



VOCs 治理：千亿投资空间



中国清洁空气联盟
Clean Air Alliance of China

执行概要

可挥发性有机物（VOCs）作为臭氧和 PM2.5 的重要前体物，是我国当前区域复合型空气污染的主要贡献者之一。VOCs 以及其所形成的二次污染物会对人体健康带来负面影响，部分 VOCs 还有基因毒性和致癌性。随着我国灰霾防治政策更新的加速，VOCs 防治将升级成为“十三五”大气污染防治的关键，并催生千亿规模的投资空间。

● 中国工业 VOCs 排放总量持续大幅攀升，防治刻不容缓。

1980 年，我国工业源 VOCs 排放量为 115.1 万吨，到 2012 年增长到了 2088.7 万吨，增幅超过了 17 倍。2012 年建筑装饰以及印刷成为 VOCs 排放的前两大行业，排放量分别为 245.94 万吨和 242.42 万吨，石油炼制紧随其后。

从 2005 年起，来自使用含有机物的产品所带来的 VOCs 的排放量的占比就超过了一半。目前，VOCs 的排放主要集中在京津冀、山东省、长三角以及珠三角地区。

● 随着政策井喷式出台，VOCs 治理产业在“十三五”期间将形成千亿元的市场。

现阶段的 VOCs 治理政策的快速集中出台，预示着“十三五”时期将成为 VOCs 监测及治理的重要时期，会为 VOCs 治理产业开辟更大的市场空间。

据初步测算，到 2020 年，我国工业源 VOCs 的减排量有 430 万吨（与 2009 年相比），而由于减排带来的投资需求将会达到 1732 亿元。

● 潜在市场投资机会预测：

最大的投资细分市场在“使用含 VOCs 产品的行业”（如纺织印染、印刷、家具制造、建筑装饰等），预计到 2020 年投资需求为 759.2 亿元，主要包括：印刷和涂料类行业开展末端治理、工艺改进以及原料替换（如改用水性涂料、环保油墨、环保胶等）。

在炼油、石化和有机化工行业的 VOCs 排放控制方面，到 2020 年需要约 277 亿元的投资，主要包括：开展“泄漏检测与修复（LDAR）”的技术改造控制 VOCs 的泄漏、采用浮顶罐替代固定罐，安装密闭排气系统，在末端安装焚烧或吸附装置等。

在油气及其他含 VOCs 的产品储运领域，到 2020 年的投资约需 463.5 亿元。主要包括通过浮顶罐改造或安装顶空联通置换油气回收装置，以及在加油站铺设回收管线，采用油气回收型加油枪等方法减少储运带来的排放。

在 VOCs 的生产类行业，截至 2020 年的减排投资需求为 232 亿元，主要是在基础化学原料、合成材料、塑料制品制造、食品、化学原料等行业开展对 VOCs 的末端治理，如活性炭回收、催化燃烧、吸附、冷凝等，同时通过工艺改进整体减少 VOCs 的排放。

此外，综合考虑对大气、地表水中的 VOCs 含量检测以及工业污染源 VOCs 的排放监测需求，VOCs 的监测领域还有超过 48.7 亿元的投资需求。

● VOCs 防治已进入中央重点工作内容，将成为政策变化最快的大气污染物。

VOCs 的治理政策正经历一个几乎从无到有的巨变。在 2010 年之前，VOCs 的概念对于很多环保工作者都很陌生，其防治在很多领域几乎是空白。2010 年，国家首次将 VOCs 和 SOx、NOx、颗粒物一起列为改善大气环境质量防控重点。随着 2013 年史上最严格的《大

气污染防治行动计划》的出台，VOCs 污染的防治要求被提到新的战略高度。各级政府相继出台了地方大气污染防治实施细则，多个省市都将 VOCs 的控制纳入其中。

2014 年，倍受关注的《大气污染防治法》（修订草案征求意见稿）中，有六个条款明确涉及到 VOCs 治理的相关工作，包括排放标准、产品标准、税收优惠、违规责任等方面。据悉，环保部已在大力推进制定包括石油炼制、石油化工、煤化工、纺织印染、印刷包装、涂料、人造板等十多个行业的 VOCs 排放标准以及国家级的 VOCs 排污收费标准。这些政策将会从行政以及市场的角度遏制 VOCs 排放，为 VOCs 治理创造新的市场机遇。

● **地方 VOCs 防治任务艰巨，广东、北京、天津等地成为防治先锋。**

上海、浙江、珠三角等地都已经出台了 VOCs 的专项治理措施，有些明确提出了 VOCs 的减排目标。如浙江省要求到 2015 年重点行业现役源 VOCs 排放总量在 2010 年国家规划基数 52.7 万吨的基础上下降 18%。

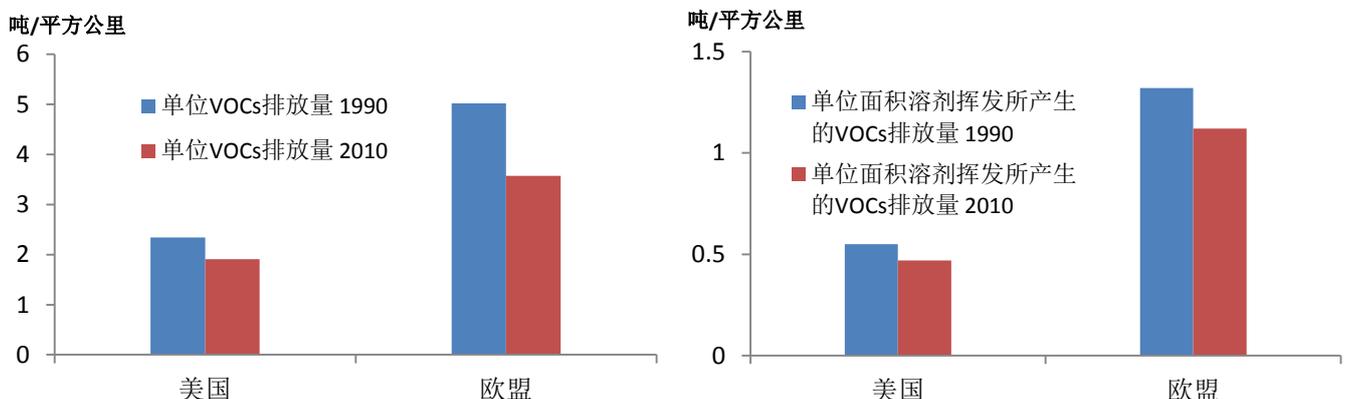
广东省已经针对 VOCs 开征排污费，北京市也透露了明年即将开征 VOCs 排污费。根据目前北京对其他污染物的征收费率水准预测，北京的 VOCs 排污费应不会低于每公斤 10 元，这将是一个很高的水平。并且，随着国家 VOCs 排污收费标准的推出，更多地方会开始征收或提高本地 VOCs 排污收费的水平。

2014 年 7 月 31 日天津市出台的《工业企业挥发性有机物排放控制标准》是我国首个有针对性的全面覆盖了工业企业 VOCs 排放行业的强制性综合标准，规定了石油炼制与石油化学、涂料与油墨生产、印刷与包装印刷、家具制造、表面涂装等十多个行业挥发性有机物的排放控制要求。许多地方也已在紧锣密鼓的制定 VOCs 排放标准，将会在未来陆续出台。

● **国际经验表明，VOCs 的治理市场将是一个快速成长的市场，并长期稳定。**

欧美都经历了几十年的 VOCs 防治历程。到现在，VOCs 防治仍然是欧美大气污染防治的重点领域。美国以控制空气中的臭氧浓度为最终目的，在 1990-2005 年间，VOCs 的减排量高达 55%；在欧洲，通过欧盟层面和国家层面制定和执行相关政策措施，欧盟范围内的 VOCs 在过去 20 年间得到了 40-50%的削减。此外，1990 年美国规定石化和化工企业必须实施 LDAR 计划，该规定实施后，石化和化工企业 VOCs 排放量分别降低 63%和 56%。

下图展示了美国和欧盟单位 VOCs 排放量和单位面积溶剂挥发所产生的 VOCs 排放量的变化情况，在 1990 年到 2000 年期间都实现了 10%以上的减排幅度。



绿色投资者网络 NO. 1

行业投资报告

VOCs 治理：千亿投资空间

中国清洁空气联盟秘书处

解洪兴，白愈，王钊炀，康思聪

特别鸣谢：



目录

1. VOCs 基本情况	5
1.1. VOCs 的基本概念	5
1.2. VOCs 的主要来源	5
1.3. VOCs 的主要危害	7
2. VOCs 的排放与控制	9
2.1. 中国 VOCs 的排放与控制现状	9
2.2. 国际 VOCs 排放控制的经验	12
3. 中国在 VOCs 控制方面的政策	15
3.1. 我国 VOCs 污染防治未来政策走向	15
3.2. 已有 VOCs 控制政策回顾	18
4. VOCs 排放控制技术分析	22
4.1. VOCs 控制的技术路径	22
4.2. VOCs 控制技术评估	26
4.3. 国家鼓励的控制技术	35
5. VOCs 治理市场空间	37
5.1. 工业源 VOCs 的减排需求	37
5.2. VOCs 生产环节治理市场空间	37
5.3. VOCs 储运环节治理市场空间	38
5.4. 以 VOCs 为原料的生产排放治理市场空间	39
5.5. 含 VOCs 产品的使用和排放市场空间	39
5.6. VOCs 监测市场空间	40
6. VOCs 治理市场格局	40
附件: VOCs 相关政策梳理	42

1. VOCs 基本情况

1.1. VOCs 的基本概念

VOCs (volatile organic compounds) 即挥发性有机物，是一类有机化学物质的统称，在常温常压下通常具有高蒸汽压。我国现有标准中，VOCs 是指 20℃ 条件下蒸汽压大于等于 0.01kPa，或在特定适用条件下具有挥发性的全部有机化合物的统称。

VOCs 组成复杂，主要包括烷烃、烯烃、芳香烃、卤代烃、含氧烃、氮烃、硫烃、低沸点多环芳烃等。其中常见的 VOC 种类有甲苯 (Toluene)、二甲苯 (Xylene)、对-二氯苯 (Para-dichlorobenzene)、乙苯 (Ethyl benzene)、苯乙烯 (Styrene)、甲醛 (Formaldehyde)、乙醛 (Acetaldehyde) 等。

表 1 常见的工业 VOCs 污染物分类¹

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、二氯乙烷、三氯苯、二氯乙烷、三氯甲烷、四氯化碳、氟利昂类等
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(氧)类	氢氰酸、丙烯腈等

1.2. VOCs 的主要来源

VOCs 的排放来源分为自然源和人为源。全球尺度上，VOCs 排放以自然源为主；但对于重点区域和重点城市来说，人为源排放量远高于自然源，是自然源的

¹ 《挥发性有机物 (VOCs) 污染防治技术政策》(征求意见稿) 编制说明

6-18 倍。在城市里，VOCs 的自然源主要是绿色植被，基本属于不可控源；而其人源主要包括不完全燃烧行为、溶剂使用、工业过程、油品挥发和生物作用等。目前我国 VOCs 排放主要来自固定源燃烧、道路交通、溶剂产品使用和工业过程。在众多人为源中，工业源是主要的 VOCs 污染来源，具有排放集中、排放强度大、浓度高、组分复杂的特点。

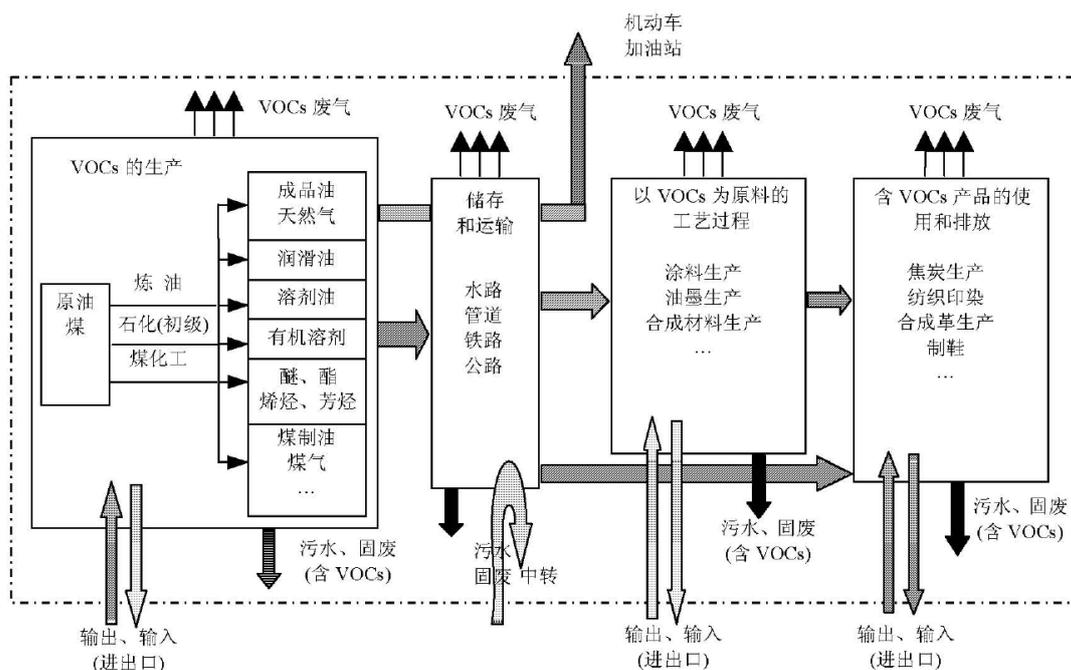


图 1 工业源 VOCs 的主要排放环节

工业部门 VOCs 的重点排放行业包括了石油炼制、石油化工、煤化工、干洗业、电子工业、纺织印染、印刷包装、农药、制药、涂料、人造板、储罐管道、涂装和铸造等行业。基本可以归纳为 VOCs 的生产、VOCs 的储存和运输、以 VOCs 为原料的工艺过程和含 VOCs 的产品使用排放。

深入到各行业中，主要的排放环节有石油炼制过程、化工产品生产工艺中泄漏、存储设施中蒸发，油墨涂料中有机物蒸发、消毒剂、农药、燃料等加工过程中有机物的蒸发，垃圾焚烧炉中不完全燃烧，餐饮业中烹饪食物、曲轴箱漏气、尾气排放。

1.3. VOCs 的主要危害

VOCs 对人体的危害主要有两个方面：其一为其有害成分直接影响人体健康，其二 VOCs 会成为形成 PM_{2.5} 的前体物，从而间接影响人体健康。

(1) 对人体健康直接影响

VOCs 对人体的影响主要为气味、感官、黏膜刺激和其他系统毒性导致的病态及基因毒性和致癌性。多数 VOCs 具有毒性和恶臭气味，当在环境中达到一定浓度时，短时间内可使人感到头痛、恶心、呕吐，严重时会出现抽搐、昏迷，并可能造成记忆力衰退，伤害人的肝脏、肾脏、大脑和神经系统。部分 VOCs 已被列为致癌物，特别是苯、甲苯及甲醛，会对人体造成很大的伤害，1993 年世界卫生组织下属国际癌症研究机构 (IARC) 将苯列为 I 类人类致癌物。

表 2 VOCs 对人体的危害²

	刺激性、腐蚀性			器官毒性				致癌性
	皮肤	眼睛	呼吸道	神经系统	肝脏	肾脏	胃	
苯	○	○	○	○				☆
甲苯	○	○	○	◎	◎			
间二甲苯	○	○	○		◎	◎	○	
氯苯	○	◎	○	◎	○	○		
丙酮	◎	○	◎	◎				
乙酸乙酯	◎			◎				
二氯甲烷	◎	◎	◎	◎	◎	◎		☆
三氯甲烷	◎	◎		◎	○	○	◎	☆
四氯乙烯	◎	◎	◎	◎	○	○		☆
四氯化碳		◎	◎	○	○	○		☆
1, 2-二氯乙烯	○	○	○	○				
偏二氯乙烯	○	◎	◎					
1, 3-丁二烯	○	○	○	○		○		
乙醛	○	○	○	◎	○	○	○	
乙醚				◎	◎	◎		
乙腈	◎		○	○	◎	◎	◎	

注：○表示低浓度健康损害，◎表示高浓度健康损害，☆表示确认或可能有致癌性。

² 资料来源：环境保护部国家污染物环境健康风险名录

(2) 对人体健康间接影响

在强光照、低风速和低湿度的条件下，某些种类的 VOCs 会与低空的 NO_x 发生光化学反应并形成光化学烟雾，当环境中含有高浓度的臭氧时，会刺激人的眼睛、鼻、咽喉等器官，引起哮喘等慢性呼吸道疾病恶化；在平流层，某些种类的 VOCs 会在紫外线的作用下分解，释放出的氯原子与 O³ 反应，导致臭氧损耗，加剧臭氧空洞；某些活性较强的 VOCs，能与·OH、NO³⁻、O³ 等氧化剂发生反应，通过吸附或吸收进入颗粒相，生成二次有机气溶胶（SOA），是 PM_{2.5} 的主要组成，也正是近两年来严重影响人体健康的雾霾的重要组成。研究表明，异戊二烯、萜烯类和倍半萜烯类等 VOCs 是 SOA 形成的重要前体物，其中都含有许多致癌、致畸和致突变性的有机化合物，如多环芳烃、多氯联苯和其他含氯有机化合物。

(3) 容易接触 VOCs 的场合

VOCs 对人体健康的影响还和所接触到的环境及所含化学成分的浓度有很大关系，常见的接触场合包括有住宅、企业、学校及商场等室内环境，工作场所，机动车内以及人工消毒后的水体。如不考虑位于偏远地区和高度工业化地区这样的特殊条件，很多常见有机污染物在室内浓度是室外浓度的两至五倍，主要来自含 VOCs 的消费用品、装修用品和办公用品等的应用。而机动车内的 VOCs 来自排气管，管中 VOCs 会从室外渗进车舱内，交通拥挤时此问题尤其严重；研究显示，交通拥挤状况下开车，车内 VOCs 浓度是室外 VOCs 浓度的 10 倍。除此之外，新车也会释放 VOCs，尤其是通过乙烯塑料、塑料、车内装饰物品以及毛毯（形成所谓“新车的味道”）³。

³ Primer on Volatile Organic Compounds (VOCs)

2. VOCs 的排放与控制

2.1. 中国 VOCs 的排放与控制现状

(1) 中国 VOCs 排放情况

2010 年我国工业源 VOCs 的排放量为 1335 万吨，比 1980 年的 115.1 万吨⁴增长超过了 11 倍；当然，还有来自生活源和交通源的排放也不可忽视。图 2 显示了我国工业 VOCs 排放总量在 1980-2010 年间的上升趋势，以及不同的来源所占的比重⁵。从图中可以看出，从 2003 年开始，工业 VOCs 的排放量快速增长，与之前的平稳缓慢的增长形式形成了对比。主要是由于进入 21 世纪以来，我国经济体制改革和加入世贸组织带来了大量外资企业在国内投资建厂，拉动了我国涂料、油墨等行业的生产能力。同时，社会经济持续发展和人民生活水平提高促进了涂料、油墨等含 VOCs 原料的消耗，VOCs 增长快速，该时期内，VOCs 排放总量年均增长率为 11-12%⁶。

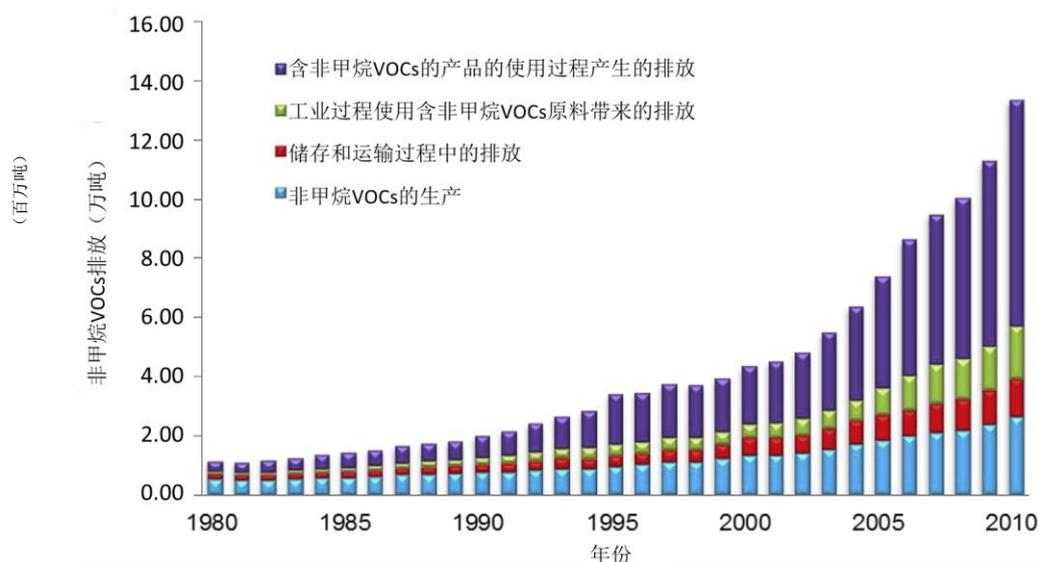


图 2 工业源 VOCs 排放量 (万吨, 1980-2010)

⁴ GEIA(全球污染排放评估组织)估算 1990 年人为源 VOCs 排放量约为 180Mt

⁵ K. Qiu et al. 2014. Historical industrial emissions of non-methane volatile organic compounds in China for the period of 1980-2010. *Atmospheric Environment*, 86 (2014): 102-112

⁶ 杨利嫻. 我国工业源 VOCs 排放时空分布特征与控制策略研究. 华南理工大学, 2012.

从图 2 中还可以看出来，来自使用含有机物的产品所带来的 VOCs 的排放量所占的比重越来越大，在 2005 年的时候就占到了排放总量的一半以上。

在工业部门中，1980 年到 2010 年间，石油炼制行业、成品油及有机溶剂储运行业是我国工业 VOCs 排放量贡献最大的两大行业，其排放贡献率分别在 15.9~34.3%、6.5~10.2% 之间，建筑装饰业的排放贡献率常年稳定在 7~8% 之间。2012 年建筑装饰以及印刷行业成为 VOCs 的前两大排放行业，排放量分别为 245.94 万吨和 242.42 万吨，石油炼制的 VOCs 排放量由 2010 年的第一位降至第三位，而储运和家具制造的 VOCs 排放量上升程度较大⁷。

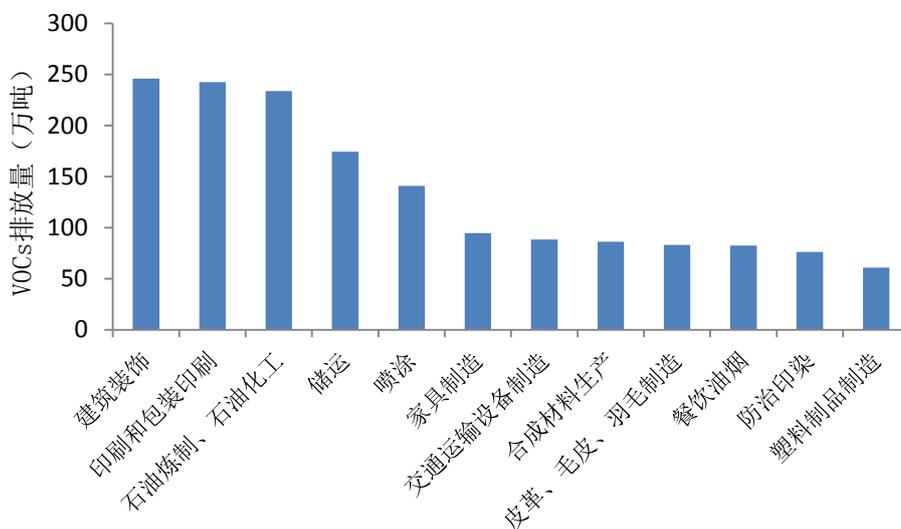


图 3 部分重点行业 VOCs 排放量 (2012)

就 VOCs 排放的时空分布而言，如图 4 所示，我国工业部门的 VOCs 排放源主要分布集中在东部、南部和北部地区，西部地区分布较少。从图中可以看出，京津冀及山东省、长三角以及珠三角地区的 VOCs 排放量明显高于其他区域，东部、南部、北部和东北部的多数地区排放量水平分布在 1001-5000 吨/网格范围内，排放量超过 5000 吨/网格的地区集中出现在经济、工业发达城市，但不同地区排放贡献大的城市数量有所差别。在工业发展相对落后的西部地区，由于地广人稀，排放量较大的网格数明显低于我国其他地区。2010 年京津冀、长三角、珠三角三区的重点行业 VOCs 排放量分别是 32.6、127.9 和 38.1 万吨⁸。

⁷ http://59.108.157.198/html/2014-07/29/content_14569.htm

⁸ 重点区域大气污染防治“十二五”规划

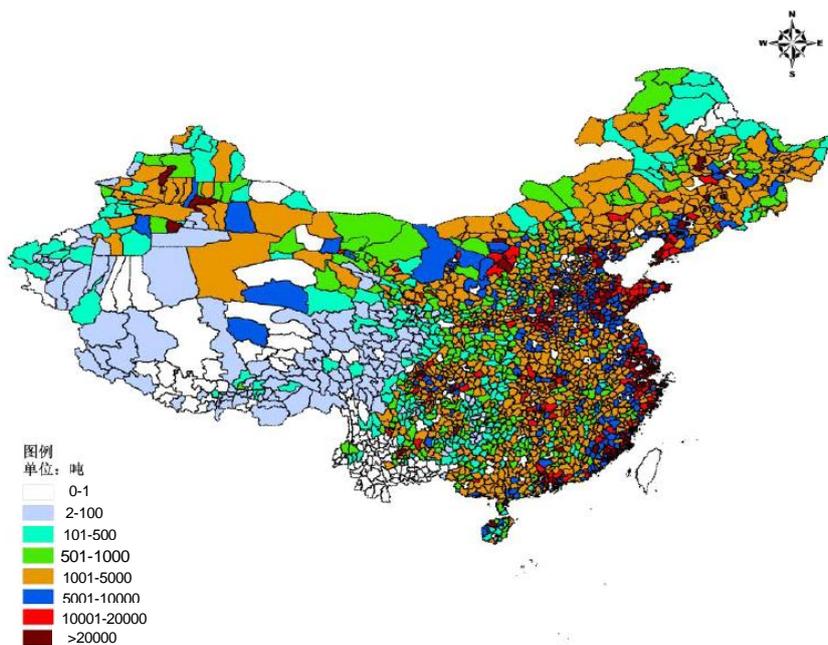


图 4 我国 VOCs 污染情况空间分布图

(2) 中国 VOCs 排放控制现状

我国 VOCs 治理工作已有 30 多年,但由于长期以来把废气治理重点放在除尘、脱硫和脱硝工作上, VOCs 的治理工作整体进展缓慢⁹。虽然,我国制定了一些 VOCs 相关规划和制度,颁布了一些标准,但是与美国、欧洲、日本以及我国港澳台地区相比,我国大陆地区管理和控制 VOCs 还存在很多不足,亟待完善。

与普通的烟气排放不同, VOCs 中的污染物种类繁多,所涉及的排放行业众多,工艺也非常复杂并各有不同。当前我国尚未对 VOCs 排放进行系统监测,无法准确获得国内 VOCs 整体排放量。在针对 VOCs 排放量和排放特征方面的科学研究不够有效地支撑相关减排和控制工作的开展,还需要进一步深化。

公众对 VOCs 的危害还不够了解,对于 VOCs 是目前广受大家关注的 PM2.5 的前体物也没有科学的认识。再加上政策法规和标准的缺失,使得政府及环保部门监管 VOCs 排放缺乏科学依据,又无章可循,同时也给企业规避监管以可乘之机,使得管理成效不明显。除对个别突出的、对人体直接造成很大伤害的污染源外,大部分 VOCs 污染源尚未得到治理。一些研究表明,工业 VOCs 排放的治理对

⁹中国环境保护产业协会废气净化委员会。我国有机废气治理行业 2011 年发展综述

象主要集中在国有大型企业、外资和合资企业，中小型污染企业大部分没有治理，已治理的 VOCs 企业所占的比例不到 10%。

与欧美相比，我国 VOCs 法规的颁布要滞后，《中华人民共和国大气污染防治法》（2000 年修订）作为大气环境管理的根本依据，没有包含明确的 VOCs 控制要求，只有诸如有机烃类尾气、恶臭气体、有毒有害气体、油烟等一些类似概念。由于 VOCs 控制问题近年来才得到重视，除了广东、江苏以及最新出台了 VOCs 标准的天津市等少数几个省市制定了部分地方性的 VOCs 行业标准，在全国范围内绝大多数涉及 VOCs 排放的行业还没有适用的标准。在目前正式出台的标准中，除了像恶臭、沥青烟和苯可溶物类似指标外，多数只有个别几类 VOC 污染物的排放限值（详见附件）。因此需要尽快健全标准体系，尤其是 VOC 重点行业，如石油化工、有机化工、化学品制造、表面涂装、包装印刷等。

2010 年 5 月，国家出台的《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》，首次将 VOCs 和 SO_x、NO_x、颗粒物一起列为改善大气环境质量的防控重点。2011 年，环保部在其“十二五”规划中指出要“加强挥发性有机污染物和有毒废气控制”。2013 年，环保部下发《挥发性有机物（VOCs）污染防治技术政策》，首次就 VOCs 污染防治策略和方法给出指导性意见。2014 年国务院、环保部又陆续推出了一系列与 VOCs 污染控制和治理有关的政策。由此可见，我国已经从政策层面上开始注重 VOCs 的治理，未来将会有更多相关的法规标准、政策行动的出台，并将落实到大气污染防治的日常工作当中。

2.2. 国际 VOCs 排放控制的经验

欧盟作为可持续发展的典型，治理空气污染的历史由来已久，近年来针对空气污染的立法和政策也是日渐成熟；就 VOCs 而言，通过欧盟层面和国家层面制定和执行相关政策措施，欧盟内的 VOCs 在过去 20 年间得到了 40–50% 的削减¹⁰。1990 年英国实施的《环境保护法案》确立了 2010 年在 1990 年基准上减排 30% 的目标。1999 年《哥德堡协议书》中关于限定特定活动及设备所使用有机溶剂产生排放的理事会指令中提出 2010 年 VOCs 在 1990 年基准上减排 60%，德国要求

¹⁰ Ibid.

VOCs 的质量浓度和回收率分别为 $0.15\text{g}/\text{m}^3$ 和 99.99%，并于 2001 年实施的《联邦排放防治法》政令中指出，2010 年 VOCs 在 1990 年基准上减 70%¹¹。2005 年，“欧盟空气污染专题策略”制定发布，设立了欧盟空气污染进展方面的长期规划与目标。策略中强调了 2020 年前，要将由空气污染导致的死亡数量降低到 2000 水平的 60%¹²。在此策略的统一指引下，关于 VOCs 减排和控制的相关政策主要包括工业排放指令 2010/75/EU¹³和涂料指令 2004/42/CE¹⁴。工业指令所覆盖的行业包括比如能源行业、金属制造和加工行业、矿业、化工业以及垃圾处理和动物饲养等，强调实施最佳可得技术 (BAT)。涂料指令 2004/42/CE 则限制了一些涂料、油漆和汽车修补涂料产品中有机溶剂使用所产生的 VOCs 排放，其中规定了 12 类建筑涂料和 5 类汽车修补产品中的 VOCs 最高允许含量，以每升 (L) 使用状态下的涂料和产品中的 VOCs 质量含量 (g) 计。对于建筑涂料，分水性和溶剂型分别制定了两个阶段的限值。欧盟委员会要求成员国定期进行产品合规监测工作，并要定期向欧洲委员会提交合规情况报告¹⁵。

美国对 VOCs 污染控制的最终目标是使臭氧浓度达到国家环境空气质量标准的臭氧含量要求，其主要手段是以《清洁空气法》的规定为基本依据，通过美国国家环保局制定和颁布污染排放标准和控制技术指南等一系列重要法规和指南文件，指导州、地方环保局及企事业单位执行 VOCs 排放限制。自美国在《清洁空气法 1970 修正案》提出开展 VOCs 污染防治以来，先后颁布实施了新污染源排放标准、合理可行控制技术法规、有害空气污染物、排污许可证制度等涉及工业 VOCs 控制的法规标准，使得了 1970 年以后 VOCs 排放总量逐渐降低。自 1970 年美国开始控制与 VOCs 密切相关的臭氧浓度后，在 1970-1993 年间，美国 VOCs 的排放量降低了 38%。1990 年开始明确提出对 VOCs 的控制，首先控制汽车排放的 VOCs，随后控制工业的 VOCs 排放，同时根据大气中的臭氧浓度采取地区臭氧分级控制措施，要求臭氧浓度不合格的地区递交 15%VOCs 控制计划，这些措施的实施使得在 1990-2005 年间，VOCs 的减排量高达 55%。此外，1990 年美国规定

¹¹ 林立等, 2011. 国内外 VOCs 排放管理控制历程. 环境监测管理与技术.

¹² http://europa.eu/legislation_summaries/environment/air_pollution/index_en.htm

¹³ 工业排放指令 2010 年发布，是对综合污染预防与控制指令 (IPPC) 2008/1/EC 的修订和发展。欧盟修订了 IPPC 并将其他 6 个指令：大型燃烧装置指令，垃圾焚烧指令，溶剂排放指令和 3 个二氧化钛指令整合到了一起，形成了工业排放指令。

¹⁴ <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/HTML/?uri=URISERV:ev0027&qid=1414117145642&from=EN>

¹⁵ http://ec.europa.eu/environment/air/pollutants/stationary/paints/paints_legis.htm

石化和化工企业必须实施泄漏检测与修复计划(LDAR)；该规定实施后，石化和化工企业 VOCs 排放量分别降低 63%和 56%。

日本有关 VOCs 的法规主要有 3 种，分别是：2010 年 4 月开始实施 VOCs 排放设施的排放标准、2000 年强化的《恶臭防止法》和 1998 年《工业安全与卫生法》。此外，日本还有自发的团体和协会协调并促进企业进行 ISO14000 认定。2004 年日本修订版的《大气污染防治法》将 VOCs 列为规制对象，要求到 2010 年固定源的 VOCs 排放要在 2000 年基准上减排 30%。在印刷等高 VOCs 挥发的企业，要求当企业规模达到一定程度时必须安装 VOCs 处理、回收再利用装置，通过客户监督及 ISO14000 的上、下厂家延续效应，严格控制该固定源的 VOCs 排放量。

下图展示了欧盟、美国以及日本在上世纪末开展 VOCs 控制以来实现的减排效果，特别是欧盟和美国的减排效果显著，单位 VOCs 排放量和单位面积溶剂挥发所产生的 VOCs 排放量在 1990 年到 2000 年期间都实现了 10%以上的减排幅度。

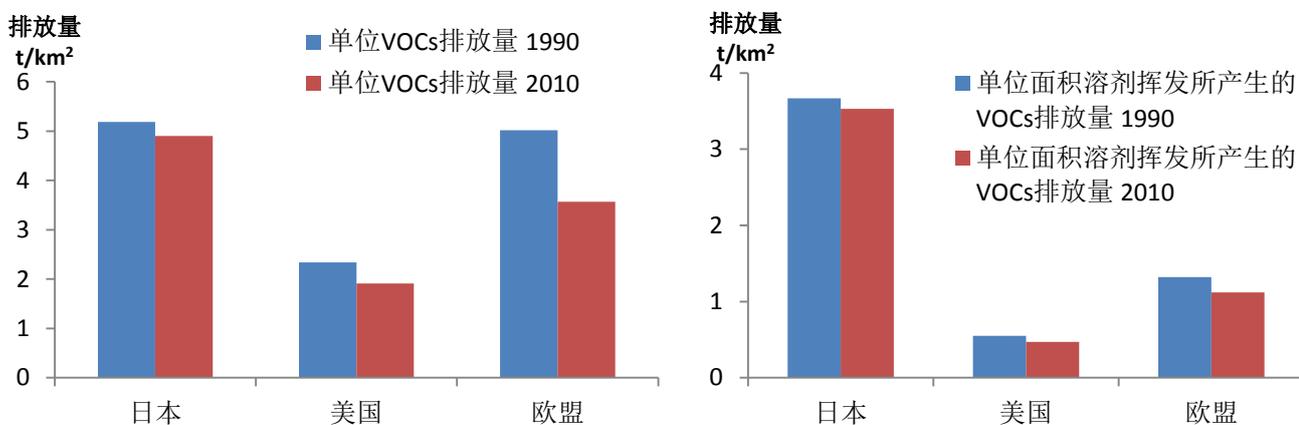


图 5 国际 VOCs 的控制效果

3. 中国在 VOCs 控制方面的政策

3.1. 我国 VOCs 污染防治未来政策走向

(1) 政策动态

从目前的政策发展趋势来看，“十二五”期间会重点完善 VOCs 相关法律法规体系的建设，预计“十三五”时期将成为 VOCs 监测及治理工作开展的重要时期。

目前备受业界人士以及公众关注的法规动态当属《大气污染防治法》的最新修订。在 2014 年 9 月发布的《大气污染防治法》征求意见稿中，在标准相关章节中，将 VOCs 的产品标准单列一条，要求制定燃煤、燃油、石油焦、生物质燃料、烟花爆竹、涂料等含挥发性有机物的产品质量标准，明确环保要求。在工业大气污染防治章节中，共有四条是和 VOCs 废气的防治有关，占到了该章节的一半以上，其余章节中也多次涉及 VOCs 防控相关，由此可见未来国家将会花大力气在 VOCs 的污染防治工作上，这将为各行业开展 VOCs 的治理工作以及相关市场的发展提供了根本依据。

2013 年，环保部制定了《大气挥发性有机物源排放清单编制技术指南（试行）》，这也意味着国家在全面开展大气污染源清单编制中，会将 VOCs 污染纳入其中，这是科学开展 VOCs 污染治理的基础，将有效支撑 VOCs 防治工作的推进。

据环保部科技标准司透露，目前正在制定 12 个全国性的行业 VOCs 排放标准，石油炼制、石油化工行业的 VOCs 排放标准有望年内出台，预计 3 年后 VOCs 排放标准体系将全部完成。

北京市已经发布了《印刷行业挥发性有机物排放标准》¹⁶、《木制家具制造业大气污染排放标准》¹⁷《汽车制造业（表面涂装）挥发性有机物排放标准》¹⁸和《汽车维修行业挥发性有机物排放标准》四个征求意见稿¹⁹，涉及到了苯、甲苯、二甲苯、

¹⁶ <http://www.bjtsb.gov.cn/infoview.asp?ViewID=52897>

¹⁷ <http://www.bjtsb.gov.cn/infoview.asp?ViewID=52893>

¹⁸ <http://www.bjtsb.gov.cn/infoview.asp?ViewID=53479>

¹⁹ <http://www.bjtsb.gov.cn/infoview.asp?ViewID=53483>

非甲烷总烃、苯系物合计等指标²⁰，预计这些标准会在今年年底正式出台，并在明年开始实施。在之前针对 VOCs 的重点排放行业炼油与大气工业的污染物排放标准中，已经有针对 VOCs 污染物的排放标准。同时，在排污费征收方面，北京市已经呈现“两增两严”的特点，征收总额和征收户数均大幅增长，污染物排放量的核定更加严谨，阶梯式差别化的收费政策执行更加严格²¹。在2014年5月份，北京市环保局就透露明年将制定挥发性有机物的排污费征收办法，标准将是全国最高水平。在同年出台的《北京市环境保护局关于执行二氧化硫等四种污染物排污收费调整标准有关事宜的通知》中，已经要求将 VOCs 企业进行标识。北京正研究挥发性有机物排污费征收办法，预估收费标准不会低于每公斤 10 元²²。

(2) 政策可能带来的市场影响

已经发布的各项政策表现出的 VOCs 治理走向以及将要出台的相关政策，必定会对所涉及到的产业发展带来不小的冲击。对涉及到需要开展 VOCs 治理的行业企业来说，需要加大相关投入，包括资金、人力等多个方面，但是与此同时，也为从事 VOCs 治理的企业带来良好的发展机遇。而且，对于需要治理 VOCs 的企业来说，虽然多了成本的支出，但是一些治理技术的改造应用也会带来收益增加。

油气和石化行业作为 VOCs 排放的大户，在国家 and 地方层面的政策中都要求对其进行 LDAR 技术改造，这就意味着各级油气和石化企业都需要加大在 VOCs 治理方面的设备投入、技术人员培养投入等。LDAR 这项技术在美国已经成熟开展，根据有关数据显示，美国油气行业执行 LDAR 每年可以减少超过 500 亿立方英尺的排放，花销每年只需要不到 5000 万美元，相当于油气行业年资本开支的 0.01%而已²³。美国环保局在发布 LDAR 时预测，通过执行 LDAR 项目，美国的炼油产业将能够减少 63%的设备逸散排放。另外，LDAR 将帮助美国减少化工设备 56%的 VOCs 排放。LDAR 的执行还将因此降低产品生产成本，减少排污费用，避免交

²⁰ <http://www.bjepb.gov.cn/bjepb/323474/334025/334036/410283/index.html>

²¹ 北京市环境保护局关于执行二氧化硫等四种污染物排污收费调整标准有关事宜的通知
(<http://www.bjepb.gov.cn/bjepb/323474/334025/334036/394122/index.html>);

<http://www.bjepb.gov.cn/bjepb/323474/331443/332112/332134/410412/index.html>

²² <http://news.sina.com.cn/o/2014-05-15/160830142819.shtml>

²³ Ramón Alvarez, Robert Harriss, David Lyon, *Oil and Natural Gas Sector Leaks-Peer Review Responses of Environmental Defense Fund*, 2014

付罚款；其他的好处包括增强对工人和设备安全的保护，减轻污染物对厂址周围居民的不良影响等。石油化工行业中设备的泄露总是会导致可销售产品的流失，产品流失自然导致收入的减少；并且从精炼厂和化工厂中泄露出的化合物很可能会使工厂工人及设备面临危险。减少泄露设备逸的散排放可以直接减小工人受毒害物质伤害的可能，并保护了工厂周围居民，使他们短期或长期内免受泄露设备逸散的有毒空气污染物对身体健康的影响。美国一些州和城市会基于设备总排放量向企业征收空气污染年费；有效执行 LDAR 减少逸散排放的企业有可能减少这种年费的支付，并明显降低企业被政府环保部门检查不合格以及被收取罚款的可能性。根据美国环保局当时在制定 LDAR 项目时所做出的预估，由于设备逸散排放所导致的产品价值损失是每吨 1370 美元。据此计算可知，美国每台设备平均每年总共可以节省 730000 美元²⁴。

我国 2011 年能够统计到的从事有机废气治理的企业数量约 160 家，有传统环保企业开始介入或者新企业开始从事 VOCs 的治理。我国 VOCs 治理市场开始呈现出强劲的发展势头，但总体上来讲，企业规模仍比较小，2011 年产值超过亿元的企业只有 2~3 家，超过 5000 万元的企业 15~18 家，大部分企业的产值在 1000 万~5000 万元之间，还有一部分小型企业的产值在 1000 万元以下。同时，一些国外代理或合资企业介入我国 VOCs 治理市场的力度明显加大，在 2011 年时这些企业的数量估计已经超过 15 家。与国内企业相比，国外企业的最大优势在于技术水平较高，工程设计规范和管理能力强，特别是在油气回收技术、工业废气溶剂回收技术、废气焚烧技术等国内技术水平较低的领域，国外企业近年来得到了较好的发展。据对 2011 年行业中的 30 家国内企业的经营状况调查，以及与 2010 年的相关数据进行对比分析，2011 年 VOCs 治理的产值应在 24 亿~32 亿元，比 2010 年提高了 15%~20%²⁵。在新的 VOCs 治理政策、标准井喷式的出台之后，会为 VOCs 治理的产业带来更大的市场，可能会达到千亿元。

²⁴ Office of Compliance, Office of Enforcement and Compliance Assurance, EPA, US, *Leak Detection and Repair A Best Practices Guide*

²⁵ 中国环境保护产业协会废气净化委员会。我国有机废气治理行业 2011 年发展综述

3.2. 已有 VOCs 控制政策回顾

2013 年国务院出台的《大气污染防治行动计划》被称为“史上最严格”的空气污染防治计划，简称“大气国十条”，为我国未来五年开展大气污染治理奠定了基础。在“大气国十条”中明确提出要推进挥发性有机物污染的治理工作。针对石油、化工以及其他生产和使用有机溶剂的行业企业，要求采取措施对管道、设备进行日常维护、维修，以减少物料泄漏，实现从源头控制挥发性有机物的排放，并对泄漏的物料应当及时收集处理。对于储油储气库、加油加气站、原油成品油码头、原油成品油运输船舶和使用油罐车、气罐车等的单位，应当安装油气回收装置，以减少挥发性有机物排放。

在“大气国十条”发布之后，各级地方政府也相继公布了各地的实施细则，多个省市都将 VOCs 的控制纳入计划中。《京津冀及周边地区落实大气污染防治行动计划实施细则》涉及三省一区两市，在细则中要求大幅度削减 VOCs 排放总量，开展油气回收治理、全面推行“泄漏检测与修复”技术，对有机化工、医药、表面涂装、塑料制品、包装印刷等重点行业的 559 家企业开展挥发性有机物综合治理。在广东省的大气污染防治行动方案中针对 VOCs 明确提出了 3 条治理方案，在河北省的行动方案中将 VOCs 排放总量的削减列为了 2017 年的目标之一，浙江省的行动方案中也将 VOCs 的治理作为了重点任务，提出了重点污染源的 VOCs 排放量削减目标。

(1) VOCs 专项治理政策

除了国家和省市各级政府的综合性大气治理政策以外，长三角和珠三角地区的部分省市还出台了针对 VOCs 的专项治理政策。

长三角地区：上海市在 2012 年就关于重点行业 VOCs 的污染防治工作出台了通知，要求将 VOCs 的污染纳入环境影响评价；2013 年，浙江省环保厅出台了 VOCs 污染整治方案，将全省 13 个主要 VOCs 污染行业全部纳入范围，明确提出 VOCs 的减排目标-到 2015 年，重点行业现役源 VOCs 排放总量在 2010 年国家规划基数 52.7 万吨的基础上下降 18%。

珠三角地区：2012 年广东省环保厅出台了《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》，在广州、深圳、东莞、佛山、中山五市开展 VOCs 污染防治试点工作，逐步探索建立 VOCs 排放总量控制制度（关于 VOCs 的总量控制在 2009 年的珠三角大气污染防治办法就已经有提到，应该是国内最早将 VOCs 纳入总量控制的区域），到 2015 年底，珠江三角洲地区 VOCs 重点污染源全部采取有效的处理措施；早在 2010 年，广东省就建立了珠三角区域 VOCs 重点监管企业名录以开展企业的 VOCs 排放治理行动。

（2）VOCs 排放标准体系

目前我国尚无全国性的、系统的 VOCs 排放标准体系，无法满足国家全面开展 VOCs 排放控制以及各地建立系统的 VOCs 污染防控体系的需求。

目前，在全国范围内涉及到 VOCs 排放标准的主要有 2007 年国家出台的针对储油库、加油站和汽油运输中的油气排放控制标准，并在标准中明确了分地区实施时间表。2008 年、2011 年和 2012 年分别发布了合成革和人工革、橡胶制品工业和炼焦化学工业这三个行业的污染物排放标准，其中的大气污染排放限制中明确提出了对苯、二甲苯、非甲烷总烃、VOCs 等的控制标准。

最新出台的天津市《工业企业挥发性有机物排放控制标准》是我国首个有针对性的全面覆盖了工业企业 VOCs 排放行业的强制性综合标准，规定了石油炼制与石油化学、医药制造、橡胶制品制造、涂料与油墨生产、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挥发性有机物排放的控制要求，涉及到有组织排放浓度及速率限值、无组织泄漏与逸散污染控制要求、厂界监控点浓度限值、管理规定及监测要求。但是在对排放控制限值部分，也只区分了苯、甲苯、二甲苯、甲苯与二甲苯合计以及 VOCs 总量几项。

在最早开展 VOCs 治理工作的广东省，则是在 2010 年针对家具制造业、包装印刷业、表面涂装业（汽车制造业）和制鞋行业分别制定了 VOCs 的排放标准，针对控制排放的 VOCs 只包含了苯、甲苯和二甲苯三种。

（3）VOCs 排污费收取相关政策

目前我国针对 VOCs 尚无排污收费制度，但是随着 VOCs 排放控制政策的推动，VOCs 排污费的收取也会被纳入环保体系中。

在“大气十条”中，除了提到要适当提高排污收费标准以外，还要求将 VOCs 纳入排污费征收范围。目前我国对工业企业的废气污染费征收主要是针对二氧化硫和氮氧化物开展的，部分地区如广东省有针对 VOCs 的排污费收取，但是也只限于苯、甲苯和二甲苯，额度也比较小。

2014 年 9 月，发改委、财政部和环保部联合印发了《关于调整排污费征收标准等有关问题的通知》，要求各省（区、市）结合实际，调整污水、废气主要污染物排污费征收标准，提高收缴率，实行差别化排污收费政策。通知规定，2015 年 6 月底前，各省（区、市）要将废气中的二氧化硫和氮氧化物排污费征收标准调整至不低于每污染当量 1.2 元，比之前的 0.6 元翻了一番。本次排污费的调整也为之后 VOCs 排污费的征收额度奠定了较高的起步基础。

（4）VOCs 治理技术要求

诸多治理政策中提出的治理目标和要求还需要技术力量的支撑，国家和地方都出台了一些技术政策来为 VOCs 的治理提供技术路线指引。

在 2013 年 5 月，环保部就 VOCs 污染防治发布了技术政策，作为 VOCs 污染防治的技术指导性文件。该文件指出，VOCs 污染防治应当遵循源头和过程控制与末端治理相结合的原则，并为多个行业的 VOCs 排放提出了防治策略和方法。典型的源头和过程控制的技术和方法包括了泄漏检测与修复（LDAR）计划、油气收集和回收系统、鼓励在生产和消费过程中使用更加环保的水性基及低有机溶剂型等的原料和产品等；在末端治理方面，针对不同组分和浓度的 VOCs 废气，提供了相应的技术选择；此外，还提到要鼓励相关新技术、新材料和新设备的研发，并推动 VOCs 的监测工作。

在石化行业开展“泄漏检测与修复（LDAR）”的技术改造已经被列入国家及多个地方的大气污染防治实施计划中。在已经出台的地方性 VOCs 防治的政策文

件中，也提出了 LDAR 的技术改造要求：上海市的专项通知中明确要加强石化行业的全过程控制，全面推行 LDAR 技术；江苏省要求石化、基础化工以及化纤企业的设备与管线组件、工艺排气、废气燃烧塔（火炬）、废水处理、化学品（含油品）贮存等多个工艺环节都建立 LDAR 体系；浙江省不仅在其专项整治方案中要求石化、基础有机化工及合成材料行业全面推行 LDAR 技术，并将该任务列入责任分解表中，要求在 2015 年以前在石化企业完成一轮 LDAR 改造，同时其他重点监控企业完成 LDAR 示范推广；珠三角地区也要求在石油加工行业推广使用 LDAR 技术。

江苏省在 2014 年发布了《重点行业的挥发性有机物污染控制指南》，针对 VOCs 废气的组分、产量、温度、压力等等因素给出了废气处理工艺的技术路线，并具体到化工、表面涂装、合成革、橡胶和塑料制品、印刷包装等十个行业的 VOCs 控制给出了建议的处理工艺路线。

（5）含 VOCs 产品的替换

对 VOCs 污染的控制不能忽视其源头，需要在产品替代方面多下功夫。

对于 VOCs 的监管，环境保护部污染防治司原司长赵华林在 2013 年第十三届中国国际环保展期间指出，VOCs 和别的污染物不一样，由于其具有挥发性，无组织排放占到 95%。我国企业 VOCs 排放很大部分是无组织排放，监控较难。因此，对挥发性有机物的监管需要从源头管理，企业应使用 VOCs 含量符合规定限值标准的原材料和产品，或使用低毒、低挥发性有机溶剂，这样可以从源头上对 VOCs 排放进行控制。同时，要生产和销售 VOCs 含量符合限值标准的产品。

在 VOCs 防治技术政策中，明确提出鼓励符合环境标志产品技术要求的水基型、无有机溶剂型、低有机溶剂型的涂料、油墨和胶粘剂等的生产、销售和使用。

（6）配套资金相关政策

2014 年北京市出台了《大气污染防治技术改造项目奖励资金管理办法》，列在支持范围的第一个就是 VOCs 治理领域，包括石油化工、油品储运、汽车制造、汽车修理、包装印刷、机械电子、工业涂装等重点行业低挥发性有机涂料替代、

有机废气治理等挥发性有机物污染治理环保技改项目。支持标准根据项目的总投资额分成两类，其中单个项目总投资 3000 万元以下由市级排污费专项资金、市级节能减排及环境保护专项资金安排以奖代补资金，而且会根据环保效益的不同，实行差别化的以奖代补资金支持比例；对于单个项目总投资 3000 万元以上(含)的，则纳入清洁生产中高费项目管理，由市政府固定资产投资给予补助，补助标准不超过项目总投资的 30%，单个项目支持资金最高不超过 2000 万元。

4. VOCs 排放控制技术分析

4.1. VOCs 控制的技术路径

根据大气中 VOCs 产生的原理和 VOCs 的理化性质，其控制技术可以分为两大类，过程控制和末端控制。过程控制是针对 VOCs 的产生过程，从 VOCs 的原理上减少 VOCs 的产生，一般通过工艺提升、技术改造和泄漏控制来实现。末端控制则是针对 VOCs 的化学特性，着力于 VOCs 废气的治理，利用燃烧、分解等方法来控制 VOCs 的排放。

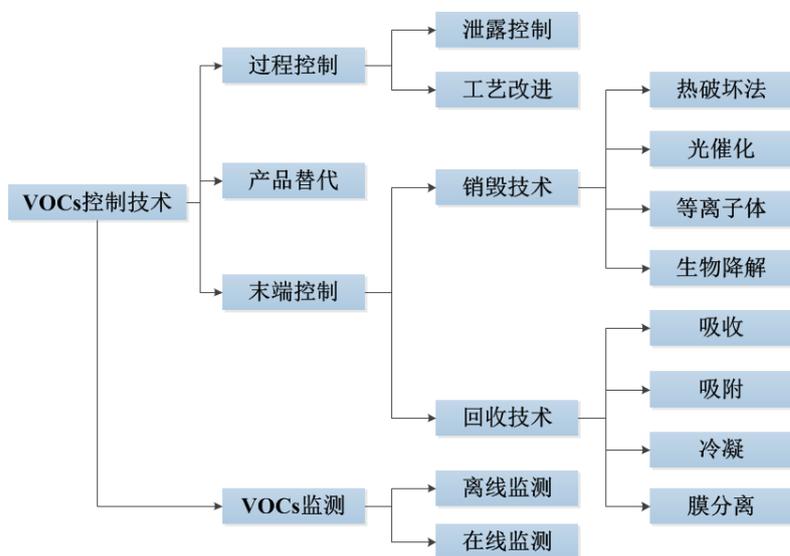


图 6 VOCs 控制技术路径分类

(1) VOCs 排放的过程控制

以改进工艺技术和更新运行设备为主的预防技术，是实现 VOCs 减排的最佳

选择。石油化工行业在原油开采、油品储存、运输、配给等生产环节，易发生油品或溶剂的蒸发散逸损耗，是 VOCs 的重要排放源。针对 VOCs 的蒸发逸散控制技术包括浮顶罐技术、蒸汽回收、加油站油气回收等，这类控制技术在我国石化行业应用普遍。泄漏检测与修复技术（LDAR）是对工业生产活动中工艺装置泄漏现象进行发现和维修的一种技术。国外企业实施 LDAR 技术多年，建立了完善的 VOCs 泄漏检测方法和散逸排放评估体系，而我国尚处于起步阶段。已有多家石化企业尤其是炼化企业目前已经引入 LDAR 理念，开展了“无泄漏管理系统”、“泄漏检测和修复系统”等²⁶。

对于涂料加工、钣金喷漆、印刷、金属清洗等行业在生产过程中会用到有机溶剂的挥发所产生的 VOCs，则采用无毒或低毒、不易挥发的原材料代替有机溶剂来减少这类 VOCs 的排放。

此外，改进生产工艺减少有机产品的使用也是 VOCs 减排的一个有效途径。以喷涂工艺为例，用涂布效率较高的静电式喷涂取代效率较低气雾式喷涂，可将涂布效率提高 30%—40%左右，既可以节省涂料用量，又能减少喷涂过程 VOCs 的释放。

然而，减少散逸、寻找替代产品和工艺改革并不能完全控制 VOCs 的排放，也在一定程度上受到经济、技术条件的制约，因此必须配合有效的末端处理技术，对于 VOCs 排放进行综合治理。

（2）VOCs 的销毁技术

VOCs 的销毁技术主要利用 VOCs 的可被氧化的化学特性，通过给予一定的条件，如燃烧、催化等条件，使其转化为对环境无害的 CO₂ 和 H₂O。主要销毁技术的原理如表 3 所示。

²⁶石化企业泄漏检测与维修技术研究现状及进展，2014

表 3 VOCs 销毁处理技术原理

方法	主要原理
直接燃烧	利用辅助燃料燃烧放出的热量,将气体加热到要求的氧化净化温度,使废气及其它可燃组分在高温下氧化成为 CO ₂ 和 H ₂ O。
热破坏法	
催化燃烧	在催化剂的作用下, 废气中的可燃组分在较低温度下进行燃烧氧化, 转变为 CO ₂ 和 H ₂ O。
等离子体	在非均匀电场中, 用较高的电场强度使气体产生“电子雪崩”, 出现大量自由电子。电子在电场力的作用下加速运动获得能量, 当电子所含能量高于或者相当于 C-H、C=C、C-C 键能时, 就可以打破这些键, 从而破坏有机物的结构。同时, 电晕放电可以产生以 O ₃ 为代表的具有强氧化能力的物质, 进而氧化有机物。
光催化降解	在特定的光源照射下, 使吸附在催化剂表面 VOCs 废气氧化, 生成 CO ₂ 和 H ₂ O。
生物降解	在特定的光源照射下, 使吸附在催化剂表面的 VOCs 废范围广气氧化, 生成 CO ₂ 和 H ₂ O。

(3) VOCs 的回收技术

VOCs 的回收技术主要是利用 VOCs 的物理性质, 利用吸收、吸附、冷凝等方法将 VOCs 从废气中分离出来, 再采取一定手段将 VOCs 富集回收处理, 以达到 VOCs 排放的末端治理。

吸收法主要是采用低挥发或不挥发溶剂对 VOCs 进行吸收, 再利用 VOCs 分子和吸收剂物理性质的差异进行分离。吸收效果主要取决于吸收剂的性能和设备结构。

冷凝法是利用 VOCs 在不同温度下具有不同饱和蒸气压的这一性质, 采用降低温度、提升压力或者兼备降低温度、提升压力两种条件的方法, 使处于蒸汽状态的 VOCs 冷凝进而与废气分离。冷凝法常作为其他方法处理高浓度有机气体的前净化处理。

吸附法是利用固体表面存在的分子吸引力和化学键作用, 将 VOCs 组分吸附在多孔性固体表面, 从而将 VOCs 从废气中分离的一种净化方法。这种方法由于吸附剂的选择性较强, 分离效果好而得到广泛应用。

膜分离法是利用有机蒸气通过半透膜的能力与速度不同而得到分离的方法。

(4) VOCs 的监测技术

VOCs 排放控制的重要前提是准确可靠的监测分析方法。近年来 VOCs 测量技术一直处于不断发展和完善的过程中，VOCs 的监测方法主要包括离线监测技术和在线监测技术，这些技术通常包括采样、浓缩、分离和测试几个过程。

VOCs 的离线监测主要包含三个重要过程，即采样、样品的预处理和测试。目前应用较多的离线采样技术有罐采样、固相微萃取等。同时还有针对含氧有机物（如极性较强的醛、酮、醇、醚、酯等）的化学衍生试剂吸附法。

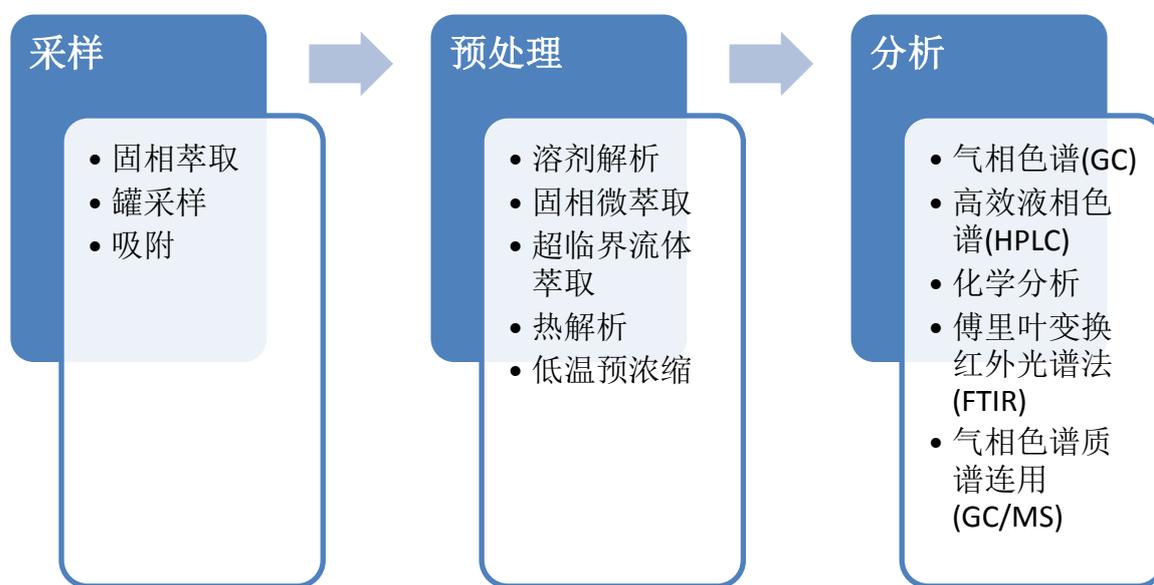


图 7 VOCs 离线监测三个环节的主要方法

预处理是为了给后续分析、测试方法做准备，一般包括浓缩和提取，主要方法有溶剂解析、固相萃取、热解析等。VOCs 常见的分析方法包括气相色谱法(GC)、荧光分光光度法、高效液相色谱法 (HPLC)、傅里叶变换红外光谱法 (FTIR)、气相色谱—质谱法 (GC-MS) 等，此外还有反射干涉光谱法、离线超临界流体萃取-GC-MS 法和脉冲放电检测器法等，其中应用最多的是 GC 和 GC-MS 法。

随着监测技术的进步，目前已经发展了一系列 VOCs 现场在线分析仪及便携手持式检测仪，并逐步应用于 VOCs 污染状况的长期监控分析，该方法在国外主要用于有毒有害物质监测和臭氧前驱体监测。与此同时，面对环境突发事件日益

增多的局面，便携式气相色谱仪、便携式 FID/PID 检测器、便携式气质联用仪等等也被广泛用于环境突发事件的 VOCs 监测。自动连续测量的好处在于：节省人力、维护量小、避免长时间保存和运输样品的不确定性、捕捉大气中痕量污染物的快速变化等。目前比较常见的在线测量技术有 GC-FID/PID、GC-MS/FID 以及 PTR-MS。

4.2. VOCs 控制技术评估

(1) VOCs 的销毁技术

a) 热破坏法：设备简单，占地少，操作方便

原理：直接燃烧法和催化燃烧法统称为热破坏法，其破坏机理是氧化、热裂解和热分解。其中，直接火焰燃烧对有机废气的热处理效率相对较高，一般情况下可达到 99%，催化燃烧是指在催化剂的作用下，在温度不高的情况下加快有机废气的化学反应速度，从而达到治理 VOCs 的目的。

适用范围：热破坏法适合小风量，高浓度的气体处理以及连续排放气体的场合。

优缺点：热破坏法的优点是使用设备简单、投资少、操作方便、占地面积少，另外还可以回收利用热能，气体净化彻底。但是热破坏法也有一些不足，相对于催化燃烧，直接燃烧法有燃烧爆炸的危险，且需消耗大量燃料，不能回收溶剂。虽然催化燃烧所要求的起燃温度较低，大部分有机物和 CO 在 200~400℃即可完成反应，辅助燃料消耗少，但是热催化氧化法中不允许废气中含有影响催化剂寿命和处理效率的尘粒和雾滴，也不允许有使催化剂中毒的物质，否则会导致催化剂中毒或者催化效率变的极低，因此在采用催化燃烧技术处理有机废气前往往需要对废气作前处理。



图8 热力氧化焚烧系统 (TO, Thermal Oxidizer) ²⁷



图9 催化氧化系统 (CO, Catalytic Oxidizer) ²⁸

b) 等离子体法：效率高、费用低，处理量较小，存在二次污染

原理：目前发展前景比较广阔的等离子体技术是电晕放电技术。其基本原理是通过陡前沿、窄脉宽(ns 级)的高压脉冲电晕放电，在常温常压下获得非平衡等离子体，即产生大量的高能电子和 $O \cdot$ 、 $OH \cdot$ 等活性粒子，对 VOCs 分子进行氧化、降解反应，使 VOCs 最终转化为无害物。

适用范围：电晕放电技术对 VOCs 的处理效率很高，应用范围也十分广泛，基本上各类 VOCs 都能有效处理，对低浓度 VOCs 处理效果显著。

优缺点：等离子体技术处理 VOCs 具有效率高、能量利用率高、设备维护简单、费用低等优点。运行工艺简单，维护方便、能耗低，比传统方法更经济有效。但是该技术目前还处于实验室研究阶段，处理量较小；此外，该技术对电源的要

²⁷ 资料来源：江苏蓝晨环保科技有限公司，海通证券研究所

²⁸ 资料来源：江苏蓝晨环保科技有限公司，海通证券研究所

求很高，在分解 VOCs 分子的同时，还会产生 NOX、CO、O₃ 等一些有害副产物。

c) 光催化：经济实用，安全净化

原理：光催化是利用光源来驱动光催化剂，分解有机污染物。光催化剂在紫外光的辐照下，产生具有强氧化能力的空穴，可以将 VOCs 彻底分解为 CO₂ 和 H₂O。

以 TiO₂ 催化剂为例，TiO₂ 的带隙能 $E_g=3.2\text{eV}$ ，在波长小于 380nm 的紫外光照射下，TiO₂ 会被激发产生导带电子和价带空穴，导致 VOCs 的氧化分解。光催化降解 VOCs 属于多相催化反应，是气相反应物（VOCs）与固相光催化剂的表面进行接触而发生在两相界面上的一种反应。该过程如下：VOCs 分子向固体催化剂外表面扩散，继而被固体表面吸附，当紫外光照射到固体表面的时候，吸附在催化剂表面的 VOCs 分子就发生了反应，反应结束后产物分子从催化剂表面脱落，从催化剂外表面扩散到气流之中。

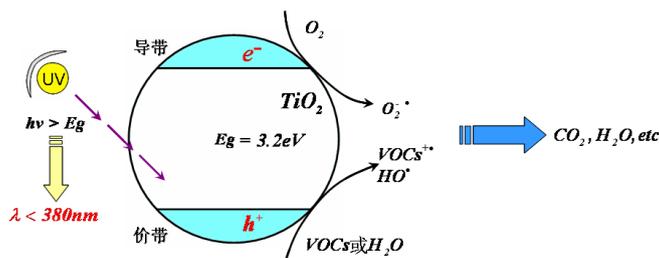


图 10 TiO₂ 光催化降解 VOCs 反应机理图²⁹

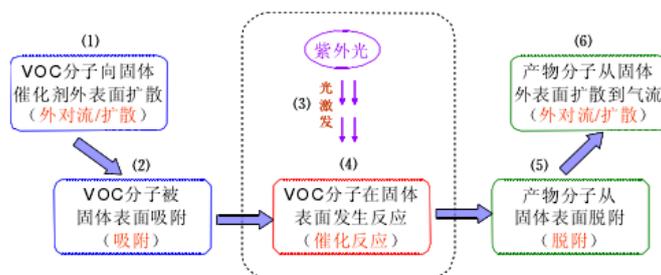


图 11 光催化降解 VOCs 反应步骤图³⁰

图 12 列举了三种常见的反应器形式。目前比较普遍的光催化反应器的结构形式有主平板型、管状、蜂窝型和光纤反应器等。

²⁹资料来源：《VOC 处理技术调研》，海通证券研究所

³⁰资料来源：《VOC 处理技术调研》，海通证券研究所

适用范围：几乎对所有的污染物都能起作用，常温下即可发生反应

优缺点：跟传统净化技术相比，光催化具有以下四个方面的特点：1. 彻底的净化，光催化是对 VOCs 进行分解操作而不是简单的吸附；2. 对于一些难以除去的较低浓度的挥发性有机物，光催化也同样能起作用；3. 光催化在常温条件下即可实现，不像吸收法或者吸附法那样存在饱和问题或者需要更换滤芯，经济实用，效率高省电；4. 光催化不需要高电压就能工作，最终的产物是 CO₂ 和 H₂O，对人体无害，而且噪音很小。光催化的缺点是难以找到合适的光触媒材料，目前比较常用的光触媒材料有硫化镉 (CdS) 和氧化锌 (ZnO) 以及二氧化钛 (TiO₂)。硫化镉和氧化锌这两者的化学性质不稳定，会在光催化的同时发生光溶解，溶出有害的金属离子具有一定的生物毒性。二氧化钛的化学性质稳定，而且无毒无害，价格低廉。但是存在的缺点是紫外光响应，不能最大化利用太阳能，虽然通过掺杂可以达到可见光响应，但是效率仍然比较低。

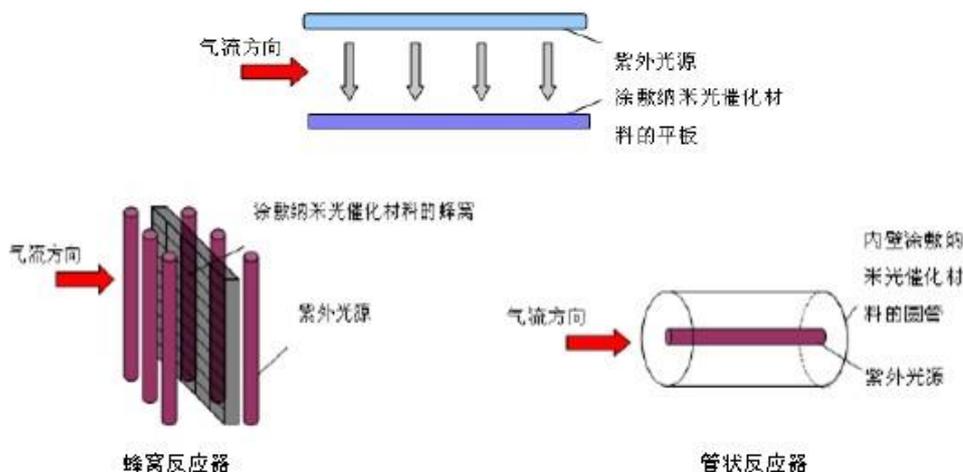


图 12 三种常见光催化反应器的结构示意图³¹

d) 生物法：工艺简单，运行费用低，但对高浓度 VOCs 难以达到净化要求

原理：采用生物处理方法处理有机废气，是利用微生物的代谢作用，将 VOCs 转化为二氧化碳和水等无机物。一般情况下，一个完整的生物处理有机废气过程包括 3 个基本步骤：①有机废气中的有机污染物首先与水接触并迅速溶解；②溶

³¹资料来源：《VOC 处理技术调研》，海通证券研究所

解的有机物逐步扩散到生物膜中，进而被附着在生物膜上的微生物吸收；③被微生物吸收的有机废气，在其自身生理代谢过程中会被降解，最终转化为对环境无害的化合物。

适用范围：该方法适用于小风量、低浓度或者有异味的 VOCs 治理。

优缺点：生物法具有设备工艺简单、运行费用低、二次污染小等优点，该方法对场地、操作条件较为苛刻，设备体积大、净化速度慢。停留时间长，仅适用于低浓度 VOCs 净化，当废气中 VOCs 浓度较高时往往难以达到净化要求。

(2) VOCs 的回收技术

a) 吸收法：适用于处理大风量、常温、低浓度有机废气。吸收剂后处理成本高，对有机成分选择性大

原理：吸收法利用的是某一 VOCs 易溶于特殊的溶剂的这种特性对其进行处理的一种方法。其吸收过程是根据有机物相似相溶原理实现的。实际操作中，以液体溶剂作为吸收剂，使废气中的有害成分被液体吸收，从而达到净化的目的。吸收法常采用柴油、煤油等一些沸点较高、蒸气压较低的物质作为溶剂，从而使 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 VOCs，同时使溶剂得以再生。该法不仅能消除气态污染物，还能回收一些有用的物质。

适用范围：吸收法可用来处理的气体的流量一般为 3000-15000m³/h、浓度为 500-5000×10⁻⁶ml/m³ 的 VOCs，去除率可达到 95%-98%。为了增大 VOCs 与溶剂的吸收率和接触面积，这个过程通常都在装有填料的吸收塔中完成。

优缺点：对于处理大风量、常温、低浓度有机废气，吸收法比较有效且费用低，而且能将污染物转化为有用产品。溶剂吸收法仍有不足之处在于：吸收剂后处理的投资大，并且对有机成分选择性大，易出现二次污染。因而在使用吸收法处理 VOCs 时需要选择多种不同溶剂分别进行吸收，这样就增加了成本与技术的复杂性。另外，有机物在吸收剂中的溶解度、有机废气的浓度、吸收器的结构形式等等均为吸收法的影响因素，任何一项发生改变都可能会影响到吸收法的效率。

b) 吸附法：去除效率高、工艺成熟，但设备庞大，流程复杂，投资运行费用较高

原理：吸附法利用某些具有吸附能力的物质如活性炭、硅胶、沸石分子筛、活性氧化铝等具有多孔材料吸附有害成分而达到消除有害污染的目的。目前广泛应用的吸附材料是微孔和介孔材料，用以处理 VOCs 最常用的吸附剂有活性炭和活性碳纤维，所用的装置为阀门切换式两床(或多床)吸附器。精馏塔主要包括吸附净化、脱附再生和精馏三个过程。此吸附多为物理吸附，过程可逆；吸附达饱和后，用水蒸气脱附，再生的活性炭就可以循环使用。

适用范围：这种方法对于各种浓度、须回收的溶剂类 VOCs 具有显著的经济效益。去除率可达到 90%-95%。

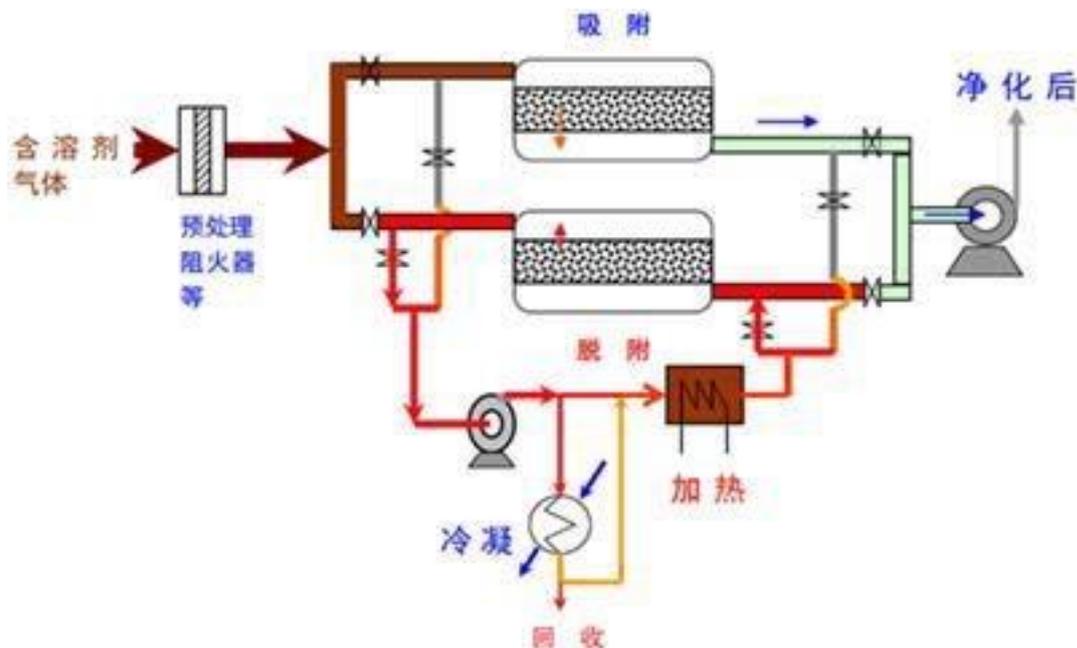


图 13 气体循环脱附分流回收吸附工艺原理示意图³²

应用分析：吸附法的优点在于去除效率高、能耗低、工艺成熟、脱附后溶剂可回收。缺点在于是设备庞大，流程复杂，投资后运行费用较高。此外，活性炭西服中，炭在蒸汽再生过程中产生的冷凝液经回收 VOCs 后排放，可能造成二次污染，在使用方法处理 VOCs 时对废液须有处理措施。

³²资料来源：《VOC 处理技术调研》，海通证券研究所

我国相关单位自 2008 年开始活性炭吸附惰性气体循环脱附分流回收技术的工程示范,通过多个工程的持续改进已在解决气体循环加热与冷却回收间的矛盾,脱附过程安全性、脱附过程能源的综合利用等方面取得突破,形成了稳定可靠的循环脱附分流回收技术工艺及装备体系。与传统的蒸汽脱附不同,活性炭吸附惰性气体循环脱附分流回收技术采用惰性气体作为传热和脱附的介质,配合装置中的预处理脱水系统,回收有机溶剂液体中水分的含量很低,部分情况下可直接返回生产工艺回用,对于水溶性较大的溶剂更具回收优势。同时由于不像传统的蒸汽再生系统那样需要较多量的水蒸汽作为动力输送蒸汽并在后续的冷凝器中被冷凝而消耗,系统的总体能耗较低。另外,由于采用气体脱附回收,对于一些通常操作条件下易水解或水蒸气脱附较困难的沸点较高的有机气体组分也有良好的脱附回收效果。气体循环脱附分流回收吸附净化工艺装置能对大多数种类有机物污染气体中的有机物进行回收,同时实现气体的达标排放。

活性炭吸附惰性气体循环脱附分流回收技术对有机气体成分的净化回收效率一般大于 90%, 也可达 95%以上。单位投资大致为 9~24 万元/千 (m^3h^{-1}), 回收有机物的成本大致为 700~3000 元/吨, 投资回收年限在 2~5 年。该技术通过 5 年的开发示范,目前已成熟、稳定,可实现自动化运行。但由于有机气体处理设备安全设施配置要求较高等因素、投资费用相对一般的环保净化设备较高。该技术适用于石油,化工及制药工业,涂装、印刷、涂布,漆包线、金属及薄膜除油,食品,烟草,种子油萃取工业,及其他使用有机溶剂或 C4-C12 石油烃的工艺过程。

c) 冷凝法: 适合处理高浓度的 VOCs, 但成本高昂

原理: 对于高浓度 VOCs, 可以使其通过冷凝器, 气态的 VOCs 降低到沸点以下, 凝结成液滴, 再靠重力作用落到凝结区下部的贮罐中, 从贮罐中抽出液态 VOCs, 就可以回收再利用。

适用范围: 适合处理气体流量一般为 600-120000 m^3/h 、浓度为 5000-12000 $\times 10^{-6}\text{ml}/\text{m}^3$ 的 VOCs, 去除率为 50%-90%。为了增大 VOCs 与溶剂的吸收率和接触面积, 这个过程通常都在装有填料的吸收塔中完成。

优缺点: 这种方法对于高浓度、须回收的 VOC 具有较好的经济效益。然而,

采用该法回收 VOC，要获得高的回收率，系统就需要较高的压力和较低的温度，故常将冷凝系统与压缩系统结合使用，设备费用和操作费用较高，适用于高沸点和高浓度 VOCs 的回收。该法一般不单独使用，常与其它方法(如吸附、吸收、膜分离法等)联合使用。

d) 膜分离：设备简单，无二次污染。对成分复杂 VOCs 去除效果较差

原理：膜分离是一种新的高效分离方法。图 12 表示的是膜分离流程原理示意图，装置的中心部分为膜元件，常用的膜元件有平板膜、中空纤维膜和卷式膜，又可分为气体分离膜和液体分离膜等。以气体膜分离技术为例，其原理是：利用有机蒸气与空气透过膜的能力不同，使二者分开。其过程分两步：首先压缩和冷凝有机废气，而后进行膜蒸汽分离，含 VOCs 的有机废气进入压缩机，压缩后的物流进入冷凝器中冷凝，冷凝下来的液态 VOC 即可回收；物流中未凝部分通过分离，分成两股物流，渗透物流含有 VOCs，返回压缩机进口；未透过的去除了 VOCs 的物流(净化后的气体)从系统排出。为保证渗透过程的进行，膜的进料侧压力需高于渗透后物流侧的压力。

适用范围：适合于处理较浓的物流，即 VOCs 浓度大于 $1000 \times 10^{-6} \text{ml/m}^3$ 的气体，系统的费用与进口流速成正比，与浓度则关系不大。

优缺点：设备简单，运行维护费用低，无二次污染，但是对成分复杂的废气或难以降解的 VOC，去除效果较差。

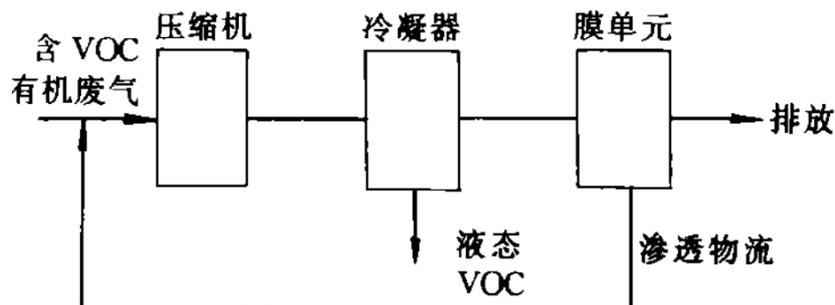


图 14 膜分离流程原理示意图³³

表 4 对四种 VOCs 回收方法进行了简单的比较，可以看到 VOCs 回收方案的选

³³ 资料来源：《有机废气中挥发性有机物(VOC)的净化回收技术》，海通证券研究所

择取决于许多因素，包括 VOCs 的性质和浓度、进入物流的流速、回收效率、污染物的回收价值等。

对于 VOCs 浓度小于 $5000 \times 10^{-6} \text{ ml/m}^3$ 的情况，利用炭吸附法回收 VOCs 是不错的方法；当浓度大于 $5000 \times 10^{-6} \text{ ml/m}^3$ 时，则需在吸附前对 VOCs 进行稀释。炭吸附的费用取决于移出 VOCs 的数量和流速。

吸收法适合用于处理大风量、常温、低浓度有机废气，费用较低，而且能将污染物转化为有用产品。

冷凝法对高沸点的有机物效果较好，对中等和高挥发的有机物效果不好，该方法适合 VOCs 浓度大于 $5000 \times 10^{-6} \text{ ml/m}^3$ 的情况，并且需低温和高压，因此冷凝法的设备费用和操作费用高，回收率不高，故很少单独使用，往往和其他回收方法混合使用。

膜分离方法的费用与进口流速成正比，与浓度则关系不大。对大多数间歇过程，其温度、压力、流量和 VOCs 的浓度会在一个范围内变化，这就要求回收设备有较大的适应性，而膜系统正能满足这一要求。

表 4 各类 VOCs 回收方法比较³⁴

回收处理技术	VOC 浓度 ($\text{V} \times 10^{-6}$)	流量 ($\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$)	回收率 (%)	优点	缺点
吸收法	500-5000	3000-15000	95-98	对处理大风量、常温、低浓度有机废气比较有效且费用低，而且能将污染物转化为有用产品。	吸收剂后处理投资大，对有机成分选择性大，易出现二次污染。
碳吸附法	20-5000	600-360000	90-95	去除效率高、能耗低、工艺成熟、脱附后溶剂可回收。	设备庞大，流程复杂，投资后运行费用较高且有二次污染产生。
冷凝法	5000-12000	600-120000	50-90	对于高沸点、高浓度、须回收的 VOC 具有较好的经济效益。	设备费用和操作费用较高。对于沸点小于 38°C 的 VOC 不适用。
膜分离	>500		90-99	设备简单，运行维护费用低，无二次污染。	对成分复杂的废气或难以降解的 VOCs，去除效果较差。

³⁴ 资料来源：《有机废气中挥发性有机物(VOC)的净化回收技术》，海通证券研究所整理

4.3. 国家鼓励的控制技术³⁵

技术名称	技术原理	适用行业
挥发性有机气体 (VOCs) 循环脱附分流回收吸附净化技术	采用活性炭作为吸附剂,采用惰性气体循环加热脱附分流冷凝回收的工艺对有机气体进行净化和回收。回收液通过后续的精制工艺可实现有机物的循环利用。该技术对有机气体成分的净化回收效率一般大于 90%,也可达 95%以上。单位投资大致为 9~24 万元/千(m ³ h ⁻¹),回收有机物的成本大致为 700~3000 元/吨。	石油化工、制药、印刷、表面涂装、涂布等
高效吸附-脱附-(蓄热)催化燃烧 VOCs 治理技术	利用高吸附性能的活性炭纤维、颗粒炭、蜂窝炭和耐高温高湿整体式分子筛等固体吸附材料对工业废气中的 VOCs 进行富集,对吸附饱和的材料进行强化脱附工艺处理,脱附出的 VOCs 进入高效催化材料床层进行催化燃烧或蓄热催化燃烧工艺处理,进而降解 VOCs。该技术的 VOCs 去除效率一般大于 95%,可达 98%以上。	石油、化工、电子、机械、涂装等行业
活性炭吸附回收 VOCs 技术	采用吸附、解析性能优异的活性炭(颗粒炭、活性炭纤维和蜂窝状活性炭)作为吸附剂,吸附企业生产过程中产生的有机废气,并将有机溶剂回收再利用,实现了清洁生产和有机废气的资源化回收利用。废气风量:800~4000m ³ /h,废气浓度:3~150g/m ³ 。	包装印刷、石油、化工、化学药品原药制造、涂布、纺织、集装箱喷涂及合成材料等行业
高效 VOCs 催化燃烧技术	含有 VOCs 的固定源尾气,通过热交换器的换热和加热器(仅开车或 VOCs 含量偏低时启动)的加热,使尾气加热到催化剂的起燃温度(~250°C)后进入催化反应器,在催化剂的催化氧化作用下,VOCs 被氧化成 H ₂ O 和 CO ₂ ,并释放出大量热量,催化氧化反应后的高温尾气经过余热利用后通过烟囱排空。	含有 VOCs 的固定源尾气
中高浓度 VOCs 蓄热催化燃烧 (RCO)净化技术	在旋转阀式蓄热催化燃烧设备中,首先利用堇青石-莫来石复相材料的蓄热和放热性能,加热未反应的有机废气,在蓄热催化一体化材料上发生催化氧化反应,气体中的挥发性有机物转化为二氧化碳和水,并释放反应热,反应后的气体将热量传递给蓄热材料,以高于进口气体 20~30°C 的温度排放。该技术的热回收效率可达 90%;有机物净化效率 95%以上;适用的有机物浓度范围为 500mg/m ³ 以上,无二次污染物排放;单位投资大致为 50~100 万/10000m ³ 。	中高浓度有机废气,特别是各类烘干废气
治理 VOCs 的 RTO 及余热利用技术	以蜂窝陶瓷蓄热体为核心材料制成的蓄热式热力氧化 RTO 系统,经“蓄热—放热—清扫”过程,实现使工业生产过程中排放的可挥发性有机化合物 VOCs 的无害化燃烧,使 VOCs 的排放达到行业排放法规要求。利用燃烧产生的余热,经余热锅炉和汽轮发电系统发电,或直接生产蒸汽或热水,达到节能和环保的目的。系统 VOCs 的脱除率大于 95%,能量回收率高于 90%。	用于石油、化工、农药等行业
低浓度多组分工业废气生物净化技术	利用高效复合功能菌剂与扩培技术,强化废气生物净化的反应过程;针对不同类型废气应用新型的生物净化工艺(设备),强化废气生物净化的传质过程;装填具有高比表面积和生物固着力的生物填料,解决微生物附着难、系统运行不稳定的问题。该技术适用范围广,运行管理方便,二次污染少;H ₂ S 的去除率可达 95%以上,VOCs 的去除率达 80%~90%。	适用于低浓度多组分工业废气排放控制

³⁵ 科技部、环保部,大气污染防治先进技术汇编,2014.

变温吸附有机废气治理及溶剂回收技术	<p>采用活性炭或碳纤维为吸附材料,在吸附器内,废气中有机成分得到净化,尾气达标排放。同时通过热空气、水蒸气使有机废气脱附,经过冷却后回收利用。通过设置多组吸附器循环切换使用,实现装置连续自动运行。该技术的有机物净化效率一般大于 90%,最高可达 99.99%以上;非甲烷总烃排放浓度一般小于 120mg/m³,最低可达 2mg/m³ 以下;单套投资大致为 150~800 万元,单位运行成本通常为 0.8~1.5 元/kg。</p>	<p>石油化工、有机化工、涂布、印刷、制药、制革等</p>
冷凝与变压吸附联用有机废气治理技术	<p>采用多级冷凝技术,使废气中的有机成分在常压下凝结成液体析出,经净化的废气进入活性炭吸附器进行拦截,确保达标排放,吸附饱和后采用负压脱附方式提取高浓度废气,并送回前端冷凝装置。冷凝与变压吸附联用处理工艺确保废气达标排放。该技术的有机物净化效率一般大于 98%,可达 99%以上;非甲烷总烃排放浓度一般小于 120mg/m³;单位投资大致为 0.4~0.8 万/m³,单位小时运行成本通常为 0.08~0.2 元 /m³。</p>	<p>石油化工、有机化工、油气储运等</p>
转轮与蓄热式燃烧联用有机废气治理技术	<p>采用高浓缩倍率沸石转轮浓缩设备将废气浓缩 10~15 倍,浓缩后的废气进入蓄热式燃烧炉进行燃烧处理,被彻底分解成 CO₂ 和 H₂O,反应后的高温烟气进入特殊结构的陶瓷蓄热体,95%的废气热量被蓄热体吸收,温度降到接近进口温度。不同蓄热体通过切换阀或者旋转装置随时间进行转换,分别进行吸热和放热,对系统热量进行有效回收和利用,热回收效率可达 95%以上,处理效率可达 95~99%,出口浓度优于国家相关标准。</p>	<p>有机化工、电子、半导体、涂装、涂布、印刷等行业</p>
适用于煤化工酸性气体净化的硫磺回收技术	<p>采用无在线炉两级克劳斯富氧或纯氧制硫工艺 + 多种尾气处理组合工艺,产出优级品硫磺,尾气达标排放。根据不同的装置规模及不同的尾气处理工艺配置,装置投资回收期各异。</p>	<p>煤化工、化肥等行业</p>
石化、化工行业酸性气体净化无在线炉硫磺回收及尾气加氢还原吸收工艺技术	<p>原料酸性气通过无在线炉两级克劳斯+尾气加氢还原吸收工艺,产出优级品硫磺,尾气达标排放。装置总硫收率≥99.9%。</p>	<p>石化、化工等行业</p>
生活垃圾及工业危废焚烧烟气净化系统技术	<p>采用“活性炭吸附+干法脱酸塔+袋式除尘器+湿法脱酸+脱白”的工艺路线,干法净化工艺是将碱性反应物以干粉形式喷入反应塔中,中和反应的生成物以固态形式收集,通过除尘器除尘后的酸性气体从袋式除尘器出口出来,再进入湿式脱酸塔进行二级脱酸,脱白工艺主要是脱除白烟(水蒸气),实测能满足欧盟 2000 标准的排放要求。</p>	<p>生活垃圾、工业危废焚烧炉等</p>
低温等离子体协同净化机制处理复杂有毒有害工业废气技术	<p>利用高压电场分离复杂有毒有害工业废气的气溶胶组分;利用低温等离子体净化或改性复杂有毒有害工业废气的气态污染物组分;利用生化、催化、吸收或吸附等净化机制处理低温等离子体改性的污染组分。克服了现有低温等离子体技术存在的二次污染和能耗高,以及部分污染物不能高效生化降解、催化技术应对复杂有机废气存在的易中毒、吸收作用不能高效分离水溶性差的污染组分等问题。</p>	<p>气溶胶污染物和各类气态污染物共存的复杂有毒有害工业废气</p>

5. VOCs 治理市场空间

5.1. 工业源 VOCs 的减排需求

预计到 2020 年，工业源重点行业 VOCs 的减排需求累计约为 430 万吨，带来的市场空间累计为 1731.64 亿元，包括：含 VOCs 产品的使用和排放环节的减排需求市场空间为 759.22 亿元；VOCs 生产 276.98 亿元；VOCs 储运 463.45 亿元；以 VOCs 为原料的生产工艺过程减排 231.99 亿元。

表 5 重点工业行业 VOCs 治理市场空间³⁶

	2009 年 VOCs 排放量 (万吨)	至 2020 年复合增长率	减排率	截止 2020 年削减量 (万吨)	对应市场空间 (至 2020 年)
VOCs 的生产:	178.5	--	--	148.36	276.98
石油炼制及石油化工	153.49	5%	50%	131.26	230.80
有机化工	25	5%	40%	17.10	46.18
VOCs 的储运	170.4	5%	30%	87.44	463.45
以 VOCs 为原料的生产工艺过程	128.5	--	25%	71.45	232.00
基础化学原料	25	5%	25%	10.69	37.68
合成材料	49.23	5%	25%	21.05	65.34
塑料制品制造	35.6	5%	25%	15.22	30.06
食品	30	5%	25%	12.83	61.41
化学原料药	20	8%	25%	11.66	37.50
含 VOCs 产品的使用和排放	498.7	--	30%	271.33	759.22
包装印刷	300	5%	30%	153.93	374.56
涂装类：交通运输设备制造与维修	53.17	8%	30%	37.19	130.79
涂装类：金属制品制造、通用设备及专用设备制造、电器机械吉器材制造、仪器仪表、文化办公、机械制造	115.92	5%	30%	59.48	187.54
涂装类：通信设备、计算机及其他电子设备	29.64	8%	30%	20.73	66.33
总计	976.09			430.22	1731.64

5.2. VOCs 生产环节治理市场空间

所需要的技术/控制措施：

(1) 泄漏检测与修复 (LDAR)：包括充入、呼吸、排空、转移损耗。用于在炼油厂、油库、加油站的逸散排放控制；散逸点通常在设备元件、设备轴封处等。

³⁶ 海通证券研究所

(2) 浮顶罐替代固定罐，或安装密闭排气系统：浮顶盖浮于液面之上，使页面上没有空隙，当液体注入时可令顶盖随之浮动，避免损耗。

(3) 末端处理：安装焚烧或吸附装置。

(4) 工艺改进：从源头控制 VOCs 的排放。

表 6 VOCs 生产环节治理市场空间³⁷

	末端处理方 法	末端处 理费用 (万元/ 万吨)	源头 (减 排贡 献率)	末端 (减 排贡 献率)	运输罐车安 装油气回收 装置罐车/浮 顶罐/LDAR	工艺改 进(减排 贡献率)	末端处 理费用 (万元/ 吨)	运输罐车安装油 气回收装置罐车/ 浮顶罐/LDAR 投 资额 (亿元)	工艺改 进投资 额 (亿 元)	市场空间 合计 (至 2020 年)
石油炼制及 石油化工	热力焚烧、 蓄热燃烧	10	--	70%	10%	20%	191.42	13.13	26.25	230.80
有机化工	安装生物净 化、焚烧和 吸附回收等 末端治理设 施	15	--	80%	10%	10%	42.76	1.710	1.710	46.18
		小计						14.84	27.96	276.98

5.3. VOCs 储运环节治理市场空间

所需要的技术/控制措施：

(1) 浮顶罐：对储油库进行高效密封浮顶罐改造，或安装顶空联通置换油气回收装置。

(2) 油气回收：油罐车改装成具有密闭油气回收功能的油罐车。加油站铺设油气回收管线，采用油气回收性的加油枪。

表 7 VOCs 治理储运环节市场空间

	截止 2020 年削减量(万吨)	运输罐车安装油气回收装置罐车/浮顶罐/LDAR (亿元)
VOCs 的储运	87.44	463.45

³⁷海通证券研究所

5.4. 以 VOCs 为原料的生产排放治理市场空间

所需要的技术/控制措施：

(1) 末端处理：采用活性炭回收、催化燃烧、吸附、冷凝等方法。

(2) 工艺改进：综合治理

表 8 以 VOCs 为原料的生产工艺过程排放治理市场空间³⁸

	末端处理方法	末端处理费用	末端处理（减排贡献率）	工艺改进（减排贡献率）	末端处理费用（万元/吨）	工艺改进投资额（亿元）	市场空间合计（至 2020 年）
基础化学原料	热力焚烧、吸附回收、膜法 RTO 等	15	60%	40%	33.41	4.28	37.68
合成材料	高浓度废气活性炭回收、催化氧化；低浓度废气安装吸附、生物过滤	25	50%	50%	54.82	10.53	65.34
塑料制品制造	催化燃烧、蓄热催化燃烧	10	90%	10%	28.54	1.52	30.06
食品	吸附、生物处理	25	90%	10%	60.13	1.28	61.41
	小计				210.90	21.10	232.00

5.5. 含 VOCs 产品的使用和排放市场空间

所需要的技术/控制措施：

(1) 末端处理：采用活性炭回收、催化燃烧、吸附、冷凝等方法。

(2) 工艺改进：优化喷涂工艺，加强密闭措施及收集效率。

(3) 原料替换：提高环保涂料/油墨比例。

表 9 含 VOCs 产品的使用和排放市场空间³⁹

	末端处理方法	末端处理费用	末端处理（减排贡献率）	工艺改进（减排贡献率）	末端处理费用（万元/吨）	工艺改进投资额（亿元）	原料替代投资额（亿元）	市场空间合计（至 2020 年）
包装印刷		20	50%	40%	10%	256.55	15.39	102.62
涂装：交通运输设备制造维修		20	40%	50%	10%	77.48	3.72	49.59

³⁸海通证券研究所

³⁹海通证券研究所

涂装：金属制品、设备制造、电器机械及器材制造、仪器仪表、文化办公、机械制造	20	40%	50%	10%	123.91	5.95	57.68	57.68
小计					501.14	27.13	230.95	759.22

5.6. VOCs 监测市场空间

随着 VOCs 排放治理政策的不断细化，VOCs 监测市场也迅速发展。14 年国家重点监控企业污染源监测点 3865 个，市场价值约为 11.6 亿元，同时，大气、地表水 VOCs 国控点的点位数分别为 1500、970。已布局 VOC 监控点市场价值估计为 48.65 亿。

表 10 VOCs 监测市场空间⁴⁰

	设备单价(万元)	点位数	市场空间(亿元)	备注
大气 VOCs 检测	150	1500	22.50	大气监测国控点
地表水 VOCs 监测	150	970	14.55	国家地表水监测国控断面
污染源 VOCs 监测	30	3865	11.60	2014 年国家重点监控企业废气企业
小计			48.65	

6. VOCs 治理市场格局

与除尘、脱硫脱硝相比，VOCs 种类多，排放行业多，排放源分散，治理技术复杂。因此导致目前 VOCs 治理企业整体处于小而散的状态。

2011 年能够统计到的从事有机废气治理的企业数量约 160 家，多家环保企业开始介入或者新企业开始从事 VOCs 的治理。我国 VOCs 治理市场开始呈现出强劲的发展势头，但总体上来讲，企业规模仍比较小，2011 年产值超过亿元的企业只有 2~3 家，超过 5000 万元的企业 15~18 家，大部分企业的产值在 1000 万~5000 万元之间，还有一部分小型企业的产值在 1000 万元以下。

同时，一些国外代理或合资企业介入我国 VOCs 治理市场的力度明显加大，在 2011 年时这些企业的数量估计已经超过 15 家。与国内企业相比，国外企业的最大优势在于技术水平较高，工程设计规范和管理能力强，特别是在油气回收技

⁴⁰海通证券研究所

术、工业废气溶剂回收技术、废气焚烧技术等国内技术水平较低的领域，国外企业近年来得到了较好的发展。

据对 2011 年行业中的 30 家国内企业的经营状况调查，以及与 2010 年的相关数据进行对比分析，2011 年 VOCs 治理的产值应在 24 亿~32 亿元，比 2010 年提高了 15%~20%。

在目前 A 股市场 VOCs 概念相关的公司主要有：聚光科技、汉威电子、先河环保、雪迪龙、神剑股份、彩虹精化和万华化学，业务范围涵盖 VOC 源头治理、末端治理和监测领域。在末端治理领域，切入方式以收购、联合研发为主。

表 11 VOC 概念相关公司汇总（国内）⁴¹

控制环节	公司名称	代码	VOC 相关业务	2014 年 P/E ^{TTM}
末端/检测	聚光科技	300203	成立清本环保开展 VOC 治理、控股 VOC 检测设备提供商 Synspec	54.5
末端	汉威电子	300007	拟收购 VOC 治理企业嘉园环保	83.2
末端	先河环保	300137	与全军环科中心合作成立 VOC 治理技术研发机构、设立先河蓝宇开展 VOC 治理	88.5
末端/检测	雪迪龙	002658	承担国家 VOC 监测设备研发项目、获批首批环保服务业试点单位	38
源头	神剑股份	002361	零 VOC 粉末涂料专用聚酯树脂生产龙头产业	37
源头/治理	彩虹精化	002256	收购格林瑞康拓展室内 VOC 治理业务、研发无苯环保喷漆	58.3
源头	万华化学	600309	MDI 制造寡头，产品为低 VOC 水性涂料重要原材料	14.1

表 12 VOC 概念相关公司汇总⁴²

公司	国家	VOC 相关业务
CECO	美国	全球领先的空气治理及设备供应商，收购 Met-Pro、SAT Technology
Biorem Inc	加拿大	05 年开始涉足 VOC 治理领域，开发生物过滤治理技术，获得创新示范基金
Thermo Fisher Scientific	美国	全球最大的空气质量检测仪器和系统生产厂家
AKZO NOBEL	荷兰	装饰漆产业领军者，收购环保涂料厂家，拓展业务范围
OPSIS AB	瑞典	提供环境空气质量监测、VOC 连续排放监测以及过程控制产品及服务
Agilent Technologies	美国	惠普 1999 年分离出的公司，VOC 监测产品主要定位于实验室和场地监测
AMA	德国	产品可连续监测空气中 VOC 的排放水平，检测灵敏度可达到 ppt 级
DANI	意大利	生产实验室气相色谱和环境保护生产过程用检测仪

⁴¹海通证券研究所

⁴²海通证券研究所

附件：VOCs 相关政策梳理

国内 VOCs 污染防治的相关政策（国家层面）

政策	部门	时间	政策总结
《中华人民共和国大气污染防治法》	人大	2000. 4. 29	被认定为国内大气环境管理的根本依据，虽未明确 VOCs 的控制要求，但是诸如有机烃类尾气、恶臭气体、有毒有害气体的排放都有严格要求。这也为后来对 VOCs 及其他有害气体治理的政策出台提供了基准
《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》	国务院	2010. 5. 11	强调了解决区域大气污染问题，必须尽早采取区域联防联控措施；联防联控重点污染物是二氧化硫、氮氧化物、颗粒物、VOCs 等。其中 VOCs 防治方面，要按照有关技术规范对从事漆喷、石化、制鞋、印刷、电子、服装干洗等排放 VOCs 的生产作业进行污染治理；
《重点区域大气污染防治“十二五”规划》	国务院	2012. 12. 5	VOCs 污染防治工作全面展开。其中，对新建排放 VOCs 的项目实行污染物排放减量替代，实现增产减污；同时提高 VOCs 排放类项目建设要求
《国家环境保护“十二五”科技发展规划》	环保部	2011. 6. 9	提出要针对 VOCs 等关键污染物研发污染控制技术综合评价指标体系和定量评估方法，筛选出最佳可行的大气污染控制技术，并要以 VOCs 污染控制 向的大气污染防治技术与装备作为主要的建设方向
《挥发性有机物污染防治技术政策》	环保部	2013. 5. 24	作为 VOCs 污染防治技术指导文件，主要提出了生产 VOCs 物料和含 VOCs 产品的生产、储存运输销售、使用、消费各环节的污染防止策略和方法。预计到 2015 年，基本建立起重点区域 VOCs 污染防治体系；到 2020 年，基本实现 VOCs 从原料到产品、从生产到消费的全过程减排
《大气污染防治行动计划》	国务院	2013. 9. 10	在大气污染物排放的各个环节加大治理力度，提高治理效率；同时鼓励企业技术改造，提高科技创新能力，将 VOCs 纳入排污费征收范围
《工业和信息化部关于石化和化学工业节能减排的指导意见》	工信部	2013. 12. 31	推进挥发性有机物污染治理，在石化行业实施挥发性有机物综合整治，完善涂料、胶粘剂等产品挥发性有机物限值标准，推广使用水性涂料，鼓励生产、销售和使用低毒、低挥发性有机溶剂，京津冀、长三角、珠三角等区域要于 2015 年底前完成石化企业有机废气综合治理。推进非有机溶剂型涂料和农药等产品创新，减少生产和使用过程中挥发性有机物排放。
《关于落实大气污染防治行动计划严格环境影响评价准入的通知》	环保部	2014. 3. 25	本通知是为了贯彻落实《大气污染防治行动计划》，从环境影响评价准入方面入手。其中，对于石化、有机化工、表面涂装、包装印刷、原油成品油码头、储油库、加油站项目，必须采取严格的挥发性有机物排放控制措施。对于排放挥发性有机污染物的项目，必须落实相关污染物总量减排方案，上一年度环境空气质量相关污染物年平均浓度不达标的城市，应进行倍量削减替代。
《大气污染防治行动计划实施情况考核办法（试行）》	国务院	2014. 5. 8	严格落实大气污染防治工作责任，强化监督管理，加快改善空气质量，在工业大气污染治理单项考核指标中，将工业挥发性有机物治理作为子指标项纳入大气污染防治重点任务。
《大气挥发性有机物源排放清单编制技术指南（试行）》 《大气污染源有限控制分级技术指南（试行）》	环保部	2014. 8. 20	增强大气挥发性有机物污染防治工作的科学性、针对性和有效性，内容包括开展大气挥发性有机物源清单编制工作的主要技术方法、技术流程、工作内容、技术要求、质量管理等方面；并就挥发性有机物（VOCs）对臭氧生成潜势的大小提供污染源分级技术方法。

国内VOCs污染物排放标准（国家层面）

标准	时间	要点	涉及 VOCs 污染物处理
《恶臭污染物排放标准》（GB 14554-1993）	1993	规定八种恶臭污染物的一次最大排放限值、复合恶臭物质的臭气浓度限值及无组织排放源厂界浓度限值	苯乙烯、甲硫醇、甲硫醚、二甲二硫醚、三甲胺
《大气污染物综合排放标准》（GB 16297-1996）	1996	规定了 33 种大气污染物的排放限值，同时规定标准执行中得各种要求	氯乙烯、苯、甲苯、二甲苯、氯苯类、硝基苯类、苯胺类、酚类、甲醛、乙醛、丙烯醛、丙烯腈、甲醇
《饮食业油烟排放标准》（GB18483-2001）	2001	标准规定了饮食业单位油烟的最高允许排放浓度和油烟净化设施的最低去除效率	油烟
《清洁生产标准 汽车制造业（涂装）》（HJ/T 293-2006）	2006	对汽车制造业涂装清洁生产 VOCs 的三个等级指标进行了规定	苯、甲苯、二甲苯、二氯乙烷等 VOCs
《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 200 ）	2007	标准规定了储油库在储存、收发汽油过程中油气排放限值、控制技术要求和检测方法。	油气
《合成革与人造革工业污染物排放标准》（GB 21902-2008）	2008	本标准规定了合成革与人造革企业水和大气污染物排放限值、监测和监控要求	DMF、苯、甲苯、二甲苯、VOCs 等
《橡胶制品工业污染物排放标准》（GB 27632-2011）	2011	标准规定了橡胶制品企业水和大气污染物排放限值、监测和监控要求	甲苯、二甲苯、非甲烷总烃
《炼焦化学工业污染物排放标准》（GB 16171-2012）	2012	对炼焦化学工业企业的水和大气污染排放浓度限值进行了规定。大气 VOCs 的排放出现在冷鼓、库区焦油各类贮槽和苯贮槽	苯、酚类、非甲烷总烃
《油墨工业污染物排放标准》	2007 年征求意见，未发布	拟规定油墨生产企业的水和大气污染物排放限值	拟包括苯、甲苯、二甲苯、乙苯、不含卤素的 VOCs 和含卤素的 VOCs
《环氧树脂工业污染物排放标准》	2008 年征求意见，未发布	拟规定环氧树脂工业企业水和大气污染物排放限值	拟包括环氧氯丙烷、苯、甲苯、二甲苯、丙酮、甲乙酮、一丙、丁醇、VOCs
电子工业大气污染物排放标准-半导体器件、电子重点产品、电子元件、平板显示器、电真空及光电子器件	2008 年征求意见，未发布	拟定电子工业大气中四类产品身缠企业的水和大气污染物排放标准限值	拟包括苯、甲苯、二甲苯、三氯乙烯、VOCs、丙酮、异丙酮、二氯甲烷
《皮革制品工业大气污染物排放标准》	2010 年征求意见，未发布	拟规定皮革制品工业企业大气污染排放限值	拟包括苯、甲苯和二甲苯、二氯乙烷、非甲烷总烃

国内VOCs污染防治的相关政策（地方层面，主要是京津冀、长三角、珠三角地区）

政策	部门	时间	政策总结
《北京市大气污染防治条例》	北京市人大	2014. 3. 1	主要目标是降低大气中细颗粒物(PM 2.5)浓度。其中针对 VOCs 排放制定了相应地排放含量限制,同时对生产、销售含 VOCs 的原材料和产品不符合规定标准的依照法律法规规定予以处罚
《北京市大气污染防治技术改造项目奖励资金管理暂行办法》	北京市财政局、环保局	2014. 8. 20	3 类以大气污染防治为主要目标的技术改造项目可获补助,其中第一类就是挥发性有机物治理项目:包括石油化工、油品储运等重点行业的低挥发性有机涂料替代、有机废气治理技术改造项目。
北京市环境保护局关于开展重点排污单位和上市企业自行监测及信息公开工作的通知	北京市环保局	2014. 9. 15	对于排放挥发性有机物的一般性规模企业,要求在 2015 年 11 月底前要开展自行监测并公开信息,囊括行业包括汽车制造、印刷、电子制造、家具制造和化工等,共明确了 55 家排放 VOCs 的企业。对未按要求开展自行监测及信息公开的单位,会将环境违法信息纳入诚信系统,并依法予以处罚。
《天津市清新空气行动方案》	天津市政府、环保局、发改委等 6 部	2013. 9. 26	在《天津市 2012-2020 大气污染防治措施》基础上提出更加严格的 PM2.5 的治理措施,加大力度对大气污染综合施治。其中,严格控制 VOCs 排放水平,推行石化、化工等重点企业实施泄露检测与修复技术和在线检测示范项目。推广使用水性涂料,鼓励生产、销售和使用低毒、低挥发性溶剂。
《河北省大气污染防治行动计划实施方案》	河北省政府	2013. 9. 6	到 2017 年全省实现 VOCs 排放总量的大幅削减;分阶段推动 VOCs 排放治理工作;到 2017 年,有机化工、医药、表面涂装、塑料制品、包装印刷等重点行业开展挥发性有机物综合治理。提出将 VOCs 纳入排污费征收范围。
《山东省 2013-2020 年大气污染防治规划》及《山东省 2013-2020 年大气污染防治规划一期行动计划》	山东省政府	2013. 7. 17	2015 年 VOCs 排放量比 2010 年要减少 18%,控制在 67.3 万吨以内。严格 VOCs 排放类项目建设要求,把 VOCs 控制作为建设项目环境影响评价的重要内容。《一期行动计划》实施包括工业污染治理、结构调整、能力建设等 18 类项目,估算投资 3955 亿元,新增 VOCs 减排能力 20 万吨/年。
《江苏省化工行业废气污染防治技术规范》	江苏省环保厅	2014. 1. 9	指导性文件,为江苏省化工园区(集中区)及化工企业在环评、设计、建设、生产、管理和科研工作中参照采用,主要包括企业应使用低毒、低臭、低挥发性的物料,为企业有机废气的末端治理提供了技术路线等。
《上海市大气污染防治条例》	上海市人大	2014. 7. 5	加大对 PM2.5 等大气污染物源头控制、工业污染防治、机动车船、扬尘等方面的治理力度。其中,完善 VOCs 污染物的防治及处理措施,针对不同工业企业,制定 VOCs 泄漏检测与修复技术示范和开展总量控制试点。鼓励生产、销售和使用低毒、低 VOCs 产品。
《上海市环境保护局关于加强本市重点行业挥发性有机物(VOCs)污染防治工作的通知》	上海市环保局	2012. 10. 31	在上海市开展 VOCs 排放调查工作,将 VOCs 污染控制纳入了环境影响评价,在上海市的产业结构调整中加大了 VOCs 排放类落后产能的淘汰力度,在石油化工、有机化工、表面涂装行业以及溶剂使用工艺的 VOCs 控制。
《浙江省大气污染防治行动计划(2013—2017 年)》	浙江省人民政府	2013. 12. 31	提出 2015 年底前 VOCs 排放量削减目标 18%。要求 2017 年底前,完成印染、炼化化工、涂装、合成革、生活服务、橡胶塑料制品、印刷包装、木业、制鞋、化纤等 10 个主要行业的 VOCs 整治, VOCs 排放量削减 20%以上。
《浙江省挥发性有机物污染整治方案》	浙江省环保厅	2013. 11. 4	全省 13 个主要 VOCs 污染行业全部纳入范围。到 2015 年,重点行业现役源 VOCs 排放总量在 2010 年国家规划基数 52.7 万吨的基础上下降 18%。到 2020 年,全面完成全省 13 个主要行业的 VOCs 污染整治
《广东省大气污染防治行动方案(2014—2017 年)》	广东省政府	2014. 2. 7	针对 VOCs,提出 3 条治理方案:1. 推进工业源挥发性有机物排放治理;2. 实施典型行业挥发性有机物排放治理;3. 开展生活源挥发性有机物排放控制。

《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》	广东省环境保护厅办公室	2012. 3. 23	广州、深圳、东莞、佛山、中山五市率先开展 VOCs 污染防治试点工作；2013 年起，珠江三角洲地区全面开展 VOCs 污染防治工作，规范 VOCs 排放工作。力争到 2015 年底，珠江三角洲地区 VOCs 重点污染源全部采取有效的处理措施，企业工艺装备、污染治理水平大幅度提升，确保 VOCs 排放企业稳定达标排放，并最大限度削减 VOCs 的排放
《空气污染管制（挥发性有机化合物）规例》	香港环保署	2007. 4. 1	对香港 51 种建筑漆料/涂料、7 种印墨、喷发胶、空气清新剂等 6 大类消费品排放的 VOCs 进行管制。

国内VOCs污染物排放控制标准（地方层面）

标准	部门	时间	内容
《工业企业挥发性有机物排放控制标准》	天津市市场和质量监督管委会、天津市环保局	2014.7.31	规定了石油炼制与石油化学、医药制造、橡胶制品制造、涂料与油墨生产、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挥发性有机物排放的控制要求。
《大气污染排放标准》	北京市环保局和质监局	2008.1	在原有的国家《大气污染物综合排放标准》另增加了 14 项大气污染物排放限值，规定了典型 VOCs 污染排放要求（例如：苯、甲苯、二甲苯在汽车制造、涂装等排放限值）。
《炼油与石油化学工业大气污染物排放标准》	北京市环保局和质监局	2007.1	除了单项物质，对排气筒排放和厂界环境中的 VOCs 还采用了“非甲烷总烃”作为指标；有机气态污染物共包括丙烯腈、环氧乙烷、苯、甲苯、二甲苯等 9 种。
《半导体行业挥发性有机物排放标准》	上海市政府、环保局	2006.10.13	加强半导体企业大气污染物的排放控制，对现有半导体企业规定到达 VOCs 排放标准的时限，对其余污染源不再按建设时间规定排放限值。此排放标准主要针对总 VOCs 排放限值。
《家具制造行业挥发性有机化合物排放标准》、 《包装印刷行业挥发性有机化合物排放标准》、 《表面涂装（汽车制造业）挥发性有机化合物排放标准》、《制鞋行业挥发性有机化合物排放标准》等	广东省政府、环保厅	2010.11.1	规定了家具制造、包装印刷、汽车制造、制鞋等行业生产过程 VOCs 排放浓度限值及排放速率、无组织排放监控点浓度限值、检测要求，提出 VOCs 检测方法及各行业控制 VOCs 排放生产工业和管理要求。针对控制排放的 VOCs 污染物包括：苯、甲苯、二甲苯。