

GEO - Slope 软件在边坡稳定性分析中的应用

屈建军 李建林 王乐华

(三峡大学 三峡库区地质灾害教育部重点实验室,湖北 宜昌 443002)

摘要:断层、裂隙等结构面的性状及分布位置对开挖边坡的稳定性有着至关重要的作用。结合某水电站尾水出口边坡,选用 GEO - Slope 软件中的 Slope/W 模块功能,对边坡中的控制性结构面进行了稳定性计算和分析。经过对工程地质剖面的详细分析,确定边坡中不同的控制性结构面的组合滑移模式,分别计算和分析了开挖和降雨两种工况下其稳定安全系数。

关 键 词:控制性结构面;弹塑性模型;极限平衡法;安全系数

中图分类号: TU457 **文献标识码:** A

1 概述

边坡工程的稳定分析,一直是岩土工程领域中的一项重要研究内容。而极限平衡法由于使用简单方便,成为边坡稳定性分析中应用最广泛的方法,尤其受到工程界的欢迎。在边坡开挖过程中,由于边坡地质条件复杂,常常遇到对边坡的稳定性起控制性作用的结构面,这些发育的控制性断层、裂隙等结构面的性状及分布位置对边坡的开挖造成一定的安全隐患。特别是边坡中这些控制性断层、裂隙等结构面的组合,致使边坡在开挖过程中产生潜在的危险。

本文选用 GEO - Slope 软件中的 Slope/W 模块功能,利用该软件中指定滑动面的方法对某边坡的控制性结构面进行了稳定性计算和分析,确定边坡中不同的控制性结构面的组合滑移模式,分别计算和分析边坡在开挖和降雨两种工况下其稳定安全系数。

2 工程地质概况

某水电工程尾水出口边坡高度约为 500 m,沿河流向由坝轴线附近的近 EW 向转变为 SE126°,坡度较陡,一般在 60°~70°,整体上地形较为整齐,仅在坡面上发育几条规模较小的冲沟,边坡处的岩性较为单一,主要是一套燕山期的侵入岩,岩性主要为正长岩,有少量正长斑岩。

从现场对平洞和右岸简易公路开挖边坡岩体中结构面的测量结果看,边坡岩体中的结构面主要以成组的形式出现。在尾水出口边坡岩体中无论是短小的裂隙,还是长大的结构面,均发育有一组倾向坡外的优势结构面。这组结构面对于边坡块体的稳定性起着控制性的作用。本文主要研究尾水出口边坡 A 剖

面,其中有 4 组控制性的结构面,分别是 2 组断层(F75, F76)和 2 组裂隙。2 组断层的产状分别是 NW356°SW∠85°和 NW 340°NE∠80°。2 组裂隙是 NW310°NE∠30°和 NW300°SW∠88°。出水口边坡 A 剖面的 GEO - Slope 模型图见图 1,控制性结构面详图见图 2,材料参数见表 1。

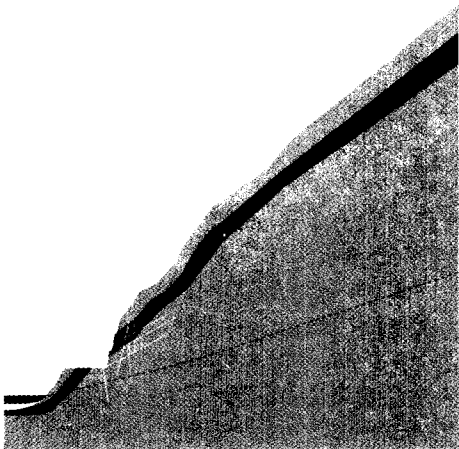


图 1 出水口边坡 A 剖面 GEO - Slope 模型

表 1 出水口边坡 A 剖面材料参数

岩性	风化程度	容重/ ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	变形模量/ GPa	C/ MPa	φ / ($^{\circ}$)	泊松比
正长岩	强风化	2510	4.2	0.60	38	0.32
	弱风化	2560	6.6	0.80	40	0.31
	新鲜	2630	10.6	1.00	42	0.30
断层和裂隙		2400	2.0	0.05	26	0.29

收稿日期:2008-09-20

基金项目:湖北省自然科学基金计划项目(2008CDB366);宜昌市科学技术研究与开发项目(A08303-03);三峡库区地质灾害教育部重点实验室(三峡大学)主任基金(2008ZRJ05)

作者简介:屈建军,男,三峡大学三峡库区地质灾害教育部重点实验室,硕士研究生。

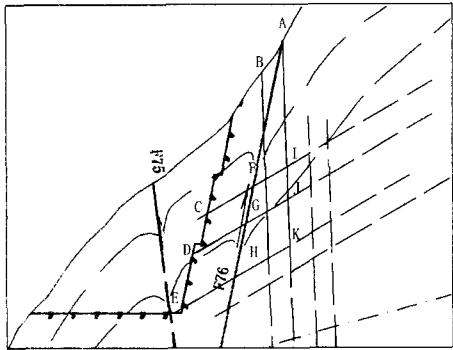


图2 边坡开挖面附近区域局部放大示意

3 计算基本理论

岩石的变形一般为弹塑性,岩体基础的力学模型是弹塑性模型。对于理想的弹塑性体,其应力—应变的矩阵表达式如下:

$$\{d\sigma\} = [D_{ep}]\{d\varepsilon\} \tag{1}$$

式中 $[D_{ep}]$ 为弹塑性刚度矩阵,且:

$$[D_{ep}] = [D_e] - [D_p] \tag{2}$$

式中 $[D_e]$ 为弹性刚度矩阵; $[D_p]$ 为塑性刚度矩阵。

$$[D_p] = \frac{\left\{ \frac{\partial \Phi}{\partial \sigma} \right\}^T [D_e] \left\{ \frac{\partial Q}{\partial \sigma} \right\}}{A + \left\{ \frac{\partial \Phi}{\partial \sigma} \right\}^T [D_e] \left\{ \frac{\partial Q}{\partial \sigma} \right\}} \tag{3}$$

式中 Φ 和 Q 分别为塑性屈服函数和塑性势函数。对于关联流动法则, $\Phi = Q$; 对于理想塑性材料, $A = 0$ 。

在弹塑性计算模型中通常采用 Mohr - Coulomb 准则,其屈服函数为:

$$F = \frac{1}{3} I_1 \sin \varphi + (\cos \theta_\sigma - \frac{1}{\sqrt{3}} \theta_\sigma \sin \varphi) \sqrt{J_2} - c \cos \varphi = 0 \tag{4}$$

式中 $I_1 = \sigma_x + \sigma_y + \sigma_z$ 为第一应力不变量; $J_2 = \frac{1}{6} [(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2] + \tau_{xy}^2$ 为应力偏量的第二不变量; θ_σ 为第二洛德角, $-30^\circ \leq \theta_\sigma \leq 30^\circ$ 。

极限平衡法,是将有滑动趋势范围内的边坡土体沿某一滑动面切成若干竖条或斜条,在分析条块受力的基础上建立整个滑动土体的力或力矩平衡方程,并以此为基础确定边坡的稳定安全系数。这些方法均假设土体沿着一个潜在的滑动面发生刚性滑动或转动。在极限平衡法理论体系的形成过程中,出现过一系列简化方法,常见的有瑞典法、Bishop 法、Spencer 法、Janbu 法、Sarma 法、Morgenstern - price 法等。

4 边坡稳定性计算

出水口 A 剖面计算首先需要在 AutoCAD 软件中对边坡进行描图,然后再导入 GEO - Slope 中的 Slope/W 模块中建模并进行安全系数的计算。该水电站为一等大(1)型工程,根据《水电水利工程边坡设计规范》规定,引水发电系统工程边坡均属 I 级 A 类边坡,持久工况安全系数是 1.30 ~ 1.25,短暂工况安全系数是 1.20 ~ 1.15。

本文所研究的出水口 A 剖面稳定性主要计算两种工况,即开挖工况和降雨工况。而开挖工况和降雨工况都是属于短暂工况。开挖工况主要模拟边坡在开挖后,但未蓄水时的稳定与否;而降雨工况主要模拟边坡在开挖后,但未蓄水时遭遇降雨时稳定与否。

根据出水口 A 剖面地质剖面图,分析了边坡结构面组合滑动的各种可能性,给出了 6 组可能的滑面形式,采用 4 种方法分别计算了两种工况下各种组合形式的滑面相应的安全系数,见表 2。

表2 出水口边坡各工况安全系数计算结果

工 况	可能滑面位置	Ordinary 法	Bishop 法	Janbu 法	Morgenstern - Price 法
开挖工况	BFC	5.511	5.612	5.503	5.509
	BGD	3.981	4.079	3.918	3.976
	BHE	0.979	0.987	0.979	0.979
	AIFC	3.649	3.771	3.578	3.654
	AJGD	1.008	1.024	1.008	1.008
	AKHE	3.257	3.278	3.170	3.264
降雨工况	BFC	5.430	5.512	5.422	5.428
	BGD	3.943	4.018	3.879	3.937
	BHE	0.978	0.984	0.978	0.978
	AIFC	3.596	3.691	3.526	3.601
	AJGD	1.006	1.018	1.006	1.006
	AKHE	3.235	3.244	3.149	3.235

5 结果分析

从表 2 中可以看出,在开挖工况和降雨工况下,考虑滑面 BFC、滑面 BGD、滑面 AIFC、滑面 AKHE 这 4 种滑面形式时,计算得到的安全系数均较大,满足规范要求,说明尾水洞出口边坡 A 剖面沿这 4 种滑面失稳的可能性很小,而滑面 BHE 在开挖工况下最小的安全系数是 0.979,在降雨工况下最小的安全系数是 0.978,均不满足规范要求;滑面 AJGD 在开挖工况下最小的安全系数是 1.008,在降雨工况下最小的安全系数是 1.006,都不满足规范要求。因此,尾水洞出口边坡 A 剖面滑面 BHE 和滑面 AJGD 存在安全隐患。

从以上的分析可知,边坡破坏的模式主要是一些结构面在岩体中相交,切割岩体成相对独立的块体,从而导致边坡岩体失稳破坏,岩体中的结构面对于边坡块体的稳定性起着控制性的作用。

参考文献:

[1] 康亚明,刘长武,贾延等. 重度增加法确定边坡潜在滑动面. 人民长江,2008,39(8):75-77.
[2] 刘金龙,陈陆望,王吉利. 边坡稳定性研究方法与发展. 地下空间与工程学报,2007,3(2):343-349.
[3] 郑涛,张玉灯,毛新生. 基于 Geo - Slope 软件的土质边坡稳定性分析. 水利与建筑工程学报,2008,6(1):6-8.
[4] 郑颖人,沈珠江,龚晓南. 岩土塑性力学原理. 北京:中国工业出版社,2002.
[5] 黄满刚,孙世国. 边坡稳定性分析方法的研究. 矿业快报,2008,7(7):34-36.

(编辑:赵凤超)

