

一次致洪暴雨的中分析与数值预报能力检验

苗爱梅 吴晓荃

(山西省气象台,太原 030006)

提 要

运用 1993 年山西南部暴雨试验的加密观测资料和山西地面天气图以及 1 小时一次的数字红外云图,分析了山西南部大暴雨过程的中尺度影响系统及其发生、发展的环境条件,揭示了致洪暴雨形成的某些基本特点。

关键词: 致洪暴雨 中尺度云团 能量锋区

1 过程概况

1993 年 8 月 3—5 日,受副热带高压、低涡切变线和地面中尺度系统的共同影响,我省中、南部出现了大范围的暴雨,其中隰县、霍州、沁县、襄垣(3 日 20 时—4 日 20 时)、黎城(4 日 05 时—5 日 05 时)降了大暴雨,沁源裴河水文站降了特大暴雨(214mm)。主要降水时段出现在 4 日 02—20 时。由于降水历时短、强度大,致使山洪爆发,河水横溢。4 日 17 时沁河孔家坡水文站出现了近百年一遇的大洪峰,5 日 01 时 18 分沁河飞岭水文站出现了超百年一遇的特大洪峰。洪水使我省中、南

部 16 个县市、150 个乡镇遭受严重洪涝灾害。

本文重点分析此次大暴雨过程的中尺度影响系统及其发生、发展的环境条件,以及数值产品对这次过程的预报能力,旨在提高我们的预报水平,减免损失。

2 中尺度分析

2.1 中尺度云团的活动特征

利用高分辨增强显示 GMS 红外云图,对黄色云团及云顶温度 $\leq -48^{\circ}\text{C}$,空间尺度 $\geq 0.3 \times 0.3$ 经纬度的对流云团进行统计,这次暴雨共有 7 个云团活动,其基本情况见表 1。这些云团具有下列特征:

表 1 1993 年 8 月 3—4 日云团统计

序号	云团时段 (日·时)	生命史/h	生成源地	水平尺度 /经纬距	移向	最大雨量时间 (日·时)	最大 3 小时雨量 /mm
1	3.22—4.07	10	延安—乡宁	2.0×3.0	NE	4.02—4.05	60.0
2	3.22—4.07	10	石楼附近	0.8×0.9	E	4.05—4.08	49.0
3	4.08—4.15	8	灵石	0.4×0.4	SE	4.11—4.14	71.0
4	4.09—4.15	7	隰县	0.7×0.7	E	4.09—4.11	28.0
5	4.08—4.12	4	山西西南角	0.3×0.3	NE	4.09—4.11	21.0
6	4.10—4.13	4	晋城市	0.3×0.3	少动	4.09—4.11	19.0
7	4.10—4.13	4	陵川	0.3×0.3	E		

a. 大部分都伴有明显降水,3小时降雨量 $\geq 25\text{mm}$ 的占71%,其中沁县最强,3小时降水量达71mm。

b. 都属于中尺度系统,按照它们的空间尺度和时间尺度可分为中 β 尺度云团和中 α 尺度云团两类,其中,中 β 尺度云团占85%,中 α 尺度云团占15%。

c. 700hPa切变线以南生成的云团向东北方向移动,700hPa切变线附近或以北生成的云团向东或向东南方向移动。

2.2 中尺度云团的演变特征

现就4个造成大暴雨的主要强对流云团分析如下:

8月3日20时以后,受700hPa低涡切变线影响,22时,石楼附近有云顶温度为 -48°C 的②号对流云团生成,并向东缓慢移动;延安到乡宁有云顶温度为 -54°C — -60°C 的①号强对流云团生成。并向东北方向移动。4日01时,①号云团与②号云团合并,这一强对流复合体持续4小时,造成了临汾地区大范围降水,大宁6小时降水量达82mm,隰县6小时降水量达62mm,汾西3小时降水量达49mm。4日06时这一强对流复合体断裂,其北端向东移出我省,南端就地减弱消亡。4日08时,在灵石一带有③号中 β 尺度云团生成,云顶温度为 -54°C — -60°C ,此云团沿切变线缓慢东移,强度不断增强,范围迅速扩大,11时已发展成为中 α 尺度云团,受此云团影响,4日11—14时,沁县、沁源、襄垣3小时降水量分别达到71、41、43mm。4日09时④号中 β 尺度云团在隰县和蒲县一带生成,受其影响4日08时—4日14时隰县6小时降水量为41mm,汾西3小时降水量为28mm,③号云团和④号云团均向东移,13时两云团在长治一带结合,受此复合云团东移影响,长治出现了区域性大暴雨,其中沁源碧河水文站出现了特大暴雨。

综上所述,从3日22时—4日16时,①号、②号、③号、④号云团是活动在我省的4个主要强降水云团。受这4个云团影响,从4日03时—4日16时,13小时内,沿700hPa切变线 36.2°N — 37°N 自西向东出现了区域性大暴雨。

2.3 云团和雨团的关系

定义生命史 ≥ 3 小时,3小时降水量 $\geq 25\text{mm}$ 的雨区外包线,为一个暴雨雨团,3小时降水量 $\geq 10\text{mm}$ 定义为大雨雨团。同时对它们的生成源地及移动规律辅以雷达观测和逐时红外云图作为判据,从3日23时至4日17时,我省中、南部共有5个大雨雨团和4个暴雨雨团活动。把这次暴雨过程的云团和雨团作对比分析,结果表明,有85%的云团与雨团相对应,但雨团比云团小,尺度 $\geq 1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 的云团占总云团的15%,它们对应两个或两个以上的雨团,小的云团一般对应一个雨团。云团的生命史都 ≥ 4 小时,最长达10小时,而雨团的生命史大多小于4小时,大于4小时的只占15%。因此,雨团的空间尺度和时间尺度都比云团小。

2.4 地面能量场及中尺度切变线与暴雨云团

分析本省汛期能量场(总温度, T ;下同)与流场发现,地面能量系统及中尺度切变线与暴雨云团有着密切关系。由图1可知,3日20时,我省中、南部的西部存在一个 Ω 型能量系统,高能舌呈南北向分布,石楼附近有 82°C 的高能中心。与此相对应,在石楼与中阳之间,有一条偏北风与东南风形成的切变线,与此同时,在乡宁附近也有一个 82°C 的高能中心,相对应的在乡宁与大宁之间有一条偏东风与偏南风的切变线,两条切变线的水平尺度均不足100km。2—3小时后,乡宁附近形成了①号暴雨云团,石楼附近形成了②号暴雨云团。6小时后,大宁降水量达82mm,

隰县达 62mm, 石楼裴沟水文站降水量达 101mm。由此可见, 当 Ω 型能量系统出现后, 如有中尺度切变线配合, 未来 2—3 小时将有强对流云团生成, 未来 6—9 小时将会产生暴雨或大暴雨。另外, 在榆社与沁县之间也有一条东西向的中尺度切变线, 但由于没有高能舌与之配合, 故在这一段时间内没有暴雨云团产生。

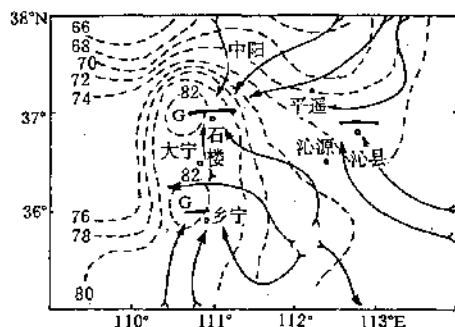


图 1 8 月 3 日 20 时流线 with 能量场分布

图中虚线为总温度/°C,

矢线为流线, 粗实线为切变线

4 日 08 时, 高能舌东移, 从 36.8°N 至 37.5°N 形成 WNW—ESE 向的能量锋区 (见图 2), 锋区强度为 10°C/100km。在锋区中, 靠近高能区一侧, 从灵石到沁县有一近似东西向的中尺度切变线, 水平尺度约 100km。与此相对应, 08 时红外云图上, 灵石附近有 ③ 号中 β 云团生成, 此云团在缓慢东移过程中, 11 时发展成为中 α 暴雨云团, 9 小时后, 沁县降水量达 97mm, 沁源裴河水文站降水量达 200mm 以上, 受此云团的影响, 文水水文站降水量达 100mm, 交城气象站降水量达 94.5mm。另外, 在高压轴右侧蒲县与临汾之间有一偏北风与偏南风形成的中切变线, 4 日 09 时, 隰县到蒲县有 ④ 号中 β 暴雨云团生成, 受此云团影响, 6 小时后, 霍州和隰县降水量分别达 51mm 和 41mm, 临汾—平垣水文站降水量达 120mm。

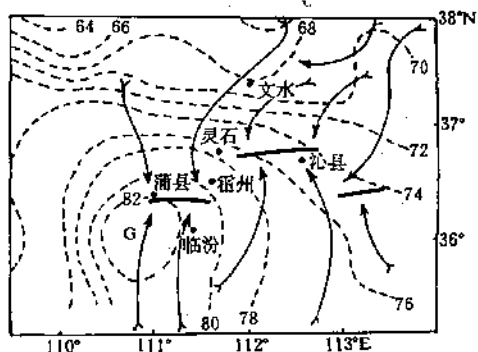


图 2 8 月 4 日 08 时流线 with 能量场

说明同图 1

4 日 14 时能量锋区走向由 WNW—ESE 转向为 NW—SE 走向, 长治一带的能量锋区强度由 08 时的 5°C/100km 激增到 8—10°C/100km, 这时灵石到黎城的中尺度切变线靠近能量锋区低能区一侧 (见图 3), ③ 号和 ④ 号复合云团沿能量锋区缓慢向东南移, 造成了长治地区区域性的大暴雨和局地的特大暴雨。另外, 在高压舌内, 临汾与襄汾之间有一 NE—SW 向的中尺度切变线。临汾地区高能舌与中尺度切变线的维持是临汾—平垣水文站降水量达 120mm 的原因所在。14 时, 文水仍靠近能量锋区低能区一侧, 但由于中尺度切变线消失, 因而降水量远不及长治地

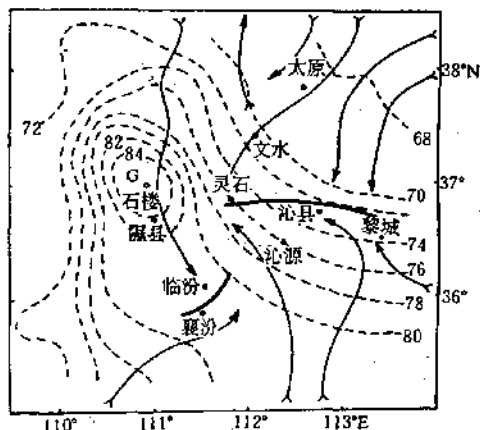


图 3 8 月 4 日 14 时流线 with 能量场

说明同图 1

区。

以上说明,高能舌与中尺度切变线相配合或能量锋区与中尺度切变线相配合是暴雨云团生成与发展的重要条件。

2.5 中尺度物理量场与暴雨及大暴雨的关系

2.5.1 地面能量散度场

利用我省汛期地面资料,取格距为30km的正方形网格进行计算,发现:暴雨发生前地面能量散度场从 36°N 至 37.5°N 为一东西走向的能量辐合区。这一能量辐合区与大暴雨落区基本吻合,而辐合最强的区域则是未来6—12小时特大暴雨出现的区域(图略)。本次过程 $\leq -50.0 \times 10^{-4} \text{C} \cdot \text{s}^{-1}$ 的辐合区为大暴雨的落区, $\leq -200.0 \times 10^{-4} \text{C} \cdot \text{s}^{-1}$ 的辐合区为特大暴雨的落区,强对流云团大都出现在这一能量辐合区(如①、②、③、④、⑥号云团)。

地面能量辐合使能量不断聚积或触发高能释放,有利于上升运动猛烈发展,形成暴雨云团,导致大暴雨产生。

2.5.2 地面总温度平流

从分析中看出,在这次大暴雨过程中,从 36°N 至 37.5°N 为一东西向的暖平流区,其走向和范围基本与大暴雨落区一致。总温度平流最大值区域则是未来特大暴雨产生的区域。暴雨云团大多出现在暖平流区域(如①、②、③、④号云团)。

地面强烈的暖平流,使大气处于极不稳定状态,当地面有中尺度切变线或中尺度辐合线产生并维持时,便触发不稳定能量释放,产生暴雨云团,形成暴雨或大暴雨。

3 T_{42} 数值产品及日本数值产品对该次致洪暴雨的预报能力分析

数值预报是现代天气预报的发展方向。

有分析地使用数值预报产品,能有效地提高我们的预报水平。为此,现就 T_{42} 产品和日本数值产品对8月4日大暴雨过程的预报能力分析如下:

3.1 T_{42} 数值产品分析

3.1.1 500hPa 涡度场预报

T_{42} 产品2日20时为起报场的24小时500hPa涡度场预报,3日20时,我省处在负涡度区中,河套地区为大片的正涡度区所覆盖,并且正涡度区已伸向我省南部。对3日20时850hPa—300hPa实时资料进行计算发现, T_{42} 所预报的3日20时的涡度场与实况很接近,这对预报我省未来的强降水有一定的指导意义。

3.1.2 散度场预报

T_{42} 的24小时散度场预报,3日20时,200hPa我省为较强的辐散区所控制,中、南部有 $3 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$ 的辐散中心。850hPa上,我省处于弱辐散区,中、南部几乎处于无辐散,在河套中部自西向东有 $-4 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$ 的辐合中心。与实况相比,850hPa上,河套地区的辐合中心位置和我省中、南部的无辐散区位置都预报得很成功,只是量值上误差较大。如实况河套中部有 $-15 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$ 的辐合中心,而 T_{42} 只预报有 $-4 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$ 的辐合中心。这样很可能会导致我们对降水量的预报偏小。

3.1.3 垂直速度预报

T_{42} 的700hPa 24小时垂直速度预报,3日20时,河套地区被 $\omega \leq -4 \times 10^{-3} \text{hPa} \cdot \text{s}^{-1}$ 等值线所包围,其中河套西北部有一个 $\omega < -12 \times 10^{-3} \text{hPa} \cdot \text{s}^{-1}$ 的上升运动中心区,我省境内为弱的下沉气流区。利用3日20时的实测风进行计算表明,与850hPa上辐合区相对应,700hPa的上升区位于河套中、南部,最大上升区在河套中部,其中心区域 $\omega \leq$

$-41 \times 10^{-3} \text{hPa} \cdot \text{s}^{-1}$, 在我省除南部有小范围的弱上升气流外, 其它地区均为下沉气流所控制。从以上分析可知, T_{12} 垂直速度预报, 无论是位置还是量级都有一定的误差, 不过它还是报出了我省将被上升区所覆盖的趋势, 对预报大的降水有一定的启发性。

3.2 日本数值产品

3.2.1 物理量场预报

以 3 日 08 时为起报场的 24 小时物理量场预报, 4 日 08 时, 500hPa 正涡度区、700hPa 垂直上升区、湿区均由西南伸入我省大部分地区, 且垂直速度上升区和正涡度区重叠于吕梁、晋中、临汾和晋东南地区, 与暴雨、大暴雨落区很接近, 这对预报暴雨及大暴雨的落区有很好的参考价值。

3.2.2 降水预报

以 3 日 08 时为起报场的 24 小时降水预报, 3 日 20 时—4 日 08 时, 我省大部分地区有降水, 其中晋中东部、长治西北部有 49mm 的降水中心, 延安有 31mm 的降水中心。实况 3 日 20 时—4 日 08 时, 延安降了大暴雨, 大宁降水 82mm, 隰县降水 70mm, 霍州和汾西分别为 48mm 和 49mm。日本的降水预报, 从量级上虽有一定误差, 但落区基本还是正确的, 对预报员有一定的启发作用。

以 3 日 08 时为起报场的 36 小时降水预

报和以 3 日 20 时为起报场的 24 和 36 小时降水预报, 与实况相比无论是落区还是量级误差甚大。

日本数值产品对 4 日 08 时—4 日 20 时我省主要降水时段的预报失误, 关键在对影响我省的降水系统的稳定性预报较差。

4 小结

4.1 在有利的大尺度环流背景下, 高能舌与中尺度切变线相配合, 且总温度 $\geq 80^\circ\text{C}$ 的区域, 未来 6—12 小时易产生大暴雨; 能量锋区与中尺度切变线相配合, 且锋区强度为 8— $10^\circ\text{C}/100\text{km}$, 未来 6—12 小时易产生区域性大暴雨和局地特大暴雨。

4.2 在地面中尺度 Ω 型能量系统或能量锋区、地面中切变线以及趋于增强的能量辐合区和总温度平流的正值区相叠加的区域内, 中 β 云团不断新生并快速发展或合并成中 α 云团, 9—12 小时内易产生区域性暴雨或区域性大暴雨。

必须有分析地应用各类数值产品, 并用传统的天气图方法加以补充, 利用逐时 GMS 云图, 监视暴雨云团生成、移动和演变情况, 才能准确地预报各种暴雨过程。

本文得到高级工程师李玉书、薛碧清的审阅指导, 李耀光、李植锋分别计算了高空和地面物理量场。

A Mesoscale Analysis of a Flood-Cansing Torrential Rain and the Test of NWP Product

Miao Aimei · Wu Xiaoquan

(Meteorological Observatory of Shanxi Province, Taiyuan 030006)

Abstract

Based on the intensive observational data for the experiments of the torrential rain at the south part of Shanxi Province in 1993. The surface chart of Shanxi Province and the hourly infrared Satellite images, the mesoscale system of the torrential rain