

卡房西凹矿段复杂难采矿体采矿方法选择*

虞云林¹, 彭朝智², 陈建康², 蒋艰², 侯克鹏³, 杨八九¹

1. 云南亚融矿业科技有限公司, 云南 昆明 650093;
2. 云南锡业股份有限公司卡房分公司, 云南 个旧市 661405;
3. 昆明理工大学 国土资源工程学院, 云南 昆明 650093)

摘要:针对卡房西凹矿段矿体围岩结构复杂、稳固性较差的特点,通过工程地质调查,对矿体的产状、赋存条件、品位等进行分类统计,并结合矿山实际情况对矿体分区。在建立采矿方案综合评价指标体系的条件下,将关联矩阵法和采矿理论相结合,确定富矿体及较富矿体的最优采矿方案为上向分层充填法,贫矿体的最优采矿方案为分段空场法。实际工程运用后,西凹矿采场综合损失贫化率降低至15%以下,采场生产成本较之前约降低了10%,矿段内综合生产能力达到了350 t/d。

关键词:复杂难采矿体;矿体分类;采矿方法优选;关联矩阵法

中图分类号:TD852 **文献标识码:**A

文章编号:1005-2763(2024)03-0001-07

0 引言

云锡卡房分公司现主要采矿方法有全面法、房柱法、分段空场法等^[1-5],上述采矿方法均属于空场法,该类采矿方法是将矿块划分为矿房和矿柱两步骤开采,在回采矿房时需利用矿柱和矿岩本身的强度进行地压管理,矿石损失和贫化很大^[6-8]。随着开采的不断进行,矿体赋存条件越来越复杂,其原采用的空场法已不能适应区域内的矿体回采,亟需对采矿方法进行改进。

西凹生产区作为卡房分公司共生矿生产的接替基地,目前生产区开采标高为1500~1800 m,主要有花岗岩接触带锡铜多金属矿床和花岗岩蚀变带等两类矿床。花岗岩接触带矿床主要产于花岗岩接触带上,呈似层状、锯齿状、透镜状矿体,产状与花岗岩舌形态一致,属于陡倾斜矿体。花岗岩内蚀变带矿床主要产于花岗岩与大理岩接触界面以下的花岗岩内蚀变带中,矿体厚度不稳定,变化较大。针对此类

复杂难采的矿体,国内外相关学者做了许多研究。贾彦州^[9]针对薄至中厚缓倾斜的难采矿体,改进了全面采矿法的回采方式,采用分区、多步骤的回采工艺,降低了采矿损失贫化,提高了生产效率。李官兵等^[10]以鑫汇金矿为背景,从技术经济指标及优缺点对采矿方法进行初选后,运用层次分析法对采矿方案进行模糊综合评判,得出上向水平分层充填采矿法为最佳采矿方案。吕明伟等^[11]选取了多个对采矿方法影响较大的因素,分别采用隶属函数法与二元对比法计算定量指标和定性指标的隶属度,得出各方案集的综合评价向量,确定了急倾斜厚大矿体的最优采矿方案。黄乃清等^[12]针对某金矿矿体产状多变、矿岩稳固性变化大的特点,着重对比了工程地质条件与矿体赋存状态,对不同产状、矿岩稳固性条件下的矿体,分别提出了适合的采矿方法,并开展了现场工业试验,取得了良好的效果。

本文针对西凹矿群及围岩结构松散、破碎、稳固性较差的特点,对西凹生产区矿群中矿岩松散、多层共存的矿体资料进行梳理分析,结合现场实际,针对不同类型的难采矿体,提出了相应的采矿方法,为矿山回采矿体提供技术支持,同时也为矿山类似采矿方法的选择提供流程参考^[13-14]。

1 矿山概况及西凹矿体分类

1.1 矿山概况

西凹矿段从属金竹林生产坑,主要包括13-1矿群、1-20矿群、1-30矿群等3个矿群。

(1) 13-1矿群矿体主要赋存于 T_2g^{11} 地层、 T_2g^{11} 地层与花岗岩接触带、缓坡部位及凹槽、凹兜内,呈似层状、透镜状产出。矿体产状与花岗岩形态

* 收稿日期:2023-07-11

作者简介:虞云林(1994—),男,云南昆明人,工程师,主要从事采矿与岩石力学方面的研究,E-mail:229651176@qq.com。

一致,随花岗岩起伏形态变化而变化。矿体走向近南北,倾向西,倾角为 $30^{\circ}\sim 80^{\circ}$,厚度为1.2~20 m,平均厚度为4.5 m,矿体平均品位:Sn为0.524%、Cu为1.768%。

(2) 1-20矿群主要赋存于 T_2g^{13-1} 地层与花岗岩接触带、花岗岩内部蚀变带上,受地层产状及花岗岩表面形态控制,呈透镜状、似层状产出,局部沿层间破碎带贯入。矿体走向近南北,倾向西,倾角为 $2^{\circ}\sim 32^{\circ}$,矿体厚度为0.8~3.8 m,平均厚度为2 m,矿体平均品位:Sn为0.916%、Cu为2.234%。

(3) 1-30矿群矿体形态特征主要受花岗岩凹兜、凹槽及断裂联合控制。矿体走向近南北向,倾向西,倾角为 $29^{\circ}\sim 53^{\circ}$ 。矿体厚度大小不一,矿体平均品位:Sn为1.244%、Cu为1.042%^[15-16]。

1.2 西凹矿体统计与分类

结合西凹矿区实际,对矿区内40余个分支矿体进行统计,表1展示了部分统计结果。统计时,矿体厚度值取均值,测量倾角是矿体底板线分别与上中

段和本中段线交点之间连线与水平面的夹角,矿石品位仅统计Sn与Cu^[17]。根据统计结果,分别按产状、顶底板岩性、矿石品位等3个指标对西凹矿体进行分类。

(1) 按矿体产状划分时,分别考虑矿体的倾角及厚度,分为:缓倾斜矿体(倾角 $\leq 30^{\circ}$)、倾斜矿体(倾角 $30^{\circ}\sim 55^{\circ}$)、急倾斜矿体(倾角 $\geq 55^{\circ}$)、薄矿体(厚度 ≤ 3 m)、中厚矿体(厚度3~6 m)、厚矿体(厚度 ≥ 6 m)。

(2) 按顶板岩性划分时,分为大理岩、大理岩(节理发育)、细粒花岗岩、含矿花岗岩等4类。

(3) 目前市场上Sn的价格为19.5万元/t,Cu的价格为5.5万元/t。除去采、选、冶的成本,精矿的利润按50%计算,按矿石品位折算为矿石的利润,利润少于500元/t为贫矿,利润在500~1000元/t之间为较富矿,利润大于1000元/t为富矿。因此,矿石平均品位分为高品位、较高品位、低品位等3类,见表2。

表1 矿体统计结果

矿体编号	厚度/m	倾角/ $^{\circ}$	品位/%		顶板		矿体		底板	
			Sn	Cu	岩性	岩芯完整性	岩芯完整性	岩性	岩芯完整性	
13-1-13	3.00	6.00	0.11	2.84	大理岩	柱状	柱状	大理岩	柱状	
1-30-4	3.20	26.00	0.42	0.51	细粒花岗岩	柱状	碎块状	细粒花岗岩	完整	
13-1-14	15.00	35.00	0.25	0.21	细粒花岗岩	短柱状	短柱状	细粒花岗岩	短柱状	
13-1-16	4.20	31.00	3.42	0.42	大理岩	短柱状	短柱状	细粒花岗岩	短柱状	
13-1-17	8.50	39.00	0.15	1.31	大理岩	短柱状	短柱状	细粒花岗岩	短柱状	
1-20	3.30	41.00	0.03	3.59	含矿花岗岩	粉砂状	粉砂状	含矿花岗岩	粉砂状	

表2 矿体分类

分类指标	矿量占比/%	分类指标	矿量占比/%	分类指标	矿量占比/%
大理岩	41.45	缓倾斜薄矿体	8.61	贫矿	32.83
大理岩(节理发育)	6.39	缓倾斜中厚以上矿体	29.74	较富矿	28.56
细粒花岗岩	5.58	倾斜至急倾斜薄矿体	9.17	富矿	38.61
含矿花岗岩	46.58	倾斜至急倾斜中厚以上矿体	52.48	—	—
总计	100.00	总计	100.00	总计	100.00

2 采矿方法初选

由于西凹3个矿群的矿体多且复杂,在进行采矿方法选择时,将矿群以矿体赋存条件及其分布范围,划分为8个回采区域,平面划分范围见图1。

以协同开采、产量最大化为原则,尽量选用矿山已有且开采工艺比较成熟、适用的采矿方法,且针对

卡房分公司拟采用的采矿方法,进行相应补充和优化。结合矿山实际情况与采矿方法适应条件,西凹矿段的采矿方法初选推荐充填法与空场法两大类,由于地表不允许崩落,暂不考虑崩落法。空场法分为普通全面采矿法、房柱采矿法、分段空场法等3种矿山现有的采矿方法;充填法分为上向分层充填法、上向进路式充填法、下向进路式充填法等3种新采

矿方法^[18-20]。

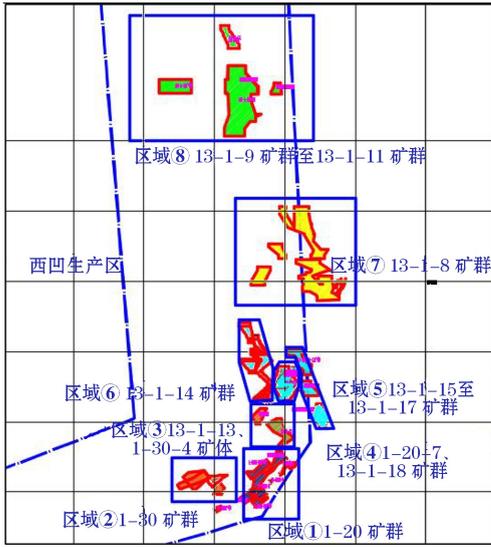


图1 西凹矿段矿体区域划分

采矿方法开采时,将从技术经济层面进行选择分析,确定最优采矿方法。对比以上 6 种采矿方法,从矿岩稳固性、矿体产状以及矿石的直接成本方面可初步确定各矿群适用的采矿方法,但在考虑技术指标时无法定量判断选用哪一种采矿方法。因此,需要继续下一步定量分析确定采矿方法。

评价指标有些是定量的,如采场的生产能力、矿石的损失率、矿石贫化率、采切比等,有些指标是定性的,如生产作业的安全性、工艺的复杂程度、对矿体的适应性、机械化程度、通风条件等都是对特定的环境情况。结合矿体赋存条件,对各方案进行定性描述,根据卡房分公司实际,定性指标分级见表 3,各种条件下采矿方法的综合技术经济指标比较见表 4。

3 采矿方法优选

3.1 采矿方法技术经济指标

上述初选的 6 种采矿方法中,全面法、房柱法主要适用于缓倾薄至中厚矿体,若采场同时适合多种

表 3 定性指标分级

指标级	生产作业安全性	工艺复杂程度	回采灵活性	通风条件	机械化程度
1	差	复杂	差	差	低
2	较差	较复杂	较差	较差	较低
3	一般	一般	一般	一般	一般
4	较高	较简单	较灵活	较好	较高
5	高	简单	灵活	好	高

表 4 采矿方法技术经济指标统计^[21]

采矿方法	单采场日生产能力/(t/d)	贫化率/%	损失率/%	采切比/(m/kt)	劳动生产率/(t/d)	每吨矿石直接成本/元	回采安全性	回采工序繁简	回采灵活性	通风效果	机械化程度
全面法	100	11	15	10.9	10.50	40.59	较差	简单	灵活	好	低
房柱法	180	13	19	7.9	13.50	38.07	较差	较简单	较灵活	好	一般
分段空场法	250	14	16	10.8	18.00	37.39	一般	复杂	较差	好	高
上向分层充填法	100	7	7	6.5	4.77	80.05	较高	复杂	灵活	好	一般
上向进路充填法	80	7	7	3.7	2.39	61.31	较高	一般	灵活	好	一般
下向分层充填法	80	5	5	4.8	2.39	120.01	高	较简单	灵活	好	一般

3.2 关联矩阵法指标优选

关联矩阵法是常用的系统综合评价法,使用该方法进行采矿方法优选时确定备选采矿方法为评价对象,分别取为 A_1, A_2, \dots, A_m ; 确定采矿方法方案评价指标为评价项目,分别取为 X_1, X_2, \dots, X_n ; W_1, W_2, \dots, W_n 是 n 个评价项目的权重; $V_{i1}, V_{i2}, \dots, V_{in}$ 是备选采矿方法 A_i 关于 $X_j (j = 1, 2, \dots, n)$ 的指标的价值评定量。其关联矩阵表示见式(1)、式(2)。

$$V_m = \sum_{j=1}^n V_{mj} W_j \quad (2)$$

3.2.1 采矿方法方案评价指标确定

根据初选的 6 个方案,即全面法(A_1)、房柱法(A_2)、分段空场法(A_3)、上向水平分层充填法(A_4)、上向进路式充填法(A_5)、下向分层充填法(A_6),结合采矿方法优选指标体系(经济类、技术类指标)进行评价。选取采场的生产能力(X_1)、矿石损失率(X_2)、矿石贫化率(X_3)、采切比(X_4)、机械化程度(X_5)、作业安全性(X_6)、工艺复杂程度(X_7)、回采灵活性(X_8)、通风条件(X_9)、采矿劳动生产率(X_{10})、矿石直接成本(X_{11})等为评价

$$V_{ij} = X_j \cdot W_j = \begin{pmatrix} V_{11} & V_{12} & \dots & V_{1n} \\ V_{21} & V_{22} & \dots & V_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ V_{m1} & V_{m2} & \dots & V_{mn} \end{pmatrix} \quad (1)$$

指标^[21]。

3.2.2 评价指标的权重 W_j 计算

(1) 确定评价指标的重要度 R_j 。采用 5 级标度法确定各评价指标的重要性等级 P_j , $P=[1, 2, 3, 4, 5]$, 数值越大, 重要性越高, 然后按式(3)自上而下计算 R_j , 结合实际矿山情况和需求, 以及开采不同类型矿石的评价指标的差异(如开采贵金属和稀

有金属, 回收率、贫化率和采矿成本往往是主要考虑因素; 开采贫矿和低价矿, 则回采成本和矿块生产能力往往是主要考虑因素), 见表 5。

$$R_j = \begin{cases} P_j - P_{j+1}, & P_j > P_{j+1} \\ \frac{1}{P_{j+1} - P_j}, & P_j \leq P_{j+1} \end{cases} \quad (j=1, 2, \dots, n-1) \quad (3)$$

表 5 评价指标重要性

重要性等级	富矿、较富矿评价指标	贫矿评价指标
5	矿石贫化率、矿石损失率、每吨矿石的直接成本	采切比、每吨矿石的直接成本、采场生产能力
4	采切比、回采灵活性	采矿劳动生产率、回采灵活性
3	工艺复杂程度、采场生产能力、作业安全性	工艺复杂程度、矿石贫化率、矿石损失率、作业安全性
2	采矿劳动生产率、机械化程度	机械化程度
1	通风条件	通风条件

(2) 对 R 进行基准化处理。以最后一个评价指标为基准, 令 $K_n=1$, 然后自上而下按式(4)计算其他评价指标的基准化处理结果 K_j :

$$K_j = K_{j+1} + R_j \quad (j = n-1, n-2, \dots, 1) \quad (4)$$

(3) 计算评价指标的权重 W_j 。按式(5)进行归一化处理, 得到评价指标的权重 W_j , 见表 6。

$$W_j = \frac{K_j}{\sum_{j=1}^n K_j} \quad (j = 1, 2, \dots, n) \quad (5)$$

3.2.3 确定各评价指标的价值评定量 V_{ij}

对各可选方案进行评价, 分别按式(6)计算方案 A_i 在评价指标 X_j 下的重要度 R_{ij} , 不需要再予以估计, 可按照各替代方案的预计结果按比例计算。同理, 对 K_{ij} 结果和评价指标的价值评定量 V_{ij} 进行基准化处理^[21]。

$$K_j = K_{i(j+1)} + R_{ij}$$

$$(i = 1, 2, \dots, m; j = n-1, n-2, \dots, 1) \quad (6)$$

按式(7)对 K_{ij} 进行归一化处理, 得各评价指标的价值评定量 V_{ij} 。

$$V_{ij} = \frac{K_{ij}}{\sum_{j=1}^n K_{ij}} \quad (i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n) \quad (7)$$

评价指标有些是定量的, 如采场的生产能力、矿石的损失率、矿石贫化率、采切比等。有些指标是定性的, 如生产作业的安全性、工艺的复杂程度、对矿体的适应性、机械化程度、通风条件等。

3.2.4 确定各评价系统的综合评价价值 V_i

对各评价方案的综合评价价值 V_i 按式(8)进行计算, 得出各方案的评价数值, 见表 7。

$$V_i = \sum_{j=1}^n V_{ij} W_j \quad (8)$$

表 6 评价指标权重计算结果

评价指标	贫矿评价指标			富矿、较富矿评价指标		
	重要度 R_j	基准化结果 K_j	权重 W_j	重要度 R_j	基准化结果 K_j	权重 W_j
采场生产能力 X_1	3.667	0.968	0.184	0.400	0.398	0.075
矿石损失率 X_2	0.850	0.264	0.050	1.200	0.994	0.188
矿石贫化率 X_3	0.550	0.311	0.059	2.000	0.829	0.157
采切比 X_4	3.000	0.565	0.108	2.200	0.414	0.078
机械化程度 X_5	0.500	0.188	0.036	0.500	0.188	0.036
作业安全性 X_6	1.100	0.377	0.072	1.100	0.377	0.071
工艺复杂程度 X_7	0.830	0.342	0.065	0.830	0.342	0.065
回采灵活性 X_8	5.500	0.413	0.079	5.500	0.413	0.078
通风条件 X_9	0.100	0.075	0.014	0.300	0.075	0.014
采矿劳动生产率 X_{10}	0.750	0.750	0.143	0.250	0.250	0.047
矿石的直接成本 X_{11}		1.000	0.190		1.000	0.189
合计		5.253	1.000		5.280	1.000

表 7 各评价方案在不同评价指标下的综合评价价值

各评价方案	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	X ₁₀	X ₁₁	富矿	贫矿
A ₁	0.127	0.080	0.108	0.097	0.253	0.104	0.066	0.250	0.167	0.204	0.187	0.137	0.152
A ₂	0.228	0.068	0.092	0.134	0.158	0.119	0.082	0.200	0.167	0.262	0.199	0.142	0.178
A ₃	0.316	0.080	0.085	0.098	0.115	0.179	0.330	0.100	0.167	0.349	0.203	0.163	0.215
A ₄	0.127	0.257	0.238	0.163	0.158	0.194	0.330	0.150	0.167	0.093	0.142	0.194	0.163
A ₅	0.101	0.257	0.238	0.286	0.158	0.194	0.110	0.150	0.167	0.046	0.142	0.185	0.151
A ₆	0.101	0.257	0.238	0.221	0.158	0.209	0.082	0.150	0.167	0.046	0.128	0.177	0.141

3.2.5 最优采矿方法确定

运用关联矩阵表计算 6 个备选方案的综合评价价值 V_i 。从计算结果得出,对于富矿体及较富矿体,第 4 种方案 A_4 对应的综合评价价值 V_4 最大,可以确定最优采矿方案为上向分层充填法;对于贫矿,第 3 种方案 A_3 对应的综合评价价值 V_3 最大,可以确定最优采矿方案为分段空场法。

3.3 采矿方法选择结果

考虑同一采场不适宜采用多种采矿方法的原则,采矿方法的选择分为以下几个方面。依据现场

情况,顶、底板条件较好,矿体形态规整、厚度较稳定,相对独立的零星矿体,且矿体上方无主要运输巷道,可采用空场法进行回采。矿岩中等稳固以下,且矿石品位较好的富矿体,或上方有主要运输巷道的矿体,可用充填法进行矿体回采。各区域采矿方法推荐见表 8。依据矿量统计,推荐采矿方法中空场法占比 35.54%,其中全面法占比 7.62%,房柱法占比 8.87%,分段空场法占比 19.05%;充填法占比 64.46%,其中上向分层充填法占比 13.42%,上向进路充填法占比 30.54%,下向分层充填法占比 20.5%。

表 8 采矿方法适用矿群

分区	包含矿体(群)	矿量占比/%	矿岩稳固性	产状	推荐采矿方法
分区⑧	13-1-9	25.5	不稳固	急倾斜中厚矿体	下向分层充填法
	13-1-10	0.81			
	13-1-11	2.41			
分区⑦	13-1-8	7.02	中等稳固—不稳固	倾斜至急倾斜中厚矿体	上向进路充填法
分区⑥	13-1-14	8.65	稳固—中等稳固	缓倾斜至倾斜薄至中厚矿体	房柱法
分区⑤	13-1-15	6.20	中等稳固	缓倾斜至倾斜薄至中厚矿体	全面法 分段空场法 上向分层充填法
	13-1-16	4.77			
	13-1-17	14.46			
分区④	13-1-18	2.31	稳固—中等稳固	层状缓倾斜薄至中厚矿体	上向分层充填法
	1-20-7	4.73	中等稳固	缓倾斜薄矿体	全面法/房柱法 分段空场法
分区③	13-1-13	3.92	中等稳固—极不稳固	倾斜中厚矿体	上向分层充填法 下向分层充填法
	1-30-4	2.35	中等稳固	倾斜中厚矿体	上向分层充填法
分区②	1-30	4.1	中等稳固—不稳固	缓倾斜薄至中厚矿体	上向分层充填法
分区①	1-20	12.7	中等稳固	缓倾斜至急倾斜薄至中厚矿体	房柱法 分段空场法

3.4 采矿方法的优化应用效果

一方面,空场法具有较大的生产能力,矿山应用空场法多年,积累了较为丰富的开采经验,部分难采矿体的采矿方法可在空场法的基础上进行改进。另一方面,根据现场揭露的情况,西凹生产区总体围岩较松散,而充填采矿法具有采切工程量少、对开采技术条件适应性广、安全性好的优点^[22]。云锡卡房分公司自 2020 年采用优化后的采矿方法进行分区回

采以来,较大程度地提高了西凹矿生产区在回采过程中的操作性、可控性和作业安全性,采矿方法优化应用前后的主要技术经济指标对比见表 9。依据统计结果,西凹矿采场综合损失率和贫化率小于 15%,采场生产成本较之前降低了 10%左右,矿段内综合生产能力稳定达到了 350 t/d,结合蒙子庙生产区与东凹生产区的持续供矿,目前整个矿区总生产能力达到 1000 t/d,确保了矿山的持续生产。

表9 采矿方法改进前后主要技术经济指标对比

统计矿群	采矿方法	统计年份	贫化率/%	损失率/%	矿段综合生产能力/(t/d)	采矿成本/(元/t)
1-20	改进前	2019	17.63	22.46	259	181.45
1-30-4	改进前	2020	18.63	19.58	272	172.16
13-1-8	改进后	2021	11.79	13.03	353	156.29
13-1-13	改进后	2022	9.45	12.97	361	153.63

4 结论

(1) 分别按产状、顶底板岩性、矿石品位等3个指标对西凹矿段的矿体类型进行统计分类,并按矿体的赋存条件及分布范围将其划分为8个回采区域,分类结果对该区域难采矿体实现安全高效回采具有重大的指导意义。

(2) 以富矿体及较富矿体、贫矿体为评价对象,选取采场生产能力、矿石损失率、矿石贫化率、采切比、劳动生产效率、矿石直接成本、生产作业安全性、工艺复杂程度、回采灵活性、通风条件、采矿方法机械化程度等11项评价指标,运用关联矩阵法计算出全面法、房柱法、分段空场法、上向水平分层充填法、上向进路式充填法、下向分层充填法等6种采矿方案的评价综合评价,得出西凹矿段内富矿及较富矿体最优采矿方案为上向分层充填法,贫矿体的最优采矿方案为分段空场法。

(3) 统计结果表明:采用优化后的采矿方案进行分区回采后,其采场综合损失率和贫化率小于15%,采场生产成本较之前约降低了10%,生产能力稳定达到了350 t/d,确保了矿山的持续生产,为企业带来可观的经济效益。

参考文献(References):

[1] 刘泽乾,侯克鹏,杨八九.基于3D-σ对云锡卡房锡矿13-2矿体回采方案研究[J].铜业工程,2018(3):27-33.

[2] 魏力,刘文连,许利东,等.FLAC3D在云锡卡房分矿边坡稳定性分析中的应用[J].科学技术与工程,2010,10(23):5724-5727.

[3] 贾敬铜,甄利兵,蔡泳.房柱法采场结构参数优化研究[J].矿业研究与开发,2021,41(11):5-9.

[4] 田波,刘成平,李江武.留矿全面法在中厚倾斜矿体中的应用[J].金属矿山,2005(4):14-16.

[5] 荀国刚.中厚缓倾斜矿体采场结构及顶板支护参数优化研究[D].长沙:中南大学,2014.

[6] 吴新荣,李六云.空场法在稳固性较差矿体中的应用[J].有色矿山,2003(2):15-17.

[7] 赵国彦,周礼,李金跃,等.房柱法矿柱合理尺寸设计及矿块结构参数优选[J].中南大学学报(自然科学版),2014,45(11):3943-3948.

[8] 马毅敏,连民杰.倾斜中厚低品位铁矿采矿方法选择与优化研究[J].金属矿山,2011(9):12-15.

[9] 贾彦州.鑫泰矿业公司薄至中厚复杂难采矿体采矿方法优化及应用[J].黄金,2020,41(2):38-42.

[10] 李官兵,李正灿,于向波,等.基于层次分析法的鑫汇金矿深部采矿方法优选及应用[J].黄金,2023,44(7):90-95+100.

[11] 吕明伟,王忠盛,汤永平,等.急倾斜厚大矿体采矿方法优化选择[J].采矿技术,2021,21(4):5-9.

[12] 黄乃清,郎磊.某金矿复杂地质条件矿体协同开采技术研究[J].矿业研究与开发,2022,42(11):8-13.

[13] 曾茜,陈守余,赵江南.个旧卡房蚀变花岗岩地球化学特征及其与成矿的关系[J].地质找矿论丛,2016,31(2):163-171.

[14] 张海,方维萱,杜玉龙.云南个旧卡房碱性火山岩地球化学特征及意义[J].大地构造与成矿学,2014,38(4):885-897.

[15] 杨宗喜,毛景文,陈懋弘,等.云南个旧卡房砂卡岩型铜(锡)矿 Re-Os 年龄及其地质意义[J].岩石学报,2008,24(8):1937-1944.

[16] 沈思联,李建平,杨宝富.个旧东区蚀变花岗岩型锡-铜多金属矿床地质地球化学特征与勘探[J].矿物学报,2016,36(4):471-478.

[17] 吴雅茜,童雄,张明天,等.龙头山矿段采场结构参数及地压控制数值模拟研究[J].有色金属(矿山部分),2020,72(4):19-28.

[18] 朱天平.充填采矿法在获各琦铜矿的应用[J].有色金属(矿山部分),2012,64(1):7-9+16.

[19] 韩志型,王宁.急倾斜厚矿体无间柱上向水平分层充填法采场结构参数的研究[J].岩土力学,2007(2):367-370.

[20] 刘加冬,陆文,路洪斌.浅谈采矿方法的优化选择[J].化工矿物与加工,2009,38(1):25-27.

[21] 徐帅,邱景平.金属矿床地下开采采矿方法设计指导书[M].北京:冶金工业出版社,2016:50-51.

[22] 石亮.清平磷矿深部充填采矿的可行性研究[D].绵阳:西南科技大学,2018.

Selection of Mining Methods for Complex and Difficult-to-Mine Ore Bodies in Kafang Xiwa Ore Section

YU Yunlin¹, PENG Chaozhi², CHEN Jiankang², JIANG Jian², HOU Kepeng³, YANG Bajiu¹

(1. Yunnan Yarong Mining Technology Co., Ltd., Kunming, Yunnan 650093, China;

2. Kafang Branch, Yunnan Tin Industry Co., Ltd., Gejiu, Yunnan 661405, China;

3. Faculty of Land Resources Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming, Yunnan 650093, China)

Abstract: In view of the complex structure and poor stability of the surrounding rock of the ore body in Kafang Xiwa ore

section, the occurrence, occurrence conditions and grade of the ore body were classified and counted through engineering geological investigation, and the ore body is divided according to the actual situation of the mine. Under the condition of establishing a comprehensive evaluation index system for mining schemes, the correlation matrix method and mining theory were combined to determine that the optimal mining scheme for rich ore bodies and relatively rich ore bodies was the upward layered filling method, and the optimal mining scheme for poor ore bodies was the sublevel open stoping method. After the actual engineering application, the comprehensive loss and dilution rate of the stope in Xiwa Mine was reduced to less than 15%, the production cost of the stope was reduced by about 10% compared with the previous, and the comprehensive production capacity in the ore section reached 350 t/d.

Key words: Complex and difficult-to-mine ore body, Ore body classification, Selection of mining methods, Correlation matrix method