

马晓琳,马中元,黄水林,等.庐山夏季强降水与台风活动关系分析[J].暴雨灾害,2011,30(2):177-181

庐山夏季强降水与台风活动关系分析

马晓琳¹,马中元²,黄水林¹,叶小峰³,肖云⁴

(1.江西庐山气象局,九江 332900;2.江西省气象科学研究所,南昌 330046;
3.江西省萍乡市气象局,萍乡 337002;4.江西省新余市气象局,新余 338025)

摘要:使用常规观测资料、台风路径资料、庐山地形和观测站雨量资料,采用统计方法和对比分析,对庐山夏季强降水的特征及其与台风活动的关系进行分析,结果表明:①每年7—9月是庐山的盛夏季节,也是台风活动高发期,其降水特征表现为阵性明显、雨强较大。②庐山夏季强降水的影响系统主要为台风系统,其次是西风带系统、副高边缘系统和东风波系统。③影响庐山的台风路径主要是中路且可以细分为中路型和中路型。在对庐山无影响的中路台风个例分析中,登陆后台风中心位置没有越过北纬25°N线是关键指标。④庐山地形对台风降水的影响十分明显,受庐山地形影响产生的降水往往是山下站点的几倍。

关键词:台风降水;台风路径;地形影响;庐山

中图分类号:P457.6 文献标识码:A 文章编号:1004-9045(2011)02-0177-05

Analyses on the Relations Between Lushan Summer Severe Precipitation and Typhoon Activities

MA Xiaolin¹, MA Zhongyuan², HUANG Shuilin¹, YE Xiaofeng³, XIAO Yun⁴

(1.Lushan Meteorological Office, Jiujiang 332900; 2.Jiangxi Meteorological Institute, Nanchang 330046;
3.Pingxiang Meteorological Office, Pingxiang 337002; 4.Xinyu Meteorological Office, Xinyu 338025)

Abstract: Using conventional weather data, the typhoon path data, Lushan topography and rainfall data from observation stations, the basic characteristics of Lushan summer severe precipitation and the relations between Lushan summer severe precipitation and typhoon activities were analyzed with statistical and comparative analysis methods. The results show the following: (1) Midsummer season of the Lushan Mountain is from July to September. This is also a period of high incidence season of typhoon activity. The precipitation characteristics are obvious shower with greater rainfall intensity. (2) Weather systems of Lushan summer precipitation are mainly typhoon system, followed by the westerly wind belt system, the limbic system of the subtropical high as well as easterly wave system. (3) Typhoon paths impacted on Lushan is mainly Middle Road, and it is subdivided into Road type and Road type. In the cases of typhoon in Middle Road without impact on Lushan, the landed center site not crossed latitude 25°N is a key indicator. (4) The impacts of Lushan terrain on typhoon precipitation are evident. The precipitation influenced by the topography is often several times than that on the foot.

Key words: Typhoon Precipitation; Typhoon path; Terrain influence; Lushan

1 引言

台风是庐山夏季强降水的主要影响系统之一。庐山有气象记录以来,出现过三次台风暴雨引发的重大灾害:一是1975年8月12—20日,受第4号台风娜拉影响,庐山累积过程雨量达到1100 mm,死3人伤3

人;二是1990年6月30日至7月2日的6号台风(波西),庐山累积过程雨量达到427 mm,死6人伤1人;三是2005年9月2—4日的13号台风(泰利),庐山累积过程雨量达到937.4 mm,出现严重泥石流和山体滑坡,死9人伤11人,经济损失超过2亿元。这些夏季台风暴雨造成的灾害与夏季强雷电和冬季强冻雨灾

收稿日期:2010-12-01;修订日期:2011-04-16

资助项目:2011年度公益性行业(气象)科研专项(GYHY201106003)、中国气象科学研究院灾害天气国家重点实验室2010开放课题(2010LASW-A03)、中国气象局气象关键技术集成与应用项目(CMAGJ2011Z05)、江西省气象局重点项目(JXQX2010Z09)、江西省气象局创新基金(GCX200909)

第一作者:马晓琳,女,1963年生,高级工程师,主要从事天气预报与管理。E-mail: mxl6308@163.com

害并列,均为庐山主要气象灾害。

许多气象学者对台风暴雨的机制进行了研究。孟智勇等^[1]对 1949—1992 年共 43 a 经过台湾岛的 91 个台风统计分析后指出:有 18 个台风产生了诱生低压,生成几率为 19.8%(18/91),与其他 4 个岛屿(海南岛、日本岛、朝鲜半岛和吕宋岛)相比,台湾岛是产生地形诱生低压最多的岛屿。Meng Zhiyong 等^[2]经过数值研究表明,当台风接近台湾岛时,在岛屿的另一侧会有诱生涡旋生成。马玉芬等^[3]通过改变特定区域内的地形高度,对一次台风进行数值模拟和地形敏感性试验,得出台风登陆过程中地形抬升作用对台风降雨量有显著的增幅作用。冀春晓等^[4]也指出地形的强迫作用有利于激发中尺度对流云团,造成台风中心南北雨区和雨量的不对称分布。钮学新等^[5]研究指出,热带气旋强度是影响台风降水中心强度的主要因素之一;地形作用使迎风坡及降水中心雨量增加,背风坡雨量减少,从而使降水分布更不对称、更不均匀。这些研究成果为深入分析台风暴雨提供了理论依据。庐山地形比较复杂,地形作用对台风降水的影响较大。

本文使用常规观测资料、台风路径资料、庐山地形和观测站雨量资料,采用统计和对比分析方法,对庐山夏季台风降水的基本特征进行分析,试图为庐山夏季强降水和台风暴雨预报提供理论依据和技术指标。

2 庐山盛夏强降水的基本特征

根据庐山的降水气候特点,每年 7—9 月是庐山的盛夏季节,也是台风活动高发期(称为后汛期),其

平均降水总量约 700 mm,与庐山 4—6 月(前汛期)降水总量约 800 mm 基本相当。因后汛期降水阵性明显、雨强较大,超过前汛期降水,故对庐山旅游经济的影响和所造成的灾害,也明显超过前汛期降水。因此,对庐山夏季 7—9 月后汛期不同类型降水的研究,尤其是台风暴雨的深入研究具有现实意义。

2.1 降水时段及强降水过程标准划分

(1) 过程降水量时段划分(按地面气象月报表统计)。2002—2010 年 7—9 月间(其中 2010 年统计到 8 月 6 日,下同),以连续 1 h 降水量 ≥ 1.0 mm 为标准,每次过程中若某小时 ≥ 1.0 mm,则以该小时降水量填入对应的时次,否则为空白;如间隔 ≥ 4 h 以上或是另一个天气系统影响则另算一次过程;如属于同一个天气系统影响的降水,即使时间间隔超过了上述标准,仍算同一次过程。

(2) 强降水过程标准。过程降水量 ≥ 45 mm。定义降水量 ≥ 45 mm 的过程有两个考虑:一是可以增加样本数,由此统计出 25 个样本;二是有两次过程虽未达到暴雨量级(2007 年 8 月 22 日圣帕台风,日降水量 46 mm;2010 年 8 月 6 日东风波系统,日降水量 49 mm),但雨量接近 50 mm,其中还包含影响较大的圣帕台风过程。

2.2 强降水的年际分布

按照上述降水时段的划分和标准,2002—2010 年 7—9 月,共出现 191 次降水过程(表略),其中 45 mm 以上的降水有 25 次过程,在这 25 次过程中,大于 100 mm 的大暴雨有 9 次,大于 250 mm 的特大暴雨过程有 4 次(表 1)。

表 1 2002—2010 年 7—9 月间不同量级强降水过程次数统计(单位:次)

强降水量级/mm	年份									合计
	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	
≥ 45	3	1	1	4	4	1	3	5	3	25
≥ 100	1		1	3	1		1	1	1	9
≥ 250			1	2	1					4

从表 1 降水量 ≥ 45 mm 降水过程的频次分布上看,降水次数平均每年为 2.78 次,以 2009 年的 5 次为最多,2003 年、2004 年和 2007 年的 1 次为最少。从降水量 ≥ 100 mm 强降水过程的雨强分布上看,大暴雨次数除 2003 年和 2007 年为空外,平均每年为 1 次,2005 年为 3 次。 ≥ 250 mm 特大暴雨只有 2004 年、2005 年和 2006 年才出现,概率较低。值得注意的是:2005 年是台风活动高峰年,降水次数、大暴雨和特大暴雨次数均高于其他年份。

2.3 天气系统分型

从地面和高空(500、700、850 hPa)天气形势场上,

按天气系统进行分型。在 2002—2010 年 7—9 月 25 次强降水个例中,出现频次最高的影响系统是台风系统,共出现 11 次,占总计 44%,这表明庐山后汛期强降水,台风系统占有绝对优势,是庐山强降水的主要影响系统;其次是西风带系统(8 次),占 32%;再次是副高边缘系统和东风波系统,分别占 16%和 8%(表 2)。

这四类天气系统是影响庐山强降水的主要系统,但不是孤立的,经常有两个天气系统相互作用。例如:台风系统减弱为低气压系统时,会与西风带系统共同作用,使庐山降水强度加大。西风带系统主要是指气旋、低槽、切变、低涡、锋面等系统,也常常引发庐山的

表 2 2002—2010 年庐山强降水过程中各类天气系统出现次数(单位:次)

天气系统	年份									合计
	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	
台风	1		1	3	3	1	1	1		11
西风带	1	1		1				2	3	8
副高边缘	1				1		1	1		4
东风波							1		1	2

强降水。副高边缘系统指副热带高压稳定在江西,没有其它明显的天气系统与之配合,如果还有其它天气系统共同作用,则统计到其它类型之中。东风波系统包括东风波、热带低压、华南季风槽等东风带系统。从表 2 中可见,11 次台风系统是庐山盛夏强降水的主要影响系统,有 6 次降水量 ≥ 100 mm,4 次降水量在 50~100 mm 之间,1 次为 46 mm。

由此可见,台风系统是造成庐山夏季强降水的主要影响系统,尤其是还伴随其它天气系统相互作用时,其产生的降水更加剧烈。

3 台风路径分析

据台湾地区中央气象局全球资讯网 (<http://www.cwb.gov.tw/V6/index.htm>) 统计,2002—2009 年 7—9 月,共有 39 次台风活动,其中 28 次台风没有影响庐山,仅 11 次台风影响庐山,并造成不同程度的暴雨和泥石流灾害。39 次台风路径可以分为四路(图 1):①北路台风路径(11 次);②南路台风路径(10 次);③中路台风路径(16 次);④特殊台风路径(2 次)。由图可见,对庐山影响最大的是中路台风路径。

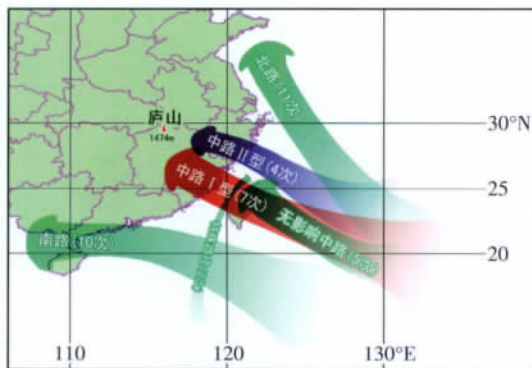


图 1 2002—2009 年 7—9 月 39 个台风路径分类示意图

在这 16 次中路台风路径中,有 5 次台风对庐山无影响,原因如下:2 次台风越过台湾岛却止步台湾海峡;2 次台风登陆后却没有越过北纬 25°N 线以北;1 次台风越过台湾岛后立即转向北上且位置偏东。只有 11 次台风直接影响庐山,这 11 次台风过程均造成暴雨以上量级的强降水,其中 5 次过程雨量在 200 mm 以

上,泰利台风造成的过程雨量最大,达 937 mm。

在这 11 次中路台风路径中,以台湾岛为基点,可以细分为两个类型:中路型(7 次)、中路型(4 次)。图 1 显示,中路型是台风路径直接穿越台湾岛和台湾海峡后登陆(红色线路 7 次);中路型是没有直接穿过台湾岛,而是在距离台湾岛以北(28°N 以南)穿越台湾海峡并登陆(蓝色线路 4 次)。

影响庐山的中路台风路径有一个明显特征:在 22°—28°N 间穿越台湾海峡并登陆,登陆后中心位置在 25°—30°N 之间。而对庐山无影响的 5 次中路台风路径个例,其中 2 次登陆后没有越过 25°N 线以北,2 次未登陆,1 次在 30°N 以北,表明台风路径有无穿过 25°—30°N 区域,可以作为判别庐山是否出现强降水的指标之一。

由此可见,影响庐山的台风路径要具备二个基本条件:一是台风要在 22°—28°N 间穿越台湾海峡并登陆;二是台风登陆后(低气压)中心位置在 25°—30°N 之间。

4 庐山地形对暴雨的增幅作用分析

庐山地形特殊,海拔高度 1 474 m,东西窄,南北长(类似于台湾岛外貌)。庐山地处长江河谷口和鄱阳湖入江口(图 2),具备良好的河谷效应和水汽输送条件,产生地形雨的几率很高。马玉芬等^[3]对台风“桑美”的数值模拟和地形敏感性试验表明,地形对低空水汽通量散度有显著影响,随着地形高度的升高,迎风坡一侧 850 hPa 的水汽通量散度越小,即水汽辐合上升运动越强



图 2 庐山地势遥感影像图

烈,而背风坡一侧 850 hPa 水汽通量散度越大,即水汽辐散下沉运动越强烈,随着地形高度升高,产生垂直运动的地形强迫作用就越明显。

山脉对台风降水的作用,与爬坡气流风速及山脉坡度有关。理论上山脉爬坡气流产生的降水量(R)可采用计算公式^[6]:

$$R = - \int_{p_0}^p F\omega (dp/g) \quad (1)$$

$$\omega = -\rho g \vec{v} \cdot \nabla h$$

式中 F 为凝结率, p 为气压, g 为重力加速度, ω 为山脉坡度所造成的垂直运动, \vec{v} 为水平风矢量, h 为地形高度梯度,即地形坡度。

根据公式(1)可知山脉造成的雨量(R)与凝结率、

山脉坡度和正交气流速度成正比。但实际业务预报中,要定量计算 R 有一定难度。为此,本文通过对庐山(海拔 1 474 m)、九江(海拔 36 m)和星子(海拔 37 m)三个观测站,同一时刻逐小时降水实况资料进行对比分析来粗略地说明地形对降水的增幅作用(表 3)。

针对 11 次造成庐山降水的台风过程,按照下列公式计算 S :

$$S = R_{\text{庐山}} / (R_{\text{庐山}} + R_{\text{九江}} + R_{\text{星子}}) \times 100\% \quad (2)$$

S 是庐山单站降水占庐山($R_{\text{庐山}}$)、九江($R_{\text{九江}}$)和星子($R_{\text{星子}}$)三站降水总和的百分率,从表 3 中可以看到,受庐山地形的影响,庐山降水远大于周围山下参照站降水,所以,本文将这种庐山地形对降水贡献的百分率近似作为地形对降水的贡献率(S)。

从表 3 中可以看出,11 次台风过程中,庐山站降

表 3 2002—2010 年 11 次台风过程庐山、九江和星子观测站降水实况与风向风速关系对照表

编号	时间 (年.月.日)	台风 名称	影响 路径	台风 强度	近中心 风速 ($m \cdot s^{-1}$)	单站降水/mm			地形 贡献率 /%	降水维 持时间 /h	盛行风向/ 平均风速 /($m \cdot s^{-1}$)	最大风向/ 风速 /($m \cdot s^{-1}$)
						庐山	九江	星子				
1	2002.9.8	辛乐克	中路	中	43	85	24	39	58	14	NNE/6.40	NE/10.0
2	2004.8.13-14	云娜	中路	中	40	271	70	132	57	33	NNE/7.35	NNE/11.0
3	2005.7.20-21	海棠	中路	强烈	55	273	33	34	80	28	NE/7.68	NE/12.0
4	2005.8.7	马莎	中路	中	40	130	2	4	96	16	N/5.60	N/9.6
5	2005.9.2-4	泰利	中路	强烈	53	937	199	381	62	53	SE/8.10	SE/13.2
6	2006.7.16-17	碧利斯	中路	轻	25	244	7	70	76	29	SSW/8.62	SSW/13.0
7	2006.7.26	格美	中路	中	38	71	14	29	63	5	E/5.88	SSE/10.7
8	2006.8.11	桑美	中路	中	48	70	17	27	62	7	SSE/6.53	SSE/7.4
9	2007.8.22	圣帕	中路	强烈	53	46	0	13	78	7	SSE/5.39	S/7.3
10	2008.7.30	凤凰	中路	中	43	53	18	41	47	11	N/5.25	NNE/6.6
11	2009.8.6	莫拉克	中路	中	40	139	11	3	91	4	NNE/6.30	NNE/7.6

水量均大于山下的九江和星子站,最大降水贡献率为 96%,最小也有 47%,平均为 67%,这说明庐山地形对台风降水的影响十分显著,具有很好的正相关性。用简单的观测站雨量实况资料进行对比分析,可以定性地说说明庐山地形对台风降水的影响作用,简单易行。另一方面,使用数值模拟技术^[3,4]也可以说明庐山地形对台风降水的影响作用。

将表 3 中庐山、九江和星子三站的雨量数据绘成曲线图,并增加了地形对降水的贡献率和台风近中心风速要素,得到庐山 11 次台风暴雨三站雨量、地形贡献率和台风强度对比图(图 3)。从图 3 可见,在 11 次台风降水中,虽然降水贡献率和台风近中心风速都比较平稳,但庐山站降水量却远远大于九江和星子站。

表 3 中“盛行风向/平均风速”是指在降水时段出现最多的风向与平均风速,是从每小时正点前 10 min 的最多风向和平均风速值中统计出来的。“最大风向/

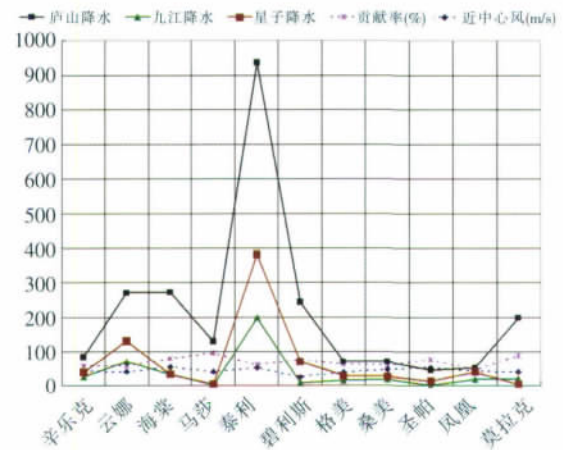


图 3 庐山 11 次台风暴雨三站雨量(mm)、地形贡献率(%) 和台风强度($m \cdot s^{-1}$)对比图

风速”是从降水时段中挑出的。可见,NNE 风出现 3 次,SSE 和 N 风向各出现 2 次,NE、SE、E 和 SSW 风各出现 1 次,除 1 次 N 风和 1 次 SSW 风之外,其余 9 次

均为偏东风,这表明在偏东气流中,风向与庐山 NNE-SSW 走向的山脉交角最大。从平均风速来看,最大值 $8.62 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,最小值 $5.25 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,平均风速 $6.65 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,风速均较大。在几次特大暴雨过程中,最大风速超过 $10.00 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,例如:云娜台风庐山降水 271 mm,最大风向为 NNE,最大风速为 $11.00 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$;海棠台风庐山降水 273 mm,最大风向为 NE,最大风速为 $12.00 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$;泰利台风庐山降水 937 mm,最大风向 SE,最大风速为 $13.20 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。

由此可见,当庐山盛行偏东风且与庐山地势走向呈较大交角,风速普遍维持在 $6.00 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 以上

时,十分有利于地形对降水的贡献。因此,在台风降水过程中,要十分重视地形的抬升作用和山地气流的辐合作用,由地形作用产生的降水,往往是山下降水的几倍^[7]。

5 庐山台风暴雨云系特征

对台风暴雨个例的统计分析表明,庐山台风暴雨的云系大致可以划分为以下三种:台风外围环流云系;台风螺旋雨带云系;混合型云系。这三种云系特征表明台风在三个不同阶段,都有可能引发庐山暴雨或强降水。图 4 给出三种云系的典型个例。

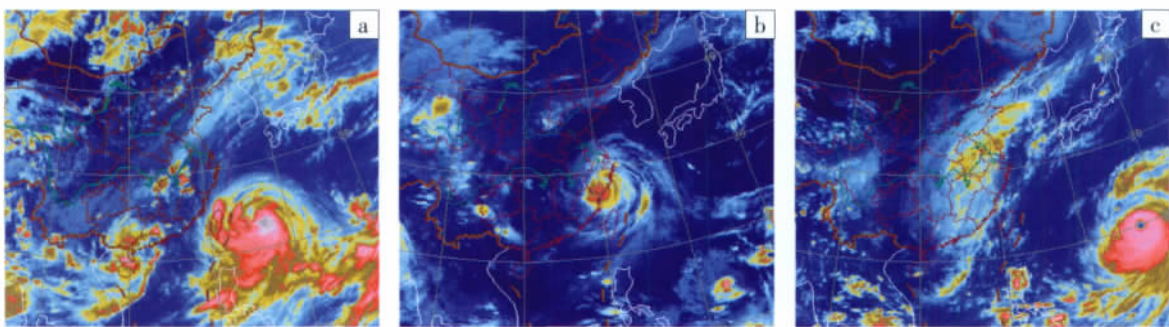


图 4 庐山三类台风暴雨云系特征图

(a)台风外围环流云系;(b)台风螺旋雨带云系;(c)混合型云系

图 4a 为“莫拉克”台风暴雨云系特征图。2009 年 9 月 6 日 16 时,莫拉克台风尚未登陆,但在江西境内,台风外围环流与西风带斜压扰动系统叠加在一起,加上庐山地形条件,西风带尾部南端开始产生 MCS,并迅猛发展形成强降水天气,庐山 2 h 达到 140 mm。

图 4b 为“云娜”台风暴雨云系特征图。2004 年 8 月 13 日 00 时,云娜台风登陆后,还保持完整的螺旋雨带云系,造成庐山暴雨天气。

图 4c 为“泰利”台风暴雨云系特征图。2005 年 9 月 2 日 15 时,泰利台风登陆后迅速减弱为热带气旋低气压,与西风带斜压扰动系统混合在一起,形成更长时间的降水并引发灾害。

比较三类台风暴雨云系的 TBB 亮温特征(图略)可发现:庐山台风外围环流云系 TBB 亮温都维持在 $\leq -50 \text{ }^{\circ}\text{C}$,中心强核亮温低于 $-60 \text{ }^{\circ}\text{C}$;台风螺旋雨带云系和混合型台风云系 TBB 亮温并不需要很低,一般都在 $-50 \sim -35 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 之间。

6 结论

(1) 每年 7—9 月是庐山的盛夏季节,也是台风活动高发期,其降水特征表现为阵性明显、雨强较大,有 44% 的强降水过程是由台风系统造成的。

(2) 影响庐山的台风路径主要是中路,即台风移动路径穿越台湾岛或距离台湾岛北 1~2 纬距内并登

陆,且可以细分为中路型和中路型。对庐山无影响的台风移动路径为北路、南路和特殊路径。在对中路台风进行分析时,台风登陆后中心位置有没有越过 25°N 线是能否影响庐山的关键指标。

(3) 庐山地形对台风降水的影响十分明显,受庐山地形影响产生的降水往往是山下站点的几倍。庐山台风强降水主要有三种云系:台风外围环流云系、台风螺旋雨带云系和混合型云系。

参考文献:

- [1] 孟智勇,徐祥德,陈联寿.台湾岛地形诱生次级环流对热带气旋异常运动的影响机制[J].大气科学,1998,22(2):156-168.
- [2] Meng Zhiyong, Nagata Masashi, Chen Lianshou. A numerical study on the formation and development of island induced cyclone and its impact on typhoon structure change and motion [J]. Acta Meteorologica Sinica,1996,10(4):430-443.
- [3] 马玉芬,沈桐立,丁治英,等.台风“桑美”的数值模拟和地形敏感性试验[J].南京气象学院学报,2009,32(2):277-286.
- [4] 冀春晓,薛根元,赵放,等.台风 Rananim 登陆期间地形对其降水和结构影响的数值模拟试验[J].大气科学,2007,31(2):233-244.
- [5] 钮学新,杜惠良,滕代高,等.影响登陆台风降水量的主要因素分析[J].暴雨灾害,2010,29(1):76-80.
- [6] 吴启树,沈桐立,李双锦.影响福建沿海的 0010 号“碧利斯”台风暴雨的地形敏感性试验[J].台湾海峡,2005,24(2):236-242.
- [7] 丁仁海,王龙学.九华山暴雨地形增幅作用的观测分析[J].暴雨灾害,2009,28(4):377-381.