

我国秋、冬月降水、气温场的时空结构特征及其在我国初夏降水预报中的应用

施 能*

(南京气象学院)

提 要

将我国35个测站的秋、冬逐月降水量和平均气温进行经验正交展开,分析不同展开方案时的天气学、收敛性等意义。计算距平场的展开系数与初夏35站降水量的相关系数,用具有最大特征值的展开系数作为因子组成回归方程。得出:1)我国降水分布,冬季的大尺度特征比秋季明显;温度分布,则相反。2)我国秋、冬大尺度降水场与我国初夏降水有很好的相关;3)我国冬季大尺度温度场亦能对初夏降水提供预报信息,但秋季的温度场则不能。最后,用非独立和独立样本资料对回归方程作了检验。

一、引 言

目前,将气象场展开为典型场的线性叠加方法已得到广泛应用^[1-7]。利用经验正交函数展开气象场收敛快,作一次展开即得到典型场和随时间变化的典型场的权重。

设某要素某月的资料矩阵表示为 $X = (x_{it})$ ($i = 1, 2, \dots, m$; $t = 1, 2, \dots, n$)。 m 为空间点数,本文取为35个测站¹⁾。 n 为时间点数,取1951—1980为29年。将 X 场展开为矩阵 V 和 Z 的乘积。

$$X = V \cdot Z \quad (1)$$

其中 $V = (v_1 v_2 \dots v_m)$, $v_i = (v_{i1} v_{i2} \dots v_{in})'$ 是 $X \cdot X'$ (或用 $\frac{1}{n} X \cdot X'$) 的第 i 个特征向量,即经验正交函数第 i 个空间典型场。而

$$Z = V' : X \text{ 或 } (z_{it}) = \left(\sum_{j=1}^m v_{ij} x_{jt} \right) \quad (2)$$

为时间系数矩阵。由于收敛快,所以只取 p 个最大特征值所对应的特征向量场的叠加就可近似表示 X 场。这时,对第 j 个场有

$$(x_{1j} x_{2j} \dots x_{mj}) \approx \sum_{i=1}^p v_i z_{ij} \quad (3)$$

1985年7月23日收到,1986年4月1日收到修改稿。

* 我院80届毕业生吴刚、曲晓波,81届毕业生杨永礼参加了部份工作

1) 佳木斯、齐齐哈尔、天津、哈尔滨、乌鲁木齐、长春、沈阳、承德、北京、大连、太原、石家庄、济南、郑州、西安、兰州、徐州、合肥、南京、上海、安庆、武汉、杭州、南昌、长沙、常德、福州、赣州、广州、南宁、百色、贵阳、昆明、成都、呼和浩特。

对全部 n 个场的拟合精度表示为 $\sum_{i=1}^p \lambda_i / \sum_{i=1}^m \lambda_i$ 是 $\mathbf{X} \cdot \mathbf{X}'$ 的特征值 ($\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_m$), $p \ll m$.

二、特征向量的天气意义及统计特征

1. 第一种计算方案 $\mathbf{X} = (x_{it})$

x_{it} 是第 i 站第 t 年的要素值. 表 1 给出对 (9—2 月) 展开的前四个特征向量的累积贡献率.

表 1 月降水、平均气温场展开的累积贡献率(%)

p	1		2		3		4	
要素 月	降水	气温	降水	气温	降水	气温	降水	气温
9	74.77	99.88	79.79	99.92	83.57	99.94	86.35	99.96
10	71.79	99.76	77.97	99.86	82.24	99.90	85.43	99.92
11	76.41	98.56	82.77	99.46	86.47	99.69	89.55	99.76
12	78.94	95.93	85.97	99.08	88.67	99.33	91.02	99.57
1	81.41	97.93	90.52	99.16	92.52	99.42	94.37	99.59
2	86.23	94.56	91.75	98.91	94.00	99.25	95.78	99.47
6	82.68	—	86.74	—	89.33	—	91.14	—
7	78.96	—	84.45	—	86.33	—	88.92	—
8	74.92	—	80.56	—	84.52	—	87.08	—

可以看出,这时第一向量的贡献,温度各月均在 90% 以上,降水各月也在 70% 以上,收敛很快. 从月、季变化看,第一向量的比重,降水场秋季小 (71—76%)、冬季大 (78—86%), 10 月份最小, 2 月份最大;而温度场则完全相反,第一向量的比重秋季大 (98—99%)、冬季小 (94—95%), 9 月份最大, 2 月份最小. 这表明,我国降水分布,在冬季的大尺度特征比秋季更明显,而我国的温度分布,则是秋季的大尺度特征比冬季更明显. 从表 1 还看出,为了达到 90% 的累积贡献率,对降水来说,秋季 (9—11 月) 约需 5 个特征向量, 12 月需 4 个,而 1—2 月只需要 2 个特征向量就足够了.

这种方案展开时,典型场的天气学意义很明显. 如用 $\bar{x}_i$ 代表第 i 个空间点的要素平均值,则 $\bar{x}_i$ 的分布代表平均场. 第一特征向量场与平均场之间的相似系数为

$$\theta = \sum_{i=1}^m v_i \bar{x}_i / \sqrt{\sum_{i=1}^m \bar{x}_i^2},$$

当完全相似时, $\theta = 1$, 完全相反时, $\theta = -1$. 逐月计算 θ 值. 结果,降水场 θ 值各月均达 0.99; 温度场,除 9、10 月份分别为 0.78、0.79 以外,其余月份也在 0.99 以上. 它们与平均图几乎完全一致. 这样,第一特征向量表示该要素的气候 (平均) 特征,时间系数 v_{it} 反映了某年具有这种气候特征的权重. 从 6、7、8 月降水场的第一特征向量图中看出,6 月份降水在长江以南多,在景德镇、九江、南昌附近有正中心,低值中心位于西安、郑

可以看出,收敛速度比表 1 慢。一般说来,气温的收敛速度比降水快,冬季的收敛速度比秋季快。第一特征向量所占的比重,不论气温还是降水都是秋季小(9 月最小)、冬季大(2 月最大)。这表示,要素距平的分布,无论降水还是气温,冬季比秋季更具有尺度大的特征。这种特征也可以从 90% 的累积贡献率所需的特征向量数中反映出来。这时,对气温来说,是从 9 月份的 7 个特征向量递减到 2 月份的 4 个特征向量,对降水来说,则是从 9 月份的 12 个特征向量递减到 2 月份的 5 个特征向量。冬季的收敛速度比秋季快得多,这时,特征向量的天气意义,一般来说,序号小的特征向量表示大范围的常见的距平特征,序号大的特征向量表示小范围的不常见的距平特征。对于权重系数所反映的要素场的特征,可直接利用权重系数极值年份均值差图。图 2 是 1 月份降水距平场展开时,第一特征向量权重系数最大三年(1969、1954、1964)和最小三年(1965、1963、1962)的一月份降水量均值差图(已被标准化,即降水量差除以各站均方差)。

由图 2 看出,我国华东、华南、华北大部、东北南部全是正值区,差值最明显的地方是沿长江以南的狭长地带,数值达到 3 倍均方差。这表示,用这种方案计算的权重系数大的年份,上述地区降水正距平为主,特别长江以南明显偏多,反之,权重小的年份,上述地区负距平为主。这一基本特征可以在这六年的降水距平图中得到证实(图略)。

三、展开系数与我国初夏降水的统计相关及预报模式

(1) 由表 2 知,取降水或气温距平场的前七个特征向量就可以 90% 以上的精度拟合原始场。所以,我们将前七个时间权重系数的时间序列与我国 35 个站的 6、7 月降水序列分别求相关系数。结果发现某些月份、某些要素的展开系数具有很好的相关。图 3 是 1



图 3 一月份降水距平场第一时间系数与我国 6 月(a)、7 月(b)降水量的相关系数图

月份降水距平场的第一时间系数与我国 35 个站 6、7 月降水量的相关系数图。

图中斜黑线区已达到 0.05 信度(0.367)和 0.01 信度(0.47)。图 3a 中, 高值中心在长沙(0.71)、常德(0.65), 图 3b 中, 高值中心在安庆(0.64)、常德(0.55)、武汉(0.50), 数值远超过 0.01 的信度标准。因为有 35 个站计算相关系数, 所以当随机不相关时, 35 个站中只有一个站可达 0.05 信度。图 3 的高相关点数已大大超过随机频数, 而且高相关点集中在一起, 这表明这种相关关系不是偶然的。

(2) 长期统计天气预报的预报因子应该能描写或反映大尺度的气象特征。经验正交展开能以不多的独立参数回复原始场, 这时, 序号靠后的时间权重系数振幅很小, 它所对应的特征向量只代表一些小尺度的局地气象异常, 实际上不能带有几个月的预报信息。所以, 只考虑序号偏小的也就是具有最大特征值的时间系数作为备用预报因子, 实际上就是对预报因子进行了滤波, 消去了因子的噪音。

本文在挑选预报因子时, 除了在累积贡献率达 90% 的序号小的时间权重中挑选以外, 还要求所对应的特征向量场的贡献率必须占总方差的 5% 以上, 以保证有一定的距平强度。满足这二个条件的特征向量个数见表 3。

表 3 累积贡献 90% 以内, 每个特征向量贡献率达 5% 以上的个数

月	9	10	11	12	1	2
降水距平场	6	6	4	5	3	4
气温距平场	4	3	3	4	4	3

预报模式采用多元回归

$$\hat{y} - \bar{y} = b_1 z_1 + b_2 z_2 + \cdots + b_p z_p \quad (+)$$

b_i 为回归系数, z_i 为展开场的时间系数。由于因子之间的相关系数为零, 所以回归系数可独立计算

$$b_i = \frac{S_y}{\sqrt{\lambda_i}} r_i \quad (5)$$

r_i 为该时间系数与 y 的相关系数, λ_i 为 z_i 的方差, 也就是 z_i 所对应的特征值。 S_y 是 y 的均方差。我们在表 3 所给的时间系数中挑选最大的 r_i 来组成回归方程。这时回归方程的复相关系数 R 决定于

$$R^2 = \sum_i r_i^2 \quad (6)$$

经计算, 回归方程中包括 $|r|$ 最大的三项已足够了。以后的项, 对 R 和 y 的贡献均不大。表 4 是 1 月份降水距平场的前三个时间系数和全国 17 个站¹⁾ 7 月降水预报的相关系数。

表 4 r 和 R 中的黑体值分别达到 0.05 以上信度(当三个因子时, $R_{0.05} = 0.51$, $R_{0.01} = 0.60$, $r_{0.05} = 0.36$, $r_{0.01} = 0.47$)。由表 4 看出, 1 月份降水距平场第一时间系数与长江

1) 由于篇幅关系, 只列出 17 个站

表 4 一月份降水距平场的前三个时间系数与七月降水的相关关系

区 站	相关系数	r_1	时间系数序号	r_2	时间系数序号	r_3	时间系数序号	R
东北	哈尔滨 长春	0.17	2	-0.14	1	-0.01	3	0.22
		0.35	2	0.20	3	-0.08	1	0.41
华北	北 京 石家庄 济 南	0.10	1	0.08	3	-0.0	2	0.13
		-0.41	2	0.32	1	0.25	3	0.58
		0.28	2	0.12	3	0.08	1	0.31
长江下游	上海 南京 合肥 杭州	-0.30	2	0.16	3	0.08	1	0.35
		0.54	1	-0.35	2	-0.32	2	0.72
		0.45	1	-0.41	2	-0.19	3	0.64
		0.47	1	-0.41	2	-0.09	3	0.63
长江中游	安庆 南昌 武汉 长沙 常德	0.64	1	-0.16	2	-0.02	3	0.66
		-0.42	2	0.21	1	0.19	3	0.51
		0.50	1	-0.33	2	-0.27	3	0.66
		0.21	2	0.18	1	-0.14	3	0.31
		0.55	1	-0.22	2	-0.12	3	0.60
华南	广州	-0.26	1	0.04	2	-0.01	3	0.28
西南	昆明 贵阳	0.25	1	-0.18	3	0.14	2	0.34
		-0.18	2	0.04	1	0.04	3	0.19

注: 这里的 r_1 , r_2 , r_3 分别表示绝对值最大、次大、第三的相关系数

表 5 经验正交展开的时间系数与 6 月降水的复相关系数(区域平均)

	R_9	R_{10}	R_{11}	R_{12}	R_1	R_2	T_9	T_{10}	T_{11}	T_{12}	T_1	T_2
东 北	0.41	0.38	0.40	0.49	0.48	—	—	—	0.54	0.42	0.62	—
华 北	0.34	0.32	0.47	0.47	0.37	—	—	0.32	0.32	0.33	0.30	0.30
长江下游	0.47	0.37	0.49	0.56	0.30	0.33	0.36	—	—	0.45	0.36	0.45
长江中游	0.46	0.37	0.43	0.44	0.52	0.36	0.34	—	—	0.37	0.43	0.38
华 南	0.37	0.47	0.38	—	—	0.38	0.33	—	—	—	0.43	—
西 南	0.36	0.32	—	0.52	0.40	—	—	—	—	0.45	0.42	0.31

表 6 经验正交展开的时间系数与 7 月降水的复相关系数(区域平均)

	R_9	R_{10}	R_{11}	R_{12}	R_1	R_2	T_9	T_{10}	T_{11}	T_{12}	T_1	T_2
东 北	0.45	0.37	0.43	0.31	0.32	0.32	0.52	—	—	0.34	—	0.36
华 北	0.42	0.45	0.40	0.36	0.34	0.39	0.42	0.36	0.35	0.32	0.36	0.31
长江下游	0.41	0.48	0.41	0.42	0.59	—	—	—	0.30	0.44	—	—
长江中游	0.38	0.50	0.37	0.39	0.55	—	0.38	0.31	0.34	0.39	0.32	—
华 南	—	0.34	0.34	0.43	—	0.39	0.41	0.31	—	—	0.55	0.39
西 南	0.43	0.47	0.34	—	—	0.46	—	0.37	—	0.40	0.40	—

中下游 7 月降水显著正相关,与东北区 7 月降水负相关¹⁾(接近 0.05 信度),第二时间系数与长江中下游 7 月降水显著负相关,与东北区降水正相关²⁾(接近 0.05 信度)。

将 9—2 月降水、气温距平场的展开系数逐月计算与我国初夏 6、7 月降水量的回归方程及复相关系数,并按表 4 的区求平均的复相关系数,得表 5、表 6。

表 5、表 6 中的 / 表示复相关系数未达到 0.30, 相关不显著。由表 5、表 6 看出:

(1) 我国秋、冬降水场可以对我国初夏降水提供比较重要的预报信息。例如, 12 月份降水场与长江中下游、东北、华北、西南的 6 月份降水有显著的相关,尤以长江中下游地区的关系最好。10 月份的降水场与长江中下游区、华北、西南区的 7 月份降水相关也较好,等等。

(2) 冬季大尺度的气温异常对我国初夏降水的相关也比较好,但不如降水场。

(3) 秋季,大尺度的气温场异常不能对初夏降水提供重要预报信息,其复相关系数在秋季月份大都是不显著的。

四、长江中下游 6 月降水场的拟合和预报

为了检验这种预报关系的准确程度,利用 1 月份全国 35 站降水距平资料的展开系数对建立的 6 月份降水预报回归方程作了检验。检验的 5 站均选自长江中下游地区(见表 8)。其中 1952—1980 年是非独立样本资料,1981—1985 年是独立样本资料。表 7 是逐年的均方误差和距平重合率。可以看出,均方误差为 98.4 毫米,距平重合率为 68.8%。仔

表 7 用我国 1 月降水场预报长江中下游 5 站降水的拟合和预报误差

年	1952	1953	1954	1955	1956	1957	1958	1959	1960	1961	1962	1963
均方误差	93.0	122.6	81.6	179.0	118.8	119.2	104.0	162.5	77.4	67.9	44.6	70.1
距平重合率	4/5	3/5	5/5	1/5	4/5	2/5	5/5	3/5	2/5	3/5	5/5	5/5
年	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975
均方误差	72.4	73.2	65.5	104.7	114.0	83.8	66.6	81.7	42.6	56.5	107.8	77.2
距平重合率	4/5	4/5	2/5	4/5	4/5	3/5	3/5	4/5	5/5	4/5	3/5	3/5
年	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	平均	
均方误差	109.5	112.5	127.2	79.6	93.7	92.6	198	135.6	110	95.7	98.4	
距平重合率	4/5	3/5	2/5	2/5	3/5	3/5	2/5	4/5	4/5	5/5	68.8%	

细分析各站年的预报情况表明,预报误差比较大的年份主要是 6 月份实况降水超过 450 毫米的站年。这时,虽然已预报偏多或明显偏多,但计算值很少超过 450 毫米。表 8 是对大旱大涝年的拟合情况。可以看出,对大涝年份,虽然已预报比多年平均值多 5 成或一倍,但仍比实况偏少。相反,对大旱年,虽然已预报明显偏少,但仍比实况偏多。此外,从距平重合率看,大旱大涝的效果明显比较好,达 77%,特别是长江中下游,准确率超过

1) 相关系数,佳木斯—0.35,齐齐哈尔—0.19,沈阳 0.05,表 4 中未列出。

2) 相关系数,佳木斯 0.22,齐齐哈尔 0.15,沈阳 0.11,表 4 中未列出。

表 8 长江中下游大旱大涝年的检验

	常德			长沙			武汉			安庆			杭州			评定
	年	预报	实况	年	预报	实况	年	预报	实况	年	预报	实况	年	预报	实况	
最大降水年	1954	389	481	1969	353	454	1959	218	523	1954	445	595	1954	366	498	12/15
	1964	324	397	1974	235	324	1955	189	489	1953	340	561	1971	155	328	
	1969	359	363	1964	316	347	1954	366	471	1956	213	461	1977	246	286	
最小降水年	1963	55	19	1963	71	54	1963	140	13	1958	213	48	1978	219	53	11/15
	1952	156	68	1960	194	73	1958	160	18	1978	266	55	1967	166	56	
	1972	107	68	1958	176	99	1967	174	79	1952	223	60	1968	199	98	
多年均值	189			189			212			254			195			23/30
均 方 差	93			113			131			151			88			
评 定	6/6			5/6			5/6			4/6			3/6			

80%。

图 4 是对长沙站 1952—1983 年 6 月降水的实况和计算值(考虑全国 1 月份降水距平场因子)。可以看出,基本趋势是比较好的。1985 年预报长沙、常德、武汉、安庆、杭州各站 6 月降水负距平,实况五站负距平,五站平均的均方误差约 75 毫米。

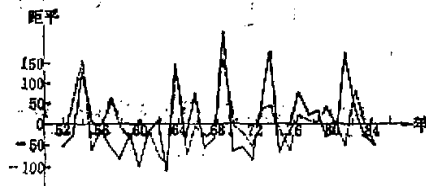


图 4 长沙 6 月降水的实况与计算值(1952—1985)

五、小 结

(1) 气象场作经验正交展开时,不同的展开方案有不同的收敛性和天气学意义。我国的降水分布,在冬季比秋季更具有大尺度特征,气温分布则相反。

(2) 我国秋、冬降水、气温场的分布特征与我国初夏降水场有一定的相关关系。其中,降水场之间的关系是显著的。这说明,降水场是反映下垫面状况的重要因子。

(3) 用距平场经验正交展开后具有最大特征值的时间系数作为因子,并要求对应特征向量的方差贡献占 5% 以上,所建立的回归方程是简单、方便、比较稳定的。

(4) 当进一步考虑前期不同要素、不同月份提供的信息以及增加环流距平场展开系数的因子,有可能进一步改善预报效果。然而,正如文献[8]所指出的,这时,各预报结果之间会呈现正相关,要利用这些补充信息,改善其中一个已经较好的预报工具是很不容易的。

参 考 文 献

- [1] Багров Н. А., 1959, Аналитическое представление последовательности метеорологических полей посредством естественных ортогональных составляющих Труды ШИП., вып. 74.
- [2] 陈于湘、王宗皓, 1982, 应用经验正交函数作梅雨天气形势预报试验, 大气科学, Vol. 6, No. 1.
- [3] 张家诚、周家斌、黄文杰、马维华, 1963, 用车贝雪夫多项式研究月平均 500 hPa 等压面位势场的初步结果, 气象学报, Vol. 33, P. 231—244.
- [4] 周家斌, 1983, 不规则格点上车贝雪夫多项式展开问题, 大气科学, Vol. 7, No. 3.
- [5] 中央气象台数值预报科, 1980, 长期天气预报物理量的计算和应用, 气象, 4 期.
- [6] Багров, Н. А., Стебляко, В. А., 1973, Некоторые характеристики Циркуляции Атмосферы На 500 Мбар, Труды ТМЦ. Вып. 106.
- [7] Стебляко, В. А., 1971, Расширенная схема анализа и прогноза H_{500} по северному полушарию, Труды ГМЦ. Вып. 80.
- [8] 施 能, 1980, 论变量的相关性在组合因子时的作用, 南京气象学院学报, 1 期.