

一次致洪暴雨的中尺度分析

赵玉春 王仁乔

(湖北省气象局武汉中心气象台, 武汉 430074)

摘要 利用多普勒雷达等多种观测资料,分析 2003 年 6 月 22 日发生在湖北省安陆北部的山洪,并初步概括了引发山洪暴雨的概念模型,结果表明:①引发安陆山洪的暴雨强度大、持续时间短,强降雨带(团)具有明显的中 β 尺度特征,山洪爆发地区的强降水由中 β 尺度降水带上与深厚对流云活动有关的中 γ 尺度强降水雨团造成;②引发山洪暴雨的概念模型可以描述如下:在有利的大尺度环流背景及高低空急流耦合下,天气尺度系统影响产生大范围降水,当受外界强迫或者存在大气对流不稳定度增强和对流触发机制时,大范围降雨带上产生中 β 或中 γ 尺度强对流雨团导致大暴雨甚至特大暴雨天气,在有利的地形条件下爆发山洪,特别是在山区前期发生了降水,土壤湿度大,地表渗透系数小的情况下极易发生。

关键词 山洪 暴雨 中尺度系统 概念模型

引言

山洪、滑坡、坍塌和泥石流等地质气象灾害往往给人民生命财产造成巨大损失,而这些灾害的发生与气象因子如暴雨等密切相关。山洪一般指山区荒溪及小河流发生的洪水,其流速快,冲刷力和破坏力强。山洪爆发大多由山区局地强暴雨造成,例如 1998 年 7 月 22 日,受中尺度强对流系统影响,鄂东发生了历史罕见的特大暴雨,黄梅 24 h 降水量 225 mm,黄梅柳林乡发生山洪,导致房屋倒塌 230 多间,直接经济损失达 1000 多万元。胡伯威等^[1]和贝耐芳等^[2]对引发此次山洪的强暴雨中尺度系统进行了较为详细的研究,发现大暴雨由一系列中 β 尺度的强对流系统造成,特殊的中尺度地形在中尺度对流系统的形成过程中起着重要的动力作用。崔春光^[3]等通过数值敏感性试验探讨了中尺度地形在此次特大暴雨中的作用。由于山洪爆发与地形地理条件密切相关,因此有必要将地理地形条件与暴雨相结合研究引发山洪的暴雨,为山洪预报预警提供有力的依据。

2003 年 6 月 22 日,受中尺度对流系统影响,鄂

东地区突降大暴雨,安陆、麻城、广水等 13 个县(市)观测站的 24 h 累积降水达 100 mm 以上。受强降雨影响,安陆北部的王义贞、烟店、李畈等 3 个乡镇爆发了山洪,导致 800 多间房屋倒塌,多处堰塘被冲垮,多段公路被毁,山洪爆发后洪水淹没农田 1 万 h m^2 ,成灾 0.33 万 h m^2 ,绝收近 0.067 万 h m^2 ,直接经济损失达 2000 多万元。本文以此次山洪为例,对引发山洪暴雨的中尺度系统进行详细分析,并结合产生山洪的历史个例,初步探讨局地山洪灾害活动的规律。

1 天气尺度环流背景

2003 年 6 月 22 日 20:00(北京时,下同)500 hPa 天气图上,西太平洋副热带高压为准东西向且稳定少动,副高脊线位于 23°N 附近,欧亚中高纬大气环流呈“两脊一槽”型,即新疆北部和鄂霍次克海地区各有一高压脊,华北低槽位于 117°E 左右,长江中下游地区位于华北低槽的底部。图 1 为 2003 年 6 月 22 日 20:00 天气尺度系统与物理量的综合示意图。由图 1 可见:①850 hPa 上浅薄的低涡位于淮北地区,一冷式切变线从低涡中心呈东北-西南

向伸至鄂东北,暴雨区正好位于淮北低涡后部冷式切变线的尾部;②850 hPa 西南低空急流和高湿轴呈东北—西南向位于芷江—长沙—阜阳一带,200 hPa 高空急流轴在 $95^{\circ} \sim 115^{\circ} \text{E}$ 之间呈西北—东南

向,其南端压至 35°N 附近,暴雨发生在西南低空急流轴的左侧,高空急流轴的右侧。③500 hPa 华北低槽后部不断有干冷空气沿槽后西北气流南侵下滑影响长江中游地区。

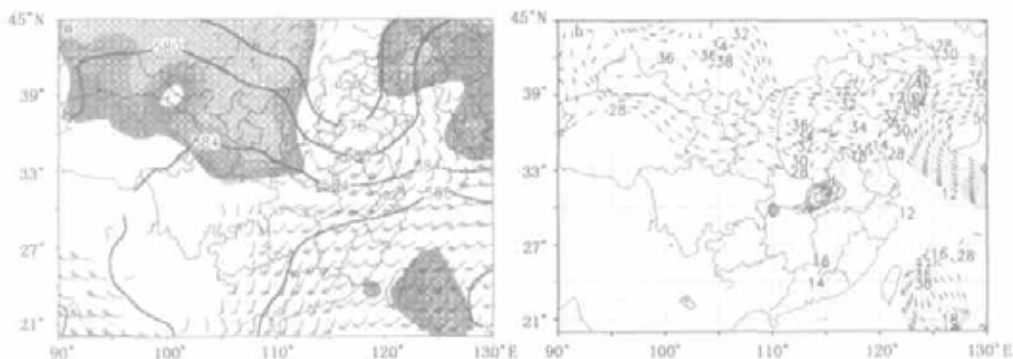


图 1 2003 年 6 月 22 日 20:00 天气尺度系统与物理量的综合示意图

(图 a 中阴影区为 500 hPa 相对湿度 $\leq 50\%$ 的区域,等值线为 500 hPa 位势高度(dagpm)场,风标描述 850 hPa 风场;

图 b 中短虚线为 200 hPa $|V| \geq 28 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的全风速,点线为 850 hPa $|V| \geq 12 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的全风速,细实线为降水等值线(mm))

2 山洪中尺度分析

2.1 中尺度地形条件

暴雨是山洪爆发必不可少的气象因素,而有利的地形是山洪发生的必要条件,一般而言,峡谷、荒溪、小河川以及山地低洼地带大多是山洪的易发多发地区,特别是当前期有一定降水,土壤湿度大(土壤吸收降水少)的情况下,山区发生强降水后,山水将会迅速地下流汇聚,极易引发山洪。图 2 为安陆北部山洪爆发地带示意图,可见大洪山呈西北—东南向,方圆 330 多平方公里,主峰宝珠峰,海拔约 1000 m,相对高差 800 多米,大洪山东侧绵延而出的山丘地带伸至安陆,安陆位于大洪山的东侧,其西北部的 3 个乡镇王义贞、烟店和孝畈正好位于该山丘山脚下,属山洪易发地带。另外,大洪山中尺度地形对山区暴雨有不可忽视的作用,特别是大洪山迎风坡一侧的动力抬升作

用往往使暴雨增强导致山洪爆发。

2.2 强降水活动与山洪爆发

分析鄂东地区代表站点的逐小时自记降水演变发现(图略),22 日 21:00,准东西向的中 β 尺度降水窄带在宜城—随州一带形成,之后强降水带大致以 $15 \sim 20 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ 的速度向东南方向移动,先后影响广水、安陆、大悟、孝感和孝昌等地,使得这些地区突降暴雨。安陆观测站逐小时自记降水演变图上(图略)可见:①降水突发性强,22 日 23:00 猛降暴雨,降水一开始时安陆雨强接近 $50 \text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$ 左右;②降水强度大,22 日 23:00 雨强可达 $60 \text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$ 以上;③降水持续时间短,强降水维持了 3 h 左右,3 h 累积降水量达 130 mm 以上。由于降水突发性强、强度大,加上前期发生了降水(安陆观测站 19~21 日累积降水达 68 mm),山区堰塘坑洼底水高,地表渗透系数小,地表径流系数大,倾盆而下的暴雨几乎毫无渗透地沿山丘快速而下,暴雨高效集流导致安陆北部山区的 3 个乡镇王义贞、烟店和孝畈于 23 日凌晨山洪爆发。

2.3 卫星雷达观测事实

风云 2 号卫星观测的红外云图上(图略),22 日 16:00,淮北地区低涡上开始有对流云发展。19:00 该地区对流云发展成完整的对流云团,此时,对流云团的尾部伸出一“牛角状”对流云窄带伸展到鄂东

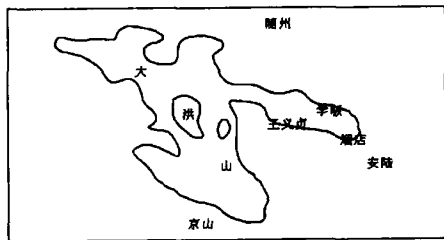


图 2 安陆北部山洪爆发地区的地形分布示意图

北,该对流窄带位于低涡后部的冷式切变线上;此时,武汉多普勒雷达降水回波图上(图略),准东西向的降水回波在鄂东北的北部形成,降水回波带窄,位于随州和枣阳之间(无地面观测站点,故雨量计没有记录到强降水发生的准确时间),在东西带状的降水回波上,有狭窄的强降水回波带,它与多普勒径向速度图上的速度零线相对应,结合天气图上的风场分析,该速度零线即为中尺度切变线(辐合线),对流云上的强降水回波窄带主要位于中尺度切变线西南暖湿气流一侧。21:00 淮北低涡对流云团减弱(该对流云团生命期约 7 h),鄂东北对流云进一步发展加强;多普勒雷达降水回波带南压至大悟附近。22:00 鄂东北对流云窄带外围逐渐发展加强成中 α 尺度对流云团,成为对流云主体,强的对流云位于鄂东北上空。此时雷达探测的 0.5° 仰角的回波图上(图略),降水回波南压至安陆附近,强降水回波窄带空间尺度略有加大,以“回波脊”的形式存在;雷达的径向风速图上,中尺度切变线(辐合线)南压过安陆。值得指出的是,至此安陆北部的强降水发生在低层中尺度切变线西北气流一侧。之后切变线缓慢东移南压,降水回波带随对流云团也缓慢东移南压,给鄂东地区造成强降水。在切变线移到鄂东南时,对流云团减弱,降水回波也减弱消失(该中 α 尺度对流云团生命期约 12 h)。

从每 6 min 一次的雷达回波演变图上发现(图略),在准东西向的降水回波图上,安陆附近有两次中 γ 尺度的强降水回波活动,22:08 ~ 22:50,山洪爆发地带有强的雷达回波单体生成,空间尺度 20 ~ 35 km,接近中 γ 尺度,强度接近 45 dBz,雷达回波顶高达 12 km,这表明山洪爆发地区深厚的对流系统

造成了这一地区猛降暴雨,安陆观测站 23:00 自记降水接近 50 mm;22:56 ~ 23:32,又一中 γ 尺度强降水回波在安陆附近活动,强度接近 45 dBz,雷达回波顶高达 17 km,安陆 24:00 自记降水达 60 mm 以上。可见山洪爆发地区的强降水由中 β 降水带上中 γ 尺度强降水活动造成,而中 γ 尺度强降水活动与中 α 尺度对流云团上深厚的对流云活动有关。

2.4 中尺度对流系统触发机制

不同天气背景条件下,中尺度对流系统的触发机制可能不同。胡伯威等^[1]的研究表明特殊的中尺度地形的动力作用可以触发中尺度对流。彭家毅^[4]等通过位涡反演探讨了中尺度重力波在中尺度对流系统的触发中的作用。Conrad 等^[5]的研究表明干线上的辐合抬升提供的动力作用可以导致中尺度对流系统的爆发。

对此次引发安陆山洪大暴雨的中尺度对流系统的分析表明,对流层中高层干冷空气在 θ_{sc} 锋区后侧南侵下沉作用在对流系统的形成中起到重要作用,它一方面造成对流不稳定性加大(对流不稳定性 $\partial \theta_{sc} / \partial p$ 计算表明,暴雨发生前对流不稳定性大,而暴雨发生后对流不稳定性迅速减小),另一方面与暴雨区南侧中 α 尺度垂直环流圈的上升气流支形成另一中 α 尺度垂直次级环流,促使上升运动加大触发对流形成暴雨。22 日 08:00 沿暴雨区($115^\circ E$)的相对湿度、假相当位温(θ_{sc})和垂直环流剖面上(图略), $30^\circ \sim 35^\circ N$ 之间为一伸至 400 hPa 的高湿柱,高湿柱区 θ_{sc} 随高度下降,存在明显的对流不稳定,其北侧 θ_{sc} 锋区位于 $35^\circ N$ 附近且近乎垂直地伸至 300 hPa,一支弱的上升气流沿 θ_{sc} 锋区爬升,其南侧($30^\circ N$ 以

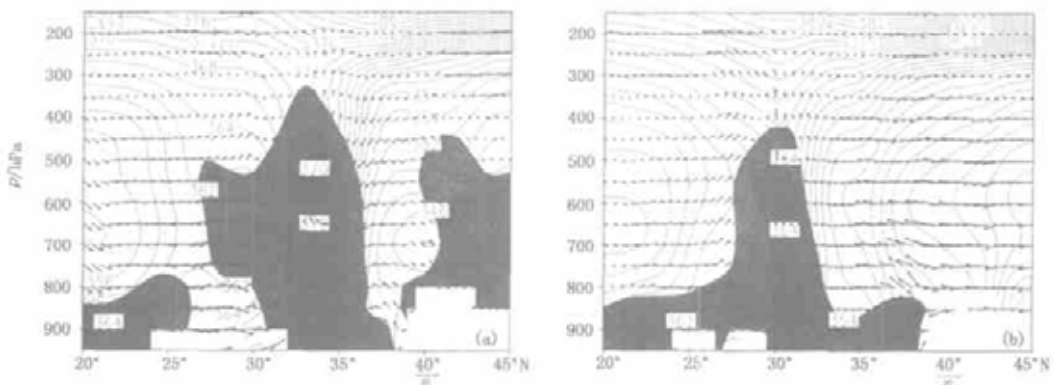


图 3 2003 年 6 月 22 日 20:00(a) 和 23 日 08:00(b) 沿 $115^\circ E$ 的相对湿度、假相当位温(θ_{sc})和垂直环流($v - \omega$)剖面图
(图中阴影区为相对湿度 $\geq 80\%$ 的区域,等值线为假相当位温 θ_{sc} (K),经向速度 v ($m \cdot s^{-1}$),垂直速度 ω ($10^{-3} hPa \cdot s^{-1}$))

南)一中 α 尺度垂直环流圈中心位于 300 hPa 附近。22 日 20:00(暴雨开始时,图 3a),南侧的垂直环流圈更加完整。 θ_{se} 锋区略向南压至 35°N 以南,高湿柱的北侧(θ_{se} 锋后)有一股干(冷)空气南侵下沉入高湿柱,在其作用下 θ_{se} 锋区附近开始形成一完整的中 α 尺度垂直环流圈,高湿柱区上升气流明显加强,它在对流的触发过程中起到重要作用。文献[6]的分析也表明暴雨发生时存在类似的中尺度环流圈。23 日 08:00(暴雨后期,图 3b), θ_{se} 锋区快速南压至 31°N 附近,锋后的干空气随着锋区南侵下沉,高湿柱区变窄南压至 30°N 附近;南支环流圈也进一步南移;北侧锋区附近的中尺度环流圈消失。

3 山洪暴雨概念模型

3.1 山洪暴雨历史个例总结

对湖北省历史上发生的 100 多个山洪个例进行了初步统计分析,发现山洪发生的气象条件主要有 3 类:①山区局地的强降水,俗称“沱子雨”,这一类强降水大多由局地强对流造成,与中尺度地形以及大气不稳定性有关,一般没有利于降水的大尺度环流形势,从天气图上很难分析出影响系统,有时雷达回波上都很难发现降水系统。如 2000 年 7 月 4 日发生在大巴山东侧远安凤鸣镇的山洪,1996 年 9 月 16 日发生在宜昌的山洪,都是突如其来的“沱子雨”造成的;②山区强降水由中尺度雨团活动造成,一般是中尺度对流系统移到山区并在山区得到加强造成暴雨,天气影响系统一般为中尺度气旋或切变线,雷达能探测到明显的中尺度降水回波,如 2002 年 6 月 8 日发生在宜昌的山洪,1998 年 5 月 8 日发生在钟祥的山洪,都属移动性中尺度对流系统影响;③大范围降雨带上中 β 或中 γ 尺度的强降水雨团活动造成,此时天气图上存在有利于大范围降水的环流形势。如 1998 年 7 月 22 日发生在黄冈的山洪就是在有利的大尺度环流背景下,大范围降雨带上中 β 或中 γ 尺度强降水雨团活动造成。

3.2 山洪暴雨概念模型

2003 年 6 月 22 日引发安陆北部 3 镇山洪的暴雨属于第 3 类,通过上述分析并结合以往的工作,得出此类山洪暴雨概念模型(图 4):在有利的大尺度环流背景(如西太平洋副高稳定少动,脊线位于 $22^{\circ}\sim 25^{\circ}\text{N}$,欧亚中高纬盛行经向环流等)及高、低空急流耦合下(西南低空急流位于芷江—长沙—阜阳一带,高空

急流位于 35°N 附近),天气尺度系统(如低层切变线和中尺度低涡等)影响产生大范围降水,当天气尺度系统受外界强迫或者影响区存在大气对流不稳定度增强和对流触发机制(如中高层干冷空气南侵下沉,中尺度地形动力抬升作用,中尺度重力波等)时,天气尺度系统影响区爆发深厚的对流,中 β 或中 γ 尺度强降水雨团在大范围降雨带上活动产生暴雨、大暴雨甚至特大暴雨,导致有利的地形区(如峡谷,荒溪,小河流,山地低洼地带等)爆发山洪,特别是当山区前期发生了降水,土壤湿度大,地表径流系数小,堰塘坑洼底水高位的条件下,极易发生山洪。

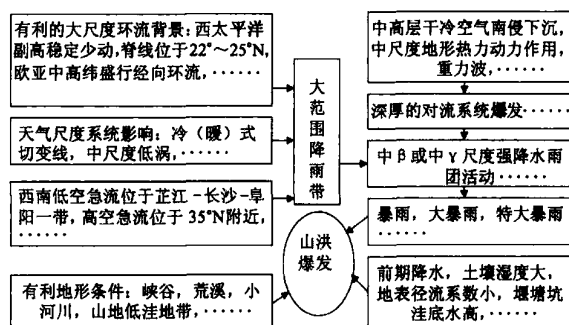


图 4 山洪暴雨概念模型示意图

4 小结

利用常规探空、自动雨量站、卫星和多普勒雷达等多种观测资料,分析了 2003 年 6 月 22 日引发湖北省安陆北部的山洪暴雨天气的中尺度系统,并探讨了引发山洪暴雨的概念模型,初步得出结论如下:

(1) 引发安陆山洪的暴雨强度大、持续时间短,强降雨带(团)具有明显的中 β 尺度特征,山洪爆发地区的强降水由中 β 尺度降水带上与深厚的对流云活动有关的中 γ 尺度强降水雨团造成。

(2) 对流层中高层干冷空气在 θ_{se} 锋区后侧南侵下沉作用在引发安陆山洪大暴雨的中尺度对流系统的形成中起到重要作用,它一方面加大对流不稳定度,另一方面与暴雨区南侧中 α 尺度垂直环流圈的上升气流支形成另一中 α 尺度垂直次级环流,促使上升运动加大触发对流形成暴雨。

(3) 山洪暴雨的概念模型可以描述如下:在有利的大尺度环流背景下,当天气尺度系统受外界强迫或者影响区存在对流不稳定增强和触发机制时,中 β 或中 γ 尺度强降水雨团活动产生大暴雨甚至特大暴雨,导致有利的地形区爆发山洪。

参考文献

1 胡伯威,崔春光,芳春花.1998 年 7 月 21 ~ 22 日鄂东沿江连日特大暴雨的成因分探讨.大气科学,2001,25(4):479 - 491

2 贝耐芳,赵思雄.1998 年“二度梅”期间突发强暴雨系统的中尺度分析.大气科学,2002,26(4):526 - 540

3 崔春光,闵爱荣,胡伯威.中尺度地形对“98·7”鄂东特大暴雨的动力作用.气象学报,2002,60(5):602 - 612

4 Peng Jiayi, Wu Rongsheng, Wang Yuan. Initiation mechanism of meso- β scale convective systems. Advances in Atmospheric Sciences, 2002, 19(5):870 - 884

5 Ziegler C L, Lee T J, Pielke R A Sr. Convective initiation at the Dryline: A modeling study. Mon. Wea. Rev., 1997, 125:1001 - 1205

6 赵玉春,王仁乔,郑启松,等.长江中游一次暴雨中尺度系统的观测分析.气象,2003,29(11):14 - 19

Analysis of a Heavy Rain Triggering Flash Floods

Zhao Yuchun Wang Renqiao

(Wuhan Central Meteorological Office, Hubei Provincial Meteorological Bureau, Wuhan 430074)

Abstract: With Doppler radar data, analyzed was the flash flood in the northern Anlu in Hubei Province on 22 June 2003, and a conceptive model of heavy rain triggering flash floods was developed. The results show: ① The heavy rain process triggering the Anlu flash floods has the characteristics of high intensity and short duration, and its mesoscale rainfall clusters have obvious meso-scale characteristics. The severe rainfall in the flash flood area was resulted from the meso- γ -scale rainfall clusters, which were related to the activities of deep convective clouds on the meso- β -scale rain band. ② The conception model of the heavy rainfall triggering flash floods can be described as: Under the context of favorable large-scale atmospheric circulation and coupling of upper and low level jets, synoptic-scale systems lead to large-scale rainfall. When there exists environmental forcing or triggering mechanisms of air instability, the meso- β/γ -scale heavy rain clusters on large-scale rain bands result in severe heavy rainfall, and lead to flush floods or even disastrous flash floods, in combination with favorable topography, especially in the mountainous areas with large soil humidity and small surface permeating coefficient owing to the previous rainfall.

Key words: flash flood, heavy rain, meso-scale system, conceptive model