

康林,季明霞,黄建平,等. 欧亚大气环流对中国北方春季沙尘天气的影响[J]. 中国沙漠, 2013, 33(5): 1453—1460, doi: 10.7522/j. issn. 1000-694X. 2013. 00211.

欧亚大气环流对中国北方春季沙尘天气的影响

康林,季明霞,黄建平,管晓丹

(兰州大学 半干旱气候变化教育部重点实验室, 甘肃 兰州 730000)

摘要: 根据 1960—2010 年全国 701 个地面站沙尘观测资料分析了中国春季沙尘天气的空间分布和年际变化,发现南疆和内蒙古两个沙尘源区的沙尘指数 51 年来都呈现出减小的趋势,其中内蒙古沙尘指数总体较小、年际变化较大,而南疆沙尘指数的波动较小。通过分析南疆和内蒙古沙尘指数典型高、低值年春季环流场发现,控制两个沙尘源区的环流场存在明显差异:南疆沙尘指数低值年时,西路入侵的冷空气减少,受此影响蒙古气旋和南疆热低压减弱,导致南疆地区近地面西风减弱,最终导致南疆沙尘天气减少;内蒙古沙尘指数低值年时,西北路和北路冷空气入侵次数减少,地面场上西伯利亚冷高压和蒙古高压减弱,并且蒙古气旋的发生发展受到限制,导致内蒙古西部近地面西北风和偏西风减小,最终导致内蒙古地区沙尘天气减少。

关键词: 沙尘指数; 500 hPa 高度场; 500 hPa 风场; 850 hPa 风场; 海平面气压场

文章编号: 1000-694X(2013)05-1453-08

doi: 10.7522/j. issn. 1000-694X. 2013. 00211

中图分类号: P425.55

文献标志码: A

1 引言

浮尘、扬沙和沙尘暴统称为沙尘天气。沙尘天气发生时不仅会破坏当地植被,使当地沙漠化进程加快,而且会造成当地及下游地区大气、土壤及水体环境恶化,对大气的辐射平衡及气候也有直接和间接的影响^[1-2]。位于中国西北干旱、半干旱地区的南疆盆地和内蒙古地区不仅分布着塔克拉玛干大沙漠、毛乌素沙地、巴丹吉林沙漠、腾格里沙漠和广袤的戈壁滩,而且处于冬、春季冷空气入侵中国的西路、西北路和北路通道上。丰富的沙源与适合起沙的气象因素,使得南疆和内蒙古地区一直以来都是中国沙尘天气的多发区域^[3]。钱正安等^[4]指出中国北方沙尘暴源区主要分布在河西走廊和阿拉善高原、南疆盆地南缘及内蒙古中部 3 个地区。王式功等^[5]通过对沙尘天气影响范围的分析,在钱正安等^[4]划分基础上细分出 7 个沙尘暴影响区域。在中国沙尘天气的季节分布方面,徐启运等^[6]指出新疆地区沙尘暴在 4—5 月日数最多,6 月次之,10 月至翌年 2 月最少。崔彩霞^[7]和王鑫^[8]指出新疆地区沙尘天气主要出现在 4—10 月,其中 4—6 月为高发时段,而内蒙古地区扬沙天气较南疆地区稍多,浮尘和沙尘暴明显少于南疆地区。有

关南疆和内蒙古沙尘天气的年际变化方面,一致认为,20 世纪 70—80 年代是沙尘天气的高发期,80 年代中期发生突变,突变后沙尘天气迅速减少,90 年代最低,进入 21 世纪后沙尘天气发生频数总体处于较低的水平,但有弱的上升趋势^[4,9-11]。在影响沙尘天气的气象因子方面,Qian 等^[12]指出,中国北方地区沙尘天气在 20 世纪 80 年代中期的显著减少与同期中国北方气旋的减少有关。Zhu 等^[13]指出,中国北方地区春季沙尘暴天气的减少与贝加尔湖地区的增温现象显著相关。王小玲等^[14]通过分析中国春季沙尘天气频数时空分布及其与近地面风速和海平面气压场的关系指出,春季海平面气压在中高纬度地区降低,中低纬度地区升高,气压梯度发生改变,从而引起地面风速减小,这是沙尘天气发生频数减少的直接原因。郑广芬等^[15]分析了西北地区东部沙尘暴日数和北极涛动的关系,指出北极涛动指数与西北地区东部沙尘暴频次呈显著负相关,北极涛动正位相年西北地区东部沙尘暴偏少。尚可政等^[16]和 Ding 等^[17]指出中国北方沙尘暴指数与蒙古高原和中西伯利亚地区的 500 hPa 高度场成负相关,并认为沙尘暴指数的减小与中纬度行星波的系统性东移有关。宋敏红等^[18]分析了中蒙东、中和西区强、弱沙尘暴年春季平均环

收稿日期:2012-07-02; 改回日期:2012-08-30

基金项目:国家重大科学研究计划项目(2012CB955301);高等学校科技创新工程重大项目培育资金项目(708088);兰州大学中央高校基本科研业务费专项资金(lzujbky-2009-109;lzujbky-2010-211)资助

作者简介:康林(1986—),男,四川绵阳人,硕士,主要从事西北干旱气候方面的研究。Email: kl0317@126.com

通讯作者:季明霞 (Email: jimx@lzu.edu.cn)

流特征,指出 3 个区域的沙尘暴受不同的环流系统影响,并与入侵中国的冷空气有很好的相关性。王新敏等^[19]分析了春季蒙古气旋对中国北方沙尘暴的影响,指出中国北方沙尘暴天气现象与蒙古气旋有着密切的关系,蒙古气旋为沙尘暴提供了有利的动力条件。

综上所述,针对沙尘暴的研究已经开展了很多,但是忽略了扬沙和浮尘的影响,也很少有人将沙尘暴、扬沙和浮尘作为一个整体来研究^[20-28]。Wang 等^[20]针对中国南疆和内蒙古两个沙尘源区分别建立了反映沙尘暴、扬沙和浮尘 3 种沙尘天气的综合沙尘指数,即为塔克拉玛干沙尘指数和内蒙古沙尘指数。本文采用 Wang 等^[20]定义的沙尘指数,将沙尘天气作为整体来分析中国南疆和内蒙古地区沙尘天气的发生与大气环流的关系。

2 资料与方法

2.1 资料介绍

本文使用 1960—2010 年中国 701 个气象站地面沙尘观测资料。将每天的 20:00 作为气象分界点,20:00 之后记为第二天,若一天中不同时间段发生同类沙尘事件则该沙尘事件在当天只记一次。因为西藏西北部地区只有 3 个地面站点,所以在做沙尘天气年平均分布图时,将西藏西北部站点较少区域进行了白化处理。500 hPa 位势高度、海平面气压以及 500 hPa 和 850 hPa 风场使用的是水平分辨率为 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ 的 NCEP/NCAR 再分析月平均资料,定义 1971—2000 年各气象要素的平均值为气候标准值,文中的春季指的是 3—5 月。

2.2 沙尘指数的建立

牛生杰等^[21]根据 1996—1998 年 4—5 月在内蒙古的吉兰泰、阿拉善右旗,宁夏盐池气象站、银川机场气象站和银川城区的采样分析结果,发现浮尘、扬沙和沙尘暴天气发生时沙尘气溶胶平均质量浓度比值基本满足 1:3:9。根据此比例,Wang 等^[20]在南疆和内蒙古地区分别选取了 4 个具有代表性的站点建立了塔克拉玛干和内蒙古戈壁沙尘指数,公式为:

$$TDI(GDI) = FD + 3 \times BD + 9 \times DS$$

式中:TDI 为塔克拉玛干沙尘指数(文中称南疆沙尘指数),GDI 为内蒙古戈壁沙尘指数(文中称内蒙古沙尘指数)。FD、BD 和 DS 分别是浮尘、扬沙和沙尘暴发生频数的归一化值。所选站点信息如表 1 所示。

表 1 南疆和内蒙古地区选取站点信息^[20]

Table 1 Information of selected meteorological stations in Southern Xinjiang and Inner Mongolia^[20]

| 地区 | 站点 | 纬度/(°N) | 经度/(°E) | 海拔/m |
|-----|-------|---------|---------|---------|
| 南疆 | 和田 | 37.08 | 79.56 | 1 374.6 |
| 南疆 | 且末 | 38.09 | 85.33 | 1 247.5 |
| 南疆 | 阿克苏 | 41.10 | 80.14 | 1 103.8 |
| 南疆 | 若羌 | 39.02 | 88.10 | 888.3 |
| 内蒙古 | 阿拉善右旗 | 39.13 | 101.41 | 1 510.1 |
| 内蒙古 | 阿拉善左旗 | 38.50 | 105.40 | 1 561.4 |
| 内蒙古 | 拐子湖 | 41.22 | 102.22 | 960.0 |
| 内蒙古 | 巴音毛道 | 40.45 | 104.30 | 1 328.1 |

3 中国沙尘天气空间分布特征及变化趋势

3.1 中国沙尘天气空间分布特征

通过 1960—2010 年中国沙尘天气年平均日数分布图可知,中国沙尘暴高发区主要分布在南疆和内蒙古西部的戈壁地区,年平均日数在 20 d 以上的高发区主要集中在吐鲁番、哈密、敦煌、巴音毛道、景泰和中卫地区(图 1A)。南疆地区沙尘暴年平均日数 10 d 以上的区域基本覆盖了整个塔克拉玛干沙漠地区以及沙漠南部和西南部喀什、和田和若羌等地区。内蒙古地区沙尘暴年平均日数大于 10 d 的区域主要在内蒙古西部地区。扬沙多发区仍主要分布于河西走廊和南疆地区,扬沙年平均日数在 50 d 以上区域与沙尘暴年平均日数 10 d 以上区域基本一致,但分布范围有所扩大(图 1B)。新疆扬沙年平均 20 d 以上区域已经扩展到了北疆和塔里木盆地地区。内蒙古地区扬沙年平均高于 20 d 的地区也覆盖了整个内蒙古中西部地区。扬沙年平均日数在 1~10 d 区域向南延伸到了长江中下游地区。东北和北疆地区扬沙年平均日数与沙尘暴一样较少,基本在 1~10 d。南疆地区浮尘年平均日数分布与该区域沙尘暴和扬沙的年平均日数分布基本一致,都表现为北少南多,在南疆地区浮尘年平均日数在 80 d 以上;而内蒙古地区浮尘年平均日数分布与沙尘暴和扬沙相比,高发区域呈西北—东南带状分布,且年平均日数较南疆地区少(图 1C)。在影响范围上,与沙尘暴和扬沙的年平均分布相比,浮尘的年平均分布向东南方向扩展明显,其影响范围已经到了长江以南地区。分析发现,沙尘暴分布范围最小,其影响范围主要是在中国

西北以及高原东侧，而浮尘影响范围最大。

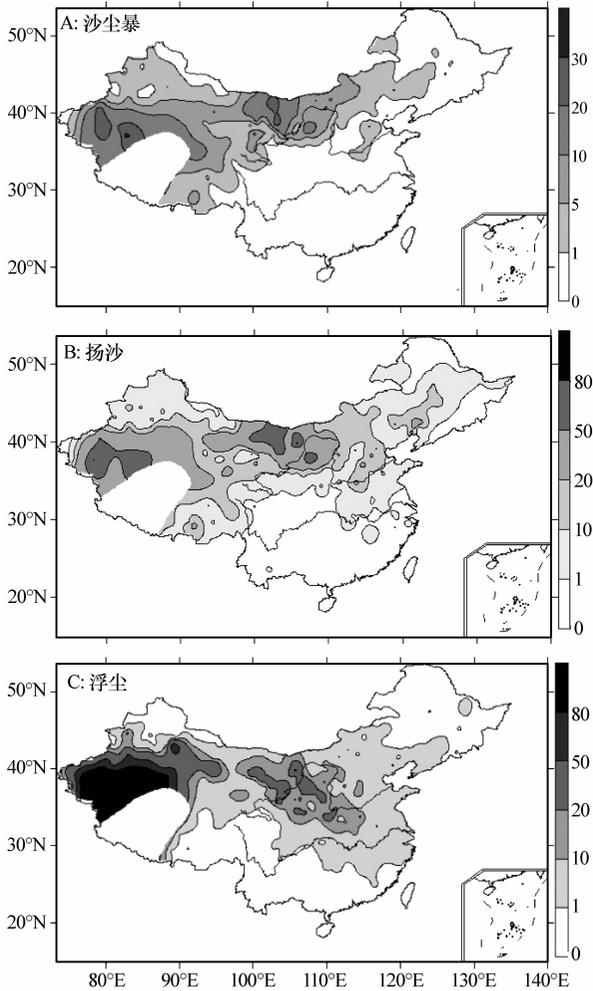


图 1 1960—2010 年中国沙尘天气年平均日数分布图
 Fig. 1 The annual averaged days of sand-dust storm (A), blowing dust (B) and floating dust (C) over China in 1960—2010

3.2 沙尘天气的年际变化

春季是一年中沙尘天气发生最集中的时期，特别是春季沙尘暴的发生日数占全年沙尘暴总日数的 85% 以上^[13]。所以本文主要分析春季沙尘指数的时间变化及春季沙尘与同期环流的关系。

图 2 是春季南疆沙尘指数和内蒙古沙尘指数距平值的年际变化图。从图 2 可以看出两个指数距平值整体都表现出减小的趋势，比较一致的是在 20 世纪 80 年代中期出现由正到负的变化，从 80 年代中期开始两个指数距平值均处于负位相，说明 80 年代中期以后两个地区春季沙尘事件发生频数较之前明显减少，这与丁瑞强等^[10]“沙尘暴和扬沙分别在 1985 年和 1984 年发生了由多到少的突变”的结论一致。

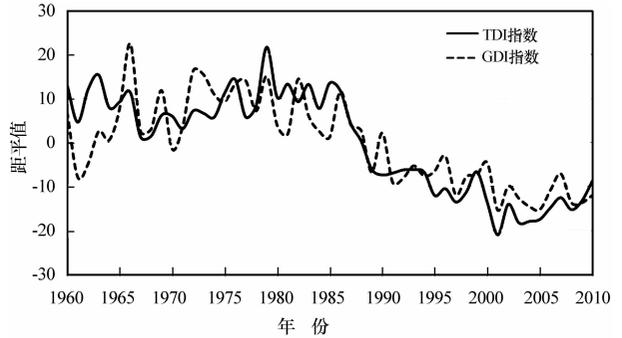


图 2 1960—2010 年春季南疆沙尘指数(TDI)、内蒙古沙尘指数(GDI)距平值年际变化

Fig. 2 Times series of anomalies of dust index in Southern Xinjiang (TDI) and Inner Mongolia (GDI) in spring of 1960—2010

两个沙尘指数距平值年际变化特征的差异如下：南疆沙尘指数距平值从 20 世纪 60 年代初开始呈下降的趋势；在 1966—1974 年南疆沙尘指数距平值处于一个相对较低的时期，其间在 1971 年出现一个小的峰值；1975—1983 年南疆区沙尘指数距平值一直处于高值期，最大值出现在 1979 年；在 1987 年南疆沙尘指数距平值开始由正值转向负值，1999—2003 年间南疆沙尘指数距平值波动较频繁，年际差异较大，进入 21 世纪之后南疆沙尘指数距平值在 2005 年出现整个 51 年的最低值；2005 年后南疆沙尘指数距平值表现出明显的上升趋势。内蒙古沙尘指数距平值在 1961—1966 年间呈上升的趋势；在 1966—1986 年处于高值段，在此高值期间沙尘指数距平值年际变化明显，1969 年出现 51 年的最大值；80 年代中期内蒙古沙尘指数发生突变，最低值出现在 2005 年。与南疆沙尘指数距平值相比，在 80 年代中后期进入沙尘天气低发期后，内蒙古沙尘指数距平值较南疆沙尘指数距平值明显偏大。

对图 2 的分析发现，两个地区的春季沙尘指数距平值在 1960—2010 年间都呈现出下降变化趋势，但是内蒙古沙尘指数距平值波动更加频繁，年际差异更大，而且计算 51 年春季沙尘指数之和发现南疆沙尘指数总体比内蒙沙尘指数大 18.9%。因此在下文中我们从两个沙尘指数春季距平值出发，分别选出 10 个高值年和 10 个低值年作为特征年(表 2)，分析两个沙尘指数高、低值年春季大气环流场的差异。

4 春季沙尘指数高、低值年大气环流场特征

4.1 南疆地区

由图 3 可见，春季南疆沙尘指数与新疆地区、中

表2 南疆、内蒙古地区沙尘指数典型高、低值年
Table 2 Typical years with strong and weak dust index
in Southern Xinjiang and Inner Mongolia

| | | |
|-----|-----|--|
| 南疆 | 高值年 | 1960, 1963, 1966, 1971, 1975, 1976, 1977, 1979, 1981, 1983 |
| | 低值年 | 1996, 1997, 1998, 2000, 2003, 2004, 2005, 2006, 2008, 2009 |
| 内蒙古 | 高值年 | 1966, 1969, 1972, 1975, 1976, 1977, 1979, 1982, 1983, 1984 |
| | 低值年 | 1991, 1992, 1997, 1999, 2003, 2004, 2005, 2008, 2009, 2010 |

蒙中西部、贝加尔湖以西巴尔喀什湖以东地区 500 hPa 高度距平场呈显著负相关,最大负相关值为 -0.6 ,最大负相关区域在内蒙古西北和新疆东北部。可见此区域春季 500 hPa 高度场或环流型是影响南疆春季沙尘天气的关键,即当春季这些地区 500 hPa 高度场偏高(偏低)时南疆区沙尘天气偏少(偏多)。这种负相关的可能原因是,此关键区正好位于西藏-贝加尔湖平均脊区,当关键区域上空高度场偏高时,西藏-贝加尔湖脊强烈发展,关键区域内多有高值系统活动,南疆位于脊区底部暖区,冷空气活动偏弱,进而造成沙尘天气偏少;而当关键区上空高度场偏低时,高空低值系统活动较多,影响南疆的冷空气也偏多,造成沙尘天气偏多。

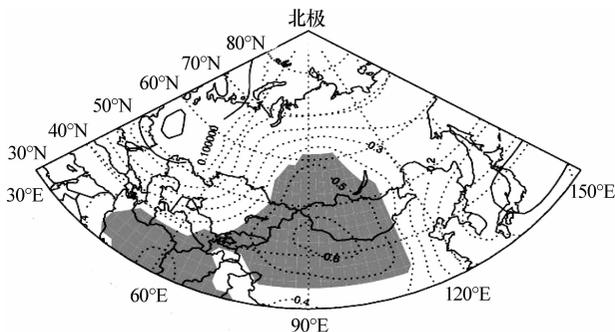


图3 1960—2010年春季南疆沙尘指数与500 hPa高度距平场相关系数分布
(阴影区为通过95% t 检验区域)

Fig. 3 The distribution of correlation coefficient between TDI and 500 hPa geopotential height anomalies in spring of 1960—2010 in Southern Xinjiang. The correlation coefficients that are significant at 95% t -test confidence level are shaded

为进一步了解南疆沙尘指数高、低值年春季高低空环流场的差异,我们给出了南疆沙尘指数高、低值年春季 500 hPa 高度场、500 hPa 风场、海平面气压场、850 hPa 风场的差值(文中所有差值均是指沙尘指数低值年平均减去沙尘指数高值年平均)合成分布图(图4)。

从图4A可以看出,与沙尘指数高值年相比,南

疆沙尘指数低值年春季时,在 60°N 以北的高纬度地区有 3 个负变高和 2 个正变高区,其中最大负变高中心从 50°N 的西西伯利亚一直延伸到 80°N 以南,中心值为 -30 gpm,另外 2 个负值区在俄罗斯东北部和加拿大北部,中心值都在 -10 gpm 左右。2 个正值区域一个在阿拉斯加地区,中心值为 40 gpm,另一个在格陵兰岛北部。极圈范围内大部分地区都是正变高,由此可以看出南疆沙尘指数低值年时,极涡的强度是减弱的。而中低纬度地区除了北太平洋和北大西洋中部两个负变高区外,大陆和低纬度海洋地区都是正变高,其中有 3 个明显的正变高高值区,第一个在贝加尔湖以西的蒙古西北部和中国新疆东北部,第二个在北美大陆西部和北太平洋东岸地区,第三个在欧洲大陆西部。其中中蒙地区的正变高区域与图3中的负相关关键区一致。从中纬度的变高场发现,中纬度 3 个较明显正变高区分别对应着中纬度 3 个平均脊区域,结合图5分析可知,南疆沙尘低值年时,中纬度 3 个平均脊区均出现正变高,与沙尘高值年相比青藏高原到贝加尔湖平均脊升高 25 gpm 且东移了 10 个经度左右,北美西海岸脊也升高了 25 gpm,不同的是脊的位置却向西移动了 5—6 经度,欧洲西海岸脊变宽使得欧洲东部宽槽变窄,脊点高度升高 5 gpm。3 个平均槽中,东亚槽槽底高度变化不明显,只是向东移动了 4 个经度左右,而北美和欧洲东部槽槽底位势高度均明显升高,北美槽槽底高度升高 10 gpm,3 个槽较一致变窄,其中欧洲东部槽变窄最明显。中纬度槽脊这样的变化表明南疆沙尘低值年时,中国新疆和内蒙古地区处于加强的脊区,而东移的西藏-贝加尔湖脊使得新疆和内蒙古西部地区由原来的脊前西北气流控制区变成了脊区控制,造成高空低值系统对其影响减少。这与唐红玉等^[22]“新疆西部春季沙尘暴日数偏多时,在北大西洋中部为槽区。欧洲大陆西部以北至乌拉尔山为脊区,地中海-中蒙大陆为槽区,北太平洋地区为脊区”的结论一致。

图4B中在贝加尔湖以西地区出现一个完整的反气旋环流异常场。南疆沙尘低值年时,贝加尔湖北侧有明显西北风加强,而在南疆、青海西北、内蒙古西部和青藏高原北部地区有明显的西风减弱,这与西藏-贝加尔湖脊加强并东移有关。南疆地区处于西路冷空气入侵的通道上,受西藏-贝加尔湖脊加强东移影响,西路冷空气减弱,其对南疆的影响也减弱。

与沙尘高值年相比,沙尘指数低值年春季时,主要的增压区在亚欧大陆、非洲大陆、北美大陆西部和北大西洋低纬度地区,主要的减压区域在北太平洋、北大西洋中部和东半球的极圈地区(图4C)。亚欧大

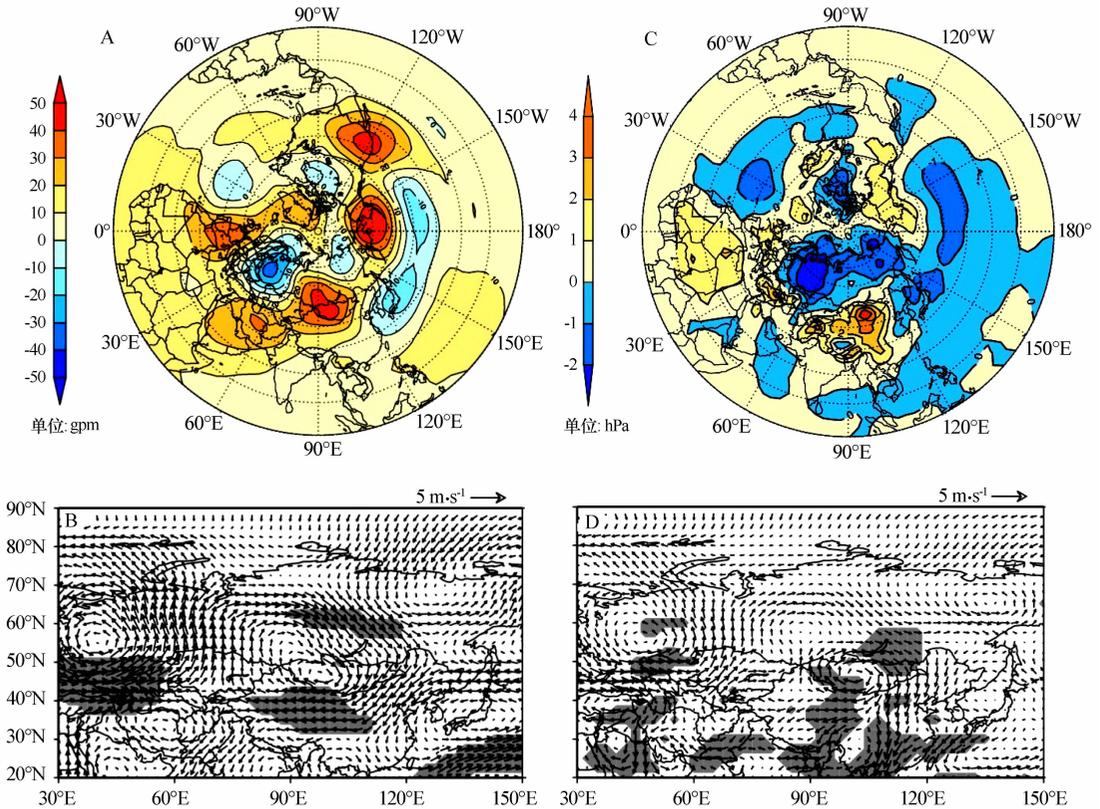


图 4 南疆沙尘指数高、低值年春季北半球 500 hPa 高度场(A)、500 hPa 风场(B)、北半球海平面气压场(C)、850 hPa 风场(D)的差值合成分布(B、D 中阴影区域是通过 95%置信水平检验区域)

Fig. 4 The composite differences of 500 hPa geopotential height field(A), 500 hPa wind field (B), sea level pressure field (C) and 850 hPa wind field (D) between the low-TDI and high-TDI years in spring in Southern Xinjiang.

In B and D the values in the shaded areas are significant at the 95% *t*-test confidence level

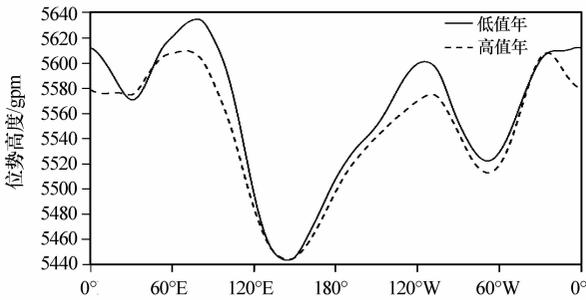


图 5 南疆沙尘指数高、低值年春季 40°—60°N 平均 500 hPa 经度剖面图

Fig. 5 The 500 hPa geopotential height longitudinal profile in spring over the north hemisphere in low-TDI (the solid line) and high-TDI (the dotted line) years in Southern Xinjiang. The range of latitude is between 40°N and 60°N

陆增压中心在蒙古和中国西北,中心值达 4 hPa。南疆地区增压值在 2 hPa 左右。东半球高纬度地区的减压特别是西西伯利亚地区减压值达 3 hPa,造成冬春影响中国北方地区的西西伯利亚冷高压和蒙古高压减弱。南疆地区的地面增压说明南疆沙尘低

值年时影响南疆区域的南疆热低压的强度减弱。而蒙古中部及贝加尔湖地区一直是北方气旋的主要生成区域,在这个地区的地面增压,说明南疆沙尘低值年时,影响中国冬、春季的北方气旋的强度减弱,生成的次数也有所减少。从气压梯度力方面考虑,中纬度地区,风压场近似满足地转平衡关系,风速的大小与水平气压梯度力呈正比,欧亚大陆地面气压场出现北负南正变压的分布,这也会导致欧亚大陆中纬度地区地面风速明显减小。

因为中国内蒙古及新疆地区平均海拔在 1 000 m 左右,因此 850 hPa 的风场能较好的反映近地面风场的特点。我们分析了沙尘指数高、低值年 850 hPa 风场的差值场分布发现,850 hPa 风场差值最明显的特点是蒙古西部地区出现一个反气旋型异常场,使得青海地区、高原的东部地区和南疆地区出现异常的东风差值(图 4D)。这样的差值异常场说明,在南疆沙尘低值年春季时,850 hPa 上蒙古气旋强度减弱,南疆地区的南疆热低压强度也减弱了,进而南疆南缘沙尘天气高发区近地面西风减弱,最终导致沙尘天气减少。

综合以上的分析,当 500 hPa 高度场上蒙古国西部、新疆东北部及贝加尔湖以西地区出现正变高,西藏-贝加尔湖脊加强并东移时,南疆地区位于加强的脊区,高空风场上盛行西风减弱,高空低值系统很难再西移影响南疆地区,地面场上南疆热低压和蒙古气旋减弱,进而导致南疆地区近地面场西风减弱,最终造成南疆地区沙尘天气减少。

4.2 内蒙古地区

图 6 显示,与南疆沙尘指数一样,内蒙古沙尘指数与贝加尔湖附近区域高度距平场呈负相关,不同的是内蒙古沙尘指数与高度场的显著负相关区域较小,最大负相关区域仅在蒙古的中西部及其以北地区,没有扩展到新疆地区,最大负相关数值上也只有-0.4。这说明当蒙古中西部及其以北地区高度场偏高(偏低)时内蒙古西部地区的沙尘事件偏少(偏多)。

从图 7A 可以看出,内蒙古沙尘指数低值年时,60°N 以北地区大部分都是正变高,说明在内蒙古沙尘低值年时极涡强度减弱。中高纬度地区有 3 个负变高区,分别在西西伯利亚、鄂霍次克海和北大西

洋地区。西西伯利亚地区负变高区域最大,南北方向从 40°N 一直到 80°N,变高中心值为-30 gpm。而正变高中心基本都在大陆上,与图 4A 一样在欧亚大陆上有 3 个明显的正变高区域,第一个在蒙古

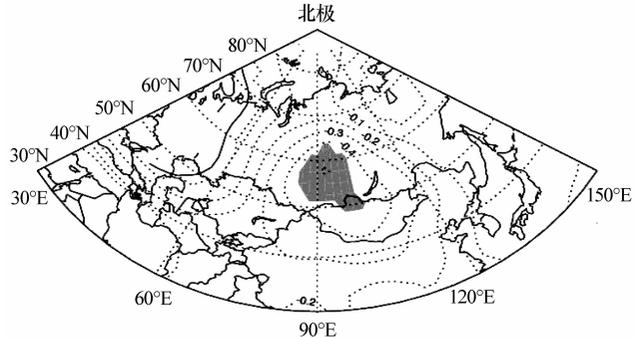


图 6 1960—2010 年春季内蒙古沙尘指数与 500 hPa 高度距平场相关系数分布 (阴影区为通过 95% *t* 检验区域)

Fig. 6 The distribution of correlation coefficients between GDI and 500 hPa geopotential height anomalies in spring of 1960—2010 in Inner Mongolia. The correlation coefficients that are significant at 95% *t*-test confidence level are shaded

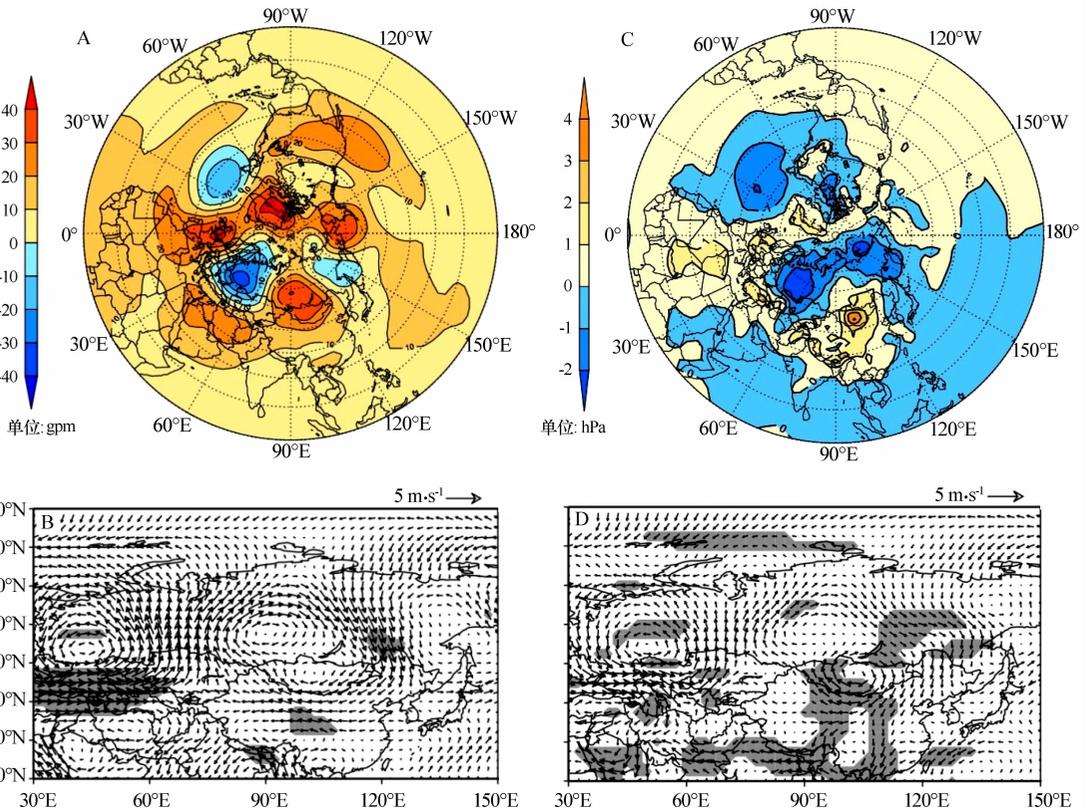


图 7 内蒙古沙尘指数高、低值年春季北半球 500 hPa 高度(A)、500 hPa 风场(B)、北半球海平面气压场(C)、850 hPa 风场(D)的差值合成分布(B 和 D 中阴影区域是通过 95% 置信水平检验区域)

Fig. 7 The composite differences of 500 hPa geopotential height field(A), 500 hPa wind field (B), sea level pressure field (C) and 850 hPa wind field (D) between the low-TDI and high-TDI years in spring in Inner Mongolia.

In B and D the values in the shaded areas are significant at the 95% *t*-test confidence level

国西部及巴尔喀什湖以西区域,变高中心值为 30 gpm,第二个在中亚地区,变高中心值为 20 gpm,第三个在欧洲西部,变高中心值为 30 gpm。与南疆沙尘指数不同的是,内蒙古沙尘指数低值年时北太平洋地区全部成了正变高区域,且亚欧大陆上的两个正变高中心变高值均较前者低 10 gpm 左右。结合图 8 分析发现,与内蒙古沙尘指数高值年相比,沙尘低值年时,中纬度西藏-贝加尔湖脊高度升高 17 gpm,脊的位置偏东 10 个经度左右;东亚槽槽底高度升高 5 gpm,东西向移动不明显,阿拉斯加脊升高 17 gpm,东移 5 个经度;北美槽槽底高度升高 10 gpm,且偏东 7 个经度;欧洲西海岸脊东移 7 个经度且脊区变宽,造成欧洲东部槽变窄加深。可以看出在内蒙古沙尘低值年时,欧亚大陆中纬度槽脊系统发生了明显的系统性东移。

由图 7B 可见,与南疆沙尘低值年相比,在内蒙古沙尘低值年时 500 hPa 风场上,贝加尔湖地区的反气旋差值场范围明显扩大,且出现两个小的中心,偏北的中心在中西伯利亚以东,偏南的中心在蒙古国。加强的西北风控制区域也较南疆沙尘低值年时偏东,主要区域在中国东北及其以北的东西伯利亚地区。而中国北方地区基本都处于差值东风控制,也就是说在内蒙古沙尘低值年时,中国北方大部分地区 500 hPa 西风都是减弱的。

在海平面气压差值场上,内蒙古沙尘低值年时,东半球高纬度地区和北太平洋上海平面气压减弱,减弱中心一个在东西伯利亚地区,一个在鄂霍次克海,变压中心值为 -2 hPa,但是与南疆沙尘低值年时不同的是在日本和太平洋中部地区的负变压中心消失了(图 7C)。增压区域主要在贝加尔湖以南的中国和蒙古地区,正变压中心位于蒙古中部,中心值为 3 hPa,与南疆沙尘低值年相比,正变压区域向贝加尔湖以北地区延伸到了 70°N 以南地区,而南疆沙尘低值年时仅到了 60°N 以南地区,这应该与内蒙古地区处于西北和北路冷空气入侵通道上有关,也就是说内蒙古沙尘低值年时,入侵中国的西北和北路冷空气明显减弱。而南疆沙尘低值年时出现在南疆地区的正变压中心也消失了,这可能是由于内蒙古地区的沙尘主要受蒙古气旋和蒙古高压影响,南疆热低压不能影响到内蒙古西部地区的沙尘。850 hPa 风场上,与南疆沙尘低值年相似,在内蒙古沙尘低值年时,内蒙古中西部明显的西风减弱,而新疆东北部和蒙古国西部地区西北风明显减弱(图 7D)。

与南疆沙尘低值年时相比,内蒙古沙尘指数低值年时,北半球中纬度槽脊系统明显东移,西藏-贝加尔湖平均脊和阿拉斯加脊脊区升高较南疆沙尘低值年

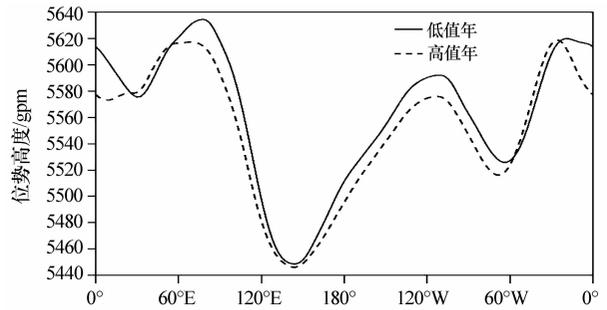


图 8 内蒙古沙尘指数高、低值年 40° — 60°N 平均春季 500 hPa 经度剖面图

Fig. 8 The 500 hPa geopotential height longitudinal profile in spring over the north hemisphere in low-TDI (the solid line) and high-TDI (the dotted line) years in Inner Mongolia. The range of latitude is between 40°N and 60°N

时少,但东亚大槽和北美槽槽底升高较明显,而海平面气压场上,仅在蒙古及以北地区出现正的变压。

5 结论

本文首先计算了南疆沙尘指数和内蒙古沙尘指数,然后分别讨论了南疆和内蒙古地区 51 年沙尘天气的变化,并分析了两个地区沙尘指数高、低值年春季平均环流的差异,得出如下主要结论:

1) 南疆沙尘指数和内蒙古沙尘指数在 1960—2010 年间均表现出波动下降的变化趋势,并且都在 20 世纪 80 年代中期发生突变。但两个沙尘指数也存在一些较明显的差异:内蒙古沙尘指数总体较小,但年际变化较大,而南疆沙尘指数则较稳定的呈减小趋势,并在 2005 年后表现出上升的趋势。两个地区沙尘指数表现出的这些年际分布差异与两个地区不同的下垫面特征,受不同路径冷空气影响和不同的沙尘天气诱生系统有关。

2) 南疆沙尘指数低值年时,西藏-贝加尔湖平均脊发展加强,并且极涡强度减弱,使得南疆处于脊区,西路入侵的冷空气减少,受此影响蒙古气旋和南疆热低压强度减弱,导致南疆地区近地面西风减弱,最终导致南疆地区沙尘天气减少。

3) 内蒙古沙尘指数低值年时,西藏-贝加尔湖平均脊发展加强并东移,而且东亚大槽减弱,使得脊前西北气流控制区东移。中国内蒙古地区处于脊区,东移的平均脊使得西北路和北路冷空气对内蒙古西部地区影响减少,地面场上西伯利亚冷高压和蒙古高压减弱,并且蒙古气旋的发生发展受到限制,导致内蒙古西部近地面西北风和偏西风减小,最终导致内蒙古地区沙尘天气减少。

参考文献:

- [1] Huang J P, Minnis P, Wang T, et al. Possible influences of Asian dust aerosols on cloud properties and radiative forcing observed from MODIS and CERES[J]. *Geophysical Research Letters*, 2006, 33: L06824.
- [2] 钱云, 符崇斌, 王淑瑜. 沙尘气溶胶与气候变化[J]. *地球科学进展*, 1999, 14(4): 391-394.
- [3] 钱正安, 蔡英, 刘景涛, 等. 中国北方沙尘暴研究的若干进展和问题[J]. *干旱区资源与环境*, 2004, (S1): 254-258.
- [4] 钱正安, 宋敏红, 李万元. 近50年来中国北方沙尘暴的分布及变化趋势分析[J]. *中国沙漠*, 2002, 22(2): 106-111.
- [5] 王式功, 王金艳, 周自江, 等. 中国沙尘天气的区域特征[J]. *地理学报*, 2003, 58(2): 193-200.
- [6] 徐启运, 胡敬松. 我国西北地区沙尘暴天气时空分布特征分析[J]. *中国减灾*, 1996, 6(3): 42-45.
- [7] 崔彩霞. 新疆40年气候变化与沙尘暴趋势分析[J]. *气象*, 2001, 27(12): 38-41.
- [8] 王鑫. 黄土高原地区沙尘气溶胶的综合观测研究[D]. 兰州: 兰州大学, 2009.
- [9] 何清, 杨青, 李红军. 新疆40a来气温, 降水和沙尘天气变化[J]. *冰川冻土*, 2003, 25(4): 423-427.
- [10] 丁瑞强, 王式功, 尚可政, 等. 近45a我国沙尘暴和扬沙天气变化趋势和突变分析[J]. *中国沙漠*, 2003, 23(3): 306-310.
- [11] 周自江. 近45年中国扬沙和沙尘暴天气[J]. *第四纪研究*, 2001, 21(1): 9-17.
- [12] Qian W H, Quan L S, Shi S Y. Variations of the dust storm in China and its climatic control[J]. *Journal of Climate*, 2002, 15: 1216-1229.
- [13] Zhu C W, Wang B, Qian W H. Why do dust storms decrease in northern China concurrently with the recent global warming? [J]. *Geophysical Research Letters*, 2008, 35: L18702.
- [14] 王小玲, 翟盘茂. 中国春季沙尘天气频数的时空变化及其与地面风压场的关系[J]. *气象学报*, 2004, 62(1): 96-103.
- [15] 郑广芬, 赵光平, 姚宗国, 等. 北极涛动异常对西北吸取东部沙尘暴频次的影响[J]. *中国沙漠*, 2009, 29(3): 551-557.
- [16] 尚可政, 孙黎辉, 王式功, 等. 甘肃河西走廊沙尘暴与赤道中、东太平洋海温之间的遥相关分析[J]. *中国沙漠*, 1998, 18(3): 239-243.
- [17] Ding R Q, Li J P. Decadal change of the spring dust storm in northwest China and the associated atmospheric circulation [J]. *Geophysical Research Letters*, 2005, 32: L02808.
- [18] 宋敏红, 钱正安, 蔡英, 等. 中蒙强、弱沙尘暴年春季平均环流及沙尘活动变化分析[J]. *气象学报*, 2007, 65(1): 95-104.
- [19] 王新敏, 翟盘茂, 江志红, 等. 春季蒙古气旋对我国北方沙尘暴的影响[C]//中国气象学会2006年年会“灾害性天气系统的活动及其预报技术”分会论文集, 2006.
- [20] Wang X, Huang J P, Ji M X, et al. Variability of East Asia dust events and their long-term trend[J]. *Atmospheric Environment*, 2008, 42: 3156-3165.
- [21] 牛生杰, 孙继明, 陈跃, 等. 贺兰山地区春季沙尘气溶胶质量浓度的观测分析[J]. *高原气象*, 2001, 20(1): 82-87.
- [22] 唐红玉, 翟盘茂, 常有奎. 中国北方春季沙尘暴频次与北半球500 hPa高度场的SVD分析[J]. *中国沙漠*, 2005, 25(4): 570-576.
- [23] 赵勇, 李红军, 何清. 塔里木盆地沙尘天气日数的变化及其与北大西洋涛动的联系[J]. *中国沙漠*, 2012, 32(4): 1082-1088.
- [24] 李红军, 杨兴华, 赵勇, 等. 塔里木盆地春季沙尘暴频次与大气环流的关系[J]. *中国沙漠*, 2012, 32(4): 1077-1081.
- [25] 吕艳丽, 刘连友, 屈志强, 等. 中国北方典型沙尘天气特征研究[J]. *中国沙漠*, 2012, 32(2): 447-453.
- [26] 赵金霞, 赵玉洁, 徐灵芝, 等. 蒙古气旋产生强沙尘暴的诊断分析[J]. *中国沙漠*, 2011, 31(5): 1309-1315.
- [27] 李岩瑛, 张强, 薛新玲, 等. 民勤大气边界层特征与沙尘天气的气候学关系研究[J]. *中国沙漠*, 2011, 31(3): 757-764.
- [28] 刘宁微, 马雁军, 刘晓梅, 等. 蒙古气旋引发辽宁沙尘暴天气过程的数值模拟[J]. *中国沙漠*, 2011, 31(1): 217-222.

Impact of Eurasian Atmospheric Circulation on Dust Events in Spring over Northern China

KANG Lin, JI Ming-xia, HUANG Jian-ping, GUAN Xiao-dan

(Ministry of Education Key Laboratory for Semi-Arid Climate Change, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China)

Abstract: Based on meteorological observation data from 701 meteorological stations in China during 1960-2010, two dust indices, which are Taklimakan Dust Index (TDI) and Gobi Dust Index (GDI), were used to characterize the statistical feature of the dust event occurrence. In general, TDI and GDI both exhibit a sudden decrease in the mid 1980s. Although the intensity of GDI were smaller than the TDI's since 1960's, its inter-annual variability was larger. We also analyzed the differences of atmospheric circulation between years with high and low dust index values. The results indicated that the low dust index values in Southern Xinjiang was likely caused by the waken Mongolia Cyclone and the thermal low pressure in the Taklimakan region, but that the intensity of Siberia Cold High Pressure and the Mongolia High Pressure became waken was the main mechanism of low dust index values in the Inner Mongolia.

Key words: dust index; 500 hPa geopotential height field; 500 hPa wind field; 850 hPa wind field; sea level pressure field