维普资讯 http://www.cqvip.com

深井复杂难采铜矿床采矿方法及采准系统优化研究

袁世伦[1],周 生[2]

(1.铜陵有色金属集团控股有限公司技术中心;2.铜陵有色金属集团股份有限公司冬瓜山铜矿)

摘要:从盘区布置、隔离矿柱宽度和回采方法、采准系统、采场结构参数、盘区与采场回采顺序等方面入手,采用大型的无轨穿孔设备和出矿设备,同时创新和运用先进的采准切割等工艺技术与之配合,运用最优化理论,进行回采顺序优化和排产优化,使采切工程、凿岩爆破工程、出矿工程和充填工程保持连续性,实现同时作业采场数少、设备利用率高、产量稳定等良性生产循环。通过研究和3个采场的工业试验,形成了深井缓倾斜厚大矿体的大盘区、大采场、大产能的采矿工艺技术。

关键词:深井开采;难采铜矿床;采矿方法;采准系统;冬瓜山铜矿

中图分类号:TD853 **文献标识码**:B **文章编号**:1001-1277(2008)06-0025-05

0 引 言

铜陵有色金属集团股份有限公司冬瓜山铜矿(下简称冬瓜山铜矿)是中国第一个大型深井矿山,现有的工程揭露已经呈现了地压大、高温、高硫、有岩爆及自燃、自爆倾向等深部开采(开采深度1 050m)的技术条件特征,矿床开采将面临的主要问题表现在:①应力高和有岩爆倾向,从而使深部开采中的灾变事故表现为多发性和突发性;②井下温度高,含硫量高,从而恶化了井下作业环境,工人劳动生产率大大降低;③随着开采深度的增加,提升、运输、通风、排水等作业成本必然大幅度上升。因此,研究和寻求适应冬瓜山矿床复杂开采技术条件和生产能力要求的开采方案就显得尤为重要。

一座地下矿山的采矿方法选择恰当与否,对矿山企业的生产、安全、效益有着长期的和重大的影响。由于矿床地质赋存条件复杂多变,每个矿床都有其独特的适宜的采矿方法及其结构参数,而在矿山正式生产前不可能像其他工业企业一样进行小型或中型试验。因此,设计院在设计一座新建矿山时,往往都特别标明为"推荐的采矿方法"。这对于冬瓜山这样具有岩爆倾向性、高温、高硫、深埋等复杂开采条件的铜矿床是不够的,因此,对设计推荐的采矿方法进行系统研究,对采矿方法和采场结构参数进行优化,以使其适应矿床的开采技术条件和开采规模的要求,具有极其重要的意义。

1 矿床开采技术条件

冬瓜山1#矿体是冬瓜山矿床的主矿体,其储量占总储量的98%。主矿体位于青山背斜的轴部,赋存于石炭系黄龙—船山组层位中,受层位控制,呈似层状产出,产状与背斜形态吻合。矿体中部厚大、沿两翼及走向向外逐渐变薄并尖灭。矿体走向NE35°,倾向随围岩产状分别向北西、南东倾斜,倾角缓,倾角平均20°,最大可达30°~35°。矿体沿走向向北东侧伏,侧伏角10°左右。矿体埋藏较深,赋存于-682~1 000m之间。矿体所处地段地应力高,-910m原岩应力测试点最大主应力σ_1=38.1MPa,大于20MPa,地应力系数$K>0.2$,属高应力区。矿床分布范围广,水平走向长度1 810m,最大宽度882m,最小宽度204m。矿体垂直厚度大,矿体一般厚度30~50m,最大厚度101m。矿体直接顶板主要为大理岩,矿体底板主要为粉砂岩和石英闪长岩,矿体由含铜磁黄铁矿和含铜矽卡岩等构成,矿体和围岩节理均不发育,1条/m;中南大学的研究表明,矿体含铜磁铁矿、含矿矽卡岩、底板粉砂岩、石英闪长岩、顶板栖霞组大理岩均有岩爆倾向性,顶板黄龙组大理岩无岩爆倾向;矿体所处地层原岩地温高(30~39.8°C),硫铁矿中部分胶质黄铁矿有结块和自燃发火倾向。

2 采矿方法的选择及参数优化

根据冬瓜山矿床开采技术条件和铜陵有色金属集团控制有限公司所属矿山使用大孔崩落采矿方法的经验,考虑到矿石品位以及不同生产规模所带来的不同经济效益等因素,根据《采矿方法选择的专家系统》的优化选择,选择采用高效率的盘区回采的阶段空场嗣后充填采矿法。

2.1 首采区段的确定

首采区段要求矿体勘探程度高、产状稳定,冬瓜山铜矿已经完成51线~58线的基建勘探工作。根据基建勘探结果51线~58线矿石品位较高,易选矿石平均地

收稿日期:2008-01-10

基金项目:"十五"国家科技攻关项目"复杂难采深部铜矿床安全高效开采关键技术研究"(2004BA615A-04)

作者简介:袁世伦(1963—),男,安徽来安人,采矿高级工程师,主要从事金属矿山采矿及安全技术研究与管理工作;安徽省铜陵市长江西路,244000

维普资讯 http://www.cqvip.com

质品位 Cu 1.226%，难选矿石平均地质品位 Cu 1.009%，均高于冬瓜山全矿平均地质品位 Cu1.09%（易选）、Cu0.92%（难选）。高品位的难选和易选矿石可以提高出矿品位和选矿回收率，有利于矿山资金回笼和还贷。同时，根据冬瓜山铜矿开拓工程的分布情况，基建开拓工程如中段平巷、主斜坡道等所控制的地段主要在 50 线～60 线之间，从尽快建成投产要求看，首采区段定在 50 线～58 线有利于采准工程的施工，有利于早投产。因此首采区段定在 50 线～58 线。

2.2 盘区布置与结构参数优化

根据首采区段的矿岩条件及设定的采矿方法，矿床回采可分为盘区连续回采方式和盘区间暂留隔离矿柱的回采方式。

盘区连续回采方式的主要特点：将矿床按一定大小划分为盘区，盘区间不留隔离矿柱。根据矿山设计生产规模（10 000t/d）及设备要求，盘区平面尺寸一般为（100～150）m×（100～150）m，盘区可沿走向布置，也可垂直走向布置。在盘区内划分采场，以盘区为回采单元。盘区回采充填结束后进行下一盘区回采。根据冬瓜山铜矿首采区段的矿体分布情况，可将矿体划分为 12 个盘区，盘区尺寸为 150m×100m。

盘区间暂留隔离矿柱的回采方式的主要特点：盘区沿矿体走向布置，盘区间暂留隔离矿柱，在盘区内垂直矿体走向划分采场，盘区内的采场可以采用“隔一采一”的方式进行回采，灵活机动。盘区间暂留隔离矿柱的优点有：

（1）设置隔离矿柱有利于控制地压，可从根本上改善矿房采场回采的安全条件，实现“隔一采一”，连续推进的工艺目标。

（2）设置隔离矿柱可简化回采工艺过程，便于大规模生产的管理，有效降低生产成本。

（3）设置隔离矿柱，有利于采准工程、废石充填通道等工程的布置，可有效地提高设备的利用率，大幅度地减少采切工程量。

（4）设置隔离矿柱后，使采场回采机动灵活，有利于保持生产的稳定，而且可减少尾砂胶结充填量，降低充填成本。

通过比较，设计采用暂留隔离矿柱的盘区回采方式，盘区沿矿体走向布置，长度为矿体水平厚度，宽度为 100m；优化采准系统，配合采准设计，将首采区段（50 线～58 线）划分为 4 个大盘区，即 50 线～52 线盘区、52 线～54 线盘区、54 线～56 线盘区、56 线～58 线盘区。采矿方法见图 1。

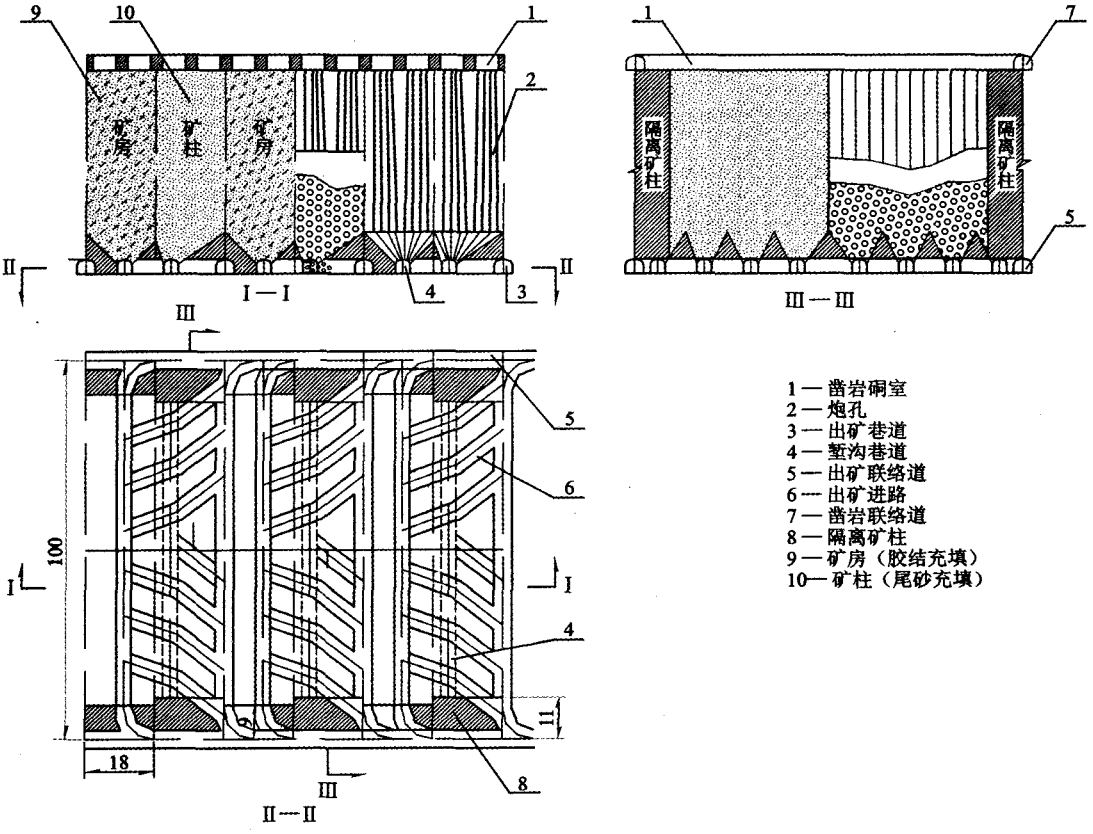


图 1 大直径深孔阶段空场嗣后充填采矿方法

暂留隔离矿柱有利于控制地压，使盘区及采场生产灵活机动，但两侧均为已经全尾砂与全尾砂胶结相间充

维普资讯 http://www.cqvip.com

填的采场,矿柱回采难度加大。为此,在设立隔离矿柱时,将矿柱作为盘区整体的一部分,已经考虑了矿柱的回采问题。矿柱回采的采矿方法仍为大孔落矿的阶段空场嗣后充填采矿方法,在实际回采时把隔离矿柱作为一个特殊的盘区来看待,在隔离矿柱两边的盘区回采充填结束后才回采隔离矿柱,隔离矿柱的回采顺序是从矿体厚大部分向较薄的另一端推进。采场布置是将隔离矿柱划分矿房和较小的永久损失矿壁,矿房长 36m,宽 18m;矿壁宽 4m、长 18m,矿块的两端留宽 4m、长 18m 的矿柱以防止充填尾砂混入第二个矿房,减少贫化。

原有的开拓采准工程在矿柱回采时可充分利用,因此矿柱回采时的采切比相对盘区回采要小,但损失和贫化指标会增加。

2.3　盘区隔离矿柱宽度及采场结构参数优化

根据盘区平面尺寸 100m × b(b 为矿体水平宽度),采场垂直矿体走向布置及矿山规模,采场宽度考虑 12m、15m、18m,长度考虑 50m、75m、90m 等几个方案,采用弹塑性有限元进行数值模拟。计算结果表明,加大采场宽度,加长采场长度,采场顶板和矿房、矿柱中应力集中程度要略大,顶板中央部位与矿柱中间将出现局部拉应力,最大值 4 ~5MPa。因此,90m 参数组合方案在受力状态上较采场 75m 采矿方案稍差,但从整体上分析,出现受力较差的只是采场和顶板的局部位置,对采场整体稳定性影响较小。矿房与隔离矿柱在开采过程中整体是稳定的。

根据盘区布置方式,隔离矿柱宽度考虑 8m、12m 2 个方案,分别采用平面和三维弹塑性有限元进行数值模拟。计算结果表明,随着矿柱宽度增加,隔离矿柱边缘出现拉应力单元数目将下降,而且大多数单元的拉应力只有 2 ~4 MPa。因此,适当增加隔离矿柱的宽度将有助于改善其受力状况。

鉴于隔离矿柱宽度对其受力状态影响较大,隔离矿柱宽度可与矿房宽度一致,为 18m;采场结构参数为[78m(尾砂采场)或 82m(尾砂胶结采场)] ×18m。简化回采顺序,使作业采场少,设备利用率高,生产组织和管理相对简单。

2.4　回采顺序优化

回采顺序包括盘区回采顺序和采场回采顺序。根据优化的盘区布置方式,盘区回采顺序采用沿矿体走向推进的回采方式。考虑部分矿岩具有岩爆倾向性,为控制地压和岩爆,经过计算机三维有限元仿真模拟(3D - Flac),在开采厚大矿体时,采用"隔三采一";在中厚矿体开采时,采用"隔一采一"或"隔三采一"的回采顺序;先采矿房,回采结束后对采场进行全尾砂胶结充填;后采矿柱,回采结束用全尾砂充填。盘区及采场布置见图 2。

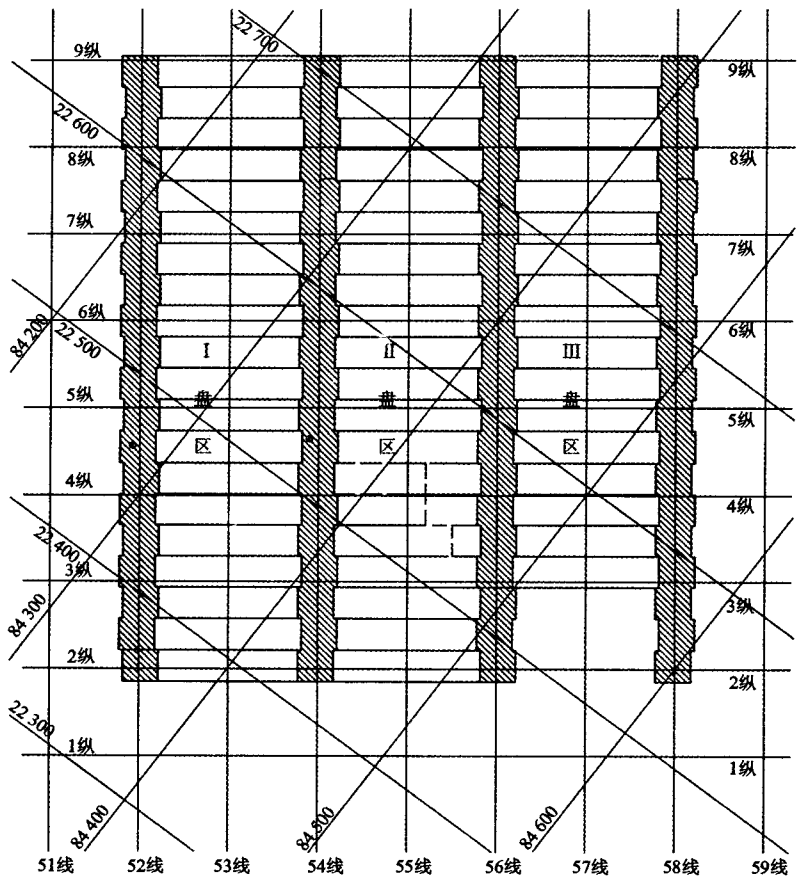


图 2　首采区段盘区及采场布置示意图

维普资讯 http://www.cqvip.com

2.5 底部结构形式选择与参数优化

冬瓜山铜矿首采区段底部结构布置在矿床底部的蛇纹岩化矿体内,出矿采用大型进口 EST-8B 型电动铲运机,这种无轨设备体积大、效率高。对于铲运机出矿,底部结构形式只有 2 种:一是平底式底部结构;另一种是堑沟式底部结构。

平底式底部结构的特点是拉底水平和二次破碎水平在同一高度上,采下的矿石在拉底水平上形成三角矿堆,上面的矿石靠自重经出矿口溜到出矿横巷中。平底式底部结构的优点是:简化底部结构,减少采准工程量,提高切割作业效率,改善放矿条件,减少底柱矿量。平底式底部结构的缺点是:底柱上三角矿堆不能及时回收。需用遥控铲运机回收。同时平底结构对底柱的切割很大,只有在矿岩相当稳固时才能应用。

堑沟式底部结构的特点是用上向中深孔同时开凿一个 V 形槽,这样不仅简化了底部结构,而且也提高了切割作业的效率,这种底部结构也同样适用于矿岩较稳固的矿段。

综合考虑底部结构的稳定性和适用性,设计采用 V 形堑沟式底部结构,1 条出矿巷道和进路负担 1 个矿块(矿房、矿柱)2 个采场的出矿任务;研究了拉底与切割堑沟一次形成技术,决定大孔采场拉底和切割一次形成,采用中深孔爆破,拉底高度 13.5m。底部结构见图 3。

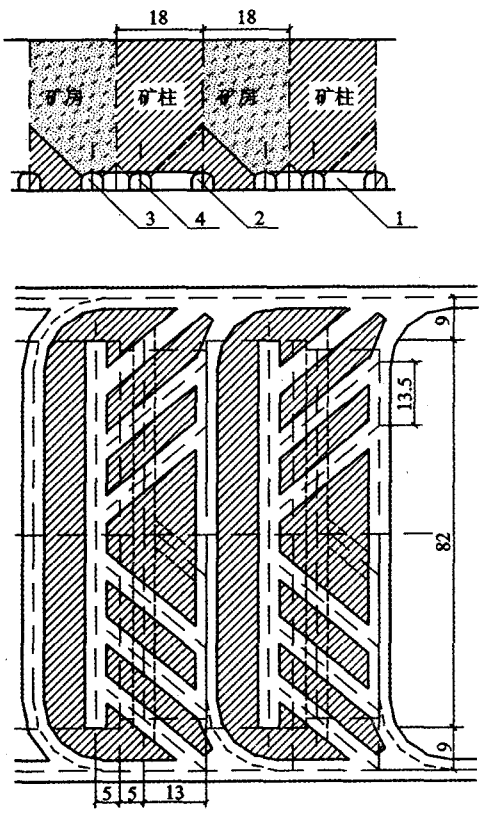


图 3 优化底部结构示意图

1—出矿进路 2—出矿巷道 3—矿房堑沟 4—矿柱堑沟

2.6 落矿方式优化

采场凿岩类型选择与凿岩硐室的优化布置,为适应冬瓜山似层状缓倾斜矿体厚度变化大的特点,采用 2 种落矿方案,即大直径深孔落矿和扇形中深孔落矿。穿孔作业采用 Simba-260 型潜孔钻机。经技术经济比较,矿体厚度小于 30m,采用中深孔(ϕ76mm)回采;矿体厚度大于 35m,采用大孔(ϕ165mm)回采;矿体可采厚度介于 30~35m 时,视左右两边采场情况灵活变化,两侧为大孔采场,采用大孔采矿;两侧为中深孔采场,为减少采切工程量,采用中深孔采矿。大孔采场,凿岩硐室和凿岩巷道布置在矿体中,靠近矿岩接触带。凿岩联络道同时作为废石或尾砂(胶)充填料通道。

3 采准系统优化

针对冬瓜山铜矿矿体形态复杂,基于简化采准工程的原则,在首采区段进行了采准系统优化,将拉底层与出矿层、凿岩层与充填层合一,减少工程量,降低施工难度,简化工程布置;确定采准工程尽量布置在脉内的方针,降低大孔采场的废孔率,减少矿石贫化损失,增加副产矿量,有利于达产和提高矿山经济效益;盘区之间的出矿层布置在不同水平,既可减少矿石的贫化损失,也有利于实现各盘区分区进风,利于通风管理和改善通风质量;同时利于降低出矿巷道及进路的坡度,有利于发挥电动铲运机的效率。

将优化成果用于首采区段,在已经实施的 3 个盘区,实际采切比为 610m^3/万 t,小于攻关目标 680m^3/万 t,也远小于原初步设计 840m^3/万 t,实现了采准系统优化的目标。

4 优化应用效果

设计采用优化后的采矿方法与盘区布置方式,采矿方法采用阶段空场嗣后充填采矿方法,盘区沿矿体走向布置,盘区间(双号勘探线)暂留隔离矿柱,盘区宽为 100m,长为矿体水平宽度。隔离矿柱宽度与矿房宽度一致,为 18m,以利于矿柱回收。在盘区内布置采场,采场长 78m(尾砂充填)或 82m(尾砂胶结充填),宽 18m。底部结构采用 V 形堑沟,1 条出矿巷道和出矿进路负担 1 个回采单元(矿房、矿柱采场各一)的出矿任务。简化采准工程,顶部凿岩联络巷道与充填巷道合一,底部拉底水平和出矿水平合一,减少采准工程量,缩短采场准备时间,利于采场生产衔接。

根据优化结果,结合采准工程设计,设计的阶段空场嗣后充填采矿方法见图 1,盘区及采场布置方式见图 2,底部结构见图 3。

维普资讯 http://www.cqvip.com

由于冬瓜山铜矿的特殊性,试验采场即是生产采场。至2006年3月,首采区段按照优化的采矿方案研究成果进行施工,实际采切比为610m³/万t,比考核指标680m³/万t降低了10%,采切工程量大大地降低,达到了采准优化的目的。从试验采场作业爆破情况来看,试投产的采场出矿生产能力已接近考核指标2 400t/d。

首采区段3个盘区采切工程全面展开,试验采场52-2、52-6、52-8、52-10及54线盘区54-2、54-6、54-8采场实现出矿,累计出矿量82.28万t。试验采场技术经济指标全面达到或超过攻关预定目标,试验采场技术经济指标见表1。

表1　试验采场技术经济指标

采场编号	设计矿量/万t	采出矿量/万t	矿石回采率/%	矿石贫化率/%	采场出矿能力/(t·d⁻¹)
52-2	24.6	10.6	92.0	3	2 300
52-6	26.7	23.7	92.5	4	2 300
52-8	18.0	14.0	89.0	4	2 200

5　主要结论

(1)在充分吸取"八五"、"九五"科技攻关成果,借鉴国内外深井开采的先进经验,在国内首次对千米深井缓倾斜矿床大规模开采的关键技术进行了全面的、系统的深入研究,并通过生产采场的工业试验,验证了所研究的采矿方法与采场构成要素满足矿山生产的要求。

(2)深井高温、高应力条件下大规模开采,安全是一个很重要的决定因素。在国内首次通过采矿方法、盘区及采场结构参数、矿柱尺寸、回采顺序及充填工艺方面的全面系统研究,形成了大规模开采深井缓倾斜矿床安全、经济、高效、无废的工艺技术。

(3)通过对矿体的赋存状态的深入研究,结合现有开拓系统,对采准系统进行优化,简化采准工程布置,将大孔采场的顶部凿岩层和充填层合一,底部的拉底层和出矿层合一;底部结构中1条出矿巷道和出矿进路负责2个采场的出矿任务。采准工程量大大地减少,试验采场的实际采切比为610m³/万t,比攻关目标的680m³/万t降低10%,相对原初步设计的850m³/万t降低更多,实现了采准系统优化的目标,为企业带来可观的经济效益。

(4)通过该项目的实施,不仅可为300万t/a大规模深井矿山提供技术支撑,而且对中国即将进入深井开采的矿山具有推广应用价值。同时,对于缓解中国资源短缺以及促进国民经济的可持续发展具有重要的意义。

Research on mining method and optimization of mining preparation system in deep shaft complicated difficult mining copper deposit

Yuan Shilun[1], Zhou Sheng[2]

(1. *Technology center, Tongling Nonferrous Metals Group Holding Co., Ltd.*;
2. *Dongguashan copper mine, Tongling Nonferrous Metals Group Co., Ltd.*)

Abstract: In a deep shaft complicated difficult mining copper deposit, researches on mining method and optimization of mining preparation system were carried out. The panel disposal, ore pillar width, stoping method, mining preparation system, stope structure parrameter, stoping sequence were analyzed. Large railless drilling and ore-drawing equipments were used. Advanced stoping techniques were put into practice. Stoping sequence and production planning were optimized. As a result, stoping, drilling, blasting, drawing and backfilling works keep continuty. And then, a good productive cycle with a smaller number of stopes operating at the same time, high equipment capacity factor, stable production can form. With industrial tests in 3 stopes, a mining technique for large panel, large stope and high production capacity of deep shaft slightly inclined thick deposits formed.

Keywords: deep shaft mining; difficult mining copper deposit; mining method; mining preparation system; Dongguashan copper mine

(编辑:邢万芳)