

文章编号:1004-9045(2008)03-0219-06

湖北省两次区域性暴雨过程的对比分析

施望芝, 张萍萍, 吴 涛, 钟 敏, 韩 琦

(武汉中心气象台, 武汉 430074)

摘 要: 利用常规气象观测资料和 T213 数值预报产品等资料, 采用天气动力学诊断方法, 对 2007 年春夏之交湖北省的两场区域性暴雨的相同点和不同点进行了诊断分析。结果表明: 两次暴雨过程具有相似的环流背景及强低层辐合、高层辐散的动力学结构, 且都受到冷空气的影响; 两次暴雨过程的不同点在于, 后一次暴雨过程的副热带高压、西南风急流明显强过前一次暴雨过程, 前一次暴雨过程的地面冷空气强度和移速强于后一次暴雨过程; 两次暴雨过程均伴有能量锋区、湿度锋区, 但后一次暴雨过程的能量锋、湿度锋、上升运动等明显强于前一次暴雨过程; 前一次暴雨的雷达回波带结构不完整, 强回波局地性较强, 对应暴雨分布相对零散, 后一次暴雨的雷达回波带结构紧密, 回波组织性较强, 对应暴雨站点较为集中; 前一次暴雨的云系由多个云团合并形成, 呈带状, 对应暴雨站点分散、暴雨集中区域小, 后一次暴雨的云系由一个微小云团发展而成, 呈团状, 其结构密实且停滞少动, 对应暴雨区域较大且集中、大暴雨站点多。

关键词: 暴雨; 物理量场; 雷达回波; 卫星云图

中图分类号: P458.1*21 **文献标识码:** A

1 引言

2007 年 5 月 23—24 日和 30—31 日, 湖北省相继发生了两次区域性暴雨或大暴雨天气过程。前者(以下简称区域暴雨)出现在 5 月 23 日 08 时至 24 日 15 时, 其降水时段集中在 23 日傍晚到 24 日凌晨, 降水到 24 日上午逐渐减弱, 到 15 时基本结束; 后者(以下简称区域暴雨)出现在 5 月 30 日 11 时至 6 月 1 日 05 时, 其降水时段集中在 30 日 20 时到 31 日 20 时, 降水到 6 月 1 日凌晨基本结束。无论区域暴雨或区域暴雨, 对 5 月份的湖北而言, 两次暴雨相继发生, 其降水强度之大、范围之广都是该区域 1956 年有气象记录以来所少见的。这两次暴雨过程先后造成数座水库溢洪、3.1 万公顷农田被淹, 给工农业生产和人民生活带来严重危害, 因此对这两次区域性暴雨过程的成因进行对比分析研究十分必要。

关于区域性暴雨天气的发生、发展和结构演变等特征, 已有许多气象科技人员进行过较为深入的研究。如孟妙志^[1]等使用有关天气图资料, 从天气形势、水汽条件、能量场等方面对陕西省两次以对流为主的区域性暴雨进行了对比分析; 陈晓燕^[2]等采用常规资料、卫星云图、雷达回波资料、自动站资料对黔西南州一次区域性大暴雨天气过程进行了分析; 段海霞等^[3]利用 NECP 资料以及常规观测资料对“04.9”川渝区域性暴雨过程的中尺度对流复合体(MCS)的形成、发展进

行了探讨。张端禹^[4]等使用常规气象资料、自动站雨量资料以及 T213 格点分析资料, 对 2005 年 9 月初“泰利”热带低压引起的鄂东连续大暴雨天气过程进行了诊断分析。

对于区域性暴雨的研究, 以往大多偏重于探讨单次暴雨形成的内在机制, 或者对于两次相隔时间较长的暴雨进行对比分析, 对于相继发生在同一气候背景下且强度、范围相差较大的区域性暴雨少有研究, 尤其对湖北初夏暴雨进行对比分析的则更少。为此, 本文利用常规观测资料、T213 资料、卫星云图、雷达资料, 采用天气动力学诊断方法, 从天气影响系统、物理量场、卫星云图、雷达回波等方面, 对发生在湖北省的这两场区域性暴雨的形成机制进行了对比分析, 旨在为减轻洪涝灾害和提高类似暴雨天气预报水平提供参考依据。

2 雨情对比分析

区域暴雨和区域暴雨都发生在初夏, 两者时间间隔为 7 天。雨情方面, 区域暴雨(图 1a)和区域暴雨(图 1b)的共同点是都有暴雨和大暴雨产生。其不同点是区域暴雨的强度和范围明显强于区域暴雨的强度和范围, 且区域暴雨的强降水面积较为集中。24 h 降雨量, 区域暴雨从 5 月 30 日 08 时到 31 日 08 时, 湖北共有 45 个自动站下了暴雨, 其中 10 站下了大暴雨, 暴雨和大暴雨区主要集中在鄂东北; 区

收稿日期: 2008-01-10; 定稿日期: 2008-07-18

基金项目: 中国气象局新技术推广项目“江淮流域实时洪水预报中水文气象耦合方法研究”资助

作者简介: 施望芝, 女, 1953 年生, 正研级高工, 主要从事短期预报技术和方法研究。E-mail: shiwz168@126.com

域暴雨 从 5 月 23 日 08 时到 24 日 08 时, 共有 17 个自动站下了暴雨, 其中有 3 站下了大暴雨, 且暴雨

站点零散地分布在鄂西南、江汉平原南部以及鄂东南地区。

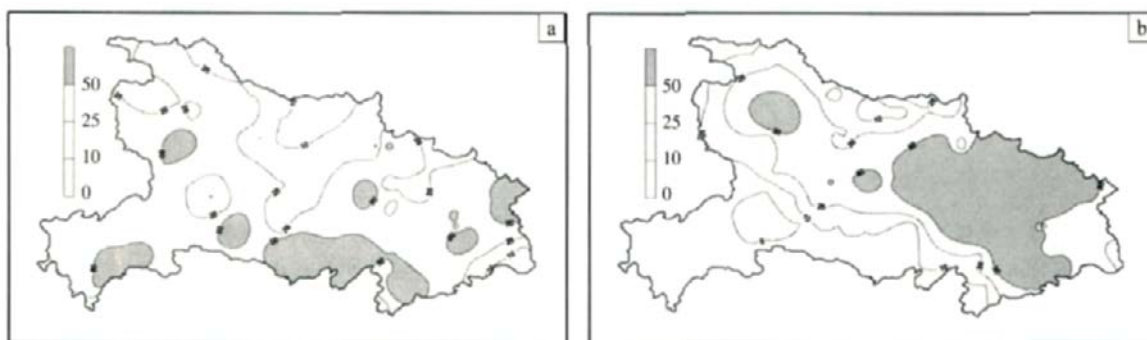


图 1 2007 年 5 月 23 日 08 时到 24 日 08 时(a)、30 日 08 时到 31 日 08 时(b)湖北省雨量图

3 影响系统对比分析

3.1 西风带大尺度环流

从 2007 年 5 月 23 日 20 时(图 2a)和 5 月 30 日 20 时(图 2b)500 hPa 高度场可见, 区域暴雨 和区域暴雨 的西风带大尺度环流较为相似, 即在欧亚中高纬地区为稳定的“两高一低”环流形势, “两高(脊)”分别

位于鄂霍茨克海和乌拉尔山附近, “一低(冷槽)”位于贝加尔湖到我国内蒙古地区, 随着该冷槽向东南方向移动, 槽后冷空气随之南下, 致使 700 hPa 和 850 hPa 切变形成, 从而造成湖北地区区域性暴雨天气。由此可见, 区域暴雨 和区域暴雨 均是由移动性低槽引起的过程性暴雨, 即《湖北天气预报手册》中归类的“南槽”型暴雨。

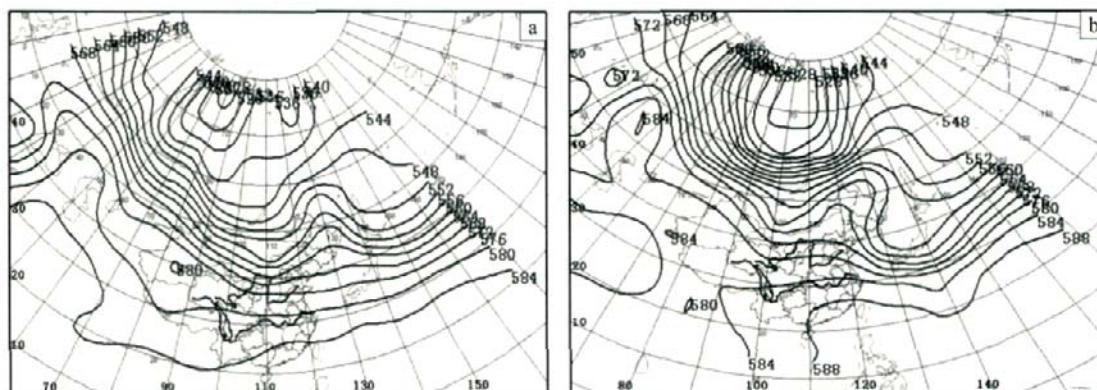


图 2 2007 年 5 月 23 日 20 时(a)、5 月 30 日 20 时(b) 500 hPa 环流形势场

区域暴雨 和区域暴雨 的西风带大尺度环流的不同之处在于, 区域暴雨 发生过程中, 西风槽移动速度较快, 仅在 1 天时间内就移出湖北, 当其带动槽后冷空气南下时, 地面冷空气以西北路径南下, 强度较大, 地面气压场中心气压达 1 020 hPa, 冷暖空气在鄂中地区交汇; 区域暴雨 发生过程中, 西风槽移动速度较慢, 在湖北境内大约维持 2 天时间, 地面冷空气以北路路径南下。两次暴雨过程中, 冷空气成为重要的触动力, 而区域暴雨 期间, 冷空气强度虽大, 但西风槽移速快, 所以降水持续时间短; 区域暴雨 期间, 西风槽移速较慢, 导致降水持续时间较长, 其降水过程明显强于区域暴雨 。

3.2 低空急流

从 2007 年 5 月 23 日 20 时和 5 月 30 日 20 时(图略)的 850 hPa 欧洲风场预报图上可见, 在华南至鄂东

北地区均存在风速 $12 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的西南急流, 低空急流的生成和加强为暴雨区输送了大量的水汽和能量。经分析发现, 区域暴雨 和区域暴雨 的落区均位于偏南风大值轴线左前方, 这与孙淑清等^[5]研究得出的“暴雨落区一般位于西南急流出口区左侧”的结果一致。就低空急流强度而言, 区域暴雨 要明显强于区域暴雨 , 这也从一个方面决定了区域暴雨 明显强于区域暴雨 。

3.3 副热带高压

从 2007 年 5 月 23 日 20 时(图 2a)、5 月 30 日 20 时(图 2b)500 hPa 高度场上可见, 区域暴雨 期间, 副热带高压强度偏弱, 其 584 dagpm 线在广西中部、湖南和江西南部到福建中部一线; 区域暴雨 期间, 副热带高压较强, 其 588 dagpm 线北上到广西西部、湖南和江西南部到福建中部一线, 副高脊线逐步北上并接近 20°N, 副高的加强西伸对水汽输送以及西南急流加

强起到重要作用,这也是导致这次过程强于区域暴雨的原因之一。

4 物理量场对比分析

根据 T213 数值预报分析场,对区域暴雨、 的相关物理量与其落区、落点的关系进行对比分析。

4.1 假相当位温水平分布场

暴雨的发生需要有足够的能量与之配合^[6],并与

能量场的分布存在一定的关系。为此,使用 T213 500、700、850 hPa 三层假相当位温(θ_{se})资料,将各层对应的 θ_{se} 格点值求和 $[\theta_{se(5+7+8)}]$,然后得到其水平分布场,以此分析大气中能量的分布、能量锋区的强弱及其位置和走向,进而分析其与暴雨之间的关系。图 3a、b 分别给出了 2007 年 5 月 23 日 08 时的 12 h θ_{se} 预报场和 5 月 30 日 20 时的 12 h θ_{se} 预报场三层的求和 $[\theta_{se(5+7+8)}]$ 结果。

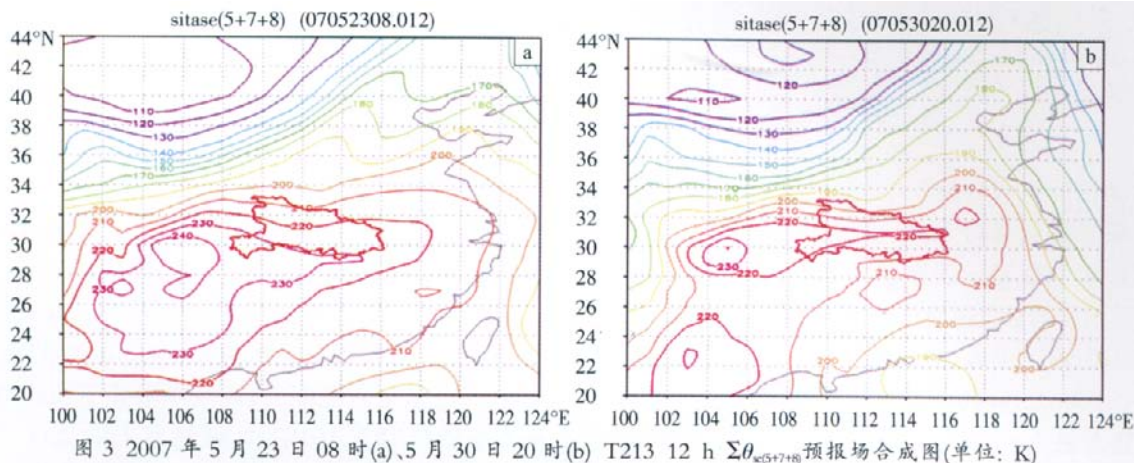


图 3 2007 年 5 月 23 日 08 时(a)、5 月 30 日 20 时(b) T213 12 h $\Sigma\theta_{se(5+7+8)}$ 预报场合成图(单位: K)

从图 3a、b 中可见,在鄂中暴雨区北部和湖北中北部暴雨区北部分别存在能量锋区。此外,通过分析两次能量锋区等值线密集度以及锋区南北能量值大小发现,区域暴雨的能量锋区强度明显大于区域暴雨的能量锋区。

4.2 比湿(q)场

湿度锋区往往与降水落区相伴随,q 值越大越有

利于强降水天气发生。图 4a、b 分别给出了 5 月 23 日 08 时起报的 00 时的 q 分析场和 5 月 30 日 20 时起报的 12 时 q 预报场。从中可见,上述两场暴雨都有湿度锋区伴随,且暴雨发生在湿度锋区南沿或靠近湿度锋区处^[7]。同样,通过分析两次湿度锋区等值线密集度以及锋区南北差值大小发现,区域暴雨中湿度锋区的强度明显大于区域暴雨的湿度锋区。

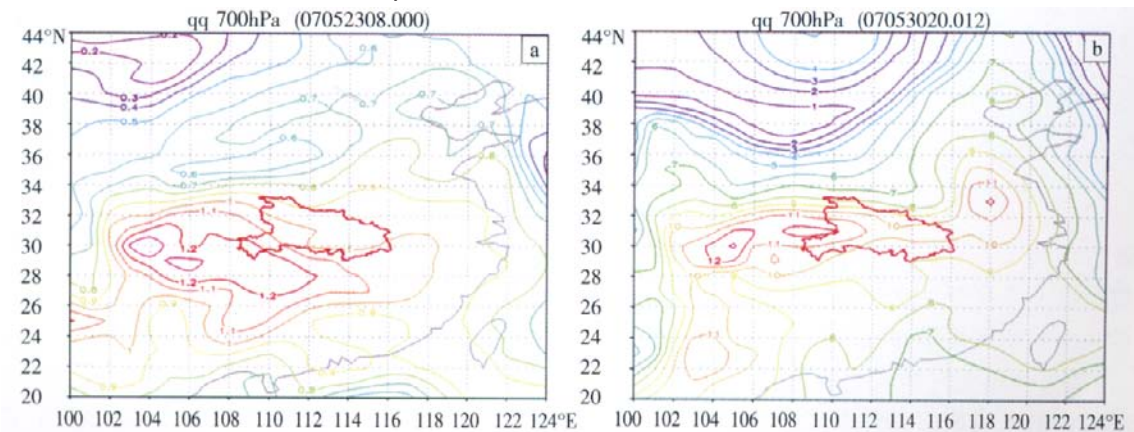


图 4 2007 年 5 月 23 日 08 时起报的 00 时 q 分析场(a)和 5 月 30 日 20 时起报的 12 时 q 预报场(b) (单位: g·kg⁻¹)

4.3 上升运动

经验表明,单站上空有强烈的垂直上升运动,也就是有次级环流产生,才有利强降水发生^[6]。根据暴雨或大暴雨发生地点和时间的不同,分别制作了上述两次过程中暴雨或大暴雨单站上空沿经向垂直剖面图,并任意选取 2 个暴雨站点,剖析暴雨或大暴雨发生地单站上空上升运动状况。对区域暴雨,选取神

农架站(110.67 E、31.75 N),其 24 h 降雨量为 68.2 mm;对区域暴雨,选取汉口站(114.13 E、30.62 N),其 24 h 降雨量为 122.6 mm。为了考察神农架站、汉口站及其附近暴雨区的上升运动情况,图 5 给出了 5 月 23 日 08 时、5 月 30 日 20 时分别沿 110.67 E、114.13 E 经暴雨中心所作的经向垂直剖面图。

诊断结果表明,两场暴雨或大暴雨都有不同强度

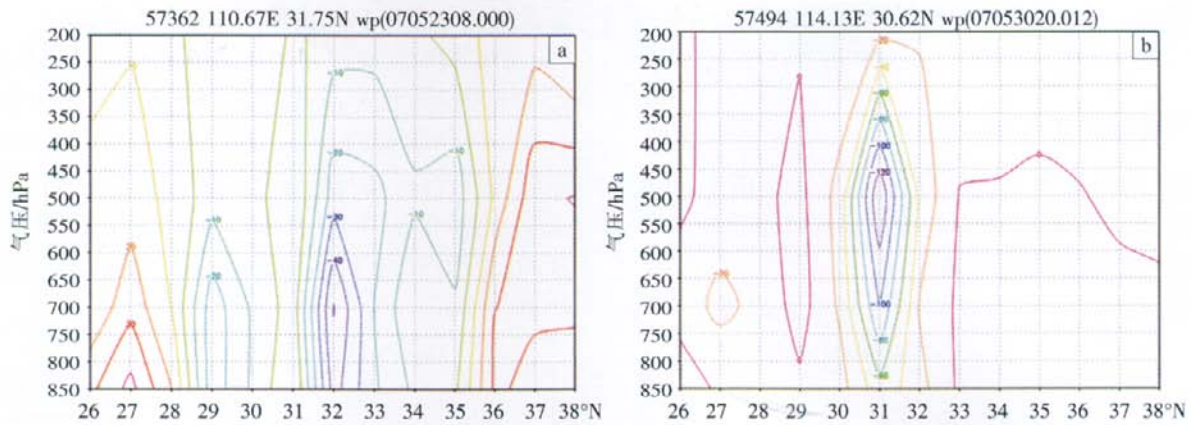


图 5 2007 年 5 月 23 日 08 时(a)、5 月 30 日 20 时(b)分别沿 110.67°E、114.13°E 经神农架站和汉口站的垂直速度径向剖面图

的上升运动区即次级环流发生,但区域暴雨的上升运动明显强于区域暴雨的上升运动;区域暴雨的最大速度位于 700 hPa,其量值为 $-50 \times 10^{-3} \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-1}$ (图 5a);区域暴雨的最大速度位于 500 hPa,其值为 $-120 \times 10^{-3} \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-1}$ (图 5b)。另外,各暴雨站点的上升运动最大值分别为 $(-10 \sim 150) \times 10^{-3} \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-1}$ 不等。

4.4 温度露点差

暴雨或大暴雨的发生需要整层空气湿度都较大,深厚湿层对产生暴雨或大暴雨起到不可缺少的重要作

用。使用 T213 500、700、850 hPa 三层温度露点差($T-T_d$)资料,将三层对应格点值求和得到 $(T-T_d)_{(5+7+8)}$ 水平分布场。诊断分析 5 月 22 日 20 时(图 6a)、5 月 30 日 08 时(图 6b)起报的 12 h 预报场格点数据可知,每个暴雨或大暴雨单点上空的湿度条件均非常好,其单点 $(T-T_d)_{(5+7+8)}$

10。从全省范围看,区域暴雨中, $(T-T_d)_{(5+7+8)}$ 值基本小于或等于 10;区域暴雨中, $(T-T_d)_{(5+7+8)}$ 值湖北中东部低于 10,西部则高于 10。这表明从大的范围看,区域暴雨的湿度条件好于区域暴雨的。

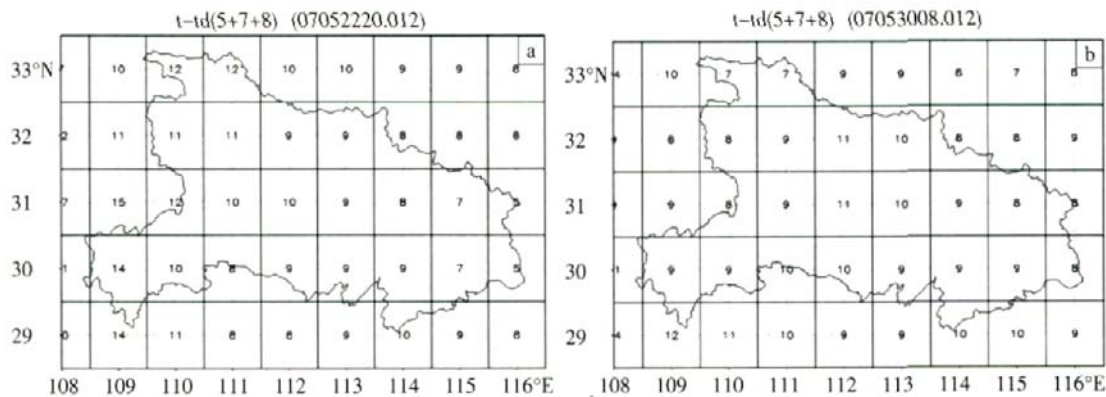


图 6 2007 年 5 月 22 日 20 时(a)、5 月 30 日 08 时(b)起报的 12 h $\Sigma(T-T_d)_{(5+7+8)}$ 预报场格点数据

4.5 K 指数

K 指数是综合了垂直温度梯度、低层水汽含量和湿层厚度的一个气团属性量。K 值越大,表示大气层结越不稳定,常用来衡量大气中潜在能量。单站 K 指数越大,表明潜能越大。当 K 指数值 ≥ 35 时,大气具备较高潜能。诊断分析 5 月 22 日 20 时(图 7a)、5 月 29 日 20 时(图 7b)起报的 12 h 预报场格点数据发现,暴雨或大暴雨单点的 K 指数均 ≥ 35 。对比分析结果发现,区域暴雨中 K 指数要大于区域暴雨中的,其潜能也较大,区域暴雨的对流性降水更明显。

5 雷达回波特征分析

一般认为,暴雨是在几种尺度系统相互作用下发

生发展的,而中小尺度系统则是其产生的直接影响系统。武汉多普勒雷达组合反射率因子图较好地反映了这 2 次暴雨的演变过程。

5.1 区域暴雨的雷达回波演变与特点

5 月 23 日 16—21 时,公安、沙市、京山、应城一带有局地对流性降水回波发展,分布零散,强度 45 dBz,其间最大雨强($56 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$)出现在应城南。5 月 23 日 19—21 时,上述对流单体回波逐渐连接成东北—西南向窄带,其东北端不断激发出新的对流单体,使回波带向东延伸至黄冈,回波顶高超过 17 km,其间最大雨强($51 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$)出现在监利。5 月 23 日 21 至 24 日 05 时,窄带回波在东移南压过程中结构变松散,宽度变大,随着大片层状云降水回波自雷达站西南方并入回

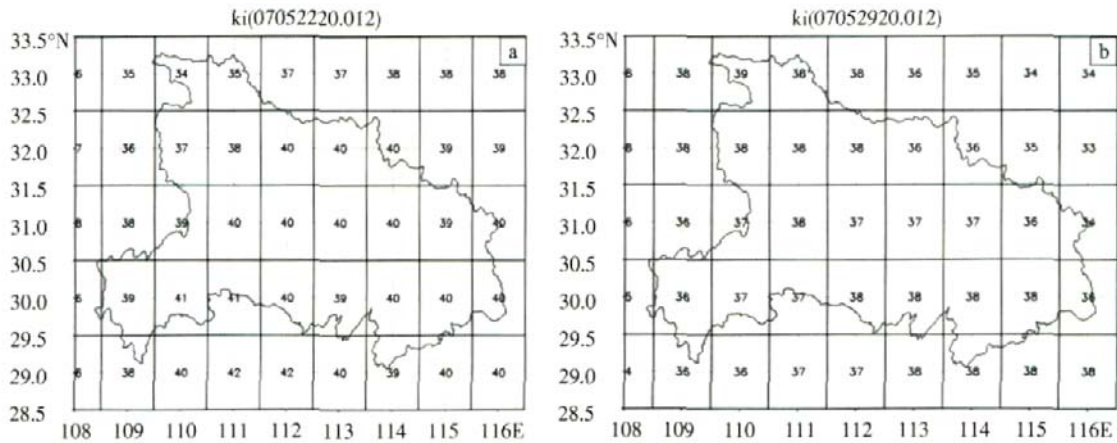


图 7 2007 年 5 月 22 日 20 时(a)、5 月 29 日 20 时(b)起报的 12 h K 指数预报场格点数据

波带,回波范围明显扩大,强回波位于回波带前沿,造成荆州、咸宁、黄冈、孝感、天门等地暴雨,最大雨强达 $83 \text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$ (位于监利境内)。

从区域暴雨 期间雷达回波演变可知,回波呈东北—西南向带状,对流单体回波沿带状回波向东北移动,强度 $40\sim 45 \text{ dBz}$,顶高 $9\sim 17 \text{ km}$,VIL 值 $10\sim 20 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$,伴随大片层状云降水,表明产生强降水所需水汽供应充足,而多个强降水回波移过暴雨区且移速缓慢是造成团风、孝昌、石首等地暴雨的主要原因。

5.2 区域暴雨 的雷达回波演变与特点

5 月 30 日 20 时左右,有一带状对流回波从豫南进入随州、广水等地,并向东南方移动,其移动过程中

逐渐组织发展成为长约 300 km 的东西向带状回波,前沿回波结构密实且强度梯度大,回波强度在 45 dBz 以上。对流回波带状在南压过程中,形状和强度维持,强降水与回波带呈一致的东西向带状分布。31 日 08 时之后,回波带逐渐减弱为层状云降水回波。

从区域暴雨 期间雷达回波演变可知,其短时强降水由东西向带状回波前沿的对流云产生,回波强度 45 dBz ,顶高 9 km ,VIL 值 $20 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$,后部伴随大片层状云降水回波,表明产生强降水所需的水汽供应十分充足(图 8a、b);速度图上,回波带对应一条东西向中尺度切变线,其北侧吹西北风,南侧吹西南风,切变线前沿的对流发展最剧烈(图 8c)。

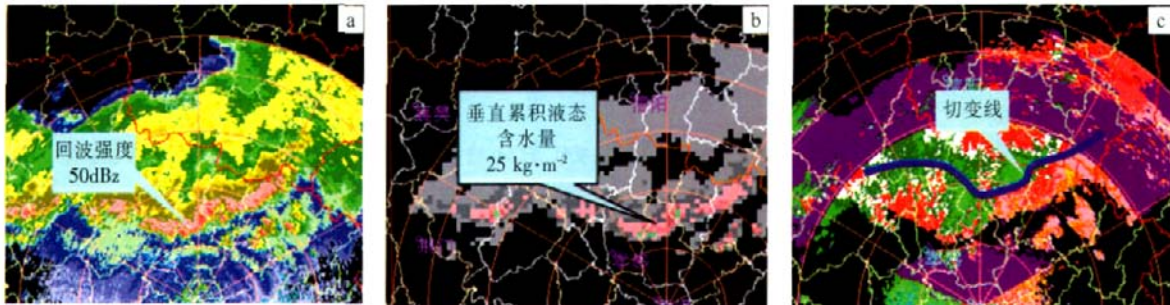


图 8 2007 年 5 月 31 日 00 时雷达回波强度(a)、垂直累积液态含水量(b)及切变线(c)分析图

6 卫星云图分析

从 2007 年 5 月 23 日 08 时至 24 日 08 时风云 2C 红外云图上可见(图略),造成区域暴雨 的云系由来自鄂西北的冷锋云系与鄂南发展起来的对流云系合并而成。23 日 08 时,鄂西北的冷锋云系开始形成,并在缓慢向东南移动中加强;13 时 30 分左右,湘北有一中- 尺度对流云团新生并逐渐加强;16 时 30 分,江汉平原南部及中部地区有 2 个微小对流云团新生并逐渐加强;20 时 00 分,鄂西北冷锋云系、湘北对流云团与江汉平原对流云团合并,并在江汉平原南部形成一条强降水云带;24 日 01 时 00 分,江汉平原南部强

降水云带移至鄂东南,同时鄂西北冷锋云带南压到鄂南,造成该地区强降水;24 日 08 时,合并后的降水云系逐步南移减弱消散,强降水基本结束。

再从 5 月 30 日 06 时 30 分到 31 日 12 时 00 分风云 2C 红外云图上可见(图略),造成区域暴雨 的云系由一逐渐发展加强的单个对流云团形成。30 日 06 时 30 分,位于豫南的一中- 尺度云团不断发展,并缓慢向东南移动;30 日 17 时 00 分,豫南云团进入鄂境,并发展为团状,其结构密实且停滞少动;21 时 00 分,受其影响,鄂东北出现较为明显的降水;31 日 01 时 00 分,向东南方向移动发展的豫南云团分裂为两个云团,其一迅速减弱,另一个继续发展加强;01—05 时,

先前从豫南云团中分裂出来的发展云团达到最强,其平均亮温最小值为 -72 ,亮温极端最低值达 -105 ,促使该对流云团发展成为深对流云团,对应鄂东北大部地区的强降水。

7 结论

本文对比分析了 2007 年 5 月 23—24 日和 30—31 日出现在湖北省境内的两次区域性暴雨或大暴雨天气过程的影响系统和物理量场特征,并对其雷达回波演变和卫星云图特征进行了对比分析,得出以下结论。

(1)两次区域性暴雨过程均属于“南槽型”,暴雨的发生与低层切变线、地面冷空气、低空急流以及副热带高压的位置密切相关,且两次暴雨维持时间长短及暴雨范围大小与低槽和西南急流的强弱呈正相关,与低槽移速呈反相关。

(2)物理量场数值诊断分析对暴雨落区及落点预报具有较好的指示作用,暴雨落区与能量锋区、低层风场、湿度锋区有关;单站暴雨或大暴雨的主要成因是有次级环流产生;与两次暴雨落点有关的各物理量场的强弱,如单站的垂直上升速度、 $(T-T_d)_{(5+7+8)}$ 、K 指数等,与暴雨强度呈正相关。

(3)两次区域暴雨的雷达回波演变具有共同特点,即回波均成带状分布,强度超过 45 dBz,回波带上强单体是造成暴雨的主要原因,最大降水强度达到 $83 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ 。不同点是,区域暴雨期间,回波带结构不完

整,强回波局地性较强,造成暴雨分布相对零散;而区域暴雨期间,回波带结构紧密,回波组织性较强,对应暴雨站点较为集中。

(4)两次区域暴雨的强降水主要发生在对流云团的发展至强盛时期,属于典型的中尺度对流系统降水。其不同在于,区域暴雨的云系由多个云团合并形成,呈带状,对应暴雨站点分散、暴雨集中区域小;区域暴雨的云系则由一个微小云团发展而成,呈团状,其结构密实且停滞少动,对应暴雨区域较大且集中,大暴雨站点多。

参考文献:

- [1] 孟妙志,李建芳,王仲文.陕西 2 次区域性暴雨的对比分析[J].陕西气象,2003(3):6-8.
- [2] 陈晓燕,李莉群,张辉.黔西南州“6·25”大暴雨天气分析[J].广西气象,2006,27(增刊):20-22.
- [3] 段海霞,毕宝贵,陆维松.2004 年 9 月川渝暴雨的中尺度分析[J].气象,2006,32(5):75-79.
- [4] 张端禹,张兵,钟敏.对 2005 年 9 月初鄂东一次连续大暴雨的诊断分析[J].暴雨灾害,2007,26(1):52-56.
- [5] 孙淑清,翟国庆.低空急流的不稳定性及其对暴雨的触发作用[J].大气科学,1980,4(4):327-337.
- [6] 施望芝,祈东平,王丽,等.一次暴雨空报的诊断分析[J].气象,2007,33(5):56-61.
- [7] 施望芝,金琪,刘静,等.湖北省春季暴雨落区数值预报模型和指标[J].气象科技,2007,4(33):300-304.
- [8] 王军,周官辉,杜滨鹤,等.豫北一次飑线天气过程分析[J].气象,2002,28(11):37-40.

Contrastive Analysis of Two Heavy Rain Cases in Hubei Province

SHI Wang-zhi, ZHANG Ping-ping, WU Tao, ZHONG Min, HAN qi

(Wuhan Central Meteorological Observatory, Wuhan 430074)

Abstract: By using synoptic and dynamical diagnostic methods, the contrastive analysis of two heavy rain cases is performed with routine data and T213 products. It is shown that the two processes have the same circulation background, the same dynamic structure with air convergence in lower level and air divergence in upper level and are affected by the cold air. The differences between two cases are that the subtropical high and southwest wind's jet in the second heavy progress are obviously stronger than those in the first one, but cold air's intensity and speed in the ground of the first progress are stronger than the second progress'. Both energy frontal zone and moisture front exist in two processes, but the energy frontal zone, moisture front and the ascending motion of the second progress are stronger than those of the first one. In addition, the incomplete echo structure of the first progress is corresponded with the scattered distribution of rainstorm, but the dense and strong structure of the radar echo in the second progress with the centralized distribution of rain storm. The characteristics of the cloud images indicate that multiple cloud clusters distributed in belts of the first process result in dispersed regional rainstorm, but the cloud system of the second process developed from a small cloud cluster appearing mass, dense and less active makes the large and concentrated regional rainstorm.

Key words: Heavy rain; Physical features; Radar echo; Satellite images