

# 大气细颗粒物源解析技术研究进展

姜郡亭, 刘琼玉

(工业烟尘污染控制湖北省重点实验室, 江汉大学化学与环境工程学院, 湖北 武汉 430056)

**摘要:**对国内外用于细颗粒物源解析的受体模型的最新研究进展进行了综述,详细介绍了化学质量平衡法、主成份分析法、因子分析法、正交矩阵因子分解法等源解析方法的原理、应用实例及其特点,展望了细颗粒物源解析方法的发展趋势。

**关键词:**细颗粒物; 源解析; 受体模型; 研究进展

**中图分类号:** X513 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673-0143(2013)06-0021-06

PM<sub>2.5</sub>也称细颗粒物,是指空气动力学直径小于或等于2.5 μm的大气颗粒物。与粗颗粒物(空气动力学直径2.5~10 μm)相比,PM<sub>2.5</sub>直径小、比表面积大,易于富集空气中的有毒重金属、酸性氧化物、有机污染物、细菌和病毒,并可进入人的肺部和心血管等组织,对人体健康的危害远比粗颗粒物大。大气PM<sub>2.5</sub>是由直接排入空气中的一次微粒和空气中的气态污染物通过一系列复杂的光化学转化生成的二次微粒组成,其来源主要可分为自然源、人为源和二次粒子。由于PM<sub>2.5</sub>对人体健康的危害性及其复杂的来源,同时对大气能见度、气候条件有不利影响,因此对空气中PM<sub>2.5</sub>浓度的监测并对其来源进行解析显得尤为重要。本文概述了常用颗粒物源解析方法的原理、应用实例及其特点,并展望了该领域的发展趋势和研究热点。

## 1 国内外源解析技术概述

源解析技术是用来对大气颗粒物来源进行定量和定性分析的技术。该技术现已作为一种重要的手段,应用于城区、区域乃至全球的大气环境研究。从1960年代中期美国科学家的开创性工作算起,源解析研究和应用已有超过40年的历史。早期的源解析工作都集中在美国,现在这一

技术方法已在世界范围得到了广泛的认可和應用,其手段也变得多种多样。源解析技术研究方法的数学模型主要可分为两种:一种是以污染源为对象的扩散模型(Diffusion model),另一种是以污染区域为对象的受体模型(Receptor model)。

扩散模型是早期评估污染源影响的主要方法,该模型中的许多变量在时空变化上是随机而复杂的,彼此之间互不独立。对于风扬尘、汽车尾气等移动源和面源,由于难于收集准确而全面的污染源资料,其扩散模型难以处理;对于由气态污染物转化来的硫酸盐等二次颗粒物以及诸如海盐等自然来源的气溶胶也难以纳入扩散模型<sup>[1]</sup>。扩散模型的应用需要颗粒物扩散过程中详细的气象参数以及颗粒物在大气中迁移转化的重要特征参数,而取得这些参数并把握其规律十分复杂和困难,因而也限制了扩散模型的广泛应用和发展。受体模型被认为是现阶段所有源解析工具中最有价值的模型,它利用在源和受体点测量的气态物质和颗粒物的物理、化学特征来鉴别受体浓度的来源并定量确定源的贡献<sup>[2]</sup>。与扩散模型相比,受体模型不依赖于排放源排放条件、气象、地形等数据,不用追踪颗粒物的迁移过程,避开了应用扩散模型遇到的困难。美国、日本等国的研究人员1970年代开始将研究方向由排放

收稿日期: 2013-09-06

基金项目: 武汉市科技攻关项目(201250499145-7); 江汉大学高层次人才科研启动经费资助(2012020)

作者简介: 姜郡亭(1990—),男,硕士生,研究方向: 大气污染控制。

源转移到受体,来进行大气颗粒物的源解析,近年来取得了较大的发展,现已开发出多种受体模型,包括化学质量平衡(Chemical Mass Balance, CMB)、主成分分析(Primary Component Analysis, PCA)、因子分析(Factor Analysis, FA)、正交矩阵因子分解(Positive Matrix Factorization, PMF)等,其中CMB和PCA两种受体模型受到美国环保局(EPA)的认可和推荐<sup>[3]</sup>,我国国家环保局1993年下发的《城市环境综合整治规划编制技术大纲》中,明确规定使用受体模型进行城市颗粒物污染源解析工作,所用受体模型也主要指CMB<sup>[4]</sup>。

相对于国外大气颗粒物源解析技术研究而言,我国分析技术及源解析方法还不太成熟。近几年随着我国空气污染问题日益突显,大气颗粒物源解析技术日益受到国内学者的广泛关注,许多学者开展了混合尘源解析方法<sup>[5-6]</sup>、受体模型优化技术<sup>[7-8]</sup>及“二重源解析”技术<sup>[9]</sup>等方面的研究,特别在CMB模型的应用方面,南开大学在1990年代中期开发出中文版受体模型软件NKCMB。近年来,北京、广州、南京、长沙、济南、武汉、宁波、杭州、乌鲁木齐、西安、天津、哈尔滨等主要城市采用受体模型源解析方法进行了PM<sub>10</sub>、PM<sub>2.5</sub>的源解析工作<sup>[10-22]</sup>,取得了初步成果。

受体模型源解析方法之间最主要的差异是在使用受体模型方法之前对于污染源情况的掌握程度,它的两个极端方法是CMB和多元模型。CMB模型假定知道所有相关污染源的排放物的组成,

从排放源到受体认为源成分谱是基本不变的,而目前国内源成分谱普遍缺乏。FA尝试以在单一受体点的观察为基础来解析来源,因为在对源和源成分谱了解之前,软件执行这一类型的分析已经十分的容易和详细,所以这些工具得到了广泛的使用,然而,因子分析存在的一个普遍问题是得到的主成分或者因子是排放源的混合体,与明显独立的源成分谱是相对立的。源特征随时间变化也是受体模型的一个局限<sup>[23]</sup>。因此,源解析模型解法和相关程序等基础性研究需进一步加强,同时还需扩展受体模型在能见度、有害物质研究中的应用。

## 2 国内外源解析技术研究进展

### 2.1 CMB法在PM<sub>2.5</sub>源解析中的应用

CMB法的基本原理是质量守恒。CMB受体模型根据各种排放源的颗粒组成,将颗粒物的浓度分解为一组由各种源贡献的组合,解出各种源对颗粒物中各种元素的浓度贡献。

CMB法在解析污染源数目多的体系中较为优越,在多来源体系中,解析结果与实际情况比较吻合。因而CMB受体模型是开展大气颗粒物来源研究,为大气颗粒物污染防治决策提供科学依据的重要技术方法。国内外很多城市已经用该法成功对大气颗粒物进行PM<sub>2.5</sub>源解析工作。部分地区运用CMB模型的源解析结果如表1所示。

表1 部分地区运用CMB模型得到PM<sub>2.5</sub>源解析结果

| 地区    | 时间        | 源解析方法      | PM <sub>2.5</sub> 源解析结果   | 文献来源 |
|-------|-----------|------------|---|------|
| 南昌    | 2007-2008 | CMB        | 建筑尘23%、燃煤尘21%、土壤尘19%、冶金尘18%,机动车尾气尘13%                                       | [1]  |
| 宁波    | 2010      | CMB        | 城市扬尘20.42%,烟煤尘14.37%,机动车尾气尘15.15%   | [16] |
| 杭州    | 2006      | CMB        | 机动车尾气尘21.6%,硫酸盐18.8%,烟煤尘16.7%,燃油尘10.2%,硝酸尘9.9%,土壤尘8.2%,建筑水泥尘4.0%            | [17] |
| 北京    | 2005      | CMB        | 燃煤源,扬尘,机动车排放,建筑尘,生物质燃烧源,二次源   | [10] |
| 济南    | 2006      | CMB        | 燃油源36%,机动车源29%,燃煤源16%,冶金源5%,烹调源4%   | [25] |
| 武汉    | 2010      | CMB        | 烹饪源14.15%,生物质燃烧2.39%,机动车排放1.57%,燃煤排放0.5%                                    | [15] |
| 布里斯班  | 1993-1995 | CMB,多元线性回归 | 黑碳24%,二次有机物21%,硫酸盐14%,生物质燃烧15%  | [1]  |
| 美国东南部 | 2002      | CMB        | 二次硫酸盐30%±6%,木材燃烧15±12%,采油机尾气16±7%,二次铵盐8±2%,二次硝酸盐4±3%,烹饪源3±2,汽油机动车2±2%,道路尘2% | [26] |
| 芝加哥   | 2003      | CMB        | 炼焦炉排放21%~53%,交通源排放27%~63%,居民燃煤排放5%~39%,活力发电厂<8%                             | [27] |

由于颗粒物的复杂来源,不同源类之间存在着较为严重的共线性的问题,比如扬尘与建筑尘、土壤风沙尘,在运用CMB法进行源解析时,同一组数据可能会得出多种结果;同时,还需要对可能来源的化学成分谱进行测量,要求成分谱全面,且对有机物的降解因子要求准确,往往花费大量财力和人力。因此,CMB法在颗粒物源解析的应用中存在局限性,需要进一步完善。为解决CMB法在颗粒物源解析的应用中存在的问题,南开大学环境科学与工程学院提出了二重源解析技术,该技术科学地将不同的CMB模型计算结果定量的联系在一起,融合了CMB模型的技术优势,使用了多个不同的源解析结果,在不同层次上对颗粒物进行了多次源解析,解决了CMB模型没有解决的技术难题<sup>[24]</sup>。

## 2.2 FA法在PM<sub>2.5</sub>源解析中的应用

FA法是多元统计分析方法的一种,是把一些具有复杂关系的变量或样品归结为数量较少的几个综合因子的一种多元统计方法。FA的目的就是从实测数据(作为变量)出发,根据他们之间的相关关系,从全局变量数据中综合、归纳出最少数目的公因子,计算出因子模型中的各个因子载荷。常见的有主因子分析(Principal Factor Analysis, PAF)和目标转移因子分析(Target Transformation Factor Analysis, TTEA)。

FA法对各种有机污染源的成分谱以及颗粒物中成分降解情况要求较低,用于分析源数目少的体系很成功。王静<sup>[28]</sup>运用FA法对北京昌平区跨奥运期间PM<sub>2.5</sub>中水溶性无机物种的主要来源解析得出分别为二次源(38.69%)、燃烧源(24.14%)和土壤源(23.45%)。Bzdusek等<sup>[29]</sup>运用FA法对芝加哥东南部的多环芳烃(PHAs)来源进行解析,得到炼焦炉占到47%,交通源45%,居民木材和煤的燃烧只占2.3%。王同桂<sup>[30]</sup>运用FA法对重庆市主城3区PM<sub>2.5</sub>来源进行分析,结果说明重庆市地区PM<sub>2.5</sub>的主要来源可以概括为土壤源、燃煤尘、金属冶炼尘和汽车尾气4种,其中燃煤尘始终居首,达到65%。

FA法因为缺乏环境数据,往往得出比那里真实存在的更多的信息,存在一个普遍的问题是得到的因子或合成成分代表的是排放源的混合

体,与明显独立的源成分谱是截然相反的。

## 2.3 PCA法在PM<sub>2.5</sub>源解析中的应用

PCA法作为一种把原来多个指标化为少数几个互不相关的综合指标的多元统计方法,广泛应用于大气污染物的源解析过程中<sup>[31]</sup>。解析方法如下:采样获得各元素的质量浓度值,进行因子分析。首先选取主成分即主要源的个数,个数的判断是使这几个主成分能解释方差的80%以上,进而对矩阵作最大方差旋转,获取因子负荷矩阵,即某一主成分的元素负荷矩阵,再结合因子质量浓度随时间和粒径的变化曲线、各种气象条件推断出主成分的种类。

李剑东<sup>[31]</sup>运用PCA法对长沙市郊区PM<sub>2.5</sub>进行源解析得出该地区PM<sub>2.5</sub>的主要来源主要有6类,按其贡献率大小依次为:二次颗粒物(27.8%)、土壤扬尘(24.1%)、工业排放(16.4%)、家用燃油(16.1%)、垃圾焚烧(11.0%)和交通排放(5.8%)。杨天智<sup>[13]</sup>运用PCA法对长沙市PM<sub>2.5</sub>来源进行解析得出长沙市主要污染源对PM<sub>2.5</sub>的贡献率百分比分别为:土壤扬尘(38.2%)、二次颗粒物(21.0%)、交通排放(11.6%)、柴油机排放(11.1%)、煤燃烧(10.8%)和垃圾焚烧(7.2%)。李伟芳<sup>[32]</sup>运用PCA法对天津市PHAs进行解析得出其主要来源为化石燃料燃烧、生物质燃烧和石油挥发3类源,能解释总方差的90%以上。

PCA法不需要事先了解具体的污染源排放情况,而且可以辨识一些很重要但是被遗漏掉的源,经常被用在一定程度上可以发生相互反应的元素的分析上。当颗粒物中某些元素不可得,或者一种元素是几种污染源的标志元素时,解释污染源类型时主观性相对较强,PCA法不能很好的分开协同作用的源,且需要大量的受体样本,主成分负荷矩阵中可能存在负数<sup>[31]</sup>。

## 2.4 PMF法在PM<sub>2.5</sub>源解析中的应用

PMF法是近年来出现的一种有效、新颖的颗粒物源解析方法,和其他方法相比,具有不需要测量源成分谱、分解矩阵中元素非负、可以利用数据标准偏差来进行优化等优点,因而被广泛应用于颗粒物源解析中。

Song等<sup>[33]</sup>运用PMF法对北京VOCs解析得出的7个贡献源和贡献率分别为:汽油机废气和汽

油蒸气(52%)、石油化工产品(20%)、液化石油气(11%)、天然气(5%)、油漆(5%)、柴油机(3%)、生物排放(2%); Hector<sup>[34]</sup>对智利 Tocopilla 的 PM<sub>2.5</sub> 来源解析得出: 3 个监测点的 PM<sub>2.5</sub> 源贡献率分别为: 硫酸盐(50%, 50%, 50%)、化肥排放(16%, 21%, 10%)、煤和残油燃烧(15%, 15%, 4%)、海盐粒子(5%, 6%, 16%)、铜矿冶炼(4%, 5%, 15%)、混合尘源(11%, 7%, 4%)。陈涛<sup>[35]</sup>运用 PMF 法对成都市中心城区 PM<sub>2.5</sub> 来源进行解析得出各个污染源的贡献率如下: 城市扬尘(23.5%)、土壤扬尘(14.6%)、建筑尘(13.4%)、燃煤尘(10.6%)、道路尘(8.1%)。杨凌霄<sup>[36]</sup>用 PMF 法对济南市的 PM<sub>2.5</sub> 来源进行解析时得出: 济南市山东大学监测点的 PM<sub>2.5</sub> 来源及年均贡献值分别为: 道路扬尘和机动车尾气(15.0%)、工业排放源(15.1%)、燃煤(13.6%)、土壤尘源(19.0%)、二次源(20.0%)、生物质燃烧(17.7%); 而济南市苗圃点的 PM<sub>2.5</sub> 来源及年均贡献值分别为: 道路扬尘和机动车尾气(16.0%)、工业排放源(17.5%)、燃煤(18.7%)、土壤尘源(22.8%)、二次源(19.5%)、生物质燃烧(17.8%)。

与 PCA 法相似, 当颗粒物上某些元素不可获得或者一种元素是几种源的标识元素时, 解释污染源类型的主观性比较强, PMF 法也不能很清晰地分开协同作用的源。

### 2.5 混合方法

当选择一种模型进行源解析工作时, 比较各种受体模型的优劣, 结果表明没有一种方法是尽善尽美的。通过对模拟数据及实测数据的处理得出, 对于源数目少的体系, FA 法、示踪元素法回归分析很成功, 对于源数目多的体系, CMB 法显得优越些。因此, 现在已经出现了多种方法的联合使用, 相互取长补短, 并取得了较好的效果。Chen 等<sup>[37]</sup>复合运用 PMF, UNMIX, 和 EV-CMB 混合方法, 对美国明尼苏达州城区和郊区 PM<sub>2.5</sub> 进行源解析, 分别得出了污染源的贡献值, 城区污染源贡献率为: 二次硝酸盐(28%)、二次硫酸盐(27%)、汽油机尾气(21%)、柴油机尾气(13%)、土壤尘(5%)、富含钙尘(4%)、生物质燃烧烟尘(3%)、二次有机碳(2%)、海盐(1%); 郊区污染源贡献率为: 二次硫酸盐(41%)、二次硝酸盐

(28%)、生物质燃烧(13%)、煤燃烧(6%)、土壤尘(5%)、富含钙尘(5%)、汽油车尾气(4%)、海盐(4%)、二次有机碳(<1%)和角岩矿尘。

### 3 结语与展望

从 1960 年代中期美国科学家的开创性工作算起, 源解析研究和应用已经有超过 40 年的历史。近几十年来, 大气颗粒物的源解析技术取得了很大的进步, 其中受体模型的广泛应用, 为我们对大气颗粒物的污染采用针对性的治理措施提供了很重要的依据。我国虽然在这方面起步较晚, 但是也取得了一些成绩, 北京、上海、广州等人口集中的大城市的大气颗粒物监测系统已经初步形成规模。2012 年 2 月 29 日, 我国国家环保部发布最新的空气质量标准<sup>[38]</sup>, 将于 2016 年 1 月 1 日开始实施, 其中增设了 PM<sub>2.5</sub> 的浓度限值。与此同时, 政策制定者需要准确的知道颗粒物的来源和他们对环境中颗粒物浓度的贡献值, 然后结合健康风险, 来制定和实施保护人体健康和环境的政策。可以预见, 各地都将加大对 PM<sub>2.5</sub> 的源解析研究和监测力度, 未来颗粒物源解析对象将逐渐从粗颗粒物转向细颗粒物。由于单一受体模型进行源解析的局限性, 亟需加强源解析复合模型的应用研究。另外, 详实的源成分谱对于准确的解析出颗粒物的来源具有十分重要的意义, 亟需完善源成分谱的建立工作。

### 参考文献:

- [1] 彭希珑. 南昌市大气 PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub> 的污染特征及来源解析[D]. 南昌: 南昌大学, 2009.
- [2] Sarnat J A, Marmur A, Klein M, et al. Fine particle sources and cardio respiratory morbidity: an application of chemical mass balance and factor analytical source-apportionment methods [J]. Environmental Health Perspectives, 2008, 116(4): 459-467.
- [3] Office of Air Radiation, Office of Air Quality Planning Standards, US Environmental Protection Agency. Protocol for applying and validating the CMB model[M]. US: EPA Research Triangle Park, NC: 1987.
- [4] 罗莹华. 韶关市大气颗粒物地球化学特征与源解析研究[D]. 长沙: 中南大学, 2006.
- [5] 邹长武, 印红玲, 刘盛余, 等. 大气颗粒物混合尘溯源

- 解析新方法[J]. 中国环境科学, 2011, 31(6): 881-885.
- [6] 郑雪峰, 邹长武, 印红玲. 基于聚类分析和因子分析的混合尘源解析新方法[J]. 安徽农业科技, 2011, 39(6): 3515-3518.
- [7] 赵宏, 白志鹏, 郭光焕, 等. 源解析NKCMC最优拟合及其实现[J]. 南开大学学报, 2010, 43(1): 71-75.
- [8] 朱坦, 吴琳, 毕晓辉, 等. 大气颗粒物源解析受体模型优化技术研究[J]. 中国环境科学, 2010, 30(7): 865-870.
- [9] 赵宏, 郭光焕, 白志鹏, 等. “二重源解析”技术及其系统实现[J]. 环境污染与防治, 2009, 31(6): 11-13.
- [10] 段凤魁, 贺克斌, 刘咸德. 北京PM<sub>2.5</sub>中有机酸的污染特征及其来源[J]. 环境科学学报, 2009, 29(6): 1139-1145.
- [11] 李诗敏. 广州城市大气PM<sub>2.5</sub>污染及其源解析[D]. 广州: 中山大学, 2007.
- [12] 沈宏雷, 汤莉莉, 李红双, 等. 南京大气PM<sub>10</sub>谱分布和细粒子中多环芳烃的研究[J]. 环境科学与技术, 2011, 34(7): 66-72.
- [13] 杨天智. 长沙市大气颗粒物PM<sub>2.5</sub>的化学组分特征及来源解析[D]. 长沙: 中南大学, 2010.
- [14] 孙玉伟, 周学良, 袁琦, 等. 济南市秋末冬初大气颗粒物和气体污染物水平及其来源[J]. 环境科学研究, 2012, 25(3): 245-251.
- [15] 钱佳. 武汉市东南部大气PM<sub>2.5</sub>中烃类化合物分布与来源解析[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2010.
- [16] 米铁, 余新明. 武汉沌口地区PM<sub>10</sub>及PM<sub>2.5</sub>化学组分析[J]. 江汉大学学报: 自然科学版, 2012, 40(6): 29-33.
- [17] 叶文波. 宁波市可吸入颗粒物PM<sub>10</sub>和PM<sub>2.5</sub>的源解析研究[J]. 环境污染防治, 2011, 33(9): 66-69.
- [18] 包贞, 冯银厂, 焦荔, 等. 杭州市大气PM<sub>10</sub>和PM<sub>2.5</sub>污染特征及来源解析[J]. 中国环境监测, 2010, 26(2): 44-48.
- [19] 亚力昆江·吐尔逊, 迪丽努尔·塔力甫, 阿布力孜·伊米提, 等. 乌鲁木齐市可吸入颗粒物水溶性离子特征及来源解析[J]. 中国环境监测, 2012, 28(1): 72-76.
- [20] 甘小凤, 曹军骥, 王启元, 等. 西安市秋季大气细粒子中化学元素的浓度特征和来源[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(19): 11692-11694.
- [21] 霍静, 李彭辉, 韩斌, 等. 天津秋冬季PM<sub>2.5</sub>碳组分化学特征与来源分析[J]. 中国环境科学, 2011, 31(12): 1937-1942.
- [22] 刘彦飞, 邵龙义, 王彦彪, 等. 哈尔滨春季大气PM<sub>2.5</sub>物理化学特征及来源解析[J]. 环境科学与技术, 2010, 33(2): 131-134.
- [23] Viana M, Kuhlbusch T A J, Querol X, et al. Source apportionment of particulate matter in Europe: A review of methods and results[J]. Journal of Aerosol Science, 2008, 39: 827-849.
- [24] 冯银厂, 白志鹏, 朱坦. 大气颗粒物二重源解析技术原理与应用[J]. 环境科学, 2002, 23(增刊): 106-108.
- [25] 李强. 济南市大气颗粒物上多环芳烃的分析和来源解析研究[D]. 济南: 山东大学, 2006.
- [26] Zheng M, Cass G R, Schauer J J, et al. Source apportionment of PM<sub>2.5</sub> in the southeastern United States using Solvent-Extractable organic compounds as tracers[J]. Environ Sci Technol., 2002, 36: 2361-2371.
- [27] Li A, Scheff P A. Application of EPA CMB8.2 model for source apportionment of sediment PAHs in lake calumet, Chicago [J]. Environ Sci Technol, 2003, 37: 2958-2965.
- [28] 王静. 北京昌平跨奥运气溶胶无机水溶性离子的污染特征及其来源解析[D]. 济南: 山东大学, 2010.
- [29] Bzdusek P A, Christensen E R, Li A, et al. Source apportionment of sediment PAHs in Lake Calumet, Chicago: application of factor analysis with nonnegative constraints[J]. Environ Sci Technol, 2004, 38: 97-103.
- [30] 王同桂. 重庆市大气PM<sub>2.5</sub>污染特征及来源解析[D]. 重庆: 重庆大学, 2007.
- [31] 李剑东. 长沙市郊区可吸入颗粒物化学组分特性及来源解析[D]. 长沙: 中南大学, 2009.
- [32] 李伟芳. 天津市PM<sub>2.5</sub>理化特性和含碳气溶胶的分布与来源研究[D]. 天津: 南开大学, 2008.
- [33] Song Y, Shao M, Liu Y, et al. Source apportionment of ambient volatile organic compounds in Beijing[J]. Environment Science Technology, 2007, 41: 4348-4353.
- [34] Hector J. Source apportionment of PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> at Tocopilla, Chile[J]. Environment Monitor Assess, 2009, 153: 235-251.
- [35] 陈涛. 成都市中心城区细粒子来源解析研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2009.
- [36] 杨凌霄. 济南市大气的PM<sub>2.5</sub>污染特征、来源解析及其能见度的影响[D]. 济南: 山东大学, 2008.
- [37] Chen A, Waston J G, Chow J C, et al. PM<sub>2.5</sub> source apportionment: reconciling receptor models for U.S. non-urban and urban Long-Term networks [J]. Journal of the air & waste management association, 2011, 61: 1204-1217.

[38] 中华人民共和国环境保护部. 环境空气质量标准(GB-3095—2012)[S]. 北京:中国环境科学出版社,2012.

## Research Progress on Source Apportionment of Fine Particulate Matter in Atmosphere

JIANG Jun-ting, LIU Qiong-yu

(Hubei Key Laboratory of Industrial Fume and Dust Pollution Control, School of Chemistry and Environmental Engineering, Jiangnan University, Wuhan 430056, Hubei, China)

**Abstract:** The home and abroad latest research progress on receptor model which is used for the source apportionment of fine particulate matter  $PM_{2.5}$  is summarized. The principles, applications, features of chemical mass balance, principal component analysis, factor analysis, positive matrix factorization such source apportionment methods are introduced in detail. Meanwhile, the development tendency of source apportionment for fine particulate matter is forecasted.

**Key words:** fine particulate matter; source apportionment; receptor model; research progress

(责任编辑:叶冰)

---

### $PM_{2.5}$ 正式定名为“细颗粒物”

2013年4月19日,全国科学技术名词审定委员会与外语中文译写规范部际联席会议专家委员会联合发布: $PM_{2.5}$ (particulate matter)的中文名定为“细颗粒物”(fine particulate matter),并向社会各界推荐使用。它的定名解决了长期以来对 $PM_{2.5}$ 的中文名词的使用和翻译不统一的问题。

细颗粒物来源十分复杂,既有燃煤,燃油机动车尾气、道路扬尘、建筑施工扬尘、工业粉尘,餐饮油烟、垃圾焚烧、秸秆焚烧直接排放的细颗粒物,也有空气中 $SO_2$ 、 $NO_x$ 和挥发性有机物,经过复杂的化学反应转化生成的二次细颗粒物。吸烟释放的烟雾、蚊香燃烧、虫螨等物质的动力学直径均在 $2.5\ \mu m$ 以下,按规范也属于细颗粒物范畴。

细颗粒物控制的难点在于其粒径太小、质量轻,使得静电力、离心力、惯性力等的作用十分微弱,难以使用常规的除尘器进行净化。对细颗粒物进行末端控制属于大气污染治理的重要领域,其基本原理是首先使细颗粒物粒径增大,然后再去除,这种使细颗粒物粒径增大的技术称为凝并技术。另外,细颗粒物的高效除尘技术包括电袋复合式除尘技术、湿式电除尘技术、覆膜表面过滤技术、静电纤维增强除尘技术等,这些技术通过对传统除尘器结构的改进或者使用新材料,来提高细颗粒物的去除效率。