

上向束状中深孔无切割井拉槽工艺的应用

孟 航¹, 刘文清², 刘 正²

(1. 河北省国控矿业开发投资有限公司; 2. 平泉小寺沟矿业有限公司)

摘要:为改变平泉小寺沟矿业有限公司危险系数高、施工成本高、生产效率低的人工开凿切割井拉槽工艺,通过分析各类拉槽工艺特点,并考虑小寺沟铜矿矿房分段高、拉槽长度长和矿岩为中硬的开采特点,利用上向束状中深孔爆破和微差分段一次爆破技术,实现上向束状中深孔微差分段一次爆破起槽和分段多次爆破扩槽的无切割井拉槽工艺。在小寺沟铜矿630 m水平10勘探线半—12勘探线钼采场开展了上向束状中深孔起槽和扩槽的拉槽试验,取得了良好的试验效果,解决了矿山实际问题,并在630 m、598 m和581 m水平进行了工艺推广。此工艺不仅改变了矿山切割井切割巷拉槽现状,而且在高分段中硬矿岩中表现出较高适用性和可控性,有效保证了矿山安全、高效、稳定生产。

关键词:分段;拉槽;无切割井;上向;束状;中深孔;微差起爆

中图分类号:TD235

文献标志码:A

文章编号:1001-1277(2025)07-0087-04

doi:10.11792/hj20250713

引 言

拉槽爆破技术是无底柱分段崩落采矿法中重要的工艺之一,其施工质量严重影响矿房回采效果。金属矿山拉槽方式分为有切割井切割巷拉槽、无切井无切巷拉槽和无切井有切巷拉槽等。通常采用有切割井有切割巷的方式开槽,在切割巷端部施工切割井,利用中深孔扩槽的方式拉槽^[1-3]。目前,大多数矿山切割井的施工采用人工上掘方式,其适用于矿岩稳固的矿山,在软岩或破碎矿岩中,施工困难,危险性高,质量不可控。无切井无切巷拉槽是通过一次成井工艺结合中深扩槽孔一次爆破成槽^[4]或单独开凿脉外结构和布设拉底空间^[5]一次成槽。

一次成井工艺结合中深扩槽孔方式用于解决上盘矿岩破碎无法施工切割巷的问题^[4],目前一次成井工艺成功案例较多^[6-8],但施工质量要求较高,成功率不易把控,矿山实际使用的较少。单独开凿脉外结构和布设拉底空间宜结合矿山开采方式,成本高且通用性较差。无切割井有切割巷的拉槽方式在安全性、经济性和效率上具有明显的优点^[9-12]。目前,矿山应用的无切井有切割巷拉槽主要有双扇形深孔逐排抬高成槽工艺、楔形对称平行深孔拉槽工艺和平行扇形深孔自拉槽工艺^[13]等,这些工艺各有优缺点:双扇形深孔逐排抬高成槽工艺具有作业安全、灵活性高、施工简单方便的优点,但适用于稳定性较差、不易开掘切

井切巷的粉矿或矸卡岩体中。楔形对称平行深孔拉槽工艺所需要的切割平巷较长,如切槽高度在10 m以上,所需平巷长度不应小于30 m,巷道平直无折线,在软岩中使用居多^[14],而且该种切槽方法对炮孔的质量要求较高,平行孔的施工也比较困难。楔形对称平行深孔拉槽方案同时施工多排扇形孔,并需一次爆破,对补偿空间的要求和爆破质量要求很高,对于较长的拉槽,任何一组扇形孔爆破失败都会影响后续矿房回采。

平泉小寺沟矿业有限公司小寺沟铜矿(下称“小寺沟铜矿”)拉槽施工具有拉槽长度较长、分段高度较高(15 m和20 m)和矿岩中硬的开采特点。根据中深孔拉槽工艺特点,提出适合该矿山的上向束状中深孔无切割井拉槽工艺。此工艺具备施工工艺简单,拉槽长度不受限制,拉槽质量可控的显著优势。此工艺在小寺沟铜矿630 m水平10勘探线半—12勘探线钼采场试验成功,并在630 m、598 m、581 m水平进行了推广,取得了良好效果。

1 矿山概况

小寺沟铜矿为斜坡道平硐联合开拓,采用两翼对角式通风,铲运机搬运,无轨汽车运输,无底柱分段崩落的方式开采矿体。有675 m回风中段和615 m开采中段,有581 m、598 m、630 m和650 m 4个开采分段,目前矿山主要开采钼矿石。

小寺沟铜矿是以钼为主、铜为副的斑岩型矿，钼矿体顶板岩石主要为花岗闪长斑岩，底板岩石主要是白云质灰岩和花岗闪长斑岩。夹石主要为花岗闪长斑岩及花岗斑岩，次为灰岩捕虏体。钼矿体受钾化—硅化带产状控制，长1670余m，厚度5~170m，沿40°~50°方向展布，倾向南西，倾角50°~80°，钼矿石平均密度2.6 t/m³，围岩普氏硬度系数 $f=8\sim 10$ ，矿体普氏硬度系数取较低值^[15]。

矿山采用无底柱分段崩落采矿法采矿，其回采进路和切割巷为宽4m、高3.5m的1/3三心拱巷道，进路间距为12.5m，分段高度主要为15m和20m，在切割巷末端向上施工2m×2m切割天井，并以切割井为自由面进行扩槽，扩槽采用上向扇形孔方式，拉槽宽度2m，长度根据回采面决定。

回采进路采用上向扇形中深孔进行回采，中深孔排距2.4m，排面倾角90°，炮孔直径80mm，边孔角45°~50°，前后排炮孔垂直投影的孔底距为0.7~1.7m，炮孔均匀布置，前后2排各个炮孔在垂直回采进路巷道方向上投影交错布置，进行孔底双雷管排内微差爆破^[16]。

2 无切割井拉槽现场试验

2.1 试验地点选择

试验采场要求具有较高的分段（15m和20m），采场岩石为中硬岩石，拉槽宽度和高度应满足回采要求，爆破参数符合安全规程规定，试验过程可控，并最大限度减少对生产的影响。

根据以上要求，确定试验地点为630m水平10勘探线半—12勘探线钼采场，采场分段高19.3m，矿体上盘为花岗闪长斑岩，下盘为相邻钼矿体。拉槽宽2.4m，长23.2m，采场为备用采场，相邻采场可补充拉槽进行回采，不影响此采场回采，不会对矿山正常生产造成影响。

2.2 拉槽炮孔参数选取

中硬岩石中深孔爆破药包的最小抵抗线常按孔径的30~35倍计算，炮孔间距系数多为最小抵抗线的0.8~1.0倍，扇形孔的孔底距应为最小抵抗线的1.0~1.2倍，扩槽爆破通常需要乘以0.7~0.85的保险系数^[17-19]，同时应考虑孔间距不宜过小，防止产生拒爆^[20]。

$$W=(30\sim 35)d \quad (1)$$

$$b=(0.8\sim 1.0)W(0.7\sim 0.85) \quad (2)$$

$$a=(1.0\sim 1.2)W(0.7\sim 0.85) \quad (3)$$

式中： W 为最小抵抗线(m)； b 为炮孔直径(m)； a 为孔底距(m)。

矿山炮孔直径为70mm，经计算， $W=2.1\sim 2.45$ m，孔间距为1.18~2.08m，孔底距为1.47~2.50m。考虑到矿体岩石为中等硬度岩石，采场拉槽对爆破有夹制作用，巷道宽度有限和以往切割井切割巷拉槽爆破参数，起槽束状中深孔选用排间距1.2m，孔底距2.3~2.4m参数布置。扩槽束状中深孔沿用原排间距1.4m，孔底距1.2m的参数布置。

2.3 炮孔设计

拉槽束状中深孔选用YGZ-90液压型凿岩机凿岩，施工炮孔直径为70mm，孔深≤24.4m。拉槽设计应整体考虑矿房回采炮孔排位布置。为防止产生悬顶现象，炮孔孔底距上部采场底板间距为1.2~1.5m^[2,21]，整体矿房的炮孔排位布置见图1。图1中，压1~压6和束1~束3为起槽排，束4~束11为扩槽孔，正1~正6为回采正排。

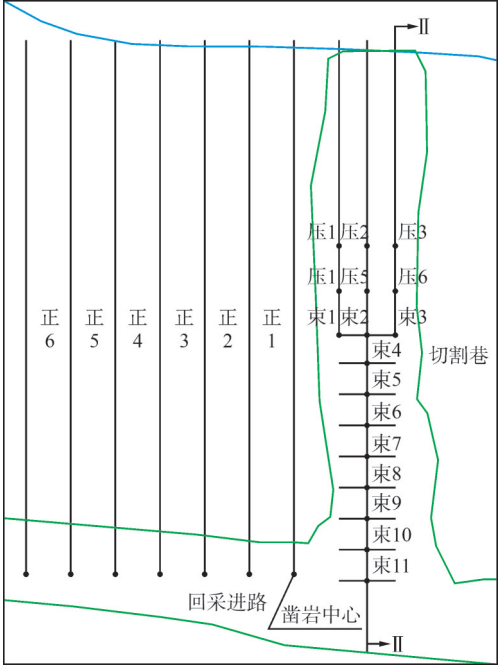


图1 采场炮孔布置示意图

Fig. 1 Blasthole layout in stope

1)起槽孔设计。起槽中深孔共3排，总钻孔延米586.2m。拉槽宽2.4m，拉槽长23.2m。先在切割巷端部起槽，压3、压6和束3为一排起槽孔，起槽孔共3排，排距1.2m，1号孔、2号孔和束1的3号孔之间孔间距各为1.4m、束3的孔底距以2.3~2.4m进行布设，为降低采矿损失率，起槽孔崩落界线要超出采场崩落界线1~2m。为增大补偿空间，可在切割巷端部进行，挑高和刷帮扩大补偿空间，挑高空间高2m，长4m，宽度为巷道宽度，挑高后起槽中深孔爆破补偿系数为32.6%。对于岩性较差的采场可不施工挑高空间。起槽孔压3、压6、束3布设见图2。单排起槽孔爆破参数见表1，其余两排中深孔布置方式相同。

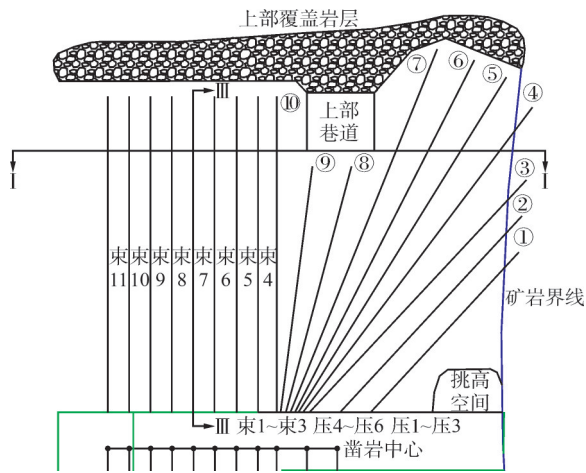


图2 起槽孔压3、压6和束3布设示意图
Fig. 2 Initiation hole layout(Y3,Y6,S3)

表1 单排起槽孔爆破参数

Table1 Single-row initiation hole blasting parameters

名称	编号	角度/(°)	孔深/m	装药长度/m	堵塞长度/m	装药量/kg	起爆顺序
压3	1	45	13.8	12.3	1.5	40.8	1
起槽孔束3	2	45	16.7	15.2	1.5	50.2	1
	3	45	17.5	14.9	2.6	49.3	1
	4	51	20.5	16.0	4.5	52.9	2
	5	56	23.5	20.0	3.5	66.0	2
	6	61	24.0	19.5	4.5	64.3	2
	7	67	24.0	20.9	3.1	68.9	3
	8	74	15.5	13.3	2.2	44.0	3
	9	82	15.0	12.7	2.3	42.1	3
	10	90	19.0	16.8	2.2	55.5	3
合计			189.5	161.6	27.9	534.0	

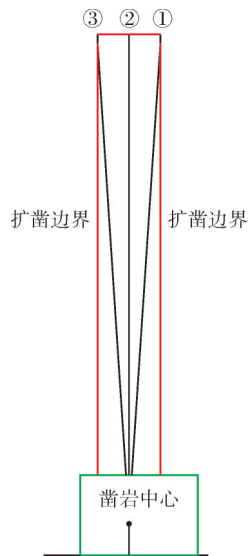


图3 单排扩槽孔布设示意图

Fig. 3 Single-row slot expansion hole layout

时在全孔铺设导爆索,用装药器填装改性粉状铵油炸

2)扩槽孔布设。扩槽孔以起槽孔为自由面进行布设。原切割井切割巷扩槽束状中深孔自2012年复工以来一直沿用,效果良好。本次试验扩槽孔仍沿用此方案,考虑到第一排扩槽束状中深孔夹制性较强,第一排扩槽束状中深孔束4距束1束3排1号孔位间距1.2 m,束4束11排距1.4 m,每排孔孔底距1.2 m,共布设3个中深孔。布设方式见图2和图3,炮孔爆破参数见表2。

2.4 爆破方式

装药采用卷装药包和散装炸药结合的方式。利用2号岩石管状乳化炸药作起爆药,改性粉状铵油炸药、作主爆药。采用导爆管雷管起爆,将2支同段导爆管布置于2号岩石管状乳化炸药内,送入孔底,同

完成后,同段爆破的中深孔间导爆索采用三角形方式进行连接。

采用毫秒导爆管雷管进行分段起爆,整体思路为利用切割巷作为自由面,在其端部利用起槽中深孔进行一次分段爆破,再利用上向束状中深扩槽孔每排一段、一次两排的方式扩槽至回采宽度。起槽孔爆破:起槽孔共3排,每排10个炮孔,3排孔一次分段爆破,每排的①、②、③号炮孔为一段,④、⑤、⑥号炮孔为一段,⑦、⑧、⑨、⑩号炮孔为一段,分3段一次爆破。起槽孔爆破完成后进行通风出矿,矿石低于出矿品位,暂停出矿,为增大后排孔补偿空间,可适量放出低品位矿石。扩槽孔爆破:束4~束11,每两排爆破一次,每排为一段,逐步拉槽至回采宽度。扩槽孔爆破和出矿完成后,进行采场正排爆破回采。

2.5 爆破效果

起槽中深孔爆破出矿后,下部出矿口测量拉槽宽

表2 单排扩槽孔爆破参数
Table 2 Single-row slot expansion hole blasting parameters

名称	编号	角度/(°)	孔深/m	装药长度/m	堵塞长度/m	装药量/kg	起爆顺序
扩槽孔束6	1	86	19.0	16.0	3.0	52.9	一排一段,一次两排
	2	90	16.7	11.7	5.0	38.8	
	3	98	19.0	16.0	3.0	52.9	
合计			54.7	43.7	11.0	144.6	

度为2.6 m。起槽爆破设计出矿量1 054 t,实际出矿量1 016 t,出矿后,上部巷道覆盖岩石出露于切割巷,可见爆破效果良好。束4~束11依次爆破后出矿,设计矿量和实际出矿量吻合,拉槽过程中未出现“悬顶”“贴墙”和拒爆现象,拉槽过程顺利,整体矿房回采正常。

3 结 语

现场试验说明,上向束状中深孔无切割井拉槽工艺在小寺沟铜矿高分段中硬矿岩钼采场的方案可行的,此工艺改变了原危险系数高、施工成本高、生产效率低的人工开凿天井拉槽工艺,提高了拉槽质量,为矿山创造了经济和安全效益。相较于其他中深孔拉槽工艺,此工艺施工简单,爆破次数和质量易于掌握,拉槽长度可根据矿房回采宽度控制,并实现了高分段中硬矿体的拉槽,适用性较强。

此工艺已在小寺沟铜矿 630 m、598 m 和 581 m 水平进行了推广,已在7个采场投入使用,4个备采采场炮孔已经施工完成,整体效果稳定,保障了矿山安全稳定高效生产。

【参 考 文 献】

[1] 田俊杰,何磊,申大元.上向中深孔拉槽爆破技术在MSG铁矿的应用[J].中国矿山工程,2016,45(2):44-47.
[2] 范庆霞.中深孔切割拉槽工艺在梅山铁矿采矿生产中的应用[J].现代矿业,2009,25(2):89-91.
[3] 向云武,崔巍.中深孔平巷压槽在倾斜矿体中的应用[J].现代矿业,2011,27(6):82-84.

[4] 李宗正.无切巷无切井一次爆破拉槽法[J].金属矿山,1993(10):12-14.
[5] 汪虎福.无切井扇形中深孔爆破拉槽技术在五龙沟金矿的应用[J].黄金,2021,42(8):53-55,60.
[6] 邵明伟,姜凤,徐要森.中深孔爆破成井在逊克金矿的应用[J].黄金,2023,44(3):31-33,42.
[7] 于长军,金鹏.中深孔爆破一次成井技术在镇沅金矿的应用[J].黄金,2016,37(8):46-49.
[8] 金开明.中深孔爆破一次成井技术在锦丰金矿的应用[J].黄金,2018,39(3):36-39.
[9] 苏野.蒙库井下中深孔无切井拉槽技术的应用[J].新疆钢铁,2017(4):18-20,23.
[10] 黎多庆.松软矿岩中无切割井中深孔一次拉槽法[J].现代矿业,2010,26(3):105-106.
[11] 张文官,冯凯.苏尼特金矿无底柱分段崩落采矿法的优化及应用[J].黄金,2021,42(10):54-58.
[12] 雷永顺.改进切割工艺,降低采矿成本[J].甘肃冶金,2010,32(4):53-54,7.
[13] 明世祥,袁猛,鲁炳强.无切井扇形深孔爆破自拉槽新方法[J].金属矿山,2010(3):20-22,93.
[14] 明士祥,宋卫东,董福荣.楔形拉槽法在高分段采场中的应用[J].工程爆破,1998,4(3):50-53.
[15] 刘天强,张鹏,张华.小寺沟铜矿矿床地质特征及矿体分布规律研究[J].世界有色金属,2020(20):102-103.
[16] 孟航,刘文清.上向扇形中深孔爆破工艺优化[J].采矿技术,2019,19(6):155-156.
[17] 中国力学学会工程爆破专业委员会.爆破工程[M].北京:冶金工业出版社,1993.
[18] 郭进平.编爆破工程实用技术大全[M].北京:光明日报出版社,2008.
[19] 向云武,崔巍.中深孔平巷压槽在倾斜矿体中的应用[J].现代矿业,2011,27(6):82-84.
[20] 周伟永.中孔拉槽爆破优化设计[J].新疆有色金属,2012,35(1):53-55.
[21] 王鹏,杜强,刘轲,等.无底柱分段崩落法落矿悬顶处理技术[J].矿业工程,2008(4):29-31.

Application of the upward bundle medium-long hole non-cutting shaft slotting technology

Meng Hang¹, Liu Wenqing², Liu Zheng²

(1. Hebei State-controlled Mining Development & Investment Co., Ltd.; 2. Pingquan Xiaosigou Mining Co., Ltd.)

Abstract: In order to change the high risk, high construction cost, and low production efficiency of the manual cutting shaft slotting technology in Pingquan Xiaosigou Mining Co., Ltd., by analyzing the characteristics of various slotting technologies and considering the mining characteristics of the Xiaosigou Copper Mine, such as high ore chamber sublevels, long slotting lengths, and medium-hard rock, the upward bundle medium-long hole blasting and micro-differential sublevel single blasting technology were utilized to achieve the non-cutting shaft slotting technology of upward bundle medium-long hole micro-differential sublevel single blasting slotting and multi-time blasting slot expansion. Based on this technology, slotting tests for upward bundle medium-long hole slot initiation and slot expansion were conducted in the molybdenum mining area from the middle Exploration Line 10 to Exploration Line 12 at the 630 m level in the Xiaosigou Copper Mine, achieving good test results, solving practical problems in the mine and promoting the technology at the 630 m, 598 m, and 581 m levels. This technology not only changed the current situation of cutting shaft and slotting roadway in the mine, but also showed high applicability and controllability in high sublevels of medium-hard rock, effectively ensuring the safe, efficient, and stable production of the mine.

Keywords: sublevel; slotting; non-cutting shaft; upward; bundle; medium-long hole; micro-differential initiation