

文章编号: 0254-5357(2015)04-0487-07

DOI: 10.15898/j.cnki.11-2131/td.2015.04.018

赣南小流域水体中溶解态稀土含量及 pH 和 Eh 值变化特征

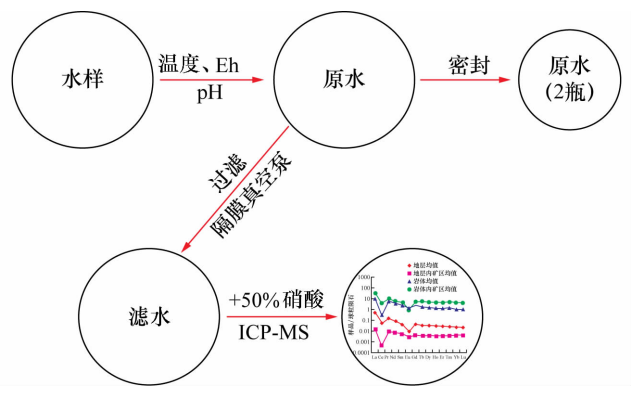
何晗晗¹, 于 扬^{2*}, 刘新星³, 黄 凡², 赵 芝², 李 超⁴

- (1. 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037;
2. 国土资源部成矿作用与资源评价重点实验室, 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037;
3. 中国地质大学(北京)地球科学与资源学院, 北京 100083;
4. 国家地质实验测试中心, 北京 100037)

摘要: 测试流经稀土矿区河水的 pH 和 Eh 值, 可以反映矿区的酸碱性、氧化还原环境。本文以赣南地区濂水、桃江、东江流域为研究对象, 利用 ICP-MS 和三通道多参数测试仪分别测试水样中溶解态稀土含量(DREEs)和 pH、Eh 值, 分析 pH、Eh 值的变化特征以及 DREEs 含量与 pH 值的相关性。结果表明: ①研究区水体中 DREEs 含量变化较大, 介于几 $\mu\text{g/L}$ 至几十 mg/L 之间; DREEs 经球粒陨石标准化后表现为弱的轻稀土富集模式, Eu、Ce 显示负异常; ②溶解态稀土及 La 含量分别与 pH 值呈弱的负相关性, 说明地表水体中 DREEs 浓度及分布模式在一定程度上受外部环境酸碱性的影响; ③对于流经地层、地层内离子吸附型稀土矿区的水样, 其 pH 均值分别为 7.40、6.94, Eh 均值分别为 -0.023 V、6.55 mV; 对于流经岩体、风化壳离子吸附型稀土矿区的水样, 其 pH 均值分别为 6.61、4.37, Eh 均值分别为 0.024 V、0.15 V, 表明赣南地区离子吸附型稀土矿区处于中酸性的氧化环境。

关键词: 赣南小流域; 溶解性稀土; 电感耦合等离子体质谱法; pH 值; Eh 值

中图分类号: O614.33; O657.63 **文献标识码:** A



地质和岩石矿物环境条件, 是影响河水化学成分差异的主要因素, 同时河水的某些化学指标, 如 pH、Eh、溶解氧、主要离子、硬度和矿化度等, 也是表征水环境的特征、功能, 反映地表物质风化强度的重要参数^[1]。因此, 对流经稀土矿区水样的 pH、Eh 值测试, 可以反映稀土矿区的酸碱性、氧化还原环境。前人对地表水中 pH 值及溶解态稀土研究发现, 水体中溶解态稀土(DREEs, $<0.45 \mu\text{m}$)在地表水中含量较低, 一般在 $\mu\text{g/L}$ 级以下^[2-3], 与地带性及区域地质环境条件的变化未表现出显著的相关

性^[4-6], 但近年来研究表明, DREEs 在不同河流水体甚至同一水体的不同时间, 含量分布可能会有很大变化^[7-8], 且这种变化可能与 pH 值有一定的相关性^[9-14]。例如, Naghmeh 等^[13] 通过对伊朗 Darrehzar 铜矿区的调研发现酸性的矿山排水具有最高的稀土总量; Johan 等^[9] 发现瑞典 Alix River 中溶解态的 La 含量与 pH 有明显的负相关性。但也有不同观点, 如 Riccardo 等^[2] 在对意大利 Ottana - Orani 地区水体的研究指出 pH 值制约着地下水中的稀土含量, 与地表水体中的 DREEs 不具明显的相

收稿日期: 2015-05-19; 修回日期: 2015-07-12; 接受日期: 2015-07-20

基金项目: 国家自然科学基金青年基金项目“稀土矿开发排放尾砂中可吸入颗粒物的地球化学特征及环境效应研究”(41202254); 中国地质调查局地质矿产调查项目“我国离子吸附型稀土战略调查及研究”(1212011220804); 中央公益性科研院所基本科研业务费专项资金资助项目“赣南离子吸附型稀土矿开采的环境效应研究”(K1209)

作者简介: 何晗晗, 硕士研究生, 构造地质学专业。E-mail: he.hanhan@163.com。

通讯作者: 于扬, 助理研究员, 主要从事环境地球化学研究。E-mail: yuyang_cags@sina.com。

关性,主要是因地表水中 DREEs 含量较低。

赣南地区是典型的富稀土背景区,以风化壳离子吸附型稀土为主,风化壳离子吸附型稀土矿床最早发现于江西省龙南县足洞,系指一类稀土元素大部分(其比例大于 50%)呈交换性阳离子状态赋存于风化壳黏土中的工业富集体。其中风化壳是由中酸性岩体或火山岩地层经历表生作用形成。为研究区内风化壳离子吸附型稀土矿区的酸碱性和氧化还原环境及地表小流域中 DREEs 的分布特征,本文在濂水、桃江与东江水系,采集流经离子吸附型矿区与非矿区的水样,应用电感耦合等离子体质谱法(ICP-MS)测试水样的 DREEs 含量,应用三通道多参数测试仪测量水样的参数值(pH、Eh、温度),并分析了 pH、Eh 值在不同水样中的表现特征,以反映稀土矿区的酸碱性及氧化还原环境。

1 研究区概况

研究区位于江西省南部,居赣江上游,东毗福建省三明市和龙岩地区,西邻湖南省郴州地区,南边广东省梅州市、河源市和韶关市,北接该省吉安、抚州两地区^[3]。区内植被茂盛,雨量充足,水土保持较好,有利于岩石风化作用的进行和生物物质的迅速循环,为区内广泛发育的花岗岩风化壳提供了条件,进一步促

进了离子吸附型稀土矿床的形成。赣南地区境内支流众多,呈扇形分布,大小河流 1270 条,河流面积 14.49 万公顷,总长度 16626.6 千米,以横贯江西南北的赣江为主,赣江从源头桃江到南昌进入鄱阳湖,沿程包括濂水、湘水等支流^[3]。另一流域东江发源于安远县三百山,在安远县境内汇成镇江河,在定南县内为九曲河。本文选取流经安远、寻乌、龙南三县内的濂水、东江、桃江为研究对象,三县内均发育离子吸附型稀土矿床,其中安远县主要是中、重稀土,寻乌县多为轻稀土,龙南县以重稀土为主。

2 研究方法

2.1 采用点位的选择

本次调研于 2014 年 10 月进行,在东江与赣江支流濂水、桃江选择了 33 个点位,如图 1 所示,其中安远县 13 个点,龙南县与寻乌县各 10 个点。按采样位置,将采样点位分为四类,分别是:①A 区:位于地层内;②A' 区:位于地层内的离子吸附型稀土矿区,地层原岩为变质混合岩;③B 区:位于花岗岩岩体内;④B' 区:位于花岗岩风化壳离子吸附型稀土矿区。

2.2 样品采集方法与分析

水样采集时每个点位均取 8 瓶 550 mL 水样,其中两瓶作为原水,标记为 * - W1、* - W2(* 为采样

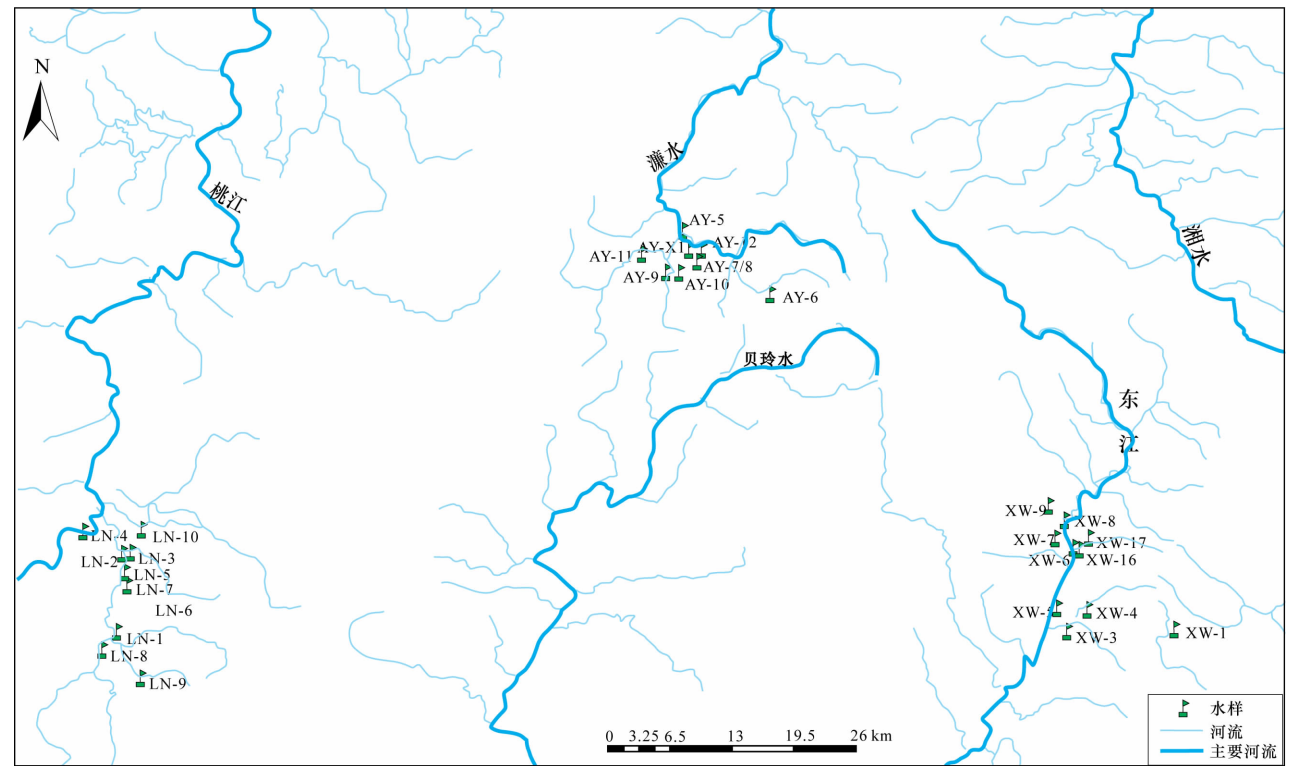


图 1 濂水、桃江与东江水系采样点点位示意图
Fig. 1 Sampling locations in Lianshui, Taojiang and Dongjiang Rivers

点号,如AY1),用于测定水体中各稀土总量;其余带回室内采用隔膜真空泵(天津产津腾,型号GM-0.33A)进行过滤,所用滤膜孔径为0.45 μm,取“过滤后的水”(以下简称“滤水”,编号如AY1)100 mL装入聚乙烯塑料小瓶内,加1 mL 50%的分析纯硝酸并用封口膜密封,用于测定水中的溶解态稀土含量。

在各点位采集水样的同时,使用德国WTW三通道多参数测试仪(pH/Eh/温度)一并完成对水样

温度、pH、Eh值的测定。后期“滤水”中溶解态稀土含量的测试采用ICP-MS法在国家地质实验测试中心完成。

3 赣南地表流域溶解态稀土分布特征及其与pH值相关性分析

水样中溶解态稀土含量见表1,pH、Eh值的实测结果见表2。

表1 桃江、濂水、东江部分采样点河水中溶解态稀土元素的含量

Table 1 Contents of DREEs in part of water samples of Taojing, Lianshui and Dongjiang Rivers

稀土元素特征	AY2	XW5	XW6	LN2	XW16	AY9	AY10	AY4	AY5	AY7	AY8	AY11	XW7	XW17	AY-X1	LN6
ΣREEs(mg/L)	0.688	0.213	0.180	0.068	1.622	0.022	0.038	8.373	0.028	1.020	78.219	0.039	3.276	87.723	0.120	48.827
LREEs(mg/L)	0.184	0.157	0.102	0.011	1.310	0.008	0.020	2.546	0.011	0.558	47.967	0.021	2.233	63.575	0.065	5.595
HREEs(mg/L)	0.503	0.056	0.078	0.056	0.313	0.013	0.017	5.827	0.017	0.462	30.252	0.018	1.043	24.148	0.055	43.232
LREEs/HREEs	0.367	2.798	1.303	0.201	4.185	0.626	1.180	0.437	0.622	1.208	1.586	1.171	2.142	2.633	1.179	0.129
δEu	0.042	0.291	0.410	0.239	0.319	0.457	0.615	0.036	0.380	0.426	0.589	0.450	0.261	0.359	0.545	0.014
δCe	0.235	0.188	0.093	0.058	0.152	0.064	0.020	0.226	0.090	0.086	0.017	0.056	0.269	0.167	0.020	0.130

注:其余点位水样的溶解态稀土含量低于检出限。

表2 各水样点的温度、pH、Eh等参数值

Table 2 Temperature, pH, Eh parameters of each water samples

取样位置	样品号1 (原水)	样品号2 (原水)	样品号3 (滤水)	温度	pH	Eh(mV)	水系	岩体	矿区/地层
岩体(B区)	AY3-W1	AY3-W2	AY3	26.3	6.617	25.9	濂水	岩体	-
	AY4-W1	AY4-W2	AY4	21.7	4.424	151.6	濂水	岩体	-
	AY5-W1	AY5-W2	AY5	25.4	7.323	-21.1	濂水	岩体	-
	AY6-W1	AY6-W2	AY6	21.5	7.092	-1.8	濂水	岩体	-
	AY7-W1	AY7-W2	AY7	22.2	6.934	2.0	濂水	岩体	-
	AY8-W1	AY8-W2	AY8	23.7	5.845	68.3	濂水	岩体	-
	AY11-W1	AY11-W2	AY11	20.1	7.110	-5.4	濂水	岩体	-
	AY12-W1	AY12-W2	AY12	23.6	7.449	-24.3	濂水	岩体	-
	XW1-W1	XW1-W2	XW1	23.7	7.230	-15.5	东江	岩体	-
	XW7-W1	XW7-W2	XW7	18.7	5.590	88.4	东江	岩体	-
地层内矿区 (A'区)	XW8-W1	XW8-W2	XW8	23.1	7.136	-4.2	东江	岩体	-
	AY9-W1	AY9-W2	AY9	21.4	7.146	-1.1	濂水	-	REEs/Z
岩体内矿区 (B'区)	AY10-W1	AY10-W2	AY10	23.9	6.730	14.2	濂水	-	REEs/Z
	AY-X1-W1	AY-X1-W2	AY-X1	23.4	7.503	-33.3	濂水	岩体	REEs
	LN6-W1	LN6-W2	LN6	24.6	4.372	154.6	桃江	岩体	HREEs
	XW17-W1	XW17-W2	XW17	21.4	2.610	257.6	东江	岩体	LREEs
地层(A区)	LN1-W1	LN1-W2	LN1	22.4	7.713	-42.3	桃江	-	J
	LN2-W1	LN2-W2	LN2	24.6	7.169	-8.6	桃江	-	K
	LN3-W1	LN3-W2	LN3	23.2	7.635	-38.5	桃江	-	Q
	LN4-W1	LN4-W2	LN4	26.3	7.744	-44.2	桃江	-	Q
	LN5-W1	LN5-W2	LN5	22.6	7.719	-41.9	桃江	-	Q
	LN7-W1	LN7-W2	LN7	22.9	8.003	-59.6	桃江	-	Q
	LN8-W1	LN8-W2	LN8	22.9	7.637	-36.3	桃江	-	J
	LN9-W1	LN9-W2	LN9	21.1	7.995	-52.4	桃江	-	J
	LN10-W1	LN10-W2	LN10	25.3	6.915	9.5	桃江	-	Q
	AY1-W1	AY1-W2	AY1	25.5	7.025	-5.5	濂水	-	K
	AY2-W1	AY2-W2	AY2	23	5.592	84.2	濂水	-	K
	XW3-W1	XW3-W2	XW3	24.4	7.505	-31.4	东江	-	-
	XW4-W1	XW4-W2	XW4	24.8	7.549	-38.0	东江	-	-
	XW5-W1	XW5-W2	XW5	25.7	7.104	-8.0	东江	-	-
	XW6-W1	XW6-W2	XW6	24.6	7.099	-0.8	东江	-	-
	XW9-W1	XW9-W2	XW9	20.3	7.098	7.3	东江	-	Z
	XW16-W1	XW16-W2	XW16	24.6	8.365	-80.5	东江	-	-

注:Z—震旦系,J—侏罗系,K—白垩系,Q—第四系,LREEs—轻稀土元素,HREEs—重稀土元素;对于AY-X1-W1及XW17-W1采样点水样,其pH、Eh值受采矿工作的影响不能代表原始矿区情况,作图及讨论时未计入。

前人对赣江和东江水化学特征调研时发现,赣江上游河水溶质浓度较高, Si 含量较高, S、Mg、Cl⁻、SO₄²⁻、NH₄⁺ 等与稀土元素存在明显的相关性^[15], 稀土矿区(足洞)内 DREEs 的球粒陨石标准化配分模式表现为 Eu 负异常、重稀土富集, 而受自然风化作用的水体中 DREEs 经页岩标准化后, 显示轻稀土富集、Ce 亏损、Eu 富集的配分模式^[3]。本次研究各水样中 DREEs 球粒陨石标准化配分曲线以及 DREEs 含量与 pH 值的相关性图解参见图 2, 由图可知不同水样稀土配分曲线(图 2a、b)基本相似, 表现为略右倾模式, 即弱的轻稀土富集, Eu、Ce 均显示负异常, La-Eu 段较陡, Gd-Lu 段较平缓。

各水样中 DREEs 总量不均, 介于几十 μg/L 到几十 mg/L 之间, DREEs 总量及溶解态 La 的含量分别与 pH 值具弱的负相关性(图 2c、d), 表明区内地表流域中 DREEs 浓度及分布模式一定程度上受外部环境酸碱性的影响, 但这种影响在 DREEs 含量较低的地表水体中可能表现不明显, 如 Ottana-Orani 地区地表水体^[2]。

4 赣南地表流域的 pH、Eh 值变化特征

4.1 流经 A' 区水样的 pH、Eh 值

本次采集水样所处地层主要有震旦系、侏罗系、

白垩系及第四系, 岩性以混合岩、变余长石石英砂岩、凝灰岩、黏土岩、砂砾岩等为主, 区内各地层稀土元素丰度(×10⁻⁶)分别为 255(Z)、224(J)、309(K)、358(Q), 高于其在沉积层的丰度(185×10⁻⁶^[17]), 其中第四系稀土元素丰度尤其高。

地层岩石在风化过程中, 稀土元素由于迁移能力较弱^[18], 而滞留原地或发生微弱迁移, 此时外界环境是影响稀土富集的重要因素。酸性环境有利于稀土的淋滤, 弱酸-中性环境有利于 REEs 的吸附^[10], 因此经风化的地层若发生了稀土的富集, 最有利的是一个弱酸至中性(pH=5.0~7.5)的环境, 本次工作对于流经 A' 区的水样, 其 pH 均值为 6.94, Eh 均值为 6.55 mV, 表明地层内的离子吸附型稀土矿区处于近中性的弱氧化环境。

4.2 流经 B' 区水样的 pH、Eh 值

本次调研水体流经的岩体主要有桂坑、三标、上甲等酸性侵入体, 岩体内的稀土元素含量(×10⁻⁶)平均值(岩体内的稀土元素分布不均, 这里的均值是根据前人数数据求取的加权平均值)为 91.7^[19]、235.4^[19]、853.7(项目组内部资料未发表)。花岗岩中稀土主要赋存状态有两种: ①独立稀土矿物, 如独居石、褐帘石和氟碳铈矿等; ②以类质同象形式存在于造岩矿物和副矿物中。原岩经一定程度的风化作

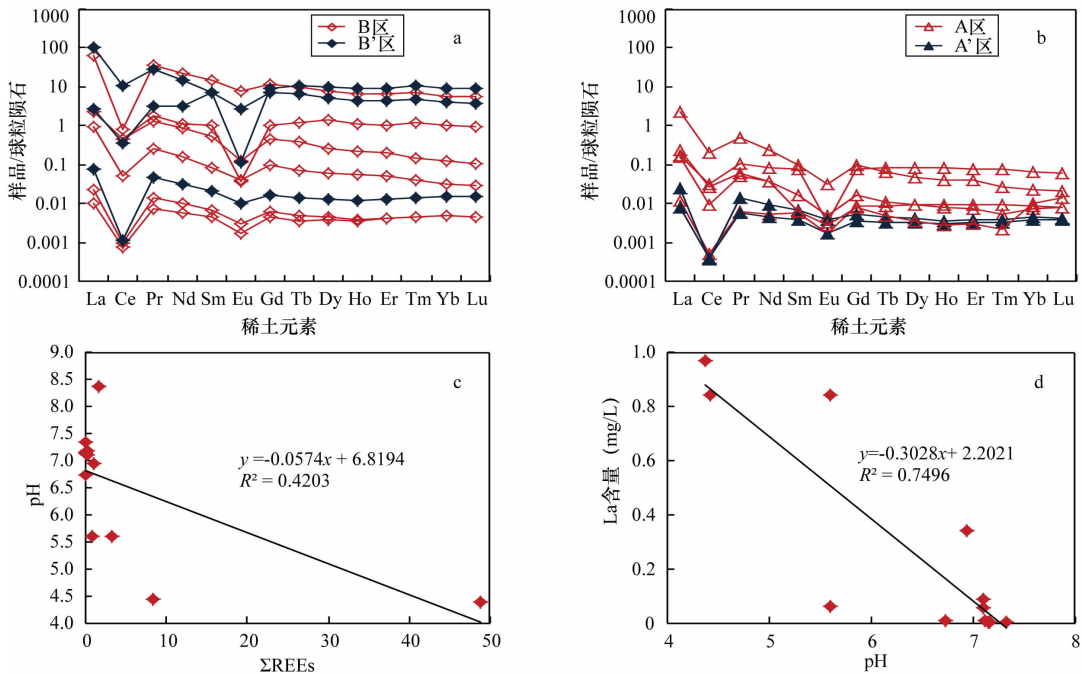


图 2 水样中溶解态稀土球粒陨石标准化曲线(标准化数据引自文献[16])以及 DREEs 含量与 pH 值相关性图解
Fig. 2 Chondrite-normalized DREEs distribution patterns of water samples and the diagram between DREEs and pH values
A 区—水样流经地层; A' 区—水样流经地层内的离子吸附型矿区内; B 区—水样流经花岗岩岩体; B' 区—水样流经风化壳离子吸附型矿区内。
c、d 图中未计入极值 AY8 及受采矿影响的 AY-X1、XW17。

用,形成风化壳,在此基础上 REEs 的淋滤富集过程是风化壳能否成矿的关键,而 REEs 的淋滤具有很强的 pH 值依赖性,酸性的环境有利于稀土的淋滤。在表土层偏酸性环境下(pH = 4.5 ~ 5.0),大气降水使溶解的 REEs 多次向地下淋滤,在适宜的条件下于全风化层富集成矿。本次工作于三个不同风化壳稀土矿区采集水样,其中 LN6 采集于自山上流经矿区的水样,受采矿影响较小,能较好地反映矿区原始情况,pH 值为 4.4,Eh 值为 0.15 V,表明此处风化壳离子吸附型稀土矿区处于酸性的氧化环境。

对于流经 A 区、A' 区、B 区、B' 区水样,pH 值有逐渐降低的趋势,趋势线为 $y = -0.0517x + 7.8253$ ($R^2 = 0.2551$),见图 3a;Eh 值有逐渐增加的趋势,趋势线为 $y = 3.0899x - 48.1$ ($R^2 = 0.2594$),见图 3b。取 pH、Eh 平均值投图(图 3c、d),这一趋势更加明显,pH 均值分别为 7.40、6.94、6.61(标准偏差分别为 0.61、0.29、0.94)、4.37,Eh 值变化较大,均值(mV)分别为 -22.76、6.55、23.99、154.6。因此,从 A 区、A' 区、B 区至 B' 区,其环境有逐渐变酸、变氧化的趋势,即赣南地区花岗岩风化壳离子吸附型稀土矿区的酸性程度和氧化程度高于其周边环境。

此外,离子吸附型稀土矿的生产普遍采取了原地浸出的方式,个别老矿区或非法开采的采矿点也有采用池浸和堆浸方式,其结果势必导致矿区、矿区外围水系中 pH、Eh 值的系统变化(图 4),采矿区水系可能出现明显的 pH、Eh 值异常,因此矿区水系 pH 和 Eh 值的变化特征值得进一步研究。

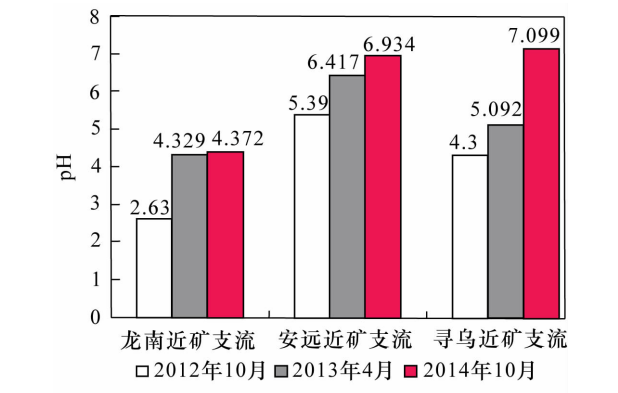


图4 不同稀土矿区不同时段水体中 pH 值的对比(数据引用自“我国离子吸附型稀土专门调查与研究年度总结报告”,内部资料未发表)

Fig.4 pH values at different times in different mining areas

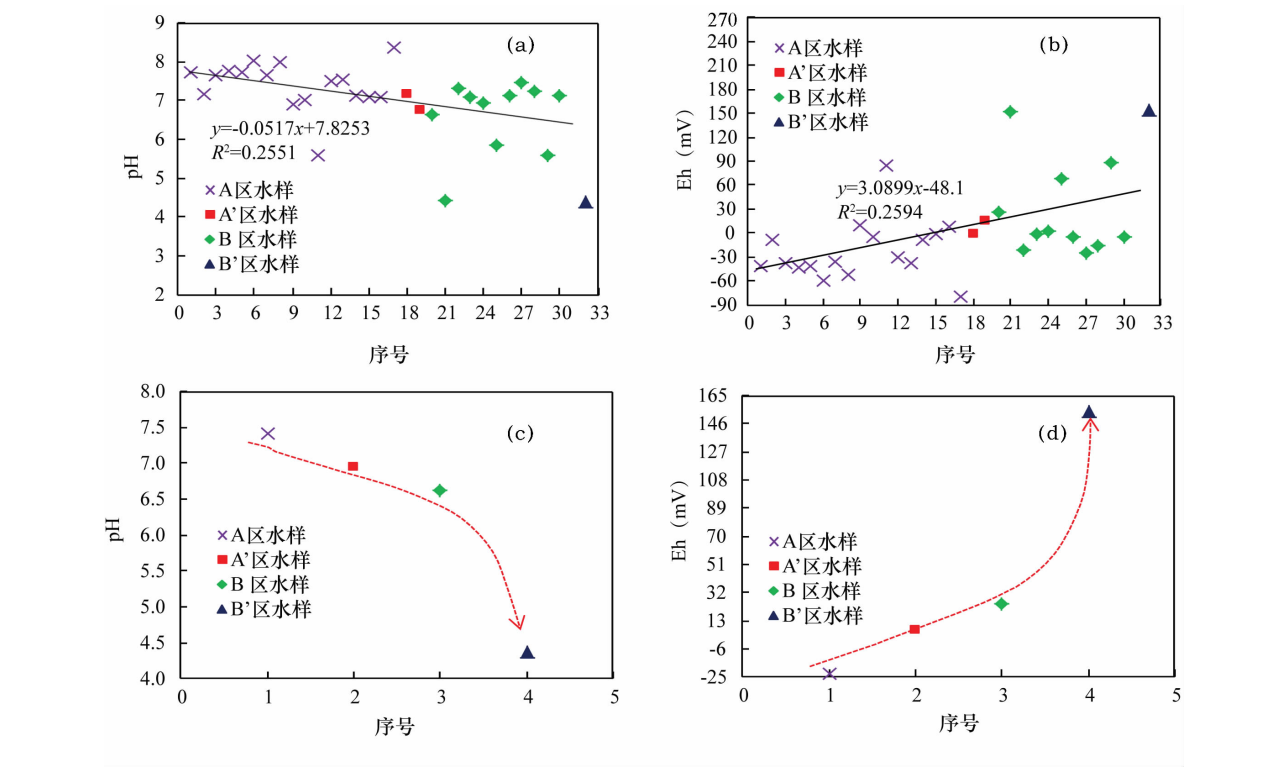


图3 赣南水样中各参数之间的相关图解

Fig.3 Correlationship diagram between parameters of water samples

A 区—水样流经地层;A' 区—水样流经地层内的离子吸附型矿区内;B 区—水样流经花岗岩岩体;B' 区—水样流经风化壳离子吸附型矿区内。

5 结论

本研究采集流经矿区和非矿区的地表流域水样,采用 ICP-MS 和三通道多参数测试仪,分别测试水样中溶解态稀土含量(DREEs)和 pH、Eh 值,分析了 pH、Eh 值的变化特征,主要得出以下结论。

(1)研究区水体中 DREEs 含量变化较大,介于几十 $\mu\text{g/L}$ 到几十 mg/L 之间;DREEs 经球粒陨石标准化后表现为弱的轻稀土富集模式, Eu、Ce 显示负异常。

(2)DREEs 及溶解性 La 含量分别与 pH 值呈弱的负相关性,说明地表水体中 DREEs 浓度及分布模式在一定程度上受外部环境酸碱性的影响。

(3)流经矿区与非矿区河水的 pH、Eh 值变化特征表明,赣南地区离子吸附型稀土矿区处于中酸性的氧化环境。

致谢:野外工作得到了江西省地质矿产勘查开发局赣南地质调查大队邓茂春工程师和戴富林老师的指导,在此深表感谢。

6 参考文献

- [1] 张立成,赵桂久,董文江,等. 湘江水系河水的地球化学特征[J]. 地理学报,1987,42(3):243-251.
Zhang L C, Zhao G J, Dong W J, et al. Geochemical Characteristics of the Xiangjiang River System[J]. Acta Geographica Sinica,1987,42(3):243-251.
- [2] Riccardo B, Rosa C, Franco F. Rare Earth Elements in Waters From the Albitite-bearing Granodiorites of Central Sardinia, Italy[J]. Chemical Geology,2002;182:1-14.
- [3] 罗建美. 赣南小流域水体中溶解态稀土元素的地球化学特征[D]. 北京:首都师范大学,2006.
Luo J M. Geochemical Characteristics of Dissolved Rare Earth Elements in the Water Body in Southern Jiangxi [D]. Beijing:Capital Normal University,2006.
- [4] 王立军,章申,张朝生. 长江中下游稀土元素的水环境地球化学特征[J]. 环境科学学报,1995,15(1):57-65.
Wang L J, Zhang S, Zhang C S. Aquatic Environmental Geochemistry Characteristics of Rare Earth Elements in the Middle-lower Reaches of Changjiang (Yangzi) River [J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 1995, 15 (1): 57-65.
- [5] 王立军,张朝生,章申,等. 珠江广州江段水体中稀土元素的地球化学特征[J]. 地理学报,1998,53(5):453-462.
Wang L J, Zhang C S, Zhang S, et al. Geochemical

Characteristics of Rare Earth Elements in the Zhujiang River in Guangzhou[J]. Acta Geographica Sinica,1998,53(5):453-462.

- [6] Zhang C S, Wang L J, Zhang S. Geochemistry of Rare Earth Elements in the Main Stream of the Yangtze River, China[J]. Applied Geochemistry,1998,13:451-462.
- [7] 丁士明,梁涛,王立军,等. 陆地水体中溶解态稀土元素的分布特征及主控因素研究进展[J]. 稀土,2005,26(4):53-61.
Ding S M, Liang T, Wang L J, et al. Advance in Study on Dissolved Rare Earth Elements in Terrestrial Water and Their Distribution Characteristics and Basic Controlling Factors[J]. Chinese Rare Earths,2005,26(4):53-61.
- [8] Elderfield H, Upstill-Goddard R, Sholkovitz E R. The Rare Earth Elements in Rivers, Estuaries, and Coastal Seas and Their Significance to the Composition of Ocean Waters[J]. Geochimica et Cosmochimica Acta,1990,54(4):971-991.
- [9] Johan I, Anders W, Magnus L, et al. Temporal Variations in the Fractionation of the Rare Earth Elements in a Boreal River; the Role of Colloidal Particles [J]. Chemical Geology,2000,166(1):23-45.
- [10] 刘丛强,吴佳红,于文辉. 氢氧化铁胶体/水界面作用与地表水中稀土元素的分异——pH 控制机理的实验研究[J]. 中国科学(D 辑),2001,31(10):873-880.
Liu C Q, Wu J H, Yu W H. Controls of the Interactions between Iron Hydroxide Colloid and Water on REE Fractionations in Surface Waters: Experimental Study on pH-controlling Mechanism[J]. Science in China (Series D),2001,31(10):873-880.
- [11] Claudia S F, Ruben J L. Baseline Water Quality and Macrophyte Assemblages in Pampean Streams: A Regional Approach[J]. Water Research,2007,41:1399-1410.
- [12] 朱兆洲,刘丛强,王中良,等. ICP-MS 测定表生水体稀土过程中 pH 值对酸性磷萃取稀土效率的影响[J]. 稀土,2007,28(3):17-21.
Zhu Z Z, Liu C Q, Wang Z L, et al. Effect of pH in Extraction of Rare Earth Elements from Surface Waters by the Mixture of HDEHP and H_2MEHP during ICP-MS Measurement[J]. Chinese Rare Earths,2007,28(3):17-21.
- [13] Naghmeh S, Farid M, Behnam K, et al. Geochemistry of Trace Metals and Rare Earth Elements in Stream Water, Stream Sediments and Acid Mine Drainage from Darrehzar Copper Mine, Kerman, Iran [J]. Water Quality, Exposure and Health,2014,6:97-114.
- [14] Protano G, Riccobono F. High Contents of Rare Earth

Elements (REEs) in Stream Waters of a Cu-Pb-Zn Mining Area [J]. Environmental Pollution, 2002, 117: 499 – 514.

[15] 王登红,王瑞江,李建康,等. 中国三稀矿产资源战略调查研究进展综述[J]. 中国地质,2013,40(2):361 – 370.

Wang D H, Wang R J, Li J K, et al. The Progress in the Strategic Research and Survey of Rare Earth, Rare Metal and Rare-scattered Elements Mineral Resources [J]. Geology in China, 2013, 40(2):361 – 370.

[16] Taylor S R, MaLennan S M. The Continental Crust [M]. Oxford: Blackwell Scientific Publications, 1985.

[17] 黎彤. 中国陆壳及其沉积层和上陆壳的化学元素丰度[J]. 地球化学, 1994, 23(2):140 – 145.

Li T. Element Abundances of China ’ s Continental Crust and Its Sedimentary Layer and Upper Continental Crust [J]. Geochimica, 1994, 23(2):140 – 145.

[18] 翟裕生,姚书振,蔡克勤编著. 矿床学[M]. 北京:地质出版社,2011:1 – 417.

Zhai Y S, Yao S Z, Cai K Q. Mineral Deposits (3rd Edition) [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2011:1 – 417.

[19] 孙涛,丁兴,刘昌实,等. 三标 – 桂坑岩体[M]//周新民编著. 南岭地区晚中生代花岗岩成因与岩石圈动力学演化. 北京:地质出版社,2007:576 – 595.

Sun T, Ding X, Liu C S, et al. Sanbiao-Guikeng Plutons [M]//Zhou X M. The Genesis of Late Mesozoic Granites and Dynamic Evolution of the Lithosphere in Nanling Region [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2007:576 – 595.

pH and Eh Variations and the DREEs Contents of a Small Watershed in South Jiangxi Province

HE Han-han¹, YU Yang^{2*}, LIU Xin-xing³, HUANG Fan², ZHAO Zhi², LI Chao⁴

- (1. Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100083, China;
2. Key Laboratory of Metallogeny and Mineral Resource Assessment, Ministry of Land and Resources, Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China;
3. School of the Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences (Beijing), Beijing 100083, China;
4. National Research Center for Geoanalysis, Beijing 100037, China)

Abstract: Knowing the pH and Eh values of stream water flowing through the rare earth element deposits can lead to an understanding of the acidity and alkalinity and oxidation-reduction environment of deposits. For this purpose, the Lianshui, Taojiang and Dongjiang rivers in south Jiangxi were selected for study. The dissolved rare earth elements (DREEs) and pH-Eh values of water samples were analyzed by Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry (ICP-MS) and Three-channel Multi-parameter, respectively. Conclusions are listed as follows: (1) DREEs contents range widely from several $\mu\text{g/L}$ to tens of mg/L , and chondrite-normalized DREEs patterns show a slightly right-inclined trend with Eu and Ce negative anomalies. (2) The weakly negative correlations of DREEs and La contents with pH values indicate that the DREEs contents in water and distribution patterns are affected by the pH values of external environment. (3) Stream water samples flowing through stratums and ion-adsorbed type REE deposits in stratums have pH values of 7.40 and 6.94, respectively, and Eh values of -0.023 V and 6.55 mV , respectively, whereas stream water flowing through granite plutons or weathering crust ion-adsorbed type REE deposits have respective pH values of 6.61 and 4.37, and respective Eh values of 0.024 V and 0.15 V . It indicates that ion-adsorbed type REE deposits formed in a neutral-acid or acid oxidized environment.

Key words: small watershed in South Jiangxi Province; dissolved rare earth elements; Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry; pH value; Eh value