

问题研究

大气可吸入颗粒物对环境和人体健康的危害

董雪玲

(中国地质大学 材料科学与工程学院, 北京 100083)

摘要:简要介绍了大气可吸入颗粒物 PM_{10} (空气动力学直径小于或等于 $10(\mu m)$) 的基本特性及污染现状。从能见度、温度、酸雨等方面,阐述了可吸入颗粒物对环境产生的严重影响;依据国内外流行病学研究的结果,概述了可吸入颗粒物对人体呼吸系统、心血管系统、神经系统、生殖系统等造成的较为广泛的损害。同时,也指出了我国进行大气可吸入颗粒物研究的意义。

关键词:可吸入颗粒物;环境;人体健康;危害

中图分类号:X513

文献标识码:A

文章编号:1006-9399(2004)05-0050-04

大气是人类赖以生存的基本环境要素。但随着工业的发展、城市人口的密集、煤炭和石油燃料的迅猛增长,大气环境质量日趋恶化,大气污染已成为影响世界环境和人类身体健康的主要危害因素之一^[1]。由于大气污染物中悬浮颗粒物会对人体健康产生直接的负面影响,从而受到各国政府及有关部门的高度重视。在研究过程中,人们逐渐认识到粒径小于 $10\mu m$ 的颗粒物(即 PM_{10} ,又称为可吸入颗粒物)是悬浮颗粒物中对环境和人体健康危害最大的一类,因此,国际上很重视对 PM_{10} 的研究和防治工作,大多数国家都规定了空气中 PM_{10} 的质量标准。美国国家环保局 EPA 于 1985 年将原始颗粒物指示物质由总悬浮颗粒物(TSP)项目修改为 PM_{10} ,我国也于 1996 年规定了 PM_{10} 的二级质量标准 $100\mu g/m^3$ 。随着认识的发展,美国环保局在 1997 年再一次修改美国国家大气质量标准,规定了 $PM_{2.5}$ 的最高限制值,以降低这些细颗粒物对人体健康和环境的影响。

近几年来,我国的大气污染日益严重,可吸入颗粒物已成为北京等大都市的首要空气污染物^[2], PM_{10} 的污染问题正引起越来越多的关注,有关部门已开展了这方面的研究工作。本文就 PM_{10} 的特性、污染现状, PM_{10} 对环境和人体健康的危害进行综述,以期为国内相关研究提供借鉴。

1 PM_{10} 的基本特性、污染现状

1.1 PM_{10} 的基本特性

PM_{10} 是指空气动力学直径在 $10\mu m$ 以下的固态和液态颗粒物。不能靠自身的重力降落到地面,因此,

又被称为“飘尘”,它在空气中可漂浮几天,甚至几年。其在空气中的迁移特性及最终进入人体的部位都主要取决于颗粒物的粒径大小。研究表明, $10\mu m$ 以下的颗粒物可进入鼻腔, $7\mu m$ 以下的颗粒物可进入咽喉,小于 $2.5\mu m$ 的颗粒物(即 $PM_{2.5}$)则可深达肺泡并沉积,进而进入血液循环,可能导致与心和肺的功能障碍有关的疾病^[3]。

事实上,颗粒物所有的物理化学性质都与粒径有关,所以大气颗粒物粒度的时空分布规律一直是人们关注的焦点之一^[4]。研究结果表明,不同的地区、不同时间,其可吸入颗粒物粒度分布规律各异,其 $PM_{2.5}$ 在 PM_{10} 中所占的比例也不同。例如,在 1987 年的美国加利福尼亚空气质量研究中,所有的取样点的 $PM_{2.5}$ 占 PM_{10} 的 $1/2 \sim 2/3$ 。而在我国台湾地区,其中部和北部 $PM_{2.5}$ 占 PM_{10} 的 $61\% \sim 67\%$,南部为 $54\% \sim 59\%$,台湾省内各大城市的 $PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 的比例波动很大^[5]。

目前已知的 PM_{10} 的化学成分包括可溶性成分(大多数为无机离子,如 SO_4^{2-} 、 NO_3^- 等)有机成分[如多环芳烃(PAHs)、硝基多环芳烃(Nitro-PAHs)等、微量元素、颗粒元素碳(PEC,有时也称为炭黑)等,有时 PM_{10} 上还吸附有病原微生物(细菌和病毒)^[5]。对 PM_{10} 的化学组成研究表明,颗粒物的粒径越小,其化学成分越复杂、毒性越大。这是因为小颗粒的比表面积大,更容易吸附一些对人体健康有害的重金属和有机物,并使这些有毒物质有更高的反应和溶解速度。

1.2 PM_{10} 的污染现状

目前,我国大气可吸入颗粒物的污染状况非常严

收稿日期:2004-08-18;修订日期:2004-08-25;责任编辑:刘英姿。

基金项目:北京市自然科学基金项目(8032012)

作者简介:董雪玲(1971—)女,讲师,博士研究生,从事能源与环境、材料科学的科研和教学工作。

重。1995~1996 年中国环境监测总站对广州、武汉、兰州、重庆 4 大城市进行了为期了两年的 $PM_{2.5}$ 、 $PM_{2.5-10}$ 和 PM_{10} 监测。结果表明^[6]，1995 年 PM_{10} 年均值为 $95\sim 273\mu g/m^3$ ，超过我国空气质量二级标准 28%~173%。 $PM_{2.5}$ 年均值浓度为 $57\sim 160\mu g/m^3$ ，比美国 1997 年颁布的标准值高 2.8~9.7 倍。从 2000 年中国环境状况公报公布的监测结果来看^[7]，统计的 338 个城市中，63.5% 的城市超过国家空气质量二级标准，其中超过三级标准的有 112 个城市，占监测城市的 33.1%。而悬浮颗粒物或可吸入颗粒物年均值超过国家二级标准限值的城市占统计城市的 61.6%。

北京作为首都，空气污染一直是市政府和公众关注的焦点。自 1998 年以来，北京市控制大气污染取得初步成效，空气质量有所好转。1999~2002 年这 4 年的 PM_{10} 年均浓度分别为：180、162、165、 $166\mu g/m^3$ ，均超过国家二级标准 60% 以上。2000~2002 年的市区空气质量日报显示，年内首要污染物为 PM_{10} 的天数分别占全年天数的 85%、87% 和 89%，在空气质量超标日中，首要污染物为 PM_{10} 的天数更是多达 95%、89% 和 96%^[8]。

由此可见，控制 PM_{10} 污染，减少 PM_{10} 对环境和人体健康的危害已经成为当前我国大气污染防治工作的重中之重。

2 PM_{10} 对环境的影响

虽然大气颗粒物只是地球大气成分中含量很少的组分，但对环境的危害极大。轻者污染建筑物表面，影响市容，重者对能见度、温度等均产生重要影响。

2.1 PM_{10} 对能见度的影响

自 20 世纪 70 年代以来，大气颗粒物对能见度的影响就一直是环保部门所关注的问题之一。尽管在大气中只占很少的一部分，但颗粒物对城市大气光学性质的影响可达 99%。大量的研究表明， PM_{10} 和 $PM_{2.5}$ 的性质与能见度的降低密切相关。能见度的降低主要是由于气体分子与颗粒物对光的吸收和散射减弱了光信号，并由于散射作用减小了目标物与天空背景之间的对比度而造成的。

2.1.1 对光的散射效应

光的散射是能见度降低的最主要因素，颗粒物的散射能造成 60%~95% 的能见度减弱。空气分子对光的散射作用很小，其最大的视距（极限能见度）为 $100\sim 300km$ （具体数值与光的波长有关）。在实际的大气中由于颗粒物的存在，能见度一般远远低于这一数值：在极干净的大气中能见度可以达到 30km 以上；在城市污染大气中能见度在 5km 左右甚至更低；在浓雾中能见度只有几米。在大气气溶胶中，主要是粒径为 $0.1\mu m\sim 1.0\mu m$ 的颗粒物通过光的散射而降低物体与背景之间的对比度，从而降低能见度^[9]。

2.1.2 对光的吸收效应

PM_{10} 和 $PM_{2.5}$ 对光的吸收效应通常是使能见度降低的第二大因素。而 PM_{10} 和 $PM_{2.5}$ 对光的吸收几乎全部都是由炭黑（也称元素碳）和含有炭黑的颗粒引起的。每年，世界上排放的炭黑的量占人为颗粒排放量的 1.1%~2.5%，占全部颗粒排放量的 0.2%~1.0%。但是，它们的消光效应却是不可忽视的，因为煤烟的总消光系数是透明颗粒的 2~3 倍，所以大气中少量的煤烟颗粒就可以导致光强降低很多。这些光吸收颗粒物可能会使某些地方的能见度降低一半以上，还可形成烟雾而使城市呈褐色^[5]。

根据气象局的资料，北京市市区的能见度在 20 世纪 80 年代为十几 km，而现在通常仅为 2~3 km。在北京进行的研究表明， $PM_{2.5}$ 与大气能见度线性相关系数高达 0.96。

2.2 PM_{10} 对温度的影响

由于颗粒物的存在，直接阻挡太阳光抵达地球表面，这样使可见光的光学厚度增大，抵达地面的太阳能通量剧烈下降，从而使地面温度降低，高空的温度增高。特别是直径在 $0.1\sim 5\mu m$ 的颗粒，通过散射与吸收太阳与地球辐射在大气能量平衡中起着重要作用。资料表明，当 PM_{10} 浓度达 $100\mu g/m^3$ 时，到达地面的紫外线减少 7.5%；当 PM_{10} 为 $600\mu g/m^3$ 时，到达地面的紫外线减少 42.7%；当 PM_{10} 为 $1000\mu g/m^3$ 时，到达地面的紫外线减少 60%。Rasool 等^[10]估计，全球本底不透明度增加四倍，将使全球温度降低 $3.5^{\circ}C$ 之多，这么大的降温幅度如维持若干年，相信足以引起一个冰河期。

2.3 PM_{10} 的酸碱度及其缓冲能力

大气颗粒物对降水有不可忽视的影响。颗粒物中凝结核的成云作用和降水对颗粒物的冲刷作用均可以使颗粒物进入降水或云水中。同时，云水在空中迁移流动过程中也会吸收空气中的颗粒物，其中的各种化学成分进入云水或降水体系后，会发生一系列的复杂变化，并影响或决定云水和降水的污染性质。颗粒物影响和决定降水化学性质的一个重要方面是它的酸碱性质和对酸的缓冲能力。据周福民等对北京中关村气溶胶的研究认为，气溶胶的酸性组成主要分布于粒径 $1.5\mu m$ 以下的细粒子中，且气溶胶的酸性与细粒子中的 SO_4^{2-} 和 NH_4^+ 有良好的相关性。王玮等认为，近地面大气气溶胶中粒径较大的粒子比较多，这些粒子主要来源于风沙扬尘和土壤颗粒。通常上述粒子含有较多的碱性物质，所以具有一定的碱性，可在一定程度缓冲降水中的酸性物质。反之，空中大气气溶胶中粒径较小的细粒子相对较多，这些粒子主要来源于燃料燃烧等人为活动，其中含有经过酸性污染物 SO_2 和 NO_x 转化形成的硫酸盐和硝酸盐，所以，这部分粒子

通常具有较强的酸性,极有可能促进降水的酸化^[11]。

3 PM₁₀对人体健康的危害

在五大洲至少 35 个不同国家和地区进行的研究表明,空气中颗粒物的水平与人体健康存在着一定的关系。由于 PM₁₀ 更易于进入人体,在环境中滞留时间更长,以及吸附的重金属和有毒有害的物质较多,因而对人体的危害也更大。国外进行的大量有关 PM₁₀ 的流行病学研究表明^[12],可吸入颗粒物浓度的增加与疾病的发病率、死亡率密切相关,尤其是呼吸系统疾病及心肺疾病。目前已知的可吸入颗粒物对人体的危害主要包括以下几方面。

3.1 呼吸系统

大量研究发现,大气中 PM₁₀ 浓度的上升容易引起上呼吸道感染、使鼻炎、慢性咽炎、慢性支气管炎、支气管哮喘、肺气肿、尘肺等呼吸系统疾病恶化。PM₁₀ 每增加 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$,成人男女感冒咳嗽的发生率分别升高 4.81% 和 4.48%。同时,成年男性患支气管炎的比率增加 5.13%^[13]。Norris 等发现西雅图城市儿童哮喘急诊人数与细颗粒物(粒径小于 1 μm)的污染水平显著相关,当细颗粒物浓度上升 11 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 时,急诊人数增加的相对危险度(RR) = 1.15 (1.08~1.23)^[14]。

另外,过多的可吸入颗粒物的沉积会损害肺部呼吸氧气的能力,使肺泡中巨噬细胞的吞噬功能和生存能力下降,导致肺部排除污染物的能力降低。空气中 PM₁₀ 每增加 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$,肺功能下降 1%^[15]。1994 年,国家环保总局与美国国家环保局合作开展了一项“大气污染对人体呼吸健康影响研究”的课题,通过对广州、武汉、兰州、重庆 4 个城市几年的跟踪调查,数据表明,大气颗粒物浓度(尤其是小颗粒物)与儿童肺功能异常率存有明显的相关性^[16]。

3.2 对心血管疾病的影响

由颗粒物引起的心脏自主神经系统在心率、心率变异、血粘度等方面的改变能增加突发心肌梗死的危险。人暴露在高浓度 PM_{2.5} 中,会增加血液的粘稠度和血液中某些白蛋白,从而引起血栓。Costa 的研究指出^[17],可吸入颗粒物对健康的影响在中年以上和已患心脏疾病的人群中表现得较为明显,认为可吸入颗粒物是引起心脏病的因子之一。Zanobetti 等人^[18]的研究发现有呼吸系统疾病并受可吸入颗粒物影响的心血管病人,其住院率比较高。

3.3 生殖系统

通常认为,大气颗粒物的污染与人类生殖功能的改变显著相关。许多研究发现大气颗粒物的浓度与早产儿、新生儿死亡率的上升,低出生体重、宫内发育

迟缓(IURG)及先天功能缺陷具有显著统计学相关性,最新研究指出大气颗粒物对生殖系统的影响不仅表现为造成胎儿出生时形态畸形,而且会导致一些细微的功能缺陷,而影响其一生。由于一些具有潜在毒性的元素,如铅、镉、镍、锰、钒、溴、锌和苯并(a)芘等多环芳烃(PAHs),主要吸附在直径小于 2.5 μm 的颗粒物上,而这些小颗粒易沉积于肺泡区,容易被吸收入血液,故细颗粒物的吸入对生殖系统的影响不容忽视。Dejmek 等^[19]对波希米亚北部的一组孕妇进行研究发现,对于高浓度的 PM_{2.5} 暴露(>37 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)孕妇出现 IURG 的机率为 2.11 (1.20~3.70),表明高浓度的细颗粒物污染可能会影响胚胎的发育。

3.4 神经系统

在城市中的可吸入颗粒物,许多是由机动车尾气产生的。含铅汽油燃烧后生成的铅化物微粒(含氧化铅、碳酸铅)扩散到大气中,随呼吸道进入人体而影响身体健康。研究表明,铅对人体神经系统有明显的损害作用,可影响儿童智力的正常发育。母体接触铅污染后,后代可以出现神经系统发育异常。小于 1 μm 的含铅颗粒物在肺内沉积后,极易进入血液系统,大部分与红细胞结合,小部分形成铅的磷酸盐和甘油磷酸盐,然后进入肝、肾、肺和脑,几周后进入骨内,导致高级神经系统紊乱和器官调解失能,表现为头疼、头晕、嗜睡和狂躁严重的中毒性脑病^[2]。

3.5 具有致癌、致突变、致残作用

石油、煤等化石燃料及木材、烟草等有机物在不完全燃烧过程中会产生多环芳烃(PAHs),排放的 PAHs 可直接进入大气,并吸附在颗粒物,特别是直径小于 2.5 μm 的细颗粒物上。由于 PAHs 具有致癌、致突变、致残作用,因此对人体健康危害极大,其中代表物苯并(a)芘(BaP)是最具致癌性的物质,能诱发皮肤癌、肺癌和胃癌。另外,空气中的 PAHs 可以和 O₃、NO_x、HNO₃ 等反应,转化成致癌或诱变作用更强的化合物,从而对人体健康构成威胁。

3.6 增加死亡率

虽然对于健康人而言,PM₁₀ 不是直接的致死因素,但是却可以导致患有心血管病、呼吸系统疾病和其他疾病的敏感体质患者的死亡。据报道,仅 PM₁₀ 就导致美国每年 6 万人和英国每年 1 万人的死亡^[20,21]。在美国犹他谷进行的 PM₁₀ 流行病学研究表明,PM₁₀ 日均质量浓度增加 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$,死亡率平均增加 4%~5%。PM₁₀ 超过 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 时,死亡率比 PM₁₀ 小于 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 时平均高出 11%^[22]。据 Ostro 等在泰国曼谷的研究,当 PM₁₀ 日平均增加 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 时,总死亡率增加 1~2%,其中呼吸道疾病死亡率增加 3~6%,心血管疾病死亡率增加 1~2%^[23]。由于许多对人体具有潜在危害的物质,如酸、重金属、PAHs 等,主要集中在 PM_{2.5} 上,因此,可认为大气中 PM_{2.5} 浓度

的增加会导致发病率和死亡率的增加。Schwartz.J 等的研究发现^[24], PM_{2.5} 平均每日增加 10μg/m³, 总死亡率增加 1.5%。其中, 顽固性肺病死亡率增加 3.3%, 局部缺血性心脏病死亡率增加 2.1%。

Saldira 在 1995 年进行了空气污染与老年人死亡率的时间动态研究, 分析结果经气候因素校正后, PM₁₀与老年人死亡率之间具有显著相关性, 呈近似线性的剂量反应关系。当 PM₁₀ 为 100μg/m³, 超额死亡率增加近 13%^[25]。

综上所述, PM₁₀对人类健康有着明显的直接危害作用, 可引起机体呼吸系统、心脏及血液系统、生殖系统和内分泌系统等广泛的损伤。但到目前为止, PM₁₀对人体健康影响的作用机理还不十分清楚。因此, 有关 PM₁₀对人体的致病机制还有待于进一步研究。

4 结语

我国对大气可吸入颗粒物的研究起步较晚, 相应研究也较少, 仅为一些地区和单位进行的单项研究工作, 还没有进行过系统的研究。鉴于我国可吸入颗粒物的污染现状及其对环境和人体健康造成的巨大危害, 加强大气颗粒物特别是可吸入颗粒物的基础研究, 如其物理化学性质、流行病学研究、毒理学研究以及对能见度的污染研究等, 对我国制定环境空气质量标准, 确定控制对策和明确控制颗粒物污染所要采取的具体措施, 都将提供有益和直接的帮助。

参考文献

[1] 阚海东, 陈秉衡. 我国大气颗粒物暴露与人群健康效应的关系[J]. 环境与健康. 2002, 19(6): 422~424

[2] 李红, 曾凡刚, 邵龙义等. 可吸入颗粒物对人体健康危害的研究进展[J]. 环境与健康. 2002, 19(1): 85~87

[3] Dockery D W, Pope III C A. Annu. Rev. Public Health[M]. 1994 (15): 107~132

[4] 张大年. 城市大气可吸入颗粒物的研究[J]. 上海环境科学, 1999, 18(4): 154~157

[5] 刘大锰, 李运勇, 蒋伯坤, 等. 北京首钢地区大气颗粒物中有机污染物的初步研究[J]. 地球科学. 2003, 28(3): 275~280

[6] 魏复盛, 滕恩江, 吴国平, 等. 我国 4 个大城市空气 PM_{2.5}、可吸入颗粒物污染及其化学组成[J]. 中国环境监测. 2001, 17(7): 1~6

[7] 丁瑞强, 王式功, 尚可政, 等. 空气污染与健康[J]. 甘肃环境研究与监测. 2002, 15(1): 50~53

[8] 赵越, 潘钧, 张红远, 等. 北京地区大气中可吸入颗粒物的污染现状分析[J]. 环境科学研究. 2004, 17(1): 67~69

[9] 杨复沫, 马永亮, 贺克斌. 细微大气颗粒物 PM_{2.5}及其研究概况[J]. 世界环境. 2000(4): 32~34

[10] [美] H. 塞思菲尔德. 空气污染—物理和化学基础[M]. 北京: 科学出版社, 1986

[11] 蒋红梅, 王定勇. 大气可吸入颗粒物的研究进展[J]. 环境科学动态. 2001(1): 11~15

[12] Berube K A. Electron microscopy of urban airborne particulate matter[J]. Microscopy Anal. 1997: 11~13

[13] 吴国平, 胡伟, 滕恩江, 等. 室外空气污染对成人呼吸系统健康的影响[J]. 中国环境监测. 2001(17): 33~38

[14] 戴海夏, 宋伟民. 大气 PM_{2.5}的健康影响[J]. 国外医学卫生学分册. 2001, 28(5): 299~303

[15] 董兆举, 潘小川, 王黎华, 等. 皖西南农村地区空气污染水平调查[J]. 环境与健康. 2001, 18(5): 286~288

[16] 魏复盛, 胡伟, 吴国平, 等. 空气污染对儿童肺功能指标影响的初步分析[J]. 中国环境监测. 2001(增刊): 61~66

[17] Costa D L. Particulate matter and cardiopulmonary health: a perspective[J]. Inhalation Toxicol. 2000(12): 35~44

[18] Zanobetti A, Schwartz, Gold D. Are there sensitive subgroups for the effects of airborne particles? [J]. Environ Health Perspect, 2000, 108(9): 841~845

[19] Dejmek J. Environ Health Perspec[J]. 1999, 107(6): 475~480

[20] [英] 德利克·埃尔森. 烟雾警报—城市空气质量管理[M]. 北京: 科学出版社. 1999

[21] 邵龙义, 时宗波, 黄勤. 都市大气环境中可吸入颗粒物的研究[J]. 环境保护, 2000(1): 24~29

[22] 边归国. 影响人类健康的可呼吸性和可吸入颗粒物的研究近况[J]. 福建环境. 2003, 20(3): 43~45

[23] Ostro B, Chestnat L, Vichit-Vadakan N et al. The impact of particulate matter on daily mortality in Bangkok, Thailand[J]. J. Air & Waste Manage. Assoc. 1999(49): 100

[24] Schwartz J, Dockery D W, Neas L S. Is daily mortality associated specifically with fine particles[J]. J. Air & Waste Manage. Assoc. 1996(46): 927

[25] 韦冬萍. 大气污染对健康的影响[J]. 广西预防医学. 2001(增刊): 104~106

[26] 高晴. 加拿大的矿业环境保护[J]. 资源·产业. 2003(4)

IMPACT OF INHALABLE PARTICLES IN ATMOSPHERE ON ENVIRONMENT AND HUMAN HEALTH

DONG Xue-ling

(School of Materials Science and Engineering, China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

Abstract : This paper briefly presented the basic characteristics and pollution state of inhalable particles (PM₁₀, Dp≤10μm). The serious impacts of inhalable particles on the environment such as visibilities, temperature and acid rain were then described. Based on the research results of epidemiological study the wide range damage on respiratory, cardiovascular, nerve and procreation systems caused by inhalable particles was summarized. At the same time, the significance of the study for inhalable particles in China was also indicated.

Key words : inhalable particles (PM₁₀); environment; human health; impact