

文章编号: 1000-2022(2001) 04-0587-04

黄河 '96. 8' 致洪暴雨过程和数值模式预报分析*

张克家, 周康军, 刘萍, 王庆斋, 布亚林, 邬虹霞

(黄河水利委员会, 郑州 450004)

摘要:黄河 '96. 8' 洪水是一次重要的强降水过程引起的。黄河流域地形复杂, 而且降水时间分布极不均匀, 预报难度较大。应用中国科学院大气物理研究所大气科学和地球流体力学数值模拟国家重点实验室 REM 模式(简称 LASGEM) 对这次洪水暴雨过程进行了模拟预报。同时应用 LASGEM 的输出产品对该过程进行了分析。结果表明, 该模式对黄河 '96. 8' 致洪暴雨的模拟预报能力较强, 适合于黄河水文气象业务预报。

关键词:黄河, 致洪暴雨, LASGEM, 水文气象业务预报

中图分类号: P458. 121. 1 **文献标识码:** A

1996 年 7 月 31 日至 8 月 4 日, 由于西风带主槽分裂多股冷空气向东南方向移动, 西太平洋副热高压(简称副高) 加强北抬, 同时, 9608 号台风深入内陆, 受台风倒槽和东南风急流影响, 使黄河中游地区成为水汽、能量聚集区, 为该区提供了有利的水汽和动力条件, 造成黄河中游发生了一次暴雨过程, 形成黄河 '96. 8' 洪水。8 月 5 日 14 时(北京时, 下同), 花园口流量涨至 $7\ 600\ \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, 出现 1996 年黄河第一号洪峰。虽然洪峰流量不大, 但黄河下游却表现出一系列的异常现象。与往年相比, 其最主要的特点是流量不大水位偏高, 洪水演进速度慢, 漫滩范围大, 灾情险情严重等。花园口流量 $7\ 600\ \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, 水位达到有记载以来的最高洪水位, 为 94. 73 m, 比 '58. 7' 流量 $22\ 300\ \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ 的水位还高 0. 91 m, 比 '82. 8' 流量 $15\ 300\ \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ 的水位高 0. 74 m, 比 '92. 8' 流量 $6\ 260\ \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ 的水位高 0. 40 m。到 8 月 6 日, 夹河滩以上长达 200 km 的河段内, 全面出现历史最高水位, 由于水位高, 造成大范围漫滩, 据初步统计, 黄河下游漫滩面积达 23 万 km^2 , 自 1855 年以来 141 a 未曾上水的原阳、封丘等地的高滩也普漫洪水, 给沿岸人民造成了极大的经济损失, 另外, 大玉兰等多处控导工程漫坝过洪, 给防洪安全构成很大威胁, 这是一次较为典型的致洪暴雨过程。本文对这次暴雨过程进行天气分析和数值模拟。

1 暴雨过程的天气形势分析

7 月 31 日~8 月 1 日, 大气环流呈纬向型, 9608 号台风沿 20°N 西移到福建登陆, 副高加强北抬, 脊线位于 35°N , 西伸点在 $110^\circ\sim 115^\circ\text{E}$, 西风槽东移到银川附近。中低层从台风外围

* 中国科学院大气物理研究所 LASG 开放课题资助

收稿日期: 2000-08-15; 改回日期: 2001-06-08

第一作者简介: 张克家, 男, 1942 年 8 月生, 教授级高工。

经杭州、南京一直到太原附近,维持东南风急流,台风倒槽位于南昌-郑州一线,同时,河口镇至龙门的黄河流域区间(简称山陕区间)上空存在一条南北向的切变线。地面冷空气的前锋到达银川-西宁一线。中低层偏东风急流将海洋上大量的水汽输送到三门峡至花园口的黄河流域区间(简称三花间)后,由于高空低槽配合中低层低涡切变以及地面冷空气的共同影响,形成了以山陕区间为主要降水区的第一场强降水天气过程。

8月2~4日,西风槽继续向东南移动,副高势力异常强大,脊线稳定在 37°N ,与东移的大陆高压合并,在三花间东北部形成经向型高压坝。9608号台风北上减弱为低气压,受高压坝的阻挡作用,台风倒槽稳定存在,以长沙、汉口、郑州一线为南风急流轴线,台风外围的低空急流影响了整个三花间地区,提供了有利的水汽和动力条件,并与西风冷槽共同作用,使三花间成为能量聚集、辐合上升运动最强烈的区域,形成了以三花间为主要降水区的第2场强降水天气。

2 雨水情简述

7月31日~8月1日,山陕区间大部地区降中到大雨,局部暴雨,暴雨区主要分布在黄河干流及西部各支流的中下游,其中窟野河的王道恒塔日降雨量为88 mm,温家川和龙门日降雨量为72 mm,无定河丁家沟和延安日降雨量分别为58、57 mm(图略)。

这场降雨使该区间主要支流相继产生洪水,窟野河温家川站8月1日06时18分洪峰流量 $2\,180\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$,吴堡站1日16时洪峰流量 $3\,190\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$,龙门站1日16时48分洪峰流量 $4\,580\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$,潼关站3日01时洪峰流量 $4\,230\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$,经三门峡水库敞泄运用,3日08时最大流量为 $4\,130\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ 。

8月2~4日,三花区间普降中到大雨,部分地区降大到暴雨,主要降雨区在伊洛河中下游、沁河中下游和小浪底至花园口干流区,三花间3 d平均降雨97 mm,大于50 mm等值线包围的面积约 5.7 km^2 (图略)。由于前期土壤湿润,本次降雨有利于三花间产流。洛河的黑石关4日09时洪峰流量 $1\,980\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$,沁河的武陟站5日18时洪峰流量 $1\,500\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$,三门峡3日08时的洪峰和三门峡至小浪底的黄河流域区间(简称三小间)产流相遇,小浪底站于4日00时的洪峰流量 $5\,020\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$,黄河支、干流的洪峰相汇合,形成了5日15时30分花园口站一号洪峰,洪峰流量为 $7\,860\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$,相应水位为94.73 m,是有实测资料以来的最高水位。

3 黄河“96.8”洪水暴雨过程的模式预报

本文采用中国科学院大气物理研究所大气科学和地球流体力学数值模拟国家重点实验室宇如聪的坐标暴雨预报模式(LASGREM)对黄河“96.8”洪水暴雨过程进行数值模拟。

3.1 LASGREM 的特点

LASGREM考虑了复杂地形的影响、行星边界层(PBL)和整个自由大气之间的相互作用过程。如低层的地面风,地面对太阳辐射的吸收放射,地面温度、湿度及其通量等微物理过程,中、高、低云系的性质及其对大气过程的影响,大尺度、小尺度降水的湿对流过程,以及能量和对流的调整。该模式的主要特征:1)采用坐标,克服了坐标在陡峭地形的情况下,计算水平差分所引起的较大的误差,有效地解决了复杂地形所带来的计算问题,使得模式能较好地考虑黄河中游陡峭的真实地形的作用。2)基本方程是用曾庆存先生设计的完全能量守恒时空差分格式的数学模型,在作坐标变换后,推导而得出的。它具有很好的计算稳定性。3)对水汽平流方程设计了一套简单而有效的二步保形平流方案(TSPAS),并解决了在E-网格中的应用问

题,避免了大多数模式中常出现的负水汽现象或平滑耗散过强现象,保证了模式对降水范围,降水强度和暴雨中心位置有更好的模拟。4)保留了初始场的静力平衡偏差,在静力平衡模式中,同时保留了位势高度和温度场的初始信息。5)模式考虑了影响短期天气演变的主要物理过程,包括网格尺度的凝结降水、Beets 方案的积云对流参数化、大气边界层参数化和地形重力波阻参数化。6)模式的分辨率为 $1^\circ \times 1^\circ$;而且模式分辨率是可按需要在程序中设置的,极大地方便了对暴雨过程的分析研究。

3.2 模式预报结果

LASGREM 的输出产品有不同时次的降水预报及各层次的气压场、风场、流场、风速、水汽通量等实况场和预报场格点资料。

在3日08时850 hPa水汽通量散度图(图1)上,从广东沿115°E到三花间东部有一条较宽的水汽辐合带,水汽通量散度为 $-60 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$,在三花间的中南部有 $-1.5 \times 10^{-5} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ 的辐合中心(图略)。从垂直速度分布(图略)上,可看出在三花间中南部存在较强的上升气流,850 hPa 有 $-1 \times 10^{-3} \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-1}$ 中心,700 hPa 有 $-2 \times 10^{-3} \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-1}$ 中心与之相叠加。这表明该区不稳定对流旺盛,水汽条件有利于暴雨发生。从8月3日的LASGREM的24h的预报图(图2)上看,三花间基本上在25 mm降水等值线以内,其中,三花间中南部均是暴雨预报区。实际上,3日,三花间普降大到暴雨,赵堡站日雨量为198 mm都属于特大暴雨(图3)。

从8月3日LASGREM 24h预报统计结果看(表1),其TS、BS评分大都较高,而50 mm的降水TS评分为12.9%($TS = A / (F + O - A)$, $BS = (O + A) / (F + A)$; O:实际降雨区, F:预报降雨区, A:预报观测重叠区)。

表1 1996年8月3日24h统计检验

Table 1 Statistic verification of 24 h forecast in August 3, 1996

时效	1 mm		10 mm		25 mm		50 mm		%
	TS	BS	TS	BS	TS	BS	TS	BS	
24 h	58.2	86.8	47.8	82.3	34.8	79.7	12.9	69.8	

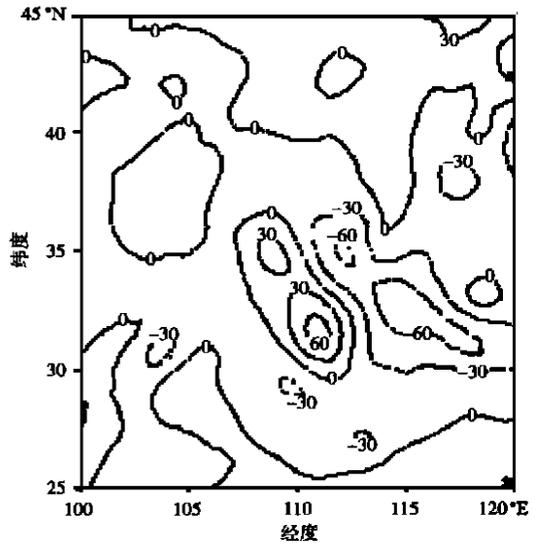


图1 8月3日08时850 hPa水汽通量散度
Fig.1 Vapour flux divergence at 850 hPa
at 08:00 BST in August 3, 1996

4 结论

黄河的特殊地理环境及天气环流的特点,使得黄河汛期的暴雨多具有突发性,强度大,洪水预见期很短,尤其是像“96.8”这样的区域性强降水过程,对防洪威胁很大。LASGREM对黄河“96.8”洪水暴雨过程的预报效果是明显的,特别是对大范围的暴雨预报有较强的模拟能力,为黄河流域汛期业务预报提供较可靠的降水预报结果。模式基本上表达了暴雨过程的控制系

统,从落区和量级两方面来看,模式较准确地报出了较强的致洪暴雨过程。应用 LASG-REM 产品进一步分析天气过程可以更清楚地看出暴雨过程的特点及演变情况,更有效地预报天气。由于该模式的特点,它适应于黄河致洪暴雨的业务预报,也可应用于黄河历史致洪暴雨过程的模拟的分析。便于进一步研究黄河致洪暴雨的天气特点和演变规律。

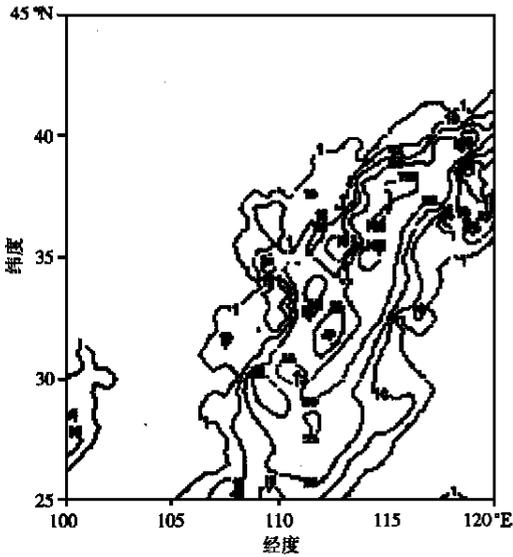


图 2 8月3日08时未来24h降水预报
Fig. 2 24 h forecast of precipitation
at 08:00 BST in August 3, 1996

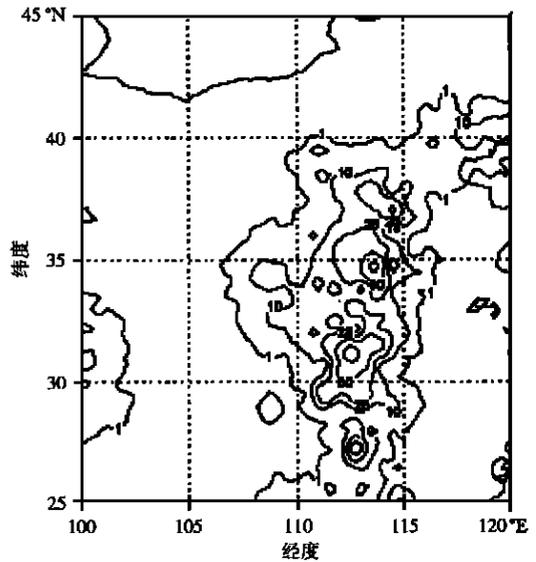


图 3 8月3日08时~4日08时降水实况
Fig. 3 Observed precipitation from 08:00 BST
in August 3 to 08:00 BST in August 4, 1996

致谢: 本文得到宇如聪、王盘兴教授的指导,特表谢意。

PROCESS OF HEAVY RAIN "96. 8" IN YELLOW RIVER AND NUMERICAL FORECAST ANALYSIS

Zhang Kejia Zhou Kangjun Liu Ping
Wang Qingzhai Bu Yalin Wu Hongxia
(Yellow River Water Conservancy Commission, Zhengzhou 450004)

Abstract: In Yellow River "96. 8" flood is formed by an heavy rainfall process. Because the terrain is complicated and the rainfall is varied in time in Yellow River basin, it is difficult to forecast. In this paper, a simulated forecast is done for the flood with LASG-REM model and the rainfall process is analyzed with the output of the model. It is shown that the model has strong capacity for forecasting the heavy rain and is suitable for hydrometeorological forecast.

Key words: Yellow River, heavy rain caused flood, LASG-REM, hydrometeorological forecast