科学通报 2009 年 第 54 卷 第 1 期: 93 ~ 97
论 文
《中国科学》杂志社
SCIENCE IN CHINA PRESS

西太平洋热带气旋路径对北京PM10 污染的预示作用

王喜全①, 王自发①, 虞统②, 龚晏邦①

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 北京市环境保护监测中心, 北京 100084
E-mail: wxq@mail.iap.ac.cn

2008-07-28 收稿, 2008-10-16 接受
中国科学院知识创新工程重要方向项目(批准号: KZCZ2-YW-219)和中国科学院大气物理研究所领域前沿项目(批准号: IAP07204)资助

Wang X Q, Wang Z F, Yu T, et al. Foreshowing of the Western Pacific tropical cyclone track to PM10 air pollution episode in the Beijing area. Chinese Science Bulletin, 2009, doi: 10.1007/s11434-008-0562-4

摘要 利用北京地区空气质量监测资料和 NCEP 再分析资料, 分析了北京地区 PM10 污染过程与天气形势和天气系统的关系. 特别是通过对海平面气压场和西太平洋热带气旋路径的分析, 发现西太平洋热带气旋路径对北京地区 PM10 污染的发生具有预示作用, 即当热带气旋北上并在朝鲜半岛或日本登陆的情况下, 北京地区一般受持续均压场等弱中尺度天气系统控制, 经常容易发生区域性的PM10空气污染过程. 这为开展北京空气污染预报预警和污染控制, 提供了一个有效的预报方法和手段.

关键词
PM10 空气污染与预报
天气形势
西太平洋热带气旋路径
北京

文献[1]分析指出, 前期的污染程度是北京发生PM10 重污染的必要条件之一, 因而持续性的不利于污染物扩散的天气形势是北京发生PM10 重污染的最重要条件. 在持续稳定的天气形势下, 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、东北地形槽和华北地形槽以及华北低压等[2,3], 但这只是发生PM10 重污染的表面现象, 而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)才是提高北京地区PM10 重污染预警预报的关键. 在分析造成北京发生PM10 重污染的天气形势时[4], 我们发现西太平洋热带气旋北上路径对北京PM10 污染的发生有一定的预示作用. 本文利用NCEP再分析资料和北京地区PM10 监测资料, 分析了西太平洋热带气旋路径与北京地区PM10 污染的关系. 这对开展北京城市PM10 污染的预警预报和污染源控制管理会有所裨益.

1 分析方法

为了研究天气形势与北京地区PM10 污染的关系, 我们对 2004 年北京地区发生的 137 d 3 级以上(含 3 级)PM10 污染的天气形势和中央气象台发布的西太平洋热带气旋路径, 利用主观分析法, 考察了海平面气压场特征, 分析了热带气旋路径和天气形势与PM10 污染过程的对应关系. 由于在所有的气象要素中, 海平面气压场与地面其他气象要素的关系比较稳定[5], 因此本文用海平面气压场分布形势表示天气形势的特征. 虽然主观分析法耗时费力, 但在污染监测资料有限的情况下, 采用该方法研究天气形势与北京地区PM10 污染过程的关系, 比某些客观分析方法具有一些优点[6].

2 西太平洋热带气旋与北京地区 PM10 污染

2.1 2004 年西太平洋热带气旋活动与北京 PM10 污染过程概述

2004 年西太平洋上共生成 30 个热带气旋[7] (中国中央气象台编号为 30 个; 国际编号为 29 个, 其中不包括热带低压). 该年的热带气旋活动特点主要表现在: 频数较常年偏多, 生命史较长, 生成时间较集中, 生成源地偏东, 中等强度的台风偏多, 发展成强台风的偏少; 登陆我国气旋数多于常年平均值, 登陆地段集中在广东珠江口以东到浙江杭州湾一带; 登陆日本的台风共有 10 个, 创下日本登陆台风的新记

录，是一个显著偏多年[8].

通过对 2004 年东亚天气系统演变与北京地区 PM10 污染状况的分析，印证了文献[3]的结论，即在北京地区发生PM10 污染的时候，确实经常伴随有中尺度天气系统的活动，特别是在西太平洋台风季节与热带气旋北上相关联的均压场(或弱高压场)造成的PM10 污染过程有 8 次之多(见表 1)，即除登陆日本的热带风暴玛瑙(0412)和台风鲇鱼(0416)以外，热带气旋登陆日本，北京地区都发生相关联的 PM10 空气污染过程．特别是与登陆日本的台风康森(0404)、台风米雷(0422)、台风马鞍(0423)和台风蝎虎(0424)相关联的北京地区 PM10 污染持续时间都在 5 d 以上．这里所说的北上台风或热带气旋是指未在长江以南登陆的台风或热带气旋.

2.2 一次与登陆日本的台风马鞍相关联的北京地区 PM10 重污染过程

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 1 是此次过程北京市区 API

表 1 2004 年北京地区与台风北上相关联的 PM10 污染过程

日期	主要污染物/等级/API 指数	控制北京地区的天气系统描述
06-09	PM10/3(1)/109	随台风康森(0404)北上, 6 月 9~13 日北京地区一直受弱高压系统控制．在台风康森登陆日本的同时，东移河套倒槽开始影响北京地区，使北京地区多数台站发生一次小雨降水过程; 16 日降水过程结束，此次长达 7 d 的 PM10 污染过程也随之结束
06-10	PM10/3(1)/125	
06-11	PM10/3(1)/114	
06-12	PM10/3(1)/110	
06-13	PM10/3(1)/118	
06-14	PM10/3(1)/136	
06-15	PM10/3(1)/147	
06-21	PM10/3(1)/103	台风电母(0406)北上, 6 月 19~21 日北京地区受均压场控制; 在登陆日本后, 22 日东移东北低压槽过境，污染结束
08-02	PM10/3(1)/119	此次台风南修(0410)登陆日本过程，北京地区也受均压场控制，污染过程与伴随台风电母的相似
08-24	PM10/3(1)/105	伴随台风暹芭(0417)北上至登陆日本，北京地区 8 月 23~26 日一直受均压场控制, 27 日东北低压槽影响北京并东移，此次污染过程也随之结束
08-25	PM10/3(1)/123	
08-27	PM10/3(1)/126	
09-06	PM10/3(1)/101	伴随台风桑达(0419)北上，北京地区 9 月 5~6 日受均压场控制
09-23	PM10/3(1)/123	伴随台风米雷(0422)缓慢北上过程，北京和华北地区从 9 月 22~30 日一直受弱高压场控制，地面小风或无风, 700 hPa 一直有逆温存在，造成 7 d 的 PM10 持续污染．台风登陆日本后, 30 日东移东北低压槽过境污染过程结束
09-24	PM10/3(2)/198	
09-25	PM10/3(2)/179	
09-26	PM10/3(1)/111	
09-27	PM10/3(1)/114	
09-29	PM10/3(1)/134	
09-30	PM10/3(1)/141	
10-04	PM10/3(1)/118	在台风马鞍(0423)缓慢北上并登陆日本的过程中，北京和华北地区先后受东移高压控制, 10 月 3 日北京地区位于高压后部西南气流影响，地面小风，500 hPa 以下有深厚逆温层存在; 6 日有东北地形槽过境; 8~11 日华北地区在持续的均压场控制下，地面小风, 700 hPa 有逆温存在．台风登陆日本后，东北低压槽影响北京并过境，长达 8 d 的 PM10 重污染过程结束
10-05	PM10/3(2)/154	
10-06	PM10/3(2)/166	
10-07	PM10/5/326	
10-08	PM10/5/402	
10-09	PM10/4(2)/264	
10-10	PM10/5/375	
10-11	PM10/3(1)/128	
10-16	PM10/3(1)/116	在台风蝎虎(0424)北上和登陆日本前，北京地区受持续均压场控制
10-17	PM10/3(1)/111	
10-18	PM10/3(1)/126	
10-19	PM10/3(1)/149	
10-20	PM10/3(1)/110	

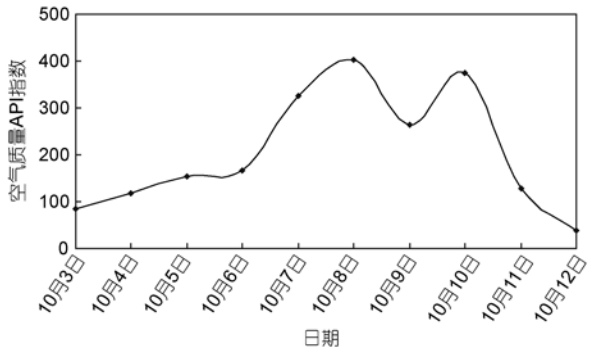

图 1　2004 年 10 月 4~11 日北京地区 API 污染指数逐日变化

污染指数逐日变化，其中的 7~10 日达重污染的水平.

图 2 给出了此次污染过程每日 08 时地面气压场和流场的演变情况. 在此次冷高压过境、南下东移的过程中，我国东海有台风马鞍北上，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. 从图 3 的 500 hPa 高空图流场的演变情况来看，在此次污染过程中高空槽持续发展形成阻塞形势，北京地区持续处在弱高压脊的控制当中. 图 4 给出了台风马鞍的 GOES-9 卫星监测和台风中心的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，不断受东移的东北地形槽和华北地形槽以及汇聚性的中尺度均压场系统的影响，造成北京地区严重的 PM10 空气污染. 对 2004 年 9 月 23~30 日和 10 月 16~20 日轻微污染过程的分析也表明，这 2 次北京地区 PM10 污染过程也是在与北上台风(米雷和蝎虎)相关联的弱高压控制的天气系统条件下发生的. 在这种天气形势控制下，北京地区地面持续小风或静风，温度层结整层稳定.

3　讨论

在污染源一定的情况下，污染的程度决定于气象要素和天气形势，因此有效的空气质量预报的问题，就转化为如何正确预报天气状况的问题. 在污染源数据不可靠或动态变化的情况下，尤其如此. 不论是统计预报，还是数值预报，在不能正确预报天气形势和气象要素的情况下，实际预报效果都不会太好，更谈不上预报方法的优劣问题.

北京地区的空气污染多发生在持续性的弱天气形势条件下[1,3]，但现有的数值气象模式对这类天气系统的预报，特别是地面风要素的预报，都有很大的系统性误差，特别是超过 3 d以上的预报[9~11]. 因此在提高弱天气系统气象要素预报精度的同时，可以

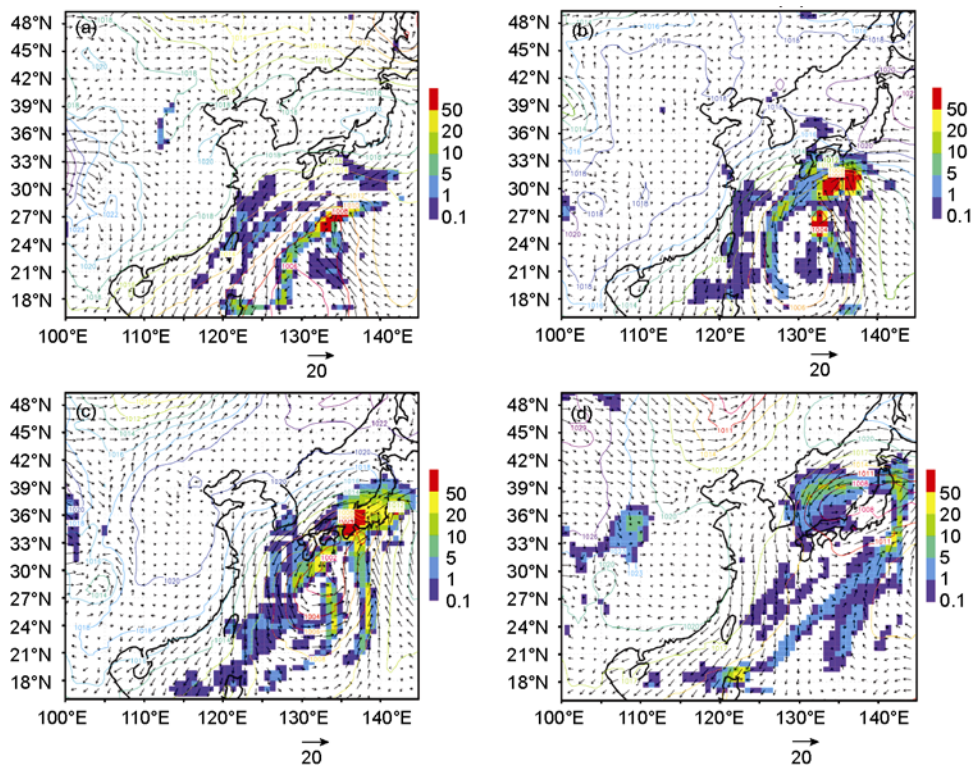

图 2　2004 年 10 月 7~10 日东亚地区地面天气形势

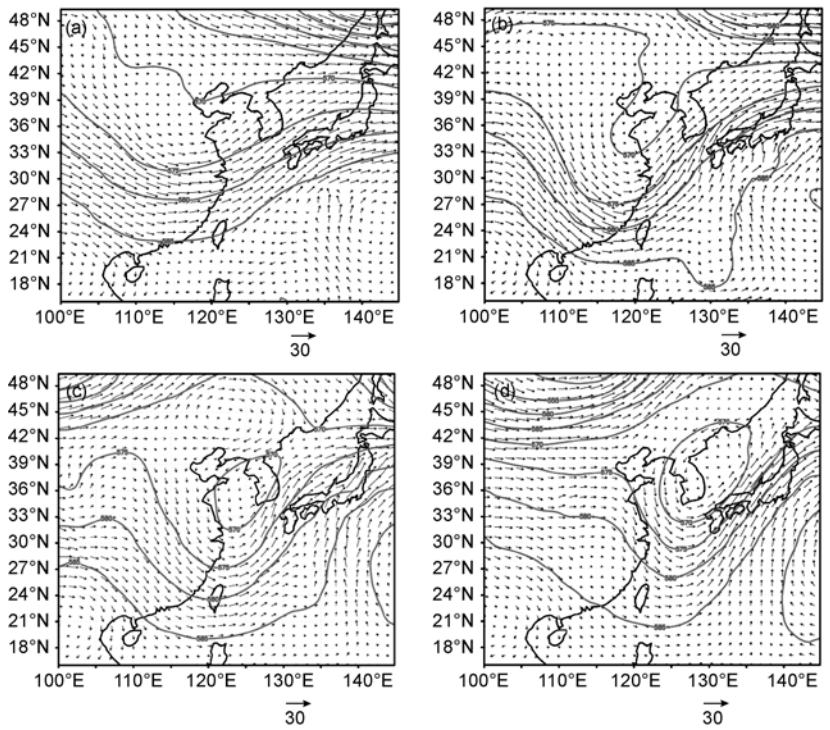

图 3 2004 年 10 月 7~10 日东亚高空天气形势演变

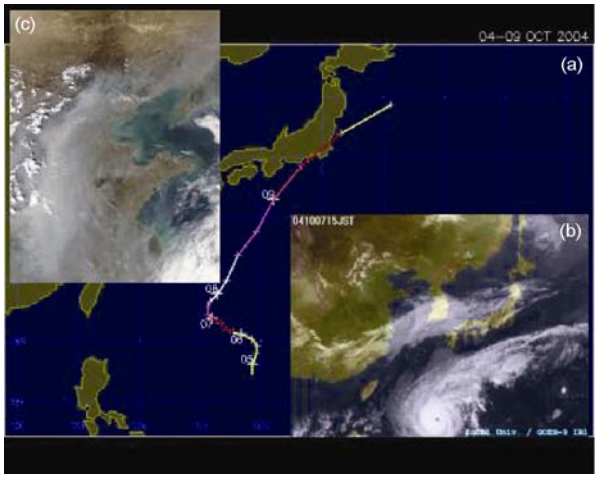

图 4

(a) 2004 年 10 月 4~11 日台风马鞍中心北上轨迹, (b) 2004 年 10 月 7 日北京时间 14 时 GOES-9 卫星影像图, (c) 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

换一种角度，即注意与污染过程相关联的强天气系统的预报能力. 这里讨论热带气旋北上与北京地区PM10 污染的关系，不是讨论热带气旋对污染的直接影响，而是讨论与热带气旋北上相关联的北京地区弱天气系统的关系，以期寻找和提供一种北京地区空气污染中期预报以及污染物排放控制管理的方法和手段.

2004 年西太平洋热带气旋的路径大致分为 3 类[7]：西向路径、西向转北路径和偏东路径. 西向路径的热带气旋一般在我国长江口以南地区登陆或消失; 偏东路径一般指在日本以南洋面转向并消失; 西向转北路径一般指在长江口以北登陆我国、或朝鲜半岛、或日本的热带气旋路径. 对 2004 年 30 个热带气旋路径与北京地区PM10 污染过程分析表明，在西向路径和偏东路径的情况下，北京地区一般不会发生持续的PM10 污染过程. 在上节的分析中，我们发现，伴随西太平洋热带气旋北上过程，北京及华北地区经常出现空气质量恶化的现象，甚至出现持续性的PM10 重污染. 与 2004 年 10 次登陆日本的热带气旋相关联，北京地区发生 8 次PM10 空气污染过程. 分析表明，在热带气旋北上的过程中，北京及华北地区经常出现持续的静风或小风天气. 在北上热带气旋位于黄海以东时，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，热带气旋北上过程对北京地区的空气污染具有预示作用.

目前气象部门热带气旋路径的趋势预报(5 d 左右)已达到了足以信赖的程度. 如果热带气旋在长江

以南登陆，北京一般不会发生 PM10 空气污染；如果热带气旋北上并在我国东北或朝鲜半岛或日本岛登陆，北京就最有可能发生一次轻微或轻度污染(就2004 年来说，可以达到 80%的准确率). 这个结果为北京城市空气质量预警预报和空气污染源控制，提供了一个有效的预报方法和手段.

参考文献

1 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
2 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
3 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
4 王喜全，齐彦斌，王自发，等. 造成北京 PM10 重污染的二类典型天气形势. 气候与环境研究, 2007, 12(1): 92—97
5 Zorita E, Storch H V. The analog method as a simple statistical downscaling technique: Comparison with more complicated methods. J Clim, 1999, 12: 2474—2489
6 Yarnal B, Comrie A, Frakes B, et al. Developments and prospects in synoptic climatology. Int J Climatol, 2001, 21: 1923—1950 [doi]
7 中国气象局. 热带气旋年鉴(2004). 北京: 气象出版社, 2005
8 董美莹，薛根元，郑沛群. 2004 年西太平洋热带气旋的活动特点与成因研究. 热带气象学报, 2006, 22(5): 498—504
9 王建捷，王迎春，崔波，等. 北京地区中尺度非静力数值预报系统的开发与实时预报应用. 应用气象学报, 1999, 10(4): 386—393
10 Mass C F, Ovens D, Westrick K, et al. Does increasing horizontal resolution produce more skillful forecasts? Bull Amer Meteorol Soc, 2002, 83(3): 407—430 [doi]
11 Fast J D, Darby L S. An evaluation of mesoscale model predictions of down-valley and canyon flows and their consequences using Doppler lidar measurements during VTMX2000. J Appl Meteorol, 2004, 43: 420—436 [doi]

·动 态·

龙门山登山科考圆满结束

5.12 汶川大地震的发生使人们意识到青藏高原东缘具有高度的构造活动性，这促使人们不仅关注该地区地震发生和发展及其灾害的防治还引发了对青藏高原东缘隆升时间、幅度和机制的讨论. 龙门山构成青藏高原东部边缘的主体，最高峰海拔近 5000 m，耸立在海拔只有 500 m 的成都平原的西侧，其地形梯度之大为青藏高原各边缘之冠. 该山体呈北东-南西走向，长 200 余公里，最宽处 28 公里，主体由四川盆地的结晶基底-彭灌杂岩组成. 龙门山坐落在汶川大地震的发震构造——北川-映秀断裂的上盘，因此，其隆升与断裂的压扭性运动有无可置疑的成因关联，确定了它的隆升时间即获得了断裂及地震的活动时间. 彭灌杂岩包含很多晋宁期钾长花岗岩、黑云花岗岩、花岗闪长岩等中酸性侵入岩体，其中所含的矿物如锆石和磷灰石是测定岩体隆升和侵蚀作用的理想矿物.

为了采集测年样品和考察震后的地质和地貌景观，在 2008 年 11 月初，中国科学院地质与地球物理研究所王二七研究小组开展了为期一个月的登山科考，目的地是龙门山的主脊. 由于龙门山最高峰-九顶山(4985 m)一带没有花岗岩，是由震旦系和古生界沉积岩组成，所以选择攀登九顶山南西一侧的主脊，海拔在 4300~4600 m，出露的大多是花岗岩. 龙门山的地表因地震而受到极大的破坏，因此，自地震发生后还没有人深入到龙门山的核心地带. 该研究小组先后 3 次尝试登顶: 第一次是从东坡，起点是都江堰市境内的虹口镇连山坪村，海拔 1200 m，第二次是从西坡，起点是汶川县境内的雁门沟水电站，海拔 1500 m，两次皆因上山的路被破坏而失败. 所谓的路是当地人上山采药走出来的山路，原本就窄而陡，一些地段蚂蝗遍地，地震造成的岩崩、滑坡和泥石流，河流被阻断，大部分山路已不复存在，许多地方要从赤裸的岩石断面上通过. 第一次最高攀登到 3000 m 处，第二次攀登到 2900 m 处. 第三次的起点还是在西坡的雁门沟，在当地藏族和羌族向导的引导下，寻得另一条山路，经过两天的艰苦爬涉，终于在 11 月 30 日成功攀登到海拔 4300 m 的主脊——红岩顶，此地名因出露的暗红色钾长花岗岩而得名. 按 200 m 的间距，从山脚 1100 m 处至山顶 4300 m 系统地采集了花岗岩样品，获得的样品贯穿了一条完整的彭灌杂岩垂直剖面，剖面相对高差达 3200 m. 下一步的工作计划是选矿以及测年，研究结果将具有重要的意义.

王二七，苏哲，许光
(中国科学院地质与地球物理研究所，岩石圈演化国家重点实验室，北京 100029)