

文章编号: 1000-2022(2003) 04-0447-11

500 hPa 气候高度场强度及谱结构的季节变化与半球际差异

李雅芬, 王盘兴, 李巧萍

(南京气象学院 大气科学系, 江苏 南京 210044)

摘要: 用半球气候场强度指数(I_c)及球函数分析改进方案, 分析了北、南半球 500 hPa 气候高度场的环流特征, 得到如下主要结论: 1) 半球 500 hPa 气候高度场强度冬强于夏, 南半球强于北半球; 半球环流向夏季的转换速度北南半球相当, 而向冬季的转换北半球较南半球快。2) 半球 500 hPa 气候高度场具有简单的球函数谱结构, 它们主要由超长波波段的球函数($0 \leq m, k \leq 3, m, k$ 不全为 0)、特别是其中的带状球函数($m=0$)构成, 因而具有低阶、低维的特征。3) 对北半球用约 20 个重要球函数分量(按 $\bar{r}_{m,k}^2 \geq 0.05\%$ 标准)即可相当精确地拟合其 500 hPa 气候高度场, 而对南半球仅用 10 个重要球函数分量即可相当精确地拟合其 500 hPa 气候高度场; 因此, 北半球气候高度场球函数谱结构较南半球复杂。4) 北半球 500 hPa 气候高度场的季节变化较南半球明显。

关键词: 500 hPa 气候位势高度场; 气候场强度; 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

在长期天气预报的实践中, 月季尺度平均环流异常与短期气候异常的关系是理论研究的重要课题和实际预报的出发点。其中, 500 hPa 层平均环流的气候及其异常的研究及预报应用有着悠久的历史, 文献不胜枚举。文献[1-3]分析了北半球 500 hPa 气候位势高度场及气候异常(即距平)位势高度场的球函数谱结构。受资料范围、分辨率及经向数值积分方案影响, 分析项目需给予扩充, 精度有待提高。本文采用 NCEP/NCAR 40 a(1958—1997 年)再分析资料的全球 500 hPa 月平均位势高度场资料^[4], 借助半球域上气候场的环流分解^[5]和改进了的球函数分析方案^[6], 给出极为重要的 500 hPa 北、南半球位势高度场的平均高度、气候场强度及球函数谱的季节变化及半球际差异。

1 资 料

论文使用 NCEP/NCAR 500 hPa 月平均高度场格点资料, 其覆盖时段为 1958—1997 年

收稿日期: 2001-11-15; 改回日期: 2002-09-25

基金项目: 江淮梅雨的年际和年代际变化规律及其机制研究项目(40233037); 国家自然科学基金重点项目(49735170)

作者简介: 李雅芬(1968-), 女, 硕士, 工程师, 现在福建省气象台工作。

1—12 月, 共 40 a; 它是写在均匀格距矩形经纬格点网上的全球资料, 格距为 $\Delta x = 2.5^\circ \times 2.5^\circ$; 对应经、纬向格点分别为 73、144。它可表达为

$$H(i, j; t_m, t_y) \quad (1)$$

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

$$t_m = 1 \sim 12, t_y = 1 \sim 40。$$

式中, i, j, t_m, t_y 分别为经度、余纬、月序、年序。

2 分析方案

将整个球面区分为北、南半球 ($[0^\circ; 90^\circ]$ 、 $[90^\circ; 180^\circ]$), 用 D 记某半球球面区域, 下面分两部分简要给出分析方案。

2.1 半球气候高度场的均值指数 I_m 及强度指数 I_c

对 t_m 月、某半球 500 hPa 气候高度场 $\overline{H}(\lambda, \phi; t_m)$, 文献[7]据 Lorenz 环流分解原理^[5], 将其作了空间域上的分解

$$\overline{H}(\lambda, \phi; t_m) = [\overline{H}(t_m)] + \overline{H}^*(\lambda, \phi; t_m)。 \quad (2)$$

式中, $[\overline{H}(t_m)]$ 为 $\overline{H}(\lambda, \phi; t_m)$ 的半球球面面积加权平均值, 它是常量; $\overline{H}^*(\lambda, \phi; t_m)$ 是 $\overline{H}(\lambda, \phi; t_m)$ 对 $[\overline{H}(t_m)]$ 的偏差。显然 $\overline{H}(\lambda, \phi; t_m)$ 的空间结构(即“形势”)仅取决于 $\overline{H}^*(\lambda, \phi; t_m)$ 。用(2)式右端第一项作为均值指数

$$I_m(t_m) = [\overline{H}(t_m)] = \int_D \overline{H}(\lambda, \phi, t_m) \sin \phi \, d\lambda \, d\phi / 2。 \quad (3)$$

和用第二项构造强度指数

$$I_c(t_m) = [\int_D \overline{H}^{*2}(\lambda, \phi; t_m) \sin \phi \, d\lambda \, d\phi / 2]^{1/2}。 \quad (4)$$

式中, 2 为单位半径球的半球球面面积。

因为 I_m 与半球 500 hPa 以下大气的平均温度有关, 故 I_m 随季节(t_m)的变化给出了 500 hPa 以下大气温度的季节变化, 其半球间差异可用以诊断半球大气的相对冷暖。而 I_c 与半球 500 hPa 气候等压面“起伏”的平均强弱有关, 故它随季节(t_m)的变化及半球际差异, 可用以判断半球气候场强度的相应变化及北南半球差异。

2.2 球函数分析方案

用(1)式求得了全球 500 hPa 气候高度场 $\overline{H}(\lambda, \phi; t_m)$, 将其分为北、南半球场, 再将它们偶开拓(对赤道)为与北、南半球相对应的全球 500 hPa 偶开拓场。偶开拓场仍记为 $\overline{H}(\lambda, \phi; t_m)$, 相应全球球面域为 $[0, 2\pi] \times [0, \pi]$, 它们是球函数分析的对象。

分析仍采用文献[1-3]的分析方案, 但对它作了两点重要改进:

1) 定义了标准化球函数

$$\begin{Bmatrix} \tilde{Y} C_m^m \\ \tilde{Y} S_m^m \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \tilde{C}_m \\ \tilde{S}_m \end{Bmatrix} P_n^m(\cos \phi)。 \quad (5)$$

其中, \tilde{C}_m, \tilde{S}_m 是 $[0, 2\pi]$ 上模为 1 的标准化谐波, 其定义为

$$\begin{Bmatrix} \tilde{C}_m \\ \tilde{S}_m \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \cos m\lambda / \sqrt{2} \\ \sin m\lambda / \sqrt{2} \end{Bmatrix}, \quad m = \begin{cases} 1, & m = 0; \\ 1/2, & m = 1, 2, \dots \end{cases} \quad (6)$$

由 $P_n^m(\cos \theta)$ 的定义^[1-3] 知, 它们在余纬 $\theta \in [0, \pi]$ 上的模为 1。故 $\tilde{Y}C_n^m$ 、 $\tilde{Y}S_n^m$ 在整个球面上的模为 1, 是归一化正交系。 $\overline{H}(\theta, \lambda; t_m)$ 在其上的球函数展开为

$$\overline{H}(\theta, \lambda; t_m) = \sum_{n=0}^{\infty} \overline{A}_n^0(t_m) \tilde{Y}C_n^0 + \sum_{m=1}^n \left(\overline{A}_n^m(t_m) \tilde{Y}C_n^m + \overline{B}_n^m(t_m) \tilde{Y}S_n^m \right) \quad (7)$$

其中, 球函数系数计算可简化为

$$\begin{cases} \overline{A}_n^m(t_m) \\ \overline{B}_n^m(t_m) \end{cases} = \begin{cases} (\overline{H}(\theta, \lambda; t_m), \tilde{Y}C_n^m) \\ (\overline{H}(\theta, \lambda; t_m), \tilde{Y}S_n^m) \end{cases} \quad (8)$$

式中, (\cdot, \cdot) 为内积算符; 对全球场 (θ, λ) 、 (θ', λ') , (8) 式中内积定义为

$$(\overline{H}(\theta, \lambda; t_m), \overline{H}(\theta', \lambda'; t_m)) = \int_0^\pi \int_0^{2\pi} \overline{H}(\theta, \lambda; t_m) \overline{H}(\theta', \lambda'; t_m) \sin \theta d\theta d\lambda$$

利用 $\tilde{Y}C_n^m$ 、 $\tilde{Y}S_n^m$ 的归一性, \overline{H} 中参数 m, n 的场的球函数分量

$$\overline{H}_n^m = \overline{A}_n^m \tilde{Y}C_n^m + \overline{B}_n^m \tilde{Y}S_n^m \quad (9)$$

的方差计算可简化为

$$\overline{S}_n^m = (\overline{H}_n^m, \overline{H}_n^m) = \overline{A}_n^{m^2} + \overline{B}_n^{m^2} \quad (10)$$

这将大大简化误差分析。

2) 采用了新的经向数值积分公式

由文献[6], 本文在计算定积分 $\int_0^{180^\circ} q(\theta) \sin \theta d\theta$, $\theta \in [0^\circ, 180^\circ]$ 时采用了修正的梯形求积公式

$$\int_0^{180^\circ} q(\theta) \sin \theta d\theta \approx \frac{J}{J} \left[\frac{1}{8} (3q_0 + q_1 + q_{J-1} + 3q_J) \sin \frac{4J}{4J} + \sum_{j=1}^{J-1} q_j \sin \theta_j \right] \quad (11)$$

将它用于 $\tilde{P}_n^m(\cos \theta)$ 模及正交性分析, 它可以明显改善离散情况下 $\tilde{P}_n^0(\cos \theta)$ 的正交性。

3 指数 I_m 、 I_c 分析

按(3)、(4)式求得了北、南半球 500 hPa 气候高度场的逐月均值指数 I_m (表 1) 和强度指数 I_c (表 2)。

3.1 I_m 季节变化及半球际差异

由表 1, I_m 冬低夏高, 年平均北半球高南半球低, 年较差北半球大南半球小。故相对于北半球而言, 南半球 500 hPa 以下大气是冷、季节变化平小且滞缓的。

3.2 I_c 季节变化及半球际差异

由表 2, I_c 冬高夏低, 年平均北半球明显低于南半球, 而年较差北半球明显高于南半球。故相对于北半球, 南半球 500 hPa 气候高度场强且季节变化小。

I_m 、 I_c 揭示的北、南半球 500 hPa 气候高度场的上述差异本质上是由两半球海陆面积比、海陆分布及地形的巨大差异造成的。

表 1 500 hPa 半球气候高度场 I_m 值

Table 1 The I_m value of 500 hPa hemispherical climatic height fields 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	559.9	560.0	562.3	566.5	571.6	576.1	579.0	578.4	575.0	570.2	565.5	561.9	569.3	19.1
南半球	566.3	566.6	565.3	563.2	560.8	559.1	557.7	557.5	558.0	559.5	561.9	564.6	561.7	9.1

表 2 500 hPa 半球气候高度场 I_c 值

Table 2 The I_c value of 500 hPa hemispherical climatic height fields													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	27.0	26.7	25.3	22.0	18.0	14.4	11.9	13.0	16.6	21.0	24.4	26.4	20.6	15.1
南半球	25.4	26.6	28.6	29.7	30.2	30.7	31.7	32.5	32.5	31.5	28.9	26.2	29.5	7.1

4 \bar{H}^* 的模方分析方案

气候高度场的形势完全决定于(2)式中的 \bar{H}^* (,), 故分析仅对(2)式中 \bar{H}^* (,) 进行。由文献[1], 用经向半球零点个数(极点除外) $k = (n - m) / 2$ 替代二维指数 n , 在域 $0 \leq m, k \leq 10$ 上将 \bar{H}^* (,) 近似分解成

$$\bar{H}^* (,) = \sum_{k=1}^{10} \sum_{m=1}^{10} \bar{A}_{2k}^0 \tilde{Y} C_{2k}^0 + \sum_{m=1}^{10} [\bar{A}_m^m \tilde{Y} C_m^m + \bar{B}_m^m \tilde{Y} S_m^m] + \sum_{m=1}^{10} \sum_{k=1}^{10} [\bar{A}_{m,k} \tilde{Y} C_{m,k} + \bar{B}_{m,k} \tilde{Y} S_{m,k}]. \quad (12)$$

式右的三个和式分别为文献[1]中的 \bar{H}_1^* 、 \bar{H}_2^* 和 \bar{H}_3^* 。其分别给出 \bar{H}^* 中以极点为中心的纬向均匀的涡旋(带形球函数拟合的部分)、中心在赤道的经向范围达极点的涡旋(扇形球函数拟合的部分)和上述两类涡旋外的其他涡旋(田形球函数拟合的部分)。

4.1 波数域上的模方分析方案

按文献[1], 以 \bar{S}^* 、 $\bar{S}_{m,k}^*$ 记 \bar{H}^* 、 $\bar{H}_{m,k}^*$ 的模方, 文中采用计算公式

$$\bar{S}^* = (\bar{H}^*, \bar{H}^*) = \sum_{m=0}^{10} \sum_{k=0}^{10} \bar{S}_{m,k}^*, \quad (m, k \text{ 不全为 } 0); \quad (13)$$

$$\bar{S}_{m,k}^* = (\bar{H}_{m,k}^*, \bar{H}_{m,k}^*) = \begin{cases} \bar{A}_{0,k}^0{}^2, & k = 1 \sim 10; \\ \bar{A}_{m,k}^m{}^2 + \bar{B}_{m,k}^m{}^2, & m = 1 \sim 10, k = 0 \sim 10. \end{cases} \quad (14)$$

由此求得 $\bar{H}_{m,k}^*$ 在拟合 \bar{H}^* 中的模方拟合率

$$\bar{r}_{m,k}^* = \bar{S}_{m,k}^* / \bar{S}^*. \quad (15)$$

并可构造波数(m, k)域上的累积模方拟合率

$$\bar{R}_{m,k}^* = \sum_{m=0}^m \sum_{k=0}^k \bar{r}_{m,k}^*, \quad (m, k \text{ 不全为 } 0). \quad (16)$$

它是波参数 m (k) m (k) 的全部球函数($m = k = 0$ 除外) 在拟合 \bar{H}^* 中的累积模方拟合率。取 $m, k = 3$ 得

$$\bar{R}_{UL}^* = \bar{R}_{3,3}^*. \quad (17)$$

它是波数域 $0 \leq m, k \leq 3$ (m, k 不全为 0) 上分量对 \bar{H}^* 的累积模方拟合率, 称其为超长波模方拟合率。

4.2 序数域上的模方分析方案

将 $\bar{r}_{m,k}^*$ 作非升序排列得

$$\bar{r}_{m_1, k_1}^* \quad \bar{r}_{m_2, k_2}^* \quad \dots \quad \bar{r}_{m_h, k_h}^* \quad \dots \quad (18)$$

记 $\bar{r}_h^* = \bar{r}_{m_h, k_h}^*$, 上式可写为

$$\bar{r}_h^* (m_h, k_h), \quad h = 1 \sim 120. \quad (19)$$

\bar{H}_h^* 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 $\bar{Y}C_{m_h, k_h}, \bar{Y}S_{m_h, k_h}$) 在拟合 \bar{H}^* 中的模方拟合率。并可构造序数(h) 域上的累积模方拟合率

$$\bar{P}_h^* = \sum_{h=1}^h \bar{r}_h^* \quad (20)$$

它是构成 \bar{H}^* 中最重要的 h 个球函数分量的累积模方拟合率。

5 \bar{H}^* 的球函数分析

求得了波数域 $0 \leq m, k \leq 10$ 上南北半球 $\bar{r}_{m, k}^*$, 它们包含了所有对 \bar{H}^* 方差贡献达 10^{-4} 以上的球函数分量。并且, 对北半球冬、夏季, 重要的球函数分量(指 $\bar{r}_{m, k}^* \geq 5 \times 10^{-4}$ 的分量) 分别局限于 $m, k \leq 4$ 和 $m, k \leq 6$ 的小范围内; 而南半球冬(7月)、夏(1月)季, 重要的球函数分量的 m 更缩小至 3、1。可见, 500 hPa 气候高度场本质上是低维(指自由度数低, 一个 $\bar{Y}C_{m, k}$ 或 $\bar{Y}S_{m, k}$ 对应一个自由度数^[8])、低阶(指 k, m 值低)的。

5.1 北半球 \bar{H}^* 的分析

由表 3、4 可见, 北半球 1、7 月 \bar{H}^* 构成中, 真正重要的只是超长波的球函数分量($m, k = 0 \sim 3$)。其中, 带状球函数分量($m = 0$) 的总方差贡献是主要的, 反映出 500 hPa 气候高度场中纬向均匀的绕极环流是主要的; 与超长波($m = 1 \sim 3$) 对应的田形及扇形球函数分量是仅次于低阶带状球函数分量的部分, 它们给出了气候场中的纬向非均匀部分。统计表明, $m, k = 0 \sim 3$ 的 15 种球函数分量(即 1、7 月 \bar{R}_{UL}^*)、对应自由度 27, 共拟合了 1、7 月 \bar{H}^* 的 99.26%、98.33%; 而其中 $m = 0, k = 1 \sim 3$ 的 3 种(带状)球函数分量(对应自由度 3), 就拟合了 \bar{H}^* 的 94.27%、95.41%。

比较表 3、4, 1 到 7 月(由冬至夏), 总特点是: 带状球函数分量的贡献增大、田形球函数贡献减小, 反映绕极环流趋于平直; $k = 1$ 球函数分量减小, $k = 2$ 分量明显增大, 反映副高增强、脊线平均位置明显北移; $m = 3$ 的球函数分量明显减小、 $m = 4$ 的分量相对增大, 反映了 500 hPa 气候高度场“冬 3、夏 4”的定常波波数季节差异特征。

表 3 北半球 1 月 500 hPa 气候高度场的 $\bar{r}_{m, k}^*$

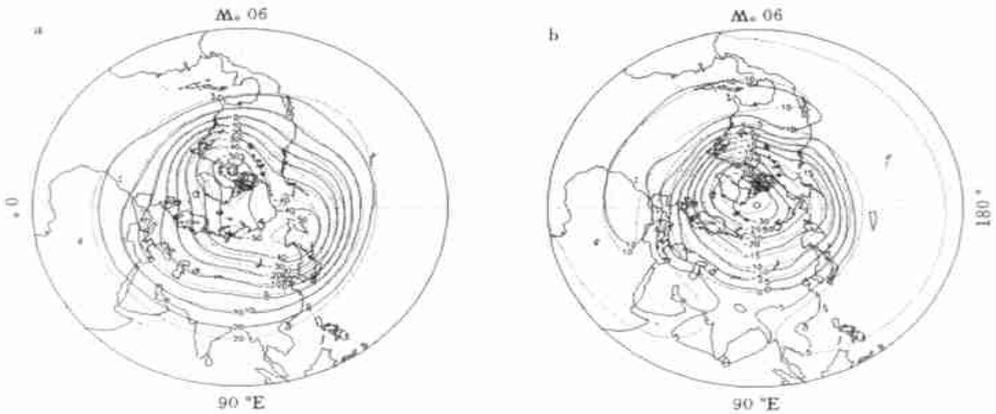
Table 3 The $\bar{r}_{m, k}^*$ value of 500 hPa climatic height field in Jan. in Northern Hemisphere %

k	m								
	0	1	2	3	4	5	6	7	8
0	-	0.49	0.06	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1	93.29	0.78	0.88	0.83	0.05	0.02	0.01	0.00	0.00
2	0.00	0.35	0.51	0.37	0.04	0.02	0.00	0.00	0.00
3	0.98	0.40	0.23	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4	0.33	0.10	0.05	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
5	0.00	0.03	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

图 1 给出了北半球 1、7 月 500 hPa 气候高度场 \bar{H}^* 的超长波拟合图, 它们虽然只用到 15 种球函数分量(对应空间自由度 27), \bar{H}^* 的拟合已相当好。

表 4 北半球 7 月 500 hPa 气候高度场的 $\bar{r}_{m,k}^*$ Table 4 The $\bar{r}_{m,k}^*$ value of 500 hPa climatic height field in Jul. in Northern Hemisphere %

k	m								
	0	1	2	3	4	5	6	7	8
0	-	0.63	0.10	0.04	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00
1	80.40	0.08	0.17	0.06	0.10	0.03	0.05	0.04	0.01
2	13.02	1.26	0.32	0.11	0.06	0.03	0.05	0.02	0.01
3	1.99	0.04	0.02	0.09	0.07	0.01	0.01	0.00	0.00
4	0.01	0.05	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00
5	0.71	0.09	0.00	0.07	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
6	0.03	0.05	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00

图 1 北半球 500 hPa H^* (实线) 的超长波拟合(虚线)a. 1 月 ($\bar{r}_h^* = 99.26\%$); b. 7 月 ($\bar{r}_h^* = 98.33\%$)

(等值线间隔: 1 月为 10, 7 月为 5; 单位: dagpm)

Fig. 1 Ultra-long wave fitting field (dashed line) of

500 hPa H^* (solid line) in Northern Hemispherea. Jan. ($\bar{r}_h^* = 99.26\%$); b. Jul. ($\bar{r}_h^* = 98.33\%$)

(Contour interval is 10 for Jan. and 5 for Jul.; units: dagpm)

表 5 给出北半球 1、7 月 500 hPa 气候场 \bar{H}_h^* 、 \bar{H}_k^* 及相应波参数 m 、 k 。以 $\bar{r}_{m,k}^* 0.05\%$ 为重要球函数分量标准, 则构成 1 月气候场的重要球函数分量为 17 种(空间自由度为 31), 拟合了 \bar{H}^* 的 99.74%; 相应 7 月重要球函数分量为 20 种(空间自由度为 36), 拟合了 \bar{H}^* 的 99.42%。由于这些球函数分量中包含了一定数量(1 月 4 个、7 月 8 个)的长波段(m 或 $k = 4 \sim 6$)分量, 由它们给出的 H^* 拟合图(图 2, 称为重要球函数分量拟合图)比超长波拟合图(图 1)有更高的质量。

5.2 南半球 H^* 分析

表 6、7 可见, 南半球 1、7 月的 500 hPa H^* 中超长波球函数分量、特别是其中带状球函数分量的重要性更为突出。15 个低阶球函数分量 1、7 月的累积拟合率为 99.27%、99.58%, 其

表 5 北半球 1、7 月 500 hPa H^* 重要球函数分量的 \bar{h}^* 、 \bar{P}_h^*
 Table 5 \bar{h}^* 、 \bar{P}_h^* of important spherical function components of
 500 hPa H^* in Jan. and Jul. in Northern Hemisphere

h	1 月				7 月			
	m	k	$\bar{h}^* / \%$	$\bar{P}_h^* / \%$	m	k	$\bar{h}^* / \%$	$\bar{P}_h^* / \%$
1	0	1	93.29	93.29	0	1	80.40	80.40
2	0	3	0.98	94.27	0	2	13.02	93.42
3	2	1	0.88	95.15	0	3	1.99	95.41
4	3	1	0.83	95.98	1	2	1.26	96.67
5	1	1	0.78	96.75	0	5	0.71	97.38
6	2	2	0.51	97.27	1	0	0.63	98.01
7	1	0	0.49	97.75	2	2	0.32	98.33
8	1	3	0.40	98.15	2	1	0.17	98.50
9	3	2	0.37	98.52	3	2	0.11	98.61
10	1	2	0.35	98.87	4	1	0.10	98.71
11	0	4	0.33	99.20	2	0	0.10	98.80
12	2	3	0.23	99.42	1	5	0.09	98.90
13	1	4	0.10	99.53	3	3	0.09	98.98
14	2	0	0.06	99.58	1	1	0.08	99.07
15	4	1	0.05	99.64	3	5	0.07	99.13
16	3	0	0.05	99.69	4	3	0.07	99.20
17	2	4	0.05	99.74	3	1	0.06	99.26
18					4	2	0.06	99.32
19					1	6	0.05	99.37
20					6	2	0.05	99.42

中 3 个带状球函数分量的累积拟合率为 98.39%、98.60%，它们都较北半球相应值高。并且，与北半球相比， $m=1$ 对应的球函数分量相对于 $m=2, 3$ 的球函数分量的贡献要大得多。表明，南半球环流的结构更趋平直。

比较表 6、7，7 月到 1 月(由冬至夏)，带状球函数($m=0$) 分量贡献发生明显调整， $k=1$ 重要性下降， $k=2 \sim 6$ 的重要性上升，副高带南进，同时，田形球函数分量累积贡献减小，纬向环流更趋平直。季节变化性质与北半球同。

图 3 给出了南半球 1、7 月 500 hPa H^* 的超长波($m, k=0 \sim 3$) 拟合图。因为环流本身非常平直，故低阶拟合图已相当精确。

由表 8 可见，南半球 1、7 月重要球函数分量(标准仍为 $r_{m,k}^* < 0.05\%$) 分别为 10、9 种(小于 15)，相应自由度为 14、15(小于 27)；它们几乎不随季节变化。图 4 给出了用这些球函数分量拟合的 H^* ；尽管它们只使用了少量球函数分量，其拟合质量仍较好；其中 1 月的拟合由于使用了较多的带形球函数，其拟合效果要优于超长波球函数分量拟合(图 3a)。

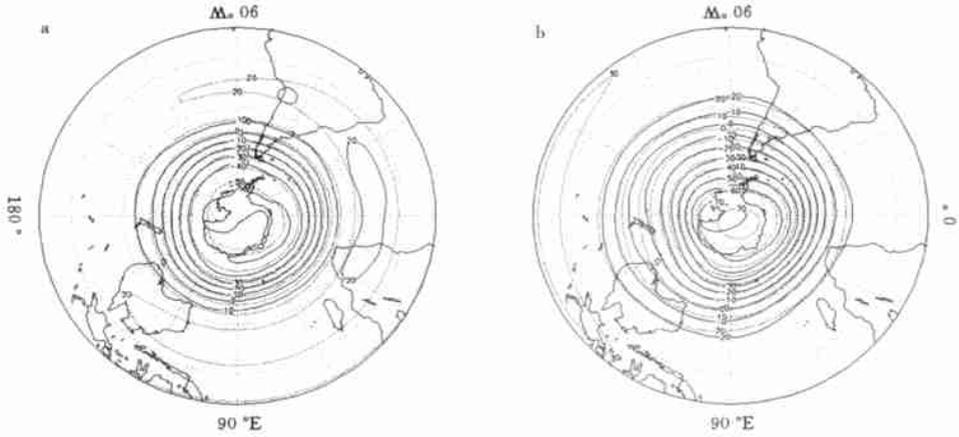


图 3 南半球 500 hPa H^* (实线)的超长波拟合(虚线)

a. 1 月($\bar{\bar{h}}^* = 99.27\%$); b. 7 月($\bar{\bar{h}}^* = 99.58\%$) (等值线间隔 10; 单位: dagpm)

Fig. 3 Ultra-long wave fitting field(dashed line) of 500 hPa H^* (solid line) in Southern Hemisphere

a. Jan. ($\bar{\bar{h}}^* = 99.27\%$); b. Jul. ($\bar{\bar{h}}^* = 99.58\%$) (Contour interval is 10; units: dagpm)

表 8 南半球 1、7 月 500 hPa H^* 重要球函数分量的 $\bar{\bar{h}}^*$ 、 $\bar{\bar{P}}_h^*$

Table 8 $\bar{\bar{h}}^*$, $\bar{\bar{P}}_h^*$ of important spherical function components of 500 hPa H^* in Jan. and Jul. in Southern Hemisphere

h	1 月				7 月			
	m	k	$\bar{\bar{h}}^* / \%$	$\bar{\bar{P}}_h^* / \%$	m	k	$\bar{\bar{h}}^* / \%$	$\bar{\bar{P}}_h^* / \%$
1	0	1	90.66	90.66	0	1	96.64	96.64
2	0	2	4.02	94.68	0	2	1.45	98.09
3	0	3	3.71	98.39	0	3	0.51	98.60
4	1	1	0.48	98.87	1	2	0.34	98.94
5	0	4	0.31	99.17	1	1	0.28	99.21
6	1	3	0.25	99.43	1	4	0.26	99.48
7	0	5	0.16	99.58	1	3	0.09	99.57
8	1	4	0.11	99.70	3	1	0.09	99.65
9	1	2	0.06	99.76	1	0	0.08	99.73
10	0	6	0.05	99.81				

6 小 结

综上所述,通过引进气候场强度和改进球函数分析方案,对 NCEP/NCAR 40 a 再分析资料中 500 hPa 气候位势高度场的时空结构作了仔细分析,得到如下重要结果: 1) 半球 500 hPa 气候高度场强度冬强于夏,南半球强于北半球。半球环流向夏季的转换速度南北半球相当,而向冬季的转换北半球比南半球快。2) 半球 500 hPa 气候高度场具有简单的球函数谱结构,它们主要由超长波波段的球函数($0 < m, k \leq 3, m, k$ 不全为 0)、特别是其中的带状球函数($m = 0$) 构

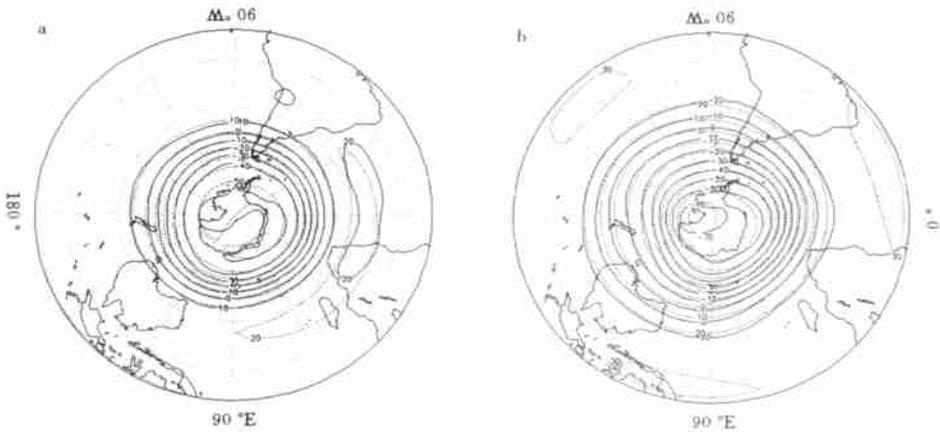


图 4 南半球 500 hPa \bar{H}^* (实线) 重要球函数分量拟合 (虚线)

a. 1 月; b. 7 月 (等值线间隔 10; 单位: dagpm)

Fig. 4 Important spherical function components fitting field (dashed line) of 500 hPa \bar{H}^* (solid line) in Southern Hemisphere
a. Jan.; b. Jul. (Contour interval is 10; units: dagpm)

成, 因而具有低阶、低维的特征。3) 按 $r_{m,k}^*$ 0.05% 的标准, 对北半球用 20 个重要球函数分量 (对应维数不超过 36) 即可相当精确地拟合其 500 hPa 气候高度场, 而对南半球仅用 10 个重要球函数分量 (对应维数不超过 15) 即可相当精确地拟合其 500 hPa 气候高度场; 因此, 北半球气候高度场球函数谱结构较南半球复杂。4) 北半球 500 hPa 气候高度场的季节变化较南半球明显。

上述结论是进一步分析 500 hPa 气候异常高度场的基础, 也可供分析其他层次气候高度场时空结构参考。

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, 一并致谢。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] Wang Panxing, Wu Hongbao. Analysis of spherical function spectral structure of the Northern Hemisphere 500 hPa monthly mean height[J]. Acta Meteor Sinica, 1995, 9(2): 237-248.
- [4] Kalnay E, Kanamitsu M, Kistler R. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project[J]. Bull Amer Meteor Soc, 1996, 77(3): 437-471.
- [5] 洛伦茨 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.
- [6] 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.
- [7] 李巧萍, 王盘兴, 李丽萍. 半球月平均位势高度场的若干环流指数及其变化特征[J]. 南京气象学院学报, 2003, 26(3): 341-348.
- [8] 雷兆崇, 章基嘉. 数值模式中的谱方法[M]. 北京: 气象出版社, 1991: 76-127.

Seasonal Variation and Hemispherical Difference of the Intensity and Spectrum Structure of 500 hPa Climatic Height Fields

LI Ya-fen, WANG Pan-xing, LI Qiao-ping

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

Abstract: The circulation character of 500 hPa climatic height fields in two hemispheres is investigated by using hemispherical climatic field intensity (I_c) and the improved scheme for spherical function analysis. The main findings are as the followings: 1) the intensity of 500 hPa hemispherical climatic height field of winter (Northern Hemisphere) is stronger than that of summer (Southern Hemisphere); the transition velocity of hemispherical circulation from winter to summer about the same in two hemispheres but the transition from summer to winter in Northern Hemisphere is more rapid than in Southern Hemisphere. 2) The spherical function spectrum structure of 500 hPa hemispherical climatic fields is simple, and the fields are mainly composed of ultra-long waves ($0 < m, k < 3$; m, k not equal to 0 simultaneously), specially of zonal spherical function ($m=0$), thus showing a low order and dimension on feature. 3) The 500 hPa climatic height field can be accurately fitted by using 20 important spherical function components (criteria by $\overline{r_{m,k}^*} = 0.05\%$) in Northern Hemisphere, but by using only 10 in Southern Hemisphere, that is to say, the spectrum structure in Northern Hemisphere is more complicated. 4) The seasonal variation of 500 hPa climatic height fields in Northern Hemisphere is more remarkable than that in Southern Hemisphere.

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