

研究报告

新建有岩爆倾向硬岩矿床采矿技术研究工作程序

郭 然, 于润沧

(北京有色冶金设计研究总院, 北京 100038)

[摘要] 目前矿山的岩爆研究工作大都是围绕着如何预报和防治岩爆展开的, 针对如何开展新建或尚未发生过岩爆矿山的岩爆研究工作不多。文章重点探讨了新建有岩爆倾向硬岩矿床开采技术研究工作程序, 为建立有岩爆倾向深赋硬岩矿床采矿理论体系奠定了基础。

[关键词] 岩爆; 采矿技术; 工作程序

[中图分类号] TD324+1 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2002)07-0051-05

世界上大多数受岩爆危害矿山的岩爆防治工作, 都是生产过程中发生岩爆并日趋强烈后才开展研究工作的, 研究工作的重点是如何预报和防治岩爆。近年来, 我国为数不少的地下金属矿山相继转入深部开采, 有些新探明的深赋硬岩矿床的开发也已提到了议事日程。以前从未发生过岩爆, 或在生产和基建过程中发生过应变型岩爆矿床的岩爆研究工作如何开展, 到目前为止还没有一套完整的程序可循。最近, 作者在较深入研究岩爆基础理论和有岩爆倾向矿床开采技术的基础上, 总结出一套比较完整的新建有岩爆倾向硬岩矿床开采技术研究工作程序, 为建立有岩爆倾向深赋硬岩矿床采矿理论体系奠定了基础。

1 岩爆发生可能性的初步判别

初步判断矿床是否有岩爆倾向性, 是有岩爆倾向硬岩矿床开采技术研究工作的第一步。岩爆发生可能性的初步判别, 主要依据矿床地质勘探报告所提供的信息。如矿岩主要岩层为火成岩或变质岩, 在地质勘探时观察到有饼状岩心、矿体埋藏深度超过800 m、坑探或基建掘进期间出现岩爆前兆或发生弱岩爆(应变型岩爆), 那么就应开展岩石岩爆

倾向性研究工作。

1.1 矿床埋藏深度与岩爆

岩爆发生的必要条件是自重应力、构造应力和采矿次生应力的叠加超过脆性岩石强度。地应力最大主应力分量与完整岩石单轴抗压强度的比值在评价地应力高低时具有实际意义。矿体赋存深度是影响地应力大小最重要的因素之一。地应力随深度增加, 因此岩爆发生可能性也增大。研究世界上硬岩矿山岩爆历史发现^[1], 当硬岩矿山开采深度大于800~1 000 m时, 岩爆发生频率迅速增加。我国硬岩矿山采矿实践表明, 开采深度小于600~700 m时几乎还没有发生岩爆(或者说没发生破坏性岩爆), 而红透山铜矿在开采深度超过800 m时发生岩爆的频率明显增加。根据以上分析, 作者建议: 当新建硬岩矿床赋存深度超过800 m或生产矿山延深超过800 m时, 有必要进一步开展岩爆倾向性研究工作。

1.2 岩性与岩爆

岩爆大多发生在火成岩和变质岩类岩石中, 沉积类岩石较少发生岩爆。含有硅质(特别是石英含量高)的岩石具有强度高且脆性大的特点, 容易发生岩爆。当矿体本身及其直接顶底板均为坚硬脆性

[收稿日期] 2001-12-29

[作者简介] 郭 然(1963-), 男, 河北卢龙县人, 北京有色冶金设计研究总院教授级高级工程师

岩石(岩石单轴抗压强度一般超过150 MPa),特别在强度相差比较大的两种脆性岩石接触部位,岩爆发生的可能性就大大增加。岩石强度虽然较低(一般只有40~60 MPa),但是脆性大的岩石(如煤层)更容易发生岩爆,因为应力集中容易超过岩体强度。

1.3 饼状岩心与岩爆

地质勘探钻孔岩心是人们了解岩体力学特征最初的信息来源。在高应力区钻孔中岩石发生的脆性破裂实质上是微型岩爆。岩心“饼化”现象是岩石脆性和矿区处于高应力状态的明显标志,是钻孔中发生脆性破裂的结果。所谓岩心“饼化”现象是指,在地质勘探钻孔中出现大量厚薄均匀、外貌颇似麻饼的岩心。饼状岩心有以下特征:**a.** 破裂面顶凹底凸,形若盘盏,面上清晰可见严格平行延伸的微细擦纹和与擦纹相正交的拉裂坎,底面周围尚有短小的裂纹平行分布,侧面多呈截锥状;**b.** 破裂面新鲜粗糙,不见原生构造形迹。裂面没有外营力作用痕迹,无风化、蚀变和淋滤现象;**c.** 饼状岩心都呈椭圆形,长轴平行擦纹而垂直拉裂坎,在紧密嵌合连续的数块饼状岩心上,长轴沿垂直向重叠且平行。岩心厚度与岩心直径呈正比。矿床勘探期间发现大量岩心饼化现象,特别是在矿体或直接顶底板围岩中的岩心发现岩心饼化现象,预示着岩石脆性系数大,原岩应力高,极易发生岩石在高应力条件下的脆性破坏——岩爆。

1.4 探矿和基建期间的弱岩爆

新建矿山或生产矿山延深工程首先施工的主要井巷工程,其周边应力分布未受到大规模开采影响。如果在这期间发生诸如岩炮(深部岩体破裂,岩石未抛出,但伴随有响声、岩体震动和粉尘从巷道壁散落)和小块岩石弹射(应变型岩爆)现象,那么生产期间岩爆的危险性就很大,因为矿体大规模开采后,开拓和采准巷道工程周边岩体应力集中的可能性和程度均比基建时更高。在这种情况下必须抓紧开展详细的岩爆倾向性研究工作。

2 有代表性岩样岩爆倾向性研究

岩石岩爆倾向性是指在应力条件具备时,岩石发生脆性破坏的可能性。选取有代表性岩石样品,进行岩石岩爆倾向性指标测定是系统研究工作的第一步。有代表性岩样取自矿体,矿体直接顶底盘围岩,规划设计的大硐室和主要开拓、采准巷道所在

岩层。矿样一般从地质勘探钻孔岩心库直接提取,有条件时也可从基建开拓揭露岩体内取样(常与原岩应力测量结合)。

2.1 岩爆倾向性判别指标的选取^[1]

判别岩石岩爆倾向性的指标很多,有弹性能量指数 W_{ET} 、岩爆有效能量释放率 η 、下降模量指数 E/M 、冲击能量指数 W_{CF} 、岩石破坏时间指数 D_t 、和岩石脆性系数 K 等。其中应用较多的有弹性能量指数 W_{ET} 、冲击能量指数 W_{CF} 和岩石脆性系数 K 。

研究发现,真正对岩爆倾向性起主导作用的应该是岩石试块在峰值载荷前储存的弹性应变能(岩石破坏后的能量来源)与峰值载荷后直到完全破坏这一过程所要消耗的能量之比。冲击能量指数 W_{CF} 的计算,未对峰值载荷前储存的弹性应变能与塑性应变能加以区分,而是把它们之和作为计算的依据;而弹性能量指数 W_{ET} 又恰好是峰值载荷前储存的弹性应变能与塑性应变能的近似比例。因此,把 W_{ET} 和 W_{CF} 合并成一个指标是顺理成章的。作者建议采用有效冲击能量指标 W 作为岩石猛烈破坏可能性的能量判别指标。 W 可按下列公式计算:

$$W = W_{CF} \cdot \left(\frac{W_{ET}}{1 + W_{ET}} \right) \quad (1)$$

作者推荐用以下三项指标研究岩石的岩爆倾向性:有效冲击能量指数 W 、岩石最大储存弹性应变能指标 E_s ($E_s = \sigma_c^2/2E$) 和岩石试块破坏的直观表现。作者推荐上述三项指标基于这样的认识:**a.** 实验室岩石试样单轴抗压强度试验,实质上是岩石在特殊加载条件下的岩爆试验;**b.** 有效冲击能量指数 W ,从能量角度描述了岩石发生岩爆的必要条件;**c.** 岩石最大储存弹性应变能指标 E_s 是对岩爆一旦发生其强度的判别标准;**d.** 认为高强度岩石容易发生岩爆的观点是错误的,因为这与常规岩石破坏准则相矛盾。高强度岩石与低强度岩石在相同应力条件作用下更不易发生岩爆,但是,当应力超过高强度岩体强度时发生岩爆的破坏性更大;**e.** 岩石试样破坏猛烈程度的直观表现是岩爆多因素的综合体现;**f.** 上述三项指标均比较容易通过实验室试验获得。

2.2 岩爆倾向性判别指标

2.2.1 有效弹性变形能量指数 W 的判别标准
根据有关文献介绍的弹性能量指数 W_{ET} 和冲击能

量指数 W_{CF} 的判别标准, 按照公式 (1) 计算, 得出的用有效弹性变形能量指数 W 判别岩石岩爆倾向性的标准是:

$$\left. \begin{array}{l} W < 1.8 \\ W = 1.8 \sim 2.8 \\ W > 2.8 \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{无岩爆倾向} \\ \text{有中等岩爆倾向} \\ \text{有强烈岩爆倾向} \end{array} \quad (2)$$

2.2.2 最大储存弹性应变能指标 E_s 的判别标准
进行岩石试样单轴抗压强度试验, 记录 $\sigma-\epsilon$ 全过程曲线的同时, 记下试样横向应变, 这样可以求出弹性模量 E 、泊松比 μ 和单轴抗压强度 σ_c 等基本岩石力学参数。由基本岩石力学参数可以计算岩石破坏前最大储存弹性应变能 $E_s = \sigma_c^2/2E$ 。作者通过对加拿大萨德伯里地区岩石和冬瓜山典型岩石力学性能测试结果的分析^[2,3], 推荐下列岩爆强烈程度指标:

$$\left. \begin{array}{l} E_s < 0.5 \text{ MJ/m}^3 \\ E_s = 0.5 \sim 0.75 \text{ MJ/m}^3 \\ E_s > 0.75 \text{ MJ/m}^3 \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{岩爆微弱或无岩爆} \\ \text{岩爆微弱至中等} \\ \text{岩爆强度大} \end{array} \quad (3)$$

2.2.3 岩样破坏的剧烈程度 超过峰值强度后试样的宏观破坏现象, 特别是试块破坏的剧烈程度是直观判断岩石岩爆倾向性的重要依据。可以认为, 试块破坏平静缓慢的岩石没有岩爆倾向; 破坏剧烈甚至突然破坏 (无法测得完整 $\sigma-\epsilon$ 曲线) 岩石的岩爆倾向性强烈; 岩性相同的同一组试块, 有的试块破坏平稳, 而另一些岩块破坏剧烈, 这种岩石岩爆倾向性较弱或一般。

必须指出, 有效弹性能量指数 W 是上述三项指标中最主要的指标, 其他为辅助指标。 W 是判断岩石是否会发生岩爆的指标; E_s 是对岩爆发生猛烈程度的判别指标; 试块在实验室强度实验时破坏的猛烈程度是一个综合指标, 虽然难以准确定量, 但能给人一个非常直观的印象。

3 原岩应力测量

岩石岩爆倾向性判别反映的是, 应力满足岩体破坏条件时岩爆是否发生。岩石具有岩爆倾向性是矿山岩爆是否发生的内因, 而岩石承受的载荷大小则是岩爆发生的外因。即使根据典型岩石试样判断岩石具有岩爆倾向性, 但是, 如果原岩应力很低, 岩体破坏的应力条件得不到满足, 那么岩爆也不会发生。因此, 岩爆研究不仅包括岩石本身岩爆倾向性的研究, 还应该对岩石将要承受的载荷进行分

析。原岩应力是控制岩体承受载荷两个方面因素之一 (另一个方面因素是采用的工艺技术, 包括采矿方法和回采顺序等)。要确定原岩应力的量值和方位, 就得开展原岩应力量测工作。为了提高应力量测的准确度, 一般应在矿体和围岩中进行现场原岩应力量测。这项工作一般应在矿山基建探矿期间进行。一旦有井巷工程揭露矿体或矿体附近围岩就应立即开展工作。

孔壁应变法是以往最常用的现场岩体应力量测方法, 近几年采用声发射 Kaiser 效应测定岩体应力的技术得到了比较广泛的应用。

4 矿山岩爆危险性判别

岩石岩爆倾向性和原岩应力测定后, 就可以应用岩爆危险判据判断岩爆发生的可能性。对于新建矿山岩爆初期研究而言, 首先应判别应变型岩爆的危险性。将原岩应力最大主应力分量 σ_1 乘以应力集中系数 2 (一般井巷开挖后应力集中系数均大于 2), 计算出井巷周边最大主应力 $\sigma_{1周}$ 。根据 $\sigma_{1周}$ 与岩石强度 σ_c 的比值, 按文献[4]的岩爆应力判据可以预测应变型岩爆发生的可能性。岩爆的应力判据是:

$$\left. \begin{array}{l} \sigma_{1周}/\sigma_c < 0.2 \\ 0.2 \leq \sigma_{1周}/\sigma_c < 0.388 \\ 0.388 \leq \sigma_{1周}/\sigma_c < 0.55 \\ \sigma_{1周}/\sigma_c \geq 0.55 \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{几乎不发生岩爆} \\ \text{可能发生岩爆} \\ \text{非常可能发生岩爆} \\ \text{几乎肯定发生岩爆} \end{array} \quad (4)$$

5 有岩爆倾向矿床的采矿技术

岩爆的防治可以从三个方面考虑: 一是改变岩爆的内因条件, 也就是改变采掘工作面周围岩体的力学性质, 使其降低或丧失岩石固有的岩爆倾向性。岩层预处理爆破^[5,6] (也有称应力解除爆破) 是在目前世界硬岩岩爆矿山应用较为有效的技术措施; 二是改变岩爆发生的外因条件, 减小应力集中。这类技术措施主要有优化巷道形状和方位、优化巷道或采场的推进顺序、矿山井巷的总体合理布局和开采解放层; 三是由于有些岩爆无法避免, 唯一的方法就是采取减灾措施。减灾措施有采取适当的支护、对采场进行充填、调整工作制度使岩爆发生高危期间无人作业和进行岩爆预报及时疏散处于危险工作面的人员等。

有岩爆倾向矿床的赋存条件千差万别, 可采用

的采矿工艺也就不可能是唯一的。有岩爆危险矿山采矿工艺选择应遵守以下原则：

1) 空场法、充填法和崩落法这三大类采矿方法中，空场法一般不宜用于有岩爆危险矿床采矿。充填法和崩落法有利于控制矿体开采后周围岩体内的应力集中和岩体内积聚应变能的均匀释放，因此适于有岩爆危险矿床采矿。

2) 有条件时应尽可能实现连续开采，无条件实现盘区连续开采时应确保采矿工作面总体推进连续，避免全面开花到处设采场。采矿作业线推进应规整一致，不应有临时小锐角出现，也不要逐步形成孤岛矿柱。

3) 矿区内有较大规模断层或岩墙时，采矿工作面应背离这些构造推进，避免垂直朝着构造或沿构造走向推进。

4) 多层平行矿脉开采时，先采岩爆倾向性弱或无岩爆倾向矿脉，解除其他岩爆倾向性强矿脉的应力，防止岩爆的发生；岩爆倾向性强烈的单一矿脉回采时，可先回采矿块的顶柱并用高强度充填料充填，解除矿房的应力后再大量回采矿石。下向分层充填法比上向分层充填法更有利于控制岩爆。

5) 采场长轴方向应尽量平行于原岩最大主应力方向，或与其成小角度相交。

6) 应尽量采用人员和设备不进入采场的采矿工艺；人员和设备非进入采空区不可时，采场工作面要根据情况采取爆破预处理措施。预处理爆破最好采用高压气体能量大而冲击能量低的炸药（如铵油炸药）。

7) 采准工程应尽量布置在岩爆倾向性较弱的岩层内。

8) 建立矿山微震监测网，实时监测采区岩体对采矿活动的反映，及时预报可能发生的破坏性岩爆位置和强度。

9) 对矿山生产人员进行岩爆基本知识的教育，鼓励他们在施工过程中注意观察岩爆前兆现象，如岩粉量突然增加、岩粉粒度变粗和巷道壁出现玻璃镜面等。

10) 根据选择的具体采矿工艺，制定合理的工作制度，调整作业循环，使岩爆发生概率最大的一段时间内，无人和设备位于井下最危险部位。

6 有岩爆倾向深埋硬岩矿床采矿技术研究工作程序

综上所述，新建有岩爆倾向硬岩矿床采矿研究

工作一般可按下列步骤开展：首先根据矿床地质勘探报告提供的有关信息和资料，对岩爆发生可能性进行初步判别；第二步，从地质岩心库中取代表性岩样，进行常规岩石力学性能试验和岩爆倾向性指标测定；第三步，条件具备时尽早开展矿区原岩应力测量和节理裂隙统计工作，确定原岩应力的空间分布（主应力大小和方位）和优势节理产状；第四步，根据岩爆危险的应力判据判断矿床开采时应变型岩爆发生的可能性；第五步，遵循有岩爆倾向矿床开采原则，对基于一般非岩爆开采条件确定的采矿工艺进行调整，确定矿床开采初期采矿工艺；第六步，建立微震监测网对岩体进行实时监测；最后，结合监测结果和生产实践，利用反分析技术不断修改岩爆危险判据，调整回采顺序，实现有岩爆倾向矿床的安全高效采矿。新建矿山岩爆研究工作程序见图1。

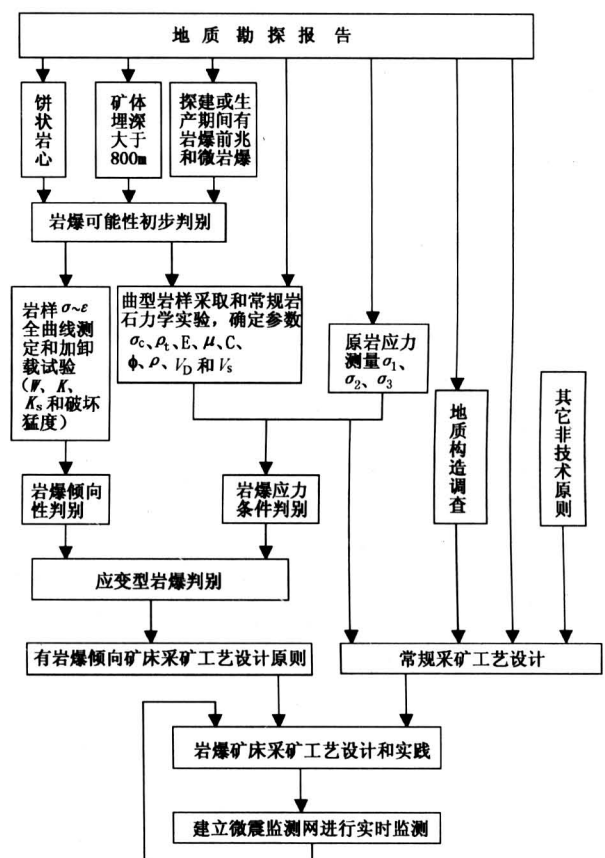


图1 新建有岩爆倾向硬岩矿床采矿技术研究工作程序

Fig.1 Working procedure for developing a new deep hard-rock burst-prone deposit

参考文献

[1] 郭 然. 有岩爆倾向深埋硬岩矿床采矿理论及其应用研究[D]. 长沙: 中南工业大学资源环境与建筑工程学院, 2000

[2] Singh S P. Classification of mine workings according to their rockburst proneness [J]. Mining Science and Technology, 1989, (8): 253~262

[3] 郭 然, 于润沧. 冬瓜山铜矿岩爆倾向性分析[J]. 有色金属(季刊), 1998, 50 (4): 16~20

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

[5] Rorke A J, Brummer R K. The use of explosives in rockburst control techniques [A]. Rockbursts and seismicity in mines [C]. Balkwma: Faihurst (ed.), Rotterdam, 1990. 377~384

[6] Lightfoot N. Rockburst control in the South African deep level gold mining industry [A]. Rock Mechanics [C]. Balkema: Aubertin Hassani and Mitri (eds), Rotterdam, 1996. 295~303

Working Procedure of Developing a New Deep Hard-rock Burst-prone Deposit

Guo Ran, Yu Runcang

(Beijing Central Engineering and Research Institute For Non-ferrous Metallurgical Industries (ENFI), Beijing 100038, China)

[Abstract] Most of the research work on rockburst in the world is now concentrated on the prediction, control and prevention of rockburst. Few work has been done on how to proceed the rockburst research in developing a new mine with rockburst tendency. In this paper, the authors create a general working procedure to develop a new hard-rock burst-prone mine. The general procedure is divided into 6 steps: initial determination of burst tendency; study of the proneness to rockburst of typical rock samples; in-situ rock stress measurement; possibility of strain burst in the mine; principles in the selection of mining techniques; setting up seismic monitoring system. The above study results lays a theoretical foundation for applied research of deep hard-rock burst-prone mining.

[Key words] rockburst; mining technique; working procedure

《中国工程科学》2002 年第 4 卷第 8 期要目预告

<p>中国直升机 运输机的未来发展 张彦仲</p> <p>共享信息的第二类网络 李幼平</p> <p>核电人因工程领域的发展 杨孟琢</p> <p>中国地震区划图应用和工程抗震 时振梁等</p> <p>现代化建设理论与决策管理机制的创新 ——学习钱学森《创建系统学》的思考 赵少奎</p> <p>油菜转基因育种研究进展 官春云</p> <p>关于下一代网络的体系结构 李国杰</p> <p>我国水环境恢复工程方略 张 杰等</p> <p>自然对流气体的摆特性及其在传感器中应用 张福学</p> <p>彩色测温方法中物体辐射色域的界定和划分</p>	<p>..... 王安全等</p> <p>基于粗神经网络的企业财务危机预警方法 柳炳祥等</p> <p>子波分析在声辐射和声散射中的应用 文立华等</p> <p>城市爆破拆除的粉尘预测和降尘措施 郑炳旭等</p> <p>独领风骚 屹立群伦——评钱学森著 《创建系统学》..... 冯国瑞</p> <p>发展绿色技术是促进企业可持续发展的 有效途径 宋修明</p> <p>稀散金属产业的现状与展望 邹家炎等</p>
---	--