

基体分离-电感耦合等离子体发射光谱法测定赤泥中的稀土氧化物

胡璇¹, 程紫辉^{1*}, 张树朝², 石磊²

1. 国标(北京)检验认证有限公司, 北京 100088

2. 国家轻金属质量监督检验中心, 河南 郑州 450041

摘要 从赤泥中提取稀土金属, 开发高附加值产品, 对保护环境特别是提高矿产资源的综合利用率以及实现可持续发展有着重要的意义。赤泥中的稀土元素含量较低(0.001 0%~0.050%), 且存在大量的铝和铁等基体元素, 如何掩蔽基体元素对稀土元素的干扰是准确定量的关键。传统酸溶法会造成部分元素消解不完全, 难以准确定量, 回收率低, 碱熔法则会由于引入大量的碱熔剂造成严重的基体干扰, 同时还会堵塞雾化器。采用氢氧化钠熔融赤泥, 熔融物用热水浸取, 三乙醇胺溶液掩蔽铝和铁, 乙二胺四乙酸二钠溶液络合钙、镁等干扰元素, 稀土氧化物留存于沉淀中, 沉淀经盐酸溶解进入待测液, 从而将稀土元素与熔剂和基体元素分离。实验结果表明: 标准溶液无需基体匹配, 各稀土氧化物校准曲线的线性相关系数均不小于0.999 9, 检出限在0.000 2%~0.001 5%之间; 按照实验方法分析实际样品中稀土氧化物的含量, 测定结果的相对标准偏差(RSD, $n=6$)为2.5%~7.2%, 回收率为85.0%~105.0%; 本方法与电感耦合等离子体质谱法(ICP-MS)相比, 两种方法的测定结果无显著性差异。ICP-OES实现了赤泥中稀土氧化物的同时测定, 为今后分析赤泥中的稀土氧化物奠定了基础。

关键词 赤泥; 稀土氧化物; 氢氧化钠; 基体分离; 电感耦合等离子体发射光谱法

中图分类号: O657.31 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3964/j.issn.1000-0593(2022)10-3130-05

引言

赤泥是氧化铝工业生产过程中排出的一种固体废物, 其中含有的物质既损害人体健康又污染水源, 每生产1 t氧化铝, 会产出1~1.6 t赤泥。稀土作为21世纪的战略元素, 已广泛应用于国民经济的各个领域。在氧化铝生产中, 铝土矿中98%以上的钪富集于赤泥中, 赤泥中的钪含量比地壳中富集了约2个数量级^[1]。从赤泥中提取稀土金属, 开发高附加值产品, 对保护环境特别是提高矿产资源的综合利用率以及实现可持续发展有着重要的意义。

目前, 稀土的分析方法包括重量法^[2]、分光光度法^[3]和容量法^[4]等传统化学法及电感耦合等离子体发射光谱法^[5-7](ICP-OES)、电感耦合等离子体质谱法^[8-10](ICP-MS)、X射线荧光光谱法^[11-12](XRF)等现代仪器分析法。由于稀土元素在化学性质上极其相似, 传统的化学分析方法通常只能测稀土氧化物总量(YS/T 575.14—2007)或少数含量较高的单一稀土元素, 过程冗繁。XRF法测定矿石中的稀土元素存在的

主要问题是缺少基体匹配的标准物质, 且灵敏度较低。ICP-OES和ICP-MS法是目前稀土元素分析的主要手段, ICP-OES具有检出限低、精密度好、动态范围宽等特点, 相对于ICP-OES, ICP-MS灵敏度更高且干扰更低, 但由于仪器成本较高, 相当一部分实验室选择ICP-OES测定矿石中的稀土元素。

赤泥中的稀土元素含量较低(0.001 0%~0.050%), 且赤泥中存在大量的铝和铁等基体元素, 如何掩蔽基体元素对稀土元素的干扰是准确定量的关键。传统酸溶法^[13]会造成部分元素消解不完全, 难以准确定量, 回收率低, 碱熔法^[14]则会由于引入大量的碱熔剂造成严重的基体干扰, 同时还会堵塞雾化器。本实验采用氢氧化钠熔融、热水浸取和盐酸酸化法测定赤泥, 同时经过滤洗涤消除大量碱熔剂, 以及采用三乙醇胺掩蔽铝、铁, 乙二胺四乙酸二钠溶液络合钙、镁等干扰元素, 校准曲线无需基体匹配, 利用ICP-OES实现了赤泥中稀土氧化物的同时测定, 为今后分析赤泥中的稀土氧化物奠定了基础。

收稿日期: 2021-05-27, 修订日期: 2022-03-28

基金项目: 中国铝业股份有限公司技术标准项目(ZY2019GZC01)资助

作者简介: 胡璇, 1983年生, 国标(北京)检验认证有限公司高级工程师 e-mail: hux19832003@aliyun.com

* 通讯作者 e-mail: chengzihui@gbtgroup.com

1 实验部分

1.1 主要试剂

稀土氧化物标准储存溶液: 分别称取 0.100 0 g 氧化镧 [$w(\text{La}_2\text{O}_3) \geq 99.99\%$]、氧化铈 [$w(\text{CeO}_2) \geq 99.99\%$]、氧化镨 [$w(\text{Pr}_6\text{O}_{11}) \geq 99.99\%$]、氧化钕 [$w(\text{Nd}_2\text{O}_3) \geq 99.99\%$]、氧化钐 [$w(\text{Sm}_2\text{O}_3) \geq 99.99\%$]、氧化铽 [$w(\text{Y}_2\text{O}_3) \geq 99.99\%$], 预先盛于铂金皿中在 850 °C 灼烧 1 h, 置于干燥器中冷却于 100 mL 烧杯中, 加入 50 mL 50% 的盐酸和几滴过氧化氢, 盖上表面皿, 置于电炉上缓慢加热至完全溶解, 然后煮沸 5 min 冷却, 用少量水吹洗表面皿, 移入 100 mL 容量瓶中, 用水稀释至刻度, 混匀。此溶液中氧化镧、氧化铈、氧化镨、氧化钕、氧化钐、氧化铽的浓度均为 $1.0 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 。

稀土氧化物标准溶液: 移取 5.00 mL 稀土氧化物标准储存溶液于 100 mL 容量瓶中, 加入 10 mL 50% 的盐酸, 用水稀释至刻度, 混匀。此溶液中氧化镧、氧化铈、氧化镨、氧化钕、氧化钐、氧化铽的浓度均为 $50 \mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ 。

乙二醇四乙酸二钠溶液 ($40 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$), 氢氧化钠洗液 ($20 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$)。

氧化镧、氧化铈、氧化镨、氧化钕、氧化钐、氧化铽均为基准试剂, 盐酸、氢氧化钠、三乙醇胺均为分析纯试剂, 实验用水为二次蒸馏水。

1.2 仪器及参数

电感耦合等离子体发射光谱仪 (ICAP7000, 美国赛默飞世尔科技公司)。仪器工作条件为: 射频功率 1 150 W, 雾化器压力 172 kPa, 冷却气流量 $15 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$, 辅助气流量 $0.50 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$, 冲洗泵速 $100 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ ($1.85 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$), 分析泵速 $100 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ ($1.85 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$), 积分时间 20 s, 清洗时间 15 s, 重复次数: 2 次。

1.3 方法

1.3.1 样品

准确称取 ($0.50 \pm 0.000 2$) g 赤泥样品, 放入预先装有 3 g 氢氧化钠的 30 mL 银坩埚中, 混匀, 再覆盖 3 g 氢氧化钠, 加盖, 置于 (750 ± 20) °C 的高温炉中熔融 5 min, 取出冷却。将坩埚移入一盛有 100 mL 水的 300 mL 烧杯中, 加入 10~20 mL 三乙醇胺溶液和 5~10 mL 乙二醇四乙酸二钠溶液, 待剧烈反应停止后, 置电炉上加热煮沸, 使融块脱落, 洗出坩埚。待溶液稍冷后, 用中速定量滤纸过滤, 用氢氧化钠洗液洗涤烧杯及沉淀 3~4 次, 再用热水洗至滤液近中性 (用 pH

试纸检测), 弃去滤液。用 40 mL 50% 的热盐酸分次溶解滤纸上的沉淀于 100 mL 容量瓶中, 再用热水冲洗滤纸 7~8 次, 最后用水稀释至刻度, 混匀, 上机待测。

1.3.2 系列标准溶液的配制

分别移取 0, 0.10, 0.20, 0.50, 1.00, 2.00 和 5.00 mL 稀土氧化物标准溶液于 7 个 100 mL 容量瓶中, 加入 20 mL 50% 的盐酸, 用水稀释至刻度, 混匀。

2 结果与讨论

2.1 溶样方法的选择

采用硝酸、盐酸、高氯酸和氢氟酸等传统酸溶法对赤泥中的稀土元素进行测定, 由于地质样品组分复杂, 元素之间存在相互共生的现象, 部分元素消解不完全, 测定结果往往不准确^[13]。胡璇^[14]等采用氢氧化钠提取赤泥中的稀土元素, 该法引入大量的碱熔剂容易堵塞雾化器, 且大量的碱熔剂对稀土元素的测定造成严重的干扰。本文采用氢氧化钠对赤泥样品进行熔融分解, 同时, 通过过滤洗涤除掉大量的碱熔剂。实验表明, 该方法不仅对赤泥的分解效果较好, 溶液澄清透明, 而且对雾化器起到了一定的保护作用。

2.2 溶样条件的选择

称样量、熔剂用量是影响样品溶解状况的重要因素。称样量太大, 样品溶解不彻底, 测定结果偏低; 称样量太少, 称量误差较大, 影响测定结果的代表性。熔剂加入量过多, 燃烧剧烈, 导致熔融物外溢; 熔剂加入量过少, 样品溶解不彻底。实验考察了 0.25, 0.5 和 1.0 g 赤泥中分别加入 4.0, 5.0, 6.0 和 7.0 g 氢氧化钠熔剂时样品的溶解状况, 结果见表 1。为了使熔剂较好地覆盖赤泥, 实验选择称样量为 0.50 g, 熔剂用量为 6 g。

表 1 称样量和熔剂用量的考察

Table 1 The investigation of amount of sample and flux

编号	赤泥/g	氢氧化钠/g	溶解状况
1	0.25	4.0	溶清, Pr_6O_{11} 相对标准偏差稍大
2	0.25	5.0	溶清, Pr_6O_{11} 相对标准偏差稍大
3	0.25	6.0	溶清, Pr_6O_{11} 相对标准偏差稍大
4	0.25	7.0	溶清, Pr_6O_{11} 相对标准偏差稍大
5	0.50	4.0	赤泥覆盖不完全
6	0.50	5.0	溶清
7	0.50	6.0	溶清
8	0.50	7.0	试样和熔剂溢出坩埚
9	1.0	4.0	后续过滤和洗涤困难
10	1.0	5.0	后续过滤和洗涤困难
11	1.0	6.0	后续过滤和洗涤困难
12	1.0	7.0	后续过滤和洗涤困难

熔融温度和时间直接影响着样品的分解率。温度过低, 时间过短, 样品分解率低; 温度过高, 时间过长, 加大其对坩埚的腐蚀性, 并且样品挥发损失较多。实验考察了 0.5 g 赤泥与 6 g 氢氧化钠分别在 700 °C-5 min, 700 °C-10 min, 750 °C-5 min 和 750 °C-10 min 下稀土氧化物的结果, 结果表

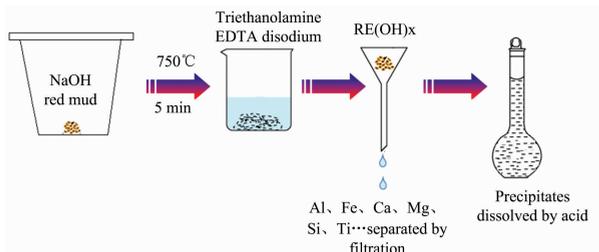


图 1 溶样过程示意图

Fig. 1 Schematic diagram of dissolution process

明:在以上各熔融温度和时间下,稀土氧化物的结果没有明显差异。为了使复杂基体的赤泥熔融完全,实验适当提高熔融温度,选择熔融温度为 750 °C 和熔融时间为 5 min。

2.3 分析谱线的选择

由于赤泥中稀土含量较低,考虑到稀土与稀土间、稀土与基体间的干扰,需选择灵敏度高、干扰小的谱线。由于 La, Ce, Sc 和 Y 受基体干扰较小,分别选择它们的最灵敏线。然而,选取 Pr 414.3 nm 和 Pr 417.9 nm 测试样品时发现主峰两侧均有明显的干扰峰,选取 Nd 401.2 nm 和 Nd 430.3 nm 测试时主峰较宽且峰形不规则,因此,选取 Pr 410.0 nm 和 Nd 406.1 nm 作为分析谱线为宜。

表 2 稀土元素的分析谱线

Table 2 Spectral line of rare earth elements

元素	波长/nm	元素	波长/nm
La	408.6	Nd	406.1
Ce	418.6	Sc	361.3
Pr	410.0	Y	377.4

2.4 共存元素的干扰

由于溶样过程中加入了大量的氢氧化钠熔剂,如此大量的熔剂会极大地降低稀土的发射强度,并且容易堵塞雾化器,本实验采用传统过滤多次洗涤的方式实现稀土与熔剂的分离,大大降低了待测液中钠的含量,有效降低了熔剂的干扰。

赤泥中含有大量的铝和铁基体,其中 Al_2O_3 含量可达 20%, Fe_2O_3 含量可达 40%。铝与氢氧化钠形成铝酸钠在过滤中被除掉,铁与适量的三乙醇胺络合在过滤和多次洗涤的过程中也被除掉。实验考察了赤泥经不同浓度的三乙醇胺络合后溶液中铁含量的变化,结果表明:10~20 mL 的三乙醇胺溶液可将溶液中的铁浓度降至 $10 \mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$,且适当量的三乙醇胺并不影响稀土氧化物沉淀。同时,考察了基体分离前后赤泥中稀土氧化物含量的变化,见表 3,从表中可以看出,基体分离是降低稀土测定干扰的有效途径,基体分离后赤泥中稀土氧化物的含量与不加基体的对照溶液中稀土氧化物的含量没有显著差别。

表 3 基体分离前后稀土氧化物含量的变化

Table 3 Changes of content of rare earth oxides before and after separation of matrix/ $\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$

基体	La_2O_3	CeO_2	Pr_6O_{11}	Nd_2O_3	Sc_2O_3	Y_2O_3
/	0.20	1.00	0.20	0.20	0.20	0.20
$1.500 \mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1} \text{Fe}_2\text{O}_3$	0.12	0.86	0.15	0.17	0.18	0.18
$3.500 \mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1} \text{Al}_2\text{O}_3$	0.15	0.75	0.14	0.16	0.19	0.18
$10 \mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1} \text{Fe}_2\text{O}_3$	0.21	1.10	0.21	0.20	0.19	0.18
$20 \mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1} \text{Al}_2\text{O}_3$	0.21	1.20	0.20	0.22	0.20	0.19

赤泥中的钙和镁,通过与乙二胺四乙酸二钠络合形成稳定的配合物在过滤和多次洗涤的过程中被除掉。一般而言,赤泥中 $\text{CaO} + \text{MgO}$ 含量小于 5%,按照络合比 1:1 计算,

5~10 mL 乙二胺四乙酸二钠溶液就可以将钙、镁完全络合。赤泥中的硅、钛与过量的氢氧化钠反应生成硅酸钠和钛酸钠,在过滤过程中也一并被除掉。

2.5 校准曲线和检出限

在仪器最佳工作条件下测定系列标准溶液,以待测元素质量浓度为横坐标,发射强度为纵坐标,校准曲线的线性方程和相关系数见表 4。在同样条件下对空白溶液连续测定 20 次,以 3 倍空白标准偏差计算待测元素的检出限,以 10 倍空白标准偏差计算方法的测定下限,结果见表 4。从表中数据可以得知,相比于门倩妮^[13]采用氢氟酸-硝酸-硫酸体系测定多金属矿中的稀土元素,本方法消除了基体和杂质元素对稀土测定的干扰,其检出限得到一定程度的提高,满足赤泥中稀土氧化物检测的需要。

表 4 稀土氧化物的线性方程、相关系数和检出限

Table 4 Linear equation, correlation coefficient and detection limit

稀土氧化物	线性方程	相关系数	检出限/%	测定下限/%
La_2O_3	$y=51.91x+0.85$	0.999 9	0.000 8	0.002 7
CeO_2	$y=8.35x+0.097$	0.999 9	0.001 0	0.003 3
Pr_6O_{11}	$y=7.35x+0.22$	0.999 9	0.001 2	0.004 0
Nd_2O_3	$y=7.39x-0.32$	0.999 9	0.001 5	0.005 0
Sc_2O_3	$y=176.63x-0.58$	1.000 0	0.000 2	0.000 5
Y_2O_3	$y=22.40x-0.51$	0.999 9	0.000 2	0.000 5

2.6 精密度和回收率试验

按照实验方法对赤泥样品中的稀土元素平行测定 6 次,计算赤泥样品 6 次平行测定时的相对标准偏差(RSD)。同时,由于赤泥标准样品均未对稀土氧化物进行定值,因此本实验中对赤泥样品进行了加标实验,考察加标回收率。从表 5 可以看出,测定结果的相对标准偏差(RSD, $n=6$)在 2.5%~7.2% 之间,回收率在 85.0%~105.0% 之间,表明该方法测定结果稳定、准确可靠。

表 5 精密度和回收率试验结果($n=6$)

Table 5 Precision and recovery rate tests of the method

稀土氧化物	本底值/mg	RSD/%	加标量/mg	测定总量/mg	回收率/%
La_2O_3	0.038	3.5	0.020	0.058	102.5
CeO_2	0.085	3.2	0.050	0.13	98.0
Pr_6O_{11}	0.021	6.5	0.010	0.030	92.7
Nd_2O_3	0.036	7.2	0.020	0.053	85.0
Sc_2O_3	0.034	2.5	0.020	0.054	100.0
Y_2O_3	0.032	3.1	0.020	0.053	105.0

2.7 方法比对

按照实验方法采用 ICP-MS 对赤泥样品中的稀土氧化物进行了测定,从测定结果(表 6)可知,ICP-OES 法与 ICP-MS 法的测定结果基本一致,两种方法中 Pr_6O_{11} 和 Nd_2O_3 的相对误差超过 8%,可能是由于仪器稳定性原因导致其相对误

差稍大, 其余稀土氧化物的相对误差在 2.67%~5.88%, 表明该实验方法具有较高的准确性。

3 结 论

采用氢氧化钠熔融赤泥样品, 掩蔽和过滤多次洗涤的方法分离基体和共存元素, 利用 ICP-OES 测定赤泥中的稀土氧化物含量。标准溶液无需基体匹配, 标准曲线线性较好, 方法检出限、精密度和加标回收率均满足分析检测的要求。由于采用碱熔和基体分离的方法, 不仅赤泥的分解效果较好, 溶液澄清透明, 而且对雾化器起到了一定的保护作用。该方法一次溶样, 多元素同时测定, 适合日常赤泥样品中稀土氧化物的快速检测。

表 6 赤泥中稀土氧化物的测定结果

Table 6 Analytical results of rare earth oxide in red mud

测定方法	La ₂ O ₃	CeO ₂	Pr ₆ O ₁₁	Nd ₂ O ₃	Sc ₂ O ₃	Y ₂ O ₃
ICP-OES/%	0.007 5	0.017	0.004 1	0.007 2	0.006 8	0.006 3
ICP-MS/%	0.007 7	0.018	0.004 5	0.007 8	0.006 6	0.006 1
相对误差/%	2.67	5.88	9.76	8.33	2.94	3.17

References

- [1] LI Bin, WANG Zhi-ping, QU Fan, et al(李 彬, 王枝平, 曲 凡, 等). Journal of Kunming University of Science and Technology • Natural Science(昆明理工大学学报 • 自然科学版), 2019, 44(2): 1.
- [2] WANG Bao-lei, WU Yu-feng, ZHANG Qi-jun, et al(王宝磊, 吴玉锋, 章启军, 等). Chinese Rare Earths(稀土), 2016, 37(5): 92.
- [3] HU Shan-ling, QIU Jin, WU Zhi-fang, et al(胡珊玲, 邱 谨, 吴志芳, 等). Metallurgical Analysis(冶金分析), 2016, 36(10): 85.
- [4] SUN Zhi-feng, ZHANG Zhi-gang, ZHANG Yi-ming, et al(孙志峰, 张志刚, 张翼明, 等). Chinese Rare Earths(稀土), 2010, 31(1): 77.
- [5] Nuchdang S, Injarean U, Rattanaphra D. International Nuclear Science and Technology Conference, 2019.
- [6] PAN Chun-xiu, WANG Wei, LI De-jun, et al(潘春秀, 王 伟, 李德军, 等). Physical Testing and Chemical Analysis Part B: Chemical Analysis(理化检验-化学分册), 2019, 55(2): 227.
- [7] ZHANG Wen-juan, XIE Ling-jun, LIU Hong(张文娟, 谢玲君, 刘 鸿). Nonferrous Metals Science and Engineering(有色金属科学与工程), 2016, 7(6): 141.
- [8] SONG Xun-dong, FAN Xiao-wei, CHEN Wen, et al(宋旭东, 樊小伟, 陈 文, 等). Metallurgical Analysis(冶金分析), 2018, 38(6): 19.
- [9] DONG Xue-lin, HE Hai-yang, CHU Qin, et al(董学林, 何海洋, 储 溱, 等). Rock and Mineral Analysis(岩矿测试), 2019, 38(6): 620.
- [10] Satyanarayanan M, Balaram V, Sawant S S, et al. Atomic Spectroscopy, 2018, 39(1): 1.
- [11] YUAN Jing, SHEN Jia-lin, LIU Jian-kun, et al(袁 静, 沈加林, 刘建坤, 等). Spectroscopy and Spectral Analysis(光谱学与光谱分析), 2018, 38(2): 582.
- [12] JIANG Tian-yi, WU Wen-qi, ZHANG Shu-jie, et al(蒋天怡, 吴文琪, 张术杰, 等). Metallurgical Analysis(冶金分析), 2017, 37(12): 27.
- [13] MEN Qian-ni, SHEN Ping, GAN Li-ming, et al(门倩妮, 沈 平, 甘黎明, 等). Rock and Mineral Analysis(岩矿测试), 2020, 39(1): 59.
- [14] HU Xuan, LIU Wan-chao, SHI Lei(胡 璇, 刘万超, 石 磊). Physical Testing and Chemical Analysis Part B: Chemical Analysis(理化检验: 化学分册), 2017, 53(11): 1304.

Matrix Separation-Determination of Rare Earth Oxides in Bauxite by Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry

HU Xuan¹, CHENG Zi-hui^{1*}, ZHANG Shu-chao², SHI Lei²

1. Guobiao (Beijing) Testing & Certification Co., Ltd., Beijing 100088, China

2. China National Quality Supervision and Inspection Center for Light Metal, Zhengzhou 450041, China

Abstract Extracting rare earth elements from hematite and developing high-value-added products can improve the comprehensive utilization of mineral resources, inject resources into enterprises and promote the development of high and new technology. The content of rare earth oxides in red mud is low (0.001 0 %~0.050 %), and there are many matrix elements such as aluminum and iron in red mud. How to eliminate the interference of matrix elements in the determination of rare earth oxides is important. The traditional acid dissolving methods can cause incomplete digestion of some elements, which are difficult to quantify accurately and has a low recovery rate. In contrast, the alkali fusion methods can introduce a large amount of alkali flux and cause serious matrix interferences, also block the atomizer at the same time. Red mud was melted with sodium hydroxide and extracted with hot water. Triethanolamine solution was used to eliminate the matrix interferences of aluminum and iron, EDTA disodium solution was used to complex with calcium, magnesium and other interfering elements, and rare earth hydroxide was retained in the precipitation, precipitation was dissolved into the liquid to be tested by hydrochloric acid. Thus rare earth elements were separated from fluxes and matrix elements. The experiment showed that the standard solution did not need matrix matching, the linear correlation coefficients of the calibration curve were not smaller than 0.999 9, and the detection limits were 0.000 2%~0.001 5%. The relative standard deviations of rare earth oxides in the sample were between 2.5% and 7.2%, recovery rates were between 85.0% and 105.0%; results of inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS) were consistent with that of ICP-OES. ICP-OES realized the analysis of rare earth oxides in red mud in the future.

Keywords Red mud; Rare earth oxide; Sodium hydroxide; Matrix interference; Inductively coupled plasma optical emission spectrometry

(Received May 27, 2021; accepted Mar. 28, 2022)

* Corresponding author