

造成北京 PM10 重污染的二类典型天气形势

王喜全¹ 齐彦斌² 王自发¹ 郭虎³ 虞统⁴

1 中国科学院大气物理研究所竺可桢-南森国际研究中心, 北京 100029

2 吉林省人工影响天气办公室, 长春 130062

3 北京市气象台, 北京 100089

4 北京市环境保护监测中心, 北京 100084

摘要 利用北京空气质量监测资料和 NCEP 再分析资料, 分析了北京发生 PM10 重污染的天气形势。研究表明: 1) 虽然北京地区 PM10 重污染 (API 指数 3 级以上) 每年只有 10 d 左右, 但与之关联的轻微或轻度空气污染 (API 指数 3 级) 天数, 却可能占全年 3 级污染总天数的 40%~50%。因此, 分析研究造成北京 PM10 重污染的天气形势, 对于空气污染的预警预报以及污染源的控制和管理, 都具有十分重要意义。2) 通过海平面气压场的主观分析, 确定了二类北京 PM10 重污染的典型天气形势, 即高压南下东移阻滞型和与北上台风 (或热带低压) 相关联的弱高压控制型, 并指出了后者在 2008 年奥运会期间, 对开展北京空气污染预报和污染控制的指导作用。

关键词 PM10 重污染 天气形势 北京

文章编号 1006-9585 (2007) 01-0081-06 **中图分类号** X16 **文献标识码** A

The Influence of Synoptic Pattern on PM10 Heavy Air Pollution in Beijing

WANG Xi-Quan¹, QI Yan-Bin³, WANG Zi-Fa¹, Guo Hu³, and YU Tong⁴

1 *Nansen-Zhu International Research Center, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029*

2 *Beijing Meteorological Observatory, Beijing 100089*

3 *Jilin Province Weather Modification Office, Changchun 130062*

4 *Beijing Environmental Protection Monitoring Center, Beijing 100084*

Abstract PM10 heavy air pollution events (API great than 3 grades) in Beijing area have been researched by analyzing air quality data and NCEP reanalysis data. 1) The days of PM10 heavy air pollution in Beijing area are only about 10 days, but air pollution days related with them maybe accounted about 40%~50% of total air pollution days in Beijing. So, the study on synoptic pattern resulting in PM10 heavy air pollution is very important for the forecast and project of PM10 heavy air pollution and the control and management of air pollution sources. 2) By using objective analytical method of surface air pressure, two typical types of synoptic patterns, which often result in PM10 heavy air pollution in Beijing area and around, was defined, that are the blocking pattern of moving southward anti-cyclone and the weak anticyclone pattern related to moving northward tropical cyclone.

Key words PM10 heavy air pollution, synoptic pattern, Beijing

收稿日期 2006-05-22 收到, 2006-11-08 收到修定稿

资助项目 国家重点基础研究发展规划项目 2005CB422205

作者简介 王喜全, 男, 1962 年出生, 博士研究生, 副研究员, 主要从事城市空气质量数值预报和城市气候研究。
E-mail: wxq@mail.iap.ac.cn

1 引言

按照中国环境监测总站的定义,将 API 指数为 4~5 级的空气污染统称为重污染。在污染源基本稳定的前提下,大气污染的程度主要由天气过程控制^[1]。有研究指出^[2]:河套倒槽、东北低压槽、东北地形槽、华北地形槽等,是造成北京地区 PM₁₀ 重污染的重要天气系统。我们知道,这些天气系统均属中尺度天气系统,其特征时间尺度的量级为 1~3 d^[3]。还有研究者对华北地形槽的研究表明^[4],华北地区出现地形槽天气的频率,每月大约有 10 d 左右。据统计,从 2001~2005 年,北京每年发生 PM₁₀ 重污染的频率为 10 d 左右。可以看出,北京地区出现 PM₁₀ 重污染的频率,并没有像上述中尺度天气系统的发生频率那么高。对造成北京地区 PM₁₀ 重污染的气象因子的分析表明^[5]:PM₁₀ 重污染的出现与前期的污染状况紧密相关,这从侧面说明了天气过程的稳定性和持续性,在北京地区发生 PM₁₀ 重污染时的重要性。因此可以说,上述中尺度天气系统对北京地区 PM₁₀ 重污染的发生是有影响的,但还不能说具有决定性的贡献。

本文利用 NCEP 的再分析资料和 PM₁₀ 监测资料,分析了北京地区 PM₁₀ 污染的一般规律,指出了易造成北京地区 PM₁₀ 重污染的二种典型天气形势。这对于了解北京地区 PM₁₀ 重污染的现状,开展城市 PM₁₀ 重污染的预警预报和污染源控制管理,也许会有所裨益。

2 北京地区 PM₁₀ 重污染现状

从 2001~2005 年北京发生的 PM₁₀ 重污染来看,北京空气重污染的现状有如下特点:

(1) 北京城市空气重污染,基本上都是 PM₁₀ 重污染。虽然在采暖期间可能出现首要污染物为 SO₂,夏季出现首要污染物为 O₃ 的情况,但它们都达不到重污染的程度。

(2) 北京城市 PM₁₀ 重污染的日数,5 年年平均约为 15 d 左右,但离散度较大(5~23 d)。若扣除沙尘天气造成的 PM₁₀ 重污染,北京城市 PM₁₀ 重污染日的 5 年年平均天数为 10 d 左右。这里的沙尘天气现象以北京观象台的天气现象记

录为准。沙尘暴天气造成的北京地区 PM₁₀ 重污染,可由 PM₁₀ 的监测资料结合目测的方法判断。但本章只是利用了北京观象台的天气现象记录,将当日有沙尘天气现象记录和 PM₁₀ 监测记录达重污染水平的日子,简单地判断为由沙尘天气造成的 PM₁₀ 重污染日。

(3) 除去沙尘天气影响,北京城市 PM₁₀ 重污染,在秋冬季发生频率最高,特别是每年的 10、11 月。每年的 5~9 月,几乎不出现空气重污染的情况(但 3 级空气污染过程,在任何月份都可能发生)。

(4) 大多数情况下,北京 PM₁₀ 重污染是在区域性污染的背景上发生的,其表现是:北京城市空气污染的程度与周边城市的污染程度几乎同步变化。另外,北京 PM₁₀ 重污染日还与前期的空气污染状况紧密相关,即重污染日的前 1 或 2 d 已发生轻微或轻度污染(API 指数 3 级)。这说明北京 PM₁₀ 重污染过程具有区域性以及形成的渐进性和累积性特点。

(5) 从 2001~2005 年,虽然北京空气质量好于或等于 2 级的天数,以每年 5% 的速率增加,但 PM₁₀ 重污染日(除去沙尘天数)的天数并没有明显地减少,特别是秋季(10、11 月)仍保持每年 3~5 d 的发生频率。

(6) 虽然每年的 PM₁₀ 重污染日天数只有 10 d 左右,但由于其污染过程的持续性,其连带的 3 级污染日,占全年 3 级空气污染日的比例却不容低估。如 2004 年北京共发生 10 次重污染过程,重污染日为 17 d,但与之关联的 3 级空气污染日却有 53 d,占全年 3 级空气污染总天数的 40%。因此,研究北京 PM₁₀ 重污染的形成条件,对于开展空气质量预警预报,为进一步改善北京空气质量提供有效的管理和控制措施,具有重要意义。

3 北京 PM₁₀ 重污染的典型天气形势

北京地区 PM₁₀ 重污染具有区域性和持续性特征。虽然文献 [5] 指出了北京地区发生 PM₁₀ 重污染(沙尘污染除外)的必要天气要素条件(重污染日前期空气污染程度以及空气的高湿度),但这些条件还不能反映重污染发生的必然性。由

于气象要素受天气系统和天气形势的支配。因此，为了尽可能地做出准确的重污染预报，不仅要分析污染的一般气候规律和一般气象要素条件，还必须开展天气系统和天气形势的分析研究^[6]。

为了研究天气形势对北京地区 PM10 污染的作用，我们对 2004 年北京地区发生的 137 d 3 级以上（含 3 级）PM10 污染的天气形势，利用主观分析法，考察了其海平面气压场特征。由于在所有的气象要素中，海平面气压场（SLP）与地面其他气象要素的关系比较稳定^[7]，因此可以用海平面气压场分布形势代表天气形势的特征。尽管有耗时费力的缺点，但在污染监测资料有限的情况下，采用传统的主观分析法研究天气形势与北京地区 PM10 重污染的关系，比某些客观分析方法具有一些优点。正如文献 [8] 所言：对于有经验的分析者来说，传统的主观分析法可以对天气形势进行更深入细致地分析。

通过对天气系统与污染状况关系的分析，印证了文献 [2] 的结论：在北京地区发生 PM10 重污染的时候，确实经常伴随有中尺度天气系统的活动。正如引言中所言，单个这样的中尺度天气系统，还不足以造成北京地区的持续性污染以及 PM10 重污染的出现。下面总结的二类天气形势，即高压南下东移阻滞型和与北上台风或热带低压相联的弱高压控制型，才是最有可能造成北京 PM10 重污染的关键因素。

3.1 高压南下东移阻滞型

2004 年 2 月 17~21 日，北京地区发生一次连续 5 d 的 PM10 空气污染过程，图 1 给出此次过程北京地区 API 污染指数逐日变化，其中 18 和 19 日污染达重污染的水平。

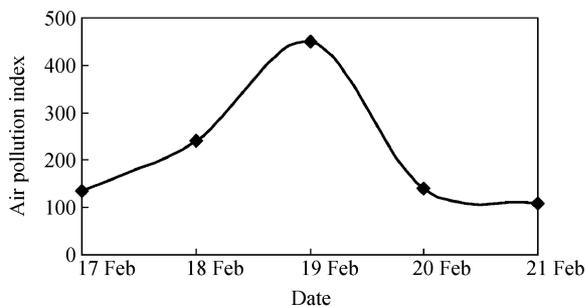


图 1 2004 年 2 月 17~21 日北京 API 污染指数逐日变化
Fig. 1 The diurnal variation of API from 17 to 21 Feb 2004

图 2 给出此次污染过程地面气压和流场的演变情况。在此次过程中，南下东移高压中心一直维持在我国黄海和日本西部之间，北京以及华北地区位于高压后部偏南气流的控制下。20 日河套倒槽东移影响北京地区，带来大范围的降雨过程，污染开始减弱，至 22 日此次污染过程结束。2004 年 12 月 1~3 日、9 日、15 日发生的北京地区重污染过程与此次重污染过程的天气形势类似，北京及其周边地区都是在高压后部的偏南气流的控制下。

3.2 与北上台风（或热带低压）相关联的弱高压控制型

2004 年 10 月 4~11 日，北京地区发生长达 8 d 的 PM10 空气污染过程，图 3 是此次过程北京市区 API 污染指数逐日变化，其中的 7~10 日达重污染的水平。

图 4 给出了此次污染过程每日 08 时地面气压和流场的演变情况。在此次冷高压过境、南下东移的过程中，我国东海有热带低压北上，阻滞了高压的南下和东移，造成北京及周边地区处在高压的后部或直接受变性弱高压的控制之下。图 5 给出了热带低压 GOES-9 卫星监测和中心运动轨迹，以及华北地区空气污染的 MODIS 卫星监测图。在此期间，北京及周边地区，不断受东移的东北低压槽和华北地形槽以及汇聚性的中尺度低压系统的影响，造成北京地区严重的 PM10 空气污染。对 2004 年 9 月 23~30 日、10 月 16~20 日轻微污染过程和 28~31 日的轻度污染过程的分析表明，这 3 次北京地区的污染过程也是在与北上台风（或热带低压）相关联的弱高压控制的天气系统条件下发生的。在以上两种天气形势控制下，北京地区地面持续小风或静风，温度层结整层稳定，但形成稳定层结的主导因素不同。在偏南气流控制下，层结的稳定性主要由平流逆温造成；在弱高压控制下，稳定层结主要由下沉逆温形成。

4 总结及讨论

4.1 北京 PM10 重污染与天气形势的持续性

通过对 PM10 重污染天气形势的分析，我们可以看到：北京地区的 PM10 重污染都是在稳定持续的天气形势下发生的。在稳定持续的天气形

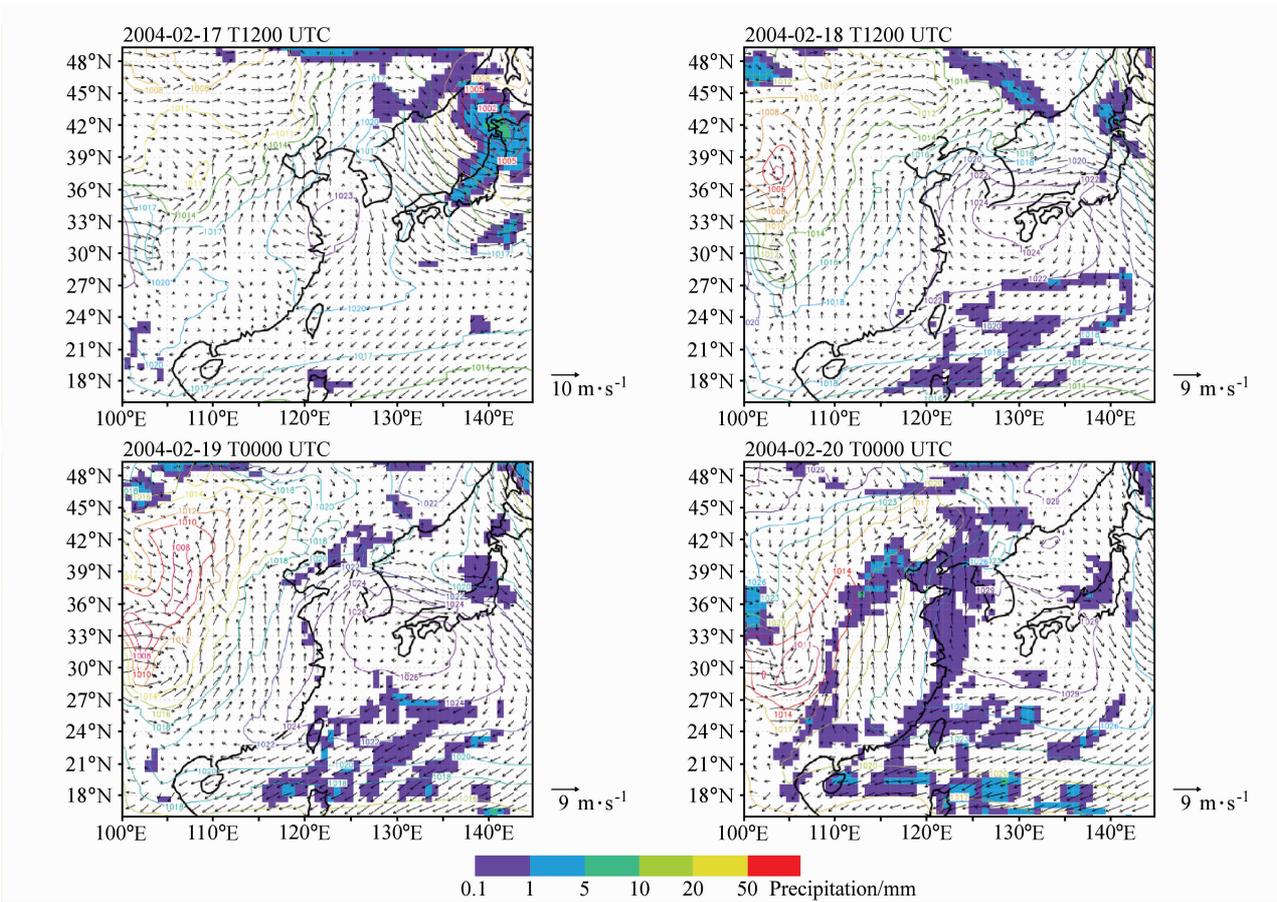


图2 2004年2月17~21日东亚地区地面天气形势
Fig. 2 The synoptic pattern in Northeast Asia from 17 to 21 Feb 2004

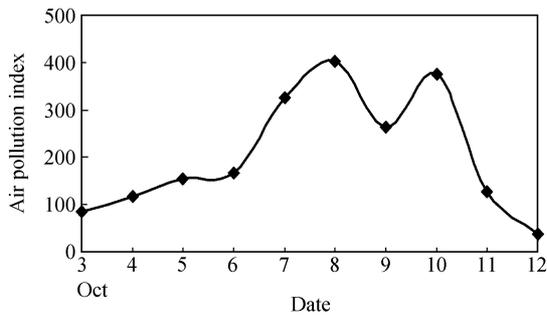


图3 2004年10月4~11日北京地区API污染指数逐日变化
Fig. 3 The diurnal variation of API from 4 to 11 Oct 2004

势下，经常有中尺度系统影响华北地区，这些中尺度系统包括河套倒槽、东北低压槽、东北地形槽和华北地形槽以及华北低压等。虽然这些中尺度天气系统能够影响污染物的扩散条件，但是单独这样的系统还不足以造成北京地区PM10重污染。北京地区PM10重污染过程一般有3~5 d或更长的持续期，而一次中尺度过程也就1~3 d。

因此，开展北京地区持续性天气形势的研究和预报，特别是东亚地区阻塞天气形势的研究和预报，是提高北京地区PM10预警预报的关键。另外，开展中尺度天气系统，特别是北京地区山地—平原风对北京空气污染的影响研究，及其在北京PM10重污染过程中的作用，对改善和控制北京地区及华北地区空气质量，同样具有重要意义。

4.2 台风北上过程对北京地区空气污染的预示作用

在深秋季节，西太平洋台风北上经常伴随北京及华北地区的空气质量恶化，甚至出现持续性的PM10重污染。分析表明：在夏季和初秋季节，北上的台风也会造成北京及华北地区的空气质量恶化。当台风北上的过程中，北京及华北地区经常出现持续的静风或小风天气。当北上台风或热带低压位于黄海以东时，在500 hPa天气图上，东亚地区经常出现阻塞天气形势，使华北地区的天气系统维持少变。因此可以说，台风北上过程

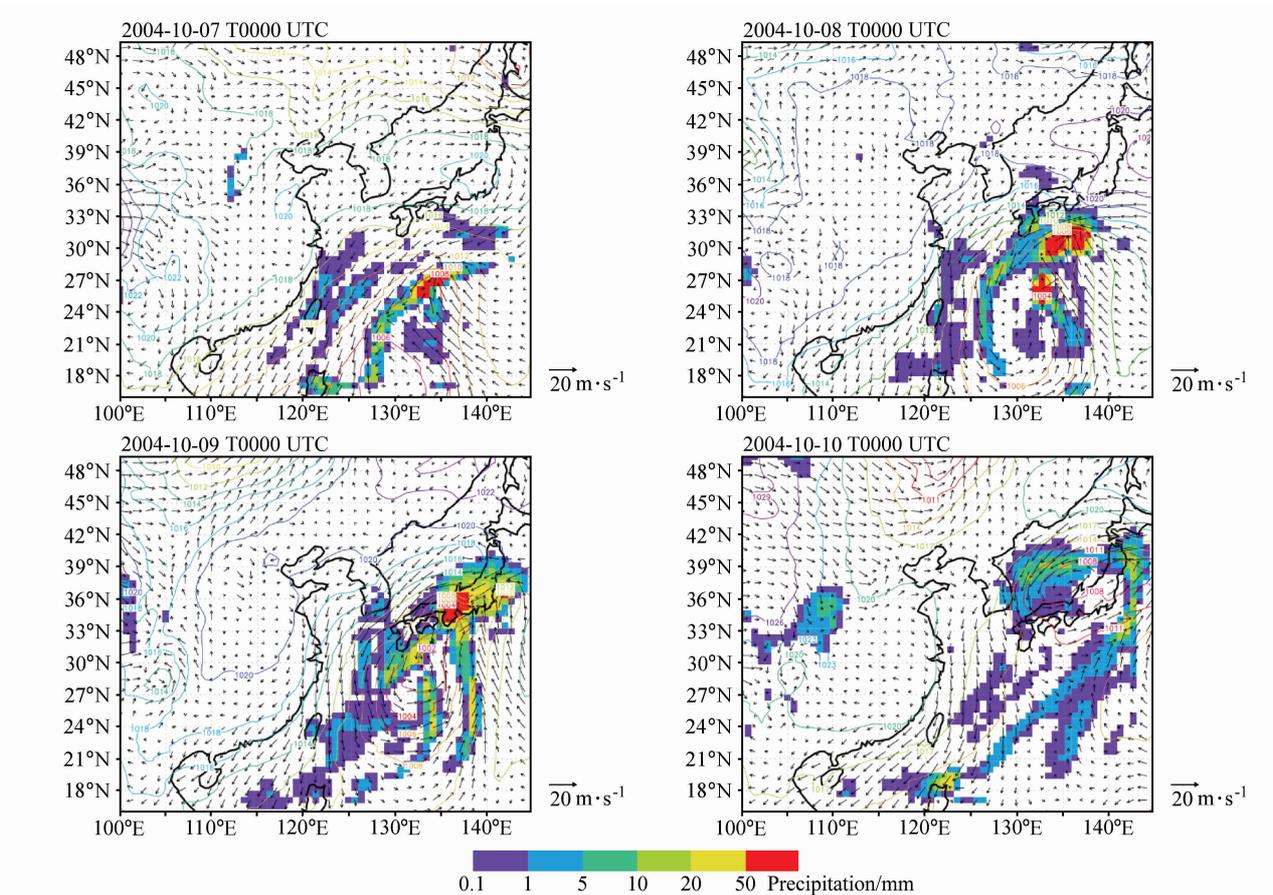


图 4 2004 年 10 月 7~10 日东亚地区地面天气形势
Fig. 4 The synoptic pattern in Northeast Asia from 7 to 10 Oct 2004

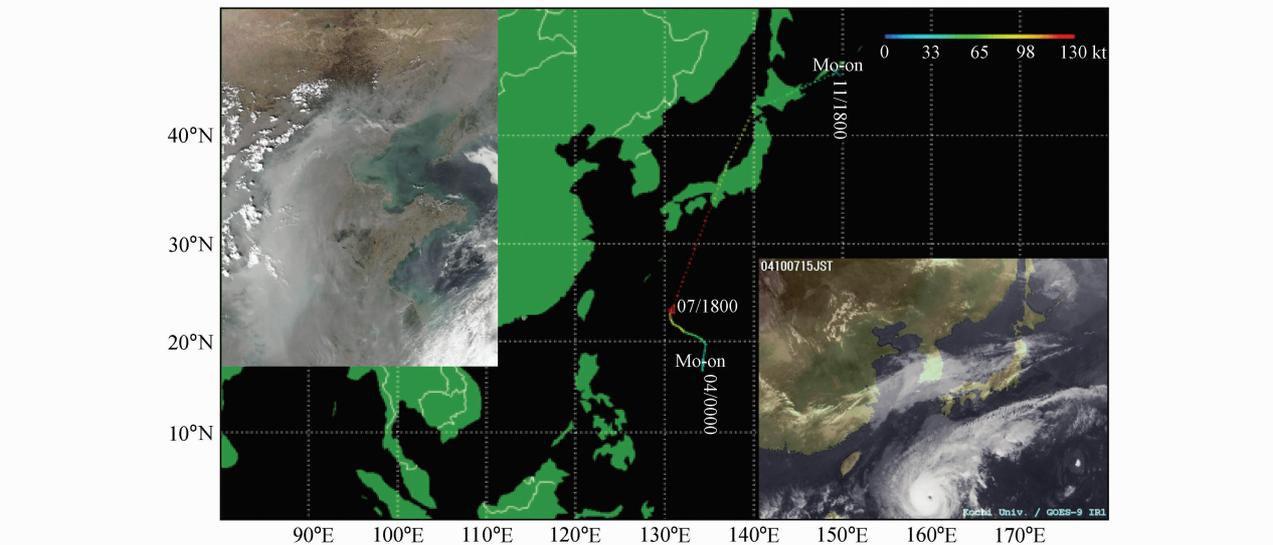


图 5 2004 年 10 月 4~11 日热带低压中心北上轨迹 (底图) (右下为 2004 年 10 月 7 日北京时间 14:00 GOES-9 卫星影像图, 左上为 2004 年 10 月 7 日北京时间 13:05 我国东部地区 MODIS 卫星大气污染监测图)
Fig. 5 Background: the trajectory of the tropical low from 4 to 11 Oct 2004 (Right low corner: Satellite GOES-9 picture of the tropical low at 1400 LST 7 Oct 2004. Left up corner: MODIS air pollution survey of East China at 1305 LST 7 Oct 2004)

对北京地区的空气污染具有预示作用。2008 年 8 月奥运会将在北京召开, 保证奥运期间北京的空气质量, 开展奥运会期间北京的空气质量预报, 是环境保护部门的一个重要任务。每年的 8、9 月份, 东亚地区经常受台风的影响。因此, 开展台风北上路径的预报研究, 或借鉴气象部门对台风路径的预报结果, 为环境保护部门开展 2008 年奥运会期间的城市空气污染预报, 提供了一个有效的预报方法和手段。

致谢 感谢中国科学院大气物理研究所李杰博士提供 MODIS 卫星图片。

参考文献 (References)

- [1] 李琼, 李福娇, 叶燕翔, 等. 珠江三角洲地区天气类型与污染潜势及污染浓度关系. *热带气象学报*, 1999, **15** (4): 363~369
Li Qiong, Li Fujiao, Ye Yanxiang, et al. The relationship between synoptic patterns and potential pollution, the density of surface air pollution over Peal River Delta. *Journal of Tropical Meteorology* (in Chinese), 1999, **15** (4): 363~369
- [2] 苏福庆, 杨明珍, 钟继红, 等. 华北地区天气型对区域大气污染的影响. *环境科学研究*, 2004, **17** (3): 16~20
Su Fuqing, Yang Mingzhen, Zhong Jihong, et al. The effect of synoptic types on regional atmospheric contamination in North China. *Research of Environmental Sciences* (in Chinese), 2004, **17** (3): 16~20
- [3] Orlanski I. A rational subdivision of scales for atmospheric processes. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 1975, **56** (5): 527~530
- [4] 刘瑞晨, 扈忠慈, 李人和. 华北平原中尺度低气压的若干事实. *大气科学*, 1983, **7** (1): 78~87
Liu Ruichen, Hu Zhongci, Li Renhe. The certain facts about the meso-scale low over the North China plains. *Scientia Atmospherica Sinica* (in Chinese), 1983, **7** (1): 78~87
- [5] 王喜全, 虞统, 孙峰, 等. 北京 PM10 重污染预警预报关键因子研究. *气候与环境研究*, 2006, **11** (4): 470~476
Wang Xiquan, Yu Tong, Sun Feng, et al. the key meteorological factors resulting in PM10 heavy air pollution in Beijing. *Climatic and Environmental Research* (in Chinese), 2006, **11** (4): 470~476
- [6] 刘瑞晨, 李鸿洲. 北京地区的烟幕与天气条件的联系. *大气科学*, 1980, **4** (1): 69~78
Liu Ruichen, Li Hongzhou. The analysis of the relationship between the weather conditions and the smoke screen in Beijing. *Scientia Atmospherica Sinica* (in Chinese), 1980, **4** (1): 69~78
- [7] Zorita E, von Storch H. The analog method as a simple statistical downscaling technique; Comparison with more complicated methods. *J. Climate*, 1999, **12**: 2474~2489
- [8] Yarnal B, Comrie A, Frakes B, et al. Developments and prospects in synoptic climatology. *Int. J. Climatol.*, 2001, **21**: 1923~1950