

文章编号: 1008-2786-(2019)5-693-09

DOI:10.16089/j.cnki.1008-2786.000460

衡阳盆地红土剖面元素地球化学特征及其古环境意义

熊平生^{a,b}, 王 鹏^{a*}, 张 忆^b, 张楚楚^a

(衡阳师范学院 a. 城市与旅游学院 湖南衡阳 421002; b. 南岳学院 湖南衡阳 421000)

摘 要: 为了揭示衡阳盆地红土剖面沉积的古环境信息,对高兴红土剖面进行电子自旋共振(ESR)测年和常量、微量元素测试分析。结果表明:(1)红土剖面常量元素氧化物组成以 SiO_2 、 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 为主,三者含量总和为 89.63%。微量元素 Rb、Sr、Ba、Cu 含量分别与常量元素氧化物 K_2O 、 MgO 、 Na_2O 、 Al_2O_3 含量之间表现出显著的正相关性, Na_2O 、 MgO 、 K_2O 、 Al_2O_3 含量之间呈显著正相关性,表明它们的活动性相似。(2)高兴剖面绝大多数常量元素氧化物在风化过程中表现为迁移淋失, Fe_2O_3 、 SiO_2 则表现为轻度富集,常量元素的迁移能力大小顺序依次为: $\text{K}_2\text{O} > \text{Na}_2\text{O} > \text{MgO} > \text{Al}_2\text{O}_3 > \text{SiO}_2 > \text{Fe}_2\text{O}_3$ 。 MgO 、 Na_2O 、 K_2O 、 Al_2O_3 自剖面底部往上迁移程度逐渐减弱的变化趋势,表明沉积时期气候的湿热程度也逐渐减弱。(3)CIA 值、Rb/Sr 值从剖面顶部往下呈递增的趋势,而微量元素 Rb 含量、Sr 含量、Sr/Cu 值、Sr/Ba 值呈现相反的变化趋势。CIA 值、Rb/Sr 值、Sr/Cu 值、Sr/Ba 值曲线共同印证了 2.23 Ma 以来的衡阳盆地气候演化特征,即为由炎热潮湿向温暖湿润方向的变化。

关键词: 化学蚀变指数;元素迁移;微量元素;红土;衡阳盆地

中图分类号: P595

文献标志码: A

20 世纪中叶以来,随着环境的急剧恶化,全球环境变化已成为当今学术界的重要研究领域。全球变化的区域响应研究成为当前地学界广为关注的热点问题。重建古地理环境与古气候并预测其未来发展趋势在全球变化中占据重要地位。记录气候环境变化信息除了我们已知的黄土、冰芯、湖泊沉积以外,在我国南方地区广泛发育的红土,是第四纪以来重要的沉积物,蕴藏着丰富的环境演化信息,成了第四纪气候变化研究的重要载体。科技工作者尝试了磁化率分析、孢粉组合分析、分子化石分析、元素地球化学分析等方法提取红土沉积的古环境信息^[1-5]。由于受到南方红土化过程中磁性矿物迁移的影响,磁化率作为红土环境指示的一种代用指标

尚有一定争议。此外,红土地层存在缺失孢粉的现象,孢粉组合分析在提取古环境信息也有较大困难。元素地球化学分析法在南方红土研究中的重要地位,尤其是常量元素含量、微量元素、化学蚀变指数等指标,对揭示红土的风化过程、化学风化强度以及古环境变迁等方面有重要指示作用^[6-10]。但是以往的红土元素地球化学分析往往侧重常量元素或微量元素单方面的研究。本研究选择了沉积有序、研究相对薄弱的衡阳红土为对象,基于 ESR 测年分析的基础上,综合分析了红土剖面样品中常量元素、微量元素分布特征,以及红土剖面沉积过程中常量、微量元素的亲疏性和迁移淋失特征,并探讨了红土沉积时期的古气候环境演化特征。

收稿日期 (Received date): 2017-04-11; **改回日期** (Accepted date): 2019-06-30

基金项目 (Foundation item): 国家自然科学基金资助项目(41471153);大学生创新创业训练计划项目(201912659001, NYD201905)。[National Natural Science Foundation of China (41471153); University Student Innovation and Entrepreneurship Training Program Project (201912659001, NYD201905)]

作者简介 (Biography): 熊平生(1972-),男,湖南道县人,博士,副教授,主要研究方向:第四纪地质。[XIONG Pingsheng (1972-), male, born in Daoxian, Hunan province, Ph. D., associate professor, research on quaternary geology] E-mail: xps19721010@163.com

*** 通讯作者** (Corresponding author): 王鹏(1963-),男,博士,教授,主要研究方向:土地资源与环境。[WANG Peng (1963-), male, Ph. D., professor, research on land resource and environment] E-mail: wangpengnju@163.com

1 研究区概况

衡阳盆地为我国南方地区典型内陆湖相红层盆地,位于湖南省中东部,地处新华夏系和南北向构造体系的复合地带,呈现北北东向延伸。地势呈现中间低四周高,地貌以丘岗类型为主。由衡阳盆地地质分布图(图 1)可知,衡阳盆地以白垩系、第三系、二叠系地层出露面积最广,其中白垩系、第三系地层集中分布在盆地的中部,二叠系主要分布在盆地的东北部。三叠系地层出露面积较小,集中分布于盆地东南角。寒武系地层主要分布在盆地南部,泥盆系地层分布在盆地东南部,第四系主要分布在湘江中下游两岸地带。衡阳盆地具有冬季寒冷、夏季酷热的气候特征,多年平均气温分布范围为 17℃~18℃;降水较为丰富,但雨水季节分配不均匀,多年平均降水量分布范围为 1223~1421 mm。

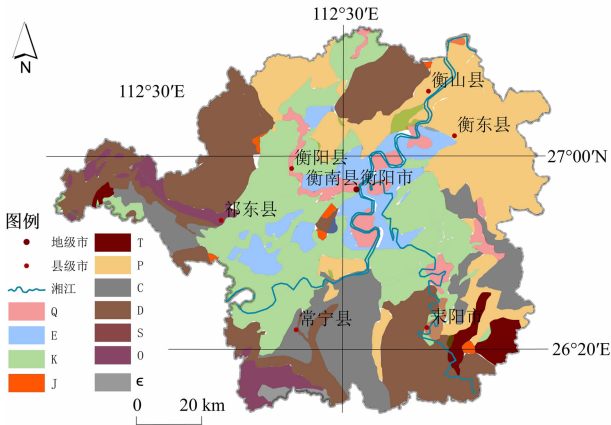


图 1 衡阳盆地地质概况图
Fig. 1 Geological map of the Hengyang Basin in China

2 样品采集与测试

高兴(GX)剖面位于湘江流域衡阳河段第四级河流阶地上,地处东经 112°36',北纬 26°51'。该剖面厚度约 360 cm,为一人工露头。采样前先将取样部位的表层土铲除,以 4 cm 为间距由下往上连续采集样品,每件样品重约 200 g,总共获得样品 86 件。根据红土地层岩性分布特征自上而下可以划分为 4 层(图 2):红壤层(0~16 cm)采集样品 4 件;均质红土层(16~176 cm)采集样品 40 件;“褐黄土”层(176~344 cm)采集样品 42 件;底部为风化碎

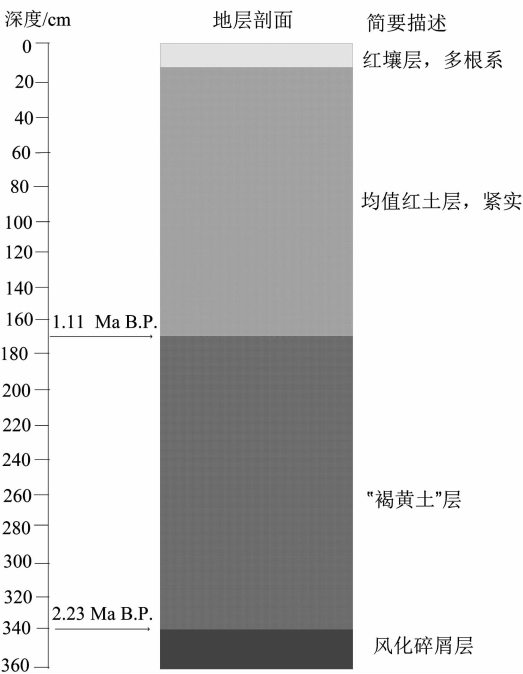


图 2 高兴剖面红土岩性柱状
Fig. 2 Lithological column graph of the Gaoxing red clay profile

屑层。

把野外取回的红土样品在实验室摊开,等土样自然晾干后,取 5~10 g 干燥红土样品在玛瑙研钵中研磨,通过 200 目分析筛后供测试。常量元素、微量元素测试分析在南京师范大学测试中心完成,仪器为荷兰 X 射线荧光光谱仪,结合用硼酸做辅助材料,压制成圆饼后进行测试。测量误差低于 5%~10%。在高兴红土剖面均质红土层底部(176 cm)和“褐黄土”层底部(344 cm)分别取得两件年代分析样品,样品标签分别为 GXesr-1、GXesr-2。红土年龄样品采用 ESR 法进行年代测定,ESR 年代分析在青岛海洋所完成,采用 EMX 型 ESR 谱仪,年龄误差小于 10%~15%。

3 结果与分析

3.1 时间标尺

高兴剖面红土常量元素和微量元素测试结果见表 1,并把测试结果绘制成图 3~图 5。该剖面两个样品的 ESR 测年结果分别为:均质红土层底部,样号 GXesr-1 的累积剂量 AD 为 5080.47 Gy,测定年龄为 1.11 Ma;“褐黄土”层底部,样号 GXesr-2 的累积剂量 AD 为 5249.5 Gy,测定年龄为 2.23 Ma。

表 1 高兴剖面红土样常量、微量元素平均含量

Tab.1 Average content of major, trace elements of the Gaoxing red clay profile

红土层位		Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	Fe ₂ O ₃	CaO	TiO ₂	Rb	Sr	Ba	Cu
		/%	/%	/%	/%	/%	/%	/%	/%	/(ug·g ⁻¹)	/(ug·g ⁻¹)	/(ug·g ⁻¹)	/(ug·g ⁻¹)
红壤层	最大值	0.15	0.79	17.60	71.92	3.42	5.24	0.08	0.63	154.40	619.50	367.20	27.50
	最小值	0.13	0.65	16.46	67.99	2.86	4.24	0.07	0.58	128.90	534.50	345.20	24.40
	平均值	0.14	0.71	16.99	70.42	3.11	4.63	0.07	0.61	138.30	568.20	355.70	25.70
均质红土层	最大值	0.16	0.80	19.43	71.64	3.55	9.15	0.09	0.63	155.70	785.20	396.40	34.60
	最小值	0.08	0.46	12.61	56.53	1.19	4.41	0.07	0.40	48.70	59.20	183.10	8.40
	平均值	0.12	0.64	16.96	65.89	2.25	6.21	0.08	0.56	103.20	314.20	312.40	24.80
“褐黄土”层	最大值	0.11	0.62	15.31	76.37	1.57	6.44	0.11	0.67	86.70	136.30	262.60	22.00
	最小值	0.09	0.47	11.35	65.15	1.28	3.59	0.07	0.49	50.70	65.40	214.00	8.90
	平均值	0.10	0.55	13.90	70.75	1.48	5.13	0.08	0.61	75.30	106.00	243.50	18.20

初步推测高兴剖面红土堆积最早始于早更新世早期。

3.2 元素含量特征

红土样品元素氧化物主要由 SiO₂、Al₂O₃ 和 Fe₂O₃ 组成,平均含量分别为 68.53%、15.50%、5.60%,平均含量变化范围分别是 56.53%~76.37%、11.35%~19.43%、1.19%~3.55%。SiO₂、Al₂O₃ 的化学性质比较稳定, SiO₂ 在风化过程中不易迁移, Al₂O₃ 在脱硅富铝过程中相对含量较大, Fe₂O₃ 含量受外界环境因素影响较大。红土样品中 MgO、K₂O、CaO 和 Na₂O 含量很低; K₂O 容易被粘土吸附,其含量略大于 1%;其他易溶组分含量皆小于 1%。这种富铁铝现象,以及易溶组分强烈风化淋失特征,揭示南方红土的沉积过程整体上处于炎热、潮湿的气候环境。

3.3 元素含量的相关性分析

为了研究衡阳盆地红土剖面常量元素、微量元素间的地球化学行为亲疏关系,对常量元素以及部分微量元素 Rb、Sr、Cu、Ba 进行线性回归分析,分析结果见表 2,常量元素氧化物 Na₂O、MgO、K₂O、Al₂O₃ 含量之间正相关性显著, Fe₂O₃ 和 Al₂O₃ 含量呈较显著的正相关性。微量元素 Rb、Sr、Ba、Cu 含量之间正相关性显著。元素氧化物 Na₂O、MgO、K₂O 含量分别与微量元素 Rb、Sr、Ba、Cu 含量呈显著的正相关性。正相关性显著的元素表现为同一积累或同一迁移。SiO₂ 与 Al₂O₃、

Fe₂O₃ 含量呈显著负相关性,而与 Na₂O、MgO 含量成中等负相关性。CaO、TiO₂ 与其他常量元素、微量元素间相关性差,可能是研究区古气候环境发生过较大的变化,而这种变化导致 CaO 和 TiO₂ 发生了分异。红土常量元素、部分特征微量元素之间表现出的相似性和差异性,正是常量、微量元素在红土成壤过程中表现出地球化学行为的差异性和相似性。

把红土剖面常量元素和部分微量元素含量绘制成如图 3 所示,常量元素氧化物中 Al₂O₃ 和 Fe₂O₃ 含量曲线波动趋势表现出较为相似性。而常量元素氧化物 Na₂O、K₂O、MgO、Al₂O₃ 含量和微量元素 Rb、Sr、Ba、Cu 含量曲线波动趋势十分相似,即为由下往上递增的变化趋势,说明了常量元素氧化物 Na₂O、K₂O、MgO、Al₂O₃ 与微量元素 Rb、Sr、Ba、Cu 的活动性相似。Na₂O 含量较高时反映成壤环境比较干旱,反之,反映气候环境比较湿热。元素氧化物 CaO、MgO 在地壳中属于比较容易迁移的元素,其含量变化特征能揭示气候环境变化规律。在高温高湿环境下 CaO、MgO 含量较低,反之, CaO、MgO 的含量较高; SiO₂ 的化学性质比较稳定,在湿热条件下,容易遭受风化作用而淋失。图 3 中显示常量元素氧化物 Na₂O、CaO、MgO 百分含量在 156 cm 以下表现为低值区,而 SiO₂ 含量表现为高值区;在 156 cm 以上 Na₂O、CaO、MgO 含量表现为高值区,而 SiO₂ 含量为低值区。因此,把高兴红土剖面气候变化以 156 cm

表 2 高兴剖面红土样常量、微量元素相关系数

Tab. 2 Correlation coefficient of major, trace elements from the Gaoxing red clay profile

元素	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	Fe ₂ O ₃	CaO	TiO ₂	Rb	Sr	Ba	Cu
Na ₂ O	1.00											
MgO	0.96	1.00										
Al ₂ O ₃	0.82	0.87	1.00									
SiO ₂	-0.47	-0.60	-0.75	1.00								
K ₂ O	0.95	0.90	0.76	-0.28	1.00							
Fe ₂ O ₃	0.23	0.38	0.62	-0.95	0.06	1.00						
CaO	-0.23	-0.20	-0.26	-0.18	-0.36	0.23	1.00					
TiO ₂	0.24	0.20	0.11	0.22	0.23	-0.24	-0.18	1.00				
Rb	0.92	0.90	0.77	-0.34	0.94	0.13	-0.32	0.29	1.00			
Sr	0.90	0.83	0.62	-0.14	0.97	-0.09	-0.35	0.21	0.93	1.00		
Ba	0.94	0.91	0.86	-0.43	0.94	0.22	-0.34	0.31	0.92	0.88	1.00	
Cu	0.77	0.79	0.79	-0.56	0.73	0.41	-0.15	0.13	0.87	0.70	0.77	1.00

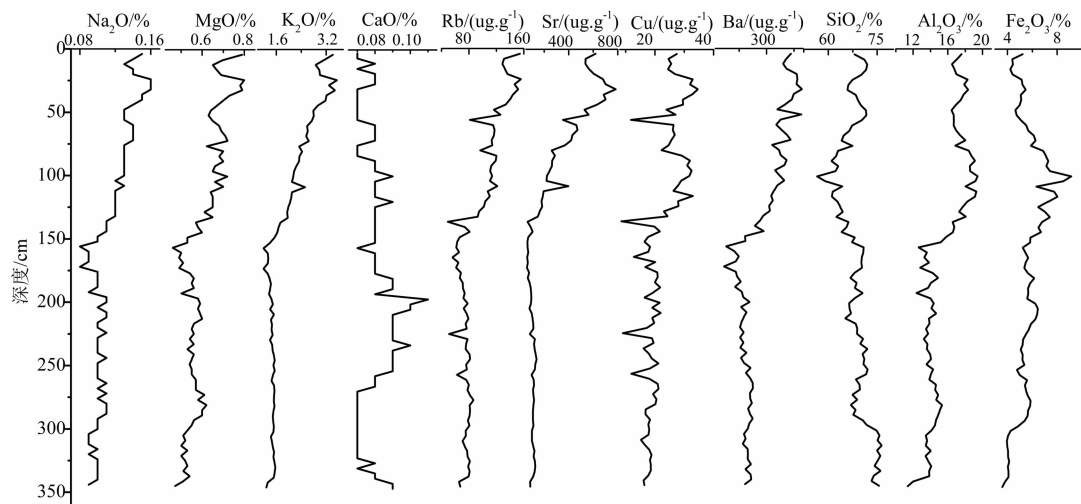


图 3 高兴红土剖面常量元素和微量元素含量随深度变化

Fig. 3 Content of major elements and trace elements change with depth of the Gaoxing red clay profile

为界划分为上下两个沉积时段,在剖面下段(156 cm 以下)气候相对比较湿热,上半段沉积时期气候比较温暖干燥。

3.4 元素的迁移特征

在厘定常量元素、微量元素的迁移和富集特征的时候,学者们多采用沉积物中活动性相对较弱的元素(如 Ti、Al 等元素)作为参照元素,计算其他元素相对活动性较弱元素的迁移特征。由于沉积物的成土母质难以判定,实际研究中往往采用风化程度最弱的层位近似取代成土母质。元素迁移率数学公

式^[11-13]为:

$$\delta(\%) = [(Xs/Is)/(Xp/Ip) - 1] \times 100\%$$

式中, $\delta(\%)$ 为元素的迁移率; Xs 、 Is 分别代表样中 X 元素、 I 元素的含量, Xp 、 Ip 分别代表成土母质中元素 X 、元素 I 的含量。

$\delta < 0$ 表示该元素相对迁移; $\delta > 0$ 表示该元素相对富集。把计算结果绘制成图 4 所示,剖面上部样品 GX-81(对应深度为 20 ~ 24 cm)的化学蚀变指数值最小为 81.1,可以近似作为原始母质。选取 Ti 作为参比元素,剖面元素的迁移计算结果绘制成图 4。

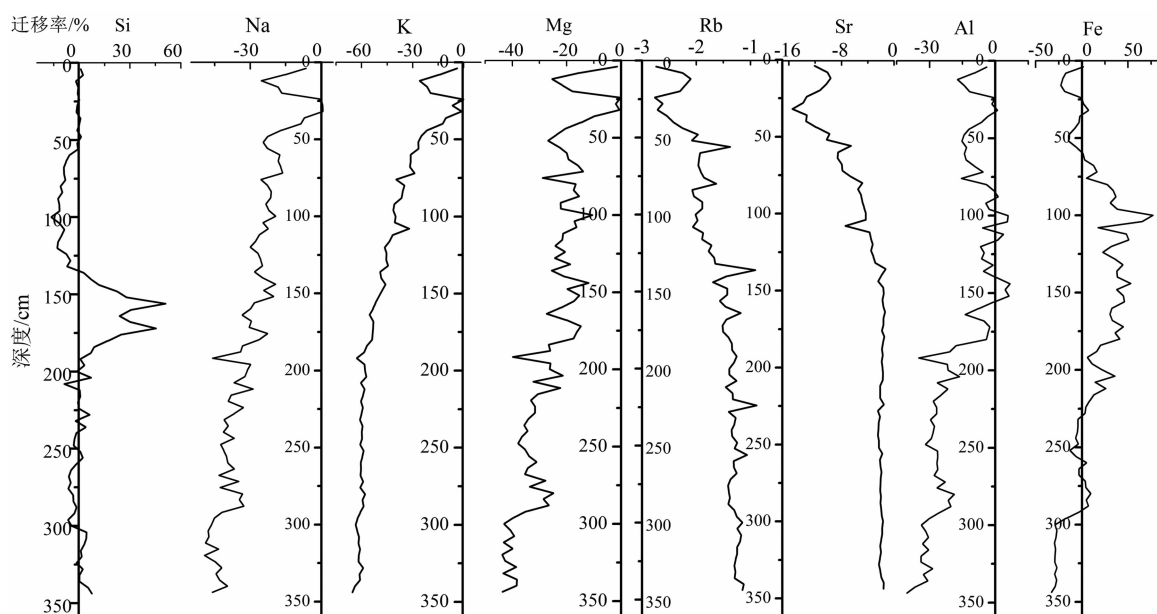


图4 高兴红土剖面元素相对于Ti元素的迁移率

Fig. 4 Migration ratio of elements of the Gaoxing red clay profile to the stable element Ti

高兴红土剖面 $\delta(\text{K}_2\text{O})$ 、 $\delta(\text{MgO})$ 、 $\delta(\text{Na}_2\text{O})$ 皆小于0,表明发生了显著的迁移,其平均迁移率分别为46.93%、25.61%、29.75%。 Al_2O_3 相对于 TiO_2 也发生一定的迁移, δ 的平均值为-15.76%。 SiO_2 和 Fe_2O_3 表现为轻度富集,平均富集率分别为1.17%、8.85%。微量元素 Rb、Sr 的 δ 值 < 0,平均迁移率分别为-1.60%、-4.23%,为轻度迁移。微量元素 Rb、Sr 的迁移量变化特征相似,由红土剖面底部往上呈现递减的变化特征。元素氧化物 K_2O 、 MgO 、 Na_2O 、 Al_2O_3 由底部往上迁移强度呈现减弱的变化趋势,表明沉积时期气候的湿热程度也逐渐减弱。

4 元素地球化学与环境变化

化学蚀变指数 (Confidentiality Integrity Availability, CIA) 是陆上沉积物化学风化作用常用的替代性指标之一,其数学计算式为^[14-18]:

$$\text{CIA} = [\text{Al}_2\text{O}_3 / (\text{K}_2\text{O} + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{Na}_2\text{O})]$$

化学蚀变指数值分布范围介于65~85之间,指示温暖湿润的气候沉积环境;化学蚀变指数值分布范围介于85~100之间,指示炎热潮湿的气候沉积环境^[19]。微量元素研究表明^[20-21],红土 Rb/Sr 比值越大,指示化学风化程度越强,指示沉积环境越暖

湿;红土 Rb/Sr 比值越小,指示化学风化程度越弱,指示沉积环境越干燥。Sr/Ba、Sr/Cu 比值对沉积环境指示相近似,即为低值反映温湿沉积环境,高值反映干旱沉积环境^[22]。

高兴红土剖面化学蚀变指数均值为86.8,分布范围为81.1~89.3,属于中等或强烈化学风化程度范畴。Rb/Sr 比值平均为0.60,分布范围为0.19~1.03;Sr/Ba、Sr/Cu 均值分别为0.71、9.55,变化范围分别为0.21~1.98和3.13~29.94。图5显示了2.23 Ma 以来红土沉积 CIA 值、Rb 含量、Sr 含量、Rb/Sr 比值、Sr/Ba 比值、Sr/Cu 比值的曲线变化趋势。图中 CIA 值曲线和 Rb/Sr 值曲线在相位和频率上十分相似,即为由剖面底部往上递减变化,经 CIA 值与 Rb/Sr 值线性回归分析发现,它们呈显著的正相关性。剖面 CIA 高值和 Rb/Sr 高值区相对应,指示气候炎热、潮湿;CIA 低值和 Rb/Sr 低值相对应,指示气候温暖湿润。Rb 含量、Sr 含量、Sr/Cu 比值和 Sr/Ba 比值曲线波动趋势相近似,经线性回归分析发现,Rb 含量与对应 Sr 含量呈显著的正相关性 ($R = 0.9283, n = 86$),Sr/Cu 与 Sr/Ba 值含量呈显著的正相关性 ($R = 0.9418, n = 86$)。说明微量元素 Rb、Sr 值的地球化学也蕴含有红土沉积环境信息。Rb、Sr 含量曲线、以及 Sr/Cu 值、Sr/Ba 值曲线

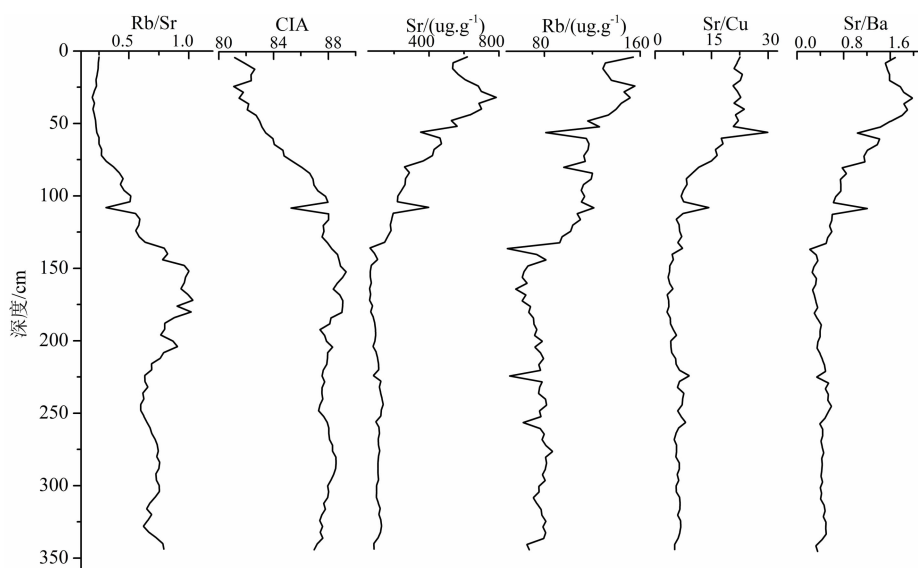


图5 衡阳盆地高兴红土剖面 CIA 值、微量元素值及比值的变化曲线

Fig. 5 Variation charts of CIA value, trace elements value and its ratios from the Gaoxing profile in Hengyang basin

与 CIA 值、Rb/Sr 值曲线波动趋势相反, CIA 值与 Rb 含量、Sr 含量、Sr/Cu 值、Sr/Ba 值呈显著的负相关性, 相关系数 R 值分别为 -0.8565 、 -0.9674 、 -0.9626 、 -0.9707 。综上分析发现, CIA 值、Rb/Sr 值、Sr/Cu 值、Sr/Ba 值曲线特征共同印证了 2.23 Ma 以来衡阳地区红土沉积时期的古环境变化特征, 即为红土剖面沉积时期古环境经历了由炎热潮湿向温暖湿润方向转变的过程, 有过湿热程度增强的时期。

5 结论

通过对衡阳盆地红土样品元素的测定与分析, 基于 ESR 测年的基础上, 分析了该剖面常量、微量元素的分布和迁移特征, 以及元素含量之间的相关性, 对比了分析了剖面样品的化学蚀变指数 (CIA) 值、Rb/Sr 值、Sr/Cu 值、Sr/Ba 值曲线变化特征, 初步得出以下结论。

(1) 化学风化作用过程中, 红土剖面元素 (氧化物) Na_2O 、 MgO 、 K_2O 、 Al_2O_3 、Rb、Sr、Cu、Ba 含量之间呈显著的正相关性, 表明它们具有相似的地球化学行为。而 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 与 SiO_2 呈较显著负相关性, CaO 、 TiO_2 与其他常量元素、微量元素之间相关性不明显, 表现出明显的差异性。上述元素之间亲疏性

特征反映了它们本身在风化作用过程中化学行为的差异性和相似性。

(2) 元素氧化物 Na_2O 、 CaO 、 MgO 、 SiO_2 含量在剖面分布具有一定的变化规律。能揭示沉积时期的古环境演变。 Na_2O 、 CaO 、 MgO 含量在 156 cm 以下表现为相对低值区, 而 SiO_2 含量表现为相对高值区; 在 156 cm 以上 Na_2O 、 CaO 、 MgO 百分含量为相对高值区, SiO_2 含量为相对低值区。指示了红土剖面下半段 (156 ~ 344 cm) 沉积时期的环境比上半段 (0 ~ 156 cm) 沉积时期的环境更为湿热。

(3) 衡阳盆地红土剖面化学风化过程中, 绝大多数元素氧化物 Al_2O_3 、 MgO 、 Na_2O 、 K_2O 的表现为迁移淋失的特征, 元素氧化物的迁移能力大小表现为 $\text{K}_2\text{O} > \text{Na}_2\text{O} > \text{MgO} > \text{Al}_2\text{O}_3 > \text{SiO}_2 > \text{Fe}_2\text{O}_3$ 。元素氧化物 Al_2O_3 、 MgO 、 Na_2O 、 K_2O 从剖面底部往上迁移淋失强度呈现逐渐减弱的变化趋势, 表明红土剖面沉积时期气候的湿热程度呈减弱的趋势。

(4) 高兴红土剖面中 CIA 值曲线和 Rb/Sr 值曲线在相位和振动频率上十分相似, 由剖面底部往上为递减变化趋势。Rb 含量、Sr 含量、Sr/Cu 比值、Sr/Ba 比值从剖面底部往上整体上呈递增的变化趋势, 表明了微量元素 Rb 和 Sr 的地球化学特征也蕴含有着气候变化信息。CIA 值、Rb/Sr 值、Sr/Cu 值、Sr/Ba 值曲线共同印证了 2.23 Ma 以来衡

阳地区红土沉积时期的古环境演替方向,即早更新世早期以来衡阳盆地的气候由炎热潮湿向温暖湿润的方向发展。

参考文献 (References)

- [1] 徐传奇,廖富强,贾玉连,等.中国南方网纹红土元素地球化学特征及其对网纹化过程的指示意义[J].古地学报,2016,18(5):865-878. [XU Chuanqi, LIAO Fuqiang, JIA Yulian, et al. Element geochemical characteristics of the reticulate red clay in southern China and its significance for the formation process of reticulated mottles [J]. Journal of Palaeogeography, 2016, 18(5): 865-878]
- [2] 黄雨振,陈秀玲,吕镔,等.福建北部闽江流域第四纪红土的磁学特征及其环境意义[J].山地学报,2018,36(4):527-535. [HUANG Yuzhen, CHEN Xiuling, LV Bin, et al. Magnetic characteristics of quaternary red earth sequence from the minjiang drainage basin in northern Fujian and its environmental significance [J]. Mountain Research, 2018, 36(4): 527-535]
- [3] 熊平生.赣州市区黄金红土剖面孢粉记录与古气候变化[J].干旱区资源与环境,2015,29(11):164-168. [XIONG Pingsheng. Pollen records of the Huangjin red earth profile in Ganzhou city and Paleoclimate evolution [J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2015, 29(11): 164-168]
- [4] 魏东岚,沈俊杰,李永化.红色风化壳地球化学特征及对古气候演变的响应—以辽南石槽剖面为例[J].地理科学,2018,38(2):307-313. [WEI Donglan, SHEN Junjie, LI Yonghua. Geochemical characteristics of red weathering crust from shicao profile in southern Liaoning province and the response of paleoclimate evolution [J]. Scientia Geographica Sinica, 2018, 38(2): 307-313]
- [5] 彭红霞,詹成,马瑞元,等.江西九江红土生物标志化合物的分布特征及其古气候环境意义[J].地球学报,2019,40(3):447-455. [PENG Hongxia, ZHANG Cheng, MU Ruiyuan, et al. Characteristics of Biomarkers in Pleistocene Red Earth of Jiujiang, Jiangxi Province and Its Paleoclimatic and Environmental Significance [J]. Acta Geoscientica Sinica, 2019, 40(3): 447-455]
- [6] 张培枫,胡雪峰,安柏年,等.海南玄武岩发育红土与第四纪网纹红土地球化学和磁性特征的差异[J].土壤通报,2018,49(5):1009-1014. [ZHANG Peifeng, HU Xuefeng, AN Bainian, et al. Comparison of geochemical characteristics between the basaltic red clay and quaternary red clay in Hainan [J]. Chinese Journal of Soil Science, 2018, 49(5): 1009-1014]
- [7] 张晓娟,季宏兵,冯晓静,等.岩溶盆地红土风化剖面的元素地球化学研究[J].地理科学,2017,37(6):944-951. [ZHANG Xiaojuan, JI Hongbing, FENG Xiaojing, et al. Element geochemistry characteristic of the red Soil weathering profiles in the karst basin [J]. Scientia Geographica Sinica, 2017, 37(6): 944-951]
- [8] 靳建辉,李志忠.44ka以来福州盆地红土的沉积地球化学特征[J].山地学报,2016,34(6):690-697. [JIN Jianhui, LI Zhizhong. Geochemistry characteristics of red earth sedimentation since 44ka in fuzhou intermountane basin [J]. Mountain Research, 2016, 34(6): 690-697]
- [9] 熊平生.衡阳盆地红土剖面微量元素地球化学特征及其意义[J].干旱区资源与环境,2018,32(1):92-97. [XIONG Pingsheng. Trace elements geochemical characters and its significance from red earth profile in hengyang basin [J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2018, 32(1): 92-97]
- [10] 王彩霞,叶玮,杨立辉.宣城网纹红土红白组分Fe、Mn、Al、Sr元素含量的变化特征及古气候意义[J].安徽师范大学学报(自然科学版),2017,40(3):271-274. [WANG Caixia, YE Wei, YANG Lihui. The content of Fe, Mn, Al, Sr in red and white part of vermicular red clay in xuancheng profile [J]. Journal of Anhui Normal University(Natural Science), 2017, 40(3): 271-274]
- [11] NESBITT H W, YOUNG G M. Early proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites [J]. Nature, 1982, 299:715-717.
- [12] 楚纯洁,赵景波.西安少陵塬黄土—古土壤序列S₃剖面元素迁移及古气候意义[J].土壤学报,2016,53(2):311-321. [CHU Chunjie, ZHAO Jingbo. Element migration in S₃ profile of the Shao lingyuan loess paleosol sequence in Xian and its paleoclimatic implication [J]. Acta Pedologica Sinica, 2016, 53(2): 311-321]
- [13] 张智,贾玉连,彭学敏,等.赣北鄱阳湖地区黄土元素地球化学特征研究[J].长江流域资源与环境,2014,23(8):1125-1131. [ZHANG Zhi, JIA Yulian, PENG Xuemin, et al. The study of chemical weathering intensity in North Poyang lake region [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2014, 23(8): 1125-1131]
- [14] 毛沛妮,庞奖励,黄春长,等.汉江上游黄土常量元素地球化学特征及区域对比[J].地理学报,2017,72(2):279-291. [MAO Peini, PANG Jiangli, HUANG Chunchang, et al. Chemical weathering characteristics and regional comparative study of the loess deposits in the upper Hanjiang River [J]. Acta Geographica Sinica, 2017, 72(2): 279-291]
- [15] 张天福,张云,苗培森,等.鄂尔多斯盆地西缘中晚侏罗世地层化学蚀变指数(CIA)研究及其意义[J].地质调查与研究,2018,41(4):258-279. [ZHANG Tianfu, ZHANG Yun, MIAO Peisen, et al. Study on the chemical index of alteration of the Middle and Late Jurassic Strata in the western margin of Ordos basin and its implications [J]. Geological Survey and Research,

- 2018, **41**(4): 258–279]
- [16] 刘现彬, 赵爽, 温仰磊, 等. 天山北麓典型黄土地球化学特征研究[J]. 干旱区地理, 2014, **37**(5): 883–891. [LIU Xianbin, ZHAO Shuang, WEN Anglei, et al. Geochemistry characteristics of loess deposits at northern foot of Tianshan Mountains [J]. Arid Land Geography, 2014, **37**(5): 883–891]
- [17] 徐树建, 倪志超, 丁新潮. 山东平阴黄土剖面常量元素地球化学特征[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2016, **35**(2): 353–359. [XU Shujian, NI Zhichao, DING Xinchao. Geochemical characteristics of major elements of the pingyin loess in Shandong province [J]. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry, 2016, **35**(2): 353–359]
- [18] MCLENNAN S M. Weathering and global denudation [J]. Journal of Geology, 1993, **101**: 295–303.
- [19] 梁敏豪, 杨胜利, 成婷, 等. 青藏高原东部黄土沉积元素地球化学示踪[J]. 沉积学报, 2018, **36**(5): 927–936. [LIANG Minhao, YANG Shengli, CHENG Ting, et al. Geochemical evidence for the provenance of loess deposits in the Eastern Tibetan plateau [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2018, **36**(5): 927–936]
- [20] 陈敬安, 曾艳, 王敬富, 等. 湖泊沉积物不同赋存状态 Rb、Sr 地球化学记录研究[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2013, **32**(4): 408–417. [CHEN Jingan, ZENG Yan, WANG Jingfu, et al. The geochemical records of Rb and Sr of different forms in lake sediments [J]. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry, 2013, **32**(4): 408–417]
- [21] 李中轩, 朱诚, 朱青, 等. 中坝遗址地层的 Cr/Cu 值对干湿环境的指示意义[J]. 地理科学, 2008, **28**(6): 799–803. [LI Zhongxuan, ZHU Cheng, ZHU Qing, et al. Variation of Cr/Cu ratios in zhongba profile and its indication on palaeoenvironment [J]. Scientia Geographica Sinica, 2008, **28**(6): 799–803]
- [22] 孔凡翠, 杨瑞东, 魏怀瑞, 等. 贵州威宁草海第四系窑上组沉积物微量元素地球化学特征及其古环境意义[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2011, **31**(5): 117–126. [KONG Fancui, YANG Ruidong, WEI Huairui, et al. Geochemistry of trace elements of the Quaternary sediments of Yaoshang formation in Weining county Guizhou Province and Its Paleoenvironmental implications [J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2011, **31**(5): 117–126]

Geochemistry of Elements and Its Paleoenvironmental Implications from the Red Earth Profile in the Hengyang Basin

XIONG Pingsheng^{a,b}, WANG Peng^{a*}, ZHANG Yi^b, ZHANG Chuchu^a

(Hengyang Normal University a. College of City and Tourism, Hengyang 421002, Hunan, China;

b. College of Nanyue, Hengyang 421000, Hunan, China)

Abstract: Global climate and environmental changes and regional responses are hot topics of widely concerned in Geosciences areas. In order to reveal the paleoenvironmental information of red clay sediments in Hengyang Basin, major elements, trace elements and Electron Spin Resonance (ESR) dating of red clay samples from the Gaoxing profile were measured and analyzed. The results showed that: (1) SiO_2 , Al_2O_3 and Fe_2O_3 were the main components of major element oxides in red clay profile, and their total content was 89.63%. With slightly more than 1%, the contents of MgO , K_2O , CaO and Na_2O were very low of red clay samples, except K_2O was easily adsorbed by red clay. The contents of other soluble components were all less than 1%. The percent contents of trace elements Ba, Cu, Rb and Sr were positively correlated with the contents of major elements K_2O , MgO , Na_2O and Al_2O_3 respectively, and the contents of Na_2O , MgO , K_2O and Al_2O_3 were positively correlated with each other, indicating that their activities were similar. (2) Geochemical behavior of major element oxides K_2O , MgO , Na_2O and Al_2O_3 was characterized by migration and leaching, while the element oxide of SiO_2 and Fe_2O_3 were slightly enriched. Relative migration ability was in the order of $\text{K}_2\text{O} > \text{Na}_2\text{O} > \text{MgO} > \text{Al}_2\text{O}_3 > \text{SiO}_2 > \text{Fe}_2\text{O}_3$. The

migration of MgO , Na_2O , K_2O , Al_2O_3 from bottom to top of the profile tends to weaken gradually, indicating that the humidity and heat of the climate during the sedimentary period were also weakening gradually. (3) The values of CIA and Rb/Sr increased from top to bottom, while the contents of Rb, Sr, Sr/Cu and Sr/Ba decreased. The CIA value, Rb/Sr value, Sr/Cu value and Sr/Ba value revealed that the climate of Hengyang Basin had evolved from being hot-humid to being warm-wet since 2.23 Ma.

Key words: Confidentiality Integrity Availability (CIA); elements migration; trace element; red clay; Hengyang basin

黄土高原——我国地质灾害的重点防治区

(孙萍萍 西北大学)

黄土高原连续分布面积达 44 万 km^2 , 是黄河流域生态保护和高质量发展国家战略的核心区, 同时也是我国生态环境最为脆弱和地质灾害最为严重的地区之一, 频发的地质灾害严重地威胁着人民群众的生命和财产安全。近年来, 在黄土区内滑坡、崩塌、泥石流等灾害呈现加剧的趋势。2000 年以来, 有关黄土灾害的调查、研究力度持续加大, 在黄土高原区系统部署实施了地质灾害调查(1:5 万)和监测预警及风险评估等研究示范工作, 涉及黄土高原范围内的陕、甘、宁、青、新、晋、豫 7 省(区)的地质灾害高易发区, 查明质灾害隐患点 14 161 处, 其中滑坡 6004 处, 崩塌 2037 处、泥石流 2072 处、不稳定斜坡 3907 处、其他类型 141 处。

详见本期《黄土高原地质灾害发生规律》一文。