

文章编号: 0254 - 5357(2010)05 - 0552 - 05

## 电感耦合等离子体质谱法测定地下水中 44 个元素

马生凤, 温宏利, 许俊玉, 屈文俊, 曹亚萍  
(国家地质实验测试中心, 北京 100037)

**摘要:** 采用电感耦合等离子体质谱法(ICP-MS)同时测定地下水中44个元素。结果表明, ICP-MS可同时测定地下水中44个元素, 方法检出限为0.002~0.981  $\mu\text{g/L}$ , 大多数元素的精密度(RSD,  $n=10$ )均小于10%, 加标回收率在90.0%~110.0%, 符合中国地质调查局地质调查技术标准对无机组分测试质量控制的要求。方法应用于直接测定元素浓度范围在 $\text{ng/L}$ ~ $\text{mg/L}$ 级的实际地下水样品, 快速、简便, 结果准确。

**关键词:** 电感耦合等离子体质谱法; 地下水; 无机元素

中图分类号: O657.63; P641; O653 文献标识码: A

## Determination of 44 Elements in Groundwater by Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry

MA Sheng-feng, WEN Hong-li, XU Jun-yu, QU Wen-jun, CAO Ya-ping  
(National Research Center for Geoanalysis, Beijing 100037, China)

**Abstract:** 44 kinds of elements in underground water were simultaneously analyzed by inductively coupled plasma-mass spectrometry (ICP-MS), which only took about 2~3 minutes for each sample. The detection limits of the method for the analytes were in the range of 0.002~0.981  $\mu\text{g/L}$  and the recoveries were 90.0%~110.0% with precision of lower than 10% RSD ( $n=10$ ) for most of the elements, which satisfied the technical standard requirements of quality control for inorganic analysis in underground water quality survey. The method provides the advantages of low detection limits, high precision and accuracy, high efficiency and has been successfully applied to routine analysis of these elements in groundwater samples.

**Key words:** inductively coupled plasma-mass spectrometry; groundwater; inorganic elements

地下水是水资源的重要组成部分, 对我国经济社会发展具有非常重要的作用。目前, 全国总供水量的近20%来自地下水。全国400多个城市开采利用地下水, 在华北和西北城市供水中地下水所占的比例高达72%和66%, 许多城市地下水几乎是唯一的供水水源<sup>[1]</sup>。为查明我国区域地下水水质和污染状况, 为地下水资源保护及污染防治提供科学依据,

为保障国家供水安全、粮食安全和生态安全提供基础数据, 为水文地质科学研究和普及地下水污染防治科学知识提供基础资料, 中国地质调查局正在组织开展全国性的1:50000~1:250000地下水污染调查评价工作。在这次大规模的地下水污染调查评价工作中, 要求对重点区, 调查水样测试指标, 必测项目除有机组分外, 还包括Na、K、Ca、Mg、Fe、Mn、

收稿日期: 2010-01-18; 修订日期: 2010-05-19

基金项目: 国土资源地质大调查项目资助(1212010816002); 国土资源地质大调查——地下水污染测试技术研究项目资助(1212010634607)

作者简介: 马生凤(1976-), 女, 陕西宝鸡人, 助理研究员, 从事ICP-AES/MS化学分析测试方法研究。  
E-mail: mashengfeng@gmail.com。

Pb、Zn、Cd、Cr、Hg、As、Se、Al等无机元素。

正确选择监测分析方法,是快速获得准确的测定结果的关键因素之一。地质矿产现行的地下水的检测方法行业标准 DB/T 0064.1~80—1993<sup>[2]</sup>中,地下水主、次量元素的测试方法主要采用原子吸收分光光度法、离子色谱法、火焰发射法、EDTA滴定法、原子荧光光谱法等化学法或者小型仪器,这些方法基本是针对某单个元素,而电感耦合等离子体光谱法(ICP-AES)、质谱法(ICP-MS)可以同时测定多个元素,所以建立 ICP-AES 和 ICP-MS 测定地下水中主、次、痕量元素的方法标准对大规模的地下水样品无机元素分析测试工作具有十分重要的意义。

用 ICP-AES 和 ICP-MS 法对地下水、地表水和饮用水中的矿物元素进行分析测定已经得到了应用<sup>[3-15]</sup>;但是这些方法测定的元素比较少。本文系统地介绍应用 ICP-MS 法同时测定地下水中 Li、Mn、Ba、Cd、Cr、Mo、Bi、Cu、Zn、B、Al、Pb、Ti、V、Hg、As、Ag、Ge、Co、W、Ni、Cs、Rb、Sr、Sb、Tl、Be、Y、La、Ce、Pr、Nd、Sm、Eu、Gd、Tb、Dy、Ho、Er、Tm、Yb、Lu、Th、U 共44个可溶性元素。该法具有多元素同时分析、样品前处理简单、干扰少、测定快速等优点。特别是对一些浓度低至 ng/L 级,如 Ti、Th、U 等元素的测定,本法具有其他传统分析难以满足的优势。

## 1 实验部分

### 1.1 仪器及工作条件

TJAX-series 电感耦合等离子体质谱仪(美国 TJA Solutions 公司)。仪器能对 5~250 u 质量范围进行扫描,最小分辨率为在 5% 峰高处 1 u 峰宽。工作条件见表 1。

表 1 ICP-MS 主要工作参数

Table 1 Operating parameters of ICP-MS

工作参数	设定值	工作参数	设定值
功率	1350 W	采样锥	1.0 mm
冷却气流量(Ar)	13.0 L/min	截取锥	0.7 mm
辅助气流量(Ar)	0.70 L/min	测定方式	跳峰
雾化器流量(Ar)	0.85 L/min	扫描次数	40 次

### 1.2 主要试剂

HNO<sub>3</sub>( $\rho = 1.42 \text{ g/mL}$ ): 优级纯。

高纯水:蒸馏水经 Mili-Q 纯化系统纯化,电导率达到 18 M $\Omega \cdot \text{cm}$ ,使用前检验水中待测元素

含量,保证低于方法检出限。

氩气:高纯级(氩质量分数 $\geq 99.99\%$ )。

内标元素混合溶液: $\rho(\text{Rh, Re}) = 10 \text{ ng/mL}$ ,介质  $\varphi(\text{HNO}_3) = 2\%$ (体积分数,下同)。

仪器调试溶液:浓度为 1.0 ng/mL 的 Co、In、U 混合溶液。

各元素混合标准储备溶液:直接分取单元素标准储备溶液(1.000 g/L)配制多元素混合标准储备溶液(见表 2),也可选用相应浓度的有证混合标准溶液、单标溶液,并稀释到所需浓度。

表 2 多元素混合标准储备溶液<sup>①</sup>

Table 2 Concentrations of the elements in multi-element calibration standard solutions

混合标准储备溶液编号	元素	元素浓度 $\rho_B/(\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1})$	溶液介质
混标 1	La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Y	20	3 mol/L HNO <sub>3</sub>
	Li, Be, Cr, Mn, Ni, Cu, Zn, B, Ge, Co, Rb, Sr, Mo, Cd, Cs, Ba, Tl, Pb, Bi, Th, U	20	3 mol/L HNO <sub>3</sub>
混标 2	Al	100	
混标 3	W, Sb, Ti	20	50 g/L 酒石酸, 6 mol/L HNO <sub>3</sub>
混标 4	As, V, Ag, B	20	3 mol/L HNO <sub>3</sub>
	Hg	5	

① 制备多元素标准储备溶液时一定要注意元素间的相容性和稳定性。元素的原始标准储备溶液必须进行检查,以避免杂质影响标准的准确度。

### 1.3 测定

#### 1.3.1 校准标准溶液配制

取适量的多元素混合标准储备溶液分别稀释,制备相应的校准标准溶液:取 100  $\mu\text{L}$  多元素混合标准储备溶液至 100 mL 容量瓶中,加入 2 mL HNO<sub>3</sub>,用水稀释至刻度,摇匀。新配好的标准溶液应转移至经过酸洗的、未用过的聚丙烯瓶中保存,并定期检查其稳定性,其中混标 3 校准标准溶液由混标 3 现用现配。

#### 1.3.2 仪器操作

按照 ICP-MS 操作规定条件开机,仪器工作条件见表 1。编辑测定方法、干扰方程及选择各测定的元素(被分析元素选用的测定同位素见表 3),引入在线内标溶液。点燃等离子体后,用调试溶液进行仪器最佳化,要求仪器灵敏度达到计数率大于 20 kcps,同

时氧化物产率 <2%, 双电荷离子产率 <5%。

仪器灵敏度、氧化物、双电荷、分辨率等各项指标达到测定要求后, 观察内标灵敏度, 符合要求后用校准空白溶液为零点, 一个或多个浓度水平的校准标准溶液建立标准曲线。校准数据采集至少3次, 取平均值。

每批样品测定时, 同时测定实验室的试剂空白溶液和分析单元元素干扰溶液, 以获得干扰系数  $K$  并进行干扰校正。

样品测定中间用清洗空白溶液清洗系统。

以样品中各元素的信号强度, 从标准曲线或回归方程中查得样品各元素质量浓度 ( $\mu\text{g/L}$ )。

## 2 结果与讨论

### 2.1 试样处理

该方法适用于对一般地下水 (不包括地下热水和盐水)、地表水、饮用水中的元素进行分析。浑浊度 <1 NTU (美国 ASTM 的浊度单位) 的清洁水样, 只需加入高纯  $\text{HNO}_3$  酸化至  $\text{pH} < 2$ ; 天然地下水样采集后通过  $0.45 \mu\text{m}$  过滤膜, 弃去初始的 50 ~ 100 mL 溶液, 收集所需滤液并用  $\text{HNO}_3$  调节  $\text{pH} < 2$ 。一般取 5 ~ 8 mL 水样于 10 mL 比色管中, 加 0.2 mL  $\text{HNO}_3$ , 再用水样冲至刻度, 摇匀。

### 2.2 质量控制

地下水中无机元素浓度低, 空白、本底的误差对最终结果的影响很大, 所以测定过程中的质量监控非常重要。为了确保测试数据的准确性, 在测试中一定要做样品空白以及加入质量监控样。

本实验随同试样进行双份试剂空白, 所取试剂须取自同一瓶, 加入同等量, 即取与样品相同体积的纯水按相同的方法制备试剂空白溶液。

### 2.3 线性范围及检出限

用 2%  $\text{HNO}_3$  空白溶液的 10 次测定结果的 10 倍标准偏差计算方法检出限 ( $L_D$ )。表 3 所列检出限是在表 1 仪器条件下测定。干扰注释栏中的多原子离子干扰需要采用干扰系数的方法进行校正。实验选用的同位素、内标元素、方法检出限、测定范围、干扰元素及校正系数见表 3。

### 2.4 精密度

取 2 个不同浓度的模拟地下水样品水样 1 和水样 2, 加入纯  $\text{HNO}_3$  酸化, 使之含 2% 的  $\text{HNO}_3$ 。同一实验室不同时间对水样 1 和水样 2 分别测定

10 次, 计算各元素含量的相对标准偏差 (RSD)。从表 4 结果来看, 除了 Hg 未达到检出限, Ge、Er、Yb、Nb 的值在检出限附近, RSD 略偏大外, 其他元素的 RSD < 10%, 多数元素的 RSD < 5%。

表 3 选用同位素、内标、方法检出限、干扰元素及校正系数  
Table 3 The selected measurement isotopes, inner-standard elements, detection limits, interference elements and correction factors

元素	内标元素	检出限 $L_D$ ( $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ )	测定范围 $\rho_B$ ( $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ )	干扰校正公式	干扰注释	监测同位素
7Li	$^{103}\text{Rh}$	0.034	0.034 ~ 200			
$^9\text{Be}$	$^{103}\text{Rh}$	0.007	0.01 ~ 50			
$^{11}\text{B}$	$^{103}\text{Rh}$	0.682	0.7 ~ 100			
$^{27}\text{Al}$	$^{103}\text{Rh}$	0.981	2.0 ~ 200			
$^{47}\text{Ti}$	$^{103}\text{Rh}$	0.436	0.5 ~ 200			
$^{51}\text{V}$	$^{103}\text{Rh}$	0.113	0.113 ~ 100			
$^{52}\text{Cr}$	$^{103}\text{Rh}$	0.064	0.07 ~ 100	$-3.127 \times [^{53}\text{Cr} - 0.113 \times ^{52}\text{Cr}]$		$^{53}\text{Cr}, ^{52}\text{Cr}$
$^{55}\text{Mn}$	$^{103}\text{Rh}$	0.045	0.05 ~ 100			
$^{59}\text{Co}$	$^{103}\text{Rh}$	0.017	0.02 ~ 100			
$^{60}\text{Ni}$	$^{103}\text{Rh}$	0.326	0.40 ~ 100			$^{44}\text{Ca}^{16}\text{O}$ $^{44}\text{Ca}$
$^{65}\text{Cu}$	$^{103}\text{Rh}$	0.370	2.0 ~ 200			$^{47}\text{Ti}^{16}\text{O}$ $^{50}\text{Ti}$
$^{66}\text{Zn}$	$^{103}\text{Rh}$	0.406	0.45 ~ 200			
$^{74}\text{Ge}$	$^{103}\text{Rh}$	0.042	0.05 ~ 100			
$^{75}\text{As}$	$^{103}\text{Rh}$	0.606	0.6 ~ 200	$-3.1322 \times ^{40}\text{Ar}^{37}\text{Cl}$		$^{37}\text{Cl}$
$^{85}\text{Rb}$	$^{103}\text{Rh}$	0.040	0.04 ~ 100			
$^{88}\text{Sr}$	$^{103}\text{Rh}$	0.036	0.04 ~ 2000			
$^{89}\text{Y}$	$^{103}\text{Rh}$	0.010	0.01 ~ 50			
$^{98}\text{Mo}$	$^{103}\text{Rh}$	0.034	0.04 ~ 100	$-0.146 \times ^{98}\text{Ru}$	$^{98}\text{Ru}, ^{58}\text{Fe}, ^{40}\text{Ar}$	$^{98}\text{Ru}, ^{58}\text{Fe}$
$^{107}\text{Ag}$	$^{103}\text{Rh}$	0.005	0.01 ~ 100			
$^{114}\text{Cd}$	$^{103}\text{Rh}$	0.048	0.05 ~ 50	$-0.0846 \times ^{117}\text{Sn}$		$^{114}\text{Sn}$
$^{121}\text{Sb}$	$^{103}\text{Rh}$	0.018	0.02 ~ 100			
$^{133}\text{Cs}$	$^{103}\text{Rh}$	0.005	0.01 ~ 50			
$^{137}\text{Ba}$	$^{103}\text{Rh}$	0.141	0.15 ~ 100			
$^{139}\text{La}$	$^{185}\text{Re}$	0.008	0.008 ~ 100			
$^{140}\text{Ce}$	$^{185}\text{Re}$	0.005	0.005 ~ 100			
$^{141}\text{Pr}$	$^{185}\text{Re}$	0.005	0.005 ~ 50			
$^{146}\text{Nd}$	$^{185}\text{Re}$	0.006	0.006 ~ 500			
$^{147}\text{Sm}$	$^{185}\text{Re}$	0.005	0.005 ~ 50			
$^{153}\text{Eu}$	$^{185}\text{Re}$	0.003	0.003 ~ 50			$^{137}\text{Ba}^{16}\text{O}$ $^{137}\text{Ba}$
$^{157}\text{Gd}$	$^{185}\text{Re}$	0.008	0.008 ~ 50			$^{140}\text{Ce}^{17}\text{OH}$ $^{140}\text{Ce}, ^{141}\text{Pr}$ $^{141}\text{Pr}^{16}\text{O}$
$^{159}\text{Tb}$	$^{185}\text{Re}$	0.002	0.002 ~ 50	$-1.47 \times (^{161}\text{Dy} - 0.76 \times ^{163}\text{Dy})$		$^{143}\text{Nd}^{16}\text{O}$ $^{161}\text{Dy}, ^{163}\text{Dy}$
$^{163}\text{Dy}$	$^{185}\text{Re}$	0.003	0.003 ~ 50			
$^{165}\text{Ho}$	$^{185}\text{Re}$	0.002	0.002 ~ 50			
$^{166}\text{Er}$	$^{185}\text{Re}$	0.003	0.003 ~ 50			
$^{169}\text{Tm}$	$^{185}\text{Re}$	0.005	0.005 ~ 50			
$^{172}\text{Yb}$	$^{185}\text{Re}$	0.005	0.005 ~ 100			
$^{175}\text{Lu}$	$^{185}\text{Re}$	0.002	0.002 ~ 20			
$^{182}\text{W}$	$^{185}\text{Re}$	0.007	0.01 ~ 50			
$^{202}\text{Hg}$	$^{185}\text{Re}$	0.099	0.099 ~ 20			
$^{205}\text{Tl}$	$^{185}\text{Re}$	0.005	0.005 ~ 100			
$^{208}\text{Pb}$	$^{185}\text{Re}$	0.12	0.12 ~ 50			
$^{209}\text{Bi}$	$^{185}\text{Re}$	0.002	0.002 ~ 50			
$^{232}\text{Th}$	$^{185}\text{Re}$	0.005	0.005 ~ 50			
$^{238}\text{U}$	$^{185}\text{Re}$	0.005	0.005 ~ 50			

表4 方法精密度

Table 4 Precision tests of the method

元素	水样1		水样2	
	平均值	RSD/%	平均值	RSD/%
	$\rho_B/(\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1})$		$\rho_B/(\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1})$	
Li	8.47	6.44	12	4.46
Be	7.46	4.36	10.8	3.68
B	303	0.50	328	0.60
Al	270	3.05	525	3.12
Ti	9.78	5.16	14.6	1.13
V	13.0	5.04	18.5	3.20
Cr	92.0	3.06	141	4.40
Mn	127	0.96	210	3.05
Co	3.66	3.39	4.69	5.65
Ni	85.2	0.34	114	2.54
Cu	90.3	4.31	112	4.67
Zn	157	2.14	183	3.98
Ge	0.07	15.3	0.07	15.1
As	65.6	2.52	120	1.21
Rb	10.2	9.50	19.3	9.90
Sr	3634	2.15	3211	3.34
Y	1.011	7.29	1.37	8.49
Mo	70.9	1.89	98.4	2.78
Ag	3.30	4.25	3.66	2.36
Cd	6.63	1.78	11.66	3.18
Sb	5.32	2.58	10.94	3.64
Cs	0.09	4.75	0.16	4.27
Ba	173	2.29	312	3.36
La	0.125	3.59	0.185	3.29
Ce	0.110	2.03	0.145	7.46
Pr	0.066	2.96	0.103	4.03
Nd	0.094	9.44	0.123	12.0
Sm	0.024	4.33	0.054	4.69
Eu	0.106	10.1	0.161	4.48
Gd	0.031	4.81	0.045	12.7
Tb	0.007	10.0	0.014	12.4
Dy	0.025	7.91	0.036	6.93
Ho	0.008	9.40	0.018	8.45
Er	0.024	16.3	0.033	15.7
Tm	0.010	5.59	0.012	8.33
Yb	0.025	11.2	0.03	8.82
Lu	0.013	4.68	0.013	5.60
W	0.338	6.56	0.571	1.86
Hg	0.045	-	-	-
Tl	1.084	3.38	1.751	4.25
Pb	30.2	0.71	38.3	0.27
Bi	0.120	9.40	0.25	6.84
Th	1.11	7.99	2.15	5.98
U	5.08	0.84	5.43	2.71

2.5 加标回收试验

为考察测定数据的有效性,同时对水样1中待分析元素进行了加标回收试验。取两份水样1,分别加入高低浓度的混合标准溶液,具体浓度根据任成忠等<sup>[16]</sup>有关加标回收试验的实施及回收率计算的研究进行计算,具体加标浓度、测定结果、加标回收率见表5,各元素的回收率(R)在80.0%~120.0%,而且多数元素的回收率在90.0%~

表5 加标回收率<sup>①</sup>

Table 5 Recovery tests of the method

元素	本底平均值 $\rho_B/(\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1})$	低浓度			高浓度		
		$\rho_B/(\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1})$		回收率	$\rho_B/(\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1})$		回收率
		加标量	测定值	R/%	加标量	测定值	R/%
Li	8.47	10.0	18.79	103.0	50.0	58.77	101.0
Be	7.46	10.0	17.3	98.0	50.0	57.6	100.0
B	303	20.0	320	87.0	100	408	106.0
Al	270	20.0	293	114.0	100	385	114.0
Ti	9.78	20.0	33.7	120.0	100	127	117.0
V	13.0	10.0	23.8	109.0	100	119	106.0
Cr	92.0	20.0	111	93.0	100	190	98.0
Mn	127	20.0	144	85.0	100	223	96.0
Co	3.66	0.40	4.05	97.5	4.00	7.55	97.3
Ni	85.2	20.0	104	92.0	100	186	101.0
Cu	90.3	20.0	112	109.0	100	193	102.0
Zn	157	20.0	175	90.0	100	268	111.0
Ge	0.07	0.40	0.49	106.0	4.00	4.25	104.0
As	65.6	20.0	84.6	95.0	100	161	96.0
Rb	10.2	0.40	10.65	115.0	4.00	14.3	103.0
Sr	3634	20.0	3668	*	100	*	*
Y	1.011	0.01	1.05	*	1.00	2.19	118.0
Mo	70.9	20	91.9	105.0	50	120.4	99.0
Ag	3.30	10.0	12.6	93.0	100	91.7	88.0
Cd	6.63	20.0	28.8	111.0	4.00	10.1	86.0
Sb	5.32	20.0	24.8	97.0	100	105	100.0
Cs	0.09	0.40	0.53	109.0	4.00	4.49	110.0
Ba	173	20.0	193.4	101.0	100	286	113.0
La	0.125	0.01	0.146	*	1.00	1.26	114.0
Ce	0.110	0.01	0.127	*	1.00	1.20	109.0
Pr	0.066	0.01	0.077	114.0	1.00	1.14	107.0
Nd	0.094	0.01	0.103	94.0	1.00	1.11	102.0
Sm	0.024	0.01	0.036	124.0	1.00	1.09	107.0
Eu	0.106	0.01	0.115	88.0	1.00	1.11	101.0
Gd	0.031	0.01	0.043	118.0	1.00	1.05	102.0
Tb	0.007	0.01	0.018	110.0	1.00	1.04	103.0
Dy	0.025	0.01	0.033	80.0	1.00	1.02	100.0
Ho	0.008	0.01	0.018	102.0	1.00	1.05	104.0
Er	0.024	0.01	0.034	98.0	1.00	1.06	104.0
Tm	0.010	0.01	0.02	104.0	1.00	1.03	102.0
Yb	0.025	0.01	0.037	120.0	1.00	1.00	97.0
Lu	0.013	0.01	0.021	84.0	1.00	1.03	102.0
W	0.338	20.0	20.7	102.0	100	106	106.0
Hg	0.045	1.00	0.991	95.0	5.00	4.95	98.0
Tl	1.084	0.40	1.48	100.0	4.00	4.73	91.0
Pb	30.2	20.0	48.53	91.0	100	127	97.0
Bi	0.120	0.40	0.47	88.0	4.00	3.58	87.0
Th	1.11	0.40	1.50	99.0	4.00	5.73	115.0
U	5.08	0.40	5.50	105.0	4.00	8.37	82.0

① \* 表示加标浓度低于样品背景浓度的10%。

110.0%。符合《中国地质调查局地质调查技术标准》<sup>[11]</sup>对无机组分测试质量控制要求。浓度相对高的元素加标回收率好于浓度低的元素(如稀土Eu、Dy、Lu等)。

### 3 结语

应用电感耦合等离子体质谱法能够同时测定地下水中 44 个元素。该方法检出限为 0.002 ~ 0.981  $\mu\text{g/L}$ , 除 Ge、Er、Yb、Nb 在检出限附近, RSD 略偏大外, 其他元素的精密度 (RSD) 均小于 10%, 加标回收率在 90.0% ~ 110.0%, 符合《中国地质调查局地质调查技术标准》对无机组分测试质量控制的要求。该方法可以直接测定元素浓度范围在  $\text{ng/L}$  ~  $\text{mg/L}$  级的实际地下水样品。

### 4 参考文献

- [1] DD 2008-01, 中国地质调查局地质调查技术标准[S].
- [2] 地质调查标准汇编. 实验测试方法(第一分册)[G].
- [3] 李春颖. ICP-MS 法测定地下水中稀土元素的研究[J]. 稀土, 2007, 28(6): 78-80.
- [4] 铁梅, 李闯, 费金岩, 师晓帆, 李华为, 臧树良. ICP-MS 同时测定饮用水中 25 种元素的研究[J]. 环境科学与管理, 2007, 32(4): 135-139.
- [5] 辛士刚, 王莹. 水中多种微量元素的直接测定[J]. 沈阳师范大学学报: 自然科学版, 2003, 21(2): 136-138.
- [6] 吴梅贤, 李献华, 刘颖, 涂湘林. 电感耦合等离子体质谱法测定水中痕量元素[J]. 理化检验: 化学分册, 2007, 43(5): 391-393.
- [7] 徐先顺, 张新荣, 彭玉秀. 电感耦合等离子体质谱在水质分析中的应用[J]. 中国卫生检验杂志, 2006, 16(6): 763-766.
- [8] 李韬, 朱艳. ICP/MS 法对实验室用水的分析[J]. 环境监测管理与技术, 2002, 14(1): 32-33.
- [9] 朱晨红. ICP-MS 测定饮用水中的痕量元素[J]. 上海计量测试, 2004(2): 53-54.
- [10] 吕杰. ICP-AES 法同时测定饮用水中 Pb, As 等 11 种金属元素[J]. 光谱学与光谱分析, 2003, 23(4): 779-784.
- [11] 刘莉. 环境监测水质分析中加标回收实验回收率计算的研究[J]. 安徽冶金科技职业学院学报, 2005, 15(2): 73-75.
- [12] 刘玺祥, 李东雷, 梁楠, 舒红, 王英杰. 电感耦合等离子体质谱法测定饮用水中微量元素[J]. 吉林地质, 2004, 23(2): 55-57.
- [13] 刘丽萍, 张妮娜, 张岚, 张勤. 电感耦合等离子体质谱法测定矿泉水中 23 种元素[J]. 质谱学报, 2005, 26(1): 27-31.
- [14] 刘桂华, 谢建滨. 电感耦合等离子体光谱和质谱法用于饮水中多元素分析的研究[J]. 卫生研究, 2000, 29(6): 359-361.
- [15] 闵广全, 邵文军, 王瑞敏, 徐艳秋. 电感耦合等离子体质谱法(ICP-MS)同时测定水中多种元素[J]. 检测与分析, 2006, 9(8): 31-33.
- [16] 任成忠, 毛丽芬. 加标回收实验的实施及回收率计算的研究[J]. 工业安全与环保, 2006, 32(2): 9-11.

欢迎订阅

欢迎投稿

欢迎刊登广告

### 《光谱学与光谱分析》2011 年征订启事

国内刊号: CN 11-2200/04

邮发代号: 82-68

国际刊名代码 CODEN: GYGFED

国际标准刊号: ISSN 1000-0593

国外代号: M905

广告经营许可证: 京海工商广字第 8094 号

《光谱学与光谱分析》1981 年创刊, 北京大学出版社出版, 由钢铁研究总院、中国科学院物理研究所、北京大学、清华大学联合承办, 中国科协主管的学术性刊物。主要刊登: 激光光谱测量、红外光谱、拉曼光谱、紫外、可见光谱、吸收光谱、X 射线荧光光谱、光谱化学分析、光谱仪器、国内外光谱化学分析领域内的最新研究成果、学科发展前沿和最新进展。设有高科技创造性研究论文、研究简报、综合评述、仪器装置、新仪器、问题讨论、新书评介、学术活动简讯等栏目。

《光谱学与光谱分析》是我国自然科学核心期刊、中国科协精品科技学术期刊, 已被国内外“中国科技论文统计与分析”、“中国学术期刊文摘”、“中国科学引文数据库”、“中国物理文摘”及 SCI、EI、CA、AA、MEDLINE、AJ 等文献权威数据库收录。适用于冶金、地质、机械、环境保护、国防、医药卫生、农林、化学化工、进出口商检等领域的科研单位、厂矿、高等院校、光谱仪器设计、制造厂家从事光谱学与光谱分析的研究人员、实验人员、研究生、高等院校有关专业的师生、科技管理干部参考。

《光谱学与光谱分析》2011 年每期定价 40 元, 全年 480 元。月刊, 大 16 开, 每期 292 页, 每月 1 日出版。

《光谱学与光谱分析》期刊社地址: 北京市海淀区学院南路 76 号(邮编 100081)

电话: 010-62181070

网址: <http://www.gpxygpfx.com>

办公电子信箱: [chngpaxygpfx@vip.sina.com](mailto:chngpaxygpfx@vip.sina.com)