

文章编号: 1000-2022(2003) 05-0577-11

500 hPa 气候异常高度场强度及谱结构的季节变化与半球际差异

李雅芬, 李巧萍, 王盘兴, 何金海

(南京气象学院 大气科学系, 江苏 南京 210044)

摘要:用半球气候异常场强度及球函数分析改进方案,分析了北、南半球 500 hPa 气候异常高度场的环流特征,得到如下主要结论: 1) 半球异常冬强于夏,北半球强于南半球。2) 500 hPa 气候异常位势高度场具有低阶、低维的特征,它们主要由超长波及长波波段($0 \leq m, k \leq 6$)的球函数构成。3) 北半球 500 hPa 气候异常位势高度场集的球函数谱结构较南半球复杂,夏季较冬季复杂。仅用超长波及长波波段的球函数拟合半球 500 hPa 异常位势高度场,就可保证其有足够的精确度。

关键词:500 hPa 气候异常位势高度场; 气候异常场强度; 球函数分析; 季节变化; 北南半球差异

中图分类号: P434 文献标识码: A

在长期天气预报(或短期气候预测)的理论研究和实践中,500 hPa 气候异常位势高度场具有重要的意义^[1]。但直至 20 世纪 90 年代中期,国内常用的 500 hPa 月平均高度场资料的产生方式、资料长度及水平分辨率等方面存在一定缺陷。NCEP/NCAR40 a 再分析资料^[2]在很大程度上改变了这一状况。另一方面,理论研究证明,长期天气过程在空间上具有全球性^[1]。球函数分析是利用该性质于理论研究和实际预测的基础工作,我国早在 20 世纪 80 年代初就进行研究^[3],但受资料和方法的限制,尚未广泛应用于业务长期预报。近年来,随着观测、分析和数据传递的进步,球函数分析结果在业务预报中的应用已经可行。但作为应用的基础,首先要求在球函数空间中分析环流异常性质及其与长期天气异常的关系,此类研究尚很少见。

文献[4-6]提出了一个北半球月平均 500 hPa 位势高度场的分析方案,并对北半球气候位势高度场及气候异常位势高度场的球函数谱结构的时域特征作了初步分析。最近,对文献[4-6]中的球函数分析方案作了改进^[7],并将其应用于全球 500 hPa 气候位势高度场的分析^[8]。本文将应用文献[8]的球函数系数计算结果,对 500 hPa 气候异常位势高度场的性质进行分析。

1 资料

本文使用两种形式的 NCEP/NCAR 40 a(1958—1997 年)再分析 500 hPa 月平均位势高

收稿日期: 2001-11-15; 改回日期: 2002-09-24

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(40233037)

作者简介: 李雅芬(1968-),女,福建福州人,工程师,硕士,研究方向: 大气环流。

度场资料: (1) 均匀矩形经纬格点网资料。根据文献[9], 该资料可记为

$$H(\lambda, \theta, t_m, t_y),$$

$$\lambda = i\Delta\lambda, \theta = j\Delta\theta, \Delta\lambda = \Delta\theta = 2.5^\circ; i = 1 \sim 144, j = 0 \sim 72,$$

$$t_m = 1 \sim 12, t_y = 1 \sim 40.$$
(1)

式中, $\lambda, \theta, t_m, t_y$ 分别为经度、余纬、月序、年序。(2) 标准化球函数系数资料。由文献[10], 与资料(1)对应的球函数系数资料为

$${}^N A_{m,k}(t_m, t_y), {}^N B_{m,k}(t_m, t_y), {}^S A_{m,k}(t_m, t_y), {}^S B_{m,k}(t_m, t_y),$$

$$0 \leq m, k \leq 6, t_m = 1 \sim 12, t_y = 1 \sim 40.$$
(2)

式中, 左下标 N、S 为北、南半球标识, 右下标 m 是纬向波数, $k = \frac{n-m}{2}$ 在偶开拓展开中可理

解为经向波数。由文献[8] 标准化球函数系数定义为全球域上 $Y_{C_{m,k}}, Y_{S_{m,k}}$ 满足

$$Y_{C_{m,k}} = 1, \quad m, k = 0, 1, \dots;$$

$$Y_{S_{m,k}} = 1, \quad m = 1, 2, \dots; k = 0, 1, \dots.$$
(3)

2 分析方案

将整个球面区分为北、南半球($\theta \in [0^\circ; 90^\circ], \theta \in [90^\circ; 180^\circ]$), 用 D 记某半球球面区域, 由文献[11], 其上 t_m 月、 t_y 年半球 500 hPa 月平均高度场可作时域上的分解

$$H(t_m, t_y) = \overline{H}(t_m) + H'(t_m, t_y).$$
(4)

式右 1、2 项为 t_m 月的气候场及 t_y 年的异常场。其中, 半球 500 hPa 气候异常高度场集

$$\{H'(t_m)\} = \{H'(t_m, t_y), t_y = 1 \sim 40\}.$$
(5)

是本文的分析对象。下面分两部分给出分析方案。

2.1 半球气候异常高度场强度指数

用(5)式中 t_y 年的距平场 $H'(t_m, t_y)$ 和整个距平场集 $\{H'(t_m)\}$ 构造了 t_y 年半球异常强度指数 $I_a(t_m, t_y)$ 和多年平均半球异常强度指数 $I_a(t_m)$

$$I_a(t_m, t_y) = [\overline{H'(t_y, t_m)}^2]^{\frac{1}{2}} = \left\{ \iint_D \frac{H'^2(\lambda, \theta, t_m, t_y) \sin\theta d\lambda d\theta}{2\pi} \right\}^{\frac{1}{2}}.$$
(6)

式中, $\overline{\quad}$ 为模算符, $[\quad]$ 为单位半径球半球球面域(D)上的面积权重平均算符, 2π 为 D 域的总面积。

$$I_a(t_m) = [\overline{H'(t_m, t_y)}^2]^{\frac{1}{2}} = \left\{ \iint_{t_y=1}^{40} \frac{H'^2(\lambda, \theta, t_m, t_y) \sin\theta d\lambda d\theta}{(2\pi \cdot 40)} \right\}^{\frac{1}{2}}.$$
(7)

由(6)、(7)式知, $I_a(t_m, t_y)$ 是个别年分半球异常程度的度量指数, 称为 t_y 年异常强度; $I_a(t_m)$ 是多年平均半球异常程度的度量指数, 称为平均异常强度。

2.2 球函数分析方案

类似于文献[5], 取截断 $m, k = 10$, 得 t_y 年距平场分解式

$$H'(\lambda, \theta, t_y) = \sum_{m=0}^{10} \sum_{k=0}^{10} H'_{m,k}(t_y) = \sum_{m=0}^{10} \sum_{k=0}^{10} H'_{m,k}(t_y).$$
(8)

其中, 球函数分量

$$H'_{m,k}(t_y) = A'_{m,k}(t_y) Y_{C_{m,k}} + B'_{m,k}(t_y) Y_{S_{m,k}}.$$
(9)

记 $H'_{m,k}(t_y)$ 的模方为 $S'_{m,k}(t_y)$

$$S'_{m,k}(t_y) = (H'_{m,k}(t_y), H'_{m,k}(t_y)) = \begin{cases} A'_{0,k}(t_y), & m = 0; \\ A'_{m,k}(t_y) + B'_{m,k}(t_y), & m \neq 0. \end{cases} \quad (10)$$

得 t_y 年距平场总模方近似值

$$S'(t_y) = \sum_{m=0}^{10} \sum_{k=0}^{10} S'_{m,k}(t_y). \quad (11)$$

而距平场集(5)被 $YC_{m,k}^h$ 、 $YS_{m,k}^h$ 拟合的模方近似值为

$$S'_{m,k}(t_y) = \sum_{t_y=1}^{40} S'_{m,k}(t_y). \quad (12)$$

而距平场集(5)的总模方近似值为

$$S' = \sum_{t_y=1}^{40} S'(t_y). \quad (13)$$

由(10)、(11)式可构造 t_y 年参数为 m 、 k 的分量的模方拟合率

$$r'_{m,k}(t_y) = \frac{S'_{m,k}(t_y)}{S'(t_y)}. \quad (14)$$

它就是参数 m 、 k 的球函数分量在拟合该年气候异常场 $H'(t_y)$ 中的方差贡献; 将 $r'_{m,k}(t_y)$ 作非升序排列得

$$r'_{m_1, k_1}(t_y) \quad r'_{m_2, k_2}(t_y) \quad \dots \quad r'_{m_h, k_h}(t_y) \quad \dots。$$

记

$$\rho'_h(t_y, m_h, k_h) = r'_{m_h, k_h}(t_y), \quad h = 1 \sim 121. \quad (15)$$

它是第 h 个最重要的球函数分量(即参数为 m_h 、 k_h 的球函数 YC_{m_h, k_h} 、 YS_{m_h, k_h}) 在拟合 $H'(t_y)$ 中的模方拟合率; 利用(15)的 $\rho'_h(t_y)$, 可定义 t_y 年前 h 个最重要的球函数分量在拟合 $H'(t_y)$ 中的累积模方拟合率

$$P'_h(t_y) = \sum_{h'=1}^h \rho'_{h'}(t_y). \quad (16)$$

类似地, 利用(12)、(13)式, 可定义参数为 m 、 k 的球函数分量在拟合场集 $\{H'(t_y)\}$ 中的模方拟合率

$$r'_{m,k} = \frac{S'_{m,k}}{S'}. \quad (17)$$

对 $r'_{m,k}$ 作非升序排列 $r'_{m_1, k_1} \quad r'_{m_2, k_2} \quad \dots \quad r'_{m_h, k_h} \quad \dots。$ 记

$$\rho'_h(m_h, k_h) = r'_{m_h, k_h}, \quad h = 1 \sim 121. \quad (18)$$

它是第 h 个最重要的球函数分量(其参数为 m_h 、 k_h) 在拟合场集 $\{H'(t_y)\}$ 中的模方拟合率; 用(18)式的 ρ'_h , 可定义前 h 个最重要的球函数分量在拟合场集 $\{H'(t_y)\}$ 中的累积模方拟合率

$$P'_h = \sum_{h'=1}^h \rho'_{h'}. \quad (19)$$

另外, 定义 t_y 年超长波(波数 0~3 波)、长波(波数 4~6 波)球函数在拟合距平场 $H'(t_y)$ 中的累积模方拟合率

$$R'_{UL}(t_y) = \sum_{m=0}^3 \sum_{k=0}^3 r'_{m,k}(t_y); \quad R'_{L}(t_y) = \sum_{m=0}^6 \sum_{k=0}^6 r'_{m,k}(t_y) - R'_{UL}(t_y). \quad (20)$$

和距平场集 $\{H'(t_y)\}$ 中的累积模方拟合率

$$R'_{UL} = \sum_{m=0}^3 \sum_{k=0}^3 r'_{m,k}; \quad R'_{L} = \sum_{m=0}^6 \sum_{k=0}^6 r'_{m,k} - R'_{UL} \quad (21)$$

模方拟合率 $r'_{m,k}(t_y)$ 、 $r'_{m,k}$ 、 $\rho'_h(t_y, m_h, k_h)$ 、 $\rho'_h(m_h, k_h)$ 及累积模方拟合率 $P'_h(t_y)$ 、 P'_h 和超长波、长波模方拟合率 $R'_{UL}(t_y)$ 、 $R'_{L}(t_y)$ 、 R'_{UL} 、 R'_{L} 将用于下面的球函数分析。

3 指数 I_a 分析

根据(6)、(7)式,求得了北、南半球 500 hPa 历年逐月位势高度场异常强度 $I_a(t_m, t_y)$ 及其多年平均值 $I_a(t_m)$, 下面简要分析其气候规律、年际差异及其半球际差异。

3.1 I_a 的季节变化及半球际差异

表 1 可见, 两半球多年平均异常强度均存在冬大夏小的年变化; 虽然北南半球异常强度的年平均相差不大, 但年较差北半球明显大于南半球。可见, 北半球相对复杂的地球表面状况, 不但扩大了气候位势高度场的季节差异^[8], 并且扩大了气候异常位势高度场的季节差异。连同文献[8], 与南半球相比, 北半球有一个弱的气候场(I_c 值低)和变化(季节、年际)较大的 500 hPa 月平均位势高度场。

表 1 500 hPa 半球气候异常高度场值 I_a

Table 1 500 hPa hemispherical climate anomaly height field intensity I_a dagpm

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	年平均	年较差
北半球	4.9	4.9	4.3	3.6	3.1	2.8	2.5	2.6	3.0	3.4	4.1	4.5	3.64	2.4
南半球	3.1	3.0	3.2	3.4	3.9	3.7	4.0	3.9	3.7	3.5	3.3	3.3	3.51	1.0

3.2 I_a 的年际变化及半球际差异

图 1 给出了北、南半球 1、7 月 500 hPa 位势高度场异常强度的年际变化曲线。可见 500 hPa 位势高度场历年异常强度存在明显的季节、年际及半球际差异, 具体表现为: 1) 北半

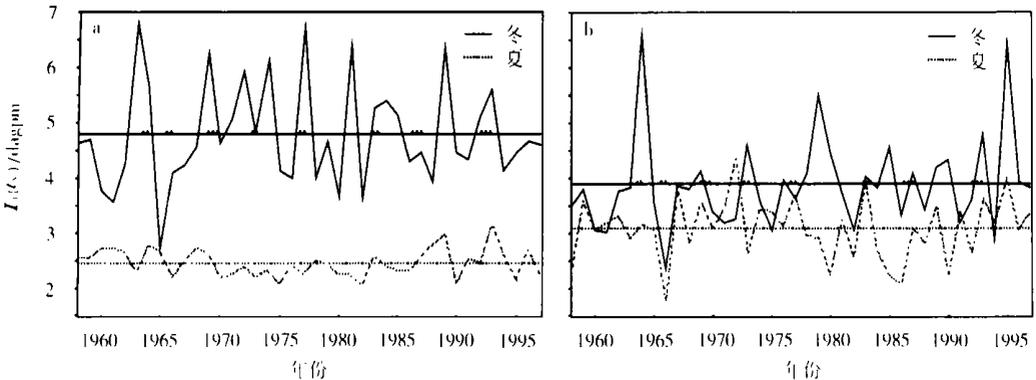


图 1 500 hPa 位势高度场异常强度年际变化 a. 北半球; b. 南半球

(实(虚)直线为相应多年平均值; 横线上的* 表示属 El Niño 事件阶段^[12-13]; 单位: dagpm)

Fig. 1 Interannual variations of 500 hPa hemispherical climate anomaly height field intensity (solid, dashed straightlines show their climate means respectively; the El Niño events^[12-13] are marked by *; units: dagpm)
a-Northern Hemisphere; b-Southern Hemisphere

球 $I_a(t_y)$ 曲线冬季明显高于夏季, 即使是异常最弱的 1965 年, 其 1 月 $I_a(t_y)$ 值也高于 7 月 $I_a(t_y)$ 的多年平均值及当年值; 而南半球 $I_a(t_y)$ 曲线平均值冬季(7 月) 虽高于夏季(1 月), 但具体年份既有冬季 $I_a(t_y)$ 低于夏季平均值的(6 a), 也有夏季 $I_a(t_y)$ 高于冬季平均值的(3 a)。2) 北半球冬季 $I_a(t_y)$ 高值(即强异常) 出现频率较高(约 4 a 一次), 呈年际尺度变化, 而南半球冬季 $I_a(t_y)$ 高值出现频率很低(共 3 次), 呈年代际尺度变化; 北半球夏季 $I_a(t_y)$ 20 世纪 70 年代至 80 年代初稳定于低值, 其余时段有明显振荡, 而南半球夏季 $I_a(t_y)$ 振荡均匀。此外, 同期两半球间或半球相邻季节间环流异常强度并不存在明显相关联系。

将文献[12-13] 提供的 El Nino 事件时段标在时间轴上, 可以看出, El Nino 事件与半球 500 hPa 环流异常强度间, 关系并不十分密切。至少, 最强的异常年份与 El Nino 事件同时发生的机率并不高, 有近半数的 El Nino 年 500 hPa 半球环流异常的强度偏弱($I_a(t_y)$ 小于均值)。看来, 即使象 El Nino 事件这种发生在热带海洋的最强外强迫, 也不足以引起半球尺度对流层下部环流的异常。

4 {H(ty)} 的球函数分析

这里, 主要根据 2.2 节给出的各种模方拟合率的计算, 阐明 500 hPa 位势高度异常场集的低阶低维特征、冬夏差别(即季节变化) 及北南半球的差异。

4.1 北半球{H(ty)} 的分析

表 2、表 3 给出了北半球 1、7 月 500 hPa 的 $r_{m,k}$ 。与气候场^[8] 类似, 在距平场构成中, 超长波($m, k= 0\sim 3$) 球函数分量仍是最重要的; 例如在 1、7 月, 它们的 R_{UL} 分别达到 74.90% 和 52.95%。不同的是纬向均匀球函数分量并不一定是最重要的分量, 而长波的重要性已变得不可忽视; 例如, 1、7 月 R_L 分别达 23.14% 和 39.56%。可见, 500 hPa 月高度距平场主要是由超长波、长波共同构成的(1、7 月 $R_{UL} + R_L$ 达 98.04%、92.51%)。但总的看来, 它们仍具有低阶、低维的特征; 因为超长波和长波只包含 49 个球函数分量、相当于 91 个空间自由度。由冬入夏(1 月到 7 月) 北半球 $\{H(t_y)\}$ 的结构趋于复杂, 证据是: 1) R_{UL} 和 $R_{UL} + R_L$ 的值下降; 2) 表 4 给出重要的球函数分量个数(其 $r_{m,k} > 1\%$) 从 22 个增至 30 个(相应自由度数由 39 增至 54); 3) 拟合 $\{H(t_y)\}$ 90% 模方(即 $P_h = 90\%$) 所需重要球函数分量数由 22 增至 37(相应空间自由度数也由 30 增至 67)。

表 2 北半球 1 月 500 hPa 位势高度距平场集的 $r_{m,k}$

Table 2 $r_{m,k}$ of Jan. 500 hPa geopotential height anomaly field in northern hemisphere %

k	m								
	0	1	2	3	4	5	6	7	8
0	2.01	1.02	0.85	0.47	0.36	0.34	0.16	0.06	0.02
1	6.83	5.08	5.83	5.39	4.03	1.74	0.73	0.28	0.10
2	9.68	10.84	6.79	5.98	3.57	1.02	0.35	0.14	0.08
3	3.88	4.80	4.23	1.21	0.77	0.31	0.17	0.08	0.04
4	2.28	2.40	1.10	0.35	0.23	0.12	0.05	0.03	0.02
5	0.45	1.06	0.36	0.13	0.12	0.05	0.02	0.02	0.01
6	0.23	0.29	0.16	0.07	0.05	0.02	0.01	0.01	0.01

表 3 北半球 7 月 500 hPa 位势高度距平场集的 $r_{m,k}$ Table 3 $r_{m,k}$ of Jul. 500 hPa geopotential height anomaly field in northern hemisphere %

k	m								
	0	1	2	3	4	5	6	7	8
0	8.25	2.38	0.36	0.17	0.11	0.13	0.12	0.06	0.03
1	2.58	2.35	1.63	1.55	1.33	1.25	1.21	0.63	0.24
2	4.81	3.45	3.23	4.43	3.10	2.27	1.84	0.76	0.33
3	3.98	5.40	4.64	3.76	2.19	1.34	0.69	0.26	0.17
4	2.41	4.03	3.49	2.17	0.95	0.55	0.29	0.22	0.10
5	1.30	2.19	1.33	0.82	0.45	0.26	0.14	0.10	0.00
6	0.76	1.50	0.59	0.39	0.20	0.12	0.07	0.06	0.04

表 4 北半球 1、7 月 500 hPa 位势高度距平场集的 ρ_h, P_h Table 4 ρ_h, P_h of Jan. and Jul. 500 hPa geopotential height anomaly field in northern hemisphere

h	1 月				7 月			
	m	k	$\rho_h / \%$	$P_h / \%$	m	k	$\rho_h / \%$	$P_h / \%$
1	1	2	10.84	10.84	0	0	8.25	8.25
2	0	2	9.68	20.52	1	3	5.40	13.66
3	0	1	6.83	27.35	0	2	4.81	18.46
4	2	2	6.79	34.14	2	3	4.64	23.10
5	3	2	5.98	40.12	3	2	4.43	27.53
6	2	1	5.83	45.95	1	4	4.03	31.50
7	3	1	5.39	51.34	0	3	3.98	35.53
8	1	1	5.08	56.42	3	3	3.76	39.29
9	1	3	4.80	61.22	2	4	3.49	42.77
10	2	3	4.23	65.46	1	2	3.45	46.22
11	4	1	4.03	69.49	2	2	3.23	49.45
12	0	3	3.88	73.36	4	2	3.10	52.55
13	4	2	3.57	76.93	0	1	2.58	55.13
14	1	4	2.40	79.33	0	4	2.41	57.54
15	0	4	2.28	81.61	1	0	2.38	59.92
16	0	0	2.01	83.63	1	1	2.35	62.27
17	5	1	1.47	85.37	5	2	2.27	64.54
18	3	3	1.21	86.58	4	3	2.19	66.73
19	2	4	1.10	87.68	1	5	2.19	68.92
20	1	5	1.06	88.73	3	4	2.17	71.09
21	5	2	1.02	89.75	6	2	1.84	72.93
22	1	0	1.02	90.77	2	1	1.63	74.56
23					3	1	1.55	76.11
24					1	6	1.50	77.61
25					5	3	1.34	78.95
26					2	5	1.33	80.28
27					4	1	1.33	81.61
28					0	5	1.30	82.90
29					5	1	1.25	84.16
30					6	1	1.21	85.36

4.2 南半球 $\{H(t_y)\}$ 的分析

表 5、表 6 给出了南半球 1、7 月 500 hPa 的 $r_{m,k}$ 。与北半球相应季节比较, 南半球 R_{UL} 冬

(7 月)、夏(1 月) 分别达 79.93 %、69.33 %，分别较北半球高 5.03 %、16.38 %。而由表 7，重要球函数分量(指 $r_{m,k} > 1\%$) 总数及自由度数冬季南北半球相当，夏季南半球较北半球分别少 7、14，而其累积模方拟合率 P_h 相当。由于纬向均匀球函数分量在南半球气候高度场中占有更显著的份额，反映到 $\{H(t_y)\}$ 中，它们的模方拟合率也明显高于北半球。所有这些表明，北半球 500 hPa 异常环流球函数谱结构较南半球复杂。

表 5 南半球 1 月 500 hPa 位势高度距平场集的 $r_{m,k}$

Table 5 $r_{m,k}$ of Jan. 500 hPa geopotential height anomaly field in southern hemisphere %

k	m								
	0	1	2	3	4	5	6	7	8
0	4.66	1.01	0.40	0.27	0.50	0.27	0.10	0.05	0.03
1	10.28	5.44	3.26	3.46	4.92	1.66	0.43	0.27	0.16
2	14.04	5.30	5.97	4.75	4.04	1.04	0.25	0.13	0.06
3	2.95	3.77	2.57	1.20	0.55	0.20	0.11	0.03	0.03
4	2.99	2.30	1.76	0.82	0.42	0.18	0.09	0.03	0.02
5	1.84	1.04	0.69	0.25	0.14	0.08	0.04	0.03	0.01
6	0.24	0.55	0.18	0.12	0.06	0.05	0.03	0.03	0.01

表 6 南半球 7 月 500 hPa 位势高度距平场集的 $r_{m,k}$

Table 6 $r_{m,k}$ of Jan. 500 hPa geopotential height anomaly field in southern hemisphere %

k	m								
	0	1	2	3	4	5	6	7	8
0	1.97	1.99	0.77	0.90	0.46	0.34	0.27	0.05	0.01
1	10.69	3.81	4.20	8.65	2.63	1.34	0.84	0.16	0.04
2	12.86	8.18	6.24	7.74	1.31	0.37	0.16	0.06	0.03
3	3.02	4.03	3.26	1.62	0.40	0.18	0.10	0.04	0.02
4	1.58	2.14	1.44	0.53	0.25	0.08	0.05	0.02	0.01
5	1.52	0.83	0.44	0.29	0.14	0.06	0.03	0.02	0.01
6	0.31	0.20	0.13	0.09	0.06	0.03	0.02	0.01	0.00

5 距平场集球函数拟合精度分析

文献[5] 给出拟合 500 hPa $\{H(t_y)\}$ 至指定精度所需球函数分量(自由度) 个数的两个不同方案: 方案 1 立足于对整个场集 $\{H(t_y)\}$ ，方案 2 立足于对场集中每个元素 $H(t_y)$ 。分析表明，由方案 1 确定的球函数分量用于拟合具体年份的 $H(t_y)$ 时，可以使某些年份的拟合误差很大。例如，文献[5] 用中央台 1951—1986 年北半球 500 hPa 的 $\{H(t_y)\}$ ，对 $P_h = 60\%$ 的标准，确定出 1 月所需球函数分量(自由度) 数为 9(16) 个，但按照由此确定的球函数分量拟合逐年的 $H(t_y)$ ，高的 P_h 可达 78.2 % (1973 年)，低的仅达 33.1 % (1965 年)；而方案 2 不存在此问题。因此本文选择方案 2。

按方案 2 (取截断标准为 $P_h = 80\%$ ，它意味着所有年份的 $r(t_y)$ 不低于 80%) 统计得表 8、表 9，它们分别给出使北、南半球 P_h 达 80% 的各球函数分量的出现频数。它表明，仅取超长波和长波(0 $m \setminus k$ 6) 拟合，就可使全部年份北、南半球 1、7 月的 $P(t_y) > 80\%$ 。图 2 给出了 0 $m \setminus k$ 6 的累积拟合率 $R_{6,6}(t_y)$ 。从图 2 中挑选出北、南半球 1、7 月的最低拟合率，它们分别是北半球 1965 年 1 月的 93.5 % 和 1982 年 7 月的 83.1 %，南半球 1986 年 1 月的 92.2 % 和 1966 年 7 月的 96.4 %，它们均高于 80 %。图 3、4 给出了它们的超长波、长波拟合的距平

场, 已具有相当高的精度。这表明, 500 hPa 位势高度距平场的确是低阶、低维的。

表 7 南半球 1、7 月 500 hPa 位势高度距平场集的 ρ_h, P_h

Table 7 ρ_h, P_h of Jan. and Jul. 500 hPa geopotential height anomaly field in southern hemisphere

h	1 月				7 月			
	m	k	$\rho_h/\%$	$P_h/\%$	m	k	$\rho_h/\%$	$P_h/\%$
1	0	2	14.04	14.04	0	2	12.86	12.86
2	0	1	10.28	24.32	0	1	10.69	23.55
3	2	2	5.97	30.29	3	1	8.65	32.20
4	1	1	5.44	35.73	1	2	8.18	40.38
5	1	2	5.30	41.03	3	2	7.74	48.12
6	4	1	4.92	45.96	2	2	6.24	54.36
7	3	2	4.75	50.71	2	1	4.20	58.56
8	0	0	4.66	55.37	1	3	4.03	62.59
9	4	2	4.04	59.41	1	1	3.81	66.40
10	1	3	3.77	63.18	2	3	3.26	69.66
11	3	1	3.46	66.64	0	3	3.02	72.67
12	2	1	3.26	69.91	4	1	2.63	75.31
13	0	4	2.99	72.90	1	4	2.14	77.44
14	0	3	2.95	75.85	1	0	1.99	79.43
15	2	3	2.57	78.42	0	0	1.97	81.40
16	1	4	2.30	80.72	3	3	1.62	83.02
17	0	5	1.84	82.56	0	4	1.58	84.60
18	2	4	1.76	84.32	0	5	1.52	86.12
19	5	1	1.66	85.98	2	4	1.44	87.56
20	3	3	1.20	87.18	5	1	1.34	88.90
21	5	2	1.04	88.22	4	2	1.31	90.21
22	1	5	1.04	89.26				
23	1	0	1.01	90.27				

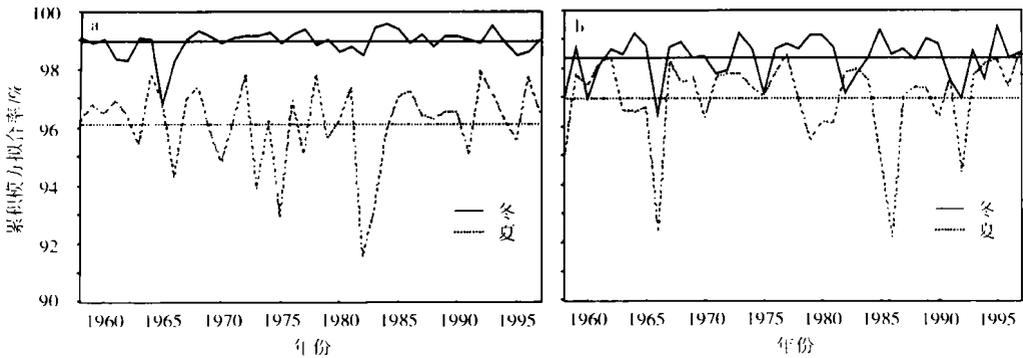


图 2 用超长波、长波拟合 500 hPa 位势高度距平场的累积模方拟合率(实(虚)直线为多年平均)
a. 北半球; b. 南半球

Fig. 2 Fitting ratio of accumulative squared module for 500 hPa geopotential height anomaly field by super-long and long wave (solid, dashed straight lines show their climate value respectively)

a. Northern Hemisphere; b. Southern Hemisphere

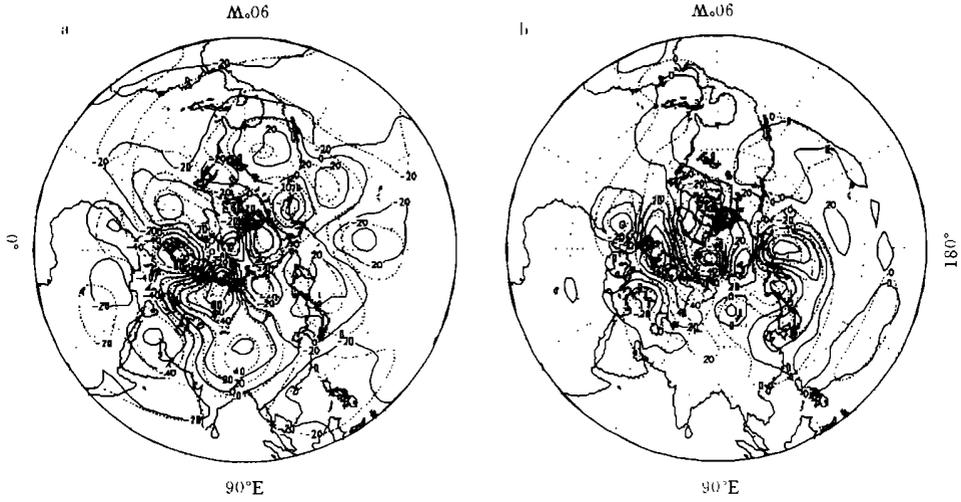


图 3 用超长波、长波拟合北半球 500 hPa 位势高度距平场举例
(实(虚)线为实际(拟合)距平场,等值线间隔 20 gpm)

a. 1965 年 1 月($R'_{UL+L} = 93.0\%$); b. 1982 年 7 月($R'_{UL+L} = 83.0\%$)

Fig. 3 Example of fitting 500 hPa geopotential height anomaly field by super-long and long wave in northern hemisphere

(Solid(dashed) lines show the practical(fitted) values; contour interval is 20 gpm)

a. Jan. in 1965($R'_{UL+L} = 93.0\%$); b. Jul. in 1982($R'_{UL+L} = 83.0\%$)

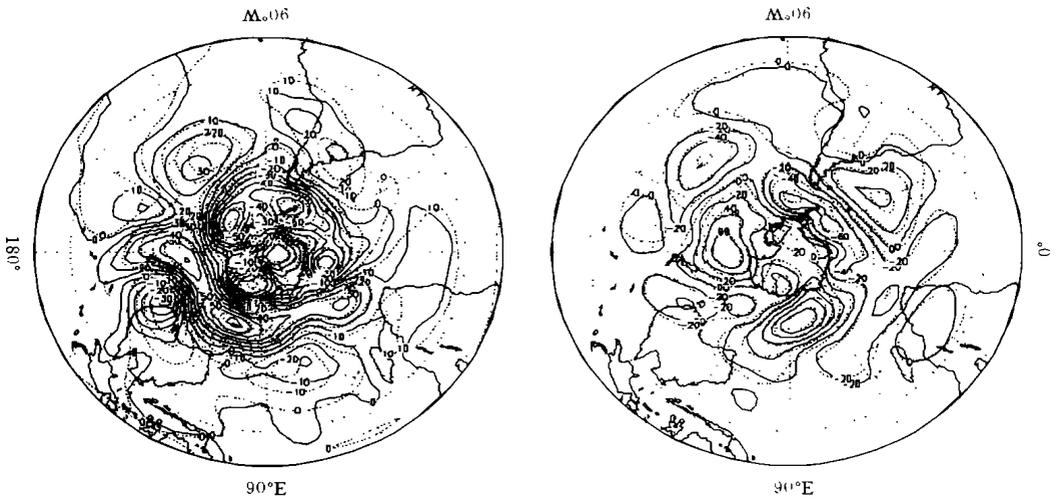


图 4 用超长波、长波拟合南半球 500 hPa 位势高度距平场举例
(实(虚)线为实际(拟合)距平场;等值线间隔 20 gpm)

a. 1986 年 1 月($R'_{UL+L} = 92.2\%$); b. 1966 年 7 月($R'_{UL+L} = 96.4\%$)

Fig. 4 Example of fitting 500 hPa geopotential height anomaly field by super-long and long wave in southern hemisphere

(Solid(dashed) lines show the practical(fitted) values; contour interval is 20 gpm)

a. Jan. in 1986($R'_{UL+L} = 92.2\%$); b. Jul. in 1966($R'_{UL+L} = 96.4\%$)

表 8 方案 确定的北半球 1(7)月 500 hPa $\{H(t_y)\}$ 重要球函数分量出现频数Table 8 Frequency of important spherical function components in Jan.(Jul.)
500 hPa $\{H(t_y)\}$ in northern hemisphere calculated by scheme

k	m							
	0	1	2	3	4	5	6	7
0	16(29)	5(17)	3(2)	0(0)	1(0)	0(0)	1(0)	0(0)
1	24(19)	28(20)	30(16)	31(15)	27(15)	11(15)	4(18)	0(7)
2	23(23)	35(27)	29(27)	29(30)	22(30)	5(19)	0(21)	0(6)
3	15(20)	28(34)	27(35)	8(26)	5(25)	1(17)	0(8)	0(0)
4	13(19)	18(31)	6(28)	0(25)	0(10)	0(3)	0(0)	0(0)
5	1(16)	7(23)	2(17)	0(9)	0(3)	0(0)	0(0)	0(0)
6	1(9)	0(10)	0(5)	0(2)	0(1)	0(0)	0(0)	0(0)
7	0(3)	0(5)	0(1)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)

表 9 方案 确定的南半球 1(7)月 500 hPa $\{H(t_y)\}$ 重要球函数分量出现频数Table 9 Frequency of important spherical function components in Jan.(Jul.)
500 hPa $\{H(t_y)\}$ in southern hemisphere calculated by scheme

k	m							
	0	1	2	3	4	5	6	7
0	24(15)	8(12)	0(5)	0(2)	0(1)	0(1)	0(0)	0(0)
1	26(32)	28(23)	21(25)	27(35)	27(19)	13(11)	1(2)	1(0)
2	29(27)	23(33)	28(29)	29(32)	27(8)	9(2)	0(0)	0(0)
3	19(17)	26(21)	16(22)	7(14)	4(0)	1(1)	0(0)	0(0)
4	17(12)	14(15)	14(12)	5(1)	1(0)	0(0)	0(0)	0(0)
5	15(11)	8(6)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)
6	0(1)	4(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)
7	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)

6 小 结

用半球气候异常场强度 I_a 和球函数分析改进方案, 分析了北、南半球 500 hPa 气候异常位势高度场集的环流特征, 得到如下主要结果: 1) 半球异常冬强于夏, 北半球强于南半球。2) 500 hPa 气候异常位势高度场具有低阶、低维的特征, 它们主要由超长波及长波波段(0 m, k 6) 的球函数构成。3) 北半球 500 hPa 气候异常位势高度场集的球函数谱结构较南半球复杂, 夏季较冬季复杂。仅用超长波及长波波段的球函数拟合半球 500 hPa 异常位势高度场, 就可保证其有足够的精确度。本工作既是使用 500 hPa 球函数系数于长期天气预报的基础, 也是用球函数分析方法分析全球其他层次气候异常位势高度场集的重要参考。

致谢: 本文资料由美国环境预报中心(NCEP) 汪学良 博士、朱跃建先生整理并提供, 南京气象学院郭品文博士参与了资料的再整理, 谨致谢; 该资料经由 NCEP/NCAR 及南京大气资料服务中心提供, 并致谢。

参考文献:

[1] 章基嘉, 葛 玲. 中长期天气预报基础[M]. 北京: 气象出版社, 1983.

- [2] Kalnay E, Kistler R, Kanamitsu M, et al. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project[J]. Bull Amer Meteor Soc, 1996, 77(3): 437-471.
- [3] 中央气象台数值预报科. 长期天气预报物理量的计算和应用[J]. 气象, 1980(4): 27-29.
- [4] 王盘兴, 吴洪宝, 卓玛, 等. 北半球 500 hPa 多年平均高度场的球函数谱结构[J]. 南京气象学院学报, 1995, 18(1): 14-24.
- [5] 王盘兴, 吴洪宝, 李雅芬. 北半球 500 hPa 月高度距平场的球函数谱结构[J]. 南京气象学院学报, 1995, 18(2): 220-228.
- [6] Wang Pangxing, Wu Hongbao. Analysis of spherical function spectral structure of the Northern Hemisphere 500 hPa monthly mean height[J]. Adv Acta Meteor Sin, 1995, 9(2): 237-248.
- [7] 王盘兴, 李雅芬, 李巧萍, 等. 球函数分析中经向数值积分的改进方案[J]. 南京气象学院学报, 2000, 23(3): 417-421.
- [8] 李雅芬, 王盘兴, 李巧萍. 500 hPa 气候位势高度场的时空结构分析, 南京气象学院学报[J]. 2003, 26(4): 447-457.
- [9] 吴洪宝. NCEP/NCAR 再分析计划提供的 1958—1997 年月平均场介绍[J]. 南京气象学院学报, 1998, 21(3): 455-458.
- [10] 王盘兴. 40 a 逐月平均位势高度场的球函数系数资料集介绍[J]. 南京气象学院学报, 2000, 23(3): 460.
- [11] 洛伦兹 E N. 大气环流的性质和理论[M]//北京大学地球物理系气象专业译. 北京: 科学出版社, 1976: 26-27.
- [12] ENSO 监测小组. 厄尔尼诺事件的划分标准和指数[J]. 气象, 1989, 15(3): 37-38.
- [13] 叶笃正, 黄荣辉. 长江黄河流域旱涝规律和成因研究[M]. 北京: 山东科学技术出版社, 1996.

Seasonal Variation and Hemispherical Difference of 500 hPa Climate Anomaly Height Field Intensity and Spectrum Structure

LI Ya-fen, LI Qiao-ping, WANG Pan-xing, HE Jin-hai

(Department of Atmospheric Sciences, NIM, Nanjing 210044, China)

Abstract: By using hemispherical climate anomaly height field intensity and improved scheme of spherical function analysis, the circulation features of 500 hPa climate anomaly height field in both northern and southern hemispheres. It is concluded that, 1) the hemispherical climate anomaly height field intensity in winter (northern hemisphere) is stronger than that in summer (southern hemisphere); 2) the 500 hPa climate anomaly height field is mainly composed of super-long and long wave spherical function components ($0 < m, k < 6$) and characterized by lower order and dimension; 3) the spectrum structure of 500 hPa climate anomaly height field is more complicated in northern hemisphere (summer) than that in southern hemisphere (winter). The hemispheric 500 hPa climate anomaly geopotential height field can be well fitted by super-long and long wave spherical function components with high accuracy.

Key words: 500 hPa climate anomaly geopotential height field; intensity of climate anomaly fields; spherical function analysis; seasonal variation; difference between two hemispheres