

多尺度地形对武江流域“06.7”台风暴雨的影响

邹毅

(广西财经学院管理科学与工程学院, 广西南宁 530003)

摘要: 2006年7月第4号台风“碧丽斯”(Bilis)登陆期间,北江流域一级支流武江遭遇了历史罕见的特大暴雨,并形成有记录以来流域最大洪水。为此,基于地面降水数据和多普勒天气雷达数据,研究发现源自湖南南部的对流风暴越过分水岭后所形成的“列车效应”,是造成武江流域短时间内极端降水的主要原因。利用地理信息系统技术对该对流风暴活动规律的研究表明,武江流域的复杂地形造成对流风暴多次转向,极大延长了风暴在乐昌市境内的停留时间,加剧了局地的暴雨山洪。研究同时发现,位于骑田岭山区的黄岑水库与台风相互作用,可能增强了局地对流活动。研究结果揭示了中小尺度复杂地形对台风暴雨的影响,对于指导防范台风引发的次生灾害具有一定参考意义。

关键词: 多尺度地形; 武江流域; “06.7”台风暴雨; 影响

中图分类号: TV122

文献标志码: A

文章编号: 1000-7709(2023)05-0006-04

1 概况

2006年7月14日,2006年第4号台风“碧丽斯”(Bilis)在福建省霞浦县登陆后继续向西北方向移动,于15日最终在江西西部减弱为热带低气压。受“碧丽斯”影响,福建、江西、湖南、广东、广西等地均遭受严重的暴雨洪涝灾害,给当地社会经济造成巨大破坏。其中,北江一级支流的武江流域(图1)出现了突破历史纪录的极端降水,遭遇了超百年一遇的特大山洪灾害,其中乐昌市财产损失和人员伤亡尤为严重^[1,2]。已有大量研究探索了这一次罕见的暴雨及其引发的洪水^[3-6],但目前对这次降水的过程及其成因仍缺少深入的研

究,对台风暴雨与流域地形的关系仍不清楚。为此,本文基于多普勒天气雷达反射率数据和高分辨率的地形数据,对“碧丽斯”登陆后武江流域发生的这次台风暴雨开展研究,探寻了此次台风暴雨的成因,分析了其与武江流域地形的关系,获得了一些有益的结论,可供借鉴。

2 研究方法 with 数据

随着观测技术的进步,多普勒天气雷达技术凭借其对于天气系统的高时空分辨率观测优势,在近期的台风暴雨与地形关系的研究中应用广泛^[7]。本文利用韶关的(海拔301.9 m)的S波段(10 cm)天气多普勒雷达获得了高时空分辨率的雷达反射率数据。此外,利用武江流域24个雨量站的降雨资料分析了乐昌此次暴雨的降水特征。地形数据则选择了ASTER GDEM V3,其空间分辨率为30 m。研究主要采用地理信息系统平台ArcGIS(Version 10.2),分析暴雨时空分布与不同尺度地形的关系。

3 多尺度地形对台风暴雨的影响

2006年第4号台风“碧丽斯”登陆后给乐昌

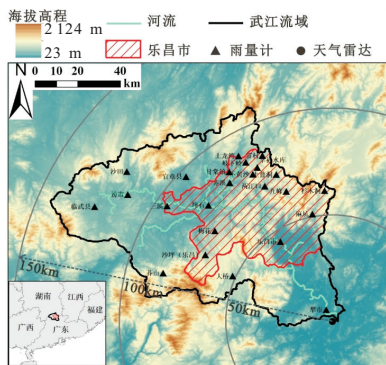


图1 研究区

Fig. 1 Study area

收稿日期: 2022-04-21, 修回日期: 2022-07-31

基金项目: “广西高等学校千名中青年骨干教师培养计划”人文社会科学类立项课题(2021QGRW059)

作者简介: 邹毅(1983-),男,博士、副教授,研究方向为灾害风险管理和空间信息挖掘, E-mail: zouyi06@126.com

市造成了异常严重的强降水,武江流域降雨持续时间 60 h,从 7 月 14 日 20:00 至 17 日 8:00,武江流域的平均降雨量为 391 mm,其中 14 日 20:00 到 15 日 2:00,田头水流域两江口站的 6 h 降雨量达到 212 mm。位于武江流域支流田头水流域的土龙湾、岐下岭、下黄沙、甘棠镇和幸福水库雨量计 60 h 累积降水量均超过 600 mm,远高于周边地区,表明降水分布极不均匀,其中田头水一带为暴雨中心。田头水为武江的一条支流,其源头在乐昌北部山区。此外,乐昌地区 60 h 累积降水量也显著高于周边地区。其中,7 月 14 日 20:00 至 15 日 8:00 的 12 h 累积降水量占比超过 95%,表明降水集中在当地时间的第一个晚上。根据“碧丽斯”的轨迹,2006 年 7 月 14 日 20:00,“碧丽斯”的中心在乐昌以北约 500 km,2006 年 7 月 15 日 8:00,“碧丽斯”的中心在乐昌以北约 300 km。在 7 月 14 日 20:00~15 日 2:00 期间,“碧丽斯”以 20 km/h 的速度迅速向西移动,这是“碧丽斯”登陆以来移动速度最快的阶段,也是与乐昌特大暴雨过程密切相关。

图 2 为 7 月 14 日 20:00~7 月 15 日 2:00 时段武江流域雷达反射率图,根据图 2 可将 6 h 的暴雨过程分为三个阶段:①第一阶段为 7 月 14 日 20:01~20:38 乐昌上空主要以弱回波为主,直到 7 月 14 日 20:38,乐昌北部边界开始出现强烈的雷达回波。②第二阶段为 7 月 14 日 20:38~15 日 00:13,此阶段的突出特征为 35 dBZ 以上反射率的强回波集中出现在乐昌中部,表现出显著的强对流风暴特征,而在乐昌以西的武江上游仅有零星弱回波,显示此阶段暴雨异常集于乐昌境内。③第三阶段为 7 月 15 日 00:13 之后,此阶段的特

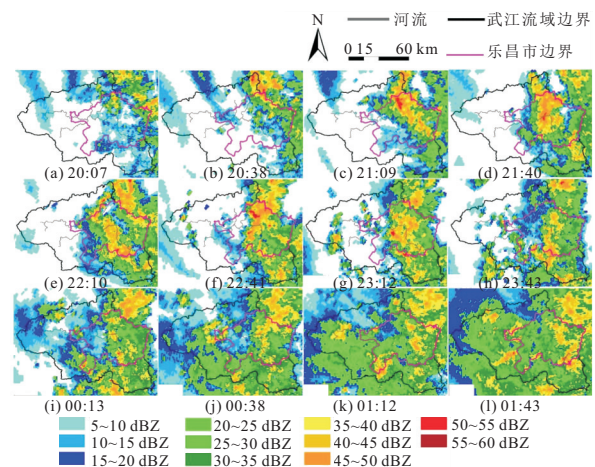


图 2 2006 年 7 月 14 日 20:00~7 月 15 日 2:00 武江流域雷达反射率图(仰角 = 1.5°)

Fig. 2 Radar reflectivity maps in Wujiang River basin at 20:00 July 14—2:00 July 15 (elevation = 1.5°)

征为大面积回波覆盖整个武江流域,反射率 35 dBZ 以上的强回波分布于乐昌的东部,表明风暴已经减弱但降水并未结束。研究揭示了 7 月 14 日 20:00~7 月 15 日 2:00 时段乐昌市境内一次严重的风暴过程,这一阶段也是“碧丽斯”登陆之后加速移动的一个阶段。

通过对研究区强反射率(>40 dBZ)的分析(图 3),2006 年 7 月 14 日 20:00~21:46,一个强对流系统由北向南穿过南岭山脉进入乐昌。乐昌北部南岭山脉上空出现对流系统,经长江流域和珠江流域分水岭的一个 NE-SW 方向山谷进入乐昌。在 7 月 14 日 21:09~21:40,对流系统形成了具有强反射率的带状结构,在乐昌北部的田头水流域产生了强降水。7 月 14 日 22:10 时,乐昌北部南岭山脉上空出现另一个带状结构的对流系统,其中一个新的强对流系统又经过武江流域分水岭上的另一个 NE-SW 方向的山谷进入乐昌,并在进入乐昌北部田头水流域后的 22:41 时显著增强。7 月 14 日 21:00 至 23:00,来自南岭山脉地区的一系列强对流单体在乐昌同一地点相继经过,这种天气现象也被称为列车效应^[8],加剧了乐昌地区的强降雨。研究认为南岭地区的强对流系统是由“碧丽斯”气流驱动的。

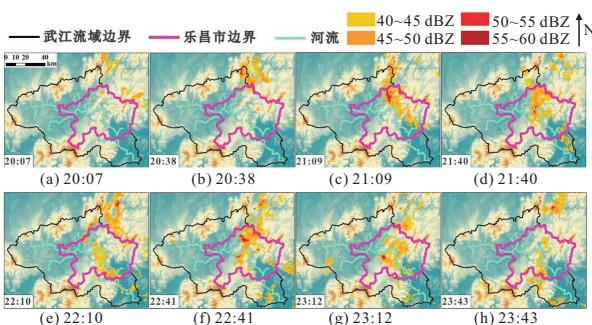


图 3 2006 年 7 月 14 日 20:07~23:43 武江流域雷达强反射率图(>40 dBZ)

Fig. 3 Locations of strong reflectivity (>40 dBZ) of 20:07-23:43 on July 14, 2006

通过观察强反射率(>40 dBZ)的发展和移动,发现带状的对流系统向南转移到乐昌南部的山区,然后沿着山脉对流系统转向东南移动。因此,这些对流系统先由东江水库流域向西南移动至武江流域,再向南移动至乐昌,最后沿乐昌南部的山脉向东南移动。表明不仅沟通长江和珠江流域的河谷影响了强对流系统的运动和发展,乐昌南部的山地地形也影响了这些强对流系统的运动和发展。这些对流系统在经过南岭地区时发生了两次移动方向的变化,对流风暴方向的变化大大增加了乐昌地区的风暴持续时间。

由于强反射率轨迹的拐点是田头水流域(图4(a)),而田头水流域也是武江流域的降水中心(图4(b)),因此本文详细研究了该流域对流系统的运动特征。图4(c)、(d)显示了田头水流域强对流系统的雷达强反射率图(>45 dBZ)。由虚线可知,在7月14日21:15~21:33和22:23~22:41期间,来自东江水流域的两个强对流系统进入田头水流域后,分别在狭窄的峡谷内由改变原来的NE-SW移动方向为N-S移动方向。与通常的右移风暴增强不同^[9],研究显示对流风暴系统在其移动方向的左侧加强。强对流系统在4 h内先后经过田头水流域,形成了“列车效应”,是造成田头水流域成为本次暴雨中心的主要原因。另外,这两个强对流系统的雷达强反射率部分在其运动过程中均保持了NE-SW带状的形态,这与田头水流域南北分水岭之间的山谷趋势一致。而7月14日21:15~21:33、22:23~22:41两个对流系统在经过田头水流域南部的分水岭时突然变强,可能是山脉地形抬升的结果。

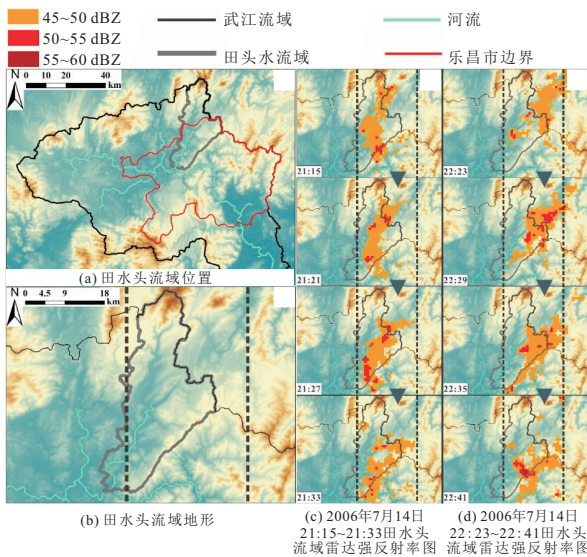


图4 田头水流域位置、地形及雷达强反射率图

Fig. 4 Location, topography and radar strong reflectivity of Tiantoushui River basin

为分析地形对这次风暴的影响,本文计算了2006年7月14日武江流域所在的南岭地区20:00~24:00时强回波(>40 dBZ)的频率分布(图5(a))。研究发现,南岭山区有三条强回波的高频率带,其中另外两条位于乐昌市境内(B、C),一条位于乐昌北部的湖南省郴州市境内(A)。高频率带A显示了风暴在由北向南进入乐昌之前具有明显的右移倾向,但越过武江分水岭进入乐昌以后则突然转变为左移倾向的B、C两高频率带,显示风暴在进入乐昌市境内后的传播发展。从地形上看,发现高频率带A明显沿乐昌市以北

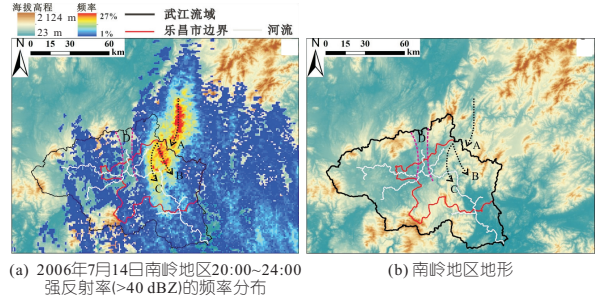


图5 南岭地区强反射率的频率分布及地形

Fig. 5 Frequency distribution of strong reflectivity and topography of Nanling mountains

的山谷分布,但B、C两高频率带的分布则主要分布在乐昌市中部的山区地带。同时,研究发现武江流域北部存在一个明显的低频率带D区,其从武江流域北部分水岭两山之间的峡谷向南延伸到乐昌市西北部,说明D处的气流与A、B、C处的气流显著不同。本文认为很可能是“碧丽斯”的气流由D处峡谷进入武江流域后,限制了B、C处的对流风暴在进入乐昌后继续西南方向移动,而改为向东南移动,因此极大地增加了风暴在乐昌境内的停留时间。

借助于精细地形数据,发现即使较小水库也可能促进对流系统的发生。基于2006年7月14日20:00~24:00强反射率(>40 dBZ)的频率分布(图6(a)),发现在位于武江流域的骑田岭山区的南部黄岑水库附近存在一处异常区。黄岑水库地处武江支流玉溪河上游,总库容 $1\ 470 \times 10^4\ m^3$,属于中型水库。进一步的分析发现,紧邻黄岑水库的西部地区多次出现反射率增强的现象,显示此区域的对流活动增强。考虑到黄岑水库位于骑田岭南部山区,水域面积不足 $2\ km^2$,处于“碧丽斯”气流影响的背风坡位置,故推断台风活动与此处地形交互作用可能增强了局部的对流活动。

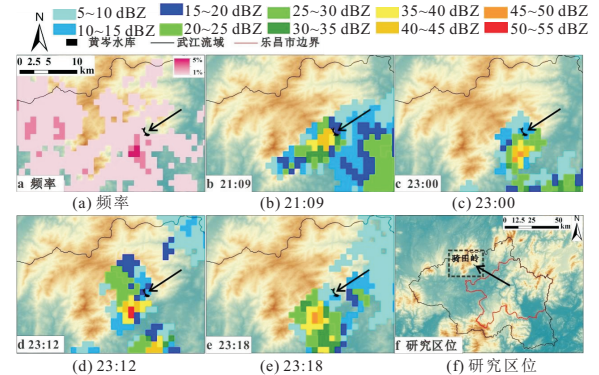


图6 骑田岭强反射率的频率分布和雷达反射率图及武江流域黄岑水库位置

Fig. 6 Frequency distribution of strong reflectivity, radar reflectivity map of Qitianling mountain and location of Huangcen Reservoir

4 结论

a. 2006 年 7 月 14 日珠江流域乐昌市山洪暴发的降水是由长江流域东江水库流域的对流风暴引起的。此外,本文发现强对流风暴袭击乐昌时,“碧丽斯”以较快的速度向西移动,表明这次发生在南岭山脉的强对流风暴可视为是“碧丽斯”增强的一个标志。

b. 南岭山地复杂地形对乐昌极端降水具有促进作用,主要是通过增强对流风暴并改变其运动方向来实现。

c. 乐昌北部的田头水流域地形为对流单体跨流域持续进入乐昌提供了有利条件。此外,在一定条件下,南岭山脉的某些山谷可能会抑制对流系统的发展,并改变对流系统的传播方向,从而加剧乐昌的列车效应。

d. 南岭复杂地形对地处背风坡的武江流域强风暴的发展和移动也起着关键作用。此外,本文基于精细地形分析,发现即使位于背风坡且水域面积小于 2 km^2 的黄岑水库,在台风气流的影响之下也可能会加剧局地的强对流活动。

参考文献:

- [1] 林旭钿,陈芷菁. “06. 7”武江特大暴雨洪水分析[J]. 广东水利水电, 2006(5):41-42.
- [2] 陈斯伦,朱维科. 武江“2006·07”洪水的分析与研究[J]. 水文, 2013, 33(1):94-96.
- [3] 胡建华. 武江流域“06. 7”暴雨过程分析[J]. 广东水利水电, 2008(4):46-47,50.
- [4] 周小群. 武江流域暴雨洪水特性比较分析[J]. 人民珠江, 2011(1):78-80.
- [5] 杨萍. 武江流域“06·7”洪水过程及其组成分析[J]. 水利科技与经济, 2012, 18(1):58-62.
- [6] 张丽娟,陈晓宏,叶长青,等. 考虑历史洪水的武江超定量洪水频率分析[J]. 水利学报, 2013, 44(3): 268-275.
- [7] 邹毅. 东江水库对山区盆地大气强对流活动的影响[J]. 水电能源科学, 2016, 34(10):1-4.
- [8] DOSWELL C A, BROOKS H E, MADDOX R A. Flash flood forecasting: An ingredients-based methodology[J]. Weather and forecasting, 1996, 11(4): 560-581.
- [9] BUNKERS M J. Vertical wind shear associated with left-moving supercells[J]. Weather and forecasting, 2002, 17(4):845-855.

Study on the Influence of Multiscale Topography on ‘06. 7’ Typhoon Rainstorm in Wujiang River Basin

ZOU Yi

(School of Management Science and Engineering, Guangxi University of Finance and Economics, Nanning 530003, China)

Abstract: During the landfall of Typhoon Billis in July 2006, Wujiang River, a tributary of the Beijiing River basin, was hit by an unusual rainstorm in history, resulting in the largest flood ever recorded in the basin. Based on precipitation record and Doppler weather radar data, it is found that the "train effect" induced by a convective storm, which originated in southern Hunan and crossed the divide, is the main reason for the extreme precipitation in Wujiang River basin. The study of the convective storm activity by using GIS technology shows that the complex topography of Wujiang River basin changed the direction of the convective storm several times, which greatly prolongs the duration of the storm in Lechang city, resulting in local rainstorm and flash flood. The study also found that the Huangcen Reservoir in Qitianling Mountain area was affected by typhoon, which probably enhanced local convections. The study reveals the influence of meso-scale and miso-scale topography on typhoon rainstorm, which contribute to the prevention of typhoon-induced disasters.

Key words: multi-scale topography; Wujiang River; ‘06.7’ typhoon rainstorm; influence

(上接第 58 页)

Calculation and Analysis of Mass Transfer Coefficient of Aeration to Supersaturated Total Dissolved Gas

YAO Yuan-bo, YANG Hui-xia, WANG Yun-yun, LIU Cai-hong, LIANG Jia-jia

(College of Civil Engineering, Guizhou University, Guiyang 550025, China)

Abstract: The supersaturated total dissolved gas (TDG) is mainly caused by the discharge of high dam spillway, excess oxygen production of plant photosynthesis and sharp increase in water temperature, which may directly lead to fish and aquatic organisms suffering from gas bubble disease (GBD) or even death. In order to explore the measures to mitigate the adverse effects of supersaturated TDG, under different aeration conditions, the swirl mixing aeration mode has an obvious effect on the release of supersaturated TDG, its effect is slightly stronger than that of pinhole aeration method, and the aeration rate has the greatest impact on the mass transfer coefficient of supersaturated TDG, followed by the aeration depth, and the aeration diameter is the smallest. The relationship between supersaturated TDG mass transfer coefficient and aeration rate, aeration diameter and aeration depth is obtained, respectively. The average error is within $\pm 6.25\%$. The research results provide a data basis for mitigating the adverse effects of supersaturated TDG.

Key words: aeration; supersaturated TDG; aeration rate; aeration diameter; aeration depth; mass transfer coefficient