

福建省房前屋后典型边坡滑动面探测及稳定性分析

杨春发¹, 张俊利²

(1. 福建东辰综合勘察院, 福建 福州 350005; 2. 陕西省地勘局第二综合物探大队, 陕西 西安 710016)

摘要: 采用地质雷达, 快速准确获取坡体滑面形态, 结合现场调查、取样和室内试验等方法, 查明边坡形态和变形特征, 进行影响因素分析, 并对其稳定性作出评价。该研究方法对于边坡滑面调查和稳定性分析具有一定的应用与推广价值。

关键词: 边坡; 地质雷达; 影响因素; 稳定性

中图分类号: U418.52

文献标识码: A

文章编号: 1672—1144(2012)06—0168—03

Sliding Surface Detection and Stability Evaluation of Typical Slopes in Front and Back of House in Fujian

YANG Chun-fa¹, ZHANG Jun-li²

(1. Fujian Dongchen Comprehensive Investigation Institute, Fuzhou, Fujian 350005, China;

2. Second Integrated Geophysical Prospecting Battalion of Shaanxi Province Geological Survey Bureau, Xi'an, Shaanxi 710016, China)

Abstract: The sliding surface shape of slope could be fast and accurately obtained by using the geological radar. Based on such the methods as field investigation, sampling and laboratory test, the slope shape and deformation characteristics are identified, the influence factors are analyzed, and the stability is evaluated. The study method has a certain value of application and dissemination on researching and analyzing the sliding surface and stability of slope.

Keywords: slope; geological radar; influence factor; stability

0 前言

福建省大部分处于中低山和丘陵地区, 山多地少, 村民切坡建房, 常形成房前屋后高陡边坡。这类边坡数量众多, 涉及面广, 危险性大, 台风暴雨下经常发生灾害, 严重威胁村民生命和财产安全。在区域地质灾害详查工作中, 这些边坡隐患调查工作量大, 时间紧, 如何提高边坡调查效率, 快速准确寻找滑动面, 查明边坡特征, 进行影响因素分析, 评价边坡稳定性, 以便采取有效治理措施, 对于区域防灾减灾和保障人民生命财产安全显得十分重要。下面以罗源县塘下村某村民屋后边坡为例。

2001年5月, 该坡体向下蠕变变形, 形成贯穿整个坡顶面的裂缝。2005年10月、2010年9月斜坡表层发生过小规模滑塌, 毁坏后墙, 造成不同程度的财产损失(见图1)。



图1 斜坡全景图

1 地质环境条件

1.1 基本概况

该村民屋后斜坡位于福建省罗源县霍口乡塘下村。坡脚与后墙距0.2 m~0.5 m, 切坡高度约9 m。

1.2 地质条件

斜坡地处塘下村西部, 坡脚与后墙距离小, 自然斜坡坡高25 m, 坡度35°, 人工切坡坡高9 m, 坡度74°。坡面植被主要为杂草, 坡顶植被为毛竹和杂

草,植被覆盖率低。

边坡出露地层为第四系残坡积层,岩性粘土,含少量中粗砂,厚 2 m~5 m,下伏基岩为全强风化凝灰熔岩^[1](见图 2、图 3)。

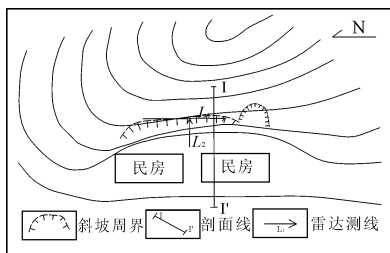


图 2 斜坡平面图

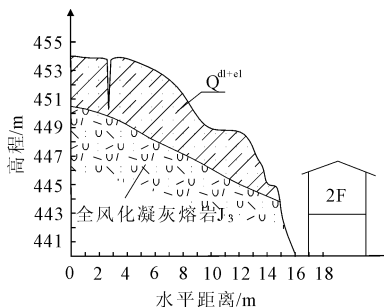


图 3 I - I' 工程地质图

2 滑动面探测

2.1 地质雷达工作原理

地质雷达是一种以地下不同介质的介电常数差异为基础的物探方法。该方法由于使用高频宽频带短脉冲及高速采集技术,其勘探分辨率高于其它物探手段,地质雷达利用高频电磁波(主频为数十兆赫至数百兆赫以至千兆赫)以宽频带短脉冲形式,由发射天线 T 发出,通过地面进入地下,经地下地层或目标体反射后返回地面,为接收天线 R 所接收(见图 4)^[3-4]。脉冲波行程需时:

$$t = \sqrt{4z^2 + x^2}/v \tag{1}$$

当地下介质中的波速 v 为已知时,可根据测得的时间 t 值(ns),由上式求出反射体的深度 Z (m),式中 x (m) 值在剖面探测中是固定的; v 值(m/ns) 可以用宽角方式直接测量,也可以根据 $v \approx c/\sqrt{\epsilon}$ 近似计算出。

雷达图形常以脉冲反射波的形式记录,图 5 为波形记录的示意图,图上对照一个简单的地质模型,画出了波形的记录,在波形记录图上各测点均以测线的铅垂方向记录波形,构成雷达剖面(GPR 剖面),经过资料的后处理就可得到地下不同介质的分布情况及介电常数(ϵ)变化面的位置等参数。当地下介

质中的波速 v 为已知时,可根据测得的 t ,由式(1)求得目标体的深度 z ^[4]。

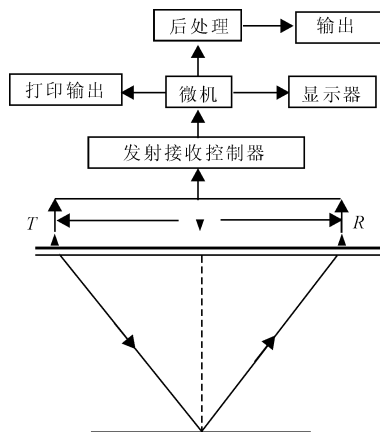


图 4 反射探测原理

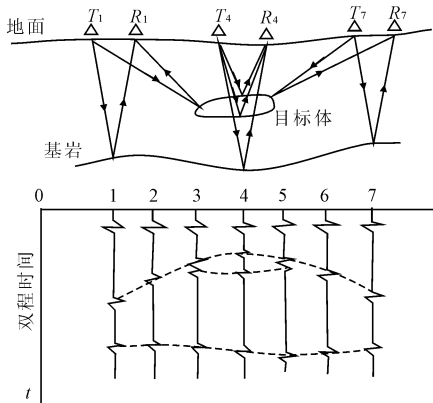


图 5 雷达记录示意图

2.2 滑动面形态

2011 年 10 月,针对当前滑动面形态难以查明的情况,我院采用瑞典地质雷达 RAMAC/GPR CU II,配置 50 MHz 天线,在斜坡表面布设纵横两条物探剖线(测线布设见图 2),快速准确获得坡体内滑动面形态。

根据横剖面物探图象,结合现场调查,坡顶裂缝长约 25 m,宽 20 cm~40 cm,深 2 m~4 m,两端发育浅,中部深,形状多呈 V 型,上宽下窄至局部闭合(见图 6)。

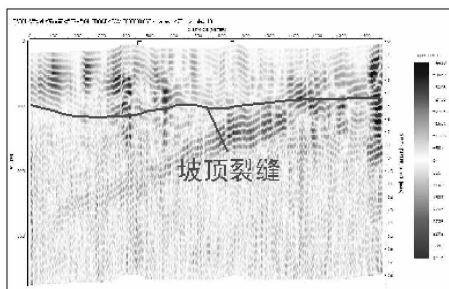


图 6 横剖面雷达测试图像

纵剖面物探图像显示,在坡顶处深约 4.2 m,坡面中部深约 5 m,坡面下部深约 4.4 m 等位置,有明显的反射信号,滑动面顶部反射波振幅大,同相轴水平方向连续性好,滑动带内部振幅弱,波形杂乱。通过分析,滑动面形态近似呈折线,局部弯曲,弧度小,基本沿岩土分界面,局部有起伏(见图 7)。

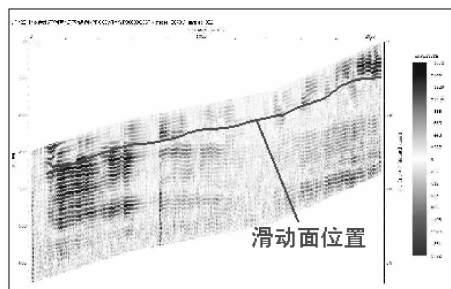


图 7 纵剖面雷达测试图像

3 造成斜坡失稳的因素

地形地貌、地层岩性是灾害形成的基础条件。该斜坡较陡,风化剥蚀强烈,母岩凝灰熔岩含长石、云母等矿物成分,岩性较软,结构差,容易受改造,使岩体原有结构改变,完整性受到破坏,形成厚层粉质粘土。

人工开挖是斜坡灾害的重要形成条件。斜坡体开挖,对坡体产生扰动,破坏岩土完整性,劣化岩土体力学性质,同时也破坏了原来的平衡状态,初始应力和二次应力累聚,重新调整分布,在坡面台阶及坡脚位置形成应力集中区。一旦超过岩土体应力抗剪强度,将会产生变形蠕动或破坏,从而进一步弱化岩土体力学强度,最终导致斜坡体失稳。

降雨是斜坡失稳的诱发因素。区内降雨丰沛,且集中于 7 月~9 月,降雨的充分补给使地下水交替运移强烈,地下水顺坡径流,增加土体渗透压力,使坡体内含水率增大。斜坡体前期已发生变形,雨水极易沿着原有裂缝入渗,充分浸透坡体,并形成静水压力,在下滑力增大和岩土体抗剪强度减小的条件下,斜坡失稳破坏。

4 稳定性分析

4.1 定性分析

坡体开挖高,边坡临空面较大,土体变形强烈,裂缝延展较长,局部发生塌方和掉块,坡体内土体错动,形成变形蠕带动,坡顶有明显的拉张裂缝,延展长,长度约 35 m,发育深,斜坡两侧发育剪切裂缝,并向坡体下部和上缘发展,与坡顶裂缝贯通,整个斜

坡处于缓慢变形阶段。目前,当地村民为防止地表水沿裂缝入渗,在坡顶裂缝处,已用土体填埋裂缝,根据近期村民观察,斜坡体裂缝没有进一步发展,坡体处于稳定状态。但是在强降雨条件下,雨水入渗坡体,斜坡存在失稳危险,力学机制上属牵引式,破坏模式为滑移-拉裂,滑面形态为折面状^[5-6]。

4.2 定量计算

(1) 计算模型

由前述可知,坡体局部变形强烈,处于缓慢蠕滑变形阶段,总体处于滑动阶段。由地质雷达成果可知,滑面呈折线形,计算模型采用折线型。

稳定系数 k 计算公式如下^[7]:

$$k = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} (R_i \prod_{j=i}^{n-1} \phi_j) + R_n}{\sum_{i=1}^{n-1} (T_i \prod_{j=i}^{n-1} \phi_j) + T_n} \quad (2)$$

其中: $R_i = N_i \operatorname{tg} \phi_i + c_i$; $N_i = (W_i + Q_i) \cos \alpha_i$;
 $T_i = (W_i + Q_i) \sin \alpha_i + \gamma w A_i \sin \alpha_i$

(2) 坡体岩土计算参数

根据取样室内试验成果,结合规范和区域经验,岩土体参数见表 1。

表 1 岩土体参数表

| 岩性 | 重度 /($\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$) | c /kPa | ϕ /($^\circ$) |
|---------|--|-------------|-------------------------|
| 残坡积粘土 | 18.4 | 22.5 | 18.2 |
| 全风化凝灰熔岩 | 18.7 | 20.6 | 24.3 |
| 滑动带 | — | 15 | 18 |

4.3 稳定计算

计算过程中,选取斜坡纵剖面 I - I' 为计算剖面,计算工况为天然和暴雨状态两种。在暴雨状态下,考虑地表水渗入,坡体重量增加,同时水对蠕带动起软化作用,以及在坡体内产生静水压力等因素。通过计算,天然状态下, $K = 1.107$;暴雨状态下,雨水入渗, $K = 0.902$ 。斜坡计算模型图见图 8,计算结果及潜在滑动面见图 9。

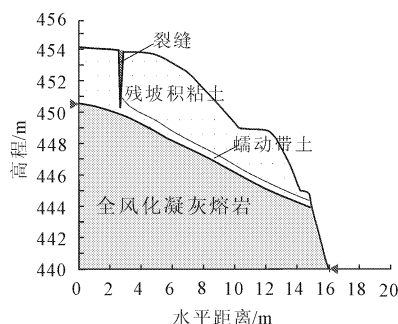


图 8 斜坡计算模型图

(下转第 186 页)

(上接第 170 页)

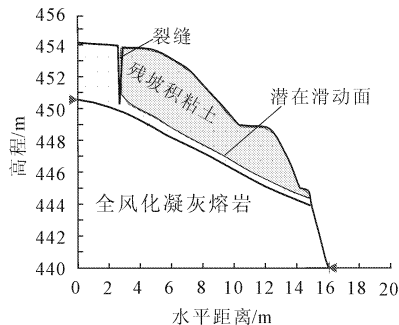


图9 稳定分析结果图

4.4 综合评价

从本次调查的情况来看,斜坡变形明显。本次对斜坡整体稳定性进行计算分析,其结果与斜坡实际情况基本吻合。通过以上分析,可得以下结论:

(1) 在天然状态下,稳定系数 $K = 1.107$,处于稳定状态。

(2) 暴雨条件下,雨水入渗,稳定系数 $K = 0.902$,处于蠕滑~滑移状态,斜坡失稳。

5 结论

(1) 在查明边坡形态和变形特征基础上,利用地质雷达探测,快速准确获得滑动面形态。对该边坡进行稳定性分析,天然状态下处于稳定,暴雨条件

下容易失稳。

(2) 建议采用砂浆或均质粘性土封填坡顶拉张裂缝和侧面剪切裂缝,表面用彩色条布覆盖,避免地表水沿裂缝入渗坡体。坡顶裂缝外围设置截水沟,坡脚设置挡土墙。

参考文献:

- [1] 福建省地质环境监测中心. 罗源县地质灾害详查报告[R]. 福州:福建省地质环境监测中心,2010.
- [2] 曾昭发. 探地雷达方法原理及应用[M]. 北京:科学出版社,2006:212-213.
- [3] 姜卫方,万明浩,赵永辉,等. 地质雷达在滑面调查中的应用及效果分析[J]. 物探与化探,2000,24(3):230-232,240.
- [4] 郑庆灿,杨志鹏,黄宝勇. 地质雷达在工程滑坡滑动面分析中的应用[J]. 科技资讯,2006,(18):96-97.
- [5] 姜德义,朱合华,杜云贵. 边坡稳定性分析与滑坡防治[M]. 重庆:重庆大学出版社,2005.
- [6] 黄润秋,唐国强,邓辉,等. 皖南某高速公路4号边坡变形机理及稳定性分析[J]. 成都理工大学学报(自然科学版),2006,33(6):553-554.
- [7] 张文,麻荣广,丁坚平,等. 百花滩2号隧道边坡稳定性分析及治理[J]. 资源环境与工程,2008,22(5):516-518.