

敦煌近56 a 气候特征分析

巴金¹, 王秀琴²

(1. 南京信息工程大学, 江苏 南京 210044; 2. 甘肃省敦煌市气象局, 甘肃 敦煌 736200)

摘要:利用1954~2009年敦煌国家基准气候站56 a的气温、降水量、日照时数资料,分析了敦煌年平均气温、降水量、日照时数变化特征,初步探讨了敦煌干旱化气候特征以及对敦煌莫高窟文物的影响。结果表明:气温变化逐年升高,降水量总体呈增加趋势,日照时数变化相对稳定且略有增多趋势。虽然降水有所增多,但温度上升、日照增多导致蒸发增大,干旱化趋势明显。干旱气候变化有利于敦煌莫高窟的保护。

关键词:敦煌;干旱气候;莫高窟保护

中图分类号:P462.3

文献标识码:A

引言

近些年来,国内的许多专家学者都对气候变化进行了研究,特别是对我国西北地区进行了诸多的气候分析和预测,得出了大量有意义的结论^[1-6],这些结果表明,西部地区平均气温正在逐年上升,各省降水量不同,但总体呈增加趋势。西北地区地域广阔,地形地貌复杂,每个城市都有其独特的小气候特点。敦煌作为中华文明史上重要的组成部分,是世界上四大文明相交融的地方,具有更重要的意义。莫高窟、汉长城、阳关、玉门关等历史遗迹见证了敦煌的兴衰、敦煌文明的发展和佛教艺术的辉煌。因此,对敦煌地区气候研究有助于更科学和有效地保护历史遗迹,保护灿烂的敦煌历史文明遗迹,同时也可以为敦煌短期气候预测、农业气象预报预测提供参考依据。

敦煌市位于甘肃省河西走廊最西端,介于92°13'E~95°30'~, 39°40'N~41°35'N之间。全市面积31 200 km²。境内海拔高度介于800~1 800 m之间,市区海拔高度1 139 m。境内地势南北高,中间低,与瓜州县合称“安敦盆地”。敦煌市地处内陆,四周受沙漠戈壁包围,属典型大陆性气候;太阳辐射强,光照充足;热量较丰富,无霜期短;降水少,变率大;蒸发强烈,灾害频繁。

1 资料和方法

采用敦煌国家基准气候站1954~2009年气温、降水、日照时数资料序列,并对资料进行校正和标准化处理。1954年敦煌国家基准气候站观测场从市中心搬迁到现今位置,故用1954年起的资料。

用趋势线拟合的方法研究气温、降水、日照时数的变化趋势。趋势线拟合方法是基于最小二乘法的拟合方法,它通过最小化误差的平方和寻找数据的最佳函数匹配,使得这些求得的数据与实际数据之间误差的平方和为最小,从而达到拟合曲线的目的。拟合的趋势曲线包含过去气象资料随时间的变化性,对大尺度的气候资料变化有较好的分析功能,拟合曲线的残差包含了资料变化的稳定度,其残差越大,变化性愈不稳定,变幅愈大。

用Morlet小波变化方法研究气温、降水、日照时数变化的周期性。小波分析是近些年发展比较迅速的时频分析方法,具有多分辨分析功能,气候变化的特点正是在时间和空间上具有多尺度的特点,因此用小波变换分析方法对气温、降水、日照时数进行时间和空间的多尺度分析具有很好的优势,能够发现比较细微的气温、降水、日照时数的周期性。用Morlet小波变换方法,其函数如下:

$$\varphi(x) = e^{-x^2/2} \cdot e^{ict} \quad (1)$$

收稿日期:2010-05-10;改回日期:2010-08-13

作者简介:巴金(1989-),甘肃敦煌人。E-mail:ba-xt@126.com

小波系数的变换公式为:

$$C_{a,b} = \int_r s(t) \frac{1}{\sqrt{a}} \overline{\varphi\left(\frac{t-b}{a}\right)} dt \quad (2)$$

$s(t)$ 是信号, $\varphi(x)$ 是小波, $C_{a,b}$ 是小波系数, a 为分辨尺度, $a \in \mathbb{R}$ 且 $a \neq 0$, b 为时间平移因子“-”表示共轭,一维连续小波变换将一维信号变换到由尺度参数 a 和平移参数 b 所构成的小波平面上,构成等值线图。Morlet 小波系数的实部包含所给定时间和尺度信号相对于其它时间和尺度信号的强度及位相 2 方面的信息,同时 Morlet 小波变换系数的实部也可以用来判别气候资料序列中所包含的不同时间尺度的变化周期性和气温冷暖、降水多少的结构^[7]。

2 气温趋势及变化周期

1954~2009 年敦煌市年平均气温为 9.6℃。在 1954~1965 年间为气温的上升期,其年平均气温 >9.6℃;1966~1986 年为气温的下降时期,这时期平均气温一直低于历史平均气温,且在 1967 年、1976 年以及 1984 年存在 3 个谷值,1984 年的年平均气温低到 8.3℃,是敦煌基准气候站观测气温记录以来平均气温最低的年份;1987~1995 年,气温变化幅度不大,年平均气温与历史平均气温基本一致;1996~2009 年,是气温明显升高时期,年平均气温都超过了 9.6℃,2006 年和 2007 年的年平均气温为 11.0℃,达到历史最大值。近 20 a 平均气温为 10.2℃,气温变幅达到 6.25%,近 10 a 平均气温为 10.5℃,气温变幅达到了 9.38%,变暖趋势十分明显,符合西北地区的整体增温趋势且增温趋势更为明显^[8-9]。

从图 1 气温变化折线图看出,1954~2009 年的气温变化存在 2 个升高期和 1 个降低期,故用 4 次拟合方法拟合气温趋势方程为:

$$y = -0.2z^4 + 0.018z^3 + 0.83z^2 + 0.35z + 9.2 \quad (3)$$

$(z = (x - 2000)/16)$

校验拟合的残差为 2.933,拟合曲线残差的分布和距平分布相一致,说明气温的变化稳定,变幅较小。

图 2 是平均气温 Morlet 小波变化系数的实部, Morlet 小波变换系数等值线图可以得出不同时间尺度情况下的周期性,且由于资料时间序列的限制,周

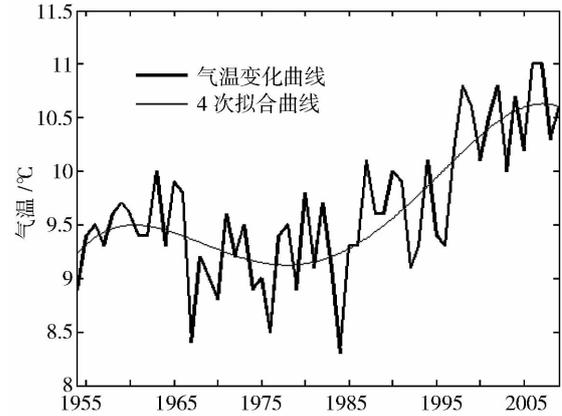


图 1 1954~2009 年敦煌气温变化及趋势
Fig. 1 Temperature change trend in Dunhuang during the period of 1954 - 2009

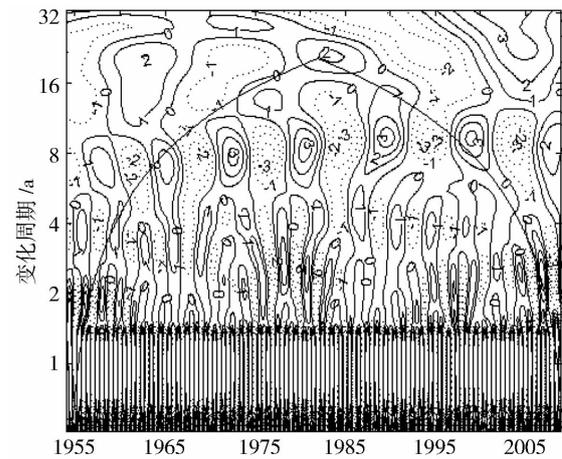


图 2 平均气温 Morlet 小波变化系数实部图
Fig. 2 The real part of Morlet wavelet transform coefficients of mean temperature

期只在小波影响锥内置信度较高,故只分析影响锥附近及锥内周期情况。从图中看出气温存在 18~20 a、8~10 a、3~4 a 3 个变化周期。1 a 附近为季节周期性变化,不做讨论。敦煌市气温的周期性基本符合西北地区气温变化的周期性,即存在显著 8 a 和准 3 a 周期的性质^[10-12]。

18~20 a 变化周期显著性不高。期间一共经历了 3 次增温、降温期的交替时期。1950 年代开始到 1950 年代后期,1960 年代末期至 1970 年代末期,1980 年代末至 1990 年代末为气温的降低期;1960 年代初至 1960 年代末,1970 年代末至 1980 年代中后期,1990 年代末至今为气温增温期。

8~10 a 变化周期较为显著,期间一共经历了 7

次增温、降温期的交替时期,且周期存在阶段性变化。从1950年代起至1980年代中期,气温表现为8 a左右的变化周期,从1980年代后期至今表现为10 a左右的变化周期。周期增大表明平均气温变化趋于稳定^[13]。

3~4 a的变化周期显著性不高,但对于短期气候预测具有重要意义。其周期也存在阶段性变化,1960年代表现为3 a左右周期,1970年代直到2000年表现为4 a左右周期,2000年至今又表现为3 a左右周期。

3 降水趋势及变化周期

敦煌市处于沙漠戈壁之中,降水量稀少,年变幅很大,降水主要集中在4~9月份。1954~2009年来,敦煌市平均年降水为37.9 mm。1954~1968年之间,年降水量都在40 mm以下,个别年份远远低于37.9 mm,这一时期也是有记录以来敦煌降水量最少的年份,平均降水量只有25.2 mm。1969~1982年之间,降水量明显增多,多数年份的降水量都超过了37.9 mm,同时也存在年变幅很大的特点。其中1979年的降水量达到了105.5 mm,而1974年降水量只有14.4 mm。1983~1992年,这时期的降水量又开始减少,但变幅与之前相比不是很大,1990年降水量最多,达到46.5 mm,1986年降水量最少,为16.7 mm。1993~2007年,年降水量开始增多,但变幅比前段时期增大。其中2007年降水量最多,达到87.9 mm,1999年降水量最少为24.8 mm。2008年和2009年,年降水量大幅减少,分别只有11.6 mm和19.9 mm。总体来说,虽然近10 a平均降水量达到了41.6 mm,增幅达到了9.76%,降水增多的趋势虽然较明显^[15],但鉴于敦煌市年降水量相当稀少,年变幅巨大的特点,其年降水量增大和减少的变化性在气候统计中可信度不高,这种仅仅平均统计意义上的降水量增多并不能完全代表其某段时期降水量相比历史平均值是增加的,所以对于敦煌市降水量增减的特征分析存在一定的障碍和缺陷,客观性降低。

从图3看出,1954~2009年降水分布存在2个升高期和2个降低期,故用5次方拟合方法拟合:

$$y = -11z^5 + 1.2z^4 + 38z^3 - 7z^2 - 22z + 43 \quad (4)$$

$$(z = (x - 2000)/16)$$

拟合曲线的残差为134.88,残差的分布和距平

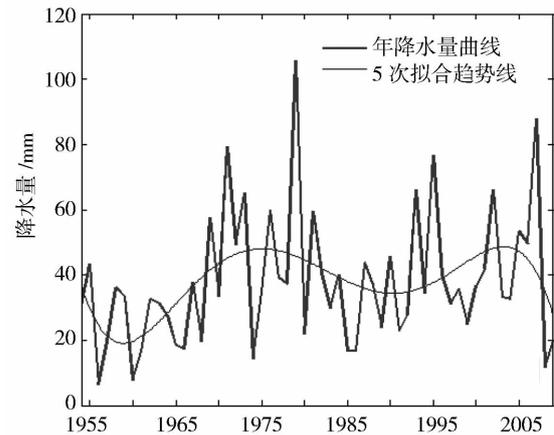


图3 1954~2009年敦煌市降水变化及其趋势

Fig. 3 Annual precipitation change in Dunhuang during the period of 1954 - 2005

的分布相一致。拟合曲线的残差数值很高体现了敦煌市降水变幅大、不稳定的特征。

图4是降水Morlet小波变化系数实部,从等值线图可以看出降水量存在26~28 a、8~14 a、3~4 a变化周期。1 a附近为季节周期性变化,不做分析。敦煌市降水变化周期大体符合西北地区降水周期性变化,即存在准8.5 a、准3~4 a变化周期的特性^[14-16]。

26~28 a变化周期超出小波影响锥区域,置信度差,不做讨论。

8~14 a变化周期较为明显,且由于敦煌降水量稀少,变幅大,使得同一尺度周期性稳定度不高,故周期的分布具有阶段性,1980年代之前表现为10 a左右变化周期,1980年代之后表现为13 a左右变化周期。整个时间段内一共经历了5次降水增多和减少的交替期。其中降水增多期表现为1960年代初至1960年代中期,1970年代初至1970年代中期,1980年代中期至1990年代初,1990年代后期至2000年初;降水减少期为1950年代中期至1960年代初,1960年代中期至1970年代,1970年代中期至1980年代中期,1990年代初期至1990年代中后期,2000年至今。

3~5 a变化周期,显著性相对较弱。周期分布也呈阶段性。1970年代之前表现为4 a左右变化周期,1970年代后表现为3 a左右变化周期。在1980年代初,1990年代中期以及近2 a来,降水变幅较大,稳定度下降。

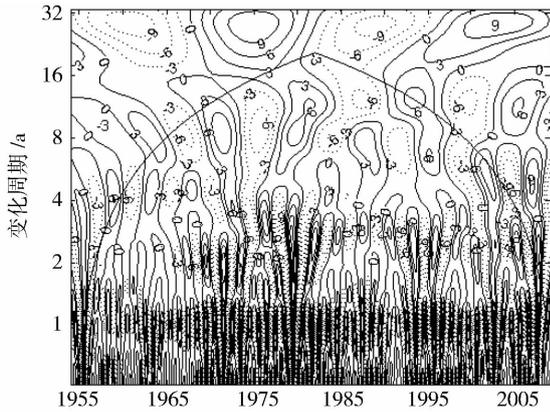


图4 降水 Morlet 小波变化系数实部

Fig.4 The real part of Morlet wavelet transform coefficients of annual mean precipitation in Dunhuang

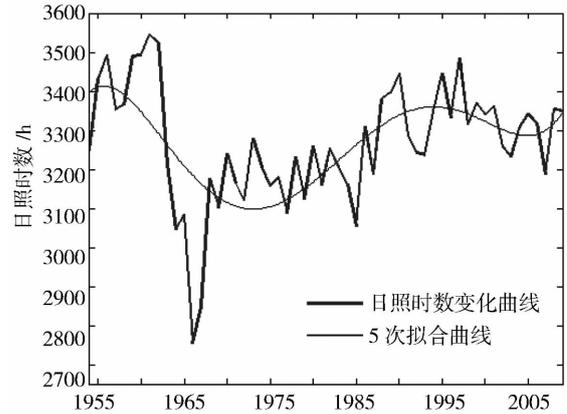


图5 1954~2009年日照时数变化及趋势

Fig.5 Annual sunshine hours change in Dunhuang in the period of 1954-2009

4 日照时数趋势及变化周期

1954~2009年以来,敦煌市年平均日照时数为3 264.9 h,由于降水量稀少,所以具有丰富的太阳能利用潜力。1954~1962年,敦煌的日照时数处于比较高的时期,平均都超过了3 400 h,其历史最高值在1961年,达到了3 544.9 h。1963年之后,日照时数开始减少,于此对应的敦煌平均温度在历史上也处于比较低的时期,其中1966年日照时数为历史最少。1954~1967年间,敦煌的日照时数整体变化很不稳定,历史最大值和历史最小值均出现在这个时期,而且变化幅度极大,跨度达790 h以上。1968~1985年,敦煌的日照时数呈现出比较稳定的变化,平均值维持在3 200 h附近,1986~2009年,这一时期日照时数缓慢增多,平均值达到了3 325.9 h,相比平均日照时数多了61 h,近10 a年均日照时数达到了3 309.9 h,增幅为1.38%,增多趋势较为平缓。

从图5看出,1954~2009年日照时数变化存在2个减少期和2个增加期。故用5次方拟合方法拟合曲线为:

$$y = 68z^5 - 7.9z^4 - 310z^3 + 85z^2 + 310z + 3200$$

$$(z = (x - 2000)/16) \quad (5)$$

拟合曲线的残差为892.2,相比降水量来说残差较小,说明敦煌市日照时数变化整体情况较为稳定,变幅不大。

图6是日照时数 Morlet 小波变化系数实部图,从等值线上得出日照时数存在16~18 a、7~9 a、3~4 a变化周期。1 a附近为季节变化,故不分析。

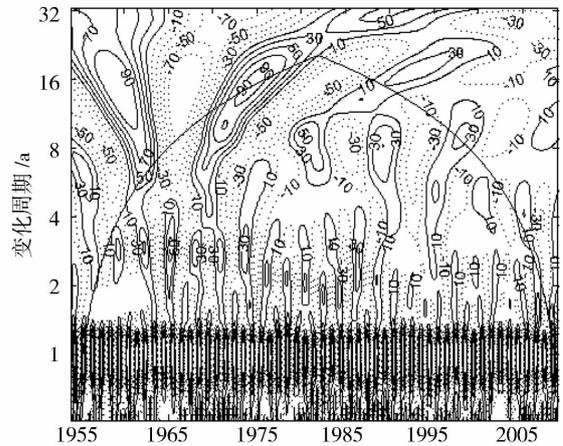


图6 日照时数 Morlet 小波变化系数实部图

Fig.6 The real part of Morlet wavelet transform coefficients of sunshine hours in Dunhuang

16~18 a变化周期相对显著。期间分为3个日照时数增多和减少的交替时期。其中,1950年代中期到1960年代中期,1970年代初至1980年代初,1990年代初至1990年代末表现为日照时数的增多期;从1960年代中期初至1970年代初,1980年代初至1980年代末,2000年至今表现为减少期。

7~9 a变化周期与同尺度下的气温变化周期相似,但表现的时间比较短,是从1960年代末开始持续至今。期间经历了4个日照时数增多和减少的交替时期,且变化周期随年份略微增加,日照时数变化趋于稳定。

2~4 a年变化周期显著性不高。但同气温变化周期相吻合,符合整个西北地区的周期性变化,其周期也有阶段性的分布。其中1980年代和21世纪初

周期性比较紊乱,2 a 和 4 a 左右周期都存在,体现出这段时期日照时数变化不稳定的特点。

5 干旱化趋势对敦煌文物保护的影响

敦煌市平均气温、日照时数、降水量都呈增加趋势,但平均气温和日照时数的增多趋势明显高于降水量,造成温度上升,蒸发量增大现象,干旱化趋势日益明显^[17]。鉴于敦煌市这样特殊的气候条件,对于莫高窟彩塑和壁画的保存又有积极的影响。干旱化导致空气湿度降低,一方面减少了地层内的盐分溶解之后随水分散发到窟内产生结晶,避免了壁画在反复膨胀和收缩的过程中损坏;另一方面又减少了霉变所引起的彩塑和壁画发霉、起甲脱落、褪色和变色^[18-19]。

6 结 论

(1)近 56 a 以来敦煌平均气温总体上处于上升趋势,尤其是最近 20 a,增温趋势非常明显,和整个西北地区及其亚洲地区气温的变化趋势相同。气温存在 8 a 和 3 a 左右的变化周期,周期性显著。

(2)敦煌日照时数的变化趋势和气温的变化趋势一致,不仅存在日照时数增多的趋势,而且周期性上也相似,存在 16 a、8 a、3 a 左右变化周期。

(3)降水总体上呈现增多趋势,且存在 8 a、3 a 左右变化周期。虽然降水有所增多,但温度上升、日照增多导致蒸发增大,干旱化趋势明显。这种干旱气候变化有利于莫高窟的保护。

参考文献:

- [1] 谢金南. 中国西北干旱气候变化与预测研究[M]. 北京:气象出版社, 2000. 第一卷,1-347,第二卷,1-308,第三卷,1-376.
[2] 秦大河主编. 中国西部环境演变评估[A]. 北京:科学出版社, 2000. 第一卷,1-248,第二卷,1-239,第三卷,1-186.

- [3] 王绍武,董光荣. 中国西部环境特征及其演变[M]. 北京:科学出版社,2002.1-242.
[4] 姚辉. 中国西北地区气温分区及其变化的初步分析研究[J]. 应用气象学报,1994,5(2):238-240.
[5] 丁一汇. 中国西部环境变化的预测[M]. 北京:科学出版社, 2002.1-231.
[6] 丁一汇,王守荣. 中国西北地区气候与生态环境概论[M]. 北京:气象出版社,2001.1-204.
[7] 张德丰. Matlab 小波分析与工程应用[M]. 北京:国防工业出版社,2008.95-106.
[8] 任朝霞,杨达源. 近 50 a 西北干旱区去气温分布及其变化趋势研究[J]. 干旱区资源与环境,2006,20(1):99-103.
[9] 郭志梅,繆启龙,李雄. 中国北方地区近 50 a 来气温变化特征的研究[J]. 地理科学,2005,28(2):176-182.
[10] 王绍武,叶瑾琳,龚道溢. 近百年中国气温序列的建立[J]. 应用气象学报,1998,9(4):392-401.
[11] 王绍武,叶瑾琳. 近百年全球气候变暖的分析[J]. 大气科学, 1995,19(5):545-553.
[12] 李栋梁. 中国西北地区年平均气温的气候特征及异常研究. 中国西北干旱气候变化与预测研究(第一卷)[M]. 北京:气象出版社,2000.43-48.
[13] 刘晓云,岳平,徐殿祥. 酒泉市最近 54 a 气温和降水特征分析[J]. 干旱区研究, 2006,23(3):495-499.
[14] 刘德祥,董安祥,邓振镛. 中国西北地区近 43 年降水资源变化对农业的影响[J]. 干旱地区农业研究,2005,23(4):180-185.
[15] 秦大河,董光荣,王绍武. 中国西部环境演变评估[A]. 秦大河主编. 中国西部环境特征及其演变(第一卷)[C]. 北京:科学出版社,2000.53-58.
[16] 李栋梁,谢金南,王文. 中国西北夏季降水特征及其异常研究[A]. 中国西北干旱气候变化与预测研究(第一卷)[C]. 北京:气象出版社,2000.55-60.
[17] 张强,张存杰,白虎志,等. 西北地区气候变化新动态及对干旱环境的影响[J]. 干旱气象,2010,28(1):1-7.
[18] 李红寿,汪万福,张国彬,等. 影响莫高窟小气候的环境因子对比分析[J]. 干旱气象,2008,26(2):25-29.
[19] 吕金顺,杨声,胡承租. 化学与壁画文物的保护. 化学教育[M]. 北京:1996.32-35.

Analysis of Climate Character in Dunhuang in Recent 56 Years

BA Jin¹, WANG XiuQin²

- (1. Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044, China;
2. Dunhuang Meteorological Bureau of Gansu Province, Dunhuang 736200, China)

Abstract: Based on the air temperature, precipitation and sunshine hours data from meteorological stations of Dunhuang during 1954-2009, the variation of annual mean air temperature, precipitation and sunshine hours were analyzed, and dry climate in Dunhuang and its influence on cultural relic of the Mogao Grottoes were discussed also. The results show that annual air temperature was gradually increasing year by year, and annual precipitation and sunshine hours also presented increasing trend. but the rise of air temperature and sunshine hours led to increase of evaporation, drought was evident. The arid climate is conducive to the protection of Mogao grottoes culture relic in Dunhuang.

Key words: Dunhuang; arid climate; Mogao Grottoes