我省集装箱的需求将持续增加。

水性涂料是集装箱涂料发展的必然趋势。目前，国内集装箱行业使用的涂料目前基本为溶剂型，因此造成大量的挥发性有机物排放。研究显示，可能用于集装箱的水性涂料主要有以下几种：**底漆**：水性环氧富锌底漆、水性无机富锌底漆、水性磷酸锌底漆；**中间漆**：主要是水性环氧中间漆；**面漆**：水性环氧面漆和水性丙烯酸外面漆等。当前，这些涂料都已研发成功，但需要解决的首要问题是如何调整配方，使之成功运用于集装箱涂装。水性集装箱涂料的研究可以节约能源、减少环境污染、减少对生产线工人的伤害，是集装箱涂料发展的必然趋势，但其应用与推广还要解决成本问题和防腐性能、施工性能、成本这三个主要的技术难题，其解决需要科研机构、集装箱涂料生产厂家和集装箱制造企业之间的紧密合作与交流。

水性涂装生产线已有工程实践。由于集装箱的生产是快节奏、大批量的流水线作业，研究和开发水性集装箱涂料具有重大而长远的意义。早在 1992 年 2 月，国际集装箱和箱者协会召开了专业会议。会议上提出了开发、生产和应用水性集装箱涂料的建议。会后，Hempel、Mega、Chugoku 和 Kansai 等涂料公司响应建议。如 Hempel 涂料公司在美国休斯敦投资了世界上最先进的装置，专业生产水性集装箱涂料，并已研制成功水性环氧富锌底漆、水性环氧中层漆和水性丙烯酸面漆等。意大利的 Mega 涂料公司研制的水性集装箱涂料，如 Megamar170 水性环氧磷酸锌底漆与 Megamar200 丙烯酸面漆配套，已应用在 2000 只 Contexco 集装箱上。2004 年，我国维新制漆集团深圳公司与国内最大的箱业主——中集集团签订合作协议，共同开发集装箱水性涂料。该公司研制的配套体系为：水性环氧富锌底漆、水性环氧磷酸锌中层漆（兼作内面漆）和水性丙烯酸外面漆。该配套体系中，内、外侧通过国际集装箱标准化委员会规定的 KTA 实验室认证；内侧配套体系同时通过了美国“FDA”的认可，可运装食品和医药等。在 2008 年 3 月召开的集装箱箱东协会(COA)年会上，美国的 Valspar 公司介绍了该公司的水性集装箱涂

料系统。该系统省去了富锌底漆，采用单组分水性涂料两道涂装，涂膜厚度约为 100 μm ，不仅全部采用了水性涂料系统，而且在外部减少了一道涂料，使施工工艺简化，受到了业界的关注。目前，美国 Graco、德国 WIWA 等公司已研制出水性涂料专用的高压无气喷涂机，为水性涂料的应用奠定了基础。另外，水性涂料涂装流水线中，流平、烘干设备和相应技术条件的设定也是水性集装箱涂料使用成功的关键。

3. 集装箱制造工艺和产污环节分析

3.1 工艺流程

我国生产的集装箱大致可分为普通（干货）集装箱和特种集装箱，其中特种集装箱主要包括冷藏集装箱、罐式集装箱、平台集装箱、挂式集装箱等。特种集装箱是针对特殊货物（如动物、液体、冷冻食品等）运输需求而生产的具有特殊用途的集装箱，其生产工艺除需在结构和设备方面进行特殊的设计和改造外，与普通集装箱大致相同。集装箱制造是从钢板预处理开始，经过冷轧成型加工、焊接组装、整箱喷砂、喷漆及完工线装配等十几道工序，其中关键工艺为钢材预处理、冷加工成型、焊接组装及喷漆四个主要部分，如图 3-1 所示。集装箱制造的第一道工艺和最后一道工艺都是涂装，它不仅贯穿着集装箱制造的始终，而且集装箱涂装要与整个集装箱工艺相适应。

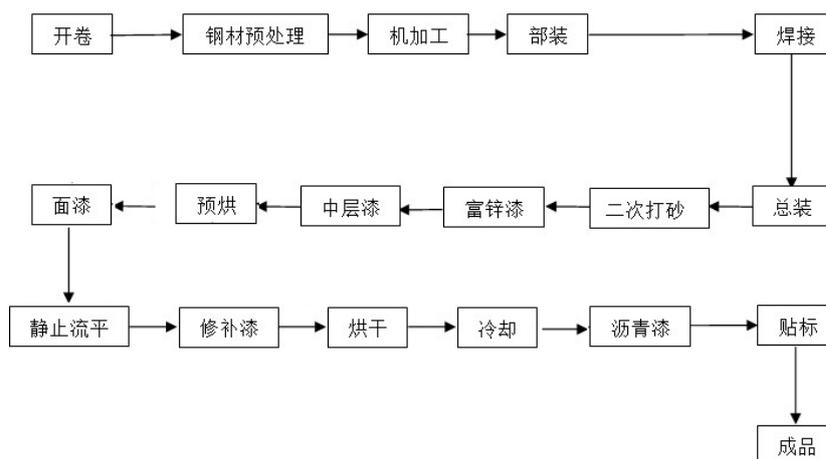


图 3-1 普通集装箱制造工艺流程

目前，在集装箱行业中，将集装箱涂料的喷涂和喷涂前表面处理的整个工艺方法与过程，及与此相关的技术上、管理上的全部活动统称为集装箱涂装工艺。集装箱涂装工艺包括喷漆前钢材表面预处理（抛丸和焊缝喷砂）、预涂、喷漆、烘干等一系列过程，具体工艺流程为：整箱焊道喷砂处理→底漆预涂→底漆喷涂→底漆流平→中间漆和内面漆预涂→中间漆喷涂→内面漆喷涂→中间漆和内面漆流平→30~50℃烘干→面漆预涂→面漆喷涂→面漆流平→60~80℃烘干→底喷架漆→面完工检查。由于集装箱需要经得起环境的苛刻考验，而集装箱结构的腐蚀问题最为严重，因此涂装工艺在集装箱制造过程中至关重要，集装箱涂装对内/外侧涂漆、底漆等均有特殊要求。

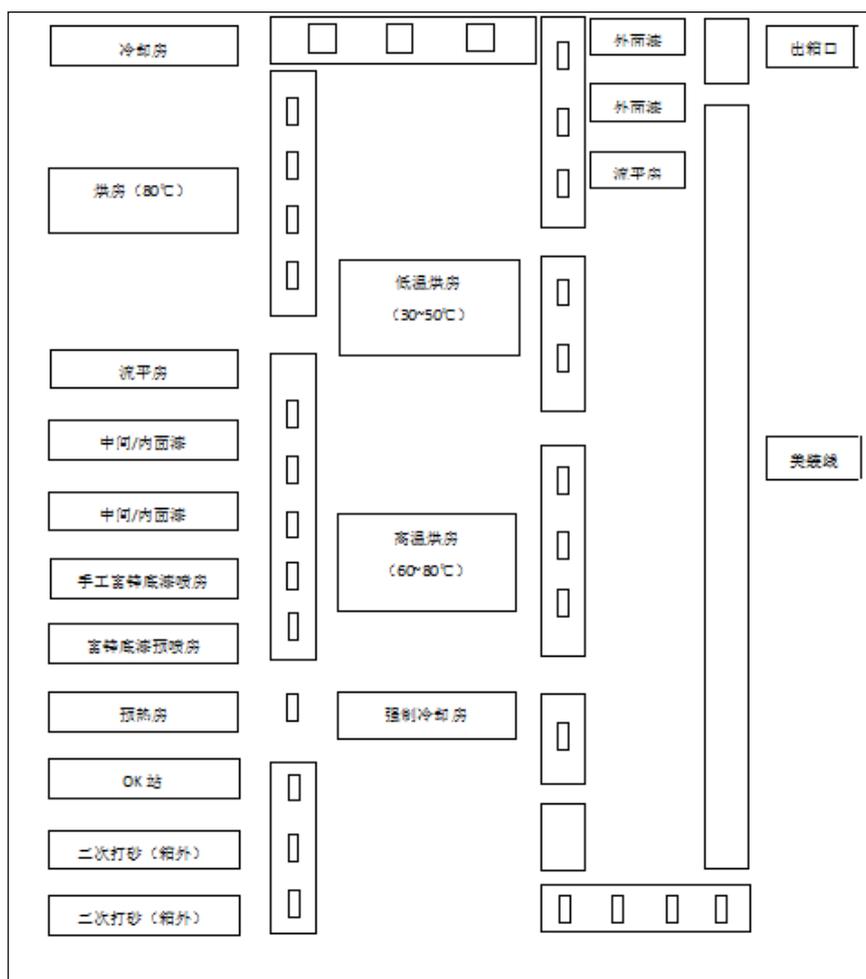


图 3-2 集装箱涂装生产线示意图

(1) 喷漆前集装箱钢板表面处理

喷漆前表面处理质量对涂膜寿命（即防腐蚀效果）的影响最大，它是影响涂膜保护性能的最主要因素。钢材表面处理要求一是清洁度，即除去钢材表面的铁锈，以及氧化皮、旧涂层和沾污的油脂、灰尘、残留焊渣的污物；二是粗糙度，它是指钢材表面处理后形成波峰、波谷的微观不平整度。钢材表面预处理包括：开卷、轧平、剪切、抛丸、自动喷车间底漆、烘干等几道工序。一般的，集装箱制造厂按上述顺序涉及两条生产线，即钢材开卷、轧平、剪切为一条线；抛丸、自动喷车间底漆、烘干为另一条线，在专门的预处理机中进行。

(2) 集装箱喷涂

预喷涂：预喷涂是保证涂装质量的一个重要环节，按照既定的工艺流程，箱体焊缝喷砂后，需立即进入预喷涂工位。预喷涂的部位主要有焊缝、二次锈蚀部位、箱体结构上的“死角”⁵等 3 类。

喷涂房（喷漆室）：内面漆、中层漆和外面漆等喷漆作业是形成涂膜的过程，喷漆工人用高压无气

⁵由于集装箱涂料均采用高压无气喷漆，箱体结构上许多部位难以喷到，均需要预涂。包括箱体测部位的门锁及铰链板；角铸件内外侧；上下衍材的反面等。

喷枪将涂料和作为稀释剂的溶剂混合，雾化后喷向集装箱钢材表面，形成涂膜；涂料干燥是溶剂型涂料的固化过程；流平是集装箱涂装工艺的特殊部位，大约耗时 10 分钟左右，目的是保证膜厚均匀，避免真空、起壳等涂膜弊病，因此在每道涂料喷涂后，必须设置平流房。我国从 20 世纪 80 年代初开始发展集装箱制造业，集装箱涂料一开始就采用高压无气喷漆机进行涂装的。据称，目前国内集装箱厂除上海远东集装箱制造公司是采用新颖的液压泵喷漆外，其余集装箱厂均用无气喷漆法完成集装箱配套油漆的喷涂。近年来，国内陆续开发出一些集装箱新兴涂装工艺，包括底漆辊涂工艺、集装箱整箱自动喷涂工艺、静电喷涂工艺等，目前已经实现了环氧富锌底漆、环氧中层漆和环氧内面漆的自动喷漆，可在 2~3min 内就可完成内外侧喷漆工艺。

(3) 集装箱涂膜的固化

集装箱表面涂层由液态转变成无定型的固态薄膜的过程称为集装箱涂料的成膜过程。涂料的成膜过程就是涂料的固化过程，对溶剂型涂料俗称为涂料的干燥。集装箱涂层固化前必须流平。流平是集装箱涂装工艺的特殊部位，因为集装箱制造对涂膜质量要求较高，加上生产速度快，使用的又是厚膜型涂料，只有经过 10 分钟左右的自然流平，才能保证膜厚均匀，避免真空、起壳等涂膜弊病，因此在每道涂料喷涂后，必须设置平流房。

3.2 VOCs 产生工艺环节分析

集装箱制造业是典型的高消耗、高污染的产业，消耗大量的钢材、木材和油漆等，产生的污染主要有油漆有机废气、焊接烟尘、打砂粉尘、噪声和废水等。集装箱生产工艺过程中 VOCs 的排放主要来自于富锌漆、中层漆、沥青漆、面漆、修补漆等涂料的喷涂、烘干等过程，下图为普通（干货）集装箱生产工艺流程的大气污染物排放环节。

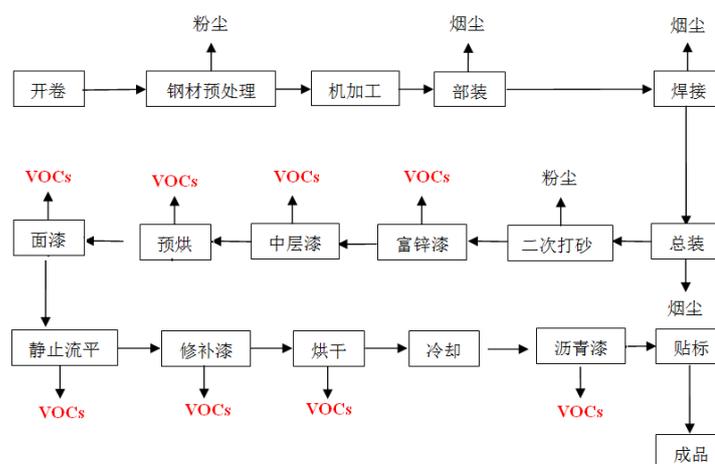


图 3-3 普通集装箱制造流程的产污环节

此外，在集装箱生产过程中的局部及死角部位喷涂、修补、零件表面涂装等亦会产生 VOCs 排放，

其大多数为人工操作，分散面广，浓度、流量小。

3.3 VOCs 产生特点分析

一般的，集装箱涂装工艺过程中，主要漆房流量在 10 万~12 万 m³/h 以上，有机废气风量大，有害物质主要是甲苯、二甲苯等，但有害物质含量低。有研究称，集装箱涂装工艺过程产生的甲苯、二甲苯浓度在 500mg/m³ 左右，治理难度较大。以 1 条集装箱生产线为例计算，喷漆废气中的总 VOCs 浓度波动范围为 400~2000mg/m³。表 3-1 至表 3-3 分别就底漆喷涂、中层漆和内面漆喷涂、面漆喷涂环节的所采用的涂料种类、喷涂技术、喷涂条件、稀释比例、干膜、主要污染物等进行了分析。

表 3-1 底漆喷涂过程中主要污染物分析

涂料种类	喷涂技术	喷涂条件	稀释比例	干膜	涂料使用量 (不含稀释剂/固化剂)	VOCs 排放量(含稀释剂/固化剂)	主要污染物
环氧富锌漆	<ul style="list-style-type: none"> ● 无气喷漆 ● 液压泵喷漆 ● 自动喷漆 	常温喷涂 无需烘干	10% (稀释剂所占比重, 下同)	环氧富锌漆: 30μm	0.15kg/m ² [1]	0.09kg/m ² [2]	环氧树脂、聚氨脂树脂类、少量助剂等

注: [1] 集装箱制造过程中涂料使用量=固体含量*10/干膜厚度, 固体含量是指涂料中固体所占百分比, 如环氧富锌漆固体含量为 58%-67%;

[2] 集装箱制造涂料涂装过程中 VOCs 的排放量与喷涂技术及涂料种类有关, 一般认为无气喷涂技术的涂着率为 50%, 每当喷涂 1kg 涂料有 0.5kg 附着在被涂物上, 残余的 0.5kg 则会被捕集在喷漆室中, 附着在被涂物上的 0.5kg 涂料将挥发 0.25kg, 捕集在喷漆室中的 0.5kg 涂料亦将挥发 0.25kg。

表 3-2 中层漆、内面漆喷涂过程中主要污染物分析

涂料种类	喷涂技术	喷涂条件	稀释比例	干膜 (μm)	涂料使用量 (kg/m ²) (不含稀释剂/固化剂)	VOCs 排放量 (含稀释剂/固化剂)	主要污染物
环氧云铁中间漆	<ul style="list-style-type: none"> ● 无气喷漆 ● 液压泵喷漆 ● 自动喷漆 	常温喷涂 30~50℃ 烘干	环氧云铁中间漆:	环氧云铁中间漆:	环氧云铁中间漆:	环氧云铁中间漆:	环氧树脂、颜料、有机溶剂、甲苯、二甲苯等
环氧内面漆			10%	30-50	环氧内面漆:	环氧内面漆:	
			环氧内面漆: 20%	环氧内面漆: 40-50	0.11-0.13	0.077-0.091	

表 3-3 面漆喷涂过程中主要污染物分析

涂料种类	喷涂技术	喷涂条件	稀释比例	干厚 (μm)	涂料使用量 (kg/ m ²) (不含稀释剂/固化剂)	VOCs 排放量 (kg/ m ²) (含稀释剂/固化剂)	主要污染物
氯化橡胶漆 丙烯酸漆 沥青漆	<ul style="list-style-type: none"> ● 无气喷漆 ● 液压泵喷漆 ● 自动喷漆 	常温喷涂 60~80℃ 烘干	氯化橡胶漆： 10% 丙烯酸漆： 20% 沥青漆： 10%	氯化橡胶漆/丙烯酸漆： 40-55 沥青漆： 150-200	氯化橡胶漆： 0.11-0.16 丙烯酸漆： 0.11-0.16 沥青漆：0.05-0.06	氯化橡胶漆： 0.066-0.096 丙烯酸漆： 0.014-0.021 沥青漆： 0.03-0.036	丙烯酸树脂、颜料、有机溶剂、苯、甲苯、二甲苯、萘、蒽以及芳香族含氧化合物等

3.4 广东省集装箱制造业 VOCs 排放量估算

据估算，生产 20 英尺标准柜的涂料使用量约为 100 公斤（不含稀释剂），此外还需添加 20% 左右的稀释剂。调研显示，我省集装箱年设计产量约为 150 万 TEU，实际产量约 100 万 TEU。据此估算，以普通集装箱为例，生产 1 个标准 20 英尺（5.9m*2.350m*2.392m, TEU）集装箱的 VOCs 排放量约为 47~69 公斤；生产 1 个标准 40 英尺集装箱的 VOCs 排放量为 86~110 公斤。

综上，据测算，按全省所有集装箱制造企业设计产能估算，则全省集装箱制造业 VOCs 排放量约 7.2~10.5 万吨。按 2013 年实际产能估算，则全省集装箱制造业 VOCs 排放量约 6.5 万吨~9.5 万吨。从排放量的区域分布看，深圳市集装箱制造业排放量约占全省集装箱制造业 VOCs 排放量的 46%。

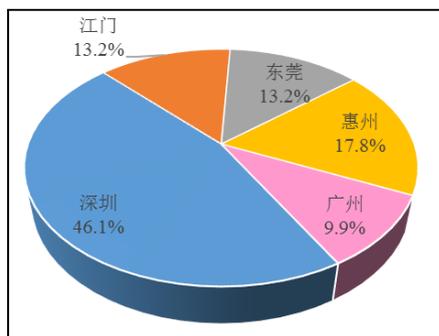


图 3-4 2013 年广东省集装箱制造业 VOCs 排放量分布

4. 集装箱制造业 VOCs 控制技术

4.1 使用水性涂料

随着人类对环境及健康的日益重视，水性涂料已获得愈来愈广泛的应用。传统溶剂型涂料在生产和使用过程中所释放的 VOCs 产生的污染，目前成为排在汽车之后的城市主要污染源。为了使涂料达到环保的要求，科技工作者把研究重点放在了代替传统的溶剂型涂料的研发上。这些替代型涂料包括：高固体分涂料、水性涂料、粉末涂料和辐射固化涂料等。

目前，世界范围内使用的集装箱涂料基本都是溶剂型的，集装箱生产喷漆过程中，会产生大量的溶剂挥发，不仅危害喷漆作业人员的身体健康，还会造成环境污染。随着环保法规日趋严格，国际集装箱标准化委员会对集装箱涂料的环保和卫生提出较高的要求：如涂料内不得含 cd、Pb、cr、Hg 等重金属；采用磷酸盐等无毒的颜料；高固体分、低 VOCs 等。随着国际环保法规的严格执行，丙烯酸面漆替代氯化橡胶面漆、箱底专用漆也开始逐步推进。基于环保的要求，集装箱涂料的发展趋势是水性化、高固体化、无溶剂化，同时由于氯化橡胶的生产将受到限制，因此开发氯化橡胶的代用品如丙烯酸、高氯烯炔、聚氨酯面漆已成为热门的研究课题。国际集装箱租赁协会（IICL）也召开了专门会议提出了有关集装箱水溶性涂料开发生产和应用的建议。但水溶性涂料对工艺条件要求较高，如延长烘干时间、须使用不锈钢高压无气喷涂泵等，使其在短期内大量应用受到限制。

4.2 集装箱涂装生产线升级改造

目前我省集装箱涂装生产线基本为溶剂型涂装生产线，如采用水性涂料，短期内可暂使用原有涂装生产线，但就长期而言，需将原有生产线升级改造为水性涂装生产线，主要包括：在底漆、面漆、中层漆等工艺环节的增加烘房及烘房配套的通风设备；增加相应的抽湿机及生产线其他相关设备等。

4.3 VOCs 废气末端净化技术

集装箱制造产生的 VOCs 废气净化处理可采用的技术大体上可以分为两大类，即回收和销毁，如图 4-1 所示。回收是通过物理的方法，改变温度、压力或采用选择性吸附剂和选择性渗透膜等方法来富集分离有机气相污染物，主要有吸附、吸收、冷凝及膜分离技术。回收的挥发性有机物可以直接或经过纯化处理后返回工艺过程再利用，以减少原料的消耗。销毁主要是通过化学或生化反应，用热、光、催化剂和微生物等将有机化合物转变成为 CO₂ 和 H₂O 等无毒害或低毒害的无机小分子化合物，主要治理技术有燃烧（直接燃烧、催化燃烧、蓄热式焚烧）、生物氧化、光催化氧化、等离子体破坏等。由于

VOCs种类繁多，性质各异，排放条件多样，不同净化处理技术也有其不同的优缺点，因此在不同的工艺条件下需要采用不同的VOCs废气净化技术或采用不同净化处理技术的工艺组合。

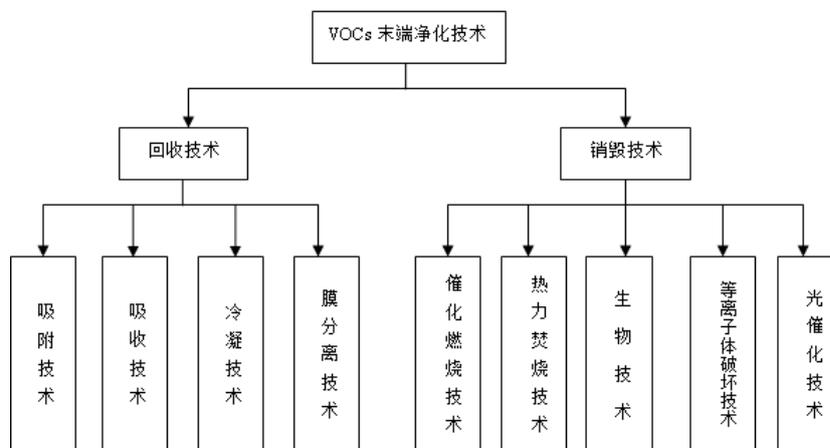


图4-1 VOCs净化技术

(1) 吸附冷凝法

吸附冷凝法分为活性炭吸附冷凝法和分子筛吸附冷凝法。活性炭吸附冷凝法一次性投资较大，期间的维护成本也比较高，这主要是由于活性炭随着使用时间的延长吸附效果变差，更换活性炭费用较高。

吸附冷凝法适用于车间温度较低的情况，温度越低，吸附冷凝法的效果越好。但这一方法也有明显缺点，需要对高温废气进行冷却处理，不仅制冷要消耗相当多的电能，而且带水分的混合溶剂处理起来也相当困难，不利于VOCs的回收和重复利用。同时，这种方法还会带来水源的二次污染问题。

有机废气吸附法净化处理的关键是吸附剂和吸附工艺设备的配置，利用吸附剂(粒状活性炭、活性炭纤维、沸石和分子筛等)固体表面的吸附能力，使废气与大表面的多孔性固体物质相接触，废气中的污染物被吸附在固体表面上，使其与气体混合物分离，达到净化目的。如下图，吸附回收工艺流程，废气经蜂巢活性炭吸附净化后排放进大气中，吸附在蜂巢活性炭上的VOCs成分被加热而发生氮还原反应，冷却凝结精蒸馏后可回收利用。活性炭吸附达饱和后，用水蒸气脱附，再生的活性炭可循环使用。此方法适用于中、低浓度有机废气治理，但能与活性炭发生反应的VOCs和大分子高沸点的有机物，不宜采用该法回收处理。

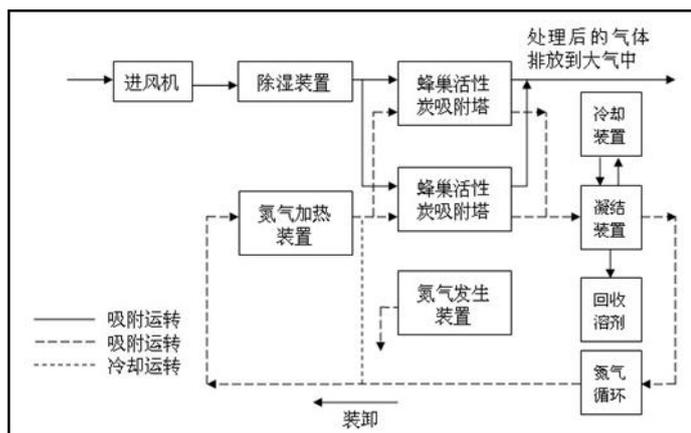


图 4-2 活性炭吸附回收工艺流程图

(2) 吸收溶解法

吸收溶解法是利用液体吸收剂与废气直接接触而将VOCs转移到吸收剂中，一般采用高沸点、低蒸气压的油类作为吸收剂来吸收废气中的VOCs。吸收法实质上是通过气液传质过程，用液体来回收可溶性VOCs，影响洗涤吸收系统处理效果的因素有：1) VOCs在吸收剂中的溶解度；2) VOCs的浓度；3) 吸收器的形式；4) 操作温度；5) 液、气接触面积；6) 液气比 (L/G)。其中选择合适的吸收剂是关键，根据VOCs种类及生产条件的不同，选择溶解度大、不易挥发、廉价的吸收剂。同时，降低操作温度和增加液、气接触面积都会提高洗涤吸收率，但增加液、气接触面积又会相应增加系统的阻力和能耗。因此，对这两者需作统一考虑。

吸收按其机理可分为物理吸收和化学吸收，通常 VOCs 的吸收为物理吸收，使用的吸收剂常为柴油、煤油、水和其它溶剂。任何可溶解于吸收剂的 VOCs 均可以从气相转移到液相中，然后，对吸收液进行处理。当吸收液为水时，采用精馏处理就可以回收有机溶剂；当为非水溶剂时，考虑到回收成本，需进行吸收剂的再生。

吸收法具有高效（VOCs 初始浓度为 5000ppm 时，洗涤吸收率可达 98 % 以上，VOCs 初始浓度为 300ppm 时，只要 VOCs 在洗涤吸收剂中的溶解度大，洗涤吸收率仍可达 90 %）、设备简单、一次性投资费用低的优点，广泛应用于气态污染控制中。吸收净化的主要缺点是吸收剂经常需要再生、循环使用；设备易受腐蚀；使用成分复杂的吸收剂将使过程复杂化。

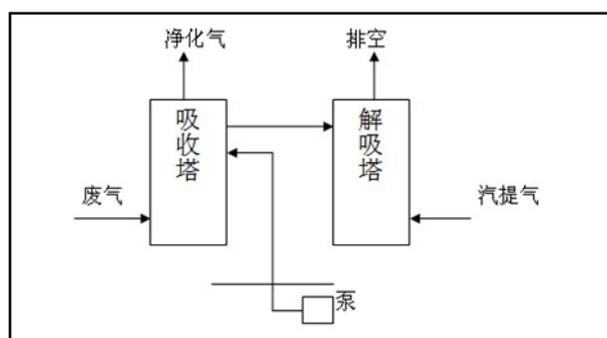


图 4-3 循环过程气体吸收流程

吸收技术是一种成熟的化工单元操作过程，适合于大风量、中等浓度的含 VOCs 废气的处理。最常用的洗涤吸收器是填料洗涤吸收塔。最经济的洗涤吸收剂用量为最小液气比 (L/G) 的 1125~2100 倍。对于价格昂贵的洗涤吸收剂，需进行回收(用汽提等技术)，以达到循环使用的目的。吸收溶解法设备投资不大，但存在对水源二次污染和吸收率不高等问题，国内一些企业正在该领域不断研发，以期完善这种 VOCs 处理方法。

(3) 燃烧法

● 直接反应燃烧法

直接反应燃烧法有普通直接焚烧法和蓄热式焚烧法两种。

普通直接焚烧法是利用燃气或燃油等辅助燃料燃烧，将混合气体加热，使有害物质在高温作用下分解为无害物质。直接燃烧法在适当温度和保留时间条件下，可以达到 99% 的热处理效率，但多数情况下，有机物浓度较低，不足以在没有辅助燃料时燃烧。燃烧的效果主要取决于燃烧的温度、停留时间、废气在燃烧炉内的湍流度。根据待燃烧气体的组分、热值、燃点、腐蚀性等理化特性选择炉型和燃烧参数。这种方法工艺简单、投资较小，适合处理高浓度、小风量的有机废气，但对安全技术、操作水平要求较高。

焚烧法适用于处理成分复杂、高浓度的 VOCs 气体，在处理石化工艺废气、油漆生产过程的废气、木材干馏废气、印刷废气及制药废气等方面具有广阔的应用前景。直接燃烧法具有处理效率高、处理彻底等优点，但若废气含有 Cl、S、N 等元素，采用直接燃烧法会产生 HCl、SO_x、NO_x 等有害气体，造成二次污染。此外，采用直接燃烧法时要注意过程余热利用、气体对燃烧炉的腐蚀以及烟气的二次污染等问题。

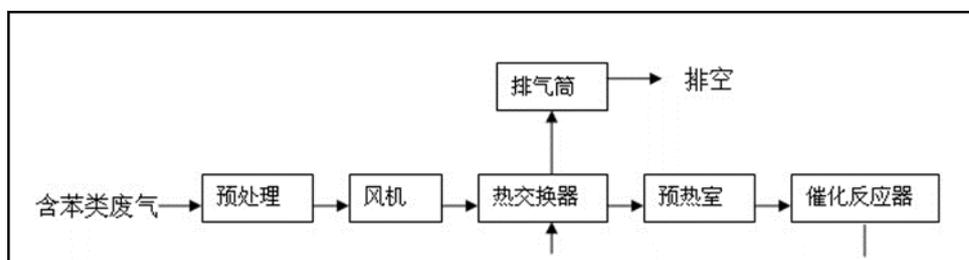


图 4-4 直接催化燃烧法处理含苯类有机废气净化处理流程

蓄热式焚烧法通过蓄热陶瓷来加热生产时排出的有机废气，使其温度迅速提升，再经过炉膛加热，使温度达到 680~1000℃，有机废气中的 VOCs 在高温下直接分解成二氧化碳和水蒸气，形成无味的高温烟气，然后流经温度低的蓄热陶瓷，大量热能即从烟气中转移至蓄热体，用来加热下一次待分解的有机废气，而高温烟气的自身温度大幅度下降，再经过热回收系统和其他介质发生热交换，烟气温度进一步降低，最后排至室外。

排出的有机废气浓度较大时，蓄热陶瓷中的部分热量可回用到生产线的烘箱。同时从蓄热陶瓷中排出处理后的气体，可通过热交换器预热新鲜空气，再把预热后的气体送到烘箱，这样可大大降低加热烘箱的能耗，为软包装凹印企业创造了很大的经济效益，真正实现了节能减排，值得大力推广。

蓄热式焚烧法的优点有运行费用低、处理效率高、不会发生催化剂中毒现象等，因此国际上较先

进 VOCs 处理技术多采用这种方法。

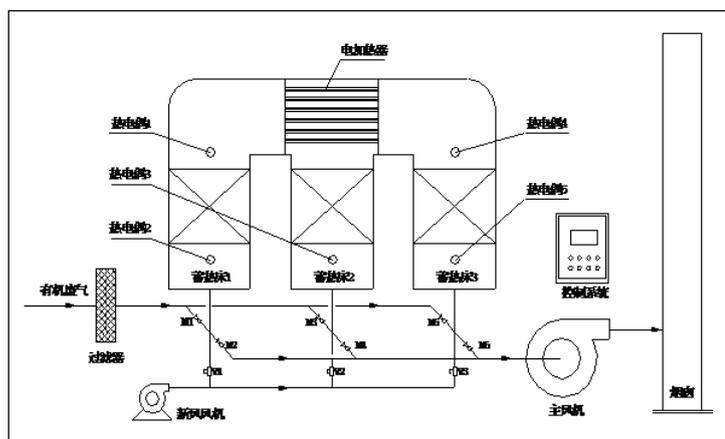


图 4-5 RTO 示意图及工作原理

● 催化反应燃烧法

催化反应燃烧法是把加热后的有机废气经催化反应燃烧，转化成无害无臭的二氧化碳和水。这种方法起燃温度低、节能、净化率高、操作方便、占地面积少、投资较小，适合处理高温或高浓度的有机废气。处理后的气体同样可通过热交换器预热新鲜空气，再把预热后的气体送到烘箱，可大大减少加热烘箱的能耗，实现节能减排。但催化剂有一定使用寿命，过期要更换，硫、铅等元素会引起中毒，高温会使催化剂失效，这些都使催化反应燃烧法受到一定的局限。

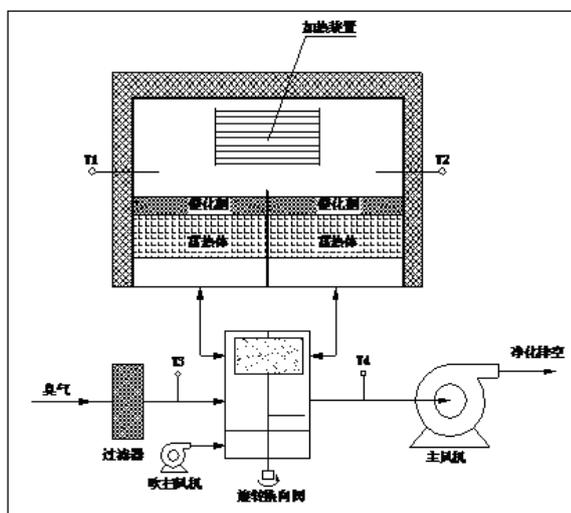


图 4-6 催化燃烧设备示意图

表 4-1 将以上几种燃烧处理方法的适用范围、处理效率以及投资情况进行了比较。

表 4-1 几种燃烧法技术比较

项目	直接燃烧法	催化燃烧法	蓄热燃烧法	浓缩+燃烧法
处理方法	直接燃烧，操作温度 650~760℃	低温催化接触氧化法，操作温度 300~400℃	燃烧室中产生的热用热交换器储存，操作温度	先吸附富集废气中的 VOCs，后进行解析富氧燃

项目	直接燃烧法	催化燃烧法	蓄热燃烧法	浓缩+燃烧法
			800~900℃	烧
适用浓度	10,000~20,000ppmC	3,500~20,000ppmC	3,500~20,000ppmC	700~7,000ppmC
处理效率	98~99%以上	9599%以上	9599%以上	80~95%以上
装置尺寸	中	中	中	大
设备重量	小	中	中~大	中~大
初期投资	小	中	大	大
热回收率	50~65%以上	50~65%以上	85~95%以上	50~95%以上
燃料消耗	大	小~中	小	小
电量消耗	小	中	大	中

(4) 等离子体净化技术

等离子体是由大量正负带电粒子和中性粒子组成并表现出集体行为的一种准中性气体。等离子体可分为热力学平衡状态等离子体和非热力学平衡状态等离子体。非平衡态等离子体又可称为低温等离子体，一般气体放电产生的等离子体属于这一类型。

等离子体反应过程中能量的传递大致如下：

- 1) 电场+电子→ 高能电子
- 2) 高能电子+分子（或原子）→ 活性基团
- 3) 活性基团+分子（或原子）→ 生成物+热
- 4) 活性基团+活性基团→ 生成物+热

从以上过程可以看出，电子先从电场获得能量，通过激发或电离将能量转移到分子或原子中去，那些获得能量的分子或原子被激发，同时有部分分子被电离，从而成为活性基团。然后这些活性基团与分子或原子、活性基团与活性基团之间相互碰撞后生成稳定产物和热。另外，高能电子也能被卤素和氧气等电子亲和力较强的物质俘获，成为负离子。这类负离子具有很好的化学活性，在化学反应中起着重要的作用。

低温等离子技术在废气处理方面的效果良好，无论是实际运用还是试验研究都非常广泛。相比之下，低温等离子体技术在废水处理中的应用还仅处于试验研究阶段，但是已经成为 VOCs 治理研究领域的前沿热点课题。与其他传统方法相比有许多优点：（1）可在常温常压下操作；（2）工艺流程简单，运行费用低；（3）对 VOCs 的去除率高，对 VOCs 的适应性强；（4）运行管理比较方便。

4.4 集装箱制造业废气处理分析与案例

集装箱制造业是典型的高消耗、高污染的产业，集装箱制造业有机废气排放具有典型的大风量、

低浓度的特点，其产生的有害物质主要是甲苯、二甲苯等，有害物质含量低、总量大，主要漆房流量在 10 万~12 万 m³/h 以上，治理难度较大。

(1) 固定床活性炭吸附—热风脱附—催化燃烧工艺

从近年来集装箱制造厂有机废气的工程实践看，吸附—催化燃烧法具有较好的技术经济适用性，能适应集装箱制造厂有机废气的大风量、低浓度的特点。吸附—催化燃烧法采用的活性炭吸附—热风脱附—催化燃烧—余热利用这一工艺路线，既可通过解析浓缩方法解决因初始浓度较低而燃烧热量不够的问题，又可通过余热回收降低运行成本。近年来该工艺路线已广泛应用于集装箱制造业的油漆废气治理中，使用该工艺的治理工程占据大多数的市场份额。中集集团所属的青岛中集集装箱制造有限公司、上海中集宝伟工业有限公司等多家公司均已采用固定床活性炭吸附—热风脱附—催化燃烧工艺治理油漆有机废气，并已通过环保监测。这类净化设备有以下特点有：

- 漆雾处理采用填料洗涤+纤维过滤，净化彻底，对活性炭使用寿命影响小；
- 催化燃烧稳定，燃烧周期 5~6 h，基本上维持自燃，电加热器用电量少；
- 净化效果稳定。经多次环保验收监测及许多次的内部监测，排放浓度稳定达标；
- 采用 PLC 自动控制，余热回收系统，地坑式预处理装置等，设施的运行成本、占地面积、操作简便等性能指标均有明显改善。这些治理工程实施后，均取得较好的社会效益和经济效益。

近年来，广大科研工作者们进行了深入广泛的研究，取得了一些科研成果，包括：

- 对于集装箱制造业的油漆废气，固定床活性炭吸附—热风脱附—催化燃烧工艺具有较好的技术经济适用性，能适应集装箱制造厂有机废气的大风量、低浓度的特点，因而在集装箱制造业油漆废气治理领域得到了广泛应用。
- 集装箱制造业油漆废气的漆雾处理是治理工程成败的关键，必须重点解决。
- 催化燃烧余热的利用是集装箱制造厂家关注的重点和今后治理技术发展的方向。

(2) 活性炭吸附—水蒸气风脱附—溶剂回收工艺

调研显示，我省某集装箱制造厂采用活性炭吸附—蒸汽脱附—溶剂回收工艺对集装箱涂装生产过程中的有机溶剂进行处理和回收，设计溶剂回收率可达 90%，取得了良好的经济效益。该工艺原理是：漆房排出的含有有机溶剂的废气由排风机送入风管，进入回收系统，通过系统进行过滤、冷却等预处理后，废气温度达 35℃ 左右。系统采用专门设计的过滤器，去除了废气中大部分有害活性炭的物质之后，废气由高压离心风机抽送进入复合炭床吸附罐内，有机废气在通过吸附罐的活性炭层时，溶剂分子被具有高比表面积、高选择吸附性的活性炭所吸附，进而附着在活性炭缝隙中，出吸附罐的气体为净化气，直接排入大气。吸附罐吸附一定时间，活性炭吸附至饱和后，系统自动通入水蒸汽脱附。从活性炭表面脱附下来的有机溶剂和水蒸汽进入冷却器冷却成液体后，混合液体进入自动分离器自动分离，分离后的溶剂为喷漆所用的溶剂的混合液体。

5. 国内外集装箱制造业 VOCs 控制相关标准研究

5.1 美国

美国于 20 世纪 50 年代开始发展集装箱制造业，但由于经济和物流的原因，不久其生产中心转移到欧洲。1955 年，美国颁布《空气污染控制法》，是当时美国大气污染防治的主要法律依据。由于集装箱生产量较少，美国并没有针对集装箱制造业制订独立的 VOCs 排放标准，但在美国 EPA 2004 年 1 月 2 日发布的《有害空气污染物国家排放标准：金属部件及产品的表面涂装》标准子类别中包含各类金属容器表面涂装，包括船运集装箱等。标准中规定 HAP 的主要来源指任何单个 HAP 排放量超过 10 吨/年或总 HAP 排放量超过 25 吨/年的排放源。标准包括 5 个类别：一般性涂装，高性能涂装，磁铁线涂装，橡胶-金属涂装及极端性能含氟聚合物涂装。其中，一般性涂装包括除其它 4 类以外的所有金属部件及产品的表面涂装操作，包括金属容器类，如船运集装箱等以及其它运输类设备及部件。金属表面涂装属于固定污染源，标准中要求以最佳可行性控制技术控制新源及现役源，标准中控制的污染物主要有甲苯、二甲苯、甲基乙基酮、苯酚、甲酚酸、乙二醇酯、苯乙烯、甲基异丁基酮及乙基苯，这些化合物占 HAP 排放总量约 90%。主要产生污染物的操作包括涂料的应用、干燥、固化及清洗操作。另外，涂料的混合、储存及废弃物的处理也会排放少量污染物。标准实施后预计可降低此类污染源排放总量约 48%。该标准以 2004 年 1 月 2 日为时段对金属部件及产品的表面涂料排放限值进行时段划分，其中规定既存污染源及新源排放限制如表 5-1 所示，各类污染源排放限值以单位固体涂料的体积中有机 HAP 年排放量表示。

表 5-1 既存污染源及新源金属部件及产品的表面涂装排放限值

涂装类型	排放限值 (kg HAP/L 固体涂料)	
	既存源	新源
一般性涂装	0.31	0.23
高性能涂装	3.3	3.3
磁铁线涂装	0.12	0.050
橡胶-金属涂装	4.5	0.081
极端性能含氟聚合物涂装	1.5	1.5

除对金属产品表面涂装行业污染物的排放量进行排放限值外，标准中还规定了表面涂装行业采用不同大气污染控制技术所需达到的控制效率，即污染物排放的操作限值。为证明不同控制技术已经达到标准规定的操作限值要求，需根据各控制技术特点，测定相应参数，各参数确定方法在标准中已明确提出：若企业应用捕获系统及附加控制设备，可直接应用标准中规定的由系统的最初性能测试之后确定具

体地点的参数限制的操作限值；若应用热氧化剂，需监测催化床前后的燃烧温度或具体地点的催化氧化剂检查及维护工具的燃烧温度参数，以确定其控制技术达到标准规定的操作限值要求；若应用活性炭吸附剂，需监测碳床的温度及蒸气量参数；若应用冷凝器，需监测冷凝器出口气体温度参数；若应用浓缩器，需监测去解吸气流流出的温度及压力参数。

2008年3月24日，美国EPA颁布了喷雾涂料VOCs国家排放标准的直接法规及相关提案，并于11月颁布修订后的直接最终标准，于2008年12月29日进一步修订。标准于2009年1月1日起开始执行，标准包括各种类别的涂料制造，包括环氧树脂涂料等。与《有害空气污染物国家排放标准：金属部件及产品的表面涂装》不同，该标准主要针对气溶胶喷涂涂料在喷涂过程中VOCs反应产生O₃的环境空气污染问题，规定了关于气雾喷涂种类（气溶胶喷涂涂料）基于反应性的国家排放标准。标准中明确规定了6种一般性涂料及30种专门涂料的反应性控制限值，具体表示为单位克数产品中可能反应生成O₃克数，每种VOCs组分具体的反应性数据也在标准中给出，各类型涂料的反应性限值如表5-2所示。

表 5-2 各类型涂料的反应性限值

涂装类型	反应性限值 (g O ₃ /g 产品)
清洁涂料	1.50
平光涂料	1.20
荧光涂料	1.75
金属涂料	1.90
非平光涂料	1.40
底漆	1.20
地面交通/标记	1.20
艺术类固定剂	1.80
汽车车身底漆	1.55
汽车缓冲器及维修产品	1.75
航空或海洋业底漆	2.00
航空螺旋浆涂料	2.50
抗腐蚀铜类涂料	1.80
准确匹配-引擎搪瓷	1.70
准确匹配-汽车	1.50
准确匹配-工业	2.05
植物喷雾剂	1.70
玻璃涂料	1.40
高温涂料	1.85
工艺涂料，搪瓷	1.45
工艺涂料，漆	2.70
工艺涂料，清洁或金属	1.60
海洋圆材清漆	0.90

涂装类型	反应性限值 (g O ₃ /g 产品)
照片涂料	1.00
娱乐工艺底漆, 表面或内层漆	1.05
娱乐工艺表面涂料	0.60
聚烯烃粘附催化剂	2.50
虫漆密封材料, 清洁	1.00
虫漆密封材料, 着色	0.95
防滑涂料	2.45
喷洒/多色涂料	1.05
乙烯基/布/皮革/聚碳酸酯涂料	1.55
织物/布料涂料	0.85
焊接底漆	1.00
木质材料着色剂	1.40
木质材料修复涂料	1.50

5.2 欧洲

欧盟理事会 1996 年颁布的综合污染防控指令(1996/61/EC)和 1999 年颁布的溶剂指令(1999/13/EC)对相关工业活动中挥发性有机物做出了排放限制要求。2014 年 1 月 7 日起,工业排放指令(2010/75/EU)开始实施生效,综合污染防控指令被取代。这一指令是将 7 个已经存在的指令重组,旨在通过降低整个欧盟的工业有害污染物排放。此指令附件 I 中列出了需获得综合许可证所有工业设备,其中包括应用有机溶剂且有机溶剂消耗量超过 150 kg/h 或 200 吨每年的表面涂装过程。表面涂装的具体范围也已经做了具体的规定,其中包括金属表面涂装,表 5-3 列出了 2010/75/EU 指令中相关金属表面涂装挥发性有机物的排放限值要求。

表 5-3 2010/75/EU 指令 (仅摘录金属表面涂装部分)

工业活动 (每年溶剂 消费量 吨/年)	溶剂消费限值 (吨/年)	废气中挥发性有 机物排放限值 (mg C/Nm ³)	逃逸溶剂限 值 (投入使 用溶剂的百 分数)		备注
			新建	已有	
其他涂装, 包括金属涂 装 (>5)	5-15	100 (1)	25		(1) 排放限值应用于已经包括的涂装应用及烘干过程操作条件。 (2) 第一个排放限值应用于烘干操作,第二个应用于涂装应用操作。
	>15	50/75 (2) (3)	20		

5.3 日本

为全面防止大气污染,日本于 1968 年颁布《大气污染防治法》,但此法颁布后并没有改变日本的

大气污染情况，在民众的压力下，法案于 70 年代被大幅修改，增加了各级政府对大气污染的违反者的处罚权利，从而对污染大气环境的活动有所限制。2004 年 7 月，日本大气环境部挥发性有机物排放控制技术委员会召开第一次委员会，形成意见稿，其中对涂装的干燥设备、清洗设备等的规模条件、排放标准做了初步规定。并于 2005 年 2 月向公众咨询关于挥发性有机物排放控制制度的修改意见，根据企业自愿努力消减量情况，在同年 3 月做出报告书，对 6 大设施类型进行规定，对用于涂料的烘干设备分行业细化排放标准。《挥发性有机物排放控制制度》于 2006 年 6 月开始实施。为共同推进实施 VOC 的排放规定和企业的自主处理能力，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，如表 5-4 所示。

表 5-4 规制对象挥发性有机物（VOCs）排出设施及排放标准

挥发性有机物排出设施		规模条件	排放标准 (ppmC)
挥发性有机物溶剂化学产品制造干燥设施		风机送风能力 3,000 m ³ /h 以上	600
涂装设施（喷涂）	汽车制造	风机排风能力 100,000 m ³ /h 以上	现有 700 新设 400
	其他		700
用于涂装的烘干设备（除电镀涂层和喷涂）	木材及木制品（含家具）的制造	风机送风能力 10,000 m ³ /h 以上	1,000
	其他		600
印刷电路覆铜层压板、合成树脂层容器包装、粘合带及片材粘合剂的干燥设施		风机送风能力 5,000 m ³ /h 以上	1,400
粘合烘干设备（木材及木制品制造的烘干设施和下栏所述设施除外）		风机送风能力 15,000 m ³ /h 以上	1,400
工业产品清洗设施（清洁和干燥设施）		与空气接触面积 5 m ² 以上的清洗剂	400

（法律第 2 条、法令第 2 条第 3 项、条例别表第 5-3 条第 2 点、规则第 15 条第 2 点、别表第 5 条第 2 点）

※ 「ppmC」是指排放浓度的单位。

※ 现有设施排放标准于 2010 年 3 月 31 日为止不适用。

5.4 香港

香港特区政府于 2007 年颁布实施了《空气污染管制（挥发性有机物）规例》（下称“规例”），此规例禁止输入香港及在香港生产挥发性有机物含量超过《规例》所订明限制的受规管产品，以控制受规管产品排放挥发性有机物。该规例在第一阶段分期管制 51 类建筑涂料、7 类油墨及 6 大种类指定消费品（包括空气清新剂、喷发胶、多用途润滑剂、地蜡清除剂、除虫剂和驱虫剂）的挥发性有机物含量（自 2007 年 4 月 1 日起分期生效）。该规例于 2009 年 10 月进行修订后，以于第二阶段扩大了其管制的范围，包括 14 类汽车修补漆、36 类船只游乐船只漆料/涂料和 47 类黏合剂及密封剂，并于 2010 年 1 月 1 日至 2012 年 4 月 1 日分期生效。《规例》中相关工业涂装类涂料的挥发性有机物含量的最高限值如表

5-5 所示。

表 5-5 相关涂料挥发性有机物含量的最高限值

油漆名称	挥发性有机物含量的最高限值(g/l)
预处理底漆	550
防锈底漆	700
富锌工业保养底漆	250
快干底漆、封固底剂及中层底漆	200
沥青涂料物料	350

5.5 台湾

台湾在 VOCs 排放的控制管理上采取了行政管制措施，建立了排污申报制度，实行了 VOCs 排放分级收费制度，并辅助以经济奖惩手段，使其 VOCs 排放得到了显著控制。目前，台湾没有针对集装箱制造业制订独立的 VOCs 排放标准。集装箱制造业的大气污染物排放限值目前按照 2013 年 4 月颁布的《固定污染源空气污染物排放标准》的规定执行，其中针对 VOCs 的污染物有 12 种，表 5-6 列出了相关的排放限值标准。

表 5-6 相关污染物排放标准

空气 污染物	排放标准		换算常数		备注
	排放管道	周界	a ₁	a ₂	
硫醇	按相关条例计算	0.01 ppm	0.025	1.2×10 ⁻⁵	/
硫化甲基	按相关条例计算	0.2 ppm	0.646	3.1×10 ⁻⁴	/
二硫化甲基	按相关条例计算	0.1 ppm	0.49	2.4×10 ⁻⁴	/
一甲基胺	按相关条例计算	0.02 ppm	0.032	1.6×10 ⁻⁵	/
二甲基胺	按相关条例计算	0.02 ppm	0.047	2.3×10 ⁻⁵	/
三甲基胺	按相关条例计算	0.02 ppm	0.061	3.0×10 ⁻⁵	/
二硫化碳	按相关条例计算	0.4 ppm	1.58	7.7×10 ⁻⁴	/
甲醛	按相关条例计算	0.2 ppm	0.31	1.5×10 ⁻⁴	
苯	按相关条例计算	0.5 ppm	2.03	9.9×10 ⁻⁴	$\frac{C1}{S1} + \frac{C2}{S2} + \frac{C3}{S3} \leq 1$ C1、C2、C3 为苯、甲苯、二甲苯之实测浓度。 S1、S2、S3 为苯、甲苯、二甲苯之边界浓度。
甲苯	按相关条例计算	2 ppm	9.58	4.66×10 ⁻⁴	
二甲苯	按相关条例计算	2 ppm	10.0	5.36×10 ⁻⁴	
其他空气污染物（包括多种 VOCs）	按相关条例计算	A/50	8.5×10 ⁻³ ×A	1.1×10 ⁻⁵ ×A	A:表 2-17 表列物质容许浓度标准，单位为 mg/m ³

空气 污染物	排放标准		换算常数		备注
	排放管道	周界	a ₁	a ₂	
注：					
(1)					
一、低排放管道，即 $h \leq 6m$ （公尺）时：					
$q = a_2 b^2$					
b：污染源之排放管道口至该污染源周界之最短水平距离，其单位为m（公尺）。					
二、较高排放管道，即 $h > 6m$ 时：					
1. $b \geq 5(h - 6)$					
$q = a_2 \cdot b'^2$					
b'：污染源之排放管道口至该污染源周界在线垂直高度，6m(公尺)处之最短距离，其单位为m（公尺）。					
2. $b < 5(h - 6)$					
$q = a_2 \cdot b''^2$					
b''：以污染源之排放管道口中心为顶点向下十二度俯角所形成之圆锥与他人建筑物（无人留守之仓库除外）相交时，自该排放管道口中心至该建筑物之最短距离，其单位为m。					
3. $b < 5(h - 6)$ 且无前述之状况，即污染源距离建筑物甚远或建筑物低于6m（公尺），致以污染源之排放管道口中心为顶点向下十二度俯角所形成之圆锥与他人建筑物并无相交时：					
$q = a_2 \cdot 2.5 \cdot (h - 6)^2$					
(2) b值的计算方法图示：					

台湾行政院环境保护署于2007年2月16日发文（发文字号：环署空字第0960014388A号），依据大气污染防治费收费办法第十条第一项第三款、第四款，制订《公私场所固定污染源申报大气污染防治费之挥发性有机物之行业制成排放系数、操作单元(含设备元件)排放系数、控制效率及其他计量规定》，金属表面涂装行业制成排放系数如表2-7所示。

表 5-7 台湾行业制程排放系数

行业	制程	系数	估算基础		备注
		单位排放强度 (公斤)	原(物)料量或 产品产量	单位	
表面涂装业及其他具有下列制造程序之行业	金属表面涂装程序	466.000	油性涂料用量	公吨	稀释用溶剂不列入估算基础。

5.6 小结

针对集装箱制造过程中可能产生的大气污染问题，世界各国均采用与工业涂装相关的控制限值、控制技术等相关法规、规例或标准进行污染控制。各国和地区在控制形式、控制指标、限值制订等方面均各有特点。

(1) 美国和香港地区规定了涂料中 VOCs 含量限值，但表述形式有所差异。

美国喷雾涂料 VOCs 国家排放标准标准中规定了 6 种一般性涂料及 30 种专门涂料的反应性控制限值，具体表示为单位克数产品中可能反应生成 O₃ 克数；香港地区在《空气污染管制（挥发性有机物）规例》中规定了 51 类建筑涂料和 36 类船只游乐船只漆料/涂料的 VOCs 的含量限值要求，以单位产品中 VOCs 的最高允许含量的绝对值表达含量限值，考虑到集装箱制造与建筑及船只游乐船只等所用工业涂料有一定相似性，可作为本标准集装箱涂料挥发性有机物含量限值参考。

(2) 各国和地区的关于集装箱大气污染控制的各有特点。

美国在《有害空气污染物国家排放标准：金属部件及产品的表面涂装》标准中以既存污染源及新源以单位固体涂料的体积中有机 HAP 年排放量为排放限值规定；欧盟根据涂装行业年有机溶剂消费量不同，制订了等级化的废气 VOCs 排放浓度限值及总溶剂逃逸限值；日本针对涂装行业相关的 VOCs 排放设施制订了总 VOCs 的排放基准。

6. 标准主要技术内容

6.1 标准适用范围

本标准规定了集装箱制造涂装生产线单位涂装面积的挥发性有机物（Volatile Organic Compounds, 简称 VOCs）排放限值、工艺过程 VOCs 排放浓度限值、无组织排放监控点浓度限值、监测和监控、集装箱制造业控制 VOCs 排放的生产工艺和环境管理要求。

本标准适用于现有集装箱制造企业的挥发性有机物排放管理，以及集装箱制造建设项目环境影响评价、环境保护设施设计、竣工环境保护验收及投产后的挥发性有机物排放管理。

6.2 术语和定义

《集装箱分类、尺寸和额定质量》（GB/T 1413-2008/ISO 668 系列 1）定义了集装箱 1 个术语；《大气污染物综合排放标准》（GB16297）定义了标准状态、最高允许排放浓度、排气筒高度共 3 个术语。根据《大气污染物无组织排放监测技术导则》（HJ/T55）定义了无组织排放、无组织排放监控点浓度共 2 个术语；本标准还定义了挥发性有机物、表面涂装、集装箱制造涂装生产线 VOCs 排放总量等共 3 个术语。

6.3 污染源界定与时段划分

本标准将集装箱制造企业划分为现有项目和新建项目。现有项目是指本标准实施之日（201■年■月■日）前环境影响评价文件已获批准的建设项目；新建项目是指自本标准实施之日（201■年■月■日）起环境影响评价文件通过审批的新建、改建、扩建项目。

新源和现有源分两个时段执行不同的排放标准。现有项目自 2016 年 1 月 1 日起至 2017 年 6 月 30 日止执行第 I 时段限值，自 2017 年 7 月 1 日起执行第 II 时段限值；新建项目自本标准实施之日起执行第 II 时段限值。

6.4 集装箱涂装生产线 VOCs 排放量限值

集装箱涂装生产线能够采用物料衡算方法，计算整个工艺过程中的 VOCs 排放量的特点，制订本标准“集装箱涂装生产线 VOCs 排放量限值”指标，即：以单位涂装面积核实的 VOCs 排放总量(g/m²)。其中，VOCs 排放总量是指涂装工艺从车间底漆涂装开始，经过预处理、预涂、底漆涂装、中间漆/面漆涂装，到最后的底架漆涂装的所有工艺阶段的 VOCs 排放量，以及溶剂用作工艺设备（喷漆室、其他固定设备）的清洗的合计排放量。

6.5 污染物项目的选择

本标准以污染物项目筛选的原则为：

- 使用量大。即污染物普遍存在于集装箱涂装生产中使用的涂料和有机溶剂中。
- 毒性较高。对大气环境和人体的危害大。
- 光化学活性强：对近地面臭氧生产的贡献大。
- 便于监测，充分考虑当前我省各级监测站工业源 VOCs 监测能力。
- 单项指标和综合指标相结合。VOCs 种类多样，无法也没必要设置每种污染物的限值，可通过设置总 VOCs 指标进行总体控制。

综上确定本标准受控污染物项目为：甲苯、二甲苯、总 VOCs。但考虑到苯的毒性较大，且可能通过生产过程中有机溶剂使用，或由于实验检测过程杂质的混入，故将苯也纳入受控污染物项目。同时，为推动集装箱制造业减少含苯系有机溶剂的使用，将甲苯和二甲苯两项污染物合计作为一个控制指标。

（1）使用较普遍，产生量（或排放量）大。

目前，集装箱制造企业使用的集装箱涂料仍主要为溶剂型涂料，水性集装箱涂料因其性能、对集装箱涂装作业生产线的适用性等问题，尚未广泛应用于实际生产。调研和实际监测显示，涂装工艺过程排放的主要污染物有甲苯、二甲苯、丁酮、环己酮、异丙醇、异丁醇、醋酸丁酯、甲醛、三氯乙烯等。我省集装箱制造企业的调研和监测结果显示，我省集装箱制造企业使用的涂料主要为：底漆为环氧富锌漆，内面漆为环氧面漆，外面漆为丙烯酸面漆，底架漆有环氧底架漆或水性底架漆。使用的稀释剂主要为甲苯、二甲苯等芳烃类稀释剂以及丁醇、丙酮等酮类稀释剂，废气中排放的甲苯、二甲苯约占废气总 VOCs 排放浓度 80% 以上。

（2）毒性较大

根据国际化学品安全卡及相关资料，分析了甲苯、二甲苯、丁醇和丙酮的物理化学性质、毒性及其危害，如下表所示。

表 6-1 表面涂装使用的主要有机溶剂性质分析

序号	名称	沸点 /℃	相对挥发速率	密度	性质	毒性及危害
1.	甲苯	111	214	0.87	无色透明液体，有类似苯的芳香气味；不溶于水，可混溶于苯、醇、醚等多种有机溶剂。	中等毒性。LD50：1000mg/kg（大鼠经口）12124 mg/kg（兔经皮），LC50：5320ppm 8 小时（小鼠吸入）；对皮肤、粘膜有刺激作用，对中枢神经系统有麻醉作用。

序号	名称	沸点 /°C	相对挥发速率	密度	性质	毒性及危害
2.	二甲苯	138-144	73	0.87	对、间、邻位二甲苯性质相似，混合二甲苯为无色透明的液体，有类似甲苯的气味。	中等毒性，通过吸入、食入、经皮吸收产生影响。LD50 (大鼠经口)5000mg/Kg, LC50 (大鼠吸入)19747mg/m ³ , 4 小时，大鼠经口最低中毒剂量 (TDL0) : 19 mg/m ³ 。二甲苯对眼睛及上呼吸道有刺激作用，高浓度对中枢神经有麻醉作用，短时吸入较高浓度本品可出现眼及上呼吸道刺激症状，眼结膜及咽部充血、头晕、头痛、恶心、胸闷、四肢无力，重者可有躁动、抽搐或昏迷，有的有癔病样发作。
3.	丁醇	118	36	0.81	无色透明液体，具有特殊气味。丁醇是含有四个碳原子的饱和醇类，包含四种异构体：正丁醇，异丁醇，仲丁醇，叔丁醇。各异构体的熔点及沸点等性质也稍有差异。	易燃液体。亚急性和慢性毒性，LD50: 4360mg/kg(大鼠经口); 3400mg/kg(兔经皮)。20℃时，该物质蒸发相当慢的达到空气中有害污染浓度。职业接触限值: 20ppm (时间加权平均) (美国在政府工业卫生就业会议, 2005)。
4.	丙酮	56.53	944	0.79	又名二甲基酮，为最简单的饱和酮。是一种无色透明液体，有特殊的辛辣气味。易溶于水和甲醇、乙醇、乙醚、氯仿、吡啶等有机溶剂。易燃、易挥发，化学性质较活泼。	LD50: 5800mg/kg (大鼠经口); 20000mg/kg(兔经皮)。具有高度易燃性。

(3) 具有较强的光化学反应活性。

美国加利福尼亚州空气资源管理委员会 (CARB) 研究了各种 VOCs 物种的最大反应增量 (Maximum Incremental Reactivity, MIR), 用于表达单位质量每种 VOCs 物种生成 O₃ 的潜力。MIR 值越大, 表示单位质量的该 VOCs 物种产生的 O₃ 越多, 即对光化学污染的贡献越大。如下表所示, 甲苯、二甲苯的 MIR 值普遍远高于丁醇和丙酮, 表明苯系物对地表臭氧生成贡献水平强于丁醇和丙酮。

表 6-2 有机溶剂的毒性和对臭氧的贡献

序号	物质名称	MIR (g O ₃ /g VOC)
1.	甲苯	3.97
2.	对二甲苯	3.75
3.	邻二甲苯	6.61
4.	间二甲苯	9.37
5.	丁醇	0.3

序号	物质名称	MIR (g O ₃ /g VOC)
6.	丙酮	0.43

6.6 排气筒高度的规定

调研显示,当前我省集装箱制造企业存在涂装生产线密闭生产性较差、废气收集率偏低、污染治理设施安装率和运行效率有待提升等现象,无组织逸散情况较突出。本标准旨在促进和引导集装箱制造企业加强涂装过程产生废气的集中收集和处理,变“无组织、无治理排放”为“有组织、有控和有治理”。由于集装箱制造表面涂装生产产生的废气主要为挥发性有机物,其对周边近地层大气环境质量的影响并不随排气筒高度的不同有显著差异。根据国家相关规定,本标准统一要求集装箱制造企业排气筒高度不得低于15米,并应高出周围200米半径范围的最高建筑5米以上。

6.7 监测与监控要求

生产排气筒应设置永久采样口,安装符合HJ/T 1要求的气体参数测量和采样的固定装置,并满足GB/T 16157规定的采样条件。企业挥发性有机物的监测采样按HJ 732-2014、HJ 734-2014、HJ/T 397规定执行。采样期间的工况应与日常实际运行工况相同。集装箱制造生产线排气筒应安装VOCs在线监测设备应安装VOCs自动监控仪器,新建企业和现有企业安装污染物排放自动监控设备的要求,按有关法律和《污染源自动监控管理办法》的规定执行。

6.8 生产工艺和环境管理要求

本标准在附录A中提出了集装箱制造生产过程工艺和环境管理的要求,包括集装箱涂料使用和存储环节、表面涂装工艺环节、废气收集、末端处理设施、监测和生产记录,见表6-3。

表 6-3 集装箱制造企业控制 VOCs 排放的生产工艺和环节管理要求

环节	技术要求和规定
集装箱涂料	集装箱制造企业生产过程中使用的涂料应符合 JH/T E01 中的规定
存储环节	涂料和有机溶剂等原辅材料应储存在密封容器中,并存储于专门设置的储存室。涂料和有机溶剂转移、设备清洗过程中,应尽可能减少 VOCs 排放。废弃的涂料桶、有机溶剂容器桶在移交专门的回收处理机构前,应封盖存储或置于密闭房间内存储。
有机废气收集和末端治理	1. 产生 VOCs 排放的生产线宜设置于密闭工作间内,产生的 VOCs 集中收集并导入 VOCs 处理设备,达标排放;无法设置密闭工作间的生产线,应设置集气罩、排风管道组成的集气系统,使产生的 VOCs 导入 VOCs 控制设备,达标排放。 2. 密闭排气系统、污染控制设备应与工艺设施同步运转。废气收集装置和治理装置必须按照规范参数条件运行。

环节	技术要求和规定
监测要求	利用排气筒排放 VOCs 的污染源，其总 VOCs 浓度和排放量应每半年检测一次。每次检测至少 4 小时，检测报告应含检测浓度值、小时平均值及总平均值。监测报告应当由质检部门认可的机构出具。
生产记录	企业经营者应每月记录用于本标准附录 B 涂装生产线单位涂装面积的 VOCs 排放量核算中的数据资料，以供环保管理监督部门核查涂装生产线单位涂装面积的 VOCs 排放量控制情况。需记录的数据包括但不限于以下内容： (1) 含 VOCs 的原料名称； (2) 每月原料的使用量； (3) 原料中 VOCs 的含量； (4) 每月含 VOCs 原料的回收量； (5) 污染控制设施去除的 VOCs 量； (6) 每月集装箱底涂总面积。

7. 集装箱挥发性有机物排放限值

本标准污染物项目的排放限值是在我省集装箱制造企业当前排放水平监测结果的基础上，综合考虑原辅材料的水性化升级和末端污染治理设施的建设，并合理借鉴国内外 VOCs 控制要求而确定的。本标准限值制订的总体原则是：**I 时段限值**制订充分考虑了当前水性涂料使用、水性涂装技术和设备当前存在各种问题，企业应主要通过安装并运行高效的有机废气末端净化设施，对生产过程中的 VOCs 进行回收或销毁，确保稳定达标排放；**II 时段限值**制订主要旨在推动企业涂料、有机溶剂、清洗剂等使用的水性化，企业应对涂装技术和涂装生产线进行升级和改造。

7.1 集装箱涂装生产线 VOCs 排放限值

美国、欧盟等国家制订了金属表面涂装作业的 VOCs 排放标准，但并未规定集装箱涂装生产的排放总量限值。目前，生产 1 台 20 尺标准箱（型号为 1CC）需要经过环氧富锌底漆、内面漆、中间漆、外面漆、底架漆等 5 道涂装环节，使用涂料约 100 公斤。调研显示，当前我省集装箱涂装仍以溶剂型涂料为主，其中 VOCs 含量从 400 g/L 到 1000g/L 不等。2014 年发布的《环境标志产品技术要求 水性涂料》（HJ 2537-2014）对水性集装箱涂料中 VOCs 含量的限值要求为：底漆量 \leq 200 g/L，中涂/面涂 \leq 150 g/L。综上，经测算，如不考虑末端处理，使用纯溶剂型涂装体系，则单位涂装面积的 VOCs 排放量约 394 g/m²；使用纯水性涂装体系，则单位涂装面积的 VOCs 排放量约 95 g/m²。

本标准 I、II 时段的集装箱涂装生产线 VOCs 排放限值制订基于以下考虑：

- **I 时段限值**：废气收集率至少达 60% 以上，VOCs 末端净化设施去除率至少达 70% 以上。
- **II 时段限值**：废气收集率至少达 80% 以上，VOCs 末端净化设施去除率至少达 85% 以上。

根据以上限值制订原则，本标准规定的 I、II 时段“集装箱制造涂装生产线 VOCs 排放量限值”如表 7-1 所示。

表 7-1 本标准“集装箱生产线单位涂装面积 VOCs 排放限值”（单位：g/m²）

I 时段	II 时段
200	110

7.2 排气筒排放浓度限值

排气筒排放浓度限值确定一是要符合满足国家大气污染物排放标准（GB 16297-1996）和广东省大气污染物排放限值（DB 4427-2001）的相关要求；二是要考虑国家和我省对以集装箱制造为代表的工

业涂装工艺 VOCs 排放控制的规定和要求，**三是要**考虑我省集装箱制造企业排放现状和水性涂装技术发展。**四是要**合理借鉴国内外关于工业涂装 VOCs 排放控制的要求。

我省集装箱制造企业的调研和监测结果显示：

(1) 溶剂型涂料使用普遍。集装箱涂料样品分析结果显示，采集的集装箱涂料中 VOCs 含量约 50%~70%，此外还需添加约 20%的稀释剂。

(2) 已建设的 VOCs 末端净化设施的 VOCs 去除效率整体偏低。监测结果显示，除个别企业的个别涂装工艺环节，受监测企业的 VOCs 平均去除率 40%~80%不等，总体去除率偏低。此外，还有部分企业涂装环节产生的有机废气未经治理直接排放。当前我省集装箱制造企业采用的 VOCs 净化设施采用的技术主要是活性炭吸附-溶剂回收、催化燃烧技术，而根据 2013 年发布并实施的《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)》要求，“吸附装置的净化效率不得低于 90%”，以及“催化燃烧装置的净化效率不得低于 97%”。

(3) 涂装过程中产生的 VOCs 有较大比例逸散到大气中。本项目根据源头追踪和物料衡算方法，通过现场采样监测的手段，对企业生产全过程各个环节 VOCs 产出进行跟踪研究，对集装箱制造过程的 VOCs 从原物料输入（及涂料、有机溶剂、清洗剂的使用）经生产过程直到最后产品产出各环节的固、液、气三种物质形态、成分、数量、组成分布等进行了案例研究，结果显示：仅有 10%左右的 VOCs 总输入是通过“排气筒有组织排放”的形式进入大气，而约有 30%~35%的 VOCs 总输入是通过“逸散”的形式排放到大气中。

(4) 不同企业、不同工艺环节的 VOCs 排放浓度存在较大差异

本项目对集装箱制造过程的预处理、底漆喷涂、中层漆、面漆喷涂和烘房工艺环节的 VOCs 排放情况进行了监测。对于已安装 VOCs 末端净化设施的企业，同时采集了废气进入 VOCs 净化设施前、废气排出 VOCs 净化设施的浓度。其中不同涂装环节的污染物平均产生浓度，甲苯为 13.1~211.8 mg/m³，二甲苯为 43.1~971.3 mg/m³，总 VOCs 产生浓度 76.9~3221.9 mg/m³。

综上，在本标准排放浓度限值制订原则的指导下，综合考虑省集装箱制造企业排放现状、集装箱涂装技术和设备发展、国家和我省对典型 VOCs 排放企业末端 VOCs 净化设施的要求，合理借鉴国内外集装箱制造企业 VOCs 排放标准，确定本标准集装箱制造企业排气筒 VOCs 排放限值如表 7-2 所示。

表 7-2 集装箱制造企业排气筒 VOCs 排放限值

污染物项目	I 时段	II 时段
苯	1	1
甲苯和二甲苯合计	40	20
总 VOCs	150	90

本标准限值与欧盟《关于在特定活动和设施中使用有机溶剂的挥发性有机物的排放限值》(1999/13/EC)规定 VOC 排放限值、《大气污染物综合排放标准》(GB16297-1996)、北京市《大气污染物综合排放标准》(DB11/501-2007)、我省准《广东省大气污染物排放限值标准》(DB 4427-2001)和天津《工业企业挥发性有机物排放控制标准》(DB12/524-2014)的对比见下图。

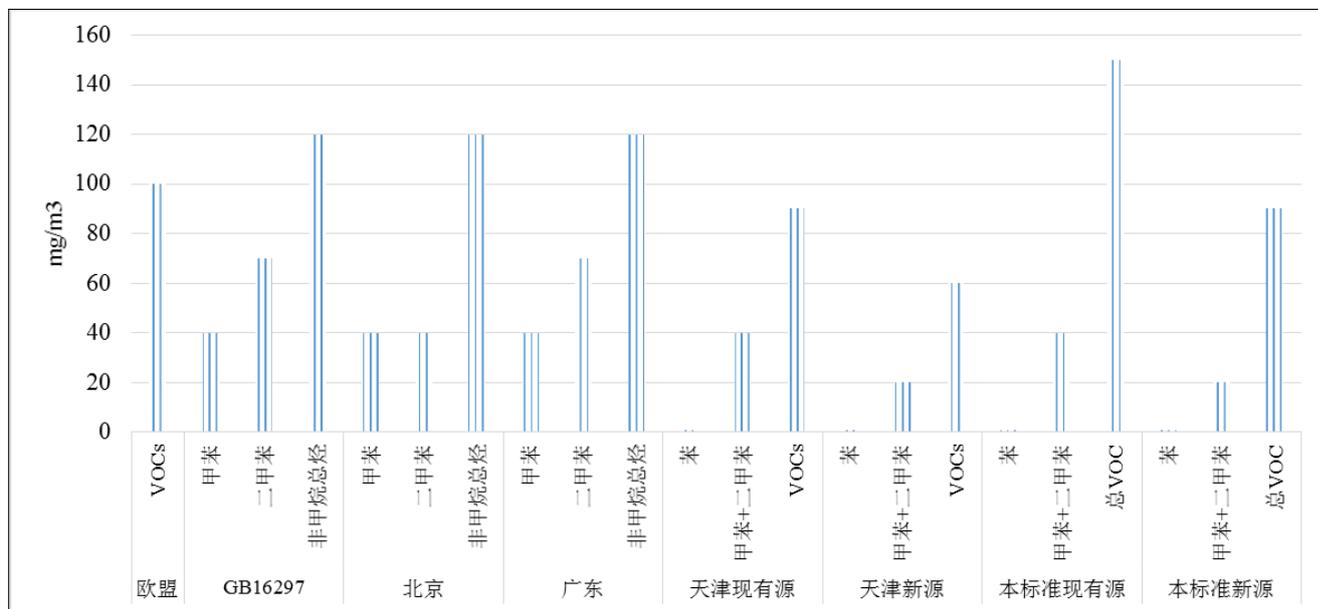


图 7-1 本标准排气筒限值与国内外标准对比

7.3 无组织排放监控点浓度限值

为加强企业无组织排放控制,本标准设置了企业无组织排放监控点浓度,苯执行 0.1 mg/m^3 , 甲苯执行 1.8 mg/m^3 , 二甲苯执行 1.0 mg/m^3 , 总 VOCs 执行 3.0 mg/m^3 。

7.4 达标技术分析

(1) 不同时段达标技术

I 时段达标技术

- 建设高效的有机废气统一收集和 VOCs 末端净化设施,大幅削减 VOCs 排放量。
- 推广使用水性的密封胶和底架漆。

II 时段达标技术

- 逐渐推广和使用底漆、内面漆、中间漆、外面漆以水性集装箱涂料为主。
- 视企业具体情况建设 VOCs 末端净化设施实现稳定达标排放。

(2) 集装箱涂装生产线改造

目前我省集装箱涂装生产线基本为溶剂型涂装生产线,如采用水性涂料,短期内可暂使用原有涂装

生产线，但就长期而言，需将原有生产线升级改造为水性涂装生产线，主要涉及：增加或改造底漆、面漆、中层漆环节的三个烘房及烘房配套的通风设备；以及增加抽湿机及生产线其他相关设备等。

（3）集装箱制造业主要的 VOCs 控制技术

集装箱制造企业采用催化燃烧和活性炭吸附-溶剂回收等技术均能较好的实现 VOCs 排放控制效果，并已有工程实践。就我省调研结果看，**活性炭吸附—热风脱附—催化燃烧—余热利用**具有较好的技术经济适用性，能适应集装箱制造厂有机废气的大风量、低浓度的特点，但日常运行成本较高。**活性炭吸附—蒸汽脱附—溶剂回收技术**也是目前应用较广的一种有机废气处理常用技术，其去除率高，VOCs 在 1000ppm 以上时，被吸附的 VOCs >95%。在吸附的初期，废气净化效率比较高，但在后期，如果不及及时更换吸附剂，则吸附效果将下降，所以该技术对废气是一种常用技术，但需要注意更换周期的保证。

8. 标准实施的环境和经济效益分析

8.1. 标准实施的环境效益分析

本标准对于集装箱制造业明确了污染控制的特征因子，提出了集装箱涂装生产线 VOCs 排放量限值和排放浓度限值，明确了 VOCs 的控制要求，有利于集装箱制造业推行清洁生产工艺，加强污染控制，保护环境，保护人体健康。集装箱制造业排放的 VOCs 排放进入大气对流层后，在紫外光作用下，将形成臭氧。近地层臭氧浓度过高会对人体健康产生危害。有资料报道，当地面大气环境中的臭氧浓度超过 0.1ppm 时，就会产生负面影响，人们长期暴露在臭氧浓度 ≥ 1.0 ppm 的大气环境中，将会出现头痛、喉咙干燥、全身无力等症状。

据 3.4 节估算，当前我省集装箱制造业 VOCs 排放量约 6.5 万吨~9.5 万吨。若按照达到第 I 阶段排放标准，加强有机废气收集，建设 VOCs 治理设施大幅削减 VOCs 排放，则预计削减 VOCs 排放量 3.3~5.0 万吨。未来随着水性涂料的广泛使用，还将取得进一步的 VOCs 减排量。

8.2. 标准实施的经济费用分析

(1) 溶剂型涂料改为水性涂料

仅就单价而言，水性集装箱涂料单价较溶剂型涂料高 20% 左右。但如果使用水性涂料，则不需再使用稀释剂（溶剂型涂料的稀释剂添加比例为 20%）。我省集装箱制造企业的经验显示，生产一个 20 英尺标准集装箱的成本，使用水性涂料比使用溶剂型涂料总体高约 100 美金。

(2) 集装箱涂装生产线改造

集装箱涂装生产线由溶剂型涂装线升级改造为水性涂装线，需在底漆、面漆、中层漆喷涂环节建设或改造烘房及烘房配套的通风设备，并增加相应的抽湿机及生产线其他相关设备，粗略估算，一条溶剂型集装箱涂装生产线的改造费用约 2000 万元左右，费用主要集中在烘房建设和改造环节。一般的，一条集装箱生产线的使用年限在 10 至 15 年。不过，由于集装箱涂装生产线生产节拍快，改造为水性涂装生产线后将导致时间增加和生产线延长，因此改造需要一定的场地需求。

(3) VOCs 末端净化设施

集装箱涂装生产线流程长、风量大，底漆预涂、底架箱喷涂、中间漆预喷房、中间漆房、内面漆补喷、外面漆补喷、流平、烘房等工位均需要集中收集产生的 VOCs 气体并通过多套设施进行处理。

以我省建设并运行末端 VOCs 净化设施的某集装箱制造企业为例，采用催化燃烧技术，单条生产线设备投资约 4000 万元，运行成本约 1000~2000 元/日；采用活性炭吸附-蒸汽脱附-溶剂回收技术，单条

生产线设备投资约 5000 万元，回收的溶剂可回用或出售，收益约 3000 万/年。