

过程分析

叶成志 周雨华 黄小玉 张 海 李 艳

(湖南省气象台,长沙 410007)

提 要

2002 年 5 月 12~14 日湖南省出现了入汛后首场强暴雨天气过程,降水强度大、范围广。作者从环流形势、物理量、卫星云图及雷达回波、数值预报产品等几方面对这次暴雨过程进行了综合分析,强调指出在充分了解天气形势的基础上,综合运用上述多种产品是做好此次暴雨过程预报和服务的关键。

关键词: 暴雨 综合分析 产品检验

引 言

2002 年 5 月 12~14 日,湖南省自北向南出现了入汛后首场强暴雨天气过程,暴雨遍布全省 14 个市(州)。据 20~20 时(北京时间,下同)资料统计,省内共出现暴雨 60 站次,其中大暴雨 11 站次。12 日 20 时~13 日 20 时汉寿站日降水量达 147.1mm 为最大,而益阳市日降水量 5 站平均达 112mm,两天降雨量超过 100mm 的区域达到 $7 \times 10^4 \text{ km}^2$ 以上,与历史同期最大暴雨过程相比,除没有出现特大暴雨外,暴雨站数远远超过历史同期最大值。湘江流域出现入汛后的首场暴雨洪水,5 月 17 日长沙站洪峰水位达 36.13m,超过警戒水位 1.13m。资水、沅水同期出现超警戒水位的洪水。另有 4 个县(市)出现了雷雨大风,石门、桃源局地降短时冰雹,桃源县窝潭乡还出现了龙卷风。由于降水时段集中,强度大、范围广,且多种灾害性天气并发,造成省内大范围受灾。据不完全统计,受灾人口达 400 多万人,受灾农田数十万公顷,倒塌房屋上万间,因灾受伤 250 人,因灾死亡 9 人,直接经济损失达 8 亿元以上(人民币)。

1 天气形势分析

这次暴雨过程主要的影响系统是高空低槽、中低层低涡切变、高低空急流和地面冷锋。

从 500hPa 图上分析,5 月 12 日 08 时,南支槽位于酒泉—昌都—达卡一线;13 日 08 时,该槽东移至西安—成都—腾冲一线,并有温度槽与之配合;14 日 08 时,该槽移至郑州—芷江—昆明一线。此次暴雨过程正是该南支槽在东南移过程中引导地面冷空气南下,并与中低层暖湿切变、低涡共同作用造成的。

从 700、850hPa 图上来看,12 日 08 时,700hPa 和 850hPa 在湘北有一暖式切变;13 日 08 时 700hPa 人字形切变位于成都—南阳—郑州和南阳—南京—杭州,川东有西南低涡沿切变东移;850hPa 人字形切变位于汉口—贵阳和汉口—杭州一线;14 日 08 时随着南支槽、低涡切变的快速东移南压,湖南省的强降水过程结束。

在 5 月 12 日 14 时地面图上(图略),有一冷锋已移至秦岭,西南地区有倒槽发展,倒槽内有一弱切变;13 日 14 时,倒槽内锋生,

锋面位于长沙—桂林—昆明一线。值得注意的是:在13日08时湖南省区域小图上,有三条明显的风速辐合线,一条位于华容—沅江—娄底,另外二条分别位于黔阳—会同一靖州和祁东—冷水滩—永州一线。风速辐合线附近,正好对应3个暴雨中心。

众所周知,暴雨一般发生在高空急流轴南侧300km附近和低空急流的北侧^[1]。5月13日08时,200hPa高空急流轴位于昆明—宜昌—徐州一线,850hPa低空急流轴位于贵阳—芷江—长沙一线,贵阳的西南风为 $12\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$,长沙与芷江的西南风分别为 $20\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 和 $32\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。高、低空急流的形成不仅为水汽和能量的输送及辐合提供十分有利的条件,而且存在明显的动力抬升作用。

2 物理量分析

选取 $\Delta D = D_{200} - D_{850}$ 作为散度垂直切变指标,它不仅反映暴雨天气能否发展,同时与大气垂直运动相联系;选取 QV 表示水汽的输送,因为水汽主要集中于大气中低层,所以选取500、700和850hPa的平均水汽输送通量;选取螺旋度描述环境风场气流沿运动方向的旋转程度和上升运动强弱,反映大气的动力特征;用一个综合指数—— E 指数来反映垂直运动、水汽输送和层结稳定度等条件的配置情况,其表达式为 $E = K - W_{700} - \Delta\zeta - \nabla \cdot QV$,其中 K 为 K 指数, W_{700} 为700hPa的垂直速度, $\Delta\zeta$ 是指300hPa减850hPa的涡度差值, $\nabla \cdot QV$ 是850hPa的水汽通量南北分量。

由于上述几种物理量基本上各自侧重于暴雨产生的某一方面的条件,我们采用多重嵌套的方法^[2],运用12日20时T213资料,对此次暴雨过程进行物理量分析。

我们曾根据对1995~1998年32个暴雨个例进行的物理量场统计分析,确定了产生暴雨的4项物理量的临界值(见表1)。

对各物理量场的格点值进行“0,1”化处

表1 产生暴雨的4项物理量临界值

物理量	临界值
$\Delta D/10^{-6}\cdot\text{s}^{-1}$	>5
$QV/10^{-8}\cdot\text{g}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{cm}^{-2}$	<-10
$Z\text{-螺旋度}/10^{-8}\cdot\text{Pa}\cdot\text{s}^{-2}$	>3
E 指数	>10

理,然后将处理过的几种物理量场对应格点值相加,进行多重嵌套。经统计分析,当嵌套格点值 >2.5 时,未来12~36小时内有暴雨或大暴雨发生。图1为运用5月12日20时T213资料做的13日08时多重嵌套物理量格点预报图。从图中可以看到,除了湘西北和湘东南边缘外的其它地区均在格点值大于2.5的范围内,并在湘西南和湘东北有两个格点值分别为7和6的中心,与图2所示的降水实况相比较其预报结果与此次过程暴雨落区、大暴雨落点基本吻合,表明多重嵌套物理量诊断预报方法可信度较高。

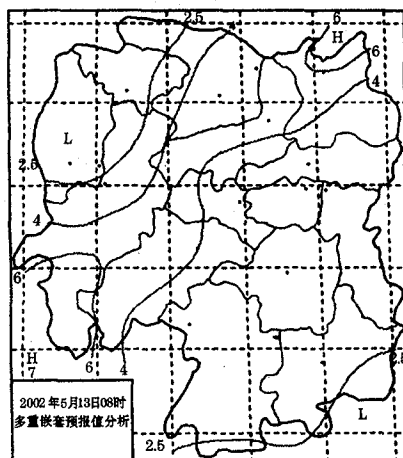


图1 2002年5月13日08时多重嵌套预报值分析

3 卫星云图及多普勒雷达产品分析

3.1 卫星云图分析

13日02时开始,湘西北有一较强的积雨云团发展,并迅速演变成中尺度对流辐合体,色调白亮,结构密实,涡旋状云型特征清晰,中心云顶亮温 TBB 低值中心达 -68.12°C ,云顶高度15.47km,云团面积

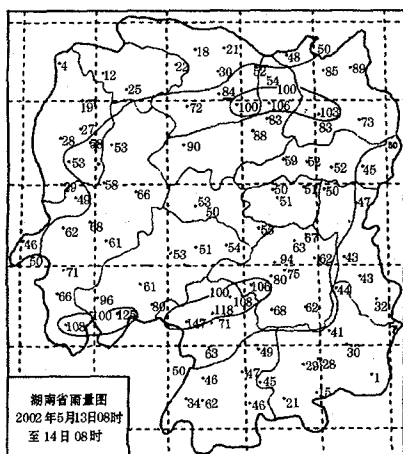


图2 2002年5月13日08时~14日08时
湖南省雨量图

32580km²。到13日04时,该云团东移南压至常德、益阳、怀化境内,云块体积增大,强度中心增强增宽,TBB下降至-70.12℃,云顶高度15.81km,云团面积增至56603km²,随后该云团强中心继续东移至岳阳、长沙直至江西境内,表明有低涡沿切变线东移,云团进一步增强,TBB继续降至-72.38℃,云团的温度梯度明显加大。比较各个发展阶段的增强显示云团和6小时雨量,我们注意到:最大降水并不出现在云团强度达到最强时刻,而是出现在云团中深对流云(TBB < -70℃)的面积迅速扩大,温度梯度变陡时^[3]。随后的几个小时,切变线云带变成东北—西南向的长条形云带,镶嵌着多个对流单体,对应着沅江、通道、城步等多个强降水中心。14日08时该云带南压减弱移出湖南省,至此本次全省性的暴雨过程基本结束。此次过程中的强降水云团,其生命史长达10多个小时,云带宽度约5个纬距以上,发展速度极快,在其发生、发展、减弱、消亡的过程中,湖南省暴雨、大暴雨呈东北—西南向带状分布。由此可见,通过对云图的跟踪观测及逐时分析,可以更好地把握强降水雨带生消、移动情况。

3.2 多普勒雷达资料分析

3.2.1 回波特征

12日20时,湘西北有大范围的混合云降水回波覆盖,平均回波强度为35dBz,中间夹有小部分强度大于40dBz的强降水回波,平均回波顶高为8~9km,其强回波中心对应的位置回波顶高超过10km,向东北偏东方向移动,影响湘北地区。

13日02时,湘西北又有混合云降水回波形成,并向东北偏东方向迅速移动发展,03时09分湘西、湘北都为混合云降水回波所覆盖,回波强度大于40dBz的范围不断扩大,并沿顺时针方向转动,逐渐演变成为高空槽前的涡旋回波。05时53分,形成了以雷达测站为中心的涡旋回波,湘西北、湘中大部分地区均为强度大于40dBz、回波顶高为8~9km的强降水回波所覆盖。随后,强回波逐渐向偏东方向移动,至14时18分,涡旋回波主要位于湘中偏北地区。15时后,降水回波强度减弱,范围扩大,迅速向南移动。由于地面切变线的存在,由原来的涡旋回波逐渐演变成一条带状回波,并向东南方向移动,在移动的同时回波的宽度增加,强度大于40dBz,强中心为56dBz。21时19分,带状回波南压至湘南,湘中一线的强降水结束。15~21时,强回波扫过益阳、娄底、长沙、岳阳、株洲、湘潭地区,造成上述地区的短时暴雨。

3.2.2 多普勒雷达速度场分析

12日20时24分0.5°仰角的风暴相对速度图上,零速度线随高度顺时针转动,低空为11m·s⁻¹的南风,高层为西南风,在湘北的安乡、常德、汉寿及桃源一线,有一条长为100km的风速辐合线,但由于速度梯度不大,未能形成强对流天气,但容易形成梅雨锋上的强降水回波。由于中低层西南风较大,中尺度辐合线向北移动,因而强回波首先在湘西北出现。13日02时,在汉寿附近零速度线呈90°折转,可以判定在湘北的安乡、汉寿及桃源一带存在一条冷锋,此时西南急流

加强,在 1.1km 的高度上出现了大于 $15 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的负速度值,在冷锋附近有较强的辐合,因此湘西北又有强降水回波生成。至 13 日 14 时,冷锋迅速向东南方向移动,强降水回波范围扩大,但由于低空急流较强,在 1.5km 高度始终维持有大于 $15 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的西南风,因而强降水主要集中在湘北。14 时后,湘北逐渐转为偏北风,低空急流减弱,地面冷锋演变成切变线,在切变线附近辐合较强,因而有带状回波生成。18 时 12 分,望城县境内有逆风区形成,逆风区是中尺度辐合辐散共轭系统风场在多普勒速度图上的表现形式,它的存在往往预示着成片暴雨的出现。在逆风区上有强烈的辐合辐散,形成产生暴雨的垂直环流结构,因此带状回波进一步加强发展,并随逆风区向东南方向移动。22 时除湘南还存在逆风区外,湘北转为偏北风,湘南为偏西风,回波强度减弱,湘中一线强降水结束(图略)。

4 数值预报产品检验

4.1 日本降水数值预报产品的检验

由于日本降水数值预报值往往偏小,根据预报员多年使用该模式所积累的经验,预报了 25mm 以上的降水区域,通常是实际的暴雨区域^[4]。如果以大于 25mm 线作为预报暴雨区域,则 13 日 08 时~14 日 08 时预报区域与实况暴雨区域相当吻合,除湘西北和湘东南两个角外,其余均为暴雨区,最大中心预报有两个,一个是湘东北,另一个是桂东北(图略),第一个中心刚好对应沅江、汨罗、汉寿的强降水中心,另一个中心与湘西南的通道、城步的强降水中心相对应,只是实况位置比预报位置要偏北一些,且预报值明显偏小,预报两个强降水中心分别为 59mm 和 69mm,只及实况值 125mm 和 106mm 的一半。

4.2 η 模式数值预报产品的检验

湖南省气象台运用 2002 年 5 月 12 日

20 时 T213 资料作初值的 η 模式做 13 日 08 时~14 日 08 时的 24 小时降水预报,通过对预报图(见图 3)与实况(见图 2)的比较可以明确以下几点:

(1) 预报图表明自 5 月 13 日 08 时起强降水区已移出湘西北,强降水区明显南压。澧县、慈利、张家界、花垣等湘西北县市 24h 降水量均在 25mm 线以内,与实况十分吻合。

(2) 预报图显示湘东北—湘西南有 50mm 以上的带状暴雨区,并预报了两个暴雨中心,一个位于益阳境内,中心数值 129mm;另一个位于怀南,中心数值 92.3mm。与沅江 105.5mm 及城步 124.9mm 的实况大致吻合。

(3) 预报图反映的强降水区南压的速度不及实况快,从预报图上看,衡阳至永州一线及以南地区均不在 50mm 线内,而实况是除湘东南、湘西北以外的其它地区普降暴雨甚至大暴雨,在这点上预报与实况不太吻合。

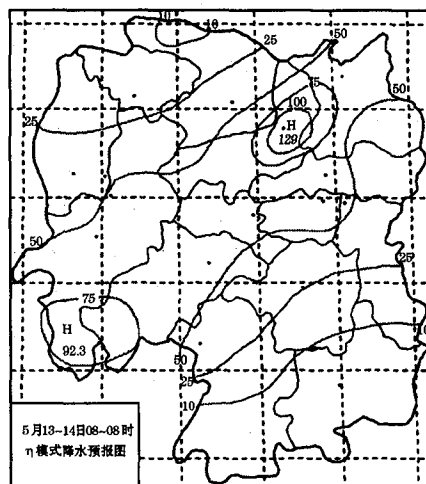


图 3 2002 年 5 月 13 日 08 时~14 日 08 时 η 模式降水预报图

表 2 给出了 5 月 13 日 08 时~14 日 08 时 128 个台站(包括湖南省周边台站)降水量预报检验结果,其中 ET213 为利用 T213 资料作初值的 η 模式预报结果,EDAT 为用实时探空资料作初值的 η 模式预报结果。TS

为技术得分,最佳为1,最差为0;PO为漏报率,最佳为0,最差为1;NH为空报率,最佳为0,最差为1^[5]。从表2可知,不论以T213资料还是实时探空资料作初值的 η 模式,在这次暴雨过程中预报检验结果较好,尤其对

暴雨落区及降水中心强度等方面具有较好的预报能力,其中ET213 50mm以上的技术得分比EDAT的技术得分高7.2%,具有更好的预报指导意义。

表2 2002年5月13日08时~14日08时 η 模式降水量预报检验

TS			PO			NH		
降水等级	ET213	EDAT	降水等级	ET213	EDAT	降水等级	ET213	EDAT
≥1mm	0.792	0.811	≥1mm	0.039	0.000	≥1mm	0.182	0.189
≥10mm	0.658	0.696	≥10mm	0.189	0.084	≥10mm	0.222	0.256
≥25mm	0.653	0.596	≥25mm	0.229	0.181	≥25mm	0.190	0.313
≥50mm	0.348	0.276	≥50mm	0.574	0.556	≥50mm	0.343	0.579

5 小 结

(1)受高空低槽、中低层低涡切变、高低空急流和地面冷峰的共同影响,5月12~14日湖南省自北向南出现了入汛后首场强暴雨天气过程,降水强度大、范围广。

(2)多重嵌套物理量诊断预报方法在此次暴雨过程中具有较好的预报能力,但在实际运用中需结合天气形势防止空报现象。

(3)加强对卫星云图及多普勒雷达回波的跟踪观测和逐时分析,对做好短期、短时的暴雨预报及服务具有十分重要的作用。

(4)日本降水数值预报模式和 η 模式在这次暴雨过程中预报效果良好,尤其对暴雨

落区及降水中心强度等方面有较好的预报能力。

参考文献

- 1 程庚福,曾申江等编著.湖南天气及其预报.北京:气象出版社,1987:217~221.
- 2 梅修宁等.多重嵌套物理量对98年主汛期暴雨过程的诊断分析.湖南气象,1999,3:10~12.
- 3 成秋影主编.长江中上游中尺度对流复合体的结构特征.北京气象学院学术论文集,北京:气象出版社,1987:39~47.
- 4 周雨华,毛亮,何正阳等.数值预报在2002年汛期暴雨预报中的应用.气象,2003,29(11):41~44.
- 5 方慈安,梅修宁,毛光祥. η 坐标有限区域数值预报模式的实时预报试验.气象,1999,25(9):15~20.

Analysis of the First Heavy Rainfall Event of Hunan Province in 2002

Ye Chengzhi Zhou Yuhua Huang Xiaoyu Zhang Hai Li Yan

(Hunan Meteorological Observatory, Changsha 410007)

Abstract

The first heavy rain process during 2002 flood season of Hunan, with strong rainfall intensity and wide scope, occurred on 12—14, May 2002. Analyzing synthetically the process from several aspects, such as the general circulation, the physical factors, the satellite images, the radar echo, the numerical weather forecast products, etc., it is shown that the key forecasting the heavy rain process succeeding and serving well is making best use of the above-mentioned products besides understanding the weather pattern deeply.

Key Words: heavy rain synthetical analysis NWP product