

王存忠, 牛生杰, 王兰宁. 50 年来中国沙尘暴的多时间尺度变化特征 [J]. 大气科学学报, 2009, 32 (4): 507-512.

50 年来中国沙尘暴的多时间尺度变化特征

王存忠^{1,2}, 牛生杰¹, 王兰宁³

(1. 南京信息工程大学 大气物理学院, 江苏 南京 210044;
2. 气象出版社, 北京 100081; 3. 国家气候中心, 北京 100081)

摘要:采用中国强沙尘暴序列及其支撑数据集,对 1958—2007 年中国沙尘暴的时间序列进行小波分析,揭示了中国沙尘暴多时间尺度的复杂结构和总体变化趋势,给出不同时间尺度下沙尘暴变化的突变点,并对未来变化趋势进行了展望。结果表明:中国沙尘暴呈明显振荡式减少趋势,距平值在 1985—1986 年出现转折;50 a 中沙尘暴变化呈现从多到少的振荡形式,其减少趋势的振荡变化主要受 6~8 a 和 2~3 a 尺度变化的叠加影响,6~8 a 尺度变化出现了 4 次突变;1966、1985 和 2001 年沙尘暴出现较强的变化是多时间尺度叠加的结果。2008 年后的 10~15 a 中,沙尘暴总体减少趋势将减缓,其平均值在 1958—2007 年平均值和 1983—2007 年平均值之间,2011 年前后可能出现一个接近 2001 和 2002 年平均情况的峰值,随后仍和缓减少。

关键词:沙尘暴;小波分析;时间序列;多时间尺度变化

中图分类号: P445.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-7097(2009)04-0507-06

Multi-Timescale Variation of Sand-Dust Storm in China during 1958—2007

WANG Cun-zhong^{1,2}, NIU Sheng-jie¹, WANG Lan-ning³

(1. School of Atmospheric Physics, NU IST, Nanjing 210044, China; 2. China Meteorological Press, Beijing 100081, China;
3. National Climate Center, Beijing 100081, China)

Abstract: By using the observational data from meteorological stations, wavelet analysis has been conducted to the time series of sand-dust storm station-hour occurred in China during the past 50 years (1958—2007). The complicated multi-timescale structure and general tendency of the time series have been revealed. Turning points of the time series on different time scales have been analyzed. Also future outlook on the changes of sand-dust storm is presented. The research results indicate that the sand-dust storms in China showed an apparent decreasing trend accompanied by obvious oscillations, and there was a turning point in the anomaly series in 1985—1986. Wavelet analysis indicates that an oscillation occurred in the past 50 years, in which the sand-dust storms changed from more to less than normal. The fluctuatedly decreasing trend was mainly governed by 6—8 years' and 2—3 years' time scales. The significant changes of sand-dust storms in 1966, 1985, and 2001 resulted from the superposition of multi-time scales. An outlook on sand-dust storms after 2008 show that in the future 10—15 years, the generally decreasing of sand-dust storms will be slow down, the mean value will range between the averaged value of past 50 years (1958—2007) and that of the past 20 years (1988—2007), namely between 1 100 and 2 000 station-hour, under the circumstances that the observation stations and the number of stations keep unchanged. As influenced by oscillations, there might be a peak value around 2011, which is close to the mean values of 2001 and 2002, also approximates to the mean value of the past 50 years. Afterwards, the sand-dust storm will still gently decrease.

Key words: wavelet analysis; sand-dust storm; time series; multiple timescale variation

收稿日期: 2009-02-11; 改回日期: 2009-05-28

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (40705005; 40765001); 国家重点基础研究发展计划 (973 计划) 项目 (2006CB403706)

作者简介: 王存忠 (1962—), 男, 山东安丘人, 编审, 主要研究方向为大气物理、沙尘气溶胶, wangcz@cma.gov.cn

0 引言

沙尘暴是指强风将地面大量尘沙吹起,使空气相当混浊,水平能见度小于 1.0 km 的天气现象^[1]。中国北方是东亚沙尘暴主要源区之一。新中国成立后在全国范围内建立起气象台站网,实现了对沙尘暴气象要素和起止时间的器测观测,至今已经形成了 50 余年的观测数据,成为开展沙尘暴时间变化特征研究的基础。王式功等^[2]、牛生杰等^[3]、崔彩霞^[4]、钱正安等^[5]、丁瑞强等^[6]先后开展过区域性沙尘暴变化特征研究,得到一些区域性分布和时间变化特征的研究结果。邱新法等^[7]、周自江等^[8-9]、牛若云等^[10]、唐国利等^[11]分别使用 25 a 和接近 50 a 的全国资料,分析我国沙尘暴的时空分布和变化特征。以上研究普遍认为我国沙尘暴总体减少,但部分地区有增加的趋势。研究中使用统计方法,对于不同时间尺度的变化特征反映不够细致。

20 世纪 80 年代发展起来一种有效的时频分析新工具—小波分析方法,之后被广泛用于水文^[12-13]、气候变化^[14-16]等时变要素序列分析。王勇等^[17]、郭慧等^[18]用小波分析方法分析了区域沙尘暴的变化特征,但根据文献^[7-11]的结果,不同区域的沙尘暴变化特征不完全相同。

本文基于小波分析方法,以站时为沙尘暴的基本单位,计算了 1958—2007 年全国 365 个站的沙尘暴资料,能够从总体上更好地反映我国沙尘暴在不同尺度下的一些变化特征。采用“站时”而不是目前普遍采用的“站日”为沙尘暴的计量单位,主要考虑:一是根据观测记录,许多沙尘暴记录只持续几十分钟到几小时不等,采用“站日”显得单位过大,可能有失细节。二是可避免因日界转换的影响而误计沙尘暴发生频数^[19]。

1 资料和方法

1.1 资料来源和处理

资料取自国家气象中心资料室周自江等 2008 年制作的“中国强沙尘暴序列及其支撑数据集”,去掉序列长度不足 50 a (1958 年 1 月 1 日以后建的站)和连续缺测时间比较长的站,实际参加计算的站共有 365 个,站点分布如图 1 所示。根据各站每次沙尘暴记录的起止时间计算该站次的持续时间(单位:h),定义 1 站沙尘暴累计 1 h 为 1 个站时,累计每一年的站时数建立时间序列。站时数与沙尘暴的范围、次数和持续时间有关。

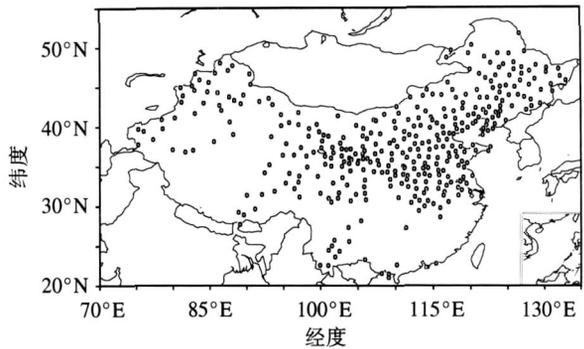


图 1 计算沙尘暴的站点分布

Fig 1 Locations of the stations used in the calculation of sand-dust storm station-hour(1958—2007)

1.2 小波函数计算说明

根据缪启龙等^[20]使用的小波函数进行计算和分析。序列长度为 50 a,样本数 $N = 50$,数据间隔 $t = 1$ a,选伸缩尺度因子 a 的最大值为 16。其中根据文献^[21],伸缩尺度因子 a 与周期 T 之间的关系为: $a \propto T$,这使计算结果分析更加简明。为了减少小波函数移动跃出数据两端所产生的计算误差,按照文献^[12]的方法对数据序列进行了折叠加长处理。

2 结果分析

2.1 沙尘暴的变化趋势

1958—2007 年沙尘暴站时逐年变化和距平变化如图 2 所示。由图 2a 可见,中国 50 a 来沙尘暴的站时波动性递减趋势明显,最高值出现在 1958 年,为 5 158 站时;最低值出现在 1997 年,为 369 站时。50 a 的平均值是 1 944 站时。以 1983 年为界,前 25 a 平均值是 2 746 站时,后 25 a 的是 1 141 站时,即前后平均值均减少了 58.4%;20 世纪 60 年代和世纪交替之际振荡幅度比较大。此外,1958—1964 年的 6 a 和 1983—1989 年的 7 a 时间里,站时数减少最快,其余时间减少相对缓慢。图 2b 表明,沙尘暴站时距平值自 1958 年到 1984 年,除了 1964 年、1967 年为负距平外,其他绝大多数年份为正距平,即沙尘暴总体偏多。自 1985 到 2007 年,除了 2001 年外,其他年份都是沙尘暴偏少,其中 2001、2002 年是在其前后近 20 a 里总体偏少的大趋势下偏多的两年,接近 50 a 的平均值。总体来说,从 1958—2007 年的 50 a 里,以 1985 年为界,我国沙尘暴前多后少,并且减少趋势明显、减少幅度很大。

从图 2a 还可以直观看出,过去 50 a 的沙尘暴经历了强—较强—强—较强—和缓—转折—较弱

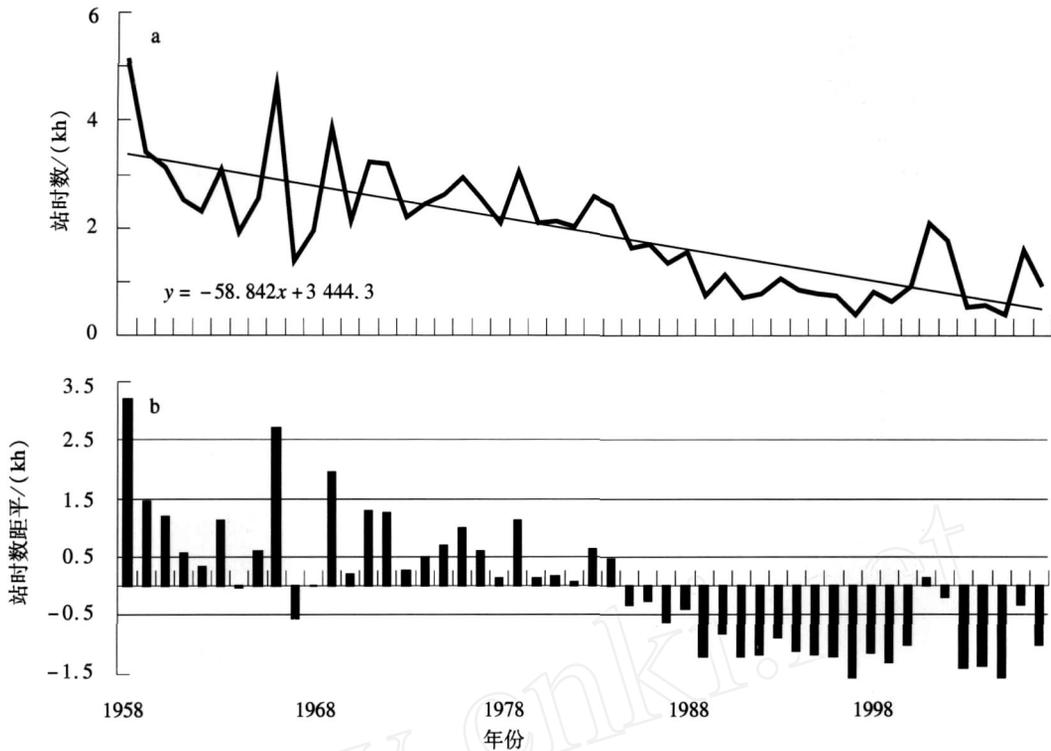


图 2 1958—2007年中国沙尘暴站时的逐年变化 (a)及其距平变化 (b)

Fig 2 (a) Yearly sand-dust storm station-hour and (b) its anomaly in China during 1958—2007

弱 较弱 弱的变化过程。为了进一步分析其年代变化细节,根据图 2a的变化情况和数据相似特征将数据大体分段。先计算各时段站时变化趋势系数 K ,然后再去掉各时段的趋势后的标准差 S 。以 50 a 的趋势系数 ($K = -58.84$)为参考值,各时段 K 的绝对值更大者为迅速减少,接近或更小者为和缓减少; S 值大,表示该时段振荡变化大 (结果见表 1)。

表 1 1958—2007年沙尘暴站时数的分时段的变化趋势系数 K 和去倾后标准差 S

Table 1 Tendency coefficient K of sand-dust storm station-hour and the standard deviation S of its detrended series in China during 1958—2007

时段	K	S
1958—1965	-312.54	599.1
1966—1973	-68.58	1014.8
1974—1982	-73.29	317.3
1983—1991	-220.95	231.8
1992—1999	-43.27	150.9
2000—2007	-76.79	572.0

由表 1可见,1958—2007年我国沙尘暴经历了两次迅速减少 (1958—1965和 1983—1991年)、两次振荡减少 (1966—1973和 2000—2007年)和两次

和缓减少 (1974—1982和 1992—1999年)相间变化的 6个时期,每个时期 8 a左右。

2.2 沙尘暴的小波分析

对沙尘暴站时序列进行小波变换,将伸缩尺度因子 $a(a = T)$ 和延迟因子 τ 不同的取值依序对应的小波系数 $W_f(a, \tau)$ 值绘制图 3。为了减少等值线数值,将站时数除以 24。

由图 3可见,从 1958—2007年,我国沙尘暴发生的站时数随时间变化呈现出多时间尺度复杂格局,其分布大势与郭慧等^[22]计算结果可以比拟。在 10 a 以上的时间尺度上,小波系数有一次从正到负的振荡,正负转换区域对应 20 世纪 80 年代中期。其中 50 年代末到 70 年代初,等值线比较平滑,即小波系数随年度变化比较和缓;从 70 年代中期到 90 年代初,等值线陡峭而密集,即小波系数随年度变化率比较大;从 90 年代末到 21 世纪初,等值线又比较平滑,即小波系数随年度变化又趋于和缓。以上说明,在大于 10 a 的时间尺度上,我国最近 50 a 里沙尘暴发生的站时数呈现由多到少的一次震荡,突变点出现在 20 世纪 80 年代中期 (等值线为零)。在大的时间尺度控制下,3 ~ 8 a 的时间尺度区正负转换,在 2 a 以下的时间尺度里,出现正负交替现象。表示沙尘暴发生的站时数存在小于 8 a 时间尺度的

复杂的多尺度变化,并且表现出 1~2 a 时间尺度的震动性变化。观察图 3 中 8 a 以下时间尺度的小波系数随年度的变化情况,1958—1964 和 1983—1989 年的等值线陡峭而密集,且有正负转换,转换点分别在 1962 和 1986 年。说明这两段时间沙尘暴站时减少很快,并且其上叠加了 6~8 a 和 10 a 以上时间尺度变化的结果,这与图 2 的分析有很好的呼应。

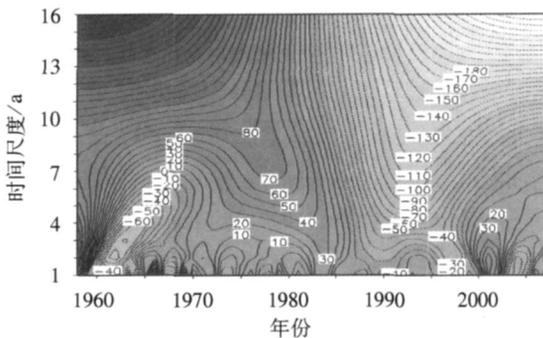


图 3 1958—2007 年中国沙尘暴站时距平序列的小波变换

Fig. 3 Wavelet transformation of sand-dust storm station-hour anomaly series in China during 1958—2007

为了突出 10 a 以下时间尺度变化的分辨率,将站时序列去掉线性趋势,经过小波变换绘制图 4。

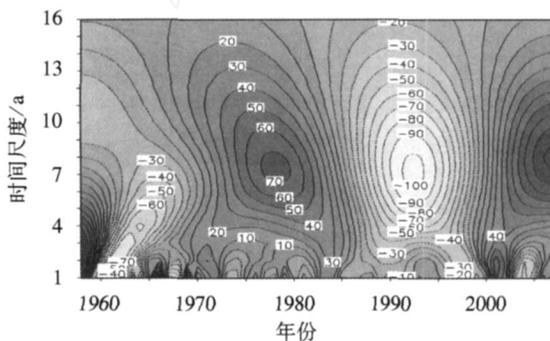


图 4 1958—2007 年中国沙尘暴站时序列去倾后的小波变换

Fig. 4 Wavelet transformation of detrended sand-dust storm station-hour anomaly series in China during 1958—2007

由图 4 可见,去掉线性趋势后,10 a 以下时间尺度结构更加清晰。在 6~8 a 时间尺度里,小波系数经历了正 负 正 负 正的变化过程,其正负转折点分别对应 1960、1970、1985 和 2000 年,这与图 2 的变化转折点非常一致。特别是自 20 世纪 70 年代初开始到 2007 年,正负中心结构已经非常完整,呈现准周期性变化。在 3 a 的时间尺度上,正负变化互相嵌套,呈现复杂结构特征,正负转折点分别是

1961、1968、1986 和 1999 年。在 2 a 以下的时间尺度上复现准规律性的正负交替变化。6~8 a 以下时间尺度叠加,导致 1963—1973 和 2000—2005 年两个时段的振荡幅度比较大。

以上说明,在 1958—2007 年的 50 a 时间里,存在超过计算数据长度可分辨的大尺度变化,在此尺度控制下,我国沙尘暴发生的站时数总体呈现明显的减少趋势,前 25 a 偏多、后 25 a 偏少,主要是受这一时间尺度的控制。在减少的过程中,又在 6~8 a 的时间尺度控制下,沙尘暴发生的站时数呈现出“多 偏多 转折 少 偏少”的振荡式变化过程。叠加了 1~2 a 时间尺度的变化,使沙尘暴站时变化 3~5 a 增减振荡也比较明显。1967 年的偏多见少、1985 年的转折和 2001 年的偏少上窜,是多时间尺度变化叠加的结果。

2.3 沙尘暴序列的小波方差分析

为了判断沙尘暴站时序列的主要时间尺度贡献,用文献 [20] 的方法对序列进行方差检验,计算结果见图 5。小波方差图反映了不同尺度波动能量随时间尺度 a 的分布,可以确定一个时间序列中各种尺度扰动的相对强度,峰值对应的尺度称为该序列的主要时间尺度。图 5 显示,峰值对应的第一主要时间尺度是 6~8 a,第二时间尺度是 2~3 a。需要说明的是,如果使用没有去掉倾向的距平序列,如同图 3 一样,上述主要时间尺度被更大的峰值对应的尺度淹没,考虑到对应 50 a 的序列长度来说,更大的时间尺度已经很难准确。但是这却可以说明 10 a 以下的尺度受到更大尺度周期的控制,反映出的结果是 50 a 里沙尘站时变化呈现明显减少的总体趋势。这一结果也与图 3、图 4 有较好的对应。

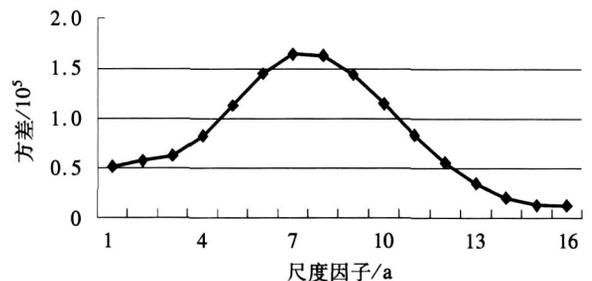


图 5 1957—2008 年中国沙尘暴站时距平序列的小波方差(去掉倾向后)

Fig. 5 Wavelet variance of detrended sand-dust storm station-hour anomaly series in China during 1958—2007

为了说明序列在不同时间尺度下的影响,对多

个主要时间尺度小波系数年分布叠加,结果如图 6 所示。

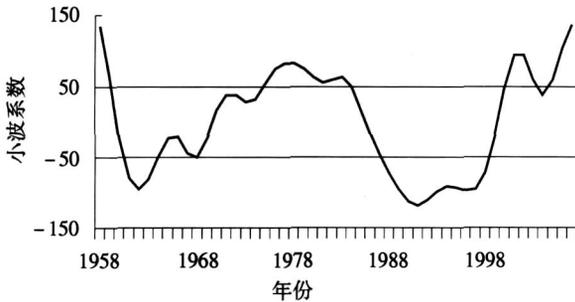


图 6 选 a 为 2、6、7、8 时小波系数合成的变化趋势 (去掉倾向后)

Fig 6 The resultant tendency of wavelet coefficients when a equals 2, 6, 7, and 8 years (after detrend)

将图 4 与图 6 叠置 (图略), 就会看到两图变化趋势相联系的一致性, 并且可以分析出由于多个时间尺度的叠加, 造成了 3~5 a 时间尺度上复杂变化特征。图 4 与图 6 加上对图 3 的分析, 可以很好解释图 2 a 的变化趋势。

3 沙尘暴变化的 10 a 展望

小波分析对时间序列具有一定的外推性, 因此可以根据 1958—2007 年的分析结果, 对 2008 年以后发生沙尘暴的站时数进行展望。根据图 2 等值线分布情况, 大时间尺度沙尘暴发生站时数减少的控制力在减弱, 但其下的 6~8 a 时间尺度增加顶托明显, 总体形成下降趋势减缓, 因此其后的 10 a 时间里, 年发生沙尘暴的站时数平均将在 1958—2007 年的平均值以下, 但在 1983—2007 年的平均值之上, 即可能在 2 000~1 100 个站时之间。同时, 考虑 6~8 a 和 2~3 a 时间尺度变化以及两者叠加形成的 3~5 a 时间尺度情况, 沙尘暴年发生的站时将仍然有明显的 3~5 a 间隔的上下振荡。从图 4 可以看出, 6~8 a 时间尺度的最后一个正值区等值线到 2007 年还没有闭合, 刚好出现半个极大值中心位置, 预示着该时间尺度控制力此后将向减弱方向发展。从该尺度与更小尺度叠加的情况看, 2008 和 2009 年没有突出变化, 站时数将低于前 3 a 的平均值或持平。到 2010—2012 年预计, 正等值线下伸将出现分离的正值中心, 其形式与 1968—1985 年情况相比拟; 另外从总体来看, 在 6~8 a 时间尺度上, 每一次由正值区到负值区或相反情况的转化之后, 都将在 2~3 a 时间尺度上出现一个强度较大的小正值突起, 正是这个突起, 对应相应的沙尘暴相对多发

年。由此展望 2011 年左右沙尘暴可能上窜到 2001 年和 2002 年的水平, 接近前 50 a 的平均值。在 2012 年以后的 3~5 a, 沙尘暴站时数可能在其前 10 a 的平均值以下振荡变化。因此, 不能说“我国沙尘暴进入新活跃期^[23]”。

4 结论

利用小波分析方法, 对 1958—2007 年我国沙尘暴发生的站时数时间序列进行分析, 给出了不同时间尺度的变化情况, 其结果较好说明了观测实况的变化趋势, 主要结论如下:

(1) 1958—2007 年, 我国沙尘暴站时呈振荡减少趋势, 基本上是前 25 a 和后 25 a 存在一次正负距平转换, 转换点在略偏后的 1985 年。

(2) 在有限序列长度下, 6~8 a 时间尺度是站时振荡变化的主要贡献者, 2~3 a 时间尺度准规律性变化叠加其上, 形成 3~5 a 的站时增减交替。在总体减少的趋势下, 1966、1969、1983 和 2001 年的站时上窜, 是多种尺度叠加的结果。

(3) 在多种时间尺度变化影响下, 我国沙尘暴历经迅速减少、振荡减少、和缓减少、再次迅速减少、再次和缓减少和再次振荡减少 6 个过程, 每个过程 8 a 左右。

(4) 展望 2008 年以后的 10 a, 沙尘暴站时发生趋势, 与 1958—2007 年相比, 总的减少趋势将趋缓, 其平均值很可能在 1958—2007 年的平均值和 1983—2007 年的平均值之间, 即在 2 000~1 100 个站时之间, 总体水平将超过 20 世纪 90 年代。2010—2012 年沙尘暴站时数可能上窜到 2001 和 2002 年的水平, 接近过去的 50 a 的平均值, 之后仍然是振荡减少。

参考文献:

- [1] 中国气象局. 地面气象观测规范 [M]. 北京: 气象出版社, 2008: 17-27.
- [2] 王式功, 黄光荣, 扬德保, 等. 中国北方地区沙尘暴变化趋势初探 [J]. 自然灾害学报, 1996, 5 (2): 86-94.
- [3] 牛生杰, 孙继明, 桑建人. 贺兰山地区沙尘暴发生次数的变化趋势 [J]. 中国沙漠, 2000, 20 (1): 55-58.
- [4] 崔彩霞. 新疆近 40 年气候变化与沙尘暴趋势分析 [J]. 气象, 2001, 27 (12): 38-41.
- [5] 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.
- [6] 丁瑞强, 王式功, 尚可政, 等. 中国春季沙尘暴的趋势变化及年代际变化 [J]. 高原气象, 2004, 23 (5): 660-665.
- [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): 317-322
- [8] 周自江, 王锡稳, 牛若芸. 近 47 年中国沙尘暴气候特征研究 [J]. 应用气象学报, 2002, 13(2): 193-200
- [9] 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
- [10] 牛若芸, 薛建军, 周自江. 2002 年我国沙尘暴天气特征分析 [J]. 南京气象学院学报, 2004, 27(2): 178-184
- [11] 唐国利, 巢清尘. 中国近 49 年沙尘暴变化趋势的分析 [J]. 气象, 2005, 31(5): 8-11
- [12] 邓自旺, 高建芸, 周晓兰, 等. 近 500 a 福建汛期旱涝变化特征 [J]. 南京气象学院学报, 2005, 28(1): 9-17
- [13] 梁四海, 万力, 胡伏生, 等. 基于小波方法的黄河源头径流量的周期变化规律 [J]. 南京大学学报: 自然科学, 2007, 43(3): 300-308
- [14] 许月卿, 李双成, 蔡运龙, 等. 基于小波分析的河北平原降水变化规律研究 [J]. 中国科学 D 辑, 2004, 34(12): 1176-1183
- [15] 孙娟, 束炯, 乐群, 等. 上海市城市热岛效应的多尺度特征 [J]. 华东师范大学学报: 自然科学版, 2007, 2(2): 37-43
- [16] 郭渠, 孙卫国, 程炳岩, 等. 我国西北地区气候变化与北极涛动的交叉小波分析 [J]. 南京气象学院学报, 2008, 31(6): 811-818
- [17] 王勇, 缪启龙, 丁园圆, 等. 西北地区春季沙尘暴的区域性时间变化特征 [J]. 干旱区资源与环境, 2008, 22(11): 30-37
- [18] 郭慧, 王式功, 李栋梁, 等. 甘肃春季 (3~5 月) 沙尘暴成因分析 [J]. 中国沙漠, 2005, 25(3): 412-416
- [19] 周自江, 艾锐秀, 张洪政, 等. 沙尘暴常规观测资料中若干问题的解析 [J]. 应用气象学报, 2004, 15(增刊): 60-67
- [20] 缪启龙, 温雅婷, 段春锋. 塔克拉玛干沙漠腹地近地层春季铅直湍流的小波分析 [J]. 气象与减灾研究, 2008, 31(4): 1-7
- [21] 丁裕国, 江志红. 气象数据时间序列的信号处理 [M]. 北京: 气象出版社, 1998: 278-283
- [22] 郭慧, 王式功, 李栋梁, 等. 甘肃春季沙尘暴环流特征及其时间尺度诊断分析 [J]. 中国沙漠, 2004, 24(5): 593-598
- [23] 宋常青. 我国沙尘暴进入新活跃期 [J]. 中国减灾, 2005(5): 5

(责任编辑: 倪东鸿)