

萃取论文集

上

(萃取化工原理)

[苏联] A.Π. 澤菲罗夫等 主編



中国科学院原子核物理学委员会編輯委员会編
中国工业出版社出版

新編 國語 文法

第一編

第一章



81.17
783
1:2

萃 取 論 文 集

上

(萃取化工原理)

[苏联] A. II. 澤菲罗夫等 主編

木 卯 聞 理 邓佐卿 譯

中 国 1955.12.6 出 版 社

“萃取論文集”一書系根據 А. П. 澤菲羅夫等主編，蘇聯國家原子能出版社 1962 年出版的 “Экстракция выпуск 1、2” 翻譯而編成的。為了方便讀者，我們把原書重新編排成“萃取化工原理”和“萃取化學”上下兩冊出版。

這兩本書主要匯集了作者向蘇聯“原子能”雜誌投寄的文章和 1959 年 12 月舉行的全蘇首次萃取會議上所提出的部分論文。

本書對從事原子動力、稀有和有色金屬的水法冶金，化學和制藥等工業方面的廣大工程技術人員、各專業的化學家和物理化學家，科學工作者以及各大學化學系和高等化工院校的高年級學生均有裨益。

Под редакцией д-ра техн. наук А. П. Зефирова
и канд. хим. наук М. М. Сенявинна

ЭКСТРАКЦИЯ

Теория, применение, аппаратура

(Сборник статей)

ВЫПУСК I

ГОСАТОМИЗДАТ Москва 1962

* * *

萃 取 論 文 集

上

(萃取化工原理)

木 卯 聞 理 邓佐卿 譯

*

中国科学院原子核科学委员会編委会編輯

中国工业出版社出版(北京佟麟阁路丙10号)

北京市书刊出版业营业许可证出字第110号

中国工业出版社第一印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店經售

*

开本 $850 \times 1168^{1/32}$ ·印张4 $\frac{1}{2}$ ·插頁1·字数110,000

1965年8月北京第一版·1965年8月北京第一次印刷

印数0001—1,960·定价(科五)0.65元

*

統一書號: 15165·4025(核委-48)

原 序

在原子动力和其他許多工业部門（有色和稀有金属的冶金、化学和制葯工业等）中已开始广泛地采用萃取法。这种方法是一种无須过滤分离混合物的方法，其原理是組分在不互溶的水相和有机相間分配不同。萃取法的特点是有选择性，生产率高，并且能够在不同規模下进行。大型萃取設備能保證过程連續进行和自动化。虽然在各种科学技术期刊中已发表了大量关于萃取的原始論文（萃取理論、設備流程及其应用），但由于迫切需要全面并系統地闡述萃取領域的研究成果，苏联国家原子能出版社决定出版若干文集。

編入本論文集的主要是許多作者向“原子能”杂志投寄的文章，部分是1959年12月举行的全苏首次萃取會議上提出的論文。由于文章很多，所以資料須在各集之間作合理的分配。为了方便讀者，各集的材料力求分配平均，即在每一期中都有萃取理論、萃取过程在制取純稀有金属、結構材料及核燃料方面的应用，一部分关于輻照过的释热元件的加工处理的文章以及萃取設備的計算和闡述方面的文章。

迄今还没有萃取过程参数的統一术语和符号，为了統一起見，文集在一定程度上考虑了分析化学委员会的建議，采用了以下的定义和符号。分配常数 K 表示被萃取物质与萃取剂或有机相中的試剂相互作用的化学反应平衡常数。在平衡条件下，物质在有机相中的总浓度与該物质在水相中的总浓度之比，称为分配比 D ，此值与物质在两相中的存在形式无关。物质的萃出量对其原有量的比值，为萃取率，一般用百分数表示。为了說明在一定溫度下，且其他組分的含量恒定时，組分在有机相中的浓度与其在水相中浓度的关系，利用“萃取等溫线”代替“萃取曲线”。萃取剂系指整个有机相，它可能仅由純溶剂构成，也可能在其組成

08052

IV

中包括試剂（能与被萃取物质相互起化学作用的组分）和稀释剂（加入萃取剂的有机物）；例如，为了减少前者的粘度，此时須注意：在許多情况下，溶剂即系試剂，而稀释剂在萃取过程中也并非总是惰性的。凡与被萃取化合物具有同名离子，并大量加入水相，以提高组分萃取率的盐或酸，均称为盐析剂。为了簡化起見，文中把萃取剂的名称，用第一个字母縮写表示（例如磷酸三丁酯——TBΦ）。

由于萃取这样一个較新領域的大力发展，不仅沒有建立确切的概念和符号，而且对过程的根本性和原則性的規律之闡明，也还做得很少。为了使讀者能对各种概念进行对比，本文集选用了反映萃取机理各种看法的、以及整理实验数据和計算与設計設備的各种方法的文章。例如在文集的第一册的理論部分中，除了罗津(A. M. Розен)的文章外，还发展了萃取的热力学概念，其原理首先是認真考虑对系統組分之活度系数，还选用了以純化学观点看待萃取体系的文章（分配比与萃取剂化学組分的关系，根据內絡合物的組成选择萃取剂，用含氧溶剂萃取离子的銓盐机理）。在萃取設備部分，除了有萃取过程平衡动力学方面的著作以外，也編入了其他方面的文章，其中一部分指出了在計算設備时应考虑化学动力学的必要性，而另一部分闡述了根据反应平衡常数計算理論級数的分析方法。

預期这本系統叙述萃取理論、設備和应用及萃取結構材料与核燃料方面的文集，将对原子动力、稀有和有色金属的水法冶金，化学和制葯等工业方面的广大工程技術人員，对各种专业的化学家和物理化学家、科学工作者以及对各大学化学系和高等化工院校的高年級学生有所裨益。

目 录

原 序

用解析方法确定萃取塔的理论级数.....	1
关于萃取设备的计算问题.....	16
塔板式空气搅拌萃取塔中的质量交换的研究.....	27
混合澄清萃取器的计算方法.....	30
用填料塔萃取和反萃取硝酸铀酰时的传质.....	52
关于穿流式筛板萃取塔的计算问题.....	61
关于脉冲塔的效率问题(强化逆流萃取塔的一般原理).....	67
脉冲填料塔中流体力学和传质的某些规律.....	90
喷射萃取塔新式结构的研制及过程的理论基础.....	109
卧式混合澄清萃取器.....	117
ЭР-350型转鼓式逆流萃取器及提高其效率的途径.....	131
萃取有色金属用的ИСО-60型离心式管状超速萃取器.....	142

用解析方法确定萃取塔的理论级数

福明(В.В.Фомин)瑪約洛娃(Е.П.Майорова)

卡尔图晓娃(Р.Е.Картушова)

通常采用理论级数(ЧТС),即能保证与实际级联同样提取率的效率为100%的理想混合澄清器数,来表征在萃取级联中(萃取塔或混合澄清器组)所取得的提取率。

在萃取一种组分时,理论级数的计算一般是根据分配曲线和工作曲线⁽¹⁻²⁾或三相平衡相图⁽³⁾用图解法求出。另一种计算方法是解析方法,如果分配系数与溶液成分的关系已知时,可以采用这种方法。当同时萃取两种互相影响分配的组分时,利用解析方法可以进行理论级数的计算。如果用惰性稀释剂稀释萃取剂时,解析方法能够从萃取剂的一种浓度换算成另一种浓度。

当一种元素呈常量浓度,而另一种元素呈微量浓度存在时,用ТБФ分离锆和钍过程的理论级数的计算方法在文献[4]中已经提出来了。但是,由于常常必须同时萃取两种常量浓度的组分,所以对这种情况进行理论级数的计算是很有意义的。我们将以用ТБФ溶液萃取硝酸铀酰和硝酸为例,对相应的计算方法进行研究。

对每一个 n 级的萃取塔,均可写出铀和硝酸的物料平衡方程式

$$F_{n+1} \cdot x'_{n+1} + E_{n-1} \cdot y'_{n-1} = F_n x'_n + E_n \cdot y'_n; \quad (1)$$

$$F_{n+1} \cdot x''_{n+1} + E_{n-1} \cdot y''_{n-1} = F_n x''_n + E_n y''_n, \quad (2)$$

式中 F_{n+1} 和 E_{n-1} ——进入 n 级的水相和有机相的体积;

F_n 和 E_n ——从 n 级出来的有机相和水相的体积;

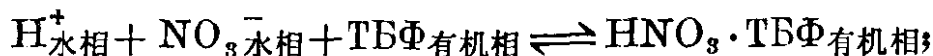
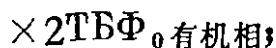
x 和 y ——水相和有机相中物质的浓度, M ; 上标分别表示铀和硝酸, 下标表示有关相离开的级号。

n 級有机相中鈾和硝酸的浓度可用分配系数表示

$$y'_n = D'_n \cdot x'_n \quad (3)$$

$$y''_n = D''_n \cdot x''_n \quad (4)$$

鈾和硝酸的萃取, 如[5—12]所示, 可用下述公式表示:



这些反应的平衡常数相应地用下列关系式表示

$$K' = K'_{\text{有机相}} \cdot \Gamma_0 = \frac{[\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2 \cdot 2\text{TB}\Phi]_0}{[\text{UO}_2^{2+}]_{\text{水相}} [\text{NO}_3^-]_{\text{水相}}^2 [\text{TB}\Phi]_{\text{有机相}}^2}; \quad (5)$$

$$K'' = K''_{\text{有机相}} \cdot \Gamma_1 = \frac{[\text{HNO}_3 \cdot \text{TB}\Phi]_{\text{有机相}}}{[\text{H}^+]_{\text{水相}} [\text{NO}_3^-]_{\text{水相}} \cdot [\text{TB}\Phi]_{\text{有机相}}}; \quad (6)$$

$$K''_1 = K''_{\text{有机相}} \cdot \Gamma_2 = \frac{[(\text{HNO}_3)_2 \cdot \text{TB}\Phi]_{\text{有机相}}}{[\text{H}^+]_{\text{水相}}^2 [\text{NO}_3^-]_{\text{水相}}^2 [\text{TB}\Phi]_{\text{有机相}}}, \quad (7)$$

式中 $\Gamma_0, \Gamma_1, \Gamma_2$ ——包括由方程式右項移来的全部活度系数的因子。

因此, 有机相中酸的浓度为

$$[\text{HNO}_3]_{\text{有机相}} = K'' [\text{H}^+]_{\text{水相}} \cdot [\text{NO}_3^-]_{\text{水相}} \cdot [\text{TB}\Phi]_{\text{有机相}}$$

$$+ 2K''_1 \cdot [\text{H}^+]_{\text{水相}}^2 \cdot [\text{NO}_3^-]_{\text{水相}}^2 \cdot [\text{TB}\Phi]_{\text{有机相}}$$

$$= K'' \cdot [\text{H}^+]_{\text{水相}} \cdot [\text{NO}_3^-]_{\text{水相}} \cdot [\text{TB}\Phi]_{\text{有机相}}$$

$$\times \left(1 + 2 \frac{K''_1}{K''} [\text{H}^+]_{\text{水相}} [\text{NO}_3^-]_{\text{水相}} \right) = K'' \cdot \alpha$$

$$\times [\text{H}^+]_{\text{水相}} \cdot [\text{NO}_3^-]_{\text{水相}} \cdot [\text{TB}\Phi]_{\text{有机相}},$$

$$\text{式中 } \alpha = 1 + 2K''_2 [\text{H}^+]_{\text{水相}} [\text{NO}_3^-]_{\text{水相}} \cdot K''_2 = \frac{K''_1}{K''}。$$

K', K'' 和 K''_1 为浓缩常数。因此, 它們随硝酸和硝酸鈾酰的浓度而变化, 因而当溶液成分不同时, 其浓度亦各有差異。

設 x' 和 y' ——分別为水相和有机相中的硝酸鈾酰的浓度, 而

x'' 和 y'' ——水相和有机相中硝酸的浓度时, 則得

$$y'_n = K'_n \cdot x'_n \cdot (2x'_n + x''_n)^2 \cdot [\text{TB}\Phi]_n^2; \quad (8)$$

$$y''_n = K''_n \cdot x''_n \cdot \alpha(2x'_n + x''_n) \cdot [\text{TB}\Phi]_n, \quad (9)$$

式中 $[\text{TB}\Phi]_n$ ——游离TBΦ的平衡浓度。

当分析浓度等于 c_n 时

$$[\text{TB}\Phi]_n = c_n - 2y'_n - y''_n. \quad (10)$$

如果 F_{n+1} , F_n , E_n 和 E_{n-1} 流量值, K' , K'' , K'_1 常数, 以及TBΦ的分析浓度为已知的, 而公式(1)~(4)和(6)~(10)中将有11个未知数:

$$x'_{n+1}, x''_{n+1}, x'_n, x''_n, y'_n, y''_n, y'_{n-1}, y''_{n-1}, D'_n, D''_n, [\text{TB}\Phi]_n.$$

但是, 如果研究第一級和最后一級时, 則它們之中有四个是給定的。例如, 当供給新鮮萃取液时, 在第一級中, $y'_0 = y''_0 = 0$ 。浓度 x'_1 和 x''_1 可由貴重組分的允許排除条件和出口水溶液中理想酸度而定。当用图解法計算一种萃取組分的理論級数时, 也应当知道决定工作曲线位置的浓度 x_1 和 y_0 或 x_{n+1} 和 y_n 。

这样一来, 在七个公式中剩下七个未知数, 于是系統就可以計算。在这种情况下, 将求得 x'_2 , x''_2 , y'_1 , y''_1 值在未求出 x'_{n+1} 和 x''_{n+1} 时就可以算出第二級等的这个系統, x'_{n+1} 和 x''_{n+1} 值可以当作原始浓度。因而, 这种方法可以决定取得 n 級后的給定排出量原始浓度。

当任一級上流量值不变和浓度常数 K' , K'' 和 K'_1 值已知时, 方程式(1)~(4)和(8)~(10)可以比較简单地解决。

經過相应地换算之后, 得

$$D' = \frac{(D'')^2 \cdot K'}{(K'')^2 \cdot \alpha^2} \quad (11)$$

$$\begin{aligned} \text{和} \quad D'' = & K'' \cdot \alpha \cdot (2x' + x'') c_n - \frac{2K' \cdot x'}{K'' \cdot \alpha} \cdot (D'')^2 \cdot (2x' + x'') \\ & - K'' \cdot \alpha \cdot (2x' + x'') \cdot x'' \cdot D''. \end{aligned} \quad (12)$$

D'' 未知时, 用 A , B , C 表示系数, 則得下述方程式:

$$A(D'')^2 + BD'' - C = 0 \quad (13)$$

$$\text{式中 } A = \frac{2K'x'(2x' + x'')}{K'' \cdot \alpha}; \quad (14)$$

$$B = K'' \cdot \alpha \cdot x'' \cdot (2x' + x'') + 1; \quad (15)$$

$$C = K'' \cdot \alpha \cdot (2x' + x'') \cdot c_{n0} \quad (16)$$

当由下面计算 $(n-1)$ 时, 解方程式 (12), 我们可求出 D''_1 , 然后由方程式 (11) 求 D'_1 , 已知 x'_1 和 x''_1 求得 y'_1 和 y''_1 。

$(n+1)$ 级的铀和硝酸的原始浓度可由物料平衡方程式 (1) 和 (2) 求得。为了根据这些方程式正确地计算 x'_{n+1} 和 x''_{n+1} , 必须知道水相体积 F_{n+1} 和有机相体积 E_n 。为了正确地选用 TBΦ 的原始浓度, 也必须知道 E_n 值。因为萃取时, 有机相体积增大, 则 TBΦ 在 $n+1$ 级的原始浓度 c_n 比送入塔的浓度 c_0 要小。

在用 TBΦ 萃取硝酸铀酰和硝酸时, 知道水相和有机相组成, 可以计算出水相和有机相比重的方程式列于文献 [13~14] 中。由这些方程式可以得出:

$$E_n = \frac{E_0}{1 - 0.086y'_n - 0.046y''_n}; \quad (17)$$

$$F_n = \frac{1 - 0.076x'_0 - 0.031x''_0}{1 - 0.076x'_n - 0.031x''_n} \cdot F_0, \quad (18)$$

式中 E_0 —— 原始萃取剂液流;

F_0 —— 原始水溶液液流;

x'_0 和 x''_0 —— 铀和硝酸在此原始溶液中的浓度。 F_{n+1} 可由方程式 (1), (2) 和 (18) 用逐次近似法求得。

磷酸三丁酯萃取硝酸铀酰的平衡浓度常数的确定

解析法计算理论级数的主要困难是, 确定硝酸和硝酸铀酰与 TBΦ 形成溶剂化物的反应平衡常数。硝酸与 TBΦ 生成溶剂化物的常数值是许多研究过 HNO_3 在水和 TBΦ 的各种稀释溶液之间分配的研究人员所确定的⁽⁷⁻¹²⁾。确定, 当 HNO_3 在水相中的浓度达 $3 \sim 4M$ 时, HNO_3 呈 $\text{HNO}_3 \cdot \text{TB}\Phi$ 化合物形式被萃取。此化合物生成常数的平均值 K'' 可以采用 0.17。当硝酸在水相中的平衡浓

度大于 $3 M$ 时, 必须注意络合物 $(HNO_3)_2TB\Phi$ 的形成。我們⁽⁸⁾求得 K_2 值等于 0.002 。此值与文献[11]中的值相符。

当共萃取硝酸和硝酸鈾酰时, 这些 K' 和 K_2 值, 通常也是正确的。

例如文献[6]中用 $TB\Phi$ 萃取硝酸鈾酰的常数值 K' 等于 22 。文献[4]中离子强度范围从 0.7 到 7.0 时, K' 是常数, 等于 5.5 。

当由 $0.05 M HNO_3$ 中萃取硝酸鈾酰时, 曾經求得⁽⁵⁾, 对 $10 \sim 30\%$ 的 $TB\Phi$ 溶液来讲, 这些常数, 实际上与 $TB\Phi$ 的浓度无关, 而与硝酸鈾酰浓度有关。已知在研究用 30% 的 $TB\Phi$ 萃取硝酸鈾酰和硝酸方面做了許多工作⁽¹³⁾。

为了确定硝酸鈾酰和硝酸的分配常数, 我們曾研究了用 $0.74 M$ (20%) 的 $TB\Phi$ 煤油溶液 (高沸点碳氢混合物) 萃取这些化合物。水相和有机相中鈾的浓度用容量法測定。有鈾时的酸度用电导測定法确定。水相和有机相的体积按方程式(17)和(18)計算。

确定常数时的誤差很大, 这使我們假定酸的常数不变, 只是硝酸鈾酰的常数改变。这样求出的 K' 值列于表 1 和表 2。根据計算得出的数值作了 K' 值与溶液离子强度 μ 的曲线 (图 1)。根据曲线求出了計算用的 K' 值 (表 1 和表 2 中的 K' 展平)。

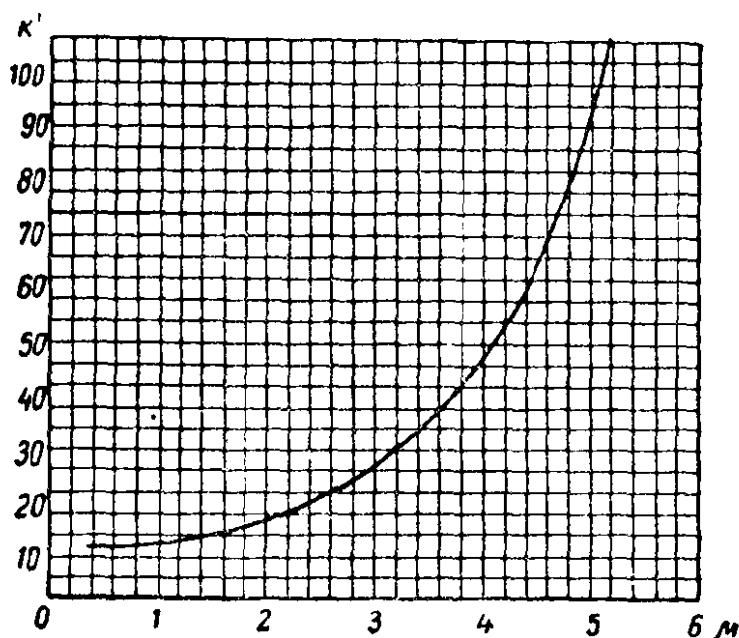


图 1 K' 与溶液离子强度 μ 的关系

表 1 用0.74M TBΦ煤油溶液萃取硝酸鈾酰时的K'值

μ	x' 实验	x'' 实验	y' 实验	y'' 实验	K' 计算	K' (按图 2 数据)	y' 计算	y'' 计算	计算 y'' 实验 时的误差 Δ , %	计算 y' 实验 时的误差 Δ , %
0.55	0.017	0.5	0.025	0.028	12.5	12.0	0.0253	0.03	-3.5	-1.2
0.72	0.092	0.45	0.11	0.018	13.0	12.0	0.11	0.024	-33	0.0
1.6	0.37	0.48	0.25	0.008	10	14.5	0.27	0.018	-125	-7.4
1.7	0.0045	1.705	0.038	0.211	25.3	15.0	0.039	0.219	-3.8	-2.56
2.0	0.042	1.902	0.18	0.111	45	16.8	0.17	0.158	-42	+5.9
2.0	0.52	0.47	0.29	0.005	14	16.8	0.29	0.015	-200	0.0
2.3	0.48	0.986	0.28	0.028	10.5	19.5	0.30	0.030	-3.5	-6.7
2.47	0.083	2.22	0.228	0.109	25	21	0.224	0.135	-24	+1.78
2.5	0.16	1.92	0.26	0.057	23.5	21	0.256	0.092	-61	+13.3
2.5	0.225	1.84	0.26	0.054	16	21	0.27	0.075	-39	-3.7
2.57	0.045	2.44	0.194	0.138	27.6	22	0.185	0.185	-34	+4.9

2.8	0.65	0.844	0.30	0.024	12	24	0.31	0.020	+1.7	-3.2
2.92	0.45	1.57	0.30	0.02	24.4	25	0.306	0.044	-120	-2.0
3.0	0.077	2.78	0.234	0.119	34.6	26	0.21	0.18	-51	+11.4
3.0	0.33	1.93	0.295	0.033	27.3	26	0.287	0.059	-80	+2.8
3.14	0.007	3.12	0.092	0.32	30.6	30	0.09	0.343	-7	+2.2
3.16	0.040	3.04	0.204	0.168	37	30	0.197	0.213	-27	+3.6
3.5	0.513	1.94	0.326	0.017	63	37	0.318	0.043	-153	+2.5
4.79	0.195	4.2	0.298	0.100	86	80	0.291	0.105	-5	+2.4
4.9	0.77	2.6	0.333	0.053	73	87	0.333	0.033	+38	0.0
5.08	0.006	5.07	0.108	0.42	100	87	0.109	0.416	+1	-0.9
5.08	0.114	5.03	0.145	0.31	90	95	0.147	0.35	-13	-1.4
5.7	0.048	5.54	0.228	0.256	104	155	0.235	0.188	+29	-3

表 2 按文献 [13] 数据的 K' 值

μ	x' 实验	x'' 实验	y' 实验	y'' 实验	K' 计算	K' (按图 2 数据)	y' 计算	y'' 计算	计算 y'' 实验 的 误差 Δ , %	计算 y' 实验 的 误差 Δ , %
0.56	0.0282	0.5	0.080	0.068	12.1	12	0.077	0.041	+40	+3.9
0.65	0.049	0.5	0.126	0.050	10.6	12	0.133	0.041	+18	-5.3
0.65	0.049	0.5	0.128	0.013	11.7	12	0.104	0.036	-177	+23.1
1.14	0.047	1	0.204	0.096	10.6	12	0.215	0.105	-9	-5.1
1.3	0.101	1	0.283	0.071	9.8	13	0.305	0.082	-15.5	-7.2
1.5	0.344	0.5	0.392	0.044	12	13	0.423	0.026	+40	-7.3
2.0	0.35	1	0.423	0.050	13.8	17	0.43	0.048	+8	-1.6
2.15	0.049	2	0.293	0.178	16.1	18.8	0.306	0.198	-11	-4.2
2.15	0.048	2	0.313	0.16	14.4	18.8	0.300	0.196	-22.5	+4.3
2.32	0.439	1	0.455	0.033	17.0	20.0	0.486	0.04	-21	-6.4
3.05	0.018	3	0.244	0.33	26.5	27	0.242	0.36	-9	+0.8
3.09	0.362	2	0.451	0.070	27.5	28	0.451	0.072	-3	0.0
3.12	0.042	3	0.337	0.21	29.5	28	0.344	0.27	-30	-2.0
3.56	0.020	3.5	0.284	0.22	37	37.5	0.274	0.378	-72	+3.6
4.12	0.208	3.5	0.448	0.08	37	52	0.457	0.122	-53	-2.0
4.14	0.383	3	0.466	0.08	39	52	0.467	0.078	+2.5	-0.21
4.34	0.448	3	0.490	0.074	59	58	0.488	0.073	+1.4	+0.4
5.1	0.533	3.5	0.472	0.045	23	96	0.511	0.063	-40	-7.6

表 3 当 $\mu = 3$ 时确定 y'' 实验的绝对误差

μ	x'	y'	y''	$\Delta, \%$
3.14	0.007	0.092	0.32	-7
3.05	0.018	0.244①	0.33	-9
3.16	0.040	0.204	0.168	-27
3.12	0.042	0.337①	0.210	-30
3.00	0.077	0.239	0.119	-51
3.00	0.33	0.295	0.070	-80
3.09	0.362	0.451①	0.033	-3
2.92	0.45	0.300	0.020	-120

① 文献[13]的数据。

从表 3 中可以看出, 有趣的是对相同的离子强度来讲, 按 K' 平均值计算出来的 y 实验对 y'' 的误差是随水相中铀浓度的增加和有机相中酸浓度的减少而增大。表 3 中列出了 $\mu = 3$ 时的数据, 此时做的实验次数最多。

有可能生成 $\text{UO}_2(\text{NO}_3)^+$ 离子, 其稳定常数等于 $0.21^{(15)}$, 这可能在 HNO_3 浓度高时 K' 值的视减小, 以及由于 NO_3^- 离子浓度的某些降低在 $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$ 浓度高时致使 K'' 和 K_2'' 减小。

理论级数的计算

考虑两相体积改变的方程式 (17) 和 (18), 利用方程式 (12), 可以算出求给定平衡浓度所需的铀及硝酸的原始浓度。表 4 中列出了这些计算结果和实验数据, 由表中可以看出, 这些数据彼此很符合。

理论级数的计算是从下面级开始算起的。计算时由图 1 展开曲线取出 K' 值, 给出了排除溶液中的理想浓度 x' 和 x'' 及流量比 n 。表 5 和表 6 中列出了根据方程式 (12), 对各种浓度 x' , x'' 和各种 n 值算出的理论级数的计算结果。

表 5 中列出了 $x'_1 = 0.183$, $x''_1 = 2.15$ 和 $n = 3$ 时萃取塔的理论级数的计算结果。铀和酸的原始浓度分别等于 $1.26M$ 和 $2M$ 。

表 4 x' 和 y' 計算值和試驗值的比較

x' 計算	x' 實驗	y' 計算	y' 實驗	x' 計算	x' 實驗	y' 計算	y' 實驗
1	0.86	0.33	0.34	0.01	0.009	0.122	0.1
0.01	0.011	0.141	0.145	0.006	0.006	0.109	0.108
0.1	0.09	0.265	0.265	0.079	0.076	0.245	0.253
0.5	0.53	0.33	0.33				

表 5 萃取塔理論級数的計算

($x_1''=2.15M$, $n=3$; $x_1'=0.183$; $x_0'=1.26$; $x_0''=2.0$)

x'	x''	D'	D''	y' 計算	y'' 計算	y' 實驗	E	F
0.183	2.15	1.43	0.0434	0.262	0.0933	0.278	46.24	13.74
0.989	2.289	0.34	0.0091	0.336	0.021	0.335	46.38	14.79
1.21	2.04	0.28	0.0076	0.338	0.0155	0.319	46.38	14.95
1.216	2.02	0.28	0.0076	0.340	0.0153	0.344	46.38	14.95
1.216	2.02	—	—	—	—	—	—	14.95

在同一表中还列出了用0.74M的TBΦ溶液从給定的硝酸鈾酰和硝酸浓度的溶液中逆流萃取鈾及酸的实验結果。实验流程列于图2。实验条件是：原始水溶液的体积为15毫升；原始有机溶液的体积为45毫升。

萃取进行到水相中鈾和硝酸的浓度等于常数为止：

混合器1'中的 $x' \rightarrow 0.185M$ ；

混合器1'中的 $x'' \rightarrow 2.2M$ ；

混合器1³中的 $x' \rightarrow 0.183M$ ；

混合器1³中的 $x'' \rightarrow 2.15M$ 。

由表5可以看出，实验数值与計算数值的符合是令人满意的。

萃取塔的理论級数計算的結果列于表6，从塔上面加1.5M