

# 平推滑坡式危岩崩塌诱因机制及防治措施

梁炯, 许蛟, 谢忠胜, 石胜伟

(中国地质科学院探矿工艺研究所, 四川 成都 611734)

**摘要:**以四川巴中通江县寨槽平推滑坡式崩塌为案例,通过分析平推滑坡式危岩崩塌的形成条件、诱因机制,得出防治措施。形态上,基岩陡壁上方发育一组平行坡面走向、宽度为1 m、两侧封闭的张拉裂缝。强降雨时,地表水的汇集流入裂缝,除了本身具有静水压力和动水压力以外,还有瞬时高水头在裂缝中的劈楔作用,促进了裂缝的发展。坡体上部的砂岩层也会沿着软弱夹层向外推挤,当挤移产生临空面时,就会导致崩塌发生,该模式是先平推推移、崩塌、再推移、再崩塌的模式。为了彻底消除该类型崩塌体的灾害隐患,在治理崩塌的前提下,还必须考虑减轻水对该坡体的影响,并应考虑防止裂缝的工程措施。

**关键词:**平推式滑坡;危岩崩塌;诱因机制;防治措施

**中图分类号:**P642.22 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2013)07-0036-05

**Incentive Mechanism of Plane-shoving Slide Collapsing Dangerous Rock and the Control Measures/LIANG Jiong, XU Jiao, XIE Zhong-sheng, SHI Sheng-wei** (Institute of Exploration Technology, CAGS, Chengdu Sichuan 611734, China)

**Abstract:** Take the example of plane-shoving slide collapse in Tongjiang, by the analysis on the formation conditions and incentive mechanism, the control measures are obtained. For the shape, a group of paralleled tension cracks develop above the steep rock with width of 1m, both sides is enclosed. In heavy rainfall, the surface water flow into the cracks, in addition to the hydrostatic pressure and hydrodynamic pressure, the splitter action of instantaneous high head in cracks promotes the development of cracks. At the same time, the sand stone layer of the upper part will push outward along the weak inter-layer; while the free surface is produced by extruding shift, collapsing will occur. This model is plane-shoving shift, collapsing, shift again and collapsing again. In order to eliminate the hidden troubles of this type of landslide disasters, in the premise of collapse control, reducing effects of water on the slope must also be considered, as well as the engineering measures to prevent cracks.

**Key words:** plane-shoving slide; dangerous rock collapse; incentive mechanism; control measure

## 0 引言

四川“5·12”地震之后,灾区灾后重建中,遇到一系列滑坡、崩塌的地质灾害问题,数量多、类型繁杂,很是罕见。一些典型的地质灾害,在带来灾难、隐患的同时,也带来了新的问题,值得我们思考与研究<sup>[1]</sup>。

寨槽崩塌位于四川省巴中通江县,灾害体从形态特征来看为危岩崩塌。但根据现场坡体结构、变形特征,有着十分明显的平推式滑坡特征。平推滑坡式崩塌的变形特征,斜坡体上部巨厚层砂岩体沿着底部的软弱夹层(泥岩面)向外推移,当推移的砂岩底部出现临空面时,就会产生崩塌隐患,因此2010年夏日一个晚上,灾害体发生崩塌后,上部砂岩层还会继续向外推移产生新的临空面,造成了新的崩塌隐患。笔者将该类型崩塌称为平推滑坡式危岩崩塌。假如按传统的治理危岩崩塌的工程措施,治理平推滑坡式危岩崩塌,就很难彻底根治崩塌灾害。

笔者在调查、分析平推滑坡式危岩崩塌的形成

条件、形态特征和诱因机制基础上,得出防治措施。形态特征显示:基岩陡壁上方为巨、厚层砂岩,下方为泥岩,坡度近垂直;基岩陡壁后侧发育一组平行坡面走向、宽度为1 m的张拉裂缝,其两侧为封闭状态。强降雨时,地表水的汇集流入裂缝,水流除了具有静水压力和动水压力以外,还有瞬时的骤涨水位在裂缝中形成劈楔作用,促进了裂缝的发展以及岩层的向外蠕动。同时,坡体上部的砂岩层沿着软弱夹层也向外推挤,当挤移的砂岩层产生临空面时,就会导致崩塌隐患的产生,该模式是砂岩层先平推推移、崩塌、再推移、再崩塌的模式。为了彻底消除平推滑坡式危岩崩塌体的灾害体隐患,在治理危岩崩塌的前提下,必须考虑减轻水对该坡体的影响,并要考虑防止裂缝的工程措施。

## 1 典型实例

### 1.1 工程概况

收稿日期:2013-06-15

作者简介:梁炯(1984-),男(汉族),山西文水人,中国地质科学院探矿工艺研究所助理工程师,防灾减灾工程及防护工程专业,硕士,从事地质灾害防治技术开发与研究,四川省成都市郫县现代工业港(北区)港华路139号,2801650151@qq.com。

寨槽崩塌位于四川省巴中通江县,一处基岩出露的陡崖处。坡脚为居民居住区。崩塌区地形为南高北低。

斜坡体上部为巨、厚层砂岩,及底部为泥岩夹层构成的岩质边坡。坡体前缘为基岩出露的陡壁,危岩、崩塌主要发育于该处。基岩陡壁的坡向为 $290^\circ$ ,坡度为 $85^\circ$ 近似垂直,坡体横向宽为210 m,高度为25 m,距离坡脚10 m左右为居民区。根据踏勘情况得知,寨槽崩塌主要有4处危岩体、一处危石。崩塌全景如图1所示。

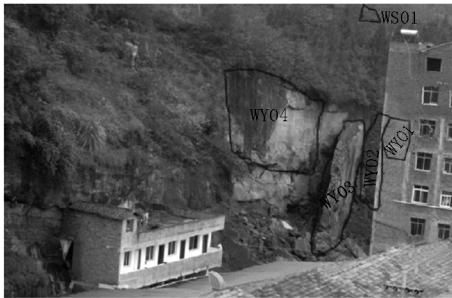


图1 崩塌体全景

## 1.2 平推滑坡式危岩崩塌变形特征

“5·12”地震之后,2009年初在斜坡体的顶部发育了张拉裂缝。最初,该裂缝宽为10 cm,在随后的汛期来临,降雨量的增加,裂缝呈逐渐扩张的趋势。随后基岩陡壁上不时有小块碎石崩落。因为该崩塌体有距离威胁对象近、面积广的特点,因此引起了通江县国土局的高度重视。随后组织开展多项的监测和预警措施。2010年汛期,一场强降雨后,整个基岩陡壁向外推移。此时,砂岩层底部发育出十分明显的临空面,从而导致了崩塌的发生。危岩3(WY03)从母崖上脱离,坐落到地面上,如图2(a)所示。部分块石从灾害体上崩落,崩塌危岩体方量约 $210\text{ m}^3$ 。目前为止,崖顶裂缝进一步扩张的趋势还十分明显,裂缝最宽处已发育至1.2 m,如图3所示。崖顶裂缝中有大量碎块石和耕植土。

由于该张拉裂缝切断了2条地表排水沟,致使地表排水沟的水直接汇集流入该裂缝。

崩塌发生时,危岩1(WY01)推挤抵到原先距坡脚约90 cm的一处居民楼上,房梁被砸断,如图2(b)所示;斜坡体左侧一处汽车修理厂,一处背靠陡崖的2层办公楼被挤裂形成一道斜向下 $43^\circ$ 、宽为21 cm的裂缝。2010年崩塌之后,该裂缝仍然有增大的趋势,如图2(c)所示。

该灾害体截止2011年底表现为:上部砂岩层的进一步向外推移,导致砂岩层底部发育了更新的



(a) 危岩3脱离了母岩坐落在地面上



(b) 危岩1抵到居民楼房上



(c) 岩层推移,挤毁厂办公楼

图2 平推滑坡式崩塌的变形特征



图3 滑体顶部的裂缝

临空面,从而产生了新的崩塌体隐患。

## 2 平推滑坡式崩塌诱因机制及破坏模式

基岩陡壁顶部为巨、厚层砂岩;底部有软弱夹层(为薄层泥岩)。坡度近垂直,陡崖后面发育有一组平行坡向、宽约1.2 m左右的张拉裂缝。张拉裂缝

的两侧为封闭状态,并且该裂缝切断了2条地表排水沟,强降雨时,致使地表排水沟的水直接流进该张拉裂缝。渗入的地表水,水流除了具有静水压力和动水压力以外,还有瞬时的骤涨水位在裂缝中形成劈楔作用,促进了裂缝的发展,加速了岩体的破坏。

并且,裂缝水还会使软弱夹层软化,进一步降低软弱夹层的抗剪强度,也会造成岩体的破坏。上述原因都是造成平推滑坡式崩塌的主要诱因条件。

崩塌体分布在基岩陡壁的上方。随着砂岩层的向外推移,斜坡体上部巨厚层砂岩体沿着底部的软弱夹层(泥岩面)向外推移,当推移的砂岩底部出现临空面时,就会产生崩塌隐患,因此2010年夏日一个晚上,灾害体发生崩塌后,上部砂岩层还会继续向外推移产生新的临空面,造成了新的崩塌隐患。因此,将此类型崩塌称为平推滑坡式危岩崩塌。其破坏模式是“砂岩层先平推推移、崩塌、再推移、再崩塌”的模式,如图4所示。

### 3 防治措施的设计计算

平推滑坡式崩塌是“砂岩层先平推推移、崩塌、再推移、再崩塌”的破坏模式,如果按传统崩塌治理方式(清危、主动加固,和被动加固的模式)治理平推滑坡式崩塌后,砂岩层还会进一步向外挤移,发育出更新的崩塌隐患。所以,为了根治平推滑坡式崩塌隐患,应该考虑先治平推式滑坡。

寨槽崩塌项目崩塌区岩层产状为 $281^{\circ} \angle 31^{\circ}$ ,该处坡体倾向是 $199^{\circ}$ (即平推滑坡推动的方向),沿坡体倾向砂、泥岩分界线的视倾角为 $5^{\circ}$ 。因此,推测砂、泥岩分界处的软弱夹层为平推式滑坡的滑动面,滑面倾角为 $5^{\circ}$ 。

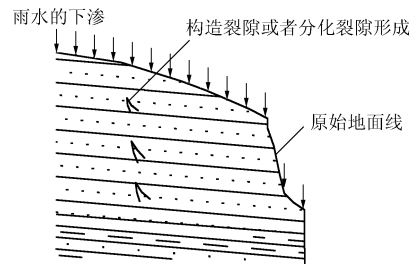
#### 3.1 启动水头的选取

张倬元<sup>[2]</sup>等提出:平推式滑坡启动依据由启动水头判断。启动水头值( $h_{cr}$ )与裂缝深度( $d$ )的关系:如果启动水头 $>$ 裂缝的深度,则滑坡处于稳定状态,如果启动水头 $<$ 裂缝的深度,则滑坡处于欠稳定状态。

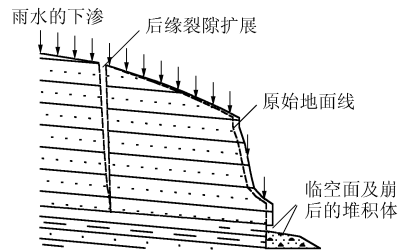
2010年汛期,经过长达半个月的降雨后寨槽发生了崩塌。当时,裂缝中充水高度为裂缝深度的 $3/4$ ,因此取裂缝深度 $3/4$ 为启动水头高度。考虑到坡体由排水工程治理后,水头有所降低,工程治理启动水头的设计值取裂缝深度的 $2/3$ 。寨槽崩塌各设计剖面裂缝深度、平推式滑坡启动水头以及工程治理启动水头的设计值,实际取值如表1所示。

#### 3.2 滑面 $\varphi$ 值的选取

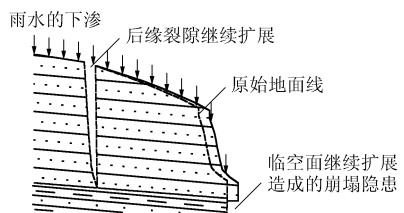
根据张倬元提出的启动水头公式<sup>[2]</sup>:



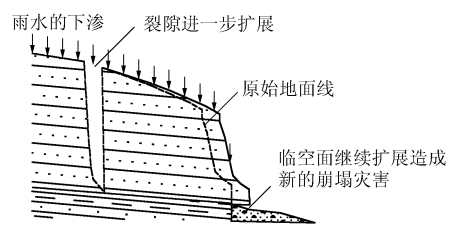
(a) 地表水下渗造成上部砂岩的推移



(b) 上部砂岩的推移发育出底部临空面,发生危岩崩塌



(c) 崖顶裂缝的进一步扩展,导致新的崩塌隐患的产生



(d) 崖顶裂缝的进一步扩展,导致了新的崩塌发生

图4 平推滑坡式崩塌的破坏模式

表1 裂缝深度、启动水头、设计水头取值 /m

剖面	裂缝深度	平推滑坡启动水头	设计水头
I - I'	25	19	17
II - II'	25	19	17
III - III'	25.8	19.6	17.53
IV - IV'	26.5	19.93	18

$$h_{cr} = \frac{1}{2\cos\alpha} \left( L^2 \tan^2 \varphi + \frac{8M}{r_w} \cos\alpha \tan\varphi - \sin\alpha \right)^{\frac{1}{2}} - \frac{L}{2\cos\alpha} \tan\varphi$$

式中: $\alpha$ ——沿坡体倾向砂、泥岩分界线的视倾角, $(^{\circ})$ ;  $\varphi$ ——滑面处的摩擦角, $(^{\circ})$ ;  $L$ ——滑体底面的长度,m;  $M$ ——滑块的质量, $t/m^3$ ;  $r_w$ ——水的重力密度, $t/m^3$ 。

平推式滑坡不考虑 $c$ 值的影响,只考虑滑面的摩擦角 $\varphi$ 的取值<sup>[2]</sup>。室内岩土体试验测试结果,由于取样的扰动和试验测试中的误差,软弱夹层处的 $\varphi$ 值与真实值误差可能较大。因此,本段平推式滑

坡软弱夹层(即滑面位置)的  $\varphi$  值,采用启动水头的公式反演。

根据表 1 中裂缝深度、启动水头、设计水头取值反演结果:暴雨工况排水工程前  $\varphi = 12^\circ$ ;平推式滑坡由排水工程治理后, $\varphi$  值有所增加,取  $\varphi = 14^\circ$ (即平推滑坡式崩塌治理工程的设计参数)。

### 3.3 稳定性计算

滑体受力包括(图 5 所示):自身重力  $W$ 、地表水渗入裂缝后产生的静水压  $P_w$  和地表水渗入裂缝后沿滑移面形成向上的扬压力  $P_w'$ 。

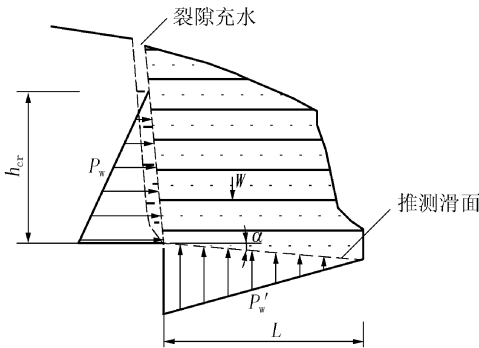


图 5 平推滑坡式崩塌的地质模型

众所周知,如果稳定系数  $\leq 1$  滑体就要发生滑动。平推式滑坡稳定性计算公式<sup>[4]</sup>如下:

$$K = \frac{(W \cos \alpha + P_w - P_w' \sin \alpha) \tan \alpha + cL}{W \cos \alpha + P_w' \cos \alpha} \alpha$$

式中: $c$ ——软弱夹层(滑面处)的内聚力, kPa;  
 $\alpha$ ——沿坡体倾向砂、泥岩分界线的视倾角, ( $^\circ$ );  
 $L$ ——滑体底面的长度, m;  $K$ ——稳定系数。

由于推导出排水工程前暴雨工况下  $\varphi = 11^\circ$ , 由平推式滑坡稳定性计算公式得出暴雨工况中稳定性系数结果如表 2 所示。

表 2 坡面稳定性计算结果

剖面	I - I'	II - II'	III - III'	IV - IV'
暴雨工况、排水工程前	1.02	1.01	1.03	1.03

### 3.4 滑坡剩余下滑力的计算

根据滑坡防治工程规范规定,防治工程等级为 II 级。一般情况下,平推式滑坡在暴雨工况下才能滑动。因此,采用暴雨工况为设计工况。暴雨工况的最小安全系数取 1.10。

根据传递系数法公式:

$$F_s = \frac{\sum_{j=1}^{n-1} (R_i \prod_{j=1}^{n-1} \psi_j) + R_n}{\sum_{j=1}^{n-1} (R_i \prod_{j=1}^{n-1} \psi_j) + T_n}$$

在下滑力中增加由地表水渗入裂隙后裂隙水所产生的静水压力( $P_w$ )的影响。在抗滑力中增加考

虑地表水渗入裂隙后沿滑面向上的扬压力( $P_w'$ )的影响。剩余下滑力计算结果见表 3。

表 3 滑坡剩余下滑力计算结果

剖面	I - I'	II - II'	III - III'	IV - IV'
滑坡剩余下滑力/kN	391	483	611	531

### 4 防治措施的探讨

平推滑坡式崩塌模式是“砂岩层先平推推移、崩塌、再推移、再崩塌”的模式。为了彻底消除平推滑坡式危岩崩塌体的灾害体隐患,在治理危岩崩塌的前提下,必须考虑减轻水对该坡体的影响,还应该考虑防止裂缝的工程措施。拟对寨槽崩塌采取如下治理措施(见图 6)。

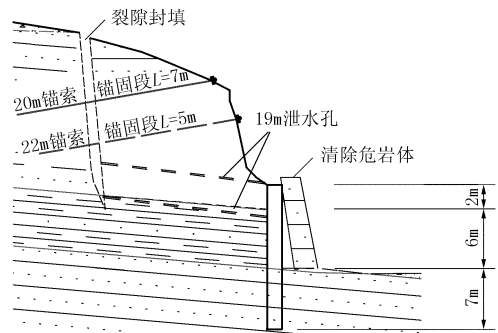


图 6 平推滑坡式崩塌的治理措施

(1)首先对危岩、崩塌体经行裂缝、凹腔封填;或者清危、清除。对于施工操作空间有限不便于大型机械施工的,应采用人工使用风镐飞方式进行清除。对于有理想的施工操作空间的,应采用大型机械液压锤,从上到下进行清除的方式。凿除危岩时应从上到下进行,在斜坡底部有威胁对象的地方,采用钢管为骨架,迎坡一面铺设竹条板的临时防护设施,对居民房屋和施工人员进行临时防护。

(2)平推滑坡式危岩崩塌中,水是主要诱发因素,针对水的防治设施为:

①为防治强降雨条件下,地表水、雨水等直接流入基岩陡壁上方的裂缝,对基岩陡壁上方的裂缝进行封填;以及根据坡体地形,在裂缝后面布设一条排水沟,减轻斜坡上地表水、雨水的汇集。

②在基岩陡壁前缘采用抗滑桩支挡措施;然后在软弱夹层(滑面)附近布设排水孔,排水孔的深度须到达滑体后缘的裂缝,以排除后缘裂缝的裂隙水。

③基岩陡壁下方布设抗滑桩,桩顶高度超过上部砂岩层 2 m。抗滑桩的目的是锁住平推滑坡剪出口,以防独立锚墩锚索施加应力时,岩质滑体向里面

倾倒,致使锚索失效,滑面扰动。在基岩完整的陡壁上,为防治后缘裂缝的进一步扩张,使用独立锚墩锚索,依靠锚索提供的拉力稳定滑体。

## 5 结语

(1)平推滑坡式危岩崩塌是一种特殊类型的崩塌,其成因机理为:基岩陡壁上方为巨、厚层砂岩,下方为泥岩,坡度近垂直;基岩陡壁后侧发育一组平行坡面走向、宽度为1 m的张拉裂缝,其两侧为封闭状态。强降雨时,地表水的汇集流入裂缝,水流除了具有静水压力和动水压力以外,还有瞬时的骤涨水位在裂缝中形成劈楔作用,促进了裂缝的发展以及岩层的向外蠕动。同时,坡体上部的砂岩层沿着软弱夹层也向外推挤,当挤移的砂岩层产生临空面时,就会导致崩塌隐患的产生,该模式是砂岩层先平推推移、崩塌、再推移、再崩塌的模式。

(2)防治工程思路:第一,对危岩、崩塌体进行裂缝、凹腔封填;或者清危、清除,消除已有的崩塌隐患。

第二,考虑降低裂缝中水头的高度,主要措施有:①对基岩陡壁上方的裂缝进行封填;②根据坡体地形,在裂缝后面布设一条排水沟,减轻斜坡上地表水、雨水的汇集;③在软弱夹层(滑面)附近布设排水孔,以排除后缘裂缝的裂隙水。

第三,基岩陡壁下方布设抗滑桩,其目的是锁住岩质滑体的剪出口,以防独立锚墩锚索施加应力时,岩质滑体向里面倾倒,致使锚索失效,滑面扰动。在基岩完整的陡壁上,使用独立锚墩锚索提供的拉力稳定岩质滑体。

(3)基于上述分析得出:此类平推滑坡式危岩、崩塌,治理思路不仅要采用传统模式的崩塌工程防治措施,还须结合该崩塌具有平推滑坡的变形破坏特征,对平推式滑坡进行治理。因此,治理平推滑坡式危岩崩塌的思路要滑坡、崩塌综合防治,这是其治理手段的关键。

## 参考文献:

- [1] 裴向军,黄润秋,裴钻,等.强震触发崩塌滚石运动特征研究[J].工程地质学报,2011,19(4):498-504.
- [2] 张倬元,王士天,王兰生.工程地质分析原理[M].北京:地质出版社,1994.
- [3] 范宣梅,许强,张倬元,等.平推式滑坡诱因机制研究[J].岩石力学与工程学报,2008,27(S2):3753-3759.
- [4] 四川省建筑设计院.巴中市南江县兴马乡九年义务教育学校后山滑坡勘查报告[R].四川成都:四川省建筑设计院,2008.
- [5] 伍四明,李日国.万县滑坡群形成机制的数值模拟研究[J].水文地质工程地质,1994,(6):14-17.
- [6] 赵勇,许模,赵红梅,平推式滑坡后缘启动水头探讨[J].人民长江,2011,42(17):32-36.
- [7] 周应华,邵江,罗阳明.近水平红层边坡变形破坏的力学机制分析[J].路基工程,2006,(1):6-7.

(上接第35页)

式中: $V_c$ ——泥石流流速, m/s;  $\gamma_H$ ——泥石流固体物质重度,本工程中取  $1.48 \text{ t/m}^3$ ;  $\varphi$ ——泥石流泥沙修正系数;  $n$ ——泥石流沟床糙率系数,本工程中取 12;  $R$ ——水力半径,一般可用平均水深  $H$  代替, m;  $I_c$ ——泥位纵坡率,以沟道纵坡率代替。

排导槽设计断面宽 6 m,总高 4.6 m,埋深 1.6 m,有效高度 3.0 m,防冲肋槛间隔 20 m 布置,肋槛高 1.6 m,宽 1 m。

## 4 结论

(1)作各列拖泥石流属于由暴雨激发的沟谷型中小型规模的泥石流,根据作各列拖沟域内物源分类及发育情况,可以把沟域分为清水区、形成流通区和沟口堆积区。

(2)引发作各列拖泥石流的主要原因地形地貌和人的因素,暴雨是诱发条件,人的活动破坏了沟道两侧山体的完整性,引起了大量的沟物源,在暴雨情况下极易引起泥石流灾害。

(3)根据沟域内地貌及物源发育对作各列拖泥石流易发程度情况评分为 84 分,属于轻度易发。但是由于沟口是居民集中居住区,因此,一旦该沟暴发泥石流灾害将会极大的影响沟口居民的生活。

(4)作各列拖沟道两侧多处可见基础外露,具有设置拦挡坝的有利地形;沟口纵坡降达到 106%,因此采取在沟道中部设置一道拦挡坝,在沟口修建排导槽,排导槽采用间隔设置防冲肋槛的形式。在采用拦挡和排导相结合的治理方案后将保护沟口居民。

## 参考文献:

- [1] DZ/T 0220-2006,泥石流灾害防治工程勘查规范[S].
- [2] 费祥俊,舒安平.泥石流运动机理与灾害防治[M].北京:清华大学出版社,2004.
- [3] 罗康军.四川丹巴县邛山沟泥石流成因及发展演化规律研究[D].四川成都:成都理工大学,2005.
- [4] 唐川,李阔.泥石流危险性评价研究进展[J].灾害学,2007,22(1):106-111.
- [5] 刘希林,莫多闻.泥石流风险及沟谷泥石流风险度评价[J].工程地质学报,2002,10(3):266-273.
- [6] DZ/T 0220-2006,泥石流灾害防治工程勘查规范[S].