

我国三大区域 PM_{2.5} 源解析研究进展

李云燕*, 葛 畅

(北京工业大学循环经济研究院, 北京 100124)

摘要:目前我国多个省市 PM_{2.5} 浓度超标, 经济发展水平领先的京津冀、长三角、珠三角地区尤为严重, PM_{2.5} 污染源受到社会各界广泛关注。通过梳理三大区域不同城市的源解析相关文献, 结合环保部门公布的最新源解析结果, 重点对三大区域 PM_{2.5} 源解析结果进行分析比较。结果表明: 三大重点区域中, 北京、上海、杭州、广州、深圳的 PM_{2.5} 首要污染源都是机动车排放; 二三线城市 PM_{2.5} 污染源以燃煤、扬尘为主。应结合各地区不同情况, 以降低机动车排放为主, 以燃煤、工业及扬尘为切入点治理 PM_{2.5} 污染。最后提出了 PM_{2.5} 源解析进一步研究的改进方向, 以期制定切实可行的 PM_{2.5} 污染有效治理的政策措施提供借鉴和参考。

关键词: PM_{2.5}; 源解析; 重点区域; 综述

中图分类号: X131

文献标志码: A

文章编号: 0253-4320(2017)04-0001-05

DOI: 10.16606/j.cnki.issn.0253-4320.2017.04.001

Research progress of PM_{2.5} source analysis in three main regions of China

LI Yun-yan*, GE Chang

(Institute of Recycling Economy, Beijing University of Technology, Beijing 100124, China)

Abstract: At present, PM_{2.5} concentration in many provinces and cities in China are over the standard value, which is particularly serious in the regions with the leading level of economic development, such as Beijing-Tianjin-Hebei Region, Yangtze River Delta and Pearl River Delta. The sources of PM_{2.5} have attracted great attentions in all sectors of society. By analyzing the related literatures about different cities in different regions and combining with the latest source analysis results published by environmental protection administration, the PM_{2.5} source analysis in three key regions mentioned above is compared and discussed. The results show that among the three key areas, vehicle emission is the primary source of pollution in Beijing, Shanghai, Hangzhou, Guangzhou and Shenzhen. For second and third tier cities, PM_{2.5} sources are mainly coal-fired fly ash and dust pollution. Therefore, to reduce the pollution of PM_{2.5}, reduction of the vehicle emission is the urgent task, which is also suggested to combine with the control of coal-fired fly ash and dust pollution. Finally, the further development directions of PM_{2.5} source analysis are proposed, which is expected to serve a reference for formulation of feasible policy measures to reduce the pollution of PM_{2.5}.

Key words: key area; PM_{2.5}; source analysis; review

中国作为世界上最大的发展中国家, 其快速发展的工业化进程带来了严重的环境污染问题。在快速增长的工业生产下, 中国已成为全球 PM_{2.5} 污染最为严重的国家^[1]。京津冀、长三角和珠三角三大城市群作为中国经济最发达、城镇化和工业化进程最快速的地区, 也是我国 PM_{2.5} 污染最为严重的区域^[2]。准确解析和定量确定 PM_{2.5} 的来源是制定相关政策法规、有效控制 PM_{2.5} 污染的重要前提^[3]。2012年10月, 国家颁布了新的《环境空气质量标准》, 将 PM_{2.5} 纳入空气质量监测范围中, 尤其是对京津冀、长三角、珠三角重点区域及省会等城市按新标准对 PM_{2.5} 进行监测, 并在各个城市相继开展颗粒物源解析工作^[4]。为明确京津冀、长三角和

珠三角重点区域的 PM_{2.5} 来源及分布情况, 本文通过梳理近年来环境监测部门以及学者对三大城市群不同城市雾霾源解析研究成果, 对 PM_{2.5} 源解析方法及三大区域不同城市的源解析结果进行分析综述。通过结果比较分析, 得出三大区域 PM_{2.5} 来源及分布特点, 提出下一步 PM_{2.5} 源解析工作的改进方向。

1 PM_{2.5} 源解析方法

对 PM_{2.5} 进行源解析的目的就是要弄清楚 PM_{2.5} 的来源及其分布。大气细颗粒物来源因不同国家或地区的经济发展状况、能源结构、产业布局以及管理水平不同而存在很大差异^[5]。大气颗粒

收稿日期: 2016-11-11

基金项目: 国家社会科学基金项目“基于 DPSIR 模型框架的京津冀雾霾成因分析及综合治理对策研究”(15BJY059); 北京市社科基金项目“京津冀地区 PM_{2.5} 污染控制政府绩效评估模式的构建”(14JGB036)

作者简介: 李云燕(1963-), 女, 教授, 博士, 主要研究方向为环境经济与管理、环境规划与评价等, 通讯联系人, 18101260082, yunyanli@126.com; 葛畅(1993-), 女, 硕士生, 研究方向为环境经济学, gcjoy@foxmail.com。

物来源分为直接以固态形式排出的一次源和由气态前体污染物通过大气化学反应生成的二次源。一次源是指由自然或人为活动直接排放的源,包括火山爆发、化石燃料燃烧、生物质燃烧以及地面扬尘、工业粉尘等直接排放的细颗粒物。二次源通常是由大气中已存在的成分通过化学反应而生成的,如 SO_2 和 NO_x 反应生成相应的盐,汽车尾气中的 CO 、 NO_x 和烃经过光化学反应生成有机物等。二次源是在已有的粒子内部或表面发生反应从而增加该粒子的化学成分和质量,因此二次源以一次源的存在为前提^[6]。

大气颗粒物源解析方法主要有源清单法、源模型法和受体模型法。

源清单法是根据排放因子及各种活动的排放水平来估算排放量,并根据排放量识别污染物主要排放源及其贡献率的方法。源清单法通过定性和半定量的方法识别污染源,方法简单易操作;源清单法的缺陷是定性程度较大,得出的解析结果缺乏客观性。

源模型法是从污染源出发,根据各种污染源源强资料、气象资料以及大气化学过程估算污染源对受体的贡献率的方法^[7]。源模型法通过定量估算不同地区不同类别污染源排放对空气中颗粒物的贡献,优点是能够定量识别颗粒物的本地源和区域源,局限性是不能解析颗粒物的开放源。

受体模型法从受体出发,采集颗粒物样品进行分析,根据源和受体颗粒物的化学物理特征等信息,运用数学方法定量解析各污染源对颗粒物的贡献率的方法。受体模型法的优点是可以解析出开放源的贡献率,定量解析污染源类,缺点是不能进行预测工作^[8]。受体模型法包括质量平衡法(CMB)、主成分分析(PCA)、正交矩阵因子分解法(PMF)、因子分析(FA)、目标转换因子分析(TTFA)、多元线性回归(MLR)、投影寻踪回归(PPR)等多种方法^[9]。目前,受体模型法是国内外常用的大气颗粒物源解析的方法。

2 国内重点区域 PM_{2.5} 源解析结果分析

京津冀、长三角、珠三角作为我国三大城市群,其经济发展一直处于国内领先水平,由于三大区域的地理位置、产业结构以及经济发展等方面存在差异性,雾霾来源及分布情况也存在差异。在中国知网以雾霾、PM_{2.5}、源解析为主题进行高级检索,得到的检索结果有 236 篇。其中,有关京津冀 PM_{2.5} 源解析 29 篇、长三角 PM_{2.5} 源解析 23 篇、珠三角

PM_{2.5} 源解析 8 篇。由于现阶段开展源解析工作的范围有限,本文选取以省会城市为代表的、以个别开展雾霾源解析工作的典型城市,结合环保部门最新公布的源解析结果,对近 5~10 年来相关学者发表的各个地区雾霾源解析的研究成果进行梳理和分析。

2.1 京津冀地区 PM_{2.5} 源解析结果分析

2.1.1 北京市 PM_{2.5} 源解析

根据北京市环保局发布数据,北京市 2013 年全年 PM_{2.5} 来源中区域传输贡献约占 28%~36%,本地污染排放贡献占 64%~72%。在本地污染贡献中,机动车、燃煤、工业生产、扬尘为主要来源,分别占 31.1%、22.4%、18.1% 和 14.3%,餐饮、汽车修理、畜禽养殖、建筑涂装等其他排放约占 14.1%。

有学者对最近五年内的北京市大气 PM_{2.5} 进行采样并作出源解析:王琴等用 PMF 模型对 2012 年 8 月至 2013 年 7 月间北京市 8 个站点 PM_{2.5} 颗粒物进行源解析,发现北京 PM_{2.5} 主要来源及年均贡献率依次为:二次源 42%、燃煤 19%、地面扬尘 19%、机动车排放 10%、工业源 6%、建筑尘 4%^[10]。其中,燃煤源指根据煤炭所含元素测度出的城市燃煤排放量占比,工业源指根据金属元素测度的与金属加工相关的工业源。

张霖琳等采用 CMB 模型对北京市 2014 年 8 月和 12 月混合功能区的 PM_{2.5} 样品进行源解析,结果表明,冬季 PM_{2.5} 浓度显著高于夏季,且冬夏两季雾霾来源的贡献率有一定差异。夏季污染源及贡献率为二次源 50.2%、机动车 23%、扬尘 8.5%、燃煤 5.8%、其他来源 12.1%;冬季为燃煤 26.6%、机动车 21.5%、扬尘 20.9%、二次源 12.9%、其他 17.9%^[11]。由此可见,夏季主要污染来源是二次源、机动车和扬尘;随着冬季燃煤量增加,贡献率较高的为燃煤、机动车和扬尘。

杨妍妍等采用 CMB 模型对 2012 年 8 月至 2013 年 7 月北京市 10 个监测点的 PM_{2.5} 样本进行源解析:二次源 36%、有机物 20%、机动车 16%、燃煤 15%、土壤尘 6%,其他未识别的分担率为 7%^[12]。其中有机物包含未识别污染源直接排放的颗粒态有机物和气态有机物经大气化学反应生成的二次有机颗粒物,主要来源于汽车尾气、燃煤排放和生物质燃烧。

综合以上研究结果,尽管采样的时间地点有所差异,但都显示北京市 PM_{2.5} 首要来源是二次源,其次是机动车、燃煤、工业和扬尘。冬季随着燃煤量

增加,燃煤的贡献率随之上升超过机动车的贡献率;机动车除了直接排放PM_{2.5}一次污染源以外,也排放气态污染物VOC、氮氧化物等二次源的前体物,因此对二次源产生也有一定贡献。这种结果也与北京市机动车数量庞大、尾气排放量巨大而造成二次源污染以及冬季大量燃煤取暖的能源结构相吻合。

2.1.2 天津市PM_{2.5}源解析

天津市环保部门2014年发布2013年全年的雾霾源解析结果显示,天津市PM_{2.5}来源中本地排放占66%~78%,区域传输占22%~34%。在本地污染贡献中,扬尘占30%、燃煤27%、机动车20%、工业生产17%,餐饮、汽车修理、畜禽养殖、建筑涂装及海盐粒子等其他排放对PM_{2.5}的贡献约为6%。

李伟芳等对天津市2006年8~12月中心城区细颗粒物进行采集并对其成分进行测定,结果表明:天津市环境空气中PM_{2.5}主要来源是二次污染、化石燃料燃烧以及土壤尘和建筑粉尘,贡献率依次为53.4%、25.8%、12.3%和8.6%^[13]。

魏欣等用CMB模型对2011年6~8月天津市连续发生的灰霾天的PM_{2.5}来源进行解析,得出天津市夏季灰霾日各污染物贡献率依次为:二次粒子43.9%、扬尘20.3%、煤烟尘15%、机动车尾气5.1%;而晴天时雾霾颗粒物浓度明显降低,污染物贡献率依次为:二次粒子29.2%、扬尘23.4%、煤烟尘19.8%、汽车尾气7.7%^[14]。来源解析结果表明,无论是晴天还是霾天,二次粒子都是PM_{2.5}主要污染源。

根据学者的研究,二次粒子是天津市雾霾的首要污染源,其次是扬尘、煤烟尘和机动车尾气。环保部门对二次源再解析后的结果表明,扬尘的贡献率占首位,超过燃煤和机动车的贡献率。因此控制天津市PM_{2.5}污染关键在于降低二次源污染和城市扬尘。

2.1.3 河北省PM_{2.5}源解析

根据石家庄市环保局发布数据,石家庄市2013年3月至2014年4月PM_{2.5}来源中,70%~77%来自石家庄本地污染,各类污染源排放分担率为燃煤28.5%、工业生产25.2%、扬尘22.5%、机动车15%,其他生物质燃烧、餐饮、农业等占比8.8%。由此可见,燃煤排放是石家庄市PM_{2.5}的首要污染源,煤炭消费总量大、燃煤结构不合理是煤烟型污染严重的主要原因。工业排放是石家庄市颗粒物的主要污染源,工业是石家庄市产业结构的主要组

成部分,制药、冶金、石化、建材等是大气颗粒物主要排放行业。

对京津冀地区,二次源在污染物贡献率中所占比重最大,机动车、燃煤、工业生产、扬尘是主要污染源。三个省市PM_{2.5}来源也有所差异:其中机动车排放是北京市PM_{2.5}的首要污染源、扬尘是天津市PM_{2.5}的首要污染源、燃煤是石家庄PM_{2.5}首要污染源。

2.2 长三角地区PM_{2.5}源解析结果分析

2.2.1 上海市PM_{2.5}源解析

根据上海市环保局最新公布数据显示,上海市PM_{2.5}来源中本地污染排放贡献占64%~84%,平均贡献率约为74%。其中,本地排放源中,流动源占29.2%,工业生产占28.9%,燃煤占13.5%,扬尘占13.4%,另有农业生产、生物质燃烧、民用生活面源及自然源等其他源类占15.0%。

有学者对上海市部分地区雾霾源解析做了相关研究。严向宏于2008年9月1日至2009年8月31日对宝山区四个监测点进行了采样和监测,并对其中一个监测点——宝山区不锈钢检化验中心的PM_{2.5}运用扩散模型和受体模型法进行解析,结果表明,来自工业生产的钢铁冶金尘对PM_{2.5}贡献率为36.3%,燃煤尘28.5%,城市扬尘35.1%^[15]。由此可见,上海宝山区PM_{2.5}主要来源于工业生产和燃煤,其贡献率超过60%。

马剑丽通过监测和分析2011年8月至2012年7月一年内上海宝山区环保局和钢研所的PM_{2.5}数据并作出对比,发现PM_{2.5}中水溶性无机离子以二次离子为主,其含量占细颗粒可溶性组分的75%以上,二次离子主要来源于二氧化硫和氮氧化物的氧化,造成这种现状的原因主要是由于机动车、船舶等流动源引起的污染严重以及宝山区周围大型的钢铁公司——宝山钢铁集团公司及石洞口发电厂等大型企业化石燃料燃烧产生大量污染气体^[16]。

王晓浩等用PMF法对2013年12月至2014年2月上海郊区的青浦区定山湖地区的PM_{2.5}源解析结果表明,定山湖冬季PM_{2.5}来源及贡献率依次是二次气溶胶50.8%、燃油17.5%、生物质燃烧17.2%、扬尘7.7%、燃煤6.9%。如果包含燃煤产生的二氧化硫转化的二次气溶胶,那么燃煤的贡献率可接近27%^[17]。这是由于青浦定山湖区位于上海西郊,处于高污染带,受冬季燃煤排放及江浙两省工业区排放输送的影响。

综合以上研究结果表明,二次源对上海市

PM_{2.5} 贡献率较大,其次是机动车排放、工业生产、燃煤以及扬尘。原因在于机动车数量庞大,且对二次源的贡献比重较大,其次大型工业生产厂的存在使得工业生产和燃煤贡献率居高不下。

2.2.2 江苏省 PM_{2.5} 源解析

根据南京市环保局数据,南京市 PM_{2.5} 区域传输贡献率范围在 19.6%~37.9% 之间;本地源的贡献率依次为工业 46.4% (其中燃煤 27.4%、工业生产 19.0%)、机动车 24.6%、扬尘 14.1%、其他 14.9%。结果表明,南京市 PM_{2.5} 最主要来源为工业排放。

王苏蓉等运用正矩阵因子法(PMF)对 2012 年南京市的 3 个采样点、4 个季节的 PM_{2.5} 样品进行源解析,得出结果:燃煤 29.6%、机动车 22.4%、工业 18.7%、扬尘 14.6%、其他源 14.7%^[18]。

常州和淮安也分别对当地的 PM_{2.5} 源解析结果进行了分析和公布。常州市 PM_{2.5} 外来源输送占全年平均值在 21%~33% 之间,其余约 7 成来自本地污染排放。其中工业生产过程 25%,燃煤源 23%,扬尘 22%,移动源排放 22%,生物质燃烧、餐饮、农业生产等其他污染源 8%。淮安市环境监测中心数据显示,淮安市空气污染来源主要有:工业源 16%、燃煤 16%、汽车尾气 17%、秸秆焚烧 13%、扬尘和二次无机源 18%、其他 20%。

由以上研究成果看出,南京市 PM_{2.5} 主要来源是燃煤、机动车、工业和扬尘,其中燃煤是南京市 PM_{2.5} 首要污染源,主要与南京市能源结构不合理、燃煤占比居高、机动车数量庞大有关;对于非省会城市如常州、淮安来说,工业和燃煤是主要的污染来源,这与燃煤和工业占比居高的城市能源结构和工业布局有关。

2.2.3 浙江省 PM_{2.5} 源解析

包贞等用 CMB 受体模型对 2006 年杭州两个环境受体点不同季节的 PM_{2.5} 样品进行源解析,污染来源为机动车尾气 21.6%、硫酸盐 18.8%、煤烟尘 16.7%、燃油尘 10.2%、硝酸盐 9.9%、土壤尘 8.2%、建筑水泥尘 4.0%、海盐粒子 1.5%^[19]。可见,扬尘、机动车尾气尘、硫酸盐和煤烟尘是杭州市大气 PM_{2.5} 的主要排放源。

肖致美等于 2010 年对宁波 3 个环境受体点采集的样品进行源解析,结果表明 PM_{2.5} 贡献源有城市扬尘 19.9%、二次硫酸盐 16.9%、机动车尾气 15.2%、煤烟尘 14.4%、二次硝酸盐 9.78%、SOC 8.85%^[20]。可见,城市扬尘是宁波市细颗粒物污染

主要来源,二次污染贡献显著。

俞杰等用 PMF 模型对 2012 年冬季宁波 5 个环境受体点采集的 PM_{2.5} 样品进行源解析,结果表明宁波 PM_{2.5} 来源依次为:二次硫酸盐 29.4%、二次硝酸盐 28.8%、机动车排放 22.2%^[21]。二次硫酸盐、二次硝酸盐和机动车排放是宁波市大气 PM_{2.5} 的主要污染来源,说明宁波市大气污染属于城乡燃煤型污染和机动车尾气污染的混合型污染。

根据金华市环保局调查,金华市 PM_{2.5} 本地污染源中,燃煤、机动车、扬尘为主要贡献源,贡献率依次为 20%、18%、18%。其中,燃煤是本地首要污染源。

综合以上研究结果表明,杭州市 PM_{2.5} 主要来源是二次源、机动车、燃煤及扬尘;宁波主要是二次源、扬尘、机动车和燃煤;金华市主要是燃煤、机动车和扬尘。由于以上研究结果未对二次源进行再解析,因此二次源是杭州、宁波的 PM_{2.5} 首要污染源,机动车、燃煤对杭州市 PM_{2.5} 贡献较大。

对长三角地区,二次源在 PM_{2.5} 中占比最大。对于上海和杭州,机动车排放是首要污染源,其次是工业、燃煤;对南京市来说燃煤是首要污染源,其次是机动车、工业、扬尘。上海市、杭州市机动车数量较大导致尾气排放量在雾霾来源中所占比重较大;江苏省尤其是南京市燃煤是首要污染物,因此应着力控制燃煤量。

2.3 珠三角地区 PM_{2.5} 源解析结果分析

根据广东省环保局发布的消息,广州市 2013—2014 年 PM_{2.5} 主要来源为机动车尾气,其贡献率为 21.7%、燃煤源 20.6%、工业工艺源 11.5%、扬尘 10.4%、其余为生活面源、生物质燃烧源、农业面源,贡献率分别为 8.6%、8.2%、7.8%。可见,机动车、燃煤、工业和扬尘为主要污染源。

深圳市人居环境委研究发现,深圳市 PM_{2.5} 来源有机动车 41%、工业过程 15%、扬尘 12%、远洋船 11%、电厂 8%、海洋 5%、生物质燃烧 3%。机动车尾气排放、工业源污染和扬尘作为主要的污染来源与深圳这一港口城市的地理位置与产业结构有很大关系。受港口物流业的影响,深圳市柴油车、货车等机动车保有量大,机动车尾气排放量较大;深圳市工业大气污染物主要来源于电子、印刷、家具、塑料等制造业的 VOC 排放,经大气化学反应生成 PM_{2.5} 中的有机物,从而成为 PM_{2.5} 来源中主要的部分。

黄晓峰等运用 PMF 模型对 2009 年深圳 PM_{2.5} 进行的采样与分析,结果表明对深圳市 PM_{2.5} 二次

硫酸盐贡献率为30%,机动车26.9%,生物质燃烧9.8%,二次硝酸盐9.3%,冶金、扬尘海盐等2%~4%^[22]。由于未对二次源进行再次解析,因此得出深圳市PM_{2.5}以二次源和机动车尾气排放为主要的污染源。

黄深等对2014年12月31日至2015年1月12日通过单颗粒气溶胶质谱仪对广东茂名市大气中PM_{2.5}源解析结果表明,机动车27.5%,燃煤23.4%,生物质燃烧14.7%,工业工艺源10.9%,二次无机源7.7%,扬尘6%^[23]。可见,茂名市PM_{2.5}污染主要来源为机动车和燃煤。

珠三角地区PM_{2.5}主要污染源是机动车排放,此外,广州市燃煤、工业、扬尘占有较大比重,深圳市工业、扬尘对PM_{2.5}有较大贡献,燃煤和生物质燃烧对茂名PM_{2.5}贡献较大。对以广州、深圳为典型城市的珠三角地区来说,治理机动车污染应放在首位。

3 结论和展望

3.1 结论

通过对京津冀、长三角、珠三角地区PM_{2.5}源解析相关结果的综述,可以得出以下结论:

(1)京津冀地区二次源污染较为严重,尤其以北京、天津为主;京津冀地区各个省市的首要污染源略有不同,北京市以机动车污染为首,天津市以扬尘为首,石家庄市以燃煤为首,这与北京机动车保有量较大、天津建筑尘土壤尘污染显著、石家庄工业产业比重较大的现状有关。

(2)长三角地区,上海和杭州PM_{2.5}首要污染源都是机动车,其次是燃煤、工业等;南京市PM_{2.5}污染源以燃煤为首,可见要想治理长三角地区的PM_{2.5}污染,不仅要降低机动车排放,更要以燃煤、工业生产为切入点进行治理。

(3)珠三角地区的PM_{2.5}首要污染源是机动车,广州、茂名等市第二污染源是燃煤,且仅次于机动车贡献率,深圳第二污染源是工业生产,但远小于机动车贡献率。

(4)三个区域纵向比较来看,北京、上海、杭州、广州和深圳的PM_{2.5}首要污染源都是机动车排放,二三线城市PM_{2.5}污染源以燃煤、扬尘居多,这给各个区域PM_{2.5}防治以及综合治理提供了依据。

3.2 展望

针对目前国内PM_{2.5}污染现状,源解析研究进展及发展态势,PM_{2.5}源解析还需要在未来的研究

中重点关注和发展以下几个方面:

(1)开展多城市PM_{2.5}源解析工作。尽管目前已有多个省市开展并公布了雾霾源解析结果,但由于近年来雾霾污染持续周期长、污染范围广的特点,仅仅开展少数城市源解析工作并不能满足治理雾霾污染的要求,因此需要大范围开展源解析工作,以明确不同城市及区域传输的雾霾来源,为进一步治理雾霾污染、实施联防联控措施提供合理有效的依据。

(2)加强二次源解析工作,进一步明确污染源及PM_{2.5}形成过程。PM_{2.5}来源非常复杂,大部分的PM_{2.5}都不是直接排放形成的,都需要通过二次转化。目前运用受体模型法能够解析出二次源,在今后的研究中还需继续对二次源进行再解析,将发生二次转化的前体物如氮氧化物、二氧化硫及烃的来源反映出来,以更清楚地了解各项来源对PM_{2.5}的贡献率。

(3)结合本地污染特点,综合运用多种解析方法。目前源解析方法大多是单一运用受体模型法或扩散模型,理想的源解析技术是将无机和有机示踪物结合,利用多物种指示源类^[24]。进一步的研究可以考虑将受体模型和源模型法结合,获得同一地区PM_{2.5}时空分布、来源类别及贡献量的全面信息。

(4)加强在线源解析技术,完善突发污染事件源解析研究。目前源解析以离线滤膜采集为主,采样时间通常为24小时,对于突发的污染事件很难解析出短时间内的污染来源及变化规律,未来可以将在线分析仪器与常规解析技术有机结合,完善在线解析技术,这样有利于分析突发雾霾污染来源,有效应对突发雾霾污染事件。

参考文献

- [1] 吕守军,沈星迟,张晓敏. 中国PM_{2.5}治理困局及对策研究——基于环境规制理论视角的分析[J]. 上海交通大学学报(哲学社会科学版),2015,23(6):50-59.
- [2] 王红,齐建国. PM_{2.5}高排放与治理的技术经济思考[J]. 经济纵横,2013,(4):31-36.
- [3] 张延君,郑玫,蔡靖,等. PM(2.5)源解析方法的比较与评述[J]. 科学通报,2015,(2):109-121.
- [4] 何枫,马栋栋. 雾霾与工业化发展的关联研究——中国74个城市的实证研究[J]. 软科学,2015,(6):110-114.
- [5] 陈翔,强天伟,王耀辉. 浅谈PM_{2.5}及其研究方法[J]. 洁净与空调技术,2014,(1):34-36.
- [6] 樊曙先,徐建强,郑有飞,等. 南京市气溶胶PM(2.5)一次来源解析[J]. 气象科学,2005,(6):587-593.
- [7] 程念亮,李云婷,孟凡,等. 我国PM(2.5)污染现状及来源解析研究[J]. 安徽农业科学,2014,(15):4721-4724.

(ultra-filtration, UF)、反渗透(reverse-osmosis, RO)^[7]。

1.1 微滤过程

微滤分离技术是以微滤膜为核心部件,依据筛分原理以压力差作为推动力的膜分离过程。微孔滤膜孔径一般在0.01~10 μm之间,微滤分离技术对大小为0.1~1 μm颗粒有拦截的作用,主要应用于截留颗粒物、液体澄清^[8]、除菌^[9]以及工业中产生的PM_{2.5}的捕集^[10]。

1.2 超滤过程

超滤是在压力差作用下进行的筛孔分离过程,超滤膜孔径一般在2~100 nm,能截留分子直径为5~10 μm、分子量在 $5 \times 10^2 \sim 1 \times 10^6$ 间的分子,操作的压差为0.1~1.0 MPa,其主要应用于含大分子和胶状物质等溶液的提纯、分离,也用于气体的分离^[11]。

1.3 纳滤过程

纳滤是介于反渗透和超滤之间的一种膜分离技术,与超滤分离过程一样,纳滤也是以压力差为驱动力的膜分离过程^[12]。纳滤膜的孔径大约为1 nm,分子截流量为300~500道尔顿,纳滤过程主要用于无机盐和有机小分子的过滤。它具有对单价离子截流量小、高价离子有较大截流量的特性,而且相比于反渗透技术,它的流量较大^[13]。

1.4 反渗透技术

反渗透是以压力差为推动力的膜分离过程,渗

透与反渗透都是通过半透膜来完成。在溶液侧上方施加一定压力 P 大于溶液的渗透压 π 时($P > \pi$),使得溶剂分子从溶质浓度高的溶液侧透过膜流向溶剂侧的数量大于溶剂分子向溶液侧透过的数量,该过程称为反渗透。反渗透技术是目前最重要的、被广泛认可的从盐水制备淡水的一项技术^[14]。

2 国内外有关分离膜的标准

膜产品的相关性能指标繁多,主要有分离透过性能、物理性能和化学性能三大类。其中分离透过性能包括:产水量、水通量、纯水透过率、截留分子量(切割分子量)、截留率、脱盐率、回收率、最大孔径、平均孔径、孔径分布、孔隙率、气密性及完整性等;膜物理性能有:结构性能(外观、膜面积、膜厚、膜内外径)、机械性能(拉伸强度、爆破强度、弯曲强度、柔润指数^[15]、断裂伸长率)、电性能(荷电性、Zeta电位)、亲水性(接触角)及耐热性(最高操作温度)等;膜化学性能有化学稳定性(化学相容性)、抗氧化性(短时余氯耐受限度、过氧化氢耐受限度)、耐酸碱性(运行及清洗pH范围)及耐污染性能等^[16]。

2.1 国际和国外先进标准

截至目前,根据王学军^[1]在膜分离领域相关标准现状与发展需求一文中的数据,分析了分离膜相关的国际和国外相关标准:ISO标准3项,均为与水水质测定相关的方法;欧洲标准4项,为基础标准1项

(上接第5页)

- [8] 魏嘉,吕阳,付柏淋.我国雾霾成因及防控策略研究[J].环境保护科学,2014,(5):51-56.
- [9] 王平利,戴春雷,张成江.城市大气中颗粒物的研究现状及健康效应[J].中国环境监测,2005,21(1):83-87.
- [10] 王琴,张大伟,刘保献,等.基于PMF模型的北京市PM_{2.5}来源的时空分布特征[J].中国环境科学,2015,(10):2917-2924.
- [11] 张霖琳,王超,朱红霞,等.北京混合功能区夏冬季细颗粒物组分特征及来源比较[J].中国环境科学,2016,(1):36-41.
- [12] 杨妍妍,李金香,梁云平,等.应用受体模型(CMB)对北京市大气PM_{2.5}来源的解析研究[J].环境科学学报,2015,(9):2693-2700.
- [13] 李伟芳,王志鹏,史建武,等.天津市环境空气中细粒子的污染特征与来源[J].环境科学研究,2010,(4):394-400.
- [14] 魏欣,毕晓辉,董海燕,等.天津市夏季灰霾与非灰霾天气下颗粒物污染特征与来源解析[J].环境科学研究,2012,25(11):1193-1200.
- [15] 严向宏.上海宝山区大气细颗粒物气溶胶PM_{2.5}特征研究与源解析[D].上海:华东理工大学,2011.

- [16] 马剑丽.上海宝山区PM_{2.5}特征研究与源解析研究[J].环境科学与管理,2014,(4):120-123.
- [17] 王晓浩,赵倩彪,崔虎雄.基于在线监测的上海郊区冬季PM_{2.5}来源解析[J].南京大学学报(自然科学),2015,(3):517-523.
- [18] 王苏蓉,喻义勇,王勤耕,等.基于PMF模式的南京市大气细颗粒物源解析[J].中国环境科学,2015,(12):3535-3542.
- [19] 包贞,冯银厂,焦荔,等.杭州市大气PM_{2.5}和PM₁₀污染特征及来源解析[J].中国环境监测,2010,(2):44-48.
- [20] 肖致美,毕晓辉,冯银厂,等.宁波市环境空气中PM₁₀和PM_{2.5}来源解析[J].环境科学研究,2012,(5):549-555.
- [21] 俞杰,汪伟峰,周军,等.宁波市冬季PM_{2.5}污染特征与来源解析[J].环境科学与技术,2015,(8):150-155.
- [22] 黄晓锋,云慧,宫照恒,等.深圳大气PM_{2.5}来源解析与二次有机气溶胶估算[J].中国科学:地球科学,2014,(4):723-734.
- [23] 黄深,潘要武,刘国盛,等.茂名市大气PM_{2.5}在线源解析[J].环境监控与预警,2015,(4):37-42.
- [24] 郑玫,张延君,闫才青,等.中国PM_{2.5}来源解析方法综述[J].北京大学学报(自然科学版),2014,50(6):1141-1154. ■