

文章编号 1000-0534(2000)03-0295-09

# 甘肃河东年降水量的周期变化

李栋梁 谢金南 王 蕾 白虎志 刘德祥

(甘肃省气象局 甘肃省兰州市 730020)

**摘 要** 利用甘肃河东建站最早的9个代表站的年降水量资料,采用谐波分析和小波分析方法,计算了年降水量序列各种时间尺度的周期,以及10 a和20 a相空间时间序列的2~10 a周期试验。结果表明:甘肃中部地区年降水量总体仍以准3 a周期最为显著;陇东表现为9 a周期;陇南无明显周期。相空间序列的周期试验显示,甘肃中部的准3 a周期主要反映在50~70年代,近20~30 a则以8~9 a周期较为明显;陇东近10 a主要表现为准2 a振荡。进一步的分析表明,甘肃中部年降水量的准3 a周期振荡目前处于历史最低谷,但其存在19 a和28 a以上的两种长周期变化,可能在2005年左右恢复到显著水平。9 a周期表现出明显的23 a的韵律,目前振幅虽然在起作用,但未来可能进入相对弱的时期。

**关键词** 甘肃河东 年降水量 周期变化 小波分析 相空间

中图分类号 P426.613 文献标识码 A

## 1 引 言

甘肃河东为半干旱半湿润雨养农业区,西临青藏高原,北靠腾格里沙漠。受东亚季风和青藏高原季风的共同影响,陇南的碧口年降水量可达1400 mm,而北部的景泰仅为185.7 mm。南北相差1200 mm以上,这主要是由于大尺度非绝热作用以及水汽来源的不同所致。该地区降水量的空间差异使其分为干旱和半干旱区;半湿润和湿润区。对湿润区一年可有两季农作物,植被状况良好;半湿润半干旱区是一年一季农作物。雨养农业,靠天吃饭,植被状况很差。河东北部干旱地区如果没有灌溉就没有农业。总的来看,甘肃河东自北向南的干旱、半干旱和半湿润地区均属生态脆弱带。多雨年不仅农业丰收,而且植被生长旺盛;少雨年农业欠收,下垫面裸露。因此,研究这一地区降水量的年际变化比其平均状况更重要。对甘肃河东降水量的年际变化,当地老百姓流传着“三年两头旱”和“三年一小旱,十年一大旱”的说法。1982年徐国昌等<sup>[1]</sup>用建站至1979年降水资料的计算表明,西北地区年降水量确实存在明显的3 a周期,而最显著的地方就在甘肃中部的兰州地区。这一点罗哲贤等<sup>[2]</sup>和白肇焯等<sup>[3]</sup>利用甘肃中部近五百年旱涝等级资料给予进一步证实。问题是自从这一规律被揭示出来后的近二十年中,准3 a周期似乎不如以前那样显著,在实际业务使用中预报准确率也不如以前的高。本文针对这

收稿日期:1999-02-03; 改回日期:1999-09-29

本文得到国家“九·五”重中之重科技项目96-908-05-03专题“西北地区干旱预测系统研究”的资助

第一作者简介:李栋梁,男,1957年12月出生,硕士,研究员,主要从事短期气候变化研究和预测业务工作

一问题, 利用甘肃河东建站较早的 9 个站年降水量资料, 采用 10 a 和 20 a 相空间序列, 重新计算了建站至 1998 年的各站降水周期, 得到周期振荡的时间演变规律, 这对利用周期变化进行短期气候预测是很有意义的。

## 2 资料和方法

用甘肃河东(黄河以东, 下同)建站最早的兰州( $103^{\circ}53' E$ ,  $36^{\circ}03' N$ )、临夏( $103^{\circ}11' E$ ,  $35^{\circ}37' N$ )、临洮( $103^{\circ}51' E$ ,  $35^{\circ}23' N$ )、靖远( $104^{\circ}40' E$ ,  $36^{\circ}34' N$ )、平凉( $106^{\circ}38' E$ ,  $35^{\circ}25' N$ )、西峰( $107^{\circ}44' E$ ,  $35^{\circ}42' N$ )、天水( $105^{\circ}45' E$ ,  $34^{\circ}35' N$ )、岷县( $104^{\circ}10' E$ ,  $34^{\circ}23' N$ )和武都( $104^{\circ}41' E$ ,  $33^{\circ}23' N$ )自建站至 1998 年的年总降水量资料, 周期的计算采用如下方法:

设某站年降水时间序列为  $X_i (i=1, 2, \dots, N)$ 。

(1) 首先计算出  $X_i$  的  $2 \sim N/2$  a 周期的谐波振幅<sup>[4]</sup>。

$K$  年周期的振幅为

$$C_k = (A_k^2 + B_k^2)^{1/2}, \quad (1)$$

其中

$$\begin{cases} A_k = \frac{2}{k} \sum_{j=1}^N X_j \cos \frac{2\pi}{k} j, \\ B_k = \frac{2}{k} \sum_{j=1}^N X_j \sin \frac{2\pi}{k} j. \end{cases}$$

$K$  年周期的初位相

$$\theta_k = \tan^{-1} \frac{A_k}{B_k},$$

这里  $X_j = \frac{1}{k} \sum_{i=10}^k X_i$  为  $K$  年周期分组后的第  $j$  组平均值。信度检验临界值采用下列算式

$$\begin{aligned} \alpha_{0.10} &= 2\sigma(\ln(10)/N)^{1/2}, \\ \alpha_{0.05} &= 2\sigma(\ln(20)/N)^{1/2}, \\ \alpha_{0.01} &= 2\sigma(\ln(100)/N)^{1/2}, \end{aligned} \quad (2)$$

其中

$$\begin{aligned} \sigma &= \left( \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (X_i - X)^2 \right)^{1/2}, \\ X &= \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i. \end{aligned}$$

(2) 对  $X_i$  从建站至 1998 年分别建立 10 a 和 20 a 相空间降水序列<sup>[5]</sup>。

10 a 相空间序列为:

$$\begin{array}{cccccc}
 X_1 & X_2 & X_3 & \cdots & X_{10} \\
 X_2 & X_3 & X_4 & \cdots & X_{11} \\
 & & \cdots & & \\
 X_{N-9} & X_{N-8} & X_{N-7} & \cdots & X_N
 \end{array} \quad (3)$$

20 a 相空间序列为

$$\begin{array}{cccccc}
 X_1 & X_2 & X_3 & \cdots & X_{20} \\
 X_2 & X_3 & X_4 & \cdots & X_{21} \\
 & & \cdots & & \\
 X_{N-19} & X_{N-18} & X_{N-17} & \cdots & X_N
 \end{array} \quad (4)$$

通过对以上建立的  $N-9$  维样本长度为 10 a 的单站年降水量序列和  $N-19$  维样本长度为 20 a 的单站年降水量序列进行 2~5 a 周期试验和 2~10 a 的周期试验, 可得到自建站至 1998 年各年代所有试验周期的振幅和初位相。

小波分析中的小波母函数选用墨西哥帽型小波函数<sup>[9]</sup>, 即

$$h(x) = (1 - x^2)\exp(-x^2/2).$$

## 3 结果分析

### 3.1 甘肃河东年降水量的周期试验

早在 60 年代初, 徐国昌等就注意到甘肃中部的降水量具有准 3 a 周期, 并建立了相应的预测方法和工具。80 年代初, 他利用 70 年代及其以前的降水量资料和兰州 500 a 旱涝等级资料, 计算得到甘肃中部年降水量具有准 3 a、10~13 a、35 a 和 70 a 左右的周期。对 35 a 以上周期, 这里暂不讨论。本文旨在利用甘肃河东 9 个建站较早的年降水量序列, 利用(1)式计算每个站自建站至 1998 年 2~ $N/2$  a 周期, 找出每个站可能存在的显著周期(达到并通过  $\alpha=0.05$  信度, 见表 1)。

表 1 各代表站的主要周期

Table 1 The mainly period of various representative stations

站名	兰州	临夏	临洮	靖远	平凉	西峰	天水	岷县	武都
周期	3*, 9*	3*	3*, 14	3, 6	9	2, 9		21	
起始年	1933	1943	1937	1937	1937	1938	1942	1937	1944
$N$	66	56	62	62	62	61	57	62	55

\* 表示该周期通过  $\alpha=0.01$  信度

由表 1 可以看出, 甘肃中部的兰州、临夏、临洮、靖远年降水量仍以 3 a 周期最为显著。其中兰州、临夏、临洮的 3 a 周期均达到并通过 0.01 的信度检验水平。此外, 兰州的年降水量还具有非常显著的 9 a 周期。临洮、靖远也存在较明显的 14 a 和 6 a 周期, 这两个周期也都达到 0.05 的信度检验。陇东的年降水量主要以 9 a 周期为主, 陇南的降水周期性较差, 除岷县存在 21 a 周期外, 天水、武都没有显著周期。

与文献[1]相比较, 在增加 80 年代和 90 年代近二十年的资料后, 甘肃中部的准 3 a 周期仍然维持其显著水平, 但陇东的 10~13 a 周期不再显著。这说明周期不仅是存在于

年降水序列中的一种演变规律,而且其本身也在不断发生变化。

考虑到表1所反映出的甘肃河东年降水量的主要周期是3 a和9 a周期,而兰州站的年降水量同时具有这两种显著周期。故选取兰州站作为代表站讨论。

图1给出1933~1998年兰州年降水量的历史演变曲线(图1a)和2~33 a的各种时间尺度周期的振幅(图1b)。从图中可以看出,兰州年降水量确实表现出一年多两年少,即“三年两头旱”的特点。这种降水特点给甘肃中部半干旱雨养农业区农业生产的连续稳产带来了极大的不利因素。仅321.5 mm的多年平均降水量是半干旱区农业生产水平较低的主要因素。图1b显示出兰州年降水量的3 a和9 a周期的振幅通过0.05信度水平(图中横线)达到0.01显著水平(图中横线)。

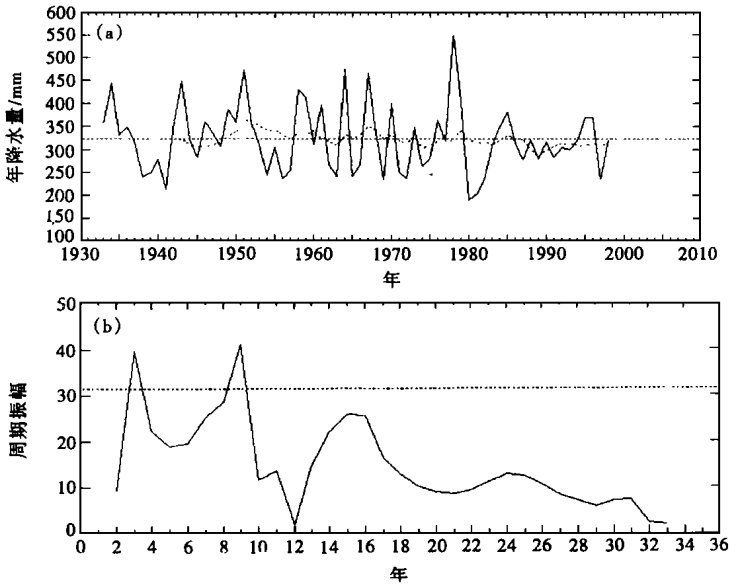


图1 兰州年降水量(a)及其周期振幅(b)

Fig. 1 Lanzhou annual precipitation (a) and its period amplitude (b)

### 3.2 显著周期的相空间分析

兰州年降水量的3 a和9 a周期是贯穿于整个序列之中,还是表现在某些时段,即显著周期主要表现在哪些年代?图2给出利用10 a和20 a滑动建立的 $N-9$ 维和 $N-19$ 维相空间降水量序列计算的3 a和9 a周期在相空间中的分布。图2a是10 a相空间中的3 a周期振幅(点线)及0.05信度检验临界值(虚线)。可以看出,在10 a长度序列的3 a周期中,1956~1977年期间的3 a周期最显著,即通过0.05信度水平。1946~1963年期间是3 a周期振幅的增大时期,周期逐渐明显,1956年以后达到甚至超过0.05信度水平。1963~1972年的10 a间,3 a周期振幅达到极大值。此后,3 a周期振幅几乎是单调下降,在1987~1996年的10 a是历史上3 a周期最弱时期。1988~1998年有明显的恢复趋势。在20 a的57维相空间中的3 a周期表现最明显的是1956~1975年,达到历史的最高峰(图2b)。这更加清楚地反映了3 a周期振幅50年代以前的单调增大和70年代以

后的单调减小趋势。用 20 a 滑动序列分析 3 a 周期便会发现, 1948~1981 年期间是可信的。但从 80 年代开始, 20 a 滑动序列中的 3 a 周期振幅呈单调下降趋势。1979~1998 年的 20 a 中达到历史的最低值。所以, 3 a 周期的显著性与样本所处的年代及长度有关。

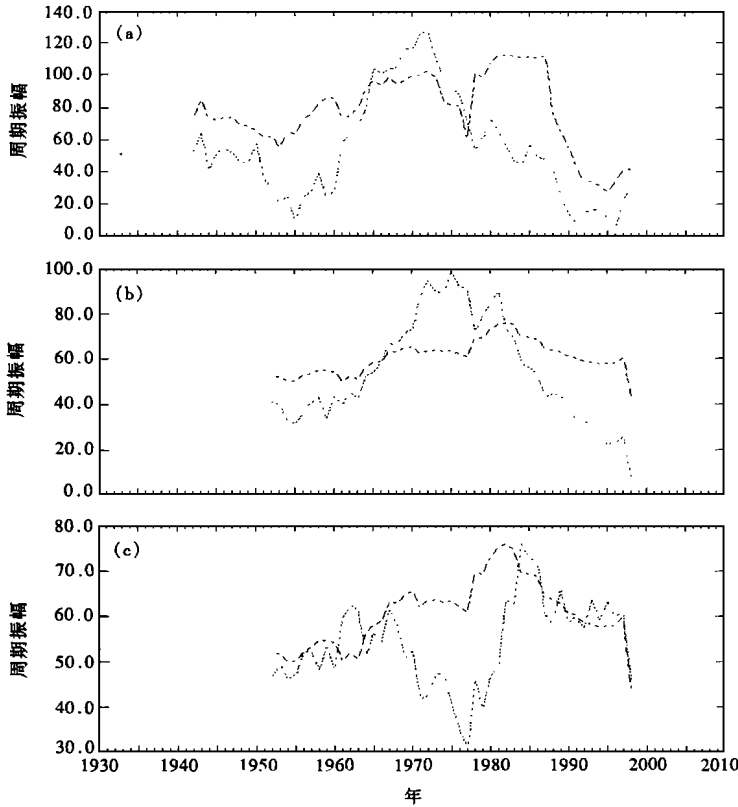


图 2 兰州年降水量不同时间尺度相空间的周期振幅

(a) 10 a 滑动的 3 a 周期, (b) 20 a 滑动的 3 a 周期, (c) 20 a 滑动的 9 a 周期  
点线为周期振幅, 虚线为 0.05 信度检验临界值

Fig. 2 Lanzhou annual precipitation period amplitude of phase space on different time scales.  
(a) 3-year periods in every 10 year; (b) 3-year periods in every 20 year; (c) 9-year periods in every 20 year

9 a 周期在 66 a 的历史序列中表现得非常明显, 但在 47 维的相空间中表现的就不如 3 a 周期那样有持续性, 而且主要表现在 40~50 年代和 80~90 年代。在 3 a 周期显著的 60~70 年代恰好是 9 a 周期振幅的低谷时期。这一事实说明 9 a 周期是独立于 3 a 周期的另一重要规律, 不是简单的倍周期。

### 3.3 兰州年降水量的小波分析

图 3 给出兰州年降水量采用墨西哥帽型小波变换的结果。从图中可以看出, 兰州年降水量序列中确实包含有不同时间尺度的振荡, 从振荡的频率来看, 大致可以分为三段: 50 年代及以前为一段; 60~70 年代为第二段; 80 年代以后为第三段。第二段的频率显然比第一段和第三段要高。再仔细地分析, 这种正负相间的尺度即是图 1a 所给出的

降水量多一少一多的时间间隔,也就是降水量的各时间段的周期变化:第一段和第三段为9 a 周期,第二段为3 a 周期。这进一步证实了图 1b 和图 2 的结果。

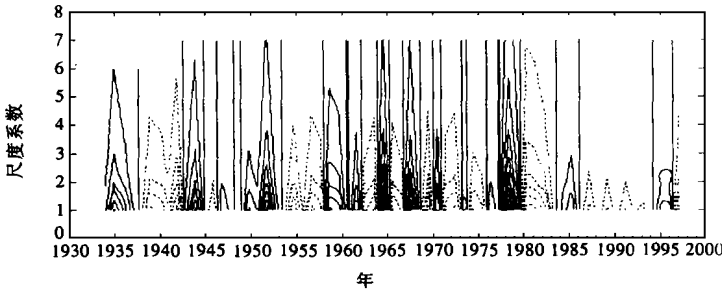


图 3 兰州年降水量墨西哥帽型小波变换

Fig. 3 Lanzhou annual precipitation wavelet transformation using Mexican hat

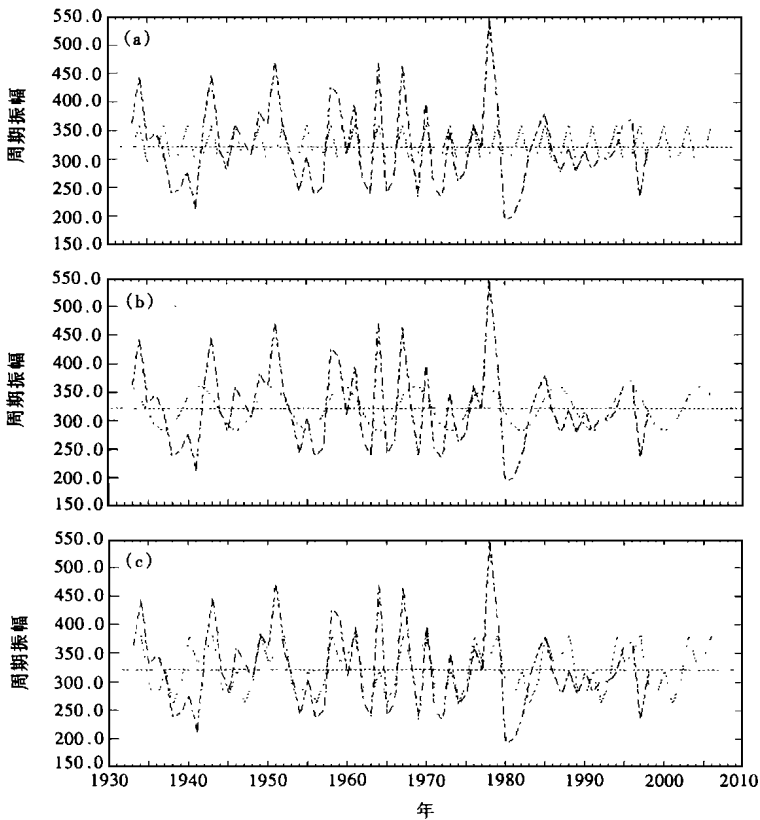


图 4 兰州年降水量不同周期的拟合试验

(a) 3 a 周期, (b) 9 a 周期, (c) (3+9) a 周期。点线为周期拟合, 虚线为年降水量(单位: mm)

Fig. 4 The period fitting test of Lanzhou annual precipitation in different period.

(a) 3-year periods, (b) 9-year periods and (c) (3+9)-year periods. Dotted line for period fitting, dashed line for annual precipitation(Unit: mm)

### 3.4 周期的拟合试验

前面已经指出, 兰州年降水量存在显著的 3 a 和 9 a 周期, 如果用这两个周期来拟合原降水序列, 其结果会如何呢? 图 4 给出这一拟合结果。图 4a 是只用 3 a 周期的拟合, 最好的是 60~70 年代, 可达到 90%; 50 年代和 80 年代均为 70%; 最差的是 90 年代仅为 28.6%。9 a 周期的拟合最好结果出现在 50 年代, 60 年代和 70 年代次之(图 4b), 最差的是 40 年代和 80 年代。总体而言, 3 a 周期的拟合率为 66%, 相关系数为 0.385; 9 a 周期的拟合率为 72%, 相关系数为 0.402。3 a 周期的拟合率主要在 30 年代和 90 年代比较差。利用 3 a 和 9 a 两种周期的迭加进行预测拟合试验(图 4c), 结果符号拟合率与 9 a 周期相同, 但拟合序列与原始降水距平序列的相关系数有明显的提高。这说明显著周期的迭加对序列的延伸预测是有改进的, 这种改进主要表现在量值的进一步逼近, 更加反映了气候演变的真实性。

表 2 兰州站各年代年降水量的周期拟合符号率(%)  
Table 2 The period fitting of Lanzhou annual precipitation in each decade

周期	年 代							相关 $r$	$n/N$
	1930' s	1940' s	1950' s	1960 s	1970' s	1980' s	1990' s		
3	37.5	60	70	90	90	70	28.6	0.385	66
9	62.5	60	90	80	80	60	71.4	0.402	72
3+9	62.5	60	90	80	80	60	71.4	0.555	72

### 3.5 周期的延拓预测

从以上分析可看到, 影响兰州年降水量的主要显著周期是 3 a 和 9 a 周期, 并给出了这两个周期振荡的显著时段以及利用这两个周期预报拟合试验。可以看出, 周期的强弱是随时间变化的, 要利用周期进行外推预报, 就需要较好地估计出所选周期未来可能地发展变化情况。从图 2 可以看出, 周期的振幅随时间呈现出有规律的振荡。那么, 这种振荡是否也存在某种确定的周期呢? 如果是, 则可利用这一规律(也就是周期)来预测兰州年降水量周期的未来显著程度。把图 2 给出的兰州年降水量的 3 a 和 9 a 周期的振幅看作是一维时间序列, 利用(1)、(2)式进行周期试验。结果表明: 兰州年降水量 10 a 滑动的 57 维相空间中的 3 a 周期振幅有十分显著的 19 a 和 28 a 两种周期, 这两个周期也都通过 0.01 信度检验水平。那么利用以上两个显著周期的叠加进行兰州年降水量 3 a 周期振幅的延拓(图 5a 虚断线), 可以看出, 兰州年降水量的 3 a 周期振幅虽然在 1987~1996 年曾处于历史低谷, 但从 1988~1998 年的趋势看, 有明显的增大。由其自身演变的周期外延可知, 在 2005 年前后兰州年降水量的 3 a 周期有可能再次恢复到置信水平。

图 5b 是兰州年降水量 9 a 周期振荡(虚断线), 这一周期延拓表明, 兰州年降水量的 9 a 周期振幅自从 1984 年恢复到显著水平以上, 直到 1997 年仍维持在一个较高水平上波动。1998 年其振幅下降明显, 预计未来有可能进入相对弱期。

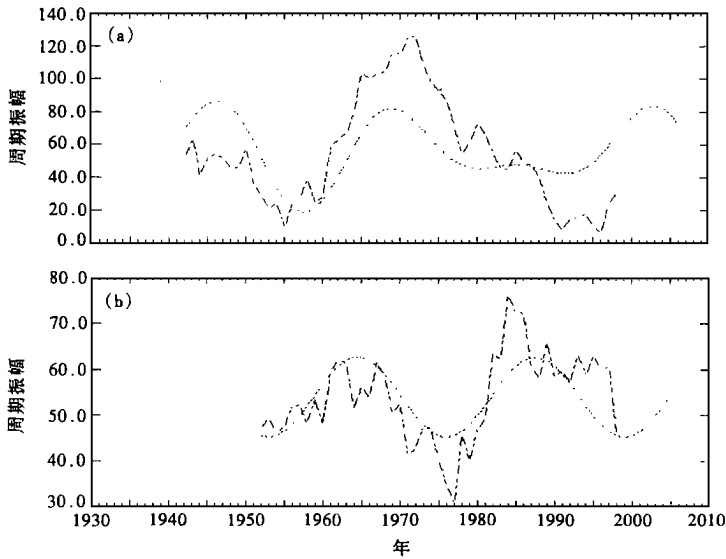


图 5 兰州年降水量的 3 a (a)和 9 a (b)周期振幅的周期拟合及其延伸  
Fig. 5 The period fitting and extending of 3 years period amplitude (a) and 9 years period amplitude (b) of annual precipitation in Lanzhou

## 4 讨 论

(1) 甘肃河东年降水量存在显著的 3 a 和 9 a 周期,但这种振荡不是均匀地出现在整个序列之中。

(2) 从兰州为代表站的年降水序列的 10 a 和 20 a 长度的相空间分析得到,3 a 周期振荡主要表现在 50 年代至 70 年代;9 a 周期则出现在 30~40 年代和 80~90 年代。

(3) 降水量相空间中时间序列中的 3 a 和 9 a 周期振幅分别构成一新的时间序列,这一振幅序列存在显著的周期变化。利用振幅的周期延拓可预测年降水量序列中显著周期未来的可信度。这一点对利用一维时间序列的周期演变讨论短期气候预测是有意义的。

(4) 本文对相空间的维数及其序列长度的取法是任意的,没有专门讨论。

(5) 周期强弱变化的外部原因还需进一步讨论。

## 参考文献

- 1 徐国昌,董安祥.我国西部降水量的准三年周期[J].高原气象,1982,1(2):11~17
- 2 罗哲贤,刘德祥,胡心玲.甘肃省近五百年旱涝周期特征[J].甘肃气象,1982,(试刊):38~52
- 3 白肇烨,徐国昌等.中国西北天气[M].北京:气象出版社,1988.158~164
- 4 黄嘉佑,李黄.气象中的谱分析[M].北京:气象出版社,1984.1~13
- 5 林振山.长期预报的相空间理论和模式[M].北京:气象出版社,1993
- 6 刘贵忠,邱双亮.小波分析及其应用[M].西安:西安电子科技大学出版社,1995



## THE PERIODLY VARIATION OF ANNUAL PRECIPITATION IN EAST GANSU

LI Dong-liang    XIE Jin-nan    WANG Lei  
BAI Hu-zhi    LIU De-xiang

(*Meteorological Bureau of Gansu Province, Lanzhou, Gansu 730020*)

**Abstract** Nine stations annual precipitation data of east Gansu have been used by means of hamonic analysis and wavelet analysis. From 2 to  $N/2$  years period were calculated and from 2 to 10 years period were experimented in phase space of 10 years and 20 years time sequence. It is shown that the significance level of quasi-3 years period of annual precipitation is the best in central Gansu. East Gansu has 9 years period, south Gansu has not signal period. The period experiment of phase space shown, the quasi-3 years period of annual precipitation of central Gansu is mainly in from 1950' s to 1970' s, the quasi-9 years period is signally in last 20 to 30 years. the quasi-2 years period oscillation of East Gansu is the mainly in last 10 years. Make further analysis for quasi-3 years period of annual precipitation of central Gansu at the lower point now in the past records, but it has 19 years and over 28 years long period. Maybe it can be return to the significance level in 2000' s. The 9 years period shows 23 years rhythm clearly now, but maybe it go into a relatively weak in the coming.

**Key words** The east Gansu    Annual precipitation    Period change    Wavelet analysis  
Phase space