

岩金矿山低品位资源开发利用实践

李国清^{1,2},王培月²,赵仁恺²

(1. 北京科技大学土木与环境工程学院; 2. 山东黄金矿业股份有限公司)

摘要:以山东黄金的骨干矿山为工程背景,建立了以级差边际品位为核心的盈亏平衡模型,对不同工程控制下的低品位资源进行评估,分析计算级差边际品位,研究制定开发利用方案。研究结果在矿山实施后,大幅增加了矿山的可利用资源储量,对延长矿山服务年限、增加企业经济及社会效益具有重要意义。

关键词:岩金矿山; 低品位资源; 级差品位; 边际品位

中图分类号:TD 853 文献标志码:B 文章编号:1001-1277(2011)06-0029-04

0 引 言

对于生产矿山,增加矿山资源储备的途径有 3 个方面:一是通过地质探矿来探获新增储量;二是通过降低采矿损失率、提高回采率,减少资源的损失和浪费;三是通过回收利用矿床工业指标外的低品位资源量来达到新增资源储量的目的^[1]。山东黄金集团有限公司(下简称山东黄金)一直采用计划经济时期所确定的矿床工业指标指导矿山开采,随着生产的推进和生产规模的扩大,多数矿山原有工业指标下的资源储量消耗很快,与此同时,随着开采系统的形成、黄金价格的攀升以及矿山生产技术进步所带来的成本下降,使低品位资源有了不同程度的利用价值。在这种情况下,充分利用已探明的储量资源、大规模地利用低品位资源则成为解决矿山资源瓶颈问题的重要手段。针对这一现状,山东黄金对其下属的焦家金矿、新城金矿和三山岛金矿等核心矿山开展了低品位资源的价值评估与利用实践,取得了理想的实际应用效果。研究成果对于增加矿山资源储量,延长矿山服务年限,增加企业经济效益具有重要意义。

1 地质资源现状分析

山东黄金占有山东省超过 60 % 的黄金矿产资源,拥有焦家金矿、三山岛金矿、新城金矿等特大型“构造破碎带蚀变岩型金矿床”生产矿山,其主要特点是主矿体规模大,呈似层状产出,矿体形态比较简单,矿体产状较缓并比较稳定,矿化连续性比较好;矿化蚀变带厚大,矿化呈现渐变特点,从蚀变带中心向外围,矿体品位逐渐降低;低品位资源发育丰富,资源潜力巨大。

目前,上述 3 个矿山均已经建矿 30 多年,消耗资源储量过多半,同时各矿山在开采过程中面临着如下问题:

1) 现行的矿床工业指标较高,各矿山均存在一定数量的低品位资源。山东黄金下属焦家金矿、三山岛金矿、新城金矿 3 个矿山现行的矿床工业指标如表 1 所示,这样的指标导致主矿体下盘存在一些技术上可以回收的低品位矿石,再者正在回采或尚未回采的主矿体内部和上、下盘也赋存规模较大、地质品位相对较低的矿化体资源,矿山对这些区域的低品位矿化体没有进行过系统地回收。因此各矿山都保有一定数量品位 1.5×10^{-6} 以下的低品位资源。

表 1 现行矿床工业指标 10^{-6}

指标名称	焦家金矿	三山岛金矿	新城金矿
边界品位	1.5	2.0	2.0
工业品位	3.5	3.5	3.0

2) 生产规模的快速增加使地质资源消耗过快。随着山东黄金的快速发展,矿山生产规模不断扩大,消耗地质资源大幅度上升,探矿增储空间越来越小,保有资源储量不断减少,资源问题已成为实现矿山跨越式发展的最大瓶颈。如何探求更多的黄金资源,或如何利用具有潜在价值的低品位资源,来满足不断扩大的生产需求,成为山东黄金迫切需要解决的问题。

3) 地质品位负变严重。随着开采深度的增加,各矿山的地质品位呈现较大幅度负变(19.5 % ~ 46 %),如图 1 所示,且矿体分支复合现象增加,焦家金矿、新城金矿的入选品位由建矿初期 6.0×10^{-6} 、 6.56×10^{-6} 左右降至目前的 3.0×10^{-6} 、 2.97×10^{-6} ,下降幅度达 50 % 以上。因此在现有市场条件下,为解决资源问题,必须对低品位资源进行重新评估,以

收稿日期:2011-02-28

作者简介:李国清(1973—),女,讲师,博士,山东黄金集团在站博士后,主要从事矿业经济方面的教学与研究工作;北京市海淀区学院路 30 号,北京科技大学土木与环境工程学院资源工程系,100083

保证低品位资源利用的经济合理性。

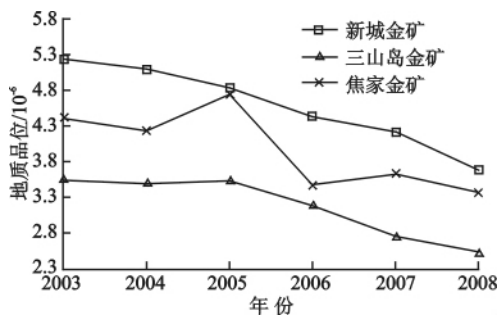


图1 矿山地质品位负变状况

4) 低品位资源的开采时机问题。针对山东黄金下属矿山的实际情况,有些区段内的低品位资源的开采可充分利用现有工程,无需新增大量工程,这是兼顾回采这些低品位资源的良好时机。同时各矿山生产规模的日益扩大,会造成生产中段下降速度加快,中段服务年限不断减少,低品位资源利用的有利时机加快消失。即随着采场逐层回采,一些采准工程逐步报废回填后,需要重新开掘工程才能实现低品位资源的回收利用,在经济上、安全保证和技术上变得不可行。因而,应抓住目前经济上黄金价格高位振荡、技术上具备回收条件的有利时机,尽可能多地回采利用低品位矿石资源。

2 以级差边际品位为核心的低品位资源价值评估

2.1 矿石价值的阶段性与级差边际品位
本文通过建立级差边际品位指标体系来评估矿石价值。目前,各矿山矿石综合成本一般在 300 元/t 左右,在此条件下,正常回采品位 1.5×10^{-6} 以下的低品位资源肯定是不合理的。但是,这些低品位资源均处在不同的工程控制之下,大部分都已完成了开拓、采准工程,只要做一些简单的准备工作即可进行回采,其利用成本可大幅度降低。在金价一定、矿山生产能力富余的情况下,低品位资源和工业指标内的矿量一同采出(顺采),是完全可行的。因而对于不同工程控制之下的矿石,其最低可采品位是一个阶段降低的序列,这就是级差边际品位。

由此可见,级差边际品位的核心,是地下金属矿山在生产过程中,随着井下工程的逐步形成而使矿石产生了阶段性增值,因而需要动态评价处于不同工程控制下的矿产资源价值^[2]。由于开采低品位矿石的边际投入减少,因而处于某一工程阶段下的地质资源,只要其开采收益可以补偿后续的资金投入和劳动消耗,即认为其具备开采价值,这时的临界品位,即为本生产阶段下的级差品位。

2.2 级差边际品位的计算模型

基于级差边际品位的低品位矿石综合利用的核心,在于级差边际品位的计算,这需要根据矿山在不同生产阶段的投入,建立数学模型来实现。本文采用扣除前序费用后的盈亏平衡理论建立级差边际品位,即某阶段的地质矿量加工成最终的产品价值不小于其开采与加工总成本费用,将其作为矿石开采就能获得正利润,即能使矿山企业的总盈利增加,此时计算出的品位为此阶段的最低边际品位^[3-4]。计算公式如下:

$$G(1-\rho)\varepsilon_f\varepsilon_q\varepsilon_yP=C \tag{1}$$

式中: G 为边际品位(10^{-6}); C 为吨矿(采选冶)可变成本(元/t); ρ 为矿石贫化率(%); ε_f 为浮选回收率(%); ε_q 为氰化回收率(%); ε_y 为冶炼回收率(%); P 为黄金销售价格(元/g)。

在影响低品位矿石开发的因素中,黄金价格不受企业控制,除了改善采选技术经济指标外,最主要的影响因素是矿石综合成本。而生产成本与矿石所处的开采阶段、市场经济条件、矿山生产能力、开采方法等密切相关。在此重点研究开采阶段对生产成本的影响,即处于不同开采阶段的矿石,所对应的待投入成本是不同的,称为级差成本,其计算公式如下:

$$C_k = \sum_{i=k}^7 m_i \quad k=1,2,3 \tag{2}$$

式中: C_k ($k=1,2,3$) 分别为由开拓、采准、回采不同阶段的矿石生产出最终产品所需的费用,即 3 种工程控制下的级差成本(元/t); m_i 为第 i 项作业成本(元/t)。

级差成本构成如表 2 所示。

表2 级差成本构成							元/t
阶段	开拓成本 m_1	采准成本 m_2	回采成本 m_3	运输提升成本 m_4	充填成本 m_5	选冶成本 m_6	其他费用 m_7
开拓 C_1	√	√	√	√	√	√	√
采准 C_2	—	√	√	√	√	√	√
回采 C_3	—	—	√	√	√	√	√

注: √表示处于此工程阶段时,相应的 m_i 计入此阶段的级差成本; —表示处于此工程阶段时,相应的 m_i 不计入此阶段的级差成本; 其他费用 m_7 包括资源税、资源补偿费、安全费等。

将式(2)代入式(1),即得:

$$G_k(1-\rho)\varepsilon_f\varepsilon_q\varepsilon_yP = \sum_{i=k}^7 m_i \quad k=1,2,3 \tag{3}$$

在矿石贫化率 ρ 、浮选回收率 ε_f 、氰化回收率 ε_q 、冶炼回收率 ε_y 、黄金价格 P 和各工序成本费用 m_i 已知的情况下,令 k 分别等于 1,2 和 3,即可计算出采切边际品位 G_1 、回采边际品位 G_2 和入选边际品位 G_3 ,形成不同工程控制下递减的级差边际品位序列。

2.3 级差品位计算结果

进行级差品位指标的计算,需要收集矿山近几年

的生产数据和财务成本数据,进行生产技术指标的统计分析和财务成本数据分析分解。本次计算对各矿山 2005 至 2009 年的生产统计数据 and 财务成本数据进行了分析分解,得出了计算所需的级差成本指标和生产技术指标。最终通过式(3) 计算得出各矿山的级差品位,如表 3 所示。

表 3 级差品位计算结果

黄金价格/ (元·g ⁻¹)	焦家金矿/10 ⁻⁶			三山岛金矿/10 ⁻⁶			新城金矿/10 ⁻⁶		
	G ₁	G ₂	G ₃	G ₁	G ₂	G ₃	G ₁	G ₂	G ₃
140	1.33	1.25	0.57	1.31	1.12	0.54	1.35	1.19	0.57
160	1.15	1.09	0.50	1.14	0.98	0.48	1.16	1.02	0.49
180	1.02	0.96	0.45	1.02	0.88	0.44	1.02	0.90	0.43
200	0.92	0.87	0.41	0.92	0.79	0.40	0.91	0.80	0.39
220	0.84	0.79	0.37	0.84	0.73	0.37	0.82	0.72	0.35
240	0.77	0.73	0.35	0.78	0.67	0.35	0.75	0.66	0.32
260	0.71	0.67	0.33	0.72	0.63	0.33	0.69	0.60	0.29

在上述的级差边际品位指标中,采切边际品位与回采边际品位之间的差别是需要进行部分的工程投入,具体的布置情况需要结合原有的采准、探矿等工程的实际情况进行;回采边际品位具体是指回采、运输提升至地表,直至进入选矿环节,在经济上正好盈亏平衡的矿石品位;与入选边际品位相比,回采边际品位需要回采、运输提升的成本投入。由此可见,在实际应用中,最有利用价值、也最可能进行回收的低品位资源,大部分是高于回采边际品位,但低于现行边界品位的低品位矿化体,即采用回采边际品位作为低品位资源利用的临界品位。不同黄金价格下各矿的回采边际品位见图 2。

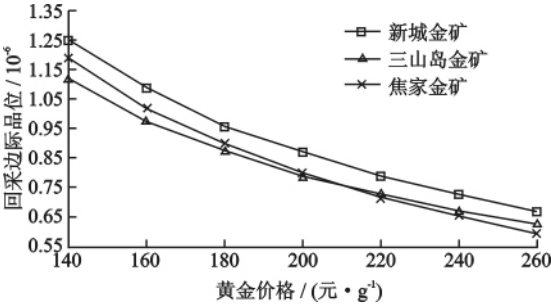


图 2 不同黄金价格下的回采边际品位

3 基于级差边际品位的低品位资源利用实践

3.1 低品位资源开发利用技术方案

级差边际品位的计算结果说明了低品位资源利用在经济上的可行性。山东黄金在利用此结果开展低品位资源利用实践时,借助可视化的三维矿床经济模型,根据计算得出的级差边际品位,迅速完成储量计算并给出分布情况,并结合不同分布地点的工程实际,分析新增低品位资源的开采可行性,最终达到指导生产的目的。

由于级差边际品位的核心理念是基于生产的阶段性,即矿产资源的工程控制程度,属于品位指标的局部优化,因此结合各中段的具体工程进展,对低品位资源进行归类,根据低品位资源的赋存状态、所处位置、工程控制情况的不同,分别针对以下 4 种情况展开利用实践:

- 1) 已回采结束中段的下盘低品位资源。
- 2) 正在回采中段的低品位资源。
- 3) 尚未开始回采中段的低品位资源。
- 4) 独立矿体的低品位资源。

在确定低品位资源的种类以及分布于哪一个工程控制范围基础上,针对具体中段、具体位置进行采矿优化设计,其过程如图 3 所示。

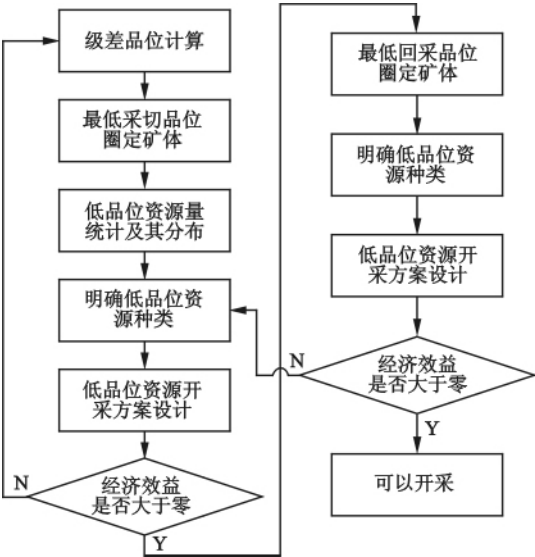


图 3 低品位资源利用的技术方案

在具体的应用实践中,基于统计形成的低品位矿石量,选定各类低品位资源具有代表性的矿段、盘区设计回采方案,再对低品位矿体开采的经济技术指标

进行整理,然后采用类比法,进行推广应用,结合市场经济条件,对低品位矿体的回采利用技术进行综合分析、评价,指导其他中段低品位资源的开采实践工作。

3.2 可利用低品位资源统计

根据图 3 中所确定的设计思路,采用 200 元/g 黄金价格对 3 个矿山各中段水平下所分布的低品位

矿石进行开采方案设计。同时考虑到矿山企业的生产实际,在具体的生产控制过程中,不可能精确按照计算得出的品位组织生产,因此将品位进行整数化处理。得出山东黄金各矿山低品位资源的分布及可利用情况如表 4 所示。

表 4 低品位资源分布及可利用储量

矿 山	低品位范围/ 10^{-6}	地质储量/万 t	平均品位/ 10^{-6}	金属量/kg	采出矿量/万 t	采出矿石品位/ 10^{-6}	采出金属量/kg
焦家金矿	0.8~1.5	761	1.33	10 115	678.6	1.27	8 638.9
新城金矿	0.8~2.0	634	1.45	9 176	512.4	1.31	6 725.7
三山岛金矿	0.8~2.0	589	1.68	9 908	514	1.57	8 063
合计		1 984	1.47	29 199	1 705	1.37	23 428

3.3 低品位资源利用效益分析

针对各矿山的特点,以 Gemcom 国际矿业软件公司的 Surpac 矿业软件和东方矿产资源评估系统(北京中东方矿业开发科技有限公司)为平台,根据级差边际品位优化结果与三维矿床模型相结合,快速计算统计低品位矿石量,并直观地显示出低品位资源的分布情况,3 个矿山共获得低品位储量 1 984 万 t,金属量 29.2 t。

依据级差边际品位的核心理念对矿山各种类型的低品位矿石进行采矿技术方案优化设计,得出各矿山总共可采出低品位矿石 1 696 万 t,采出金属量 23.2 t,在只考虑直接成本的情况下可获得静态利润 164 370 万元,当考虑部分制造费用(如折旧费、修理费、机物料消耗等费用)的情况下可获得静态利润 85 489 万元,具体效益如表 5 所示。

表 5 低品位资源利用效益估算表

矿 山	采出矿量/万 t	采出矿石品位/ 10^{-6}	采出金属量/kg	只考虑采选直接成本的利润/万元	考虑部分制造费用利润/万元
焦家金矿	679	1.27	8 639	47 049	22 419
三山岛金矿	505	1.56	7 881	69 172	40 049
新城金矿	512	1.31	6 726	48 149	23 021
合计	1 696	1.37	23 245	164 370	85 489

低品位资源的利用为企业带来潜在经济效益的同时,也延长了矿山服务年限,具有显著的社会效益。按 2008 年各矿山的实际生产能力计算,依据设计得出的可采出低品位矿石量,可使焦家金矿、新城金矿和三山岛金矿的服务年限分别延长 4 年、5 年和 4 年。

3.4 低品位资源的开发利用实践

根据研究结果,山东黄金于 2007 年开始采用级

差边际品位来指导各个矿山的开采实践,降低新增采场的工业品位,对正在回采的采场采用“顺采”方式充分回收低品位矿石,同时采用技术与经济手段降低低品位矿石利用对于生产指标的影响,取得了良好的经济效益。2007 至 2009 年低品位资源利用情况如表 6 所示。

表 6 低品位资源利用实践

年份	总出矿量			利用低品位矿石量			所占比例/%	
	矿石量/万 t	品位/ 10^{-6}	金属量/kg	矿石量/万 t	平均品位/ 10^{-6}	金属量/kg	矿石量	金属量
2007	509.40	3.04	15 491	82.72	1.19	984	16.24	6.35
2008	645.08	2.60	16 777	151.85	1.41	2 141	23.54	12.76
2009	741.97	2.41	17 867	149.50	1.39	2 078	20.15	11.63
合计	1 896.43	2.64	50 135	384.05	1.36	5 223	20.25	10.42

(下转第 38 页)

控制系统实现对 5 台主排水泵的“避峰填谷”和自动轮询开停控制,同时实现了本地/集中/远程 3 控制模式的无扰切换,在地表调度监控中心可以对井下中央水泵房排水系统实现数字化远程遥测、遥信、遥控,做到了现场无人值守(初期由 18 人减少到 9 人,后期实现无人值守),为矿山减员增效、提升矿山的安全生产水平、装备自动化水平、数字化矿山水平奠定了可靠基础。

4 结 语

井下中央排水自动化系统于 2009 年被集成进

入焦家金矿数字化矿山一体化监控平台(ICV)系统,可以实时的采集、存储和查询井下中央排水系统的运行参数,在调度监控中心可以实现时、动态地了解各水泵运行参数和运行状态,方便、快捷地调度水泵的运行模式,大大缩短了各数据汇集和反馈时间,提高了工作效率和管理效益,对矿山生产组织和调度决策起到了积极的作用。该系统建成至今,运行稳定,安全可靠,节电、减员、自动化、数字化效果显著,在金属非金属矿山具有广泛的推广意义。

Development and application of underground central drainage automatization system in Jiaojia gold mine

Yin Guoyou¹, Wang Haibo¹, Zhu Rilai², Lü Xujun², Sui Yongdong², Qi Keming², Zhang Wei²

(1. Shandong Gold Group Co., Ltd.; 2. Jiaojia Gold Mine, Shandong Gold Mining Industry Co., Ltd. (Laizhou))

Abstract: The safe and high-efficiency running of underground main drainage system relates to the safety of mining system and workers. The automatic monitoring system controlled by computers, which replaces the traditional artificial relay system, can realize remote and unattended control. It can not only enhance the safety, reliability and automatization level of underground main drainage system, but also reduce working members and increases efficiency. It is the developing trend of informatization, intellectualization and digitalization in modern mines. The paper introduces the components, main functions and characteristics of underground drainage automatization system in Jiaojia gold mine. Its application shows that the parameters collection is convenient, the continuous running is reliable, the working efficiency is high and the automatic management level is enhanced.

Keywords: underground drainage; automatic monitoring; unattended; Jiaojia gold mine

(编辑: 邢万芳)

(上接第 32 页)

4 结 论

低品位资源是矿山的宝贵财富,合理的加以利用是增加矿山资源储备的重要途径。以级差边际品位为核心建立盈亏平衡模型来对低品位资源进行评估,研究是否具有利用价值,是一个行之有效的方法。山东黄金的应用实践表明,低品位资源的回收利用,对降低中段下降速度、提高矿产资源的利用率、延长矿山服务年限具有重要意义。从 2010 年开始,研究成

果逐步在山东黄金的其他矿山推广应用,为企业扩大生产规模,解决资源危机提供了一条有效的途径。

参 考 文 献

- [1] 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): 189-191.
- [2] 陈玉民, 胡乃联, 郑小礼, 等. 黄金矿山低品位资源技术经济评价与应用 [J]. 北京科技大学学报, 2009, 31(5): 533-535.
- [3] 周龙寿. 黄金矿山级差品位的计算与应用 [J]. 黄金科学技术, 1998, 6(4): 45-47.
- [4] 李克庆, 贾水库, 刘保顺, 等. 有色金属矿山系列生产技术指标的优化 [J]. 北京科技大学学报, 2007, 29(12): 204-206.

Utilization practice of low-grade resources in rock gold mines

Li Guoqing^{1,2}, Wang Peiyue², Zhao Renkai²

1. Civil and Environmental Engineering School, University of Science and Technology Beijing;

2. Shandong Gold Mining Co., Ltd.)

Abstract: By taking differential cut-off grade as the key issue, a break-even model was built up to realize the evaluation of low-grade resources in different production stages. In the case study on the core members of Shandong Gold Group, the differential cut-off grades were calculated to establish the development and utilization plan of low-grade resources. The application of the research results brings remarkable achievements, such as increasing the available reserves, prolonging the service life of mine, as well as getting more economic and social benefits.

Keywords: rock gold mine; low-grade resource; differential grade; cut-off grade

(编辑: 邢万芳)