

# 电渗析法研究鈾矿石的初步总结

陈先 伍舒梅 董有

## 引言

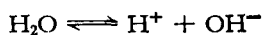
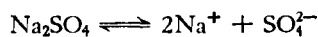
近年来随着鈾矿地质事业的飞速发展,世界各国相继发现大量新类型的鈾矿床,其中沉积鈾矿床所占的比重不断增长,发现的储量已逐渐占重要地位。沉积鈾矿床都具有规模大、品位低和细分散状存在的共同特点,采用一般显微镜方法无法观察到。为此,搞清鈾在沉积岩中的存在形态,不仅能提供从地球化学观点上去阐明矿床成因所必不可少的资料,并且也能给矿石的技术加工指出方向,达到正确评价矿床的目的,因此我们开展了电渗析方法的研究工作。

目前,电渗析方法在地质领域中的应用仅仅是开始,已公布的资料也很少。本文所涉及的一些看法,主要是通过实践观察,对实验数据的整理、分析,并加以理论推断而得出的。由于我们工作做得还很少,许多问题只是初步推断,还有待进一步探索,望同志们多提意见。

## 电渗析原理

电渗析作用原理和电解作用相似。电解为电解质电解时的化学反应过程,例如电解  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  溶液时,反应如下(图1):

$\text{Na}_2\text{SO}_4, \text{H}_2\text{O}$  首先解离:



插入电极,通上直流电,两极发生下列反应:

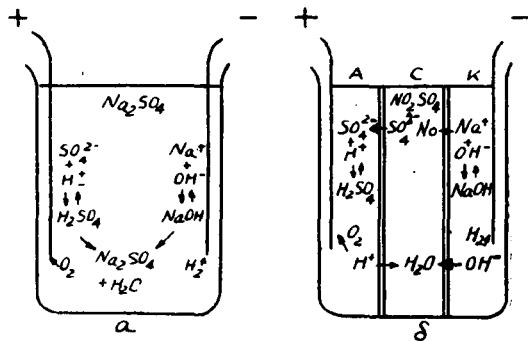
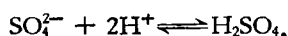
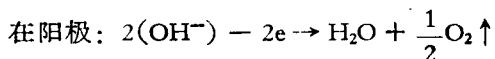
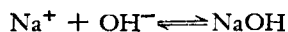
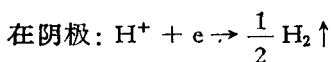


图1 电解(a)和电渗析(b)过程示意图

氢和氧从两极析出,并生成  $\text{NaOH}$  和  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , 酸和碱在电解槽内不断向溶液深处扩散,最后溶液仍为硫酸钠的中性溶液。

电渗析仪与电解装置的不同在于:电渗析仪是在电解槽内加入了一对半渗透性隔膜,将电解槽分为三格,有电极两端为极室,中间为中室,放有矿样。通电后,电渗析反应与电解完全相同,只是由于隔膜动电性质的影响,使两极所生成的酸碱产物不再往中室扩散。电渗析的结果是:阴极液碱化,阳极液酸化,中室在实验结束时为纯水。

## 电渗析仪器

对于不同的实验目的,电渗析仪的形状及大小有所差异,但仪器的结构、工作原理基本相似。例如,苏联矿物原料研究所采用的伯维尔型电渗析仪:仪器的两极室和中室(如图2)可

用玻璃或胶玻璃制成,电极室为各带一个底的圆筒,通过侧端底上的小孔插入带有铂电极的玻璃管,在小孔处用橡皮塞固定。铂丝则可将电流导向网状铂电极。电极室上下各有圆孔,上孔

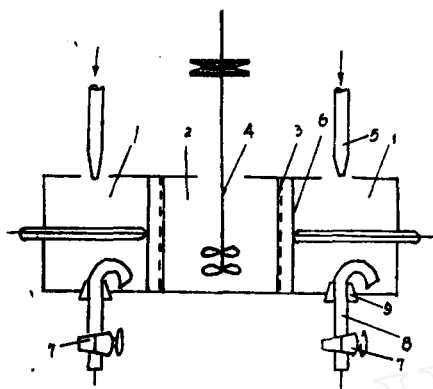


图2 伯维尔电渗析器

- 1—电极室; 2—中室; 3—薄膜;
- 4—搅拌器; 5—给液管; 6—电极;
- 7—水栓; 8—流出电解液体的管;
- 9—橡皮塞。

是使冲洗液流入室内,下孔是使电解以后的液体通过橡皮管上的玻璃水栓流出。通过中室上面的开孔,注入研究的悬浮液试样和放入玻璃搅拌器。搅拌器用小马达带动。在中室两侧安置着由适宜材料(羊皮、玻璃纸、纱布、皮革等)制成的半渗透性隔膜。通过夹固器将三个室、半渗透膜联接在一起,直流电源和相应的电极联接。

我们目前采用的仪器及装配形式,和伯维尔型电渗仪基本相似,只在某些方面作了修改。仪器的装配情况参看图3,4。仪器结构可分为三个部分:(1)电渗析器;(2)水路系统;(3)电路系统。

仪器优点是:结构简单,容易加工,拆卸安装较简便,冷却搅拌系统自动化。但也存在一些问题,仪器电路系统各部件未装成一整体,摆起来占面积较大;各线接头没有固定插头,每次都得临时接线,工作时不安全、不方便;自动搅拌器的马达不够轻便;冷却水没有循环使用,浪费较大等。这些都需要通过重新设计加以修改完善。

重新设计加以修改完善。

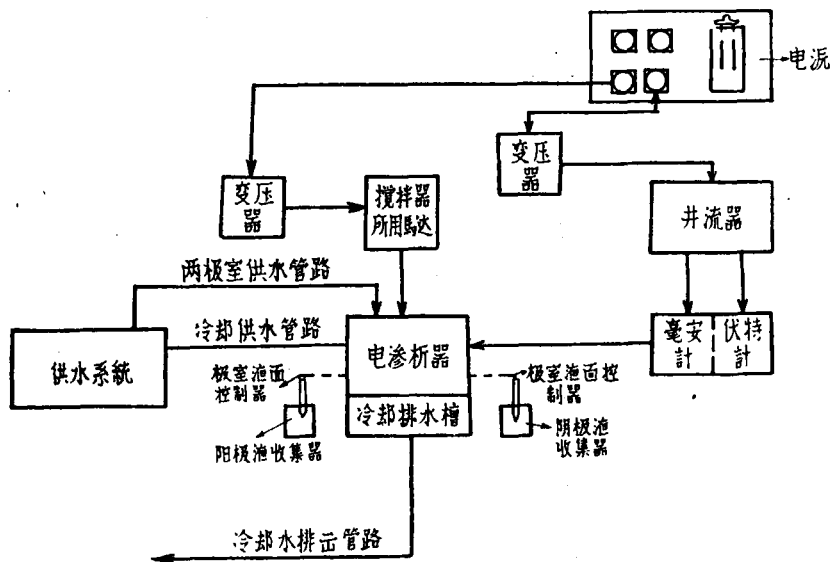


图3 电渗析仪器装配方框图

### 电渗析在铀矿石分析中的应用原理

在铀矿石分析中应用电渗析的目的,是为了解决细分散状态的铀在岩石、矿物中的存在形式。因为此种形态的铀,无论肉眼或在显微镜下都不易观察到。据一些资料来看,电渗析方法对解决上述问题是较好的一个新方法。

目前多数人认为,铀在自然界中有三种存在形式:(1)呈铀矿物形式,如沥青铀矿;(2)呈

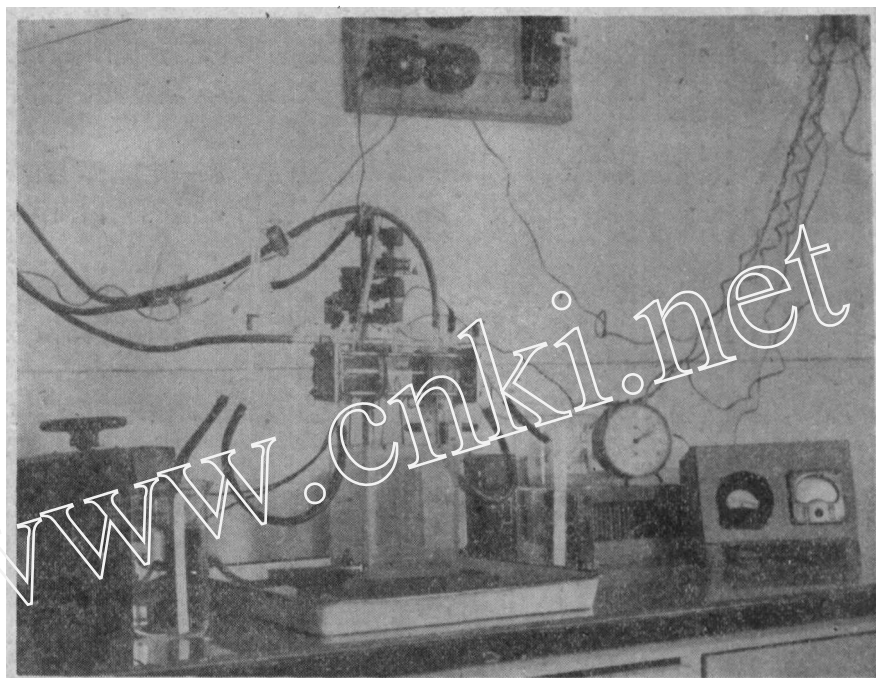


图4 电渗析仪器

类质同象形式加入到某矿物的晶格中,如独居石、锆石及铀钼酸盐矿物中的铀等;(3)呈吸附形式的,如有机质吸附的铀。

无论上述那种存在形式的铀,当它们所处溶液的pH值不同时,溶解度便不相同;而在同一pH值条件下,三种存在形式的铀的溶解度也不相同。因此可以在某一相同pH值条件下找出不同存在形式的铀。在溶解度上的差别,再根据溶解度的差别来推出它们的存在形式。

电渗析就是在直流电场作用下使溶解出来的铀立刻移向极室,通过极室中冲洗液的不断流动,将移向极室的铀不断取出,直到中室铀溶解作用停止,且溶解出来的铀离子完全被移出为止。但是,必须注意,在实验过程中要严格保持中室pH值不变,由于中室离子的不断转向极室,对中室pH值影响减小。假设中室pH值发生了改变,便可通过改变两极室的冲洗液流速或采用其他方法加以调节(详细参看后面)。

实验结束后,将极室中取出的液体浓缩,分析铀的含量(此含量为电渗析出的铀),求出电渗率 $\epsilon$ 。

$$\epsilon = \frac{u'}{u} \times 100\%$$

$u'$ 为电渗析后极室中的铀含量(克); $u$ 为原样中铀的总含量(克)。

电渗率 $\epsilon$ 更能体现出铀的溶解度的相对大小。因此可在一定pH值条件下,根据电渗率大小的范围,来鉴别出铀的存在形式。

## 实 验 部 分

### 1. 工 作 条 件

(1) 样品的制备 我们采用三种已知铀的存在形式的样品:瀝青铀矿代表铀呈矿物形式存在的样品;黑稀金矿代表铀呈类质同象形式存在的样品;吸附铀以后的粘土代表铀呈吸附形

式存在的样品。

(2) 称量 根据样品中铀含量及在化学分析灵敏度允许的情况下,我们采取以下称量:瀝青铀矿为 0.1 克;黑稀金矿为 0.2 克;灰粘土为 0.4 克。如果化学分析精度不够,称量必须增加。

(3) 中室悬浮液的制备 将研磨到 0.088 毫米以下的样品称取一定重量后倒入 60 至 70 毫升用醋酸或氢氧化铵配制而成的 pH 值为 2 到 8 的各种溶液中,充分搅拌,而保持溶液的悬浮状态。

(4) 半渗透膜 阴极用羊皮,阳极用牛皮。

(5) 电极、电压、电位梯度 电极网状铂电极(用直径 0.8 毫米的铂丝做成);电压为 180 伏;电位梯度为 30 伏/厘米(两电极间单位距离上的电位降)。

(6) 悬浮液的温度 在电场作用下,中室离子向两极迁移的活动使悬浮液温度增高,因此仪器上加有冷却装置,以使悬浮液温度保持在室温左右。

(7) 搅拌 如使悬浮液经常保持悬浮状态,则仪器中要装有用小马达带动的自动搅拌系统。

(8) 冲洗液 采用自来水。

(9) 化学分析方法 原样及各室液体中铀含量测定的方法均采用伏尔柯夫法。分析灵敏度可达 0.03%,最低可测定含量为十万分之五,此时误差比较大。所以在铀含量小于 0.03% 时,最好选用其他更灵敏的方法或增加样品的称量。

## 2. 一些实验现象的解释

(1) 电渗率与溶液 pH 值的关系 为了了解在电渗析过程中从中室液中电渗到两极的不同存在形式铀的含量,我们采用了吸附铀的灰粘土、瀝青铀矿以及黑稀金矿分别作为铀的三种已知存在形式的样品。在中室液 pH 值为 2 到 8 的条件下,进行了一系列试验。从试验结果初步发现它们的电渗率与 pH 值有如下关系(图 5):

i. 各种铀存在形式的样品,在溶液 pH 值相同的条件下,电渗率不同:吸附的 > 铀矿物 > 类质同象。

在溶液为酸性时,电渗率差值较大,故酸性 pH 值(等于 2 和 3)是区别三种铀存在形式的条件之一。

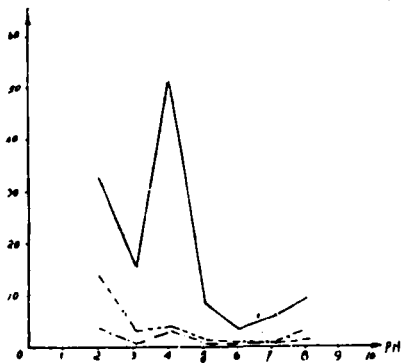


图 5 电渗率与溶液 pH 值的关系曲线

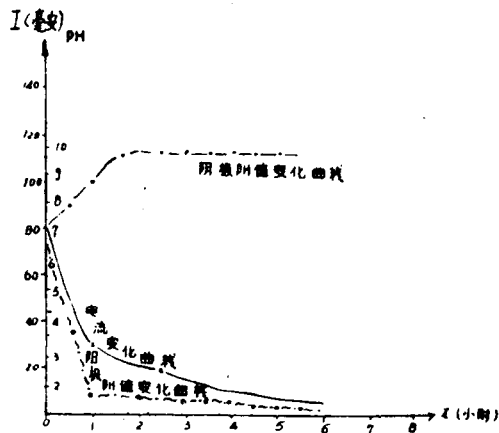


图 6 两极室 pH 值与电渗电流随时间变化曲线  
中室 pH = 4; 灰粘土样品。

ii. 同种铀存在形式的样品, 在溶液 pH 值不同的条件下, 电渗率不同。当溶液为酸性和弱碱性 ( $\text{pH} = 2, 3, 4, 8$ ) 时, 电渗率较高; 当溶液趋近中性和弱酸性时 ( $\text{pH} = 5, 6, 7$ ) 时, 电渗率随之降低。

(2) 关于电渗电流的问题 电渗析作用过程中, 中室的阴阳离子通过半透膜向两极迁移, 产生了电渗电流。因此电渗电流的变化基本上反映了中室离子向两极迁移的情况。

i. 二极室 pH 值与电渗电流随时间变化的关系如图 6 所示。二极室的 pH 值变化规律与电渗电流的变化规律基本上是一致的。开始一小时内电流变化最剧烈, pH 值的变化也小; 以后电渗电流变化趋于缓慢, 在相应的时间内, 二极室溶液的 pH 值基本上没有变化。

ii. 电渗电流曲线的变化特征, 基本上可划分为二个区间 (图 7)。

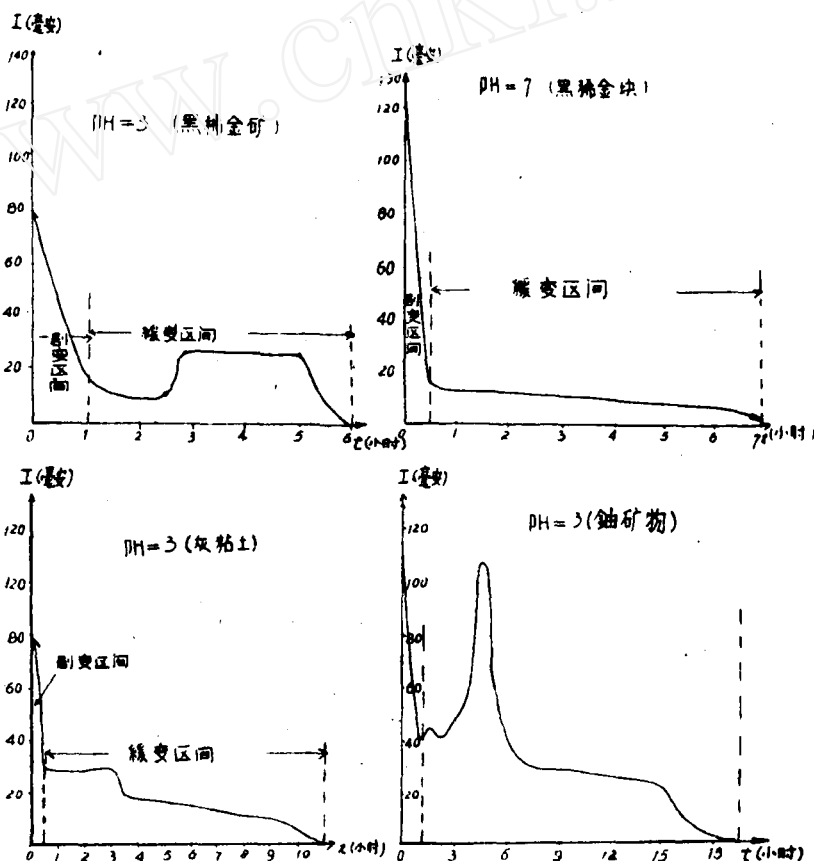


图 7 电渗电流变化曲线

(i) 电流剧变区 在这段时间内, 中室液中有较多的自由离子 (其中包括制备溶液时加入的  $\text{CH}_3\text{COO}^-$ ,  $\text{OH}^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{H}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  等及样品中之不稳定吸附离子)。在外加电场作用下, 这些自由离子就以最大速度向二极迁移, 随着它们浓度的降低, 电渗电流也立即下降。

(ii) 电流缓变区 经过剧变区后, 绝大多数的自由离子已电渗到二极去了, 而从矿粉中析出离子要困难得多, 因此电流变化幅度大大减小。

至于铀电渗析量与电渗电流的关系, 对吸附样品来说, 则开始阶段电流较大, 铀的电渗析量也较高, 随着电流下降, 铀电渗析量减少; 但对类质同象样品来说, 开始阶段虽然电流较大,

但铀电渗析量却很低。经过一定时间以后，铀电渗析量大大提高，而后又复下降。阶段取样所得上述资料，充分说明吸附类型铀在电渗析作用初期阶段就大量地被析出来；而类质同象的铀须经电渗析作用一段时间，当该类质同象矿物的结晶格架被破坏后，才能被析出来（图8）。

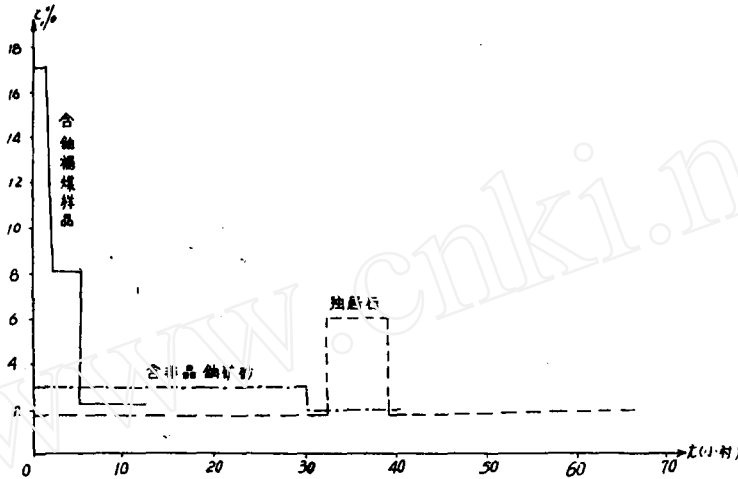


图8 电渗率随时间的变化关系  
取自北京地质学院三系地质专业1960年毕业生论文报告

iii. 实验过程中电流升高的几种原因

(i) 有时为了调整中室的 pH 值加入一些酸或碱致使电流升高；

(ii) 加大二极室溶液的流速，电流有时也会稍有升高；

(iii) 实验中间若间歇一段时间，则由于溶液中矿粉不断溶解，增高了中室液中自由离子的浓度，故再开始实验时电流会突然升高，但它一般均立即下降；

(iv) 加大电压，使电场强度增加，而后者与电渗速度成正比，故也能使电流升高。

(3) pH 值、电渗时间与电渗率的关系 从图9可以看出：

i. 溶液 pH 值不同、同一种形式含铀样品，其电渗作用不同。在 pH = 2, 3, 8 的条件下，三种铀存在形式的电渗时间均较长，在 pH = 2 时为最长。因为一般矿物和岩石在中性条件下是比较稳定的，而在酸性条件下，特别是对铀矿物来说较易被破坏，所以在酸性介质中进行电渗析作用能得到最大溶解度，作用时间也就相应地延长。

ii. 在同一 pH 值下，不同铀存在形式的样品电渗析作用时间亦不相同。

iii. 关于电渗析法的时间问题，我们所做的大部分实验是电流降5毫安后即结束实验

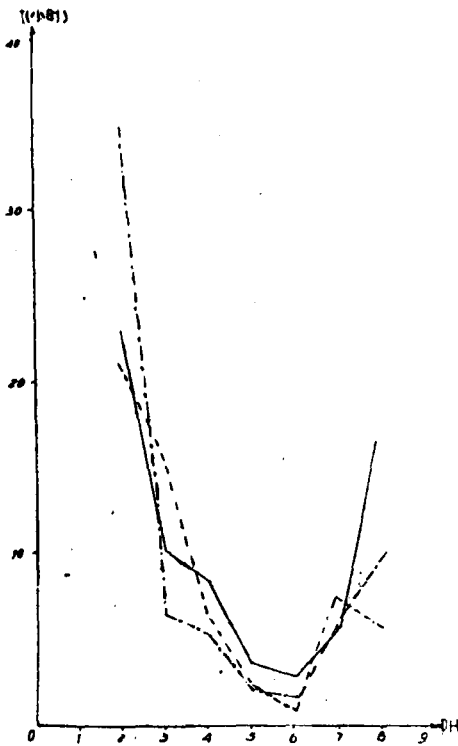


图9 在不同 pH 值下各种铀存在形式的电渗析时间变化曲线  
——灰粘土； ---沥青铀矿； - · - · -黑稀金矿。

的。在以上各种不同的 pH 值条件下，铈的电渗时间是我們所作实验的初步总结，并未确定出合理的电渗析时间。但总的看来，对吸附类型的样品来说，有时延长了电渗时间，电渗率有明显的提高。图 10a, 10b 说明，在我們的实验条件下确定的实验时间较短，电渗不彻底。因此我們认为，电渗析实验时间并不能完全固定下来，而是在实验做到终止电渗接近于零时，再延长 1, 2 小时才能结束实验。

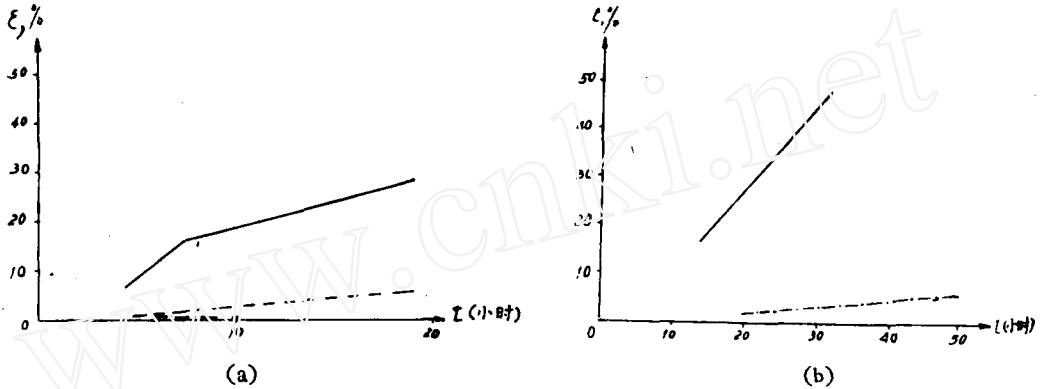


图 10 电渗率与电渗析时间的关系  
a——pH = 3; b——pH = 2.  
——灰粘土; ----瀝青铈矿; ····黑稀金矿。

(4) 电渗析作用的温度及其对电渗析作用的影响 当溶液通以直流电流时，根据楞次-焦耳定律，随着溶液中阴阳离子向二极移迁，电能即转变为热能——溶液温度升高。升高的多少与电渗过程中的电流强度有关。电流强度愈大，温度上升愈高；电流强度趋于零，溶液温度便接近室温（如图 11）。

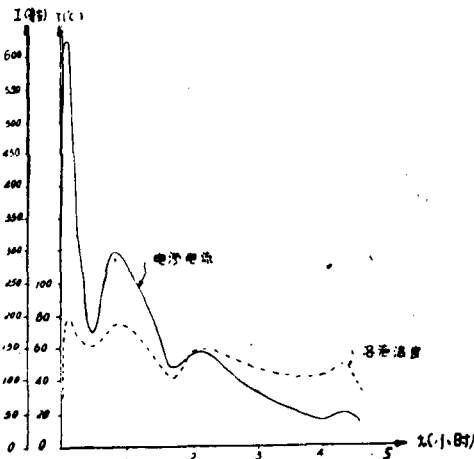


图 11 电流、溶液温度随时间变化曲线（黑稀金矿）  
 $V = 180$ ;  $T = 30^\circ\text{C}$  (室温);  $\text{pH} = 3$ 。

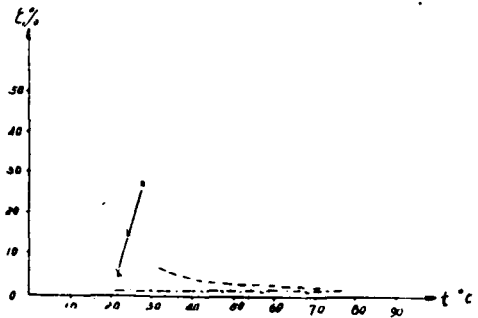


图 12 pH=3 时电渗率随溶液温度变化的曲线  
—x—x—铈呈吸附形式; ----铈呈矿物形式;  
·····铈呈类质同象形式。

温度到底对电渗析作用起什么影响呢？从图 12 可以看出，在同一溶液 pH 值下，温度变化对吸附形态铈的电渗率的影响较大，也就是说温度上升吸附形态的铈溶解得也多，相应的电渗率就高；对类质同象形式的铈而言，温度升至 70°C 以上，铈的溶解度仍不大，故温度对其电渗率影响不大。产生上述现象的原因，我们认为与矿物原来的生成温度有关。一般对铈的吸附作用是在较低温度下进行的，而铈矿物<sup>1)</sup>和类质同象中的铈都是在高温下生成的（温度一般在

1) 我們的实验所用铈矿物是采自热液矿床，当然，对沉积矿床中的瀝青铈床应作别论。

150℃以上)。在电渗析实验过程中,最高温度是在100℃以下。这个温度范围对高温生成的两种形式铀的溶解度的影响当然不会大,而对低温下生成的吸附形式铀的影响则是不可忽略的。

从实验结果来看,提高温度可提高以吸附形式存在的铀的电渗率;但为了控制条件的一致,且和自然界的条件相近似,故应有冷却系统和搅拌装置来保持常温。

(5) 中室液面升降问题及其控制方法 在实验过程中,往往发生中室液面升降现象。升降速度很快,可达每小时15毫升左右。观察结果表明,多半是由于阳极室的溶液不断渗入中室,而使中室液面升高;有时中室溶液又渗到阴极室去,而使中室液面下降。中室液面的升降还常与电渗电流强度成正比。当电流强时,多半出现中室液面上升的现象;随着电流强度的减弱,液面又复下降。

引起中室液面下降的原因有:

i. 当中室析出的离子向二极移动时,常从中室带走一部分水溶液。如铀离子的配位数为8,其中有6个是属于水分子的,因此离子从中室向二极迁移的速度愈大,则带出的水亦愈多,中室液面下降得也愈快;

ii. 从渗透压角度来考虑。在渗析作用刚开始的阶段,中室离子浓度比极室大许多倍。如果这些离子的析出与迁移之间没有达到平衡,则极室中低浓度的溶液就会因为渗透压的关系而渗入到中室,故中室液面的上升现象常发生在每个实验的初期;

iii. 由于半透膜的电性起了变化。根据电学理论,离子浓度增加时,双电层厚度减小(离子向固体表面靠攏);部分离子从扩散层转移到吸附层,引起电动电位下降;在反离子浓度大于一定值时,扩散层的全部离子都转入到吸附层,此时双电层的厚度等于原来吸附层的厚度,电动电位下降到零;当反离子过多时,反离子部分中和了吸附层的阳离子,过剩的反离子则改变了电动电位符号,半透膜的带电符号也改变了。

这些反离子的影响不仅取决于它们的浓度,而且也取决于它们的价数。一价阳离子对电动电位值影响大小有下列顺序:  $Ag > Cs > Rb > K > Na > Li$ 。反离子电价对电动电位的影响随着价数的增高而增大。因为随着反离子价数增大,它们对双电层内壳离子的吸引力就加强,致使双电层厚度大大地减小,甚至多价反离子的浓度不大时,也可使电动电位大大降低。如当  $Th^{4+}$  在溶液中的浓度只为0.25毫克/升时,就可改变原来带阴电的器壁的电性,使之带阳电,从而改变了液体的流向,引起中室液面升高。

上述各种原因在电渗析过程中对中室液的升降往往综合作用,因此有效地控制中室液面升降的问题目前还有一定困难。一般我们按下述二种情况分别予以控制:

(i) 中室液面上升的情况 中室液面上升一般均为阳极液渗入中室所致。中室液pH值偏碱。这现象若发生在实验初期,则我们认为是由于中室阴离子浓度远大于阳极室阴离子浓度所致,故需减小阳极液的流速或加入一些酸,以增大阳极室阴离子的浓度,使阳极液与中室液的渗透压趋于平衡;若中室液面仍不断上升,而电流强度已有降低趋势(即意味着实验已进入中期),此时影响中室液面上升的原因主要是阳极隔膜电性改变,引起阳极室的阳离子向阴极室迁移。此时可用加大阳极液流速,降低二极室液面或在中室加一些强电解质的方法来进行控制。

(ii) 中室液面下降的情况 这主要是由于从中室渗析出来的离子向二极迁移时,带走了一部分中室液,此时二极液面增高。在溶液pH值有所变化情况下,针对中室偏碱或偏酸可分别加大阴极或阳极液流速,若中室液下降得太多,则须直接往中室加入同一pH值的溶液。

中室液升降问题对实验影响很大,有时中室液上升的体积超过原有的一、二倍。这不仅延



长了实验过程,还相当改变了中室液的 pH 值,影响了实验的质量。有必要进一步仔细观察与解决这个问题。

(6) pH 值及其控制法 电渗析实验中很重要的一个工作条件是严格保持中室悬浮液 pH 值不变,因为矿物的形成、破坏或吸附现象均是在一定的物理化学条件下发生的。如果环境与当时的完全不同或者变化得很剧烈,则实验会完全失去它的意义,同时反应亦会停止下去。对溶液酸碱性能起影响的,首先是被研究的岩石或矿石本身。按罗日柯娃的意见岩石可分成三类:

- i. 含大量易溶矿物(氯化物、一些硫酸盐、钙的磷酸盐、碳酸盐)的岩石;
- ii. 含少量可溶矿物或吸附物的岩石;
- iii. 实际上不含可溶矿物或吸附物的岩石。

前二类岩石由于矿物的溶解在不同程度上改变了中室悬浮液的 pH 值,此外中室渗析出来的离子往二极迁移速度不均衡或二极室水渗入中室等均能引起中室溶液 pH 值的改变。从实验观察得知,中室 pH 值在电渗析作用中有向中性靠近的趋势。pH = 2, 3, 4, 5 时的中室悬浮液,随着电渗析作用的进行, pH 值升高;而 pH = 8 时, pH 值却常降低。针对 pH 值起变化的情况,我们采用下列几种调整 pH 值的方法:

- i. 直接法:直接往中室加弱酸或弱碱性溶液,但因中室附加了一些阴阳离子,会延长实验过程,故一般较少采用;
- ii. 酸碱法:在二极室加弱酸或弱碱;
- iii. 采用不同电性的半渗透隔膜;
- iv. 流速法:若中室悬浮液升高,意味着溶液中碱离子浓度大于酸离子浓度,因此须加大阴极液流速,以便加速中室碱离子向阴极迁移;反之,若中室液 pH 值降低,则应加大阳极液流速。常采用此法对 pH 值进行控制,但它受浓缩条件的限制。

(7) 关于中室铀的存在形态 由于不同铀矿石类型在不同的酸碱介质中,铀的溶解度是不同的,所以在不同的 pH 值溶液中,溶解的铀以什么形式的离子存在这个问题的解决,必然会进一步指导我们去推测矿石中铀的存在形式,而这对铀在自然界的不同酸碱介质中搬运及沉淀等方面的地球化学特性的研究均具有重要意义。

i. 中室溶液存在的物理化学环境 i. 试验温度:一般为 20—25℃。 ii. 压力:一个大气压。 iii. pH 值:中室液为 2—8;阳极液为 2—7,一般为 2—3;阴极液为 7—13,一般为 9—10。 iv. 中室液中可能含有的离子:根据分析结果和制备方法来考虑,在我们实验中的中室液内可能含有下列离子:  $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $H^+$ ,  $NH_4^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Fe^{2+}$ ,  $Fe^{3+}$ ,  $Al^{3+}$ ,  $UO_2^{2+}$ ,  $U^{4+}$ ,  $Th^{4+}$ ,  $Pb^{2+}$ ,  $Nb$ ,  $Ta-Ti$ ,  $SO_4^{2-}$ ,  $CH_3COO^-$ ,  $CO_3^{2-}$ ,  $HCO_3^-$ ,  $SiO_3^-$ ,  $A^-$ (腐植酸根)。

ii. 关于中室液中铀的化合价讨论 按纳乌莫夫的意见,  $UO_2$  的溶解度决定于下列平衡:  $UO_2 + 2H_2O \rightleftharpoons U^{4+} + 4OH^-$ ,  $K = 10^{-52}$ 。从平衡常数看来,只有在酸性很大的条件下,  $OH^-$  离子浓度非常低时溶液中才能有  $U^{4+}$  存在。在碱性、中性和弱酸性条件下,中室液中只有极微量的  $U^{4+}$  存在。此外,在 pH 值为 1—7 的条件下溶液放置 12 小时,由于氧化作用,  $U^{4+}$  可以完全氧化为  $UO_2^{2+}$ 。根据上述两点,在我们的实验条件下,中室中的  $U^{4+}$  自由离子,一定是相当微量的。中室液中绝大部分铀是以  $UO_2^{2+}$  形式存在。

iii. 中室液中铀的可能存在形式 从上述对中室液的分析来看,其中所含有的阴阳离子是极其丰富的。此外,  $UO_2^{2+}$  很易与一些阴离子结合形成一系列的络阴离子,因此在中室出现

1)  $K = [U^{4+}][OH^-]^4 = 10^{-52}$ 。

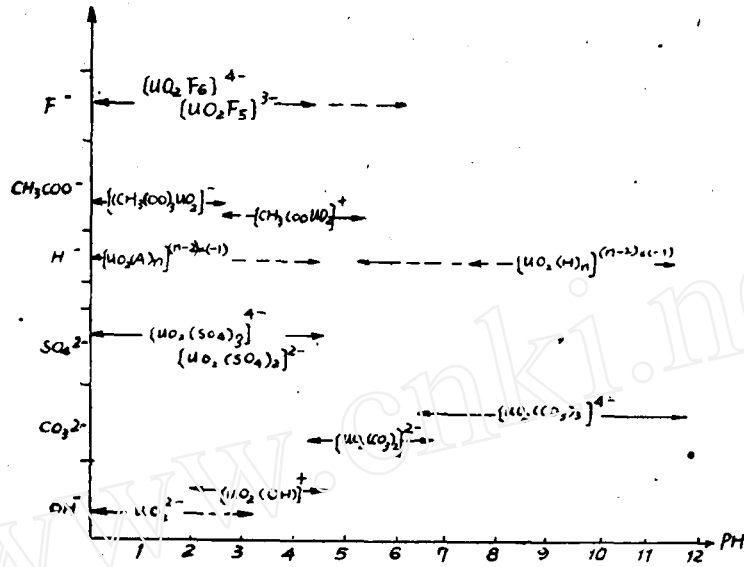


图 13 中室可能存在的络离子

复杂的络阴离子是完全可能的。现根据文献将中室可能存在的络合离子归纳于图 13 中。

我们实验中的中室液是由矿粉、自来水和醋酸配制成的。所以就形成的络离子及可溶性盐来说，主要的应为  $UO_2^{2+}$  与  $CH_3COO^-$  结合的不同产物。在 pH 值小于 5.27 时形成  $[(CH_3COO)UO_2]^+$ ，只有溶液酸度达到 0.5M 时才形成  $[(CH_3COO)_3UO_2]^-$  络阴离子。在中室液的 pH 值小于 3 的情况下，铀与其它离子结合成的阳离子团占优势；而在碱性条件下，则以络阴离子形式为主。总之，中室液中的铀能同时存在于阴、阳两种离子团形式中，但以阳离子形式占多数。关于这点已被实验资料所证实。

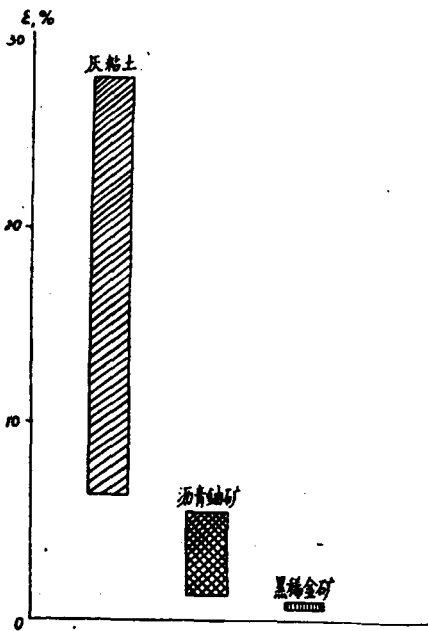


图 14 pH=3 时鉴别铀的不同形存在形式的电渗率范围

表 1 二极室电渗率的比较

中室 pH 值	2	4	7
电渗率(%)			
阴极室电渗率	16.43	51.62	5.26
阳极室电渗率	2.10	7.63	1.45

### 结 论

1. 总结以上所述，我们认为当 pH 值为 2 时，电渗率区别最明显，但实验时间太长；当 pH 值为 4, 5, 6 时，实验时间虽短，但电渗率区别不明显；而当 pH 为 3 时，实验时间较 pH 为 2 时大大缩短 (pH 值为 2 时需 20—35 小时，pH 为 3 时只需 6—15 小时)，电渗率又有明显区别。因此得出 pH 值为 3 时可作为区别三种存在形式的电渗析实验条件。

现将 pH 为 3 时, 三种存在形式的电渗率范围和流速控制列于表 2.

2. 实验时间增长有使吸附形式的铀的电渗率升高的趋势, 而对其他两种形式的电渗率影响不大. 因此, 要达到完全的电渗率, 对吸附而言, 实验一定得进行到电流表指向零点为止. 对其他两种存在形式, 只要电流降至某一较低的稳定值, 再延长一些时间, 电流不发生变化时, 实验即可结束.

3. 中室温度变化对吸附形式铀的电渗率影响较大, 对其他两种影响较小. 只有保持实验条件的一致性, 实验结果才好进行对比. 因此, 必须将实验温度控制在一定范围内, 我们实验一般将温度控制在常温左右.

以上提出的几点看法是我们实验的初步总结. 因为我们工作时间短实验次数少, 所以总结出的几点看法是否完全正确还需今后的实验进一步证实. 关于中室溶液中铀的存在形式问题的讨论, 仅仅是根据我们中室溶液存在的物理化学条件推导出来的. 在我们的实验条件下, 那些离子是否真正存在也是今后应当加以验证的.

另外, 我们实验样品中的铀均呈单一形式存在, 所以作电渗析时, 样品中铀存在形式要求比较单一. 如果样品中铀的存在有两种或两种以上的形式, 则须将它们分解开来, 然后再分别作电渗析. 由此看来, 铀矿石的电渗析研究必须在一系列岩矿鉴定的基础上进行, 才能获得较好效果.

表 2 pH 值为 3 时三种铀存在的电渗率范围\*及流速控制

存在形式	标准	电渗率范围 (%)	流速控制 阴极/阳极
铀是吸附形式		6—27	300/150
铀是矿物形式		1.2—5.5	700/300
铀是类质同象形式		0.6—0.9	600/350

\* 电渗率范围可参看图 14.

### 参 考 文 献

- [1] E. B. 罗日柯娃等, 矿物岩石和矿石电渗析研究指导.
- [2] E. B. 罗日柯娃等, 沉积岩中铀矿聚集的吸附作用.
- [3] K. 别尔等, 腐植酸在铀的地球化学中的作用.
- [4] A. 薩萊等, 腐植质在铀富集中的地球化学意义.
- [5] 北京地质学院, 1960 年与 1961 年毕业论文, 铀矿石电渗析法研究.
- [6] Г. Б. 納烏莫夫, 铀在热液中表现的某些物理-化学特性.
- [7] 黄子卿, 物理化学.
- [8] И. Н. 布齐洛娃, 胶体化学实验作业指南.
- [9] Н. А. 伊兹加雷谢夫等, 理论电化学教程(上册).
- [10] О. Н. Грилоров, Е. М. Лепинская и И. Е. Прихидько, Исследование процесса электролиза, *Колл. Ж.* т. XI, в. 4, 1949, 2.
- [11] О. Н. Грилоров и Ю. С. Афакашева, Исследование процесс электролиза с диафрагмами различной структуры, *Колл. Ж.* т. VIII, в. 5, 1946, 2.
- [12] А. В. Марквия, Электролиз растворов электролитов, Уч. Записки ЛГУ Серия. Хим. Наук, т. VIII, в. 108, 1949, 2.

(编辑部收稿日期 1962 年 3 月 10 日)

