

综合技术

自然崩落采矿法不同拉底方式过沿脉 技术分析

Different Pulling Methods of Natural Caving Mining Method Through Vein Technical Analysis

杨云强, 何翔, 王欢, 游锋, 苏芳林(金诚信矿业管理股份有限公司, 北京 101500)

摘要:自然崩落法矿山拉底水平面积较大,穿脉较长,如未采用切割沿脉,容易造成拉底水平松动矿运输距离远、通风困难。拉底和沿脉巷道交叉口在支承压力和侧向支承压力的叠加下,形成一个高应力集中区,对拉底爆破质量影响较大。拉底爆破的质量直接关系到后期出矿水平聚矿槽爆破质量和底部结构,为提高拉底过沿脉爆破质量,保护底部结构稳定性,本文通过对某矿有无切割井拉底过沿脉进行分析,确定在高应力作用下拉底过沿脉有切割井爆破效果较好,可以有效的改变爆破最小抵抗线,增加爆破自由面,降低炸药单耗,提高装药系数,提高拉底爆破过沿脉质量,有效保护底部结构稳定性。

关键词:自然崩落法; 拉底方式; 爆破

中图分类号: TD853

文献标志码: A

文章编号: 1672-609X(2023)05-0053-06

Abstract: Natural caving method mines are generally thick ore bodies, the horizontal area of the bottom pulling is large, the vein penetration is long, if the cutting along the vein is not used, it is easy to cause the horizontal loosening of the bottom pulling ore transportation distance is long, ventilation is difficult. Under the superposition of supporting pressure and lateral bearing pressure, a high-stress concentration area is formed at the intersection of the bottom and the roadway along the vein, which has a great influence on the blasting quality of the bottom pull. In order to improve the blasting quality of the bottom over the vein and protect the stability of the bottom structure, this paper analyzes whether a mine has a cutting shaft and has a cutting shaft along the vein, and determines that the blasting effect of the cutting well along the vein under high stress is better, which can effectively change the minimum resistance line of blasting, increase the blasting free surface, reduce the single consumption of explosives, improve the charge coefficient, improve the quality of the bottom blasting along the vein, and effectively protect the stability of the bottom structure.

Key words: natural caving method; bottom pulling method; blasting

1 前言

自然崩落法采矿原理是利用地球内部的应力、上覆岩的重力、地质构造运动产生的残余应力和矿山井巷工程造成的应力集中和分散,通过一些垂直和水平的巷道沿矿块四周削弱其与周围的联系,破坏矿石整体的应力平衡,使采区内的矿石在阶段的整个高度上自然崩落,并通过合适的底部结构放出、运走,保证崩矿的连续进行^[1]。拉底的实质就是在拉底水平采用普通的回采法,利用中深孔爆破将拉底水平上部的一层矿石采出,形成自由空间,随着拉

底面积不断扩大,使拉底水平上部矿体失去支撑进而在重力作用下自然崩落,破碎的矿石则通过位于拉底水平下的出矿水平铲出,在出矿水平放出矿体后,使其上部矿石继续破裂,持续崩落。自然崩落法采矿中拉底的目的是在矿块底部形成自由空间,促使矿石自然崩落,调整应力的分布,使应力向有利于矿岩崩落的方向发展。围绕实现拉底目标,拉底的作用与目的主要体现在三方面:(1)提供充足空间,保证矿岩自然崩落的持续进行。(2)获得要求的拉底面积以进行初始崩落,并使周围岩体的破坏最小。(3)增加崩落水力半径,初始崩落后,随拉底继续推进降低拉底巷道拱脚应力。拉底工作是一项复杂的系统工程,它所影响的范围和深度,是比较广泛、全面的。因此在生产中,要全面认识和考虑拉底工作,趋利避害^[2]。拉底形状影响着拉底速度和矿块的初始崩落,对矿山生产特别是新建矿山具有重

[作者简介] 杨云强(1991—),男,工程师,主要从事自然崩落法采矿研究及管理工作。

[引用格式] 杨云强,何翔,王欢,等.自然崩落采矿法不同拉底方式过沿脉技术分析[J].中国矿山工程,2023,52(5):53-58.

大的影响。某矿矿石的可崩性为中等,为了减小前期的矿石块度,减少前期投产风险,参考矿山实际生产经验,拉底形状采用扇形断面形式。但是在实际生产过程中,拉底和沿脉巷道交叉口由于应力集中,前期采用无切割井爆破方式进行拉底易造成两条拉底巷道间由于爆破时贯通断面较小,容易形成岩墙;断面部分炮孔处于同一平面上,爆破时容易产生爆破衰减,造成拉底高度下降,严重影响拉底爆破质量,底部结构稳定性易受到影响。经过对爆破条件分析,可以通过有切割井爆破方式过沿脉,实现改变最小抵抗线、增加自由面、调整爆破应力方向的方式有效提高拉底过沿脉爆破质量,解决相应聚矿槽爆破问题的频繁出现,即出现楼板等现象(拉底空间与聚矿槽未完全贯通,无法形成矿石持续崩落面),同时一定程度上减小了对底部结构稳定性的影响。

2 工程概况

该矿的矿床成矿作用发生于岩体边部产出脉状矿体的复式斑岩中,由细脉浸染矿石组成的筒状矿体的岩体中心。该矿以铜为主要成矿元素,并有伴生元素,如金、银、钼、硫等。矿化带呈穹窿状,长2300余m,宽600~800m,面积约1.09 km²。首采矿块位于整个矿体偏中南部,矿块尺寸为长×宽=500 m×330 m,面积约16.7万 km²。矿体最大崩落高度为370 m,平均崩落高度200 m。岩体质量以Ⅲ类为主,矿岩可崩性中等,根据地质报告和岩石力学研究表明:矿体节理裂隙发育,矿石不自燃,不黏连,允许地表崩落。

该矿设计将3720 m出矿水平以上的200 m矿体为采场,通过对出矿水平上16 m的3736 m拉底水平实施中深孔拉底爆破,使其内部不连续面的拉底空间(高15 m)在重力作用下按产量要求的速度和期望块度崩落,拉底空间在次生应力场作用下不断崩落扩大,达到初始崩落面积之后,崩矿通过布置在拉底和出矿水平之间的聚矿槽放出。拉底巷道垂直矿体走向布置,在两条出矿巷道之间上方布置两条平行的拉底巷道(空间上),采用双拉底巷道上向扇形炮孔拉底方式,拉底巷道采用13 m、17 m间隔布置方式,出矿巷道间隔为30 m,巷道净断面尺寸为3.8 m×3.8 m。13 m距离的拉底巷道对应两条出矿巷道之间的聚矿槽中心位置,17 m距离的两条拉底巷道则与下部出矿穿脉之间形成较为规整的底部结构矿柱。

3 拉底过沿脉原理

3.1 拉底过沿脉简介

某铜矿拉底水平工程包含24条拉底穿脉、2条上盘沿脉、2条下盘沿脉、1条切割巷,将整个拉底水平分为4大块,具体如图1所示,其中平巷总长为6224.1 m,净断面一致,规格为3.8 m×3.8 m,喷混凝土或锚喷网支护。24条拉底穿脉均需爆破过沿脉,拉底穿脉与沿脉交叉位置应力较集中,爆破前常出现中深孔堵孔、沿脉垮塌现象,对拉底中深孔爆破质量造成严重影响。

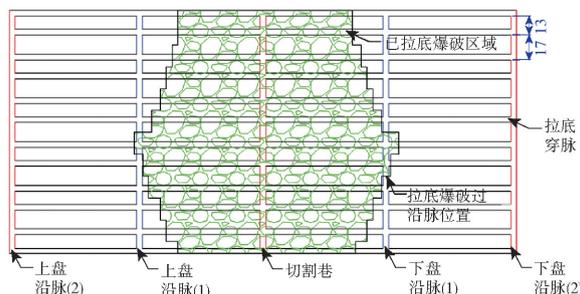


图1 某铜矿拉底水平平面

拉底过沿脉由于所处位置特殊性,如拉底爆破质量产生问题,将产生严重影响。

(1)由于应力集中,容易造成拉底穿脉和沿脉交叉口区域巷道破坏严重,炮孔堵孔、变形较大,同时巷道顶板破碎,造成安全风险。

(2)影响拉底爆破质量,拉底穿脉和沿脉交叉口区域巷道的应力集中,炮孔变形不符合质量要求,容易造成拉底爆破质量问题。

(3)由于矿区最大主应力垂直矿体走向,一旦拉底爆破产生质量问题,应力会通过残余矿柱和松散矿堆传至底部结构,底部结构应力大量集中可能导致出矿进路甚至穿脉垮塌,会给底部结构稳定性带来致命威胁。

(4)由于采用前进式拉底方式,残余矿柱和崩落矿堆传递的应力,造成底部结构应力集中,施工聚矿槽时,长期应力集中区矿岩势必引发岩体进一步破碎,造成聚矿槽中深孔施工困难和塌孔、堵孔、错孔现象频繁,给聚矿槽形成带来较大问题。

(5)难以观察拉底效果,一旦拉底出现岩墙、岩柱,在不知情的情况下继续拉底,将使处理变为不可能,对矿山生产造成致命威胁。

3.2 沿脉应力集中原因

对于拉底和沿脉巷道交叉口出现变形、垮塌现象,主要原因是受到本区段的采动和相邻区段的残

余采动两个方面的影响。从表1可以看出,由于地应力方向不同,穿脉巷道和沿脉巷道所受最大主应力有明显不同,穿脉巷道应力值在24.15~24.51 MPa,最大位移在8.21~11.78 mm,沿脉巷道应力值在34.20~36.59 MPa,最大位移在12.51~18.01

mm,在拉底推进线方向约20 m范围内的区域处于应力集中状态,最大主应力接近30 MPa,而在拉底推进线后方40~50 m区域附近应力已发生释放,最大主应力仅为3~20 MPa^[3]。

表1 穿脉和沿脉巷道应力和位移统计表

岩体类型	巷道类型	最大主应力/MPa		最小主应力/MPa		最大位移/mm	
		无支护	支护	无支护	支护	无支护	支护
II类岩体	穿脉巷道	24.51	24.19	0.18	0.42	8.21	7.88
	沿脉巷道	36.59	34.63	0.16	0.27	12.51	11.98
III类岩体	穿脉巷道	24.50	24.13	0.17	0.30	9.80	7.95
	沿脉巷道	36.28	34.42	0.31	0.45	14.76	14.29
IV类岩体	穿脉巷道	24.15	23.97	0.30	0.43	11.78	11.04
	沿脉巷道	34.20	32.79	0.27	0.43	18.01	16.88

拉底工作面回采引起的超前支承压力的影响是在工作面的正常推进过程中,由于拉底工作面的持续推进,拉底面积越来越大,工作面前方形成了很大的超前支承压力作用,这个超前支承压力的影响是巷道在围岩变形和破坏的主要原因。工作面空顶区前方会出现应力集中,这与现场完全符合,根据现场观察、经验得到应力增高区大约20~30 m距离,在应力增高区是巷道出现变形、垮塌的主要区域,并且变形、垮塌区域随着拉底的推进而向前移动。同时相邻区段工作面回采时引起的侧向支承压力的影响同样不可忽视,由此会在拉底和沿脉巷道交叉口出现应力叠加区,即支承压力和侧向支承压力的叠加,具体如图2所示。

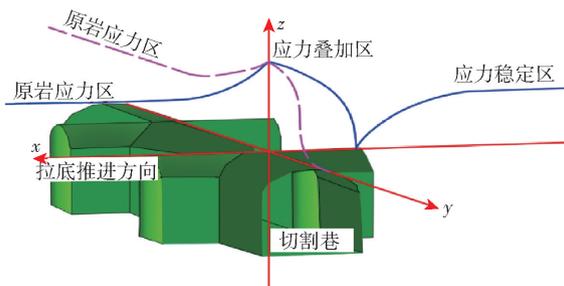


图2 穿脉和沿脉巷道交叉口应力叠加示意图

拉底爆破的拉底方式、拉底形状、拉底速度对拉底水平底部结构的应力状态影响较大。前进式拉底,巷道段越靠近崩落前锋,诱导应力越高,但是从前锋第一个15 m以外开始迅速下降,即拉底穿脉底部结构的应力会随着拉底推进线前进而前进。拉底过沿脉时,拉底线临近或位于底部结构的正上方时,

应力达到峰值,极易造成底部结构破坏;当拉底线越过沿脉之后,应力急剧下降,形成缓解区,并逐渐趋于稳定^[4]。

拉底和沿脉巷道交叉口在支承压力和侧向支承压力的叠加下,形成一个高应力集中区,对拉底过沿脉造成一定影响。

3.3 拉底过沿脉巷道爆破作用原理

拉底穿脉凿岩爆破一般为距离13 m两条相邻拉底穿脉同时进行,一般一次爆破2~3排,炮孔采用上向扇形孔,炮孔排距1.8~2.0 m,孔底距1.5~2.4 m,炸药采用ANN-2型粒状铵油炸药,连续柱状装药,孔底反向起爆,起爆药包为4节乳化炸药,严格控制装药长度和装药密度,所有炮眼均以炮泥堵塞,堵塞长度不得小于0.2 m。爆破采用排间微差爆破,两排延期为45 ms。每次拉底中深孔爆破后,需进行拉底出矿作业,出矿量为崩矿量的30%,要保证能够观察爆破效果,保证待崩矿岩与松散矿堆之间5~7 m的距离为宜,为下一次爆破通过爆破补偿空间。

拉底过沿脉巷道爆破实质即排间微差爆破、挤压爆破,作用原理如下所述。

(1) 爆破应力的叠加作用。当先爆破的中深孔形成爆破漏斗,将漏斗范围内的岩石破碎后,应力场和微裂隙也就产生在漏斗周围的岩体上。在该应力场尚未消失之前的有利时间起爆后爆中深孔,形成先、后起爆的炮孔爆破应力的相互叠加,可以有效改善破碎效果^[5]。

(2) 补充破碎作用。当先爆孔破碎的岩石飞起尚未回落时,后爆孔紧接着起爆,爆下的岩石向刚形成的补充自由面方向高速飞散,与先爆破的岩石相互碰撞,起到补充破碎作用,不仅可以改善破碎效果,而且爆堆集中^[6]。

(3) 产生挤压破碎作用。中深孔爆破时,后起爆的岩块以 50 ~ 100 m/s 的速度高速冲击先爆破完成的岩块,将爆破产生多余的能量用于挤压破碎。但是拉底爆破时如果采用单排中深孔爆破就只可以产生一次挤压作用,破碎效果不显著,而采用多排中深孔微差爆破时,可以使中深孔单排或者多排依次微差起爆,只要控制合理的微差爆破间隔,可以多次产生挤压破碎作用,起到破碎岩石,降低大块的作用。

(4) 降低爆破地震作用。中深孔合理的微差爆破间隔时间,可以使炸药包产生的地震波能量在时间上、空间上错开,从而降低了爆破地震效应。

(5) 改善自由面条件。拉底时先爆破的中深孔形成的爆破漏斗破裂面,为后爆孔创造了新的自由面,先爆的中深孔会造成后爆中深孔前方排距小于孔底距,形成新的自由面,使爆破时最小抗线方向改变,从而改善了后爆孔的爆破条件,加强了入射应力波和反射性拉伸波对岩石的破裂面的作用。使后爆孔周围岩石受到破坏,抗爆强度降低,同时增加爆破自由面,减小夹制作用,有利于爆破效果的提高。

(6) 形成瞬间自由面(空槽)的作用。多排中深孔微差爆破时,前排爆下的岩块向前挤压,在排面处瞬时形成一个空槽,因为多排微差挤压爆破前后炮孔的起爆间隔很短,往往为数十毫秒,后排中深孔起爆前可以在瞬时尚存一条最宽处约 1 m 的空槽,此时后排中深孔起爆,便可以以瞬时空槽为爆破自由面。

(7) 改变应力波的能量分配。当爆破应力波传播到自由面时,反射波能量减少,透射波能量增加,因为自由面前面有比空气密度大得多的挤压物质。虽然反射波能量下降对岩体爆落不利,但由于对已爆岩块(压碴)的挤压和破碎,透射波能量上升对爆破岩块有利^[7]。

4 拉底过沿脉分析

4.1 拉底过沿脉巷道的主要方式

现阶段拉底过沿脉巷道主要方式有两种,无切割井和切割井拉底过沿脉,主要区别就是是否有无

切割井提供爆破自由面,两种方式主要施工参数如下:

1) 无切割井直接拉底过沿脉巷道

沿脉设计净断面宽度 3.8 m,现场实际宽度在 4.0 m 左右,设计增加中深孔 3 排,排距 2 m,其中第一排和第三排各增加一排加强排,共计 5 排中深孔,高度较正常拉底高度增加 1 米,平顶部分为 11 m(自巷道底板计算),桃形矿柱顶端 16 m(自巷道底板计算),中深孔角度范围为 26° ~ 154°,炮孔孔底距不大于 2.5 m;拉底巷道中炮孔孔底距为 1.5 ~ 2.5 m,边孔角为 42°。单排中深孔如图 3 所示,正常排和加强排中深孔一致。爆破时五排中深孔一次完成爆破,采用电子雷管毫秒微差爆破,第一排和第一排的加强排同时起爆,毫秒延期 5 ms,第二排毫秒延期 55 ms,第三排和第三排的加强排毫秒延期 115 ms。

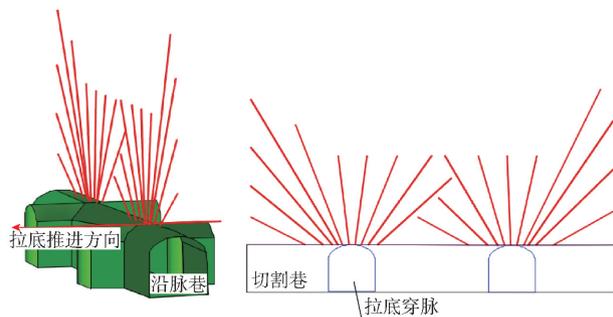


图3 无切割井拉底过沿脉巷道中深孔示意图

2) 有切割井直接拉底过沿脉巷道

切割井布置在沿脉巷道一侧,尺寸为 2 m × 2 m(长 × 宽),间距为 10 m,高度为 15 m;切割巷中深孔炮孔设计如图 4 所示,炮孔采用上向扇形孔,排线方位角 90°,拉槽边孔角 70°,靠近切割井第一排炮孔排距 1.0 m,其余炮孔排距 1.4 m。第一次爆破扩井排和近井排,第二次爆破两切割井之间的剩余排位。采用排间微差爆破,微差时间 25 ~ 50 ms,个别扩井炮孔采用孔间微差,间隔时间取 25 ms,具体的雷管段位数将根据生产爆破效果进行调整。

4.2 不同拉底方式过沿脉巷道爆破分析

1) 最小抵抗线

上述已经介绍无切割井和有切割拉底过沿脉巷道方式的参数,两种不同的拉底方式最小抵抗线也不同。在中深孔爆破中,每米钻孔爆破量的破拆效果受到最小抵抗线的直接影响,抛投距离和每米钻孔的块度也受其影响。爆破时岩石阻力最小的方向实际上就是最小抵抗线的方向,而这个方向的岩石运动速度最高,爆破作用也最为集中。最小抵抗线

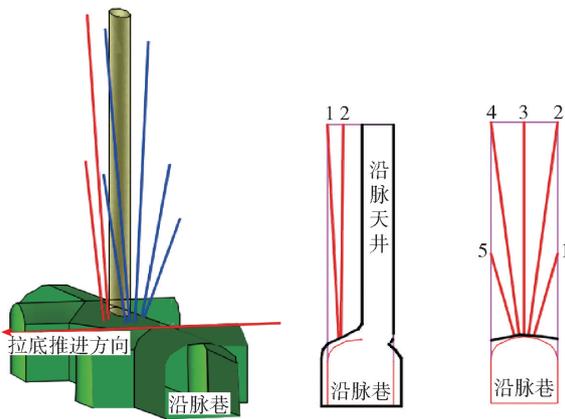


图4 有切割井拉底过沿脉巷道中深孔示意图

是拉底中深孔爆破作用的主导方向和抛掷作用的主导方向。

无切割井拉底过沿脉巷道排距为 2.0 m, 最下边孔与沿脉巷道距离 2.5 m, 实际施工时, 由于沿脉巷道的变形, 中深孔施工的误差, 最下边孔与沿脉巷道距离小于 2.5 m, 甚至小于 2.0 m, 这就造成最小抵抗线发生了变化, 原设计爆破作用的主导方向设计朝向已拉底空区方向, 由于最小抵抗线发生变化, 导致主导方向为沿脉巷道。有切割井拉底过沿脉巷道就不存在类似问题, 爆破作用的主导方向始终为切割井方向。

2) 自由面条件

自由面是爆破工程首先要考虑的因素, 拉底爆破自由面的大小、数量直接影响了爆破效果, 如果拉底爆破时增加自由面的数量, 提高爆破自由面的大小, 则可以减小爆破夹持作用, 改善爆破条件, 减少单位炸药消耗量。拉底中深孔和自由面的相对位置也会对爆破效果产生影响, 自由面上装药的炮孔投射面积越大, 产生反射性拉伸性破坏作用的爆破应力波就越有利。自由面小, 夹制作用大, 破碎体积小, 且容易形成飞石, 自由面条件大, 爆破条件有所改善, 破碎体积增加^[8]。

有切割井拉底过沿脉巷道自由面条件较无切割井好, 有切割井拉底过沿脉为 3 个自由面, 分别是拉底空区、切割井、沿脉巷道, 而无切割井自由面少 1 个切割井方向的自由面, 由此分析, 无切割井拉底过沿脉较有切割井夹制作用大, 爆破效果将下降。

3) 装药量

装药量是爆破设计中非常重要的参数, 装药量的大小直接关系到爆破效果的好坏、造价的高低以

及爆破的安全问题^[9], 影响炸药单耗的因素很多, 最主要的是工程地质情况、自由面条件、爆破方法和爆破要求等, 在不同拉底方式过沿脉巷道爆破中, 由于自由面条件、最小抵抗线、爆堆空间等条件的改变, 导致有无切割井拉底过沿脉巷道的爆破参数产生较大差异, 具体参数见表 2, 有切割井拉底过沿脉巷道的炸药单耗、雷管单耗、每米单耗、每米崩矿量和装药系数明显优于无切割井。

表2 不同拉底方式过沿脉爆破参数表

类型	炸药单耗/雷管单耗/每米单耗/每米崩矿量/装药系数				
	kg·m ⁻³	发·m ⁻³	kg·m ⁻¹	m ³ ·m ⁻¹	数/%
无切割井	1.10	0.07	4.07	3.69	67.1
有切割井	0.94	0.06	3.69	3.91	69.4

4) 爆破的应力

炸药在固体介质中爆炸, 爆破的破坏过程因介质的非均一性和爆炸反应的特殊性(高温、高压、高速)等多种因素而十分复杂。爆破的破坏过程是爆炸物能量在极短时间内释放、传递和工作的过程, 荷载和介质在此过程中相互影响^[10]。多排药包齐发爆破的应力波相互作用的情况较为复杂。在前、后排各两个炮孔所形成的四边形岩石中, 各炮孔的爆破应力波相互叠加, 造成了应力极高的状态, 使岩石破碎效果大为改善。但另一方面, 多排成组药包齐发爆破时, 只有第一排药包爆破具有侧面和上表面两个自由面的优越条件, 而后排药包的爆破只有上表面一个自由面, 因自由面较少而受到较大的夹制作用, 影响爆破效果。因此, 就有无切割井拉底过沿脉的爆破应力进行简单分析, 在无切割井拉底方式过沿脉中, 由于最下炮孔与沿脉巷道距离和排距基本相等, 导致在爆破时主应力被分散, 形成两个次应力, 导致爆破作用的主导方向发生改变。有切割井拉底方式过沿脉巷道爆破主应力将只产生一个, 对爆破较为有利。

5 结论

通过以上分析, 得出以下结论。

(1) 拉底和沿脉巷道交叉口在支承压力和侧向支承压力的叠加下, 形成一个高应力集中区, 且在拉底前 20 ~ 30 m 应力就开始逐渐增大, 应力叠加区拉底的推进而向前移动。拉底巷道和沿脉巷道交叉口位置需加强支护, 并且加强支护区域需向拉底巷道两边延伸 20 m, 避免由于应力叠加导致巷道发生较大变形破坏, 影响拉底爆破施工。

(2)拉底穿脉巷道受力较小、稳定性较好,但其和沿脉巷道交叉口处暴露面积大、稳定性较差,工程受力大、应力集中明显,需重点监控其稳定性。

(3)有切割井拉底过沿脉巷道较无切割井优点较多,从爆破自由面条件、装药量单耗、爆破应力等方面均优无切割井。且可知,爆破条件对爆破效果影响极大,为此,在爆破之前必须进行再次出矿,可保障自由面条件、爆堆空间在爆破时发挥较好的作用。

(4)拉底爆破在自然崩落法采矿中至关重要,在中深孔拉底爆破作业中,往往由于钻孔、装药施工质量、炸药或雷管质量、中深孔施工后塌孔、孔内掉块、地压错动等原因,会造成爆破不彻底、没有达到设计意图的现象,形成岩墙、岩柱、悬顶等,应根据现场实际条件进行设计优化,采用不同方式达到设计意图。

(5)中深孔施工质量严格的必要性,无切割井拉底方式过沿脉爆破设计常由于中深孔施工的误差导致最小抵抗线发生变化,导致爆破效果产生不确定因素。

[参考文献]

- [1] 沈南山,顾晓春,尹升华. 国内外自然崩落采矿法技术现状[J]. 采矿技术, 2009, 9(4):5.
- [2] 王志勇,张杰. 对影响自然崩落法拉底效果的分析 and 认识[J]. 有色金属(矿山部分), 2003(6):15-16.
- [3] 范文录,刘育明,葛启发. 自然崩落法拉底过程底部结构稳定性研究[J]. 中国矿山工程, 2017, 46(1):1-4.
- [4] 刘增平,梁顺. 深井沿空巷道窄煤柱宽度确定及支护设计[J]. 煤矿安全, 2010, 41(12):58-60.
- [5] 黎明鸣. 近地表隧道微差爆破参数的确定与数值模拟[D]. 重庆:重庆大学, 2013.
- [6] 李鹏. 前坪水库石方爆破开挖技术研究[D]. 郑州:华北水利水电大学, 2018.
- [7] 周游,陈作彬,王静等. 最小抵抗线对深孔岩石爆破块度的影响[J]. 工程爆破, 2016, 22(6):70-74.
- [8] 王建华. 石灰石矿山爆破过程中对于成本的控制[J]. 建材世界, 2022, 43(5):139-142.
- [9] 张闪闪,张海鹏. 黄金峡到三河口段隧洞2标主隧洞开挖施工技术浅析[J]. 陕西水利, 2021, 249(10):231-233.
- [10] 徐鹏. 平顶山隧道空间交叉施工力学行为研究[D]. 重庆:重庆交通大学, 2018.
- [11] 李毅,柴敬,邱标. 光纤光栅传感技术在锚杆测力计上的应用[J]. 煤矿安全, 2009, 40(2):50-52.
- [12] 李廷博. 分布式光纤锚杆全长监测的实验研究[D]. 西安:西安科技大学, 2015.
- [13] 雷文凯,肖衡林,张金团,等. 基于光纤检测技术的夹泥灌注桩模型试验[J]. 岩土力学, 2018, 39(3):909-916.
- [14] 梁磊,姜德生,周雪芳,等. 光纤 Bragg 光栅传感器在桥梁工程中的应用[J]. 光学与光电技术, 2003(2):36-39.
- [15] 刘德明,孙琪真. 分布式光纤传感技术及其应用[J]. 激光与光电子学进展, 2009, 46(11):29-33.
- [16] 姜德生,梁磊,南秋明,等. 新型光纤 Bragg 光栅锚索预应力监测系统[J]. 武汉理工大学学报, 2003(7):15-17.
- [17] 毛江鸿. 分布式光纤传感技术在结构应变及开裂监测中的应用研究[D]. 杭州:浙江大学, 2012.
- [18] 李义,王成. 应力反射波法检测锚杆锚固质量的实验研究[J]. 煤炭学报, 2000(2):160-164.
- [19] 吴志刚,鞠文君. 新型锚索锚杆测力计的研制与应用[J]. 煤炭科学技术, 2007(11):36-38.
- [20] 周智,何建平,吴源华,等. 土木结构的光纤光栅与布里渊共振测试技术[J]. 土木工程学报, 2010, 43(3):111-118.
- [21] 黄民双,梁大开,袁慎芳,等. 应用于智能结构的光纤传感新技术研究[J]. 航空学报, 2001(4):326-329.
- [22] 裴雅兴,谭先康,王爱勋. 光纤传感技术在预应力锚杆应力测试中的应用[J]. 人民长江, 2004(1):25-27.

(上接第46页)

厚大矿体充填开采地表稳定性分析

Research on Rock Movement Mechanism and Stability Analysis of Thick and Large Ore Body Filling Mining

程东旭, 曾凌方, 朱国辉(长沙有色冶金设计研究院, 湖南 长沙 410007)

摘要:某金属矿矿体特征为埋深浅的缓倾斜厚大矿体, 矿岩节理裂隙发育, 地表有公路和建构筑物存在, 地下开采可能对矿区地表建构筑物 and 公路造成影响。为解决上述问题, 本文优选大直径深孔侧向崩矿和底盘堑沟中深孔空场法的开采方案, 利用 FLAC^{3D} 软件模拟分析了充填开采对矿地表的移动和沉降机理变形规律, 对比分析了充填及未充填下地表移动变形差异情况。研究表明, 充填采矿法可使地表岩移趋近于连续变形和均匀下沉, 有效增强矿地地表建构筑物的安全保护等级, 具有可实施性。

关键词: 充填开采; 地表变形; 数值模拟

中图分类号: TD163 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-609X(2023)05-0059-05

Abstract: The characteristic of a certain metal ore body is a gently inclined and thick ore body with shallow burial depth, developed rock joints and fissures, and the presence of roads and buildings on the surface. Underground mining may have an impact on the surface buildings and roads in the mining area. To solve the above problems, this article selects the mining schemes of large-diameter deep hole lateral collapse and deep hole open pit method in chassis trenches. FLAC^{3D} software is used to simulate and analyze the deformation laws of the mining surface movement and settlement mechanism caused by filling mining, and the differences in surface movement and deformation under filling and unfilled conditions are compared and analyzed. Research has shown that the filling mining method can make the surface rock move towards continuous deformation and uniform subsidence, effectively enhancing the safety protection level of mining surface structures, and has feasibility.

Key words: filling mining; ground deformation; numerical simulation

1 前言

随着矿产资源的开采, 大部分浅部和易采的矿体已经基本消耗殆尽, 未来将会有越来越多难采、深部的矿体资源进行回采, 例如对于以往矿山对地表建构筑物、水体等压覆的保安矿柱或未能开采的矿产资源进行回采。在当今发展绿色矿山的大环境下, 地下开采造成地表建构筑物的破坏是越来越不被允许的, 而随着矿石需求量的增长, 高采出率和高地表安全保护等级是现在需要解决的问题, 此时开展地下矿产资源开采下地表移动变形规律的研究是必不可少的。目前越来越多的金属非金属矿山领域广泛应用的采矿方法主要为充填法, 充填法在安全、高效开采建筑物下矿石资源、减小地表变形破坏、提高矿石回采率等方面发挥了重要作用^[1-4]。相比其余采矿方法, 充填采矿有损失贫化率低, 安全等优

势, 同时充填采矿可以有效控制地表赋岩的移动, 减少地表塌陷和下沉, 可以保护地表建构筑物, 因此研究充填法开采对地表沉降变形规律具有重要知道意义。

为了研究地下开采对地表移动变形的影响, 国内外学者开展了大量研究工作。A. K. Ghose 和 V. R. Greco 考虑各种影响因素, 基于 Knothe 时间函数, 建立了可以预测开采后地表移动变形的三维影响函数^[5-6]。杨宝贵通过数值模拟对比分析充填法与垮落法开采的地表移动梯度变化情况, 揭示了利用矸石、粉煤灰充填开采可以有效降低地表下沉梯度和水平移动梯度^[7]。刘艳章通过有限元分析得到了大包庄矿山采空区不充填和全充填下地表移动带的圈定范围, 得出数值模拟圈定的移动带能更好的反应实际地表变形^[8]。王海军利用岩石力学数值模拟圈定地表移动带对矿山地下开采有可能影响建构筑物安全进行了分析和量化评价^[9]。李同鹏通过分析计算凤凰山铜矿充填法开采过程中地表风景区建构筑物附近的倾斜、曲率和水平变形在 I 级建构筑物变形允许值范围内^[10]。张天军利用 FLAC^{3D} 模

[作者简介] 程东旭(1993—), 男, 工程师, 从事岩石力学、数值模拟等方面研究。

[引用格式] 程东旭, 曾凌方, 朱国辉. 厚大矿体充填开采地表稳定性分析[J]. 中国矿山工程, 2023, 52(5): 59-63.