

某钽铌矿品位指标优化中数学模型的建立

贾清梅^{1,2} 李富平^{1,2} 太军君³ 徐彬¹

(1. 河北理工大学; 2. 河北省矿业开发与安全技术重点实验室; 3. 唐山师范学院)

摘要 根据某钽铌矿的现场实际生产,结合品位指标优化的理论和原理,运用 Origin 和 Matlab 计算机软件建立了品位指标优化中必须的体积密度模型、储量系数模型、平均品位模型和选矿比模型,为品位指标的整体动态优化提供了基础。

关键词 钽铌矿 品位指标 数学模型 Origin

Study on Mathematic Model of Optimizing Grade Index of Tantalum-Niobium Ore

Jia Qingmei^{1,2} Li Fuping^{1,2} Tai Junjun¹ Xu Bin³

(1. Hebei Polytechnic University; 2. Mining Development and Safety Technology Key Lab of Hebei Province; 3. Tangshan Teacher's College)

Abstract Based on the on-site actual production of a Tantalum-Niobium ore, and combining with principles and theories of grade index optimization, the weight model, reserves coefficient model, average grade model and the selection ratio model in grade optimization with Origin and Matlab software, thus providing the basis for dynamic optimization.

Keywords Tantalum-Niobium ore, Grade index, Mathematic model, Origin

众所周知,由于矿产资源的不可再生,故合理充分利用矿产资源是矿山企业义不容辞的责任,也是提高矿山企业经济效益的重要途径之一。而一个矿山企业生产经营参数的选取合理与否,直接影响到矿山资源的利用与生产的经济效益和社会效益,其中最为重要并与企业经济效益密切相关的是有用矿物的开采品位指标。因此,为挖掘现有矿山生产潜力,一个先进的矿山对不同开采条件的矿床、不同工业类型的矿石等,不能自始至终都采用同样的品位指标,应根据采选生产工艺技术的发展或生产成本、产品销售价格等参数的变化,对品位指标进行必要的调整,以保证提高矿产资源的利用程度,并获取最佳的经济与社会效益。否则,与当前经济发展是不相适应的。

在进行品位指标整体动态优化之前,必须建立各种数学模型。本研究以某钽铌矿的现场实际生产资料为基础,结合品位指标优化的理论和原理,运用数学方法建立了品位指标优化中必须的体积密度模型、储量系数模型、平均品位模型和选矿比模型。

1 体积密度模型

品位指标优化研究中,首先要建立储量计算的数学模型,而要建立这种数学模型就首先要建立矿

石体积密度的模型。但是在本研究中,由于矿石属于低品位矿石,不同品位矿石的密度变化比较小,根据测定的小块体积密度,不论是富矿、贫矿其结果基本上是一致的,平均为 2.62 t/m^3 ,测定的大块体积密度为 2.56 t/m^3 ,可见大块体积密度数值略低,但两者是相近的,为了储量计算方便且不影响计算结果,将小体积密度数值舍去尾数,采用一位小数,更接近于大体积密度,故原生矿石的体积密度采用 2.6 t/m^3 作为储量模型建立的依据。

2 储量系数及平均品位模型的建立

要进行品位指标优化的研究,首先要确定不同品位指标方案时的矿石储量和平均品位。如果采用传统的断面法进行储量及平均品位的计算,则每计算 1 个方案,就必须在所有储量计算图纸上重新圈定 1 次矿体并计算 1 次。在方案众多的情况下,则其圈定矿体及计算的工作量将大得惊人,而且计算的结果也不便于电算应用;如果采用克拉格法或距离 K 方反比法计算,又由于这两种计算结果都已包

贾清梅(1975—),女,河北理工大学资源与环境学院,河北省矿业开发与安全技术重点实验室,讲师,硕士,063009 河北省唐山市新华西道 46 号。

括了大部分开采的损失和贫化,与目前矿山研究中已有的储量及品位数据无可比性,而难以应用。为此,在研究中采用了在其他矿山中已使用过且行之有效的数理统计法,建立数学模型以进行计算。这种方法虽然建模工作量大,但比断面法效率高,而且便于电算应用。其建模步骤:①建立矿石取样品位频数直方图;②建立品位分布密度函数数学模型;③建立以积分求不同品位指标下的平均品位和储量的数学模型。

2.1 建立矿石取样品位频数直方图

为了确定品位的分布,需要统计品位的频率。首先在所有储量计算图纸上按不同矿石类型,以一定的品位间隔,从某个品位段开始,分别统计各品位段的样长,直到本矿体的最高品位。在统计中,还要将样长校正为真厚度方向的样长,然后将同一品位段中真厚度方向的样长相加,再用总样长(各品位段样长之和)相除,便得到各品位段的频率。由频率直方图可看出品位分布的大致情况,再经过统计假设检验并估计相应的参数,最后确定品位分布类型。

根据该钽铌矿地质勘探报告(包括各勘探线横断面图及各个钻孔的取样化验结果、样品长度等),采集了该钽铌矿 951m 水平至 572m 水平界内 111 个钻孔 618 组原始数据进行统计分析,含矿品位间隔定为 0.001%,从 0.001% ~ 0.054% 共分为 55 组。根据计算机统计结果,首先做出品位频率分布图,这种图必然是一种带有一定变化趋势的折线图。一定的变换趋势反映了矿体中品位的规律性变化,而其曲折跳动变化,则反映了矿体中品位的随机变化和随机误差。为了揭示出其变化的规律性,在研究中采用了滑动平均,这种滑动平均实质上起着滤波以及削减随机误差的作用,然后进行高斯拟合。

2.2 建立品位分布密度函数数学模型

将滑动后的品位频率分布曲线在计算机屏幕上显示出来,可以定性地确定出其所属函数的基本类型,再用 Origin 7.0 软件进行拟合计算,以确定出数学模型中的常数项,最后再进行检验。经以上研究,发现该钽铌矿的品位分布密度函数属于正态分布。矿石品位分布概率密度函数拟合曲线如图 1 所示。

该函数各参数计算结果与检验如下:

品位段 0.002% ~ 0.054%, $x - N(\mu, \sigma)$, $\sigma = 0.015\ 08$, $\mu = 0.022\ 05$, $Chi^2/DoF = 24.797\ 88$, $R^2 = 0.859\ 17$, 检验符合要求。故其函数式为

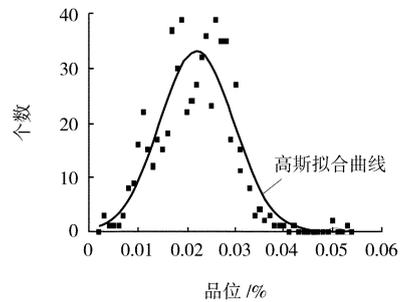


图 1 矿石品位分布概率密度函数拟合曲线

$$f(x) = \frac{0.627\ 87}{0.015\ 08 \sqrt{\frac{\pi}{2}}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{\sigma^2}}, \quad (1)$$

式中, $f(x)$ 为矿石品位分布概率密度函数; x 为矿石品位; σ 为矿石品位均差; μ 为矿石品位均值。

2.3 建立以积分求不同品位指标下的平均品位和储量的数学模型

通常矿体的储量是根据规定的双品位指标计算的,如果指标值改变,则所圈定矿体的储量和矿石的平均品位也随之改变。由此可知,储量 Q 与平均品位 C 都是边界品位 c_i 和最低工业品位 c_j 的函数。

2.3.1 求储量(或储量系数)的数学模型

储量 Q 的数学函数模型定义为

$$Q(c_i, c_j) = \int_{c_i}^{c_j} W(x)H(x)f(x) dx + \int_{c_j}^{\infty} W(x)f(x) dx, \quad (2)$$

式中, c_i 为边界品位; c_j 为最低工业品位; $W(x)$ 为体积密度与品位的回归方程; $H(x)$ 为辅助函数。

在具体计算中,根据该钽铌矿现行方案的双品位指标(0.008% ~ 0.01%),设此基准方案的储量为一常数,把新指标(c_i, c_j)时的储量与这一常数的比称之为储量系数 $q(c_i, c_j)$,可由下式求得:

$$q(c_i, c_j) = \frac{\int_{c_i}^{c_j} xW(x)H(x)f(x) dx + \int_{c_j}^{\infty} xW(x)f(x) dx}{\int_{0.008}^{0.01} W(x)H(x)f(x) dx + \int_{0.01}^{\infty} W(x)f(x) dx} \quad (3)$$

对于本次研究,由于该钽铌矿矿石品位分布比较集中,不论是地勘部门提交地储量报告,还是设计单位开采设计中地界内矿量计算,均未算出表外矿量。实际上,在该钽铌矿矿体地圈定与储量计算中,

虽然采用双品位指标制,但由于矿石品位分布较集中,只要按边界品位圈定矿体,其矿块的平均品位都能满足最低工业品位的要求。因此,对该矿矿体的圈定和储量计算起决定作用的品位指标只有一个,即边界品位,称之为可采品位。这样,对该矿的品位指标优化就成了单品位指标的优化。根据储量系数 $q(c)$ 所确定的不同可采品位下的新储量系数公式为

$$q(c) = \frac{\int_c^\infty f(x) dx}{\int_{c_0}^\infty f(x) dx}, \quad (4)$$

式中, c 为矿石的品位; c_0 为常数 0.019。

然后对 c 分别取 0.002 4 即最小值到最大值 0.053,以 0.001 为步长取 51 组数据,通过 Matlab 编程分别求出 $q(c)$ 的值。得出 51 组数据。

2.3.2 求平均品位的数学模型

矿石平均品位一般函数形式(双品位指标):

$$C(c_i, c_j) = q_0 \left(\int_{c_i}^{c_j} xW(x)H(x)f(x) dx + \int_{c_j}^\infty xW(x)f(x) dx \right), \quad (5)$$

式中, $f(x)$ 为品位分布的概率密度函数; $W(x)$ 为体积密度与品位的回归方程(本研究中此项为常数); $H(x)$ 为辅助函数,表明品位在 $c_i \sim c_j$ 间的矿石被圈入矿体的矿石百分比,通常令

$$H(x) = \left(\frac{x - c_i}{c_i - c_j} \right)^m, m = 1, \quad (6)$$

式中, c_i 为矿石的边界品位; c_j 为矿石的最低工业品位。

由于本研究中采用的为单品位指标,所以平均品位指标公式为

$$C(c) = \frac{J(c)}{q(c)}, \quad (7)$$

式中, $J(c)$ 为表内矿金属量函数,对于本研究,

$$J(c) = 2.6 \times \int_c^\infty xf(x) dx. \quad (8)$$

根据已求得的 $q(c)$ 的值,对 c 分别取最小值 0.002 4 到最大值 0.053,以 0.001 为步长取 51 组数据,通过 Matlab 编程可分别求出 $C(c)$ 的值。得出 51 组数据。

2.3.3 建立适合经济分析的矿石平均品位和矿石储量模型

研究中,对上述已经积分求得的 51 组数据通过计算机进行逐步回归分析,分别建立以 c 为自变量

求矿石平均品位与储量的数学模型。

(1) 以品位指标 x 为自变量求储量系数 $q(x)$ 的数学模型为图 2 多元回归模型:

$$q(x) = -4.29797 - 859.69541x - 43353.21942x^2 + 670729.70508x^3, \quad (9)$$

此式数学检验结果为

$$COD(R^2) = 0.99807, Chi^2/Dof = 0,$$

$$SSR = 0.05633, Correlation = 0.99635,$$

式中, COD 为决策系数,相当于 R^2 ; $Correlation$ 为相关系数; SSR 为估计值与实际值的误差平方和; Chi^2 为方差; Dof 为自由度,用于修正 Chi^2 。

(2) 以品位指标 x 为自变量求平均品位 $C(x)$ 的数学模型为图 3 多元回归模型:

$$C(x) = 0.01153 + 0.81474x - 12.93272x^2 + 180.38684x^3, \quad (10)$$

此式数学检验结果 $R^2 = 0.99791$, 标准差 $SD = 5.38548 \times 10^{-4}$, 检验符合要求。

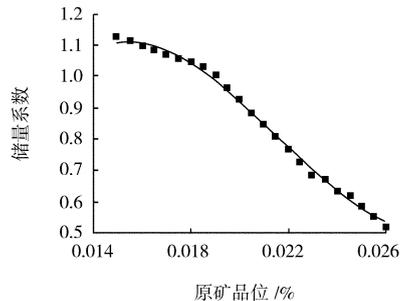


图 2 矿石储量系数回归模型

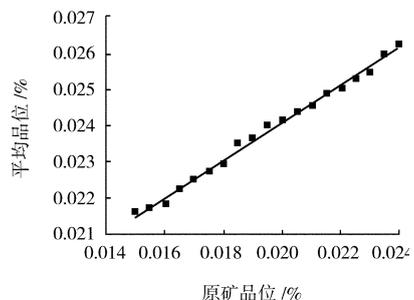


图 3 矿石平均品位回归模型

3 选矿比模型的建立

本研究对该钽铌矿 2003 年选矿厂生产日报表的数据进行统计分析,主要是入选品位、选矿比及精矿品位。

在前面所进行的钻孔柱状图数据的统计分析中,低品位矿石的品位频数较低,而高品位的频数较高,且分布相对集中。由此建立的求矿石平均品位

(下转第 145 页)

m³,爆区岩石属于中等坚硬微风化石英砂岩和片麻岩,硬度系数 $f = 8 \sim 10$ 。由于该爆破段位于山区地段,紧邻我国唯一的一座土坝,因此对爆破振动的控制要求极高,为保证爆破振动在安全控制范围以内,对该地段的爆破开挖进行了振动测试(图2)。表2为爆破振动测试及处理后的相关数据。

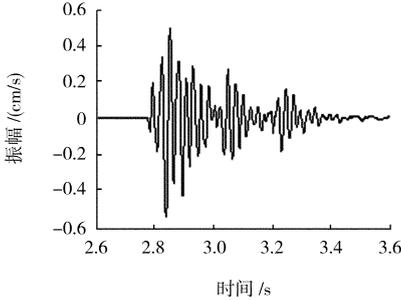


图2 王家园水库某次爆破振动测试波形

表2 王家园水库爆破振动测试数据

测点编号	振速幅值/(cm/s)	振动持时 T/s	测点距离 R/m	$\ln \frac{\sqrt[3]{Q}}{R}$	$\ln \frac{TV_{max}}{R}$
1	0.890	0.261	37.5	-2.185	-5.084
2	0.535	0.196	56.5	-2.595	-6.289
3	0.321	0.190	61.7	-2.683	-6.919
4	0.342	0.177	67.5	-2.773	-7.017
5	0.234	0.104	80.1	-2.944	-8.099
6	0.124	0.118	89.7	-3.057	-8.721

仍然采用最小二乘法进行拟合,可以得到相应的预测公式

(上接第86页)

模型中,低品位矿石的圈入,对矿块平均品位的影响较小。在实际开采过程中,该矿也利用了部分的贫矿。因此,其生产实际数据基本能反映其贫矿利用情况。本研究收集1435组数据,经异常数据剔除,分别用1225组数据对选矿比进行了回归分析(图4),得选矿比模型 $T(x)$ 为

$$T(x) = 1962.26871 + 12593.16186x^{-x/0.01331},$$

$$R^2 = 0.81953. \quad (11)$$

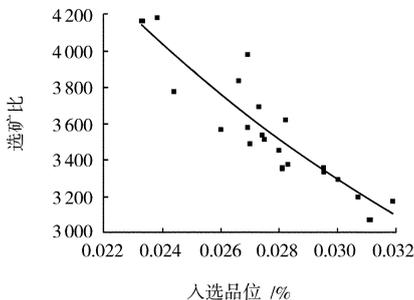


图4 选比模型回归分析示意

$$\frac{TV_{max}}{R} = 67.7 \left(\frac{\sqrt[3]{Q}}{R} \right)^{4.152}, \quad (11)$$

式中各符号含义同上。相关系数 $r = 98.4\%$ 。从以上2个工程实例可以看出,应用式(6)能较好地预测相应的振动持续时间。

3 结论

(1)应用量纲理论和萨道夫斯基公式变换处理,推导了振动持续时间的预测公式,并通过2个工程实例验证了该公式预测爆破振动持续时间的可行性。

(2)爆破振动预测公式表明,当 $\beta > 0$ 时振动持续时间与比例药量成正相关关系,与比例速度成负相关关系。

参 考 文 献

- [1] 中国生,房莹光,谷任国,等. 基于小波分析的建(构)筑物爆破振动安全评估[J]. 爆炸与冲击,2009,29(1):35-40.
 - [2] 张志呈. 爆破地震参量与振动持续时间[J]. 四川冶金,2002(3):14.
 - [3] 阳生权,廖先葵,刘宝琛. 爆破地震安全判据的缺陷与改进[J]. 爆炸与冲击,2001,21(3):223-228.
 - [4] 尹力峰. 喀拉胡克水库坝区场地设计地震波[J]. 内陆地震,2005,19(3):233-240.
 - [5] 马行瑞,陶良. 弹性波反演方法及应用[M]. 北京:科学出版社,1999.
- (收稿日期 2010-07-22)

4 结论

根据该钽铌矿的现场实际生产资料,运用数理统计方法,采用 Origin 软件建立了品位指标优化中的各种数学模型。通过数学模型的建立,可以计算任意边界品位和工业品位下的表内储量和平均品位。从已研究的矿山来看,与传统方法计算的结果相比较,误差比较小,说明这个方法是可行的。采用已建立的这些模型,大大降低了后续品位指标动态优化的计算工作量,并且计算数据准确。

参 考 文 献

- [1] 李克庆,牛京考,袁怀雨,等. 白云鄂博铁矿磁铁矿石品位指标的优化[J]. 北京科技大学学报,2007(3):334-337.
- [2] 袁怀雨,舒航. 矿产经济理论与实践[M]. 北京:冶金工业出版社,1992.
- [3] 胡名标,吴爱祥. 某矿品位指标的数学模型研究[J]. 有色金属设计,1997(3):50-53.

(收稿日期 2010-07-22)