

大冶铁矿象鼻山北帮滑坡体下采矿实践

李 忠¹ 郭廖武² 李德春³ 邓建辉⁴

(1. 华中理工大学; 2. 武钢矿山公司; 3. 湖北鄂城钢铁公司; 4. 中科院武汉岩土力学研究所)

摘 要 大冶铁矿东露天坑已于2000年闭坑,境界外矿量拟采用地下开采。象鼻山是拟定的4个挂帮矿开采点之一,其北帮曾发生过7万m³的滑坡。如何控制边坡的变形与稳定构成了挂帮矿安全回收的关键技术问题。为此,在边坡工程地质与水文地质调查的基础上,采用工程地质类比法、有限元法和极限平衡法预测了边坡失稳的可能性和破坏模式,论证了预留矿石挡土墙方案控制边坡变形和失稳的可行性,并且通过边坡监测变形的及时反馈,调整开采工艺,保障了挂帮矿资源回收的顺利进行。

关键词 露天矿 挂帮矿 滑坡 预测与控制

Practice of Mining Under Sliding Mass of Xiangbishan North Wall in Daye Iron Mine

Li Zhong¹ Guo Liaowu² Li Dechun³ Deng Jianhui³

(1. Central China University of Science and Technology; 2. Mining Co., Wu Steel;
3. Hubei Echeng Iron & Steel Co.; 4. Wuhan Geotechnical Research Institute, China Academy of Sciences)

Abstract The east open pit of Daye Iron Mine was closed in 2000 and its ex boundary ore reserve was to be underground mined. Xiangbishan mining area was one of the four planned mining points of hang up wall ore, and there had been a landslide of 70,000 m³ in its north wall. How to control the slope deformation and stability became the key technical issue in the safe recovery of the hang up wall ore. Based on the investigation of slope engineering geology and hydrological geology, the possibility and failure mode of slope instability were predicted using engineering geological analogy, finite element and limit equilibrium methods, and the feasibility of preserving ore as the retaining wall to control the slope deformation and instability was expounded and proved. The timely feedback of slope deformation monitoring helped regulate the mining technology, ensuring a smooth recovery of the resource of hang up wall ore.

Keywords Open pit mine, Hang up wall ore, Prediction and control

大冶铁矿是武钢集团的主要矿石基地之一。该矿自西向东有铁门坎、尖林山和东采3个采矿车间,其中铁门坎和尖林山为地下车间,东采为露天车间。

东露天采场自西向东由象鼻山、狮子山和尖山3个采区组成,于1958年投产。象鼻山采区在1979年7月开采到+36 m标高时,北帮发生约7万m³的滑坡,被迫于1980年4月提前闭坑,随后回填至+48 m标高形成转载场。狮子山采场1988年闭坑,采至二期扩帮最终境界-48 m,随后回填至±0 m作为尖山深部开采转载场。尖山矿段2000年3月开采至-156 m,因坑底矿石质量欠佳而提前闭坑。东露天采场闭坑后,形成了东西长2400 m、南北宽1000 m、深度230~430 m、最终坡角38°~43°的大型陡深露天坑^[1]。

东露天采场闭坑后,其最终境界外矿量为1200余万t,其中象鼻山采区311.42万t,狮子山533.85万t,尖山371.79万t,矿石平均品位: TFe 51.6%, Cu 0.48%。境界外矿量拟地下开采。经长沙冶金设计研究院设计,拟开采的狮子山及尖山I、II号矿体,总矿量787.22万t。象鼻山18 m水平以下矿体也拟用地下采矿方法回收。2000年至2003年为地下开采的基建期。拟定开采的狮子山南、北帮、尖山和象鼻山等4个挂帮矿点的特点是边坡高陡,大断层和滑坡发育^[1]。4个开采点的局部边坡角均大于60°,3个开采点有大断层通过(尖F₉,

李 忠(1964-),男,华中理工大学管理学院,博士研究生,430070
湖北省武汉市。

F₁₃和F₂₅等),2个开采点位于滑坡体下。因此,挂帮矿开采过程中的边坡安全问题备受关注。本文介绍象鼻山北帮滑坡体下挂帮矿安全回收的经验。

1 北帮工程地质条件与采矿技术问题

象鼻山采区从1967年开始,其北帮边坡一直处于不稳定状态。1972年以后,边坡位移明显增加。1978年3月发生局部滑落,同年8月在边坡上部堆积层中出现约100 m长的弧形开裂,不稳定状况日益加剧,10月再次发生局部滑落。1979年7月11日开采至+36 m水平时,发生了方量达7万m³的滑坡,导致开采中断,被迫于1980年闭坑并回填至+60 m,北帮边坡才逐渐趋于稳定^[2]。至2000年北帮边坡台阶已荡然无存,自然边坡角上部为30°~48°,下部为64°~68°,呈上缓下陡的凸形坡。

构成象鼻山北帮边坡的地层自上而下为人工堆积层(Q_h)、强风化一般变质闪长岩(δ₁)、F₂₅断层破碎带、高岭土绿泥石化闪长岩(δ₂)、磁铁矿(Fe)和一般变质闪长岩(δ₃)等。Q_h主要为采矿剥离的废石,厚度5~20 m。δ是构成边坡的主要岩石,强度和完整性较好。δ、Fe为块状结构,F₂₅断层破碎带、δ₁和δ₂为碎裂散体结构。

F₂₅断层是区内关键性结构面,规模大、延伸长且深。断层产状为N30~40°W/SW∠75~80°,在东露天采场的出露长度超过1500 m,与象鼻山北帮边坡呈小角度斜交,在空间上构成了不利于边坡稳定的控制性结构面。破碎带宽度为30~33 m,将断层的影响带计算在内可达40~50 m。破碎带中小断层和节理十分发育,岩性也极不均匀,在挤压破碎和成矿热液作用下,闪长岩发生了强烈蚀变,形成了绿泥石化、高岭土化闪长岩及高岭土、蒙脱石化闪长岩。岩体成碎块状,节理、劈理发育,沿面有绿泥石化薄膜,故岩体整体差,强度低。绿泥石、高岭土、蒙脱石遇水易崩解,即吸湿膨胀作用^[3~9]。受构造挤压和成矿热液作用,位于断层上盘与铁矿体之间的闪长岩蚀变强烈,岩体成碎块状,劈理裂隙发育,沿劈理面形成的绿泥石化薄膜,均有明显高岭土绿泥石化蚀变,岩体强度降低,整体性较差。

北帮水文地质条件相对简单,降雨是地下水主要补给形式。从透水性角度分析,坡顶人工堆积物的透水性较好,其次为强风化一般蚀变闪长岩,一般蚀变闪长岩、高岭土绿泥石化蚀变闪长岩和铁矿体的透水性较弱,F₂₅断层泥的渗透性最差。坡体主要含水层为赋存于坡顶的人工堆积物和强风化一般蚀

变闪长岩内的孔隙、裂隙水。雨季临时性地下水发育,坡脚沿F₂₅断层有间歇性泉点多处。从地貌上看,北坡上部地形呈圈椅状,雨水从东、西、北3个方向向坡体汇集,考虑F₂₅断层的相对隔水性,雨季坡体内可能形成相对高水位,不利于坡体稳定。

从象鼻山北帮边坡的工程地质水文地质条件,以及历史破坏资料分析,F₂₅断层和高岭土绿泥石化蚀变闪长岩是控制其稳定性与破坏模式的主要因素。1979年发生的8#滑坡即发生在F₂₅断层破碎带和高岭土化绿泥石化闪长岩内,滑动面形状近似圆弧形,两侧边界受节理裂隙控制。采矿和降雨是诱发滑坡的外因。

象鼻山采区的挂帮矿开采对象为原8#滑坡体及其东南长度约200 m边坡下的磁铁矿体,即1980年闭坑后+36~+18 m标高间尚未开采的铁矿体。该段边坡走向N31°~59°W,平均N45°W,倾向SW,倾角47°~68°。新的开采将进一步加高加陡边坡,所面临的主要技术问题包括:①8#滑坡体在挂帮矿回收过程中会不会再一次失稳;②除8#滑坡体外,滑坡范围是否会向东侧延伸;③一旦失稳会不会形成高速滑坡;④若不存在高速滑坡,能否通过调整采矿工艺控制滑坡体的变形速度,以保障挂帮矿回收期间的人员和设备安全。

2 开采方案与论证

挂帮矿开采实际上是原发生滑坡的边坡加深加陡的过程。使用工程类比分析,8#滑坡体在挂帮矿开采期间可能再次失稳。由于东侧边坡地质条件与8#滑坡体一致,受采矿等因素影响也可能发生滑坡。

开采期间对北帮补充了地质勘查与计算分析工作。北帮岩体呈碎裂散体结构,F₂₅断层泥中绿泥石占85%,膨胀力54~88 kPa,平均67.5 kPa。考虑这些因素,北帮边坡的稳定性对降雨将较为敏感,一旦失稳其破坏面形状将呈似圆弧形。从历史上发生的近F₂₅断层的几起滑坡情况来看,破坏形式基本上为蠕滑,没有发生过高速度滑坡。

挂帮矿开采的时间很短,对北帮边坡进行加固治理显然在经济上并不合理,关键是需要保障开采安全与多回收矿石资源之间寻求一种平衡。使用国标分级对北帮岩体进行分级^[9],磁铁矿体和新鲜一般闪长岩均在二级以上,F₂₅断层破碎带和高岭土绿泥石化蚀变闪长岩在4级左右。为此初步拟定预留4~6 m厚的矿石挡土墙,利用强度和完整性良好的矿体控制北帮边坡变形与破坏(图1)。使用简

化毕肖普法和有限元法对上述方案进行了比较分析(图 2 至图 3, 表 1 至表 3), 共分 3 种工况。

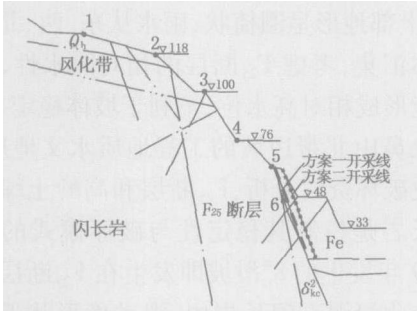


图 1 象鼻山北帮 I - I 剖面计算模型(局部)及位移点

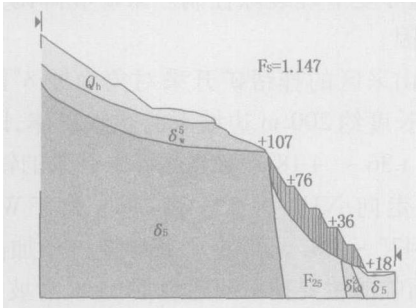


图 2 象鼻山北 I - I 剖面方案二极限平衡计算结果
方案 1: 开采至 +18 m, 不留矿石挡墙;

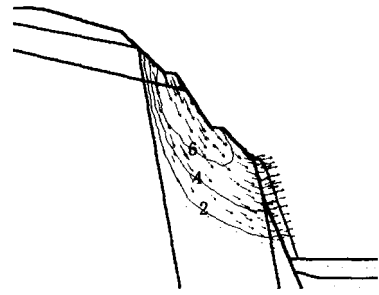


图 3 方案 2 位移矢量及等值线

方案 2: 开采至 +18 m, 预留矿石挡墙;

方案 3: 开采至 +18 m, 预留矿石挡墙, 滑体顶部张裂隙充水。

计算中极限平衡法使用的是残余强度, 预留矿石挡墙后基本上可以使北坡的安全系数略大于 1.0 (表 2)。从二维有限元法分析成果来看预留挡土墙方案明显可以控制滑坡的变形(表 3)。由此, 初步确定的采矿方案为: ①先剥离 +60 m 至 +36 m 的回填废石, 开辟出运输通道; ②在北帮边坡下预留厚度为 4~6 m 矿石挡土墙, 采用退采方式自西向东横向扩帮开采, 一次开采厚度 6~8 m。

表 1 计算参数

岩 性	容 重 ($kN \cdot m^{-3}$)	变形模量 (GPa)	泊松比	峰值抗剪强度		残余抗剪强度		抗拉强度 R_r / kPa
				c/kPa	$\varphi/(\circ)$	c/kPa	$\varphi/(\circ)$	
一般闪长岩(新鲜)	25	20	0.24	1 000	45	550	40	700
一般闪长岩(风化)	25	5	0.30	300	38	250	34	
高岭土绿泥石化闪长岩	24	2	0.30	60	25	60	25	
铁矿(Fe)	41.2	25	0.24	800	45	500	40	500
F25 断层	24	3		60	25	60	25	
残积土	24	1	0.34	20	27	15	23	
一般断层及结构面				$c = 60 kPa, \varphi = 25^\circ, K_n = 2\ 500 MPa/m, K_s = 1\ 000 MPa/m$				

表 2 极限平衡安全系数计算成果

剖面号	方案 1	方案 2	方案 3
I - I	0.872	1.124	1.063
II - II	0.921	1.147	1.113

表 3 边坡监控点位移值

点号	mm					
	方案 1			方案 2		
	总位移	水 平	垂 直	总位移	水 平	垂 直
1	2	2	1	1	1	0
2	236	183	149	4	3	2
3	1 698	599	1 589	73	24	70
4	1 973	1 043	1 674	66	40	52
5	2 065	1 569	1 342	52	50	11
6	2 005	1 706	1 053	44	43	10

3 开采过程与工艺调整

在 8# 滑坡体及其东侧边坡上布置了两条地表收敛观测剖面, 监测开采过程中边坡的变形行为, 以利于及时作出开采与安全决策。

2002 年 9 月回填废石剥离完毕, 挂帮矿开采工作开始。2003 年 2 月开采至 +24 m 水平时边坡开始加速变形, 原 8# 滑体后壁出现新鲜陡坎, 并逐步向东侧发展。4 月处的一场约 36 mm 的降雨使滑坡变形加速, 日变形量大达 460 mm, 4 月 7 日 +36 m

附近开始有大量水渗出。从实测位移曲线来看, 滑体前缘测点(8# 滑体的 1~4 点)的位移较后缘测点(8# 滑体的 1~2 点)的位移要小, 表明坡脚的铁矿体挡墙有一定的支挡作用。结合地表变形特征分析, 坡体的破坏特征可以用图 4 描述。由于挡墙的作用, 滑坡体解体为两大块。块 I 下陷导致块 II 呈

倾倒破坏趋势,致使+36 m 附近处出现张裂缝而渗水,坡面松散岩体逐渐崩落。

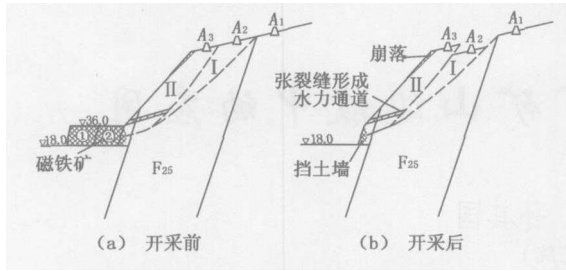


图 4 新滑坡破坏机理示意

上述变形破坏特征有利于边坡寻求自我平衡的结果,有利于边坡的稳定,一方面张裂缝的形成使滑体内部的积水得以排出,缓和绿泥石含量达 85% 的 F₂₅ 断层泥因水而产生的膨胀变形和膨胀力;另一方面坡面散体的崩落有卸荷作用。若能充分利用天然矿石挡土墙的作用,开采工作仍然可以继续。为此对采矿工艺进行了及时调整,即开采工艺由原先的由西至东退采调整为先回收远离边帮的矿石,即图 4 中的①号矿块,再回收②号矿块。这样可以对预留的 4~6 m 厚的天然矿石挡墙起到一定的支撑和保护作用,以稳定边坡,控制其变形速度。为确保安全,尚制定了如下安全保障措施:

- (1) 控制爆破方法与药量,远离边帮的矿石开采使用微差爆破方法,靠帮矿石开采使用预裂爆破方法。
- (2) 暴雨和久雨期间,不进行开采作业。
- (3) 生产期间加强监测,并由经验丰富的职工进行专职安全巡视。
- (4) 爆破后应先检查边坡稳定状况,再出矿。

(5) 非生产期间,设备、人员置于安全地带。

此后,虽然边坡变形进一步发展,但是排水和卸荷亦同步发展,同时最大日变形速度控制在 1 000 mm/d 以内,小于 1979 年滑坡发生时的最大速度 1 100 mm/d。至 2003 年 7 月北帮挂帮矿顺利开采完毕,边坡最终坡角为 70°,边坡未出现整体垮落。

4 结 论

在整个开采期间虽然边坡变形不断发展,但是由于矿石挡土墙的作用,边坡的最大变形量控制在历史滑坡的最大日变形量之内,从而避免了滑坡的发生,且未出现一例安全事故。自 2002 年 7 月至 2003 年 7 月北帮挂帮矿顺利开采完毕,安全回收铁矿石资源 38.3 万 t,边坡最终位移达 8 795 mm,最终坡角为 70°。

参 考 文 献

- 1 郭廖武. 武钢矿山生产中的几个岩石力学问题. 岩石力学与工程学报, 2002, 21(7): 1 096~1 098
- 2 陈英放, 孙再南. 大冶铁矿象鼻山北帮边坡变形及滑坡预报. 中国典型滑坡, 北京: 科学出版社, 1988
- 3 张 弭, 董为靖, 周美良, 等. 大冶铁矿狮子山北帮西口 I 滑坡体滑坡实例分析. 中国典型滑坡, 北京: 科学出版社, 1988
- 4 曲永新, 吴芝兰, 徐晓岚, 等. 武钢大冶铁矿东露天采场蒙脱石化中小型火成岩体蚀变岩(带)的工程地质研究. 工程地质力学进展——纪念谷德振教授 80 周年诞辰论文集, 北京: 地震出版社, 1994
- 5 中华人民共和国水利部. 工程岩体分级标准(GB50218-94). 北京: 中国计划出版社, 1995

(收稿日期 2005 02 01)

(上接第 6 页)

何简化药剂的配制过程,如何实现药剂绿色无毒、无污染、可降解,还有许多工作需要我们去做的。

参 考 文 献

- 1 李维兵. 齐大山选矿厂一选车间阶段磨矿-重选-强磁选-阴离子反浮选工艺工业试验. 金属矿山, 2001(3): 24~26
- 2 樊绍良, 段其福. 铁精矿提质降杂技术研究. 金属矿山, 2002(4): 38~41
- 3 余永富. 从炼铁工业发展讨论我国铁矿选矿发展方向. 金属矿山, 2002(8): 5~9
- 4 刘 动. 鞍山地区铁精矿提铁降硅工艺改进的思考. 2002 年全国铁精矿提质降杂学术研讨及技术交流会, 珠海, 2002
- 5 刘 动. 反浮选应用于铁精矿提铁降硅的现状与展望. 金属矿山, 2003(2): 38~42

- 6 赫荣安, 陈 平, 熊大和. S.Lon 强磁机选别鞍山式贫赤铁矿的试验及应用. 金属矿山, 2003(9): 19~24
- 7 邹 健. 抓住发展机遇 采取综合措施 为钢铁工业的持续快速发展做出贡献. 金属矿山, 2004(1): 1~4
- 8 张久甲, 侯吉林. 唐钢司家营氧化铁矿石选矿试验研究. 金属矿山, 2002(4): 28~31
- 9 张泾生, 邓 克, 李维兵. 磁选-阴离子反浮选工艺应用现状及展望. 金属矿山, 2002(4): 24~28
- 10 田嘉印. 鞍山矿业公司铁精矿提铁降硅工艺改造发展现状及展望. 2004 年全国选矿新技术及其发展方向学术研讨与技术交流会, 博鳌, 2004
- 11 胡义明, 刘保平. 铁山庙赤铁矿石强磁-重选-反浮选选矿试验研究新进展. 2004 年全国选矿新技术及其发展方向学术研讨与技术交流会, 博鳌, 2004

(收稿日期 2004 12 08)