

# 干式松散覆岩充填体下残留矿柱回采综合技术

王志<sup>1\*</sup>, 罗焱华<sup>2</sup>, 李闯<sup>1</sup>, 谷亚州<sup>1</sup>

(1.紫金(长沙)工程技术有限公司,湖南长沙 410208;2.新疆金宝矿业有限责任公司,新疆阿勒泰 836500)

**摘要:**为保证干式松散覆岩充填体下的残留矿柱的安全回采,采用超前注浆技术固结充填体,形成具有一定强度的人工假顶,通过回采工艺、技术安全经济指标的对比,优选出合适的采矿方法,保障作业的顶板安全。现场工业试验结果证明,采用超前注浆固结技术能很好地维护采场顶板安全,对类似矿山残留矿柱的回采可以提供借鉴作用,具有较好的工程实际意义。

**关键词:**干式松散覆岩;充填体;残留矿柱;安全回采

**中图分类号:**TD853.3 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-9102(2024)02-0008-04

## Comprehensive Research on the Technology of Residual Ore Column Recovery Under Dry Loose Overburden Rock Filling

WANG Zhi<sup>1</sup>, LUO Yanhua<sup>2</sup>, LI Chuang<sup>1</sup>, GU Yazhou<sup>1</sup>

(1. Zijin (Changsha) Engineering Technology Co., Ltd., Changsha 410208, China; 2. Xinjiang Jinbao Mining Co., Ltd., Altay 836500, China)

**Abstract:** In order to ensure the safe recovery of the residual ore column under the dry loose covered rock filling, the advanced grouting technology is used to consolidate the filling body to form an artificial false roof with a certain strength, and the appropriate mining method is optimized through the comparison of the recovery process and technical safety economic indicators, which ensures the safety of the top plate of the operation. Results of on-site industrial tests prove that the use of advanced grouting consolidation technology can well maintain the safety of the top plate of the stope, and can provide reference for the recovery of similar mine residual ore columns, which is of good engineering practical significance.

**Keywords:** dry loose covered rock; filling; residual pillar; safe recovery

残留矿柱因其赋存状态的特殊性,往往都伴随着形态不规则、采空区空间位置和矿体品位多变等情况,矿柱因前期采动扰动较大,节理裂隙较发育,围岩整体稳固性差,整体回采条件极为复杂,特别是上部中段空区内留存的干式松散充填体会给残留矿柱的安全回采带来较大影响。

某矿山经过近 30 a 开采,受前期采矿技术的局限,残留了大量宝贵的金矿资源,经统计,残余黄金等金属量约 416.02 kg。矿山原采用浅孔留矿嗣后干式充填法,因残留矿柱所处环境极为复杂,一直未进行回采,为实现资源的最大化利用,研究采用超前注浆固结充填体上向分层全尾砂胶结充填法回收该部分矿体<sup>[1]</sup>。

## 1 开采技术条件

根据矿山实际生产情况,选取的试验采场高度为 10.5~12.5 m,矿体倾角为 72°,成分主要为金属硫化物硅化岩,含少量黄铁绢英岩,二者均为致密块状,硬度 5~7 级,裂隙不发育,平均抗压强度为 54.36 MPa,抗剪强度为 7.25 MPa,稳定性较好。上盘围岩为硅化蚀变岩但裂隙发育,部分大裂隙中有泥质充填,整体稳

定性差;下盘为蚀变片麻岩,硬度4~8级,比较坚硬,属中等稳固.根据实际现场调查,试验采场实际脉幅约为4.4 m,矿石平均品位约9.09 g/t,矿石量为8 037 t.

## 2 采矿方法优选

残矿资源具有规模小、分布零散、形态差异大等特征<sup>[2-4]</sup>.其回收方案选择主要取决于采矿技术条件,即残矿资源的赋存状态、矿岩稳固性程度、周围空区或充填体的状况、矿山原有采矿方法、矿石的品位及价值等.在回采阶段采取必要的安全措施,是达到安全回收残矿资源目的的关键.因此,初选注浆固结干式充填料上向分层全尾砂胶结充填法,长锚索护顶中深孔爆破嗣后充填采矿法和预留护顶层上向水平分层进路充填法这3种方案,通过对3种采矿方法的优缺点及技术安全、经济指标对比,最终确定回采方案<sup>[2]</sup>.

### 2.1 注浆固结干式充填体上向分层全尾砂胶结充填法

注浆固结干式充填体上向分层全尾砂胶结充填法是利用高压注浆的方式对上覆散体进行注浆固结,待固结体形成一定强度后作为人工假顶进行护顶<sup>[2-3]</sup>.矿房沿矿体走向布置,分层由下往上依次回采,采用二采一充回采顺序,回采过程中采用光面爆破进行落矿.整个分层回采结束后,架设人行滤水井和出矿溜井,充填后进行上一分层作业<sup>[5]</sup>.采矿方法示意图见图1.

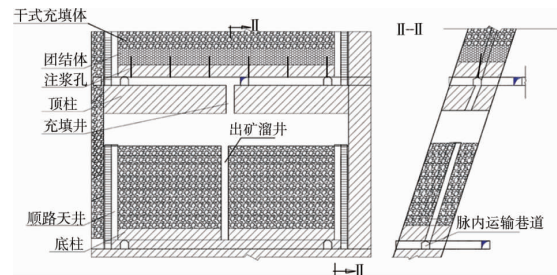


图1 注浆固结干式充填体上向分层全尾砂胶结充填法

#### 2.1.1 采场结构参数

矿房长50 m,宽为矿体脉幅宽度4.4 m,顶柱高5.5~7.5 m,底柱高5 m,分层高度为2 m.

#### 2.1.2 采切工程

主要的采切工程有顺路天井和出矿溜井,出矿溜井保持完好,两端的顺路天井有部分堵塞,可维护.

### 2.2 长锚索护顶中深孔爆破嗣后充填采矿法

在干式充填体下预留1 m厚度矿石作为护顶层,在护顶层下盘布置凿岩巷道,凿岩巷间隔2~3 m布置水平锚索孔至上盘岩体,安装锚索拉结护顶.以干式充填体为作业平台,布置上向垂直中深孔,以采场中间的充填天井和脉内巷道为补偿空间,进行中深孔一次爆破落矿<sup>[6]</sup>.采取一次性凿岩、一次性爆破落矿.采矿方法示意图见图2.

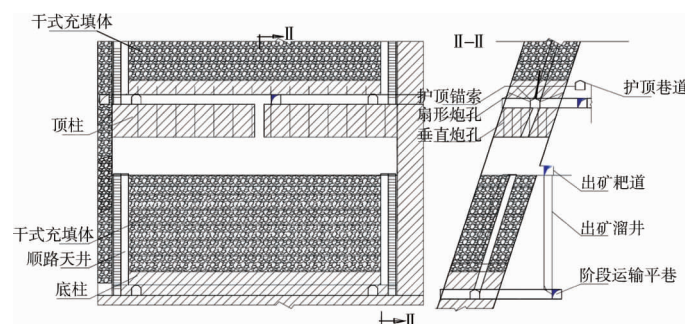


图2 长锚索护顶中深孔爆破嗣后充填采矿法

#### 2.2.1 采场结构参数

矿房长50 m,宽为矿体脉幅宽度4.4 m,顶柱高5.5~7.5 m,底柱高5 m.

#### 2.2.2 采切工程

采切工程主要有护顶凿岩巷道、电耙道和出矿溜井,在顶柱下分层空间的下盘沿走向布置出矿电耙道,耙道间隔5 m设置出矿川,在出矿电耙道中央位置设矿石溜井至下中段运输巷出矿.

### 2.3 预留护顶层上向水平分层进路充填法

干式充填体下预留约3 m的底柱护顶层作为承载层,用来支撑顶板和保障回采安全.矿房垂直走向布置,回采顺序由上盘往下盘依次退采,利用全尾砂胶结充填系统采一充一,回采过程中采用光面爆破进行

落矿<sup>[7-8]</sup>.采矿方法示意图见图3.

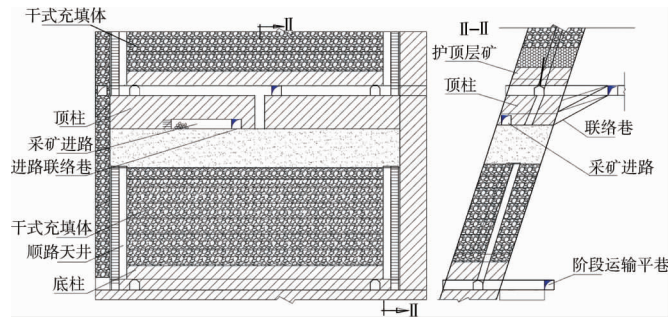


图3 预留护顶层矿上向水平分层进路充填法

2.3.1 采场结构参数

矿房垂直矿体走向布置,矿房沿矿体走向长 50 m,宽 2.2 m,高 2.5 m.

2.3.2 采切工程

主要的采切工程有分层联络巷.

经分析各方法各有利弊,3种方案优缺点对比见表1,技术经济指标对比见表2.为了更安全经济地回收高品位残留矿柱,根据表1、表2及矿山实际生产情况进行分析,方案一施工简易、损失率小且采矿成本相对较低,方案二采切工程量大、工艺复杂且损失率大,方案三生产能力小、通风较差且损失率大.因此矿山井下干式充填体下残留矿柱的回收,推荐采用注浆固结干式充填体上向水平分层全尾砂胶结充填法进行回采,并进行工业试验,优化采场结构参数<sup>[6,9]</sup>,为以后类似矿体的回采提供技术指导.

表1 采矿方法优缺点对比

方案	方案一 注浆固结干式充填体上 向分层全尾砂胶结充填法	方案二 长锚索护顶中深孔爆破 嗣后充填采矿法	方案三 预留护顶层上向水平 分层进路充填法
优点	①超前注浆固结干式充填料,使充填体具有一定强度,可起到承载作用 ②根据固结体强度不留或仅留少量护顶矿,损失率小 ③沿用原采矿法技术工艺,工人经验丰富,易于掌握	①留设薄板护顶矿柱,超前锚索拉结支护,安全性较好 ②中深孔爆破,生产能力大 ③作业人员不在顶板下出矿,安全性好.	①进路跨度小,失稳概率小,安全性好 ②留设护顶矿柱安全性较好
缺点	超前注浆固结干式充填体稳固性难以准确掌握	①采切工程量大 ②锚索护顶,工艺复杂,支护费用高 ③留设薄板护顶矿柱,出矿时留有三角矿,损失率较大 ④大块率高	①留设护顶矿柱损失率大 ②生产能力较小 ③不易通风,必须局部通风

表2 技术经济指标对比

采矿方法	采场生产能力/(t/d)	损失率/%	贫化率/%	采矿成本/(元/t)
注浆固结干式充填体上向分层全尾砂胶结充填法	72.3	12.3	8.56	128.3
长锚索护顶中深孔爆破嗣后充填采矿法	100.0	17.0	12.82	177.6
预留护顶层上向水平分层进路充填法	71.0	25.0	9.12	132.8

3 回采工业试验

3.1 高压注浆散体充填

为保证安全回采,在试验采场回采前,注浆作业人员在试验采场间隔 8~16 m 布置注浆钻孔,并通过

注浆设备对试验采场内上覆废石松散体进行注浆固结作业,以保证试验安全回采。

### 3.2 凿岩爆破

采用 YT28 型浅孔凿岩机,炮孔水平交错排列,钻凿平行孔进行挑顶,孔深 2.3 m,孔间距 0.8 m,炮孔堵塞长 0.7 m,周边眼采用间隔装药的方式。

### 3.3 通风防尘与顶板管理

试验采场回采通风利用矿井通风系统北风井的主负压,风流由试验采场南行人井进入,冲洗工作面后经上部天井或充填井进入中段回风巷排出地表。爆破后,对爆堆进行喷雾洒水。凿岩、出渣前,应清洗距工作面 10 m 内的岩壁。每一次采场回采爆破通风后,必须敲帮问顶,处理松石。

### 3.4 出矿运输

根据试验采场现有条件,利用原采场溜矿井作为试验采场溜矿井,崩落矿石由 2JPB-30 kW 电耙运至溜矿井内,矿石经下中段由矿车运出。利用矿山已建成的地表充填站,采用矿山不含氧化物的浮选尾砂作为充填集料。各分层采用全尾砂胶结充填,分次充填到设计高度,分层高度为 2.0~2.5 m;各分层下部充填灰砂质量比为 1:8 的水泥尾砂,分层上部充填灰砂质量比为 1:4,厚 0.5 m 的水泥尾砂形成出矿底板,养护达到回采作业要求强度后即可进行下一工作,即循环的凿岩落矿工作。

## 4 试验效果

试验采场利用高压注浆的方式对松散覆岩充填体进行固结护顶,形成稳定性较好的人工假顶,具有很好的承载性,保障残留矿体回采的顶板安全。

试验采场共安全采出矿石 7 650 t,矿石贫化率为 8.56%,损失率为 12.3%,可回收金属约 30 kg,可获经济效益约 340 万元。

试验结果表明:采用高压注浆固结干式充填体的方式可以安全地回收干式松散充填体下的残留矿柱,试验取得了较好的技术经济指标,解决了矿山复杂条件下残留矿柱回采难题,对其他类似残留矿体的回采可起到借鉴作用。

## 5 结论

1) 采用高压注浆的方法固结上部采空区内的干式废石充填体,使干式充填体固结形成一个整体,具有很好的承载性,保障残留矿体回采的顶板安全。

2) 采用注浆固结干式充填料上向分层全尾砂胶结充填法,成功解决了矿山复杂条件下的残留矿柱回采难题,可最大程度地回收可利用资源,避免造成资源浪费。

### 参考文献:

- [1] 王志,钟生元,姚银佩,等.河北石湖干式充填体周边矿柱低贫损回采技术研究报告[R].长沙:湖南有色冶金劳动保护研究院,2020.
- [2] 杨八九,侯克鹏,王建贵,等.散体注浆下矿房低贫化回采技术应用研究[J].有色金属(矿山部分),2021,73(1):28-32.
- [3] 鲍敏,毛勇.提高充填体强度降低采场损失与贫化[J].有色金属(矿山部分),2018,70(3):21-23.
- [4] 薛小蒙,莫东旭,罗佳,等.大直径深孔落矿工艺在低品位厚大矿床开采中的应用[J].矿业研究与开发,2020,40(4):8-11.
- [5] 张宝,刘涛,李向东,等.上向水平分层充填法试验盘区回采顺序数值模拟研究[J].矿业研究与开发,2016,36(10):11-15.
- [6] 欧任泽,何立夫.基于 3D- $\sigma$  有限元法的采场结构参数优化[J].有色金属(矿山部分),2019,71(4):5-11.
- [7] 王纪东,于仲才,张鑫.某复杂地质矿区采矿方案设计研究[J].采矿技术,2018,18(6):1-3.
- [8] 林卫星,李建波,甯瑜琳,等.岭南金矿民采区域采矿方法优化研究[J].有色金属(矿山部分),2016,68(2):8-11.
- [9] 董群柱,张宝,李永辉,等.大店沟金矿多层中厚矿体采矿方法方案论证研究[J].矿业研究与开发,2016,36(4):7-10.