

缓倾斜中厚矿体微贫损动态控制技术研究

侯俊^{1,2}, 卢铀嘉³, 刘彦君¹

(1. 长春黄金研究院有限公司; 2. 深部金属矿采动地压灾害防控国家矿山安全监察局重点实验室;
3. 内蒙古包头鑫达黄金矿业有限责任公司)

摘要:缓倾斜中厚矿体赋存条件较为特殊,采场空顶高度较高,顶板管理困难,采准工程量大,开采难度较大,普遍存在采矿损失率高、矿石贫化率高等问题。针对鑫达黄金矿业公司囫囵图矿区32-2号脉采场桃形矿柱难回收、贫损指标不理想等问题,研发缓倾斜中厚矿体微贫损动态控制技术,系统运用全方位钻孔测斜技术,反演设计炮孔与实际炮孔的三维空间模型,研究钻孔偏斜规律,大幅度降低矿石贫化率,在回采过程中2条凿岩巷道之间的桃形矿柱采用多孔深协同组合开采技术,有效降低了采矿损失率,显著提升资源利用率和技术经济指标,可为类似矿山安全高效开采提供新的技术途径。

关键词:缓倾斜中厚矿体;全方位钻孔;钻孔测斜;多孔深协同组合开采;微贫损动态控制;采矿损失率

中图分类号:TD353

文献标志码:A

文章编号:1001-1277(2024)07-0001-05

doi:10.11792/hj20240701

引言

缓倾斜中厚矿体由于自身开采技术条件限制,长期以来一直被视作国内外矿业界公认的难采矿体^[1-2]。在缓倾斜中厚矿体开采过程中,采场空顶高度较高,顶板管理困难,采准工程量大,开采难度较大,甚至会出现采矿回采率降低、矿石贫化率增高的问题。因此,研究如何安全经济高效地回采缓倾斜中厚矿体极具现实意义^[3-5]。内蒙古包头鑫达黄金矿业有限责任公司(下称“鑫达黄金矿业公司”)囫囵图矿区32-2号脉采用全面采矿法进行回采,存在回采效率低、工人劳动强度大、采矿损失率高、作业安全性差等难题^[6-7],本文提出应用双进路分幅安全高效开采技术,重点运用全方位钻孔测斜、多孔深协同组合开采、三维模型评价等方法,研发缓倾斜中厚矿体微贫损动态控制技术,显著提升了资源利用率和技术经济指标,可为类似矿山安全高效开采提供新的技术途径。

1 工程背景

鑫达黄金矿业公司囫囵图矿区32-2号脉1315采场矿体为缓倾斜中厚矿体,位于32-2号脉15勘探线—23勘探线、900~930 m标高,矿体平均厚度8 m,资源储量约7.98万t,平均金品位2.47 g/t,金属量约117.43 kg。根据矿体赋存状态,为了最大限度提高采场生产效率,减少采矿损失贫化,设计采用双

进路分幅安全高效开采技术对32-2号脉进行安全、高效、有序回采,使用YGZ-90凿岩机进行落矿,使用WJD-1YK型地下遥控电动铲运机进行出矿。双进路分幅安全高效开采技术方案如图1所示。其中,矿块沿走向布置,矿块长度为50 m,高度为阶段高度30 m,厚度为矿体厚度,本方案根据现场矿体实际条件确定矿体真厚度为10 m,矿体倾角为25°,采场两端预留4 m间柱,回采矿房长度为46 m,矿房回采结束后视围岩情况对顶柱和间柱进行部分回收。采矿方案的主要技术经济指标如表1所示。

2 微贫损动态控制技术

2.1 矿体低损失控制技术研究

缓倾斜中厚矿体开采过程中,矿石的一次损失主要为小于矿石自然安息角而无法崩落的矿石;矿石二次损失主要是由残留在采空区内的矿石无法出尽造成的。

在应用双进路分幅安全高效开采技术过程中,根据矿石自然安息角的要求对边孔角进行设计,边孔角一般设计为45°,因此,2条进路之间将形成较大的桃形矿柱(如图2所示)。当采用中深孔进行回采时,该部分矿石不但将永久损失,而且因受其影响上部崩落的矿石将在此形成脊部残留,后期无法进行二次回收,采矿损失率较大。

针对采场桃形矿柱回收难、贫损指标不理想等问题,在回采过程中,采用多孔深协同组合开采技术进

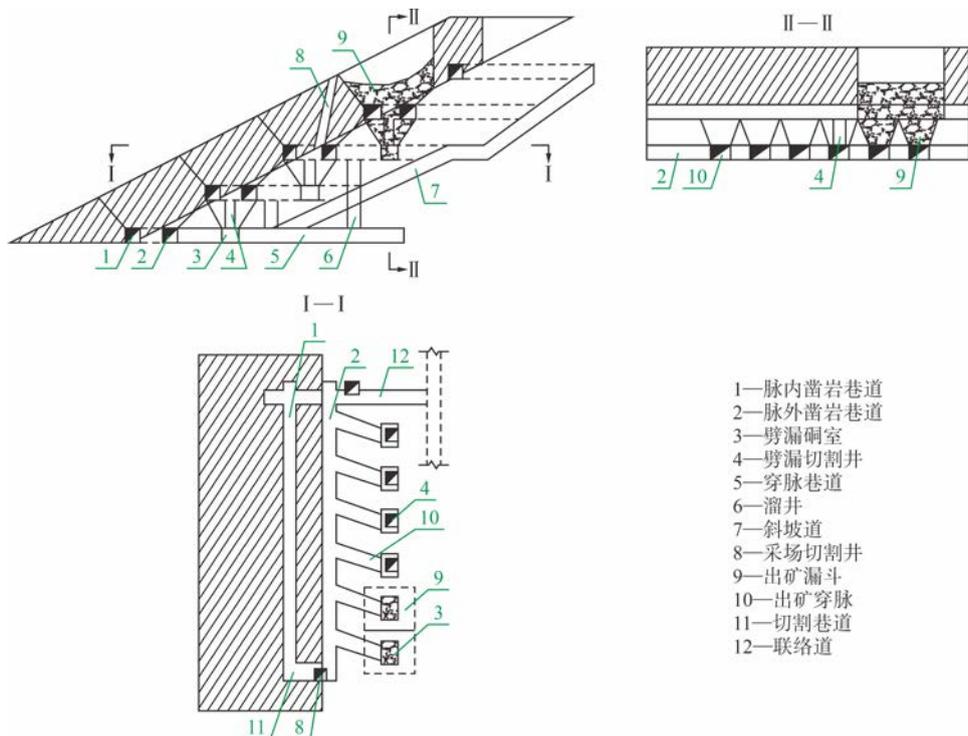


图1 双进路分幅安全高效开采技术方案示意图

Fig. 1 Schematic diagram of the double approach split safe and efficient mining technology solution

表1 主要技术经济指标

Table 1 Main technical and economic indicators

序号	指标	数值
1	采场生产能力/(t·d ⁻¹)	200~300
2	采切比(标准巷道)/(m·kt ⁻¹)	8.71
3	采矿损失率/%	10.4
4	矿石贫化率/%	10.6
5	采矿直接成本/(元·t ⁻¹)	95.82

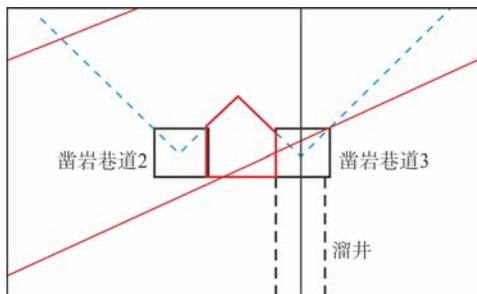


图2 采场桃形矿柱示意图

Fig. 2 Schematic diagram of peach-shaped ore pillars in the stope

行双进路分幅安全高效回采,实现多孔深协同组合开采,可有效提高该桃形矿柱的回收量,有效降低采矿损失率,显著提升资源利用率和经济效益。多孔深协

同组合开采方式如图3所示。

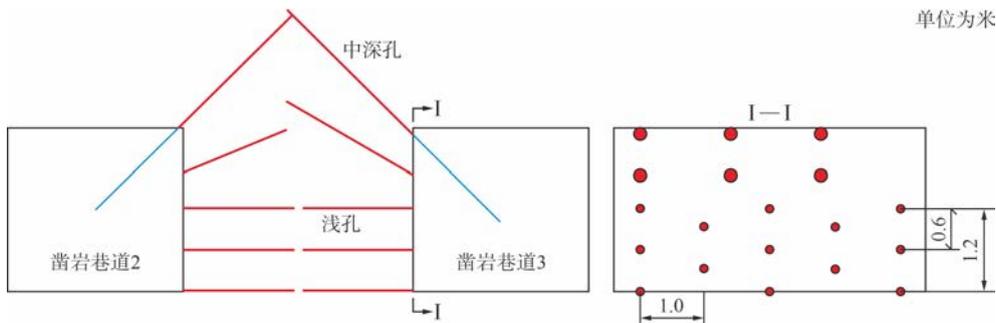


图3 多孔深协同组合开采方式示意图

Fig. 3 Schematic diagram of the mining method with a combination of different hole lengths

对于2条凿岩巷道中间的桃形矿柱,腰线以上布置中深孔时,采用YGZ-90凿岩机钻孔,而腰线以下部分采用YT-28钻机钻凿浅孔,采用交错布置

形式,炮孔间距为0.6~0.7 m,排距为0.8~1.0 m,与正排中深孔同时起爆,炮孔布置形式如图4所示。

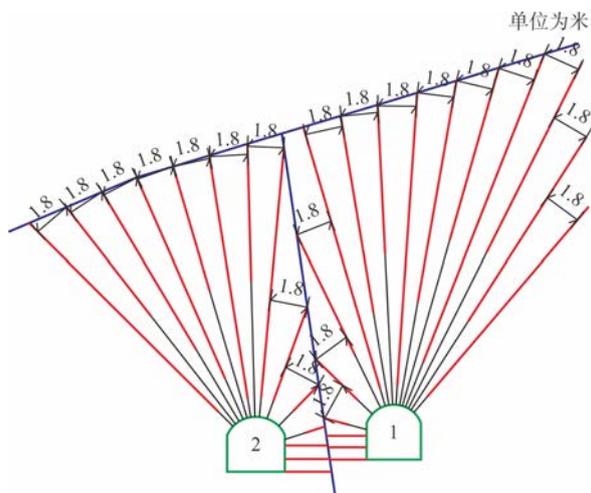


图4 多孔深协同组合开采炮孔布置示意图
Fig. 4 Schematic diagram of borehole layout with a combination of different hole lengths

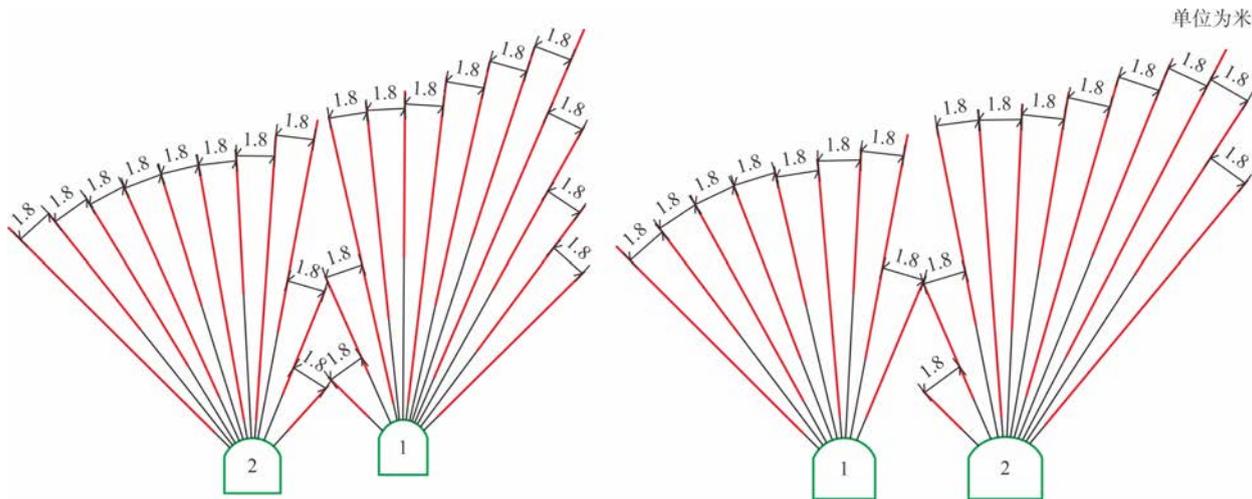


图5 双进路扇形中深孔炮孔布置示意图
Fig. 5 Schematic diagram of fan-shaped medium-long-hole borehole layout of double approach

现场采用全方位钻孔测斜仪进行钻孔测量,其使用半刚性推杆系统进行推进,将测斜仪推送至扇形中深孔内,每次推进距离为2 m。在测量过程中可通过数字显示设备直接查看钻孔测量数据及测量结果。部分钻孔测量报告如图6所示,报告中可清晰展现出钻孔测量各点实际方位、倾角及钻孔深度。将每个炮孔测量数据导出,形成双进路扇形中深孔测量图,结果如图7所示。

对钻孔进行测量得到的钻孔测斜数据如表2所示。由表2可知:钻孔的主要倾斜方向是沿倾角方向进行偏斜。对实际测量的钻孔与设计炮孔进行对比,并在三维模型中进行空间反演,结果如图8所示。

3 现场试验及效果

陶图图矿区1315采场采用双进路分幅安全高效

2.2 高精度控制爆破技术

缓倾斜中厚矿体开采过程中,矿石贫化主要是由达到矿石自然安息角而将边孔角放大后所崩落的围岩混入导致的。双进路分幅采场内整体自上而下顺序回采,在同一分段内可先在上盘凿岩巷道进行后退式回采,亦可以2个凿岩巷道同时进行后退式回采。矿体回采过程中,在凿岩巷道内采用YGZ-90凿岩机钻凿上向扇形炮孔,孔间距及排距需要根据岩石性质并结合理论计算公式确定。为了实现采场低贫损开采目标,开展了高精度控制爆破技术研究。应用全方位钻孔测斜仪对扇形中深孔进行测量,通过对测量结果进行统计并与原设计参数进行对比分析,得出钻孔偏斜与钻孔长度和倾角的相对关系,并在三维空间模型进行反演,依据钻孔偏斜规律对炮孔进行修正,以达到回采爆破效果。采场扇形中深孔炮孔布置参数为排距1.4 m,孔底距1.8 m,双进路炮孔布置如图5所示。

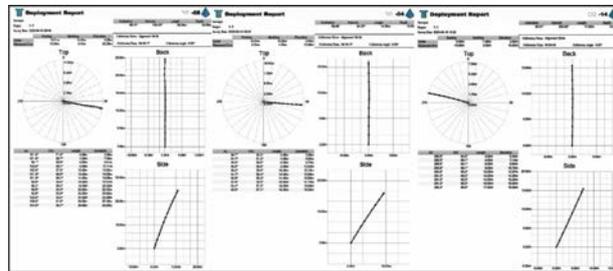


图6 钻孔测量报告
Fig. 6 Report of drill hole measurement

开采技术进行回采,脉内、脉外双进路采准工程布置如图9所示。

基于中深孔爆破的特点,现场试验只对初选出的方案进行试验。每个方案每次爆破1~2次,每次爆破1~2排,爆完后立即对爆下的矿石进行清理,并对爆破效果相关指标进行测量和评价,根据各方案的试

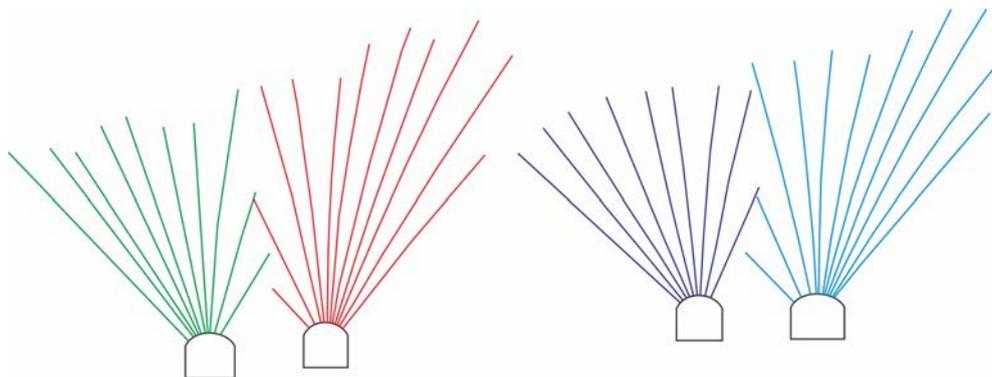


图7 双进路扇形中深孔钻孔实测示意图

Fig. 7 Schematic diagram based on measured fan-shaped medium-long-hole drilling of double approach

表2 钻孔测斜数据

Table 2 Data of drill hole measurement

序号	设计		实测		偏斜	
	长度/m	倾角/(°)	长度/m	倾角/(°)	角度/(°)	方向
1	3.0	L45.0	3.1	L45.97	0.97	R
2	8.7	L68.4	8	L63.95	4.45	L
3	14.1	L78.6	14	L75.49	3.11	L
4	14.4	L85.2	13.8	L83.89	1.31	L
5	14.9	R88.3	14.2	R88.18	0.12	R
6	15.6	R82.0	16.1	R81.68	0.32	R
7	16.6	R75.9	17.5	R74.81	1.09	R
8	17.8	R70.2	17.3	R70.62	0.42	L
9	19.4	R64.9	19.2	R65.02	0.12	L
10	16.4	R59.1	18.5	R56.98	2.12	R
11	13.4	R52.2	13	R50.46	1.74	R

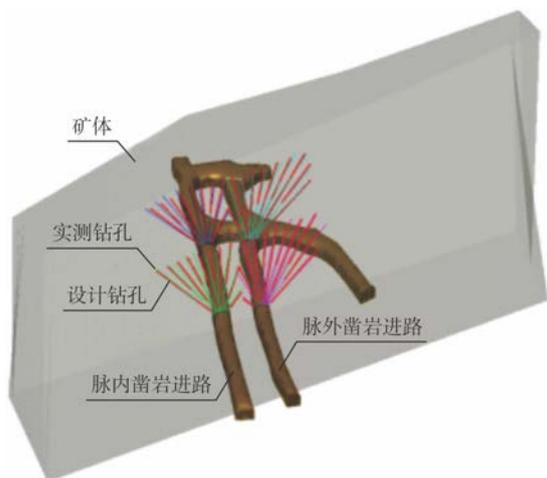


图8 钻孔三维空间反演示意图

Fig. 8 Diagram of drill hole 3D spatial inversion

验结果确定最优方案和参数。

通过对爆破数值模拟分析,初步确定的凿岩爆破参数为:排距 1.4 m,孔底距 1.8 m。该排炮孔布置参数如表 3 所示。



图9 采准工程布置现场

Fig. 9 Glimpse of preliminary mining layout

表3 炮孔布置参数

Table 3 Statistics of parameters for borehole layout

孔号	孔深/m		角度/(°)		装药		
	设计	实际	设计	实际	长度/m	填塞/m	药量/kg
1	13.4	13.8	L45.0	L45.0	12.5	0.9	24.6
2	12.9	13.2	L52.2	L52.0	6.4	6.5	12.6
3	12.6	12.9	L59.5	L59.2	9.6	2.9	18.9
4	12.5	12.7	L66.9	L66.4	6.1	6.4	12.0
5	12.4	12.7	L74.3	L73.7	11.5	0.9	22.6
6	12.6	12.8	L81.7	L81.0	6.2	6.4	12.1
7	13.0	13.2	L89.1	L88.2	9.4	3.6	18.4
8	8.9	13.0	R81.0	R84.7	7.0	1.9	13.7
9	4.2	5.8	R62.5	R70.4	3.2	1.0	6.2
小计					71.9	30.5	141.1

按以上爆破参数进行现场试验,其爆破效果较好,爆破块度大小适中,无大块出现,因此该爆破参数适合鑫达黄金矿业公司。爆破技术指标如表 4 所示,现场爆破情况如图 10 所示。

表4 爆破技术指标

Table 4 Technical indicators for blasting

指标	数值	指标	数值
回采面积/m ²	100.6	排距/m	1.40
矿量/t	356.4	回采体积/m ³	140.79
岩量/t	36.5	装药量/kg	141.30
总量/t	392.9	炸药单耗/(kg · t ⁻¹)	0.40
密度/(t · m ⁻³)	2.70	延米崩岩量/(t · m ⁻¹)	3.48

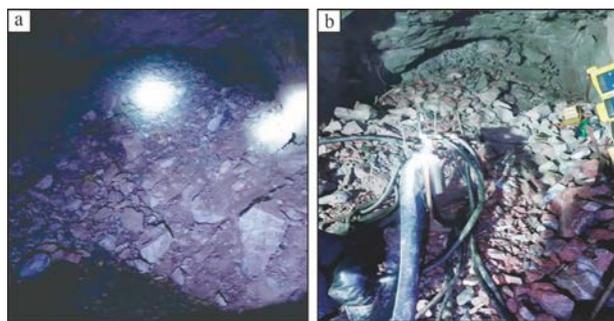


图10 现场爆破效果

Fig. 10 Field blasting performance

目前,工业试验采场已经基本回采结束,取得了良好的技术经济指标,试验采场采矿损失率5.6%,矿石贫化率9.3%,综合生产能力263 t/d。

4 结论

1) 本文提出了双进路分幅安全高效开采技术,有效提高采场生产能力、降低采场损失率的同时,保证了作业人员及设备的安全,实现了缓倾斜中厚矿体安全经济高效开采。

2) 采用数值模拟与现场试验相结合的方式进行了爆破试验,确定了适宜鑫达黄金矿业公司矿岩条件

的凿岩爆破参数:排距1.4 m,孔底距1.8 m。同时,结合扇形中深孔测斜技术,对钻孔偏斜情况进行统计分析,针对矿岩特性确定了钻孔偏斜规律,并对炮孔参数进行修正,有效降低了采场的贫损指标。

3) 针对2条凿岩巷道之间桃形矿柱及脊部残留回收困难问题,提出了多孔深协同组合开采技术,通过现场试验取得了良好的技术经济指标,1315采场采矿损失率为5.6%,矿石贫化率为9.3%,采场生产能力为263 t/d。

[参考文献]

- [1] 王征,李闯. 大白阳金矿缓倾斜中厚矿体采矿方法优化选择及应用[J]. 黄金,2019,40(8):37-40.
- [2] 阳雨平,吴爱祥. 浅析国内缓倾斜中厚矿体回采现状及进展[J]. 黄金,2002,23(1):14-17.
- [3] 郑成英,唐涛. 缓倾斜中厚矿体开采技术及应用[J]. 黄金,2018,39(5):41-45.
- [4] 谢文杰,王宜勇,孔祥业. 缓倾斜中厚矿体采矿方法试验与应用[J]. 黄金,2012,33(8):25-27.
- [5] 卢汉骥. 房柱法在东川澜泥坪缓倾斜薄至中厚矿体中的应用及其改进方案[J]. 云南冶金,1982(3):30-31.
- [6] 李佳洋. 贡北金矿破碎顶板下缓倾斜薄至中厚矿体安全开采技术研究[D]. 长沙:中南大学,2011.
- [7] 柴建设,张云鹏,王志国,等. 顶板不稳定的缓倾斜薄至中厚难采金矿体的开采[J]. 黄金,2000,21(5):14-16.

Research on dynamic control technology for slight dilution and loss in moderately inclined medium-thick ore bodies

Hou Jun^{1,2}, Lu Youjia³, Liu Yanjun¹

(1. Changchun Gold Research Institute Co., Ltd. ;

2. Key Laboratory of Ground Control Management Plan in Deep Metal Mines, National Mine Safety Administration;

3. Inner Mongolia Baotou Xinda Gold Mining Co., Ltd.)

Abstract: The moderately inclined medium-thick ore bodies have unique occurrence conditions, with fairly high stope ceiling heights, difficult roof management, large amounts of preliminary mining work, and significant mining challenges. Common issues include high mining loss rates and high ore dilution rates. To address the problems in the stope of Vein 32-2 of the Huluntu mining area at Xinda Gold Mining Company, such as the difficulty in recovering the peach-shaped ore pillars and unsatisfactory dilution and loss indicators, a dynamic control technology for slight dilution and loss in moderately inclined medium-thick ore bodies was developed. This technology systematically utilizes all-around borehole inclinometry, reversely deduces the 3D spatial model of the designed boreholes versus actual boreholes, and studies the borehole deviation patterns. It significantly reduces the ore dilution rate. During the recovery process, the peach-shaped ore pillars between two drilling drifts are mined using a mining method with a combination of different hole lengths, effectively reducing the mining loss rate. This approach significantly enhances resource utilization and the technical and economic indicators, providing a new technical pathway for the safe and efficient mining of similar mines.

Keywords: moderately inclined medium-thick ore body; all-around borehole; borehole inclinometry; mining with a combination of different hole lengths; dynamic control of slight dilution and loss; mining loss rate