

# 四川省南江县陈家湾滑坡稳定性分析及防治建议

张涛<sup>1,2</sup>, 石胜伟<sup>1,2</sup>, 谢忠胜<sup>1,2</sup>, 梁炯<sup>1,2</sup>, 熊德清<sup>1,2</sup>

(1. 中国地质调查局地质灾害防治技术中心, 四川成都 611734; 2. 中国地质科学院探矿工艺研究所, 四川成都 611734)

**摘要:** 由于山体的特殊地质背景及人类工程活动, 四川省南江县陈家湾滑坡在平面位置上以中间山梁为界分为 I 号、II 号滑坡及潜在不稳定斜坡。通过地质灾害勘查, 研究了滑坡特征及其地质成因机制, 并进行了稳定性分析评价。结果表明: 仅 I 号滑坡在暴雨工况下处于欠稳定状态。根据滑坡地形特征、稳定性分析结果, 结合保护对象, 对 I 号滑坡提出了“抗滑桩+截水沟”和“预应力锚索+抗滑短桩+截水沟”两种防治方案。通过对比分析, 推荐“抗滑桩+截水沟”为实施方案。

**关键词:** 基岩滑坡; 成因分析; 稳定性评价; 防治措施; 陈家湾滑坡

**中图分类号:** P642.22 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-7428(2016)01-0014-06

**Analysis on Stability of Chenjiawan Landslide in Sichuan Province and the Prevention Recommends/ZHANG Tao<sup>1,2</sup>, SHI Sheng-wei<sup>1,2</sup>, XIE Zhong-sheng<sup>1,2</sup>, LIANG Jiong<sup>1,2</sup>, XIONG De-qing<sup>1,2</sup>** (1. Technical Center for Geological Hazard Prevention and Control, CGS, Chengdu Sichuan 611734, China; 2. The Institute of Exploration Technology, CAGS, Chengdu Sichuan 611734, China)

**Abstract:** Due to the mountain's special geological background and human engineering activities, Chenjiawan landslide was divided into landslide I# and landslide II# as well as potential unstable slope by the middle ridge in the plane position. By geological disasters investigation, landslide's characteristics and geological origin mechanism were studied, and the stability analysis was evaluated. The results showed that only landslide I# was in unstable state in rainstorm conditions. According to the landslide's terrain features and stability analysis, combined with the situation of the protected objects, two prevention and treatment programs of “anti-slide piles + drainage ditches” and “pre-stressed anchors + short anti-slide piles + drainage ditches” were proposed for landslide I#. Through comparative analysis, “anti-slide piles + drainage ditches” was recommended as implementing scheme.

**Key words:** bedrock landslide; causes analysis; stability evaluation; prevention measure; Chenjiawan landslide

## 1 滑坡概况

陈家湾滑坡位于四川省南江县沙河镇将营村三社, 处于北西—南东向两支沟之间, 前缘支沟汇流而形成上宽狭窄的收口地形, 平面形态呈现后大前小的“脚掌”形。滑坡在平面位置上以中间山梁为界分为 I 号、II 号滑坡及潜在不稳定斜坡, 其中, 中间山梁为潜在不稳定斜坡, 右侧为 I 号滑坡, 左侧为 II 号滑坡。见图 1、图 2。

I 号滑坡分布高程为 758 ~ 804 m, 主滑方向为 180°, 平面形态呈“圈椅”状, 长约 115 m, 宽约 62 m, 滑体平均厚约 10 m, 方量约为 7.1 万 m<sup>3</sup>, 属小型岩质滑坡。II 号滑坡分布高程为 725 ~ 810 m, 主滑方向为 180°, 平面形态呈长狭状, 长约 300 m, 宽约 55

m, 滑体平均厚约 4 m, 方量约为 6.6 万 m<sup>3</sup>, 属小型土质滑坡。潜在不稳定斜坡分布高程为 730 ~ 830 m, 垂直高差约 70 m, 斜坡方向为 175°, 平面形态呈上宽下窄形态, 斜坡上部为一缓平台, 中间坡度稍陡, 下部坡度平缓, 总长约 240 m, 平均宽约 35 m。

陈家湾滑坡主要威胁对象集中于 I 号滑坡后缘居民集聚区(9 户 48 人), II 号滑坡、潜在不稳定斜坡无直接威胁对象。

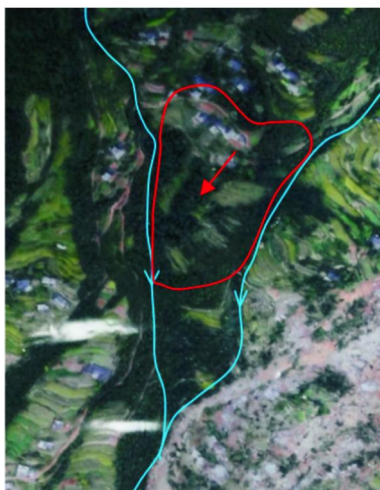
## 2 滑坡区地质环境条件

滑坡区属北亚热带湿润季风气候区, 区内常年平均降雨量为 1198.7 mm/a。滑坡区地处米仓山南麓, 区内地形总体上北高南低, 地貌形态为中等切割

收稿日期: 2015-02-09; 修回日期: 2015-11-03

基金项目: 中国地质调查局工作子项目“川东巴河流域地质灾害调查”(编号: 1212011220169)

作者简介: 张涛, 男, 汉族, 1985 年生, 工程师, 硕士, 从事地质工程及地质灾害等方面的研究工作, 四川省成都市郫县红光镇现代工业港港华路 139 号, zhangtao0877@163.com。

图1 陈家湾滑坡全貌图<sup>[1]</sup>图2 陈家湾滑坡航空影像图<sup>[2]</sup>

侵蚀构造中低山地形,在地貌单元上为单斜地层顺向坡<sup>[1]</sup>。

滑坡区地层岩性为白垩系下统剑门关组( $K_1j$ )棕红色泥质粉砂岩、粉砂质泥岩及青灰色厚层—块状中细粒含钙质长石石英砂岩,呈不等厚互层,岩层产状 $170^\circ \angle 18^\circ$ 。粉砂质泥岩及泥质粉砂岩软弱易风化,是构成滑坡体主要物质;中细粒石英砂岩坚硬,抗风化能力强,是构成滑床的主要岩层<sup>[3]</sup>。

滑坡区在大地构造上,地处秦岭地槽与四川地台间斜的过渡区,位于新华向斜的北翼,区内构造线

方向主要为北东东—南西西向。

滑坡区地表由北向南发育多条天然冲沟,切割深度一般为10~40 m。汇水区主要为坡体前缘及左右两侧冲沟,坡体前缘冲沟切割较深,地势低。降雨大部分沿坡面径流汇入两侧冲沟后,沿前缘冲沟排出。

### 3 滑坡变形特征

#### 3.1 I号滑坡变形特征

I号滑坡前缘为右侧冲沟,冲沟基岩裸露,在沟道雨水冲刷作用下,形成临空面高4~7 m的陡坎,这就为滑坡的发生提供了良好的临空面。在“9.18”暴雨期间,该滑坡发生明显下错变形;滑坡后缘右侧居民房屋变形严重,在墙体内出现了不同程度的开裂和错位变形,墙体开裂裂缝长约4 m,宽约3 cm。滑坡右侧及前缘变形强烈,右侧主要表现为块石土整体垮塌,树木歪倒;前缘主要表现为滑坡体沿顺层面向滑坡右侧冲沟剪出,并挤拢冲沟对侧。

钻孔揭示出来的物质为粉质粘土夹碎石及砂、泥岩。在钻孔ZK09、ZK10、ZK11中,没有出现可完全清晰可辨的滑动带,但ZK10、ZK11孔中,在覆盖层下泥岩与砂岩层面有滑动迹象,该层面与前缘滑动剪出面为同一层,根据斜坡变形破坏特征反推,滑动带为砂泥岩互层的软弱面,沿泥岩软弱层面剪出。因此,可判断出该滑坡的滑动破坏模式呈现两极滑

动过程,首先是滑坡下部沿砂泥岩软弱层面发生滑动,岩层挤拢冲沟对侧岩层;然后牵引上部覆盖层的

滑动,滑坡后缘下错,出现1.5~2.0 m不等的台坎。具体剖面特征见图3所示。

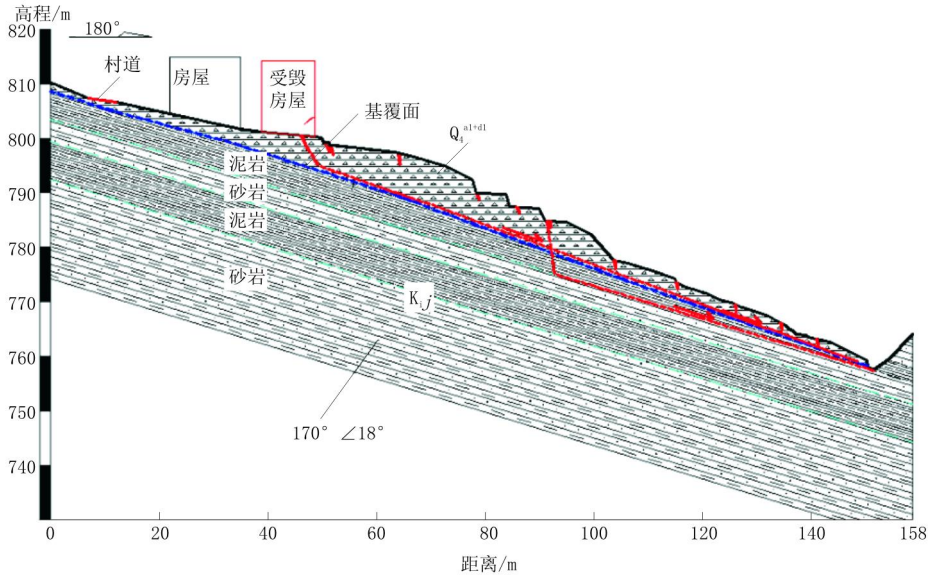


图3 I号滑坡典型工程地质剖面图(I-I'剖面)

陈家湾I号滑坡前缘基岩剪出,且已挤拢对侧稳定基岩,由于滑坡前缘没有基岩滑动的空间,基岩已不会动,只是覆盖层可能继续沿基覆面滑动,因此,该滑坡日后主要变形表现为土质滑坡。

表现为下错变形,土体与基岩接触面下错;中间主要表现为台坎下错变形,由于不均匀滑动,滑坡体中间还形成了几条明显的剪切裂缝,方向与滑坡滑动方向基本一致。

### 3.2 II号滑坡变形特征

滑坡前缘为右侧冲沟,冲沟基岩裸露,前缘斜坡坡度较缓,没有形成具备临空面条件的陡坎,前缘没有明显的滑动迹象。

II号滑坡主要表现为土质滑坡及小范围溜滑,根据坡体结构及变形破坏特征综合分析,II号滑坡整体稳定性较好,主要是上部土体沿附近有效临空面发生局部垮塌和小范围溜滑。剖面特征见图4。

滑坡后缘及中间为主要变形区,滑坡后缘主要

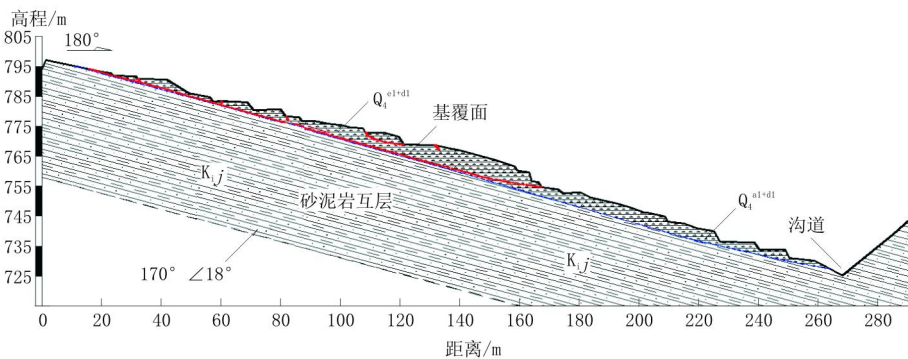


图4 II号滑坡典型工程地质剖面图(III-III'剖面)

### 3.3 潜在不稳定斜坡变形特征

潜在不稳定斜坡主要斜坡结构为两部分,一是下覆基岩斜坡结构,二是第四系覆盖层结构。根据下覆基岩产状(170°∠18°)与斜坡坡向(171°)关系,下覆基岩结构为缓倾向向坡。受此结构控制,斜坡两侧该

层泥岩均已风化缺失,上部覆盖层较薄,以残坡积物为主,主要分布于斜坡上部,两侧均有泥岩基岩出露,强风化状。

潜在不稳定斜坡主要表现为崩塌掉块现象,集中于斜坡两侧及中部基岩出露地段,基岩内次生构造裂

隙较发育,由于砂泥岩抗风化能力的差异性,岩体易 风化崩解。剖面特征如图 5 所示。

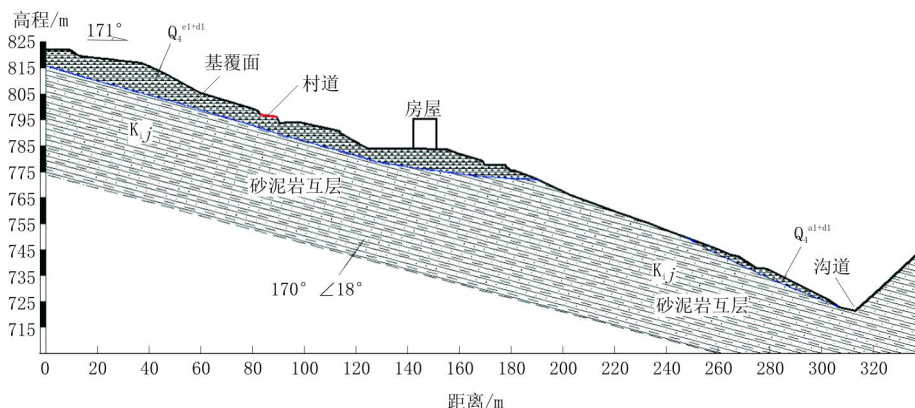


图 5 潜在不稳定斜坡典型工程地质剖面图(II-II'剖面)

### 4 滑坡稳定性评价

#### 4.1 计算模型及方法选取

陈家湾滑坡仅 I 号滑坡为有直接的威胁对象,主要对 I 号滑坡进行工程治理,因此,本次稳定性计算主要对陈家湾 I 号滑坡覆盖层沿基覆面滑动的可能性、规模及其稳定性进行计算;对陈家湾 II 号滑坡、潜在不稳定斜坡进行整体稳定性验算。根据现场工程地质测绘结果以及钻探剖面揭示,计算模型主要选取陈家湾滑坡 I-I'、II-II'、III-III' 剖面进行,采用折线型法进行。

#### 4.2 计算参数确定

对于陈家湾滑坡岩土体物理力学指标,在类比参考周边其他项目勘察报告中相关参数以及经验数据取值的基础上,结合 I-I'、II-II'、III-III' 剖面反演分析结果,综合确定如表 1 所示。

表 1 计算参数选取

岩土类型	$\gamma/(\text{kN}\cdot\text{m}^{-3})$		$c/\text{kPa}$		$\varphi/(\text{°})$	
	天然	饱和	天然	饱和	天然	饱和
覆盖层(碎石土)	19.5	20.1	18.6	14.5	15.1	13.2
基岩(泥岩)	22.3	23.6	805.0	701.0	37.2	31.3

#### 4.3 稳定性计算结果评述

根据《滑坡防治工程勘查规范》(DZ/T 0218—2006),滑坡稳定性状态按稳定系数分 4 级,按表 2 确定。

表 2 滑坡稳定状态划分

滑坡稳定系数 $FS$	滑坡稳定状态	滑坡稳定系数 $FS$	滑坡稳定状态
$FS < 1.00$	不稳定	$1.05 \leq FS < F_{st}$	基本稳定
$1.00 \leq FS < 1.05$	欠稳定	$FS \geq F_{st}$	稳定

采用理正软件进行计算,对陈家湾滑坡 I-I'、II-II'、III-III' 剖面,进行滑坡整体稳定性计算,计算结果见表 3。

表 3 稳定性计算结果

剖面	工 况	稳定系数	稳定状态
I-I'剖面(I号滑坡)	工况 1(自重)	1.146	基本稳定
	工况 2(自重+暴雨)	0.996	不稳定
	工况 3(自重+地震)	1.092	基本稳定
II-II'剖面(潜在不稳定斜坡)	工况 1(自重)	1.555	稳定
	工况 2(自重+暴雨)	1.312	稳定
	工况 3(自重+地震)	1.428	稳定
III-III'剖面(II号滑坡)	工况 1(自重)	1.201	稳定
	工况 2(自重+暴雨)	1.140	基本稳定
	工况 3(自重+地震)	1.173	稳定

说明: I-I' 剖面在工况 2 条件下的剩余下滑力为 301.05 kN/m。

上述评价结果与滑坡现状的变形特征基本吻合,总体看滑坡在最不利的工况 2 下,仅 I 号滑坡稳定性差,直接威胁滑坡后缘居民的生命财产安全,因此,须对 I 号滑坡采取措施进行防治。

### 5 滑坡防治方案建议

针对滑坡稳定性分析及威胁对象的分布情况,对 I 号滑坡提出 2 种方案进行比选。

#### 5.1 方案一:“抗滑桩+截排水沟”

在斜坡中部(居民房屋前方)设置抗滑桩,以悬臂设计考虑,即便桩前土体溜走,也不会影响到斜坡后部的安全。根据受力不同,设置两排抗滑桩,A 型桩共 6 根,桩长 15 m,桩截面为 1.0 m×1.5 m;B 型桩共 6 根,桩长 10 m,桩截面为 1.0 m×1.5 m(参见图 6)。

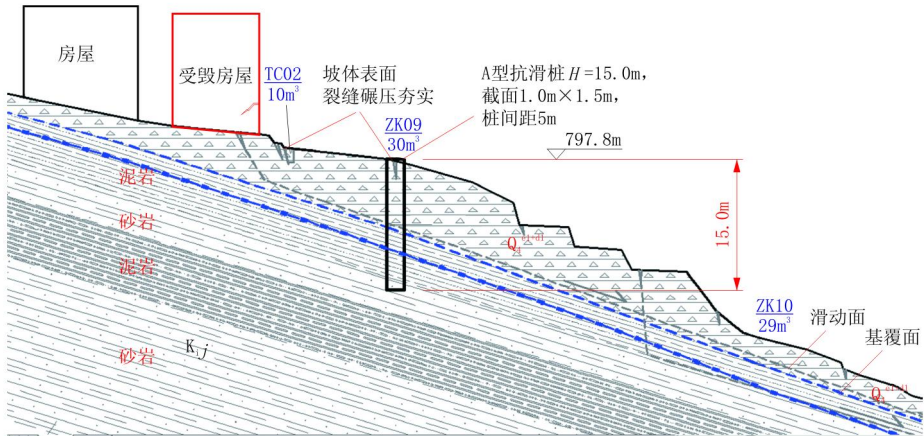


图6 I号滑坡治理方案图(方案一)

### 5.2 方案二：“锚索+抗滑短桩+截排水沟”

对斜坡中前部进行锚索锚固,坡脚进行短桩支护,方案出发点是确保滑坡及其下部斜坡根基稳定。针对滑坡上部剪出的特点,于滑坡中段较陡段位置设置肋柱工程。锚索为无粘结钢绞线,4根钢绞线,

锚杆孔径 130 mm,孔内采用 M30 砂浆固结,锚索倾角均为 20°,锚固段 4~6 m 设计。抗滑短桩布设在最下排锚索下方,防止锚索扭转。根据受力不同,设置 2 排抗滑短桩,共 12 根,桩长 4 m,桩截面为 1.0 m x 1.2 m (参见图 7)。

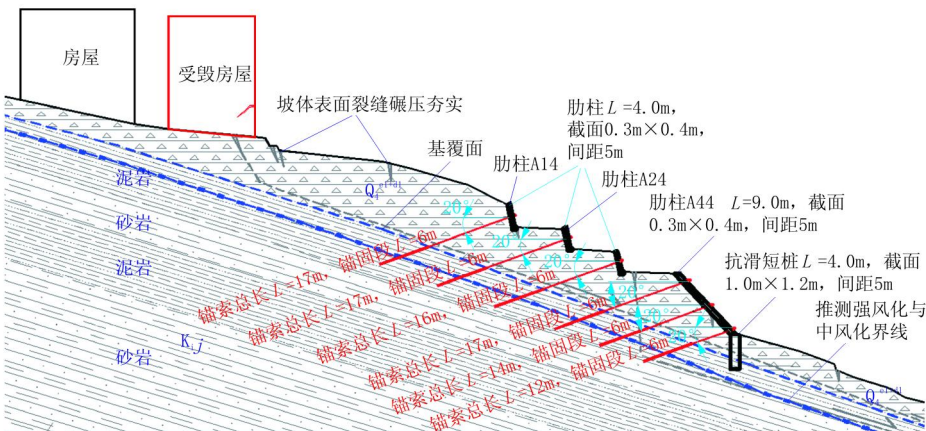


图7 I号滑坡治理方案图(方案二)

### 5.3 两种方案对比

上述两种方案的优劣对比如表 4 所示。

表4 方案对比

方案	优点	缺点
方案一	抗滑桩,外加坡面截水,能保证斜坡稳定及居民安全,工程造价适中	分序施工、工期较长,岩体开挖需爆破,震动可能加剧滑坡变形
方案二	中部及下部锚索,外加坡面截水,治理工程根基稳固,较保守	工程量较大,造价较高,锚索施工震动可能加剧滑坡变形

两套治理方案充分利用滑坡区域的天然地形条件,均可解决滑坡对危险区居民等保护对象的危害,从施工工艺、施工难度、施工安全来看,二者差别不

大,施工难度相当。但从经济效益上看,方案一更优胜,因此,最终推荐方案一为治理实施方案。

## 6 治理施工及效果

在斜坡中部(居民房屋前方)设置一排抗滑桩,共 12 根,桩排由 A、B 两种桩型组成,分 2 段布设。其中,A 型桩布置在滑坡右侧中部,B 型桩布置在滑坡左侧中部,但不在一条直线上。A、B 型桩均由 C30 钢筋砼浇注,桩长轴方向平行滑动方向,即 NE85°,桩间距沿滑动方向 5.0 m。A 型桩共 6 根,桩长 15 m,桩截面为 1.0 m x 1.5 m;B 型桩共 6 根,桩长 10 m,桩截面为 1.0 m x 1.5 m。因滑坡坡底沟槽对滑坡体仍有切割作用,抗滑桩按照悬臂桩设计,

A型桩嵌固段6~8 m, B型桩嵌固段4~5 m。

### 6.1 施工关键控制点

(1) 施工前应做好临时或永久截排水工程措施, 施工过程中应加强监测, 随时掌握滑坡的变形情况, 确保施工安全。

(2) 桩孔开挖采用跳桩开挖法, 严禁全断面开挖。

(3) 按桩排方向及桩中心坐标准确放线定位, 施工前应先清除桩位附近边坡或表层易滑塌部分土体。

(4) 抗滑桩要按设计做好锁口盘和每节护壁。每节开挖深度1.0 m, 开挖一节, 做好该节护壁。当护壁砼具有一定强度后方可开挖下一节, 护壁各节纵向钢筋必须焊接, 禁止简单绑扎。

(5) 浇筑护壁砼时, 必须保证护壁不侵入桩截面净空以内。桩坑开挖过程中应随时校准其垂直度和净空尺寸。

(6) 在开挖桩孔过程中, 进行地质编录, 核对地层岩性及滑面位置。如发现与设计情况不符时, 应及时作出设计变更请求。

(7) 桩坑挖到设计标高后进行验槽, 保证封底砼厚度。

(8) 桩身砼应边灌注、边振捣, 全桩砼应不间断浇筑。

### 6.2 治理效果

为掌握抗滑桩的实际效果, 在桩身设置测力点, 在滑坡体设置观测点。监测结果表明, 滑坡体没有出现复活现象, 处于稳定状态, 且桩身受力情况良好, 蠕变量小, 表明该施工方案是可行的。工程施工及运营期间, 现场未见不良情况, 说明施工质量满足设计要求, 治理工程达到了预期效果。图8为抗滑桩现场照片。

## 7 结语

(1) 选取合理的主控剖面、计算模型及方法, 进行滑坡稳定性定量分析, 分析结果应与滑坡变形



图8 抗滑桩现场照片

特征、迹象等相吻合。

(2) 根据滑坡稳定性分析结果, 结合滑坡地形特征及保护对象, 提出多角度的综合治理方案。经比选, 最终选择“抗滑桩+截排水沟”作为治理实施方案。到目前为止, 本工程已完成施工, 且安全运营近一年时间, 现场未见不良情况, 施工质量满足设计要求, 治理工程达到了预期效果。

(3) 滑坡治理方案比选应从工期、造价、安全及可行性等多方面综合考虑, 并优化设计方案。

### 参考文献:

- [1] 中国地质科学院探矿工艺研究所. 汶川地震灾区南江县地质灾害详细调查报告[R]. 四川成都: 2010.
- [2] 南江县国土资源局. 南江县沙河镇将营村陈家湾滑坡无人机航空影像图(1: 1000比例尺)[Z].
- [3] 张涛, 谢忠胜, 石胜伟, 等. 南江县石板沟滑坡特征、成因及演化过程研究[J]. 长江科学院院报, 2013, 30(7): 33-37.
- [4] 李迎春, 吴疆. 重庆市万州区荆竹屋基滑坡特征及成员分析[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2014, 25(3): 32-37.
- [5] 星玉才. 四川江油枫顺乡大院子I号滑坡形成条件和影响因素分析[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2014, 25(2): 32-36.
- [5] 曾国熙. 地基处理手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1998.
- [6] JGJ 120—99, 建筑基坑支护技术规程[S].
- [7] 王建华, 吴厚信, 周宏益, 等. 紧邻地铁基坑支护工程设计[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2011, 38(11): 71-75.
- [8] 龚晓南. 地基处理新技术[M]. 陕西西安: 陕西科学技术出版社, 1997.
- [9] 王海龙, 李飞, 夏亚飞. 复杂地质条件下组围堰施工[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2011, 38(3): 64-67.