

用年轮资料的 EOF 迭代方案重建 中国西部近600年的气温序列

王玉玺 张邦林 靳立亚

(兰州大学)

摘要 根据我国西部祁连山区一个三棵圆柏平均年轮资料表、陕西一个太白落叶松(A)年轮宽度表 and 新疆哈密地区五个年轮年表,经过合适取样和精确定年的树木年轮序列和我国西部28个站点*1951—1975年的年平均气温资料,采用一种恢复气象要素场的 EOF 迭代方案重建我国西部近600年的地面气温序列。初步计算结果表明:重建的气温序列反映出1432—1526年、1622—1680年、1834—1865年三个冷期以及1541—1567年、1897—1923年两个暖期。与近600年气候变迁的演变趋势基本吻合。

关键词 EOF 迭代方案,树木年轮年表,气温序列

目前,利用树木年轮资料研究历史时期气候变迁和重建历史时期的气候要素,已成为国内外广泛展开的重要课题^[1-5]。本文试用陕西、祁连山、新疆三个地区共七个年轮年表资料以及1951—1975年的平均气温资料,并采用一种恢复历史时期气候要素场的 EOF 迭代方案,重建我国西部近600年的气温序列。

1 资料和方法

由于林带上限树木生长的全部生理过程,主要受热量(气温)因子的限制,故所用的七个年轮资料年表,均取自林带上限的树木。其基本概况分别见表1、表2和表3。

* 西安、天水、岷县、汉中、安康、延安、西峰镇、兰州、中宁、银川、西宁、临夏、玛多、玉树、武威、张掖、酒泉、敦煌、吐鲁番、库车、喀什、和田、且末、若羌、哈密、塔城、伊宁、乌鲁木齐
收稿日期:1991-01-22

表1中的年轮宽度的测量系采用精度为1/100毫米的国产测量显微镜和瑞典创造的年轮测定仪。依据这三棵年轮样本并经严格的定年和生长量订正,建立了三个圆柏年轮年表^[1-3],并将这三个样本平均,得到所用的祁连山年表^[3]。

表1 祁连山区年轮表概况

轮 数	913轮	718轮	935轮
地 点	青海天峻县	青海德令哈	青海德令哈
纬度(°N)	37.0	37.3	37.3
经度(°E)	98.8	97.2	97.2
高度(m)	3670	3750	3900
坡 向	南	南	南
树 种	圆柏	圆柏	圆柏
序列长度	1063—1975	1260—1977	1043—1977
三棵平均指数 表序列长度	1043—1977		

表2 陕西太白县黄柏塬林场年轮表概况

轮 数	165
地 点	陕西太白县黄柏塬大南沟
纬度(°N)	34
经度(°E)	107.2
高度(m)	2750
坡 向	南偏西
树 种	太白落叶松(秦岭红杉)
序列长度	1810—1974

据表2中的这棵年轮样本并经严格定年,建立了一个太白落叶松的年轮年表^[6]。

表3中的年轮序列是根据文献[7]的数据,五个年轮指数序列均是上林缘年表序列。

由于七个年表分别选自陕西、祁连山和新疆三个地区的年轮资料序列,大致代表了我国西部地区的几个主要区域,重建气温场的区域包括我国西部的28个站点范围。计算前,首先对上述七个年表的年轮序列进行标准化处理,使之可以在同一水平上进行比较。

表3 新疆哈密地区年轮表概况

	1	2	3	4	5
轮数	302	224	350	270	469
地点	哈密西山 (六道沟)	哈密沟城 (天生圈)	伊吾上马岩	巴里坤兰旗沟	巴里坤西黑沟
纬度(°N)	43°20'	42°55'	43°01'	43°49'	43°32'
经度(°E)	93°18'	94°33'	95°02'	93°21'	93°08'
高度(m)	3026	2899	2803	2802	2639
坡向	南	南	东北	南	北
树种	落叶松	落叶松	落叶松	落叶松	落叶松
序列长度	1678—1979	1756—1979	1630—1979	1710—1979	1511—1979

重建气温序列的 EOF 迭代方案如下:

设树木年轮指数的资料阵为

$$I_1 = \begin{bmatrix} I_{11} \\ N_1 \times M_1 \\ I_{21} \\ N_2 \times M_1 \end{bmatrix}$$

其中 I_{11} 、 I_{21} 分别为矩阵 F_1 的分块矩阵 ($M_1=7$)。另外, 设1951—1975年28个站点的气温场资料矩阵为 I_{22} ($N_2=25, M_2=28$), 计算时, 气温场的资料也进行标准化处理。再利用 I_1 、 I_{22} 重建前 N_1 个时刻气温场, 构造矩阵

$$I^{(0)} = \begin{bmatrix} I_{11} & \mathbf{0}_{N_1 \times M_2} \\ N_1 \times M_1 & \\ I_{21} & I_{22} \\ N_2 \times M_1 & N_2 \times M_2 \end{bmatrix}$$

式中 $N=N_1+N_2=576$, 为年轮序列长度; $M=M_1+M_2=35$, $\mathbf{0}_{N_1 \times M_2}$ 是零矩阵, 即迭代初始为零。另外, 由于年轮资料序列的长度不一样, 将那些不够576年的序列部分也都赋予零值。

对矩阵 $I^{(0)}$ 作 EOF 展开得 $I^{(0)}$ 的拟合场为

$$\hat{I}^{(0)} = \sum_{k^{(0)}} I^{(0)} \cdot V^{(0)} = \begin{bmatrix} \hat{I}_{11}^{(0)} & \hat{I}_{12}^{(0)} \\ \hat{I}_{21}^{(0)} & \hat{I}_{22}^{(0)} \end{bmatrix}$$

式中 $I^{(0)}$ 为时间函数矩阵, $V^{(0)}$ 为特征向量矩阵, $k^{(0)}$ 为零步迭代的截断阶数。

再构造矩阵

$$I^{(1)} = \begin{bmatrix} I_{11} & \hat{I}_{12}^{(1)} \\ I_{21} & I_{22} \end{bmatrix}$$

对 $I^{(1)}$ 作 EOF 展开,得拟合场

$$\hat{I}^{(1)} = \sum_{k^{(1)}} I^{(1)} \cdot V^{(1)} = \begin{bmatrix} \hat{I}_{11}^{(1)} & \hat{I}_{12}^{(1)} \\ \hat{I}_{21}^{(1)} & \hat{I}_{22}^{(1)} \end{bmatrix}$$

再构造矩阵

$$I^{(2)} = \begin{bmatrix} I_{11} & \hat{I}_{12}^{(1)} \\ I_{21} & I_{22} \end{bmatrix}$$

对 $I^{(2)}$ 作 EOF 展开求拟合场,如此往复,直到第 n 步,迭代后得

$$I^{(n)} = \begin{bmatrix} I_{11} & \hat{I}_{12}^{(n-1)} \\ I_{21} & I_{22} \end{bmatrix}$$

对 $I^{(n)}$ 作 EOF 展开,则

$$\hat{I}^{(n)} = \sum_{k^{(n)}} I^{(n)} \cdot V^{(n)} = \begin{bmatrix} \hat{I}_{11}^{(n)} & \hat{I}_{12}^{(n)} \\ \hat{I}_{21}^{(n)} & \hat{I}_{22}^{(n)} \end{bmatrix}$$

当 $\|\hat{I}_{12}^{(n)} - \hat{I}_{12}^{(n-1)}\| < \varepsilon$ 时 (ε 为给定的误差范围), $\hat{I}_{12}^{(n)}$ 即为我们所重建的前 N_1 个时刻的气温场。大量数值试验表明,这种重建气温场的 EOF 迭代方案是稳定的并且收敛。

2 我国西部近600年气温序列的重建

2.1 独立样本试验

在进行历史时期气温场的重建以前,我们首先利用1956—1975年的树木年轮指数和28个站点的年平均气温资料,作恢复1951—1955年气温场的试验。检验气温场重建的效果,是将所得到的恢复区网格点气温恢复值 $\hat{T}_i$ 所组成的拟合场与实况场 T_i 的符号相关系数 ρ_s 作为衡量标准^[6],即

$$\rho_s = \frac{\rho_+ + \rho_-}{n}$$

式中 ρ_+ 与 ρ_- 分别表示两个场“+”号与“-”号相同的网格点数。

在 EOF 迭代计算中,由于每一步迭代的截断阶数不同,其对应的 EOF 展开场的方差拟合精度就不同。EOF 迭代时,一般取 $k(j)$ ($j=0,1,\dots,n-1$),使前 $k^{(j)}$ 个 EOF 展开场对原来场的拟合精度 Q 控制在70—80%左右。如果 Q 的值接近于1(100%),则迭代后恢复的要素场与原始场相差无几,那么迭代就没有什么意义。表4给出了 EOF 迭代方案计算的气温恢复场与实况场的符号相关系数 ρ_s 。计算时,截断阶数 $k_0=3$ (这时 Q 平均值为0.797),迭代次数 n 分别取30、40、50进行计算,发现恢复值是稳定的。

表4 EOF 迭代方案计算的恢复场与实况场符号相关系数 ρ_i

年 份	1951	1952	1953	1954	1955	$\bar{\rho}_i$
ρ_i	0.750	0.893	0.813	0.571	0.750	0.755

2.2 气温序列的重建

在独立样本恢复气温场试验的基础上,用 EOF 迭代方案重建我国西部28个站点近600年的地面气温序列。迭代时,取截断阶数 $k=5$,则 $\bar{Q}=0.832$,迭代次数分别取 $n=45, 60$,考虑到气温影响树木年轮的“滞后性”,在作 EOF 迭代时,对每个年表分别取同期、落后一年和落后两年的资料作为年轮初始场资料。重建的气温场序列的28个站点空间平均场的情况见图1。

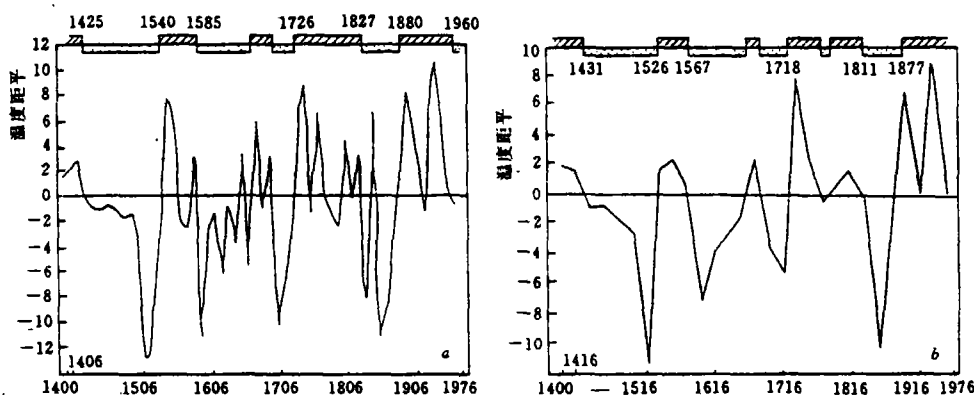


图1 重建的温度场序列的28个站点空间平均场10年和20年滑动平均值变化曲线

(图中温度距平值扩大10倍) a. 每10年 b. 每20年

图2,图3分别给出祁连山三棵年轮指数10年滑动平均值每10年变化曲线^[1]及新疆哈密地区年表——温度距平逐年变化曲线^[2]。从图的对比可见,用 EOF 迭代方案恢复的历史时期气候冷暖变化趋势与用树木年轮资料分析得到的历史时期气候冷暖的变化趋势基本一致。

由表5可以看出,1432—1526年、1622—1680年、1834—1865年的三个冷期和1541—1567年、1897—1923年两个暖期具有较好的一致性。可见,用 EOF 迭代方案重建过去气温场序列的尝试是可行的。

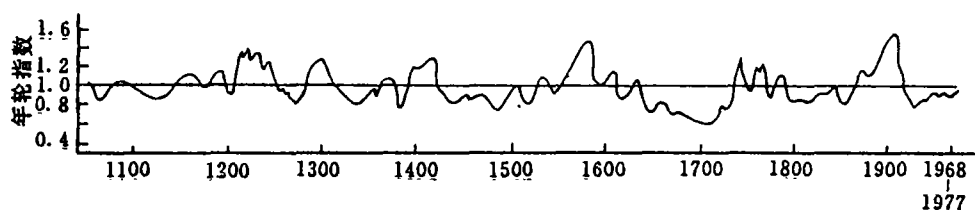


图2 祁连山三棵年轮平均指数10年滑动平均值每10年变化曲线

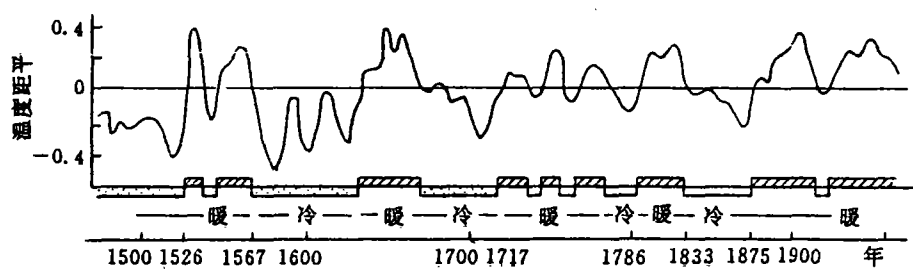


图3 新疆哈密地区年表——温度距平逐年变化曲线

表5 用 EOF 迭代方案恢复的历史时期气温与各不同区域

气候变化冷暖期的年份和持续期的对比

新疆哈密地区		祁连山区		陕西太白县		陕西华山		中国西部28站点	
	持续期	10年滑动平均	持续期		持续期		持续期	20年滑动平均	持续期
		~1427						~1431	
		(弱暖期)						(弱暖期)	
~1526		1428~1532	105					1432~1526	95
(冷期)		(冷期)				~1473		(冷期)	
1527~1567		1533~1621	89			(冷期)		(冷期)	
(暖期)	41	(暖期)				1474~1600	127	1527~1567	41
1568~1717		1622~1740	119			(暖期)		(弱暖期)	
(冷期)	150	(冷期)				1600~1680	45	1568~1718	151
1718~1833		1741~1796	56			(冷期)		(冷期)	
(暖期)	116	(弱暖期)				1681~1725	45	1719~1811	93
1876~1979		1797~1865	69	1830~1896	67	(弱暖期)		(暖期)	
(暖期)		(冷期)		(冷期)		1726~1905	180	1812~1876	65
		1866~1923	58	1897~1951		(冷期)		(冷期)	
		(强暖期)		(暖期)		1906~1983	78	1877~(1975)	
		1924~(1977)		1952~(1974)		(暖期)		(暖期)	
		(弱冷期)		(弱冷期)					

3 结 语

利用树木年轮序列进行气候要素重建的研究,目前在国内外已有较大进展。在使用方法上,大多采用建立回归方程的重建方案。本文设计的 EOF 迭代方案能够较充分地利用年轮指数与气温场的信息,从而使重建的气温场较为客观。计算结果表明,利用 EOF 迭代方案重建的我国西部近600年的气温序列变化与我国近600年气候变迁的演变趋势基本吻合。

参 考 文 献

- 1 王玉玺. 科学通报, 1982, 27(21): 1648—1652
- 2 刘光远等. 祁连山文集(5), 北京, 科学出版社, 1984
- 3 吴祥定等. 地理学报, 1989, 44(3)
- 4 Fritts H C. *International symposium on probability and statistics in the atmospheric sciences*, 1971, 59—64

- 5 Fritta H C, Lofgren G R, Gordon G A. *Climats and History*, 1981, 139—161
- 6 陕西省气象局气象台研究室等. 气候变迁和超长期预报文集, 北京, 科学出版社, 1977, 72—76
- 7 新疆哈密树木年轮气候研究组. 树木年轮气候文集, 1979
- 8 黄嘉佑, 王炳武. 大气科学, 1984, 8(3), 252—259

THE RECENT 600 YEAR TEMPERATURE SEQUENCE IN WESTERN CHINA REBUILD USING THE EOF ITERATIVE FORMULAE OF TREE ANNUAL RING DATA

Wang Yuxi Zhang Banglin Jin Liya

(Lanzhou University)

Abstract By adopting the EOF iterative formulae for recovering the meteorological factor fields, the recent 600 year temperature sequence in western China is rebuild after suitable sampling and accurate determination of the year of tree annual ring sequence from seven tables, namely, a data table of average annual ring of three junipers in the Qilian Mountains, a table of annual ring width of a Taibai epinette (A) in Shanxi province and 5 annual ring tables in Hami, the Xinjiang Uygur Autonomous Region and by use of the annual mean temperature data from 28 stations (1951—1975) in western China, The rebuild temperature sequence reveals three cold periods (1432—1526, 1622—1680 and 1834—1865) and two warm periods (1541—1567 and 1897—1923), which coincide very well with the tendency of the climatic variations in the past 600 years.

Key words EOF iterative formulae, tree annual ring table, temperature sequence