

Research and application of the relationship between the inclination angle arrangement of the end wall and the ore drawing loss and impoverishment in the segmented collapse method without

Ivhuan Zhou

Jiangsu Xuzhou Mining Energy Co., Ltd., Mining Branch, Xuzhou, Jiangsu, 221000, China

Abstract

The pillarless sublevel caving mining method is widely used in metal mine extraction. There are primarily three ways to arrange the end wall inclination in this mining method, namely forward-inclined, vertical, and backward-inclined arrangements. The ore drawing effect varies significantly when different end wall inclination angles are employed. Through theoretical analysis and experimental simulation, this paper investigates the impact of changes in the inclination angle of the end wall in the sublevel caving method without sill pillars on the development and volume of the drawn body, the development and characteristics of the caved body, as well as the impact on ore drawing loss and dilution.

Keywords

No bottom pillar; Collapsing body; Release the body; Loose body; Loss and impoverishment

金属矿山无底柱分段崩落法端壁面倾角布置与放矿损失贫化关系研究与应用

周吕欢

江苏徐矿能源股份有限公司矿业分公司, 中国·江苏·徐州 221000

摘要

无底柱分段崩落采矿法广泛应用于金属矿山开采, 该采矿法端壁倾角布置方式分为前倾、垂直以及后倾布置三种方式。不同端壁倾角布置时, 放矿效果是差别迥异。本文通过理论分析及实验模拟, 研究分析了无底柱分段崩落法中端壁面倾角变化对崩落体、放出体、松动体的形态发育及特性、以及对放矿损失贫化的影响。

关键词

无底柱; 崩落体; 放出体; 松动体; 损失贫化

1 引言

无底柱分段崩落采矿法广泛应用于金属矿山开采。该采矿法端壁倾角布置主要有前倾、垂直以及后倾布置三种方式。不同端壁倾角布置时, 放矿效果是差别迥异的。

2 无底柱分段崩落采矿法

2.1 回采系统组成

无底柱分段崩落法整个回采过程是由多个环节组成复杂系统, 各环节彼此间相互联系又相互影响。爆破过程将会产生崩落体。矿体性质、爆破参数和采场的结构参数均会影响

响崩落体形成; 放矿过程中, 放出体发育受崩落体、放矿工艺影响; 松动体受约束于放出体, 在下一个循环中又影响新的崩落体的形成; 崩落体、放出体和松动体又均是在松散覆盖岩层中形成的, 均受覆盖岩层的制约^[1]。

2.2 无底柱分段崩落采矿法放矿工艺

金属矿山开采现行放矿方式主要为截止品位放矿方式^[2]。其放矿过程分为两个阶段, 纯矿石放矿阶段和贫化放矿阶段。开始放出纯矿石, 到一定数量后, 进入贫化放矿阶段, 放出矿石掺杂着废石, 随放矿持续进行, 如放出矿石品位低至一定数值, 此时从放出量中提取成品(精矿)的销售价格恰好与放矿后发生的采、选等项费用平衡, 这时的品位值称为截止放矿品位, 简称截止品位^[3-4]。

2.3 放出体、松动体、崩落体和残留体

放出椭球体又称放出体, 指在采场中漏斗放矿时所放

【作者简介】周吕欢(1987-), 男, 中国安徽滁州人, 硕士, 工程师, 从事煤矿安全及技术管理工研究。

出的一定容积大小的松散矿岩。该体积大小的松散矿石不是从采场内任意形体中流出的而是来自于近似椭球体形状的矿岩体中流出的^[7]。

从采场放出一部分散体以后，为了填充被放空的容积，将会在矿岩发生爆破后的一次松散的基础上发生的再一次松散，造成了二次松散，这是一个放出量不断补充的过程，在此过程中松散体移动范围不断扩充。将其移动范围连接起来，其形状近似于一个椭球体，即松动椭球体，简称松动体。

崩落体是指在爆破作用下在覆盖岩层中形成的矿石堆体，是放矿最主要对象，研究与控制崩落体形态及性质对提高矿石回采率有十分重要的意义^[6]。

在放矿过程中，最先放出崩落体当中的纯矿石，当达到截止品位时，停止放矿，这时会形成一定空间的纯矿石没有被放出，而该部分的纯矿石犹如一座孤岛存在于废石当中，这部分纯矿石我们称之为残留体。残留体的形成方式很多，其存在会影响下一环节的放矿^[5]。

3 无底柱分段崩落采矿法端壁倾角

无底柱分段崩落法是以一个个崩矿步距为单元回采矿体的，4 其端壁倾角布置方式是在开采设计初时首先考虑的问题，不同的端壁倾角布置对爆破放矿具有一定影响。端壁倾角是指工作面与水平面的夹角，端壁倾角布置方式主要有：三种前倾、垂直、后倾三种布置方式，具体情况如图 4.1 所示。端壁面倾角发生变化时，崩矿爆破参数也跟着发生变化，不同的爆破参数下又会形成不同性质、形态的崩落体；在放矿时，端壁面的形态又影响着放出体的形态发育，随之影响松动体的形态和松散性质。

4 端壁倾角变化对回采系统影响

4.1 单一端面布置回采各系统环节相互关系

崩落体、放出体及松动体是贯穿整个回采系统的三大紧密相连的重要组成部分。崩落体直接影响着放出体的形态发育及参数。放出体又直接影响松动体的松动范围大小、空间几何状态、物理空间参数。松动体的不同又会回馈影响下一循环回采工作中崩落体的形态及其他参数。因此，放出体、崩落体、松动体三者之间是一个相互循环联系的有机整体^[12]。

4.2 端壁面布置方式对回采系统的影响

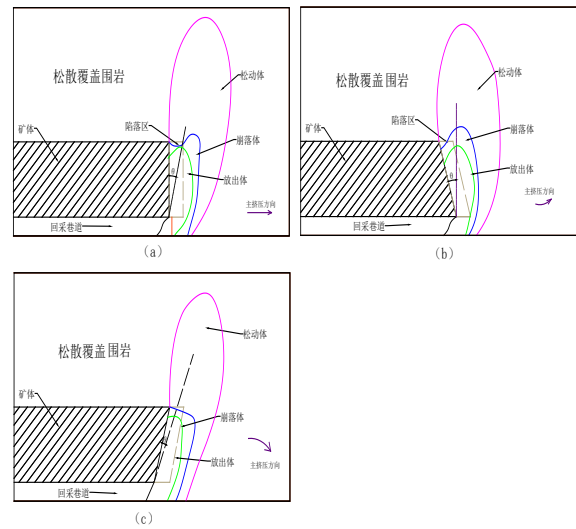
放矿时，端壁面对矿石流动产生摩擦阻力，将导致放出椭球体的中心轴偏离端壁一定角度，称之为轴偏角。该角是随端壁倾角的变化而变化，它的变化与端壁平面的粗糙程度有关，（端壁平面越光滑，角偏就越小）端壁倾角为 75°、90°、105° 时，相应的轴偏角依次为 1~3°、6~8°、15° 左右^[13]。其关系如图 3.2 所示。

端壁垂直布置时，可形成图 a 所示崩落体形态。爆破被崩落的矿岩获得爆破能量后，水平挤压围岩，自身产生松散空间，瞬时就被上覆岩石侵占，在矿岩颗粒挤压围岩过程

中，一部分能量消耗，一部分能量转变成松散围岩的弹性应变能被储存，在反弹压缩有废石混入松散矿岩，最终形成具有一个凹陷区形态的崩落体。凹陷区深度较大时，随放矿，凹陷区内的废石就会过早被放出，造成矿石损失贫化。

端壁前倾布置时，形成如图 c 从上到下几何分布较为均匀有凹陷区形态的崩落体。前倾角度过大时，在爆破作用下，被崩落的矿石会被过度压实，松散流动性较差，产生放出体体积变小，影响松动体发育，导致松动体松动范围变小。

端壁后倾布置时，形成图 b 所示崩落体形态，由于倾斜端壁面对即将下降的矿岩产生摩擦阻力作用，使上部废石混入速率下降，导致废石还“来不及”混入的假象。端壁后倾布置虽可降低崩落体的凹陷区高度，但又会影响崩落体的底部发育，造成崩落体底部发育较窄。这是因为被崩矿岩主体运行方向是斜下方。后倾越大，崩落体底部发育就越窄，随着放矿的进行，正面废石就会过早混入矿石当中，提前产生损失贫化。



a- 端壁垂直；b- 端壁后倾；c- 端壁前倾； θ - 轴偏角
图 3.2 轴偏角 θ 与端壁倾角的关系^[13] (ψ - 端壁倾角； θ - 轴偏角)

4.3 端壁倾角与矿石损失贫化关系

端壁倾角变化会导致回采系统中爆破参数、崩落体的性质、放出体的性质及松动体的性质随之发生改变的同时，还会对损失贫化产生一定的影响。

从宏观角度分析，在放矿时，端壁倾斜可以有效降低矿石贫化影响；从微观角度分析，端壁前倾与后倾时，造成一部分矿体成悬臂梁状态，分别承受自重及上部和斜上部覆盖岩层的压力，当压力过大，会使悬臂矿体产生剪切破坏瞬间垮落给安全生产带来隐患；端壁倾角变化不易过大，过大将会给整个回采工作带来负面影响，不利于优化回采系统，端壁倾角在 90° 左右小范围变化时，会对整个回采工作产生良好影响，有利于降低损失贫化。

5 端壁倾角对矿石损失贫化实验研究

5.1 实验设计及数据记录

物理仿真模拟放矿实验是目前最为常用无底柱分段崩

落法放矿研究方法。通过模拟不同端壁角度布置情况下矿石的放矿过程，记录、分析处理相关数据，找到端壁倾角对矿石损失贫化的影响关系，为矿山实践提供理论指导，充分回收矿产资源，最优经济效果。

表 5-1 实验模拟主要参数

端壁倾角	矿石块径	废石块径	崩矿步距	放矿高度	覆盖层厚度
-15° (75°) ~15° (105°)	2~10mm 平均为 5mm	1~10mm 平均为 5mm	3cm/1.5m	30cm/15m	40cm/20m

5.2 实验数据处理与分析

5.2.1 贫化参数

在实验过程中，统计出不同端壁倾角布置分次放矿时，每一次放矿总量，放出矿石量、废石质量，并计算每组实验当次贫化率、回收率以及累计贫化率等参数。并将计算处理后的每组放矿实验数据统计成表，以便后续分析。详细数据统计见表 5-2。

表 5-2 各工作面角度下损失贫化相关数据表

工作面角度	贫化系数 k_p	抗贫化系数 k_t	贫化强度 σ_p
105°	5.43	0.31	17.63
102°	6.85	0.14	49.4
99°	2.68	0.72	3.71
96°	2.42	0.63	3.87
93°	3.76	0.36	10.53
90°	2.5	0.69	3.64
87°	3.72	0.36	10.4
84°	2.43	0.64	3.77
81°	6.92	0.15	47.59
78°	7.25	0.15	49.27
75°	3.86	0.39	9.96

矿石回收率根据下式计算：

$$\eta = \frac{T'}{Q} = \frac{T(1-\rho)}{Q} \times 100\%$$

其中： η —矿石回收率，%；

T' —采出矿石的换算工业矿石量，吨；

T —采出矿石量，吨；

ρ —矿石贫化率，%；

q —工业矿石量，吨。损失率： $q=1-\eta$

研究放出的纯矿石量与贫化阶段累计放出量之间的变化关系是研究矿石损失贫化重要指标。由此在这里我们定义，纯矿石量与贫化阶段累计放出量之间比值为抗贫化系数，用 K_t 表示；累计放出废石量与纯矿石放出量之间比值为贫化系数，用 K_p 表示。

$$\text{抗贫化系数 } K_t = \frac{\text{放出纯矿石量}}{\text{贫化阶段累计放出矿石量}} = \frac{a}{c-a}$$

$$\text{贫化系数 } K_p = \frac{\text{放出废石量}}{\text{贫化阶段累计放出矿石量}} = \frac{\sum W_y}{a}$$

$$\text{贫化强度 } \sigma_p = K_p / K_t = \frac{(c-a) \sum W_y}{a^2}$$

其中： a —纯石放出量

C —截止放矿时累计放出矿石量

$\sum W_y$ —截止放矿时累计放出废石量

贫化强度是用来度量贫化发生难易程度，当贫化强度越高时，产生的贫化损失相对就越大不利于降低损失贫化；

K_t 值的大小，反应了降低损失贫化作用效果的强弱， K_t 值越大，矿石损失贫化就越小，阻碍损失贫化作用就越强。 K_p 值的大小，反应了其产生损失贫化作用效果的大小， K_p 越大，造成的损失贫化就越大，实际生产中，应尽量避免 k_p 值过大。

从图 5.1 中我们可以了解到，回采端面倾角以垂直布置为基准，前倾与后倾布置时，相同倾角下，工作面角度对矿石的损失贫化影响作用基本相同。其工作面角度变化与损失贫化间的关系曲线基本上是一个以 90° 为轴线，轴对称曲线。正如图 5.1 中所示其工作面角度与贫化系数、抗贫化系数、贫化强度关系曲线基本上呈轴对称特性。

再次分析图 5.1 中相关曲线关系可知，回采端面倾角小的角度范围变化时，工作面角度变化对贫化影响不大。端面倾角以 90° 为基准，当工作面前倾或后倾角度在 0° 到 6° 之间时（即工作面角度在 96° ~84° 之间），其对应的贫化系数、抗贫化系数、贫化强度曲线基本上呈现小幅度波浪起伏，表明端面倾角对损失贫化影响较小，放矿效果要好，回收矿石效益较高。继续增大端面倾角时，端面倾角对损失贫化的影响明显加大。如图中所示，工作面倾角在 96° ~102° 以及 78° ~84° 间变化时，对应贫化系数、抗贫化系数、贫化强度明显上升，矿石损失贫化影响加大。

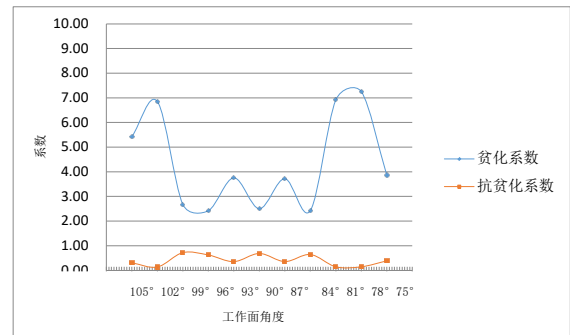


图 5.1 工作面角度布置变化与贫化关系图

6 结语

本文运用理论分析和物理模拟实验方法,研究了无底柱分段崩落法中端壁面倾角变化对放出体形态发育及体积大小、崩落体的形态发育及特性、以及对放矿损失贫化的影响。分析得出当回采工作面角度在小的角度范围之内变化时,工作面角度变化对贫化影响不大。回采工作面角度以 90° 为基准,前倾或后倾布置时,相同倾角下,工作面角度对矿石的损失贫化影响作用基本相同。无底柱分段崩落采矿法端壁垂直布置相对于其他端壁布置方式,更为为适宜。且端壁垂直布置相对于其他端壁布置方式,施工可操作性要

强,应用性更为优越。

参考文献

- [1] 翟会超. 放出体、松动体、崩落体三者关系的研究[D]. 鞍山: 辽宁科技大学, 2006.
- [2] 任凤玉, 刘兴国. 无底柱分段崩落法放矿的数值模拟及模拟程序[J]. 金属矿山, 1986,(3): 17-23.
- [3] 周宗红. 放矿理论无限边界条件. 百度文库, 2010.9/2013.6.
- [4] 俞胜健. 确定合理放矿截止品位的方法的探讨[J]. 化工矿山技术, 1992, (4): 33-37.
- [5] 余健, 汪德文. 高分段大间距无底柱分段崩落采矿新技术[J]. 金属矿山, 2008,(3): 26-31. [作者简介]