

1981~2010 年深圳市不同等级霾天气特征分析

王明洁^{1,2*}, 朱小雅², 陈申鹏¹ (1. 深圳市国家气候观象台, 广东 深圳 518040; 2. 深圳市气象局, 广东 深圳 518040)

摘要: 利用 1981~2010 年深圳市地面观测及空气质量监测资料, 分析深圳不同等级霾天气的长期变化特征以及大气水平能见度、空气质量与霾的关系。结果表明: 深圳霾日数总体呈增多趋势, 强度增强, 中度以上霾增多; 各等级霾日数均呈增多态势, 但不同等级霾日占年总霾日的比例变化趋势不同, 轻微霾所占比例下降, 轻度以上霾上升; 霾天气呈现冬季>秋季>春季>夏季的季节特征, 但重度霾却是夏季最多; 霾导致大气水平能见度明显下降, 霾日平均能见度较非霾日低 6~7km, 霾等级越高, 能见度下降越明显, 霾日能见度日变化幅度较非霾日小; 霾日 SO_2 、 NO_2 浓度为非霾日的 1.4~1.7 倍, PM_{10} 是非霾日的 2.2 倍, 大气颗粒物污染加剧可能是深圳能见度恶化、霾天气增多的一个重要原因; 针对荔香站霾日 SO_2 浓度日变化不明显, PM_{10} 、 NO_2 浓度呈双峰型分布, 与上下班时段吻合, 说明机动车的增加也是深圳霾天气增多的主因之一; 霾等级越高, 空气中 PM_{10} 、 SO_2 、 NO_2 的浓度越高, 从轻微到重度霾各级之间 SO_2 、 NO_2 和 PM_{10} 浓度增幅大都在 15%~20%。

关键词: 霾; 大气水平能见度; 空气质量; 变化特征; 深圳

中图分类号: X511 文献标识码: A 文章编号: 1000-6923(2013)09-1563-06

Characteristics of haze weathers with different level in Shenzhen during 1981~2010. WANG Ming-jie^{1,2*}, ZHU Xiao-ya², CHEN Shen-peng¹ (1. Shenzhen National Climate Observatory, Shenzhen 518040, China; 2. Shenzhen Meteorological Observatory, Shenzhen 518040, China). *China Environmental Science*, 2013,33(9): 1563~1568

Abstract: Based on the observational haze data and the air environment quality data in Shenzhen during 1981~2010, the long-term variation tendency of the haze weather with different level was analyzed along with the relationship between the haze weather and the atmospheric visibility, air quality. The annual haze days of Shenzhen showed an increasing trend overall. At the same time, the numbers of the haze days at each level, such as slight, mild, moderate and severe, also showed an increasing trend. The proportion of the slight haze declined, while the proportion of the haze over the mild level rose over the 30 years. For different seasons, the maximum occurrence probability of haze weather was recorded in winter, followed by autumn, spring and summer sequentially. However, the severe level of haze happened mostly in summer. The occurrence of the haze weather often led to the descending of the atmospheric horizontal visibility that average visibility during haze days was about 6~7km lower than it in non-haze days, and a higher level of haze often result in a lower visibility. The air quality monitoring data suggested that the SO_2 , NO_2 concentrations during haze days were 1.4~1.7 times of those in the non-haze days, while the PM_{10} concentration was 2.2 times, which indicated the increase of atmospheric particulate pollution was possibly one important reason of haze increasing. For Lixiang Station, PM_{10} and NO_2 concentrations during haze days exhibited a bimodal diurnal variation characteristics which was accordant with the rush hours, which suggested that the increasing number of the motor vehicles contributed to haze weather in Shenzhen. The data also showed that the higher the haze level was, the higher of the PM_{10} , SO_2 and NO_2 concentrations, and the increase of the PM_{10} , SO_2 and NO_2 concentrations between each haze level was about 15%~20%.

Key words: haze; atmospheric horizontal visibility; air pollution quality; characteristics; Shenzhen

霾是大量极细微的干尘粒均匀地飘浮在空中, 使大气水平能见度小于 10.0km 的空气普遍混浊现象^[1]。随着我国经济的快速发展, 大气污染加剧, 霾天气日益增多, 给人体健康、生态环境和交通安全等带来了严重危害。我国学者从霾的观测识别^[2-3]到时空分布、气候特征^[4-6]、成因分析^[7-9]

以及数值模拟^[11-12]、气溶胶特性^[13-15]等方面开展了大量研究工作。高歌等^[4]通过对中国霾的时

收稿日期: 2012-12-20

基金项目: 广州区域气象中心科技攻关项目 (GRMC2009B01); 中国气象局预报员专项 (CMAYBY2012-042)

* 责任作者, 高工, wmingjie1128@163.com

空分布特征及变化趋势的分析发现,全国平均年霾日数呈现明显的增加趋势,空间分布特征呈东多西少分布。目前中国 4 大霾严重地区为京津冀地区、长三角地区、珠三角地区与四川盆地^[2]。吴兑等^[9-10]对珠江三角洲地区的霾天气进行了深入的研究,指出珠江三角洲自 20 世纪 80 年代初开始,能见度急剧恶化,灰霾天气显著增加,灰霾天气的本质是细粒子气溶胶污染,与光化学烟雾相关联。毛敏娟等^[11]通过多元观测资料融合应用发现灰霾天气形成起主要作用的是细粒子,关键排放因子是黑碳、NO₂、SO₂ 等。

深圳地处珠江三角洲城市群,经济的快速发展、城市化及交通运输现代化给生态环境带来前所未有的压力,其中霾天气频发,已引起了政府和公众的极大关注。目前针对深圳不同等级霾天气长序列的研究较少,本研究对深圳市历史霾资料进行分析,揭示深圳市不同等级霾天气的长期变化特征,同时分析大气水平能见度、空气质量与霾的关系,以期为霾预测、控制和深圳市大气污染的治理提供参考。

1 资料与方法

本文所使用的气象资料为 1961~2010 年深圳地面气象观测站资料,包括霾日数、能见度等资料,其中能见度资料长度为 1981~2010 年;空气质量监测数据为 2005~2010 年深圳市环保监测站监测资料,包括全市日平均 PM₁₀、SO₂、NO₂ 浓度和荔香站的逐时监测资料。

霾日以观测记录为准,根据《霾的观测和预报等级》^[16](QX/T 113-2010)规定将霾分为 4 级:轻微霾(5~10km);轻度霾(3~5km);中度霾(2~3km);重度霾(0~2km)。受能见度资料的限制,仅对 1981~2010 年 30 年的霾天气进行统计分析,以当天出现的最严重霾为标准。

采用线性回归和数理统计等方法,分析霾日的长期变化趋势以及不同等级霾与能见度、空气污染物浓度的关系。

2 深圳市霾天气气候变化特征分析

2.1 不同等级霾年际变化特征

由图 1 可知,深圳市年霾日数总体呈增多趋势,以 41d/10a 的线性趋势显著增多,这与深圳经济快速发展、人口剧增、污染物排放增多密不可分^[10]。深圳年霾日数变化大致可划分为 3 个阶段:第 1 阶段 1961~1970 年代末,霾日数最少,1961 年首次记录到霾,1961~1970 年代年均霾日数仅为 0.5d,最多只有 3d。这个时期作为边陲小镇的深圳经济发展缓慢,机动车数量和人口数量较少,因此能见度好,霾少有发生;第 2 阶段 1980 年代初~中后期,霾日数开始小幅度增多,年均 9.2d。此时深圳处于改革开放局部推进阶段,经济发展开始加速,但主要以基础硬件建设为主,因此霾虽然开始增多,但增幅较小;第 3 阶段 1980 年代末至今,霾日数剧增,由 80 年代年平均 9.2d 增加至 90 年代 82.4d,2001~2010 年持续增至 163.2d,年最多高达 240d (2008 年)。该阶段是深圳改革开放全面推进和跨越式发展阶段,经济迅速发展、城市规模不断扩大、人口剧增、汽车保有量至 2012 年已超过 200 万辆,这些因素导致空气污染加剧,霾天气频发。

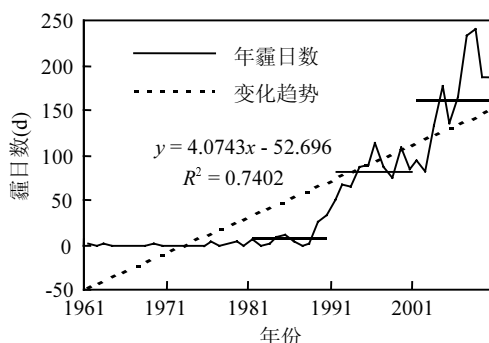


图 1 1961~2010 年深圳年霾日年际变化

Fig.1 Annual variation of haze days in Shenzhen during 1961~2010

由图 2 可知,深圳市各级霾日数均呈现增多趋势,不同等级霾日数占年霾日数的比例随着等级升高而降低,即越严重的霾所占比例越低。轻微霾日数最多,占年霾日数比例也最高,30 年平均为 77%,但其比例呈减少趋势,1981~2001 年约为 97%,2001~2010 年减少至 67%,最低降至 53%;轻度霾 1992 年首次出现,2000 年后明显增多,由

20 世纪 90 年代的年均 2.3d 上升至 47.5d,其比例变化与轻微霾相反,呈增多趋势,由 1981~2001 年的 3.3%上升到 2001~2010 年的 28.7%,最高时达 49%;中度霾 1993 年首次出现,之后至 2003 年才再度出现,2003~2010 年每年均记录到中度霾,且日数明显增多,2007 年最多达 23d;重度霾 1999 年首次出现,共 7 年有重度霾记录,最多为 4d(2007 和 2008 年).

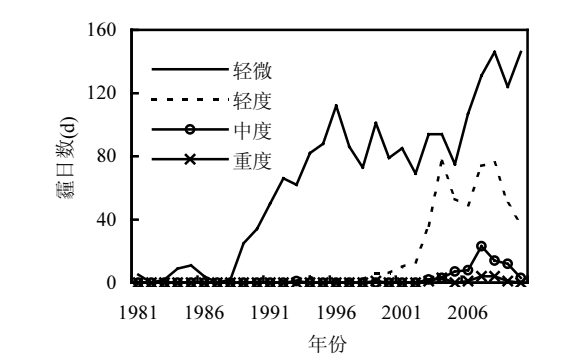


图 2 1981~2010 年深圳不同等级霾年际变化
Fig.2 Annual variation for haze days with different level in Shenzhen during 1981~2010

由上述分析可见,深圳霾天气 20 世纪 80 年

代末开始明显增多,2000 年初强度开始增强,表现为中度以上霾出现并增多.

2.2 不同等级霾季、月变化特征

由表 1 可知,深圳四季均有霾出现,但存在明显的季节变化.冬季最多,占年霾日的 37.8%,其中 12 月和 1 月是霾日最多的月份;2 月开始逐渐减少,春季约占全年的 17.1%;夏季霾进一步减少(10.5%),是霾最少的季节,6 月为一年中霾最少的月份;入秋后开始明显增多,秋冬季(9 月至~荏年 2 月)是霾出现最集中的季节(92.8%).

轻微、轻度、中度霾的月、季变化一致,均是冬季最多、秋季次之、夏季最少,12 月和 1 月是出现最多的月份;重度霾与其他等级霾不同,夏季最多,秋季次之,8 月是重度霾出现最多的月份.根据陈联寿等提出的台风概念模型^[17],在台风系统移动方向的侧缘和前进方向为强下沉气流,在下沉区域内空气污染物的输送、扩散受到抑制,导致污染物累积和增加,从而在台风侧缘形成大范围污染物的增量区^[18].据统计,深圳市 50%以上重度霾是由台风外围环流造成的,8 月恰是台风影响深圳最多的月份.

表 1 深圳 1981~2010 年不同等级霾月、季节分布
Table 1 The seasonal and monthly variations of haze with different level in Shenzhen during 1981~2010

霾等级	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	春季	夏季	秋季	冬季
轻微	日数(d)	271	148	143	102	90	33	41	103	197	228	265	335	177	690	760
	比例(%)	77.2	75.5	75.7	75.0	81.8	67.3	68.3	65.2	78.8	71.7	84.1	82.0	77.0	66.3	78.1
轻度	日数(d)	68	39	33	31	20	15	17	46	43	79	44	63	84	78	166
	比例(%)	19.4	19.9	17.5	22.8	18.2	30.6	28.3	29.1	17.2	24.8	14.0	15.1	19.3	29.2	18.8
中度	日数(d)	11	8	11	3	0	1	1	5	7	11	5	11	14	7	23
	比例(%)	3.1	4.1	5.8	2.2	0.0	2.0	1.7	3.2	2.8	3.5	1.6	2.6	3.2	2.6	3.1
重度	日数(d)	1	1	2	0	0	0	1	4	3	0	1	1	2	5	4
	比例(%)	0.3	0.5	1.1	0.0	0.0	0.0	1.7	2.5	1.2	0.0	0.3	0.2	0.5	1.9	0.5
合计	日数(d)	351	196	189	136	110	49	60	158	250	318	315	416	435	267	963
	比例(%)													17.1	10.5	37.8

2.3 霾与能见度的关系

2.3.1 霾日平均能见度变化 由图 3 可知,任何年份霾日的能见度均低于非霾日,霾日平均能见度较非霾日约低 6~7km;无论霾日还是非霾日能见度总体均呈下降趋势,2001~2005 年降至最

低,2006 年开始好转,且非霾日能见度转好幅度明显大于霾日.

2.3.2 霾日能见度日变化 为了解霾日能见度逐时变化特征,利用 2007~2008 年深圳逐时能见度观测资料,对比分析霾日和非霾日能见度日变

化差异(图4).任何时次霾日能见度均低于非霾日,平均能见度较非霾日低 10km 左右;霾日与非霾日的能见度均具有明显的日变化特征:清晨(3:00~6:00)最低,之后开始逐渐转好,午后(15:00~17:00)达到最高,之后逐渐转差,这与深圳市风速和相对湿度的日变化特征一致.另外,霾日能见度日变化幅度较小,最低值与最高值相差仅有 3km,而非霾日可达 7km;霾日除午后 14:00~17:00 外,各时次平均能见度均在 10km 以下,非霾日各时次平均能见度均在 15km 以上.这一方面表明霾的出现导致大气水平能见度明显下降,另一方面也说明霾出现在大气层结稳定的情况下,不利于空气中污染物的扩散,霾天气持续时间较长.

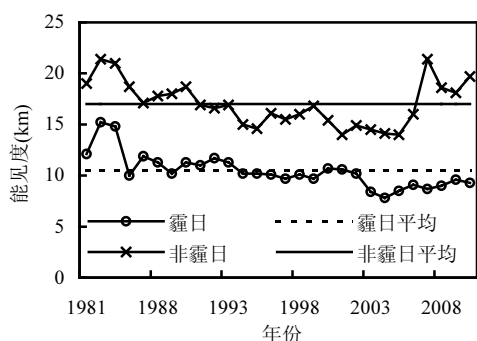


图3 霾日和非霾日平均能见度年际变化

Fig.3 Annual variation of average visibility for haze and non-haze days

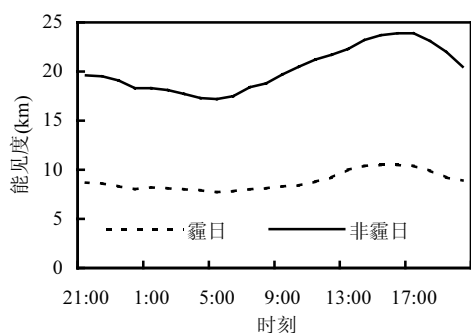


图4 霾日和非霾日平均能见度日变化

Fig.4 Diurnal variation of average visibility for haze and non-haze days

可知,霾等级越高,能见度越低.重度霾日平均能见度在 4km 附近波动,7 月重度霾能见度最低,平均为 2.8km;中度霾日能见度在 5km 附近波动,7~8 月中度霾平均能见度最高,为 7~8km,说明 7~8 月出现的中度霾持续时间较短;轻度和轻微霾平均能见度各月的差异不大,分别在 6~7km 和 10~11km 之间,7 月能见度最好.

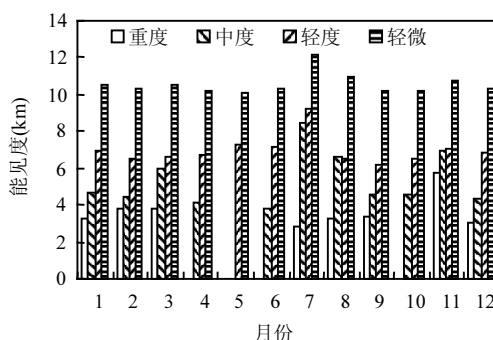


图5 不同等级霾日平均能见度月变化

Fig.5 The monthly variation of average visibility for haze with different level

2.4 霾与空气质量的关系

2.4.1 霾日空气污染物浓度月变化特征 根据《深圳市环境状况公报》(2005~2010)统计分析^[19],深圳首要污染物是可吸入颗粒物(PM_{10}),其次是 NO_2 .由图 6 可知,霾日 PM_{10} 、 SO_2 、 NO_2 浓度均高于同期非霾日,为非霾日的 1.4~1.7 倍.霾日 PM_{10} 、 SO_2 、 NO_2 日平均浓度分别为 72.5 、 21.4 、 $53.1\mu g/m^3$,3 种污染物中 SO_2 浓度最低,与 SO_2 是固定工业污染源高空排放的产物,而高空有利于污染物扩散有关^[20].

霾日 PM_{10} 浓度随季节呈冬秋季高,夏春季低的特点,12 月浓度最高值,其次为 11 月和 1 月,4~9 月浓度处于较低水平,最低值出现在 6 月,与霾日数的季节变化一致.霾日 NO_2 和 SO_2 浓度无明显季节变化特征,分别在 50 、 $20\mu g/m^3$ 附近小幅波动, NO_2 浓度在 11 月~翌年 1 月略高,约 $60\mu g/m^3$, SO_2 在 7~8 月浓度略高,约为 $30\mu g/m^3$,这与火电厂排放是 SO_2 的主要污染源之一有关,7~8 月是深圳的盛夏季节,用电量是一年中最高的月份,从而使得 7~8 月 SO_2 浓度高.3 种污染

2.3.3 不同等级霾条件下能见度变化 由图 5

物无论霾日还是非霾日 2 月均较 1 月有小幅下降,3 月再次回升,而气象条件在 1~2 月无明显差异,这可能是与春节前后大量工厂停业、人员离深、机动车停驶导致污染源减少有关。

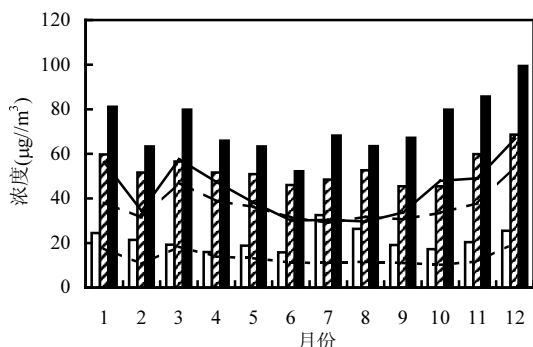
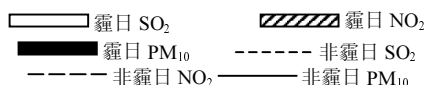


图 6 霾日、非霾日空气污染物浓度月变化对比

Fig.6 The monthly variation of air pollutant concentrations for haze and non-haze days



2.4.2 霾日空气污染物浓度日变化特征 为了解霾日空气污染物浓度的日变化特征,选取观测资料完整、污染较重的荔香站为例,分析霾日和非霾日污染物浓度日变化的不同.由图 7 可知,各时次霾日 PM_{10} 、 SO_2 、 NO_2 浓度均高于非霾日,其中霾日 SO_2 、 NO_2 浓度约为非霾日的 1.5~1.7 倍, PM_{10} 浓度约为非霾日的 2.2 倍,由此可知, PM_{10} 大气颗粒物污染加剧可能是深圳能见度恶化,霾增多的一个重要原因。

无论霾日还是非霾日 SO_2 的浓度均无明显的日变化,白天浓度略高于夜间; PM_{10} 、 NO_2 浓度日变化特征明显,一天中存在 2 个峰值,分别出现在 7:00~9:00 和 18:00~20:00,恰与上下班时段相吻合,且霾日 NO_2 浓度变化幅度明显大于非霾日,这与上下班时段机动车尾气剧增,导致 NO_2 浓度明显上升相关^[21]。

2.4.3 不同等级霾条件下污染物浓度变化特征 由图 8 可知,霾等级越高,空气中 PM_{10} 、 SO_2 、 NO_2 的浓度越高。 SO_2 、 NO_2 和 PM_{10} 浓度从轻微到重度霾各级之间增幅大都在 15%~20%,只有

SO_2 浓度由中度到重度霾增至 $23.9\mu g/m^3$,增幅达 78%,即从轻微到重度霾上一级霾 PM_{10} 、 SO_2 、 NO_2 的浓度约为下一级的 1.1~1.2 倍。

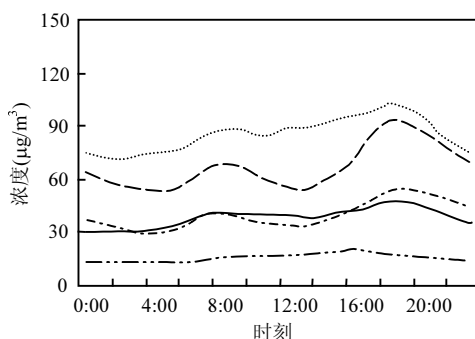


图 7 荔香站霾日和非霾日空气污染浓度日变化

Fig.7 Diurnal variation of air pollutant concentrations for haze and non-haze days at Lixiang Station

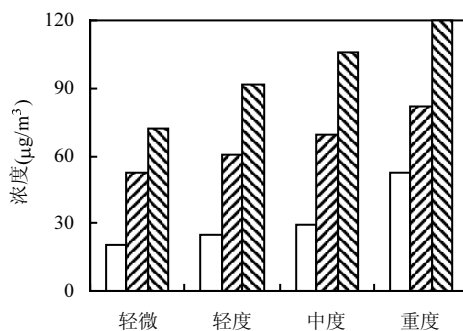
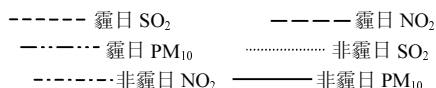


图 8 不同等级霾天气空气质量对比

Fig.8 Comparison of air quality for haze with different level



3 结论

3.1 1981~2010 年深圳市年霾日数显著增多,各等级霾日数也呈明显增多趋势;霾强度增强,轻微霾占年总霾日的比例明显下降,轻度以上霾增加,表现在 2000 年以来中度以上霾明显增多。

3.2 轻微、轻度和中度霾均具有冬季>秋季>春季>夏季的季节变化特征,重度霾夏季最多,台风外围下沉作用导致深圳夏季重度霾出现概率

最高.

3.3 霾造成大气水平能见度明显下降,霾日平均能见度较非霾日低 6~7km,霾等级越高能见度下降越明显;霾日由于风力微弱,扩散能力下降,能见度日变化幅度较非霾日减小.

3.4 霾等级与 PM_{10} 、 SO_2 和 NO_2 浓度正相关,大气颗粒物污染加剧可能是深圳霾天气增多的一个重要原因;霾日 PM_{10} 和 NO_2 浓度的双峰型分布与上下班时段吻合,说明机动车的增加是深圳霾天气增多的另一重要因素.

参考文献:

- [1] 中国气象局.地面气象观测规范 [M]. 北京:气象出版社, 2003:21-27.
- [2] 宋文英,梅士龙,孙华.基于自动站资料的灰霾观测判据研讨 [J]. 气象科学, 2012,32(1):74-79.
- [3] 徐 政,李卫军,于阳春,等.济南秋季霾与非霾天气下气溶胶光学性质的观测 [J]. 中国环境科学, 2011,31(4):546-552.
- [4] 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.
- [5] 吴 蒙,范绍佳,吴 兑,等.广州地区灰霾与清洁天气变化特征及影响因素分析 [J]. 中国环境科学, 2012,32(8):1409-1415.
- [6] 赵普生,徐晓峰,孟 伟,等.京津冀区域霾天气特征 [J]. 中国环境科学, 2012,32(1):31-36.
- [7] 刘永红,冯 婷,蔡 铭.广州灰霾现象特征分析 [J]. 环境科学研究, 2011,24(10):1081-1087.
- [8] 毛敏娟,刘厚通,徐宏辉,等.多元观测资料融合应用的灰霾天气关键成因研究 [J]. 环境科学学报, 2013,33(3):806-813.
- [9] 吴 兑,毕雪岩,邓雪娇,等.珠江三角洲大气灰霾导致能见度下降问题研究 [J]. 气象学报, 2006,64(4):510-517.
- [10] 吴 兑.灰霾天气的形成和演化 [J]. 环境科学与技术, 2011,34(3):157-161.
- [11] 王丽涛,潘雪梅,郑 佳,等.河北及周边地区霾污染特征的模拟研究 [J]. 环境科学学报, 2012,32(4):925-931.
- [12] 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.
- [13] An Junling, Li Ying, Chen Yong, et al. Enhancements of major aerosol components due to additional HONO sources in the North China Plain (NCP) and implications for visibility and haze [J]. Advances in Atmospheric Sciences, 2013,30(1):57-66.
- [14] 刘 琼,耿福海,陈勇航,等.上海不同强度干霾期间气溶胶垂直分布特征 [J]. 中国环境科学, 2012,32(2):207-213.
- [15] 王 静,牛生杰,许 丹,等.南京一次典型雾霾天气气溶胶光学特性 [J]. 中国环境科学, 2013,33(2):201-208.
- [16] GX/T113-2010 霾的观测和预报等级 [S].
- [17] 陈联寿,徐祥德,罗哲贤,等.热带气旋动力学引论 [M]. 北京:气象出版社, 2002:316-318.
- [18] 任阵海,苏福庆,陈朝晖,等.夏秋季节天气系统对边界层内大气中 PM_{10} 浓度分布和演变过程的影响 [J]. 大气科学, 2008,32(4):741-751.
- [19] 深圳市环境状况公报(2005-2010) [R]. <http://www.sz.gov.cn/hjbhj/tjsj/hjtjgb/>.
- [20] 马 彬,陈志诚,梁 鸿,等.深圳市几种空气污染物浓度日变化特征分析 [J]. 中国环境监测, 2004,20(5):47-53.
- [21] 张 强,耿冠楠,王斯文,等.卫星遥感观测中国 1996~2010 年氮氧化物排放变化 [J]. 科学通报, 2012,57(16):1446-1453.

作者简介:王明洁(1972-),女,黑龙江齐齐哈尔人,高级工程师,硕士,主要从事灾害性天气研究.发表论文 20 余篇.

《中国环境科学》被 Ei 收录

根据 Ei 总部 2013 年颁布的期刊收录情况,《中国环境科学》已被 Ei 数据库作为源期刊收录,详见 <http://www.chinaeidata.com/periodical.htm>

《中国环境科学》编辑部

2013-03-14