



露天矿边际品位

最优化的经济分析

● 谢英亮 著



冶金工业出版社

<http://www.cnmp.com.cn>

露天矿边际品位 最优化的经济分析

谢英亮 著

北 京
冶金工业出版社
2006

内 容 提 要

本书系统地介绍了研究露天矿边际品位最优化分析的理论与方法。在对边际品位指标体系设置、边际品位最优化的影响因素进行详细分析的基础上,以及对于现行的基于边际分析法的优化模型进行分析和评述的基础上,构建了运用经济控制理论、实物期权理论进行边际品位优化的方法和模型、边际品位的次优化和国民经济优化的理论方法与模型。书中配有较多的分析案例,有助于计算操作。

本书可作为矿山管理人员、有关专业的工程技术人员和资源经济学研究者以及政府有关矿产资源管理人员的参考书,也可作为高等院校矿业工程和矿业经济类专业研究生教材及本科生参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

露天矿边际品位最优化的经济分析/谢英亮著.

—北京:冶金工业出版社,2006.10

ISBN 7-5024-4086-0

I. 露… II. 谢… III. 露天矿—工业经济—经济
分析 IV. F407.21

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 097301 号

出 版 人 曹胜利 (北京沙滩嵩祝院北巷 39 号, 邮编 100009)

责任编辑 宋 良 王秋芬 美术编辑 李 心

责任校对 栾雅谦 李文彦 责任印制 丁小晶

北京兴华印刷厂印刷; 冶金工业出版社发行; 各地新华书店经销

2006 年 10 月第 1 版, 2006 年 10 月第 1 次印刷

148mm×210mm; 4.625 印张; 128 千字; 130 页; 1—2000 册

16.00 元

冶金工业出版社发行部 电话: (010) 64044283 传真: (010) 64027893

冶金书店 地址: 北京东四西大街 46 号 (100711) 电话: (010) 65289081

(本社图书如有印装质量问题, 本社发行部负责退换)

前 言

矿石开采边际品位的确定是矿产业中一个非常重要的决策问题，它一方面直接影响到矿山企业经济效益的高低，同时还影响着整个国家的矿产资源有效利用的水平。矿石开采边际品位的确定涉及复杂的分析与计算，它与经济管理、地质、采矿、选矿、应用数学、计算机等学科知识紧密相连。虽然先前的矿业工程经济与管理学者在这一领域做了许多卓有成效的研究，然而目前仍然存在大量的问题有待深入探索。本书是笔者在系统研究露天矿开采边际品位经济最优化的理论方法及其数学模型问题方面所获成果的总结，主要涉及以下方面内容：

(1) 对国内外关于矿石开采品位指标经济分析问题研究的思想方法演进做了较详尽的分析与评论，并根据经济分析方法的典型特征进行了历史阶段的分期。对矿石开采品位指标体系问题进行了探讨，认为我国必须从双指标体系转变到单指标体系。深入地剖析了影响矿石开采边际品位经济性分析的主要技术经济因素，为最优化建模提供了变量关联性分析基础。

(2) 对西方国家比较成熟的露天矿边际品位最优化的边际分析法模型结构进行了系统的考察、剖析与评价，从而可以更深刻地认识其优化的经济特征及局限性。

(3) 在现代资源经济学的启示之下，运用控制理论建立了露天矿边际品位最优化模型，其数学结构化程度比边际分析法显著地提高了一步，它还能对矿山开采决策提供更多的信息。

(4) 针对矿产品市场的高度波动性，引入实物期权理论研究边际品位最优化问题。通过连续参量期权定价模型，建立了

服务年限无穷大时边际品位依价格波动而连续调整下的矿山价值决定的偏微分方程,并获得其解析解;用蒙特卡洛模拟分析了有限服务年限下价格呈平均回弹过程的边际品位最优调整问题,结果表明在期权理论指导下的品位调整策略,反映出矿石开采决策的随机、动态特征,它比现行的品位策略理论在分析上更为全面、深入,从而能为矿山带来更多的价值。

(5) 针对矿山开采实践的复杂性,综合地运用管理经济学中各种决策成本理论,建立了准优化模型。这类模型建模过程简单,计算方便,对我国的生产矿山进行低品位矿利用分析具有优越性。

(6) 以国民经济效益优化为目标,研究了相应的边际品位的确定及其矿山开采边际品位决策行为的宏观调控问题。

(7) 本书在前面6项内容中对其所提出的主要模型进行了案例分析,以展示新建模型的功能优势。

本书除对上述各部分进行了经济分析和模型创新之外,并注意力求在整体上构成一个有机的逻辑框架,以系统地展示露天矿边际品位最优化经济分析的理论方法与模型。

在本书的研究与写作过程中,中南大学高阳教授提出了许多宝贵建议,在此表示衷心感谢。同时,江西铜业集团、南昌有色冶金设计研究院、江西稀有稀土钨业集团、中金岭南公司、福建紫金矿业股份有限公司、江西省国土资源厅等有关单位给予了大力的支持,提供了大量的宝贵资料,中南大学商学院资料室、中南大学资源与环境学院资料室为资料查阅提供了便利,在此一并表示感谢。

谢英亮

2006年7月

符 号 说 明

A	p 与 α_c 近似线性关系常数, 直接消耗系数矩阵
B	p 与 α_c 近似线性关系常数
C	矿山生产成本, 元/吨矿石
C_1	增量矿石采选的当前成本, 元/吨矿石
C_2	矿山生产当前平均成本, 元/吨矿石
C_3	矿山生产长期平均成本, 元/吨矿石
C_f	生产能力饱和时矿石生产边际成本, 元/吨矿石
C_v	生产能力不富余时矿石生产边际成本, 元/吨矿石
C_o	矿石生产直接费用间接费用之和, 元/吨矿石
C_{01}	矿石生产直接费用, 元/吨矿石
C_{02}	矿石生产间接费用, 元/吨矿石
$\bar{C}$	价格恒定情况下矿山正常生产的平均成本, 元/吨矿石
D	整体等式约束常数
E_1	当前采选 1 吨低品位矿石收益, 元/吨矿石
E_2	价格恒定下矿山寿命期末采选 1 吨矿石收益, 元/吨矿石
E_3	价格变动情况下矿山寿命期末采选 1 吨矿石收益, 元/吨矿石
F	期权价值, 基本要素矩阵
I	社会折现率%, 单位矩阵
J	中间代换变量
K	矿产品价格, 元/吨精矿金属
K_1	矿产品当前价格, 元/吨精矿金属
K_2	矿产品长期价格, 元/吨精矿金属
K'	矿产品下一时区波动后价格, 元/吨精矿金属
M	中间代换变量, 全部基本要素需求矩阵

N	随机模拟价格个数
P	随机波动条件下的价格, 元/吨精矿金属
P_n	生产部门价格换算系数向量
P_f	基本要素价格换算系数向量
P_t	随机过程价格当前值, 元/吨精矿金属
$\bar{P}$	随机波动条件下长期价格, 元/吨精矿金属
Q	选矿厂年处理能力, 吨/年
Q_0	露天矿境界内矿岩总量, 吨
Q_1	边际分析模型最优产量, 当前时点矿山储量, 吨
Q_2	单位爆堆中 p 吨矿石的金属产量, 吨
Q_3	一定边际品位条件为满足 Q 所需爆堆矿量, 吨
Q_m	年度金属产量, 吨
R	矿山年收益, 元/年
R_0	价格恒定下低品位矿综合回收收益, 元/吨矿石
$\bar{R}_0$	价格恒定下表内矿平均综合回收收入, 元/吨矿石
R_1	低品位矿综合回收当前收益, 元/吨矿石
R_2	高品位矿综合回收当前收益, 元/吨矿石
R_3	高品位矿综合回收长期收益, 元/吨矿石
S_1	按销售收入征税税率, %
S_2	按原矿出矿量征税税率, %
S_3	按储量消耗征税税率, %
T	随机模拟时的矿山寿命时间变量
U	中间代换变量
V	矿山价值, 元
V_{Q_1}	储量为 Q_1 时的矿山价值, 元
V_t	剩余服务年限为 t 时的矿山价值, 元
W	中间代换变量
X	中间代换变量
Y	中间代换变量
Z	中间代换变量
AC	平均成本, 元/单位产量

AR	平均收益, 元/单位产量
MC	边际成本, 元/单位产量
MR	边际收益, 元/单位产量
TC	总成本, 元/年
TR	总收益, 元/年
NPV	净现值, 元
NEB	国民经济净收益, 元
CF	价格换算系数
a, b	指数分布常数, 线性选矿回收率系数
c	选矿处理费, 元/吨矿石
f	矿山固定费用, 元/年
g	非线性选矿回收率常数
h	平均回弹系数, 非线性选矿回收率常数
i	折现率, %
i_s	社会折现率, %
k	可变投入生产函数系数
m	爆堆矿岩采矿费用, 元/吨矿岩
m_1	矿石采矿费用, 元/吨矿石
n	矿山服务年限, 年
p	爆堆矿岩中矿石所占比例, %
p_t	服务年限为 t 时的 p 值, %
q	增量矿岩数量, 吨
r	无风险利率, %
s	综合税费率, %
t	时间变量, 某一时点矿山服务年限
t_1	运矿费用, 元/吨矿石
t_2	运废石费用, 元/吨废石
t_3	每吨入选矿承担的运矿、运废石费用, 元/吨矿石
u	(0, 1) 分布随机变量
v	矿山年度净现金流, 元/年, 可变投入要素数量
x	正态分布随机变量
dz	维纳过程增量

α	品位变量, 低品位矿可利用性边际品位, %
α_0	双指标体系下矿山平均品位, %
α'	价格一次性波动后边际品位调整值, %
α^*	随时间递变的最优边际品位, %
α_c	最优边际品位, %
$\bar{\alpha}$	边际品位为 α_c 时爆堆矿石平均品位, %
λ	矿岩影子价格, 元/吨矿岩
θ	可变投入生产函数常数
ε	选矿回收率, %
Φ	中间代换变量
μ	价格期望增长率, %
μ^*	交易证券或组合的期望收益率, %
σ	价格波动率, %
η	伪随机变量个数
γ	中间代换变量
δ	便利收益, %
δ'	中间代换变量

目 录

1 绪论	1
1.1 边际品位最优化经济分析问题的描述	1
1.1.1 矿石开采与边际品位	1
1.1.2 边际品位最优化经济分析的基本问题	1
1.2 边际品位最优化经济分析研究的意义与前景	2
1.2.1 边际品位最优化经济分析研究的意义	2
1.2.2 边际品位最优化研究的学术与应用前景	3
1.3 国内外品位指标问题研究的演进与评述	4
1.3.1 国外边际品位研究的演进与评述	4
1.3.2 我国矿石开采品位指标问题的研究	8
1.3.3 边际品位研究中存在的主要问题	12
1.4 本书的研究内容、方法和特点	13
1.4.1 研究内容和方法	13
1.4.2 研究中的若干特性界定	14
1.4.3 本研究成果的价值指向	16
1.4.4 本书的逻辑结构	17
2 矿石开采品位指标体系分析	18
2.1 品位指标体系设置的基本要求与国内外实践	18
2.1.1 品位指标体系设置的要求	18
2.1.2 我国的矿石工业品位指标体系	18
2.1.3 西方国家边际品位指标体系	19
2.2 我国矿石开采品位指标体系的改革	21
2.2.1 我国原有的矿产资源分类分级	21
2.2.2 新的分类标准	22

2.2.3 我国矿石品位指标体系必须改革·····	24
2.3 我国矿山实行品位指标改革的实例分析·····	26
2.3.1 地质勘查成果和计划经济下的开发设想·····	26
2.3.2 多方位的改革创新孕育了全新的紫金山金矿·····	27
2.4 小结·····	30
3 边际品位经济分析的主要技术经济因素剖析·····	31
3.1 决策行为界定因素剖析·····	31
3.1.1 决策选择单元·····	31
3.1.2 品位指标决策的阶段性的·····	32
3.2 自然与技术因素剖析·····	32
3.2.1 采矿方法·····	32
3.2.2 矿床品位分布·····	33
3.2.3 生产能力结构·····	34
3.2.4 选矿回收率·····	35
3.2.5 伴生资源的综合利用·····	36
3.3 经济性因素剖析·····	36
3.3.1 矿石费用结构·····	36
3.3.2 产品销售价格·····	38
3.3.3 固定资产折旧·····	39
3.3.4 税收·····	39
3.3.5 矿山企业的盈利目标选择·····	40
3.4 小结·····	41
4 露天矿边际品位最优化的边际分析法考察与评价·····	43
4.1 边际品位优化与边际分析法·····	43
4.1.1 边际品位分析的经济特征·····	43
4.1.2 边际分析法的基本模型·····	44
4.2 露天矿边际品位最优化边际分析法静态模型·····	45
4.2.1 两个极端性盈利目标·····	45
4.2.2 两个极端性盈利目标的优化模型·····	46
4.2.3 对上述静态优化的分析·····	48
4.3 使净现值最大化的边际品位优化·····	49

4.3.1 使净现值最大化的边际品位优化模型	49
4.3.2 价格波动下的边际品位调整	51
4.3.3 关于伪 NPV 最大化的讨论	53
4.4 案例分析	54
4.4.1 矿山主要数据条件	54
4.4.2 计算与分析	54
4.4.3 四种优化的 NPV 值比较	56
4.5 小结	57
5 基于控制理论的露天矿边际品位最优化	
——自然资源经济模型的启示	58
5.1 自然资源经济的基本模型	58
5.1.1 资源经济模型的基本关系	58
5.1.2 模型的其他相关因素	59
5.1.3 对边际品位最优化的启示	60
5.2 基于控制理论的露天矿最优边际品位数学模型	60
5.2.1 变分法分析模型	60
5.2.2 变分法的应用	61
5.2.3 负指数分布函数的情形	63
5.2.4 与边际分析法的对照	64
5.2.5 价格波动时的边际品位调整	65
5.2.6 关于边际品位逐年递减的数学证明	66
5.3 案例分析	67
5.3.1 矿山数据资料与决策问题	67
5.3.2 问题求解	67
5.4 小结	69
6 基于实物期权理论的露天矿边际品位最优化	71
6.1 风险条件下的决策与实物期权分类	71
6.1.1 风险条件下的决策问题	71
6.1.2 实物期权的分类	72
6.1.3 利用期权定价理论对实物期权进行估值	72
6.1.4 运用蒙特卡洛模拟进行实物期权估值	74

6.2 基于期权定价理论的露天矿边际品位最优化	74
6.2.1 连续参量期权及其定价方法	74
6.2.2 连续参量期权定价在边际品位优化中的应用	76
6.2.3 一个数值案例	78
6.2.4 进一步的推广及其难点	79
6.3 基于蒙特卡洛模拟的边际品位最优化	80
6.3.1 价格波动的平均回弹模型	80
6.3.2 价格随机游走的模拟	81
6.3.3 基于蒙特卡洛模拟的边际品位最优化思路 与过程	82
6.3.4 用 EXCEL 编程实现模拟计算	83
6.4 案例分析	84
6.4.1 分析之一	84
6.4.2 分析之二	85
6.4.3 分析之三	89
6.5 小结	89
7 露天矿边际品位的准优化分析	91
7.1 边际品位的准优化方法	91
7.1.1 品位优化问题的复杂性及准优化处理	91
7.1.2 用准优化模型决策的基本思路与步骤	92
7.1.3 准优化的一个实际应用方向	93
7.2 边际品位的准优化模型	94
7.2.1 静态经济分析模型	95
7.2.2 价格与成本稳定情形的动态模型	97
7.2.3 价格与成本波动情形的动态模型	99
7.2.4 非线性回收率函数情形的动态模型	100
7.3 案例分析	101
7.3.1 基本数据	101
7.3.2 边际品位计算与分析	102
7.4 小结	104
8 露天矿边际品位的国民经济分析	105

8.1	边际品位指标国民经济分析的意义及基本思路	105
8.2	半投入产出分析模型测定价格换算系数的基本步骤	106
8.2.1	半投入产出法计算的基本步骤	106
8.2.2	半投入产出分析模型的结构	107
8.3	品位指标的国民经济分析与应用方向	108
8.3.1	勘探时期的品位指标	108
8.3.2	可行性研究时期的品位指标	109
8.3.3	生产矿山的边际品位国民经济分析	109
8.3.4	向区域性国民经济系统应用的扩展	110
8.4	矿山企业开采行为的宏观调控	110
8.4.1	问题的提出	110
8.4.2	多种征税形式下的矿山企业利润最大化模型	111
8.4.3	矿山企业开采行为的宏观调控作用分析	112
8.5	案例分析	114
8.5.1	矿山基本数据条件	114
8.5.2	矿山边际品位国民经济分析	115
8.6	小结	117
9	总结与展望	118
附 录	边际品位计算的蒙特卡洛模拟程序	120
参考文献		127

1 绪 论

1.1 边际品位最优化经济分析问题的描述

1.1.1 矿石开采与边际品位

矿业是国民经济的一个重要基础产业，加工业中的绝大部分原材料来自于采矿业。在许多国家中，矿业在整个国民经济中占有极为重要的地位。在我国，95%以上的能源，80%以上的工业原料和70%以上的农业资料都来自于矿产资源。美国1980年的矿物原料和矿物燃料的产值为1980亿美元，占其当年GNP的7.71%，足见矿业在其国民经济中的重要作用。在前苏联的国民经济主要部门中，矿物原料和燃料占最终产品成本的60%以上，全国工业投资的30%以上用于采矿工业，铁路货运60%以上用于运输采矿工业产品及所需物资，可见其矿石工业的重要性^[1]。虽然随着科技的发展与消费需求的变化，国民经济的产业结构会有改变，尤其是在发达国家中，采掘业产出价值呈下降趋势，但是从全球范围来看，在相当长的时期内采矿业的基础地位是不会改变的。

如同其他的产业发展一样，矿业的健康发展及其效率的提高也是主要依靠科技进步和管理水平的提高。就管理而言，矿业开发中的科学决策是一个极为重要的方面。其中矿石品位指标的确定就是矿产业中的一个极为关键的决策问题。品位是矿化物中有用组分的含量，一般用百分比来表示，有时也用克/吨等单位表示。在矿山的生产过程中，边际品位是区别两种不同生产活动行为的判据，比如，对于露天矿山生产而言，爆堆矿岩大于边际品位的则作为矿石送往选矿厂进行选别加工，而小于边际品位的，则作为废石送往废石场排弃。

1.1.2 边际品位最优化经济分析的基本问题

对于一个既定的矿床来说，其中的矿化物含量水平是有差异的，并

不是一个单一数值,既有含量高的矿物,也有含量低的矿物。如果把边际品位确定得很高,那么判定为矿石的部分就占很小的比例,为了满足选别生产能力的要求,就需要有很大的采矿生产能力和很高的作业成本开支,因此可能导致很大的非经济性;但是,如果边际品位定得过低,储量很大,采矿成本也低,但是每年产出的金属量却很小,而且现金流分布在很长的寿命期内,经折现之后,其净现金值大为减少,这样也可能导致非经济性。边际品位最优化经济分析研究的基本问题,就是要选择最优的品位指标,使矿山生产的利润最大化。这是边际品位经济最优化问题的基本结构,分析中自然要涉及到诸多自然、技术、经济等因素的影响,再者,我们是社会主义市场经济国家,矿产资源属国家所有,因此,其经济分析研究还要涉及国民经济的边际效率问题。

矿山生产的利润最大化是从经济学的角度来定义的,它不是企业通常的会计核算的利润形式,而是经济利润。作为衡量动态经济利润的有效手段,人们通常使用现值(NPV)来进行计算。因此,经济利润最大化问题就转换为矿山生产寿命期的NPV最大化问题。从宏观经济的角度来看,所谓矿石开采的边际性效率,就是要考察其对国民收入增加的贡献如何。

在边际品位最优化经济分析的基础上,考虑到矿山开采过程中技术经济各因素及其关系的复杂性和模型求解的便利性,也应探讨边际品位的准优化问题或称次优化问题。

1.2 边际品位最优化经济分析研究的意义与前景

1.2.1 边际品位最优化经济分析研究的意义

边际品位经济优化研究是矿业决策中的重要课题,对它进行深入系统的研究具有非常重要的意义,主要表现为:

(1)从微观的角度来看,边际品位对矿山经济效益影响很大。现实采矿作业中有时边际品位在很大的范围内调整,其对效益的影响十分敏感,它直接影响到精矿产出量和相应的成本支出,品位的变化还会影响储量,从而影响矿山寿命,因而它还与矿山的持续发展问题相关。

(2)从宏观上看,边际品位的高低,影响到一个国家资源量的多少,因此它还与国民经济发展规划、自然资源有效利用等问题紧密相

连。

(3) 从应用广泛性看, 边际品位问题在矿业中非常普遍, 在黑色冶金矿山、有色金属矿山、黄金矿山都有边际品位的经济优化问题, 在化工矿山、非金属矿山中的许多矿山中也有品位优化问题。

(4) 从紧迫性看, 国外市场经济国家对边际品位优化问题一直非常重视, 并通过合理优化取得了良好的经济效益。而在我国, 由于长期受计划经济的影响, 这一领域研究还刚刚起步, 急需加速发展。尤其是, 我们现在颁布了新固体矿产资源储量计算标准, 它要求从经济上深入考察矿产资源的有用性, 从而迫切要求在边际品位问题上加强理论和方法研究。

(5) 从使用功能上看, 边际品位优化问题研究的成果具有广阔的应用领域:

其一, 它是矿山生产计划编制的重要依据 (长期计划, 短期采矿业计划)。

其二, 它是矿山企业战略管理中, 企业内部优势分析的一个重要方面, 因为边际品位决定着矿山的资源基础。

其三, 矿山建设可行性研究中, 在生产能力设计、开采境界设计、服务年限设计等方面, 都必须与边际品位的优化问题一起共同考虑。

其四, 在矿业权评估中, 要求通过合理分析矿山的现金流来为矿业权定价, 矿山品位策略是影响现金流的一个重要因素, 因此, 只有科学地分析其相互关系, 才能为矿业权合理定价。

其五, 在地质勘探中, 需要合理的品位指标来圈定矿体。

其六, 国家有关政府部门在矿产资源政策形成中, 需要充分考虑边际品位的经济学问题, 比如, 我国铁矿和铜矿都是紧缺资源, 目前都需从国外大量进口, 而同时在国内又有大量的低品位铁矿和低品位铜矿没有得到开发利用的。因此, 国家应考虑: 是用外汇进口矿石, 还是通过一些优惠政策使国内低品位矿石得以利用, 何者更具经济性?

1.2.2 边际品位最优化研究的学术与应用前景

从学术发展和应用的角度看, 边际品位最优化的经济分析与建模研究在今后越来越受到人们的重视, 主要是因为:

(1) 矿产资源日趋枯竭, 资源有效利用问题日益成为科学技术和管