

CN 330409

CNIC-0864

BFCM-0008



CHINA NUCLEAR

PLA 型锆自动分析仪的研制

A NEW AUTOMATIC ANALYZER
FOR URANIUM DETERMINATION

(In Chinese)



原子能出版社

中国核工业信息中心

China Nuclear Information Centre



夏步云：核工业北京化工冶金研究院高级工程师，1964年毕业于四川大学化学系。

Xia Buyun, Senior engineer of Beijing Research Institute of Chemical Engineering and Metallurgy, CNNC. Graduated from the Chemical Department of Sichuan University in 1964.

CNIC-00644

BICM-0006

FIA- I 型铀自动分析仪的研制

夏步云 朱耀坤 王彬
丛培元 张岚

(核工业北京化工冶金研究院)

摘 要

叙述了一个智能化的流动注射式铀自动分析仪。铀含量为 0.02~500 mg/L 的液体试样,可以不经任何预处理,直接进行测定。仪器的流路系统具有一个对铀有特效富集能力的萃取色层柱,对痕量铀进行浓集和分离,使仪器能适用于各类复杂试样中痕量铀的测定。它采用 Br-PADAP 作显色剂,加入阳离子表面活性剂十六烷基吡啶在水相介质中测定铀。试样分析速度为 30~90 样次/h,测定结果的相对标准偏差为 1%~2%。经工厂和实验室实际应用考核,取得了满意结果。新设计的多功能自动注入阀具有自动更换试样注入体积和多位路切换功能,可以方便地改变测定的范围和项目,能进行多种方式的流动注射分析操作,从而它也可以进行其它物质的流动注射自动分析,具有通用仪器的功能。

A NEW AUTOMATIC ANALYZER FOR URANIUM DETERMINATION

(In Chinese)

Xia Buyun Zhu Yaokun Wang Bin

Cong Peiyan Zhang Lan

(BEIJING RESEARCH INSTITUTE OF CHEMICAL
ENGINEERING AND METALLURGY, CNNC)

ABSTRACT

An intellectualized automatic analyzer for uranium based on the principle of flow injection analysis (FIA) has been developed. It can directly determine the uranium solution in range of 0.02~500 mg/L. Without any pre-process. A chromatographic column with extractant, which has special ability to enrich uranium, is connected to the manifold of the analyzer. In which the trace uranium is concentrated and separated. The analyzer is suited for trace uranium determination in various samples. The 2-(5-bromo-2-pyridylazo)-5-diethyl-aminophenol (Br-PADAP) is used as color reagent. Uranium is determined in aqueous solution by adding cation surfactant, cetyl-pyridinium bromide (PCB). The rate of analysis is 30 to 90 samples per hour. The relative standard deviation of determination is 1%~2%. The analyzer has been used in factories and laboratory, and the results are satisfied. The determination range can easily be changed by using a multi-function auto-injection valve that changes the injection volume of the sample and channels. So, it could adopt various FIA operation modes to meet the needs of FIA determination for other substance. The analyzer has universal functions.

引言

铀工业中各类物料的铀含量,是极其重要的控制参数。它与产品质量、经济效益、生产安全、环境保护均有着直接的关系。因此,在铀工厂中及时准确地对铀进行测定一直是一项令人关注的事。为此,人们对铀的在线检测和自动分析均做了不少工作^[1-6]。自从流动注射分析技术(FIA)提出以来,铀自动分析方法的研究即开始采用这一新的技术。在线萃取分离、富集和在线还原的方法已有报道^[7-9]。但采用这一原理又能很好适应各类试样分析测定的铀自动分析设备的研制,尚未见报道。

本文根据我们近年来对铀的流动注射分析方法的研究^[10,11],研制了一种测定铀的自动分析仪器,通过新设计的可以自动改变注入试样体积的自动注入阀,自动切换量程,可满足 0.02~500 mg/L 浓度范围各类试样铀的测定。仪器采用一种特效的萃取色层分离柱,实现了铀的在线分离富集。它在测定范围、灵敏度、精密性、分析速度和流路的简单化等方面均优于目前文献报道的指标。仪器在实验室及工厂进行了近半年的现场考核。测定结果正确,分析速度快,适应性强,工作可靠,受到了分析人员的欢迎。它的研制成功,对核工业部门铀分析技术的提高起到了积极的作用。

1 铀的流动注射分析方法

目前报道的铀的流动注射分析方法^[7,9],其测定范围多在 mg/L 范围内,因此尚不能很好适应铀工厂中一些浓度更高或浓度更低试样的直接测定。本工作制定了一个采用同一试剂和管路条件能直接测定试样中浓度范围为 0.02~500 mg/L 铀的方法。

1.1 试剂的配制

(1)载流 C: 含 0.8% 氟化钠(NaF)和 0.5% 环己烷二胺四乙酸(CYDTA)水溶液。

(2)混合显色液 R: 取 0.05% 溴代吡啶偶氮二乙胺基苯酚(Br-PADAP)乙醇溶液 37.5 mL,加入 25 mL 4% 十六烷基吡啶(CPB)乙醇溶液,70 mL 10% CYDTA 水溶液,125 mL 27% 三乙醇胺缓冲液(pH=8.0)混合均匀。

(3)铀标准溶液: 用常规方法配制。

1.2 方法的流程图

方法采用 Br-PADAP 作为铀的显色剂,加入表面活性剂 CPB 在 pH≈8.0 的三乙醇胺水相介质中进行测定。载流中加入氟化钠和 CYDTA 掩蔽可能存在的干扰。为了采用相同试剂和相同管路参数完成不同含量试样的测定,设计了下述的流动注射流程图(图 1),它通过一个专门设计的、可以自动变换注入试样体积的阀来改变测定范围。当注入试样体积为 3 μL 时,铀的测定范围为 30~500 mg/L;当注入试样体积为 30 μL 时,铀的测定范围为 2~30 mg/L;铀的分析速度为 90 样次/h。测定更低浓度试样时,将一个对铀有特效富集能力的微型萃取色谱柱切换至取样位置,采用计时取样的方法,使一定量的试样,通过色层柱进行富集。然后切换至载流位置,用载流淋洗进行测定,改变取样时间可以测定不同浓度范围痕量铀。当取样时间为 60 s 时,测定下限可达 0.020 mg/L 铀,淋洗时间为 60 s,因此可以在 2

min 内完成一次测定。为了加快反应速度,反应混合螺旋管通过恒温加热器加热至 45℃,提高反应温度;载流使用前也应加热至 45~50℃,并贮存在能保温的容器中。预热载流的另一个目的是除去溶解在溶液中的气体,以避免其进入系统中加热后释出。

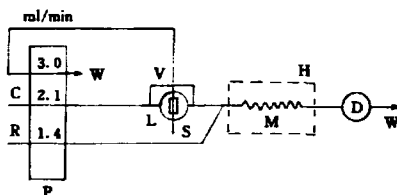


图 1 铀测定的流路图

P: 蠕动泵; C: 载流; R: 混合显色液; H: 恒温加热器, 45℃; M: 混合螺旋管, $\phi 0.5 \text{ mm} \times 200 \text{ cm}$; V: 自动注入阀; L: 色谱柱或取样环; S: 试样; W: 废弃液; D: 光度检测器。

1.3 不同浓度铀测定的工作曲线

表 1 30~500 mg/L 铀的测定

铀浓度(mg/L)	30	50	100	300	500
峰吸光度	0.052	0.085	0.171	0.497	0.798

工作曲线的线性相关系数为: 0.9998。试样注入量为 3 μL , 分析速度为 90 样次/h。

表 2 2~30 mg/L 铀的测定

铀浓度(mg/L)	2.0	5.0	10	20	30
峰吸光度	0.053	0.126	0.247	0.473	0.683

工作曲线的线性相关系数为: 0.9996, 试样注入量为 30 μL , 分析速度为 90 样次/h。

痕量铀采用在线富集的方法进行测定。控制不同的富集时间, 可以适应不同浓度范围铀的测定。当试样流量在 3.0 mL/min、富集时间为 60 s 时, 测定范围为 0.02~1.0 mg/L, 线性相关系数为 0.9999(见表 3)。

表 3 0.02~1.0 mg/L 铀的测定

铀浓度(mg/L)	0.02	0.05	0.10	0.20	0.5	1.0
峰吸光度	0.013	0.027	0.059	0.122	0.310	0.621

试样流量在 3.0 mL/min、富集时间为 30 s 时, 测定范围为 0.2~2.0 mg/L, 线性相关系数为: 0.9999(见表 4)。

表4 0.2~2.0 mg/L 铀的测定

铀浓度(mg/L)	0.2	0.5	1.0	2.0
峰吸光度	0.055	0.148	0.298	0.599

2 FIA- I 型铀自动分析仪

已经有几种流动注射分析仪在市场出售,为了适应测定范围和分析项目的变化,需要改变流路参数,得到不同分散度。本实验提出采用自动改变试样注入体积这一新的设计思想,设计研制了一种可以在大范围内自动改变管路分散度和自动完成流动注射多种柱操作技术的全自动流动注射分析仪。它既能很好地满足宽浓度范围铀的测定,也可以在不需要重新对管道进行组装的情况下,适应多种项目的测定,从而大大方便了仪器的测定操作。使仪器具有这一特性而新设计的多功能自动注入阀与通常流动注射分析所采用的阀不同,它不仅可以完成微小体积及大体积试样注入的自动切换,而且还具有多位路自动切换功能,因此为流动注射分析新方法的开发提供了条件。仪器在单片微机系统控制下,实现了智能化操作。

2.1 流动注射流路系统

仪器的流路系统由蠕动泵、多功能自动注入阀、反应管、色层柱、恒温加热器等部分组成。

2.1.1 蠕动泵

它是由一个固定转速的电动机驱动一个八滚柱的转筒和两条不锈钢压带组成。富于弹性的硅橡胶泵管在转筒和压带的挤压下,促使溶液进入流路系统。泵可以同时输送多至4路不同流量的液体。采用不同内径的硅橡胶泵管可以改变流量(见表5)。泵的流量范围为0.8~3.0 mL/min。流量变化2 h内小于1%,泵管使用寿命在200 h以上。在计算机控制下,泵可以根据测定的要求自动启动和停止。

表5 泵管内径与流量的关系

泵管内径(mm)	0.8	1.0	1.3	1.5	1.8	2.0
流量(mL/min)	0.8	1.0	1.4	1.8	2.1	3.0

2.1.2 多功能自动注入阀

该阀由阀体、定位机构、驱动电路和驱动电机等部分组成。阀体的上下定子有8个通道,可分别与管路连接,阀体的转子上有6个不同体积的取样孔和两个取样环,在进行试样注入体积选择时,计算机根据键入指令,将选定的取样孔或环转动至试样流路上,自动完成阀注入体积的自动切换选择。进行注入操作时,阀转子的取样孔或环将切换至载流流路上,完成试样注入操作。并在规定时间内返回到试样流路,以便重新进样。阀在计算机控制下,可以进行正、反向转动,也可以进行多转角位的转动,配合8个通道管路的的不同连接方法,可以进行合并带采样,区域采样、时间采样,试剂—试样—试剂或试样—试剂—试样、双注样等多种

方式的采样。另外还可以利用阀的特殊结构进行单泵的间歇操作和准确的停流操作。在注入阀的转子上,连接一个微型色层柱,利用阀的多转角转动的功能,可使仪器完成复杂的色层柱操作,如吸附—淋洗—再生操作,吸附—一次淋洗—二次淋洗—再生操作等,这一特有的功能为建立高效分离富集及多组分联合测定方法提供了可能。

注入阀的小体积取样量分为 3、6、8、12、17 μL ,大体积取样量由两个环确定,它们可以根据需要,在 25~250 μL 间选定。10 次注入体积的相对标准偏差小于 1%。

2.1.3 色层柱、反应管路及恒温加热器

设计了一个 U 型微型色层柱,柱内填入对轴有特效富集能力的树脂,直接连接到注入阀的转子上进行工作。这一结构方式,大大降低了操作的死体积,从而可以在轴富集后,直接进行淋洗操作。

混合反应管为 $\Phi 0.5 \text{ mm}$ 的聚四氟乙烯管,需要加热时可以盘绕在恒温加热柱上。分析管路通过一个管路组合块连接成一个完整的系统。组合块上有两个三通、一个四通连接器,因此可以进行多种形式管路的组合连接。

恒温加热器由加热柱、加热元件、温度传感器、控温电路、测温电路等部件组成。它可以使混合反应管和流通比色池保持一个恒定的工作温度。加热温度可在室温至 45 $^{\circ}\text{C}$ 内调整,恒温精度为 $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$,通过测温电路,计算机可以显示恒温加热器的温度值。

2. 仪器的微机系统

2.2.1 微机硬件结构

仪器使用了一个 8031 单片机扩展系统,其主要结构见图 2。微机程序固化在 8 k 的 EPROM(2764)中,一片 2k 的 RAM(6116)用来存贮中间数据和测量结果数据。8031 的 P1 口用作阀和泵的控制。显示器和键盘通过锁存器联接在总线上,8155 作为驱动 TP μ P-16B 打印机使用。A/D 转换器 MC14433 将光电管经前置放大器送来的模拟电压转换成 3.5 位十进制数字信号,由 8031 采用中断方式读取,其采样周期为 5 次/s。计算机计算出吸光度值,由 0832D/A 转换成相应的模拟信号,供记录仪使用。

比色恒温装置中放置一只集成温度传感器 AD590,它具有 1 $\mu\text{A}/\text{k}$ 的良好线性电流输出,在负载电阻上形成的电压信号可直接输到 MC14433 进行 A/D 转换。测温精度为 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 。

2.2.2 微机的软件设计

仪器工作软件的总流程图见图 3。

按照流动注射分析的一般过程,先求得标准曲线,然后进行样品测定。由于测定结果取自注射峰与基线吸光度的差,故仪器开机后安排了“基线确定程序”,当空白试剂流经光度检测器时,仪器显示的是基线吸光度值,按下运行键,仪器将此值记忆,供以后运算时用。在“基线确定”这一阶段,按动 I、I 键,可使注入阀正、反转 45 $^{\circ}$,用于检查阀动作或手工测试样品用。拨动一个温度显示开关时,可使显示器显示恒温器的温度值。仪器可供程控的参数有四个:取样量选择,分析自动结束时间,注入阀正反转间隔时间,标样重复测定次数。这些均可在“参数设定”阶段按动数字键任意设定。一般比色方法可以不必每次标定,故仪器设计有“是否要标定”的提问,按下数字键 0,表示不标定,仪器进入图 3A 流程,这时键入截距 A 和斜率 B 值,就可进入“样品测定”。按数字键 1,表示需要标定,仪器进入图 3B 的流程。这时

可通过数字键键入标样浓度,按设定的次数进行该标样的吸光度值测定。一个或多个标样测定完毕,仪器自动进行线性或非线性回归。打印出截距 A 、斜率 B 、线性相关系数 R 值。然后显示“标定认可否”的提示符,操作者可根据标定时历次测定的吸光度值及相关系数 R 值,判定标样测定是否满意。若不够理想,可按下复位键重新测定某一点或几点标样的吸光度值。这一功能极大地方便了操作者。在“样品测定”阶段,测定一个样品后,显示和打印该样品的浓度和编号。为方便探索性试验,提供了打印样品测定全过程吸光度变化曲线的功能。另外,还设置了“查阅数据”程序。在不使用打印机时,可通过按键和显示器,查阅各种参数 (A 、 B 、 R 值)、基线吸光度和所有被测样品的浓度值。在“样品测定”阶段,测定多个样品后,还可重新测定基线,用新的基线值取代原有基线值参加运算,提高测量精度。

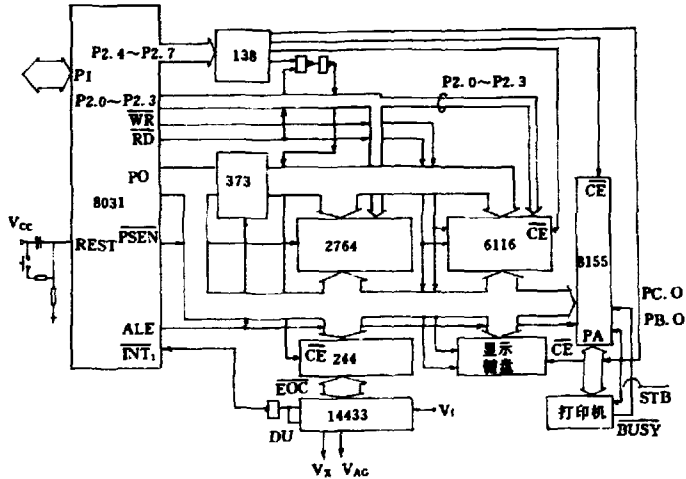


图2 微机系统硬件结构图

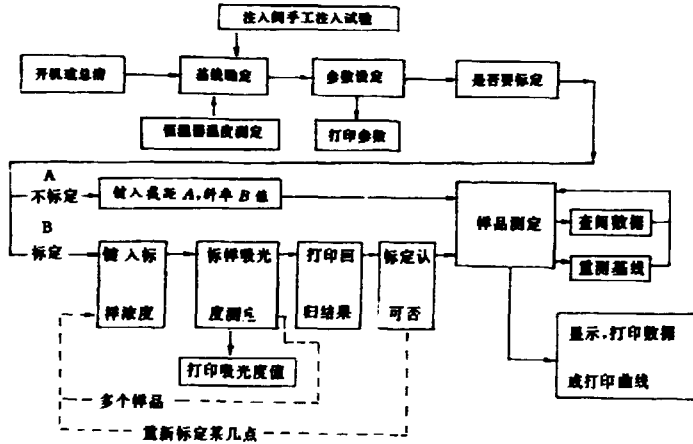


图3 仪器工作软件的总流程图

仪器软件编制的一个特色是,使用的功能键数量少。在通常的操作中,只用两只功能键(运行、复位键)即可进行工作。这大大方便了使用者,防止错误操作。

软件还包含一些自检子程序,当开机或总清后,首先对 EPROM 中固化的全部软件进行检查。测定前对仪器有无漏液,恒温器是否超温度和光度计电源进行检查。如有差错,就会出现出错提示符和报警声响。

2.3 光度检测器

光度检测器(图4)是由光源、透镜、流动池、滤光片、光电管和前置放大器组成。采用单接收元件——单光路结构。

光源使用了一种高稳定性的溴钨灯,它色温高,发光强,寿命长。测定的波长范围可扩展到 340~800 nm 间。单色元件为高性能的三胍介质膜窄带干涉滤光片。它具有良好的单色性,在光路上保证了检测器在宽的吸光度测定范围与溶液浓度呈线性关系。轴采用中心透过波长为 581 nm 的滤光片测定。为使仪器能适应其它物质的测定,还配备了 405、480、500、545、620 nm 5 种不同透过波长的滤光片,它们可基本满足在可见光区比色测定的需要。6 片滤光片安装在一个轮盘上,变换时,只需拨动轮盘,将适宜波长的滤光片置于光路上。

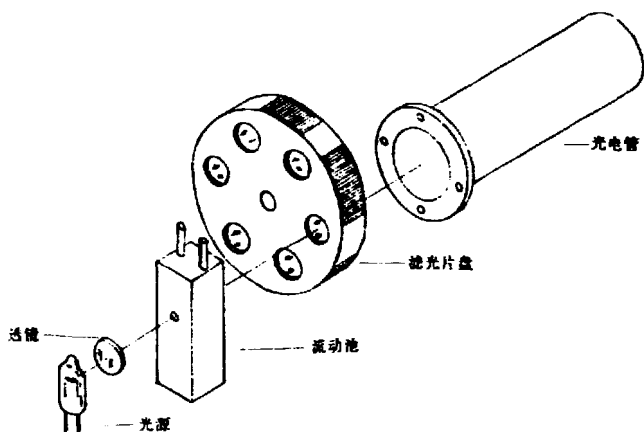


图4 光度检测器

光电管具有端窗式钠钾铯光阴极。光谱响应范围为 300~850 nm。

流动比色池的通光孔径为 $\Phi 2.0$ mm, 光路长为 1 cm, 体积为 31 μ L。它放置在一个恒温加热块中, 可以固定在某一温度下工作, 这为一些需要加热提高温度和动力学测定方法提供了方便。按照国家计量检定规程 JJG178-81 可见光分光光度计检定规程和 JJG375-85 单光束紫外可见分光光度计检定规程对光度检测器进行了测试, 其结果如下:

(1) 吸光度稳定性的测定

A 电源电压变化对吸光度的影响: 在 198~242 V 范围内改变电源电压, 吸光度值没有变化。

B 吸光度的漂移量: 开启仪器预热 45 min 后, 插入干燥的流通池, 将仪器的吸光度设置在 0.050 处, 连续记录吸光度变化值, 仪器吸光度漂移值每小时小于 0.002 (见表 6)。

表 6 吸光度漂移值测定

时 间	8:30	9:00	9:30	10:00	10:30
吸光度	0.050	0.050	0.052	0.053	0.054

(2) 吸光度测定的准确度

用一组标准中性滤光片测定了它们的吸光度值, 并与标准值 (由中国计量科学院标定) 进行比较, 结果见表 7。

表 7 吸光度的准确度

波长 (nm)	吸光度值		吸光度差值 ΔA	透射率差值 $\Delta T\%$
	本仪器	标准值		
405	0.339	0.334	+0.005	-0.53
	0.405	0.404	+0.001	-0.07
	0.823	0.820	+0.003	-0.10
	0.976	0.972	+0.004	-0.09
400	0.304	0.302	+0.002	-0.23
	0.444	0.446	-0.002	+0.17
	0.709	0.754	-0.005	+0.20
	0.894	0.893	+0.001	<-0.1
500	0.311	0.314	-0.003	+0.3
	0.454	0.457	-0.003	+0.2
	0.764	0.772	-0.006	+0.3
	0.913	0.915	-0.002	<+0.1
545	0.316	0.317	-0.001	<+0.1
	0.452	0.453	-0.001	<+0.1
	0.766	0.772	-0.006	+0.3
	0.910	0.909	+0.001	<-0.1
581	0.335	0.334	+0.001	<-0.1
	0.472	0.472	0	0
	0.804	0.808	-0.004	+0.2
	0.948	0.946	+0.002	<-0.1
620	0.352	0.351	+0.001	<-0.1
	0.474	0.474	0	0
	0.823	0.827	-0.004	+0.2
	0.948	0.949	-0.001	<+0.1

测定结果表明,吸光度检测器的主要性能均优于规程要求。

2.4 仪器的电子学电路

2.4.1 仪器电源电路

为保证仪器工作电源的稳定性及可靠性,稳压电路均采用集成三端稳压块电路,它的电压调整率、温漂的指标保证了仪器稳定性的要求。

集成三端稳压电源本身提供了过热、过流保护。仪器在电路设计上提供了输入端欠压保护。

2.4.2 恒温加热电路

恒温加热器采用镍铬线绕制的小型电热芯作为加热元件。控温功率器件使用功率 V-MOS 管,它具有输入阻抗高、工作灵敏、可靠、线路简单等特点。

由热敏电阻等构成的测温电桥与运放组成温控电路,其原理图如下(见图 5):

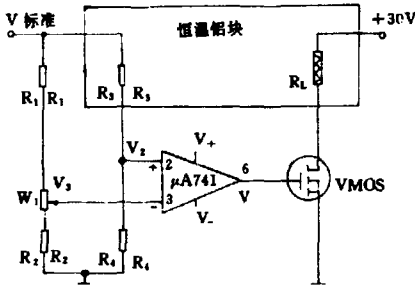


图 5 恒温加热电路原理图

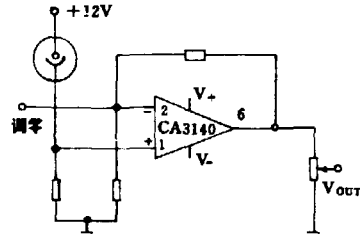


图 6 前置放大器

测温电桥: R_1, R_2 组成的分压器为运放正端提供了一个数值固定不变的参比电压 V_2 。热敏电阻 R_3 和电阻 R_4 组成的分压器则为运放负端提供了一个控制电压 V_1 。由于 R_3 随温度升高其阻值减小,使得 V_1 随之上升。当恒温器温度下降时, R_3 值增大,使得 V_1 值下降。 V_1 与参比电压 V_2 比较的结果,引起运放输出电压的变化。当刚开始加热时, $V_1 \ll V_2$, 此时运放饱和导通, V_+ 为一个正向高电平, V-MOS 管全开通, R_L 上流过工作电流,进行加热。当温度达到预置恒温点时, V_1 接近 V_2 , 此时 V_+ 正好为一个略低于 V-MOS 管开通阈值电压, R_L 无电流通过,停止加热。

调整电位器 W_1 , 可以使参比电压发生变化,从而改变恒温器的设定温度值。仪器实测温度波动范围 $\leq \pm 0.2^\circ\text{C}$ 。

2.4.3 光电信号前置放大电路

光度检测器用光电管作光电信号转换。由于其输出电流为纳安级,因此光电信号的放大使用了高性能运放 CA3140。其放大倍数设计为 $K \approx 1$, 因此它实质是一个电压跟随器,起到阻抗转换作用(见图 6)。

CA3140 输出的信号经“满度”电位器调节到所需要的电压值后,送到 A/D 转换器作数字处理。

3 仪器的应用考核

用本仪器测定了 6 种国家一级标准铀矿石试样。称取适量试样加入氢氟酸和硝酸,试样溶解后,稀释至定体积,根据铀含量的不同,用不同的量程范围测定试样中铀含量,结果见表 8。

表 8 测定值与标准值比较

样品编号	本仪器测定结果(%)	标准值(%)
GBW-04101	3.23	3.29
GBW-04104	0.0715	0.0726
GBW-04105	0.413	0.425
GBW-04106	0.0524	0.0504
GBW-04108	0.0078	0.0079
GBW-04109	0.0117	0.0117

对不同浓度试样测定的精密度进行了测定,10次测定的相对标准偏差均小于1%。

表 9 测定的精密度

样品名称	测定结果(mg/L)	平均值(mg/L)	标准偏差(mg/L)	相对标准偏差(%)
离子交换 淋洗液 IR-3	0.2485 0.2455 0.2505	0.2490	0.0028	0.91
	0.2428 0.2485 0.2490			
	0.2479 0.2511 0.2528			
	0.2500			
离子交换 淋洗液 IR-17	11.11 11.24 11.26	11.235	0.10	0.91
	11.15 11.31 11.35			
	11.22 11.15 11.42			
	11.14			
吸附原液	121.6 120.9 122.7	122.32	1.08	0.88
	123.6 122.3 124.1			
	122.6 123.5 121.5			
	120.8			

试制的两台仪器,分别在国营 821 厂二分厂实验室和核工业化学计量站进行使用考核。在 821 厂,用其中一台对放射性废物处理工艺研究中的试样进行了测定,并与该厂现有的铀试剂 III 比色分析方法结果进行了对照。在核工业化学计量站,用标准矿样和某矿点工艺研究矿石浸出液和离子交换流出液对仪器进行了考核,测定结果与亚钛还原-钼酸铵容量法及 TRPO 萃取 Br-PADAP 分光光度法的结果进行了比较,均取得了满意的结果。

4 仪器的主要性能指标

吸光度稳定性: 每小时漂移小于 0.004 A;

光度准确度: 透光率偏差优于 0.5%;

测定重现性: 相对标准偏差小于 1.0%;

分析速度: 一般为 30~90 样次/h;

恒温加热器控温精度： $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ 。

铀测定性能指标

测定范围：0.02~500 mg/L；

重现性：相对标准偏差小于 1.0%；

分析速度：1~500 mg/L 40 s/样；

0.02~1 mg/L 120 s/样。

5 结束语

(1)本工作研制了一种可适用于铀地质、铀工业和环保部门的铀自动分析仪。它具有较宽的测定范围和很高的灵敏度。本仪器采用流动注射萃取色层在线富集分离的方法，可以适应各类复杂试样和痕量铀的测定。铀测定的管路简单，工作可靠，适应性强。它对提高铀的分析质量和速度有重要意义。

(2)本仪器新设计的多功能自动注入阀，在微机控制下可以自动变换 8 种不同的注入体积，在大范围内迅速自动地改变体系分散度，从而仪器能自动改变测定范围或快速地变换测定项目，大大地提高了仪器操作的方便和工作的灵活性。

单惠芬、查丽华、张桂兰、崔松如、蔡振江和高燕菁等同志参加了部分工作。张玉茂、岑运骅、高良才等同志对工作给予了大力支持，特此致谢。

参 考 文 献

- [1] C. R. MCGowah. Progress in Nuclear Energy, Siviex IX Vol 7, PP. 111~130. New York, 1966
- [2] J. R. Parll, U. S. At. Energy Comm. NLeo-1062, 1970
- [3] C. Fremeanx et al. Chem. Anal. 1968, 50; 34~9
- [4] J. Slanina. Mikrohimi Acta 15-6 519-29, 1978
- [5] D. D. Jackson, D. J. Hodgkings U. S. At. Energy comm. LA-6091, 1976
- [6] 夏步云等. 核科学与工程. 1982, 2 (3), 279
- [7] J. R. Lynch. et al. Analyst 1983, 108; 470
- [8] R. H Atallah, et al. Analyst. 1988, 113; 463
- [9] J. L. Perezpavon. et al. Anal. Chim. Acta. 1990, 230; 217
- [10] 夏步云等. 理化检验. 1987, 23 (2); 83
- [11] 夏步云等. 铀矿冶. 1987, 6(3); 33

FIA-1 型轴自动分析仪的研制

原子能出版社出版

(北京 2108 信箱)

中国核情报中心排版

北京市海淀区三环快速印刷厂印刷

☆

开本 787×1092 1/16 · 印张 1/2 · 字数 10 千字

1992 年 8 月北京第一版 · 1992 年 8 月北京第一次印刷

ISBN 1-5022-0733-3

TL · 458

CHINA NUCLEAR SCIENCE & TECHNOLOGY REPORT



This report is subject to copyright. All rights are reserved. Submission of a report for publication implies the transfer of the exclusive publication right from the author(s) to the publisher. No part of this publication, except abstract, may be reproduced, stored in data banks or transmitted in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording or otherwise, without the prior written permission of the publisher, China Nuclear Information Centre, and/or Atomic Energy Press. Violations fall under the prosecution act of the Copyright Law of China. The China Nuclear Information Centre and Atomic Energy Press do not accept any responsibility for loss or damage arising from the use of information contained in any of its reports or in any communication about its test or investigations.

ISBN 7-5022-0733-3
TL • 458

P.O.Box 2103
Beijing, China

China Nuclear Information Centre