

黄河与长江流域近期大旱、大涝成因的初步分析*

李月洪 刘永强

(中国气象科学研究院, 北京 100081)

提 要

采用 ECMWF 的格点资料, 对1983、1986和1991年夏季华北干旱和长江中下游洪涝事件的特征和物理成因进行了初步分析。发现了两种异常的大尺度位涡型。一种称之为“阻塞型”(1986年), 另一种称之为“冷涡型”(1983、1991年)。同时指出, 干旱期间和洪涝期间两种类型的水汽输送和大气视热源分布特征有较明显的差异。

关键词: 干旱 洪涝 物理成因

前 言

近十多年来, 大范围的气候异常时而出现, 严重的干旱、洪涝灾害等频繁发生。我国黄河、长江中下游地区在80年代以来也出现了严重或较严重的干旱、洪涝, 给我国的工农业生产和人民生活带来了极大危害。

目前, 人们对旱涝问题的认识不断在深化, 并已取得一定的进展。如对制约我国各地区旱涝的大气活动中心 and 主要环流系统及其活动规律有进一步认识。发现高纬度的极涡、中纬度的阻塞高压和西风带、西太平洋副热带高压以及印度季风和东亚季风系统等因子都是影响我国旱涝的主要天气系统^[1-4]。

本文试图通过资料分析, 讨论1983、1991和1986年夏季典型的长江中下游洪涝、华北干旱期间的位涡场、水汽输送和大尺度视热源(汇)的特征, 进行剖析和对比, 进而揭示大范围旱涝形成的可能物理原因, 并为其预测提供依据。

1 资料和方法

本文采用1983、1986和1991年6月1日到9月30日欧洲中期天气预报中心的逐日

12GMT 的格点资料。其气象要素为7个等压面上的风速、温度和相对湿度等, 计算公式^[5]如下:

1.1 位涡公式

$$P = (\eta + \frac{\partial V}{\partial p} \wedge \nabla \theta_{se}) \Gamma$$

其中, η 为绝对涡度, V 为风矢量, θ_{se} 为假相当位温, Γ 为静力稳定度, P 为位涡。

1.2 大气水汽收支方程

$$\frac{\partial q}{\partial t} + \nabla \cdot \vec{V}q + \frac{\partial \omega q}{\partial p} = -m$$

式中, 第一项为局地项 q_t , 第二项为水平通量散度项 q_H , 第三项为垂直通量散度项 q_v , 右边一项为水汽净凝结率。

1.3 大气视热源(汇)公式

$$Q_1 = \frac{\partial s}{\partial t} + \nabla \cdot s\vec{V} + \frac{\partial \omega s}{\partial p}$$

$$Q_2 = (\frac{\partial q}{\partial t} + \nabla \cdot q\vec{V} + \omega \frac{\partial q}{\partial p}) \times (-L)$$

其中, $s = C_p T + gz$ 为干静力能量, ω 为 p 坐标的垂直速度, V 为风矢量, Q_1 为大气视热源, Q_2 为大气视水汽汇。

* 本工作是国家气象局“八五”重点课题支持的。

2 位涡场

图1是1986年6—9月850hPa位涡场。从图中可以看出,6月在30°N以北,110°—115°E的地区为低位涡区,且在35°N附近有一个切断的低位涡中心。这个低位涡单体一直持续到7月,并有所加强,同时东、西两侧以及南部分别为高位涡区,并维持稳定状态,呈现出北低南高的月平均位涡分布,从而形成与气候平均相反的梯度,可以称它为“阻塞型”。8月,

35°N附近的切断低位涡中心已经消失。但是,30°N以南的低位涡明显向北伸展,东侧的高位涡区有所减弱。9月,南部的低位涡区进一步北抬,此时的阻塞形势已经崩溃。从上述位涡分布表明,1986年夏季华北干旱区上,有大量低位涡的空气从热带向北输送,并被切断,停留在北方的阻塞区内。这意味着阻塞区是一个暖性高压脊区。文献[6]指出,东亚阻高过程,最活跃年份之一是1986年。

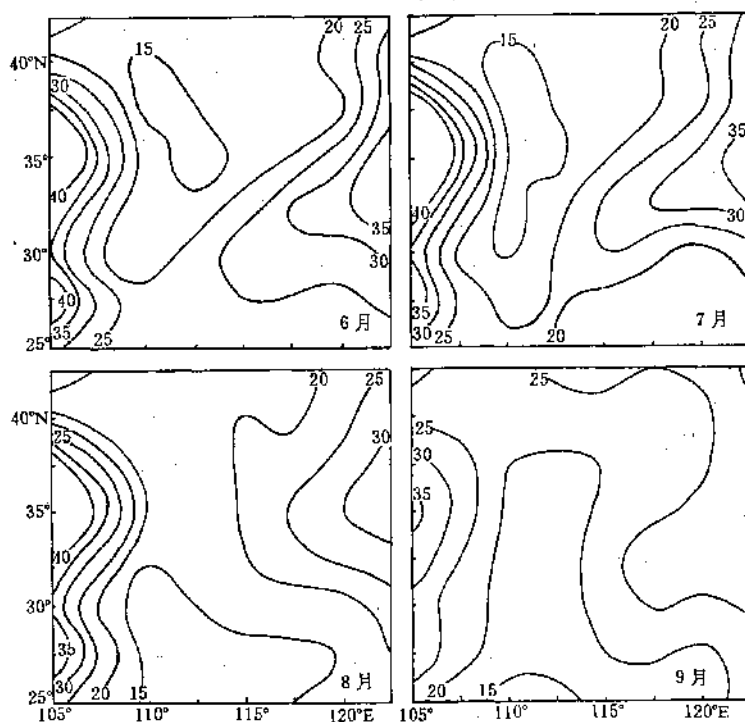


图1 1986年6—9月850hPa位涡/ $10^{-6} \text{km}^2 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-1}$ 场

图2给出1983年6—9月850hPa位涡场。由图2可见,6月份在35°N以北为一高位涡区,其南部为低位涡区。7—8月,35°N以南的低位涡区的范围有所增大。9月份高位涡区明显北缩。由此可见,大量的高位涡的空气从东西伯利亚经我国北方向偏南方向伸展,与来自低纬度的低位涡暖空气交绥,以维持这种

大尺度的月平均位涡场状况,可称之为“冷涡型”。

同样地,从1991年6—9月850hPa位涡场(图略)上可知,6—8月在蒙古西部和东西伯利亚地区分别为高位涡中心区,其中以7月份的强度最大,到9月已逐渐消失。从上述月平均位涡场分布形势可知,6—8月有大量的高

位涡的冷空气分别沿着东北和西北两条路径南侵并与来自热带的低位涡的暖空气在我国长江中下游附近地区汇合和持续。由此可知, 1991年6—7月平均位涡场的分布形势与1983

年十分相似,也就是说,1983年和1991年夏季位涡场的型式是同一类的,归属于“冷涡型”。这种型式是长江中下游地区维持较强降水过程的异常大尺度环流背景之一。

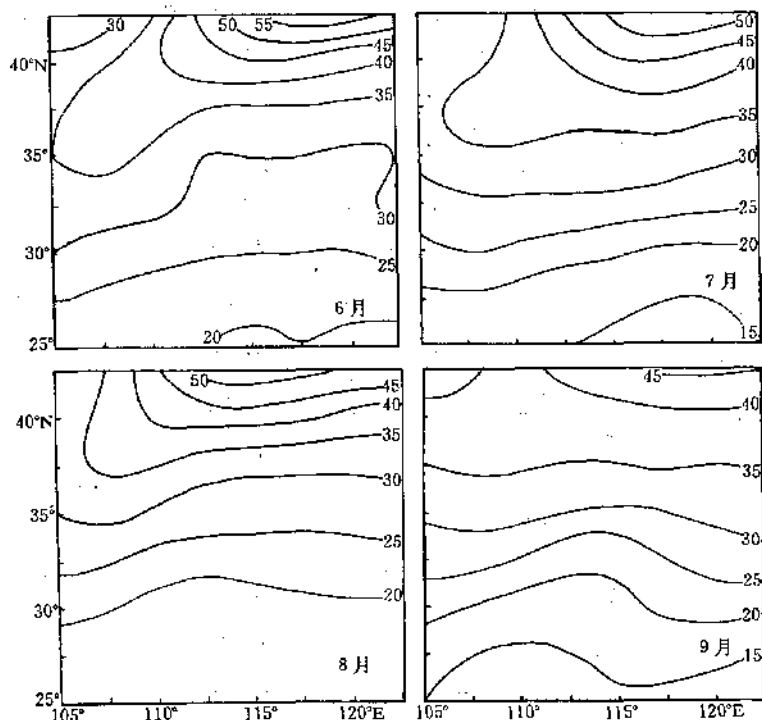


图2 1983年6—9月850hPa 位涡/ $10^{-8}\text{km}^2 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-1}$ 场

综上所述,1986、1983和1991年夏季月平均位涡场的类型,可划分为“阻塞型”和“冷涡型”两种。就阻塞型而言,1986年夏季阻塞形势的维持是由于贝加尔湖以东和东西伯利亚地区的高位涡空气一次次加强向偏南方向伸展,同时低纬度的低位涡空气不断地向北输送到阻塞区内,从而阻塞系统得以长期维持。它的存在常伴随着我国大范围的异常天气,是黄河中下游夏季干旱的典型天气气候型之一。1983和1991年长江中下游地区夏季发生大范围持久的洪涝现象,其位涡场的形势必定产生异常的特征。此时,在蒙古西部和东西伯利亚附近的高位涡区出现持续性稳定特征,这意味着该期间北方的高位涡冷空气不

断南侵,与北推的低位涡的暖空气在长江中下游地区附近交汇。这类“冷涡型”位涡场的出现,无疑是长江中下游地区发生洪涝现象的一种异常的大尺度位涡型。由此可推知,我国东部地区的大旱、大涝与位涡场形势分布异常有一定的关联。

3 大气水汽的收支

计算结果表明,在大气水汽收支方程中,水汽局地变化项较小,故这里主要讨论阻塞型和冷涡型内大旱、大涝期间的水汽水平、垂直通量散度的垂直结构。

图3是水汽水平通量散度项(q_H)的垂直廓线。从图中可见,在阻塞型的干旱期间

(1986年7—8月), 对流层中下层内(850—500hPa) q_H 值均为正值, 这表明该期间的水汽水平输送的主要特征是以辐散为主, 且持续时间达4个月之久。其中7月份的水汽水平输送的最大辐散层在500—700hPa 厚度层, 随着时间的推移, 最大的水汽辐散层次逐渐降低, 至9月最大的辐散层竟在1000hPa 附近。这种垂直结构易造成该地区上大气水分供给不足。另外, 从图3的下方可见, 在冷涡型

的大涝期间(1983、1991年6—7月)水汽水平辐合层主要在对流层中下层(500—850hPa), 最大辐合层在700—500hPa 层内, 尤为突出的是6月份(1983年)水汽水平输送的最大辐合层在对流层低层850hPa 附近, 这与大暴雨集中时段内低空常伴随水汽水平辐合的事实十分吻合。从而表明洪涝区上的低空水汽水平输送的辐合作用是不可忽视的。

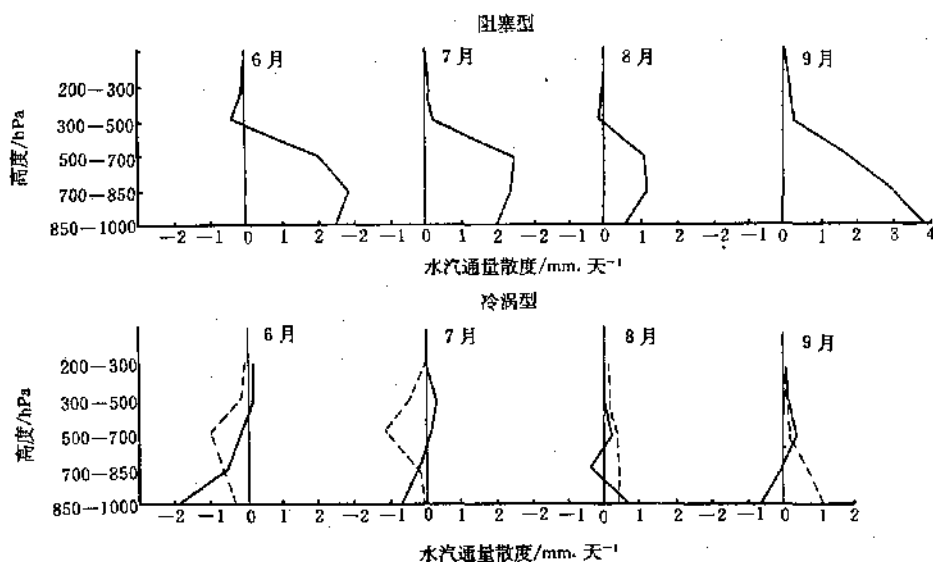


图3 水汽水平通量散度项的垂直廓线
冷涡型实线为1983年, 虚线为1991年

从水汽垂直通量散度的垂直廓线上也可知(图略), 阻塞型的干旱期间水汽垂直输送在对流层中低层为辐合, 中高层则以辐散为主, 最大的水汽辐散层在300—500hPa 层内, 尤以7月份更为明显。同时, 还可知在冷涡型的大涝期间水汽垂直辐合层厚度较厚, 主要在大气中上层(500—300hPa), 其中下层以辐散为主。

同时, 本文还计算了不同厚度层内水汽垂直通量散度与水平通量散度之和 q_v 的水平分布(图略)。这里附带说明一下, 由于水汽局地变化项 q_v 较小, 所以 q_v 可近似反映水汽

净凝结率 m 。分析指出, 在阻塞型内黄河中下游地区无论是在大气低层(850—700hPa)还是在中层(700—500hPa), 大气总的水汽的净输送(或近似地, 大气中水汽净凝结率)均以辐散为主, 且量值较大, 尤以8月更为显著; 而在冷涡型内长江中下游大部分地区在低层以辐散为主, 到中层为辐合, 其中以6月份的水汽辐合区尤为明显。由上可知, 无论是阻塞型或是冷涡型内大气总的水汽净输送的水平分布与它们的水汽垂直输送具有类似的特征。

4 大气视热源(汇)

由图4可看到阻塞型的干旱区上,7、8月大气视热源(Q_1)的垂直分布有一个较显著的特征,即 Q_1 除近低层以外,其它各层均为负值,这表明大气对流层中以热汇为主。 Q_2 在大气中上层基本上也是负值,可以看出该区上几乎没有凝结过程,而是以蒸发冷却为主,缺

乏水汽源($Q_2 < 0$)。这正好反映出该地区干旱的主要特点。

从图4下方还可见,冷涡型的洪涝区上空,6—7月 Q_1 和 Q_2 的垂直分布廓线比较相似,只是两者的峰值高度不同而已, Q_2 最大值出现在700hPa上,而 Q_1 最大值在500—300hPa之间, Q_1 、 Q_2 峰值层有差异,说明这个地区热源主要由积云对流潜热释放形成^[7]。

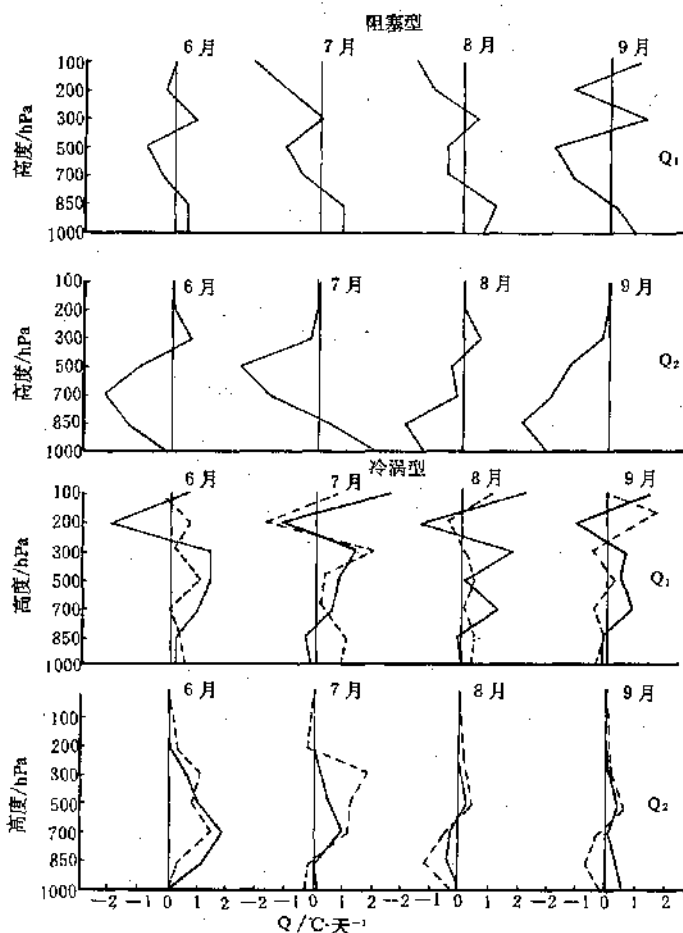


图4 Q_1 和 Q_2 的垂直分布
冷涡型实线为1983年,虚线为1991年

由上可知,对于大尺度的视热源(Q_1)来说,在阻塞型的干旱区和冷涡型的洪涝区上有较明显的差异,前者整层的对流层中大体上以大气热汇为主,后者则相反。同样,对于

大尺度潜热源(Q_2)来说,干旱区上 Q_2 的垂直廓线分布几乎近于零或为较大的负值,而在洪涝区上 Q_2 基本上为正值,表现为大气以热源为主。

5 旱涝维持过程的可能原因

从前面的分析结果可知,阻塞型的干旱期黄河中下游对流层大气中基本上为热汇。而冷涡型的夏季长江中下游洪涝区上基本上为大气视热源区。

如在热力学方程中,忽略温度局地变化项,则方程可简写成

$$V \cdot \nabla T + \omega(\gamma_d - \gamma) \simeq Q$$

方程左端的第一、二项分别为温度平流项和绝热项,右端为非绝热项,在本例情况下,主要代表辐射冷却。

从阻塞型的干旱区上逐候的温度平流项和垂直速度的时间-高度廓线(图略)中可知,在干旱期间(7—8月)对流层内基本上为冷平流($V \cdot \nabla T > 0$),但其范围和量值均比前期(6月)有所增强。其强中心位于500hPa附近,8月第三候到9月第一候冷平流的高度可高达300hPa附近。这种增强的冷平流的直接结果将使下沉运动增强。同时,还可知在干旱期(7—8月)逐候的垂直速度是下沉的($\omega > 0$),其中8月第三候至9月第一候下沉气流的厚度较厚,恰好与冷平流所导致的下沉气流相叠加,从而可抑制云和降水的发展。反过来它们又可进一步加强辐射冷却,使该地区维持干旱天气过程。

还需强调指出,干旱区上水汽垂直输送与大气运动场之间有一定的联系。从前面的计算结果可知,干旱区上对流层中高层的水汽垂直通量辐合很小;水汽水平辐合层较浅薄。同时,从垂直速度和散度的月平均垂直分布(图略)中可知,干旱期间运动场上的特征是最大的气流辐合出现在近地面,随着高度的增加,辐合强度逐渐减小,在500—300hPa之间出现气流辐散;气流下沉运动($\omega > 0$)从地面到500hPa迅速增加,然后垂直运动速度量值略为减小,到200hPa上又出现次极大值。由上可知,干旱期间大气中高层的下沉运动和气流辐散恰好同水汽水平输送的强辐散

层相吻合,这种配置关系对降水的形成产生了极为不利的影响。由此可知,水汽供应的条件是决定干旱的重要因子之一,而这又取决于大尺度环流的配置和条件。同样地,冷涡型的洪涝区上的情况则相反,这里就不再赘述。

6 结论

通过上述分析,大体可以得到以下几点结论:

6.1 存在着不同的大尺度位涡型。一种称之为“阻塞型”(1986年),即在华北地区为一低位涡中心,其东、西两侧和南部分别为高位涡区,并维持稳定状态,即在我国东部为一偶极型位涡场。另一种称之为“冷涡型”(1983年、1991年),即在东西伯利亚和贝加尔湖以东地区分别为一高位涡区,华北地区在涡后冷空气控制之下,中高纬的高位涡冷空气向南伸展,至长江中下游地区与来自低纬度的低位涡暖空气交汇。

6.2 无论哪一种异常型,洪涝区和干旱区上水汽输送都存在差异。在洪涝区上约600hPa层以下水汽输送基本上以辐散为主,其上为辐合。而在干旱区上中高层水汽垂直输送为辐散或弱的辐合。同时还指出它们与运动场上的垂直速度和气流辐合(散)的配置对该区域上的降水多(寡)有一定的影响。

6.3 阻塞型的干旱区上,大气中存在着较深厚的冷却(热汇),这主要是由辐射冷却,且主要由长波辐射冷却造成的。同时还指出,该区对流层内有较明显的冷平流,其结果将使下沉运动增强。再加之与水汽辐散区和动力场上的下沉气流相互配置,从而抑制云和降水的形成和发展。反过来又可进一步加强辐射冷却,促使该地区维持干旱的天气过程。在冷涡型的洪涝区上的情况则相反。

参考文献

1. 李克让,徐淑英,郭其蕴,华北平原旱涝气候,北京:科学出版社,1989.

- 2 赵宗慈. 黄河流域旱涝物理成因模拟与分析. 应用气象学报, 1990, 1(4): 415—421.
- 3 Liu Yongqiang, Ding Yihui, Li Yuehong. Transport of water vapor over North China during the drought period in summer of 1986. Atmos. Sci., 1992, 9(2): 213—222.
- 4 李月洪, 刘永强, 丁一汇. 1980年黄河中下游干旱期的热源和热汇的诊断分析. 应用气象学报, 1992, 3(3), 增刊: 91—99.
- 5 丁一汇编著. 天气动力学中的诊断分析方法. 北京: 科学出版社, 1989.
- 6 晁淑懿等. 东亚阻高与我国夏季暴雨. 气象, 1991, 17(6): 12—16.
- 7 王向东, 罗四维. 1979年5—7月青藏高原及其附近地区热源与水汽的诊断分析. 高原气象, 1989, 8(1): 13—26.

An Analysis on the Causes of the Typical Drought/ Flood over the Valleys of the Yellow and the Changjiang Rivers during the Last Decades

Li Yuehong Liu Yongqiang

(Chinese Academy of Meteorological Science, Beijing 100081)

Abstract

Based on the ECMWF data in summers of 1983, 1986 and 1991, authors diagnostically analyze the features and physical causes of drought events over North China and flood events over the mid-low reaches of the Changjiang River. The results show that two patterns of the potential vorticity field exist. One can be called "the blocking pattern" (1986), the other is "cold vortex pattern" (1983 and 1991). In addition, it is obvious that the features of water vapor transport and apparent heat sources of atmosphere vary during the different drought/flood periods.

Key Words: drought flood physical cause