

矿产经济

低品位矿产资源评价问题研究——以金矿资源为例

向永生^{1,2}, 何焕学¹, 张继林²

(1. 武警黄金指挥部, 北京 100102; 2. 中金黄金股份有限公司, 天津 300457)

[摘 要] 文章在充分理解固体矿产资源储量分类的基础上, 通过分析国内外上百个资源储量 + 超过 100 t 的金及多金属矿床地质资料、开发利用现状, 提出了评价低品位金矿资源的基本依据, 总结归纳出评价低品位金矿资源的主要意义。

[关键词] 低品位 矿产资源 评价

[中图分类号] P618. 51; P624. 7 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 0495 - 5331 (2008) 03 - 0079 - 05

0 引言

随着我国经济的飞速发展, 人均 GDP 对矿产资源的依赖程度不断提高, 加上我国对矿产资源的开发强度过大, 综合利用率较低以及地质勘查难度的不断增大, 导致矿产资源可持续供给能力下降, 部分矿产资源的储量耗减速度已明显超过新探明储量的增长速度。据统计, 我国金矿资源基础储量始终维持在 1000~2000 t 之间, 而产量基本上按年均 5%~6% 的速度增长, 资源保障程度严重不足, 储量危机的矿山日渐增多^[1]。储量与产量存在着严重的供需矛盾。

为了解决金矿企业可持续发展中存在的资源“瓶颈”问题, 许多企业开始把眼光投向低品位、大吨位的金矿资源。通过加强管理、技术改造, 降低生产成本, 以便充分利用低品位的金矿资源。这不仅可以缓解矿山资源危机, 延长企业寿命, 减轻地质勘查压力, 更为深刻的是可以以此督促企业淘汰落后生产技术和工艺, 促进黄金工业整体技术水平不断提高, 实现黄金工业逐步走上新型工业化的道路。

文章通过对新的《固体矿产资源储量分类》分析研究, 结合分析国内外上百个资源储量超过 100 t 的金及多金属矿床的规模、品位、开发利用的方法手段和勘查历史等资料, 总结归纳出评价低品位金矿资源的主要意义。

1 评价低品位金矿资源的基本依据

1.1 新的《固体矿产资源 储量分类》为评价低品位金矿资源提供了理论依据

矿产资源是天然赋存于地壳内部或表面、由地质作用形成的呈固态、液态或气态的具有经济价值或潜在经济价值的富集物。由此可以看出, 不仅那些正在被人类开发利用的部分是矿产资源, 而且, 那些由于种种原因目前还不能被开发利用, 但具有一定潜在经济价值的矿化体也属矿产资源范畴。1999 年, 我国颁布执行的《固体矿产资源 储量分类》, 将矿产资源按地质勘查可靠程度划分为查明矿产资源和潜在矿产资源, 并将勘查成果分为储量和资源量两大类。资源量就是“在当前的技术经济条件下开采是不经济的或技术上不可行的, 需大幅度提高矿产品价格或技术进步, 使成本降低后方能变成经济的资源”。

通过分析固体矿产资源 储量分类和划分依据, 说明在矿床普查阶段, 勘查的目标不仅是经济资源量, 而且还应该包括边际经济和次边际经济资源量。

事实上, 在市场经济国家里早已将这部分资源纳入国家矿产资源规划的视野范围内, 政府地矿工作机构从摸清国家资源家底、开展矿产资源形势分析、制定矿产资源勘查开发政策的角度出发专门制定了矿产资源分类方案^[2]。按照经济意义将矿产资源划分为经济的、边际经济的和次边际经济的, 其

[收稿日期] 2007 - 01 - 30; **[修订日期]** 2007 - 06 - 20。

[基金项目] 国家黄金工作专项项目资助。

[第一作者简介] 向永生 (1965 年 —), 男, 2000 年毕业于北京科技大学, 获博士学位, 高级工程师, 现主要从事金矿资源评价研究及项目管理工

中边际经济和次边际经济的资源量均是当前暂不能利用的部分。世界各大矿业公司年报中对资源量的描述也充分展示了对低品位资源的重视,首先描述的是矿区整体资源量和品位,然后才描述其中可采部分的资源量和品位情况。

因此,低品位资源具有一定的潜在经济价值,已经在世界范围内引起人们高度关注。

1.2 黄金矿山资源保障程度不足促使低品位金矿资源的评价必须尽快开展

我国现有黄金矿产地 2000 多处,金矿地质资源具有大矿少、规模小、品位低、资源分散的特点。到 2002 年底,独立金矿保有储量约为 3000 t,但可采储量仅 1345 t,按年产黄金 200 t,国际资源利用率 70% 计算,这些可采储量服务年限仅 4.7 年,全国有近三分之二的黄金矿山资源危机,绝大部分矿山处于“等米下锅”的状况^[3],不少企业因资金缺乏无力开展技术革新和深部勘探而闭矿,造成了国家资产和资源的严重损失。

在全部保有储量中,难选冶金矿资源储量约占 1000 t 左右,这部分资源的开发成本和效益与开发低品位资源的成本和效益相当或略高,因此,从充分利用资源、提高资源开发效益的角度考虑,必须尽快开展“当前暂难利用的低品位、难选冶”的金矿资源的评价、利用。

1.3 “非传统矿产资源”概念的提出为低品位金矿资源的评价提供了启迪

由于矿产资源的不可再生性,传统矿产资源将随其不断消费而逐渐耗尽枯竭。人类对传统矿产资源的需求将难以为继。于是,1998 年,赵鹏大等六名中国科学院院士提出了非传统矿产资源理论,受到了国内外同行的广泛关注和响应。赵院士等人认为,非传统矿产资源的基本涵义应该是指受目前经济、技术以及环境因素的限制,尚难发现和尚未工业利用的矿产资源,以及尚未被看作矿产和尚未发现其用途的潜在矿产资源。包括两大类:一是完全尚未为人知者,二是已为人知但由于种种原因未能被开发利用者,即那些已经显示出巨大的资源潜力,但传统矿床学、资源学、矿业技术的理论和方法难以实现其资源价值的矿产资源^[4,5]。这一观点的提出,使我们可以将矿产资源的外延扩展到通常认为难以利用的但已经有了初步认识的低品位矿产资源。

1.4 矿产资源可持续开发利用理论的推动

当前,我国已进入矿产资源消费高速增长时期,重要矿产资源供需矛盾日益突出,对外依存度迅速提

高,供应不足已成为制约经济可持续发展的重大瓶颈之一。党中央国务院高度重视,强调要切实加强对重要矿产资源勘查,缓解国家经济发展的资源约束问题。为实现这一战略目标,国家提出“开展低品位铁、铜、铝土矿低成本选冶加工技术、难选冶金矿选冶技术、伴生矿有用组分分离技术等矿产综合利用技术研究,使一批难以利用的资源变成经济可采矿”的战略部署。

通过科技创新和技术改造,集约利用低品位矿石,提高资源综合利用效率,使“小矿变成大矿”、“一矿变成多矿”、“呆矿变成活矿”,从而增加矿产资源总量,保护生态环境;可以加快矿产资源替代,降低矿产资源消耗,推动我国矿产资源利用方式从粗放型向集约型转变,走资源节约型发展道路,使有限资源发挥最大的经济效益。

所有这些举措都是为了充分利用有限的矿产资源,减少对环境的污染,实现我国矿业的可持续、协调发展。其中最重要的方面就是大力加强对低品位资源的综合评价和开发利用。

1.5 技术进步使低品位金矿资源开发利用成为可能

自 20 世纪 80 年代以来,世界金矿采选技术的不断进步,使得企业生产规模不断扩大,生产成本不断降低。大规模机械化生产对金矿品位的要求越来越低,福建紫金山金矿通过采用大规模露天开采与大巷汽车井下运输坑采相结合以及破碎—洗矿—堆浸的生产工艺,使矿山生产能力达到 3 万 t/d,生产成本降至 36 元/t,将所有品位在 0.3×10^{-6} 以上的资源全部纳入了开发范围^[6]。陕西太白公司通过采用新的采矿方法,降低了采矿贫化率,适时将圈定矿体的工业指标调整为边界品位 0.8×10^{-6} ,块段最低工业品位 1.5×10^{-6} ^[7]。

1.6 黄金市场价格的持续走高使低品位金矿资源开发有利可投

自 2000 年以来,国内、国际黄金价格的不断攀升使得更多的低品位金矿资源开发有利可投。2000 年国际黄金价格仅为 279 美元/盎司,让很多黄金企业亏本运营,2005 年国际黄金价格高达 440 美元/盎司,使很多黄金企业不仅扩大已有矿山的生产规模,而且逐步向低品位、大吨位的金矿资源领域延伸。据统计,澳大利亚 42 家黄金企业平均生产成本与黄金时价相比,均有较大的利润空间进行业务拓展^[8](表 1)。按价格最低的 2001 年推算,全澳平均盈亏平衡品位仅为 0.63×10^{-6} 。我国黄金综合成

本一直低于世界平均成本,有一定竞争优势。据中国黄金协会对 1999 至 2001 年国内主要黄金企业的黄金产量、利税指标、黄金综合成本及吨矿生产成本的调查统计,1999 年主要调查统计范围内企业的黄金吨矿成本 216 元 /t; 2000 年黄金吨矿成本 193 元 /t; 2001 年吨矿成本 178 元 /t。1999 年我国

综合生产成本虽然比美国高 4 美元 /盎司,但与年均国际金价相比尚有 34 美元 /盎司的竞争空间,行业整体盈利能力较强。由此可见,在黄金价格高达 500 美元 /盎司的今天,没有理由不开发利用低品位金矿资源。

表 1 1996 - 2004 年澳大利亚黄金生产成本和价差

单位: 美元 /盎司

年 份	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
平均现金成本	293	283	225	218	188	176	194	227	273
加权平均现金成本	281	263	211	205	191	171	187	220	251
平均金价格	388	331	294	279	281	269	289	334	389
差 额	107	68	83	74	90	98	102	114	138

注:资料来源:资源网,2006 年 12 月 15 日。

2 国内外对低品位金矿资源开发利用现状及发展趋势

在一些黄金生产大国,很早就注重对一些低品位、难选冶矿石的开发研究,注重联合生产工艺和高新技术的推广应用,并且取得了很好的经济效益和社会效益。从所统计的 82 个世界资源储量超过 200t 的超大型金矿的统计结果看,通过规模生产和联合生产工艺的应用充分利用低品位金矿资源,图 1 给出了 82 个世界超大型金矿床平均品位分布情况。

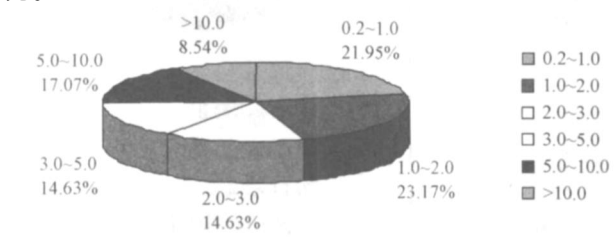


图 1 世界 82 个超大型金矿床平均品位分布情况
注:根据《信息找矿战略与勘查百例》资料统计

从图中可以看出,世界上约有约有五分之一(45.12%)的超大型金矿床平均品位不超过 2.0 ×10⁻⁶,若按中国当前一般工业指标衡量,近 75%的超大型金矿床的平均品位达不到最低品位指标要求,这些矿床的资源储量将会大幅减少,甚至变成呆矿。

所有低品位金矿资源的开发利用,主要得益于露天开采和联合生产工艺的推广应用^[7]。最具代表性的矿床属美国的麦克唐纳和郎德山两个金矿床,麦克唐纳金矿床圈定矿体采用的边界品位为

0.27 ×10⁻⁶,矿床平均品位为 0.67 ×10⁻⁶,其中可采矿石量 1.86 亿 t,平均品位 0.86 ×10⁻⁶,矿石进行露天开采,选矿工艺采取堆浸,每天生产矿石 30000t。郎德山金矿床圈定矿体的边界品位为 0.20 ×10⁻⁶,矿床平均品位是 1.34 ×10⁻⁶,其中露采 - 堆浸矿石量约 3.17 亿 t,平均品位 0.86 ×10⁻⁶,含金金属量 273t,露采 - 重选 - 浮选的硫化物矿石量约 8000 万 t,金平均品位 1.7 ×10⁻⁶,含金金属量 136t,全区各类矿石共金 414t。

从矿床发现数量与矿床平均品位随时间变化序列之间的关系看(表 2),总体趋势是随着时间的推移,所发现的矿床的平均品位逐渐降低,发现矿床的数量大幅增加。20 世纪 50 年代以前所发现的超大型矿床中,品位小于 1.0 ×10⁻⁶的矿床数只有 1 个,其余矿床的平均品位均在 3.0 ×10⁻⁶以上;60 年代、70 年代所发现的矿床中,低品位矿床的数量逐步在增加,尤其是 90 年代,所发现的超大型矿床中,小于 1.0 ×10⁻⁶的矿床数达到 11 个,占所发现矿床总数的 39.28%,小于 2.0 ×10⁻⁶的矿床数达到所发现矿床总数的 67.85%。可见,随着地质工作程度的逐步增高,地表矿、易识别矿找矿难度的逐步加大,矿石加工选冶技术,尤其是堆浸技术的不断开发利用,地质工作者和矿业开发公司更多地将资金和技术投入到大吨位、低品位的金矿资源上。

近年来,为了缓解资源压力,充分利用金矿资源,延长企业寿命。我国一些金矿企业,包括国有大中型企业、中外合资企业及大型民营企业正在将目光投向矿床内低品位资源,逐步注重联合生产工艺和新技术的研究应用,达到充分、合理利用矿产资源的目。陕西太白金矿,对贫矿石采用堆浸法工艺处理,该类贫矿石约占矿山开采总量的 30%左右;

对低品位金矿石采用全泥氰化法处理(金品位 $1.57\times10^{-6}\sim3.18\times10^{-6}$)。通过将边界品位降为 0.8×10^{-6} ,块段最低工业品位降为 1.50×10^{-6} ,矿床最低工业品位降为 1.8×10^{-6} ,使所开采的8号

矿体低品位矿石量达到859.36万t,使原来“暂不能利用的储量”变为可回收利用。生产规模逐步达到1200t/d,经济效益显著^[7]。

表 2 矿床发现数量及平均品位随时间变化序列

时间	矿床数						合计
	1.0以下	1.0~2.0	2.0~3.0	3.0~4.0	4.0~5.0	>5.0	
50年代以前	1	0	0	1	1	5	8
60年代	1	2	2	0	0	2	7
70年代	1	2	0	1	1	4	9
80年代	3	7	4	1	1	3	19
90年代	11	8	2	2	1	4	28
合计	17	19	8	5	4	18	71

注:根据《信息找矿战略与勘查百例》资料统计。

陕西太白河金矿,采用堆浸法共处理低品位矿石35.3万t,产金404kg,产值2714万元,实现利税1226万元,为搞活地勘企业和振兴地方经济做出了显著成绩。新疆赛都金矿,探明矿石储量为20万t,品位在 $1\times10^{-6}\sim6\times10^{-6}$ 之间,矿石类型为粘土含量较高的氧化矿,其中包裹金占30.57%,采取制粒后再堆浸,获得了86.66%的浸出率,共回收黄金130kg,取得了很好的经济效益^[9]。

综上所述,无论是我国的金矿资源形势,还是国内的一些黄金企业的生产实践均要求我们不能无视低品位金矿资源。况且,《固体矿产资源储量分类》对推断的内蕴经济资源量的经济属性并没有给出明确的要求。因此,在矿床普查阶段,若丢弃低品位金矿资源,不仅会造成国家金矿资源的巨大浪费,更是对子孙后代不负责任。

3 评价低品位金矿资源的主要意义

一是可以扩大企业生产规模,改变生产方式。
矿床中资源量的多少、矿体的形态决定着矿山企业的生产规模和生产方式,福建紫金山金矿1994年提交的详查报告,按一般工业指标圈定了43个工业矿体,形态为脉状、扁豆状、透镜状。走向长和倾斜延伸数十米至200~300m。矿体厚1~2m,倾角 $45^{\circ}\sim50^{\circ}$,矿床规模属中小型,并认为仅适宜于小规模简易坑采和堆浸工艺提金。但随着对矿床中低品位资源认识的不断深入及选冶工艺的改进,通过将工业指标改变为 0.5×10^{-6} 、 1×10^{-6} ,使原来43个工业矿体合并成4个,矿床规模达到了138.2t,平均品位 1.23×10^{-6} ,开采方式也由地下坑采转变为大规模露天开采(图2)和机械化坑采(年采出矿石180万t)相结合,对品位 $0.2\times10^{-6}\sim0.5\times10^{-6}$ 的

低品位矿石采取不放堆堆浸提金技术,大大提高了资源利用率,至2003年,日处理矿石量达到3万t/年。增大实际利用低品位资源近千万吨,成为国内规模最大的黄金矿山^[4]。

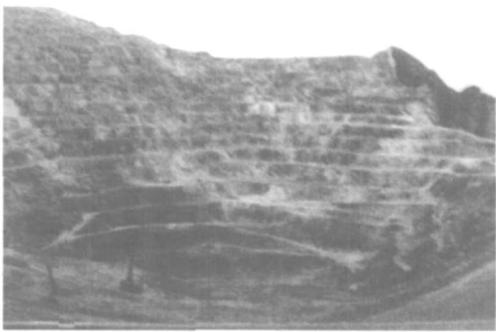


图 2 福建紫金山金矿大规模露天开采场景
(图片来源:福建紫金矿业集团有限公司)

二是可以改变传统的勘查理念。
一般来讲,矿床中不同空间位置上的矿化强度有所差异,如果这种差异比较大,预示着矿床由不同矿化类型的矿石组成或由多期次矿化作用形成的。若将低品位资源纳入勘查视野范围,可使广大地质工作者从整个成矿带的成矿规律入手,综合分析评价全区成矿特点,通过对矿体分布规律的清晰认识,从而综合评价矿床的资源潜力。多年来,我们找矿的思路一直限制在工业指标以上的矿体上,所有重型勘查工程紧紧围绕工业矿体而布设,所圈定的工业矿体规模小,支离破碎。若从评价成矿带资源潜力入手,就必须按照成矿规律系统布设勘查工程,揭示矿带范围内矿体赋存状态,从而达到评价矿区资源潜力,最终实现找大矿的目的。
三是可以扩大矿床规模,规则矿体形态,便于生

产。

从生产矿山看,福建紫金山金矿是最典型的实例,图 3 给出了工业指标变化前后的矿体形态对比图,左图是按一般工业指标圈定的矿体,右图则是按新指标圈定的矿体。显然,右侧图所展示的矿体形态明显比左侧图所展示的矿体形态规整得多,更适合于大规模机械化生产。

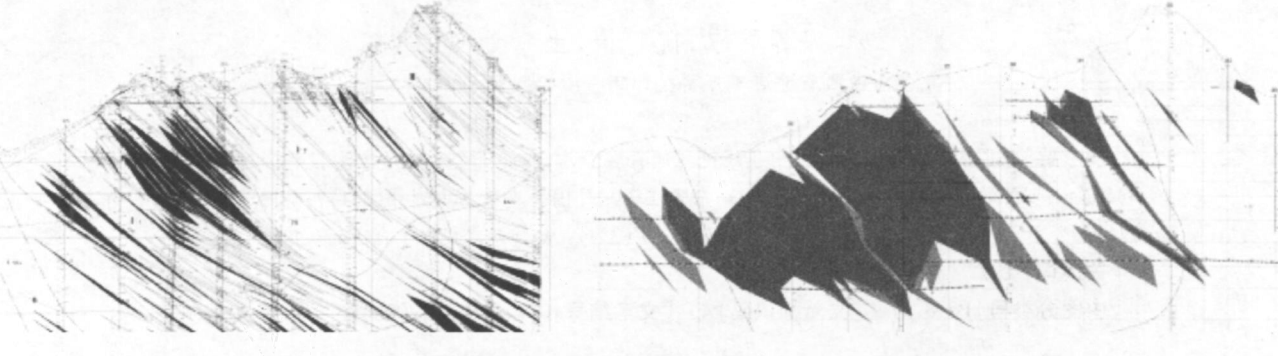


图 3 福建紫金山金矿区工业指标变化前后矿体形态对比
引自:福建省上杭县紫金山铜金矿床勘探报告(1994年)和补充勘探报告会(1998年)。

[参考文献]

[1] 国家经贸黄金管理局. 黄金工业统计年鉴, 2003

[2] 杨 兵. 对我国新的矿产资源 储量分类标准及其与国际接轨的几点看法 [J]. 地质与勘探, 2004, 1: 73 - 76

[3] 王银宏. 中国金矿资源现状与思考 [J]. 国土与自然资源研究, 2003, 2: 75 - 76.

[4] 赵鹏大,陈建平. 非传统矿产资源体系及其关键科学问题 [J]. 地球科学进展, 2000, 3 (15): 251 - 255.

[5] 陈建平. “非传统矿产资源发现与开发基础研究”研讨会消息

报告 [J]. 地质与勘探, 2002, 1, 21.

[6] 曾宪辉. 紫金山低品位金矿资源的开发利用 [J]. 矿产保护与利用, 2002, 4: 5 - 9.

[7] 张耐林. 太白金公司:调整边界品位扩大资源量 [J]. 中国黄金报, 2006, 2, 28

[8] 张 蓁. 澳大利亚黄金生产成本. 资源网, 2006, 12, 15.

[9] 王周谭. 对我国西部地区低品位金矿开发的探讨 [J]. 矿产与地质勘查, 1997, 5: 325 - 329.

EVALUATION OF LOWER GRADE ORE RESOURCE:
TAKING GOLD RESOURCE AS A EXAMPLE

XIANG Yong - sheng^{1,2}, HE Huan - xue¹, ZHANG Ji - lin²

(1. Gold Headquarters, Chinese People's Armed Police Force, Beijing 100102; 2. Zhongjin gold Ltd, Tianjin 300457)

Abstract:On the basis of comprehension of “Classification of Solid Ore Resource/Reserve” and analyses of geology data and current utilization of over 100 gold or polymetallic ore deposits with reserves above 100 tonnage, the basic foundations to evaluate lower grade ore resource is proposed. Main significances to evaluate lower grade gold resource are also summarized.

Key words: lower grade, ore resource, evaluation