

文章编号: 0254 - 5357(2014)01 - 0020 - 05

硼酸溶液敞口酸溶 - 电感耦合等离子体质谱法测定萤石中稀土元素

吴磊, 曾江萍, 刘义博, 吴良英, 张莉娟, 郝爽, 王家松

(中国地质调查局天津地质调查中心, 天津 300170)

摘要: 萤石中稀土元素的研究对揭示成矿物质来源、成矿流体的性质和矿床成因均具有十分重要的意义。传统的过氧化钠碱熔 - 电感耦合等离子体质谱(ICP - MS)分析方法可以解决萤石中稀土元素的测定问题, 但过氧化钠提纯难度高, 过程繁杂, 不宜大量样品的处理, 且待测溶液总盐度大易产生基体干扰等; 常规的酸溶法因使用的试剂一般为硝酸和氢氟酸, 这些酸均不与萤石的主要成分氟化钙发生反应而很少应用。本文基于氟化钙能溶于硫酸和硼酸, 采用硼酸溶液(10% 硫酸和 25% 盐酸介质)和氢氟酸处理样品, 硝酸提取, 引入¹⁰³Rh 和¹⁸⁵Re双内标, 建立了硼酸溶液敞口酸溶 ICP - MS 测定萤石中稀土元素的分析方法。相比于传统的过氧化钠碱熔方法, 本方法采用的试剂纯度高, 可以有效地降低空白, 方法检出限为 0.002 ~ 0.016 μg/g, 低于过氧化钠碱熔方法的检出限(0.006 ~ 0.058 μg/g), 回收率在 94.0% ~ 107.6% 之间, 方法精密度(RSD)为 0.7% ~ 2.7%。本方法配制的硼酸溶液能够有效地与萤石反应, 可充分分解萤石样品, 简化了样品处理流程, 有效地控制了稀土元素的损失, 数据可靠性高, 适用于大量萤石样品的稀土元素分析。

关键词: 萤石; 稀土元素; 硼酸溶液; 敞口酸溶; 电感耦合等离子体质谱法

中图分类号: P578.31; O657.63

文献标识码: B

萤石又称氟石, 主要成分为氟化钙(CaF₂), 为我国的优势资源, 是氟化工、钢铁和水泥等生产中不可缺少的原料^[1], 我国已经形成年产原矿 559 多万吨的综合生产能力^[2]。对萤石原料分析的项目一般有氟化钙、二氧化硅、氧化钙、氧化铁、氧化铝和硫等, 但随其不同工业用途要求而有所不同^[3]。随着检测设备的发展和实际应用检测的需要, 人们对萤石中其他微量元素尤其是稀土元素的检测要求逐渐提高, 因为萤石的物理性质反映出的矿床类型特征, 取决于萤石中稀土元素的含量及分配特征。

传统的过氧化钠碱熔 - 电感耦合等离子体质谱(ICP - MS)测定稀土元素的方法^[4-6], 针对大部分矿石样品都能获得较好的分析结果, 但此方法步骤繁杂, 处理过程长, 过滤难免造成损失, 不宜大批量样品的同时处理; 且样品碱熔处理所用的主要试剂过氧化钠一般多为分析纯, 杂质多, 提纯难度高, 样品空白高, 待测溶液总盐度大易产生基体干扰等。微波消解法^[7-9]和封闭溶样法^[10-12]具有处理过程简单、用酸量小、空白低等优点, 但处理过程中所采

用的硝酸、氢氟酸等试剂均不与萤石的主要成分氟化钙反应, 作者通过实验, 此两种方法均不适合萤石中稀土元素的测定。本文针对萤石中主要成分为氟化钙的特性, 借鉴萤石样品传统分析项目的分析方法以及 ICP - MS 测定其他样品中稀土元素的分析方法, 采用浓度为 12.5 g/L 的硼酸溶液(10% 硫酸和 25% 盐酸介质)敞口处理萤石样品, 处理过程中加入氢氟酸, 以分解样品中的二氧化硅, 蒸干后用硝酸提取, 引入¹⁰³Rh 和¹⁸⁵Re双内标进行 ICP - MS 测定, 建立了简便快捷、适合分析大量萤石样品中稀土元素的方法。

1 实验部分

1.1 仪器及工作条件

X - Series II 型电感耦合等离子体质谱仪(美国 ThermoFisher 公司)。仪器预热后经调谐液调节仪器灵敏度、氧化物(< 2.5%)和双电荷(< 3.0%)产率。优化的仪器条件及工作参数见表 1。

收稿日期: 2013 - 04 - 03; 接受日期: 2013 - 07 - 18

作者简介: 吴磊, 工程师, 从事电感耦合等离子体质谱分析研究。E-mail: a_lei82@163.com。

表1 仪器工作参数

Table 1 Operating parameters of the ICP-MS instrument

工作参数	设定条件	工作参数	设定条件
功率	1400 W	截取锥(镍锥)孔径	0.8 mm
冷却气(Ar)流量	15.4 L/min	测量方式	跳峰
辅助气(Ar)流量	0.80 L/min	进样泵速	30 r/min
雾化气(Ar)流量	0.86 L/min	测量模式	标准
采样锥(镍锥)孔径	1.0 mm	总采集时间	36 s

1.2 主要试剂

多元素混合标准储备液:由单个标准溶液(100 $\mu\text{g}/\text{mL}$)分成轻、重稀土元素组合,逐级稀释而得,介质为2%的硝酸。

调谐液:10 ng/mL ,介质为2%硝酸,包含Li、Co、In、U等代表性元素。

内标溶液:Rh、Re(10 ng/mL),介质为2%硝酸,由光谱纯金属氧化物配制而成的储备液($\rho = 100 \mu\text{g}/\text{mL}$)稀释得到。

过氧化钠(分析纯,天津大沽化工股份有限公司)。

硼酸(分析纯,天津市百世化工有限公司),硫酸(优级纯,北京化工厂),硝酸(优级纯,天津市风船化学试剂科技有限公司),氢氟酸(优级纯,天津市风船化学试剂科技有限公司),盐酸(优级纯,北京化工厂)。

超纯水(电阻率18.0 $\text{M}\Omega \cdot \text{cm}$):由Elix 5型超纯水系统(美国Millipore公司)制得。

12.5 g/L 硼酸溶液(10%硫酸和25%盐酸介质):称取12.5 g 硼酸于250 mL 烧杯中,缓慢加入100 mL 硫酸,加热使硼酸完全溶解,稍冷,移入预先装有约500 mL 水和250 mL 盐酸的1000 mL 容量瓶中,冷却至室温,稀释至刻度,摇匀备用。

1.3 样品的分解和测定

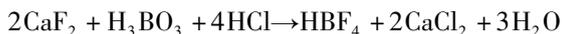
称取0.1000 g 试样于聚四氟乙烯烧杯中,加入20 mL 12.5 g/L 硼酸溶液,置于电热板上低温加热,待烧杯中剩少许酸时,加入5 mL 氢氟酸,将电热板温度调至200 $^{\circ}\text{C}$,蒸至近干,补加10 mL 硼酸溶液。蒸至白烟冒尽,加入10 mL 硝酸溶解盐类,低温加热至烧杯中剩余2~3 mL 硝酸,加水冲洗杯壁,取下冷却,移入100 mL 容量瓶,定容,ICP-MS测定。同时进行2份试剂空白分析。

2 结果与讨论

2.1 样品消解试剂的选择

由于微波消解法和密闭高压消解法中所用到的

硝酸和氢氟酸不与萤石中的氟化钙反应,针对氟化钙的矿物特性,本文采取浓度为12.5 g/L 的硼酸溶液(10%硫酸和25%盐酸介质)分解萤石样品。硼酸和盐酸可以有效地与氟化钙反应形成易溶于水的氟硼酸(HBF_4)和氯化钙(CaCl_2),反应式如下:



而硼酸溶液中的硫酸可以使元素转化为硫酸盐的形式,增加了其熔点,由于硫酸的沸点较高,在高温赶酸的过程中可以尽量把氢氟酸赶尽,避免与样品中的稀土元素生成不溶于水的稀土氟化物使测定结果偏低^[13]。氢氟酸的作用主要是用来分解样品中的二氧化硅。

2.2 样品处理过程中酸的用量

萤石块矿质量标准中,氟化钙的含量从65.0%到98.0%不等,而其中二氧化硅的含量也在1.50%~32.0%之间^[14],有的萤石样品的二氧化硅含量可能更高。针对不同萤石样品中氟化钙和二氧化硅的含量,可视处理情况补加硼酸溶液或氢氟酸以达到完全消解样品的目的。

2.3 元素同位素的选择

应用ICP-MS分析稀土元素,考虑到稀土元素的质量数139~176是连续的,轻稀土的氧化物可能对重稀土产生一定程度的干扰,本实验采用干扰公式在线扣除的方式扣除干扰。文献[9]指出Ba氧化物对Eu干扰的问题,选择¹⁵¹Eu作为同位素分析。文献[15]通过实验说明¹⁵⁵Gd受到明显正干扰,应选用¹⁵⁷Gd。文献[16]提到其他一些低含量中稀土元素氧化物对重稀土元素的叠加不明显(如¹⁵⁹Tb¹⁶O对¹⁷⁵Lu),可以忽略。本文通过实验表明,萤石样品中其他元素测试结果并无明显差异,选择⁸⁹Y、¹³⁹La、¹⁴⁰Ce、¹⁴¹Pr、¹⁴⁶Nd、¹⁴⁷Sm、¹⁵¹Eu、¹⁵⁷Gd、¹⁵⁹Tb、¹⁶³Dy、¹⁶⁵Ho、¹⁶⁶Er、¹⁶⁹Tm、¹⁷²Yb、¹⁷⁵Lu作为分析同位素。

2.4 内标元素的选择

测定过程中加入内标可以监控和校正信号的短期与长期漂移,对基体效应有补偿作用^[17]。根据内标选择的原则,本文采用¹⁰³Rh和¹⁸⁵Re双内标,各元素采用的内标元素见表2。

2.5 分析技术指标

2.5.1 标准曲线和方法检出限

按实验方法对0、2.0、5.0、10.0、20.0、50.0 $\mu\text{g}/\text{L}$ 混合标准溶液进行测定,以各元素的质量浓度对其信号值绘制标准曲线,所有待测元素线性回归方程的相关系数均大于0.9996。为了保证测量的准确性,配制标准溶液时将轻、重稀土元素分开配

制,即以 Eu 为界分为两组配制。

分别采用过氧化钠碱熔和硼酸溶液敞口酸溶制备样品空白溶液,在 ICP-MS 仪器最佳工作条件下连续 12 次测定,以 3 倍标准偏差对应的浓度为方法检出限。表 2 的测定结果表明,硼酸溶液酸溶的方法检出限为 0.002~0.016 $\mu\text{g/g}$,明显比碱熔法的检出限(0.006~0.058 $\mu\text{g/g}$)低。

表 2 方法检出限

Table 2 Detection limits of the method

元素	内标	检出限/ $(\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1})$		元素	内标	检出限/ $(\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1})$	
		碱熔	酸溶			碱熔	酸溶
⁸⁹ Y	¹⁰³ Rh	0.014	0.011	¹⁵⁹ Tb	¹⁸⁵ Re	0.023	0.003
¹³⁹ La	¹⁰³ Rh	0.031	0.012	¹⁶³ Dy	¹⁸⁵ Re	0.008	0.005
¹⁴⁰ Ce	¹⁰³ Rh	0.058	0.016	¹⁶⁵ Ho	¹⁸⁵ Re	0.019	0.003
¹⁴¹ Pr	¹⁰³ Rh	0.007	0.005	¹⁶⁶ Er	¹⁸⁵ Re	0.006	0.004
¹⁴⁶ Nd	¹⁰³ Rh	0.040	0.010	¹⁶⁹ Tm	¹⁸⁵ Re	0.016	0.002
¹⁴⁷ Sm	¹⁰³ Rh	0.009	0.007	¹⁷² Yb	¹⁸⁵ Re	0.007	0.003
¹⁵¹ Eu	¹⁰³ Rh	0.007	0.006	¹⁷⁵ Lu	¹⁸⁵ Re	0.011	0.003
¹⁵⁷ Gd	¹⁸⁵ Re	0.015	0.009				

2.5.2 方法精密度

称取 10 份萤石样品,按照实验方法制成溶液进行测定,各元素测定结果的相对标准偏差(RSD)在 0.7%~2.7% 之间(见表 3),说明方法精密度好,能够满足测试要求。

表 3 方法精密度

Table 3 Precision tests of the method

元素	测定平均值 $w/(\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1})$	RSD/%	元素	测定平均值 $w/(\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1})$	RSD/%
⁸⁹ Y	30.2	0.7	¹⁵⁹ Tb	0.30	1.6
¹³⁹ La	6.18	1.0	¹⁶³ Dy	2.36	1.9
¹⁴⁰ Ce	11.0	1.2	¹⁶⁵ Ho	0.68	1.6
¹⁴¹ Pr	1.15	2.0	¹⁶⁶ Er	2.71	2.2
¹⁴⁶ Nd	4.23	0.9	¹⁶⁸ Tm	0.60	2.7
¹⁴⁷ Sm	1.12	1.2	¹⁷² Yb	5.22	2.0
¹⁵¹ Eu	0.55	2.1	¹⁷⁵ Lu	1.03	2.1
¹⁵⁷ Gd	1.55	1.3			

2.5.3 方法准确度

按照实验方法对萤石样品进行处理,同时加入一定量的标准溶液并测定,各元素的回收率在 94.0%~107.6% 之间(见表 4)。

分别采用过氧化钠碱熔和硼酸溶液敞口酸溶制备样品溶液,ICP-MS 测定。从表 5 可以看出,两种

样品处理方法所得的分析结果很吻合,说明应用硼酸溶液酸溶测定萤石中的稀土元素是可行的。

由于萤石标准物质没有稀土元素的标准值,为了说明方法的准确度,实验过程中用一个岩石标准物质(GBW 07108)来评价监控仪器测量的准确性。从表 6 的分析结果可以看出,仪器测量的准确性较好。

表 4 方法准确度

Table 4 Accuracy tests of the method

元素	$\rho/(\text{ng}\cdot\text{mL}^{-1})$			回收率/%
	样品含量	加标量	样品加标后 测量结果	
⁸⁹ Y	30.5	50.0	81.22	101.4
¹³⁹ La	6.18	5.0	11.08	98.0
¹⁴⁰ Ce	11.0	10.0	20.65	96.5
¹⁴¹ Pr	1.21	2.0	3.33	106.0
¹⁴⁶ Nd	4.22	5.0	9.38	103.2
¹⁴⁷ Sm	1.09	1.0	2.13	104.0
¹⁵¹ Eu	0.55	0.5	1.04	98.0
¹⁵⁷ Gd	1.58	2.0	3.49	95.5
¹⁵⁹ Tb	0.28	0.5	0.76	96.0
¹⁶³ Dy	2.29	2.0	4.38	104.5
¹⁶⁵ Ho	0.72	1.0	1.66	94.0
¹⁶⁶ Er	2.73	5.0	7.88	103.0
¹⁶⁹ Tm	0.56	0.5	1.11	104.0
¹⁷² Yb	5.18	5.0	10.56	107.6
¹⁷⁵ Lu	1.09	1.0	2.12	103.0

表 5 过氧化钠碱熔和硼酸敞口酸溶处理样品的分析结果对比

Table 5 Analytical results of REEs with sodium peroxide fusion and boric acid dissolution

元素	过氧化钠碱熔 $w/(\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1})$				硼酸溶液敞口酸溶 $w/(\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1})$			
	样品 1	样品 2	样品 3	样品 4	样品 1	样品 2	样品 3	样品 4
⁸⁹ Y	30.1	183.0	172.0	115.0	29.6	185.0	171.0	113.0
¹³⁹ La	6.44	16.17	14.63	9.28	6.12	16.30	16.30	9.60
¹⁴⁰ Ce	12.00	29.64	30.55	16.12	10.7	27.40	29.60	15.60
¹⁴¹ Pr	1.21	2.94	3.52	1.65	1.91	3.07	3.46	1.77
¹⁴⁶ Nd	4.35	11.33	11.44	6.17	4.26	11.90	13.30	6.64
¹⁴⁷ Sm	1.18	4.08	3.93	1.83	1.11	4.02	4.35	1.92
¹⁵¹ Eu	0.56	2.18	2.22	0.90	0.57	2.19	2.49	0.96
¹⁵⁷ Gd	1.69	7.49	6.95	3.49	1.56	7.56	7.67	3.55
¹⁵⁹ Tb	0.32	1.59	1.50	0.84	0.31	1.55	1.63	0.85
¹⁶³ Dy	2.46	11.58	11.04	7.20	2.38	11.80	12.70	7.81
¹⁶⁵ Ho	0.68	2.83	2.78	2.20	0.68	2.92	3.22	2.42
¹⁶⁶ Er	2.81	9.98	10.14	9.30	2.69	10.0	11.30	9.84
¹⁶⁹ Tm	0.60	1.76	1.82	1.80	0.59	1.77	2.07	1.95
¹⁷² Yb	5.47	14.16	14.76	14.76	5.21	14.1	16.50	15.90
¹⁷⁵ Lu	1.08	2.59	2.68	2.71	1.05	2.61	3.08	2.93

表6 GBW 07108的准确度

Table 6 Accuracy tests of GBW 07108

元素	$w/(\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1})$		元素	$w/(\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1})$	
	标准值	测定值		标准值	测定值
⁸⁹ Y	9.10	9.06	¹⁵⁹ Tb	0.35	0.34
¹³⁹ La	15.0	15.03	¹⁶³ Dy	1.60	1.58
¹⁴⁰ Ce	25.0	24.98	¹⁶⁵ Ho	0.33	0.32
¹⁴¹ Pr	3.40	3.42	¹⁶⁶ Er	1.10	1.13
¹⁴⁶ Nd	12.0	11.97	¹⁶⁸ Tm	0.17	0.18
¹⁴⁷ Sm	2.40	2.45	¹⁷² Yb	0.90	0.92
¹⁵¹ Eu	0.51	0.53	¹⁷⁵ Lu	0.14	0.15
¹⁵⁷ Gd	1.90	1.92			

3 结语

采用硼酸溶液敞口酸溶处理样品,电感耦合等离子体质谱法测定萤石中的稀土元素。采用的试剂几乎都能采购到纯度更高的级别,相对于传统的过氧化钠碱熔方法中过氧化钠难提纯的问题,可以有效地降低空白。同时本方法简化了样品处理流程,用时短,有效地控制了稀土元素的损失,回收率在94.0%~107.6%之间;通过采取¹⁰³Rh和¹⁸⁵Re双内标校正,有效地降低信号漂移对分析结果的影响,方法检出限由过氧化钠碱熔法的0.006~0.058 μg/g降低至0.002~0.016 μg/g,提高了测定精度,解决了当前没有采用酸溶法分析萤石中稀土元素研究的现状,提高了分析效率。本方法步骤少,操作简便,数据可靠性高,适用于大量萤石样品的稀土元素分析。

由于萤石块矿质量标准中,萤石可分为特二级~七级共九个等级,氟化钙和二氧化硅含量差别很大,下一步工作可以根据萤石质量标准,针对萤石样品中氟化钙和二氧化硅的含量,研究添加准确详细的试剂用量。

4 参考文献

- [1] 袁俊宏. 我国萤石资源开发利用情况[J]. 化工新型材料, 2005, 33(6): 55-56, 75.
- [2] 王怀宇. 世界萤石(氟石)生产消费及国际贸易[J]. 中国非金属矿工业导刊, 2009(6): 54-58.
- [3] 魏金凤, 段香芝, 许东利, 曾小兰. 萤石化学成分分析方法探讨[J]. 非金属矿, 2000, 23(2): 17, 37.
- [4] 王蕾, 何红蓼, 李冰. 碱熔沉淀-等离子体质谱法测定地质样品中的多元素[J]. 岩矿测试, 2003, 22(2): 86-92.

- [5] 李艳玲, 熊采华, 黄慧萍, 陶德刚, 方金东. 基体分离-电感耦合等离子体质谱测定重晶石中超痕量稀土元素[J]. 岩矿测试, 2005, 24(2): 87-92.
- [6] 周国兴, 刘玺祥, 崔德松. 碱熔 ICP-MS 法测定岩石样品中稀土等 28 种金属元素[J]. 质谱学报, 2010, 31(2): 120-124.
- [7] 黄一帆, 林文业, 黄文琦, 龙智翔. ICP-MS 法测定土壤中十五种稀土元素[J]. 广东微量元素科学, 2008, 15(11): 46-49.
- [8] 陈永欣, 黎香荣, 韦新红, 吕泽厄, 谢毓群, 蔡维专. 微波消解-电感耦合等离子体质谱法测定土壤和沉积物中痕量稀土元素[J]. 岩矿测试, 2011, 30(5): 560-565.
- [9] 黄凤妹. 微波消解-电感耦合等离子体质谱法检测土壤中 16 种稀土元素[J]. 中国无机分析化学, 2012, 2(1): 43-46.
- [10] 何红蓼, 李冰, 韩丽荣, 孙德忠, 王淑贤, 李松. 封闭压力酸溶 ICP-MS 法分析地质样品中 47 个元素的评价[J]. 分析实验室, 2002, 21(5): 8-12.
- [11] 张保科, 温宏利, 王蕾, 马生凤, 巩爱华. 封闭压力酸溶-盐酸提取-电感耦合等离子体质谱法测定地质样品中的多元素[J]. 岩矿测试, 2011, 30(6): 737-744.
- [12] 刘晔, 第五春荣, 柳小明, 袁洪林. 密闭高压高温溶样 ICP-MS 测定 56 种国家地质标准物质中的 36 种痕量元素——对部分元素参考值修正和定值的探讨[J]. 岩矿测试, 2013, 32(2): 221-228.
- [13] 王君玉, 吴葆存, 李志伟, 韩敏, 钟莅湘. 敞口酸溶-电感耦合等离子体质谱法同时测定地质样品中 45 个元素[J]. 岩矿测试, 2011, 30(4): 440-445.
- [14] 岩石矿物分析编委会. 岩石矿物分析(第四版 第二分册)[M]. 北京: 地质出版社, 2011: 349-350.
- [15] 陈福强, 何光涛, 李其英. 地质样品中微-痕量稀土元素 ICP-MS 测定[J]. 广州化工, 2011, 39(14): 115-117.
- [16] Smirnova E V, Fedorova I N, Sandimirova G P, Petrov L L, Balbekina N G, Lozhkin V I. Determination of rare earth elements in black shales by inductively coupled plasma mass spectrometry [J]. *Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy*, 2003, 58(2): 329-340.
- [17] 王初丹, 侯明. 电感耦合等离子体质谱法测定地质样品中的稀土、钍元素[J]. 桂林理工大学学报, 2011, 31(3): 454-456.

Determination of Rare Earth Elements in Fluorite Samples by Open Boric Acid Dissolution and Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry

WU Lei, ZENG Jiang-ping, LIU Yi-bo, WU Liang-ying, ZHANG Li-juan, HAO Shuang, WANG Jia-song

(Tianjin Institute of Geology and Mineral Resources, China Geological Survey, Tianjin 300170, China)

Abstract: The research of rare earth elements (REEs) in fluorite has very important significance for determining the source of ore-forming materials, the nature of ore-forming fluid and genesis. The determination of REEs in fluorite can be solved by Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry (ICP-MS) with sodium peroxide fusion, but the sample handling process is complex; sodium peroxide is difficult to purify and matrix interferences derive from high salinity solution, making it unsuitable for processing large numbers of samples. Nitric acid and hydrofluoric acid, which are used for the conventional method, do not react with calcium fluoride, which can be dissolved in sulfuric acid and boric acid. To this end, a method for the determination of 15 rare earth elements in fluorite by ICP-MS has been developed. The fluorite samples were decomposed with boric acid solution (media with 10% H_2SO_4 and 25% HCl) and hydrofluoric acid in PTFE beakers, and then dissolved with nitric acid. Two internal standards of ^{103}Rh and ^{185}Re were selected to compensate the drift of analytical signals and correct matrix effects by ICP-MS. Compared with the traditional sodium peroxide alkali fusion method, this method adopted the reagents of high purity which can reduce the background effectively. The detection limits were 0.002 – 0.016 $\mu g/g$, which is lower than that by sodium peroxide fusion (0.006 – 0.058 $\mu g/g$), and the precisions were 0.7% – 2.7%. The results of this method were consistent with the results by sodium peroxide fusion. The new established method was simple and had a low detection limit for processing large numbers of fluorite samples.

Key words: fluorite; rare earth elements; boric acid solution; open acid dissolution; Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry