

文章编号: 1000-0550(2010) 02-0346-10

第四纪网纹红土的类型与网纹化作用^①

李凤全 叶 玮 朱丽东 姜永见 李建武 伊继雪 袁 双

(浙江师范大学地理过程实验室 浙江金华 321004)

摘 要 第四纪网纹红土在中国南方红土发育区内广泛分布,具有特殊的结构,是第四纪红粘土的重要组成部分,按照质地网纹红土可分为均质类网纹红土和非均质类网纹红土。测试结果显示:(1)均质类网纹红土的粒度组成以粉砂(5~50 μm)和粘粒(<5 μm)为优势粒级,砂(>50 μm)含量很小,不足 3%;粒度频率曲线多数呈单峰正偏形态,众数峰值位于 5.5~6.5 φ 之间,部分呈双峰形态,两个峰值分别位于 6φ 和 8φ 附近;CIA 值较高(84.31%~89.26%),ba 值较低(0.19~0.30);稀土元素平均含量和分布模式与风尘沉积相似,⁸⁷Sr/⁸⁶Sr 值与佳县上新世红粘土接近;εNd(0)介于-10.54~-12.66 之间,表明物质源区基本稳定;均质类网纹红土的理化特征体现了风成沉积的特性和风化成土作用的显著影响,可称之为加积型网纹红土。(2)非均质类网纹红土发育自冲洪积相、坡积相沉积物或基岩风化壳红土,土体粉砂含量明显减少,多小于 50%,砂含量大大增加,>50 μm 和 >250 μm 粒级的离散系数较高,指示了显著的非均质特征;CIA 值多数大于 84%,化学元素和风化指标的离散系数多小于 10%,显示其经历了较为强烈和稳定的风化作用。第四纪网纹红土的形成先后经历了风化成土过程和网纹化过程,南方红土区在网纹红土发育期内具有整体湿润的气候条件。

关键词 第四纪 时空分布 网纹红土类型 网纹化作用

第一作者简介 李凤全 男 1971 年出生 副教授 硕士生导师 自然地理学 E-mail: lyg129@zjnu.cn

中图分类号 P534.63 P642.13⁺.2 文献标识码 A

网纹红土是广泛分布于中国南方的一种具有特殊结构的地质体,是第四纪红粘土的重要组成部分。在颜色上,网纹红土通常深浅相间,深色以暖色调的红、紫红为主,而浅色呈现为白、黄、灰色调;就形态而言,网纹红土在剖面上呈现出斑点状、蠕虫状、树枝状或条带状等不规则的花纹,远看形似鱼网。由于在剖面上通常位于均质红土和砾石层之间,因此也称为网纹层,有人根据斑块的形状称之为“蠕虫状土”,厚度几米至几十米不等。对于南方第四纪红粘土的成因不同研究者有不同看法:有人认为第四纪红粘土是第四纪初期的红色松散沉积物,但是在一定程度上又具有成土作用的特征,所以称为古红土^[1];有人称之为第四纪红色风化壳,认为是整个第四纪时期沉积与风化的产物^[2];也有人提出,第四纪红粘土是全新世以前高处古土壤和古风化壳被流水冲刷到河谷或低平处形成的堆积物,其上具有红色风化壳^[3];近年来有研究者证明,他们所研究的南方第四纪红粘土属于风成沉积或具有风成特性^[4-8];胡雪峰近期提出,网纹红土具有多元成因^[9]。

通过上述关于红粘土成因的各种观点可以看出,

不同研究者从不同的角度和学科去研究南方的红色沉积,因此,所得结论存在分歧。本文将从沉积物质地的角度综合探讨网纹红土的类型,在一定程度上对网纹化作用进行讨论。

1 网纹红土的时空分布

第四纪网纹红土在我国南方热带、亚热带地区广泛发育,在空间上其分布范围与中国南方现代红土的分布基本一致,但不同地区其名称存在差别。在北亚热带,网纹红土通常出现在剖面下部,网纹红土层之上常覆有下蜀土,网纹红土和下蜀土分别对应于江南丘陵和沿江地区的柏山组和下蜀组^[10-12]。在中亚热带,网纹红土通常出现在黄棕色土和均质红土之下,与下伏基岩或砾石层呈不整合接触。在华南地区,网纹红土有时被称为花斑状粘土或杂色粘土,对应于雷琼地区的湛江组^[13]。

从地貌位置分析,网纹红土多分布在阶地上,如华南地区通常分布在各级阶地上,其中第 V 级阶地可对应于 100~150 m 的红土夷平面。在金沙江直流水曲河流域网纹红土分布在 V 级阶地及其以上阶地的

^①浙江省自然科学基金(X506313 Y5080307)资助。

收稿日期:2009-01-22 收修修改稿日期:2009-05-01

阶地面和剥夷面上, 现今海拔 2 890 m^[14]。在百色盆地右江两岸, 网纹红土分布在 II ~ IV 阶地上, 分别高出河面 15~ 50 m, 在被断层错断的三级台地上也有分布, 高度分别高出河面 100~ 170 m^[15]。在云贵高原, 以元谋红土为代表的网纹红土主要分布在龙川江支流分水岭、山前洪积扇和河流阶地上, 海拔高度集中在 1 050~ 1 150 m 和 1 200~ 1 300 m 区间^[16]。在长江中下游地区, 网纹红土多发育在二级以上阶地上, 如著名的宣城红土剖面就位于长江支流的二级阶地上, 江西修水河流域的网纹红土只分布在三级和四级河流阶地上^[17]。在钱塘江流域, 网纹红土与之江组对应, 主要分布在金衢、新昌、浦江和嵊县等盆地, 富春江两岸高阶地或陷落盆地内侧的丘陵地带。在金衢盆地中, 网纹红土普遍发育在二级阶地以上的高阶地面上和丘陵台地上, 分布高度 45~ 75 m。

网纹红土的时代多归属于中更新世, 近年来的工作表明, 在江西九江地区, 布容正向极性带和松山反向极性带的界限位于网纹红土中部, 根据 Candean-Kent 古地磁极性年表的模式年龄和热释光年龄, 算出沉积速率, 从而计算出各层的界限年龄, 结果表明, 网纹红土沉积于 1 232~ 392 ka B. P.^[18]; 于振江等对安徽沿江网纹红土的研究结果揭示, 网纹红土年龄介于 450~ 2 500 ka B. P., 其底界与中国北方午城黄土的底界基本一致^[19]; 而华南地区, 在晚更新世, 低级河流阶地上仍有网纹红土发育^[20]。

2 网纹红土类型

细致的文献分析和野外调查发现, 所谓的网纹红土实际上有不同类型。黄镇国等^[20]曾经将网纹红土分为两大类型: 一类是发育在第四纪沉积物上的网纹红土, 另一类是发育在基岩上的网纹红土。本文将按照网纹红土的质地将之分为均质类网纹红土和非均质类网纹红土。

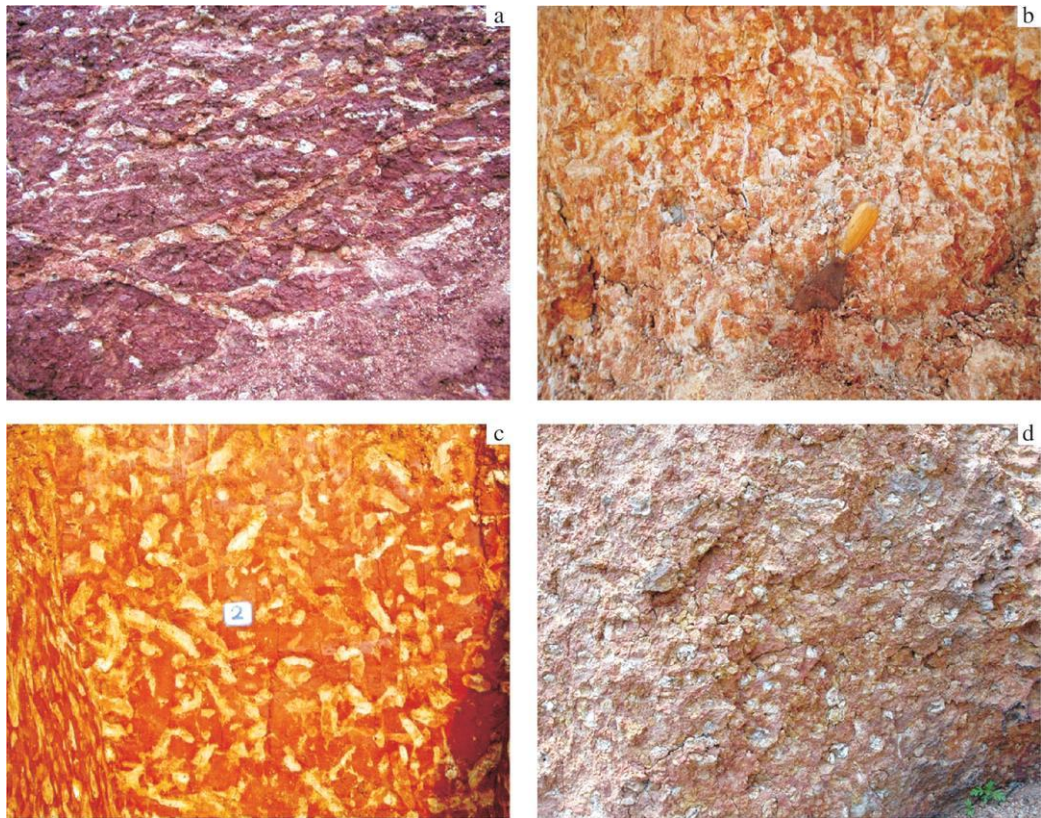
2.1 均质类网纹红土

该类网纹红土通常分布在大江、大河的二级以上阶地上, 如长江、湘江、钱塘江等。在剖面上网纹红土沉积结构相似, 下伏河流相砂砾石层或风化的红层基岩, 网纹红土与下伏沉积或风化壳呈不整合或假整合接触; 网纹红土之上往往有均质红土发育, 或形成侵蚀面, 其上为黄棕色土覆盖。在江西九江一带, 该类网纹红土可进一步分为铁质网纹红土和网纹红

土^[18]。在浙江金华、江苏宜兴和南京雨花台砾石层之上的网纹红土在剖面上由下而上可区分出粗网纹层和细网纹层。根据网纹的形态, 往往可以分为以直立网纹为主的直立网纹层和以横网纹占优势的横卧网纹层以及介于二者之间的倾斜网纹层, 还有一些没有优势方向, 另外一些则呈斑点状(图 1)。

均质类网纹红土, 厚度几米到几十米, 不具备受流水作用的各种层理构造。对中亚热带不同地区此类红土的粒度测试分析表明(表 1): 网纹红土的质地均一, 粒度组成相近, 主要由粉砂(5~ 50 μm)和粘粒(< 5 μm)组成, 这两个组分的含量之和达到 97% 以上, 其中以粉砂为第一优势粒级, 含量介于 56.44%~ 62.72% 之间, 与临夏盆地晚第三纪红粘土(粉砂含量平均约 63.63%)^[21]和洛川黄土(粉砂含量介于 65.81%~ 72.58%)具有可比性, 砂(> 50 μm)含量很少, 不超过 3%; 黄土研究中^[22]称为“风尘基本粒级”的粗粉砂组分(10~ 50 μm), 含量介于 33.83%~ 43.90% 之间(北方黄土中此粒组含量在 50% 以上)。均质类网纹红土的粒度频率曲线多为单峰正偏形态, 部分呈双峰形态, 单峰正偏形态的众数峰值约在 5.5~ 6.5 φ 之间; 双峰形态的则在 6 φ 和 8 φ 附近各有一个明显的峰值, 第一众数峰值在两处交替出现。黄土高原红粘土^[23]和洛川黄土的粒度曲线亦呈单峰正偏形态, 众数峰值分别位于 6 φ 附近和 5~ 5.5 φ 之间。由此可见, 均质类网纹红土在粒度特征上与晚第三纪红粘土、北方黄土具有一定的风成相似性。所不同的是, 风化成土作用对南方均质类网纹红土影响较强, 表现在: 粘粒含量较高, 介于 35.58%~ 43.00% 之间, 洛川黄土则多在 25% 以下(表 1), 众数峰值的位置较北方黄土偏细, 细粒端颗粒体积含量较高, 10 φ~ 12 φ 之间的次生组分较显著; 均质类网纹红土的细粉砂(5~ 10 μm)含量高于洛川黄土, 而粉砂、“风尘基本粒级”和砂含量均低于洛川黄土。由此推测, 此类红土在沉积过程中近地面季风动力的搬运和沉积作用弱于北方黄土, 而其高空远源搬运沉积和后期风化成土作用则可能相对显著^[7]。

均质类网纹红土的质地随地理位置也显示出一定的变化趋势, 从西北向东南粉砂、“风尘基本粒级”含量减少, 粘粒和细粉砂含量增加。而且随着位置的南移, 大于 250 μm 的中粗砂组分含量相对增加, 显示了近源动力下粗粒物质的混入。



a 水平网纹 (湖南株洲); b 竖直网纹 (浙江金华); c 蠕虫状网纹 (浙江金华); d 斑点网纹 (江西星子)

图 1 不同形态的网纹

Fig 1 Different patterns of plinthitic

表 1 均质类网纹红土粒度组成 (平均值)

Table 1 Grain-size distribution of homogeneous plinthitic red earth (mean value)

地点	粒度组成 /%					
	< 5 μm	5~ 10 μm	10~ 50 μm	5~ 50 μm	> 50 μm	> 250 μm
安徽宣城	37.53	19.55	41.56	61.11	1.36	0.07
浙江安吉	36.44	18.82	43.90	62.72	0.84	0.00
江西沙河	35.58	18.55	43.34	61.89	2.53	0.00
湖南株洲	41.23	20.69	35.75	56.44	2.33	0.46
浙江金华汤溪	43.00	21.14	33.83	54.96	2.03	0.33
洛川黄土-L1	20.70	14.71	57.87	72.58	6.72	0
洛川黄土-S1	22.07	15.01	57.35	72.36	5.57	0
洛川黄土-L3	19.62	12.29	53.86	66.15	14.23	0
洛川黄土-S3	21.33	13.37	52.44	65.81	12.86	0

从土体的结构分析,均质类网纹红土土体具角块状结构,含大量粘粒胶膜,沿裂隙或空隙有红色或黑色铁、锰物质淀积。通常含有多层铁、锰结核或铁盘。网纹红土中结核通常呈近圆形、椭圆形和不规则状,粒径 2~ 30 mm,结核表皮光滑,内部为炭黑色,圆度较好的结核具有同心圈层结构,而且剖面下部结核颗粒较大,向上变小。均质类网纹红土的颜色介于 2.5~ 10 YR 之间,有机质含量变化于 0.2%~ 1.0% 之

间。在剖面上,颜色随深度变化而变化,逐渐过渡,由上而下随着沉积年龄的增长,土体 RR 值增加,指示了强风化成土作用^[24]。从矿物组成分析,< 4 μm 组分中含有较多的石英、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及伊利石和蒙脱石混层矿物,和风尘矿物组成相近。

均质类网纹红土的地球化学特征也比较均一,土体的 X 荧光分析表明,氧化物组成以 SiO_2 、 Fe_2O_3 和

Al_2O_3 为主, Ca Na Mg K 强烈淋失, 表现为较高的 CIA 值(化学蚀变指数), 介于 84.31% ~ 89.26% 之间, 较低的 ba 值(风化淋溶系数), 介于 0.19 ~ 0.30 之间^[25]。中亚热带地区 130 块样品的稀土元素和 10 块样品的 Sr 同位素分析显示, 均质类网纹红土稀土元素平均含量 (179.57 mg/kg) 高于北方黄土和佳县上新世红粘土, 而与地壳平均值 (178 mg/kg)、北京郊区 1998 年 12 月大气粉尘稀土总量 (177.97 mg/kg) 以及两块中国黄土标样 (CJ-1 和 CJ-2) 平均值 (178.22 mg/kg) 非常接近^[26]。均质类网纹红土球粒状陨石归一化稀土元素标准化曲线也与北方风尘沉积、佳县红粘土、下蜀黄土相似, 表现为轻稀土较强的富集、缓右倾斜型、Eu 负异常的 REE 分布模式 (图 2)。均质类网纹红土的稀土元素判别分析结果也显示其与风尘沉积的相似性要大于水成沉积物^[26]。所分析样品的 $^{87}Sr/^{86}Sr$ 值相近, 介于 0.725 657 ~ 0.727 714 之间, 与佳县上新世红粘土接近; $^{143}Nd/^{144}Nd$ 比值介于 0.511 989 ~ 0.511 209 8 之间, $\epsilon Nd(0)$ 介于 -10.54 ~ -12.66 之间, 平均值为 -11.51, 表明网纹红土的物质源区基本稳定^[27]。均质类网纹红土的轻稀土强烈富集, 重稀土淋失, Ce 元素正异常, 反映较强氧化环境下的强风化作用, 而白色斑纹部分的 $\Sigma LREE / \Sigma HREE$ 、 Eu/Sm 、 Eu/Eu^* 等稀土特征值高于红色基质, 反映白色斑纹处的风化淋溶强度高于红色基质^[26]。

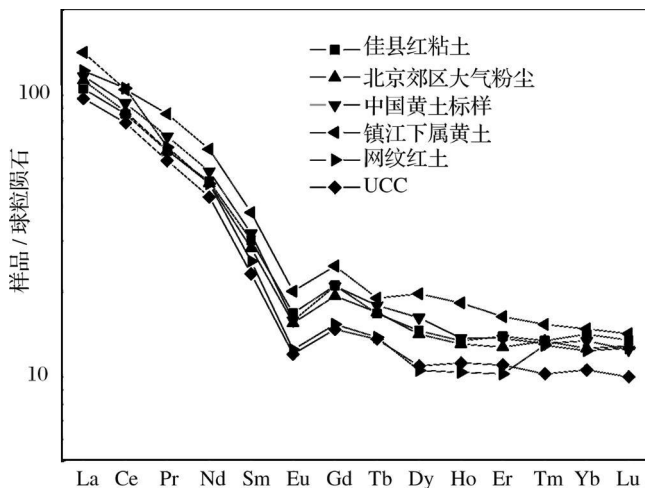


图 2 均质类网纹红土稀土分布模式

Fig 2 Rare earth element distribution patterns of homogeneous plinthitic red earth

总括均质类网纹红土的理化特征, 该类沉积物成因上与北方的加积型风尘沉积类似, 但也体现了后期

强烈风化淋溶作用的影响, 可称之为加积型网纹红土。

2.2 非均质类网纹红土

该类网纹红土或发育自非均质的沉积物上, 或发育自基岩风化土层中。在不同成因的非均质的沉积物上发育形成的网纹红土, 其质地因沉积物类型的不同而不同, 主要以河流冲洪积相、山麓坡积相为主。非均质类网纹红土与均质类网纹红土颜色相近, 部分色偏黄, 在剖面上网纹清晰可见 (图 3)。

发育在洪积、坡积母质上的网纹红土, 细粒基质中网纹清晰, 而所夹砾石多高度风化, 砾石表面留有明显的色带。如浙江金华北山山麓发育的该类网纹红土, 砾石棱角状, 岩性多为凝灰岩, 多风化呈灰白色 (图 3a)。在金衢盆地衢江、金华江的高级阶地上, 网纹红土不整合于风化红色砂岩之上, 其中可见棱角状、次棱角状砾石, 砾石直径多 0.5 ~ 1.0 cm, 岩性以燧石、石英等抗风化的硅质岩居多 (图 3b)。江西赣州地区的此类网纹红土多位于红土丘陵, 含砾石, 网纹结构细小, 无明显层理发育, 具有明显坡积相特征^[9]。在庐山地区的坡积物中, 则见有非常清晰的网纹 (图 3c)。发育在冲积母质上的网纹红土常位于河流二元相沉积中的河漫滩沉积层。在江西、浙江等地河流的二、三级阶地上, 该类红土广泛分布, 剖面最下面是网纹化砂砾石层, 砾石具有一定的磨圆度, 硅质岩类砾石表层多发生网纹化 (图 3d), 其上为非均质类网纹红土, 厚度随地形变化而变化, 在不同层交界处有铁锰结核淀积, 密集成层分布。长江南岸高阶地上含粉砂的网纹红土层与下伏河床相砾石层形成二元相结构沉积, 网纹红土层基质为红色粉砂, 网纹青灰色, 呈脉状、零星状和枝状, 粗细不等, 间有黑褐色铁、锰锈纹^[28]。在广东韶关和三水、广西合流的网纹层均发育自第四纪河流沉积物, 厚数米, 颜色红黄白相间, 夹铁锰结核, 含零星风化卵石, 网纹层之上为均质红土, 之下为卵石红土层^[20]。

残积风化壳网纹红土指的是由基岩风化形成的网纹红土。在广东、福建、广西东南部、湖南南部、江西南部一带有集中分布的砂岩、花岗岩红色风化壳中多有网纹层发育。花岗岩风化壳剖面中, 网纹红土位于全风化土层中, 深色网纹层在上, 厚度在 4 ~ 6 m 之间, 网纹多红褐色、黄色和白色, 原岩结构消失, 含少量半风化碎块, 长石碎屑小于 15%, 粘土矿物含量约 40%, 处于铁、铝化的风化阶段; 浅色网纹层位于下部, 厚度约 10 ~ 30 m^[20]。在长江中下游的红层盆地



a 含粗砾网纹红土 (浙江金华); b 含细砾网纹红土 (浙江金华); c 坡积物中的网纹 (江西庐山); d 网纹化河流砂砾石层 (江西星子); e 红色砂岩风化壳中网纹红土 (浙江金华); f 砂岩风化形成的条带状 (江西星子)

图3 非均质类网纹红土

Fig 3 Heterogeneous plinthitic red earth

中广泛发育有红色沉积岩风化壳, 风化壳的中上部常见网纹结构明显的风化层, 土体呈棱块状, 砖红色夹杂白色、灰白色斑纹 (图 3e)。还有一些经受风化的基岩, 结构保持完整, 但其中有清晰的白色斑纹 (图 3f)。

发育自沉积物上的非均质类网纹红土的粒度组成特征明显不同于均质类网纹红土 (表 2), 表现在粉砂含量明显减少, 多小于 50%; “风尘基本粒级”含量

亦不突出, 砂含量大大增加, 介于 12.13% ~ 25.79% 之间; $> 50 \mu\text{m}$ 和 $> 250 \mu\text{m}$ 粒级的离散系数较高, 三个地点 $> 50 \mu\text{m}$ 粒级含量的标准离差在 5.24 ~ 12.83 之间, $> 250 \mu\text{m}$ 粒级含量的标准离差在 2.03 ~ 5.71 之间, 表明土体中粗颗粒含量的变化较大, 指示了较强的沉积动力的波动, 且不同地点非均质类网纹红土的沉积动力强度和稳定度存在差异; 土体中常见大小不一的砾石, 也显示了强搬运动力的沉积或改

表 2 非均质类网纹红土的粒度组成和离散系数(平均值)*

Table 2 Grain-size distribution and coefficients of variation of heterogenous plinthitic red earth (mean value)

地点	粒度组成							
	< 5 μm		5 ~ 50 μm		> 50 μm		> 250 μm	
	均值	离散系数	均值	离散系数	均值	离散系数	均值	离散系数
江西修水三都镇 1	43.52	0.194	39.15	0.111	18.21	0.704	1.92	1.058
浙江金华罗店 2	38.38	0.084	49.49	0.066	12.13	0.432	6.25	0.879
浙江金华湖海塘 3	28.52	0.086	45.69	0.068	25.79	0.209	21.08	0.271
浙江金华蟠龙村 4	26.20	0.157	55.22	0.031	18.58	0.283	0.06	1.931
浙江金华仙桥 5	34.21	0.069	55.38	0.084	10.41	0.491	0.01	2.648
浙江新昌儒岙镇 6	20.99	0.131	63.57	0.083	15.45	0.360	6.69	0.463

*: 1、2、3 非均质类网纹红土发育自沉积物; 江西修水数据据文献 [17]; 4、5 为砂岩风化壳网纹红土; 6 为花岗岩风化壳网纹红土

造作用。风化壳网纹红土既继承了原岩的粒度特征, 又体现了后期风化成土作用的影响, 但不均质的基岩在后期风化成土过程中存在均化程度不一的现象, 地点 4、5 砂岩风化壳网纹红土的粗粒集中分布在 50~250 μm 之间, > 50 μm 粒级的离散系数分别达到 28.3% 和 49.1%; 地点 6 花岗岩风化壳网纹红土 > 50 μm 和 > 250 μm 粒级的离散系数分别为 36% 和 46.3%, 由此可见, 某些风化壳网纹红土也往往呈现非均质的特征。

非均质类网纹红土的氧化物仍以 SiO_2 、 Fe_2O_3 和 Al_2O_3 为主, Ca、Na、Mg、K 淋失, 风化作用显著, 表 2 中 6 个地点, 除了花岗岩风化壳网纹红土的 CIA 值为 79.7%, 其它均大于 84%, 地点 2 最高, 达到 91.3%; 土体化学元素含量和风化指标的离散系数整体不高, 多数不及 10%, 与均质类网纹红土相近, 表明非均质类网纹红土自身经历了程度较为一致的化学风化作用, < 5 μm 粘粒粒级相对较低的离散系数, 似乎也可以证明这一点; 砂岩和花岗岩风化壳网纹红土中个别元素含量的离散度较高, 可能指示了造岩矿物在母岩中的不均匀分布。

3 网纹化作用与网纹红土成因

综上所述, 发育于中亚热带的网纹红土按照质地可分为不同的类型, 其母质具有多样性, 且在中国南方红土发育区广泛存在。网纹红土的形成包括两个不同的过程, 沉积物或基岩的风化成土过程和网纹化过程, 而网纹化过程中网纹的形成机制目前尚无一致结论, 仍是南方红土研究中值得讨论的热点。有研究者认为雨水沿着地层中的微裂隙下渗, 带走了红土中的氧化铁和氧化铝, 植物微根系亦吸收部分 Fe^{3+} 、 Al^{3+} , 而二氧化硅得以保留, 颜色由红变白, 形成白色网纹^[29], 支持植物根系还原说的研究者提出红土中

植物根系发育, 根系腐烂过程中产生的还原环境导致了网纹白色部分的脱铁, 故根系周围地层由红变白, 有些网纹中还可以见到植物根系残留^[30]; 亦有学者认为雨季和旱季里地下水位的上升和下降导致了还原和氧化环境的交替, 导致红土中下部产生低价铁, 低价铁沿微小裂隙发生迁移, 形成网纹红土, 且这一过程与地形坡度及构造有关^[31]。不论哪种学说, 有一点是共同的, 即网纹的形成需要多水的环境。

沉积物中的微量元素 Rb 和 Sr 的地球化学行为具有显著差异, 已有研究表明 Sr 主要分散在含 Ca 的矿物中, 赋存形式主要为残留态和碳酸盐结合态, 而 Rb 主要分散在含 K 的矿物中, 且基本上只赋存于残留态中, 其中残留态主要为硅酸盐物质^[32], 由于含 K 矿物稳定性高于含 Ca 矿物, 碳酸盐较硅酸盐易风化, 因此, 化学风化过程中 Rb 和 Sr 发生较明显的分异, 其中 Sr 的活动性较强, 其淋失程度与风化强度正相关, 而 Rb 在风化成土作用中仍相对保持稳定, 易残留富集^[32], 在北方风尘堆积中 Rb/Sr 比值常作为夏季风环流要素中降水量的替代性指标^[32~34], 夏季风较强的时期, 气候较湿热, 风化成壤作用较强, Sr 的淋溶量较大, Rb 相对稳定, Rb/Sr 的分异程度较高, Rb/Sr 比值呈现高值。本文 5 个剖面均质类网纹红土的元素测试结果见表 3。与北方黄土、下蜀黄土相比, 均质类网纹红土的 Sr 含量偏低一个数量级, 介于 39~60 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 均值仅为 47 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 南方红土在发育过程中经历了强烈的风化作用和脱硅富铁铝的过程, 红土中碳酸盐含量已基本可以忽略不计, 而且硅酸盐矿物亦在一定程度上遭受风化作用分解形成次生粘土矿物, 此外, Sr 主要在砂和粉砂粒级中富集^[36], 而上文分析中已知均质类网纹红土的粉砂和砂含量相对较少, 因此, 网纹红土中 Sr 的高淋失量是可以理解的; 均质类网纹红土的 Rb 含量相对较

高,介于 $86 \sim 156 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 均值为 $118 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, Rb 的富集可能与两个因素有关,一是 Sr 和其它易溶成分的淋失使得 Rb 的含量相对增加,另一个则是由于 Rb 易被粘土矿物吸附,常集中于粘粒组分中^[36],而本文 5 处均质类网纹红土的粘粒组分含量可观,且富含高岭石、绿泥石、赤铁矿、针铁矿等粘土矿物^[27],因此,尽管网纹红土中正长石、云母等含 K 硅酸盐矿物亦存在风化分解过程,可能导致 Rb 的淋失,但同时 Rb 的富集量较为显著,从而使得 Rb 含量呈现高值。由此看来, Rb、Sr 在均质类网纹红土中的地球化学行为特征仍与风化成壤作用的强度有密切关系。对浙江金华市 531 个表土样品 Rb/Sr 比值的趋势面分析显示 Rb/Sr 比值变化趋势与该地降水的空间分布趋势吻合,表明在南方红土区 Rb/Sr 比值在一定程度上可用于指示水分条件变化^[25]。

从表 3 中可以看出,均质类网纹红土中 Rb/Sr 比值显著偏高,均值达到 2.5,明显高于洛川黄土、老虎山下蜀黄土中黄土层和古土壤层的 Rb/Sr 比值。这表明,网纹红土发育时期强风化作用下 Rb 元素相对富集, Sr 元素大量淋失,水分条件十分优越。网纹红土可能是进入第四纪冰期以来东亚季风环流格局逐步建立,夏季风异常强盛时期的产物,尹秋珍等也认为网纹红土形成期长江以南地区降水丰沛^[37]。由此推断,季风区气候季节反差增大,大范围南方红土区因夏季风带来的大量季节性降水,和由此引发的区域洪涝,可使沉积物长期饱水,形成典型的还原环境,部分高价铁转化为低价铁沿土壤裂隙迁移淋失,而相对干旱的季节,沉积物湿度逐渐降低,还原环境转化为氧化环境,裂隙中的土由于三价铁的转换淋失而成为红土基质中的“白色网纹”,淋失的低价铁锰可被氧化为高价铁锰,在土体内淀积、结晶形成黑色铁锰胶膜或结核。不同类型网纹红土的网纹化作用在整体上可能具有相似的发生机理,反映了网纹发育期内南

方红土区的地带性气候特征,但同时也应注意到网纹红土内网纹的疏密、粗细、形状、颜色以及铁锰淀积物形态和数量具有多样性,在同一剖面上这些要素常呈现出一定的分布规律,在不同剖面之间则可能因为区域地形构造、网纹红土质地的不同而有所区别,前者可能反映了该地区的某种沉积环境演变信息,而后者则可能与非地带性环境差异相关,关于这方面的问题有待于进一步深入研究。

4 结论

(1) 第四纪网纹红土在我国南方红土区内广泛分布,是一种具有特殊结构的地质体。按照质地,第四纪网纹红土可分为均质类网纹红土与非均质类网纹红土。

(2) 均质类网纹红土质地均一,不具流水作用痕迹。粒度组成以粉砂 ($5 \sim 50 \mu\text{m}$) 和粘粒 ($< 5 \mu\text{m}$) 为优势粒级,砂 ($> 50 \mu\text{m}$) 含量很小,不足 3%; 粒度频率曲线多呈单峰正偏形态,众数峰值位于 $5.5 \sim 6.5 \phi$ 之间,部分呈双峰形态,两个峰值分别位于 6ϕ 和 8ϕ 附近; 粒度特征与北方黄土具有较好的可比性。氧化物以 SiO_2 、 Fe_2O_3 和 Al_2O_3 为主, Ca Na Mg K 强烈淋失,表现为较高的 CIA 值 ($84.31\% \sim 89.26\%$), 较低的 ba 值 ($0.19 \sim 0.30$)。稀土元素平均含量和分布模式亦与风尘沉积相似;⁸⁷Sr/⁸⁶Sr 值与佳县上新世红粘土接近; $\epsilon\text{Nd}(0)$ 介于 $-10.54 \sim -12.66$ 之间,平均值为 -11.51 ,表明网纹红土的物质源区基本稳定。理化特征均表明均质类网纹红土具有风成特性,且后期风化成土作用显著,可称为加积型网纹红土。

(3) 非均质类网纹红土多发育自冲洪积相、坡积相沉积物或基岩风化壳红土,其网纹形态和颜色与均质类网纹红土类似。CIA 值多数大于 84%, 化学元素含量和风化指标的离散系数整体不高,多数不及

表 3 北方黄土、下蜀黄土、网纹红土的 Rb、Sr 含量和 Rb/Sr 比值*

Table 3 Concentrations of Rb, Sr and Rb/Sr ratios in bess Xiashu loess and plinthitic red earth

地点、层位	Rb / $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$		Sr / $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$		Rb / Sr		
	范围	平均值	范围	平均值	范围	平均值	
洛川黄土剖面	黄土层	73~123	97	134~213	177	0.39~0.86	0.55
	古土壤层	83~133	109	115~207	152	0.45~1.20	0.73
南京老虎山	黄土层	98~110	104	115~164	137	0.66~0.93	0.77
下蜀黄土剖面	古土壤层	103~113	109	109~162	131	0.68~1.02	0.84
均质类网纹红土		86~156	118	39~60	47	2.00~3.19	2.50

* : 洛川黄土数据据文献 [33], 南京老虎山下蜀黄土数据据文献 [35]

10%, 表明其经历了较为强烈和稳定的风化作用。粒度组成明显粗于均质类网纹红土, 粉砂含量多小于 50%, 砂含量较高, > 50 μm 和 > 250 μm 的粗粒组分离散度较高, 呈现出显著的非均质特征。

(4) 第四纪网纹红土的质地具有多样性, 但其形成均先后经历了风化成土过程和网纹化过程, 网纹红土的高 Rb/Sr 比值表明其发育时期的水分条件优越, 可能指示了当时南方红土区内的地带性湿润气候。对网纹红土中网纹疏密、粗细、形状、颜色以及铁锰特征有必要进一步研究, 获取更多的古环境演变信息。

参考文献 (References)

- 刘良梧, 龚子同. 古红土的发育与演变 [J]. 海洋地质与第四纪地质, 2000, 20(3): 37-42 [Liu Liangwu, Gong Zitong. Development and evolution of red paleosols [J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2000, 20(3): 37-42]
- 朱显谟. 中国南方的红土与红色风化壳 [J]. 第四纪研究, 1993 (1): 75-85 [Zhu Xianmo. Red clay and red residuum in South China [J]. Quaternary Sciences, 1993 (1): 75-85]
- 席承藩, 等. 长江流域土壤与生态环境建设 [M]. 北京: 科学出版社, 1994 [Xi Chengfan, et al. Soils of Changjiang River and Their Ecological and Environmental Reconstruction [M]. Beijing: Science Press, 1994]
- 熊尚发, 丁仲礼, 刘东生, 等. 赣北红土与北京邻区黄土及沙漠砂的粒度特征对比 [J]. 科学通报, 1999, 44(11): 1216-1219 [Xiong Shangfa, Ding Zhongli, Liu Dongsheng, et al. Comparisons of grain size characteristics of red earth from southern China with that of loess and dune sand from Beijing region [J]. Chinese Science Bulletin, 1999, 44(11): 1216-1219]
- 李徐生, 杨达源, 鹿化煜, 等. 皖南第四纪风尘堆积序列粒度特征及其意义 [J]. 海洋地质与第四纪地质, 1997, 17(4): 73-80 [Li Xusheng, Yang Dayuan, Lu Huayu, et al. The grain-size features of Quaternary aeolian-dust deposition sequence in south Anhui and their significance [J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 1997, 17(4): 73-80]
- 朱丽东, 叶玮, 李凤全, 等. 中亚热带第四纪红粘土的粒度特征 [J]. 地理科学, 2006, 26(5): 586-591 [Zhu Lidong, Ye Wei, Li Fengquan, et al. Grain-size features of red Earth in mid-subtropics [J]. Scientia Geographica Sinica, 2006, 26(5): 586-591]
- 杨立辉, 叶玮, 朱丽东, 等. 第四纪加积型红土与黄土的风成相似性探讨 [J]. 干旱区地理, 2008, 31(3): 341-347 [Yang Lihui, Ye Wei, Zhu Lidong, et al. Aeolian-genesis comparability of aggraded red earth in South China with loess in North China [J]. Arid Land Geography, 2008, 31(3): 341-347]
- 姜永见, 朱丽东, 叶玮, 等. 庐山 JL 剖面红土粒度体积分形特征及其环境意义 [J]. 山地学报, 2008, 26(1): 36-44 [Jiang Yongjian, Zhu Lidong, Ye Wei, et al. Grain-size volume fractal features and its paleoenvironmental significance for JL red earth section Lushan Area [J]. Journal of Mountain Science, 2008, 26(1): 36-44]
- 胡雪峰, 朱煜, 沈铭能. 南方网纹红土多元成因的粒度证据 [J]. 科学通报, 2005, 50(9): 918-925 [Hu Xuefeng, Zhu Yu, Shen Mingneng. Grain-size evidence for multiple origins of the reticulate red clay in southern China [J]. Chinese Science Bulletin, 2005, 50(9): 918-925]
- 张建军, 杨达源, 陈曰友, 等. 长江中下游下蜀黄土磁化率曲线与环境变迁 [J]. 沉积学报, 2000, 18(1): 18-21 [Zhang Jianjun, Yang Dayuan, Chen Yueyou, et al. Study on the magnetic susceptibility of the Xiaoshu loess and the paleoenvironment changes in the middle and lower Changjiang River [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2000, 18(1): 18-21]
- 郑祥民, 赵健, 周立, 等. 东海嵎山岛风成黄土地层的植物硅酸体研究 [J]. 福建地理, 2000, 15(3): 4-15 [Zheng Xiangmin, Zhao Jian, Zhou Li, et al. Study on phytoliths in aeolian loess on Shengshan Island in East China Sea [J]. Fujian Geography, 2000, 15(3): 4-15]
- 邵家骥. 苏南及沿江地区柏山组、下蜀组的时代及成因 [J]. 江苏地质, 1999, 23(1): 10-16 [Shao Jiayi. Time and genesis of Baishan and Xiaoshu formations along the Yangtze River and South Jiangsu [J]. Jiangsu Geology, 1999, 23(1): 10-16]
- 黄镇国, 张伟强, 陈俊鸿. 中国的红土期 [J]. 热带地理, 1998, 18(1): 34-40 [Huang Zhonguo, Zhang Weiqiang, Chen Junhong. The red earth periods in China [J]. Tropical Geography, 1998, 18(1): 34-40]
- 游再平, 罗森林, 姚学良, 等. 金沙江支流硕曲河中更新世红土层的发现及地质意义 [J]. 中国区域地质, 2000, 19(1): 105-108 [You Zaiping, Luo Senlin, Yao Xueliang, et al. Discovery of Pleistocene laterite bed in the Shuoqu branch of Jinshajiang river and its geological significance [J]. Regional Geology of China, 2000, 19(1): 105-108]
- 袁宝印, 侯亚梅, 王危, 等. 百色旧石器遗址的若干地貌演化问题 [J]. 人类学学报, 1999, 18(3): 215-223 [Yuan Baoyin, Hou Yamei, Wang Wei, et al. On the geomorphological evolution of the Bose Basin—a lower Paleolithic locality in South China [J]. Acta Anthropologica Sinica, 1999, 18(3): 215-223]
- 陈云. 元谋盆地的第四纪红土 [J]. 海洋地质与第四纪地质, 1994, 14(1): 75-85 [Chen Yun. Laterite in Yuanmou Basin of Yunnan China [J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 1994, 14(1): 75-85]
- 李长安, 顾延生. 江西修水第四系网纹红土的地层学研究 [J]. 地层学杂志, 1997, 21(3): 226-232 [Li Chang'an, Gu Yansheng. Stratigraphic study on the vernicular red earth at Xishui county, Jiangxi province [J]. Journal of Stratigraphy, 1997, 21(3): 226-232]
- 蒋复初, 吴锡浩, 肖华国, 等. 九江地区网纹红土的时代 [J]. 地质力学学报, 1997, 3(4): 27-32 [Jiang Fuchu, Wu Xihao, Xiao Hua-guo, et al. Age of the vernicular red soil in Jiujiang area, central China [J]. Journal of Geomechanics, 1997, 3(4): 27-32]
- 于振江, 黄多成. 安徽省沿江地区网纹红土和下蜀土的形成环境及其年代 [J]. 安徽地质, 1996, 6(3): 48-56 [Yu Zhenjiang, Huang Duocheng. Formation environment of net-veined laterite and Xiaoshu loess and their ages in the area along the Yangtze River, Anhui Province [J]. Geology of Anhui, 1996, 6(3): 48-56]
- 黄镇国, 张伟强, 陈俊鸿, 等. 中国南方红色风化壳 [M]. 北京: 海

- 洋出版社, 1996: 138-151, 178-199 [Huang Zhengua Zhang Weiqiang Chen Junhong *et al.* Red residuum in South China [M]. Beijing: Ocean Press, 1996: 138-151, 178-199]
- 21 弓虎军, 张云翔, 黄雷, 等. 甘肃临夏盆地新近纪红粘土粒度组成的古环境意义 [J]. 沉积学报, 2005, 23(2): 260-267 [Gong Hujun Zhang Yunxiang Huang Lei *et al.* Paleoenvironment significance of grain-size composition of Neogene red clay in Linxia Basin Gansu Province [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2005, 23(2): 260-267]
- 22 刘东生. 黄土与环境 [M]. 北京: 科学出版社, 1985 [Liu Dongsheng *Loess and Environment* [M]. Beijing: Science Press, 1985]
- 23 鹿化煜, 安芷生. 黄土高原红粘土与黄土古土壤粒度特征对比——红粘土风成成因的新证据 [J]. 沉积学报, 1999, 17(2): 226-232 [Lu Huayu An Zhisheng. Comparison of grain-size distribution of red clay and Loess-paleosol deposits in Chinese Loess Plateau [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1999, 17(2): 226-232]
- 24 朱丽东, 李凤全, 叶玮, 等. 庐山 JL 红土剖面的色度气候意义 [J]. 热带地理, 2007, 27(3): 193-197 [Zhu Lidong Li Fengquan, Ye Wei *et al.* Climatic implication of the chroma of JL Red Earth Section in the Lushan mountain [J]. *Tropical Geography*, 2007, 27(3): 193-197]
- 25 朱丽东. 中亚热带加积型红土及其所记录的第四纪环境变化探讨 [D]. 甘肃: 兰州大学, 2007: 74-76, 116-117 [Zhu Lidong. Aggradation red earth sediments in mid-subtropics of China and their recorded environmental changes during Quaternary [D]. Gansu: Lanzhou University, 2007: 74-76, 116-117]
- 26 叶玮, 杨立辉, 朱丽东, 等. 中亚热带网纹红土的稀土元素特征与成因分析 [J]. 地理科学, 2008, 28(1): 40-44 [Ye Wei Yang Lihui Zhu Lidong *et al.* Characteristics and origin of rare earth elements of vernicular red earth in middle sub-tropic zone [J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2008, 28(1): 40-44]
- 27 叶玮, 朱丽东, 李凤全, 等. 中国中亚热带网纹红土的地球化学特征与沉积环境 [J]. 土壤学报, 2008, 45(3): 385-391 [Ye Wei Zhu Lidong Li Fengquan, *et al.* Sedimentary environment of vernicular red earth in mid-subtropical China [J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2008, 45(3): 385-391]
- 28 张生, 朱诚, 于世永, 等. 南沙套二元相结构的发现及其意义 [J]. 地理科学, 2002, 22(1): 63-66 [Zhang Sheng Zhu Cheng Yu Shiyong *et al.* Discovery of the Nanshatao binary structure and its study significance [J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2002, 22(1): 63-66]
- 29 毕华, 余成就, 朱元松. 赣北彭山中更新统“蠕虫”状结构的特征及成因分析 [J]. 江西地质, 1994, 8(2): 130-133 [Bi Hua Yu Chengjiu Zhu Yuansong. The features and genetic analysis of “wormiform” texture of the middle Pleistocene series Pengshan North Jiangxi [J]. *Jiangxi Geology*, 1994, 8(2): 130-133]
- 30 熊尚发, 丁仲礼, 刘东生. 南方红土网纹: 古森林植物根系的土壤学证据 [J]. 科学通报, 2000, 45(12): 1317-1321 [Xiong Shangfa Ding Zhongli Liu Dongsheng. The worm-shaped veins in the red earth of South China: Pedological evidence for root traces of past forest [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2000, 45(12): 1317-1321]
- 31 朱景郊. 网纹红土的成因及其研究意义 [J]. 地理研究, 1988, 7(4): 12-20 [Zhu Jingjiao. Genesis and research significance of the plinthitic horizon [J]. *Geographical Research*, 1988, 7(4): 12-20]
- 32 刘连文, 陈骏, 陈昶, 等. 黄土的连续提取实验及 Rb/Sr 值意义 [J]. 土壤学报, 2002, 39(1): 65-70 [Liu Lianwen Chen Jun, Chen Yang *et al.* Sequential extraction procedure of loess and paleosol and the implications of Rb/Sr ratios [J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2002, 39(1): 65-70]
- 33 陈骏, 汪永进, 季峻峰, 等. 陕西洛川黄土剖面的 Rb/Sr 值及其气候地层学意义 [J]. 第四纪研究, 1999, (4): 350-356 [Chen Jun, Wang Yongjin, Ji Junfeng *et al.* Rb/Sr variations and its climatic stratigraphical significance of a loess-paleosol profile from Luochuan, Shaanxi province [J]. *Quaternary Sciences*, 1999, (4): 350-356]
- 34 庞奖励, 黄春长, 张占平. 陕西岐山黄土剖面 Rb/Sr 组成与高分辨率气候变化 [J]. 沉积学报, 2001, 19(4): 637-641 [Pang Jiangli Huang Chunchang Zhang Zhanping. Rb/Sr elements and high resolution climatic records in the loess-paleosol profile at Qishan, Shanxi [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2001, 19(4): 637-641]
- 35 李福春, 谢昌仁, 潘根兴, 等. 南京老虎山黄土剖面的磁化率及 Rb 和 Rb/Sr 对古气候的指示意义 [J]. 海洋地质与第四纪地质, 2002, 22(4): 47-52 [Li Fuchun, Xie Changren Pan Genxing *et al.* Paleoclimatic implication of distribution of Rb, Rb/Sr and magnetic susceptibility in loess and paleosols from Lao Hushan profile Nanjing [J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2002, 22(4): 47-52]
- 36 陈骏, 汪永进, 陈昶, 等. 中国黄土层 Rb 和 Sr 地球化学特征及其古季风气候意义 [J]. 地质学报, 2001, 75(2): 259-266 [Chen Jun, Wang Yongjin, Chen Yang *et al.* Rb and Sr geochemical characterization of the Chinese loess and its implications for Pleistocene monsoon climate [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2001, 75(2): 259-266]
- 37 尹秋珍, 郭正堂. 中国南方的网纹红土与东亚季风的异常强盛期 [J]. 科学通报, 2006, 51(2): 186-193 [Yin Qiuzhen, Guo Zhengtang. Mid-Pleistocene verniculated red soils in southern China as an indication of unusually strengthened East Asian monsoon [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2006, 51(2): 186-193]

The Types and Formation of Quaternary Plinthitic Red Earth

LI Feng-quan YE Wei ZHU Lidong JIANG Yong-jian LI Jian-wu YI Jixue YUAN Shuang
(Geography Process Lab, Zhejiang Normal University, Jinhua, Zhejiang 321004)

Abstract As an important component of the Quaternary red earth, plinthitic red earth has special structures and is distributed over the red earth areas in south China widely. Plinthitic red earth can be divided into homogeneous plin-

thitic red earth and heterogenous plinthitic red earth according to its texture. Test results show that: (1) Silt ($5 \sim 50 \mu\text{m}$) and clay ($< 5 \mu\text{m}$) are dominant components of homogeneous plinthitic red earth, sand ($> 50 \mu\text{m}$) content is small, less than 3%; grain-size frequency curves are mostly single peak and oposite-skewed, the peak is between 5.5ϕ and 6.5ϕ , some samples' grain-size frequency curves are the shape of two peak, peaks are at about 6ϕ and 8ϕ respectively; higher CIA values ($84.31\% \sim 89.26\%$) and lower Ba values ($0.19 \sim 0.30$); rare earth element average value and distribution patterns of homogeneous plinthitic red earth are similar to aeolian deposition, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ values are close to Jiaxian Pliocene red clay. $\text{ENd}(0)$ values are between -10.54 and -12.66 , indicate that the genesis of heterogenous plinthitic red earth is stable basically. therefore, homogeneous plinthitic red earth whose physical and chemical characteristics indicate aeolian genesis and significant impact of weathering could be considered as aggradation plinthitic red earth. (2) Heterogenous plinthitic red earth developed from alluvial-flood sediments, slope wash or weathering crust red earth. Silt content of heterogenous plinthitic red earth declines significantly, no more than 50%, sand content increases highly, the coefficients of variation are high in sand ($> 50 \mu\text{m}$) and medium coarse sand ($> 250 \mu\text{m}$) components, all the grain-size results indicate obvious heterogenous features; most of heterogenous plinthitic red earth's CIA values exceed 84%, coefficients of variation of chemical elements and weathering indicators are less than 10%, all the chemical characteristics suggest a strong and stable weathering process as a whole. The formation of plinthitic red earth went through the process of weathering and formation of plinthitic in turn. The climate may be mainly humid in the formation period of plinthitic red earth in south China.

Key words Quaternary spatial and temporal distribution; types of plinthitic red earth; formation of plinthitic red earth