

北半球 500 百帕极地环流与厄尔尼诺、 南方涛动及我国气温场的遥相关

施 能

罗伯良

(南京气象学院)

(湖南省气象台)

摘要 本文用 1951—1984 年的资料对 500 百帕、65°N 以北的高度场作自然正交展开,用模糊聚类对典型场归类。指出,极涡月平均场有三种形态,1 月份平均场形态较特殊;大尺度距平场也有三种形态,4 月份距平场形态较特殊。此外,研究了典型场的时间权重系数与厄尔尼诺、南方涛动的关系。指出,厄尔尼诺现象发生的当年 4 月、10 月极地大尺度距平场有明显的异常特征。这种极地环流异常已明显影响到我国 4 月份、10 月份的气温场。因而,可能是厄尔尼诺年我国气温 4 月偏低、10 月偏高的一个重要原因。

关键词 厄尔尼诺,南方涛动,极涡,遥相关,气温场,非线性映射

北半球绕极地区是一个强大的气旋性环流系统,它的强度、中心位置、范围必将对整个大气环流的长期演变、天气以及海气相互作用产生重要的影响。为此,国内外对极涡与天气的关系进行了不少研究。然而,这些研究较多地集中在中高纬度^[1]。关于极涡与赤道太平洋厄尔尼诺现象以及南方涛动的遥相关尚没有研究。

关于极涡的表示,已提出过不少方法。但是,客观地、定量地表示极区高度场的强度、形态仍是一个值得研究的问题。论文^[1]最初尝试了用自然正交展开方法表示 500 百帕极区高度。但是,需要指出的是,上述工作是对 1—12 月的多年平均场的展开,所得的典型场实际上仅适用于各个月的多年平均场的恢复。如果要将某年某月的高度场展开为典型场的叠加,应用该月的月平均高度场组成资料矩阵,也就是逐月展开。我们进行了这种展开,得到逐月不同的典型场和逐年的时间系数。可以将这些典型场归类,了解逐月不同的极涡

平均场及距平场,也可以将逐月典型场的时间系数与反映南方涛动、厄尔尼诺强度的特征量求相关。对结果进行天气学分析和解释。

1 原理和计算方法

设某月的高度场为 $\vec{x} = (x_{ij}), i=1, 2, \dots, m, m$ 为空间点, $j=1, 2, \dots, n, n$ 为时间点, 表示逐年。 x_{ij} 就是第 i 个点在第 j 年的该月高度值。由于 m 大于 n , 所以计算时进行时空转换^①。也就是求出 n 阶对阵方阵 $\vec{A} = \vec{X}^T \cdot \vec{X}$ 的特征值 λ_j 和特征向量 $\vec{U}_j (j=1, 2, \dots, n)$, 然后转换成 $\vec{X} \cdot \vec{X}^T$ 的特征向量 $\vec{V}_j$, 即

$$\vec{X} \cdot \vec{X}^T = \vec{V} \cdot \vec{\Lambda} \cdot \vec{V}^T \quad (1)$$

$$\vec{V}_j = \vec{X} \cdot \vec{U}_j / \sqrt{\lambda_j} \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

$\vec{V}_j$ 是 m 维列向量。 $\vec{V}_j = (v_{ik}), \vec{\Lambda} = (\lambda_j), i=1, 2, \dots, m; j=1, 2, \dots, n; k=1, 2, \dots, n$ 。 v_{ik} 表示对应特征值 λ_k 的特征向量 $\vec{V}_k$ 的第 i 个分量, λ_k 是对应特征值 λ_k 的特征向量 $\vec{V}_k$ 的第 j 个时刻的时间系数, 则(1)写为

$$x_{ij} = \sum_{k=1}^n v_{ik} \cdot \lambda_{kj} \quad (3)$$

$$\vec{x}_j = \sum_{i=1}^m \vec{V}_i \cdot \lambda_{ij} \quad (j = 1, 2, \dots, n) \quad (4)$$

(4)表示任何时刻的场, $\vec{x}_j$ 表示为各典型场 $\vec{V}_i$ 以时间权重系数 λ_{ij} 线性叠加。

1.1 资料及展开结果

在 1951—1984 年北半球逐月 500 百帕高度场极地区域取 61 点的高度资料进行展开, 因此 $m=61, n=34$ 。这 61 个点的位置是: 85°N 纬圈取 4 点, 即 0°, 90°E, 180°, 90°W; 80°N 纬圈取 9 点, 从 30°E 开始, 每隔 40 个经度取 1 点, 直到 10°W; 75°N 纬圈取 12 个点, 从 40°E 开始, 每隔 30 个经度取 1 点, 直到 10°E; 70°N 纬圈取 18 个点, 从 10°E 开始, 每隔 20 个经度取一点, 直到 10°W; 65°N 纬圈取 18 个点, 从 5°E 开始, 每隔 20 个经度取 1 点, 直到 15°W。展开是分月、逐月进行, 表 1 是逐月前五个特征向量占总方差的累积百分比。

由表 1 可知, 各月第一特征向量占总方差 83% 以上, 前三个特征向量累积方差达 92% 以上。其中 4—10 月份, 仅第一向量就占总方差的 96%。一般来说, 取三个特征向量就足以表示极地环流的月平均特征。由表 1 还看出, 冬季月份第一典型场的贡献比夏季月份小, 这个结果与极地环流的实际情况是吻合的。

表 1 极地 500 百帕高度场 EOF 展开时前五个特征向量的累积百分比

月 向量	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
第一	84.6	83.8	89.5	96.8	98.8	99.2	99.5	99.3	98.9	96.5	92.5	89.9
第二	89.1	88.6	93.8	97.6	99.1	99.4	99.6	99.5	99.1	97.6	95.0	90.4
第三	92.5	93.1	96.0	98.2	99.4	99.5	99.7	99.6	99.3	98.4	96.5	93.5
第四	95.4	95.1	97.0	98.7	99.5	99.6	99.8	99.7	99.5	98.8	97.4	95.6
第五	96.8	96.5	98.0	99.0	99.7	99.7	99.8	99.8	99.6	99.1	98.1	96.7

1.2 极涡特征向量场形态及聚类

通过上述的展开工作,我们得到逐月的特征向量图以及逐年的时间系数序列。由于篇幅所限,不能一一给出其图形。但是,叙述一下第一、二特征向量场的主要形态特征还是有意义的。文献[4]已指出, $\bar{X}$ 矩阵取为极地高度实测资料时,第一特征向量表示该月多年平均场,第二特征向量场表示大尺度距平场。

第一特征向量图显示各月均是以极为低中心的圆。但是,最低点及形态随月份不同。在 12—2 月的图上,最低点略偏西半球,位置在 90—85°W 处。从 3 月份开始,最低点位置向东半球收缩,到夏季(6—8 月),最低点已完全位于极地中心处,形态成圆形。我们将 12 个月的第一向量(每个向量是 61 维)相互计算相似系数,用模糊聚类方法进行归类合并,得到一张聚类图(略)。结果显示,月平均环流可细分为三类,分别是 1 月、4—10 月和 11、12、2、3 月。由于 1 月份的第一典型场是一个低值区在 90°W—90°E 附近的狭长带,低中心在西半球,所以形态较特殊,单独成类并最后归并。

表 2 第一特征向量的时间系数的平均值与均方差

月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
均值	686.1	773.6	840.3	1178.7	1724.1	2186.0	2490.5	2332.3	1845.1	1265.3	902.9	693.1
均方差	170.1	120.1	140.7	108.5	113.0	79.0	72.4	92.1	89.9	107.0	119.3	138.3

表 2 是第一特征向量的时间系数的均值和均方差。可以看出,均值是从冬到夏增加的,最大值出现在 7 月,最小值出现在 1 月,表明极区高度从冬到夏逐渐升高。但是,均方差的变化却相反,从冬到夏逐渐减少。最大值出现在 1 月,最小值出现在 7 月。表明极涡月平均状况的年际变化在 1 月份最大,7 月份最小。

第二特征向量图是极区大尺度距平场。基本形态是 10、11、12 月东半球负距平西半球

正距平形态,以及 2、7、8 月东半球正距平西半球负距平形态。其余月份介于它们之间,各具特点。模糊聚类表明,在相似水平适当放宽时,也可归并为三类,4 月、10—1 月、其余月。4 月的距平场是最特殊的(见图 1)。下面将指出,厄尔尼诺年时,这种距平场的时间系数明显偏小。

2 极地环流与厄尔尼诺、南方涛动的遥相关

2.1 遥相关事实

厄尔尼诺是发生在赤道东太平洋的海温异常偏暖现象。当厄尔尼诺现象发生时,全球大气环流及天气气候发生异常。本文并不研究个别厄尔尼诺年的极地环流异常。而是从多年平均状况分析厄尔尼诺年与极地环流的遥相关。显然,这些相关事实,从概率意义上讲,也寓于个别的厄尔尼诺年中。表 3 列出我们选用的厄尔尼诺年和反厄尔尼诺年^[4-6]。

表 3 1951—1984 年的厄尔尼诺年和反厄尔尼诺年

厄尔尼诺年	1951、1953、1957、1963、1965、1969、1972、1976、1982、1983
反厄尔尼诺年	1955、1954、1964、1967、1970、1973、1975

此外,反映南方涛动年强度的南方涛动第一主成分的逐年值^[6,8]也作为计算遥相关的特征量。

表 4 是极地高度场第一—第三典型场的时间系数与南方涛动指数 SOI 第一主成分的相关系数,绝对值小于 0.1 的只标符号。表 5 列出 1 月份第一时间系数、4 月份第二时间系数、10 月份第二时间系数在厄尔尼诺年和反厄尔尼诺年的值,以及均值和均方差。

表 4 极地高度场 EOF 展开的第一—第三时间系数与 SOI 第一主成分的相关系数

月 系数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
第一	-0.32*	—	0.11	0.13	-0.23	—	-0.18	-0.12	—	—	—	—
第二	0.17	0.14	+	0.47**	+	—	0.23	+	—	0.41**	+	—
第三	—	-0.16	—	—	0.27	0.12	—	0.24	0.24	+	0.11	+

表 4 说明 1 月极地高度第一时间系数与 SOI 的相关系数接近 0.05 信度,4 月、10 月第二时间系数与 SOI 的相关系数达到 0.01 信度。而表 5 说明这三个时间系数在厄尔尼诺年和反厄尔尼诺年的均值之差已达到显著的程度,信度分别接近、超过 0.05。

表 5 极地高度场 EOF 展开时的三个时间系数在厄尔尼诺年和反厄尔尼诺年的取值

厄尔尼诺	1 月	4 月	10 月	反厄尔尼诺	1 月	4 月	10 月
	第一系数	第二系数	第二系数		第一系数	第二系数	第二系数
1951	541.4	-93.2	-103.1	1955	625.8	-92.8	305.2
1953	686.6	-193.8	-177.5	1954	789.1	16.5	-171.3
1957	547.1	-44.2	-123.3	1964	406.8	59.8	-51.3
1963	913.9	-46.0	-106.3	1967	560.0	-160.5	1.7
1965	679.0	-64.1	67.9	1970	880.3	0.3	81.1
1969	960.1	34.8	-97.4	1973	469.4	68.4	212.5
1972	511.1	-49.9	-85.0	1975	365.1	-52.2	160.7
1976	555.3	-99.8	-99.4				
1982	653.0	-92.3	3.2				
1983	479.0	-33.8	-56.0				
平 均	652.8	-68.2	-77.0	平 均	535.2	-22.9	76.9
均方差	157.4	55.9	65.3	均方差	179.1	77.4	151.8

2.2 4 月、10 月极地环流异常与厄尔尼诺、南方涛动

由上所述,1 月第一系数,4 月、10 月第二系数与厄尔尼诺、南方涛动的关系密切。由于 4 月、10 月极地环流与厄尔尼诺、南方涛动的相关显著度更高,所以,我们更仔细地分析它们之间的关系。

2.2.1 极地 4 月份环流

图 1 是极地高度场 EOF 展开的 4 月份第二特征向量图。

由图 1 看出,向量空间为二波型。在欧洲北部、加拿大北部的极地地区是低值中心,极地地区是高值中心。由于厄尔尼诺年 4 月份第二特征向量时间系数明显偏小(见表 5),所以厄尔尼诺年 4 月 500 百帕综合距平图形势在 60°N 以北的距平分布型式与特征向量场形势基本相反(图 2)。在图 2 上,北冰洋、东西伯利亚地区和北大西洋各有一低值中心,欧亚北部和加拿大上空为高值中心。环流形势表现为乌拉尔地区和加拿大阻塞高压异常持续,两大东岸大槽也持续异常。这样,有利于极地冷空气源源不断向中纬度输送,特别是东亚地区,使东亚上空冷空气活动较多。

2.2.2 10 月份极地环流

图 3 是 10 月分极地高度场自然正交展开的第二特征向量场。由图可见,空间分布是一波型。西半球,特别是 0—90°W 高度明显偏高。东半球高度明显偏低。因为厄尔尼诺年的权重偏小(见表 5),预示厄尔尼诺年极地西半球高度偏低,东半球高度偏高。厄尔尼诺年的 10 月份综合距平图证实了上述这种分布(见图 4)。

由于厄尔尼诺年 10 月份西半球高度偏低,特别是 0—90°W,因此,极涡中心也将偏

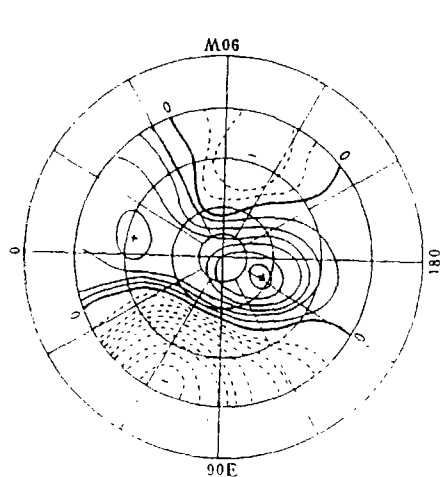


图1 4月份第二典型场

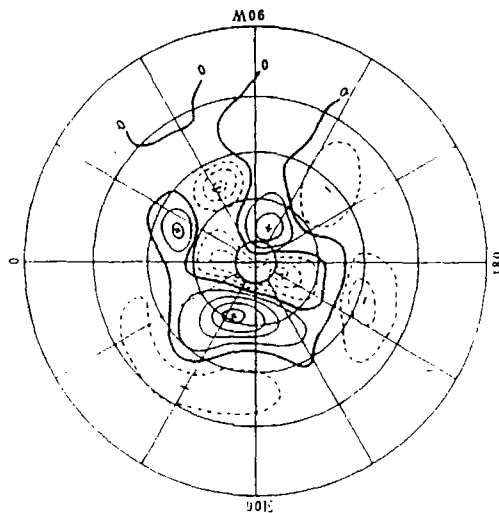
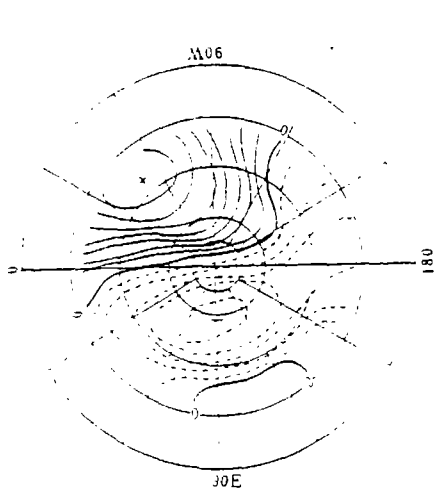
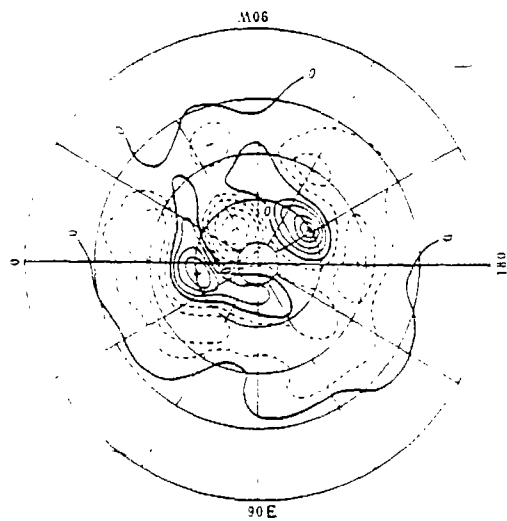
图2 厄尔尼诺年4月份综合距平图(500百帕)
单位:十位势米

图3 10月份第二典型场

图4 厄尔尼诺年10月份500百帕综合距平图
单位:十位势米

于西半球。图 5 是 1952—1986 年中厄尔尼诺年和反厄尔尼诺年极涡中心位置图。由图看出两个特点。第一是厄尔尼诺年的极涡中心位于西半球, 范围在 170°E — 30°W , 纬度 85°N 以南; 第二是反厄尔尼诺年 10 月份极涡中心位于东半球(1955 年, 1973 年, 1975 年), 或

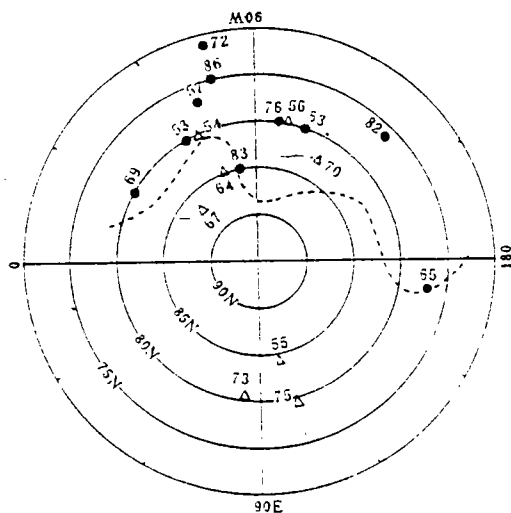


图 5 厄尔尼诺年和反厄尔尼诺年 10 月份极涡中心位置图(1952—1986)

者虽然位于西半球, 但纬度在 82°N 以北(1964, 1970, 1967 年), 仅 1954 年例外。

3 我国 4 月、10 月气温场与厄尔尼诺、南方涛动

上面我们指出了厄尔尼诺现象与北极区 4 月、10 月 500 百帕高度场的遥相关。现在分别指出气温场的异常。

3.1 4 月份偏冷、寒潮和强冷空气偏多

前已指出, 厄尔尼诺年时, 4 月份乌拉尔地区和加拿大阻塞高压异常持续, 两大岸东岸大槽持续异常, 有利于极地冷空气向东亚输送。表 6 是 4 月我国寒潮和强冷空气出现次数^[3]。

从表 6 看出, 厄尔尼诺年 4 月份寒潮和强冷空气活动偏多, 平均 2 次, 而反厄尔尼诺年则偏少, 平均不到 1 次。如果直接从气温场研究, 则有更明显的结果。表 7 是全国范围 38 个测站的 4、10 月平均气温与南方涛动第一主成分的相关系数。

由表 7 看出, 在 4 月份的 38 个相关系数中, 有 4 个达到 0.05 信度, 而且主要在长江以南。但是, 所有 38 个相关系数全部为正值, 说明弱涛动年, 4 月气温偏低。此外, 我们还计算了 38 个测站气温均值差(厄尔尼诺年均值减反厄尔尼诺年均值), 结果都显示负值。

表明厄尔尼诺年,我国4月气温以偏低为主。

表6 历年4月我国寒潮和强冷空气出现频数

厄尔尼诺年	次数	正常年	次数	反厄尔尼诺年	次数
1951	缺	1952	2	1955	2
1953	1	1956	1	1954	2
1957	1	1958	1	1964	1
1963	2	1959	1	1967	1
1965	3	1960	1	1970	0
1969	3	1961	2	1973	0
1972	3	1962	2	1975	0
1976	1	1966	2		
1982	2	1968	2		
1983	2	1971	1		
		1974	0		
		1977	1		
		1978	2		
		1979	2		
		1980	3		
		1981	0		
		1984	0		
平均	2.0	平均	23/17	平均	0.85

3.2 10月偏暖

由于厄尔尼诺年10月份极涡中心位于西半球,反厄尔尼诺年极涡中心位于东半球或西半球更高的纬度,所以10月份东亚及我国气温应相应偏暖。表7列出的10月份我国38个测站与南方涛动第一主成分的相关系数显示出38个负值,近半数达到0.01的信度,以华北地区最显著。此外,38个站的10月份气温的均值差(厄尔尼诺年减反厄尔尼诺年),都显示出正值。由于厄尔尼诺年10月极涡中心偏于西半球较南的纬度,北美的北部较常年偏冷。冰岛低压也比常年加深。

4 厄尔尼诺年的统计诊断

上面我们指出了厄尔尼诺、南方涛动与极地环流的遥相关事实,并重点讨论了4月、10月极地环流异常及天气异常。为了形象地反映极地环流与厄尔尼诺的遥相关以及在统

表 7 我国 4、10 月气温与南方涛动第一主成份的相关系数 (1951—1984)

区	站	4 月	10 月	区	站	4 月	10 月
华北	北京	0.06	-0.52**	东北	大连	0.13	-0.41**
	天津	0.01	-0.50**		长春	0.05	-0.20
	承德	0.11	-0.45**		齐齐哈尔	0.07	-0.10
	石家庄	0.11	-0.61**		哈尔滨	0.11	-0.05
	太原	0.22	-0.52**		鸡西	0.02	-0.09
	呼和浩特	0.23	-0.37*		沈阳	0.04	-0.37*
	济南	0.07	-0.62**	长江中下游及华中	南京	0.34*	-0.38*
	郑州	0.06	-0.62**		上海	0.26	-0.26
	潍坊	0.03	-0.62**		合肥	0.32	-0.39*
	洛阳	0.08	-0.62**		安庆	0.27	-0.43**
	老河口	0.13	-0.54**		汉口	0.25	-0.40*
	徐州	0.12	-0.56**		杭州	0.26	-0.40*
西北	西安	0.13	-0.49**		常德	0.20	-0.39*
	兰州	0.22	-0.31		长沙	0.19	-0.24
	吐鲁番	0.11	-0.36*		赣州	0.36*	-0.21
华南	南宁	0.28	-0.44**		南昌	0.31	-0.26
	百色	0.23	-0.42**	西南	昆明	0.13	-0.10
	福州	0.33	-0.20		贵阳	0.30	-0.40*
	广州	0.34*	-0.21		成都	0.36*	-0.37*

表中 * 达到 0.05 信度, ** 达到 0.01 信度

计诊断厄尔尼诺方面的作用。我们将表 5 提供的 3 个变量(分别用 x_1, x_2, x_3 表示)非线性映射到二维 y_1, y_2 , 定义误差函数为⁽⁹⁾

$$K = \frac{1}{\sum_{i < j} d_{ij}^*} \sum_{i < j} \frac{(d_{ij}^* - d_{ij})^2}{d_{ij}^*} \quad (5)$$

其中 d_{ij}^* 是点 i 和点 j 在三维空间的距离, 即

$$d_{ij}^* = \sqrt{\sum_{k=1}^3 (x_{ki} - x_{kj})^2} \quad (i, j = 1, 2, \dots, n)$$

而 d_{ij} 是映射平面(坐标系为 y_1, y_2)上的点 i 与点 j 之间的距离, 即

$$d_{ij} = \sqrt{(y_{1i} - y_{1j})^2 + (y_{2i} - y_{2j})^2} \quad (i, j = 1, 2, \dots, n)$$

用松弛解法, 调整样本 i 与 j 在二维空间的位置使求得的 y_{1i}, y_{2i} 对所有样本点有

$$K = \min$$

将 34 个样本点用表 5 的三个变量降维, 得到二维平面的映射图为图 6。图中粗黑点为厄尔尼诺年, 三角点为反厄尔尼诺年。可以看出, 利用三个极涡自然正交展开系数, 可以很好诊断厄尔尼诺现象。

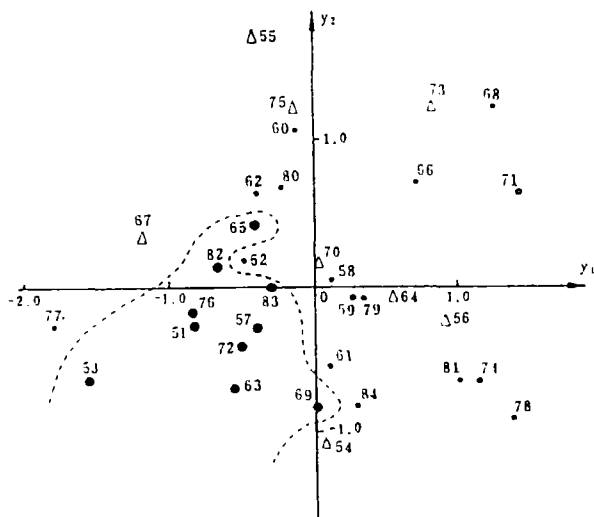


图 6 利用北极涡展开系数的二维映射图

5 结 论

- 1 极涡的平均场的形态 1 月份较特殊。极涡距平场的形态, 4 月份较特殊。
- 2 厄尔尼诺年 4 月份, 极涡持续分裂成偶极型, 二波振幅强。东亚大槽持续异常、寒潮冷空气活动偏多。这种形势反馈或者促使厄尔尼诺现象继续加强发展^[11]。
厄尔尼诺年我国 4 月份气温偏冷, 长江以南尤为明显。
- 3 厄尔尼诺年 10 月份, 极涡中心偏于西半球。阿留申低压持续加深, 冰岛低压亦趋加深。我国气温偏暖, 北美气温偏冷。
- 4 厄尔尼诺、南方涛动与极涡活动有良好的遥相关。利用极涡的自然正交展开系数。用非线性映射方法可以统计诊断厄尔尼诺事件。

致谢: 本文曾由李崇银研究员审阅, 并提出宝贵意见, 在此表示感谢。

参 考 文 献

- 1 董敏,魏风英,李小泉.气象科学研究院院刊,1987,2(1),51—58
- 2 施能.气象统计预报中的多元分析方法.北京:气象出版社,1992年2月
- 3 王绍武.科学通报,1985,(1):52—56
- 4 Shi Neng(施能).AAS,1988,5(3):
- 5 李崇银.热带气象,1986,2(2):117—123
- 6 施能,刘卫兵,苗子书.气象,1989,15(12):8—12
- 7 曹鸿兴,陈国范.大气科学,1979,3(2):158—163
- 8 冯佩芝,李翠金,李小泉.中国主要气象灾害分析(1951—1980).北京:气象出版社,1985
- 9 李崇银.中国科学(B辑),1988,(6):667—674

TELECORRELATION OF THE 500 hPa POLAR CIRCULATION AND EL NINO/SO WITH THE TEMPERATURE FIELDS IN CHINA

Shi Neng

(Nanjing Institute of meteorology)

Luo Boliang

(Meteorological Observatory of Hunan Province)

Abstract By using the monthly data from 1951 through 1984, empirical orthogonal expansion is performed for the 500 hPa geopotential height north of 65°N and the canonical fields are clustered by fuzzy classification. It is noted that both the mean monthly polar vortex fields and the large-scale anomaly fields fall into three regimes, with those of the January mean field and the April anomaly field having characteristic features. In addition, the relationship between the time weighing coefficients of the canonical fields and El Nino/SO is examined, showing significant anomalies in the large-scale polar anomaly fields during April and October of the year when El Nino occurs. These polar circulation anomalies have considerably influenced the temperature fields in China during April and October. Thus, we may conclude that this is one of the most important reasons for a relatively cool April and a warm October in China during the El Nino year.

Key words El Nino, polar vortex, telecorrelation, temperature field, non-linear mapping