

冬半年欧亚雪盖变化对东亚环流的影响*

杨秋明

(江苏省气象台, 南京, 210008)

摘 要

对 1973~1994 年期间欧亚雪盖和东亚 500hPa 高度距平资料进行旋转扩展主成分分析, 研究了冬半年欧亚雪盖异常与后期夏半年东亚环流分布连续演变的关系及其可能机制。结果表明前期秋冬春季欧洲、中亚和东亚中高纬雪盖异常不同的动态变化激发出具有不同持续性的东亚低频流型, 而夏半年东亚副热带环流纬向扩展型演变与前期冬半年欧亚雪盖异常无关。

关键词: 欧亚雪盖, 东亚环流, 旋转扩展主成分分析。

1 引 言

冰雪圈在气候形成中具有重要作用, 欧亚大陆雪盖的季节和年际变化可导致该地区能量收支以及水分循环的异常, 并且雪盖造成的中高纬下垫面冷源异常将改变大陆和海洋间加热空间分布, 从而影响东半球夏季风环流变化^[1~3]。本文用旋转扩展主成分分析(REPCA), 研究冬半年欧亚雪盖和后期夏半年东亚环流主要空间分布连续演变的区域特性, 揭示不同季节、区域之间雪盖和环流的联系。

2 资料和方法

欧亚雪盖资料取自 NOAA(美国)提供的逐周北半球 $2^\circ \times 2^\circ$ 经纬度网格值, 将它合并为 $10^\circ \times 5^\circ$ 经纬度季频率格点值(格点上每季出现雪盖的周数, 时间是 1973 年 3 月-1994 年 11 月, 共 87 个季), 它反映了雪盖强度的空间分布。500 hPa 季平均高度距平采用中国气象局提供的北半球月平均 500 hPa 高度计算。欧亚雪盖(S)选取欧亚大陆均匀分布的 36 个格点, 500 hPa 高度(H)采用东亚 $10 \sim 70^\circ \text{N}$, $45^\circ \text{E} \sim 180^\circ$ 范围内均匀分布的 42 个格点。所有资料都进行标准化处理, 消除纬际变化差异。设冬半年雪盖和夏半年东亚 500 hPa 高度距平资料阵分别是 $S_{m \times n} - \text{SON}$ (前期秋季), $S_{m \times n} - \text{DJF}$ (前期冬季), $S_{m \times n} - \text{MAM}$ (春季)(资料时间是 1973/1974, ……, 1993/1994 年)和 $H_{m \times l} - \text{MAM}$ (春季), $H_{m \times l} - \text{JJA}$ (夏季), $H_{m \times l} - \text{SON}$ (秋季)(资料时间是 1974~1994 年), 序列长度 $m = 21$, 雪盖和高度空间点数分别是 $n = 36$, $l = 42$ (由于雪盖资料噪声较大, 因此先对资料进行主成分截断处理, 保留前 10 个主成分的信息, 累积方差贡献是 68.4%, 消除小尺度空间扰动的作用, 由前 10 个主成分的拟合场得

* 初稿时间: 1997 年 1 月 9 日; 修改稿时间: 1997 年 9 月 15 日。

到前期秋冬季和春季的雪盖资料), 构造基本扩展资料阵

$$F = \begin{pmatrix} S_{-SON} & S_{DJF} & S_{MAM} & H_{MAM} & H_{JJA} & H_{SON} \\ m \times n & m \times n & m \times n & m \times l & m \times l & m \times l \end{pmatrix}$$

上式中 $m = 21, r = 3(n + l) = 234$ 。 F 进行旋转主成分分析得到主要的旋转特征向量^[4, 5], 它反映了上述各个季中雪盖和东亚环流连续演变的主要耦合空间波型。

3 结果分析

对 F 进行旋转主成分分析, 参加旋转的主成分个数由 Scree 法得到, 即考察特征值随序数的变化, 取最后一个明显转折之前的主成分进行旋转变换, $F^T F$ 的第 9 个特征值以后数值很小, 且特征值间差别也较小, 所以取前 8 个特征向量(累积方差贡献是 65.0%)用极大方差准则进行旋转, 结果见表 1。由表 1 可知第一、二、三、五型的方差贡献明显大于其余四个, 因此它们是冬半年欧亚雪盖和后期夏半年东亚环流主要耦合空间分布型。图 1 是第一、二、三、五旋转空间分布型, 其方差贡献分别是 11.4%, 12.0%, 9.0% 和 8.1%。

表 1 前 8 个主成分所表达的方差贡献(单位: %)

序号	1	2	3	4	5	6	7	8	j
旋转前	14.6	11.0	9.5	7.3	6.7	5.9	5.2	4.8	65.0
旋转后	11.4	12.0	9.0	6.6	8.1	6.7	5.9	5.4	65.0

对于第一型(REPC1), 欧亚中高纬度地区雪盖前期秋季为弱负异常(图 1a1), 由冬到春夏中纬度地区负异常消失变为欧亚大范围正负异常(图 1a2, a3), 其夏半年东亚环流响应表现为西北东南向的东亚南移波列(图 1e1 ~ e3), 与欧亚太平洋低频波列类似, 且春秋较强, 而夏季减弱, 它主要由欧亚春季大范围多雪造成冷源异常激发, 其中夏季南亚到东亚中纬日本附近是负异常, 引起夏季副热带高压偏南, 形成中国东部到日本附近的冷夏天气, 显著年份是 1974, 1976, 1980, 1981, 1985, 1987 年(图 2a), 而 1975, 1982, 1988, 1989, 1990 年则呈现相反的分布, 这与已有的研究结果是一致的^[1, 3]。第二型(REPC2)从秋到第二年春雪盖异常不显著(图 1b1 ~ b3), 对应的东亚环流表现为南北反相变化的分布结构, 等值线呈纬向分布, 且低纬正值带从春到秋缓慢向北扩展(图 1f1 ~ f3), 主要作用区域在热带西太平洋和南亚地区, 1979, 1980, 1983, 1987, 1993, 1994 年是显著正异常(图 2b), 这时西太平洋副热带高压强度增大, 位置略为偏南(25°N 左右), 容易形成中国长江流域及其以南地区大范围洪涝, 而 1974, 1975, 1976, 1984, 1985 年距平分布相反。这个空间分布型反映了从春到秋东亚 500 hPa 高度距平纬向扩展型(ZE)空间波动的移动过程, 时间系数呈现 3 ~ 4 a 的周期变化, 与 ENSO 周期相近, 由东亚低纬度热源异常引起, 其中夏季西太平洋副热带地区纬向带状正值分布(图 1f2)与文献[6]中得到的夏季北半球 500 hPa 候平均高度场第二特征向量中相应区域的分布一致。另外, 从图 2b 中还发现时间系数存在极显著的线性上升趋势, 1978 年后以正值为主, 与近 25 a 来热带太平洋海气系统十年际变化是一致的^[7], 它是全球气候基本模态的一种突变的反映。第三型(REPC3)表现为从秋到冬欧亚大范围雪盖正异常区分别向西亚、欧洲和东亚中纬移动并加强(图 1c1 ~

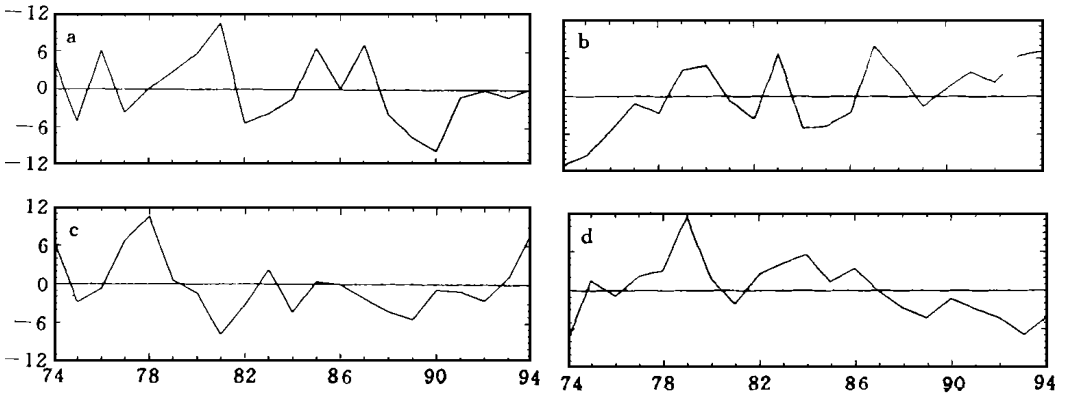


图 2 旋转时间系数变化曲线

(a~d 分别对应于 REPC1、REPC2、REPC3 和 REPC5)

c2), 而春季欧亚雪盖迅速减弱变为负距平, 中亚是负值中心(图 1c3)。夏半年东亚环流表现为北移的经向波列, 且各季的响应有很大差别, 其特征是从春到秋东亚中高纬高度距平符号改变(图 1g1, g3), 夏季是转换时期(图 1g2), 这个耦合空间波型表明前期秋冬欧亚强雪盖在春季迅速消融时夏季东亚中纬 $30 \sim 40^{\circ} \text{N}$ 附近出现高度正异常带, 并且这种正异常在秋季发展到峰值状态, 东亚环流变化提前, 东亚季风加强, 夏季西太平洋副热带高压位置偏北, 引起中国江淮流域高温少雨, 其中 1974, 1977, 1978, 1994 年最为典型(图 2c), 而对于 1981, 1984, 1988, 1989 年耦合空间波以相反的空间距平分布演变。第五型(REPC5), 从秋、春东亚中纬到东北亚雪盖正异常稳定(图 1d1, d3), 将导致后期春季印度到中国北部地区 500 hPa 高度负距平区(图 1h1) 和夏秋季半年南东亚东北亚一带高度偏低, 最强负中心在夏季东北亚地区(图 1h2, h3), 表现为从春到秋由南亚、中亚分别东移到中国东部、东北亚的扰动带, 容易造成东北亚地区冷夏和印度季风偏强, 显著的年份是 1979, 1983, 1984 年, 而 1974, 1989, 1992, 1993, 1994 年呈现相反的变化(图 2d)。

为了更清楚地显示耦合空间波的移动过程, 下面分析旋转主成分不同距平状态年份各季雪盖和 500 hPa 高度距平差的空间分布特征。图 3 给出了第三旋转系数不同距平状态对应的冬半年欧亚雪盖和后期夏半年东亚 500 hPa 高度标准化距平差值的 t 统计量分布, 从图中可以看出与上述 REPC3 相对应的雪盖和高度耦合空间波(图 1c1~c3, g1~g3) 相似的时空变化过程, 且显著区域异常达 0.10 信度, 部分地区达 0.05 信度。其它 3 个耦合空间波(REPC1, REPC2, REPC5) 的结果也是类似的(图略)。表 2 给出了 REPC1, REPC2 和 REPC5 中主要异常区域中雪盖和高度间相关系数, 从表中可以看出除 SN2(前期秋季欧亚中高纬雪盖($50 \sim 80^{\circ} \text{N}$, $30 \sim 150^{\circ} \text{E}$) 与 NECNJ(春季中国东北地区到日本北部($40 \sim 55^{\circ} \text{N}$, $120 \sim 150^{\circ} \text{E}$)) 间的相关较弱外, 其余的时滞相关关系均较显著。因此观测的雪盖和 500 hPa 资料存在上述显著的 4 种耦合空间波的移动过程, 它们对于东亚夏半年 500 hPa 主要流型变化的长期预测是重要的。

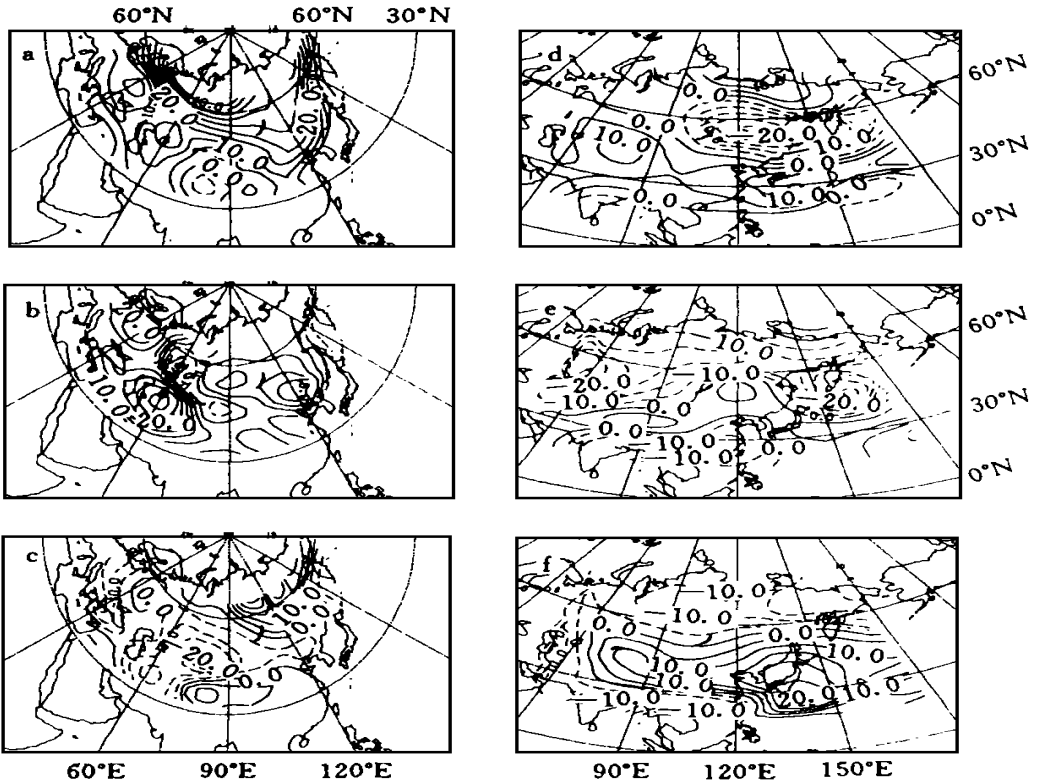


图3 第三旋转时间系数大于 0.8σ 与小于 -0.8σ 对应的
欧亚雪盖和东亚500 hPa高度距平差值的 t 统计量的空间分布

(a—c和d—f分别对应于-SON, DJF, MAM 欧亚雪盖和MAM, JJA, SON 东亚500 hPa高度距平。图中数值已乘以10, 等值线间隔是5, 虚线表示负值。大于 0.8σ 的年份是1974, 1977, 1978, 1994年, 小于 -0.8σ 的年份是1981, 1984, 1988, 1989年。当 $t > 2.45$ 时, 达0.05信度; 当 $t > 1.94$ 时, 达0.10信度。 σ 是旋转时间系数的标准差)

表2 不同季节、区域雪盖和500 hPa高度距平的相关系数

序号	雪盖	500 hPa高度距平		
		MAM	JJA	SON
1	SN1	MEA(-0.567)		WSB(0.758)
2	SN2	NECNJ(-0.137)		NCJ(0.413)
3	SN3		NEA(-0.358)	SAEC(-0.452)

注: SN1: 春季西亚、东欧雪盖(40~80°N, 30~70°E)

120~150°E)

SN2: 前期秋季欧亚中高纬雪盖(50~80°N, 30~150°E)

NCJ: 华北地区到日本附近(30~40°N, 90~160°E)

SN3: 前期春季东亚中纬雪盖(40~65°N, 90~150°E)

NEA: 东北亚地区(45~65°N, 140~170°E)

MEA: 东亚中纬(45~60°N, 90~170°E)

SAEC: 南亚到中国东部地区(15~35°N, 70~130°E)

WSB: 西西伯利亚(55~80°N, 50~100°E)

表中括号内数字是相关系数 R , $R > 0.36$, 达0.10信度; $R > 0.42$, 达0.05信度

NECNJ: 中国东北地区到日本北部(40~55°N,

综上所述, 前期冬半年欧亚雪盖不同异常距平连续演变将导致夏半年东亚环流不同的距平空间分布变化过程, 其中春季欧洲和西亚、东亚中纬或从秋到春东亚雪盖异常造成的环流异常具有较强的持续性(REPC1, REPC5), 而从冬到春东亚和西伯利亚雪盖分别向西和东移动并扩展, 而中亚雪盖减弱造成的环流异常持续性较弱, 春秋东亚中高纬发生大范围距平符号改变(REPC3), 它表明欧亚大陆加热状态不同的连续演变方式可以激发出传播途径和稳定性完全不同的环流低频流型异常, 而通常的研究仅揭示了固定雪盖异常的作用。此外, REPC2 仅反映了夏半年东亚 500 hPa 高度距平场低纬纬向扩展型缓慢向北传播过程, 它的方差贡献最大, 它是东亚夏半年流型演变的基本模态, 与南亚和热带西太平洋地区海陆气相互作用有密切联系。

4 结 论

(1) 冬半年欧亚雪盖距平连续变化对后期夏半年东亚环流演变产生显著的影响, 通过旋转扩展主成分分析得到夏半年东亚环流对前期冬半年欧亚雪盖连续演变的三类响应过程: 前期秋冬欧亚雪盖偏弱、春季欧亚大范围多雪激发的夏半年东亚南移波列; 从秋到冬东亚和西伯利亚雪盖分别向西和东移动并扩展, 而春季中亚雪盖减弱引起的夏半年东亚北移波列; 前期秋春东亚中高纬多雪产生的从春到秋南亚、中亚分别东移到中国东部、东北亚的高度扰动带。

(2) 各季之间雪盖不同区域异常移动造成的低频流型异常的持续性不同, 特别是前期秋季欧亚中高纬、冬季西亚多(少)雪且春季中亚少(多)雪将引起东亚中高纬从春到秋东亚环流距平状态改变, 它可能与东亚中高纬陆气耦合系统内部复杂相互作用产生的振荡有关。

(3) 夏半年东亚 500 hPa 高度距平场存在显著缓慢向北移动的副热带纬向扩展型, 它是夏半年东亚流型变化的基本模态, 由南亚和热带西太平洋地区热源异常引起, 与前期冬半年欧亚雪盖异常无关。

参考文献

- 1 Barnett T P, et al. The effect of Eurasian snow cover on regional and global climate variations. *J Atmos Sci*, 1989, 46: 661 ~ 685
- 2 Vernekar A D and Zhou J, Hukla J S. The effect of Eurasian Snow cover on the Indian monsoon. *J Climate*, 1995, 8 (2): 248 ~ 266
- 3 Yang S and Lau K M. Precursory signals associated with interannual variability of the Asian summer monsoon. *J Climate*, 1996, 9(5): 949 ~ 964
- 4 Weare B C and Nasstrom J S. Examples of extended empirical orthogonal function analyses. *Mon Wea Rev*, 1982, 110: 481 ~ 485
- 5 Kousky V E and Kayano M T. Principal modes of outgoing longwave radiation and 250mb circulation for the South American sector. *J Climate*, 1994, 7: 1131 ~ 1143
- 6 Yang Q M. Teleconnections and features of circulation in the pentad mean 500 hPa height field during Northern Hemisphere summer. *Chinese J Atmos Sci*, 1993, 17(2): 125 ~ 132
- 7 Nitta T, Yamada S. Recent warming of tropical sea surface temperature and its relationship to the Northern Hemisphere circulation. *J Meteor Soc Japan*, 1989, 67: 375 ~ 383

THE INFLUENCE OF THE VARIATIONS OF SNOW COVER IN EURASIA FOR HALF YEARS WINTER ON THE CIRCULATIONS OVER THE EAST ASIA

Yang Qiuming

(*Jiangsu Meteorological Observatory, Nanjing, 210008*)

Abstract

The relationships between the snow cover anomalies for half years winter and the distributions of circulation for the following half years summer on continuous evolutions have been investigated by using the rotated extended principal component analysis based on the data of the snow cover in Eurasia and the 500 hPa height anomalies field over East Asia for the period 1973 through 1994, and the possible mechanisms are discussed. The results indicate that the low frequency flow patterns with different persistence have been excited by the different dynamic evolutions of the snow cover anomalies in Europe, in Medium Asia, at middle-high latitude in East Asia from the preceding fall, winter to spring. No relationship between the evolutions of the zonal elongated pattern is found for circulation over subtropical East Asia from spring to fall and the Eurasian snow cover anomalies for the preceding half years winter.

Key words: Snow cover in Eurasia, Circulation over the East Asia, Rotated extended principal component analysis.