近 50 年来夏季西风指数变化与中国夏季降水的关系

严华生 胡娟 范可 张云瑾

云南大学大气科学系，昆明 650091

摘 要 使用1951～2002年夏季500 hPa高度月平均格点资料，运用多变量方差分析的方法，找到夏季不同雨带类型对应的西风指数变化关键区，再对关键区西风指数与夏季160个站的降水进行相关分析，找到降水显著高相关区。最后，采用NCEP/NCAR月平均再分析资料，通过合成风场检验的方法，找到高低西风指数年对应的风场显著差异区以及不同雨带类型对应的风场显著差异区，对高低西风指数和正常年西风指数各自对应的环流场以及三种类型雨带对应的环流场进行比较。研究发现，夏季西风指数差异最大的关键区在（35°N～55°N，110°E～140°E）。在关键区内，I类雨带对应高指数环流，II类雨带对应多年平均环流形式，III类雨带对应低指数环流。而降水场上的高相关区在长江和江南一带，为负相关。高低指数年的 u、v 风场显著性关键区和I、III类雨带的 u、v 风场的显著性关键区基本相同，经度在100°E～130°E，纬度分别位于35°N～55°N（A关键区）和25°N～30°N（B关键区）。高指数年对应I类雨带，在关键区A南风加强，在关键区B东风加强。低指数年对应III类雨带，在关键区A东北风加强，在关键区B西风加强。而多年平均环流形式对应II类雨带，A、B两个关键区主要是西风控制。归结原因是由于西风带的南进北退导致冷空气南下北上的路径、强度发生变化，从而影响夏季雨带的分布。

关键词 雨带类型 西风指数 显著性关键区 相关场 风场关键区

文章编号 1006－9895（2007）04－0717－10 **中图分类号** P461 **文献标识码** A

The Analysis of Relationship between the Variation of Westerly Index in Summer and Precipitation during the Flood Period over China in the Last 50 Years

YAN Hua-Sheng, HU Juan, FAN Ke, and ZHANG Yun-Jin

Department of Atmospheric Science, Yunnan University, Kunming 650091

Abstract Based on the grid point data of monthly mean 500 hPa height field in summer, the authors use multivariate analysis of variance to find the key area of westerly index which is closely related to rain-band patterns in summer over China. In order to find the precipitation area having high correlation with westerly index, the authors use westerly index of key area and precipitation data at 160 weather stations in summer over China to do correlation analysis. Finally, the authors use NCEP/NCAR data and significance test of wind field to find the key areas of high-index years and low-index years or among the three rain-band patterns, and analyze the feature of circulation of high-index years, low-index years and normal state and three rain-band patterns. It is found that the significant key area of westerly index lies in (35°N－55°N, 110°E－140°E). In the key area, when it is the 1st rain-band pattern in summer, it will be high index circulation. However, when it is the 3rd rain-band pattern in summer, it will be low index circulation, and if it is the 2nd rain-band pattern, the circulation type is similar to the normal state. The high correlation area of precipitation field which is closely related to westerly index is over the Yangtze River and the south of the Yangtze River valley, and the correlation between westerly index and precipitation is anticorrelation. It is found that there are two key areas in wind fields of high-index years and low-index years, which consist with the wind key

收稿日期 2006－01－23 收到，2006－04－10 收到修改稿

资助项目 国家自然科学基金资助项目 40565001

作者简介 严华生，男，1955年出生，教授，主要从事气候变化、农业气象、统计气象研究。E-mail：ynkmyhs@163.com

areas of the 1st and the 3rd rain-bands. The authors define the two wind key areas as key area A which lies in (35°N-55°N, 100°E-130°E), and key area B which lies in (25°N-30°N, 100°E-130°E). For the high-index years or the 1st rain-band pattern, the south wind will intensify in key area A, and the east wind will intensify in key area B. Similarly, for the low-index years or the 3rd rain-band pattern, the northeast wind will intensify in key area A, and the west wind will intensify in key area B. And the west wind will intensify in both key areas for normal state or the 2nd rain-band pattern. The variation of westerly index's dimensions mirrors the undulation of westerly belt, and the latitudinal fluctuation of westerly belt makes the track and intensity of cold air moving southward into China vary, which impacts the pattern of rain-band at last.

Key words rain-band pattern, westerly index, significant key area, correlation field, key area of wind field

1 引言

已有许多工作对影响中国夏季降水的因子进行了研究[1~22]。陈兴芳和赵振国[6]将影响因子主要归纳为来自东、西、南、北、中五个方面的五大因素，即：东面的海洋、西面的青藏高压、南面的季风、北面的阻塞高压、中间的副高，并且将这五大因子与降水的关系做了一定的探讨[3]。从天气学原理看，降水是由北方冷空气和南方暖湿空气交汇形成，因而对降水的影响因子可以集中于研究南方水汽输送和北方冷空气上，对影响夏季降水的五大因子，东、南、中三个方面可归纳为水汽的影响，西面和北面可归纳为冷空气的影响。但如今，对南方暖湿空气如何对降水造成影响的研究工作较多[2, 12, 13, 16, 17]，探讨副高、海温等因子对降水的影响的文章也有很大一部分[7, 8, 10, 20, 21]。与水汽的输送相比，对夏季北方冷空气的影响作用研究较少，孙力等[9]研究了夏季东北冷涡持续性活动对汛期降水的影响；陈希等[11]研究了东亚阻塞高压不同位置对降水的影响；杨义文[19]也做了类似的研究指出：盛夏东亚阻高活跃使副高脊线位置偏南，导致主要雨带偏南，造成北旱南涝的局面。由于冷空气活动与西风指数波动有密切关系，探讨冬季西风指数波动和冬季气温与降水关系的文章有一部分[23~26]，而探讨夏季西风指数波动和夏季降水关系的文章较少见。傅云飞和黄荣辉[27]指出：东亚西风异常向南传播，欧亚大陆有欧亚遥相关环流形式与之配合，使得赤道西太平洋西风异常猛烈发展，西风异常东传，造成强的 El Niño 事件；谭桂容等[28]指出：夏季雨带的不同分布，在同期环流场上有不同的配置相对应，尤其在欧亚西风带；周兵等[29]就西风急流对长江中下游暴雨的影响做了数值研究；冯文等[30]研究了区域西风指数对我国西北地区水汽场的影响，指出西风年际变化对西北地区风场辐合（辐散）的影响是我国西北地区水汽场年际变化的主要原因。在这些文章中涉及了夏季西风波动对降水的影响，然而对夏季西风指数和降水关系的研究还不透彻，对于一些问题的探讨还不清楚。全球各经度上的西风指数波动对我国夏季降水是否有一致的重要作用，还是存在与降水关系最好的西风指数波动显著性差异区（即西风指数的关键区）？在降水场上，关键区平均西风指数与中国 160 个站的降水是存在一致的正相关或负相关，还是存在与关键区平均西风指数关系最好的降水高相关区？不同强度西风指数对应的风场或不同雨带类型对应的风场是否也存在一个显著关键区？在风场关键区西风又是如何波动从而影响夏季雨带类型的分布的？针对这些问题，本文试图通过多变量方差分析的方法找出与中国夏季雨带类型分布关系最好的西风指数变化关键区；再用相关分析的方法，分析关键区西风指数与夏季降水的关系，找到降水场上的显著高相关区，并从合成风场的强弱波动研究西风对三类雨带的影响。从而为夏季降水的研究增加新的依据，加深对夏季旱涝的认识，进而对短期气候预测起到促进作用。

2 资料和分析方法

2.1 资料来源

（1）国家气候中心提供的 1951～2002 年（共 52 年）夏季（6～8 月）北半球 500 hPa（10°N～85°N，180°E～180°W）的高度场格点资料；网格距为 5°×10°，计每年每月有 16×36 = 576 个格点。

（2）国家气候中心根据廖荃荪等[31]方法划分的夏季雨型资料，由表 1 可见：I 类雨型有 18 年，II 类雨型有 15 年，III 类雨型有 19 年。三类雨型的分布特征：

表 1　1951～2002 夏季三类雨型对应年份

Table 1　The years for three principal rain patterns in summer from 1951 to 2001

雨型	年份
I 型	1953，1958，1959，1960，1961，1964，1966，1967，1973，1976，1977，1978，1981，1985，1988，1992，1994，1995
II 型	1956，1957，1962，1963，1965，1971，1972，1975，1979，1982，1984，1989，1990，1991，2000
III 型	1951，1952，1954，1955，1968，1969，1970，1974，1980，1983，1986，1987，1993，1996，1997，1998，1999，2001，2002

I 类（北方型）：主要雨带位于黄河流域及其以北地区，江淮流域大范围少雨，梅雨较弱并常有较明显的伏旱，江南南部至华南为一次要多雨区。

II 类（中间型）：主要多雨带位于黄河至长江之间，雨带中心在淮河流域一带，黄河以北及长江以南大部地区少雨。

III 类（南方型）：主要多雨带位于长江流域或江南一带，淮河以北大部及东南沿海地区少雨。

（3）全国 160 个站 1951～2002 年（共 52 年）夏季（6～8 月）的降水资料。

（4）1951 年～2002 年，夏季（6～8 月）NCEP/NCAR 北半球 500 hPa、700 hPa、850 hPa 的高度场和风场再分析资料，网格距为 2.5°×2.5°。

2.2　分析方法

采用资料（1），首先得出夏季 500 hPa 高度上的距平值，再根据 Rossby 西风指数公式[32]：$I_R=H_{35}-H_{55}$，计算北半球 180°E～180°W（间隔为 10°）共计 36 个格点上的西风指数，H_{35}表示 35°N、500 hPa 的高度值，H_{55}表示 55°N、500 hPa 的高度值。

根据三种类型雨带各自的年份，将夏季三种类型雨带对应的西风指数分为三组样本，根据多变量方差分析方法[33]，对每个经度上的西风指数进行差异显著性检验，找到显著性检验统计量（F 值）通过 90%及其以上信度水平的经度区域，进行深入分析。

设三种雨带类型对应的西风指数资料矩阵分别为：I 类雨带 $\boldsymbol{Y}^{(1)}_{n_1\times p}$、II 类雨带 $\boldsymbol{Y}^{(2)}_{n_2\times p}$、III 类雨带 $\boldsymbol{Y}^{(3)}_{n_3\times p}$，$n_1=18$，$n_2=15$，$n_3=19$，$p=36$。

对某一雨带类型样本，计算其方差阵：

$$\boldsymbol{S}^{(j)}_{p\times p}=\sum_{i=1}^{n}(\boldsymbol{Y}^{(j)}_{ip}-\overline{\boldsymbol{Y}^{(j)}_{p}})^2,$$

其中，n 表示该雨带所有的年份；j 为雨带类型，$j=1$，2，3；

$$\overline{\boldsymbol{Y}^{(j)}_{p}}=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\boldsymbol{Y}^{(j)}_{ip},$$

则组内平方和：

$$\boldsymbol{S}_2=\boldsymbol{S}^{(1)}_{p\times p}+\boldsymbol{S}^{(2)}_{p\times p}+\boldsymbol{S}^{(3)}_{p\times p}.$$

组间平方和：

$$\boldsymbol{S}_1=n_1(\overline{\boldsymbol{Y}^{(1)}_{p}}-\overline{\boldsymbol{Y}_{p}})^2+n_2(\overline{\boldsymbol{Y}^{(2)}_{p}}-\overline{\boldsymbol{Y}_{p}})^2+n_3(\overline{\boldsymbol{Y}^{(3)}_{p}}-\overline{\boldsymbol{Y}_{p}})^2,$$

其中，$\overline{\boldsymbol{Y}_{p}}$为三种类型雨带对应的西风指数的总平均，

$$\overline{\boldsymbol{Y}_{p}}=\frac{1}{3}(\overline{\boldsymbol{Y}^{(1)}_{p}}+\overline{\boldsymbol{Y}^{(2)}_{p}}+\overline{\boldsymbol{Y}^{(3)}_{p}}).$$

平均组间平方和：$\overline{\boldsymbol{S}_1}=\boldsymbol{S}_1/f_1$，$f_1$ 为自由度，$f_1=3-1=2$。

平均组内平方和：$\overline{\boldsymbol{S}_2}=\boldsymbol{S}_2/f_2$，$f_2$ 为自由度，$f_2=n_1-1+n_2-1+n_3-1$。

F 检验：$\boldsymbol{F}=\overline{\boldsymbol{S}_1}/\overline{\boldsymbol{S}_2}\sim(f_1,f_2)$，遵循自由度为（$f_1$，$f_2$）的分布。

通过 F 检验，找出三种类型雨带各自对应的西风指数差异最大的区域，定义为关键区。

利用关键区平均西风指数与夏季 160 个站的降水资料做相关分析，进而得到西风指数与降水的显著高相关区。

利用关键区平均西风指数确定高指数年、低指数年以及正常年，结合 NCEP/NCAR 再分析资料（500 hPa、700 hPa、850 hPa），对高低指数年以及 I 类和 III 类雨带的距平风场进行对比合成分析，对合成风场进行显著性检验。

3　结果分析

3.1　西风指数和降水的关系

3.1.1　西风指数显著性差异区分析

将计算所得的 36 个格点上的 F 值标识在图上（如图 1），将显著性检验通过 99%信度水平的区域定为关键区，分析在关键区上三种类型雨带对应的西风指数的差异。

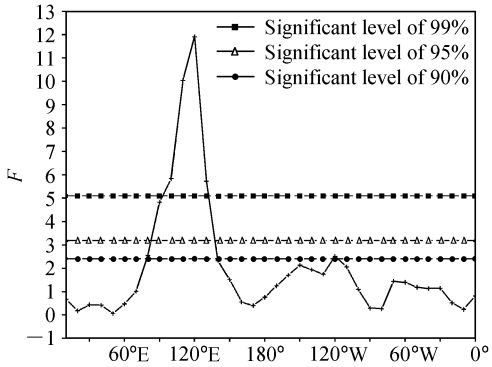

图1 夏季各经度的西风指数显著性检验

Fig. 1 Significance test of westerly index at every longitude in summer

通过图1可见，夏季三种类型雨带对应的西风指数并不是在全球0°～360°上都存在显著性差异，只有在90°E～140°E显著性检验值通过90%及其以上的信度水平，特别在110°E～140°E通过了99%的信度检验，表明西风指数和雨带类型的关系并不具有全球性，而是在110°E～140°E西风指数的强弱波动和我国夏季雨带分布的关系最密切。我们将（35°N～55°N，110°E～140°E）定义为夏季与雨带分布关系最密切的西风指数波动关键区，分析了各雨型对应的西风指数以及多年平均西风指数沿经向的变化，发现在关键区（110°E～140°E），I类雨带对应的西风指数值比多年平均西风指数值大；II类雨带对应的西风指数值与多年平均西风指数值大体相同；III类雨带对应的西风指数值比多年平均西风指数值小。这表明夏季I类雨带可能对应高指数环流，II类雨带可能对应多年平均环流形式，III类雨带可能对应低指数环流。

3.1.2 关键区平均西风指数与降水的相关分析

通过以上分析，我们找到了西风指数波动关键区在（35°N～55°N，110°E～140°E）。而关键区的西风指数和降水的相关如何？是否存在与西风指数关系最好的降水高相关区域？为此，我们分析了关键区平均西风指数和降水的相关场分布特征，所得结果如图2。

通过图2可以看到，关键区平均西风指数和降水的相关场出现南负北正的分布形式，但北方的正相关并不显著，特别是黄河流域及其以北地区呈现弱的正相关；而长江和江南一带的负相关相当显著，通过了95%的信度检验。这说明西风指数与长

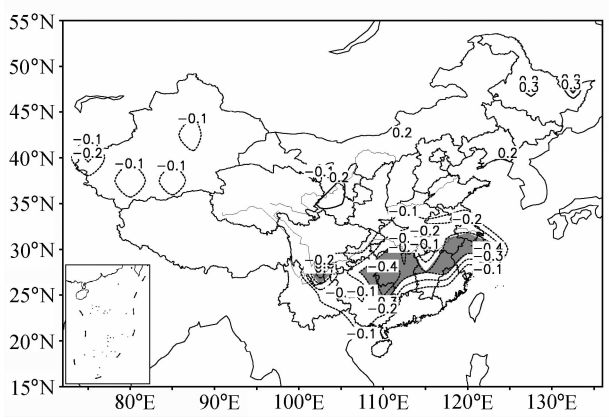

图2 夏季关键区平均西风指数与降雨相关场。阴影为通过95%信度水平的区域，虚线为负值

Fig. 2 The correlation diagram between precipitation and westerly index in the significant region in summer. The area with a confidence level more than 95% is shadowed, dashed lines denote negative values

江及江南一带降水的关系最好，长江和江南一带是降雨的显著高相关区。西风指数和降水在长江和江南一带呈负相关，表明当低指数环流时，我国夏季出现III类雨带的可能性很大。

已有前人对欧亚环流指数和亚洲环流指数与夏季旱涝的关系做过分析[34]，我们对每个经度上的西风指数和降水的相关做了对比分析，并与欧亚环流指数和亚洲环流指数比较，发现并不是全球各经度的西风指数和降水都存在显著的相关，只有在我们所确定的关键区的西风指数与降水的关系最为显著。这可能是因为全球西风指数或东亚或欧亚的区域西风指数所包含的范围大，这大片范围的西风波动并不都对中国夏季的降水有显著的影响，所以这些区域的西风指数和降水的相关不显著。因而通过关键区的西风指数来分析夏季降水更集中有效。

3.2 大气环流场分析

3.2.1 高低指数年和不同雨带类型合成风场的显著性检验

为了进一步探讨西风指数与雨带类型有显著高相关的原因，我们分析了高、低西风指数年、正常年以及三种类型雨带的环流场特征。

如图3所示，我们把近50年来关键区的平均西风指数的年际变化时间演变绘图，以1倍标准差（$S\pm\overline{X}$）的大小来区分高指数年、低指数年和正常年，大于$S+\overline{X}$的年份定为高指数年，小于$S-\overline{X}$的年份定为低指数年，处于两者之间的为正常年，

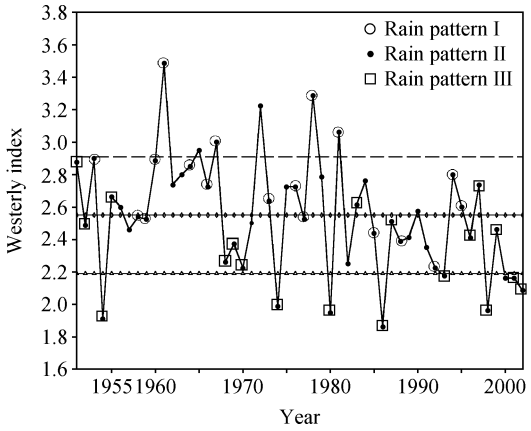

图 3　夏季关键区平均西风指数图。标有菱形的直线为关键区的 52 年平均西风指数，虚线和标有三角的直线为一倍标准差的值

Fig. 3　The mean westerly index in the significant region in summer (Line with diamond: 52-year mean westerly index in the significant region, dashed line and line with triangle: one double standard deviation)

表 2　不同强度西风指数对应的年份

Table 2　The years for high, low and normal westerly indexes

类别	年份
高指数年	1961，1965，1967，1972，1978，1981
低指数年	1954，1974，1980，1986，1993，1998，2000，2001，2002
正常年	1951～1953，1955～1960，1962～1964，1966，1968～1971，1973，1975～1977，1979，1982～1985，1987～1992，1994～1997，1999

由此确定高指数年、低指数年和正常年的年份如表 2 所示。为对比三类雨带年份和高、低指数年及正常年的对应关系，我们在图 3 上用不同符号标记出三类雨带对应的年份。

高指数年有 6 年，低指数年有 9 年，正常年有 37 年。我们根据施能等[35]的合成风场检验的方法，对高低指数年的 u、v 风场进行了 F 检验，找出了风场变化的关键区域，在关键区讨论高指数年、低指数年以及正常年环流场的变化特征。为了比较分析强度不同的西风指数年的 u、v 风场分布与不同雨带类型的风场分布的异同，进一步确定雨带和西风指数的关系，我们根据表 1 所示 I、III 类雨带的年份，用同样的方法分析了雨带 u、v 风场的显著性关键区。

计算结果表明，高、低指数年的风场差异最大的区域与雨带类型风场差异最大的区域是基本相同的（通过 95%及其以上信度水平的检验）。我们将区域（35°N～55°N，110°E～140°E），定义为风场的关键区 A；同时，在（25°N～30°N，110°E～130°E）附近，u、v 风场也通过了显著性检验，定义为关键区 B。高低指数年的第三个差异区在贝加尔湖以北，而对雨带的风场检验来说，位置偏南，在我国新疆一带，两片差异区位置不同，我们暂不讨论。从关键区 A、B 所在的经度上看，与西风指数波动关键区（110°E～140°E）相符合。通过风场的显著性检验表明，在环流场上也存在强弱指数年和不同雨带类型对应的风场的最大差异区，由此，我们进一步展开分析环流合成场的特征。

3.2.2　*环流场合成对比分析*

由于西风指数的大小振荡反映了中纬度西风带槽脊波动的不同特征，南北气压差的大小变动使槽脊南伸北抬，从而造成中纬度西风的风向、风速等变化，进而影响冷空气南下的路径、强度，对我国雨带的分布造成影响。因而讨论高指数年、低指数年以及正常年的西风波动是有意义的。由 3.1 节的讨论有初步结论：I 类雨带对应高指数环流，II 类雨带对应多年平均环流形式，III 类雨带对应低指数环流。因而，我们将高指数年的合成图与 I 类雨带的合成图对应比较（如图 4a、b），低指数年的合成图与 III 类雨带的合成图对应比较（如图 5a、b），多年平均西风指数的合成图与 II 类雨带的合成图对应比较（如图 6a、b）。

通过距平风场的环流形式可以分析对应的高度场上的距平形式，在以下各图（图 4～6）中，我们对应分析了高度场上正负距平分布。

通过图 4a 和图 4b 比较分析发现，高指数年在 500 hPa 高度场上贝加尔湖偏东区域风场形成气旋式环流，表明在高度场上有负距平区，中心在 120°E～130°E；在渤海湾风场形成反气旋式环流，表明在高度场上渤海湾有一正距平区。相同的分析方法，对应 I 类雨带的高度场距平形式，在贝加尔湖和巴尔喀什湖间有负距平中心，而贝加尔湖以东也依然是负距平区，渤海湾为正距平区。从风场距平合成图可见，在风场关键区 A，高指数年对应 I 类雨带主要是南风加强，高指数年的环流场在我国东北、华北有西风加强。在关键区 B，高指数年对应 I 类雨带东风加强。在这种环流形式下，北方的冷空

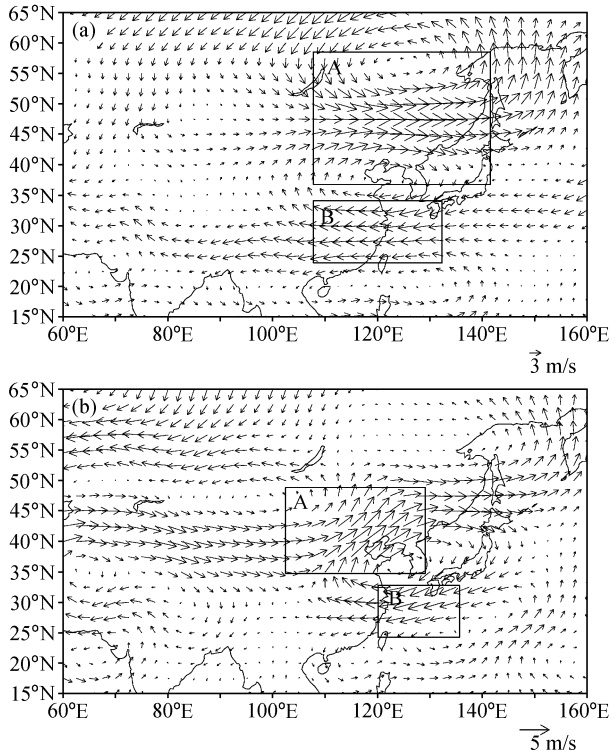

图 4 500 hPa 风场距平合成图：(a) 高指数年；(b) I 类雨带。方框 A、B 为风场的关键区（下同）

Fig. 4 The composite wind anomaly fields at 500 hPa: (a) High index years; (b) rain-band pattern I. Rectangles A and B exhibit the key areas of wind field (the same below)

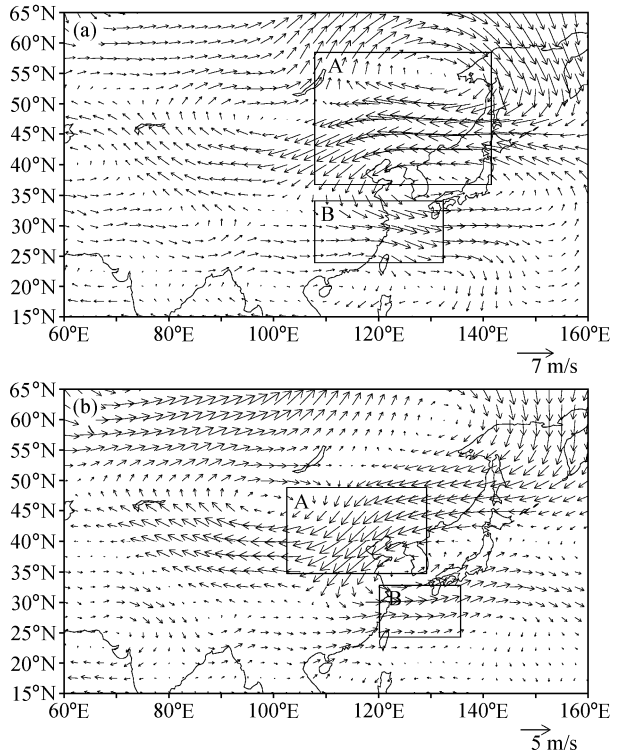

图 5 500 hPa 风场距平合成图：(a) 低指数年；(b) III 类雨带

Fig. 5 The composite wind anomaly fields at 500 hPa: (a) Low index years; (b) rain-band pattern III

气不易到达我国南方，降水更多出现在黄河一带，我国南方少雨。

通过图 5a 和图 5b 比较分析（高度场的分析同上）知道，低指数年我国 500 hPa 上空呈现与高指数年相反的距平分布形式，贝加尔湖以东为正距平中心，渤海湾为负距平中心。III 类雨带的高度场距平形式与低指数年的距平形式相同，但与 I 类雨带的距平形式相反；在贝加尔湖与巴尔喀什湖之间为正距平中心，贝加尔湖以东也是一个正距平中心。渤海湾为负距平区，但没有明显的距平中心。从风场的距平合成图上看，低指数年对应 III 类雨带，在关键区 A，东北风加强，东北风一直南下到长江流域；而在关键区 B，西风加强。在这种环流形式下，北方的冷空气南下到我国长江流域和江南一带，主要雨带位置偏南。

比较图 6a 和图 6b 可以看出，II 类雨带在贝加尔湖以东风场为气旋式环流，表明有负距平，II 类雨带的高度场形式和多年平均有略微的差别。从风场上分析，在关键区 A 和关键区 B 多年平均形式对应 II 类雨带都以西风为主。

同样，我们对 700 hPa 到 850 hPa 的环流场分布进行了分析，发现，从 700 hPa 到 850 hPa 高指数年对应 I 类雨带，低指数年对应 III 类雨带，多年平均对应 II 类雨带的环流场的分布形式与 500 hPa 的环流场分布形式一致，甚至低层的环流场的特征更显著。但由于我们主要是探讨 500 hPa 高度上的情况，所以不再详细讨论。

通过分析，西风指数高指数年的环流场分布对应 I 类雨带的环流场分布、低指数年的环流场分布对应 III 类雨带的环流场分布，II 类雨带的环流场分布对应多年平均形式的环流场分布。无论是高度场还是风场，高低指数年呈相反的分布，正常年的分布是一个平均形式；I 类雨带和 III 类雨带的环流场也呈相反的分布形式；II 类雨带的环流场分布形式与 I 类雨带的环流场分布形式稍有类似，但不如 I 类雨带的环流场形式明显，而与 III 类雨带的环流场形式几乎相反。高指数年和低指数年的高度距平中心以及风场关键区所在的经度范围也与我们得出

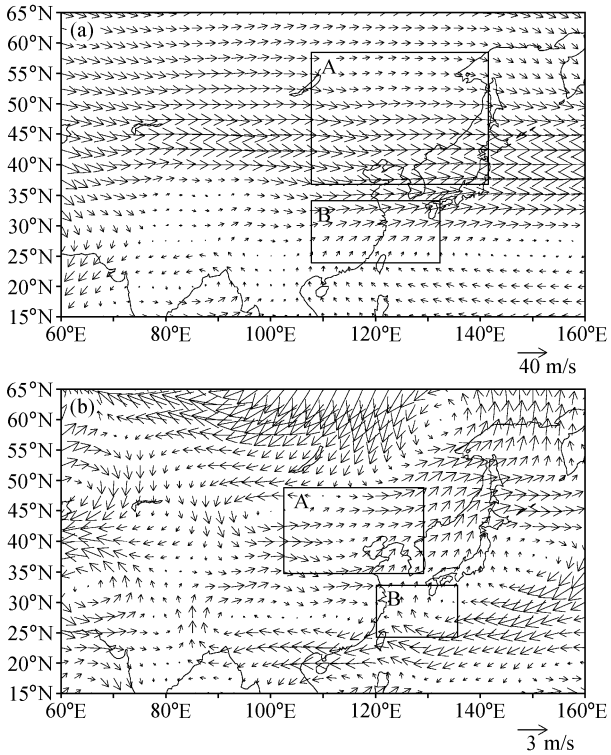

图 6　500 hPa 风场距平合成图：(a) 多年平均；(b) II 类雨带
Fig. 6　The composite wind anomaly fields at 500 hPa: (a) Normal state; (b) rain-band pattern II

的西风指数的关键区相对应。因此，我们通过所选取的关键区来分析夏季雨带的分布确实是可行的，而且通过风场的变动来分析雨带类型也是有效的。

为什么关键区西风指数与夏季雨带分布的关系最为密切？夏季，在大气环流调整的作用下，西风带出现四槽四脊的分布形式，引导冷空气的路径和强度。高纬的冷空气由于高空槽脊的波动不断向南输送，与从低纬海洋来的暖湿气流交汇，成为中国夏季主要的降水系统。中高纬西风环流的波动引起槽脊的位置和强度异常分布，从而影响冷空气南下的路径和强度以及冷空气活动的频率，进而影响雨带的分布。而我们找到的关键区在 110°E～140°E，正是夏季典型阻高形式分布的区域[19]，因此在这个经度范围的西风指数波动和降水类型关系最好，通过分析关键区的西风指数变化来研究夏季雨带的分布很有意义。

4　结论及讨论

通过以上讨论，我们得出几点结论：

(1) 与我国夏季降水关系最密切的西风指数波动关键区在(35°N～55°N，110°E～140°E)。在关键区，I 类雨带对应高指数环流，II 类雨带对应多年平均环流形式，III 类雨带对应低指数环流。

(2) 关键区平均西风指数和我国夏季降水的显著高相关区在长江和江南一带，为负相关，通过了 95％的信度水平。这表明低指数环流时，长江和江南一带降水偏多，即为 III 类雨带。

(3) 通过环流场的距平合成分析表明：高低指数年的 u、v 风场显著性关键区有两个，I、III 类雨带的 u、v 风场的显著性关键区与高低指数年的风场关键区相同。关键区 A 在 35°N～55°N，关键区 B 在 25°N～30°N，经度都在 100°E～130°E。高指数年对应 I 类雨带，在风场关键区 A 我国南风加强，在风场关键区 B 我国东风加强。低指数年对应 III 类雨带，在风场关键区 A 我国东北风加强，在风场关键区 B 我国西风加强。而在风场关键区 A 和关键区 B，多年平均环流形式对应 II 类雨带我国主要还是西风控制。

(4) 夏季，在大气环流调整的作用下，西风带出现四槽四脊的分布形式，引导冷空气的路径和强度，中高纬西风环流的波动引起槽脊的位置和强度异常分布，从而对夏季雨带的分布造成影响，西风指数的关键区在 110°E～140°E，正是槽脊分布的位置，因而关键区的西风指数与降水的关系最为密切。

过去已有许多工作[1, 4, 5, 14, 15, 18]对影响中国夏季降水的夏季风这一影响因子作了较深入的研究。本文研究结果说明，由于中国夏季降水气候变化的复杂性是多种影响因素相互作用的结果，不是仅用夏季风这一个影响因子就能完全解释清楚的。西风指数也是影响中国夏季降水的另一个重要因素，值得进一步深入研究，以完善我们对中国夏季降水气候变化成因机理的认识。以往在对影响中国夏季三类雨带的天气气候因素的分析判别中，能够较明确的判别 II 类和非 II 类雨带[36]，但对 I 类和 III 类雨带的辨别始终是一个难点，而我们通过分析西风指数强弱和雨带类型的对应关系，对 I 类雨带和 III 类雨带的判别提出了一些依据，进而加深对影响三类雨带的天气气候因素的认识。既然西风指数的强弱和降水有如此密切的联系，我们将进一步研究西风指数强弱波动的时空规律，研究其年际和年代际演变特征，从而为夏季旱涝的气候预报提供一些新

的预报思路和线索。

参考文献（References）

[1] 陶诗言，李吉顺，王昂生. 东亚季风与我国洪涝灾害. 中国减灾，1997，**7**（4）：17～24
Tao Shiyan，Li Jishun，Wang Angsheng. East Asia monsoon and flood Hazard of China. *Disaster Reduction in China*（in Chinese），1997，**7**（4）：17～24

[2] 陈烈庭，吴仁广. 太平洋各区海温异常对中国东部夏季雨带类型的共同影响. 大气科学，1998，**22**（5）：718～726
Chen Lieting，Wu Renguang. The joint effects of SST anomalies over different Pacific regions on summer rainbelt patterns in eastern China. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences*（*Scientia Atmospherica Sinica*）（in Chinese），1998，**22**（5）：718～726

[3] 赵振国. 中国夏季旱涝及环境场. 北京：气象出版社，1999
Zhao Zhenguo. *Drought/Flood and Environmeng Field of Summer in China*（in Chinese）. Beijing：China Meteorological Press，1999

[4] 张人禾. El Niño 盛期印度夏季风水汽输送在我国华北地区夏季降水异常中的作用. 高原气象，1999，**18**（4）：567～574
Zhang Renhe. The role of Indian summer monsoon water vapor transportation on the summer rainfall anomalies in the northern part of China during the El Niño mature phase. *Plateau Mereorology*（in Chinese），1999，**18**（4）：567～574

[5] 张利平，夏军，李崇银. 南海夏季风的年际变化及其对我国长江流域洪水的影响. 自然杂志，1999，**21**（3）：167～169
Zhang Liping，Xia Jun，Li Chongyin. Activity of SCSSM and its influences on flood in Yangtze River basin. *Chinese Journal of Nature*（in Chinese），1999，**21**（3）：167～169

[6] 陈兴芳，赵振国. 影响中国汛期降水的物理因素. 中国汛期降水预测研究及应用. 北京：气象出版社，2000. 65～96
Chen Xingfang，Zhao Zhenguo. The physical factors of impact on precipitatinon during flood period in China. *Study and Application of Rainfall Prediction during Rainy Season over China*（in Chinese）. Beijing：China Meteorological Press，2000. 65～96

[7] 王绍武，慕巧珍，朱锦红，等. 西太平洋副热带高压与中国夏季降水关系的诊断研究. 见：陈兴芳编. 汛期旱涝预测方法研究. 北京：气象出版社，2000. 60～69
Wang Shaowu，Mu Qiaozhen，Zhu Jinhong，et al. A diagnostic study of the relationship between Western Pacific subtropical high and rainfall in summer in China. *Study of Drought and Flood Forecast in Flood Period*（in Chinese）. Chen Xingfang，Ed. Beijing：China Meteorological Press，2000. 60～69

[8] 陈菊英，王玉红，王文. 近 50 年来 ENSO 的冷暖事件评定及其对夏季雨型的滞后效应. 见：陈兴芳编. 汛期旱涝预测方法研究. 北京：气象出版社，2000. 109～113
Chen Juying，Wang Yuhong，Wang Wen. The assessment of the ENSO events and the carry-over effect to summer rainbelt patterns during last 50 years. *Study of Drought and Flood Forecast in Flood Period*（in Chinese）. Chen Xingfang，Ed. Beijing：China Meteorological Press，2000. 109～113

[9] 孙力，安刚，廉毅，等. 夏季东北冷涡持续性活动及其大气环流异常特征的分析. 气象学报，2000，**58**（6）：704～714
Sun Li，AN Gang，Lian Yi，et al. A study of the persistent activity of northeast cold vortex in summer and its genral circulation anomaly characteristics. *Acta Meteorologica Sinica*（in Chinese），2000，**58**（6）：704～714

[10] 晏红明，严华生，谢应齐. 中国汛期降水的 SSTA 信号特征分析. 热带气象学报，2001，**17**（2）：109～116
Yan Hongming，Yan Huasheng，Xie Yingqi. The SSTA signal characteristic analysis over India ocean during flood season in China. *Journal of Tropocal Meteorology*（in Chinese），2001，**17**（2）：109～116

[11] 陈希，孙照渤，沙文钰，等. 东亚阻塞高压对我国降水影响的诊断分析研究. 南京气象学院学报，2001，**24**（3）：330～337
Chen Xi，Sun Zhaobo，Sha Wenyu，et al. Diagnostic analysis for the effect of blocking high position in East Asia on the rainfall in China. *Journal of Nanjing Institute of Meteorology*（in Chinese），2001，**24**（3）：330～337

[12] 田红，郭品文，陆维松. 夏季水汽输送特征及其与中国降水异常的关系. 南京气象学院学报，2002，**25**（4）：496～502
Tian Hong，Guo Pinwen，Lu Weisong. Features of water vapor transfer by summer monsoon and their relations to rainfall anomalies over China. *Journal of Nanjing Institute of Meteorology*（in Chinese），2002，**25**（4）：496～502

[13] 谢安，毛江玉，宋炎云，等. 长江中下游地区水汽输送的气候特征. 应用气象学报，2002，**13**（1）：67～77
Xie An，Mao Jiangyu，Song Yanyun，et al. Climatological characteristics of moisture transport over Yangtze River basin. *Journal of Applied Meteorlolgical Science*（in Chinese），2002，**13**（1）：67～77

[14] 乔云亭，陈烈庭，张庆云. 东亚季风指数的定义及其与中国气候的关系. 大气科学，2002，**26**（1）：69～82
Qiao Yunting，Chen Lieting，Zhang Qingyun. The definition of East Asian monsoon indices and their relationship to climate in China. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences*（in Chinese），2002，**26**（1）：69～82

[15] 孙颖，丁一汇. 1997 年东亚夏季风异常活动在汛期降水中的作用. 应用气象学报，2002，**13**（3）：277～287
Sun Ying，Ding Yihui. Role of summer monsoon in anomalous precipitation patterns during 1997 flooding season. *Journal of Applied Meteorlolgical Science*（in Chinese），2002，**13**（3）：277～287

[16] 张庆云，陶诗言，张顺利. 夏季长江流域暴雨洪涝灾害的天气气候条件. 大气科学，2003，**27**（6）：1018～1030

Zhang Qingyun, Tao Shiyan, Zhang Shunli. The persistent heavy rainfall over the Yangtze River valley and its associations with the circulations over East Asian during summer. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* (in Chinese), 2003, **27** (6): 1018～1030

[17] 王会军，薛峰. 索马里急流的年际变化及其对半球间水汽输送和东亚夏季降水的影响. 地球物理学报，2003，**46** (1)：18～25
Wang Huijun, Xue Feng. Interannual variability of Somali jet and its influences on the inter-hemispheric water vapor transport and on the east Asian summer rainfall. *Chinese Journal of Geophysics* (in Chinese), 2003, **46** (1): 18～25

[18] 吴尚森，梁建茵，李春晖. 南海夏季风强度与我国汛期降水的关系. 热带气象学报，2003，**19** (增刊)：25～36
Wu Shangsen, Liang Jianyin, Li Chunhui. Relationship between the intensity of South China Sea summer monsoon and the precipitation in raining seasons in China. *Journal of Tropical Meteorology* (in Chinese), 2003, **19** (Suppl.): 25～36

[19] 杨义文. 夏季东亚阻塞高压指数研究. 气象，2003，**29** (9)：3～7
Yang Yiwen. The East Asia blocking high index in summer during 1951－2001. *Meteorological Monthly* (in Chinese), 2003, **29** (9): 3～7

[20] 黄嘉佑，刘舸，赵昕奕. 副高、极涡因子对我国夏季降水的影响. 大气科学，2004，**28** (4)：517～526
Huang Jiayou, Liu Ge, Zhao Xingyi. The influence of subtropical high indexes and polar vortex indexes on the summertime precipitation in China. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* (in Chinese), 2004, **28** (4): 517～526

[21] 闵锦忠，李春，吴芃. 夏季热带西太平洋对流与长江中下游降水关系的研究. 大气科学，2005，**29** (6)：947～954
Min Jinzhong, Li Chun, Wu Peng. A study of the relationship between summer tropical convection over the Western Pacific and the rainfall in the middle-lower reaches of the Yangtze River. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* (in Chinese), 2005, **29** (6): 947～954

[22] 魏凤英. 长江中下游夏季降水异常变化与若干强迫因子的关系. 大气科学，2006，**30** (2)：202～211
Wei Fengying. Relationships between precipitation anomaly over the middle and lower of the Changjiang River in summer and several forcing factors. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* (in Chinese), 2006, **28** (4): 202～211

[23] 陈海山，孙照渤. 一个反映中国冬季气温异常的指标——东亚区域西风指数. 南京气象学院学报，2001，**24** (4)：458～466
Chen Haishan, Sun Zhaobo. An index of China winter temperature anomaly: East Asian regional westerly index. *Journal of Nanjing Institute of Meteorology* (in Chinese), 2001, **24** (4): 458～466

[24] 龚道溢，王绍武. 北半球冬季纬向平均环流的结构及对我国气候的影响. 地理科学，2001，**21** (2)：108～112
Gong Daoyi, Wang Shaowu. Structure of the zonal-mean circulation over the Northern Hemisphere and its impact on climate of China in winter. *Scientia Geographica Sinica* (in Chinese), 2001, **21** (2): 108～112

[25] 龚道溢，王绍武. 冬季西风环流指数的变率及其与北半球温度变化的关系研究. 热带气象学报，2002，**18** (2)：104～110
Gong Daoyi, Wang Shaowu. Variability of the winter zonal index and its association with the Northern Hemispheric temperature changes. *Journal of Tropical Meteorology* (in Chinese), 2002, **18** (2): 104～110

[26] 严华生，杨素雨，胡娟，等. 前期中高纬大气环流异常与我们汛期雨带类型关系的研究. 大气科学，2006，**30** (2)：285～292
Yan Huasheng, Yang Suyu, Hu Juan, et al. A study of the relationship between the winter middle-high latitude atmospheric circulation change and the principal rain patterns in rainy season over China. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* (in Chinese), 2006, **30** (2): 285～292

[27] 傅云飞，黄荣辉. 东亚西风异常活动对热带西太平洋西风爆发及 ENSO 发生的作用. 大气科学，1997，**21** (4)：485～492
Fu Yunfei, Huang Ronghui. Impacts of westerly anomalies over East Asia on westerly burst over the Western Tropical and the occurrence of ENSO events. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* (*Scientia Atmospheerica Sinica*) (in Chinese), 1997, **21** (4): 485～492

[28] 谭桂容，孙照渤，赵振国. 我国东部夏季降水型与北半球大气环流和北太平洋海温的关系. 南京气象学院学报，1998，**21** (1)：1～7
Tan Guirong, Sun Zhaobo, Zhao Zhenguo. Relation of summer East China rainfall patterns to northern circulations and SST. *Journal of Nanjing Institute of Meteorology* (in Chinese), 1998, **21** (1): 1～7

[29] 周兵，韩桂荣，何金海. 高空西风急流对长江中下游暴雨影响的数值试验. 南京气学院学报，2003，**26** (5)：595～604
Zhou Bing, Han Guirong, He Jinhai. Numerical experiment of effects of the upper level westerly jet on a torrential rain over the middle-lower reaches of the Yangtze River. *Journal of Nanjing Institute of Meteorology* (in Chinese), 2003, **26** (5): 595～604

[30] 冯文，王可丽，江灏. 夏季区域西风指数对中国西北地区水汽场特征影响的对比分析. 高原气象，2004，**23** (2)：271～275
Feng Wen, Wang Keli, Jiang Hao. Influences of westerly wind interannual change on water vapor transport over Northwest China summer. *Plateau Meteorology* (in Chinese), 2004, **23** (2): 271～275

[31] 廖荃荪，赵振国. 我国东部夏季降水分布的季度预报方法. 应用气象学报，1992，**3** (增刊)：1～9

Liao Quansun, Zhao Zhenguo. A seasonal forecasting scheme on precipitation distribution in summer in China. *J. Appl. Meteor.* (in Chinese), 1992, **3** (Suppl.): 1～9

[32] Rossby C G. Relation between variations in the intensity of the zonal circulation of the atmosphere and the displacements of the semi-permanent centers of action. *J. Mar. Res.*, 1939, **2**: 38～55

[33] 严华生，王学仁. 多因变量及要素场统计预报. 北京：气象出版社，1991. 28～29
Yan Huasheng, Wang Xueren. *Multi-Variable Factors and Statistic Forecast of Elements Field*. Beijing: China Meteorological Press (in Chinese), 1991. 28～29

[34] 孙安健，高波. 长江中下游地区主要雨季严重旱涝特征诊断研究. 见：孙安健，吴国雄，李永康主编. 严重旱涝与低温的诊断分析和预测方法研究. 北京：气象出版社，2000，16～23
Sun Anjian, Gao Bo. Diagnostic study of serious drought and flood during main rainy season in the middle and lower reaches of the Yangtze River. *Diagnostic Study and Precidiction Method of Serious Flood/Drought and Low Temperature* (in Chinese), Sun Anjian, Wu Guoxiong, Li Yongkang, Eds. Beijing: China Meteorological Press, 2000. 16～23

[35] 施能，顾骏强，黄先香，等. 合成风场的统计检验和蒙特卡洛检验. 大气科学，2004，**28** (6)：950～956
Shi Neng, Gu Junqiang, Huang Xianxiang, et al. Significance test and Monte Carlo test used in composite analysis of window field and applications. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* (in Chinese), 2004, **28** (6): 950～956

[36] 严华生，杨素雨. 冬季北太平洋南北海温异常对我国汛期雨带类型的影响研究. 应用气象学报（待发表）2007，**18** (2)：193～201
Yan Huasheng, Yang Suyu. Impact of the SSTA of north and south in North Pacific on rainfall patterns of floods season in China. *Quarterly Journal of Applied Meteorlolgy* (in Chinese), 2007, **18** (2): 193～201