

北半球夏季位势高度场遥相关型的 观测研究

杨修群

(南京大学大气科学系, 南京, 210008)

提 要

本文利用一点相关普查和经验正交函数展开分析了北半球夏季 500 hPa 位势高度场的年际变化特征, 指出在北半球夏季主要存在 4 种遥相关型, 它们分别被称作亚洲/北美型、欧亚型、东北太平洋型和北美/西欧型。其中前两种遥相关型和东亚夏季大气环流年际异常有直接的联系。北半球夏季遥相关型的揭示对于研究东亚大气环流年际变异的机理及其预报有参考价值。

关键词: 北半球; 夏季; 遥相关。

一、引 言

80 年代以来, 人们由大气环流遥相关型的研究开辟了对大气环流异常机理研究的一个新领域。自从 Wallace 和 Gutzler^[1] 分析了北半球冬季高度场的变化并指出 5 种遥相关型以后, 人们对这种与大气年际变化相联系的恒定遥相关型的产生和维持机制进行了一系列深入细致的研究。例如, Hoskins 等^[2] 提出了慢变介质中二维 Rossby 波频散理论; Simmons 等^[3] 提出了基本气流正压不稳定理论; Blackmon 等^[4]、Wallace 等^[5]、Schubert^[6] 以及 Nakamura 等^[7] 的研究表明, 外部强迫作用, 正压能量转换和斜压能量转换以及和高频瞬变波相互作用等动力学过程均对恒定遥相关型的产生和维持起重要的贡献。特别是冬季遥相关型往往表现为在急流附近的“翘翘板”结构以及在急流出口区具有大的正压能量转换特征等。因此, 上述研究表明大气恒定遥相关型是一种具有固定地理位置和行星波动尺度特征的且与基本气流关系密切的大气环流异常现象。

尽管人们对冬季北半球遥相关型作了如此多的研究, 但至今为止还没有对夏季北半球遥相关型作过全面地分析。较早指出北半球夏季存在遥相关型的是 Nitta^[8] 和黄荣辉等^[9] 的工作, 他们发现从东亚到北美存在一支波列, 并认为该波列的形成与西太平洋到菲律宾群岛地区的对流加热异常有关。黄荣辉^[10] 利用数值模式研究表明夏季青藏高原上空热源异常通过这支波列也可影响北半球大气环流。杨修群和黄士松^[11] 利用 GCM 模拟表明夏季季风系统成员之一的南半球马斯克林高压加强引起越赤道气流加强, 从而加强南海及菲律宾群岛地区的对流活动, 也可激发这支波列产生; 并同时指出北半球夏季还存在另外一支横跨欧亚的波列。但是, 实际大气中北半球夏季到底存在几种遥相关

1990 年 6 月 11 日收到, 12 月 17 日收到修改稿。

型? 它们和大气年际变化及其环流异常有怎样的联系? 针对上述问题, 本文的目的在于利用有关观测资料对北半球夏季遥相关型作全面的分析, 进而揭示出北半球夏季大气环流异常的特征.

二、资料来源和分析技术

1. 资料

本文使用的资料为 1951—1984 年的北半球逐月平均 500 hPa 位势高度场资料. 由于我们感兴趣的是夏季环流的年际变化性, 故取 6、7 和 8 月 3 个月的平均场表示某一年夏季平均环流, 这样共有 34 个夏季年. 资料范围为 10° — 85° N, 0° — 360° , 经纬网格距为 $10^{\circ} \times 5^{\circ}$, 故北半球共有 576 个格点.

2. 分析技术

一点相关 (one-point correlation) 分析是确定大气常定遥相关型的有效方法. 本文首先通过一点相关普查计算, 即以任一格点作基点计算该点高度场和北半球所有其它格点高度场的同时性相关系数, 共得到 576 幅一点相关图. 定义满足如下条件: 即假设存在一种型, 以该型的任一活动中心作基点求得一点相关图, 如果在求得的图中该型仍存在且各活动中心位置不变, 则称该型为遥相关型. 当然上述活动中心的相关系数必须不小于临界相关系数. 给定信度 $\alpha=0.05$, 由于样本 $n=34$, 故临界相关系数 $r_c=0.32$.

为了表示某一遥相关型 (P) 的强度, 仿 Wallace 等^[1] 和 Nakamura 等^[7] 的取法, 我们可以定义遥相关型指数如下:

$$I_{Pj} = \sum_l [w_{Pl} h'_j(\varphi_{Pl}, \lambda_{Pl})], \quad (1)$$

这里 φ_{Pl} , λ_{Pl} 和 w_{Pl} 分别为遥相关型 P 的第 l 个活动中心的纬度、经度和权重, h'_j 为第 j 年的第 l 个活动中心点上的归一化高度场距平. 其中权重 w_{Pl} 依经验而定, 但满足: $\sum_l |w_{Pl}| = 1$, 第一个活动中心的权重取法往往具有任意性, 而其它活动中心一般取为等权重. 由 (1) 式定义的遥相关型指数大小表示了遥相关型的强弱, 即 I_{Pj} 正值越大, 则第 j 年的遥相关型越强; 反之, I_{Pj} 负值越大, 则活动中心异常符号相反的遥相关型越强; I_{Pj} 越接近于零, 则遥相关型越弱. 由该指数可以容易地把实际高度场异常区分为强遥相关年和弱遥相关年, 并根据强年的高度场距平可以合成遥相关型的振幅特征.

三、北半球夏季 500 hPa 高度场的遥相关型

通过上述一点相关图的详细测定发现在北半球夏季主要存在 4 种遥相关型, 根据其地理位置分布分别取名为亚洲/北美型、欧亚型、东北太平洋型和北美/西欧型. 下面将以每一遥相关型的一个活动中心为基点作例来讨论夏季北半球大气遥相关.

1. 亚洲/北美型 (简称 ANA)

亚洲/北美型是一起源于亚洲尤其是东亚影响到北美洲的大气遥相关. 图 1 给出了以

活动中心(160°W, 75°N)为基点的一点相关图, 该型主要存在 6 个活动中心, 它们分别位于我国大部、蒙古、东西伯利亚、阿拉斯加、加拿大和美国东南部, 该型与 Nitta 和黄荣辉揭示的波列型十分一致。

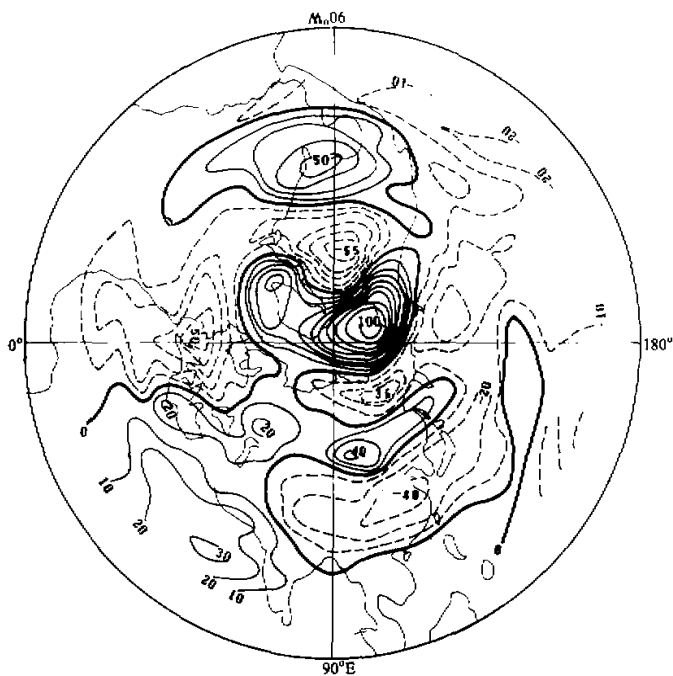


图 1 以(160°W, 75°N)为基点的一点相关图

图中相关系数已放大 100 倍, 下同

为了合成亚洲/北美型的活动中心振幅特征并揭示它与大气环流异常的联系, 根据公式(1)定义亚洲/北美型的遥相关指数如下:

$$ANA = 0.1h'(90^\circ\text{E}, 30^\circ\text{N}) - 0.2h'(110^\circ\text{E}, 45^\circ\text{N}) + 0.2h'(130^\circ\text{E}, 65^\circ\text{N}) - 0.2h'(160^\circ\text{W}, 75^\circ\text{N}) + 0.2h'(90^\circ\text{W}, 55^\circ\text{N}) - 0.1h'(70^\circ\text{W}, 30^\circ\text{N}).$$

这样 ANA 构成一样本为 34 的时间序列, ANA 为正值表示从青藏高原到我国东南大部及日本为高度场正异常, 而蒙古和我国东北为负异常; ANA 为负时, 上述异常形势相反, ANA 正的越大, 则该遥相关型活动中心振幅越大, ANA 负的越大, 上述活动中心相反符号的振幅越大, 而两者均表示遥相关型越强, 分别选择正 ANA (ANA > 0.8) 和负 ANA (ANA < -0.8) 年份作 500 hPa 高度场合成图以及两者的差值图, 表示在两种极端情形下的 500 hPa 环流和遥相关型的振幅特征。从合成图上可知 (图略): 当 ANA 为正时, 西太平洋副高加强西伸, 我国江淮流域以及华南均为高度场正距平控制, 华北槽加深, 东西伯利亚脊加强, 阿拉斯加槽和极涡加深, 加拿大的脊加强, 而美国东南部沿海槽加深。这种环流形势十分有利于夏季副高西伸加强控制我国华东地区, 造成淮河以南的大部分地区高温、少雨、偏旱, 而淮河以北地区多雨、偏涝。当 ANA 为负时, 上

述异常形势相反。从差值图上可知：亚洲/北美型和大气环流异常具有直观的联系，该型明显地在高度场异常的振幅上表现为一从我国到美国东南部的波列型，而且其第一个活动中心范围覆盖我国南方大部分地区，该型的存在对东亚大气环流特别是我国及日本夏季气候异常以及北美洲大气环流异常具有直接的影响。

2. 欧亚型(简称 EU)

图 2 给出了欧亚型的一点相关图，由图可见欧亚型主要存在 5 个活动中心，它们分别位于大西洋、格陵兰、新地岛、中西伯利亚和东亚。该型由大西洋横跨欧亚大陆影响到东亚，其地理位置分布类似于杨修群等的 GCM 模拟中揭示的横跨欧亚的波列^[11]。

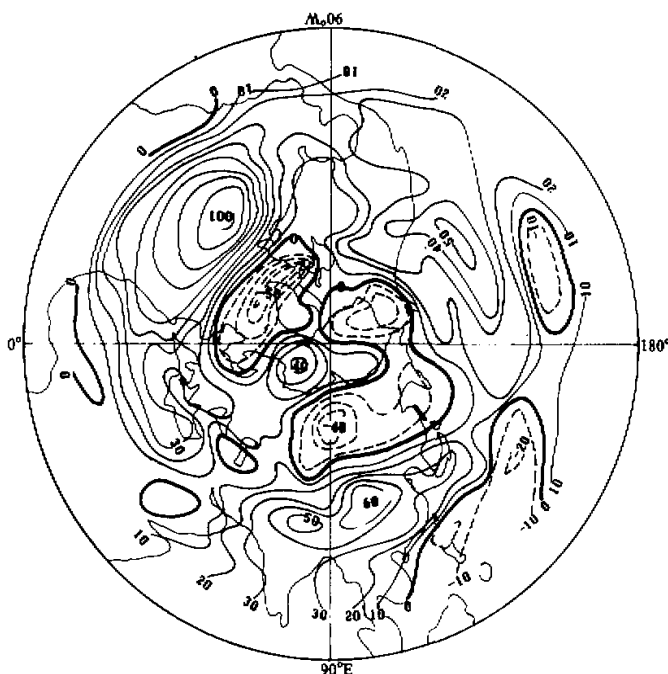


图 2 以 (50°W, 35°N) 为基点的一点相关图

同样可以定义欧亚型遥相关指数如下：

$$EU = \frac{1}{5} [h'(50^\circ\text{W}, 35^\circ\text{N}) - h'(40^\circ\text{W}, 60^\circ\text{N}) + h'(80^\circ\text{E}, 75^\circ\text{N}) - h'(110^\circ\text{E}, 55^\circ\text{N}) + h'(120^\circ\text{E}, 35^\circ\text{N})]$$

当 EU 为正值时，大西洋为高度场正距平。由此做出的合成图表明：正 EU 型时，大西洋中部副高加强，格陵兰附近的槽加深，新地岛附近的脊加强，中西伯利亚的槽加深，而江淮流域的槽减弱，西太平洋副高主体减弱；负 EU 型时上述异常完全相反。差值图反映从大西洋到东亚沿岸为一明显的波列结构。上述事实表明：欧亚型和大西洋上空环

流以及东亚大气环流异常具有直接的联系, 并且大西洋环流异常通过该型可以引起东亚夏季环流异常.

3. 东北太平洋型 (简称 NEP)

图 3 给出了该型的一点相关图, 可见东北太平洋型主要为 3 个活动中心, 它们分别位于东北太平洋、加拿大北部和北美东部. 此型不同于前两种型, 它的活动中心位于较高纬度. 由下式计算其遥相关指数,

$$NEP = \frac{1}{3} [h'(160^\circ\text{W}, 45^\circ\text{N}) - h'(120^\circ\text{W}, 75^\circ\text{N}) + h'(60^\circ\text{W}, 45^\circ\text{N})].$$

NEP 为正, 表示东北太平洋为高度场正距平. 合成图表明, 当 NEP 为负型时, 东北太平洋槽显著加深, 加拿大北部脊加强, 而北美东部槽加深; 当 NEP 为正型时上述异常相反. 东北太平洋型是联系东北太平洋和北美之间大气异常的重要遥相关现象.



图 3 以 $(160^\circ\text{W}, 45^\circ\text{N})$ 为基点的一点相关图

4. 北美/西欧型 (简称 AWE)

从图 4 的一点相关图上可见, 北美/西欧型也有 3 个活动中心, 它们分别位于北美东部、格陵兰和西欧沿海. 遥相关指数可表示为

$$AWE = \frac{1}{3} [h'(70^\circ\text{W}, 50^\circ\text{N}) - h'(30^\circ\text{W}, 75^\circ\text{N}) + h'(0^\circ, 50^\circ\text{N})].$$

AWE 为正, 反映在格陵兰附近为一负高度场距平. 合成图表明, 当 AWE 为负型时, 北

美东部槽加深，西欧沿海也为一加深的槽，而两槽之间格陵兰附近的脊明显加强；当 AWE 为正型时上述异常相反。

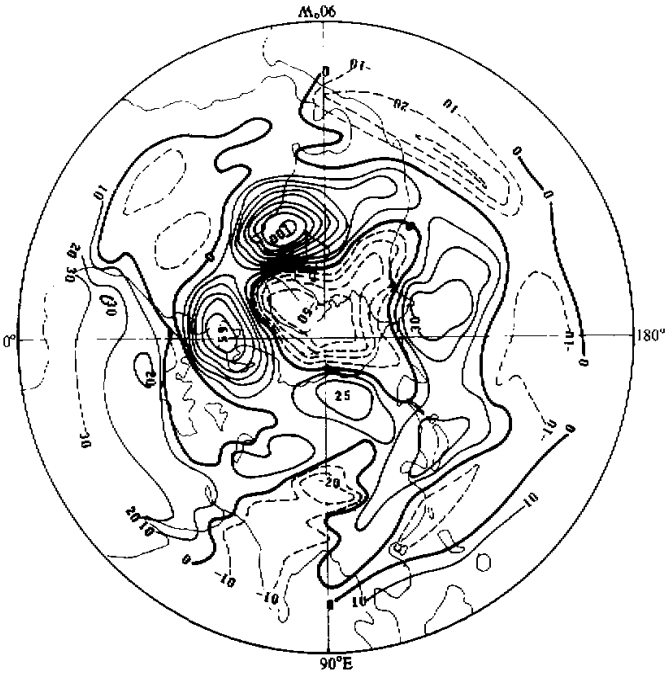


图 4 以(70 °W, 50 °N)为基点的一点相关图

5. 4 种遥相关型及其相互关系

我们已经知道北半球夏季 500 hPa 位势高度场主要存在 4 种遥相关型，它们和西风带槽脊以及副热带高压等大气环流异常有很好的对应关系。特别是亚洲 / 北美型和欧亚型与东亚大气环流有直接的联系。

另外，我们也计算了夏季 4 种遥相关型指数间的相关系数并列于表 1，可见 NEP 型和 AWE 型正相关达 0.55，同时 ANA 和 AWE 也有较好的正相关，这表明某些遥相关型在大气环流异常中可以同时出现，表现出多极型特征。但值得指出的是其它遥相关型之间相关很小，例如 ANA 和 EU 型相关只有 0.29，这表明二者没有明显的联系，特别是二者对东亚地区的影响具有相对独立性，这使得了解二者对东亚及我国气候影响的共同效应变得更加复杂。

表 1 各遥相关型指数间的相关系数

	EU	NEP	AWE
ANA	0.29	0.32	0.41
EU		0.37	0.25
NEP			0.55

6. EOF 分析

对北半球夏季 500 hPa 高度场进行经验正交函数展开分析，即求高度场距平协方差阵的特征向量。图 5a, b 给出了第一、二特征向量的水平分

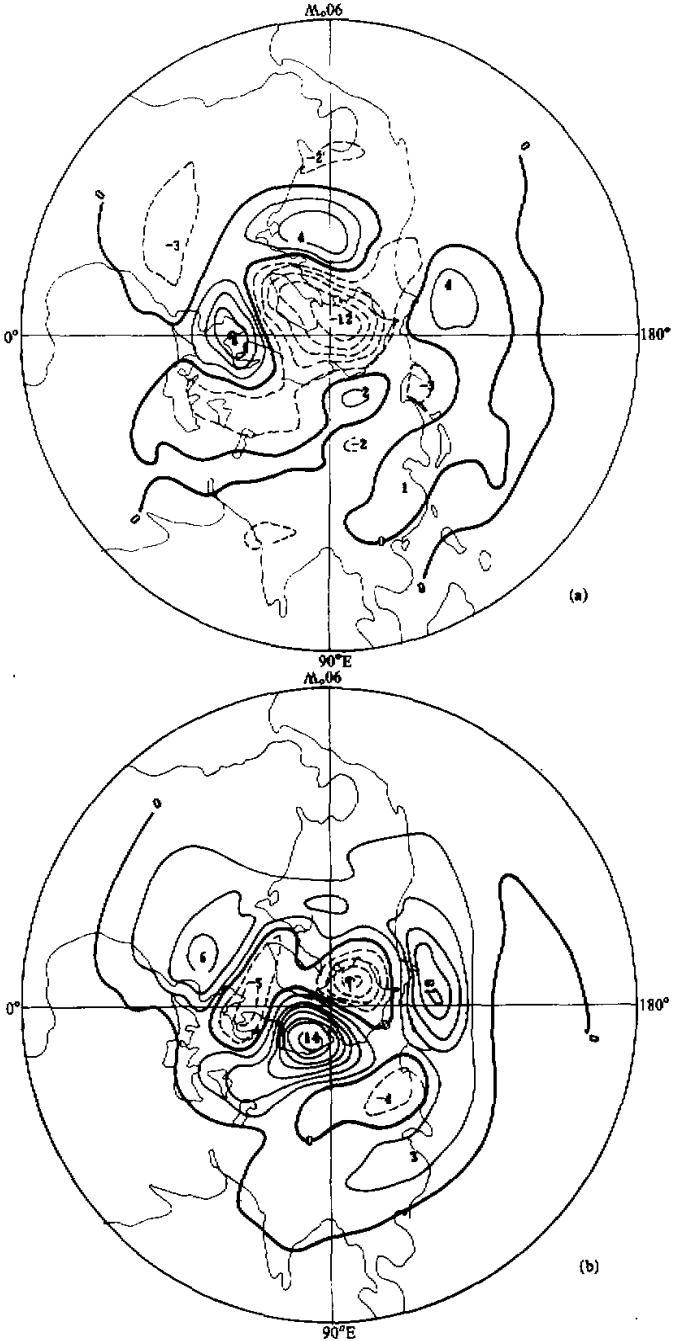


图 5 500 hPa 高度场距平 EOF 展开

(a) 第一特征向量(占总方差 24%), (b) 第二特征向量(占总方差 11%), 图中数值已放大 100 倍

布,其中第一特征向量占总方差 24%,第二特征向量占总方差 11%,可见特征向量型和前文揭示的遥相关型之间有一定的对应关系。例如,第一特征向量在东亚到北美地区、东北太平洋到北美地区以及北美到西欧沿海地区的高度场空间异常分别和亚洲/北美型、东北太平洋型以及北美/西欧型之间有一定的联系,而第二特征向量在大西洋到东亚地区则和欧亚型遥相关有很好的联系。由于特征向量能有效地解释半球平均的 500 hPa 高度场方差,因此第一、二特征向量能够反映一点相关分析中揭示的 4 种遥相关型的局地特征的事实表明:夏季大气 4 种遥相关型基本反映了北半球夏季 500hPa 高度场年际变异的主要方差。另外,由于特征向量之间具有正交性,因此分别在第一特征向量中的 ANA 型和第二特征向量中的 EU 型之间具有一定的正交性。这正解释了前文提到的为什么 ANA 和 EU 型之间相关甚小,而出现在同一特征向量中的 NEP 和 AWE 型却相关甚大。当然,特征向量型和遥相关型之间仍存在差别,因为毕竟前者解释的是半球平均方差,而后者反映的是局地方差特征,但事实上,特征向量型可以通过旋转主分量分析而得到一系列类似于遥相关型的型^[12]。

四、主要结论

本文通过一点相关图和经验正交函数展开分析研究了北半球夏季 500 hPa 位势高度场遥相关型,得到以下主要结论:

(1) 北半球夏季主要存在 4 种遥相关型,并根据其活动中心地理位置分布分别称之为亚洲/北美型、欧亚型、东北太平洋型和北美/西欧型。

(2) 亚洲/北美型和欧亚型均和东亚尤其和我国大气环流年际异常有直接的联系,但该两种型之间相关甚小,具有时间上的相对独立性和空间上的正交性特征。

(3) 遥相关型和第一、二特征向量型之间在局地区域有很多相似性,这表明本文揭示的夏季 4 种遥相关型对半球平均的 500 hPa 高度场年际变异总方差作主要贡献。

参 考 文 献

- [1] Wallace, J.M. and D. S. Gutzler, 1981, Teleconnections in the geopotential height field during the Northern Hemisphere Winter, *Mon. Wea. Rev.*, **109**, 784—812.
- [2] Hoskins, B.J. and D. Karoly, 1981, The steady, linear response of a spherical atmosphere to thermal and orographic forcing, *J. Atmos. Sci.*, **38**, 1179—1196.
- [3] Simmons, A.J. et al., 1983, Barotropic wave propagation, instability and atmospheric teleconnection patterns, *J. Atmos. Sci.*, **40**, 1363—1392.
- [4] Blackmon, M.L. et al., 1984a, Horizontal structure of 500mb height fluctuations with long, intermediate and short time scales, *J. Atmos. Sci.*, **41**, 961—979.
- [5] Wallace, J.M. and N.-C. Lau, 1985, On the role of barotropic energy conversion in the general circulation, in: *Climate Dynamics*, S. Manabe, Ed., Academic Press, 33—74.
- [6] Schubert, S.D., 1986, The structure, energetics and evolution of the dominant frequency-dependent three-dimensional atmospheric modes, *J. Atmos. Sci.*, **43**, 1210—1237.
- [7] Nakamura, H. et al., 1987, Horizontal structures and energetics of the Northern Hemisphere wintertime teleconnection patterns, *J. Atmos. Sci.*, **44**, 3377—3391.

- [8] Nitta, T., 1987, Convective activities in the tropical western Pacific and their impact on the Northern Hemisphere summer circulation, *J. Meteor. Soc. Japan*, **65**, 373 — 390.
- [9] Huang Ronghui, et al., 1987, Influence of the heat source anomaly over the western tropical Pacific on the subtropical high over east Asia, *Proceedings of the International Conference of the General Circulation of East Asia*, Chengdu, 40 — 45.
- [10] 黄荣辉, 1985, 夏季青藏高原上空热源异常对北半球大气环流异常的作用, *气象学报*, **43**, 208 — 220.
- [11] 杨修群, 黄士松, 1989, 马斯克林高压的强度变化对大气环流影响的数值试验, *气象科学*, **9**, 125 — 138.
- [12] Horel, J. D., 1981, A rotated principal component analysis of the Northern Hemisphere 500 mb height field, *Mon. Wea. Rev.*, **109**, 2080 — 2092.

Observational Study of Teleconnections in the Geopotential Height during the Northern Hemisphere Summer

Yang Xiuqun

(Department of Atmospheric Sciences, Nanjing University, Nanjing, 210008)

Abstract

Teleconnection patterns in the interannual variabilities of 500 hPa geopotential height during the Northern Hemisphere summer were studied by the technique of one-point correlation map and EOF analysis. It is shown that there exist four teleconnection patterns over the Northern Hemisphere summer, which are named as the Asia/North American, the Eurasian, the Northeastern Pacific and the America/Western Europe patterns, respectively. The former two patterns are demonstrated to be directly related to the east Asian general circulation, especially the climate in China. Discovering the four leading teleconnection patterns in summer is very valuable to the long-term forecasting.

Key words: The Northern Hemisphere; Summer; Teleconnections.