

# 2004 年春季中国沙尘天气特征分析

周自江<sup>1</sup> 牛若芸<sup>2</sup>

( 1 国家气象信息中心 北京 100081 ) ( 2 国家气象中心 北京 100081 )

**摘要** 利用全国 681 个站的沙尘天气观测资料分析得出 2004 年春季中国北方的沙尘天气明显偏少、偏弱, 主要表现:

( 1 ) 2004 年春季 681 个站累计的沙尘天气日数 2 080 d, 相当于历史平均值的 46.9%, 是近四十余年中第三个偏少年份。沙尘暴的总面积约 190 万 km<sup>2</sup>, 仅为历史平均值的 37.3%。

( 2 ) 危害性较大的沙尘暴和强沙尘暴过程 6 次, 不足 2001 年的一半。

( 3 ) 4 月和 5 月沙尘天气明显偏少导致整个春季显著偏少。

沙尘天气出现时, PM<sub>10</sub> 浓度相对增加, 空气质量恶化, 但与历史上较典型的强沙尘暴个例相比, PM<sub>10</sub> 浓度增加的幅度不大。进一步分析表明, 2004 年春季沙尘天气偏少、偏弱的主要原因是大气动力条件不足, 是比较特殊的一个年份。

**关键词** 沙尘天气 PM<sub>10</sub> 浓度 干土层 大气动力条件

**分类号** P458 文献标识码 A

## 引言

2000—2002 年, 中国北方的沙尘天气较 20 世纪 90 年代明显偏多<sup>[1]</sup>, 受到广泛关注<sup>[2-7]</sup>。2001 年 3 月, 中国气象局首次启用了国家级沙尘暴监测预警业务系统<sup>[8]</sup>, 进行沙尘天气的实时监测、诊断分析和预警服务, 以求将沙尘天气的危害降低到最低程度。此系统已对 2000—2003 年中国沙尘天气的观测事实和形成机理进行了诊断分析<sup>[9-12]</sup>, 得出了许多有益的认识, 并在相应的实时业务服务中发挥了重要作用。在此系统的框架下, 还需要对 2004 年沙尘天气的动向以及未来的发展趋势等进行更多的诊断分析, 以帮助人们更全面地认知沙尘天气及其危害。

沙尘天气发生时, 地表大量的细沙和尘埃被卷入空中, 大大增加大气中固体颗粒物的浓度, 从而影响大气环境质量, 危害人们的身体健康<sup>[13, 14]</sup>。据数值模式估算, 每年从中国西北地区向大气输送的沙尘有 800 Mt<sup>[15]</sup>, 不仅对当地的辐射能收支有明显影响, 还可能输送到中国东部沿海甚至更远的地区, 对这些地区的大气和生态环境等产生影响<sup>[16, 17]</sup>。因此, 中国的沙尘气溶胶问题已经成为了当今地球科学领域的一个新的研究热点。以前, 地面气象站在观测沙尘天气时, 只记录沙尘暴的开始时间和结束时间, 而不记录扬沙、浮尘的开始和结束时间<sup>[18]</sup>, 由于沙尘天气观测日界和气溶胶观测日界不匹配, 很难将两者进行准确地对比分析。2004 年, 地面气象站开始详细记录扬沙、浮尘的开始和结束时间, 为我们更为准确地分析沙尘天气的气溶胶特征提供了可能。

本文利用中国气象局发布的全国 681 地面气象站的沙尘天气资料和国家环保局发布的 PM<sub>10</sub> 浓度资料, 分析了 2004 年春季中国沙尘天气的主要特征和成因。

## 1 沙尘天气的地理分布

图 1 为 2004 年春季中国沙尘天气日数和沙尘暴日数的地理分布。2004 年春季中国北方大部地区都观

收稿日期 2005-09-21, 修改稿日期 2006-02-07

基金项目 本文由国家自然科学基金项目( 编号 A0305008 ), 国家科技基础条件平台工作重点项目( 编号 2004DKA20170 )和国家气象信息中心项目( 编号 ZK2002B-20、SCYJ-05 )共同资助

第一作者简介 周自江( 1970- ), 男( 汉 ), 安徽庐江人, 高工, 现在国家气象信息中心, 主要从事气候统计分析、气象灾害机理与防治对策研究

E-mail [zhouzj@cams.cma.gov.cn](mailto:zhouzj@cams.cma.gov.cn)

测到了沙尘天气,但是只有塔里木盆地中的部分地区频次较高,沙尘天气日数接近或超过 40 d,其中以民丰的 55 d 为最多 和田的 52 d 次之。在阿拉善高原及相邻的河西走廊和宁夏北部地区 2004 年春季的沙尘天气日数基本上在 10—20 d,较常年同期明显偏少。北方其它地区,除局部大于 10 d 外,大多在 10 d 以下(图 1a)。值得一提的是,位于科尔沁沙地东南部的辽宁彰武、新民等地自 2001 年以来,沙尘天气一直维持相对较高的频次 2004 年新民高达 31 d,是 110 °E 以东地区的最大值。

2004 年春季 沙尘暴日数的最大值没有出现在西北地区,而是出现在内蒙古的苏尼特左旗,为 12 d,其次是新疆的民丰和塔中,均为 11 d,其它各站的观测值基本上都在 5 d 以下。从空间分布(图 1b)来看,沙尘暴主要局限在南疆盆地、内蒙古大部、甘肃西部、宁夏北部、吉林西部和青海局部地区,总的覆盖面积约 190 万 km<sup>2</sup>,只相当于 1961—2004 年沙尘暴平均面积 510 万 km<sup>2</sup> 的 37.3%,同时也只有 2004 年沙尘天气总影响面积 535 万 km<sup>2</sup> 的 35.5%。这表明 2004 年春季中国北方的沙尘天气明显偏少、偏弱。

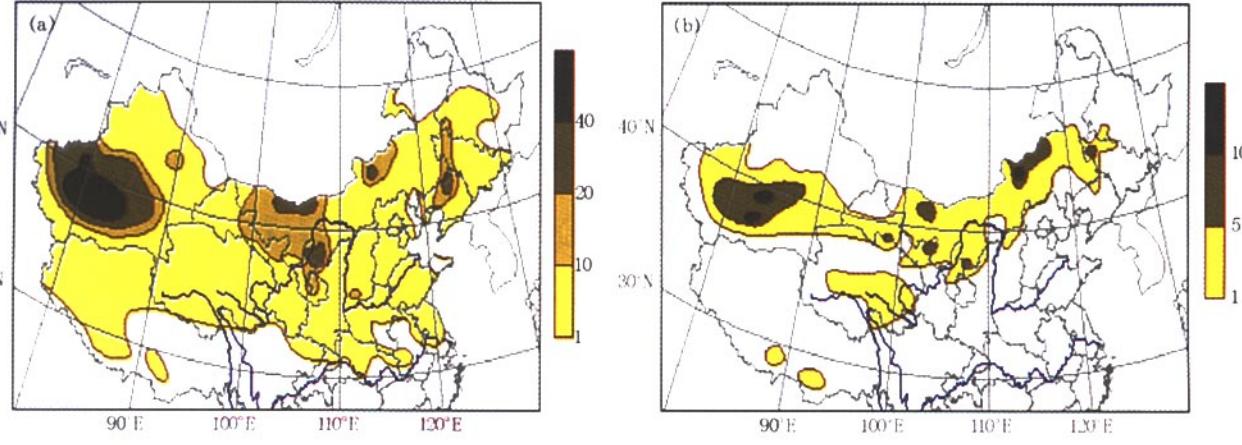


图 1 2004 年春季全国沙尘(a)和沙尘(b)日数的地理分布(单位:d)

Fig. 1 The distribution of spring sandy weather days (a) and sand storm days (b) in 2004 in China

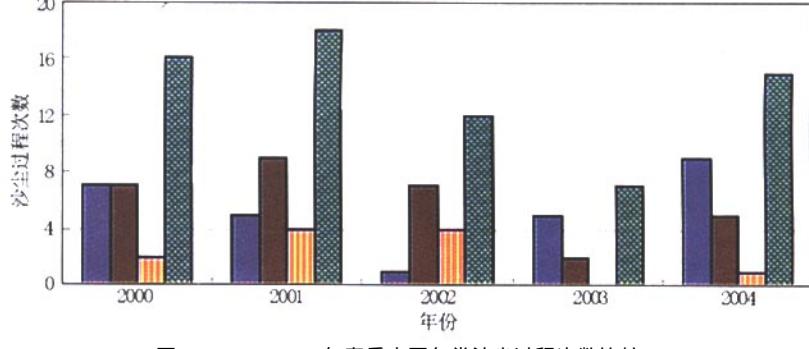


图 2 2000—2004 年春季中国各类沙尘过程次数比较

■ 扬沙过程 ■ 沙尘暴过程 ■ 强沙尘暴过程 ■ 总沙尘过程

Fig. 2 The number of spring sandy weather processes in China during 2000—2004

## 2 主要沙尘天气过程

根据相关的业务技术规定<sup>[10]</sup> 2004 年春季 影响中国的沙尘天气可划分出 15 次相对完整的沙尘天气过程 其中 11 次是由蒙古气旋和冷锋共同作用引起的,另 4 次是由冷锋活动单独引起的。在 15 次沙尘天气过程中,强沙尘暴天气过程为 1 次、沙尘暴天气过程 5 次、扬沙天气过程 9 次。也就是说,危害性较大的沙尘暴和强沙尘暴过程共计 6 次,仅多于 2003 年,但是不足 2001 年的一半(图 2)。这也表明了 2004 年春季我国沙尘天气的总体强度偏弱。2004 年春季唯一的一次强沙尘暴天气过程发生在 3 月 26—28 日,影响了南疆盆地、甘肃中西部、内蒙古中西部和东南部、青海西北部、陕西北部、吉林西部、辽宁北部和黑龙江西南部,造成了内蒙古锡林郭勒盟 5 000 多只牲畜走失或死亡,并使全国 1 200 多架次航班延误。但是其强度和范围远

不及 2001-04-05—08 和 04-07—10 日以及 2002-03-18—22 日的三次强沙尘暴天气过程。

### 3 沙尘天气引起的大气气溶胶浓度变化

沙尘气溶胶是大气气溶胶的一个重要来源<sup>[19]</sup>。沙尘天气发生时，随着大气中固体颗粒物的浓度增加，空气质量会明显恶化。这方面的评价指数很多，如大气总悬浮颗粒物(TSP)浓度、粒径小于等于 40 μm 的颗粒物(PM<sub>40</sub>)浓度、粒径小于等于 10 μm 的颗粒物(PM<sub>10</sub>)浓度、粒径小于等于 2.5 μm 的细颗粒物(PM<sub>2.5</sub>)浓度等等。本文选用的是与人们的身体健康关系密切的可吸入颗粒物 PM<sub>10</sub> 浓度。如前所述，PM<sub>10</sub> 浓度的观测时间为北京时间 12:00，观测值所代表的时间尺度为前一天 12:00 至当天 12:00，而沙尘天气的观测日界为北京时间 20:00，一个观测日是指前一天 20:00 至当天 20:00。为取得一致，本文根据沙尘天气的时间记录将其重新界定为前一天 12:00 至当天 12:00。

以银川和北京为例，图 3 给出了 2004-03-03—05-31 两地的 PM<sub>10</sub> 浓度的变化。可以看出，当出现沙尘天气时，两地的 PM<sub>10</sub> 浓度会相对升高。例如，3 月 10 日银川出现了沙尘暴，PM<sub>10</sub> 浓度达 0.306 mg/m<sup>3</sup>，为当地整个春季的最大值。同一天，北京也出现了扬沙天气，PM<sub>10</sub> 浓度达 0.591 mg/m<sup>3</sup>，也是整个春季的最大值。从整个春季来看，银川共 18 d 报告有沙尘天气，平均的 PM<sub>10</sub> 浓度为 0.166 mg/m<sup>3</sup>，而其它没有沙尘天气 71 d 的平均 PM<sub>10</sub> 浓度为 0.100 mg/m<sup>3</sup>，前者是后者的 1.66 倍。北京有 5 d 报告有沙尘天气，平均的 PM<sub>10</sub> 浓度为 0.437 mg/m<sup>3</sup>，而其它没有沙尘天气 81 d 的平均 PM<sub>10</sub> 浓度仅为 0.173 mg/m<sup>3</sup>，前者是后者的 2.53 倍。如果把上述没有沙尘天气的 PM<sub>10</sub> 浓度认定为当地春季的大气背景值，则 3 月 10 日北京的 PM<sub>10</sub> 浓度相当于背景值的 3.4 倍，银川为 3.1 倍。也就是说沙尘天气对空气质量的影响还是比较明显的。

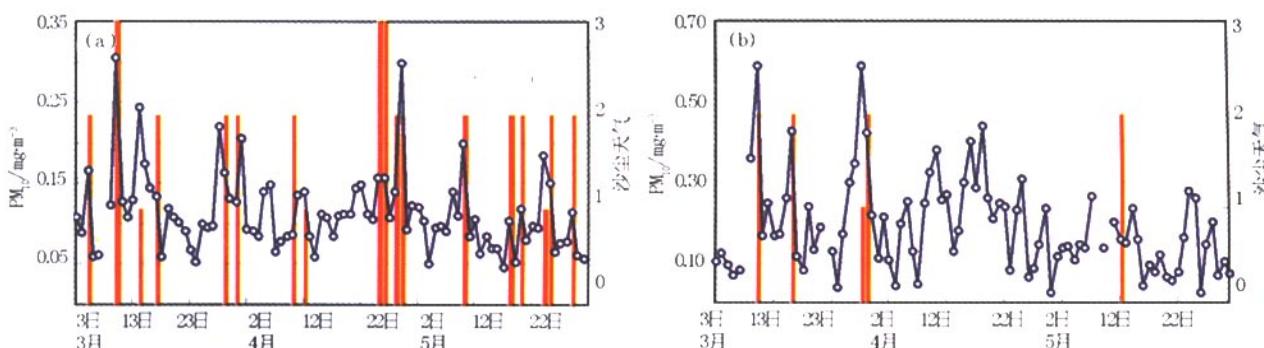


图 3 2004-03-03—05-31 银川(a)和北京(b)的沙尘天气与 PM<sub>10</sub> 浓度

■ 沙尘天气 — PM<sub>10</sub>

(沙尘天气 1 为浮尘 2 为扬沙 3 为沙尘暴)

Fig. 3 Sandy weather and PM<sub>10</sub> of Yinchuan (a) and Beijing (b) during March 3 and May 31 of 2004

但是如果与历史上典型的强沙尘暴事件相比，2004 年春季沙尘天气引起 PM<sub>10</sub> 浓度增加的幅度并不大，例如 2001 年 4 月 7—9 日沙尘暴期间银川三天的 PM<sub>10</sub> 浓度分别为 0.499 mg/m<sup>3</sup>、0.500 mg/m<sup>3</sup>、0.458 mg/m<sup>3</sup>，2002 年 3 月 20 日沙尘暴银川的 PM<sub>10</sub> 浓度 0.450 mg/m<sup>3</sup>，显著高于 2004 年 3 月 10 日的 PM<sub>10</sub> 浓度。再如 2002 年 3 月 20 日浮尘天气北京的 PM<sub>10</sub> 浓度为 0.755 mg/m<sup>3</sup>，也显著高于 2004 年 3 月 10 日的 PM<sub>10</sub> 浓度。在其它观测点也有类似的结果，不再赘述。这些数据从另一角度表明 2004 年春季中国北方的沙尘天气相对偏弱。

### 4 2004 年春季沙尘天气频次与历史同期的比较

从过去 44 a(1961—2004 年)全国 681 个站累计所得到的沙尘天气日数时间序列来看，2004 年为 2 080 d，约为 44 a 平均值的 46.9%，是仅多于 1997 和 2003 年的第三个偏少年份(图 4a)。

44 a 平均而言，3 月份的沙尘天气日数占整个春季沙尘天气日数的 31.3%，4 月份占 39.6%，5 月份占 29.1%，而 2004 年春季 3 月份占了 51.3%，4 月份仅占 25.7%，5 月份占 23.0%。由此推断，2004 年春季沙

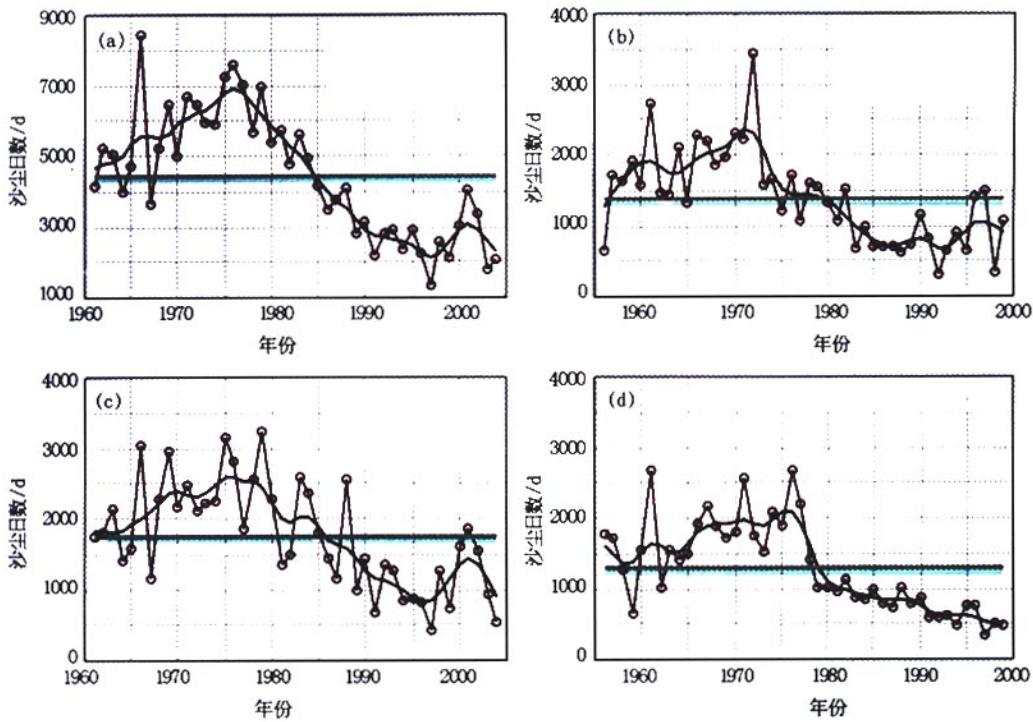


图4 1961—2004年全国681站沙尘日数的累计值的年际变化

(a)春季 (b)3月 (c)4月 (d)5月  
● 实际测值 — 滑动均值 — 44平均值

Fig. 4 Interannual change of sandy weather days at 681 stations during 1961—2004

尘天气日数总数的偏少可能是由于4月份和5月份明显偏少。进一步从时间序列的统计特征来看44a中，3月份的平均相对变率为37.7%，而2004年的相对偏差的绝对值为23.0%，明显小于平均相对变率(图4b)。同理4月份的平均相对变率为35.6%，而2004年的相对偏差的绝对值为69.5%，远大于平均相对变率(图4c)5月份的平均相对变率为42.0%，而2004年的相对偏差的绝对值为63.0%，也大于平均相对变率(图4d)。至此可以认定2004年4月份和5月份沙尘天气的明显偏少(分别位于历史同期的倒数第2位、第3位)是造成整个春季显著偏少的主要原因，而3月份沙尘天气的相对较高频次(位于历史同期的倒数第17位)又是造成2004年沙尘天气多于1997年和2003年主要原因。从44a沙尘暴的逐月分布变化也可得到类似的认识。

## 5 2004年春季沙尘天气显著偏少的原因分析

沙尘天气的发生受地表和大气条件的共同作用，丰富的松散干燥的沙土为沙尘天气发生提供物质源，大气运动产生的强风则是沙尘天气产生的动力源，两者缺一不可<sup>[1,2]</sup>。现从这两个方面入手，对2004年春季沙尘天气偏少的原因进行初步分析。

首先，由气温、降水等气候状况及地表土壤监测结果来看2004年春季沙尘天气发生的物质源是比较充足的。2月中下旬中国北方大部地区迅速回暖，新疆北部、西北地区东北部、华北、东北地区南部和黄淮等地气温较常年同期偏高4~6℃，局部偏高达6~8℃，导致地表层过早过快解冻。3月至4月中旬，上述大部地区气温较常年同期继续偏高2~4℃，蒸发量加大。同时，中国北方大部地区降水量较常年偏少5成至2倍，特别是北方主要沙源区——塔里木盆地、阿拉善高原和河西走廊、浑善达克沙地、科尔沁沙地及其附近地区几乎没有出现降水，土壤墒情显著降低，干土层厚度加大。图5给出了中国北方沙尘暴主体区域2000—2004年3和4月逐旬干土层大于3cm的站数，可以看到2004年干土层大于3cm的站数在5个统计年份中是明显偏多的，表明中国北方土壤偏干，且偏干的范围较大，特别是4月份，其程度超过了沙尘较为多发的2001和2002年<sup>参考数据</sup>。应该说沙尘天气发生所必需的地表物质条件——松散干燥的“沙尘”是比较充分的。这就意

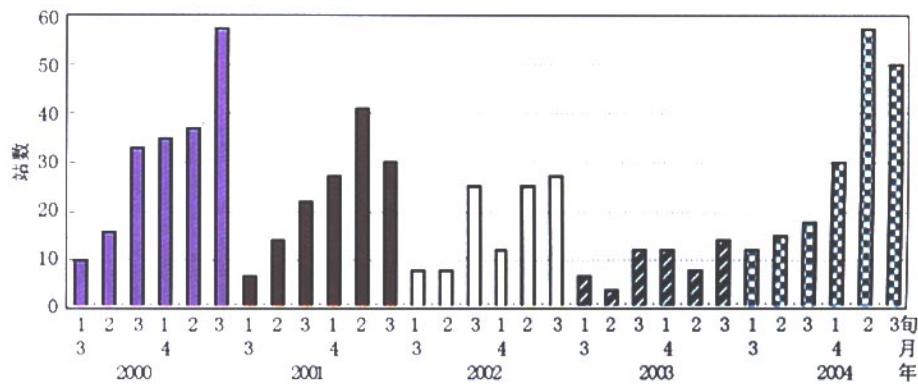


图 5 中国北方沙尘暴主体区域 2000—2004 年 3 和 4 月逐旬干土层厚度大于 3 cm 的站数

Fig. 5 The dekad number of stations where the dry earth layer is deeper than 3 cm in the main sand storm region of northern China between March and April during 2000—2004

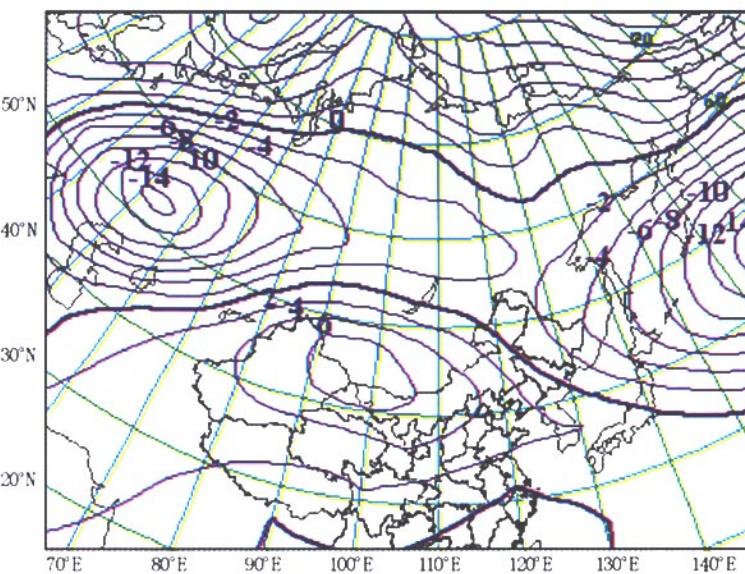


图 6 2004 年 4 月上中旬 500 hPa 高度距平分布( 单位:10 gpm )

Fig. 6 Anomalies of 500 hPa geopotential height in the first and second dekad in April 2004

味着 2004 春季沙尘天气偏少的主要原因可能是动力条件不足。

2004 年春季大气动力条件的诊断结果确实印证了上述之推断。常年同期 500 hPa 亚欧中高纬在西北气流的控制下呈西高东低的环流形势。在沙尘天气典型多发期(如 2001 年 4 月)的 500 hPa 图上,中国东部地区在负高度距平区控制下(图略),东亚大槽偏深,亚洲中高纬环流经向度偏大,入侵中国的冷空气势力偏强,大风日数便多,沙尘天气次数多、范围大、强度强。而 2004 年 4 月上中旬,中国北方大部地区 500 hPa 平均高度明显较常年同期偏高,并对应有 40~60 gpm 的正距平中心(图 6),东亚大槽较常年位置明显偏东,亚洲中高纬环流经向度偏小,影响中国北方地区的冷空气活动减少、势力偏弱。整个春季,对中国造成影响的强度较强的气旋(中心闭合线降至 1 000 hPa 及以下)只有 11 个,中国北方沙尘暴主体区域内 5 级以上的大风日数明显少于 2001 年同期,西北地区东部和华北北部等地偏少 10 d 以上。因此,尽管当时仍维持气温偏高、干旱少雨的天气气候条件,但由于激发沙尘天气所需的大气动力条件不足,沙尘天气过程显著偏少。

总之,2004 年春季在地表物质条件比较充分的情况下,由于影响中国的冷空气势力偏弱,激发沙尘天气所需的大气动力条件不足,从而导致了北方地区沙尘天气明显偏少、偏弱。是近些年比较特殊的一个年份,也是 2004 春季沙尘天气偏少区别于 2003 年春季沙尘天气偏少<sup>[11]</sup>的最根本之处。

## 6 结语

通过对 2004 年沙尘天气特点的回顾，我们可以得出以下几点认识：

(1) 2004 年春季，我国北方的沙尘天气明显偏少、偏弱。681 个站累计的沙尘天气日数 2 080 d，相当于历史平均值的 46.9%，是近四十余 a 中第三个偏少年份。沙尘暴总面积约 190 万 km<sup>2</sup>，仅为 1961—2004 年沙尘暴平均面积 510 万 km<sup>2</sup> 的 37.3%。

(2) 危害性较大的沙尘暴和强沙尘暴过程 6 次，不足 2001 年的一半。发生在 3 月 26—28 日的强沙尘暴天气过程虽然对社会经济造成了一定影响，但是其强度和范围远不及 2001 年 4 月 5—8 日和 4 月 7—10 日以及 2002 年 3 月 18—22 日的三次强沙尘暴天气过程。

(3) 4 月和 5 月沙尘天气明显偏少导致整个春季显著偏少，而 3 月份沙尘天气的相对较高频次又是造成了 2004 年沙尘天气多于 1997 年和 2003 年。

(4) 沙尘天气出现时 PM<sub>10</sub> 浓度相对增加，空气质量恶化，但与历史上较典型的 2001 年 4 月 7—10 日、2002 年 3 月 18—22 日等强沙尘暴个例相比，2004 年由沙尘天气引起的 PM<sub>10</sub> 浓度增加的幅度不大。

(5) 2004 年春季沙尘天气偏少、偏弱的主要原因是大气动力条件不足，是近些年比较特殊的一个年份，也是 2004 春季沙尘天气偏少区别于 2003 年偏少的最根本之处。

## 参 考 文 献

- [1] 周自江,王锡稳,牛若芸.近 47 a 中国沙尘暴气候特征研究.应用气象学报,2002,13(2):193-200.
- [2] 叶笃正,丑纪范,刘纪远,等.关于我国华北沙尘暴的成因与治理对策.地理学报,2000,55(5):513-521.
- [3] Sun Jimin, Zhang Mingying, Liu Tungsheng. Spatial and temporal characteristics of dust storms in China and its surrounding regions, 1960–1999: relations to source area and climate. J. Geophys. Research, 2001, 106: 10325-10333.
- [4] 张仁健,韩志伟,王明星,等.中国沙尘暴天气的新特点及成因分析.第四纪研究,2002,22(4):374-380.
- [5] Zhou Zijiang, Zhang Guocai. Typical severe dust storms in northern China during 1954–2002. Chinese Science Bulletin, 2003, 48(21): 2366-2370.
- [6] 路爽,张菁,孙凤华.沈阳地区沙尘天气分析.气象科学,2004,24(1):112-119.
- [7] 李平,侯明全,周丽峰,等.近 40 a 陕西沙尘暴天气分析.气象科学,2004,24(3):319-324.
- [8] 矫梅燕,周自江.中国沙尘暴及其监测预警.中国工程科学,2003,5(9):1-6.
- [9] 李延香,高拴柱,周自江,等.2001 年沙尘暴天气气候特征.大气科学,2002,23(2):35-43.
- [10] 牛若芸,薛建军,周自江.2002 年我国沙尘暴天气特征分析.南京气象学院学报,2004,27(2):178-184.
- [11] 牛若芸,周自江,刘月巍,等.2003 年春季我国沙尘天气异常偏少成因分析.气候与环境研究,2004,9(1):24-33.
- [12] 矫梅燕,牛若芸,赵琳娜,等.沙尘天气影响因子的对比分析.中国沙漠,2004,24(6):696-700.
- [13] 王式功,杨民,祁斌,等.甘肃河西沙尘暴对兰州市空气污染的影响.中国沙漠,1999,19(4):354-358.
- [14] 张仁健,徐永福,韩志伟. ACE-Asia 期间北京 PM<sub>2.5</sub> 的化学特征及其来源分析.科学通报,2003,48(7):730-733.
- [15] Zhang Xiaoye, Arimoto R, An Z S. Dust emission from Chinese deserts linked to variation in atmospheric circulation. J. Geophys. Research, 1997, 102: 28041-28047.
- [16] 沈志宝,魏丽.中国西北大气沙尘对地气系统和大气辐射加热的影响.高原气象,1999,18(3):425-435.
- [17] 庄国顺,郭敬华,袁蕙,等.2000 年我国沙尘暴的组成、来源、粒径分布及其对全球环境的影响.科学通报,2001,46(3):191-197.
- [18] 中央气象局.地面气象观测规范.北京:气象出版社,1979:21-27.
- [19] 王明星,张仁健.大气气溶胶研究的前沿问题.气候与环境研究,2001,6(1):119-124.

# CHARACTERISTICS OF CHINA 'S SANDY WEATHER IN THE SPRING OF 2004

Zhou Zijiang<sup>1</sup> Niu Ruoyun<sup>2</sup>

( 1National Meteorological Information Center Beijing 100081 )

( 2National Meteorological Center Beijing 100081 )

**Abstract** Using sandy weather data from 681 meteorological stations ,it can be analyzed and seen that the sandy weather in northern China in the spring of 2004 was abnormally less and weak in terms of frequency ,intensity ,area affected ,and sandy aerosol. The total number of dusty weather days in the spring of 2004 exceeded only that in 1997 and 2003 ,taking the third place since 1961. Furthermore ,the main reason was identified that the dynamical condition was inadequate in that season. So it was a special year of sandy weather in China.

**Key words** Sandy weather Density of PM<sub>10</sub> Dry earth layer Dynamical condition of atmosphere