

DOI:10.16031/j.cnki.issn.1003-8035.2016.01.07

西藏冰水堆积开挖边坡稳定性分析及防治措施

马国涛¹, 胡卸文^{1,2}

(1. 西南交通大学地球科学与环境工程学院, 四川 成都 610031;
2. 西南交通大学高速铁路运营安全空间信息技术国家地方联合工程实验室, 四川 成都 610031)

摘要: 本文以西藏墨竹工卡县驱龙矿区不稳定边坡为例, 研究西藏冰水堆积地层边坡稳定性。在详细勘察基础上, 分析了边坡岩体结构特征, 失稳机制和危险区段, 对三种工况下的边坡稳定性进行了计算和评价, 依据评价结果, 提出了边坡防治宜采用的综合治理方案。分析结果和防治措施为西藏冰水堆积地层不稳定边坡分析评价和治理保护提供了有益的借鉴。

关键词: 冰水堆积地层; 开挖边坡; 形成机制; 稳定性分析; 防治对策

中图分类号: P642.2

文献标识码: A

文章编号: 1003-8035(2016)01-0038-06

stability analysis and preventive treatment measures to slope at ice water accumulation horizon in tibet

MA Guotao¹, HU Xiewen^{1,2}

(1. Faculty of Geosciences and Environmental Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu Sichuan 610031, China; 2. State-province Joint Engineering Laboratory of Spatial Information Technology for High-Speed Railway Safety, Southwest Jiaotong University, Chengdu, Sichuan 610031, China)

Abstract: There is a case of slope located at QuLong mining area in mozhugongka county, study the stability of the ice water accumulation horizon in Tibet. On the basis of detailed investigation, this paper analyzes the structure of slope, instability mechanism and dangerous zone. Base of three kinds of working conditions of the slope for calculation and evaluation, the results revealed that the slope should adopt comprehensive treatment measures. It provide beneficial reference to the control of such kind of unstable slope and further study of it.

Keywords: ice water accumulation horizon; excavation slope; developing mechanism; Stability analysis; preventive treatment measures

0 引言

随着我国经济建设的发展, 国内基础设施建设蓬勃兴起, 尤其是西部地区, 基础建设发展较快, 同时也引发了一系列的环境地质问题, 特别是边坡、泥石流等问题。

在工程建设中, 由于施工不当, 时有地质灾害的发生, 增加了工程建设的难度和建设费用, 工程质量和进度得不到保证, 并严重威胁到人民的生命财产安全^[1-2]。

本篇文章将以西藏墨竹工卡县驱龙矿区因人工开挖形成的高约 3 ~ 15 m 不稳定边坡为例, 分析论述西藏冰水

收稿日期: 2015-06-17; 修订日期: 2016-02-18

基金项目: 国家自然科学基金资助(41372293); 四川省国土资源厅科学研究计划(KJ-2014-10); 长江学者和创新团队发展计划资助(PCSIRT)

第一作者: 马国涛(1990-), 男, 四川成都人, 硕士研究生, 主要从事工程地质、水文地质方面的研究工作。E-mail: Maguotao46@yeah.net

通讯作者: 胡卸文(1963-), 男, 博士, 教授、博士生导师, 主要从事工程地质、环境地质方面的教学与研究工作。E-mail: huxiewen@163.com

堆积地层不稳定边坡诱发的主要因素和防治措施^[3-5]。坡体出现了局部滑塌,在后缘有蔓延扩张的趋势,对变电站建设场地形成了较大的安全隐患。据不完全统计潜在经济损失约 1×10^8 元(图 1、图 2)。

2014 年 6 月底,在西藏墨竹工卡县驱龙矿区内,在山体坡角因修建变电站,形成了 3 ~ 15 m 高的边坡,

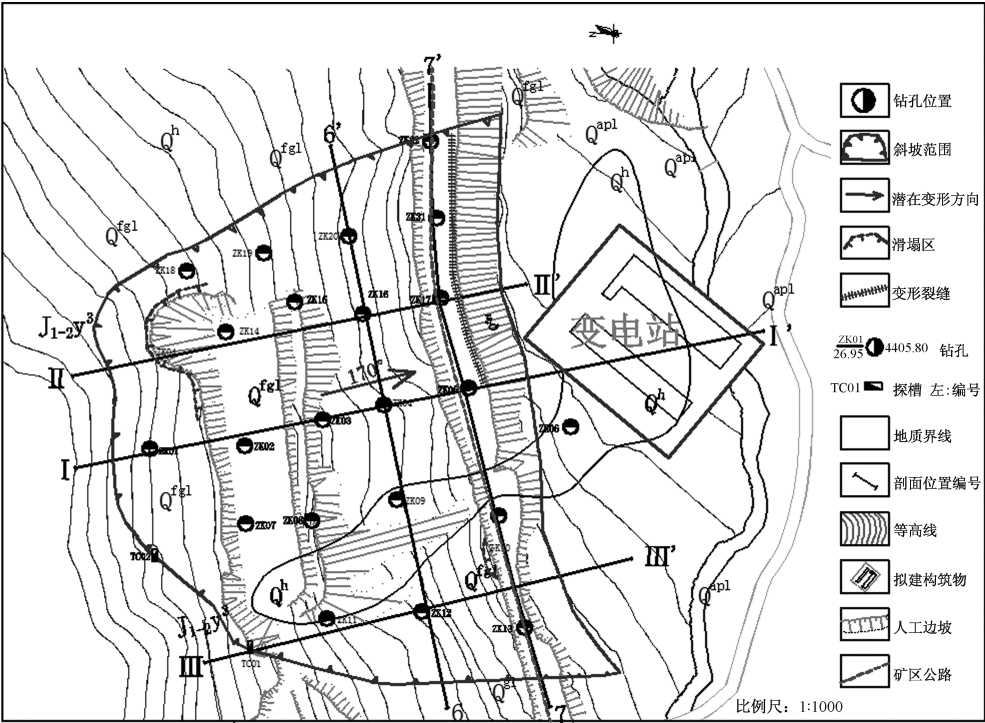


图 1 驱龙铜多金属矿驱龙选矿厂不稳定斜坡应急勘察工程地质平面图

Fig. 1 Engineering geological map

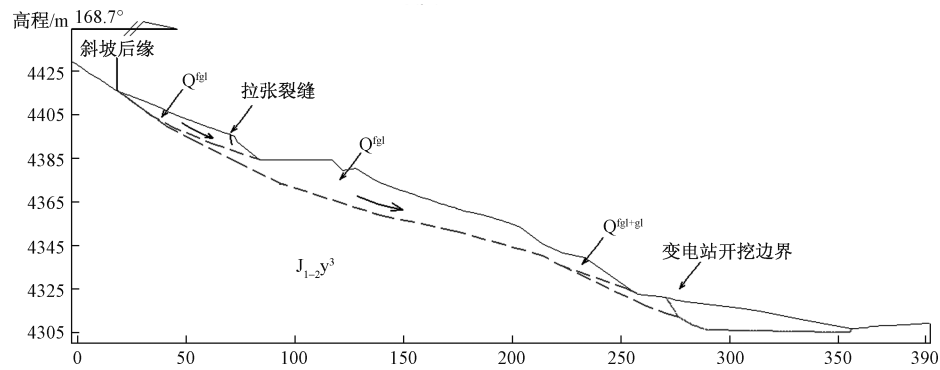


图 2 1-1'地质剖面图

Fig. 2 1-1'Geological section map

1 边坡工程地质条件

1.1 地形地貌

不稳定边坡区位于位于冈底斯山脉与念青唐古拉山脉结合部以北,在西藏地貌区划中隶属于雅鲁藏布江中游河谷区,整体地势南高北低。总体坡度上陡下缓,上部坡度为 $31^{\circ} \sim 35^{\circ}$,为斜长坡,基岩基本裸露;陂麓地带第四系堆积区坡度 $16^{\circ} \sim 22^{\circ}$,边坡短小;下

侧谷底地形呈宽缓的“U”字型,宽约 200 m,沟床纵坡 $4^{\circ} \sim 6^{\circ}$ 。表层为冰水堆积物,下部为基岩。

1.2 地层岩性

不稳定边坡主要地层为第四系冰水堆积层(Q^{gl}),冰碛积层(Q^{gl}),沼泽堆积层(Q^h),侏罗系中统叶巴组二段($J_{1-2}Y^3$)。地层岩性如下:

(1)第四系冰水堆积层(Q^{gl}):砾粉质粘土为主,局部地带分布粉质粘土,褐黄色,含砾粉质粘土厚约

3.4 ~ 11.6 m,粉质粘土在不稳定边坡后缘右侧的冲沟处厚约 6 m,指挥部开挖边坡内的土层下部厚 0.1 ~ 1.0 m。

(2)第四系冰碛积层(Q^{el}):为块碎石,褐黄色,分选性差。厚 11.4 ~ 24.5 m。

(3)第四系沼泽堆积层(Q^h):为淤泥质粉质粘土,褐黑色,呈软塑-可塑状,易滑塌。沟底厚约 6 m,边坡地带厚 1.2 ~ 2.1 m。

(4)侏罗系中统叶巴组二段($J_{1-2}y^3$):以糜棱岩、绢云千枚岩为代表,上部见凝灰岩,勘查区内以灰白色绢云千枚岩和凝灰岩为主,厚度 > 1329 m。

边坡物质以含砾粉质粘土为主,表层低洼地带分布少量含淤泥质粉质粘土,局部地带有薄层透镜状粉质粘土。基岩岩性为糜棱岩及灰白色绢云千枚岩,强风化层岩芯破碎。

1.3 水文条件

滑坡区内地下水为第四系松散岩类孔隙水、基岩裂隙水两种类型。松散岩类孔隙水埋藏于第四系地层中,因松散层分布位置高,富水性较差,多数时间为透水不含水层;基岩裂隙水主要埋藏于绢云千枚岩的风化裂隙及构造裂隙之中,受大气降水的补给,通过孔隙、裂隙,主要以蒸发方式排泄。

1.4 地质构造与地震

该区大地构造位于冈瓦纳大陆北缘,地处冈底斯-念青唐古拉板片中段南部边缘的冈底斯陆缘火山-岩浆弧的东段,属于江热——库朗次级构造单元,为中、晚侏罗碳酸岩、火山岩建造。场地附近潜在震源区位于周边 20 ~ 100 km 之外,近场区地震活动性和频度均较低,工程场地历史上遭受的最大地震影响烈度为 VII 度。

2 变形特征与形成机制

2.1 边坡变形特征

开挖边坡变形主要集中在上、下侧。

(1)上侧指挥部边坡变形特征:该段边坡位于上侧靠近后缘地带,长约 200 m,上部岩性为含砾粉质粘土层,下部发育厚 0.1 ~ 1 m 的透镜体状粉质粘土。初期开挖边坡高 3 ~ 8 m,东侧边坡在开挖后不久,在距边缘约 4 m 处形成卸荷裂缝,随即边坡内出现滑塌。施工方对变形土体进行清除,并进行阶梯状放坡,共清除不稳定土体约 700 m³,最终该段边坡高度达到 15 m (图 3)。目前该边坡内变形裂缝仍在继续发育,边坡中、下部的拉张裂缝长约 10 m,宽 1 ~ 2 m,目前边坡稳

定性较差。

(2)前缘公路边坡变形特征:前缘公路边坡长 330 m,高 3 ~ 8 m,坡度 54°。在边坡的西段有滑塌现象,滑塌区长 9 m,高 3 m,厚 2 ~ 3 m,体积约 60 m³,岩性为含角砾粉质粘土(图 4)。滑塌区的东侧有变形裂缝在继续发展,有进一步加速滑塌的趋势。

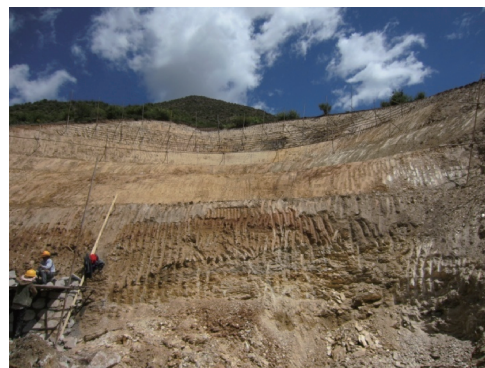


图 3 后缘开挖边坡

Fig. 3 Slope excavation after the landslide margin



图 4 前缘公路边坡内侧滑塌

Fig. 4 Slump at The Inside of way slope that is on the landslide leading edge

2.2 变形破坏的影响因素

(1) 地形地貌条件

根据现场调查,勘查区位于边坡地带,总体地形坡度一般在 15° ~ 21°,前缘陡坎高 20 ~ 25 m,坡度 38° ~ 40°,因修建矿区公路在前缘陡坎内进行开挖形成了一坡高 3 ~ 8 m、坡度 54°的人工边坡,在中、后缘矿山指挥部一带,由于开挖形成了一条长约 200 m、高 3 ~ 15 m、坡度 64° ~ 66°的人工边坡,为不稳定边坡的变形破坏提供了较好的临空条件。

(2) 地层岩性、岩土体结构

根据现场工程地质测绘与勘探成果资料,勘查区内第四系土体主要为冰水堆积砾砂、粉质粘土和冰碛块碎石。其中冰水堆积地层中泥质含量高,物理力学

性质差,而该层透水性相对较好,与结构致密的下伏地层的接触地带形成了地下水汇集和运移的场所,具有饱水软化的条件,为潜在滑动带。

(3) 大气降水

墨竹工卡县年平均降雨量 591.76 mm,主要集中在 6~9 月,降雨量占年降雨量的 83.51%,且多暴雨,一次最大暴雨量 33.0 mm。集中降雨和暴雨有可能导致边坡土体和潜在滑动带土体饱水和软化,从而诱发边坡失稳破坏。

(4) 人类工程活动

勘查区内对地质环境有影响的人类工程活动主要为工程建设开挖形成了高边坡、弃土加载致使边坡失稳,并且多数未进行防护,这对边坡的稳定性有较大的影响。

(5) 地震作用

勘查区地震活动性和频度均很高。岩土体在震动作用下,引起震裂松动,进而诱发边坡失稳。根据西藏自治区地震局地震工程研究所 2008 年 10 月提交的《西藏驱龙铜矿工程场地地震安全性评价报告》,最大地震影响烈度为Ⅶ度。

2.3 变形破坏的形成机制

不稳定边坡变形主要集中分布在开挖边坡的后缘,并由边坡地带向后方在逐渐扩展,可见边坡变形主要因素是工程建设活动。

(1) 边坡体主要由含砾粉质粘土、块碎石土和局部粉质粘土构成,在岩-土接触界面处受地表水入渗的影响,加之地下水位埋深较浅,使得大部分土体处于饱和状态,抗剪强度降低,饱水后对潜在滑动面起润滑剂作用。

(2) 由于前缘高陡临空面的存在,使得边坡应力失衡,加之松散的土体结构,并存在潜在滑动面,为边坡变形提供了有利条件。加之后缘出现拉张裂缝,同时为雨水的入渗创造了良好的条件。

(3) 边坡土体在暴雨作用下,土体内部形成较大动水压力,可构成不稳定边坡的潜在滑动面,目前该接触面还未形成连续贯通面(图 5)。

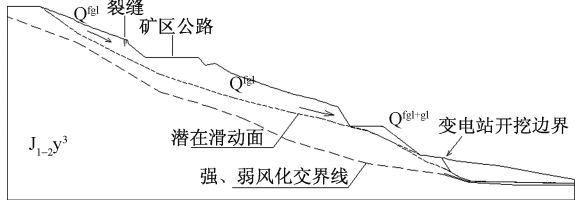


图 5 降雨诱发边坡形成潜在滑动面
Fig. 5 Development of potential slip surface induced by the rainfall

3 边坡稳定系数分析

3.1 计算工况

该边坡荷载主要为地面荷载、降雨及水产生的水压力和地震荷载,所以计算工况采用以下 3 种:

工况 1:自重,取天然抗剪强度试验值;

工况 2:自重 + 暴雨,取饱和重度 and 饱和抗剪强度试验值;

工况 3:自重 + 地震,取天然抗剪强度试验值;

3.2 计算参数选择

根据本次勘查成果资料,结合治理工程部位岩土工程地质特征,在勘查中针对防治设计工作所涉及的地质参数进行取样试验分析。结合参数反演结果、室内土工试验成果和类比当地滑坡经验综合选取滑带土抗剪强度指标本(表 1)。

表 1 稳定性计算参数选择表
Table 1 The parameters of landslide stability caculation

容重 γ (kN/m ³)	滑带参数	
	c /kPa	φ /(°)
天然	21.10	7.2
饱和	22.10	5.2
		25.3
		22.9

3.3 稳定系数计算

传递系数法在边坡稳定系数分析中最常用的一种分析方法,采用不平衡推力传递系数法^[6],根据基本原则,结合边坡的地形条件、潜在滑动面、岩性分层、地下水位及其变化、地质及水文特征对各剖面进行条块划分,对边坡不同工况进行了定量计算^[7-10](图 8)。根据传递系数法,其稳定系数计算公式如下^[11]:

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

$$\psi_j = \cos(\theta_i - \theta_{i+1}) - \sin(\theta_i - \theta_{i+1}) \tan \varphi_{i+1} \tag{2}$$

$$R_i = N_i \tan \varphi_i + c_i L_i \tag{3}$$

式中: F_s ——稳定系数;
 R_i ——作用于第 i 块段的抗滑力;
 θ_i ——第 i 块段滑动面与水平面的夹角/(°);
 T_i ——作用于第 i 块段滑动面上的滑动分力,出现与滑动方向相反的滑动分力时, T_i 应取负值;
 ψ_i ——第 i 块段的剩余下滑力传递至 $i+1$ 块段时的传递系数($j=i$);
 N_i ——第 i 块段滑动面的法向分力;

φ_i ——第 i 块段土的内摩擦角;
 c_i ——第 i 块段土的粘聚力;
 L_i ——第 i 块段滑动面长度。

运用极限平衡法求得滑坡典型剖面 I - I'、II - II'、III - III' 稳定性系数,计算结果见表 2。依据《滑坡防治工程勘查规范》^[12],滑坡稳定性状态按稳定系数分四级(表 3)。

表 2 稳定性计算结果

Table 2 The results of stability caculation

典型剖面	载荷组合情况	稳定系数	稳定性评价
I - I'	天然状态	1.23	稳定
	暴雨状态	1.06	基本稳定
	地震状态	1.10	基本稳定
II - II'	天然状态	1.22	稳定
	暴雨状态	1.09	基本稳定
	地震状态	1.15	基本稳定
III - III'	天然状态	1.15	基本稳定
	暴雨状态	1.08	基本稳定
	地震状态	1.09	基本稳定

表 3 滑坡稳定状态划分

Table 3 State of landslide stability

边坡稳定性系数	$K_f < 1.00$	$1.00 \leq K_f < 1.05$	$1.05 \leq K_f < 1.15$	$K_f \geq 1.15$
稳定状态	不稳定	欠稳定	基本稳定	稳定

注:F 为滑坡稳定系数

从表 2 可以看出,不稳定边坡的稳定性具有以下特点:

- (1)该边坡在天然工况下,稳定系数在 1.100 以上,目前总体是处于稳定状态的^[13],这一结果与不稳定边坡的宏观判断相符。
- (2)在暴雨或地震作用下,潜在剪出口稳定系数有所降低,安全储备较低,稳定系数接近临界值 1.000,说明在该工况下易产生局部滑动。这一结果与当前边坡现状相符。

4 防治措施建议

结合该不稳定边坡体形态特征、变形规律、形成原因及稳定状况,综合考虑各种工程的适宜性、经济性、可操作性等方面因素,建议该边坡采用如下防治方案^[13-15]:

- (1)削坡减载:针对不稳定边坡的变形、破坏特征,可采用削坡减载,降低坡体高度,增加边坡稳定性。
- (2)修建截、排水沟:在边坡后缘修建截水沟;边坡东西两侧周界修建排水沟。同时,对已建基础设施

设置排水边沟,排导水流均纳入该边坡截、排水系统。

(3)变电站基坑边坡防治措施:①对变电站北侧围墙外已开挖的基坑采用透水性好、承载力高的块石进行回填分层碾压、夯实;②对变电站北侧公路外边坡坡脚至路肩在对弃土清理后修建重力式挡墙;③调整变电站深挖换填的基础方案,避免因基坑深开挖而影响边坡整体稳定。

(4)公路内边坡防治措施:对前缘开挖形成的高陡边坡,采用抗滑挡土墙。

5 结论

- (1)该冰水堆积地层的不稳定边坡破坏原因在于坡体前缘临空面增加结合降雨和降雪作用,导致后缘产生拉张裂缝,出现明显变形滑塌,导致整体稳定性降低。
- (2)通过极限平衡计算,得出边坡在天然状态下,处于稳定状态;在饱和状态或地震状态下稳定系数下降,处于基本稳定状态,但安全系数储备较低,极有可能下滑。
- (3)建立完善的排水系统,并对基坑边坡进行有效回填,公路边坡及岩心库边坡采用设立抗滑挡墙,并进行动态监测。
- 致谢:本文参考了西藏地矿局第二地质大队 2014 年编制的《驱龙铜多金属矿采选工程驱龙选矿厂 1#不稳定边坡应急勘察报告》部分资料,在此致谢!

参考文献:

[1] 郑颖人,赵尚毅,时卫民,等. 边坡稳定分析的一些进展[J]. 地下空间, 2001 , 24(4) : 262 - 271.
ZHENG Yingren, ZHAO Shangyi, SHI Weimin, et al. Some progresses in landslide stability analysis[J]. Underground Space, 2001 , 24(4) : 262 - 271.

[2] 胡柳青,李夕兵,温世游. 边坡稳定性研究及其发展趋势[J]. 矿业研究与开发, 2000, 20(5) : 7 - 9.
HU Liuqing, LI Xibing, WEN Shiyu. The stability research of slope and its developing trend[J]. Mining Research and Development, 2000, 20(5) : 7 - 9.

[3] 陈洪凯,唐红梅,翁其能. 地质灾害防治系统工程方法论及散体滑坡研究[J]. 重庆师范学院学报, 2001 , 18(2) : 62 - 65.
CHEN Hongkai, TANG Hongmei, WENG Qineng. Systematic engineer for preventing and geologic disasters and the study and prevention of the

- landslides of loose soil [J]. Journal of Chongqing Normal University, 2001, 18(2): 62–65.
- [4] 陈祖煜. 土质边坡稳定分析——原理·方法·程序 [M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2003: 50–67.
CHEN Zuyu. The soil landslide stability analysis—principle, method, procedure [M]. Beijing: China Water Power Press, 2003: 50–67.
- [5] 舒斯特 R L, 克利泽克 R J. 滑坡的分析与防治 [M]. 铁道部科学研究院西北研究所译. 北京: 中国铁道出版社, 1987: 98–103.
Shusite R L, Kelizeke R J. The analysis and control of landslide [M]. Translated by Northwest Research Institute, C. R. E. C.. Beijing: China Railway Publishing House, 1987: 98–103.
- [6] 方玉树. 滑坡稳定分析传递系数法若干问题、讨论 [J]. 工程地质学报, 2007, 15(5): 607–611.
FANG Yushu. The issues of landslide stability analysis of the transfer coefficient [J]. Journal of Engineering Geology, 2007, 15(5): 607–611.
- [7] 张俅元, 王士天, 王兰生, 等. 工程地质分析原理 [M]. 北京: 地质出版社, 1997.
ZHANG Zhuoyuan, WANG Shitian, WANG Lansheng, et al. Analytical principle of engineering geology [M]. Beijing: Geology Press, 1997.
- [8] 重庆市设计院. 建筑边坡工程技术规范 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2002.
Chongqing Institute of Design. Technical code for building slope engineering [S]. Beijing: China Building Industry Press, 2002.
- [9] 马润勇, 彭建兵, 毛彦龙. 西安金盆水库放水塔附近滑坡特征及成因分析 [J]. 工程地质学报, 2006, 14(4): 438–442.
MA Runyong, PENG Jianbin, MAO Yanlong. Features and causes of a landslide near discharge water tower of Jinpen reservoir in Xian [J]. Journal of Engineering Geology, 2006, 14(4): 438–442.
- [10] 刘海燕, 伍法权, 祁生文, 等. 白衣庵滑坡的新认识 [J]. 工程地质学报, 2006, 14(6): 782–787.
LIU Haiyan, WU Faquan, QI Shengwen, et al. Some new findings on the boundaries of Baiyian landslide in Fengji Three Gorges [J]. Journal of Engineering Geology, 2006, 14(6): 782–787.
- [11] 中华人民共和国住房和城乡建设部. GB50021—2001 岩土工程勘察规范 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2009.
Housing and urban-rural development of the People's Republic of China. GB50021—2001 Code for Investigation of Geotechnical Engineering [S]. Beijing: China Architecture and Building Press, 2009.
- [12] 中华人民共和国国土资源部. DZ/T 0218—2006 滑坡防治工程勘查规范 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2006.
Ministry of Land and Resources of The People's Republic of China. DZ/T 0218—2006 specification of geological investigation for landslide stabilization [S]. Beijing: China standards Press, 2006.
- [13] 徐邦东. 滑坡分析与控制 [M]. 北京: 中国铁道出版社, 2001: 25–29.
XU Bangdong. Landslide analysis and control [M]. Beijing: China Railway Publishing House, 2001: 25–29.
- [14] 林碧华, 马晓轩. 粤西某中学边坡稳定性分析与评价 [J]. 中国地质灾害与防治学报, 2013, 24(2): 50–52.
LIN Bihua, MA Xiaoxuan. Assessment and stability analysis of one middle school at Yuexi [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2013, 24(2): 50–52.
- [15] 陈亮. 水位骤降条件下含砂层堆积体边坡稳定性分析 [J]. 中国地质灾害与防治学报, 2013, 24(1): 33–38.
CHEN liang. Influence of sand layer on deposit slope's stability under release flood condition [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2013, 24(1): 33–38.
- [16] 李国荣, 陈文婷, 朱海丽, 等. 青藏高原东北部黄土地区降雨入渗对土质边坡稳定性的影响研究 [J]. 水文地质工程地质, 2005, 42(2): 105–111.
LI Gguorong, CHEN Wenting, ZHU Haili, et al. Influence of rain infiltration to stability of Loess slope in the northeast Qinghai-Tibetan Plateau [J]. Hydrogedogy & Engineering Geology, 2015, 42(2): 105–111.