

# 二环己基-18-冠-6 对铀(VI)的萃取

张文青 顾振芳 续双城

本工作研究了硝酸体系中十六种不同结构的冠醚对铀(VI)的萃取,萃取性能以二环己基系列的冠醚为最好。溶剂的介电常数大时铀(VI)的分配比增加,非极性溶剂所得的分配比很小。铀(VI)的分配比随水相中硝酸浓度增大而增加,在6.5 M HNO<sub>3</sub>时分配比最大,然后分配比又随硝酸浓度的增大而降低。该冠醚体系的动力学性质很好且很容易解络。初步实验结果表明, UO<sub>2</sub>(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>与二环己基-18-冠-6的络合物组成为1:1。另外,该络合物的红外光谱特征与文献中所述铀(VI)的配位键合情况符合。

(关键词:冠醚络合物、萃取、红外光谱、铀、二环己基-18-冠-6)

## 前 言

近十多年来冠醚(Cw)类大环化合物引起了国内、外科学工作者的高度重视,对此,目前已有不少概括性的专著及评论性文章<sup>[1-7]</sup>。有关这些化合物的合成,结构和金属离子的络合性能,热力学和动力学性质及其在各方面的应用都进行了广泛的研究<sup>[8-11]</sup>。

冠醚与一些金属元素络合物的研究,文献中早有很多报道,但冠醚在萃取金属离子方面的研究工作近年来才有所增多。有关铜系元素的冠醚萃取化学研究的成果从1977年开始,国内、外也陆续有些报道<sup>[12-17]</sup>。美国 W. J. McDowell 等<sup>[12]</sup>研究了冠醚对铜系元素的萃取,得到的分配系数很低,在水相中即使加入醇类或酚类等增溶剂也未改善元素的萃取。苏联 B. B. Яковлев 等<sup>[13]</sup>用六种冠醚对铜系元素的萃取进行了较详细的研究,其结果表明,铜系元素的价态以及在有机相中所形成络合物的形式和冠醚环上取代基的结构有着很重要的关系。

祝霖等<sup>[15,16]</sup>用苯并-15-冠-5对 UCl<sub>4</sub> 和 UO<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub> 的萃取进行了研究并指出,使用高介电常数的溶剂及高浓度的盐析剂是实现铀的氯化物有效萃取的必要条件。我们的工作是用各种不同结构的冠醚在硝酸和盐酸介质中对铀(IV)及铀(VI)的萃取性能的研究<sup>[14,17]</sup>。

本工作进行了硝酸体系中十六种不同结构的冠醚对铀(VI)的萃取性能的研究,重点在用二环己基-18-冠-6/二氯乙烷溶液萃取铀(VI)时,萃取酸度、冠醚浓度、各种稀释剂,萃取平衡时间、反萃行为及加入不同离子和萃取温度等条件的影响。工作中还测定了二环己基-18-冠-6与铀(VI)络合物的红外吸收光谱。

## 实 验 部 分

### 一、试剂与设备

1. 冠醚试剂 二环己基-18-冠-6及二苯并-30-冠-10为美国 Aldrich 化学公司出品;二苯并-24-冠-8, 4-叔丁基苯并-15-冠-5, 16-蟹-5, 19-蟹-6, 八甲基全氢环四糖基烯及 4,4'(5')二乙酰基苯并-18-冠-6为美国哥伦比亚 Parich 化学公司出品;18-冠-6及15-

冠-5 为瑞士 НИКА 出品；二苯并-18-冠-6 为四川大学化工厂出品；穴醚 TM-2,2,2 为德国 E. Merck 公司出品；其它试剂均为国产试剂。所用冠醚试剂不论国产和进口品，其纯度均经红外光谱鉴定。

**2. 核素<sup>233</sup>U** 用国产强碱性阴离子交换树脂(201×7 上海树脂厂)柱进行纯化，上柱、吸附及淋洗均在~8 NHCl 下进行。去掉其它强放<sup>229</sup>Th, <sup>232</sup>U, <sup>224</sup>Ra, <sup>216</sup>Po 子体后，用 0.1 NHCl 洗脱即为原始溶液，纯化后经 α-能谱鉴定为核纯，然后配成 HNO<sub>3</sub> 溶液，浓度用 α-计数法测定。

**3. UO<sub>2</sub>(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>溶液** 纯 U<sub>3</sub>O<sub>8</sub> 用浓 HNO<sub>3</sub> 加热缓缓溶解，配成一定酸度的原始溶液，浓度用容量法标定。

实验中所用的 HNO<sub>3</sub>, HCl 均为一级试剂，用标准 NaOH 标定其浓度。所用的稀释剂和其它盐类皆为二级试剂。

日本岛津 QR-50 型分光光度计。美国 PE-580 B 型红外光谱仪。

α-计数用 FJ-367 通用 α ZnS 闪烁探头，用 FH-408 型自动定标器测定。

## 二、实验方法

取一定酸度的铀(VI)溶液与等体积一定浓度的冠醚溶液于磨口萃取管中，在室温下萃取振荡 10 分钟，然后离心分相，分别取一定的水相和有机相样品于不锈钢测量小盘中，加 1—2 滴稀氨水后，在红外灯下烘干并灼烧成均匀的薄源，进行 α 放射性计数测定。

水相中的 U(VI) 浓度有时用偶氮氯膦-Ⅲ在 2.5 NHCl 中，加一定量异丙醇后，在 670 mμ 下分光光度法测定。最后计算分配比  $D = \frac{[U]_{有}}{[U]_{水}}$ ，实验数据皆为二次以上实验的平均值。

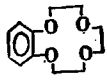
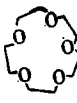
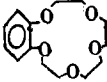
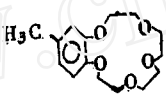
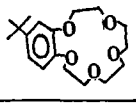

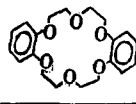
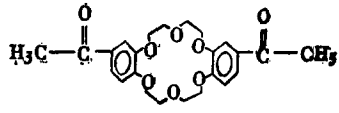
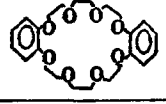
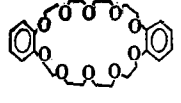
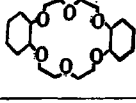
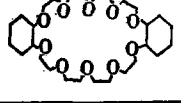
## 结果和讨论

**1. 不同结构的大环多醚对铀(VI)的萃取** 我们选用了 16 种不同结构的大环多醚化合物，以 1,2-二氯乙烷作稀释剂，在 HNO<sub>3</sub> 介质中对铀(VI)进行了萃取实验。所得结果列于表 1。

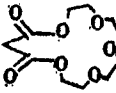
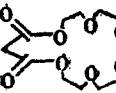

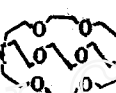
实验结果表明，用上述的大环多醚化合物萃取铀(VI)时，所得到的分配比都不高，但其中二环己基-30-冠-10 和二环己基 18-冠-6 的二氯乙烷溶液在 6.5 MHNO<sub>3</sub> 条件下求得的分配比较大，18-冠-6，二苯并-24-冠-8 和二苯并-30-冠-10 等几种冠醚的分配比与二环己基-18-冠-6 的相近。看来这类冠醚在强酸介质中都能与铀(VI)在有机相形成有一定溶解度的络合物。从实验结果来看，孔径直径比较大的冠醚对铀(VI)的萃取有利。因为冠醚上的氧原子是电子给予体，氧原子上的电子云密度直接影响铀络合物的稳定性，由于二苯并-18-冠-6 分子中两个苯环的吸电子效应，使氧原子的配位能力大大减弱，较难形成牢固的络合物，所以不利于萃取。从实验结果中明显看出，二苯并-18-冠-6 的分配比要比 18-冠-6 和二环己基-18-冠-6 小得多。另外，如果冠醚孔径直径足够大，则苯环的吸电子效应又相应减弱。如二苯并-24-冠-8，二苯并-30-冠-10 萃取铀(VI)的分配比也较大。从所得数据中还可看出，大环多醚分子上取代基的增加，其分配系数也减小，这有可能是取代基数目增加对络合物的形成有空间位阻效应以致引起萃取能力的降低。

表 1 不同结构的大环多醚对铀(VI)的萃取

水相:  $[U(VI)] = 5 \times 10^{-6} M$ ,  $[H^+] = 6.5 M$ ; 有机相:  $1 \times 10^{-2} M$  冠醚/ $C_2H_4Cl_2$ 溶液。

序号	大环多醚名称	结 构 式	孔径直径 <sup>[21-23]</sup> , Å	分配比 <i>D</i>
1	苯并-12-冠-4		1.2—1.5*	0.005
2	15-冠-5		1.7—2.2*	0.005
3	苯并-15-冠-5		1.7—2.2*	0.004
4	4-甲基苯并 15-冠-5		1.7—2.2*	0.001
5	4叔丁基苯并-15-冠-5		1.7—2.2*	0.002
6	18-冠-6		2.6—3.2*	0.148
7	二苯并-18-冠-6		2.6—3.2*	0.018
8	4,4'(5') 二乙酰基苯并-18-冠-6			0.003
9	二苯并-24-冠-8		4.5—5.0*	0.144
10	二苯并-30-冠-10		> 6	0.155
11	二环己基-18-冠-6		2.6—3.2*	0.165
12	二环己基-30-冠-10		> 6	0.167

续表

序号	大环多醚名称	结构式	孔穴直径 <sup>[21-23]</sup> , Å	分配比D
13	16-蟹-5		—	0.002
14	19-蟹-6		—	0.002
15	八甲基全氢环四醚基烯		~0.7	0.002
16	穴醚TM-2,2,2		2.3	0.002

\* 数据低值由 Corey-Pauling-Koltun 模型估计而得, 高值由 Fisher-Hirshfelder-Taylor 模型估计而得。

实验还表明, 蟹状化合物和穴醚在此条件下对铀(VI)的萃取能力是很低的。

2. 稀释剂的影响 稀释剂对大环多醚萃取的影响, 不单考虑自身的极性, 也与所形成的萃合物极性的有关。冠醚是极性的, 因此也应当用极性稀释剂。选用适当的稀释剂是选择萃取体系的一个重要问题, 选择得好, 能增加萃取的分配比。我们选择了十三种不同的稀释剂对铀(VI)进行了萃取试验, 所得结果列于表2。

表2 不同稀释剂对二环己基-18-冠-6萃取铀(VI)的影响

水相:  $[U(VI)] = 5 \times 10^{-6} M$ ,  $[H^+] = 6.5 M$ ; 有机相:  $1 \times 10^{-2} M$  二环己基-18-冠-6/稀释剂。

稀 释 剂	介 电 常 数 $\epsilon$	分 配 比 $D$
硝基甲烷*	39	0.338
1,2-二氯乙烷	10.4	0.165
二溴甲烷	—	0.157
氯仿	4.81	0.085
1,1,2-三氯乙烷	—	0.121
1,3,5-三甲苯	—	0.031
邻二甲苯	2.568	0.031
甲 苯	2.379	0.047
苯	2.284	0.061
煤 油	—	0.001
四氯化碳	2.238	0.009
环己烷	2.02	0.0003
己 烷	1.89	0.0003

\* 硝基甲烷试剂本身在此条件下对铀(VI)也有较大的分配比。

实验所得结果表明, 溶剂的介电常数大, 则铀(VI)的分配比也大, 看来这与二环己基-18-冠-6与铀(VI)所形成的络合物易溶于极性较大的溶剂有关。

3. 硝酸浓度对铀(VI)分配比的影响 已知金属阳离子的大小, 状态以及它所带的电

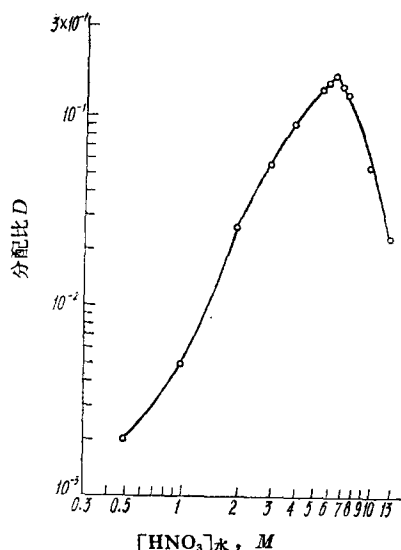


图 1 水相[HNO<sub>3</sub>]对铀(VI)分配比的影响

水相: [U(VI)]=5.6 × 10<sup>-3</sup> M, [H<sup>+</sup>]=6.5 M; 有机相: DC18-18-C-6/C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>Cl<sub>2</sub> 1 × 10<sup>-2</sup> M; 相比: 1:1; 萃取时间: 5—10分钟; 温度: 20°C, 以下实验除特别说明外, 条件均同此。

荷不同, 对形成冠醚络合物的影响是比较大的。文献<sup>[18]</sup>报道在不同HNO<sub>3</sub>浓度下铀(VI)可能有 UO<sub>2</sub><sup>2+</sup>, UO<sub>2</sub>(NO<sub>3</sub>)<sup>+</sup>, UO<sub>2</sub>(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, UO<sub>3</sub>(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub><sup>-</sup>几种形式存在; 因此, 当萃取水相起始硝酸浓度不同时, 铀(VI)的分配比也会不同。我们进行了水相硝酸浓度不同时二环己基-18-冠-6对铀(VI)萃取的影响, 以lgD-1g[HNO<sub>3</sub>]<sub>水</sub>作图(见图1)。

实验结果可以表明: 起始水相中HNO<sub>3</sub>浓度不断增大, 铀(VI)的分配比也随着增加, 到6.5MHNO<sub>3</sub>时分配比最大。然后, 随着HNO<sub>3</sub>浓度的再增加, 分配比便开始下降。这可能与铀(VI)在不同硝酸浓度下的离子状态和它所带的电荷有关, 当大于6.5M时水相中由于带负电荷的UO<sub>2</sub>(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub><sup>-</sup>络合离子增多而不利萃取, 况且随着水相酸度的增加, 有机相萃取HNO<sub>3</sub>的量也增大, 即生成的Cw·nHNO<sub>3</sub>(n=1—4)<sup>[20]</sup>也多, 从而使自由的冠醚浓度减少, 导致分配比的下降。

为了观察起始水相HNO<sub>3</sub>浓度对铀(VI)萃取的影响, 我们用对铀(VI)萃取分配比较大的几种冠醚如18-冠-6, 二苯并-18-冠-6, 二苯并-24-冠-8, 二苯并-30-冠-10, 二环己基-30-冠-10等作了在不同HNO<sub>3</sub>浓度下的萃取实验, 所得实验结果列于表3。

表 3 不同 HNO<sub>3</sub> 浓度下, 不同结构的冠醚对铀(VI)萃取的影响

[HNO <sub>3</sub> ], M	分 配 比 D				
	18-冠-6	二苯并-18-冠-6	二苯并-24-冠-8	二苯并-30-冠-10	二环己基-30-冠-10
0.5	~0	~0	~0	0.002	0.001
2	0.002	—	—	—	—
3	—	~0	0.005	0.016	0.055
4	0.040	—	—	—	—
5.5	—	0.003	0.046	0.074	0.107
6.5	0.148	0.018*	0.144	0.155	0.167
7.5	0.128	0.003	0.119	—	0.136
10	0.066	0.001	0.039	0.062	0.078
13	0.021	—	—	—	—

\* 在水相为6.5MHNO<sub>3</sub>情况下, 曾用0.01M二苯并-18-冠-6/苯溶液进行萃取, 所得分配比更低。

表3的实验结果表明, 尽管冠醚种类不同, 其规律性与二环己基-18-冠-6所得的结果亦较一致, 当硝酸浓度低时, 随萃取硝酸浓度增大, 分配比增加; 在硝酸浓度为6.5M左右时达极大值, 之后, 萃取硝酸浓度再继续增大, 分配比则反而降低。

4. 二环己基-18-冠-6浓度对铀(VI)分配比的影响 实验中应用不同浓度的二环己基-18-冠-6/二氯乙烷溶液在水相HNO<sub>3</sub>浓度为6.5M条件下对铀(VI)进行了萃取, 观察其对铀(VI)分配比的影响, 实验所得结果列于表4。

表 4 萃取剂浓度对铀(VI)分配比的影响

二环己基-18-冠-6浓度, $M$	分 配 比 $D$
$5 \times 10^{-3}$	0.085
$1 \times 10^{-2}$	0.170
$2.5 \times 10^{-2}$	0.422
$5 \times 10^{-2}$	0.854
0.1	1.827
0.2	2.978

从实验数据看出, 随萃取剂浓度增加, 铀(VI)的分配比明显增大, 因此, 提高萃取剂浓度可有效地提高分配比。我们以铀(VI)的分配比  $D$  的对数对有机相中二环己基-18-冠-6 (DCH) 浓度  $C_{DCH}$  的对数作图 (见图 2)。此图是一条斜率为 1.0 的直线。由于 DCH 的浓度远大于铀(VI)的浓度, 按照倾角正切法测算萃合物组成的方法原理, 这表明在此浓度范围内所生成的络合物中  $UO_2^{2+}$  对二环己基-18-冠-6 之比为 1:1。

**5. 萃取平衡时间** 要研究分配比与萃取条件的关系必须使萃取反应达到平衡。而平衡速度的快慢对判断利用萃取法的可能性具有重要的意义。我们做了二环己基-18-冠-6 萃取铀(VI)的平衡时间实验, 所得结果列于表 5。

表 5 二环己基-18-冠-6 萃取铀(VI)的平衡时间影响

萃 取 时 间	分 配 比 $D$
3秒	0.172
10秒	0.175
20秒	0.177
40秒	0.171
1分	0.189
3分	0.187
5分	0.187
7分	0.192
10分	0.186
15分	0.182
20分	0.188

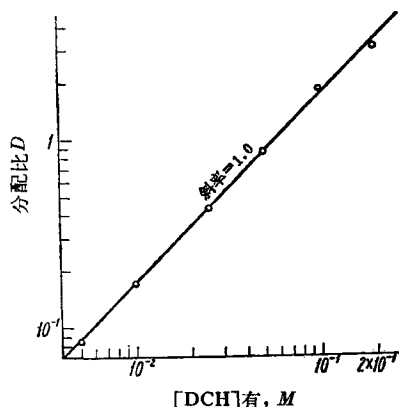


图 2 有机相二环己基-18-冠-6浓度对铀(VI)分配比的影响

表 5 实验结果表明, 此反应的平衡时间是非常快的, 这表明采用冠醚体系进行萃取的动力学性质是非常好的。

**6. 铀(VI)被反萃的性能** 进行了用二环己基-18-冠-6/二氯乙烷溶液萃取铀(VI)以后, 铀(VI)被反萃的性能研究。实验中反萃剂分别选用过  $H_2O$ ,  $0.05 NHNO_3$  和  $0.2 N HNO_3$ 。所得结果列于表 6。

从表 6 结果看出, 不论用水或稀酸作反萃剂一次反萃即可达到  $\sim 100\%$ 。这也充分说明该冠醚络合体系还是很容易解络的。由于考虑铀(VI)在水溶液中可能水解的问题, 实际上以选择稀  $HNO_3$  作为反萃剂比较好。

**7. 加入不同离子对萃取铀(VI)分配比的影响** 一般认为冠醚萃取金属离子具有离子对萃取的特征, 即冠醚和金属离子先形成一个络阳离子, 当有适当的阴离子存在时便以

表 6 二环己基-18-冠-6 为萃取剂时, 铀(VI)被反萃的情况  
反萃条件: 分别用  $H_2O$ ,  $0.05N$  及  $0.2NHNO_3$ ; 相比: 1:1; 反萃时间: 5 分钟。

反 萃 剂	反 萃 率, %	
	一 次 反 萃	二 次 反 萃
$H_2O$	99.31	0.69
$0.05NHNO_3$	99.42	0.58
$0.2NHNO_3$	99.34	0.66

$ML^+A^-$ 成对地萃入有机相。因此, 萃取能力的大小与所用离子的种类和浓度是有密切关系的。为了观察在用二环己基-18-冠-6萃取铀(VI)时加入不同离子对分配比的影响, 我们做了如下条件实验。

(1) 在萃取体系中加入硝酸铵和硝酸钠。实验所得结果列于表 7。

表 7 加入不同硝酸盐对铀(VI)萃取的影响

水相萃取酸度 $[HNO_3]$ , $M$	水 相 中 含 盐 量		水相中 $[NO_3^-]$ 总浓度, $M$	分配比 $D$
	$[NH_4NO_3]$ , $M$	$[NaNO_3]$ , $M$		
1	5.5	—	6.5	0.115
2	4.5	—	6.5	0.115
3	3.5	—	6.5	0.117
3	—	3.5	6.5	0.555
5.5	1	—	6.5	0.129
5.5	—	1	6.5	0.314
6.5	1	—	7.5	0.135
6.5	—	1	7.5	0.316

从实验结果看出, 用二环己基-18-冠-6萃取铀(VI)时不是  $H^+$ 浓度而是  $NO_3^-$ 总浓度起着主要作用。从实验结果还可看出, 硝酸盐类中,  $Na^+$ 盐的存在有利于铀(VI)的萃取, 这可能是由于易于水合的  $Na^+$ 的存在, 使“自由水”的活度降低, 促使  $UO_2^{2+}$ 的水化壳脱落, 有利于萃取络合物的生成, 所以对提高分配比有利。

(2) 在萃取体系中加入硫氰酸铵、醋酸铵和苦味酸。实验所得结果列于表 8。

表 8 水相中加入硫氰酸铵、醋酸铵和苦味酸对铀(VI)萃取的影响

水相萃取酸度 $[HNO_3]$ , $M$	分 配 比 $D$		
	$1.0MNH_4SCN$	$1.0M NH_4Ac$	$5.2 \times 10^{-2}M$ 苦味酸
0.1	0.058	0.742	$6.9 \times 10^{-3}$
0.5	出现红棕色 ↓	0.346	$4.0 \times 10^{-3}$
1	出现深红棕色 ↓	$1.4 \times 10^{-2}$	$4.1 \times 10^{-3}$
3	出现深红棕色 ↓	$3.5 \times 10^{-2}$	出现桔黄色 ↓
6.5	出现深红棕色 ↓	0.149	出现深桔黄色 ↓

实验结果看出, 在萃取体系中加入一定量的大阴离子盐类以后, 在低酸度下,  $SCN^-$ 和  $Ac^-$ 对铀(VI)的分配比提高的影响是很大的, 尤其醋酸盐对铀(VI)的分配比提高影响更大, 这一结果值得重视。当水相酸度提高后, 它们对铀(VI)的萃取率没有增高的影

响,有的甚至出现了沉淀物,根本不能进行萃取。在该体系中加苦味酸对铀(VI)的萃取好处不大,而且在不同的低酸度下结果都接近,酸度提高后则析出桔黄色沉淀。

**8. 不同温度对二环己基-18-冠-6萃取铀(VI)的分配比影响** 我们在不同温度下进行萃取,观察了二环己基-18-冠-6对铀(VI)萃取的分配比变化情况,所得结果列于表9。

表9 温度对二环己基-18-冠-6萃取铀(VI)的影响

萃取温度 °C	分配比 D
70	0.131
25	0.165
10	0.204

表9的实验结果表明,用二环己基-18-冠-6萃取铀(VI)时,温度愈低其分配比愈大,随温度的升高其分配比降低。

**9. 二环己基-18-冠-6和  $UO_2(NO_3)_2$  络合物的红外光谱特征** 二环己基-18-冠-6在  $C_2H_4Cl_2$  中的红外光谱在  $1104cm^{-1}$  处有一强的特征吸收谱带,它属于冠醚中醚键“C-O-C”的振动(见图3)。

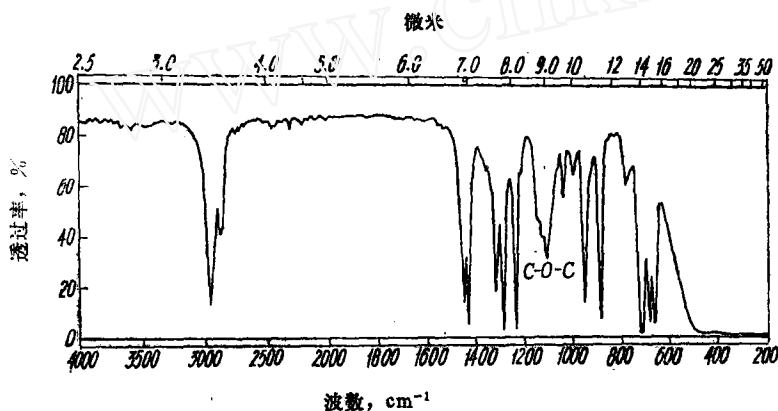


图3 DCH-18-C-6在  $C_2H_4Cl_2$  中的红外光谱图

当二环己基-18-冠-6与  $UO_2(NO_3)_2$  络合时,  $1090cm^{-1}$  处出现新的吸收带,该带是由于金属与冠醚形成络合物后,使“C-O-C”键变形导致波数移动而产生的(见图4)。

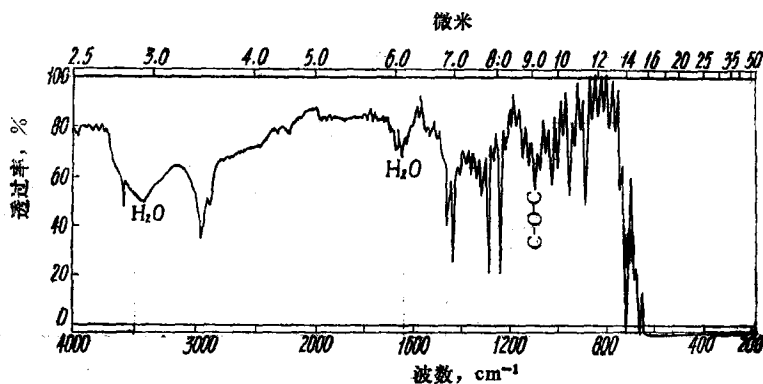


图4 二氯乙烷中 DCH-18-C-6与  $UO_2(NO_3)_2$  络合物的红外光谱图

从图4中还可看出在  $\sim 3400cm^{-1}$  及  $\sim 1620cm^{-1}$  处有  $H_2O$  的特征吸收谱带,这表明



$\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$ 与二环己基-18-冠-6的络合确是通过中间 $\text{H}_2\text{O}$ 分子用氢键连接的,这与文献[19]中所报道的结果是一致的。

## 结 论

1. 研究了十六种不同结构的冠醚在 $\text{HNO}_3$ 介质中对铀(VI)的萃取。实验表明,萃取铀(VI)的分配比以二环己基-30-冠-10和二环己基-18-冠-6较大,18-冠-6,二苯并-24-冠-8,二苯并-30-冠-10三种冠醚的分配比与二环己基-18-冠-6的相近。实验还表明,蟹状化合物和穴醚在此条件下对铀(VI)的萃取能力是非常低的。

2. 萃取铀(VI)时选用不同的溶剂,效果不同,溶剂的介电常数较大,则铀(VI)的分配比也大,其中以硝基甲烷和1,2-二氯乙烷较好。

3. 用二环己基-18-冠-6,18-冠-6,二苯并-18-冠-6,二苯并-24-冠-8,二苯并-30-冠-10和二环己基-30-冠-10的二氯乙烷溶液萃取铀(VI)时,其分配比在硝酸浓度低时,随水相硝酸浓度的增大而增加,在6.5 M  $\text{HNO}_3$ 左右直到极大值,然后随着水相硝酸浓度的增大而降低。

4. 初步实验结果表明,二环己基-18-冠-6萃取铀(VI)时形成了组成为1:1的络合物。

5. 用二环己基-18-冠-6萃取铀(VI)的平衡时间是很快的,这说明该冠醚体系的动力学性质是非常好的。

6. 用稀酸或水作反萃剂,铀(VI)的一次反萃率可达~100%,这表明该冠醚络合体系还具有容易被解络的特性。

7. 用二环己基-18-冠-6萃取铀(VI),随温度的升高,其分配比降低。

8. 铀(VI)的分配比强烈地受水相中存在的不同阳,阴离子的影响。

9.  $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$ 与二环己基-18-冠-6形成络合物的红外光谱表明,其络合确是通过中间水分子连接的。

## 参 考 文 献

- [1] 平岡道夫, クロウン化合物——その特性と应用, 讲谈社サイエンティフィック, 1978.
- [2] 小田良平等, クロウンエーテルの化学, 化学増刊, 74号, 1978.
- [3] 姚仲麟, 原子能参考资料(核燃料部分) 34, 1977.
- [4] 裘梅君等, 原子能科学技术, 2, 210—248 (1980).
- [5] 蒋法顺, 原子能参考资料(核燃料部分) 6, (1979).
- [6] 黄枢等, 化学通报, 2, 44 (1979); 3, 53 (1979).
- [7] 高木诚等, 化学の领域, 31 (3), 208 (1977); 31 (4), 348 (1977).
- [8] J. J. Christensen et al., *Chem. Revs.*, 74, 315 (1974).
- [9] К. Д. Педерсен и др., *Успехи Химии*, 42, Вып. 3, 492 (1973).
- [10] I. M. Kolthoff, *Anal. Chem.*, 51, 1R-22R (1979).
- [11] В. П. Антонович и др., *Журн. Аналит. Хим.*, 35 (5), 992 (1980).
- [12] W. J. McDowell et al., *Proceeding of the International Solvent Extraction Conference, Toronto*, Vol. 21, 1977. p. 95.
- [13] В. В. Якишин и др., *Доклады Академии Наук, СССР*, Том. 241, Вып. 1, СТР. 159 (1978).
- [14] 姜延林等, 核化学与放射化学, 4 (2), 81 (1982).
- [15] 祝霖等, 四川大学学报, 1, 13 (1980).
- [16] 陈文浚等, 四川大学学报, 1, 25 (1980).

(下转第 395 页)

对于不同负载的线型网络，只要改变计算程序中的相应参数，即可利用本程序进行计算。

在具体的线路中，存在着一些计算中难以考虑到的杂散参量，但是理论计算所得的原则，在脉冲成形网络的实际调整中是适用的。设计安装了一台 56 MW 脉冲调制器，人工线为 10 级，得到的电压脉冲宽度为  $1.7 \mu\text{s}$ ，顶部抖动（包括顶降）为  $\pm 0.37\%$ 。电压脉冲波形的示波图如图 6 所示，图 7 为经切割放大后脉冲顶部的示波图。

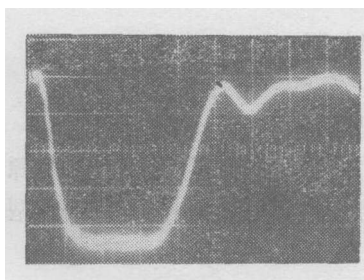


图 6 电压脉冲示波图  
横坐标每格  $1 \mu\text{s}$ 。



图 7 电压脉冲顶部切割放大后的示波图  
横坐标每格  $1 \mu\text{s}$ 。

### 参 考 文 献

- [1] G. N. Glasoc, *Pulse Generator*, McGraw-Hill, 1948.  
 [2] О. Н. Литвиненко и В. И. Сошников, *Расчет формирующих линий*, Гостехиздат, Киев, 1962.  
 [3] 曹德彰等, 粒子加速器 (1979 年全国加速器技术交流会论文选集), 1980 年, 207 页。  
 [4] 杨天禄, 调制器人工线理论计算, 内部资料, 1978 年。  
 [5] Я. С. 伊茨霍基, 脉冲技术, 人民邮电出版社, 1959.

(编辑部收到日期: 1981 年 10 月 14 日)

(上接第 441 页)

- [17] 续双城等, 二环己基-18-冠-6 对  $\text{UO}_2\text{Cl}_2$  的萃取, 全国王冠化合物学术讨论会论文集, 兰州, 1980.  
 [18] А. И. Москвин, *Координационная Химия Актиноидов*, Атомиздат, Москва, 1975.  
 [19] D. L. Williams et al., *J. Inorg. Nucl. Chem.*, **39**, 1079 (1977).  
 [20] В. В. Якшин и др., *Доклады АН СССР*, Том **247**, Вып. 6, 1398 (1979).  
 [21] C. J. Pedersen et al., *J. Am. Chem. Soc.*, **89**, 7017 (1967).  
 [22] C. J. Pedersen et al., *J. Am. Chem. Soc.*, **92**, 386 (1970).  
 [23] N. S. Poonia et al., *J. Sci. Ind. Res.*, **37**, 202 (1978).

(编辑部收到日期: 1981 年 4 月 20 日)