



# 矿石的经济定义

## ——边际品位理论及应用

[英] K. F. Lane 著 唐小莉译



冶金工业出版社

# 矿石的经济定义

## ——边际品位理论及其应用

[英] K. F. Lane 著

唐 小 莉 译  
李 行 校

---

冶金工业出版社

**(京) 新登字 036 号**

**图书在版编目(CIP)数据**

矿石的经济定义: 边际品位理论及其应用 / (英) 兰纳 (Lane, K.F.) 著; 唐小莉译。-北京: 冶金工业出版社, 1994

书名原文: The Economic Definition of Ore—Cut-Off Grades In Theory and Practice

ISBN 7-5024-1601-3

I. 矿… II. ①兰… ②唐… III. 矿石-边际品位-概论 IV. TD912

**中国版本图书馆 CIP 数据核字(94)第 11811 号**

出版人 卿启云 (北京沙滩嵩祝院北巷 39 号, 邮编 100009)

河北阜城县印刷厂印刷; 冶金工业出版社发行; 各地新华书店经销

1994 年 9 月第 1 版, 1994 年 9 月第 1 次印刷

787mm × 1092mm 1/32; 4.75 印张; 103 千字; 146 页; 1-500 册

**5.00 元**

## 唐小莉:

1985年毕业于重庆大学采矿系;1988年获硕士学位,曾赴西南工学院环境工程系任教,1993年获北京科技大学矿业系统工程及矿业经济博士学位,现在加拿大蒙特利尔大学工学院从事矿业经济博士后研究,其研究兴趣包括矿山生产计划,矿山经济评价,世界矿物市场预测分析等。自1988年以来,在国内外经济及矿业刊物,会议上发表论文数篇并出任第24届APCOM会议文集副主编。自1994年起将一边攻读经济学博士学位,一边从事博士后研究。研究方向主要为国际贸易与工业组织二大领域。在此期间成为CDM和(I-IAO)会员,

**Xiao Li Tang**

**Dept. of Mineral Engineering**

**Ecole Polytechnique**

**Postbox 6079, "A"**

**Montreal (Que) H3C3A7**

**CANADA**

# 目 录

## 第1章 绪论 ..... 1

背景; 本书的目的; 采矿过程; 开采阶段; 为开采矿岩所作的矿石定义; 边际品位的标准; 决策的经济基础; 描述形式; 语义上的考虑; 资源有限性的意义; 最优边际品位策略; 计算机应用。

## 第2章 经济原理 ..... 6

分析采矿企业经济效益的必要性; 现值概念; 最优边际品位与最大现值; 标准选择; 生产能力的重要性; 价格变化的影响; 大多数盈亏平衡计算的不足; 矿石的经济定义。

## 第3章 有限资源与现值 ..... 11

现值公式; 对时间、剩余资源和经营战略的依赖性; 最大值曲面和开采轨迹; 最优战略轨迹; 最大化表达式的代数形式; 机会成本及其估计方法。

## 第4章 经济模型 ..... 20

构成采矿系统的诸环节及其产出; 矿岩、矿石及矿物; 定义及讨论; 术语分歧与符号意义。

## 第5章 极限经济边际品位 ..... 25

单环节约束条件下的现值极大化; 采、选、市场销售诸环节各自约束时的公式推导; 举例分析; 实际品位分布的独立性; 作业边际品位决策; 参数边际品位。

## 第6章 平衡边际品位 ..... 31

多于一个瓶颈环节; 边际品位对相关的矿岩量、矿石量和矿物量的影响; 平衡边际品位; 图解; 战略和战术意义。

## 第7章 最优边际品位 ..... 36

根据极限经济品位和平衡边际品位选择最优边际品位；图解；算法；其它求解技术。

## 第8章 经济预测 ..... 43

价格、成本和生产情况预测；现值估计；现值变化率；实际价格单一变动的影响；简单的典型年外推；决定完全边际品位策略所需的逐年数据；贴现率；作为参数的贴现率。

## 第9章 储量估计 ..... 46

信息来源；短期计划品位；随时间而变化的品位分布长期计划和储量估计；作业边际品位；开采选别性；品位测定中的非精确性；开采阶段（而非开拓阶段）的边际分析及应用；按矿量而不是按时间的计划；品位极限的规则性；品位分级的一致性；品位区间中的品位分布；参数化品位。

## 第10章 完整的边际品位策略计算 ..... 53

决定一序列逐年边际品位；现金流量和现值的一致性；根据初始现值假定进行迭代；机会成本的估计公式；现金流的计算；现值的计算；修正初始估计；OGRE程序。

## 第11章 参数边际品位 ..... 58

与真实品位间接相关的品位分级；次要矿物的当量换算；品位测定的非精确性；实际品位与参数品位的关系，网格式寻优技术。

## 第12章 非精确性对品位控制的影响 ..... 62

测量中的困难；推测品位与实际品位；推测参数品位；图解；品位估计质量；对边际品位策略的影响。

## 第13章 存贮中间品位矿岩 ..... 67

存贮以待后期利用；附加成本；回收率降低；最优策略的复杂性；估计最低存贮品位；当现金流量增加时才回收；公式推导；简化计算的考虑。

## 第 14 章 矿山扩建计划 ..... 73

扩建的压力; 按边际投资成本增加产量; 能力增加意味着改变边际品位策略; 多方案选择的必要性; 现值增量分析; 举例; 规模扩大的影响。

## 第 15 章 设计新矿山 ..... 76

概念性设计; 计划过程描述; 边际品位策略的重要性; 矿床模型及品位估计; 矿山早期计划; 大工程估计的顺序; 不同的计算和生产能力方案; 多方案比较边际品位策略与净现值; 计划与估计的修正; 重新评价和重复作计划; 经济预测与敏感性分析; 计算机系统的作用; 为 Bougainville 作的早期计划。

## 第 16 章 两种矿物的矿床 ..... 81

单个等量矿物有时更满意; 当一种矿物约束市场时的失效; 与两个变量有关的边际品位; 边际品位线; 计算最优线; 极限经济品位线公式; 平衡品位; 网格寻优技术。

## 第 17 章 其它的经济模型 ..... 87

基本分析; 许多其它经得起考验的技术; 根据南非税制作的税后评价; 根据简单的公式改变选矿回收率; 产量变化时的较复杂的情况; 通过计算决定最优。

### 例 1 地下开采锡矿 ..... 92

老矿; 采场中接近枯竭的剩余资源; 对影响停产的经济因素所进行的分析。

### 例 2 地下开采的铅锌矿 ..... 97

新建矿山; 按等量锌计品位; 提升约束产量; 根据财产的销售价值估计现值; 计算当前边际品位; 价格变化所产生的影响。

### 例 3 露天开采铀矿 ..... 100

刚建矿山；由短期计划得到的储量；由经理估价得到的残余现值；所有环节都约束产量；计算极限经济边际品位、平衡边际品位和有效最优边际品位；现值敏感性分析。

**例 4 露天开采铜钼矿** ..... 105

刚建矿山；在原有铜品位区间中的等量铜品位——参数化；单一增量的储量表；简单的现值估计；选矿厂的约束；计算当前的边际品位和完整的边际品位策略；选矿厂扩建的评估。

**例 5 地下开采金矿** ..... 112

刚建矿山；由于回归影响的品位参数化；有残余现值的单一储量增量表；由盈亏平衡以及极大化税前和税后现值计算的当前边际品位。

**例 6 露天开采铜矿的预可行性研究** ..... 118

按六个增量划分的储量；改变价格和生产能力所计算的完整的边际品位策略；存贮策略的评价。

**例 7 露天开采的铀 / 铜矿** ..... 124

刚建矿山；两种矿物、九个增量、并考虑残余现值；完整的边际品位策略；选厂扩建方案评估。

符号说明 ..... 130

附录 ..... 132

参考文献 ..... 144

# 第1章 绪 论

当我初涉采矿工业时，我深信矿石和各种深埋在地下的宝藏一样，具有很易识别的特征：他们要么在黑暗之中或在火光照耀下闪闪发光，要么出奇地又黑又重。这是很多外行共有的先入之见，而那时我的的确确是一个门外汉，因为我学的是数学和经济学。

即使在几个矿山工作之后，我的这种信念也未动摇。当地质学家在矿体上盘指出富矿层的迹象或从新辟的巷道工作面上取下好的矿样时，我才明白自己不能从围岩中区分出矿物是因为对矿物学的不可饶恕的无知。

那时，作为一名数学家，我的工作不可避免地与取样统计有关。我了解到取样是生产矿山的中枢神经环节。炮孔取样、刻槽取样、坑道取样、抓样、尘样等等，成千的样品要定期地采集、化验、绘图以及分析，他们是矿山得以控制的手段，也是品位控制部门决定矿石界限的依据。最后，我才弄清楚：虽然有些矿石可以通过它们的某些物理性质去鉴别，但在生产进程中矿石一般是由边际品位定义的。矿物含量高于边际品位的物料 (material) 才进行开采、选冶；而低于边际品位的物料则留在原地或送往废石堆场。

有了这一发现后，我又问了自己一个似乎很显然的问题：为什么要用这一个边际品位值而不是其它的值呢？对此问题的典型回答有下面几类：

- 我们总是用 0.3%。
- 综合考虑几年前的金属情况，矿领导决定用 5%。
- 那是一个技术性问题，我们把它留给现场的人们去考

虑。

· 在可行性研究中试算了几个边际品位值，我认为 1% 似乎最好。

· 我想我们的成本是每吨 10 美元，而铀的价格是每磅 10 美元，所以 1b/t 应该是对的。

上述回答的不充分性激发了我对矿石定义的兴趣。事实似乎是：这个问题在矿业的任何一个范围内——采矿、选矿、地质学或经济学——都不甚明了，并且没得到应有的重视。除了教科书和少量几篇论文中有所提及外，我找不到任何权威性的参考书。在一个致力于采矿的工业，其矿石的定义被如此“理所当然”地对待，似乎很有讽刺意味。当然，这是 20 年前的情形。从那时起，我和同事们，尤其是 RTZ 的同事，针对许多矿山，包括几个大规模的国际企业，在矿井设计和边际品位经济学方面做了大量的工作，在此期间关于矿石定义的理论基础已经建立起来，并且，该理论已开发应用到大多数的采矿方法之中，尤其是对于大型矿山的应用已经在总体经济学方面得到显著的改进和完善。

现在，这个问题被认为很重要了，并且许多人对它的进一步发展做了许多工作。它被列入好几所矿业院校的教学大纲，并已有不少有关文献。然而仍然没有一本既解释概念、推导公式，又给出应用案例的完整的书籍。本书的目的就是为了弥补这一不足。

\*

\*

\*

在世界各地，各种矿物以不同的富集度渗透分布在地壳之中。大多数花园中的一铲泥土可能包含有铝、二氧化硅、钾、铁，等等。花工对此可能会有兴趣，但矿工却不会。原因很显然，因为矿物的富集程度太低。

事实上，富集度是一项很苛刻的属性。采矿工业可以认为是这样一种工业，其所关心的只是矿物的富集度——矿物不断富集，直到形成可以进入市场的形态。

一般地，这个过程是分阶段进行的，第一阶段是勘探，在此阶段是寻找地壳中已出现某种程度的自然富集的矿化区域；第二阶段是开采，此阶段是在矿化区域中开采部分矿石以作进一步处理，接着就是矿石处理阶段，如破碎、磨矿、浮选、浸出、熔化和提炼。

如何把整个过程分成阶段以及如何划分各阶段的界限，依赖于所采用的各种技术及其经济性。例如，磨矿粒度越细，回收率越高，但支付的电力费用也越高；类似的，在浸出流程中所停留的时间越长，回收率也越高，但酸的消耗费用也越高。因此，各个阶段是相互影响的，必须根据整个企业的情况才能决定一个最佳的组合。

本书只考虑第二阶段，即开采阶段。虽然采矿工业包含了所有阶段，但开采（extraction）也常简单地称为采矿（mining）。问题的焦点是这一阶段的界限，此界限就是用来将矿化带中要开采和进一步处理的矿石从围岩中区分出来。通常该界限是根据边际品位而确定的。

为避免歧义，单词“矿石”（ore）只用于描述被开采下来进行处理的那部分物料（material）。换句话说，依据定义，矿山开采矿石。因此，确定出一个计算边际品位的经济依据，实际上即从经济学的角度，给出了矿石的定义。

本书首先阐述与后面分析有关的经济原理，然后给出这些原理在各种情况下的应用结果。这样安排虽然在某些方面会导致数学上的复杂性，但它能逐渐让人明白：清晰的和前后一致的思维比简捷的代数公式更为重要。在整个过程中，

给出了完整的边际品位理论，并对主要公式的推导进行了详细叙述，其目的也只是为了说明问题，而不是为了数学上的严密性。所给案例清楚地反映了原理的应用。这些案例都以实际应用为基础，它们包含了足够的可供参考的材料。

本书一开头，就遇到了语言学上的问题。许多重要的词汇通常被随便使用，在不同的场合有不同的含义，这就导致许多误会，并且肯定已经阻碍了清晰的概念的发展。前面提到的单词“矿石”就是一个重要的例子。矿化体 (mineralised body) 在开采之前，甚至在认真的开采计划做出之前，就被称为矿体 (ore body) 了。于是，当在严格意义上讲还只是将来在某种情况下可能成为矿石的矿化物料 (mineralised material) 的估计吨位时，它已经被叫着可能储量、已证实储量、钻孔控制储量、推测储量等等。本书将刻意避免定义的混淆不清，有时候这会导致某种名称的陌生用法，但也不必过于迂腐，只有当区别很重要时，才采用一些特异的词和用法。

另一个问题是由矿化体的有限性引起的。以有限资源为基础的矿山企业的开采期限必然受到限制，这给经济分析带来了复杂性。不幸的是，它也同时带来了人们对此问题的带有感情色彩的不同态度。这些问题，再加上语义上的问题，通常引起一些毫无启发性的争论，而不是有益的讨论。本书中，这类问题都通过保持假设和目标的严密的逻辑性来避免，目的是给出一个根据现行的公认的经济概念的最佳的矿石定义，而对其它的考虑都不作任何妥协。

在过去的 20 年里，已经对各种工程项目进行了最优边际品位策略的计算。大体说来，对已经建好的矿山，最优边际品位策略与实际使用的相差不多，因为这些矿山通常已设

计（也许后来又扩建）达到处理一定量的矿石和矿物的能力，相应的有对应的品位值，井筒装备和设备能力没有多少灵活性，因而边际品位可以变化的范围就很有有限。相反地，当作扩建计划时，或者建设新矿山时，采用最优边际品位策略就比传统的品位策略在总回收期内的效益好得多。

虽然可以利用手工计算边际品位，但计算量大而繁复，尤其是在长期计划内决定边际品位策略时，这一点尤显突出。本书中的计算全是利用专为此目的编制的计算机软件来做的，此软件叫 OGRE (Optimum Grades for Resource Exploitation)。软件的版权归 RTZ Consultants 所有。

## 第2章 经济原理

毫无疑问，关于矿化体所要问的问题必然是：它含有矿石吗？或者更严格地说，它含有任何潜在的矿石吗？

对矿石下一个经济定义所带来的不便之处是：矿化物料 (mineralized material) 的任何固有属性都不能独立地回答上面的问题。虽然勘探人员通常计算“一吨岩石 (rock) 的美元价值”以评估目标，事实上，地下的矿物并没有明确的价值，只有当其被开采出来，经过加工处理，到达顾客手里时，其价值才得以实现，因此，不能将矿石的经济定义和整个采矿过程的经济性分开讨论评估，其实，正是整个采矿过程的经济性决定了矿石的经济定义。

这一点是基本的。矿化体通常被称为有价值的资源。从某种意义上看是这样的。但这容易引起误解，他们并不一定是有价值的资源，这和银行里的现钞以及地里的庄稼一样，其仅有的暂时的价值只是采矿公司为了获得开采权所出的价格，更现实地说，矿化体的任何价值都只能作为整个企业生产过程的一部分而得以实现。

建立矿石定义的经济基础应遵循以下几方面的考虑，首先必须针对矿山整个生产过程进行分析。只有先对影响整个采矿过程的经济因素有了清楚地了解之后，才能弄清影响矿石界限的经济因素。

要考虑的因素很多，如市场因素、价格、成本等等，但利用价值的经济概念可以将它们归纳在一起。采矿企业获得收入，同时也支付成本。因此，它是一个经济实体并可以给定一个估值。

显然，这个估值随矿石的经济定义不同而不同。有的定义基础会得到较高的估值，有的则较低，而得到最高价值的就是最优的，相应地，也就给定了矿石的定义。换句话说，当且仅当矿化体中的物料（material）经过加工处理后能使企业增值时，这些物料才可看作可采矿石。这是一条极为重要的评价标准。

企业经济价值的估计依赖于其现金流量。依据每年的收入和支付的成本，可以计算企业每年的净现金流量，以恰当的贴现率将逐年的净现金流量贴现并汇总，可以得到一个值，严格地讲：这是一个“现值”。

现值原理以及如何确定贴现率已经超出了本书讨论的范围，许多书和文章对此原理都有深入的讨论和分析，它已被采矿工业所接纳，尤其受到财务分析人员的青睐。它几乎可用于各种性质的项目评价，然而，用它来决定最优的生产经营策略还不多见。

当然，这并不会减少它的有效性。但是，若不熟悉现值原理，当计算结果与传统观点差异很大时，就会对将现值作为评价标准产生疑虑。这种差异通常是：按现值最大标准算出的品位和生产能力比按传统方法算出来的高，这和保护性开采政策似乎不一致。

对现值标准持怀疑态度的其它观点还没有达到形成意义明确的方法的程度，一般地，有两种最为主要的争论：

（1）如果处理加工的矿物料能对利润有所贡献，那它就应当看作矿石；

（2）采矿应按使有用矿物的采出量达到最大的方式进行。

根据所采用的定义，应用上述标准所计算的边际品位策

略可以是相同的，但必须分开对它们进行讨论。

从某种程度上讲，第一种标准在技术人员中很普遍。然而，谁对利润有贡献又是争论的焦点。通常的观点是：对于任何一种物料，只要从其中回收的有用成分的价值超过加工处理它的边际成本，就应算作矿石。有时候，企业的一般性管理费用也附加到成本之中，除此而外，有时还把要求的最小的利润也附加到成本之中，这种观点的根据是：如果不把这些物料划成矿石，那么就失去了获取利润的机会。

这一观点的不足之处在于它完全忽略了各环节生产能力的限制，这一观点也相当于说：零售商应该把任何一种可以产生边际利润的商品都存放起来，事实上，零售商们并不这样做，因为他们的库存空间有限，因此，他们会在有限的空间内存放更能获利的商品。矿山也一样，矿山的综合生产能力受其各个环节能力的限制，如井筒、选厂、汽车队、开拓能力等等，由于这些限制，矿山就应该开采加工更能获利的物料，这一策略与包含最小毛利润的评价标准的解释是一致的。但是，最小毛利润评价标准的支持者们通常给不出确定毛利的依据。相反地，现值标准可以通过现值函数，权衡现在和将来的收益，从而给出精确的计算依据。

第二种标准，即：采用使有用矿物的开采量极大化的标准，这常常由矿权所有者、地方政府以及资源保护主义者提出。但这又引起了另一个问题，即什么是有用矿物？一个比较偏激的观点是：从保护资源的角度看，所有的矿物或地质储量（无论他们是什么）都应该开采，这种不太现实的想法源自对矿物在地下的分布方式缺乏了解，另一种不太偏激的观点认为，为了获得满意的利润，矿山应将贫的物料和富的物料按一种可以接受的比例混合开采以获得满意的利润，当

然，每个矿山都是贫富兼采，并且边际品位值就是决定多贫的贫物料可以开采。然而，提倡开采量极大化标准的人通常暗示贫物料本身不具经济性，要对其给予一定程度的补贴，这到底是什么意思不甚明了。但这种矿石品位交叉补贴的观点除了在特殊场合以外，在经济上是不太现实的。另一个比较合理的观点用与第一种标准相同的方法定义有用矿物。在这种情况下，这两种方法所得的结果是一致的，所存在的关于能力影响的问题也是一致的。

上述两种标准的另一个共同缺点是：他们不能满意地解决价格变化问题，也不能满意地解决其它经济参数变化问题，但价格变化的影响最为显著。

和所有的盈亏平衡计算方法一样，他们认为价格越高，边际品位就应越低。要知道，边际品位越低，平均品位相应也越低，如果矿山的处理能力不变，那么，矿物量的产出必然下降，这和市场需求情形完全背道而驰了，价格越高，也就意味着供不应求，相应地应增加供给，而不是减少，并且，如果矿山总是高价时少卖，低价时多卖，那其经营策略显然是说不通的。

现值是能很好地解决经济条件变化问题的唯一的计算标准，定义了经济条件的参数本身也包含在现值之中，当然也就对最优边际品位计算产生影响。这一特点在例2中说得很清楚。

许多对现值标准持批评态度的人的确表示了他们对某些特殊利益的兴趣。例如，认为按现值标准会缩短矿山的服务年限，这对生产矿山的全体员工不利，因为这会威胁他们的生活，类似地，地方政府通常也希望工业企业的寿命越长越好，因为这能保证持续不断的就业、税收，也许还有矿区使