

文章编号:1006 - 7639(2003) - 03 - 0048 - 10

# 甘肃省春季沙尘暴强弱年份大气环流特征对比分析

俞亚勋,赵建华

(中国气象局兰州干旱气象研究所,甘肃 兰州 730020)

**摘要:**文中使用 NCEP/NCAR 1955~2000 年全球月平均再分析网格点资料(2.5°×2.5°纬度/经度)和甘肃省区域性沙尘暴过程资料,分别选取了甘肃省 5 个春季典型沙尘暴年份和 5 个春季非沙尘暴年份,对其气候平均的大尺度环流场和有关物理量场的动力和热力结构差异进行了对比分析。初步探讨了甘肃省春季沙尘暴发生与全球海温异常的关系。分析结果表明,甘肃省春季沙尘暴年和非沙尘暴年大尺度高低空环流场和有关物理量场差异明显,从而揭示了沙尘暴形成的大尺度环流以及动力和热力因子影响的事实,以期对我国西北地区沙尘暴气候成因有更全面深入的了解,为沙尘暴短期气候预测提供理论依据和强信号。

**关键词:**春季;沙尘暴强弱年;大气环流;对比分析

**中图分类号:** P425:P434

**文献标识码:** A

## 引言

沙尘暴对人类生存环境和社会政治、经济的严重影响已是众所周知的事实,因而也是国内外学者和公众所关注的热点问题之一。甘肃省地处青藏高原、内蒙古高原和黄土高原的接触地带,西邻南疆塔克拉玛干大沙漠和戈壁荒漠,北界与内蒙古巴丹吉林沙漠和腾格里沙漠接壤,西南面倚靠青藏高原,东部与黄土高原交错,尤其是祁连山北部的河西走廊具有独特的地理环境和气象条件,是沙尘暴的源地和频发区。我国学者对沙尘暴的划分标准<sup>[1~3]</sup>、时空分布特征<sup>[2~5]</sup>、发生源地<sup>[1~6]</sup>、移动路径<sup>[1~7]</sup>和天气气候特征<sup>[8~11]</sup>、个例诊断<sup>[9~10]</sup>、数值模拟和成因探讨<sup>[12~17]</sup>以及沙尘气溶胶特性<sup>[18~20]</sup>等方面做了大量研究工作,取得了不少成果。近年来的研究将沙尘暴视为气候极端事件<sup>[21]</sup>,与全球气候变化相互联系<sup>[22]</sup>。叶笃正等<sup>[12]</sup>指出,中国北方地区大风和沙尘暴日数的增减是气候周期性变化的反映。王会军等<sup>[23]</sup>首次利用气候模式作了跨季度的气候异常与沙尘暴气候形势的预测试验。这表明沙尘暴既是一种中小尺度灾害性天气过程,也是气候长期变化的表现。考虑到大气中发生的任何天气和气候事件的变化与大气环流异常有关,虽然近年来一些学

者提出了沙尘暴的发生与大气环流异常有联系的观点<sup>[2]</sup>,但对基本事实的研究仍显不足,特别是从气候背景和成因方面研究沙尘暴的工作在国内外还不多见。为此,本文以相当大的时空尺度,力图从气候研究的角度对形成沙尘暴的大尺度环流以及动力和热力因子加以探讨,研究大气环流与沙尘暴相联系和影响的基本事实,以期对我国西北地区沙尘暴成因有更深入的了解。无疑,这在当前可以说是一个初步但又是一项新的探索性工作。

## 1 资料来源及方法

文中使用 NCEP/NCAR(1955~2000 年)全球月平均再分析网格点资料(2.5°×2.5°纬度/经度)和甘肃省区域性沙尘暴过程时间序列资料,参照文献<sup>[1~3]</sup>,首先对甘肃省春季不同等级的沙尘暴过程根据其强度和影响范围分别选取了 5 个强沙尘暴年份(1956,1966,1975,1977,1979 年)和 5 个弱沙尘暴年份(1961,1988,1992,1994,1997 年),对其气候平均的对流层位势高度、温度、地面气温、海平面气压和位涡场差异进行了对比分析,初步探讨了甘肃省沙尘暴发生的大气环流异常特征。我们以甘肃省春季沙尘暴为例从以下几个方面加以研究。

收稿日期:2003 - 07 - 06;改回日期:2003 - 09 - 16

基金项目:国家科技部社会公益研究专题课题“西北干旱区沙尘暴预警、服务系统研究”(2000DIA10031)资助

作者简介:俞亚勋(1965 - ),男,副研究员,主要从事气候变化和干旱气象灾害研究。E-mail:yuyx@gasma.gov.cn

## 2 大气环流异常特征

从强沙尘暴年春季(3~5月)平均减多年(1955~2000年)平均位势高度距平场上看(图1a、1b),典型沙尘暴年500hPa层在中高纬欧亚范围,从北欧巴伦支海经西西伯利亚平原、蒙古一直到日本上空

呈现一负距平带,中心强度达-50gpm以上,而东北太平洋上空为强大的正距平区,中心强度达40gpm以上。弱沙尘暴年,在中亚的巴尔喀什湖至贝加尔湖一带表现为正距平区,中心强度达30gpm,而东北太平洋上空为负距平区,中心强度达-30gpm。

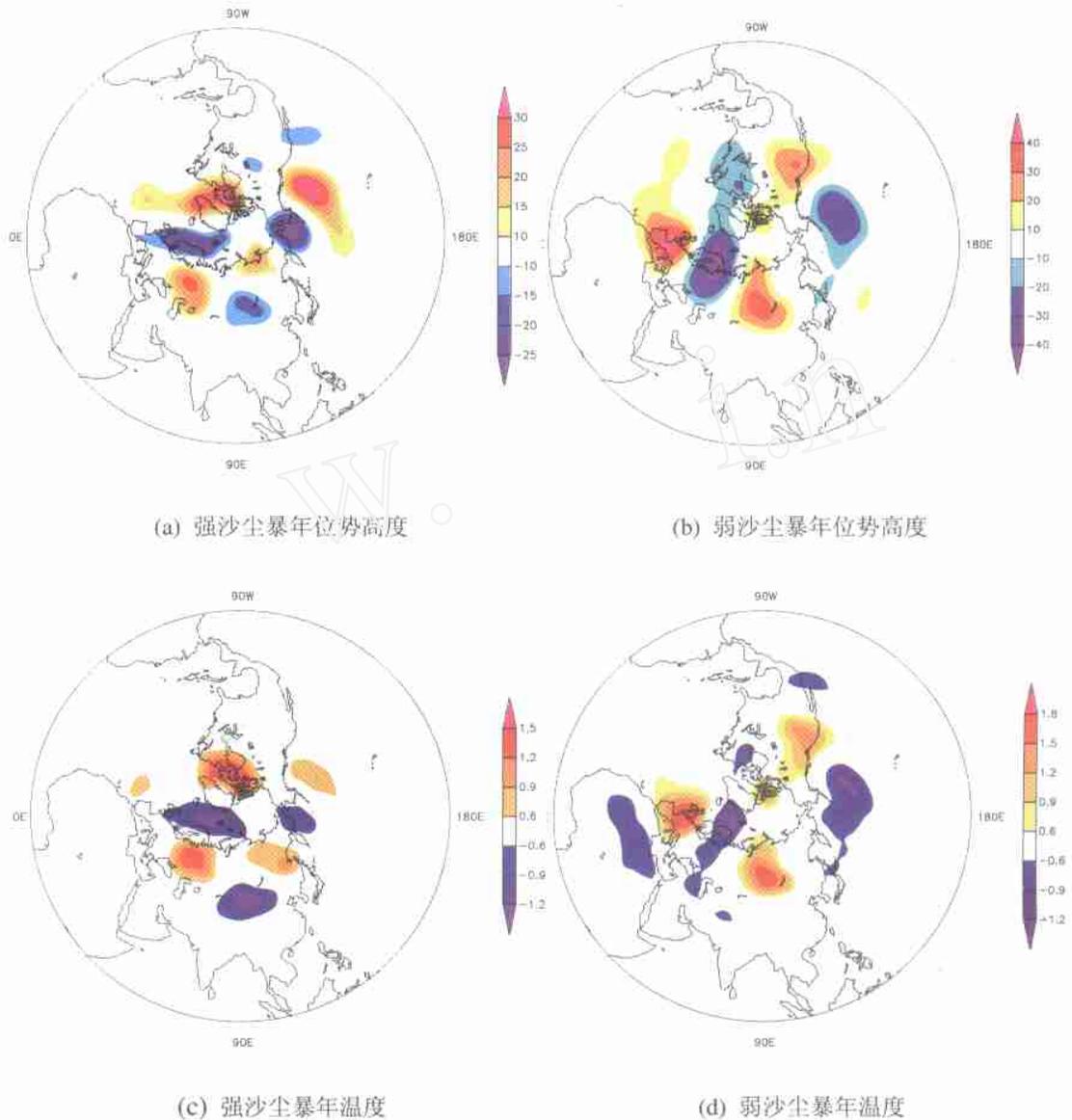


图1 春季强沙尘暴年和弱沙尘暴年500hPa位势高度和温度距平场(单位:gpm、 $^{\circ}\text{C}$ )

(a) 强沙尘暴年位势高度、(b) 弱沙尘暴年位势高度、(c) 强沙尘暴年温度、(d) 弱沙尘暴年温度

Fig. 1 The anomalous geopotential height (unit:gpm) and temperature (unit:  $^{\circ}\text{C}$ ) at 500hPa in active and inactive spring sandstorm years(departure from 1955~2000).

(a) The geopotential height in active spring sandstorm years、(b) The geopotential height in inactive spring sandstorm years、(c) The temperature in active spring sandstorm years、(d) The temperature in inactive spring sandstorm years

从500hPa层温度距平场上看(图1c、1d),上述强沙尘暴年,巴伦支海经西西伯利亚平原、蒙古一直到日本上空的位势高度负距平区对应负的温度距平区,中心强度达-1,东北太平洋上空的正距平区对应正的温度距平,中心强度达1.5,而弱沙尘暴年,在中亚的巴尔喀什湖至贝加尔湖一带

出现正温度距平区,中心强度达1.2,东北太平洋上空为负温度距平区,中心强度达-0.9。

从500hPa平均位势高度场和温度场上看,强沙尘暴年北半球极涡强,范围增大且南伸,东西半球各有一个极涡中心,而弱沙尘暴年北半球极涡弱,范围缩小,北半球只有一个极涡中心(图2)。

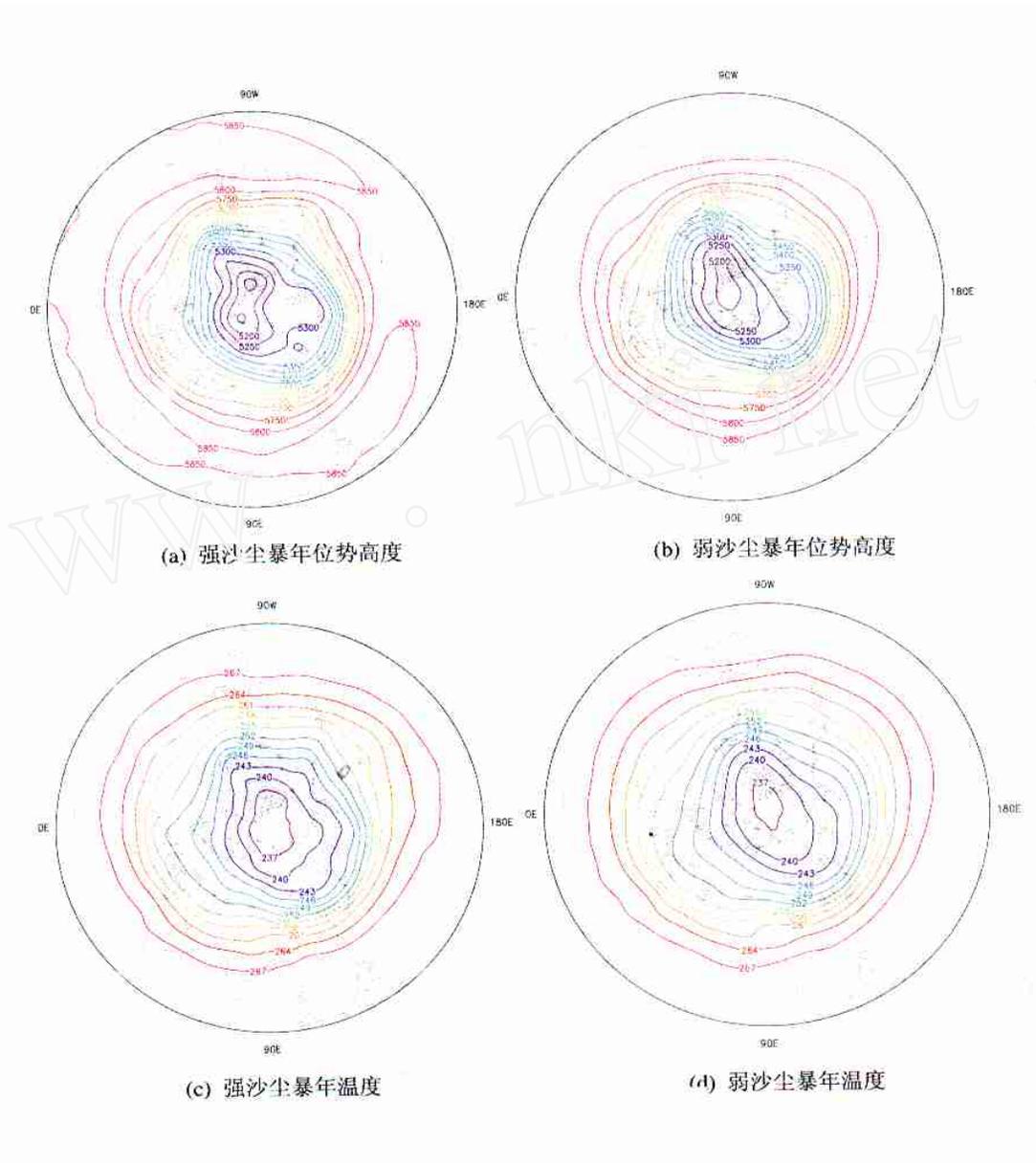


图2 春季强沙尘暴年和弱沙尘暴年500hPa平均位势高度和温度场(单位:gpm、)

(a) 强沙尘暴年位势高度、(b) 弱沙尘暴年位势高度、(c) 强沙尘暴年温度、(d) 弱沙尘暴年温度  
Fig. 2 The averaged geopotential height (unit :gpm) and temperature (unit : ) at 500hPa in active and inactive spring sandstorm years (departure from 1955 ~ 2000).

(a) The geopotential height in active spring sandstorm years、(b) The geopotential height in inactive spring sandstorm years、(c) The temperature in active spring sandstorm years、(d) The temperature in inactive spring sandstorm years

为了从三维空间角度探讨沙尘暴垂直环流结构特征,我们给出了春季强沙尘暴年和弱沙尘暴年位

势高度和温度距平经向垂直剖面图见图 3,图 4。从沿 60°N 位势高度经向垂直剖面图上看,对

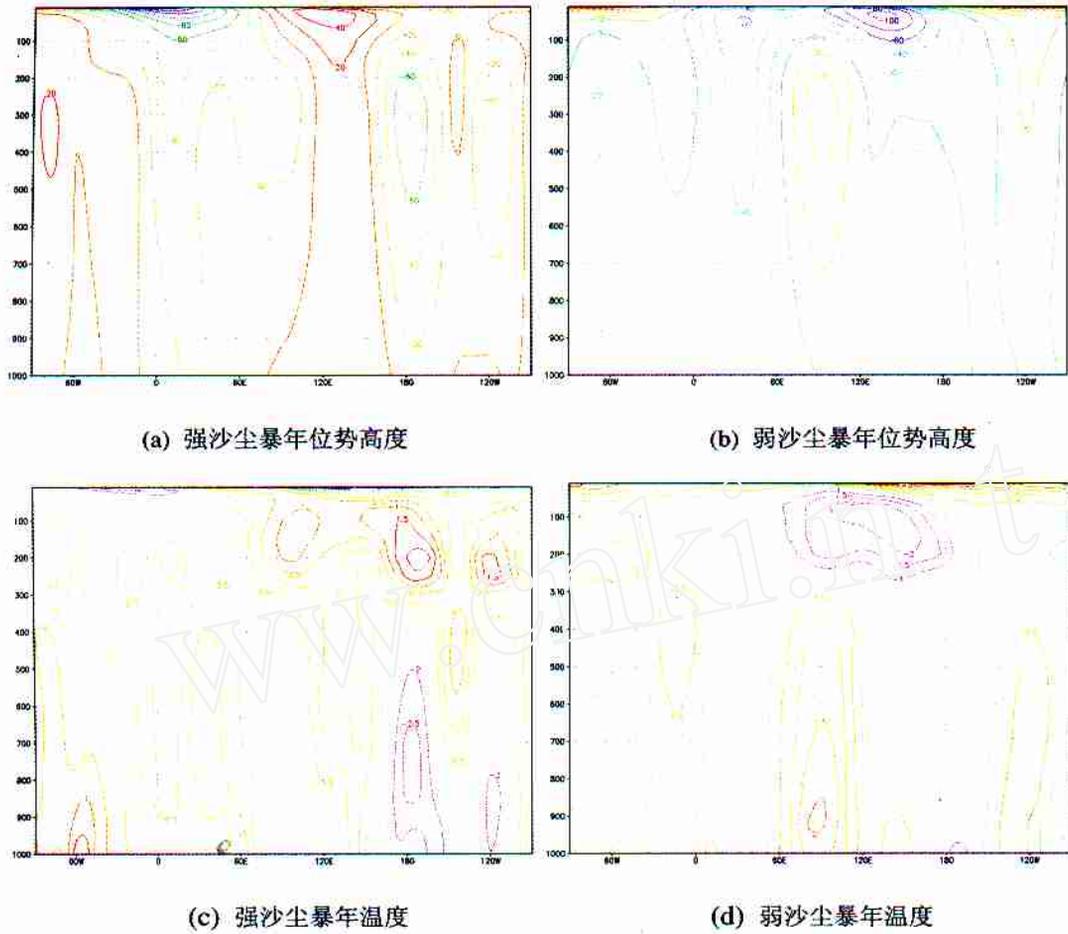


图 3 春季强沙尘暴年和弱沙尘暴年沿 60°N 经向 - 高度垂直剖面图

(a) 强沙尘暴年位势高度、(b) 弱沙尘暴年位势高度、(c) 强沙尘暴年温度、(d) 弱沙尘暴年温度

Fig. 3 The anomalous geopotential height and temperature at the longitude - height cross section along 60°N

(a) The geopotential height in active spring sandstorm years, (b) The geopotential height in inactive spring sandstorm years, (c) The temperature in active spring sandstorm years, (d) The temperature in inactive spring sandstorm years

于强沙尘暴年,在 0°~ 120°E 之间整层一致表现为负位势高度距平区,强度从低层向高层递增,在 10hPa 层达最大。在 120°~ 150°E 之间整层一致表现为正位势高度距平区,在 100hPa 以上有一个 40gpm 的极值中心。在 180°E ~ 150°W 之间整层一致表现为负位势高度距平区,在 300hPa 层有一个达 - 80gpm 的极值中心。对于弱沙尘暴年,在 60°~ 120°E 之间的 100hPa 层以下为正位势高度距平区,中心位于 300hPa 层,达 40gpm,而其西侧和东侧为负位势高度距平区。另外,从温度经向垂直剖面

图上看,对于强沙尘暴年在 0°~ 120°E 之间整层以负温度距平为主,在 150°E ~ 90°W 之间的 300hPa 层以下也以负温度距平为主。对于弱沙尘暴年,在 60°~ 120°E 之间的 300hPa 层以下为明显的温度正距平区,最大值出现在 900hPa 附近,而其东西两侧为负温度距平区。

在沿 40°N 位势高度经向垂直剖面图上看,对于强沙尘暴年在 0°~ 180°E 之间整层以负位势高度距平为主,中心最大值出现在 300hPa 附近,达到 - 30gpm。而在 180°E ~ 120°W 之间整层以正位势高

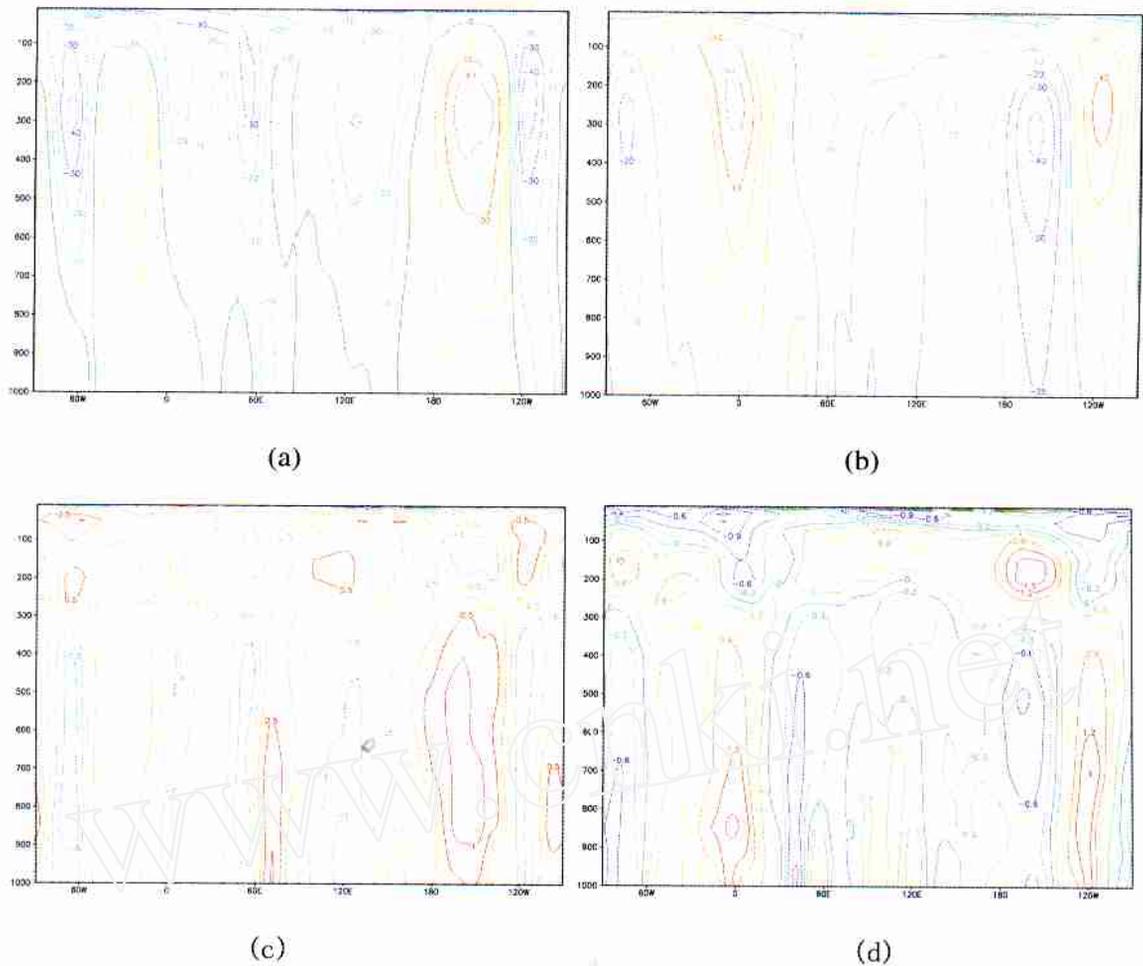


图 4 春季强沙尘暴年和弱沙尘暴年沿 40°N 经向 - 高度垂直剖面图

Fig. 4 The anomalous geopotential height and temperature at but for the longitude - height cross section along 40°N

- (a) The geopotential height in active spring sandstorm years, (b) The geopotential height in inactive spring sandstorm years, (c) The temperature in active spring sandstorm years, (d) The temperature in inactive spring sandstorm years

度距平为主, 40gpm 中心位于 400 ~ 200hPa。对于弱沙尘暴年, 在 60° ~ 120°E 之间整层一致为正位势高度距平, 最大中心位于 100hPa 以上, 达 20gpm。而在 180°E ~ 120°W 之间整层一致为负位势高度距平, 最大中心位于 300hPa 以上, 达 - 40gpm。从温度经向垂直剖面图上看, 强沙尘暴年 60° ~ 80°E 以及 180°E ~ 120°W 之间各有一个明显的温度正距平区, 中心强度都达 1 以上。弱沙尘暴年上述温度正距平区强度减小。从以上南北两个垂直剖面图的分析结果可以清楚地看到, 强沙尘暴年南面(40°N)的正位势高度距平和正温度距平大于北面(60°N), 而弱沙尘暴年反之, 南面(40°N)的正位势高度距平和正温度

距平小于北面(60°N), 表明强沙尘暴年南面的增温大于北面, 弱沙尘暴年北面的增温大于南面。

### 3 地面气温场和海平面气压场特征

从强沙尘暴年春季平均减去弱沙尘暴年春季平均地面气温和海平面气压差值场上看(图 5), 在中高纬中亚至东亚范围, 60°N 以北为负值, 我国中部的黄淮流域也出现负值区域, 中心强度达 - 2 以上, 阿拉伯半岛北部的里海和黑海为一大片正值区域, 北太平洋区域也是一个正值区域, 这表明上述区

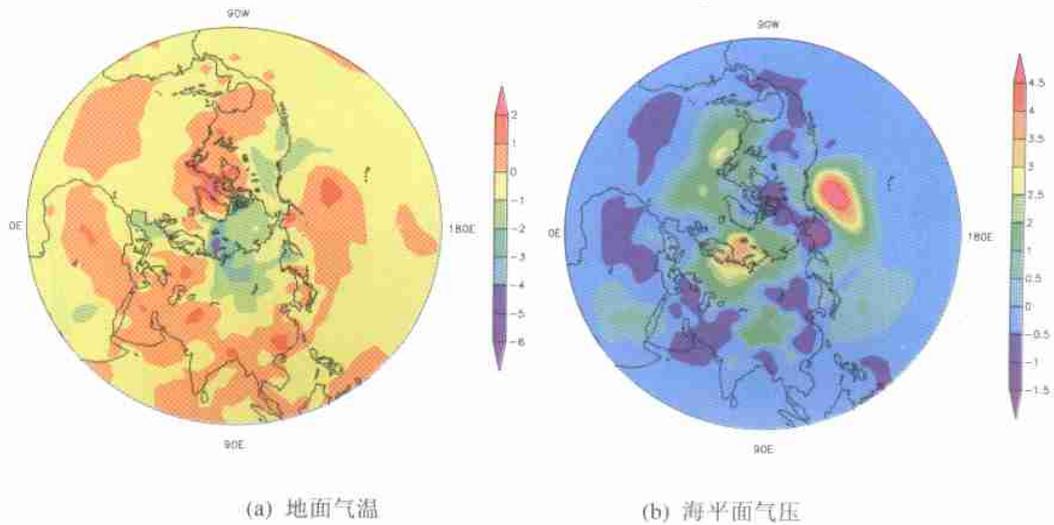


图 5 春季强沙尘暴年和弱沙尘暴年平均地面气温和海平面气压差值场

(a) 地面气温、(b) 海平面气压

Fig. 5 The difference of surface temperature and sea level pressure between active and inactive spring sandstorm years

(a) surface temperature, (b) sea level pressure

域是强沙尘暴年与弱沙尘暴年地面气温的异常敏感区。从海平面气压差值场上看,中高纬中亚至东亚范围表现为一大片正值区,而西北太平洋区域为负值区,表明强沙尘暴年中高纬中亚至东亚大陆海平面气压明显高于弱沙尘暴年,西北太平洋区域海平

面气压在强沙尘暴年明显低于弱沙尘暴年。

### 4 大气位涡特征

从强沙尘暴年(1956、1966、1975、1977、1979年)和弱沙尘暴年(1961、1988、1992、1994、1997年)

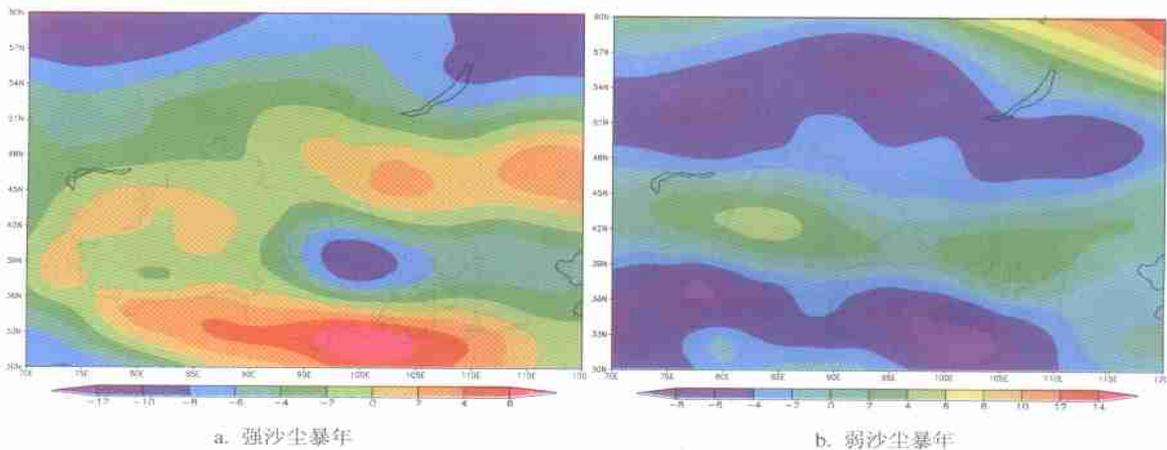


图 6 春季强沙尘暴年和弱沙尘暴年与多年(1955~2000年)平均 400 K 层位涡距平场(单位:  $\times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}/\text{kg}$ )

(a) 强沙尘暴年、(b) 弱沙尘暴年

Fig. 6 The anomalous potential vorticity (unit:  $\times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}/\text{kg}$ ) at 400 K in active and inactive spring sandstorm years (departure from 1955~2000).

(a) The active spring sandstorm years, (b) The inactive spring sandstorm years

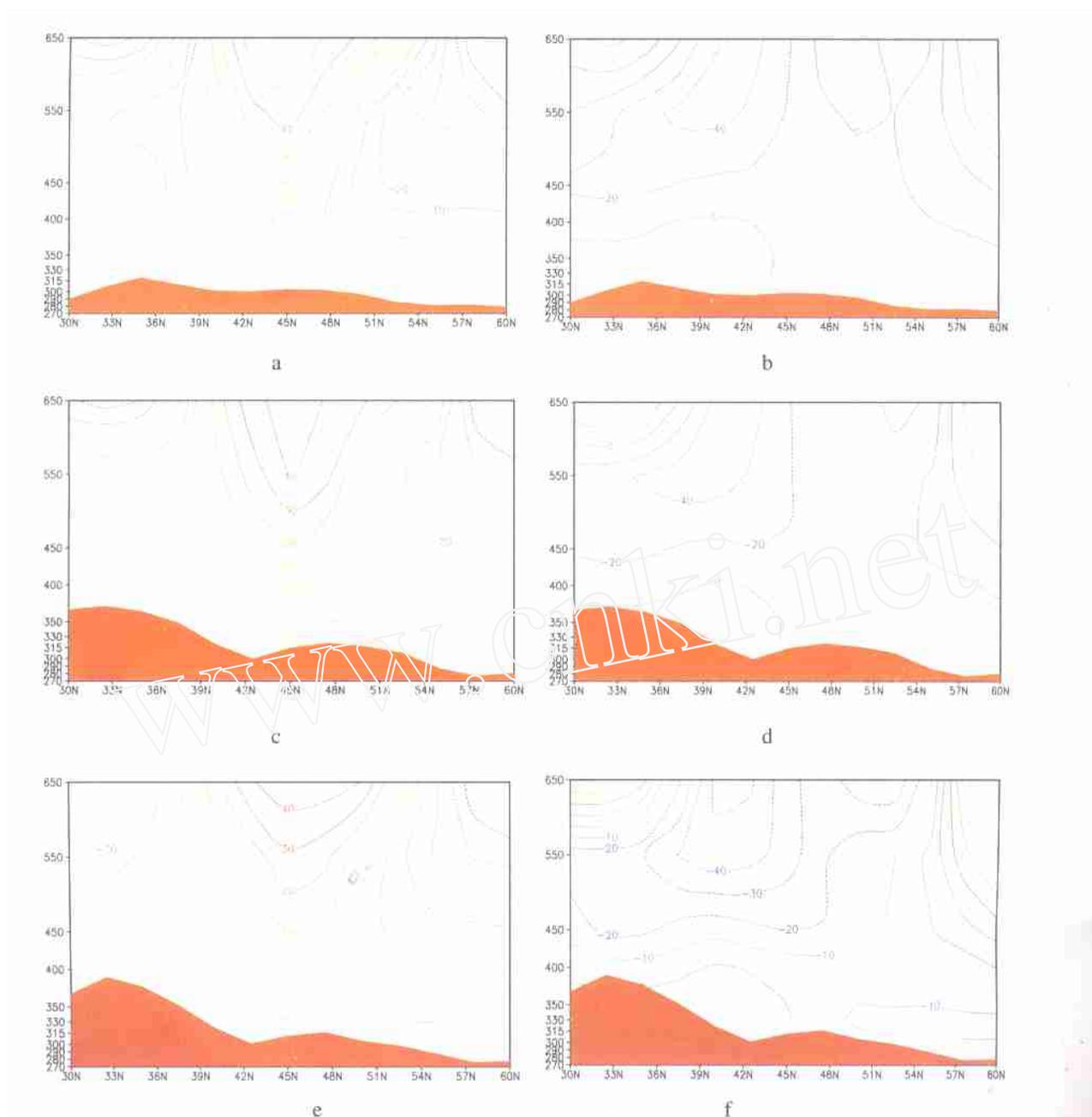


图7 春季强沙尘暴年和弱沙尘暴年与多年(1955~2000年)平均位涡距平纬向高度剖面(单位:  $\times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}/\text{kg}$ )  
 a. 强沙尘暴年 105 E, b. 弱沙尘暴年 105 E, c. 强沙尘暴年 100 E, d. 弱沙尘暴年 100 E, e. 强沙尘暴年 95 E, f. 弱沙尘暴年 95 E

Fig. 7 The latitude - height cross section of the anomalous potential vorticity (unit:  $\times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}/\text{kg}$ ) in active and inactive spring sandstorm years (departure from 1955 ~ 2000).

- a. In active sandstorm years along 105 E, b. In inactive sandstorm years along 105 E,  
 c. In active sandstorm years along 100 E, d. In inactive sandstorm years along 100 E,  
 e. In active sandstorm years along 95 E, f. In inactive sandstorm years along 95 E

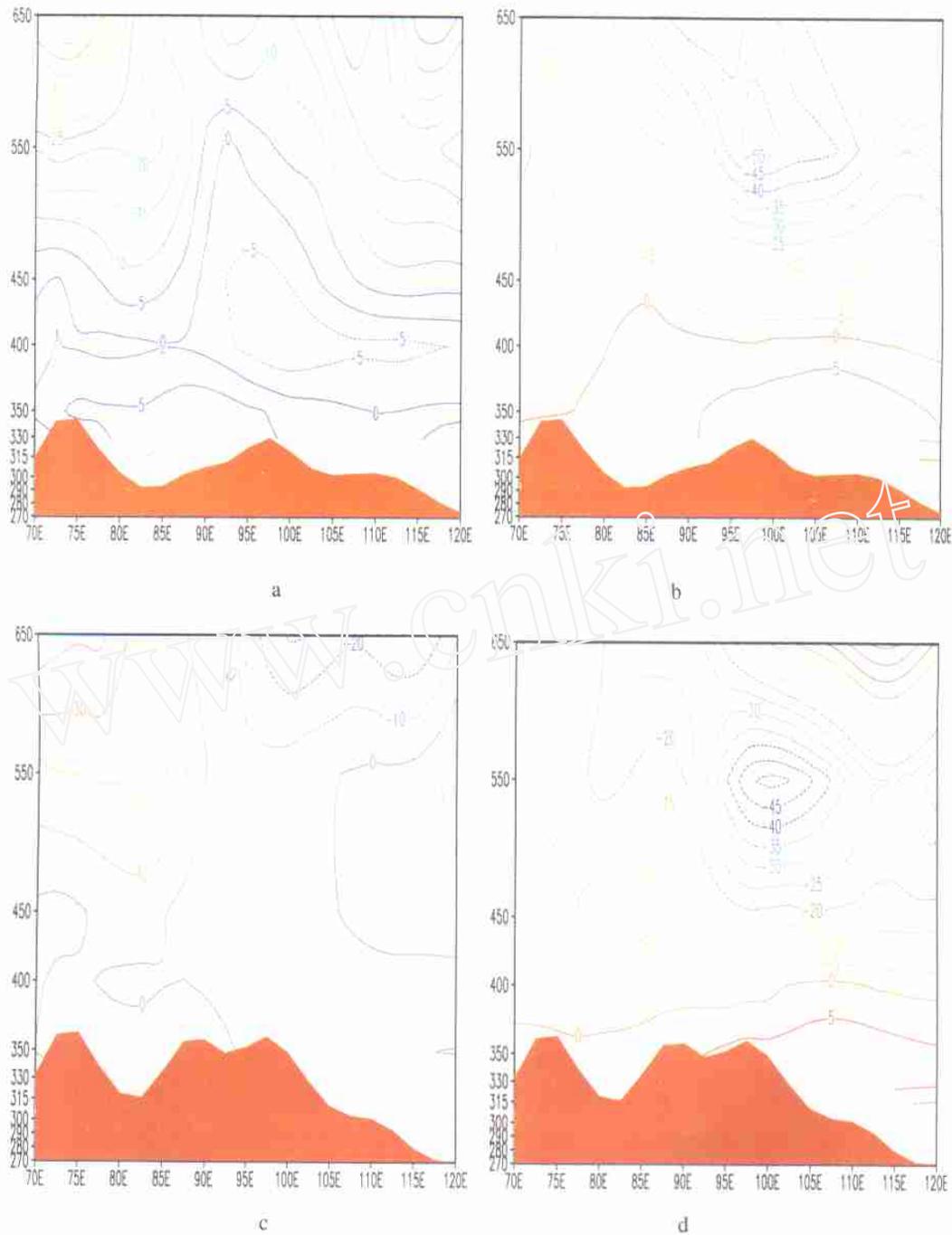


图 8 春季强沙尘暴年和弱沙尘暴年与多年(1955~2000年)平均位涡距平经向高度剖面(单位:  $\times 10^{-6} \text{m}^2/\text{s}/\text{kg}$ )

(a)强沙尘暴年 40°N、(b)弱沙尘暴年 40°N、(c)强沙尘暴年 37.5°N、(d)弱沙尘暴年 37.5°N

Fig. 8 The same as Fig. 7, but for the longitude - height cross section (unit:  $\times 10^{-6} \text{m}^2/\text{s}/\text{kg}$ )

a. In active sandstorm years along 40°N、b. In inactive sandstorm years along 40°N、

c. In active sandstorm years along 37.5°N、d. In inactive sandstorm years along 37.5°N

与多年(1955~2000年)平均位涡距平场(图6)可以看到,在40K层上,强沙尘暴年在我国甘肃省以及

北面相邻的蒙古是一片正位涡距平带,最大中心分别位于蒙古西南部、青海北部、南疆盆地东部和西

部,中心强度分别为  $2.4 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s/kg}$ 、 $1.8 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s/kg}$ 、 $1.5 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s/kg}$ 、 $1.5 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s/kg}$ 。另外,从垂直剖面图(图7)可看到,对于强沙尘暴年,在各个经度的纬向剖面上  $36^\circ\text{N}$  以北至  $51^\circ\text{N}$  之间有一个正位涡距平,正位涡距平中心随各个经度自西向东从高层向低层移动,其中最强位涡制造区域位于  $95^\circ\sim 100^\circ\text{E}$  之间。在各个纬度的经向剖面上,450~350 K 层之间在  $70^\circ\sim 120^\circ\text{E}$  均表现为正位涡距平。

## 5 小结

甘肃省春季强沙尘暴年和弱沙尘暴年大尺度高空环流场和有关动力、热力影响因子差异明显,具体表现在以下几方面。

5.1 强沙尘暴年 500hPa 层在中高纬从北欧巴伦支海经西西伯利亚平原、蒙古一直到日本上空位势高度呈现一负距平带,对应负温度距平区,而东北太平洋上空为强大的位势高度正距平区,对应正温度距平;弱沙尘暴年,在中亚巴尔喀什湖至贝加尔湖一带表现为位势高度正距平区,对应正温度距平,东北太平洋上空为位势高度负距平区,对应负温度距平区,这表明中高纬欧亚范围对流层中层为 +、-、+ 位势高度距平,对应 +、-、+ 温度距平是甘肃省春季强沙尘暴年的主要大气环流特征之一。

5.2 强沙尘暴年北半球极涡强,范围增大且南伸,东西半球各有一个极涡中心,冷空气势力强,活动范围大,而弱沙尘暴年北半球极涡弱,范围缩小,北半球只有一个极涡中心,冷空气势力弱,活动范围小。

5.3 强沙尘暴年中纬度地区的正位势高度距平和正温度距平大于高纬度地区;而弱沙尘暴年反之,中纬度地区的正位势高度距平和正温度距平小于高纬度地区,表明强沙尘暴年中纬度地区的增温大于高纬度地区,弱沙尘暴年高纬度地区的增温大于中纬度地区。

5.4 强沙尘暴年中亚至东亚范围中,中高纬地面气温明显偏低、海平面气压明显偏高,我国中部的黄淮流域地面气温也偏低,而北太平洋区域气温明显偏高,相应海平面气压明显偏低。这表明上述区域是强沙尘暴年与弱沙尘暴年的敏感区域。

5.5 强沙尘暴年在我国甘肃省以及北面相邻的蒙古出现正位涡距平,最大中心分别位于蒙古西南部、青海北部、南疆盆地东部和西部,而这些区域正是沙

尘暴频繁发生之地。另外,在对流层上空,  $36^\circ\text{N}$  以北至  $51^\circ\text{N}$  之间有一个正位涡距平,正位涡距平中心自西向东从高层向低层移动,其中最强烈位涡制造区域位于  $95^\circ\sim 100^\circ\text{E}$  之间,这充分表明位涡制造的大气动能是甘肃省沙尘暴形成的原因之一。

### 参考文献:

- [1] 钱正安,贺慧霞,瞿章,等.我国西北沙尘暴的分级标准[A].方宗义.中国沙尘暴研究[C].北京:气象出版社,1997.1-10.
- [2] 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.
- [3] 周自江,章国材.中国北方的典型强沙尘暴事件(1954~2002年)[J].科学通报,2003,48(11):1224-1228.
- [4] 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.
- [5] 西北干旱区沙尘暴预警、服务系统研究课题组.我国西北地区沙尘暴分析[A].中国气象局预测减灾司主编.沙尘暴监测预警服务研究[C].北京:气象出版社,2002.134-151.
- [6] 曲绍厚.北京地区一次沙尘过程的来源[J].环境科学学报,1984,4(1):80-85.
- [7] 邱新法,曾燕,缪启龙.我国沙尘暴的时空分布规律及其源地和移动路径[J].地理学报,2001,56(3):316-322.
- [8] 杨东贞,王超.1990年春季两次沙尘暴天气特征分析[J].应用气象学报,1995,6(1):18-26.
- [9] 徐国昌,陈敏连,吴国雄.甘肃省“4.22”特大沙尘暴分析[J].气象学报,1979,37(4):26-35.
- [10] 王式功,扬德保,孟梅芝,等.甘肃省“5.5”黑风天气系统结构特征及其成因分析[J].甘肃气象,1993,11(3):28-29.
- [11] 王可丽,江灏,吴虹.2001年春季中国北方沙尘暴的环流动力结构分析[J].高原气象,2002,21(3):303-308.
- [12] 叶笃正,丑纪范,刘纪远,等.关于我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.
- [13] 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.
- [14] 史培军,严平,袁艺.中国北方风沙活动的驱动力分析[J].第四纪研究,2001,21(1):41-47.
- [15] 胡隐樵,光田宇.强沙尘暴发展与干飚线-黑风暴形成的一个机理分析[J].高原气象,1996,15(2):178-185.
- [16] 刘树华,刘新民,高尚玉.沙尘暴天气成因的初步分析[J].北京大学学报,1994,30(5):589-596.
- [17] Zhu Fukang, Zhang Wenqian. The duststorm in China[R]. WMO/ TD 1998.
- [18] 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.
- [19] 周明煜,曲绍厚.北京地区沙尘过程的气溶胶特征[J].科学通报,1981,26(10):609-611.
- [20] 牛生杰,章澄昌,贺兰山地区沙尘暴沙尘起动和垂直输送物理因子的综合研究[J].气象学报,2002,60(2):194-204.
- [21] 丁一汇,张锦,宋亚芳.天气和气候极端事件的变化及其与全球变暖的联系[J].气象,2002,28(3):3-7.

- [22] 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.
- [23] 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[J]. 大气科学,2003,27(1):136-140.

## Contrast Analysis on The Atmospheric Circulation Between Active And Inactive Years of Spring Sandstorms in Gansu

YU Ya - xun ,ZHAO Jian - hua

(Institute of Arid Meteorology , China Meteorological Administration , Lanzhou 730020 , China)

**Abstract** Based upon the regional sandstorm records in Gansu , the geopotential height , temperature and wind fields at mandatory levels generated by NCEP/NCAR reanalysis dataset ( $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$  Lat/ Lon) for 46 years (1955 ~ 2000) , The 5 active sandstorm years and the 5 inactive sandstorm years in spring over Gansu are selected respectively to contrast the difference on the large - scale atmospheric circulation and the relevant dynamical and thermodynamic factors. The results show that the climatic circulation backgrounds between more and less spring sandstorm in Gansu are evidently different. Therefore , it is revealed the facts that the anomalies of the large - scale circulation and the relevant dynamic and thermodynamic factors can result in the formation of spring sandstorm in Gansu. So that the climatic causes of sandstorm in Northwest China can be understood very well. Above preliminary results have some novel and applied value for the climatic prediction of the sandstorm in Northwest China.

**Key words** :Spring ;Active and inactive years of sandstorm ; Atmospheric circulation ; Contrast analysis.