

文章编号: 1004-4965 (2007) 01-0001-06

细粒子污染形成灰霾天气导致广州地区能见度下降

吴兑^{1,2}, 邓雪娇¹, 毕雪岩¹, 李菲¹, 谭浩波¹, 廖国莲²

(1. 中国气象局广州热带海洋气象研究所, 广东 广州 510080; 2. 中山大学环境科学与工程学院大气科学系, 广东 广州 510275)

摘 要: 近年来广州地区的气溶胶污染日趋严重, 灰霾天气主要出现在 10 月~次年 4 月。大气灰霾导致能见度恶化。自 1980 年代初开始, 该地区的能见度急剧恶化, 灰霾天气显著增加, 其中有 3 次大的波动, 分别代表广州地区经济发展相伴随的粉尘污染、硫酸盐加粉尘污染、光化学过程的细粒子加硫酸盐加粉尘的复合污染时期。雾和轻雾造成的低能见度的长期变化趋势, 没有由于人类活动影响或经济发展影响带来的趋势性变化, 其波动主要反映了气候波动固有的年际和年代际变化。广州地区能见度的恶化主要与细粒子有关, PM_{10} 有一半季均值超过国家二级标准的日均值浓度限值, 而 $PM_{2.5}$ 季均值全部超过美国国家标准的日均值浓度限值, 细粒子浓度甚高。另外 $PM_{2.5}$ 占 PM_{10} 的比重非常高, 可达 62%~69%, 尤其是旱季比雨季更高。

关 键 词: 广州地区; 气溶胶云; 灰霾天气; 能见度恶化; 细粒子污染

中图分类号: X16

文献标识码: A

1 引 言

大气气溶胶作为全球变化的重要强迫因子, 因为其全球气候效应近年来成为科学家们广泛关注的一个重要领域^[1-3]。大气污染也是当前大多数发展中国家在城市化工业化过程中普遍面临的一个难题。广州地区作为上个世纪末最后 20 年全球经济发展最快的地区之一, 也是国内气溶胶导致大气污染相当严重的区域之一, 在大量土地被工业化利用、植被减少、交通工具迅猛增加、乡镇企业工厂蓬勃发展的情况下, 这一地区频繁发生的大气污染事件已经引起政府和公众的广泛关注。空气污染不仅使居民的身体健康受到威胁, 而且带来的能见度下降也对城市的经济活动和市民生活带来显著影响, 并对一个地区或城市的景观造成很负面的影响, 广州拟举办 2010 年亚运会, 高频多发的恶劣能见度事件对其有非常不利的影响, 将面临改善空气质量、美化城市景观的艰巨任务。

气溶胶粒子是悬浮在大气中的直径为 $10^{-3} \sim 10^1 \mu m$ 的固体或液体粒子, 其质量仅占整个大气质量的

十亿分之一, 但其对大气辐射传输和水循环均有重要的影响^[4]。气溶胶对气候变化、云的形成、能见度的改变、环境质量变化、大气微量成分的循环及人类健康有着重要影响。工业化以来, 人类活动直接向大气排放大量粒子和污染气体, 污染气体通过非均相化学反应亦可转化形成气溶胶粒子。

1999 年欧美科学家发现在亚洲南部上空经常笼罩着一层 3 km 厚的棕色气溶胶云, 并称其为亚洲棕色云^[5], 也有人将其称为灰霾天气^[6], 其组成主要包括: 黑碳、粉尘、硫酸盐、铵盐、硝酸盐等, 后来发现各大洲都存在类似现象, 又将其称为大气棕色云。并进而提出, 原来假定的气溶胶辐射强迫的冷却效应要作一定的修正, 尤其认为大气灰霾中的黑碳气溶胶是气候变暖的重要角色^[5], 这就使得气溶胶辐射强迫对气候变化影响的不确定性增加, 也存在国际上发达国家, 主要是美国利用减排黑碳气溶胶对我国进行经济遏制, 对我国进行打压的外交压力。获取供我国独立自主评估气溶胶气候效应和环境效应所需的准确、时空分辨率高的气溶胶的直接观测资料就显得更加迫切。

收稿日期: 2005-07-18; 修订日期: 2006-07-18

基金项目: “973”课题 2006CB403701; 广东省自然科学基金 033029; 广东省重点科技攻关项目(2004A30401002, 2005B32601011); 广州市应用基础研究项目 2004J1-0021 联合资助

作者简介: 吴兑(1951-), 男, 满族, 北京市人, 研究员, 硕士生导师, 主要从事大气物理化学与大气环境研究。E-mail: wudui@grmc.gov.cn

2 资料及处理说明

本文主要使用了广州观象台 1954~2004 年的能见度、湿度、天气现象资料, 2001~2004 年 EOS/MODIS 卫星反演的气溶胶光学厚度资料, 在广州番禺大气成分观测站 2004~2005 年观测的气溶胶细粒子资料和 2006 年观测的气溶胶粒子谱资料。

定义当日能见度小于 10 km, 日均相对湿度小于 90%, 并排除降水等其它能导致低能见度事件的情况为一个大气灰霾日, 日均能见度小于 10 km, 日均相对湿度大于 90%, 并排除降水等其它能导致低能见度事件的情况为一个雾日或轻雾日^[6-7]。

使用美国国家宇航局(NASA)利用地球观测系统计划(EOS)的卫星 Terra 和 Aqua 所搭载的 MODIS 仪器对地球的多光谱高分辨率观测, 得到的 NASA 建立的 MODIS 资料业务处理系统中提供的分辨率为 10 km × 10 km 的气溶胶光学厚度(AOD)Level2 产品。曾利用在华南地区长期的太阳光度计观测得到气溶胶光学厚度并与 NASA 的气溶胶产品进行详细对比, 认为这一产品具有比较高的精度描述我国像华南这样常年植被密集、地表可见光反射率比较低的地区的气溶胶特征^[8]。

使用美国气溶胶采样器(Minivol Portable Air Sampler, Airmetrics)在广州番禺野外站用膜采样称重方法观测了 PM₁₀ 和 PM_{2.5} 质量浓度, 使用两台采样器同步采样, 每个样品连续采集 24 小时。我们使用德国气溶胶粒子谱仪(Model 1.180, Grimm Technologies, Inc. Germany)在广州观测的气溶胶谱资料, 10 μm 粒子的数量有 25 个, 2.5 μm 的粒子有 2 500 个。

3 气溶胶细粒子特征

我们知道, 能见度与粒子的散射、吸收能力和气体分子的散射、吸收能力有关, 但主要与大气粒子的散射能力关系最密切, 如果简单地将细粒子按照瑞利散射来处理, 那么散射光强主要与入射光波长的 4 次方成反比, 与粒子体积的平方成正比, 而粒子体积与粒子的尺度和浓度有直接关系。如果入射光波长确定, 忽略化学成分和气体的作用, 影响散射光强的因子就是粒子尺度和浓度^[9]。从图 1 上看到 1 μm 的粒子有 17 000 个, 0.25 μm 的粒子有 9×10^6 个, 巨粒子与次微米粒子数量相差 10^6 倍, 气溶胶粒子谱峰值直径是 0.28 μm, 平均直径是 0.31 μm, 因而能见度的恶化主要与细粒子关系比较大, 尤其是出现较重气溶胶污染导致低能见度事件出现时, 细粒子的比重会更大。

我们实际使用美国小流量便携式空气采样器(MiniVol Portable Air Sampler, Airmetrics, USA)观测了 PM₁₀ 和 PM_{2.5} 的质量浓度, 表 1 给出了季均值, 我们看到, PM₁₀ 有一半季均值超过国家二级标准的日均值浓度限值(150 μg/m³), 而 PM_{2.5} 季均值全部超过美国国家标准的日均值限值(65 μg/m³), 尤其是 9 月~次年 2 月的季均值浓度几乎达到标准限值的 1 倍, 细粒子浓度甚高。另外 PM_{2.5} 占 PM₁₀ 的比重非常高, 可达 62%~

表 1 2004~2005 年度广州番禺气溶胶浓度(μg/m³)
季均值与细粒子所占比例

季节	PM _{2.5}	PM ₁₀	PM _{2.5} /PM ₁₀
3~5 月	74.2	116.6	62.7
6~8 月	65.2	106.0	62.6
9~11 月	102.4	167.0	62.8
12~2 月	117.4	169.5	69.8

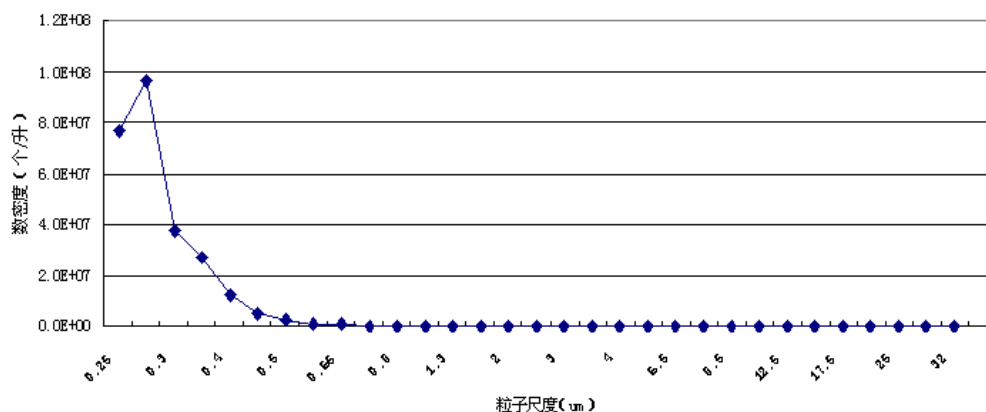


图 1 2006 年 4 月 19 日广州番禺测得的日平均气溶胶粒子谱

69%，尤其是旱季比雨季更高，比我们 15 年前的观测比值大得多^[10]，结合图 2 也可以看到导致能见度恶化时细粒子的比重比较大，这就说明，在广州地区的气溶胶污染中，主要是细粒子的污染。细粒子一般与气粒转化相关联，相对于 SO_2 气体通过化学氧化形成硫

酸盐粒子的慢过程，气粒转化的快速过程是主要由机动车尾气排放的光化学反应前体物通过紫外线驱动光化学氧化过程，最终形成了有机硝酸细粒子^[11-15]，这正是广州地区近年来能见度迅速恶化的原因。

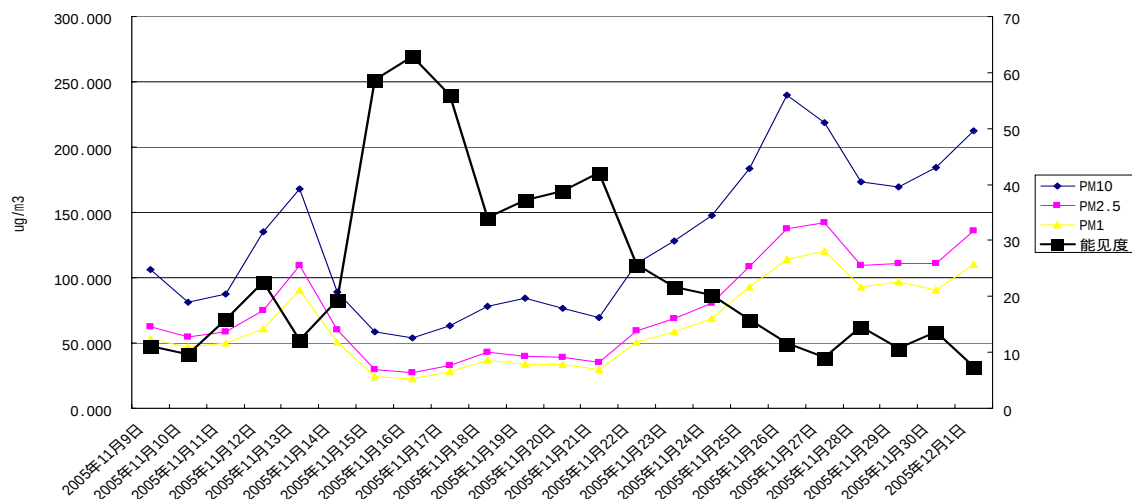


图2 广州2005年11月9日~12月1日PM₁₀、PM_{2.5}、PM₁浓度与能见度逐日变化

4 能见度的长期变化趋势

图3是广州地区过去50年灰霾天气(MOR<10 km, RH<90%)出现天数,图中给出每个月出现灰霾天气的天数,从图3来看,自1980年代初开始,该地区的能见度急剧恶化,其中有3次大的波动,1980年代初~1980年代中后期是第一次明显上升期,一般认为与改革开放后广州地区的第一次经济发展有关,应该是与直接排放的粉尘污染相关联,1980年代末出现了持续好转,与我国当时的环境政策有关,广州地区开展的消烟除

尘措施有效地改善了能见度;而后进入二氧化硫污染时代,二氧化硫氧化的硫酸盐粒子与直接排放的粉尘粒子叠加形成了第二次能见度恶化时段,时间大体是在1990~1997年,而后我国开展了以酸雨控制和二氧化硫控制为主的大气污染治理,广州地区是两控区,因而1998~2000年能见度出现了明显好转;目前进入自2001年开始的第三次能见度恶化周期,应该是广州地区物流业高度发展后,机动车尾气污染引发的光化学污染在广州地区出现,再叠加直接排放的粉尘和硫酸盐粒子,广州地区进入了复合大气污染的时代。

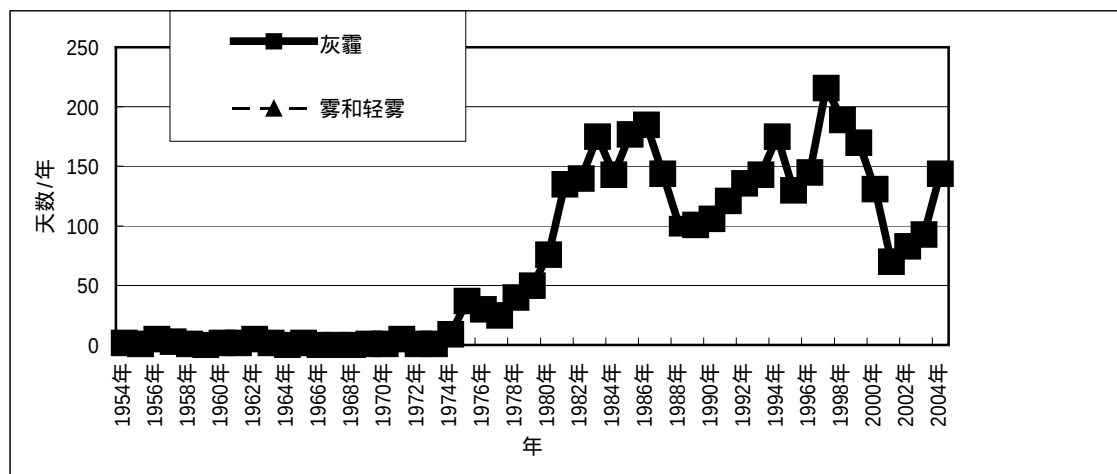


图3 广州过去50年灰霾天气(MOR<10 km, RH<90%)与雾和轻雾天气(MOR<10 km, RH>90%)的长期变化趋势

当然,中长期天气气候背景的波动也会对能见度的变化产生影响,但这个问题非常复杂,研究难度很大。但我们可以观察一下同一时段由于雾和轻雾造成的能见度恶化的长期变化趋势,图3也给出了雾和轻雾造成的能见度的长期变化趋势,我们看到并没有由于人类活动影响或经济发展影响带来的趋势性变化,其波动主要反映了气候波动固有的年际和年代际变化。

5 区域气溶胶光学厚度的季节变化

近年来,广州地区的气溶胶污染日趋严重,大气透明度越来越差,表现为与人类活动及其经济发展水平密切相关,以及明显的区域特征。图4是广州地区2001~2004年各季平均的EOS/MODIS卫星遥感气溶胶光学厚度分布图,可以看到广州城市群上空的大气

气溶胶污染明显比周边地区严重,550 nm的平均气溶胶光学厚度在0.7~1.2之间,较周边地区几乎大一倍;长期稳定存在气溶胶云,我们将其称为灰霾天气,而且重污染区偏于珠江口以西的珠江三角洲西侧,这与广州、佛山以及南海、番禺、顺德等地大量分散的加工工业排放源和密集的区域交通网有关。从季节分布来看,雨季整层的气溶胶光学厚度明显比旱季大,这可能与雨季整层大气的湿度比较大,气溶胶粒子吸湿长大后,其散射系数增加,导致总消光系数增加,使得整层气溶胶光学厚度增大有关。由图5所示2003年的月平均相对湿度图中,3~5月与6~8月的多年月平均相对湿度高于9~11月和12~次年2月。但这与近地层的水平能见度还不是一回事,从图6可见,广州地区近年来灰霾天气从10月份开始增多,一直到次年4月都持续多灰霾天气。

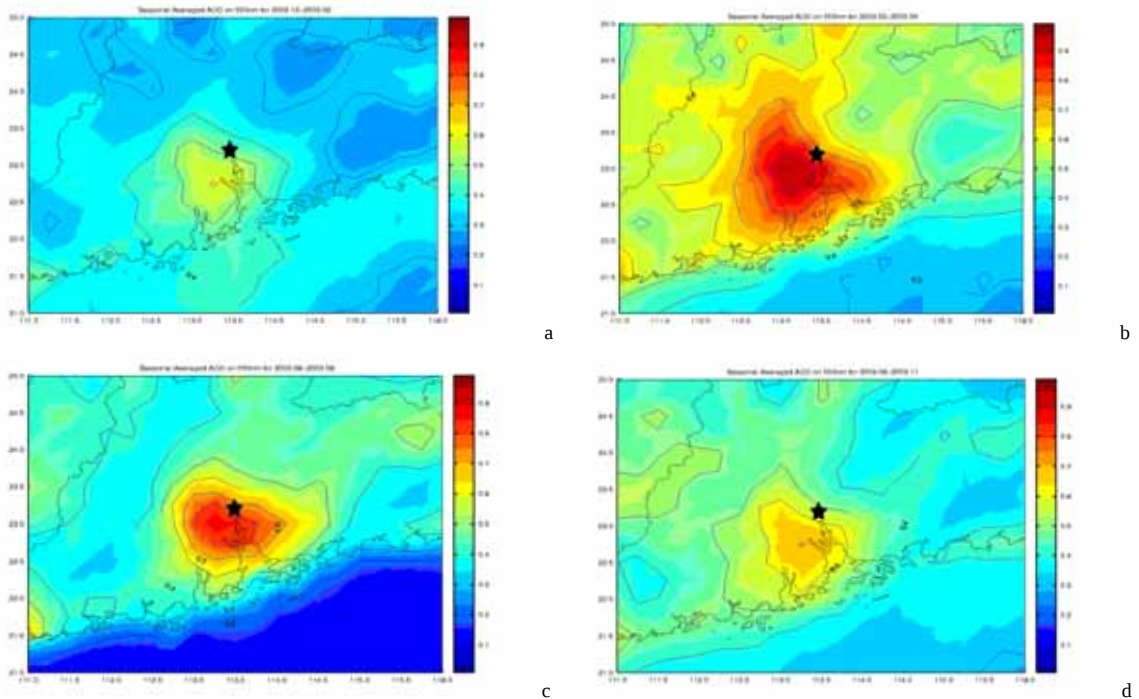


图4 珠江三角洲地区2002~2003年季平均的气溶胶光学厚度的EOS/MODIS卫星图片 图中 是广州。
a. 12~2月; b. 3~5月; c. 6~8月; d. 9~11月。

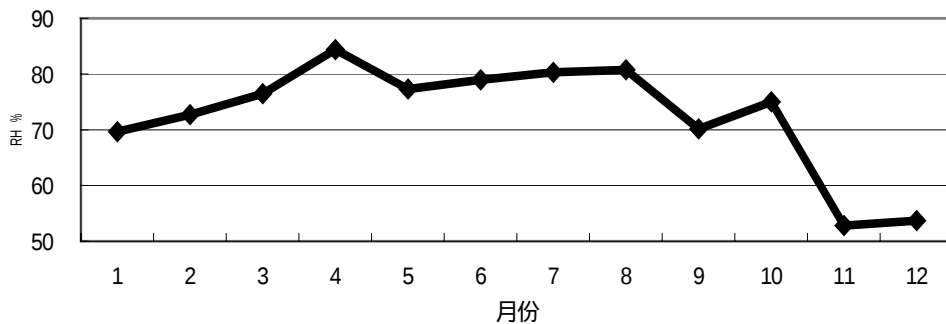


图5 2003年月平均相对湿度分布

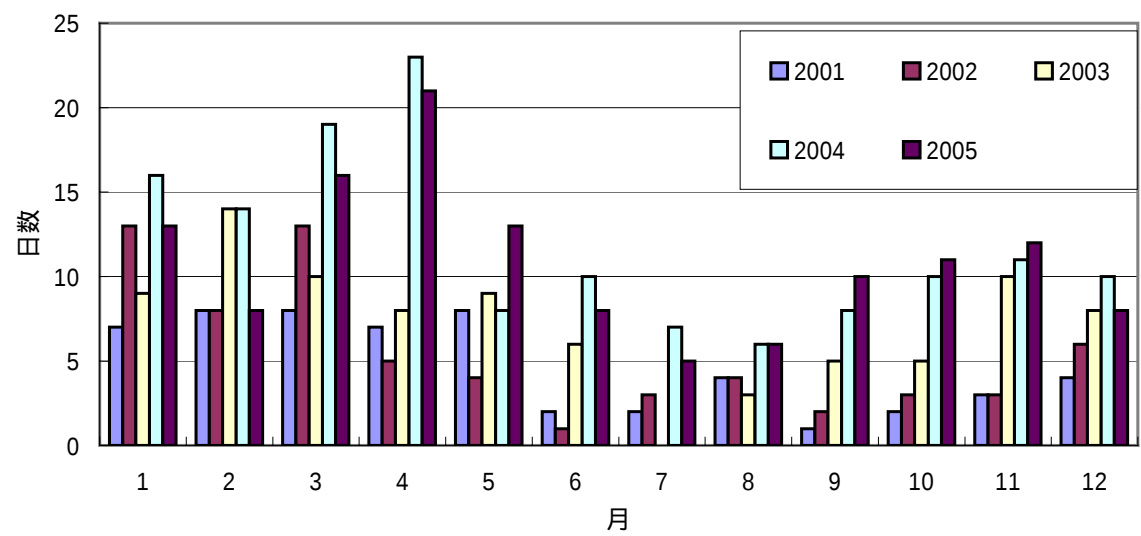


图6 广州2001~2005年逐月出现灰霾的天数(MOR<10 km, RH<90%)

从图6还可以看到，广州地区出现灰霾天气的天数从2001年的64天，2002年的85天增加到2003年的98天，2004年达到144天，2005年也有132天，平均不到4天就有一天灰霾天气，旱季比雨季的灰霾天气多，最多的月份有23天出现灰霾天气。公众的抱怨主要针对的是恶劣的能见度，图7就是有无灰霾天气的照片，视觉对比非常强烈。



图7 广州2005年11月16日上午(左)与12月2日上午(右)的照片 远景是白云山。

6 小 结

广州地区在 1954~1978 年间能见度非常好，每年能见度小于 10 km 的灰霾天气不足 40 天，自 1980 年代初开始，该地区的能见度急剧恶化，灰霾天气显

著增加，最多一年超过 200 天(1997 年)，其中有 3 次大的波动，分别代表广州地区经济发展相伴随的粉尘污染、硫酸盐加粉尘污染、光化学过程的细粒子加硫酸盐加粉尘的复合污染时期。雾和轻雾造成的能见度的长期变化趋势，没有由于人类活动影响或经济发展影响带来的趋势性变化，其波动主要反映了气候波动

固有的年际和年代际变化。

近年来,广州地区的气溶胶污染日趋严重,大气透明度越来越差,表现为与人类活动及其经济发展水平密切相关,以及明显的区域特征。长期稳定存在气溶胶云,而且重污染区偏于珠江口以西的珠江三角洲西侧。灰霾天气主要出现在 10 月~次年 4 月。

广州地区能见度的恶化主要与细粒子关系比较大,PM₁₀ 有一半季均值超过国家二级标准的日均值浓度限值(150 ug/m³),而 PM_{2.5} 季均值全部超过美国国家标准的日均值限值(65 ug/m³),尤其是 10 月~次年 1 月的月均值浓度几乎达到标准限值的 1 倍,细粒子浓

度甚高。另外 PM_{2.5} 占 PM₁₀ 的比重非常高,可达 62%~69%,尤其是旱季比雨季更高。因而在广州地区的气溶胶污染中,主要是细粒子的污染。

致 谢:珠江三角洲地区 2002~2003 年各季平均的气溶胶光学厚度的 EOS/MODIS 卫星图片由香港科技大学大气与海岸研究中心 CCAR 网站提供,感谢刘启汉教授允许我们使用,也感谢李成才博士对图像的加工处理;广州番禺气溶胶观测站膜采样气溶胶原始资料由香港理工大学唐建辉博士观测和计算,特此致谢。

参 考 文 献:

- [1] PENNER J E, DONG XQ, CHEN Y. Observational evidence of a change in radiative forcing due to the indirect aerosol effect[J]. *Nature*, 2004, 427 (6971): 231-234.
- [2] LOHMANN U, LESINS G. Stronger constraints on the anthropogenic indirect aerosol effect[J]. *Science*, 2002, 298 (5595): 1012-1015.
- [3] MENON S, HANSEN J, NAZARENKO L, et al. Climate effects of black carbon aerosols in China and India[J]. *Science*, 2002, 297 (5590): 2250-2253.
- [4] 罗云峰,周秀骥,李维亮. 大气气溶胶辐射强迫及气候效应的研究现状[J]. *地球科学进展*, 1998, 13(6): 572-581.
- [5] RAMANATHAN V, CRUTZEN P J, MITRA A P, et al. The Indian Ocean Experiment and the Asian Brown Cloud[J]. *Current Science*, 2002, 83(8): 947-955.
- [6] 吴兑. 关于霾与雾的区别和灰霾天气预警的讨论[J]. *气象*, 2005, 31(4): 3-7.
- [7] 吴兑. 再论都市霾与雾的区别[J]. *气象*, 2006, 32(4): 9-15.
- [8] 李成才,刘启汉,毛节泰,等. 利用 MODIS 卫星和激光雷达遥感资料研究香港地区的一次大气气溶胶污染[J]. *应用气象学报*, 2004, 15(6): 641-650.
- [9] 麦卡特尼 E J. 大气光学[M]. 潘乃先、毛节泰、王永生译,北京:科学出版社,1988.
- [10] 吴兑,常业谛,毛节泰,等. 华南地区大气气溶胶质量谱与水溶性成分谱分布的初步研究[J]. *热带气象学报*, 1994, 10(1): 85-96.
- [11] 图梅 S. 大气气溶胶[M]. 王明星,等. 译. 北京:科学出版社,1984: 21-28.
- [12] 莫天麟. 大气化学基础[M]. 北京:气象出版社,1988: 243-248.
- [13] 唐孝炎. 大气环境化学[M]. 北京:高等教育出版社,1991.
- [14] 王明星. 大气化学[M]. 北京:气象出版社,1999: 190-192.
- [15] 秦瑜,赵春生. 大气化学基础[M]. 北京:气象出版社,2003: 81-91.

STUDY ON THE VISIBILITY REDUCTION CAUSED BY ATMOSPHERIC HAZE IN GUANGZHOU AREA

WU Dui^{1,2}, DENG Xue-jiao¹, BI Xue-yan¹, Li Fei¹, TAN Hao-po¹, LIAO Guo-lian²

(1. Institute of Tropical and Marine Meteorology, CMA, Guangzhou 510080, China;
2. Department of Atmospheric Science, School of Environmental Science and Engineer,
Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China)

Abstract: In recent years the pollution of aerosol is getting worse and worse in Guangzhou area. The haze weather mainly occurs from October to April of the following year, resulting in visibility deterioration. From the beginning of the 1980's the visibility dramatically deteriorated, obviously increasing haze weather, in which there are three big fluctuations, respectively showing the periods of pollutions of dust, sulphate and dust, fine particle from photochemical process and sulphate and dust accompanying the development of economy. The long-term tendency of visibility caused by fog and light fog does not have the tendency due to human activity or economical development and the variation mainly show the inner interannual and interdecadal variation of climate. The deterioration of visibility has close relation to the fine particles in Guangzhou area., with half of PM₁₀ surpassing the limits set by national second graded standard, meanwhile, all values of PM_{2.5} rise above the day-mean limits of American national standard, indicating very high fine particle concentration. The ratio of PM_{2.5} to PM₁₀ is also very high, reaching 62%~69%, especially higher in dry seasons than in rainy seasons.

Key words: Guangzhou area; aerosol cloud; haze weather; visibility deterioration; fine particles pollution