

文章编号:1004-1478(2011)02-0094-04

岩质高边坡稳定性的有限元分析

余蓓¹, 郑玉元¹, 戚德印²

- (1. 贵州大学 资源与环境工程学院, 贵州 贵阳 550003;
2. 中国轻工业武汉设计院 岩土工程处, 湖北 武汉 430060)

摘要:为了对某工程高边坡稳定性的分析更具准确性,采用赤平极射投影法与有限元分析相结合的方法判断其稳定性,对边坡采用喷锚支护后,用FLAC3D和极限平衡法验证支护后边坡在自重作用下处于稳定状态,说明支护取得了理想的效果。

关键词:岩质高边坡;稳定性;有限元分析

中图分类号:TU432 **文献标志码:**A

The finite element analysis of high rock slope stability

YU Bei¹, ZHENG Yu-yuan¹, QI De-yin²

- (1. Inst. of Envir. and Resource, Guizhou Univ., Guiyang 550003, China;
2. Geotechnical Eng. Office, Wuhan China Light Ind. Design Inst., Wuhan 430060, China)

Abstract:To make the analysis of high side slope stability more accurate, the stability was judged using combination of red even shoots method with finite element analysis. The steady state of the side slope in the dead weight function was confirmed after using the side slope spurts the anchor supports, FLAC3D (fast lagrangian analysis of continua in 3 dimensions) and limit zero-method confirmation supports and protections. This explains that the supports and protections have made the ideal progress.

Key words: high rock slope; stability; finite element analysis

0 引言

随着经济的高速增长、交通体系的完善和城镇化进程的加快,高边坡工程的数量越来越多,规模越来越大,如:三峡水电工程船闸高边坡高170 m;黄河小浪底水电工程进水口边坡高120 m等。岩质高边坡突出的难点是无法用静力学的观点来解释这些边坡的变形和破坏过程,尤其是如何解释滑动面的形成过程,而认识这个过程是合理判断高边坡稳定性、复杂现状并预测其未来变化的重要基础和

前提^[1-3]。

FLAC3D (fast lagrangian analysis of continua in 3 dimensions) 是由美国 Itasca 公司开发基于显式差分法来求解运动方程和动力方程的连续介质力学分析软件。FLAC3D 对模拟塑性破坏和塑性流动采用的是“混合离散法”。这种方法比有限元法中通常采用的“离散集成法”更为准确合理,被广泛应用于工程中^[4-6]。

本文拟采用赤平极射投影法与有限元分析相结合的方法对某岩质高边坡进行稳定性分析,得出

收稿日期:2011-01-03

基金项目:贵州大学2010年度研究生创新基金资助项目(2010056)

作者简介:余蓓(1983—),女,河南省商城县人,贵州大学硕士研究生,主要研究方向为工程勘察及地基处理。

数值分析在查找边坡开挖后的薄弱部位及验证支护效果方面的结果。

1 研究区工程地质概况

1.1 地质构造

场地构造上位于筠连凹褶束北侧,属上四川台坳南侧与上扬子台坳北侧交界地段,该单元以发育近东西向紧密线状褶皱为主,背斜多为下古生界组成,轴部及两翼断裂较发育,轴部平缓近似对称向斜。场地岩层产状走向以东西向为主,微褶皱较发育,出露岩性主要为灰岩、砂质泥岩及泥质砂岩,构造条件较复杂。根据勘探揭露,综合分析区域地质资料,边坡勘探深度范围内地层结构由新至老为:第四系全新统素填土(Q4ml)层,第四系全新统耕植土(Q4pd)层,第四系全新统残坡积(Q4el+dl)黏土、粉质黏土层、碎石层,下伏二叠系下统梁山组(P11)灰岩、砂质泥岩及泥质砂岩。

1.2 高边坡特征

场地开挖后内涉及的边坡总长为1 578 m,高度范围8~88 m,其中岩质高边坡(高度>30 m)的有961 m,占整个边坡的60.1%,多属于层状岩质边坡。据张倬元等的研究成果^[7],研究区层状岩质边坡以缓倾顺向、中倾的顺向坡和反倾坡为主,具体特征如表1所示。

2 典型边坡稳定性分析

从表1可以看出,研究区内的岩质高边坡主要以灰岩缓倾顺向坡为主。选取研究区内典型的此类边坡进行稳定性分析。

2.1 边坡特征

代表边坡位于研究区域的东侧,开挖前坡高45 m,坡角45°,开挖后坡高72 m,坡角70°,具体情况如表2所示。

2.2 赤平极射投影稳定性分析

对边坡选取典型的剖面进行赤平投影分析如图1所示。裂隙面(面B)与岩层层面(面A)组合交线和边坡面与坡顶面倾向均相反,说明边坡的整体稳定性较好。

3 支护措施的选取及稳定性分析

研究区内此边坡整体稳定性较好,但由于开挖卸载和外动力地质作用使得水平层状里面产生众多的竖向节理。这些竖向的节理和岩层的水平结构面将岩体切割成小块体,这些块体在临空面上就成了危岩体,容易发生小规模垮塌。纵横交错的竖向和水平容易形成贯通的滑动面,从而严重影响了边坡的整体稳定性。因此,防止节理和裂隙的发展是治理边坡的关键。采用喷锚支护(边坡较高时采用分级放坡、分级支护的方式),局部石灰岩为逆倾向的地段,采用素喷混凝土进行封闭;对石灰岩上部覆盖的土层采用放坡+钢筋砼格构绿化护坡的方式可以有效地防治外动力作用引起的危岩体,从而有利于边坡的整体稳定。

边坡的支护体系如图2所示。极限平衡法计算边坡的参数及结果如下:地震加速度系数为0.100;边坡高度为73.000 m;结构面倾角为60.0°;结构面粘聚力为80.0 kPa;结构面内摩擦角为15.0°;锚杆和岩石粘结强度为200.0 kPa;总下滑力为2 026.0 kN;总抗滑力为7 120.7 kN;安全系数为3.515。

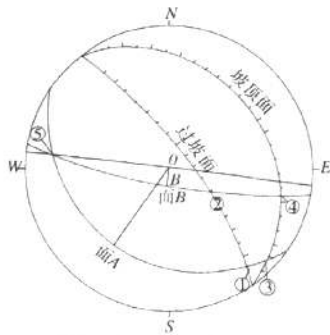
表1 研究区岩质边坡类型及破坏特征

类型	特征	破坏特征	所占比例/%	岩性
顺向坡	缓倾坡	边坡与岩层倾向相同,且 $\varphi_r < \alpha < \varphi_p, \theta < 10^\circ$	60.5	灰岩
	中倾坡	边坡与岩层倾向相同,且 $\alpha = \beta \geq \varphi_p, \theta < 10^\circ$	24.1	灰岩、砂质泥岩
反倾坡	边坡与岩层倾向相反,且 $\theta < 20^\circ$	蠕滑-拉裂、弯曲-拉裂	15.4	灰岩、泥质砂岩

注: α, β, θ 分别为岩层倾角、边坡倾角、岩层走向与边坡走向夹角; φ_r, φ_p 分别为岩层面的残余摩擦角和基本摩擦角。

表2 边坡基本特征

地层特征	主要裂隙及结构面特征	边坡类型	边坡安全等级
填土、耕土、黏性土、碎石土、石灰岩,产状 $215^\circ \angle 23^\circ$	1)沿层面裂隙贯穿岩层,张开,2.0~5.0 m/条; 2)裂隙 $82^\circ \angle 86^\circ, 1.0 \sim 2.0$ m/条,张开裂隙,无充填物,延伸2~3 m; 3)裂隙 $190^\circ \angle 75^\circ, 2.0 \sim 3.0$ m/条,张开裂隙,充填物,延伸2~3 m	开挖后,均为岩质边坡,岩体较完整,岩体类型Ⅲ	一级



结构面	倾向A(°)	倾角(°)
坡顶面	52.63	20.00
过坡面	52.63	75.00
平面A	215.00	23.00
平面B	190.00	75.00
交线①	320.85	6.61
交线②	301.31	53.60
交线③	313.13	3.44
交线④	283.53	12.93
交线⑤	96.93	11.29

制定岩体稳定性

1. 滑动方向, 沿一条倾向线方向滑动
2. 稳定类型, 最稳定的

图1 典型剖面的赤平投影分析

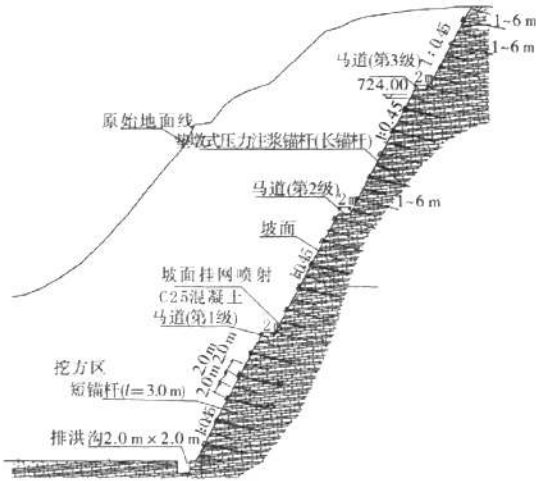


图2 边坡的支护体系

4 有限元(FLAC3D)稳定性分析

采用有限元软件 FLAC3D 进行稳定性分析。模型宽 50 m, 高 73 m, 开挖深度为 62 m。模型共划分 26 260 个单元, 29 997 个节点, 土层及网格划分见图 3, 其中 qrock, rock 为强分化和中分化灰岩, soil₁, soil₂, soil₃, qsoil 为上覆土层。

图 4 为自重应力下水水平移云图, 图 5 为无支护条件下水平移云图, 图 6 为支护条件下水平位

移云图。从 FLAC3D 有限元分析来看, 与赤平投影分析结果相同, 边坡在自然状态下处于较稳定状态 (图 5)。从图 6 中可以看到采用支护措施后坡面的

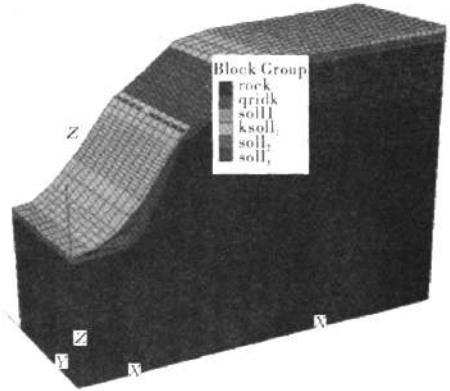


图3 模型土层及网格划分

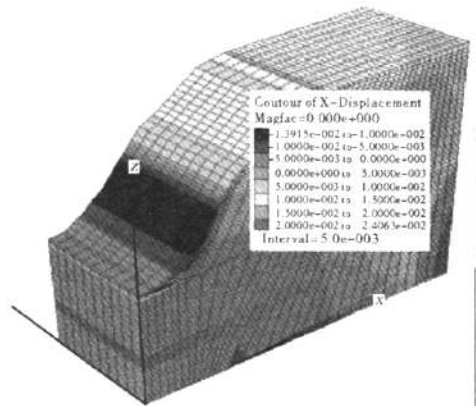


图4 自重应力下水水平移云图

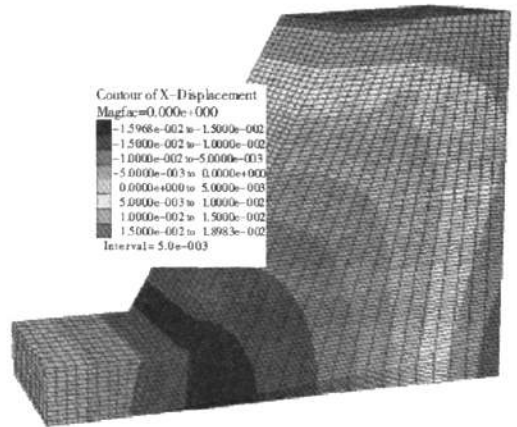


图5 无支护条件下水平移云图

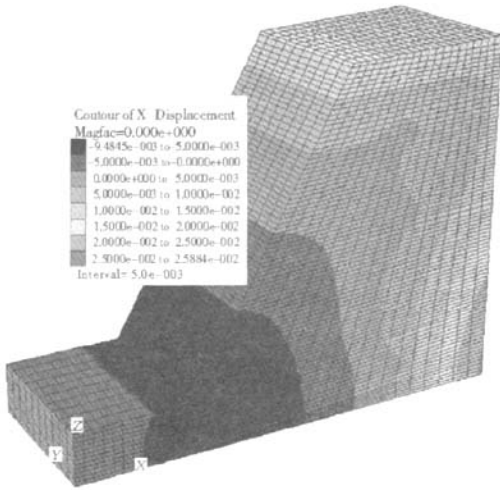


图6 支护条件下水平位移云图

水平位移较支护前(图5)明显减少.说明,喷锚支护体系在限制开挖卸载引起的位移方面有显著的效果,在防止节理和裂隙的发展方面起到了关键的作用.

5 结论

对于岩质高边坡仅仅采用极限平衡法进行定量分析不仅显得盲目,而且会大大增加边坡稳定性分析的工作量.而单一的定性分析方法得出的结论

不一定完全准确,采用定性分析与定量分析相结合的方法对岩质边坡进行稳定性分析,并运用FLAC3D进行验证支护后的效果,大大提高了评价结果的准确性.本文通过FLAC3D验证支护后的效果,与极限平衡法计算结果一致,用两种方法同时验证支护效果,使结果更为安全,同时也为数值分析在工程中的应用提供了一定的依据.

参考文献:

- [1] 吴曙光.建筑岩质边坡稳定与控制研究[D].重庆:重庆大学,2005.
- [2] 高大钊.岩土工程的回顾与前瞻[M].北京:人民交通出版社,2001.
- [3] 黄润秋.岩石工程高边坡稳定性研究的某些理论与实践问题探讨[C]//岩土工程青年专家学术论文集,北京:中国建筑工业出版社,1998:318-328.
- [4] 孟厦.FLAC前处理程序开发及其工程应用研究[D].淮南:安徽理工大学,2009.
- [5] 冯涛,王春雷,张友谊.边坡稳定性分析的FLAC数值模拟法[J].路基工程,2006(6):89.
- [6] 王向东,文江泉.用FLAC-3D进行土质高边坡稳定性分析[J].西华大学学报:自然科学版,2005,24(3):87.
- [7] 张倬元,王士天,王兰生.工程地质分析原理[M].2版.北京:地质出版社,1994.