

引用格式:刘槁漪,程维明,孙东亚,等.中国历史山洪灾害分布特征研究[J].地球信息科学学报,2017,19(12):1557-1566. [Liu Q Y, Cheng W M, Sun D Y, et al. 2017. Distribution characteristics of historical mountain flood in China. Journal of Geo-information Science, 19(12):1557-1566. ] DOI:10.3724/SP.J.1047.2017.01557

# 中国历史山洪灾害分布特征研究

刘槁漪<sup>1,2</sup>,程维明<sup>1,3\*</sup>,孙东亚<sup>4,5</sup>,王楠<sup>1,2</sup>,方月<sup>6</sup>

1. 中国科学院地理科学与资源研究所 资源与环境信息系统国家重点实验室,北京 100101; 2. 中国科学院大学,北京 100049;  
3. 江苏省地理信息资源开发与利用协同创新中心,南京 210023; 4. 中国水利水电科学研究院,北京 100038; 5. 水利部防洪抗旱减灾工程技术研究中心,北京 100038; 6. 中国人民解放军91039部队,北京 102401

## Distribution Characteristics of Historical Mountain Flood in China

LIU Qiangyi<sup>1,2</sup>, CHENG Weiming<sup>1,3\*</sup>, SUN Dongya<sup>4,5</sup>, WANG Nan<sup>1,2</sup> and FANG Yue<sup>6</sup>

1. State Key Laboratory of Resources and Environmental Information System, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. Jiangsu Center for Collaborative Innovation in Geographical Information Resource Development and Application, Nanjing 210023, China; 4. China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100038, China; 5. Research Center on Flood and Drought Reduction, Beijing 100038, China; 6. 91039 Troops of PLA, Beijing 102401, China

**Abstract:** Mountain flood is difficult to predict and distributes differently. It is one of the major natural disasters in China. Analysis on the distribution characteristics of mountain flood is helpful to disaster prevention. This paper takes historical mountain flood disaster points as based-data and analyzes the relation between disaster points and altitude, rainfall (H6-50), altitude standard deviation in different geomorphologic zones. Results shows that among the 6 geomorphologic zones, the historical mountain flood disasters mainly distribute in zone II and zone V, nearly 60% of the whole disasters. Also, density of mountain flood disaster reaches its high point with rainfall (H6-50) ranging from 240 to 280 mm, altitude standard smaller than 30 m. With the increase of rainfall (H6-50), the mountain flood density tends to increase first and then decline, taking 280 mm as a turning point. What's more, the mountain flood density reaches its climax with altitude standard smaller than 30 m. In zone I, mountain flood disaster density reaches its high point with rainfall (H6-50) ranging from 240 to 300 mm, altitude from 60 to 120 m, altitude standard smaller than 30 m. For zone II, mountain flood disaster density reaches its high point when rainfall (H6-50) ranging from 150 to 270 mm, altitude from 10 to 50 m, altitude standard smaller than 30 m. Mountain flood disaster in zone V mainly distribute in the area where rainfall (H6-50) higher than 120 mm, altitude under 600 m, altitude standard smaller than 50 m. It is clear that taking the geomorphologic zoning as an analysis unit is much better than administrative boundary.

**Key words:** mountain flood; geomorphologic zone; spatial distribution; rainfall (H6-60); altitude standard

**\*Corresponding author:** CHENG Weiming, E-mail: chengwm@lreis.ac.cn

收稿日期 2017-07-10;修回日期:2017-08-28.

基金项目 水科院全国山洪灾害调查评价项目(SHZH-IWHR-57);特色研究所培育建设服务项目(Y55R0904YZ);资源与环境信息系统国家重点实验室自主创新项目(088RAA04YA).

作者简介 刘槁漪(1993-),女,硕士生,主要从事流域地貌研究。E-mail: liuqy.15s@igsrr.ac.cn

\*通讯作者 程维明(1973-),男,博士,研究员,主要从事数字地形地貌分析。E-mail: chengwm@lreis.ac.cn

**摘要** :中国山洪灾害发生频繁,区域分布差异性明显且难以预报,关于山洪灾害分布特征的研究对于山洪灾害预警、山洪灾害防治区规划等具有重要意义。本文以历史山洪灾害点为基础数据,以6个一级地貌大区(东部平原低山丘陵大区(I)、东南低山丘陵平原大区(II)、华北-内蒙东中山高原大区(III)、西北高中山盆地高原大区(IV)、西南中低山高原盆地大区(V)、青藏高原高山极高山盆地谷地大区(VI))为基本分析单元,统计对比不同地貌区域内山洪灾害数目、密度,并进一步分析山洪灾害随高程、高程标准差以及50年一遇6 h雨量(H6-50)的分布情况,从而获得中国历史山洪灾害的主要分布特征。结果表明:山洪灾害集中分布于东南低山丘陵平原大区及西南中低山高原盆地大区,占全国山洪灾害的60%左右。6 h雨量(H6-50)处于240~280 mm区域山洪灾害密度最大。高程标准差小于30 m区域山洪灾害密度较大。东南低山丘陵平原大区高程处于10~50 m间,高程标准差小于30 m,雨量(H6-50)在150~270 mm间地区山洪灾害密度较大;西南中低山高原盆地大区山洪灾害集中分布于高程600 m以下,高程标准差小于50 m,雨量(H6-50)大于120 mm地区。以地貌区划结果为基本分析单元相对于行政界线而言更有助于分析山洪灾害分布特征。

**关键词** 山洪灾害;地貌区划;空间分布;雨量(H6-50);高程标准差

## 1 引言

山洪灾害是山区小流域降雨引起的突发性灾害,破坏性高、易发性强<sup>[1-2]</sup>。中国地貌类型复杂多样,地形变化大且山区陡峭;地处东亚季风区,短时间强降雨频发;地质环境复杂并伴随剧烈人类活动,种种原因导致中国山洪灾害发生频繁,是世界上山洪灾害最严重的国家之一<sup>[3-5]</sup>。关于中国历史山洪灾害分布特征的研究不仅有助于了解山洪灾害在中国的分布及历史高发区域,而且是探索各地区山洪灾害诱发及制约因素、划分山洪灾害危险区等的基础工作。通过探索历史山洪灾害分布可以进一步探究降雨及地形对山洪灾害的影响,分析山洪灾害与雨量、地形间的关系,具有十分重要研究意义和价值。同时,中国历史山洪灾害分布特征的研究对于山洪灾害预警、山洪灾害防治区规划以及监测预警设施等的布设也能起一定指导作用,具有较高的实际意义。

尽管前人进行了很多关于山洪灾害分布的研究,但仍存在不足。在研究区域上,已有关于山洪灾害分布特征研究多以行政省、市为单位<sup>[6-9]</sup>,极少有全国尺度上的研究。少数全国范围的研究也仅仅局限于某一年或较短时间内,没有充分考虑长时间分布,灾害数据量相对较少<sup>[10-13]</sup>。在研究内容上,现有研究多关注于山洪灾害点空间位置上的分布特征,仅有少部分研究关注山洪灾害在不同雨量带内的分布,分析内容较为单一。地貌作为自然灾害孕灾的最基本环境因子,很大程度上决定自然灾害孕灾环境的区域分异,因此在山洪灾害分布特征研究中,地貌是必须重点考虑的因素,以地貌区划成果为分析单元要比依据行政界线更加科学合理<sup>[14]</sup>。本文以地貌区划成果为基本分析单位,不仅能够反

映山洪灾害的空间分布及其受自然孕灾环境变化而产生的分布差异,更重要的是能够避免以行政单元为界造成的区域内孕灾环境变化过大,分布特征部分细节难以表达的情况。

因此,本文以地貌分区结果为基本单元,选取高程、50年一遇6 h雨量(H6-50)、以及10×10邻域栅格内高程标准差为指标,探讨历史山洪灾害发生次数、密度与各因素间关系,以获得历史山洪灾害在不同地貌分区内的分布特征。

## 2 数据源

本文从降雨及地形角度分析历史山洪灾害分布特征,主要使用的数据包括DEM数据、降雨数据、历史山洪灾害数据、地貌区划及基础地理信息数据。

### 2.1 DEM数据

本文中使用的DEM数据为填补后的SRTM3数据。中国境内STRM3海拔最高8875 m,最低-277 m,尽管受地形影响SRTM3 DEM数据质量存在一定空间差异性,但其数据精度整体上高于1:25万DEM数据<sup>[15-16]</sup>。文中主要使用SRTM3 DEM数据进行高程标准差计算,以及不同高度、高程标准差下历史山洪灾害分布分析。高程标准差是对一定范围内地貌变化程度的衡量,其对山洪灾害发生的有较大影响<sup>[17]</sup>,本文综合考虑山洪灾害发生过程,选取10×10邻域计算高程标准差。

### 2.2 历史山洪灾害点数据

本文中使用的历史山洪灾害数据来自于全国山洪灾害调查评价项目,该数据统计了2017年以前全国(不含港澳台)4.9万条历史山洪灾害数据。数据属性主要包括:山洪灾害点位、灾害发生时间、死

亡人数等。受条件限制,山洪灾害数据中大部分为1980年后发生的山洪灾害,1998年以后山洪灾害记录更为详细。

### 2.3 降雨数据

降雨是诱发山洪灾害发生的重要因素之一<sup>[18]</sup>,本文中使用的降雨数据为全国暴雨图集中50年一遇6 h雨量(H6-50)。暴雨形成到山洪灾害发生一般只有数小时,现有研究中多以1 h降雨量及6 h降雨量作为衡量山洪危险性的因素<sup>[19-20]</sup>。研究表明,尽管不同类型山洪灾害有所差异,激发山洪灾害的关键因素主要是6 h以内雨强<sup>[3]</sup>。暴雨数据的估算多以20年一遇,50年一遇,100年一遇为统计单位,由于本文中使用的山洪灾害数据主要发生在1980年以后,选用50年一遇降雨数据较为合适。因此,本文以50年一遇6 h雨量(H6-50)为降雨数据,分析历史山洪灾害在不同雨量带内的分布情况。地貌区划及基础地理信息数据

本文基础地理信息数据来源于1:400万基础地理信息底图,区划数据主要改编自李炳元等的全国地貌区划结果<sup>[14,21]</sup>。全国共分为6个一级地貌区,为东部平原低山丘陵大区(I)、东南低山丘陵平原大区(II)、华北-内蒙东中山高原大区(III)、西北高中山盆地高原大区(IV)、西南中低山高原盆地大区(V)、青藏高原高山极高山盆地谷地大区(VI)。

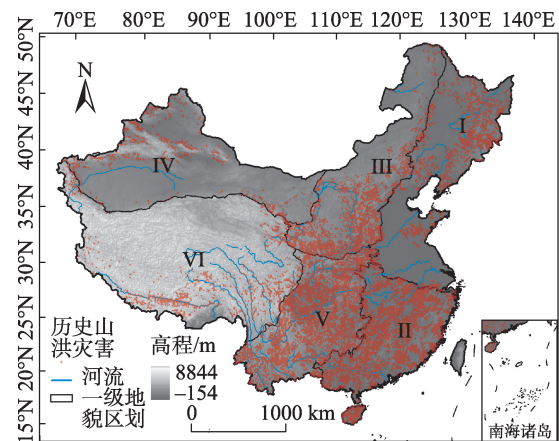
## 3 山洪灾害分布特征

### 3.1 山洪灾害总体分布特征

中国历史山洪灾害集中分布于东南低山丘陵

平原大区(II)及西南中低山高原盆地大区(V),占全部山洪灾害的60%左右,而西北高中山盆地高原大区(IV)及青藏高原高山极高山盆地谷地大区(VI)山洪灾害发生较少,不足灾害总数的4%。此外,东部平原低山丘陵大区(I)西侧和南侧界线两侧山洪灾害分布差异明显,区内分界线附近山洪灾害发生较少而分界线另外一侧其他地貌大区内山洪灾害密集分布密集(图1),类似现象还出现在西南中低山高原盆地大区(V)与青藏高原高山极高山盆地谷地大区(VI)交界处。

从雨量(H6-50)来看,全国山洪灾害集中分布于雨量100~200 mm之间区域,占全部山洪灾害的60%以上,山洪灾害密度则以雨量240~280 mm之间最高,每100 km<sup>2</sup>约2.5次左右(图2(a)、图3(a))。随着雨量(H6-50)增加,山洪灾害密度总体体现为先增加后减小,其转折点约在280 mm左右。从高



注:文中所有地貌区划均改编自李炳元等的全国地貌区划成果

图1 山洪灾害点分布图

Fig. 1 Distribution of mountain flood disaster

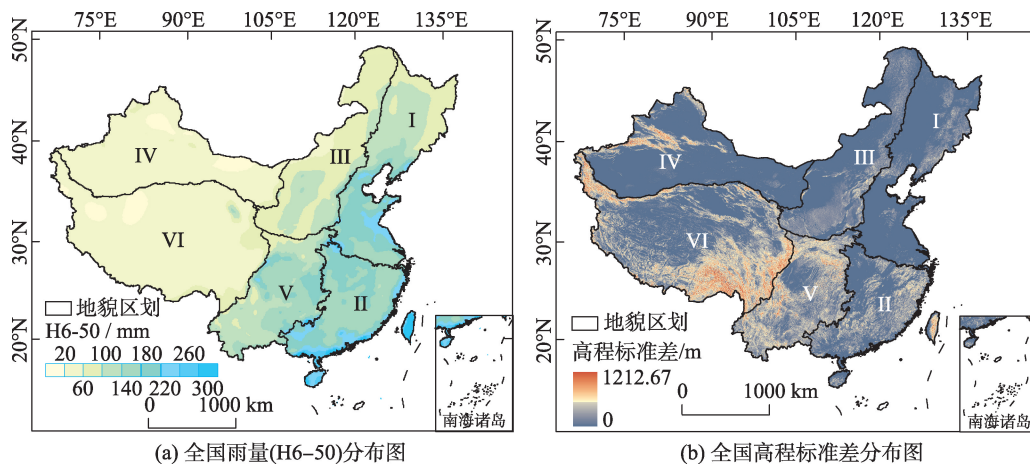


图2 全国雨量(H6-50)及高程标准差分布图

Fig. 2 Distribution of rainfall (H6-50) and altitude standard



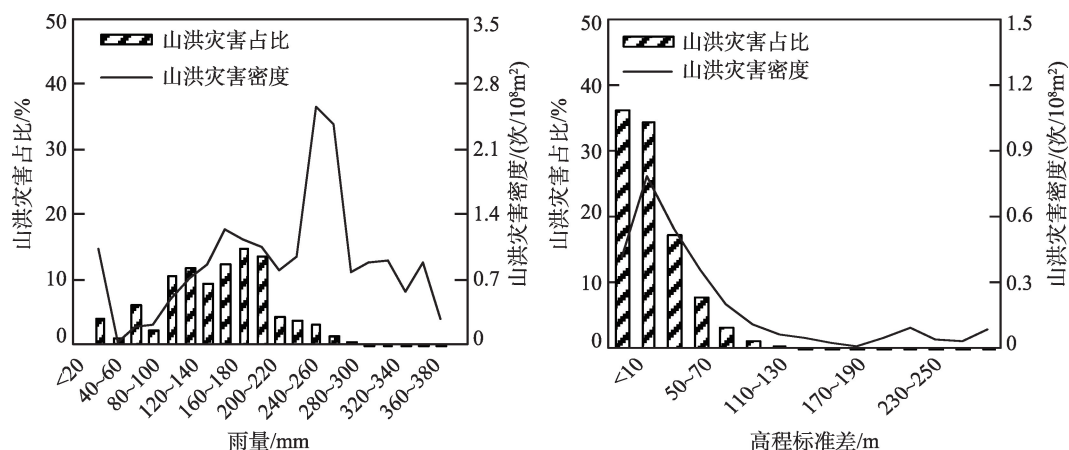


图3 山洪灾害密度雨量(H6-50)及高程标准差分布图

Fig. 3 Mountain flood disaster distribution based on (H6-50) and altitude standard

程标准差(图2(b)、图3(b))来看,全国山洪灾害集中分布于标准差小于50 m区域,占全部灾害的75%左右,山洪灾害密度则以高程标准差10~30 m处最高,且随着高程标准差增大,山洪灾害发生次数逐步减小,山洪灾害密度先增加后减少。

### 3.2 地貌区划内山洪灾害分布特征

由于山洪灾害在西北高中山盆地高原大区(Ⅳ)及青藏高原高山极高山盆地谷地大区(Ⅵ)分布较少,因此本文仅对其他4个地貌区划内山洪灾害分布特征进行研究。

#### 3.2.1 东部平原低山丘陵大区(Ⅰ)

东部平原低山丘陵大区(Ⅰ)由完达山低山丘陵三江平原地区(ⅠA)、长白山中低山丘陵台地地区(ⅠB)、鲁东低山丘陵平原地区(ⅠC)、小兴安岭低山丘陵台地地区(ⅠD)、松辽平原地区(ⅠE)、燕山-辽西低山丘陵台地地区(ⅠF)、华北、华东平原地区(ⅠG)和宁镇平原丘陵岗地区(ⅠH)8个部分构成。

从历史山洪灾害次数来看,长白山中低山丘陵台地地区与燕山-辽西低山丘陵台地地区2个区域发生山洪灾害较多,而从空间密度来看,长白山中低山丘陵台地地区、鲁东低山丘陵平原地区以及宁镇平原丘陵岗地区密度较大。除燕山-辽西低山丘陵台地地区与宁镇平原丘陵岗地区外,区内呈现低山丘陵区山洪灾害密度较大,平原区密度较小的特征(图4(a))。历史山洪灾害集中发生于高程0~120 m之间,约占全部山洪灾害的90%,其中30~90 m间约占70%;而从密度来看,90~150 m间历史山洪灾害密度最大(图4(b))。

随着高程标准差增大,山洪灾害密度呈现出先

增大后减小的趋势,标准差小于50 m处山洪灾害密度较大(图4(d))。东部平原低山丘陵大区主要为东亚季风湿润、半湿润地区,南部降雨量较北部而言整体偏高。从雨量(H6-50)来看,在雨量小于240 mm地区,随着雨量增大,区内山洪灾害密度没有明显增大,而在雨量大于240 mm时,山洪灾害密度显著上升(图4(c))。由于这一地区雨量大于240 mm处山洪灾害点较少,因此所得结果偶然性较大,不确定度较高,具体情况仍需要进一步分析。

#### 3.2.2 东南低山丘陵平原大区(Ⅱ)

东南低山丘陵平原大区可以划分为浙闽中低山丘陵谷地地区(ⅡA)、淮阳低山丘陵岗地地区(ⅡB)、长江中游低山丘陵平原地区(ⅡC)、华南低山丘陵平原地区(ⅡD)和台湾山地平原地区(ⅡE)5个二级地貌区。由于缺少台湾平原山地地区山洪灾害数据,因而本区讨论集中在其他4个二级地貌区。统计分析显示(图5(a)),长江中游低山丘陵平原地区发生山洪灾害次数最多,淮阳低山丘陵岗地地区则是山洪灾害密度最大地区。

海拔对于山洪灾害的影响在本区表现较为明显(图5(b))。随着海拔升高,山洪灾害次数以及密度呈现出先上升后下降的趋势,100~300 m高程范围内山洪灾害密度最大,随后迅速下降并逐渐趋近于零。与高程相同,随着高程标准差增高,山洪灾害密度随高程标准差先升高而减小,且在0~30 m内出现峰值。但与高程不同的是,山洪灾害发生次数随高程标准差增大逐步减小,高程标准差小于10 m区域山洪灾害发生次数最多。山洪灾害密度在高程标准差内的迅速下降,表明这一区域其他条件不利于山洪灾害的发生(图5(d))。



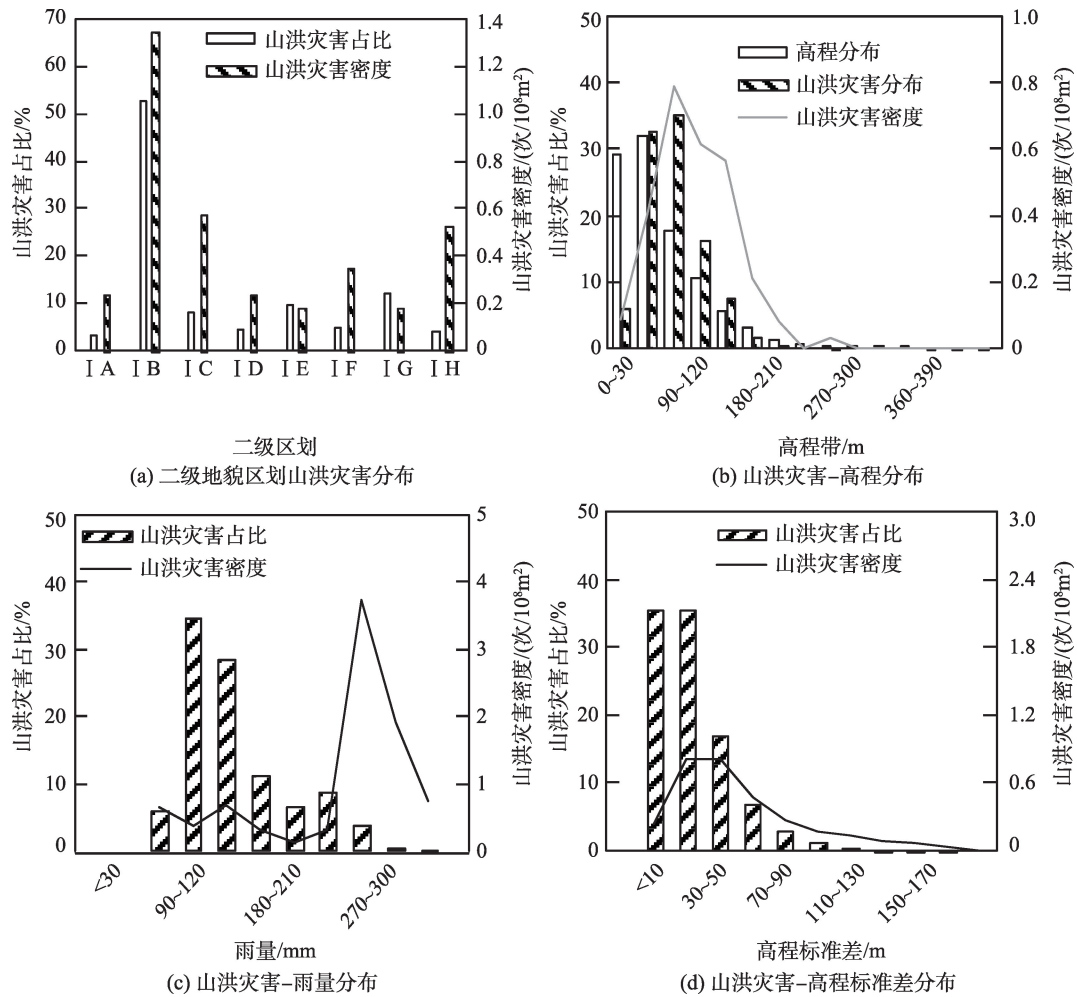


图4 东部平原低山丘陵大区(I)山洪灾害分布情况

Fig. 4 Mountain flood disaster distribution in geomorphologic zoning I

本区降水充沛,山洪灾害多发生在雨量(H6-50)大于150 mm区域,70%的山洪灾害发生在150~210 mm雨量带内。随雨量增大,山洪灾害次数与密度整体上先增大后减小,山洪灾害次数在150~210 mm雨量带内最高。240~270 mm雨量带内山洪灾害密度最高,表明从降雨角度来看,这一区域更易发生山洪灾害(图5(c))。

### 3.2.3 华北-内蒙东中山高原大区(Ⅲ)

华北-内蒙东中山高原大区(Ⅲ)位于第二级地貌阶梯东北部,由大兴安岭中低山地区(ⅢA)、山西中低山盆地地区(ⅢB)、内蒙古东北部高平原地区(ⅢC)、鄂尔多斯高原与河套平原地区(ⅢD)和黄土高原地区(ⅢE)5个二级地貌区组成。在5个地貌二级区内,黄土高原地区山洪灾害发生总数及山洪灾害密度均明显高于其他区域,其次为山西中低山盆地地区,其他地区山洪灾害发生相对较少(图6(a))。黄土高原地区沟壑纵横,切割深度大,且相对于本

大区中其他地区而言,降雨较多,因此不同于其他地区,仍然发生过多次山洪灾害,具有较大的山洪灾害密度。

本区历史山洪灾害在海拔800~1400 m区域内分布较多,约占全部山洪灾害的70%左右(图6-b)。与前文大区不同,随着海拔的上升,本区高程带内山洪灾害发生数呈现出先增大后减小的趋势,而山洪灾害密度则表现为先减小后增大最后在减小的变化趋势。海拔600 m以下以及海拔2000~2400 m区域山洪灾害发生密度较高,每100 km<sup>2</sup>约为1.1次,其他区域相对较低,每100 km<sup>2</sup>约为0.3次。和高程分布较类似,高程标准差与山洪灾害密度也没有表现出单一相关性,山洪灾害密度随高程标准差增大,先增大后减小最后略有增大(图6(d))。在整个区域内,高程标准差小于45 m区域山洪灾害密度较高,145 m以后区域虽然密度也相对较高,但由于其山洪灾害发生次数较少,存在一定的偶然性,因

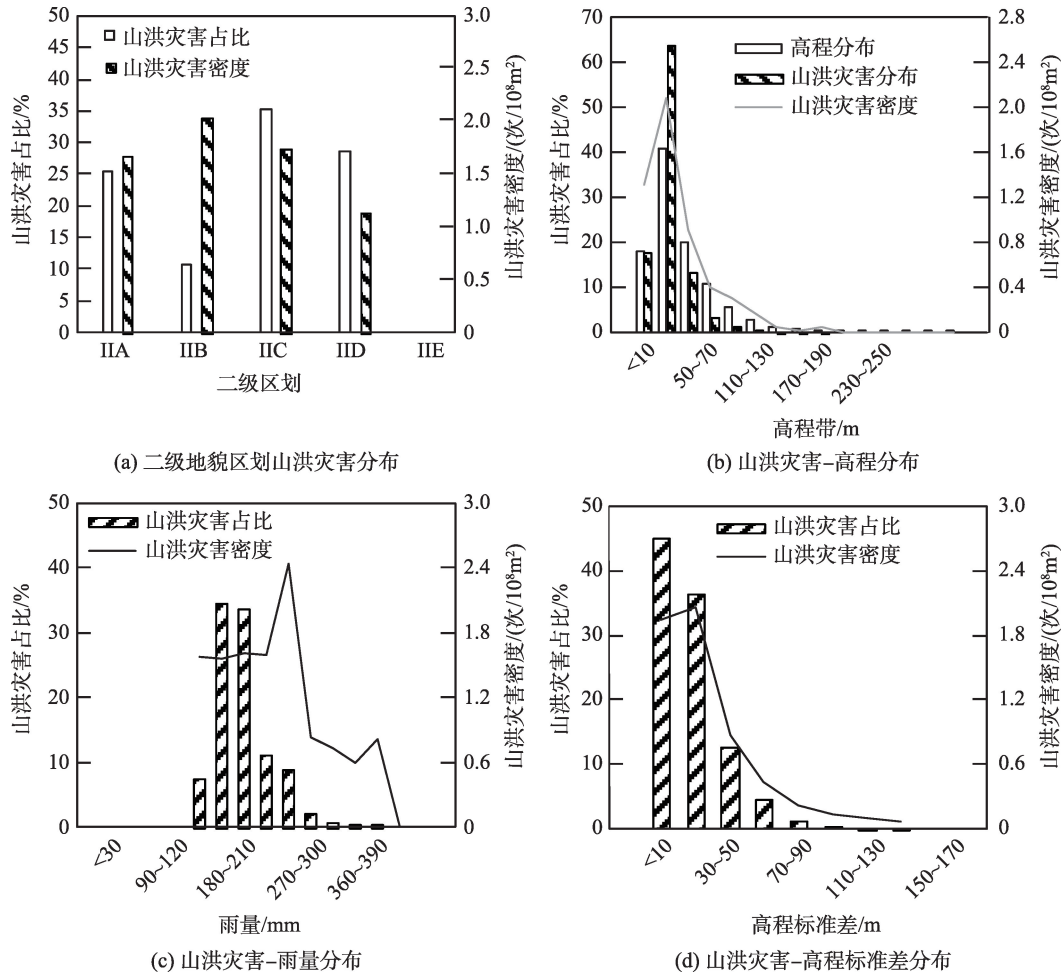


图5 东南低山丘陵平原大区(Ⅱ)山洪灾害分布情况

Fig. 5 Mountain flood disaster distribution in geomorphologic zoning II

此对于这一区域是否比较容易发生山洪灾害仍需要进一步探讨。

本区山洪灾害点主要分布在60~120 mm雨量带(H6-50)内,占全部山洪灾害的90%左右(图6(c))。随着雨量的不断增大,山洪灾害密度也在不断增大。一方面,这可能是由于在雨量较高地区,其他影响山洪灾害的因素大部分表现为适合山洪灾害发生;另一方面,与高程标准差类似,这是由于山洪灾害发生次数较少,偶然性因素较大造成的。

### 3.2.4 西南中低山高原盆地大区(V)

西南中低山高原盆地大区位于第二级地貌阶梯南部,平均海拔1230 m,海拔高度2000 m以下的面积占全区面积85%左右,其中500~2000 m之间的面积占全区面积70%,区内几乎全部为山地。本区可进一步分为秦岭大巴山中低山地区(VA)、鄂黔滇中低山谷地地区(VB)、四川盆地地区(VC)、川西南滇高原中低山盆地地区(VD)和滇西南中高山

地区(VE)5个二级地貌区。整个区域内,秦岭大巴山中低山地区与四川盆地地区山洪灾害发生密度较高,接近1.5次/10<sup>8</sup>m<sup>2</sup>,与东南沿海地区山洪灾害发生密度较为接近(图7(a))。滇西南中高山地区为本区内山洪灾害密度最低区域,尽管如此,滇西南中高山地区山洪灾害密度仍旧高于西北高中山盆地高原大区的大部分地区。

全区70%左右山洪灾害发生在海拔900 m以下地区,且随着海拔不断升高,山洪灾害数以及山洪灾害密度均逐渐减小(图7(b))。同样,随着高程标准差的不断升高,对应山洪灾害数以及山洪灾害密度也逐渐减小。区内山洪灾害集中发生在高程标准差小于70 m地区,约占全部灾害的75%左右。尽管高程标准差小于10 m的地区山洪灾害发生次数不高,但却是山洪灾害密度最大区域(图7(d))。

本区雨量虽然小于东南沿海地区,但其在西部地区仍然属于高值区。区内山洪灾害主要发生在

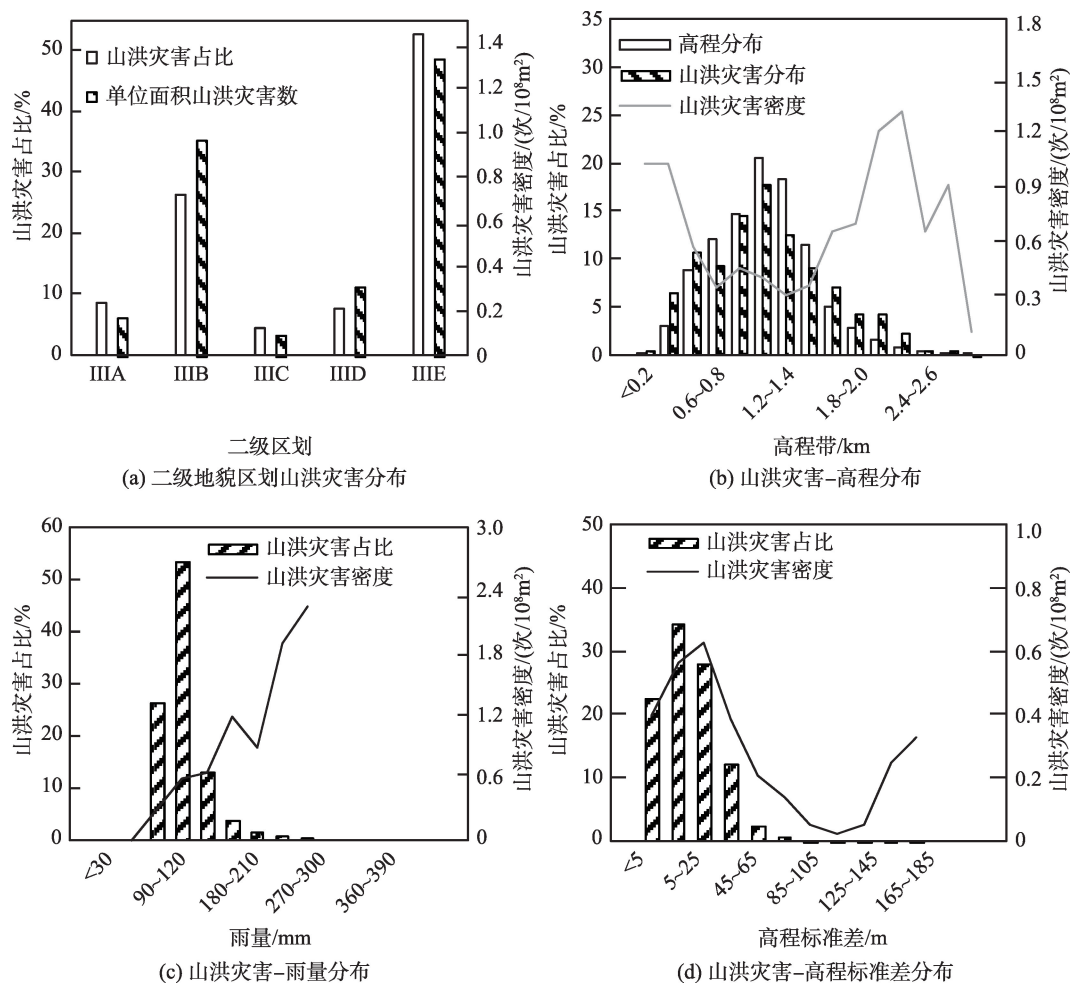


图6 华北-内蒙东中山高原大区(Ⅲ)山洪灾害分布情况

Fig. 6 Mountain flood disaster distribution in geomorphologic zoning III

120~180 mm 雨量范围内。整体而言,山洪灾害密度随着雨量的不断升高而升高,表明相对于地形起伏程度而言,降雨对于这一地区山洪灾害的发生起到了更大的限制作用(图7(c))。雨量小于180 mm 地区,随着雨量的不断增大山洪灾害数与密度逐步增大,随后由于其他因素的限制,雨量的增加没有导致山洪灾害数及密度的进一步增大。由于雨量大于300 mm 区域山洪灾害点数量较少,因而对于300 mm 以上区域雨量增加是否伴随着山洪灾害密度增大仍然需要探讨。

## 4 讨论

东部平原低山丘陵大区山洪灾害密度与雨量间关系表现与其他大区略有不同,山洪灾害密度在雨量小于240 mm 地区变化不大,在雨量处于240~300 mm 地区密度骤然升高。推测其主要原因在于东部平

原低山丘陵大区雨量(H6-50)小于240 mm 地区主要位于区域北侧,表现为由西向东雨量(H6-50)递减,而区域北侧高程标准差的分布与雨量分布刚好相反,表现为自西向东高程标准差递增。即东部平原低山丘陵大区北部有利于山洪灾害发生的雨量高值区恰好处于高程标准差较低,地形起伏与坡度较小等不利于山洪灾害发生的地区;而在其他大区,雨量适合山洪灾害发生地区部分具有易发生山洪灾害的高程标准差。因此,山洪灾害易发雨量与易发高程标准差区域重叠度低是东部平原低山丘陵大区山洪灾害密度随雨量变化趋势不同于其他大区的主要原因。

从降雨与高程标准差2个方面着手,不仅可以解释地貌区划内山洪灾害分布特征,同时可以解释地貌区划界线两侧山洪灾害密度差异显著的情况。以东部平原低山丘陵大区与东南低山丘陵平原大区接壤两侧山洪灾害密度呈现明显突变现象



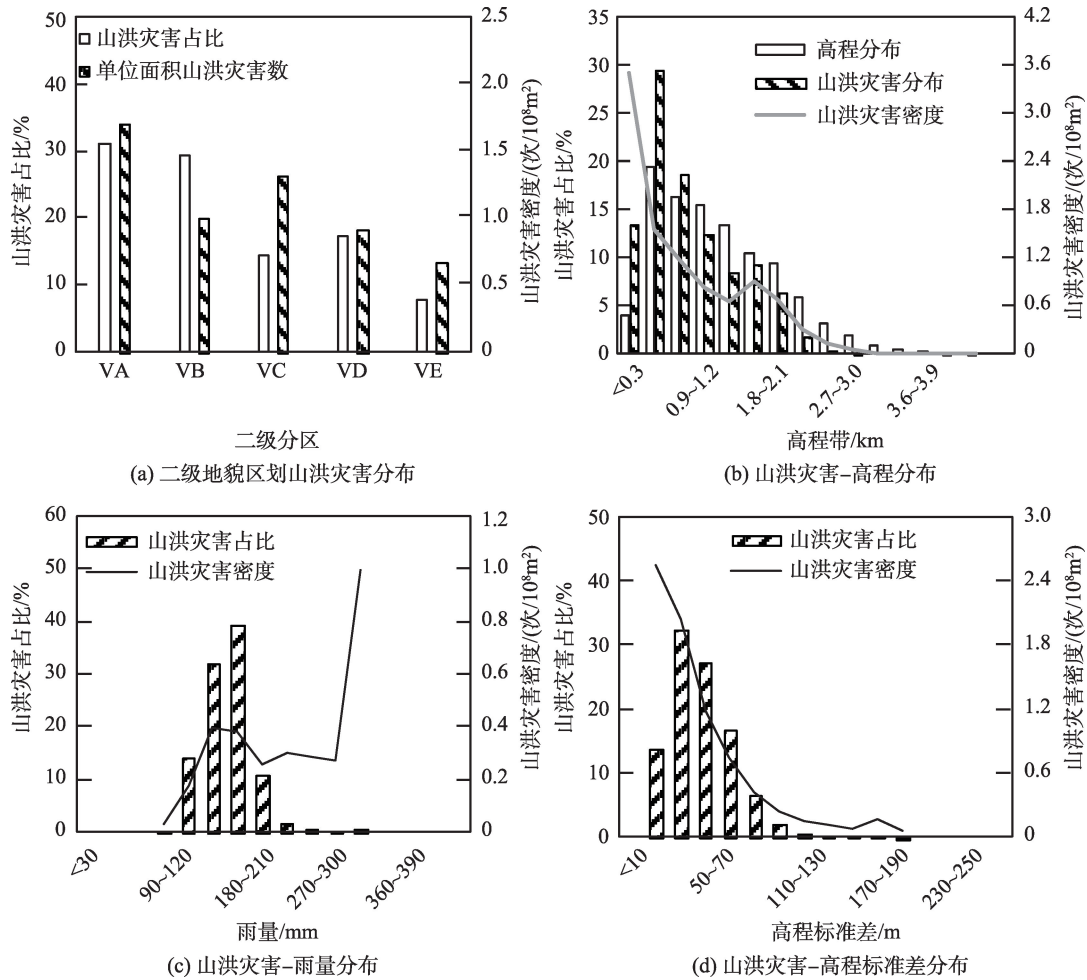


图7 西南中低山高原盆地大区(V)山洪灾害分布情况

Fig. 7 Mountain flood disaster distribution in geomorphologic zoning V

为例,东部平原低山丘陵大区一侧几乎没有山洪灾害点,而南侧东南低山丘陵平原大区沿区域界线则分布密集。从降雨上看,2个大区在这一区域50年一遇6 h雨量相差不大,东部平原低山丘陵大区部分地方雨量甚至高于东南低山丘陵平原大区,因此仅从雨量上无法解释这一区域山洪灾害密度突变。分界线两侧,南侧东南低山丘陵平原大区靠近界线处主要为低山丘陵,北侧东部平原低山丘陵大区则主要为平原区,低山丘陵区相较于平原区而言地势开阔度低,比较容易形成山洪灾害。此外,从高程标准差来看,区域界线南侧低山丘陵高程标准差明显高于北侧东部平原低山丘陵大区,即界线南侧地形较陡,当有强降雨发生时更容易形成山洪灾害。因此,尽管界线南侧低山丘陵与北侧雨量基本相当,但由于界线南侧地形陡峭更易发生山洪灾害,故而出现两大区交界处山洪灾害密度突变的情况。类似的,青藏高原高山极高山盆地谷地大

区与西南中低山高原盆地大区交界处山洪灾害密度突变的现象也可以由此解释。青藏高原高山极高山盆地谷地大区位于西侧,西南中低山高原盆地大区位于东侧,从山洪灾害分布来看,区划边界附近西侧山洪灾害点数量明显少于东侧。尽管西侧高程标准差远高于东侧,地形陡峭适宜山洪灾害的发生,但由于雨量在这一地带发生明显变化,西侧雨量相对偏少短时强降雨较难形成山洪灾害,极大的限制了山洪灾害的发生,因此青藏高原高山极高山盆地谷地大区与西南中低山高原盆地大区交界处西侧山洪灾害点明显少于东侧。

## 5 结论

本文以地貌区划结果为基本单元,统计分析山洪灾害在不同高程、高程标准差以及雨量(H6-50)带内的分布特征。全国近60%山洪灾害分

布于东南低山丘陵平原大区(Ⅱ)及西南中低山高原盆地大区(Ⅴ),灾害密度最高区域也集中在东南低山丘陵平原大区。西北高中山盆地高原大区(Ⅳ)及青藏高原高山极高山盆地谷地大区(Ⅵ)山洪灾害发生较少。从雨量角度来看,山洪灾害集中分布在6 h雨量处于100~200 mm地区(50年一遇),而6 h雨量处于240~280 mm地区山洪灾害密度最大,比较容易发生山洪灾害。从高程标准差来看,山洪灾害集中分布在高程标准差小于30 m地区,而这一区山洪灾害密度同样较大,是山洪灾害高发地区也是易发地区。

东部平原低山丘陵大区中,长白山中低山丘陵台地地区与燕山-辽西低山丘陵台地地区2个区域发生山洪灾害较多,区内呈现低山丘陵区山洪灾害密度较大,平原区密度较小的特征,山洪灾害集中发生于高程60~120 m,高程标准差小于30 m,雨量(H6-50)240~300 mm区域。东南低山丘陵平原大区中长江中游低山丘陵平原区山洪灾害发生次数最多,淮阳低山丘陵岗地区则是山洪灾害密度最大地区;高程10~50 m,高程标准差小于30 m,雨量(H6-50)150~270 mm地区山洪灾害密度较大。华北-内蒙东中山高原大区中黄土高原地区山洪灾害发生数及山洪灾害密度均明显高于其他区域,其次为山西中低山盆地地区,其他地区山洪灾害发生相对较少。西南中低山高原盆地大区中秦岭大巴山中低山地区与四川盆地地区山洪灾害发生密度较高,与东南低山丘陵平原大区山洪灾害密度相近,这一区域山洪灾害密度整体高于其他西部地区,山洪灾害集中分布于高程600 m以下,高程标准差小于50 m,雨量(H6-50)240~300 mm地区。

由于山洪灾害受地形、降雨等多个因素的影响,而地貌区划本身在边界划分时就综合考虑了多方面的影响,因此相较于行政界线,以地貌区划以基本单元可以更好地表现山洪灾害分布特征,这一点从东部平原低山丘陵大区与低山丘陵交界处山洪灾害密度突变就可以体现。山洪灾害作为一种常见自然灾害,受到地形降雨等多种因素的作用,各因素相互影响关系复杂,尽管本文试图对山洪灾害分布规律加以分析,但在规律解释方面仍有一定欠缺,这也是未来研究的重点所在。

#### 参考文献(References):

[1] 唐川,朱静.基于GIS的山洪灾害风险区划[J].地理学报, 2005,60(1):87-94. [ Tang C, Zhu J. A GIS based regional

torrent risk zonation[J]. Acta Geographica Sinica, 2005,60 (1):87-94. ]

[2] 国家防汛总指挥部办公室.山洪泥石流滑坡灾害及防治[M].北京:科学出版社,1994. [ Office of the State Flood Control Headquarters. Mountain torrents, debris flow, landslide disaster and its prevention[M]. Beijing: Science Press, 1994. ]

[3] 李中平,张明波.全国山洪灾害防治规划降雨区划研究[J].水资源研究,2005,26(2):32-34. [ Li Z P, Zhang M B. A study on Chinese mountain torrents disaster prevention regionalization based on precipitation[J]. Journal of Water Resources Research, 2005,26(2):32-34. ]

[4] 任洪玉,邹翔,张平仓.我国山洪灾害成因分析[J].中国水利,2007,486(14):18-20. [ Ren H Y, Zou X, Zhang P C. An elementary study on causing-factors of Chinese mountain torrents disaster[J]. China Water Resources, 2007,486 (14):18-20. ]

[5] 张平仓,任洪玉,胡维忠,等.中国山洪灾害区域特征及防治对策[J].长江科学院院报,2007,24(2):9-12. [ Zhang P C, Ren H Y, Hu W Z, et al. Zone characteristics of Chinese mountain torrent disasters and countermeasures[J]. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute, 2007,24(2):9-12. ]

[6] 鄢洪斌,朱均安,廖宏.江西山洪灾害分布特征与预报初探[J].江西气象科技,2005,28(2):27-30. [ Yan H B, Zhu J An, Liao H. The distribution characteristic and forecast preliminary studies on mountain torrents calamity of Jiangxi[J]. Jiangxi Meteorological Science & Technology, 2005,28(2):27-30. ]

[7] 张茂省,薛富平,王晓勇.陕西省山洪灾害特征及防治对策[J].西北地质,2004,37(3):96-102. [ Zhang M S, Xue F G, Wang X Y. Features on torrential floods and its precaution in Shaanxi province[J]. Northwestern Geology, 2004, 37(3):96-102. ]

[8] 李景保,毛德华,许树辉.湖南省山洪灾害特征与成因分析[J].山地学报,2002,20(3):380-384. [ Li J B, Mao D H, Xu S H. The causes and features of mountain torrent disaster in Hunan Province[J]. Journal of Mountain Science, 2002,20(3):380-384. ]

[9] 高延超,何杰,陈宁生,等.四川省山区城镇山洪灾害特征分析[J].成都理工大学学报(自科版),2006,33(1):84-89. [ Gao Y C, He J, Chen N S, et al. Analysis of characteristics of torrent disasters in the towns of the mountain areas, Sichuan, China[J]. Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition), 2006,33 (1):84-89. ]

[10] 赵健,范北林.全国山洪灾害时空分布特点研究[J].中国水利,2006,461(13):45-47. [ Zhao J, Fan B L. Characteris-

- tics of temporal and spatial distribution of mountain flood in China[J]. *China Water Resources*, 2006,461(13):45-47. ]
- [11] 赵士鹏.中国山洪灾害系统的整体特征及其危险度区划的初步研究[J]. *自然灾害学报*, 1996,5(3):93-99. [ Zhao S P. An elementary study on whole characteristics of mountain torrents disaster system in China and its hazard region divisions[J]. *Journal of Natural Disasters*, 1996,5(3): 93-99. ]
- [12] 任洪玉,张平仓,杨勤科,等.全国山洪灾害防治区划理论与实践初探[J]. *中国水利*, 2005,438(14):17-20. [ Ren H Y, Zhang P C, Yang Q K, et al. Theory and practice on area division of mountain flood prevention in China[J]. *China Water Resources*, 2005,438(14):17-20. ]
- [13] 赵刚,庞博,徐宗学,等.中国山洪灾害危险性评价[J]. *水利学报*, 2016,47(9):1133-1142. [ Zhao G, Pang B, Xu Z X, et al. Assessment on the hazard of flash flood disasters in China[J]. *Journal of Hydraulic Engineering*, 2016,47(9): 1133-1142. ]
- [14] 李炳元,潘保田,程维明,等.中国地貌区划新论[J]. *地理学报*, 2013,68(3):291-306. [ Li B Y, Pan B T, Cheng W M, et al. Research on geomorphological regionalization of China[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2013,68(3):291-306. ]
- [15] 张朝忙,刘庆生,刘高焕,等.中国地区 SRTM3 DEM 高程精度质量评价[J]. *测绘工程*, 2014,23(4):14-19. [ Zhang C M, Liu Q S, Liu G H, et al. Evaluation of SRTM3 DEM data elevation quality in China[J]. *Engineering of Surveying and Mapping*, 2014,23(4):14-19. ]
- [16] 詹蕾,汤国安,杨昕. SRTM DEM 高程精度评价[J]. *地理与地理信息科学*, 2010,26(1):34-36. [ Zhan L, Tang G A, Yang X. Evaluation of elevation accuracy of SRTM DEM: A case study in Shaanxi province[J]. *Geography and Geo-Information Science*, 2010,26(1):34-36. ]
- [17] 周成虎,万庆,黄诗峰,等.基于 GIS 的洪水灾害风险区划研究[J]. *地理学报*, 2000,55(1):15-24. [ Zhou C H, Wang Q, Huang S F, et al. A GIS-based approach to flood risk zonation[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2000,55(1):15-24. ]
- [18] 陈桂亚,袁雅鸣.山洪灾害临界雨量分析计算方法研究[J]. *人民长江*, 2004,36(4):40-43. [ Chen G Y, Yuan Y M. Research on critical precipitation amount computation method of mountain torrential flood disaster[J]. *Yangtze River*, 2004,36(4):40-43. ]
- [19] 张骞.基于 GIS 的北京地区山洪灾害风险区划研究[D]. 北京:首都师范大学,2014. [ Zhang Q. Study on risk zoning of mountain torrents disaster in Beijing based on GIS [D]. Beijing: Capital Normal University, 2014. ]
- [20] 王仁乔,周月华,王丽,等.湖北省山洪灾害临界雨量及降雨区划研究[J]. *高原气象*, 2006,25(2):330-334. [ Wang R Q, Zhou Y H, Wang L, et al. The studies on critical rainfall of mountain mud rock flow and rainfall zoning of Hubei province[J]. *Plateau Meteorology*, 2006,25(2):330-334. ]
- [21] 程维明,周成虎,申元村,等.中国近 40 年来地貌学研究的回顾与展望[J]. *地理学报*, 2017,72(5):755-775. [ Cheng W M, Zhou C H, Shen Y C, et al. Retrospect and perspective of geomorphology researches in China over the past 40 years[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2017,72(5):755-775. ]