

地质雷达法检测成果经钻芯法验证,较符合工程客观实际,验证了该检测方法的可靠性,为混凝土挡墙工程的加固处理提供了科学依据。

表1 钻芯法混凝土挡墙检测结果表

孔号	钻孔桩号	芯样外观描述
1	1+170	芯样连续完整、较均匀密实、无明显破损
2	2+280	芯样基本完整、表面较为粗糙、局部有蜂窝现象

### 3 结 语

由于传统的混凝土质量检测方法无法对混凝土结构内部缺陷进行有效评判,同时,操作复杂,且难以普遍推广,本文基于波的反射原理,利用地质雷达无损检测方法,以获得在混凝土介质中传播的反射电磁波,通过信号分析处理,得到混凝土地质雷达图像,分析和判断混凝土的施工质量。以浯溪口水利枢纽混凝土挡墙为工程实例,采用地质雷达无损检测方法对其进行质量检测,并与传统钻芯法检测结果对比分析,得出以下结论:(1)地质雷达无损检测方法较为准确、全面地检测出混凝土挡墙

工程内部存在的缺陷,该方法能够较好地应用于水工混凝土结构内部质量控制;(2)地质雷达检测方法在不破坏结构使用特性的前提下,相比于传统的钻心法在检测效率上有明显的优势,同时具有较强的适用性。

### 参考文献:

- [1] 薛桂玉,余志雄.地质雷达技术在堤坝安全监测中的应用[J].大坝与安全,2004(1):13~19.
- [2] 安旭文,侯建国,王逢庆,等.地质雷达在挡墙检测中的应用[J].武汉大学学报(工学版),2005,38(2):64~68.
- [3] 张坤.水工隧道衬砌内病害隐患探地雷达探测研究[D].成都:西华大学,2012.
- [4] 戴大刚,臧德记,李军,等.地球物理方法在防渗墙质量探测中的应用[J].人民长江,2014,45(S2):138~168.
- [5] 周黎明,王法刚.地质雷达法检测隧道衬砌混凝土质量[J].岩土工程界,2003,6(3):74~76.
- [6] 黄辉,施召云.雷达检测技术在混凝土施工质量检测中的应用[J].水电与新能源,2014,5(5):46~55.
- [7] 郭秀琴.关角隧道地质超前预测预报技术[J].铁道建筑技术,2010,4(4):44~47.
- [8] 杨连生.地质雷达在水利水电工程地质中的应用及探讨[J].长江职工大学学报,2003,3(1):6~12.

编辑:张绍付

## Application of the ground penetrating radar in quality test of water conservancy projects

ZHANG Yuchi<sup>1,2</sup>, MEI Xinpo<sup>3</sup>

(1. Jiangxi Provincial Institute of Water Sciences, Nanchang 330029, China;

2. Jiangxi Provincial Research Center on Hydraulic Structures, Nanchang 330029, China;

3. Dean County Water Resources Bureau of Jiangxi, Dean 330400, China)

**Abstract:** Currently the quality of concrete entity in water conservancy projects of our province is mostly tested using core – drilling or rebound method, which can hardly detect the inner defects within and lack of timeliness and feasibility. Considering the actual testing environment, this paper uses the nondestructive testing method of GPR (ground penetrating radar) to enhance detection efficiency and achieve quality control of hydraulic concrete objectively and efficiently. This method is based on the reflection law of wave and verifies the location, shape and defection of target object by analyzing the signal receive by GPR. After applying GPR in the quality test of the concrete retaining wall in Wu Xikou hydro – junction, comparative analysis between the test result of GPR and core – drilling method shows that; the GPR is suit for quality test of concrete retaining wall; the GPR quality test is nondestructive, fast and efficient compared to traditional methods; it's of great application prospect in concrete quality test in hydraulic engineering.

**Key words:** Ground penetrating radar; Retaining wall; Quality testing; Core drilling

翻译:邹晨阳

DOI:10.3969/j.issn.1004-4701.2016.05.10

# 边坡稳定性影响因素及应对措施

熊磊,周清勇,胡国平,洪文浩

(江西省水利科学研究院;江西省水工安全工程技术研究中心,江西 南昌 330029)

**摘要:**以均质边坡为例,分别采用瑞典圆弧法、简化的毕肖普法、简布法等极限平衡法计算土坡的稳定性.研究了不同岩土力学参数对边坡稳定性的影响,并对不同土坡结构形式计算结果进行了对比分析,最后文章提出了边坡失稳的几种防治措施.结果表明:边坡稳定性随着土体重度的增大而减小,随着内摩擦角和粘聚力的增大而增大,随着坡体角度增加而减小;边坡总高度一定时,采用分级放坡可有效的提高坡体稳定性,且级数越多,坡体安全系数越大;当坡体总高度及各级边坡坡度相同时,平台宽度越宽,稳定系数越大,且平台宽度达到一定程度时,稳定系数保持不变;保持边坡总高度、平台宽度不变,当一级和二级边坡高差相差越大,稳定系数越小,当一级和二级边坡高度相等时稳定系数达到最大.

**关键词:**边坡;稳定性;极限平衡法;安全系数;处理措施

**中图分类号:**TU4 **文献标识码:**B **文章编号:**1004-4701(2016)05-0352-04

## 0 前言

在矿山、道路、建筑、水利、铁路等众多领域都涉及大量的边坡稳定问题,一直以来都是地质和岩土工程界研究的热点和重点<sup>[1,2]</sup>,研究边坡稳定性的目的是使工程边坡的结构合理化,并对危险边坡采取一系列的处理加固措施,防止发生边坡失稳,避免因滑坡等灾害带来人员和经济损失,因此,经济合理地设计边坡并对其进行稳定性分析评价显得尤为重要.

工程上采用的边坡稳定分析方法,主要是建立在极限平衡理论基础之上的.因此,本文对比分析了3种极限平衡法对计算土坡稳定系数的差异,分析了不同土坡结构对稳定系数的影响,其计算结果可对岩土勘察设计提供一定的参考,对降低边坡灾害的发生概率具有一定的意义.

## 1 极限平衡法计算原理

极限平衡法是边坡稳定分析中应用最早也是最经典的计算方法,该方法以 Mohr - Columb 强度理论为基础,通过分析土体在破坏那一刻的静力平衡来求得问题的解.目前国内外运用的极限平衡法主要有圆弧法、简化 Bishop 法、Janbu 法、Morgenstern - Price 法、Spencer 法、Sarma 法和国内常用的推力传递法<sup>[3]</sup>等,其中常用的有圆弧法<sup>[4]</sup>、毕肖普法<sup>[5]</sup>和简布法<sup>[6]</sup>.

### 1.1 圆弧法

圆弧法假定边坡失稳破坏为一平面应变问题,破坏

滑动面为一圆弧形面.计算时将可能滑动面以上的土体划分为若干铅直土条,略去土条间相互作用力的影响,稳定安全系数定义为抗力相对于圆心的阻滑力与作用力产生的滑动力的比值,计算公式为:

$$F_s = \frac{\sum (c'_i b_i \sec \delta_i + (W_i \cos \delta_i - u_i b_i \sec \delta_i) \tan \varphi'_i)}{\sum W_i \sin \delta_i} \quad (1)$$

式中: $i$ —土条编号; $W_i$ —土条重量,kg; $u$ —作用于土条底部的孔隙水压力,Pa; $b$ 、 $\alpha$ —分别为土条宽度及其沿滑裂面的坡角; $c$ 、 $\varphi$ —有效抗剪强度指标.

### 1.2 毕肖普法

简单条分法不满足每一土条力的平衡条件,一般使计算的安全系数偏低,毕肖普法在这方面做了改进,近似考虑了土条间相互作用力的影响,在计算时只考虑水平力,没有考虑土条间的切向力,但其计算结果一般都能得出比较准确的解答.此处考虑孔隙水压力的计算公式为:

$$F_s = \frac{\sum [c'_i b_i + (W_i - u_i b_i) \tan \varphi'_i]}{\sum W_i \sin \alpha_i + \sum Q_i e_i / R} \quad (2)$$

式中: $Q_i$ —土条的水平惯性力,kN; $R$ —滑裂面的半径,m; $e_i$ —滑块中心点至滑裂面圆心的距离,m.

### 1.3 简布法

简布法是一种严格的条分法,它沿用了毕肖普法关于安全系数的定义和土条竖向应力平衡的公式,适用于任意形状的坡面,滑动面也可以是任意形状.简布法不仅考虑了条间法向力的作用,还考虑了条间切向力的作

收稿日期:2016-10-13

作者简介:熊磊(1991-),男,硕士.

用。其计算公式为：

$$F_s = \frac{\sum \frac{1}{m_{\theta_i}} [W_i + c' \Delta x + \Delta Y_i \tan \varphi_i]}{\sum (W_i + \Delta Y_i) \tan \theta_i} \quad (3)$$

式中： $c'$ —有效粘聚力，kPa； $W_i$ —第  $i$  个土条的重度，kN； $Y_i$ —切向力，kN； $b$ —土条宽度，m； $\varphi$ —内摩擦角，( $^\circ$ )； $\theta_i$ —该土条底面中点的法线与竖直线交角，( $^\circ$ )； $m_{\theta_i}$  由  $m_{\theta_i} = \cos \theta_i + \frac{tg \varphi'}{F_s} \sin \theta_i$  迭代计算求得。

## 2 岩土参数对土坡稳定性影响

假定简单的均质边坡，坡高  $H = 6 \text{ m}$ ，坡比 1:1，采用岩土软件 GEO-STUDIO 中的 SLOPE/W 模块对该算例采用极限平衡法进行计算分析。

分析了岩土参数  $\gamma$ 、 $c$ 、 $\varphi$  值的大小对边坡稳定性的影响，设计方案见表 1。计算结果见图 1。

表 1 岩土参数方案

土体重度 $\gamma / (\text{kN}/\text{m}^3)$	内摩擦角 $\varphi / ^\circ$	粘聚力 $c / \text{kPa}$
18.7	15	10
19.7	20	15
20.7	25	20

如图可知，土坡参数对边坡稳定性影响显著，稳定性系数随重度的增加而减小，随内摩擦角和粘聚力的增加而增大。

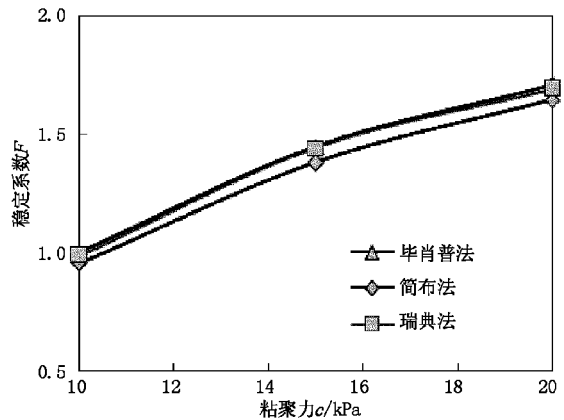
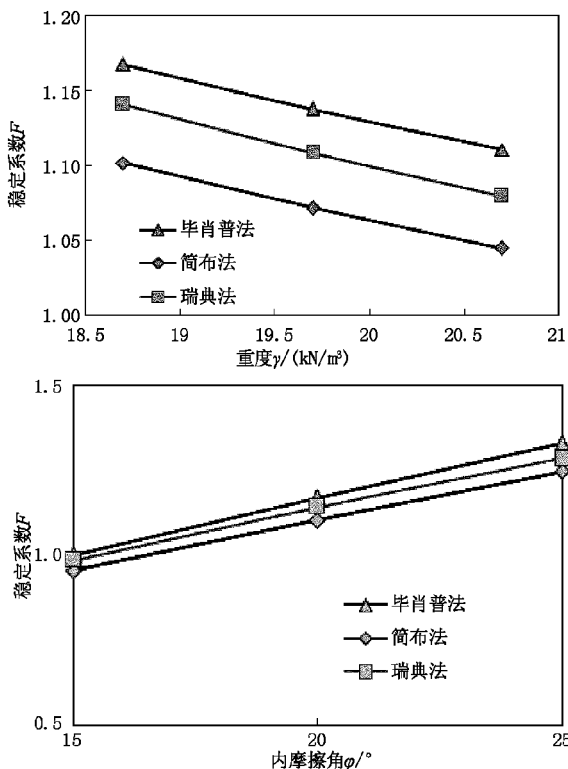


图 1 岩土参数对稳定性影响

## 3 土坡结构参数对稳定性影响

假定简单的均质边坡， $\gamma = 18.7 \text{ kN}/\text{m}^3$ 、 $c = 10 \text{ kPa}$ 、 $\varphi = 20^\circ$ ，采用岩土软件 GEO-STUDIO 中的 SLOPE/W 模块对该算例采用极限平衡法进行计算分析。

### 3.1 坡体结构参数

分析了坡体高度  $H$ 、边坡级数  $N$ 、边坡角度  $\theta$  对边坡稳定性的影响，设计方案见表 2。计算结果见图 2~图 4，如图可知：稳定性系数随边坡高度增加而减小；边坡总高度一定时，采用分级放坡可有效的提高坡体稳定性，且级数越多，坡体安全系数越大；稳定性系数随坡体角度增加而减小。

表 2 坡体结构参数表

坡高 $H / \text{m}$	坡级 $N$	坡角 $\theta / ^\circ$
2	1	30
4	2	45
6	3	60

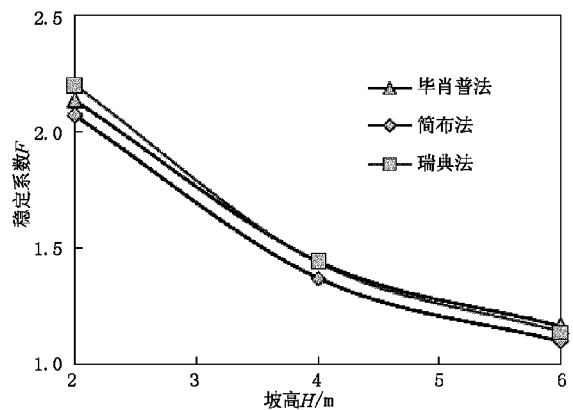


图 2 坡高对稳定性影响