

低品位矿石利用的经济分析^①

谢英亮

(南方冶金学院经济管理系, 赣州 341000)

摘 要 为了克服在低品位矿石利用的研究中现行方法只以企业效益为目的的局限性, 试图建立起一套以国民经济整体效益优化为目标的系统的分析方法, 研究中运用了费用效益分析技术并辅之以半投入产出法、增量分析法和动态经济分析法。在以露天开采作业为对象的基础上, 提出了三个临界品位计算的数学模型(这些模型很容易扩展到地下开采的情形之中), 最后给出了一个计算实例。

关键词 边际品位 露天矿 经济效率分析

随着中国经济的不断增长, 保证充足的矿物资源供应问题日趋突出。在此背景之下, 低品位矿石利用问题越来越受到重视^[1, 2]。在本研究中, 低品位矿石是指那些低于最低工业品位指标的矿石。关于低品位矿石利用问题的研究, 目前主要是从企业利润优化的角度去考虑的。这种方法具有很大的片面性, 因为在我国矿产资源属国家所有, 这就意味着为了在整个经济系统中实现资源最优配置, 从宏观经济的层面上去研究低品位矿石利用问题是非常有必要的。在运用费用效益分析法并结合半投入产出法、增量分析法和动态经济分析法的基础上, 作者试图建立起一套能适应这一要求的系统的分析方法, 本文所提出的临界品位计算模型是针对露天开采而言的, 但它们很容易扩展到地下开采的情形之中。从其中的一个模型中可获得一个随矿山服务年限减少而逐步递减的品位指标系列, 这一点也不同于传统的单一品位指标值计算模型。在整个矿山服务年限中采用单一的恒定的品位指标值的传统做法不符合动态经济分析的基本原则^[3]。

1 费用效益分析的基本框架^[4]

在对经济活动的费用效益分析中, 通常将

其生产费用与其相应的产出相比较然后计算费用效益比或净效益, 这些指标反映出在经济效率价格的计价机制下一项经济活动在宏观资源配置方面的经济合理性的程度。

(1) 费用效益比。这是一项经济活动的效益与其费用价值之比值, 可用下式表示:

$$EBCR = B/C \quad (1)$$

式中 $EBCR$ ——一项经济活动的费用效益比;
 B ——此项活动在经济效率价格下的效益值;
 C ——此项活动在经济效率价格下的生产费用价值, 它包括劳动力、资本、外贸品和非外贸品费用之和。

对这一指标, 当 $B/C > 1$ 时, 表示这项活动在资源配置方面是合理的, 当 $B/C < 1$ 时则不合理。

(2) 净效益。这也是费用效益分析指标的一种形式, 用以测度一项经济活动的费用效益状况, 但与前一指标略有不同, 也就是说, 在这里所测算的是一项经济活动的单位效益, 用以表明在效率价格条件下每单位产出中效益超过费用的数额, 可用下式表示:

$$NEB = B - C \quad (2)$$

式中 NEB ——每单位产出的净效益, 其它符号同前。

对这一指标, $NEB > 0$ 意味着在资源配置

① 中国有色金属工业总公司回国留学人员科技基金资助项目
谢英亮, 39岁, 男, 教授, 硕士

上是合理的, 当 $BENB < 0$ 时不合理, 而当 $B = C$ 时, 从经济效率的角度讲, 这一项经济活动处于临界状态。

2 费用效益分析中价格换算系数的测定^[5, 6]

为了将市场价格转换成经济效率价格, 需要一组价格换算系数。对于生产投入品的换算系数的测定, 最为先进的技术应数半投入产出模型。这一模型依赖于半投入产出表的建立。这种表可以说是一种只有列的投入产出表, 因为在表中只考虑各部门的投入状况, 而投入产出完整表格中的行方向(用以反映各部门产品的中间消费和最终需求) 则被略去。因而半投入产出表仅由两个象限(即第 I 象限和第 II 象限) 组成, 它们分别用以反映投向各部门的物化劳动投入品价值和投向各部门的基本要素投入的价值。通常用 A 矩阵表示前者的直接消耗系数, 用 F 矩阵表示后者的直接消耗系数。在半投入产出分析中直接消耗系数的获得应以边际分析为基础。

半投入产出模型的求解首先要求出各生产部门单位产出的基本要素完全消耗系数, 它是 F 矩阵中的基本要素直接消耗系数和暗含在 A 矩阵物化劳动投入中的基本要素投入之和。要想求得基本要素完全消耗系数, 必须先求出各部门单位产出中的全部的物化劳动投入, 全部物化劳动投入又应该是 A 矩阵中表示的直接投入和各部门生产结构关系所反映出来的部门之间相互传递的间接的投入之和。一旦知道了每部门单位产出所需的全部物化劳动投入, 即可计算出投向这些物化产品中的基本要素价值。从而各生产部门单位产出的基本要素完全消耗系数可由下式给出^[6]:

$$M = F[1 - A]^{-1} \quad (3)$$

式中 M — 基本要素完全消耗系数矩阵; F — 基本要素直接消耗系数矩阵, A — 物化劳动投入直接消耗系数矩阵, $[1 - A]^{-1}$ — 列昂惕夫

逆矩阵。

半投入产出模型的最终求解即是将各种基本要素的换算系数应用于每一部门的基本要素完全消耗系数之中, 从而获得各部门产品的换算系数, 用矩阵的术语来说, 就是用 M 后乘基本要素换算系数向量, 即

$$P_n = P_f M \quad (4)$$

式中 P_f 是各部门产品换算系数的向量, P_n 是基本要素换算系数向量, 在模型中作为外生变量给定。

对于生产产出品的价格换算, 应视其在国际贸易中的地位而定。如果它们是可外贸品, 则以口岸价格作为其经济效率价格, 而如果是非外贸品, 那么可以将此经济系统的平均价格换算系数作为这些产出品的换算系数。

3 临界品位计算的数学模型

依照前面所述经济效率分析基本原则, 可建立起三个低品位矿石利用问题分析的数学模型。其建模思路是: 如果加互处理 1t 低品位矿所获得的效益正好等于开采和加互处理这些矿石所需的费用, 那么这种矿石的品位则称之为临界品位。对于品位高于临界品位的矿石加以利用, 从经济效率角度上看是合理的。

3.1 处理 1t 低品位矿石所获效益

这一效益可用下式计算

$$B = \alpha \epsilon K \quad (5)$$

式中 B — 处理 1t 低品位矿所获效益, α — 这种矿石的品位, ϵ — 金属选矿回收率, K — 精矿中金属价格(以经济效率价格计价)。

在边际品位问题的研究中, 人们通常将选矿回收率 ϵ 视为一个常数, 然而, 在低品位矿石利用问题研究中, 由于其品位可能远远低于矿山的平均品位, 从而导致回收率的很大变化, 因而将 ϵ 与 α 的关系加以考虑是非常重要的。在线性假设下, 有

$$\epsilon = a\alpha + b \quad (6)$$

式中 a 和 b 为常数, 可以利用选厂日常作业统计数据或有关实验数据通过回归分析将它们

估计出来。

结合式(5)和式(6)则可得

$$B = \alpha(a\alpha + b)K \quad (7)$$

3.2 开采和加工处理 1t 低品位矿石的费用

这样的费用应从增量分析的角度来考虑,这也就意味着这一费用等于在一定的生产条件下由于开采和加工活动的增加而增加的花费,显然,这一增量性费用与开采方法和矿山生产能力的利用状况直接相关。采矿方法对费用的影响表现在:就露天开采方式而言,对于开采境界内的所有矿岩都必须采出,不论它是矿石还是废石。这就意味着增加处理 1t 低品位矿石并不需要增加相应的开采费用,而只仅仅产生一些矿石和废石运输费用的差额而已。另一方面,矿山生产能力利用状况对费用的影响则表现在:如果选矿厂生产负荷不足,那么其增量费用就等于开采和处理 1t 矿石的可变费用,而当选矿厂生产能力饱和时,新增加开采处理 1t 额外的矿石就会导致矿山服务年限的延长,这样也就会引起一些与矿山运营时间长度相联系的费用增加,如行政管理费、矿山设施维护费,等等。因而在选厂生产能力满负荷的条件下,其增量费用应该是采选 1t 低品位矿石的可变费用加上每吨矿石所承担的与时间相关的固定费用,这样的固定费用可以从全部固定费用中减去属沉没性的费用而获得。

通过以上讨论,我们可以用以下两个式子来计算低品位矿石开采加工的增量费用:

$$C_1 = c + t_1 - t_2 \quad (8)$$

式中 C_1 —选厂生产能力有富余时低品位矿石增量费用, t_1 —矿石运输费用, t_2 —废石运输费用, c —矿石选矿处理费用。

$$C_2 = c + t_1 - t_2 + f \quad (9)$$

式中 C_2 —选厂生产能力饱和时低品位矿增量费用, f —每吨矿石承担的与时间相关的固定费用。

以上所有费用项目都是以经济效率价格计价的。

3.3 模型 I: 选厂生产能力有富余时的临界品位

根据式(2)并将式(7)和式(8)相结合可得

$$\alpha(a\alpha + b)K = c + t_1 - t_2 \quad (10)$$

从式(10)中解出 α , 我们获得模型 I:

$$\alpha = [-Kb + \sqrt{K^2b^2 + 4Ka(c + t_1 - t_2)}] / (2Ka) \quad (11)$$

3.4 模型 II: 选厂生产能力饱和但不考虑资金时间价值时的临界品位

依据式(2)以及式(7)和式(9), 有

$$\alpha(a\alpha + b)K = c + t_1 - t_2 + f \quad (12)$$

从式(12)中解出 α , 则可得到模型 II:

$$\alpha = [-Kb + \sqrt{K^2b^2 + 4Ka(c + t_1 - t_2 + f)}] / (2Ka) \quad (13)$$

3.5 模型 III 选厂生产能力饱和并考虑资金时间价值时的临界品位

在选厂生产能力饱和的情形下,多采选额外的 1t 低品位矿石就意味着要将具有矿山平均品位的矿石推迟至矿山生产结束时去采选,当将资金的时间价值因素加以考虑的时候,其建模思路就是:如果现在采选 1t 低品位矿石加上矿山结束时采选 1t 具有平均品位的矿石,其产生的经济效果和目前采选 1t 具有平均品位的矿石是一样的,那么这种低品位矿石的品位则是其临界品位^[7]。这一分析逻辑在矿山服务年限任何一个时期都是成立的。引入一个资金折现率,那么上述思路则可通过下列方程表达出来:

令 NEB_1 和 NEB_2 分别为采选 1t 低品位矿石和 1t 平均品位矿石所获的净效益,则

$$NEB_1 + NEB_2(1+i)^{-n} = NEB_2 \quad (14)$$

式中 i —折现率,根据社会折现率并兼顾矿产资源的不可再生性特点来确定, n —矿山服务年限。

根据式(2), NEB_1 可通过从 B 减去 C_2 来得到,而 NEB_2 则可用下式计算:

$$NEB_2 = \alpha_0(a\alpha_0 + b)K - C_0 \quad (15)$$

式中 α_0 —高于最低工业品位指标矿石的平均品位, C_0 —矿石采选的平均吨矿费用,它由直接费用 C_{01} 和间接费用 C_{02} 构成,前者是在矿山企业中为采选生产活动的进行所投入的费

用, 后者则是每吨矿石所应承担的由整个国民经济系统所付出的矿床勘探费用和环境生态恢复费用。

将式(14) 和式(15) 相结合, 并令 $c + t_1 - t_2 = U$, $\alpha_0(a\alpha_0 + b)K - C_0 = V$, $[1 - (1 + i)^{-n}] = W$, 可得

$$(a\alpha + b)K = VW + U \tag{16}$$

解出式(16), 得到模型 III

$$\alpha = \frac{[-Kb + \sqrt{K^2b^2 + 4Ka(VW + U)}]/(2Ka)}{\tag{17}}$$

在模型 III 中, 当费用、价格参数和 ε 与 α 的关系给定时, 那么临界品位是社会折现率和矿山服务年限的函数, 并且这一函数有以下特点:

- (1) α 是 i 和 n 的单调递增函数。
- (2) 当 $i = 0$ 或 $n = 0$ 时, 模型 III 就简化为模型 II。
- (3) 当 $i \rightarrow \infty$, 或 $n \rightarrow \infty$, 则有: $W = 1$ 和 $E_1 = E_2$, 从而

$$\alpha = \frac{[-Kb + \sqrt{K^2b^2 + 4Ka(V + U)}]/(2Ka)}$$

4 一个计算实例

4.1 有某一金属矿山, 正以满负荷运行, 还有 10 年的矿山服务年限, 对此矿山我们获得以下有关数据

- (1) 以市场价格计价的与费用效益相关的数据(分别以 c' , t_1' , t_2' , f' , C_0' 和 K' 表示)
- $c' = 10$ 元/t, $t_1' = 2$ 元/t, $t_2' = 1$ 元/t, $f' = 6$ 元/t,
- $C_{01}' = 35.3$ 元/t(为简便起见在本例中暂不考虑间接费用 C_{02}' , 由此, $C_0' = C_{01}'$), $K' = 7000$ 元/t。

精矿中金属价格的外贸口岸价格为 670 美元/t, 美元对人民币的汇率为 8.7。

(2) 矿山平均品位为 0.8%, 选矿金属回收率与入选品位的关系为

$$\varepsilon = 22\alpha + 0.65$$

(3) 矿山生产所处的经济系统假定由四个

部门组成: 工业、农业、服务业与运输业。这一经济系统所对应的半投入产出表如表 1 所示。

表 1 半投入产出表: 直接消耗系数

	工业	农业	服务业	运输业
工 业	0	0	0.1	0.15
农 业	0	0	0	0
服 务 业	0.05	0	0.2	0.05
运 输 业	0.05	0.01	0.1	0
转移支付	0.30	0.09	0	0.10
外 汇	0.60	0.90	0.20	0.30
劳 动 力	0	0	0.30	0.30
利 润	0	0	0.10	0.10

其中转移支付、外汇、劳动力和利润的换算系数作为外生变量给定, 它们分别为 0、1、0.46 和 0.78。

4.2 对此矿山利用低品位矿问题的求解

(1) 经济系统各部门产品价格换算系数的估算。依据式(3), 式(4) 和相应的给定数据, 可以算出工业、农业、服务业、运输业各部门产品的换算系数分别为 0.67、0.91、0.68 和 0.65。

(2) 费用数据的分解。将矿山费用数据按上述投入品类型进行分解, 假定可得到各费用数据中包含上述投入品类型的成份系数如表 2 所示。

表 2 费用数据的分解系数

	c'	$t_1' \& t_2'$	f'	C_0'
工 业	0.50	0	0.20	0.30
农 业	0.10	0	0	0.05
服 务 业	0.10	0	0.20	0.10
运 输 业	0.05	1.00	0.15	0.10
转移支付	0.05	0	0.10	0.05
外 汇	0.10	0	0.10	0.20
劳 动 力	0.10	0	0.25	0.20

(3) 将市场价格数据(或称财务分析数据)转换成经济分析数据。将前面所得到的价格换算系数施用于各费用项目(即 c' , t_1' 和 t_2' , f' , C_0') 的分解系数之中, 即可得到

$$c = 6.7 \text{ 元/t}, t_1 = 1.3 \text{ 元/t}, t_2 = 0.65 \text{ 元/t}, f = 3.5 \text{ 元/t}, C_0 = 24 \text{ 元/t}$$

利用金属的离岸价格和汇率， K 可由下式计算

$$K = 670 \times 8.7 = 5829 \text{ 元/t}$$

(4) 临界品位的计算。在折现率为 8% 的条件下将 c' , t_1' , t_2' , f' , C_{01}' 和 c , t_1 , t_2 , f , C_0 分别代入式(17) 则可得到在财务分析和经济分析条件下的临界品位，如表 3 所示。

表 3 临界品位计算结果(%)

	$n = 0$	$n = 1$	$n = 2$	$n = 3$	$n = 4$	$n = 5$
经济分析	0.263	0.289	0.311	0.330	0.349	0.364
财务分析	0.335	0.351	0.365	0.376	0.388	0.398
	$n = 6$	$n = 7$	$n = 8$	$n = 9$	$n = 10$	
经济分析	0.379	0.395	0.407	0.419	0.431	
财务分析	0.407	0.416	0.424	0.431	0.439	

至此，经济分析临界品位为矿山在整个服务年限内提供了一个低品位矿石利用有经济性的判断依据。从表 3 还可以看出，在经济效率分析下所获的临界品位指标比财务分析下的临界品位指标低得多。这种情况在中国可能会是比较普遍的，因为在中国劳动力的机会成本比较低，因而在价格换算之后其经济费用比财务

成本要降低许多，那么如果其产出物价值经价格换算之后变化不大或有所提高，其结果就会表现为低品位矿石利用在经济分析上比财务分析上更有利。此外，如果将矿石采选的间接费用加以考虑的话，将更显示低品位矿石利用的宏观经济效益优势，因为增加采选 1t 低品位矿石不需负担额外的勘探费用、环境生态恢复费用等。在上述的情况下政府的资助是很有必要的，其形式可以是税收减免，也可以是给予一些补贴^[8]。

参考文献

1 谢英亮等. 中国矿业, 1996, 5(4): 71.

2 陈希廉等. 矿山地质, 1994, 5(1): 19.

3 Taylor H K. Trans of IMM, (Sect A: Min Industry), 1972: A160.

4 Walshe G. Managing Cost Benefit Analysis. London: MacMillan Education Ltd, 1990: 1- 10.

5 Weiss J. Project Appraisal, 1988, 3(4): 182.

6 谢英亮等. 系统工程理论与实践, 1996, 16(7): 5.

7 谢英亮. 技术经济, 1996, (12): 62.

8 谢英亮. 矿产保护与利用, 1997, (5): 1.

ECONOMIC EFFICIENCY ANALYSIS OF
UTILIZING LOW-GRADE ORES

Xie Yingliang
Department of Management,
The South Institute of Metallurgy, Ganzhou 341000

ABSTRACT In order to overcome the limits of current approaches which aim at the maximization of corporate profits in the analysis of utilizing low-grade ores, a systematic analytical methodology for economic efficiency analysis was established, which aimed at the optimum allocation of national resources, utilizing cost benefit analysis and assisted by semi-input-output analysis, incremental analysis and dynamic economic analysis. Three mathematical models for critical grade calculations were presented based on openpit operations and they may be easily extended to underground mining. Finally, a working example was given.

Key words cut-off grade openpit economic efficiency analysis

(编辑 彭超群)