

TECHNOLOGY FOR IN-SITU LEACHING OF U

地浸采铀工艺技术

主 编 王永莲

副主编 唐文杰 王树德 方志强 金卫中

国防科技大学出版社

地浸采铀工艺技术

主 编：王永莲

副主编：唐文杰 王树德 方志强 金卫中

作 者：王西文 王树德 陈祥标 王怀杰

冯国林 胡凯光 万利平 李 智

岑秉聪 阳奕汉 程宗芳 雷奇峰

刑拥国 何 斌 张 勇 伍云辉

沈红伟 陆文明 汤庆四 周寅仑

杨正伟 叶善东 尹桂芳 姚光怀

陆文明 黄群英 肖碧泉 田新军

金卫中 龙红福 唐华章 黄 成

吴黎武 方志强 唐 炎 武 伟

郭忠德 黄德顺 胡新华 王小芳

国防科技大学出版社

·长沙·

内 容 简 介

《地浸采铀工艺技术》这部论文集,是我国从 1970 年以来在地浸采铀科研、设计、工程建设和生产中所涉及的各种工艺技术的一部综合性论文集,它包括了地浸采铀的关键技术、地浸井场和水冶车间的主要技术、地浸采铀工艺流程的自动化管理技术,以及环保和质量管理等重要科技内容。

本文集是从事地浸采铀的各种专业技术人员的重要参考资料,它还可作为大中专院校地质、采矿和水冶专业的教师和学生的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

地浸采铀工艺技术/王永莲主编. —长沙:国防科技大学出版社,2007.3
ISBN 978-7-81099-399-9

I. 地… II. 王… III. 原地浸出—铀矿开采—文集 IV. TD868-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 154254 号

国防科技大学出版社出版发行
电话:(0731)4572640 邮政编码:410073

<http://www.gfkdcbs.com>

责任编辑:耿 筠 责任校对:陈 靖

新华书店总店北京发行所经销

国防科技大学印刷厂印装

*

开本:787×1092 1/16 印张:48.25 插页:2 字数:1242 千

2007 年 3 月第 1 版第 1 次印刷 印数:1-600 册

*

ISBN 978-7-81099-399-9

定价:180 元

前言

地浸采铀工艺技术,从所涉及的众多学科和工种而言,它是一个采冶合一的工艺技术体系;这个体系既包括地质、水文地质、物探、钻孔工程、化学物理分析、水冶工艺、机电、仪表和自控等学科中的一些传统工艺技术,又包括地浸采铀所特有的一些新技术。地浸采铀工艺技术,从其难度和重要性而言,虽然主要是指地浸井场各工序中的工艺技术(如溶浸液配方和使用方法、地浸钻孔结构和施工技术、地浸钻孔最佳排列形式和最佳间距的确定方法、溶浸范围的圈定方法和控制技术、抽注液方法和设施的选择以及地面管网的设计和安装等),但它还应包括水冶各工序中的工艺技术和防治环境污染的措施。由于地浸采铀工艺技术只有应用于具有一定地质—水文地质—地浸工艺条件的矿床才会获得好的采冶效果,因此反映矿床条件的一些参数的测试方法和矿床是否适于地浸的技术经济评价方法也是地浸采铀工艺技术中的一个重要部分。这里还需要注意的是:地浸采铀各工序中的工艺技术是相互关联的、有机配合的,有的甚至是相互制约的,因此在选用一个工序的工艺技术的同时,还应考虑它对其他工序的影响问题。

与千百年来的金属矿的传统采冶工艺相比较,地浸采铀工艺的新颖性在于“被采矿石处于原始埋藏条件下、无任何位移,采出的不是矿石、而是含铀金属的溶液”。与 20 世纪 40 年代以来的铀矿的传统采冶相比较,地浸采铀的优越性在于“它的流程短、基建投资少、生产成本低、环保和安防条件好”。与 20 世纪 60—70 年代以来国外的地浸采铀工艺技术相比较,我国地浸采铀工艺技术的先进性在于“它不但在应用效果上(生产成本、资源回收率、环境保护)不比国外差,而且还有创新点”。

核工业第六研究所研究和推广应用地浸采铀工艺技术的历史已有三十余年:

1969 年 12 月开始到湖南衡山、陕西陇县、江西白面石等地调研矿床条件;

1970—1972 年,在广东河源 212 矿床施工 6 个钻孔、开展地浸采铀探索性试验;

1973—1977 年,地浸采铀研究项目停止了,但仍有少数同志在分析研究地浸原理、调查国内铀矿床条件和编译国外地浸采铀科技资料;

1978—1981 年,使用黑龙江 501 矿床 59 地段西矿体的矿石结构未受破坏的圆柱状矿样作渗透和浸出试验,在 501 矿床各矿体开展了多种形式的地浸采铀试验(在 101 地段西矿体挖一圈集液明沟,圈出一个直径为 3.12m 的圆柱状试验矿柱,在其地表中心部位打注液孔;在 101 地段东矿体施工 6 个地浸钻孔;在 59 地段西矿体四周挖一集液巷道,在其地表中心部位打注液孔);

从 1981 年 1 月 12 日到 1981 年 9 月 13 日,在位于云南省腾冲县芒棒乡城子山的 35101 部队化工厂实验室内,使用 381 矿床的矿石结构未受破坏的圆柱状矿样成功地进行了渗透和浸出试验,获得了令人鼓舞的矿样试验资料数据;

从 1982 年 10 月到 1985 年 10 月 15 日,在云南 381 矿床成功地开展了地浸采铀试验,获得

了低成本的试产品,形成了我国地浸采铀工艺技术体系,填补了我国地浸采铀工艺技术的空白(此项科技成果获得了核工业部 1987 年度科技成果一等奖,381 地浸试验场作为科研单位的中试和技术培训基地,至今仍在小规模生产);

1985 年,核工业第六研究所在云南从事地浸采铀的项目负责人王西文同志到新疆调研铀矿床条件、采取伊宁盆地的矿石结构未受破坏的圆柱状矿样和编写在新疆开展地浸采铀试验的建议报告;

1986 年,在云南 381 地浸试验场实验室完成了新疆伊宁盆地圆柱状矿样的试验工作,获得了令人满意的室内试验结果,提出了溶浸液配方和使用方法等建议;

1987—1990 年,六所抽调了一批在云南从事地浸采铀的同志到新疆 512 矿床开展了几个地浸钻孔的地浸采铀试验,在解决了提高钻孔抽液量和浸出液铀含量的技术问题之后,获得了能够证明 512 矿床适于地浸采铀的资料数据;

1989 年,六所实验室顺利完成了巴基斯坦伊萨海尔铀矿样(矿石结构未受破坏的小型圆柱状矿样)的渗透试验和酸法、碱法、碳酸氢盐—稀硫酸溶液法的浸出试验,取得了令人满意的室内试验成果;

1990 年,六所一批科技人员帮助巴基斯坦在伊萨海尔铀矿床成功地开展了地浸采铀碱法浸出试验,获得了优质试产品;

1991—1995 年,按六所科技人员的设计和现场技术指导,新疆矿冶局在 512 矿床开展了数十个地浸钻孔的地浸采铀扩大试验(曾称半工业试验),1995 年生产的大量低成本的试产品(42.9t 金属铀),这个事实再次表明我国地浸采铀工艺技术体系已经形成和完善了;

1996—2002 年,在新疆 512 矿床应用地浸采铀工艺技术进行了工业试验和工业生产。通过工业试验和工业生产,地浸采铀中的水冶工艺技术和设施得到了很大提高和完善,使水冶生产效率和自动化程度达到国际先进水平;但在地浸井场各工序中的工艺技术和设施,却由于忽视管理而产生一些问题(误用超前酸化法而使钻孔抽注液量减少,报废的和“带病”的地浸钻孔过多,未按设计要求控制溶浸范围)。512 矿床的工业试验和工业生产虽产生一些问题,但总体上讲是成功的。工业试验和工业生产的良好效果验证了我国地浸采铀工艺技术及其配套设施的成熟性、可靠性和经济性。

地浸采铀工艺技术在我国铀矿冶事业中的作用,将随着可地浸砂岩铀矿的不断发现而越来越大。

为了将我国地浸采铀科研生产实践中的经验教训传给后来人参考,我们决定把一些较为有价值的试验总结报告和科技文章收集起来、编辑成“地浸采铀工艺技术”论文集予以出版。本文集具有实在、新颖和有用等特点。所谓实在,是指文中资料数据、规律和结论等都是通过实实在在的科研生产实践而获得的;所谓新颖,是指文中内容有新意;所谓有用,是说文中所述工艺技术已用于生产或对今后的科研生产有参考价值。

本文集得以面世,要衷心感谢各位领导和同志们的支持。文集作者和编者都是忙中抽空来完成这项任务的,仓促之下疏漏难免,敬请读者见谅。

南华大学
核工业第六研究所
2007 年 3 月

目 录

1	溶浸液配方和使用方法	王西文(1)
2	地浸钻孔结构和施工方法	王西文(48)
3	溶浸范围控制的理论和方法	王西文(74)
4	确定地浸钻孔最佳间距的原则和方法	王西文(92)
5	确定地浸最佳排列形式的原则和方法	王西文(104)
6	512 矿床浸出液中平均铀含量和单位酸耗的预测	王西文(116)
7	512 矿床地浸抽液量的预测	王西文(126)
8	地浸井场设计的基本内容	王西文(132)
9	512 矿床翼部开采问题的讨论	王西文(144)
10	地浸术语注释	王西文(170)
11	737 地浸硝酸盐淋洗工艺研究	陈祥标等(175)
12	737 地浸水冶厂的发展和新工艺应用	陈祥标等(193)
13	溶浸液中氧化剂的反应机理研究	封国宁等(197)
14	圈定溶浸范围的方法及计算机模拟系统	王树德(204)
15	地浸井场地下渗流速度对浸出的影响	王树德(236)
16	地浸井场溶浸液液位面立体图形绘制及软件设计	王树德(245)
17	原地浸出采铀工艺中地下水化学组分存在形式数值模拟	王树德(254)
18	地浸井场自动监控系统的数据采集与处理	王怀杰等(260)
19	地浸矿山井场生产自动化控制监控系统	王怀杰等(266)
20	细菌浸矿原理及在铀地浸中作氧化剂研究	胡凯光(299)
21	205 矿床矿石圆柱样室内浸出试验	胡凯光(390)
22	原地浸出采铀技术在新疆 512 矿床的应用	阳奕汉(398)
23	地浸铀矿床储量计算中特高品位的处理方法	程宗芳(407)
24	512 矿床第 V 旋回储量变化原因分析	程宗芳(412)
25	地浸工艺钻孔施工技术研究	程宗芳(421)
26	512 矿床负压钻进施工工艺技术研究总结报告	雷奇峰(425)
27	无试剂浸出工艺钻孔结构及施工方法的应用	刑拥国(465)

- 28 无试剂浸出的设备、管道工艺及加工 何 斌(476)
- 29 低水位铀矿床洗孔技术研究 张 勇(485)
- 30 512 矿床翼部矿体地浸工艺技术的实践与探索 伍云辉(495)
- 31 12-4[#] 采区开采现状改善与潜水泵提升采区的改进建议 程宗芳(501)
- 32 热测井和密度测井在地浸矿山的应用研究 沈红伟(513)
- 33 钻孔 PVC 套管两种测井检测方法 陆文明(529)
- 34 两孔法在现场条件试验中的应用 汤庆四等(536)
- 35 JGS-1B 智能工程测井系统在地浸工艺中的应用 周寅仑等(547)
- 36 地浸采铀抽注平衡技术探讨 叶善东(562)
- 37 提高浸出效果 降低浸出成本 叶善东(571)
- 38 提高 12—2 采区(翼部矿体)浸出液铀含量的方法初探 尹桂芳(596)
- 39 翼部矿体采区酸化方式方法讨论 尹桂芳(604)
- 40 空气提升中钻孔风量调配研究 尹桂芳(613)
- 41 管道加酸装置的研究 姚光怀(623)
- 42 三侧向视电阻率岩性分层探讨 陆文明(631)
- 43 11 号采区开采程度的研究 黄群英(642)
- 44 井场结垢物简析 肖碧泉(659)
- 45 车载式电动潜水泵提升系统 田新军等(663)
- 46 移动式环保洗孔工作站 张 勇(670)
- 47 512 矿床地浸溶浸液净化技术的研究和应用 伍云辉(675)
- 48 地浸采铀水冶工艺技术的发展和新工艺的应用 金卫中(682)
- 49 密实移动床离子交换设备在地浸采铀水冶工艺中应用及改进 金卫中(686)
- 50 饱和树脂再吸附工艺的生产实践 龙红福等(694)
- 51 改进型固定床联动试验 肖碧泉等(701)
- 52 降低“111”产品中的硫酸根和水分的试验研究 唐华章(709)
- 53 不同沉淀方法对产品质量影响对比室内试验 金卫中(716)
- 54 远程自动化监控系统的建立 黄 成(725)
- 55 远传生产数据报表系统的建立 黄 成(730)
- 56 酸法地浸各综合参数在信息显示中的应用 雷奇峰(741)
- 57 地浸铀矿山建立质量/环境/职业健康安全“三位一体化”管理体系的必要性
..... 吴黎武等(745)
- 58 地浸铀矿山企业如何提高档案提供利用工作水平 方志强等(750)
- 59 对地浸采铀工艺中一些术语称谓的见解 唐华章(759)
- 60 737 地浸矿山的环境保护措施 唐 炎(762)

溶浸液配方和使用方法

核工业第六研究所 王西文

1 前言

地浸采铀工艺技术,是涉及众多学科的一门综合性工艺技术。溶浸液配方和使用方法,是地浸采铀工艺技术体系中一项关键技术。关于溶浸液配方和使用方法的研究,在介绍研究报告之前,先概述六个问题。

2 溶浸液

所谓的溶浸液,是指在地浸采铀时通过钻孔注入地下浸出矿石中铀金属的化学溶液,它通常是由氧化剂(如 O_2 、 H_2O_2 和空气等)和溶浸剂(如 H_2SO_4 、 NH_4HCO_3 和 CO_2 等)与天然水(最好是低矿化度的地下水)或水冶工厂的尾液按一定比例配制而成。溶浸液,也称地浸时的工作溶液;溶浸剂,亦称浸出剂。

溶浸液在地浸采铀工艺流程中主要起两个方面的作用:一是使不可移动的固态铀经过化学反应而转变成可移动的铀的络合物;二是使铀的络合物经过扩散渗流而随载体(浸出液)被抽至地表。

地浸采铀对溶浸液性能的要求,归纳起来主要有如下几点:

- (1)有较高的铀金属浸出率;
- (2)浸出要有选择性,即除了浸出铀之外,不浸出或少浸出其它元素;
- (3)不会导致矿层(矿石)堵塞;
- (4)与地浸采铀工艺体系中的其它工序是相互协调的;
- (5)对仪器设备和管材等是无(或弱)腐蚀性的;
- (6)用于配制溶浸液的溶浸剂和氧化剂,要价格便宜,运输、配制和使用方便。

要能满足上述所有各项要求的溶浸液是没有的。按任何配方配制的溶浸液都是利与弊同时存在的。所谓较佳的、适用的或恰当的溶浸液,实际就是通过对比试验和技术经济综合分析而筛选出的一种利大于弊的溶浸液。

3 溶浸液配方和使用方法

溶浸液配方就是针对运用条件、通过对比试验和技术经济分析,确定配制溶浸液的氧化剂和溶浸剂类型及其用量。矿石性质和矿床条件等因素不同,溶浸液配方也就不同。

溶浸液中的氧化剂和溶浸剂,一种情况是在使用溶浸液时同时配入,另一种情况是在使用过程中按先后顺序分别配入。溶浸液的配制方法有多种:池(槽)内搅拌配制、管内自动配制、将氧化剂输入钻孔内与酸溶液配制、还有先将氧化剂压入矿层预氧化矿石中铀金属等办法。溶浸液通过钻孔注入矿层的方法,有加压注入、自流注入和钻孔内反向注入等几种。溶浸液中溶浸剂和氧化剂的含量,在使用过程中要根据浸出液的 pH 值、Eh、U、 Fe^{2+} 、 Fe^{3+} 、 Ca^{2+} 等数据进行调整。总之,溶浸液使用方法,就是通指溶浸液的配制方法、配制溶浸液的溶浸剂和氧化剂的配入先后顺序、溶浸液使用的时间方式(超前、连续、断续)以及在使用过程中溶浸液和氧化剂用量的增减和调节方法等。

要注意的是,地浸时溶浸液与矿石的反应条件是较特殊的,溶浸液在处于天然埋藏条件下的矿石和围岩中不断渗透,新鲜溶浸液在不断注入,溶浸液的 pH 值、Eh 和溶质等在不断变化,溶浸液在渗透过程中所接触的各部位的矿石和围岩性质不完全相同。因此,溶浸液配方和使用方法,不但对不同矿床是不同的、就是对同一矿床的不同矿块或同一矿块的不同地浸时间(酸化—氧化期、浸出期、清洗期)也是不同的。

4 影响溶浸液配方和使用方法的因素

影响溶浸液配方和使用方法的因素有四个方面:一是矿石的各种性质;二是矿床的地质和水文地质条件;三是环保要求和化工原料价格等;四是地浸采铀工艺体系中某些工序的制约。第一、二方面因素是自然因素、直接因素;第三方面因素是人为因素,是随时间和地点而变化的因素;第四方面因素是间接的相互依存和互为制约的因素。

5 研究溶浸液配方和使用方法的难度和意义

由于影响溶浸液配方和使用方法的因素多、试验周期长、人力物力花费大,所以要探索出一套技术可行、经济合理、环保条件好的配方和使用方法绝不是一件容易之事。

配方和使用方法是否恰当,主要看通过试验而获得的地浸工艺参数是否属于技术经济合理的参数。

只有配方和使用方法恰当,地浸成本才可能低、浸出液中的铀含量和矿石中的铀金属浸出率才可能高、电和化工原料的消耗才可能少、含铀产品溶液才便于加工处理、环境的污染程度才可能低。因此,可以毫不夸张地讲,配方和使用方法是否恰当,这在很大程度上决定了地浸采铀的经济效益、资源回收率和环保条件的好坏,甚至决定了地浸采铀的成败。

由此可知,探索出恰当的溶浸液配方和使用方法,是一项需要在地浸采铀生产之前认真研究解决的既有难度、又很重要的科技课题。对溶浸液的配方和使用方法,特别是对其中的关键数据和诀窍,国外地浸企业都是严加保密的。因此,对于这项科技课题,我们只能自己动手实践。

6 研究溶浸液配方和使用方法的阶段性和技术路线

对事物的认识,总是逐步地由浅而深、由局部到全面。对于探索溶浸液配方和使用方法这

类涉及诸多影响因素的、试验周期很长的、需要花费大量资金的课题,必须分阶段进行试验。

在正式开展试验之前,应弄清影响溶浸液配方和使用方法的因素,应合理划分试验阶段,合理确定各阶段的试验内容、方法和目的。试验内容逐步增加,通过试验而获得的资料数据逐步接近于实际。

应该是在室内试验获得好的效果之后才考虑现场试验的可能性和必要性;应该是在前阶段试验取得了正面结果之后才开展后阶段的试验。如前阶段的试验结果不能令人满意(如试剂耗量高而浸出率过低、产生堵塞等),则绝不应开展扩大试验内容或规模的后阶段试验。对这个原则问题,过去认识不深刻,我们犯过错误(1971—1973年,在广东河源,在没有开展任何室内试验的情况下将 H_2SO_4 含量很高的溶浸液通过钻孔注入矿层,矿层堵塞,是我国第一次地浸采铀试验失败的主要原因之一),前苏联也犯过错误(20世纪60年代中后期,在乌兹别克斯坦,由于未认真开展室内试验阶段的工作,溶浸液中的硫酸含量过高而造成矿层堵塞,后经露天开采时揭露,才知道了堵塞之严重状况),美国人在这个问题上犯的错误也不少(例如,在不适于酸法的矿床开展酸法地浸采铀试验,结果是不了了之)。室内试验阶段的工作不充分、对影响溶浸液配方和使用方法的各种因素未全面研究,特别是对配方和使用方法不利的因素重视不够,再加上侥幸取胜的心理,这些便是导致花大量人力物力开展矿床地浸采铀试验失败的主要原因。

只要室内试验的资料是充分的和有代表性的、只要对影响配方和使用方法的因素的分析是全面的和深入的,则所推荐用于现场地浸采铀试验的溶浸液配方和使用方法,一般来讲应该是适用的。在地浸采铀试验阶段研究溶浸液配方和使用方法,实际上就是在地浸采铀工艺试验过程中对室内试验所推荐的配方和使用方法进行检验和适当调整。在地浸采铀试验阶段,对于所推荐的溶浸液配方和使用方法,通常都不会、也不应该有实质性的重大改变。

针对云南龙川江盆地和新疆伊犁盆地的矿石性质和矿床地质—水文地质等条件,研究溶浸液配方和使用方法,按照“多做不同条件下的对比试验和认真进行技术经济分析”的技术路线,从1980—1995年断断续续地先后开展了如下三个阶段的试验:

- (1)散矿样烧杯泡浸试验;
- (2)圆柱状矿样渗透浸出试验;
- (3)地浸采铀试验。

针对龙川江盆地和伊犁盆地的铀矿床条件,研究地浸采铀,是按散矿样烧杯泡浸试验、圆柱状矿样渗透浸出试验和地浸采铀试验这三个阶段的程序进行的。溶浸液配方和使用方法的研究,在上述每一个阶段中都是一项重要研究内容。我们按习惯把溶浸液配方和使用方法的研究阶段也划分为散矿样烧杯泡浸试验、圆柱状矿样渗透浸出试验和地浸采铀试验这三个阶段,因此这里所讲的散矿样烧杯泡浸试验、圆柱状矿样渗透浸出试验和地浸采铀试验,实际上是指在这三个阶段的试验过程中研究溶浸液配方和使用方法。

7 研究结果

经过上述三个阶段的不同条件下的对比试验和技术经济综合分析,探索出了适于我国两大铀矿资源基地(云南龙川江盆地和新疆伊犁盆地)的溶浸液配方和使用方法;与此同时,我们也研究解决了地浸采铀中的其它几项重要技术。在此基础上,我国于1995—1998年成功地开

展了 50t 规模的地浸采铀工业试验,并接着开始了工业规模的生产。工业试验和生产的显著经济效益和社会效益,验证了三个阶段的溶浸液配方和使用方法的试验资料数据的可靠性、试验结论的正确性和通过试验而提出的建议的适用性。总之,经过长期锲而不舍的努力,我们终于解决了我国地浸采铀工艺技术体系中的一项具有一定难度的关键技术。

现将三个阶段研究溶浸液配方和使用方法的条件、过程、方法、资料数据、结论和建议等分别报告于后,即附件 1、附件 2、附件 3。

附件 1 为地浸采铀工业试验阶段溶浸液配方和使用方法的试验资料数据、结论和建议。附件 2 为地浸采铀工业试验阶段溶浸液配方和使用方法的试验资料数据、结论和建议。附件 3 为地浸采铀工业试验阶段溶浸液配方和使用方法的试验资料数据、结论和建议。

附件 1 为地浸采铀工业试验阶段溶浸液配方和使用方法的试验资料数据、结论和建议。附件 2 为地浸采铀工业试验阶段溶浸液配方和使用方法的试验资料数据、结论和建议。附件 3 为地浸采铀工业试验阶段溶浸液配方和使用方法的试验资料数据、结论和建议。

附件 1 为地浸采铀工业试验阶段溶浸液配方和使用方法的试验资料数据、结论和建议。附件 2 为地浸采铀工业试验阶段溶浸液配方和使用方法的试验资料数据、结论和建议。附件 3 为地浸采铀工业试验阶段溶浸液配方和使用方法的试验资料数据、结论和建议。

附件 1 为地浸采铀工业试验阶段溶浸液配方和使用方法的试验资料数据、结论和建议。

附件 2 为地浸采铀工业试验阶段溶浸液配方和使用方法的试验资料数据、结论和建议。

附件 3 为地浸采铀工业试验阶段溶浸液配方和使用方法的试验资料数据、结论和建议。

附件 1 为地浸采铀工业试验阶段溶浸液配方和使用方法的试验资料数据、结论和建议。附件 2 为地浸采铀工业试验阶段溶浸液配方和使用方法的试验资料数据、结论和建议。附件 3 为地浸采铀工业试验阶段溶浸液配方和使用方法的试验资料数据、结论和建议。

附件 1 为地浸采铀工业试验阶段溶浸液配方和使用方法的试验资料数据、结论和建议。

附件 1 为地浸采铀工业试验阶段溶浸液配方和使用方法的试验资料数据、结论和建议。附件 2 为地浸采铀工业试验阶段溶浸液配方和使用方法的试验资料数据、结论和建议。附件 3 为地浸采铀工业试验阶段溶浸液配方和使用方法的试验资料数据、结论和建议。

附件 1： 散矿样烧杯泡浸试验阶段的研究

矿样,采自云南龙川盆地 381 矿床 3、4 号勘探线之间的 4CK3 钻孔南东方向 5m 处。

本试验从 1980 年 11 月到 12 月,在云南腾冲 35101 部队化工厂的化验室内进行。

这是溶浸液配方和使用方法在整个研究过程中的第一个试验阶段。

矿样,是破碎成自然粒度的散矿样。

烧杯泡浸,也分静态或搅拌浸出,也可看成是特殊条件下的扩散浸出。

各种配方的溶浸液只与矿石的矿物成分、化学成分以及铀在矿石中的存在形式和赋存状态等性质有关;试验资料数据只反映矿石在这方面的性质。

散矿样烧杯泡浸试验,方法简便,试验时间短,经济成本低。用多批量矿样同时进行各种溶浸液配方条件下的泡浸试验,能获得多种配方条件下的试验资料数据,以供分析比较。

本试验阶段的主要目的和任务是:

(1)根据矿石的矿物成分、化学成分以及铀在矿石中的存在形式和赋存状态等性质,运用化学基本理论知识,初选有可能适用的溶浸剂和氧化剂;

(2)做各种配方条件下的对比试验,初定溶浸液配方;

(3)在初定的溶浸液配方条件下,测试不同时间间隔的泡浸液中的铀和其它成分含量,计算浸出率、液固比、试剂消耗量等;

(4)为下阶段试验推荐溶浸液配方和使用方法。

1 矿样

矿样,对 381 矿床各部位矿石而言,它具有代表性,因它们的性质相近。

矿样的化学成分列入表 1。

表 1 矿样的化学成分

元素	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	TiO ₂	MnO	CaOP
含量%	77.99 ~ 87.65	0.99 ~ 6.37	4.15 ~ 8.44	0.15 ~ 0.90	0.22 ~ 0.70	0.18 ~ 0.27
元素	MgO	P ₂ O ₅	K ₂ O	Na ₂ O	U ₃ O ₈	烧失量
含量%	0.08 ~ 0.56	0.025 ~ 0.095	2.3 ~ 3.6	0.16 ~ 0.60	0.05 ~ 0.7	1.49 ~ 5.17

矿样的矿物成分主要是石英(含量约 60% ~ 70%)、长石(主要是钾长石,约 20% ~ 30%),其次是黑云母(含量小于 5%)、岩屑(5%)、锆石、独居石、帘石等,并含炭屑。长石大多已风化成粘土,黑云母多向水云母、绿泥石转化,岩屑多为花岗岩。胶结物多为泥质、炭质、铁质。铀多呈吸附状态,也以铀黑、沥青铀矿形式存在,少量的存在于含铀矿物中。

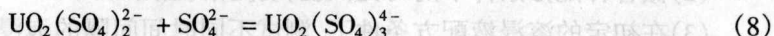
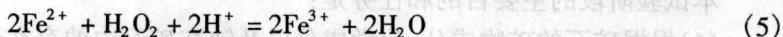
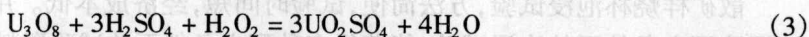
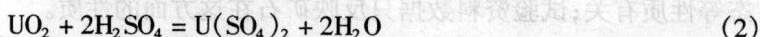
2 溶浸剂及其用量的选择试验

2.1 溶浸剂类型的选择

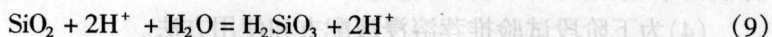
2.1.1 选用硫酸的依据

溶浸剂的类型有酸和碱,381矿床的矿石是以硅酸盐为主,钙含量甚微,选用硫酸可得到满意的效果。硫酸与盐酸、硝酸比较,价格便宜,运输方便;稀硫酸溶液不会大量溶解非铀矿物;矿石含钙量少,用硫酸溶液浸出不会堵塞矿石孔隙;从后续铀工艺(离子交换吸附)情况看,pH值在1.5~2条件下,适合201×7阴离子交换树脂吸附铀;吸附后的尾液也可重复使用。

硫酸与铀矿物的化学反应:



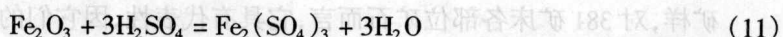
硫酸与非铀矿物的化学反应:



SiO_2 稀酸难溶,生成少量的 H_2SiO_3 转入溶液。



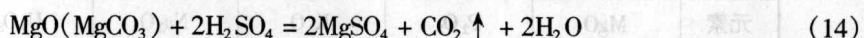
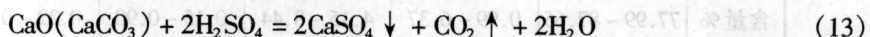
Al_2O_3 稀酸难溶,转入溶液中的 Al^{3+} 很少。



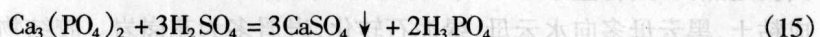
Fe_2O_3 稀酸难溶,转入溶液中的 Fe^{3+} 很少。



FeO 比 Fe_2O_3 易溶于稀酸中,所以溶液中含有较多的 Fe^{2+} 。



MgSO_4 的溶解度大,全部转入溶液中。 CaSO_4 的溶解度为 2g/L,超过 2g/L 就会产生沉淀。如果矿石中碳酸钙含量较高,就不能用 H_2SO_4 溶液,否则矿石会被石膏凝结,使浸出过程不能进行。



2.1.2 盐酸的否定

盐酸要在 9M 浓度的条件下,铀才被树脂吸附,这么高的浓度在工艺上是行不通的。

2.1.3 硝酸的否定

稀硝酸可用于淋洗吸附在树脂上的铀,可见在工艺上硝酸环境中吸附铀也是行不通的,而且硝酸盐—亚硝酸盐对环保也不利。

2.1.4 碱法浸出的否定

对此类矿石,我们曾作了碱法浸出试验。用 10g/L 的碳酸钠和 0.4g/L 的 H_2O_2 ,对矿床不同部位的矿石进行烧杯浸泡试验,结果说明:

在室内烧杯浸泡条件下铀浸出率低,小于 69%。

溶解了矿石中的一些腐质酸和硅酸盐,浸出液呈茶褐色,不易澄清。

证实了此类矿石用碱法浸出效果差。

2.2 溶浸剂(H_2SO_4)与铀矿物和非铀矿物反应的消耗量

2.2.1 根据化学反应式分析硫酸的耗量

依化学反应方程式(1)~(3),可计算出 1kg UO_3 中的铀、 UO_2 中的铀和 U_3O_8 中的铀需 0.412kg 硫酸。

依化学反应方程式(12)~(18),可计算出:

1kg FeO 需 1.36kg 硫酸;

1kg $CaCO_3$ 需 0.98kg 硫酸;

1kg $MgCO_3$ 需 1.17kg 硫酸;

1kg K_2O 需 1.04kg 硫酸;

1kg Na_2O 需 1.58kg 硫酸;

1kg MnO 需 1.38kg 硫酸。

由于矿石中 SiO_2 、 Fe_2O_3 、 Al_2O_3 稀酸难溶,所以酸耗不大。而矿石中 Ca、Mg、 K_2O 、 Na_2O 、MnO、P 等含量甚微,酸耗也不大。

2.2.2 硫酸浓度的选择

(1) 试验目的

了解在一定量的氧化剂条件下,在各种不同酸度时的矿样中铀的浸出率及各种成分的浸出情况,为选择硫酸的恰当用量提供资料数据。

(2) 试验样品的参数

1 号矿样:品位 0.33%,样品是干矿,100g 矿石中含 330mg 铀。

2 号矿样:品位 0.034%,矿石水分 16.8%,样品是湿矿,100g 矿石中含 28.3mg 铀。

(3) 试剂和仪器

试剂:硫酸,比重 1.84,分析纯;

过氧化氢,30%,分析纯。

仪器:500mL 小口玻璃瓶;

化验铀、酸度、铁、硅和铝等的仪器,化学试剂。

(4)试验的方法和步骤

- ① 把矿样混匀,1号矿样和2号矿样各称 100g 矿石,分别放于 18 个 500mL 的小口玻璃瓶中。
 - ② 加水 400mL, H_2O_2 加 0.16g, 硫酸分别按 0、1、2、3、4、5、10、20、50g/L 浓度加入,并适当搅拌。
 - ③ 浸泡 120h 后分别取样分析。
 - ④ 根据试验数据进行硫酸浓度的选择。
- 浸泡 120h 的试验数据见表 2、图 1 和图 2。

表 2 不同硫酸浓度下的试验数据(浸泡 120h)

项目 含量 编号	加入 H_2SO_4 浓度 (g/L)	1 号 矿 样						2 号 矿 样					
		浸出铀 (mg)	浸出率 (%)	余酸 (g/L)	总 Fe (mg/L)	可溶 SiO_2 (mg/L)	Al^{3+} (mg/L)	浸出铀 (mg)	浸出率 (%)	余酸 (g/L)	总 Fe (mg/L)	可溶 SiO_2 (mg/L)	Al^{3+} (mg/L)
1	0	143.2	44.3	0	62	15	3.6	2.69	9.5	0	18.5	9.6	0.82
2	1	279.4	84.67	0.52	136	29	7.2	23.38	82.65	0.58	64	16	2.5
3	2	299.05	90.62	1.47	146	32	8.8	21.96	83.6	1.58	103	17	2.9
4	3	308.65	93.53	2.41	196	32	10	24.17	85.41	2.42	127	20	3.3
5	4	315.7	95.67	3.15	209	36	10.8	26.07	92.12	3.26	135	21	5.7
6	5	322.33	97.68	4.41	225	37	11.6	23.05	91.45	4.15	174	24	6.6
7	10	323.13	97.92	7.35	271	44	12.4	25.41	89.79	8.15	166	24	9
8	20	323.13	97.92	16.27	301	44	16	27.4	95.8	16.33	249	30	14
9	50	300.7	97.12	43.05	314	47	20.8	27.41	95.8	42.68	330	30	20.2

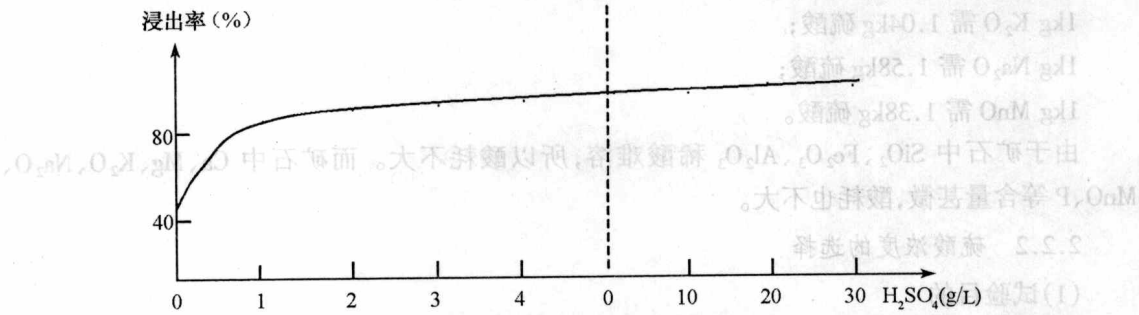


图 1 一号矿样浸泡试验曲线

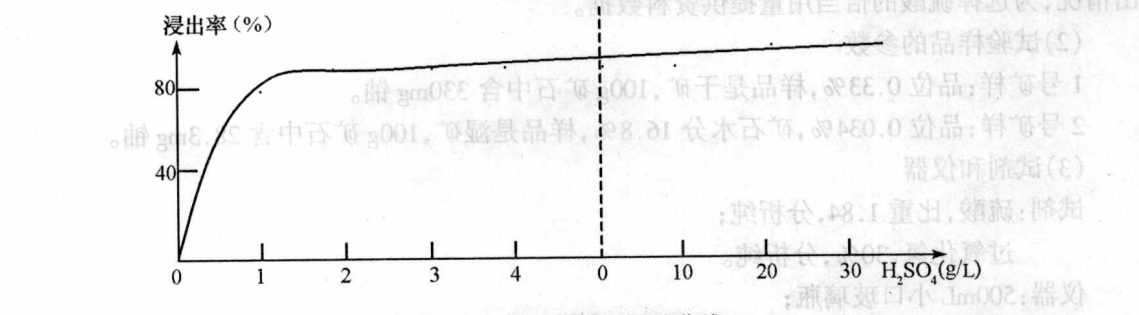


图 2 二号矿样浸泡试验曲线

从不同硫酸浓度下的试验数据表 2、矿样浸泡试验曲线图 1 和图 2 可看出,品位不同的样品,在相同的浸出条件下,铀浸出率均随酸度的增大而升高,主要杂质含量也升高。当硫酸浓度在 3~4g/L 时,两个矿样都得到满意的浸出效果:铀浸出率高,杂质溶解也不多,浸出液的剩余酸度适合后续铀工艺处理。当硫酸浓度在 20g/L、50g/L 时,酸量虽然增加了,但浸出液中铀含量并没有明显增加,溶解的杂质也更多,浸出液的剩余酸度高,所以对 381 矿床的矿石,硫酸浓度可选择 3~10g/L、最好是 1.5~5g/L。对类似于 381 矿床的矿石,硫酸在溶浸液中的浓度提到 15~20g/L,也不会产生大的副作用。

3 氧化剂及其用量的选择试验

381 铀矿石,经多次取样分析, U^{4+} 约占 80%,在原始埋藏情况下, U^{4+} 就更多;只有加氧化剂,使 U^{4+} 氧化成 U^{6+} ,铀才能被稀硫酸溶液溶解而进入溶液。

3.1 氧化剂类型的选择

氧化剂的种类很多,我们对 $KMnO_4$ 、 H_2O_2 、 $NaNO_2$ 、 $Fe_2(SO_4)_3$ 等不同氧化剂在不同酸度和不同浓度条件下,进行了对比试验。试验结果说明: H_2O_2 氧化效果好; $Fe_2(SO_4)_3$ 在低酸度条件下,也有很好的氧化效果; $KMnO_4$ 的氧化性在低酸度下不如 Fe^{3+} ; Na_2NO_2 虽也有好的氧化性,但反应最终产物生成 N_2 、且易堵塞矿石孔隙;用 O_2 或空气作氧化剂,也有好效果。

表 3 选择氧化剂的试验数据

编号	氧化剂名称	氧化剂数量(mg)	酸量(mL)	金属浓度第一次(mg/L)	pH 值	金属浓度第二次(mg/L)	剩余酸度(g/L)
1	$FeCl_3 \cdot 6H_2O$	Fe^{3+} 52	0.55	90	2	285	0.37
2	$FeCl_3 \cdot 6H_2O$	Fe^{3+} 103	0.55	93	2	270	0.4
3	$KMnO_4$	125	0.55	88	2	238	0.31
4	$KMnO_4$	250	0.55	88	2	260	0.22
5	$FeCl_3 \cdot 6H_2O$	Fe^{3+} 52	0.55	91	2	290	0.37
6	$FeCl_3 \cdot 6H_2O$	Fe^{3+} 103	1.1	92	1.5	280	1.18
7	$KMnO_4$	125	1.1	93	1.5	255	1.06
8	$KMnO_4$	250	1.1	95	1.5	257	1.04
9	$Fe_2(SO_4)_3$	Fe^{3+} 250	0.55	135	2	297	0.28
10	$Fe_2(SO_4)_3$	Fe^{3+} 125	0.55	176	2	297	0.31
11	$Fe_2(SO_4)_3$	Fe^{3+} 250	1.1	255	1.5	302	1.15
12	$Fe_2(SO_4)_3$	Fe^{3+} 125	1.1	208	1.5	290	1.15

注:① 试验中矿石称 50g,其中铀金属约 165mg,加水量都是 100mL;

② 试验用的酸是分析纯硫酸;

③ 浸泡时间,3 天后第一次分析,5 天后第二次分析;

④ 第一次取样分析,余酸用精密 pH 试纸测定;第二次取样分析,余酸用化学分析法测定。

表4 选择氧化剂的试验数据

编号	氧化剂		金属浓度第	剩余酸度	金属浓度第	铁(mg/L)	
	名称	数量(mg)	一次(mg/L)	(g/L)	二次(mg/L)	总铁	Fe ²⁺
1	FeCl ₃ ·6H ₂ O	Fe ³⁺ 250	110	2.88	285	277	72
2	FeCl ₃ ·6H ₂ O	Fe ³⁺ 125	113	2.67	251	143	36
3	Fe ₂ (SO ₄) ₃	Fe ³⁺ 250	91	3.01	261	258	75
4	Fe ₂ (SO ₄) ₃	Fe ³⁺ 125	91	2.26	253	153	30
5	H ₂ O ₂	2.5mL	150	2.75	333	/	/
6	H ₂ O ₂	1.25mL	145	2.4	339	/	/
7	NaNO ₂	1g	118	2.04	339	/	/
8	NaNO ₂	0.5g	124	2.45	329	/	/

注:① 试验中,矿石都称 60g,金属约 198mg,水量是 100mL;

② 试验用的酸是分析纯硫酸,加酸量都是 0.2%(V_酸:V_水 体积比);

③ 浸泡时间,3 天后第一次分析,5 天后第二次分析;

④ 含铁量的分析是在试验过程中分析的。

从选择氧化剂的试验数据表 3 中可看出:在酸量较低的情况下,硫酸高铁的氧化效果很好,相同条件下,浸出的金属浓度最高。

从选择氧化剂的小型试验数据表 4 中可看出:在一定酸量的情况下,H₂O₂ 和 NaNO₂ 的氧化性很好,硫酸铁的氧化性也很好。H₂O₂ 氧化剂反应产物是水,没有副作用,所以我们选择 H₂O₂ 和硫酸铁作为氧化剂。

3.2 氧化剂浓度的选择

3.2.1 试验目的

了解在一定的酸度条件下 H₂O₂ 和 Fe³⁺ 不同用量时铀浸出率等情况,从而选择恰当的氧化剂用量。

3.2.2 试验的方法和步骤

(1)试验样品的参数:品位 0.144%,水分为 16%,119g 矿石中含铀 144mg;按理论计算,144mg 铀需 68mg 30% H₂O₂ 或需 68mg Fe³⁺ 离子与之反应。

(2)把矿样分别称 119g,置于 10 个 1000mL 烧杯中。

(3)加入溶浸液 500mL,其中硫酸浓度均为 5g/L,并含不同量的 H₂O₂ 和 Fe³⁺。

(4)浸泡 35h、46h 后分别取样分析。

从选择氧化剂浓度的试验数据表 5 可看出,当 H₂O₂ 用量在 0.2g/L 时,铀浸出率为 65.97%;用量在 0.3g/L 时,铀浸出率为 77.08%,所以 H₂O₂ 的浓度应选择为 0.4g/L。

Fe³⁺ 离子的用量在 140mg/L 时,铀浸出率已达 77.08%;用量在 400mg/L 时,铀浸出率为 86.39%。在多次试验中,Fe³⁺ 离子越多,浸出率越高。在一般情况下,只要溶液中 Fe³⁺ 浓度略高于 Fe²⁺ 浓度,氧化剂效果是满意的。

H₂O₂ 氧化剂的优点是氧化效果好,反应产物为水,无副作用;缺点是易分解而造成损失,