

致洪暴雨预报模型应用研究

梁 钰¹ 布亚林² 王 蕊¹ 周康军³

(1 河南省气象局气象台, 郑州 450003; 2 河南省专业气象台, 郑州 450003; 3 黄河水利委员会, 郑州 450003)

摘要 通过普查、分析黄河花园口站洪峰流量大于等于 $4000 \text{ m}^3/\text{s}$ 的黄河中游 8 次洪水过程, 着重分析了洪水过程中小花间区域致洪暴雨发生前的天气学特征, 归纳出造成小花间洪水过程的天气形势主要有鞍型场和台风倒槽两大类型, 并建立了相应的 500、700 hPa 高度场模型和热力、水汽条件诊断模型及动力条件物理量诊断模型, 并采用相似高度进行入型判别。该预报模型在 2003 年预报业务试验中, 对黄河秋汛期间发生在小花间区域的致洪暴雨过程进行了较为成功的预报。

关键词 致洪暴雨 预报模型 相似高度 黄河秋汛

引言

黄河流域地形复杂, 尤其是位于华北平原与黄土高原交接地带的三花间区域(三门峡至郑州花园口区间, 下同), 所形成的暴雨历时短, 强度大, 历来是黄河防洪的重点。“八五”科技攻关期间符长峰、高治定等对三花间暴雨的气候特征进行了分析研究^[1], 董官臣、冶林茂等利用天气学因子, 采用逐级判别技术建立了三花间面雨量的预报方法^[2]。但是, 随着小浪底水库的投入使用和流域下垫面条件的变化, 形成降雨的气象条件已经与以往有所不同, 不同类型及落区的暴雨, 其汇流情况和洪水特性也发生了重大变化。因此, 我们有必要利用最新数值预报产品, 对小浪底水库以下的中游洪水进行致洪暴雨预报研究, 以确保下游防洪安全。

1 黄河小花间区域致洪暴雨标准

1.1 小花间区域洪水现状

2002 年汛期, 小浪底水库开始投入使用, 它有效地减轻了黄河中游防汛压力, 但对水库以下的小花间区域(指小浪底到花园口之间的区域, 包括小花间干流、伊洛河和沁河支流在内, 下同)致洪暴雨却无法进行有效控制(图 1)。加上小花间地形较为复杂, 所形成致洪暴雨的预见期较短, 现已成为威胁黄河下游防洪安全的主要灾害性天气之一。

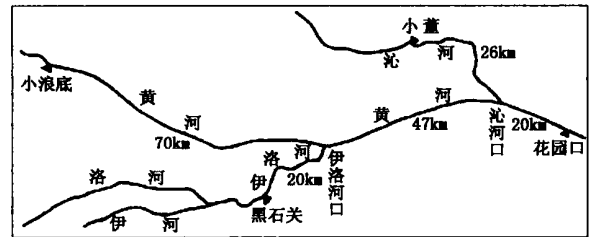


图 1 小花间区域示意图
(包括小花干流、伊洛河和沁河支流在内)

1.2 小花间区域致洪暴雨标准

气候分析^[1]表明: 黄河三花间区域无论是夏季突发性暴雨致洪, 还是秋季连阴雨致洪, 一般基础水位都不高。在小浪底水库投入应用以前, 大于等于 $4000 \text{ m}^3/\text{s}$ 的洪水, 花园口一般出现在 1~2 天日面雨量大于等于 25 mm 的大到暴雨情况下; 而在持续 2 天以上日面雨量大于等于 25 mm 的降水中, 不同程度导致致洪的占 78%。

小花间区域是黄河三花间区域的组成部分, 本文在进行小花间致洪暴雨分析时直接应用了三花间的气候分析结论。规定: 利用三角形法计算的黄河小花间 18 个气象站点 08:00~08:00 面雨量大于等于 25 mm , 则该日为小花间区域一个致洪暴雨日。

分析了 1981~2002 年 7~10 月水文资料, 确定了黄河花园口站大于等于 $4000 \text{ m}^3/\text{s}$ 的 8 次洪水过程, 计算了每次洪水开始到结束的小花间逐日面雨量, 对照

作者简介: 梁钰, 女, 1972 年生, 学士, 工程师, 从事短期天气预报工作, Email: buyalin666@sohu.com

收稿日期: 2004 年 5 月 3 日; 定稿日期: 2004 年 7 月 20 日

上述规定标准,得出小花间致洪暴雨日 37 个。

2 小花间致洪暴雨天气学和物理量诊断模型的建立

暴雨是中尺度天气系统的产物,尤其是致洪暴雨的发生和持续必须要有充足的水汽输送、持久的上升运动和不稳定的大气层结。从这些物理条件出发,分析了 8 次洪水过程的环流形势特征,并计算了暴雨开始前 08:00 的高空物理量场,对 8 次(37 个致洪暴雨日)洪水过程首先进行了高度场分型,然后对不同型下的物理量进行诊断分析,并采用合成法求取了平均场,最后归纳得出小花间致洪暴雨的预报模型。

2.1 致洪暴雨天气学模型的建立

通过对欧亚环流形势的分析,这 8 次洪水的环流特征可归纳为两大类。

一类是鞍型场型(以下简称 A 型),其 500 hPa 高度场为纬向型,700 hPa 与之相配合的是鞍型场型。此类型所造成的洪水有 5 次:1981 年 8 月 12~22 日、1981 年 9 月 1~13 日、1988 年 8 月 1~10 日、1989 年 7 月 16~26 日、1998 年 7 月 3~13 日。这

类形势下的洪水多由连阴雨组成,其特点是:洪峰较低,但历时较长,对下游有相当大的威胁。

另一类是台风倒槽型(以下简称 D 型)。受东南沿海登陆台风影响,台风倒槽深入黄河中下游,造成以小花间为主的暴雨洪水共有 3 次:1982 年 7 月 28 日至 8 月 5 日、1982 年 8 月 9~15 日、1996 年 7 月 29 日至 8 月 4 日。这类形势下的洪水多由暴雨组成,其特点是:洪峰高,历时短,对下游威胁最为严重。

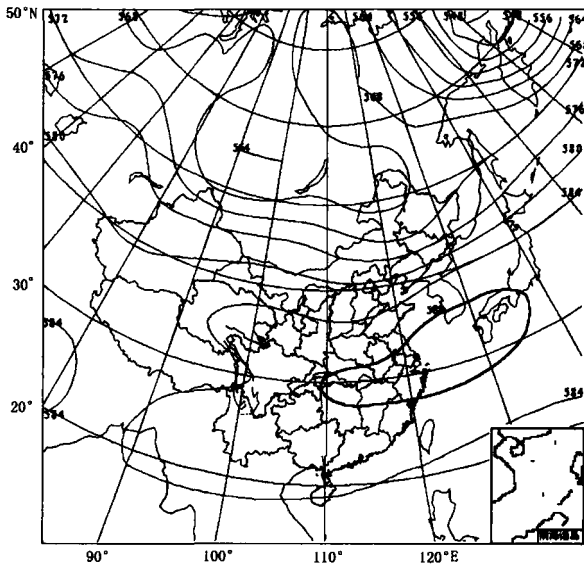
2.1.1 500 hPa 高度场模型

(1) 鞍型场型(A 型)

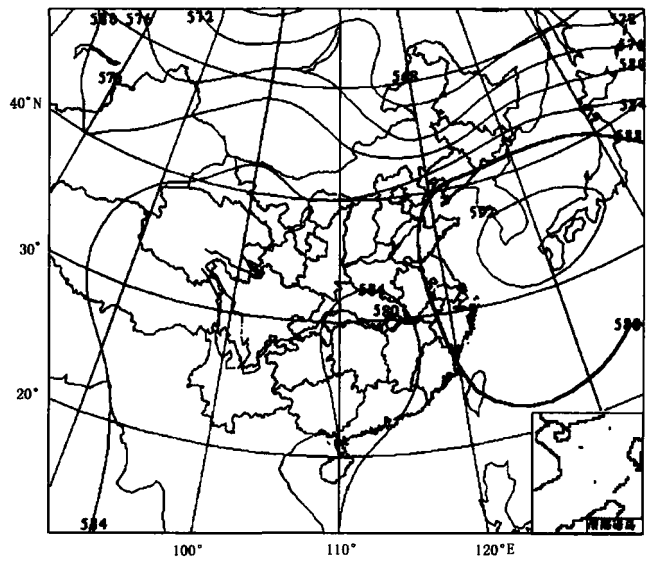
该型对应 500 hPa 形势为纬向型,其特征是:500 hPa 高度场上,584 或 588 dagpm 等值线北界位于 36°N 附近,呈纬向分布;在 80°~120°E,40°~70°N 范围内为一宽广的低值区,低值区内低槽不断分裂南下(图 2a)。

(2) 台风倒槽型(D 型)

该型的特征是:在 500 hPa 高度场上,表现为 90°~120°E 的宽广区内均为低值系统,尤其是在 36°N 以南为台风低压活动区,36°N 以北为冷空气活动区(图 2b)。



(a) 鞍型场型(A型)



(b) 台风倒槽型(D型)

图 2 500 hPa 平均环流形势场

2.1.2 700 hPa 高度场模型

(1) 鞍型场型(A 型)

其特征是:以 102°E、37°N 为坐标,将我国分为 4 个象限,Ⅱ、Ⅳ象限为高值区,也就是说第Ⅱ象限

为大陆高压活动区,第Ⅳ象限为副热带高压活动区;Ⅰ、Ⅲ象限为低值区,可以是两个独立的低值区,也可以是西南—东北向的宽阔低值带(图 3a)。

(2) 台风倒槽型(D 型)

其特征是:随着台风低压的北上,台风倒槽自东

南沿海经河南省伸向黄河中下游(图 3b)。

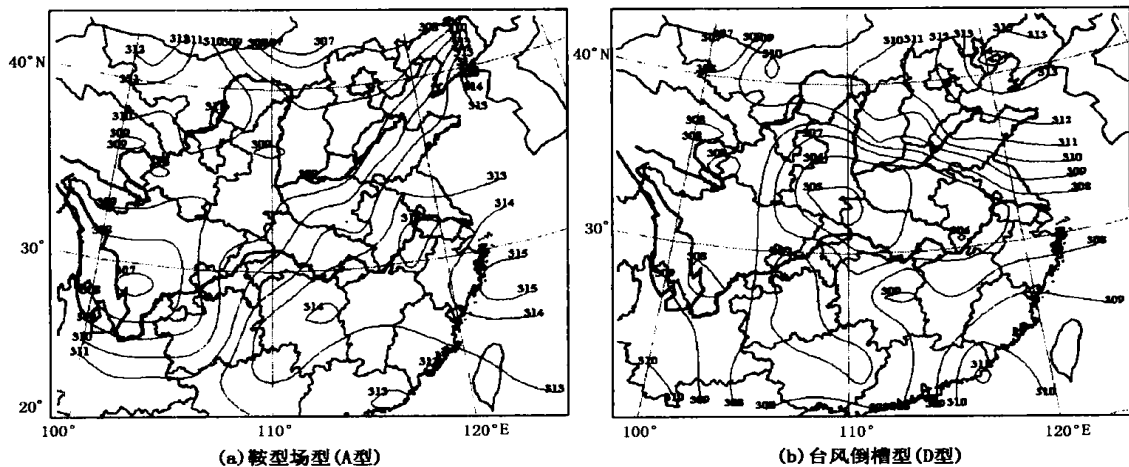


图 3 700 hPa 平均环流形势场

2.2 致洪暴雨物理量诊断模型的建立

按照高度场分型,对 37 个致洪暴雨日的物理量按两种不同类型进行了诊断分析,最后挑选了物理意义明确,对小花间暴雨发生有指示意义的 7 个物理量(包括 500 hPa 温度、700 hPa 风场、850 hPa 水汽通量散度和 850 hPa 假相当位温 4 个热力、水汽因子和 700 hPa 散度、500 hPa 涡度和 500 hPa 垂直速度 3 个动力因子),并分别采用合成法求取平均场,建立黄河小花间区域致洪暴雨物理量诊断模型。

2.2.1 热力、水汽条件诊断模型

(1) A 型的热力、水汽特征

从 A 型的 4 个热力、水汽因子物理量平均场(图 4)可见,在 850 hPa 上,渭河和小花间区域的 θ_{se} 大于等于 $80 \sim 90 \text{ }^\circ\text{C}$,在高能舌的前方,低层为暖平流,高空有冷平流侵入;500 hPa 温度场上河套地区 ($36^\circ \sim 45^\circ \text{N}$) 的温差大于等于 $6 \sim 12 \text{ }^\circ\text{C}$,冷中心在 40°N 以北,高空锋区有明显的冷平流;自孟加拉、云

贵到泾渭河流域为一水汽通道,700 hPa 西南风速平均为 12 m/s ,最大达 $20 \sim 24 \text{ m/s}$,暴雨区位于急流轴的左前方;850 hPa 的水汽通量散度值在 $(-20 \sim -30) \times 10^{-8} \text{ g}/(\text{cm}^2 \cdot \text{hPa} \cdot \text{s})$ 。

(2) D 型的热力、水汽条件特征

从 D 型的 4 个热力、水汽因子物理量平均场(图 5)可见,在 850 hPa 上, $\theta_{se} \geq 80 \text{ }^\circ\text{C}$ 的高能舌由东南沿海伸向黄河小花间一带;该型的冷空气(锋区)位置较 A 型偏南,一般在黄河中下游 ($35^\circ \sim 42^\circ \text{N}$);与 A 型相比较,D 型的水汽通道路径完全不同,它不是自云贵伸向河套,而是自东南沿海伸向小花间,即由福建浙江沿海经湖南、湖北或安徽到达河南,河南西部为一倒槽,700 hPa 的风速达 20 m/s ;850 hPa 的水汽通量散度值也较 A 型明显增大,一般在 $(-40 \sim -60) \times 10^{-8} \text{ g}/(\text{cm}^2 \cdot \text{hPa} \cdot \text{s})$,最大水汽通量散度达 $(-70 \sim -80) \times 10^{-8} \text{ g}/(\text{cm}^2 \cdot \text{hPa} \cdot \text{s})$ 。

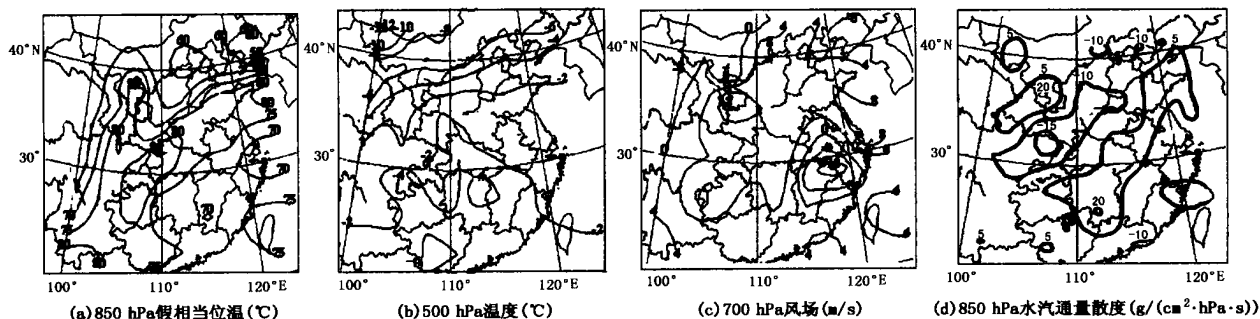


图 4 A 型热力及水汽因子物理量平均场

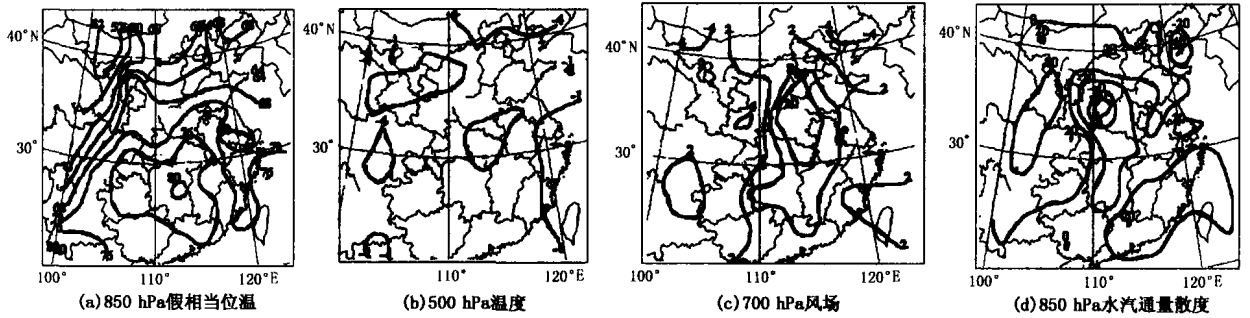


图5 D型热力及水汽因子物理量平均场(物理量单位同图4)

2.2.2 动力条件物理量诊断模型

(1) A型的动力条件特征

从A型的3个动力因子物理量平均场(图6)可见,A型具备较强的中低层辐合特征。700 hPa散度一般为 $(-2 \sim -4) \times 10^{-5} s^{-1}$;而500 hPa涡度一般为 $(1 \sim 4) \times 10^{-5} s^{-1}$;在暴雨区附近,500 hPa垂直速度小于等于 $(-4 \sim -12) \times 10^{-3} hPa \cdot s^{-1}$ 。

(2) D型的动力条件特征

从D型的3个动力因子物理量平均场(图7)可见,D型的中低层辐合较A型更为强烈,尤其是低层辐合更为明显,这有利于上升运动。700 hPa散度值高达 $-7 \times 10^{-5} s^{-1}$,而500 hPa的涡度值一般为 $(4 \sim 6) \times 10^{-5} s^{-1}$,垂直速度小于等于 $(-17 \sim -19) \times 10^{-3} hPa \cdot s^{-1}$ 。

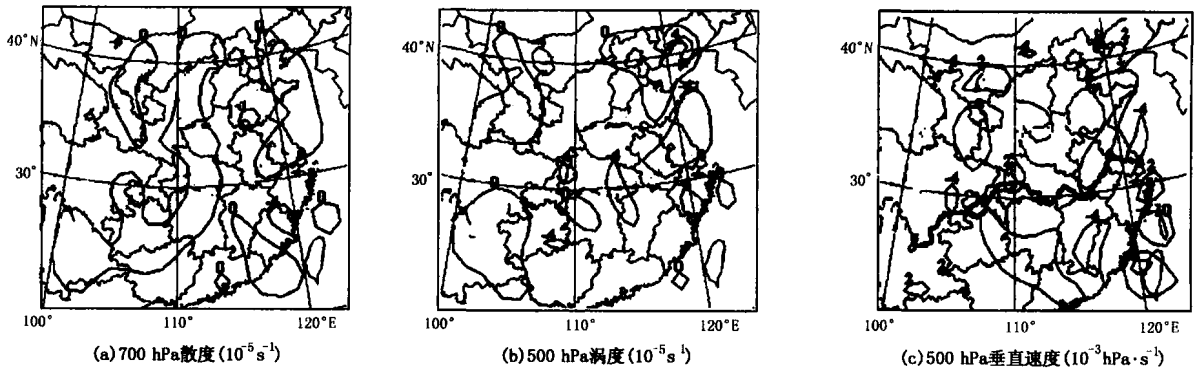


图6 A型动力因子物理量平均场

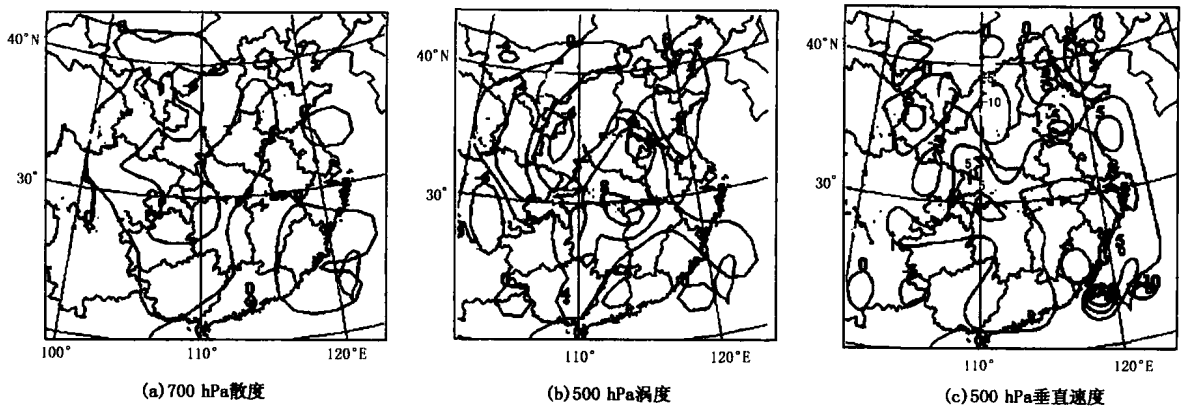


图7 D型动力因子物理量平均场(物理量单位同图6)

3 预报模型在 2003 年黄河秋汛中的应用

3.1 2003 年黄河秋汛期间致洪暴雨个例统计

2003 年 8 月中旬,黄河中游出现了历史罕见的强降雨过程,黄河迎来了多年不遇的秋汛。本文从实际情况出发,综合考虑小浪底水库的作用和下游

悬河现状,把 2003 年小花间洪水统计标准订正为花园口流量大于等于 2500 m³/s,但致洪暴雨标准仍为面雨量大于等于 25 mm。

按此统计:自 8 月 25 日以来,黄河小花间于 8 月 31 日、9 月 7 日、9 月 20 日、10 月 1 日和 10 月 11 日共出现 5 次洪水过程,致洪暴雨日 6 个(表 1)。

表 1 黄河小花间致洪暴雨概况

个例日期	面雨量/mm	落区
8 月 28 日 08:00 至 29 日 08:00	32.7	小花干流和伊洛河支流
8 月 29 日 08:00 至 30 日 08:00	52.9	小花干流、伊洛河和沁河支流
9 月 6 日 08:00 至 7 日 08:00	25.1	伊洛河支流
9 月 18 日 08:00 至 19 日 08:00	26.6	小花干流和伊洛河支流
9 月 30 日 08:00 至 10 月 1 日 08:00	29.6	小花干流和沁河支流
10 月 10 日 08:00 至 11 日 08:00	48.5	小花干流、伊洛河和沁河支流

3.2 预报模型的相似离度预报方法

为了能将所建立的模型在业务中进行试验,采用了相似离度预报技术。相似比较的数学衡量标准有若干种,李开乐^[3]列举几种描述相似的统计量,并对它们的优劣进行分析后,提出描述相似比较完备的统计量——相似离度。因为相似离度不仅能够反映两个样本之间的数值相似,而且能够反映出其形态相似,比较客观、合理的描述两个样本属性的相似程度。其计算公式为:

$$C_{ij} = (aR_{ij} + bD_{ij}) / (a + b)$$

式中: $R_{ij} = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m |H_{ij}(k) - E_{ij}|$

$D_{ij} = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m |H_{ij}(k)|, H_{ij}(k) = H_i(k) - H_j(k),$

$E_{ij} = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m H_{ij}(k)$ 。其中, H 表示因子; m 表示每个样本取 m 个格点, k 表示格点序号, $k = 1, 2, \dots, m; i, j$ 表示两个不同的样本。

显然, $H_{ij}(k)$ 表示 i 样本与 j 样本对应的逐个格点值的差值, E_{ij} 表示两样本所有格点值之间的总平均差值。所以, R_{ij} 描述的是两样本的形状相似程度,称为形系数; D_{ij} 则反映两样本的格点值之间在总平均数值上的差异程度,即靠近程度,称为值系数; a, b 分别为它们对总相似程度的贡献系数,在本文中,对 500 hPa、700 hPa 的高度场取贡献系数 $a = 2, b = 1$; 对 7 种物理量场均取 $a = b = 1$ 。

3.3 相似离度阈值的确定

首先选取了 20°~45°N、80°~125°E 的范围,因前期在对物理量场进行诊断分析时使用的格点范围

为 2.5°×2.5°,所以将 37 个历史致洪暴雨日的 500 hPa、700 hPa 高度场资料也通过客观分析插值到 2.5°×2.5°的网格上,得到 209 个格点值。将 37 个致洪暴雨日的高度场、物理量场分别与所对应类型的预报模型进行相似离度计算,确定了相似离度 $C \leq 0.32$ 的阈值,概括率达到 92%。

3.4 2003 年秋汛中的预报业务试验

在业务试验时,每天早晨 08:00 首先进行入型计算。利用 500 hPa、700 hPa 的高度场资料与两类平均场资料进行相似离度计算,如两个高度场与某一类平均场的相似离度均为 $C \leq 0.32$,则入 A 型或者 D 型,否则为不入型。

当高空形势入某型以后,将 T213 的 12 h 预报产品由 1°×1°插值到 2.5°×2.5°的网格上,并用 T213 资料的 500 hPa 温度、700 hPa 风场、850 hPa 水汽通量散度、850 hPa 假相当位温、700 hPa 散度、500 hPa 涡度和 500 hPa 垂直速度共 7 个物理量的 12 h 预报场与平均场进行相似离度计算,如 7 个场中有 5 个场的相似离度值 $C \leq 0.32$,则预报黄河小花间区域有致洪暴雨出现;具体落区和量级参考 T213 和日本降水预报结果,并结合该类模型暴雨特征进行订正。

利用上述方案将 2003 年 8~10 月的资料进行了相似离度计算,没有过程达到 D 型致洪暴雨预报标准;达到 A 型致洪暴雨预报标准的个例共 8 次,其中预报正确 5 次(8 月 29 日、8 月 30 日、9 月 7 日、9 月 19 日、10 月 1 日),空报 3 次(9 月 1 日、10 月 2 日、10 月 3 日),漏报 1 次(10 月 10 日),TS 得

分为 0.56。值得提出的是:空报的 3 次过程虽未达到致洪暴雨标准,但面雨量均在 15 mm 以上,对洪水的发生维持也有较大影响。

4 结语

(1) 在小浪底水库投入应用以前,大于等于 4000 m³/s 的洪水,花园口一般出现在 1~2 天日面雨量 ≥ 25 mm 的大到暴雨情况下。2003 年秋季,虽然小浪底水库已投入使用,但下游河道淤积导致黄河“小水大灾”的现象充分表明:日面雨量大于等于 25 mm 仍可作为小花间区域致洪暴雨的预报和统计标准。

(2) 黄河小花间区域一般为突发性暴雨或连阴雨天气致洪,两者具有不同的形势特征。根据天气学与物理量诊断分析,将小花间致洪暴雨分为鞍型场和台风倒槽两大类是切实可行的;所建立的预报模型物理意义明确,对小花间致洪暴雨的发生有很好的指示意义。

(3) 利用小花间致洪暴雨预报模型,采用相似离度技术所建立的预报方法,在 2003 年业务试验期

间,定性预报评分 TS 为 0.56;特别是对 2003 年 8 月 28~29 日小花间区域首场致洪暴雨天气,所有预报场的相似离度值均在 0.28 以下,显示出了较高的预报水平。

(4) 本文所选因子和使用 T213 的 12 h 预报场多数是反映大尺度天气特征的,而产生暴雨除了大尺度环流背景外,还需要考虑在此背景下中小尺度系统的影响,因此,在利用上述因子进行暴雨分型时有些个例难以概括进去,在利用合成物理量场进行预报时又出现了一些过程的空报现象,这是该预报方法的不足之处,在今后的使用中考虑增加一些中尺度因子,以提高黄河小花间区域致洪暴雨预报的准确率。

参考文献

- 1 符长峰,高治定,卢莹,等.黄河三花间致洪暴雨的天气和气候分析.空军气象学院学报,1995,16(2):129-138
- 2 董官臣,冶林茂,符长峰.面雨量在天气预报中的应用.气象,2000,26(1):9-13
- 3 李开乐.相似离度及其使用技术.气象学报,1986,44(2):174-183

Prediction Models of Flooding Rainstorm and Their Application

Liang Yu¹ Bu Yalin² Wang Rui¹ Zhou Kangjun³

(1 Henan Provincial Meteorological Office, Zhengzhou 450003; 2 Henan Provincial Special Meteorological Office, Zhengzhou 450003; 3 Yellow River Conservancy Commission, Zhengzhou 450003)

Abstract: An analysis was made of the weather patterns before the flooding rainstorms corresponding to the flooding processes in the middle reaches of the Yellow River above the forecast standard (peak discharge ≥ 4000 m³/s at Huayuankou Station). It was concluded that there were two types of weather patterns caused floods over the Xiaolangdi-Huayuankou region: saddle field and inverted typhoon trough. The corresponding height field forecast models for 500 and 700 hPa and the diagnosing models for thermal, moisture and dynamic conditions were developed, and the pattern identification was conducted by means of analog deviation. The models were put to trial operational use in the autumn flooding season of the Yellow River in 2003. The flooding rainstorm process occurred in the Xiaolangdi-Huayuankou region was predicted successfully.

Key words: flooding rainstorm, forecast model, analog deviation, autumn flooding, Yellow River