

CNIC-01260

HYIT-0005

浸铀方法中矿石块度及其组成的确定原则

王昌汉

(中南工学院, 衡阳)

摘 要

研究了就(原)地破碎浸铀法和堆置浸铀法的参浸矿石的块度和其组成与工艺条件(溶浸液流速、包裹矿石块液膜厚度、浸矿强度、浸出率、浸矿剂消耗、矿石品位)、破碎矿石的经济性以及工艺矿物学之间的关系,并根据室内和现场试验结果,提出了能满足浸矿要求的矿石块度及其组成的确定原则、方法和步骤。这些将对这两种浸铀方法的合理选择、设计和生产有一定的参考意义。

Rules of Determining the Fragment Size and Composition of Rlasted Uranium Ore for Leaching

(In Chinese)

WANG Changhan
(Central South Institute of Technology, Hengyang)

ABSTRACT

The relations of hlasted uranium ore fragment size and composition with the processing conditions (such as solvent flow velocity, the thickness of solvent film embracing, the ore fragments, the permeating velocity, the leaching ratio, the solvent comsumption, ore grade), the economic feasibility of ore fragmentation and technical mineralogy for in-situ leaching and heap leaching are investigated. The rules for determining the ore fragment size and ore composition adequate for leaching on the hasis of field and laboratory test results are established. These rules are very helpful to the selection, design and production of in-situ leaching and heap leaching operations.

前 言

溶浸采铀的方法主要有原地浸铀法(简称地浸)、就(原)地破碎浸铀法、堆置浸铀法(简称堆浸)和组合式溶浸采铀法。原地浸铀法适用于矿石渗透性好、顶底板隔水性强的铀矿床。据有关统计资料,这类铀矿床在我国只占一定比例,比较多的矿床的矿石质地坚硬致密,要实现溶浸开采,宜用堆浸和就地破碎浸铀法。

堆浸和就地破碎浸铀法有一个共同点,就是矿石在浸出之前均经过了破碎,不过堆浸法可以在第一次破碎后,用人工或机械进行第二次破碎,以满足浸矿所要求的块度。就地破碎浸铀法的矿石破碎以后,部分从采场放出后运到地表,而大部分矿石就地留下以待浸出。这些被留在采场的矿石是难以实现二次破碎的。在这种情况下,能否成功地进行浸出呢?一些研究工作者提出了“为了强化浸出和提高有用组分的回收率,必须细碎全部参浸矿石”^[1],美国学者R·W·巴特利^[2]认为:在浸出率相同时,浸出时间 t 正比于矿石块几何尺寸(半径 R)的平方,即 $t \propto R^2$ 。实践证明,坚硬矿石无论用何种方式进行一次性崩落(自然崩落或凿岩爆破方法强制崩落)是难以“细碎全部参浸矿石”的。这是就地破碎浸铀法在相当一段时间内发展比较缓慢的重要原因之一。

考虑到就地破碎浸铀法的优越性大于堆浸法,为了扩大它的应用范围,本文主要探讨满足该法的矿石块尺寸及其粒级组成的确定原则。

1 浸出速度一般表示方程

根据能斯特理论,溶浸液从溶液主体向铀矿石块表面的扩散速度和矿石块内部经化学反应后获得的化学生成物从铀矿石块表面向溶液主体的扩散速度,均可用下面稳态扩散方程近似地表示:

$$\frac{ds}{dt} = D \cdot A \cdot \frac{c_1 - c_2}{\rho}$$

式中: ds/dt ——外扩散速度, s 为扩散物质量, t 为扩散延续时间;

c_1 和 c_2 ——扩散物质在矿石块外表而液膜的两边的浓度;

ρ ——矿石块外表面包裹的液膜厚度;

A ——固(矿石块)液两相接触面积;

D ——扩散系数。

由于浸矿是一个复杂的物理化学过程,难以用一个公式定量概括,因此上述公式仅是定性的描述。但该式却给人们指出了影响浸矿速度(实为传质强度)的几个主要因素,也给浸矿工艺指明了努力方向,如:

(1) 溶浸液或浸出液的浓度差($c_1 - c_2$)愈大,浸矿速度愈快,其差值是浸矿过程的推动力。为了增加浸矿速度,应适当增加溶浸液的酸(碱)度,或者加快化学反应和相变化,以加大化学反应后的生成物浓度。

(2) 铀矿石块外表而包裹的液膜厚度 ρ 取决于诸多因素,浸矿速度对它产生负面影响。实验证明,它随着溶液的流速的增加而减小。浸出时,溶浸液从溶液主体通过矿石块表面液膜对流扩散和液膜内分子扩散抵达矿石表面后,再通过矿石块内毛细孔和裂隙到达其内表面,接着与铀发生化学反应,形成新的生成物,然后经过反毛细作用,化学生成物返回

到矿石块外表面,最后以分子扩散方式穿过液膜归入溶液主体。由此可见,要完成一次浸铀过程,需要两次以分子扩散方式穿过液膜。由于分子扩散速度大大低于对流扩散速度,所以减小液膜厚度,就成为加快浸出过程的一项不可忽视的技术。为此,美国已发明了一种减小液膜厚度的化学试剂,其效果比较好。

(3) 固液两相接触面积 A 对浸矿速度(强度)产生较直接的影响, A 值大小取决于参浸矿石块度,矿石块尺寸愈小,比表面积 A 愈大,浸矿速度愈高。但这个结论是要进一步讨论的。

2 保证溶浸液最低流动速度的矿石块度

2.1 矿石块度与溶浸液流速的关系

堆浸法和就地破碎浸铀法的溶浸液在矿石堆内的流动方式是在重力场内自然对流情况下进行渗滤的,渗流速度取决于矿石块度及其块度组成所决定的孔隙度大小,矿石块度愈大,孔隙度也愈大。为了验证这个现象,作了一个简单的试验:将块度大小不一的破碎花岗岩,装填入直径为 100 mm,高为 500 mm 的塑料面筒内,装填高 250 mm。试验时把清水从圆筒上口徐徐倒入筒内直至水位与上口边相齐。为了保持静水压头不变,在放出过程中,不断倒入清水,使水位保持在筒上口水平。试验结果列入表 1。

表 1 块度与溶浸液流速的关系

块度尺寸/mm	25~50	10~25	7.5~10	7.5~5.0	5.0~2.5	2.5~1.0	<1.0
溶液流速/mm·s ⁻¹	25.10	12.60	6.53	3.02	2.40	0.60	0.10

从表 1 看出,随矿石块尺寸的减少,溶液流速降低情况,当块度小于 1 mm 后,溶液流速极低。当然由于测定装置和方法不同,具体数据也不会一样,所以表中所得数据只是相对的。根据大量资料证实,满足浸矿中质量交换过程的溶浸液流速最低应达到 $(5\sim7) \times 10^{-4}$ cm/s。由于溶浸液的流速不仅与矿石块度有关,还与矿石性质、矿石块度组成有关,因此在具体应用上,应作实际测定,以确定其最低流速是否达到了这个数据。若低于此数,应调整爆破参数或改变爆破方法,以增加矿石块度,减少粉矿含量。

2.2 矿石块度与液膜厚度的关系

如前所述,减少矿石外表面的液膜厚度对提高浸出强度有实际意义,这一点往往被一些人所忽视。

试验研究表明,溶液在自重作用下于松散矿石中渗流时,液膜厚度一般为 1~100 μ m,且反比于溶液流速。因此,必须保持合理的矿石块度组成,防止矿石过于细碎,以保证溶液适当的流速,从而减小液膜厚度。实验证明,当矿石块之间的间隙小于 2~200 μ m 时,浸出过程的对流扩散作用基本停止,只有扩散速度极低的分子扩散作用存在,这意味着浸矿强度十分小。

应当指出,为了保证上述间隙距离,在选择爆破参数和爆破方案时,除了要考虑块度尺寸因素以外,还应防止过“挤压”现象的发生,以防浸矿过程中“溶浸死带”的出现。

3 矿石块度与铀含量的关系

为了研究这个问题,采用了两种不同类型的铀矿石进行了试验。试验时,将矿石破碎

后,按块度级别分别进行品位测定,试验结果见图1。

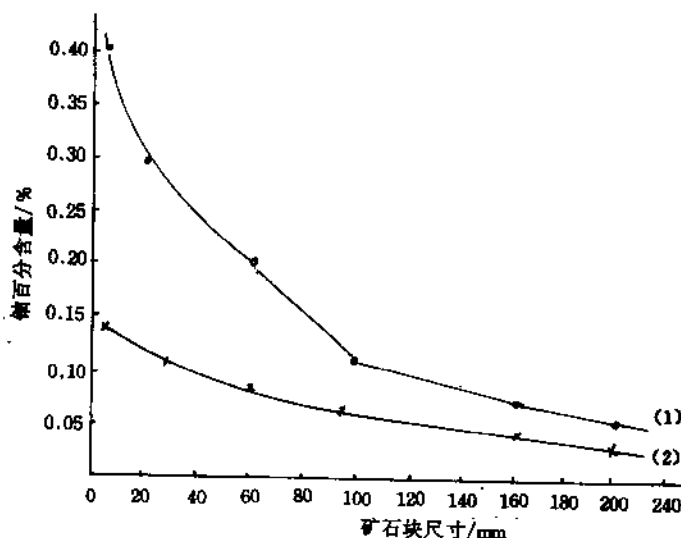


图1 矿石块尺寸与含铈量(%)关系

图中曲线1代表衢州铈矿雷公殿矿床情况,该矿床属中生代火山岩中低温热液类型。矿床内断裂构造和次级平行羽状裂隙比较发育。矿石主要为玻基流纹岩和流纹斑岩,致密坚硬而脆,坚固性因数 $f=8\sim10$,铈矿物主要为沥青铈矿,成细脉裂隙充填于矿床内。曲线2代表某铈矿的矿床情况,该矿床属花岗岩型,矿床内裂隙不发育,矿石致密坚硬,坚固性因数 $f=11\sim13$,矿物为沥青铈矿,呈显微细分数状分布,属散布浸染状。

从图1得知:(1)曲线1表明,随矿石块度的减小,铈的百含量逐渐增大,60 mm粒级矿石的品位比200 mm粒级矿石的高出近3倍;(2)曲线2表明,随矿石粒级的减小,铈的品位也有增加,但没有曲线1那么敏感,细粒级段变化稍大,60 mm粒级矿石的品位比200 mm粒级矿石的增加不到1.5倍。

这个现象可以从铈矿床成矿条件和铈矿物的产状结构来分析:裂隙充填型矿床成矿时,高、中、低含铈热水溶液沿原岩裂隙和断层进行过程中交代裂隙两壁其他矿物或部分裂隙充填物而形成铈矿。这些铈矿物一般比原岩的机械强度低、脆性高。在受到爆破作用时,矿石主要沿已存的天然裂隙和矿化破碎带开裂和崩落,露出了铈矿物,矿石块粒级愈小,暴露的矿物愈多,含铈品位愈高。即使没有破碎成小块的矿石,由于其内有裂隙,受到爆破作用强裂冲击,一方面而扩大了裂隙通道,一方面而也增加了新裂隙,为溶浸液进入矿石块内创造了条件。铈矿物周围岩石相对比较坚硬,裂隙数量少,含矿物少,同时爆破后的块度较大,露出的矿物也少,因此品位较低。曲线2反映的散布浸染状铈矿石,成矿时原岩节理裂隙不丰富,含铈热溶液呈星点散布状浸染于原岩,形成矿体。由于矿体连续性好,硬度大,仅进行一次爆破,是难以达到浸矿所要求的块度的。该曲线反应的小粒级矿石比大粒级矿石品位高的原因,主要是前者比后者表面积大,暴露的矿物较多,但增加幅度比曲线1代表的矿石低许多。正因为如此,为了达到较高的浸出率,要求将已进行爆破破碎的矿石再进行第二次破碎。

3.1 应用实例

3.1.1 实例 1

衢州铀矿雷公殿矿区 1~6 采场采用就地破碎浸铀法进行回采,地质情况已于前述。用浅眼留矿法工艺将矿石崩落,第一分层矿石块度 50~100 mm 占 30~40%, 100~200 mm 矿石块占的比重较大,个别矿石块达到 300 mm 左右。用硫酸作浸矿剂进行淋浸,淋浸强度为 6 L/(m²·h), 浸出时间为 1 a, 液汁浸出率达 83.4%。

3.1.2 实例 2

法国克鲁齐利山区勃鲁若矿用就地破碎浸铀法开采贫花岗岩型铀矿,裂隙较发育,爆破后矿石块度为 0~360 mm, 小于 50 mm 块度仅占 20%, 用浓度为 10 g/L 的硫酸喷淋,浸出液浓度达 1.14 g/L, 每吨矿石耗酸 20 kg, 喷淋 86 个昼液,回收率达 60%。

3.1.3 实例 3

实例 3 即为图 1 中曲线 2 反映的这个铀矿。由于矿石坚硬,裂隙少,又属就菜布浸染状矿石,在选择浸矿方案之前做了铀浸出率与块度之间的关系试验,试验结果见图 2。

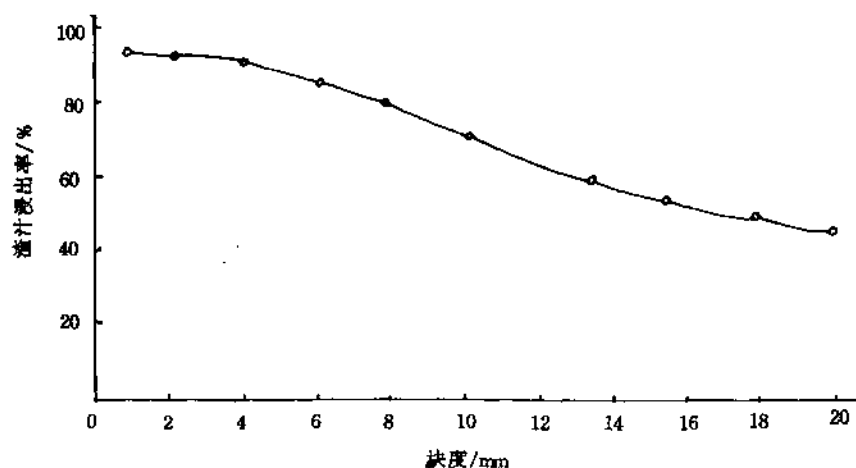


图2 铀浸出率与块度关系曲线

从图 2 得知 (1) 铀浸出率随块度的减小而增加; (2) 要获得好的浸出效果, 只能将矿石在采场用爆破方法破碎以后, 运出地表再用机械进行二次破碎, 然后筑堆进行浸出, 即用堆浸法回收矿石。

3.2 大块矿石浸出效果

为了验证品位低的大块矿石的浸出效果, 将图 1 中曲线 1 代表的大于 180 mm 的矿石细碎进行浸出试验。结果表明, 总的浸出率增加不大, 而酸耗却大大增加。由此可见, 这类大块矿石的存在不会在根本上影响浸出效果, 可不对它进行细碎。

4 结 论

从上面所述的理论分析、试验结果和国内外应用实例可以得出以下结论:

(1) 就地破碎浸铀法不要求细碎全部参浸矿石。因为: 本法只能就地进行一次破碎, 若

全部矿石实现细碎，一方面在凿岩爆破技术方面难度大，另一方面凿岩爆破费用高，矿石破碎以后，高品位铀集中分布在较小矿石块上，而大块矿石品位不高，且回收率低，耗酸也大，它的一定数量的存在，不会给浸出效果带来明显的影响。

(2) 若用堆置浸铀法开采致密坚破、矿物呈星点散布状分布的矿床时，则按浸出率要求在一次爆破基础上再细碎参浸矿石；若开采裂破较发育，矿物为裂隙充填型的矿床，对块度要求可与就地破碎浸铀法相同。

(3) 堆浸法与就地破碎浸铀法均要求粉矿含量少，以保证浸出中质量传递的最低流速，这一要求对后者更为重要，因为井下工作环境不如地表，而且堆高大。

(4) 要重视工艺矿物学研究，它包括矿床类型和成因、矿物分布状况、矿石结构和可爆性、矿床产状、矿石物理力学性质、矿石品位和可浸性、矿石成分、顶底板围岩渗透性和稳固性等。保证就地破碎浸铀法成功的基本前提是：矿体节理裂隙破发育，矿物为裂隙充填型，矿石可爆性和可浸性好，矿体顶底板（盘）较稳定且渗透性小。

应当指出，本文只是也只能从原则上阐述铀矿石块度及其组成与浸矿之间的关系，而不是针对某个具体矿山的，达到人们不要面守在外国一些研究工作者提出的“要细碎全部参浸矿石”的结论的目的。具体到某个矿山甚至某个采场，应根据“采矿无法，因矿山法”的原则，通过细致的浸前试破破定。

参 考 文 献

- 1 Мосице В. н. Строительство и эксплуатация Рудников Подземного Выщелачивания, М. 《Недр》 1987, 2.10~20
- 2 巴特利特等. 溶浸采矿教程. 《溶浸采矿教程》编委会. 长沙: 长沙矿山研究院出版社, 1996. 113~130
- 3 王昌汉等. 就地破碎泥质矿石的浸出机理及强化浸出. 铀与金, 1996, 11.9~12
- 4 王昌汉. 论溶浸采矿的名称及其分类. 铀矿冶, 1997, 2.73~77