

# 大气细颗粒物PM2.5的源解析技术探析

高虹波

邢台市生态环境局内丘县分局

**摘要:**随着国家经济等领域的持续发展,人民的生活质量也在逐步改善,但同时也带来了日益严峻的环境污染问题,最主要的就是空气颗粒物引起的问题。大气细颗粒物PM2.5可以与有毒物质结合,经呼吸系统侵入人体,对人们的生命健康造成巨大的危害。本文简单介绍了大气细颗粒物PM2.5的定义、产生原因以及应对措施,分析当前常用的大气细颗粒物PM2.5的源解析技术,对其未来发展进行了展望,旨在为相关工作提供帮助,提升环保工作成效。

**关键词:**大气细颗粒物; PM2.5; 源解析技术

【DOI】10.12252/j.issn.2096-627X.2022.10.232

## 引言

就目前国内雾霾天气的现状而言,不但持续的时间很久,并且影响的面积很大,对日常生产生活造成了极大的威胁,因而成了人们普遍关心的问题。在对国内雾霾天气成因的研究中发现,引起这一问题的最大因素大气细颗粒物PM2.5。PM2.5中包含了粒径在2.5微米以下的粒子,它可以在较大的区域内持续传播,降低能见度,从而造成严重的雾霾。细小的微粒会进入人体的支气管和肺泡,这些微粒会携带有害物质进入人体,对身体造成很大的危害。因此,要实现大气细颗粒物PM2.5的减排,就必须加大对其源解析技术的研究。

## 一、大气细颗粒物PM2.5概述

### (一) 定义

在空气中长期存在并且空气动力等效直径小于 $2.5\mu\text{m}$ 的微粒被称为大气细颗粒物,也就是PM2.5,有关的大气品质研究者可以藉由对这类空气微粒的含量的研究,来判定某一区域的环境状况。PM2.5粒径虽小,但活性高,可吸附重金属和有毒微生物等有害物质,容易对人类造成伤害。此外,PM2.5可在大气中滞留较久,被风吹送到很远的地方,对环境造成极大的污染。通过对大气细颗粒物PM2.5组分的研究,认为PM2.5的化学组分以有机碳、硝酸盐和硫酸盐为主,其中的硝酸盐和硫酸盐等物质都会严重威胁人体的健康。

### (二) 产生原因

#### 1. 自然原因

自然原因包括但不限于土壤粉尘,海盐,植物孢子的传播等。此外,自然界中某些灾难也会生成PM2.5,例如,自然火山爆发时,会释放出大量的火山灰,导致空气质量下降,同时也会释放出大量的PM2.5粒子<sup>[1]</sup>。林

火与沙尘天气同时也会释放出大量的有毒气体,形成大量的细粒子PM2.5,对大气环境造成严重危害。

#### 2. 人为原因

人类活动(如燃煤发电、化工、纺织等)、居民日常生活(烹调用燃煤和燃气、汽车耗油排放的废气等)是大气中细粒子PM2.5的主要来源,尤其是工业生产和汽车尾气排放,会产生大量的大气细颗粒物PM2.5。大量的氮和硫氧化物可被转换成空气中的细粒子PM2.5,而氮和硫氧化物则主要来自人类燃烧煤炭、石油等,由于使用柴油的车辆通常不具备较好的排气系统,所以其排气中也含有较多的PM2.5。因此,人类活动中的大气细颗粒物PM2.5主要来自工业生产和机动车尾气排放。另外,在未充分燃烧的香烟中也会释放出大气细颗粒物PM2.5。目前,全球吸烟人口众多,每天消费的香烟数量巨大,极大地增加了大气中细颗粒物PM2.5的含量。

### (三) 应对措施

首先,使用各类可以对空气进行清洁的装置来对空气中的细粒子PM2.5进行处理。可以购买空调、空气清新器等对空气进行净化的装置,对房间里的空气中的细颗粒物PM2.5进行处理,这样可以使房间空气中的PM2.5含量得到明显减少。其次,大量栽种绿色植物。绿色植物对有害气体具有很强的吸附能力,对空气中的细颗粒物PM2.5也具有优质的吸附效果。所以,大面积种植绿色植物是治理PM2.5污染的重要途径之一。大面积种植绿植既可以防止大气中的细粒子PM2.5污染,又可以起到美化和保护土壤的作用。再次,调整工业结构规模,严控排放。工业生产是大气中PM2.5的重要来源,不同的工业结构决定其产生的PM2.5种类、性质和排放量的不

同。所以,当经济发展的目的不变时,可以通过工业的结构和规模的调整优化来降低PM<sub>2.5</sub>的排放量。在结构和规模的调整中,实行清洁生产是必然趋势,绿色化学是一种从根源上消灭PM<sub>2.5</sub>的工艺,也是预防PM<sub>2.5</sub>污染的最佳途径。最后,研制专用防尘口罩。大气中PM<sub>2.5</sub>的粒径非常微小,普通防护面罩不能起到很好的阻隔作用。因此,研究人员必须研制出专用的防尘口罩,以保证其对空气中的细粒子PM<sub>2.5</sub>进行有效阻隔,以达到对人体健康的保障<sup>[2]</sup>。与此同时,还要严格落实不在室内抽烟的要求,室内的空气流动远没有户外好,如果在室内抽烟,会造成空气中细小粒子PM<sub>2.5</sub>积累,不能及时排出,从而造成室内空气中PM<sub>2.5</sub>浓度超标,对人体健康造成威胁。

## 二、当前大气细颗粒物PM<sub>2.5</sub>的源解析技术

### (一) 富集因子法

简而言之,富集因子法就是通过对人类活动或自然活动中的元素进行分析,并与其他方法相结合,对PM<sub>2.5</sub>的来源进行精确识别。从真实的情况来看,如果最终的富集因子结果比1小,可以认为土壤是PM<sub>2.5</sub>的主要来源;如果最终的富集因子结果在10以上,那么就可以确定大气中的细微粒子PM<sub>2.5</sub>的主要来源是人类活动。通过中和这两个富集因子得到比值,可以确定人为因素在PM<sub>2.5</sub>来源中所占的比例。富集因子法是判断大气细颗粒物PM<sub>2.5</sub>来源的重要方法之一,可以对PM<sub>2.5</sub>的具体来源有了一个大致的了解,通过对特定来源的把握,找出控制PM<sub>2.5</sub>污染的真正根源,从而提高预防控制工作的精准性。

### (二) 化学质量平衡模型

从大气细颗粒物PM<sub>2.5</sub>研究工作的现状来看,研究人员更关注化学质量平衡模型这一源解析技术。借助化学质量平衡模型,对大气细颗粒物PM<sub>2.5</sub>的主要来源或者类型进行明确,在此基础上,合理应用物质守恒定理,建立线性方程,计算各源头对PM<sub>2.5</sub>污染的影响程度。化学质量平衡模型具有计算简单、过程简洁、工作量少等优势,但其不足之处是很难收集到有效的取样,因为不能判断二次有机碳是否直接来源于排放处,仅靠无机物质来辨别其对环境污染的具体影响,而不能精确地辨别出很多潜在的重要污染源。所以,在严谨性方面化学质量平衡模型源解析技术稍有欠缺。

### (三) 空气质量模型

空气质量模型的核心在于设计参数和理念,这是最基本的划分标准。CMAQ、NAME以及yourAir模型是当前空气质量模型源解析技术的主要方式,随着时代发展CMAQ模型得到了广泛的应用。此模型能有效地对观察距离进行模拟,发现其差距和成因,从而使工作人员能够依据评价得到的相关资料,进而制定出具体的对策。此外,它还可以高效地模拟大气中PM<sub>2.5</sub>的浓度,进行污染水平的预测和评估,对可能出现的问题作出有效的预测,并提出相应的对策。此外,通过对PM<sub>2.5</sub>的来源及输送特性的研究,能够对PM<sub>2.5</sub>的扩散范围进行分析,为工作人员制定相应的防治措施提供依据,以确保大气污染防治工作能够更好地发挥作用<sup>[3]</sup>。

### (四) 稳定同位素法

稳定同位素法是指在辐射衰减以前,对质量的同位素进行精确掌握。随着科技的发展,各科研工作者对稳定同位素源解析技术的研究越来越深入全面,拓宽了它的使用领域。在某一指定污染物中,稳定同位素状态是比较稳定的,利用这种方法,可以对空气质量进行分析,得到的结果更精确,具有很好的稳定性,对解析PM<sub>2.5</sub>中主要的污染组分具有十分重要的意义。比如,作为一种半挥发性的有机物PAHS,当其扩散时,如果外部条件改变,常会产生一系列的化学反应。如果采用传统的方法,很难防止这种情况的出现。但是,如果利用稳定同位素技术,则可以更好地鉴别出PAHS物质,从而确保其本身的稳定性。同时也可以对PM<sub>2.5</sub>中的硫源进行精确地解析,从而在提高工作效率的同时,也可以规避一些安全风险。

### (五) 因子分析法

在大气细颗粒物PM<sub>2.5</sub>源头的解析工作中,因子分析法发挥着至关重要的作用。因子分析法能够以各成分的构成状况为切入点,以受体样本的化学成分为核心,对组分之间的复杂因子进行分析,从而确定因子的综合程度,反映多因子的整体信息。因子分析包含了两个重要的方面,首先是分析主成分,利用降维的思想保存原信息,并把它转换成各种指标,对各要素综合指数进行分析,以确定各要素间的相互关系。通过分析PM<sub>2.5</sub>的主成分,可以对PM<sub>2.5</sub>中所包含的复合因子进行梳理,从而实现精确定位,有助于工作人员判断污染粒子的来

源。其次,在因子分析法基础上的正向矩阵分析法,在计算时使用加权方法,可以精确地判定PM<sub>2.5</sub>化学组成中的错误,通过最小二乘作为计算方法,获得PM<sub>2.5</sub>中主要污染源的贡献率,从而对标准偏差进行持续优化,降低因偏差而导致的数据错误,确保工作的有效性,得到最好的污染物检测分析结果。

### 三、大气细颗粒物PM<sub>2.5</sub>的源解析技术发展趋势

#### (一) 有机物示踪法

PM<sub>2.5</sub>中除含有多种重金属等无机成分外,还含有多种有机物。所以,利用有机质示踪技术可以识别大气中的有机碳源<sup>[4]</sup>。利用这种方法,不但可以从无机物质中确定污染源,还可以借助对贡献率的确定,应对PM<sub>2.5</sub>的来源分析,从而使PM<sub>2.5</sub>粒子溯源的研究更为标准化,得到的结果也更为精确。以此为前提,可以确保工作人员在进行大气污染控制的时候,更有针对性,提升环保工作的质量和效益。

#### (二) 单颗粒物源解析法

传统的分析方法是基于对大量样本的整体分析,利用多种模式来解析污染物的来源。尽管总体分析法能够探测到一些微粒的本质特征成分,但当其含量太低时,就有可能导致无法检出。为减少对低、弱污染源的漏判,可以运用单颗粒物源解析法全面直观地进行大气细颗粒物PM<sub>2.5</sub>的源解析工作。这种新的解析技术是通过对单粒子的化学特性光谱进行分析和辨识,从而更为直观、明确地判定粒子的来源。单颗粒物源解析法利用高灵敏度和高分辨的质子束对颗粒物进行检测,既可以对样本进行最好的保存,又可以对颗粒物中的特定组分进行更深入的研究,从而对污染物的来源和贡献率进行判定。

#### (三) 扩散和受体模型

从大气污染的现状来看,大气细颗粒物PM<sub>2.5</sub>是最严重的问题,基于这一点,全社会都要求对PM<sub>2.5</sub>进行综合治理,大气细颗粒物PM<sub>2.5</sub>的源解析工作的研究方向趋向于扩散与受体模型的整合运用。扩散模型是以污染物排放量和污染物清单为基础,对各污染源在不同地区的空间分布进行模拟,摆脱受体模型的桎梏,使得控制策略更加有针对性。受体模型不需要对来源进行细致分析,也不需要大气中的气溶胶、气象等特征参数,可以有效克服扩散模型难以处理的问题。不过,这种复

合解析技术还只是一种概念,虽然理论上取得了很好的效果,却还没有真正的推广和应用。

#### (四) 显微镜法

显微镜技术是通过单颗粒的形貌(形状、尺寸、颜色等)的分析,并结合源的化学成分和形貌等信息对其进行溯源。该方法可用于对具有较明显形貌特征的颗粒物进行分析,并可用于对颗粒物的形态、组分进行测量、比较精确地判别其来源,并估算不同方案对颗粒物的贡献率。但是,这种方法也有一些缺点,如价格昂贵,分析时间长,对颗粒的体积和密度的观察有很大的误差,所以这种方法更适合于一些特定的情况。没有十全十美的PM<sub>2.5</sub>源解析技术,在具体应用的过程中,要始终坚持具体问题具体分析的原则,确保源解析技术的高效应用<sup>[5]</sup>。

#### 结语

综上所述,大气细颗粒物PM<sub>2.5</sub>不但对生态环境产生了重大的影响,而且对人类健康也有很大的威胁。各城市和区域之间要加强合作,从PM<sub>2.5</sub>的特点出发,灵活应用富集因子、化学质量平衡模型、空气质量模型、稳定同位素、因子分析等源解析技术,根据当地气候特征建立适用于本地环境的污染源分析模型,寻找有效控制PM<sub>2.5</sub>的措施。从而全面提升大气品质,保障人们的生命健康,优化生存环境,为社会进步和经济持续健康发展保驾护航。

#### 参考文献

- [1] 李勇. 贵阳市大气细颗粒物PM<sub>2.5</sub>来源解析研究[J]. 广州化工, 2021, 51(13): 184-186.
- [2] 韩立钊, 马勇, 谢磊. 城市区域大气颗粒物解析及污染防治对策研究[J]. 海峡科技与产业, 2020, 35(05): 72-74+79.
- [3] 潘成珂, 黄韬, 高宏等. 张掖市城区大气细颗粒物PM<sub>2.5</sub>的化学组成及来源解析[J]. 环境科学, 2021, 43(12): 367-375.
- [4] 罗小玲, 邓沁瑜, 严秀娟. PM<sub>2.5</sub>在线源解析技术应用[J]. 广东化工, 2021, 48(14): 169-171+190.
- [5] 耿天召, 朱余, 魏帧等. 基于多种源解析技术的合肥市环境空气PM<sub>2.5</sub>来源解析[J]. 合肥工业大学学报(自然科学版), 2020, 43(06): 830-838.