

多目标决策理论在矿床工业指标优化中的应用

刘 和 发

(有色总公司北京矿产地质研究所)

本文介绍了多目标决策理论中的理想点法的基本原理和方法。运用该法对某一钨锡矿床工业指标作了优化,并与传统的方案法对矿床工业指标优化结果进行了对比;认为理想点法在矿床工业指标优化中的应用是可行的。

关键词: 多目标决策; 理想点法; 矿床品位指标优化

矿床工业指标是地勘工作中进行储量计算和提交地勘报告必不可少的基础依据,也是经济、合理开发矿产资源的重要依据。它不仅决定了矿床的经济价值,而且直接影响着矿产资源开发利用的经济效益和资源利用程度。作为工业指标优化最为主要的部分,品位指标优化的方法较多,目前应用较为广泛和成熟的方法为方案法(技术经济全面比较法),其主要是通过多指标方案重新圈定矿体、计算储量基础上,对各指标方案圈出的矿体,按矿山现行技术经济水平,进行经济分析、论证,最后从矿体形态、矿产储量、品级及开采后预期获得的矿产数量、经济效益等方面,进行多方案间的综合对比,优选出比较合理的矿床品位指标。由于这些众多的评价目标多是侧重某一方面彼此不具有可比性,且有时相互存在矛盾,这就给方案的综合评判带来一定难度。有鉴于此,我们引进多目标决策理论来解决工业指标优化中的多评价目标方案排序选优问题。

目前,较为成熟的多目标决策方法较多,如北京科技大学陈希廉教授在铁矿品位指标优化方面曾利用灰色系统理论,进行多目标综合判定。当然,由于多目标决策理论作为一种新理论体系的提出,它产生的时间还很短,各种方法本身尚有待于进一步

完善,其应用也有一定的局限性,至今还没有一个为人们所公认的方法。我们根据以往工作实践,采用多目标决策理论中的理想点法,来探讨其在品位指标优化上应用的可行性。

理想点法基本原理和方法

理想点法是把空间距离概念引入目标空间,其实质是把多个评价目标归化到一个综合指标——“模”(空间距离)上,据此模对各方案的优劣程度做出评判。

设有 m 个目标记为 $f_i (i=1,2,\dots,m)$, m 个目标组成的 n 个方案记为 $U_j (j=1,2,\dots,n)$,在 n 个方案中每个目标分别有最优值 f_i^0 (最大值或最小值),由 $f_i^0 (i=1,2,\dots,n)$ 组成的向量 U_j^0 是理想化的方案,但它一般是不可能达到的,为此,定义一个模

$$D = |U_j - U_j^0|_p (j=1,2,\dots,n)$$

$$\text{当 } p=2 \text{ 时, } D = |U_j - U_j^0|_2$$

$$= [\sum (f_i - f_i^0)^2]^{1/2}, \text{ 即为欧氏空间距离。}$$

显然,方案 U_j 越接近理想方案 U_j^0 ,即该方案 D 值越小,则方案 U_j 就越好。因此根据各方案 D 值大小排列顺序,可以评判方案的优劣程度。

应用时,为避免各方案目标值的量纲和量级不同,应对各目标进行标准化处理,即

$$\bar{f}_{ij} = f_{ij}/f_{iN} \text{ 或 } \bar{f}_{ij} = f_{iN}/f_{ij} \quad (i=1,2,\dots,m, j=1,2,\dots,n)$$

式中, \bar{f}_{ij} 为 j 方案的 i 目标标准化值;

f_{ij} 为 j 方案的 i 目标值 (未标准化);

f_{iN} 为 i 目标的标准值;

m 为目标数, n 为方案数。

目标的标准值按以下原则给定:

(1) 如果要求目标值越大越好, 则取,

$$f_{iN} = \max\{f_{ij} | i=1,2,\dots,m \quad j=1,2,\dots,n\}$$

$$\text{这时 } \bar{f}_{ij} = f_{ij}/f_{iN} \quad 0 \leq \bar{f}_{ij} \leq 1$$

(2) 如果要求目标值越小越好, 则取,

$$f_{iN} = \min\{f_{ij} | i=1,2,\dots,m \quad j=1,2,\dots,n\}$$

$$\text{这时 } \bar{f}_{ij} = f_{iN}/f_{ij} \quad 0 \leq \bar{f}_{ij} \leq 1$$

经标准化处理后, 理想化方案为 $U_j^0 = (1, 1, \dots, 1)$, j 方案的模则为

$$D_j = \left[\sum_{i=1}^m (\bar{f}_{ij} - 1)^2 \right]^{1/2} \quad (i=1,2,m \quad j=1,2,\dots,n)$$

计算出各方案的模 D_j 后, 将各方案模 D_1, D_2, \dots, D_n 按大小排列, D_j 越小则方案越好, 即离理想方案越近; 反之, D_j 越大, 方案越差。据此排列出各方案的相对优劣顺序, 从 n 个评价方案中择优舍劣、选出最佳方案。

理想点法在品位指标优化中的应用及方法分析

以某一大型钨锡石英脉型矿床为例, 该矿为一生产矿山, 矿山生产储量计算采用边界品位 0.08%、最低工业品位 0.12%、米百分比应用范围 1m、最大夹石剔除厚度 2m 的工业指标。其中品位指标系采用综合品位指标, 按价格法将锡折算成矿床主要组份钨。因钨锡价格变化、上述品位指标偏低, 造成矿床低品位矿块多、高品位矿块少, 致使矿

山生产出矿品位很难调节平衡, 并直接影响选矿回收率和提高矿山经济效益。

根据该矿床具体特点及矿山生产实际, 选择两个中级 17 条有代表性工业矿脉的开采块段为研究对象。鉴于矿脉厚度多小于 1m, 在储量计算中一般不运用边界品位来剔除夹石, 多采用最低工业米百分值剔除单工程, 而研究范围内单工程综合米百分值的峰值在 0.22~0.44 之间, 据此按米百分值应用范围 1m, 选择 6 组工业品位指标方案, 进行综合技术经济评价。

矿床工业指标的优化过程, 关键是资源效益和经济效益如何统一。合理的矿床品位指标的确定, 仅能在技术经济合理的条件下, 尽可能地扩大矿产资源利用程度。根据这一原则, 我们从资源效益和经济效益两方面, 选取 7 个评价目标, 即储量方面的矿石量、钨金属量 (WO_3)、锡金属量, 资源利用方面的钨精矿、锡精矿产量 (以含量计), 经济效益方面的财务内部收益率与总利润现值等指标。显然, 上述 7 个评价目标要求越大越好。6 个品位指标方案的评价目标组成见表 1, 理想点法对各方案进行排序的结果见表 2。由表 2 可见, 方案 4 为 6 个评价方案中最佳方案, 即从选取的 6 套工业指标来看, 最低工业品位 0.20% 为最佳工业指标。

为了印证上述多目标决策结果的合理性, 可以采用传统的方案法 (技术经济全面比较法), 并就影响矿床品位指标优化的几个主要因素进行综合分析:

(1) 矿产储量及品级

从储量计算结果看, 随着工业指标的提高, 矿石量及钨、锡金属储量相应减少, 矿床综合平均品位增高。最低工业品位 0.20% 以下时, 各方案储量变化幅度均较小, 但当工业品位提高到 0.25% 时, 锡金属量将减少 11.96%, 减少幅度太大。因此, 从储量角度考虑, 最低工业品位高于 0.25% 是不可取的。

(2) 资源利用及预期获得的经济效益

各方案评价目标组成表

表 1

方案组成(U_j)			最低工业品位 (%)					
			0.10	0.12	0.15	0.20	0.25	0.30
			方案 1	方案 2	方案 3	方案 4	方案 5	方案 6
评价目标(f_{ij}), 单位								
矿石储量		t	524530	520632	511637	499623	475763	456420
金属储量	WO ₃	t	4775.60	4768.08	4728.45	4688.08	4598.39	4530.66
	Sn	t	2297.68	2293.35	2277.82	2253.98	2019.10	1971.95
钨精矿含WO ₃ 量		t	2443.6	2453.4	2442.8	2446.5	2365.7	2339.3
锡精矿含Sn量		t	865.4	861.6	852.1	838.9	743.7	717.1
财务内部收益率		%	6.785	7.459	10.555	11.836	12.577	13.907
总利润现值		万元	748.4	841.7	1056.7	1213.4	1304.5	1455.1

方案排序结果表

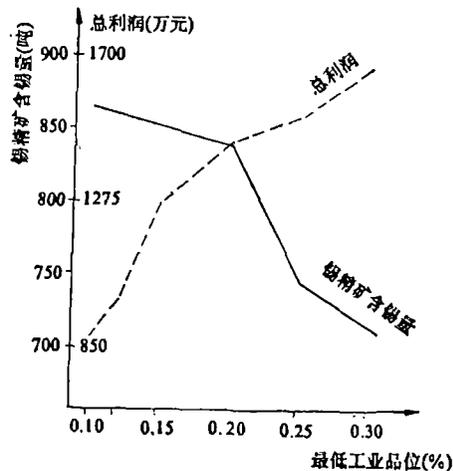
表 2

序号	1	2	3	4	5	6
次序	方案 4	方案 5	方案 6	方案 3	方案 2	方案 1
模 (D_j)	0.2317	0.2562	0.2667	0.3662	0.6267	0.7058

从不同工业指标下储量开展后所获得的矿产品数量来看, 一般最低工业品位由 0.10% 提高到 0.20% 时, 钨精矿、锡精矿产量减小幅度较低, 仅 1% 左右, 但当最低工业品位提高到 0.25% 时, 精矿产量大幅度减少, 锡精矿产量减小 11.35%。因此, 从资源利用角度看, 最低工业品位定为 0.20% 是比较适宜的。

从各套指标下储量开采后预期获得的经济效益来看, 最低工业品位由 0.10% 提高到 0.20% 时, 储量开采后经济效益增加幅度较高; 而当最低工业品位提高到 0.25% 以后, 虽然经济效益也增加, 但增加幅度趋缓, 表明最低工业品位 0.20% 为各方案财务评价指标曲线的“拐点”, 参见附图。

综合分析结果表明, 在选定的 6 套品位指标中, 最低工业品位为 0.20% 时既可保证矿块有较好的完整性, 使矿产资源得以充分回收, 同时又能保证其储量开采后有较好的经济效益, 是设定技术经济条件下最优品位指标。这与我们采用理想点法进行多目标综



最低工业品位与锡精矿含锡量总利润关系图

合判定结果是一致的。由此可见, 只要评价目标选取合适, 理想点法用于矿床工业指标优化中的多目标决策是可行的, 其综合评判结果也是比较真实的。

在撰文过程中, 得到了黄超高级工程师的指导, 殷淑丽同志参加了有关储量计算的部分工作, 在此致以谢意。