

超声粒度仪及其应用

杜怀昌 高克成 徐录铭

引言

超声粒度仪在有色金属矿湿式磨矿作业中，用来测量矿浆粒度分布(简称粒度)和固体重量百分比(简称浓度)。它是保证磨矿产品质量和实现磨矿系统自动控制的关键仪表。对磨矿生产过程进行控制时，矿石的粒度是重要依据。人工筛分析是确定矿浆粒度分布，常用的一种基本方法。这种分析方法不能在线连续测量粒度和浓度，没有实时控制和及时指导生产的意义。在粒度仪出现之前，人们曾用矿浆的浓度做为粒度分布的指示，是不可靠的，因为浓度和粒度之间没有固定关系。

磨矿的生产实践证明，矿粒磨得粗，磨机的矿石处理量就增加，但影响浮选的效益，造成金属流失。如图(1)A所示；反之，矿粒磨得细，回收率会相应增加，但降低了磨机处理能力，增加能源和机械损耗。如图(1)B所示。两种情况结合起来就构成(1)C，即存在最佳的磨矿粒度。从图上可以看得。过磨或欠磨都要影响效益。当我们针对每一粒度，把粒度变化控制在一个狭小的范围内时，就可以实现经济运行，即提高了矿石处理量，又提高了回收率。使用超声粒度仪能在线连续地测出粒度和浓度，将信号输入计算机，由计算机控制磨矿作业过程，确保磨矿粒度基本不变，从而实现磨矿工艺过程的最佳化控制。

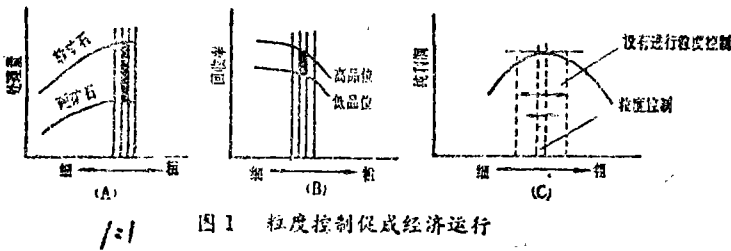


图1 粒度控制促成经济运行

目前世界各国生产的各种粒度测量装置，主要有分级法，光学法、声学法、以及湿合方法。但是，应用声学方法在线连续地测量矿浆的粒度和浓度的，只有美国的AUTOMETRICS公司生产的PSM型仪表。这种仪表采用独特的超声衰减方法，在实用中取得了良好的经济效益。

一、超声粒度仪的原理及其

构造

1、原理

超声粒度仪是应用超声衰减法来测量矿浆粒度和浓度的。当两组不同频率的超声在被测矿浆中传播时，所取得的两个超声衰减信号，经过电子装置信息处理后，得到矿浆的粒度和浓度指示。

矿浆是一种稀悬浮液，它的体积浓度在10%以下。关于稀悬浮液中的声衰减公式，比较熟知的是由Urick、Flammer等人所发展起来的。通常矿浆衰减特性可写为

$$\alpha = \int_{r_0}^{r_{\infty}} \alpha_r dp \quad (1)$$

式中 α_r —水中半径为r的单一粒子衰减特性
 r_0 、 r_{∞} —最小的最大的粒子半径
 dp —两种孔径差别很小的筛之间所分离出来的粒子半径增量。

$$\alpha_r = \left[\frac{18v^2(1+v)(\rho-1)(\omega/v)}{81(1+v)^2 + v^2[9+4v(\rho+\frac{1}{2})]^2} + \frac{1}{\frac{12}{(\omega/V)^4 r^3} + \frac{4\pi r}{(\omega/V)^{\frac{1}{3}}}} \right] \times 8.686 \quad (2)$$

dB/cm
 式中r—粒子半径，cm
 v —水的运动粘滞系数， cm^2/s
 f —频率，Hz
 ω — $2\pi f$ 角频率
 v —水的声速， cm/s
 ρ —粒子比重， g/cm^3

当超声通过悬浮液时，由悬浮粒子所引起的幅度衰减可表示为

$$E = E_0 e^{-\alpha r} \quad (3)$$

式中E—流体中存在悬浮粒子时的声信号幅度

E_0 —没有粒子时，同一测量点的声信号幅度

变换上式为dB形式，则

$$20 \log \frac{E}{E_0} = -8.686 \alpha r \quad (4)$$

矿浆经验衰减式为

$$\alpha = Pv \alpha_x + k_2 x \quad (5)$$

则(3)式成为

$$20 \log \frac{E}{E_0} = -8.686(Pv \alpha_x + k_2 x) \quad (6)$$

式中： Pv —固体体积百分数。

k_2 —待定样品的常数，它是频率和粒度分布的函数，

x —声程，

对粒度通道来讲，总衰减为

$$\alpha_s = Pv \alpha_1 x_1 + k_2 x_1 \quad (7)$$

对浓度通道来讲，总衰减为

$$\alpha_c = Pv \alpha_2 x_2 \quad (8)$$

式中： α_1 、 α_2 —粒度和浓度通道矿浆的特性衰减，dB/cm

x_1 、 x_2 —粒度和浓度通道的声程，cm

超声粒度仪所显示的浓度值与 α_c 有关而粒度值与 α_s/α_c 相关。两个通道的衰减值可以从理论上计算得到。 $k_2 x_1$ 可以由实际测量找出。对于浓度通道，粘滞衰减起作用，此时的 k_2 为零。利用上述公式能计算声信号的总衰减量。在计算矿浆衰减之前，需要对矿样进行筛析。运用能描述粒度分布的正交函数，计算出平均粒径、分布系数、最大粒径等。粒度分布与衰减都由计算机计算。这些计算是仪表工作参数的选择和标定所必须的。

两个超声信号通过矿浆时所产生的衰减显然是不同的。浓度通道的一对低频换能器所产生的衰减信号只与浓度有关，而粒度通道的一对高频换能器所产生的衰减信号，则含有粒度和浓度信息，经过信息处理后，得到粒度指示值。

2、超声粒度仪的组成及其技术性能

超声粒度仪由电子装置、传感器和空气消除器组成，如图(2)所示。仪表的技术性能与具体的使用对象密切相关。

具体的工艺指标不同，如矿浆种类、粒度要求不同，则技术性能指标也有差异。这里给出凤凰山铜矿所使用的超声粒度仪具体技术性能指标。

测量范围粒度。+200网目

上限40.59%(+200网目)

下限18.35%(+200网目)

浓度：

上限47.7%，下限24%

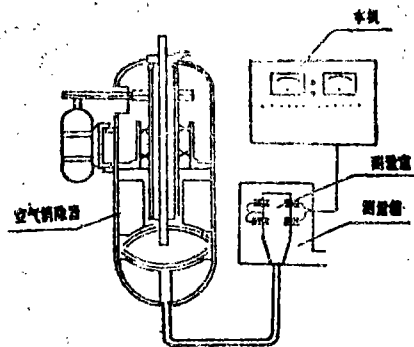


图2 超声粒度仪的组成

测量精度：粒度在200网目时为 $\pm 1.5\%$ 。

浓度 $<40\%$ 固体重量百分数时， $\pm 2\%$

$>40\%$ 固体重量百分数时， $\pm 3\%$

矿石比重： $3.4 \pm 0.2 \text{g/cm}^3$

空气消除器中的叶轮由一台4KW 50rpm的电动机驱动，所产生的离心力大于100g；水源压力 1.5kgf/cm^2 ，经增压泵后达 $4.5 \sim 5 \text{kgf/cm}^2$ ，流量 35l/min ；矿浆流量 $57 \sim 74 \text{l/min}$ ；真空度为 $600 \sim 740 \text{mmHg}$ 。

传感器由两对压电换能器和测量室组成，工作频率分别约为1MHz和1.2MHz。

二、空气消除器

空气消除器系统的功能是除掉矿浆内所含的空气或气泡，向传感器提供基本不含空气的矿浆。如果流入测量室的矿浆仍然含有气体，就会引起较大的附加声衰减，这种附加衰减没有什么规律和补偿办法。当矿浆进入叶轮后，矿浆在叶轮旋转所产生的离心力作用下，向叶轮内壁径向迅速移动。同时矿浆内的气泡被分离出来，空气沿轴套内壁上升，经密封套，轴气管和水力吸气器排出。从叶轮四周小孔排出的矿浆已基本不含空气了。已除过空气的矿浆由空气消除器的筒底流入测量箱内，矿浆在传感器的测量室内被测量。

空气消除器由主体、控制箱和管路系统三部分组成。空气消除器主体高1.62m，长约1.42m，宽约0.6m。主要部件是筒体，轴承体、轴、叶轮、密封轮等。管道系统主要由水喷射泵、砂分离器、电磁阀、隔膜阀等组成，它的功能是产生一定的真空度，应不低于 600mmHg ，同时向密封套提供冷却用水和润滑水。管路系统的高压水是由一台25FGB41型不锈钢耐腐蚀泵供给的，水压额定为 $4.5 \sim 5 \text{kgf/cm}^2$ 。泵的入水口应有 $1.5 \sim 2 \text{kgf/cm}^2$ 的水压。控制箱由延时继电器，开关、水位测量电路等组成。它能控制水泵、电动机的起动和关闭。控制空气消除器筒体内矿浆的液位，以及指示水压和真空度。

三、电子装置

超声粒度仪的电子装置方框图，如图3所示。它有粒度和浓度两个测量通道。每个通道均由振荡器、发射器、接收器、处理器和驱动器组成。粒度和浓度振荡器各产生一个固定的振荡频率和波形的脉冲串，经发射放大后，去激励发射换能器，使它产生超声辐射。超声信号穿过矿浆受到衰减，接收换能器将超声信号转换成电脉冲，该信号经接收器放大，滤波及检波后，变成直流电压。而后再送处理器进行处理。浓度处理器输出

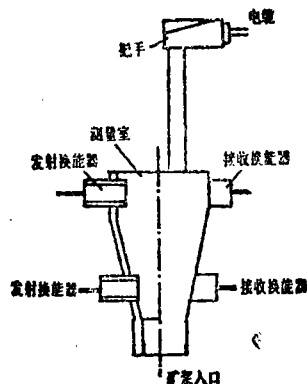


图3 超声粒度仪电子装置与方框图

的信号是一个直接与矿浆浓度成正比的直流电压。粒度处理器处理来自两个通道的直流电压，得到直接与矿浆粒度成正比的直流电压。两个直流电压经分流板送至电流表，用以显示被测矿浆的粒度和浓度值。另一方面通过驱动器转换成4~20mA直流电流信号，以驱动过程控制器。

校验开关用于系统的标定检验和测量控制。当开关处于正常位置时，处理器的输出加到相应的表头上，给出粒度和浓度值。当开关被按压时，可以验证标定结果。

四、传感器

传感器由两对超声换能器、测量室和把手组成。两对超声换能器工作频率不同，发射和接收换能器也不一样。它们的特性要根据被测对象的技术要求，通过理论计算和试验验证确定。压电元件为锆钛酸铅压电陶瓷。辐射面为钛钢，它具有声阻抗低、抗磨损，以及耐化学腐蚀的性能，其厚度根据换能器的频率来确定。

传感器示意图如图4所示，内装的两对换能器相距100mm，不可能产生互作用。测量室与换能器之间有一个衬套，这种多层结构增大了传声损失，因此不可能有固体传声。测量室内矿浆浓度和粒度分布是均匀的，这已由实验验证。换能器可以在衬套和测量室安装孔内沿轴向移位或转动，并可锁定。每对换能器之间的声程为5cm左右。理论计算表明，声程小于声束近场区。根据A、B、Khimunin理论，我们计算了近场衍射修正值，证明近场衍射修正值相对被测矿浆的衰减来讲要小得多，例如1.25MHz约为千分之三，因此可不考虑衍射修正。

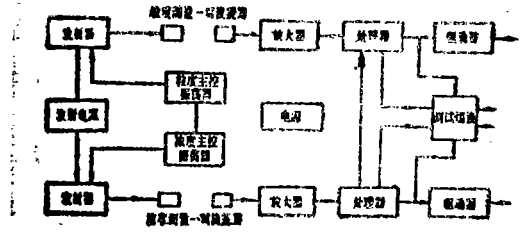


图4 传感器示意图

五、结束语

超声粒度仪是一种较为复杂的检测仪表，目前，国内对这种仪表需要迫切。从技术上，生产能力上来看，国内已具备生产这种仪表的能力，因此，我们认为超声粒度仪是一种富有发展前途、经济效益应好的检测和控制仪表。

参 考 文 献

- (1) Autometrics 产品介绍1983年
- (2) Anderson A.E. Presented at the 1979 AIME Annual Meeting New Orleans Louisiana No.218—22, 1979
- (3) Published in World Mining No.2, 1976
- (4) presented at the 1977 AIME Annual Meeting Atlanta Georgia No.5,6—10, 1977
- (5) Khimunin A.S Acoustics vol.27(1972)P.172
- (6) Urick R.J. JASA vol.20 No.3 (1948) P.283
- (7) 魏荣爵 张淑仪《物理学报》vol.21 (1965)P.1061
- (8) 唐应吾《中山大学学报》No.4(1977)P.52
- (9) 孙承维《声学技术》vol.2 No.1(1983)P.1

研制单位和参加人员有：北京有色冶金设计研究总院 杜怀昌、任志敏、秦毅、李占民、廖乐光、王晓雯，凤凰山铜矿徐录铭、齐百麟，上海工业自动化仪表研究所高克成、熊宏贵、肖功纯、富莹。