

丁仁海,王龙学.九华山暴雨地形增幅作用的观测分析.暴雨灾害,2009,28(4):377-381.

九华山暴雨地形增幅作用的观测分析

丁仁海¹,王龙学²

(1.安徽省九华山气象台,九华山 242811;2.安徽省安庆市气象局,安庆 246000)

摘要:利用常规气象观测资料和安徽省中尺度自动气象观测网的加密资料,对 2007—2008 年九华山的 7 次暴雨天气过程,经过山区雨量和周边测站雨量的比较及山区小地形作用引起的风场变化对降水影响的综合分析,得到如下结论:九华山山区降水量明显多于周边丘陵地区,其雨量分布具有明显的山区地形雨特征。山区降水量分布受地形影响很大,迎风坡及喇叭口雨量偏多,不同高度上雨量分布存在差异。地形作用形成的风场辐合影响强降水和强对流天气的形成和发展,气流过山造成的气流加强效应有利于低空急流的加强和维持。强降水发生前,山区风场变化明显,且风场发生改变与强降水的开始和增强有一定的时间对应关系,风垂直切变的维持与强降水时段也有较好的相关性。

关键词:地形雨;中尺度辐合线;地形作用;自动气象站;九华山

中图分类号:P458.1*21.1; P461*3 文献标识码:A 文章编号:1004-9045(2009)04-0377-05

1 引言

九华山为皖南三大山系(黄山、九华山、天目山)之一,山区面积约 120 km²,最高峰海拔 1 342 m。所属区域地形地貌复杂,山区特征明显,主要山脉呈南北向。九华山不仅有皖南山区多雨湿润的气候特征,而且降水相对集中、强度大,暴雨量的分布具有明显地方性特征。山区不同地形、不同高度处降水量差异很大,周军^[1]称其为地形的“内边界层效应”。山区地形对降水的影响,过去学者对这方面的研究多针对大的山体从个例入手,运用数值模拟进行研究。本文以海拔高度在 1 000 m 左右的九华山为分析对象,运用自动气象站加密观测数据,从降水统计分析入手对山区 2007—2008 年 7 次暴雨过程进行综合分析,讨论山区地形影响降水天气的诸多因素,提示如何通过近地层风场的调整影响山区强降水的一般特点。旨在提高旅游景区夏季强对流天气的预报能力及山洪灾害的预警能力。

2 强降水的分布特征

2.1 测点的选取

运用安徽省中尺度自动气象观测网的加密资料,选取分布在不同高度、不同地形上的青阳、杜村、牛角尖、朱备、九华街、百岁宫、天台 7 个观测点(图 1),对 2007—2008 年 7 次暴雨天气过程进行分析。朱备和杜村、牛角尖分别位于九华山山脉的东西二侧,牛角尖、九华街在喇叭口地形坡的不同高度上,天台接近山顶,青阳高度最低,且所处地势较平坦。

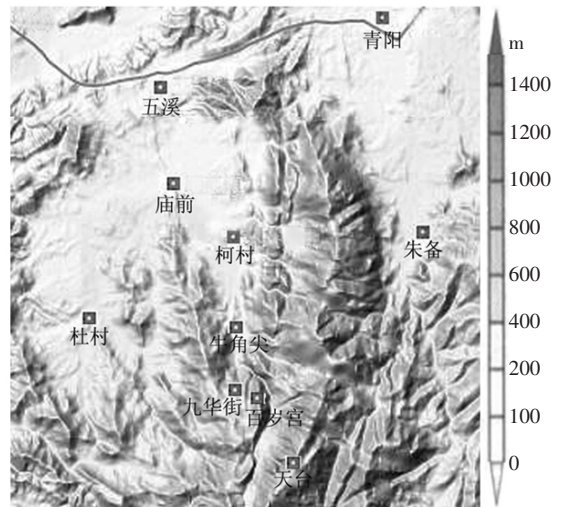


图 1 九华山风景区地形图

2.2 山区与周边雨量的比较

在九华山四周相邻距离不足 50 km 选取 4 个气象站点作降水对比分析。九华街处在九华山的中心地区,以九华街的资料代表山区降水特征。九华街日降水 ≥ 50 mm 的天气过程定义为九华山暴雨过程,则 2007—2008 年九华山共出现了 7 次暴雨天气过程,周边站点的雨量及海拔高度见表 1。由表可见,山区降水量在多数情况下大于周边站点,有的过程降水明显偏多,如山区出现大暴雨时,周边有的站点降水量不足 10 mm。只有少数强降水过程中各站降水量级大体相当。这说明九华山的地形海拔高度对降水的增强作用是十分明显的。

2.3 山区各站雨量的比较

在上述 7 次暴雨天气过程中,山区在不同高度、

收稿日期:2009-09-21;定稿日期:2009-11-28

作者简介:丁仁海,男,1960 年生,高级工程师,主要从事山区天气气候诊断及暴雨预报研究。E-mail: drh2486@sohu.com

表 1 2007—2008 年九华山(九华街站)及其周边站暴雨出现日期和日雨量(单位:mm)

暴雨日期	九华街 (647.3 m)	黄山区 (193.4 m)	铜陵 (37.5 m)	池州 (35.0 m)	石台 (64.7 m)
2007-07-10	227.5	181.6	0.3	18.6	18.0
2007-09-19	221.3	76.8	135.4	75.9	68.3
2007-10-07	121.2	11.7	9.6	2.0	6.4
2008-06-10	88.4	97.6	27.0	44.1	92.4
2008-06-17	69.6	67.9	52.9	56.1	60.6
2008-06-23	57.6	25.1	20.5	26.1	28.7
2008-08-01	51.1	77.1	41.2	52.1	53.5

* 括号中数据为站点海拔高度

不同位置(各测点间水平距离最远不超过 30 km)其日降水量差异也较大。图 2 是山区各测点雨量分布图。从青阳到天台,各点海拔高度依次增大。由图可见,降水分布有一定规律:(1)在一定高度内降水量随高度增加而增大,超过此高度随高度增加降水量反而减少,如海拔高的天台的降水就不如其海拔低的九华街降水大。(2)影响九华山区的降水系统大都为向西北移动或西移系统,因此,从杜村到百岁宫,一路为迎风上坡,其降水量随高度增加而明显增大,且大于同高度背风坡的降水,如牛角尖高度同朱备近似,在背山坡上的朱备明显不如在迎风坡上的站点降水大。(3)牛角尖、九华街处在喇叭口地形位置,平均降水量多于其它观测点。(4)青阳地处山脚且地势平坦,受山区地形影响较小,远不如处在山谷的杜村降水量波动性大。以上现象说明,同一降水过程中由于各点的地形特征及海拔高度的差异使得山区雨量空间分布不均匀。

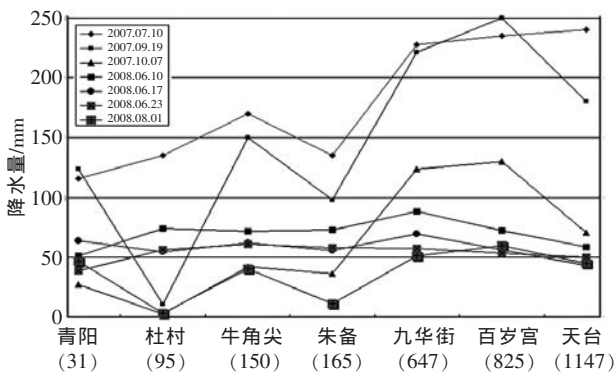


图 2 各暴雨日在山区不同高度测点上降水量分布图(括弧内数字为各测点的海拔高度,单位:m)

3 山区地形作用分析

3.1 迎风坡的地形效应

九华山脉呈南北向,上游气流过山时遇山脉阻挡,改变了近地层风场的垂直结构,如图 3 所示。迎风坡流线倾斜大,山顶处的流线接近水平,呈西厚东薄

的楔状。气流过山,沿 X 方向随高度的增加流线由疏变密,风向风速均发生变化。气流 V 沿流线方向由于“狭管效应”加速运动,使 $V_3 > V_2 > V_1$, 则有:一是山顶处风速(水平分量 u_3)最大;二是气流在上升过程中形成水平风垂直切变,且垂直风随山体坡度的增加而增大,九华山半山腰处坡度最大,因此,该处的上升运动最强。

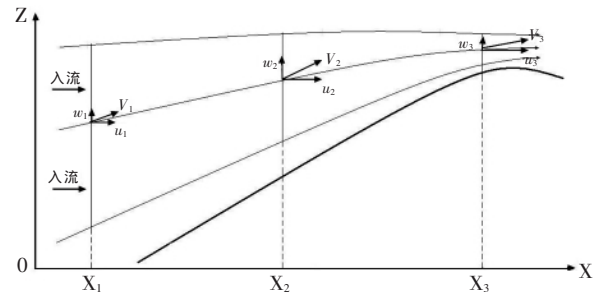


图 3 气流过山流线在迎风坡的垂直剖面图(细实线为流线,粗实线表示山体迎风坡)

上述的地形作用使过山系统风速加大、上升运动加强,尤其是能使低空急流加强,对降水有增强作用。低空急流是产生暴雨等强降水的一个重要影响系统,九华山绝大部分暴雨与低空急流有联系。陈麟生等^[4]研究指出,风垂直切变加速低空急流在迎风坡处的辐合上升,一方面向暴雨区输送暖湿空气,造成对流不稳定层结,另一方面在暴雨区产生辐合,触发不稳定能量释放。张广周等^[5]分析了不同高度急流对暴雨天气的作用,并指出超低空急流是暴雨区所需水汽的最大提供者,配合其它动力环境条件使得山区暴雨及强对流天气容易得到强烈发展。九华山顶高度接近 850 hPa,低空气流在越山过程中风速会增大而达到急流的条件或使急流加强引发暴雨。2007 年 9 月 19 日大暴雨就是台风低压、低空急流和山区地形效应共同作用的结果。当日低层高度场上,九华山为一致的西南风急流,日降水量 221.3 mm,雨强在 20 时达最大,为 18.3 mm/h,对应 850 hPa 风场出现 $18 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 最大急流风速。

3.2 喇叭口、背风坡的地形作用

柯村新区至牛角尖为一开口朝北的喇叭口地形,牛角尖在喇叭口底沿,牛角尖、九华街又在迎风坡的不同高度上(见图 1),二处特殊的地形使每次强降水过程的雨量具有地形雨特征。2007 年的 3 次暴雨中,环境风吹偏北风或偏西风,这时喇叭口的地形作用变得明显,牛角尖降水量大于喇叭口外背风坡高度相近(如朱备)的降水量。当气流沿坡而上至九华街,造成气流辐合上升加强,使该处降水加大。2008 年 6 月的 3 次暴雨中,牛角尖与百岁宫的高度虽然相差近 700 m,

但降水量却十分接近。陶诗言等^[6]研究指出地形对暴雨的落区和幅度有影响,山脉地形对暴雨有加强和增幅作用,并影响强降水的落区。在 2007—2008 年 7 次暴雨天气中,降水系统由西入侵,朱备处在背风坡,降水量远不如处在迎风坡牛角尖的雨量。7 次强降水过程中,九华街、百岁宫出现 7 次暴雨,牛角尖、朱备、天台各出现 5 次,杜村、青阳只有 4 次达到暴雨,暴雨量分布不均,但可明显看出,喇叭口内的雨量大于喇叭口外的雨量,迎风坡的雨量大于背风坡的雨量。这说明在九华山区喇叭口、背风坡的地形作用是很明显的。

3.3 山体高度与降水的关系

暴雨降水过程中,山体高度的增雨作用是明显的,尤其在山的迎风面。从表 1 山区与周边站点因高度的差异引起的雨量差异及图 2 中不同高度暴雨量分布可说明这一点。不过降水量只在一定高度内随高度增加而增大,超过一定高度后降水量反而减小。如图 2 所示,九华街的降水量明显大于牛角尖的降水

量,而天台的高度超过九华街和百岁宫,但是多数暴雨过程中其降水量却少于九华街和百岁宫的降水量。因此九华山区存在最佳降水高度,这一高度在九华街到百岁宫区间。这与该高度处的上升运动最强有关。

4 风场变化分析

4.1 地面风场辐合与降水的关系

气流经过山区下垫面时,由于山区地形起伏大、湍流交换强,能产生较大的摩擦力,使得实际风总是偏离地转风,形成风场辐合。在各次暴雨天气的主要降水时段内各取一次 10 分钟风向风速来说明山区风场与降水的关系(图 4)。从图 4 可见,山区风场(图中椭圆线区域)与周边风场(称环境风)有明显不同,山区风向与环境风差异很大,有的风向改变,有的风速变化,但均表现出风场的辐合。因此,地面气流辐合强弱直接影响上升运动的强弱和对流天气系统的维持和发展。

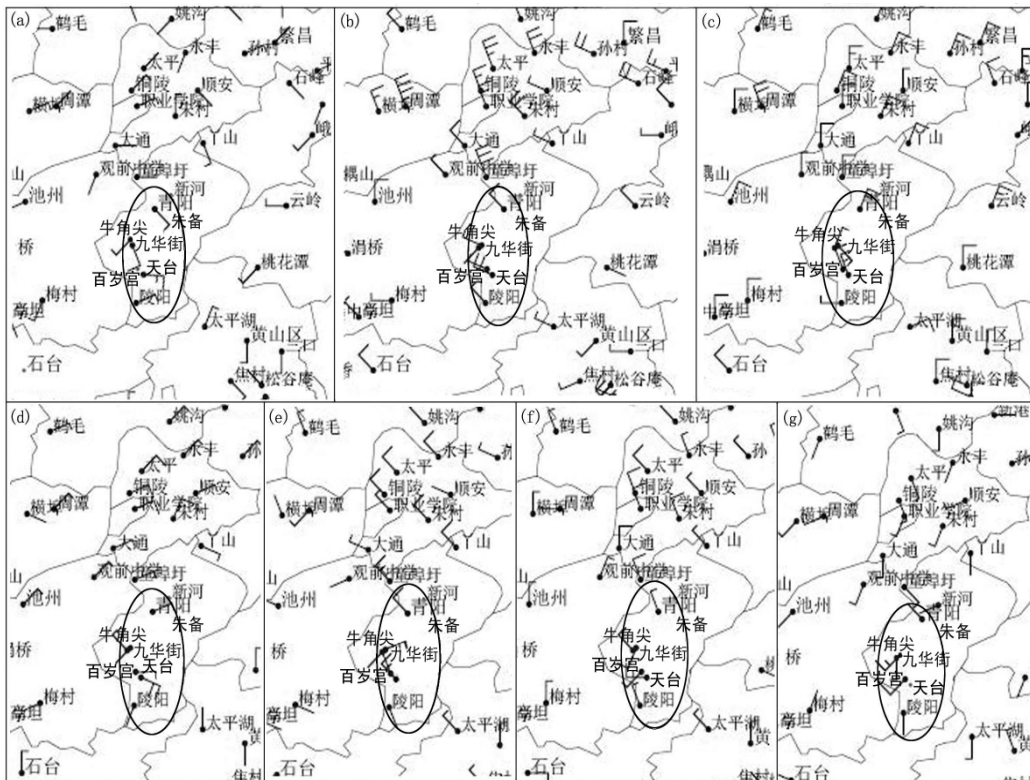


图 4 2007—2008 年历次暴雨日九华山及周边测点风场(风矢,单位: $m \cdot s^{-1}$)图
从(a)到(g)依次为表 2 所列的 7 次暴雨在各自最大降水时的 10 min 风向风速

经分析发现,山区风向发生改变与降水强度增强有一定的时间关系(表 2)。通过自动气象观测网各暴雨雨日每 10 min 的风记录发现(图略),一般无明显降水期间,山区与周边风差异较小;当主要降水段开始前 1~2 h,山区风向明显偏离周边风向且降水强度最大一小时相应的风辐合也最强,图 4 中(a)至(g)中各风场最强辐合出现时间与各暴雨日最大 1 h 降水

量时间所对应。李明等^[7]研究同样指出地面中尺度辐合线的强弱变化与强降水的强度及落时落区变化有较好的对应关系。因此,地形引起风场变化的开始时间,对夏季强降水和强对流天气的起报具有一定的指示意义。

4.2 风垂直切变对降水的加强作用

井喜等^[8]研究指出,925 hPa 以下边界层风速垂直

表 2 各暴雨日的主要降水时段、最大 1 h 降水量和风场开始变化时间

暴雨日期	九华街 日降水量 (mm)	主要 降水时段 (时)	山区风场 开始变化 时刻	最大 1 h 降水量(mm)/ 时次(时)
2007-07-10	227.5	02-06	01:30	50.0/03
2007-09-19	221.3	07-23	05:20	18.3/20
2007-10-07	121.2	10-23	09:50	13.8/21
2008-06-10	88.4	05-12	04:50	18.3/06
2008-06-17	69.6	16-18	14:30	14.6/17
2008-06-23	57.6	09-17	07:50	16.4/17
2008-08-01	51.1	03-09	01:50	16.0/03

切变的形成有利于上升运动的维持和低空水汽的流入,是激发 MCC 生成和发展的动力机制。风场垂直切变可以通过迎风坡不同高度加密资料分析。图 5 是 2008 年 6 月 10 日 04:50—06:00(最大降水时段)九华山区每 10 min 一次的风向风速图。从青阳到天台各点海拔高度是增加的,池州代表环境风场。由图可见,周边环境风一直维持东北风少变。04:50—05:50 在牛角尖到九华街有地形辐合线维持,04:50—05:10 百岁宫到天台及 05:30—05:50 九华街到百岁宫在垂直方向均有风向切变。海拔高的山区牛角尖到天台在 05:10—05:30 及海拔低的山区青阳到牛角尖在 05:30—05:40 风向随时间发生明显变化,而在 06 时各高度风向基本一致,降水随之减弱。山区尽管风速不大,风切变在强降水时段却一直存在。风垂直切变的维持与主要降水段有较好的相关性,可作为强降水临近预警的参考。

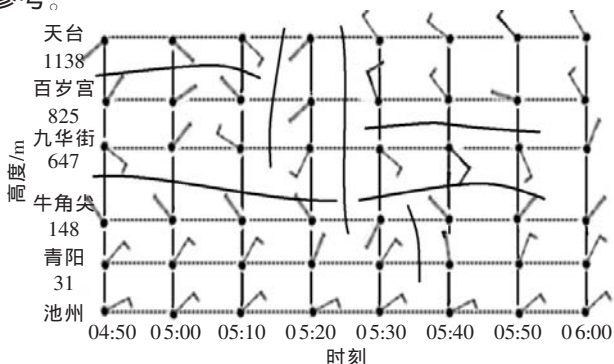


图 5 2008 年 6 月 10 日九华山区最大降水时各高度风场时间剖面图
(曲线为风场辐合线)

5 结论

九华山区暴雨比周边地区偏多偏强,且山区雨量分布不均、具有明显的山地地域特征,这除与天气过程的影响系统有关外,山区地形作用是另一影响因素。对九华山暴雨天气过程的分析,得到以下结论。

(1)山区暴雨的降水量地理分布受地形影响很大,雨量的分布具有明显的地方性特征。喇叭口地形及迎风坡处对降水量有增幅作用,而背风处降水偏弱;降水随山区海拔高度分布不均并在一定高度(最佳降水高度)内山体越高降水量越大,九华山最佳降水高度在九华山到百岁宫之间。

(2)九华山区近地层风场的调整可以影响过境系统的强弱(如低空急流加强等);山区地形造成的风场辐合和迎风坡的风垂直切变可以改变雨量的分布及大小;山区强降水中心一般位于地形的动力及屏障作用对气流影响敏感的地区。中尺度风场辐合越强,对降水的增幅作用越明显,而且风场辐合生成和风垂直切变的维持与强降水时段有较好的相关性,风场的改变比强降水时段早 1~2 h。

此外,山区有利的湿热条件、不稳定条件是否也是影响过境系统在山区加强、发展的因素。这类问题还有待于今后展开进一步研究。

参考文献:

- [1] 周军.大气的边界效应与落基山东侧的低空急流的形成[J].南京气象学院学报,1984,1:14-27.
- [2] 郭金兰,刘凤辉,杜辉,等.一次地形作用产生的强降雨过程分析[J].气象,2004,30(7):15-17.
- [3] 翟国庆,高坤,俞樟孝,等.暴雨过程中尽度地形作用的数值试验[J].大气科学,1995,19(4):475-480.
- [4] 陈麟生.地形摩擦差异对低空东风扰动暴雨的影响[G]//长江流域暴雨文集.北京:气象出版社,42-51.
- [5] 张广周,李戈,白家惠.不同高度急流耦合在 2007 年 7 月中旬河南省区域暴雨中的作用[J].气象与环境科学,2008,(02):7-12.
- [6] 陶诗言,倪允琪,赵思雄.1998 年夏季中国暴雨的形成机理与预报研究[M].气象出版社,2001,11(1):169.
- [7] 李明,张涛,魏杰平.2008 年初夏孝感一次大暴雨天气过程的分析与诊断[J].暴雨灾害,2009,28(1):51-57.
- [8] 井喜,范丛勇,王雄,等.江苏北部一次由 MCC 引发的致洪暴雨综合分析[J].暴雨灾害,2009,28(1):1-7.

Observational Analysis of Topographical Effect on Heavy Rainfall in Jiuhua Mountain

DING Ren-hai ,WANG Long-xue

(1. Jiuhua mountain meteorology administrative office of Anhui Province, Jiuhua mountain city 242811;
2. Anqing Meteorological Bureau of Anhui Province, Anqing 246000)

Abstract: By using the observation data of the Meso-scale Automatic Observatory Network in Anhui and the statistic data, the influence of mountainous underlying surface on the distribution and the intensity of precipitation have been analyzed after comparing the mountain area rainfall with the adjacent area rainfall on 7 heavy rainfall events in JiuHua during 2007–2008. The results show that the rainfall distribution in JiuHua has obvious characteristics of topography-induced rainfall. Mountain precipitation is higher than that in surrounding areas. The topography has a great influence on precipitation distribution, and the precipitation distribution is uneven. High rainfall is at windward slope or bell-mouthed terrain, and the difference of precipitation at different heights. The wind convergence due to the topography seems to enhance convection; the vertical wind shear caused by airflow over mountain is conducive to the strengthening and maintenance of low-level jet. The wind field changed markedly just before the beginning of heavy precipitation, and there is a certain relationship between the change of the wind field and the beginning and intensity of the precipitation. The maintenance of vertical wind shear has a good correlation with the main rainfall period.

Key words: Orographic rain; Meso-scale convergence line; Terrain effect; Automatic weather station; Jiuhua mountain

(上接第 376 页)

Diagnostic Analysis of Heavy Rainfall in North Hunan Province

CHEN Hong-zhuan¹, ZHANG Dong-sheng¹, LUO Zhi-rong²

(1. Huaihua Meteorological Bureau of Hunan Province, Huaihua 418000;
2. Zhijiang Meteorological Bureau of Hunan Province, Zhijiang 419100)

Abstract: Based on the routine observational data and NCEP/NCAR reanalysis data, a heavy rainfall in North Hunan Province in May 2007 is diagnosed. The results show that the main influencing system of heavy rainfall is a meso-scale vortex with shear line in the lower troposphere. There are instable convection stratification, intensive water vapor transportation and convergence over rainfall center when the rainfall happens, and low-level jet is the creator of the instable convective energy and the trigger of instable energy's release. The heavy rainfall region locates at the ageostrophic rising region forced by the wet Q-vector. Convergence of the ageostrophic wet Q-vector has good indication in the forecasting of the intensity and area of the coming 6h rainfall. The region-magnitudes of wet Q-vector frontogenesis function can be used to locate the area of coming rainfall.

Key words: Heavy Rainfall; Instable Convection Stratification; Ageostrophic Wet Q-vector; Frontogenesis Function