

DOI:10.16031/j.cnki.issn.1003-8035.2019.03.02

重庆甌子岩崩塌落石动力学特征及危险性分区

孙敬辉, 石豫川

(成都理工大学地质灾害防治与地质环境保护国家重点实验室, 四川 成都 610059)

摘要: 针对重庆市南川区甌子岩危岩体面临的崩塌地质灾害问题, 分析不同高度、不同规模的危岩体对东侧居民区的落石风险及危害性。以甌子岩处岩质边坡为研究对象, 根据其结构面发育情况及崩塌落石特征确定模型尺寸, 运用 RocFall 软件对崩塌落石的能量、速度、运动轨迹、落点位置及冲击力等进行模拟计算。以此对崩塌落石区进行落石风险评估, 根据崩塌落石的动量和动能, 按最危险原则法将崩塌落石的危险性分区, 分为 I 危险性极大、II 危险性大、III 危险性一般、IV 危险性较小、V 无危险五个分区, 并将此分区应用于甌子岩危岩体, 评价崩子岩危岩体居民区的落石风险及危险性, 确保居民安全。通过对崩塌落石区的危险性分区, 可以用来指导居民区的安置和防护措施。

关键词: 崩塌落石; RocFall 软件; 危险性分区

中图分类号: P642.21

文献标识码: A

文章编号: 1003-8035(2019)03-0006-06

Dynamics and hazard zoning of collapse and rockfall in Zengziyan, Chongqing

SUN Jinghui, SHI Yuchuan

(State Key Laboratory of Geohazard Prevention and Geoenvironment Protection, Chengdu University of Technology, Chengdu, Sichuan 610059, China)

Abstract: In view of the collapse geological hazard in southern Chongqing, the risk and harmfulness of dangerous rock mass with varies scales at different heights at the eastern residential area were analyzed. Taking the rock slope of Zengziyan as the case study, according to the development of the structural plane and the characteristics of the rockfall, the model size is determined, and the energy, velocity, trajectory, position and impact force of the rockfall are simulated by the Rocfall software, which is used to evaluate the risk of rockfall and to divide the risk degree. According to the study, the risk degree of rockfall can be divided into five classes, that are class I extremely danger, class II great danger, class III danger, class IV less danger and class V safe. And the result is applied to evaluate the risk of residential area of Zengziya. The research result can be used to guide the protective of the residential area.

Keywords: collapse and rockfall; RocFall software; hazard zoning

0 引言

崩塌落石我国山区一种多发地质灾害^[1], 危岩体在降雨、地震或人工活动等因素的扰动下极易滚落或

坠落^[2-4]。重庆市南川区金佛山甌子岩多次发生危石坠落, 特别是暴雨后。现部分危岩体存在严重安全隐患, 危及其下村民的生命财产安全。现威胁人数为 102 户 406 人, 地质灾害体成灾后可能造成的损失大,

收稿日期: 2018-08-08; 修订日期: 2018-09-14

作者简介: 孙敬辉 (1992-), 男, 河北省邢台市人, 硕士研究生, 主要从事工程地质勘查及地质灾害治理方面的工作。E-mail: 930274459@qq.com

为了保障村民生命财产安全,分析不同高度、不同规模危岩体的落石风险并对危险性进行分区,用来为居民区安置和防护提供依据^[5]。

1 甌子岩边坡地质概况与基本特征

1.1 地质概况

南川甌子岩危岩带总体形态呈不规则“L”型展布,由多级陡崖组成,一级陡崖有栖霞组和茅口组石灰岩组成,二级陡崖由茅口组石灰岩组成,一二级陡崖间为茅口组二段页岩夹石灰岩组成的斜坡,地形坡度 $37^{\circ} \sim 44^{\circ}$,甌子岩危岩东侧为居民集中区,高程 $800 \sim 1\,250\text{ m}$,相对高差 $650 \sim 900\text{ m}$ ^[3]。地形地貌见图1。



图1 甌子岩危岩体地形面貌

Fig.1 Topography of Zengziyan dangerous rock body

调查区位于金佛山向斜中段近轴部偏东翼部位,向斜轴部构造方向为NE~SW向^[3],区内陡倾裂隙发育,多张开,多充填泥质和钙质,结合一般-差,为斜坡岩体的表生改造、演变破坏创造了构造基础,对危岩体的结构及稳定性起控制作用。

1.2 边坡基本特征

现选取区内剖面1-1'作为分析对象,危岩体为灰岩构成,后缘被卸荷裂隙切割,基本贯穿整个危岩体,该边坡总体上上陡下缓,边坡倾向 10° ,高程范围 $1\,210 \sim 1\,841\text{ m}$,平均坡度 35° ,边坡主要分为五段,具体特征见剖面1-1'分段特征表(表1)、剖面1-1'工程地质平面图(图2)和剖面1-1'工程地质剖面图(图3)。由于垂直裂缝发育,在降雨、地震等外力扰动下,边坡易产生崩塌落石,落石主要以直落式和滑移式为主;坡面特征按坡面组成物质分段。

表1 剖面1-1'分段特征表

Table 1 Section features of section 1-1'

编号	坡面特征	坐标范围
①	植被覆盖	(0,1 841) ~ (28,1 830)
②	基岩	(28,1 830) ~ (72,1 599)
③	植被覆盖	(72,1 599) ~ (125,1 583)
④	基岩	(125,1 583) ~ (181,1 428)
⑤	岩屑覆盖	(181,1 428) ~ (700,1 210)

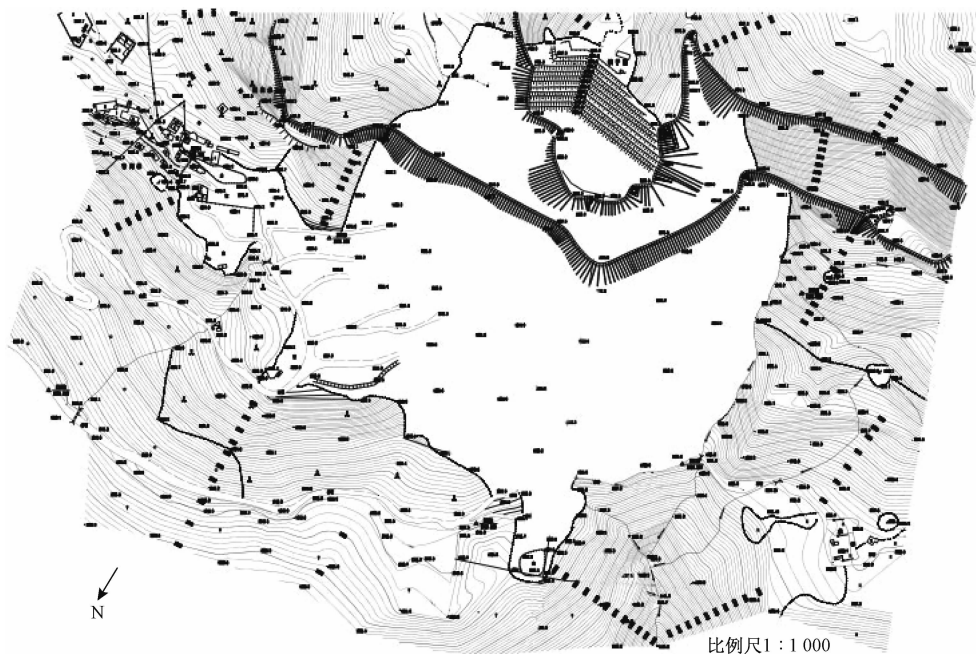


图2 剖面1-1'工程地质平面图

Fig.2 Engineering geology plan of section 1-1'

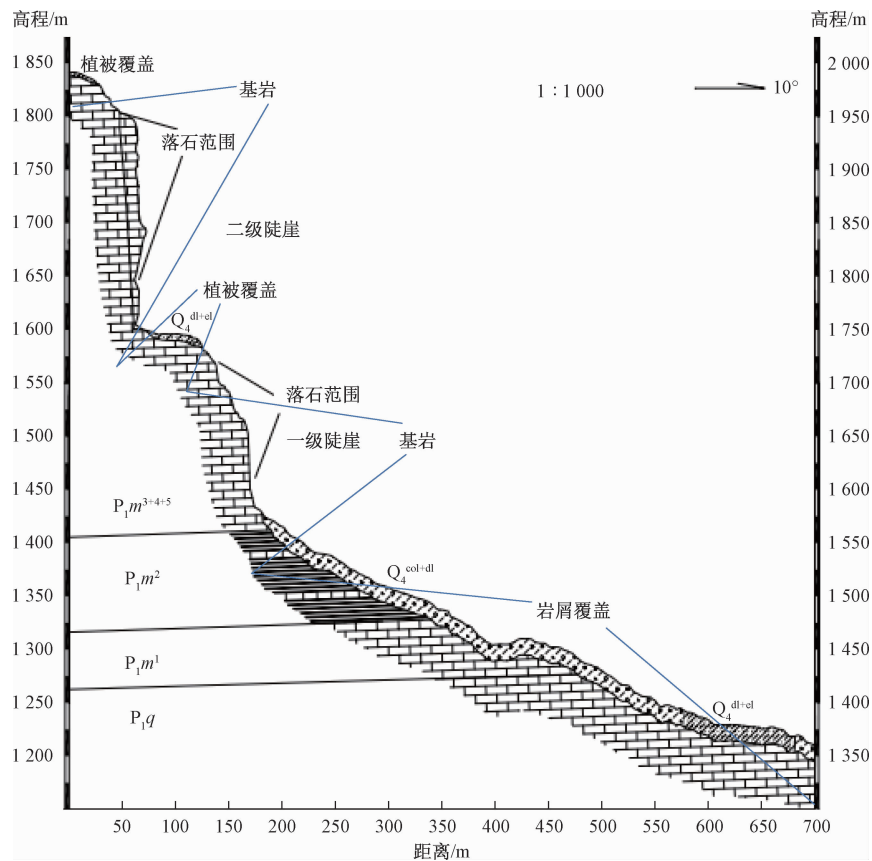


图3 剖面1-1'工程地质剖面图

Fig.3 Engineering geological section of section 1-1'

2 甑子岩崩塌落石危害性

2.1 崩塌落石的落石动力学特征

甑子岩危岩体边坡面积大,落石范围高差大,二级陡崖落石范围位于高程1800~1650m,一级陡崖落石范围处于高程1575~1450m,针对两级陡崖不同位置崩塌落石的运动路径、速度、动能等进行评价,对其落石风险进行分析。

根据裂隙发育情况及已有落石的统计信息,取落石典型尺寸为1m×1m×1m、2m×2m×2m、5m×5m×5m,密度取2.7g/cm³,针对不同高度位置的危岩体,考虑最不利情况,使用 Rocscience RocFall 软件对边坡参数进行计算。现分别针对典型高程1800m、1750m、1700m处进行三种尺寸典型落石的路径进行模拟,每处落石取50条可能的典型路径,对落石的运动路径、速度、落石终点、弹跳高度、动能进行模拟。

边坡剖面 EL1 800 m 处落石运动轨迹(图4)和落石终点位置(图5)表明,落石最终落于水平距离315~525m范围内,最终落于水平距离399~427m范围内的概率为82%。

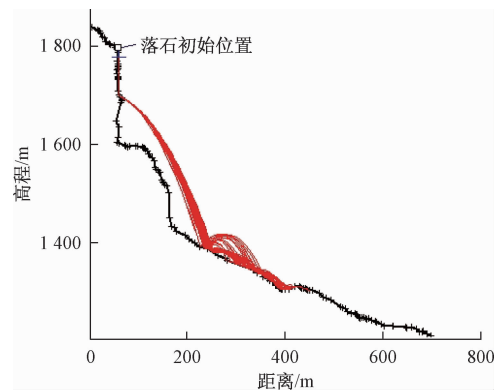


图4 EL1 800 m 处落石运动路径

Fig.4 Movement path of rockfalls at EL1 800 m

边坡剖面 EL1 750 m 处落石运动轨迹(图6)和落石终点位置(图7)表明,落石最终落于水平距离301~609m范围内,最终落于水平距离329~413m范围内的概率为90%。

边坡剖面 EL1 700 m 处落石运动轨迹(图8)和落石终点位置(图9)表明,落石最终落于水平距离301~441m范围内,最终落于水平距离315~427m范围内的概率为96%。

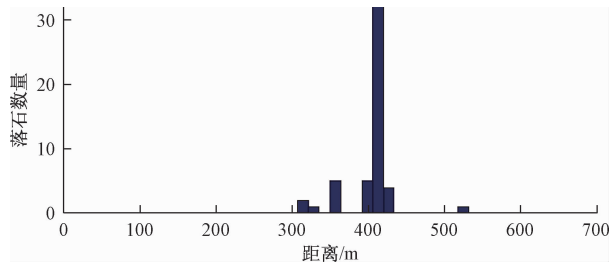


图 5 EL1 800 m 处落石终点位置

Fig. 5 Final position of the rockfalls at EL1 800 m

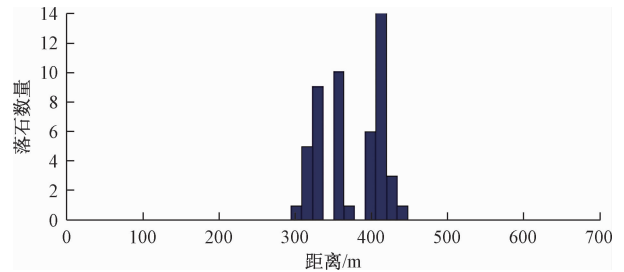


图 9 EL1 700 m 处落石终点位置

Fig. 9 The final position of rockfalls at EL1 700 m

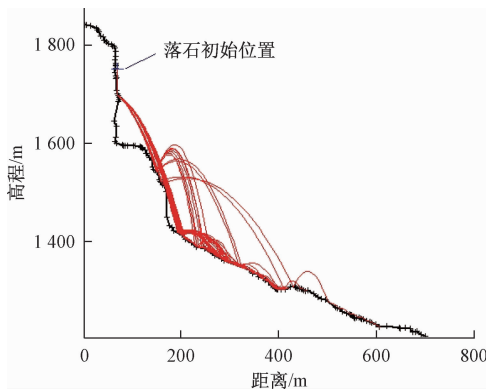


图 6 EL1 750 m 处落石运动路径

Fig. 6 Movement path of rockfalls at EL1 750 m

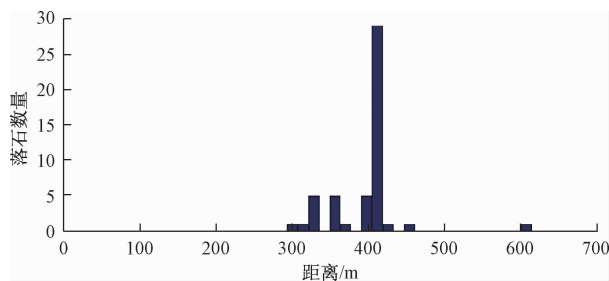


图 7 EL1 750 m 处落石终点位置

Fig. 7 The final position of rockfalls at EL1 750 m

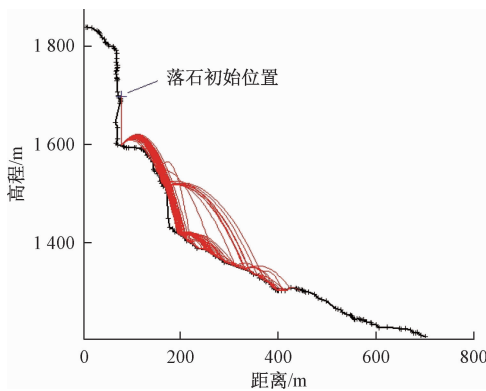


图 8 EL1 700 m 处落石运动路径

Fig. 8 Movement path of rockfalls at EL1 700 m

2.2 崩塌落石的破坏力

根据对甌子岩典型高程 1 800 m、1 750 m、1 700 m 处进行的典型落石路径的模拟, 现对落石的速度、动量、动能进行分析。边坡剖面 EL1 800 m 处落石平移速度位于 10 ~ 83 m/s, 以最大块体 5 m × 5 m × 5 m 考虑, 落石速度、动量、动能分布见表 2 (取速度变化处速度参数)。

表 2 EL1 800 m 处落石参数表

Table 2 The rockfall parameters at EL1 800 m

水平位置	速度/(m·s ⁻¹)	动量/(kg·m·s ⁻¹)	动能/kJ
70	33	6 666	110
224	83	16 766	696
252	29	5 858	85
350	46	9 292	214
378	30	6 060	91
392	35	7 070	124
420	10	2 020	10

边坡剖面 EL1 750 m 处落石平移速度位于 9 ~ 77 m/s, 以最大块体 5 m × 5 m × 5 m 考虑, 落石速度、动量、动能分布见表 3。

表 3 EL1 750 m 处落石参数表

Table 3 The rockfall parameters at EL1 750 m

水平位置	速度/(m·s ⁻¹)	动量/(kg·m·s ⁻¹)	动能/kJ
70	25	5 050	63
196	77	15 554	599
210	42	8 484	178
252	62	12 524	388
266	43	8 686	187
322	68	13 736	467
336	53	10 706	284
406	72	14 544	523
462	12	2 424	14
490	28	5 656	79
602	9	1 818	8

边坡剖面 EL1 700 m 处落石平移速度位于 5 ~ 66 m/s, 以最大块体 5 m × 5 m × 5 m 考虑, 落石速度、动量、动能分布见表 4。

2.3 崩塌落石的危险性分区

对上述不同高程落石的物理参数进行总结:①EL1 800 m时,最大速度的水平位置为224 m,此处动能和动量相应也为最大,之后迅速降低,说明高位危岩体落石以弹跳方式在陡崖上运动后落入岩屑覆盖的边坡上,之后以滚动为主的运动方式运动,此种运动弹跳次数较少,第一次高速运动后速度迅速降低,运动距离相对较近。②EL1 750 m时,最大速度位于水平位置196 m,322~406 m,此处动能和动量相应也较大,之后降低,说明二段陡崖中部落石以多次弹跳方式才落入岩屑覆盖的边坡上,之后以滚动为主的运动方式运

动,此种运动方式经多次弹跳,运动距离较远。③EL1 700 m时,最大速度位于水平位置210 m和364 m两处,此种运动方式经两处大的弹跳,之后落入岩屑覆盖的边坡上,运动距离相对较近。

综合三种典型高程(以最大尺寸考虑)落石的动量、动能,作为进行崩塌落石危险性分区的依据,对崩塌落石区进行危险性分区(表5)(若无法同时满足,取较危险情况)(图10)。

表5 甑子岩崩塌落石危险性分区

Table 5 Risk zoning of collapse and rockfall of Zengziya

危险性分区	危险性评价	动量范围/(kg·m·s ⁻¹)	动能范围/kJ
I	危险性极大	>10 000	>500
II	危险性大	5 000~10 000	100~500
III	危险性一般	1 000~5 000	10~100
IV	危险性较小	100~1 000	2~10
V	无危险	<100	<2

表4 EL1 700 m处落石参数表

Table 4 The rockfall parameters at EL1 700 m

水平位置	速度/(m·s ⁻¹)	动量/(kg·m·s ⁻¹)	动能/kJ
84	21	4 242	44
98	17	3 434	29
210	65	13 130	427
224	41	8 282	170
252	55	11 110	305
266	45	9 090	204
364	66	13 332	440
378	26	5 252	68
420	36	7 272	131
434	5	1 010	2

分别对三种高程情况下崩塌落石的危险性分区,综合落石风险(落石概率),崩塌落石区分区如下:0~70 m处为II区,危险性大;70~350 m处为I区,危险性极大;350~420 m处为II区,危险性大;420~460 m处为III区,危险性一般;460~602 m处为IV区,危险性较小;大于602 m处为V区,无危险。

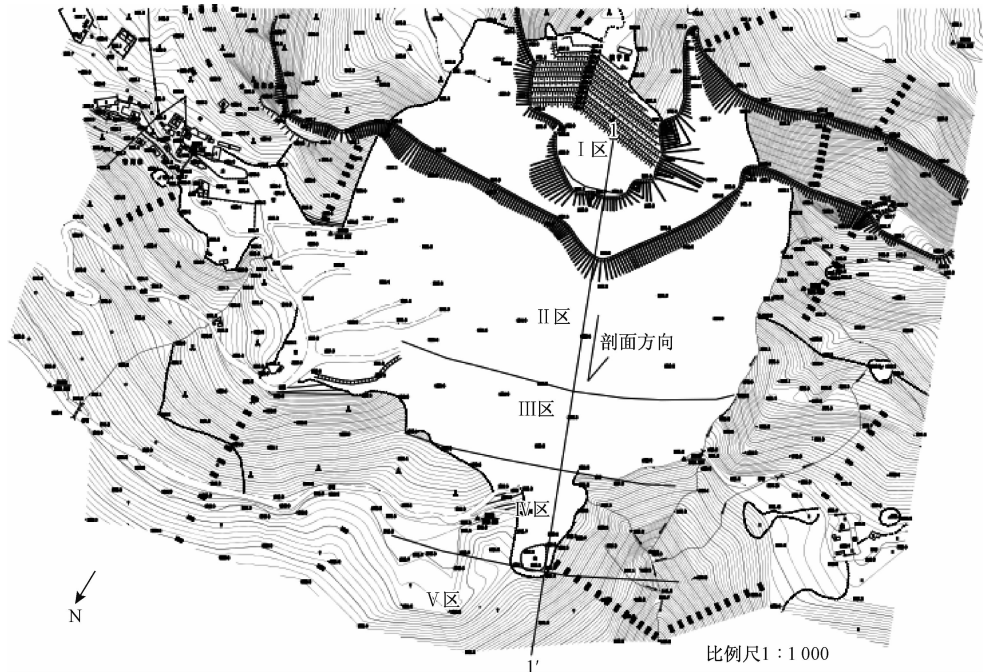


图10 甑子岩1-1'剖面危险性分区图

Fig.10 Hazard zoning map of section 1-1'

3 结论

(1) 面对甄子岩危岩的崩塌落石问题, 分析不同高度危岩体对居民区的危害性, 根据结构面发育情况及现场落石尺寸的统计特征, 取最大块体 $5\text{ m} \times 5\text{ m} \times 5\text{ m}$ 作为危险性分区的依据。

(2) 采用 RocFall 软件对崩塌落石的路径、运动轨迹、速度、动能等进行模拟计算, 以此来对崩塌落石区进行风险评估和危险性分区。

(3) 通过对甄子岩危岩的落石运动路径等物理运动状态的模拟, 分析了落石速度、运动距离、动能、动量等因素的变化情况, 以最危险情况考虑危险性分区, 按最危险原则法将崩塌落石的危险性分为 I 危险性极大、II 危险性大、III 危险性一般、IV 危险性较小、V 无危险五个分区, 并将此分区应用于甄子岩危岩体, 评价崩子岩危岩体居民区的落石风险及危险性。

(4) 根据上述分析, 对甄子岩危岩体东侧居民区进行危险性分区, 并对安置措施提供参考。

参考文献:

- [1] 杨仲元. 道路边坡危岩落石运动路径研究[J]. 公路交通科技, 2010, 27(1): 1-4.

- YANG Zhongyuan. Research on perilous rockfall motion trace of road slope[J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2010, 27(1): 1-4.
- [2] 施晓文, 邓清禄, 董国梁. 崩塌落石对管道的危害性[J]. 油气储运, 2013, 3(3): 295-299.
- SHI Xiaowen, DENG Qinglu, DONG Guoliang. The hazards of landslides and rockslides to pipeline. [J] Oil & Gas Storage and Transportation, 2013, 3(3): 295-299.
- [3] 柳茂盛. 重庆金佛山甄子岩危岩特征及稳定性评价分析[J]. 城市建设, 2012(16): 69.
- LIU Maosheng. Characteristics and stability evaluation of dangerous rock in the Jinfo Mountain of Chongqing [J]. Urban Construction, 2012(16): 69.
- [4] 胡厚田. 崩塌与落石[M]. 北京: 中国铁道出版社, 1998.
- HU Houtian. Collapse and falling rocks [M]. Beijing: China Railway Publishing House, 1998.
- [5] 唐红梅, 易朋莹. 危岩落石运动路径研究[J]. 重庆建筑大学学报, 2003, 25(1): 17-23.
- TANG Hongmei, YI Pengying. Research on dangerous rock movement route [J]. Journal of Chongqing Jianzhu University, 2003, 25(1): 17-23.

我国发布 88 项地灾防治标准规范

截至目前, 我国地质灾害防治工程行业已发布和审批国家标准、行业标准和团体标准 88 项。其中《滑坡防治工程勘查规范》已发布为国家标准。《地面沉降调查与监测规范》、《地质灾害灾情统计标准》、《地质灾害排查规范》、《滑坡崩塌泥石流灾害调查规范(比例尺: 1: 5 万)》、《地质灾害危险性评估规范》、《集镇滑坡崩塌泥石流勘查规范》已发布为行业标准。《滑坡防治设计规范》已列入国家标准发布规划。《地质灾害分类分级标准(试行)》等 53 项已发布为团体标准, 《地质灾害治理工程施工质量检验评定标准》等 27 项团体标准已审批通过, 在 2019 年上半年发布。