

# 下向六边形进路工艺在某矿水平矿柱安全回收中的应用

## Application of the Downward Hexagonal Approach Process in the Safe Recovery of a Horizontal Ore Column

黄勇

Yong Huang

彝良驰宏矿业有限公司 中国·云南 彝良 657600

Yiliang Chihong Mining Co., Ltd., Yiliang, Yunnan, 657600, China

**摘要:** 毛坪铅锌矿是彝良驰宏主力矿山之一, 其矿床性质为高硫铁富水软弱矿床。随着开采深度的延伸, 矿体节理裂隙发育, 稳固性极差。结合矿岩整体性差、松破明显、矿石价值高的开采技术条件和多中段同时开采布局特点, 矿山采用下向六边形进路充填法从结构上解决了主矿体水平矿柱的回采难题, 提高采矿的稳定性, 有效地控制地应力, 同时降低了充填接顶要求, 为进一步降低充填成本提供结构保障。

**Abstract:** Maoping lead-zinc mine is one of the main mines of Yiliang Chihong, the nature of its deposit is high sulfur iron water rich soft deposit. With the extension of mining depth, the joints of ore body develops and the stability is very poor. Combined with ore rock integrity difference, loose broken obviously, high value of mining technology conditions and more middle mining layout characteristics at the same time, the mine adopts the hexagonal road filling method from the structure of the main ore body level of mining problem, improve the stability of mining, effectively control the stress, and reduce the filling top requirements, provide to further reduce the filling cost structure guarantee.

**关键词:** 采场稳定性; 结构安全性; 胶结充填; 节约成本

**Keyword:** stope stability; structure safety; cemented filling; cost saving

**DOI:** 10.12346/etr.v6i3.9215

## 1 引言

彝良驰宏矿业有限公司矿区位于云南省彝良县洛泽河镇, 距彝良县城 17km。昭彝公路和昭镇公路在矿区交汇, 矿区距内昆铁路彝良站约 20km, 交通较为方便。自 2007 年公司在采矿工艺上进行了调整, 采用上向分层干式充填法采矿, 利用掘进渣对采场空区(矿房)进行充填, 矿石损失率较高, 年采矿石量 10 万~15 万吨, 生产规模小。自 2010 年开始, 毛坪矿试验并实施了盘区机械化下向分层进路式胶结膏体充填采矿法。下向分层进路式胶结膏体充填法对毛坪矿矿石产量的完成起到了决定性作用, 并且贫损指标低, 也在一定程度上解决了尾砂和废石的堆存问题, 年采矿石量 40 万~48 万吨, 同时为后续持续接替工程完成后的大规模开采积累了丰富经验和技能。随着公司的不断发展以及 2000t/d 选矿厂的建成投产, 对生产规模、采矿安全及工艺技术提出了

更高要求, 要求我们运用新技术, 开拓新思路, 寻求更为安全、高效、经济合理的采矿新方法。为实现毛坪矿生产能力达产和稳产的目标, 提高采矿的稳定性和结构安全性, 降低配筋及充填接顶要求, 为进一步降低充填成本提供结构保障。公司从 2015 年 3 月 1 日开始研究使用多中段同时开采模式与下向水平分层胶结充填法。以解决毛坪矿 I-6 矿体大面积、无矿柱、多中段同时开采条件下的采矿最佳回采顺序, 从结构上解决主矿体水平矿柱的开采难题。

## 2 矿区及矿床地质概述

### 2.1 矿区地层

矿区出露的地层有泥盆系上统宰格组(D3zg), 石炭系丰宁统(C1f)、威宁统(C2w), 二叠系下统(P11)、二叠系上统峨眉山玄武岩(P2 $\beta$ )及第四系(Q)。除石炭

【作者简介】黄勇(1989-), 男, 中国云南昭通人, 本科, 工程师, 从事采矿工程研究。

系丰宁统万寿山组和二叠系下统梁山组为含煤碎屑岩系外,其他均为碳酸盐岩建造。

## 2.2 矿区构造

区内主干构造为石门坎背斜(区域上称之为花苗寨背斜),次为北东—南西向和北西—南东向展布的两组断裂构造。除此之外,在石门坎背斜西翼深部还发育着一些由北西、南东向的外力挤压形成的层间隐伏断裂和层间挤压滑动剥离构造带。

## 2.3 赋矿层位及矿体围岩

I号矿带主要赋存在泥盆系上统宰格组,岩性主要为浅灰色、灰白色、灰色中粗晶白云岩。泥盆统宰格组整体上岩体结构形态为不规则块体,岩性坚硬,节理较发育,整体强度高,稳定性较好,但遇断层破碎带,其抗压强度减弱。

II号矿体主要赋存于威宁统上含矿组第三亚段(C22-2)中,岩性主要为浅灰色、灰白色中厚层状细晶灰岩夹灰绿色页岩。该岩组岩体结构类型为块状结构,岩体结构较完整,稳定性主要受节理面组合切割的影响,局部有岩块冒落现象发生,整体稳定性一般较好。靠近矿体部位的隐微节理较发育,岩体结构疏松,影响岩体的整体强度<sup>[1]</sup>。

## 3 开采技术条件

毛坪矿是彝良驰宏矿业有限公司的主力矿山之一。设计矿山采矿能力为2000t/d,生产规模66万t/a。根据矿山保有储量及深部探矿不断取得新的成果,矿山实际服务年限应达到10年以上。毛坪矿矿床在河东矿段主要有3个矿带,I号、II号矿带规模较大,III号较小。I号矿体分布于矿区南部地段,其余矿体分布于东北和西部地段。I号矿带共圈定了6个矿体,编号分别为I-6号、I-7号、I-8号、I-9号、I-10号、I-11号,其中I-6号矿体为主矿体,其余矿体为新探明的小矿体。

其中,I-6号矿体矿石储量约为300万吨,其中760中段2分层757m~754m标高矿体裸露面积3664m<sup>2</sup>,地质矿量为40680t,Pb的平均品位7.36%,Zn的平均品位17.04%,Pb金属量2994t,Zn金属量6931t,合计9925t。矿体走向长度143m,厚度约50m,呈条带状和层状产出,矿物组合主要为闪锌矿、方铅矿、黄铁矿。矿石结构构造复杂,整体强度分布不均衡,结构疏松的黄铁矿石降低了矿石的整体强度,在节理的交叉切割下,容易引发顺层冒落,导致矿体失稳,采场顶板管理安全威胁较大。

## 4 水平矿柱的形成与特点

目前,下向水平分层(进路式)充填采矿法几乎全部采用矿体水平全断面开挖模式,盘区布置且盘区间不留隔离矿柱。因为单层采高有限,且采充循环频繁,为提高产量需要布置更多的采矿掌子面,因此单一阶段下行式难以满足产量需求,双中段甚至多中段同时进行回采的开采方式即成必

然。以双中段同时开采模式为例,矿山先进行上中段1分段和下中段1分段的回采作业,每条进路回采完毕后即进行充填。以层为单位,全部回采充填完毕后即转入下一分层的回采作业。随着开采的不断进行,上中段充填体越来越厚、上下中段之间矿体的垂直厚度越来越薄。

我们将上下中段之间矿体逐渐变薄的过程称之为水平矿柱的形成过程。当上中段回采至某一分段某一分层,上下中段之间矿体的垂直厚度达到某一特定厚度值时,矿体内应力集中现象开始大幅度增加,把此时上中段剩余矿体称之为水平矿柱,也定性地认为此时水平矿柱正式形成。随着开挖的继续进行,水平矿柱继续变薄直至消失。

水平矿柱是双中段(多中段)同时回采的必然产物,它有着随着开挖逐渐变薄的动态变化特点。水平矿柱的形成过程也是次生应力逐步增大的过程,围岩松动范围不断扩大,上下盘向充填体的挤压作用也越来越明显。此时,水平矿柱所承担的横向应力逐渐增大,同时水平矿柱厚度逐渐减小,应力集中现象将进一步加深。如果在水平矿柱回收过程中,进路受横向应力作用突然产生大规模破坏性失稳,或因底部充填质量不高(如低接顶率、整体下沉等)将直接导致井下作业人员严重伤亡事故。同时,由于水平矿柱的失稳,上中段和下中段充填体内的应力将发生重新分布,若充填体在冲击载荷的作用下产生大规模整体沉降,将给矿山带来灾难性破坏<sup>[2]</sup>。

## 5 采场结构参数优化

### 5.1 矩形进路采场结构参数

从工程力学的角度看,下向水平分层充填采矿法人工顶板的稳定性,与被采矿体的赋存条件、同分层进路的回采顺序、相邻两分层中回采进路的布置方式、充填体的材料组成及进路充填体的构造等因素密切相关。就任意一条进路采空区胶结充填形成的进路胶结充填体结构而言,它是下一分层进路回采作业的人工假顶,该人工假顶结构在下一分层回采期间的的作用类似于1根连续梁。从整体看在上一分层中,各进路采空区独立胶结充填形成的进路胶结充填体结构,通过相邻进路充填体之间相互拼接,在上一分层的采空区中,形成一个“梁拼板”结构。该“梁拼板”结构是下一分层回采期间的人工假顶。

毛坪矿I-6号矿体是主矿体,矿体厚大、连续性好且形态规整。中段高度为40~60m,分段高度为9m,分层高度为3m。下向水平分层矩形进路式膏体充填法,进路规格为3.5m×3m(宽×高),上下层进路垂直交错布置。浅孔凿岩,0.75~1.0m<sup>3</sup>电动铲运机出矿。

### 5.2 六边形进路采场结构参数

采场结构参数的确定一直是采矿工程中比较重要的一个环节。若采场过大,则会导致贫损高、安全性差;若采场过小,则会使工程量和成本增加、降低生产能力。因此,采场

结构参数的合理确定与矿山的经济效益、生产能力之间存在一个最佳的平衡点。在保证安全的前提下若能使进路断面扩大,不仅能减少工程量节省成本,更能增大出矿能力增加经济效益。不同跨度下顶板所受的力,即采场的稳定程度是不同的,在准确掌握充填体力学特性基础上,毛坪矿现用的下向胶结充填采矿法进路断面尺寸确有优化空间,使进路断面增大到 4m 甚至 5m 是完全有可能的。

六边形进路工艺采用了仿生学原理,将矩形断面的进路改为六边形断面的进路,使采空进路内胶结充填体呈蜂窝状镶嵌结构,从而改变其受力状态,形成顶压传递结构,提高了采场的稳定性,有效地控制了地应力。采场进路为垂直分层道双翼布置,进路断面尺寸为六边形,底宽 3m,腰宽 4m,高为 5m。进路布置特点为相邻进路在垂直高度上交错半层,即 2.5m,每回采一层下降 2.5m。进路采矿采用浅孔掘进式落矿,电动铲运机出矿。

## 6 六边形进路与矩形进路采矿法的对比

### 6.1 水平矿柱的力学状态对比

经对水平矿柱的形成机理与判定工作,分析比较矩形和六边形进路条件下水平矿柱形成厚度与差别来看。矩形进路开采情况下(完全接顶)水平矿柱在厚度减小到 24m

初步形成,厚度减小至 18m 时正式形成;当水平矿柱厚度减小为 15m 时,水平矿柱的最大、最小主应力值都发生突变,最大主应力增大至  $-6\sim-5\text{MPa}$ ,最小主应力减小至  $-0.5\sim-0.5\text{MPa}$ ,水平矿柱最大沉降量也发生突变,最大沉降量处于  $-20\sim-15\text{mm}$  之间,上下两中段的破坏区域完全贯通,水平矿柱完全被破坏。在六边形进路开采情况下,中段间矿体厚度 4~6m 水平矿柱此时正式形成。当水平矿柱厚度仅剩 2~4m 时,水平矿柱的最大、最小主应力值都发生突变,最大主应力增大至  $-5\sim-3\text{MPa}$  之间,最小主应力减小至  $-0.5\sim-0.5\text{MPa}$ ,水平矿柱的沉降量也发生较大变化,增大至  $-20\sim-15\text{mm}$  之间,水平矿柱完全被破坏。比较得出,在六边形情况下水平矿柱仅在中段最低分层出现。

### 6.2 充填体与应力值对比

在矩形进路条件下充填体与水平矿柱内的应力值大,最大主应力增大至  $-6\sim-5\text{MPa}$ ,对充填强度与接顶要求很高,也难做到。而六边形进路条件下水平矿柱(最后层)最大主应力增大为  $-5\sim-3\text{MPa}$  之间,其余部位应力值均较小,这是由于六边形进路内胶结充填体呈蜂窝状镶嵌结构,形成顶压传递结构,不仅提高了采场的稳定性,也有效地控制了地应力与顶部沉降,也为降低充填体强度与成本提供了依据。其中,主要技术经济指标对比见表 1。

表 1 主要技术经济指标对比

指标	六边形进路	矩形进路	差值	成本	节约
一、凿岩爆破	286min	210min			
1. 准备	18min	12min			
2. 凿岩、吹眼、装药、通风与安检	268min /23.5 (眼)	198min /17 (眼)			
二、火工材料					0.49 元/t
1. 炸药单耗	0.31kg/t	0.32kg/t	-0.01kg/t	11.731 元/kg	0.12 元/t
2. 导爆管	0.15 发/t	0.21 发/t	-0.06 发/t	5.27 元/发	0.32 元/t
3. 磁电雷管	0.005 发/t	0.01 发/t	-0.005 发/t	10.66 元/发	0.05 元/t
三、充填	32.94 元/t	39.54 元/t	-6.6 元/t		6.6 元/t
1. 钢材	1.49 元/t	1.53 元/t			
2. 水泥	15.69 元/t	17.97 元/t			
3. 机制砂+尾砂	6.37 元/t	7.25 元/t			
4. 木材	0.00 元/t	2.22 元/t			
5. 充填外包	9.39 元/t	10.57 元/t			
合计					7.09 元/t

显然,按 2014 年毛坪矿采矿单价为 70.09 元/吨(合同结算单价)计,以此概算,节省成本约 10%<sup>[3]</sup>。

## 7 结论

现阶段毛坪矿已形成了 748m 以下水平分层六边形进路式采矿,经统计部分采场指标,采用六边形进路解决了主矿体水平矿柱的回采难题,提高采矿的稳定性,有效地控制地应力,消除了水平矿柱的潜在重大危险,效率高、成本低、安全性好。采用六边形进路充填,不接顶高度可控制在 1.0m,

最大不能超过 1.5m。此外,六边形进路特殊的结构为进一步降低充填强度与成本提供了支撑。

## 参考文献

- [1] 樊银辉.高瓦斯矿井回采工作面瓦斯治理技术应用[J].煤炭科技,2021(6).
- [2] 任奇祥.大理深高瓦斯矿井瓦斯治理技术研究[J].能源技术与管理,2023(1).
- [3] 马恒,倪景峰,刘剑.矿井通风管理信息系统开发及其应用[J].华北科技学院学报,2014(3).