

焦家金矿 1[#] 主矿体下盘低品位资源开发利用探讨

张 锐¹, 郑小礼², 林建华¹, 赵荣新²

(1. 北京科技大学金属矿山高效开采与安全教育部重点实验室, 北京 100083;

2. 山东黄金矿业股份有限公司焦家金矿, 莱州 261441)

[摘 要] 焦家金矿是一座20世纪60年代发现的老矿山, 随着采矿深度和力度的加大, 保有资源量已经不足, 在黄金价格持续走高的情况下, 焦家金矿提出了开发利用低品位资源的计划。文章利用成本收益比较法计算出了焦家金矿低品位下限为 1.067×10^{-6} , 并估算出了 $1.00 \times 10^{-6} \sim 1.50 \times 10^{-6}$ 范围的资源量为 226.38 万 t (矿石量), 金金属量 2600.86 kg, 平均品位 1.15×10^{-6} , 可有效地延长矿山服务年限 4.5 年。

[关键词] 焦家金矿 成本收益比较法 低品位 充分利用资源

[中图分类号] P618.51; P624.7 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 0495-5331(2007)04-0083-05

0 前 言

矿山低品位矿是指在矿山设计的技术经济条件下, 由于主组分品位较低, 单独开采出现经济亏损的矿石^[1-2], 它是传统的双指标体制下, 储量计算的产物^[3], 主要表现为表外矿和超贫矿。随着科学技术和生产的发展, 人类对矿产资源的需求量与日俱增, 地球上蕴藏的有限的不可再生的矿产资源就会过早枯竭, 同时由于找矿难度越来越大, 找到富矿的机会越来越少, 但随着选矿技术的进步, 金属回收率不断提高, 矿山低品位矿利用的可能性日益增大, 低品位矿石的利用越来越受到重视^[4-6]。

焦家金矿是我国大型金矿之一, 位于山东省莱州市金城镇, 地理坐标为东经 $120^{\circ}07'43''$, 北纬 $37^{\circ}24'05''$, 是著名的“焦家式”金矿的典型代表, 通过近 25 年的开采, 完成工业总产值约 64 920 万元, 实现利润总额约 22 216 万元, 对当地的经济和社会的发展做出了积极的贡献。但随着开采力度的持续加大, 该矿面临较为严重的资源危机。就资源量来看, 截至 2005 年底, 矿山保有储量为 567 万 t, 金属量为 23.19 t, 地质品位也有建矿之初的 7.24×10^{-6} 降为 3.78×10^{-6} , 矿山稳产期仅有 5 年左右^①。资源形势不容乐观, 增加地质储量已经迫在眉睫, 刻不容缓。

在焦家金矿主矿体的 1[#] 脉下盘, 有着大量的低于 1.5×10^{-6} 的低品位资源, 充分利用好这些低品

位资源对于增加矿山储量、延长矿山服务年限具有重要的意义。

对于低品位资源的开发, 主要问题在于低品位资源下限品位的确定, 国内对于低品位资源下限品位的确定主要有成本收益比较法、投入产出法^[7]、增量分析法、动态计时评价法^[8]、价格法^[9]、类比法、统计法^[10]等等, 但对于焦家金矿而言, 到目前为止, 还没有做过这样的工作。

1 焦家金矿概况

焦家金矿地处富饶的胶东半岛莱州湾畔, 是 20 世纪 60 年代中期发现并评价的特大型黄金矿山, 是我国重要金矿成因类型——“焦家式”金矿床。在生产中, 它采用竖井下盘开拓, 机械化上向进路尾砂胶结充填采矿法, 选矿采用三段一闭路碎矿、两段磨浮、两浸两洗、锌粉置换、湿法冶炼工艺。选厂经过两次技术改造, 目前, 日处理量最高可达 1600 t, 年产值约为 1.8 亿元, 1994 年晋升为国家大型二档企业。

在地质上, 焦家金矿床处于胶东古地盾东缘, 沂沭断裂的次级构造——黄县莱州断裂的南部 (图 1), 是我国特大型的破碎带蚀变岩型金矿床^[11], 该矿床赋存于一个巨大的破碎蚀变带之中。蚀变带东西宽 200 余米, 南北长 1000 余米。整个矿床由 3 条主矿脉组成, 分别为 1[#]、2[#]、3[#] 脉, 且都处于主断裂的下盘, 其中 1[#]、2[#] 总储量占 80% 以上。1[#] 脉紧靠主

[收稿日期] 2006-06-13; **[修订日期]** 2006-11-17。

[基金项目] 国家自然科学基金 (编号: 40672060) 资助。

① 山东黄金矿业股份有限公司焦家金矿. 山东省莱州市焦家金矿床中深部普查设计, 2005。

[第一作者简介] 张 锐 (1973 年—), 男, 2004 年毕业于北京科技大学, 获硕士学位, 在读博士生, 工程师, 现主要从事矿床学、岩石学研究

工作。

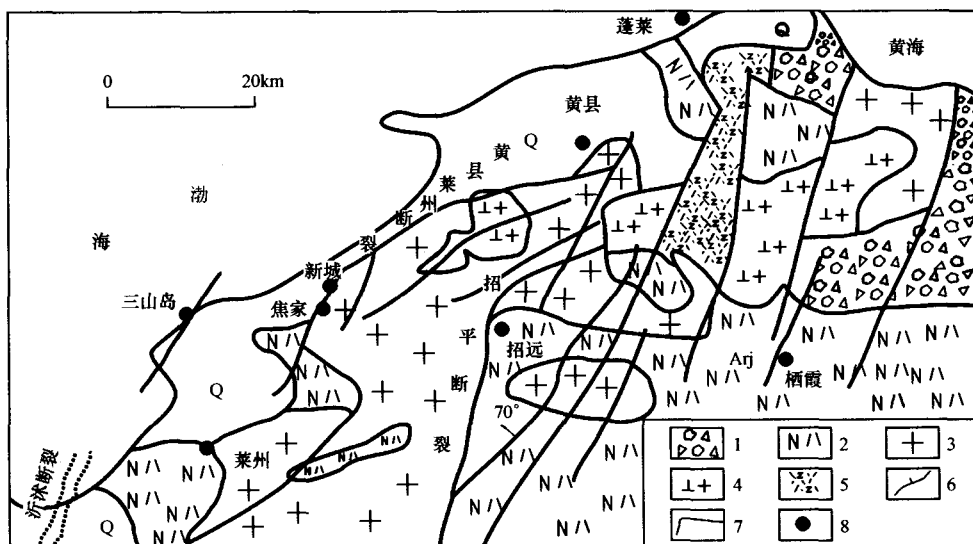


图1 焦家金矿区域地质图(据山东地质六队,1992)

Q—第四系;1—元古宇碎屑岩系;2—太古宇胶东群变质岩;3—早燕山期花岗岩;4—燕山期花岗闪长岩;
5—晚燕山期霏细岩;6—断层及倾向;7—地质界线;8—金矿床

断裂,赋存于黄铁绢英岩质碎裂岩中,2[#]处于1[#]、3[#]之间,花岗绢英岩质碎裂岩中,2[#]脉是1[#]脉的分支;3[#]处于主断裂下盘的钾化花岗岩中(图2)。矿体主要赋存于52~128线之间,52线以北为龙埠和新城金矿,128线以南为马塘金矿。矿石构造以网脉状为主,金属矿物以含金硫化物黄铁矿为主,并含少量的黄铜矿、方铅矿。金的赋存状态以裂隙金和晶间金为主。除少量地表氧化矿外,矿石的可浮选性好,属于易磨易选矿石。

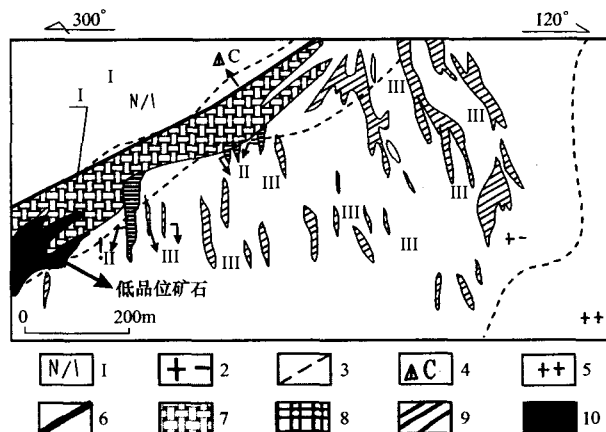


图2 焦家金矿112线地质剖面简图
(据焦家金矿储量核实报告,2005)

1—混合岩化斜长角闪岩;2—黄铁绢英岩化花岗岩;3—岩性界线;4—黄铁绢英碎裂岩;5—黑云母花岗岩;6—主断层;7—I矿体;8—II矿体;9—III矿体;10—低品位矿体

2 焦家金矿资源利用状况

焦家金矿是我国大型金矿床之一,1975年基建,1980年投产,目前设计生产能力1450 t/d,实际生产能力1600 t/d,经过25年的开采,截至2005年底,矿床累计探明储量为1346万t(矿石量),金属量62.10 t,品位 4.61×10^{-6} ;累计消耗矿石量749万t,金属量38.17 t,品位 5.09×10^{-6} 。矿床开发过程中(1980~1995年),最大的变化为地质品位呈现较大幅度负变(19.5%~46%)^①,给矿山达产带来了很大影响。多年来,矿山通过不断扩大生产规模(500t/d→750 t/d→1200 t/d→1450 t/d),降低矿床工业指标[3×10^{-6} , 5×10^{-6} , 8×10^{-6} (边界品位、块段最低工业品位、矿区最低工业品位)→ 1.5×10^{-6} , 3.5×10^{-6} , 5.0×10^{-6} (边界品位、块段最低工业品位、矿区最低工业品位)]^{②③},积极投入地质探矿,大幅度增加资源储量等多种途径,从而保证了矿山企业持续稳定发展。

截至2005年底,矿山保有储量为567万t(矿石量),金属量23.19 t,品位 4.08×10^{-6} ;尽管从1999年以来,由于地质探矿成效显著,保有矿量没有减少,但品位负变严重。保有储量中,扣除保安矿柱55万t,可采储量为512万t(矿石量),金属量20.95 t,品位 4.09×10^{-6} ,可采系数为86.5%;按照每年49.3万t的生产规模计算,服务年限为10年,实际稳产期为5年左右^④。

② 张顺堂. 投入产出分析在焦家金矿经营参数优化中的应用,1996.

③ 贾水库. 焦家金矿主要经营参数及经济活动的分析研究,1997.

④ 山东黄金集团矿业股份有限公司焦家金矿. 山东省莱州市焦家金矿资源潜力调查报告,2005.

目前,矿山生产中段中,1994年投入残采的-70m以上残采中段残留矿量仅能服务2~3年;-110m中段、-150m中段已经进入收尾阶段,主矿体仅为北翼探矿新增矿量,3[#]脉也仅剩余30%左右;-190m、-230m、-270m三个中段为主采中段,-190m中段已经回采过半,-230m、-270m两个中段则全面投入了回采生产。

-190m、-230m、-270m三个中段的出矿量从2004年开始明显加大,这主要是因为-110m中段、-150m中段已经仅剩底柱出矿量有限所致。另外,从焦家金矿历年品位变化来看,品位逐年降低已是非常明显。

因此,不断寻找和利用新的资源,并通过多种途径不断增加矿山资源储备成为矿山企业的当务之急。

3 焦家金矿低品位利用的低品位下限确定

假如国家鼓励矿山进行低品位开采,免征各种税费,则矿山利用1t低品位矿石的净受益 E_1 ^[12-13]为:

$$E_1 = \alpha \varepsilon (1 - \gamma) K_{11} + R_{01} - C \quad (1)$$

式中: α —低品位矿石品位(10^{-6}); ε —选矿金属回收率(%); γ —开采贫化率(%); K_{11} —精矿中金属的当前价格(元/g); R_{01} —1t低品位矿的综合回收益; C —开采1t低品位矿的成本。

低品位矿利用的选矿回收率与入选品位的函数关系可根据选矿厂日报表数据,用数量统计方法来确定,一般呈线性关系:

$$\varepsilon = a + b\alpha \quad (2)$$

把(2)式代入(1)式可得:

$$E_1 = \alpha(a + b\alpha)(1 - \gamma)K_{11} + R_{01} - C \quad (3)$$

由于焦家金矿选厂是满负荷生产,选厂处于生产能力饱和,低品位矿的利用将占据高品位矿(以矿床平均品位计算)利用的生产指标,从而延长矿山的服役年限。如果不考虑资金的时间价值,则矿石的生产成本 C (这里生产成本为采矿、选矿、冶炼、提升的直接成本,对于开拓、采准以及备采等费用,低品位矿石不分摊,因为它们是沉没成本)为:

$$C = X + K \quad (4)$$

式中: C —低品位矿石的直接生产成本; X —选冶的直接成本(选矿、冶炼等); K —采矿的直接成本(回采、运输、提升、通风等)。

(4)式代入(3)式后,得:

$$E_1 = \alpha(a + b\alpha)(1 - \gamma)K_{11} + R_{01} - (X + K) \quad (5)$$

对于求低品位下限,只要 E_1 为0即可,故:

$$\alpha(a + b\alpha)(1 - \gamma)K_{11} + R_{01} - (X + K) = 0 \quad (6)$$

焦家金矿参数数据^⑤如下: $a = 0.960\ 507$; $b = 0.000\ 212$; $\gamma = 6.48\%$; $K_{11} = 157$ 元/g; $R_{01} = 0$; $X = 77$ 元/t; $K = 73.6$ 元/t。(K_{11} 来自2005年9月—2006年5月国际金价月平均值; R_{01} 焦家金矿每吨低品位矿中的银的价值忽略;采矿和选矿成本来自内部财务统计报表)。

经(6)式计算可得焦家金矿的低品位下限值 α 为 $1.067\ 623 \times 10^{-6}$ 。随着黄金价格的上涨(2006年5月29日,国际黄金交易价格为168.13元/g),低品位下限值还有下降的空间。所以焦家金矿实际低品位开采中采用了 1.00×10^{-6} 作为下限值。

4 焦家金矿低品位资源估算

4.1 低品位矿化体资源量的地质特征、估算范围及指标

同I号主矿体一样,低品位矿化体位于主断裂面下盘的构造蚀变带内,主要受断裂蚀变带控制,围岩蚀变主要为黄铁绢英岩化,蚀变岩主要为黄铁绢英岩质碎裂岩。

分布范围为70~128线,-270~-140m标高,主要分布于I号主矿体内部及下盘,其中-190m中段主要分布在I号主矿体下盘,而-230m、-270m中段主要分布在I号主矿体内部,而下盘次之。

低品位矿化体走向、倾向与I号主矿体基本一致,走向NE10°~35°,倾向NW,倾角25°~50°,往上、靠下盘倾角变陡。低品位矿化体走向长735~855m,水平厚度1~30m,平均水平厚度9.3m,厚度变化较大,其中-190m中段水平厚度1~17m,平均水平厚度6m;-230m中段水平厚度1~22m,平均水平厚度10m;-270m中段水平厚度1~30m,平均水平厚度12m。低品位矿化体呈透镜状、脉状或似层状产出,沿走向及倾向膨胀、狭缩、分支复合现象显著,总体上中部偏南92~116线间矿化体厚大,两头92线以北及116线以南相对变薄,其中-190m中段100线规模最大,平均水平厚度为17m,次为72、78、98、104、110、118线,平均水平厚度为14~7.5m;-230m中段114、112线规模最大,平均水平厚度22~19m,次为94、106、120、108、96、110、118线,平均水平厚度17~14m;-270m中段98、106线规模最大,平均水平厚度30~27m,次为92、96、112、100、114、102线,平均水平厚度24~15m。由上往下,低品位矿化体水平厚度逐渐增大。

低品位矿化体单个样品品位 $0.2 \times 10^{-6} \sim 5.5$

⑤ 焦家金矿内部财务统计报表。

$\times 10^{-6}$, 以 $0.8 \times 10^{-6} \sim 1.3 \times 10^{-6}$ 居多, 平均 1.15×10^{-6} , 其中, -190m 中段平均品位 1.28×10^{-6} , -230m 中段平均品位 1.12×10^{-6} , -270m 中段平均品位 1.10×10^{-6} 。由上往下, 低品位矿化体品位逐渐降低。

焦家金矿自 1983 年国家黄金局下发第 0343 号文以后, 一直执行边界品位为 1.5×10^{-6} , 块段工业品位为 3.5×10^{-6} 等工业指标。该次低品位资源量主要是计算 -190m 、 -230m 、 -270m 三个主采中段 I 号主矿体目前保有储量的范围内, 表内和表外矿体之外的控制品位指标为 $1.0 \times 10^{-6} \sim 1.50 \times 10^{-6}$ 部分的低品位矿化体, 勘探线范围为 70~128 线, 标高范围为 $-140 \sim -270\text{m}$ 。

低品位矿化体边界品位指标为 1.0×10^{-6} , 其他指标未作要求。估算范围选择同时遵循以下原则: 一是分布在 I 号主矿体内部; 二是分布在 I 号主矿体下盘; 三是已经形成开拓、采准及回采工程, 具备与主矿体同时回采的便利条件。

估算方法采用垂直断面法。

样品主要依据坑道工程取样化验的结果, 考虑到坑内钻取样的代表性以及 I 号主矿体由上往下分支增多、品位降低的特点, 坑内钻孔的取样品位结果作为参考依据。

根据国土资源部行业标准《(DZ/T0205-2002) 岩金矿地质勘察规范》中资源/储量分类标准, 该次估算的 I 号主矿体低品位资源量, 为探明的(可研)次边际经济资源量类型(2S11)。

4.2 资源量估算结果

-190m 、 -230m 、 -270m 三个主采中段 I 号主矿体 $1.0 \times 10^{-6} \sim 1.50 \times 10^{-6}$ 低品位矿化体的资源量估算结果为 226.38 万 t(矿石量), 金金属量 2600.86kg, 平均品位 1.15×10^{-6} , 其中 -190m 中段矿石量 49.76 万 t, 金金属量 638.09kg, 平均品位 1.28×10^{-6} ; -230m 中段矿石量 81.62 万 t, 金金属量 914.57kg, 平均品位 1.12×10^{-6} ; -270m 中段矿石量 95.00 万 t, 金金属量 1048.20kg, 平均品位 1.10×10^{-6} 。由上往下, 矿石量逐渐增加, 而品位逐渐降低。 -190m 、 -230m 、 -270m 三个主采中段增加低品位矿化体资源量后, 2005 年末预计保有资源储量为 567 万 t(矿石量), 金金属量 16 036kg, 平均品位 2.83×10^{-6} 。矿石量增加 226 万 t, 增加幅度为 66.5%; 金金属量增加 2601kg, 增加幅度为 19.4%; 平均品位由 3.94×10^{-6} 降到 2.83×10^{-6} , 下降幅度为 28.3%; 低品位资源量所占比例为矿石量 39.9%, 金属量 16.2%。具体见表 1。

表 1 焦家金矿主采中段 2005 年末预计资源储量变动表

中段号 脉号	保有表内+表外储量			低品位资源量			保有储量+低品位资源量			低品位资源量所占比例	矿石量增加幅度	品位下降幅度	金属量增加幅度
	矿石量	品位	金属量	矿石量	品位	金属量	矿石量	品位	金属量				
-190m I	968 000	4.35	4 208.00	497 627	1.28	638.09	1 465 627	3.31	4 846.09	34.0	51.4	23.9	15.2
	199 000	4.33	861.00				199 000	4.33	861.00				
	Σ	1 167 000	4.34	5 069.00	497 627	1.28	638.09	1 664 627	3.43	5 707.09	29.9	42.6	12.6
-230m I	1 150 000	3.75	4 309.00	816 180	1.12	914.57	1 966 180	2.66	5 223.57	41.5	71.0	29.1	21.2
	112 800	3.95	445.00				112 800	3.95	445.00				
	Σ	1 262 800	3.76	4 754.00	816 180	1.12	914.57	2 078 980	2.73	5 668.57	39.3	64.6	19.2
-270m I	976 000	3.70	3 612.00	950 005	1.10	1 048.2	1 926 005	2.42	4 660.20	49.3	97.3	34.6	29.0
	III												
	Σ	976 000	3.70	3 612.00	950 005	1.10	1 048.2	1 926 005	2.42	4 660.20	49.3	97.3	29.0
合计 I	3 094 000	3.92	12 129.00	2 263 812	1.15	2 600.86	5 357 812	2.75	14 729.86	42.3	73.2	29.9	21.4
	III	311 800	4.19	1 306.00			311 800	4.19	1 306.00				
	Σ	3 405 800	3.94	13 435.00	2 263 812	1.15	2 600.86	5 669 612	2.83	16 035.86	39.9	66.5	19.4

注: 据焦家金矿 2005 年地质资料计算、整理; 矿石量单位为 t, 金属量单位为 kg, 品位单位为 10^{-6} , 其他为%。

从上述低品位矿化体资源赋存情况看, 以坑探工程控制为主, 这些坑探工程现保存基本完好, 而且这些资源绝大部分在现有采场的控制范围之内, 几乎不需要投入采准工程, 可以在回采采场矿体的同时兼并回采即可, 这些资源的一小部分在主矿体的两翼, 但利用已有的坑探巷道, 再补充少量的采准工程即具备回采条件。

目前, 矿井下生产中段主要为 -190m 、 -230m 、 -270m 三个中段, 特别是 -230m 、 -270m 两个中段

现在都在第一分段回采, 对兼顾回采这些低品位矿化体资源是良好时机, 否则随着采场逐层回采, 一些采准工程逐步报废回填, 以后再重新开掘采准工程并回采, 既不经济且回采条件恶劣。同时越早进行回采这些资源, 则可多回收资源, 资源回收率越高, 否则随着时间的推移, 资源回收率越来越低。因此, 从技术角度看, 兼顾回采这些低品位矿化体资源的条件已具备。

由于绝大部分低品位矿化体资源在现有采场的

控制范围之内,且其稳固程度、赋存状态及地质特征与I号主矿体基本一致,因此,回采方法不变,即机械化上向进路尾砂胶结充填采矿法,在回采采场矿体的同时兼并回采。

5 低品位资源量价值评估

-190m、-230m、-270m三个主采中段增加低品位矿化体资源量后,矿石量增加226万t,增加幅度为66.5%;金金属量增加2601kg,增加幅度为19.40%,三个主采中段保有的资源储量有了大幅度提高。

该次重评估算的I号主矿体低品位资源量,按照综合回收率92.5%、金销售价格157元/g计算,潜在工业价值近4亿元;按照损失率10%、贫化率10%、年生产能力49.5万t计算,延长矿山服务年限4.5年。总体上看,社会效益和经济效益显著。

6 结 论

1) 在国家免征开发利用低品位资源各种税费的基础上,以及在不计算资金时间价值的情况下,计算出了焦家金矿低品位资源的开发利用下限,为 1.067×10^{-6} 。由于黄金价格仍有升值的空间,焦家金矿选择 1.00×10^{-6} 作为低品位资源开发利用的下限。

2) 利用原工业指标的边界品位 1.50×10^{-6} 和低品位下限 1.00×10^{-6} ,对-190m、-230m、-270m三个主采中段I号主矿体 $1.0 \times 10^{-6} \sim 1.50 \times 10^{-6}$ 低品位矿化体的资源量进行了估算,其结果为矿石量226.38万t,金金属量2600.86kg,平均品位 1.15×10^{-6} 。

3) 根据焦家金矿的实际情况,低品位矿石资源

的利用具有一定的可行性。

4) 低品位矿石的利用不仅有直接的经济效益,还有提高资源利用率、减少环境污染、实现矿山可持续发展、可延长矿山服务年限4.5年等社会效益。

5) 随着黄金价格的持续走高,低品位开发利用的下限还有进一步调低的可能。

[参考文献]

- [1] 谢英亮,向鹏成. 矿山低品位矿利用的技术经济分析[J]. 中国资源综合利用,2001,12:13.
- [2] 侯晓东,孙爱祥. 低品位矿石综合利用问题探讨[J]. 有色金属矿产与勘查,1999,8(4):241-245.
- [3] 谢英亮,李 玉. 矿山表外矿利用的临界品位分析模型[J]. 矿产保护与利用,2000,2:1-4.
- [4] 谢英亮,刘位明. 露天表外矿利用的技术经济分析模型[J]. 中国矿业,1996,5(4):71-84.
- [5] 陈希廉,曹乐农,黄凤吟. 论黄金矿床品位指标及其合理制订[J]. 矿床地质,1994,12(4):27-32.
- [6] 谢英亮. 低品位矿石利用的经济分析[J]. 中国有色金属学报,1997,7(4):190.
- [7] 张顺堂. 金属矿山经营参数动态优化综合模型研究[J]. 矿业研究与开发,2005,25(3):5-8.
- [8] 海跃华,何 崎. 七宝山金矿合理边际品位的研究[J]. 矿冶工程,1994,14(1).
- [9] 许仕贞. 对制定矿床工业指标的几点看法[J]. 有色冶金设计与研究,1996,17(2):1-5.
- [10] 池顺都,刘治国,朱建东. 矿床工业指标优化时的品位统计分析及方案法结果的预测[J]. 地质与勘探,2003,39(2):81-84.
- [11] 张福璞,文子中. 山东焦家式金矿地质[M]. 济南:山东科学技术出版社,1996.
- [12] 高 阳,谢英亮. 矿山低品位矿利用经济分析模型与应用[J]. 金属矿山,2004,3.
- [13] 谢英亮,向鹏成. 矿山低品位矿利用的技术经济分析[J]. 中国资源综合利用,2001(12).

EXPLOITATION AND UTILIZATION OF THE LOW GRADE ORES IN THE FOOTWALL OF 1[#] VEIN OF THE PRIMARY MINERAL MASS, JIAOJIA GOLD MINE

ZHANG Rui¹, ZHENG Xiao-li², LIN Jian-hua¹, ZHAO Rong-xin²

(1. Key Lab of High-Efficiency Mining and Safety of Metal Mines, Ministry of Education, Beijing University of Science and Technology, Beijing 100083;

2. Jiaojia Gold Mine, Shandong Gold Group Co. Ltd., Laizhou 261441)

Abstract: Jiaojia gold mine, discovered in 1960s, is an old mine. Along with increase of mining depth and intensity, ensured reserves are shortage. As gold price continually raises, Jiaojia gold mine put forward a project to exploit and use low grade ores. By self-cost and revenue comparison method, inferior limit of low grade ores is calculated as 1.067×10^{-6} . In the range of $1.00 \times 10^{-6} \sim 1.50 \times 10^{-6}$, estimated ore resources are 2.2638 millions tons with 2600.86kg gold and average gold grade 1.15×10^{-6} . The estimated ore resources can prolong 4.5 years mining time for Jiaojia gold mine.

Key words: Jiaojia gold mine, self-cost and revenue comparison method, low grade, full utilization of resource