

附件 3

《挥发性有机物（VOCs）污染防治技术政策》 （征求意见稿）编制说明

《挥发性有机物（VOCs）污染防治技术政策》编制组

2012 年 8 月

项目名称：挥发性有机物（VOCs）污染防治技术政策

项目统一编号：51.1.1

承担单位：中国环境保护产业协会、解放军防化研究院（中国人民解放军 63971 部队）、中国科学院生态环境研究中心

主要起草人：燕中凯、栾志强、刘媛、王喜芹、郝郑平、王海林等

项目管理负责单位及负责人：清华大学环境学院 高志永

环保部科技标准司项目管理人：刘睿倩

目 录

1 项目背景	14
1.1 任务由来	14
1.2 工作过程	14
2 挥发性有机物（VOCs）污染与控制现状	15
2.1 VOCs 污染排放源与排放特点	15
2.2 VOCs 污染末端治理技术现状	20
2.3 国内外 VOCs 污染防治相关政策法规与标准	26
3 技术政策编制必要性	31
4 源头控制与典型行业清洁生产技术	32
4.1 石油炼制和石油化工行业	32
4.2 储运销过程	32
4.3 含 VOCs 产品的生产	33
4.4 含 VOCs 产品使用过程的清洁生产工艺	35
5 典型行业排污与适用的末端治理技术	37
5.1 油气回收	37
5.2 包装印刷	37
5.3 汽车制造	38
5.4 光电产品制造	39
5.5 家具制造	42
5.6 装备涂装	43
6 本技术政策的制定原则、依据和技术路线	44
6.1 制定原则	44
6.2 编制依据	44
6.3 技术路线	44
7 主要技术内容的说明	45
7.1 总则	45
7.2 源头控制	47
7.3 末端治理与综合利用	50
7.4 鼓励研发的新技术新材料	52

1 项目背景

1.1 任务由来

2011 年，环境保护部在《关于开展 2011 年度国家环境技术管理项目工作的通知》（环办函〔2011〕565 号）中下达了《挥发性有机物（VOCs）污染防治技术政策》的编制任务，项目统一编号 2011-8，承担单位有中国环境保护产业协会、中国人民解放军防化研究院和中国科学院生态环境研究中心。

1.2 工作过程

（1）2011 年 3 月成立了《挥发性有机物（VOCs）污染防治技术政策》编制组。编制组在《吸附法工业有机废气工程技术规范》和《催化燃烧法工业有机废气工程技术规范》编制工作基础上，进一步收集了国家相关产业政策和行业发展规划、国内外有关 VOCs 综合排放标准和行业排放标准、VOCs 污染控制技术的发展和现状等资料，并开展了大量调研工作。

（2）现场考察

编制组深入北京、辽宁、长三角和珠三角等地的企业进行实地调研，并收集了相关数据，对典型污染行业的适用技术进行了归纳总结。

（3）技术政策编制培训

为了贯彻落实《国家环保技术管理体系建设规划》，规范污染防治技术政策的制修订工作，确保技术政策科学严谨，并具有可操作性，以推动我国污染防治技术的发展，环保部科技标准司制定了《污染防治技术政策编制要求》。为了指导和帮助技术政策编制人员更好地理解和把握该要求精神，科技标准司于 2011 年 7 月 15 日在北京召开技术政策编制培训会。编制组指派主要编制人员参加了培训，掌握了技术政策框架及其编制的指导思想。

（4）研讨会

在上述工作基础上，综合考虑 VOCs 污染预防的复杂性，技术政策编制需要解决的涵盖范围和编制深度等重大问题，2012 年 2 月组织召开管理部门、编制组、相关污染治理企业、污染行业工业协会、各方专家等共同参与的讨论会，听取管理部门的工作要求以及专家和企业代表的编制建议，对技术政策的范围和深度进行深入讨论。明确了本技术政策的适用范围（主要针对固定源，包括生活源和工业源，重点在工业源），加强对源头控制和末端治理的技术路线的描述（有选择性对重点行业进行说明），并考虑与现有法律法规、政策标准体系的衔接。会后课题组根据会议精神确定《挥发性有机物（VOCs）污染防治技术政策》体系框架，增加了生活源和工业源的相关内容，编制了《挥发性有机物（VOCs）污染防治技术政策》初稿及开题报告。

（5）开题会

2012 年 4 月，环境保护部科技标准司在北京组织召开了《挥发性有机物（VOCs）污染防治技术政策》开题论证会，参加会议的有中国环境保护产业协会、防化研究院、中科院生态环境研

究中心、清华大学、中国矿业大学、华南理工大学、北京市环境保护科学研究院的专家和代表。

(6) 2012 年 5 月, 与各相关工业协会进行合作调研, 对我国典型行业污染的总量和趋势进行分析, 确定需要重点说明的污染行业和治理技术, 完善《挥发性有机物 (VOCs) 污染防治技术政策》征求意见稿和编制说明。

2 挥发性有机物 (VOCs) 污染与控制现状

2.1 VOCs 污染排放源与排放特点

2.1.1 VOCs 污染排放源分析

VOCs 排放源非常复杂, 从大类上分, 主要包括自然源和人为源, 自然源主要为植被排放、森林火灾、野生动物排放和湿地厌氧过程等, 目前仍属于非人为可控范围。VOCs 主要人为源包括移动源和固定源, 固定源中又包括生活源和工业源等。

移动源是指汽车、轮船、飞机等各种交通运输工具的排放。目前针对移动源已有《机动车污染防治技术政策》(环发[1999]134 号) 等专门的技术政策, 在本项目中不再述及。

生活源 VOCs 排放对象复杂, 包括建筑装饰、油烟排放、垃圾焚烧、秸秆焚烧、服装干洗等等。其中, 建筑装饰、垃圾焚烧、秸秆焚烧等只能从源头进行控制。建筑装饰减少 VOCs 排放主要通过使用环保涂料解决, 无组织的垃圾焚烧和秸秆焚烧等主要通过立法进行限制, 另外可以通过农村家庭炉灶改造提高秸秆燃烧效率。餐饮油烟可以通过末端控制进行净化。服装干洗则主要在于设备的改进, 通过推行密闭干洗机, 使含 VOCs 溶剂密闭运行, 可起到很好的减排作用。

工业源 VOCs 排放所涉及的行业众多, 具有排放强度大、浓度高、污染物种类多、持续时间长等特点, 对局部空气质量的影响显著。另外, 工业源通过管控可以获得较明显改善, 特别是工业源中的重点工业行业, 因为产生的 VOCs 占比较大, 一般为有组织排放, 浓度高, 易于收集和处理, 且有较为成熟的治理技术。

工业源包括四个产污环节: VOCs 生产过程环节, VOCs 产品的储存、运输和营销环节, 以 VOCs 为原料的工艺过程环节和含 VOCs 产品的使用过程环节。其中 VOCs 生产过程环节包括炼油与石化、有机化工等溶剂提炼或有机物产生的行业; 储存、运输和营销环节主要是油品、燃气、有机溶剂的储存、转运、配送和销售过程, 以 VOCs 为原料的工艺过程环节包括众多行业, 如涂料行业, 合成材料行业, 食品饮料行业, 胶粘剂生产行业, 日用品行业, 农用化学品行业和轮胎制造行业等; 含 VOCs 产品的使用过程环节包括装备制造业涂装、半导体与电子设备制造、包装印刷、医药化工、塑料和橡胶制品生产、人造革生产、人造板生产、造纸行业、纺织行业、钢铁冶炼行业等等。其中, 装备制造业涂装涵盖所有涉及到涂装工艺的行业, 如机动车制造与维修、家具、家用电器、钢结构、金属制品、彩钢板、集装箱、造船、电器设备等众多行业。

工业源 VOCs 排放涉及的行业众多, 目前缺乏权威认可的排放清单。2009 年起环保部污控司组织中科院生态中心、清华大学、同济大学、解放军防化研究院、地质大学、华南理工大学等高等院校和科研院所中 VOCs 防治领域的专家对人为源排放情况进行估算。表 1 列出了估算的结

果，其中工业源排放量占整个人为源的比重最高达 55.5%，工业源中的重点工业行业包括石油炼制和储运、化工、溶剂使用（包括表面涂装）等。在工业源的四个产污环节中，含 VOCs 产品的使用过程环节排放最多，占整个工业源排放的 60%以上（图 1），应予以重点控制。

表 1 重点行业排放 VOCs 占人为源的比重（2009 年估算结果）

类型	人为源		比例（%）	
工业源	石化	石油化工、石油炼制	6.9	55.5
	储运	油品储运	7.6	
	化工	有机化学原料	1.1	
		合成材料	2.2	
		化学原料药制造	0.9	
		塑料制品制造	1.6	
		小计	5.8	
	表面涂装	交通运输设备制造与维修	2.4	
		金属制品制造、通用设备及专用设备制造、电器机械及器材、仪器仪表、文化办公、机械制造	5.2	
		通信设备、计算机及其他电子设备	1.3	
		家具制造	3.1	
		小计	12.0	
	溶剂使用	印刷和包装印刷	13.4	
		皮革、毛皮、羽毛（绒）制造	2.8	
		纺织印染	2.8	
		食品饮料制造	1.9	
		木材加工	1.2	
		黑色和有色金属冶炼	1.1	
		小计	23.2	
生活源	建筑装饰		6.5	19.6
	餐饮油烟		3.4	
	生物质燃烧		9.7	
移动源	机动车		21.5	21.5
其他			3.4	3.4
总计				100

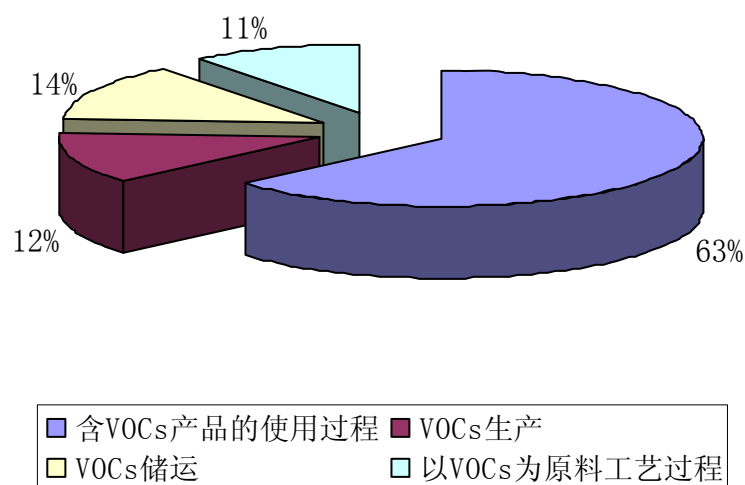


图 1 工业源 VOCs 各产污环节排放分布

2008 年清华大学根据美国的污染源排放因子（除生物质燃烧自定排放因子外），估算获得的 VOCs 排放清单如表 2。表 1 和表 2 中对排放源的划分和排放占比有很较大的区别。表 2 估算结果中化石燃料加工与分配排放量偏低，只占人为源排量的 6.6%，而表 1 中石化和储运的加和达 14.5%；表 2 中的生活源和移动源的占比偏高。但是两者均可见重点工业源排放所占的比例最大（图 2），工业源中溶剂的使用过程占比高达 58%左右（图 3），应予以重点控制。

表 2 各人为源排放 VOCs 占比的估算结果（2008 年估算结果）

类型	人为源		比例 (%)	
工业源	工业溶剂使用	涂料	10.4	38.1
		胶粘剂	5.4	
		脱脂剂	0.2	
		印刷	1.8	
		制药	1.7	
		其它	2.6	
		小计	22.1	
	化石燃料加工与分配	冶炼	2.6	
		原油分配	1.4	
		汽油分配	1.7	
		柴油分配	0.7	
		其它	0.2	
		小计	6.6	

	化工	无机化工	0.3	
		有机原料化工	1.5	
		有机合成	1.6	
		小计	3.4	
	非化学工业	炼焦	3.0	
		矿业	0.9	
		炼铁/炼钢	0.1	
		食品	1.1	
		其它	0.9	
		小计	6.0	
生活源	生物质燃烧	稻草	4.1	33.1
		小麦	3.7	
		玉米	5.5	
		其它	1.9	
		树枝	2.8	
		小计	18.0	
	商业能源利用	工业能源	0.5	
		家庭小锅炉用煤	0.05	
		家庭炉灶用煤	1.8	
		其它	0.5	
		小计	2.9	
	废弃物处理	生物质露天焚烧	4.8	
		其它	0.9	
		小计	5.7	
	生活源溶剂使用	涂料	1.8	
		胶粘剂	0.6	
		杀虫药	2.2	
		其它	2	
		小计	6.5	
移动源	道路排放	汽油车	8.7	27.8
		柴油车	0.9	
		摩托车	13.7	
		其它	0.1	
		小计	23.4	
	非道路排放	建筑机械	1.6	

		农业机械	2.7	
		其它	0.1	
		小计	4.4	
其他			1	1
总计				100

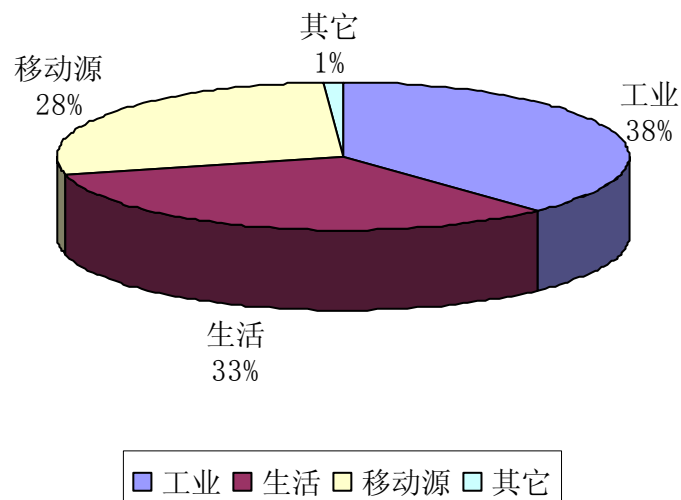


图2 各人为源总体排放占比（清华大学数据）

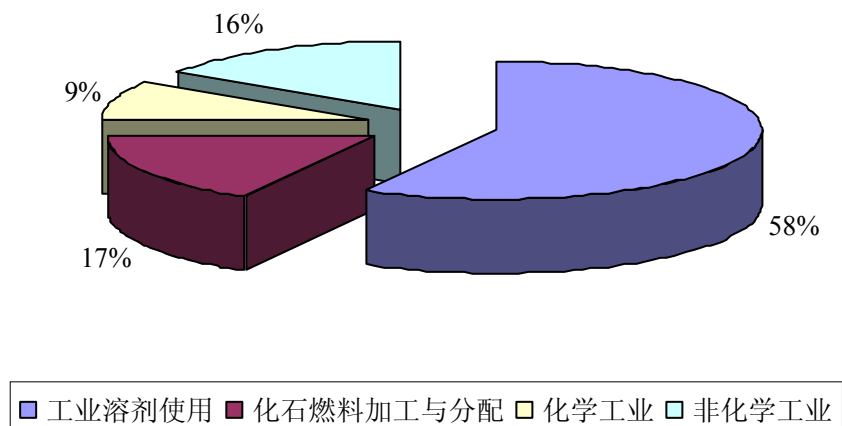


图3 工业源 VOCs 各产污环节排放分布（清华大学数据）

2.1.2 VOCs 污染排放特点

（1）工业生产过程中的 VOCs 种类多，性质差异大。

工业固定源有机废气涉及的行业众多，污染物种类和组成繁杂。常见的化合物种类有烃类（烷

烃、烯烃和芳烃)、酮类、酯类、醇类、酚类、醛类、胺类、腈(氰)类等有机化合物,常见的工业 VOCs 污染物分类见表 3。其中工业排放量最大的物质为苯类(苯、甲苯、二甲苯)和卤代烃类,苯类物质和卤代烃同时也是高毒性的物质。

表 3 常见的工业 VOCs 污染物分类

污染物种类	主要代表物
烃类	苯、甲苯、二甲苯、正己烷、石脑油、环己烷、甲基环己烷、二氧杂环己烷、稀释剂、汽油等
卤代烃	三氯乙烯、全氯乙烯、三氯乙烷、二氯甲烷、三氯苯、二氯乙烷、三氯甲烷、四氯化碳、氟立昂类等
醛酮类	甲醛、乙醛、丙烯醛、糠醛、丙酮、甲乙酮(MEK)、甲基异丁基甲酮(MIBK)、环己酮等
酯类	醋酸乙酯、醋酸丁酯、油酸乙酯等
醚类	甲醚、乙醚、甲乙醚、四氢呋喃(THF)等
醇类	甲醇、乙醇、异丙醇、正丁醇、异丁醇等
聚合用单体	氯乙烯、丙烯酸、苯乙烯、醋酸乙烯等
酰胺类	二甲基甲酰胺(DMF)、二甲基乙酰胺等
腈(氰)类	氢氰酸、丙烯腈等

(2) 在大多数情况下,生产工艺尾气中同时含有多种污染物。

在大多数的行业中,气态污染物往往是以混合物的形式排放。如喷涂废气中通常含有苯系物(BTEX)和酮类、脂类等;印刷废气中通常含有苯类、脂类、酮类和醇类等;制药行业中通常含有酸性气体、普通有机物和恶臭气体等。

(3) 不同的生产工艺所排放的工艺废气工况条件(浓度、流量、连续或间歇、温度、湿度、颗粒物等)复杂多样。

不同行业、同一行业中的不同工序所排放的有机气体的温度和湿度具有很大的差异。如一般喷涂过程中所排放的为常温气体,在化学化工、制药等行业所排放的往往为高温气体。在同一行业中,如汽车的喷涂线排放的为常温气体,而烘干线排放的则为高温气体。喷涂线漆雾经过水幕净化后会形成高湿度的废气,制药工业发酵灌尾气的湿度接近 100%。在大多数情况下,常温废气中往往掺杂一定量的颗粒物。装备制造业涂装工艺中会产生大量的漆雾颗粒物等。

(4) 生活源所排放的 VOCs 为面源,点多面广,通常为无组织排放,无法进行末端净化(除餐饮油烟外),一般通过政策导向或立法进行源头控制。

2.2 VOCs 污染末端治理技术现状

VOCs 的末端控制技术可以分为两大类:即回收技术和销毁技术(图 4)。回收技术是通过物

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污染物的方法，主要包括吸附技术、吸收技术、冷凝技术及膜分离技术等。回收的挥发性有机物可以直接或经过简单纯化后返回工艺过程再利用，以减少原料的消耗，或者用于有机溶剂质量要求较低的生产工艺，或者集中进行分离提纯。销毁技术是通过化学或生化反应，用热、光、催化剂或微生物等将有机化合物转变成为二氧化碳和水等无毒害无机小分子化合物的方法，主要包括高温焚烧、催化燃烧、生物氧化、低温等离子体破坏和光催化氧化技术等。

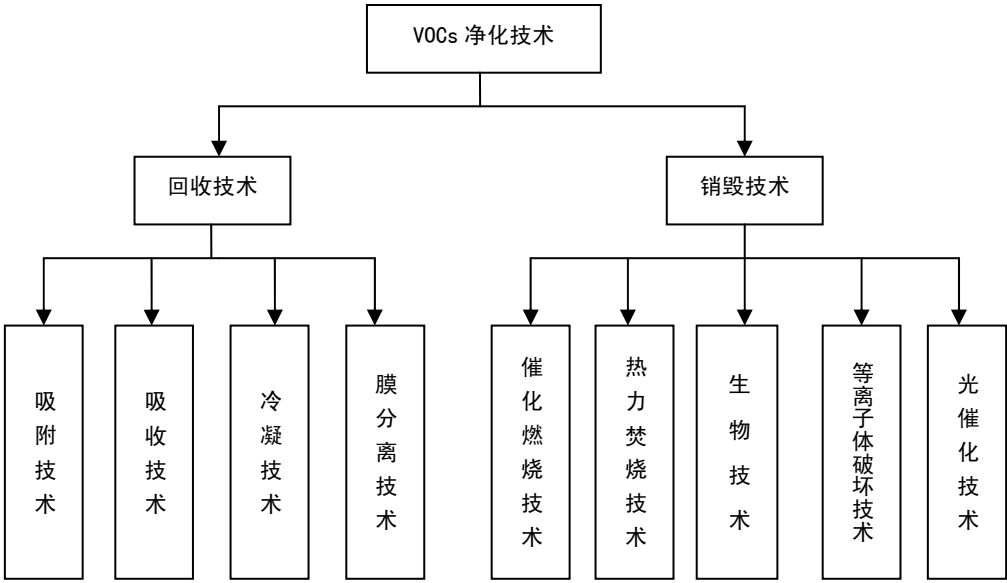


图 4 VOCs 净化单元技术

吸附技术、催化燃烧技术和热力焚烧技术是传统的有机废气治理技术，也是目前应用最为广泛的 VOCs 治理技术。吸收技术由于存在二次污染和安全性差等缺点，目前在有机废气治理中已经较少使用。冷凝技术只是在极高浓度下直接使用才有意义，通常作为吸附技术或催化燃烧技术等的辅助手段使用。生物技术较早被应用于有机废气的净化，目前技术上比较成熟，为 VOCs 治理的主流技术之一。等离子体破坏技术近年来已经相对发展成熟，并在低浓度有机废气治理中得到了大量的应用；光催化技术和膜分离技术在大气量的有机废气治理中尚没有实际应用。常见的 VOCs 治理技术适用范围见表 4。由于 VOCs 的种类繁多，性质各异，排放条件多样，目前在不同的行业、不同的工艺条件下可以采用不同的行业 VOCs 废气实用治理技术。

表 4 常见的 VOCs 治理技术适用条件

处理方法	浓度 (mg/Nm ³)	排气量 (Nm ³ /h)	温度 (℃)
吸附回收技术	100~1.5×10 ⁴	<6×10 ⁴	<45
预热式催化燃烧技术	3000~1/4 LEL	<4×10 ⁴	<500
蓄热式催化燃烧技术	1000~1/4 LEL	<4×10 ⁴	<500
预热式热力焚烧技术	3000~1/4 LEL	<4×10 ⁴	<700

蓄热式热力焚烧技术	1000~1/4 LEL	$<4\times 10^4$	<700
吸附浓缩技术	<1500	$10^4\sim 1.2\times 10^5$	<45
生物处理技术	<1000	$<1.2\times 10^5$	<45
冷凝回收技术	$10^4\sim 10^5$	$<10^4$	<150
等离子体技术	<500	$<3\times 10^4$	<80

2.2.1 吸附技术

吸附法是利用各种固体吸附剂（如活性炭、活性炭纤维、分子筛等）对排放废气中的污染物进行吸附净化的方法。吸附法设备简单、适用范围广、净化效率高，是一种传统的废气治理技术，也是目前应用最广的治理技术。主要包括固定床吸附技术、移动床（含转轮）吸附技术、流化床吸附技术和变压吸附技术等。国内目前主要是采用固定床吸附技术，吸附剂通常为颗粒活性炭和活性炭纤维。近年来，国外和我国台湾地区较多地采用了移动床（分子筛转轮吸附浓缩）技术。

吸附浓缩-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（见图 5）。该方法适合于大风量、低浓度或浓度不稳定的废气治理，通常适用的浓度范围低于 1500mg/m^3 。国内由防化研究院于 1990 年研制成功的固定床有机废气浓缩装置（“一种处理有机废气的空气净化装置”，专利号 CN2175637），采用低阻力的蜂窝状活性炭作为吸附剂，成为目前我国喷涂、印刷等行业大风量、低浓度有机废气治理的主体设备之一。后来又发展了活性炭纤维吸附剂固定床吸附浓缩装置、沸石转轮吸附浓缩/热空气脱附/燃烧装置（见图 6）等。

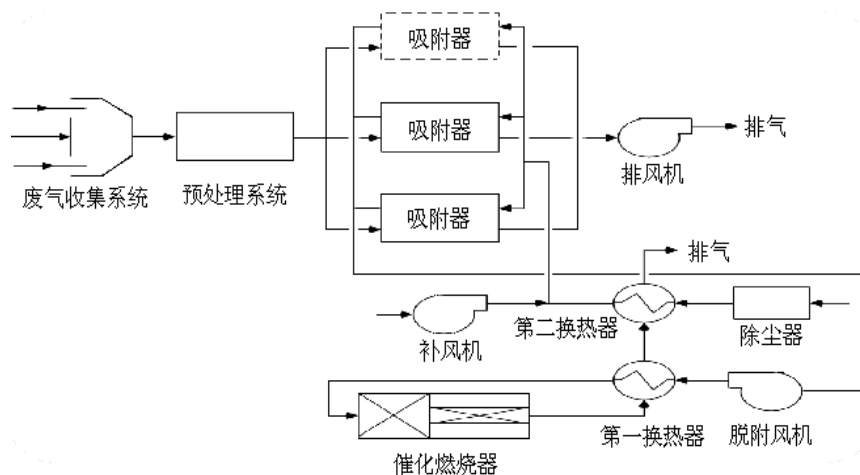


图 5 固定床吸附浓缩-催化燃烧工艺

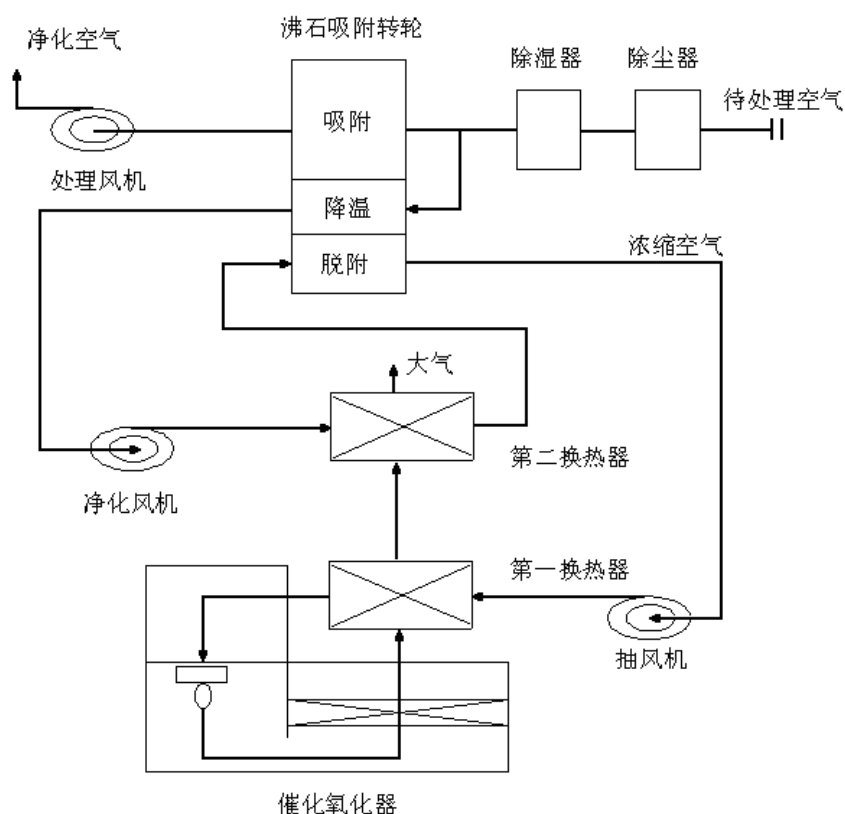


图 6 沸石转轮吸附浓缩-催化燃烧工艺

2.2.2 焚烧与催化燃烧技术

在有机废气治理中，热力焚烧法只是在一些特殊的情况下被采用，如在汽车、家电等的烤漆废气处理，虽然此类废气中的有机物浓度并不高，但燃烧炉所产生的热量可以进行回收并用于烤漆房的加热，热量利用较好。此外，当废气中含有能够引起催化剂中毒的化合物时，如含硫、卤素有机物，不宜采用催化燃烧法的，通常也采用热力焚烧法。

当废气中有机物浓度较低时，采用燃烧法能耗较大。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，见图 7），并得到了广泛应用。蓄热系统是使用具有高热容量的陶瓷蓄热体，采用直接换热的方法将燃烧尾气中的热量蓄积在蓄热体中，高温蓄热体直接加热待处理废气，换热效率可达到 90%以上，而传统的间接换热器的换热效率一般在 50%~70%。

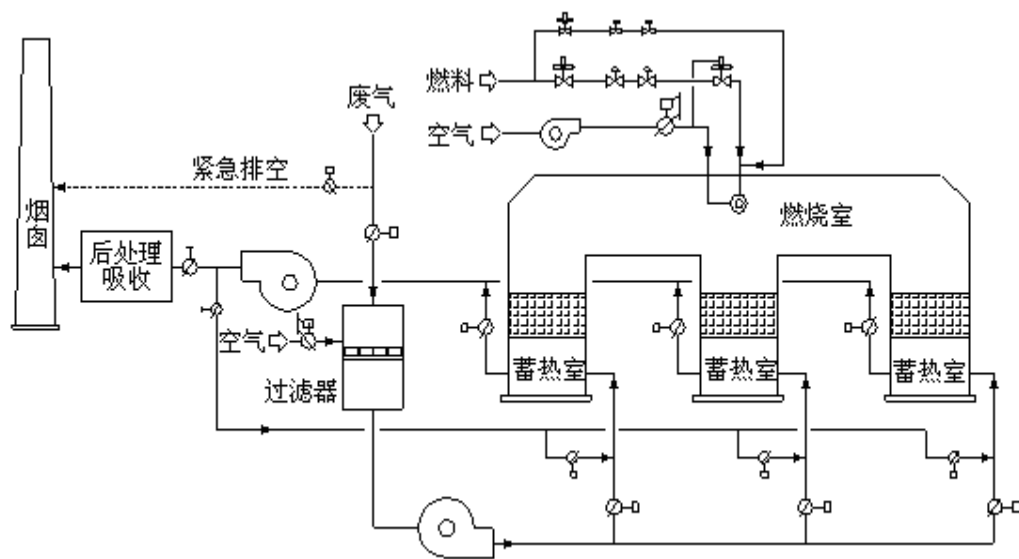


图 7 蓄热燃烧（RTO）工艺

目前，VOCs 治理技术中催化燃烧技术相对成熟。早期的催化燃烧技术主要用于高浓度或者高温排放的有机污染物的治理，由于对空气的加热升温需要耗费大量的热能，在大风量、低浓度的 VOCs 治理中运行成本过高。蓄热式催化燃烧技术（见图 8）通常利用蜂窝状的陶瓷体作为蓄热体，将催化反应过程所产生的热能通过蓄热体储存并用以加热待处理废气，充分利用有机物燃烧所产生的热能。和常规催化燃烧技术相比，蓄热式催化燃烧技术可以大大降低设备能耗，主要应用于较低浓度（一般在 $500\sim3000\text{mg}/\text{m}^3$ 之间）有机废气的净化。

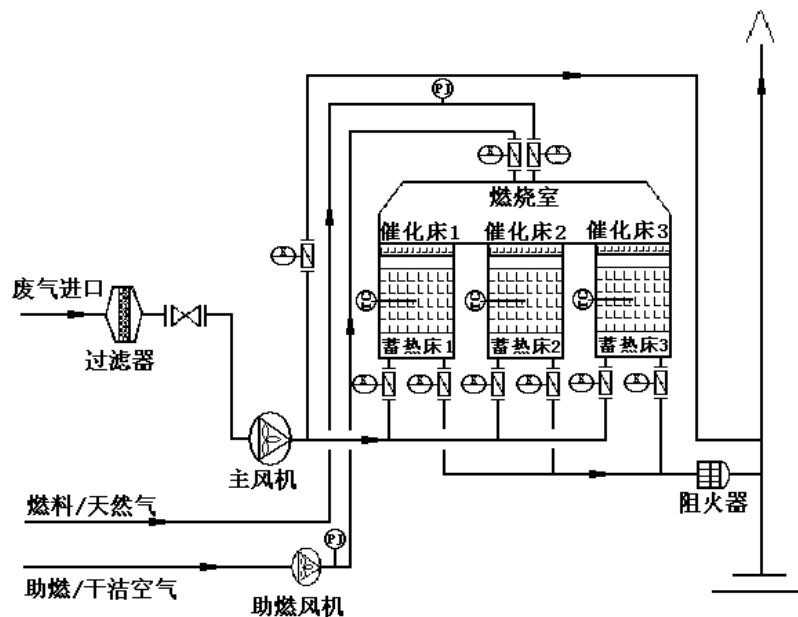


图 8 蓄热催化燃烧工艺（RCO）

2.2.3 生物技术

废气生物净化技术具有处理成本低、无二次污染的特点，在国内外得到了迅速发展，尤其适合于低浓度、大气量且宜生物降解的气体。

废气生物净化技术实质上就是通过附着在反应器内填料上的微生物，在新陈代谢过程中将废气中的污染物转化为简单的无机物(CO_2 、 H_2O 和 SO_4^{2-} 等)和微生物细胞质的过程。其中，废气中的 VOCs 分解为二氧化碳、水等无机物；含硫恶臭污染物中的硫转化为硫化氢并进一步转化为环境中稳定的硫酸盐；含氮污染物中的氮转化为环境中稳定的硝酸盐或氮气。

2.2.4 冷凝技术

冷凝法是利用物质在不同温度下具有不同饱和蒸汽压的性质，降低系统温度或提高系统压力，使处于蒸汽状态的污染物从废气中冷凝分离出来的方法。

冷凝法适用于高浓度有机溶剂蒸汽的净化，经过冷凝后尾气仍然含有一定浓度的有机物，需进行二次低浓度尾气治理。在有机废气治理中，通常采用常温水或低温水对高浓度的废气首先进行冷凝回收，冷凝后的尾气再进行吸附或催化燃烧处理。对于低浓度的有机废气，当需要进行回收时，可以首先采用吸附浓缩的方法，吸附浓缩后高浓度废气再采用冷凝技术处理。

2.2.5 吸收技术

吸收法是采用低挥发或不挥发液体为吸收剂，利用废气中各种组分在吸收剂中溶解度或化学反应特性的差异，使废气中的有害组分被吸收剂吸收，从而达到净化废气的目的。在 VOCs 的处理中，利用废气中的有机化合物能与大部分油类物质互溶的特点，常用高沸点、低蒸汽压的油类等有机溶剂作为吸收剂。

吸收过程按其机理可分为物理吸收和化学吸收。VOCs 的吸收通常为物理吸收，根据有机物相似相溶原理，常采用沸点较高、蒸汽压较低的柴油、煤油作为溶剂，使 VOCs 从气相转移到液相中，然后对吸收液进行解吸处理，回收其中的有机化合物，同时使溶剂得以再生。对一些水溶性较高的化合物，也可以使用水作为吸收剂，吸收液进行精馏以回收有机溶剂。

2.2.6 等离子体技术

低温等离子体净化技术（见图 9）是近年来发展起来的废气治理新技术。低温等离子体破坏技术属低浓度 VOCs 治理的前沿技术。研究表明，C-S 和 S-H 键比较容易被打开，因此低温等离子体技术对于臭味的净化具有良好的效果，如橡胶废气、食品加工废气等的除臭。

低温等离子体用于废气的净化具有很多的优势。（1）由于等离子体反应器几乎没有阻力，系统的动力消耗非常低；（2）装置简单，反应器为模块式结构，容易进行易地搬迁和安装；（3）不需要预热时间，可以即时开启与关闭；（4）所占空间较小；（5）抗颗粒物干扰能力强，对于油烟、油雾等无需进行过滤预处理。

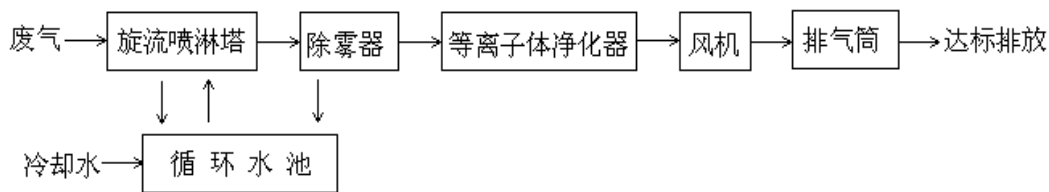


图 9 等离子体治理有机废气工艺示意图

2.2.7 光催化技术

光催化氧化法主要是利用光催化剂（如 TiO_2 ）的光催化性，氧化吸附在催化剂表面的 VOCs。利用特定波长的光（通常为紫外光）照射光催化剂，激发出“电子-空穴”（一种高能粒子）对，这种“电子-空穴”对与水、氧发生化学反应，产生具有极强氧化能力的自由基活性物质，将吸附在催化剂表面上的有机物氧化为二氧化碳和水等无毒无害物质。光催化氧化与电化学、 O_3 、超声和微波等技术耦合可以显著提高对有机物的净化能力。

目前光催化氧化技术存在反应速率慢、光子效率低、催化剂失活和难以固定等缺点。该法目前在工业 VOCs 的净化中还未大规模应用。

2.2.8 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。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。其基本的工艺如图 10 所示。有机废气首先进入压缩机压缩后冷凝，冷凝下来的有机物进行回收，余下的进入膜分离单元后分为两股，一股返回压缩机重新进行处理，一股处理后排出。

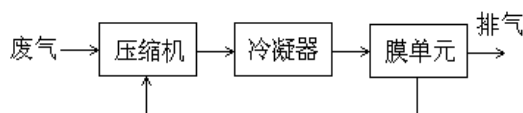


图 10 膜分离废气净化技术示意图

2.3 国内外 VOCs 污染防治相关政策法规与标准

2.3.1 国外 VOCs 污染防治相关政策法规与标准

欧美等发达国家在 20 世纪 90 年代初就建立了相关的 VOCs 人为源排放清单数据库，并保持逐年更新。在 VOCs 控制管理方面，欧美等发达国家也走在前面，在 90 年代便出台了相关法律法规，如美国的《大气清洁法》，欧盟的《欧洲清洁空气计划》指令 1999/13/EC 和 2004/42/EC 以及 1994/63/EC、1996/61/EC 等行业指令，对 VOCs 的排放标准和排放源进行限制，并且多次修改和补充，日趋严格，有效控制了 VOCs 的排放。

美国早在 1963 年就制定了大气清洁法(CAA)，1990 年又进行了修改，在原来限制 VOCs 上强化增加了对有害大气污染物质的限制，在该法中，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）、BACT（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。

欧盟在 1996 年公布了关于完整的防治和控制污染的指令 1996/61/EC，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，对有机溶剂行业则详细制定了关于 VOCs 排出限制的指令 1999/13/EC，随后的 2004/42/EC 指令对建筑和汽车等特定用途的涂料设定了 VOCs 排放的限制。此外，欧盟还根据 VOCs 毒害作用大小，提出了分级控制要求，其中高毒害 VOCs 排放不得超过 5 mg/m^3 ，中等毒害不超过 20 mg/m^3 ，低毒害不超过 100 mg/m^3 。

日本为控制 VOCs 排放，于 2006 年 4 月正式实施了《大气污染防治法》，2007 年 3 月实施了《生活环境保护条例》，明确提出 2010 年 VOCs 的排放量要比 2000 年减少 30%。

2.3.2 我国 VOCs 污染防治相关法律法规与标准

2.3.2.1 政策法规

《中华人民共和国大气污染防治法》（2000 年，中华人民共和国主席令 32 号）是大气环境管理的根本依据，目前未明确 VOCs 的控制要求，仅有诸如有机烃类尾气、恶臭气体、有毒有害气体、油烟等类似概念。

为解决日益严重的灰霾和光化学烟雾等区域性大气污染问题，减少对群众健康的影响，国务院办公厅于 2010 年 5 月转发了《关于推进大气污染联防联控工作改善区域空气质量的指导意见》（国办发〔2010〕33 号）。意见强调，解决区域大气污染问题，必须尽早采取区域联防联控措施；联防联控的重点污染物是二氧化硫、氮氧化物、颗粒物、挥发性有机物等。其中，挥发性有机物污染防治方面，首先要按照有关技术规范对从事喷漆、石化、制鞋、印刷、电子、服装干洗等排放挥发性有机污染物的生产作业进行污染治理；其次要推进加油站油气污染治理，按期完成重点区域内现有油库、加油站和油罐车的油气回收改造工作，并确保达标运行，新增油库、加油站和油罐车应在安装油气回收系统后才能投入使用；此外，还要严格控制城市餐饮服务业油烟排放。

根据《指导意见》要求，环境保护部正在制定《重点区域大气污染防治规划（2011-2015 年）》。规划指出将在“十二五”期间在重点区域全面展开挥发性有机物污染防治工作。

2.3.2.2 排放标准

原有的《大气污染物综合排放标准》（GB 16297-1996），仅对苯、甲苯、二甲苯以及酚类和甲醛的排放浓度进行限制，后又颁布的《炼焦炉大气污染物排放标准》（GB 16171-1996），《饮食业油烟排放标准》（GB 18483-2001），《储油库大气污染物排放标准》（GB 20950-2007），《汽油运输大气污染物排放标准》（GB 20951-2007），《加油站大气污染物排放标准》（GB 20952-2007），《合成革与人造革工业污染物排放标准》（GB 21902-2008）及《橡胶制品工业污染物排放标准》（GB 27632-2011）增加了对苯并芘、油烟 VOCs、油气 VOCs、合成革与人造革工业 VOCs 排放的限值。

针对恶臭污染物出台了《恶臭污染物排放标准》(GB 14554-1993)，对硫醇、硫醚、胺类等散发恶臭气味的污染物（大部分是挥发性有机物）作出了规定。表 5 是上述各标准中关于 VOCs 的不同表述。

表 5 我国涉及 VOCs 的国家排放控制标准分析

标准名称	特定项目	综合项目	其他有机物项目
大气综合	苯、甲苯、二甲苯、酚类、甲醛、乙醛、丙烯醛、丙烯腈、甲醇、氯苯类、硝基苯类、苯胺类、氯乙烯	NMHC	苯并(a)芘、沥青烟
恶臭	苯乙烯、甲硫醇、甲硫醚、二甲二硫醚、三甲胺	臭气浓度	
炼焦炉			苯可溶物、苯并(a)芘
饮食业			油烟
储油库、油罐车、加油站		油气、NMHC	
合成革与人造革	苯、甲苯、二甲苯、DMF	VOCs	
橡胶制品	甲苯、二甲苯	NMHC	
合计	19 项	3 项	4 项

地方控制标准方面，北京市、上海、广东省等走在前列，正在制定严格的 VOCs 排放控制标准。标准中需要控制的特定项目有所扩展（表 6），但是与国外相比，仍然控制得比较粗放。

①北京市：《炼油与石油化学工业大气污染物排放标准》(DB 11/447-2007)，《大气污染综合排放标准》(DB 11/501-2007)。

②上海市：《半导体行业挥发性有机化合物排放标准》(DB 31/374-2006)

③广东省：《家具制造行业挥发性有机化合物排放标准》(DB 44/814-2010)，《包装印刷行业挥发性有机化合物排放标准》(DB 44/815-2010)，《表面涂装（汽车制造业）挥发性有机化合物排放标准》(DB 44/816-2010)，《制鞋行业挥发性有机化合物排放标准》(DB 44 /817-2010) 等。

表 6 我国涉及 VOCs 的地方排放控制标准分析

标准名称	特定项目	综合项目	其他有机物项目
北京市大气综合标准/石化标准	环氧乙烷、1,3-丁二烯，1，2-二氯乙烷、丙烯腈、苯、氯乙烯、硝基苯类、丙烯醛、甲醛、乙醛、酚类、苯胺类、氯甲烷、甲苯、二甲苯、氯苯类甲醇/丙烯腈、环氧乙烷、1,3-丁二烯，1，2-二氯乙烷、	NMHC	二恶英和呋喃、多氯联苯、苯并(a)芘

	苯、氯乙烯、氯甲烷、甲苯、二甲苯		
上海市行业标准		VOCs	
广东省行业标准	苯、甲苯、二甲苯	苯系物、VOCs	

目前其它的一些行业和地方 VOCs 的排放控制标准正在制定当中。总体来讲，和国外发达国家相比排放标准体系很不完善。

2.3.2.3 清洁生产标准

国家清洁生产标准中共分三级，一级指国际清洁生产先进水平，二级指国内清洁生产先进水平，三级指国内清洁生产基本水平。

目前国家清洁生产标准共 58 个，涉及到 VOCs 排放行业的清洁生产标准有：

- ①清洁生产标准 汽车制造业（涂装）（HJ/T 293-2006）
- ②清洁生产标准 化纤行业（涤纶）（HJ/T 429-2008）、化纤行业（氨纶）（HJ/T 359-2007）
- ③清洁生产标准 石油炼制业（HJ/T 125-2003）、石油炼制业（沥青）（HJ/T 443-2008）
- ④清洁生产标准 人造板行业（中密度纤维板）（HJ/T 315-2006）
- ⑤清洁生产标准 炼焦行业（HJ/T 126-2003）
- ⑥清洁生产标准 基本化学原料制造业（环氧乙烷、乙二醇）（HJ/T 190-2006）

标准中规定了有机废气（VOCs）及特定项目的产生量见表 7。

表 7 清洁生产标准中 VOCs 产生量

行业			指标	一级	二级	三级
汽车制造业 （涂装）	2C2B 涂层		VOC (g/m ²)	≤30	≤50	≤70
	3C3B 涂层			≤40	≤60	≤80
	4C4B 涂层			≤50	≤70	≤90
	5C5B 涂层			≤60	≤80	≤100
化纤行业	涤纶	聚酯	VOC (kg/t)	≤0.35	≤0.40	≤0.45
		长丝		≤0.04	≤0.06	≤0.10
		短纤维		≤0.54	≤0.77	≤0.90
	氨纶		DMF 或 DMAc (kg/t)	DMAc≤2	DMF≤20 DMAc≤5	DMF≤30 DMAc≤8
石油炼制			石油类 (kg/t)	≤0.025	≤0.2	≤0.45
			挥发酚 (kg/t)	≤0.01	≤0.04	≤0.09
	沥青		氧化尾气中苯并（a） 芘（mg/m ³ ）	≤0.01×10 ⁻³	≤0.1×10 ⁻³	≤0.3×10 ⁻³
人造板行业	中密度纤维板		产品指标甲醛释放量 (mg/100g)	≤5	≤9	≤15
			作业环境空气中甲醛 浓度（mg/m ³ ）	≤0.3		≤0.5

炼焦行业	装煤	苯并（a）芘（g/t）	≤1.0	≤1.5	-
	堆焦		≤0.018	≤0.040	-
基本化学原料制造业	环氧乙烷、乙二醇	装置正常废气产生量 kg/t	≤100	≤300	≤500

2.3.2.4 环境标志产品技术要求

目前涉及降低 VOCs 排放，提出环境保护标志产品技术要求的有印刷行业-平版印刷、胶印油墨、凹印油墨和油印油墨，溶剂型木器涂料，人造板及其制品，水性涂料，防水涂料，皮革和合成革，胶粘剂等，其中明确提出产品中不得添加的物质和产品中 VOCs 含量限值，见表 8~12。

表 8 凹印油墨和柔印油墨产品中有害 VOC 物质限值

控制指标	单位	溶剂基油墨	溶剂	水基凹印油墨	水基柔印油墨
卤代烃类溶剂 ≤	mg/kg	5000	—	—	—
苯含量 ≤	mg/kg	500	—	—	—
苯类溶剂含量 ≤	mg/kg	5000	—	—	—
甲醇含量 ≤	%	2	—	2	0.3
VOC 含量 ≤	%	—	—	30	10

表 9 胶印油墨产品中有害 VOC 物质限值

控制指标	单位	限量要求	
		热固轮转	单张、冷固轮转
VOC 含量 ≤	%	25	4
苯类溶剂含量 ≤	%	1	

表 10 水性涂料产品中有害 VOC 物质限值

控制指标	内墙涂料	外墙涂料	墙体用底漆	水性木器漆、水性防腐涂料、水性防水涂料等	腻子（粉状、膏状）
VOC 含量	≤80g/L	≤150g/L	≤80g/L	≤250g/L	≤10g/kg
卤代烃（以二氯甲烷计）	≤500mg/kg				
苯、甲苯、二甲苯、乙苯总量	≤500 mg/kg				
甲醛	≤100 mg/kg				

胶粘剂类环境标志产品技术要求中，明确规定胶粘剂产品生产过程中不得添加苯、甲苯、二甲苯、乙苯、卤代烃等有毒有机溶剂。其中明确提出了木材加工用胶粘剂、包装用水性胶粘剂、鞋和箱包胶粘剂和处理剂、建筑用水基型和溶剂型胶粘剂和地毯用胶粘剂产品中有害物质的限量。木材加工用胶粘剂产品中游离甲醛和游离苯酚的含量应符合 GB/T 14732-1993 的规定。其中建筑用胶粘剂（包括水基型和溶剂型）中有害 VOCs 物质的限量值见表 11、12。

表 11 水基型建筑用胶粘剂中有害 VOC 物质限量值

控制指标	单位	丙烯类	缩甲醛类	聚醋酸乙烯酯类	橡胶类	聚氨酯类	其他胶粘剂
游离甲醛	mg/kg	≤100	≤100	≤100	≤100	—	≤100
苯	mg/kg	≤100	≤100	≤100	≤100	≤100	≤100
甲苯+二甲苯	mg/kg	≤500	≤500	≤500	≤500	≤500	≤500
卤代烃	mg/kg	≤500	≤500	≤500	≤500	≤500	≤500
总挥发性有机物	g/L	≤50	≤50	≤50	≤50	≤50	≤50

表 12 溶剂型建筑用胶粘剂中有害 VOC 物质限值

控制指标	单位	环氧树脂类胶粘剂	橡胶类胶粘剂	聚氨酯类胶粘剂	其他胶粘剂
游离甲醛	mg/kg	—	≤500	—	≤500
苯	mg/kg	≤2000	≤2000	≤2000	≤2000
甲苯+二甲苯	mg/kg	≤2000	≤2000	≤2000	≤2000
甲苯二异氰酸酯	mg/kg	—	—	≤5000	—
丙酮	mg/kg	≤750	≤750	≤750	≤750
卤代烃（以二氯甲烷计）	mg/kg	≤2000	≤2000	≤2000	≤2000

3 技术政策编制必要性

“十二五”大气污染防治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。2010 年 5 月 11 日，国务院办公厅转发《环境保护部等部门关于推进大气污染联防联控工作改善区域空气质量指导意见的通知》（国办发[2010] 33 号），正式地从国家层面上提出了加强挥发性有机物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。本技术政策的制定是完成“十二五”大气污染防治规划中规定目标的需要。

挥发性有机物（VOCs）具有光化学活性，排放到大气中是形成细粒子（PM_{2.5}）和臭氧的重要前体物质，增强温室效应，在环境中的具有累积性和持久性等特点。研究表明，不同地区的大气中半挥发或不挥发的有机物在 PM_{2.5} 细粒子中的比重占到 20%~40%左右，还有部分的大气细粒子由 VOCs 转化而来。近年来尽管北京市大气污染中的二氧化硫、氮氧化物呈下降趋势，但夏季臭氧浓度却在增加，VOCs 被认为是臭氧生成和其它细粒子生成的共同前体物，VOCs 对大气环境质量的影响已引起国内大气化学科学家们的共同重视。随着经济的发展，由工业、居民生活等人为源排放的 VOCs 总量正逐年增加，导致光化学烟雾、城市灰霾等复合大气污染问题日益严重。

除了环境毒性以外，工业排放常见的 VOCs 如三苯类、卤代烃类、硝基苯类、苯胺类等都对

人体具有较大的危害作用，长期接触会严重影响人们的身体健康。此外，很大一部分的挥发性化合物具有异味，会严重影响人们的生活质量。所以制定相关技术政策控制 VOCs 污染，是改善大气环境质量和维护人们健康和生活质量的需要。

VOCs 排放源的范围很广泛，治理技术也更复杂，而治理技术的总体水平不高，在治理技术选择、治理设施运行监管等方面还存在突出问题。本技术政策的制定可以从国家层面上对 VOCs 减排途径及污染防治技术进行规范和引导，是提高国家环境技术管理水平的需要。

4 源头控制与典型行业清洁生产技术

降低 VOCs 排放应从污染源头即溶剂产生、运输、使用等各个环节做起，尽量采用清洁生产工艺，减少生产工艺中 VOCs 的排放量。

4.1 石油炼制和石油化工行业

石油炼制和石油化工行业是指以石油和（或）天然气为原料，采用物理操作和化学反应相结合的方法，生产各种石油产品和石化产品的加工行业。石油炼制是以石油为原料，加工生产燃料油、润滑油等产品的全过程。石油化工生产指对炼油过程提供的原料油气进行裂解及后续化学加工，生产以三烯（乙烯、丙烯、丁二烯）、三苯（苯、甲苯、二甲苯）为代表的石化基本原料、各种有机化学品、合成树脂、合成橡胶、合成纤维等的过程。

石油炼制工业是我国重要能源与基础原材料工业之一，其产品用于国民生活和各个工业部门。石油炼制工业的加工能力常被用作衡量一个国家工业发展水平的标志。2011 年全国石油产量 2.01 亿吨，累计加工原油 4.48 亿吨，成品油生产总量合计达到 2.66 亿吨（比上年增长 6.7%），其中生产柴油 1.67 亿吨，生产汽油 8141 万吨（约占 28），生产煤油 1879 万吨。2011 年度生产溶剂 230 万吨，比上年增长约 97%。石油炼制工业除生产汽油、煤油、柴油和润滑油等四大类油品外，还生产沥青、溶剂油、石油化工原料、石油蜡、液化石油气等几十类产品。

石化生产中使用的原材料（含半成品、成品）大多为挥发性有机物，易燃易爆，石油化工行业在挥发性有机物排放中的比例是比较高的。石化生产具有高温、高压、深冷的特点，要求石化生产密闭化、连续化，自动化程度高。石化生产设备类型繁多，有贮罐、计量槽、气瓶及精馏、吸收、萃取塔和反应釜（塔、器）、裂解炉等静态设备，也有压缩机、风机、输送液体的泵等动态设备，管道纵横交错，加之介质具有腐蚀性，若设备老化、长久失修，则极易发生跑、冒、滴、漏。因此，应定期对生产装置、设备进行检查维修，改善工艺装置和生产操作条件，减少有机物的暴露，减少溶剂的跑冒滴漏现象，降低有机物的无组织逸散。

4.2 储运销过程

储存过程排放：炼油厂、大型化工厂的罐区和生产装置中间罐的大、小呼吸过程中，有浓度高、小风量的 VOCs 排放。大呼吸时的最高浓度可达环境温度下饱和蒸气压的对应浓度，排气量一般小于 100m³/h。中国各油井、中转站、炼油厂的原油和汽油储存器基本上实现了浮顶罐，由于柴油的挥发性较原油和汽油低很多，其储存容器仍为固定顶罐。浮顶罐可比固定顶罐减少损耗

80%以上，其中内浮顶罐可比固定罐减少 85%~96%的损耗。

装车船过程排放：炼油厂和大型化工厂的原油和成品油的铁路装车和汽车装车过程，基本采用小鹤管液下装车，排气量小但浓度高。最高浓度可达环境温度下饱和蒸气压的对应浓度，一般气体量小于 $500\text{m}^3/\text{h}$ 。运输方式包括公路、铁路、轮船和管道运输。从开采到炼厂为管道输出，然后50%通过装船运输，50%通过铁路运输。从炼厂到油库一般为铁路和油轮，从油库到加油站主要为公路运输。其中装/卸船采用了平衡装船，带回气系统，因此排放较小，原油损耗为0.01%（装车），0.003%（卸车），汽油损耗为0.022%（装车），0.003%（卸车），铁道部为了安全起见，油轮运输一般要求上装上卸。装车为装船的排放损耗的2~5倍。装车方式主要分为顶部装油和底部装油。顶部装油的气液比（v/v）为1:1.1~1.4，油气产生量大、浓度高。底部装油的气液比（v/v）基本上为1:1，油气产生量少、浓度也较低。顶部装油的优点是不易发生漏油现象，缺点是油气产生量大；底部装油的优点是所需设备较顶部装油简单，将活动装臂或软管从地面和油槽车下部配接即可，产生的油气量少，目前国内已有使用。

加油过程排放：加油站向车用油箱付油时，先通过泵将埋地罐中的汽油送至加油机计量系统进行计量，再通过加油枪送入车用油箱中。若不进行油气回收，加油时产生的油气在车用油箱的加油口处排放。向车用油箱付油时，应使用可收集油气的加油枪，收集的油气可通过同步运行的真空辅助泵返回到地下罐。由于气液比一般在1:1~1:1.1之间，真空辅助平衡油气回收法回收的油气量约为产生量的90%，尚有10%的油气通过加油站的平衡呼吸阀排放。

4.3 含 VOCs 产品的生产

4.3.1 涂料行业

2011 年中国涂料总产量 1079.5 万吨，同比增长 16.44%。从各省市的产量来看，广东省涂料的产量达 246 万吨，同比增长 11.26%，占全国总产量的 22.79%。紧随其后的是上海、江苏和山东，分别占总产量的 13.57%、10.26%和 9.01%。

涂料按形态分为固态涂料（即粉末涂料）和液态涂料（溶剂型涂料、水溶性涂料、水乳型涂料）。粉末涂料按照成膜物质的性质分为两大类：热塑性和热固性粉末涂料。热塑性粉末涂料包括聚氯乙烯、聚乙烯、尼龙、氟树脂、氯化聚醚、乳胶等粉末涂料；热固性粉末涂料包括环氧、聚酯、丙烯酸酯等粉末涂料。粉末涂料不含溶剂，使用过程中基本不会释放出 VOCs，是环保涂料的重要的发展方向之一。液态涂料应用最广泛，其中溶剂型涂料溶剂含量可以超过 75%，水性涂料主要含丙烯酸酯和聚氨酯成分，不含或较少含机溶剂成为目前环保涂料的重要发展方向之一。

2011 年工信部针对涂料行业提出了清洁生产技术推行方案（见工信部节[2011]381 号），该方案的总体目标：（1）重点示范和推广以水性木器涂料、水性桥梁涂料、水性汽车涂料、水性集装箱涂料、光固化涂料为代表的环境友好型涂料生产技术，以及以自动化安全环保和节能减排为目标的溶剂型涂料全密闭式一体化生产工艺技术与涂料用氨基树脂清洁生产技术。预计到 2013 年，

水性木器涂料在木器涂料中所占比重达到 15%，溶剂型涂料全密闭式一体化生产工艺技术在溶剂型涂料生产中的普及率将达到 10%，水性桥梁涂料在桥梁涂料中所占比重达到 10%，水性汽车涂料在汽车涂料中所占比重达到 75%，水性集装箱涂料在集装箱涂料中所占比重达到 5%，涂料用氨基树脂清洁化生产普及率达到 60%，光固化涂料在涂料市场的占有率可达到 1.5%。（2）通过以上环境友好型涂料生产技术和清洁生产技术的示范和推广，预计到 2013 年，可减少有机溶剂使用量 14 万吨/年，削减化学需氧量产生量 2.7 万吨/年。目前推行方案中提出的具备应用可行性的清洁生产技术见表 13。

表 13 可行的清洁生产应用技术概述

技术名称		适用范围	技术主要内容	解决的主要问题
溶剂型涂料全密闭式一体化生产工艺		适用于所有溶剂型涂料厂家	全密闭式一体化生产工艺采用密闭的拌和、密闭的管道、密闭的研磨、密闭的调漆、密闭的包装设备和工艺等。	解决粉料管道输送和计量问题，该工艺可减少排放粉尘和挥发溶剂 2%~3%。
水性防腐涂料清洁生产技	水性桥梁涂料清洁生产技术	适用于桥梁涂料厂家	采用耐候性等性能优异的水性树脂代替溶剂型树脂，用水代替有机溶剂。	减少生产、运输及使用后对环境的危害，节约大量石油资源，减少有机溶剂使用量 70%~80%。
	水性汽车涂料清洁生产技术	适用于汽车涂料厂家	采用优异的水性树脂代替溶剂型树脂，电泳底漆、中涂漆和面漆水性化，用水代替有机溶剂。	减少生产、运输及使用后对环境的危害，节约大量石油资源，减少有机溶剂使用量 60%~70%。
	水性集装箱涂料清洁生产技术	适用于集装箱涂料厂家	采用耐磨性、耐溶剂性等性能优异的水性树脂代替溶剂型树脂，用水代替有机溶剂。	减少生产、运输及使用后对环境的危害，节约大量石油资源，减少有机溶剂使用量 70%~80%。
光固化涂料清洁生产技术		适用于所有光固化涂料厂家	光固化涂料以紫外光固化技术为基础，实现快干、环保和节能，原料主要由光敏型涂料、光引发剂和活性稀释剂组成。	产品 100%固含量，无 VOCs 排放，节约资源。

4.3.2 油墨行业：

随着中国近十年包装行业的迅猛发展，中国的油墨产业得到了较大的拓展。十年前各印刷厂主要以胶印油墨为主，而现在已形成了溶剂油墨，水性油墨，UV 油墨，丝印油墨，胶印油墨并存的格局。尤其是近几年中国包装业在追求印刷精美的同时，还突出了环保的概念，因此相对环保的水性油墨与 UV 油墨系列，得到了前所未有的提升。

从中国油墨发展的现状看，溶剂油墨的使用量正在逐步减少，胶印油墨产量基本上保持稳定，UV 系列产品和水性油墨则呈上升趋势，而上升最为明显的则是 UV 油墨系列。这主要体现在 UV 油墨印刷档次较高，且对设备的选择余地较大；而水性油墨只能在柔版或凹版上印刷，且水性产

品需进口高档设备才能印出精细效果，目前水性油墨的市场还基本停留在中低档纸箱上面。

从油墨未来的发展方向来看，溶剂油墨正在向醇溶性及低溶剂过渡；UV 油墨目前正在致力于 UV 双重固化的研发；胶印油墨的发展仍是以无水胶印为发展方向；水性油墨目前已开始向塑料等食品行业倾斜。今后油墨的发展目标是积极开发各种环保水性和 UV 油墨。

4.3.3 胶粘剂行业

到 2011 年中国已跨入了世界胶粘剂生产和消费大国，产量及销售额高速增长，30 年来平均增长率达 19.8%，远高于我国 GDP 的增长。2009 年，我国胶粘剂和密封剂（不含脲醛胶、酚醛胶和三聚氰胺甲醛胶）的总产量达到 376.3 万吨，其中水基型 241.8 万吨，溶剂型 35.6 万吨，热熔型 29.3 万吨，反应型 48.5 万吨，其他类型 21 万吨。2010 年胶粘剂产量增至 500 万吨。根据中国胶粘剂工业协会预测，2011~2015 年胶粘剂密封剂产量平均增长速度为 10%，到 2015 年胶粘剂密封剂产量将达到 717 万吨，销售额达到 1,038 亿元左右。

胶粘剂的种类繁多，可以分为环氧树脂胶粘剂、酚醛树脂胶粘剂、脲醛树脂胶粘剂、聚氨酯胶粘剂、 α -氰基丙烯酸酯胶粘剂、厌氧胶粘剂、改性丙烯酸酯快固结构胶粘剂、不饱和聚酯胶粘剂、氯丁橡胶胶粘剂、4115 建筑胶、107 胶、溶剂型压敏胶、溶剂型纸塑复合胶、PVC 塑溶胶等。不同胶粘剂中存在的挥发性有机化合物差异很大，如溶剂型胶粘剂中的有机溶剂；三醛胶（酚醛、脲醛、三聚氰胺甲醛）中的游离甲醛；不饱和聚酯胶粘剂中的苯乙烯；丙烯酸酯乳液胶粘剂中的未反应单体；改性丙烯酸酯快固结构胶粘剂中的甲基丙烯酸甲酯；聚氨酯胶粘剂中的多异氰酸酯；4115 建筑胶中的甲醇等。胶粘剂中的挥发性有机物主要是苯、甲苯、甲醛、甲醇、苯乙烯、三氯甲烷、四氯化碳、1, 2-二氯乙烷、甲苯二异氰酸酯、间苯二胺、磷酸三甲酚酯、乙二胺、二甲基苯胺等。

4.4 含 VOCs 产品使用过程的清洁生产工艺

4.4.1 涂装行业

（1）汽车涂装

近几年，我国新建的大型汽车涂装线大都已经考虑了使用环保型涂料的可能性。汽车行业中采用水性漆、固体粉状漆代替部分溶剂型漆，选用更环保的溶剂型漆等。在欧洲，从 20 世纪 90 年代开始新建的涂装生产线上均已采用水性涂料，涂装 VOCs 排放量已低于法规要求（ $<35\text{g/m}^2$ ）。在欧美及日本大部分汽车厂底漆已全部采用了低 VOCs 挥发量（0.4%~0.8%）型阴极电泳底漆或粉末涂料，我国部分汽车厂也已经开始应用。中涂采用水性涂料或高固体份材料，面漆采用水性底色加高固体份清漆，粉末清漆也已经用于轿车车身涂装，欧美的环保型涂料及涂装技术已经十分成熟，车身涂装用环保型中涂及面漆在我国尚未普及应用。

随着涂装材料的进步，车身喷涂工艺也有了革命性的进展，在满足环保法规的同时，也提高了生产效率，降低了涂装成本。主要的清洁喷涂工艺包括：

①逆过程工艺：根据粉末涂料一次成膜厚的特点，在车身外表面先喷涂粉末涂料，热熔融后，

再进行电泳涂装，随后粉末、电泳涂膜一起烘干。其优点是约可减少 60% 的电泳涂料用量，用粉末涂层替代车身外表面的电泳底漆和中涂层，取消中涂及烘干工序。②二次电泳工艺：采用两层电泳材料，用第二层电泳替代中涂，电泳工艺自动化施工稳定可靠且一次合格率高，材料利用率高，设备投资少，不需空调系统，减少传统中涂的漆渣。③一体化涂装工艺：采用与面漆同色的功能层替代中涂，功能层与面漆底色间不需烘干、取消中涂线。④敷膜技术替代涂装：将预制好的复合涂膜在塑料件浇注成型的同时完成成型并与塑料件熔为一体，得到无缺陷涂装覆盖件。车身骨架采用传统冲压焊装工艺制造，涂装车间只对车身骨架进行涂装，工艺为前处理、阴极电泳、密封、面漆，面漆采用粉末喷涂技术，车身涂装的 VOCs 排放达到 $7\text{g}/\text{m}^2$ 左右，远低于欧洲排放法规要求。⑤“零排放”油漆车间：“零排放”是在满足苛刻的环保要求和用户质量要求的前提下，尽量减少三废处理成本、油漆车间操作成本和简化油漆工艺。车身钢板的防腐底漆保护层在制成零件前的涂覆可在钢厂进行。进入油漆车间的车身不需再涂底漆，只喷涂一道粉末底色和一道粉末罩光。目前除车身制造技术未成熟外，其他技术都已过关。

（2）其他工业涂装

造船、桥梁、集装箱、家具等行业的喷涂用涂料因其应用方向不同，涂料中含的 VOCs 成分各异。使用符合环境标志产品技术要求的水性涂料，是涂装行业降低 VOCs 排放的根本性方向。此外，涂装工艺的改进也可以减少 VOCs 的排放。采用的涂装工艺类型众多，既有涂装效率较高的静电喷涂、淋涂、辊涂、浸涂，也有涂装效率较低的空气喷涂、滚刷涂和手工涂装。其中采用普通空气喷涂和手工涂装的数量最多。鼓励采用涂装效率较高的涂装工艺进行密闭涂装。

4.4.2 包装印刷行业

包装印刷行业包括了包装材料的制造（复合）和各类印刷过程（印纸、印塑、印铁等），印刷工艺包括凸版印刷、平板印刷、凹版印刷、柔版印刷、孔印刷（丝网印刷）等。其中，VOCs 排放最多的主要是干复工艺、凹印工艺及印制铁罐领域。

软包装的复合工艺目前国内还是以干复工艺为主，在国外无溶剂复合工艺达 60%，已经成为主流工艺，而国内无溶剂复合工艺不到 5%，如果达到国外水平，VOCs 的减排量可以达到 25 万吨左右。

凹版印刷工艺 VOCs 的排放量所占比例最大。凹印油墨要保持较好的印刷性，必须加入较大比例（通常为 30%~70%）的有机溶剂，主要是甲苯、醋酸乙酯、丁酮、异丙醇等。目前的清洁生产工艺主要为醇性（无苯、无酮）油墨和水性油墨的使用。在印刷工艺上推荐通过采用环保型油墨的印刷工艺代替污染严重的印刷工艺，如采用醇溶性油墨的柔版印刷代替传统的凹版印刷工艺，会大大降低 VOCs 的排放。

印铁产品主要应用在三片罐（罐头食品、奶粉罐、化工杂罐、气雾罐）和金属盖（皇冠盖、铝防盗盖、易开盖、旋开盖）。传统印铁涂料固体份为 40%~60%，而 UV 涂料固体份为 $97.5\%\pm 2.5\%$ ，远高于传统印铁涂料，降低了 VOCs 的产生水平，应该在实际生产中大力推广使用。

5 典型行业排污与适用的末端治理技术

5.1 油气回收

石油化工行业的 VOCs 排放主要集中在过程的跑冒滴漏、过程中间储罐排放、装车船过程排放、加油过程排放等，首先考虑通过对设备升级改造、对 VOCs 排量大的汽油储罐通过采用浮顶罐代替固定顶罐、密闭装车、加油枪带回气系统等方式外，还需对油气进行回收。

通用的油气治理方法很多，主要包括吸收、蓄热氧化、吸附、冷凝和膜分离方法。耦合的油气回收技术，大体包括吸附—吸收法、冷凝—吸附法、吸收—膜分离法、冷凝—膜分离法、冷凝—膜分离法—吸附法等技术。

需要鼓励研发的设备与技术包括，适用于高浓度小气量气体的技术设备：沸点小于 80℃ 的低沸物，采用深冷的冷凝—吸附技术；对于沸点在 80℃ 以上的相对高沸物，采用浅冷的冷凝—吸附技术。适于低浓度大气量气体的技术设备：主要针对化工厂生产过程排放的工艺废气，采用吸附—不同冷凝温度的回收处理技术，包括废气中含有粉尘等的前处理技术。适于槽车清洗过程的技术设备：高压水清洗过程产生废气和高压蒸汽或蒸汽射流过程产生含有水汽废气处理技术。

5.2 包装印刷

5.2.1 产污环节与现状

包装印刷过程中 VOCs 的产生情况如表 14 所示，其中 VOCs 排放量大且需要末端治理措施的为复合膜干复工艺和凹印工艺。

表 14 包装印刷过程中 VOCs 排放特性

印刷方式	印刷油墨	VOCs 排放物质
干复		高浓度乙酸乙酯
平版印刷	轮转胶印油墨	高沸点石油类溶剂
	平张纸胶印油墨	几乎不排出
凹版印刷	出版凹印油墨	以甲苯为主体
	特殊凹印油墨	低沸点有机溶剂（甲苯、醋酸乙烯、MEK、IPA 等）
柔版印刷	水性柔印油墨	几乎不排出
	溶剂型柔印油墨	低沸点有机溶剂（醋酸乙烯、IPA 等）
孔版印刷（丝网印）	溶剂型丝印油墨	高沸点有机溶剂
	RC 型（UV/EB）丝印油墨	不排出
其他（封帖印刷、制版、装订、上光等工艺）		几乎不排出

5.2.2 末端治理技术

在复合膜的干复工艺中，一般一条生产线的废气排放量约为 10000m³/h，溶剂量使用量约为

500~600kg/天，排气中有机物浓度约为 2000~2400mg/m³，采用活性炭纤维吸附回收装置对废气中的乙酸乙酯进行回收。按回收效率 80%计算，一条生产线一天可以回收乙酸乙酯 400~500kg，一年可以回收乙酸乙酯 144~180 吨（按 360 天计）。

对于印刷废气，国内多采用颗粒活性炭吸附回收和蜂窝活性炭吸附浓缩-催化燃烧技术进行治理。采用颗粒活性炭吸附回收，回收的混合物中含有醇类等水溶性有机化合物，需要进行精馏提纯，废气的治理成本较高，这成为制约印刷废气吸附回收的瓶颈。在印刷企业相对集中的地区建立统一的溶剂回收中心，对回收的溶剂集中处理，可以大大降低治理的费用。蜂窝活性炭吸附浓缩-催化燃烧技术设备运行费用较高，大量的有机溶剂被焚烧，另外由于大量酮类混合物的存在，活性炭床层在采用热风再生时存在安全隐患，目前在印刷行业中所建的蜂窝活性炭吸附浓缩-催化燃烧治理装置实际上运行率较低。

5.3 汽车制造

5.3.1 产污环节与现状

汽车制造过程中最大的产 VOC 环节是涂装工艺。汽车车身涂层工艺主要包括底漆、中涂和面漆以及最后的烘干工艺，工艺流程见图 11。有机气态污染物主要产生于电泳底漆、中涂和面漆的喷涂及烘干过程和塑料件加工的涂漆工序。在中涂和面漆喷漆过程中，大约 80%~90%的 VOCs 是在喷漆室和流平室排放，10%~20%的 VOCs 随车身涂膜在烘干室中排放。废气成分按排放量大小依次为苯类、醇类、脂类和酮类。由于所使用油漆的种类不同，不同车辆和不同厂家生产工艺也有区别，所产生的废气中 VOCs 的成分也有所差别。

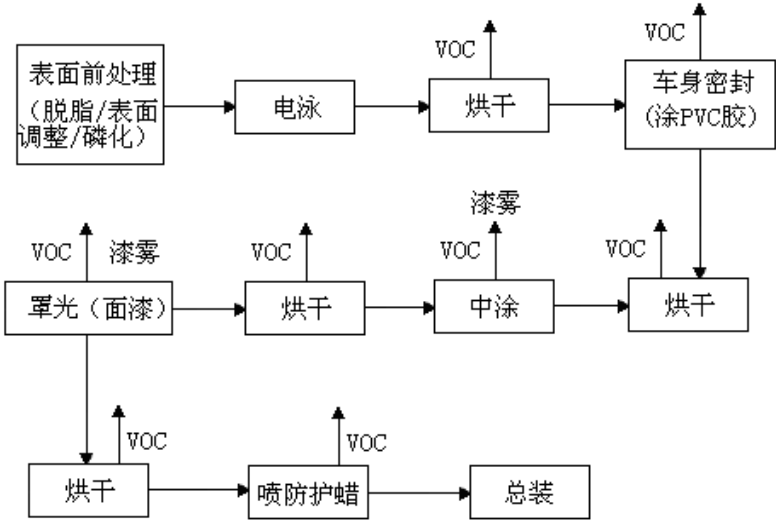


图 11 汽车制造涂装主要工艺流程

汽车喷涂工艺废气排放特征：①排风量大。通常都在几十万到上百万 m³/h 之间，可分为多个排放口排放。②废气浓度低。有机物浓度一般在 100~200mg/m³ 之间，但总的排放量大。按照

100 万 m^3/h 、150 mg/m^3 计算，每小时的排放量可达 150Kg/h 或 3.6 吨/天。③含有漆雾。喷涂工艺废气中漆雾含量一般在几百毫克每立方米，通常采用水幕过滤去除漆雾（产生大量的含有有机物的漆渣），但去除效率不高。在进行吸附治理之前，通常需要进一步的机械过滤处理。④温度为常温。⑤湿度大。经过水幕过滤以后所排出的废气中会夹杂部分水雾，相对湿度提高，不利于下一步的吸附净化。

5.3.2 末端治理技术

末端治理工艺路线为水幕过滤后进行除湿，再经过吸附浓缩-催化燃烧处理。

水幕过滤：喷漆房的水幕过滤技术成熟，已有相关设计规范。水幕过滤所产生的漆渣由于含有大量的有机物，需要定期清理后作为固体废弃物进行专门处理。

过滤除湿：一般采用粗滤器和中效滤器两步进行过滤，可以采用两个滤器，也可以两步合为一个滤器。粗滤器采用纤维毡过滤材料，中效滤器采用袋式过滤。如果前段的水幕过滤效果较差，有时在粗滤器之前加装一个金属丝网过滤器，进一步去除漆雾。经过后端的中效滤器过滤后废气中的颗粒物含量降低到 $0.1\text{mg}/\text{m}^3$ 以下。对于喷涂废气，无论采用何种技术进行治理，关键在于漆雾的过滤效果。

吸附浓缩-催化燃烧技术：对于汽车喷涂废气，由于低浓度、大风量的特点，同时不含引起催化剂中毒的物质，最为常用和有效的方法是采用吸附浓缩+催化燃烧治理技术。根据吸附材料和吸附方式的不同，可以分为沸石转轮（或转筒）吸附浓缩+蓄热催化燃烧（RCO）技术和蜂窝状活性炭固定床吸附浓缩+催化燃烧技术两种方式。国外多采用沸石转轮（或转筒）吸附浓缩+蓄热催化燃烧（RCO）技术，净化效率高（90%以上），运行稳定，安全性好，但设备费用较高。国内多采用蜂窝状活性炭固定床吸附浓缩+催化燃烧技术，净化效率高（90%以上），投资费用较低，但安全性较差，在活性炭再生过程中存在着火等隐患，需要对再生过程严格控制。

5.4 光电产品制造

5.4.1 产污环节与现状

在光电产品制造行业中，产生废气污染的主要有五类产品的生产过程：半导体集成电路、TFT-LCD、LED、印制电路板（PCB）、电子终端产品。

（1）半导体集成电路

半导体制造工艺中 VOCs 主要来源于光刻、显影工序，在这些工序中要用有机溶液（如异丙醇）对晶片表面进行清洗，其挥发产生的废气是有机废气的来源之一。同时，在光刻过程中使用的光阻剂（光刻胶）中含有易挥发的有机溶剂，如乙酸丁酯等，在晶片处理过程中产生的有机废气也要挥发到大气中，是 VOCs 产生的又一来源。

（2）TFT-LCD

包括检查和测试在内，TFT-LCD 的制造生产工艺可达到 100 多道工序，生产过程中使用多

种化学有机溶剂和特殊气体，产生的 VOCs 量大，组分复杂。TFT 液晶面板生产排放 VOCs 污染物的工序主要集中在阵列工程和彩膜工程两大部分。阵列工程中的光刻（涂胶、曝光和显影），以及彩膜工程中的黑色矩阵 BM 膜制造、彩色矩阵膜形成（红、绿、蓝，RGB）、保护膜生成、MVA 膜、PS（PHoto Spacer）膜生成是产生 VOCs 的主要工艺。同时，在成盒工程中清洗工序使用的有机溶剂挥发也会产生少量的 VOCs。TFT-LCD 的制造过程中产生的 VOCs 主要是以异丙醇为主，其次依序是丙酮、单甲基醚丙二醇、单甲基醚丙二醇乙酸酯，这四种成分占了全部 VOCs 量的 90%以上。

（3）LED

LED 电子组件生产产生的 VOCs 污染物主要来源于基片处理和光刻，LED 生产过程中产生 VOCs 的种类主要有三氯乙烯、丙二醇醚酯、异丙醇、丙酮、丁酮等，具体见表 15。

表 15 LED 生产中废气污染源与主要污染物分析表

产生的工序	污染源	主要污染物
基片处理	有机废气 酸性废气	三氯乙烯、硫酸、硝酸、氢氟酸等
光刻	有机废气	乙醇、丙酮、异丙醇、单甲基醚丙二醇、丙二醇甲醚乙酸酯、四甲基氢氧化铵等

（4）印制电路板（PCB）

在单面、双面和多面印制电路板制作工艺中，产生的 VOCs 工艺环节相对较集中，主要来源于贴膜、烘干、沉铜、印刷等工序，VOCs 排放种类主要有甲醛、醇类（乙醇、异丙醇、丁醇、丙醇）、酮类（丁酮）、酯类（乙酸乙酯、乙酸丁酯）、甲苯、二甲苯等。同时，在有机溶剂的贮存过程中也会有部分 VOCs 产生和排放。

（5）电子终端产品

在电子终端产品制造中，VOCs 的主要来源包括电路板清洗剂有机废气（使用有机溶剂型清洗剂）、电路板三防喷漆废气、机壳（机箱）喷漆废气、机壳注塑废气。这些废气均来自工位上的局部排风系统，特点是排风量大、浓度低。

电子终端产品制造业可能产生的污染源、产生污染物的工序和主要污染物分析见表 16。

表 16 电子终端产品生产中废气污染源与主要污染物分析表

产生的工序	污染源	主要污染物
电路板清洗机	有机废气	三氯乙烯、二氯甲烷、丙酮、乙醇、异丙醇等
喷漆室、烘干室	喷漆废气	漆雾、二甲苯、甲苯、苯、环己酮、甲基戊酮、二甲基戊酮、乙酸丁酯等
注塑机	注塑废气	ABS 塑料、聚乙烯、聚苯乙烯、尼龙等，以颗粒物形式排放几乎全部回收，不产生 VOCs

固化室	喷塑废气	环氧树脂、聚氨酯树脂类、胺类等，产生 VOCs 极少
-----	------	----------------------------

5.4.2 末端治理技术

(1) 半导体集成电路、TFT-LCD 和 LED 废气治理技术

半导体集成电路、TFT-LCD 和 LED 三类产品的生产中所产生的废气的情况大致相同，除了 VOCs 以外，还含有酸性气体、碱性气体和一些有毒气体，风量大、浓度低。一般采用水吸收+沸石转轮吸附浓缩-高温焚烧的组合技术进行治理。

第一步通过水吸收（吸收塔）可以去除废气中的酸性气体、碱性气体和有毒气体。在有些情况下，酸性气体、碱性气体和有毒气体集中单独排放，不含有机物或有机物的浓度很低，只通过水吸收工艺即可，无需加装吸附设备。如 TFT-LCD 的刻蚀工艺废气治理。

第二步沸石转轮（转筒）吸附浓缩+高温焚烧，对去除了酸性气体、碱性气体和有毒气体的低浓度有机废气通过沸石转轮（转筒）吸附浓缩后进行高温焚烧净化。该技术目前在国外已经被普遍采用，特别是在台湾地区大量的液晶显示器（TFT-LCD）的生产企业中均采用的是该技术。该技术净化效率高（可达 95%以上）、运行稳定、安全性好，目前在电子生产行业废气治理中尚无更好的技术能够取代。

(2) 印制电路板废气治理技术

印制电路板（PCB）生产过程中所产生的废气除 VOCs 外，还包括酸性和碱性无机气体、挥发性有机物（VOCs）和粉尘废气。由于生产工艺复杂，使用原辅材料繁多，排放的 VOCs 种类多而复杂，不同的厂家也有所差别，但总体来看产生的废气浓度均较低，国外一般采用水吸收+沸石转轮吸附浓缩+高温焚烧的组合技术进行治理，但需要增加高效的粉尘过滤装置，一般采用袋式过滤装置。

国内企业目前大多数均采用填充塔以清水洗涤处理，吸收液进入企业生产废水处理系统。主要设备为洗涤塔。由于采用清水洗涤 VOCs 去除效率较低，仅为 30%~40%，一般情况下 VOCs 难以达标排放，在吸收液中加入一定量的乳化添加剂后可使吸收效率提高至 85%以上，对于吸收了有机物的吸收液进入企业的废水处理系统处理至达标排放，实际上是将气相污染转移到水相污染后再进行治理。该技术近期已经开始在电子工业应用，和沸石转轮吸附浓缩+高温焚烧技术相比，该技术投资费用低（处理气量 10 万 m³ 的设备投资约为 300 万元），运行费用相当，虽然净化效率低一些，但由于废气中有机物的浓度本身较低，亦可以达到排放要求。

(3) 电子终端产品废气治理技术

电子终端产品生产废气中 VOCs 的治理主要是对电路板清洗工艺废气和产品喷涂工艺废气的治理。

① 电路板清洗工艺废气治理技术

电路板清洗工艺废气中主要含三氯乙烯、二氯甲烷、丙酮、乙醇、异丙醇等成分，一般浓度较高，由于含有三氯乙烯、二氯甲烷等含氯化合物，不宜进行焚烧处理。目前一般采用活性炭纤维吸附回收装置或颗粒活性炭吸附回收装置进行治理。

②喷涂工艺废气治理技术

电子终端产品的喷涂多数使用 UV 漆。UV 漆的成分复杂，通常含有二三十种有机化合物，且含有一些高沸点的化合物。废气的风量大（一个生产车间的排风量一般 10 万 m^3/h 以上）、浓度低（一般低于 $350\text{mg}/\text{m}^3$ ），成分极其复杂，不能进行回收利用，目前国内外一般采用吸附浓缩+燃烧技术进行治理。

5.5 家具制造

5.5.1 产污环节与现状

家具制造业生产的产品种类繁多，生产工艺也不尽相同。其中以木制家具、金属家具和软体家具的产量最大（占家具总产量的 95%左右）。涂装工艺是家具制造中产生 VOCs 的主要工序，包括干燥过程。木质家具涂装技术包括喷涂、刷涂、辊涂、淋涂及浸涂等；金属家具常见涂装工艺有刷涂、喷涂。软体家具制造过程中排放的 VOCs 主要来源于胶粘剂的使用，VOCs 产生量较少。

VOCs 排放与使用的涂料类型有关，涂装相同面积时，使用油性涂料产生的 VOCs 最多，水性涂料次之，粉末涂料最少。此外，VOCs 排放还与涂装技术有关。涂装相同面积时，空气喷涂技术产生的 VOCs 最多，静电喷涂和刷涂等工艺产生的 VOCs 较少。多数家具制造企业采用的涂装工艺仍是较为落后的空气喷涂、滚刷涂和手工涂装，采用涂装效率较高的静电喷涂、淋涂、辊涂、浸涂的企业相对较少，采用粉末涂装工艺的企业数量有限。

目前，我国木器家具制造中油性涂料占涂料总量的 90%左右，其它种类的涂料所占比重约为 10%。油性涂料一般包括三个组分：油漆、固化剂和稀释剂。其中，涂料中有机溶剂和稀释剂是涂装工艺中 VOCs 的主要贡献者，家具制造工业排放的 VOCs 绝大部分也来自涂料中有机溶剂和稀释剂的挥发。

不同种类的涂料在使用过程中所排放的 VOCs 种类和含量不同。一般家具生产的喷涂过程和汽车生产类似，由于车间需要强排风，所产生的废气风量大、浓度低，一般低于 $200\text{mg}/\text{m}^3$ ，但对于一些大型的自动喷涂线，由于喷涂的强度大，排放浓度也可以达到 $200\text{mg}/\text{m}^3$ 以上。木制家具的烘干和金属家具的烤漆工艺产生部分高温废气，浓度也相对较高。

5.5.2 末端治理技术

目前在我国家具行业的 VOCs 废气治理工作基本还局限于漆雾的治理，只有少数企业对去除漆雾以后的废气中的 VOCs 进行了吸附治理。

对于家具喷涂工艺产生的漆雾颗粒物和木质粉尘主要是采用水帘柜过滤进行治理，其中 VOC 总去除效率仅为 10%~15%。在水帘柜之后采用水吸收塔，加入部分絮凝剂后可进一步提高漆雾净化效率，同时可以去除部分 VOCs，但 VOCs 的净化效率不超过 30%。吸收塔产生的废液进入企业的废水处理系统处理。

对 VOCs 采用活性炭吸附回收装置，利用水蒸气对活性炭再生，以回收废气中的有机溶剂；

或采用活性炭吸附浓缩-催化燃烧治理装置，利用热风对活性炭进行再生。在目前家具行业的一些治理案例中，活性炭吸附装置的运行情况很差，运行率很低，主要原因是漆雾预处理不彻底，从而造成活性炭吸附器失效。

低温等离子体技术治理家具行业的喷涂废气，设备简单，管理方便，投资和运行费用都较低，虽然净化效率不高，但经过多级净化后也可以达标排放。

5.6 装备涂装

除汽车制造业和家具制造业外，金属制品业、通用设备制造业、专用设备制造业、电气机械及器材制造业、通信设备、计算机及其电子设备制造业等装备制造业企业在生产过程中，部分企业也存在表面涂装工序，从而造成 VOCs 的排放。装备制造业企业采用的涂装工艺类型众多，既有涂装效率较高的静电喷涂、淋涂、辊涂、浸涂，也有涂装效率较低的空气喷涂、滚刷涂和手工涂装。其中采用普通空气喷涂和手工涂装的数量最多。

5.6.1 产污环节与现状

装备制造业表面涂装工序所使用的涂料是由成膜物质(树脂或纤维素)、颜料、有机溶剂以及各类添加剂所组成，加上涂装前的清洗脱脂、稀释剂的调配、涂装后设备的清洁、换色清洗等步骤等都需要使用有机溶剂，因此在涂装的过程中各个环节都会存在有机溶剂挥发逸散，形成 VOCs 排放。大多数装备制造业采用溶剂型涂料进行涂装作业，而涂布技术包括各种型式，如淋涂、浸涂、喷涂、静电喷涂等，不同的涂布技术将依其涂料特性、溶剂含量、涂装效率等因素，产生不同程度 VOCs 排放，典型装备制造业 VOCs 排放环节及主要 VOCs 组分见表 17。

表 17 典型装备制造业 VOCs 排放环节及主要 VOCs 组分

典型行业	主要涂装工艺	表面预处理	涂装	干燥	排放的主要VOCs组分
汽车零部件	空气喷涂	◎	●	●	甲苯、二甲苯、丁酮、甲乙酮
家电	静电、粉末	◇	◎	◎	甲苯、二甲苯、乙醇、丁醇、丙酮、三氯乙烷、甲乙酮
金属制品	喷涂、辊涂、粉末	○	◎	●	甲苯、二甲苯、丙醇、丁醇、甲基异丁酮
机械制造	空气喷涂、静电	◇	◎	●	甲苯、二甲苯、甲乙酮、丁醇、乙酸、乙酸乙酯、乙酸丁酯
乐器	空气喷涂、手工	◇	●	●	甲苯、苯、甲乙酮、丁醇、丙酮、乙酸乙酯、乙酸丁酯、乙醇
手机外壳	空气喷涂	○	●	●	甲苯、二甲苯、异丙醇、丁醇、甲基异丁酮

注：◇无○可能有 ◎有 ●严重

5.6.2 末端治理技术

我国是制造业大国，喷涂废气对目前我国工业 VOCs 排放贡献最大。由于喷涂工艺废气中伴随产生大量的漆雾，而且漆的种类多，成分复杂，因此治理难度大，治理成本高，治理效果差，是目前我国工业 VOCs 排放治理的一个难题。具体治理工艺应根据不同行业所产生的喷涂废气特征来选择，一般包括以下几种组合治理工艺：

（1）水帘除雾+水吸收塔吸收+吸附浓缩-焚烧治理技术；其中吸附浓缩包括蜂窝活性炭和沸石转轮吸附浓缩装置，焚烧技术包括催化燃烧和高温焚烧装置。

（2）水帘除雾+多级过滤+颗粒活性炭吸附回收技术。

（3）水帘除雾+水吸收塔吸收+低温等离子体净化技术。

6 本技术政策的制定原则、依据和技术路线

6.1 制定原则

本技术政策制定的原则是：坚持“预防为主、防治结合、过程控制、末端治理和综合利用”的技术原则，注重技术的科学性和实用性，重点突出 VOCs 污染防治技术政策对各行业的分类指导作用，并具有一定的前瞻性，满足相关环保标准和环保管理工作要求。

6.2 编制依据

（1）国家现有的环境保护法律、法规文件，废气综合排放标准、各省市的地方排放标准和各行业标准等，如下：

- ①《中华人民共和国环境保护法》；
- ②《中华人民共和国大气污染防治法》；
- ③《中华人民共和国水污染防治法》；
- ④《中华人民共和国清洁生产促进法》；
- ⑤《中华人民共和国循环经济促进法》；
- ⑥《清洁生产标准》系列标准；
- ⑦《环境保护标志产品技术要求》系列标准；
- ⑧《大气污染物综合排放标准》等国家和地方系列综合标准和行业标准；
- ⑨《污染防治技术政策》系列政策；
- ⑩ 相关产业政策、行业发展规划等。

（2）有机废气的排放和污染现状，各行业的排放特点及其污染治理情况；

（3）各类生产、使用 VOCs 过程的工艺发展水平；

（4）各类治理技术的发展水平、成熟程度、应用范围和覆盖度；

6.3 技术路线

本技术政策研究路线见图 12。

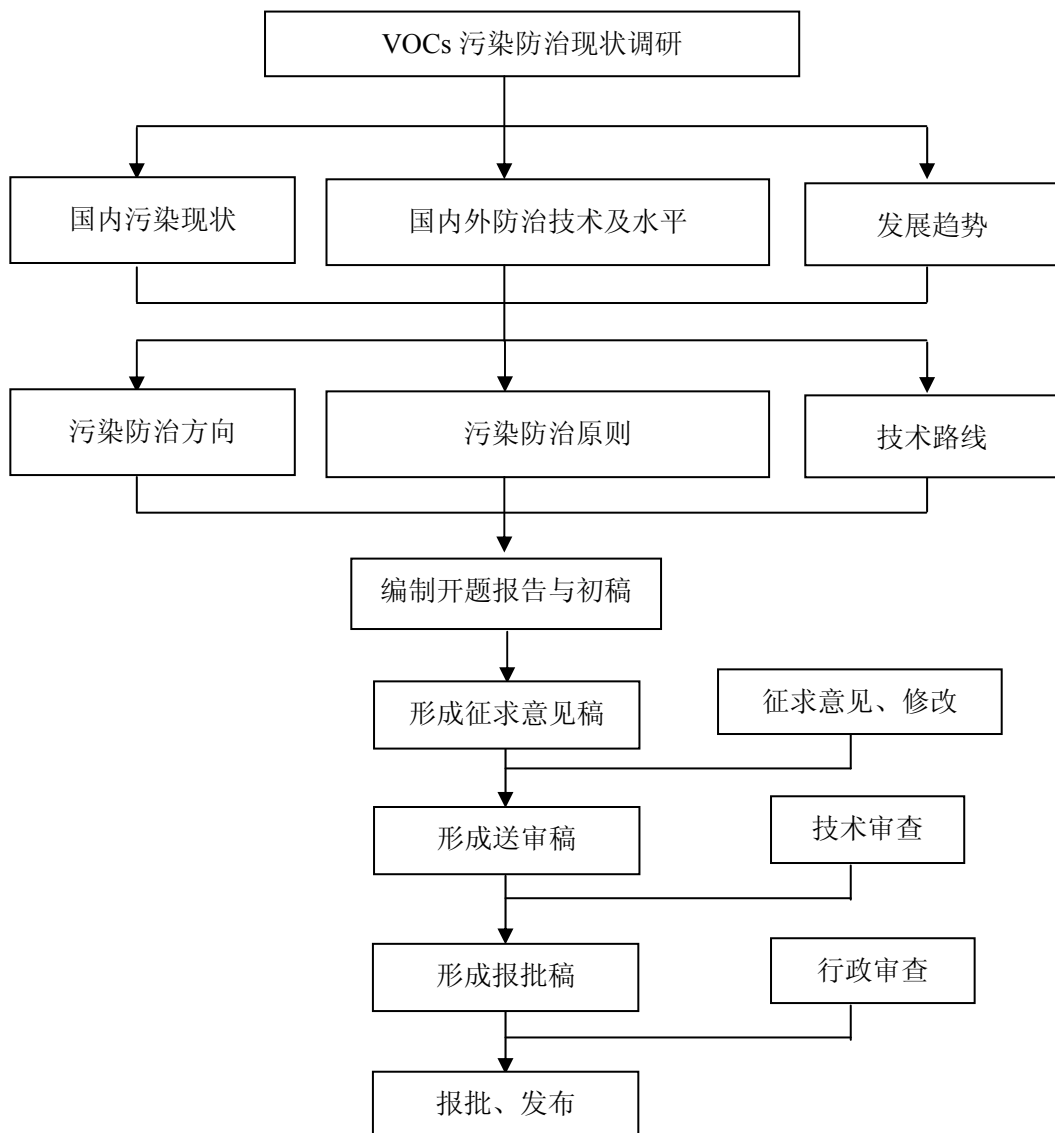


图 12 本技术政策研究技术路线

7 主要技术内容的说明

7.1 总则

总则中主要包括技术政策制定的依据、技术政策适用的范围、控制目标和规划要求、有针对性的提出VOCs污染防治的技术路线和遵循的原则等总体性界定。

（一）为贯彻《中华人民共和国环境保护法》等法律法规，防治环境污染，保障生态安全 and 人体健康，促进挥发性有机物（VOCs）污染防治技术进步，制定本技术政策。

（二）本技术政策为指导性文件，供各有关单位在建设项目和现有企业的管理、设计、建设、生产、科研等工作中参照采用。

（三）本技术政策适用于工业源和生活源产生的VOCs污染防治。工业源包括炼油与石化行业，

油品（溶剂）储存、运输和销售过程，有机精细化工行业，涂装、印刷、粘合、工业清洗等使用含VOCs产品的行业；生活源包括建筑装饰、餐饮服务和服装干洗。

VOCs排放源包括自然源和人为源，自然源主要为植被排放、森林火灾、野生动物排放和湿地厌氧过程等，目前仍属于非人为可控范围。因此，在本技术政策中无法对自然源排放的VOCs进行规定。

人为源又包括移动源和固定源两大类。移动源是指机动车、轮船、飞机等各种交通运输工具的尾气排放，主要是从油品的升级和尾气治理两个方面进行尾气中VOCs的控制。目前已有针对机动车的《机动车污染防治技术政策》等专门的技术政策，轮船和飞机只能从油品的升级方面对VOCs的排放进行控制，因此在本技术政策中不再考虑移动源的排放。

生活源对象复杂，包括建筑装饰、油烟排放、垃圾焚烧、秸秆焚烧、燃煤（工业锅炉、家庭燃煤等）、服装干洗等等。其中，垃圾焚烧、秸秆焚烧和燃煤过程中主要产生的是烟雾，粉尘的产生量大，实际上燃烧产物中VOCs的含量极低，但就全国范围来看，化石燃料和生物质的燃烧量非常大，燃烧过程中VOCs的排放量也占有很大的比例。但由于燃烧源的分散性，在控制上只能从行政法规的角度进行管理，将来可以从控制PM_{2.5}的角度对其进行规定，本技术政策为VOCs控制技术政策，因此对于燃烧不作规定。在生活源中，建筑装饰过程中由于涂料的使用量非常大，即使是水性涂料中也含有一定比例（小于5%）挥发性有机物；餐饮油烟的排放在我国量大、面广，也是异味扰民、居民投诉的热点问题；服装干洗虽然总的VOCs排放量并不大，但由于目前使用的四氯乙烯和石油系干洗剂的毒性高，对城市中局部空气质量的影响较大，也是各国城市中VOCs排放控制的重点之一。因此，在本技术政策中对生活源VOCs的控制主要考虑建筑装饰、餐饮油烟和服装干洗三个方面。

工业源VOCs排放所涉及的行业众多，为重点控制源。工业源VOCs的排放主要包括四个环节：（1）炼油与石化行业；（2）油品（溶剂）储存、运输和销售过程；（3）有机精细化工行业，主要包括涂料、油墨、胶粘剂、医药、农药等含VOCs产品的生产；（4）涂装、包装印刷、粘合、工业清洗等含VOCs产品的使用行业。

（四）在工业生产中鼓励采用清洁生产技术，实施源头控制和末端治理相结合的综合防治措施；根据技术经济可行性，严格生产过程中VOCs排放的污染控制要求，鼓励对资源和能源的回收利用。

我国作为制造业大国，工业生产的基数庞大，但生产过程粗放，清洁生产技术落后，在涉及到VOCs排放的大多数生产行业的清洁生产技术都有很大的提高余地，通过技术进步和生产工艺的改进可以从源头上大幅度地减少生产过程中VOCs的排放量。因此在该技术政策中首先考虑的是采用清洁生产技术和源头控制措施，再通过末端治理对VOCs的排放进行综合防治。在很多行业中，有机溶剂的使用量大，排气中VOCs的浓度高，需要进行回收再利用；在燃烧法治理中排放的高温烟气，需要进行热量回收利用。

（五）应采取针对措施，限制生产在使用和消费过程中释放VOCs的产品；鼓励在生产和生活使用低VOCs含量的产品，减少VOCs的无控制排放。

在生产中，对于涂料等涉及 VOCs 排放的行业，生产过程中的 VOCs 污染与涂料使用中的 VOCs 相比，占比要小得多，仅仅强化对涂料行业生产中的 VOCs 的控制是不够的，还应控制溶剂涂料等高 VOCs 产品的使用。在日常生活中，建筑装饰过程中 VOCs 的排放量较大，主要是使用低 VOCs 含量的涂料来降低 VOCs 的排放。对餐饮油烟和服装干洗过程中 VOCs 的排放，既要考虑末端治理，也要加强日常监督管理工作。

7.2 源头控制

我国涉及到 VOCs 排放的工业行业众多，既包括石油化工等 VOCs 产品的生产、油品（溶剂）储运过程、有机精细化工行业中以 VOCs 为原料的生产过程，又包括众多的含 VOCs 产品的使用过程等。涉及的企业工艺生产水平也千差万别，既存在具备国际先进水平的生产工艺，也存在粗放式、人工作坊式的生产工艺。本技术政策希望能引导各类涉及 VOCs 排放的企业改进工艺技术，提高清洁生产水平，在生活源的排放中，首要的还是减少含 VOCs 产品的使用，从源头上减少 VOCs 的排放。

（一）在炼油与石化行业中，对于设备与管线组件、工艺排气、废气燃烧塔（火炬）、废水挥发、油品储运等过程中 VOCs 的防治，应满足以下规定：

1、对泵、压缩机、阀门、法兰等易发生泄漏的设备与管线组件，应制定泄漏检测与修复（LDAR）计划，定期检测、及时修复，防止或减少跑、冒、滴、漏。

2、对空气氧化、蒸馏等工艺排放的尾气应密闭收集，并通过净化处理后排放。应急情况下的泄放气应导入燃烧塔（火炬），经过充分燃烧后排放。

3、废水收集系统和处理设施的初级处理单元产生的废气应密闭收集并集中处理后排放。

在炼油与石化行业中，VOCs 的排放环节主要有设备与管线组件的泄露、空气氧化和蒸馏等工艺过程排气、废气燃烧塔（火炬）尾气排放、废水挥发和油品储运过程等。对泵、压缩机、阀门、法兰等设备与管线组件的泄漏，主要是通过优化生产工艺，提升设备水平，加强管理，制定泄露检测与修复（LDAR）计划，通过定期检测及时对泄漏点进行修复，以防止或减少跑、冒、滴、漏；对空气氧化、蒸馏等工艺排放的高浓度含 VOCs 的尾气必须通过密闭收集进行资源回收，不能进行回收的再进行净化治理。目前在石油炼制和石油化工行业，燃烧塔（火炬）只是在应急情况下对生产装置中的泄放气进行燃烧处理，瞬时排放浓度高，燃烧后要能够达标排放；由于石化废水中有机物的含量高，易挥发，废水收集系统应采用管线密闭收集，废水处理设施初级处理单元如鼓风曝气池、气浮池等因通入大量空气，原先溶入的 VOCs 会再度蒸发至大气，总量很大，必须通过加盖等密闭收集后处理。

实际上，在炼油与石化行业中，还有一些过程会产生含 VOCs 的废气，如催化剂的再生过程等，可以参照空气氧化和蒸馏等工艺过程排气进行处理，不再单独提出。

油品（溶剂）的储运过程中 VOCs 的排放控制可参照下节执行。

（二）在油品（溶剂）的储存、运输和销售过程，应满足以下规定：

炼油厂所生产的各类油品（汽油、柴油、煤油）和溶剂发送到各地的油库和储存设施中，然

后通过油罐车分发到各个加油站等。在对储油库中油品储槽（罐）的注油、油罐车的装载和卸载、机动车的加油等过程中，VOCs 的挥发量很大，也是目前控制的重点。在该条中对储存、运输和销售三个环节的 VOCs 控制进行了规定。

1、储油库、加油站和油罐车应配备相应的油气回收系统。

在油品的储存、运输和销售环节中所产生的都是高浓度的油气，如果不回收会对局部环境产生较大的影响，同时也造成资源浪费。目前控制措施和回收技术已经比较成熟，因此从总体上要求对各个环节中所产生的油气应配备回收系统进行回收。

2、油品（溶剂）储罐宜采用高效密封的内（外）浮顶罐，当采用固定顶罐时，应采用密闭排气系统将VOCs蒸气输送至回收设备。

油品（溶剂）储罐（槽）由固定顶式改为浮顶式，可以防止注油过程中高浓度的油气由其上方的呼吸口排出，同时也无需加装回收装置。但是，浮顶罐的制造和使用都比较复杂，浮动顶的密封方式有多种，可根据具体情况选择，在此笼统地提出采用高效密封方式的浮顶罐。

3、油品（溶剂）运载工具（油罐汽车、火车和轮船）在装载过程中排放的VOCs应密闭收集输送至回收设备，或通过蒸气连通系统返回储罐。

油罐汽车、火车和轮船在装载过程中，液体油品注入，气态油气排出。可以通过蒸气平衡连通系统直接返回储罐，在未设置蒸气连通系统的情况下，则需要密闭收集后进行回收，通常采用活性炭吸附回收，并具有很好的经济效益。

（三）涂料、油墨、胶粘剂、医药、农药生产等有机精细化工行业应满足以下规定：

1、鼓励扩大符合环境标志产品技术要求的低有机溶剂含量、低毒、低挥发性涂料、油墨、胶粘剂等生产规模。

2、鼓励采用密闭一体化生产技术，并对生产过程中产生的废气集中收集后处理。

有机精细化工行业所涉及的产品非常之多，其中涂料、油墨、胶粘剂、医药、农药等都是产量最大的一些产品，也是生产过程中 VOCs 排放量大的一些行业。分散式、间歇式的生产方式造成 VOCs 点源多，收集和处理困难。密闭一体化的清洁生产技术可以方便废气的收集和治理，减少 VOCs 排放。

目前对于一些主要的有机精细化工产品都制订了《环境标志产品技术要求》。鼓励使用满足《环境标志产品技术要求》的产品，可以显著减少这些产品在制造和使用过程中的 VOCs 排放。

（四）在涂装、印刷、粘合、清洗等含VOCs的产品的使用过程中，应满足以下规定：

工业生产过程中的 VOCs 的排放主要划分为四个方面，即石油化工等 VOCs 产品的生产过程，油品（溶剂）储存、运输和销售过程，以 VOCs 为原料的生产过程和含 VOCs 产品的使用过程。其中就 VOCs 的排放量来讲，含 VOCs 产品的使用过程的排放量最大，占到整个工业源排放量的 60%以上。在含 VOCs 产品的使用过程中，涂装、印刷、粘合和清洗（脱脂）又是四个主要的 VOCs 排放工艺，其中涉及到众多的行业。在涂装、印刷、粘合和清洗（脱脂）生产工艺中均使用大量的有机溶剂，最终大部分挥发到空气中，因此在该部分中以涂装、印刷、粘合和清洗（脱脂）四个重点生产工艺进行规定。

1、鼓励使用通过中国环境标志产品认证的环保型涂料、油墨、胶粘剂和清洗剂。

作为三大类有机精细化工产品，环保型的涂料、油墨和胶粘剂的研发和使用主要是为了降低在使用过程中 VOCs 的排放。涂料、油墨和胶粘剂做不到完全避免有机溶剂的使用，需要从政策上鼓励生产和使用低有机溶剂含量和使用低毒性有机溶剂的相关产品。目前，已有 380 余家企业生产的 14600 多规格型号的涂料产品通过了中国环境标志产品认证，1000 多家企业生产的 30000 多规格型号的相关产品通过了中国环境标志产品认证。截止目前，环境保护部也制定发布了 97 项环境标志产品标准。

2、根据涂装工艺的不同，鼓励使用水性涂料、高固份涂料、粉末涂料、紫外光固化（UV）涂料等环保型涂料，限制使用溶剂型涂料；推广采用静电喷涂、淋涂、辊涂、浸涂等涂装效率较高的涂装工艺。除工艺有特殊要求外，应取消露天喷涂作业。

涂料的种类很多，环保型涂料的开发速度也非常快。其中，水性涂料、高固分涂料、粉末涂料、紫外光固化（UV）涂料等均属于环保型涂料，和普通的溶剂型涂料相比在使用过程中会大大降低 VOCs 的排放量，属于鼓励使用的涂料类型。采用高效的涂装工艺也是降低喷涂过程中 VOCs 排放的途径，其中静电喷涂、淋涂、辊涂、浸涂等涂装工艺具有涂装效率高的优点，是目前涂装行业重点推广的环保工艺。

在机械加工、汽车维修、道路桥梁施工、造船等很多生产和生活过程中，进行露天喷涂作业，喷涂废气难以收集和治理。有些情况下是由于工艺特殊需要而无法进行收集，如桥梁施工、造船的组装过程等，但目前大量存在的小型机械加工、家具生产、汽车维修等的喷涂作业应该进行规范，规定在喷漆房中进行作业，杜绝露天喷涂。

3、在印刷工艺中推广使用醇性油墨和水性油墨，印铁制罐行业鼓励使用紫外光固化（UV）油墨。

在目前印刷工艺中，VOCs 排放量最大的是凹版印刷工艺，所使用的溶剂型油墨使用过程中排放大量的甲苯、甲乙酮、异丙醇和乙酸乙酯。目前在国外已经普遍使用水性油墨和无苯无酮的醇性油墨代替溶剂型油墨，国内也在推广使用醇性油墨，但由于使用水性油墨对印刷品的质量影响较大，同时需要对生产工艺进行调整和改造，在国内推广起来还存在一定的难度。

在印铁制罐行业中，传统印铁涂料固体份：40%~60%，瓶盖用粘合剂固体份：25%~35%，油墨固体份：60%左右，而 UV 涂料固体份：97.5±2.5%。常用溶剂、稀释剂为酮类、醇类、醚类、芳香烃（对二甲苯、间二甲苯）等。UV 油墨技术上已经非常成熟，和传统印铁技术相比，可以大大降低 VOCs 的使用量和排放量，是目前国内印铁技术的重点发展方向。

4、工业清洗过程产生的废溶剂应密闭收集，有回收价值的废溶剂应经处理后回用，其他废溶剂应妥善处置。

工业清洗过程中产生的一般都是高浓度的有机废气，应进行收集后处理。对清洗后产生的废溶剂的管理和回收往往比较困难，在此笼统地提出清洗后的废溶剂应进行密闭回收。

5、鼓励在人造板、制鞋、皮革和人造革、包装材料等粘合过程中使用水性等环保型胶粘剂，在复合膜的生产中推广无溶剂复合技术。

胶粘剂的种类多，不同行业对胶粘剂的要求也不同。目前水性胶粘剂、低溶剂含量或低毒性的胶粘剂只在部分行业中使用。溶剂型干式复合和无溶剂复合是复合包装行业两大主要工艺技术。溶剂型干式复合是一种已经普遍采用但存在 VOCs 污染的传统工艺；无溶剂复合技术绿色环保，在一些发达国家和地区使用比例高达 70%~80%，在我国这一比例低于 5%，推广使用该技术后，可以大大降低复合包装行业中 VOCs 排放量。

6、应采取废气收集措施，提高废气的收集效率，减少废气的无组织排放与逸散，并对收集后的废气进行回收或处理后排放。

在涂装、印刷、粘合、清洗等含 VOCs 产品的使用过程中，存在涂料、油墨、胶黏剂、清洗剂、稀释剂等含大量有机溶剂产品的使用，通过采取有效集气措施，降低无组织排放与逸散；集中进行回收或处理，减少 VOCs 排放。

（五）对建筑装饰、服装干洗、餐饮油烟等生活源，应满足以下规定：

1、推广使用符合环境标志产品技术要求的建筑涂料，逐步淘汰溶剂型涂料。

目前我们所使用的建筑涂料，包括外墙涂料和内墙涂料，基本上都是乳胶漆。乳胶漆的制作成分中基本上由水、颜料、乳液、填充剂和各种助剂组成，这些原材料本身不含毒性，可能含毒的主要是成膜剂中的乙二醇和防霉剂中的有机汞。

2、在服装干洗行业应逐步淘汰开启式干洗机的生产和使用，推广使用配备溶剂回收系统的封闭式干洗机。

服装干洗行业具有规模小而分散的特点，所使用的干洗机包括开启式、半开启式和封闭式，目前都有大量使用。由于干洗剂（四氯乙烯和石油系干洗剂）的毒性高，目前各国对于干洗作业都有严格的规定，规定使用带有溶剂回收系统的封闭式干洗机，同时规定干洗剂的消耗量和回收量。

3、餐饮服务行业应推广使用具有油雾回收功能的抽油烟机和高效油烟净化设施。

在我国，早在2002年就已经颁布了餐饮油烟中颗粒物的排放标准，就目前来看执行的并不理想。单独强调末端治理，在管理上存在困难，油烟净化的效果无法保证。目前，国内已经开发了具有油雾回收功能的抽油烟机，可以从源头上将大部分的油雾截留下来，作为废油进行回收。因此，要减少餐饮油烟的排放，首先应该对抽油烟机进行规范和改造，从源头上控制餐饮油烟的排放。

7.3 末端治理与综合利用

（一）鼓励VOCs的回收利用，并优先鼓励在生产系统内回用。

在进行VOCs的治理时，首先需要考虑是否能够进行资源回收利用。实际上，在很多情况下对生产废气中的溶剂进行回收后回用于生产，可以显著降低生产成本。如化纤生产过程中CS₂的冷凝回收，双氧水生产过程中重芳烃的吸附回收；在锂离子电池、复合膜、凹版印刷等生产过程均可以回收大量的有机溶剂，经过提纯后亦可以回用于生产。除了采用物理方法将有机溶剂回收利用外，还可以采用燃烧的方法处理废气，同时将废气燃烧后所产生的热量回用于生产，如汽车

生产中的烤漆废气，彩钢板和涂布行业的干燥废气等。如果回收的有机溶剂无法回用于生产过程，但具有回收价值，则回收后溶剂亦可以实现系统外的综合利用。

（二）应根据废气的产生量、污染物的组分和性质、温度、压力等因素进行综合分析后选择废气治理工艺路线。

VOCs治理的难度在于有机物的种类繁多，性质复杂，排放条件多样，实用的治理技术也多种多样。采用何种治理技术，根据废气的产生量、污染物的组分和性质、温度、压力等因素进行综合分析后选择确定。

（三）对于高浓度VOCs废气，宜首先采用冷凝回收、变压吸附回收等技术对废气中的VOCs回收利用，辅助以其他治理技术实现达标排放。

（四）对于中等浓度VOCs废气，宜采用吸附技术对有机溶剂进行回收，或采用催化燃烧和热力焚烧技术净化后达标排放。当采用催化燃烧和热力焚烧技术净化时，应对燃烧后的热量回收利用。

（五）对于低浓度VOCs废气，有回收价值时，宜采用吸附技术对有机溶剂回收后达标排放；无回收价值时，宜采用吸附浓缩燃烧技术、生物技术或等离子体技术等净化后达标排放。

通常在选择治理技术时，首先要考虑废气中有机物浓度的高低。在此我们以有机物的浓度高低和废气中的有机物是否具有回收价值作为依据来指导选择治理技术，是一种较合理的划分方法，也符合实际情况。一般来讲，低、中、高浓度的划分为低于1000ppm、数千ppm和10,000ppm以上。

对于高浓度含VOCs的废气，宜首先采用冷凝回收、变压吸附回收等设施对废气中的VOCs进行回收利用。但经过冷凝和变压吸附以后的尾气在大多数情况下仍达不到排放要求，需要辅助以其他治理技术实现达标排放。

对于中等浓度含VOCs的废气，大部分具有很高的回收价值，通常采用吸附技术对有机溶剂进行回收，在烤漆等工艺通常采用催化燃烧和热力焚烧技术进行净化后回收热量。

对于低浓度含VOCs废气的治理最为复杂。当具有回收价值时，宜采用吸附技术对废气中的VOCs进行吸附回收；当回收价值低或无回收价值时，为了降低治理成本，通常的做法是采用吸附浓缩技术将废气中的有机物进行浓缩，再采用燃烧技术（催化燃烧和高温焚烧）进行净化，在该浓度范围内废气燃烧后所产生的热量可以维持反应系统的自持燃烧，是目前低浓度、大风量有机废气治理的主流技术。在很多情况下，用于废气的成分复杂，吸附剂不能再生，低浓度废气不能采用吸附技术进行净化，如废水处理厂产生的臭气，橡胶生产尾气等，则可以采用生物技术或等离子体技术等进行净化。

（六）恶臭气体宜采用生物技术、等离子体技术、吸附技术等净化后达标排放。

恶臭气体通常浓度较低，在多数情况下成分也较为复杂，采用吸附技术进行治理时吸附剂难以再生，治理成本高。近年来，生物技术和低温等离子体技术获得了快速的发展，日渐成熟，对于低浓度废气的治理，特别是臭气的治理具有成本低、使用方便等优点，得到了越来越多的应用。但在有些特殊的情况下，尤其对一些高毒性、无法采用生物技术和低温等离子体技术进行治理的

废气，虽然治理成本高，吸附法还是一种最为方便和保险的治理技术。

（七）餐饮油烟宜采用等离子体和湿法油烟净化装置净化后达标排放。

从2002年颁布餐饮油烟的排放标准以来，等离子体、湿法洗涤、活性炭吸附、机械过滤等多种治理技术均获得了应用。但经过多年来的运行实践来看，等离子体技术和湿法洗涤技术的效果好，易于操作和管理。活性炭吸附法和机械过滤法均存在堵塞清理的难题，需频繁更换吸附材料和过滤材料，成本高，目前已经很少使用。

（八）对于催化燃烧和高温焚烧过程中产生的含硫、氮、氯等的无机废气，以及吸附、吸收、冷凝、生物等治理工艺过程中所产生的含有机物的废水，应处理后达标排放。

VOCs治理设施所产生的二次污染包括废气、废水和固体废弃物。有时风机也会产生噪声污染，但通常并不突出，在此未进行规定。对于含硫、氮、卤素等的有机废气，在进行燃烧处理时，会产生SO₂、NO_x和含卤素的无机废气，需要进行吸收等处理后达标排放。在吸附剂再生、吸收、冷凝、生物等治理工艺过程中，会产生含有机物的废水，均应进行治理后达标排放。

（九）对于不能再生的过滤材料、吸附剂及催化剂等净化材料，应按照国家固体废物管理的相关规定进行处理处置。

过滤材料、吸附剂及催化剂等净化材料在使用过程中性能会逐渐衰减，使用一段时间以后需要进行更换。更换下来的材料应按照国家固体废物管理的相关规定进行处理处置。

7.4 鼓励研发的新技术新材料

（一）低浓度有机废气旋转式沸石吸附浓缩技术和高效蓄热式燃烧技术。

低浓度有机废气治理技术是目前的研究重点。目前旋转式沸石吸附浓缩技术和高效蓄热式燃烧技术，在国外是主流的低浓度有机废气治理技术。近年来我国在该两类技术的研发方面有较大发展，但和国外相比还存在不小的差距。因此，需要进一步鼓励开发。

（二）针对特定有机污染物的生物净化技术和低温等离子体净化技术。

生物净化技术和低温等离子体净化技术的特点是普适性差，对于某一类污染物的处理效果很好，但对于某些污染物的处理效果较差。对于生物技术来讲，主要是针对污染物来筛选菌种，对于等离子体技术来讲，主要是研究不同污染物特征化学键破坏时所需要的能量。要拓展生物技术和等离子体技术的应用范围，需要加强针对特定有机污染物消除技术的研究开发。

（三）高效吸附材料（如活性炭、活性炭纤维和沸石分子筛）、催化材料（如广谱性VOCs氧化催化剂）和生物填料等。

有机废气净化材料主要是吸附材料、催化材料和过滤材料。在吸附材料方面，和国外的差距主要有三个方面：一是用于溶剂回收的专用活性炭，特别是汽油回收专用活性炭的性能差，二是疏水型的蜂窝沸石成型材料的生产技术尚未完全突破，三是用于溶剂回收的活性炭纤维的强度较差，使用寿命短，和国外相比均存在较大的差距。在氧化催化剂的开发方面，近年来获得了很大的发展，但在广谱性方面还存在差距。过滤材料主要用于含颗粒物废气的预处理，主要在于选型，该技术政策中没有提及。生物填料的研究是生物技术开发中的一项重点内容。

（四）可测定总烃含量和针对不同特征污染物含量的工业有机废气在线监测装置。

由于有机物的种类繁多，排放情况复杂，污染源的检测装置成为目前VOCs治理中的一大瓶颈。要对污染治理设施实行有效的监管，必须安装能够远程监控、经济实用的在线监测装置。检测装置除了能够对TVOCs进行检测以外，还要能够对必要工艺废气的特征污染物进行检测。目前该类装置的成本太高，难以推广使用，低端装置质量上不过关，使用性能很差。因此，需要采取措施鼓励针对总烃含量和针对不同特征污染物含量的在线监测装置的开发应用。