

长江流域旱涝趋势的主分量预测模型*

魏凤英 曹鸿兴

(气象科学研究院)

提 要

在分析长江流域旱涝变化趋势及主要分布特征基础上,用提取的特征向量的主分量作为表征这一区域旱涝异常的指标。利用一种新的时间序列建模方案,建立了旱涝趋势的预测模型。

一、引言

由于受夏季风的影响,我国降水主要集中在夏季,年降水量从东南沿海向西北内陆逐渐减少。长江流域包括我国东南的大部分省区,面积达180万 km^2 。做好这一流域的旱涝预测,对于合理安排农业生产,及早提出防灾、抗灾措施,使灾害损失减小到最低限度,具有十分重要的意义。因此,它历来是气象工作者十分关注和重视的课题之一。

本文在分析长江流域旱涝变化趋势及主要分布特征基础上,用提取的汛期降水距平百分率的特征向量的主分量,作为表征旱涝异常的指标,并进行了分析比较。最后,利用一种新的时间序列建模方案,建立长江流域旱涝趋势的预测模型。

二、旱涝指标的确定及分析

用经验正交函数(EOF)展开气象场,能够用前几项特征向量很好地逼近原始场。利用特征向量所对应的主分量具有最大方差的特点,提取长江流域夏季降水距平百分率的特征向量的主分量序列作为研究旱涝趋势的指标。

资料选自国家气象中心长期科整编的长江流域36站1951—1987年5—9月降水量。站点分布见图1。

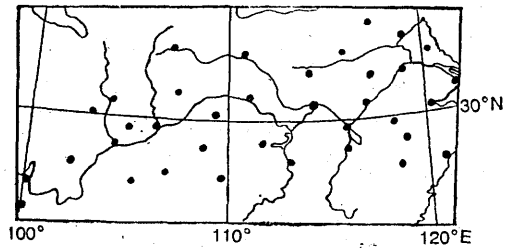


图1 长江流域站点分布

首先,对选取的36站降水距平百分率进行EOF分解。表1为前10个特征向量的方差贡献及累计方差贡献。从表中看出,第一特征向量已占总方差的36%,它的权重较大。前三个特征向量已拟合原始场的56%,可见收敛极快。

表1 前10个特征向量的方差贡献及方差累计贡献(%)

特征向量	E_1	E_2	E_3	E_4	E_5	E_6	E_7	E_8	E_9	E_{10}
方差贡献	36	13	7	6	5	5	3	3	3	2
累计方差贡献	56	40	56	62	67	72	75	78	81	83

第一特征向量(图2a)的各分量除成

*本工作属“长江、黄河旱涝预测”基金项目

都、雅安、丽江和大理4站外均为正值。正距平中心在中游地区。从中游向上游正距平逐渐变小,且上游地区的数值与中下游地区有较明显的差异。可见,东西向带状分布是长江流域降水的主要分布型式。这一特征向量基本反映了这一流域大范围降水异常的分布特征。第二特征向量(图2b)呈明显的南北向带状分布。零线将长江流域划分成南北两大部分。南部为正值,北部为负值。正值中心在南昌、九江一带,北部负值中心在阜阳、信阳一带。它表明长江流域降水有时也呈南北向带状分布的特征。第三特征向量(图2c)也呈东西向带状分布。但分布型式与第一特征向量有所不同。上游和下游为负值,负值中心在下游。中游是大面积正值区,中心在酉阳、宜昌一带。它表示了长江流域降水东西分布的另一种型式。第四特征向量(图2d)由两条零线将长江流域分为南、北、中三部分,即南部为正,中部为负,北部为正的格局。反映了南北向带状分布的另一种型式。第五特征向量(图2e)与第二特征向量的分布大致相同,只是在北部负值区中出现了一小块正值区。在前五个特征向量中东西向带状分布的方差占总方差的43%,南北向带状分布占24%。而前三个特征向量基本上概括了长江流域汛期降水最

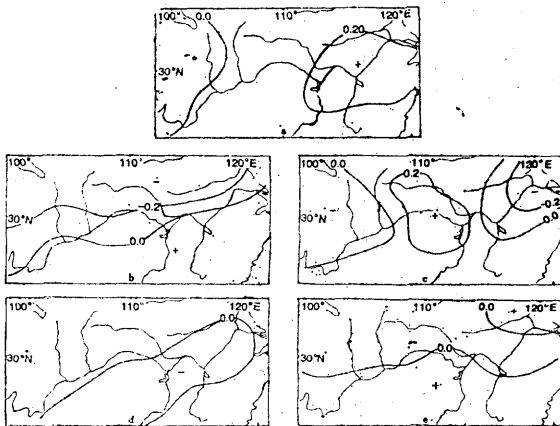


图2 长江流域汛期降水的前五个特征向量

常见的分布特征。因此,下面就以这三个特征向量作为分析研究的对象。

特征向量对应的主分量代表长江流域汛期降水的年际变化。第一特征向量的主分量(图3a)以0为平均值,正表示多水年,负表示少水年。正值越大表示涝的程度越大,反之亦然。其中1954、1956、1962、1969、1970、1973、1980和1983为典型涝年;1961、1966、1972、1976、1978、1981和1985为少水年。第二特征向量的主分量(图3b)表示南北向带状分布的年际变化,第三特征向量的主分量(图3c)则表示了东西向带状分

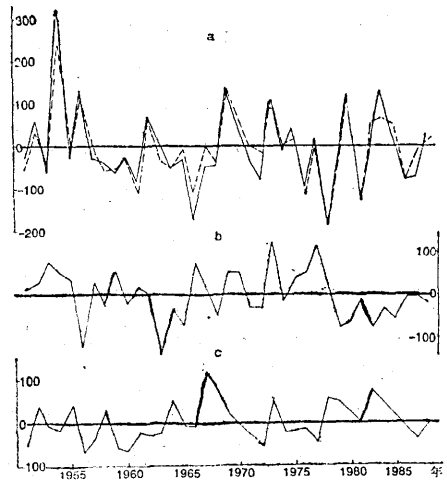


图3 前三个特征向量的主分量变化曲线布特征的年际变化。为了考查三个特征向量的主分量的特性,进行了功率谱分析,显著周期列在表2。从表中看出,长江流域汛期降水存在10年、7年和2年的显著周期,这与其它工作的结果是一致的[1]。而代表南北带状分布和东西带状分布变化的第二、三特征向量的主分量也有明显的10年和3年的周期变化。

表2 前三个特征向量的主分量周期

特征向量	E_1	E_2	E_3
显著周期	10年、7年、2年	10年、3年	10年、3年

提取特征向量的主分量作为旱涝的指标,其代表性如何?为了回答这一问题,我

们计算了第一特征向量的主分量与36站降水距平,这一区域36站平均序列与各站降水距平及各站降水距平相互间的相关系数。从图4a可以看出,主分量序列与长江流域大范围降水有相当好的相关关系,除个别站点外均

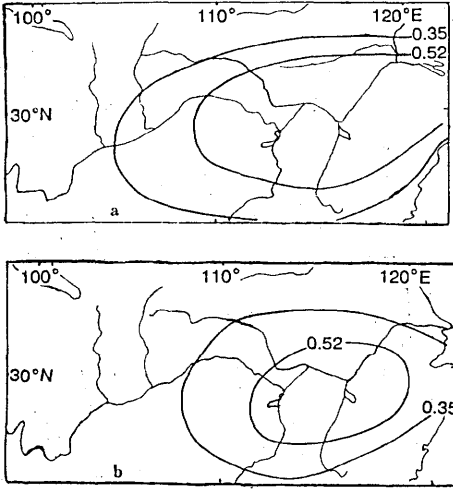


图4. 相关系数分布
a. 为第一特征向量的主分量
b. 为武汉站降水距平百分率序列

超过0.05信度的要求,尤其与中下游地区关系更密切,大多站超过0.001的信度。用单站降水序列代表某一区域的旱涝状况是不适宜的,这一点从计算出的各站间的相关系数得以证实。以其中相关最好的武汉站为例(图4b),它与这一流域的相关系数只有一半站点能通过0.05的信度。区域平均序列与各站的相关与主分量的结果大致相同(图略)。但区域平均序列由多站序列累加平均而成,其方差较小,均方差只有13.43,远远小于第一特征向量的主分量的均方差(97.20)。

综上分析,特征向量的主分量序列代表性优于单站及区域平均序列,且具有最大的方差,是表征旱涝状况的良好指标。

利用特征向量在一定时间内稳定不变的特性,建立一数学模型,即可对只依赖时间变化的主分量序列外推,以此判定未来的旱涝趋势。

三、建模原理

为制作长期预测的需要,在定义时间序列的均值生成函数(简称均生函数)及其延拓矩阵基础上^[2-4],我们推导出一种建立长期预测模型的新方案。

考虑一时间序列

$$x(t) = \{x(1), x(2), \dots, x(N)\} \quad (1)$$

其中 N 为样本量。用下式计算均生函数

$$\bar{x}_l(i) = \frac{1}{n_l} \sum_{j=0}^{n_l-1} x(i+jl)$$

$$(i=1, \dots, l; 1 \leq l \leq M) \quad (2)$$

式中 n_l 为满足 $n_l \leq \lfloor N/l \rfloor$ 的最大整数, $M = \lfloor N/2 \rfloor$ 是不超过 $N/2$ 的最大整数。对 $\bar{x}_l(i)$ 作周期性延拓,即

$$f_l(t) = \bar{x}_l\left(i - \left[\frac{i}{l}\right] \times l\right)$$

$$(i=1, 2, \dots, N; l=1, 2, \dots, M)$$

(3)

为叙述方便,将 $f_l(t)$ 记为矩阵形式

$${}_N F_M = \begin{bmatrix} f_{11} & f_{12} & \dots & f_{1M} \\ f_{21} & f_{22} & \dots & f_{2M} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ f_{N1} & f_{N2} & \dots & f_{NM} \end{bmatrix} \quad f_{li} \equiv f_l(t)$$

由于 f_{li} 与时间序列 $x(t)$ 间存在相关关系,可以利用EOF对矩阵 F 进行分解,最后由为数较少、互不相关且含 F 较多信息的均生函数建立预测模型。

对 F 作展开,使展开式

$${}_N F_M = {}_N V_M {}_M C_M \quad (4)$$

成立。其中 V 为主分量, C 为特征向量。由于 C 是相互正交且归一化的,有

$$V = F C^T \quad (5)$$

据方差逐步递减的原理, F 从 M 维降至 K 维,那么(4)式变为

$${}_N F_K = {}_N V_K {}_K C_K$$

用主分量建立 $x(t)$ 的线性方程

$${}_N X_1 = {}_N V_{KK} \Phi_1 + {}_N \epsilon_1 \quad (6)$$

其中

$$\Phi' = (V^T V)^{-1} V^T X$$

Φ' 为主分量求出的回归系数。注意到, Φ' 与原系数 Φ 之间存在如下关系

$$\Phi' = C^T \Phi \quad (7)$$

由于 C 为正交

$$C^T C = C C^T = I$$

I 为单位矩阵, 故有

$$\Phi = C \Phi'$$

至此, 即可建立时间序列 $x(t)$ 的预测方程

$${}_N X_1 = {}_N F_{KK} \Phi_1 \quad (8)$$

四、旱涝预测模型

用上述建模方法, 建立长江流域汛期降水的前三个特征向量的主分量预测模型。为

表 4 方 程 系 数

序 号	1	2	3	4	5	6	7	8
x_1	0.36722	0.26931	0.33866	0.34738	0.19770	0.13217	0.27783	
x_2	0.12293	0.29264	0.19791	0.24946	0.16296	0.28166	0.32686	0.27588
x_3	0.06496	0.16490	0.17890	0.22594	0.22544	0.17493		

90%为准则, 确定3个主分量序列的预报方程分别由7个、8个和6个均生函数构成。方程的系数在表4中给出。

根据预报方程得到1951—1987年的计算值, 外推一步作出1988年的预报。3个序列的计算值与实况正负符号一致的年数即拟合旱涝趋势的准确率见表5。其中第一特征向

表 5 方 程 拟 合 准 确 率

序 列	x_1	x_2	x_3
符号一致年数	36	30	33
准 确 率	0.97	0.81	0.89

量的主分量拟合效果最佳。在37年中只有一年符号与实况相反。说明所建方程可以将长江流域的旱涝趋势很好地反映出来。为更直观些, 图3a中用虚线给出第一主分量的拟合曲线。从图中看出, 对于方差如此大的序列, 方程的拟合效果是令人满意的。例如, 历史

方便起见, 把这三个主分量序列依次记为 x_1, x_2, x_3 。

首先, 求出它们的均生函数延拓矩阵 F_1, F_2 和 F_3 。利用雅可比计算方法求解 F_1-F_3 协方差阵的特征值和特征向量。表3给出它们的前10个特征向量的累计方差贡献。从表中看出, x_1 前7个特征向量, x_2 前8个特征向量和 x_3 前6个特征向量的方差已占总方差的90%以上。我们以方差占总方差

表 3 前10个特征向量的累计方差贡献(%)

特征向量	E_1	E_2	E_3	E_4	E_5	E_6	E_7	E_8	E_9	E_{10}
x_1	40	52	63	73	80	86	91	94	95	97
x_2	44	57	65	72	79	84	89	92	94	96
x_3	48	66	75	83	88	92	94	96	97	98

罕见的1954年特大洪涝, 1956、1962、1969、1973、1980和1983年的典型涝年, 1961、1966、1976、1978、1981和1985年的典型旱年都有较好的拟合。

预报1988年前3个特征向量的主分量分别为87.6, 19.8和-24.0。从第一特征向量的主分量数值判定1988年为正常偏多年份。实况1988年36站降水量平均为805mm, 比多年平均的799mm略多。用预报出的3个主分量乘以特征向量, 得到1988年长江流域36站各站降水距平百分率的预报值。在36站中预报距平符号与实况相一致的有22站, 占62%。应该说, 预报效果是可以的。

五、小结

1. 从上述分析可知, 长江流域汛期降水量的特征向量的主分量能够很好地表征这一区域的旱涝异常状况。用它们作为研究旱涝的指标, 比用单站及区域平均序列更具有

代表性。

2. 利用EOF手段使时间序列生成的均生函数之间相互独立,且少数几个均生函数即包含了原序列90%以上的信息。利用这一特性确定预报方程简便可行。它可以用来制作较多步预测,是一种不同于其它时间序列建模的新建模构思。

3. 本文利用一新建模方案,给出了长江流域旱涝趋势的粗略预测。旱涝异常是难度较大的预测项目。在目前旱涝异常形成的物理机制与大气环流异常等关系尚未完全搞

清楚的情况下,某一种数字模型只能为旱涝预测提供一些供参考的信息。

参 考 文 献

- (1) 张先恭,西太平洋副热带高压的气候振荡,气象科学研究院院刊,Vol. 3, No. 1, 1988.
- (2) 魏凤英等,带有周期分量的多元逐步回归,气象科学研究院院刊,Vol. 6, No. 1, 1986.
- (3) Cao Hongxing, et al., Time Series Model of Long-Range Prediction and Its Application, 气象学报(英文版), Vol. 4, No. 1, 1990.
- (4) 魏凤英,曹鸿兴,建立长期预测模型的新方案及其应用,科学通报, Vol. 35, No. 10, 1990.

The model for drought/flood trend prediction with the principal component along the reaches of the Changjiang River

Wei Fengying Cao Hongxing

(Academy of Meteorological Science)

Abstract

Based on the analysis of the variation and character of major distribution of the drought/flood along the reaches of the Changjiang River, the principal components of characteristic vector are regarded as the drought/flood index. The trend prediction model is built using a new modelling scheme.