

城市高分辨率 大气污染源排放清单 编制技术方法与应用实例

CHENGSHI GAOFENBIANLU
DAQI WURANYUAN PAIFANG QINGDAN
BIANZHI JISHU FANGFA YU YINGYONG SHILI

孙 韧 等 编著

环境出版社

城市高分辨率大气污染源排放清单 编制技术方法与应用实例

孙 韧 等 编著

中国环境出版社·北京

图书在版编目(CIP)数据

城市高分辨率大气污染源排放清单编制技术方法与应用
实例/孙韧等编著. —北京: 中国环境出版社, 2016.4

ISBN 978-7-5111-2747-1

①城… II. ①孙… III. ①城市—高分辨率—空气污染—污染源—统计—中国 IV. ①X51

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第056558号

出 版 人 王新程
责任编辑 季苏园 宋慧敏
责任校对 尹 芳
封面设计 岳 帅

出版发行 中国环境出版社
(100062 北京市东城区广渠门内大街16号)
网 址: <http://www.cesp.com.cn>
电子邮箱: bjgl@cesp.com.cn
联系电话: 010-67112765 (编辑管理部)
发行热线: 010-67125803, 010-67113405 (传真)

印 刷 北京中科印刷有限公司
经 销 各地新华书店
版 次 2016年4月第1版
印 次 2016年4月第1次印刷
开 本 787×960 1/16
印 张 13.75
字 数 230千字
定 价 48.00元

【版权所有。未经许可, 请勿翻印、转载, 违者必究。】

如有缺页、破损、倒装等印装质量问题, 请寄回本社更换

本书编委会

主 编: 孙 韧

副主编: 邓小文 冯银厂 张 震

编 委: 高 翔 张 骥 毕晓辉 孙 猛 徐 媛

展先辉 刘茂辉 赵吉睿 尹彦勋 刘佳泓

郑 涛 李立伟

目 录

第 1 章 绪 论	1
1.1 大气污染源排放清单	1
1.2 大气污染源排放清单发展与现状	2
1.2.1 国外清单发展与现状	2
1.2.2 我国清单发展与现状	3
1.3 本书写作目的与内容框架	4
第 2 章 大气污染源分类及排放量估算	5
2.1 固定燃烧源	5
2.1.1 固定燃烧源分类体系	5
2.1.2 固定燃烧源污染物排放量核算方法	5
2.2 工业过程源	13
2.3 移动源	17
2.3.1 道路移动源分类及排放量估算	17
2.3.2 非道路移动源分类及排放量估算	18
2.4 扬尘源	22
2.4.1 扬尘源识别与分类	22
2.4.2 扬尘源排放量估算方法	25
2.5 溶剂使用源	31
2.5.1 工业溶剂使用源	33
2.5.2 非工业溶剂使用源	33
2.6 存储与运输源	34

2.6.1	有机液体存储储罐.....	35
2.6.2	加油站.....	39
2.7	农牧源	39
2.7.1	农牧源分类.....	39
2.7.2	农牧源的计算.....	40
2.8	生物质燃烧源.....	40
2.8.1	生物质燃烧源分类分级体系的确定.....	43
2.8.2	排放清单计算空间尺度的确定.....	43
2.8.3	大气污染物排放量的计算方法.....	43
2.9	天然源	44
2.10	其他排放源.....	46
第3章	活动水平获取途径及调查实施.....	48
3.1	固定燃烧源.....	48
3.1.1	电力部门活动水平获取.....	48
3.1.2	供暖部门、工业企业活动水平获取.....	48
3.1.3	民用散煤燃烧活动水平获取.....	49
3.2	工业过程源.....	50
3.3	移动源	50
3.3.1	道路移动源.....	50
3.3.2	非道路移动源.....	57
3.4	扬尘源	59
3.4.1	土壤扬尘.....	59
3.4.2	道路扬尘.....	59
3.4.3	施工扬尘.....	59
3.4.4	堆场扬尘.....	60
3.5	溶剂使用源.....	60
3.5.1	工业溶剂使用源.....	60
3.5.2	非工业溶剂使用源.....	61

3.6 存储与运输源.....	61
3.6.1 有机液体存储储罐.....	61
3.6.2 加油站.....	65
3.7 农牧源.....	66
3.7.1 活动水平数据及获取途径.....	66
3.7.2 活动水平数据的实地调查.....	67
3.8 生物质燃烧源.....	67
3.9 天然源.....	71
3.10 其他排放源.....	71
 第4章 排放因子与化学成分谱本地化测试.....	 73
4.1 排放因子收集.....	73
4.1.1 固定燃烧源.....	73
4.1.2 工业过程源.....	73
4.1.3 移动源.....	75
4.1.4 扬尘源.....	76
4.1.5 溶剂使用源.....	76
4.1.6 存储与运输源.....	79
4.1.7 农牧源.....	80
4.1.8 生物质燃烧源.....	88
4.1.9 天然源.....	91
4.1.10 其他排放源.....	92
4.2 排放因子收集方法概述.....	92
4.2.1 实测法.....	92
4.2.2 估算法.....	97
4.2.3 文献调研法.....	98
4.3 典型污染物排放因子与化学成分谱本地化测试.....	98
4.3.1 颗粒物排放因子与化学成分谱本地化测试.....	98
4.3.2 VOCs 排放因子与化学成分谱本地化.....	130

第 5 章 城市高分辨率大气污染源排放清单平台开发及应用.....	141
5.1 平台框架体系构建.....	141
5.2 平台模块介绍.....	143
5.2.1 大气污染源综合管理平台.....	143
5.2.2 Model3/CMAQ 模式环境系统.....	150
5.2.3 动态模式化排放清单处理系统.....	151
5.2.4 基于 WebGIS 平台的污染物排放特征表征系统.....	151
5.2.5 空气质量控制辅助决策支持系统.....	152
第 6 章 北方某城市大气污染源排放清单建立案例.....	156
6.1 区域概况.....	156
6.2 空气质量分析.....	156
6.2.1 浓度分析.....	156
6.2.2 综合污染指数及占比变化.....	158
6.2.3 颗粒物污染特征.....	161
6.2.4 NO ₂ 和 SO ₂ 特征分析.....	161
6.2.5 CO 污染特征分析.....	163
6.2.6 小结.....	166
6.3 污染源调查.....	167
6.3.1 调查流程.....	167
6.3.2 污染源调查结果.....	169
6.4 典型源类影响评估.....	190
6.4.1 评估模型及参数选择.....	190
6.4.2 散煤燃烧源.....	192
6.4.3 固定燃烧源.....	193
6.4.4 扬尘源.....	194
6.4.5 移动源.....	196
6.4.6 整体评估分析.....	197

6.5 问题及建议.....	198
6.5.1 主要问题.....	198
6.5.2 对策及建议.....	199
第7章 建议与展望.....	201
参考文献.....	204

第1章 绪论

1.1 大气污染源排放清单

随着我国城市化和工业化水平的逐步提升，大气污染区域性和复合型特点日益凸显。越来越多的人类活动集中在能源使用和工业活动集中的京津冀、长三角、珠三角等地区，城市群区域释放大量的污染物。多种污染物之间互相反应，外来输送源与本地源综合，复合影响大气环境质量，大气污染呈现出高度的复合性、压缩性、复杂性。

大气污染特征对区域大气污染综合防治提出了更高要求，需要从环境整体出发，对区域大气污染形成及迁移、转化过程进行深入了解，在综合考虑各类污染源排放状况的基础上，对影响环境空气质量的多种因素系统分析，建立科学合理的防治对策，以期改善环境空气质量。而这一过程，只有在摸清各类污染源的污染物排放特征及定量表征的基础上，才能得以实施。针对大气污染防治过程中对污染物排放源特征识别和量化的需求，大气污染源排放清单能够提供有效的解决方案。

大气污染源排放清单，是集合了不同大气污染源排放的不同污染物信息的数据库，是一定区域内各种大气污染源在特定时期内排放到大气中的不同污染物的排放量列表。按照排放源的性质，可以将排放源清单分为天然源排放清单和人为源排放清单；根据污染物的不同，可以分为二氧化硫、氮氧化物、颗粒物、挥发性有机物、氨、一氧化氮等排放源清单；而按照覆盖地域尺度划分，污染源排放清单可分为全球排放源清单、国家排放源清单、区域排放源清单和城市排放源清单。

其中，城市尺度排放源清单多采用“自下而上”的估算方式，对污染源排放

终端的排放信息分别进行统计,可实现污染源排放清单的高分辨率和高精确性,从而有效地服务于城市污染防治控制和空气质量改善,在城市环境管理中具有无可比拟的作用。

1.2 大气污染源排放清单发展与现状

1.2.1 国外清单发展与现状

大气污染源排放清单是不同大气污染源排放的不同污染物信息的集合,是进行环境影响评价工作的有效工具,是进行环境空气质量数值模拟研究的基础数据,对区域环境空气质量的研究具有关键性的作用。伴随着大气污染问题的出现,源排放清单的相关研究工作在国外得到较早的开展,且在发展过程中,逐步系统化、流程标准化,实现了不同部门和人员的研究和使用,其中尤以欧美国家的研究工作为代表。如美国国家环境保护局建立的国家排放清单(National Emissions Inventory)和温室气体排放清单(National Greenhouse Gas Emissions Data),欧洲环境署建立的多污染物排放清单(EMEP-EEA Air Pollutant Emission Inventory),英国国家排放清单(UK NAEL-National Atmospheric Emissions Inventory),这些清单基本包括了所有常规污染物。

欧美地区相关政府机构或研究组织为各类污染物排放清单建立了统一的排放源分类系统,利用规范的源分类编码技术,开展一定时间和空间上的污染物排放定量表征研究。并以此为基础,利用本地区详实的测试数据及统计资料,建立了基于排放源分类的化学成分谱数据库、活动水平数据库、本地排放因子数据库[如美国的 AP-42 因子库(环境保护部,2014)和欧盟的 CORINAIR 因子库(环境保护部,2014)]等。

USEPA 在开展了大量研究工作的基础上,于 1996 年编制和发布了大气污染物排放因子 AP-42 手册,并每年进行完善更新。在此基础上,EPA 于 1993 年制定了排放源清单改进计划(Emission Inventory Improvement Program, EIIP),以对各级排放源数据的收集、计算、存储、报告、共享等标准化过程进行统筹,促使排放源清单的建立更加标准化、规范化。基于排放源清单改进计划的框架,USEPA

编制了国家排放源清单,建立了国家排放源清单数据库。

自1980年欧洲开展排放源清单编制工作以来,EEA进行了大量的排放源清单编制研究工作,并发布了清单编制指南,指导欧洲排放源清单编制工作。并在此基础上,编制了1980—2005年欧洲国家排放源清单,并每年动态更新。并经过一系列政策研究,最终提出了欧洲区域污染物排放控制计划,为欧洲区域空气质量改善提供了科学依据。

1.2.2 我国清单发展与现状

我国清单编制研究工作开展较晚,目前尚未开展系统性的国家及地方清单编制工作。随着区域复合型污染的日益显著、区域重污染天气的频繁发生,高分辨率大气污染源排放清单的开发得到进一步关注,本地化参数测试等清单编制基础工作陆续开展,并逐步开发基于技术信息和设备信息的高技术、高分辨率排放源清单。

贺克斌等(2003)建立了一套城市大气污染源排放清单技术方法,并开发了北京市 PM_{10} 、 SO_2 、 NO_x $1\text{ km}\times 1\text{ km}$ 网格化排放源清单;郑君瑜等(2009)估算了珠江三角洲地区2006年大气面源污染物的排放清单,并利用2006年珠江三角洲人口分布栅格数据作为代用空间分配权重因子,建立了该地区大气面源 $3\text{ km}\times 3\text{ km}$ 的 SO_2 、 NO_x 、 PM_{10} 和VOCs网格化排放清单;杨杨等(2013)根据珠江三角洲地区印刷行业活动数据,采用不锈钢罐采样-气质联用技术,获取了印刷工艺VOCs成分谱,建立了珠江三角洲地区2010年印刷行业VOCs组分排放清单,并研究了不同工艺排放的臭氧生成潜势;杨利嫻(2012)结合我国工业源VOCs排放时间系数对我国1980—2010年的工业源VOCs排放量进行了估算,并利用GIS工具进行空间分析,建立了我国 $50\text{ km}\times 50\text{ km}$ 的网格化排放清单,在此基础上对我国工业源VOCs排放趋势进行了预测;魏巍(2009)在建立我国4级排放源活动水平的系统高分辨率VOCs排放清单基础上,完成了排放清单不确定性定量分析模型,并依此形成了VOCs高分辨率排放清单的编制技术方法。

2015年,环保部发文要求,包括北京、天津、上海在内的14个城市开展城市高分辨率排放源清单编制试点工作,并于2015年年底进行了验收。清单编制试点工作的开展,进一步摸索清单编制技术方法和实施方案,为我国清单编制工作

的系统性开展做出了突破性试探,为清单编制工作的全面开展、业务化开展奠定了良好基础。

1.3 本书写作目的与内容框架

如本章所述,城市高分辨率大气排放源清单编制是一项涉及众多学科理论和研究方法领域的高度复杂系统工程。涉及排放源分类体系构建、定量表征方法体系构建、本地化数据库构建、时空分配方法与技术开发、清单不确定性分析及清单处理系统构建等多领域的内容。

同时,由于我国目前面临的严峻大气复合污染形势,利用空气质量模型所开展的大气污染成因及转化机制研究、空气质量预警预报、污染防治对策研究等对环境空气质量改善中发挥着无可替代的作用。而大气污染源排放清单作为空气质量模型的重要输入文件,其本身的可靠性是影响模型模拟不确定性的重要因素。在此情形下,如何提高清单的准确性、分辨率、可靠性,便成为改善空气质量模型模拟性能的重要手段和方法。

而我国现阶段对清单整体认识尚有不足,清单编制技术方法储备及高水平清单编制团队、人员的匮乏,使得清单编制工作的全面系统化开展障碍重重。鉴于上述情况,作者研究团队从城市高分辨率清单编制工作的实际情况出发,对清单编制的技术方法、数据获取实施、本地化工作开展、业务化清单编制平台开发等方面的经验进行总结,以期对城市高分辨率清单编制工作的开展提供示范指导和参考,为系统性清单编制工作的开展提供帮助。

本书架构如下:第2章对排放源分类体系的构建及各排放源的污染排放量表征测算方法进行介绍;第3章根据实际编制经验,对污染源活动水平的获取途径及实地调查实施的开展进行介绍;第4章对现有排放因子及成分谱数据的收集情况进行介绍,并重点介绍颗粒物、VOCs本地化测试方法体系;第5章对城市高分辨率大气污染源排放清单平台开发及应用情况进行介绍;第6章以北方某城市大气污染源排放清单建立为案例,对清单编制技术体系和工作实施进行详细介绍;第7章中,作者对城市高分辨率排放清单的发展做出建议和展望。

第 2 章 大气污染源分类及排放量估算

2.1 固定燃烧源

固定燃烧源是指利用燃料燃烧时产生热量，为发电、工业生产和生活提供热能和动力的燃烧设备。

2.1.1 固定燃烧源分类体系

现有的较为系统规范的排放源分类和编码体系大多采用三级或四级的分类方式，而国民经济行业分类标准中对经济活动的划分也是采用四级分类结构，结合区域内可获取的排放源信息的详细程度，排放源清单建立和应用的数据需求以及排放源分类代码编制和使用特点，确定固定燃烧源分类体系的四级分类结构。

固定燃烧源第二级分类按照能源使用部门进行划分，主要分为电力、供暖、工业和民用；第三级分类按照燃料类别进行划分，包括燃煤、燃油、燃气等其他燃料；第四级分类按照燃烧设备和控制技术进行分类（见表 2.1）。

2.1.2 固定燃烧源污染物排放量核算方法

固定燃烧源污染物排放量核算方法包括在线监测、手工监测、排放因子法、物料衡算法四种方法。排放量核算方法选择原则见图 2.1。由于在线监测系统（CEMS）能实时反映该污染源的长期连续排放状况，原则上应优先采用在线监测法核算其排放量。在无可靠 CEMS 数据的情况下，如果掌握某污染源长期、多次正常工作状态的手工监测排放数据时，则应采用手工监测法核算其排放量。缺乏在线及手工监测数据的情况下，推荐采用排放因子法核算其排放量。

表 2.1 固定燃烧源识别及分级

第一级	第二级	第三级	第四级
固定燃烧源	电力	燃煤	煤粉炉
			层燃炉
			流化床炉
			不分技术
		燃气	燃气锅炉
			不分技术
固定燃烧源	电力	燃油	燃油锅炉
			不分技术
	供暖	燃煤	煤粉炉
			层燃炉
			流化床炉
			不分技术
		燃气	燃气锅炉
			不分技术
		燃油	燃油锅炉
			不分技术
	工业	燃煤	煤粉炉
			层燃炉
			流化床炉
			不分技术
		燃气	燃气锅炉
			不分技术
		燃油	燃油锅炉
			不分技术
	民用	燃煤	自动炉排层燃炉
			手动炉排层燃炉
			传统炉灶
			先进炉灶
		燃气	不分技术

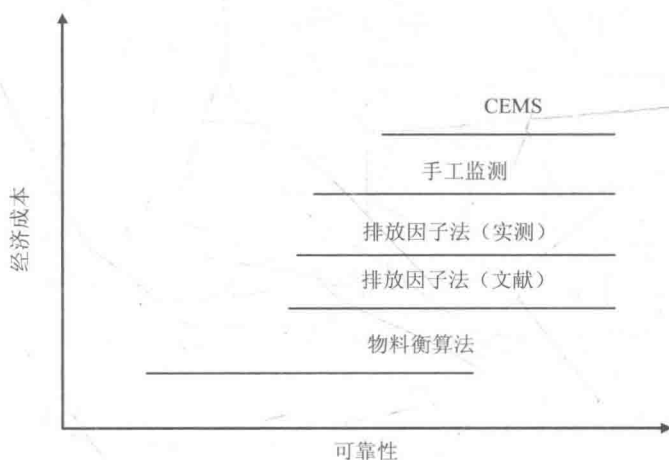


图 2.1 排放量核算方法选择原则

1. 在线监测法

在线监测法可实时反映污染源排放状况，对固定燃烧源安装使用符合《固定污染源烟气排放连续监测技术规范（试行）》（HJ/T 75—2007）和《固定污染源烟气排放连续监测系统技术要求及检测方法（试行）》（HJ/T 76—2007）要求的烟气排放连续监测系统并对烟气排放进行连续的、实时的跟踪测定。如电站锅炉、单台锅炉大于 40 蒸吨或 20 蒸吨以上的燃煤锅炉等国控或市控企业。根据实时测定的正常运行工况下的烟气流量数据、大气污染物（烟尘、 SO_2 、 NO_x ）折算排放浓度数据计算实时排放量数据，并按不同时间要求累计计算得到该污染源大气污染物（烟尘、 SO_2 、 NO_x ）日、月、季度或年排放量的方法。

由于烟气排放连续监测系统监测的为烟尘排放量，可根据在线监测烟尘排放量和 PM_{10} 、 $\text{PM}_{2.5}$ 占总颗粒物的比例计算 PM_{10} 、 $\text{PM}_{2.5}$ 的排放量。

1) 排放量计算公式

(1) 单位时间内排放量计算。

根据实时跟踪监测数据计算得到的烟尘或气态污染物（ SO_2 、 NO_x ）的排放量按以下公式计算：

$$G=Q \times C \times T \times 10^{-6} \quad (2-1)$$

式中: G ——烟气中某污染物的排放量, kg;

Q ——单位时间内废气的排放量, 标 m^3/h ;

C ——某污染物的折算浓度, $\text{mg}/\text{标 m}^3$;

T ——污染物排放时间, h。

(2) 年排放量计算。

烟气或气态污染物 (SO_2 、 NO_x) 日、月或年排放量按以下公式计算:

$$G_d = \sum_{i=1}^{24} G_{hi} \times 10^{-3} \quad (2-2)$$

$$G_m = \sum_{i=1}^{31} G_{di} \quad (2-3)$$

$$G_y = \sum_{i=1}^{12} G_{mi} \quad (2-4)$$

式中: G_d ——烟气或气态污染物日排放量, t/d;

G_m ——烟气或气态污染物月排放量, t/月; 月均值应为 1 月内不少于锅炉运行时间 (按小时计) 75% 有效小时均值的算术平均值。

G_y ——烟气或气态污染物年排放量, t/a;

G_{hi} ——该天中第 i h 烟尘或气态污染物排放量, kg/h; 小时值应为 1 h 内不少于 45 min 的有效数据的算术平均值;

G_{di} ——该月中第 i 天的烟尘或气态污染物排放量, t/d; 日均值应为不少于锅炉运行时间 (按小时计) 75% 有效小时均值的算术平均值;

G_{mi} ——第 i 月的烟尘或气态污染物排放量, t/月; 月均值应为 1 月内不少于锅炉运行时间 (按小时计) 75% 有效小时均值的算术平均值。

2) 数据要求

在线监测数据包括污染源逐时的标态烟气量、烟气温度、烟气含氧量以及颗粒物、二氧化硫、氮氧化物折算浓度、排放量等数据。

(1) 数据有效性审核。

污染源自动监测数据符合 HJ/T 75—2007、HJ/T 76—2007 要求的方为有效性数据。