

灰霾监测研究进展

姚玉刚, 邹强, 张仁泉, 顾钧, 朱燕玲, 丁黄达, 张晓华
(苏州市环境监测中心站, 江苏 苏州 215004)

摘要: 随着国家对灰霾监测的日益重视以及人们对灰霾危害认识的加深, 国内许多城市建立了灰霾测站, 逐步开展灰霾监测相关研究。从灰霾监测因子、灰霾天气气溶胶特征以及形成机理等方面综述了近年来国内外学者灰霾研究成果, 并对灰霾监测进行了展望, 供相关技术和管理人员参考。

关键词: 灰霾; 污染监测; 进展

中图分类号: X823

文献标识码: A

文章编号: 1674-6732(2012)-05-0014-04

Progress in the Study of Haze Monitoring

YAO Yu-gang, ZOU Qiang, ZHANG Ren-quan, GU Jun, ZHU Yan-ling, DING Huang-da, ZHANG Xiao-hua
(Suzhou Environmental Monitoring Central Station, Suzhou, Jiangsu, 215004, China)

ABSTRACT: Many haze monitoring stations were established in domestic cities in China with more understanding and attention of haze hazard and monitoring. Studies on haze monitoring were reviewed including the factors of haze monitoring, aerosol characteristics and formation mechanism. Three prospects of haze monitoring were proposed for management and technicians.

KEY WORDS: haze; monitoring; progress

大量极细微的干尘粒等均匀地悬浮在空中, 使水平能见度小于 10.0 km 的空气普遍混浊现象, 称为霾(haze)^[1]。中国部分地区也将受到人类活动显著影响的霾称为灰霾(Brownish haze), 它已成为灾害性天气现象之一^[2]。随着环境监测技术的发展, 灰霾监测技术、形成机理等研究都有了长足的进步。笔者从灰霾监测项目、气溶胶特征、形成机理等方面综述了近年来国内外学者对灰霾监测的研究现状, 并对灰霾监测今后的研究方向作了展望, 为灰霾监测的进一步发展提供借鉴。

1 灰霾监测现状

1.1 灰霾监测因子

目前, 灰霾监测因子集中在能见度、颗粒物特征和各种气态污染物的化学组成等。表 1 列举了前述 3 个方面的仪器种类、测量原理及监测因子。灰霾监测仪器可根据具体的监测项目来选择^[3]。

此外, 灰霾监测因子还包括同期气象要素监测, 如辐射、气温、相对湿度、风速和风向等常规气象参数, 以综合评价灰霾监测数据。

表 1 灰霾监测因子

因子	仪器	工作原理	指标
能见度	长波透射计、浊度计、黑碳仪、激光雷达、卫星遥感等	光学特性: 光线强弱和能见度单位距离成正比	消光系数、散射系数、吸光系数、气溶胶浓度在垂直断面上的时空分布、大尺度、长时间序列的污染物时空分布特征和变化趋势
	锥形振荡天平法、β射线仪、X射线衍射和颗粒物二次电子成像系统、粒径谱仪、颗粒物采样器	惯性碰撞、截留、重力沉降、静电吸引、热力或扩散	粒径、浓度等

收稿日期: 2011-11-09

作者简介: 姚玉刚(1983—), 男, 工程师, 博士, 从事环境监测、自动监测工作。

续表 1

因子	仪器	工作原理	指标
化学组分	离子色谱、 气相色谱、有 机碳/无机碳 分析仪等	液相色谱 法、气相色 谱法、热光 透射法	阴离子、阳离 子、硫酸盐、硝酸 盐、挥发性有机 物、有机碳、无机 碳等

1.2 灰霾天气的气溶胶

气溶胶是悬浮在大气中的固态粒子或液态小滴物质的统称,通过比较灰霾日与非灰霾日的气溶胶化学组成^[4],不仅可以通过气溶胶的化学组成揭示污染物特征,还可以通过颗粒物的粒径大小判别污染物来源。灰霾天气条件下,GENG 发现韩国仁川市的气溶胶化学组成有:元素碳、有机碳、硫酸铵和硫酸氢铵、海盐、矿物尘埃(铝硅酸盐、二氧化硅、碳酸钙、碳酸钙镁复合物等)、飘尘等^[4]。TI-PETT 分析了美国圣路易斯市的细颗粒物($PM_{2.5}$)构成,由以下三部分组成:(1)钠、镁、铝等 48 种元素;(2)硫酸盐、硝酸盐、铵离子等;(3)总碳、元素碳、有机碳和碳酸盐^[5]。LI 发现北京极细颗粒物(PM_1)的化学组成主要有铵盐、硫酸盐、煤烟、硫酸钾、硝酸钾和有机物^[6]。此外,杨卫芬的研究结果表明,南京市 Se、Cu、Hg 和 Bi 富集程度明显增高^[7],上海则 Ni、Cu、S 和 Zn 的富集程度明显提高^[8]。从上述研究结果可以看出,不同城市在灰霾天气条件下的化学组分相比正常条件下有较大差异,各种化学元素在气溶胶中所占的比例也发生了明显变化。如广州灰霾天气相比非灰霾天气中有机碳和元素碳浓度在可吸入颗粒物(PM_{10})中的比例明显升高^[9]。

此外,范雪波通过颗粒物粒径分析,发现灰霾天中的颗粒物主要由人为源贡献,非灰霾天却为自然源^[8]。当人为排放的 SO_2 和 $PM_{2.5}$ 减少时,灰霾天数表现出下降趋势^[10],于群在广州的研究也表明,灰霾天数与 PM_{10} 的下降趋势保持一致^[11]。

1.3 灰霾形成机理

1.3.1 能见度降低

能见度降低主要是由于物体和背景之间的对比度减小,以及细粒子和气态污染物对光的吸收和散射,使来自物体的光信号减弱造成的^[12]。受吸湿因子的影响,颗粒物的粒径增加会显著降低能见度^[13]。如 $PM_{2.5}$ 中水溶性无机离子(NO_3^- 、 SO_4^{2-} 、 NH_4^+)和含碳组分常常有损能见度^[14]。农业生物

质燃烧大量释放气态或气溶胶态物质会严重影响能见度^[6,15]。能见度与 PM_{10} 、 NO_2 的质量浓度呈反比^[16]。贺克斌认为硫酸盐、硝酸盐及含碳组分是引起北京能见度降低的主因^[17]。南京能见度下降的主因也是硫酸盐,其次为有机碳和黑碳^[18]。

1.3.2 颗粒物来源和浓度

灰霾天气的本质是细粒子(直径小于 $10\ \mu m$ 的颗粒物)气溶胶污染^[19],大量极细颗粒物主要来自于人为排放源和气溶胶相变(如: $SO_2 \rightarrow$ 硫酸盐; $NO_x \rightarrow$ 硝酸盐;气态碳氢化合物 $\rightarrow$ 次要有机物等)^[20]。香港上空的 $PM_{2.5}$ 主要来自交通运输过程^[21]。根据 SO_4^{2-} 与 SO_2 显著线性相关,温天雪推断燃煤是北京采暖季 PM_{10} 中硫酸盐的主要来源^[22]。受采样时段、采样地点和气象条件的影响,各地区的颗粒物浓度存在较大差异(表 2 中以 $PM_{2.5}$ 浓度为例)。

表 2 部分城市 $PM_{2.5}$ 的平均浓度

城市	时间段	颗粒物	质量浓度/ ($mg \cdot m^{-3}$)	参考文献
北京	2005 年夏季	$PM_{2.5}$	0.088	[23]
上海	2006—2010 年	$PM_{2.5}$	0.044 ~ 0.053	上海市环境监测中心
纽约	2008 年	$PM_{2.5}$	0.010 ~ 0.013	[24]
洛杉矶	2008.6.19 ~ 2008.8.1	$PM_{2.5}$	0.020 ~ 0.070	[25]
德黑兰	2007.7 ~ 9	$PM_{2.5}$	0.098	[26]
	2008.1 ~ 3	$PM_{2.5}$	0.184	
南昌	2007 年夏季	$PM_{2.5}$	0.088	[27]
	2007 年冬季	$PM_{2.5}$	0.110	
南京	2007.6— 2008.5	$PM_{2.5}$	0.103	[7]
西安	2005.9— 2006.9	$PM_{2.5}$	0.072	[28]

1.3.3 气象条件

当依据颗粒物进行灰霾评价时,还需要综合考虑相对湿度、风速和气温等气象条件的影响。灰霾常呈现出区域性、复合型的变化特征,主要形成于大气层结稳定、风速较低、逆温较强的情况^[29]。特别易于在稳定天气条件、大气污染物高排放区域形成^[30]。风速、相对湿度、 $PM_{2.5}$ 浓度是灰霾天气形成的主要因素^[18]。灰霾常见于冬、春季,与常规三项污染物(SO_2 、 NO_2 和 PM_{10}) 的浓度关系不大^[31]。

颗粒物浓度与温度、风速成反比,而与相对湿度、逆温现象成正比^[32]。太阳辐射和气温等气象条件也会对硫酸盐、硝酸盐气溶胶浓度产生影响^[17]。

武汉市灰霾与沙尘暴和二次气溶胶的生成密切相关^[33]。韩国仁川市的灰霾形成于停滞的气象条件(低风高湿)背景下,与机动车尾气、生物燃烧有关,并假设中国东部地区的灰霾传输对仁川市的灰霾形成也有一定影响^[4]。

综上所述,由于灰霾成因非常复杂,解释灰霾成因需要基于天气背景、排放源动态变化、周边城市产业结构变化和区域的污染物传输机制等研究,各项研究亟待加强。目前多数针对灰霾的研究主要从3个方面探讨灰霾机理。一方面,从灰霾日和非灰霾日各种污染要素、气象要素等的对比分析研究^[4],通过分析灰霾气溶胶可以发现导致灰霾天气的污染物类型,按照统计方法算出各污染物的比例,发现其内在联系。另一方面,分析局地污染源(如交通路口)和区域灰霾中污染物之间的关联,从代表性的角度加以阐述^[25]。此外,可基于某一次灰霾事件开展的天气背景和污染物传输特征研究^[9],研究单次灰霾天气成因。

2 灰霾监测展望

2.1 灰霾联合监测

Ramanathan 通过区域试验(印度洋)和卫星数据发现,区域灰霾不仅仅局限于城市,而在全球均有广泛分布^[34]。长江中下游地区霾的增加是造成太阳总辐射减少的主要原因之一。灰霾还可与温室气体相互作用,对区域乃至全球变化产生深远影响,有可能会改变气候变化、水循环、农业生产和健康等诸多问题。考虑到灰霾与全球环境变化学科之间的关联,联合监测灰霾已成为大势所趋。一方面,为深入研究灰霾本质和污染物特征提供高效的体制支持,需要打破部门分割,如环保、气象、卫生、交通和科研院所等部门联合监测,做到各有侧重和资源优化,避免重复建设。另一方面,为解决灰霾治理中的纠纷问题,需要打破区域分割,各国家与各地区之间进行灰霾监测信息交流,共同治理环境空气质量和制定相关环境决策,为治理灰霾提供有力的技术支撑。

2.2 监测指标拓展

未来灰霾监测需要在现有灰霾评价体系的基础上进一步拓宽监测指标和监测范围。可通过以

下步骤逐步完善灰霾监测指标体系建设:第一步,通过调整国家和地方灰霾监测网的功能和布局,在现有监测点位的基础上获得第一手监测资料。第二步,将监测数据输入到数据库中,开展数据同化和数据分析,深入挖掘数据内涵,得出指导性结论。第三步,根据指导性结论,各地根据地方特点增加监测指标,并参考环境空气质量标准,可制定严于国家标准的地方标准。第四步,通过国际交流和参考国外先进测霾经验,对监测指标的生态效应加以评估,量化指标的影响。此外,搜集的监测网络灰霾数据也可以提供给科研机构 and 大专院校,便于开展多角度、多层次的科学研究工作,拓展灰霾监测指标体系。

2.3 灰霾健康风险影响评价

现行的灰霾评价与人性化评价还有差距,人性化评价是健康评价的需要,也将成为主导灰霾监测目标的一个重要因素。如传统的空气污染指数(API)对公众健康的关注较少,加拿大新近采用AQHI(环境空气健康指数)替代了环境空气质量(AQI)的评价体系,选用AQHI的理由是该指数与健康威胁密切相关。两者的区别在于:(1)AQI评价体系主要反映空气污染物的具体水平,AQHI却反映同等空气质量水平下的健康威胁。(2)AQI评价体系由一种污染物的最高分指数决定,AQHI评价体系由每一种污染物的健康威胁综合而成。具体到污染物而言,DADVAND对英国东北部10年间(1993—2003年)的大气污染物和先天性心脏病的出现频率之间的关联进行了研究,发现CO和NO影响较大,而SO₂、O₃和PM₁₀影响相对较弱^[35]。BRANIS在捷克布拉格的研究结果表明,餐馆内PM_{2.5}含量最高(1 103 μg/m³)、次高值出现在室内壁炉附近(420 μg/m³),而最低值则出现在郊区(25 μg/m³)^[36]。

因此,为客观评价灰霾的健康风险影响,除了向社会定期公告空气质量状况以外,环保部门还要针对灰霾对人群健康效应的可能影响(如易感人群,如老人、儿童、孕妇和哮喘病人等),出台相应的应对标准和管理方法。

[参考文献]

- [1] 中国气象局,2010. 霾的观测和预报等级,中华人民共和国气象行业标准[M]. 北京:气象出版社.
- [2] 高歌,1961—2005年中国霾日气候特征及变化分析[J]. 地

- 理学报, 2008, 63(7): 761-768.
- [3] 丁铭, 郁建桥, 钟声, 等. 江苏省灰霾监测现状与发展的探讨[J]. 环境科技, 2009, (增刊2): 80-83.
- [4] GENG H, RYU J, MASKEY S, et al. Characterization of individual aerosol particles collected during a haze episode in Incheon, Korea using the quantitative ED-EPMA technique[J]. Atmospheric chemistry and physics discussions, 2010(10): 26641-26676.
- [5] TIPPETT L, MADRAS J, DAVIS M, et al. Quality assurance project plan for PM_{2.5} speciation for St. Louis City[M]. Jefferson City: Missouri.
- [6] LI W J, SHAO L Y, BUSECK P R. Haze types in Beijing and the influence of agricultural biomass burning[J]. Atmospheric Chemistry and Physics, 2010(10): 8119-8130.
- [7] 杨卫芬, 银燕, 魏玉香, 等. 霾天气下南京 PM_{2.5} 中金属元素污染特征及来源分析[J]. 中国环境科学, 2010, 30(1): 12-17.
- [8] 范雪波, 吴伟伟, 王广华, 等. 上海市灰霾天大气颗粒物浓度及富集元素的粒径分布[J]. 科学通报, 2010, 55(13): 1221-1226.
- [9] 谭吉华, 赵金平, 段青春, 等. 广州典型灰霾期有机碳和元素碳的污染特征[J]. 环境污染与防治, 2009, 31(3): 105-108.
- [10] SCHICHTEL B A, HUSAR R B, FALKE S R, et al. Haze trends over the United States, 1980-1995[J]. Atmospheric Environment, 2001, 35: 5205-5210.
- [11] 于群, 杨华. 广州市近年空气质量现状及趋势分析[J]. 中国环境监测, 2010, 26(4): 74-77.
- [12] 白志鹏, 董海燕, 蔡斌彬, 等. 灰霾与能见度研究进展[J]. 过程工程学报, 2006, 6(增刊2): 36-41.
- [13] EPA. Visibility Monitoring Guidance. U. S. Environmental Protection Agency- Emissions Monitoring and Analysis Division, Research Triangle Park, NC, pp. 227.
- [14] KANG S, HWANG H, PARK Y, et al. Chemical compositions of subway particles in Seoul, Korea determined by a quantitative single particle analysis [J]. Environment Science and Technology, 2008, 42: 9051-9057.
- [15] 谢鸣捷, 王格慧, 胡淑圆, 等. 南京夏秋季大气颗粒物和 PAHs 组成的粒径分布特征[J]. 中国环境科学, 2008, 28(10): 867-871.
- [16] 童尧青, 银燕, 钱凌, 等. 南京地区霾天气特征分析[J]. 中国环境科学, 2007, 27(5): 584-588.
- [17] 贺克斌, 杨复沫, 段凤魁, 等. 大气颗粒物与区域复合污染, (清华大学百年校庆环境科学与工程系列著作)[M]. 北京: 科学出版社.
- [18] 胡荣章, 刘红年, 张美根, 等. 南京地区大气灰霾的数值模拟[J]. 环境科学学报, 2009, 29(4): 808-814.
- [19] 吴兑, 邓雪娇, 毕雪岩, 等. 都市霾与雾的区分及粤港澳的灰霾天气观测预报预警标准[J]. 广东气象, 2007, 29(2): 5-10.
- [20] KIM F. A new method to determine tissue specific tissue factor thrombomodulin activities-endotoxin and particulate air pollution induced disbalance[J]. Thrombosis Journal, 2008, 6(1): 6-14.
- [21] LO J C F, LAU A K H, YUAN Z B, et al. A physical modeling approach for identification of source regions of primary and secondary air pollutants[J]. Atmospheric chemistry and physics discussions, 2006, 6: 6467-6496.
- [22] 温天雪, 王跃思, 张凯. 采暖季北京大气 PM₁₀ 硫酸盐与硫酸化率的观测研究[J]. 中国科学院研究生院学报, 2007, 24(5): 584-589.
- [23] 董雪玲. 北京市大气颗粒物中有机污染特征及来源判识, 中国地质大学(北京)博士学位论文[D]. 北京.
- [24] LEVY J I, HANNA S R. Spatial and temporal variability in urban fine particulate matter concentrations. Environmental Pollution[J], In Press, Corrected Proof. 2010.
- [25] BOARNET M G, HOUSTON D, EDWARDS R, et al. Fine particulate concentrations on sidewalks in five Southern California cities[J]. Atmospheric Environment, In Press, Corrected Proof. 2011.
- [26] HALEK F, KIANPOUR R M, KAVOUSIRAHIM A. Seasonal variation in ambient PM mass and number concentrations (case study: Tehran, Iran) [J]. Environmental Monitoring and Assessment, 2010, 169(1-4): 501-507.
- [27] 彭希珑. 南昌市大气 PM₁₀、PM_{2.5} 的污染特征及来源解析南昌大学[D], 南昌.
- [28] 李丽珍, 沈振兴, 杜娜. 霾和正常天气下西安大气颗粒物中水溶性离子特征[J]. 中国科学院研究生院学报, 2007, 24(5): 674-679.
- [29] 刘伟, 韩毓. 灰霾天气城市空气污染程度判据指标体系建立的探讨[J]. 中国环境监测, 2009, 25(3): 86-89.
- [30] SUN Y, ZHUANG G, TANG A A, et al. Chemical Characteristics of PM_{2.5} and PM₁₀ in haze-fog episodes in Beijing[J]. Environment Science, 2006, 40: 3148-3155.
- [31] 宋跃群, 徐跃, 钟良明, 等. 温州市区灰霾天气发展趋势及影响因素[J]. 环境科学与管理, 2011, 7.
- [32] 车瑞俊, 刘大猛, 袁杨森. 北京市冬季大气颗粒物污染水平和影响因素研究. 中国科学院研究生院学报[J], 2007, 24(5): 556-563.
- [33] FENG Q. Variations of PM₁₀ concentrations in Wuhan, China [J]. Environmental Monitoring and Assessment, 2011, 176(1-4): 259-271.
- [34] RAMANATHAN V. Atmospheric brown clouds: Hemispherical and regional variations in long-range transport, absorption, and radiative forcing[J]. Journal of Geophysical Research-Atmospheres, 2007, 112(D22S21): 26.
- [35] DADVAND P, RANKIN J, RUSHTON S, et al. Ambient air pollution and congenital heart disease: A register-based study [J]. Environmental Research, 2011, 111(3): 435-441.
- [36] BRANIS M, KOLOMAZNIKOVA J. Year-long continuous personal exposure to PM_{2.5} recorded by a fast responding portable nephelometer[J]. Atmospheric Environment, 2010, 44(24): 2865-2872.

(本栏目编辑 周立平)