

# 我国沙尘暴的气候成因及未来发展趋势

李栋梁,钟海玲\* (中国科学院寒区旱区环境与工程研究所,甘肃 兰州 730000)

**摘要:** 利用 EOF 和环流合成统计方法,分析了我国北方近 40 年来沙尘暴日数变化的时空异常特征及其气候成因.结果表明,20 世纪 80 年代以来的太阳活动加强,全球气候变暖,青藏高原地面加热场强度加强,欧亚西风急流轴北移,西太平洋副热带高压偏北偏西,强度加强,蒙古气旋减弱,西北西部的沙尘源区降水增加,是中国北方沙尘暴减少的主要原因.20 世纪末到 21 世纪初太阳活动进入新一轮的减弱期,引起气候变暖趋势减弱,气温逐渐降低,青藏高原地面加热场强度减弱,蒙古气旋逐渐加强.预计未来中国北方沙尘暴将在波动中逐渐增加,进入新一轮的相对活跃期.

**关键词:** 中国北方; 沙尘暴; 气候成因; 太阳黑子; 高原加热场; 趋势预测

**中图分类号:** X16 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-6923(2007)01-0014-05

**The climatic formation cause and the future developing trend of sand-dust storm in China.** LI Dong-liang, ZHONG Hai-ling\* (Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China). *China Environmental Science*, 2007,27(1): 14~18

**Abstract:** In recent 40 years in Northern China the space-time abnormality characteristics and its climatic formation cause of sand-dust storm days number change were analyzed utilizing EOF and circumfluence synthesis statistic method. Since the beginning of 1980's, the solar activity was strengthened, the global climate became warmer, the intensification of the surface heat field in Tibetan plateau was strengthened, the west breeze rushing axis of Eurasia moved towards north, the subtropical high pressure of the west Pacific Ocean was more northwest and intensification was strengthened, Mongolia cyclone became weaker, the precipitation in the dust source region increased in the northern west China, all above were the main causes of sand-dust storm reduced in the northern China. From the end of 20<sup>th</sup> century to the beginning of 21<sup>st</sup>, the solar activity began a new round of weak period, which induced the weakening of the climate warm trend, the gradual lowering of air temperature, the weakening of intensification of the surface heat field in Tibetan plateau, the gradual strengthening of Mongolia cyclone. The Chinese northern sand-dust storm was forecasted to increase gradually in waves, entering into a new round of relatively active period.

**Key words:** northern China; sand-dust storm; climatic formation cause; macula; the heat field in plateau; trend forecast

我国沙漠、戈壁和沙漠化土地面积约为  $165.3 \times 10^4 \text{ km}^2$ <sup>[1]</sup>.20 世纪 50~90 年代,沙漠化速度以  $1560 \text{ km}^2/\text{a}$  增加至  $3600 \text{ km}^2/\text{a}$ <sup>[2]</sup>.广大的沙尘源地为沙尘暴提供了基础<sup>[3-4]</sup>.关于近 50 年来中国北方沙尘暴的空间分布及时间演变趋势,相关学者<sup>[5]</sup>已经作了分析.由于常规的短期天气预报和数值预报技术相对比较成熟,所以,沙尘暴的短期天气预报也较为准确.而对于沙尘暴的气候预测,由于其成因还不清楚,尚没有较成熟的预测技术和方法.近年来,国内学者从诸多的气象条件,如风速、降水、气候变暖,以及 ENSO (El Nino 和 La Nina 的合称)循环等方面给予分析<sup>[6-8]</sup>,为我国

沙尘暴预测理论和治理决策提供了一定的科学参考.本研究进一步分析影响我国沙尘暴的气候因素,重点分析青藏高原地面加热场强度和太阳活动对沙尘暴的影响,在此基础上,给出未来我国北方沙尘暴的发展趋势.

## 1 沙尘暴的空间分布模态与时间演变

已有工作研究表明,影响我国沙尘暴的主要沙尘源区有 5 个<sup>[9-10]</sup>.我国的沙尘暴也有 5 个高发

收稿日期: 2006-06-22

基金项目: 科技部社会公益研究专项资助(2004DIB3J121)

\* 责任作者, 博士, hailing@lzb.ac.cn

区<sup>[5]</sup>。这里重点分析其空间异常变化。图 1 给出经 EOF(经验正交函数)分解的前两个模态,第一模态反映了北方大部分地区整体一致的偏多/少型,异常敏感中心在河西走廊(图 1a);第二模态是东西反向型,即西部地区多(少)沙尘暴年东部地区少(多)沙尘暴年,代表性区域分别在内蒙古西部的阿拉善高原和华北北部(图 1b)。经 EOF 分解的第一主分量(图 2)表明,在近 40a 的年代际变化上总体趋势在减少。其中 20 世纪 60~70 年代在波动中

上升,80~90 年代呈波动式减少,90 年代是近 4 个年代中沙尘暴最少的。但 20 世纪末至 21 世纪初,沙尘暴日数有回升趋势。第一主分量与 167 站平均沙尘暴日数具有非常高的相关系数(0.9812,  $n=41$ )。第二主分量(图 2)进一步反映了中国北方沙尘暴东、西反位相的年代际变化。即西北部地区沙尘暴前 20a 增加,后 20a 减少;东部(除东北部)前 20a 减少,后 20a 增加。

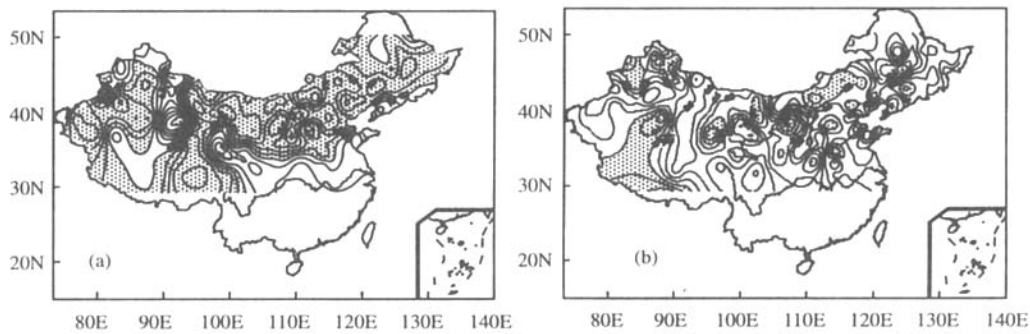


图 1 中国北方年沙尘暴日数的第一、第二载荷向量

Fig.1 First and the second loading vector of the sand dust storm days in northern China

(a)第一载荷向量 (b)第二载荷向量

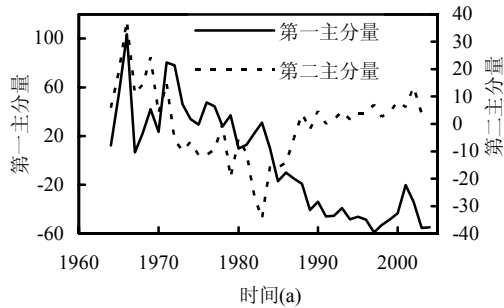


图 2 中国北方年沙尘暴日数第一、第二主分量

Fig.2 The first and the second principal component of the sand-dust storm days in northern China

## 2 中国北方沙尘暴的主要气候成因

### 2.1 西风急流的南北位移

图 3 给出 20 世纪 70 年代(图 3a)和 20 世纪 90 年代(图 3b)北半球欧亚范围 500hPa 纬向风距平合成。20 世纪 70 年代亚洲西风大值中心轴线

(西风急流轴)在 40°N,大风所经之处正是我国沙尘源所在地,造成 70 年代沙尘暴多发。20 世纪 90 年代由于全球增暖,副热带系统加强北上,西风急流北移到 45~55°N,我国沙尘源区的西风比正常情况小,即东风距平占优势。致使 20 世纪 90 年代沙尘暴减少。这与文献[11]的研究结果相一致。

蒙古气旋减弱,高压加强,北方冷空气活动减弱,是中国北方沙尘暴减少的最直接原因。图 4 给出中国北方 167 站平均年沙尘暴日数序列与当年 2 月北半球 500hPa 高度场的相关系数。由图 4 可以看出,影响中国北方沙尘暴的主要系统是位于贝加尔湖地区的蒙古气旋,以及与其相配合的乌拉尔山高压脊。贝加尔湖地区是亚洲变暖最明显的地区,也是全球变暖最明显的地区之一<sup>[12]</sup>。20 世纪 80 年代以来,由于气候变暖,该地区气温显著升高,蒙古气旋减弱,高压加强,阻挡了北方

冷空气的南下,使得中国北方沙尘暴减少.2001, 2004, 2006 年贝加尔湖地区 500hPa 高度场呈现

明显的负距平<sup>[13]</sup>,即蒙古气旋加强,北方冷空气频繁南下,影响中国北方地区沙尘暴增多.

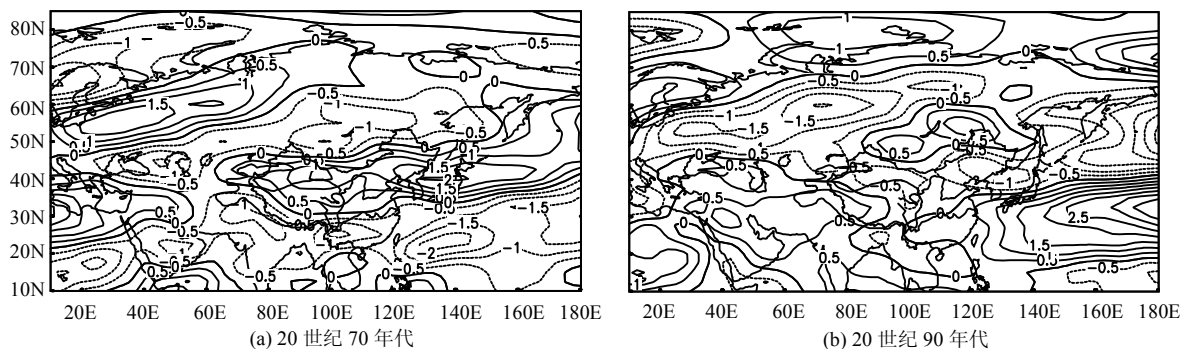


图 3 春季北半球 500Pa 纬向风距平合成

Fig.3 Anomalous composite of latitudinal components of at the level of 500hPa in Eurasian of the north hemisphere

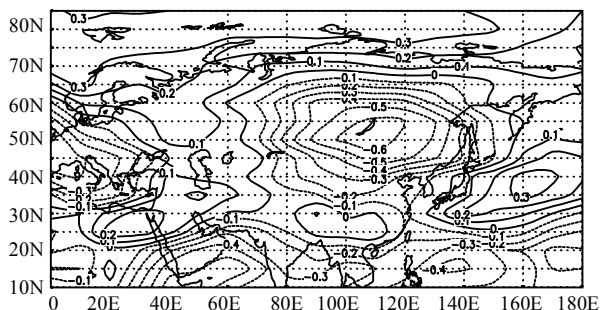


图 4 中国北方年沙尘暴与 2 月北半球 500hPa 高度场的相关系数

Fig.4 Correlation coefficients between the first principal component of the number of annual sand-dust storm days and the geopotential height field at the level of 500hPa in February

## 2.2 沙尘源区的气候转型

西北地区气候由暖干向暖湿转型<sup>[8]</sup>,降水增加,沙尘暴减少.由于全球变暖,副热带系统增强北上,西太平洋副热带高压西侧的偏南气流将热带暖湿气流向北输送,使得西北地区水汽增加.20 世纪 80~90 年代,80°~120°E 中纬度为一个高压维持,而在咸海—巴尔喀什湖为低槽维持,来自印度洋的水汽给新疆和西北地区带来降水<sup>[14]</sup>.降水量的增加,特别是春季宝贵的降水量,使地表略微湿润或板结,可抑制起尘.其次,降水量的增加,

有利于植被的生长发育,减少沙尘暴.统计表明,冬季上游沙尘源区气温偏低,次年春季迅速回暖,有利于下游地区沙尘暴的增多.图 5 给出新疆北部奇台县(89°34'E,44°01'N)冬季气温与甘肃景泰县(104°03'E,37°11'N)年沙尘暴日数,由图 5 可见,20 世纪 60~80 年代中期,气温低沙尘暴多;20 世纪 80 年代中期~90 年代中期,气候迅速变暖,沙尘暴急剧减少.1997 年以后上游沙尘源区冬季气温变暖速度逐渐减弱,沙尘暴也由 1997 年的最低谷开始缓慢增多;自 2003/2004 年冬季开始,新疆北部气温已连续 3 年偏低,个别站还打破了最低温度的历史记录.这有助于沙尘暴增加.

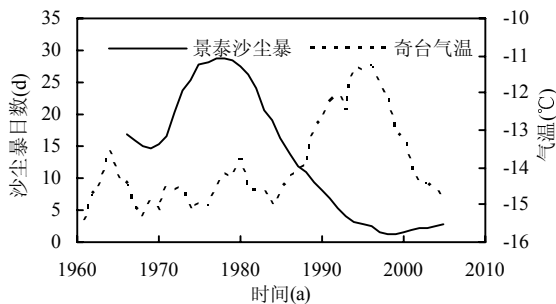


图 5 3 年滑动平均的新疆奇台冬季气温与甘肃景泰年沙尘暴日数

Fig.5 3-year running average of the temperature of Qitai in Winter in Xinjiang and the annual sand-dust storm days of Jingtai in Gansu

### 2.3 青藏高原地面加热场强度的异常

青藏高原(以下简称高原)地面加热场强度异常对中国北方地区沙尘暴日数有明显影响.李栋梁等<sup>[15]</sup>建立了高原地面加热场强度距平指数.年平均 B-H 与中国北方沙尘暴年总日数的第一主分量具有非常好的反相关关系,年际相关系数为 $-0.304(\alpha_{0.05}=0.288)$ ,年代际滑动平均的相关更明显(图略).20 世纪 60 年代高原地面加热场强度由强变弱的递减过程对应中国北方沙尘暴由少到多的增强过程;20 世纪 70 年代高原地面加热场强度最弱,对应着中国北方沙尘暴的频发期.自 20 世纪 70 年代中期开始,高原地面加热场强度由弱变强,到 20 世纪 90 年代后期达到最强;中国北方沙尘暴从 20 世纪 70 年代中期的频发期开始逐渐减少,到 20 世纪 90 年代后期达到最少.本世纪初高原地面加热场强度又出现了由强向弱的转变,引起了中国北方沙尘暴的增加.

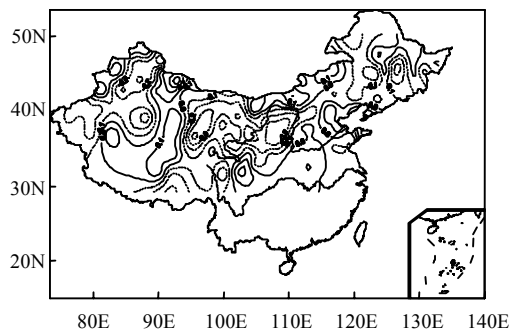


图 6 年平均青藏 B-H 与中国北方 167 站沙尘暴日数的相关系数

Fig.6 Correlation coefficient between annual mean intensity index of the surface heat field (B-H) in Tibetan and the first principal component of the total days of sand-dust storm of 167 stations

由图 6 可以看出,当前一年 B-H 异常偏强(弱)时,次年中国北方大部分地区沙尘暴偏少(多).偏少(多)中心在新疆中西部、河西到河套.20 世纪 80 年代以来,高原地面加热场强度总体呈增强趋势,中国北方沙尘暴总体处于减少趋势.但自 1998 年以后,B-H 出现转折,表现为减弱趋势,与

其对应的是本世纪初中国北方沙尘暴的增多现象.2005 年 B-H 偏弱(负距平),引起了 2006 年中国北方沙尘暴的增加.

不同时段 B-H 对不同地区沙尘暴的影响可能有所不同.当冬季高原地面加热场强度增强(减弱)时,有利于中国北方沙尘暴的增加(减少),反之亦然;而当春季 B-H 增强(减弱)时,有利于中国北方沙尘暴的减少(增加).沙尘暴的变化在位相上比 B-H 落后 1~3 个月,代表站的相关系数可达 0.6~0.7(图略).这无论是从高原地面加热场强度影响沙尘暴的物理过程,还是对沙尘暴的气候预测是很有意义的.

### 2.4 太阳黑子周期长度变化及其各因子间的关系

诊断分析和数值试验表明,高原地面加热场对北半球大气环流和中国区域气候有影响.图 7 为 B-H 与太阳黑子周期长度(SCL)的 10a 滑动平均变化曲线.20 世纪 50 年代(实际从 40 年代初开始)SCL 处于变长趋势,即太阳活动减弱,到 1976 年达到近 60a 来的最长 12a(太阳活动最弱).与此相反,B-H 从有资料的 20 世纪 50 年代末的最强逐渐减弱,到 1981 年达到近 50a 的最弱;此后,太阳活动开始加强,即 SCL 开始变短,1996 年为近 60a 来最短的 9.3a(太阳活动最强).与其对应的是 B-H 从 20 世纪 80 年代初开始加强,到 1997 年达到近 50a 的最强.1997 年太阳活动又一次开始减弱,即 SCL 开始变长,预计 SCL 下一个极大值出现在 2030 年前后<sup>[16]</sup>.根据近 50a 的资料分析,B-H 的谷、峰值出现时间比 SCL 的峰、谷值出现时间落后 1~4a.预计未来 20~30a 高原地面加热场强度将出现减弱趋势.根据文献[18]的研究结果,高原地面加热场强度偏弱时,春季新疆高压脊强,东亚大槽加深,偏北气流加强,西北地区易发生春旱,春季干旱自然易发生沙尘暴.综合分析以上各因子间的关系及影响,可以建立沙尘暴的如下预测概念模型:即太阳活动减弱(SCL 变长)/增强(SCL 变短)——气候变冷/变暖——青藏高原地面加热场强度减弱/增强——西风急流轴偏南/偏

北——蒙古气旋加强/减弱——沙尘源区降水量的减少/增加——沙尘暴增加/减少.综合考虑我国北方沙漠化土地的发展趋势<sup>[2]</sup>,结合以上模型可以预测,中国北方沙尘暴将进入新一轮的相对活跃期.

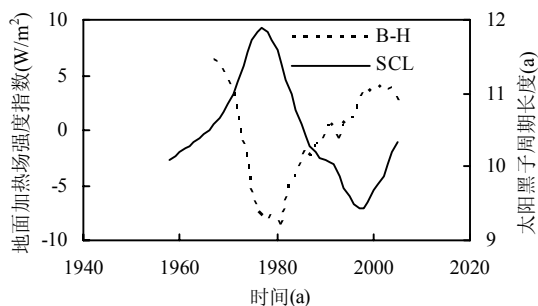


图7 10a 滑动平均的青藏 B-H 与 SCL

Fig.7 10-year running average of the curves of the annual mean intensification index of the surface heat field (B-H) in Tibetan and the sunspot cycle length (SCL)

### 3 结论

3.1 中国北方沙尘暴在空间变化上主要表现为两种模式,即整体一致的偏多(少)型和东西反向的西多(少)东少(多)型.在近 50a 的变化上,经历了 20 世纪 60~70 年代沙尘暴增加和 20 世纪 80~90 年代沙尘暴减少的演变过程.近 10a 又呈现出增加态势.

3.2 分析中国北方沙尘暴成因,建立其预测概念模型,即太阳活动减弱(SCL 变长)/增强(SCL 变短)——气候变冷/变暖——青藏高原地面加热场强度减弱/增强——西风急流轴偏南/偏北——蒙古气旋加强/减弱——沙尘源区降水量的减少/增加——沙尘暴增加/减少.

3.3 20 世纪 90 年代末到本世纪初 SCL 开始变长,新一轮的太阳活动弱期开始,气候变暖速率将比 20 世纪 90 年代减缓,高原地面加热场强度转向减弱趋势,西风急流南移,蒙古气旋逐渐加强.预计未来中国北方沙尘暴在波动中逐渐增加,进入新一轮的相对活跃期.

### 参考文献:

- [1] 温小浩,李保生,李 森,等.额济纳绿洲沙尘暴沉积的物质特征[J]. 中国环境科学,2005,25(5):549-553.
- [2] 王 涛,陈广庭,赵哈林,等.中国北方沙漠化过程及其防治研究的新进展——3.沙漠化研究和防治的重点区域[J]. 中国沙漠,2006,26(4):507-516.
- [3] 高庆先,李令军,张运刚,等.我国春季沙尘暴研究[J]. 中国环境科学,2000,20(6):495-500.
- [4] 周秀骥,徐祥德,颜 鹏,等.2000 年春季沙尘暴动力学特征[J]. 中国科学(D 辑),2002,32(4):327-334.
- [5] 李栋梁,钟海玲,魏 丽,等.中国北方年沙尘暴日数的气候特征及对春季高原地面感热的响应[J]. 高原气象,2003,22(4):337-345.
- [6] 刘国梁,郝丽珍.中国沙尘暴的下降趋势与气候变迁的对比[J]. 中国环境科学,2003,23(4):341-343.
- [7] 叶笃正,丑纪范,刘纪远,等.关于中国华北地区沙尘天气的成因与治理对策[J]. 地理学报,2000,55(5):513-521.
- [8] 施雅风,沈永平,李栋梁,等.中国西北气候由暖干向暖湿转型的特征和趋势探讨[J]. 第四纪研究,2003,23(2):152-164.
- [9] 刘晓东,田 良,张小曳.塔克拉玛干沙尘活动对下游大气 PM10 浓度的影响[J]. 中国环境科学,2004,24(5):528-532.
- [10] 张德二.我国历史时期以来降尘的天气气候学初步分析[J]. 中国科学(B 辑),1984(2):278-288.
- [11] 钱正安,蔡 英,刘景涛,等.中蒙地区沙尘暴研究的若干进展[J]. 地球物理学报,2006,49(1):83-92.
- [12] Waple A M, Lawrimore J H, Llexnder A, et al. State of the climate in 2002[J]. Bull Amer Meteo Soc., 2003,84(60):869-927.
- [13] 国家气候中心.气候系统监测公报[EB/OL]. <http://ncc.cma.gov.cn>, 2006-06-20.
- [14] 李栋梁,魏 丽,蔡 英,等.中国西北现代气候变化事实与未来趋势展望[J]. 冰川冻土,2003,25(2):135-142.
- [15] 李栋梁.青藏高原地面加热场强度变化及其与太阳活动的关系[J]. 高原气象, 2006,25(6):975-982.
- [16] LI Dongliang, GUO Hui, WANG Wen. Effects of sunspot cycle length and CO<sub>2</sub> on air temperature along Qinghai-Xizang railway and air temperature's trend prediction[J]. Science in China (Series D), 2004,47(supp.):131-141.

作者简介: 李栋梁(1957-),男,甘肃通渭人,研究员,硕士,主要从事青藏高原气象学、气候变化和预测及干旱环境动力学研究.发表论文 70 余篇.