

基于流域单元的黔西县地质灾害特征分析¹

张兴菊¹，兰安军^{1▲}，张玉彪¹，王琦²

(¹贵州师范大学地理与环境科学学院，贵州 贵阳 550025；

²贵州师范大学喀斯特研究院，贵州 贵阳 550001)

【摘要】：地质灾害是地质环境质量低劣的表现，它的频频发生不仅反映了自然地质环境的脆弱性，也反映了人类工程活动与地质环境之间矛盾的激化。同时，地质灾害研究更是一项关系民众生命财产安全、涉及社会和谐稳定和经济社会可持续发展的十分重要的工作；利用已收集的黔西县 1:5 万 DEM 数据，运用遥感和地理信息系统技术，建立流域单元评价体系，并结合黔西县 2010 年的地质灾害相关统计数据，综合考虑地质、植被、降水、坡度、土地利用五因素，完成了黔西县内的滑坡、泥石流、崩塌等灾害特征分析，为更好的预测和了解地质灾害发生、合理利用土地提供更加科学的依据。

【关键词】：黔西县，地质灾害，流域单元，DEM

【中图分类号】：P694 **【文献标识码】**：A **【文章编号】**：1003-6563(2018)01-0045-07

0、引言

贵州属于亚热带湿润季风气候，气候温暖湿润，降水充沛，地势起伏，山脉众多，地质灾害时常会发生。在诸多自然灾害中，地质灾害危害程度较大，其发生率和对人的伤害程度仅次于气象灾害^[1]。其成因可以分为自然因素和人为因素，自然因素是由自然界异常引起的，如暴雨、地震、干旱等，具有不可抗性；人为因素是由不合理的开发利用造成灾害的因素，对地质灾害的形成起着促进的作用^[2-4]。以黔西县为例，其主要地质灾害类型包括地裂缝、滑坡、崩塌和塌陷，主要集中在分布于东北、东部、东南、南部以及西南部，人为因素导致的地质灾害占 13.7%。黔西县属于乌江水系，即长江流域，被誉为贵州省三大湖群之一。目前关于黔西县地质灾害的研究较少，为了更好地采取措施，防治地质灾害，降低经济损失，本文利用 2010 年的区内地质灾害现状数据，在划定流域单元的基础上，重点对其地质灾害类型、成因及特征进行研究。

1、研究区域概况

黔西县，东经 105° 47′ -106° 27′，北纬 26 度 46′ -27° 21′ 间，隶属于贵州省毕节市，毕节八大县之一，位于贵州中部偏西北地区，总面积为 2553.689km²，占贵州总面积的 1.45%。东邻修文县与息烽县，南邻织金县与清镇市，以鸭池河、六冲河为界，西北与大方县相邻，东北与金沙县接壤。其属于黔中丘原向黔西北山原过渡的斜坡地段，东、南、西三面呈河谷深切，

¹[收稿日期]：2017-08-30；[修回日期]：2017-09-8

[基金项目]：“亚喀斯特”生态脆弱区地质灾害危险性调查及评价研究——黔西县为例（黔科合 J 字 LKS[2011]28 号）；贵阳市科技计划项目“贵阳市域突发地质灾害危险性遥感评价及应急技术研究”（筑科合同[2012103]81 号）。

[作者简介]：张兴菊（1994-），女，在读硕士，研究方向：灾害遥感监测方向。

▲[通讯作者]：兰安军（1974-），男，贵州瓮安人，副教授，研究方向：喀斯特环谳遥感。

东北、西北、西南及南部山峦绵延，中部地势比较平坦开阔，分布着起伏平缓的丘陵洼地。东北、东部、东南、南部及西南地区坡度起伏较大，多出现在县界附近，均有坡度大于 35° 斜坡存在。境内最高海拔为 1865m，最低点海拔为 745m，相对高差为 1120m，平均海拔 1250m。地层出露底层以二叠系、三叠系为主，多次地壳运动，使县域内褶皱、断层交错分布，地质构造复杂，矿产丰富。地貌类型复杂，包括山地、丘陵、河谷以及盆地，有侵蚀类型、溶蚀类型、构造类型以及复合类型，在不大的区域范围内有两种以上的地貌类型分布。全县 80%以上的地区都分布有碳酸质岩。

研究区内 2010 年地质灾害主要包括地裂缝、滑坡、崩塌及塌陷，全县地质灾害隐患点 182 处，全县共 28 个乡镇，灾害涉及 26 个乡镇，共 125 个行政村。按诱发因素分自然因素引发的有 154 处，采矿及其他人为因素引发的有 28 处，占地质灾害发生频数的 15.4%，其中 16 处是由采矿造成。如表 1 所示，按地质灾害类型分为地裂缝 23 处，崩塌 47 处、滑坡 103 处和塌陷 9 处，威胁人数达 11386 人，共 2633 户。危害对象涉及村民、学校师生和公路，其中村民占 80%以上，所占比重较大。威胁资产达 14281 万元，直接经济损失 343.9 万元，其中谷里镇五里村、新金村损失最为严重。

表 1 黔西县地质灾害现状统计表

灾害类型	人为因素/处	自然因素/处	总地质灾害/处
地裂缝	11	12	23
崩塌	3	44	47
滑坡	8	95	103
塌陷	6	3	9
合计	28	154	182

2、基于流域单元的地质灾害特征分析

2.1 流域单元建立

利用已收集的黔西县 1: 5 万 DEM 数据，对黔西县水体进行提取，建立流域单元。运用 ArcGIS 进行水文分析，建立地表水的运动模型，辅助分析地表水水源及水的流向，呈现水流的流动过程。在 ArcGIS 中利用水流方向数据计算出汇流累积量，即流量。为呈现水系大致的走向，忽略过于细小部分，经过多次提取流量定为 6000 最为适宜的表达，直接对流量进行筛选得出流量大于或等于 6000 的主要水系（就每个栅格而言，流量大小代表其上游有多少个栅格的水流方向最终汇流经过该栅格，其值越大，则该区域越容易形成地表径流）。当在栅格计算器中所筛选的流量数值较小时，提取出的水系则越多，流域的各个分支均呈现出来，区域的水系空间分布越密集。将分水岭转换成矢量数据，为后续的分析提供流域单元的相关信息。

2.2 流域与突害分布情况

将地质灾害隐患点与流域单元叠加到同一平面上，发现地质灾害集中分布于集水流域取值的两端，尤其在该区域东北及西南地区地质灾害分布比较集中，除北部地区外，均有地质灾害发生。在流域较大的中部地区发生的地质灾害很少，该地区属于流域单元集水较为平均的地区。

相邻流域的边界线为分水岭的脊线，也是分水岭最高点间的连线。部分地质灾害分布于流域附近和分水岭的脊线上，大多数分布于流域单元较小区域。南部区域尤为明显，在一个小流域内发生了多次地质灾害。在流域中，流域单元的集水流域取值在流域两端的地区地质灾害分布较集中，在集水流域取值较大的区域范围较小，但地质灾害分布集中。图 1 中，由于提取的流量大于或等于 6000，因此小于 6000 流量的流域单元未被提取出来，流域单元与县界范围之间存在缺失部分。灾害中，坍塌和

滑坡均分布于分水岭的脊线周围，即在分水岭最高点周围，为滑坡的形成提供条件。

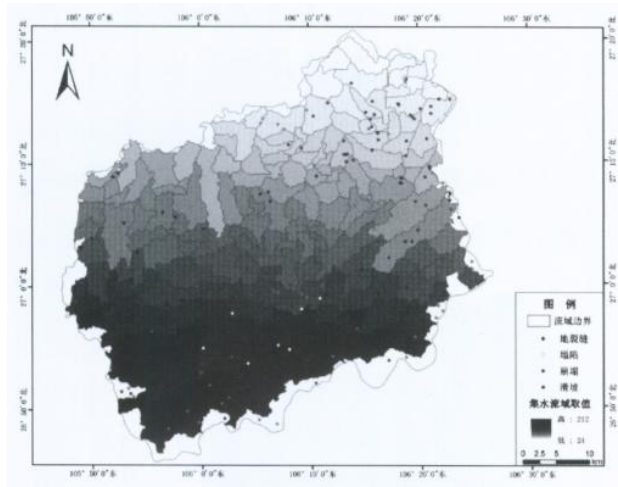


图 1 黔西县地质灾害流域分布图

2.3 流域单元与地质灾害关系

为进一步了解流域单元与地质灾害的关系，通过分析地质灾害隐患点所在流域单元内分水岭脊线与其之间的距离，结合距离大小和地质灾害类型进行研究。采用 ArcGIS 中的距离分析，以每个地质灾害隐患点为要素源数据，通过直线距离函数，计算每个地质灾害隐患点与最近源之间的欧氏距离，并按距离远近分级。根据所得数据可以得出，以地质灾害隐患点为中心，以半径为 1500m 的圆中，每个地质灾害隐患点所在流域单元的分水岭脊线基本分布于该范围内。提取的流量不同，数据会出现差异。由于提取的流量较大，在县界附近流量较小区域的流域单元没有被提取出来，存在个别地质灾害没有在流域单元内。利用数据进行统计，如表 2 所示，在 500m 的范围内，发生频数达地质灾害总数的一半以上，在 1000m 的范围内，地质灾害发生比率为 87.4%。数据进一步说明，地质灾害的产生，不仅与流域的大小有关，还与其所在流域单元分水岭脊线之间的距离相关，地质灾害隐患点与其所在流域单元内分水岭脊线之间的距离越小，地质灾害越容易发生。

表 2 地质灾害与最近分水岭脊线距离统计表

范围/m	地裂缝	滑坡	崩塌	塌陷
500	10	57	28	8
1000	10	35	10	1
1500	3	11	8	0
2000	0	0	1	0
合计	23	103	47	9

2.4 分流域的地质灾害与坡度关系

利用 1: 5 万 DEM 数据，对其进行表面分析—坡度提取^[5]。依照坡度最大值和最小值之间的变化，将其分为 5 类，坡度越大，呈现的颜色越明显^[6]。通过将坡度、流域单元以及地质灾害隐患点这三类数据放在同一平面进行分析。东北和西南地区坡度值较大，由图 2 可知，坡度大的区域流域单元较小。

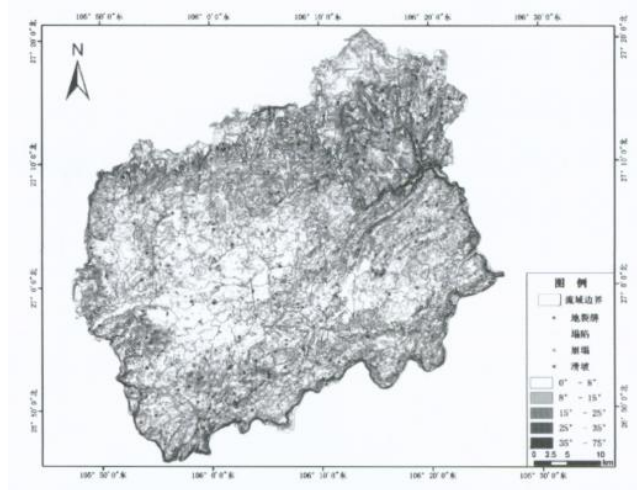


图2 流域地质灾害与坡度关系图

在坡度较大的区域地质灾害相对集中，流域单元在此区域较大。图3中大部分呈现黄色，则说明该研究区域坡度在 $15^{\circ} \sim 25^{\circ}$ 范围内分布较广，地质灾害基本分布于该坡度范围内。坡度大于或等于 35° ，有个别地质灾害分布，包括滑坡和崩塌，陡峭的斜坡均为崩塌和滑坡的形成提供条件，河流的侵蚀为斜坡上的土体或岩体随着坡面向下滑动提供动力。中部地区地势平缓，坡度在 $0^{\circ} \sim 8^{\circ}$ ，流域单元内呈绿色，流域单元与坡度较大的流域单元相比较小，地质灾害基本没有发生在该地区。在单个流域单元范围内，流域边界是分水岭最高点的连线，流域边界上比流域单元内的坡度大，在平缓的地区尤为明显，因此坡度与流域单元的分布有一定的关系。坡度为滑坡和崩塌的产生提供条件，平缓的地势不利于滑坡的形成，而崩塌的产生需要陡坡，均分布在坡度大于 25° 以上的斜坡上，陡坡是崩塌形成的必要条件，在贵州多山地区属于常见类型之一。

用矢量数据计算每一类的面积以及所占黔西县总面积的百分比。从表3中可知，坡度在 $0^{\circ} \sim 25^{\circ}$ 占比较大，占比为92.32%。当向下的滑力小于土体和岩体所受阻力，不利于滑坡的产生，因此在较缓的斜坡上不易向下产生滑动。崩塌多产生于坡度大于 25° 的地区，而滑坡主要发生在坡度为 $8^{\circ} \sim 35^{\circ}$ 的地区，在 $15^{\circ} \sim 25^{\circ}$ 地区尤为集中，斜坡为滑坡的产生提供条件，但坡度较大的斜坡则不利于堆积固体物，在较小的降雨条件下就会被冲走，不具备滑坡产生的条件^[7]。

表3 黔西县坡度统计表

坡度/ $^{\circ}$	面积/ km^2	占比/%
0~8	869.689	34.06
8~15	906.407	35.49
15~25	581.581	22.77
25~35	143.478	5.62
35~75	52.534	2.06
合计	2553.689	100

2.5 分流域的地质灾害与土地利用关系

通过运用 ERDAS 监督分类进行人工分类，把从 Landsat8 下载的黔西县影像进行分类，得出的土地利用图与流域单元和地质灾害点进行分析。如图3所示，东北部地区植被较多，流域单元内多数呈绿色；北部地区未利用地比较明显，流域单元也相对

较小。整个区域水体较多，尤其在县界周围，水体围绕了半个县界，使黔西县与修文县、清镇市和织金县连接起来。

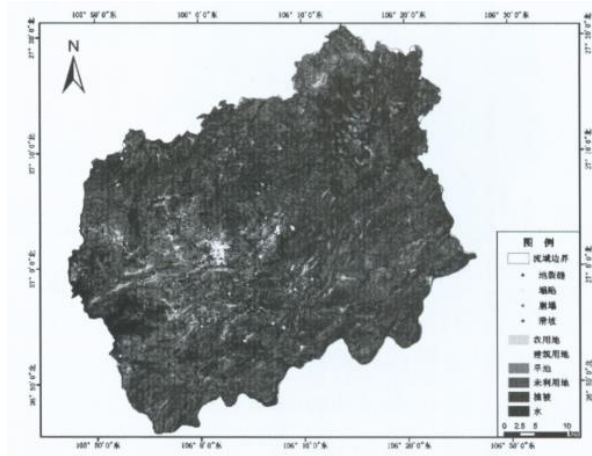


图 3 黔西县地质灾害与土地利用关系图

处于中部的建筑用地中地质灾害发生较少，但在建筑用地周围，滑坡发生频数较多，显示出人类活动对滑坡的形成有促进作用。在东北部及西南部非建筑用地中，流域单元较小，滑坡均分布于旱地和未利用地地区。旱地地区大部分处于斜坡上，由于长期干旱导致泥土的黏度降低，当流域冲刷时，加之重力作用，处于斜坡上的旱地被雨水带走泥土，形成滑坡；未利用地地区植被覆盖度较小，疏松的泥土在水冲刷下很容易被带走，从而形成滑坡。西部流域附近滑坡发生较多，说明流域对滑坡的形成有一定的作用。在人类活动和自然环境的共同作用下，滑坡频繁发生。坍塌多分布于建筑用地附近，离流域单元边界较近。地裂缝分布在旱地地区，可以考虑是由于长期的干旱导致泥土的膨胀产生变形而产生。部分地裂缝位于滑坡附近，滑坡的形成也可导致地裂缝的产生，这种类型成为滑坡地裂缝。坍塌的产生多位于建筑用地附近，大部分是由于人为对矿产资源的不合理开采所导致。

利用地质灾害分布数据与土地利用数据进行叠加分析，按照属性对地质灾害进行选取，分别统计地裂缝、滑坡、崩塌和塌陷在空间上分布于哪一种土地类型以及统计地质灾害分别在土地利用各个类型中发生的频数。由表 4 可知，地质灾害在旱地和植被覆盖地区发生较为频繁，水体和道路区域，也叫做无流失区域，没有地质灾害产生。

表 4 黔西县地质灾害与土地利用关系统计表

土地利用类型	地裂缝	滑坡	崩塌	塌陷
农用地	0	9	1	0
建筑用地	0	6	0	1
旱地	7	38	10	4
未利用地	2	2	1	0
植被	14	48	35	4
水	0	0	0	0
合计	23	103	47	9

2.6 分流域的地质灾害与降雨关系

黔西县的气候属于亚热带湿润季风气候，类型多样，雨水较为充沛，年平均降雨量 1050mm。图 4 中，分布于县域东南部、南部、西南部及西部地区降水量较大，均在 1050mm 以上，影响面积达到县内范围三分之二以上，中部地区降水影响的面积大，包含了整个区域的一半左右。雨水大体是由东北部向西南部地区递增的趋势，东北部雨水分布相对较少，在降水量相对较少的区域地质灾害发生率高，处于南部和西南部雨水量充足的地区地质灾害的发生相对较少。降水量在 1000mm 以下的区域，地质灾害没有发生。黔西县具有地势西北高，东南低的特征，在同等雨量下，地质灾害在西北部地区分布较少，说明地形是形成降水地域差异的主要因素，影响着降水的分布，对高原、山地、盆地等均有不同的影响。相反，地形对降水的形成也有一定的促进作用，高原内部大气中的水分含量相对较少，降水量一般较少，降水量随着海拔的升高而减少^[7]。

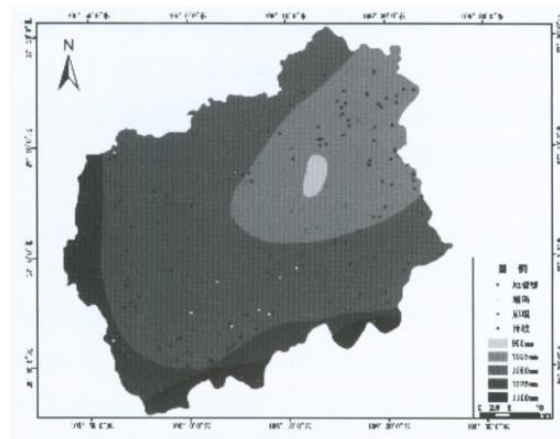


图 4 黔西县地质灾害与降雨关系图

降水对地质灾害的形成有这一定的作用，在一定的降水范围内可以引起地质灾害的发生，雨量丰富地区的岩体或土体不易积累，泥土常常被雨水带走，则该区域发生地质灾害频数较低^[8]。在表 5 中做出了相应的统计，分别统计了年均降水量在 950mm 至 1100mm 的区域发生地质灾害的类型以及地质灾害发生的频数，更加直观的表达出地质灾害与降水量之间的关系。

表 5 黔西县地质灾害与降水关系统计表

年均降水量/mm	地裂缝	滑坡	崩塌	塌陷
950	0	0	0	0
1025	8	39	15	0
1050	11	48	24	8
1075	4	10	4	1
1100	0	6	4	0
合计	23	103	47	9

2.7 分流域的地质灾害与植被覆盖关系

运用 ERDAS 对植被归一化指数 (NDVI) 进行计算，提取黔西县的植被覆盖数据，NDVI 范围在 -1~1 之间。当 NDVI<0 时，表示地面覆盖为云、雪、水等；当 NDVI=0 时，表示有岩石或裸地；当 NDVI>0 时，表示地而上的植被覆盖情况，植被覆盖度越大 NDVI 值越大。根据 NDVI 值将植被覆盖度分类，共分为 4 类，包括裸地、低度覆盖、中度覆盖和高度覆盖。将水体和道路从土地利用数据中导出，利用 ArcGIS 中分析工具的叠加分析，使水体和道路数据与植被覆盖数据叠加，单独作为两种类型放入植

被覆盖图中，能够更加准确地显示出植被覆盖的具体情况。

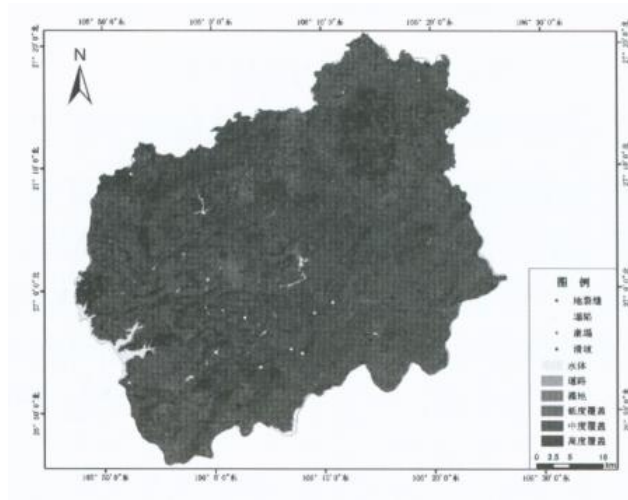
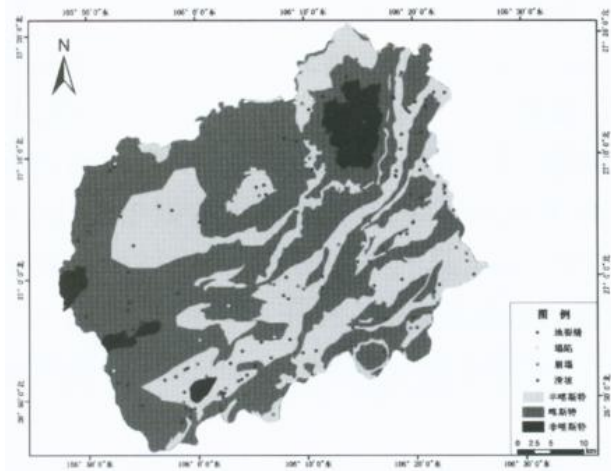


图 5 黔西县地质灾害与植被覆盖关系图

图 5 表明，该研究区植被覆盖在低度覆盖和中度覆盖区域较多，东北部地区植被覆盖度较大，东部及东南部覆盖度相对较少，均以裸地为主。地质灾害多发生在裸地和植被低度覆盖区域，水域地区未发生地质灾害。道路附近以滑坡和崩塌为主，是贵州地区常见的道路滑坡和道路崩塌。崩塌发生于低植被覆盖及其以下的地区，滑坡的产生更倾向于低植被覆盖地区，植被的覆盖度越少，则该地区的泥土裸露在外，不能被植被遮盖，在外营力的作用下容易发生地质灾害。

2.8 分流域的地质灾害与地质关系

地质主要是指地球的物质构成、结构等，其中岩石性质是地质属性之一，利用搜集的岩性数据与流域单元进行分析，得出图 6。明显地表示出了贵州地区喀斯特的特征，在黔西县内具有喀斯特岩性的占 80%以上。喀斯特也叫做岩溶，在喀斯特地区岩石属于可溶性岩石，水对岩石的作用较为强烈，主要以化学的溶蚀作用为主。喀斯特地区流域单元相对较大，滑坡集中分布于其中。



岩土体是滑坡产生的物质基础，岩石性质对滑坡的产生有一定的作用，也对其他地质灾害有一定的影响^[9]。在半喀斯特即喀

斯特与非喀斯特混合地区、非喀斯特地区地质灾害分布集中，非喀斯特地区几乎只有滑坡的产生，说明岩石性质对地质灾害的产生具有一定的影响力。

3、结论与讨论

(1) 黔西县水系发达，降雨丰富，地质灾害也发生在水系周围，水对地质灾害起着重要的作用。降雨在 1000mm 以上的地区均有地质灾害的发生，雨水加速了处于斜坡上的土体或岩体向下滑动，加快了带走泥土颗粒的移动速度，加上流域的冲刷，为地质灾害的形成提供条件。

(2) 地质灾害多发生于植被覆盖度较小和流域单元较小的地区，土体上的植被覆盖少，泥土疏松，在外力作用下裸露的泥土得不到植被的遮掩。在风的作用下，泥土颗粒很容易被移动，也容易在雨水的冲刷下被带走。

(3) 坡度是崩塌产生的必要条件，同时也为滑坡的产生提供基础，陡峭的斜坡留不住泥土，在重力作用下，泥土沿着斜坡向下滑动。坡度大的区域流域相对较小，地质灾害集中发生在 $8^{\circ} \sim 35^{\circ}$ 的坡度范围内，而相对平缓和过于陡峭的区域不利于地质灾害的形成。

[参考文献]:

- [1]张 顺.山区地质灾害成因与防治措施[J].现代农业科技, 2015 (15): 257-258.
- [2]张洪信, 罗阳乔, 丁 俊, 等.贵州省安龙县地质灾害发育特征及成因分析[J].地球与环境, 2012, 40 (3): 430-437.
- [3]钟玲敏, 周德全.贵州省普安县地质灾害特征与成因分析[J].贵州农业科学, 2013, 41 (11): 197-201.
- [4]何冬晓, 谢世友, 孙在斌, 等.中国地质灾害发育特点及防治对策综述[J].四川地质学报, 2007, 27 (1): 31-36.
- [5]郭芳芳, 杨 农, 孟 晖, 等.地形起伏度和坡度分析在区域滑坡灾害评价中的应用[J].中国地质, 2008, 35 (1): 131-143.
- [6]杜朝正.基于 ArcGIS 的坡度分析[J].资源开发与市场, 2009, 25 (1): 17-18.
- [7]王 芬, 孙旭东, 杨 溢, 等.黔西南暴雨多时间尺度特征及其天气学成因分析[J].气象研究与应用, 2015, 36 (2): 15-20.
- [8]王治兵, 余 斌, 马 敏, 等.贵州望谟里拉沟泥石流灾害特征[J].南水北调与水利科技, 2014, 12 (4): 165-168.
- [9]田小波.贵州省纳雍县滑坡易发性评价[J].交通科技, 2012 (4): 69-72.