文章编号:0253-9993(2008)03-0268-05

基于 Laubscher 崩落图的矿体可崩性研究

冯兴隆,王李管,毕 林,贾明涛,曾庆田

(中南大学资源与安全工程学院,湖南长沙 410083)

摘 要:通过对金川Ⅲ矿区的工程地质调查、矿岩力学性质试验,获得了表征矿山岩体工程质量的多种指标.在分析了这些指标后,选取节理间距、R₀₀值、地下水、结构面状态、岩石单轴抗压强度指标建立了Ⅲ矿区的可崩性评价模型.由可崩性模型计算出各评价区域的 M_{RMR}值,然后根据 Laubscher 崩落图计算每个评价区域的初始和持续崩落水力半径分别为 7.0~11.1 m 和 18.1 ~24.1 m,通过对计算结果的分析表明,这些区域适合应用自然崩落法进行开采.

关键词:Laubscher 崩落图;自然崩落法;崩落水力半径

中图分类号: TD824.1 文献标识码: A

Research on cavability of orebody based on Laubscher's caving chart

FENG Xing-long, WANG Li-guan, BI Lin, JIA Ming-tao, ZENG Qing-tian

(School of Resources and Safety Engineering, Central South University, Changsha 410083, China)

Abstract: Several kinds of indexes represented the engineering quality of rock mass in mine were acquired by survey of engineering geology and measurement of crustal stress and field stress in Jinchuan No. 3 mine area. After the analysis of these indexes, jointing space, $R_{\rm QD}$, groundwater, structural plane attitude and the index of uniaxial compressive strength of rock were selected to build the cavability assessment mold. Based on this mold, $M_{\rm RMR}$ of each assessment areas were calculated. Then, the sustained and occurring caving hydraulic radius, its value is 7.0 ~ 11.1 m and 18.1 ~ 24.1 m, of each assessment area can be calculated by Laubscher's caving chart. The analysis of calculating result turns out that these areas are suitable to be mined by block caving method. Key words: Laubscher's caving chart; block caving method; caving hydraulic radius

在自然崩落法的可行性研究中,必须首先确定矿体的可崩性,即在一定的拉底面积下,矿体是否能以 一定的速率维持持续崩落,并形成一定的生产能力^[1].矿岩可崩性研究是拟采用自然崩落法矿山可行性 研究的中心内容,对采矿设计的回采顺序、拉底方向、拉底面积、出矿方式、放矿控制、安全生产和技术 经济指标等都有决定性的影响,是矿山达到预期经济效益的重要保证.目前,用于矿体可崩性研究的方法 有 RMR 法(Rock Mass Rating)、地质强度指标法(Geological Strength Index)、Mathews 稳定图法、Laubscher 崩落图法、矿山岩体分类系统法(The Mining Rock Mass Rating)等^[2].本文就是利用其中的 Laubscher 崩落图法对金川Ⅲ矿区可崩性的研究,来确定金川Ⅲ矿区是否适用于自然崩落法开采.20世纪80年 代 Laubscher 提出用 Laubscher 崩落图法对矿体崩落性进行定量分析,之后 Laubscher 崩落图法发展成为国 际上进行崩落法矿山矿块或盘区可崩性预测的主要方法,尤其在岩体较破碎和厚大矿体中更为成功^[3].

收稿日期: 2007-03-14 责任编辑: 柴海涛

基金项目:国家自然科学基金重大项目(50490270)

作者简介: 冯兴隆 (1980—), 男, 山东巨野人, 博士研究生. Tel: 0731-8877665, E-mail: fxl-001@163.com

1 Laubscher 崩落图法

基于 Laubscher 崩落图预测矿岩的可崩性是一种经验 预测法,它的基本原理就是基于计算的 M_{RMR} (Minging Rock Mas Rating)值,然后从崩落图(图1)就可以确定 矿体产生初始崩落和连续崩落的水力半径.

基于经验进行可崩性预测方法的关键在于,需要通过 大量的工程实例数据,建立岩体质量(或稳定性指标) 与拉底面积之间的简单而有效的关系.从津巴布韦的 Chrysotile abestos 矿开始,Laubscher 等人就从崩落法矿山 搜集数据,绘制了一系列代表特定矿山的矿块或盘区点.



图 1 Laubscher 崩落图 (基于 Bartlett 1998) Fig. 1 Laubscher's caving chart (from Bartlett 1998)

这些点图能够表征矿体和盘区的稳定(无崩落)、过渡(主要坍塌或部分崩落)和崩落条件.基于这些信息,Laubscher给出了划分稳定区、过渡区和崩落区域的边界线.随着数据搜集的增加和计算 MRMR 评价指标的演变,边界线的位置也随之变化.图1为1998年的Laubscher崩落图,Bartlett等经过了数次修改后确定的边界线位置.

1.1 水力半径

水力半径 *R*(或形状因子 *S*)反映了采场的尺寸和形状.当采场形状复杂时,水力半径可能不足以描述几何形状对稳定的影响. Milne 等^[4](1990)建议在几何形状复杂时使用半径因子(壁面至其端部的平均距离).本研究采用水力半径作为矿体可崩性的评价指标.

1.2 M_{RMR}值

矿山岩体分类系统(MRMR)是 1974 年由 Laubscher 在 Bieniawki 地质力学分类系统(RMR 系统)的基础上,针对矿山工程情况提出的^[3]. MRMR 系统和 RMR 系统的主要差别是,*M_{RMR}*值是根据采矿环境对基本分类评分 RMR 加以调整来获得,以使其分类指标能够用于采矿设计.调整评分考虑的因素有岩体风

化、采矿应力、节理产状和矿山爆破(Laubscher 1990).近年来, MRMR系统已经广泛应用于崩落法 矿山设计.

由 Laubscher 和 Jakubee 在 2001 年提出的为矿山 应用的 MRMR 计算方法如图 2 所示. MRMR 的计算 步骤^[5]:①考虑到岩石中夹有弱面,进行了修正后 的完整岩石强度(IRS, Intact Rock Strength)的计 算;②对获得的完整岩石强度进行 2 次修正后获得 岩石块度强度;③修正系统的节理间距评分;④节 理条件评分;⑤节理总评分;⑥由岩块强度评分和 节理总评分相加得到 I_{RMR} (Insitu Rock Mass Rating) 的值;⑦考虑风化(30%~100%)、产状(63%~ 100%)、采矿诱发应力(60%~120%)、爆破 (80%~100%)等修正因子,对IRMR进行修正,就





获得了矿山分类评分 M_{RMR}值;⑧ 考虑到本研究目的,对 M_{RMR}的修正中既不存在爆破调整,也不存在风化 调整,节理产状和诱发应力的修正趋于相互补充.

1.3 稳定性分区

Laubscher 崩落图划分成3个区域:稳定区、过渡区和崩落区.图1中包含有29个工程实例:3个稳定的、4个过渡的和17个崩落的以及5个没有明确但假设为稳定的^[3].这3个区域被过渡区分开,工程

270	煤	炭	学	报	2008 年第 33 卷

落在稳定区表示工程稳定,落在崩落区表示发生持续崩落,落在过渡区表示可能崩落也可能稳定.

对于可崩性分区图的绘制, Laubscher 已经认识到, 矿块或矿体的形态可能影响矿岩的可崩性. 当矿体形态轴比(矿块的长与宽之比)大于1.5的长方形时, 崩落区和过渡区的边界处于图1所示类似的位置. 当矿体形态的轴比达到约1.3并近似于封闭的圆形时, 对于给出的 *M*_{RMR}值, 可用第2条曲线确定拉底水力半径的值, 此时的 *M*_{RMR}是第1种情况的1.2倍, 所以 Laubscher 提出根据矿体形态对 *M*_{RMR}值进行一定的修正.

2 金川Ⅲ矿区可崩性分级模型的建立

为了应用 Laubscher 方法对金川Ⅲ矿区进行可崩性预测,笔者搜集了矿山经过地质解释后的剖面图,进行了工程地质调查、矿岩力学性质试验,获得了表征矿山岩体工程质量的多种指标.通过对这些参数的分析评价,选取节理间距、*R*_{q0}值、地下水、结构面状态这4个在 RMR 评价体系所考虑的指标以及岩石的单轴抗压强度指标,建立了Ⅲ矿区的可崩性评价模型,并采用地质统计学估值方法对Ⅲ矿区 1545 水平以上范围内的节理间距、*R*_{q0}、抗压强度等参数的取值进行推估,按照中南大学研究确定的 RMR 打分标准(表1)对各参数进行打分,进而得到 RMR 指标.在评价模型的基础上,对Ⅲ矿区按高程和勘探线划定的各分区进行了可崩性评价.

序号	参数		取值范围						
	完整岩石强度/MPa	点载荷强度	>10	4 ~ 10	2~4	1~2	对较低范围进行单轴压缩实验		国缩实验
1		单轴压缩强度	>250	$100\sim 250$	50 ~ 100	25~50	5~25	1~5	1
		评分	15	12	7	4	2	1	0
2	$R_{\rm QD}$ 指标/%		90	75	50	25		<25	
2		评分	20	17	13	8		3	
3	节理间距/m		>2	0.6~2.0	$0.2 \sim 0.6$	$0.06 \sim 0.20$		< 0.06	
3		评分	20	15	10	8		5	
4	摩擦角/ (°)		>41	39~41	37~39	35 ~ 37		<35	
		评分	20	15	10	6		2	
5	张开度		很紧闭	紧闭	中等张开	张开		张开很大	
		评分	10	9	8	5		2	
6	地下水	一般条件	完全干燥	湿润	潮湿	滴水		流水	
		评分	15	10	7	4		0	

表 1 分类参数及其等级 Table 1 Sorting parameters and ranks

注: 地下水条件的评分根据Ⅲ矿区开拓工程揭露情况, 统一取为7分.

2.1 调查方法

为了获得金川Ⅲ矿区现场岩体特性数据,在Ⅲ矿区4行勘探线到12行勘探线范围间的13个钻孔的基础上,采用钻孔岩芯调查方法、巷道道构造调查方法,对矿山进行了岩体构造调查. 通过调查获得了结构面产状(含倾角、倾向、结构面分组等)、结构面间距、结构面表面粗糙度、结构面张开度、节理间距、 *R*₀₀值、岩石单轴抗压强度等指标.

2.2 调查数据的统计分析及指标选择

根据钻孔和坑道调查获得的数据,对Ⅲ矿区岩体构造特征和岩石单轴抗压强度进行统计分析,具体包括:结构面产状(含倾角、倾向、结构面分组等)统计分析、结构面间距统计分析、结构面表面粗糙度统计分析、结构面张开度统计分析、*R*_{q0}值统计分析、由点载荷试验得到的岩石单轴抗压强度统计分析等. 在岩体构造空间分布规律研究中有多种方法,本研究中采用了密度等值线法和矢量合成法,确定了优势节 理组及其产状范围.

为进一步研究构造面几何参数的分布规律,首先采用百分位对比检验确定某几何参数的分布形式,然 后用最大似然方法计算对应于这种分布形式的概率分布函数的参数^[6].

统计分析结果:单位长度内的节理条数为5~7条; *R*_{q0}值普遍较低,均值在13%~53%之间,平均为31.502%;节理表面粗糙度统计分析表明,台阶、波浪及平面型等三大类粗糙度中,Ⅰ,Ⅳ,Ⅶ,Ⅶ 类占的比例较大,而其它类型占的比例则相对较小,均不超过7%.钻孔揭露表明,大多数节理表面属于 平面粗糙型.在统计分析的结果上,选取了节理间距、*R*_{q0}、抗压强度、地下水、结构面状态这4个在 RMR 评价体系所考虑的指标以及岩石的单轴抗压强度指标作为建立Ⅲ矿区的可崩性评价模型的参数.

2.3 实体模型的建立

实体模型是建立可崩性分级模型的基础,根据可崩性研究的需要,应用搜集到的地质资料,分别建立了断层破碎带线框模型、洪积层线框模型、包含矿体在内的一个大的"混合岩" 模型.完整的线框模型如图3所示.

2.4 可崩性分级模型的建立

在建立实体模型基础上,综合考虑1554 水平以上的特征 及可崩性评价的需要后,确定了可崩性分级模型的范围和参数,以5m×5m×5m(长×宽×高)的块度建立了块段模型.根据工程地质调查样品,在对可崩性评价指标进行空间分



图 3 金川Ⅲ矿区整体模型 Fig. 3 Jinchuan No. 3 mine area integral model

布、结构性及变异性分析的基础上,采用距离幂反比法对各评价参数进行推估,并将获得的各评价参数的 值赋予每个块段,就得到了可崩性分级模型.

分级模型中应用的参数:地下水、节理间距、抗压强度、摩擦角、R_{qn}指标、张开度.将这些参数分别赋予每个块段,在评价时,每个块段根据中南大学研究确定的 RMR 打分标准(表1)对各参数进行打分,计算得到 RMR 指标.

各评价参数进行打分后,金川Ⅲ矿区不同区域的矿岩可崩性指标 RMR 即得到赋值. 在建立的可崩性 分级模型的基础上,为了应用 Laubscher 法对按照勘探线的布置方向划分的 10 个评价区域进行评价,分别 建立了 2 ~ 4 行勘探线、4 ~ 5 行勘探线、…、14 ~ 16 行勘探线区域的共 10 个可崩性分级模型.

3 基于 Laubscher 崩落图的可崩性预测

在已建立的 10 个可崩性分级模型中, 分别统计 Laubscher 崩落图所需要的参数, 即 R_{MR} 值(在本研究中用 R_{MR} 值按矿体形 态修正后近似替代 M_{RMR} 值),其修正后的 值见表 2.

根据这些参数,应用 Laubscher 崩落 图估算出每个评价区域的初始崩落水力半 径和持续崩落水力半径.

3.1 金川Ⅲ矿区崩落水利半径的计算

根据图1提供的数据,笔者拟合出初 始崩落分界线(稳定区和过渡区的分界 线)、持续崩落分界线(过渡区和崩落区 的分界线)水力半径 *R* 和 *M*_{RMR}值的函数 关系式为 表 2 金川Ⅲ矿区初始崩落和持续崩落的水力半径 R 的计算结果

 Table 2
 The value of occurring and sustained caving hydraulic radius R in Jinchuan No. 3 mine area

分区	M _{RMR} 值	初始崩落水力 半径/m	持续崩落 水力半径/m
2~4 行	34.34	8.9	20. 8
4~5行	31.22	7.5	18.8
5~6行	31.67	7.7	19.1
6~7行	32.20	7.9	19.4
7~8行	30.10	7.0	18.1
8~10行	31.34	7.5	18.9
10~11 行	32.71	8.1	19.8
11~12行	34. 79	9.1	21.1
12~14 行	37.39	10.3	22.9
14~16行	39.15	11.1	24.1

炭

煤

 $R = 0.000 \ 4(M_{\rm RMR})^3 - 0.001 \ 38(M_{\rm RMR})^2 + 0.335(M_{\rm RMR}) - 4.118,$ (1)

报

 $R = 0.000\ 058(M_{\rm RMR})^3 - 0.002\ 8(M_{\rm RMR})^2 + 0.541\ 5(M_{\rm RMR}) - 0.268\ 6.$ (2)

学

根据式(1)可以计算出工程发生初始崩落的水力半径,根据式(2)可以计算出工程发生持续崩落的水力半径.因此将可崩性分级模型中计算获得的参数,即*M*_{RMR}值带入式(1)和式(2),就可以计算出Ⅲ矿区按照勘探线的布置方向划分的10个评价区域的初始崩落和持续崩落的水力半径(表2).

3.2 计算结果分析

根据计算结果,作出初始崩落和持续崩落水力半径 沿勘探线布置方向的变化曲线(图4).由图4看出,矿 体东西(从2行到16行)两侧的岩体质量是有差别的. 从东到西崩落需要的水力半径逐渐减小,在5~6行勘探 线间达到最小,随后逐渐增加.但总体上,勘探线间的 初始崩落的水力半径变化值不是很大,初始崩落的水力 半径最大差值为3.6 m,持续崩落水力半径变化较大, 最大差值为6 m.从计算结果来看,这10个评价区域的 初始崩落水力半径和持续崩落水力半径值都比较小,属 于易崩落的岩体,应用自然崩落法进行开采是可行的.



4 结 论

金川Ⅲ矿区按勘探线分成的 10 个评价区域的初始崩落的水力半径在 7.0~11.1 m 之间,持续崩落水 力半径在 18.1~24.1 m 之间.经过对这 10 个评价区域的持续崩落水力半径的计算结果分析,表明金川Ⅲ 矿区应用自然崩落法是可行的.计算结果表明,勘探线间崩落的水力半径变化值不是很大,初始崩落的水 力半径最大差值为 3.6 m,持续崩落水力半径变化最大差值为 6 m. 通过对 Laubscher 崩落图法的应用显 示,Laubscher 崩落图法是用于可崩性评价中比较成熟的一种方法.

参考文献:

- [1] 王家臣,陈忠辉,熊道慧,等.金川镍矿二矿区矿石自然崩落规律研究 [J].中国矿业大学学报,2000,29 (1): 596~600.
- [2] 贾明涛,潘长良,王李管.地下矿大规模开采过程动态模拟系统 [J].煤炭学报,2004,28 (3):235~240.
- [3] Brown E T. Block Caving Geomechanics [M]. Queensland, Australia: Julius Kruttschnitt Mineral Centre, 2003.
- [4] Milne D, Hadjigeorgiou J, Pakalnis R. Rock mass characterization for underground hard rock mines [J]. Tunnelling and Underground Space Technology, 1998 (13): 383 ~ 391.
- [5] Laubscher D H. Caving mining-the state of the art. Underground mining methods: engineering fundamentals and international case histories [M]. Littleton, Colorado: Society for Mining, Metallurgy and Exploration, 2001. 455 ~ 463.
- [6] 柳小波,周 伟,孙豁然. 崩落采矿模拟 SLS 系统及其在提高回收率中的应用 [J]. 煤炭学报, 2004, 29 (6): 646~649.