
《挥发性有机物排放标准 第7部分： 其他行业》编制说明

标准编制组

二〇一七年十一月

项目名称：挥发性有机物排放标准 第 7 部分：其他行业

本标准起草单位：济南市环境研究院

主要起草人：庄涛、刘善军、吴秀超、仇帅、吴彤、邵丹、黄宪江、李蕾。

科技标准处项目管理人：

目录

1 任务来源与工作过程	1
1.1 任务来源	1
1.2 工作过程	1
2 标准编制必要性.....	1
2.1 是控制污染改善环境的需要	1
2.2 是完善地方标准体系，强化环境监管的需要	2
2.3 是落实国家及省相关政策法规，引导行业可持续发展的 需要	2
3 国内外相关标准研究.....	2
3.1 国外相关排放标准.....	2
3.2 国内相关排放标准.....	3
3.2.1 国家涉及 VOCs 排放标准.....	3
3.2.2 山东省排放标准.....	4
3.2.3 其他省市排放标准涉及行业.....	4
4 标准适用范围	7
5 各行业挥发性有机物排放环节及污染防控技术分析	9
5.1 各行业 VOCs 产排污环节	9
5.1.1 植物油加工行业	9
5.1.2 酒的制造行业	11
5.1.3 纺织行业	16
5.1.4 皮革鞣制加工	17
5.1.5 人造板制造	20

5.1.6 纸浆制造业	21
5.1.7 肥料制造行业	22
5.1.8 非金属矿物制品业	23
5.1.9 黑色金属冶炼和压延加工业	28
5.2 污染物处理技术分析.....	29
6 标准主要技术内容.....	34
6.1 适用范围	34
6.2 术语及定义	34
6.3 实施时间	34
6.4 控制指标选取	35
6.5 污染物排放限值确定及制定依据.....	35
6.5.1 最高允许排放限值.....	35
6.5.2 排放速率限值确定.....	45
7 经济性分析与环境效益	49
7.1 经济性分析	49
7.2 环境效益	52

1 任务来源与工作过程

1.1 任务来源

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》等法律法规，落实可持续发展战略，保护生态环境，改善山东省环境空气质量，保障人体健康，防治挥发性有机物污染，促进我省涉及挥发性有机物排放行业工艺和污染治理技术的进步，山东省环境保护厅提出编制《挥发性有机物综合排放标准》的编制计划，由济南市环境研究院承担编制任务。

1.2 工作过程

1. 2017 年 3-5 月，成立标准编制组，开展文献资料调研，对国内外相关排放标准、污染物控制技术、各相关行业概况、生产工艺及产排污环节等进行调研，编制完成标准开题报告，召开标准开题论证会。

2. 2017 年 5-10 月，赴淄博、德州、潍坊、济南、日照、青岛等地对近 30 家典型企业开展调研和监测。掌握企业基本情况、挥发性有机物排放现状、挥发性有机物治理技术及设施配套现状、企业环境管理水平等信息。召开专家座谈会，根据专家意见对标准进行修改。

3. 2017 年 11 月，根据调研和监测结果，结合山东省各相关行业污染控制现状，确定控制指标和排放限值，完成标准文本及编制说明（征求意见稿）。

2 标准编制必要性

2.1 是控制污染改善环境的需要

VOCs 是导致城市灰霾和光化学烟雾的重要前体物，主要来源于煤化工、石油化工、燃料涂料制造、溶剂制造与使用等过程，部分 VOCs 具有致癌、致畸、致突变作用，可直接对人体健康造成危害。研究表明，VOCs 排放是大气臭氧浓度上升、区域性光化学烟雾及雾霾形成的重要因素。

制定山东省《挥发性有机物排放标准 第 7 部分：其他行业》，对全面加强各行业挥发性有机物排放控制，改善我省大气环境质量具有重要意义。

2.2 是完善地方标准体系，强化环境监管的需要

目前，我国尚未颁布针对 VOCs 的综合排放标准，仅在国家《大气污染物综合排放标准》(GB 16297-1996)中规定了苯、甲苯、二甲苯等十余种 VOCs 物种的排放限值，但其存在控制因子少，排放限值较宽松，监测方法、控制要求缺失等问题，难以适应当前环境保护形势和管理部门监督管理要求。我省已发布或计划发布汽车制造、家具制造、铝型材、印刷、表面涂装及有机化工等重点行业挥发性有机物排放标准，该标准的编制实施将进一步扩大挥发性有机物排放标准涵盖范围，完善我省挥发性有机物标准体系，强化环境监管能力。

2.3 是落实国家及省相关政策法规，引导行业可持续发展的需要

《大气污染防治行动计划》提出“在石化、有机化工、表面涂装、包装印刷等行业实施挥发性有机物综合整治”；《山东省大气污染防治规划（2013-2020 年）》提到“完善重点行业挥发性有机物排放控制要求和政策体系，严格执行相关行业挥发性有机物排放标准、清洁生产评价指标和环境工程技术规范。”《山东省重点行业挥发性有机物专项治理方案》，明确提出大力推动重点行业开展 VOCs 专项治理，坚持突出重点、以点带面、分步实施的原则，加强重点行业工艺过程无组织排放控制和废气治理，提升企业工艺装备水平和 VOCs 污染防治水平。

制定山东省《挥发性有机物排放标准 第 7 部分：其他行业》有利于落实国家及我省一系列相关政策法规，对加强重点行业挥发性有机物排放管控，促进生产工艺和污染防治技术进步，引导产业转型升级，实现可持续发展具有重要意义。

3 国内外相关标准研究

3.1 国外相关排放标准

表 3.1 国外涉及 VOCs 排放标准

国别	标准名称	行业类别
美国	《新污染源执行标准 (NSPS)》	-
	《国家危险空气污染物排放标准 (NESHAPs)》	涂装
	《国家汽车表面涂装 VOC 排放标准》	汽车表面涂装
	《印刷出版业有害空气污染物的排放标准》	印刷业
	《有毒有害空气污染物排放标准 (NESHAP)》	表面涂装、矿物采选及加工、

		黑色金属加工、有色金属冶炼、燃料燃烧等
	《制药生产点有害气体污染物的最终排放标准和规则》	制药工业
	《半导体制造危险空气污染物国家排放标准》	半导体制造
	《60 FR 62929(National emission standards for wood furniture manufacturing operations)》	家具制造业（涂料）
德国	《空气质量控制技术规范-TA Luft》	综合
	《卤代挥发有机化合物排放控制条例》	-
	《汽油、混合燃料或石脑油运输、储存过程中的挥发性有机化合物排放限制的规则》	-
	《机动车加油过程中总碳氢化合物排放规则》	-
	《在某些使用有机溶剂的工厂限制挥发性有机化合物排放的条例》	-
欧盟	《工业排放指令(IED)》	化学工业、矿业、金属生产和加工、废物管理、能源和其他活动 9 大类
	《有机溶剂使用装置和活动挥发性有机物排放限值指令1999/13/EC》	汽车涂装、卷材涂装、金属涂装、木工涂装等
	《涂料指令2004/42/EC》	涂料、清漆和车辆表面整修产品
	《汽油贮存和配送指令94/63/EC》	储油库
	《陶瓷制造业最佳可行技术参考文件》	陶瓷业
	《某些工艺和工业装置的有机溶剂排放限值》	制药工业
	《综合污染防治和控制指令》	水泥制造业、石油和天然气精炼厂、陶瓷制造业、玻璃制造业
	《89/106/EEC指令》	建筑产品安全
日本	《大气污染防治法》	化学品制造、涂装、工业清洗、粘接、印刷、VOCs 物质贮存、汽车制造（涂装）

3.2 国内相关排放标准

3.2.1 国家涉及 VOCs 排放标准

表 3.1 国家涉及 VOCs 排放标准

序号	标准名称	标准编号
1	《合成树脂工业污染物排放标准》	GB 31572-2015
2	《石油化学工业污染物排放标准》	GB 31571-2015
3	《石油炼制工业污染物排放标准》	GB 31570-2015
4	《大气污染物综合排放标准》	GB 16297-1996
5	《恶臭污染物排放标准》	GB 14554-1993
6	《炼焦化学工业污染物排放标准》	GB 16171-2012
7	《橡胶制品工业污染物排放标准》	GB 27632-2011
8	《电池工业污染物排放标准》	GB 30484-2013
9	《合成革与人造革工业污染物排放标准》	GB 21902-2008
10	《烧碱、聚氯乙烯工业污染物排放标准》	GB 15581-2016
11	《轧钢工业大气污染物排放标准》	GB 28665-2012
12	《挥发性有机物无组织排放控制标准》	征求意见稿
13	《涂料、油墨及胶黏剂工业大气污染物排放标准》	征求意见稿

3.2.2 山东省排放标准

表 3.2 山东省涉及 VOCs 排放标准

序号	标准名称	标准编号
1	《挥发性有机物排放标准第 1 部分：汽车制造业》	DB37/2801.1-2016
2	《挥发性有机物排放标准第 2 部分：铝型材工业》	征求意见稿
3	《挥发性有机物排放标准第 3 部分：家具制造业》	DB37/2801.3-2017
4	《挥发性有机物排放标准第 4 部分：印刷业》	征求意见稿
5	《挥发性有机物排放标准第 5 部分：表面涂装业》	征求意见稿
6	《挥发性有机物排放标准第 6 部分：有机化工业》	征求意见稿

3.2.3 其他省市排放标准涉及行业

表 3.3 其他省市涉及 VOCs 排放的行业标准

省市	标准	包含行业	标准编号
广东	《表面涂装（汽车制造业）挥发性有机化合物排放标准》	汽车制造业	DB44/816-2010
	《大气污染物排放限值》	火力发电、锅炉、水泥	DB44/27-2001
	《集装箱制造业挥发性有机物排放标准》	集装箱制造业	DB44/1837-2016
	《家具制造行业挥发性有机化合物排放标准》	家具制造业	DB44/814-2010
	《印刷行业挥发性有机化合物排	印刷行业	DB44/815-2010

	放标准》		
	《制鞋行业挥发性有机化合物排放标准》	制鞋行业	DB44/817-2010
	《电子设备制造业挥发性有机物排放标准》	电子设备制造业	征求意见稿
北京	《大气污染物综合排放标准》	工业炉窑和其他固定污染源	征求意见稿
	《防水卷材行业大气污染物排放标准》	防水建筑材料（防水卷材行业）	征求意见稿
	《工业涂装工序大气污染物排放标准》	工业涂装	DB11/1226-2015
	《炼油与石油化学工业大气污染物排放标准》	炼油与石油化工企业	DB11/447-2015
	《木质家具制造业大气污染物排放标准》	木质家具制造业	征求意见稿
	《汽车维修业大气污染物排放标准》	汽车维修业	DB11/1228-2015
	《汽车整车制造业（涂装工序）大气污染物排放标准》	汽车整车制造业（涂装工序）	DB11/1227-2015
	《印刷业挥发性有机物排放标准》	印刷业	DB11/1201-2015
	《有机化学品制造业》	有机化学品	DB11/1385-2017
浙江	《纺织染整工业大气污染物排放标准》	纺织染整企业	DB33/962-2015
	《化学合成类制药工业大气污染物排放标准》	化学合成类制药企业(医药中间体工厂、兽药生产企业)	DB33/2015-2016
	《生物制药工业污染物排放标准》	生物制药企业	DB33/923-2014
河北	《工业企业挥发性有机物排放控制标准》	医药制造行业、石油炼制工业、石油化学工业、有机化工业、炼焦工业、钢铁冶炼和压延加工业、木材加工业、家具制造业、交通运输设备制造业、表面涂装业、印刷工业及其他行业	DB13/2322-2016
	《合成树脂工业污染物》	合成树脂工业企业	GB31572-2015
	《炼焦化学工业污染物排放标	炼焦（炼焦化学工业）	GB16171-2012

	准》		
	《平板玻璃工业大气污染物排放标准》	平板玻璃工业(未涉及 VOCs 排放限值)	DB13/2168-2015
	《青霉素类制药挥发性有机物和恶臭特征污染物排放标准》	制药工业	征求意见稿
	《石油炼制工业污染物排放标准》	石油炼制工业企业	GB31570-2015
江苏	《表面涂装（家具制造业）挥发性有机物排放标准》	表面涂装（家具制造业）	DB32/3152-2016
	《化学工业挥发性有机物排放标准》	有机化学原料制造、有机肥料及微生物肥料制造、农药制造、涂料/油墨/颜料及类似产品制造、专用化学产品制造、日用化学产品制造、化学药品原料药制造、化学药品制剂制造、兽用药品制造、生物药品制造	DB32/3151-2016
陕西	《陕西省重点行业挥发性有机物排放控制标准》	汽车整车制造、表面涂装、印刷、木质家具制造、电子产品制造、涂料与油墨制造、医药制造、橡胶制品制造	征求意见稿
重庆	《摩托车及汽车配件制造表面涂装大气污染物排放标准》	摩托车整车制造及汽车、摩托车零配件制造	
	《汽车维修业大气污染物排放标准》	汽车维修业	DB50/661-2016
	《汽车整车制造表面涂装大气污染物排放标准》	汽车整车制造	DB50/577-2015
	《重庆市大气污染物综合排放标准》	锅炉（含火电行业）、工业炉窑（含水泥行业）、固定污染源	DB50/418-2012
	《摩托车及汽车配件制造表面涂装大气污染物排放标准》	摩托车整车制造、摩托车及汽车配件制造企业	DB50/660-2016
天津	《工业企业挥发性有机物排放控制标准》	石油炼制与石油化学、医药制造、橡胶制品制造、涂料与油	DB12/523-2014

		墨生产、塑料制品制造、电子工业、汽车制造与维修、印刷与包装印刷、家具制造、表面涂装、黑色金属冶炼及其他行业	
	《铸锻工业大气污染物排放标准》	铸锻工业	征求意见稿
	《建筑涂料与胶黏剂挥发性有机物含量限值标准》	建筑涂料与胶黏剂	DB12/3005-2017
四川	《固定污染源大气挥发性有机物排放标准》	木制家具制造、印刷、石油炼制、涂料油墨及类似产品制造、橡胶制品制造、汽车制造、表面涂装、农药制造、医药制造、电子产品制造、其他使用有机溶剂、涂料等的行业。	征求意见稿
上海	《船舶工业大气污染物排放标准》	船舶工业	DB31/934-2015
	《大气污染物综合排放标准》	综合行业	DB31/933-2015
	《家具制造业大气污染物排放标准》	家具制造企业	征求意见稿
	《汽车制造业（涂装）大气污染物排放标准》	汽车制造业（涂装）	DB31/859-2014
	《印刷业大气污染物排放标准》	印刷业	DB31/872-2015
	《生物制药行业污染物排放标准》	生物制药行业	DB31/373-2010
	《涂料、油墨及其类似产品制造工业大气污染物排放标准》	涂料、油墨及其类似产品制造企业	DB31/881-2015

4 标准适用范围

根据山东省 2016 年环境统计数据，结合《城市大气污染物排放清单编制技术手册》中污染物排放系数及企业监测数据，除已有或即将发布的几个标准包含的行业外，VOCs 排放量较大的行业如表 4.1 所示，包括 C133 植物油加工、C151 酒的制造、C17 纺织业、C191 皮革鞣制加工、C202 人造板制造、C221 纸浆制造、C262 肥料制造、C30 非金属矿物制品业、C31 黑色金属冶炼和压延加工业，共 9 个行业。

将此 9 个行业选为本标准重点控制行业，分类设定排放限值，其余涉及 VOCs 排放的行业归为其他非重点行业统一划定排放限值。

表 4.1 工业点源 VOCs 排放量统计

编号	代码	名称	介绍	VOCs 排放量 (吨)	全行业总体占比情况(%)
1	C133	植物油加工	1331 食用植物油加工； 1332 非食用植物油加工	8498.0	1.5
2	C151	酒的制造	1511 酒精制造；1512 白酒制造；1513 啤酒制造； 1515 葡萄酒制造；1519 其他酒制造	38925.7	6.8
3	C17	纺织业	171 棉纺织及印染精加工；172 毛纺织及染整精加工；173 麻纺织及染整精加工；174 丝绢纺织及印染精加工；175 化纤织造及印染精加工；176 针织或钩针编织物及其制品制造；177 家用纺织制成品制造；178 非家用纺织制成品制造	5225.9	0.9
4	C191	皮革鞣制加工	1910 皮革鞣制加工	1650.4	0.3
5	C202	人造板制造	2021 胶合板制造；2022 纤维板制造；2023 刨花板制造；2029 其他人造板制造	5498.0	1.0
6	C221	纸浆制造	2211 木竹浆制造； 2212 非木竹浆制造	2481.5	0.4
7	C262	肥料制造	2621 氮肥制造；2622 磷肥制造；2624 复混肥料制造；2625 有机肥料及微生物肥料制造	12661.7	2.2
8	C30	非金属矿物制品业	301 水泥、石灰和石膏制造；302 石膏、水泥制品及类似制品制造；303	100671.5	17.7

			砖瓦、石材等建筑材料制造;304 玻璃制造;305 玻璃制品制造;306 玻璃纤维和玻璃纤维增强塑料制品制造;307 陶瓷制品制造;308 耐火材料制品制造;309 石墨及其他非金属矿物制品制造		
9	C31	黑色金属冶炼和压延加工业	310 炼铁; 312 炼钢; 313 黑色金属铸造; 314 钢压延加工	41441. 1	7. 3
10	其他非重点行业			64702. 2	12. 5
合计				281756. 0	50. 6

5 各行业挥发性有机物排放环节及污染防控技术分析

5.1 各行业 VOCs 产排污环节

因本标准涉及行业众多，主要针对 VOCs 排放量占比较大的重点子行业进行具体分析。

5.1.1 植物油加工行业

本标准中植物油加工行业包括食用植物油加工行业和非食用植物油加工行业。

(1) 食用植物油加工

食用植物油加工指用各种食用植物油料生产油脂，以及精制食用油的加工活动。包括豆油、花生油、芝麻油、菜籽油、棉籽油、葵花籽油、胡麻油等。主要包括压榨工艺和浸出工艺。压榨工艺是指给油料作物施加外力使其体积缩小从而把油脂从物料中挤压出来的过程。生产优点是油脂品质好，不会引入有毒有害杂质。不足是出油率较低，能源消耗量较大。浸出工艺是指利用化学相似相容的原理把事先处理好的料胚放入有机溶剂中，把油脂萃取出来的过程。工艺优点是出油率高，能源消耗较小，不足是会引入有毒有害杂质，降低油脂品质。

食用植物油加工主要有两种方式，一是压榨工艺：油料—剥壳—破碎—蒸炒—压榨—原油—水化—过滤—压榨油。二是浸出工艺：油料—剥壳—破碎—轧胚—蒸炒—浸出—蒸发—汽提—浸出原油。

(2) 非食用植物油加工

非食用植物油加工指用各种非食用植物油料生产油脂的活动。包括：桐油、蓖麻油、梓油、木油等；植物蜡、油鞣回收脂等副产品。非食用植物油加工主要过程为油料—清理—轧坯—蒸炒—预榨—油渣分离—浸出—沉降—蒸发—气提—浸出毛油—湿粕—蒸脱—成品粕。

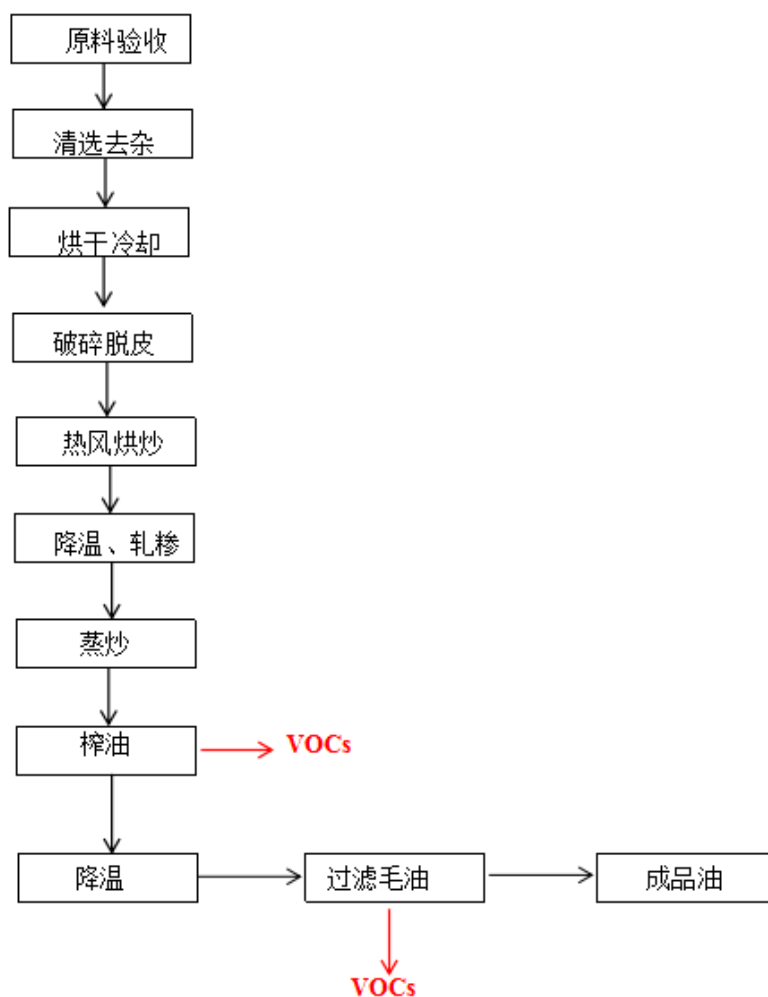


图 5.1 植物油生产工艺流程图

综合分析上述过程，植物油加工行业生产过程中的 VOCs 产生与排放主要集中在预榨、浸出和精炼环节。

① 预榨

该车间的 VOCs 主要来源于油料蒸炒和榨油工段，油料在高温、挤压和高剪切力作用下，散发出油料特有气味，如菜籽香味、花生香味、大豆香味等。同时，部分油料中还会挥发出刺激性气味，如菜籽

榨油过程中产生的异硫氰酸酯，是一种挥发性辛辣物质，对粘膜有强烈的刺激作用。长期处于这些气味物质的环境中，将使人的嗅觉迟钝，影响人的情绪，对人体造成一定伤害。

② 浸出

利用溶剂进行浸出制油，是国内外应用广泛的一种制油方法。该方法相对于压榨法制油有着许多优点，如饼粕中含残油少、出油率高、加工成本低、经济效益高。但使用溶剂法进行浸出制油，必然存在着溶剂挥发的问题。

目前国内浸出制油企业使用的溶剂为 6 # 溶剂油，主要成分是工业己烷，含有少量戊烷、苯等，沸程为 61℃～75℃（GB6629-2008《植物油抽提溶剂》）。在浸出生产过程中，设备的跑、冒、滴、漏及溶剂回收的不完全，都会造成溶剂的挥发，污染环境，影响操作人员身体健康。

③ 精炼

油脂脱臭过程中排出的废气主要是少量的低分子醛、酮、含硫化物及低级脂肪酸，还可能含有焦糊味、溶剂味、肥皂味、漂土味、氯化异味等，这些废气不仅污染环境，而且影响人的嗅觉、情绪等，对人体健康产生不利影响。

5.1.2 酒的制造行业

本标准中酒的制造行业包括酒精制造、白酒制造、葡萄酒制造和啤酒制造。

（1）酒精制造

酒精制造指用玉米、小麦、薯类等淀粉质原料或用糖蜜等含糖质原料，经蒸煮、糖化、发酵、等工艺制成酒精产品的生产活动。其生产工艺流程图如图 5.2、5.3 所示。

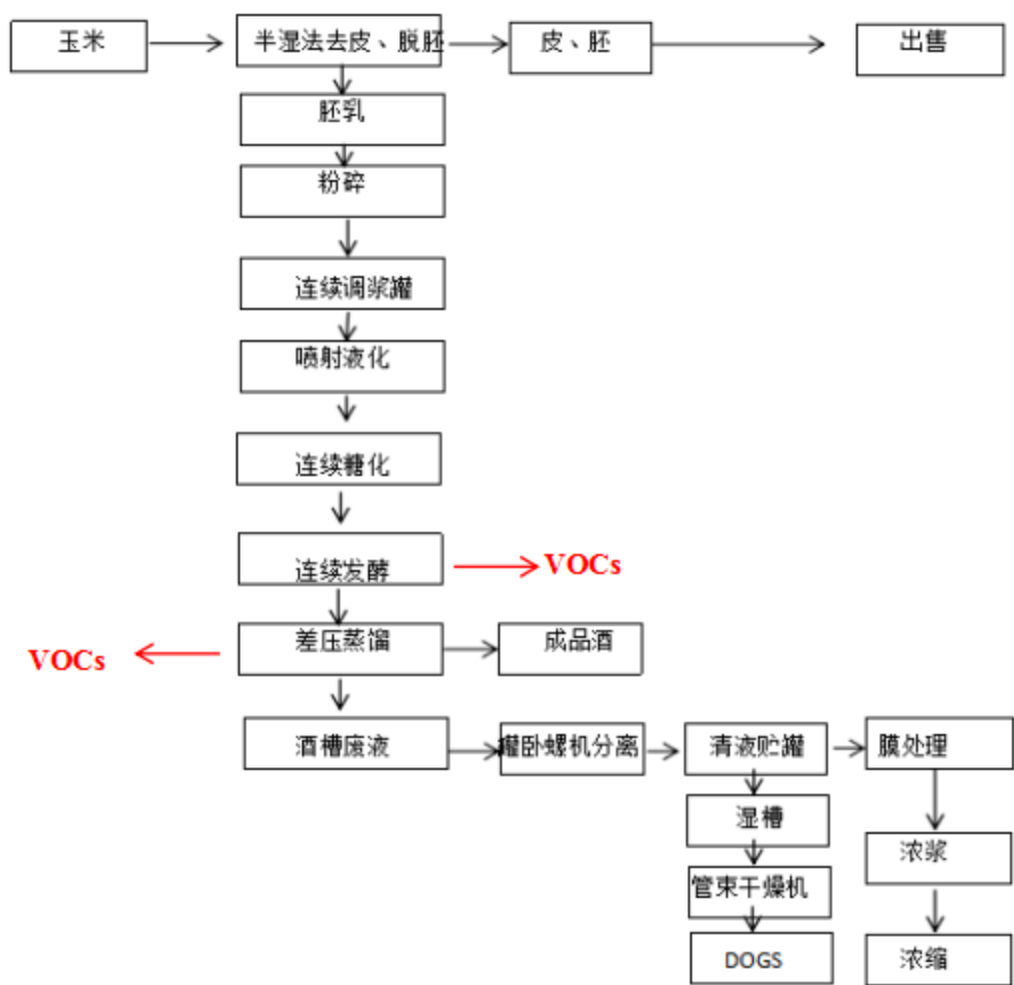


图 5.2 玉米质原料酒精生产工艺流程图

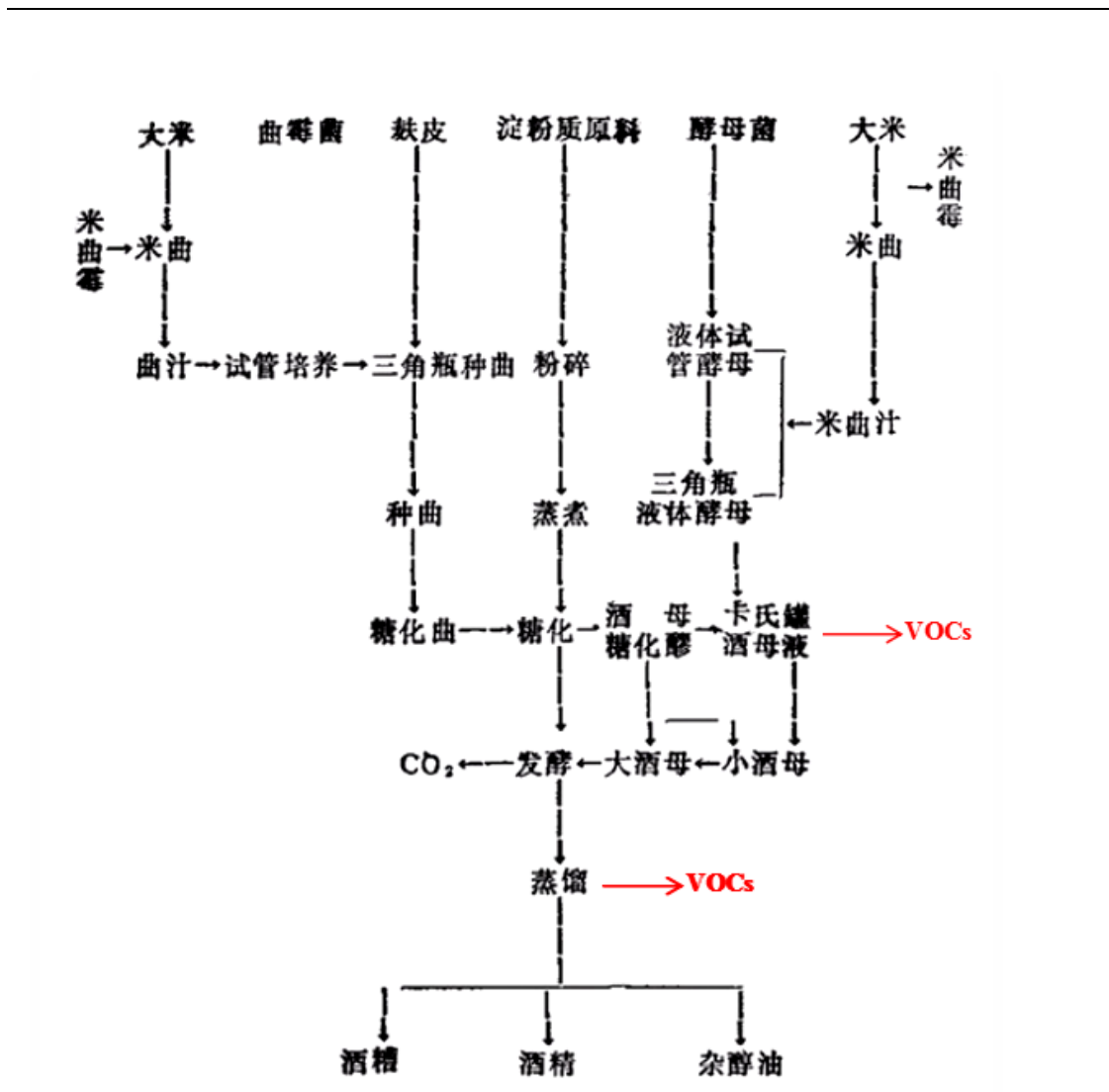


图 5.3 淀粉质原料原料酒精的生产工艺流程图

(2) 白酒制造

白酒制造是指以高粱等粮谷为主要原料，以大曲、小曲或麸曲及酒母等为糖化发酵剂，经蒸煮、糖化、发酵、蒸馏、陈酿、勾兑而制成的，酒精度在（体积分数）18%~60%的蒸馏酒产品的生产。其生产工艺流程图如图 5.4。

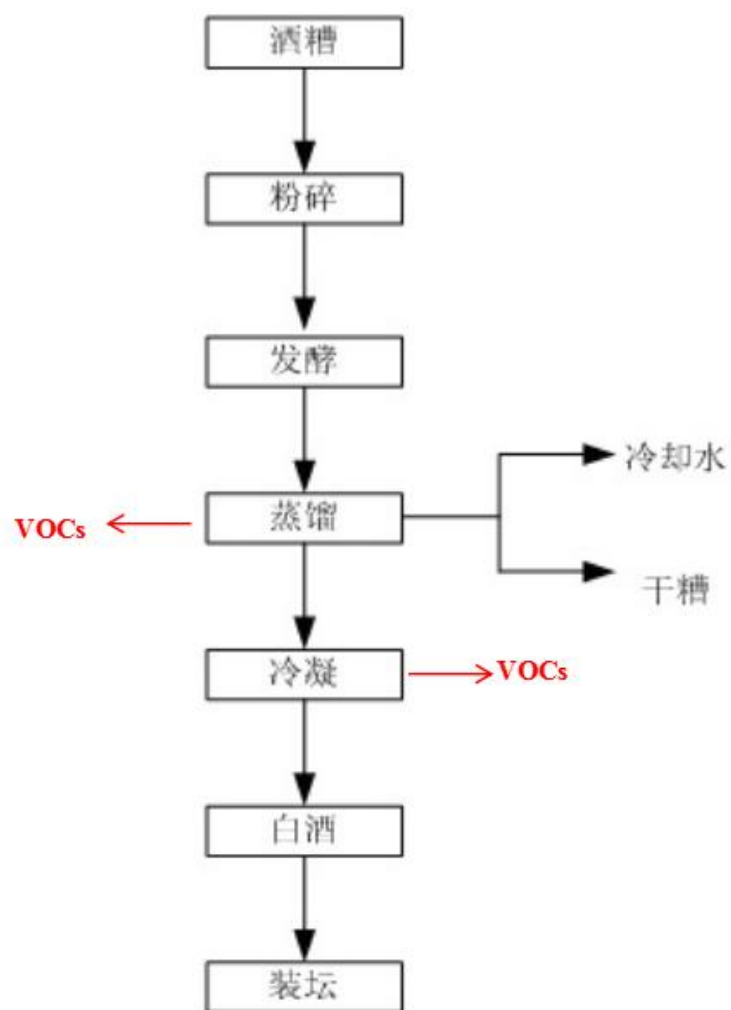


图 5.4 白酒的生产工艺流程图

（3）葡萄酒酿造

葡萄酒是用新鲜的葡萄或葡萄汁经完全或部分发酵酿成的酒精饮料。通常分红葡萄酒和白葡萄酒、桃红葡萄酒三种。红葡萄酒一般用红葡萄品种酿制，白葡萄酒可用白葡萄品种，或者脱皮的红葡萄品种酿制，桃红葡萄酒用红葡萄品种酿制，但浸皮期较短。葡萄酒是通过在葡萄汁中加入酵母发酵而来，酒精发酵是葡萄酒酿造最主要的阶段，其反应非常复杂，除生成酒精、二氧化碳以及少量甘油、高级醇类、酮醛类、酸类、脂类等成份外，还生成磷酸等许多中间产物。其生产工艺流程图如图 5.5。

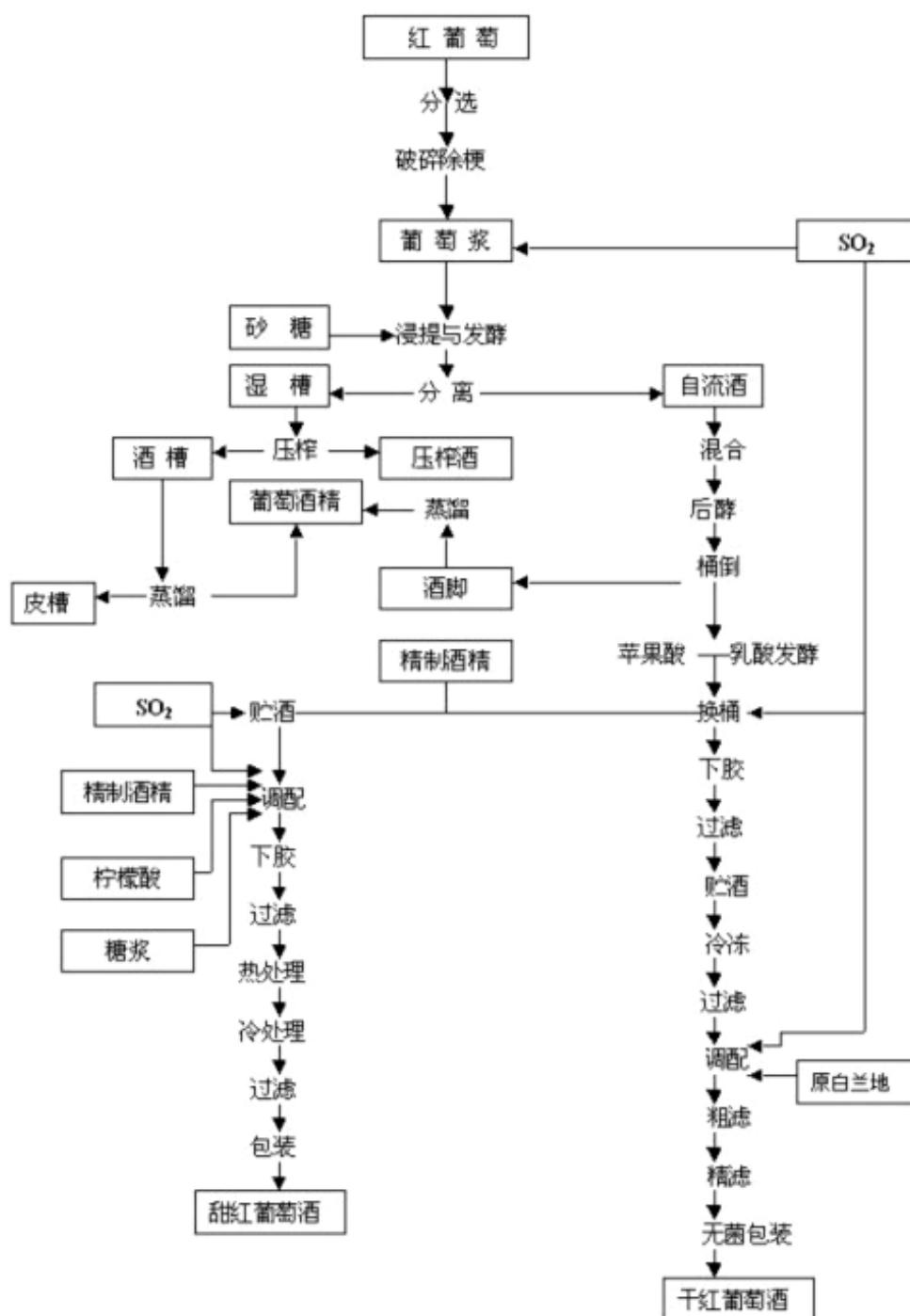


图 5.5 葡萄酒的生产工艺流程图

(4) 啤酒的酿造

啤酒发酵过程是啤酒酵母在一定的条件下，利用麦汁中的可发酵性物质而进行的正常生命活动，其代谢的产物就是所要的产品——啤酒。由于酵母类型的不同，发酵的条件和产品要求、风味不同，发酵的方

式也不相同。根据酵母发酵类型不同可把啤酒分成上面发酵啤酒和下面发酵啤酒。一般可以把啤酒发酵技术分为传统发酵技术和现代发酵技术。现代发酵主要有圆柱露天锥形发酵罐发酵、连续发酵和高浓稀释发酵等方式，目前主要采用圆柱露天锥形发酵罐发酵。其生产工艺流程图如图 5.6。

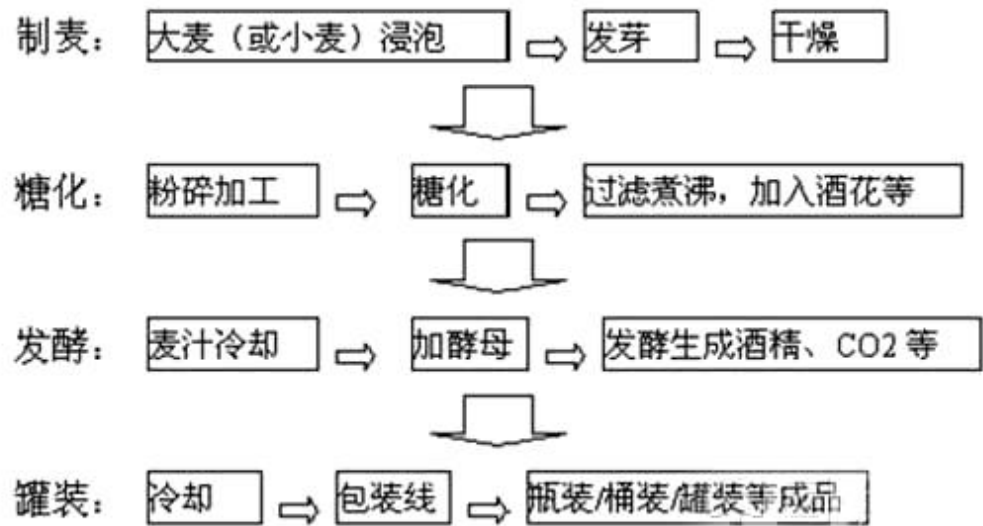


图 5.6 啤酒的生产工艺流程图

酒的制造过程中 VOCs 的释放主要在冷却、拌醪、发酵及蒸酒过程。

5.1.3 纺织行业

本标准中涉及挥发性有机物排放的行业中排放量较大的行业主要包括棉和化纤的纺织及印染精加工两部分。

（1）棉、化纤纺织加工

棉、化纤纺织加工是指以棉及棉型化学纤维为主要原料进行的纺纱、织布，以及用于织布和缝纫的线的生产活动。

（2）棉、化纤印染精加工

棉、化纤印染精加工是指对非自产的棉和化学纤维纺织品进行漂白、染色、印花、轧光、起绒、缩水等工序的加工。包括，印染布：包括各类品种的漂白布、染色布、印花布、以及手工印花布、印染帆

布、漂白药纱布等；大整理色织布：指经过印染工艺全过程的棉色织布、混纺色织布、纯化纤色织布。生产工艺如图 5.7。

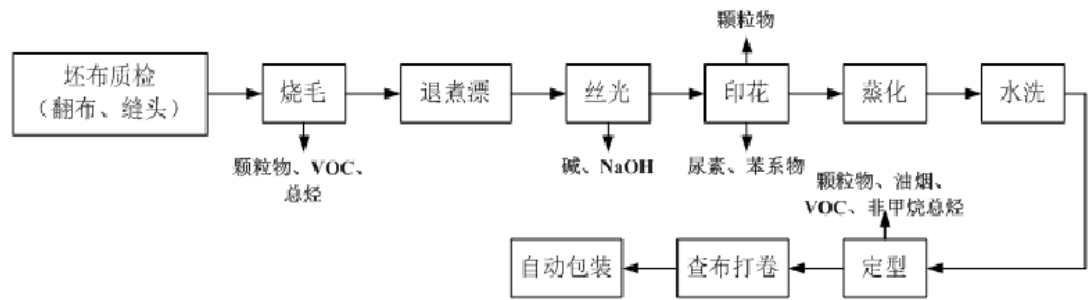


图 5.7 棉、化纤印染精加工生产工艺流程图

根据纺织染整工艺，美国环保署 EPA 将其分为干过程和湿过程。其中干过程是指纺织品在进入染色准备工段之前的一系列过程，包括纱线的形成、编织或针织面料、无纺布的形成、面料的形成等；湿过程则包括纺织面料的准备、染色、整理、印花、涂层或复合涂层等工序。一般而言，纺织染整所产生的有毒有害废气（HAPs）主要来源于湿过程。

据美国 EPA 和我国目前纺织染整废气环评等资料收集，在印花、涂层、染整工艺中大约有 135 个主要点位会产生污染物，其中有害大气污染物主要包括：甲醇、甲醛、乙酸乙酯、乙二醇醚、1,4-二氧杂环乙烷、乙二醇、1,2,4-三氯苯、甲苯、联苯、氨、苯乙烯、丙烯腈、丙烯酸乙酯、乙烯乙二醇、四氯乙烯、三乙胺、二甲苯、甲乙酮、二氯甲烷、甲基异丁基酮、氯乙烯、乙二醇乙醚、苯酚、乙酸乙酯、丙烯酸丁酯、丁二烯、丙酮、DMF、丁酮、苯胺、以及其他的醇、酯、脂肪族碳氢化合物。

5.1.4 皮革鞣制加工

皮革鞣制加工是指动物生皮经脱毛、鞣制等物理和化学方法加工，再经涂饰和整理，制成具有不易腐烂、柔韧、透气等性能的皮革生产活动。包括：鞣制皮革；轻革加工（即加工后具有轻而柔软、多数染有颜色等特性，可制作鞋面、服装、手套和软包、皮件等的皮革）；重革加工（即加工后具有较厚且坚韧耐磨等特性，可供制作鞋底以及军需、工业及民用皮革件等的皮革）；稀有动物皮加工。不包括：人

造革、合成革制造。

皮革的整个生产过程都是以鞣制为中心的。鞣制是通过加入鞣剂使生皮转化为带有水份的熟皮即半成品皮革，再经过剖层修整把熟皮剖削为多层（其中用来做高或较高档成品皮革的头层皮也叫青皮），接下来再对各层进行复鞣，就赋予了不同的成品皮革所应有的饱满、柔软、坚韧等各种特性。所使用的鞣剂不同，鞣制出的皮革就有着各种不尽相同的特性。鞣剂的种类繁多，主要种类介绍如下。

①植鞣革（因通常按重量计量故又称“重革”，又因其鞣剂单宁的味道苦涩，故俗称“涩皮”）。以植物鞣剂多对牛、猪皮鞣制的皮革，植鞣法是最早的对皮革鞣制方法，是使用从植物中萃取的栲胶（主要成分为单宁）来鞣制，它是鞣制皮革中唯一的环保型皮革，即使燃烧也不会释出有毒物质。现在的宠物粮有的就是用这种皮碎料做成的。这种皮革质地比较厚实、坚韧，较容易吸收液体，吸水后便于立体塑形，本色为栲胶本身的淡棕黄色，使用后经氧化、日照以及对体液的吸收等因素会逐渐变深（长时间的日照会把皮革晒成黑褐色），适用盐基性染料（即碱性染料）染色。这种皮革质地硬，厚实，多用于军品、机械配件、篮球、腰带、鞋底、皮箱匣，以及皮雕皮塑。

②铬鞣革（铬鞣革及以下种类常按面积计量，故合称“轻革”）。1858 年发明就使用硫酸铬等铬盐作为主鞣剂对皮革的鞣制法，其鞣制的时间和成本都比植鞣革节省得多，这一方法鞣制的皮革呈蓝白色故称“蓝湿皮”。铬鞣革质地柔软富有伸缩性，褪色和缩水程度都小，并且便于染色和车缝，多用于制作服装或提袋皮鞋等。但这种皮革燃烧后会产生有害物质“六价铬”。

③油鞣革。主要有油蜡皮，是油鞣的牛皮革，其表面富有油蜡感，属高档皮革，唯一的不足是特别不耐水、油，其中的油浸皮（又称疯马皮、疯牛皮，有磨砂和光面的两种）比较著名，主要用于做高档鞋、酷包。

④脑鞣革。用乳化的脂肪如鳕鱼等鱼油、动物的脑髓等经过空气氧化后为鞣剂鞣制的皮革，这种皮革质地最柔软，透气性好，耐水洗。以前只用于鞣制鹿皮，现在多用绵羊剖层皮鞣制绒面革（即仿鹿皮）用于对镜头等精细器具的擦拭。

⑤醛鞣革。鞣剂多为甲醛（即福尔马林）或戊二醛水溶液。醛鞣革耐水性好。

⑥铝鞣革。硫酸铝鞣剂鞣制的皮革特点是洁白（所以对鞣制出的湿革称“白湿皮”）、柔软、粒面紧密而细致，但水洗后即退鞣。白湿皮经干燥后变得扁薄、板硬，所以铝鞣剂很少单独使用。白湿皮能保存很长时间，并可以被进一步加工成不同类型的成品革，是蓝湿皮的一种代用品。

⑦结合鞣革。用两种或以上鞣剂同时或先后鞣制的皮革。多为铬-植结合鞣革，丰满性、弹性、耐磨性都比植鞣革有较大的提高，主要用于做鞋。植-铝结合鞣革性质稳定、耐水性好。现在市售的皮革多为结合鞣革。

另外还有现已少见的生革和熟革。生革不经鞣制，是对生皮刮去残存的软组织后浸于石灰水中，然后撑开晾干而成硬且脆的皮革，主要用于不需弯曲的部件，例如鼓皮。熟革是把植鞣革经热水或热蜡等液体处理后使之坚硬，传统上用来做盔甲和书籍封面。制革的生产工艺流程图如图 5.8。

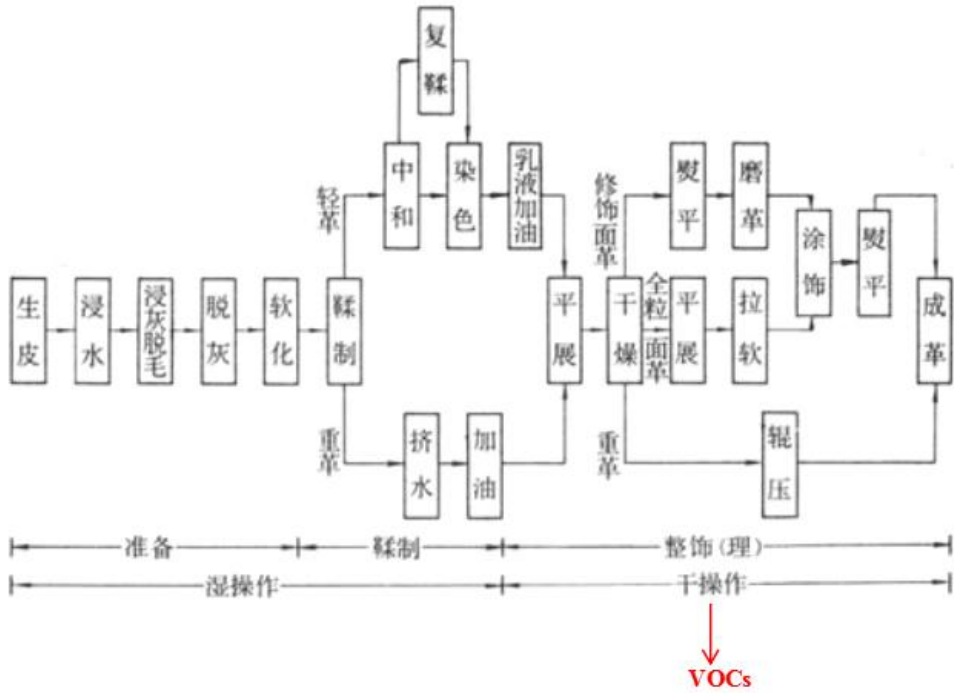


图 5.8 皮革鞣制加工行业生产流程图

皮革鞣制加工过程中挥发性有机物主要产生于后整饰阶段，主要来源为各类涂饰剂树脂内所含的挥发性有机物、有机稀释剂、有机清洁剂等。

5.1.5 人造板制造

人造板是以木材或其他非木材植物为原料，经一定机械加工分离成各种单元材料后，施加或不施加胶粘剂和其他添加剂胶合而成的板材或模压制品。主要包括胶合板、刨花板和纤维板等三大类产品。

(1) 胶合板

胶合板是由木段旋切成单板或由木方刨切成薄木，再用胶粘剂胶合而成的三层或多层的板状材料，通常用奇数层单板，并使相邻层单板的纤维方向互相垂直胶合而成。

(2) 纤维板

纤维板又名密度板，是以木质纤维或其他植物素纤维为原料，施加脲醛树脂或其他适用的胶粘剂制成的人造板。制造过程中可以施加胶粘剂和（或）添加剂。

(3) 刨花板

刨花板又叫蔗渣板，由木材或其他木质纤维素材料制成的碎料，施加胶粘剂后在热力和压力作用下胶合成的人造板，又称碎料板。主要用于家具制造和建筑业及火车、汽车车厢制造。

人造板制造的流程图如图 5.9 所示。

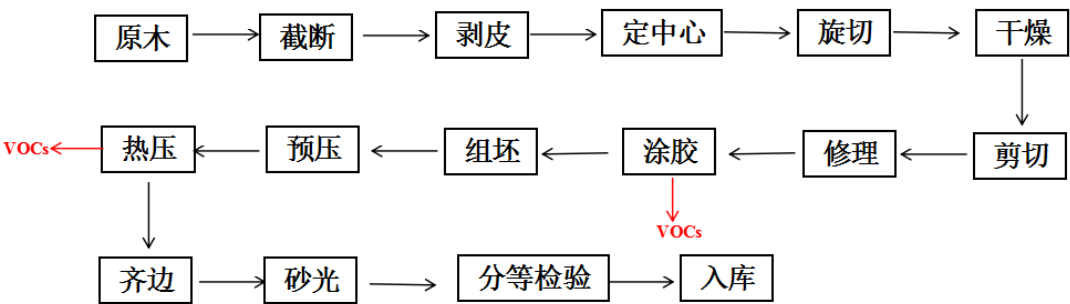


图 5.9 人造板制造工艺流程图

人造板制造业的 VOCs 排放主要集中在两个过程中：一是在单板干燥过程及制（调）胶、涂胶、热压过程；二是涂料、热压和锯边过

程中产生的 VOCs（以甲醛为主）。在人造板生产过程中所使用的胶黏剂和添加剂（如防腐剂、防水剂，填充剂、阻燃剂等）是 VOCs 的主要来源。

5.1.6 纸浆制造业

纸浆制造是指经机械或化学方法加工纸浆的生产活动。一般包括木竹浆制造和非木竹浆制造两大类。木竹浆制造是利用竹浆单独或与木浆、草浆合理配比，通过蒸煮漂洗等造纸工序的纸浆生产过程；非木竹浆制造是指除木竹以外的纤维原料所制得的纸浆的总称，包括禾草浆、芦苇浆、蔗渣浆、棉浆、麻浆等。

纸浆制造方法基本上分为三大类：

①机械法制浆：以机械磨解（机械离解）为主的分离纤维的方法。制浆得率（即一定原料所制出纸浆的重量百分率）最高，木材原料得率可达 95%左右。

②化学法制浆：以化学药剂蒸煮植物原料成浆的方法。制浆得率约为 40~50%（高得率化学浆也可达 65%）。

③化学机械法制浆：以化学药剂对制浆原料进行一定程度的化学预处理，再以机械磨解分离成浆的方法。根据化学预处理的程度，纸浆的得率在 65~94%之间。习惯上也有将得率为 65~84%的制浆方法称为半化学法制浆，而将得率为 85~94%的方法称为化学机械法制浆。但两者本质上都是用化学机械法制造的。

传统纸浆制造的工艺流程包括：将植物纤维原料粉碎、蒸煮、洗涤、筛选、漂白、净化、烘干。现代新发展出一种生物制浆法，先用特殊菌种（白腐菌、褐腐菌、软腐菌）专门定向分解木素结构，后辅以机械或化学方法解离剩下的纤维素，而后进行漂白。此过程中，生物已经分解、打开大部分木素，化学方法只是作为辅助作用，所用的化学产品较之传统方法很少，因此可以做到少排放或不排放废液，是一种环保制浆、清洁制浆方法。纸浆制造碱回收车间生产工艺流程图如图 5.10。

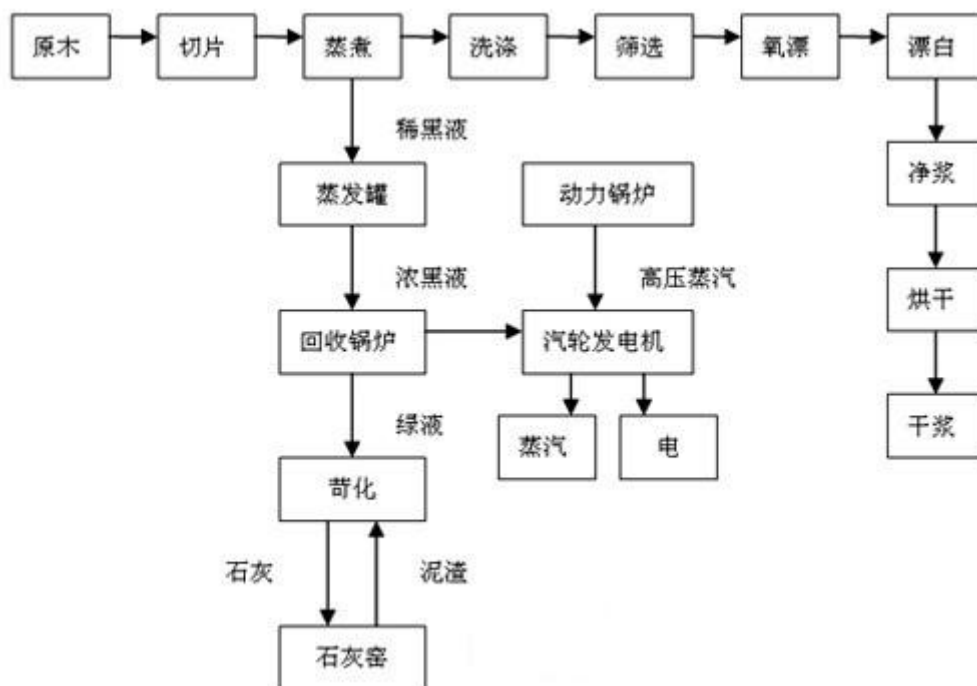


图 5.10 纸浆制造行业生产工艺流程图

纸浆制造过程中 VOCs 的释放主要在调浆和干燥的过程。产生的气态特征污染物主要包括甲醛、硫化物、烃类物质、二噁英和挥发酚类等。

5.1.7 肥料制造行业

本标准中肥料制造行业包括主要包括氮肥、磷肥、钾肥、复混肥、有机肥料及微生物肥料制造行业。

（1）氮肥制造

氮肥是含有作物营养元素氮的化肥。元素氮对作物生长起着非常重要的作用，它是植物体内氨基酸的组成部分、是构成蛋白质的成分，也是植物进行光合作用起决定作用的叶绿素的组成部分。施用氮肥不仅能提高农产品的产量，还能提高农产品的质量。

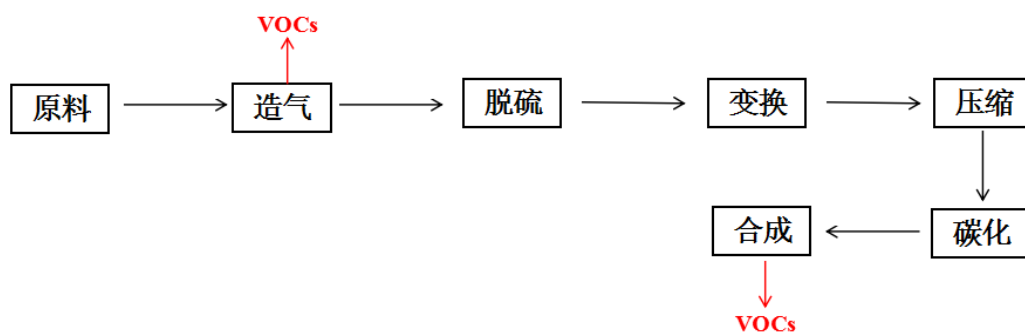


图 5.11 氮肥制造生产工艺流程图

(2) 复混肥制造

复混肥是复混肥料的简称。就是含有多种植物所需矿物质元素或其他养分的肥料。一般含有大量元素有：氮(N)、磷(P)、钾(K)；中量元素：钙(Ca)、镁(Mg)、硫(S)；微量元素：硼(B)、锰(Mn)、铁(Fe)、锌(Zn)、铜(Cu)、钼(Mo)或钴(Co)等。

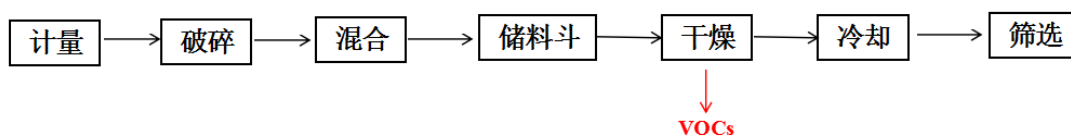


图 5.12 复混肥制造生产工艺流程图

肥料制造过程中的 VOCs 主要来源于造气和反应过程中反应器产生的含 VOCs 的尾气。主要有机污染物包括挥发酚、多环芳烃和多氯联苯等。

5.1.8 非金属矿物制品业

(1) 水泥、石灰、石膏砖瓦、石材等建筑材料制造业。

水泥制造是指以水泥熟料加入适当石膏或一定混合材，经研磨设备（水泥磨）磨制到规定的细度制成水凝水泥的生产活动。其生产工艺流程图如图 5.13 所示。

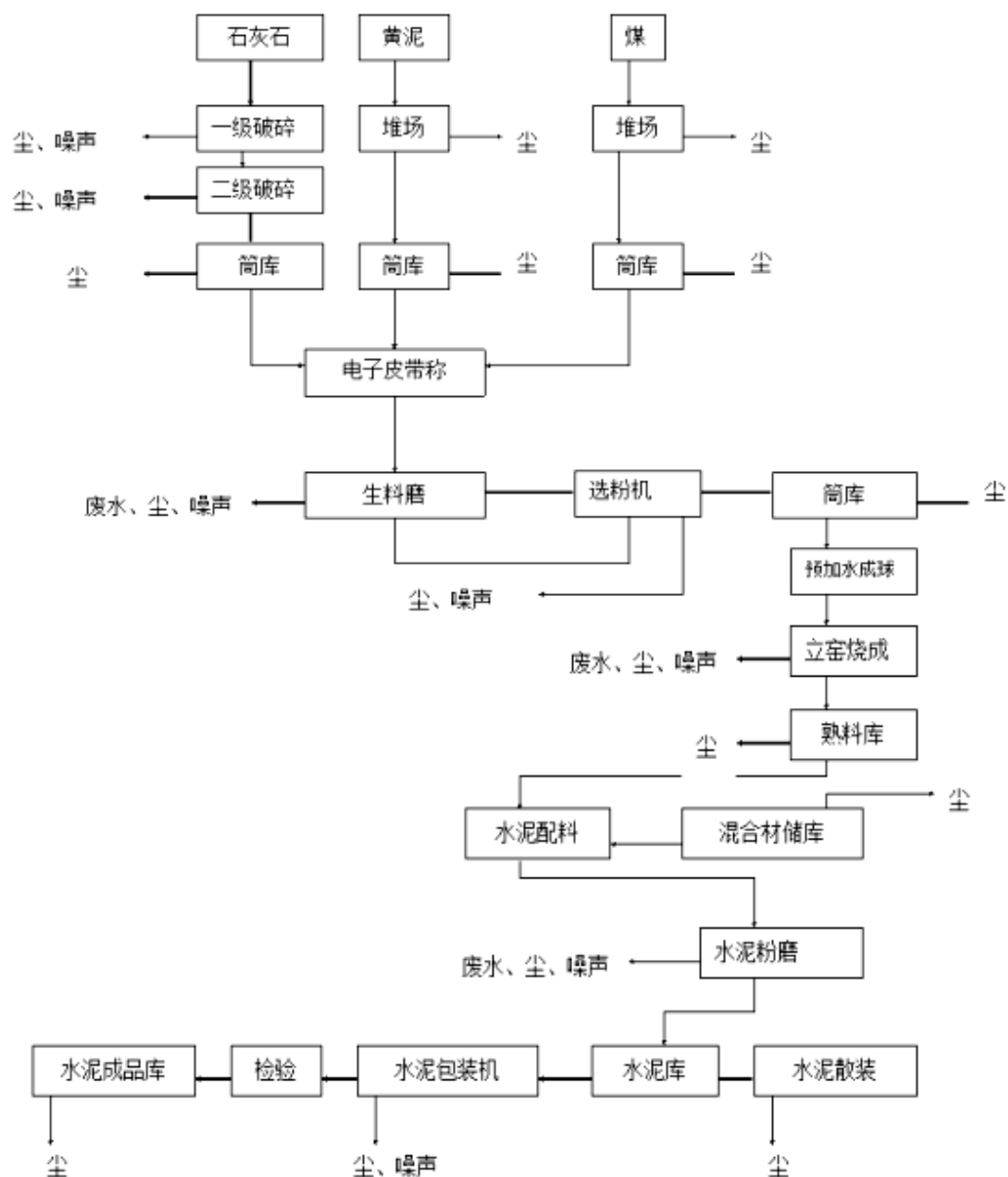


图 5.13 水泥生产工艺流程图

石灰、石膏制造包括生石灰、熟石灰（消石灰）、水硬石灰；建筑石膏：粉刷石膏、其他石膏；化学石膏，如磷石膏、脱硫石膏、盐石膏、芒硝石膏；牙科用熟石膏等。其生产工艺流程图如图 5.14。

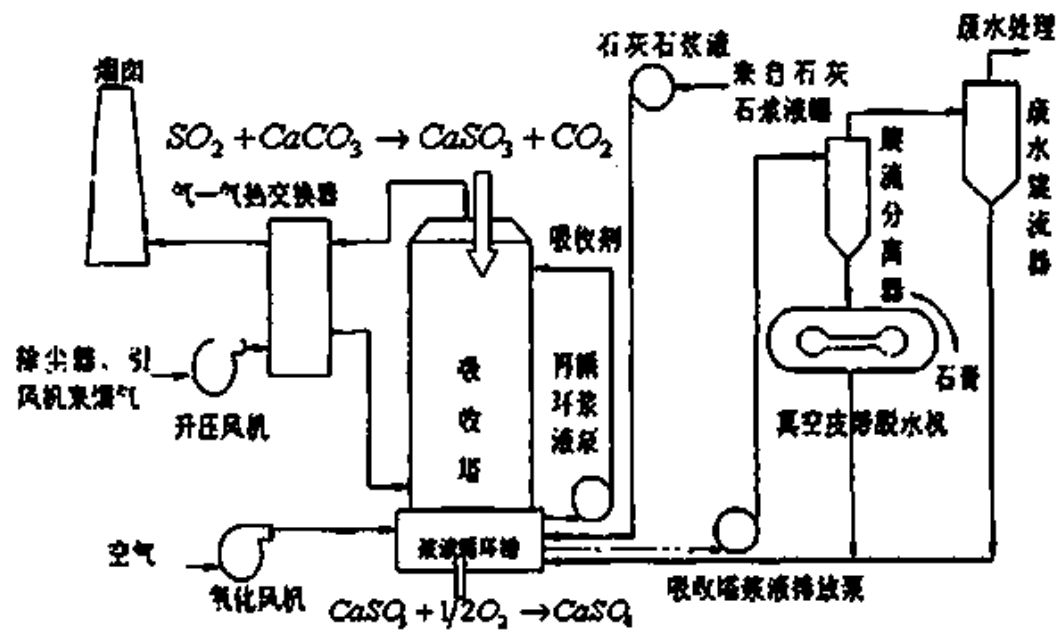


图 5.14 石灰、石膏制造生产工艺流程图

非金属建筑材料制造行业 VOCs 排放主要是煅烧环节，主要源于煅烧过程中煤炭等化石燃料的燃烧过程。

(2) 玻璃制造行业

玻璃简单分为平板玻璃和其他玻璃，其他玻璃主要包括钢化玻璃、磨砂玻璃、喷砂玻璃、压花玻璃、夹丝玻璃、中空玻璃、夹层玻璃、防弹玻璃、热弯玻璃、玻璃砖、玻璃纸等。

玻璃生产的原材料包括主要原料和辅助原料两大类。主要原料指引入玻璃形成网络的氧化物(也叫网络形成体，如二氧化硅)、玻璃网络结构过度的中间体氧化物(也叫网络中间体，如三氧化二铝)和网络外氧化物(也叫网络修饰体，如氧化钠)；辅助原料则包括澄清剂、助熔剂、乳浊剂、着色剂、脱色剂、氧化剂和还原剂等多种工业原材料及化学试剂。生产工艺流程如图 5.15。

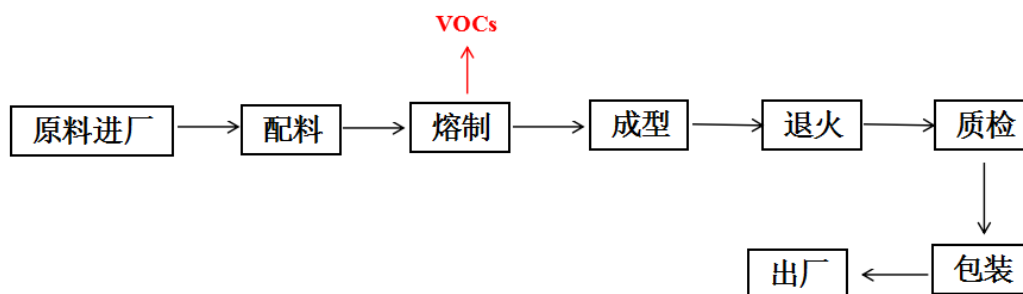


图 5.15 玻璃制造生产工艺流程图

平板玻璃主要分为三种：即引上法平板玻璃(分有槽/无槽两种)、平拉法平板玻璃和浮法玻璃。浮法玻璃正成为玻璃制造方式的主流。

在平板玻璃制造工艺过程中，排放 VOCs 的过程主要是原料熔融环节窑炉使用的燃料燃烧过程。国内浮法玻璃生产线目前主要采用重油、天然气、发生炉煤气等作为燃料，燃烧过程 VOCs 排放是燃料在不完全燃烧条件下产生，产生的 VOCs 主要以烷烃、烯烃、炔烃和芳香烃等非甲烷碳氢化合物为主。

(3) 陶瓷制造行业

陶瓷是陶器和瓷器的总称。陶瓷原料是地球原有的大量资源粘土、石英、长石经过加工而成，成份主要是氧化硅、氧化铝、氧化钾、氧化钠、氧化钙、氧化镁、氧化铁、氧化钛等。

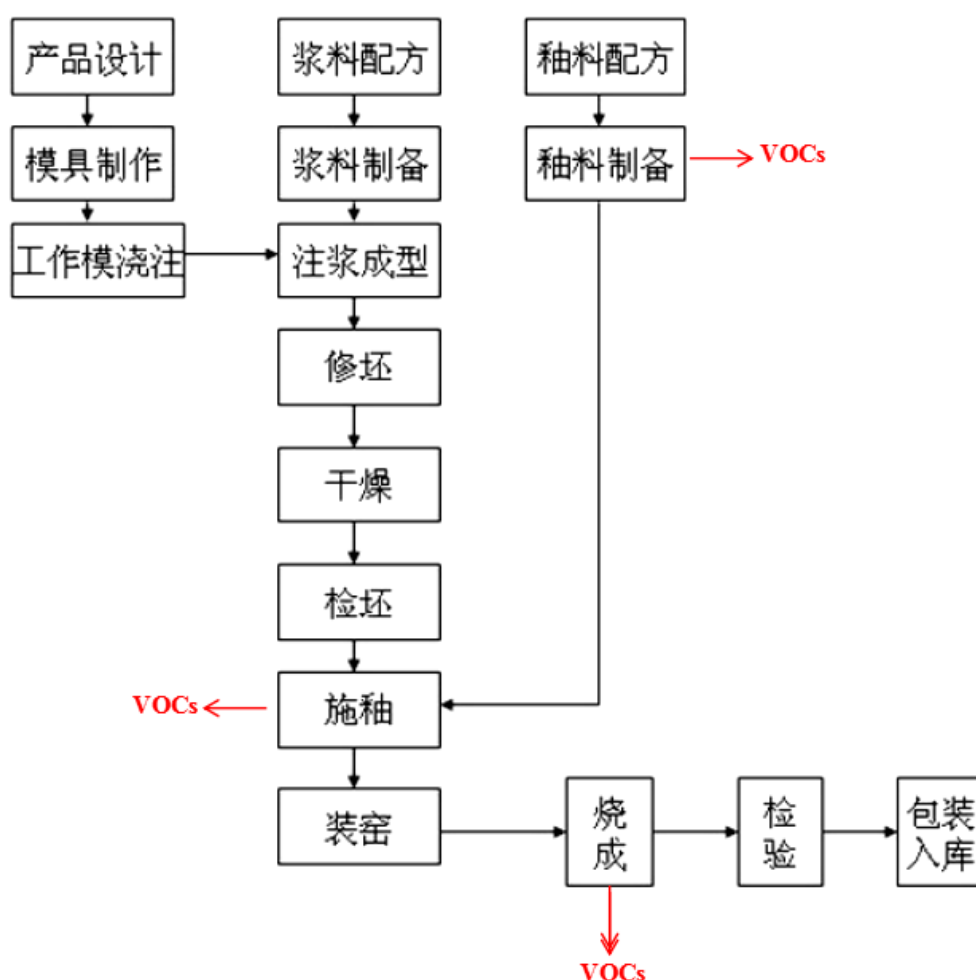


图 5.16 陶瓷制造生产工艺流程图

陶瓷制品制造过程中所用原材料大部分均为无机物，仅有釉料粘结剂和有机染料可能含有有机物，VOCs 会在釉烧过程中释放，另外目前国内烧窑所用燃料主要为煤和重油，燃料的不完全燃烧会造成 VOCs 释放，主要以烷烃、烯烃、炔烃和芳香烃等非甲烷碳氢化合物为主。

(4) 石墨及碳素制品制造

石墨及碳素制品制造是指以炭、石墨材料加工的特种石墨制品、碳素制品、以及用树脂和各种有机物浸渍加工而成的碳素异形产品的制造等。

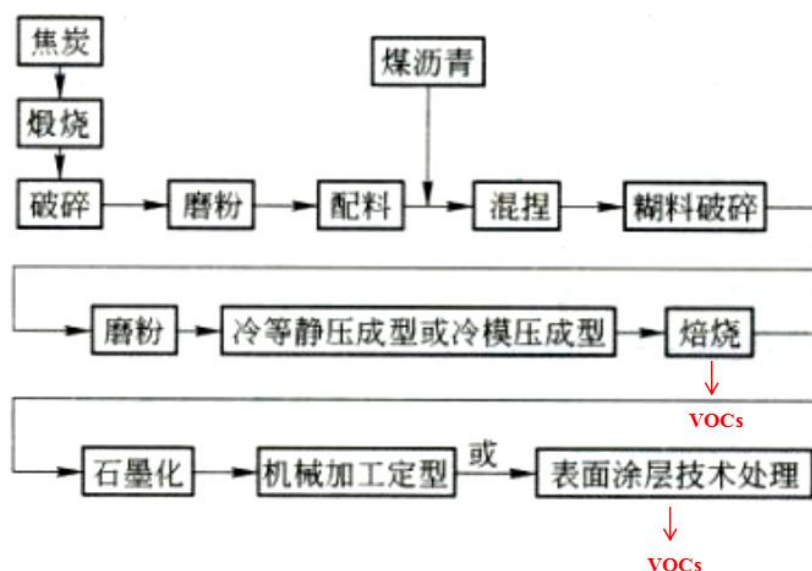


图 5.17 石墨及碳素加工制造生产工艺流程图

根据上述生产工艺分析，石墨及碳素制品生产过程产污环节集中在煅烧、浸渍、焙烧过程。

(1) 煅烧

原材料中含有 VOCs，同时煅烧炉、煤气发生炉、有机热载体炉等的燃料的使用会产生 VOCs。

(2) 浸渍

浸渍液大部分为有机溶液，在浸渍过程中会有大量 VOCs 气体外溢。

(3) 焙烧

焙烧过程中的燃料燃烧会产生 VOCs。

5.1.9 黑色金属冶炼和压延加工业

黑色金属冶炼和压延加工就是将铁矿石熔炼成生铁，或将生铁熔炼成铸铁或钢并进行锻压的过程。该生产工艺可分为三个过程：炼铁—炼钢—锻压。

(1) 炼铁

炼铁是指把铁精矿、煤、石灰石一起烧结后，利用高炉法、直接还原法、熔融还原法等将铁从含铁化合物中还原出来的生产过程。

(2) 炼钢

炼钢是指利用不同来源的氧（如空气、氧气）来氧化炉料（主要是生铁）所含杂质的金属提纯过程。

(3) 锻压

锻压是锻造和冲压的合称，是利用锻压机械的锤头、砧块、冲头或通过模具对坯料施加压力，使之产生塑性变形，从而获得所需形状和尺寸的制件的成形加工方法。

在钢铁冶炼过程中，主要排放 VOCs 的是烧结环节，包括异戊烷、1-丁烯、乙烯、乙烷、丙烷、苯、甲苯、二甲苯、1,2,4-三甲苯、乙苯等。



图 5.18 烧结工艺流程图

5.2 污染物处理技术分析

VOCs 治理技术大致分为两类。一类是回收技术，治理的基本思路是对排放的 VOCs 进行吸收、过滤、分离，然后进行提纯等处理，再资源化循环利用。比如吸附回收技术、吸收技术和膜技术等。另一类是销毁技术，处理的基本思路是通过燃烧等化学反应，把排放的 VOCs 分解转化成其他无毒无害的物质。比如燃烧技术、生物技术和等离子体技术等。

（1）吸附技术

吸附方法按照吸附剂的特性可以分为再生吸附法、非再生吸附法。其是利用吸附剂与污染物质（VOCs）进行物理结合或化学方应将污染成分去除，吸附浓缩技术主要包括固定床吸附浓缩技术和沸石转轮吸附浓缩技术。该方法适用于中低浓度的 VOCs 的净化，去除效率较高，易于自动控制，但不是用于高浓度、高温的有机废气，且非再生吸附法中吸附材料需定期更换。目前，较先进的吸附法为移动床（分子筛转轮吸附浓缩）技术。

（2）吸收技术

吸收方法是將废气和洗涤液接触去除废气中 VOCs，之后再用化学药剂将 VOCs 中和、氧化或其他化学反应破坏。其适用于高水溶性 VOCs，不适合于低浓度气体。该技术目前发展较为成熟，可去除气态物质和颗粒物，投资成本低、占地空间小、对酸性气体去除效率较高。但是有后续废水处理问题、若废气中颗粒物浓度高会导致塔堵塞，维护费用高，对非水溶性 VOCs 去除效率低。该方法对 VOCs 整体的去除效率较低，首先，并不是所有 VOCs 都具有很强的水溶性，其次，易溶于水的 VOCs 有相应的饱和浓度。

（3）冷凝技术

利用冷凝技术将废弃降温至 VOCs 成分的露点以下，使之凝结为液态后加以回收利用。但其处理成本较高，通常 VOCs 浓度 $\geq 5000\text{ppm}$ 时才适用冷凝处理，冷凝法也经常作为焚化、吸附、洗涤等工艺的前处理步骤。

（4）膜分离技术

膜分离是利用天然或人工合成的膜材料分离污染物的过程，常采

用的膜为硅橡胶膜、多孔玻璃态高分子材料以及分子筛膜。该法是一种新型的高效分离方法，适合处理高浓度的有机废气。一般有机废气先经过压缩机冷凝，然后对冷凝下来的有机物进行回收，余下的废气进入膜分离单元，一部分返回压缩机进行二次处理，另一部处理后排出。该方法成本较高、膜的稳定性较差，处理的废气通量较小。

（5）生物法技术

生物法技术早期一般用于废气脱臭，是将废气中的异味物质通过与湿润、多孔和充满活性微生物的填料层接触，被微生物捕获降解、氧化，使污染物分解为无害的 CO_2 和 H_2O 以及硫酸、硝酸等无机物，硫酸、硝酸等进一步被硫杆菌、硝酸菌分解、氧化成无害物质，最终达到去除异味的作用。近年来随着对 VOCs 治理技术研究的不断深入，生物法逐步被应用于有机污染物的治理领域。生物法具有设备简单、投资及运行费用低、无二次污染等优点。但生物对有机污染物的降解速率较低，只是在处理低浓度的废气时才具有经济性。此外，由于生物菌种对有机物的消化具有很强的专一性，只是适合于以生物降解的有机物才可使用生物法进行净化。

（6）低温等离子体净化技术

低温等离子体净化技术是由电子、离子、自由基和中性粒子组成。是利用介质放电产生的等离子体以极快的速度反复轰击废气中的气体分子，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，使复杂大分子污染物转变成一些小分子的安全物质（ CO_2 与 H_2O ），或使有毒有害物质转变成无毒无害或低毒低害物质。低温等离子体技术动力消耗低，装置简便，易于操作，占地小，使用方便等优点。但目前该技术市场较为混乱，对机理的研究并不是很充分，较多情况下该项技术对混合有机废气的净化效率较低。

（7）燃烧技术

当不需要对废气中的有机物进行回收利用时，通常采用燃烧法进行治理。无论是热力焚烧还是催化燃烧法都需要将废气加热到相应可燃温度。如果废气中有机物的浓度较高，废气燃烧后产生的热量可以维持有机物分解所需要的反应温度，采用燃烧法较为合适。当废气中有机物浓度较低时，由于传统的高温焚烧技术换热效率低，需要大量

耗能，治理设备运行费用较高。为了提高热利用效率，降低设备的运行费用，近年来发展了蓄热式热力焚烧技术（RTO）和蓄热式催化燃烧技术（RCO）。RTO 和 RCO 技术换热效率高，可以在 VOCs 较低浓度下使用，近年来得到了广泛的应用。

①蓄热式热力焚烧技术（RTO）是把有机废气加热到 760℃ 以上，使废气中的 VOCs 在氧化室氧化分解成 CO₂ 和 H₂O。氧化产生的高温气流经过特制的陶瓷蓄热体，是陶瓷体升温而“蓄热”，此“蓄热”用于预热后续进入的有机废气，从而节省废气升温的燃料消耗。陶瓷蓄热体应分为两个（含）以上的区域。每个蓄热室依次经历蓄热—放热—清扫等程序，连续工作。蓄热室“放热”后应立即引入已处理合格的一部分洁净排气对该蓄热室进行清扫（以保证 VOCs 去除率在 95% 以上），清扫结束后才能进入“蓄热”程序。净化效率较高，VOCs 去除率≥95%，可达 99%，适用于低浓度、大风量的废气处理。

②蓄热式催化燃烧技术（RCO）是将 VOCs 气体由管道系统输送进入焚烧炉，先经过热交换器预热，后进入辅助燃烧室加热到催化剂反应需要的温度（250℃ 左右），加热后的气体经过催化床时会发生快速的化学氧化反应，生成 CO₂ 和 H₂O，同时释放出热量，这些热量又可以用于加热新的 VOC 进气。催化燃烧是一种无焰（无名火）氧化过程。可用高质量的贵金属（铂、钯）作为催化剂。催化燃烧净化装置适用于流量不大、浓度不低、不含使催化剂中毒物质（如水银、铅、锡、锌等的金属蒸汽和磷、磷化物、砷等）的有机废气。

综合上述分析，将典型的三种热氧化控制 VOCs 的技术统计如表 5.1。

表 5.1 典型的三种热氧化控制 VOCs 的技术统计

技术名称	设备设计和运行	适用方向	优/缺点
热回收式 热力焚烧 系统 (TNV)	通常设计的废气氧化温度为 750-820℃，停留时间为 1S 左右。通常采用不锈钢材质的管式换热器做热回	有机废气流量为 1000-50000Nm ³ /h。 废气浓度为 15%-40%。用于生产过程中需要大量	优点：适中的一次性投资，在处理高和中浓度时有机废气，运行费用较低。

	收。系统的热效率一般为40-75%,有机物净化效率可达99%以上。	热能的场合。例如：汽车涂装、化工生产、印刷和药物生产等。	缺点：处理低浓度废气，运行成本较高，管式热交换器只是在连续运行时，才有较长的寿命。
催化式焚烧系统 (RCO)	通常设计的废气氧化温度为260-350℃，通常采用翘板式对流换热器来预热待处理有机废气，热效率一般为50-80%，典型有机物净化率为98%左右。	处理有机废气量为1000-100000Nm ³ /h，废气浓度为5-15%，常用于生产过程中需要少量热能的场所。例如：印刷印染、化工生产等行业	优点：较低的一次性投资，在处理低浓度有机废气时，运行成本较低，维护费用较低。 缺点：较适合处理有机废气浓度在20%以下的有机废气，氧化过程中催化剂有中毒的可能性
蓄热式焚烧系统 (RTO)	通常设计的废气氧化温度为810-980℃，采用陶瓷蓄热体来预热待处理有机废气。系统的热效率一般为80-95%，三室RTO有机物净化率为99%以上，二室RTO有机物净化率为95%左右。	有机废气流量为5000-200000Nm ³ /h，废气浓度为1-10%，常用于生产过程中不需要或需要少量热能的场合。如：印刷印染、表面涂装生产等。	优点：在处理大流量低浓度的有机废气时，运行成本低。 缺点：较高的一次性投资，不适合处理高浓度有机废气，组成部件很多、需要较多的维护工作。

综合上述各 VOCs 治理技术特点，各类有机废气处理技术的适用范围如下图所示。

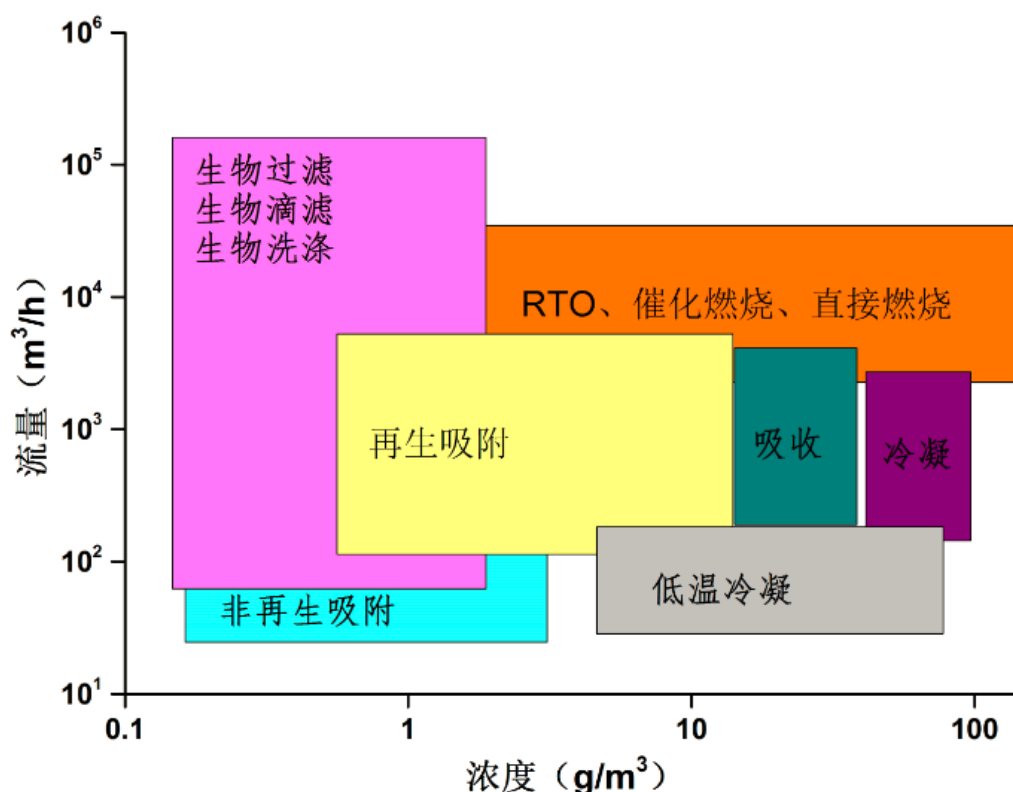


图 5.19 各类 VOC 控制技术适用范围

目前，各行业有机废气排放特征的差异性较大，不同行业之间排气流量、排气温度、特征 VOCs 浓度水平等有很大不同。为了在最大程度上达到去除 VOCs 的目的，一系列组合技术被提出来解决这个问题。接下来分别进行简单介绍：

(1) 固定床吸附脱附+催化氧化处置装置

沸石转轮浓缩+催化氧化装置，包括了沸石转轮浓缩装置和催化氧化装置。在沸石转轮浓缩装置中，VOCs 气体进入吸附区被吸附，成为净化气体排放。当吸附区接近饱和时，旋转至脱附再生区释放 VOCs 浓缩气体，并送至催化氧化炉燃烧分解。经脱附再生处置后的转轮再旋转至冷却区降温后，继续进行吸附处理。此技术在应用的时候应考虑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。蓄热燃烧装置应设置保温，保证炉体外表面温度须小于 60℃。如果进口 VOCs 浓度高于 1.5g/m³，则需要考虑后续处理技术，以保证达标。

(2) 固定床吸附脱附+催化燃烧技术

吸附脱附+催化燃烧技术是将吸附和催化燃烧相结合的一种集成

技术，将大风量、低浓度的有机废气经过吸附/脱附过程转换成小风量、高浓度的有机废气，然后经过催化燃烧净化。

(3) 固定床吸附脱附+冷凝回收装置

有机废气有高压离心风机抽送入装有活性炭的吸附槽内。在通过活性炭层时，有机溶剂被活性炭吸附在孔隙中。吸附槽吸附一定时间，系统自动启动真空泵进行抽吸，同时通入低压蒸汽加热气体溶剂，使活性炭得到再生。从活性炭表面脱附下来的有机溶剂和水蒸气进入冷凝器冷凝成液体后，混合液体进入比重分离槽自动分离。

选择各种复合处理装置时应充分考虑各行业废气的实际情况，结合反应工况、温度、风量以及废气浓度来确定。例如：沸石分子筛转轮浓缩+催化燃烧废气处理系统常被用来处理大风量、低浓度废气，可以到达很高的处理效率；吸收+生物+催化氧化技术组合可以很好的解决污水处理厂废气恶臭问题；冷凝+活性炭吸附组合技术能实现化学溶剂高效回收。

6 标准主要技术内容

6.1 适用范围

本标准规定了山东省除汽车制造业、铝型材工业、家具制造业、印刷业、表面涂装业及有机化工业外其他行业企业或生产设施的挥发性有机物排放限值和监测要求，以及标准的实施与监督等有关要求。

本标准适用于山东省现有的除汽车制造业、铝型材工业、家具制造业、印刷业、表面涂装业及有机化工业外其他行业企业或生产设施的挥发性有机物排放管理，以及新、改、扩建项目的环境影响评价、环境保护设施设计、竣工环境保护验收、排污许可证核发及其投产后的挥发性有机物排放管理。

6.2 术语及定义

本标准根据山东省其他行业企业 VOCs 排放现状和标准内容的设置，定义了挥发性有机物、标准状态、厂界监控点浓度限值、现有企业、新建企业共 5 个术语。

6.3 实施时间

标准分两个时段分别执行限值。本标准第 I 时段为标准实施之日

起至 2019 年 12 月 31 日，给现有企业预留时间进行生产工艺和污染治理设施的升级改造。同时，根据《“十三五”挥发性有机物污染防治工作方案》要求，到 2020 年，在重点区域、重点行业推进 VOCs 排放总量控制，全国排放总量下降 10%以上。因此，将 2020 年 1 月 1 日起确定为第 II 时段。

6.4 控制指标选取

根据对除汽车制造业、铝型材工业、家具制造业、印刷业、表面涂装业及有机化工业外其他行业文献调研及企业现场调研情况，结合国家和山东省已发布实施的其他行业挥发性有机物标准，从环境管理需求及现状确定本标准 VOCs 控制指标。

根据调研汇总，本标准涉及行业类型非常复杂，原辅料种类极多，生产工艺各不相同。VOCs 组分中，苯类检出频次高，其次为烃类、脂类和酮类等。结合污染物毒性大小、对光化学反应的贡献强弱以及现行监测方法和治理技术是否成熟等因素，本标准选定苯、甲苯、二甲苯作为单项控制指标，VOCs 为综合控制指标。VOCs 涵盖了所有气态有机污染物，可以充分保证标准的适用性。

6.5 污染物排放限值确定及制定依据

6.5.1 最高允许排放限值

标准编制组选取了济南、淄博、青岛、日照、德州、潍坊共 27 家典型 VOCs 排放企业进行现场监测，共布设 200 多个采样点，采样位置包括车间排气筒、厂内及厂界无组织排放监控点等位置，采样方法使用《固定污染源废气挥发性有机物的采样气袋法》(HJ732-2014)中规定的聚氟乙烯气袋手工采样法，分析方法使用《固定污染源废气挥发性有机物的测定固相吸附—热脱附/气相色谱—质谱法》(H734-2014)规定的气相色谱质谱法。目前国家没有综合排放指标 VOCs 的监测分析方法，其他行业企业的 VOCs 暂参考《固定污染源排气中非甲烷总烃的测定气相色谱法》(HJ/T 38)进行监测和统计。目前《固定污染源排气中非甲烷总烃的测定气相色谱法》正在由中国环境监测总站进行修订，山东省环境监测中心站正在制定 VOCs 监测的标准方法，待国家或省发布相应的方法标准后，按相关标准执行。

(1)有组织排放限值

表 6.1 为监测企业 VOCs 废气有组织排放监测浓度,表 6.23 为其他省市 VOCs 综合排放标准有组织排放浓度限值。

表 6.1 相关排放企业 VOCs 废气有组织排放监测浓度

企业	处理方式	监测点	排放浓度 (mg/m ³)			
			苯	甲苯	二甲苯	VOCs
植物油加工 A 厂	无	排气口	0.002	0.087	0.028	1.993
植物油加工 B 厂	无	排气口	0.003	0.133	0.012	340.740
酒的制造 A 厂	无	总排放口	0.002	0.063	0.012	97.650
人造板制造 A 厂	无	总排放口	0.002	0.060	0.026	2.045
纺织 A 厂	活性炭	排气筒	0.002	0.011	0.005	1.890
纺织 B 厂	碱水喷淋	喷淋净化后	0.095	0.135	1.061	5.545
皮革鞣制加工 A 厂	无	喷淋净化后	0.005	1.207	0.180	35.9
纸浆制造 A 厂	无	碱回收排气筒	0.799	0.482	0.012	323.2
非金属矿物制品业 A 厂	催化燃烧	排气筒	0.006	0.047	0.063	1.600
非金属矿物制品业 B 厂	燃烧	窑尾排气筒	1.112	0.176	0.057	9.450
非金属矿物制品业 C 厂	燃烧	排气筒	1.349	0.109	0.101	6.750
非金属矿物制品业 D 厂	燃烧	排气筒	0.355	0.032	0.005	1.75
非金属矿物制品业 E 厂	燃烧	窑炉排气筒	0.088	0.010	0.012	84.1
非金属矿物制品业 F 厂	燃烧	排气口	0.008	0.138	0.080	1.093
非金属矿物制品业 G 厂	燃烧	排放口	0.001	0.041	0.009	7.620
黑色金属冶炼和压延加工业 A 厂	燃烧	烧结排气筒	0.004	0.004	0.021	4.1
电力、热力生产和供应业 A 厂	燃烧	排气筒	0.001	0.014	0.214	1.580
电力、热力生产和供应业 B 厂	燃烧	总排口	0.001	0.046	0.021	0.860

表 6.2 其他省市挥发性有机物排放标准中与本标准相关行业的有组织排放浓度限值 (mg/m³)

地区	行业	时段	苯	甲苯	二甲苯	甲苯二甲苯合计	苯系物	非甲烷总烃	VOCs
国家	大气综合排放标准（二级）	—	12	40	70	—	—	120	—
天津	黑色金属冶炼	现有企业	—	—	—	—	—	—	120
		新建企业	—	—	—	—	—	—	100
	其他行业	现有企业	1	—	—	80	—	—	100
		新建企业	1	—	—	40	—	—	80
河北	钢铁冶炼和压延加工业	新建企业	5	25	40	—	—	50	—
	其他行业	新建企业	1	—	—	40	—	80	—
四川	其他行业	现有企业	—	—	—	—	—	80	—
		新建企业	—	—	—	—	—	60	—
广东	制鞋行业	I	1	—	—	30	—	—	80
		II	1	—	—	15	—	—	40
	其他行业	I	12	40	70	—	—	120	—

		II	12	40	70	—	—	120	—
北京	工业炉窑和其他 固定污染源	I	8	25	40	—	—	80	—
		II	1	5	10	—	—	50	—
浙江	纺织染整工业	现有企业	2	—	—	—	10	—	60
		新建企业	1	—	—	—	5	—	40
江苏	化学工业企业	新建企业	6	25	40	—	—	80	—
上海	工业固定源	—	1	10	20	—	40	70	—

根据现场调研及监测数据、现行国家相关排放标准及征求意见稿等内容，本标准将行业分为四类制定排放浓度限值，分别是植物油加工和酒的制造行业，纺织、皮革鞣制加工、人造板、纸浆、肥料制造行业，非金属矿物制品加工、黑色金属冶炼和压延加工行业和其他非重点行业。

(1) 植物油加工和酒的制造行业

植物油加工和酒的制造行业不是以“三苯”为主要原辅料的行业，“三苯”监测数据均很低，不再单独设置排放浓度限值。

实际监测企业 VOCs 排放浓度值介于 1.99–340.74 mg/m³ 之间，平均浓度为 121.24 mg/m³，其中 75 % 的企业监测浓度低于平均值，大部分企业监测结果介于 2–50 mg/m³ 之间，因此将 120 mg/m³ 定为第 I 时段企业排放浓度限值，将 50 mg/m³ 定为第 II 时段企业排放浓度限值。

(2) 纺织、皮革鞣制加工、人造板、纸浆、肥料制造行业

纺织、皮革鞣制加工、人造板、纸浆、肥料制造行业实际监测企业 VOCs 排放浓度值介于 1.89–323.23 mg/m³ 之间，平均浓度为 73.72 mg/m³，其中 80 % 的企业监测浓度低于平均值，大部分企业监测结果介于 1.9–36 mg/m³ 之间，因此将 80 mg/m³ 定为第 I 时段企业 VOCs 排放限值，将 40 mg/m³ 定为第 II 时段企业 VOCs 排放限值。

由于苯具有致癌性，且已被列入禁止人为加入的原料名单，需要从严控制，德国提出苯的排放浓度为 1mg/m³，是国际上最为严格的标准。国内天津、河北、广东、上海、北京相关标准均规定为 1mg/m³。基于健康计算的甲苯、二甲苯的 DMEG* 分别为 5–10 mg/m³、10 mg/m³，且三者实际监测企业浓度值分别介于 0.001–1.349 mg/m³、0.004–1.207 mg/m³、0.005–1.061 mg/m³ 之间。因此设定第 I 时段（苯：1 mg/m³；甲苯：10 mg/m³；二甲苯：20 mg/m³），第 II 时段（苯：0.3 mg/m³；甲苯：5 mg/m³；二甲苯：10 mg/m³）。

(3) 非金属矿物制品加工、黑色金属冶炼和压延加工行业

非金属矿物制品加工、黑色金属冶炼和压延加工行业均涉及高温煅烧等工艺环节，VOCs 排放浓度较低，监测企业 VOCs 排放浓度值介

*DMEG：排放环境目标值，是指生物体与排放流短期接触时，排放流中化学物质的容许浓度。

于 1.1-84.1 mg/m³ 之间，平均浓度为 14.56 mg/m³，其中 87.5% 的企业监测浓度低于平均值，大部分企业监测结果介于 1.1-9.5 mg/m³ 之间，综合考虑企业调研情况，将 40 mg/m³ 定为第 I 时段企业排放限值，将 20 mg/m³ 定为第 II 时段企业排放限值。

该类行业“三苯”的监测数值很低，排放浓度按照 DMEG 值设定（指标值同纺织、皮革鞣制加工、人造板、纸浆、肥料制造行业）。

（4）其他非重点行业

涉及 VOCs 排放的行业众多，除上述重点行业外，其他行业的 VOCs 排放总量较少，因此从经济性考虑，设定相对宽松的排放限值，第 I 时段（苯：1mg/m³；甲苯：10mg/m³；二甲苯：20 mg/m³；VOCs：120 mg/m³），第 II 时段（苯：0.3 mg/m³；甲苯：5 mg/m³；二甲苯：10 mg/m³；VOCs：60 mg/m³）。

表 6.3 现有企业挥发性有机物最高允许排放浓度限值

行业名称	污染物项目	最高允许排放浓度 单位为毫克/立方米 (mg/m ³)	
		I 时段	II 时段
植物油加工、酒的制造	VOCs	120	50
纺织业、皮革鞣制加工、人造板制造、纸浆制造、肥料制造	苯	1	0.3
	甲苯	10	5
	二甲苯	20	10
	VOCs	80	40
非金属矿物制品业、黑色金属冶炼和压延加工业	苯	1	0.3
	甲苯	10	5
	二甲苯	20	10
	VOCs	40	20
其他非重点行业	VOCs	120	60

(2) 无组织排放限值

目前国内外已有标准中挥发性有机物厂界排放的主要控制因子包括苯、甲苯、二甲苯和 VOCs。本标准中，VOCs 以及苯、甲苯、二甲苯的无组织排放浓度结合监测数据（表 6.4），参照国内同类型排放标准（表 6.5）确定。

结合山东省各行业无组织排放监测数据（表 6.6），已监测企业 VOCs 无组织排放浓度介于 0.355–6.75 mg/m³ 之间，平均浓度为 1.389 mg/m³，其中 72% 的企业监测浓度低于平均值。参考其他省市的标准的无组织排放限值（表 6.5），确定山东省各行业 VOCs 无组织排放的标准限值为 2.0 mg/m³。

由于苯是致癌物，苯的 AMEG[†] 为 0.2 mg/m³，北京大气污染物综合排放标准（DB11501-2007）、上海市大气污染物综合排放标准以及河北省工业企业挥发性有机物排放控制标准都规定其厂界控制限值为 0.1 mg/m³。目前，已监测企业的排放浓度介于 0–0.057 mg/m³ 之间，平均浓度为 0.005 mg/m³，其中 84 % 的企业监测浓度低于平均值，因此限值确定为 0.1 mg/m³。

[†] AMEG：周围环境目标值，表示化学物质在环境介质中可以容许的最大浓度。

甲苯的 AMEG 为 0.2 mg/m^3 , 甲苯的 TJ36-79 中居住区最高允许浓度为 0.6 mg/m^3 , 北京大气污染物综合排放标准厂界限值规定为 0.2 mg/m^3 。上海市大气污染物综合排放标准厂界限值规定为 0.2 mg/m^3 。目前, 已监测企业的排放浓度介于 $0-0.537 \text{ mg/m}^3$ 之间, 平均浓度为 0.03 mg/m^3 , 其中 92% 的企业监测浓度低于平均值, 考虑到逐步限制甲苯的使用, 因此本标准设定厂界监控点浓度限值为 0.2 mg/m^3 。

二甲苯的 AMEG 为 0.2 mg/m^3 ; 如果参照 TJ36-79 中居住区最高允许排放浓度控制, 则为 0.3 mg/m^3 ; 北京与上海综合排放标准二甲苯厂界处浓度限值均设定为 0.2 mg/m^3 , 已监测企业的排放浓度介于 $0-0.253 \text{ mg/m}^3$ 之间, 平均浓度为 0.033 mg/m^3 , 其中 72% 的企业监测浓度低于平均值, 考虑到逐步限制二甲苯的使用, 因此本标准设定厂界监控浓度限值为 0.2 mg/m^3 。

表 6.4 相关排放企业 VOCs 废气无组织排放浓度（监测值）

企业	监测点位	排放浓度 (mg/m ³)			
		苯	甲苯	二甲苯	VOCs
植物油加工行业 A 厂	厂界	0.002	0.009	0.036	1.548
植物油加工行业 B 厂	厂界	0.000	0.022	0.085	0.838
食品加工 A 厂	无组织（上风向）	0	0	0	0.64
	无组织（下风向）	0	0	0	0.505
饮料制造 A 厂	无组织（上风向）	0	0	0	0.35
	无组织（下风向）	0	0	0	0.545
酒的制造 A 厂	厂界	0.002	0.016	0.017	1.441
酒的制造 B 厂	厂界	0.002	0.009	0.046	2.115
酒的制造 C 厂	厂界	0.011	0.040	0.024	0.993
纺织 A 厂	厂界	0.002	0.027	0.253	0.477
纺织 B 厂	厂界	0.001	0.010	0.166	0.406
皮革鞣制加工 A 厂	厂界	0.003	0.537	0.044	6.210
制糖业 A 厂	厂界	0.001	0.003	0.013	0.844
制糖业 B 厂	厂界	0.001	0.006	0.007	6.750
纸浆制造 A 厂	厂界	0.004	0.003	0.003	0.364
人造板制造 A 厂	厂界	0.001	0.004	0.002	1.592
肥料制造 A 厂	厂界	0.001	0.004	0.008	0.405
肥料制造 B 厂	厂界	0.025	0.009	0.010	2.570
非金属矿物制品业 A 厂	厂界	0.001	0.003	0.001	0.605
非金属矿物制品业 B 厂	厂界	1.112	0.176	0.057	9.450
非金属矿物制品业 C 厂	厂界	0.007	0.002	0.006	1.250
非金属矿物制品业 D 厂	厂界	0.057	0.007	0.003	0.6848
非金属矿物制品业 E 厂	厂界	0.001	0.009	0.038	0.670
非金属矿物制品业 F 厂	厂界	0.001	0.003	0.022	0.518
非金属矿物制品业 G 厂	厂界	0.001	0.003	0.002	0.761
黑色金属冶炼和压延加工 A 厂	厂界	0.001	0.007	0.019	0.460
电力、热力生产和供应业 A 厂	厂界	0.001	0.003	0.008	0.800
电力、热力生产和供应业 B 厂	厂界	0.001	0.003	0.013	0.844

表 6.5 其他省市挥发性有机物排放标准中与本标准相关行业的无组织排放浓度限值 (mg/m³)

地区	行业	监测位置	苯	甲苯	二甲苯	甲苯二甲苯合计	苯系物	非甲烷总烃	VOCs
上海	综合行业	厂界	0.1	0.2	0.2	0.4	—	4.0	—
		厂区内无组织	—	—	—	—	—	10	—
	其他行业	厂界	0.1	0.6	0.2	0.8	—	—	2.0
	其他行业	厂界	0.1	0.6	0.2	0.8	—	2.0	—
河北	其他行业	厂界	0.1	0.6	0.2	0.8	—	2.0	—
		生产车间或生产设备边界	0.4	1.0	1.2	2.2	—	4.0	—
江苏	化学工业企业*	厂界	0.12	0.6	0.3	0.9	—	4.0	—
广东	综合行业	周界外浓度最高点(现有企业)	0.5	3.0	1.5	4.5	—	5.0	—
		周界外浓度最高点(新建企业)	0.4	2.4	1.2	3.6	—	4.0	—
北京	综合行业	厂界	0.1	0.2	0.2	0.4	—	1.0	—
注：化学工业企业*指有机化学原料制造、有机肥料及微生物肥料制造、农药制造、涂料/油墨/颜料及类似产品制造、专用化学产品制造、日用化学产品制造、化学药品原料药制造、化学药品制剂制造、兽用药品制造、生物药品制造									

表 6.6 企业挥发性有机物无组织排放浓度

序号	污染物项目	无组织排放浓度 (mg/m ³)
1	苯	0.1
2	甲苯	0.2
3	二甲苯	0.2
4	VOCs	2

6.5.2 排放速率限值确定

排放速率限值依据《制定地方大气污染物排放标准的技术方法》(GB/T 3840-91) 确定, 计算公式如下所示:

$$Q = C_m \cdot R \cdot K_e \quad (6.1)$$

式中:

Q ----排气筒最高允许排放速率 (kg/h) ;

C_m ----环境质量标准浓度限值 (mg/m³)

R ----排放系数, 参照 GB/T 3840-91, 山东省的排放系数见表 6.7;

K_e ----地区性经济技术系数, 取值为 0.5~1.5, 本标准计算排放速率时, K_e 取 0.5。

表 6.7 排放系数 R 取值

地区序号		12345			6		
功能区分		一类	二类	三类	一类	二类	三类
排气筒有效高度 m	15	3	6	9	2	4	6

本标准参照其他省市标准限值 (见表 6.9) 及代表企业实际排放情况, 确定我省 VOCs 最高允许排放限值第 I 时段设置为 3.6 kg/h, 第 II 时段设置为 2.4 kg/h。

现有企业执行第 I 时段最高允许排放速率限值, 新建企业排放速率限值在现有企业的基础上进行适当加严执行第 II 时段最高允许排放速率限值。各指标排放速率限值如表 6.8 所示。

表 6.8 企业挥发性有机物最高允许排放速率限值

行业名称	污染物项目	最高允许排放速率 单位为毫克/立方米 (kg/h)	
		I 时段	II 时段
植物油加工、酒的制造	VOCs	3.6	2.4
纺织业、皮革鞣制加工、 人造板制造、纸浆制造、肥料制造	苯	0.4	0.2
	甲苯	0.3	0.2
	二甲苯	1	0.8
	VOCs	3.6	2.4
非金属矿物制品业、黑色金属冶炼和 压延加工业	苯	0.4	0.2
	甲苯	0.3	0.2
	二甲苯	1	0.8
	VOCs	3.6	2.4
其他非重点行业	VOCs	3.6	2.4

表 6.9 其他省市挥发性有机物排放标准中与本标准相关行业的最高允许排放速率限值 (kg/h)

地区	行业	时段	苯	甲苯	二甲苯	甲苯二甲苯合计	苯系物	非甲烷总烃	VOCs
国家	大气综合排放标准 (二级)		0.6	3.6	1.2			12	
天津	黑色金属冶炼	现有企业							3.0
		新建企业							2.5
	其他行业	现有企业	0.25			2.0			2.5
		新建企业	0.25			1.0			2.0
河北	钢铁冶炼和压延加 工业	新建企业							
	木材加工业	新建企业							
	其他行业	新建企业							
四川	其他行业	现有企业						4.0	
		新建企业						3.4	
广东	制鞋行业	I	0.4			1.9			3.4
		II	0.4			1.5			2.6
	大气污染物综合排	I	0.5	3.1	1.0			10	

	放标准	II	0.42	2.5	0.84			8.4	
北京	防水卷材	I						3.2	
		II						3.2	
	工业炉窑和其他固定污染源	I	0.36	0.73	0.73			1.8	
		II	0.36	0.73	0.73			1.8	
江苏	化学工业企业	新建企业						7.2	
上海	工业固定源		0.1	0.2	0.8		1.6	3.0	

6.5.3 生产管理和工艺操作技术要求

6.5.3.1 废气收集及处理

1、产生 VOCs 的生产活动，应在密闭空间或设备中进行，并加装有效的废气收集系统和 VOCs 处理设施。如不能密闭，应采取局部气体收集处理措施或其他有效污染控制措施。

2、生产工艺设备、废气收集系统及 VOCs 处理设施应同步运行。

3、废气收集系统宜保持负压，排风罩的设置应符合 GB/T 16758 的规定。

4、VOCs 应优先进行回收利用，不宜回收时，应进行净化处理。

5、应严格控制 VOCs 处理过程产生的二次污染。催化燃烧和热力焚烧过程产生的废气，吸收、吸附、冷凝、生物处理过程产生的废水、固体废物等应收集处理后回收利用或达标排放。

6.5.3.2 管理要求

1、企业应每月记录使用含 VOCs 的物料名称、VOCs 含量百分比、购入量、使用量、回收量、输出量及排放去向等资料，记录保存期限不得少于三年。

2、企业应每月记录废气收集系统及处理设施的保养维护事项与主要操作参数，记录保存期限不得少于三年。

7 经济性分析与环境效益

7.1 经济性分析

参考国内相关研究结论，初步获得不同处理技术的经济成本。

(1) 单一技术的经济成本

①蓄热燃烧技术

蓄热燃烧的治理成本受风量影响的变化情况不如受浓度影响的变化情况显著。蓄热燃烧在给定风量的条件下，其治理成本随浓度的增加而成指数型衰减，较大可能是因为：对于低浓度来说，其燃烧热值不足，需要大量补充燃料来进行助燃；当浓度提高到 $2000\text{mg}/\text{m}^3$ 时，已经不需要补充燃料进行助燃，故燃料费降低明显，治理成本也有了大幅降低；当浓度提高到 $10000\text{mg}/\text{m}^3$ ，其年处理量成为制约治理成本的关键因素，故导致处理成本的进一步下降。

整体而言,对于低浓度($120\text{mg}/\text{m}^3$)来说,其治理成本在 $73\sim 120$ 元/kg,对于一般浓度条件下($1000\text{mg}/\text{m}^3$),治理成本约为 $6\sim 11$ 元/kg,对于高浓度($10000\text{mg}/\text{m}^3$),治理成本在 $0.4\sim 0.97$ 元/kg。

②蓄热催化燃烧技术

蓄热催化燃烧技术,其治理成本的变化也表现为受浓度影响变化要比受风量影响变化显著,但不同之处是:对于低浓度燃烧来说,同样需要补充燃料,但由于设备内有催化剂,可降低燃烧温度,减少所需热量,故对于低浓度来说,可节省燃料费,整体治理成本要比蓄热燃烧低 $10\%\sim 20\%$;但对于相对高浓度而言($1000\text{mg}/\text{m}^3$),由于已经不需要额外补充燃料,此时其治理成本和蓄热燃烧持平;随着浓度进一步提高,其催化剂的磨损消耗所占比重也有所增加,导致其治理成本反而比蓄热燃烧有所增加。

整体而言,对于低浓度($120\text{mg}/\text{m}^3$)来说,其治理成本约为 $62\sim 111$ 元/kg;对于一般浓度条件下($1000\text{mg}/\text{m}^3$),治理成本约为 $6\sim 12$ 元/kg;对于高浓度($10000\text{mg}/\text{m}^3$),治理成本约为 $0.5\sim 1.1$ 元/kg。

③活性炭吸附技术

对于活性炭吸附技术而言,由于其主要原理为基于活性碳的吸脱附来实现污染物的去除,虽然其去除效率比燃烧类技术低,但由于其工艺较为简单,并且风阻比燃烧类降低 50% 左右,也不需要燃料,活性炭费用比催化剂费用低,因此其投资、运行成本与燃烧类相比有大幅下降,导致治理成本显著下降。

对于低浓度($120\text{mg}/\text{m}^3$)来说,其治理成本为 $21\sim 23$ 元/kg;对于一般浓度($1000\text{mg}/\text{m}^3$),治理成本在 $4.4\sim 5.6$ 元/kg;对于高浓度($10000\text{mg}/\text{m}^3$),治理成本在 $2.2\sim 2.9$ 元/kg。

④等离子体技术

等离子体技术治理成本也主要受污染物排放浓度的影响,但不像上述技术那么显著。等离子技术主要为高压放电,但功耗不高,一般处理 1 万风量约耗电 1.5kW ,除此之外,系统压降比活性炭吸附技术更低,因此整体运行成本较低。

对于低浓度($120\text{mg}/\text{m}^3$)来说,其治理成本为 $11\sim 20$ 元/kg;对于一般浓度($1000\text{mg}/\text{m}^3$),治理成本在 $1.4\sim 2.4$ 元/kg;对于高浓度($10000\text{mg}/\text{m}^3$),治理成本约为 $0.14\sim 0.24$ 元/kg。虽然其治理技术在所有技术中最低,但其去除效率远低于其他技术,通常在 50% 左

右，当浓度高于 $300\text{mg}/\text{m}^3$ 时可能造成处理不达标。

⑤生物法技术

生物法整体而言，对于低浓度 ($120\text{mg}/\text{m}^3$) 来说，其治理成本在 $31\sim 60$ 元/kg；对于一般浓度条件下 ($1000\text{mg}/\text{m}^3$)，治理成本在 $16\sim 19.4$ 元/kg；对于高浓度 ($10000\text{mg}/\text{m}^3$)，治理成本在 14 元/kg 左右，变化不大。

(2) 组合技术的经济成本

①转轮吸附浓缩-蓄热燃烧技术

除了上述单一技术外，在实际治理中也出现了一些组合技术，其中，最为常见的为转轮吸附浓缩-蓄热燃烧，与蓄热燃烧相比，其治理成本随浓度衰减的幅度更大，如对于 $2000\text{m}^3/\text{h}$ 的小风量排放来说，其治理成本在 $3.8\sim 320$ 元/kg，远超于蓄热燃烧的 $0.97\sim 120$ 元/kg；对于 $10000\text{m}^3/\text{h}$ 的大风量排放来说，其治理成本在 $0.46\sim 46$ 元/kg，低于蓄热燃烧的 $0.4\sim 73$ 元/kg，这是因为对于转轮-蓄热燃烧技术来说，其设备投资所占比重较大，一般而言，在几百到上千万不等，如果浓度、风量都很低，那么设备的折旧费成为一个关键因素，如果浓度风量都比较高，那么由于转轮浓缩所导致的燃料费节省因素所占比重将会下降，导致其治理成本高于蓄热燃烧，只有在大风量、浓度又不是特别低的条件下，转轮浓缩所带来的燃料费的节省，才可能导致其治理比蓄热燃烧成本低。

与蓄热燃烧相比，转轮-蓄热燃烧的应用范围较窄，更适合大风量、低浓度条件下使用。整体而言，对于低浓度 ($120\text{mg}/\text{m}^3$) 来说，其治理成本在 $38\sim 313$ 元/kg；对于一般浓度条件下 ($1000\text{mg}/\text{m}^3$)，治理成本在 $4.6\sim 38$ 元/kg；对于高浓度 ($10000\text{mg}/\text{m}^3$)，治理成本在 $0.5\sim 4$ 元/kg。

②活性炭吸脱附-催化燃烧技术

另外比较常见的组合技术为活性炭吸脱附-催化燃烧，与转轮-蓄热燃烧技术相比，其造价降低，并结合了浓缩和催化燃烧的特点，燃料费也有明显改善，相对而言，其治理成本降低较为显著。

对于低浓度 ($120\text{mg}/\text{m}^3$) 来说，其治理成本在 $34\sim 58$ 元/kg；对于一般浓度 ($1000\text{mg}/\text{m}^3$)，治理成本在 $4.4\sim 8.3$ 元/kg；对于高浓度 ($10000\text{mg}/\text{m}^3$)，治理成本在 $1.2\sim 2.4$ 元/kg。但安全隐患和废弃物（活性炭、催化剂）处置等形成的成本也不容忽视。

不同规模的企业可根据自身挥发性有机物组分和浓度的不同，选择合适的治理技术。

7.2 环境效益

本标准实施之前，我省一般行业 VOCs 基本按照现有国家大气污染物综合排放标准实施，即非甲烷总烃 $120\text{mg}/\text{m}^3$ ，该限值的设定年代较为久远，不适合现在的生产排放环境；而且该限值属于综合排放要求，对于特定行业来说限值偏宽松，不适合特定行业尤其是重点防控行业企业的 VOCs 控制。本标准的实施，规范且严格了我省不同行业企业 VOCs 排放要求，在严格执行标准的前提下，可以实现不同行业 VOCs 大幅度的减排。根据 2016 年环统数据，本标准涉及行业 VOCs 排放量占全省各行业总排放量的一半（表 4.1），到 2020 年，实施本标准后，预计本标准涉及行业的 VOCs 排放量将降低 70%，可以实现《“十三五”挥发性有机物污染防治工作方案》中全国排放总量下降 10 % 以上的要求。

此外，本标准的实施还可以促进企业加强对 VOCs 排放的控制，采用先进的生产工艺，提高技术水平，增加企业产品的环保性，提高重点行业整体生产、管理水平和 VOCs 防控水平。