

ICP – AES 测定微量碘进样装置的设计及应用

柴小丽^{1,2,4}, 高丹丹^{1,2}, 李海军¹, 王 波¹, 杨克利^{1,2}, 董亚萍^{1,2}, 李 武^{1,3}

(1. 中国科学院青海盐湖研究所, 中国科学院盐湖资源综合高效利用重点实验室,
青海 西宁 810008; 2. 青海盐湖资源综合利用技术研究开发中心, 青海 西宁 810008;
3. 青海省盐湖资源化学重点实验室, 青海 西宁 810008; 4. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘 要:针对电感耦合等离子体原子发射光谱(ICP – AES)直接测定碘灵敏度低、检出限高的问题, 本文设计了一种用于微量碘测定的 ICP – AES 进样装置。采用该装置可大幅降低 ICP – AES 对碘的检出限, 同时降低了卤水中常见共存离子对碘测定的干扰。采用该装置 3 min 可完成一次测定, 方法线性范围为 $1.65 \sim 10\,000 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 。将建立的方法用于实际卤水(包括南翼山油田水和达州深部地下卤水)中微量碘的测定, 加标回收率为 96% ~ 104%, 测定的 RSD 小于 2%。

关键词:碘; 装置; 卤水; ICP – AES

中图分类号: O657.31

文献标识码: A

文章编号: 1008 – 858X(2021)02 – 0094 – 08

碘是一种重要的化工原料, 广泛应用于食品、医药、工业、农业、国防尖端科技等诸多行业^[1]。近年来电感耦合等离子体原子发射光谱(ICP – AES)因可快速同时进行多元素分析、线性范围宽、基体效应小、良好的精密度和重复性等优点在微量元素分析方面应用广泛^[2]。而碘属于高激发能元素, 电感耦合等离子体的能量有限, 只能激发样品中很少一部分碘的原子和离子^[3], 不能满足样品中微量甚至是痕量碘的测试要求。ICP – AES 的进样系统是仪器的重要组成部分, 仪器的检出限、测量精度、灵敏度均与进样系统的性能有直接关系^[2]。通过改变进样系统提高样品的雾化和分析物的原子化效率的方式可以降低发射光谱的检出限^[3]。ICP – AES 中常规液体进样方式的雾化效率只有 1% ~ 5%, 原子化效率不超过 1%; 通过特殊进样系统将分析物转变为蒸气形式进样, 其传输至等离子体的效率接近 100%, 雾化效率和原子化效率也大幅提高^[3-4]。文献^[3-4]通

过特殊的进样装置和氧化还原反应将碘离子氧化为挥发性的碘单质导入 ICP – AES 中测定, 该方法可降低分析碘的检出限。目前该方法已应用于海水、食盐、盐水中微量碘的分析, 但应用卤水中微量碘测定的报道^[5-6]较少。

作者在文献启发下^[3-6], 设计加工了一种能与 ICP – AES 连接在线氧化碘离子为碘单质实现微量碘测定的进样装置并申请了专利^[7]。该装置集进样、反应、分离于一体, 与文献^[3,6]报道装置相比, 增加了反应容器和气液分离膜, 从而反应更充分、气液分离效果更佳, 进一步保证了测试数据的稳定性和重复性。作者设计实验方案对比了有/无该装置 ICP – AES 测定碘的效果, 借助该装置建立了氧化测定卤水中微量碘的方法, 研究了卤水中常见共存离子对碘准确测定的影响, 并将该方法应用于实际卤水中微量碘的分析。

收稿日期: 2019 – 12 – 16; 修回日期: 2020 – 03 – 06

基金项目: 青海省重大科技专项(2019 – GX – A7); 国家重点研发计划课题(2017YFC0602805); 中国科学院仪器设备功能开发技术创新项目(No. 2020g103)

作者简介: 柴小丽(1985 –), 女, 中国科学院青海盐湖研究所博士研究生, 主要研究方向为原子光谱在高盐样品微量元素分析方面的应用, Email: chaixl@isl.ac.cn。

通信作者: 董亚萍(1964 –)女, 研究员, 博士生导师。主要研究方向盐卤硼酸盐化学及绿色清洁技术研发、大型分析仪器在盐湖资源组成分析方面的应用, Email: dyp811@isl.ac.cn。

1 实验部分

1.1 仪器及条件

本文所用 ICP – AES 为美国赛默飞世尔公司的 ICAP 6500 DUO 型 ICP – AES,其测定碘的工作条件如下:雾化气流量 0.4 L · min⁻¹,射频功率

为 1 300 W,辅助气流量 0.3 L · min⁻¹,泵速 50 r/min,样品冲洗时间为 80 s,观测方式为水平,分析谱线为 I 178. 276 nm。

1.2 试剂及溶液

实验所用试剂如表 1 所示,配制溶液的实验用水为电阻率 18.2 MΩ · cm 的二次去离子水。

表 1 实验试剂
Table 1 Experimental reagents

试剂名称	纯度	生产厂家
I ⁻ 标准溶液 1 000 mg · L ⁻¹ (GSB 04 – 2834 – 2011)	国标试剂	国家有色金属及电子材料分析测试中心
LiCl	99. 9%	上海阿拉丁生化科技股份有限公司
NaCl	基准试剂	北京化工厂
KCl	基准试剂	西安化学试剂厂
MgCl ₂ · 6H ₂ O	优级纯	天津光复精细化工研究所
CaCl ₂	99. 99%	上海阿拉丁生化科技股份有限公司
SrCl ₂ · 6H ₂ O	99. 99%	上海阿拉丁生化科技股份有限公司
NH ₄ Cl	99. 99%	上海阿拉丁生化科技股份有限公司
HNO ₃	优级纯	白银良友化学试剂有限公司
K ₂ Cr ₂ O ₇	优级纯	天津市大茂化学试剂厂
K ₂ S ₂ O ₈	分析纯	天津市大茂化学试剂厂
30% H ₂ O ₂	分析纯	天津市大茂化学试剂厂
KMnO ₄	分析纯	白银良友化学试剂有限公司
NaNO ₂	分析纯	北京红星化工厂

2 结果与讨论

2.1 自主设计进样装置与文献报道进样装置的比较

现有文献报道的氧化碘离子为碘单质导入 ICP – AES 测定的进样装置主要有两种,如图 1 所示。其中图 1A^[6]为 U 型的硼硅酸玻璃制成的气液分离器,据文献可知该气液分离器后连接了雾化室。而雾化室的作用是使气溶胶流在转向时去

除大直径雾滴,同时使气溶胶平稳地进入 ICP 光源^[2],由此推测图 1A 所示气液分离器可能存在气液分离不完全的问题。图 1B^[3]比图 1A 多了 T 型的预混合部件和反应线圈,溶液混合和反应的线路均较图 1A 有所延长,有利于反应的充分完成。但图 1B 中所用气液过滤器(见图 1B 部件 3)和图 1A 材质一样,为多孔玻璃。图 1B 文献报道该过滤器因吸附作用而表现出记忆效应,其表面需用六甲基二硅氮烷溶液处理以降低记忆效应^[3]。

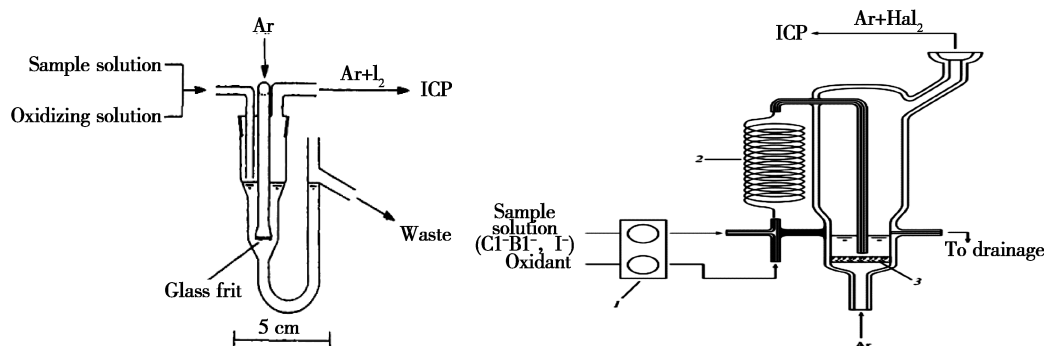
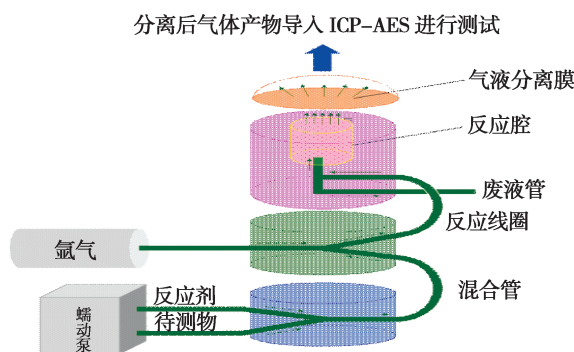


图 1 文献报道进样装置

Fig. 1 The sampling devices reported in the literatures

自主设计加工的能与 ICP - AES 连接的可氧化碘离子为碘单质进行测试的进样装置如图 2 所示,该进样装置的组成和使用具体参照文献^[7]。其测定时的具体流程为:含碘的待测物和反应剂(包括氧化剂、酸)在蠕动泵的作用下于混合管中混合,接着在高纯氩气的推动下该混合液进入反

应线圈继续混合反应,之后该混合液进入反应腔中充分反应,混合液中的碘离子被氧化成碘单质,碘单质通过气液分离膜导入 ICP - AES 中进行检测,而液态物质被气液分离膜阻隔在反应腔中,通过废液管排出。



图中箭头指向为测定时物质的流向

图 2 自主设计进样装置示意图

Fig. 2 Schematic diagram of self - designed sampling device

The arrow in figure indicates the flow direction of the substance during the determination.

图 2 所示进样装置设计有混合管使反应剂和待测物先进行预混合,之后在氩气的推动下上述混合液进一步混合并经过反应线圈反应,反应线圈中的混合液进入反应腔继续充分反应。该反应腔由上下两个腔体组成,反应线圈与上腔体相连接,废液管与下腔体的中下部相连接,使废液及时排出以降低测定过程中的记忆效应。采用气液分离膜进行气液分离,膜分离具有能耗低、无二次污染、分离效率高等优势^[8]。该气液分离膜为聚四

氟乙烯材料,其具有疏水性佳、抗氧化性好、性质稳定等优点^[9],该膜清洗干净可使用多次。本文设计的进样装置组成合理、结构紧凑、易于固定,该装置由聚四氟乙烯材料加工制成,具有耐腐蚀、结实耐用的优点。

2.2 与碘离子反应的氧化剂的筛选

如前所述,氧化碘离子为碘单质所用反应剂包括氧化剂和酸,从文献^[3,5-6]可知常用的酸为

H₂SO₄或 HNO₃,由于添加 H₂SO₄会与卤水中的常见离子 Ca²⁺产生 CaSO₄沉淀,故本实验选用 HNO₃。

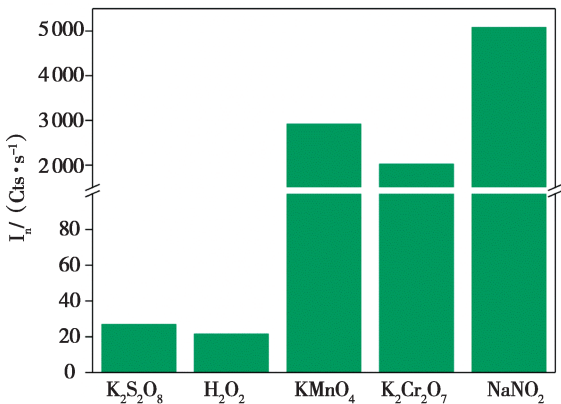


图 3 氧化剂种类对 I_n 的影响
Fig. 3 Effect of oxidant species on I_n

将碘氧化为碘单质有多种氧化剂供选择,如 K₂S₂O₈、K₂Cr₂O₇、KMnO₄、H₂O₂和 NaNO₂等^[3,5-6,10]。为了考察上述氧化剂分别对 1mg·L⁻¹碘的实际氧化效果,用 ICP – AES 测定不同氧化剂和 HNO₃组合氧化生成单质碘于 I 178.276 nm 处净发射强度值 I_n ,具体结果列于图 3。实验所用 HNO₃浓度为 1 mol·L⁻¹,氧化剂浓度均为 10 mmol·L⁻¹。从图 3 可以看出,相同浓度的氧化剂中 NaNO₂氧化测得的碘净发射强度 I_n 最高,即碘分析灵敏度最高,故最佳氧化剂选择 NaNO₂,与文献^[3,6]报道的一致。在后续实验中对反应剂的浓度进行了优化,确定的最佳反应剂为

10 mmol·L⁻¹NaNO₂和 1 mol·L⁻¹HNO₃。

2.3 方法线性范围

配制一组碘标准溶液,浓度 c 分别为 0、0.25、0.5、1、2.5、5、10 mg·L⁻¹,依次测定其与上述最佳反应剂(10 mmol·L⁻¹ NaNO₂和 1 mol·L⁻¹ HNO₃)反应得到的 I 178.276 nm 处的发射强度值 I ,建立的标准曲线见图 4。结果表明在实验研究的范围内碘呈线性响应,其线性相关系数 R^2 为 0.999 8。表 2 列出了用图 2 进样装置氧化测定碘和直接测定法分析 1 mg·L⁻¹ 碘标液于 I 178.276 nm 处的净发射强度值和方法检出限的对比。通过表 2 可以看出,本文建立方法较直接测定法,碘的测定灵敏度提高了 36 倍,方法检出限降低了 10 倍。由此可见,本方法检出限低、分析速度快、线性范围宽,具有明显的分析优势。

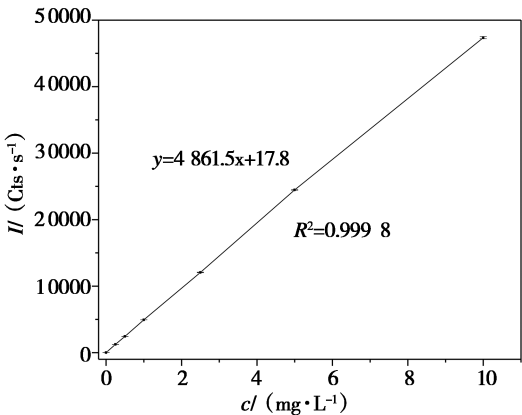


图 4 碘在 178.276 nm 处的线性拟合图
Fig. 4 Calibration graph for iodine at 178.276 nm

表 2 氧化法与直接测定法分析碘的效果对比

	I 178.276 nm 处测定值		改善倍数
	在线氧化	直接雾化	
1 mg·L ⁻¹ 碘标液的 净发射强度值/(Cts·s ⁻¹)	133.62	4 918.69	36.81
方法检出限/(μg·L ⁻¹)	17.10	1.65	10.36

2.4 卤水中常见共存离子对碘测定的影响

采用单因素实验研究了卤水中常见共存离子

对碘测定的影响。考察不同浓度的各离子分别对 1 mg·L⁻¹碘标液测定准确性的干扰情况,共存离子中阳离子均用其氯化物配制,除溴离子(用溴

化钾配制)和硼(用硼酸配制)外,其他阴离子均用其钠盐配制。在考虑阳离子的影响时暂不考虑阴离子的干扰,同样考虑阴离子的影响时暂不考虑阳离子的干扰,探究能准确测定碘的前提下各干扰离子所能允许存在的最高浓度。用 ICP – AES 进行测定时,当测定相对误差超过 $\pm 10\%$ 时,就认为共存离子对碘的准确测定有影响,结果具体见表 3。从表 3 可以看出,硼、溴、硫酸根、碳酸根和碳酸氢根对碘的测定为正干扰,其余离子为负干扰。高达 25 g/L 硫酸根,20 g/L 的氯,

18 g/L 的钾和锶,11 g/L 的钠,10 g/L 的钙和铵,7 g/L 的镁,3 g/L 硼,2.5 g/L 的锂,0.5 g/L 的溴、碳酸根和碳酸氢根不影响 1 mg/L 碘的准确测定。按本文所用型号的 ICP – AES 的操作说明书,直接测定时待测溶液中的 TDS(溶解性固体总量)低于 2 g/L 时,共存离子对待测元素的测定影响可忽略。从表 3 可以看出,本文建立的方法在大幅提高碘的测定灵敏度、改善其检出限的同时,还降低了共存基体对微量碘测定的影响。

表 3 共存离子对碘测定的影响

Table 3 The influence of coexisting ions on the determination of iodine($n=3$)

共存离子	浓度/($\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)	样品的 TDS/($\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)	I 178.2 nm	
			测定平均值/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	相对误差/%
K^+	15	28.60	0.951 ± 0.013	-4.90
K^+	18	34.32	0.902 ± 0.001	-9.80
K^+	19	36.23	0.892 ± 0.005	-10.80
Na^+	10	25.42	0.953 ± 0.003	-4.70
Na^+	11	27.96	0.928 ± 0.002	-7.20
Na^+	12	30.50	0.883 ± 0.006	-11.70
Ca^{2+}	10	27.69	0.922 ± 0.002	-7.80
Ca^{2+}	11	30.46	0.880 ± 0.002	-12.00
Mg^{2+}	7	27.42	0.918 ± 0.008	-8.20
Mg^{2+}	8	31.34	0.863 ± 0.034	-13.70
Sr^{2+}	17	30.76	0.954 ± 0.002	-4.60
Sr^{2+}	18	32.57	0.920 ± 0.003	-8.00
Sr^{2+}	19	34.38	0.891 ± 0.002	-10.90
NH_4^+	10	29.65	0.925 ± 0.012	-7.50
NH_4^+	11	32.62	0.898 ± 0.001	-10.20
Li^+	2	12.22	0.930 ± 0.009	-7.00
Li^+	2.5	15.27	0.906 ± 0.004	-9.40
Li^+	3	18.32	0.872 ± 0.001	-12.80
B	1	5.72	1.030 ± 0.006	3.00
B	2	11.44	1.008 ± 0.008	0.80
B	3	17.16	1.020 ± 0.003	2.00
Br^-	0.1	0.15	1.070 ± 0.006	7.00
Br^-	0.5	0.74	1.062 ± 0.001	6.20
Cl^-	20	32.97	0.952 ± 0.009	-4.80
Cl^-	22	36.26	0.872 ± 0.009	-12.80
SO_4^{2-}	20	29.57	1.064 ± 0.001	6.40
SO_4^{2-}	22	32.53	1.079 ± 0.004	7.90

续表 3:

共存离子	浓度/(g · L ⁻¹)	样品的 TDS/(g · L ⁻¹)	I 178.2 nm	
			测定平均值/(mg · L ⁻¹)	相对误差/%
SO ₄ ²⁻	25	36.97	1.036 ± 0.001	3.60
CO ₃ ²⁻	0.25	0.44	1.050 ± 0.004	5.00
CO ₃ ²⁻	0.5	0.88	1.098 ± 0.004	9.80
CO ₃ ²⁻	1	1.77	1.220 ± 0.003	22.00
HCO ₃ ⁻	0.25	0.34	1.055 ± 0.006	5.50
HCO ₃ ⁻	0.5	0.69	1.093 ± 0.004	9.30
HCO ₃ ⁻	1	1.38	1.216 ± 0.005	21.60

2.5 方法的准确度

采用加标回收实验来考察本方法的准确度。分别取不同蒸发阶段的南翼山油田水(油田水 1—油田水 3)和达州深部卤水(卤水 4—卤水 6)为测试样品,并向其中加入已知量的 I⁻ 标准溶液,按在线氧化实验方法采用标准曲线法测定回收率,结果分别见表 4 和表 5。从表 4 可以看出,

不同稀释倍数的油田水的测定结果吻合得较好。从表 4 和表 5 可以看出,加标回收率为 96% ~ 104%,表明方法的准确度高。前期通过测定大量的实际卤水样品发现为了降低样品基体对碘准确测定的影响,建议测定前将卤水至少稀释 100 倍,确保稀释后样品的 TDS 不超过 5 g/L,且同时卤水中主要共存离子的浓度低于本文研究确定的碘准确测定各离子所允许共存的最高浓度。

表 4 南翼山油田水分析结果及回收率实验

Table 4 The analysis results and recovery test of the oilfield brine in Nanyi Mountain(*n* = 3)

样品 名称	稀释 倍数	TDS /(g · L ⁻¹)	测定值/ (mg · L ⁻¹)	加标量 /(mg · L ⁻¹)	加标测定结果 /(mg · L ⁻¹)	加标回收率/%	样品分析结果 /(mg · L ⁻¹)
油田水 1	200 倍	1.88	0.270 ± 0.004	0.20	0.478 ± 0.002	104.00	54.00 ± 0.80
	100 倍	3.76	0.539 ± 0.002	0.50	1.058 ± 0.006	103.80	53.90 ± 0.20
油田水 2	200 倍	2.22	0.086 ± 0.001	0.10	0.185 ± 0.001	99.00	17.20 ± 0.20
	125 倍	3.56	0.138 ± 0.001	0.10	0.237 ± 0.001	99.00	17.25 ± 0.12
	100 倍	4.45	0.168 ± 0.001	0.10	0.265 ± 0.001	97.00	16.80 ± 0.10
油田水 3	250 倍	2.72	3.219 ± 0.017	2.00	5.139 ± 0.035	96.00	804.75 ± 4.25
	200 倍	3.40	4.011 ± 0.032	2.00	5.946 ± 0.051	96.75	802.20 ± 6.40

表 5 达州深部地下卤水分析结果及回收率实验

Table 5 The analysis results and recovery test of deep underground brine in Dazhou(*n* = 3)

样品 名称	测定值/(mg · L ⁻¹)	加标量/ (mg · L ⁻¹)	加标测定结果 /(mg · L ⁻¹)	加标回收率/%	稀释前样品中 碘质量分数/% ^a
卤水 4	0.184 ± 0.001	0.20	0.383 ± 0.001	99.50	(1.01 ± 0.01) × 10 ⁻²
卤水 5	0.810 ± 0.005	1.00	1.806 ± 0.006	99.60	(3.47 ± 0.02) × 10 ⁻²
卤水 6	0.762 ± 0.002	1.00	1.738 ± 0.005	97.60	(5.53 ± 0.01) × 10 ⁻²

^a该值是根据稀释后碘测定值和稀释过程中样品的取样量计算的。
^aThe value was calculated according to the iodine determination value after dilution and the amount of the sample during dilution.

2.6 方法的精密度

取表 4 中稀释 200 倍的油田水 2 和稀释 200

倍的油田水 3 按实验方法分别测定 11 次,考察方法精密度,结果具体见表 6。测定的相对标准偏差 RSD 小于 2% ,表明方法精密度好。

表 6 样品的精密度结果
Table 6 The precision results of sample

样品 名称	碘测定值/(mg · L ⁻¹)											RSD /%
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
稀释 200 倍的 油田水 2	0.088	0.086	0.086	0.086	0.084	0.084	0.088	0.085	0.084	0.085	0.087	1.74
稀释 200 倍的 油田水 3	3.980	3.984	4.024	4.044	4.046	3.984	4.074	4.004	3.999	4.018	3.965	0.85

3 结 论

本文创新性地设计加工了一种可用于 ICP – AES 的氧化碘为碘单质测定的进样装置,采用该装置氧化测定碘较直接测定大幅提高了碘的分析灵敏度,降低了其检出限,同时降低了卤水中共存离子对碘准确测定的干扰。将该方法应用于实际卤水中微量碘的测定,结果表明方法的准确度高、精密度好。该方法可用于卤水综合利用工艺中碘的快速准确分析,克服了普遍存在的为满足 ICP – AES 分析试样总盐度要求,对卤水测试样大比例稀释条件下,使卤水测试样中碘浓度大幅降低引起的分析测试误差难题。

参考文献:

[1] 李武,董亚萍,宋彭生,等. 盐湖卤水资源开发利用[M]. 北京:化学工业出版社,2012:167.
[2] 辛仁轩. 离子体发射光谱分析[M]. 北京:化学工业出版社,2005:9,68 – 87.
[3] Vtorushina E A, Saprykin A I, Knapp G. Optimization of the conditions of oxidation vapor generation for determining chlorine, bromine, and iodine in aqueous solutions by inductively

coupled plasma – atomic emission spectrometry[J]. Journal of Analytical Chemistry,2008,63(7),643 – 648.
[4] Anderson K A, Markowski P. Speciation of iodide, iodine, and iodate in environmental matrixes by inductively coupled plasma atomic emission spectrometry using in situ chemical manipulation[J]. Journal of Aoac International,2000,83(1):225 – 230.
[5] Nakahara T, Wasa T. Prior – oxidation procedure for the determination of total iodine in brines and seawaters by inductively coupled plasma atomic emission spectrometry[J]. Analytical Sciences,1988(4):223 – 225.
[6] Nakahara T, Mori T. Analyte volatilization procedure for the determination of low concentrations of iodine by inductively coupled plasma atomic emission spectrometry[J]. Journal of Analytical Atomic Spectrometry,1994(9):159 – 165.
[7] 柴小丽,董亚萍,李海军. 用于直接测定微量卤素的进样装置[P]. 中国专利,202020115662. 4,2020 – 9 – 15.
[8] 张博,马平安,邓蕾,等. 膜分离技术在水处理中的研究热点与进展[J]. 安徽化工,2020,46(5):24 – 26,29.
[9] 孙海敏,刘飞妮,张国亮,等. 环境化工中的气/液膜接触分离过程及其特性[J]. 化工进展,2008,27(6):861 – 866.
[10] Zhang Deng – ji, Cai Yi, Chen Mingli, et al. Dielectric barrier discharge – optical emission spectrometry for the simultaneous determination of halogens[J]. Journal of Analytical Atomic Spectrometry,2016(31):398 – 405.

Design and Application of Sampling Device for Determination of Trace Iodine by ICP – AES

CHAI Xiao – li^{1,2,4}, GAO Dan – dan^{1,2}, LI Hai – jun¹, WANG Bo¹, YANG Ke – li^{1,2},
DONG Ya – ping^{1,2}, LI Wu^{1,3}

(1. Key Laboratory of Comprehensive and Highly Efficient Utilization of Salt Lake Resources, Qinghai Institute of Salt Lakes, Chinese Academy of Sciences, Xining, 810008, China; 2. Qinghai Technology Research and Development Center of Comprehensive Utilization of Salt Lakes Resources, Xining, 810008, China; 3. Qinghai Provincial Key Laboratory of Resources and Chemistry of Salt Lakes, Xining, 810008, China; 4. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100049, China)

Abstract: In order to solve the problems of low sensitivity and high detection limit of direct determination of iodine by inductively coupled plasma atomic emission spectrometry (ICP – AES), an ICP – AES sampling device for the determination of trace iodine was designed. The device could greatly reduce the detection limit of iodine by ICP – AES and the interference of common coexisting ions in brine. A measurement could be completed within 3 minutes by this device, and the linear range of the established method was from 1.65 to 10 000 $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$. The method was applied to the determination of trace iodine in practical brine (including the oilfield brine in Nanyi Mountain and the deep underground brine in Dazhou), the recoveries were in range of 96% ~ 104%, and the RSD of determination was lower than 2%.

Key words: Iodine; Device; Brine; ICP – AES

封面图片:巴木措

巴木措,又名布喀池,意为勇士湖,亦称巴木错。位于西藏那曲地区班戈县境内,西距西藏第一大咸水湖色林错 120 公里,南距西藏第二大咸水湖纳木错 35 公里。湖面海拔 4 555 米,面积约 185 平方公里,湖区年均降水量 300 ~ 400 毫米左右,年均气温 0 ~ 2 $^{\circ}\text{C}$,是班戈县内较大的咸水湖之一,常年有卡莫曲、桑曲、拉青曲康、白桑桑曲等多条地表径流补给,湖中生长有高原裸鲤、温泉裸裂尻鱼等,湖周为高寒牧场。湖水随着阳光的强度和角度的变化,而在一日内呈现多种色彩的视觉转换,时而幽蓝深邃,时而碧绿晶莹,波光粼粼的湖面与周围青青的草场互为衬托,红褐色的远山与碧蓝的天空和朵朵白云交相辉映,共同构成一幅高原湖泊山水画。

(中国科学院青海盐湖研究所 李建森)