ISSN 1005 - 2763
CN 43 - 1215/TD

矿业研究与开发 第 27卷 第 4期
MINING R &D, Vol 27, No. 4

2007年 8月
Aug 2007

岩质高陡边坡结构特征及变形特征分析*

田景富[1],刘 宏[1],金仁祥[2]

(1. 贵州大学 喀斯特环境与地质灾害防治教育部重点实验室, 贵州 贵阳 550003;
2. 浙江大学 建筑工程学院, 浙江 杭州 310027)

摘 要:营盘山高陡边坡最大坡高 110 m,沿坡面走向宽 400 m,是典型的缓倾内层状岩质高边坡。利用离散单元方法(DEM),模拟分析了该岩质边坡采石切坡前及采石切坡后的变形破坏及其演变过程。

关键词:高陡边坡;离散单元法;数值模拟
中图分类号: TD854. 6 **文献标识码**: A
文章编号: 1005 - 2763(2007)04 - 0032 - 03

Analysis on the Structure Characteristics and Deformation Behavior of a High and Steep Rock Slope

Tian Jingfu[1], *Liu Hong*[1], *Jin Renxiang*[2]

(1. Key Laboratory of Karst Environment and Geological Hazard Prevention, Ministry of Education, Guizhou University, Guizhou, Guiyang 550003, China; 2. School of Architecture and Civil Engineering, Zhejiang University, Hangzhou, Zhejiang 310027, China)

Abstract: Yingpangshang high and steep slope with the maximum height of 110m and the slope face width of 400m is one typical low - angle stratofabric rock slope. The deformation failure and evolution of the rock slope before and after the excavation was simulated by discrete element method (DEM).

Key Words: High and steep slope, Discrete element method, Numerical simulation

1 高陡边坡地质概况

1.1 地形地貌

营盘山高陡边坡位于岷江北岸,最大坡高 110 m,沿坡面走向宽约 400 m。沿剖面方向可分为 3段(见图 1),上部为天然陡崖,高 40～65 m,坡度为 60°～70°;局部为凹岩腔;陡崖坡脚为斜坡地带,宽 40～100 m,坡度 25°～35°;斜坡前缘下方为近于直立的人工采石陡壁,高 10～15 m。

1.2岩土体物理力学特征

营盘山陡崖边坡砂岩样测试结果见表 1。砂岩和碎块石土力学性质较好,抗剪强度较高。

表 1 岩土体物理力学参数

岩石名称	风化程度	天然密度 (g/cm^3)	单轴抗压强度 (MPa)	内聚力 C (MPa)	内摩擦角 φ (°)
砂岩	微风化	2. 45～2. 53	87. 1～95. 5	6. 0	48
碎块石	-	1. 74	-	0. 027～0. 032	23. 9～26. 8

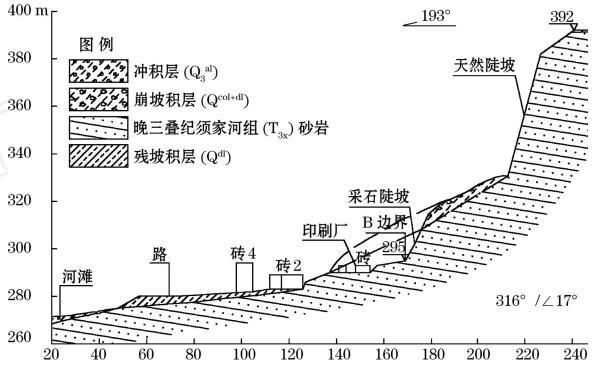


图 1 营盘山高陡边坡 B3 - B3地质剖面略图

2 高陡边坡结构特征

2.1 天然陡崖与采石陡壁岩体结构特征

该高陡边坡的岩层面产状较稳定(304°∠22°);可见 3组节理,第 1组较发育,产状 190°∠71°,节理间距 1. 8～2. 4 m,以陡倾角切穿层面,地表可见迹长大于 5～15 m,由于该组节理较发育,易于形成阶梯状坡面;第 2组和第 3组不发育,受岩层面控制,产状分别为 152°∠53 和 94°∠72°,可见迹长一般小于 1～2 m,间距约 10 m。RQD取值范围为 80%～89. 0%,岩体完整性系数在 0. 75以上。

此外,高陡边坡层面间常有夹层分布,但其结构类型属于岩块岩屑型硬性结构面,物质组分由碎块岩屑为主,仅含少量泥质物,边坡整体干燥,仅局部

* 收稿日期: 2006 - 07 - 19
基金项目:贵州大学研究生创新基金(IFkarst200605).
作者简介:田景富(1982 -),男,贵州六枝人,硕士研究生,从事机场高填方填料特性及其沉降变形规律研究, Email: seaflying1001@163. com。

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

滴水。

因此,该高陡边坡岩体质量较好,地质力学分类(RMR)总分为 62.9～69.4,属 II类岩体。

2.2 崩积体结构特征

中部斜坡上的崩积体是区内仅有的崩积体,是由上部陡崖边坡崩塌后堆积于坡脚形成。该崩体积厚度较小,约 5～10 m,土体已轻微钙质胶结,且崩积体底部与基岩的接触面呈阶梯状。但由于崩积体前缘采石切割,致使崩积体前缘厚 3～5 m碎块石土出露于陡坎顶部,稳定性有所降低,并发生过块石滚落灾害。

3 变形破坏特征分析

3.1 离散元模型建立及参数选取

计算选取 B3 - B3剖面作为计算模型。离散单元的划分如图 2所示,图中 1,2,3为跟踪点,模型两侧为 X方向约束边界,底部为 Y方向边界,坡面为自由边界。采用摩尔 - 库仑本构模型。据试验成果,并结合工程经验类比,选取表 2所示的边坡岩体主要参数,计算中所用各接触面参数见表 3。

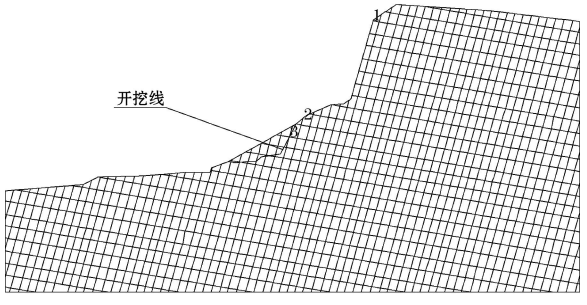


图 2 岩质边坡计算模型

表 2 岩体主要计算参数

名称	天然密度 (kg/cm^3)	体积模量 K(GPa)	剪切模量 G(GPa)	内聚力 C(MPa)	内摩擦角 (°)
基岩	2600	90	50	1.8	45
强风化基岩	2400	5	2	0.8	32
崩积体	2100	0.9	0.6	0.2	20

表 3 层面、节理面主要计算参数

名称	法向刚度系数 JKN (GPa/m)	切向刚度系数 JKS (GPa/m)	内摩擦角 (°)
基岩	5	0.8	35
强风化基岩	0.3	0.05	28
崩积体	0.006	0.009	20

为重现边坡在漫长的地质历史时期的演进过程,及边坡经人工采石扰动后的发展演化过程,选取以下两种计算方案:

(1) 方案 I。采石切坡前,边坡演进过程模拟,共迭代 5000次时步;

(2) 方案 II。边坡演进过程模拟,共迭代 10000时步,其中前 5000次时步为采石切坡前边坡演进过程模拟,与方案 I相同,从 5001次时步迭代开始,为边坡经采石切坡后演进过程数值模拟。

3.2 模拟结果分析

(1) 边坡在演进过程中,采石切坡前、后的应力迹线形状基本一致,仅陡崖坡脚的崩积体有微小变化,表明在陡崖坡脚的采石切坡活动,对于后方陡崖边坡整体力学环境无较大影响,仅对陡崖坡脚崩积体有一定影响,其主要原因是边坡岩体为厚 ～巨厚层状缓倾内结构,仅发育一组间距较大的陡倾节理,且在边坡顶部与坡面近于平行,但到陡崖坡脚以下,由于坡度变缓,陡倾节理以陡倾方式向地下延伸,形成板梁受力结构体系,低高程处的采石活动未改变陡岩边坡的受力结构,对边坡整体稳定性影响十分微弱。

(2) 采石切坡前,边坡已发生较大位移 (见图 3),最大位移值发生于印刷厂崩积体中部厚度最大部位,最大值约 4.2 cm,位移方向以铅直向为主,兼有一定的坡外位移,显示了崩积体在重力作用下,土体变形以压缩变密为主,以及崩积体与基岩面间阶梯状接触面的影响;位移量值较大的区域为陡崖边坡浅表部卸荷与风化带,位移方向仍以铅直方向为主,而坡外水平方向的位移量值相对较小,表明边坡岩体的弱卸荷作用;而在坡体一定深度部位的新鲜岩体,位移量值最小,位移方向虽以铅直向为主,但与边坡浅表部有所不同,水平方向的位移量稍向坡内偏转,表明未经卸荷的新鲜岩体在沿缓倾内层面上有坡内方向的应力分量,并在此应力分量作用下,岩体向坡内方向发生变形和位移,利于边坡整体稳定。

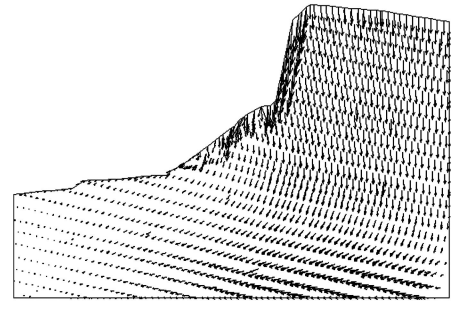


图 3 采石切坡前迭代 5000次时步累计位移矢量

(3) 对比采石切坡前、后边坡的位移矢量图

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

(图 3和图 4)可知,采石切坡后,边坡岩体发生的位移量值相对较小,其最大值发生于采石切坡陡面上的碎块石土体单元上,最大位移值约 0.6 cm,以向坡外水平方向位移为主,表明采石切坡对崩积体稳定性有较大影响;而其余岩体新发生的位移量值较采石切坡前小,表明后方边坡受下方采石切坡影响较小,且边坡岩体处于缓慢的卸荷和风化演进阶段。陡崖坡顶所跟踪岩块单元 1,在过去边坡演进过程中,曾有一定量的向坡外水平方向位移(图 5(a)),但随着迭代时步增加,坡外水平方向位移逐渐趋于稳定(图 6(a)),铅直方向位移也表现出同样的位移特征,且位移量值较水平方向大(图 5(b)、图 6(b))。因此,陡崖边坡无发生较大规模的崩塌、滑坡的位移特征显示。

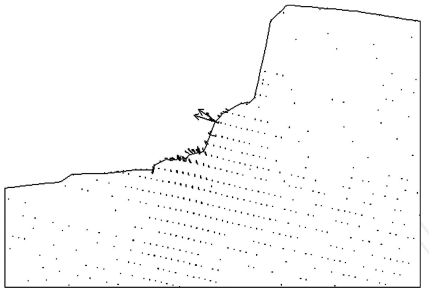
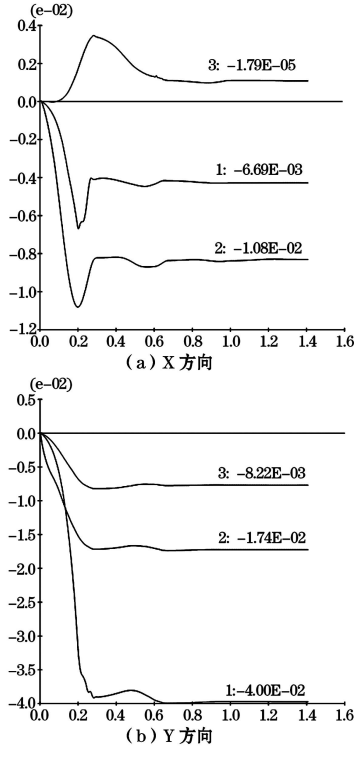
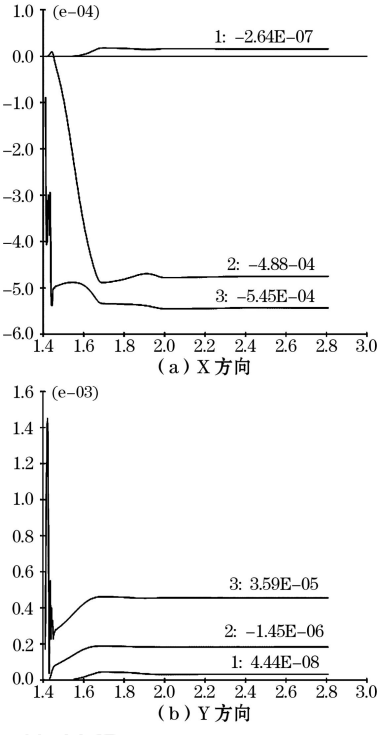


图 4 采石切坡后迭代 5000次时步累计位移矢量



(图中编号 1, 2, 3为跟踪块体的编号)

图 5 采石切坡前迭代 5000次时步指定块体位移历时曲线



(图中编号 1, 2, 3为跟踪块体的编号)

图 6 采石切坡后迭代 5000次时步指定块体位移历时曲线

(4)位于印刷厂崩积体上的碎块石土跟踪体单元 2,前期和后期均表现为一定量的向坡外水平位移和铅直方向位移,且前期位移量值大于后期位移量值,表明初期碎块石土体较为松散,岩体发生过一定的压缩密实变形,后期,由于采石切割,稳定性有所降低,而发生一定的水平位移,但位移量值较前期的密实变形量值还小。故在不考虑强降雨和较强地震等因素,崩积体仍处于较稳定状态。

4 结 论

(1) 营盘山高陡边坡可划分为 3段,即上部天然陡崖、中部斜坡地带和下部采石陡壁;缓倾内结构体系及良好的岩体质量(RMR 岩体质量分级为 II 类岩体),是上部天然陡崖和下部采石陡壁最主要结构特征,与之相应的是边坡卸荷与风化作用较弱,演进过程缓慢,较大规模崩塌、滑坡等地质灾害发生周期漫长。

(2) 陡崖坡脚的采石切坡活动,对于后方陡崖边坡整体力学环境无大的影响,仅对陡崖坡脚崩积体有一定影响。

(3) 采石切坡对崩积体稳定性有较大影响,后方边坡受下方采石切坡影响较小,且边坡岩体处于

(下转第 53页)

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

示代码中英双向查询,并支持用户自定义字典编辑、存储、查询等。该模块主要利用概念模型字典、字段属性字典、术语代码属性字典及数据约束字典等多种数据字典,来维护图层结构、字段代码、字段提示代码的正确性,不仅支持中英文双向查询和用户自定义字典查询,还可以进行各种编辑、输出。

3 系统实现

基于 MapGIS成矿地质信息提取与分析系统是基于 MapGIS6.5SDK(二次开发函数库)和 API函数类库用 VisualBasic6.0进行二次开发的,其核心是利用 MapGIS的控件对工作区进行各种操作,主要对工作区中的内容进行添加、修改、删除、检索等操作。具体地说: EditView控件负责工作区空间数据的显示与编辑的; GISAttEdit控件负责工作区属性数据的显示与编辑; AttStruEdit控件负责工作区属性结构的显示与编辑; MapTreeCtrl控件负责工程和文件的组织与控制[1,2]。

4 系统应用

西藏冈底斯火山-岩浆弧带是我国重要的金、铜矿成矿远景区带。它有望成为我国战略性矿产资源勘查和开发的接替基地[3,4],其资源前景一直倍受国内外关注,然而西藏冈底斯成矿带工作程度低,很多空间数据库建立得极不规范,为成矿地质信息提取带来了很大的困难,利用成矿信息提取系统可以很好的解决这些问题。

在进行西藏冈底斯斑岩铜矿预测评价时,利用该系统进行了如下工作:

(1) 创建了标准的多元信息地质图空间数据库、成矿规律空间数据库、矿产预测评价数据库等数据库结构(标准的图层命名、标准的图层属性结构、属性字段代码);

(2) 基于地质图空间数据库的面文件,根据图元参数和典型矿床研究提取了的控矿地层和岩浆岩,并自动添加到多元信息地质图空间数据库中;

(3) 基于地质图空间数据库的线文件,根据图元参数和典型矿床研究,提取了控矿构造,进行了断裂缓冲区分析,并自动添加到成矿规律空间数据库;

(4) 根据国标,修改和添加了多元信息地质图空间数据库、成矿规律空间数据库、矿产预测评价数据库等的属性;

(5) 为空间数据库生成了统一风格的图名、指北针、比例尺和责任表;

(6) 对地球化学、地球物理的数据进行统计分析,了解其分布特征,并把属性输出到 Excel进行再分析。应用效果表明,该系统不仅保证了矿产预测评价空间数据库的标准化与规范化,而且大大提高成矿地质信息提取的效率。

5 结 论

基于 MapGIS成矿地质信息提取系统有效的解决了地质人员与信息人员编图的障碍和数据的标准化与规范化问题。地质专业人员利用该系统能方便的进行成矿地质信息提取与分析,利用国标、863标准、字段术语代码、字段提示代码来保证图层、字段、字段值的标准化与规范化;并提供空间图元、图层结构、字段代码、字段提示代码的辅助编辑和整饰图层编辑功能。

参考文献:

[1] 中地数码有限公司. MapGIS二次开发手册[M]. 武汉: 2003.

[2] 中地数码有限公司. MapGIS地理信息系统使用手册[M]. 武汉: 2002.

[3] 侯增谦,曲晓明,黄 卫. 冈底斯斑岩铜矿成矿带有望成为西藏第二条"玉龙"铜矿带[J]. 中国地质, 2001, 28(10): 27～29, 40.

[4] 曲晓明,侯增谦,黄 卫. 冈底斯斑岩铜矿成矿(化)带:西藏第二条"玉龙"铜矿带[J]. 矿床地质, 2001, 20(4): 355～366.

(上接第 34页)

缓慢的卸荷和风化演进阶段;陡崖边坡无发生较大规模的崩塌、滑坡的位移特征显示。

(4) 位于印刷厂后方的崩积体,初期碎块石土体较为松散,岩体发生过一定的压缩密实变形,后期,由于采石切割,稳定性有所降低,但在不考虑强降雨和较强地震等因素下,崩积体仍处于较稳定状态。

参考文献:

[1] 黄润秋,邓荣贵. 高边坡物质运动全过程模拟[M]. 成都:成都科技大学出版社, 1993: 1～2

[2] 王思敬,黄鼎成. 中国工程地质世纪成就[M]. 北京:地质出版社, 2004: 330～342.

[3] 王在泉. 岩石高边坡岩体结构特征及其工程控制研究[J]. 中国矿业大学学报, 1997, 26(3): 79～80.

[4] 唐辉明,宴鄂川,胡新丽. 工程地质数值模拟的理论与方法[M]. 北京:中国地质大学出版社, 2001: 145～158.

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net