

[23] 郭学益,张磊,田庆华,等. 氧压渣非氰体系浸金及其机理[J]. 中国有色金属学报,2020,30(5):1 131-1 141.

Research on enhanced thiourea leaching of gold from roasting sand by super leaching

Du Haojie^{1,2}, Zhang Lei^{1,2}, Guo Xueyi^{1,2}, Tian Qinghua^{1,2}, Zhong Shuiping³, Wang Qinmeng^{1,2}

(1. School of Metallurgy and Environment, Central South University;

2. Cleaner Metallurgical Engineering Research Center, China Nonferrous Metals Industry Association;

3. Zijin School of Geology and Mining, Fuzhou University)

Abstract: Using roasting sand as raw material, the acid washing pretreatment process was first carried out to achieve the removal of arsenic, while removing other impurities and reducing the consumption of thiourea. The effect of sulfuric acid concentration on the leaching rate of arsenic, iron, copper and zinc was investigated, and the acid washing ore phase behavior was analyzed; at the same time, a comparative study was conducted on the leaching of gold using super leaching and conventional acid thiourea systems. The results show that acid washing pretreatment can effectively remove harmful element arsenic. Under optimal conditions, the leaching efficiency of arsenic, iron, copper and zinc are 96.3 %, 0.5 %, 22.7 % and 7.6 %, respectively; super leaching can reduce particle size, enhance reaction kinetics, achieve deep dissociation of encapsulated gold, and effectively improve the leaching efficiency of gold. The leaching efficiency of gold in the conventional acidic thiourea system is only 54.6 %, and the leaching efficiency of gold after 10 min of reaction using the super leaching process reaches 84.6 %, which can achieve efficient gold leaching.

Keywords: roasting sand; gold; thiourea; acid washing pretreatment; super leaching

+++++
(上接第 20 页)

[参 考 文 献]

[1] 张钦礼,王新民. 金属矿床地下开采技术[M]. 长沙:中南大学出版社,2016.

[2] 张伯贤,张宝,孙民航,等. 浅孔留矿诱导落矿采矿法在四儿沟门金矿的应用研究[J]. 采矿技术,2019,7(4):3-4.

[3] 王青,任凤玉. 采矿学[M]. 北京:冶金工业出版社,2020.

[4] 解世俊,周德元,宋晓天,等. 采矿手册[M]. 北京:冶金工业出版社,2008.

[5] 周君才. 难采矿体新型采矿法[M]. 北京:冶金工业出版社,1998.

[6] 张世雄. 固体矿物资源开发工程[M]. 武汉:武汉理工大学出版社,2008.

Application of short-hole induced caving sublevel open stope mining method in a gold mine

Shi Chuanlong

(Shandong Gold Group Co., Ltd.)

Abstract: In response to problems such as the development of rock joints and fractures in a gold mine, poor stability of the ore body, difficulties in preliminary mining and support, and poor safety in recovery, experimental research on the short-hole induced caving sublevel open stope mining method was carried out in localized fractured areas of the ore body. The method utilizes the mechanical properties of the rock itself and the caving stress field controlled by artificial engineering to cave crushed ores. The study provides a detailed introduction to the structural parameters of the stope, the layout of mining and cutting engineering, undercutting, and ore caving processes. Field applications have shown that with the implementation of this method, the production capacity of the stope reaches 127 t/d, the mining loss rate is 9.2 %, and the ore dilution rate is 14.6 %, achieving good results. It has reference value for the safe and efficient recovery of similar ore bodies.

Keywords: development of rock joints and fractures; fractured ore body; short-hole induced caving; sublevel; open stope mining method

浅孔诱导落矿小分段空场采矿法在某金矿的应用

时传龙

(山东黄金集团有限公司)

摘要:针对某金矿矿岩节理裂隙发育、矿体稳固性差、采准工程掘进与支护困难、回采安全性差等问题,在局部矿体破碎区域开展了浅孔诱导落矿小分段空场采矿法试验研究,利用矿岩本身的力学特性和受人为工程控制的崩落应力场来崩落破碎矿石。详细介绍了该方法的采场结构参数,采切工程布置、拉底切割和落矿等工艺。现场应用表明:采用该方法开采,采场生产能力达127 t/d,采矿损失率为9.2%,矿石贫化率为14.6%,取得了较好的效果,对于该类矿体的安全高效回采具有一定的借鉴意义。

关键词:节理裂隙发育;破碎矿体;浅孔诱导落矿;小分段;空场采矿法

中图分类号:TD853

文献标志码:A

文章编号:1001-1277(2024)04-0018-03

doi:10.11792/hj20240405

引言

采矿方法在矿山生产中占有十分重要的地位,它对矿山生产的技术经济指标,如矿山生产能力、采矿损失率、矿石贫化率、劳动生产率、成本及安全等都有重要的影响^[1]。正确合理的采矿方法不仅要满足矿山安全生产、采矿强度、作业效率等要求,还应尽可能满足采场结构简单合理、采切工作量小、资源回收率高、生产成本低等要求。

某金矿矿岩节理裂隙发育,矿体破碎,稳固性较差,坑道采掘施工过程中易发生大面积冒顶、坍塌现象。为安全高效回采该矿体,根据该金矿矿体破碎、具有一定自然崩落特性的实际,充分结合矿山回采过程中总结的经验和存在的问题,提出了利用岩体内原岩应力作为矿石破碎的主要动力^[2],在矿房两端和中部施工浅孔凿岩硐室,利用浅孔爆破辅助落矿的浅孔诱导落矿小分段空场采矿法。采矿方案实施前,工作人员对矿区内各矿段的矿石特性进行了综合调查,充分研究并对比了各矿段矿体的可崩性,合理选择了试验矿段。实施过程中,通过对采准工程布置方式及矿块参数的不断优化,最终按设计要求完成了试验矿房的回采任务,取得了较好的效果,可供同类型矿体的回采参考借鉴。

1 工程背景

1.1 矿床地质概况

该金矿床出露地层主要为中泥盆统西汉水组碎屑岩与碳酸盐岩及洞山组碎屑岩,其次为第四系黄土。矿区内矿体受背斜核部及两翼的切层断裂和破

碎带控制,矿体赋存具有明显的断裂控矿特征。主矿体长28~1180 m,断续延伸130~560 m,延伸变化较大,规模已达大型;矿体形态呈不规则透镜状、脉状,倾角陡,产状变化中等,矿体形态变化中等—复杂;矿体厚度较稳定—稳定;矿体有用组分分布均匀。矿体顶底板以层状岩石为主,且严格受断裂控制,矿岩界线明显。矿体底板为具块状结构的灰岩及变细砂岩,矿岩普氏硬度系数 $f=8\sim 10$,属坚硬岩石,在采矿工程系统范围内岩石稳固性较好。矿石裂隙发育,尤其是浅部氧化矿石多具散体结构,稳固性较差,坑道采掘施工过程中易发生大面积冒顶、坍塌现象,工程地质问题较为突出。

矿床主要充水含水层是由碳酸盐岩、碎屑岩类与断层破碎带共同构成的统一的基岩裂隙潜水含水层,富水性弱且不均一,矿坑涌水量中等。矿床勘探类型属矿体底板直接进水、水文地质条件简单的裂隙充水矿床。

1.2 矿山开采现状

目前,该矿山主要采用浅孔留矿采矿法对矿区内主矿体进行回采,在应用过程中,主要存在以下问题:

1)作业安全性差。采用传统采矿方法,作业人员需要在破碎的顶板下进行凿岩、支护、平场等作业,由于矿房顶板及两帮经常垮塌,矿房平场、支护量大,作业人员在矿房内作业时间长,安全风险大。

2)矿房的回采周期较长,采矿效率不高。由于矿岩稳固性较差,浅孔留矿采矿法上采过程中,上采高度越高,顶帮冒落现象越普遍,矿房及安全出口的维护难度越大,很难做到平整畅通。一旦被塌落的矿石堵塞,作业人员无法进入采场,底部出矿平场效果不佳,延长了矿房的回采周期。

2 试验矿块简况

2.1 地质概况

试验矿块位于该矿区主矿脉 1830 中段 1 勘探线—7 勘探线,经上、下中段穿脉工程控制,高度 40 m,矿体严格受区域性 F_1 断裂控制,平均厚度 5.25 m,上下盘边界明显。

矿体属于碎裂蚀变岩类型,含矿岩性主要为褐铁矿化蚀变岩、褐铁矿化方解石石英脉岩、褐铁矿化石英砂岩,矿体较为破碎。矿体走向 45° 左右,倾向 315° 左右,倾角 80° 左右,上下盘围岩为较破碎的砂岩及板岩,由于构造运动强烈,围岩裂隙发育。矿石安息角一般为 $39^\circ \sim 40^\circ$ 。

2.2 矿石可崩性研究

矿石自然崩落的难易程度简称为可崩性^[3]。矿岩的可崩性对采矿方法的技术经济指标影响很大,其决定拉底、爆破和放矿时间,直接影响采矿损失率和矿石贫化率。浅孔爆破诱导落矿工艺的前提是,矿房经切割拉底后,在局部区域实施浅孔爆破,形成应力集中,矿体逐渐产生破坏,达到自然崩落的效果。因此,需对矿石可崩性、崩落机理进行研究。影响矿石可崩性的主要因素包括节理、裂隙的密度,节理组数

和节理产状,节理面的状态,岩块的抗压强度,原岩应力状态,地质构造及地下水的情况等^[4]。

根据现场调查结果,试验矿块矿体节理裂隙十分发育,节理宽一般为 $1 \sim 3 \text{ mm}$,沿走向延伸 $10 \sim 20 \text{ m}$,倾向延伸 $8 \sim 12 \text{ m}$,节理充填少量泥质,连通性一般,透水性一般。岩体质量指标 RQD 值低,矿岩的抗压强度、抗拉强度、抗剪强度低,现场观察矿体凿岩 2.0 m 需 $5 \sim 7 \text{ min}$ 。氧化矿石多具散体结构,稳固性较差,地下水富集于软弱带及其两侧岩石节理中,坑道揭露后冒顶、坍塌现象普遍,在拉底过程中,矿体暴露面积达 $20 \sim 50 \text{ m}^2$ 时,开始自然崩落,矿体松软时 9 m^2 即开始崩落,崩落矿石粒度集中在 $0.01 \sim 0.50 \text{ m}$,占 95 % 以上。

3 浅孔诱导落矿小分段空场采矿法

3.1 采矿方法选择

采矿方法选择是一项十分复杂的系统工程,寻求安全、高效、经济、合理的采矿方法是矿山生产建设的迫切需要,也是矿山进行合理规划、经济开发、安全生产的经济基础^[5]。结合该试验矿块矿体地质赋存情况,经综合分析研究,该矿块矿体具有自然崩落的可能性,初步确定在该矿块采用浅孔诱导落矿小分段空场采矿法回采,标准方案见图 1。

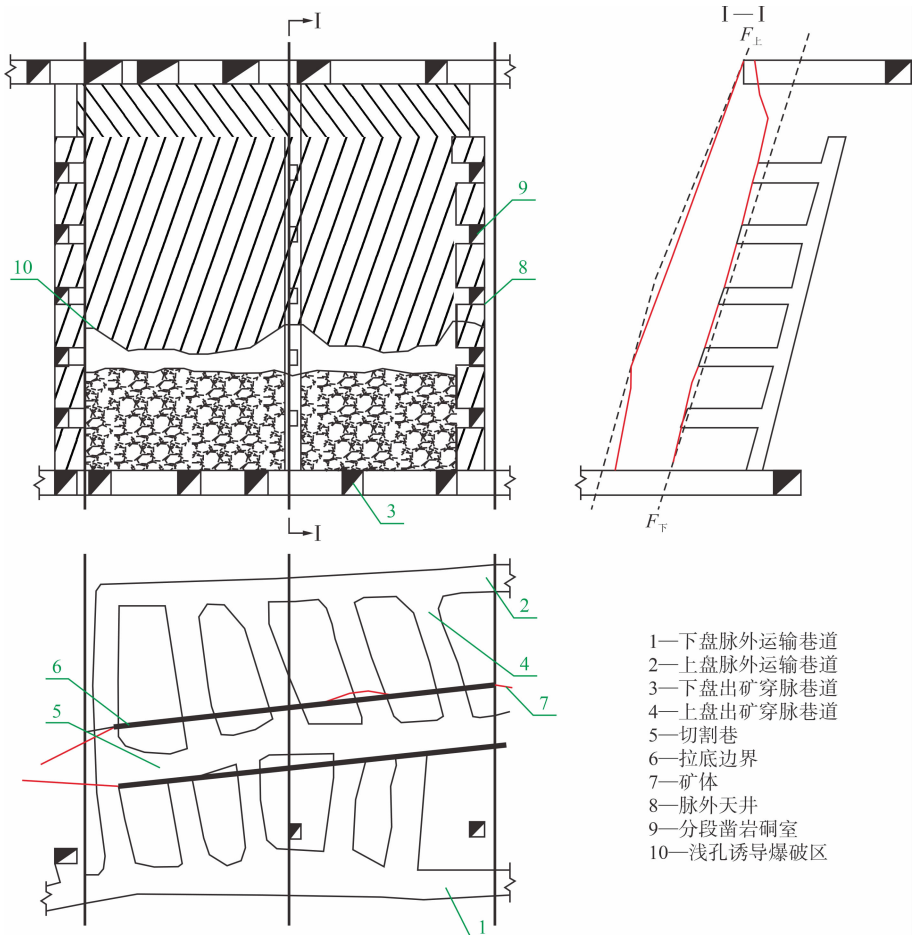


图 1 浅孔诱导落矿小分段空场采矿法标准方案示意图

Fig. 1 Standard schematic diagram for short-hole induced caving and sublevel open stope mining method

3.2 矿房结构参数确定及采准工程布置

矿块水平面积尺寸主要受矿体可崩性影响,如果矿块尺寸太小,将不能引起矿石崩落。根据该试验矿块矿石特性、岩石类型及其他结构特征,初步确定矿房沿矿体走向布置,长 40 m,高 40 m,矿房宽度即为矿体厚度,分段高 6 m,在矿体两侧留设 5 m 间柱,顶部留设 5 m 顶柱,待矿房回采结束后统一对矿柱进行回收。由于没有浅孔诱导落矿生产经验,不能确定矿体的实际崩落特性,需要获得一定的矿岩可崩性经验后逐步进行优化。

考虑到若采用有底部结构的方案,底部结构采切工程量大,支护维修困难,且存在时间长,故选用无底部结构的方案,提高回采速度。设计在距离矿体 10 m 左右的矿体上、下盘平行于矿体走向布置脉外出矿巷道,规格为 2.4 m × 2.6 m。由脉外出矿巷道垂直于矿体走向掘进底部出矿穿脉至矿体,形成双侧平底出矿结构,出矿穿脉间距 6 ~ 8 m,规格 2.2 m × 2.4 m,上、下盘交错布置。

为缩短诱导孔凿岩硐室间距,确保诱导落矿效果,加快矿房回采进度,设计沿矿体走向布置 3 条脉外天井,规格 1.5 m × 2.5 m。在脉外天井垂向上每隔 7 m 向矿体施工联络穿脉,联络穿脉规格 1.2 m × 1.8 m,联络穿脉接近矿体时进行扩刷形成凿岩硐室,凿岩硐室规格为 2.0 m × 2.0 m。在每一分段上,相邻凿岩硐室间距为 20 m。

3.3 拉底与切割工作

试验采矿方法应用的核心是如何实现矿体的有效崩落,该方法的破岩机理是利用岩体内的自然应力作为岩石破碎的主要动力,这些动力通过拉底、切割及端部爆破落矿产生集中,从而使矿岩逐渐破坏。因此,切割拉底工作是矿石实现自然崩落的前提条件,它对矿体的崩落有着十分重要的影响,通过合理的切割与拉底,引导地应力进行重新分布,使矿体实现持续、稳定的崩落,并且能够减小大块率,使崩落矿石的块度满足出矿要求。

底部出矿结构形成后,在出矿穿脉内矿体中部沿走向施工切割巷,规格为 2.0 m × 2.0 m,为控制切割巷顶板及两帮垮落,确保切割工作的安全,采用坑木进行临时支护。切割巷完成后,在切割巷内对应脉外天井联络穿脉的位置施工脉内切割井,与脉外天井联络贯通,完成切割与拉底工作。

3.4 落矿工作

矿房拉底与切割完成后,首先在底部出矿穿脉与矿体交汇处沿矿体上、下盘边界施工水平浅孔,以切割巷为自由面,将矿体底部空间全部拉开,进一步扩大拉底空间上部矿体的暴露面积,同时通过脉外天井

在矿房端部施工斜上向浅孔,沿矿体全厚形成端部切割槽。整个试验矿块矿石在大面积拉底后,低围压下受拉破坏(局部受剪切破坏),逐渐自然崩落^[6]。当矿石崩落到形成平衡拱时,出现暂时稳定,矿石停止崩落^[3]。此时,作业人员通过脉外天井进入凿岩硐室,施工诱导孔,以脉内切割井为自由面,重新形成端部切割槽,打破矿体内的自身应力平衡,达到再次诱导矿石冒落的效果。矿房冒落的矿石通过底部出矿结构进行转运,为落矿工作的持续进行提供自由空间。

矿房回采采用 YT-28 型钻机施工水平或斜上向炮孔,最小抵抗线取 0.8 ~ 1.0 m,孔深 2.0 ~ 2.5 m,采用人工装药,非电导爆管微差起爆。

3.5 通 风

采场通风采用局部强制通风,局扇安装在采场底部水平大巷新鲜风流处,风筒经脉外天井、天井分层联络穿脉进入作业面,冲洗工作面后的污风经回风侧脉外天井进入采场底部大巷,随大巷主风流进入回风系统。

3.6 主要技术经济指标

在试验矿块采用浅孔诱导落矿小分段空场采矿法进行回采,取得了较好的效果,其主要技术经济指标见表 1。

表 1 主要技术经济指标
Table 1 Major technical and economic indicators

生产能力/ (t · d ⁻¹)	采切比/ (m · kt ⁻¹)	采矿损失率/ %	矿石贫化率/ %	炸药单耗/ (kg · t ⁻¹)	采矿直接成本/ (元 · t ⁻¹)
127	21.62	9.2	14.6	0.21	4.91

4 结 论

1) 浅孔诱导落矿小分段空场采矿法充分结合矿山实际,针对该金矿矿体极其破碎,尤其是近地表的氧化矿石多具散体结构,稳固性较差,冒顶、坍塌现象较为普遍等工程特点,提出了浅孔诱导落矿的施工思路,避免了作业人员暴露在破碎顶板下作业,降低了作业人员平场、支护等作业量及劳动强度,采矿炸药消耗量也明显降低。

2) 矿体破碎且与上、下盘围岩界线明显是成功应用该采矿方法的关键,在应用过程中,应充分做好矿岩的物理力学性质分析和研究,根据矿岩特点,对脉外天井间距及天井联络穿脉的层高进行优化,以调整诱导钻孔的分布间距,达到矿山的落矿效果和回采进度要求。综上所述,在矿房局部布置施工硐室,利用浅孔爆破诱导矿石自然冒落的落矿方案是可行的,可以为该类矿体的安全高效回采提供一定的指导。

(下转第 31 页)