

基于优势结构面理论的高陡岩质边坡稳定性分析

朱 婷¹, 黄宜胜¹, 郭 建²

(1. 三峡大学三峡库区地质灾害教育部重点实验室, 宜昌 443002

2. 中铁十七局集团有限公司, 太原 030006)

摘要: 对优势结构面理论及其重要性进行阐述, 并将其用于某一高陡岩质边坡的稳定分析工作中。在充分分析相关工程地质资料的基础上, 确定在评测指标上占据优势的结构面。利用赤平投影图分析各组优势结构面对边坡稳定性的影响程度, 得到边坡剖面相应的控稳优势面组合, 并将该组合考虑到岩体稳定性计算分析模型中。利用极限平衡分析软件 Slide 综合评价该边坡在优势结构面影响下的稳定性, 并以优势结构面为关键因素, 提出相应的治理措施建议。

关键词: 优势结构面理论; 稳定分析; 赤平投影图; Slide 软件

中图分类号: TU 457

文献标识码: A

文章编号: 1000-3665(2010)02-0083-04

随着工程建设的蓬勃发展以及施工技术的日趋先进与成熟, 岩土边坡的开挖深度已高达百米以上, 尤其是岩质边坡, 如三峡永久船闸已高达 170m^[1]。因此高陡岩质边坡稳定性问题成为了岩土工程的重要研究课题之一。影响岩质边坡稳定性的因素很多, 简单地可以概括为两类^[2]: 岩体地质结构面和外部因素。众多的研究成果与工程实践表明, 岩质边坡的失稳, 往往是从边坡局部岩块沿其结构面的滑移开始, 引起相邻岩块相继松脱滑移, 继而导致边坡整体失稳^[3]。所以充分考虑结构面因素的岩质边坡稳定性分析具有显著的现实意义。

优势结构面理论是研究工程地质问题或岩土工程问题的一种新的观点和模式。该理论是罗国煜教授在几十年实践基础上建立起来的, 首先就岩坡问题于 1979 年提出, 正式发表于 1981 年^[4]。该理论认为优势面控制岩坡变形之边界, 优势面的组合构成岩体变形的破坏模式, 这种破坏模式即为边坡物理模型建立之依据^[5]。提出后在国内外产生了重大影响, 并相继运用于一些岩土工程实践中, 如苏南核电站、南京城市基岩工程、长江三峡高边坡岩体工程等^[6]。在实践中得到深化和发展的优势结构面理论, 以一种新的理念和思路解决了实际工程中的一些问题, 如工程的区域稳定性问题、岩体力学参数选择、岩体质量和工程加固问题等^[7]。而这几个问题正是实际工程中容易被忽

略的环节, 如注重整体稳定性, 而忽略区域稳定性; 测结构面的力学参数时, 测的不是优势结构面的力学参数; 没有注重优势结构面上的岩体质量; 工程加固中没能抓住控制失稳的优势结构面这一主要矛盾; 忽略土体中宏观优势结构面的分析等。

本文将优势结构面理论应用于某水电站左右岸高边坡的稳定性分析中, 以优势结构面组合为岩体稳定性模型, 结合赤平极射投影图和 Slide 软件, 综合评价该边坡的稳定性。

1 研究区工程地质条件

1.1 地形地貌

研究区位于某县城以北约 13km, 大渡河与右岸支流新扎沟河汇合口以上长约 1km 的河段上, 河谷平面上呈反“S”型, 剖面呈“V”型。枯水期河水位高程约 2153m, 水面宽约 50~90m; 正常蓄水位 2253m, 水面宽约 245~310m。

两岸多基岩裸露, 为横向谷, 谷坡陡峻。左岸山体雄厚, 地形完整, 临河坡高大于 600m, 高程 2250m 以下自然坡度 50~60°, 2250m 以上 30~50°。右岸边坡为条形山脊的端头, 在上坝线附近边坡走向由 SW 189°变为 SW 232°, 临河边坡高约 400m, 高程 2260m 以下自然坡度 55~60°, 2260m 以上 30~40°。两岸分布多条冲沟, 规模一般较小。

本文以左岸进水口边坡与右岸泄洪洞边坡为主要研究对象。其中进水口边坡剖面产状 NW 65°∠60°, 而泄洪洞边坡剖面产状为 NW 22°∠63°。图 1 为左、右边坡的地质剖面图。

收稿日期: 2009-08-17; 修订日期: 2009-11-01

作者简介: 朱婷 (1985-), 女, 硕士研究生, 主要从事边坡工程、地下洞室等方面研究。

E-mail: tit0915@yahoo.com.cn

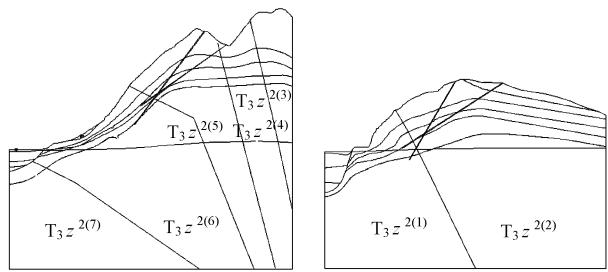


图 1 左岸(左)、右岸(右)边坡工程地质剖面图

Fig 1 Engineering geological profile of the slope at the left bank (left) and the right bank(right)

1.2 地层岩性

左右岸边坡出露地层为三叠系上统杂谷脑组上段($T_3z^{2(1)}$)薄—厚层状变质细砂岩夹碳质千枚岩,岩层产状 NW 320~ 330°∠ 70~ 90°、NW 320~ 330°∠ 55~ 70°(图 1)。根据岩性、层厚及其组合特征,由老到新共划为 7 个工程地质岩组,即 $T_3z^{2(1)}$ — $T_3z^{2(7)}$; 5 个岩体类别,即强风化强卸荷带、强风化弱卸荷带、弱风化弱卸荷带、弱风化带和微新岩体。而第四系松散堆积物主要分布于现代河床,根据其物质组成、结构特点,从下至上总体分为三个岩组:砂层透镜体(粉土质砂)、砂卵砾石层和含漂砂卵砾石层。

1.3 地质结构

研究区及其外围构造简单,主要由一系列大致平行、规模不等的 NW 向线状紧密复式褶皱组成。无大断层通过,主要发育小断层及节理裂隙等。根据相关地质资料及实际地质调查验证,将地质上的优势结构面进行归纳和总结。

左岸发育的主要结构面有: ①优势方位为 232°∠ 82°(范围值 225~ 245°∠ 55~ 90°); ②优势方位为 341°∠ 53°(范围值 335~ 345°∠ 50~ 60°); ③优势方位为 114°∠ 68°(范围值 110~ 120°∠ 65~ 75°); ④优势方位为 329°∠ 28°(范围值 315~ 335°∠ 10~ 30°); ⑤优势方位为 20°∠ 38°(范围值 15~ 25°∠ 30~ 40°);

右岸发育的主要结构面有: ①优势方位为 233°∠ 58°(范围值 230~ 240°∠ 55~ 65°); ②优势方位为 340°∠ 70°(范围值 335~ 345°∠ 65~ 75°); ③优势方位为 58°∠ 71°(范围值 50~ 60°∠ 65~ 75°); ④优势方位为 118°∠ 33°(范围值 108~ 129°∠ 28~ 38°); ⑤优势方位为 223°∠ 33°(范围值 215~ 225°∠ 25~ 40°)。

1.4 地震

据该水电站工程场地地震安全性评价报告,该区 50 年超越概率 10% 的基岩地震动峰值加速度为 0.0968g(地震基本烈度为Ⅶ度)。

1.5 力学参数选取

本次稳定性计算中,对 c 和 ϕ 值采用反算抗剪指标结合比较相邻地段室内试验数据的方法,综合分析确定,结果见表 1~ 3。容重按试验值结合经验值取 27kN /m³。

表 1 岩体力学参数

Table 1 Rock mass mechanical parameters		
岩体类别	粘聚力 c (MPa)	抗剪摩擦系数 f
强风化—强卸荷	0.12	0.45
强风化—弱卸荷	0.35	0.55
弱风化—弱卸荷	0.55	0.65
弱风化	0.80	0.85
微新	1.10	1.15

表 2 河床覆盖层力学参数

Table 2 Riverbed overburden mechanical parameters		
名称	内摩擦角 ϕ (°)	粘聚力 c (MPa)
含漂砂卵砾石层	32~ 35	0
砂卵砾石层	30~ 32	0
砂层透镜体(粉土质砂)	20~ 24	0

表 3 结构面力学参数

Table 3 Structural plane mechanical parameters				
项目	硬接触	岩块岩屑型	岩屑夹泥型	泥夹岩屑型
粘聚力 c (MPa)	0.14	0.11	0.06	0.03
抗剪摩擦系数 f	0.63	0.48	0.38	0.28

2 边坡稳定性分析

2.1 滑动破坏模式分析

将左岸主要的地质优势结构面和进水口边坡剖面共同绘制赤平投影图(图 2),可见:第 2、4、5 组优势结构面均为该剖面的顺层结构面,其中第 4 组结构面较第 5 组结构面更为平缓,因此开挖后的进水口边坡剖面在第 2 和第 5 组优势结构面的组合下最有可能发生局部滑动。故将这组关键的优势结构面组合考虑在左岸进水口边坡的稳定计算中。

将右岸主要的地质优势结构面和泄洪洞边坡剖面共同绘制赤平投影图(图 2),可见:第 3、4、5 组优势结构面均为该边坡的顺层结构面,而第 5 组优势结构面较第 4 组优势结构面更为平缓,因此开挖后的泄洪洞边坡横 2 剖面在第 3 和第 4 组优势结构面的组合下最可能发生局部滑动。故将这组优势结构面组合考虑在右岸泄洪洞边坡的稳定计算中。

利用式(1)将这组优势结构面投影到计算剖面上,以确定优势结构面在剖面上的视倾角 β 。

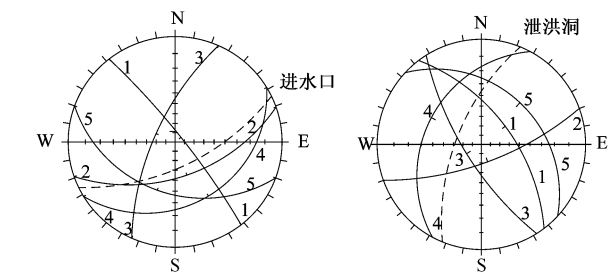


图 2 左岸(左)、右岸(右)边坡优势结构面与剖面组合状态的赤平投影图

Fig 2 Stereographic projection of combined preferred planes and slope section at the left bank (left) and the right bank(right)

$$\tan\beta = \sin\theta \tan\alpha \quad (1)$$
式中: θ ——剖面线与优势结构面走向之间的夹角;
 α ——结构面倾角。

根据所求的视倾角建立各计算剖面的计算模型,并确定左、右岸两边坡剖面的滑动破坏模式(图 3~4)。

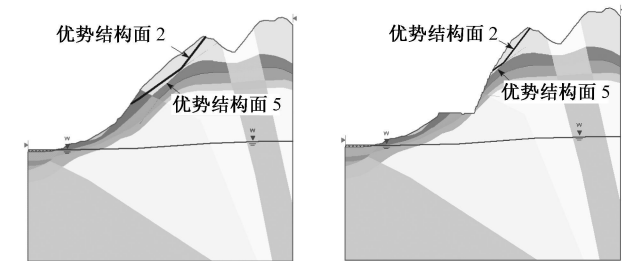


图 3 左岸边坡剖面开挖前(左)、后(右)计算模型图
Fig 3 Calculation model of slope section at the left bank before(left) and after(right) excavation

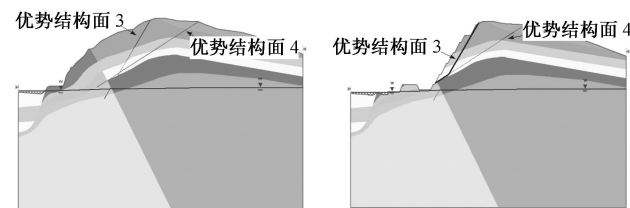


图 4 右岸边坡剖面开挖前(左)、后(右)计算模型图
Fig 4 Calculation model of slope section at the right bank before(left) and after(right) excavation

2.2 稳定性分析

采用极限平衡分析软件 Slide 中的 Morgenstern-Price 法对边坡的稳定性进行定量计算分析。得到的安全系数见表 4

从计算结果可知,左岸进水口和右岸泄洪洞边坡在天然条件的安全系数均可达到 1.1 以上,整体

比较稳定,基本不存在边坡沿着结构面滑移的危险。而未采取加固措施时,开挖后边坡的稳定安全系数显著降低,暴雨和地震等危险因素更是能引起开挖边坡失稳,特别是暴雨工况下。其中,左岸进水口边坡可能沿着优势结构面组合发生浅层滑动失稳,右岸泄洪洞边坡可能沿着优势结构面组合发生深层滑动失稳。

表 4 边坡剖面各工况下安全系数(未加固)

Table 4 Safety factors of the slope section in different operation conditions (before reinforced)					
工况		天然	开挖	暴雨	地震
安全系数	左岸边坡	1.158	0.945	0.808	0.911
	右岸边坡	1.284	1.085	0.924	1.046

2.3 加固措施建议

优势结构面理论认为,岩土工程加固(或改造不良地质体),主要是要抓住优势结构面这一关键因素,因为别的因素是通过优势结构面而起作用的。图 5(a)是理想的加固方式;(b)的缺点是没有抓住优势结构面这一关键因素,因而达不到加固的效果;而(c)虽抓住了优势结构面这一关键因素,却也有不必要的加固部分,造成浪费。

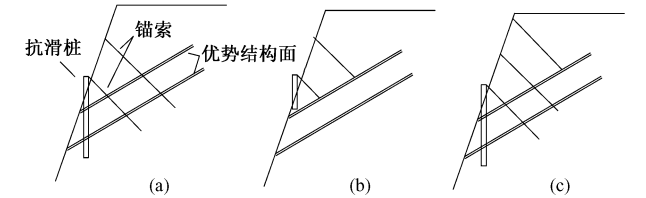


图 5 工程加固示意图
Fig 5 Schematic diagram of engineering reinforcement

根据优势结构面理论的工程加固思想,综合整个剖面的实际情况,采取以下加固优化方案:(1)左岸进水口边坡在高程为 2 390m 处布置 3 排 100t 级的预应力锚索(间距 4m,长度 30m,倾角 27°);在高程为 2 380 2 365 2 350 2 335 2 320m 五级马道下分别布置 3 排 100 t 级的预应力锚索(间距 4m,长度 30m,倾角 27°);在高程为 2 305m 马道下布置 2 排锚筋桩(间距 4m,长度 9m,倾角 27°)。

(2)右岸泄洪洞边坡在 2 225 2 210 2 195m 处的三级马道下分别布置 2 排 100 t 级的预应力锚索(间距 4m,长度 30m,倾角 27°)。在高程为 2 180m 马道下布置 2 排锚筋桩(间距 4m,长度 9m,倾角 27°)(图 6)。

进行相应的加固优化后,两个边坡剖面在各个工况下的安全稳定系数均达到了 1.15 以上(表 5),满足

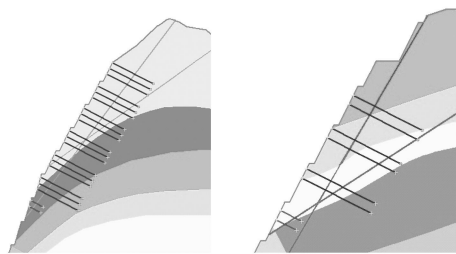


图 6 左岸(左)、右岸(右)边坡建议加固措施示意图

Fig 6 Reinforcement suggestion of the slope at the left bank (left) and the right bank(right)

稳定性要求。

表 5 边坡剖面各工况下安全系数表(加固)

Table 5 Safety factors of the slope section in different operation conditions(after reinforced)

	工况	开挖	暴雨	地震
安全系数	左岸边坡	1. 435	1. 198	1. 382
	右岸边坡	1. 436	1. 204	1. 387

3 结论

- (1)充分分析某一工程实例的地质资料,得到合理的相关参数,影响因素值(如地震)及在各指标上占据优势的结构面,为后续工作提供数据基础。
- (2)利用赤平投影图分析各优势结构面对边坡稳

定性的影响程度,得到边坡剖面相应的控稳优势面组合,并由此建立了边坡稳定分析计算模型。

(3)运用极限平衡分析软件 Slide得到边坡在各工况下的安全系数,并针对所得数据进行对比分析。抓住优势结构面理论的工程加固思想,提出相应的加固措施建议。

参考文献:

[1] 王芝银. 岩土工程发展动向 [J]. 西安矿业学院学报, 1999, 19(增刊): 1- 4.

[2] 孙玉科, 牟会宠, 姚宝魁. 边坡岩体稳定性分析 [M]. 北京: 科学出版社, 1988

[3] 钟文, 金解放, 曾芳金, 等. 基于优势结构面的矿山边坡稳定性分析 [J]. 中国矿业, 2008(4): 18- 23

[4] 罗国煜, 王培清, 吴浩, 等. 敷溪口松动变形边坡稳定性和破坏机制浅析 [J]. 湖南水利, 1981(1): 12 - 16

[5] 罗国煜, 吴浩, 王培清. 岩坡优势结构面分析理论与方法 [J]. 水文地质工程地质, 1989, 26(2): 1- 5

[6] 罗国煜. 地质灾害优势面分析理论与方法 [J]. 自然灾害学报, 1992(3): 45- 55

[7] 蒋建平, 章杨松, 罗国煜, 等. 优势结构面理论在岩土工程中的应用 [J]. 水利学报, 2001(8): 90- 96

Stability analysis of a high and steep rocky slope based on preferred plane theory

ZHU Ting¹, HUANG Y i-sheng¹, GUO Jian²

(1 Key Laboratory of Geological Hazards on Three Gorges Reservoir Area, Ministry of Education, China Three Gorges University, Yichang 443002, China;

2 China Railway 17 Bureau Group Co., LTD, Taiyuan 030006, China)

Abstract Preferred plane theory and its importance is briefly introduced here, and it is applied to the stability analysis of a high and steep rocky slope. Based on the related geological data, the planes which hold advantage in each evaluation metric are determined. By analyzing the influence degree of the preferred planes to slope stability with the stereographic projection, stability-controlling preferred plane combination is obtained and is taken into account in the calculation-analysis model of rock mass stability. Using the slide software as an analysis tool, a comprehensive stability evaluation of the slope is obtained, together with the treatment advices which the preferred planes are fully considered.

Key words preferred plane theory; stability analysis; stereographic projection; Slide software

责任编辑: 汪美华