

我国月降水频数的时空特征

黄嘉佑

(北京大学地球物理系)

提 要

本文利用谱分析、因子分析及因子转动等方法对我国1951—1980年期间46个站逐月的月雨日资料进行分析。

对各站每年月雨日序列的波谱分析表明,我国大部分地区年周期的(第1谐波)振动在与其余波动比较中占绝对优势,显著地区是华北、东北、西南及华南地区,振幅最大值出现在7—8月份。

对全国各站年雨日振幅的逐年变化资料进一步作主分量分析及因子分析,对其前六个主要因子作极大方差转动,转动后的新因子对应不同的特征气候区域,它们除具有逐年增加的气候趋势外,还具有准两年及22年左右的周期振动特征。

一、引 言

降水一直是气候变化研究对象^[1],我国降水特点及以它为依据的气候区划一直是我国气象工作者研究课题之一^[2]。但是,以往研究所使用的资料大多限于降水总量。事实上,月雨日也是衡量天气气候特征的一个重要指标,Barry等人^[3]认为气候指标应包含气象要素在某个时间范围上出现的频率,月雨日正是反映降水出现频率的一个指标,这一指标还能反映每月冷暖空气交互作用,以及一些重要天气系统(如副热带高压、气旋、台风等)在该地区活动的频率。因而,研究我国近30年来,雨日在一年内分布的气候变化特征,以及这种特征在我国不同地区上的空间分布和时间演变特征,无疑对气候变化趋势和气候区划的研究具有现实意义。

众所周知,雨日与其它气象要素类似,具有年际变化和月际变化的特点。本文使用波谱分析的方法,寻找雨日的月际变化模式,结果表明谐波中的第1波方差贡献占绝对优势,表明我国雨日月际变化主要特点是一个峰值的波动,本文称这一模式为单波振动模式。在研究这种单波模式在我国空间分布特征时,本文使用经验正交函数及因子分析方法,提取其主要特征,为了使主要因子具有更明确的气象意义,本文还使用极大方差转动因子^{[4][5]}作进一步的分析研究。

二、方法与资料

本文选取1951—1980年期间全国46个台站逐月雨日资料,对各站每年12个月的雨日序列作波谱分析。若记第*i*个月的降雨日

为 R_i ,则 R_i 可表示成^[6]

$$R_i = \sum_{k=1}^6 A_k \cos[\omega_k(t_k - t_{0k})] \quad (i=1, 2, \dots, 12) \quad (1)$$

其中 A_k 为第*k*个谐波的振幅,第*k*个谐波的初位相(月份)可表示为

$$t_{0k} = \text{tg}^{-1}(b_k/a_k)/30k + 1 \quad (2)$$

式中 a_k, b_k 为富里叶系数,据(1)式,易见当 $t_k = t_{0k}$, R_i 达到极大值,因而 t_{0k} 对应于雨日极大值出现的月份。第*k*个谐波的方差贡献表示为

$$V_k = A_k^2/2S^2 \quad (3)$$

式中 S^2 为年内雨日序列方差,当 V_k 大于临界值(在信度 α 下)

$$V_\alpha = F_\alpha/[F_\alpha + (n-2-1)/2] \quad (4)$$

为显著,式中 F_α 为分子自由度为2,分母自由度为 $n-2-1$ 的F分布值。

由谐波振幅值组成的矩阵记为 $X(N \times M)$ 其中*N*为年数,*M*为站数,对这一矩阵求出相应的相关阵,由相关阵的特征值及特征向量阵可求出各主要分量以及主要因子,若记选取的主因子阵为 $F(N \times P)$,因子荷载阵 $A(P \times M)$ (*P*为选取因子数),则

$$X = FA + U \quad (5)$$

*U*为特殊因子阵,对主要因子还可进一步作极大方差转动,详细过程可参见文献^[7]。

三、年内变化模式

为了考察我国各地雨日逐月变化的主要特点,计算各站年内序列各谐波的振幅,位相及方差贡献。从第1波多年平均的方差贡献分布图(图略)中发现,绝大部分站中第

1 波方差贡献都超过 30%，经显著性检验，超过信度 5%（即 $V_k \geq V_{\alpha} = 0.486$ ）的站数超过总站数的半数。显著地区集中在东北、华北、西南、黄河流域上游及华南沿海地区。各区中典型台站的各谐波方差（用百分率表示）列在表 1 中。在长江流域下游的南京及

表 1 典型站各谐波方差贡献比较

站名	波数	1	2	3	4	5	6
齐齐哈尔	69*	12	4	5	5	5	5
天津	68*	11	7	5	5	5	4
兰州	76*	7	5	4	4	4	4
昆明	78*	6	5	3	3	3	5
广州	60*	10	8	8	8	8	6
南京	32	16	12	13	14	13	13
乌鲁木齐	35	16	13	12	12	12	12

注：* 表示超过 5% 信度

西北新疆地区的乌鲁木齐，第 1 波的方差贡献没有达到显著水平，其原因可能是由于影响长江下游地区降水系统较多，年内雨日分布较为均匀。至于西北新疆地区则由于干旱少雨而造成的。尽管如此，比较其余各波，第 1 波贡献仍然是占较大的优势。第 1 波方差贡献标准差分布图（图略）上表明，显著地区标准差均在 25% 以下，说明这些地区第 1 波方差贡献是比较稳定和少变的。因此，雨日的月际变化主要模式是单波型，即年内只有一个极大的振幅值出现，这一模式是本文讨论的主要对象。

我国雨日第 1 波多年平均振幅空间分布与方差贡献分布相似，最大振幅地区是西南，其次是东北、华北及华南地区。说明西南地区是我国月雨日发生最多的地区。

位相的多年平均分布图（图略）显示月雨日最大频数出现月份的空间分布。最早出现在 5—6 月份的中南地区，如南昌，芷江一带。说明这一地区在春夏交替季节，冷暖空气活动频繁。出现在 7 月上半月的地区是东北、黄河上游和西南等地区，是雨季开始的月份。出现在 7 月下半月的地区是华北、长江下游。出现在 8 月份的地区是华南。这些月份与地区与副热带高压北上，台风系统登陆有关。就全国大部分地区而言，大部分出现在 7—8 月份，且标准差小于 1 个月。由于位相变化不大，单峰型的模式将集中讨论振幅的时空分布特征。

四、振幅的空间分布特征

各对站逐年第 1 波的振幅值所组成的矩阵作主分量分析及因子分析。表 2 给出前 8 个主分量的方差及方差贡献。它们的方差值

表 2 振幅的主分量方差及方差贡献

分量	1	2	3	4	5	6	7	8
方差	13.05	6.83	38.3	3.41	2.90	1.92	1.82	1.78
方差贡献	0.28	0.15	0.08	0.07	0.06	0.04	0.04	0.03

也是振幅矩阵的相关阵的特征值，也是因子分析中对应的主因子的解释方差部分。North 等人^[8]提出，当 n 为样本容量时，特征值 λ 的抽样标准差约为 $\lambda(2/n)^{1/2}$ 。因此，当相邻的特征值之差大于这一值时，表明所对应的主分量是显著的。实际计算表明，振幅主分量从第 7 个分量以后是不显著的。而且，从方差贡献变化来看，也是第 7 个分量以后的分量变化量十分微小。因而选取前 6 个主分量或主因子，这 6 个因子累积解释方差已达 70% 左右。图 1a—f 给出前 6 个主因子的因子荷载分布图。从图可见，第 1 因子荷载场全部是正号，表明各地具有相同变化的特征，除西南及沿海局部地区外，显著区域（绝对值多大于 0.40）遍及全国。第 2 因子荷载场呈正、负分布，零线与长江几乎一致，表明以长江为界，南北变化相反的特征。第 3 因子荷载场表现是负、正、负的特点，反映黄河与长江之间地区与南北变化符号相反。第 4 因子荷载分布则是正、负、正、负的特点。从第 4 因子到第 6 因子荷载分布则明显与前三个因子不同，具有经向分布的特点。前三个因子似乎与大型天气系统（如副热带高压，西风带槽脊活动）有关，后三个因子则与天气尺度降水系统（冷涡，台风，气旋等）活动有关。值得注意的是，上述 6 个雨日模式地区配置与文献^[1]由 500 年旱涝级别所得到的六个模式十分相似，说明雨日单波模式的振幅值与我国旱涝值密切相关。

上述六个因子荷载分布，尽管从不同的解释方差程度上，总结了我国雨日振幅总的特征的六种模式，但是仍不能与局部地区雨日振幅特征相联系。为达此目的，进一步对上述六个因子荷载场作极大方差转动。转动后六个因子的解释方差及方差贡献列于表 3。从表可见，转动后因子的解释方差没有特别集中在前几个因子上，而是分布比较均匀。转动后因子荷载分布分别绘在图 2a—f 中。从图可见，一般对应于不同因子仅有一个显著荷载区与之对应。它们顺次是华北、华南、黄河流域、东北、长江下游及西南等地区。这些对应于不同因子的区域与前人工作^[2]比较，似乎更具有天气气候意义。例如华北与黄河流域地区可能与西风槽降水系统相对

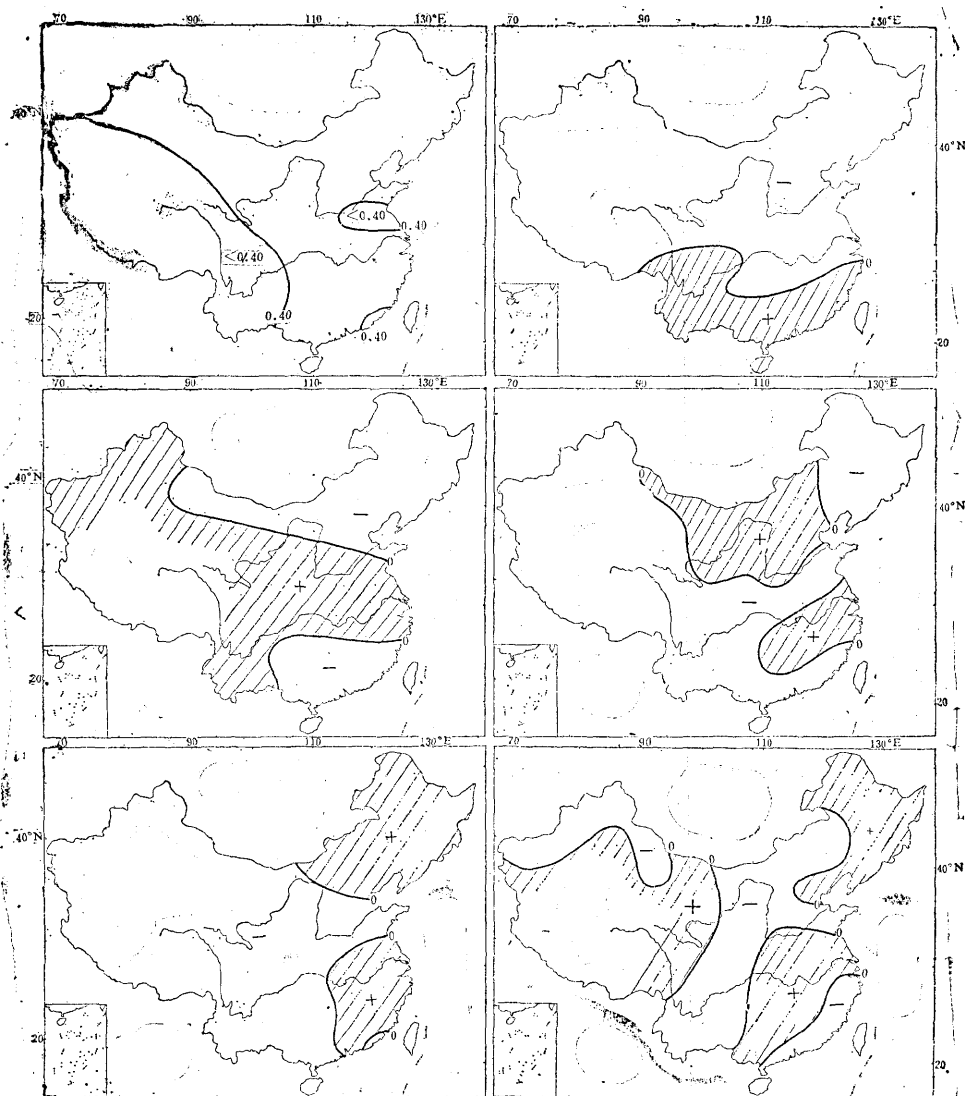


图1 转动前因子荷载分布
a-f (依次为左上、右上……右下, 下同) 分别表示前6个因子模式

表3 转动后因子方差贡献

因子序号	1	2	3	4	5	6
λ	6.44	5.84	5.87	5.82	4.29	3.67
λ/M	0.14	0.13	0.13	0.13	0.09	0.09

注: 表中 λ 为特征值, λ/M 为方差贡献, M 为总方差, 华南地区可能与台风系统相对应等。值得注意的是, 尽管各区对应的因子解释方差比较接近, 但是解释方差量较大的是前四个因子。这和单波方差贡献的分布形势相一致。这种分区无疑对气候区划具有一定的参

考价值。进一步说明了因子转动在雨日空间分布特征的解释上有更优越的优点。

五、单波模式的时间演变特征

由于对应于不同空间分布模式的主因子随时间变化, 因而研究它们变化的规律, 对了解所对应的空间模式气候变化趋势是有意义的。表4给出转动前后6个主因子时间序列直线趋势的斜率 b 及这一线性部分所占方差的百分率 p 。从表中可见, 未转动前, 仅前两个因子直线趋势显著, 第一个因子反映的是全国范围的雨日振幅特征, 其直线趋势最明显, 它所对应的直线斜率为正, 说明全国范围雨日单波振幅气候变化趋势是增加的,

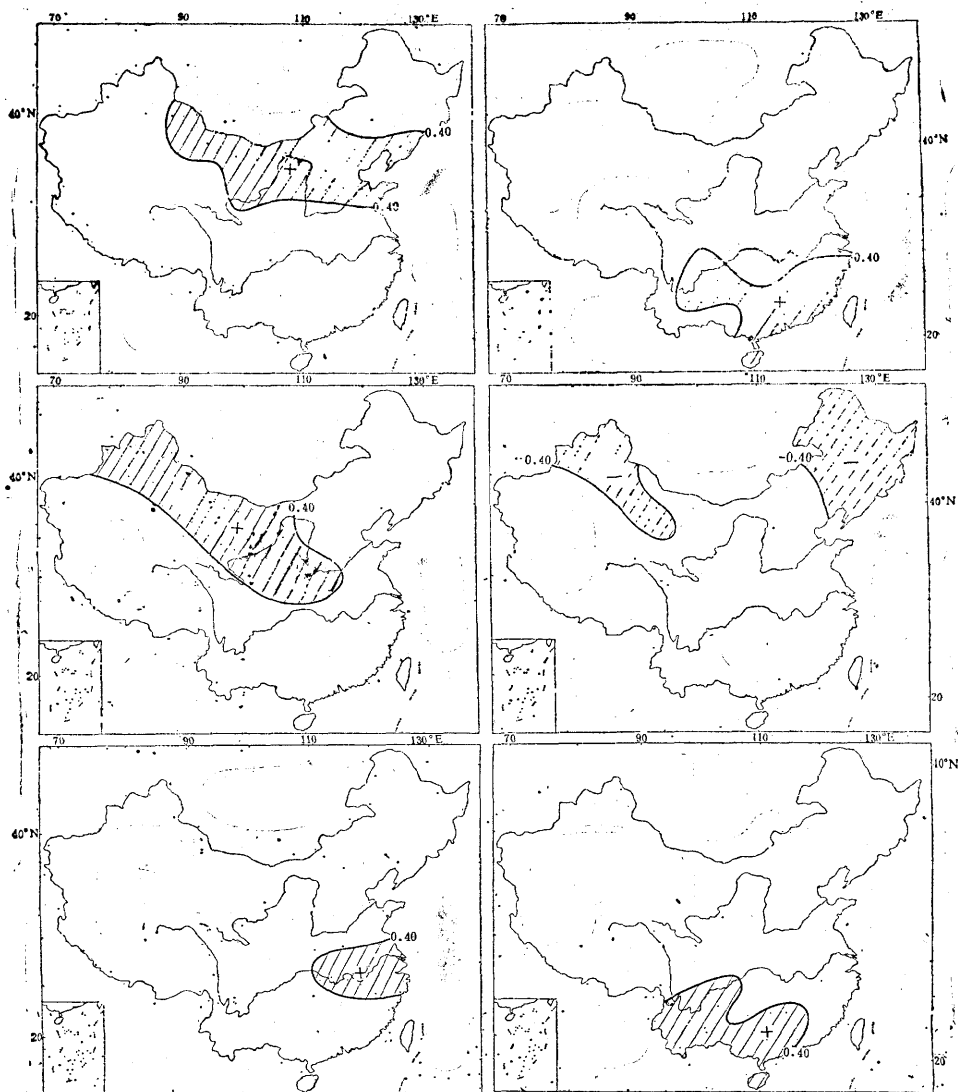


图2 转动后的因子载荷分布
实线区为正荷载区, 虚线区为负荷载区

表4 线性趋势

因子序号		1	2	3	4	5	6
转动前	b	0.07	-0.05	-0.02	-0.01	-0.02	-0.02
	P	0.39	0.19	0.02	0.01	0.03	0.02
转动后	b	0.06	-0.00	0.05	-0.05	-0.01	-0.02
	P	0.24	0.00	0.22	0.17	0.01	0.02

注: b 为直线斜率, P 为线性部分占总方差的百分率

说明影响全国范围的降水系统在近30年活动趋势是增加的。第2个因子对应于南北不同的降水系统, 由于北方地区荷载分布区为负, 所以影响北方降水系统的变化趋势也是

增加的。类似的分析, 在转动后第1、3及4因子直线趋势较为明显, 从斜率值来看, 影响这些地区(华北、黄河流域及东北)的降水系统活动量也是增加的, 说明北方地区雨日气候趋势是增加的。表5给出这些区域典型台站雨日振幅及位相(月份)每10年的平均值。从表可见, 它们振幅是增加的, 尤其在70年代, 增加更为明显, 位相变化很小, 大体上略有提前趋势。

对各个主因子序列在滤去线性趋势后再作功率谱分析, 表6列出各主因子接近或超过5%信度检验的显著周期(年)。从表中可见, 影响全国范围的降水系统具有22年及

表5 典型站单波振幅及位相

年 代	50年代	60年代	70年代
天 津	4.7/7.4	4.7/7.4	6.0/7.3
郑 州	3.5/7.8	4.1/7.8	5.1/7.4
哈尔滨	5.1/7.4	4.9/7.5	7.7/7.3

表中数字为：振幅(雨日)/位相(月份)

准两年左右的周期变化规律，尤其在转动后的各区的代表因子中，除长江下游一区外，各区中准两年变化周期是十分明显的。

表6 各主要因子的显著周期

因 子	1	2	3	4	5	6
转动前	20.0 2.2	2.5*	6.7* 2.9*	10.0* 2.9*	6.7* 2.9*	20.0* 2.9*
转动后	2.9*	2.5*	2.9*	20.0* 2.9*	6.7*	20.0* 2.9*

(注：*表示超过5%显著水平)

六、结 论

通过对我国46个站月雨日的30年逐月资料统计分析，发现存在以下主要气候特征：

1. 逐月的雨日序列以单波型为主要特征，最大振幅出现的月份在大多数地区是7—8月份。相对于振幅来说，位相的多年变化是不显著的。

2. 我国雨日单波振幅的空间分布有六个主要模式，它们分别对应于纬向型和经向型的降水系统。从六个主要因子转动后所产生的新因子模式，可以对应六个不同气候特征的区域，它们分别是：华北、华南、黄河流域、东北、长江中下游及西南地区，它们具有不同的雨日振幅特征。

3. 全国雨日单波振幅近30年来有逐渐增加的趋势，尤其表现在华北、黄河流域及东北地区。各个典型地区（除长江下游外）的年际变化均具有显著的准两年周期变化。此外，某些地区还具有22年、11年及6—7年的周期变化特点。

转动后的因子分区模式与我国地域降水气候区划〔2〕十分接近，说明因子转动分析方法有较好的气象意义。单波振幅逐渐增大的气候趋势与近年来雷阵雨的雨日数增加似乎是一致的。

参考文献

- 〔1〕 Wang Shaowu and Zhao Zongci, Droughts and Floods in China, 1470—1979, Climate and History (1981), Cambridge University Press.
- 〔2〕 朱炳海，中国降水区划，南京大学学报，1957，第4期。
- 〔3〕 Barry, R. G. and A. H. Perry, Synoptic Climatology, Methods and Applications, Methuen & Co. Ltd, pp. 555, 1973.
- 〔4〕 Richman, M. B., Rotation of principal components in climatological reasearch. Part I, Theoretical considerations, suitable applications and advantages over unrotated solutions, Reprints 8th Conf. Probability and Statistics in Atmos. Sci., Amer. Meteor. Soc., 59—68, 1983.
- 〔5〕 Richman, M. B. and P. J. Lamb, Climatic pattern analysis of three-and seven-day Summer rainfall in the central United States, Some methodological considerations and a regionalization, J. Atmos. Sci., 24, 1325—1343, 1985.
- 〔6〕 黄嘉佑，李黄，气象中的谱分析，气象出版社，1984年。
- 〔7〕 黄嘉佑，气象统计分析与预报方法，即将由北京大学出版社出版。
- 〔8〕 North, G. R., T. L. Bell, R. F. Cahalan, and F. J. Moeng, Sampling errors in the estimation of empirical orthogonal functions. Mon. Wea. Rev., 110, 699—706, 1982.

The spatial and tempora characterizations of monthly rainfall days over China

Huang Jiayou
(Department of Geophysics, Beijing University)

Abstract

The spectrum analysis and factor analysis are employed in this paper for the monthly rainfall days in 46 stations over China.

The results of the spectrum analysis show that the first wave in the harmonic waves is preponderate in the harmonic waves, the significant areas are North, North-east, South-west and South of Chain, and the maxium values of amplitude occure in July and August.

The first six principal components, which is from the amplitude matrix of the first harmonic wave, have been rotated with maxium variance rotated technique, which have the meaningful characters corresponding to some areas in China. Their variety features with time have the increasing tendency year by year, and the periodic fluctuation with quasi-biennial and 22-year.