

华北汛期降水量变化中 年代际和年际尺度的分离*

陆日宇

(中国科学院大气物理研究所, 北京 100029)

P426 A

摘要 华北地区汛期(7月和8月)降水量的变化中,不仅具有年际变化的特征,同时还具有明显的年代际变化特征。我们将这两种时间尺度进行分离,即将降水量的变化进行5年滑动平均,以滑动平均值代表年代际变化,并以每年的汛期降水量与滑动平均值的差代表去除了年代际变化后的年际变化。然后,利用NCAR/NCEP再分析资料对与这两种不同时间尺度相关联的大气环流异常进行了分析,发现两者具有不同的表现,说明影响这两种不同时间尺度的物理原因可能是不同的。与年代际变化相对应的大气环流异常主要表现为出现在我国东部地区的南北风异常以及欧亚大陆上空的位势高度异常。若对这两种时间尺度不进行分离,而直接按讨论年际变化的一般方法简单地分析与年际变化相关联的大气环流异常时,所得到的分析结果中既包含与华北降水年代际变化相关联的大气环流异常,又包含与去除年代际变化后的年际变化相关联的大气环流异常。而除去年代际变化后,与华北汛期降水年际变化相关联的大气环流异常主要表现为在东亚上空位势高度和纬向风的异常,意味着急流在涝年位置偏北。

关键词: 华北; 降水量; 年代际变化; 年际变化; 大气环流异常

1 引言

最近几十年中,华北地区的降水量呈持续减少的趋势,同时由于工农业生产和人类生活所需要的水量不断增多,使得华北地区水资源的问题变得日益严重^[1],因而,对华北地区降水量变化规律及其产生原因的认识也就越发显得重要。

我国东部地区的气候明显受季风的影响,降水主要出现在夏季,华北地区的雨季出现在7、8月。6月降水量较少,大体与9月降水量相当。由于东亚夏季风的年际变率大,我国东部地区的夏季降水量也具有相当显著的年际变化。而华北地区夏季降水量不仅具有年际变化,同时还具有十分明显的年代际变化。由于这两种不同时间尺度的变化纠缠在一起,使得对华北地区降水量变化规律及其形成原因的研究相当困难,目前尚未能够形成比较统一的认识。

由于华北夏季降水量的变化同时具有明显的年代际变化特征,特别是由于1965年左右华北夏季降水量突然变少以后一直没有回升的迹象,因而对华北降水的年代际变化也有了相当多的研究。在年代际时间尺度上,1951到1964年华北降水处于偏多阶段,

2000-09-27收到,2001-08-23收到再改稿

* 中国科学院资源环境领域知识创新工程重要方向项目KZCX2-203资助

20 世纪 70 年代末以来处于偏少阶段^[2,3]。对产生这种年代际变化的原因,也已有了许多的研究。严中伟等^[4,5]指出 20 世纪 60 年代北半球夏季降水的变化呈带状分布,将华北降水的减少与更大范围的气候跃变联系在一起,并指出大范围的温度改变导致的热力梯度可能是这种气候跃变的一个重要背景条件。黄刚^[6]则把华北地区夏季降水在 1965 年左右的突然减少归因于南北半球温度差异和我国西部地区温度的改变。此外,黄荣辉等^[2]认为我国东部地区降水的年代际变化可能是由于赤道中、东太平洋海温年代际变化的影响。李崇银和廖清海^[7]发现东亚和西北太平洋地区气候存在准十年尺度的振荡,指出中纬度海—气相互作用可产生一种周期为十年左右的甚低频耦合波,并试图以此来解释东亚地区气候的准十年振荡。还有研究指出冬季北极海冰也有可能对华北夏季降水量的年代际变化产生影响^[8]。总之,目前对华北夏季降水年代际变化的产生原因远未能达成比较一致的看法。

由于东亚夏季风的年际变率大,夏季我国东部地区的降水量也具有相当显著的年际变化。一些研究分析了华北夏季降水的年际变化及其原因。毕慕莹^[9]将华北干旱在大气环流异常方面的成因归纳为高压控制型、长江流域高压控制型以及西北气流控制型,并指出西太平洋副热带高压的异常、东亚稳定的阻塞高压形势、西风急流的异常、印度季风以及北半球大气环流系统的异常都可能对华北夏季降水产生影响。最近,赵声蓉和宋正山^[10]利用奇异值分解方法,对华北汛期(7、8月)旱涝与大气环流异常之间的关系进行了研究,指出欧亚高纬地区的环流异常和西太平洋副高的配置关系以及青藏高原和西太平洋副高的配置关系对华北地区汛期降水有影响。谢庄等^[11]和孙建华等^[12]指出在动力学和热力学的特征上与西太平洋副热带高压有明显不同的大陆副热带高压的维持是华北高温(通常也伴随着华北干旱)的一个因素。尽管对华北夏季降水异常的年际变化及其与之相关联的环流异常已经有了一些研究,但总体来说未能得出比较概括性的结论。

因为华北夏季降水具有明显的年代际变化特征,所以在对华北夏季降水年际变化进行研究时,往往就会将年代际变化也混淆进来,特别是利用较长时间的资料进行分析时更是这样。因而,在本研究中,我们将试图对华北夏季降水量变化中存在的年际时间尺度和年代际时间尺度进行分离,并分别研究在这两种不同的时间尺度上,与华北夏季旱涝相关联的大气环流异常,以便对可能的物理原因有更好的认识。第 2 节给出资料的一些说明;第 3 节给出华北汛期降水量的年代际变化及与其相关联的大气环流异常;第 4 节分析与华北降水年际变化相关联的环流异常,这里我们的做法与以往的研究方法基本一样;第 5 节将讨论去掉年代际变化后的年际变化,此时的年际变化与第 4 节的年际变化有较大的差别,对此我们还将给予进一步说明;最后,第 6 节给出结论和简单讨论。

2 资料

本研究用到了两部分资料,第一部分为我国台站月降水总量资料,计有 160 个台站,时间从 1951 年到 1998 年。利用这部分资料,我们分析了华北地区汛期降水量的变化。华北地区汛期降水取为 7 月和 8 月降水之和。本文中的华北地区是指在(35~40°N, 110~125°E)范围内的陆地。在 160 个台站中,本文所选的华北地区中有 16 个

站点。我们将这 16 个站点上的降水量取平均, 用来代表华北地区的降水量。

第二部分资料为美国 NCAR / NCEP 再分析资料。从这部分资料中, 我们采用了自 1958 年到 1997 年的资料, 在水平方向上, 网格间距为 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$, 在垂直方向上, 我们采用了 3 个等压面上的资料, 这 3 层分别为: 850、500、200 hPa, 用来分别代表对流层的下层、中层和上层。我们分析的要素有位势高度和水平风场。

3 华北汛期降水量的年代际变化及其相关联的大气环流异常

华北地区的雨季出现在 7、8 月, 降水量主要集中在这两个月份。6 月和 9 月降水量大致只占 7 月或 8 月降水量的一半左右, 而其他月份的降水量则明显地更少, 华北降水量的年代际变化特征也主要出现在 7 月和 8 月降水量的变化上^[13]。因此, 本文中的汛期将指 7 月和 8 月, 汛期降水量将是 7 月和 8 月降水量的和, 对其他物理量, 汛期平均意味着 7 月平均值与 8 月平均值的算术平均和。

首先给出 1951 年到 1998 年华北地区汛期降水量的变化 (图 1)。图 1 还给出了 5 年滑动平均值。经过 5 年滑动平均之后, 华北地区汛期降水量的年代际变化得以更明显的表现。华北地区汛期降水量首先在 1965 年左右有一次明显地减少, 在 20 世纪 70 年代上半段略有回升之后, 于 70 年代下半段出现了再一次的明显减少, 90 年代有回升的趋势, 但如果我们考虑到 1997 年、1999 年华北地区出现大旱, 那么在年代际时间尺度上这种回升的趋势似乎并没能持续多长时间。两次明显减少的幅度差不多。相比 1965 年左右华北地区汛期降水的减少, 对 70 年代后半段发生的降水减少研究得较少。

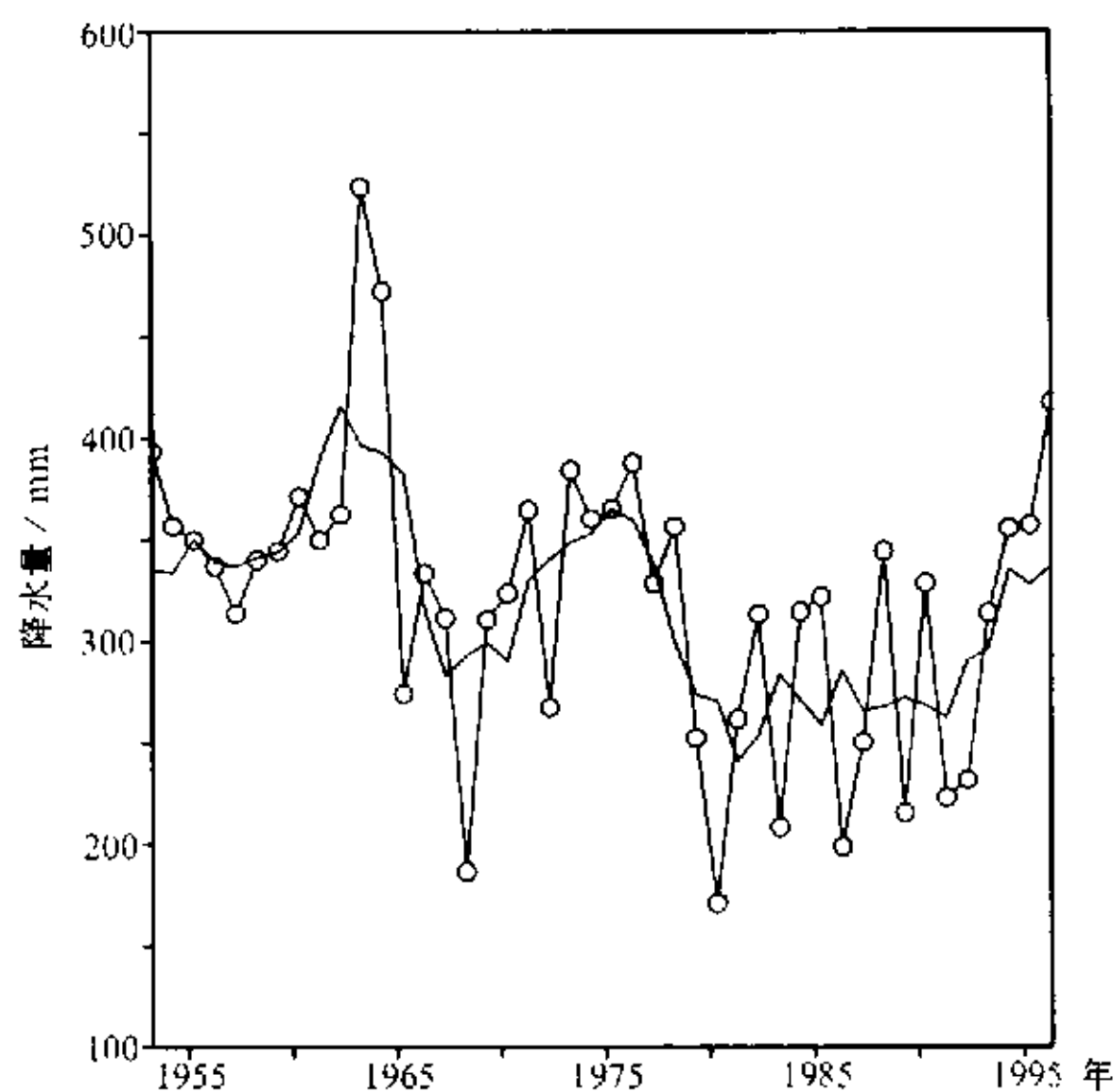


图 1 1951 年到 1998 年华北地区汛期 (7 月和 8 月) 降水量的变化 (图中曲线为 5 年滑动平均值)

在本研究采用的大气环流资料的时间段 (1958 年到 1997 年) 里, 大致可以将 1958~1964 年当作华北汛期降水在年代际尺度上涝期, 而将 1980~1992 年当作旱期。我们的分析结果表明, 在本文所关注的内容范围内, 1993~1997 年 5 年平均的大气环流异常与 1980~1992 年平均差不多, 因而在以下的讨论中, 我们将把 1980~1997 年当作旱期。值得说明的是, 本文中的涝期只有 7 年, 而旱期却有 18 年, 因而本文中所得到的关于涝期的结果可信程度可能较差一些, 而关于旱期的结果可信程度可能就较高一些。

图 2 为涝期 (1958~1964 年) 平均的 200、500、850 hPa 位势高度异常减去旱期 (1980~1997 年) 平均所得到的差值。在贝加尔湖以西的欧亚大陆, 位势高度为负异

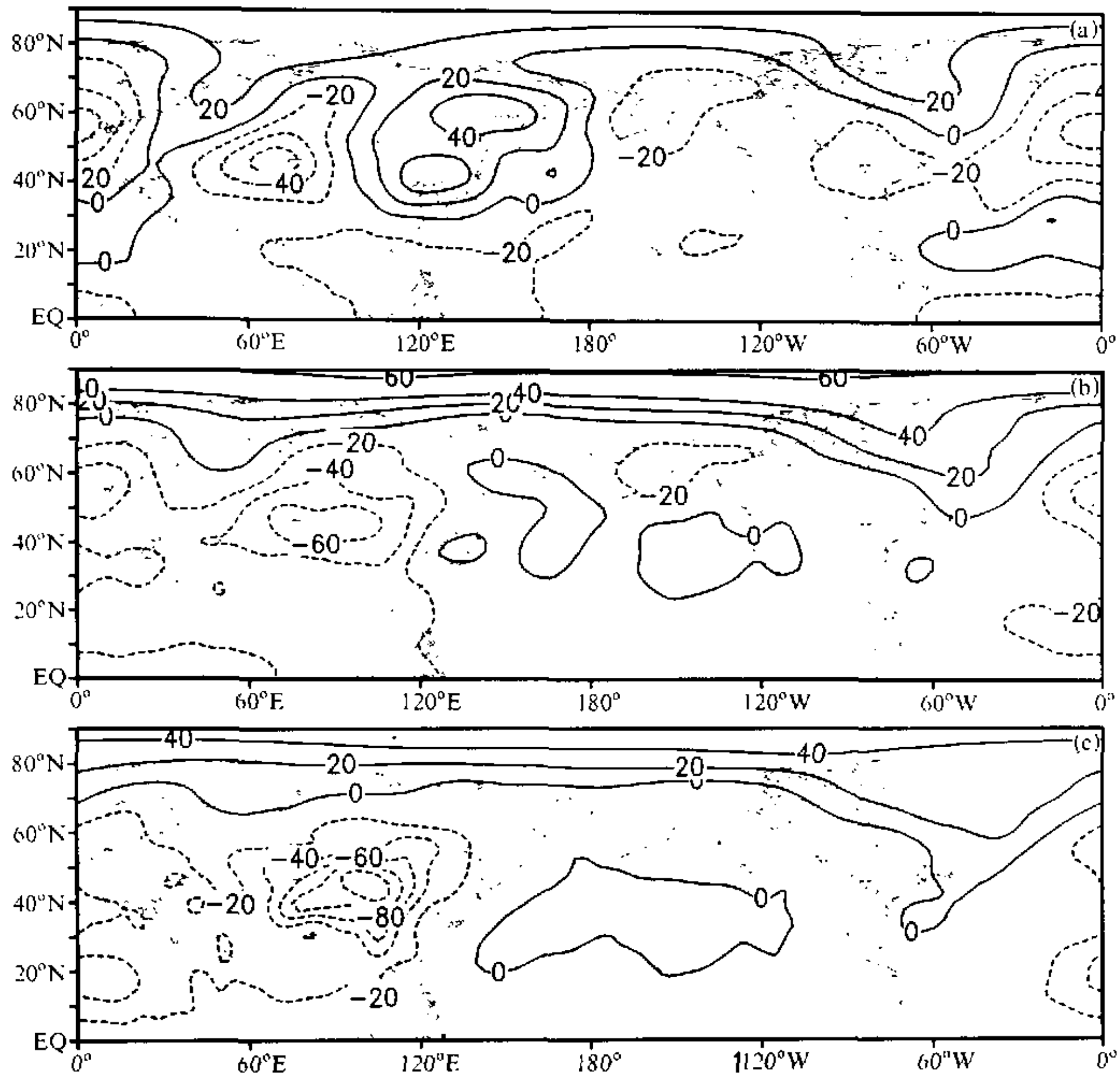


图2 华北年代际变化中涝期(1958~1964年)平均的位势高度异常减去早期(1980~1997年)平均所得出的差值(单位:m,等值线间隔均为20)
(a) 200 hPa; (b) 500 hPa; (c) 850 hPa

常,该负异常向南伸展至赤道地区,向西伸展到北非大陆。200 hPa等压面上这个负异常中心的位置相对于500 hPa和850 hPa的负异常中心偏西。在东北亚地区上空,尽管在200 hPa等压面上存在位势高度正异常,但在500 hPa和850 hPa等压面上则没有。

由于欧亚大陆上空的位势高度负异常意味着我国东部地区将出现南风异常,而南风异常有可能将我国东部地区汛期雨带北移,从而使华北汛期降水偏多。因而,下面我们将针对这个负异常区进行进一步的分析。由图2中500 hPa和850 hPa等压面上位势高度异常,我们可以发现欧亚大陆上空的位势高度负异常主要位于30~60°N之间,因而我们将30~60°N之间的位势高度异常进行平均,并给出其随时间变化的情况(图3和图4)。

在500 hPa和850 hPa等压面上,位势高度均十分明显地在欧亚大陆先是出现显著

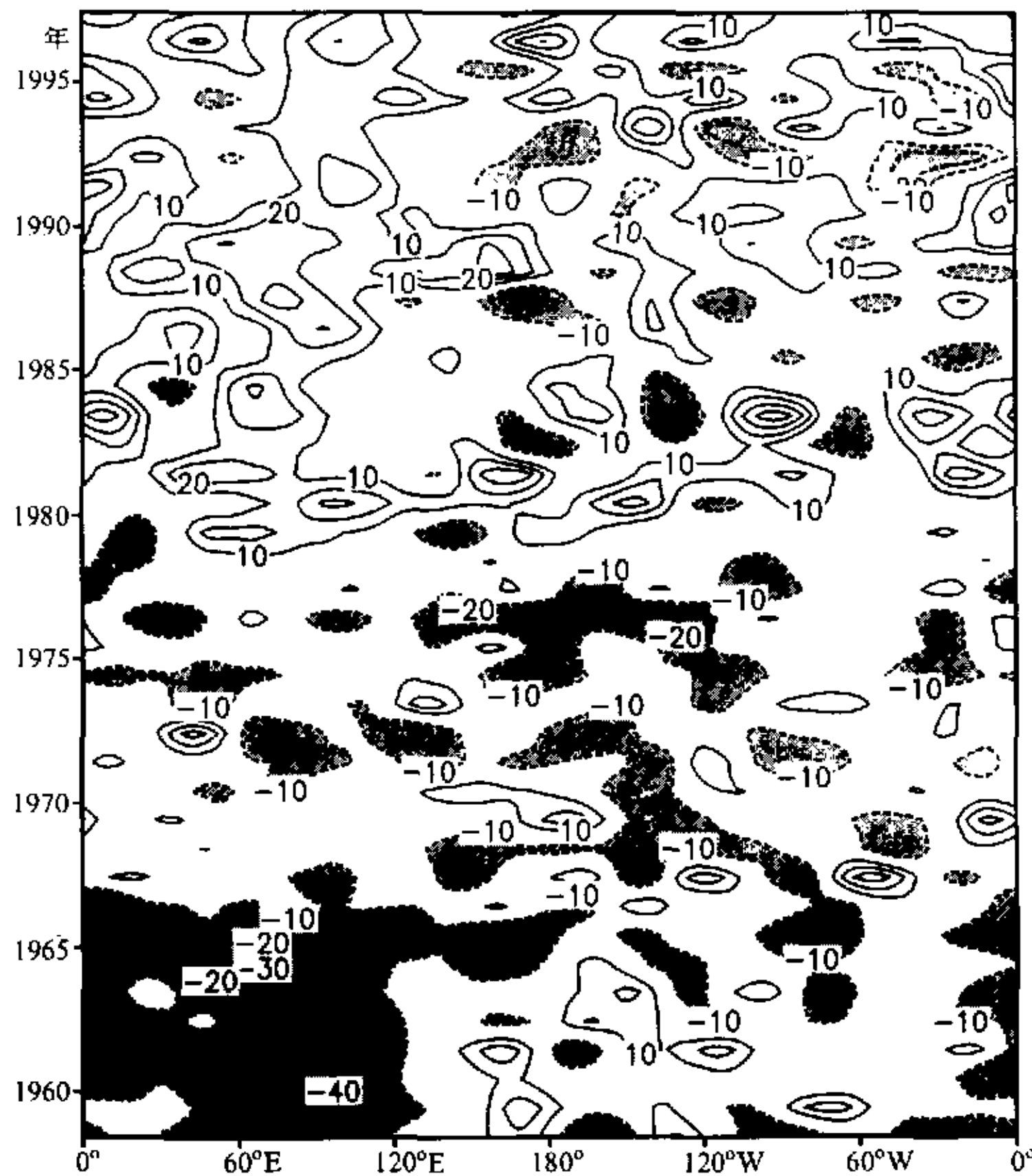


图3 30~60°N 范围内平均的 500 hPa 位势高度异常随经度和时间的分布 (单位: m)
等值线间隔为 10, 零线被略去, 小于-10 的位势高度异常用阴影加以表示

的负异常, 在 1965 年左右负异常减弱, 位势高度开始呈现平均状态, 而在 20 世纪 70 年代后半段开始出现正异常, 并一直维持到 1997 年。这种变化特征在 850 hPa 表现得更为明显, 且变化特征更为明显地局限在 60~120°E 范围内, 同时在其他地区 (140°E~180°~0°) 异常值非常小。于是, 我们似乎可以认为与华北汛期降水年代际变化相关联的大气环流异常主要表现在对流层的中、下层。位势高度随时间的这种演变与华北地区汛期降水在 1965 年左右和 20 世纪 70 年代下半段发生的两次明显减少对应得相当好。

与对流层中、下层位势高度的上述负异常相对应, 在我国东部地区出现了显著的南北风异常。图 5 为 850 hPa 等压面上涝期 (1958~1964 年) 和早期 (1980~1997 年) 各自平均的水平风速异常。在涝期, 我国东部地区均为强大的南风异常, 而早期则正好相反, 为北风异常。涝期和早期南北风异常的强度相当大, 特别是涝期 7 年平均的南风异常值可达 6 m s^{-1} 。

华北地区汛期降水在 1965 年左右和 20 世纪 70 年代后半段的两次明显减少所对应

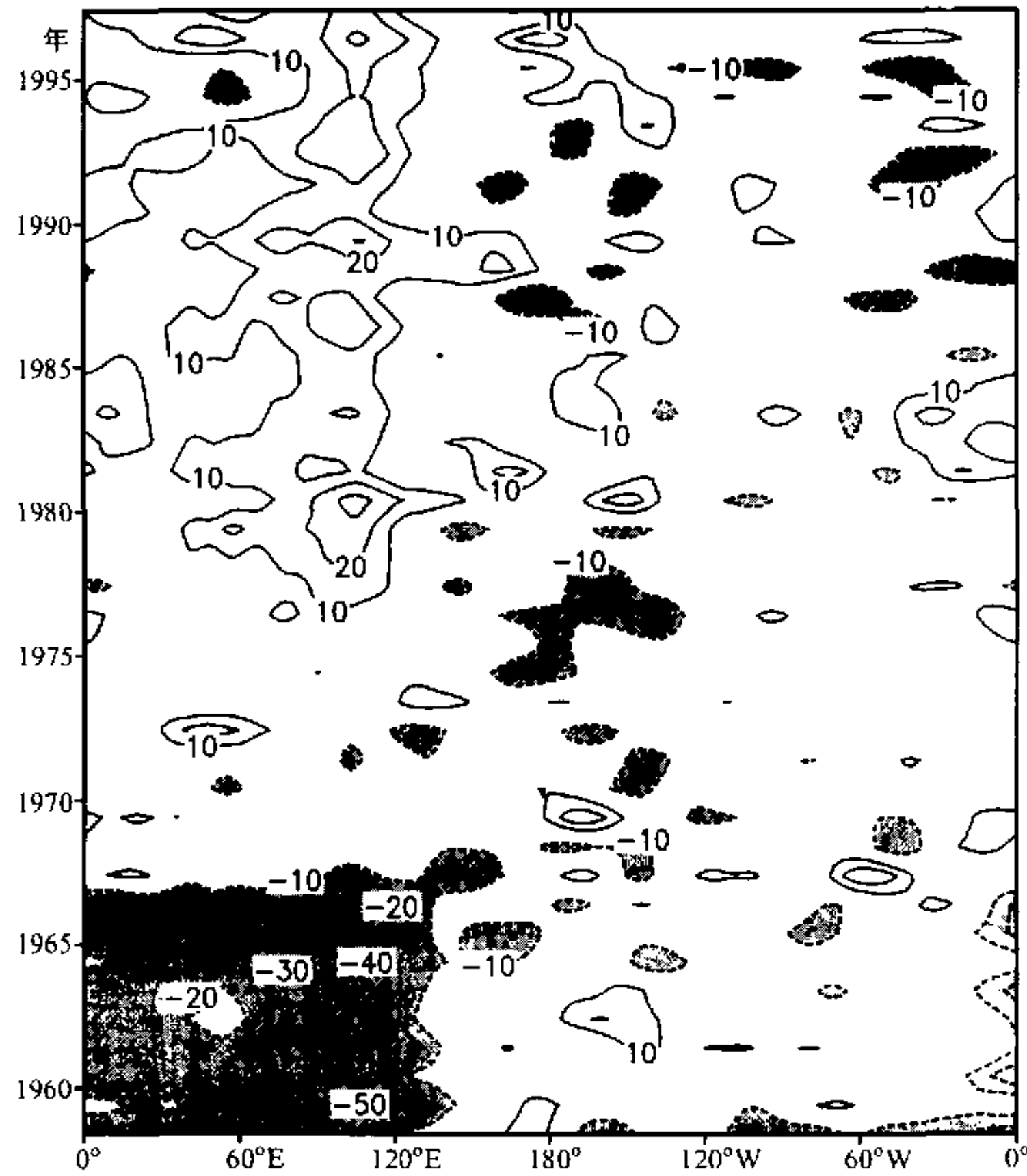


图4 同图3, 但为 850 hPa

的大气环流变化是一致的, 即两次均对应着亚洲大陆, 主要为 ($60\sim 120^{\circ}\text{E}$, $30\sim 60^{\circ}\text{N}$) 对流层中、下层位势高度的明显增加, 并且均对应着我国东部地区北风的异常增强。此外, 这两次大气环流变化似乎主要表现在对流层的中、下层, 而且下层 (850 hPa) 表现得更为明显。但是, 这两次大气环流变化是不是由同一种物理原因造成的, 目前还难以说明。

4 与华北汛期降水量的年际变化相关联的大气环流异常

首先给出 1951 年到 1998 年华北地区汛期降水量的变化 (图 6)。为了对环流异常进行合成分析, 图 6 中同时还标出了气候平均值线以及超出或低于平均值半个标准偏差的两条线, 于是汛期降水量多于平均值半个标准偏差的年份有: 1960、1962、1963、1964、1971、1973、1974、1975、1976、1978、1994、1995、1996 年, 共 13 年。而少于平均值半个标准偏差的年份有: 1965、1968、1972、1979、1980、1981、1983、1986、1987、1989、1991、1992、1997 年, 也是 13 年。由于我们采用的 NCAR/

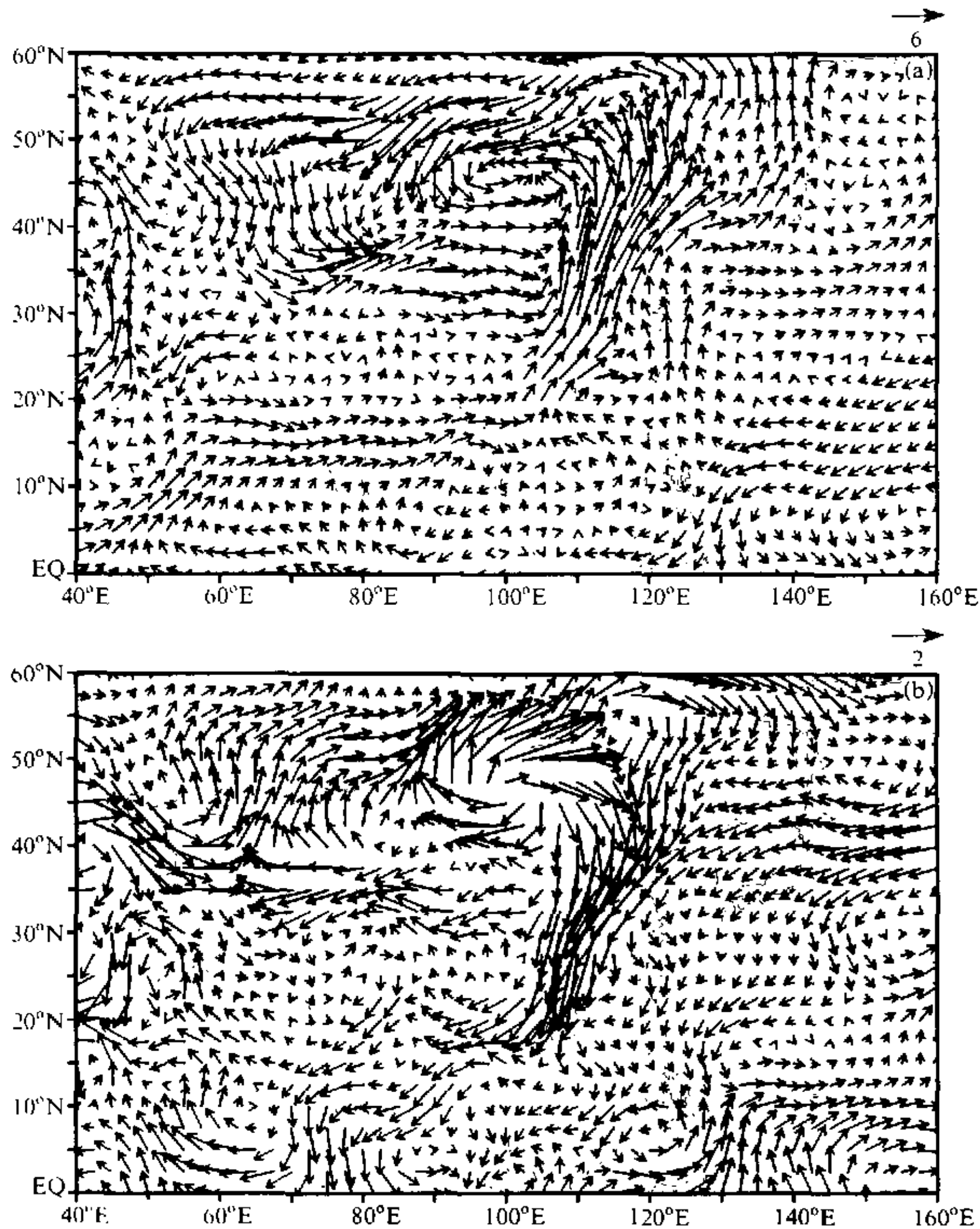


图5 在华北汛期降水年代际变化中的早、涝期平均的850 hPa等压面水平风速异常
(a) 涝期(1958~1964年); (b) 早期(1980~1997年)

NCEP 资料是从 1958 年到 1997 年, 所以上述年份均在这一时间段内。从这些年份所处的年代中, 我们也可以看到华北汛期降水量具有明显的年代际变化特征, 如 60 年代上半期降水量偏多, 80 年代没有出现一个降水量超出平均值半个标准偏差的年份, 而在 70 年代和 90 年代, 降水量在有的年份偏多, 在有的年份偏少。另外, 可以注意到华北汛期降水量的变化还有另外一个特点, 那就是早年或涝年连续出现, 如 1979 到 1981 年、1986 到 1987 年、1991 年到 1992 年都是早年, 而 1962 到 1964 年、1973 到 1976 年、1994 到 1996 年则都是涝年。这一特点也从另一个侧面表明华北汛期降水量的变化存在比年际时间尺度更长些的变化尺度。

本节中, 我们将采用合成方法分析与华北汛期降水量年际变化相关联的大气环流异

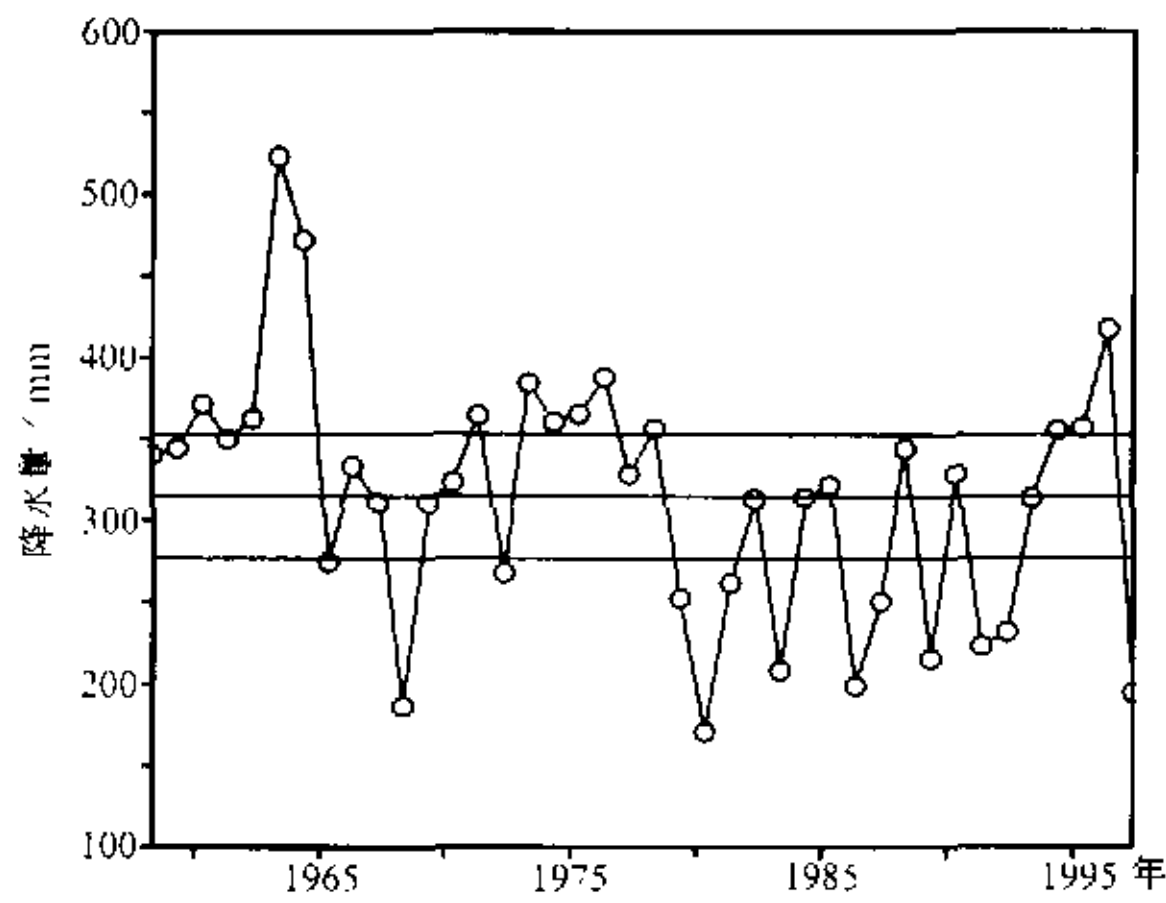


图6 1951年到1998年华北地区汛期(7月和8月)降水量的变化

图中中间的横线为48年汛期降水量的平均值,在它上下的两条线分别表示大于和小于平均值0.5个标准偏差的值

常,在分析中将不考虑年代际变化的影响,尽管我们已经看到这种年代际变化在华北汛期降水量变化中占有比较大的比重。关于去除年代际变化的年际变化将在下一节中进行分析。因而,我们将前述的13个涝年和13个旱年进行合成。图7为给出 Student t 检验的对流层上、中、下三层(分别为200、500、850 hPa)位势高度涝年和旱年的差值。首先,在200 hPa等压面上,热带地区为显著的位势高度负异常,另一个具有统计信度的负异常区出现在俄罗斯新西伯利亚地区附近(50~60°N, 60~90°E)。具有统计信度的正异常区出现在我

国东北地区、朝鲜半岛以及日本中南部地区。

在850 hPa等压面上,最显著的特征是欧亚大陆的中南部为强大的负异常区,该负异常区向南伸展到赤道地区,并同时向东伸展至北非大陆。200 hPa等压面上出现的东亚正异常区在850 hPa也存在对应的正异常,只不过强度大为减弱,超过95%信度的区域也大为缩小。从850 hPa等压面上亚洲地区上空位势高度异常的上述分布,可以推知在我国东部地区将存在显著的南风异常,这种南风异常将使我国东部地区夏季雨带明显北移,因而使华北地区降水偏多。

500 hPa等压面上位势高度异常的分布和强度基本上折中了200 hPa和850 hPa的特点,负异常区从欧亚大陆中南部到广大的热带地区连成一片,东亚地区上空也存在以日本海为中心的正异常区。比较位势高度异常在上述3层等压面上的分布,可以发现正、负异常的中心在中纬度地区呈随高度西倾的趋势,这种西倾的趋势将有助于热量的向北输送,因而也将有助于汛期在华北地区产生降水。

以上我们以东亚地区为中心着重分析了东半球的情况。在西半球,也有一些区域上空的位势高度异常达到了统计信度。大致说来,在北美大陆纽芬兰岛上空,在3个不同的等压面上均存在位势高度的正异常,在其南边为位势高度的负异常。东西半球中这种位势高度的正负异常分布正好均位于北半球两个大陆(欧亚大陆和北美大陆)和两个大洋(太平洋和大西洋)的交界处,或许它表示两个大洋上空副热带高压的南北移动存在着某种程度上的一致性。事实上,毕慕莹^[9]曾经指出美国历史上的一些重要干旱阶段与华北平原的干旱阶段是一致的。

5 与除去年代际变化后的年际变化相关联的大气环流异常

华北地区汛期降水量的变化同时具有年际变化和年代际变化,在前两节中,分别对

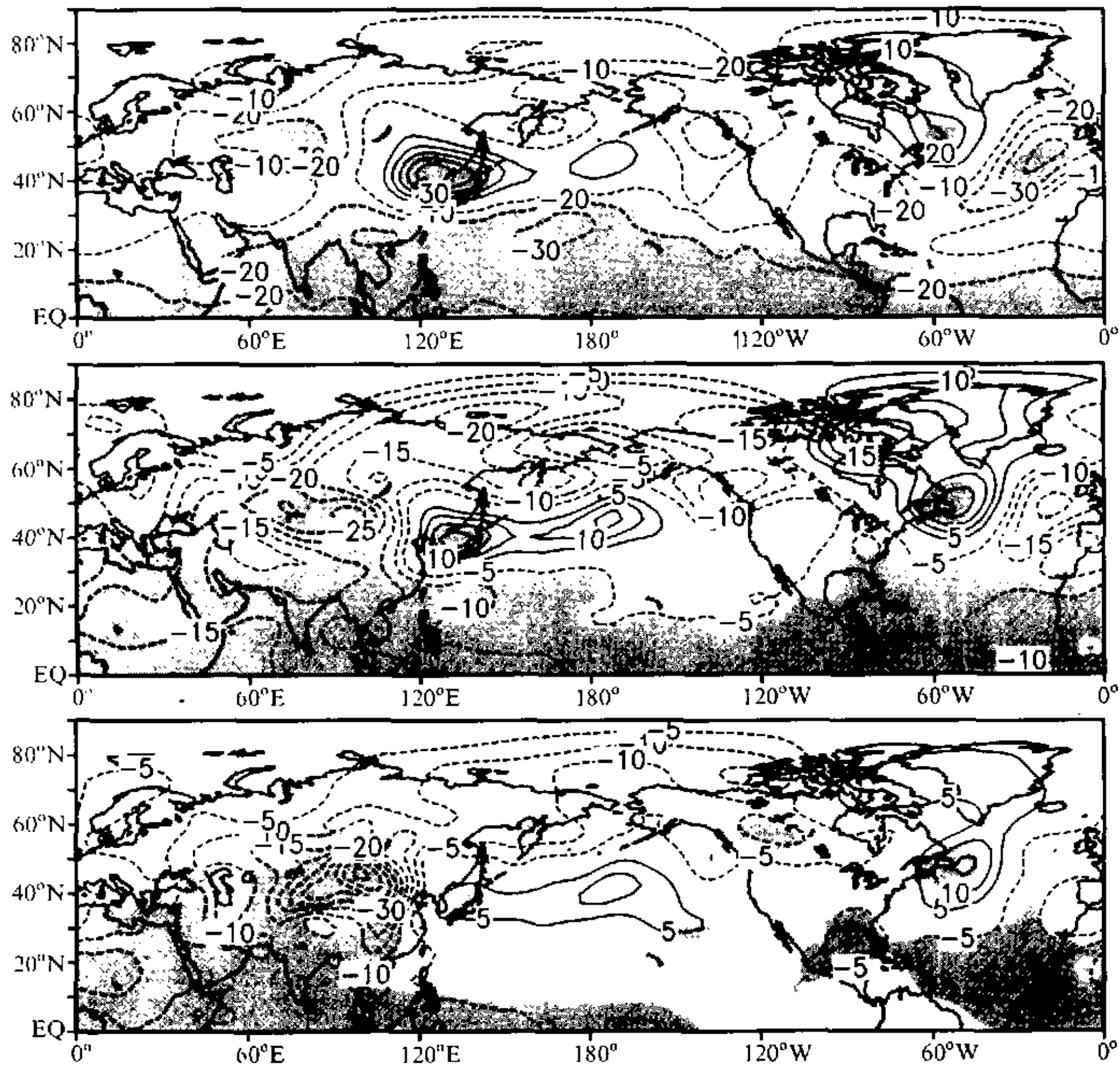


图7 利用图1所分出的13个涝年和13个旱年进行合成,从而得到的等压面上位势高度的差值(单位:m) 零线被略去,200 hPa上等值线间隔为10,500 hPa和850 hPa上等值线间距为5, 图中的阴影区表示利用Student *t* 检验超过95%信号度的区域 (a) 200 hPa; (b) 500 hPa; (c) 850 hPa

这两种时间尺度变化所对应的大气环流异常进行了分析。然而,正如在引言中所指出的那样,华北汛期降水量变化中年际和年代际时间尺度混在一起,因而在第4节对华北降水年际变化进行分析时,实际上并没有能够分离出年际变化并真正对年际变化进行分析,其中还混杂了年代际变化的特征。事实上,我们在第4节已经看到年际时间尺度对应的大气环流异常与年代际时间尺度对应的大气环流异常存在着相当的相似性,即在第4节和第3节里分析出的大气环流异常之间也存在着相当的相似性。

气候系统中多种时间尺度相互交织在一起,而且往往还存在着相互作用。对亚洲季风而言,一些研究^[14,15]指出季内时间尺度上的变化和年际时间尺度上的变化之间存在着一致性,这大概是因为亚洲季风系统的年际变化大都是与季节推移之早晚有密切关系之

故。如果在某一年份夏季风在亚洲季风区的某一区域里的过程较快（这自然与季内时间尺度上的变化密切相关），那么在该年份的雨季降水很可能也较少，自然也就影响到年际时间尺度上的变化。

然而，亚洲季风，包括东亚季风，在年际和年代际时间尺度之间却尚未发现能够使两者联系在一起的物理因素或物理过程。为了弄清影响华北汛期降水年际变化和年代际变化各自的物理机制，有必要将两者分离开来，并讨论除去年代际之后的年际变化对应

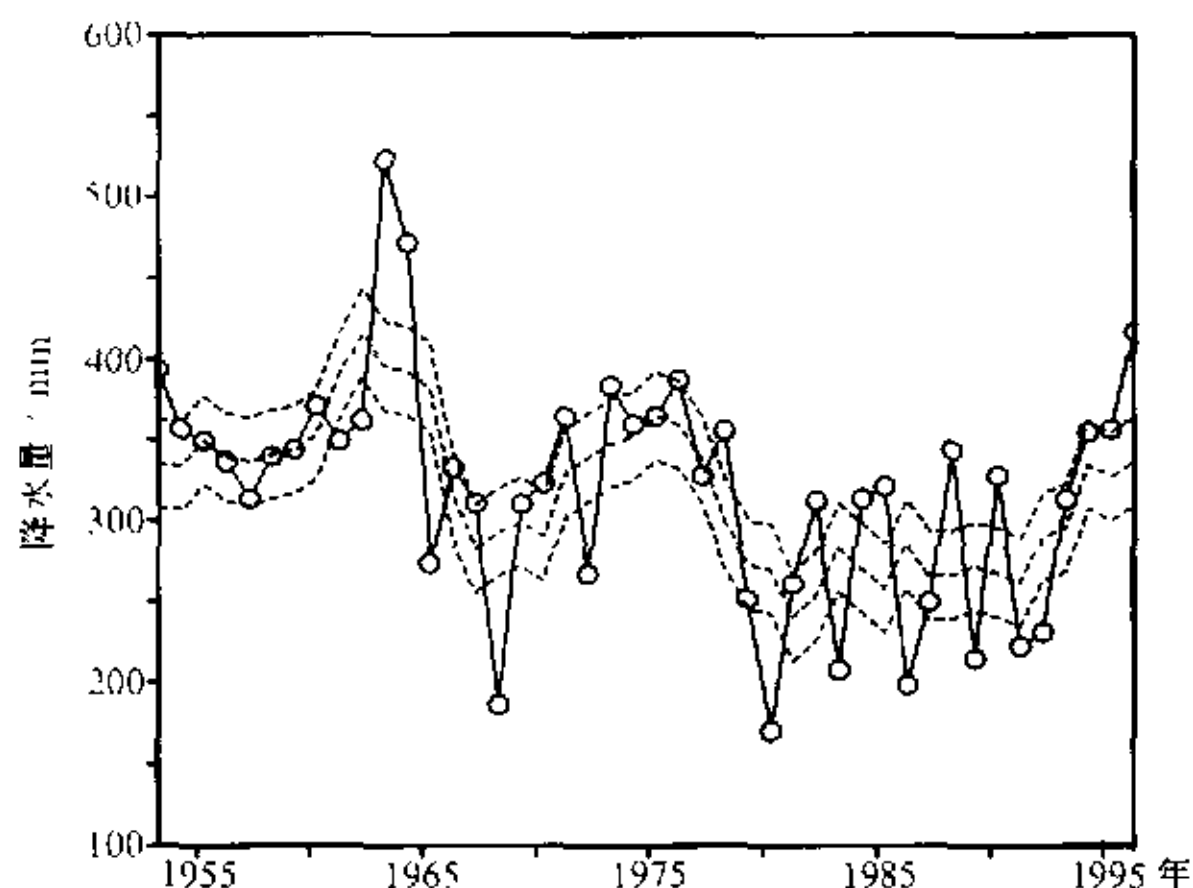


图 8 1953 年到 1996 年华北汛期（7 月和 8 月）降水量的变化
图中 3 条曲线中间的一条为 5 年滑动平均曲线，上下两条曲线分别为超出或低于滑动平均值半个标准偏差的线，这里的标准偏差为每年汛期降水量减去滑动平均后计算出来的

的大气环流异常。

为除去华北汛期降水的年代际变化，将图 6 中汛期降水量进行 5 年滑动平均，从而得到图 8。同图 6 一样，在图 8 中同时还标出了超过或低于滑动平均值半个标准偏差的两条线，只是这里的标准偏差为去掉滑动平均后计算出来的。我们认为中间的 5 年滑动平均代表华北汛期降水的年代际变化。这上下两条线是为了选取合成分析时的个例而给出的。

将 5 年滑动平均以后的华北汛期降水变化当作年代际变化，并将超出或低于这个年代际变化的量当作年际变化。于是，利用图 8，超

出半个标准偏差的年份有如下 14 年：1963、1964、1970、1971、1973、1976、1978、1982、1984、1985、1988、1990、1995、1996 年；低于半个标准偏差的年份有如下 11 年：1961、1962、1965、1968、1972、1980、1983、1986、1989、1991、1992 年。1958 年以前的年份没有被列入。利用这 14 个涝年和 11 个旱年对大气环流异常进行合成分析。首先给出 200、500、850 hPa 位势高度在涝年和旱年之间的差值（图 9），从中可以看到在东亚地区具有统计信度的差值大致是位于朝鲜半岛附近的正异常，这个正异常区正好位于汛期西太平洋副热带高压的北端，因而意味着西太平洋副高偏北，这与以前的研究^[9,10]结果一致。然而，需要指出的是，该正异常的强度非常弱，具有统计信度的区域也非常小，尤其是在副高具有稳定形态的 850 hPa 等压面上更是如此。因而，虽然华北汛期降水可能与副高有联系，但这种联系的程度是相当弱的，或者说在某些年份可能有较好的对应，但在另一些年份可能没有对应关系。同样，虽然在俄罗斯东部有负位势高度差值，意味着在旱年该地区发生和维持阻塞高压的可能性较大，与以前的研究结果^[9]一致，但是这个差值却没有达到统计信度，这说明，同副高对华北汛期降水的影响一样，阻塞高压对华北汛期降水的影响也是时有时无，难以做出概括性的结论。

在西半球，北美大陆纽芬兰岛上空存在位势高度的正异常，在其南部为负异常。有趣的是，所讨论的整个北半球位势高度差值分布特征均出现在图 7 中。前面的分析已经

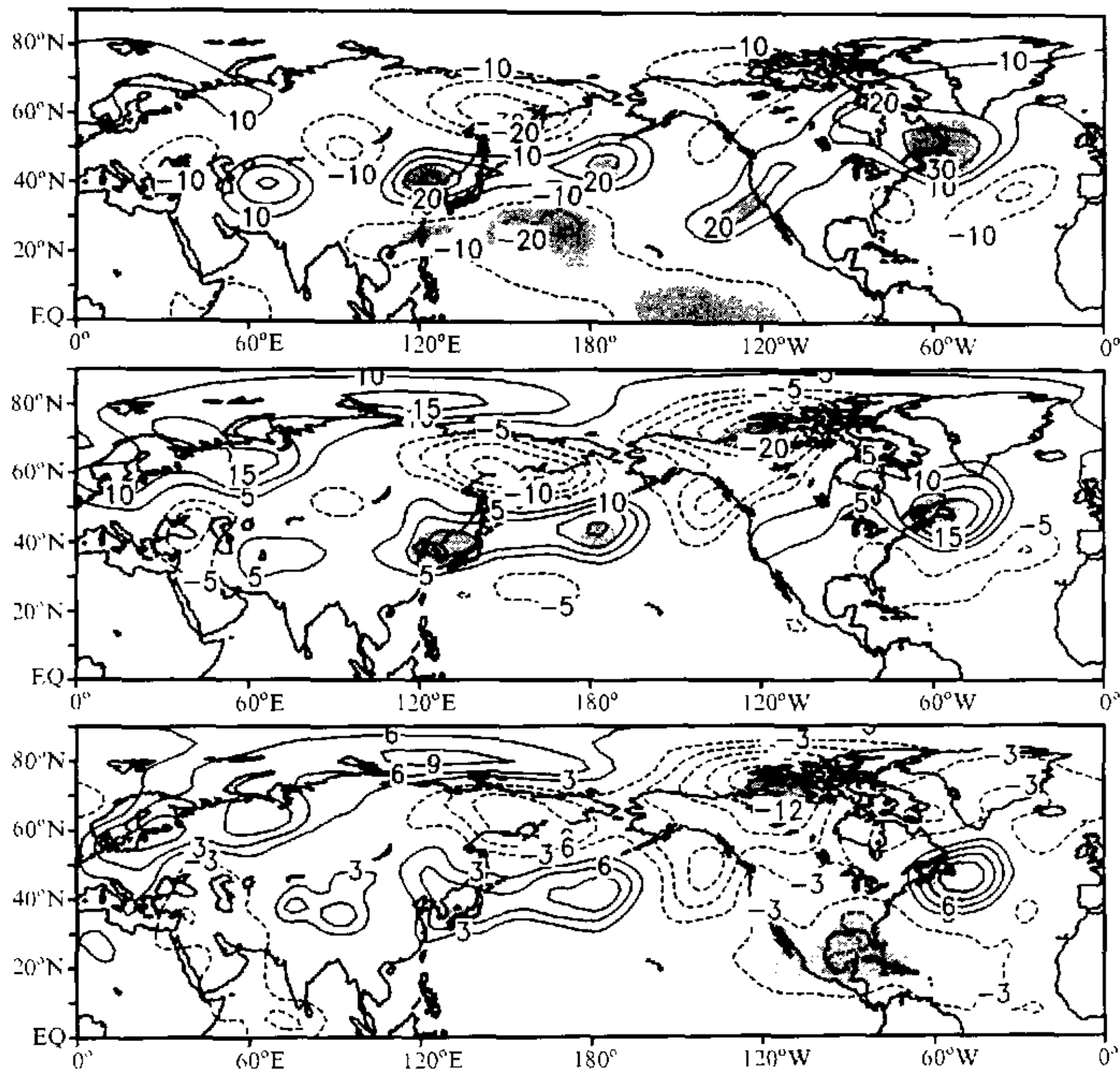


图9 位势高度在涝年和早年之间的差值(单位: m, 零线被略去)

阴影区表示利用 Student *t* 检验信度超过 95% 的区域

(a) 200 hPa, 等值线间隔: 10; (b) 500 hPa, 等值线间隔: 5; (c) 850 hPa, 等值线间隔: 3

注意: 这里的涝年和早年是指数降水年代际变化之后选出的, 与图 6 中的涝年和早年不同, 参见文中说明

表明, 与华北降水年代际变化相关联的位势高度异常也出现在图 7 中。因而, 如果不去除年代际变化, 而简单地进行年际变化方面的分析, 那么其中将同时含有这两种不同的时间尺度变化, 对降水量变化是如此, 对与这相关联的大气环流异常也是如此。

与位势高度异常相对应纬向风场的差值(图 10)在东亚地区再现北正南负的分布, 意味着涝年东亚地区上空的急流位置偏北。此外, 比较 200、500、850 hPa 3 个等压面上纬向风差值的情况, 可以发现随高度增加, 达到统计信度的区域变大。这些现象说明与华北汛期降水年际变化相关联的大气环流异常似乎更为主要地表现在对流层的中、上层, 正好和与年代际变化相关联的大气环流异常相反。经向风的差值基本上没有达到统计信度, 这里不作说明。



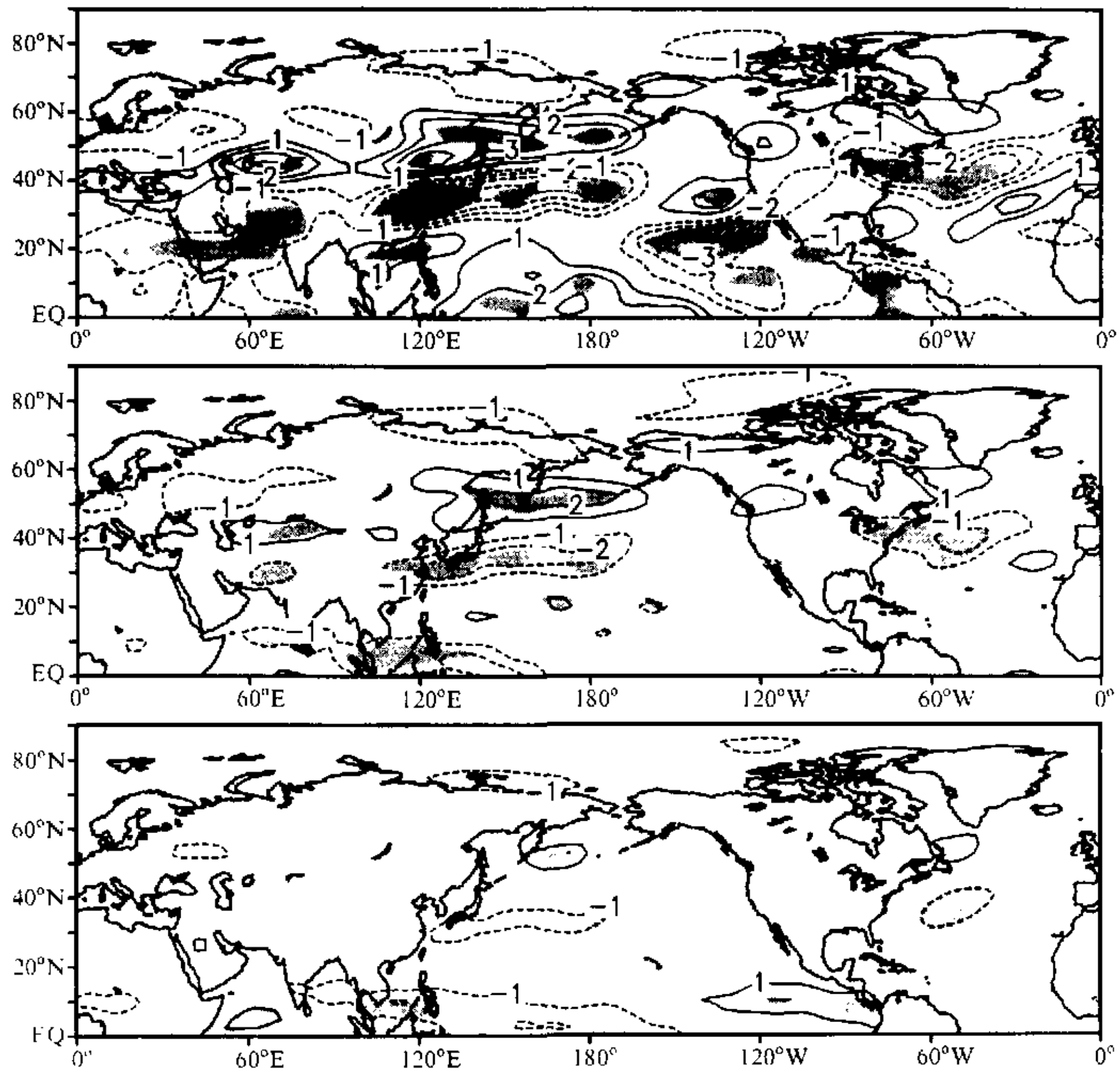


图 10 等压面上纬向风速在涝年和旱年之间的差值 (单位: m s^{-1})
 阴影区表示利用 Student t 检验信度超过 95% 的区域, 具体分析方法同图 9
 (a) 200 hPa; (b) 500 hPa; (c) 850 hPa

6 结论与讨论

本研究将华北汛期 (7 月和 8 月) 降水量变化中的年际和年代际两种时间尺度进行分离, 并利用再分析资料对与这两种不同时间尺度变化相关联的大气环流异常进行了分析。

经过 5 年滑动平均, 大致可以把华北汛期降水在年代际时间尺度上分成 3 个时期, 即涝期 (1958~1964 年)、平均期 (1965~1979 年) 和旱期 (1980~1997 年)。这里由于所采用大气环流资料的时间长度 (1958~1997 年), 没有考虑 1958 年以前的情况。另外, 虽然在 20 世纪 90 年代上半段降水稍有回升, 但结合大气环流异常型的变化特征 (具体见第 3 节说明), 并考虑到 90 年代下半段华北地区发生干旱的事实, 我们将旱期

定为 1980 到 1997 年。

与华北汛期降水的年代际变化相关联的大气环流异常主要表现在我国东部地区出现明显的南北风异常, 涝期为南风异常, 旱期为北风异常。同时, 位势高度在亚洲大陆上空为显著的负差值(涝期平均减去旱期平均)。大气环流的上述变化与华北汛期降水的年代际变化相当一致, 特别是 1965 年左右和 20 世纪 70 年代下半段降水的两次明显减少均很好地对应着大气环流的急剧改变。此外, 本文的分析结果说明与华北降水年代际变化相关联的大气环流异常更为主要地表现在对流层的中、下层。

在 20 世纪 70 年代下半段, 全球大气环流有过一次突然的变化, 东亚夏季风相应地也有明显的转变^[16]。作为华北地区降水量的年代际变化的一种可能原因, 华北地区降水量的年代际变化与全球大气环流之间的关系值得作进一步的研究。

若对这两种时间尺度不进行分离, 而简单地分析与年际变化相关联的大气环流异常时, 所得到的分析结果中既包含与华北降水年代际变化相关联的大气环流异常, 又包含与去除年代际变化后的年际变化相关联的大气环流异常。与除去年代际变化后的华北汛期降水年际变化相关联的大气环流更为主要地表现在对流层的中、上层, 位势高度在涝年和旱年之间的差别在东亚上空为一弱的正值。与之相对应, 纬向风在东亚上空为北正南负的异常分布, 意味着急流在涝年位置偏北。

如果不将年际和年代际这两种时间尺度进行分离, 而简单地分析与华北汛期降水的年际变化相关联的大气环流异常, 那么因华北降水存在明显的年代际变化, 从而难以或不能得到真正属于年际变化的结果。进行分离的好处在于可以使我们更清楚地认识控制或影响各个时间尺度的物理因素。

从本文分析得到的结果看, 与华北汛期降水的年代际变化相关联的大气环流异常比较清晰、简单, 而与年际变化相关的大气环流异常却比较杂乱而复杂。在年际变化时间尺度上, 一方面, 有一些达到统计信度的大气环流异常, 如高空急流和副热带高压的异常; 另一方面, 还有一些没有达到统计信度的大气环流异常, 如东北亚上空的位势高度异常。副高虽然与华北汛期降水的年际变化关系不密切(图 9、图 10), 但这绝不是说副高与华北汛期降水没有关系, 实际上, 在季内时间尺度上, 副高对华北降水具有明显的影响。此外, 还有一点需要说明的是, 虽然本文的结果表明与华北降水年际变化相关联的位势高度异常在东北亚没有达到统计信度, 但还不能严格说明东北亚阻高与华北降水的年际变化之间没有确定的关系, 因为位势高度异常和阻高之间尚存在一些区别。

致谢: 审稿人和编辑指出了原稿中存在的不少错误。审稿人还提出了很好的进一步研究建议。作者在此表示感谢。

参 考 文 献

- 1 宫德吉, 华北干旱和半干旱地区的水环境现状和水资源应用问题, 气候与环境研究, 1997, 2, 193~198.
- 2 黄荣辉, 徐予红, 周连童, 我国夏季降水的年代际变化及华北干旱化趋势, 高原气象, 1999, 18, 456~476.
- 3 张庆云, 1880年以来华北降水及水资源的变化, 高原气象, 1999, 18, 486~495.
- 4 严中伟, 季劲钧, 叶笃正, 60年代北半球夏季气候跃变—I降水和温度变化, 中国科学B辑, 1990, 97~103.
- 5 严中伟, 季劲钧, 叶笃正, 60年代北半球夏季气候跃变—II海平面气压和500 hPa高度变化, 中国科学B辑,

- 1990, 879~885.
- 6 黄刚, 从区域和全球观点来看东亚夏季风的南北活动异常, 中国科学院大气物理研究所博士论文, 1999.
 - 7 李崇银、廖清海, 东亚和西北太平洋地区气候的准十年尺度振荡及其可能机制, 气候与环境研究, 1996, 1, 124~133.
 - 8 武炳义、黄荣辉、高登义, 冬季北极海冰长期变化对华北降水的可能影响, 高原气象, 1999, 18, 590~594.
 - 9 毕慕莹, 近40年来华北干旱的特点及其成因, 旱涝气候研究进展, 叶笃正、黄荣辉主编, 北京: 气象出版社, 1990, 23~32.
 - 10 赵声蓉、宋正山, 华北汛期旱涝与中高纬大气环流异常, 高原气象, 1999, 18, 535~540.
 - 11 谢庄、崔继良、刘海涛、赵思雄、孙建华、陈红、曾庆存, 华北和北京的酷暑天气 1. 历史概况及个例分析, 气候与环境研究, 1999, 4, 323~333.
 - 12 孙建华、陈红、赵思雄、曾庆存、谢庄、崔继良、刘海涛, 华北和北京的酷暑天气 2. 模拟试验和机理分析, 气候与环境研究, 1999, 4, 334~345.
 - 13 陆日宇, 华北夏季不同月份降水的年代际变化, 高原气象, 1999, 18, 509~519.
 - 14 Ferranti, L., J. M. Slingo, T. N. Palmer and B. J. Hoskins, Relations between interannual and intraseasonal monsoon variability as diagnosed from AMIP integrations, *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 1997, 123, 1323~1357.
 - 15 Sperber, K. R., J. M. Slingo and H. Annamalai, Predictability and the relationship between subseasonal and interannual variability during the Asian summer monsoon, *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 2000, 126, 2545~2574.
 - 16 Wang, Huijun, The weakening of the Asian monsoon circulation after the end of 1970's, *Adv. Atmos. Sci.*, 2001, 18, 376~386.

Separation of Interannual and Interdecadal Variations of Rainfall in North China

Lu Riyu

(Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029)

Abstract The precipitations in North China in rainy seasons (July and August, or JA) show variation characteristics both on interannual and interdecadal scales. In this study, these two time scales are separated by: considering five-year running mean of JA precipitations as interdecadal variations, and considering the difference between JA precipitations and the interdecadal variations as interannual variations. After the separation, analyses are performed by use of NCAR/NCEP reanalysis data on respective atmospheric circulation anomalies associated with these two time scales. The great differences between these two kinds of associations suggest the different physical mechanisms for interannual and interdecadal variations of JA rainfall in North China. The atmospheric circulation associations on interdecadal scale include the remarkable anomalies of the meridional velocity over the eastern part of China and geopotential heights over the Asian continent. The associations on the interannual scale by a routine composite method without the separation exhibit the mixed characteristics of two types of atmospheric circulation anomalies associated with the separated time scales. The atmospheric circulation associations on the interannual scale, after removing the interdecadal scale, include the anomalies of geopotential heights and zonal velocities over East Asia, indicating the poleward displacement of the upper-level jet during flood summers.

Key words: precipitation; North China; interdecadal variation; interannual variation; atmospheric circulation anomaly