

中国中亚热带网纹红土的地球化学 特征与沉积环境*

叶 玮¹ 朱丽东¹ 李凤全¹ 杨立辉¹ Shinji Kanayama² Sadayo Yabuki²

(1 浙江师范大学地理过程实验室, 浙江金华 321004)

(2 Institute of Physical and Chemical Research, Saitama, Japan)

摘 要 130 个样品的粒度、黏土矿物组成、地球化学特征以及 Sr、Nd 同位素分析表明, 广泛分布在中亚热带地区并且具有一定厚度的第四纪网纹红土为加积型沉积。该类沉积粒度组成与北方风尘沉积类似, 粉砂含量占优势, > 50 Lm 含量小于 5%, 5~ 50 Lm 组分 41.2%~ 61.5%, < 5 Lm 黏粒 26.9%~ 55.8%; 黏土矿物组成中含有较多的石英、云母和高岭石; 全土体的平均硅铝率为 71.96, 硅铁铝率 61.11; 稀土元素丰度 1791.6 mg kg⁻¹, 与地壳平均值(178 mg kg⁻¹)、北京郊区 1998 年 12 月大气粉尘稀土总量(1781.0 mg kg⁻¹) 以及两块中国黄土标样(1781.2 mg kg⁻¹) 非常接近, 并且表现为轻稀土强烈富集, 重稀土淋失, Ce 元素正异常; 网纹红土全岩样品的⁸⁷Sr/⁸⁶Sr 值界于 0.725 657~ 0.727 714 之间, Nd 同位素 0.511 989~ 0.512 098, 与佳县上新世红黏土和黄土的酸不溶相物质接近。理化特征指示, 第四纪加积型网纹红土与北方黄土中的古土壤以及上新世红黏土的形成环境类似, 并且具有稳定的物质来源。

关键词 网纹红土; 稀土元素; 中亚热带; 沉积环境

中图分类号 P595 **文献标识码** A

在长江中下游低山丘陵地区发育的第四纪红色黏土, 通常包括有均质红土层、网纹红土层、砂石红土层和砾石红土层。这些层段的物质组成、质地不完全相同, 其中特别引起学者关注的是在中亚热带地区分布广泛, 厚度几至几十米不等的网纹红土层, 该层可称之为加积型网纹红土。本文所有分析样品均采自该层段。

虽然关于网纹红土的前人研究成果非常丰硕, 但到目前为止其形成环境仍然存在争论。有学者提出, 以安徽宣城剖面为代表的中国南方红土是干、凉/冷环境下的风成堆积^[1~ 5]; 但大多数学者认为湿热的气候、平坦的地形、频繁的地下水活动是网纹红土形成的必要条件^[6~ 10]。从前人研究成果不难看出, 由于环境信息提取和精确测年的困难, 限制了网纹红土沉积记录研究的深入, 甚至目前还停留在成因争论的初级阶段。更重要的是, 红土研究的系统性、综合性远不如黄土, 研究区域也不够广阔。本文在野外调查的基础上, 利用 Marvern2000 激光粒度分析仪、X 衍射; X 荧光光谱仪、电感耦合等离子质谱仪(简称 ICP-MS) 和 TIMS 分别对采自江西九威大道、沙

河镇、星子、浙江安吉、金华和湖南株洲等地的 130 个网纹红土层的红土样品进行了粒度、地球化学分析, 并对代表样品进行了 Sr、Nd 同位素分析。粒度和地球化学分析样品主要使用的是网纹红土全样, 并且对部分样品进行网纹的红色部分和白色部分分离和分别测试。本文试图通过理化特征分析, 探讨加积型网纹红土及其起始物质的形成环境。

1 粒度特征和黏土矿物组成

1.1 粒度特征

如表 1 所示, 网纹红土与午城黄土中古土壤的粒度组成十分接近。网纹红土以粉砂和黏粒占优势, 并且随位置的空间变化, 由西北向东南不同粒组呈现有规律的增减。与北方风尘沉积物类似, 网纹红土 > 50 Lm 组分含量较低(0.24%~ 4.18%), 平均 2.164%; 5~ 50 Lm 组分含量 41.20%~ 69.22%, 平均 53.156%; < 5 Lm 黏粒含量 26.91%~ 55.175%, 平均 42.13%。从位置偏西北的江西到东南的湖南等地, 网纹红土粗粉砂含量从 42.152% 减少至 24.178%, 黏

* 国家自然科学基金项目(40571067) 和浙江省自然科学基金项目(X506313) 资助

作者简介: 叶 玮(1957~), 女, 博士, 研究员。主要从事环境变化方面的研究工作。E-mail: lyg29@zjnu.cn

收稿日期: 2007- 01- 13; 收到修改稿日期: 2007- 06- 20

表1 中亚热带网纹红土粒度组成(平均值)

Table 1 Granularity composition of vemicular red earth in Subtropic Zone(average)

| 采样地点 Sampling site | 沉积物 Sediments | 5~ 50 Lm (%) | < 5 Lm (%) | 5~ 10 Lm (%) | 10~ 50Lm (%) | > 50 Lm (%) |
|-----------------------|--------------------------|-----------------|---------------|-----------------|-----------------|----------------|
| 沙河 Shahe | 网纹红土 Vemicular red earth | 60.08 | 33.76 | 18.138 | 42.52 | 5.34 |
| 九江 Jiujiang | 网纹红土 Vemicular red earth | 56.01 | 40.56 | 17.116 | 38.85 | 3.42 |
| 安吉 Anji | 网纹红土 Vemicular red earth | 53.48 | 46.28 | 18.195 | 34.53 | 0.24 |
| 金华 Jinhua | 网纹红土 Vemicular red earth | 42.66 | 55.14 | 15.164 | 27.02 | 2.20 |
| 株洲 Zhuzhou | 网纹红土 Vemicular red earth | 42.23 | 57.53 | 17.145 | 24.78 | 0.24 |
| 午城 Wucheng | 黄土 Loess | 56.30 | 37.70 | 12.120 | 44.10 | 5.80 |
| 午城 Wucheng | 古土壤 Palaeosol | 54.60 | 42.90 | 12.160 | 42.00 | 2.50 |
| 离石 Lishi | 古土壤(上部) Palaeosol(upper) | 58.40 | 32.00 | 12.170 | 45.70 | 7.10 |
| 离石 Lishi | 古土壤(下部) Palaeosol(lower) | 58.30 | 37.80 | 12.160 | 45.70 | 4.80 |

表2 中亚热带网纹红土黏土矿物组成

Table 2 Clay composition of vemicular red earth in Subtropic Zone

| 地点 Site | 编号 Sampling No. | 深度 Depth (cm) | 黏土矿物 Clay | | | | | | | | |
|----------------|------------------------|------------------|-----------------------|------------------------|------------------------|---|------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| | | | 石英 Qz ¹ | 长石 Fls ² | 云母 Mic ³ | 伊利石/ 蒙皂石混 层矿 ⁴ I/S ⁴ | 蒙皂石 Sm ⁵ | 绿泥石 Chl ⁶ | 高岭石 Kao ⁷ | 赤铁矿 ⁸ Hem ⁸ | 针铁矿 ⁹ Goe ⁹ |
| 九江 Jiujiang | 12j2050 | 1748 | q ²⁾ | o | o | | | o | o | o | o |
| | 12j2300 | 1248 | q | o | o | | | | o | o | o |
| | 12j2410 | 1028 | q | o | o | o | | | o | o | o |
| | 12j2470 | 908 | q | | o | | | | o | o | o |
| | 12j2570 | 708 | q | o | o | | | o | o | o | o |
| | 12j2691 | 466 | q | o | o | o | | | o | o | o |
| | 12j2723 | 402 | q | o | o | | | | o | o | o |
| | 12j2470W ¹⁾ | 908 | q | o | o | | o | | o | o | o |
| | 12j2300W | 1248 | q | o | o | | | | o | o | o |
| | 12j2470R | 908 | q | o | o | o | | | o | o | o |
| | 12j2410R | 1028 | q | o | o | | | o | o | o | o |
| | 12j2300R | 1248 | q | o | o | | | | o | o | o |
| | 12j2733 | 382 | q | | o | | | | o | o | o |
| | 12j2867 | 114 | q | | o | | | o | o | o | o |
| 沙河 Shahe | 12sh2008 | 659 | q | o | o | | | o | o | o | o |
| | 12sh2034 | 529 | q | o | o | | | o | o | o | o |
| | 12sh2047 | 464 | q | o | o | | | | o | o | o |
| | 12sh2061 | 394 | q | o | o | | | o | o | o | o |
| | 12sh2096 | 222 | q | o | o | | | o | o | o | o |
| 12sh2159 | 94 | q | o | o | | | o | o | o | o | |
| 金华 Jinhua | TX20R | 290 | q | | o | | | | o | o | o |
| | TX22R | 335 | q | | o | | | | o | o | o |
| | TX | | o | | o | | | | o | | |
| | TX20W | 290 | q | | o | | | | o | | |
| TX22W | 335 | q | | o | | | | o | | | |

1) W: white; R: red 2) 黏土矿物为半定量鉴定, 圆圈的大小和多少代表该类矿物含量的多少, 越大, 圈多代表含量高; 反之, 则少 The clays were identified by half-quantitative analysis. The marks in the table represent contents of clay minerals. The bigger the mark, the higher the percentage.

¹ Qz: quartz; ² Fls: Fldspar; ³ Mic: mica; ⁴ I/S: illite/smectite mixed layers; ⁵ Sm: smectite; ⁶ Chl: chlorite; ⁷ Kao: kaoline; ⁸ Hem: hematite; ⁹ Goe: goethite

粒含量从 33176% 增加至 57153%。在黄土研究中, 10~ 50 Lm 粒级组分被认为是风尘的/ 基本粒组0, 5~ 10 Lm 粒级被看作远源组分^[11]。不同剖面网纹红土的 / 基本粒组0 平均含量 24178%~ 45152%, 较黄土低, 但 5~ 10 Lm 组分含量高于午城和离石黄土。

网纹红土的粒度频率曲线表现为双峰和多峰, 并且和粒度组成一样具有空间分异。位置偏东南的金华和湖南株洲的网纹红土第一众数出现在黏粒中, 第二众数出现在粉砂中; 相反, 位置偏西北的九江、安吉等地的网纹红土第一众数出现在粉砂中, 第二众数出现在黏粒中。网纹红土粒度频率曲线和粒度组成这种空间分异与前人研究结果相吻合^[12, 13], 反映网纹红土粒度组成可能具有风成特性。

112 黏土矿物组成

根据日本上越大学大场教授进行的 X 衍射分析结果, 网纹红土黏粒中 (< 4Lm) 含有较多的石英、云母和高岭石, 其次为长石、赤铁矿和针铁矿, 部分样品含有绿泥石、伊利石和蒙托石混层矿物(表 2)。

通常在典型的湿热气候条件下, 风化作用强烈, 长石、云母之类铝硅酸盐矿物大量风化而释放出 Sr 和 Ca 之类阳离子, 风化可达到脱硅富铝的高级阶段。所研究的网纹红土的黏土矿物中较高的石英、云母和长石含量反映其形成环境并不如同想像的那么湿热。

2 地球化学特征

211 常量元素

网纹红土烧失量 415%~ 8111%, 平均 5177%; 常量元素含量由大到小依次为: Si、Al、Fe、K、Ti、Mg、Ca、Na、P、Mn。SiO₂ 含量 59157%~ 75104%, 平均高达 68129%, 这与黏土矿物中高的石英含量一致; Al₂O₃ 和 Fe₂O₃ 的平均含量分别为 14179% 和 6195%; TiO₂ 与 MnO₂ 的含量分别为 1107% 和 0106%。由于易溶组分的淋失, CIA 值($CIA = [Al_2O_3 / (Al_2O_3 + CaO + Na_2O + K_2O)] @100$, 式中 CaO 指硅酸盐中 CaO 含量) 介于 81197~ 90154, 平均为 86113, 高于北方风成沉积物, 但网纹红土全岩的硅铝率(平均 7196) 和硅铁铝率(平均 6111) 和风尘沉积物差别并不显著。有人认为, 南方红土 CIA 与硅铝率和硅铁铝率的不协调是土壤对硅吸附的结果, 并且与 pH 有关^[14]; 也有人提出, 在剖面上 Fe、Al 氧化物的下渗和淋失作用及其对硅的相对富集是引起中国南方

红土表层出现 Si/ Al 率和 SiO₂/ R₂O₃ 率升高的主要原因^[15]。考虑所研究网纹红土的沉积特征以及黏土矿物组成, 作者认为网纹红土形成环境与现代典型红壤不完全相同。在中亚热带地区红壤形成的主要过程是脱硅富铝过程。本文所研究的加积型网纹红土较高的 CIA 反映易溶组分的淋失, 代表其化学风化作用强度较黄土强烈, 而较高的硅铝率和硅铁铝率则表明其化学风化尚未达到明显的脱硅富铝阶段。代表样品黏粒的常量元素分析也显示, 网纹红土黏粒的硅铝率和硅铁铝率的平均值分别为 310 和 213, 小于红壤。

212 稀土元素丰度

130 个样品分析结果显示, 网纹红土稀土丰度介于 8713~ 69519 mg kg⁻¹ 之间, 算术平均 17916 mg kg⁻¹, 与地壳平均值(178 mg kg⁻¹)、北京郊区 1998 年 12 月大气粉尘稀土总量(17810 mg kg⁻¹) 以及中国黄土标样 CJ1 和 CJ2 的平均值(17812 mg kg⁻¹) 非常接近^[16~ 18]。与杨元根等南方红土以及李富春等对下蜀黄土分析结果的比较, 网纹红土的稀土丰度略高于红壤剖面中的淋溶层, 远远高于基岩平均值, 但明显低于下蜀黄土和古土壤平均值^[19, 20]。杨元根等在研究红土时发现, 剖面上稀土元素总量与 pH 值有显著的正相关性, 酸性条件下稀土元素活动性较强, 易于淋失, 而在碱性条件下则发生淀积^[19]。因此, 加积型网纹红土的稀土元素丰度可反映沉积过程中酸碱度的变化。故推测, 网纹红土中稀土元素的富集可能与沉积介质的 pH 值有关。根据测定, 网纹红土的 pH 值最高为 517, 最低 413, 平均值为 511。

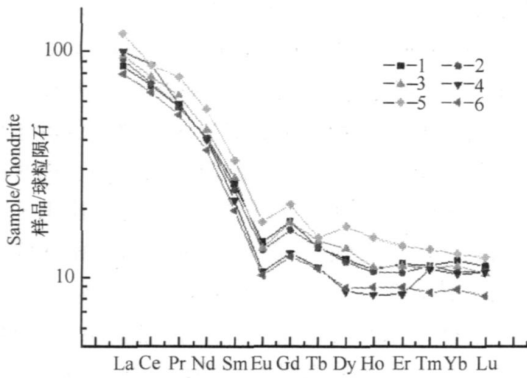
213 稀土分布模式

图 1 为球粒状陨石归一化稀土元素标准化曲线(图 1), 很明显网纹红土样品和北方风尘沉积的稀土分布模式十分相似, 二者均呈斜率为负值的分布模式。轻稀土富集, 重稀土分馏。网纹红土的 ELEE/ EHREE 值平均大于 10, 最高达到 15118。

将网纹红土的红色基质和白色或黄色斑纹进行分离并分析, 结果显示红色基质和白色斑纹的稀土分布模式基本一致, 但稀土元素含量存在差别, 白色斑纹稀土丰度高于红色基质, 反映红色基质和白色斑纹的母质同源性以及风化淋溶程度的差异。

214 稀土判别分析

为进一步确定所研究网纹红土与风尘沉积的相似性, 本文使用判别函数^[21]进行不同类型沉积物稀



11 佳县红黏土 Jiaxian red earth; 21 北京大气粉尘 Beijing dust;
31 中国黄土标样 Chinese loess; 41 镇江下蜀黄土 Zhenjiang Xiashu loess; 51 中国网纹红土 Vermicular red earth; 61 地壳平均值 UCC

图1 不同沉积物陨石归一化稀土元素分布模式

Fig1 Meteorite-normalized REE distribution patterns in different sediments

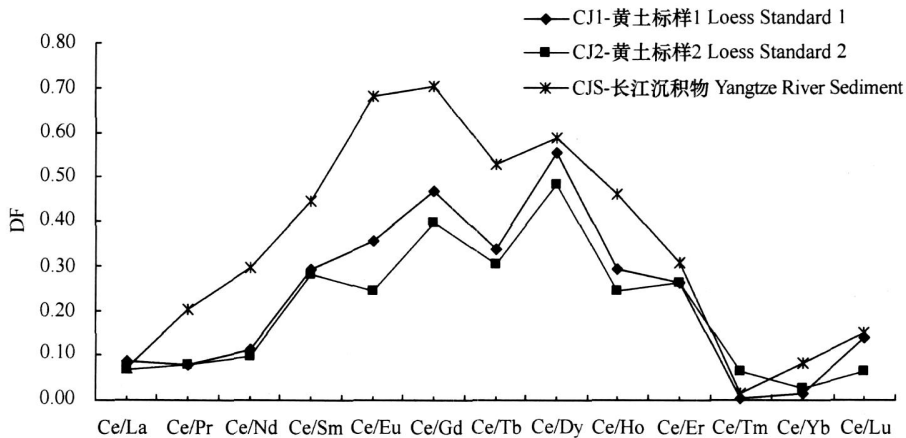


图2 网纹红土与黄土、长江沉积物 DF 值对比曲线

Fig 2 Comparison between vermicular red earth and loess, and sediment from the Yangtze River in DF value

土元素的判别分析。判别函数 DF 的表达式如下:

$$DF = |(C_{1R} / C_{2R}) / (C_{1L} / C_{2L}) - 1|$$

式中 C_{1R} / C_{2R} 表示网纹红土中两种元素的比值; C_{1L} / C_{2L} 表示黄土中两种元素的比值。如果 DF 的绝对值小于 0.15, 即认为两种沉积物化学性质接近。为使这一判断能更有效地反映沉积物之间的接近程度, 构成比值的元素对应尽可能选取化学性质相近的元素。稀土元素是一组化学性质极为相近的元素, 符合判别条件。本文以黄土标样 CJ1 和 CJ2 作为风成沉积物代表, 以长江河漫滩沉积物作为水成沉积物代表, 选用 Ce 与其他稀土元素的比值求得网纹红土与黄土和长江河漫滩沉积物的 DF 值。如图 2 所示, 网纹红土与长江河漫滩沉积物的 DF 值要大于其与黄土标样 CJ1、CJ2 的 DF 值, 表明网纹红土与黄土的相似性好于冲积物。

3 Sr 同位素比

研究区域的网纹红土的 $^{87}\text{Sr} / ^{86}\text{Sr}$ 值介于 0.1722 001~ 0.1727 741 之间, 多数样品该值大于 0.1725 000(表 3)。杨杰东等研究表明, 与全岩样品相比, 黏粒的 $^{87}\text{Sr} / ^{86}\text{Sr}$ 值高^[22]。周彬等系统研究了黄土高原 Sr 同位素随纬度的变化, 提出黄土中弱酸不溶相 $^{87}\text{Sr} / ^{86}\text{Sr}$ 比值主要受粒度粗细变化和源区风化程度的控制^[23]。网纹红土全岩样品的 $^{87}\text{Sr} / ^{86}\text{Sr}$ 值与北方佳县上新世红黏土^[24](全岩)、灵台剖面沉积物黏粒的 $^{87}\text{Sr} / ^{86}\text{Sr}$ 值接近, 一方面反映网纹红土黏粒含量高, 另一方面则说明网纹红土母质在源区的

风化强度与风成沉积相似。黄土物质被认为起源于大面积陆壳岩石的风化, 其地球化学组成具有上部地壳物质的普遍代表性。一般认为, Sr 和 Nd 同位素是研究沉积物源区的有效方法之一。黄土高原黄土和古土壤的研究表明, 风化和成壤作用对 Nd 同位素组成没有影响, 而黄土和古土壤样品(无论是全岩样品或酸不溶物)的 Sr 同位素组成却明显受到风化或成壤作用的影响, 显示出与东亚季风强度变化有一定相关性。因此, Nd 同位素是研究黄土高原风尘的源区的可靠方法^[22, 25]。计算表明, 网纹红土 $^{143}\text{Nd} / ^{144}\text{Nd}$ 比值 0.1511 989~ 0.1512 098, $\text{E}(\text{Nd}(0))$ 介于 - 1.0154 ~ - 1.2166 之间, 平均值为 - 1.1151, 这表明网纹红土的物质源区是基本稳定的。

表 3 中国中亚热带网纹红土 Sr 同位素比值

Table 3 Isotope ratios of Sr and Nd in vermicular red earth from subtropic area of China

| 采样地点 Sampling Site | 样品名称 Name | $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ | $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ | ENd(0) |
|-------------------------------|---|---------------------------------|-----------------------------------|----------|
| 金华 Jinhua | 网纹红土2红色部分 Vermicular red earth2red | 01727 390 | 01512 065 | - 111 17 |
| | 网纹红土2白色部分 Vermicular red earth2white | 01726 740 | 01512 098 | - 101 54 |
| | 网纹红土2结核 Vermicular red earth2nodule | 01725 657 | 01512 071 | - 111 06 |
| 安吉 Anji | 网纹红土2红色部分 Vermicular red earth2red | 01725 982 | 01512 030 | - 111 87 |
| | 网纹红土2白色部分 Vermicular red earth2white | 01726 279 | 01512 014 | - 121 18 |
| | 网纹红土2结核 Vermicular red earth2nodule | 01727 395 | 01512 056 | - 111 35 |
| 九江 Jiujiang | 网纹红土 Vermicular red earth | 01722 001 | 01512 032 | - 111 82 |
| | 网纹红土2红色部分 Vermicular red earth2red | | 01511 989 | - 121 66 |
| | 网纹红土2白色部分 Vermicular red earth2white | 01726 367 | 01512 005 | - 121 35 |
| 星子 Xingzi | 网纹红土2结核 Vermicular red earth2nodule | | 01512 088 | - 101 74 |
| 沙河 Shahe | 网纹红土 Vermicular red earth | | 01512 087 | - 101 75 |
| | 网纹红土2红色部分 Vermicular red earth2red | 01726 015 | 01512 066 | - 111 15 |
| | 网纹红土2白色部分 Vermicular red earth2white | 01727 714 | 01512 030 | - 111 87 |
| 株洲 Zhuzhou | 网纹红土2结核 Vermicular red earth2nodule | | 01512 040 | - 111 67 |
| 台湾 Taiwan | 红土(RCSH21) Red earth(RCSH21) | 01725 874 | 01511 970 | - 131 04 |
| | 红土(RBD28) Red earth(RBD28) | 01724 291 | 01511 971 | - 131 01 |
| | 红土(R2LK22) Red earth(R2LK22) | 01723 774 | 01511 848 | - 151 42 |
| 佳县 ^[23] Jiaxian | 上新世红黏土 Pliocene red earth | 01725 466 | 01512 099 | |
| 伊犁 Yili | 黄土 Loess | 01713 107 | | |
| 灵台 ^[21] Lingtai | 黄土(黏粒) Loess(clay) | 01726 261 | 01512 172 0 | - 91 07 |
| | 古土壤(黏粒) Palaeosol(clay) | 01729 943 | 01512 656 0 | - 91 40 |
| | 上新世红黏土(黏粒) Pliocene red earth(clay) | 01725 733 | 01512 150 | - 91 52 |

4 结 论

地球化学特征表明,中国网纹红土与北方风尘沉积具有一定的风尘相似性。

1) 网纹红土粒度组成以 5~ 50 Lm 粉砂占优势, > 50 Lm 含量小于 5%, 5~ 50 Lm 组分 41119%~ 61150%, < 5 Lm 黏粒 26191%~ 55175%; 而且沿着冬季风方向, 由西北到东南, 网纹红土粉砂含量减少, 黏粒增加, 第一众数由粉砂粒组迁移到黏粒粒组, 表现出一定的风成沉积特征。

2) 黏土矿物组成中石英、云母和高岭石含量占优势, 与现代红壤以高岭石为主的黏土矿物组成存在差异。

3) 常量元素以硅、铝和铁含量之和占绝对优势, 平均含量达 90% 左右, 全岩和黏粒的硅铝率(7196, 310) 和硅铝铁率(6111, 213) 高于红壤, CIA 值介于 81197~ 90154, 平均 86113, 高于北方风成沉积, 反映网纹红土所经历的较为强烈的化学风化作用, 但尚未达到脱硅富铝阶段。

4) 稀土丰度平均值 17916 mg kg^{-1} , 与地壳平均值(178 mg kg^{-1})、北京郊区 1998 年 12 月大气粉尘稀土总量(17810 mg kg^{-1}) 以及中国黄土标样 CJ1 和 CJ2 的平均值(17812 mg kg^{-1}) 非常接近。稀土元素组成以轻稀土为主, 重稀土含量所占比例不足 10%。判别分析(DF) 表明, 网纹红土与北方风尘沉积化学成分的相似性好于长江漫滩沉积。

5) 网纹红土的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值介于 01722 001~ 01727 741 之间, $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{N}$ 比值 01511 989 ~ 01512 098, 与黄土酸不溶相物质相近, ENd(0) 介于 - 10154~ - 12166 之间, 平均值为 - 11151, 表明网纹红土也是经过多次搬运和高度混合的堆积物, 而且物质源区基本稳定。

参 考 文 献

- [1] 赵其国, 杨浩. 中国南方红土与第四纪环境变迁的初步研究. 第四纪研究, 1995(2): 107~ 116. Zhao Q G, Yang H. A preliminary study on red earth and changes of quaternary environment in south China(In Chinese). Quaternary Sciences, 1995(2): 107~ 116
- [2] 杨达源, 韩辉友, 周旅复. 安徽宣城地区中晚更新世风成堆积与环境变迁. 海洋地质与第四纪地质, 1991, 11(2): 97~ 104. Yang D Y, Han H Y, Zhou L F. Eolian deposit and environmental change of middle-late pleistocene in Xuancheng, Anhui Province south of the lower reaches of the Changjiang River(In Chinese). Marine Geology & Quaternary Geology, 1991, 11(2): 97~ 104
- [3] 李徐生, 杨达源, 鹿化煜. 皖南风尘堆积序列氧化物地球化学特征与古气候记录. 海洋地质与第四纪地质, 1999, 19(4): 75~ 82. Li X S, Yang D Y, Lu H Y. Oxide geochemistry features and paleoclimatic record of the Aeolian dust depositional sequence in southern Anhui(In Chinese). Marine Geology & Quaternary Geology, 1999, 19(4): 75~ 82
- [4] 乔彦松, 郭正堂, 郝青振, 等. 皖南风尘堆积)) 土壤序列的磁性地层学研究及其古环境意义. 科学通报, 2003, 48(13): 1 465~ 1 469. Qiao Y S, Guo Z T, Hao Q Z, et al. A study on the magnetic stratum of Aeolian dust deposition soil sequence in the south of Anhui Province and its ancient environment means(In Chinese). Chinese Science Bulletin, 2003, 48(13): 1 465~ 1 469
- [5] 李徐生, 韩志勇, 杨达源, 等. 末次冰期鄱阳湖西南缘地区的风尘堆积. 海洋地质与第四纪地质, 2006, 26(1): 101~ 107. Li X S, Han Z Y, Yang D Y, et al. A Aeolian dust deposit to the south west of the Poyang Lake during the last glacial age(In Chinese). Marine Geology & Quaternary Geology, 2006, 26(1): 101~ 107
- [6] 龚子同. 红色风化壳的生物地球化学. 见: 李庆远主编. 中国红壤. 北京: 科学出版社, 1985. 24~ 40. Gong Z T. The biological geochemistry of red weathering crust (In Chinese). In: Li Q K. ed. Red soils in China. Beijing: Science Press, 1985. 24~ 40
- [7] 朱显谟. 中国南方的红土与红色风化壳. 水土保持研究, 1995, 2(4): 94~ 101. Zhu X M. Red soil and red weathering crust in southern China(In Chinese). Research of Soil and Water Conservation, 1995, 2(4): 94~ 101
- [8] 胡雪峰, 龚子同. 江西九江泰和第四纪红土成因的比较研究. 土壤学报, 2001, 38(1): 1~ 9. Hu X F, Gong Z T. Comparative study on the origin of quaternary red earth in Jiujiang and Taihe, Jiangxi Province (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2001, 38(1): 1~ 9
- [9] 黄镇国, 张伟强, 陈俊鸿, 等. 中国南方红色风化壳. 北京: 海洋出版社, 1996. Huang Z G, Zhang W Q, Chen J H, et al. Red Residue in Southern China(In Chinese). Beijing: China Ocean Press, 1996
- [10] 朱景郊. 网纹红土的成因及其研究意义. 地理研究, 1988, 7(4): 1~ 19. Zhu J J. Origin and implication of the vermicular red earth(In Chinese). Geography Research, 1988, 7(4): 1~ 19
- [11] 刘东生. 黄土与环境. 北京: 科学出版社, 1985. Liu D S. Loess and Environment(In Chinese). Beijing: Science Press, 1985
- [12] 陆景冈. 土壤地质学. 北京: 地质出版社, 2006. Lu J G. Geopedology(In Chinese). Beijing: Geographic Press, 2006
- [13] Xiong S F, Sun D H, Ding Z L. Aeolian origin of the red earth in southeast China. Quaternary Science, 2002, 17(2): 181~ 191
- [14] 张永兰, 柯怡, 于群英. pH 值对土壤硅素吸附特性的影响. 安徽农业技术师范学院学报, 2002, 16(1): 43~ 45. Zhang Y L, Ke Y, Yu Q Y. Effects of pH on the adsorption of silicon in soils (In Chinese). Journal of Anhui Technical Teachers College, 2002, 16(1): 43~ 45
- [15] 冯志刚, 王世杰, 孙承兴. 引起红土表层硅铝比值增大原因的可能性探讨. 地质地球化学, 2002, 30(4): 7~ 14. Feng Z G, Wang S J, Sun C X. Discussion on possible causes of increases in Si/Al ratio in surface layers of some lateritic profiles(In Chinese).

- Geology & Geochemistry, 2002, 30(4): 7~14
- [16] 陈德潜, 陈刚. 实用稀土元素地球化学. 北京: 冶金工业出版社, 1990. 223~242. Chen D Q, Chen G. Practical Geochemistry of REE (In Chinese). Beijing: China Metallurgy Industry Press, 1990. 223~242
- [17] 刘英俊, 王鹤年. 元素地球化学. 北京: 科学出版社, 1984. 210~211. Liu Y J, Wang H N. Geochemistry of Elements (In Chinese). Beijing: Science Press, 1984. 210~211
- [18] 彭安, 朱建国. 稀土元素的环境化学与生态效应. 北京: 中国环境科学出版社, 2003. Peng A, Zhu J G. Environmental Chemistry and Ecological Effect of REE (In Chinese). Beijing: China Environmental Science Press, 2003
- [19] 杨元根, 刘丛强, 袁可能, 等. 南方红土形成过程及其稀土元素地球化学. 第四纪研究, 2000, 20(5): 469~480. Yang Y G, Liu C Q, Yuan K N, et al. Laterite formation process in southern China and its rare earth element (REE) and geochemistry (In Chinese). Quaternary Sciences, 2000, 20(5): 469~480
- [20] 李福春, 潘根兴, 谢昌仁, 等. 南京下蜀黄土2古土壤剖面的不同粒组稀土元素地球化学分布. 第四纪研究, 2004, 24(4): 477~479. Li F C, Pan G X, Xie C R, et al. The REE geochemistry distribution of different granularity group in Nanjing Xiaoshu loess2paleosol (In Chinese). Quaternary Sciences, 2004, 24(4): 477~479
- [21] 杨守业, 李从先, 张家强. 苏北滨海平原冰后期古地理演化与沉积物物源研究. 古地理学报, 2000, 2(2): 65~72. Yang S Y, Li C X, Zhang J Q. Palaeogeographic evolution of coastal plain and provenance study of postglacial sediments in north Jiangsu Province (In Chinese). Journal of Palaeogeography, 2000, 2(2): 65~72
- [22] 杨杰东, 陈骏, 张兆峰, 等. 距今7Ma以来甘肃灵台剖面 Sr 和 Nd 同位素特征. 地球化学, 2005, 34(1): 1~6. Yang J D, Chen J, Zhang Z F, et al. Variations in $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ and $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ of Lingtai profile over the past 7 Ma (In Chinese). Geochimica, 2005, 34(1): 1~6
- [23] 周彬, 丁仲礼. 来源物质控制的黄土酸不溶相 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$. 第四纪研究, 2004, 24(6): 724. Zhou B, Ding Z L. The oscillation of $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratios of acid-insoluble residues in Chinese loess is mainly attributed to the source region (In Chinese). Quaternary Sciences, 2004, 24(6): 724
- [24] Ding Z L, Sun J M, Yang S L, et al. Geochemistry of the Pliocene red clay formation in the Chinese Loess Plateau and implications for its origin, source provenance and paleoclimate change. Geochimica et Cosmochimica Acta, 2001, 65(6): 901~913
- [25] Crozaz G, Floss C, Wadhwa M. Chemical alteration and REE mobilization in meteorites from hot and cold deserts. Geochimica et Cosmochimica Acta, 2003, 67(24): 4727~4741

SEDIMENTARY ENVIRONMENT OF VERMICULAR RED EARTH IN MIDDLESUBTROPICAL CHINA

Ye Wei¹ Zhu Lidong¹ Li Fengquan¹ Yang Lihui¹ Shinji Kanayama² Sadayo Yabuki²

(¹ Faculty of Tourism and Resources Management, Zhejiang Normal University, Jinhua, Zhejiang 321004, China)

(² Institute of Physical and Chemical Research, Saitama, Japan)

Abstract Accumulating conditions of vermicular red earth in South China have been explored for decades, but its origin and sedimentary environment are still unknown. Based on the analysis of physicochemical properties of 130 samples which were sampled from Jiujiang Xinzi, and Shahe in Jiangxi Province, Jinhua and Anji in Zhejiang Province, and Zhuzhou in Hunan Province, the authors try to have a better understanding of how vermicular red earth (VRE) was accumulated. Particle size of the soil samples was measured using the Malvern 2000, major elements using XRF, REE using ICP-MS, and isotope ratios of Sr and Nd using TIMS. Results suggest that the widely distributed Pleistocene vermicular red earth is an aggrading kind of sediment, which is characterized by thickness, homogenous texture, and no bedding. Its particle size distribution is similar to that of eolian deposits. The soil is dominant with silt. Particles > 50 μm are less than 5%, 5~50 μm in the range of 41.2%~61.1%, and clay < 5 μm in the range of 26.1%~55.8%. Clay minerals are mainly composed of quartz, mica and kaolinite. The average silica/alumina ratio is 7.196, and silica sesquioxide ratio is 6.111, higher than the respective value of the laterite. The average REE content of vermicular red earth is 1791.6 mg kg^{-1} , similar to that of the earth crust (178 mg kg^{-1}), dust in the suburbs of Beijing in December 1998 (1781.0 mg kg^{-1}), and two of Chinese standard loess samples (1781.2 mg kg^{-1}). The REE pattern is identical with that of typical loess, suggesting that light REE are extremely abundant, while heavy REE are low. Ce element occurs in positive anomaly. The ratio of $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ in vermicular red earth ranges from 0.722001 to 0.727741, and Nd isotope ranges from 0.511989 to 0.512098, which are similar to those of Pliocene red clay in Jiaxian and acid insoluble substance of the loess in North China. Physicochemical properties indicate that accumulating environment of vermicular red earth in the subtropical area is identical with those of the paleosol and Pliocene red clay, and is a stable dust source.

Key words Vermicular red earth; Geochemical characteristics; Middle subtropical; Sedimentary environment