

青藏铁路沿线气温和降水的小波分析

万明波^{1,2} 程 智^{1,2} 王 文^{1,2}

(1. 兰州大学大气科学学院,甘肃 兰州 730000;2. 甘肃省干旱气候变化与减灾重点实验室,甘肃 兰州 730020)

摘 要 利用 Morlet 小波分析方法,对青藏铁路沿线地区(7 站)30 a(1970~1999 年)的月平均气温和月平均降水量资料进行了处理和分析。结果表明:青藏铁路沿线的月降水量存在比较明显的 9 a 左右周期变化,它有 2 个降雨偏多中心和 3 个降雨偏少中心,历经 30 a 的全过程,因而具有长期预测意义。还有其它 4 a 以下的较短周期振荡,但多不具全局性变化特征。从气温与降水资料的对比分析上看,降水和气温的变化趋势呈正相关。

关键词 青藏铁路;小波分析;气温;降水变化

中图分类号:P463.1

文献标识码:A

引 言

青藏高原地表状况复杂,加之大范围异常热力、动力作用及其地气相互作用过程,其特殊的地理位置和对我国及东亚乃至北半球天气气候的重要影响一直是人们研究的热点地区,气象学家对高原气候变化做了许多卓有成效的研究和试验,取得了很多有意义的结论。唐红玉等分析了青海 40 a 来最高最低气温的变化^[1],杜军分析了西藏气温变化^[2],汤懋苍等^[3]指出青藏高原在我国及东亚气候变化中的重要地位。但以往的研究多侧重于对气温的分析^[4~6],马晓波等^[7]对高原的降水变化也作过分析。随着青藏铁路的建成通车,对青藏高原气候变化特点及趋势的全面了解也显得日益迫切,近几年,在青藏高原超长期气候变化的预测和概率估计等都作了

初步的有意义的研究^[8~15]。本文则利用小波分析方法对青藏铁路沿线近 30 a 来的降水、气温的变化规律及特征进行分析研究,以期找出其多尺度演变特征,更好地为中短期气候预测服务。

1 资料处理与方法

1.1 资料处理

本文资料选用青藏高原铁路沿线的 7 个站的历年逐月平均降水、气温资料。其平均海拔 4 000 m 左右,这些站点有的代表高寒草原,有的代表高山荒漠。首先,将 7 个站点的降水、气温的历年资料处理成为月距平资料,计算出各站气温以及气温和降水的相关系数(表 1);然后,利用 Morlet 小波变换程序,计算小波系数并对结果进行分析。

表 1 青藏铁路沿线 7 站年平均气温逐年互相关系数(上三角阵)及本站气温与降水相关系数(对角线)

Tab. 1 The cross correlation coefficients of annual mean temperatures in seven stations (trigonal matrix) and correlation coefficients between rainfall and temperature in each station (diagonal line)

站 名	格尔木	五道梁	沱沱河	安多	那曲	当雄	拉萨
格尔木	0.532	0.61	0.23	0.48	0.73	0.56	0.66
五道梁		0.787	0.54	0.73	0.72	0.58	0.55
沱沱河			0.733	0.14	0.08	-0.10	0.10
安 多				0.751	0.84	0.71	0.67
那 曲					—	0.87	0.90
当 雄						0.718	0.85
拉 萨							—

收稿日期 2006-08-09 改回日期 2006-10-30

基金项目:中国气象局兰州干旱气象研究所干旱气象科学研究基金项目(IAM200404)资助

作者简介:万明波(1984-),男,硕士研究生,从事天气气候研究。E-mail: momb04@lzu.cn

2 计算方法

关于小波变换理论及在大气科学中的应用已经有过很多介绍,主要是应用于天气和气候变化分析,是 20 世纪 80 年代初发展起来的一种信号的时间—尺度分析方法,以研究不同尺度(周期)随时间的演变情况,具有多分辨率分析特点。目前,小波分析在研究气候变化的多尺度结构和突变特征等方面的工作,也已经取得较明显的结果,并为客观地研究气候变化的多层次规律与特征提供了新方法。这里只将本文应用的 Morlet 小波及其计算公式作简单说明。

对满足一定条件的小波函数 $\varphi(t)$, 时间序列 $f(t) \in l^2(R)$ 的小波变换为:

$$W_f(a, b) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) \varphi_{ab}^*(t) dt = \frac{1}{\sqrt{a}} f(t) \varphi^*\left(\frac{t-b}{a}\right) dt \quad (1)$$

其中: $W_f(a, b)$ 称为小波变换或小波系数; $\varphi_{ab}^*(t)$ 为复共轭函数; $a > 0$ 为尺度因子,反映了小波周期长度; b 为时间因子,反映了在时间上的平移。

通过小波分析,可得到时间序列在任意时刻的频率特征以及在时间—频率上的变化特征。(1)式中的 $\varphi(t)$ 可以取不同形式。而本文则采用 Morlet 小波进行变换。

$$\varphi(t) = (1 - t^2) \exp(-t^2/2) \quad (2)$$

对于一个时间序列来说,可以用小波系数极值方法推得其中存在的周期与尺度 a 的关系。可以证明小波系数图上极值的大小与相应波动的振幅成正比,而波动的能量又与振幅的平方成正比,这就说明极值愈大,能量愈强,所代表的扰动也就愈强(图 1)。

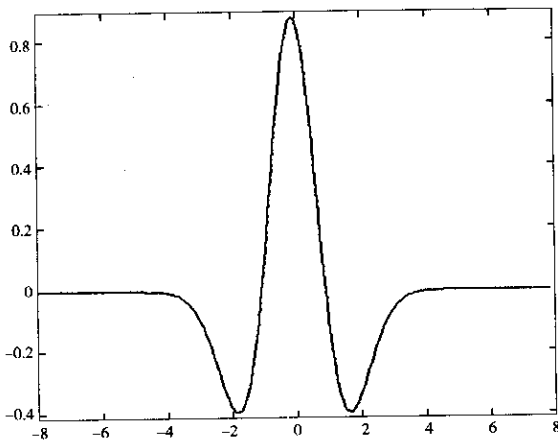


图 1 小波函数

Fig. 1 Wavelet function

3 气温与降水序列的小波分析

3.1 气温序列的小波分析

小波原始信号及各层重构信号是将某序列信号分解成 N 级近似,如: S 为原始信号,则通过 Morlet 小波工具进行 5 级分解后变为 $S = a_5 + d_5 + d_4 + d_3 + d_2 + d_1$,其中 a_5 为 5 级近似后的原始信号的变化趋势; $d_1 \sim d_5$ 为细节信号; β 个分解信号叠加后就重新还原为 S 。而我们则从 a 的变化走向得出该原始信号的大体趋势。

在图 2 格尔木站月气温距平序列的小波分析原始信号及各层重构信号中,我们对要分析的信号进行了 5 层分解。因此在第 2 列波中,即 a_5 的走势上,我们能观察到,第 30 个月前属偏冷期,30~50 个月处在短暂的偏暖期,第 50~100 个月在较冷期,第 100~140 个月处在较暖期,第 140~190 个月又到冷期。从整体上看,1999 年后的一定时期上处在偏暖期内。

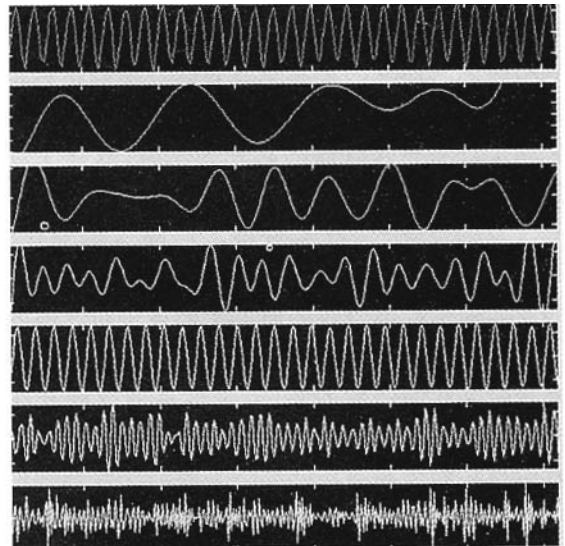


图 2 格尔木站月气温距平序列的小波分析原始信号及各层重构信号

Fig. 2 Original wavelet signal and the reconstructed signals of monthly temperature departure in Geermu

图 3 是青海格尔木站月平均气温小波系数等值线图。纵坐标为尺度参数,横坐标为时间参数(月)。图中可以明显地看出,高低值中心都基本在 $a = 12$ 线,即年周期结构是月平均气温资料的主要部分。从这个小波系数图上,不仅能看到主周期,而且可以看出这一周期随时间变化的特征。

从图 3 中还得出格尔木站月气温的变化在不同时期有不同的时间层次结构。在不同域上,1 a 左右、6~7 a 左右、12 a 左右时间尺度上的周期变化都比较明显。前 22 年 6 个月以 6~7 a 周期变化为主;第 22 年 6 个月至第 29 年 2 个月存在 12 a 周期变化和 1 a 周期变化,并且以较长时期变化为主。一般而言,不同周期变化是由较长周期向较短周期发展。

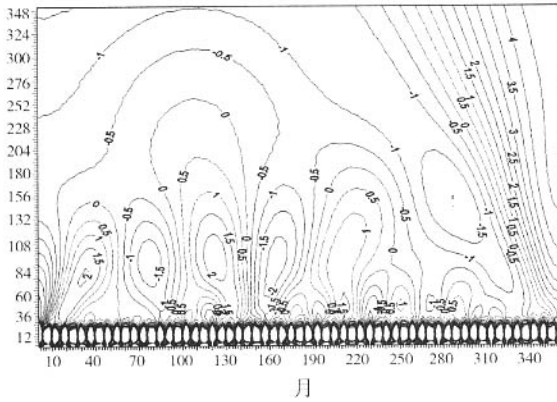


图 3 格尔木月平均气温小波系数
Fig. 3 Wavelet index of monthly averaged temperature in Geermu

此外,图中显示正负值中心的交替出现还对应着温度冷暖的周期变化,其中正值中心处在前 5 年、第 7 年 6 个月至 11 年 8 个月、第 16 年 8 个月至 22 年 6 个月上,负值中心出现在第 5~7.5 年、第 11 年 8 个月及 40~16 年 8 个月上。从整体上看,1999 年以后一定时期内处在偏暖期。这一结果与图 2 月气温距平序列小波信号及各层重构信号的分析结果的结论相一致。

作为青海代表的五道梁站同样也在青藏铁路沿

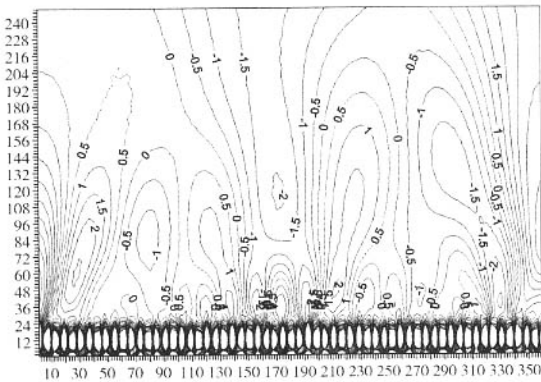


图 4 五道梁月平均气温小波系数
Fig. 4 Wavelet index of monthly averaged temperature in Wudaoliang

线上。图 4 为五道梁月平均气温序列的小波系数等值线图。如同图 3 分析,图 4 上可看出存在 1 a、5~7 a、10~12 a 左右的周期。其中 1 a 的周期为基本周期,前 12 年 6 个月以 5~7 a 的变化周期为主,第 12.5~27.5 年以 10~12 a 的周期为主。共存在 3 个正值中心、3 个负值中心。同样,在第 30 年以后,在一定时段内会迎来偏暖期。

沱沱河(图略)能看到一个较强的正负值区域交替的处在第 5 年 10 个月至 21 年 8 个月之间,并且周期在 10~12 a 左右,其余月份则主要存在 3~4 a 的较短周期。整体上看,该站资料处理结果不是很清晰,但仍能推断出气温在未来一定时期内呈向较暖趋势发展的走向。

以安多站为西藏部分代表,从月气温距平序列小波分析原始信号及各层重构信号分解图(图略)的第 2 列波,我们可以看出近 30 a 来大致分 4 个阶段。其中第 2.5 年前为偏冷期;第 2 年 6 个月至 6 年 8 个月间为偏暖期;第 6 年 8 个月至 15 年 10 个月又为偏冷期;第 15 年 10 个月至 26 年 8 个月为偏暖期;第 26 年 8 个月后进入第 3 个偏冷期。最后由剩下的波段推断,接下来的月平均气温应该还要维持在偏冷期内,同时看到冷暖交替有偏暖期比偏冷期持续要长的趋势。

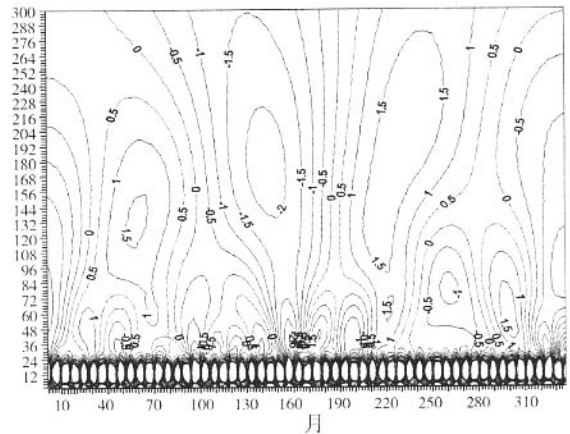


图 5 安多月平均气温小波系数
Fig. 5 Wavelet index of monthly averaged temperature in Anduo

图 5 为安多站月平均气温序列的小波系数等值线图。其中的主要年代际变化周期约为 10~13 a,10 a 周期变化主要出现在前 8 年 8 个月上;13 a 周期变化则表现最为明显,出现在第 8 年 8 个月至 20 年之间。并且从图中可以看到,还有个短期周期变化约 5~6 a,出现第 20~26 年 8 个月。此外正负值中心交替出现也十分醒目,10~13 a 周期上存在 2 个正值中心、1 个负值中心;5~6 a 上有 1 组中心。

从趋势上看,第28年后将出现负值中心。

当雄站月平均气温序列的小波系数反映出长周期变化为10~12 a左右及较短周期3~4 a左右(图略)。其中,前者表现在整体的大趋势上,后者则出现在短期尺度上,如第2.5~7.5年,第15~18年4个月之间。并且由整张图能看到周期变化是由长周期向短周期变化过渡的。并且主要的正值中心处在第1年8个月至7年6个月、第14年2个月至21年8个月间,主要的负值中心处在第7年6个月至14年2个月、第21年8个月至25年之间,由此推断出将要出现的是个正值中心。

从以上5个站的月平均温度序列小波系数等值线图的分析结果看,整个青藏高原地区在1970~1999年尺度上的气温资料显示出的主要变化周期为10 a左右。

3.2 降水序列的小波分析

所选的5个站格尔木、五道梁、沱沱河、安多、当雄地理环境不同,有的属高寒草原,有的属于高山荒漠,使得各分地区在降水量上有一定的差别。

从格尔木站月降水量序列的小波系数可以看出年际尺度和年代尺度特征也很明显(图略),降水的年际变化主要周期是8~10 a,并且能清晰地看到主要出现在第1年8个月至16年8个月之间。年际变化最强信号是3~4 a周期,出现在第2年6个月至第8年4个月及第14年2个月至第23年4个月之间。同时图中还反映出在第16年8个月至28年4个月上还存在年代际的变化周期,并且为1个大的负值中心。另外8~10 a周期变化上存在2个正值中心,即2个强降水中心;1个负值中心,即1个弱降水中心。从总体上可以推断,第28年4个月以后的周期变化将是降水上升的趋势(因为1个大负值中心后将是个不弱的正值区域)。

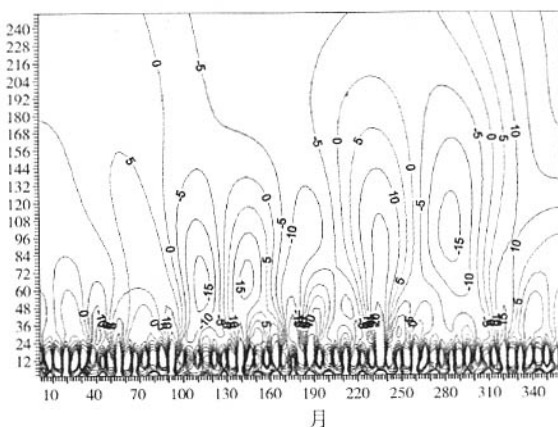


图6 五道梁月平均降水量小波系数

Fig. 6 Wavelet index of monthly averaged rainfall in Wudaoliang

图6为五道梁站月降水量序列的小波系数等值线图。该图上显示的年代际变化周期为6~9 a。从整个阶段上看,6 a周期变化在第5至16年8个月间较为明显,9 a变化在第28年4个月至26年8个月上表现突出。并存在3个弱降水中心,2个强降水中心。其中负值中心在第8年4个月至10年10个月、第14年2个月至18年4个月、第21年8个月至26年8个月;正值中心处在第10年10个月至14年2个月、第18年4个月至21年8个月,而且第26年8个月以后的降水又开始推向新的降雨偏多(正值)中心,这个趋势对中短期预测有指导意义。

在沱沱河站月降水量序列的小波系数等值线图上显示出一个较长的周期8~10 a,一个较短周期3~4 a(图略)。较长周期则在第1年8个月至16年8个月间出现,有2个中心(一正、一负)。而3~4 a周期变化几乎处在整个序列中,并且在第16年8个月至28年4个月上出现16~18 a的周期,同样为1个大的负值中心(这个情况与格尔木站的降水序列图相似)。这样看来,该站未来几年的降水可能也是偏大的。同时可得到,其整体趋势大致由短周期向长周期再向短周期发展。

从安多站月降水量序列的小波系数等值线图上十分清晰地看到,该站降水主要的周期变化为9~12 a,正负值交替也很明显(图略)。其中9 a变化在第10年后表现明显,而12 a变化在第28年之间,并且为一个很强的负值中心,同时存在3~4 a的短期变化。同样能得到在第28年后将是个正值中心的出现。

我们清楚地看到当雄站月降水量序列的年代际变化周期主要约为6~9 a,强弱中心交替也很明显(图略)。正值中心处在第3年4个月至5年10个月、第10~11年8个月、第17年6个月至20年10个月,负值中心第5年10个月至10年、第11年8个月至17年6个月、第20年10个月至25年10个月。而降水的多时间层次结构的时间变化也可以说明,不同机制在不同时期内的作用强度不同,因此形成了降水量变化的非周期性和复杂性。该站显示的在第25年10个月以后一定时期内出现的同样将是个正值中心,即降水将偏多。

3.3 月平均气温与月降水资料的相关分析

一般来说,在不同的气候层次上,气温与降水量上会有一定的联系。表1的对角线是青藏铁路沿线各站气温与降水的相关系数。格尔木站月平均气温与月降水量的相关系数通过显著性水平为0.01的检验,相关值为0.532;五道梁站同样是通过0.01水平的检验,为0.787;沱沱河站的相关值为0.733;安多站的值为0.751,当雄站的值为0.718。综上可

见当地的气温状况与当地的降水量关系十分密切。

4 结 论

(1) 青藏高原地区气温与降水变化都表现出多个时间尺度的相对冷暖或多少交替特征。

(2) 整个青藏地区的月气温变化存在显著的 10 a 左右的周期,但这种震荡不是很均匀地分布在整个序列中。从近几年资料的气温变化上看,无论较长周期还是较短周期的变化都处于偏暖期。

(3) 以安多站为代表站的月气温序列的 10~20 a 长度空间分析得出,5~6 a 周期变化主要表现在第 240 个月到第 320 个月;10~13 a 周期则出现在第 240 月之前。

(4) 同时整个青藏地区的月降水量变化也存在显著的 9 a 左右的周期,并且能看到将处于一个降水偏多期。

(5) 同样以五道梁站为代表站的月降水量序列的 10 a 长度空间分析得出,6 a 周期变化主要表现在第 6 个月到第 16 年 8 个月,9 a 周期则出现在第 18 年 4 个月到第 26 年 8 个月。其中 9 a 周期变化未来有从降水偏少中心逐渐减弱并向新的降水偏多中心变化的趋势,这意味着这个周期后的若干年内有降水量上升趋势,这对中短期降水预测有指导意义。

(6) 配合气温分析表明,青藏地区 30 a 的月降水量与月气温的中短气候周期变化趋势呈现正相关关系,即变暖与变湿基本同步,变冷与变干基本同步。

(7) 小波分析作为一种较强的局域分析方法,具有给出尺度和时间周期变化细微结构的能力,对气温、降水等要素值的周期性变化有较好的显示能力。

(8) 周期强弱变化的其他外部原因还需进一步讨论。

参考文献:

- [1] 唐红玉,李锡福. 青海高原近 40 年来最高和最低气温变化趋势的初步分析[J]. 高原气象,1999,18(2):230-235.
- [2] 杜军. 青藏高原近 40 年的气温变化[J]. 地理学报,2001,56(6):682-690.
- [3] 冯松,汤懋苍,王冬梅. 青藏高原是我国气候变化启动区的新证据[J]. 科学通报,1998,43(6):633-636.
- [4] 林振耀,赵昕奕. 青藏高原降水气温变化的空间特征[J]. 中国科学(D 辑),1996,26(4):354-358.
- [5] 马晓波. 中国西北地区最高、最低气温的非对称变化[J]. 气象学报,1999,57(5):613-620.
- [6] 白虎志,董文杰,马振锋. 青藏高原及邻近地区的气候特征[J]. 高原气象,2004,23(6):890-897.
- [7] 马晓波,胡泽勇. 青藏高原 40 年来降水变化趋势及突变的分析[J]. 中国沙漠,2005,25(1):137-139.
- [8] 王文,李栋梁. 青藏铁路沿线超长期气候变化预测的概率估计[J]. 高原气象,2003,22(5):495-498.
- [9] Li Dongliang, Guo Hui, Wang Wen, et al. The Effects of Sunspot Cycle Length and CO₂ on Air Temperature along Qinghai - Xizang Railway and air temperature's Trend Prediction[J]. Sciences in China(Series D),2004,47(supp.):131-141.
- [10] 徐影,丁一汇,李栋梁. 青藏地区未来百年气候变化[J]. 高原气象,2003,22(5):451-457.
- [11] 高学杰,李栋梁,赵宗慈,等. 温室效应对青藏高原及青藏铁路沿线气候影响的数值模拟[J]. 高原气象,2003,22(5):458-463.
- [12] 董安祥,李栋梁,龚建福,等. 用模糊均生函数模型作青藏高原气候冷暖预测[J]. 高原气象,2003,22(5):499-502.
- [13] 董安祥,白虎志,李栋梁,等. 青藏铁路沿线气温和地温的极值推算[J]. 高原气象,2003,22(5):503-506.
- [14] 王文,李栋梁,程国栋. 青藏铁路沿线平均最高最低气温变化趋势预测及其概率估计[J]. 高原气象,2005,24(3):304-310.
- [15] 王文,陈小敏,李栋梁. 青藏铁路沿线地面气温演变的非线性振荡规律研究[J]. 高原气象,2005,24(3):299-303.

Wavelet Analysis of Temperature and Rainfall Along Qinghai - Xizang Railway

WAN Ming-bo^{1,2}, GHENG Zhi^{1,2}, WANG Wen^{1,2}

(1. College of Atmospheric Sciences, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China;

2. Key Laboratory of Arid Climate Change and Reducing Disaster of Gansu Province, Lanzhou 730020, China)

Abstract Mean temperature and rainfall were analyzed by Wavelet method from 1970 to 1999 along Qinghai - Xizang railway. The results show that there were a 9-year cycle of monthly averaged rainfall and two wetter centers, three drier centers during the 30 years period, so it may have long-range prediction significance. From comparative analysis between temperature and rainfall data, the trend of them presented a positive correlation in each station along Qinghai - Xizang railway.

Key words Qinghai - Xizang railway; wavelet analysis; temperature; rainfall change