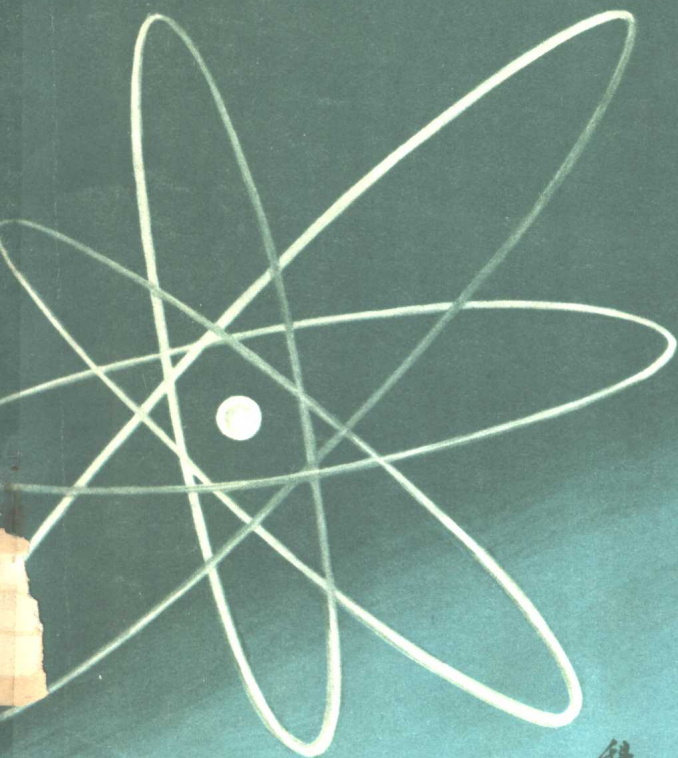


铀的回收

上册



科学出版社

铀 的 回 收

(上册)

《铀的回收》翻译组

科学出版社

1972

铀 的 回 收

(下 册)

《铀的回收》翻译组译

科 学 出 版 社

1 9 7 3

内 容 简 介

本论文集是国际原子能机构于1970年8月17—21日在巴西圣保罗召开的关于“铀的回收”国际会议所发表的论文汇编。

全书共分四部分，包括35篇文章。第一部分有12篇，介绍了回收铀的研究及生产工艺情况；第二部分有13篇，讨论了选矿、浸出(包括细菌浸出)、分离方法的进展以及由清液、矿浆回收铀的方法；第三部分有7篇，论述了铀作为副产品的综合回收技术；第四部分有3篇，介绍了从其他低品位含铀资源回收铀的技术进展。书末还有讨论会小结。

全书分上、下两册出版。上册包括第一部分，下册包括其余三部分。

本书可供从事原子能、矿冶、化工、地质、放射性元素、稀有元素等方面的工人和技术人员参考，也可供有关专业的师生参考。

铀 的 回 收 (上册)

(只限国内发行)

科学出版社出版

北京朝阳门内大街137号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1972年10月第一版 1972年10月第一次印刷

定价：0.60元

内 容 简 介

本论文集是国际原子能机构于1970年8月17—21日在巴西圣保罗召开的关于“铀的回收”国际会议所发表的论文汇编。

全书共分四部分，包括35篇文章。第一部分有12篇，介绍了回收铀的研究及生产工艺情况；第二部分有13篇，讨论了选矿、浸出(包括细菌浸出)、分离方法的进展以及由清液、矿浆回收铀的方法；第三部分有7篇，论述了铀作为副产品的综合回收技术；第四部分有3篇，介绍了从其他低品位含铀资源回收铀的技术进展。书末还有讨论会小结。

全书分上、下两册出版。上册包括第一部分，下册包括其余三部分。

本书可供从事原子能、矿冶、化工、地质、放射性元素、稀有元素等方面的工人和技术人员参考，也可供有关专业的师生参考。

THE RECOVERY OF URANIUM

International Atomic Energy Agency, Vienna, 1971

铀 的 回 收 (下册)

《铀的回收》翻译组译

科学出版社出版

北京朝阳门内大街137号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1973年4月第一版 开本：850×1168 1/32

1973年4月第一次印刷 印张：9 7/16

印数：0001—6,200 字数：249,000

统一书号：15031·59

本社书号：176·15—2

定价：1.15元

只限国内发行

赠阅

毛主席语录

我们必须打破常规，尽量采用先进技术，在一个不太长的历史时期内，把我国建设成为一个社会主义的现代化的强国。

一切外国的东西，如同我们对于食物一样，必须经过自己的口腔咀嚼和胃肠运动，送进唾液胃液肠液，把它分解为精华和糟粕两部分，然后排泄其糟粕，吸收其精华，才能对我们的身体有益，决不能生吞活剥地毫无批判地吸收。

目 录

第一部分 概论及述评

英国铀矿加工研究的新进展	1
铀矿处理的新前景和可直接应用的浓缩物的制备	16
铀矿浸出前应用选矿方法的评论	32
戈林亚瓦斯地区铀矿石处理的进展	42
阿联西部沙漠卡特拉尼含铀頁岩和砂岩的浸出試驗	60
波苏斯迪卡耳达斯高原钼铀矿的加工	74
从阿联东部沙漠阿特尙的原生矿石中浸出和回收铀	86
兹列托夫斯克河地区铀矿的加工研究	99
人形峽矿山的铀中間水冶厂	108
从森霍拉达斯丰台斯水冶厂的浸出液中回收铀	127
乌热里薩铀水冶厂的现代化	139
犹他建筑和采矿公司希尔利益地铀工厂	162

目 录

第二部分 预富集及近来在分离方法和从清液、矿浆中回收铀的进展

用静态浸出法处理边界品位矿石	173
地下采场的铀矿石的原地浸出	178
硫酸化焙烧——溶解难溶矿物中铀的一个途径	190
低品位铀矿石的细菌处理法	200
南斯拉夫用细菌浸出铀的一些数据	218
威特瓦特斯兰德尾矿渣的细菌氧化	227
南非用液液萃取法回收铀	237
用碳酸铵反萃取分离有机溶剂中铀和钼的实验室研究	254
用胺从酸性浸出液中萃取铀、钼、钒	268
用 UO_2 作催化剂在硫酸溶液中通入氢气沉淀铀	284
降低用离子交换法加工铀矿石的费用	294
从巴西含铀的锆矿石中提取铀	309
UO_2 的溶解类似一种电子转移反应	319

第三部分 铀作为副产品的回收

从潜在的资源中回收铀	335
从磷酸中萃取铀用的一些苯基磷酸的研究	341
生产磷肥和三聚磷酸盐时铀作为副产品回收的可能性	353
经盐酸酸化从未溶解的残渣中回收磷酸副产品铀的方法	367
地下浸出——从贫矿中开采铀的有利方法	383

在金矿加工过程中回收副产品铀395
含铀锆矿石的加工413

第四部分 从其它低品位铀资源中加工回收铀

含铀、磷和稀土的粘土黄铁矿的处理423
从含铀頁岩中提取铀及其他有用组分的工艺研究431
威特瓦特斯兰德矿石中低品位铀的经济回收443
总结讨论460

第一部分 概论及述评

英国铀矿加工研究的新进展

英国奥尔德马斯顿原子武器研究中心

S. E. 史密斯 P. A. 怀特

摘 要

从1966年低品位铀矿加工国际会议以来,英国对改进处理低品位矿石的工艺进行了调查和研究,重点是工艺流程中费用很高的预富集和浸出。近一年半来,主要的几个研究项目是:选矿富集,特别是矿块分选;新的经济的化学浸出方法;细菌辅助浸出;矿浆连续离子交换纯化。细菌浸出是作为主要的长远研究项目。本文的第二部分概述了矿块高速分选和几种矿样浓酸熟化渗滤浸出的进展。这二方面的进展提供了在近期对铀矿加工可采用的较经济的方法。最后,简单地介绍一下由这些革新引起的一般流程的改进。

1. 引 言

为了满足具有世界上最大核能装置和较大的核燃料循环工业并要以核能作为动力的主要来源的国家,对铀的需要,英国有必要对铀的供应问题给以密切注意。铀是目前绝大部分核燃料循环的基础。我们关心铀的近期供应问题,并已作了充分安排。我们考虑了到1990年左右对铀的需求将达到高峰,那时快中子反应堆的发展将日益影响动力循环的需求量。对更长远的需要也应予以考

虑。随着加工低品位矿石费用的不断增加，最后可能出现与从海水中提取铀不相上下的情况。

从海水中提取铀的具体计划在英国已经进行了一段时间，并且发展了交换材料和提取方法，这些方法至少可与处理低品位矿石费用最高的方法相媲美。

然而，在目前我们最关心的是到 1990 年这段时期的需要。我们也考虑了，随着处理边界品位矿石的投资和生产费用的增加而不提高世界铀市场的价格所带来的压力。最近，我们制定了寻找新矿源的计划，即研究探测铀矿的合适仪器，以及在英国国内勘探和与其它国家合作的勘探。与这次会议有重要关系的是：我们正进行着从矿石中提取铀的新工艺的一系列研究计划。其中一部分工作已在最近的刊物上发表^[1-4]。因此我们详细地介绍一下最近一年来在矿块分选和化学浸出新方法方面的显著进展。

1.1 最有利的研究领域

现有铀工厂的一般提取方法是：磨矿，在稀硫酸或碱性碳酸盐溶液中浸出，澄清浸出液，最后用溶剂萃取法或在离子交换树脂柱中提取铀。

在不同处理阶段所消耗的费用中，浸出占直接操作总费用的 35—50%。这项费用高的原因是由于物理选矿提高品位的方法没有完全成功，所以大工厂不得不处理多余的脉石矿物；因而其浸出剂的消耗也高。吸附或萃取之前的固液分离也是一项不小的费用，而以后的提取阶段的节约则是有限的。所以我们研究计划的重点放在提取费用最高的部分，而且对不同类型矿石无论品位高低都能普遍应用（我们也考虑到研究的结果能用于铀以外的其他金属的提取）。

1.2 物理富集

我们认为,物理选矿富集是非常重要的。这方面虽然有许多不同的方法,我们认为实际上有希望的是使用重介质分离及水力旋流器。我们对加拿大和澳大利亚的高强度湿法磁选也很注意。我们自己正在探索铀矿石组分的磁性,希望使用英国原子能局在核聚变实验中发展的低温超导磁体来成功地解决矿石分离中的问题。

铀是相当贵的产品,如果铀随废矿石丢失太多,而且废矿石又不再经单独的处理,那么选矿富集是不经济的。

浮选和磁选铀矿石的工作尚未成功,因为废弃的矿石铀含量还不算低。在加拿大已进行了重介质分离的大型中间工厂试验,能够处理的粒度范围在-0.5 吋到+28目(589微米),所以重介质分离比矿块分选能处理较大部分的碎料。由于铀在矿石中含量很低,而各级别之间密度差别是小的,重介质分离则取决于铀和大量致密矿物如黄铁矿的结合情况。重介质分离可能使废弃物占原矿量的40%或更多,但铀损失不少于10%。

矿块分选可能是最有利的办法,英国奥尔德马斯顿原子武器研究中心与一些部门协作进行了下列三项探索:与高速方法有关的新颖光学探测器;可适用的大小粒度;以及受检测系统控制的收集与废弃机械装置。这些工作将在后面报告中加以详细地说明。

1.3 浸 出

浸出阶段费用是值得注意的,因此,我们正在注意下面三个方法。

1.3.1 细菌浸出

因为细菌浸出能自己产生浸出所需要的全部试剂,所以不仅

对通常的浸出过程有利,而且可能应用在:

(a) 地下浸出;

(b) 粒度均匀的碎矿石在大槽中进行的渗滤浸出;

(c) 作为处理残渣的一个便宜方法,可以降低主要处理过程所要求的回收率。

然而,到目前为止所做的实验室研究和实际应用是相当有限的,所以不能肯定技术上可能出现的全部问题是否已被揭示。有一项工作计划正在英国波顿微生物研究中心进行。研究的内容有:微生物处理及其溶解铀的机理;细菌的最显著的作用特性以及如繁殖寿命等因素的最佳条件;获得最高提取率的环境条件。为了把这些研究成果用于工业生产中,对大规模细菌浸出过程的生物化学工程应预先加以注意。

1.3.2 浓酸熟化浸出

目前使用的酸法浸出中有意义的另一方案是浓酸熟化浸出。浓酸和破碎的粗矿粒混合,经过几小时熟化后,用水渗滤矿石提取铀。这种方法在理论上避免了细磨和过滤,而且浸出液的铀浓度高。奥尔德马斯顿原子武器研究中心对应用此技术的可能性进行了一些成功的小规模工作,本文随后将进一步说明。

1.3.3 气相氯化

用气体氯化剂作用于铀矿石,使铀转化成挥发性产物(UCl_4),从而使铀简单地与矿石分离,然后直接转化成为浓缩物。奥尔德马斯顿原子武器研究中心也正在进行这方面的工作。

1.4 最后的提取与纯化

在通常处理的最后阶段,如果不经过固液分离,而从浸出矿浆中直接提取铀,则能大大降低费用。对离子交换处理和溶剂萃取两种可能性已予以注意,在几个过去的矿浆吸附工厂中进行了一

些有意义的工作。我们专门研究了一种离子交换的处理方法(Streat/Cloete Process),希望在不久的将来能报道这项工作。

2. 矿块分选

用手工分选矿块以分离矿石中的低贫部分,这在矿冶工业中已采用多年了;它依据的是矿石和无用矿块的结构不同而造成的外观差别。南非的金铀矿仍用手工分选。

已制造了几种分选铀矿的机械,并在有限范围内使用^[5,6]。和手工分选一样,这些机械用于分选2吋和更大的矿块,主要是从围岩废石中分离出矿石。围岩废石是因采矿时缺乏选择性造成的。

我们最初对砾岩矿石进行了富集。这种矿石由含有铀和其他矿物的基质裹着的石英砾构成,砾石通常尺寸为0.5—2吋。如果砾岩矿石被破碎到的最大粒度小于石英砾石粒度,则矿块的主要部分将是含铀很少的石英。

首先在伦敦的皇家矿业学校研究了加拿大砾岩矿的光学和矿物学性质,确定铀在小于1吋的矿物各粒级中的分布是不均匀的。可以认为,在这样粒度范围内进行分选,能分离掉围岩矿物而提高矿石品位。

由此目的制造的矿块分选机,应有两个要求:机械处理系统根据探测器讯号迅速地分选小矿块;探测器的反映时间要很短。

2.1 检 测

基于颜色或反射性的普通光学探测法,对分离石英是不适用的。英国原子能局已发展了一种新的光学探测方法。

因为探测系统是鉴别石英,这样就把矿块的主要成分石英抛弃了。这种探测器要比检测少量矿物成分的探测器更简单也更精确。

2.2 小矿块的高速分选

已经制造了用光度法分选矿物和其他颗粒的机械，其处理能力为每单道每秒 100 块或更多，分选速度取决于所要求的精密度^[8]。我们的探测器装配到双道矿块分选机上。作为原始样机正在进行联合试验。

2.3 矿块分选机的理论性能

为了估计矿块分选对具体矿石应用的可能性，首先要研究此矿石的破碎性质和铀在矿块中的分布情况。我们将用加拿大布兰德河(伊利奥特湖)的矿样结果来说明。

2.3.1 矿石破碎的粒度分布

粒度分布给出可经济分选的粒度范围内的进料份数，筛下矿石必须直接去水冶，这就降低了过程的总效率。粒度分布数据对估价矿块分选的全部操作性能也是需要的。

图 1 表示出破碎到 -1 吋的布兰德河矿石的粒度分布，这种料供给棒磨，并不想破碎成更细的粒度。

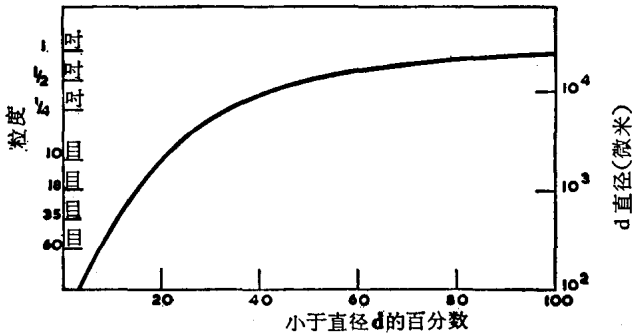


图 1 破碎产物量(布兰德河矿石)
(粒度大小是按美国材料试验学会标准)

2.3.2 铀在矿块中的分布

我们制作了粒级接近的大量矿块，并且用中子活化分析法测定其铀含量。这些结果的统计分析给出一系列的数据，它说明了在给定的铀废弃品位下的废弃矿块量和丢失铀量之间的关系。假定有一个完善的探测器系统，那么这个关系就是每一粒度范围内的分选性能。图 2 表示布兰德河矿石的结果。

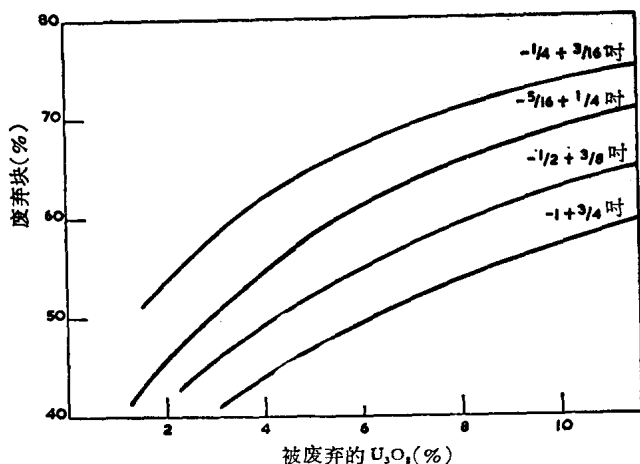


图 2 在不同粒度范围内矿块分选的理论性能(布兰德河矿石)

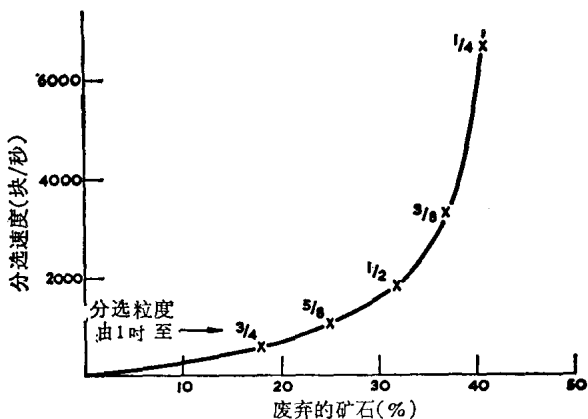


图 3 3,000 吨/日破碎进料的分选速度

2.3.3 总的分选性能

取一系列狭窄粒度范围,在选定的铀废弃率下,计算在每一粒度范围内的矿石废弃率,由此对图 1 和图 2 的数据进行综合。考虑每一粒度范围的分选费用和收益,可以确定一个经济分选的总范围并估计出其总的分选性能。图 3 表明矿块分选速度取决于所选的粒度范围。粒度小于 3/8 吋,分选速度迅速增加,同时废弃矿石也相应地有少量增加。

2.4 实际分选机的性能

英国原子能局的探测器是分选机的一部分,从这种探测器所得的全部结果还不能利用。从实验室得到的结果断定,废弃铀的损失比理论值要大 50%。在 2.4 节所讨论的铀废弃计算值为 5%,而实际上是 7.5%。

在此基础上,对分选-1 吋到+3/8 吋范围的布兰德河矿石,计算得到下列结果:

破碎进料	3,000 吨/日	品位	2.00 磅/吨(短吨)
水冶厂进料	1,920 吨/日	品位	3.00 磅/吨(短吨)
废弃	1,080 吨/日	品位	0.25 磅/吨(短吨)

分选机废弃了 57%的矿石,损失 7.5%的铀。要求的分选速度为每秒 3,000 块。包括不通过分选机的细粒在内,总结果是废弃的破碎料占 36%,而有 4.5%的铀丢失。

2.5 矿块分选的经济性

安装矿块分选机至少在以下三个方面是有利的:

(i) 提高矿石品位,否则其开采是不经济的,因而增加了有用矿石的储量;

(ii) 作为新矿山和水冶厂的一部分,可减少水冶厂的规模;