

doi:10.3969/j.issn.1671-4172.2024.01.008

# 倾斜薄状铅锌矿体开采方法研究

周雷强<sup>1</sup>, 陈嘉<sup>2</sup>

(1. 河南省地质矿产勘查开发局第三地质矿产调查院, 郑州 450000;

2. 河南理工大学能源科学与工程学院, 河南 焦作 454003)

**摘要:**对倾斜薄状矿体进行开采时,常常会面临采矿方法选择难的问题。某矿区内的铅锌矿体主要赋存于断裂带中,矿区内待开采的矿体属于倾斜薄状矿体。为了开采矿区内的铅锌矿资源,采用平硐+盲斜井的开拓方式,并根据矿区内矿体特征和开采技术条件,确定采用留矿全面采矿法对该铅锌矿进行开采。对留矿全面采矿法的采场矿块结构、采准、切割工程、回采落矿工艺进行了设计。结合相关经济指标,认为该采矿方法能够满足矿山实际生产需求,采用的留矿全面采矿法适合开采矿岩较稳固的倾斜薄状矿体,可为相关铅锌矿体的开采提供参考。

**关键词:**倾斜薄状矿体;开拓方式;留矿全面法;采矿方法;铅锌矿床

**中图分类号:**TD853.32 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-4172(2024)01-0056-05

## Study on the mining method of an inclined thin lead-zinc deposit

ZHOU Leiqliang<sup>1</sup>, CHEN Jia<sup>2</sup>

(1. No. 3 Institute of Geological &amp; Mineral Resources Survey of Henan Geological Bureau, Zhengzhou 450000, China;

2. School of Energy Science and Engineering, Henan Polytechnic University, Jiaozuo Henan 454003, China)

**Abstract:** When mining inclined thin ore bodies, it is often difficult to choose mining methods. The lead-zinc ore bodies in a mining area are mainly hosted in the fault zone, and the ore bodies to be mined in the mining area are inclined thin ore bodies. To mine the lead-zinc resources in the mining area, the development method of adit + blind inclined shaft is adopted, and according to the characteristics of the ore body and mining technical conditions in the mining area, the comprehensive mining method of shrinkage is determined to mine the lead-zinc mine. The stope ore block structure, mining preparation, cutting engineering, and mining and falling process of the comprehensive mining method are designed. Combined with the relevant economic indicators, it is considered that the mining method can meet the actual production needs of the mine. The comprehensive shrinkage mining method is suitable for mining the inclined thin ore body with stable mining rock, which can provide reference for the mining of related lead-zinc ore bodies.

**Key words:** inclined thin ore body; development mode; full shrinkage stoping; mining method; lead-zinc deposit

金属矿产资源具有种类多、赋存条件复杂、地质构造不同等特点,在对金属矿山进行开采时,需要根据其具体地质条件,选择合适的开采方法<sup>[1-2]</sup>。矿体的倾角和厚度对于采矿方法的选择、采场布置及采场生产能力等有很大程度的影响<sup>[3-5]</sup>。郝学冉等<sup>[6]</sup>

针对矿体赋存条件为缓倾斜极薄的铅镍矿体,采用上向水平削壁充填采矿法开采,对于相关特征矿体开采具有借鉴意义。王军民等<sup>[7]</sup>基于黄金洞金矿开采矿脉为缓倾斜薄矿脉的特征,研究分析后选取了两步骤倾斜分条嗣后尾砂胶结充填采矿法,并通过采场试验取得了较好的经济效益。对于缓倾斜薄至中厚矿体,董凯程等<sup>[8]</sup>结合某磷矿的地质条件,提出了不同条件下的采矿方法。倾角为 $30^{\circ}\sim 50^{\circ}$ 、厚度为0.8~5 m的矿体被称为倾斜薄状矿体,而留矿全面采矿法兼具留矿法和全面法的特点,通过实际

收稿日期:2023-05-31

基金项目:河南省高等学校重点科研项目(21A440010)

作者简介:周雷强(1979—),男,高级工程师,从事矿山水工环地质管理工作。E-mail:sunhecun1@126.com。

通信作者:陈嘉(1998—),男,硕士研究生,从事岩石力学方面的研究。E-mail:ccj256k@163.com。

应用可认为其适于倾斜薄状矿体的开采<sup>[9-11]</sup>。中厚矿体是指厚度为 4~15 m 的矿体,许多学者针对不同倾角下的中厚矿体采矿方法进行了研究与优化<sup>[12-15]</sup>。

为了开发利用铅锌矿床,不同地区赋存条件不同的铅锌矿,选择的采矿方法是不同的<sup>[16-17]</sup>。二里河铅锌矿矿山对不同开采技术条件下铅锌矿体采矿方法不断进行优化,结合其 20 多年的生产实践,总结了不同地质条件下的采矿方法优选原则<sup>[18]</sup>。红岭铅锌矿南西翼为急倾斜中厚矿体,经过工业应用表明该矿体采用无底柱浅孔留矿法能够实现高效开采<sup>[19]</sup>。阿尔登铅锌矿原有的浅孔留矿法已无法满足矿山的生产,李阳松等<sup>[20]</sup>对其进行采矿方法优选后,提出分段空场采矿法作为其今后的采矿方法。

倾斜薄状矿脉在我国金属资源中占有一定的比例,以往开发这类矿脉主要采用浅孔留矿法,随着时代的发展,需要对倾斜薄状矿脉的开发进行新的研究。某矿区内铅锌矿赋存条件为倾斜薄状矿体,基于铅锌矿的矿体特征和开采技术条件,通过对开采方法的分析,采用的留矿全面采矿法可实现矿山资源高效开发,对类似倾斜薄状矿体的开采具有参考意义。

## 1 矿体特征和开采技术条件

### 1.1 矿体特征

某矿区内主要开采两个矿体, I 号矿体为工业铅锌矿体, II 号矿体为低品位铅锌矿体。矿体主要赋存在  $F_1$  断裂带内。 $F_1$  断裂带分布在矿区南部,其断裂带宽度为 0.5~3.0 m,带内矿化程度高,可以发现黄铅锌矿化、方铅矿等,含矿带总体走向  $290^\circ$ ,断层倾角  $45^\circ$ ,倾向北东  $5^\circ\sim 20^\circ$ ,是区内主要的含矿断裂带,两个矿体均属于薄状倾斜矿体。图 1 为 I 号矿体和 II 号矿体相对位置示意图。

I 号矿体赋存在  $F_1$  含矿断裂带内,矿体分布标高 994~1 194 m,埋深 0~290 m。矿体地表出露长度约 90 m,形态为横的“S”形。控制长度 470 m,控制最大斜深 240 m。矿体厚度 0.28~2.52 m,平均厚度为 1.18 m。Pb 品位区间为 0.55%~18.3%,平均品位 6.57%;Zn 品位区间为 0.38%~8.90%,平均品位 1.99%;伴生矿产有 Ag、S。

II 号矿体在 I 号矿体的北侧,位于 I 号矿体上部,相距 45~58 m 左右。矿体分布在标高为 1 090~1 167 m,埋深 0~116 m。矿体地表出露长度约 50 m,形态为横的“一”形。控制长度 50 m,控

制最大斜伸 105 m。矿体厚度为 0.97~2.53 m,平均厚度 1.75 m。Pb 品位区间为 0.17%~0.88%,平均品位 0.68%;Zn 品位区间为 0.70%~1.06%,平均品位 0.80%。

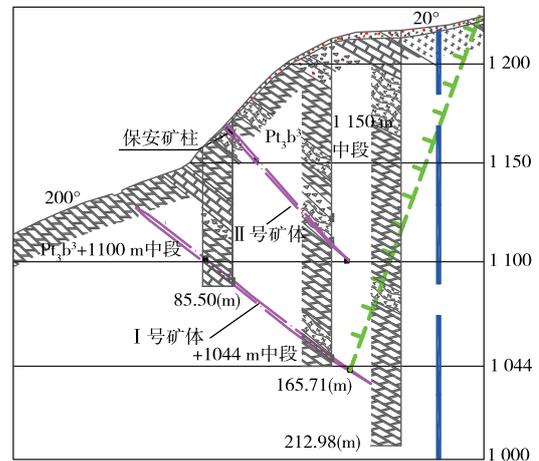


图 1 I 号矿体和 II 号矿体相对位置示意图

Fig. 1 I ore body and II ore body relative position diagram

### 1.2 开采技术条件

铅锌矿体赋存于含矿断裂带内,矿体形成原因为热液交代作用。铅锌矿床围岩主要由大理岩、白云石大理岩、片岩、板岩等组成,抗压强度为 85~110 MPa,围岩坚硬且致密,稳固程度较好,抗风化能力较强,矿体顶底板均为白云石大理岩,其中白云石大理岩比较完整,在无裂隙或裂隙发育少的情况下,工程地质条件简单,矿体的围岩界线与断层接触,矿体内夹石分布数量相对较少。矿区基岩的裂隙发育程度、风化程度由地表到地下深处逐渐降低,说明岩石的稳固性逐渐增强,矿体赋存于构造断裂带中,稳固性比较好。开采时掘进的巷道承载能力强,除了位于构造断裂带发育部位的巷道需要局部支护外,通常情况下可以不采取支护措施。

## 2 开拓及运输系统

### 2.1 地采采区开拓运输方案

矿区内的 2 个矿体,矿体空间关系为上下重叠,两矿体距离较近,开采时采用同一个开拓系统,即平硐+盲斜井开拓,共在 994、1 044、1 100、1 150 m 四个中段布置有开拓巷道。

I 号矿体和 II 号矿体 1 100 m 中段均采用平硐开拓,利用 PD1100 及 1 100 m 中段,向西掘进平巷至矿体西边界,与 FJ1125 通过回风天井连通,利用原有的 YM1 巷道,向巷道东部掘进回风天井与 FJ1158 风井连通。

1 044 m 和 994 m 中段都采用盲斜井开拓,通过在 PD1100 巷道内掘进盲斜井到井底,盲斜井井口标高为 1 100 m,井底标高为 994 m,盲斜井与 1 044 m 生产中段通过中部甩车场连接,在盲斜井下部设有 10 m 的平车场,平车场与 994 m 生产中段相连。在各中段掘进巷道至矿体端部,通过行人通风天井与上中段连通。在最低中段 994 m 中段布置有水泵房、内外水仓、泵房通道及管子道等。

矿体 1 100 m 以下中段的矿石、废石及材料采用盲斜井提升,盲斜井斜长 238 m,垂直深度 106 m,倾角  $26.5^{\circ}$ 。盲斜井采用斜井串车提升,每次提升 2 辆矿车。平硐及中段运输方式采用矿车运输,矿山生产矿岩(废石)通过 PD1100 运出,各中段运输轨距为 600 mm。

## 2.2 开采顺序及首采中段

按照先采上盘区矿体后采下盘区矿体的开采顺序,Ⅱ号矿体由于 1 150 m 中段以上设计利用储量较小,将 1 100 m 中段定为开采中段,先开采Ⅱ号矿体,待Ⅱ号矿体开采结束后,再在Ⅰ号矿体单个中段布置 2 个回采采场同时开采。

Ⅰ号矿体设 1 100、1 044、994 m 三个生产中段,在每个生产中段均可布置 10 个矿块进行生产工作。以主运输平硐(PD1100)为界,可将Ⅰ号矿体分为东、西两翼。Ⅱ号矿体在Ⅰ号矿体西翼上部,相距 45~58 m 左右。Ⅱ号矿体开采储量较小,设 1 100 m 及 1 150 m 开采中段,1 100 m 中段只能布置一个矿块进行开采。

## 3 留矿全面采矿法

矿山进行生产前,需要根据矿体的地质条件及赋存条件,矿石价值、品位及其分布特征,环境、经济等因素合理的选择适合矿山开采的采矿方法,不同条件下的矿体选择的采矿方法是不同的。留矿全面采矿法适用于矿体倾角为  $30^{\circ}\sim 55^{\circ}$ 、厚度比较薄的矿体,其结合了留矿法和全面法的特点,是适应性强、灵活程度高的采矿方法<sup>[3]</sup>。根据矿区矿体赋存特征、矿床开采技术条件,矿区内的两个矿体属于倾斜薄矿体类型,结合矿山实际情况,拟采用采矿方法为留矿全面采矿法。

### 3.1 矿块结构参数的选定

矿块沿矿体走向方向布置,根据矿体赋存情况,设计的采场整个矿块长度 50 m,阶段高度为 40~50 m,分别留设 5 m 高的底柱、3 m 高的顶柱(靠近采空区和地表矿块区域设置顶柱高为 5 m)和间隔 6 m 设

置隔离间柱。采场内根据岩石稳固情况和矿石品位留设不规则矿柱,不规则矿柱不进行回收。

### 3.2 采准、切割工程

采准、切割工程为:通过矿脉内的中段运输平巷向上掘人行通风天井、回风天井与上中段脉内运输平巷(回风平巷)相通,在围岩内掘天井。每隔 5 m 向两侧位置掘进长度为 2 m 的联络道,然后在下部距离运输平巷与底柱高度相同位置处,沿矿体走向开掘切割平巷,同时在矿块两端掘进采场放矿漏斗,两侧各布置一个放矿漏斗。通过这些工程完成一个矿块的采准、切割工作。

### 3.3 回采工艺

回采方式为自中段由内侧向外侧前进式开采,矿房自下而上进行回采工作,每次向上推进宽度为 2~3 m,由于矿体厚度小于 3 m,可沿矿体一次性将全部矿石采下,出矿时依靠电耙和放矿漏斗结合,出矿步骤与留矿法基本相同,进行局部放矿形成矿堆,为上方采场创造足够的操作空间,矿石开采完后,使用电耙配合进行大量放矿。当矿体厚度不超过 1.0 m 时,可部分顶板崩落以保障作业空间高度足够,确保回采高度自矿体底板开始高度不低于 1.6 m。人员、材料通过人行上山经联络道进入采场。

#### 3.3.1 凿岩落矿

采用 YSP-45 型的凿岩机凿岩落矿,凿岩前要仔细检查周围是否留有浮石和残(盲)炮;检查水、风管路、机械设备是否完好,待检查完毕后进行凿岩工作。凿岩时要严格遵守相关安全规程,确保凿岩过程的安全。凿岩采用的钻头直径为 38~40 mm,炮孔深度为 2.0~2.5 m,孔间距 1.0~1.5 m,排间距 0.9~1.2 m。爆破采用乳化炸药,装药方式为人工装药,使用专用电子雷管进行爆破作业。落矿方式为浅孔落矿,采用 2DPJ-13 型电耙出矿,矿石在采场底部通过放矿漏斗放入矿车并通过运输巷道运出。

#### 3.3.2 矿柱回采和采空区处理

为了对矿石回采率进行提高,在每个中段开采后,需对间柱从下向上回采,矿柱回采时采取隔一个间柱采一个间柱的方式。为了维持运输巷道的安全,顶底柱不进行回收,回采完成后对采空区进行封闭处理。

### 3.4 采场通风

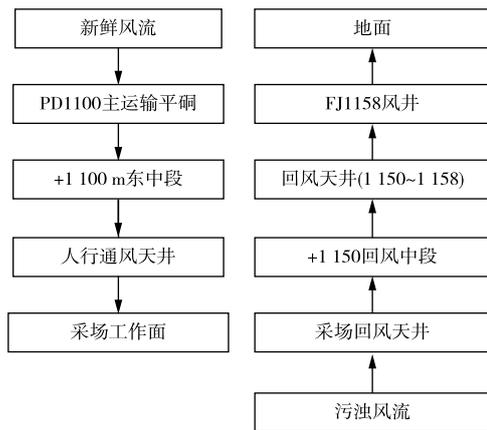
整个矿区采用两翼对角式通风,采区东、西分别布置有回风井。根据计算的风机所需风量及负压,选择 FBCZ-6-No14 型轴流式通风机,在采区东翼 FJ1158 风井和采区西翼 FJ1125 风井各布置一台,

配备电机功率为 30 kW,风压范围为 241~882 Pa,风量范围为 8.8~26.6 m<sup>3</sup>/s。主通风机另配同型号电动机一台,风机转数  $n=980$  r/min。由于 II 号矿体储量小,开采时间短,因此主要对 I 号矿体采区通风线路进行说明。

### 3.4.1 采区东翼通风线路

图 2 为 I 号矿体 1 100 m 中段采区东翼通风线路图。

1 100 m 中段以上通风线路为:PD1100 主运输



(a)1 100 m中段以上采区东翼通风线路图

平硐→1 100 m 东中段→行人通风天井→采场工作面;清洗工作面的污风由采场回风天井→1 150 回风中段→回风天井(1 150~1 158)→FJ1158 风井→地面。

1 100 m 中段以下通风线路为:PD1100 主运输平硐→盲斜井→车场→中段运输平巷→行人通风天井→采场工作面;清洗工作面的污风由回风天井→上部回风巷→回风天井(1 150~1 158)→FJ1158 风井→地面。



(b)1 100 m中段以下采区东翼通风线路图

图 2 I 号矿体采区东翼通风线路图

Fig. 2 Ventilation circuit diagram of the east wing of No. 1 ore body mining area

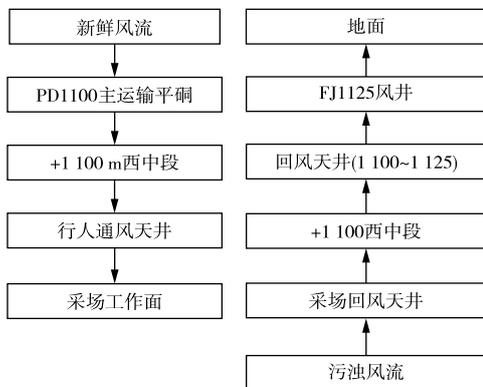
### 3.4.2 采区西翼通风线路

图 3 为 1 号矿体 1 100 m 中段采区西翼通风线路图。

1 100 m 中段以上通风线路为:PD1100 主运输平硐→1 100 m 西中段→行人通风天井→采场工作面;清洗工作面的污风由采场回风天井→1 100 m 西中

段→回风天井(1 100~1 125)→FJ1125 风井→地面。

1 100 m 中段以下通风线路为:PD1100 主运输平硐→盲斜井→车场→中段运输平巷→行人通风天井→采场工作面;清洗工作面的污风由采场回风天井→上部回风巷→回风天井(1 100~1 125)→FJ1125 风井→地面。



(a)1 100 m中段以上采区西翼通风线路图



(b)1 100 m中段以下采区西翼通风线路图

图 3 I 号矿体采区西翼通风线路图

Fig. 3 Ventilation circuit diagram of the west wing of No. 1 ore body mining area

### 3.5 经济指标分析

根据矿体的赋存条件及选择的采矿方法,选择两个采场进行工业试验,获得的留矿全面采矿法主要经济指标如表1所示。由表1的经济技术指标可以看出,采用留矿全面采矿法进行开采的采场贫化率、损失率较小,采场生产能力能够满足矿山的生产任务。因此,可以认为选择全面留矿采矿法可以开采矿岩较稳固的倾斜薄状矿体。

表1 留矿全面法采矿法主要经济技术指标  
Table 1 Major economic and technical indexes of full shrinkage method

序号	指标名称	指标
1	采场生产能力/(t·d <sup>-1</sup> )	60
2	普岩台效/(t·台班 <sup>-1</sup> )	60
3	采矿工效/(t·工班 <sup>-1</sup> )	6~8
4	采切比/(m·kt <sup>-1</sup> )	12
5	损失率/%	15
6	贫化率/%	12

## 4 结论

1) 矿区内主要开采两个矿体,对两个矿体的赋存条件进行了分析,两个矿体距离较近,共用一套开拓系统,采用平硐+盲斜井的开拓方式。I号矿体为主要开采矿体,设三个中段生产;II号矿体储量小,设两个生产中段。

2) 基于矿区内矿体为倾斜薄状矿体的开采技术条件,结合其相关工程要求,综合分析后认为该矿体适合采用留矿全面采矿法进行开采。

3) 对留矿全面采矿法采场的矿块结构参数,采准、切割工程及回采落矿等进行了设计。通过分析采场工业试验获得的经济指标,认为留矿全面采矿法可应用于矿岩较稳固的倾斜薄状铅锌矿体的开采。

### 参 考 文 献

- [1] 解世俊. 金属矿床地下开采[M]. 北京:冶金工业出版社,2006.  
XIE Shijun. Underground mining of metallic deposit [M]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 2006.
- [2] 杨彪. 固体矿床开采方式影响因素和选择方法探讨[J]. 矿业工程研究, 2017, 32(1): 1-6.  
YANG Biao. Investigation on the influence and selection of solid deposit mining methods [J]. Mineral Engineering Research, 2017, 32(1): 1-6.
- [3] 于润仓. 采矿工程师手册(上)[M]. 北京:冶金工业出版社, 2009.  
YU Runcang. Mining engineers' handbook (I) [M]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 2009.
- [4] 刘树新,邢杰,宋德林,等. 白音哈尔矿薄及中厚破碎倾斜矿体

开采技术研究[J]. 黄金, 2021, 42(3): 37-42.

- LIU Shuxin, XING Jie, SONG Delin, et al. Research on mining technology for thin and medium thick broken inclined ore body of Baiyinhaer Mine[J]. Gold, 2021, 42(3): 37-42.
- [5] 贾彦州. 鑫泰矿业公司薄至中厚复杂难采矿体采矿方法优化及应用[J]. 黄金, 2020, 41(2): 38-42.  
JIA Yanzhou. Optimization and application of the mining method for thin to medium-thick complex and hard-to-mine ore bodies in Xintai mining company[J]. Gold, 2020, 41(2): 38-42.
- [6] 郝学冉,叶振华. 缓倾斜极薄铅镍采矿方法研究[J]. 现代矿业, 2022, 38(6): 96-98, 127.  
HAO Xueran, YE Zhenhua. Study on mining method of gently inclined extremely-thin Mo-Ni orebody [J]. Modern Mining, 2022, 38(6): 96-98, 127.
- [7] 王军民,曹艳武,颜红迪,等. 缓倾斜薄矿脉高效规模化采矿工艺技术应用研究[J]. 矿业研究与开发, 2022, 42(4): 1-4.  
WANG Junmin, CAO Yanwu, YAN Hongdi, et al. Application research on high-efficiency and large-scale mining technology for gently-inclined thin vein [J]. Mining Research and Development, 2022, 42(4): 1-4.
- [8] 董凯程,杨小聪,田云飞,等. 缓倾斜薄至中厚矿体采矿方法研究[J]. 矿业研究与开发, 2016, 36(5): 10-13.  
DONG Kaicheng, YANG Xiaocong, TIAN Yunfei, et al. Study on mining method of slightly inclined orebody with thin-medium thickness [J]. Mining Research and Development, 2016, 36(5): 10-13.
- [9] 刘贞表,李家泉. 倾斜、薄矿体开采方法的探讨[J]. 现代矿业, 2012, 28(6): 58-59.  
LIU Zhenbiao, LI Jiaquan. Discussion on mining method of inclined thin ore-body [J]. Modern Mining, 2012, 28(6): 58-59.
- [10] 林友,尤本勇,董继德,等. 观天厂铜矿倾斜薄矿体开采工艺研究[J]. 金属矿山, 2018, 47(2): 46-49.  
LIN You, YOU Benyong, DONG Jide, et al. Study on mining technology of inclined thin orebody in Guantianchang copper mine [J]. Metal Mine, 2018, 47(2): 46-49.
- [11] 汪洋,赵强,张海明,等. 基于留矿全面采矿法的倾斜薄矿体开采技术[J]. 现代矿业, 2014, 30(9): 36-38.  
WANG Yang, ZHAO Qiang, ZHANG Haiming, et al. Mining technology of inclined thin ore body based on comprehensive mining method [J]. Modern Mining, 2014, 30(9): 36-38.
- [12] 严祥波,王贻明,徐恒,等. 某倾斜中厚矿体的留矿全面采矿法[J]. 金属矿山, 2016, 45(9): 35-39.  
YAN Xiangbo, WANG Yiming, XU Heng, et al. Application of full shrinkage stoping in inclined medium thickness ore-body [J]. Metal Mine, 2016, 45(9): 35-39.
- [13] 杨宁,尹贤刚,欧任泽,等. 缓倾斜中厚矿体采矿方法研究[J]. 矿业研究与开发, 2021, 41(3): 10-12.  
YANG Ning, YIN Xiangang, OU Renze, et al. Study on the mining method of gently-inclined and medium-thick ore body [J]. Mining Research and Development, 2021, 41(3): 10-12.

(下转第 67 页)

- 化工,2021,44(1):91-93.  
LIU Jinguang. Application of non-blasting rock breaking technology in mine production[J]. Coal and Chemical Industry, 2021,44(1):91-93.
- [5] 王泗代. 非爆破破岩工艺在国外的应用[J]. 有色金属设计, 2000(4):40-44,57.  
WANG Sidai. Application of non-blasting rock breaking technology in foreign countries[J]. Nonferrous Metals Design, 2000(4):40-44,57.
- [6] 陈宝心, 刘海卫, 刘伟, 等. 钻孔劈裂器破岩技术及其应用[J]. 采矿技术, 2006,6(4):85-87.  
CHEN Baoxin, LIU Haiwei, LIU Wei, et al. Rock breaking technology of borehole splitter and its application[J]. Mining Technology, 2006,6(4):85-87.
- [7] 贾海军, 祁海莹, 唐述明, 等. 气动便携式矿山救援裂石机的设计[J]. 矿业安全与环保, 2012,39(6):40-42.  
JIA Haijun, QI Haiying, TANG Shuming, et al. Design of portable pneumatic mine rescue crusher[J]. Mining Safety and Environmental Protection, 2012,39(6):40-42.
- [8] 康兰方, 冀玉豪, 王琳, 等. 复杂环境下引水隧洞控制爆破与液压劈裂破岩技术研究[J]. 中原工学院学报, 2022, 33(4): 57-63.  
KANG Lanfang, JI Yuhao, WANG Lin, et al. Research on rock breaking technology of controlled blasting and hydraulic fracturing in diversion tunnel under complex environment[J]. Journal of Zhongyuan University of Technology, 2022, 33(4): 57-63.
- [9] 范纯超, 孙扬, 黄丹, 等. 极破碎不稳固难采矿体悬臂式掘进机  
机械落矿试验研究[J]. 有色金属(矿山部分), 2020, 72(6): 25-29.  
FAN Chunchao, SUN Yang, HUANG Dan, et al. Mechanical mining test of cantilever roadheader for extremely broken and unstable ore body[J]. Nonferrous Metals (Mining Section), 2020,72(6):25-29.
- [10] 潘景升, 闻德生, 吕世君, 等. 液压劈裂机在铁矿开采中的应用[J]. 机械工程师, 2001(11):57-59.  
PAN Jingsheng, WEN Desheng, LYU Shijun, et al. Application of hydraulic splitting machine in iron mining[J]. Mechanical Engineer, 2001(11):57-59.
- [11] 李金龙. 开采贵金属薄矿脉的新方法:劈岩机无爆破采矿新工艺研究[J]. 北京矿冶研究总院学报, 1992, 1(1):23-30.  
LI Jinlong. A new method for mining thin veins of precious metals: research on new mining technology without blasting with rock splitting machine[J]. Journal of Beijing General Research Institute of Mining and Metallurgy, 1992, 1(1): 23-30.
- [12] 范恩荣. 新型静液压破岩方法初探[J]. 矿山机械, 2000, 28(11):22.  
FAN Enrong. Preliminary study on a new hydrostatic rock breaking method[J]. Mining & Processing Equipment, 2000, 28(11):22.
- [13] 刘海卫. 钻孔劈裂器破岩机理的数值模拟研究[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2007.  
LIU Haiwei. Numerical simulation of rock breaking mechanism of borehole splitter [D]. Wuhan: Wuhan University of Technology, 2007.

### (上接第 60 页)

- [14] 张东杰, 拓明轩, 刘树新, 等. 急倾斜中厚破碎矿体空场嗣后充填安全开采技术研究[J]. 金属矿山, 2022, 51(5):50-55.  
ZHANG Dongjie, TUO Mingxuan, LIU Shuxin, et al. Study on safe mining technology of open stoping with subsequent filling in steeply inclined medium-thick broken orebody [J]. Metal Mine, 2022, 51(5):50-55.
- [15] 夏建波, 林友, 林吉飞, 等. 梁花阱铜矿急倾斜中厚矿体开采工艺研究[J]. 金属矿山, 2019, 48(6):82-85.  
XIA Jianbo, LIN You, LIN Jifei, et al. Study on mining technology of steeply inclined medium thick orebody in Lianghuajing copper mine[J]. Metal Mine, 2019, 48(6):82-85.
- [16] 童大志, 朱根鹏, 任国顺, 等. 红岭铅锌矿南西翼残留急倾斜薄矿体采矿方法优选及应用[J]. 黄金, 2021, 42(12):29-32.  
TONG Dazhi, ZHU Genpeng, REN Guoshun, et al. Optimized selection and application of the mining method for the remaining steeply inclined thin ore bodies in southwest wing Hongling lead-zinc mine[J]. Gold, 2021, 42(12):29-32.
- [17] 赵兴东, 黄雪松, 关强兵, 等. 后退式落矿干式充填采矿法在三道桥铅锌矿的实践[J]. 采矿技术, 2020, 20(3):4-7.  
ZHAO Xingdong, HUANG Xuesong, GUAN Qiangbing, et al. Practice of backward dry filling mining in Sandaoqiao lead-zinc mine[J]. Mining Technology, 2020, 20(3):4-7.
- [18] 赵林海, 李宗利, 张磊, 等. 二里河铅锌矿采矿方法的综合利用[J]. 现代矿业, 2019, 35(3):59-63.  
ZHAO Linhai, LI Zongli, ZHANG Lei, et al. Composite application of mining methods for Erli River [J]. Modern Mining, 2019, 35(3):59-63.
- [19] 曹学勇, 朱根鹏, 曲展鹏, 等. 无底柱浅孔留矿采矿法在红岭铅锌矿的应用[J]. 黄金, 2017, 38(10):40-43.  
CAO Xueyong, ZHU Genpeng, QU Zhanpeng, et al. Application of shallow-hole shrinkage with no sill pillars mining method in Hongling Lead-Zinc Mine[J]. Gold, 2017, 38(10):40-43.
- [20] 李阳松, 周礼. 阿尔登铅锌矿采矿方法优化研究[J]. 有色金属: 矿山部分, 2019, 71(6):5-8, 18.  
LI Yangsong, ZHOU Li. Optimization of mining method in Alden lead-zinc mine[J]. Nonferrous Metals (Mining Section), 2019, 71(6):5-8, 18.