

小尺度区域 大气污染源动态调控 关键技术及案例应用

XIAOCHIDU QUYU
DAQI WURANYUAN DONGTAI
TIAOKONG GUANJIAN JISHU JI
ANLI YINGYONG

邓小文 等 / 编著

小尺度区域 大气污染源动态调控 关键技术及案例应用

XIAOCHIDU QUYU
DAQI WURANYUAN DONGTAI
TIAOKONG GUANJIAN JISHU JI
ANLI YINGYONG

邓小文 等 / 编著



图书在版编目(CIP)数据

小尺度区域大气污染源动态调控关键技术及案例应用/邓小文等编著. —北京: 中国环境出版集团, 2018.8
ISBN 978-7-5111-3110-2

I. ①小… II. ①邓… III. ①小尺度—空气污
染—污染源管理 IV. ①X510.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 054597 号

出 版 人 武德凯
责任编辑 宋慧敏
责任校对 任 丽
封面设计 宋 瑞

出版发行 中国环境出版集团
(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)
010-67112738 (环境科学分社)
发行热线: 010-67125803, 010-67113405 (传真)

印 刷 北京市联华印刷厂
经 销 各地新华书店
版 次 2018 年 8 月第 1 版
印 次 2018 年 8 月第 1 次印刷
开 本 787×960 1/16
印 张 13.5
字 数 230 千字
定 价 45.00 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

《小尺度区域大气污染源动态调控关键技术及案例应用》

编 委 会

主 编: 邓小文

副主编: 陈 魁 孙 猛 张 骥 刘佳泓

编 委: 徐 媛 刘茂辉 展先辉 赵吉睿 易晓娟

周 晶 岳亚云 邓江洋 刘胜楠 张 昊

张 莹 杨丽萍 陈曼丁 郑 涛 陈小明

目 录

第1章 绪论	1
1.1 研究背景、目的和意义	1
1.2 国内外研究现状	3
1.3 研究内容及创新点	7
1.4 总体技术路线	7
第2章 小尺度区域大气污染源动态调控关键技术概述	9
2.1 大气污染源的识别与分类	9
2.2 大气污染源活动水平的获取	12
2.3 本地化排放因子库构建	12
2.4 大气污染源排放量核算及空间表征	12
2.5 排放清单的更新	13
2.6 排放清单的保质质控	13
2.7 排放清单的管理应用	14
第3章 基于调查的大气污染源活动水平获取技术	15
3.1 调查流程	15
3.2 数据协调调查	15
3.3 数据实地调查	16
第4章 本地化大气污染源排放因子库构建技术	21
4.1 实地测量	21

4.2	排放因子改进	37
4.3	借鉴环境保护部清单指南.....	56
4.4	借鉴科研文献	58
第 5 章	大气污染源空间排放核算表征技术.....	64
5.1	大气污染源空间信息获取.....	64
5.2	大气污染源空间分布表征.....	65
5.3	排放量核算	65
第 6 章	污染源排放清单编制技术体系案例应用	83
6.1	企业为主区域	83
6.2	城镇为主区域	121
6.3	农村为主区域	153
6.4	综合区域	169
第 7 章	应用前景分析.....	205
参考文献		206

第 1 章 绪 论

1.1 研究背景、目的和意义

1.1.1 研究背景

大气污染的治理应从源头上进行调控，由于污染源在时间和空间上具有较强的变动性，对大气污染源的动态调控显得尤为关键。目前，大气污染源排放清单技术体系可以作为大气污染源动态调控的技术工具。大气污染物排放清单是在特定空间范围和时间尺度上，对影响区域空气质量的各污染源的排放量进行估算，并在时间和空间上对污染物的排放进行表征。排放清单是研究区域大气污染成因、机制和特点，开展环境空气质量数值模拟和预报预警的重要数据基础，同时为制定大气污染控制措施提供重要的技术支持，从而推动环境空气质量的管理从定性向定量发展。

美国、欧盟、日本先后建立了国家或区域排放源清单，这些大气污染源排放清单，对于环境空气质量的改善起到了关键性的作用。借鉴发达国家的经验，我国也急需建立自己的大气污染源排放清单。我国大气污染源排放清单的编制已经从科研发展到管理应用。环境保护部于 2014 年先后发布了多种大气污染源排放清单编制技术指南，并于 2015 年 2 月 9 日，下达了《关于开展源排放清单编制试点工作的通知》（环办〔2015〕14 号），旨在探索建立源排放清单编制、共享系统和定期更新机制，并将天津市纳入源排放清单编制工作试点城市之一。2015 年 3 月 27 日，环境保护部通过《关于大气污染源排放清单编制试点工作有关事项的通知》（环办函〔2015〕441 号），对源排放清单编制试点工作做了进一步部署，要求成

果提交形式为源排放清单数据和源排放清单编制技术报告。按照清单试点要求,天津市开展以 2013 年为基准年的大气污染源清单编制工作。在认真领会环境保护部源排放清单编制试点工作任务的基础上,以《关于大气污染物源排放清单编制试点工作有关事项的通知》相关要求为目标,以《城市大气污染物排放清单编制技术手册》为指导,初步编制了天津市 2013 年大气污染源排放清单。

这些大区域尺度的排放清单,由于涉及污染源范围广、内容多,构建和更新都需要花费很长时间,时效性差;污染源获取过程中,很难做到污染源无遗漏,全面性差;在污染物排放表征过程中,由于污染源的空间定位难以精确,导致清单的表征精准化程度不高。虽然大区域尺度清单能从宏观层面调控大气污染源,但是对于基层环境管理而言,已经不能满足其对大气污染源调控的需求,因此,开发小尺度区域大气污染源调控关键技术已经刻不容缓、势在必行。

1.1.2 研究目的和意义

依据国家《大气污染防治行动计划》(国发〔2013〕37 号)、《京津冀及周边地区大气污染防治行动计划实施细则》(环发〔2013〕104 号),天津市制订了《天津市清新空气行动方案》,对全市以及各区县提出空气质量改善目标。但是随着天津市复合型空气污染形势日益明显,国家环境要求不断提升,大气环境污染防治科技支撑工作难以跟上形势发展的需要。突出表现为对污染源的底数不清、对污染物的排放底数不清、对污染物空间排放底数不清。

对于基层环境管理部门而言,既要维护本地区经济的发展,又要完成环境空气质量管理的目标,其更为关注的是小尺度区域大气污染源动态的调控。而目前,针对小尺度区域大气污染源动态调控没有现成的“技术体系”可用,无法科学有效地编制本地区的精细化源排放清单,使得环境空气质量管理工作只能停留在定性阶段,而无法跨入定量阶段。

为满足各区县环境管理部门的需求,本研究开发了“小尺度区域大气污染源动态调控关键技术”,以指导各区县根据需要编制本地区精细化大气污染源排放清单,对本地的大气污染源进行动态调控,进而为完成环境空气质量目标而制定科学有效的策略。

1.2 国内外研究现状

1.2.1 国外研究现状

近年来,国外对大气污染源排放清单有了较多的研究。Bouwman 等(1997)对全球尺度上 NH_3 的排放清单进行了研究,结果表明,全球 NH_3 的排放中,畜禽养殖业的排放占 40.2%,是最大的氨排放来源。在美洲,美国 1996 年建立了国家排放趋势清单,并于 1999 年完成了包含排放趋势清单和有毒气体清单的美国国家排放清单的编制。在欧洲,Misselbrook 等(2000)对欧洲农牧源氨排放进行了研究。近十多年来,亚洲的排放清单研究蓬勃发展起来。在亚洲尺度上,Ohara 等(2007)建立了亚洲地区 1980—2020 年人为源排放清单,Carmichael 等(2013)建立 2000 年亚洲大气污染物排放清单,Zhang 等(2009)在 TRACE-P 清单的基础上进行数据更新,建立了 2006 年亚洲大气污染物排放清单。

(1) 美国污染源清单发展与现状。

美国国家环境保护局(USEPA)于 1970 年开始发布测试的空气污染物排放因子,并不断通过各种项目增加和更新排放因子。1985—1989 年完成了美国酸沉降评估项目,1990 年完成了 SO_2 和 NO_x 清单的编制,并发布了排放源分类码。为了建立可靠、权威和具有公信力的排放源清单,USEPA 进行了大量的研究和管理工作,对各类排放源的排放因子测试方法进行了规范说明。其组织了大量测量,并结合历史的排放源测试结果,对各类排放源的特征进行了梳理和归纳,在此基础上于 1996 年编制和发布《空气污染物排放因子汇编》(AP-42),后文涉及的排放因子获取方法简称“AP-42 方法”。此后,AP-42 手册因子库每年都进行完善和更新,涵盖了越来越多的排放源类型,为全面了解排放源特征和编制排放源清单提供了坚实的基础。

在较为完善的排放因子库研究的基础上,1993 年 USEPA 制定了排放源清单改进计划(Emission Inventory Improvement Program, EIIP)以统筹各级排放源清单的编制工作。EIIP 促进了环境空气污染物排放数据的收集、计算、存储、报告、共享等标准化过程的发展和使用。目前 EIIP 建立了排放源清单中排放量估算的标

准方法、各种方法的质量保证和质量控制、数据收集和共享等系统以指导排放源清单的建立和改进等。EIIP 与随后发布的 AP-42 排放因子库一起促进了点源、面源、移动源、生物源等污染源排放源清单建立的标准化、规范化,提高了排放源清单质量,降低了清单的不确定性。

1996 年,美国建立了国家排放趋势清单;1999 年,美国完成了包含排放趋势清单和有毒气体清单的国家排放清单的编制。1995 年,美国、加拿大、墨西哥成立北美对流层臭氧研究组织(North American Research Strategy for Tropospheric Ozone, NARSTO),针对北美地区大气排放源清单现状进行了评估,并对未来清单改善工作进行了专家评议,提出了北美地区大气排放源清单未来改进工作的路线图。USEPA 于 2005 年 3 月发布了《清洁空气州级法规》(Clean Air Interstate Rule, CAIR),CAIR 的制定是基于一整套污染综合防治技术的集成,包括排放源清单编制技术、空气质量数值模拟技术、情景预测技术等,而区域的排放源清单正是整套工作的基础。

(2) 欧洲污染源排放清单的发展。

1979 年在《长距离跨境空气污染公约》(Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution, LRTAP)的促成下成立了 EMEP 计划,开始开展排放源清单的编制工作,随后基于 SNAP90 污染源命名和分类方法,设计了一套排放量计算方法和框架,并在此基础上编制了包含 5 种气态污染物、9 种重金属、26 种持久性有机污染物(POPs)和 $PM_{2.5}$ 、 PM_{10} 、TSP 三个粒径段颗粒物的 1980—2005 年欧洲国家排放源清单,并以 5 年为步长预测了直至 2030 年的排放量,并每年动态更新。基于所编制的历史排放源清单和排放预测,欧盟在 LRTAP 下通过了一系列政策研究,为欧洲区域污染物排放控制计划的提出提供了科学依据。

(3) 亚洲污染源排放清单的发展。

2007 年日本国立环境研究院开发了 1980—2020 年亚洲排放清单,该清单集成了历史、现在和未来的污染物排放数据,提供了 2000 年的排放、1980—2003 年的历史排放和 2010—2020 年的预期排放,并建立了大气污染物排放量的 $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$ 的空间分布网格。

1.2.2 国内研究现状

我国学者对排放源清单的研究起步较晚,区域排放源清单的研究工作更是随着我国区域大气污染的恶化及认识的深入而展开的。从研究的污染物对象来看,自20世纪80年代末起至90年代,我国大气污染主要呈现出煤烟型污染,且区域酸雨污染现象普遍,研究者主要关注的是制酸污染物 SO_2 、 NO_x 、 NH_3 以及以煤炭燃烧为代表的 PM_{10} 排放。21世纪开始出现的区域光化学污染及近几年出现的大气复合污染问题,促使研究者开展关于 O_3 和 $\text{PM}_{2.5}$ 污染前体物的排放研究,基本涵盖了对 SO_2 、 NO_x 、 CO 、 PM_{10} 、 $\text{PM}_{2.5}$ 、 BC 、 OC 、 VOCs 和 NH_3 等9种前体污染物。

(1) 第一阶段开始于20世纪80年代后期,到90年代末为止。这一阶段,由煤炭燃烧时放出的烟气、粉尘、 SO_2 等所构成的一次污染物,以及由这些污染物发生化学反应而生成的硫酸、硫酸盐类气溶胶等二次污染物造成的煤烟型大气污染占主导地位。这期间,对于 SO_2 、 NO_x 、 PM_{10} 和 NH_3 的排放源清单研究工作比较重视,但相对独立零散,除 NH_3 排放主要来自农业源之外,与其余3种污染物相关的研究对象集中于能源燃烧部门。

1997年左右,我国学者才开始关注 NH_3 排放源清单的估算,主要集中在农业源畜禽养殖及氮肥施用氨排放,研究尺度均是基于省份统计水平下的全国排放源清单,但排放源分类及尺度较为粗糙,排放因子也多来自国外平均水平。

这期间的排放源清单编制工作主要基于部门活动水平,时空分辨率较低,估算的结果主要服务于国家的总量控制,尝试将清单结果应用于空气质量模型的研究很少,同时,大气污染源排放的分类较为粗糙,估算的污染物种类较少。

(2) 近十多年,是我国经济、城市及工业快速发展的阶段,以 O_3 和 $\text{PM}_{2.5}$ 为特征的区域性复合型大气污染日益突出,区域内空气重污染现象大范围同时出现的频次日益增多。由此带来的大气污染得到了前所未有的关注,关于污染物排放源清单的工作也逐步得到了重视:关注的污染物种类不再局限于 SO_2 和 NO_x ,加大了对 O_3 和 $\text{PM}_{2.5}$ 前体物的估算,基本涵盖了空气污染的主要前体物,如 CO 、 PM_{10} 、 $\text{PM}_{2.5}$ 、 BC 、 OC 、 VOCs 和 NH_3 等;在排放源类别上,从能源部门的燃料燃烧,开始过渡到经济发展的各部门(如交通、工艺过程、农业、生物质燃烧、

溶剂使用、扬尘及天然源等),并逐步开发基于技术信息和设备信息的高技术分辨率排放源清单,且开始尝试通过空气质量模型模拟研究应用到污染过程研究和控制决策研究;从国家总量控制对全国尺度清单总量的掌握,开始进一步关注区域高分辨率排放源清单的开发,应用于区域空气质量模型模拟研究区域大气污染形成机制、影响因素、预报预警等需求;并在重点排放源识别基础上,开展了一些本地排放因子的测试工作,以提高清单的准确性和降低清单的不确定性。

在国家尺度上,田贺忠等(2001)研究了中国 NO_x 排放清单;王丽涛等(2005)建立中国 2001 年 CO 人为源排放清单。在区域尺度上,黄成等(2011)在收集长江三角洲地区各城市人为源大气污染源资料的基础上,采用以“自下而上”为主的方法建立了 2007 年长三角地区人为源大气污染物排放清单;杨柳林等(2015)收集整理 2012 年珠江三角洲地区各种大气人为源及天然源基础活动数据,以排放因子法“自下而上”为主计算多种污染物排放量,构建了具备时空分布属性的区域性网格化大气源排放清单。在城市尺度上,王锦和吉奕康(2015)根据 2013 年北京市工业、农业、居民生活的统计资料以及《中国汽车工业年鉴》,建立了北京市 2013 年大气污染物排放清单;何敏等(2013)根据收集到的四川省电厂、工业及民用部门的活动水平数据,采用合理的估算方法和排放因子,建立四川省 2010 年大气固定污染源排放清单。

1.2.3 天津市研究现状

天津市环境监测中心借助“天津市环境空气监测预警体系建设”科研项目,于 2014 年初便开始了天津市大气污染源排放清单的编制。2015 年 2 月 9 日,环境保护部下达了《关于开展源排放清单编制试点工作的通知》(环办(2015)14 号),旨在探索建立源排放清单编制、共享系统和定期更新机制,并将天津市纳入源排放清单编制工作试点城市之一。天津市环境监测中心作为牵头人,承担了天津市大气污染源排放清单编制试点工作,且于 2015 年年底圆满完成了清单试点编制工作,提交了《天津市 2013 年大气污染源排放清单编制技术报告》,并得到了环境保护部专家的一致好评,使得天津市大气污染源排放清单的编制工作走在了全国的前列。随后,天津市环境监测中心会同武清区、西青区、东丽区、津南区、静海区、宝坻区、北辰区等 7 个区的环境保护局,对环境空气自动监测站周边大

气污染源进行了调查，并编制了大气污染源排放清单，为各区环境空气质量的达标提出了科学的措施，使各区环境空气质量有了明显的改善。

1.3 研究内容及创新点

1.3.1 研究内容

针对目前管理的需要，构建包含大气污染源识别与分类技术、大气污染源活动水平获取技术、本地化大气污染源排放因子库构建技术、污染源排放量核算技术、排放清单的更新技术、排放清单保质控技术、排放清单管理应用技术等 7 大技术为一体的“小尺度区域大气污染源动态调控关键技术体系”。

1.3.2 创新点

本研究的创新点有以下三点：（1）开发了落地的大气污染源活动水平获取技术；（2）创建了本地化的大气污染源排放因子库；（3）开发了精细化大气污染物空间排放核算及空间表征技术。

1.4 总体技术路线

总体技术路线见图 1-1。

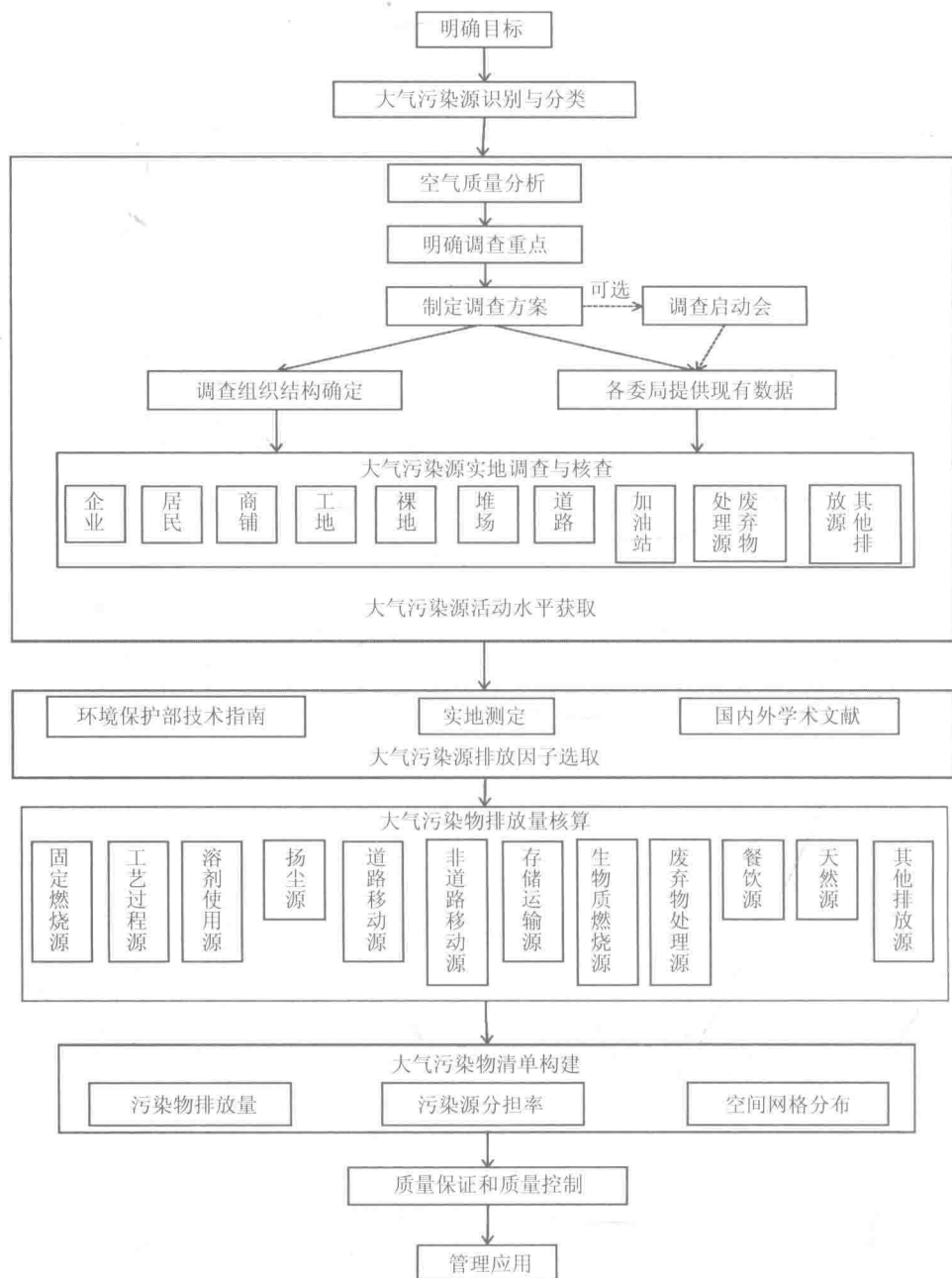


图 1-1 总体技术路线

第2章 小尺度区域大气污染源动态调控 关键技术概述

本研究中,小尺度区域大气污染源动态调控关键技术包括大气污染源的识别与分类、大气污染源活动水平的获取、本地化排放因子库构建、大气污染源排放量核算及空间表征、排放清单的更新、排放清单的保质质控、排放清单的管理应用等7大技术,其中,小尺度区域大气污染源活动水平的获取、本地化排放因子库的构建和大气污染源空间排放量的核算是本研究的主要创新点。

2.1 大气污染源的识别与分类

大气污染源的识别与分类是指对排放大气污染物的各类排放源依据需求将具有相似要素的排放源归总为一类。目前国家考核的空气指标为 PM_{10} 、 $\text{PM}_{2.5}$ 、 SO_2 、 NO_2 、 CO 、 O_3 ,依据这些考核指标,本节对大气污染源进行分类。其中,排放 NH_3 的农牧源(也叫农业源)的分类可参考环境保护部清单编制系列指南和郑君瑜等(2013)的《区域高分辨率大气排放源清单建立的技术方法与应用》,在本研究中暂不涉及农牧源。

大气污染源的分类要依据具体的需要进行,在通过调查获取活动水平过程中,为了更高效地实施调查,需要依据调查对象来对污染源进行分类;在大气污染物排放量的核算过程中,为了更好地借鉴环境保护部清单编制指南,要按照清单编制对污染源进行分类;在清单应用于环境管理过程中,要依据方便污染控制措施制定的原则对污染源进行分类。本研究仅介绍依据调查对象和依据清单编制对污染源进行分类,按照管理需求的分类可以依据实际需要参照调查对象进行分类。

2.1.1 按调查对象分类

按调查对象进行分类时，原则上同一个地方只去调查一次，以企业为例，企业涉及的污染源可能有锅炉、散煤、溶剂使用、有机储罐、生产工艺、工业堆场、餐饮、非道路移动机械等污染源，因此在调查企业的过程中，要对这些污染源都进行调查。

按调查对象，可以把大气污染源分为企业、居民、商铺、工地、裸地、堆场、道路、加油站、废弃物处理设施、其他排放源。具体见表 2-1。

表 2-1 按调查要素分类的排放源类型

排放源类型	包含内容	标识代码
企业（含机关单位）	锅炉、窑炉、生产过程、散煤、食堂、工业料堆、工业废弃物堆、运输机械	QY
居民	散煤、餐饮、溶剂使用、户用生物质燃烧	JM
商铺	散煤、其他燃料、餐饮、喷涂、干洗	SP
工地	工地施工、工程机械、建筑料堆、建筑废弃物堆、建筑裸地	GD
裸地	裸露地面、农业机械、小型通用机械、柴油发电机组、露天焚烧	LD
堆场	建筑料堆、建筑废弃物堆、生活垃圾堆	DC
道路	道路扬尘、道路机动车、道路施工	DL
加油站	加油站	JY
废弃物处理源	污水处理厂、垃圾填埋场、垃圾焚烧发电厂	FQ
其他排放源	船舶、铁路内燃机车、民航飞机、天然植被、其他（停车场、有机储罐等）	CB、TL、FJ、ZB、QT

2.1.2 按清单编制分类

在清单编制过程中，为了方便各类大气污染物排放量的核算，借鉴环境保护部发布的清单编制指南，将大气污染源分为：固定燃烧源、工艺过程源、溶剂使用源、扬尘源、道路移动源、非道路移动源、存储运输源、生物质燃烧源、废弃物处理源、餐饮源、天然源、其他排放源。该大气污染源分类与按调查对象的分

类对应关系见表 2-2。

表 2-2 按清单编制分类的排放源类型

排放源类型	对应调查对象源类
固定燃烧源	企业锅炉、企业散煤、居民散煤、商铺散煤、商铺其他燃料
工艺过程源	企业窑炉、企业生产过程
溶剂使用源	企业生产锅炉、居民溶剂使用、商铺喷涂、商铺干洗
扬尘源	工地施工、道路施工、道路扬尘、裸露地面、工业料堆、工业废弃物、建筑料堆、建筑废弃物堆、生活垃圾堆
道路移动源	道路机动车
非道路移动源	企业运输机械、工程机械、农业机械、小型通用机械、柴油发电机组、船舶、铁路内燃机车、民航飞机
存储运输源	有机储罐、加油站
生物质燃烧源	户用生物质燃烧、露天焚烧
废弃物处理源	生活垃圾堆、污水处理厂、垃圾填埋场、垃圾焚烧发电厂
餐饮源	企业食堂油烟、居民餐饮油烟、商铺餐饮油烟
天然源	天然植被
其他排放源	其他未涉及排放源（停车场等）

固定燃烧源的一级分类为电力、热力、工业、民用源，依据燃料类型进行二级分类，依据燃烧技术进行三级分类；工艺过程源依据行业进行一级分类，依据产品进行二级分类，依据工艺技术进行三级分类；溶剂使用源依据行业或部门进行一级分类，依据溶剂使用过程进行二级分类，依据溶剂类型进行三级分类；扬尘源的一级分类为裸地扬尘、道路扬尘、施工扬尘、堆场扬尘，其中裸地扬尘按照土地利用类型进行再分类，道路扬尘按照是否铺装再分类，施工扬尘按照施工阶段进行再分类，堆场扬尘按照堆场类型进行再分类；道路移动源依据车型进行一级分类，依据使用性质进行二级分类，依据燃料类型进行三级分类，按照排放标准进行四级分类；非道路移动源的一级分类为船舶、非道路移动机械、飞机、铁路，其中非道路移动机械的一级分类为工程机械、农业机械、小型通用机械，按照具体机械类型进行二级分类，按照功率进行三级分类，按照排放标准进行四级分类；存储运输源按照部门进行一级分类，按照产品进行二级分类；生物质燃烧源按照部门进行一级分类，按照燃料类型进行二级分类，按照工艺技术进行三