

云南省某锑矿矿床工业指标论证研究

卿得成, 房智恒

(中冶长天国际工程有限责任公司, 湖南 长沙 410205)

摘要:为推进矿山资源的保护和合理利用,矿床基础资料研究及矿床工业指标论证至关重要。文章以云南某锑矿为例,介绍锑矿床边界品位、最低工业品位、最小可采厚度和夹石剔除厚度等工业指标的制定过程。采用地质方案法,确定矿山采矿方案和选矿方案,通过技术经济比较,最终综合分析论证确定合理的矿床工业指标。同时,针对现阶段工业指标论证过程中存在的问题,提出一系列具有针对性的建议。本文结果对类似矿床的工业指标制定具有一定指导意义。

关键词: 锑矿; 工业指标; 地质方案法; 技术经济

中图分类号: TD864

文献标志码: A

文章编号: 1673-8993(2025)10-0010-06

doi: 10.13402/j.gcjs.2025.10.119

Study on industrial criteria of a Antimony mine in Yunnan province

QING Decheng, FANG Zhiheng

(Zhongye Changtian International Engineering Co., Ltd., Changsha 410205, Hunan, China)

Abstract: In order to promote the protection and rational utilization of mineral resources, the research on basic data of ore deposits and the demonstration of industrial criteria of ore deposits are of vital importance. Using an antimony mine in Yunnan as a case study, the process of establishing industrial criteria is established, including cut-off grade, minimum industrial grade, minimum mining thickness, and waste rock exclusion thickness. The geological scheme method is employed to determine the mining and beneficiation plans for the mine. Through technical and economic comparisons, a comprehensive analysis is conducted to establish reasonable industrial criteria for the deposit. Additionally, the current issues encountered during the industrial criteria evaluation process is addressed and a series of targeted suggestions is proposed. It is of guiding significance for formulating industrial criteria for similar deposits.

Key words: antimony mine; industrial criteria; geological scheme method; technical economy

矿床工业指标是指在当前技术经济条件下,对矿床矿石质量和开采技术条件方面所提出的指标,它是一个动态指标^[1-2],是评价矿床的工业价值、圈定矿体、估算矿产资源量的标准和依据^[3-4]。

本文将要探讨的锑矿是云南省某县最近发现的矿床,矿权人准备提交该矿区锑矿勘探地质报告,并申办矿区采矿许可证。为合理利用和保护矿产资源,明确矿床开发的经济效益,本文依据矿床地质条件,分析矿山开发的各项影响因素,对推荐的矿床工业指标进行技术经济评价,并确定最佳的矿床工业

指标,以期可为矿区的合理开发提供科学依据。

1 论证基础

1.1 矿床地质特征

该矿床处于华南褶皱系之滇东南褶皱带老君山穹隆构造的北部,属海相热水沉积成因的矿床。矿区圈定了3个锑矿层,自下而上编号为I₁~I₃,主矿层为I₂、I₃。具体特征如表1所示。矿层主要特征如下:

锑矿石中的有用金属矿物主要为辉锑矿、黄

收稿日期: 2025-03-28

作者简介: 卿得成(1982—),男,高级工程师,从事矿山设计及咨询方面的工作。

表1 矿区主要工业矿体特征

矿体 编号	分布	走向 长度/m	矿层规模		矿体 形态	厚度 变化 系数/ %	品位(%)及其变化系数		夹石厚 度/m	见矿钻 孔数工 程数/个
			宽度/m	厚度/m			最小~最大	品位变 化系数		
			最小~最大	最小~最大			平均品位	平均品位		
I ₃	47— 57线	430	25~155 77	0.47~12.75 3.28	似层状	74.19	0.95~14.5 2.40	103.33	0.56~ 2.38	198~252
I ₂	47— 57线	430	45~200 117	0.45~12.88 4.45	似层状	81.94	0.58~26.26 3.58	120.98	0.56~ 3.20	157~305
I ₁	49— 51线	90	105	0.46~2.22	透镜状	48.10	0.53~1.65	39.12	无	175~300

铋华,其他金属矿物为黄铁矿、闪锌矿、方铅矿、褐铁矿,非金属矿物主要为石英、绢云母、高岭石、白云石,少量方解石、绿泥石、重晶石等。

矿石主要为柱状-它形晶粒状结构、它形~自形晶粒状结构、它形晶中细粒状结构、自形晶中粗粒针柱状结构、自形~半自形粒状结构、微晶结构、蚀变残余结构、包含结构、显微鳞片状结构。矿石构造以层纹状、细脉~网脉状、斑杂状、团块状、菊花状、晶簇状为主,少部分为浸染状、星散浸染状及层纹状等构造。

根据氧化程度将矿石类型划为硫化矿石。根据矿石的容矿岩石的不同,又可将矿区内的矿石划分为硅质岩型、角砾岩型、千枚岩型3种类型。矿区以硅质岩型为主要的矿石类型。

1.2 矿山外部建设条件

(1) 供水条件:矿区周围水量相对比较充足,可满足矿山工业用水。

(2) 供电条件:矿区电力设施齐全,可以扩容、联网,非常便于矿区取电使用。

(3) 通信设施:矿区周边建有中国移动、中国联通及中国电信基站,保障了与外界通信畅通。

(4) 劳动力资源保障情况:矿区所在地区劳动力资源充足,经济欠发达、文化相对比较落后,属贫困山区。矿区周边有小型矿山生产,区内矿业经济较活跃,劳动力资源富足,所需工人可当地招工解决,工程技术人员可从社会招聘。

1.3 矿床开采技术条件

矿区多数矿体位于当地侵蚀基准面之下,矿区内无较大的河流,附近地表水体不构成矿床的主要充水因素,大气降水是矿区地下水的主要补

给来源,地形有利于自然排水。矿床直接充水含水层为层间裂隙承压水,富水性弱,断层富水性为不导水~局部弱导水,对矿体开采影响较小。故矿床水文地质勘探类型属以裂隙充水为主水文地质条件简单类型。

矿区岩石风化较强烈,风化带厚度较大,岩溶作用中等,主要岩组为寒武系中统田蓬组层状软硬相间硅质岩、泥质板岩、千枚岩互层岩组。其中泥质板岩岩体质量等级差,岩石质量等级劣的,稳固性差。千枚岩岩体质量等级差,岩石质量等级中等,稳固性较差。硅质岩岩体质量等级差,岩石质量等级中等,稳固性差。灰岩岩体质量等级差~中等,岩石质量等级极好的,稳固性较好。矿层及顶底板稳固性差~中等,尤其是当岩石富水时,岩石力学强度普遍降低,易产生冒顶、片帮等不良工程地质现象。故矿床工程地质条件属于以软硬相间层状岩类为主的中等类型。

矿区位于区域稳定地段,抗震设防烈度属6度区。矿区内现状地质灾害不发育,但矿区山高坡陡、松散土石分布广,极端降雨量时,地质环境脆弱,在采矿活动影响下,较易产生崩塌、滑坡、泥石流地质灾害及局部地表变形;区内无重大的污染源,地表水、地下水水质较好(不低于Ⅲ类),矿坑水长期排放对附近水体有轻微的污染;矿石和废石化学成分基本稳定。矿区地质环境质量中等。

总体来说,矿床开采技术条件属以工程地质和环境地质问题复合为主的中等类型(Ⅱ-4)。

1.4 矿石加工技术性能

根据矿物实验室对矿区铋矿石进行的流程试验,包括磨矿细度试验、探索试验、浮选药剂选择和

用量试验、浮选开路 and 闭路试验、产品检查、回水循环利用试验、尾矿沉降试验等。试验表明,该铈矿在较适宜的闭路浮选工艺流程下,可得到产率为 5.13%,铈品位 45.26%,铈回收率 96.45% 的精矿,原矿中的铈得到了较好的回收利用。

2 论证指标的确定及资源量试算结果

2.1 论证指标的确定

2.1.1 边界品位与最低工业品位方案的确定

矿区铈矿基本分析样品数共 475 件,铈品位分布在 ($< 0.1\%$, 26.26%], 设置数据区间步长为 0.1% , 样品分布直方图如图 1 所示。

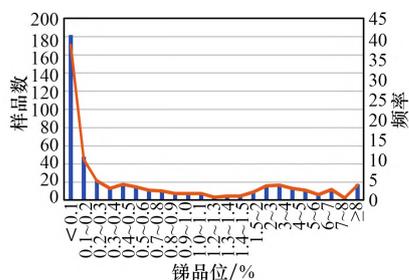


图 1 矿区品位数据分布

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]。根据以上统计分析,矿区铈矿铈品位在 $0.3\% \sim 0.5\%$ 的区间出现转折点,再结合铈矿床一般工业指标(DZ/T 0201—2020 附录 L),设置矿区铈矿床的边界品位分别为 0.3% 、 0.5% 及 0.7% 。

最低工业品位指标是作为圈定工业上可利用矿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^[6]。根据有色矿产制定矿床工业指标的经验,最低工业品位通常为对应边界品位的 $2 \sim 3$ 倍,结合 DZ/T 0201—2020(附录 L),设置矿区铈矿床的最低工业品位分别为 0.7% 、 1.0% 及 1.5% 。

2.1.2 夹石剔除厚度

对矿区铈矿各钻孔工程夹层真厚度进行统计,统计结果如表 2 所示。

根据以上统计分析,铈矿夹层的厚度多在 $2 \sim 3$ m,该区间夹层的平均厚度为 2.66 m,大于 DZ/T 0201—2020(附录 L)中的最小夹石剔除厚度。考虑将来矿山可能的生产规模和采矿方法及采矿装备水平,在工业指标建议方案中,设置矿区

表 2 夹层厚度分布

区间/m	频数/个	累积频数/个	频率/%	区间厚度均值/m
< 2	3	3	13.04	1.83
$2 \sim 3$	7	10	30.43	2.66
$3 \sim 4$	2	12	8.70	3.36
$4 \sim 5$	4	16	17.39	4.41
$5 \sim 6$	1	17	4.35	5.46
$6 \sim 7$	0	17	0	0
≥ 7	6	23	26.09	9.61

铈矿的最小夹石剔除厚度分别为两个不同的参数 (2 、 3 m) 进行试圈试算资源量。

2.1.3 最小可采厚度

最小可采厚度主要取决于采矿工艺要求,根据开采方式、采矿方法、采掘设备及矿体特征等确定。本矿床矿体特征为厚度不大、矿体上下分层,考虑到矿山生产规模,拟采用上向进路充填采矿法开采。综合考虑采矿装备,确定矿体的最小可采厚度为 0.8 m。

2.2 初步拟定的工业指标方案及试算资源量

根据地勘单位、矿业权人对矿区铈矿成矿条件和矿体形态等方面的研究,结合样品分析结果等资料的分析,以及《矿床工业指标论证技术要求》(DZ/T 0339—2020)第 6.2.2 条款规定,本矿床论证采用地质方案法。地勘单位初步提出了 4 套矿床工业指标方案,具体指标如表 3 所示。不同方案圈连的矿体和估算的资源量结果如表 4 所示。

表 3 矿床工业指标初步方案

方案	边界品位/%	最低工业品位/%	最小可采厚度/m	夹石剔除厚度/m
1	0.30	0.70	0.8	2.0
2	0.50	1.00	0.8	2.0
3	0.50	1.00	0.8	3.0
4	0.70	1.50	0.8	2.0

注:当坑采厚度小于 0.8 m 时,采用最低工业品位来估算矿产资源量。

3 矿山建设方案及经济分析

3.1 采矿方案

根据矿体赋存条件,矿床开采采用地下开采,竖井开拓。根据 4 套方案设计利用储量,确定合

表4 不同方案资源量估算结果

方案	资源量类型	矿石量 / 万吨	金属量 / t	平均品位 / %
1	探明	22.87	7 156	3.13
	控制	65.39	17 965	2.75
	推断	35.38	11 389	3.22
	小计	123.60	36 510	2.95
2	探明	20.16	6 842	3.39
	控制	50.91	16 122	3.17
	推断	36.01	11 308	3.14
	小计	107.10	34 272	3.20
3	探明	21.38	7 166	3.35
	控制	55.23	16 494	2.99
	推断	38.05	11 822	3.11
	小计	114.70	35 482	3.09
4	探明	16.84	6 585	3.91
	控制	46.24	15 928	3.44
	推断	30.22	11 424	9.02
	小计	93.30	33 937	3.64

理开采规模。由于4套方案的矿石资源量总量相差较小,合理开采规模均确定为6万吨/a。采矿方法采用上向进路充填采矿法开采,采矿回采率95%,贫化率8%。

3.2 选矿方案

以矿区铋矿石选矿试验为基础,参照类似矿山生产实践,确定该矿区矿石选矿设计流程,产品为铋精矿,选矿厂设计指标如表5所示。

3.3 盈亏平衡品位测算及指标方案的确定

矿区最终产品是 $w(\text{Sb})$ 为45%的硫化铋精矿。采用下面的公式计算盈亏平衡品位,作为设置最低工业品位的校核指标。

$$\alpha_{\text{平衡}} = \frac{\beta_{\text{精}}(C_{\text{全}} + Z)}{(1 - \rho)\varepsilon_{\text{精}}D_{\text{精}}}$$

表5 选矿厂主要设计指标

产品名称	产量 / (万吨·a ⁻¹)	产率 / %	品位 / %	回收率 / %
原矿	6.000	100.00	2.85	100.00
精矿	0.361	6.02	45.00	95.00
尾矿	5.639	93.98	0.15	5.00

式中: $\alpha_{\text{平衡}}$ 为盈亏平衡品位,% ; $C_{\text{全}}$ 为以原矿表示的单位全成本费用,元/t原矿;(取值为440.70元/t.); ρ 为采矿贫化率,% ,贫化率为8%; $\beta_{\text{精}}$ 为精矿品位,% ,精矿品位为 $w(\text{Sb}) = 45%$; $\varepsilon_{\text{精}}$ 为精矿选矿回收率,% ;平均值为95%; $D_{\text{精}}$ 为精矿不含税价格,元/t精矿, $w(\text{Sb}) = 45%$,为21 939.75元/t; Z 为资源税,元/t原矿(根据云南省资源税率,取值为17元/t原矿)。

按上述公式和各参数取值,计算出盈亏平衡品位: $w(\text{Sb}) = 1.07%$ 。

根据矿区采、选方案,矿石生产成本和税费,产品价格等,经过盈亏平衡品位的测算,得到矿区铋矿床的矿床盈亏平衡品位为1.07%,与方案2和方案3的设置最低工业品位最为接近。

4个方案试算矿区的铋矿资源量有一定差别,但是铋矿金属量差别较小,方案1试算的矿石量最多,但是铋品位较低,且铋矿总金属量相对方案2和方案3增加变化小。方案4试算矿石铋品位相对较高,但是铋矿总金属量最少,总体资源利用率最低。

根据矿区铋矿的矿体形态,资源量规模和拟采用的开采、选矿技术方案,产品方案等综合考虑,最终确定论证比较的工业指标方案为方案2和方案3,如表6所示。

表6 工业指标论证方案结果

方案	边界品位 / %	最低工业品位 / %	最小可采厚度 / m	夹石剔除厚度 / m	矿石量 / 万吨	金属量 / t	矿床品位 / %	矿体特征	
								矿层累计厚度 / m	形态
2	0.50	1.00	0.8	2.0	107.1	34 272	3.20	8.64	3个矿层,矿与夹层交替分布,夹层厚约2.6m,每个矿层品位较平均
3	0.50	1.00	0.8	3.0	114.7	35 482	3.09	9.21	圈出两个主矿体,矿体形态较简单,每个矿层品位较平均

综合以上分析,此矿床工业指标论证需要重点比较方案 2 和方案 3 经济效益。

3.4 经济分析

3.4.1 项目财务分析

矿区项目投资、单位原矿成本费用如表 7、8 所示。

表 7 项目投资估算结果

费用名称	估算价值/万元	
	方案 2	方案 3
工程费用	10 919.00	10 919.00
工程建设其他费	5 765.81	5 810.34
预备费	1 673.00	1 673.00
建设投资合计	18 357.81	18 402.34

3.4.2 项目经济效益分析

项目经济效益分析结果如表 9 所示。

4 综合分析及推荐方案

4.1 综合分析

(1) 指标方案经济分析:方案 1 试算的矿石量最多,但是锑品位较低,且锑矿总金属量相对方案 2 和方案 3 增加变化小。方案 4 试算矿石锑

表 8 单位原矿总成本费用(不含税)估算结果

费用名称	方案 2/ (元·t ⁻¹ 原矿)	方案 3/ (元·t ⁻¹ 原矿)
制造成本	391.53	387.51
营业费用	15.71	15.71
管理费用	34.92	35.33
财务费用	2.16	2.16
总成本费用	444.32	440.70

品位相对较高,但是锑矿总金属量最少,总体资源利用率最低。根据矿区锑矿的矿体形态,资源量规模和拟采用的开采、选矿技术方案,产品方案等综合考虑,最终确定论证比较的工业指标方案为方案 2 和方案 3,重点比较方案 2 和方案 3 经济效益。

(2) 矿体形态:方案 3 比方案 2 圈出的矿体更完整,且厚度相对平均,没有夹石和无矿天窗,所以选择方案 3。

(3) 资源量规模:方案 3 估算的锑金属量总计有 35 482 t 锑金属量,相比方案 2 多出 1 210 t 锑金属。在保证项目效益的前提下,矿床锑金属量开发利用应最大化,锑金属的利用率相比较,

表 9 经济效益主要指标估算结果

指标名称		方案 2	方案 3	备注
年营业收入/(万元·a ⁻¹)		8 227.41	7 920.25	不含税收入
年总成本费用/(万元·a ⁻¹)		2 665.90	2 644.31	不含税成本
资源税/(万元·a ⁻¹)		246.82	237.61	—
年城建税及教育费附加/(万元·a ⁻¹)		97.52	93.84	—
年利润总额/(万元·a ⁻¹)		5 217.17	4 944.49	—
年企业所得税/(万元·a ⁻¹)		1 304.29	1 236.12	—
年净利润/(万元·a ⁻¹)		3 912.88	3 708.37	—
总投资收益率/%		27.88	26.37	—
资本金净利润率/%		21.18	20.02	—
项目投资财务内部收益率	所得税前/%	25.82	24.83	—
	所得税后/%	21.04	20.24	—
项目投资财务净现值	所得税前/万元	30 933.15	29 346.87	基准收益率为 8%
	所得税后/万元	21 114.84	19 914.81	基准收益率为 8%
项目投资回收期	所得税前/a	5.42	5.56	含建设期
	所得税后/a	6.17	6.33	含建设期
资本金财务内部收益率/%		21.19	20.39	—
资本金投资回收期/a		6.12	6.28	—
盈亏平衡/%		26.23	27.30	达产第 1 年

方案3更高。

(4) 开采技术条件:方案3矿体形态相对完整,有利于未来矿山机械化开采。

(5) 项目的经济效益:方案3所得税后财务内部收益率为20.39%,高于拟定的项目基准收益率(8%),所得税后投资回收期6.28 a(含基建期),说明项目的经济效益较好。

4.2 推荐方案

通过综合考虑论证,方案3能体现出该矿山的最佳综合效益。因此确定方案3作为矿区资源量估算的工业指标:

4.2.1 矿石质量指标

边界品位 $\geq 0.50\%$ 。

最低工业品位 $\geq 1.00\%$ 。

4.2.2 矿床开采技术条件

最小可采厚度:0.8 m。

夹石剔除厚度:3.0 m。

当坑采厚度小于0.8 m时,采用最低工业品位米·百分值计算。

5 发现的问题及解决方案

结合该矿山特点及以往类似项目的经验,针对现阶段工业指标论证存在的主要问题总结并提出解决方案。

(1) 工业指标应用惯性问题。现阶段存在将一般工业指标直接应用于详查和勘探阶段的现象。在地勘单位编制工业指标建议书时,为确保后期勘查地质报告评审顺利通过,常局限于一般工业指标的边界品位和上下限,未充分考虑矿区实际情况,直接套用一般工业指标,导致指标设置不合理。

(2) 基础资料重视不足问题。在实际论证工作中,部分矿山在地勘单位基础资料尚未完善的情况下,进行工业指标论证,导致论证方案不合理。工业指标建议书、基础图件和钻孔数据资料等是工业指标论证的基石,必须重视资料的完整性和准确性。

(3) 指标论证方案合理性欠缺问题。不合理指标论证方案的出现较为常见,主要原因包括:未充分研究矿体形态和品位分布,导致设置的边界品位或工业品位差距过大或过小;地勘单位与论证单位在拟定方案时沟通不足,未充分考虑矿山地质基础资料和经济评价指标等关键点。指标方案的确定是一个复杂的反复过程,需深入研究矿区基础资料,并加强地勘单位与论证单位的交流。

(4) 工业指标论证报告的客观性问题。部分矿权人在拟定推荐指标方案时,出于自身利益考虑,干扰合理指标的制定过程。必须坚决杜绝此类现象,指标论证应基于矿山实际情况,全面考虑矿体特征、选矿回收率、开采经济效益等因素,以确保矿产资源的充分开发。

6 结语

本文针对地勘单位拟定的4套工业指标进行比较与论证,分析了矿体品位、形态等基本特征,采用地质方案法论证该矿床工业指标,对于论证过程中出现的重点问题进行了归纳总结并提出了解决方案,最终确定方案3为该矿床最佳工业指标,为该矿山的开发与资源的合理利用奠定了基础。

参考文献:

- [1] 万会,万贵龙,苗琦,等.矿床工业指标的论证及对矿床开发潜力的评价:以广西南丹黑水沟一大树脚矿段锌多金属矿为例[J].现代矿业,2021(4):52.
- [2] 黄炳贻.运用地质方案法论证矿床工业指标[J].中国金属通报,2018(2):218-220.
- [3] 万贵龙,万会,张德会.我国矿产资源工业指标问题浅析[J].中国矿业,2011,20(8):1-4.
- [4] 徐静,吕宏芝,陈丙强,等.四川某铜矿矿床工业指标的探讨[J].矿业研究与开发,2016(10):140.
- [5] 矿产地质勘查规范 钨、锡、汞、铋:DZ/T 0201—2020[S].北京:地质出版社,2020.
- [6] 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.