

文章编号:1006-7639(2005)-01-0010-07

西北地区夏季降水异常及其水汽输送和环流特征分析

何金海¹,刘芸芸¹,常越^{1,2}

(1. 南京信息工程大学大气科学系,江苏 南京 210044;2. 广东省广州市气象局,广东 广州 510080)

摘要:利用 NCEP/NCAR 1951~2000 年共 50 a 的再分析资料及我国西北地区内 31 个代表站的降水资料,对西北地区近 50 a 来夏季降水异常的时空特征、环流形势及水汽输送进行了研究。分析发现,西北地区夏季降水异常与东部沿海地区的降水呈反位相分布,说明西北地区和东部沿海地区的降水影响系统不同,影响时期不一致。分析结果表明,影响西北地区夏季多、少雨年的相关区域环流特征和水汽输送特征有显著差异。

关键词:西北地区;夏季降水异常;环流特征;水汽输送

中图分类号:P456.3

文献标识码:A

我国西北地区包括新疆、甘肃、宁夏、青海和陕西 5 省、自治区,位于东亚内陆,其干旱主要表现为降水量极少,除了新疆北部地区以外,夏季又是西北绝大部分地区降水最为集中的季节。关于西北地区降水变化的规律已经有了不少研究^[1~5]。白肇烨^[3]等指出准 3 a 周期是西北降水量最重要的周期。李栋梁^[5]认为,西北地区受青藏高原的影响,缺乏水汽来源,降水少且稳定性差。叶统文等^[6]利用近期资料,用多年平均场和干湿年对比分析,从观测事实和模拟实验构成了西北干旱气候形成的物理图像。王秀荣^[7~9]等利用近 41 a 的测站降水资料,运用旋转经验正交函数分解(EOF)以及功率谱分析等方法分析发现,西北地区夏季降水区域性较强,存在多时空尺度特征,平均具有准 3 a 和 4.8 a 的周期变化;并指出西北全区夏季在 20 世纪 60 年代中期以前和 80 年代中期以后,大气中水汽含量较多,70 年代前后较少。

过去对水汽问题的研究大多讨论的是我国东南部和热带低纬度地区^[10~13],而对我国西部地区尤其是西北地区关注较少。过去的一些研究受到资料 and 计算条件的限制,使用的资料年代短。本文运用

国家气象中心整编的 1951~2000 年共 50 a 160 站的月平均降水资料,选取西北地区 31 个代表站,考虑西北地区地理差异较大,将西北地区分为 4 个降水异常区域,初步研究了西北地区夏季降水异常的时空特征,并通过对西北地区多、少雨年时期的环流形势及整层水汽输送的分析,试图解释造成西北地区夏季降水异常的原因。

1 资料和计算方法

本文利用 NCEP/NCAR 1951~2000 年共 50 a 的再分析资料(u, v, q, p_s , 格距为 $2.5^\circ \times 2.5^\circ$),以及我国西北地区内 31 个代表站 1951~2000 年夏季(6~8 月)降水资料,运用了小波分析、合成分析等诊断方法。计算整层水汽输送的计算方法*为:

单位边长整层大气的水汽输送通量矢量 Q 的计算公式为

$$Q = \frac{1}{g} \int_p^{p_s} \vec{V} q dp \quad (1)$$

式中, \vec{V} 为该单位气柱内各层大气的风速矢量, q 是各层大气的比湿, p_s, p 分别是大气柱下界气压、地面

收稿日期:2005-01-11;改回日期:2005-02-25

基金项目:宁夏科技攻关重点项目“我区天气异常与突变规律的诊断及监测预警技术”资助

作者简介:何金海(1941-),男,江苏人,教授,博士生导师,主要从事季风、海气相互作用、气候变化等研究。

* 见刘芸芸等,亚澳季风区整层水汽输送的季节转换特征,热带气象学报,待发表。

气压) 和上界气压 (取 300 hPa), g 是重力加速度, Q 的单位为 $kg/(m \cdot s)$ 。

月平均水汽输送通量通过逐日资料计算并算术平均得到。

2 西北地区夏季的降水异常区域

西北地区位于东亚内陆, 横跨青藏高原、蒙古高原和黄土高原, 境内有南疆盆地、河西走廊以及天山、秦岭等高山, 地形复杂, 因此对西北地区降水进行分区讨论是必要的。运用旋转正交分解 (REOF) 方法对西北夏季降水进行分析后发现, 西北地区夏季降水可以划分为 4 个降水异常区: 北疆区 (代表站为吐鲁番等)、沙漠盆地区 (代表站为若羌等)、青藏高原区 (代表站为玛多等) 和陕北地区 (代表站为榆林等)。此划分方式与以往文献^[14]的结果基本一致。

从西北地区近 50 a 夏季降水的空间分布看 (图 1), 降水量总的特点是东南多西北少。南疆、北疆南部和东部、甘肃河西西部的夏季月平均降水量都不足 40 mm。而降水量 >60 mm 的地区都主要集中在西北地区东南部, 即青藏高原东部、河西走廊东南部及陕南、甘肃陇南, 有 2 个高值中心区分别位于陕南和青藏高原东南部。

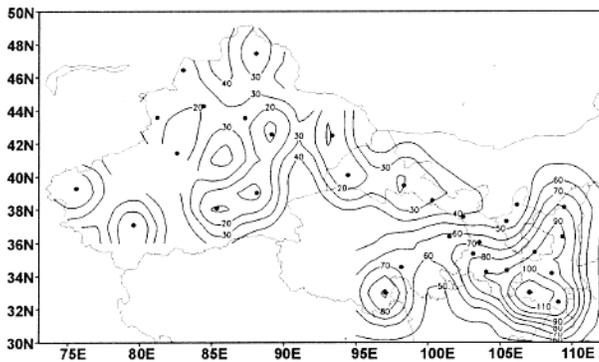


图 1 西北地区夏季月平均降水量分布 (黑点表示西北代表站的空间分布)

Fig.1 Distribution of average monthly precipitation in summer in Northwest China

(The black dots show the distribution of representative stations in Northwest China)

3 西北地区夏季降水异常的时空特征分析

3.1 西北地区夏季降水异常的小波分析

小波变换的方法把时间和频率作为独立变量, 将唯一信号在时间和频率 2 个方向上展开, 因此可以较好地揭示信号中各种频率的时间结构。图 2 是西北地区夏季降水的 Marr 小波变换, 分析其实部特征可以看出, 50 a 来, 西北地区夏季降水年代际变化存在准 11 a 和准 28 a 的周期, 而年际变化则有明显的准 3 a 振荡周期。另外, 20 世纪 50 年代有准 5 a 的周期, 60 年代到 80 年代中期还存在 7 a 左右的周期。总之, 西北地区夏季降水周期比较稳定, 这是我们将来进行气候预测的依据。

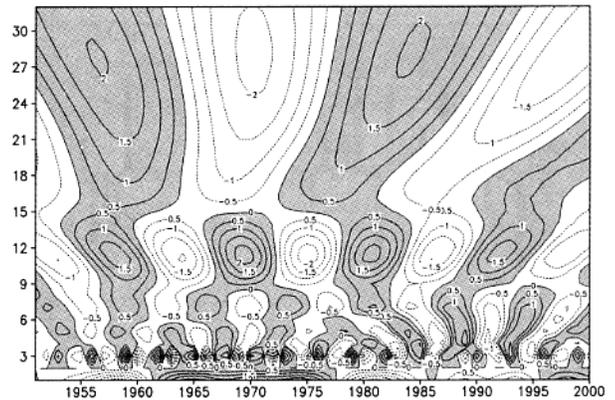


图 2 西北地区 50 a 夏季降水标准化距平的小波分析图 Fig.2 Wavelet analysis of normalized precipitation anomalies in summer averaged over 50 years in Northwest China

3.2 50 a 西北地区夏季降水变化趋势的时空分布

趋势系数表示要素在变化中的升降程度, 用来判断气候因子在长期变化过程中的上升或下降趋势。从西北地区 50 a 夏季降水趋势系数的空间分布 (图 3) 可以看出, 4 个降水异常区域差别显著, 北疆

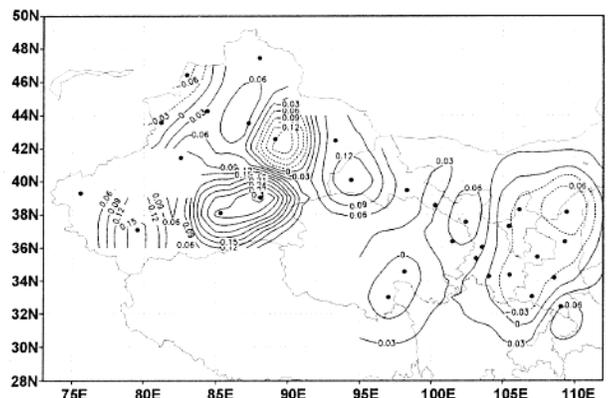


图 3 西北地区夏季降水变化趋势的空间分布图

Fig.3 Distribution of tendency coefficients of precipitation in summer in Northwest China

中部及陕北地区的降水趋势系数为负,其中心分别位于吐鲁番和榆林,而其他地区趋势系数均为正,其系数最大值中心位于沙漠盆地的若羌,其中高原东部区的趋势系数接近零值。

考虑西北地区夏季降水的年代际周期为 11 a,运用二项式系数加权平均法分别对西北地区 4 个降水异常区域的夏季降水标准化距平值进行 11 a 平滑,见图 4。由图可见,4 个降水异常区域年代际变化差异明显,陕北地区在 20 世纪 70 年代以前基本是多雨的,20 世纪 70 年代以后多、少雨年基本平衡,因此降水趋势系数为负;青藏高原东部区分别有 3 次多雨期 20 世纪 50 年代、70 年代中期、90 年

代前期),3 次少雨期(20 世纪 60 年代、80 年代、90 年代后期),使得总体降水趋势变化不大;沙漠盆地在 20 世纪 70 年代中期有一次明显的气候突变,之前持续少雨,1976 年以后降水迅速增加,在 1981 年达到极值,因此总体降水趋势是增加的;而北疆地区在 20 世纪 50 年代中后期及 80 年代末 90 年代初距平值为正,其他时期均为负值,因此总体降水趋势也为负值,但比陕北地区趋势稍缓。值得指出的是,西北地区长期降水趋势存有显著的地区性差别,特别是在降水较多的西北东部降水趋势是负的,因此对西北地区水资源短缺的缓解不可太乐观。

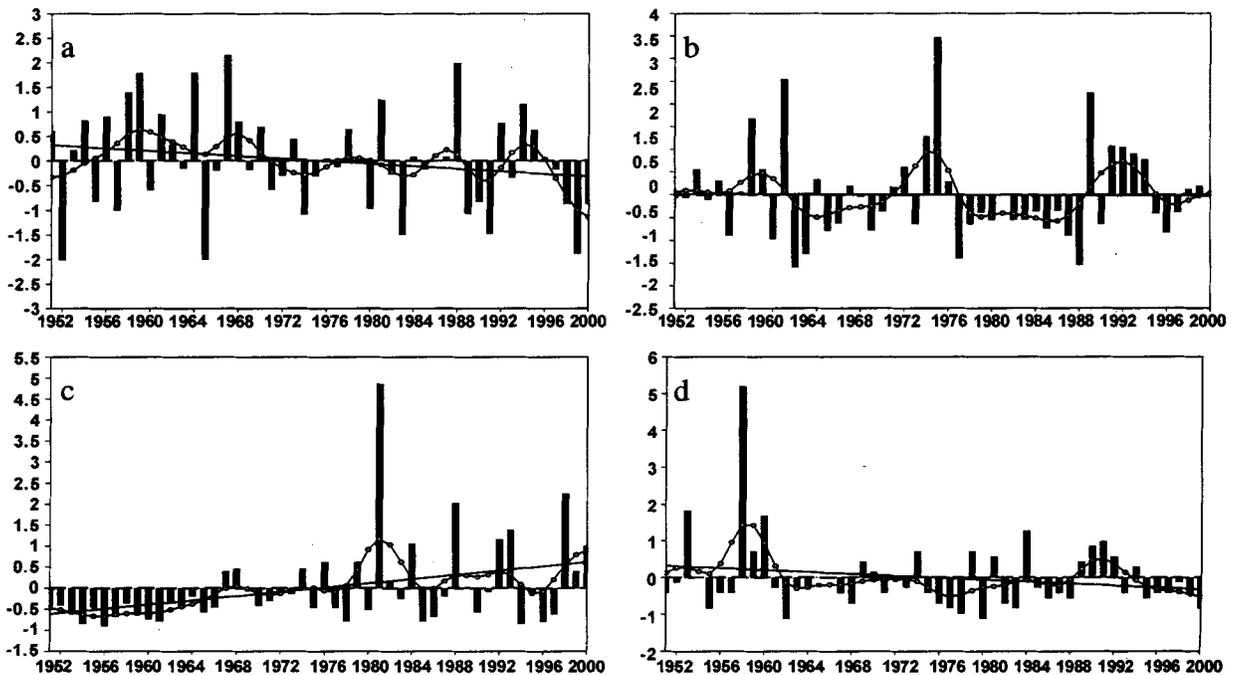


图 4 西北地区夏季降水的标准化距平、11 a 平滑曲线和趋势系数图

(a:陕北地区;b:青藏高原东部区;c:沙漠盆地区;d:北疆区)

Fig.4 The normalized anomalies curve, 11-year binomial smoothing curve and linear tendency of precipitation in Northwest China in summer

(a.the north of Shaanxi province; b.the east of Qinghai- Xizang plateau; c.the region of deserts basin; d.the north of Xinjiang province)

3.3 西北地区夏季降水偏多、偏少年的选取

根据文献[8]划分旱、涝年的方法,用西北地区夏季降水资料将西北地区划分为多雨夏季、偏多雨夏季、正常夏季、偏少雨夏季和少雨夏季 5 个等级进行合成分析,对多、少雨夏季年份的各个物理量进行了对比。具体定义方法为:

多雨夏季: $R_i > (\bar{R} + 1.17\sigma)$

偏多雨夏季: $(\bar{R} + 0.33\sigma) < R_i \leq (\bar{R} + 1.17\sigma)$

正常夏季: $(\bar{R} - 0.33\sigma) < R_i \leq (\bar{R} + 0.33\sigma)$

偏少雨夏季: $(\bar{R} - 1.17\sigma) < R_i \leq (\bar{R} - 0.33\sigma)$

少雨夏季: $R_i < (\bar{R} - 1.17\sigma)$

其中: \bar{R} 代表 6~8 月多年平均降水量; R_i 代表逐年 6~8 月降水量; σ 代表标准差。少雨夏季为 1963、1965、1969、1971、1974、1991、1997 年共 7 a; 偏少雨

夏季为 1955、1957、1960、1962、1972、1975、1977、1982、1986、1999 年共 10 a;多雨夏季为 1956、1958、1961、1979、1981、1988、1993 年共 7 a 和偏多雨夏季 1954、1959、1964、1970、1976、1992、1996、1998 年共 8 a。其他为正常夏季。

3.4 夏季多、少雨年全国同期降水异常的空间分布特征

为了揭示西北地区夏季降水异常与中国其他地区的关 系,选取西北地区夏季多、少雨年对全国同期

降水距平百分率进行合成(图 5)。由图可见,西北地区夏季多雨时(图 5a),我国大部分地区都为多雨,只在东部地区包括华南东部、山东半岛及东北东南部等近海地区为少雨区;西北地区少雨时(图 5b),全国内陆大部是干旱的,而在华南西南部、华东东部及东北近海地区呈多雨分布。因此,西北地区夏季降水多、少雨年都与我国沿海及近海地区呈反位相,说明西北地区夏季降水与我国东部沿海地区的主要影响系统不一样,影响时期不同。

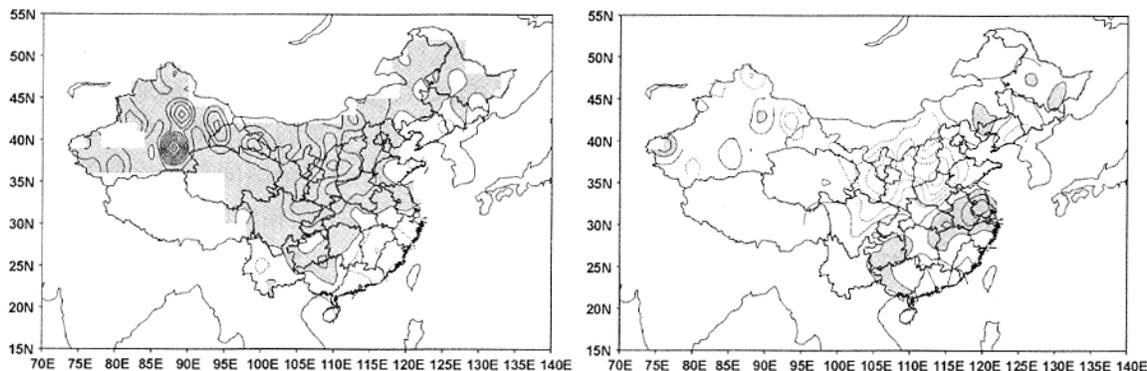


图 5 西北地区夏季多、少雨年合成的降水距平百分率图 a:代表多雨年;b:代表少雨年)

Fig.5 Distribution of precipitation departure percentage for wet/dry years in Northwest China (a for wet years in Northwest China; b for dry years in Northwest China)

4 西北地区夏季多、少雨年的环流特征分析

为了分析西北地区多、少雨年的环流形势,考虑青藏高原及天山等海拔高度较高,所以利用 NCEP 再分析资料中的 500 hPa 风场,进行多、少雨

年的合成分析(图 6)。由图可以看出,多、少雨年的距平风场形势基本上呈反位相分布,多雨年(图 6a),从东西伯利亚经过贝加尔湖到巴尔喀什湖有一偏东西走向的横槽,气旋环流中心位于贝加尔湖以东,我国以东地区则有一从日本延伸至我国华南地区的东北—西南向的大脊;西北地区处于 2 大系统的交界处,西北西部受气旋南侧的偏西气流控制,

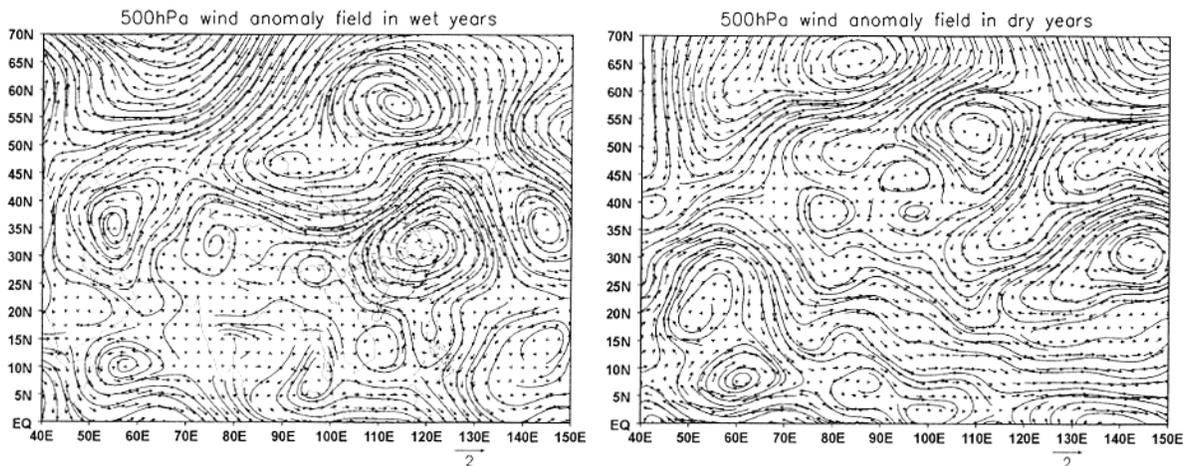


图 6 西北地区夏季多、少雨年合成的 500 hPa 距平风场图 a:代表多雨年;b:代表少雨年)

Fig.6 The wind anomaly fields at 500 hPa for wet/dry years in summer in Northwest China (a for wet years in Northwest China; b for dry years in Northwest China)

西北中东部有小槽存在,偏西气流和偏南气流 2 支在我国西北地区东部汇合,冷暖气流的交汇、抬升作用,造成西北地区的降水偏多。而少雨年则相反(图 6b),从东西伯利亚到巴尔喀什湖为一接近东西走向的大脊,贝加尔湖位于反气旋环流中心,我国东部为东北—西南向的大槽,这样的环流形势使得气流在西北地区辐散,不利于降水。

5 西北地区夏季多、少雨年的水汽输送分析

5.1 夏季多、少雨年的整层水汽输送通量距平场分析

水汽输送和积聚是形成降水的重要条件,西北地区深处内陆,远离水汽源地,周围被高大地形环绕,使得低层气流难以爬越。故水汽的来源、输送方式及其在降水区的积聚是该地区降水天气研究和预报的重要问题^[15]。垂直积分的水汽输送综合体现深厚气层中的流场和湿度场,能清晰地显示出大尺度的环流系统(如副热带高压、ITCZ 等)。由于资料

的限制,在前文选取的多雨年中挑出后 6 a 代表多雨年,少雨年年份不变。给出多、少雨年的整层水汽输送距平合成图(图 7),可以看到,水汽输送的方向在多、少雨年有很大不同,基本与距平风场一致。多雨年(图 7a),高纬地区来自北冰洋的偏北距平输送气流从新疆西北部流入西北地区,并转向东输送,而低纬的来自孟加拉湾的西南风距平水汽输送从中南半岛北部进入我国并向北输送,同时还有一支源自西太平洋经我国东南部的偏东南风距平水汽输送气流,上述 3 支水汽输送水平气流在我国西北地区东部汇合(图中方框所在区域),给西北地区带来充足的水汽;此时我国整个东部地区都为较强的偏南风水汽输送,丰富的水汽条件使得我国大部分地区都降水偏多,这与全国同期降水异常的空间分布十分吻合。少雨年则相反(图 7b),整个西北地区没有明显的水汽流入,低纬的西南水汽输送从中南半岛北部进入我国,最北只能到达陕西以南地区,然后转向东输送,主要给长江以南地区带来水汽,而全国其他大部分地区都为水汽输送低值区,不利于降水,这与全国同期降水异常的空间分布基本一致。

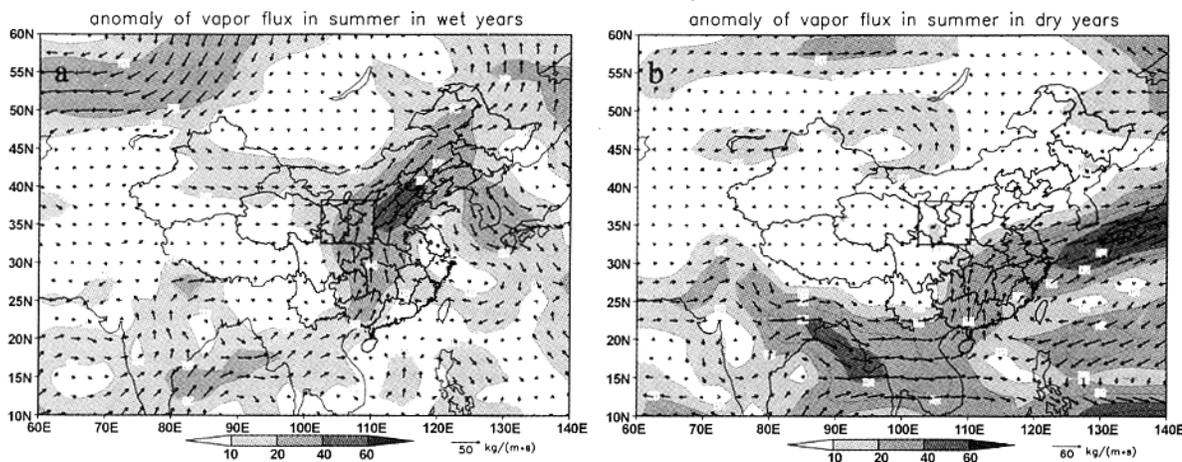


图 7 西北地区夏季多、少雨年合成的整层水汽输送距平图(a:代表多雨年;b:代表少雨年)

Fig.7 The anomaly of water vapor transport fields for wet/dry years in summer in Northwest China (a for wet years in Northwest China; b for dry years in Northwest China)

5.2 夏季多、少雨年的整层水汽收支距平场分析

由于西北地区降水量大值区主要集中于西北东部,且西北多、少雨年该区域的水汽输送形势有很大不同,为进一步了解该地区的水汽输送特征,对西北东部区域做了整层大气垂直积分的水汽收支分析(图 8)。由图可见,西北地区多、少雨年的水汽收支呈现相反的情况。多雨年时,西北东部地区主要由偏南气流供应水汽,来自海洋的偏南水汽输

送对西北东部地区的降水起着重要影响,整个区域为净辐合,水汽盈余;而少雨年时,西北东部地区各边界的水汽通量距平都与多雨年时相反,且流入、流出量都比多雨年时减弱许多,整个区域为水汽通量距平的辐散区。因此可以说,西北东部地区降水的多(少)主要由上述偏西风输送和偏南风输送的增强(减弱)造成,尤其是偏南风输送的增强(减弱)。

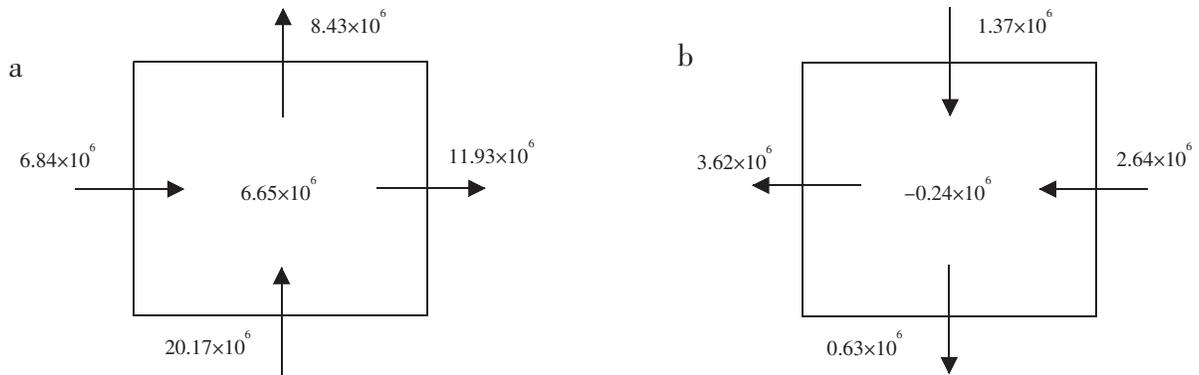


图8 西北东部地区 $32.5^{\circ}\sim 37.5^{\circ}\text{N}$, $102.5^{\circ}\sim 110^{\circ}\text{E}$ 夏季多、少雨年合成的垂直积分通过各边界的水汽通量距平
(a:代表多雨年;b:代表少雨年,单位:kg/s)

Fig.8 The anomaly of water vapor flux in whole levels for wet/dry years in the east of Northwest China (a for wet years ; b for dry years)

6 结 论

(1) 西北地区夏季降水年代际变化存在准 11 a 和准 28 a 的周期, 而年际变化则有明显的准 3 a 振荡周期。运用 REOF 将西北地区分为 4 个降水异常区, 发现其 50 a 的夏季降水趋势有明显不同, 其中北疆和陕北地区降水有减少的趋势, 沙漠盆地地区则降水增长, 而青藏高原东部区 50 a 的降水趋势基本不变。

(2) 选取西北地区多、少雨年各 7 a, 和全国同期降水进行合成分析, 西北地区夏季降水异常与全国大部分地区同位相, 只与东部沿海地区的降水呈反位相分布, 说明西北地区和东部沿海地区的降水影响系统不同, 影响时期不一致。

(3) 西北地区夏季降水多、少雨状况与 500 hPa 环流配置密切相关, 多、少雨年的 500 hPa 距平风场基本反位相分布, 多雨年, 从东西伯利亚经贝加尔湖以东到巴尔喀什湖有一偏东西走向的横槽, 从日本到我国华南地区则有一东北—西南走向的大脊, 偏西气流和偏南气流在我国西北地区东部汇合, 有利于西北地区降水, 而少雨年则相反。

(4) 西北地区夏季降水多、少雨年的水汽输送距平场与降水空间分布基本一致。多雨年, 来自北冰洋的偏西风距平输送气流和源于孟加拉湾及西太平洋的偏南风距平输送气流在西北东部地区汇合, 表现为较强的辐合中心, 给西北地区带来充足的水汽, 提供有利的降水条件; 而少雨年则正好相反, 西北地区没有水汽的流入, 尤其是西北东部地区为水汽通量距平的辐散区, 因而不利于降水。水汽收支分析表明, 西北东部地区降水的多(少)主要

由上述偏西风输送和偏南风输送的增强(减弱)造成, 尤其是偏南风输送的增强(减弱)。

参考文献:

- [1] 叶笃正, 高由禧. 青藏高原气象学[J]. 高原气象, 1982, 1(2): 11-17.
- [2] 徐国昌, 董安祥. 我国西部降水量的准三年周期[J]. 高原气象, 1982, 1(2): 11-17.
- [3] 白肇烨, 徐国昌. 中国西北天气[M]. 北京: 气象出版社, 1991. 55-56.
- [4] 崔玉琴. 西北内陆上空水汽输送及其源地[J]. 水利学报, 1994, 9: 79-87.
- [5] 李栋梁. 中国西部降水资料的稳定性研究[J]. 应用气象学报, 1992, 3(4): 451-458.
- [6] 吴统文, 钱正安. 夏季西北干旱区干、湿环流和高原动力影响差异的对比分析[J]. 高原气象, 1996, 13(4): 387-396.
- [7] 王秀荣, 徐祥德, 庞昕. 西北地区夏季降水异常的时空特征分析[J]. 气象科学, 2002, 22(4): 402-409.
- [8] 王秀荣, 徐祥德, 姚文清. 西北地区干、湿夏季的前期环流和水汽差异[J]. 应用气象学报, 2002, 13(5): 550-559.
- [9] 王秀荣, 徐祥德, 苗秋菊. 西北地区夏季降水与大气水汽含量状况区域性特征[J]. 气候与环境研究, 2003, 8(1): 35-42.
- [10] 徐淑英. 我国的水汽输送和水平衡[J]. 气象学报, 1958, 29(1): 33-43.
- [11] 黄荣辉, 张振洲, 黄刚, 等. 夏季东亚季风区水汽输送特征及其与南亚季风区水汽输送的差别[J]. 大气科学, 1998, 22(4): 460-469.
- [12] 谢安, 宋焱云, 毛江玉, 等. 南海夏季风期间水汽输送的气候特征[J]. 气候与环境研究, 2001, 6(4): 425-434.
- [13] 谢安, 毛江玉, 宋焱云. 长江中下游地区水汽输送的气候特征[J]. 应用气象学报, 2002, 13(1): 67-77.
- [14] 李栋梁, 谢金南, 王文. 中国西北地区夏季降水特征及其异常研究[J]. 大气科学, 1997, 21(3): 331-340.
- [15] 丁一汇, 胡国权. 1998 年中国大洪水时期的水汽收支研究[J]. 气象学报, 2003, 61(2): 129-145.

Analysis of Summer Precipitation Anomaly and the Feature of Water Vapor Transport and Circulation in Northwest China

HE Jin-hai¹, LIU Yun-yun¹, CHANG Yue^{1,2}

(1. Department of Atmospheric Sciences, Nanjing University of Meteorology, Nanjing 210044, China;

2. Guangzhou Meteorological Bureau, Guangzhou 510080, China)

Abstract: Summer precipitation anomaly and the feature of water vapor transport and circulation in Northwest China are studied by using the NCEP/NCAR reanalysis data from 1951 to 2000 and rainfall observations of 31 representative stations in Northwest China. It is found that the phases between precipitation anomaly in Northwest China and that in east coast of China are opposite, and the influencing systems and periods to summer rainfall are different between those two areas. Results show that the circulation and water vapor transport of dry years in the related areas are significantly different from those of wet years.

Key words: Northwest China; summer precipitation anomaly; circulation features; water vapor transport