

近40年我国降水量年际变化的区域性特征*

江志红 丁裕国

(南京气象学院应用气象系, 南京, 210044)

摘要 应用方差极大准则下的正交旋转因子分析, 对我国近40年标准化年降水量场序列进行客观区划。结果表明, 全国降水量场可明显划分成十大区域, 它们各自具有不同的旱涝变化特征。例如, 华北区和黄河中上游区变干趋势最为显著; 西北地区和淮河、长江中上游地区略有变湿; 而长江中下游、东北及珠江流域、华南沿海地区长期趋势呈波动变化, 80年代年降水量略低于50年代。

关键词 正交旋转因子分析, 降水量场, 客观区划, 年际变化

分类号 P426.61

近年来, 由于大气中温室气体含量大幅度增加导致全球增暖已成共识^[1, 2], 探讨全球增温背景下各个区域气候变化的特征已日益成为气候问题研究的热点之一^[3]。

气候变化的区域特征可从多种气候要素加以考察。降水量是描述一地气候及气候变化的关键指标, 它的变化特征与农业生产息息相关, 而长期干湿变化趋势对于国家、地区的经济建设和规划决策又有重要意义。我国幅员辽阔, 地形复杂, 各地降水量不但平均状况具有显著差异, 其年际变化的地域性也十分明显。为了全面认识和了解我国降水量的空间分布及年际变化的地区性差异, 首先必须寻求一种合理的分区方法, 以便客观地反映各区域降水量的年际变化特征, 方法之一是根据经验^[4], 另一方法是对降水量场作 EOFs 展开^[5], 前者难免有主观性, 后者则由于 EOFs 本身所解得的特征向量(典型场)并非唯一, 而给最终分区增加了困难。本文将 EOFs 推进一步, 采用方差极大准则下的正交旋转因子分析对降水量场作客观区划。实践证明, 这种由因子分析所得到的荷载场, 对于实际降水量空间分布特征具有清晰的分区性能, 它们实际上将降水量年际变化的信息特征集中映射到荷载场所表示的优势空间型上。在此基础上, 我们初步探讨了各区域近40年来降水量的年际变化特征。

1 资料和方法

所用资料为国家气象中心提供的中国160个地面测站近40年(1951~1989年)年降水量序列。并结合各相应站点各月降水量记录加以分析。

根据多元统计理论^[6], 对于标准化变量 $X = (x_1, x_2, \dots, x_r)'$, 假定每一分量均受到公共因子 $F = (f_1, f_2, \dots, f_m)'$ 、($m < p$) 的影响, 则可建立如下因子分析模式

* 本文为国家自然科学基金资助项目
收稿日期: 1992-11-28; 修回日期: 1993-04-08

$$\begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_p \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1m} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2m} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ a_{p1} & a_{p2} & \cdots & a_{pm} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} f_1 \\ f_2 \\ \vdots \\ f_m \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \epsilon_1 \\ \epsilon_2 \\ \vdots \\ \epsilon_p \end{pmatrix} \quad (1)$$

或

$$X = AF + \epsilon \quad (2)$$

其中 $\epsilon = (\epsilon_1, \epsilon_2, \dots, \epsilon_p)'$ 为变量 X 的特殊因子, $A = (a_{ij})$ 为因子荷载阵, 每一元素 a_{ij} 分别表示因子 f_j 在变量 x_i 上的负荷, 本质上等价于变量 x_i 与因子 f_j 的相关系数, A 可以由原变量 X 的相关矩阵的分解中得到。

对(2)式两端求方差得

$$R = XX' = AA' + \epsilon\epsilon' = AA' + D(\sigma) \quad (3)$$

$$D(\sigma) = \begin{pmatrix} \sigma_1^2 & & & 0 \\ & \sigma_2^2 & & \\ & & \ddots & \\ 0 & & & \sigma_p^2 \end{pmatrix} \quad (4)$$

若不考虑特殊因子的影响, 对任一正交阵 Γ , 有

$$R^* = AA' = A\Gamma\Gamma'A' \quad (5)$$

即 $A\Gamma$ 仍为因子荷载阵, 说明 R 的解并不唯一。根据正交变换原理, 对 A 阵施行荷载值平方方差最大准则下的正交旋转, 即使 V 最大

$$V = \sum_{j=1}^m [p \sum_{i=1}^p (b_{ij}^2/h_i^2)^2 - (\sum_{i=1}^p b_{ij}^2/h_i^2)^2] p^2 = \max \quad (6)$$

其中 b_{ij} 为经旋转后的因子荷载值, $h_i^2 = \sum_{j=1}^m b_{ij}^2, i=1, 2, \dots, p$ 。经若干次循环旋转运算^[6], 最终可求得因子荷载阵

$$B^{(k)} = A \prod_{i=1}^k \Gamma_i = A\Gamma \quad k=1, 2, \dots \quad (7)$$

上述正交旋转所得 $B^{(k)}$ 可将一些模糊的中等荷载消除, 荷载阵 $B^{(k)}$ 具有向0和1分化的清晰结构。从而明显地区分出各个主因子所代表的优势空间。

2 客观分区

以160个基本站的标准化年降水量为原始变量 $X = (x_1, x_2, \dots, x_{160})'$, 根据该变量集近40年年降水量距平资料, 建立如(1)或(2)式的因子分析模式。并对主因子荷载阵 A 施行了满足(6)式的正交旋转。主因子数 m 的选择, 可依据 Craddock (1973)^[7] 关于气象噪声特征值是几何级数的论述, 点绘特征值自然对数随序号的变化曲线(图略)。可以发现取 $m=10$ 时, 即能保存主要的气象信息, 此时累积方差贡献率为61.3%。

图1a-d 给出了前4个主因子旋转后的荷载场空间分布。由图1a 可见, 第1旋转因子的高荷载区位于长江中下游地区, 荷载值大部分大于0.6, 最大可达0.96, 其余地区荷载值都较小。图1b 的主要特征是黄河中上游—青藏高原东侧存在一东北—西南走向的负高荷载区, 荷载绝对值最大可达0.97, 其余地区荷载值大都在-0.2~0.2之间。第3旋转因子的荷载分布(见图1c)则以大约26°N 以南珠江流域的大范围高荷载区为主要特征, 并在其东西两侧各存在一极值中心。第4旋转因子的高荷载区位于华北—山东半岛一带, 中心荷载达0.95(图1d)。第5旋转因子

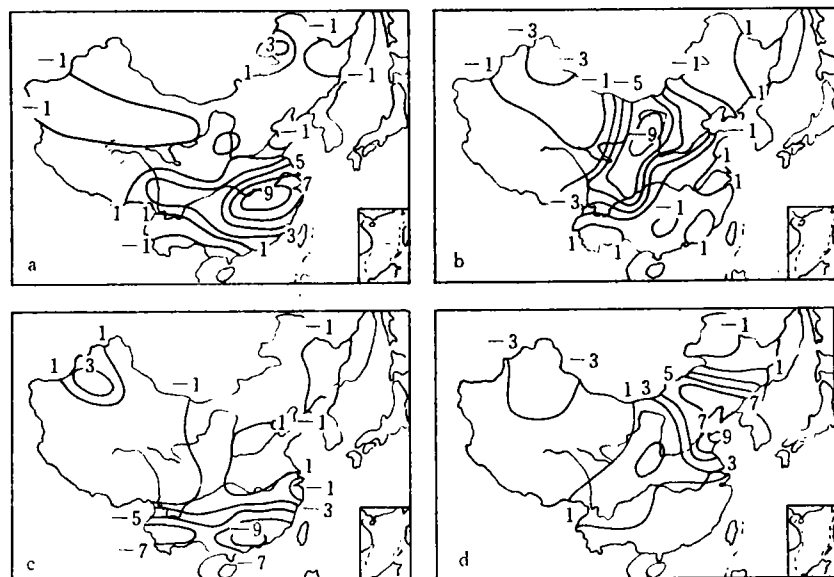


图1 前4个主因子旋转后的荷载场(图中数值 $\times 10^{-1}$)

荷载场的空间分布(图略),分别在内蒙古东北部—东北一带及西北西部新疆地区各存在一个较大范围的高荷载区。其中东北—内蒙北部的中心荷载是0.96,西北西部的中心荷载为0.78。第6旋转因子荷载场(图略),在淮河流域—长江中上游存在一高荷载区,其余地区荷载均较小。第7、8、9旋转因子荷载场(图略),分别在西北中部、西南西部、西北偏东地区存在高荷载区,中心荷载均在0.75以上。第10旋转因子的荷载仅在极少数孤立的沿海测站较大,故分区时未予考虑。

根据上述旋转后前9个主因子荷载场的分布特征,考虑到第5旋转因子荷载场有两个地理位置相距甚远的高荷载中心。故将我国降水量场划分成具有不同年际变化特征及趋势的10大区域(如图2)。依次为长江中下游地区、黄河中上游地区、华南沿海、珠江流域、华北地区、东北地区、西北西部地区、淮河、长江中上游地区、西北中部地区、西南西部地区、西北偏东地区。各区域所含的测站数、代表站名见表1。

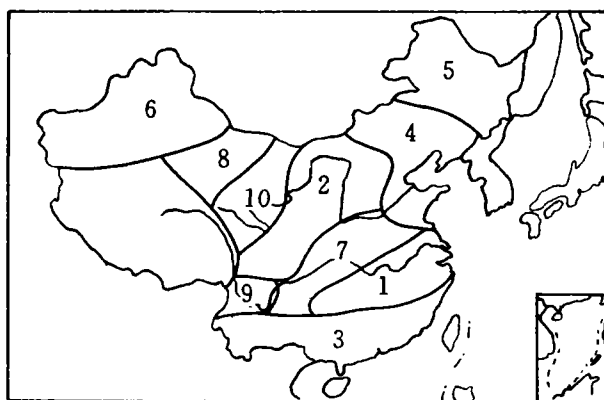


图2 我国降水量场的客观区划

为进一步考察区域划分的合理性,计算了各区域降水量场第1主成分间的相关系数(表略)发现仅2区与4区、5区与9区分别为0.407、0.401(显著水平 $\alpha=0.01$),与零有显著差异。为此,我们计算了2区、4区、5区及9区在1951~1989年期间的区域年降水距平,得到2区与4区39年中距平符号一致的有22年,5区与9区则有21年。说明 $R=0.407$ 和 $R=0.401$,只是在 $\alpha=0.01$ 下否定了 $R=0$ 的假设,并不表明相关性很高,各区域间旱涝变化基本上是相互独立的。另外,拉萨站因其特殊的地理环境,在相邻主因子中荷载值均较小,分区时未予考虑。

表1 各区域选取的测站数及代表站点

区号	区名	站数	代表测站
1	长江中下游	23	南京、合肥、上海、杭州、汉口、宁波、温州、南昌、长沙
2	黄河中上游	24	呼和浩特、包头、太原、延安、兰州、银川、榆林
3	华南、珠江流域	30	福州、南昌、厦门、广州、汕头、湛江、南宁
4	华北	25	北京、天津、青岛、济南、大连、赤峰、沈阳
5	东北	14	齐齐哈尔、佳木斯、哈尔滨、乌兰浩特、延吉
6	西北西部	12	库车、喀什、哈密、乌鲁木齐、伊宁
7	淮河、长江中上游	18	徐州、郑州、宜昌、恩施、重庆、汉中
8	西北中部	3	酒泉、敦煌、张掖
9	西南西部	4	西昌、会理、丽江
10	西北偏东地区	6	西宁、玉树、临夏

3 各区降水变化特征

以各区测站1951~1989年标准化年降水量序列为原始资料矩阵,分别进行主成分分析。结果表明,各区域第1主成分的方差贡献可达31%~68%,相应荷载值均为正值,说明第1主成分的演变反映了该区域年降水量距平变化的主要特征。图3是各区域标准化年降水量场第1主成分的年际变化及用3次样条函数拟合的趋势曲线。可以看到年际振动及长期趋势的区域性均十分明显。近40年来,降水量长期趋势呈持续下降的地区是华北地区、黄河中上游地区及西南西部。其中黄河中上游、华北地区的第1主成分自50年代后期起即呈明显下降趋势,黄河中上游近期略有回升。其中华北地区降水量减少最多,区域平均80年代年降水量比50年代减少101mm,占该区域年平均降水总量的16.5%。西南西部降水量场第1主成分自50年代初起呈缓慢下降,70年代后期略有上升,但80年代区域平均年降水量仍明显低于50年代。长江中下游、华南、珠江流域及东北地区第1主成分呈波动变化趋势,近期区域平均降水量略低于50年代。其中长江中下游的第1主成分的趋势是50年代中期起呈下降趋势至60年代,随后呈上升趋势至70年代后期,然后又缓慢减少,近期略有上升;珠江流域、华南沿海地区在60、70年代的变化趋势与长江中下游地区略有相似,但70年代后仍呈上升趋势,近期又急剧下降;东北地区的波动趋势在80年代前几乎与华南、珠

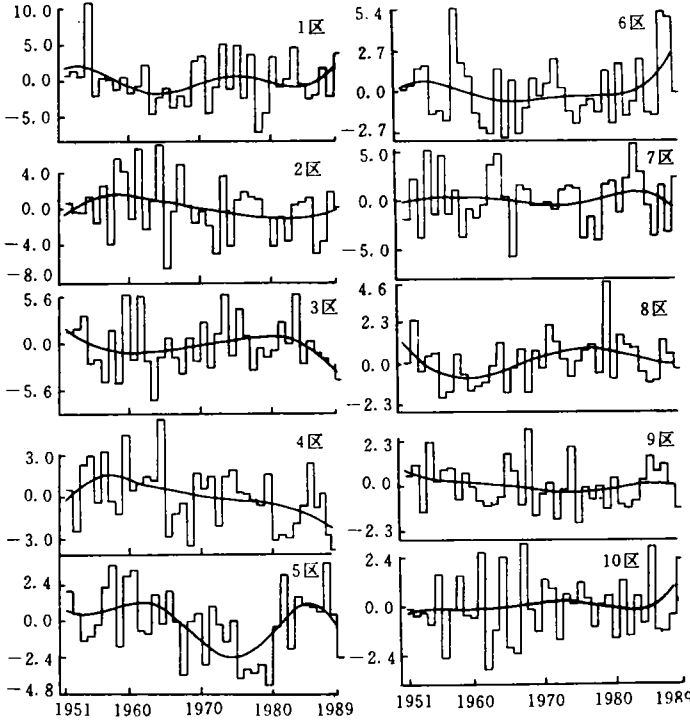


图3 各区域降水量第1主成分的年际变化及长期趋势

北地区降水量减少最多,区域平均80年代年降水量比50年代减少101mm,占该区域年平均降水总量的16.5%。西南西部降水量场第1主成分自50年代初起呈缓慢下降,70年代后期略有上升,但80年代区域平均年降水量仍明显低于50年代。长江中下游、华南、珠江流域及东北地区第1主成分呈波动变化趋势,近期区域平均降水量略低于50年代。其中长江中下游的第1主成分的趋势是50年代中期起呈下降趋势至60年代,随后呈上升趋势至70年代后期,然后又缓慢减少,近期略有上升;珠江流域、华南沿海地区在60、70年代的变化趋势与长江中下游地区略有相似,但70年代后仍呈上升趋势,近期又急剧下降;东北地区的波动趋势在80年代前几乎与华南、珠

江流域反位相,即50年代为多雨期,60年代中期起下降,70年代为少雨期,70年代后又开始上升,近期又呈下降趋势。淮河、长江中上游及西北地区(包括西部、中部、偏东地区)均属于80年代降水略偏多地区。淮河、长江中上游地区50、60年代趋势波动很小,自70年代中期起缓慢上升,近期略有下降,区域平均80年代年降水量仍比50年代略偏多23mm,西北西部的长期趋势是50年代后期下降至60年代中,随后持续缓慢上升,近期上升趋势明显;西北偏东地区80年代前变化趋势较为平稳,近期呈明显上升趋势。西北中部地区的长期趋势80年代前与珠江流域、华南沿海地区相似,但近期呈缓慢下降趋势。由图3还可以看到,年际变率一般在湿润期较大,干旱期较小。例如黄河中上游、华北地区在50、60年代的年际变率明显较70、80年代大。

表2给出了10个区冬半年(10~3月)和夏半年(4~9月)每10年区域平均年降水量。可以看到:变旱最严重的华北、黄河中上游地区夏半年降水量近40年来持续下降,如华北地区夏半年降水量80年代比50年代减少84mm,为平均值的16%。冬半年降水量在70年代略有回升,但近期都处于低值。长江中下游、珠江流域、华南沿海、东北地区80年代与50年代相比冬、夏半年的降水量呈相反变化,如长江中下游地区80年代夏半年降水明显减少,冬半年增加;东北地区则是冬半年减少,夏半年增加。而略变湿地区即淮河、长江中上游、西北地区均为夏半年降水增加,冬半年则略变旱,表明略变湿地区降水量的年变化加大,年降水量略增趋势对我国西北干旱地区缺水状况改善的意义不大。冬、夏半年降水对比而言,冬半年除长江中下游、华南珠江流域以外,我国其他地区降水量都偏少,夏半年的变旱区则主要集中在东部的中、低纬带。从温室效应的数值试验来看^[4],因CO₂的增加,高纬度和热带全年以及中纬度冬季降水增加。以上分析表明,我国许多地区降水量变化与温室效应的试验结果不一致,有必要进行深入的研究。

表2 各区域每10年的平均年降水量变化(mm)

区域		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
夏 半 年	1951~1960	1011	514	1066	558	459	79	759	70	879	357
	1961~1970	938	510	1036	552	428	65	772	63	849	359
	1971~1980	963	464	1117	527	390	65	753	83	819	359
	1981~1989	951	471	1022	473	466	81	788	77	842	370
	80年代减50年代	-59	-42	-44	-84	7	2	29	7	-37	13
	80年代减平均值	-14	-18	-39	-55	30	8	20	4	-5	8
冬 半 年	1951~1960	434	85	326	91	64	51	215	11	132	50
	1961~1970	402	89	331	77	47	40	219	12	123	45
	1971~1980	400	85	311	87	52	44	207	9	132	52
	1981~1989	443	72	368	74	50	44	209	8	125	47
	80年代减50年代	9	-12	42	-16	-14	-6	-6	-3	-6	-2
	80年代减平均值	24	-10	35	-8	-3	-1	-3	-2	-2	-1

4 结 论

- (1)利用近40年来我国标准化年降水量场序列的方差最大正交旋转因子分析,可将全国划分成具有不同降水量年际变化特征的十大区域。
- (2)各区域年标准化降水量场的主成分分析表明:降水量年际变化及长期趋势具有十分明

显的地区性。近40年来,华北、黄河中上游地区明显持续变旱,西南西部缓慢变旱;长江中下游、珠江流域、华南沿海及东北地区降水趋势呈波动变化,80年代比50年代略有减少;淮河、长江中上游及西北地区略变湿。年际变率一般多雨期大于少雨期。

(3)华北、黄河中上游变旱区冬、夏半年降水均减少,夏半年变旱更显著;长江中下游、珠江流域、华南沿海及东北地区冬、夏半年变化趋势相反;淮河、长江中上游及西北略变湿地区夏半年降水偏多,冬半年减少,年变化明显加大。冬半年除低纬及东南沿海,我国其余地区都略变干,夏半年的变旱区则主要集中于东部的中、低纬带。

参 考 文 献

- 1 Jones P D, Wigley T M L, Kelly P M. Variations in surface air temperature: Part 1. Northern Hemisphere 1881~1980. *Mon Wea Rev.* 1982, 110: 59~70
- 2 Будыко М И 著. 气候的过去与未来. 翁笃鸣等译. 北京: 气象出版社, 1986. 166~180
- 3 Nicholls N, Layby B M. Australian rainfall trends during the twentieth century. *Inter J Climatol.* 1992, 12: 153~163
- 4 陈隆勋等. 近四十年我国气候变化的初步分析. *应用气象学报*, 1991, 2(2): 164~173
- 5 苏炳凯等. 气候学研究——统计气候学. 北京: 气象出版社, 1991. 59~67
- 6 张尧庭, 方开泰. 多元统计分析引论. 北京: 科学出版社, 1982. 322~340
- 7 Caddock J M. Problems and prospects for eigenvector analysis in meteorology. *Statist.* 1973, 22: 133~145
- 8 Gates W L et al. Validation of climate models. In: *The IPCC Scientific Assessment. Climate change*. Published for the IPCC, 1990. 108~110

REGIONAL FEATURES OF INTERANNUAL VARIATION OF RAINFALL OVER CHINA OVER THE PAST 4 DECADES

Jiang Zhihong Ding Yuguo

(Department of Applied Meteorology, Nanjing Institute of Meteorology, 210044, Nanjing, PRC)

Abstract The analysis of orthogonal rotational factor under maximum variance is made of the standardised annual rainfall series of China over the past 40 years for objective demarcation of regions. Results show that 10 regions can be found, each marked by a dryness/wetness trend typical of its own. For example, the drying trend is most noticeable in North China and the mid to upper reaches of the Huanghe, some degree of wetting is found in NW China, the Huaihe and the mid to upper catchment of the Changjiang and a vibration occurs in the long-term trend of the mid-lower Changjiang, NE China, the Zhujiang basin and S China coastal areas. The rainfall in 1980s is a bit less than that of 1950s.

Keywords orthogonal rotational factor analysis, rainfall field, objective demarcation, interannual variation