

甘肃金昌某金矿工业指标论证

Demonstration of Industrial Indicators of a Gold Mine in Jinchang Gansu

刘友龙, 张涛, 朱明, 马腾飞 (兰州有色冶金设计研究院有限公司, 甘肃 兰州 730000)

摘要:结合当前的黄金市场价格,对甘肃金昌某低品位金矿床进行工业指标论证,采用地质方案法,模拟矿山生产工艺流程,测算提出的四套指标方案,从资源利用、经济效益等方面优选出符合本矿床的工业指标。

关键词:低品位; 金矿; 工业指标; 地质方案法

中图分类号: TD954 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-609X(2023)02-0040-06

Abstract: Based on the current gold market price, the industrial index of a low-grade gold deposit in Jinchang, Gansu Province is demonstrated. The geological scheme method is used to simulate the mine production process flow, and the four sets of index schemes are calculated to select the industrial index suitable for the deposit from the aspects of resource utilization and economic benefits.

Key words: low grade; gold mine; commercial indexes; geological scheme method

1 前言

矿床工业指标是评价矿床的工业价值、圈定矿体、估算矿产资源储量的标准和依据,采用不同的工业指标圈定矿体,对同一矿床资源储量规模有重要的影响。尤其以低品位矿为主的金矿床而言,当采用一般工业指标进行圈定矿体时,矿体连续性差,估算的资源储量规模小,不利于矿床进行工业开采。而通过论证降低了工业指标后,原来的低品位矿体就可能变成工业矿体,资源储量增加^[1],使得原来不连续的矿体也随工业指标的降低变得连续^[2],有利于矿床的开发利用。

2 论证依据

2.1 外部建设条件

矿区地处甘肃河西走廊,区内海拔高度一般为2 600~2 813 m,相对高差为213 m,属中低山区。干旱少雨,昼夜温差大,夏季炎热干燥,冬季干燥寒冷。3~4月份为风季,主要为西北风,最大风速达15 m/s。6~8月份最热,最高气温达30℃以上。当年12月至翌年2月为冰冻期,最低温度为-21℃,日温差为15℃左右,年平均温度为8℃。年降雨量为30~40 mm,且多集中于6~8月份。

矿区南侧约4 km有国道G30和G312通过,北

有兰新铁路经过,矿区至兰新铁路尖山车站约有13 km便道,交通运输条件较好。

矿区缺水,生产、生活物资需从外部调运,国家电网已接通至矿区。劳动力比较充足,整体而言,矿山外部建设条件一般。

2.2 矿床地质特征

矿区位于华北板块阿拉善南缘褶皱带走廊被动陆缘带中段。主要地层有中寒武统大黄山群长沟组 and 第四系全新统。矿区褶皱、断裂构造比较发育。矿体受断裂构造控制,含矿岩性为蚀变、碎裂变长石英英杂砂岩、构造角砾岩等。

根据矿床地质特征及矿物分析,该矿床为中低温热液蚀变岩型金矿床。

矿区内共圈定金矿体13个,其中Au1矿体为主要矿体,其他均为小矿体。标高2 690 m以上的地表浅部多为氧化矿,约占全矿床矿石总量的4.7%;标高2 690 m以下基本为混合矿和原生矿,混合矿和原生矿无明显界限。

金的赋存状态以包裹金为主,还有粒间金与裂隙金。包裹金主要载金矿物为臭葱石、黄铁矿,次为褐铁矿、毒砂;粒间金主要分布于臭葱石-非金属矿物、臭葱石-毒砂粒间,裂隙金主要分布于臭葱石裂隙中。

矿石结构主要为它形粒状结构、半自形-自形粒状、碎裂结构、固溶体分离结构、交代结构、交代假象结构。构造主要为星点-星散状构造、稀疏浸染状-浸染状构造、脉状、网脉状构造、条带状构造。

[作者简介] 刘友龙(1988—),男,江西宜春人,工程师,本科,主要从事矿山咨询与设计工作。

[引用格式] 刘友龙,张涛,朱明,等.甘肃金昌某金矿工业指标论证[J].中国矿山工程,2023,52(2):40-45.

2.3 矿床开采技术条件

矿区地形中间高两侧低,山体沟系发育,沟谷纵比降较大,有利于地表水排泄,矿体位于洪水位以上。岩石裂隙不发育,降水补给地下水有限。地下水类型以基岩裂隙水为主,水文地质条件简单。

矿体围岩主要为变长石石英砂岩,围岩比较完整、稳固性较好,只有局部破碎。围岩与金矿体大多为断层接触,影响矿床开采的不良工程地质因素主要为断裂构造破碎带中的矿体、断裂带中多条断层交汇处破碎带,易坍塌,需支护。

2.4 矿石加工技术性能

通过混合矿矿石的选矿试验研究:配样计算金品位 1.76 g/t,磨矿细度为 -74 μm 占 60% 的一粗一精二扫的浮选流程,闭路浮选试验结果见表 1。

表 1 混合矿选矿试验结果表

产品名称	产率/%	品位		金回收率/%
		Au/g·t ⁻¹	As/%	
金精矿	3.50	44.78	12.27	83.54
尾矿	96.50	0.32		16.46
合计	100.00	1.88	0.46	100.00

金精矿中砷含量较高,达 12.27%,采用常规选矿方法无法有效降低。

氧化矿采用添加剂+金蝉浸出工艺:配样计算金品位 2.44 g/t,原矿磨至 -0.074 mm 90%,添加剂用量 4%,金蝉用量 3 000 g/t,矿浆浓度 40%,浸出时间 24 小时,金浸出率 88.39%,金吸附率 94.16%,金回收率 83.23%。

通过试验可知,氧化矿石采用添加剂+金蝉浸出工艺,混合矿石采用浮选工艺,金的回收率均可达到 83% 以上,属于易选矿石。

3 论证方法的选择

矿床工业指标论证应根据矿床实际情况选择适合的矿床工业指标论证方法,通常采用地质方案法、经济分析法、类比论证法论证矿床工业指标的合理性^[3]。当工业指标的变化对矿体形态、完整性和规模敏感的,一般采用地质方案法;工业指标的变化对矿体形态、完整性和规模不敏感的,可采用经济分析法;具备类比论证条件的可采用类比论证法^[4]。

本基金矿为构造破碎带控矿的小型岩金矿床,矿体与围岩界线较明显,通过初步试图试算,不同方案的工业指标对矿体形态和规模的变化具有一定的敏

感度,因此可采用地质方案法进行论证。

4 论证参数的选取

4.1 开采方式

根据矿区地形地貌特征、矿体赋存特征、矿床开采技术条件及可能的厂址位置,推荐的采矿工艺:地下开采方式,主平硐+溜井开拓,各中段采用有轨运输方式。采矿方法浅孔留矿法占 80% 和分段空场法占 20%。采矿贫化损失指标为贫化率 10%、损失率 10%。

4.2 选矿工艺参数

矿区氧化矿比较少,仅占全矿矿石资源量的 4.7%,因此,工业指标论证拟采用混合矿的选矿工艺流程,通过合理规划开采顺序、配矿,使入选矿石的氧化率控制在 30% 以下的混合矿水平,从而降低氧化矿对浮选工艺的影响。选矿工艺:将矿石磨至 -200 目占 60% 的粉矿,进行一粗一精二扫的浮选工艺流程,矿山最终产品为金精矿,金精矿品位为 40 g/t,金回收率为 83%。

4.3 指标方案对比

1) 边界品位

边界品位是界定矿与非矿的分界品位,是圈定矿体时对单个样品有用组分含量的最低要求^[5]。主要分析方法类比法、统计法和图解法。

采用尾矿品位类比法,一般情况下其值不大于尾矿品位的 1.5~2 倍。根据选矿试验资料,采用浮选、浸出或浮选+浸出工艺,尾矿 Au 品位均在 0.28~0.32 g/t,单从技术的角度考虑,边界品位可介于 0.42~0.64 g/t。

采用统计法确定边界品位多适用于矿体与围岩界限不清、品位呈渐变过渡关系的矿床。根据矿床样品的基本分析结果,绘制出品位-频数分布曲线,找出品位区间突变得转折点,将此突变点所对应的品位值确定为边界品位。

对全部 1 429 个基本分析样品进行统计,统计结果见表 2,绘制的品位-频数曲线如图 1 所示。

从品位频率变化曲线图中看到,该矿低品位区间品位明显变化的区间在 0.7~0.9 g/t,最低拐点品位为 0.75 g/t。

因此,根据尾矿品位类比法和统计法确定矿床边界品位为 0.7 g/t,四个方案的指标见表 3。

2) 最低工业品位

最低工业品位指标是作为圈定工业上可利用矿

表2 样品基本分析统计结果表

品位区间/ $g \cdot t^{-1}$	<0.1	0.1~0.2	0.2~0.3	0.3~0.4	0.4~0.5	0.5~0.6	0.6~0.7	0.7~0.8
频数/个	939	103	75	42	31	23	23	10
频率/%	65.7	7.2	5.2	2.9	2.2	1.6	1.6	0.7
累计频率/%	65.7	72.9	78.2	81.1	83.3	84.9	86.5	87.2
品位区间/ $g \cdot t^{-1}$	0.8~0.9	0.9~1	1~1.1	1.1~1.2	1.2~1.3	1.3~1.4	1.4~1.5	1.5~1.6
频数/个	18	12	10	11	13	7	9	24
频率/%	1.3	0.8	0.7	0.8	0.9	0.5	0.6	1.7
累计频率/%	88.5	89.3	90.0	90.8	91.7	92.2	92.8	94.5
品位区间/ $g \cdot t^{-1}$	1.6~1.7	1.7~1.8	1.8~1.9	1.9~2	2.0~2.2	2.2~2.5	2.5~3	≥ 3.0
频数/个	5	3	9	6	7	4	13	32
频率/%	0.3	0.2	0.6	0.4	0.5	0.3	0.9	2.2
累计频率/%	94.8	95.0	95.7	96.1	96.6	96.9	97.8	100.0

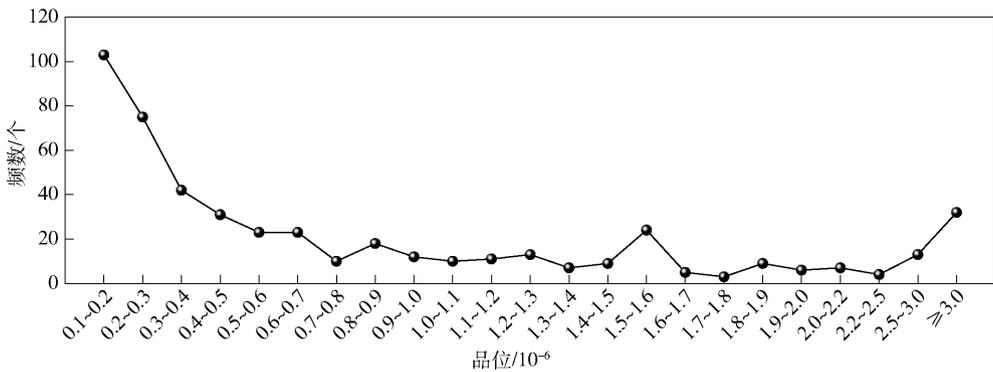


图1 品位-频数累计曲线图

体时对单个勘查工程(或单个块段)连续样段中主要有用组分平均含量的最低要求,本次工业指标论证首先通过计算盈亏平衡品位初步确定基本方案的最低工业品位,并与边界品位方案匹配选择最低工业品位方案,采用地质方案法进行论证。

盈亏平衡品位可作为最低工业品位的参考或校核依据。根据矿床开采技术条件及当前黄金市场价格行情,进行盈亏平衡品位测算,测算采用的主要技术经济指标见表3。

表3 主要技术经济指标参数

项目	单位	表示	数量
原矿单位全成本费用	元/ $t_{原矿}$	$C_{全}$	298.02
资源税	元/ $t_{原矿}$	Z	10.81
采矿贫化率	%	ρ	10.00
选矿回收率	%	$\epsilon_{精}$	83.00
金精矿含金价格	元/g	D	272.74
盈亏平衡品位	g/t	$a_{平}$	1.52

盈亏平衡品位按最终产品为金精矿含金属计算为1.52 g/t,可以作为最低工业品位的参考,因此,该矿的最低工业品位选1.5 g/t较为合理。四个方案的最低工业品位见表4。

表4 拟定的矿床各工业指标方案表

项目	I方案	II方案	III方案	VI方案
边界品位/ $g \cdot t^{-1}$	0.5	0.7	0.7	1.0
最低工业品位/ $g \cdot t^{-1}$	1.2	1.5	1.6	2.0
最小可采厚度/m	0.8,厚度小于0.8m时采用 $m \cdot g/t$ 值计算			
夹石剔除厚度/m	2.00			

3) 开采技术指标

矿区金矿体均受断裂构造控制,其中Au1主矿体产状 $20^\circ \angle 68 \sim 85^\circ$,属陡倾斜矿体;矿体形态为似层状、层状。矿体厚度沿走向变化较稳定,倾向延深变化也较大。Au1矿体平均厚度4.99 m,矿体及上下盘围岩属中等稳固。采矿设备为常规小型设备。

根据矿床开采技术及装备水平,确定开采技术条件指标为:最小可采厚度为0.8 m;夹石剔除厚度为2 m。

当以上四个方案中单工程矿体厚度小于最低可采厚度,但矿石品位较高时,可采用最低工业米·百分值确定矿体,具体方案见表4。

4 试圈试算结果对比

按照表4确定的四套指标方案分别对矿体进行试圈试算,各方案圈算的金矿体地质资源量、矿体产状、规模等结果对比见表5。各方案“品位-吨位曲线图”如图2所示。

表5 四个方案试圈试算结果对比表

项目	单位	I 方案	II 方案	III 方案	VI 方案	备注
矿石量	10 ⁴ t	127.44	82.39	55.14	27.32	控制+推断
矿石量差	10 ⁴ t	45.04		-27.26	-55.07	与II方案比较
金属量	kg	2 044	1 455	1 061	653	控制+推断
金属量差	kg	589		-394	-802	与II方案比较
品位	g/t	1.60	1.77	1.92	2.39	
品位差	g/t	-0.16		0.16	0.62	与II方案比较
长度	m	400	360	360	293	
Au1 矿体规模 延深	m	523	400	400	410	
厚度	m	4.87	3.79	3.79	2.24	
矿体数量及连续性		圈定工业矿体 14 个,低品位矿体 3 个,Au1 主矿体连续性好,单矿体规模较大,矿体形态较简单	圈定工业矿体 8 个,低品位矿体 9 个,Au1 主矿体连续性与 I 方案相当,但厚度变薄,主矿体形态较简单	圈定工业矿体 8 个,低品位矿体 9 个,Au1 主矿体连续性与 I 方案相当,但厚度变薄,主矿体形态较简单	圈定工业矿体 5 个,低品位矿体 13 个,工业矿体数量及资源量均大幅减少,Au1 主矿体规模大大缩小,矿体连续性差,矿体形态复杂	
圈矿指标 边界品位	g/t	0.5	0.7	0.7	1.0	
工业品位	g/t	1.2	1.5	1.6	2.0	

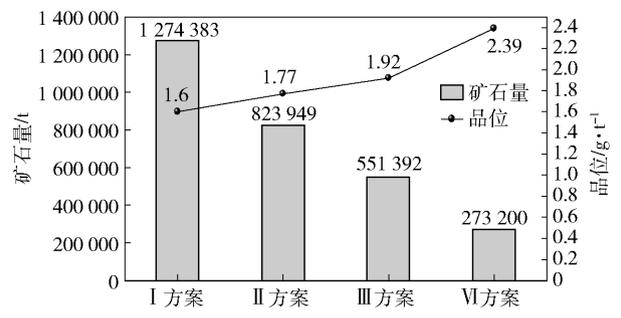


图2 各方案品位-吨位曲线

通过试圈试算和对比分析可以看出:

(1)资源储量方面, I 方案矿石量较 II 方案增加了 45.04×10^4 t,金属量增加了 589 kg,品位降低了 0.16 g/t; III、VI 方案矿石量较 II 方案分别减少了 27.26×10^4 t、 55.07×10^4 t,金属量分别减少了 394 kg、802 kg,品位分别提高了 0.16 g/t、0.62 g/t。

(2)矿体形态产状及连续性上, I、II、III 方案

各矿体在形态产状及连续性上变化较小,主要是 Au1 矿体厚度 II、III 方案较 I 方案变薄;而 VI 方案无论是矿体形态、还是连续性及厚度上均有较大的变化,厚度明显变薄、连续性变差、Au1 矿体分成 3 个孤岛状矿体。因此从矿体的圈定连接和开采技术条件方面, I、II、III 方案基本相当,VI 方案差。

5 技术经济对比分析

四个方案的技术经济效益对比情况见表6。

通过表6比较可知, II 方案企业内部收益率高于期望收益率 10%,经济上较为合理,各项经济指标均优于 III 方案和 VI 方案;而 I 方案虽然年净利润及总净利润指标高于 II 方案,但净现值为负,企业内部收益率低于期望收益率。即 I、III、VI 方案经济上为不合理,只有 II 方案经济上是合理的。各方案内部收益率、与年净利润及净现值曲线如图 3、4、5 所示。

表6 各方案技术经济比较表

序号	指标名称	单位	I 方案	II 方案	III 方案	VI 方案	备注
1	设计利用资源量						控制100%,推断75%利用 与II方案比较
	矿石量	10 ⁴ t	110.89	73.65	49.96	22.53	
	矿石量差	10 ⁴ t	37.24		-23.69	-51.12	
	品位	g/t	1.61	1.77	1.93	2.42	
	金属量	kg	1 790	1 303	962	545	
2	地质资源利用率	%	137.38		73.84	41.79	与II方案比较 金属量,与II方案比较
	金属量差	kg	487.00		-340.87	-758.50	
3	采矿						
	采矿贫化率	%	10	10	10	10	
	采矿损失率	%	10	10	10	10	
	采出矿石量	10 ⁴ t	110.89	73.65	49.96	22.53	
	采出品位	g/t	1.45	1.59	1.73	2.18	
4	生产规模	t/d	400	300	200	100	
		10 ⁴ t	12.00	9.00	6.00	3.00	
5	服务年限	a	9.24	8.18	8.33	7.51	
6	选矿						
	选矿回收率	%	82.50	83.00	83.50	84.00	
	精矿品位	g/t	40.00	40.00	40.00	40.00	
	精矿产率	%	3.00	3.30	3.62	4.57	
	年产精矿量	t	3 595.73	2 973.58	2 171.08	1 370.61	
	年产精矿含 Au	kg	143.83	118.94	86.84	54.82	
	总产精矿量	t	33 226.88	24 333.53	18 076.09	10 291.05	
7	多回收金属	t	355.73		-250.30	-561.70	与II方案比较
	金属总回收率	%	136.55		74.28	42.29	相对II方案
8	原矿生产成本						含选矿、尾矿等费用
	采矿	元/t	127.48	136.47	150.03	190.17	
	选矿	元/t	117.33	127.53	140.23	177.07	
	企业管理费	元/t	29.02	31.42	38.65	58.97	
	销售费用	元/t	0.50	0.67	1.00	2.00	
	财务费用	元/t	1.70	1.93	2.24	2.87	
	合计	元/t	276.03	298.02	332.15	431.08	
9	金精矿含 Au 销售价格	元/g	272.74	272.74	272.74	272.74	矿山交货价
10	年经济核算						
	年销售收入	万元	3922.82	3244.07	2368.57	1495.28	
	年成本费用	万元	-3312.38	-2682.20	-1992.88	-1293.23	
	年税费总额	万元	-117.68	-97.32	-71.06	-44.86	
	年总利润	万元	492.75	464.55	304.63	157.20	
	年所得税	万元	-123.19	-116.14	-76.16	-39.30	
11	总经济核算						
	年净利润	万元	369.56	348.41	228.47	117.90	
	总销售收入	万元	36 249.33	26 547.00	19 720.36	11 227.17	
	总生产成本	万元	-30 608.5	-21 949.10	-16 592.44	-9 710.06	
	税费总额	万元	-1 087.48	-796.41	-591.61	-336.82	
	总利润	万元	4 553.31	3 801.50	2 536.14	1 180.29	
	所得税总额	万元	-1 138.33	-950.37	-634.04	-295.07	
12	投资及投资收益						
	净利润总额	万元	3 414.98	2 851.12	1 902.11	885.22	
	建设投资	万元	5 262.53	4 365.00	3 353.71	2 137.25	
	其中:基建投资	万元	4 465.37	3 797.55	2 940.02	1 882.58	
	矿权出让金	万元	797.16	567.45	413.69	254.67	按基准价估算
	流动资金	万元	669.81	569.63	441.00	282.39	
	净现值	万元	-100	118	-96	-181	(Ic = 10%)
12	总投资收益率	%	8.31	9.41	8.03	6.50	
	企业内部收益率	%	12.52	14.01	12.19	10.14	税前
		%	9.56	10.68	9.29	7.70	税后
	静态投资回收期	a	7.43	6.71	7.13	7.14	含基建期 1a
	动态投资回收期	a		9.68			含基建期 1a(Ic = 10%)

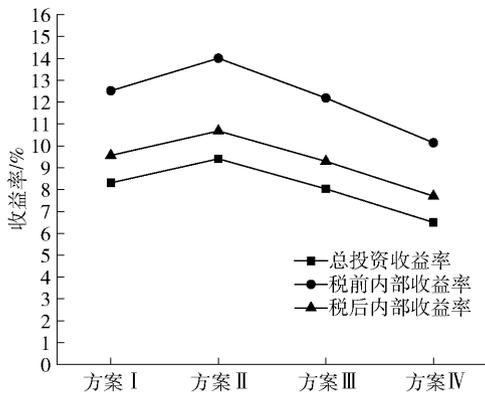


图3 各方案投资及内部收益率曲线图

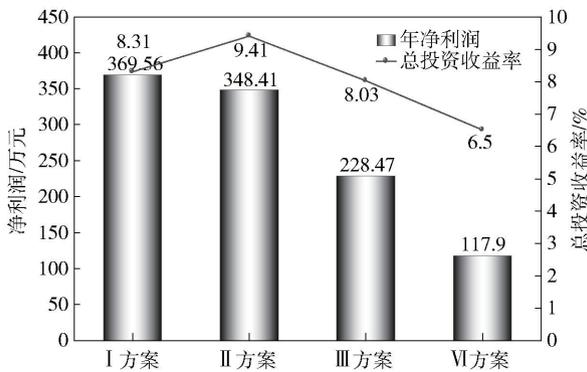


图4 各方案投资收益率-年净利润曲线图

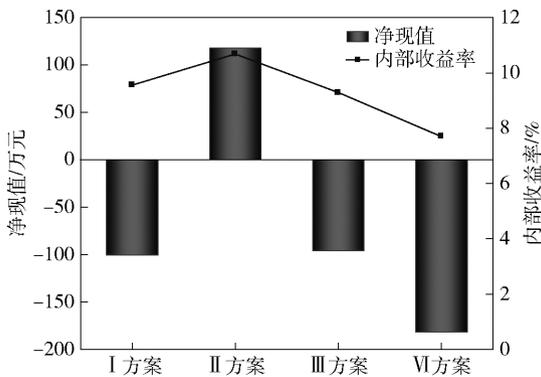


图5 各方案内部收益率-净现值曲线图

6 结论

通过比较可知, II 方案符合充分利用资源和企业获得良好经济效益的原则,技术上可行,经济上合理,本次论证推荐的矿床工业指标方案为 II 方案(表 7)。

表 7 推荐的工业指标表

项目	指标
边界品位	≥0.7 g/t
最低工业品位(单工程)	≥1.50 g/t
最小可采厚度	≥0.8 m
夹石剔除厚度	≥2.0 m
米·克/吨值	≥1.20

[参考文献]

- [1] 张富民. 采矿设计手册 矿产地质卷[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1987.
- [2] 万会, 万贵龙, 高利民. 中国金矿矿床工业指标研究[J]. 地质调查与研究, 2013, 36(6): 100 - 103.
- [3] 中华人民共和国地质矿产行业标准. 岩金矿地质勘查规范(DZ/T0205—2020)[S]. 北京: 地质出版社, 2020.
- [4] 中华人民共和国地质矿产行业标准. 矿床工业指标论证技术要求[S]. 北京: 中华人民共和国自然资源部, 2020.
- [5] 万会, 万贵龙, 高利民. 中国金矿矿床工业指标研究[J]. 地质调查与研究, 2013, 36(2): 100 - 103.