

青海大通西山滑坡稳定性分析及防治方案

邓晓飞^{1,2}, 于漂罗³, 唐书君^{1,2}, 侯利鹏^{1,2}

(1. 青海省环境地质勘查局, 青海 西宁 810007; 2. 青海省环境地质重点实验室, 青海 西宁 810007; 3. 青海省地质调查局, 青海 西宁 810000)

摘要:通过对大通县桥头镇西山滑坡野外勘查, 室内综合研究分析, 查明大通县桥头镇西山滑坡的范围、规模、发育特征、形成机制、影响因素以及稳定性特征, 评价和分析了其稳定性和破坏模式, 并为滑坡灾害防治工程可行性研究和施工图设计提供地质资料。同时, 对于西北类似滑坡勘查、治理具有一定的借鉴意义。

关键词:滑坡; 勘查; 成因机制; 稳定性分析; 西山滑坡

中图分类号: P642.22 文献标识码: A 文章编号: 1672-7428(2016)10-0016-06

Analysis on Landslide Stability in Datong County and the Control Plan/DENG Xiao-fei^{1,2}, YU Piao-luo³, TANG Shu-jun^{1,2}, HOU Li-peng^{1,2} (1. Qinghai Bureau of Environmental Geology Exploration, Xining Qinghai 810007, China; 2. Qinghai Key Laboratory of Environmental Geology, Xining Qinghai 810007, China; 3. Qinghai Geological Survey Bureau, Xining Qinghai 810000, China)

Abstract: By the field exploration on Xishan landslide in Datong County and the indoor comprehensive research analysis, the landslide scope, scale, development characteristics, formation mechanism, influencing factors and stability characteristics are found out, the stability and failure mode are evaluated and analyzed, which provide geological data for the feasibility study on landslide disaster prevention project and construction drawing design, and can be reference for the similar landslide exploration and control in Northwest China.

Key words: landslide; exploration; genetic mechanism; stability analysis; Xishan landslide

0 引言

青海大通县桥头镇西山滑坡位于大通县西南部的西山公园内, 目前该滑坡处于基本稳定状态, 在降雨、地震作用下极有可能发生滑动。滑坡一旦滑动, 将威胁现有村民 121 户约 620 人的生命财产安全, 另外有 4 家企事业单位仓库、厂房 46 间, 共 3450 m²; 约长 170 m 的宁大铁路受到影响, 影响行车安全, 大通县明长城遗址公园等, 村镇设施也在威胁范围之内。据估算受威胁的潜在经济财产损失合计达 9980 万元左右, 危害等级为二级。因此, 2013 年青海省国土资源厅根据因素法分配的中央特大型地灾防治资金, 安排了大通县桥头镇西山滑坡应急治理工作。通过勘查, 查明了该滑坡形成机制, 提出了防治措施, 为该滑坡进一步治理提供了重要依据。

1 研究区概况

1.1 地质背景概况

研究区位于青海省东部, 处于黄土高原西部向

青藏高原的过渡带^[6-7]。滑坡区地貌上属侵蚀剥蚀低山丘陵区前缘, 呈三面环山的深槽状, 海拔高程 2448~2562 m, 相对高差 114 m, 宽 200~400 m。研究区属高原大陆性气候, 总的气候特点是降水量少, 蒸发量大, 年平均气温 2.8℃, 极端最高气温 29.3℃, 极端最低气温 -33.1℃。多年平均降水量 506.5 mm, 年最多降水量 695.9 mm (1967 年), 降水量年内主要集中在 6—9 月份, 大通县日最大降水量 108.5 mm (2013 年 8 月 21 日), 6 h 最大降水量 43.4 mm (1998 年 9 月 16 日), 1 h 最大降水量 26.5 mm (1998 年 9 月 16 日), 30 min 最大降水量 20.4 mm (1995 年 8 月 10 日)^[8]。

桥头镇西山滑坡位于县城西南侧的安门滩村, 沟道的中部为隆起脊梁, 将滑坡分为 H1 (西)、H2 (东) 两个滑坡 (图 1)。H1 滑坡后缘位于沟沟中上部缓坡平台下沿, 呈弧状展开, 西侧边界为陡直斜坡坡脚, 东侧边界为沟沟中部脊梁西侧斜坡中上部, 前缘剪出口位于沟口停车场中部附近, 剪出口高

收稿日期: 2016-05-25; 修回日期: 2016-08-17

基金项目: 中央特大型灾害专项资金项目

作者简介: 邓晓飞, 男, 汉族, 1977 年生, 工程师, 硕士, 从事水工环地质工作, 青海省西宁市德令哈路 278 号, 609743485@qq.com。

程约 2461 ~ 2462 m。H2 滑坡后缘位于沟沟中部槽状位置,东侧边界为陡直斜坡坡脚,西侧边界为沟沟中部脊梁西侧斜坡中上部,前缘剪出口位于沟口附近,剪出口高程约 2460 ~ 2463 m^[9]。



图 1 西山滑坡全貌

1.2 材料来源

数据主要来源:(1)西宁幅 1: 20 万区域地质

普查报告、区域水文地质普查报告、1: 5 万水源地水文地质勘查报告,西宁至大通高速公路工程地质勘查等工作成果;(2)滑坡发育特征、地层岩性、变形验算等数据来自笔者负责的《大通县桥头镇西山滑坡灾害防治工程勘查报告》;(3)物理性质及滑坡结构成分来自《桥头镇西山滑坡岩土土质、性质测试报告》;(4)滑坡防治方案来自《大通县桥头镇西山滑坡灾害防治工程可行性研究报告》。

2 滑坡发育特征

2.1 滑坡体形态特征

桥头镇西山滑坡位于县城西南侧的安门滩村,沟道的中部为隆起脊梁,将滑坡分为 H1(西)、H2(东)两个滑坡(图 2)。滑坡特征如下。

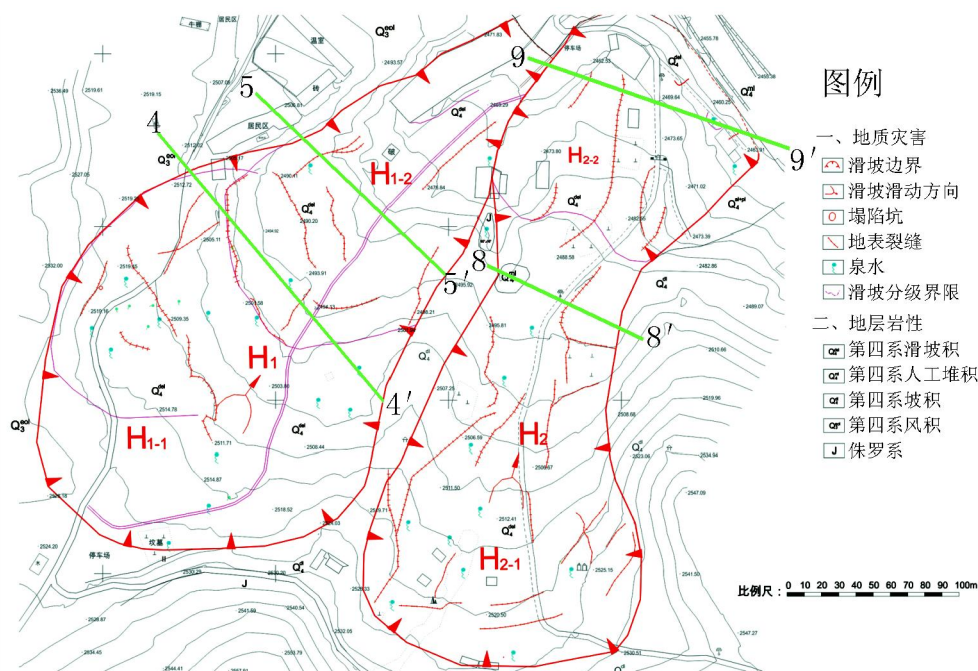


图 2 桥头镇西山滑坡平面图

2.1.1 H1 滑坡

H1 滑坡总长 464 m,主滑方向 41°,滑体厚 6.6 ~ 8.7 m,平均厚 7.4 m,总面积 $4.948 \times 10^4 \text{ m}^2$,总体积 $36.62 \times 10^4 \text{ m}^3$,属中型堆积层滑坡。该滑坡可分为两级,H1-1 滑体厚度 3.6 ~ 8.7 m,面积 $1.95 \times 10^4 \text{ m}^2$,体积 $13.65 \times 10^4 \text{ m}^3$;H1-2 滑体厚度 7.6 m 左右,面积 $2.99 \times 10^4 \text{ m}^2$,体积 $22.97 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。H1 滑坡整体平面形态近似掌形,上部宽约 220 m,下部宽约 35 m,南北总长 400 m;滑坡区内坡脚海拔 2462 m,坡顶海拔 2526 m,高差约 64 m,西侧地势

高,东侧低,高差约 12 m,中间低于两侧,沟谷纵坡 180‰;坡体后缘及以南区域呈平缓斜坡状,向东北方向倾斜,该段坡体平均坡度约 9°;坡体中上部为缓坡状,该处坡度 22°,中前部为顺直的缓坡状,坡度约 27°。

2.1.2 H2 滑坡

H2 滑坡斜长 476 m,滑动方向约 17°,滑体厚度 6.3 ~ 7.3 m,平均厚度 6.7 m,面积 $4.42 \times 10^4 \text{ m}^2$,体积 $29.61 \times 10^4 \text{ m}^3$,为中型堆积层滑坡。该滑坡分为两级,H2-1 平均厚度 6.9 m,面积 $1.4 \times 10^4 \text{ m}^2$,体

积 $9.66 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。H2-2 平均厚度 6.7 m, 面积 $3.02 \times 10^4 \text{ m}^2$, 体积 $19.95 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。H2 滑坡整体平面形态近似葫芦状, 上部宽约 170 m, 中部宽约 80 m, 下部宽约 150 m, 南北总长 400 m; 滑坡区内坡脚海拔 2455 m, 坡顶海拔 2526 m, 高差约 71 m; 东侧为山体, 地势高, 海拔 2534 m, 西侧低, 高差约 25 m, 东西两侧高, 中间低, 高差约 7 m, 沟谷纵坡 170‰。滑坡体后缘部位地形宽阔、平缓, 平均坡度约 9°。坡体中部为缓坡状, 地形收缩, 整体坡度 10°左右, 此处西侧发育一条 V 字形小冲沟, 方向 351°, 深 8~9 m, 冲沟两侧坡体坡度约 65°。斜坡前缘的中后部地形相对平坦, 坡度约 4°; 由于宁大铁路修建过程中将弃土堆积于此, 地势上略微隆起, 形成坡度 35°左右的斜坡, 坡面近于平直。

2.2 地层岩性

场地内地层自上而下分别为: (1) 滑坡堆积物 (Q_4^{del}) 分布于整个滑坡区内, 成分复杂, 以粉土、粉

质土为主, 软塑一流塑, 平均厚度约 7.5 m; (2) 坡积粉土 (Q_4^{dl}) 分布于斜坡坡面及其前缘地带, 以粉土、粉质粘土为主, 厚度不均匀, 平均厚度约 4.0 m; (3) 风成黄土 (Q_3^{col}) 分布在滑坡南、西侧外围, 厚度为西侧大于 10 m, 南侧 2~6 m; (4) 侏罗纪泥、砂岩 (J) 以强风化泥岩、强风化砂岩、强风化砾岩为主, 泥沙质结构, 层状构造, 是滑坡区的主要底板基岩层, 具有高压缩性和触变性^[5]。

2.3 滑坡体结构特征

2.3.1 H1 滑坡结构特征

据勘查资料可知, 滑坡体内成分混杂, 表层物质成分主要为粉质土, 下部物质成分主要为粉质粘土。土质不均, 岩心多成碎块状, 滑坡中下部滑体中含有少量砾石, 其中 2.5~3.5、6.1~8.3 m 左右处于饱和, 软塑一流塑状, 其余层段为可塑状。滑带厚约 0.4~0.7 m。滑体的厚度变化较大为 6.6~8.7 m, 为中厚滑坡 (图 3)。

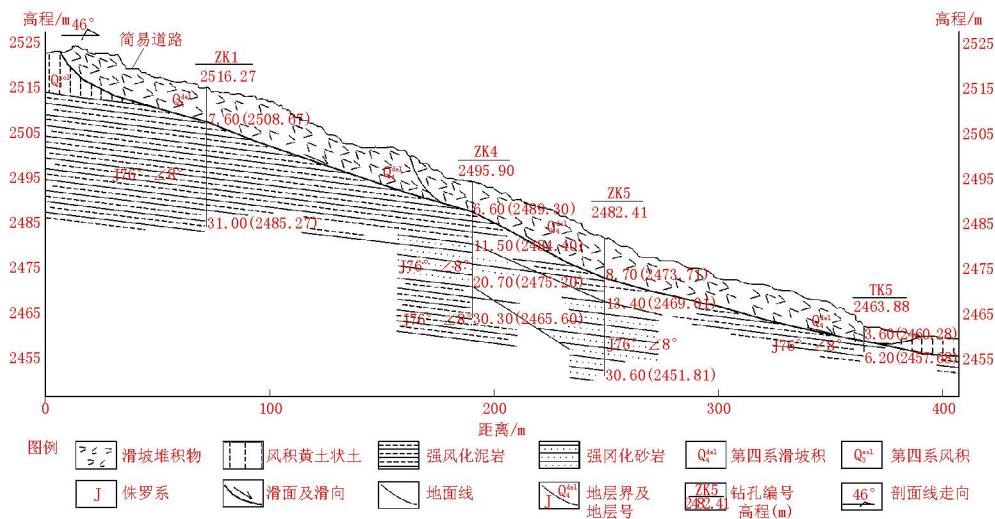


图3 H1 滑坡纵断面图

滑带可分为 2 层, 2.5~3.5 m 为浅层滑带, 是蠕滑变形的多发带, 地层为粉质土; 主滑带为 6.1~8.3 m, 位于侏罗系强风化泥岩浅表层, 软塑-流塑状态 (图 4), 土质不均, 无层理结构。大部分区域未发现明显的滑面, 在滑坡中上部的东侧可见滑面 (图 5), 滑床为侏罗系泥岩。

2.3.2 H2 滑坡结构特征

据勘探揭露资料, 滑体成分为粉质粘土 (图 6)。其中 2.4~3.1、6.3~7.3 m 左右处饱和, 软塑至流塑状, 其余为可塑状, 平均厚度 7.2 m。滑带可分为两层, 2.4~3.1 m 为浅层滑带, 主滑带位于 6.3~



图4 H1 滑坡滑带物质



图 5 H1 滑坡中上部东侧滑面

7.3 m 左右,侏罗系强风化泥岩表层中,软塑—流塑状态(图 7),滑带厚约 0.4 ~ 0.7 m。大部分区域未发现明显的滑面,仅在滑坡中上部的东侧可见滑面(图 8),滑床为侏罗系泥岩及砂岩。

2.4 滑坡体变形特征

2.4.1 H1 滑坡体前缘变形特征

2009 年滑坡前缘西侧的居民房屋出现大量裂缝,裂缝有明显推动错开迹象(图 9);滑坡中前部房屋墙体局部倒塌,无法使用,西侧坡脚下的房屋成为危房(图 10);房屋东侧的停车场厚 30 cm 的水泥

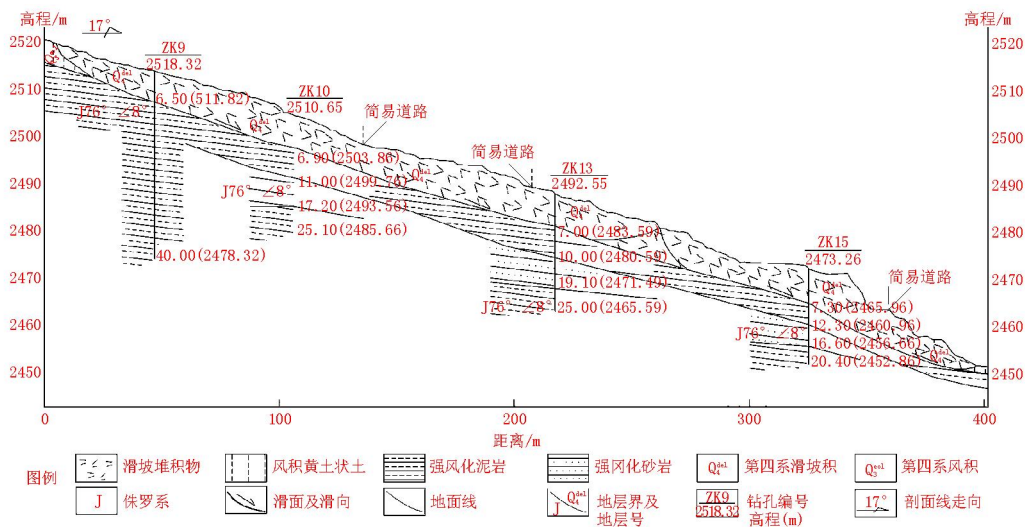


图 6 H2 滑坡纵断面

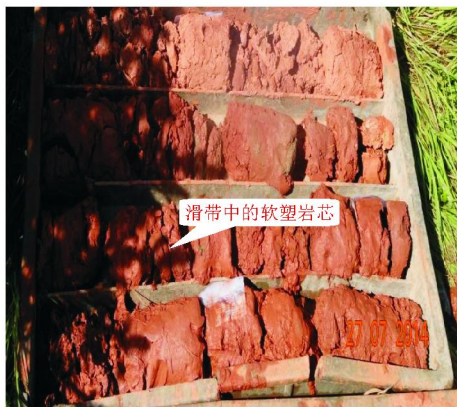


图 7 H2 滑坡滑带物质照片



图 8 H2 滑坡中上部东侧滑面

地面出现细微的裂缝,并鼓胀,雨后,不时有水渗出。

2.4.2 H2 滑坡体前缘变形特征

未变形的滑坡前缘 2013 年 8 月 6 日暴雨后,裂缝开始出现,并不断张裂、延伸,并出现 2 个泉点,同时发育的剪出口;前缘房屋变形强烈,已成危房(图 11、12)。

3 稳定性初步分析

3.1 力学模型与工况及参数选择

滑坡主要为泥岩—粉砂质泥岩滑坡,其滑体材料可近似的认为弹塑性体,传递系数法,选择折线型计算。采用 3 种工况进行计算分析。工况 I:自重;工况 III:自重 + 暴雨(或连续降雨);工况 IV:自重 + 地震。



图9 H1 滑坡前缘西侧房屋裂缝



图10 H1 滑坡前缘轻微鼓胀及渗水



图11 H2 滑坡前缘墙体变形



图12 H2 滑坡剪出口斜向切面

通过计算 H1 滑坡在工况 I 下稳定系数为 1.141,为基本稳定^[10];工况 III 及工况 IV 下稳定系数为 0.995 及 0.724,处于不稳定状态。

H2 滑坡工况 I 下稳定系数为 1.147,为基本稳定;工况 III 及工况 IV 下稳定系数为 0.997 及 0.712,处于不稳定状态。

综合分析,天然状态下两个滑坡基本稳定。H1 滑坡在雨水及绿化灌溉水等作用下,易发生再次滑动,危害坡脚居民。H2 滑坡目前仍具有较大的势能,且其前缘临空,后缘出现拉张裂缝,整体变形亦较为明显,在降雨等条件下极易发生滑动,对坡脚居民造成极大的威胁。

4 防治方案及施工分析

4.1 防治方案

支挡工程:抗滑桩+挡墙;

排水工程:排水沟+盲沟+管涵;

其他工程:裂缝夯填+坡面绿化(植被恢复)。

由于滑坡已在滑动,破坏较大,因此选用支挡工程对其进行止滑。根据滑坡区地质环境条件结合现有成熟施工技术,在 H1 滑坡 4-4'、5-5' 两处设置二排抗滑桩支挡,桩长根据设防推力进行计算,确定了 14、16 m 两种类型;在 H2 滑坡 8-8'、9-9' 两处设置 2 排抗滑桩支挡,桩长根据设防推力进行计算,确定了 14、19 m 两种类型。

H1 滑坡诱发因素主要受水的因素影响,包括大气降雨、滑体内泉点涌水以及绿化灌溉用水及管道渗漏水,绿化灌溉水下渗及管道的渗漏水为主要来源。针对场区实际地质情况,在 H1 滑坡体外围稳定区域修建盲沟截断灌溉用水的补给,通过地下管涵汇入坡体已建排水沟中。针对渗漏管道采取修复或者停止使用;另外考虑疏干坡体内的孔隙潜水及入渗坡面的大气降水采用截水盲沟,把坡体渗水通过管涵排入已建排水沟中。

为防止地表水体快速进入滑体,对滑坡体内所有的裂缝进行夯填。

H2 滑坡由于已在滑动,破坏较大,因此优先选用支挡工程对其进行止滑。根据滑坡区地质环境条件结合现有成熟施工技术,在滑坡中前部设置二排抗滑桩支挡。

H2 滑坡诱发因素和 H1 相似,但绿化灌溉面积较小,且滑坡后缘为基岩出露,对滑坡发育影响轻

3.2 稳定性及滑坡推力结果与分析

微,后缘地表汇水及管道渗漏水对滑坡影响较大,因此在 H2 滑坡体外围稳定区域修建明渠截断后部汇水及灌溉用水的补给,通过新建排水沟汇入坡脚的铁路边沟排除场区。

为防止地表水体快速进入滑体,对滑坡体内所有的裂缝进行夯填。

4.2 防治工程分析

4.2.1 抗滑支挡结构的选取分析

经计算支挡位置的 H1、H2 滑坡设防推力为 300~751 kN/m,推力均大于 300 kN/m,滑体物质为粉质粘土,滑床物质为强风化泥岩,锚索施工工艺复杂,成孔困难,且岩层预应力锚索锚固效果较低,费用较高;桩板墙施工能保证开挖扰动滑体小,能发挥支挡作用。

4.2.2 桩型选取分析

抗滑桩桩型有方形及圆形 2 种,因 2 个滑坡推力方向明显,配筋量上对比,方形桩明显比圆形桩经济。

4.2.3 成桩可行性分析

7—8 月份探井及钻孔揭示滑坡体 2.0~3.5、5.6~8.70 m 间土体呈软塑—流塑状,探井也在这两段出现缩径、坍塌;在 11 月份探井缩径明显减弱,未出现井口坍塌现象,选取在枯水季节施工,成桩可行。

5 结论

(1)西山滑坡位于黄土高原西端与青藏高原的过渡地带,可分为 H1、H2 滑坡,每个滑坡分为两级。每个滑坡规模属于中型堆积层滑坡,滑动带主要发育于泥岩的风化壳上。

(2)西山滑坡地层岩性强度低受降水作用易软化是滑坡发生的物质基础;相对集中且强烈的降水是诱发滑坡的主要因素;绿化浇灌是滑坡活动加剧的外部诱发因素。大通县桥头镇西山滑坡是在自然因素主导作用下形成的,进行绿化灌溉工程诱发并加剧了滑坡的发展。

(3)滑坡处于蠕动变形状态,部分房屋受滑坡

影响成为危房,房屋变形严重,无法居住的住户建议进行搬迁。

(4)天然状态下大通桥头滑坡基本稳定。在雨水及绿化灌溉水等作用下,表层土体易发生再次滑动,对坡脚居民造成极大的威胁。

(5)治理可采支挡工程:抗滑桩+挡墙;排水工程:排水沟+盲沟+管涵;其他工程:裂缝夯填+坡面绿化(植被恢复)。桩型选择方形桩,选取在枯水季节施工。

参考文献:

- [1] 韩富强,张锦灵,庞磊.兰州徐家湾不稳定边坡的综合治理技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2016,43(2):78-84.
- [2] 张涛,石胜伟,谢忠胜,等.四川省南江县陈家湾滑坡稳定性分析及防治建议[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2016,43(1):14-19.
- [3] 林思波.锚拉抗滑桩及锚喷技术联合应用于快速滑动的滑坡防护加固工程[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2015,42(5):62-66.
- [4] 郭辉.微型组合抗滑桩在青海西久公路某滑坡防治中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(5):46-49.
- [5] 卢平.贵阳—新寨高速公路牵引式顺层岩质滑坡的治理与施工[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2013,40(11):72-75.
- [6] 何晓磊,张彬,王涛,等.大通县韩家山滑坡发育特征及成因机制研究[J].干旱区资源与环境,2014,28(10):169-175.
- [7] 辛鹏,王涛,吴树仁.青海西宁大通县韩家山泥岩质多级旋转型滑坡形成机制研究[J].地球学报,2015,36(6):771-780.
- [8] 青海省地质环境监测总站.青海省大通县地质灾害详细调查报告[R].青海西宁:青海省地质环境监测总站,2010.
- [9] 邓晓飞,唐书君,赵文强,等.大通县桥头镇西山滑坡灾害防治工程勘查报告[R].青海西宁:青海省环境地质勘查局,2015.
- [10] 蒋志坚,平扬,周治刚.茅洲河口软土堤岸滑坡分析[J].工程勘察,2013,(2):18-22.
- [11] 罗杰中,王斌.雅安地震区吴家山滑坡变形及稳定性分析[J].工程勘察,2014,(6):34-38.
- [12] 胥勋剑,杨强.三峡库区典型堆积层滑坡形成机理及稳定性分析[J].工程勘察,2014,(8):19-23.
- [13] 于贵.向家坡大型复杂滑坡的坡体结构和变形机理剖析[J].工程勘察,2009,(2):18-22.
- [14] 赵惇廉.西宁市山地崩塌、滑坡灾害及其防治对策[J].青海环境,1994,41(1):18-22.
- [15] 黄家海,徐国兴.房县窑滩乡滑坡稳定性评价[J].土工基础,2011,25(3):24-26.
- [16] 孙广仁,秦成明,刘冬庆,等.1:20万区域水文地质普查报告(湟源幅)[R].青海西宁:青海省第二水文地质队,1984.