

民勤地区年沙尘暴发生频次研究

朱晓炜^{1,2}, 李栋梁¹, 李耀辉²

(1. 南京信息工程大学, 江苏 南京 210044; 2. 中国气象局兰州干旱气象研究所, 甘肃省干旱气候变化与减灾重点实验室, 中国气象局干旱气候变化与减灾重点开放实验室, 甘肃 兰州 730020)

摘 要:沙尘暴是对我国危害性极大的一种灾害性天气现象。我国沙尘暴的多发地区之一民勤地处河西走廊东北部, 3面都被沙漠包围, 自然环境极其恶劣。利用民勤地区长期观测的沙尘暴数据, 对该地区沙尘暴发生的年际规律进行了研究, 发现沙尘暴爆发的趋势在减少, 同时一定时期内伴随着波峰—波谷的振荡型变化。沙尘暴的爆发具有5 a, 15 a的周期性, 不同的季节稍有不同, 春季和全年的沙尘暴爆发周期相似程度最高。利用NECP/NCAR资料, 对典型年份的春季500 hPa高度场进行年距平分析, 发现了和民勤地区年沙尘暴爆发频次相关的高度场特征, 在奥加尔湖和巴尔喀什湖附近分别有一个高值系统和低值系统, 他们可能同时出现也可能单独出现。当民勤地区春季处于高值控制时, 民勤春季沙尘暴爆发的频次相对较少; 反之, 当民勤地区处于低值控制时, 该地区春季沙尘暴的爆发频次就较多。

关键词:沙尘暴; 小波分析; 狭管效应

中图分类号: P445+.4

文献标识码: A

引 言

沙尘暴是恶劣的自然环境与大气运动共同作用的结果, 是一种危害性极强的灾害性天气现象。沙尘暴的危害是全方位的, 它可以引起一系列的生态与环境问题, 如荒漠化、土壤肥力下降、空气污染等等, 对人类生命和财产安全产生极大的危害。同时, 沙尘暴也对全球气候系统有很重要的影响, 沙尘天气产生的悬浮在对流层的沙尘微粒是大气气溶胶的重要组成部分之一, 随着大气运动扩散至很远, 引起辐射变化, 进而引起区域乃至全球的气候变化。“阳伞效应”、“冰核效应”、“铁肥料效应”等都与沙尘天气产生的气溶胶密切相关。我国西北地区, 有着广阔的沙漠带, 自然环境极其恶劣, 是我国沙尘暴的主要源地。频繁发生的沙尘暴灾害已经成为严重影响经济和社会发展的环境问题。

我国很多学者都曾经对沙尘暴的时空分布、气象要素特征等方面进行了大量研究。沙尘暴是一个各因素综合过程, 涉及到风沙动力学、空气动力学、

边界层以及土壤类型与状态等多种复杂物理过程和特性。不同的地区, 有其独特的地理、地形和天气系统特征, 因此, 对某些具有代表性的典型区域进行重点研究, 对沙尘暴的研究会起到非常大的促进作用。

民勤县地处甘肃省河西走廊东北部, 南依武威, 西毗金昌, 东北和西北面与内蒙古左、右旗相接, 总面积1.6万km², 总人口30.4864万。具体地理位置在101°49′41″~104°12′10″E, 38°3′45″~39°27′37″N之间。东西长206 km, 南北宽156 km, 总面积1.59万km², 是位于巴丹吉林沙漠和腾格里沙漠之间的唯一一块绿洲。近年来, 民勤唯一的地表径流——石羊河上游来水锐减, 甚至河流干涸断流。民勤人民赖以生存的亚洲最大的沙漠水库——红崖山水库于2004年5月首次全面干涸, 地处石羊河流域末端的民勤已成为全国乃至全世界最干旱、荒漠化危害最严重的地区之一。温家宝总理就民勤的生态问题先后4次做出重要批示, “决不能让民勤成为第二个罗布泊”。国内外许多专家学者指出^[1-3]: 在地理和环境梯度上, 民勤处于全国荒漠化监控和

收稿日期: 2010-08-13; 改回日期: 2010-09-13

基金项目: 国家自然科学基金项目“西北沙尘暴关键区近地面起沙特征的观测与数值研究”(40645027); 973计划前期研究专项课题“民勤的生态变化对起沙影响的特征观测与数值基础研究”共同资助

作者简介: 朱晓炜(1985-), 宁夏中宁人, 在读硕士, 从事沙尘气溶胶和数值模式方面的研究. E-mail: zhw1029@163.com

防治的前沿地带,阻隔巴丹吉林和腾格里 2 大沙漠合拢,是中国西北部风沙线上的一座“桥头堡”。民勤绿洲的存亡关系河西走廊的安危,如果民勤绿洲不保,必将危及河西,河西不保,必将危及中国。因为其特殊的地理位置,民勤地区成了是我国沙尘暴多发地区之一,环境条件极其恶劣。另一方面,频繁发生的沙尘暴也为沙尘暴的观测研究提供了丰富的前沿资料。

本文利用民勤县气象局提供的 1971~2009 年的沙尘暴统计资料,对该地区沙尘暴的年际发生频率和周期变化进行研究。在数据统计方面,由于不同时期采用了不同的沙尘暴的标准,一些浮尘和扬沙天气可能也被误统计为了沙尘暴,这会对研究结果产生一些无法消除的影响。最后,利用 NECP/NCAR 再分析资料,对典型年份的天气形势进行了分析讨论。

1 沙尘暴爆发的年际特征

在沙尘暴爆发频次的总趋势上,年发生次数呈线性递减(图 1)。从 1970 年代的平均每年 35 次左右到最近几年的年发生次数不足 10 次。其中民勤县 1979 年出现 43 次沙尘暴过程,是研究时间范围内发生沙尘暴最多的一年,其次是 1986 年,出现了 42 次。1987 年之后沙尘暴的年爆发频次有了大幅

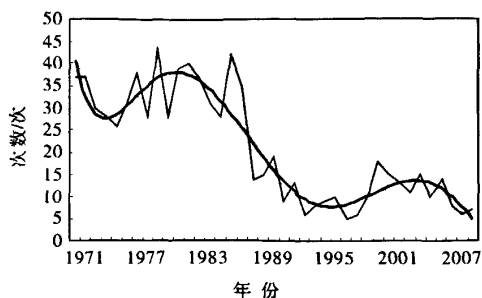


图 1 1971~2009 年民勤地区
沙尘暴全年发生次数统计

Fig. 1 The annual frequency statistics of sandstorm
in Minqing area from 1971 to 2009

度的降低,1997 年只发生过 5 次沙尘暴过程。沙尘暴发生次数在一段时期内又会有波峰—波谷的振荡型变化。1970 年代到 1980 年代末是波峰阶段,沙尘暴频繁爆发,而 1990 年代到现在沙尘暴爆发的最高次数甚至低于 1970、1980 年代的最低次数。如果按照这个规律发展,现在正接近沙尘暴爆发的相对低谷时期,按照这个趋势,在未来几年,沙尘暴爆发频次的趋势会逐渐增加,进入一个沙尘暴发生的相对活跃期。

图 2 分别是春夏秋冬四季沙尘暴爆发的分布。总

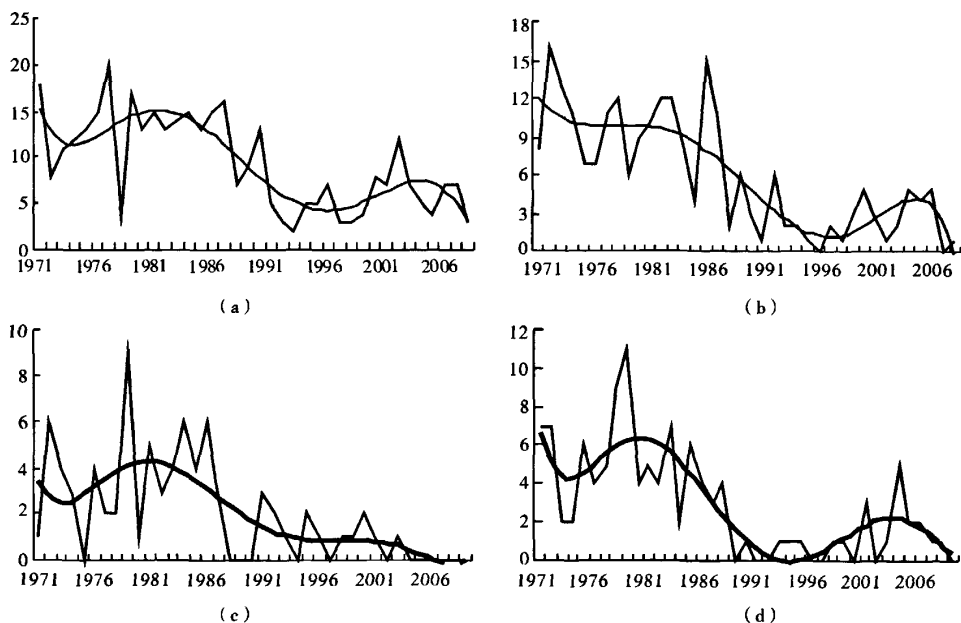


图 2 民勤地区沙尘暴春(a)、夏(b)、秋(c)、冬(d)季发生次数统计

Fig. 2 The frequency statistics of sandstorm in spring(a), summer(b), autumn(c)
and winter(d) in Minqing area from 1971 to 2009

体上,所有的季节沙尘暴的爆发趋势都是趋向于降低的,和总趋势一致。每个趋势线在一段时间内都存在波峰一波谷的上下波动,虽然其幅度有差别,但其出现波峰波谷的年代基本上都是相同的,说明在长的时间尺度上,各个季节沙尘暴的频次变化趋势具有一致性。春季爆发沙尘暴的次数相比其他季节更多,而且其变化趋势与全年的吻合程度最高,具有非常好的代表性。王式功等^[4]认为沙尘暴主要发生在春季和初夏季节是由于土壤表层疏松、冷空气活动频繁和午后大气层结易不稳定等方面的原因。在很多的研究中,为了忽略其他次要因素的影响,常常用春季来代表整个年份,这对研究有很大的帮助作用。

2 沙尘暴 Morlet 小波变化

图3为1971~2009年沙尘暴爆发次数的小波图。所有小波系数图的上半部分等值线相对稀疏,对应较长时间尺度周期振荡(低频振荡),而下半部分等值线相对密集,对应较短尺度周期振荡(高频振荡)。图中实线中心对应的横坐标是沙尘暴爆发次数比较多的年份,虚线中心是沙尘暴爆发相对比

较少的年份,闭合曲线中心的纵坐标则代表着周期性。由图可知,沙尘暴年爆发在中小尺度上存在着明显的5 a的周期变化,部分年际存在着7.5 a的周期变化,大尺度上则存在着15 a的周期变化。这一结论与统计上的结果有很好的对应性。

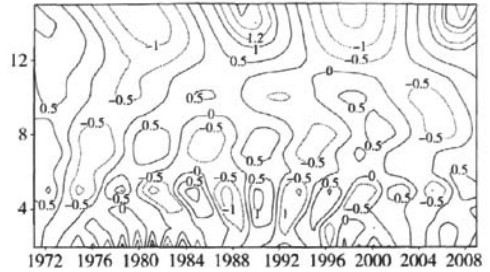


图3 1971~2009年沙尘暴爆发频次的小波分析图

Fig.3 The Morlet analysis of sandstorm frequency in Minqing area from 1971 to 2009

图4分别是对4季沙尘暴的爆发作的小波分析。春季沙尘暴的爆发在小尺度上周期为5 a,大尺度上有15 a的周期变化;夏季小尺度上在1990年

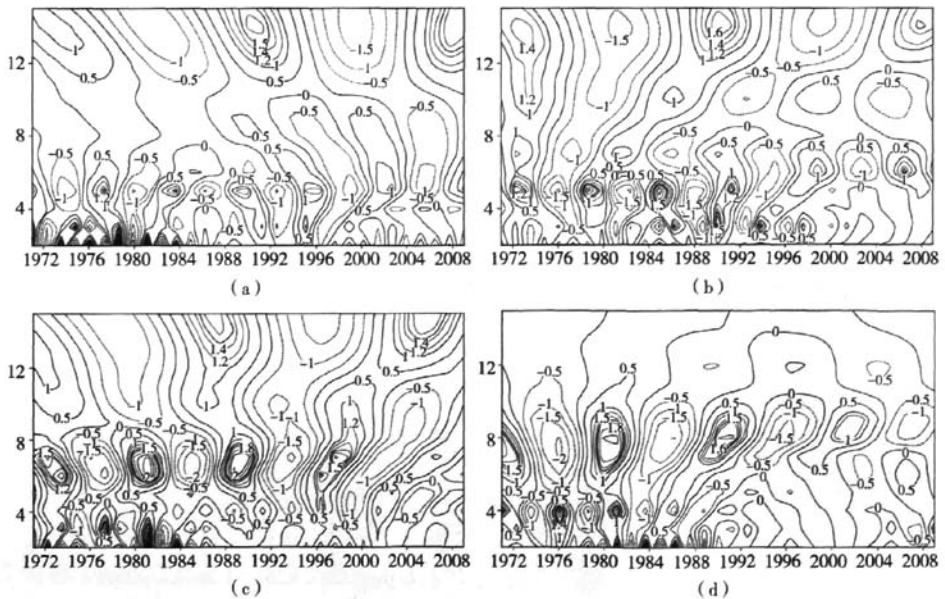


图4 1971~2009年春(a),夏(b),秋(c),冬(d)沙尘暴爆发频次的小波图

Fig.4 The Morlet analysis of sandstorm frequency in spring(a), summer(b), autumn(c) and winter(d) from 1971 to 2009 in Minqing area

代之前有着明显的周期为 5 a 的变化,之后周期变为 6 a。大尺度上周期为 13.5 a;秋季小尺度上有周期为 4 a 和 7 a 的变化,大尺度上周期为 15 a;冬季有明显的周期 8 a,更小尺度上有部分的周期为 4 a 的变化,以上分析均通过了 0.05 的显著性检验。

通过对周期性的分析,发现沙尘暴在小时间尺度上一般周期为 5 a,大尺度上周期为 15 a,其他的周期性不明显。个别季节会有稍微差别,但差距不大。与年沙尘暴发生次数的小波图形比较,春季的小波图与之最相似,周期性也最匹配。同时也进一步说明了,春季的沙尘暴对全年具有很好的代表性。夏季的小波图与年沙尘暴发生次数的小波图也较相似,但在小尺度上周期在 1996 年以后有一个跳跃,大尺度上周期性偏小;秋季的小尺度上的周期明显较大,大尺度上比较吻合;冬季衍生出了 4 a 和 8 a 的周期,在大尺度上没有周期,与年沙尘暴发生次数的小波图偏差最大。

3 沙尘暴影响因子

现在一般公认的产生沙尘暴有 3 个条件,丰富的沙尘源、大风和层结不稳定。民勤位于河西走廊东部的石羊河下游,地势四周高,中间低,中间盆地的东西北 3 面被腾格里和巴丹吉林沙漠包围,为沙尘暴的爆发提供了丰富的沙尘源。该地区大部分地方平坦、开阔,境内沙漠、戈壁、盐碱滩地和剥蚀残丘占全县土地面积的 91%。这种地貌不能对刮起的风沙起到消弱和阻碍作用,非常有利于沙尘暴的爆发和发展。

当气流由开阔地带流入地形构成的峡谷时,由于空气质量不能大量堆积,于是加速流过峡谷,风速增大。当流出峡谷时,空气流速又会减缓。这种地形峡谷对气流的影响,称为“狭管效应”。河西走廊位于我国西北地区,这一区域是我国冬春季冷空气南下的通道,因此经常出现大风天气。民勤位于河西走廊,大风天气出现的非常频繁,丰富的风力资源为沙尘暴的产生提供了动力条件。再加上民勤地处腾格里和巴丹吉林沙漠的中间地带,具有丰富的沙尘源,而其他地方则不具有如此恶劣的环境。民勤地区长期依赖的石羊河上游水位的下降,地表状况每况愈下,因此民勤是西北河西走廊地区沙尘暴发生的最多地区,也是研究的最典型区域。

沙尘暴一般发生在午后至傍晚,这段时间地面升温比较快,大气稳定度比较差,层结最不稳定,容

易产生空气对流。民勤的地表状况恶劣,植被水分等可以对温度进行调节的影响因子很小,地表升温相比之下更快,层结更不稳定,空气的对流也更容易发生,起沙更容易,起沙的强度也更大。

影响沙尘暴的因子很多,例如大风、温度、下垫面类型、降水等。很多学者就对影响沙尘暴的因子进行了详细的研究,并结合沙尘暴明显的爆发次数降低的趋势也进行了一些解释。李栋梁等^[5]认为,沙尘暴持续减少的主要原因是全球气候变暖的大背景下,西风急流轴向北移动,蒙古气旋减弱,冷空气活动减弱,风速减小,热带暖湿系统向北移动,西北西部降水的增加导致的。张宝军等^[6]利用民勤气象站 1956~2000 年的气温观测资料统计分析,发现民勤年均气温呈上升趋势,10 a 平均增幅约为 0.305 ℃。20 世纪 90 年代升幅明显。对四季的温度上升进行分析,发现对增幅贡献大小的顺序为冬、秋、春、夏。常兆丰等^[7]研究了 1961~2007 年的温度和降水资料,结果表明,民勤近 47 a 的平均气温增高幅度高于全国水平,且 2 月份的平均气温增高 3.01 ℃,幅度明显。当地的降水增加趋势不明显,干旱期占据植物的整个生长季节。宋阳等^[8]利用中国北方农田、草地、沙地、戈壁、盐壳 5 种不同下垫面 15 个气象站点 40 a 的大风与沙尘暴日数气象数据,对这 5 种下垫面大风日数与沙尘暴日数之间的关系进行了定量研究,初步得出,大风日数与沙尘暴日数之间存在着一定的相关关系。下垫面对沙尘暴有重要影响,不同下垫面的沙尘暴日数存在着较大的差异。张克存等^[9]分析了民勤地区沙尘暴与大风日数、降水等因素之间的关系,得出每年沙尘暴发生次数与大风日数之间的相关性非常显著,降水量多的年份对应的沙尘暴会相应的减少,但 20 世纪 80 年代以前这种反相关不是很明显,1980 年代后反相关性非常良好。王建^[10]等对 30 a 的民勤土地荒漠化变化的遥感分析,得出近年来民勤的荒漠化土地面积呈增加趋势。

通过以上研究,针对民勤地区的状况,荒漠化和沙化的程度在加剧,但是沙尘暴的爆发次数却呈现出逐步递减的趋势,下垫面状况越发恶劣,沙源扩大的同时沙尘暴爆发次数却在递减,下垫面状况与沙尘暴的爆发出现反相关,看似这与理论分析的结论相反,其实不然。这说明在民勤地区,下垫面状况长期非常恶劣,很容易满足起沙的条件,下垫面已经不是制约沙尘暴发生发展的最主要因素。沙尘暴的爆

发受其他因素的制约,即动力因素和稳定层结成为了影响沙尘暴的主要因素。而在长的时间尺度上它们又受全球天气系统的影响。因此,研究大气环流背景场下的天气系统的演变对民勤地区沙尘暴的研究有至关重要的作用。

4 沙尘暴的相关天气系统

曾红玲等^[11]分析了500 hPa东亚大槽的位置和强度,发现当东亚大槽的位置偏东、强度偏弱时,会影响到南下的冷空气,使得我国沙尘暴的频次降低。反之,则会进入一个沙尘暴发生相对活跃的时期。

江灏等^[12]利用50 a的气象台站观测资料和NCEP/NCAR再分析资料,通过分析20 a平均的春季500 hPa高度场,发现乌拉尔山高脊和蒙古低槽的环流形势配置是沙尘暴天气过程中经常出现的较典型情况。而且这种理论可以解释我国1960年代和1980年代沙尘暴出现频数低的原因。

方宗义等^[13]利用2002年的地面观测资料和NCEP/NCAR的再分析资料,对2002年3、4月沙尘暴发生频率以及相应的月和候的环流形势特征进行了分析。结果表明,东亚大槽发展和加深是造成该年沙尘暴偏北路径多的主要成因,并且是影响华北、东北甚至华中的一种主要环流形势。东北低涡维持期间生成的副冷锋次天气尺度系统,可以产生强局地沙尘暴。

通过大量的观测事实表明,冷空气的南下是造成沙尘暴爆发的主要天气背景。当冷空气强盛时,容易发生沙尘暴,当冷空气衰弱时,沙尘暴的爆发频次就相对较少。各种天气系统主要是通过控制冷空气的南下强度来影响到沙尘暴的爆发。沙尘暴的年度变化的环流形势很多人都做了研究,但沙尘暴与气候是一个互相影响的过程。沙尘暴多发年的春季高度场与该年的高度场之间的特征关系很少有人注意到。本文利用NCEP/NCAR的500 hPa月再分析资料,用3、4、5月的平均高度场与全年平均做距平,分析其形势特征。图5是选取的4个典型的沙尘暴爆发年份。图中的小黑点为本文所研究的民勤县所处的位置。

1972年是一个沙尘暴的少发期,民勤以北、巴尔喀什湖以东有一个高值中心,民勤地区主要受该高值中心的控制。同时,在印度半岛也有一个高值中心。1977年是一个沙尘暴的多发期,低压中心在奥尔加湖

附近,巴尔喀什湖以西有一个低值中心。民勤靠近低值中心,主要受此低值系统的影响。2002年是该地区一个沙尘暴发生相对较多的年份。在奥加尔湖北方向有一低值中心,民勤地区主要受此低值系统的影响。在印度半岛有一个高值中心。2005年时一个沙尘暴相对较少年份,巴尔喀什湖附近有高值中心,民勤地区在主要是在该系统的控制下。

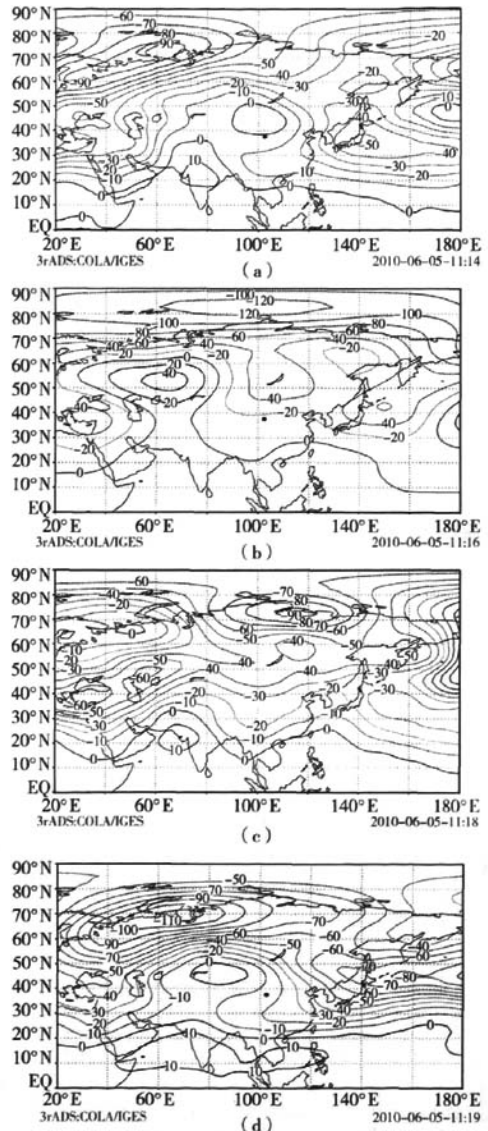


图5 1972(a),1977(b),2002(c),2005年(d)的500 hPa春季平均高度场与全年平均高度场的距平

Fig. 5 The departure of 500 hPa average height field in spring and annual average height field in 1972(a),1977(b),2002(c),2005(d)

对 4 个典型的沙尘暴爆发年份的高度场进行比较分析,1972 年和 2005 年是沙尘暴少发年份,民勤都处在高值中心附近,且主要受该高值中心的影响。1977 年和 2002 年是沙尘暴多发年份,民勤地区主要受低值中心的影响。由此发现:当民勤地区处在高值中心控制区内,相应年份是一个沙尘暴爆发较少年份;当处在低值控制区内时,该年是一个沙尘暴的高发年份。其中,低值中心一般会在奥尔加湖附近,高值中心则会在巴尔喀什湖附近。有的时候会同时出现高低值中心,有的时候则只出现一个,对民勤地区的影响主要依赖于占主导地位的高低值系统。高值系统说明春季高度场对该年的贡献较大,在时间尺度为一年的变化范围内,春季的温度相对较高,是一个“相对暖春”,低值系统则相反(暖春是相对于历年的平均而言,当春季的温度在当年全年温度所占比重量较高的则暂且称它为一个“相对暖春”)。分别对 1971~2009 年 39 a 的距平场的分析,发现相关性非常的高。

5 结 论

(1)民勤地区的沙尘暴的发生次数总体呈下降趋势,但在一段时期又存在着波峰一波谷的波动变化。春季的变化趋势和总的趋势拟合的程度最高。

(2)用小波分析发现,沙尘暴的年发生次数存在着周期性变化。其中总的年发生次数中小尺度上存在着明显的 5 a,7.5 a 的周期变化,大尺度上则存在着 15 a 的周期变化。同时分别对不同季节也做了分析,其周期性基本存在着 5 a,15 a 2 种情况。其中春季的周期性和总趋势最吻合。

(3)通过对典型的沙尘暴爆发年份的春季 500

hPa 高度场的分析,发现当民勤地区处在高值中心控制区内,沙尘暴爆发的次数会明显减少;当处在低值控制区内时,该年会是一个沙尘暴的高发年份。其中,低值中心一般会在奥尔加湖附近,高值中心则会在巴尔喀什湖附近。

参考文献:

- [1] 李耀辉. 近年来我国沙尘暴研究的新进展[J]. 中国沙漠, 2004, 24(5): 616-623.
- [2] 王娜, 张镭. 沙尘气溶胶辐射特性及其观测方法初步评述[J]. 干旱气象, 2007, 25(04): 68-73.
- [3] 钱正安, 宋敏红. 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.
- [4] 王式功, 董光荣, 陈惠忠, 等. 沙尘暴研究的进展[J]. 中国沙漠, 2000, 20(4): 350-356.
- [5] 李栋梁, 王涛, 钟海玲. 中国北方沙尘暴气候成因及未来趋势预测[J]. 中国沙漠, 2004, 24(3): 376-379.
- [6] 张宝军, 马金珠. 近 50 年来民勤县气温变化特征及其原因分析[J]. 干旱区农业研究, 2007, 22(2): 262-267.
- [7] 常兆丰, 韩富贵. 民勤荒漠区近 50a 气温、降水对全球变暖的响应[J]. 干旱区资源与环境, 2009, 23(09): 95-100.
- [8] 宋阳, 刘连友. 中国北方 5 种下垫面对沙尘暴的影响研究[J]. 水土保持学报, 2005, 19(06): 152-156.
- [9] 张克存, 曲建军, 马中华. 近 50a 年来民勤沙尘暴的环境特征[J]. 中国沙漠, 2004, 24(03): 257-261.
- [10] 王建, 李文君. 近 30 年来民勤土地荒漠化变化遥感分析[J]. 遥感学报, 2004, 8(03): 282-289.
- [11] 曾红玲, 高新全, 戴新刚. 夏季海平面气压场和 500 hPa 高度场年代际变化特征[J]. 高原气象, 2002, 21(1): 66-73.
- [12] 江灏, 吴虹. 河西走廊沙尘暴的时空变化特征及其环流背景[J]. 高原气象, 2004, 23(04): 548-552.
- [13] 方宗义, 王伟. 2002 年我国沙尘暴的若干特征分析[J]. 应用气象学报, 2003, 14(05): 513-521.

Frequency Analysis of Sandstorm Outbreak in Minqin Area

ZHU Xiaowei^{1,2}, LI Dongliang¹, LI Yaohui²

(1. Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044, China; 2. Key Laboratory of Arid Climate Changing and Reducing Disaster of Gansu Province, Key Open Laboratory of Arid Climatic Change and Disaster Reduction of CMA, Institute of Arid Meteorology, CMA, Lanzhou 730020, China)

Abstract: Sandstorm is a severe weather phenomenon in China. Locating in the northeast of Hexi corridor, Minqin is surrounded by deserts, under the bad natural environment, it is becoming one of the most sandstorm outbreak areas in China. Based on the long-term sandstorm observation in this region, the interannual rule of sandstorm breakout was studied. Results show that the general trend of sandstorm outbreak was reduced, and for a certain period it had the oscillation with peak or trough. The outbreak of sandstorm had 5 or 15 years periodic change, and in different seasons it has a slightly difference. Using NECP/NCAR data, the 500 hPa height field in spring of typical years was analyzed, and we found a height field feature that has a close relationship with sandstorm breakout in Minqin area. Near the Obama hyjal lake and Balkhash Lake there was a high value system and a low value system, they may appear at same time or alone. When Minqin is controlled by high value system in spring, sandstorm will reduce, but when controlled by the low value system, sandstorm will be more in Minqin.

Key words: sandstorm; the wavelet analysis; narrow tube effect