

福建省重点地区人为源 VOCs 排放清单

魏淑珍¹, 杨圣佳¹, 陈子杰², 王奕晨², 曾艺芳³, 胡清华¹

(1. 福建省环境监测中心站, 福建 福州 350003; 2. 福州大学环境与资源学院, 福建 福州 350008;
3. 福建省环境保护设计院有限公司, 福建 福州 350012)

摘要:通过收集福建省福州、厦门、莆田、泉州、漳州和龙岩等重点地区人为源活动水平数据,通过排放因子法进行合理估算,计算2016年福建省重点地区人为源的VOCs排放量。结果表明,2016年福建省重点地区人为源VOCs排放量为47 262.8 t。VOCs排放主要由石油炼制、化工、建筑材料制造、塑料制品和食品饮料加工等行业贡献,占总排放量的62.0%。泉州市是VOCs污染排放的主要贡献城市,占全省重点地区VOCs总排放量的48.9%。

关键词:挥发性有机物;排放因子;排放清单;人为源;福建省

中图分类号:X508

文献标志码:B

文章编号:1006-2009(2019)05-0035-05

VOCs Emission Inventory of Anthropogenic Sources in Key Areas of Fujian

WEI Shu-zhen¹, YANG Sheng-jia¹, CHEN Zi-jie², WANG Yi-chen², ZENG Yi-fan³, HU Qing-hua¹

(1. Fujian Province Environmental Monitoring Center Station, Fuzhou, Fujian 350003, China;
2. College of Environment and Resources, Fuzhou University, Fuzhou, Fujian 350008, China;
3. Fujian Environmental Protection Design Institute Co., Ltd, Fuzhou, Fujian 350012, China)

Abstract: This study collected the data of anthropogenic source activities in six cities in Fujian, calculated VOCs emissions in the key areas of Fujian in 2016 by estimating the emission factors. The results showed that VOCs emissions from anthropogenic sources in Fujian were 47 262.8 tons in 2016. VOCs emissions were mainly contributed by petroleum refining, chemical industry, building material manufacturing, plastics product, food and beverage processing industries, accounting for 62.0% of total emissions. Quanzhou was the main VOCs emission city, accounting for 48.9% of the total.

Key words: VOCs; Emission factor; Emission inventory; Anthropogenic sources; Fujian

随着城市化进程加快,经济的快速发展,以工业企业及居民生活为主的人为源排放的大气污染物逐年增加,大气污染日益严重,光化学烟雾、城市灰霾等复合型大气污染问题越发突出^[1-8]。尤其是挥发性有机污染物(VOCs),在光照条件下能够和氮氧化物(NO_x)发生化学反应,生成臭氧(O₃)及其他光化学氧化物,对人体健康危害极大^[9-11]。目前,我国已有多地陆续建立了区域大气污染物排放清单^[5-8,12-17],如余宇帆等^[11]建立了珠江三角洲地区重点VOCs清单,潘月云等^[15]建立了广东省人为源大气污染物排放清单,程钟等^[16]建立了常州市大气污染物排放清单,夏思佳等^[5]建立了江苏省人为源VOCs排放清单。

福建省大气污染清单的相关研究相对滞后。基于2017年9月厦门金砖会晤的召开,为保障会议期间的空气质量,全省展开了VOCs“自下而上”的调查。通过对重点地区进行VOCs排放清单调查,运用排放因子估算法,建立2016年福建省重点地区人为源VOCs排放清单,为大气污染防治及决策规划提供依据及数据支撑。

收稿日期:2018-07-25;修订日期:2019-08-08

基金项目:福建省环保科技计划基金资助项目(2016S016);海峡联合基金资助项目“海西城市群灰霾的生成、消散与防控机制”(U1405235)

作者简介:魏淑珍(1985—),女,福建三明人,工程师,硕士,主要从事环境数据统计工作。

1 数据来源与方法

1.1 研究区域与对象

VOCs 排放清单研究主要从 VOCs 的生产、VOCs 的储存和运输、以 VOCs 为原料的工艺、含 VOCs 产品的使用和排放过程等 4 个方面进行统计估算^[18]。其中,VOCs 的生产包括石油炼制、石油化工、有机化工行业;VOCs 的储存和运输包括加油站排放;以 VOCs 为原料的工艺包括涂料、油墨、合成材料、食品饮料、纺织印染等主要行业;含 VOCs 产品的使用和排放过程包括塑料制品、家具制造、胶黏剂生产、皮革、包装印刷、木材加工、金属制品制造、通用设备及专用设备制造、电气机械及器材、仪器仪表文化办公机械制造、交通运输设备制造等行业。

研究区域为福建省内的福州市、厦门市、莆田市、泉州市、漳州市和龙岩市等 6 个主要设区城市(以下简称重点地区),研究基准年为 2016 年,所调查的排放源按照国民经济行业分类体系和统计口径分为工业排放源、生活排放源两大类。其中,工业排放源包括电厂、黑色金属冶炼和压延加工、化工、石油炼制、家具制造、包装印刷、汽车制造、建

筑材料制造、塑料制品、食品饮料加工、制鞋、木材加工、人造板、工业设备制造、纺织、造纸及其他行业等 17 个行业;生活排放源包括汽车修理与维护、加油站及油库、医院、餐饮和干洗等 5 个行业。

1.2 估算方法

采用排放因子法进行计算,该方法可操作性较强,计算便捷且相对准确,有利于对区域或城市 VOCs 排放的整体把握^[8]。具体主要是根据排放源的活动水平,结合相关排放因子,对 VOCs 排放量进行估算^[11],计算公式如下^[18]。

$$E_{i,j} = \sum_j A_{i,j} \times EF_j \times (1 - \eta) \quad (1)$$

式中: $E_{i,j}$ 为 VOCs 排放量,t; $A_{i,j}$ 为排放源活动水平,可分为原辅材料使用量或产品产量; i 为地区; j 为产品类别; EF_j 为排放因子,即单位原辅材料使用量或产品产量的排放量; η 为污染物去除效率。

1.3 活动水平数据来源

采用“自下而上”的方式,在各城市发放调查表,共调查 17 个行业的工业排放源、5 个行业的生活排放源,收回调查表 6 928 份,回收率 89.5%。具体情况见表 1。

表 1 福建省重点地区发表调查数量
Table 1 Number of published survey in key areas of Fujian

行业类型	福州市	厦门市	莆田市	泉州市	漳州市	龙岩市	合计
包装印刷	34	22	21	235	10		322
餐饮 ^①	158	4 056	5	15	12		4 246
电厂	2	5	3	7	1	2	20
纺织	32	5	4	42	1	1	85
干洗 ^①	9	155		1	2		167
工业设备制造	39	56	20	22	12	1	150
黑色金属冶炼和压延加工	4				1		5
化工	18	33	11	40	11	5	118
加油站和油库 ^①	150	106	78	309	30	75	748
家具制造	16	11	1	12	17		57
建筑材料制造、塑料制品、食品饮料加工	27	38	22	41	34	6	168
其他行业	2	65	4	12	8	4	95
汽车修理 ^①	31	342	3	51	15	18	460
汽车制造	1	9		2			12
石油炼制				2	2		4
医院 ^①	35	23	9	11	8	3	89
造纸	4	4	2	1	3		14
制鞋、木材加工、人造板	14	11	85	27	28	3	168
总计	576	4 941	268	830	195	118	6 928

①为生活排放源。

1.4 排放因子来源

排放因子均参照《大气挥发性有机物源排放

清单编制技术指南(试行)^[19],其大部分排放因子主要参考行业统计数据,缺乏部分参考相关研究

报告^[20]。具体排放因子选取见表 2、表 3。

表 2 固定燃烧源 VOCs 排放因子

Table 2 VOCs emission factors of stationary combustion source

排放行业	燃料类型	排放因子 /(g·kg ⁻¹)	排放行业	燃料类型	排放因子 /(g·kg ⁻¹)
火力发电	煤	0.15	供热	液化石油气	0.50 ^①
	燃料油	0.13		天然气	0.088 ^①
	煤气	0.000 44 ^①	工业	煤	0.39
	液化石油气	0.034 ^①		燃料油	0.35
	天然气	0.045 ^①		煤气	0.000 44 ^①
供热	煤	0.18	液化石油气	0.48 ^①	
	燃料油	0.20	天然气	0.088 ^①	
	煤气	0.000 44 ^①			

①单位为 g/m³。

表 3 行业 VOCs 排放因子

Table 3 VOCs emission factors of various industries

排放行业	工业过程	排放因子 /(g·kg ⁻¹)	排放行业	工业过程	排放因子 /(g·kg ⁻¹)
炼钢	电弧炉	0.1	合成纤维制造	精对苯二甲酸	19.8
	热轧	0.3		丙烯腈	0.988
基础化学原料药制造	未注明工艺轧钢	0.2		乙二醇	0.515
	乙烯	0.097	尼纶	3.3	
	丙烯	0.111	涤纶	0.7	
	丙烯腈	0.988	腈纶	37.1	
	苯	17.2 ^①	丙纶	37.1	
	甲苯	17.2 ^①	维纶	7.7	
	乙苯	0.1	黏胶纤维	14.5	
	丁二烯	139.74	再生橡胶制造	轮胎	0.91 ^②
	苯乙烯	0.223	砖瓦、石材等建筑材料制造	黏土砖瓦	0.132
	邻二甲苯	17.2 ^①		建筑陶瓷	29.22
	间二甲苯	17.2 ^①	沥青油毡	0.432	
	对二甲苯	17.2 ^①	玻璃及玻璃制品制造	平板玻璃	4.4
	混合二甲苯	17.2 ^①		玻璃纤维	3.15
	化学原料药	化学原料药	430	植物油加工	玉米油
肥料制造		尿素	0.01		棉花籽油
涂料、油墨、颜料及类似产品制造	合成氨	4.72	花生油		10.35
	油墨	50	大豆油	2.45	
	油漆	15	非食用植物油	9.165	
	染料	81.4	酒的制造	白酒	25
	炭黑	52		酒精	218.25
印染	81.4	啤酒		0.25	
合成树脂	聚氯乙烯(PVC)	0.744 8	红酒	0.5	
	聚苯乙烯(PS)	5.4	人造板制造	人造板	0.5 ^③
	聚丙烯(PP)	3		食品制造	饼干
	高密度聚乙烯	5.7	面包		10.62
	线性聚乙烯	10	熏肉		0.143
制糖	低密度聚乙烯	10	泡沫塑料制造	泡沫塑料	770
	制糖	8	塑料人造革、合成革制造	人造革/合成革	0.182 ^④
干洗	干洗剂(三氯乙烯、四氯乙烯)	1 000	水泥、石灰和石膏制造	水泥/石灰/石膏	0.177
	加油站	汽油/柴油	3.243	陶瓷制品制造	卫生陶瓷
				搪瓷	29.22

①单位为 1/生产线;②单位为 kg/个;③单位为 g/m³;④单位为 kg/m²。

2 结果与讨论

2.1 VOCs 重点地区排放分担率

基于上述调查建立 2016 年福建省重点地区 VOCs 排放行业清单(见表 4),可知 2016 年全省重点地区 22 个行业 VOCs 排放总量为 47 262.8 t。其中,泉州市 VOCs 排放量最大,为 23 129.7 t,占总排放量的 48.9%;福州市 VOCs 排放量次之,为 10 559.0 t,占总排放量的 22.3%;而厦门市、莆田市、漳州市和龙岩市的 VOCs 排放量分别为 5 112.0 t、5 040.0 t、2 276.8 t 和 1 145.3 t,分别占总排放量的 10.8%、10.7%、4.8% 和 2.5%。泉州市的工业企业发达,石油炼制和化工行业 VOCs 排放量大,故非甲烷总烃的排放分担率较大。

表 4 2016 年福建省 VOCs 排放行业清单

Table 4 VOCs emission inventory in key areas of Fujian in 2016

排放行业	VOCs 排放量 Q /t	占比 /%
石油炼制	12 371.4	26.2
化工	11 893.0	25.2
建筑材料制造、塑料制品、食品饮料加工	5 011.0	10.6
制鞋、木材加工、人造板	4 241.7	9.0
工业设备制造	3 240.7	6.9
电厂	2 344.8	5.0
纺织	1 560.5	3.3
包装印刷	1 422.0	3.0
家具制造	1 184.7	2.5
加油站和油库	1 027.6	2.2
医院	587.4	1.2
汽车修理	541.9	1.1
汽车制造	485.0	1.0
餐饮	108.2	0.2
造纸	99.7	0.2
干洗	46.7	0.1
黑色金属冶炼和压延加工	39.7	0.1
其他行业	1 056.8	2.2
合计	47 262.8	100

2.2 VOCs 行业排放分担率

图 1 为 2016 年福建省重点地区 VOCs 排放情况及行业贡献率。从整体看,各设区市不同排放源对 VOCs 的贡献情况存在差异。石油炼制行业排放量最大,为 12 371.4 t,占总排放量的 26.2%,是最主要的 VOCs 排放源;化工行业对 VOCs 排放的贡献次之,为 11 893.0 t,占总排放量的 25.2%。福州市 VOCs 的主要贡献源为化工行业,建筑材料制造、塑料制品和食品饮料加工行业次之,VOCs

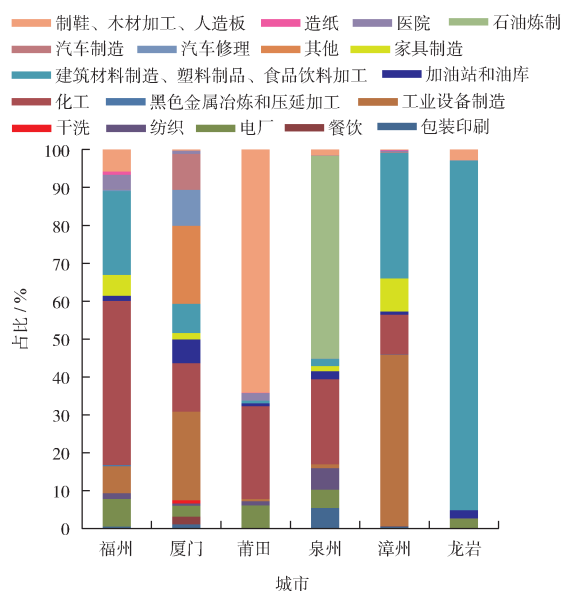


图 1 2016 年福建省重点地区 VOCs 排放行业贡献率

Fig. 1 VOCs emission contribution rates of different industries in key areas of Fujian in 2016

贡献率分别为 43.3% 和 22.1%。厦门市 VOCs 排放主要来源于工业设备制造、其他行业、化工行业等,总占比达到 56.8%,相应的贡献率为 23.4%、20.6% 和 12.8%。此次调查中,厦门市的餐饮调查数量达到 4 056 家,占厦门市所调查企业数量的 82.1%,由于所调查餐饮企业使用的燃料主要为天然气,非甲烷总烃排放占比较小,故 VOCs 的占比仅为 2.1%。莆田市制鞋、木材加工和人造板行业对 VOCs 的排放贡献率最大,为 64.2%。泉州市的 VOCs 排放量主要由石油炼制和化工行业分担,其贡献率分别为 53.5% 和 22.5%。漳州市的 VOCs 排放量主要由工业设备制造行业贡献,其贡献率达到 45.3%。龙岩市的 VOCs 排放量主要由建筑材料制造、塑料制品和食品饮料加工行业贡献,其贡献率达到 92.2%。

2.3 不确定性分析

通过不确定性分析,可以弄清并减少不确定因素对排放清单的影响,预测排放清单的准确性,对决策者具有十分重要的参考价值。经分析讨论,文中的不确定性主要来自以下几个方面。

(1) 计算 VOCs 排放量的重要因素之一是排放因子,福建省缺乏本地排放因子数据,所使用的排放因子多来自指南和文献,且同一污染源的排放因子差距较大,得出的计算结果存在差距。因此,无法完全保证所用排放因子的准确性和代表性。

(2) 活动水平和现有的排放因子无法完全匹配,且部分活动水平缺失。

(3) 在调查过程中,存在着部分企业不了解使用原辅材料的有机物成分及所占比例的现象,以及数据单位换算错误或无法换算的情况,导致计算过程中可能出现误差。

(4) 厦门市对餐饮行业进行了较为详尽的调查,调查数量是其他城市的几十倍甚至几百倍。这在一定程度上导致调查结果存在一定的不确定性。

(5) 此次调查未将移动源、储运源、生物质燃烧源和天然源纳入调查范围,排放清单存在一定的低估。

3 结论

以福建省人为源 VOCs 排放为研究对象,通过对 VOCs 的生产、VOCs 的储存和运输、以 VOCs 为原料的工艺、含 VOCs 产品的使用和排放过程等 VOCs 排放估算,得出:

(1) 福建省 2016 年重点地区人为源 VOCs 排放量为 47 262.8 t。

(2) 2016 年福建省 VOCs 污染排放主要集中在泉州市,其排放量为 23 129.7 t, 占全省总排放量的 48.9%, 是福建省 VOCs 污染排放的主要城市。

(3) VOCs 排放主要由石油炼制、化工等行业贡献, 占总排放量的 51.4%。

(4) 由于部分排放因子缺失、调查的行业数据不够完善, 导致研究中存在不确定性, 进而影响研究结果, 建议在今后的调查研究中, 进一步加强基础数据收集工作, 以提高研究的准确性。

【参考文献】

[1] 魏巍, 王书肖, 郝吉明. 中国人为源 VOC 排放清单不确定性研究[J]. 环境科学, 2011, 32(2): 305-312.

[2] 邓睿, 周飞, 唐江, 等. VOC 的排放以及控制措施和建议[J]. 材料导报, 2014, 28(24): 378-384.

[3] 樊奇, 羌宁. 挥发性有机废气净化技术研究进展[J]. 四川环境, 2005, 24(4): 40-44, 49.

[4] 黄成, 陈长虹, 李莉, 等. 长江三角洲地区人为源大气污染物

排放特征研究[J]. 环境科学学报, 2011, 31(9): 1858-1871.

[5] 夏思佳, 赵秋月, 李冰, 等. 江苏省人为源挥发性有机物排放清单[J]. 环境科学研究, 2014, 27(2): 120-126.

[6] 李璇, 王雪松, 刘中, 等. 宁波人为源 VOC 清单及重点工业行业贡献分析[J]. 环境科学, 2014, 35(7): 2497-2502.

[7] SEKIZAWA J, OHTAWA H, YAMAMOTO H, et al. Evaluation of human health risks from exposures to four air pollutants in the indoor and the outdoor environments in Tokushima, and communication of the outcomes to the local people[J]. Journal of Risk Research, 2007, 10(6): 841-851.

[8] 吴建, 程文, 晁娜. 浙江省人为源 VOCs 排放清单[J]. 上海环境科学, 2015, 34(2): 60-66.

[9] 邓雪娇, 王新明, 赵春生, 等. 珠江三角洲典型过程 VOCs 的平均浓度与化学反应活性[J]. 中国环境科学, 2010, 30(9): 1153-1161.

[10] 徐少才, 薛莲, 薛传文, 等. 青岛市大气臭氧的生成敏感性及其影响因素分析[J]. 环境监测管理与技术, 2016, 28(2): 19-22.

[11] 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.

[12] 杨强, 黄成, 卢滨, 等. 基于本地污染源调查的杭州市大气污染物排放清单研究[J]. 环境科学学报, 2017, 37(9): 3240-3254.

[13] 鲁斯唯, 胡清华, 吴水平, 等. 海峡西岸经济区大气污染物排放清单的初步估算[J]. 环境科学学报, 2014, 34(10): 2624-2634.

[14] 郑晓红, 李芳, 刘必寅. 上海市工业氨排放清单研究[J]. 环境监测管理与技术, 2016, 28(4): 19-22.

[15] 潘月云, 李楠, 郑君瑜, 等. 广东省人为源大气污染物排放清单及特征研究[J]. 环境科学学报, 2015, 35(9): 2655-2669.

[16] 程钟, 章建宁, 周俊, 等. 常州市大气污染物排放清单及分布特征[J]. 环境监测管理与技术, 2016, 28(3): 24-28.

[17] 吴丹, 张立平, 闫艳芳, 等. 沈阳市机动车大气污染物排放清单的研究[J]. 环境监测管理与技术, 2018, 30(6): 30-33.

[18] 陈颖, 叶代启, 刘秀珍, 等. 我国工业源 VOCs 排放的源头追踪和行业特征研究[J]. 中国环境科学, 2012, 32(1): 48-55.

[19] 环境保护部. 大气挥发性有机物源排放清单编制技术指南(试行)[EB/OL]. [2014-08-20]. http://www.mee.gov.cn/gkml/hbb/bgg/201408/t20140828_288364.htm.

[20] 上海市环境保护局. 上海市印刷业 VOCs 排放量计算方法(试行)[EB/OL]. [2016-03-04]. <https://wenku.baidu.com/view/00be4218aa00b52acec7ca54.html>.

本栏目编辑 谢咏梅

启 事

本刊已加入《中国学术期刊(光盘版)》、万方数据-数字化期刊群、重庆维普中文科技期刊数据库, 凡被录用的稿件将同时在相关数据库产品中进行网络出版或提供信息服务, 其作者著作权使用费与本刊稿酬一并支付。如作者不同意将文章编入数据库, 请在来稿中注明, 本刊将做适当处理。