

附件 3

《大气细颗粒物(PM<sub>2.5</sub>)源排放清单编制技术指南（试行）》  
（征求意见稿）

编制说明

项目名称：大气细颗粒物(PM<sub>2.5</sub>)源排放清单编制技术指南（试行）

项目统一编号：

起草单位：清华大学

主要起草人：贺克斌等

中国环境科学学会项目管理员：贺克斌

环保部科技标准司项目管理员：XXX

# 目 录

1	任务来源 .....	1
2	指南制定的意义 .....	1
3	指南编制原则与技术依据 .....	1
3.1	编制原则 .....	1
3.2	技术依据 .....	2
4	主要编制工作过程 .....	2
5	指南主要技术内容及说明 .....	3
5.1	排放源分类分级方法 .....	3
5.2	PM <sub>2.5</sub> 排放量计算方法 .....	5
5.3	排放量计算参数获取方法 .....	7
5.4	源排放清单的应用与评估 .....	8
6	指南实施建议 .....	9

# 《大气细颗粒物(PM<sub>2.5</sub>)源排放清单编制技术指南（试行）》 编制说明

## 1 任务来源

自《环境空气质量标准》增加细颗粒物（PM<sub>2.5</sub>）浓度限值监测指标以来，围绕如何深化大气环境保护工作、降低区域 PM<sub>2.5</sub> 环境浓度、减少灰霾现象发生频率等开展了一系列科学研究工作。环境保护部科技标准司于 2013 年启动了环保公益科研专项重点项目“PM<sub>2.5</sub> 源排放控制和监管体系研究”，由清华大学承担。旨在摸清我国一次 PM<sub>2.5</sub> 排放基本情况，评估其减排技术潜力，研究一次 PM<sub>2.5</sub> 源排放控制和管理方法。依托该项目，环境保护部科技标准司给清华大学下达了编制《大气细颗粒物(PM<sub>2.5</sub>)源排放清单编制技术指南》（以下简称《PM<sub>2.5</sub> 源排放清单指南》）的任务。清华大学根据“PM<sub>2.5</sub> 源排放控制和监管体系研究”项目的阶段性研究成果，开展《PM<sub>2.5</sub> 源排放清单指南》编制工作。

## 2 指南制定的意义

### 1) 摸清我国一次 PM<sub>2.5</sub> 源排放基本情况

近年来针对我国主要大气污染物排放的研究成果主要集中在 SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、CO 等气态污染物上，而较少涉及大气颗粒物。其主要原因是相对以上气态污染物，大气颗粒物的排放特征更加复杂，颗粒物排放清单编制的难度增大。《PM<sub>2.5</sub> 源排放清单指南》有助于指导城市、城市群及区域环境保护科研或管理部门以统一的方法学和数据计算一次 PM<sub>2.5</sub> 排放量。

### 2) 促进一次 PM<sub>2.5</sub> 源排放控制和管理

熟悉一次 PM<sub>2.5</sub> 排放的部门分布和地域分布是开展一次 PM<sub>2.5</sub> 源排放控制的前提和重要支撑。本指南指导城市、城市群及区域在仔细梳理排放源分类的基础上开展大气细颗粒物 PM<sub>2.5</sub> 源排放清单编制工作，有助于加强对一次 PM<sub>2.5</sub> 源排放特征的认识，促进对一次 PM<sub>2.5</sub> 源排放的科学、实用、高效管理。

### 3) 促进区域空气质量改善，降低 PM<sub>2.5</sub> 环境浓度

建立一次 PM<sub>2.5</sub> 源排放清单是解答细颗粒物形成、转化、跨地区输送特征以及城市大气细颗粒物外来源影响特征等关键问题的基础之一。本指南旨在推动各地区建立一次 PM<sub>2.5</sub> 源排放清单，与其他污染物排放清单一起构成区域空气质量模拟的输入，有助于理解区域或局地污染特征，制定区域空气质量改善措施。

## 3 指南编制原则与技术依据

### 3.1 编制原则

#### 1) 科学实用原则

在确保细颗粒物 PM<sub>2.5</sub> 源排放清单编制工作的科学性与规范性的同时，增强为污染防治

决策服务的针对性和可操作性。

## 2) 分类指导原则

依据我国当前的行业或产品分类,充分考虑各个行业工艺技术、污染控制技术不同带来的排放特征差异,进行深层次源划分,使PM<sub>2.5</sub>排放源尽可能涵盖潜在的、可能带来排放的活动部门。

## 3) 因地制宜与循序渐进原则

各地根据自身污染特征、基本条件和污染防治目标,结合社会发展水平与技术可行性,科学选择适合当地实际的源排放清单编制技术路线;对于主要工业源、机动车排放源等排放量贡献大且具有较优统计基础的排放源,可结合本指南基本要求,使用对应的PM<sub>2.5</sub>排放量核算技术规范中推荐的方法,进行源排放清单编制,提高源排放清单质量。随着环境信息资料的完备,不断完善和更新源排放清单。

## 3.2 技术依据

本指南编制过程中,参考了如下法律、法规、相关政策、标准等文件,具体包括:

《中华人民共和国环境保护法》

《中华人民共和国大气污染防治法》

《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的指导意见的通知》

《重点区域大气污染防治“十二五”规划》

## 4 主要编制工作过程

1) 2013年8月成立编制组:依托环保公益科研专项重点项目“PM<sub>2.5</sub>源排放控制和监管体系研究”的科研团队,成立了《大气细颗粒物(PM<sub>2.5</sub>)源排放清单编制技术指南》编制组。

2) 2013年9月召开大纲讨论会:收集国内外有关指南编制的资料;检索国内外最新发布的相关技术指南。编制组召开大纲讨论会,确定了指南编写大纲及工作进度安排。

3) 2013年10-11月编写《大气细颗粒物(PM<sub>2.5</sub>)源排放清单编制技术指南》初稿

4) 2013年11月20日,环保部科技标准司在北京召开《大气细颗粒物(PM<sub>2.5</sub>)源排放清单编制技术指南》(第一稿)专家咨询会,编制组根据审议意见,对文稿进行了修改,形成了第二稿。

5) 2013年12月6日,环保部科技标准司在北京召开《大气细颗粒物(PM<sub>2.5</sub>)源排放清单编制技术指南》(第二稿)专家咨询会,编制组根据审议意见,对文稿进行了修改,形成了第三稿及编制说明。

## 5 指南主要技术内容及说明

### 5.1 排放源分类分级方法

《PM<sub>2.5</sub>源排放清单指南》区分了细颗粒物的3大类排放源（固定燃烧源、工业工艺源和流动源）。细颗粒物从生成到排入大气的过程，受到行业、燃料/产品、工艺技术与污染控制技术共四种因素的影响，依此对每大类排放源进行四级分类。表1列出了影响颗粒物排放的主要因素。

表1 影响颗粒物排放的主要因素

	固定燃烧源	工业工艺源	流动源
颗粒来源	燃料类型、燃料品质	燃料类型、产品	燃料类型
生成过程	燃烧方式、燃烧效率	工艺特点、技术水平	燃烧技术、行驶特征
去除过程	除尘技术、除尘效率	除尘技术、除尘效率、无组织排放控制措施	颗粒物捕集技术

#### 5.1.1 固定燃烧源分级

固定燃烧源的第一级排放源分为电力、供热、工业、民用四个行业，第二级排放源分为煤、油品、气态燃料和生物质四种燃料。

电力与供热的第三级排放源分为煤粉炉、流化床炉与层燃炉。

工业仅包括工业锅炉，用途是使用燃煤的热量产生热水或蒸汽，第三级排放源分为流化床炉、层燃炉与茶浴炉。

民用部门的燃煤设备种类繁多。对于农村地区，所有生活用煤基本都使用小煤炉。对于城市地区，按用途将生活用煤分为取暖、炊事热水和商业三部分。城市居民取暖主要通过集中供热、小区供热、小煤炉和电采暖等方式。其中，集中供热由城市供热网提供热力；小区供热主要依靠分散锅炉房，基本都是层燃炉；平房采用小煤炉采暖。城市地区未普及燃气的居民的炊事热水用能利用小煤炉获得。商业用煤的主要燃烧设备有热水锅炉、茶浴炉等。图1给出了民用部门的燃煤设备分布。

固定燃烧源的第四级源分类包括袋式除尘、电除尘、高效电除尘、湿式除尘以及机械式除尘五种污染控制技术。

对于固定燃烧源中的燃煤源，不同燃煤设备PM<sub>2.5</sub>产生系数、粒径分布及碳组分含量差别很大。煤粉炉和流化床的PM<sub>2.5</sub>产生系数最高，但燃烧完全，排放的颗粒物中以煤炭中的灰份为主，细颗粒和碳组分比例较低。层燃炉PM<sub>2.5</sub>产生系数较低，但燃烧不够充分，颗粒物中存在一定比例的碳组分。茶浴炉和小煤炉的PM<sub>2.5</sub>产生系数最低，但由于燃烧非常不充分，颗粒物中细颗粒和碳组分的比例很高。

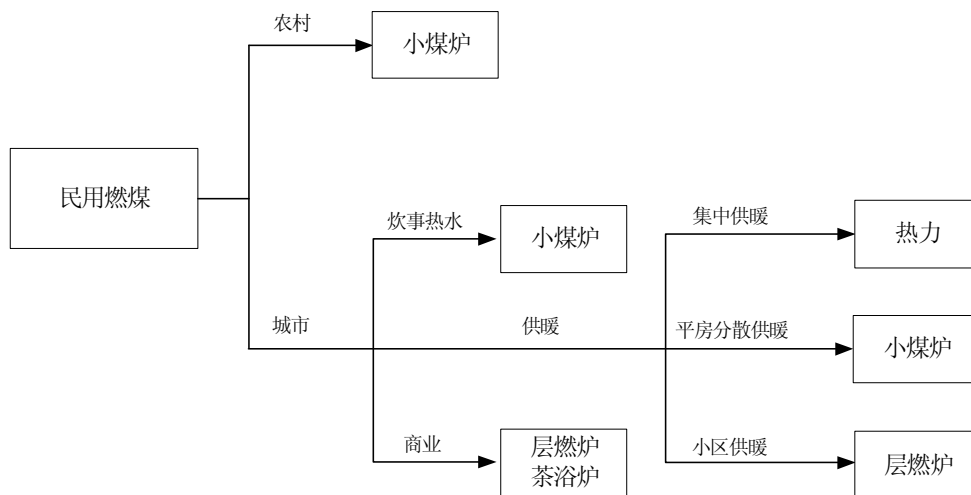


图 1 民用部门的燃煤设备分布

### 5.1.2 工业工艺源分级

工业工艺源种类繁多,《PM<sub>2.5</sub>源排放清单指南》区分了工业工艺源中的钢铁、有色金属、建材与石化化工四种一级排放源,按照原料或产品如烧结矿、铁、钢、铸造铁、铝、水泥、砖瓦、石灰、玻璃、炼焦等划分二级排放源,进一步按照工艺技术如烧结、炼铁、平炉钢、转炉钢、电炉钢、铸造、新型干法等划分三级排放源。

与固定燃烧源不同的是,工业工艺源一种产品的生产过程中经常有多处排放源。其中既有原料加热、反应过程的烟尘排放,也有原料或产品运输、破碎等处理过程的粉尘排放;既有经排气管的有组织排放,也有工艺过程中逸散的无组织排放。因此将工业工艺源排放的颗粒物分为有组织排放和无组织排放两部分。

第四级排放源中有组织排放源划分方法与固定燃烧源第四级排放源相同。有组织排放如发生在工业炉窑里面的燃煤排放,工业炉窑的用途是直接利用燃煤的热量加热工业原料,使其在炉窑中发生物理或化学性质的变化,达到加工的目的。

第四级排放源中无组织排放源划分为一般控制与高效控制。无组织排放如生产工艺过程中的颗粒物逸散排放。

### 5.1.3 流动源分级

流动源分为道路流动源与非道路流动源两种一级排放源。

道路流动源分汽油车与柴油车两种二级排放源,因为我国消耗汽柴油外其他燃料的道路车辆在车队中比例很小,对PM<sub>2.5</sub>排放贡献有限,因此暂时没有涵盖。道路流动源的三级排放源参照《中国统计年鉴》的统计分类方法,分重型载货车、中型载货车、轻型载货车、微型载货车、大型载客车、中型载客车、小型载客车、微型载客车、摩托车共九种。道路流动

源的四级排放源参照国家机动车排放标准，分为无控、国 I、国 II、国 III、国 IV 共五种。

非道路流动源基本都消耗柴油，二级排放源按非道路流动源的用途分为交通、农业与建筑三种，三级排放源包括农业机械、建筑矿山机械、拖拉机、农用运输车、铁路（内燃机火车）和水运（内河船舶）共六种。《PM<sub>2.5</sub>源排放清单指南》暂未考虑非道路流动源的污染控制措施及效果，因此暂未包括四级排放源。

## 5.2 PM<sub>2.5</sub> 排放量计算方法

PM<sub>2.5</sub> 排放量计算的重点在于获取第四级排放源的活动水平和相应的排放因子。首先根据燃料消耗量/产品产量（第二级源分类）以及各种燃烧/工艺技术（第三级源分类）和颗粒物控制技术的应用比例（第四级源分类）获取第四级排放源活动水平；然后根据燃烧/工艺技术确定排放源的 PM<sub>2.5</sub> 产生系数，并在此基础上根据不同控制技术的分级去除效率确定第四级排放源 PM<sub>2.5</sub> 最终排放因子，最终计算出 PM<sub>2.5</sub> 排放量。图 2 给出了 PM<sub>2.5</sub> 排放量计算的技术路线图。

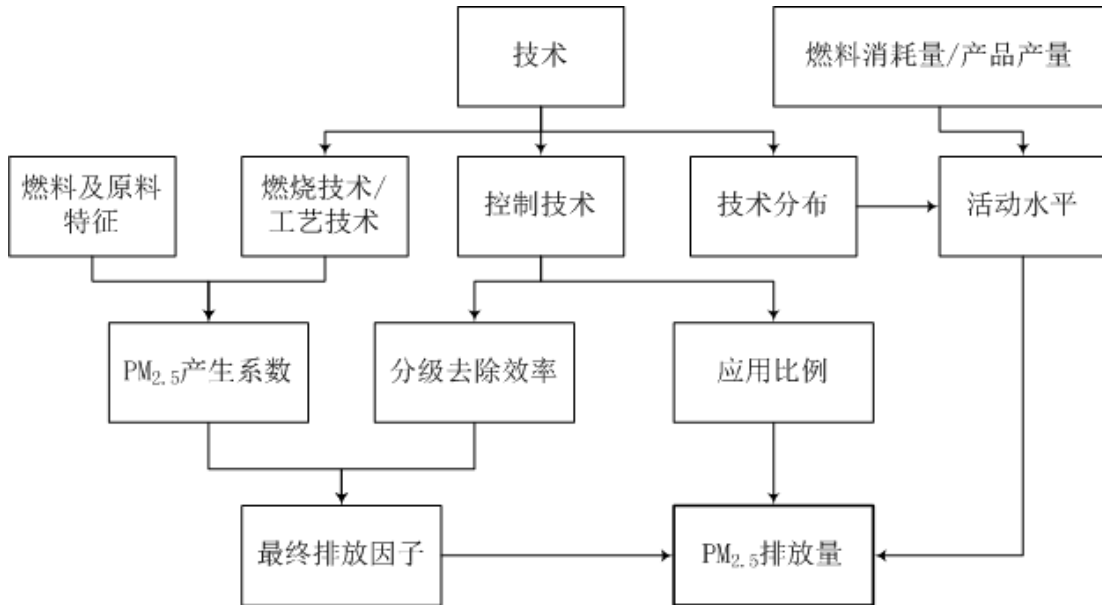


图 2 PM<sub>2.5</sub> 排放量计算技术路线图

PM<sub>2.5</sub> 排放量计算采用下面的公式：

$$E_i = \sum_{j,k,m,n} (A_{i,j,k,m,n} \times F_{i,j,k,m,n}) \quad (1)$$

其中，E 为 PM<sub>2.5</sub> 排放量；A 为排放源活动水平；F 为排放因子；i 为地区，如省（直辖市或自治区）、市、县；j 为行业，即第一级源分类；k 为燃料类型或产品类型，即第二级源分类；m 为工艺技术，即第三级源分类；n 为污染控制技术，即第四级源分类。排放量的计算需要在时间和空间上保持方法的一致性，在三类四级的源分类体系中，每种排放源都需要



有一个确定的排放因子或一类确定的排放因子计算方法,并且能够保证与这个排放因子对应的活动水平、污染物控制技术分布等数据的可获得性。

### 5.2.1 固定燃烧源计算参数确定方法

固定燃烧源活动水平 A 为对应第四级排放源的燃料消耗量,排放因子 F 为单位燃料消耗量的 PM<sub>2.5</sub> 排放量。计算排放因子 F 采用下面的公式:

$$F_n = EF_{PM_{2.5}}(1 - \eta_n) \quad (2)$$

其中, EF<sub>PM<sub>2.5</sub></sub> 为 PM<sub>2.5</sub> 产生系数; η 为污染控制技术对 PM<sub>2.5</sub> 的去除效率; n 为污染控制技术。电力源、供热源的煤粉炉、流化床炉、层燃炉和工业源的流化床炉、层燃炉、茶浴炉和民用源的层燃炉计算 PM<sub>2.5</sub> 产生系数采用下面的公式

$$EF_{PM_{2.5}} = AC \times (1 - ar) \times f_{PM_{2.5}} \quad (3)$$

其中, AC 为煤中灰份, ar 为灰份进入底灰的比例, f<sub>PM<sub>2.5</sub></sub> 为排放源产生的总颗粒物中 PM<sub>2.5</sub> 所占比例。

### 5.2.2 工业工艺源计算参数确定方法

工业工艺源活动水平 A 为产品产量,排放因子 F 为单位产品产量的 PM<sub>2.5</sub> 排放量,排放因子计算公式同 (2)。

### 5.2.3 流动源计算参数确定方法

流动源活动水平 A 为燃油消耗量,排放因子 F 为单位燃油消耗量的 PM<sub>2.5</sub> 排放量。

道路流动源与非道路流动源中的拖拉机与农用车,计算活动水平 A 采用下面的公式:

$$A = VP \times VKT \times FE \quad (4)$$

其中, VP 为车辆保有量; VKT 为行驶里程; FE 为单位行驶里程的油耗量。

非道路流动源中的铁路与水运,计算活动水平 A 采用下面的公式:

$$A = VT \times FE_{VT} \quad (5)$$

其中, VT 为旅客或货运周转量, FE<sub>VT</sub> 为单位旅客或货运周转量的油耗量。

非道路流动源中的农用机械与建筑机械,计算活动水平 A 采用下面的公式:

$$A = VW \times T / (\theta \times H) \quad (6)$$

其中, VW 为机械总动力, T 为机械工作时长, θ 为柴油内燃机效率, H 为柴油热值。

## 5.3 排放量计算参数获取方法

### 5.3.1 活动水平获取方法

固定燃烧源中电力与工业等排放源、工业工艺源与流动源都推荐采用实地调查的方法直接获取第 4 级排放源活动水平，需要调查的活动水平数据详见表 2。

表 2 排放源活动水平调查表

	固定燃烧源	工业工艺源	流动源
排放单位地理信息	排放单位所在区域	排放单位所在区域	路网信息
活动水平指标	燃料消耗	产品产量	燃料消耗
产污设备信息	锅炉信息	窑炉信息	车辆类型
生产工艺信息	燃料种类	主要工艺类型	燃料种类
排放量的时间分布信息	运行时间	运行时间	行驶时间
排放点位置及排放方式	经纬度、高度	经纬度、高度	路网信息
控制措施信息	污控设备效率	污控设备效率	净化装置效率

固定燃烧源中的电力与供热部门是我国最大的煤炭消耗部门，其煤炭消耗量占全社会总煤炭消耗量的比重不断增加，在 1990~2011 年间由 30%增长至 46%，对排放的贡献很大。为保证排放清单编制的准确性，电力与供热部门应通过实地调查获取活动水平；当地条件有限无法进行活动水平调查时，从环境统计和污染源普查数据获取活动水平信息。

固定燃烧源中的工业部门是我国第二大煤炭消耗部门，工业部门尤其是大型工业企业推荐通过实地调查获取活动水平，调查覆盖不全时通过环境统计和污染源普查数据进行补充；为避免工业部门活动水平计算有遗漏，应根据当地统计局、能源局或统计年鉴尽可能获得整个工业部门燃料消耗总量，扣除调查得到的分企业燃料消耗总量后的差额部分按照面源处理。面源数据一般为二级排放源的活动水平，通过实地调查、类比调查等途径获得三、四级的技术分布，进而确定第四级排放源的活动水平。

固定燃烧源中的民用部门多为面源，排放源规模小且分布分散，进行实地调查难度较大，因此民用源活动水平获取推荐分为两个层次。首先，应从统计部门获得计算区域内第 1-2 级活动水平，如不同燃料消耗量；然后，通过实地抽样调查、文献调研、以及模型估算等多种途径获得内部技术分布，进而确定第 3-4 级活动水平。当计算区域内不具备第 1-2 级活动水平时，采用省一级活动水平数据并应用代用参数分配到计算区域内。省一级民用源活动水平数据可通过《中国能源统计年鉴》获取，分配代用参数采用人口数据，人口数据可通过《中国区域经济统计年鉴》获取。

工业工艺源的活动水平获取与固定燃烧源中的工业部门一致。

流动源中的道路流动源活动水平获取需要得到车辆保有量、行驶里程和单位行驶里程油

耗量三种数据。车辆保有量和行驶里程数据可以从当地交管部门获取。根据交管部门登记的车辆注册信息获取道路流动源第 2-4 级活动水平，包括燃油类型、车型分布与登记注册时间（用于计算不同控制技术比例）。车辆的年均行驶里程可以从车辆年检的总行驶里程数据推算得到。百公里油耗数据采用工信部发布的车辆燃油消耗量数据。流动源中的非道路流动源柴油消耗量获取，农业机械和建筑矿山机械根据总功率、内燃机效率和年均使用时间估算；拖拉机和农用运输车根据保有量、年均行驶里程和平均燃料经济性估算；内燃机火车和内河船舶根据客货运量和平均燃料经济性估算。非道路车辆或器械保有量通过实际调研得到，如铁路机车通过当地铁路局获得；船舶通过当地交管部门获得；拖拉机、农用车、农用机械通过当地农业局获得；建筑机械通过当地城建委获得。

### 5.3.2 排放因子获取方法

排放因子方面，获取的途径包括污染源实测法、物料衡算法、检索排放因子数据库法等。排放因子获取方法优先采用污染源实测法，如没有实测数据，则依次采用物料衡算法与检索排放因子数据库法。在实际计算过程中，第二与第三种方法可以作为第一种方法的重要补充。

测试方法成熟、测试样本量大时适合采用污染源实测法获取排放因子。如国内经常开展电厂锅炉、民用炉灶、机动车排放因子测试，测试方法与技术基本成熟，同时积攒了很多测试数据。但污染源实测法常常仅能覆盖部分排放源，或者污染源实测法样本数量较少，得到的排放因子等级较低。这时应酌情采用物料衡算法与检索排放因子数据库法。

大中型燃煤设备适合采用物料衡算法，如煤粉炉、流化床、层燃炉等，计算涉及到的参数有燃煤灰份、 $PM_{2.5}$  产生系数、各种控制技术的分级去除效率等。

排放因子法是指通过收集整理相近燃料/产品、工艺技术、污染控制技术的排放测试结果，获取对应排放系数的方法。指南推荐使用清华大学开发的中国多尺度大气污染排放清单模型 (MEIC) 中的排放因子数据库，该数据库是清华大学在国家 863 重大项目支持下开发的排放因子库，集合了清华大学完成的 50 多台典型大型锅炉的排放特征测试、上百种中小锅炉/民用炉灶排放特征测试以及 120 多辆典型机动车排放特征测试结果，同时仔细对比美国的 AP-42 排放因子数据库与欧洲的 EMEP/CORINAIR 排放清单指南，筛选相近工艺与污染控制技术的排放因子得到的综合排放因子数据库，实现了与三类四级排放源的全面对接。适合不具备使用污染源实测法与物料衡算法的地区采用获取排放因子。。

## 5.4 源排放清单的应用与评估

### 5.4.1 $PM_{2.5}$ 源排放清单的应用

基于  $PM_{2.5}$  源排放清单，可以进行大气细颗粒物污染来源解析。通过分区域分排放源的

排放量汇总,可以识别出  $PM_{2.5}$  源排放的重点区域以及重要行业;通过分企业的排放量汇总,可以识别出  $PM_{2.5}$  源排放的重点企业。重点区域、重要行业、重点企业的识别,有利于明确细颗粒物污染防治的方向,帮助制定合理有效的控制方案。

同时,排放清单可作为空气质量模型的输入,进行空气质量的模拟。空气质量模型需要输入网格化的排放清单以及气象场。模型模拟结果可得到污染物浓度的空间分布图以及时间序列变化图,进行时空连续变化的污染特征分析。

通过减排情景设计得到减排清单,作为模型的输入,可以模拟政策实施之后的空气质量状况,并与基准情景对比,对政策实施效果进行预评估。

#### 5.4.2 $PM_{2.5}$ 源排放清单的评估与验证

在进一步利用排放清单进行控制策略分析之前,对排放清单的可靠性进行分析是十分重要的。用于分析排放清单可靠性的方法主要包括排放清单的不确定性分析和利用空气质量模型的模拟结果进行清单的间接验证。

其中,通过排放清单的不确定性分析,可以得到排放总量的置信区间范围,进而评估排放清单的可靠性。不确定性分析可以选用的方法是蒙特卡洛方法,评估的内容是排放总量的置信区间。

利用空气质量模型的模拟结果和观测结果,在时间变化趋势、空间分布和化学组分构成等方面进行比较,可以间接验证排放清单的准确性。

## 6 指南实施建议

1)  $PM_{2.5}$  源排放清单编制技术指南应与各种污染防治政策(包括地方标准)建立关联关系,并要具有一定的强制性,加强行政指导,促进大气细颗粒物污染防治工作的开展。

2) 建议各地区依据本指南提出的技术路线,结合当地数据可获得性,确定一套完整的排放量计算参数的获取方案。以后进行排放清单更新时采用统一的获取途径以确保多套排放清单的可比性,如获取途径发生改变应进行说明。

3) 根据  $PM_{2.5}$  排放源的变化及工艺技术、污染控制技术的发展状况,适时修订本指南,吸纳各种新的排放源及新的技术,淘汰过时的技术。