

# 我国工业源 VOCs 排放的源头追踪和行业特征研究

陈颖<sup>1</sup>,叶代启<sup>1\*</sup>,刘秀珍<sup>1</sup>,吴军良<sup>1</sup>,黄碧纯<sup>1</sup>,郑雅楠<sup>2</sup> (1.华南理工大学环境工程系,广东 广州 510006; 2.中国环境科学学会,北京 100082)

**摘要:** 按照“源头追踪”思路,采用排放因子法,对我国工业源 VOCs 排放量进行了计算.工业 VOCs 污染产生于 4 个环节:VOCs 的生产、储存和运输,以 VOCs 为原料的工艺过程,含 VOCs 产品的使用和排放.结果表明,2009 年我国工业源 VOCs 排放量约为 1206 万 t.4 个环节的污染排放贡献分别为 18.1%、6.8%、24.7%和 50.3%.合成材料生产、石油炼制和石油化工、机械设备制造等 17 个排放源的年排放量达 20 万 t 以上,其排放量之和占全国总排放量的 94.9%.2007~2009 年我国工业源 VOCs 排放量分别为 1023,1079,1206 万 t,年均增长率 8.6%.

**关键词:** 工业源排放;挥发性有机物(VOCs);源头追踪;行业特征

中图分类号: X511 文献标识码: A 文章编号: 1000-6923(2012)01-0048-08

**Source tracing and characteristics of industrial VOCs emissions in China.** CHEN Ying<sup>1</sup>, YE Dai-qi<sup>1\*</sup>, LIU Xiu-zhen<sup>1</sup>, WU Jun-liang<sup>1</sup>, HUANG Bi-chun<sup>1</sup>, ZHENG Ya-nan<sup>2</sup> (1.Department of Environmental Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510006, China; 2.Chinese Society for Environmental Sciences, Beijing 100082, China). *China Environmental Science*, 2012,32(1): 48~55

**Abstract:** VOCs emissions from industrial sources in China were calculated using the emission factor method based on the concept of source-tracing. Industrial VOCs emissions mainly generated from four links: production of VOCs, storage and transport, industrial processes using VOCs as raw materials and use of VOCs-containing products. Industrial VOCs emission in China was 12.06 million tons in 2009, with four above links contributing 18.1%, 6.8%, 24.7% and 50.3% of VOCs, respectively. Seventeen emission sources including synthetic material production, petroleum refining and petrochemical, machinery and equipment manufacturing generated more than  $20 \times 10^4$  t VOCs per year, accounting for 94.9% of total emissions. The amount of VOCs emissions in 2007, 2008 and 2009 were 10.23, 10.79 and 12.06 million tons respectively, increasing with an annual average rate of 8.6%.

**Key words:** industrial emissions; volatile organic compounds (VOCs); source-tracing; characteristics

随着我国国民经济的快速发展,工业源排放的挥发性有机物(VOCs)总量逐年增加.VOCs 排放不仅造成室内空气污染,而且在光照作用下发生光化学反应,导致光化学烟雾、二次有机气溶胶和大气有机酸的浓度升高,影响人体健康和大气环境<sup>[1]</sup>.近年来,我国开始启动 VOCs 控制管理工作.2010 年 5 月发布的《环境保护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)首次从国家的层次上提出了开展 VOCs 污染防治<sup>[2]</sup>.因此,建立工业源排放清单对于制定有效合理的污染防治政策具有重要意义.

近年来国内外已有不少学者<sup>[3-9]</sup>开展对我国人为源 VOCs 污染排放的研究工作,排放源分类

大都按照各种燃料的使用部门及各种工业生产过程,如机动车源、化石燃料燃烧源、工艺过程源、溶剂使用源等.但目前有关工业源 VOCs 排放行业分布特征鲜有研究案例.研究工业行业的 VOCs 排放特征和排放情况,可为行业的环境保护规划提供重要的数据积累,对于开展工业污染控制有着积极的参考意义.本研究采用“源头追踪”思路,对我国 2007~2009 年的工业源 VOCs 排放量进行了计算,建立了我国工业源 VOCs 的行业排放清单.

收稿日期: 2011-04-15

基金项目: 国家环境保护“十二五”规划研究编制课题(1441010801); 环保公益性行业科研专项(2011467003)

\* 责任作者, 教授, cedqye@scut.edu.cn

## 1 研究方法

研究区域包括中国大陆 31 个省、直辖市及自治区. 暂未考虑香港、澳门特别行政区和台湾地区.

### 1.1 研究思路

根据工业 VOCs 物质流动过程, VOCs 产生于 4 个环节: VOCs 的生产, 储存和运输, 以 VOCs 为原料的工艺过程, 含 VOCs 产品的使用和排放. 追溯分析从生产至最终排放的物质流动全过程, 可得到 VOCs 在行业、区域及城市的排放状况分布. 源头追踪示意如图 1 所示.

对于某区域, VOCs 在该区域内的生产量, 结合外地输入本地、本地输出外地的量, 可知区域内实际消耗量. 再通过储运过程, 可知流入某个行业 VOCs 的量; 进入某个行业的 VOCs, 通过区分作为原料生产其他非 VOCs 产品的量和作为溶剂、清洗剂及助剂等其他用途的量, 计算 VOCs 的可能排放量; 结合 VOCs 利用率、回收率和控制水平, 进一步计算 VOCs 的实际排放量. 综合各个过程中 VOCs 的损耗、挥发、泄漏和使用排放, 可进行工业 VOCs 的行业排放量研究和区域排放总量研究. VOCs 源头追踪宏观上体现了区域和行业 VOCs 的物料衡算.

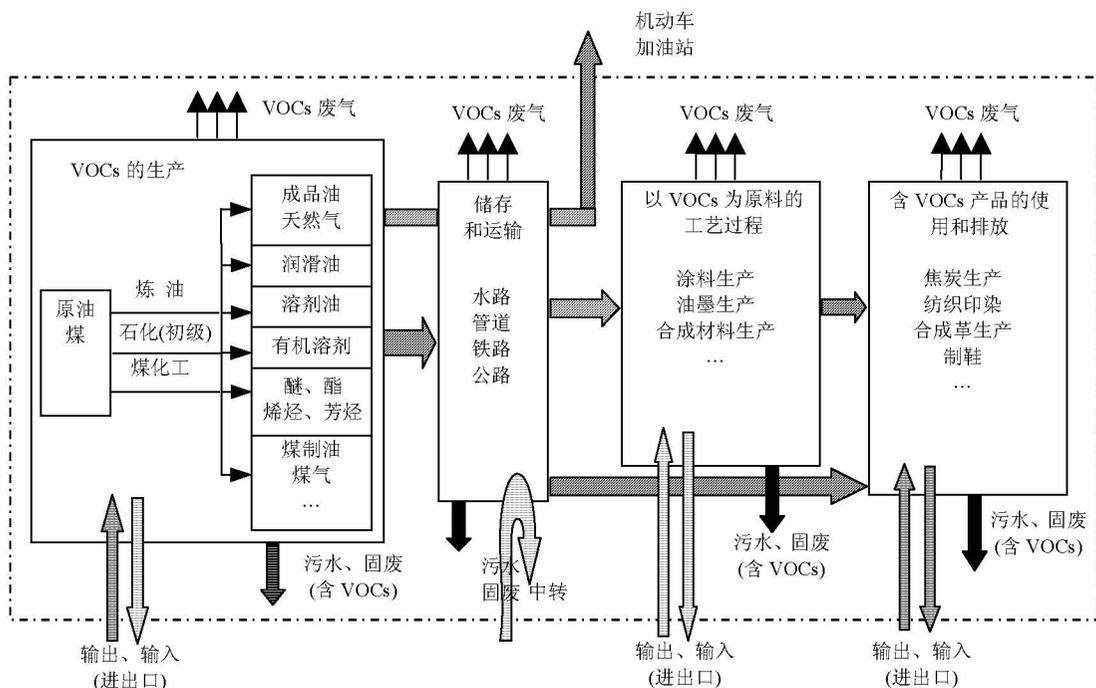


图 1 VOCs 源头追踪示意

Fig.1 Source tracing of VOCs emissions

### 1.2 计算方法

工业排放源分类参考《国民经济行业分类标准》<sup>[10]</sup>, 不考虑加油站排放及餐饮业的污染排放过程. 排放源的行业信息见表 1.

对排放源行业的 VOCs 排放量估算主要采用排放因子法. 由于我国未进行过权威性代表性排放因子的测量工作, 本研究中部分排放因子来

源于企业监测调研资料或国内研究文献; 其他行业主要参考美国和欧盟环保署的 VOCs 排放因子数据库或相关研究文献的数据, 经综合考虑选取适合我国实际情况的数值.

排放量的计算公式如下:

$$E = \sum_{i,k}^n A_{i,k} \cdot EF_k$$

式中:  $E$  为污染物的排放量;  $i$  为排放源序号;  $k$  为水平数据, 如原料消耗量或产品产量;  $EF$  为对应原料类型或产品类型;  $n$  为排放源数量;  $A$  为活动的排放因子。

表 1 主要工业 VOCs 排放源及行业信息

Table 1 Major industrial emission sources and relevant information

排放源	行业信息	
VOCs 的生产	石油炼制和石油化工 基础化学原料制造	
储存和运输	指货物仓储、货物运输中转仓储, 以及以仓储为主的物流配送活动	
以 VOCs 为原料的 工艺过程	涂料生产 油墨生产	行业代码 C264 涂料、油墨、颜料及类似产品制造业(涂料制造) 行业代码 C264 涂料、油墨、颜料及类似产品制造业(油墨制造)
	合成材料生产	行业代码 C265 合成材料制造业
	胶黏剂生产	行业代码 C2662 专项化学用品制造业
	食品饮料生产	行业代码 C133 植物油加工业(食用植物油加工), 行业代码 C151 酒精制造和 C152 酒的制造
	日用品生产	行业代码 C267 日用化学产品制造
	化学药品原药制造	行业代码 C271 化学药品原药制造
含 VOCs 产品的使 用和排放	轮胎制造	行业代码 C291 轮胎制造业
	焦炭生产	行业代码 C252 炼焦
	纺织印染	行业代码 C17 纺织业
	合成革制造	行业代码 C305 塑料人造革、合成革制造
	制鞋	行业代码 C1921 皮鞋制造业, C2960 橡胶靴鞋制造, C3081 塑料鞋制造, C1820 纺织面料鞋的制造
	造纸及纸制品	行业代码 C22 造纸及纸制品业
	印刷和包装印刷	行业代码 C231 印刷业
	木材加工	行业代码 C20 木材加工及木、竹、藤、棕、草制品业
	家具制造	行业代码 C21 家具制造业
	机械设备制造	行业代码 C34 金属制品业, C35 通用设备制造业, C36 专用设备制造业, C39 电气机械及器材制造业, C41 仪器仪表及文化、办公用机械制造业, C40 通信设备、计算机及其他电子设备制造
交通运输设备制造	行业代码 C37 交通运输设备制造业	
建筑装饰	行业代码 E 490 建筑装饰业	
环境治理(废物处理)	行业代码 N 802 环境治理业	
服务业(服装干洗)	行业代码 O 832 清洁服务之其他清洁服务业	

### 1.3 排放因子和活动水平

**1.3.1 VOCs 的生产** 该环节包括石油炼制和石油化工以及基础化学原料制造行业。

石油炼制和石油化工行业是 VOCs 排放的重要来源。VOCs 排放包括工艺过程的点源排放和无组织逸散排放 2 种类型。我国的石油化工行业 VOCs 排放以无组织排放为主, 生产区域中长期存在严重的异味。本研究仅考虑无组织排放, 包括储罐损失、转运损失、泄漏排放和废水处理挥发。排放因子采用了本土企业的经验数据<sup>[11]</sup> (表 2)。考虑到不同生产规模企业的技术管理水平, 对

于厂区 VOCs 泄漏排放, 大企业按 30% 有异味计, 小企业按 60% 有异味计。

对于基础化学原料制造行业, 本研究选取了乙烯、甲醇、苯和合成氨等 4 种典型的 VOCs 污染排放生产工艺过程。其排放因子见表 2。

原油加工量及化学产品的产量数据均来源于中国统计年鉴(2008-2010)<sup>[12]</sup>。

**1.3.2 储存和运输** 石油产品(如汽油、原油和挥发性有机溶剂)在储存和运输过程中的蒸发和泄漏, 是 VOCs 排放的另一个重要来源。根据我国实际情况, 主要研究油品和有机溶剂的污染排放

情况.加油站的 VOCs 排放情况不在本研究范畴.

表 2 VOCs 的生产环节排放因子

Table 2 Emission factors for VOCs production sources

排放来源	排放因子	单位	
储罐损失	0.5	kg/t 周转量 <sup>a</sup>	
石油炼制和石油化工	转运损失	1.5 kg/(t 生产原料·平均周转次数) <sup>b</sup>	
	泄漏排放	异味 2.4 正常 0.8	kg/t 原油加工量
炼化废水处理挥发	0.12	kg/t 原油加工量	
基础化学原料制造	乙烯	0.5	kg/t 产品
	甲醇	5.95	kg/t 产品
	苯	0.550	kg/t 产品
	合成氨	4.72	kg/t 产品

注:a 按平均1次周转计,周转量按原油加工量计, b 生产原料按原油加工量计,平均周转次数按2次计(包括中间产物的储存)

油品在油库储存系统中,涉及储油罐的收发油作业、油罐的静置呼吸、铁路罐车(或水运)卸油和装油 4 个环节的油品蒸发损耗.运输环节的油品损耗包括:运输途中油气蒸发损耗和油罐之间通过管线转移的输转损耗.

油品的 VOCs 排放量的计算依据为国家标准《散装液态石油产品损耗》<sup>[13]</sup>.根据油品统计资料,对于我国生产的油品运输(按国内消费计),水路、管道、铁路和公路运输的比例分别按 40%、40%、10%和 10%计.对于进出口油品的储运过程,仅考虑油品在我国境内的储运过程,不同途径的运输量按上述比例计.4 种油品的储运损耗系数见表 3.有机溶剂的估算参照油品储运过程的 VOCs 排放量估算办法.该环节的活动水平数据来自国家能源统计年鉴(2008-2010)<sup>[14]</sup>和海关统计年鉴(2008-2010)<sup>[15]</sup>.

表 3 储运过程的损耗系数(%)

Table 3 VOCs emission factors for storage and transport of oil and solvent (%)

项目	国产	进口	出口
汽油	0.468	0.590	0.406
其他油品	0.169	0.219	0.169
有机溶剂	0.31	0.36	0.32

1.3.3 以 VOCs 为原料的工艺过程 该类源主要包括了涂料、油墨、合成材料、胶黏剂、食品饮料、日用品、轮胎和化学药品原药等制造行业.该类源的 VOCs 排放点较为分散,或为挥发性生产原料在储存和使用过程中的散逸产物,或为工艺过程的反应生成物.由于 VOCs 的排放因子国内研究较少,本研究主要参考了 AP 42 排放因子库(US EPA)<sup>[16]</sup>.表 4 给出了工艺过程的排放因子.产品信息均从中国统计年鉴(2008-2010)<sup>[12]</sup>和国研网数据库<sup>[17]</sup>获取.

表 4 以 VOCs 为原料的工艺过程环节排放因子

Table 4 VOCs emission factors for industrial processes

排放来源	排放因子	单位
涂料	15	kg/t 产品
油墨	60	kg/t 产品
塑料及合成树脂	2.2	kg/t 产品
合成橡胶	7.17	kg/t 产品
合成纤维	73.4	kg/t 产品
三醛胶	8.0 <sup>a</sup>	kg/t 产品
水性胶黏剂	0.5 <sup>a</sup>	kg/t 产品
植物油加工	2.45	kg/t 产品
制糖	0.6	kg/t 产品
发酵酒精	32.105 <sup>[22]</sup>	kg /kL 酒精
白酒	16.26	kg /kL 白酒
啤酒	0.427	kg /kL 啤酒
化学药品原料	114.14 <sup>[22]</sup>	kg/t 产品
合成洗涤剂	0.025	kg/t 产品
轮胎	0.285 <sup>[8]</sup>	kg/tyre

注: a 排放数据来自工厂生产废气监测资料

1.3.4 含 VOCs 产品的使用和排放 该环节的排放来源较为复杂,主要包括金属冶炼、纺织印染、家具制造、交通设备制造、服装干洗等行业.本环节污染排放的一个突出特点是溶剂产品对 VOCs 的排放贡献十分显著.在工业生产中,溶剂产品(如油墨、涂料、胶黏剂)使用广泛且用量巨大.溶剂产品的大部分挥发性成分会在工业使用过程中排放到大气中;残留在工业产品的溶剂,也是潜在的排放源.US EPA 编制的美国 VOCs 排放清单<sup>[18]</sup>表明,在 2005~2008 年溶剂使用部门的 VOCs 年排放量约占年排放总量的 25%.

由于我国溶剂产品相关信息匮乏,工业生产

过程中溶剂的排放因子主要采用魏巍<sup>[19-20]</sup>通过市场产品和文献调研获得的结果(表 5);而金属冶炼、焦炭生产、造纸及纸制品业和生活垃圾处理过程的排放因子来源于美国环保局 AP-42 排放因子库<sup>[16]</sup>、欧洲环境局 CORINAIR 因子库<sup>[21]</sup>和相关的标准及研究文献<sup>[8,22]</sup>(表 6);工业固定燃烧源 VOCs 排放因子采用谢绍东等<sup>[5]</sup>从美国环保局 AP-42 文件和广州环境保护科学研究所研究结果中获得的排放因子。

表 5 溶剂使用过程排放因子<sup>[19-20]</sup>(kg/t 溶剂消耗量)

Table 5 VOCs emission factors for solvent use(kg/t paint used)

排放源	排放因子	排放源	排放因子
纺织印染		家具制造	
纺织助剂	98 <sup>[22]</sup>	木器涂料	640
染料	98 <sup>[22]</sup>	机械设备制造	
合成革		卷材涂料	455
PU 浆料	245	防腐涂料	442
制鞋		船舶涂料	442
胶粘剂	670	其他涂料	750
印刷和包装印刷		装配用胶黏剂	89
平版油墨	705	交通运输设备制造	
凹版油墨	620	汽车涂料	470
凸版油墨	243	胶黏剂	89
孔版油墨	638	建筑装饰	
其他油墨	750	建筑内墙涂料	180
汽油清洗剂	1000 <sup>[22]</sup>	建筑其他涂料	590
胶黏剂	89	木器涂料	640
木材加工		建筑胶黏剂	62
胶黏剂	89	服装干洗	
		四氯乙烯	1000 <sup>[16]</sup>

表 6 其他源排放因子

Table 6 Emission factors for other sources

排放来源	排放因子	单位
焦炭生产	1.25 <sup>[13]</sup>	kg/t 产品
造纸及纸制品		
纸浆	0.25 <sup>[13]</sup>	kg/t 纸浆
纸制品	0.1 <sup>[12]</sup>	kg/t 产品
生活垃圾处理		
卫生填埋	0.23 <sup>[3]</sup>	kg/t 垃圾
堆肥	0.74 <sup>[21]</sup>	g/kg 垃圾
垃圾焚烧	0.74 <sup>[3]</sup>	g/kg 垃圾

该类源主要使用含 VOCs 原料消耗量表

达活动信息,活动水平数据主要来自国家统计局年鉴和行业协会的统计信息.对于缺乏实际消耗量的产品或原料,使用表观消费量(即生产量加上进口量减去出口量,不考虑库存因素).

## 2 结果与讨论

### 2.1 2009 年 VOCs 排放行业分布特征

2009 年我国工业源 VOCs 排放量约为 1206 万 t.其中,含 VOCs 产品的使用和排放是最重要的排放环节,排放量比重达 50.3%;其次是以 VOCs 为原料的工艺过程(24.7%);VOCs 的生产和储存运输的比重分别为 18.1%和 6.8%.

2.1.1 VOCs 的生产 该环节 2009 年排放约 219 万 tVOCs.其中石油炼制和石油化工行业的排放量最大,为 187 万 t.石油炼制加工过程的大气污染排放主要来源于储罐、原辅材料及产品转运系统、生产单元装置泄漏和废水处理系统,其排放量贡献分别为 10.0%、60.2%、27.4%和 2.4%.

基础化学原料的生产过程也是重要的 VOCs 排放源,2009 年该行业排放量约 32 万 t.其中,合成氨生产是主要的排放源,贡献约 76.3%的排放量,VOCs 污染主要来源于生产工序中的脱硫环节.

2.1.2 储存和运输 该环节油品的排放贡献为 85.4%.其中汽油储运是主要的排放源,排放约 43.4%的 VOCs.油品储运过程中排放的污染物主要是 C1~C9 烷类(≥93%),也含有少量的苯类化合物.

2.1.3 以 VOCs 为原料的工艺过程 该环节涉及了涂料、油墨、合成材料、胶粘剂、食品饮料、日用品、轮胎和化学药品原药等生产制造行业.2009 年,这些行业释放 VOCs 约 298 万 t,图 2 描述了各行业的排放贡献情况.

由表 7 可知,合成材料生产是最主要的 VOCs 排放源.2009 年该行业排放 VOCs 约 193 万 t.95%的排放量源自合成纤维生产工艺过程使用的有机溶剂,主要污染物包括乙醛、乙二醇和乙酸等气体.

食品饮料生产中,约 78.0%的排放量来自于酒类生产原料发酵过程的乙醇挥发,约 20.0%来

自于植物油萃取浸出工艺使用溶剂的挥发。

表 7 以 VOCs 为原料的工艺过程排放源情况

Table 7 Subsector contributions within industrial processes source

序号	排放源	排放量(万 t)	比例(%)
1	合成材料	193	64.8
2	食品饮料	40	13.4
3	化学药品原料	22	7.4
4	轮胎	19	6.4
5	涂料	15	5.0
6	其他	9	3.0

化学药品原药制造行业利用有机溶剂对药物进行分离纯化和精制,其 VOCs 排放主要来源于溶剂的挥发。日用品行业的产品,如肥皂、化妆品、香精香料、房间用除臭剂和空气清新剂等,生产过程中 VOCs 污染较显著,但由于缺乏估算数据,仅统计了合成洗涤剂生产的排放量,2009 年排放约 173t。

2.1.4 含 VOCs 产品的使用和排放 该环节的排放来源较为复杂,主要包括了 18 个行业。该环节在 2009 年的排放量约 607 万 t,各子源的排放比例见图 2。

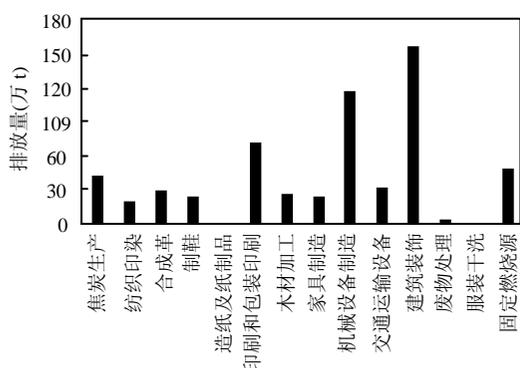


图 2 含 VOCs 产品的使用和排放环节排放情况

Fig.2 Emissions inventory for use of VOCs-containing products

溶剂产品的使用是最重要的排放源,涉及涂料、油墨、胶粘剂、染料、化学助剂和清洗剂等产品。2009 年建筑装饰业的 VOCs 排放量约 157

万 t。建筑涂料的挥发是主要的排放来源,排放比重约占 71%;其次是木器涂料,24%;建筑用胶黏剂排放约 7.9 万 t。

由于分行业的溶剂使用数据匮乏,本研究将金属制品业、通用设备制造业、专用设备制造业、电气机械及器材制造业、仪器仪表及文化、办公用机械制造业和通信设备、计算机及其他电子设备制造业(行业代码 C34-C36,C39-C4)归为一类行业进行排放研究(称为“机械设备制造业”)。机械设备制造和交通运输设备制造业的污染排放主要来自于涂料喷涂和烘干工艺排放的有机废气。根据行业的涂料消耗数据,可以得出 2009 年机械设备制造业排放 VOCs 约 117 万 t,交通运输设备制造业排放量约 32 万 t。需要说明的是,在生产制造过程中消耗大量清洗用有机溶剂,其 VOCs 排放量显著,但由于缺乏活动数据,本研究未计算清洗溶剂的 VOCs 排放量。

印刷和包装印刷的排放来源于印刷油墨、清洗剂和装订用胶黏剂的使用挥发。油墨的排放比重达 46%,其中平版印刷和凹版印刷的排放贡献分别为 25%和 11%。此外,印刷机清洗剂和胶粘剂的排放量也相当可观,排放量分别占 39%和 14%。

固定燃烧源 2009 年排放量约 50 万 t。其中,工业消耗的排放贡献最大,占该类源排放的 50.5%,火力发电排放占 43.8%,供热占 5.7%。按燃料类型看,燃煤排放量达 71.8%,其次是液化石油气 26.0%。

焦炭生产的 VOCs 污染主要来自机械化焦炉的装煤、推焦、熄焦、脱硫等环节。合成革制造行业的有机废气排放主要来自涂覆或含浸加工、烘箱加热、后处理和溶剂清洗等过程。

木材加工过程使用了大量胶黏剂。在热压工段和调胶过程中,胶黏剂中存在的游离甲醛挥发出来,污染大气环境。2009 年该行业 VOCs 排放量约 27 万 t。

2009 年 VOCs 排放量较大的排放源见表 8。共有 17 个排放源的年排放量在 20 万 t 以上,其排放量之和为 1144 万 t,占全国总排放量的 94.9%。这些主要排放源的 VOCs 排放对我国大气污染的影响应当引起高度重视。

表8 2009年主要排放源情况

Table 8 Primary contributing sources in 2009

序号	排放源	排放量 (万 t)	序号	排放源	排放量 (万 t)
1	合成材料生产	193.0	10	交通运输设备制造	32.2
2	石油炼制、石油化工	186.7	11	合成革	31.9
3	建筑装饰	156.7	12	基础化学原料制造	31.8
4	机械设备制造	117.0	13	木材加工	26.5
5	印刷和包装印刷	73.2	14	家具制造	24.6
6	油品储运	70.3	15	制鞋	24.5
7	固定燃烧源	50.0	16	化学原料药制造	22.1
8	焦炭生产	43.1	17	纺织印染	20.3
9	食品饮料生产	39.5			

## 2.2 2007~2009年工业源 VOCs 排放年际变化

2007~2009年我国工业源 VOCs 排放量分别为 1023,1079,1206 万 t,年均增长率 8.6%。由表 9 可见,2007~2009年3年期间,含 VOCs 产品的使用和排放环节的排放比重稳占总排放量的 48%以上,且其年均增长率达 10.4%,远高于工业排放总量的年均增长率。因此,应着重控制含 VOCs 产品的使用和排放环节的有机废气污染排放。

表9 2007~2009年4环节的 VOCs 排放情况

Table 9 Emission amounts of four links in the year of 2007-2009

环节	VOCs 排放量(万 t)		
	2007年	2008年	2009年
VOCs 的生产	195	204	219
储存和运输	70	76	82
以 VOCs 为原料的 工艺过程	260	271	298
含 VOCs 产品的 使用和排放	498	529	607
总计	1023	1079	1206

## 2.3 VOCs 工业排放源清单的不确定性分析

在 VOCs 工业源排放的估算分析过程中,不确定性主要来自于以下几个方面:排放因子,由于国内数据的缺乏,部分行业采用了国外的排放因子;活动水平数据,本研究大部分数据来自国家统

计年鉴或行业协会,但对于原料的使用数据,特别是分行业的有机溶剂和涂料消耗量,缺乏全面的统计信息,不可避免地会导致排放量估算的不确定性。因此,建立符合我国实际的工业排放因子数据库,加强行业活动水平信息的可靠性和完整性,有望提高 VOCs 排放清单的准确性。

## 2.4 VOCs 排放清单的比较

已有的 VOCs 排放清单<sup>[3-9]</sup>的排放单元多为各种燃料的使用部门及各种工业生产过程。按照工艺过程、工业溶剂使用、储存运输和其他源的分类,对本研究的排放计算结果和已有的研究文献进行了比较(表 10)。可以看出,本研究计算的工业源 VOCs 的排放量比其他研究要高。一方面是因为部分工业排放源,如化学原料药制造、纺织印染等行业的排放量,以前没有列入计算;另一方面是因为排放因子选取不同,本研究尽量采用国内排放因子的研究结果,结果更加可靠。同时,也有可能是分类范围的不完全一致,导致各类源的排放量不尽相同。

表10 不同来源的排放清单的比较(万 t)

Table 10 Comparison of estimated emissions between previous study and this study ( $\times 10^4$ t)

数据来源	计算 年份	工艺过程	工业溶剂 使用	储存和运 输 <sup>a</sup>	其他 <sup>b</sup>	合计
[5]	2005	276.1	174.0	43.6	103.7 <sup>c</sup>	597.4
[4]	2005	242	444	81	76	843
[23]	2006					901.7 <sup>d</sup>
[3]	2007					797.1 <sup>d</sup>
	2007	497	407	70	48	1023
本研究	2008	516	436	76	52	1079
	2009	560	509	82	54	1206

注:a 不包括加油站排放量;b 指固定燃烧源和废物处理源;c 包括商业消费燃烧源;d 仅包括发电和工业排放量

## 3 结论

3.1 2009年我国工业源 VOCs 排放量约为 1206 万 t。其中,含 VOCs 产品的使用和排放是最重要的排放环节,排放量比重达 50.3%;其次是以 VOCs 为原料的工艺过程(24.7%);VOCs 的生产 and 储存运输的比重分别为 18.1%和 6.8%。共有合

成材料生产、石油炼制和石油化工、机械设备制造等 17 个排放源的年排放量达 20 万 t 以上,其排放量之和占全国总排放量的 94.9%。

3.2 2007~2009 年我国工业源 VOCs 排放量年均增长率为 8.6%。含 VOCs 产品的使用和排放环节的排放比重均占总排放量的 48% 以上,且其年均增长率达 10.4%,应着重控制该环节的有机废气污染排放。

#### 参考文献:

- [1] Boeglin M L, Wessels D, Henshel D. An investigation of the relationship between air emissions of volatile organic compounds and the incidence of cancer in Indiana counties [J]. *Environmental Research*, 2006,100(2):242-254.
- [2] 《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)[Z].
- [3] 曹国良,安心琴,周春红,等.中国区域反应性气体排放源清单 [J]. *中国环境科学*, 2010,30(7):900-906.
- [4] Wei W, Wang S, Chatani S, et al. Emission and speciation of non-methane volatile organic compounds from anthropogenic sources in China [J]. *Atmospheric Environment*, 2008,42(20):4976-4988.
- [5] Bo Y, Cai H, Xie S. Spatial and temporal variation of historical anthropogenic NMVOCs emission inventories in China [J]. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2008, 8:7297-7316.
- [6] Ohara T, Akimoto H, Kurokawa J, et al. An Asian emission inventory of anthropogenic emission sources for the period 1980-2020 [J]. *Atmospheric Chemistry and Physics Discussions*, 2007,7(3):6843-6902.
- [7] Streets D, Bond T, Carmichael G, et al. An inventory of gaseous and primary aerosol emissions in Asia in the year 2000 [J]. *Journal of Geophysical Research*, 2003,108:8809-8831.
- [8] Klimont Z, Streets D G, Gupta S, et al. Anthropogenic emissions of non-methane volatile organic compounds in China [J]. *Atmospheric Environment*, 2002,36(8):1309-1322.
- [9] 余宇帆,卢清,郑君瑜,等.珠江三角洲地区重点 VOC 排放行业的排放清单 [J]. *中国环境科学*, 2011,31(2):195-201.
- [10] GB/T4754-2002 国民经济行业分类标准 [S].
- [11] 羌宁.全国石化行业 VOCs 排放特征研究报告 [R]. 上海:同济大学, 2010.
- [12] 国家统计局.中国统计年鉴 [M]. 北京:中国统计出版社.
- [13] GB 11085-89 散装液态石油产品损耗 [S].
- [14] 国家统计局,国家发展和改革委员会.中国能源统计年鉴 [M]. 北京:中国统计出版社.
- [15] 中国海关总署.中国海关统计年鉴 [M]. 北京:中国海关总署出版社.
- [16] Environmental Protection Agency, USA. Emissions factors and AP 42 [EB/OL]. <http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/index.html#toc>.
- [17] 国务院发展研究中心.国务院发展研究中心信息网 [Z].
- [18] Environmental Protection Agency, USA. The national emissions inventory[EB/OL].<http://www.epa.gov/ttnchie1/net/2008inventory.html>.
- [19] 魏巍,王书肖,郝吉明,等.中国涂料应用过程挥发性有机物的排放计算及未来发展趋势预测 [J]. *环境科学*, 2009,30(10):2809-2815.
- [20] 魏巍.中国人为源挥发性有机化合物的排放现状及未来趋势 [D]. 北京:清华大学, 2009.
- [21] European Environment Agency. EMEP/CORINAIR emission inventory guidebook [EB/OL]. <http://www.eea.europa.eu/publications/EMEP/CORINAIR5>.
- [22] 公私场所固定污染源申报空气污染防制费之挥发性有机物之行业制程排放系数、操作单元(含设备组件)排放系数、控制效率及其他计量规定 [S]. 台湾,台湾环境保护署, 2009.
- [23] Zhang Q, Streets D, Carmichael G, et al. Asian emissions in 2006 for the NASA INTEX-B mission [J]. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2009,9(14):5131-5153.

**致谢:** 本研究的前期工作基础由环保部污防司“工业挥发性有机污染物控制对策研究”项目组其他成员单位协助完成,在此表示感谢。

**作者简介:** 陈颖(1985-),女,广东湛江人,华南理工大学硕士研究生,主要从事挥发性有机污染物研究.发表论文 1 篇。