

多金属矿选矿理论回收率计算

广西计算中心 陈寿勤 罗海鹏
广西大厂矿务局 古少登 周文山 吴要武

提 要

本文通过对选矿工艺和生产测试条件的分析研究,推导出计算多金属矿选矿理论回收率的较为简化的数学模型,并应用Z—80微型计算机和TI—59可编程序计算器进行解算。这一结果使原来在全国冶金选矿行业认为无法解算的问题可在十分钟内获得解决,为选矿工艺技术和生产管理工作的考核和改进提供理论依据。所述计算方法和途径简便易行,具有通用性,适于同行推广应用。

一、概述

广西大厂矿务局是我国重要的锡金属生产基地,又是国内外典型的多金属矿区,生产的锡主要供出口。大厂矿区的矿石除含锡、铅、锌、锑、铜、镉、银等金属外,还含有硫、砷等非金属矿物。目前原矿经预选和重选、浮选作业,选别出重选锡精矿、浮选锡精矿、铅—锑精矿、锌精矿、硫—砷混合精矿以及重介质尾矿和总尾矿共七种选矿产品。选矿厂对日常选矿生产指标的考核,是以所产精矿中所含主体金属(如锡精矿中的锡、锌精矿中的锌,等等)的量与原矿中所含该金属的量的百分比值(实际回收率)来分析的。但这仅说明当班投入选厂的原矿中金属实际回收的情况,而不能反映出选矿工艺过程的金属平衡,无法评价选矿的工艺流程的合理与否和选矿生产技术管理水平的高低,因而,选矿生产一直处于盲目的状态。要进行全面的考核,必须计算出各种金属在各种产品中的理论回收率,将精矿中主体金属的理论回收率与实际回收率比较,差距小说明工艺流程较为合理,生产技术管理水平较高,金属损耗少。另外,通过计算金属理论回收率,某种金属在各种选矿产品中的分布情况便一目了然,便于分析金属流失的方向,从而为选矿生产过程的分析和处理,为选矿工艺改革和选矿科研提供准确数据。可见,选矿的金属理论回收率的计算对于衡量选矿厂的选矿技术和生产管理水平,改进选矿工艺技术和生产管理工作的,提高金属实际回收率,具有重要的理论指导意义和经济意义。

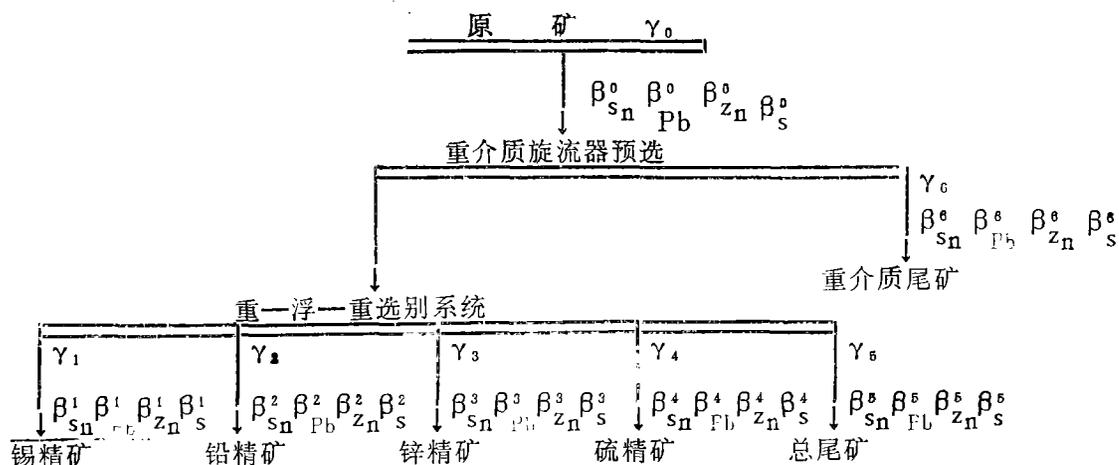
然而,多金属矿种的选矿金属理论回收率的计算,由于选矿工艺流程复杂,样品检测个数多,化验周期较长,金属理论回收率计算中,又涉及一个求解各产品产率的高阶线性联立方程组(对于本课题,是七阶)。按冶金部颁布规定的用行列式计算方法^[1],计算工作量

很大,靠手算或一般计算工具难以完成。大厂矿务局一个选矿工程师按行列式计算方法推导出解六阶线性方程组的部分计算公式,已用去十五天时间,因后面的计算过于繁复,无法再继续下去。也有人用近似计算方法来解,如桃林铅锌矿所用的估值—试算—平衡—试算直至基本平衡的方法^[2],这样的近似计算,需要根据经验估计初值和修正值,计算速度也较慢,一般工作人员较难掌握,缺乏普遍推广意义。寻找一个简单而又准确可靠的计算途径,一直是选矿行业普遍重视的研究课题。大厂矿务局也把此课题列入了十年科研计划。

去年以来,我们以大厂矿务局长坡矿选厂为试点,通过对选矿工艺的研究,结合生产、测试等实际条件,推导出较为简化的数学模型,并先后编制出适于微型计算机和TI—59可编程序计算器解算的程序,使原来在全国冶金行业认为无法解算的“老、大、难”问题可在十分钟内解决,并已投入应用试验。本方法和两种应用程序具有通用性,对于更多种或较少种金属矿物的情形同样适用。由于采用的是微型机,尤其是TI—59可编程序计算器解算,既方便又准确可靠,适于推广和应用和交流。

二、数学模型

大厂矿务局长坡矿选厂原矿入选后产生重选锡精矿、浮选锡精矿、铅—铋精矿、锌精矿、硫砷混合精矿,以及重介质尾矿共七种产物。考虑到重选锡精矿和浮选锡精矿是两种最终产品,其主体金属都是锡,可将两种锡精矿视为一种,只要将这两种精矿中金属化验品位进行加权平均,便可得出锡精矿中各种金属的品位,数学模型便可获得简化(可少求解一种产品的产率,方程组可降一阶)。此外,由于重介质旋流器是选厂的一个预选作业,工艺较为简单和稳定,这个作业的产品——重介质尾矿,不再参与后面的选别作业,对其产量以及锡、铅、铋、锌、硫四种金属在其中的品位,已进行了较为准确的测定。由于工艺较为简单、稳定,可介质尾矿的产率和所含金属成分也较稳定,故该产品的实际产率可视为与理论产率一致,重不再通过解算线性方程组求其理论产率。这样,整个选别系统可按四种金属五个产品流程简化如下图:



图中, $Y_0, Y_1, Y_2, Y_3, Y_4, Y_5, Y_6$ 分别为入选原矿, 锡精矿, 铅精矿, 锌精矿, 硫精矿, 总尾矿以及重介质尾矿的理论产率, 其中 Y_0 为 100%, Y_6 以重介质尾矿实际产率代替, 由选厂计量; $\beta_{Sn}^i, \beta_{Pb}^i, \beta_{Zn}^i, \beta_S^i$ ($i=0, 1, 2, 3, 4, 5, 6$) 分别表示原矿, 锡精矿, 铅精矿, 锌精矿, 硫精矿, 总尾矿和重介质尾矿中含 Sn, Pb, Zn, S 的品

位，为百分数，它们由化学分析测定，共28个数据。

根据金属平衡原理可列出如下方程：

$$\begin{cases} \text{产率平衡:} & \gamma_1 + \gamma_2 + \gamma_3 + \gamma_4 + \gamma_5 = \gamma_0 - \gamma_6 \\ \text{锡金属平衡:} & \beta_{Sn}^1 \gamma_1 + \beta_{Sn}^2 \gamma_2 + \beta_{Sn}^3 \gamma_3 + \beta_{Sn}^4 \gamma_4 + \beta_{Sn}^5 \gamma_5 = \beta_{Sn}^0 \gamma_0 - \beta_{Sn}^6 \gamma_6 \\ \text{铅金属平衡:} & \beta_{Pb}^1 \gamma_1 + \beta_{Pb}^2 \gamma_2 + \beta_{Pb}^3 \gamma_3 + \beta_{Pb}^4 \gamma_4 + \beta_{Pb}^5 \gamma_5 = \beta_{Pb}^0 \gamma_0 - \beta_{Pb}^6 \gamma_6 \\ \text{锌金属平衡:} & \beta_{Zn}^1 \gamma_1 + \beta_{Zn}^2 \gamma_2 + \beta_{Zn}^3 \gamma_3 + \beta_{Zn}^4 \gamma_4 + \beta_{Zn}^5 \gamma_5 = \beta_{Zn}^0 \gamma_0 - \beta_{Zn}^6 \gamma_6 \\ \text{硫金属平衡:} & \beta_S^1 \gamma_1 + \beta_S^2 \gamma_2 + \beta_S^3 \gamma_3 + \beta_S^4 \gamma_4 + \beta_S^5 \gamma_5 = \beta_S^0 \gamma_0 - \beta_S^6 \gamma_6 \end{cases}$$

解这个线性方程组，求得 $\gamma_1 \sim \gamma_5$ ，连同 γ_6 ，得到六种选矿产品的理论产率。显然，上述线性方程组中，由于未知数是一个具有5位数字的百分数，用手算或一般电子计算器来解，将是不胜其繁的。

锡，铅，锌，硫四种元素在各产品中的理论回收率 ϵ_{Sn}^i ， ϵ_{Pb}^i ， ϵ_{Zn}^i ， ϵ_S^i ($i=1, 2, \dots, 6$ ，分别表示锡精矿，铅精矿，锌精矿，硫精矿，总尾矿和重介质尾矿六种选矿产品) 可由下式求得：

$$\epsilon_{Sn}^i = \frac{\beta_{Sn}^i \cdot \gamma_i}{\beta_{Sn}^0 \cdot \gamma_0} \times 100\%$$

$$\epsilon_{Pb}^i = \frac{\beta_{Pb}^i \cdot \gamma_i}{\beta_{Pb}^0 \cdot \gamma_0} \times 100\%$$

$$\epsilon_{Zn}^i = \frac{\beta_{Zn}^i \cdot \gamma_i}{\beta_{Zn}^0 \cdot \gamma_0} \times 100\%$$

$$\epsilon_S^i = \frac{\beta_S^i \cdot \gamma_i}{\beta_S^0 \cdot \gamma_0} \times 100\%$$

共有24个理论回收率计算结果。

可见，经上述处理，数学模型简化了（方程组由7阶降为5阶），且可以减少多个品位数据的测试工作量。而且，数据量的减少，对于应用TI—59机解算，将是有利的。

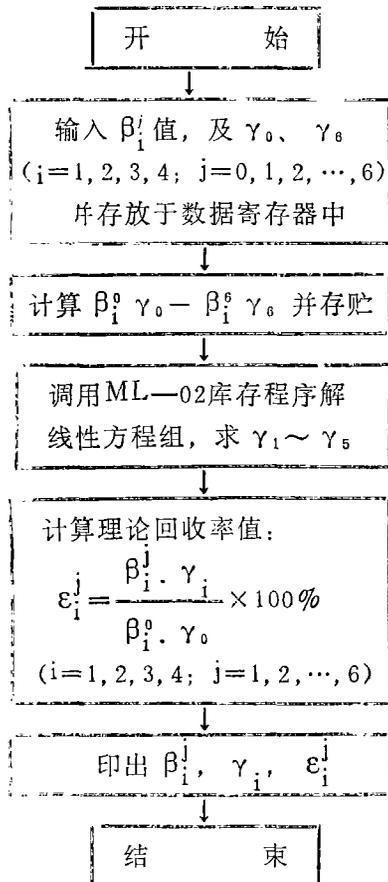
三、计算方法

我们先后采用Z—80 B档微型计算机和TI—59可编程序计算器解算理论回收率。

用微型机解算时，我们用CBASIC语言编写源程序。在数值计算方法的选择上，由于用行列式方法来解n阶线性方程组，需要做乘法 $(n+1) \times (n-1) \times n!$ 次。当n稍大时，这样的计算工作量大得惊人，手算不可能，即使用计算机算也是难以完成甚至不可能的。如n=20，即使用一台每秒能做一千万次乘法运算的计算机来算这个题目，它每年365天，每天24小时连续不断地算，也要算一千年以上才能得到结果。因此，对于高阶线性方程组，在实际上一概不用行列式方法，而是用迭代法或消去法。迭代法要求线性方程组的系数矩阵具

有主对角线优势。考虑到生产工艺上的不稳定因素和流程长的原因,实际测定的品位值不能保证线性方程组系数矩阵的主对角线优势,故我们采用消去法。用高斯消去法解 n 阶线性方程组,需要做乘法 $\frac{1}{3}n^3 + n^2 - \frac{1}{3}n$ 次,当 $n=20$ 时,仅需做乘法3060次,则用速度很慢的计算机也只要几十秒的时间就够了。我们在程序设计时实际采用高斯按列选主元消去法来解上述线性方程组。源程序经键盘输入建立在磁盘上作为一个文件。实际计算时,只要调用并运行该文件,输入有关数据(35个)之后,机器在一分多钟内便运行完毕,打印出5个产率值和24个理论回收率值,连同输入的原始数据,作为一份书面的计算报告,便于生产单位分析研究并存档。

目前,生产单位使用较大型的电子计算机仍有一定困难,即使是微型机,一般也还缺乏装备的条件。为了将解算理论回收率的成果为基层单位及时地应用,我们又试验使用美国德州仪器公司制造的TI—59可编程序计算器来解算,获得成功。TI—59机配置的基本程序库中ML—02恰好是解线性方程组的,可为自编程序所调用。在编制TI—59程序时,我们合理地安排数据寄存器的占用和程序复盖技术,使编制的程序精练,整个问题能够一次算完,原始数据和计算结果可用专门的打印程序通过热印机印出,作为报表。整个计算过程仅需十分钟左右便可完成,编制的程序录写在两片磁卡上,供随时计算使用。下面是TI—59程序的框图:



下面是大厂矿务局长坡矿选厂1981年9月2日全面工艺查先班的品位数据和计算结果:

长坡矿选厂1981年9月2日查定班品位数据

元素	产 品 品位(%)						重介质 尾 矿	重介质 产率%
	原 矿	锡 精 矿	铅 精 矿	锌 精 矿	硫 精 矿	总 尾 矿		
Sn	0.440	49.190	0.460	0.450	0.200	0.220	0.063	25.100
Pb	0.420	0.543	28.450	1.620	1.020	0.200	0.041	
Zn	1.960	0.542	0.790	45.10	0.350	0.590	0.180	
S	6.657	7.735	18.900	30.880	37.010	2.120	1.330	

产率和理论回收率计算结果

元素	产 品 理论回收率(%)						重介质 尾 矿
	锡 精 矿	铅 精 矿	锌 精 矿	硫 精 矿	总 尾 矿	产 率 (%)	
Sn	57.693	0.460	3.441	4.775	30.038	3.594	
Pb	0.667	29.788	12.977	25.510	28.607	2.450	
Zn	0.143	0.177	77.415	1.876	18.084	2.305	
S	0.600	1.249	15.606	58.399	19.132	5.015	
产 率 (%)	0.516	0.440	3.364	10.504	60.076	25.100	

四、应用上的一些考虑

上面描述的多金属矿选矿理论回收率计算方法和途径，解决了选矿行业历来无法解决的一个“老、大、难”问题。这个方法，不但对于大厂矿务局的各个选矿厂，而且对于国内其它多金属矿种的选矿厂，都是适用的。它的应用，克服了选矿生产上的盲目性，有利于选矿工艺和管理情况的分析研究、调整、改善，必将收到显著的经济效果。大厂矿务局长坡矿选厂已将这个项目成果投入了现场应用试验。目前，大厂矿务局全局选矿日处理量为2000吨，假如通过解算理论回收率，提高工艺技术水平 and 生产管理水平和生产管理水平，使选矿的金属实际回收率提高2%，预计每年可增产金属锡48吨，价值77万美元；另外，还可增产铅、锌等金属。新建的车河选厂投产后，日处理矿量如达到原设计能力，按增产2%锡金属估算，加上原有处理能力，每年可增产锡144吨，价值230万美元。当然，要实现这一目标，需要生产、科研和管理部门的大力协同，需要做许多工作。但是，使锡金属实际回收率提高2%的幅度并不是不能实现的。目前选矿厂金属实际回收率低于规定标准5~7%的情况是常见的。理论回收率计算方法的解决和付诸实用，将会推动选矿工艺水平的提高，促进生产管理的改善以及选矿科研的发展，使选矿金属实际回收率的提高成为可能。因而，多金属矿选矿理论回收率计算

方法的解决,对于选矿行业是很有意义的。

在实际应用方面,如所周知,由于选矿工艺复杂,流程长,投入的一批原矿石从入选到全部变成最终产品的过程一般要跨班完成,化验金属品位数据中某一班所采集的样品,也必然不能完全反映当班的实际生产情况,因而按班计算理论回收率的结果无法准确地反映当班实际生产管理水乎。然而,由于连续生产,在一段较长时间内(例如一旬中),生产状况基本上是稳定的,入选矿和最终产品之间“不对号”的情况只发生在该旬中的首班和末班,在连续稳定生产的前提下,由此而引起的误差相对地是很少的,可以忽略不计。因而,我们认为,以旬为单位进行理论回收率的计算并与实际回收率进行对比分析,对选厂的生产管理进行考核,比较符合实际,又易于进行,只要将十天内每班中取样的样品结合产品的量进行综合取样化验得出一旬的品位数据,然后进行一旬的理论回收率计算。此外,每班选矿的理论回收率的计算仍是必要的、有用的,因为某一班的计算结果对于分析该班的生产情况,分析该班与上一班及下一班在生产情况影响、产品流转关系等方面也很有参考价值。由于计算快速,通过对上一班的分析,利于及时发现问题并采取相应的措施。

参 考 文 献:

〔1〕《选矿设计参考资料》,冶金工业出版社出版。

〔2〕何瑞虎,《多金属选矿理论回收率计算方法》,《有色金属》杂志1981年第四期,冶金工业部主办。