

# 滑坡体下挂帮矿开采方案与分析

李 辉<sup>1</sup>, 邓建辉<sup>2</sup>

(1. 中国科学院 岩土力学重点实验室, 湖北 武汉 430071; 2. 四川大学 水力学与山区河流开发保护国家重点实验室, 四川 成都 610065)

**摘要:** 象鼻山采区是大冶铁矿东露天采场拟开采的 4 个挂帮矿开采点之一, 其地质条件复杂, 北帮边坡曾经发生过滑坡。挂帮矿的开采是否会诱发古滑坡体的再次失稳, 如何保证挂帮矿资源的安全回收, 是采矿作业不可回避的问题。简要介绍采区边坡的地质条件和滑坡历史, 预测挂帮矿开采期间边坡的稳定状况, 提出利用预留矿石挡墙控制边坡变形与稳定的开采方案, 采用 FLAC<sup>3D</sup> 软件进行计算, 并对开采顺序进行优化。开采结果表明, 预留矿石挡土墙方案可以提高边坡的稳定性, 开采期间没有发生灾难性滑坡, 但变形量级远大于分析结果。

**关键词:** 数值分析; 挂帮矿; 滑坡体; 开采方案

**中图分类号:** O 241

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000 - 6915(2006)05 - 0985 - 06

## MINING SCHEME AND ITS ANALYSIS OF A HANGING-WALL ORE BELOW A LANDSLIDE

LI Hui<sup>1</sup>, DENG Jianhui<sup>2</sup>

(1. Key Laboratory of Rock and Soil Mechanics, Institute of Rock and Soil Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Wuhan, Hubei 430071, China; 2. State Key Laboratory of Hydraulics and Mountain River Engineering, Sichuan University, Chengdu, Sichuan 610065, China)

**Abstract:** Xiangbishan is one of the four sites for hanging-wall ore mining in the east open pit of Daye Iron Mine. Its geological condition is unfavorable and a landslide occurred once in its north slope. The hanging-wall ore to be mined is just located below the old slide, so whether the slide will be reactivated and how to control its deformation and stability are the key issues to be solved during mining operation. The geological condition and landslide history of the north slope are briefly introduced. It is predicted that the slope stability will be further worsened during the hanging-wall ore mining operation; so a mining scheme is proposed, which will keep some iron ore and use it as a retaining wall to control the deformation and stability of the slide. FLAC<sup>3D</sup> is used to verify the feasibility of the above scheme and optimize the mining sequence. The scheme is proved to be successful by mining practice and the iron ore retaining wall can efficiently improve the slope stability with no disastrous landslide occurring during mining operation. However, the measured deformation is greater than the predicted one.

**Key words:** numerical analysis; hanging-wall ore; landslide; mining scheme

## 1 引 言

大冶铁矿东露天坑自西向东由象鼻山、狮子山和尖山 3 个矿段组成, 经过 40 余年的开采, 已于

2000 年闭矿, 其境界外矿量将使用地下开采回收<sup>[1]</sup>。为实现露天转地下的顺利过渡, 矿山拟开采回收露天坑的部分挂帮矿资源<sup>[2, 3]</sup>, 象鼻山采区是大冶铁矿拟开采的 4 个挂帮矿开采点之一。

象鼻山采区的地质条件复杂, 其北帮边坡曾于

**收稿日期:** 2004 - 12 - 15; **修回日期:** 2005 - 03 - 23

**基金项目:** 国家重点基础研究发展规划(973)项目(2002CB412702)

**作者简介:** 李 辉(1981 -), 男, 硕士, 2005 年于中国科学院武汉岩土力学研究所获硕士学位, 主要从事滑坡灾害方面的研究工作。E-mail: rc39@sohu.com

1979 年 7 月 11 日发生了约  $7 \times 10^4 \text{ m}^3$  的滑坡，开采工作被迫终止，并于 1980 年提前闭坑，并回填采坑至高程 60 m 以维持边坡稳定<sup>[4]</sup>。挂帮矿的开采是否会诱发原滑坡体的再次失稳，如何保证挂帮矿资源的安全回收，是采矿作业不可回避的问题<sup>[1, 5]</sup>。

本文简要介绍了采区边坡的地质条件和滑坡历史，预测了挂帮矿开采期间边坡的稳定状况，提出了利用预留矿石挡墙控制边坡变形与稳定的开采方案，采用 FLAC<sup>3D</sup> 软件<sup>[6, 7]</sup>进行计算，并对开采顺序进行优化。象鼻山的开采工作已于 2003 年 7 月结束，安全回收挂帮矿资源  $3.84 \times 10^5 \text{ t}$ 。

## 2 开采地质条件

图 1, 2 分别为象鼻山北帮边坡的工程地质平面图和 1-1 纵剖面图(图 1 中坐标为大地坐标)。从图 1, 2 可以看出，象鼻山北帮边坡自上而下出露的地层<sup>[5, 8, 9]</sup>为：人工堆积物( $Q_h$ )，强风化透辉石闪长岩( $\delta_w^5$ )，高岭土绿泥石化闪长岩( $\delta_{kc}^2$ )，铁矿体(Fe)，透辉石闪长岩( $\delta^5$ )。其中， $\delta^5$ , Fe 为块状结构，其强度和完整性都较好。

北帮边坡构造复杂，F25 断层是区内关键性结构面。该断层规模大、延伸长且深，产状为  $N30^\circ \sim$

$40^\circ W/SW \angle 75^\circ \sim 80^\circ$ ，破碎带宽度为 30~33 m，如将断层影响带计算在内破碎带宽度可达 40~50 m。断层岩性极不均匀，在挤压破碎和成矿热液作用下闪长岩体发生强烈蚀变，岩体成碎块状，节理、劈理发育，故岩体整体性差，强度低。断层破碎带内小断层和节理也十分发育。

北帮边坡稳定问题受 F25 断层控制。自 1979 年 7 月发生滑坡至今，原开采台阶已荡然无存，目前自然边坡坡角上部为  $30^\circ \sim 48^\circ$ ，下部为  $64^\circ \sim 68^\circ$ ，呈上缓下陡的凸形坡。挂帮矿开采范围为位于老滑坡体下高程 36~18 m 处的铁矿体，其开采过程实际上是边坡加深加陡的过程。工程类比分析、地质力学分析和数值分析结果均表明，边坡的稳定性较差<sup>[5, 8, 9]</sup>。因此，需要制定合理的开采方案控制边坡的变形，以提高边坡的稳定性。

## 3 开采方案论证

### 3.1 开采方案

由于挂帮矿矿量不大，开采时间较短，开采之前对边坡进行大规模削方减载或加固在经济上是不合理的。因此，需要寻求一种通过调整开采工艺控制边坡变形与稳定的方法，以保障开采期间的人员

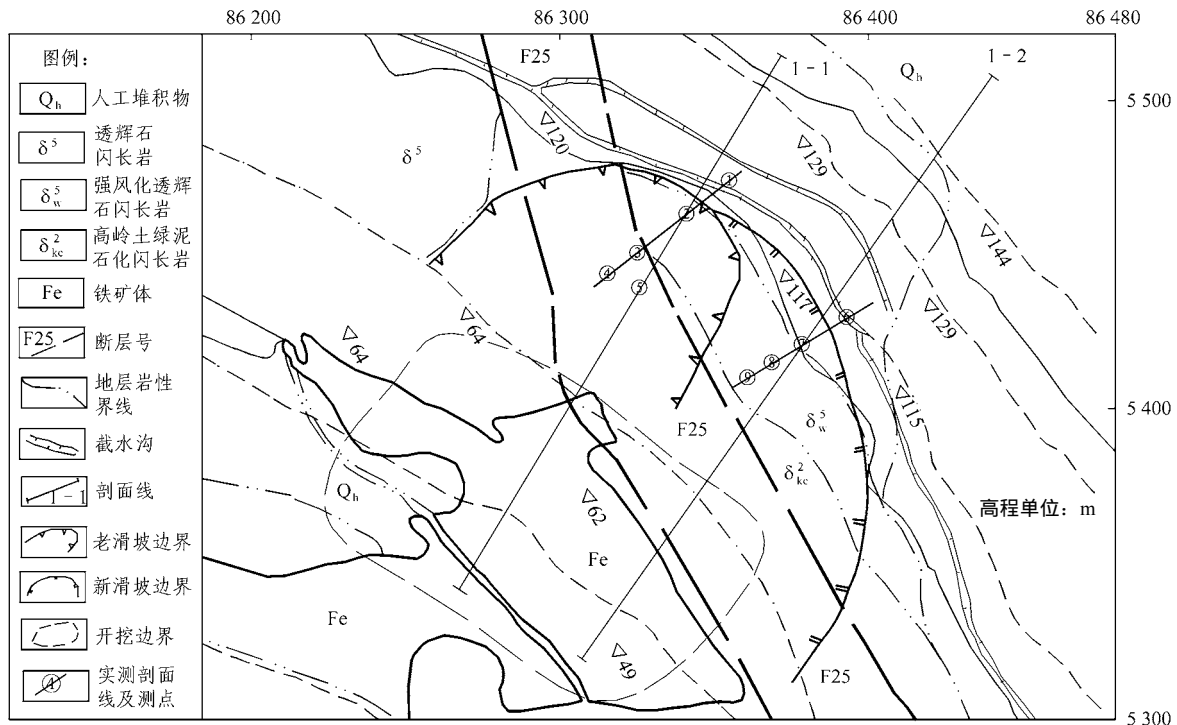


图 1 工程地质平面图

Fig.1 Plan of engineering geology

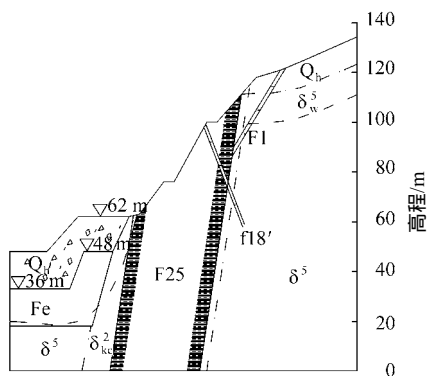


图 2 1 - 1 纵剖面图

Fig.2 Longitudinal cross-section 1 - 1

和设备安全。

根据地质调查结果，磁铁矿体的强度较高，完整性较好，预留 4~6 m 矿体构成矿石挡土墙有可能起到控制边坡变形与稳定的作用。下面将应用 FLAC<sup>3D</sup> 对该方案进行计算。

### 3.2 矿石挡土墙作用分析

开采方案剖面及观测点布置如图 3 所示，开采方案如下：

方案 1：开采至高程 18 m，铁矿全部采完，不预留铁矿体作为挡墙；

方案 2：开采至高程 18 m，坡脚预留 4~6 m 厚铁矿体作为挡墙。

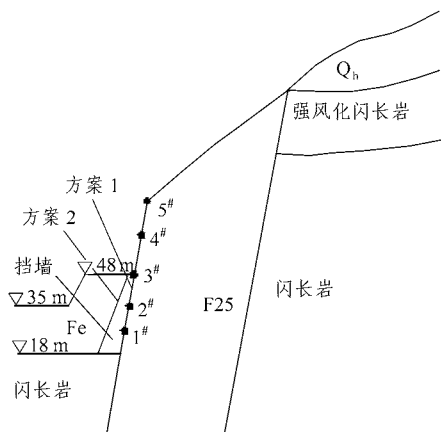


图 3 开采方案剖面及观测点布置

Fig.3 Mining schemes and control points

计算范围为 280 m×310 m×247 m，x 轴正向方位角为 145°，取值范围为 0~280 m；y 轴正向方位角为 35°，取值范围为 -30~280 m；z 轴正向为竖直向上，取值范围为 -50~197 m。计算模型对型地质条件作了适当的简化，高岭土绿泥石化闪长岩 ( $\delta_{kc}^2$ ) 的性质与 F25 断层类似，合并为同一种材料。

计算共考虑了 5 种地质材料：人工堆积物( $Q_h$ )、F25 断层、强风化透辉石闪长岩( $\delta_w^5$ )、透辉石闪长岩( $\delta^5$ )、铁矿(Fe)。计算模型如图 4 所示。各地质材料全部用四面体网格进行划分，计算参数如表 1<sup>[5, 9, 10]</sup>所示。约束边界条件均为位移边界条件，即在  $x = 0$  m 和  $x = 280$  m 边界上施加  $x$  轴方向的位移约束；在  $y = -30$  m 和  $y = 280$  m 边界上施加  $y$  轴方向的位移约束；在  $z = -50$  m 边界上施加  $z$  轴方向的位移约束。

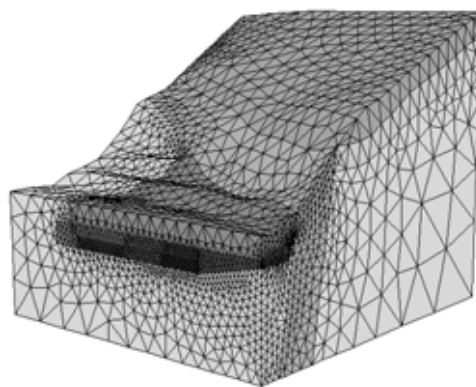


图 4 计算模型

Fig.4 Calculational model

计算时不考虑构造应力，只考虑重力；所有四面体单元均采用理想弹塑性本构模型，即 Mohr-Coulomb 屈服准则。具体的计算方法是先在未开挖的情况下采用 FLAC<sup>3D</sup> 软件计算至平衡状态；然后将位移置零，并将开挖单元置空单元，继续计算，得到新的应力场及位移等计算结果。

两种方案的观测点(见图 3)位移值如表 2 所示，位移矢量对比如图 5 所示，塑性区对比如图 6 所示。最大位移出现在 F25 断层内，方案 1 最大位移为 812 mm，方案 2 最大位移为 63 mm。两种方案位移之间有量级差别，说明预留 4~6 m 厚铁矿体作为挡土墙能有效地控制边坡的位移量和塑性区范围，提高边坡的稳定性。

## 4 开采顺序的优化

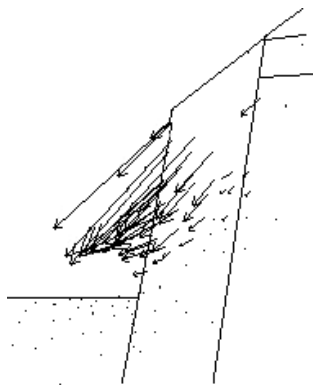
高程 18~36 m 处铁矿体原计划分 2 层开采，开采顺序如图 7 所示，即按开挖步 1, 2, ..., 12 顺序开采。由于开挖步 2 和 4 将使老滑体的坡角较早暴露，同时开采爆破对边坡岩体由扰动作用，因此生

表 1 计算参数<sup>[5, 9, 10]</sup>  
Table 1 Calculational parameters<sup>[5, 9, 10]</sup>

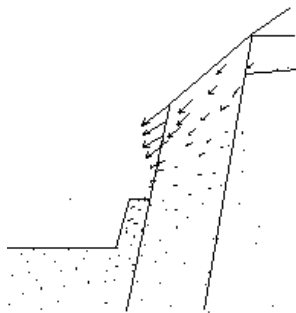
岩性	密度 $\rho / (\text{kg} \cdot \text{m}^{-3})$	变形模量 $E/\text{GPa}$	泊松比 $\nu$	抗剪强度		抗拉强度 $R_t/\text{kPa}$
				$c/\text{kPa}$	$\varphi/(\text{°})$	
透辉石闪长岩	2 750	20	0.24	550	40	700
强风化透辉石闪长岩	2 550	5	0.30	250	34	0
铁矿	4 200	25	0.24	500	40	500
F25 断层	2 450	3	0.30	60	25	0
人工堆积物	2 450	1	0.34	15	23	0

表 2 观测点位移值  
Table 2 Displacements of observation points mm

观测点	方案 1			方案 2		
	y 轴方向位移	z 轴方向位移	总位移	y 轴方向位移	z 轴方向位移	总位移
1 <sup>#</sup>	-20.6	-13.48	25	-4.34	-3.89	6.0
2 <sup>#</sup>	-183.4	-121.90	234	-9.24	-6.02	11.5
3 <sup>#</sup>	-342.0	-280.40	451	-19.30	-12.70	23.8
4 <sup>#</sup>	-433.8	-433.30	618	-33.90	-20.60	40.2
5 <sup>#</sup>	-620.1	-496.70	812	-48.60	-39.10	63.3



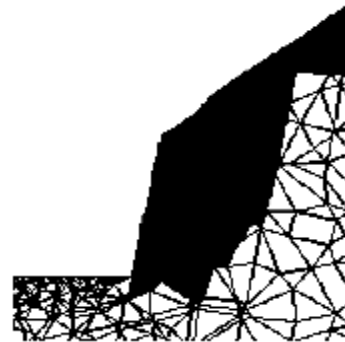
(a) 方案 1(最大位移 812 mm)



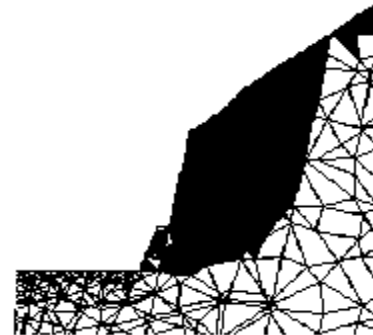
(b) 方案 2(最大位移 63 mm)

图 5 位移矢量对比图

Fig.5 Comparison of displacement of vectors



(a) 方案 1(阴影表示塑性状态)



(b) 方案 2(阴影表示塑性状态)

图 6 塑性区对比图

Fig.6 Comparison of plastic zones

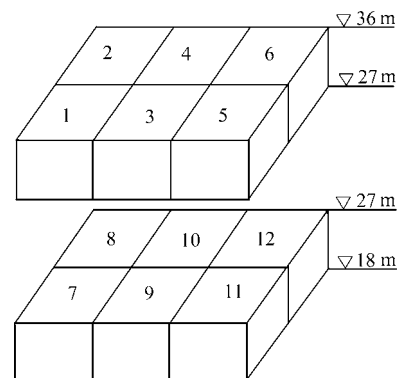


图 7 开采顺序示意图

Fig.7 Schematic diagram of mining sequences

产过程中对开采顺序进行了调整, 即每层开采采用缓靠帮的策略控制边坡的变形。调整后按开挖步 1, 3, 5, 2, 4, 6, 7, 9, 11, 8, 10, 12 顺序开采。两种方案 5<sup>#</sup>观测点位移及总位移对比图分别如表 3 和图 8 所示。从表 3 和图 8 中可以看出, 调整后虽然不能减少边坡的总变形量, 但是可以延缓边坡变形发展的时间, 对安全回采是有利的。

表 3 5<sup>#</sup> 观测点位移

Table 3 Displacements of the observation point No.5 mm

开挖步	方案 1			方案 2		
	y 轴方向位移	z 轴方向位移	总位移	y 轴方向位移	z 轴方向位移	总位移
1	20.404	14.861	25.715	20.404	14.861	25.715
2	26.440	19.787	33.635	20.413	14.853	25.718
3	26.452	19.782	33.642	20.420	14.851	25.722
4	29.010	21.976	37.051	26.609	19.897	33.841
5	29.021	21.978	37.061	29.096	22.034	37.157
6	29.492	22.370	37.681	29.532	22.397	37.731
7	29.591	22.435	37.802	29.627	22.459	37.847
8	38.824	30.426	50.158	29.805	22.591	38.071
9	38.860	30.445	50.183	29.919	22.676	38.215
10	45.906	36.743	59.700	39.104	30.626	50.491
11	46.070	36.884	59.918	46.013	36.805	59.825
12	48.612	39.114	63.324	48.550	39.034	63.227

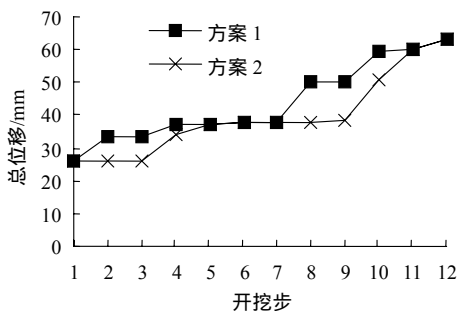


图 8 5<sup>#</sup> 观测点总位移对比图

Fig.8 Comparison of displacements of observation point No.5

### 5 实施效果

象鼻山采区 2001 年开始剥离回填废石, 2002 年底回采至高程 36 m 时老滑坡体开始出现加速变形迹象, 后缘出现拉裂缝, 并不断向东侧发展(见图 1)。其中 5<sup>#</sup>观测点实际监测位移达到了 8 m<sup>[5, 8]</sup>,

远远大于图 8 的预测变形。原因在于图 8 的变形是基于连续介质理论的分析结果, 而监测位移反映的是边坡岩体的失稳变形。但是至 2003 年 7 月回采结束, 矿石挡土墙依然屹立, 有效地阻止了大规模滑坡的发生, 安全回收铁矿石 3.84×10<sup>5</sup> t。

### 6 结 论

从数值分析和实际实施效果来看, 可以得出以下结论:

(1) 相对于不预留铁矿体作为挡墙的方案 1, 预留 4~6 m 厚铁矿体作为挡墙的方案 2 能显著地控制边坡的位移量, 对提高边坡的稳定性具有明显的作用。

(2) 开采铁矿时, 缓靠帮有利于稳定边坡, 可控制其变形发展, 并可对预留的 4~6 m 厚铁矿体挡墙起到一定的支撑和保护作用。

从象鼻山采区的成功经验来看, 只要措施合理, 在滑体下安全回收矿石资源是可行的。

### 参考文献(References) :

[1] 郭廖武. 武钢矿山生产中的几个岩石力学问题[J]. 岩石力学与工程学报, 2002, 21(7): 1 096 - 1 098.(Guo Liaowu. Rock mechanics problems in the mining operation of Mining Inc. Limited of Wisco[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2002, 21(7): 1 096 - 1 098.(in Chinese))

[2] 李斯基. 露天转地下开采不停产过渡的探讨[J]. 冶金矿山设计与建设, 1999, 31(5): 3 - 8.(Li Siji. Discussion on transition from open mining to underground mining without shutdown[J]. Metal Mine Design and Construction, 1999, 31(5): 3 - 8.(in Chinese))

[3] 李鼎权. 露天矿扩帮延深工程的设计与实践[J]. 化工矿物与加工, 2002, (1): 22 - 25.(Li Dingquan. Design and practice of slope expansion and deepening in open-pit[J]. Industrial Minerals and Processing, 2002, (1): 22 - 25.(in Chinese))

[4] 陈英放, 孙再南. 大冶铁矿象鼻山北帮边坡变形破坏及滑坡预报[A]. 见: 孙广忠编. 中国典型滑坡[C]. 北京: 科学出版社, 1988. 115 - 119.(Chen Yingfang, Sun Zainan. Deformation and prediction of landslide of north slope at Xiangbi mountain, Daye Iron Mine[A]. In: Sun Guangzhong ed. Typical Landslides in China[C]. Beijing: Science Press, 1988. 115 - 119.(in Chinese))

[5] 中国科学院武汉岩土力学研究所, 武钢矿业(集团)公司. 深凹露天矿高陡边坡及滑体下回收挂帮矿的安全预测与控制技术[R]. 武汉: 中国科学院武汉岩土力学研究所, 2004.(Institute of Rock and

- Soil Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Wuhan Iron and Steel(Group) COPP. Safety prediction and control technique of retrieving hanging wall ore below high-steep slope and sliding body at a deep open pit[R]. Wuhan: Institute of Rock and Soil Mechanics, Chinese Academy of Sciences, 2004.(in Chinese))
- [6] 寇晓东, 周维垣, 杨若琼. FLAC<sup>3D</sup>进行三峡船闸高边坡稳定分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2001, 20(1): 6 - 10.(Kou Xiaodong, Zhou Weiyan, Yang Ruoqiong. Stability analysis of the high slopes of Three Gorges shiplock using FLAC<sup>3D</sup>[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2001, 20(1): 6 - 10.(in Chinese))
- [7] Itasca Consulting Group, Inc.. FLAC<sup>3D</sup>(fast Lagrangian analysis of continua in three-dimensions), Version 2.1, user's manual[R]. [s. l.]: Itasca Consulting Group, Inc., 2002.
- [8] Min H, Deng J H, Wei J B, et al. Slope safety control during mining below a landslide[J]. Science in China(Ser. E), 2005, 48(Supp.): 47 - 52.
- [9] 中国科学院武汉岩土力学研究所, 武钢矿业公司大冶铁矿, 武钢矿业公司矿山研究院. 大冶铁矿狮子山象鼻山露天采挖潜研究[R]. 武汉: 中国科学院武汉岩土力学研究所, 1996.(Institute of Rock and Soil Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Daye Iron Mine of Wuhan Iron and Steel(Group) COPP, Institute of Mining Inc. Limited of Wisco. Research on the mining potentials of Shizi mountain and Xiangbi mountain at Daye Iron Mine[R]. Wuhan: Institute of Rock and Soil Mechanics, Chinese Academy of Sciences, 1996.(in Chinese))
- [10] 许东俊, 陈从新, 徐宜保, 等. 大冶铁矿东露天采场边坡岩体力学参数研究[J]. 岩石力学, 1999, 20(4): 69 - 75.(Xu Dongjun, Chen Congxin, Xu Yibao, et al. A study on the rock mechanical parameters of slopes in east open-pit stope of Daye Iron Mine[J]. Rock and Soil Mechanics, 1999, 20(4): 69 - 75.(in Chinese))

## 美国《剑桥科学文摘》(CSA)开始收录《岩石力学与工程学报》

据悉, 美国《剑桥科学文摘》(Cambridge Scientific Abstracts, 简称 CSA)开始收录本刊。CSA 是美国文献出版公司(属美国著名的科技信息出版公司), 总部设在美国马里兰州的 Bethesda 剑桥地区, 目前为全世界 1 500 多家机构提供服务(本次在我国收录有 65 种期刊)。这是继 EI COMPENDEX 收录后又一家国际检索机构对本刊收录, 也是《岩石力学与工程学报》走向世界的又一重要途径。CSA 简介如下:

CSA 是美国 Cambridge Scientific Abstracts 公司出版发行、基于网络服务的文献信息检索系统, 包含 70 多个数据库, 主要编辑出版科学技术研究文献的文摘及索引。该公司产品中既有印刷型期刊, 也有各种电子版数据库; 电子版数据库可通过远程联机和光盘检索, 1998 年又推出基于互联网的数据库服务。自 1962 年起, CSA 每年新增 25 万条记录, 现共约资料 648.7 万条, 这些数据库覆盖了水科学与海洋学、生物科学与生物多样性、计算机科学与各工程学科、环境科学、材料科学以及社会科学、人文艺术等领域。CSA 收录的时间为 1960 年至今, 收录的文献类型为: 期刊论文、图书、会议论文、科技报告、学位论文以及专著等。检索结果为: 文献的题录文摘信息。该系统具有如下特点:

- (1) 每日更新, 帮助用户及时了解最新的研究成果;
- (2) 可同时检索多个数据库及相关的因特网资源;
- (3) 可保存、打印、E-mail 检索结果;
- (4) 可记录检索历史, 可为用户保存检索策略(半年时间内);
- (5) 为管理者提供数据库使用报告和用户登录记录。

CSA 数据库采用 IP 地址控制, 用户访问时无需加装任何软件, 任何一台接入校园网的计算机均可通过 Web 方式连接到设于清华大学的镜像服务器进行检索, 没有并发用户数限制, 不需要用户名和密码。

网址: <http://csa.tsinghua.edu.cn>。

本刊编辑部  
2006 年 4 月 11 日