

# 500hPa 月平均高度场球函数谱 异常与陕西旱涝的关系<sup>①</sup>

杜川利<sup>1,2</sup> 王盘兴<sup>2</sup> 李丽萍<sup>2</sup>

(1. 陕西省气象局, 西安 710015; 2. 南京气象学院)

## 提 要

使用 NCEP/NCAR 再分析资料中的 500hPa 月平均高度场资料及其主要球函数系数和陕西测站月降水量资料, 结合陕西分区春、夏季旱涝长期预报的实际问题, 探讨半球月平均 500hPa 月平均高度场的球函数系数资料在长期天气预报中的应用的途径。发现基于区域降水指数( $I_R$ )定义的陕西区域春、夏季旱涝指数  $I$  与历史实况相符, 而球函数系数的年际异常具有低维、低阶特性, 可以利用它们作为预报量、预报因子的参数; 对春、夏季旱涝指数与同期和前期环流异常的相关分析表明, 北半球环流异常与陕西各区春、夏旱涝的出现相关联系显著, 南半球环流异常与陕西春、夏旱涝出现的相关联系总体上不显著。

**关键词:** 陕西区域旱涝 500hPa 环流异常 球函数系数 复相关 长期预报

## 引 言

长期天气预报的理论指出, 长期天气过程和月、季平均气候异常的影响因子, 在空间上兼有全球性和区域性特点。Smagrinisky 的数值试验<sup>[1]</sup>、章基嘉的动力学研究<sup>[2]</sup>和穆尔坦诺夫斯基关于自然天气区域的论述<sup>[3]</sup>是它们的相应证据。它们是长期天气预报工作必须考虑的基本问题。

在我国, 区域气候异常预报中最常使用的是 500hPa 月平均环流异常资料。早在 20 世纪 80 年代, 中央气象台已整理出北、南半球 500hPa 逐月月平均位势高度场的格点资料; 并且较早地由中央气象台将它们换算为球函数系数<sup>[4,5]</sup>。从数学角度看, 格点网上的资料是 500hPa 月平均高度场在自然基下的表示, 而球函数系数资料是它在另一种基(球函数系)下的表示<sup>[6]</sup>, 二者的本质相同。

但两种形式资料的差别还是存在的, 比较明显的是, 格点资料更方便于区域性特点的表示, 而球函数表示法则更直接地表达了全球性特点。得益于全球观测系统及数据采集、处理、传输技术的发展, 20 世纪 90 年代末以来, 已经可以方便及时地得到月平均环流的资料, 如 NCEP/NCAR 的 40 年大气资料再分析计划提供了 1958~1997 年 40 年逐月高度场等多种要素的全球多层资料<sup>[7,8]</sup>。王盘兴等在球函数系数资料取得及其计算等基础研究方面已经做了许多工作<sup>[10~14]</sup>, 现在已经有条件进行直接应用球函数分析结果制作长期预报的研究工作。

## 1 资料和方法

### 1.1 资料

本文使用 NCEP/NCAR 再分析资料中的 500hPa 月平均高度场资料、它的主要的球

① 基金项目: 陕西省生态项目资助课题(1999-003)

函数系数和陕西测站月降水量资料,其详细情况如下:

① NCEP/NCAR 大气资料再分析计划的 500hPa 位势高度场月平均资料<sup>[8]</sup>。其有关参数为:(1)覆盖时段为 1948 年 1 月~1999 年 12 月,共 52 年、624 个月;(2)自上而下为 10、20、30、50、70、100、150、200、250、300、400、500、600、700、850、925 和 1000hPa 共 17 层;(3)覆盖全球的均匀经纬矩形格点网,其格距为  $2.5^\circ \times 2.5^\circ$ 。

② 偶开拓下北、南半球球谐系数<sup>[9]</sup>:对某半球、第  $t_m$  月 ( $t_m = 1 \sim 12$ ),取球函数系数

$$\begin{aligned} A_{m+2k}^m(t_y), m = 0 \sim 10, \\ k = 0 \sim 10, t_y = 1 \sim 52 \\ B_{m+2k}^m(t_y), m = 0 \sim 10, \\ k = 0 \sim 10, t_y = 1 \sim 52 \end{aligned} \quad (1)$$

其中,参数  $m$  是纬向波数; $k$  为偶开拓时缔合勒让德函数的经向半球 0 点数(极点除外), $n = m + 2k$ ;  $t_y$  为年份序数。为书写方便,下面将  $A_{m+2k}^m$ 、 $B_{m+2k}^m$  简记为  $A_{m,k}$ 、 $B_{m,k}$ 。

③ 陕西省 71 站月降水量资料。该项资料有关参数为:(1)覆盖时段为 1961 年 1 月~1999 年 12 月,共 39 年、468 个月;(2)选用陕北 15 站、关中 32 站、陕南 24 站。

## 1.2 方法

### 1.2.1 区域降水指数 $I_R$ 和旱涝指数 $I$ 的定义

陕西长期天气预报工作中用于表征降水异常的指数较多,如降水距平百分率法、 $Z$  指数法以及国家资料中心采用的旱涝等级等方法。本文则采用区域降水指数  $I_R$  表征陕西三个区域——陕北、关中、陕南的旱涝灾害。

对一定的区域和季节,  $t_y$  年  $I_R$  定义为

$$I_R(t_y) = \left[ \sum_{i=1}^M P_i(t_y) / \sum_{i=1}^M \bar{P}_i + K^+(t_y) / M \right] \times 100\% \quad (2)$$

其中  $P_i(t_y)$  为该区第  $i$  站  $t_y$  年季降水量,  $\bar{P}_i$  是第  $i$  站季气候降水量(取 1961~1990 年共 30a 的平均),  $M$  是代表站总数,  $K^+(t_y)$  是  $t_y$  年  $M$  站中降水量距平大于等于 0 的站数。本文取  $I_R$  的距平  $I'_R$  为区域旱涝指数,记为  $I$ 。区域极旱、极涝的临界值参考降水量累计频率分级( $Z$  指数方法)的结果和参考文献<sup>[15]</sup> 统计结果,当指数距平  $I'_R \geq 70$  时,定为严重雨涝,  $I'_R \leq -60$  时为严重干旱。

### 1.2.2 复相关系数散布图方法

与地理空间中的相关散布图相对应,在球函数空间的波参数域  $0 \leq m, k \leq 72$  上,也有相应的相关系数散布图。因为所用球函数系为标准化的,故域上的系数场序列可记为复场序列

$$C_{m,k}(t_y) = A_{m,k}(t_y) + iB_{m,k}(t_y) \quad (3)$$

它与实序列  $I(t_y)$  间的相关系数场为  $R$  是波参数域  $0 \leq m, K \leq 10$  上的复变量场,与  $(m, k)$  对应的元素为

$$R_{m,k} = R_{a_{m,k}} + iR_{b_{m,k}} \quad (4)$$

其中,

$$R_{a_{m,k}} = (A'_{m,k}, I') / (\|C'_{m,k}\| \|I'\|)$$

$$R_{b_{m,k}} = (B'_{m,k}, I') / (\|C'_{m,k}\| \|I'\|)$$

(5)

$R$  的模  $R_n$  定义为

$$\begin{aligned} R_n &= \left\{ \sum_{m=0}^{10} \sum_{k=0}^{10} \rho'_{m,k} |R_{m,k}|^2 \right\}^{1/2} \\ &= \left\{ \sum_{m=0}^{10} \sum_{k=0}^{10} \rho'_{m,k} [R_{a_{m,k}}^2 + R_{b_{m,k}}^2] \right\}^{1/2} \end{aligned} \quad (6)$$

式中,权函数  $\rho'_{m,k}$  为异常场集  $H'$  波参数为  $(m, k)$  的球函数分量对  $\|H'\|^2$  的拟合率,故  $R_n$  是球函数空间中环流异常与旱涝总体相关性的度量。

## 2 旱涝指数 $I$ 与陕西旱涝关系分析

表 1 列出陕西各区春、夏(夏季略)旱涝

出现的年份<sup>[15]</sup>。可见,(1)各区旱涝灾害发生频数春季高于夏季。(2)无论春、夏季,关中旱涝出现几率较接近,陕北、陕南旱灾发生几率高于涝灾。(3)春季旱或涝发生的范围往往是全省一致的,如1962、1979、1986、1995、1996、2000年各区均旱,1963、1964、1967、1983和1988各区均涝;而夏季除1997年各区均旱外,无一致性。由于一地农事活动的常规安排是对气候的适应,故气象灾害的发生与气候异常、而不是与气候本身有关,但陕西气候的复杂对于陕西旱涝的上述特点是有影响的。

图1给出了春季(夏季略)陕西三区旱涝指数  $I$  与历史旱涝对照。可见,  $I$  的峰、谷与

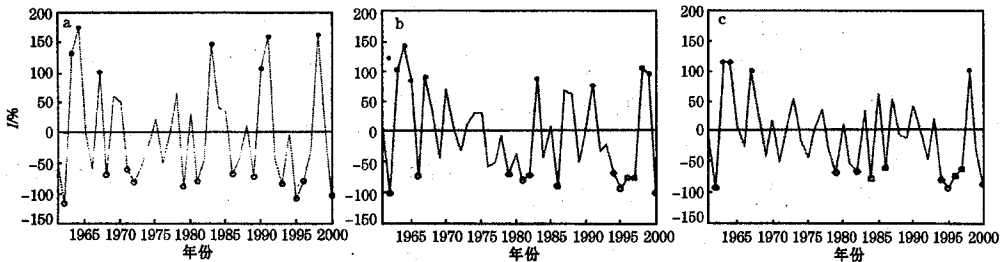


图1 春季旱涝指数  $I$  的历史演变曲线

a. 陕北; b. 关中; c. 陕南 图中●为涝年,○为旱年

### 3 春、夏季旱涝与同期环流异常关系分析

由于  $R_n$  是球函数空间中环流异常与旱涝总体相关性的度量,故可以根据  $R_n$  大小判断影响当地旱涝的环流形势。 $R_n$  的显著性判据可由 Monte Carlo 法确定。对于陕西三区春(夏)季  $I$  序列,求得它们与上年9月~当年5月(上年12月~当年8月)的信度  $\alpha = 0.01$ 、 $\alpha = 0.05$  的临界值  $R_{m\alpha}$  (附表略)。在求  $R_{m\alpha}$  的过程中,用随机场模拟了  $A$ 、 $B$  值。为了测定每个临界值  $R_{m\alpha}$ ,需100次随机产生  $A$ 、 $B$ ,并按式(5)算出  $R_{n,l}$ ,  $l = 1 \sim 100$ ;然后按 Monte Carlo 方法将其作降序排列,取其第2、第6大的  $R_{n,l}$  为  $R_{n0.01}$ 、 $R_{n0.05}$ 。

#### 3.1 春季同时性 $R_n$ 分析

表2给出陕西各区春季(3~5月)旱涝

涝、旱对应很好(文献[15]中旱涝年的确定也充分考虑了各区降水异常,故这里的一致性是正常的);因此,  $I$  是一个很好的区域旱涝指数,可以用于分析全球环流谱异常与区域旱涝关系。

表1 春季(3~5月)陕西三地区历史旱涝年份

	陕北	关中	陕南
旱年	1962 1968 1971	1962 1966 1979	1962 1979 1982
	1972 1979 1981	1981 1982 1986	1984 1986 1994
	1986 1989 1993	1995 1996 1997	1995 1996 1997
	1995 1996 2000	2000	2000
涝年	1963 1964 1967	1963 1964 1965	1963 1964 1967
	1983 1990 1991	1967 1983 1991	1998
	1998	1998 1999	
旱涝年数比	12/7	10/8	10/4

表2 陕西三地区春季旱涝指数与500hPa环流的的同时性相关强度  $R_n$

区	3月		4月		5月	
	北半球	南半球	北半球	南半球	北半球	南半球
陕北	0.170	0.196**	0.214**	0.185*	0.208**	0.189*
关中	0.143	0.189*	0.218**	0.197**	0.181*	0.172
陕南	0.181	0.173	0.200**	0.195*	0.217**	0.193*

\*通过  $\alpha = 0.05$  的检验, \*\*通过  $\alpha = 0.01$  的检验

指数与春季各月半球500hPa环流的的同时性  $R_n$  计算结果。由表2可见:(1)半球环流与陕西旱涝的总体相关联系是显著的,通过  $\alpha = 0.01$  (0.05) 检验的分别占总检验数的7/18(13/18)。(2)相关联系北半球明显强于南半球,北、南半球  $\alpha = 0.01$  通过检验的相关系数之比达到5:2。(3)显著相关联系存在月际差异,4、5月环流与春季旱涝关系更密切。由于陕西旱涝与同期北半球环流异常关

系更为直接,陕西春季旱涝主要由4、5月降水异常引起,上述相关特征有环流意义。

### 3.2 夏季同时性 $R_n$ 分析

同样,可给出陕西各区(6~8月)旱涝指数与夏季各月半球500hPa环流的同时性  $R_n$  结果(表略)。二者间的相关联系在总体上是显著的,  $\alpha = 0.01(0.05)$  的关系系数达  $5/18(9/18)$ 。与北半球环流的关系更密切,  $\alpha = 0.01(0.05)$  的关系系数达  $4/9(8/9)$ ;而与南半球关系弱化,相应为  $1/9(1/9)$ ,可认为无关。而月际差异比春季小,这是由于夏季降水异常的月季差异本身较小。另外,陕南旱涝与500hPa环流异常的关系较关中、陕北明显强。

上述春、夏季同期相关分析表明,半球(特别是北半球)500hPa环流异常与陕西区域旱涝关系是密切的。由于  $R_n$  计算中权系数  $\rho'_{m,k}$  明显倾向于低维、低阶的球函数分量,因此,真正起作用的是北半球500hPa环流异常中的少数低阶球函数分量。

### 4 环流异常与春、夏旱涝的时滞性相关分析

采用与第3节相同的方法分析春、夏旱涝与前期半球环流的时滞相关联系。此时,仍使用式(3)~(5),不过式(3)是前期环流的球函数系数。计算分别对春、夏季各区的  $I$  值,所谓前期,对春季指上年9月~当年2月(秋、冬季),对夏季指上年12月~当年5月(冬、春季)。类似地,用 Monte Carlo 方法给出了判断每组关系的  $\alpha = 0.01(0.05)$  的  $R_n$  临界值  $R_{nc}$ (附表略)。

表3给出了半球500hPa环流与陕西各区春季旱涝的时滞性相关强度  $R_n$ 。可见,春季旱涝与初秋后冬北半球环流异常二者间的相关联系在总体上是显著的,  $\alpha = 0.01(0.05)$  的关系系数达  $6/18(10/18)$ 。而与南半球前期环流异常显著地弱,只有少数关系达到指定信度。另外,陕南旱涝与前期环流异

常关系较关中、陕北密切。

表3 500hPa环流与陕西春季旱涝指数的时滞性相关强度  $R_n$

	北半球			南半球		
	陕北	关中	陕南	陕北	关中	陕南
9月	0.20**	0.17*	0.17*	0.17	0.17	0.17**
10月	0.17	0.18*	0.16	0.16	0.14	0.17
11月	0.16	0.17	0.20**	0.18	0.12	0.17
12月	0.17	0.14	0.23**	0.15	0.13	0.13
1月	0.17	0.16	0.24**	0.13	0.13	0.19*
2月	0.21**	0.23**	0.18*	0.19*	0.17	0.17

注:同表2。

半球500hPa环流与陕西各区夏季旱涝的时滞性相关强度  $R_n$ (表略),它与表3的特点类似,差别仅在关中夏季旱涝与前期环流异常的关系更密切。

上述春、夏季时滞相关分析表明,陕西各区春、夏季旱涝与北半球前期环流异常的相关联系总体上看是显著的,尽管区与区之间有所差别(陕南春季、关中夏季这种相关联系更强些)。这应当是通过相关途径利用前期环流形势预测陕西各区及全省旱涝的基础。

### 5 结论

本文结合陕西分区春、夏季旱涝长期预报的实际问题,通过对全球位势高度场作球函数分解,得到影响区域气候变化的球函数分量的球谐系数,初步探讨了半球月平均500hPa月平均高度场的球函数系数资料在实际预报中的应用的途径,主要结论是:

(1) 基于区域降水指数( $I_R$ )定义的陕西区域春、夏季旱涝指数  $I$  与历史实况相符,给出的春、夏季陕西三区旱涝指数的峰、谷与历史旱涝、旱对应很好;因此,  $I$  是一个很好的区域旱涝指数。

(2) 对于月尺度半球环流异常,最重要的球函数异常分量已全部集中在  $0 \leq m, k \leq 10$  的波数中,所以,可以用这个波数域替代  $0 \leq m, k \leq 72$  波数域。球函数系数的年际异常具有低维、低阶特性,用它们作为预报量、预报因子的参数分析预报未来气候变化是适

当的。

(3) 对春、夏季旱涝指数与同期和前期环流异常的相关分析表明, 北半球环流异常与陕西各区春、夏旱涝的出现相关联系显著, 南半球环流异常与陕西春、夏旱涝出现的相关联系总体上不显著。

参考文献

- 1 Smagorinsky J. . The role of numerical modeling. Bull. Amer. Meteorol. Soc. . 1967, 48: 89~93.
- 2 章基嘉, 葛玲, 孙照渤. 中长期天气预报基础. 北京: 气象出版社, 1994: 194~198.
- 3 章基嘉. 苏联穆尔坦诺夫斯基学派长期天气预报天气学方法之发展. 气象学报, 1959, 30(4).
- 4 史久恩, 周琴芳, 马怀存. 北半球 500 毫巴月平均场球谐系数和物理量资料. 北京: 气象出版社, 1990.
- 5 史久恩, 周琴芳, 马怀存. 南半球 500 毫巴月平均场球谐系数和物理量资料. 北京: 气象出版社, 1990.
- 6 [美] A. M. 穆德, F. A. 格雷比尔. 统计学导论. 北京: 科学出版社, 1978.
- 7 E Kalnay, et al. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis

- project, Bulletin of the Amer. meteor. Soc. , 1996, 77 (3): 437~471.
- 8 郭品文, 李丽平. 1948~2000 年 NCEP/NCAR 再分析 17 层等压面月平均资料. 南京气象学报, 2001, 24(4): 599~600.
- 9 王盘兴. 40 年逐月平均位势高度场的球函数系数资料集介绍. 南京气象学院学报, 2000, 23(3): 460.
- 10 王盘兴, 吴洪宝, 卓玛等. 北半球 500hPa 多年平均高度场的球函数谱结构. 南京气象学院学报, 1995, 18(1): 15~24.
- 11 王盘兴, 吴洪宝, 李雅芬. 北半球 500hPa 月高度距平场的球函数谱结构. 南京气象学院学报, 1995, 18(2): 220~228.
- 12 Wang Panxing, Wu Hongbao. Analysis of spherical function spectral structure of northern 500hPa monthly mean height. 1995, A. M. S. 9(2): 237~248.
- 13 彭永清, 王盘兴, 吴洪宝. 大气低频变化的分析和应用. 北京: 气象出版社, 1997.
- 14 王盘兴, 李雅芬, 李巧萍. 球函数分析中经向数值积分的改进方案. 南京气象学院学报, 2000, 23(3): 417~421.
- 15 李士高等. 陕西省干旱灾害年鉴. 西安: 西安地图出版社, 1999.

## Relationship between Spectrum Anomaly of Global 500hPa Monthly Mean Height Field and Flood/Drought in Shaanxi

Du Chuanli<sup>1,2</sup> Wang Panxing<sup>2</sup> Li Liping<sup>2</sup>

(1. Shaanxi Province Meteorological Bureau, Xi'an 710015; 2. Nanjing Meteorological Institute)

Abstract

An attempt to explore an application of spherical function coefficient data of 500hPa monthly mean height field in flood/drought prediction, it shows the sectorized flood/drought index  $I$  in spring and summer of Shaanxi, with being defined on the basis of sectorized precipitation index ( $I_R$ ) and historical record, the inter-annual anomaly of spherical function coefficients of low dimension and low order are obtained, they can be used as parameters in actual prediction. Based on the analysis of synchronous and time-lagged correlation of the flood/drought index and circulation anomaly, it is found that the relation between the Northern Hemispheric circulation anomaly and flood/drought of Shaanxi is statistically significant while the relation between the Southern Hemispheric circulation anomaly and flood/drought of Shaanxi is not significant.

**Key Words:** regional flood/drought 500hPa circulation anomaly spherical function coefficients correlation long-range weather forecast