

黄河上游汛期水量丰枯的气候因子分析

葛朝霞¹, 彭梅香², 姚永红³, 曹丽青¹

(1. 河海大学水文水资源及环境学院, 江苏 南京 210098; 2. 黄河水利委员会, 河南 郑州 450004;
3. 南京大学大气科学系, 江苏 南京 210093)

摘要 利用 EOF、相关、合成等分析方法, 对兰州以上黄河上游五测站的月平均流量、东半球的 500 hPa 高度距平场及太平洋海温场资料进行了分析. 结果表明: 典型丰(枯)年的同期和前期 500 hPa 高度距平场有着明显的差异, 主要反映在极涡、西太平洋副高、中高纬西风带低槽等系统的强度和位置上. 该流域流量的丰枯与太平洋海温距平场的分布关系密切, 典型丰(枯)年前期(前一年 9 月至当年的 2 月)和同期太平洋海温场距平场的分布亦存在很大的差异.

关键词 水量 SSTA, ELNINO, 500 hPa 高度场

中图分类号 P339 **文献标识码** A **文章编号** 1000-1980(2001)05-0074-06

近年来, 世界各地接连不断地发生大范围、持续性的天气气候异常, 给许多国家带来严重的灾害和经济损失. 我国地处东亚季风区, 是世界气候变异较大的地区. 造成我国大范围灾害的气候异常主要表现为干旱和洪涝, 尤其是在黄河流域造成的旱涝灾害更是举世闻名, 对我国经济建设有着重大的影响. 兰州以上黄河流域, 地处青藏高原东麓, 占黄河全流域的 30%, 水量丰富, 据统计, 平均水量占黄河总水量的 60%. 该段水量的多少对整个黄河全流域有举足轻重的影响. 分析影响该段水量的气候因子, 寻找出水量丰枯的变化规律, 合理规划和利用水资源, 对黄河全流域的经济发展有着重要作用. “大气环流的异常, 是旱涝异常的直接原因”已成为许多研究人员的共识. 本文将对引起兰州以上黄河流域地区气候异常的因子进行分析, 试图找出对该流域水量丰枯有重要影响的因子, 为黄河上游水量丰枯的中长期预报提供可靠依据.

1 资料与方法

1.1 资料

- 1951 ~ 1995 年海温月平均距平场, 范围为 $22.5^{\circ}\text{S} \sim 62.5^{\circ}\text{N}$, $40^{\circ}\text{E} \sim 300^{\circ}\text{W}$, 网格距为 $5^{\circ} \times 5^{\circ}$;
- 1951 ~ 1991 年东半球 500 hPa 41 年 492 个月各月平均高度场, $0^{\circ}\text{N} \sim 90^{\circ}\text{N}$, $0^{\circ}\text{E} \sim 180^{\circ}\text{E}$, 网格距为 $10^{\circ} \times 5^{\circ}$;
- 1959 ~ 1996 年黄河上游地区主要支流上的唐乃亥、民和、红旗、享堂、折桥五个代表站的月平均流量.

1.2 方法

1.2.1 合成分析法

- 利用黄河上游五测站的月平均流量资料, 求出平均流量, 以代表黄河上游月平均流量;
- 求出 1959 ~ 1996 年 38 年中, 黄河上游各月平均流量和月流量距平;
- 求出北半球 500 hPa 各网格点上丰(枯)年的平均高度和距平.

1.2.2 EOF 分析法

对 1951 年 1 月 ~ 1995 年 10 月共 538 个月, $22.5^{\circ}\text{S} \sim 62.5^{\circ}\text{N}$, $40^{\circ}\text{E} \sim 300^{\circ}\text{W}$ 范围内的海温距平资料进行 EOF(自然正交函数)展开.

1.2.3 相关分析法

- 将黄河上游流量距平序列与第一特征向量所对应的时间系数序列求相关;

收稿日期 2000-08-24

基金项目 国家自然科学基金重点资助项目(49735170)

作者简介 葛朝霞(1954—), 女, 江苏阜宁人, 副教授, 主要从事水文气象研究.

b. 求出黄河上游汛期(6~9月)流量距平与前期各月海温距平的相关系数.

2 黄河上游流量的年际变化与丰枯年的选取

2.1 年际变化特征

对 38 年中黄河上游年及汛期(6~9月)流量资料进行了分析,结果表明:汛期平均流量值为 $180\text{ m}^3/\text{s}$,流量的年际变化存在着准 20 年的周期振荡特征.1959~1968 年间的平均流量以偏多为主,且正距平值较大,1967 年为峰值.1969~1978 年以偏少为主,1979~1988 年又以偏多为主,90 年代以偏少为主,且 90 年代后期旱情比较严重.

2.2 丰枯年的选取

资料分析发现,一年中流量相对集中在 6~9 月,且 6~9 月与年平均流量曲线几乎重合.显然,可用 6~9 月流量多少作为丰枯年的选择标准.将正、负距平值由大到小排列,分别选取正距平排前五位的 1964,1967,1975,1976,1989 为典型丰年,负距平排前五位的 1969,1971,1974,1988,1991 年为典型枯年.因高度场资料所限,1991 年以后的资料未参选.

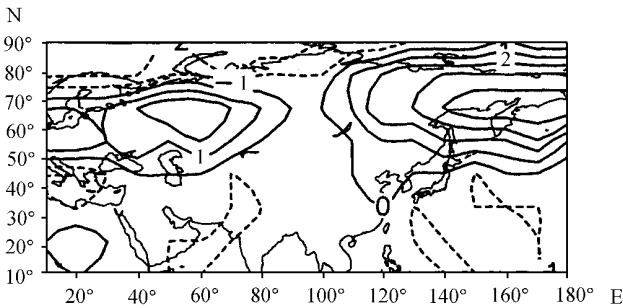
3 丰枯年 500 hPa 高度场及差值场特征

分析表明,兰州以上地区年径流量的丰枯,主要决定于该区域内的降水量的大小.有关研究^[1]表明,其汛期降水量约占年降水量的 70% 以上.由此可见,气候异常所引起的降水异常,是流量丰枯的重要影响因素.

3.1 汛期环流特征

3.1.1 高纬度(60°N 以北)

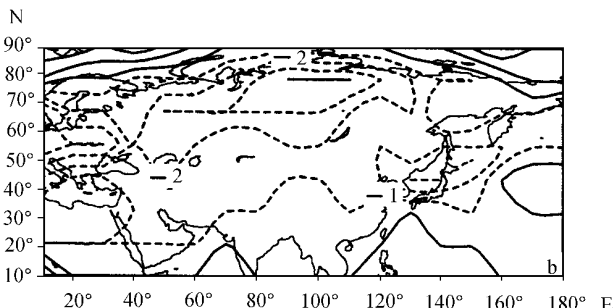
已有研究^[2]表明,极涡对我国旱涝的影响是显著的.对黄河上游径流量的丰枯是否也有影响?为此,我们对典型丰(枯)年汛期中极涡的分布及变化情况进行了分析.由 41 年 500 hPa 高度场的年平均图(图略)、典型丰(枯)年平均图(图略)、距平图(图 1、图 2 分别为丰、枯年 6 月 500 hPa 高度距平图)分析发现:汛期典型丰枯年极涡的差异十分明显,如以 540 位势什米等高线作为极涡的外围线,丰年 6 月该线达 75°N ,中心位于 60°E 以西,7 月 540 位势什米等高线缩至 85°N 附近,有两个闭合中心,分别位于 20°E 以西和 130°E 以东,均有 20 位势米的负距平与之对应,8、9 月 70°N 以北的极涡区几乎为负距平控制,最大负距平值可达 30 位势米以上;枯年 6 月 540 位势什米等高线控制范围较小,只在贝加尔湖北侧有一个低中心,由中心向南延伸出一个低槽区.距平图上, 80°N 以北的极区,除了贝加尔湖以北地区有一小片负距平区外,其它地区均为正距平区控制,7~9 月极涡偏弱的趋势逐月明显,表现为极区的正距区逐月扩大,值也随之增强,最大可达 50 位势米.丰年汛期极涡的分布特征表现为:范围大、强度高.枯年极涡不但范围小,而且总体强度也明显比丰年弱.



(实线为正,虚线为负)

图 1 丰年 6 月 500 hPa 高度距平

Fig.1 500 hPa height fields for June in flood years



(实线为正,虚线为负)

图 2 枯年 6 月 500 hPa 高度距平

Fig.2 500 hPa height fields for June in drought years

3.1.2 中纬度环流特征(30°N~60°N)

由 6~9 月各 500 hPa 高度平均图(图略)可见,该纬度范围内的环流比较平直,在贝加尔湖以西为一弱脊,两侧的贝湖东部至东亚沿岸及黑海地区,各有一浅槽.比较典型丰、枯年的高度距平图(6 月为图 1、图 2,其余图略)发现:丰年 6、7 月份两槽区均为正距平所控制,特别是东部槽区的正距平值较大,最大可达 40 位势米以上,8、9 月份东部槽区仍然为正距平区控制,西部槽区主要为负距平控制.而枯年 6、7 月份两槽区均

为负距平区控制,负变高值达20位势米以上。8、9月份东部槽区仍然为负距平控制,而西部的槽区主要为正距平控制。明显的差异是:6~9月,丰年贝湖东部至东亚沿岸槽偏弱,而枯年偏强;丰年6、7月份西部槽偏弱,8、9月偏强,而枯年反之。由于影响我国降水的冷空气主要与贝湖东部至东亚沿岸地区的槽有关,丰年的汛期槽偏弱,该地区冷空气势力不强,有利于南方的暖空气北上,在黄河上游产生降水。枯年则由于槽偏强,相应的冷空气势力太强,反不利于冷暖空气在黄河流域交汇,从而降水偏少。另外,8、9月份西部槽的偏强,冷空气随小槽的形式东传,相应有利冷空气的东移,对于8、9月份黄河上游降水量的加大也是有利的。

3.1.3 低纬度地区(30°N 以南)

分析表明,影响黄河上游汛期水量的系统有两个:南支低槽和西太平洋副高。典型丰年,除6月西太平洋副高及伸向我国东部大陆脊相对较弱外,7~9月西太平洋副高都偏强。尤其是伸向大陆的脊,其西伸点的位置均超过 100°E ,且脊区为正距平区控制,8月份最大正距平值可达15位势米。而典型枯年,整个汛期,西太平洋副高在海洋的主体部分与正距平区对应,而伸向大陆的脊区则为负距平控制,且西伸点的位置偏东,即西太平洋副高海上主体部分偏强,西伸脊则偏弱。总体看来,丰年西太平洋副高的西伸脊偏强,枯年偏弱。这种形势的形成与丰(枯)年汛期中纬度冷空气偏弱(强)有关。说明西太平洋副高西伸脊的强弱,与我国黄河上游降水的多少关系甚密。通过比较分析典型丰枯年汛期 20°N 的纬向高度偏差(丰或枯年各网格点上高度减去多年平均高度值)图(图略)发现:丰年的6月在孟加拉湾和阿拉伯海各有一个明显的低槽,且后者较强,而枯年只在孟加拉湾有低槽,强度偏弱;丰枯年的7月,都只在孟加拉湾地区有一低槽,且强度和位置都相差不大。8、9月位于孟加拉湾的低槽,在强度上丰年明显强于枯年,且位置也偏东10经距。即除7月份外,汛期其它几个月南支槽偏强,且8、9月槽的位置明显偏东,有利于西南季风的发展、加强。相应的暖湿气流,沿西太平洋副高东缘的西南气流,源源不断地向北输送,使得黄河上游地区的降水偏多,流量偏大。

3.2 前期(春季3~5月)特征

3.2.1 高纬

从前期各月的平均图和距平图(图略)上可见,极涡伸向东半球的低槽,位于拉普帖夫海附近。3月,丰年该槽偏强,槽区为负距平控制,最大值达30位势米;枯年 70°N 以北的极区,为正距平控制,槽偏弱。4、5月则反之,丰年偏弱,枯年偏强。即枯年的冷空气势力比丰年强。

3.2.2 中纬

各月平均图上, $30^{\circ}\text{N} \sim 60^{\circ}\text{N}$ 范围内,巴尔喀什湖附近为一弱脊,两侧分别为较弱的东亚大槽和欧洲西部大槽。通过比较分析丰(枯)年3~5月 60°N 纬偏图(图略)发现,枯年东亚大槽的位置有逐月西退的现象。3月平均位于 140°E ,4月位于 130°E ,5月位于 110°E 附近。这实际上是一次次长波调整,东亚大槽大槽更替,伴随一次次强冷空气向南爆发的过程。说明冷空气活动频繁,且势力较强。而丰年, 60°N 整个环流比较稳定,东亚大槽位置维持在 150°E 附近。从500 hPa高度距平图(图略)上可见,枯年槽(脊)区与负(正)距平相对应,丰年槽(脊)区与正(负)距平区相对应。这表明,3~5月中纬度地区,环流的经向度枯年比丰年大,相应的槽脊强度也比丰年强,且东部大槽偏强的趋势一直延续到汛期,相应较强的冷空气导致黄河上游汛期降水量偏少。

3.2.3 低纬

由500 hPa高度距平图(图略)可见,枯年的3月, 130°E 以东的低纬海区为正距平控制,以后该正距平区逐月东缩,5月其西边界位于 150°E ,且在4、5月份,正距平区以西的广大低纬度地区,基本为负距平区控制;而丰年的3~5月, 110°E 以东的洋面上均为负距平区控制,而在南亚大陆上均有一片正距平区存在。从前期各月多年平均图(图略)上可见,在 80°E 附近有一个脊,其前方的孟加拉湾地区有一个低槽。丰(枯)年脊区与正(负)距平对应。从 20°N 纬偏图(图略)可看到,丰年该脊的强度明显比枯年强。低纬度地区距平这样的分布形势,对汛期枯(丰)年西太平洋副高海上主体的偏强(弱),西伸脊偏弱(强),似乎有一定的指示作用。

由以上分析可知,汛期流量的偏多(少),与大气环流的异常相联系。西太平洋副热带西伸脊偏强(弱),有(不)利于西南暖湿气流向北输送到黄河上游地区;东部大槽偏弱(强),意味着冷空气势力不(较)强,有(不)利于冷暖空气在黄河上游地区交汇,降水量增加(减少)。可见,大气环流异常所引起的降水异常,是引起流量丰(枯)的直接原因。而汛期环流的异常,在前期环流特征上都有明显表现。

4 流量与太平洋海温的关系

由以上分析可知,大气环流的异常对黄河上游流量的影响极大,而前者与大气能量的多少是密切相关。

的海洋作为推动大气运动的主要能源,在全球气候变化中所起的重要作用已被越来越多的事实所证实.许多研究表明,海温异常已经成为导致气候异常的“祸首”.黄河上游水量丰枯年的海温场分布如何,水量的多少是否与某种类型的海温分布有关,这些都是我们非常关心的问题.为此,我们作了以下分析.

4.1 海温距平的 EOF 展开

为了了解太平洋海温距平场的主要分布特征,对 1951 ~ 1995 年共 538 月的海温距平资料进行 EOF 分析.结果表明,第一模态的典型场其方差贡献占总方差贡献的 14%,第二模态方差贡献占总方差贡献的 4%.第一模态场表现为:负振幅区从太平洋东部沿岸沿赤道地区(10°S ~ 10°N)西伸至 150°E 附近.正振幅区从西太平洋沿岸从 10°N 以北和 10°S 以南向东伸,即中东太平洋海温偏高(低)时,南北太平洋海温偏低(高).由时间系数分布(图略)可见,所取的五个典型涝年均对应为峰值(正值),典型旱年除 1974 年与较小的正值对应以外,其它年份均为谷值(负值)对应.峰值年对应 LANINA 年,谷值对应 ELNINO 年.第二模态场在太平洋地区为“正负正负”的分布形式,表现为赤道中东太平洋和西北太平洋地区海温偏高(低)时,赤道西太平洋和 20°N ~ 30°N 及 10°S 以南的太平洋地区海温则偏低(高).

4.2 典型丰枯年太平洋海温的距平场分布特征

4.2.1 丰年海温距平场特征

由丰年前一年秋、冬(前一年 9 ~ 12 月,当年 1、2 月)太平洋海温距平场(图 3 为前一年 12 月海温距平图,其余图略)的分布可见:由南向北为“- + -”的分布形式,30°N ~ 20°S 的拉丁美洲沿岸为负距平控制,与之相连的舌状负距平区沿赤道西伸至 150°E 附近,几个强负距平中心分别位于赤道太平洋的中东部地区,由秋到冬逐月加强,冬季最强达 - 1.5℃ 以上.表明丰年的前秋冬季节,赤道中东太平洋地区的降温是非常明显的.在该负距平区的北侧,20°N ~ 30°N 范围内出现由太平洋西部向东伸的带状正距平区,且正距平中心(> 0.6℃)有逐月东传的现象.秋冬季增温最明显地区为 20°N ~ 30°N 范围内的太平洋中、东部地区.

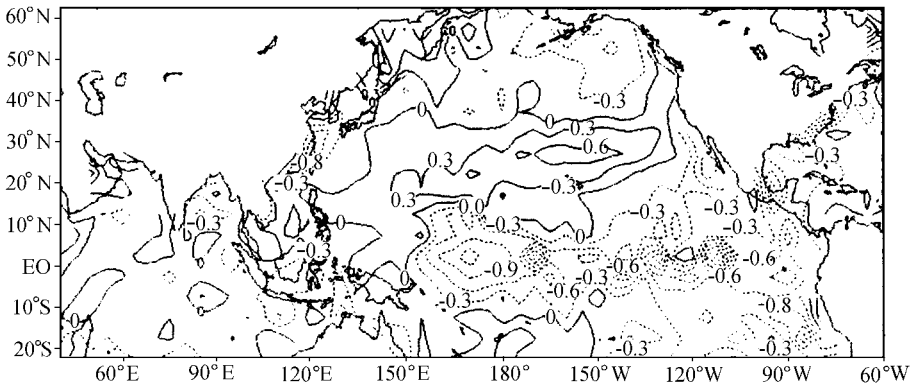


图 3 前一年 12 月海温距平分布

Fig.3 SSTA for previous December

从当年春、夏(3 ~ 8 月)季的海温距平分布图(图略)可见,带状正距平区的北界逐月向北扩展,8 月份达最北,原太平洋北部的负距平区已收缩到东北部很小的范围中,相应的正距平中心随之向东向北移动,且从春到夏正距平中心也明显增强,夏季可达 1℃ 以上.总体看来,20°N ~ 50°N,170°E ~ 130°W 范围中的太平洋中东部,增温是明显的,对称于赤道的舌状负距平区一直维持着,主要负距平中心位于赤道太平洋中、东部地区,其强度从冬到夏有所减弱.丰年前年的秋冬季和同年的春夏季,海温距平具有反 ELNINO 型的分布特征.

4.2.2 枯年海温距平场特征

与丰年相比,枯年海温距平的分布有明显不同,前秋冬赤道附近地区海温距平以正负相间的形式出现.图 4 为前一年 9 月的海温距平分布(其余图略),由图可见:从墨西哥向南到赤道附近沿海有小片的正距平区,9 月份以后该正距平区逐渐加强西伸并伴有南扩,增温最明显地区位于 150°E ~ 180°E,20°N ~ 40°N.9 月份以后增温区北移的北界达到 50°N.太平洋的中西部,其中心位于 30°N 以北,最大值达 0.9℃.当年的春季赤道东部沿海的正距平区明显增强西伸,西伸点可达 150°W 附近,中心强度也明显加强.6 月份以后,该正距平区开始减弱,春季,原北界到达 50°N 的正距平区开始南压,其中心仍然位于太平洋的中西部.夏秋季节,该正距平区中的正距平中心分裂成两个,一个位于太平洋中东部,另一个位于中西部,强度也明显减弱.总之,枯年

前秋冬和当年的春季(尤其春季)海温 ELNINO 型特征是明显的.对比分析结果表明,丰枯年的太平洋海温距平场的分布与太平洋海温距平场的 EOF 展开第一特征场是相对应的.

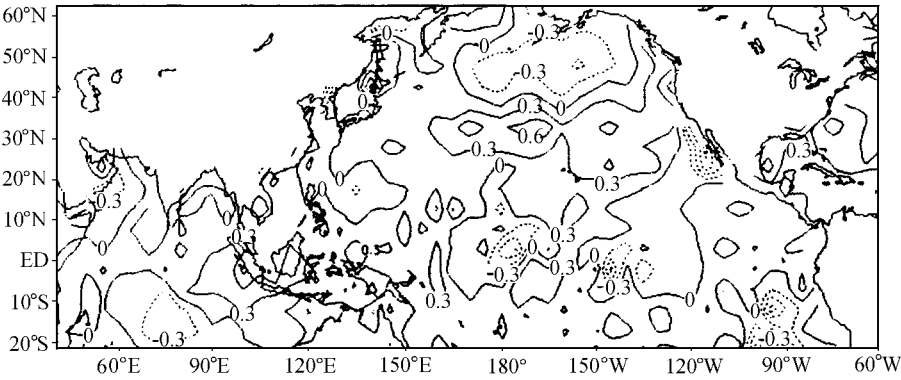


图 4 前一年 9 月的海温距平分布
Fig.4 SSTA for previous September

4.3 海温与黄河上游流量的关系

4.3.1 特征场的时间系数与流量的关系

为进一步了解黄河上游的流量与海温场的分布型关系,将流量距平序列与特征场的时间系数序列进行了相关分析.结果表明,流量距平与第一特征场的时间系数,从提前 9 个月到同期的相关系数都具有较高的信度.说明黄河上游的流量的丰枯与太平洋海温距平的第一特征场形式存在着密切的联系,即 ELNINO 和 LA NINA 现象,直接对黄河上游水量的丰枯产生重要的影响.

4.3.2 6~9 月黄河上游流量距平与太平洋海温距平场的相关分析

6~9 月为黄河上游的汛期.为了解这段时间的水量与太平洋地区海温的关系,寻找出作中长期预报的可能因子,分别计算了 6~9 月黄河上游流量距平与超前 1~7 个月(相对 6 月而言)太平洋各网格点海温距平的相关系数.分析结果表明,超前 1~7 个月,流量距平与赤道中东太平洋海温距平一直是负相关,与菲律宾以东暖池地区为正相关,超前 4~7 个月,与 20°N~30°N 中太平洋地区为正相关,与 40°N~50°N 的整个太平洋地区为负相关,超前 3 个月,与 20°N~30°N 的东太平洋为正相关,与 40°N~50°N 的整个太平洋地区为负相关.在每个相关区内,都有一个以上超过给定信度的高相关中心存在,可选为预报因子.

5 小 结

a. 黄河上游典型丰枯年同期和前期环流都存在着明显的差异,且前后期环流存在某种联系.具体表现为:丰(枯)年前期 4、5 月份极涡伸向东半球高纬度的槽偏弱(强),而汛期极涡则偏强(弱);丰(枯)年前期中纬度环流经向度小(大),槽脊偏强(弱),伴随的冷空气活动少(频繁),强度弱(强);在汛期,这种趋势得以延续,出现了东部大槽偏弱(强),伴随的冷空气的强度偏弱(强)的现象.典型丰(枯)年前期低纬度 80°E 附近脊区与正(负)距平对应,南亚大陆上亦为一片正(负)距平区控制,太平洋东部有负(正)距平区出现,汛期出现了西太平洋副高主体偏弱(强)而西伸脊则偏强(弱)的现象.典型丰(枯)年的汛期,贝湖东部至东亚沿岸槽的偏弱(强),西太平洋副高西伸脊的偏强(弱),孟加拉湾低槽的偏强(弱)的形势,有(不)利于南方的暖湿气流北上,在黄河流域汇合,降水量偏多(偏少).另外,8、9 月份西部槽的偏强,使冷空气不断随小槽东传,对于这段时间黄河上游降水量的加大也是十分有利的.基于前期环流与汛期流量丰枯之间的联系,可根据前期环流的特征,对汛期流量丰枯做出大致预测.

b. 太平洋海温距平场资料的 EOF 分析表明,占总方差贡献的 14% 的第一特征场和时间系数主要表现为 ELNINO(或反 ELNINO)事件的特征,其时间系数与黄河上游月平均流量时间序列的超前和同期相关性较好,说明太平洋海温与黄河上游水量丰枯有着密切的联系.海温距平场的分析表明:典型丰年的前年的秋冬季和同年的春夏季,海温距平具有反 ELNINO 型的分布特征;典型枯年前秋冬和当年的春季(尤其春季)ELNINO 型特征明显.通过 6~9 月黄河上游流量距平与超前 1~7 个月(相对 6 月而言)太平洋各网格点海温距平的相关关系分析可知,挑选出的关键时段和关键区域的海温距平能作为汛期流量长期预报的可选因子.

c. 海温与黄河上游地区汛期流量之间的关系 ,主要是通过影响东亚大气环流而相互联系着的 .前期海温距平场的分布形式 ,可能对汛期极涡、西太平洋副热带高压特别是西伸脊的强度和位置变化以及中纬度环流的振幅大小 ,有重要影响 .典型丰年的前年秋冬季和同年春夏季海温分布为反 ELNINO 型 ,20°N ~ 50°N 太平洋中东部增温明显 .汛期则出现高纬度极涡偏强 ,中纬度环流经向度小 ,相应东部大槽偏弱 ,西太平洋副高主体偏弱 ,而伸向大陆的西伸脊则偏强的环流形势 .这样的形势有利于北方较弱的冷空气与西太平洋副高脊北部的西南暖湿气流在黄河流域交汇 ,相应降水量增多 ,流量也偏大 .典型枯年前秋冬和当年的春季(尤其春季)ELNINO 型特征明显 ,30°N ~ 50°N 的太平洋中西部增温显著 .在汛期则出现了极涡偏弱 ,中纬度环流经向度大 ,东部大槽偏强 ,西太平洋副高主体偏强 ,而西伸脊则偏弱的环流形势 .这样较强的冷空气与较弱的暖空气将交汇在黄河以南地区 ,黄河上游地区降水将偏少 ,流量也偏少 .以上是我们用典型丰枯年资料诊断分析所得的结论 ,是否满足所有的丰枯年 ,以及前期的海温又是如何对上述环流系统产生影响的 ,这些问题将有待于在以后的工作中作进一步的研究 .

参考文献 :

[1] 史辅成 ,易元俊 ,高自定 .黄河流域暴雨与洪水[M]. 郑州 :黄河水利出版社 ,1997 .57 ~ 58 .
[2] 陈菊英 .中国旱涝的分析和长期预报的研究[M]. 北京 :农业出版社 ,1991 .135 ~ 137 .

Analysis of Meteorological Factors Affecting Flood Season Discharge
Rate for Upper Reaches of Yellow River

GE Zhao-xia¹ ,PENG Mei-xiang² ,YAO Yong-hong³ ,CAO Li-qing¹

- (1. College of Water Resources and Environment ,Hohai Univ . ,Nanjing 210098 ,China ;
2. The Irrigation Committee of the Yellow River ,Zhengzhou ,450004 ,China ;
3. Dept . of Atmospheric Science ,Nanjing University ,Nanjing 210093 ,China)

Abstract :By use of the EOF ,correlation and composition analysis ,analyzed are the monthly mean discharge rate of five stations on the upper reaches of the Yellow River ,the anomaly of 500 hPa height fields ,and the SST data of the Pacific Ocean .The results show that the difference between the anomaly of 500 hPa height fields of the previous period and that of the same period of the typical flood/drought year is reflected by the strength and location of the polar-vortex ,and the subtropical westerly belt trough .The discharge from these areas is in close relation with the SSTA of the Pacific Ocean , and the pattern of the SSTA fields of the previous periods(from previous September to February) is different from that of the same period during the flood/drought years .The conclusion is of reference value to long-term prediction of the discharge of these areas during the flood season .

Key words :discharge rate ,SSTA ,ELNINO ,500hPa height field