

北太平洋涛动区 500 hPa 高度场季节变化特征 及其对中国东北区降水的影响*

刘宗秀

(中国气象局,北京 100081)

廉毅 沈柏竹 高枳亭 唐晓玲

(吉林省气象科学研究所,长春 130062)

摘要

利用国家气候中心 1960 ~ 2000 年 500 hPa 高度场 $10^{\circ} \times 5^{\circ}$ 经纬度月平均资料,采用 EOF、SVD 方法,分析了北太平洋涛动区 ($25^{\circ} \sim 70^{\circ} \text{N}, 140^{\circ} \text{E} \sim 150^{\circ} \text{W}$) 500 hPa 高度场季节变化特征和中国东北区 80 个测站降水场相关。结果表明:(1) 北太平洋涛动区 500 hPa 高度场冬季 EOF 第 1 载荷向量场呈由北向南的“- , +”波列分布,这种北南分布相反型,占总体方差贡献的 40%,可以表现为北低南高,类似地面气压场涛动(NPO)的正位相阶段,反映了 40 年北太平洋中高纬度上空以东亚大槽为定常波的大气环流基本模态,亦是 NPO 呈正位相阶段的主要成因,反之,类似地面气压场涛动(NPO)的负位相阶段,第 2 载荷向量场呈整体“+”值分布,占方差贡献 28%,该模态则表现为东亚大槽被长波脊替代的与气候基本模态呈相反分布的异常环流型;夏季第 1 载荷向量场基本模态则为全区的正值分布,占总体方差贡献的 30%,第 3 载荷向量呈北“+”南“-”的分布,占方差贡献的 13%,表明夏季 500 hPa 高度场 NPO 不是主要模态,春秋两季均呈现出较为明显的 NPO 模态;(2) 北太平洋涛动区 500 hPa 高度冬季平均场与东北区夏季降水场呈由北向南的“+ , -”相关波列,存在显著的相关性($\alpha > 0.01$),第 1 对 SVD 奇异向量占总方差贡献的 49%,当 NPO 区前冬 500 hPa 高度场呈负位相阶段时,东北区夏季降水偏多,反之,东北区夏季干旱少雨,其它季节亦有类似隔季相关关系。

关键词: 北太平洋涛动 降水 中国东北

引言

自有人发现北大西洋大气半永久活动中心冰岛低压和亚速尔高压的活动有关的北大西洋涛动,简称 NAO^[1],后来又发现北太平洋地区也有类似的南北向翘翘板式气压变化现象,即,简称 NPO^[2]。Wallace and Gutzler(1981)发现了 NAO 和 NPO 在高空也有明显的反应,即在对流层位势高度场上也有类似的南北相关系数的分布形势^[3]。

北太平洋涛动区(NPO)不仅直接影响北太平洋附近地区的气候,甚至对整个北半球

* 国家科技部公益专项资金“中国东北区干旱规律、成因和预测技术研究”与国家自然科学基金项目 40275019 共同资助。

2002-02-10 收到,2002-11-26 收到修改稿。

的环流异常持续以及气候突变都有重要影响^[4],刘宗秀等^[5]揭示了类同于地面气压场北太平洋涛动的500 hPa高度冬季距平场与东亚夏季东北冷涡持续活动有着半年尺度的遥相关,也是北半球大气环流异常持续或调整的重要信号场区。进一步研究北太平洋涛动区500 hPa高度场季节变化基本模态,对探讨该区的不同位相影响东亚环流异常持续和调整的遥相关机制是必要和十分有益的。本文给出500 hPa高度场的NPO区定义范围,采用EOF和SVD方法,分析其季节变化特征,探讨对中国东北区降水量场的影响,得出一些有益的结论。

1 资料和方法

利用国家气候中心1960~2000年500 hPa高度场 $10^{\circ} \times 5^{\circ}$ 经纬度月平均资料,插值为 $5^{\circ} \times 5^{\circ}$ 经纬度资料,为消除其局地变化因素和月际变化的影响,做标准化处理。

本文考虑北太平洋区位势高度场的季节变化特征,即锚槽锚脊的分布摆动,故将北太平洋涛动区($25^{\circ} \sim 65^{\circ} \text{N}$ 、 $130^{\circ} \sim 170^{\circ} \text{E}$),扩大为 $25^{\circ} \sim 70^{\circ} \text{N}$ 、 $140^{\circ} \text{E} \sim 150^{\circ} \text{W}$ (简称为NPO区)。

将NPO区500 hPa季的高度场和东北区季节降水量场分别设为 X 、 Y ,则其矩阵形式如下:

$$X = \begin{pmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1k} & \cdots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2k} & \cdots & x_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ x_{i1} & x_{i2} & \cdots & x_{ik} & \cdots & x_{in} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ x_{p1} & x_{p2} & \cdots & x_{pk} & \cdots & x_{pn} \end{pmatrix} \quad Y = \begin{pmatrix} y_{11} & y_{12} & \cdots & y_{1k} & \cdots & y_{1n} \\ y_{21} & y_{22} & \cdots & y_{2k} & \cdots & y_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ y_{j1} & y_{j2} & \cdots & y_{jk} & \cdots & y_{jn} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ y_{q1} & y_{q2} & \cdots & y_{qk} & \cdots & y_{qn} \end{pmatrix}$$

$$(i = 1, 2, \dots, p; j = 1, 2, \dots, q; k = 1, 2, \dots, n)$$

其中, x 为500 hPa高度值; y 为测站降水量值; p 为500 hPa NPO区格点数; q 为东北区降水量测站数; n 为1961~2000年共40年样本数。

应用文献^[6]的EOF分析方法,对NPO区500 hPa季的高度场标准化资料矩阵进行计算。

中国东北区选80个代表性测站1961~2000年月降水资料为东北区季节降水场,应用文献^[7]做NPO区500 hPa季的高度(左场)与东北区季节降水量场(右场)的隔季(半年尺度)的奇异值分解分析(SVD)。

2 北太平洋涛动区(NPO区)高度场季节变化特征

2.1 EOF分析冬季载荷向量场分布

图1a~d分别为NPO区冬季500 hPa高度场第1~4载荷向量场,图中特征值扩大100倍,图1a表明冬季500 hPa高度场的第1载荷向量场呈南北相反变化的结构特征,

45°N 以北为负值,中心达 - 0.80 以上,位于 60°N、165°~170°E,为俄罗斯西伯利亚的东端领域上空,最大正值位于 30°N 以南,北太平洋副热带地区,该向量场占总体方差贡献的 40%,表明该区冬季 500 hPa 高度场不到一半的年份具有南北相反分布趋势,一方面反映了北太平洋中高纬度上空以东亚大槽为定常波的大气环流基本模态,亦是 NPO 呈正位相阶段的主要原因。另一方面亦类似可以表现为北高南低的 NPO 为负位相阶段的分布型式。图 1b 为 NPO 区冬季 500 hPa 高度场的第 2 载荷向量场,表明整个区域大部正值分布趋势,总体为由北向南的“+,-”波列,最大正值中心达 0.90 以上,位于 40°~45°N、175°~170°W 附近,26°N 以南,呈微弱的负值区,55°N 以北,175°E 以西亦为负值区,占总体方差贡献的 28%,该模态则主要表现为东亚大槽被长波脊替代的与气候基本模态呈相反分布异常环流型。图 1c~d 为占方差贡献 17% 的两个反向的鞍形场分布(东西方向相反的),反映了北太平洋地区冬季为短波槽脊活动频繁的气候模态。

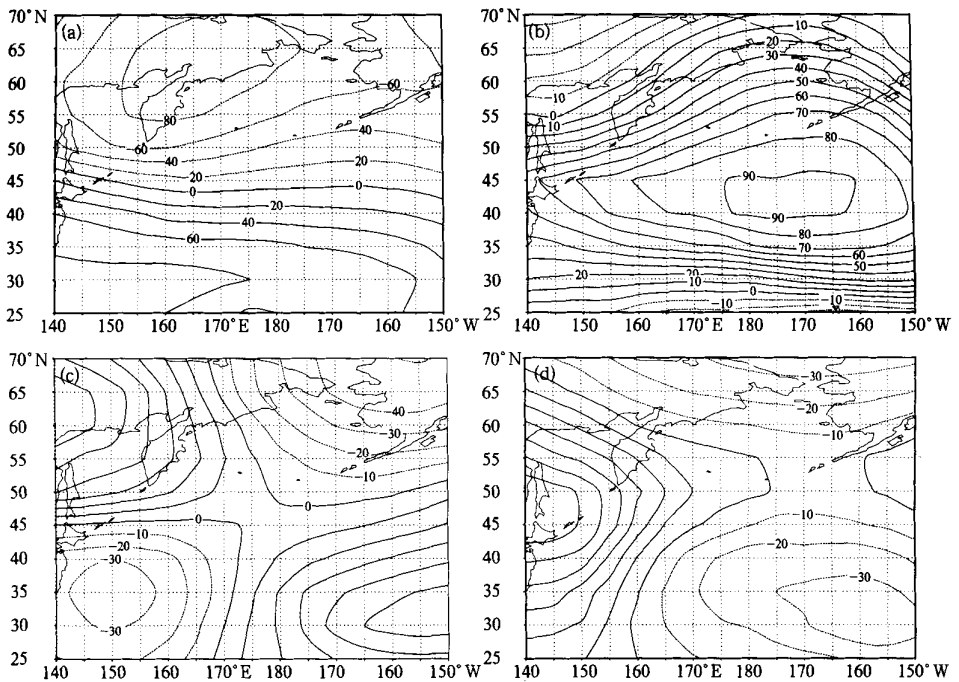


图 1 NPO 区 500 hPa 冬季高度场的前 4 个载荷向量场分布

(a) 第 1 载荷向量场, (b) 第 2 载荷向量场, (c) 第 3 载荷向量场, (d) 第 4 载荷向量场
(图中特征值扩大 100 倍)

2.2 春季

图 2a 为 NPO 区春季 500 hPa 高度场的第 1 载荷场,仍持续了冬季第 1 模态的分布特征,基本呈现北南方向的“-,+”波列分布(除了西北和东北角呈微弱正值外),最大负值中心为 - 0.80 以上,位于 50°~55°N、170°W 附近的北太平洋上空,正值中心位于 25°N 以南,占总体方差贡献的 31%,表明 NPO 的正或负位相阶段仍是主要分布型式。图 2b 为第 2 载荷场,总体呈由北向南的“+,-”波列,最大负值中心位于 33°~40°N、155°E 附

近洋面上空,正值中心位于 65°N 以北,第 2 载荷向量场,占总体方差贡献的 29%,第 3、4 载荷向量场分布类同于冬季第 3、4 模态(图略)。

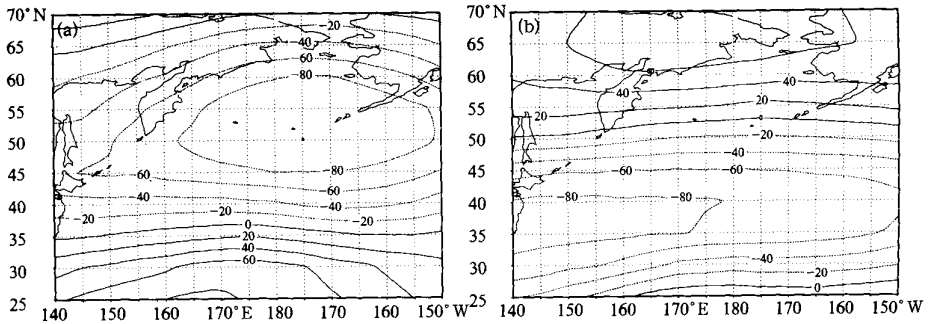


图 2 NPO 区 500 hPa 春季高度场的前 2 个载荷向量场分布
(a) (b) 分别为第 1、2 载荷向量场(图中特征值扩大 100 倍)

2.3 夏季

图 3a 为 NPO 区夏季 500 hPa 高度场的第 1 载荷向量场,除了 65°N 以北外,为整体正值分布的一致性,45°~50°N 为高值中心,达 0.90 以上,占总体方差的 30%,该模态反映了整个北太平洋上空几乎为高压脊控制的夏季大气环流基本模态。图 3b 为第 2 载荷向量场,占方差贡献的 17%,呈由北向南的“+,-,+”波列,35°~50°N 为负值分布。图 3c 为第 3 载荷向量场,总体呈北正南负的分布,可类似表现为地面气压场的 NPO 负位相

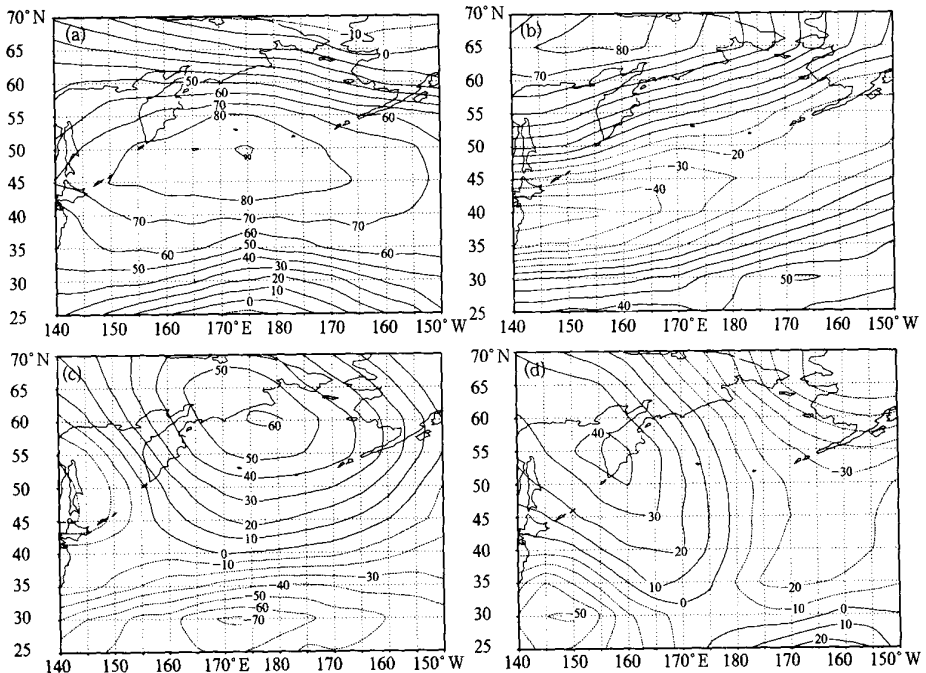


图 3 NPO 区 500 hPa 夏季高度场的前 4 个载荷向量场分布
(a) ~ (d) 依次为第 1 ~ 4 载荷向量场(图中特征值扩大 100 倍)

阶段,占方差贡献的 13%。图 3d 为第 4 载荷向量场,占方差贡献的 10%,呈鞍形场分布。
 2.4 秋季

图 4a 为 NPO 区秋季 500 hPa 高度场的第 1 载荷向量场,呈南北“+,-,+”波列,最大负值中心为 -0.80 以上,位于 40°~45°N,150°E 附近洋面上空,占方差贡献的 27%。图 4b 为第 2 载荷向量场,呈现南正北负变化的基本模态,类似表现为 NPO 的正位相阶段,以 35°N 为界,最大负值中心为 -1.0,位于 55°N,170°W 阿留申群岛的洋面上空,占方差贡献的 20%。第 3、4 载荷向量场,基本呈鞍形场分布,分别占方差贡献的 14%和 10% (图略)。

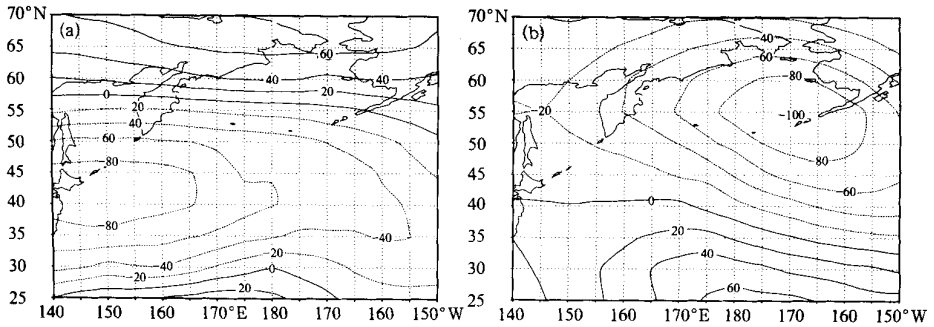


图 4 NPO 区 500 hPa 秋季高度场的前 2 个载荷向量场分布
 (a)、(b) 分别为第 1、2 载荷向量场(图中特征值扩大 100 倍)

3 北太平洋涛动区高度场与东北区降水量场的隔季相关特征

分析北太平洋涛动区高度场(左场)与东北区降水量场(右场)做隔季(半年尺度)的奇异值分解(SVD)结果(表 1)得到,奇异值分解收敛速度较快,前 4 对耦合模态的累积方差贡献可以达到 80%左右,尤其是第 1 耦合模态占有比较大的协方差比重,除前秋和春季稍小以外,其它 3 组第 1 对方差贡献均 $\geq 49\%$,也远远超过了 0.01 的信度标准($\alpha_{0.01} = 0.41$)。这表明该高度场与东北区降水场的异常之间具有较密切的时空相关性。

表 1 500 hPa 高度场与东北区 80 个测站降水量场前 4 对奇异向量的方差贡献和相应的模态相关系数

	前秋 500 hPa 与 春季降水		前冬 500 hPa 与 夏季降水		春季 500 hPa 与 秋季降水		夏季 500 hPa 与 冬季降水	
	方差贡献	相关系数	方差贡献	相关系数	方差贡献	相关系数	方差贡献	相关系数
第 1 对	0.32	0.55	0.49	0.46	0.53	0.50	0.65	0.62
第 2 对	0.29	0.52	0.26	0.56	0.20	0.62	0.14	0.66
第 3 对	0.13	0.70	0.08	0.64	0.10	0.55	0.05	0.49
第 4 对	0.07	0.60	0.06	0.63	0.05	0.66	0.04	0.68
累积方差	0.81		0.89		0.88		0.88	

3.1 前冬季高度场与东北区夏季降水量场相关主要特征

图 5a、b 分别为 NPO 区前冬季高度场与当年夏季中国东北区 80 个测站降水场的第 1

对奇异向量的时空分布, NPO 区前冬 500 hPa 高度场与夏季中国东北区 80 个测站降水量场呈典型的由北向南“+,-”波列的相关分布(图 5a), 与其对应的东北区降水量场的时空分布表现为全区一致的正值分布(图 5b), 中心正值区位于辽宁省西北部, 吉林省中西部和黑龙江省中部(及东部的一小部分), 中心正值可达 0.70 左右。表明当 NPO 区 500 hPa 前冬季高度场为类似地面气压场涛动的负位相阶段, 即北、南“+,-”波列分布时, 东北区的夏季降水整体偏多, 其中东北区的中西部偏多的相关性更高, 反之, 则偏少, 这种模态占方差贡献的 49%。

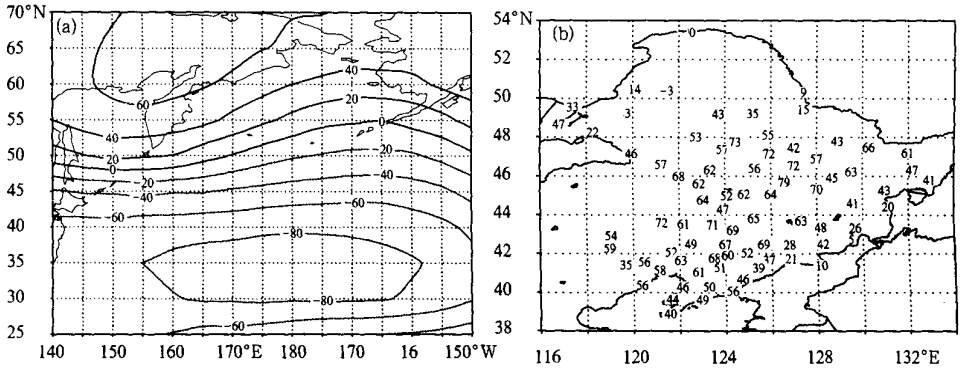


图 5 (a) 第 1 对奇异向量 NPO 区 500 hPa 冬季高度场(左场)同性相关分布, (b) 第 1 对奇异向量中国东北区降水量场(右场)同性相关分布

图 6a、b 分别为 SVDI NPO 区前冬 500 hPa 高度场与中国东北区夏季降水量场时间系数, 从图 6 可见: 两个场的时间系数趋势分布基本一致; 前冬 500 hPa 高度场时间系数表现为在 20 世纪 60 年代中期至 70 年代前期为负异常, 60 年代前期、70 年代中后期以后主要表现为正异常; 夏季降水在 60 年代主要为正异常, 70 年代为负异常分布, 80 年代以后为正负相间的异常分布特征, 且正负异常表现明显; 20 世纪 90 年代末期 NPO 区前冬 500 hPa 高度场呈现极端负异常(1999~2000 年), 东北区夏季降水亦呈现显著的偏少。

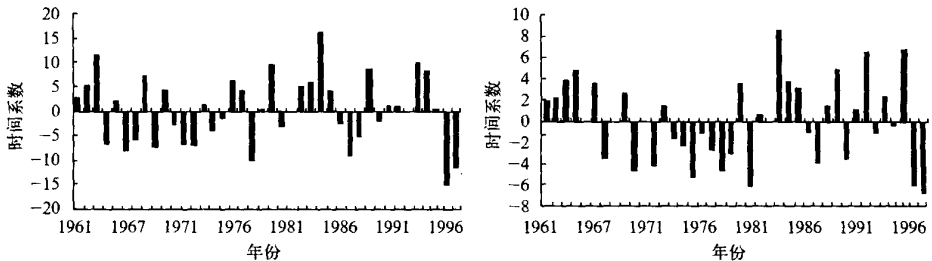


图 6 SVDI NPO 区前冬高度场(a)与中国东北区夏季降水量场(b)时间系数

3.2 夏季高度场与东北区冬季降水量场相关主要特征

图 7a 为 NPO 区 500 hPa 夏季高度呈由北向南“+,-,+”波列时与东北区降水量场同性相关的分布(与图 3b 类似, 即 NPO 区夏季 500 hPa 高度场分布的第 2 模态), 图 7b

为与其对应的东北区冬季降水量场的时空分布表现为一致的负值分布, $-0.60 \sim -0.80$ 负值中心区大都位于辽宁和吉林两省,表明当夏季 500 hPa NPO 区高度呈现第 2 模态分布时,东北区冬季降水偏少,而辽宁和吉林省负相关程度更大一些,这种模态占方差贡献的四季中最大达 65%。

关于前秋与春季、春季与秋季的高度场和降水量场均呈现高信度的奇异向量分布特征,不再一一列举(表 1 已给出主要模态相关系数和方差贡献)。

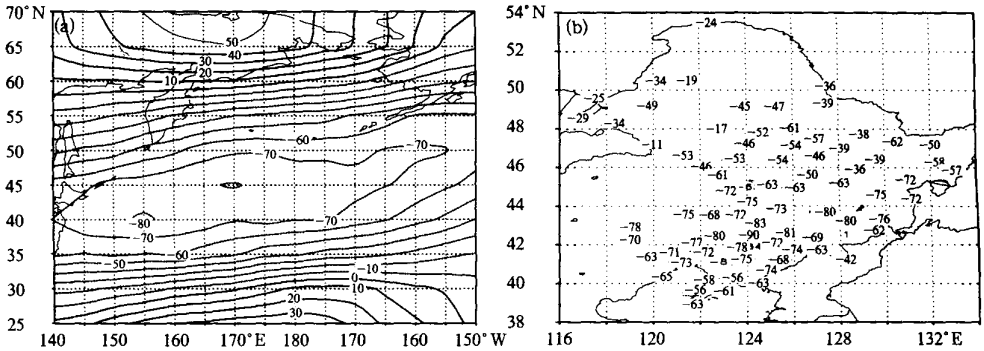


图 7 (a) 第 1 对奇异向量 NPO 区 500 hPa 夏季高度场(左场)同性相关分布, (b) 第 1 对奇异向量场中国东北区降水量场(右场)同性相关分布

4 结论和讨论

(1) 由于夏季的 500 hPa 槽位于 $180^\circ \sim 160^\circ \text{W}$, 本文扩大了北太平洋涛动区(NPO)的东部界线为 150°W , 以便分析 NPO 区 500 hPa 高度场季节变化的 EOF 主要特征。结果表明, 冬季 EOF 第 1 载荷向量场(第一基本模态)呈由北向南的“- , +”波列, 占总体方差贡献的 40%, 可表现为北低南高的类似地面气压场涛动的正位相阶段。反映了 40 年北太平洋中高纬度上空以东亚大槽为定常波的大气环流基本模态, 亦是 NPO 呈正位相阶段的主要成因, 反之, 高度场表现为北高南低的反向分布, 类似地面气压场涛动的负位相阶段。第 2 载荷向量场呈整个区域大部正值分布, 总体“+ , -”波列, 占方差贡献的 28%。该模态则表现为东亚大槽被长波脊替代的与气候基本模态呈相反分布的异常环流型, 为冬季第 2 基本模态; 春季具有冬季第 1 模态很好的持续性, 仍表现为北、南向 NPO 正位相的“- , +”波列, 但方差贡献有所下降, 占 31%; 夏季第 1 载荷向量场基本模态则为全区的正值分布, 占总体方差贡献的 30%。反映该区几乎为高压脊控制的夏季大气环流基本模态。第 3 载荷向量场, 总体呈北正南负的分布, 类似地面气压场 NPO 的负位相阶段。表明夏季 500 hPa 高度场 NPO 分布不是主要模态; 秋季第 1 载荷向量场与夏季的第 2 模态相似呈“+ , - , +”波列分布, 占方差贡献的 27%。第 2 载荷向量场呈现由北向南的“- , +”波列分布, 类似 NPO 的正位相阶段, 占方差贡献的 20%。NPO 区的四季 500 hPa 高度的 EOF 空间主成分分布特征表明, 自 1961 年以来的 40 年间, 大气半永久活动中心阿留群岛低压及上空的定常波东亚大槽对 NPO 区的 500 hPa 高度场分布起主导

作用,进一步证明了在地面气压场存在的正负位相的南北涛动,亦是 500 hPa 高度场分布的主要特征。而且,在四季中(除夏季外)由北向南的“- , +”波列分布为第一主要模态或典型模态,该模态在很大程度上反映了以低层为主的海陆分布热力强迫的显著差异和以高层为主的地形的动力强迫共同作用结果。

(2) 北太平洋涛动区(NPO) 500 hPa 高度(左场)与中国东北区 80 个测站降水量场(右场)隔季(半年尺度)的奇异值分解(SVD)结果表明,奇异值分解收敛较快,前 4 对耦合模态的累积方差贡献可达 80%左右,尤其是第 1 耦合模态占有比较大的协方差比重,除前秋 NPO 区 500 hPa 高度场和东北区降水量场稍小以外,其它 3 组第 1 对方差贡献均 $\geq 49\%$,接近一半,也远远超过了 0.01 信度标准,显示出两个要素场异常之间具有较密切的时空隔季遥相关性。

(3) NPO 区前冬季 500 hPa 高度场与中国东北区 80 个测站降水场 SVD1,呈现北南“+ , -”波列的相关分布表明,当 NPO 区 500 hPa 前冬季高度场如呈现类似北、南向“+ , -”涛动的负位相阶段,东北区的夏季降水场将出现整体偏多,尤其是东北区的中西部偏多的可能性更大,这种奇异向量模态分布占总体方差贡献的 49%。其物理解释也比较明晰,NPO 区高度场呈“+ , -”负位相阶段时,而东北亚夏季东北冷涡持续活动多,表明 500 hPa 夏季盛行中高纬度阻塞和东北冷涡的偶极子状态,构成我国东北区夏季多雨形势。反之,如 NPO 区前冬高度场呈“- , +”正位相阶段,预示夏季东北冷涡活动少构成少雨形势,与文献[5]结论是一致的。

(4) 当 NPO 区 500 hPa 夏季高度场呈现南北“+ , - , +”(为第 2 种基本模态)时,与其对应的东北区冬季降水量场的时空分布表现为全区的一致负值分布,显示出东北区降雪偏少。而且,辽宁和吉林省更明显,这种模态占方差贡献为四季中最大的一种,达 65%。

NPO 的变化已引起了国内外的关注,对我国区域气候变化的影响,尤其涉及到隔季相关的前期信号场是比较复杂的海气环流相互作用问题。本文只是先尝试揭示 NPO 区 500 hPa 高度场与东北区的降水量场的隔季相关的若干统计事实,有关机制及其演变还是很值得做进一步研究。

参考文献

- 1 Walker G T, Bliss E W. World weather V. *mem. Roy. Meteor. Sci.* 1932, 4: 53 ~ 84.
- 2 Rogers J C. The association between the North Atlantic oscillation and the Southern oscillation in the Northern Hemisphere. *Mon. Wea. Rev.*, 1984, 112: 1999 ~ 2015.
- 3 李崇银等. 气候动力学引论. 北京: 气象出版社, 1995. 190 ~ 195.
- 4 李崇银, 李桂元. 北大西洋涛动和北太平洋涛动的演变与 20 世纪 60 年代的气候突变. *科学通报*, 1999, 44(16): 1765 ~ 1969.
- 5 刘宗秀, 廉毅, 高枳亭, 等. 东北冷涡持续活动时期的北半球 500 hPa 环流特征分析. *大气科学*, 2002, 26(3): 361 ~ 372.
- 6 黄嘉佑. 转动主分量分析在天气气候中的应用. *气象*, 1988, 14(9): 47 ~ 51.
- 7 丁裕国, 江志红. SVD 方法在气象场诊断分析中的普适性. *气象学报*, 1996, 54(3): 365 ~ 372.

SEASONAL VARIATION FEATURES OF 500 HPA HEIGHT IN NORTH PACIFIC OSCILLATION REGION AND ITS EFFECT ON PRECIPITATION IN NORTHEAST CHINA

Liu Zongxiu

(China Meteorological Administration, Beijing 100081)

Lian Yi Shen Baizhu Gao Zongting Tang Xiaoling

(Jilin Meteorological Science Institute, Changchun 130062)

Abstract

By using of the China National Climate Center (CNCC) 500 hPa monthly mean height data ($10^{\circ} \times 5^{\circ}$) from 1960 to 2000 and EOF, SVD methods, the 500 hPa seasonal variation characteristics of the 500 hPa height field in the North Pacific Oscillation (NPO) region (25° to 70° N, 140° E to 150° W) region and its relation with precipitation in 80 stations over Northeast China are analyzed. The results show that: (1) In winter, the spatial structure of the first loading vector of the 500 hPa height field in NPO, similar to the positive phase of the surface pressure oscillation, is of a “- , +” wave distribution from north to south with the variance contribution ratio being 40%. This is a basic general circulation mode in the mid-high latitudes of North Pacific in 40 years with the East Asia Trough being a stationary wave, and it is also the main cause that NPO is mostly in positive phase. Otherwise, it is similar to the negative phase of the surface pressure oscillation. The second loading vector is of a whole “+” value distribution with the variance contribution ratio being 28%. This mode is an abnormal pattern opposite to the climatic basic mode, a long-wave ridge as a substitute for the East Asia trough. In summer, the first loading vector is of a whole “+” value distribution with the variance contribution ratio being 30%; the third is of a “+ , -” wave train from north to south with the variance contribution ratio being 13%. This indicates that the summer 500 hPa height NPO is not the main mode. There is a clear NPO mode in both spring and autumn. (2) There is significant correlation between the 500 hPa mean winter height field in the NPO region and summer precipitation over Northeast China (> 0.01) with a “+ , -” wave train from north to south. The first SVD singular vector has a variance contribution ratio of 49%. The summer precipitation over Northeast is above the normal when the 500 hPa height field in the NPO region in the previous winter is in negative phase, but it is dry when the 500 hPa height is in positive phase. There is similar relationship in other seasons.

Key words: North Pacific Oscillation (NPO) Precipitation Northeast China