doi:10.3969/j.issn.1671-4172.2022.05.007

新型顶底柱、边角残矿回采技术及其在某铅锌矿的应用

龙 翼[1],史文豪[2],李 强[3],李兵磊[2]
(1. 紫金矿业集团股份有限公司,福建 龙岩 364000;
2. 福州大学 紫金地质与矿业学院,福州 350108;
3. 紫金(长沙)工程技术有限公司,长沙 410006)

摘 要:矿产资源属于自然界中的不可再生资源,其储量非常有限。为了能够最大程度地开采矿物资源,避免矿产资源不必要的浪费,矿柱的回采势在必行。然而,随着地下矿床的开采,地应力对采矿工作的影响不可避免,矿柱的回采更是如此,回采的同时必须要做好地应力的处理。因此,基于某铅锌矿上部中段现行的顶底柱回采技术,针对其不足之处,提出了一种新型的顶底柱、边角残矿回采技术方案。解决了之前开采技术中存在的采切效率、安全性、贫化率和损失率方面的问题,提高了矿区的经济效益,也为同类型矿山的矿柱回采方案设计提供了一个思路。

关键词:铅锌矿;矿区顶底柱;矿柱;爆破方案;残矿回采
中图分类号:TD861.1 **文献标志码**:A **文章编号**:1671-4172(2022)05-0037-07

New-type mining technology of top and bottom pillars and corners and application in a lead-zinc mine

LONG Yi[1], SHI Wenhao[2], LI Qiang[3], LI Binglei[2]
(1. Zijin Mining Group Co., Ltd., Longyan Fujian 364000, China;
2. Zijin School of Geology and Mining, Fuzhou University, Fuzhou 350108, China;
3. Zijin(Changsha) Engineering Technology Co., Ltd., Changsha 410006, China)

Abstract: Mineral resources are non-renewable resources in nature, and their reserves are very limited. In order to maximize the exploitation of mineral resources and avoid unnecessary waste of mineral resources, it is imperative to mine pillars. However, with the exploitation of underground deposits, the influence of in-situ stress on mining work is inevitable, especially for pillar mining, and in-situ stress must be treated well during mining. Therefore, based on the current top and bottom pillar mining technology in the upper middle section of Fankou lead-zinc mine, this paper puts forward a new type of top and bottom pillar and corner residual ore mining technology in view of its shortcomings. The problems of mining efficiency, safety, dilution rate and loss rate existing in the previous mining technology have been solved. It improves the economic benefit of the mining area, and also provides an idea for the pillar mining scheme design of the same type of mine.

Key words: lead-zinc mine; top and bottom pillar of mining area; pillar; blasting scheme; remaining ore recovery

国内外金属矿山地下开采,基本上是采用两步骤回采的采矿方法[1-5]。作为第二步骤回采的矿柱比例占采场矿量的 15%~60%不等;此外,为保护地表构筑物、河流和湖泊以及井巷工程,一些矿山还需留保安矿柱。因此,及时而有效地回采矿柱,对充分利用国家资源,延长矿山服务年限,提高矿山经济效益,都具有极为重要意义[6-11]。此外,这也是改变目前矿山多阶段作业,及其所带来的井下工人劳动生产率低,管理复杂,运输、通风和压风设备得不到有效利用,以及能耗高等问题的关键所在。同时,设计和生产矿山正确选择矿柱回采方法,是降低矿石损失与贫化,改善矿山技术经济指标,确保作业安全的重要一环[12]。例如,朱斌等[13]基于三维激光空

收稿日期:2022-08-22
基金项目:福建省科技厅自然科技基金面上项目(2022J0567)
作者简介:龙 翼(1976—),男,博士,高级工程师,采矿工程专业。

区扫描,对东塘子铅锌矿区中的不同类型矿柱提出了不同的回采方法。最终,现场测试取得了较好结果,为矿山创造了良好的经济效益;董世华[14]针对隔离矿柱回采存在的问题,采取一系列措施进行优化,实现了回收率从 70%到 81%的突破;孙健等[15]基于呷村银多金属矿实际情况,拟定了三种回采方案。最终根据技术、经济条件对比,选择了第三种方案,并成功应用于生产之中。因此,本文基于某铅锌矿上部中段的现行顶底柱开采技术,针对其不足之处,提出了一种新型的顶底柱、边角残矿开采技术。

1 某铅锌矿矿区现有矿柱回采技术及主要存在问题

1.1 某铅锌矿矿区简介

该铅锌矿位于韶关市仁化县境内,董塘盆地北缘,是目前我国乃至亚洲最大的铅锌生产基地。矿区地理坐标为 N25°05′00″~25°07′06″,E113°37′07″~113°39′12″,面积约 11 km^2,南距韶关市 48 km,206 国道于矿区南部通过,交通便利。矿山始建于 1965 年,1968 年投产,现已具备日处理铅锌矿石量 5 000~5 500 t,年产铅锌金属量 18 万 t 的综合生产能力。经过 40 多年的开采,目前-360 m 以上中段采场大部分为间柱和难采采场,并逐步向边远和深部矿体开采。井下采矿作业中段多,区域广,顶底柱和难采矿体回采矿量约占年产量的 10%,间柱采场回采矿量约占年产量的 30%以上,采掘作业面达 300 多个。

1.2 矿区目前的矿柱回采方案

将顶底柱划分成条形矿房,两步骤回采,一步骤矿房宽度为 8 m,二步骤矿房宽度为 7 m,矿体高度为顶底柱残矿全厚(一般为 8 m)。回采时凿岩台车在下部拉底平巷内钻凿上向中深孔,装药台车装药,以切割槽和凿岩平巷为自由面和初始补偿空间,一次爆破崩落采场矿石。矿体回采在充填体顶板下面进行,为确保作业安全,采用遥控铲运机出矿,人员不进入空场作业,回采完毕,密闭采场并充填接顶,该回采方法采用全机械化作业。间隔式回采,一步骤矿体回采时,二步骤矿体作为矿柱支撑采场顶板,二步骤矿房两侧为充填体。图 1 为该采矿方法的示意图。

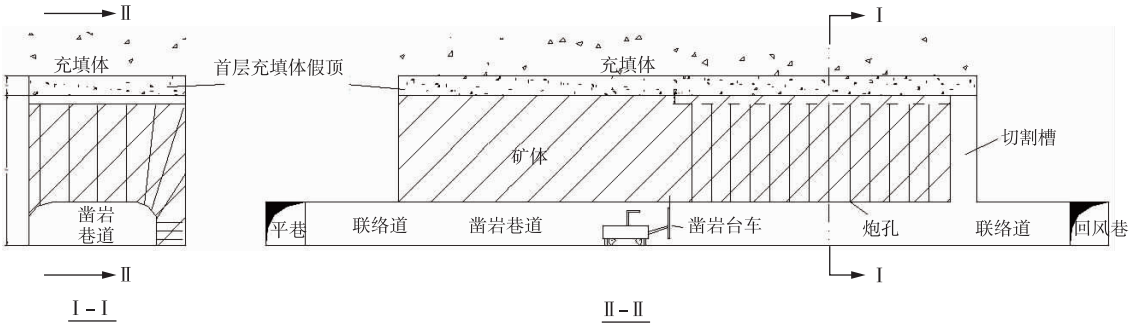

图 1 现行回采方案示意图

Fig. 1 Schematic diagram of current mining scheme

1.3 现行方案缺点

该矿现有的顶底柱残矿回采工艺存在以下缺点:

1)采切工程量大:由于需要凿岩台车进入,拉底空间较大,采场底部大部分被拉开,因此采切工程比较大,且采切效率较低。

2)安全性差:安全性差主要来自采场底部拉开较大,采场两帮大部分为充填体,顶部矿体缺少可靠的支撑,这些都大大降低了回采作业的安全性。

3)贫化、损失率大:由于受到回采工艺的限制,对于较为破碎的顶底柱残矿不敢轻易施工回采巷,造成部分矿体损失,无法回收,对于产状较为复杂的矿体,必须夹杂回收部分废石,造成很大的贫化。

2 新型的顶底柱、边角残矿小型化设备高效回采方案

将顶底柱划分成条形矿房,两步骤回采,一步骤矿房宽度为 8 m,二步骤矿房宽度为 7 m,矿体高度为顶底柱残矿全厚(一般为 8 m)。回采时 YGZ-90 凿岩机在下部拉底平巷内钻凿上向扇形中深孔,装药台车装药,采场预先施工切割井,回采爆破是采用中深孔爆破成井,并以切割井和凿岩平巷为自由面和初始补偿空间,一次爆破崩落采场矿石。矿体回采在充填体顶板下面进行,为确保作业安全,采用遥控铲运机出矿,人员不进入空场作业,回采完毕,密

闭采场并充填接顶,该回采方法采用全机械化作业。间隔式回采,一步骤矿体回采时,二步骤矿体作为矿柱支撑采场顶板,二步骤矿房两侧为充填体。图 2 为该采矿方法的示意图。

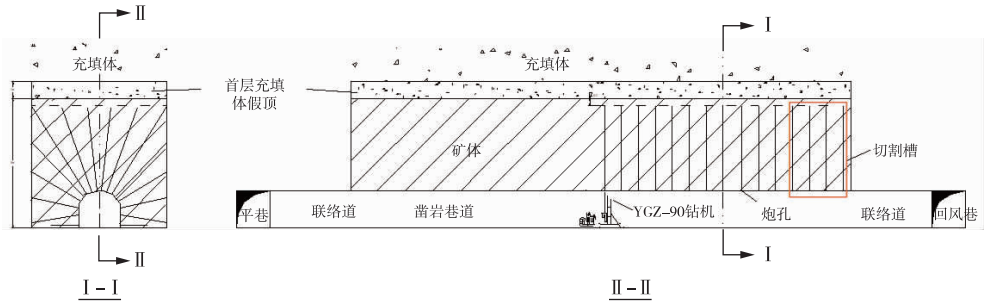

图 2　新型顶底柱残矿小型化设备高效回采方案示意图

Fig. 2　Schematic diagram of high-efficiency mining scheme of new miniaturized equipment for roof and bottom pillar residual ore

具体步骤如下:

1)采准工作主要包括采场进路、凿岩平巷;切割工作主要有切割横巷。由原来的分段平巷掘进采场进路(规格 3.0 m×3.0 m)进入采场,采场进路施工完毕后,在矿房中间位置掘进式施工凿岩平巷(3.2 m×3.2 m)贯穿回风巷,矿体稳定性好的采场可以对凿岩巷道两帮扩帮挑顶处理,留设边柱,增大凿岩硐室空间。

2)采切工作完成后,进行采场回采作业,采用中深孔成井爆破形成切割井,以切割井为自由面和初始补偿空间一次爆破崩落矿石。

3)采用 YGZ-90 钻凿上向扇形中深孔,孔径为 Φ60 mm,排距为 1.3～1.5 m,孔底距为 1.6～2.0 m,炮孔一次施工完,靠近底板的边帮中深孔控制不到的矿石可采用手钻打眼。

4)顶底柱采场采用一次爆破整个采场,以切割槽为自由面后退式崩矿。采用小型装药台车装填矿用乳化炸药,单位炸药消耗量为 0.3～0.4 kg/t,填塞长度为 1.0～1.5 m,拉槽孔采用双发毫秒差导爆管雷管起爆,孔内不敷设导爆索;回采孔采用单发毫秒差导爆管雷管起爆,孔内敷设导爆索,同段之间导爆索进行连接。起爆系统为导爆管—导爆索起爆。

5)每次爆破后,新鲜风流由无轨运输巷通过采场进路进入采场,充分清洗工作面后(通风时间不少于 40 min),污风经回风平巷排入主回风巷。

6)保通风良好后,采用遥控铲运机将矿石运至溜井;崩落矿石出完后,即进行下一循环作业,底柱采场比较长或者底柱比较破碎时,回采一定长度后停止回采,对已回采空区进行充填立模,以控制地压和安全回采剩余矿石。

采用新型顶底柱、边角残矿小型化设备高效回采方案的主要优势为:

1)安全性好:新采矿工艺是在凿岩巷里作业而不是目前的底柱全拉开那样,这样就大大降低了顶板暴露面积,顶板不会出现较大垮落,采用遥控铲运机出矿,工人不进入空区作业。

2)损失、贫化率、大块率能得到很好地控制,通过优化新工艺的炮孔设计、崩矿参数设计能有效地控制以上指标。

3)爆破过程中边帮顶板没有较大垮落:揭露工作断面比较小,能有效减少应力集中,并在爆破过程中采用隔段降振措施,能保证在回采过程中使边帮顶板没有较大垮落。

3　工程实例

本节将结合具体实施例对新型顶底柱、边角残矿小型化设备高效回采方案的具体细节作详细说明。

3.1　Sh-320 m 中段 S9# 采场

Sh-320 m 中段 S9# 底柱采场地层内发育有北北东向大断层及次一级小断层。地层间构造发育,易脱层、剥落,整体性较差;矿体结构较差,构造发育,易片帮、冒落,同时矿体形态复杂,分支复合较多。采场位于控制线 X191～X200,采场宽度 9 m,长度 20 m,矿量 3 800 t,采场上部、下部及两边均已回采并充填完成。回采工艺如下:

1)中深孔设计

采用 YGZ-90 钻机施工中深孔,孔径 Φ=60 mm。孔网参数:切割横巷位于凿岩巷道东端,向采场两帮拉开,见充填体,切割横巷宽 3 m,高3 m。采用上向平行中深孔拉槽,拉槽采用对角爆破拉槽,布置 4 个空孔作为补偿空间,拉槽区采用上向平行中深孔 1.2 m×1.2 m。侧爆区采用扇形中深孔布

置排距 1.3 m,孔底距 1.6 m,排面方位 0°,排面与水平面夹角 80°。凿岩巷道两帮在中深孔无法施工的位置采用 YT-28 钻机补 1.0～1.5 m 的边孔,打眼至见充填体。回采中深孔斜孔施工至充填体,拉槽孔每排施工一个探眼至充填体。第 18、19 排炮孔第 4、5 号孔要与一分段进路底板打透。回采中深孔炮扇形孔共 19 排,189 个炮孔,共计长度 612.1 m。拉槽上向平行中深孔 64 个炮孔,共计长度 198.4 m。具体中深孔设计见图 3,拉槽炮孔设计见图 4,回采炮孔设计见图 5。

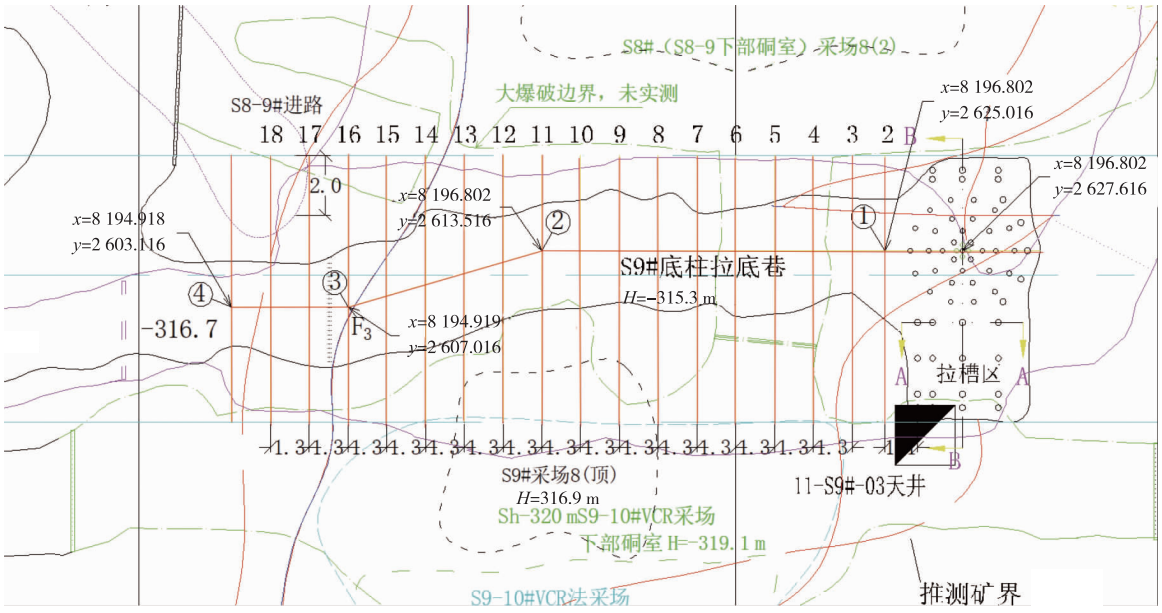

图 3 Sh-320 m S9# 底柱试验采场中深孔炮孔设计

Fig. 3 Blast hole design of medium-long hole in Sh-320 m S9# bottom pillar test stope

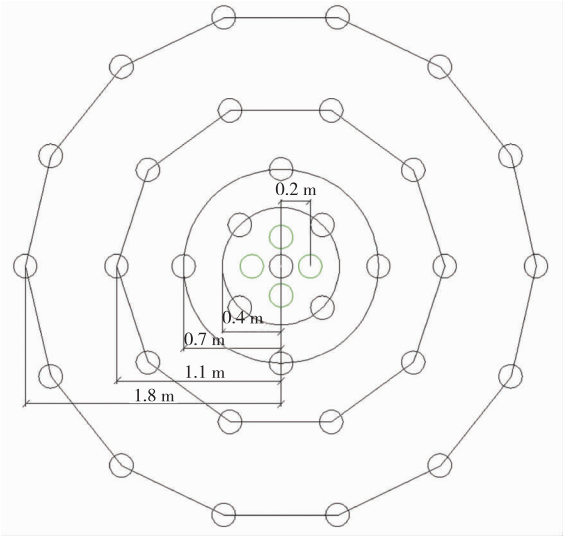

图 4 拉槽区炮孔布置图

Fig. 4 Blast hole layout drawing of pulling groove area

2)爆破

Sh-320 mS9# 底柱采场切割槽中深孔及回采扇形中深孔根据实测情况,总计 64 个深孔,回采 2 排中深孔炮孔 10 个,浅眼补孔 4 个,回采 3 排中深孔炮孔 10 个,浅眼补孔 4 个,全部炮孔施工基本达到设计要求。炮孔深度见表 1。

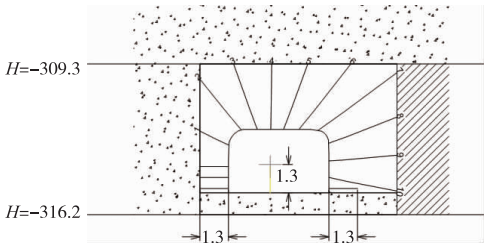

图 5 回采炮孔布置图(单位:m)

Fig. 5 Mining hole layout(Unit:m)

Sh-320 mS9# 底柱采场切割槽中深孔及回采扇形中深孔根据实测情况,切割槽总计 64 个中深孔,总长度 210 m;回采孔 19 排,中深孔炮孔 204 个,总长度 554.7 m;浅眼补孔共计 70 个,全部炮孔施工基本达到设计要求。第 18 排和 19 排部分中深孔打透一分段巷道,在装药前需要堵孔。根据炮孔实测数据,炮孔孔底距和排距稍有偏差,符合设计要求。

拉槽孔采用双发毫秒差导爆管雷管起爆,孔内不敷设导爆索;回采孔采用单发毫秒差导爆管雷管起爆,孔内敷设导爆索,同段之间导爆索进行连接。均装药至孔底,药面离孔口深度为 1～2 m,浅孔不控药,孔口采用炮泥堵塞。装药结构见图 6～7。

表 1　拉槽炮孔实测表

Table 1　Measured table of slotted hole

序号	炮孔	设计角度/(°)	实测角度/(°)	设计长度/m	实测长度/m
1	0#	90	90	3.1	3.3
2	1#-1～1#-4	90	90	3.1	3.3
3	3#-1～3#-4	90	90	3.1	3.3
4	5#-1～5#-4	90	90	3.1	3.3
5	7#-1～7#-10	90	90	3.1	3.3
6	9#-1～9#-14	90	90	3.1	3.3
7	补-1	90	90	3.1	2.0
8	补-2	90	90	3.1	2.0
9	补-3	90	90	3.1	2.7
10	补-4	90	90	3.1	2.5
11	拉 5-1～拉 5-3	90	90	3.1	3.3
12	拉 6-1～拉 6-3	90	90	3.1	3.3
13	拉 4-1～拉 4-4	90	90	3.1	3.3
14	拉 3-1～拉 3-4	90	90	3.1	3.3
15	拉 2-1～拉 2-4	90	90	3.1	3.3
16	拉 1-1～拉 1-4	90	90	3.1	3.3

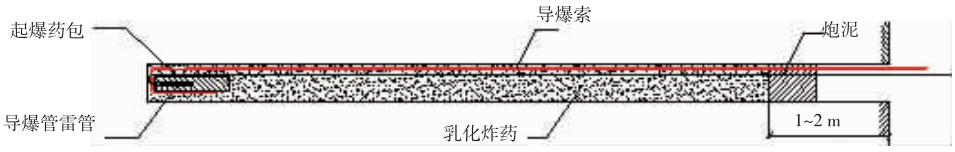

图 6　炮孔装药结构图(加导爆索)

Fig. 6　Blast hole charge structure diagram(detonating cord)

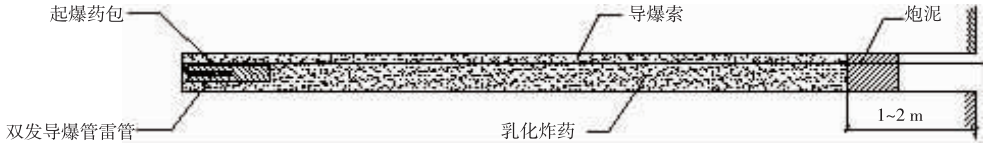

图 7　炮孔装药结构图(双发雷管)

Fig. 7　Blast hole charge structure diagram(double detonator)

起爆采用导爆管—导爆管起爆网络,孔内导爆管一律并接于起爆雷管上(每一束导爆管不能超过 20 根)。通过两发普通导爆管雷管起爆,普通导爆管雷管采用起爆器起爆。拉槽炮孔起爆顺序见图 8,回采炮孔起爆顺序见图 9。

炮孔每米装药量:

$q=\pi\times r^2\times l\times\rho=3.14\times9.6\ \text{cm}^2\times100\ \text{cm}\times1.0\ \text{g/cm}^3\times1\ \text{kg}/1000\text{g}=3.01\ \text{kg}$

装药密度取 1.0 g/cm^3,根据公式计算每米炮孔装药量 3.01 kg。本次爆破矿石量 1 014.4 m^3,补偿空间体积为 1 249.7 m^3,补偿空间系数 1.23。爆破崩矿量约 3 800 t,需要乳化炸药 1 800 kg,炸药单耗为 0.47 kg/t。拉槽孔采用双发毫秒差导爆管雷管起爆,孔内不敷设导爆索;回采孔采用单发毫秒差导爆管雷管起爆,孔内敷设导爆索,同段之间导爆索

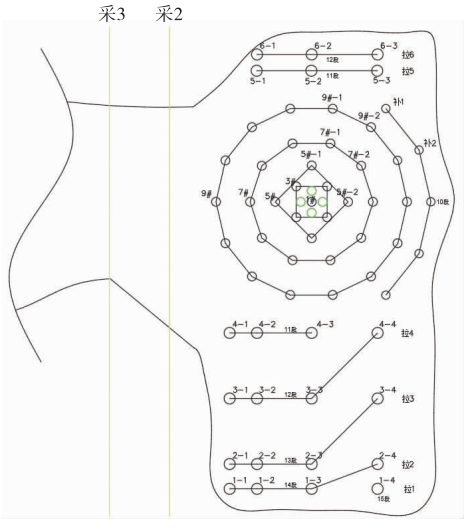

图 8　拉槽炮孔起爆顺序图

Fig. 8　Blasting sequence diagram of slotted hole

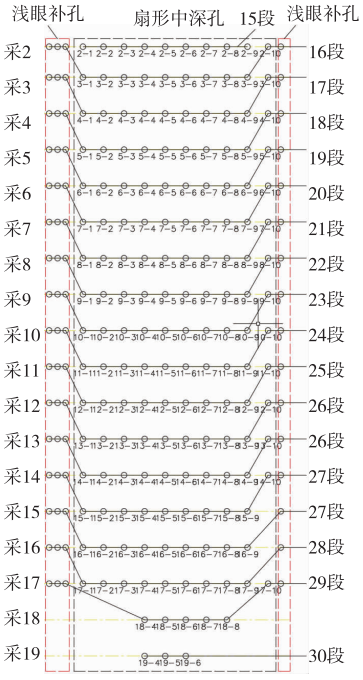

图 9 回采炮孔起爆顺序图

Fig. 9 Blasting sequence diagram of stoping hole

进行连接。毫秒差导爆管雷管 324 发,导爆索辅助起爆,4.5 m/根导爆索 160 根,6.5 m/根导爆索 20 根,卷装乳化炸药 120 kg。

采场爆破于 2016 年 1 月 13 日进行,现场装药量 1 820 kg,S9 采场结算的数据,矿石 2 704 t,废石 305 t,贫化率 10.1%。采场现场照片见图 10。

3.2 Sh-320 m 中段 209# S 边柱采场

Sh-320 m 中段 209# S 边柱采场高度 12.9 m,采场长度 24.4 m。采场下盘为 209# S 东条边柱Ⅱ采场,已回采至四分段,并已充填完成。现场凿岩照片见图 11,采场炮孔实测剖面见图 12。

图 10 Sh-320 m 中段 S9# 底柱采场端部照片

Fig. 10 Photo of the end of S9# bottom pillar stope in the middle section of Sh-320 m

图 11 Sh-320 m 中段 209# S 边柱采场现场凿岩照片

Fig. 11 Photo of on-site drilling in 209# S side pillar stope in the middle section of Sh-320 m

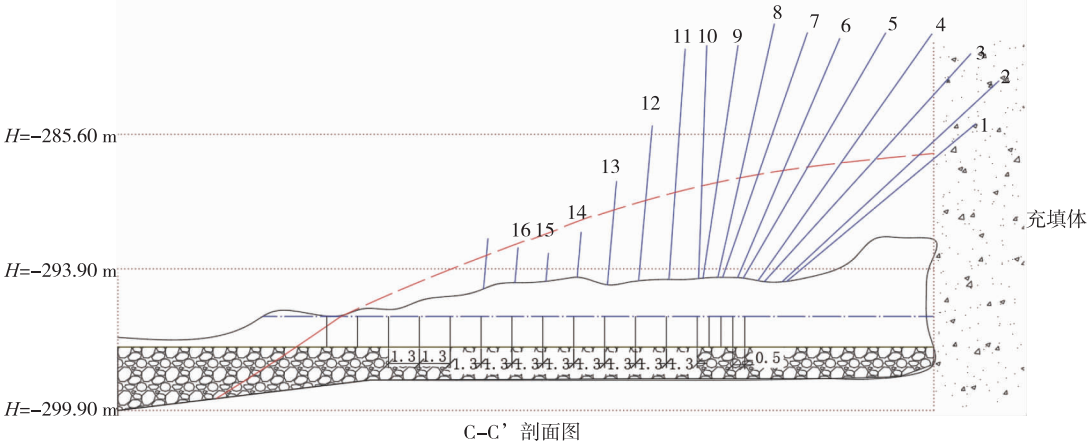

图 12 Sh-320 m 中段 209# S 边柱采场炮孔实测剖面 C-C 图

Fig. 12 C-C diagram of measured section of blast hole in 209# S side pillar stope of Sh-320 m middle section

4 结论

试验取得的经验和不足主要包括下面几点:

1)采场矿体赋存比较复杂,采用中深孔凿岩和浅眼补孔相配合的方式进行凿岩爆破,有效降低了

损失贫化。

2)YGZ-90 钻机凿岩巷道高度要求为 2.6～3.0 m,巷道低于 2.6 m 时钻机摆不下;巷道高度大于3.0 m 时,钻机的两根顶撑顶不到位,无法固定钻机。本次试验采场原为台车采场,凿岩巷道规格较大,YGZ-90 钻机在施工时,无法顶住顶板固定钻机。

3)凿岩时很多炮孔施工过程中与上分段贯通,造成堵孔困难和影响爆破效果,下次在施工类似钻孔时需要先施工探眼,其他炮孔适当减少深度以防止与上分段贯通。

4)拉槽区炮孔角度较小,YGZ-90 钻机开孔困难,有些设计位置难以开孔,需要调整位置和角度才能开孔,设计人员需要跟进施工钻孔及时进行调整。

5)爆破后经过出矿时对采场爆破效果的调查,发现采场顶板的充填体垮落 0.5～1 m,而且矿石块度较小。后期采场要加强爆破时对充填体顶板的保护和矿石块度的控制。

参　考　文　献

[1] 毛荐新,汪令辉,杨志国. 冬瓜山铜矿高大采场二步骤回采顺序优选研究[J]. 中国矿山工程,2022,51(1):23-27,40.
MAO Jianxin, WANG Linghui, YANG Zhiguo. Study on the optimization of two-step stoping sequence in the tall stope of Dongguashan copper mine[J]. China Mine Engineering, 2022, 51(1):23-27,40.

[2] 文兴,赵亮,黄敏. 阿舍勒铜矿二步骤采场回采充填体稳定性分析[J]. 矿冶,2021,30(4):1-6,19.
WEN Xing, ZHAO Liang, HUANG Min. Stability analysis of backfill in two-step stope of Ashele copper mine[J]. Mining and Metallurgy, 2021, 30(4):1-6,19.

[3] 张强,余剑,王玉富,等. 张庄铁矿厚大铁矿床二步骤矿房回采控制爆破技术研究与实践[J]. 现代矿业,2019,35(10):66-68,74.
ZHANG Qiang, YU Jian, WANG Yufu, et al. Research and practice of controlled blasting technology for two-step chamber mining in Houda iron deposit of Zhangzhuang iron mine[J]. Modern Mining, 2019, 35(10):66-68,74.

[4] 周可,张聪瑞,帅金山,等. 复杂充填体下残矿回采方案优化研究[J]. 金属矿山,2017(12):14-20.
ZHOU Ke, ZHANG Congrui, SHUAI Jinshan, et al. Optimization of mining scheme of residual ore under complex filling body[J]. Metal Mine, 2017(12):14-20.

[5] DAVIS S,肖通遥. 哈得孙湾矿冶公司的顶柱回采[J]. 国外金属矿山,1993(5):50-54.
DAVIS S, XIAO Tongyao. Top pillar mining of Hudson Bay Mining and Metallurgy Company[J]. Foreign Metal Mines, 1993(5):50-54.

[6] 雷明礼,张海磊,赵永平,等. 露天坑下矿柱回收的安全性分析[J]. 金属矿山,2016(2):17-20.
LEI Mingli, ZHANG Hailei, ZHAO Yongping, et al. Safety analysis of pillar recovery under open pit[J]. Metal Mine, 2016(2):17-20.

[7] 高鹏举,周礼. 岬村银多金属矿矿柱回收方案优选[J]. 有色金属(矿山部分),2019,71(1):10-14,19.
GAO Pengju, ZHOU Li. Optimization of pillar recovery scheme of Xiacun silver polymetallic mine[J]. Nonferrous Metals (Mining Section), 2019, 71(1):10-14,19.

[8] 李月先,刘允秋. 某矿山采空区治理及残矿回收方案研究[J]. 现代矿业,2016,32(10):20-22,25.
LI Yuexian, LIU Yunqiu. Study on the treatment of mined-out area and the recovery scheme of residual ore in a mine[J]. Modern Mining, 2016, 32(10):20-22,25.

[9] 侯国权,郭利杰,原野,等. 缓倾斜极薄矿体全面法开采残留点柱回采方案及稳定性分析研究[J]. 中国矿业,2018,27(10):117-121.
HOU Guoquan, GUO Lijie, YUAN Ye, et al. Mining scheme and stability analysis of residual pillar in comprehensive mining of gently inclined extremely thin orebody[J]. China Mining Magazine, 2018, 27(10):117-121.

[10] 冯浩楠,舒太镜,李慧波. 某金矿采空区矿柱回采方式及实践[J]. 采矿技术,2016,16(5):3-5,10.
FENG Haonan, SHU Taijing, LI Huibo. Mining method and practice of pillar in goaf of a gold mine[J]. Mining Technology, 2016, 16(5):3-5,10.

[11] 王成,纪晓飞,张建伟,等. 急倾斜极厚大矿体矿柱回收方法研究与应用[J]. 矿业研究与开发,2016,36(8):1-4.
WANG Cheng, JI Xiaofei, ZHANG Jianwei, et al. Research and application of pillar recovery method for steep and extremely thick orebody[J]. Mining Research and Development, 2016, 36(8):1-4.

[12] 米继武,李永辉. 隔一采一矿柱空场回采嗣后放顶处理空区数值分析[J]. 采矿技术,2015,15(6):55-59.
MI Jiwu, LI Yonghui. Numerical analysis of open-stope mining with every other pillar and then caving treatment[J]. Mining Technology, 2015, 15(6):55-59.

[13] 朱斌,张柏春,李晓辉,等. 东塘子铅锌矿矿柱回采方案研究及应用[J]. 矿业研究与开发,2022,42(6):5-8.
ZHU Bin, ZHANG Baichun, LI Xiaohui, et al. Research and application of pillar stoping scheme in Dongtangzi lead-zinc mine[J]. Mining Research and Development, 2022, 42(6):5-8.

[14] 董世华. 冬瓜山矿床盘区隔离矿柱回采工艺优化方案[J]. 金属矿山,2022,51(1):107-112.
DONG Shihua. Optimization scheme of isolated pillar mining technology in Dongguashan deposit panel[J]. Metal Mine, 2022, 51(1):107-112.

[15] 孙健,周延锋,郑良忠. 岬村银多金属矿复杂空区矿房矿柱回采方案优选研究[J]. 中国矿业,2020,29(7):152-157.
SUN Jian, ZHOU Yanfeng, ZHENG Liangzhong. Study on optimization of stope and pillar mining scheme in complex goaf of Xiacun silver polymetallic mine[J]. China Mining Magazine, 2020, 29(7):152-157.

(编辑:周叶)