

异常弱的南极涛动和 2006 年 我国春季沙尘气候形势

范可 王会军

中国科学院大气物理研究所, 北京 100029

摘要 从 2005/2006 年冬季南极涛动的变异出发, 讨论 2006 年我国春季沙尘气候形势, 进而考察南极涛动对我国沙尘气候的预测能力。2005/2006 年冬季南极涛动非常弱, 在两半球间的经向遥相关的作用下, 出现南半球中高纬西风减弱, 欧亚西风减弱, 欧亚冷空气活跃, 西伯利亚、蒙古国、我国北方大部地区 (包括华北) 2005 年冬季 12 月气温较多年平均偏低, 这样就造成沙源地区的冻土层增厚, 春季回暖后, 沙尘物质条件丰富。因此, 在弱南极涛动的影响下, 春季蒙古气旋活跃, 地面大风增加, 我国华北地区春季沙尘天气频繁发生。

关键词 南极涛动 沙尘 气候

文章编号 1006-9585 (2007) 04-0475-06 **中图分类号** P425 **文献标识码** A

The Weakening of the Antarctic Oscillation and the Dust Climate during Spring 2006 in China

FAN Ke and WANG Hui-Jun

Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029

Abstract Based on the variation of Antarctic Oscillation (AAO), the dust climate during spring in China in 2006 was discussed. The use of the signal of AAO in the forecast of dust climate in China is also examined. The results show that the AAO has been very weak since last winter in 2005/2006. The weaker AAO (DJF) is concurrent with weaker westerlies in Southern Hemisphere and weaker westerlies in Eurasia, resulting in the colder temperature in Asia via the meridional teleconnection from the Antarctica to the Northern Hemisphere. The surface temperatures in December of 2005 are lower than the normal in the Siberia area, Mongolia area as well as north China, resulting in deeper frozen land surface in winter and more sandy sources in spring. Therefore, there is more Mongolia cyclongenesis and strong winds under the weaker AAO, resulting in more dust days during spring.

Key words Antarctic Oscillation, dust, climate

1 引言

沙尘天气包括扬沙、浮尘、沙尘暴, 是中国北方春季 (3~5 月) 的重要的天气现象。沙尘天气的发生与大气环流、气候、地貌形态等自然因

素有关, 同时也与人为的生态环境破坏有关。自 2000 年起, 强沙尘天气频繁袭击北京, 直接影响了首都的环境、交通、经济和人民的健康。沙尘天气的研究和治理受到了政府和国内外专家的高度重视。2006 年 3 月以后, 中国大部分地区连续

收稿日期 2006-04-21 收到, 2007-03-02 收到修定稿

资助项目 国家重点基础研究发展规划项目 2006CB403705、中国科学院知识创新重要方向性项目 KZCX3-SW-221 和国家自然科学基金资助项目 40620130113、40475037

作者简介 范可, 女, 1971 年出生, 博士, 副研究员, 主要从事沙尘气候及季风气候研究。E-mail: fanke@mail.iap.ac.cn

遭遇多次沙尘天气,北方沙尘发生的次数和强度都明显高于 2003 年和 2005 年同期,其中北京地区发生了多次强沙尘天气再次引起各界的广泛关注。北京地区 4 月 5~11 日遭遇了影响时间较长的沙尘天气,能见度只有两三公里,大气质量下滑至最严重的 5 级重度污染;16~18 日又遭遇了近几年来影响范围和强度较大的沙尘天气。据国家林业局监测,本次沙尘天气影响了新疆、宁夏、陕西、山西、河北和北京等 10 个省(区、市)的 562 个县(旗、市),面积约 $1.61 \times 10^6 \text{ km}^2$,人口约 2 亿。据测定,北京城区每平方公里降尘量为 10.76 t。因此,2006 年春季北京沙尘天气的发展趋势是一个备受关注的问题。

目前对于我国北方沙尘天气的时空分布和变化趋势、天气和气候因子以及沙尘的短期气候预测等方面的研究已取得了很多重要成果^[1~20]。沙尘暴产生的天气条件有:大风,不稳定的大气层结状况,丰富的沙尘源。同时冷空气的活动能激发冷锋、气旋及中尺度系统的生成^[1~4]。影响沙尘发生日数的气候因子很多,研究表明,沙尘暴发生日数与东亚冬季风的异常、ENSO、北极涛动、北半球极涡以及春季蒙古气旋有密切关系,也与冬春气温、降水和土壤湿度等气候因子密切相关^[5~10]。周自江等^[11~13]和钱正安等^[14]揭示了我国北方的扬沙和沙尘暴有年代和年际变化的特点,指出 1954~2002 年我国强沙尘暴发生的次数在 20 世纪 50 年代最多,90 年代最少,呈波动减少趋势,2000~2002 年又相对增多。沙尘暴日数的变化与大风的年际振荡和多年的变化趋势有一致性。

康杜娟和王会军^[16]揭示了在沙尘活动频繁年代(1956~1970 年)和稀少年代(1985~1999 年)冬、春季的气候和大气环流有显著差别。与前一个年代相比,在后一个年代(稀少年代)里冬季极涡异常加深,50°N 附近的西风增强,东亚极锋锋区位置偏北,东亚大槽偏弱;西伯利亚高压北部及中心强度变弱,阿留申低压明显升高;东亚季风强度变弱,影响我国的冷空气势力减弱,冬、春季大风天气变少。同时,我国北方广大地区冬季温度显著升高,西北和内蒙古的沙源地区春季降水明显增多。他们的研究还发现,在年际尺度上,我国北方的沙尘活动频次与前冬的西风指数、北极涛动指数呈显著的负相关,与冬、春

季东亚冬季风指数呈显著的正相关。

范可和王会军^[17,18]研究表明,我国北方沙尘天气发生频次(以北京站表示)的年际变化与全球环流异常相联系,与南半球中高纬大气环流关系密切。他们从大尺度的大气环流遥相关出发研究了南极涛动(AAO)与我国北方沙尘频次的关系,发现二者存在显著的反相关关系,并初步提出了可能的影响机制。他们研究了冬季 AAO 正异常下 500 hPa 纬向风的差异,可以看到,从南极到北极有经向遥相关,南半球高纬西风加强,北半球中高纬西风加强,东亚冷空气减弱,沙尘频次的动力条件减弱。通过遥相关,南半球环流的异常能够改变阿留申低压强度和东亚沿岸的气压梯度,进而东亚冷空气活动减弱。范可和王会军^[17]还考察了与春季气旋发生、发展密切相关的对流层高层东亚急流,在 AAO 正异常年中,从南极到北极分布的经向遥相关使 40°N 的西风急流减弱,进而抑制高空动量下传和低层气旋发生和发展。许多研究揭示了前冬的气温是与沙尘频次显著相关的气候因子^[5~10],冬季气温越低越有利于沙尘天气的发生,这是因为北方冬季温度越低,冻土越厚,当春季温度回升后,沙土层也越厚,沙源丰富。范可和王会军^[17,19]发现 AAO 冬季与北方大部地区冬季气温呈显著的正相关。基于以上的研究,本文从冬季 AAO 的变化出发,讨论 2006 年冬春季沙尘气候演变及发展趋势,进而考察 AAO 对我国冬春季沙尘气候的预测能力。

本文使用的大气要素场为水平分辨率为 $2.5^\circ \times 2.5^\circ$ 的 NCEP/NCAR 月平均再分析气象资料,其中,冬季(DJF)是指前 1 年的 12 月和当年 1、2 月的季节平均,春季(MAM)是指 3、4 和 5 月的季节平均,时间长度是 1949~2006 年。南极涛动指数采用文献[21]的定义,是标准化的 40°S 与 65°S 纬圈平均海平面气压之差。气象要素的距平值是实际值减去 1949~2006 年的平均值。沙尘天气发生的日数资料来自国家气候中心,集中的时段是 1 月 1 日~4 月 19 日,时间长度是 1990~2006 年。

2 北京站 1 月 1 日~4 月 19 日时段近 17 年沙尘天气发生日数的时间变化

图 1 给出了北京站 1990~2006 年 1 月 1 日~

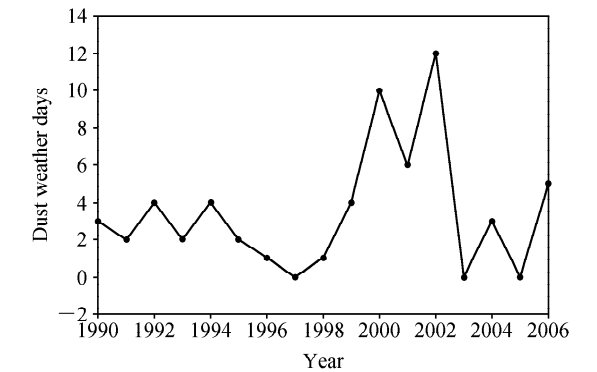


图1 北京站 1990~2006 年 1 月 1 日~4 月 19 日沙尘天气发生日数的逐年变化
Fig. 1 Time series of days of dust weather at Beijing Station from 1 Jan—19 Apr during 1990—2006

4 月 19 日逐年沙尘天气发生的日数变化。近 17 年中，北京站沙尘天气发生的平均日数是 3.47 天，沙尘天气发生日数较多的年份有 2000、2002 和 2006 年都明显高于 17 年的平均值，2006 年是北京自 20 世纪 90 年代同期以来发生沙尘次数较多的年份。

3 2005/2006 年冬季南极涛动

南极涛动是南半球中高纬大气环流一个主要的气候变率模态，表示了南半球极地到高纬 60°S 附近与中纬度 45°S 附近南北向的大尺度的质量交换，因而南极涛动能反映南半球的绕极低压带的变化和中高纬纬圈平均西风的强度。南极涛动强，绕南极低压加深和南半球中高纬西风加强。南极涛动具有很强的正压性和纬向性。研究证实冬春

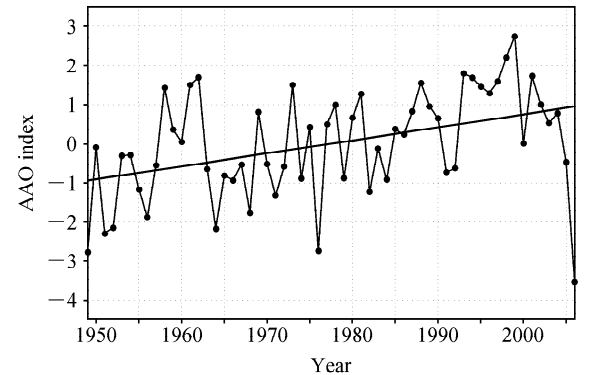


图2 1954~2006 年冬季 (DJF) 南极涛动的时间变化
Fig. 2 Time series of AAO (DJF)

季的南极涛动有很好的季节持续性^[19]。图 2 给出了冬季 AAO1949~2006 年的时间变化和线性趋势。图 2 表明冬季 AAO 线性趋势上升，在 20 世纪 70 年代中期以前以负位相为主，在此之后以正位相为主^[17,19]。值得注意的是 2005/2006 年冬季 AAO 在 58 年中是最弱的年份，扣除了线性趋势后，这个特征依然存在。根据范可和王会军^[17~19]的研究结果，AAO 的异常年份出现两个遥相关，一个是从南半球高纬到北半球高纬的经向遥相关，一个是沿太平洋的局地波列。经向遥相关冬季在欧亚地区显著，春季在太平洋地区显著。因此，在冬季 AAO 弱异常年份中，南半球高纬西风减弱，欧亚西风减弱，东亚冷空气活跃，我国北方大部分冬季气温偏低。春季对流层东亚急流加强，蒙古气旋和冷锋活跃造成地面大风增加，我国北方沙尘发生的动力条件加强，沙尘发生频次增多。

4 2005/2006 年冬季大气环流变异

图 3 给出了 2005/2006 年冬季 500 hPa 纬向风的距平场，清楚反映了欧亚地区从南半球高纬到北半球高纬正负距平相间的经向遥相关。图中表明在经向遥相关的作用下，AAO 异常偏弱，南半球高纬西风加强，同时欧亚西风减弱，其有利于极地冷空气侵入欧亚。事实上，冬季的南极涛动与南半球高纬纬圈西风指数和欧亚西风指数在年际变化上有显著的正相关关系^[19]。图 4 给出了 2005/2006 年冬季海平面气压距平场，图中可见南半球的绕极低压减弱，西伯利亚高压和阿留申低压加强，以及冬季风加强的形势。通过分析冬季地面气温距平和 850 hPa 气温距平，发现欧亚地区和我国北方的部分地区都是负距平（图略）。由 2005 年 12 月地面气温的距平图（图 5）可见，从西伯利亚到蒙古国及我国北方（包括华北地区）是气温负距平，而这些地方大都是沙土的源区，气温越低使得冻土层越厚，春季回暖后也使沙土层增厚，因而沙源丰富。

5 2006 年北方春季沙尘气候形势

2006 年入春以后，我国北方地区沙尘天气频繁发生，这是近几年来同期出现沙尘天气较多的

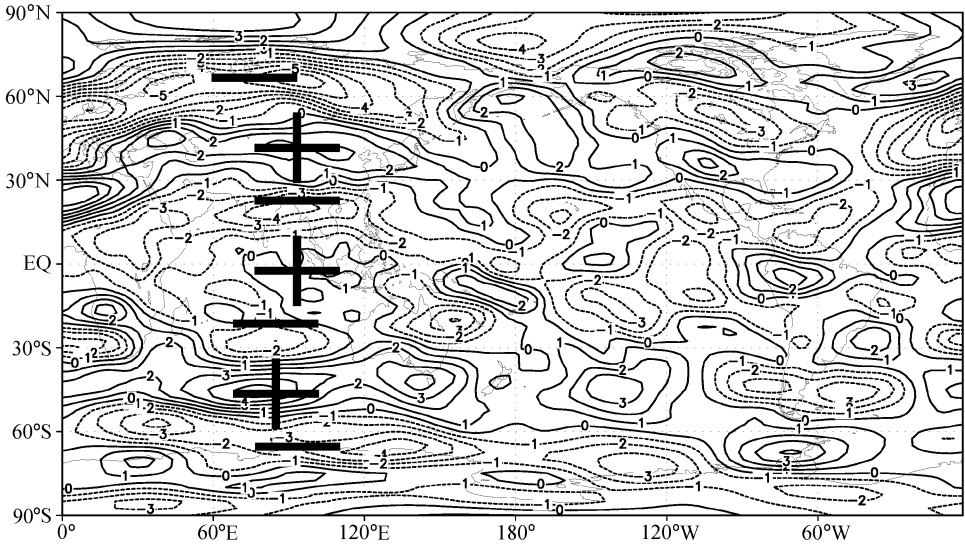


图 3 2005/2006 年冬季 500 hPa 纬向风距平 (单位: gpm)
Fig. 3 Zonal wind anomaly at 500 hPa in winter of 2005/2006 (units: gpm)

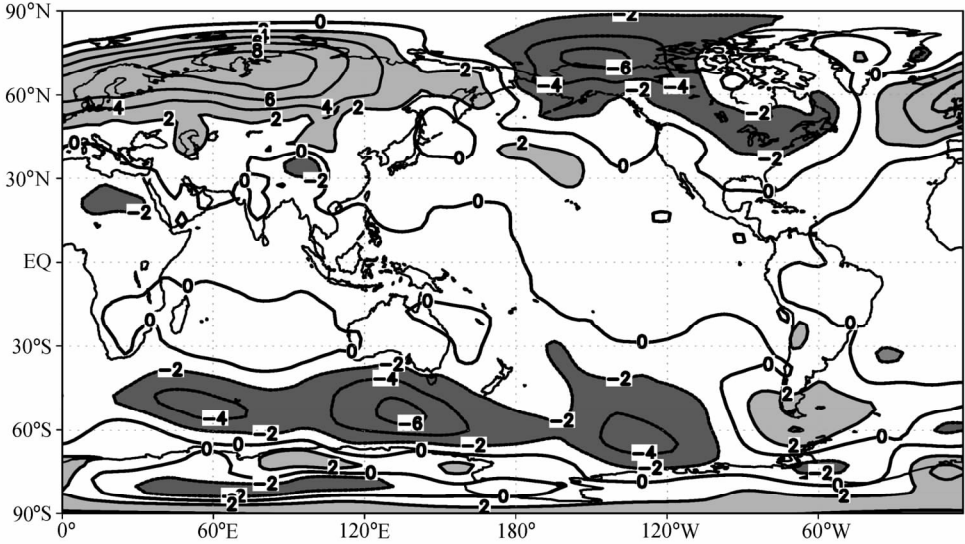


图 4 2005/2006 年冬季海平面气压距平场 (单位: hPa, 阴影区距平大于 2 hPa)
Fig. 4 Sea level pressure anomaly in winter of 2005/2006 (units: hPa, shaded areas indicate larger anomalies than 2 hPa)

一年, 并且在 3 月 10 日前后与 4 月 10 日前后, 分别发生了一次沙尘暴天气过程, 其强度是近 10 年来少见的。尤其是 4 月上旬北京发生了近几年中影响时间较长的沙尘天气, 在 4 月 16~18 日, 又发生了近几年中强度较强的沙尘天气。2006 年春季未来北方沙尘发生频次如何是值得关注的问题。我们基于已有的工作^[17~19] 讨论了冬季的 AAO 及 2005/2006 年冬季的大气环流演变特征。据此可以展望: 由于 2005/2006 年冬季 AAO 非常弱, 蒙古国和我国北方沙尘多发地区冬季气温偏

低, 这样造成沙尘的冻土层加厚, 待春季回暖后沙土层也增厚, 沙尘天气发生的沙源也就越丰富。其次, 研究还表明, 由于冬春季 AAO 有很好的季节持续性, 春季 AAO 持续处于弱位相, 东亚地区 40°N 对流层高层急流加强, 该急流加强有利于低层蒙古气旋的加强和地面锋生, 进而造成地面大风天气的频繁发生, 这就为我国北方春季沙尘天气的频繁发生提供了有利的动力条件。因此, 2005/2006 年冬季 AAO 的变化和我国华北地区春季沙尘天气的频繁发生具有内在的物理原因。

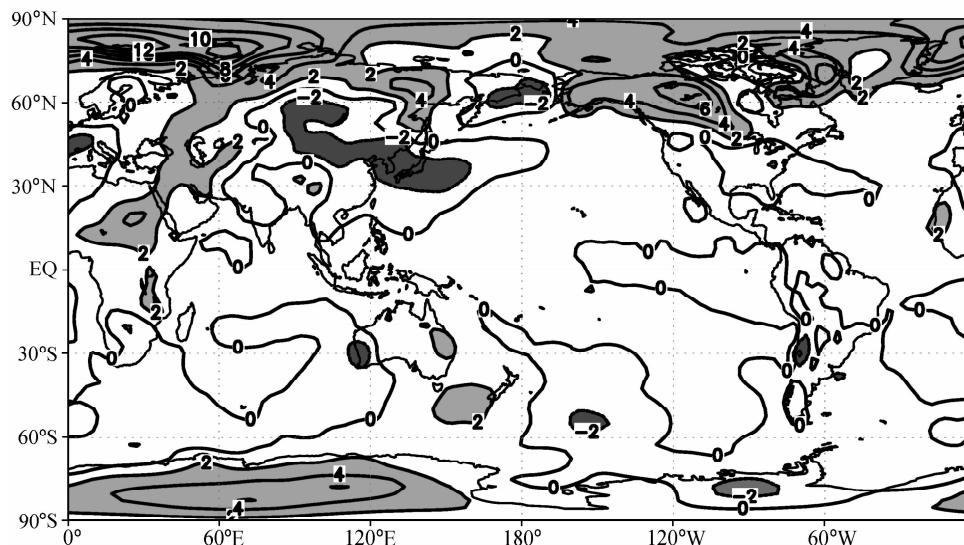


图 5 2005 年 12 月地面气温距平 (单位: $^{\circ}\text{C}$, 阴影区距平大于 2°C)

Fig. 5 Surface temperature anomaly in Dec 2005 (units: $^{\circ}\text{C}$, shaded areas indicate larger anomalies than 2°C)

6 结语

本文基于已有的研究成果^[16~20], 即冬春季的 AAO 与我国北方沙尘频次有显著的正相关关系, 从 2005/2006 年冬季 AAO 的变化, 讨论 2006 年我国冬春季沙尘气候形势。研究表明, 由于 2005/2006 年冬季 AAO 非常弱, 因此, 前冬沙尘物质条件丰富, 春季蒙古气旋活跃而造成地面大风频繁发生, 华北地区沙尘天气频繁发生。自 20 世纪 90 年代以来, 2006 年我国北方春季的沙尘气候形势较强和 2005/2006 年冬季南极涛动的异常弱非常吻合, 进一步验证了作者以前的研究结论。也说明, 前冬的 AAO 变异可以作为春季我国北方沙尘气候形势预测的一个重要因子, 可以配合基于模式的气候预测试验来改进我国春季北方地区的沙尘气候形势预测。

参考文献 (References)

- [1] 叶笃正, 丑纪范, 刘纪远, 等. 关于我国华北沙尘天气的成因与治理对策. 地理学报, 2000, **55** (5): 513~521
Ye Duzheng, Chou Jifan, Liu Jiyan, et al. Causes of sand-stormy weather in Northern China and contral measures. *Acta Geographica Sinica* (in Chinese), 2000, **55** (5): 513~521
- [2] 孙建华, 赵琳娜, 赵思雄. 华北强沙尘暴的数值模拟及沙

源分析. 气候与环境研究, 2004, **9** (12): 139~154

Sun Jianhua, Zhao Linna, Zhao Sixiong. A numerical simulation on severe dust storm events in North China and their dust sources. *Climatic and Environmental Research* (in Chinese), 2004, **9** (12): 139~154

- [3] 张小玲, 李青春, 谢璞, 等. 近年来北京沙尘天气特征及成因分析. 中国沙漠, 2005, **25** (3): 417~421

Zhang Xiaoling, Li Qingchun, Xie Pu, et al. Features and cause of dust weather in recent years in Beijing. *Journal of Desert Research* (in Chinese), 2005, **25** (3): 417~421

- [4] 张志刚, 陈万隆. 影响北京沙尘源地的气候特征与北京沙尘天气分析. 环境科学研究, 2003, **16** (2): 6~9

Zhang Zhigang, Chen Wanlong. Climate character affecting Beijing dust source and analysis of the dust weather in Beijing. *Research of Environmental Sciences* (in Chinese), 2003, **16** (2): 6~9

- [5] 张德二. 我国历史时期以来降尘的天气气候学初步分析. 中国科学 (B辑), 1984, (3): 278~288

Zhang Deer. The preminary study on the dust weather and climate since the period of history. *Science in China* (Ser. B) (in Chinese), 1984, (3): 278~288

- [6] 张仁健, 韩志伟, 王明星, 等. 中国沙尘暴天气的新特征及成因分析. 第四纪研究, 2002, **22** (4): 374~380

Zhang Renjian, Han Zhiwei, Wang Mingxing, et al. Dust storm weather in China: New characteristics and origin. *Quaternary Sciences* (in Chinese), 2002, **22** (4): 374~380

- [7] Qian W H, Quan L S, Shao S Y. Variations of the dust storm in China and its climate control. *J. Climate*, 2002,

- 15: 1216 ~1229
- [8] 张莉, 任国玉. 中国北方沙尘频数演变及其气候成因分析. 气象学报, 2003, 61 (6): 744~750
Zhang Li, Ren Guoyu. Change in dust storms frequency and the climatic controls in northern China. *Acta Meteorologica Sinica* (in Chinese), 2003, **61** (6): 744~750
- [9] 高庆先, 苏福庆, 任阵海, 等. 北京地区沙尘天气及其影响. 中国环境科学, 2002, **22** (5): 468~471
Gao Qingxian, Sun Fuqing, Ren Zhenhai, et al. The dust weather of Beijing and its impact. *China Environmental Science* (in Chinese), 2002, **22** (5): 468~471
- [10] 陈玉福, 唐海萍. 近 50 年首都圈沙尘暴的变化趋势及其与气温、降水和风的关系. 环境科学, 2005, **26** (1): 32~37
Chen Yufu, Tang Haiping. Dust storms trend in the capital circle of China over the past 50 years and its correlation with the temperature, precipitation and wind. *Environmental Science* (in Chinese), 2005, **26** (1): 32~37
- [11] 周自江. 近 45 年中国扬沙和沙尘暴天气. 第四纪研究, 2001, **21** (1): 9~16
Zhou Zijiang. Blowing-sand and sandstorms in China in recent 45 years. *Quaternary Sciences* (in Chinese), 2001, **21** (1): 9~16
- [12] 周自江, 王锡稳, 牛若芸. 近 47 年中国沙尘暴气候特征研究. 应用气象学报, 2002, **13** (2): 193~220
Zhou Zijiang, Wang Xiwen, Niu Ruoyun. Climate characteristic of sand storm in China in recent 47 years. *Journal of Applied Meteorological Science* (in Chinese), 2002, **13** (2): 193~220
- [13] 周自江, 章国材. 中国北方的典型的强沙尘暴事件 (1954—2002). 科学通报, 2003, **48** (11): 1224~1228
Zhou Zijiang, Zhang Guocai. Typical strong dust storm events in North China during 1954—2002. *Chinese Science Bulletin* (in Chinese), 2003, **48** (11): 1224~1228
- [14] 钱正安, 宋敏红, 李万元. 近五十年中国北方沙尘暴的分布及变化趋势分析. 中国沙漠, 2002, **22** (2): 106~111
Qian Zhengang, Song Minhong, Li Wanyuan. Analyses on distributive variation and forecast of sand-dust storms in recent 50 years in North China. *Journal of Desert Research* (in Chinese), 2002, **22** (2): 106~111
- [15] 王式功, 王金艳, 周自江, 等. 中国沙尘天气的区域特征. 地理学报, 2003, **58** (2): 193~200
Wang Shigong, Wang Jinyan, Zhou Zijiang, et al. Regional characteristics of dust events in China. *Acta Geographica Sinica* (in Chinese), 2003, **58** (2): 193~200
- [16] 康杜娟, 王会军. 中国北方沙尘暴气候形势的年代际变化. 中国科学 (D 辑), 2005, **35** (11): 1096~1102
Kang Dujuan, Wang Huijun. Analysis on the decadal scale variation of the dust storm in north China. *Science in China* (Ser. D) (in Chinese), 2005, **35** (11): 1096~1102
- [17] Fan Ke, Wang Huijun. Antarctic Oscillation and the dust weather frequency in North China. *Geophys. Res. Lett.*, 2004, **31**: L10201, doi: 10.1029/2004GL019465
- [18] 范可, 王会军. 北京沙尘频次的年际变化及其全球环流背景分析. 地球物理学报, 2006, **49** (4): 1006~1014
Fan ke, Wang Huijun. The interannual variability of dust frequency in Beijing and its global circulation. *Chinese Journal of Geophysics*, 2006, **49** (4): 890~897
- [19] 范可, 王会军. 南极涛动的年际变化及其对东亚冬春季气候的影响. 中国科学 (D 辑), 2006, **36** (4): 385~391
Fan Ke, Wang Huijun. Interannual variability of Antarctic Oscillation and its influence on East Asian climate during boreal winter and spring. *Science in China* (Ser. D), 2006, **49** (5): 554~560
- [20] 王会军, 郎咸梅, 周广庆, 等. 我国今冬和明春气候异常与沙尘气候形势的模式预测初步报告. 大气科学, 2003, **27** (12): 136~140
Wang Huijun, Lang Xianmei, Zhou Guangqing, et al. A preliminary report of the model prediction on the forthcoming winter and spring dust climate over China. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* (in Chinese), 2003, **27** (12): 136~140
- [21] Gong D Y, Wang S W. Definition of Antarctic Oscillation index. *Geophys. Res. Lett.*, 1999, **26**: 459~462