

各国科学家1955年在日内瓦国际和平
利用原子能会议上的报告

核燃料化学

上 册

苏联科学院科学情报研究所 編譯

化学工业出版社

各国科学家 1955 年在日内瓦国际和平
利用原子能会议上的报告

核 燃 料 化 学

上 册

鄧 佐 卿 譯
王 方 定 校

化 学 工 業 出 版 社

本書系根据苏联科学院科学情报研究所翻譯的各国科学家 1955 年在日内瓦国际和平利用原子能會議上的报告轉譯而成。

全書包括四个部分：1. 从矿石中提取铀和钍；2. 被照射过的铀和钍的处理；3. 碎片元素和超铀元素化学；4. 結構材料化学。

凡从事于和平利用原子能事業核燃料化学方面的科学研究工作者、生产部門的工程技术人員，以及大專学校有关專業的师生均可参考此書。

中譯本分上下兩册出版，每册包括两个部分。上册由邓佐卿同志翻譯，王方定同志校对；下册由霍广盛和邓佐卿同志翻譯，朱培基和邓佐卿同志校对。

書中某些地方参照英文譯出。

ДОКЛАДЫ ИНОСТРАННЫХ УЧЕНЫХ
НА МЕЖДУНАРОДНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ
ПО МИРНОМУ ИСПОЛЬЗОВАНИЮ
АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ

ЖЕНЕВА 1955

ХИМИЯ
ЯДЕРНОГО
ГОРЮЧЕГО

ГОСУДАРСТВЕННОЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ
ИЗДАТЕЛЬСТВО ХИМИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

МОСКВА 1955

核燃料化学上册

邓佐卿 譯

王方定 校

化学工業出版社（北京安定門外和平北路）出版

北京市書刊出版業登記證出字第092号

化学工業出版社印刷所印刷 新华書店发行

开本：850×1168 $\frac{1}{2}$

印张：7张

字数：195千字

定价：(10)1.30元

1958年10月第一版

1958年10月第一次印刷

印数：1—3,000

書号：15063·0213

上册目录

俄文版序言	2
-------------	---

第一部分 从矿石中提取铀和钍

524 用溶剂萃取法从磷酸鹽中提取铀	3
526 直接从矿漿中提取铀的离子交换法	11
520 各种钍矿的碳酸鹽濕取	28
525 铀的碳酸鹽化合物化学 (理論和应用)	44
519 从各种铀矿中提取铀	69
986 钍矿的加压酸濕取	77
871 应用离子交换法从碳酸鹽濕取液中提取铀	85

第二部分 被照射过的铀和钍的处理

349 应用有机溶剂从在原子鍋爐里照射过的铀中分离钍	96
540 用磷酸三丁酯萃取的方法从裂变产物中分离 U^{235} 和钍	108
823 几种分离过程的評論	117
350 从核反应堆里被照射过的钍中分离 U^{235} 的方法	134
539 用磷酸三丁酯萃取法从裂变产物中分离钍和钍	139
546 用六氟化铀分馏法純化被照射过的反应堆燃料	147
542 核燃料的高温化学处理方法	177
551 水單相反应堆核燃料的处理	193
822 用溶剂萃取法处理反应堆燃料和壳層材料	205

俄文版序言

利用大量取之不尽的核内能量资源的可能性，給我們这一代科学和技术的发展开辟了新的、非常广阔的前景。目前，很难找到这样一門自然科学或技术科学的領域，它的发展不直接或間接地受着原子核物理学中这一最新成就的影响。和平利用核内能量的問題，对人类社会具有特別重大的意义。

这就是全世界科学界之所以非常注意 1955 年 8 月在日内瓦召开的和平利用原子能国际科学會議的原因。

参加大会工作的有来自 73 个国家的 1400 多位科学家和工程师，他們提出了 1067 份报告。在相互諒解和創造性合作的气氛中，大会的参加者一共討論了大約 500 篇报告和报导。和平利用原子能方面的知識和經驗的有成效的交流，不仅是科学發展中的巨大貢獻，也是扩大和巩固各国科学家和工程师間国际合作事業中的偉大成就。

苏联广大科技界对日内瓦討論的和平利用核能的問題感到極大的兴趣。为了讓苏联讀者熟悉大会資料，苏联科学院决定：在根据联合国決議整理的日内瓦會議論文全集發表以前，以俄文出版七卷包括 215 篇各国科学家的报告。

这七卷書的标题是：

1. 原子能原料地質学；
2. 核子动力工程冶金学和对材料的輻射作用；
3. 实驗性反应堆和反应堆物理学；
4. 原子动力工程；
5. 核燃料化学；
6. 放射性同位素的应用；
7. 游离輻射的剂量学。

本書是关于核燃料化学方面的問題，包括 28 篇报告。在这些报告中，闡述从矿石中提取鈾和鈾的問題；照射过的鈾和鈾的处理問題；碎片元素和超鈾元素化学問題；結構材料化学和除去放射性廢物的問題。

編輯委员会

第一部分

从矿石中提取铀和钍

用溶剂萃取法从磷酸盐中提取铀*

美国 R. S. 朗格、D. A. 依里斯和 R. H. 拜利斯

在美国西部各州和佛罗里达出产的磷酸盐矿，平均含 0.01% 的 U_3O_8 。虽然在这些矿中的含铀量不大，但因开采量很大，所以它是铀原料的主要来源。磷酸盐矿的开采和加工是因为要生产肥料才拨款的。因此作为副产品的铀，其价格低于预期的价格。

美国开采的大部份磷酸盐，都用来生产普通的过磷酸盐和三过磷酸盐。正如以前就已确定的那样，在三过磷酸盐生产中，矿中存在的铀约 70~90% 被最初酸化阶段用的硫酸溶解，而转入所生成作为中间产物的工业用磷酸中。所得的溶液约含 90~200 毫克/升的 U_3O_8 。既然，在过程的这一阶段提取铀在经济上最有利，所以磷酸溶液便成为许多研究的对象。此外，还进行了从固体过磷酸盐中提取铀的过程的预备试验。

磷酸溶液的组成大概如下：

U_3O_8	90~200 毫克/升
Fe	4~6 克/升
Al	3~5 克/升
PO_4	300~600 克/升
SO_4	30~60 克/升
P	10~20 克/升
Si	2~4 克/升

溶液的重度 1.3 克/厘米³，氧化还原电位从 -240 到 -300 毫

* 第 524 篇报告 (美国)。Recovery of uranium from phosphates by solvent extraction. Ray S. Long, David A. Ellis, Richard H. Bailes (The Dow Chemical company, Pittsburg, California).

伏*。此电位是利用鉑電極和飽和甘汞電極測定的。因此，氧化还原电位值愈正，則溶液被还原的程度愈甚。

从磷酸中提取鈾

从磷酸中提取鈾的过程由下列各工序組成：

- 1) 用 1~2% 的焦磷酸烷酯的煤油溶液处理磷酸。
- 2) 相的分离。
- 3) 用 48% 的氫氟酸沉淀的方法，把溶液中的鈾沉淀为氟化鈾提取出来。
- 4) 加入必需量的新鮮溶剂后，又將溶剂送回循环中（連續循环）。

簡單的工艺流程如圖 1 所示。

磷酸溶液的分析結果指出，萃取以后鈾的含量減少，而溶液的其他組成实际上沒有变化。

萃取剂的制备

焦磷酸烷酯对鈾的選擇性比其他雜質更高。含有相当長鍵的烷基的焦磷酸鹽实际上不溶于水，但易溶于碳氢化合物的稀釋剂（如煤油）中。曾經对分子中含有 4~17 个碳原子的醇所制得的磷酸烷酯进行过試驗。每克分子酯的萃取能力，在碳原子数为 12 以下时，随烷基鍵中碳原子数目的增加而提高。然而从經濟上考虑，却广泛采用辛烷酯。因为制备辛烷酯所用的辛醇（2-辛醇）的价格很便宜。

辛烷基代焦磷酸（ОПФК）在市場上有出售的，但是它会逐漸水解成正磷酸酯，所以最好在使用它的前几天才在實驗室里制备。水解产物（正磷酸酯）是效率几乎比焦磷酸酯低十倍的萃取剂。因此，为了提取鈾需要使用 10~20% 的辛烷基代正磷酸（ООФК）溶液来代替 1~2% 的辛烷基代焦磷酸溶液。辛烷基代正磷酸也以工業規模生产，市面上出售的是磷酸—辛酯和磷酸二辛酯的混合物。

* 电位的符号根据本报告作者所采用的系統列出——編者註。

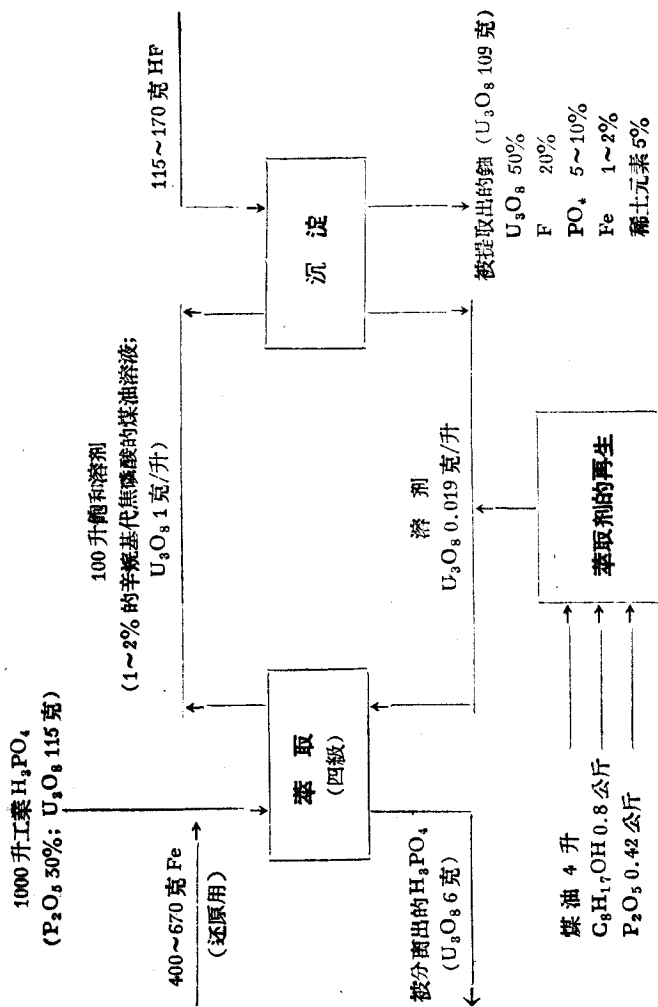
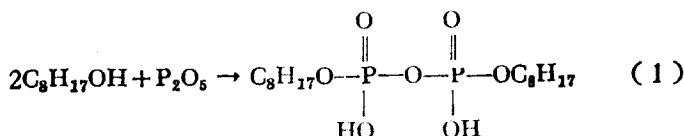


图 1 从磷酸中萃取铀的工艺流程

对从磷酸溶液中提取铀进行试验时，既采用了辛烷基代焦磷酸，也采用了辛烷基代正磷酸。

辛烷基代焦磷酸由下列反应制得：



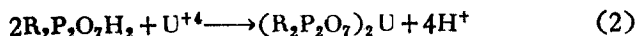
此反应是放热反应，所以最好在有能使温度不超过 70°C 那样多的煤油存在的条件下进行。为此，每克分子 P_2O_5 大约需要 1 升煤油。如果先将 P_2O_5 与煤油一起混合到生成浓稠的悬浮体，然后再加入醇，则能得到最高的产率。反应大约在 30 分钟内结束。

这样获得的物质用煤油稀释至溶液的浓度为 1~2%。用煤油稀释是为了降低溶液的黏度；这样，就能减小与磷酸混合时生成乳浊液的可能性。也可以用其他许多已知的稀释剂来代替煤油。稀释剂的选择，对于铀的提取是否完全影响不大。

在萃取过程中，由于辛烷基代正磷酸溶于 30% 的磷酸而有所损失：在 25°C 时，约损失 0.004 克/升；在 50°C 时，约损失 0.03 克/升。辛烷基代焦磷酸的损失为同一数量级。

影响从酸中提取铀的因素

一般认为，用焦磷酸烷酯从磷酸中提取铀时，产生如下的反应：



在这种情况下，四价铀离子大约和 $\text{P}-\text{O}-\text{P}$ 基生成了六元螯状环。

价态 根据正电荷较大的离子容易被溶剂萃取的理由，当溶液中 UO^{+2} 离子被还原为 U^{+4} 时，铀的萃取便大为改善。此时，主要杂质铁从易被萃取的三价铁被还原为难被萃取的二价铁。

工业用磷酸的氧化还原电位通常是 -240 至 -300 毫伏。在此电位范围内，使用 2% 的辛烷基代焦磷酸溶液，能够达到最高的分配系数 (10~15)*。如果磷酸溶液被还原 (电位值从 0 至 +100 毫

* 有机相中 U_3O_8 的浓度与水相中 U_3O_8 的浓度比。

伏), 則分配系数几乎增高到 200(圖 2)。但因可被萃取的鈾的極大值, 受所用萃取剂的量的限制, 所以分配系数随有机相中鈾濃度的增大而变小。

已經确定, 用廢鉄还原磷酸溶液最好。在槽中以間断的方法, 或在柱中以連續的方法用鉄来处理溶液。为了使还原完全, 通常每升溶液約需 4 克 Fe。还原只有在溶液的氧化-还原电位比 -300 毫伏还要負的情况下才有必要。

磷酸鹽的濃度 当利用辛烷基代正磷酸时, 磷酸鹽离子濃度的提高, 对鈾的分配系数起着不良的影响。分配系数与磷酸鹽濃度的四次方成反比。当利用辛烷基代焦磷酸时, 磷酸鹽离子的影响較小。因为磷酸鹽离子能使萃取作用变坏, 所以从酸中提取鈾最好在蒸濃以前进行。

溫度 对于 OOPK 或 OPPK 两种酸中的任何一种酸, 50°C 时鈾的分配系数仅为 25°C 时的 30%。

氟化物 有氟离子存在时, 萃取便会困难。如加入少量能与氟化合的二氧化硅, 則可把氟离子的作用抵消, 因此使分配系数增大。

物理因素 必需的萃取率可以利用下列方法达到: 調整稀释剂中辛烷基代焦磷酸的濃度; 决定供給溶剂和酸的正确速度比, 以及选择萃取的級数。其中任何一个参数的增大, 都会使鈾提取到有机相中去的百分率增高。

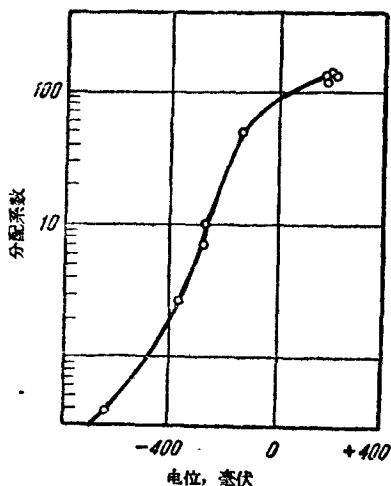


圖 2 还原对用 2% OPPK 的煤油溶液从磷酸中萃取鈾的影响 (鉑電極的电位系与飽和甘汞電極相比較而測得的)

逆流萃取

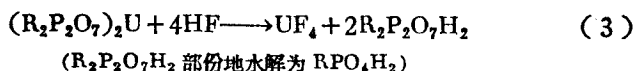
对于使用溶剂萃取的过程, 可以采用几种类型的设备。不过大

多数逆流萃取实验都是在混合-澄清器中进行的。与其他各种类型的萃取设备比较，混合-澄清器每级的效率较高。此外，利用混合-澄清器，可使下一步回收溶剂的工作简化。在四级串联逆流混合-澄清器中，当水相和有机相的流量比为 10:1 时，为了从没有被还原的磷酸中提取 90% 的铀，需要 2% 的辛烷基代焦磷酸溶液；而从已被还原的酸中提取同样数量的铀时，只需要 1% 的辛烷基代焦磷酸溶液。当水相和有机相的流量比为 16:1 时，用 10% 的辛烷基代正磷酸溶液，可以从已被还原的磷酸中萃取出 90% 的铀。在上示这些试验中，都是从约含有 30% P_2O_5 的磷酸中提取铀。在每一级中，两相混合五分钟，然后又澄清五分钟。利用较多的萃取剂，便可以得到较高的提取率。当供给混合物的速度为每 1 米²澄清器面积 42 升/分，以及澄清时间为 5 分钟时，则从最后一级流出的磷酸溶液中，大约留下原有机相的 1~3%。混合时如保持有机相的浓度恒定，则将有机相从澄清器转入最后一个萃取级的混合器中时，可使有机相的残留量几乎减少到 0.6%。在混合时增大有机相和水相的比例，也可以减少酸中残余有机相的含量。

从萃取剂中沉淀萃取产物

当每 1 公斤 U_3O_8 消耗 1~1.5 公斤 HF 时，差不多可以从辛烷基代焦磷酸中将铀全部沉淀出来。最好是利用 48~60% 的 HF 溶液。当 HF 的浓度较高时，发现萃取剂被剧烈破坏；而浓度较低时，则生成乳浊液。接浊时间不应超过 15 秒鐘。

大概发生下列反应：



这样获得的产品是四价铀的氟化物，其中约含 50% U_3O_8 、一些其他氟化物、磷酸盐和铁。有时磷酸中含有少量能与铀一起被萃取的稀土元素，它们在氟化铀沉淀中的含量可达 5% (以氧化物计算)。

萃取剂的再生

HF 在某程度上能使焦磷酸盐水解，并能与正磷酸盐发生局

部反应。当辛烷基代焦磷酸与 HF 接触两分钟时，分配系数便降低到最初值的 $\frac{1}{4}$ ；接触 18 小时，则降低到最初值的 $\frac{1}{16}$ 。为了恢复有机相的萃取能力，可根据萃取和洗涤条件补充最初量的全量或半量的辛烷基代焦磷酸。当设备连续工作时，铀既可以被辛烷基代焦磷酸萃取，也可以被辛烷基代正磷酸萃取（辛烷基代正磷酸是由于辛烷基代焦磷酸分解而生成的）。补充有机相必需的辛烷基代焦磷酸的量为每公斤 U_3O_8 3~10 公斤。其他材料的消耗量为每公斤 U_3O_8 1.25 公斤 HF；12~16 升煤油；在某些情况下，还采用 3~5 公斤 Fe。

过程的应用和经济性

上述从磷酸中提取铀的过程，已经在实验室中详细地研究过了。试验了十二处送来的酸，但没有发现任何显著的差别。除了实验室的研究以外，还在中间工厂内进行了检验。

目前，此过程正以工业规模在若干个已开动的工厂中应用，并且将要在设计中的一些工厂中应用。

根据经济核算的结果证明，用此法从磷酸中提出的铀，是可以和从中级含铀矿（0.1~0.3% U_3O_8 ）制得的铀相竞争的（如果只将这种矿石加工为铀时）。加工磷酸盐矿石的工厂的生产率，是确定铀的最后价格的主要因素。

从普通的过磷酸盐中提取铀

生产普通的过磷酸盐，每吨矿石所消耗的硫酸，比生产磷酸时需要的硫酸要少些。将酸与矿石混合，所生成的块状物一直保持到分装时为止。在此过程的任何一个工序中，铀都没有转入水相。但是在实验室条件下，曾经研究了有可能从最后的过磷酸盐产物中提出 80% 的铀的过程。

组成此过程的工序如下：

1) 在过磷酸盐生产中于最初加酸时，加入硝酸（2.7 公斤/吨矿）。

2) “熟化”后，用 1~2% 的辛烷基代焦磷酸的己烷溶液以渗析

法从过磷酸鹽中提取鈾，萃取剂和矿石之比为 1:1。

3) 用新鮮的己烷洗滌固体物質吸收的辛烷基代焦磷酸。

4) 將固体物質加热至温度不超过 80°C ，使己烷蒸出。

5) 从辛烷基代焦磷酸溶液中提取鈾。

4) 利用己烷的原因是它的沸点低 (69°C)，在蒸餾它的时候，过磷酸鹽不会分解。

用氢氟酸、鹽酸、含水聚合磷酸酯或其他从磷酸中提取鈾的过程中用过的試剂，可以把鈾从萃取剂中洗出。在补充了辛烷基代焦磷酸以后（补偿由于相的分离而降低的萃取能力），萃取溶剂又送回到过程中使用。

在生产过磷酸鹽时，影响鈾的提取的因素为：所利用的硫酸量、每吨矿石中加入的硝酸量，以及酸化后的靜置時間。增大上述任何一个参数，通常都能改善提取作用。在萃取过程中，影响鈾的提取率的因素有：辛烷基代焦磷酸在稀釋剂中的濃度、萃取时有机相和固相之比、兩相的接触時間和萃取級数。这些参数的增大，也能改善提取作用。减小所制得过磷酸鹽的粒度，也能改善提取指标。

据确定，用溶剂处理后的过磷酸鹽，所具有的重量和 P_2O_5 的含量和未处理前的相同。但是，对于提取了鈾后的过磷酸鹽，沒有作过任何农学上的实验。

實驗室研究的結果証明，这种过程也适用于三过磷酸鹽。此时，比萃取中間产物——磷酸时能提出的鈾量多 30~40%。

此过程正在中間工厂中檢驗。

結 論

研究了用烷基代正磷酸鹽和烷基代焦磷酸鹽溶剂由磷酸和过磷酸鹽中萃取鈾的过程，鈾作为磷酸和过磷酸鹽生产中的副产物。从磷酸中提取鈾的过程已經通过了一系列實驗室和中間工厂的試驗，并且此过程已經以工業規模在生产磷酸的几个工厂中应用。已經确定：用此法获得的鈾，其价格可以与从較高品位的鈾矿原料中所提出的鈾相竞争。

直接从矿漿中提取鈾的离子交換法*

R. F. 霍里斯和 C. K. 馬克-阿尔乔**

美国有五个从矿石中提取鈾的工厂預备开工。其中一部分已在建設；而另一部分的設計已临最后阶段。在这些工厂中，將应用离子交換过程，直接从酸瀝取鈾矿所得的矿漿中，用强碱性陰离子交換树脂提取鈾。本报告是叙述这个方法从实验室研究到实验工厂的發展过程。

在应用陰离子交換法以前，一切从矿石中提取鈾的方法，都可以归結为鈾的沉淀法。此时，获得不純的产品，在純化以前，此产品还需要进一步濃縮。对于从瀝取液中提取可溶性鈾，离子交換过程具有卓越的选择性，因而可以直接获得高濃度鈾。鈾容易被陰离子交換树脂所吸附的發現，以及树脂和純化水用設備的生产性实验，使应用多柱裝置的离子交換法获得迅速的發展和运用。目前，在非洲、澳大利亞、加拿大和美国(程度有限)，大量利用固定离子交換树脂層的工厂已經开工或正在建設。

虽然固定树脂層的过程应用得很成功，但是它要求往往中送入

* 第 526 篇报告(美国)。The Resin-in-pulp process for Recovery of Uranium. R. F. Hollis and C. K. McArthur (National Lead Company, Inc. Raw Materials Development Pilot Plant, Grand Junction, Colorado).

** 作者謹向以下在研究直接从矿漿中提取鈾的离子交換过程时給予协助的各位致以謝意：

美国原子能委员会原科学部主任助理 G. G. Marvin 博士，他曾積極地支持和鼓勵原料研究實驗室的工作，并协助在实验室內建立試驗工厂。

麻省理工学院矿物学教授 A. M. Gaydin 博士，在他的領導下进行了过程的初步設計。

美国原子能委员会原科学部冶金顧問，前任原料研究實驗室主任 D. M. Kentro 先生，他鼓勵我們在最早的試驗工厂內研究此过程。

原料研究實驗室技术主任 J. S. Breitenstien 先生，在他的領導下建立了一个新的試驗工厂，而且他經常鼓勵我們以工業規模研究此过程。

原料研究實驗室的技术人員，他們的工作保證我們获得許多重要的数据，这些数据在进行离子交換的过程中，又得到了补充，并达到很高的水平。

D. R. George 先生、A. M. Ross 博士和 M. A. Desosa 博士在准备这篇报告时，他們提供了技术上的援助。

澄清的溶液。澄清溶液可用矿漿過濾法或逆流傾瀉法获得。

但是在处理某些矿石时，由于矿漿的濾过性和固相粒子的沉降不好，所以很难获得澄清溶液。美国大多数已开工的工厂，都是从許多小矿場获得矿石的，这些矿石之間濾过性和沉降性差別很大。因此，最好采用这种离子交换过程，在此过程中直接将离子交换树脂加入矿漿中，使鈾直接从矿漿中分离出来，然后再用篩分法把树脂和矿漿分开。这个过程与用活性炭从含氰化物的矿漿中吸附黄金的过程相似。使鈾矿的瀝取矿漿和各分树脂直接接触的初步实验結果指出：这一过程是完全可能的。因此，曾經制訂了一个研究此过程的計劃，这个計劃使直接从矿漿中用树脂提取鈾的方法得到了發展。

过程的化学机理

从硫酸瀝取液中提取鈾的离子交换过程，是基于鈾的硫酸鹽絡合物对陰离子交换树脂具有亲和力的原理。据确定：被吸附的鈾主要是它的三硫酸鹽絡合物 $[\text{UO}_2(\text{SO}_4)_3]^{-4}$ ，少部分是二硫酸鹽絡合物 $[\text{UO}_2(\text{SO}_4)_2]^{-2}$ 。此外，还發現硫酸鹽和硫酸氫鹽离子也被显著吸附。

在其他条件相同的情况下，二硫酸鹽絡合物的吸附是比較有利的，因为这时树脂中鈾的含量較高。然而，实际上不可能正确地調节进料液的組成。为了提高二硫酸鹽絡合物的含量，鈾濃度和硫酸鹽濃度的比值需很大。然而，在美国常常遇見的矿石是瀝取后只能获得含鈾量很低的溶液，所以这些矿石便不能滿足上述要求。

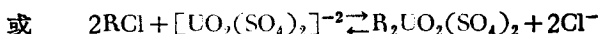
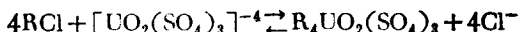
同时还發現：單位体积树脂內的含鈾量随 pH 值的增加而加大。这是因为硫酸氫鹽对强鹼性陰离子交换树脂的亲合力比硫酸鹽为大的緣故。在鹼性溶液中，平衡对于硫酸氫鹽有利，并且剩下来吸附鈾的树脂較少。

瀝取美国矿石以后所得的溶液，其中鈾的濃度与硫酸的濃度差別很大。在进行离子交换过程以前，通常使此溶液的 pH 值达到 1.0~1.5；其中鈾的濃度 0.5~1 克 U_3O_8 /升，而硫酸鹽的濃度 10~20 克/升。

提取鈾的离子交换过程由以下三个主要工序组成:

1. 吸附 树脂与含鈾溶液接触而鈾被吸附。此工序通常是包括吸附、饱和和分离树脂的循环。

鈾被树脂吸附的反应可以写成下式:



式中: R——树脂的陽离子。

2. 淋洗 使酸化后的氯化物或硝酸鹽溶液通过树脂, 把被吸附的鈾从树脂中提出。此工序称为淋洗循环。淋洗用的溶液称为淋洗剂。淋洗所得的富鈾溶液称为淋洗液。淋洗时, 反应按上列方程式从右向左进行。

3. 沉淀 用中和法將鈾从淋洗液中沉淀出来。过滤含鈾沉淀, 使濾液达到必需的 pH 值和氯化物或硝酸鹽的濃度以后, 又可以重新用作淋洗剂。

影响过程进行的一些可变因素

离子交换吸附为被吸附在树脂上的物質的濃度与能够被吸附及存在于溶液中的物質的濃度之間的平衡所調节。在离子交换柱中, 鈾在树脂和溶液中的濃度沿柱自上至下的方向减少。因为同时能使树脂饱和并使鈾从溶液中完全分离出来, 所以情况是很理想的。同时, 进行一次接触时, 吸附过程只能进行到鈾在树脂中的濃度和溶液中的濃度之間建立平衡为止。这时, 無論在溶液或树脂中, 都没有任何濃度梯度存在。因此, 为了尽可能更完全地分离鈾, 就需要一系列的单独的級或接触室。在每一接触室中, 吸附一定量的鈾。所以柱中吸附法与槽中树脂溶液吸附法之間的主要差别, 是完全提取鈾所需的級数不同。柱中的級数是很多的; 而在具有若干单独的接触室的系統中, 根据經濟上的理由, 級数应較少。

差别还在于可变因素的选择。对于柱来說, 可变因素是溶液与树脂的接触時間, 以及流过單位体积树脂的溶液量。这些因素在間歇接触的系統中也能發生作用。但是, 除了这些因素以外, 溶液量与树脂量之比也是一个重要的因素。在由离子交换柱组成的系統

中，溶液量与树脂量之比决定于树脂层中的空隙体积，此体积约为树脂体积的40%。

为了确定間歇接触操作提取鈾的可能性，曾經在实验室内用純溶液作过实验。这些試驗的結果指出：当树脂与溶液多次接触时，树脂可以达到像柱中所發現的一样大小的饱和度，并能从溶液中把鈾完全提出。最后，吸附了鈾的树脂与1M的硝酸鹽溶液或1M的氯化物溶液多次接触，如此可以从树脂上把鈾完全提出。重复試驗的結果证明：利用陰离子交换树脂很容易直接从酸漚取矿石所得的矿漿中吸附鈾。同时，鈾的吸附作用实际上不会因有矿石中固相粒子的存在而降低。

然而，研究者们还缺乏关于吸附与树脂和矿漿的接触时间、与矿漿量和树脂量之比，以及与吸附級数有关的数据。在进一步研究用树脂直接从矿漿中提取鈾的过程以前，必须先研究这些可变因素的影响。

树脂与溶液的接触时间，以及被树脂吸附了的鈾对树脂吸附鈾的能力的影响，已在許多实验中进行过研究。在每一次实验中，使10毫升树脂依次与10分(每分250毫升)溶液接触。树脂浸在溶液中的时间，每次实验各不相同，但总的浸漬时间为2小时。这些实验所得的结果如图1所示。

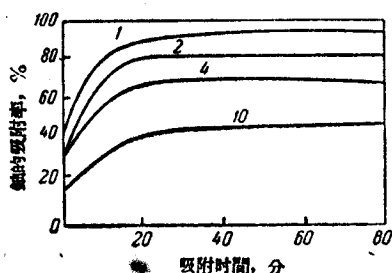


圖1 接触次数对鈾的吸附率的影响。
曲线上的数字表示接触次数

由圖1中的数据可以作出兩点重要的結論：1. 达到平衡状态所需的时间不长；在最初的10分鐘接触时间内，树脂吸附的鈾佔溶液中含鈾量的50%以上，而平衡状态实际上是在40分鐘以內达到的。2. 先被树脂吸附了的鈾对于达到平衡状态所必需的时间沒有显

著的影响。

此外，为了确定树脂浸漬在每分溶液中的时间不是40分鐘(这是最初求出的、为了达到平衡状态所必需的时间)，而是5分鐘或