

固相萃取 (SPE) -电感耦合等离子体质谱 (ICP-MS) 法测定海水中 14 种稀土元素

贾亮亮^{1,2}, 董凌云^{3*}, 范培栋¹

- (1. 河北省水文工程地质勘察院, 河北 石家庄 050021;
2. 河北省地下水资源与生态环境安全技术创新中心, 河北 石家庄 050021;
3. 保定学院, 河北 保定 071000)

摘 要:建立了以亚氨基二乙酸型螯合树脂为填料,固相萃取 (SPE) -电感耦合等离子体质谱 (ICP-MS) 法测定海水中 14 种稀土元素的方法。将水样的 pH 值调至 8.5~9.0,通过固相萃取吸附富集待测元素,采用 15% 硝酸溶液洗脱,用 ICP-MS 对洗脱溶液进行检测。稀土元素的检出限为 0.017 $\mu\text{g/L}$ ~0.024 $\mu\text{g/L}$,相对标准偏差 (RSD) 为 2.7%~4.8%,加标回收率为 81.4%~105.0%。该方法操作简单、灵敏、高效,实验结果可靠。

关键词:亚氨基二乙酸型螯合树脂;固相萃取;ICP-MS;稀土元素;海水

中图分类号:O657.63;TH843

文献标识码:A

文章编号:1004-0277(2026)02-0152-07

海洋是全球环境最为重要的组成部分和调节器,有丰富的资源,影响着人类的生存与发展^[1~3]。稀土元素是海洋生态系统运转的重要物质,生物地球化学循环的灵敏指示剂,潜在战略资源的储库,对海洋地球化学研究过程有非常重要的“指示”作用,海水中稀土元素特殊的化学性质使其在海洋地球化学研究中具有重要地位^[4,5]。因此,对海水中的稀土元素分析检测是十分必要的。

然而,海水样品基体复杂、盐度高、有机物丰富,且稀土元素含量低,常常处于痕量或超痕量水平,且又与高浓度、易电离的钾离子、钠离子等共

存^[6]。因此,要想准确测定海水中稀土元素的含量,关键在于如何消除基体干扰以及解决待测元素含量太低的问题。而分离富集技术正是解决此问题的首选方法^[7],分离富集的方法不仅能使得待测元素与基体分离,降低基体效应和存在的质谱干扰,还可以实现待测元素的富集,在检测样品中痕量乃至超痕量元素具有明显优势^[8]。分离富集的方法有许多,如化学沉降法^[9~11]、溶剂萃取法^[12]、离子交换树脂法^[13]及固相萃取法^[14]等。因固相萃取法回收率高、选择性好、溶剂消耗少等优点,已经成为实际应用中最为广泛的样品前处理技术。

收稿日期:2023-08-14

基金项目:2022年河北省地方标准修订项目(GY202219);保定学院科研培育基金项目(2022D01)

作者简介:贾亮亮(1983-),男,河北廊坊人,硕士,高级工程师,主要从事分析化学研究,E-mail:jialiag0316@163.com

*通信作者:董凌云,副教授,E-mail:donglingyun789@163.com

DOI:10.3724/S1004-0277.202602016

ICP-MS 广泛应用于痕量元素的分析检测。母清林等^[15]用在线稀释和在线预浓缩两种模式,建立 ICP-MS 直接测定海水中 Cr、Mo、Cu、Pb、Zn、Cd、Fe、Mn、Ni、V、Co 等 11 种痕量重金属。朱兆洲等^[16]提出 UV/H₂O₂ 去除地表水体中有机物,采用 Nobias-PA1 固相树脂对样品进行预富集,用固相萃取-电感耦合等离子体质谱法测定地表高盐水体中的痕量稀土元素。本文研究了以亚氨基二乙酸型螯合树脂材料为固相萃取柱的填料,应用于高盐度海水的前处理过程,有效地将分析物与干扰组分分离,实现了 SPE-ICP-MS 测定海水中 La、Ce、Pr、Nd、Sm、Eu、Gd、Tb、Dy、Ho、Er、Tm、Yb、Lu 共 14 种稀土元素的富集与同时测定。操作方法简单、灵敏、高效,为海洋化学和海洋环境研究提供了新型技术检测手段。

1 实验部分

1.1 仪器与试剂

电感耦合等离子体质谱仪(iCAP RQ,美国赛默飞公司),酸度计(PHS-3C,上海仪电分析仪器有限公司),超纯水机(威立雅水处理技术有限公司),24 位固相萃取装置(美国 Supelco 公司),隔膜真空泵(GM-0.33A 津腾),固相萃取柱(Siphila-M 型,500 mg/6 mL,天津赛飞乐生物技术有限公司)。

混合稀土元素标准溶液(La、Ce、Pr、Nd、Sm、Eu、Gd、Tb、Dy、Ho、Er、Tm、Yb、Lu,国家有色金属及电子材料分析测试中心, $\rho=10\text{ mg/L}$),内标元素铈标准储备液(国家有色金属及电子材料分析测试中心, $\rho=100\text{ mg/L}$),硝酸(GR 级,北京化学试剂研究有限责任公司),乙酸铵(GR,上海阿拉丁生化科技股份有限公司),冰醋酸(GR,上海阿拉丁生化科技股份有限公司),氨水(GR,国药集团化学试剂有限公司),超纯水($18.2\text{ M}\Omega\cdot\text{cm}$)。

乙酸铵-乙酸缓冲溶液($\text{pH}=6.0$):称取 100.0 g 乙酸铵,溶解于 300 mL 纯水中,加入 7 mL 冰乙酸混匀,此溶液的 pH 值应为 6.0,否则用冰乙酸或氨水调节 pH 值至 6.0。

人工海水(盐度 28‰):称取 25 g 氯化钠和 8 g 硫酸镁溶于水,稀释至 1 L。

1.2 仪器条件

等离子体射频功率:1550 W;冷却气流量:14.0 L/min;载气流量:1.1 L/min;辅助气流量:0.8 L/min;蠕动泵转速:40 rpm;采样深度:5 mm;提取电压-100 V。

1.3 固相萃取过程

活化:依次用 5 mL 5%硝酸、5 mL 乙酸铵-乙酸缓冲溶液($\text{pH}=6.0$)和 5 mL 纯水,活化固相萃取柱,流速约为 2 mL/min~3 mL/min。

上样吸附:吸取 20 mL 水样($\text{pH}=8.5\sim9.0$)过活化的固相萃取柱,开启固相萃取装置真空系统。使水样连续通过活化过的萃取柱,保持流速 1 mL/min,进行水样富集。

脱水干燥:5 mL 纯水冲洗固相萃取柱内壁,真空抽吸固相萃取柱 10 min~20 min。

洗脱:10 mL 15%硝酸洗脱固相萃取柱,流速 1 mL/min,收集全部流出液,定容至 10 mL,待测。

1.4 水样处理

水样采集后,立即用 0.45 μm 过滤膜过滤处理,过滤水样用硝酸酸化,放在洁净环境中。水样送到实验室后,用氨水将水样的 pH 值调至 8.5~9.0,按照 1.3 固相萃取过程对水样进行前处理,洗脱液待测。

1.5 样品测定

点燃等离子体后,仪器预热稳定 30 min。首先用质谱调谐液对仪器的灵敏度、氧化物、双电荷进行调谐,在满足要求的条件下,对仪器进行质量校正和交叉校正,将仪器调整为最佳状态。然后采用铈元素($\rho=10\text{ }\mu\text{g/L}$)作为内标使用液,按 1.2 仪器条件对洗脱液进行上机测定。

2 结果与讨论

2.1 溶液 pH 值的选择

在固相萃取过程中,目标分析物是否被充分吸附是影响实验回收率的关键。因此,为防止待测目

标物的流失,试样溶液的酸碱度至关重要,直接影响着待测目标物的定量回收。为了获得最佳的富集条件,本实验选择 pH 为 6.0~10.0 的范围内对稀土元素进行吸附实验条件优化,实验结果见图 1。

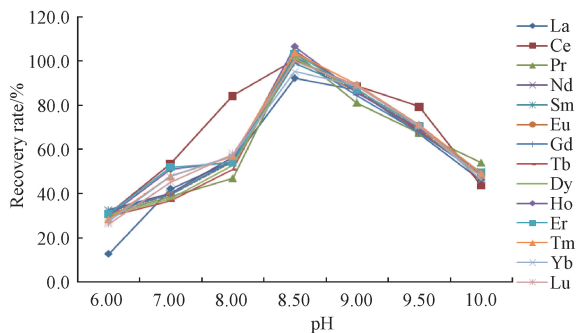


图 1 不同 pH 值条件下稀土元素的回收率
Fig. 1 Recovery rate of 14 rare earth elements under different pH values

研究表明:当 $\text{pH} < 6.0$ 时,稀土元素的加标回收率低于 40%;随溶液 pH 的增加,稀土元素回收率逐渐升高;pH 值在 8.5~9.0 范围,加标回收率在 84%~104%,各元素均能获得较好的回收率;当 $\text{pH} > 9.5$ 时,Ce 回收率接近 80%,但其他元素的回收率明显下降;当 $\text{pH} = 10.0$ 时,各元素回收率降至 60%以下。因此,在固相萃取过程中溶液的 pH 值应控制在 8.5~9.0,作为富集样品的最佳条件。

2.2 洗脱液浓度的选择

待测元素通过固相萃取吸附富集后,需要用一定浓度的硝酸溶液将螯合富集在固相萃取柱上的目标元素洗脱下来并收集,因此选择合适浓度的洗脱液至关重要。本实验考察了浓度分别为 5%、10%、15% 硝酸溶液对吸附在固相萃取柱上稀土元素的洗脱效果,实验结果见图 2。

研究表明,当洗脱液为 5% HNO_3 时,各稀土元素的回收率小于 80%。随着洗脱液浓度的增加,各目标元素的回收率明显升高;当洗脱液为 15% HNO_3 时,各稀土元素的回收率均保持 90% 以上,洗脱效果良好。因此,本实验选择 15% HNO_3 作为最佳洗脱液浓度。

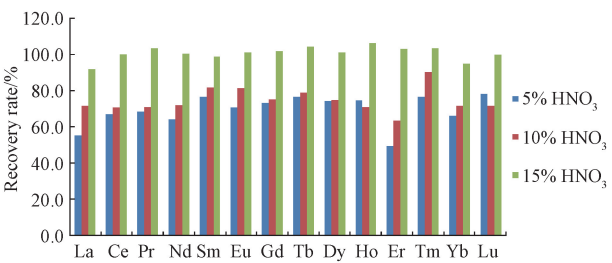


图 2 不同硝酸浓度对 14 种稀土元素的洗脱效果
Fig. 2 Elution effect of different HNO_3 concentrations on 14 rare earth elements

2.3 基体分离效果

实验选取海水实际样品,对于未经固相萃取处理过的海水,采用 ICP 测定钠和钾的含量,发现等离子体焰心呈亮黄色甚至熄灭;通过稀释一定的倍数测得钠和钾的含量分别为 4986.2 mg/L 和 312.3 mg/L。而经 Siphila-M 型固相萃取柱处理后,测得洗脱液中钠和钾的含量分别为 3.5 mg/L 和 1.1 mg/L,且等离子体焰心未见黄色。实验结果表明:海水样品经过固相萃取后,脱盐率达 99%,实现了待测元素与易电离基体分离,消除了基体效应可能存在的质谱干扰。

2.4 样品的测定

按照 GB 17378.3(《海洋监测规范第 3 部分:样品采集、贮存与运输》)的相关规定进行水样的采集和保存^[17]。水样送到实验室后,用 0.45 μm 的玻璃纤维滤膜预先过滤。选取从野外采取的 6 组海水样品,按照本实验所建立的方法对实际样品进行测定,分析结果列于表 1。

2.5 检出限和测定下限

以人工海水作为样品基质,按照与样品处理相同的步骤进行空白实验,连续测定 8 次($n = 8$),计算空白值标准偏差 S 。方法检出限按公式 $\text{MDL} = S \times t_{(n-1, 0.99)}$ 计算[其中 $t_{(7, 0.99)} = 2.998$];以 4 倍的检出限作为测定下限 $\text{MQL} = 4\text{DL}$ 。方法检出限和测定下限结果见表 2。

2.6 精密度实验

精密度是指在规定条件下,对一定浓度或含量

水平有证标准物质进行多次平行测定,独立测试结果间的一致程度。本实验采用国家有色金属及电子材料分析测试中心研制的 15 种金属元素混标(GSB04-1789-2004)用以考察方法的精密度。配置浓度为 20 $\mu\text{g/L}$ 的标准溶液添加人工海水基体,按全程序平行测定 6 次,进行精密度实验,测定结果如表 3 所示。结果显示该方法的相对标准偏差(RSD)为 2.7%~4.8%,说明方法具有较好的重现性。

表 1 6 组海水样品的测试结果/($\mu\text{g/L}$)

Table 1 Results of 6 groups of seawater samples/($\mu\text{g/L}$)

Samples	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
TS-1	0.190	0.124	0.103	0.157	0.154	0.171	0.173	0.172	0.168	0.161	0.166	0.168	0.178	0.162
TS-2	0.088	0.119	0.115	0.120	0.113	0.107	0.132	0.118	0.151	0.149	0.157	0.147	0.167	0.149
TS-3	0.118	0.148	0.086	0.098	0.088	0.185	0.090	0.089	0.164	0.099	0.141	0.089	0.069	0.060
TS-4	0.089	0.063	0.032	0.062	0.092	0.063	0.097	0.136	0.089	0.078	0.099	0.095	0.116	0.089
TS-5	0.048	0.052	0.042	0.072	0.046	0.078	0.043	0.056	0.045	0.041	0.053	0.040	0.050	0.039
TS-6	0.068	0.061	0.059	0.058	0.065	0.098	0.065	0.072	0.060	0.064	0.066	0.068	0.078	0.095

表 2 方法检出限和测定下限/($\mu\text{g/L}$)

Table 2 Method detection limit and determination limit/($\mu\text{g/L}$)

Elements	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
MDL	0.017	0.019	0.019	0.018	0.024	0.022	0.020	0.023	0.021	0.020	0.021	0.023	0.022	0.021
MQL	0.068	0.076	0.076	0.072	0.096	0.088	0.080	0.092	0.084	0.080	0.084	0.092	0.088	0.084

表 3 精密度实验结果($n=6$)

Table 3 Results of precision test($n=6$)

Elements	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
Results/($\mu\text{g/L}$)	20.2	18.7	18.0	19.4	17.9	17.1	18.0	18.5	18.3	18.5	18.4	18.7	18.0	18.5
	20.9	18.5	18.8	20.0	19.0	17.6	18.8	19.9	19.2	19.8	19.1	20.0	19.3	20.3
	19.8	19.5	17.8	20.0	17.9	16.6	17.6	18.7	17.9	18.4	17.8	18.5	17.6	18.7
	19.4	17.6	18.4	18.7	18.7	17.4	18.6	19.3	18.7	19.2	18.9	19.2	18.9	19.5
	19.7	20.3	17.9	19.9	18.2	16.9	18.2	18.7	18.2	18.5	18.2	18.7	18.3	18.9
	18.7	18.8	17.0	20.0	19.4	16.4	17.5	19.8	17.3	19.7	17.4	18.8	18.9	18.5
Mean/($\mu\text{g/L}$)	19.8	18.9	18.0	19.7	18.5	17.0	18.1	19.1	18.3	19.0	18.3	19.0	18.5	19.0
S/($\mu\text{g/L}$)	0.75	0.91	0.62	0.53	0.62	0.47	0.53	0.60	0.68	0.63	0.66	0.58	0.65	0.72
RSD/%	3.8	4.8	3.4	2.7	3.4	2.7	2.9	3.1	3.7	3.3	3.6	3.0	3.5	3.8

2.7 回收率实验

取海水样品(TS-5)添加 0.2 $\mu\text{g/L}$ 混合标准溶液,按实验方法进行加标回收实验。实验结果如表 4 所示,14 种稀土元素加标回收率为 81.4%~105.0%,整体加标回收效率较好,满足相关规范分析要求。

表 4 加标回收率实验结果

Table 4 Recovery rates results

Elements	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
Background/($\mu\text{g/L}$)	0.048	0.052	0.042	0.072	0.046	0.078	0.043	0.056	0.045	0.041	0.053	0.040	0.050	0.039
Adding amount/($\mu\text{g/L}$)	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
Results/($\mu\text{g/L}$)	0.211	0.235	0.234	0.275	0.222	0.266	0.215	0.243	0.236	0.213	0.228	0.231	0.247	0.249
Recovery rates/%	81.4	91.7	96.0	101.5	88.2	94.0	86.2	93.5	95.3	85.8	87.5	95.6	98.5	105.0

3 结论

本研究建立了以亚氨基二乙酸型螯合树脂为填料的固相萃取-电感耦合等离子体质谱(SPE-ICP-MS)法,用于测定海水中 14 种稀土元素。该方法实现了海水中基体干扰的消除和目标元素的富集,同时能够满足海水中多元素的同步测定。方法检出限为 0.017 $\mu\text{g/L}$ ~0.024 $\mu\text{g/L}$,检出限低,能够满足海水中稀土元素的定量测定要求。研究成果以促进绿色环保新材料、新技术的推广应用为目的,实现了海水中 14 种稀土元素的绿色分离和快速检测。

参考文献:

[1] 李潇,路文海,杨翼,等. 海水金属元素检测方法的研究进展[J]. 海洋开发与管理, 2016, 33(6): 43-50.

Li X, Lu W H, Yang Y, et al. Advances in determination of metal elements in seawater[J]. Ocean Development and Management, 2016, 33(6): 43-50.

[2] 任江波,邓希光,邓义楠,等. 中国富钴结壳合同区海水的稀土元素特征及其意义[J]. 地球科学, 2019, 44(10): 3529-3540.

Ren J B, Deng X G, Deng Y N, et al. Rare earth element characteristics and its geological implications for seawater from cobalt-rich ferromanganese crust exploration contract area of China[J]. Earth Science, 2019, 44(10): 3529-3540.

[3] 刘凯,高学鲁,李力. 海水中痕量铂族元素的赋存形态及螯合树脂富集研究进展[J]. 应用生态学报, 2017, 28(10): 3424-3432.

Liu K, Gao X L, Li L. Advances in trace platinum group elements speciation and preconcentration of chelate resins in seawater[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2017, 28(10): 3424-3432.

[4] 郑天亮,邓娅敏,鲁宗杰,等. 江汉平原浅层含砷地下水稀土元素特征及其指示意义[J]. 地球科学, 2017, 42(5): 693-706.

Zheng T L, Deng Y M, Lu Z J, et al. Geochemistry and implications of rare earth elements in arsenic-affected shallow aquifer from Jiangnan Plain, Central China[J]. Earth Science, 2017, 42(5): 693-706.

[5] 林梵宇,曾怡杭,尹希杰,等. 共沉淀富集法测定海水中稀土元素含量方法研究[J]. 应用海洋学学报, 2020, 39(4): 581-589.

Lin F Y, Zeng Y H, Yin X J, et al. Experimental conditions for determination of rare earth elements in seawater by coprecipitation enrichment method[J]. Journal of Applied Oceanography, 2020, 39(4): 581-589.

[6] 贾亮亮,范培栋,张永辉,等. 固相萃取-电感耦合等离子体质谱(ICP-MS)法测定海水中 6 种金属元素[J]. 中国无机分析化学, 2023, 13(2): 117-122.

Jia L L, Fan P D, Zhang Y H, et al. Determination of six metal elements in seawater by inductively coupled plasma mass spectrometry with solid phase extraction[J]. Chinese Journal of Inorganic Analytical Chemistry, 2023, 13(2): 117-122.

[7] 林继军,段华玲,弓振斌. 聚乙烯亚胺螯合-超滤分离富集电感耦合等离子体质谱法测定海水中 6 种痕量金属元素[J]. 分析化学, 2011, 39(6): 906-910.

Lin J J, Duan H L, Gong Z B. Determination of trace metal elements in coastal and estuarine seawater by polymer-complexation-ultrafiltration technique and inductively

- coupled plasma mass spectrometry[J]. Chinese Journal of Analytical Chemistry, 2011, 39(6): 906-910.
- [8] 王丹红, 林建杰, 蔡春平, 等. 在线分离富集-ICP-MS法直接测定海水中痕量稀土元素[J]. 分析试验室, 2016, 35(7): 773-776.
- Wang D H, Lin J J, Cai C P, et al. Determination of trace rare earth element in seawater by inductively coupled plasma mass spectrometry with online separation and enrichment technique[J]. Chinese Journal of Analysis Laboratory, 2016, 35(7): 773-776.
- [9] 刘瑶, 宋金明, 孙玲玲, 等. 氢氧化镁共沉淀富集分离 ICP-MS 测定海水中的稀土元素[J]. 海洋环境科学, 2019, 38(2): 303-309.
- Liu Y, Song J M, Sun L L, et al. Determination of trace rare earth elements in seawater by ICP-MS with $\text{Mg}(\text{OH})_2$ co-precipitation treatment[J]. Marine Environmental Science, 2019, 38(2): 303-309.
- [10] 刘伟, 宋金明, 袁华茂, 等. $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 共沉淀和直接稀释联用 ICP-MS 法准确测定海水中的多种常量-微量元素[J]. 分析测试学报, 2017, 36(4): 471-477.
- Liu W, Song J M, Yuan H M, et al. Simultaneous determination of multiple macro-trace elements in seawater by ICP-MS combined with $\text{Mg}(\text{OH})_2$ co-precipitation and direct dilution pretreatment[J]. Journal of Instrumental Analysis, 2017, 36(4): 471-477.
- [11] 李云春, 弓振斌, 李俊, 等. 河口水体中痕量稀土元素的共沉淀预富集-电感耦合等离子体质谱法测定研究[J]. 分析测试学报, 2005, 24(1): 12-16.
- Li Y C, Gong Z B, Li J, et al. Inductively coupled plasma-mass spectrometric determination of rare earth elements in estuarine water with co-precipitation pre-concentration[J]. Journal of Instrumental Analysis, 2005, 24(1): 12-16.
- [12] 蔡述伟, 程青, 李华玲, 等. 浊点萃取-电感耦合等离子体质谱法测定高矿化度水中的稀土元素[J]. 华东地质, 2019, 40(4): 317-320.
- Cai S W, Cheng Q, Li H L, et al. Determination of REEs in highly mineralized water by cloud point extraction-inductively coupled plasma mass spectrometry[J]. East China Geology, 2019, 40(4): 317-320.
- [13] 程龙军, 彭娟, 吉飞, 等. Chelex 100 树脂固相萃取-电感耦合等离子体原子发射光谱法测定高氯高盐废水中6种重金属元素[J]. 理化检验-化学分册, 2021, 57(3): 252-257.
- Cheng L J, Peng J, Ji F, et al. Determination of six heavy metal elements in high chloride and high salt wastewater by solid phase extraction with chelex 100 resin-ICP-AES[J]. Physical Testing and Chemical Analysis Part B: Chemical Analysis, 2021, 57(3): 252-257.
- [14] 陈晓琴, 黄晶, 张蕾. 固相萃取-电感耦合等离子体原子发射光谱(ICP-AES)法测定地下水中三种重金属[J]. 中国无机分析化学, 2022, 12(5): 7-12.
- Chen X Q, Huang J, Zhang L. Determination of three heavy metals in groundwater by inductively coupled plasma atomic emission spectrometry (ICP-AES) with solid phase extraction[J]. Chinese Journal of Inorganic Analytical Chemistry, 2022, 12(5): 7-12.
- [15] 母清林, 方杰, 余运勇, 等. 在线稀释/预浓缩-电感耦合等离子体质谱法分析海水中11种痕量元素[J]. 分析化学, 2015, 43(9): 1360-1365.
- Mu Q L, Fang J, She Y Y, et al. Determination of trace metals(Cr, Mo, Cu, Pb, Zn, Cd, Fe, Mn, Ni, V, Co) in seawater by inductively coupled plasma mass spectrometry with on-line injection technique[J]. Chinese Journal of Analytical Chemistry, 2015, 43(9): 1360-1365.
- [16] 朱兆洲, 杨鑫鑫, 李军, 等. 固相萃取-电感耦合等离子体质谱法测定地表高盐水体中的痕量稀土元素[J]. 光谱学与光谱分析, 2022, 42(6): 1862-1866.
- Zhu Z Z, Yang X X, Li J, et al. Determination of rare earth elements in high-salt water by ICP-MS after pre-concentration using a chelating resin[J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2022, 42(6): 1862-1866.
- [17] 国家市场监督管理总局, 中国国家标准化管理委员会. 海洋监测规范 第3部分: 样品采集、贮存与运输: GB 17378.3—2007[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic

of China. The Specification for Marine Monitoring; Part
3: Sample Collection Storage and Transportation; GB

17378.3—2007[S]. Beijing: Standards Press of China, 2008.

Determination of 14 Rare Earth Elements in Seawater by Solid Phase Extraction-Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry

JIA Liang-liang^{1,2}, DONG Ling-yun^{3*}, FAN Pei-dong¹

(1. The Institute of Hydrology and Engineering Geological Prospecting Hebei Province, Shijiazhuang 050021, China;

2. Technological Innovation Centre for Groundwater Resources and Ecology Environment Security of Hebei Province, Shijiazhuang 050021, China;

3. Baoding University, Baoding 071000, China)

Abstract: A solid-phase extraction (SPE) method utilizing an iminodiacetic acid-based chelating resin as the stationary phase was developed for the determination of 14 rare earth elements in seawater by inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS). Adjust the pH value of water sample to the range of 8.5~9.0, followed by adsorption and enrichment of the target elements through solid-phase extraction. The detection limit of rare earth elements was 0.017 $\mu\text{g/L}$ ~0.024 $\mu\text{g/L}$, the relative standard deviation (RSD) of the method was 2.7%~4.8%, the recovery rates of spiking was 81.4%~105.0%. The proposed methodology is characterized by operational simplicity, high sensitivity, and efficiency, yielding highly satisfactory experimental results.

Key words: iminodiacetic acid type chelating resin; SPE; ICP-MS; rare earth elements; seawater