

# 重庆市地质灾害孕灾条件分析

刘朋飞\*, 刘尚威, 陈鹏, 颀飞

重庆市地质环境监测总站, 重庆

收稿日期: 2021年12月9日; 录用日期: 2022年1月6日; 发布日期: 2022年1月13日

## 摘要

重庆市地形地貌多样、地质构造复杂、地层岩性多样、水系广泛分布, 具备地质灾害发育的良好条件, 是我国地质灾害最严重省市之一, 在西南地区具有典型的代表性。文章以重庆市地质灾害一万多处样本数据为基础, 运用DEM数据、1:50地质图、1:50万地质构造纲要图、重庆市水系图等基础资料从地形地貌、地层岩性、地质构造和水系等因素分析了地质灾害与其相互关系, 揭示重庆地质灾害发育的基本规律, 为地质灾害防治和相关规划提供参考, 具有一定的指导意义。

## 关键词

地形地貌, 地层岩性, 地质构造, 水系, 地质灾害

# Analysis on Pregnant Conditions of Geological Disasters in Chongqing

Pengfei Liu\*, Shangwei Liu, Peng Chen, Fei Xie

Chongqing Institute of Geological Environment Monitoring, Chongqing

Received: Dec. 9<sup>th</sup>, 2021; accepted: Jan. 6<sup>th</sup>, 2022; published: Jan. 13<sup>th</sup>, 2022

## Abstract

Chongqing has various landforms, complex geological structures, diverse strata and lithology, and widely distributed water systems. It has good conditions for the development of geological disasters. It is one of the most serious provinces and cities in China, and is a typical representative in Southwest China. Based on the sample data of more than 10000 geological disasters in Chongqing, and using the basic data such as DEM data, 1:50 geological map, 1:500000 geological structure outline map and Chongqing water system map, this paper analyzes the relationship between geologi-

\*第一作者。

cal disasters and them from the factors of landform, formation lithology, geological structure and water system, and reveals the basic law of the development of geological disasters in Chongqing. It provides a reference for geological disaster prevention and related planning, and has certain guiding significance.

## Keywords

Topographic Features, Formation Lithology, Geological Structure, River System, Geologic Hazard

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

重庆市是全国地质灾害发生比较严重的地区之一[1]。地形地貌以山地、丘陵为主，地质构造复杂，褶皱强烈，断裂发育。地层多样，软弱岩组分布较广泛，岩石力学性质差异悬殊，岩溶发育强烈，存在孕育自然灾害的原生地质条件[2] [3] [4] [5]。截至 2019 年底隐患点 14926 处，其中滑坡 11041 处、崩塌 2107 处、不稳定斜坡 1380 处、泥石流 82 处、地裂缝 48 处、地面塌陷 157 处、库岸 111 处。全市共查明各类地质灾害的地质灾害基本数据为规律性总结提供了重要支撑，本文从地质灾害受控因素揭示地质灾害发育规律。

## 2. 地形地貌对地质灾害的控制作用

重庆地处四川盆地东部盆周山地及盆缘斜坡区，地跨扬子准地台和秦岭褶皱系两大构造单元，境内地貌以山地、丘陵为主，山地、丘陵面积占全市总面积的 90.9%，其中山地约占 75.3%，丘陵约占 15.6%。为地质灾害发育提供了地形地貌条件。重庆市地质灾害以滑坡、崩塌为主，主要类型为斜坡破坏，而斜坡的坡度、坡高、起伏度是最重要因素之一[6] [7] [8]。

### 2.1. 坡度与地质灾害关系

通过全市 DEM 数据统计分析，如表 1 所示，重庆市斜坡按照 10 度为一个类型，斜坡坡度主要分布在 0~10°、10~20°、20~30°和 30~40°，占全市面积 92.21%，小于 40°斜坡地质灾害所占比例达 95.88%。根据面积分布与地质灾害分布来分析，以 10~20°、20~30°斜坡地质灾害发育密度最大，为最不利斜坡坡度；30~40°和 70~80°次之；0~10°、40~50°和 50~60°斜坡一般发育；80~90°斜坡不发育。重庆市地质灾害类型以滑坡为主，滑坡最为发育的斜坡坡度 10°~30°，与基本特征相吻合。

**Table 1.** Relationship between slope gradient and geological hazards

**表 1.** 斜坡坡度与地质灾害关系

坡度	面积占比	灾害点数量	灾害点占比	灾害点比与面积比比值
0~10	23.60%	2053	13.75%	58.26%
10~20	30.01%	5830	39.06%	130.16%
20~30	24.51%	4661	31.23%	127.42%

Continued

30~40	14.08%	1767	11.84%	84.09%
40~50	5.80%	482	3.23%	55.69%
50~60	1.64%	98	0.66%	40.24%
60~70	0.32%	31	0.21%	65.63%
70~80	0.03%	4	0.03%	100.00%
80~90	0.00%	0	0.00%	0.00%
合计	100.00%	14926	100.00%	

## 2.2. 坡向与地质灾害关系

以重庆市全市地质分布为对象,坡向分为8个方向,间隔的角度均为 $45^\circ$ 对全市地质灾害点进行统计(表2),通过分析坡向面积、灾害点占比,重庆地质斜坡坡向差别不大,仅在北、北西向稍多,与重庆市山体走向与构造方向基本一致,大多成北东-南西方向,在渝东北大巴山区以东西方向为主。灾害点比与面积比之比值在95.44%~140.75%之间,仅在北方向比值稍高,其他基本趋近于1,整体趋势坡向与地质灾害分布特征不明显。

**Table 2.** Relationship between slope direction and geological hazards

**表 2.** 斜坡坡向与地质灾害关系

坡向	面积百分比	灾害点占比	灾害点比与面积比之比值
N (337.5~22.5)	13.46%	18.94%	140.75%
NE (22.5~67.5)	11.39%	11.26%	98.85%
E (67.5~112.5)	12.30%	12.13%	98.59%
SE (112.5~157.5)	12.67%	12.71%	100.28%
S (157.5~202.5)	12.51%	13.57%	108.43%
SW (202.5~247.5)	11.75%	12.09%	102.88%
W (247.5~292.5)	12.69%	13.00%	102.41%
NW (292.5~337.5)	13.23%	12.62%	95.44%
总计	100.00%	100.00%	

## 2.3. 高程与地质灾害关系

重庆市地形一般在100~1800 m之间,在1800 m以上人员少有居住,统计0~1800按照相差100 m为段,1800 m以上为整体,对14926处地质灾害点进行统计(表3),重庆市地质灾害主要集中于高程在100~800 m之间,面积占全市面积71.54%,灾害点占全市的81.94%;其次为800~1200 m之间,面积占全市19.76%,灾害点占全市的15.22%;高程在小于100 m和大于1200 m范围内,面积占8.70%,灾害点仅占1.79%。其中,地质灾害最为发育的高程为100~200,出露面积比与地质灾害比之比值大于3,其次为200~800段,出露面积比与地质灾害比之比值均大于1,其余段均小于1。

**Table 3.** Relationship between slope height and geological hazards  
**表 3.** 坡高与地质灾害关系

高程	面积占比	地质灾害数量	灾害点占比	灾害点占比与面积比之比
小于 100	0.04%	1	0.01%	17.7%
100~200	2.05%	1007	6.75%	328.5%
200~300	12.29%	2581	17.29%	140.7%
300~400	14.66%	2392	16.03%	109.3%
400~500	11.47%	2089	14.00%	122.0%
500~600	8.89%	1590	10.65%	119.8%
600~700	8.20%	1406	9.42%	114.8%
700~800	7.62%	1165	7.81%	102.5%
800~900	6.36%	906	6.07%	95.4%
900~1000	5.38%	681	4.56%	84.8%
1000~1100	4.36%	416	2.79%	64.0%
1100~1200	3.66%	269	1.80%	49.3%
1200~1300	3.07%	159	1.07%	34.7%
1300~1400	2.65%	93	0.62%	23.6%
1400~1500	2.17%	64	0.43%	19.8%
1500~1600	1.70%	49	0.33%	19.3%
1600~1700	1.32%	30	0.20%	15.2%
1700~1800	1.08%	17	0.11%	10.6%
大于 1800	3.04%	11	0.07%	3.8%
合计	100.00%	14926	100.00%	

#### 2.4. 起伏度与地质灾害关系

斜坡起伏度(高差)对地质灾害分布很强的规律性,根据重庆市斜坡高差,按照相差 100 m 为一个单元,从 0~1000 m 共划分为 10 个单元(表 4)。通过对重庆市地质灾害分布的斜坡环境对斜坡起伏度进行统计,斜坡的相对高程主要分布在 0~100、100~200 和 200~300 m, 占全市面积的 94.55%, 同时地质灾害主要在斜坡高差在小于 300 m 斜坡上, 占全市地质灾害的 97.65%。根据灾害点占比与面积占比比值分析,重庆市地质灾害最集中发育不良斜坡起伏度为 100~200 m, 其次为 200~300 m 和小于 100 m 斜坡上。

**Table 4.** Relationship between slope relief and geological hazard  
**表 4.** 斜坡起伏度与地质灾害关系

地形起伏度(m)	灾害数量	面积(km <sup>2</sup> )	面积占比	地质灾害点占比	灾害点占比与面积占比比值
0~100	4138	31335.59	38.03%	27.72%	72.90%
100~200	8417	33733.85	40.94%	56.39%	137.74%
200~300	2020	12839.61	15.58%	13.53%	86.85%
300~400	279	3534.33	4.29%	1.87%	43.58%

Continued

400~500	63	795.88	0.97%	0.42%	43.70%
500~600	8	138.71	0.17%	0.05%	31.84%
600~700		19.17	0.02%	0.00%	0.00%
700~800	1	2.43	0.00%	0.01%	226.84%
800~900		0.42	0.00%	0.00%	0.00%
900~1000		0.02	0.00%	0.00%	0.00%
合计	14926	82400.00	100.00%	100.00%	100.00%

### 3. 地层岩性对地质灾害的控制作用

#### 3.1. 地层对地质灾害的控制作用

重庆地质灾害以滑坡、崩塌为主，崩塌均为岩质，滑坡多为堆积层滑坡[9] [10] [11]，由于重庆市土层普标较薄，地质图中除在河流阶地外，均按照岩性来完成，本文统计按照地质图中填图内容(表 5)。根据重庆是 1:50 万地质图和地质灾害关系，把重庆市地质灾害岩性进行分组，共计 61 个组，重庆市地质灾害数量大于 1000 分布在巴东组、蓬莱镇组、沙溪庙组、遂宁组和珍珠冲组共 5 个组，灾害数量 9718 处，占据 65.12%，主要地层控制半数以上地质灾害，具有很强的规律性，重庆市地质灾害以滑坡为主，而数量较多的地层巴东组、沙溪庙组、珍珠冲组等地层，软岩广泛分布，容易风化，岩体内部广泛分布的软弱结构面[12] [13]，为堆积层滑坡和顺层滑坡产生了有利条件，同时地层多为软硬相见的岩性组合为差异风化创造条件，也是崩塌发生的主要因素，特别是侏罗系砂泥岩互层地区，上硬下软坡体结构，差异风化，造成崩塌广泛分布[14] [15]。

**Table 5.** Statistical table of stratum and geological hazard development data

**表 5.** 地层与地质灾害发育数据统计表

地层	崩塌	地裂缝	地面塌陷	滑坡	库岸	泥石流	不稳定斜坡	总计
巴东组	48	1	1	1602		12	138	1802
蓬莱镇组	167			949		3	78	1197
沙溪庙组	918		2	2771	73	2	265	4031
遂宁组	227		2	1307	5	1	133	1675
珍珠冲组	22		2	842	6	9	132	1013

#### 3.2. 岩性组合对地质灾害的控制作用

结合重庆市 1:50 万工程地质图，根据岩土体强度和结构特征，整体分为四种类型：土体、碎屑岩建造、碳酸盐建造和变质岩建造，碎屑岩和碳酸盐在重庆分布广泛，又分为几个亚类(表 6)。从工程地质岩组分类看，在碎屑岩分布区地质灾害数量最多，共计 10902 处，占比 73.04%；碳酸盐其次，共计 3949 处，占比 26.46%；土体和变质岩分布区分布极少，共分布几十余处，占比约 0.5%。在工程地质灾害发育情况方面看，根据出露面积比与灾害隐患比的比值看，碎屑岩建造区最发育，比值 1.16，碳酸盐建造区其次，比值为 0.74，变质岩建造区为 0.68，土体最发育，为 0.19。在岩土体类型分布来看，较坚硬 - 软弱的中厚层状砂、泥岩互层岩组，坚硬的中厚层状强岩溶化灰岩及白云岩岩组，较坚硬 - 软弱的中 - 薄

层状泥灰岩和白云质灰岩、灰岩岩组最为发育，占全市灾害数量比分别为 58.64%、14.37%、10.83%，共占比达 83.84%。

**Table 6.** Statistical table of engineering geological rock formation data of geological hazard development  
**表 6.** 地质灾害发育工程地质岩组数据统计表

工程地质条件分类	岩土体类型	地质灾害点数量	隐患点占比	面积百分比	隐患点比与面积比之比
土体	第四系砂卵石土	12	0.08%	0.38%	0.21
	第四系一般粘性土	3	0.02%	0.16%	0.12
	合计	15	0.10%	0.54%	0.19
碎屑岩建造	坚硬的厚层状砂岩岩组	1191	7.98%	6.07%	1.31
	较坚硬 - 软弱的薄 - 中厚层状砂、泥岩夹白云质灰岩、泥质灰岩岩组	39	0.26%	0.74%	0.36
	较坚硬 - 软弱的中厚层状砂、泥岩互层岩组	8752	58.64%	48.82%	1.20
	软弱的薄层状泥、页岩岩组	920	6.16%	7.43%	0.83
	合计	10902	73.04%	63.05%	1.16
碳酸盐建造	坚硬的中厚层状强岩溶化灰岩及白云岩岩组	2145	14.37%	28.14%	0.51
	较坚硬的薄 - 中层状弱岩溶化灰岩、泥质灰岩岩组	4	0.03%	0.26%	0.10
	较坚硬的薄 - 中厚层状弱岩溶化灰岩、泥质灰岩岩组	124	0.83%	0.36%	2.29
	较坚硬 - 软弱的中 - 薄层状泥灰岩、白云质灰岩、灰岩岩组	1616	10.83%	6.31%	1.72
	较坚硬 - 软弱的中 - 厚层状弱岩溶化灰岩、白云质灰岩夹板岩岩组	60	0.40%	0.74%	0.54
合计	3949	26.46%	35.81%	0.74	
变质岩建造	坚硬 - 软弱厚层状板岩夹灰岩、凝灰岩岩组	60	0.40%	0.59%	0.68
	总计	14926	100.00%	100.00%	

#### 4. 地质构造与地质灾害关系

结合 1:50 万重庆市地质构造图，以大的断裂和主要褶皱为分析对象，对地质灾害点与断层距离和褶皱距离进行统计分析[7]，重庆地质灾害与断裂带关系距离远近不明显(表 7)，距离断层较远，大于 2000 米呈现的地质灾害稍高，在距离断层较近部分考虑，在 0~500 m 较近距离区域地质灾害隐患分布稍密集，整体呈平均分布状态。通过对地质灾害点与褶皱距离进行统计分析(表 8)，距离褶皱距离的分布面积与隐患点的比值近乎一致，褶皱对地质灾害没有明显控制作用，褶皱对地质灾害的作用不明显。

通过样本数据统计结果，整体表现地质构造与地质灾害发育特征不明显，重庆区域地质构造核部往往形成较为大型的山脊，地形坡度较陡，交通不方便，生产资料相对缺乏，人类居住较少，由于未威胁人员安全和财产安全没有定为地质灾害，通过统计灾害与地质构造特征不明显，但地质构造部位和断裂带附近，岩体破裂，往往成为地质灾害高易发区，也是不良地质现象显著呈现区。

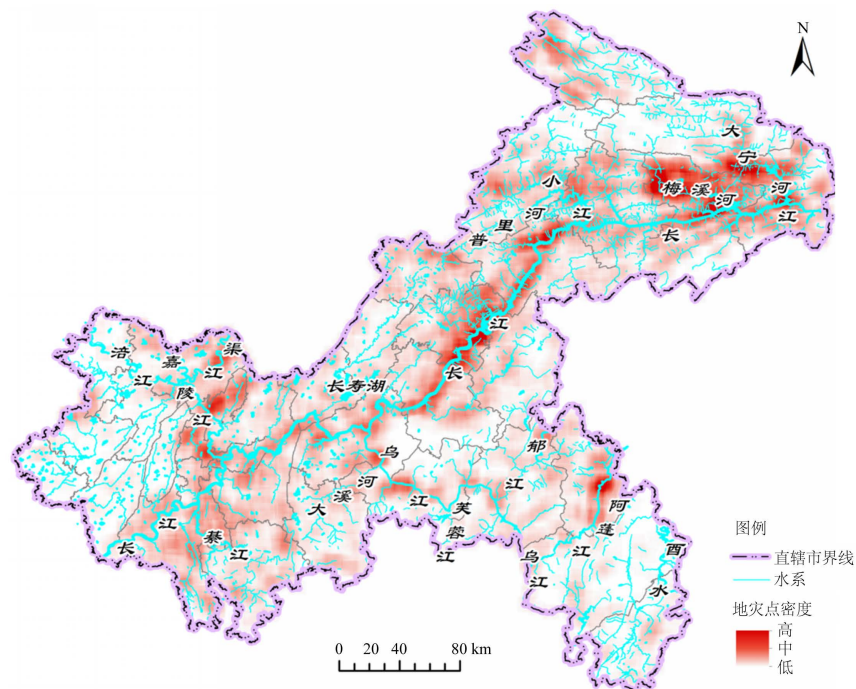


**Table 7.** Statistical table of distance between geological hazards and fault zone  
**表 7.** 地质灾害与断裂带距离统计表

距断层的距离(m)	面积(km <sup>2</sup> )	面积占比	总计	隐患点占比	隐患点占比与面积占比
0~500	5486	6.66%	847	5.67%	85.23%
500~1000	4585	5.56%	584	3.91%	70.32%
1000~1500	4171	5.06%	495	3.32%	65.52%
1500~2000	3987	4.84%	460	3.08%	63.69%
>2000	64170	77.88%	12540	84.01%	107.88%
总计	82400	100.00%	14926	100.00%	

**Table 8.** Statistical table of geological hazards and fold distance  
**表 8.** 地质灾害与褶皱距离统计表

距褶皱的距离(m)	面积(km <sup>2</sup> )	面积占比	总计	隐患点占比	隐患点占比与面积占比的比值
0~500	9465	11.49%	1827	12.24%	106.56%
500~1000	9319	11.31%	1727	11.57%	102.31%
1000~1500	8934	10.84%	1759	11.78%	108.69%
1500~2000	8305	10.08%	1625	10.89%	108.02%
>2000	46378	56.28%	7988	53.52%	95.08%
总计	82400	100.00%	14926	100.00%	



**Figure 1.** Distribution characteristics of geological hazards and water system  
**图 1.** 地质灾害与水系分布特征图

## 5. 水系对地质灾害的控制作用

重庆地表水系发育, 大江大河向下切割, 为斜坡地质灾害孕育了成灾条件根据地质灾害密度与水系特征分布图(图 1)看出, 重庆市地质灾害与大江大河关系密切[16] [17] [18], 沿长江两岸地质灾害均较发育, 在长江重要支流发育密度与其相似工程地质条件也相对高。除长江干流外, 重庆市渝西片区地质灾害高密度区主要集中在嘉陵江沿线, 渝东南主要集中在阿蓬江和乌江沿线, 渝东北主要集中在澎溪河、梅西河及大宁河沿线[9]。河流与地质灾害密切相关主要原因为: 一是重庆地质构造整体呈抬升趋势, 河流随着构造的不断抬升, 持续向下切割, 为地质灾害产生造成良好的临空面; 二是三峡库区重庆段随着水位升降, 发生多起地质灾害, 特别是水位下降期间, 斜坡产生动水压力的影响, 对斜坡的稳定性产生不利影响[19] [20]; 三是大江大河是重要的水源地, 大量城集镇人口重要场镇聚集近区, 同时也是大型企业厂矿聚集区, 人为工程活动强烈, 也对地质灾害产生有一定的加剧作用。

## 6. 结论

本文以重庆市地质灾害为研究对象, 结合基础地形地貌、构造地质、地层岩性等相关基础数据, 进行地质灾害与基础资料叠加分析, 重庆市地质灾害具有一定的规律性。

1) 地质灾害分布的地形地貌具有明显的规律性。坡度方面在  $10^{\circ}$ ~ $40^{\circ}$  范围最为发育, 高程主要分布在 100~200 m, 斜坡起伏度在 100~200 m 最为集中。

2) 地层岩性与地质灾害具有很好的一致性。巴东组、蓬莱镇组、沙溪庙组、遂宁组和珍珠冲组等软岩为主地层分布最为广发, 软岩控制着重庆市地质灾害发育的基本格局。

3) 水系对地质灾害具有控制性作用。重庆处于亚热带季风气候, 地表水系发育, 河流下切作用明显, 重庆沿江地区地质灾害具有很强的条带性。

4) 初步揭示重庆市地质灾害孕灾基本规律, 为地质灾害易发性评价、风险防控提供借鉴意义。

## 参考文献

- [1] 谭玉敏, 郭栋, 白冰心, 等. 基于信息量模型的涪陵区地质灾害易发性评价[J]. 地球信息科学学报, 2015, 17(12): 1554-1562.
- [2] 白云峰, 周德培. 武隆至涪陵乌江两岸地质灾害发育特征[J]. 自然灾害学报, 2006, 15(5): 7-11.
- [3] 赵瑞欣, 殷跃平, 李滨, 等. 库水波动下堆积层滑坡稳定性研究[J]. 水利学报, 2017, 48(4): 435-444.
- [4] Tang, H.M., Wasowski, J. and Juang, C.H. (2019) Geohazards in the Three Gorges Reservoir Area, China—Lessons Learned from Decades of Research. *Engineering Geology*, **261**, Article ID: 105267. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2019.105267>
- [5] Paronuzzi, P., Rigo, E. and Bolla, A. (2013) Influence of Filling-Drawdown Cycles of the Vermont Reservoir on Mt. Toc Slope Stability. *Geomorphology*, **191**, 75-93. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2013.03.004>
- [6] 田春山, 刘希林, 汪佳. 基于 CF 和 Logistic 回归模型的广东省地质灾害易发性评价[J]. 水文地质工程地质, 2016, 43(6): 154-161.
- [7] 孟祥瑞, 裴向军, 刘清华, 等. GIS 支持下基于因子分析法的都汶路沿线地质灾害易发性评价[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2016, 27(3): 106-115.
- [8] 裴惠娟, 陈晋, 李雯, 等. 甘肃省地质灾害风险评估[J]. 灾害学, 2017, 32(2): 97-102.
- [9] 刘明学, 陈祥, 杨珊妮. 基于逻辑回归模型和确定性系数的崩滑流危险性区划[J]. 工程地质学报, 2014, 22(6): 1250-1256.
- [10] Müller, L. (1964) The Rock Slide in the Javonte Valley. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, **2**, 148-212.
- [11] 李滨, 殷跃平, 高杨, 等. 西南岩溶山区大型崩滑灾害研究的关键问题[J]. 水文地质工程地质, 2020, 47(4): 5-13.
- [12] Tang, M.G., Xu, Q., Yang, H., et al. (2019) Activity Law and Hydraulics Mechanism of Landslides with Different Sliding



---

Surface and Permeability in the Three Gorges Reservoir Area, China. *Engineering Geology*, **260**, Article ID: 105212. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2019.105212>

- [13] 杨宗才, 张俊云, 周德培. 红层泥岩边坡快速风化特性研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2006, 25(2): 275-283.
- [14] 殷跃平. 三峡库区边坡结构及失稳模式研究[J]. 工程地质学报, 2005, 13(2): 145-155.
- [15] 谭淋耘, 黄润秋, 裴向军. 库水位下降诱发的特大型顺层岩质滑坡变形特征与诱发机制[J]. 岩石力学与工程学报, 2021, 40(2): 302-314.
- [16] Huang, D., Gu, D.M., Song, Y.X., *et al.* (2018) Towards a Complete Understanding of the Triggering Mechanism of a Large Reactivated Landslide in the Three Gorges Reservoir. *Engineering Geology*, **238**, 36-51. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2018.03.008>
- [17] Terzaghi, K. (1950) Mechanism of Landslides. In: Paige, S., Ed., *Application of Geology to Engineering Practice*, Geotechnical Society of America, Berkeley, 83-123. <https://doi.org/10.1130/Berkey.1950.83>
- [18] 孙长明, 马润勇, 尚合欣, 等. 基于滑坡分类的西宁市滑坡易发性评价[J]. 水文地质工程地质, 2020, 47(3): 173-181.
- [19] 张咸恭, 王思敬, 张倬元. 中国工程地质学[M]. 北京: 科学出版社, 2000.
- [20] 罗元华, 伍法权. 三峡水库区岩土体高切坡的基本特点与防灾方法[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2004, 15(z1): 115-118.