

流线分析

(1974年流线分析会议资料选编)

原子能出版社

流线分析

(1974年流线分析会议资料选编)

《流线分析》编辑组

原子能出版社

内 容 简 介

这是1974年召开的第二次核工业流线分析会议资料的选编，共包括22篇资料。这里介绍的仪器和方法中，有些已在生产实践中应用，有些尚处于实验室考验阶段，有些处于初步探索阶段。

本选编可供从事核工业流线分析工作的工人，工程技术人员及大专院校有关专业的师生参考。

流 线 分 析

(1974年流线分析会议资料选编)

☆

原子能出版社出版

北京印刷一厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

(限国内发行)

☆

开本 $787 \times 1092^{1/16}$ • 印张 12 • 字数 288 千字

1976年8月北京第一版 • 1976年8月北京第一次印刷

印数 001—2300 • 定价: 1.20 元

统一书号: 15175 • 063 插页 2

毛主席语录

中国人民有志气，有能力，一定要在不远的将来，赶上和超过世界先进水平。

社会主义革命和社会主义建设，必须坚持群众路线，放手发动群众，大搞群众运动。

抓革命，促生产，促工作，促战备。

前 言

在毛主席革命路线指引下，在批林批孔运动推动下，通过工厂、设计院、研究所的共同努力，两年来核燃料后处理中流线分析工作取得了很好的成绩。原来的几种比较成熟的流线分析装置经过现场考验和改进后更加完善，并逐步扩大了使用范围，目前正担负着控制分析任务，及时指导工艺生产。运用这种装置，既节省了人力物力，减轻工作人员的劳动强度，又避免了放射性射线对工作人员的损伤。与取样分析相比，流线分析显示了越来越大的优越性。另一方面，新的流线分析方法和仪器的研制工作有了很大进展，体现在：

1 AF 料液铀、酸浓度的联合测定方法和仪器有了新的突破。作出了网络曲线，找出了模拟方程，改制了电磁浓度计和浮秤密度计，并设计试制了专用电子模拟运算器，组成了铀酸联合测定仪器。在中间扩大试验中，能及时准确地给出 1 AF 料液的铀和酸的浓度。

对低浓铀的流线分析进行了大量工作，原有的转盘式 α 测量装置及半导体 α 探测器得到改进。移动式 α 测量装置，经现场运行初步解决了沾污问题。1 AW 工艺溶液中低浓铀的萃取分离工作，为在干扰元素存在下铀的 α 测量创造了条件；对低浓铀的分析，试制了自动光电比色计并进行了实验室考验。此外，开展了非色散 X 荧光法测铀的探索性工作。

采用热导法测定脱硝尾气中的氢气和天平式比重计测量 TBP 百分浓度已在工程中得到应用，装置比较简单、可靠，指示迅速，对工艺生产起到一定的指导作用。

超声波测密度的方法，初步证明，用来测定 1 CU 和 1 AP 料液的铀浓度和其他料液成份的浓度是可能的，为后处理料液浓度分析提供了新的途径。

为解决废水、废渣的测量问题，研制了三台不同类型的监测装置，并试制成功了铀浓度分析仪，这有利于环境保护工作。在三废综合利用方面 γ 流线分析已应用于 Kr^{85} 生产中。

目前，流线分析采用的方法日益增多，分析项目更加广泛，流线分析装置不断完善，自动化水平也有所提高。流线分析的普遍采用，必将进一步有利于生产的发展，同时为提高生产过程的自动化提供必要的条件。

编 者
1975 年

目 录

前言

1 AF 铀及硝酸浓度联合测定的中间扩大试验	(1)
用于 1 AF 铀酸联合测定的小型电磁浓度计	(13)
DMQ-1 型专用电子模拟运算器	(27)
自动光电比色计研制小结	(34)
脱硝尾气中氢气的连续测定	(45)
TBP-煤油百分比测定仪	(53)
超声波浓度计测定 1 AP 和 1 CU 铀浓度	(60)
弱放废水连续监测装置	(72)
双道污水连续监测仪的改进	(84)
弱 β 污水连续监测仪	(91)
γ 流线分析在 Kr^{85} 生产中的应用	(103)
铀含量分析仪介绍	(111)
FH-436 G1 型流线单道谱仪	(120)

工作小结和简报

密度、电导组合法测定硝酸铀酰-硝酸溶液中铀和酸的浓度	(129)
用于 1 AF 铀酸联合测定的浮秤密度计	(137)
低浓铀的移动式 α 测量装置研制小结	(142)
用半导体探测器监测 1 AW 铀含量的实验小结	(146)
1 AW 工艺溶液中铀的萃取分离	(151)
水溶液中铀的放射源 X 荧光分析初探	(160)
测定复杂组分浆液密度的流线 γ 吸收计	(166)
部分工艺溶液浓度 (或比重) 与声速的关系	(170)
总 γ 流线监测容器的沾污和去污	(178)

1AF 铀及硝酸浓度联合测定 的中间扩大试验

朱志贤 邢月华 駱成阮 刘云海 陈桂清 陶倫常

一、引言

在核燃料后处理工厂的生产中, 为了达到净化和金属回收指标, 1AF 料液的铀及硝酸浓度是需要控制和测量的重要参数。为此, 我们对该点流线联合测定进行了研究。

考虑到 1AF 料液的组分基本上是一个含有 $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$ 和 HNO_3 的二元体系, 我们采用了二个独立的测量仪表对溶液的电导率和比重进行了测定, 且通过模拟运算器解联立方程来求得所测的铀和硝酸浓度。此种联合测定方法经中间扩大试验, 初步证明是可行的。试验结果表明: 在铀浓度为 350—550 g/l, 硝酸浓度为 0.5—1.5 N 的测量范围内, 铀和硝酸的总测量误差分别为 ± 10 g/l 和 ± 0.05 N。

此工作曾得到天津大学热工仪表教研室等单位的大力协助。

二、测量方案的确定

1. 采用电导-密度联合测定的理由

在 1AF 体系的料液中, 溶液的电导率与密度基本上与铀及硝酸浓度有一定关系, 特别是在我们所需测定的范围内, 电导率与密度均有较大的变化量, 因此可用密度-电导率联合测定法^[1-4]求得 1AF 料液中的铀及硝酸浓度。

2. 测量方案的确定

铀浓度(C_U)、硝酸浓度(C_H)、比重(d)、电导率(ρ)这四个变量可在实验室里, 先将不同浓度铀及硝酸进行组合(根据量程, 共选取了 25 种不同浓度的溶液), 然后在一定温度条件下, 对 d 、 ρ 进行准确的测定。 C_U 、 C_H 与 d 、 ρ 的对应关系, 可通过表格、绘制成网络曲线^[1-3], 或再求出它们的数学模型^[4]等方式来表示。这样就可用查表法、图解法、 $x-y$ 记录仪法^[5]和数学模型法来求得。

前面三种方法其优点是测量装置简单(不需要模拟运算器)、精度较高。但它们的缺点是应用不方便, 更不适于生产过程自动化控制, 而数学模型法弥补了以上三种方法不足, 但从整个测量装置讲, 由于加入了模拟运算器, 使测量系统复杂了, 特别是不易找到既简单又能精确模拟网络曲线的模型, 另外还要求对密度计及电导仪有 0—10 mA 标准信号的输出。为适应生产过程的流线化、自动化的要求, 我们还是选择了此方案。测量方案方框图见图 1。

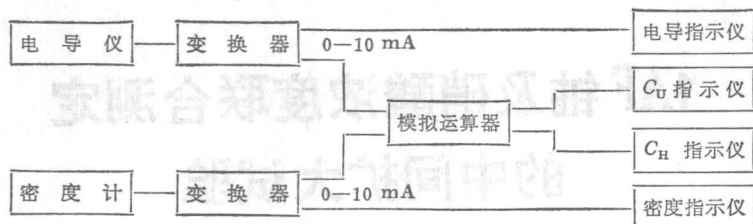


图 1 测量方案方框图

该方案的优点是比较灵活、可靠。因为：

(1) 它可以从电导仪及密度计的指示值通过网络曲线求出 C_U 、 C_H 值，从而避免模拟运算器损坏而无法工作。一旦电导仪及模拟运算器都失灵时，可从密度计指示值近似判断 C_U 值，在料液含量超出电导仪正常范围时，也可先按粗估的 C_U 值进行粗调。

(2) 在运算器正常工作时，可以直接读出 C_U 、 C_H 值，而且还可以进行比较数学模型及运算的精确程度，特别在试验阶段是更需要的。

三、网络曲线及数学模型的确定

1. 网络曲线的测定

(1) 目的 在实验室条件下，求出在不同浓度、不同温度及不含杂质(或含一定量)的情况下，铀、硝酸和电导率、密度的对应关系，以及不同浓度下溶液的温度系数，从而提供 1 AF 铀酸联合测定中的电导仪、密度计、模拟运算器所需的各种基准数据。

(2) 实验装置及实验内容 实验装置见图 2。实验内容如下：

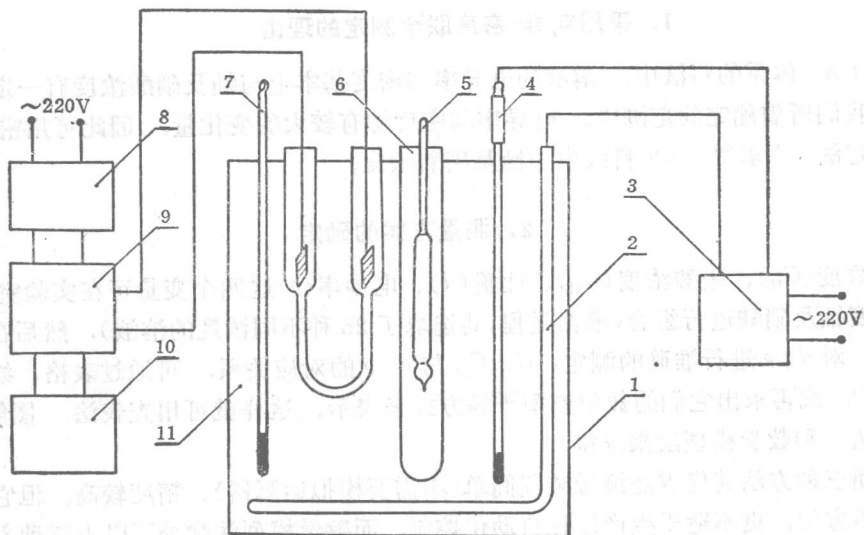


图 2 实验装置示意图

1——水浴器；2——电热丝加热器；3——恒温控制器；4——电接点水银温度计 WXG-111(0—100°C, 分度值 1°C)；5——玻璃比重计(分度值 0.0005 克/厘米³)；6——测比重瓶；7——标准水银温度计(2 级, 分度值 0.1°C)；8——音频振荡器(515 型)；9——万用电桥(4500 型, 0.5 级)；10——真空管毫伏表(GB-2)；11——玻璃电导池($K=61.25$)，其供电电压 2 V、2000 赫。

1) 配制 25 种不同铀、酸浓度溶液(见表 1), 在 $60 \pm 0.1^\circ\text{C}$ 下, 测定 C_U 、 C_H 和 d 、 ρ 对应关系, 并作出标准网络曲线。

2) 以 C_U 、 C_H 分别为 (350 g/l、1.5 N)、(450 g/l、1.0 N)、(550 g/l、0.5 N) 三种溶液从 25—70°C, 每隔 5°C, 测出 C_U 、 C_H 和 d 、 ρ 的对应关系, 从而确定溶液的温度系数。

(3) 实验结果及分析 网络曲线数据见表 1 表 2。

表 1 网 络 曲 线 数 据

序 号	C_U , g/l	C_H , N	t , °C	ρ , $\Omega^{-1} \text{ cm}^{-1}$	d , g/cm ³
1	349.90	0.509	60°C	0.2432	1.4645
2	350.14	0.816	60°C	0.2918	1.4745
3	350.93	0.993	60°C	0.3147	1.4840
4	349.80	1.195	60°C	0.3442	1.4875
5	350.69	1.517	60°C	0.3767	1.4965
6	401.63	0.501	60°C	0.2269	1.5310
7	400.80	0.798	60°C	0.2660	1.5400
8	399.66	0.993	60°C	0.2900	1.5480
9	400.68	1.187	60°C	0.3119	1.5540
10	399.74	1.457	60°C	0.3407	1.5600
11	451.54	0.490	60°C	0.2080	1.5965
12	451.54	0.799	60°C	0.2442	1.6050
13	451.38	1.000	60°C	0.2646	1.6120
14	449.13	1.165	60°C	0.2826	1.6185
15	450.38	1.457	60°C	0.3143	
16	501.62	0.495	60°C	0.1918	1.6590
17	499.97	0.800	60°C	0.2220	1.6680
18	498.81	0.989	60°C	0.2407	1.6725
19	500.76	1.183	60°C	0.2575	1.6785
20	498.48	1.497	60°C	0.2864	1.6885
21	548.56	0.507	60°C	0.1746	1.7220
22	550.21	0.818	60°C	0.2016	1.7325
23	550.05	1.002	60°C	0.2184	1.7360
24	549.38	1.197	60°C	0.2340	1.7430
25	550.75	1.500	60°C	0.2558	1.7530

从实验数据中, 可以得出:

- 1) 密度变化主要决定于铀浓度的变化, 电导率的变化主要决定于酸浓度的变化。
- 2) 1 AF 体系, 在 60°C 条件下, 密度的变化范围, $d=1.460-1.755 \text{ g/cm}^3$ 。
- 3) 溶液的密度变化其平均值约为 $0.008 \text{ g/cm}^3/10^\circ\text{C}$, 这样由于温度变化 10°C , 所造成铀浓度误差约 3.5% 左右。
- 4) 在 60°C 条件下, 电导率变化范围 $\rho=0.17-0.38 \Omega^{-1}\text{cm}^{-1}$
- 5) 从表 1、2 中知, 温度每变化 10°C , 溶液电导率变化量是不同的, 即它的温度系数是不同的, 其变化量如下:

溶 液 序 号	1	2	3
铀含量, g/l	350	450	550
酸浓度, N	0.5	1.0	1.5
温度系数 $\Omega^{-1}\text{cm}^{-1}/^\circ\text{C}$	0.00206	0.00284	0.00384

表 2 温度系数数据

序 号	$C_U, g/l$	C_H, N	$t, ^\circ C$	$\rho, \Omega^{-1} cm^{-1}$	温度系数 $\Omega^{-1} cm^{-1}/^\circ C$
1	551.21	0.498	25.3	0.1034	0.00206
			30.5	0.1142	
			37.1	0.1280	
			40.5	0.1350	
			46.3	0.1474	
			50.0	0.1558	
			55.1	0.1654	
			60.3	0.1760	
			64.9	0.1854	
			69.8	0.1949	
2	453.18	1.000	25.3	0.1639	0.00284
			30.5	0.1787	
			35.3	0.1935	
			40.0	0.2072	
			45.1	0.2217	
			50.4	0.2374	
			55.0	0.2509	
			59.9	0.2638	
			65.0	0.2776	
			70.0	0.2920	
3	351.55	1.495	25.5	0.2494	0.00384
			31.0	0.2708	
			35.1	0.2864	
			39.9	0.3053	
			45.0	0.3264	
			50.0	0.3452	
			55.2	0.3647	
			60.3	0.3837	
			65.2	0.4020	
			69.8	0.4183	

6) 电导率是温度的函数, 如果不进行温度补偿, 这时所造成误差约 15%。

7) 60°C 条件下, 标准网络曲线见图 3。

2. 数学模型的确定

(1) 对网络曲线的分析 从绘制的标准网络曲线看, 溶液的密度 d , 随着铀及酸浓度增加而增加; 溶液的电导率 ρ , 随着酸浓度增加而增加、随着铀浓度增加而下降; 等浓度铀线基本上是平行的; 等浓度酸线具有不同斜率, 即电导率增量在低浓度铀时比高浓度铀时为大。

(2) 数学模型的确立 所谓确立数学模型就是要确立铀、酸与电导率、密度的相互关系即找出 $d=f_1(C_U, C_H)$ 与 $\rho=f_2(C_U, C_H)$ 函数关系的数学表达式。

一个理想的数学模型, 应该是既准确(或在一定误差范围内), 又简单, 这样才具有真正的实用价值。

根据我们多次摸索, 找到下列数学模型可以比较好的模拟网络曲线:

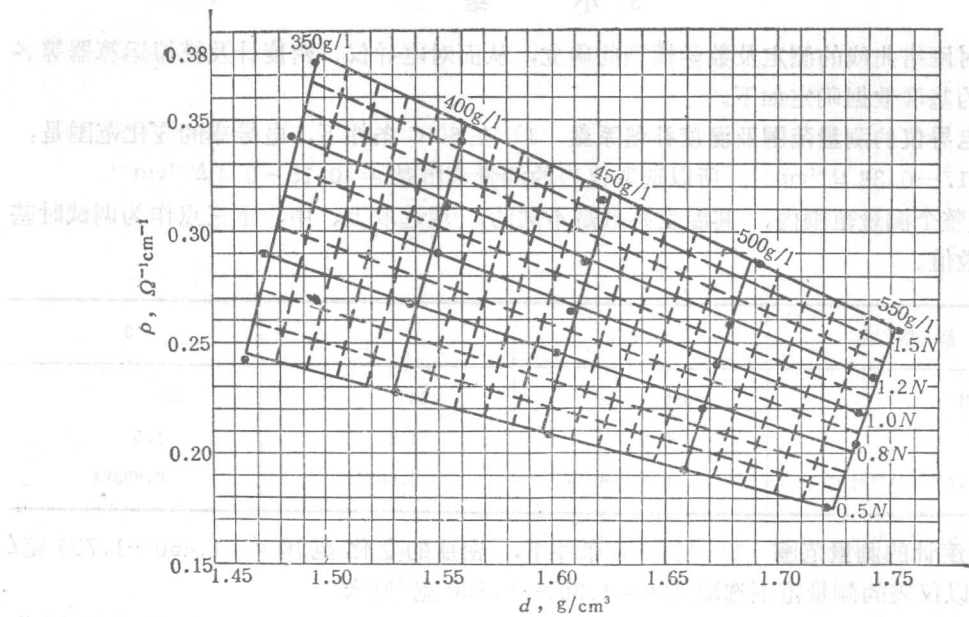


图 3 标准网络曲线 (60°C)

$$d = 0.00126 C_U + 0.0325 C_H + 1.010$$

$$\rho = -0.00026 C_U + 0.206 C_H + 0.2763 - 0.000225 C_U \cdot C_H$$

(3) 验算 用上述数学模型进行计算, 并与实验进行比较, 结果如下:
对密度 d 的验算:

序 号	$C_U, \text{g/l}$	C_H, N	$d_{\text{计}}, \text{g/cm}^3$	$d_{\text{网}}, \text{g/cm}^3$	$\Delta d, \text{g/cm}^3$	$\delta C_U, \%$
1	350	1.5	1.500	1.497	+0.003	1.5
2	350	0.5	1.464	1.465	-0.001	-0.5
3	550	1.5	1.752	1.753	-0.001	-0.5
4	550	0.5	1.719	1.722	-0.003	-1.5

从验算看, 误差 $\delta \approx 1.5\%$

对电导率 ρ 的验算:

序 号	$C_U, \text{g/l}$	C_H, N	$\rho_{\text{计}}, \Omega^{-1}\text{cm}^{-1}$	$\rho_{\text{网}}, \Omega^{-1}\text{cm}^{-1}$	$\Delta \rho, \Omega^{-1}\text{cm}^{-1}$	$\delta C_H, \%$
1	350	0.5	0.2490	0.2450	+0.0040	+2.8
2	350	1.5	0.3762	0.3790	-0.0028	-2
3	550	0.5	0.1744	0.1740	+0.0004	0
4	550	1.5	0.2567	0.2560	+0.0007	1

通过对 d, ρ 验算, 可以认为所选定数学模型基本是适用的。

3. 小 结

通过对网络曲线的测定及数学模型的确立, 从而对电导仪、密度计及模拟运算器等各部分所需的基准数据确定如下。

(1) 电导仪的测量范围及温度补偿系数 1) 在 60°C 条件下, 电导率的变化范围是:

$\rho = 0.17 - 0.38 \Omega^{-1}\text{cm}^{-1}$ 。所以选取仪表的测量范围是 $\rho = 0.15 - 0.4 \Omega^{-1}\text{cm}^{-1}$ 。

2) 在整个测量范围内, 其温度系数是不同的, 现选取上、中、下三点作为调试时基准温度系数值。

溶 液 序 号	1	2	3
铀含量, g/l	350	450	550
酸浓度, N	0.5	1.0	1.5
温度系数, $\Omega^{-1}\text{cm}^{-1}/1^{\circ}\text{C}$	0.00206	0.00284	0.00384

(2) 密度计的测量范围 1) 在 60°C 条件下, 密度的变化范围 $d = 1.460 - 1.755$ 克/厘米³, 所以仪表的测量范围选取为 $d = 1.300 - 1.800$ 克/厘米³。

2) 在整个测量范围内, 其温度系数基本是一致的, 现选取 0.00085 克/厘米³/ 1°C 作为溶液的温度系数。

(3) 模拟运算器的运算公式 其数算模型如下:

$$d = 0.00126 C_U + 0.0325 C_H + 1.010$$

$$\rho = -0.00026 C_U + 0.206 C_H + 0.2763 - 0.000225 C_U \cdot C_H$$

网络曲线和数学模型的总误差 $\delta \approx \pm 3\%$ 。

四、测 量 装 置

铀、酸联合测定的测量装置由三部分组成, 即电磁浓度计、浮秤密度计及模拟运算器。关于这三部分的详细说明见本汇编第 13, 137, 及 27 页。

五、中间扩大试验及改进意见

1. 目 的

在接近现场运行条件下, 用模拟工程上的调料过程, 确定用联合测定法来测量 1 AF 料液中铀及硝酸浓度是否可行, 并确定测量误差, 同时对电磁浓度计、浮秤密度计及模拟运算器的性能进行考核。

2. 模拟运算器系数调整及运算误差确定

(1) 把电磁浓度计、浮秤密度计与模拟运算器进行配套试验, 以决定它们之间是否能达到联合运算的要求。

(2) 把电磁浓度计及浮秤密度计的 $0-10\text{ mA}$ 输出, 分别在需调试点上调到要求值,

并输入到模拟运算器上,然后在下列四个点上反复调试运算器的系数。

$C_U, \text{g/l}$	350	350	550	550
C_H, N	0.5	1.5	0.5	1.5

(3) 系数调试完毕后,测定与网络曲线实验中所选的相同的 25 个点,分别测出模拟机的读数 C_U 、 C_H 两值与网络曲线对应的 C_U 、 C_H 两值相比较,从而决定模拟运算器的运算误差。

3. 试 验 内 容

(1) 整套装置在联合测定中的性能考核及测量误差的确定 在 $60 \pm 10^\circ\text{C}$ 范围内,分别测定下列三组料液内的 C_U 、 C_H 值,由于这三组料液浓度所处位置,基本上是在网络曲线的上、中、下三部分,测定出这三组值的误差,基本上就可作为整套装置在所要求的测量范围内的测量误差。

三组料液的浓度值如下:

序 号	第一组溶液		第二组溶液		第三组溶液	
	$C_U, \text{g/l}$	C_H, N	$C_U, \text{g/l}$	C_H, N	$C_U, \text{g/l}$	C_H, N
1	550	0.7	550	1.0	550	1.3
2	500	0.7	500	1.0	500	1.3
3	450	0.7	450	1.0	450	1.3
4	400	0.7	400	1.0	400	1.3
5	350	0.7	350	1.0	350	1.3

试验程序是先做第一组,然后蒸发浓缩后再做第二组,依次下去,对于每一组的试验程序是,先把浓缩料液调试到序号 1 这点的浓度附近,再每次分别加入 5000 ml 0.7 N 的 HNO_3 溶液即得到序号 2 这点相近的浓度值,依次下去逐点进行测定。

(2) 调料过程的模拟及误差测定 调料过程的模拟及调料终点处 C_U 、 C_H 两值的测定是 1 AF 联合测定最根本的目的,所以必须进行模拟调料试验。

一般工程上的调料过程是从低酸高铀开始。因此对调料过程的模拟是先把料液浓缩,达到要求值以后,从 $C_U \approx 550 \text{ g/l}$, $C_H \approx 0.5 N$, 开始逐点调料。

调料方法是加入 15N HNO_3 进行调酸浓度,加入蒸馏水进行调铀浓度。

分别测定下列四个点的值,作为模拟调料过程

$C_U, \text{g/l}$	550	500	450	428
C_H, N	0.6	0.7	0.8	0.95

试验过程共 2 次。

4. 试验装置及操作程序

装置见中间扩大试验流程图

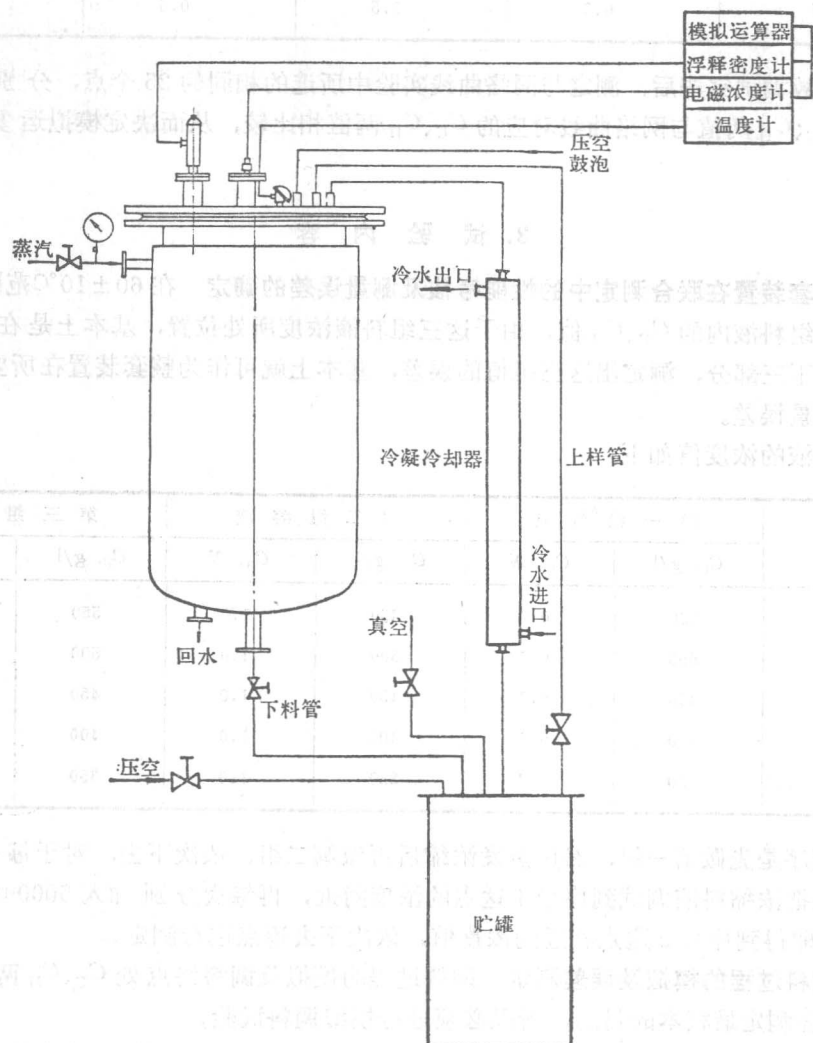


图 4 中间扩大试验流程图

操作程序如下:

- (1) 在调料槽内注入 50 升料液, 其 $C_0 \approx 550 \text{ g/l}$, $C_H \approx 0.5 \text{ N}$ 。
- (2) 用蒸气加热至 60°C 左右 (用铂电阻温度计测量设备内温度), 然后停止加热。
- (3) 打开压空, 进行搅拌, 约 5 分钟后, 停止搅拌。
- (4) 从电磁浓度计、浮秤密度计及模拟运算器上分别读出 ρ 、 d 、 C_0 、 C_H 四值。
- (5) 然后进行取样, 同时用玻璃比重计及水银温度计测出标准比重值 d 及温度 t , 把样品送至分析室进行人工分析, 并同时标准电导率的测定。
- (6) 根据下次所需调料点, 加入一定量的蒸馏水和 15 N 浓硝酸, 然后进行第 2 点测

定, 程序同上。

5. 试验数据及讨论

试验数据及误差计算见表 3。

对试验结果讨论如下:

(1) 电磁浓度计、浮秤密度计及模拟运算器三部分, 很顺利地达到了配套运算, 这说明电磁浓度计、浮秤密度计的 0—10 mA 输出部分及模拟运算器本身, 性能良好。

(2) 对模拟运算器系数进行调试后, 测定了它的运算精度, 在整个测量范围内其结果如下:

它本身最大运算误差: 铀 $\pm 3 \text{ g/l}$

酸 $\pm 0.03 N$

在铀浓度为 428 g/l, 酸浓度为 0.95 N 附近时, 铀误差为 0.5 g/l, 酸误差为 0.005 N。

所以模拟运算器运算误差基本上满足联合测定要求, 对于在整个测量范围内各点运算误差大小, 可见本汇编 31 页

(3) 从四组不同铀酸浓度下的 C_U 、 C_H 值的测定结果 (见表 3 序号 1—20) 看:

1) 整套装置测铀浓度误差

Δ_{2U} (即网络曲线与模拟机之间误差), 其误差分布情况: 误差在 3 g/l 以下共 6 点;

误差在 3—8 g/l 共 11 点;

误差在 8—9.5 g/l 共 2 点。

最大误差是 $\pm 9.5 \text{ g/l}$ 。

Δ_{3U} (即分析值与模拟机之间误差), 其误差分布情况: 误差在 3 g/l 以下共 6 点;

误差在 3—8 g/l 间共 7 点;

误差在 8—10.6 g/l 共 6 点。

最大误差是 10.6 g/l。

从以上分析比较, 整套装置对铀测量误差 $\Delta_U = \pm 10 \text{ g/l}$ 。

2) 测酸浓度误差

Δ_{2H} (即网络曲线值与模拟运算器读数之间误差), 其误差分布情况: 误差在 0.01 N 以下, 共 6 点;

误差在 0.01—0.04 N 间共 11 点;

误差在 0.04—0.05 N 间共 2 点。

最大误差是 0.05 N。

Δ_{3H} (即分析值与模拟机之间误差), 其误差分布情况: 误差在 0.01 N 以下, 共 5 点;

误差在 0.01—0.04 N 间, 共 11 点;

误差在 0.04—0.05 N 间, 共 2 点。

最大误差是 0.05 N。

从以上分析比较, 整套装置对酸测量误差 $\Delta_H = \pm 0.05 N$ 。

(4) 调料过程的误差

1) 试验数据见表 3 序号 21—29, 共试验 2 次。

表 3 试验数据及误差计算表

序 号	温度, °C	比重值, g/cm ³		电导率, $\Omega^{-1}\text{cm}^{-1}$		模拟机读数		分 析 值		网络曲线读数		铀浓度绝对误差, g/l		酸浓度绝对误差, N	
		浮称密度计	玻璃比重计	电磁浓度计	平板电极	C_U , g/l	C_H , N	C_U' , g/l	C_H' , N	C_U'' , g/l	C_H'' , N	Δ_{IU}	Δ_{SU}	$C_H' - C_H''$	Δ_{2H}
	t	d_1	d_2	ρ_1	ρ_2	C_U , g/l	C_H , N	C_U' , g/l	C_H' , N	C_U'' , g/l	C_H'' , N	Δ_{IU}	Δ_{SU}	$C_H' - C_H''$	Δ_{2H}
1	61	1.726	1.721	0.193	0.1963	545.6	0.711	545.90	0.718	544	0.715	+1.9	-1.6	0.003	0.004
2	54	1.671	1.664	0.213	0.2150	501.6	0.723	499.14	0.715	497	0.715	+1.4	-4.6	0	-0.003
3	60	1.610	1.611	0.228	0.2312	455.4	0.678	459.14	0.726	456	0.720	+3.1	+0.6	0.006	0.042
4	66	1.558	1.560	0.243	0.2472	415.8	0.684	426.42	0.721	423	0.730	+3.4	+7.2	-0.010	0.046
5	59	1.518	1.531	0.253	0.2563	385.0	0.681	390.50	0.721	394	0.715	-3.5	+9.0	0.006	0.034
6	57	1.479	1.498	0.265	0.2655	354.2	0.666	367.58	0.704	370	0.705	-2.4	—	0	—
7	53	1.710	1.711	0.220	0.2240	533.5	0.981	529.29	0.970	527	0.965	+2.3	-6.5	-0.015	-0.026
8	56	1.645	1.647	0.244	0.2467	477.4	0.984	482.71	0.973	480	0.960	+2.7	+2.6	0.013	-0.024
9	54	1.592	1.599	0.265	0.2680	435.6	1.014	444.34	0.976	439	0.970	+5.3	+3.4	0.006	-0.031
10	56	1.553	1.559	0.283	0.2831	402.6	1.002	410.50	0.976	409	0.980	+1.5	+6.4	-0.004	-0.022
11	53	1.513	1.523	0.300	0.2963	374.0	1.008	382.59	0.962	379	0.975	+3.6	+5.0	-0.013	-0.033
12	55	1.478	1.488	0.312	0.3080	354.4	0.987	360.64	0.948	355	0.960	+6.1	0	-0.012	-0.027
13	56	1.728	1.733	0.248	0.2490	533.5	1.350	544.10	1.325	539	1.320	+6.1	+5.5	-0.005	-0.030
14	58	1.679	1.669	0.272	0.2760	495.0	1.305	495.64	1.325	490	1.310	+5.1	-4.5	0.015	0.005
15	56	1.624	1.622	0.300	0.2995	451.0	1.314	453.20	1.330	451	1.325	+2.2	0	0.015	0.011
16	57	1.575	1.579	0.321	0.3195	412.6	1.311	422.78	1.314	418	1.310	+4.8	+5.4	0.004	0
17	55	1.538	1.546	0.337	0.3341	383.9	1.311	393.20	1.303	390	1.300	+3.2	+6.1	0.003	-0.011
18	54	1.519	1.527	0.345	0.3411	369.6	1.311	378.49	—	377	1.320	+1.5	+0.4	—	0.009
19	53	1.726	1.712	0.240	0.2422	533.5	1.161	526.40	1.130	523	1.145	+3.4	-9.5	-0.015	-0.016
20	52	1.663	1.656	0.253	0.2543	486.5	1.041	483.60	1.040	480	1.035	+3.6	-6.2	0.005	-0.006
21	67	1.706	1.697	0.188	0.1906	536.8	0.564	542.00	0.611	533	0.610	+9.0	-3.8	0.001	0.004
22	56	1.658	1.657	0.209	0.2108	495.0	0.645	493.06	0.622	494	0.665	-1.0	-1.0	-0.043	0.023
23	53	1.628	1.528	0.225	0.2212	469.7	0.690	470.05	0.640	468	0.665	+2.0	-1.7	-0.025	-0.050
24	58	1.584	1.586	0.254	0.2580	429.0	0.915	435.35	0.870	434	0.865	+1.0	+5.0	0.015	-0.005
25	54	1.583	1.588	0.268	0.2665	429.0	0.924	434.90	0.893	431	0.925	+3.9	+2	-0.032	0
26	61	1.720	1.717	0.195	0.1951	542.3	0.714	544.89	0.743	541	0.700	+3.9	-1.3	0.043	-0.014
27	60	1.651	1.650	0.228	0.2286	485.1	0.798	490.55	0.828	486	0.805	+3.4	+0.9	0.007	0.007
28	61	1.605	1.607	0.258	0.2571	445.1	0.906	452.20	0.948	450	0.920	+2.2	+4.5	0.028	0.014
29	58	1.578	1.584	0.275	0.2729	423.5	0.963	431.79	0.997	429	0.970	+2.8	+5.5	0.027	0.007

2) 从试验结果的数据看, 模拟调料过程误差:

铀浓度误差

序 号	1	2
最终调料点 C_U , g/l	429	423
分析值 C_U' , g/l	434.9	431
网络曲线 C_U^e , g/l	431	429
Δ_{2U} , g/l	2	5.5
Δ_{3U} , g/l	6	8.3

所以调料点误差值在 $\Delta = \pm 10$ g/l 以内。

酸浓度误差

序 号	1	2
最终调料点 C_H , N	0.924	0.963
分析值 C_H' , N	0.893	0.997
网络曲线 C_H^e , N	0.925	0.97
Δ_{2H} , N	0	0.031
Δ_{3H} , N	0.007	0.034

所以调料点误差在 $\Delta = \pm 0.05$ N 以内。

从数据表中可知, 在整个调料过程中其它各点, 不论是铀还是酸, 其误差大多在要求范围内。

从而可得到:

整套装置对铀的测量误差 $\Delta_U = \pm 10$ g/l;

整套装置对酸的测量误差 $\Delta_H = \pm 0.05$ N。

6. 结 论

- (1) 联合测定法是解决多成分浓度测量的比较有效方法之一。
- (2) 用联合测定法中, 电导率-密度法来测定 1 AF 料液中的铀及硝酸是比较合理的。
- (3) 经试验, 1 AF 铀、酸联合测定整套装置的测量误差为铀: ± 10 g/l, 酸: ± 0.05 N, 而调料的误差仍在上述误差范围之内。

(4) 用联合测定法从原理上讲, 也可解决工程上的溶解器、蒸发器, 2 AF、2 DF 等点的铀酸或钼酸的测量。

(5) 由于 1 AF 铀、酸联合测定装置已基本解决了测量装置及数学模型, 所以可以和控制计算机相配。

7. 改 进 意 见

- (1) 调料过程的温度是 $60 \pm 10^\circ\text{C}$, 所以要达到理想测量, 必须对电导率及密度两值进