

冬瓜山铜矿深井开采岩爆危险区分析与预测

唐礼忠, 潘长良, 谢学斌, 曹 平

(中南大学 资源环境与建筑工程学院 湖南 长沙 410083)

摘要 根据冬瓜山矿床典型岩石的抗拉试验、全应力应变试验和峰值强度变形状态下的松弛试验结果以及矿床构造、岩性分布,研究了该矿床岩层的岩爆倾向性分布特征,分析了已发生的井巷岩爆特征,采用数值模拟方法,以硐室周边最大切向应力与岩石的抗压强度之比为判别指标,对采场围岩岩爆危险区进行了预测.研究表明,矿体和矿体上盘岩石具有中等岩爆倾向,矿体下盘岩石具有弱岩爆倾向,它们都属于诱导性的岩爆,岩爆发生于具有岩爆倾向、应力大且能够产生能量突然释放的区域,主要集中于工程的交叉处附近、不同岩层的接触带附近的较坚硬岩体以及采场顶板、矿柱和采场四角的局部区域.

关键词 矿床;深井开采;岩爆;危险区;冬瓜山铜矿

中图分类号:TD324

文献标识码:A

文章编号:1005-979X(2002)04-0335-04

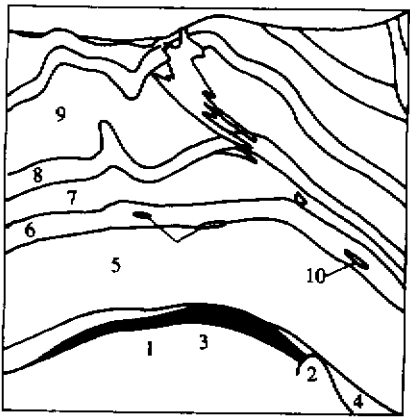
开采深埋硬岩矿床时有发生岩爆的可能^[1]. A. V. Z. Brink 等对岩爆进行了现场监测研究^[2]; A. Tajdus 等根据岩石性质和开拓期间的岩爆资料,在新建矿山的采矿设计阶段,对矿床岩爆危险区进行了研究和预测^[3]. 在此,作者采用室内力学试验、数值计算和现场调查相结合的方法对冬瓜山铜矿床开采岩爆危险区进行研究.

1 矿床地质

冬瓜山铜矿床埋藏深度为 1 000 m 左右,位于青山背斜轴部,赋存于石炭系黄龙组-船山组层位中,呈似层状产出,其产状和形态与围岩的一致.矿体在平面上展布范围大,而在深度上变化不大.矿体主要由含铜砂卡岩、含铜黄铁矿、含铜磁黄铁矿、含铜蛇纹岩等构成.矿体底盘直接围岩为石炭系下统高丽山组岩石和石英闪长岩,以角岩化粉砂岩为主.矿体直接顶盘岩石为黄龙组大理岩,上部为栖霞组大理岩等岩石(见图 1).矿体构造简单,节理裂隙不发育,岩性坚硬,强度高.

控制冬瓜山矿床的主要构造是青山背斜,成矿前的断裂主要有近南北向、近东西向和北东向 3 组;成矿后断裂主要以北西-北西西向为主,次为近东西

及北东向 3 组破碎带.断裂带倾角均大于 70°,断裂呈张性、张扭和压扭性,延伸不大,对主矿体无明显的破坏作用.在标高为 -730 m 处进行原岩应力测量,发现其最大主应力方向集中在 NE~SW 方向,与矿体走向大体一致,而且近似水平,最大数值范围为 30~35 MPa,原岩应力的铅垂方向分量为 9~16 MPa,小于上覆岩体自重引起的应力.因而,该矿区的原岩应力主要受地质构造控制.



1—石炭系岩石及石英闪长岩;2—砂卡岩;
3—矿体;4—黄龙组大理岩;5—栖霞组大理岩;
6—孤峰组岩石;7—龙潭组岩石;8—大隆组岩石;
9—殷坑组岩石;10—闪长玢岩

图 1 冬瓜山铜矿床典型剖面图(58 线)

收稿日期 2001-11-06

基金项目 国家“九五”科技攻关计划项目(96-116-01-01-02)

作者简介 唐礼忠(1963-)男,四川德阳人,中南大学副教授,博士研究生,从事岩土力学教学与室内试验及工程监测研究.

万方数据

2 矿岩岩爆倾向性分布

采用岩石劈裂拉伸试验、在单轴压缩条件下的荷载-变形全过程试验和保持峰值强度时的变形不变的松弛试验^[4,5],测定该矿床岩石的岩爆倾向性.试验岩样取自岩爆发生断面的岩块和地质钻探岩芯,包括该矿矿体和上下盘围岩中的 6 种典型岩石即大理岩、矽卡岩、石榴子石矽卡岩、闪长玢岩、石英砂岩和粉砂岩.

采用能量损耗指数 k 作为岩爆倾向性指标^[5].

$$k=\frac{\sigma_c}{\sigma_t}\cdot\frac{\varepsilon_f}{\varepsilon_b}.$$

(1)

式中: σ_c 、 σ_t 分别为岩石的单轴抗压强度和单轴抗拉强度; ε_f 、 ε_b 分别为峰值前和峰值后的总应变量.岩石的能量损耗指数 k 值如表 1 所示.按 k 的大小,岩爆倾向性程度由强到弱的顺序为:闪长玢岩→石英砂岩→粉砂岩→石榴子石矽卡岩→矽卡岩和大理岩.其中:矽卡岩、石榴子石矽卡岩和粉砂岩具有中等岩爆倾向;大理岩处于无岩爆倾向与中等岩爆倾向的过渡范围;闪长玢岩和石英砂岩具有较强的岩爆倾向.

表 1 矿岩的能量损耗系数 k

岩石	k	岩石	k
大理岩	20.1	矽卡岩	44.0
粉砂岩	78.0	闪长玢岩	210
石榴子石矽卡岩	68.0	石英砂岩	134

松弛试验结果表明,存在 2 种不同情况:

a. 岩石几乎不产生松弛,岩石试件全部崩裂,说明这种岩石内部所贮存的弹性变形能足以引起岩石发生强烈破坏;

b. 岩石发生松弛,岩石试件多次发出裂纹扩展的破裂声,基本不崩裂,最后荷载趋近于一个定值即残余强度,说明这种岩石内部所贮存的弹性变形能不会导致岩石发生猛烈破坏,需要其他诱导因素才会使岩石发生猛烈破坏.

前者被称为本源性岩爆倾向,后者被称为诱导性岩爆倾向^[6,7].除闪长玢岩具有本源性岩爆倾向外,大理岩、矽卡岩、石榴子石矽卡岩、石英砂岩和粉砂岩都具有诱导性岩爆倾向.

可见,矿体和底板岩石都具有中等岩爆倾向,属诱导性岩爆倾向;矿体顶板以大理岩为主,其岩爆倾向不强,处于无岩爆倾向和中等岩爆倾向的过渡范

围.由于闪长玢岩分布于顶板局部区域且分布量很少,对顶板总的岩爆倾向只产生很小的影响,因此,总体上属诱导性岩爆倾向.

3 井巷岩爆危险区的确定

该矿在开拓期间开拓井巷围岩中发生了多起岩爆.

从时间和地点上看,有的岩爆发生在刚放炮后的掌子面附近,地点距离掌子面约 2~3 m,这可能是由于岩体开挖,岩体中的应力突然发生变化,进行重新分布,并很快积聚能量,这些能量达到一定限度时得以突然释放,形成岩爆;有的岩爆发生于原有未支护和已支护的巷道围岩,而此时在其他地方通常有巷道爆破作业,这可能是因爆破形成的应力波促使或引导附近巷道围岩中的能量突然释放,为岩爆创造条件.因此,爆破对诱导附近巷道岩爆有重要作用.

此外,有的岩爆发生于工程的交叉附近和不同岩层接触带的较坚硬岩体中.由于这些部位应力高度集中,说明这些岩爆是岩石受到高应力的作用而发生的.

目前,该矿井巷围岩中有多种岩石石英闪长岩、石英砂岩、石榴子石矽卡岩、矽卡岩和含铜蛇纹石等发生了岩爆.

可见,井巷中的岩爆不仅与岩石的岩爆倾向性有关,还与岩体中的应力大小或储存的变形能大小及其释放形式有关.因此,岩爆倾向性较大,同时应力集中能够产生能量突然释放的区域都是井巷岩爆危险区域.

4 矿体回采中岩爆危险区的确定

采用有限元法进行数值模拟,分析和预测矿体回采引起的岩爆发生区域和强度.根据初步设计方案,该矿深部开采拟采用阶段空场嗣后充填法,采场分矿房、矿柱 2 步回采.为了反映 2 步回采时采矿方法矿房与矿柱之间的暴露关系,计算模型包括 2 个矿房、1 个矿柱共 3 个空间采场,模拟了-730 m 水平 52 线附近 2 个采场同时存在的情况.模型中矿房的矿柱长为 75 m,宽为 15 m,与设计方案中的相同,采场高度为矿体平均厚度(40 m),基本模型如图 2 所示.

参数值均为岩石的力学参数值.

表 3 矿岩岩体力学参数

岩体名称	弹性模量 E/GPa	泊松比 μ	容重/ $(\text{g}\cdot\text{cm}^{-3})$	抗压强度 σ_c/MPa
大理岩	15.97	0.257	2.71	74.04
砂卡岩	36.80	0.312	3.22	190.3
粉砂岩	28.93	0.209	2.71	187.17

首先,将模型边界表面结点法向约束,将原岩应力直接赋予各单元.在此基础上,采用释放荷载的方法,模拟开挖效应.根据矿体厚度与设计的落矿步距,在矿体高度方向上分 3 步模拟整个回采过程.

采用硐室周边最大切向应力 $\sigma_{1\text{围}}$ 与岩石的抗压强度 σ_c 之比 $\sigma_{1\text{围}}/\sigma_c$ 作为预测岩爆发生的应力判别条件^[8],具体的预测判据为:

- a. 若 $\sigma_{1\text{围}}/\sigma_c < 0.200$, 则几乎不发生岩爆;
 - b. 若 $0.2 \leq \sigma_{1\text{围}}/\sigma_c < 0.388$, 则可能发生岩爆;
 - c. 若 $0.388 \leq \sigma_{1\text{围}}/\sigma_c < 0.550$, 则很有可能发生岩爆;
 - d. 若 $\sigma_{1\text{围}}/\sigma_c \geq 0.550$, 则几乎肯定发生岩爆.
- 经计算得到的采场围岩应力分布如图 3 所示.

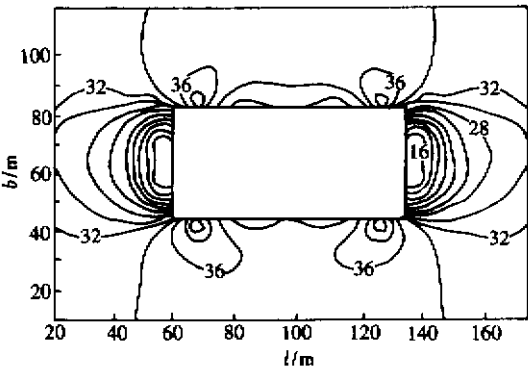
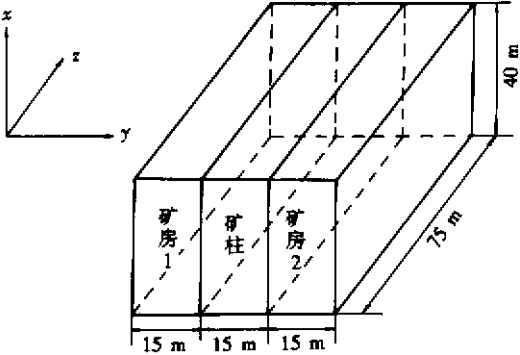


图 3 采场围岩应力分布图

计算结果表明:

- a. 在垂直走向的剖面上,采场顶板部位的 $\sigma_{1\text{围}}/\sigma_c$ 大于采场 2 个侧壁和底板的 $\sigma_{1\text{围}}/\sigma_c$. 采场周边围岩 $\sigma_{1\text{围}}/\sigma_c$ 的范围为 0.18~0.50;
- b. 沿走向方向的剖面上,采场周边围岩的 $\sigma_{1\text{围}}/\sigma_c$ 的范围为 0.10~0.50,比垂直走向剖面上的采场周边围岩 $\sigma_{1\text{围}}/\sigma_c$ 的范围大,最低值 0.10 对应于采场 2 个端部的中间部位;
- c. 顶板 $\sigma_{1\text{围}}/\sigma_c$ 值普遍较高,范围为 0.44~0.52;
- d. 矿柱中的 $\sigma_{1\text{围}}/\sigma_c$ 沿垂直方向的分布比较均匀;



z 轴沿矿体走向
图 2 基本模型示意图

模型采用如下假设:

- a. 由于矿床岩石除黄龙组大理岩外,其破坏前的变形主要为弹性变形^[4],因此,将岩石视为各向同性、均质的线弹性体.
- b. 综合考虑研究对象附近的地质情况,将数值模型简化成矿体直接顶板、矿体和直接底板 3 种线弹性介质模型.其中:顶板为栖霞组大理岩;矿体为含铜砂卡岩;底板为粉砂岩.
- c. 原岩应力采用标高为 -750 m 的实测值,见表 2.其中: σ 为应力; σ_1 为最大主应力; σ_2 为中间主应力; σ_3 为最小主应力.因该矿矿体及其上下盘岩层形态为背斜,在轴部和两翼的岩层中原岩应力可能有所不同,但由于矿体及其顶底板岩层两翼比较平缓,其内部的构造应力相差不会很大,因此,计算时所采用的原岩应力值能代表该矿的原岩应力值.

表 2 矿床原岩应力

	σ/MPa	倾角/ $^\circ$	方位/ $^\circ$
σ_1	34.33	6.37	248.42
σ_2	16.47	44.39	152.13
σ_3	248.42	-44.90	164.81

注:倾角以向上为正,向下为负;方位角以顺时针为正.

- d. 由于采场凿岩、出矿等各种辅助巷道几何尺寸与采场相比要小得多,它们对采场围岩整体应力分布的影响很少,在模型中对该尺寸的影响予以忽略.

计算使用的岩体物理力学参数见表 3. 因矿床岩体节理不发育,完整性好,因此,除岩体弹性模量是对室内岩石力学试验结果按系数 2/3 折减外,其他

e. 各个剖面上 $\sigma_{1\text{围}}/\sigma_c$ 较大的区域均为采场四角应力集中部位, 较低的区域为采场侧壁与顶板的中间部位.

由岩爆应力判据可知, 开挖后采空区周围有发生岩爆的可能, 而且周边围岩不同部位岩爆倾向强弱不同. 岩爆发生部位将集中于采场顶板、矿柱和采场四角的局部区域, 而采场侧壁中间部位 $\sigma_{1\text{围}}/\sigma_c$ 为 0.18, 不具备岩爆发生的应力条件, 不可能发生岩爆. 虽然采场顶板的 $\sigma_{1\text{围}}/\sigma_c$ 大于采场底板的 $\sigma_{1\text{围}}/\sigma_c$, 由于顶板大理岩岩爆倾向性相对较弱, 故采场顶板岩爆危险性并不比矿柱和其他部位的强.

5 结 论

a. 矿体及其顶底板岩石都具有岩爆倾向. 矿体、矿体底板具有诱导性岩爆倾向, 而矿体顶板除局部闪长玢岩具有本源岩爆倾向外, 总体上具有诱导性岩爆倾向, 且其岩爆倾向较弱.

b. 岩石具有岩爆倾向、应力高度集中且能够产生能量突然释放的区域属岩爆危险区域, 如工程的交叉处附近、不同岩层的接触带附近的较坚硬岩体等.

c. 矿床开挖后采空区围岩不同部位岩爆危险性

的强弱不同, 危险区域主要集中于采场顶板、矿柱和采场四角的局部, 而采场侧壁中央部位不会发生岩爆.

d. 爆破对其周围硐室围岩的岩爆有诱导作用.

参考文献:

[1] 杰里米克 M L. 岩体力学在硬岩开采中的应用 [M]. 赵玉学, 等译. 北京: 冶金工业出版社, 1990: 138-144.

[2] Brink A V Z. Application of a microseismic system at western ceep level [A]. Fairhurst C. Rock Burst and Seismicity in Mines [C]. Rotterdam: A A Balkema Publisher, 1990: 355-361.

[3] Tajdus A, Flisiak J, Cale M. Estimation of rockburst hazard basing on 3D stress field analysis [A]. Young R P. Rock Burst and Seismicity in Mines [C]. Netherland: Swets & Zeitlinger Publishers, 1997: 273-277.

[4] 王文星, 潘长良, 冯 涛. 某矿岩岩爆倾向性的实验研究 [J]. 中南工业大学学报 (自然科学版), 1998, 29(专辑 2): 22-24.

[5] 唐礼忠, 王文星. 一种新的岩爆倾向性指标 [J]. 岩石力学与工程学报, 2002, 21(6): 874-878.

[6] WANG Wen-xing, PAN Chang-liang, FENG Tao. Fountain rockburst and inductive rockburs [J]. J Cent South Univ Technol (English Edition), 2000, 7(3): 129-132.

[7] 冯 涛, 王文星, 潘长良. 岩石应力松弛试验及两类岩爆研究 [J]. 湘潭矿业学院学报, 2000, 15(1): 27-31.

[8] 谢学斌. 硬岩矿床岩爆预测与控制的理论和技术及应用研究 [D]. 长沙: 中南大学资源环境与建筑工程学院, 1999.

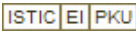
Analysis and prediction of rock burst dangerous areas in Dongguashan Copper Mine under deep well mining

TANG Li-zhong, PAN Chang-liang, XIE Xue-bin, CAO Ping

(College of Resources, Environment and Civil Engineering, Central South University, Changsha 410083, China)

Abstract Dongguashan Copper Mine is a new and the first deep hard rock metal mine in China. The distribution of the rock burst proneness of the rock strata of Dongguashan Copper Mine is determined with the results of tension tests, total stress-strain tests and tests of stress relaxation after peak strength, and the geological structure and distribution of rocks of the deposit. The characteristics of the actual rock bursts occurring in the development workings surrounding rocks in the deposit are analyzed. Prediction of rock burst dangerous areas of stope surrounding rocks in the course of mining is carried out by means of numerical simulation method, in which the ratio of the maximum tangential stress at stope perimeter to rock uniaxial compressive strength is used as the criterion of rock burst. The results show that rock burst proneness of the ore body and its foot wall rocks is moderate and that of the hanging rocks is weak, the rock burst proneness is inductive, and that rock bursts occur in areas where the rock burst proneness and stress are larger and energy stored in rocks can be released violently, which is mainly located in the cross of workings, the hard rock side of different rock contact zone, and the roof and corners of stope and ore pillars.

Key words ore deposit; deep well mining; rock burst; dangerous area; Dongguashan Copper Mine

作者: 唐礼忠, 潘长良, 谢学斌, 曹平
作者单位: 中南大学, 资源环境与建筑工程学院, 湖南, 长沙, 410083
刊名: 中南工业大学学报(自然科学版) 
英文刊名: JOURNAL OF CENTRAL SOUTH UNIVERSITY OF TECHNOLOGY (NATURAL SCIENCE)
年, 卷(期): 2002, 33 (4)
被引用次数: 24次

参考文献(8条)

1. 谢学斌 硬岩矿床岩爆预测与控制的理论和技术及应用研究[学位论文] 1999
2. 冯涛;王文星;潘长良 岩石应力松弛试验及两类岩爆研究[期刊论文]-湘潭矿业学院学报 2000 (01)
3. WANG Wen-xing;PAN Chang-liang;Feng Tao Fountain rockburst and inductive rockburst[期刊论文]-china 2000 (03)
4. 唐礼忠;王文星 一种新的岩爆倾向性指标[期刊论文]-岩石力学与工程学报 2002 (06)
5. 王文星;潘长良;冯涛 某矿岩岩爆倾向性的实验研究 1998 (29)
6. Tajdus A;Flisiak J;Cale M Estimation of rockburst hazard basing on 3D stress field analysis 1997
7. Brink A V Z Application of a microseismic system at western ceep levels 1990
8. 杰里米克 M L;赵玉学 岩体力学在硬岩开采中的应用 1990

引证文献(24条)

1. 杨志国. 于润沧. 郭然. 汪令辉 基于微震监测技术的矿山高应力区采动研究[期刊论文]-岩石力学与工程学报 2009 (z2)
2. 王国焘. 罗周全. 鹿浩. 刘晓明 CMS在矿山开采安全中的应用[期刊论文]-有色金属 (矿山部分) 2009 (5)
3. 董世华 基于微震监测技术在深井矿山地震波形的识别[期刊论文]-现代矿业 2009 (7)
4. 王发芝. 汪令辉. 谢学斌 模糊灰关联模式识别方法在岩爆预测中的应用[期刊论文]-金属矿山 2009 (5)
5. 陶建勋 微震监测技术在矿山安全管理中的应用[期刊论文]-化工矿物与加工 2009 (8)
6. 黄维新. 贾明涛. 王李管. 潘长良 深井巷道变形破坏形式与安全支护技术研究的探讨[期刊论文]-中国钼业 2008 (6)
7. 杨志国. 于润沧. 郭然 深井矿山微震事件波形研究[期刊论文]-中国工程科学 2008 (8)
8. 汪令辉 冬瓜山矿地震活动的时间分布规律研究[期刊论文]-矿业快报 2008 (9)
9. 杨志国. 于润沧. 郭然. 杨承祥. 汪令辉 微震监测技术在深井矿山中的应用[期刊论文]-岩石力学与工程学报 2008 (5)
10. WANG Yi-ming. WU Ai-xiang. CHEN Xue-song. YANG Bao-hua. SU Yong-ding New mining technique with big panels and stopes in deep mine[期刊论文]-中国有色金属学会会刊 (英文版) 2008 (1)
11. 黄维新. 贾明涛. 陈有燎. 王李管. 唐礼忠 基于微震监测技术在矿山安全管理中的应用研究[期刊论文]-中国安全科学学报 2008 (1)
12. 毕林. 王李管. 荆永滨 多介质复杂结构条件下岩体工程开挖力学响应三维数值模拟技术[期刊论文]-湖南科技大学学报 (自然科学版) 2007 (3)
13. 杨承祥. 罗周全 有岩爆倾向深井矿山采矿巷道的失稳模式分析及其控制技术[期刊论文]-矿冶工程 2007 (2)
14. 薛奕忠 有岩爆倾向的深井巷道岩层支护控制技术[期刊论文]-金属矿山 2007 (3)
15. Chengxiang Yang. Zhouquan Luo. Guobin Hu. Xiaoming Liu Application of a microseismic monitoring system in deep mining[期刊论文]-北京科技大学学报 (英文版) 2007 (1)

16. [唐礼忠](#), [杨承祥](#), [潘长良](#) [大规模深井开采微震监测系统站网布置优化](#)[期刊论文]-[岩石力学与工程学报](#) 2006(10)
17. [唐礼忠](#), [潘长良](#), [杨承祥](#), [郭然](#) [冬瓜山铜矿微震监测系统及其应用研究](#)[期刊论文]-[金属矿山](#) 2006(10)
18. [杨承祥](#), [罗周全](#), [胡国斌](#) [深井高应力矿床开采地压监测与分析](#)[期刊论文]-[矿业研究与开发](#) 2006(5)
19. [唐礼忠](#), [潘长良](#), [杨承祥](#), [郭然](#) [冬瓜山铜矿微震监测系统建立及应用研究](#)[期刊论文]-[采矿技术](#) 2006(3)
20. [李讯](#) [复杂条件下建模技术与岩体开挖稳定性研究](#)[学位论文]硕士 2006
21. [Shear stress distribution and characteristics of deformation for shear band-elastic body system at pre-peak and post-peak](#)[期刊论文]-[中南工业大学学报\(英文版\)](#) 2005(5)
22. [李铁](#), [蔡美峰](#), [张少泉](#), [李大成](#) [我国的采矿诱发地震](#)[期刊论文]-[东北地震研究](#) 2005(3)
23. [熊德闽](#) [冬瓜山围岩稳定性监测研究](#)[学位论文]硕士 2005
24. [贾明涛](#), [侯林惠](#), [潘长良](#), [王李管](#) [基于OpenGL组件技术的采矿模拟系统](#)[期刊论文]-[中南工业大学学报\(自然科学版\)](#) 2003(1)

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_zngydxxb200204002.aspx