

文章编号: 1004- 0609(2000)01- 0140- 04

矿床模型块段权重与露天矿设计统一模型^①

石忠民

(武汉工业大学 资源与环境工程学院, 武汉 430070)

摘要: 净利法是至今仍广泛使用的一种矿床模型块段权重的计算方法, 适用于矿床单一露采的情况。对于矿床采用露天与地下联合开采的情况及露天矿优化设计的各种经济目标, 依据经济合理剥采比的计算原理可以提出净利差额法、收支比率法和费用差额法 3 种新的块段权重计算方法及其参数分析算法。三者中的前两者是净利法的推广。基于上述块段权重计算技术可以建立露天矿设计的统一模型, 这个统一模型可以用来描述露天矿最终境界、分期境界和初始境界的优化设计。

关键词: 块段权重; 矿床模型; 计算方法; 参数化法; 露天矿; 优化设计

中图分类号: TD 216; O221

文献标识码: A

矿床开采模型是一个网络模型, 露天矿优化设计可以归结为一种网络规划。矿床开采模型中的块段及其相互关系, 构成网络的基本要素, 即顶点和弧, 块段质量则是顶点或弧的权重^[1,2]。另外, 在阐述露天矿分期境界(嵌套境界)的优化设计原理时, 需借用质量这一物理概念来描述块段的其他属性。因此, 为了统一称谓和避免歧义, 本文拟将块段质量改称为块段权重。

矿床模型块段权重的现行计算方法简略单一^[3]。对于矿床单一露采的情况, 国内外大多采用净利法^[1~5]; 对于矿床露天与地下联合开采的情况, 仅有费用差额法一种规范的计算方法^[5], 但在实践中国内通常借用经济合理剥采比的计算方法, 即以经济合理剥采比给块段权重赋值^[6,7]。另一方面, 如果不是直接套用其计算方法, 而是综合运用经济合理剥采比的计算原理^[8,9], 则可以建立块段权重的若干实用计算方法及其参数分析技术。这些计算方法不仅可以与露天矿优化设计的数值方法相匹配^[2], 而且可以与露天矿优化设计的各种经济目标相适应^[8,9]。由此, 还可以建立露天矿优化设计的统一数学模型。

1 块段权重的计算原理与方法

对于露天采矿而言, 一个块段是否值得开采, 不是孤立地根据块段自身的经济价值进行直接评价, 而是将其置于某种块段集合即增闭包中进行综

合评价^[2]。因此, 每个块段需要定义一个权重作为这种综合评价的基础参数。块段权重作为一种参数有一定的取值区域, 在露天矿最终境界优化设计中, 需用其上限值。

块段权重计算的原始数据是块段的开采价值和开采费用。根据露采和地采的技术经济条件不同, 块段的开采价值和开采费用的计算或赋值必须遵从下述规则:

规则 1 拟用露采的块段必须全部采出, 不论盈亏, 每一块段的露采价值和费用均予列出;

规则 2 拟用地采的块段可以只采矿体部分不采岩体部分, 盈利块段的地采价值和费用如实列出, 反之, 两者均赋零值;

规则 3 块段的价值和费用可以按原矿计算, 也可以按精矿、金属或其他矿产品计算(以下讨论不作具体区分)。

关于块段的开采价值和开采费用的计算原理和方法参见文献[10]。

不失一般性, 以二维矿床模型块段为例讨论各种块段权重计算方法, 比如, 记块段 b_{ij} 露采时的价值和费用分别为 v_{ij}^0 和 c_{ij}^0 , 则净利法确定的块段权重 w_{ij}^0 就是块段的露采净利 p_{ij}^0 , 即

$$w_{ij}^0 = p_{ij}^0 = v_{ij}^0 - c_{ij}^0 \quad (1)$$

1.1 净利差额法

净利差额法对应的经济目标是使矿床开采总净利最大, 其原理是将块段 b_{ij} 的地采净利 p_{ij}^0 作为该块段露采最终净利的下限, 并以此作为准则来确定

① 收稿日期: 1998- 12- 21; 修订日期: 1999- 09- 27

作者简介: 石忠民(1954-), 男, 副教授

块段权重变量 w_{ij} 的上界, 即

$$p_{ij}^o - w_{ij} \geq p_{ij}^u, p_{ij}^u = v_{ij}^u - c_{ij}^u$$

或者

$$w_{ij} \leq p_{ij}^o - p_{ij}^u$$

式中 v_{ij}^u 和 c_{ij}^u 分别表示 b_{ij} 地采时的价值和费用。

记上式右边代数式的值为 w_{ij}^1 , 即

$$w_{ij}^1 = (v_{ij}^o - c_{ij}^o) - (v_{ij}^u - c_{ij}^u) = v_{ij}^o - (v_{ij}^u - c_{ij}^u) - c_{ij}^o \quad (2)$$

w_{ij}^1 是块段 b_{ij} 的权重形式之一, 表示块段 b_{ij} 的露采与地采的净利差额。因此, 式(2)称为块段权重计算的净利差额法。

1.2 收支比率法

收支比率法对应的经济目标是使矿床开采的资金收益率最大, 计算原理是将块段单位地采费用的收入(回收价值)作为露采同一指标的下限, 即

$$v_{ij}^o / (c_{ij}^o + w_{ij}) \geq v_{ij}^u / c_{ij}^u$$

类似净利差额法, 可得收支比率法:

$$w_{ij}^2 = v_{ij}^o / (v_{ij}^u / c_{ij}^u) - c_{ij}^o \quad (3)$$

特别地, 当 $v_{ij}^u = c_{ij}^u = 0$ 时, 约定 $v_{ij}^u / c_{ij}^u = 1$ 。

1.3 费用差额法^[5]

费用差额法对应的经济目标是使矿床开采总费用最小, 基本思想是将块段的地采费用作为露采最终费用的上限, 即

$$c_{ij}^o + w_{ij} \leq c_{ij}^u$$

参照上述两种计算方法, 可得费用差额法:

$$w_{ij}^3 = c_{ij}^u - c_{ij}^o \quad (4)$$

特别地, 当 $c_{ij}^u = 0$ 时, 约定 $c_{ij}^u = v_{ij}^o$ 。

2 典型算例及简要分析

应用 4 种计算方法分别确定若干块段的权重。

2.1 原始数据和计算数值

列举若干种具有代表性的块段作为算例, 原始数据和计算结果见表 1。

2.2 算例讨论

各种计算方法的计算数值关系讨论如下:

1) 对于所有块段, 各种计算方法的计算数值关系为

$$w_{ij}^0 \geq w_{ij}^1 \geq w_{ij}^2 \geq w_{ij}^3$$

2) 对于 $v_{ij}^u = c_{ij}^u$ 的块段, 如表 1 中的块段 2, 则有

$$w_{ij}^0 = w_{ij}^1 = w_{ij}^2$$

3) 对于 $v_{ij}^o = v_{ij}^u$ 的块段, 如块段 3, 则有

$$w_{ij}^1 = w_{ij}^2 = w_{ij}^3$$

4) 矿床模型的块段 b_{ij} 可以划分为实块段(若 $w_{ij} \neq 0$)和虚块段(若 $w_{ij} = 0$), 实块段还可以进一步细分为正块段(若 $w_{ij} > 0$)和负块段(若 $w_{ij} < 0$)^[11]。由表 1 中块段 5 即混合块段可以看出, 这种划分不是绝对的。对于露天矿优化设计的数值方法而言, 虚块段在求解时可以省略。

5) 对于废石块段, 如块段 7, 则有

$$w_{ij}^0 = w_{ij}^1 = w_{ij}^2 = w_{ij}^3$$

3 露天矿优化设计的统一模型

与矿床单一露采不一样的是, 根据矿床经济价值的差异, 矿床联合开采有下述 3 种不同的经济目标^[8,9]:

目标 1 矿床开采的总净利最大;

目标 2 矿床开采的总收益率最高;

目标 3 矿床开采的总费用最小。

上述经济目标相应的露天矿最终境界优化设计

表 1 各种块段权重的计算数据和计算数值

Table 1 Calculation data and calculated values for weights of blocks of all kinds

Block No.	Block kind	Original data				Calculated results			
		v_{ij}^o	c_{ij}^o	v_{ij}^u	c_{ij}^u	w_{ij}^0	w_{ij}^1	w_{ij}^2	w_{ij}^3
1	Ore block	9.9	1.9	9.0	7.0	8.0	6.0	5.8	5.1
2	Ore block	8.6	1.6	7.9	7.9	7.0	7.0	7.0	6.3
3	Ore block	7.8	1.5	7.8	6.3	6.3	4.8	4.8	4.8
4	Waste ore block	4.3	1.5	3.9	3.1	2.8	2.0	1.9	1.6
5	Mixed block	1.3	1.2	1.2	1.1	0.1	0.0	0.0	- 0.1
6	Ore waste block	0.7	1.2	0.6	0.5	- 0.5	- 0.6	- 0.6	- 0.7
7	Waste block	0.0	1.2	0.0	0.0	- 1.2	- 1.2	- 1.2	- 1.2

Note: The signs v_{ij}^o and c_{ij}^o denote respectively the value and the cost of block b_{ij} mined by the open pit method, and the signs v_{ij}^u and c_{ij}^u denote respectively the value and the cost of block b_{ij} mined by the underground method.

可以表述为3个不同目标函数的最优化问题。然而,运用经济合理剥采比的计算技术处理块段权重,可以使不同的最优化问题采用下述统一的数学模型描述:

$$(I) \max \sum_i \sum_j w_{ij} x_{ij} \quad (5)$$

$$\text{s. t. } x_{ij} \leq x_{rs}, b_{rs} \in \Gamma(b_{ij}) \text{ and } \forall i, j \quad (6)$$

$$x_{ij} = 0 \text{ or } 1, \forall i, j \quad (7)$$

式中 $\Gamma(b_{ij})$ 为块段 b_{ij} 的支托集^[2], x_{ij} 为块段 b_{ij} 的开采特征变量。

矿床单一地采的总净利、总收益率和总费用均可视为常数,因此,当 w_{ij} 分别等于 w_{ij}^1 , w_{ij}^2 和 w_{ij}^3 时,则(I)的目标函数(5)分别表示使露天开采的矿床部分增加的净利、提高的收益率和减少的费用达到最大,从而使上述3个目标实现最优化。显然,模型(I)也适用于矿床单一露采的情形,这时, $w_{ij} = w_{ij}^0$ 。另外,若对块段权重计算方法实施参数分析技术^[1],模型(I)还可以描述露天矿分期境界优化设计。

模型(I)是一个特殊的大规模线性规划问题,直接求解相当麻烦。另一方面,由于约束条件(6)的系数矩阵是稀疏的和全单模的,依据露天矿优化设计原理,模型(I)可以应用图论法、网络流法和运输规划法等特殊算法求解,也可以运用移动圆锥法等启发式算法求解^[2, 11, 12]。

依据各种块段权重计算方法的计算数值关系可以推断,对于同一矿体而言,净利法对应的露天矿最终境界的几何尺寸最大,其后依次为净利差额法、收支比率法和费用差额法。

4 计算方法的相互关系

净利差额法、收支比率法和费用差额法是块段权重计算方法的3种基本形式,净利法是前两者的简化形式。另外,前两者的另一种特例在形式上与费用差额法相同。

当 $v_{ij}^u = c_{ij}^u$ 或 $v_{ij}^u/c_{ij}^u = 1$ 时,净利差额法和收支比率法简化为净利法。显然,块段 b_{ij} 不予地采时,即 $v_{ij}^u = c_{ij}^u = 0$,也属于这一情形。

当 $v_{ij}^u = v_{ij}^d$ 或 $v_{ij}^d/v_{ij}^u = 1$ 时,净利差额法和收支比率法的简化形式与费用差额法相同。对于这种情形,矿床联合开采的3个不同经济目标合而为一。

块段权重和经济合理剥采比的计算原理一脉相承,两者的计算方法相互对应。因此,两类计算方

法的适用条件、经济背景和应用前景相同^[8, 9, 13]。

上述块段权重计算方法仅适用于露天矿最终境界优化设计,对于露天矿分期境界优化设计, Lerchs 和 Grossmann 提出了下述净利法的一种参数分析技术^[1]:

$$\bar{w}_{ij}^0 = w_{ij}^0 - \lambda \quad \lambda \geq 0$$

为了揭示这种参数分析技术的原理,将上式改写成

$$\bar{w}_{ij}^1 = (v_{ij}^0 - \lambda^s) - c_{ij}^0, \lambda^s \geq v_{ij}^u - c_{ij}^u \geq 0 \quad (8)$$

式(8)实质上为式(2)的一种变异。依据收支比率法的计算原理,可以建立与之相应的另一种参数分析技术:

$$\bar{w}_{ij}^2 = (v_{ij}^0/\lambda^d) - c_{ij}^0, \lambda^d \geq v_{ij}^u/c_{ij}^u \geq 1 \quad (9)$$

显然,式(8)和式(9)可以应用于矿床露天与地下联合开采情形下的露天矿分期境界设计。为了区分,不妨将两式分别称为减数型参数分析法和除数型参数分析法。减数型参数分析法可以生成一个关于累计开采矿量的现金流积分最大的分期境界序列^[1];除数型参数分析法则可以生成一个关于累计开采费用的现金流积分最大的分期境界序列,或者说,可以使分期境界按资金收益率的大小排序。因此,无论在经济理论方面还是在实际应用方面,后者均优于前者。

5 结语

块段权重的计算方法是将单个块段作为计算单元,经济剥采比的计算方法是将单位工业储量作为计算单元^[8, 9, 13]。但是前者和后者分别将其计算单元看作矿床模型的个别部位和整体缩影^[3]。因此,前者生成的矿床经济模型不易失真,而后的难以逼真。

总之,块段权重的计算方法能更加有效地利用矿床地质模型的基础数据,更加可靠地提供矿床经济模型的相关信息,更加充分地发挥露天矿优化设计数值方法的优越性能。

REFERENCES

[1] Lerchs H and Grossmann I F. Optimum design of open pit mines [J]. Canadian Institute of Mining Bulletin, 1965, 68: 47~ 54.
 [2] SHI Zhong-min, FENG Zhong-ren, XU Chang-you, et al. Principles for optimum design of open pit mines [J].

- Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 1997, 7(1): 1~ 4.
- [3] NIU Cheng-jun(牛成俊). Current Theory and Practice of Open Pit Mining(现代露天开采理论与实践)[M]. Beijing: Science Press, 1990: 276.
- [4] PENG Zhao-de(彭兆德), YUN Qing-xia(云庆夏), *et al.* Mining Handbook Vol. 7 (采矿手册第7卷)[M]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 1991: 158.
- [5] ZHANG You-di(张幼蒂). Open Pitting Systems Engineering(露天采矿系统工程)[M]. Beijing: Coal Industry Press, 1989: 136.
- [6] WANG Li-guan(王李管), DEN Shun-hua(邓顺华) and CHEN Jian-hong(陈建宏). 矿床模型与开采辅助设计软件系统研制[J]. Journal of Central South University of Technology(中南工业大学学报), 1994, 25(5): 575~ 580.
- [7] ZHANG Sheng-gui(张生贵), *et al.* 确定露天矿境界的计算机法—浮动锥法[J]. Mining Technology(矿山技术), 1981, (3): 8~ 15.
- [8] SHI Zhong-min(石忠民), FENG Zhong-ren(冯仲仁) and XU Chang-you(徐长佑). 计算经济合理剥采比的储量盈利比较法[J]. Metal Mine(金属矿山), 1996, (4): 7~ 9.
- [9] SHI Zhong-min(石忠民), XU Chang-you(徐长佑) and FENG Zhong-ren(冯仲仁). 计算经济合理剥采比的两种新编比较法[J]. Metal Mine(金属矿山), 1996, (10): 2~ 5.
- [10] ZHAO Rui-rong(赵瑞荣) and XU Xiao-he(徐小荷). 露天矿短期生产计划边界品位的确定原则与计算[J]. China Mining Magazine(中国矿业), 1998, 7(3): 31~ 33.
- [11] SHI Zhong-min. Symmetry and conservation laws for optimum design of open pit mines [J]. Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 2000, 10(1): 119 ~ 122.
- [12] SHI Zhong-min(石忠民). 露天矿优化设计的通用准则和混合算法[J]. China Mining Magazine(中国矿业), 1999, 8(2): 55~ 59.
- [13] SHI Zhong-min(石忠民), XU Chang-you(徐长佑) and FENG Zhong-ren(冯仲仁), *et al.* 三种经济合理剥采比计算方法评述[J]. Metal Mine(金属矿山), 1997, (1): 6~ 9.

Weights of blocks within an ore body model and unified model for design of open pit mines

SHI Zhong-min

*School of Resource and Environment Engineering,
Wuhan University of Technology, Wuhan 430070, P. R. China*

Abstract: The net-value method is a calculation method for the weights of the blocks within an ore body model, which is widely used even today and applied to the case of mining an ore body only by the open pit method. For the case of mining an ore body by the method combined open pit and underground mining and for the various economic objects of the optimum design of the open pit mines, three new calculation methods of the block weights referred to as the net-value difference method, the value-cost ratio method and the costs difference method, and their parametrizations were proposed on the calculation principles of the economic stripping ratio. Among of them the first two methods are the extension of the net-value method. An unified model for the design of the open pit mines was developed on the basis of the calculation technique for the weights of the blocks. The unified model can be applied to describe the optimum designs for the final limit, the intermediate limits and the original limit of a pit.

Key words: block weight; orebody models; calculation; parametrization; open pit mines; optimum design

(编辑 袁赛前)