

南方网纹红土多元成因的粒度证据

胡雪峰^① 朱煜^① 沈铭能^②

(^① 上海大学环境科学与工程系, 上海 200072; ^② 华东师范大学地理系, 上海 200062. E-mail: xfhu@staff.shu.edu.cn)

摘要 对宣城、九江、泰和和赣州网纹红土粒度特征的研究表明: (1) 宣城和九江两地的网纹红土, 粒度均匀而细小, 不含 $>2\text{ mm}$ 的砾石; $>63\text{ }\mu\text{m}$ 细砂粒的平均含量分别为0.30%和1.14%; 而 $10\sim 50\text{ }\mu\text{m}$ 粒组明显富集, 平均分别为34.65%和37.20%. 剖面上部黄棕色土的粒度频率分布曲线与北方黄土和下蜀黄土很相近; 其余各层的频率分布曲线与前者也有明显的继承性. 剖面各层石英颗粒粒度频率分布曲线十分一致, 与北方黄土和下蜀黄土有很好的可比性. 这些特征均反映了两地网纹红土明显的风成特性. (2) 泰和、赣州网纹红土粗颗粒含量较高; 各粒级组分在层次间变化明显; $10\sim 50\text{ }\mu\text{m}$ 粒组富集不明显. 红土原样和红土石英颗粒粒度频率分布曲线与北方黄土和下蜀黄土缺乏可比性, 表现出明显的冲、洪积相特征. (3) 网纹红土成因的多元性反映了南方第四纪环境的多样性和复杂性. 风成特性网纹红土的存在为南方第四纪冰期风尘堆积提供了实物证据. 对这类红土分布区域的进一步调查和研究, 有助于揭示南方第四纪冰期大规模风尘堆积的南界.

关键词 网纹红土 粒度特征 风成特性 石英 第四纪环境

黄土高原的黄土-古土壤序列, 记录了第四纪古气候的多旋回变化^[1]. 在中国北方第四纪古气候多次冰期与间冰期交替变化的同时, 中国广大南方地区的气候有何种程度和规模的响应, 早引起人们的浓厚兴趣. 许多学者^[2-10]希望能在南方找到类似黄土-古土壤序列的第四纪沉积材料, 以实现第四纪气候历史的南北对照. 网纹红土, 又称为第四纪红色粘土(或第四纪红土), 在中国南方丘陵地区分布广泛. 本文所谓的网纹红土, 除了网纹状红土, 还包括其上部常见的黄棕色土和均质红土层. 与黄土高原第四纪黄土-古土壤序列相比, 南方网纹红土厚度薄, 一般只有约20 m左右; 但剖面中、下部的形成历史却可追溯到第四纪中、早期^[11-15]. 网纹红土是如何形成的? 形成过程中, 经历了怎样的气候环境条件? 红土内是否可能包含第四纪多旋回变化的古气候信息? 这些问题成为许多研究者关注的焦点^[16-29].

网纹红土的成因, 实际上可包含多重涵义. 既可指红土原始物质来源及外动力特征, 也可指原始物质沉积后在原位进行的风化成土作用. 本文主要关注和研究南方不同地区网纹红土原始物质来源及外动力作用特征. 长江中下游一带的网纹红土, 大部分不具残积相特征, 形成过程中有外动力作用的参与. 而对网纹红土外动力作用类型的破译, 能更好地解译红土形成时的古地理和古环境. 早期的研究^[18-20]多认为网纹红土系冲积、坡积和洪积相沉积, 是位于

高处的古土壤或古风化壳被流水冲刷而在河谷或低平处的堆积物. 然而, 杨达源^[3]提出长江中下游一带的网纹红土, 是第四纪早—中更新世形成的下蜀土, 与下蜀黄土一样同为风积成因. 随后的研究^[21,22]均认为皖南、九江等地的网纹红土具有明显的风成特性. 但有研究^[24]又认为, 吉泰古盆地中的网纹红土具有明显的冲、洪积相特征, 其成因明显区别于长江沿岸与下蜀黄土具相似特性的风成网纹红土. 然而, 最新的研究^[25]却提出, 位于亚热带的中国南方红土与北方黄土一样, 同为风积成因; 冲、洪积相的红土, 只是受流水作用改造的次生红土.

南方网纹红土到底是风成还是水成? 抑或是两者兼有? 这对正确认识网纹红土的来源和形成历史十分重要. 土壤地理工作者大多熟识网纹红土的强风化富铝特性, 常坚持网纹红土的冲、洪积成因^[20]; 而第四纪研究者, 又多看重网纹红土颗粒细小和均匀的特征, 认同红土的风积成因^[25]. 对网纹红土成因的认识, 尤其是风成红土存在及空间分布规律的系统证实, 对揭示第四纪冰期风尘南界和南方第四纪环境变化有十分重要的意义. 前期研究^[24]曾提出了第四纪红土成因的区域性分异, 但无论研究地区、剖面 and 样品数均不够充分. 本文以宣城、九江、泰和和赣州的网纹红土为对象, 从网纹红土原样及所浸提石英单矿物粒度特征的角度, 来进一步探讨这一问题.

1 材料与方法

1.1 研究区域与研究剖面

在长江中下游约 $25^{\circ}\sim 31^{\circ}\text{N}$ 的区域内, 选定宣城、九江、泰和和赣州的网纹红土作为研究对象.

(i) 宣城地区, 主要研究了向阳剖面(PX). PX 位于安徽省宣州市向阳镇夏村砖瓦厂($30^{\circ}52'24''\text{N}$, $118^{\circ}51'55''\text{E}$). 有关 PX, 已有详细描述^[28]. 为比较研究, 还采集了宣州市杨柳镇的网纹红土.

(ii) 在九江地区, 主要研究了位于九江市庐山区五里乡八里坡的网纹红土剖面(PJ)($29^{\circ}42'10''\text{N}$, $116^{\circ}00'56''\text{E}$). PJ 为砖瓦厂开挖一红土小山丘形成, 垂直高度 9 m, 其中 0~2.8 m 为黄棕色土层, 2.8~9.0 m 为网纹层. 为对照研究, 还采集了九江市郊长岭等地的网纹红土.

(iii) 在泰和地区, 选择了 3 个典型研究剖面. 泰和 1 号剖面(PT1), 位于泰和县澄江镇($26^{\circ}52'28''\text{N}$, $114^{\circ}54'59''\text{E}$), 红土岗地地貌, 剖面深度约 4 m, 表层均质红土层遭侵蚀, 以网纹层为主体. 泰和 2 号剖面(PT2), 位于泰和县上田镇东岳府($26^{\circ}48'56''\text{N}$, $114^{\circ}54'57''\text{E}$), 红土丘陵地貌, 剖面高度有 6 m 多, 0~2 m 为均质红土层, 2~4.1 m 为网纹状红土层, 4.1~6 m 为砾石层. 泰和 3 号剖面(PT3), 位于井岗山火车站附近($26^{\circ}50'03''\text{N}$, $114^{\circ}56'32''\text{E}$), 红土岗地地貌, 剖面高度约 4 m, 0~1.8 m 为均质红土层, 1.8~4 m 为网纹层.

(iv) 在赣州地区, 选择了 2 个典型研究剖面. 赣州 1 号剖面(PG1), 位于赣州市赣县稀土有限公司附近($25^{\circ}53'01''\text{N}$, $115^{\circ}01'39''\text{E}$), 红土丘陵地貌, 剖面高度 4 m, 含砾石, 网纹结构细小, 剖面底部是中生代紫色页岩. 赣州 2 号剖面(PG2), 位于赣州市南方冶金有限公司($25^{\circ}53'04''\text{N}$, $115^{\circ}01'37''\text{E}$), 红土岗地地貌, 剖面深度约 6 m, 0~2 m 为均质红土层, 2~3.6 m 为网纹层, 3.6 m 以下为巨厚砾石层.

1.2 样品采集和分析

PX 剖面以 4 cm 的间距采样, 其余各剖面以 5 cm 的间距采样. 为了比较研究, 还利用了已采集的下蜀黄土和北方黄土样品. 下蜀黄土采自镇江大港三明砖瓦厂($32^{\circ}12'55''\text{N}$, $119^{\circ}41'57''\text{E}$); 北方典型风成黄土为黄土高原灵台和洛川剖面的马兰黄土(L1). 土样在室内风干, 过 2 mm 孔径的筛子. >2 mm 的砾石单独计量; <2 mm 细土部分再进一步做粒度分析.

南方网纹红土粒度分析方法, 已在文献^[29]中有介绍. 但大量测试表明, 由于进样量过少, 进样误差明显. 尤其测试均匀性不好的样品, 结果的重现性较差. 因此本研究对前处理方法又作了重要改进: 均匀选取 1 g 样品, 加 0.05 mol/L 的 NaPO_3 10 ml, 用玻璃棒充分搅匀后浸泡过夜. 移入 100 ml 高型烧杯, 超声振荡分散 40 min. 用胶头滴管吹气扰动, 使样品悬浮液充分均匀, 迅速吸取并注入激光粒度仪进样槽中. 但在测试泰和、赣州红土样品时, 由于大量粗颗粒的快速沉淀, 样品分散液的均匀性仍难以保证. 对这类样品, 先采用湿分法(用 100 μm 孔径筛)除去分散液中的粗颗粒, 再对悬液和 >100 μm 粗颗粒分别测量和记重, 结果较稳定可靠. 各研究剖面 100 cm 深度以内的样品有机质含量较高, 先用 30% H_2O_2 去有机质, 再做粒度分析; 其他样品有机质很低, 不影响粒度测试. 所用仪器为美国 LS13320 型激光粒度仪. 需说明的是, 宣城 PX 剖面的粒度特征虽在文献^[29]中有报道, 但本研究用改进后的前处理方法, 又作了重新测试.

黄土和下蜀黄土粒度分析是取 1 g 样品, 滴加稀盐酸, 分解碳酸盐, 再采用高速离心法洗掉盐基离子. 以后的步骤同上面的南方网纹红土粒度分析方法.

石英单矿物的提取和粒度分析, 先用 Dithionite-Citrate-Bicarbonate 法(DCB 法)去除红土中的游离态氧化铁. 取去游离铁样品 1 g, 用焦硫酸钾熔融-氟硅酸溶解法^[30~32]浸提石英, 并用 X-射线衍射法(XRD)鉴定. 石英单矿物的粒度测试方法与红土原样相同.

2 结果

2.1 黄土和下蜀黄土的粒度分布特征

黄土高原典型风成黄土粒度分布特征已有很多研究^[1]. 为了与南方网纹红土比较研究, 本研究对黄土高原灵台和洛川的马兰黄土(L1)和镇江下蜀黄土的粒度特征重新进行了测试, 粒度频率分布曲线见图 1.

2.2 宣城和九江网纹红土的粒度分布特征

宣城 PX 和九江 PJ 剖面的同一层次(黄棕色层、红土均质层或网纹层)内部, 原样粒度频率分布曲线十分一致; 而石英单矿物粒度频率分布曲线在整个剖面中都有很好的可比性. 图 2 和 3 列举了 PX, PJ 有代表性的频率分布曲线图谱; 为了便于比较研究, 还分别包含了宣城杨柳镇和九江长岭网纹红土的粒

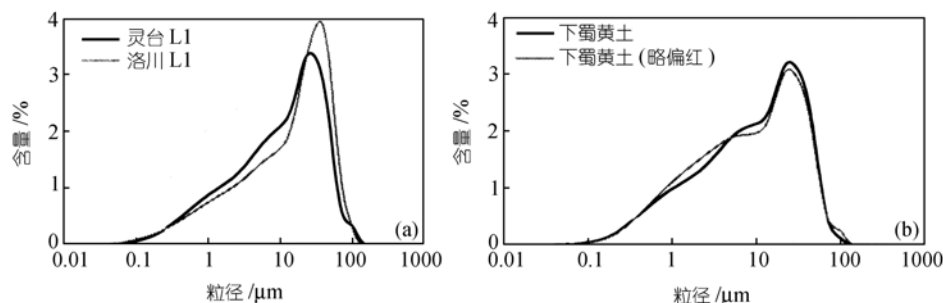


图1 黄土和下蜀黄土的粒度频率分布曲线

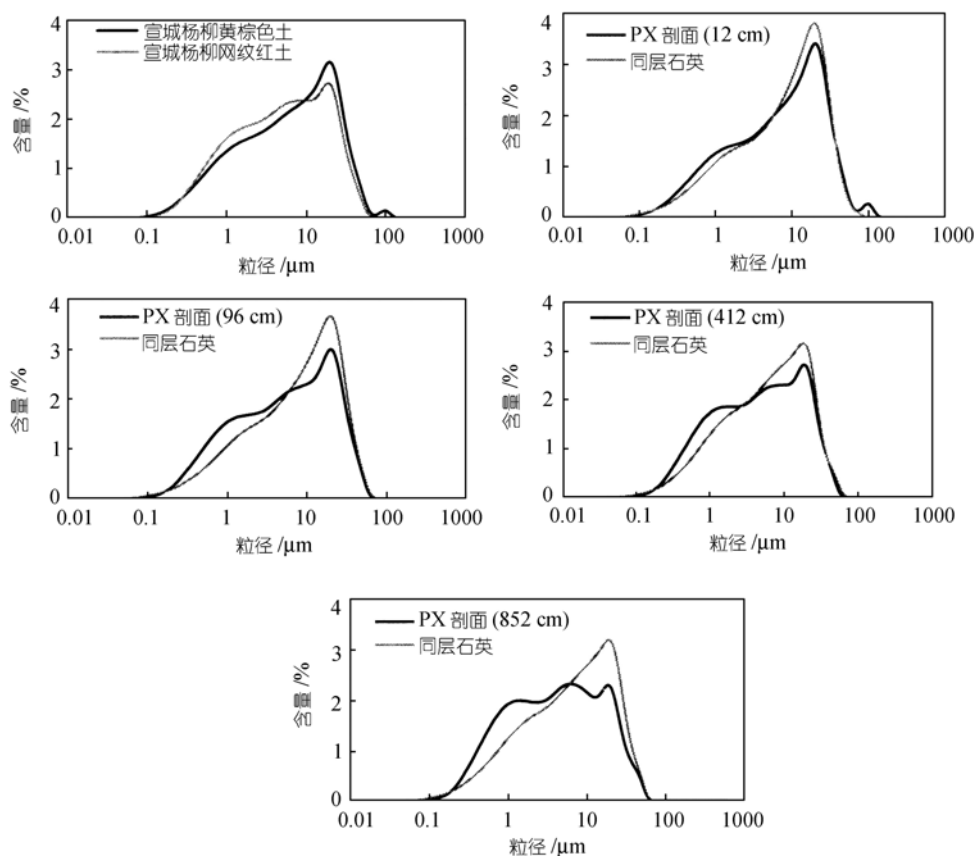


图2 宣城网纹红土粒度频率分布曲线

度频率分布曲线. PX, PJ 全剖面各粒级组分含量和中值粒径、平均粒径见图 4 和 5.

2.3 泰和和赣州网纹红土的粒度分布特征

泰和和赣州网纹红土粗颗粒含量较高, 为了使测试结果稳定可靠, 本研究先用 $100\ \mu\text{m}$ 孔径的筛分离粗颗粒. 由于宣城和九江两地网纹红土 $>100\ \mu\text{m}$ 颗粒组分的含量微乎其微, 因此泰和 PT1, PT2 和赣州 PG1, PG2 和 PG3 剖面原样和石英单矿物 $<100\ \mu\text{m}$ 组分的粒度频率分布曲线(图 6)仍有重要的比较研究价

值. 5 个剖面各粒级组分的含量见图 7 和 8.

3 讨论

3.1 网纹红土多元成因的粒度证据

图 1, 2 和 3 已表明, 宣城和九江两地网纹上部黄棕色土的粒度频率分布曲线与镇江下蜀黄土十分接近, 与黄土高原马兰黄土的分布曲线也有很好的可比性, 表明了黄棕土与下蜀黄土、黄土的亲缘关系. 前人的研究^[12]指出, 南昌、长沙、金衢盆地以北的第四纪红土上部, 常见一黄棕色土层, 厚薄不一. 李吉

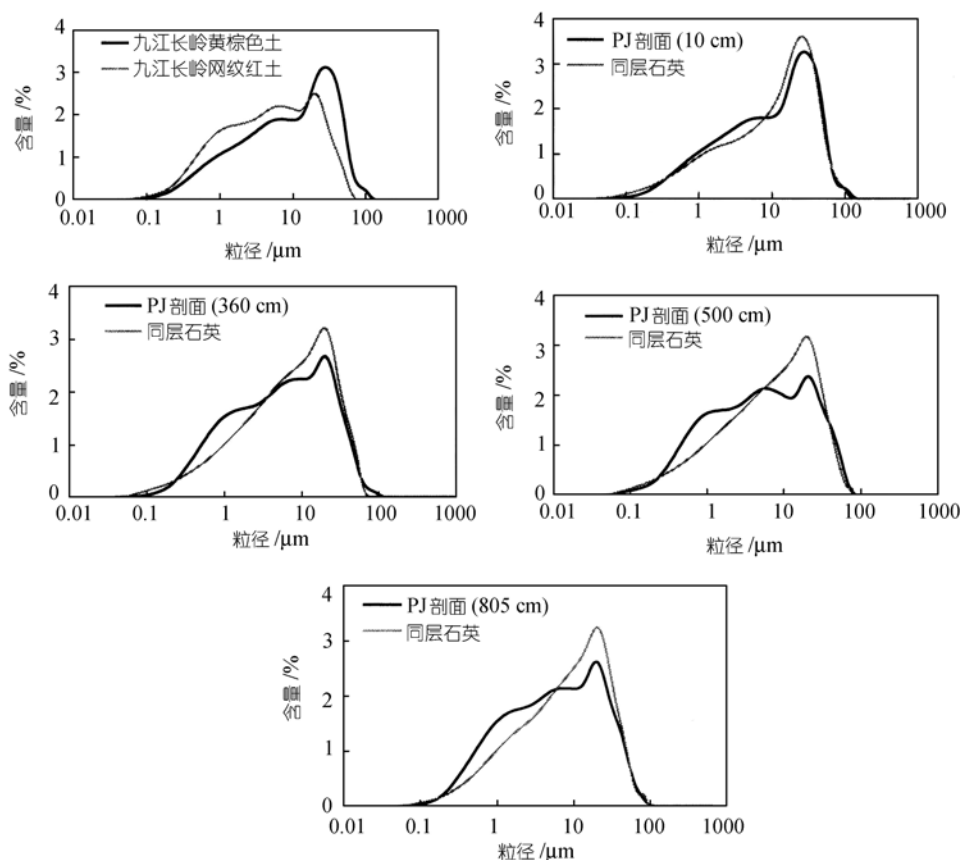


图 3 九江网纹红土粒度频率分布曲线

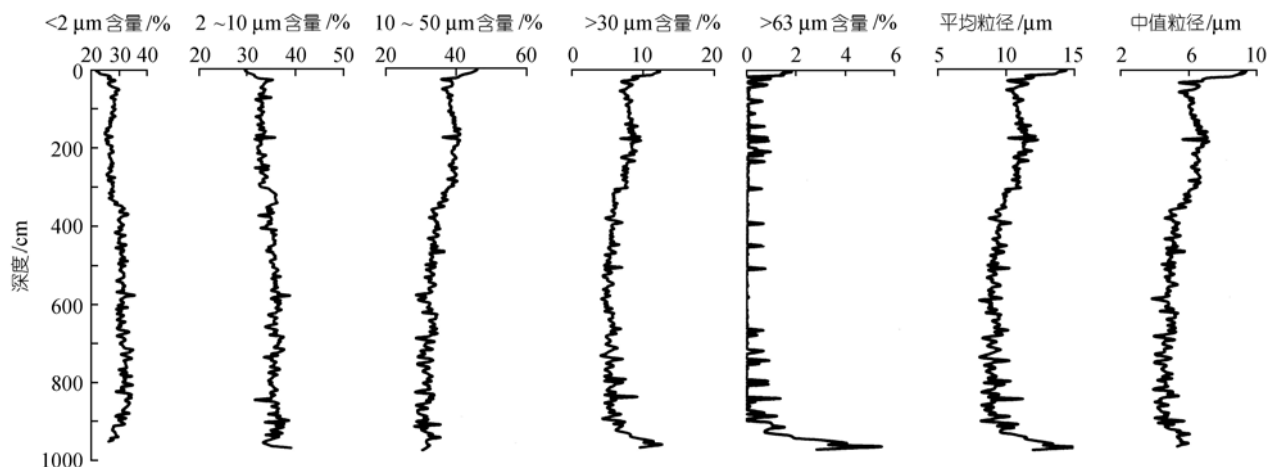


图 4 宣城 PX 剖面粒度分布特征

均等人^[33]认为, 九江红土上部的黄棕色土是典型风成下蜀黄土, 其形成与第四纪末次冰期有关, 相当于北方马兰黄土(L1)。杨达源^[5]也有类似看法。本研究为此类黄棕色土为风积成因, 且与下蜀黄土同源提供了又一证据。

图 4 和 5 又表明, 宣城、九江 PX、PJ 剖面的粒度组成特征较为相似: 剖面各层不含 $>2\text{ mm}$ 的砾石; $>100\text{ }\mu\text{m}$ 的粗颗粒, PX 中绝大部分为 0, PJ 中也微乎其微; $>63\text{ }\mu\text{m}$ 细砂粒的含量, PX 剖面平均为 0.30%(若不计底层, 平均仅 0.15%), PJ 剖面平均为

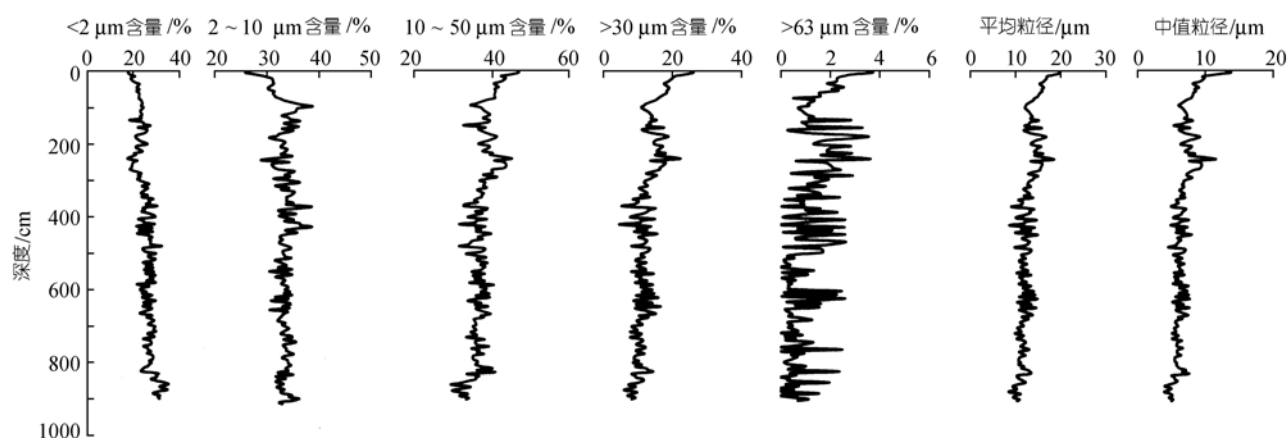


图5 九江PJ剖面粒度分布特征

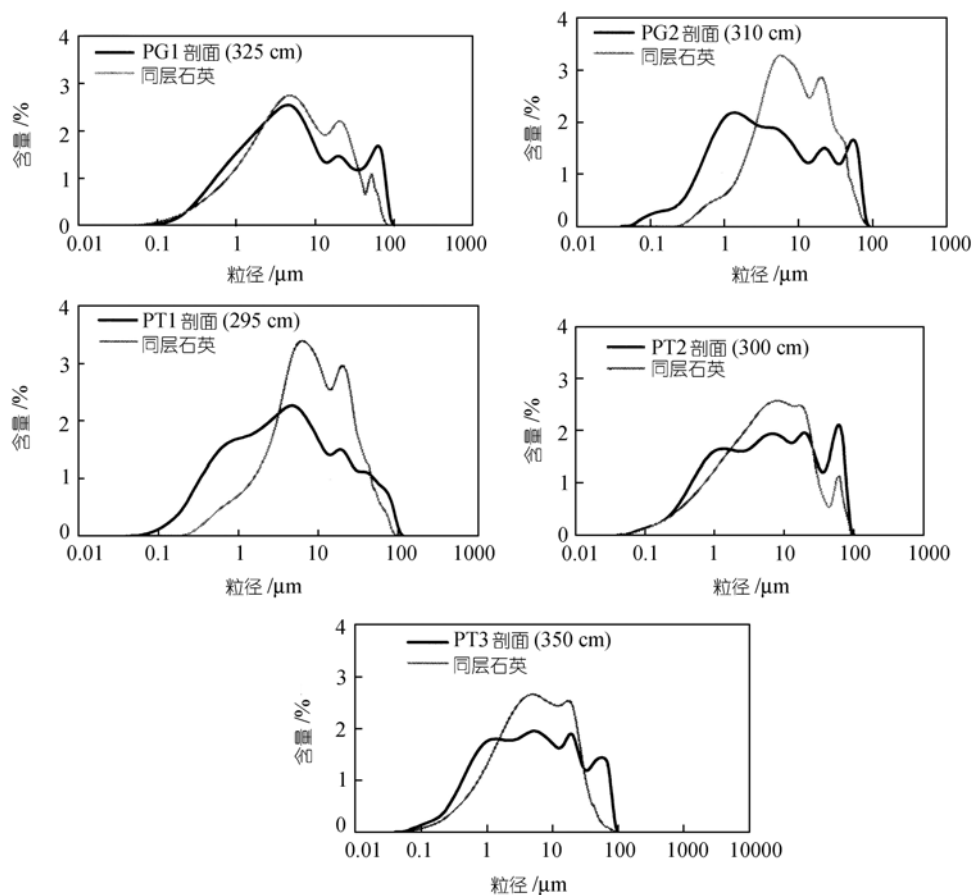


图6 泰和和赣州网纹红土<100 μm 颗粒组分的粒度频率分布曲线

1.14%; 10~50 μm 粒组, 常称为风尘的基本粒组, PX 和 PJ 剖面平均分别高达 34.65% 和 37.20%, 是众数粒级; <2 μm 粘粒的含量也较高, PX 和 PJ 剖面平均分别为 29.59% 和 25.67%。总体上看, 剖面粒度组成均匀, 无明显的突变现象。相比之下, 顶部黄棕色层的粒度

略粗, 网纹层偏细。其中 PJ 剖面黄棕色层内包含的一个弱风化层, 在粒度组成中也得到了体现。此外, 在 PX 和 PJ 剖面, 不仅顶部黄棕色土的频率分布曲线与下蜀黄土极为相似, 其余各层粒度频率分布曲线与下蜀黄土也有一定可比性。如, 网纹层红土粒度频

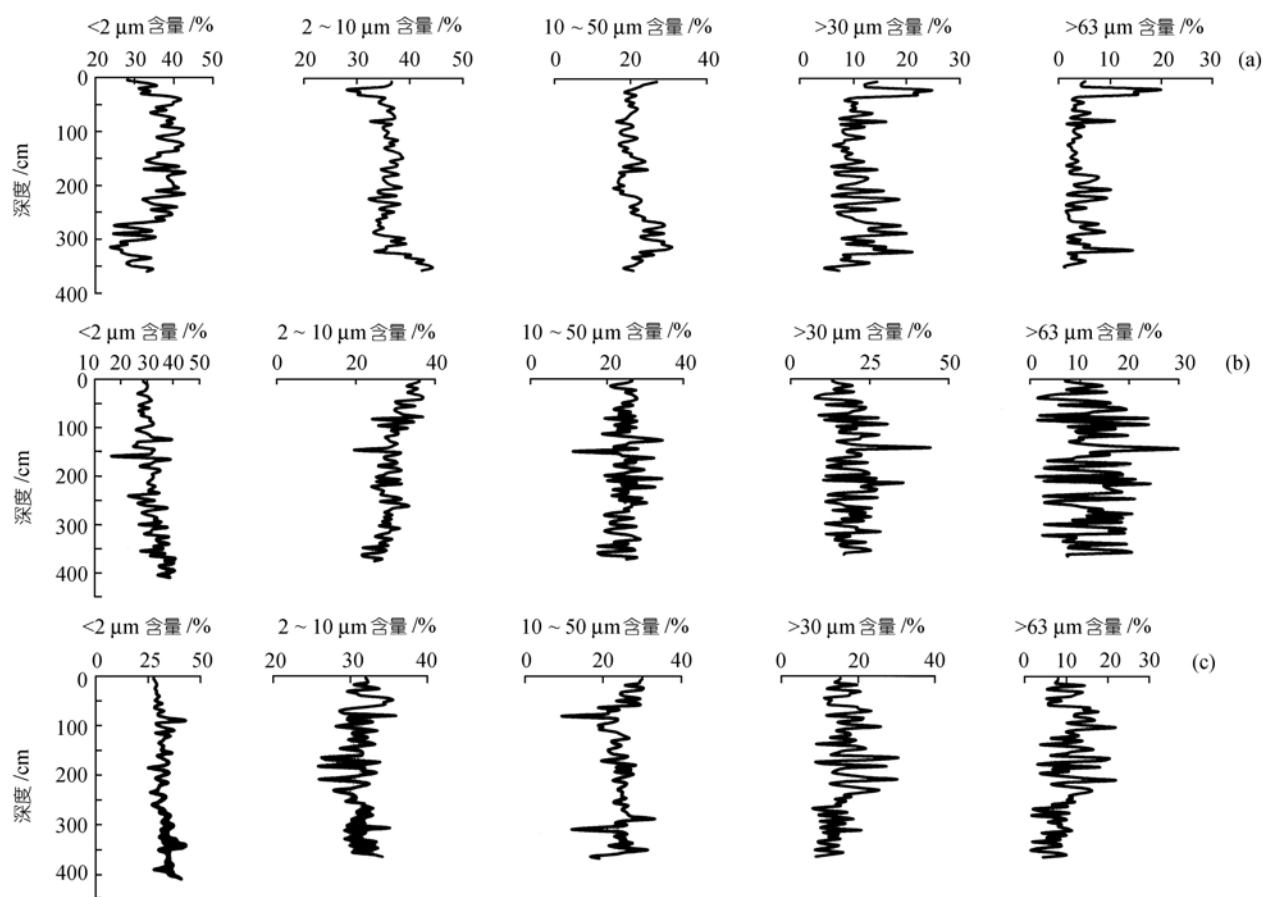


图 7 泰和网纹红土粒度分布特征
(a) PT1 剖面; (b) PT2 剖面; (c) PT3 剖面

率分布曲线虽呈双峰或三峰特征,但其形状与下蜀黄土仍有明显的继承性(图 1, 2 和 3)。由于网纹红土的强风化特征,红土石英颗粒粒度特征显然能更准确地指示其原始物质的性状。图 2 和 3 表明, PX 和 PJ 各层石英颗粒粒度频率分布曲线几乎一致,与北方黄土和下蜀黄土也十分接近。不仅如此,九江和宣城两区域内其他地点网纹红土的频率分布曲线与 PJ, PX 也十分一致(图 2 和 3),表明此类红土在空间分布上的均匀性。以上这些特征都较为一致地反映了九江和宣城两地网纹红土具有与典型风成下蜀黄土极为相似的风成特性。

但泰和和赣州网纹红土的粒度组成特征,却表现出与前者完全不同的性状。首先,两地网纹红土中普遍含有砾石(>2 mm 颗粒)。PG1 全剖面都含有砾石,砾石重量百分比平均高达 20%; PG2 剖面有的层次含有砾石; PT1, PT2 剖面有约 1/10 左右的层次含有砾石,但较细小,重量百分比约为 1%~2%;只有 PT3 剖面

未见砾石。两地 5 个剖面原样和石英单矿物<100 μm 颗粒组分的粒度频率分布曲线,与宣城、九江的网纹红土有很大差别,与北方黄土和下蜀黄土也无可比性(图 6)。图 7 和 8 还表明,泰和 PT1, PT2 和 PT3 剖面砂粒(>63 μm)的平均含量分别为 4.57%, 12.28%, 10.08%; 粘粒(<2 μm)和细粉砂(2~10 μm)分别为 35.48%, 31.76%, 32.74%和 36.24%, 29.19%, 31.30%; 10~50 μm 粒组为 21.51%, 24.77%, 24.33%。赣州 PG1, PG2 砂粒平均含量分别为 31.70%, 22.34%; 粘粒和细粉砂分别为 21.05%, 31.59%和 27.74%, 25.69%; 10~50 μm 粒组为 17.02%, 18.23%。总之,泰和和赣州两地网纹红土粗颗粒含量较高,各粒组含量在层次间又常有明显变化;粘粒和细粉砂含量很高,反映了强风化特性;但 10~50 μm 粒组的含量不突出。PG1 剖面砾石含量高,无明显层理发育,具明显的坡积相特征;而其余各剖面的粒度特征更多地表现为冲积相特征。

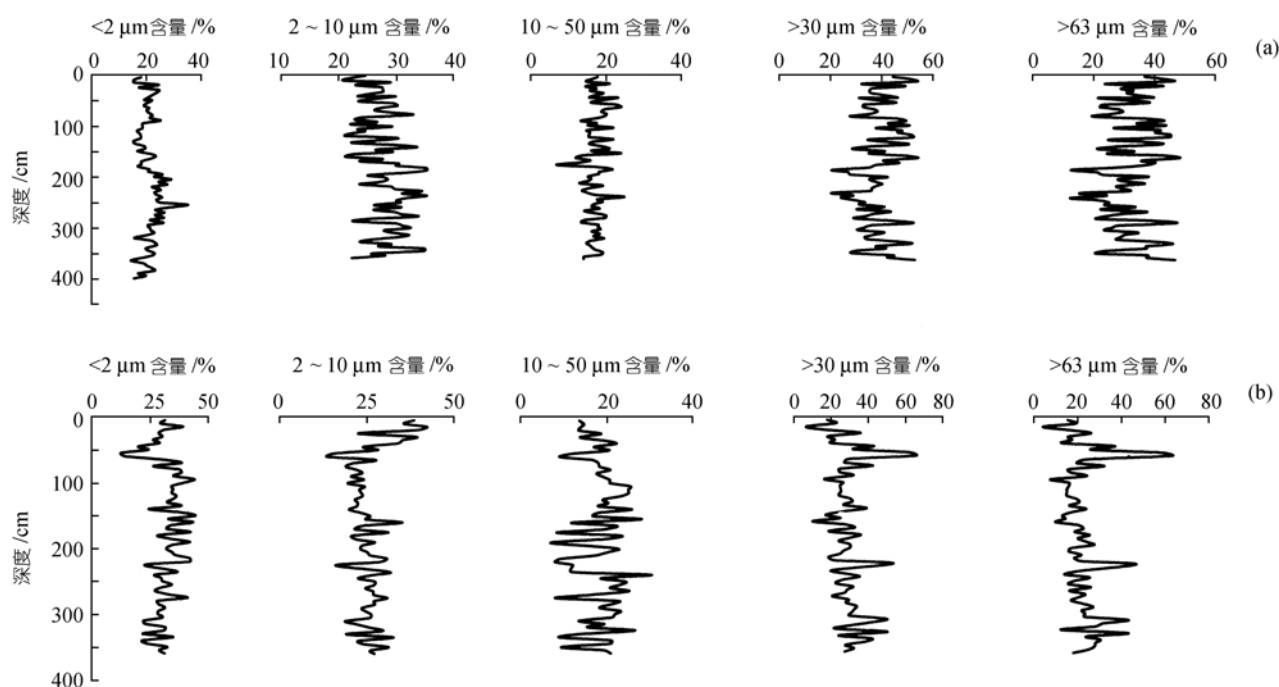


图8 赣州网纹红土粒度分布特征

(a) 赣州 PG1 剖面; (b) 赣州 PG2 剖面

3.2 网纹红土多元成因的第四纪古环境意义

南方网纹红土呈酸性或强酸性, 高度风化, 粒径细小, 脱硅富铝特征明显, 是南方第四纪长期湿热气候条件的产物^[34,35]。尽管如此, 网纹红土中仍十分清晰地保留了原始物质的性状和外动力作用特征。本研究已表明, 网纹红土的原始物质可为风成物, 也可水成物, 且有明显的区域分布规律。目前, 对宣城和九江等地网纹红土具风成特性的看法较为一致, 但对泰和以南地区网纹红土的成因仍有不同看法。如, 有的学者^[25]主张南方网纹红土多为风积成因, 冲、洪积相红土只是受流水作用改造的次生红土。为此, 本研究除了对泰和和赣州 5 个剖面的深入研究, 还在两地作了较大规模的面上调查, 寻找可能存在的具风成特性的“原生红土”。结果表明, 这两地冲、洪积相网纹红土的分布很普遍, 未发现任何类似宣城、九江具明显风成特性的红土。这一结果, 与前人的许多研究^[18,19,24,36]是一致的。其实, 至今尚未有确凿的证据证实南方 25°~26°N 以南地区也存在风成特性的网纹红土。笔者认为风成特性网纹红土的分布区域, 受第四纪冰期大规模风尘堆积的影响和限制。

风成特性网纹红土的存在是中国南方第四纪冰期大规模风尘堆积的实物证据。诚然, 南方未发现此

类红土的区域, 第四纪时期不一定未受风尘堆积的影响——间冰期湿热的气候条件可能会改造包括风尘物在内的冰期沉积物。但毋庸置疑, 已发现此类红土的地区肯定是第四纪大规模风尘堆积的区域。迄今为至, 对九江和宣城两地网纹红土风成特性的报道较多^[4,5,21~25], 但对此类红土的空间分布规律尚缺少深入而系统的研究。在前人研究^[24,36]基础上, 推测地处长江中下游红、黄土交接带地区(约 28°~31°N)的网纹红土具风成特性; 而交接带以南山间古盆地中的网纹红土更多地表现冲、洪积相特征。网纹红土的多元成因, 也反映了南方第四纪环境的多样性和复杂性。对风成特性网纹红土分布区域的进一步深入研究将有助于更好地揭示南方第四纪冰期大规模风尘堆积的南界。

具风成特性的网纹红土, 除了顶部的黄棕色土层外, 不可能是原生的风成物。因为在红土化所需的湿热气候条件下不可能发生大规模的风尘堆积。笔者认为, 这类网纹状红土的原始物质至少是第四纪末次间冰期(S1 形成期)以前的风成物; 沉积以后, 在随后的间冰期湿热气候条件下, 遭受了强烈的原位风化。因而, 笔者还是坚持前人研究的观点^[29], 即肯定这类红土的风成特性, 但不简单地称之为风成物

或风积物。这类红土兼有冰期和间冰期的双重气候印记,反映了南方第四纪沉积物气候记录的重叠性和矛盾性。

4 结论

宣城和九江两地的网纹红土,粒度细小而均匀;10~50 μm “风尘粒组”明显富集;原样和石英单矿物粒度频率分布曲线与北方黄土和典型风成下蜀黄土有较好的可比性,表现了明显的风成特性。泰和和赣州网纹红土多含有砾石;粗颗粒含量较高;10~50 μm 粒组富集不明显;各粒组含量在层次间的变化明显;原样和石英单矿物粒度频率分布曲线与北方黄土和下蜀黄土缺乏可比性,表现为冲、洪积相特征。

网纹红土的多元成因,反映了南方第四纪环境的多样性和复杂性。风成特性网纹红土的存在为南方第四纪冰期风尘堆积提供了实物证据。这类红土分布区域的进一步研究,有助于揭示南方第四纪冰期大规模风尘堆积的南界。

致谢 上海大学古林芳、张超、陈斌、竺震军、应琦、许佳华和庄亚斌等参加了实验室工作。本研究受国家自然科学基金项目(批准号:40101013,40325007)资助。

参 考 文 献

- 1 刘东生. 黄土与环境. 北京: 科学出版社, 1985. 191~400
- 2 朱照宇, 郑洪汉, 张国梅, 等. 华南热带红土期及风化矿物初步研究. 第四纪研究, 1991, (1): 18~27
- 3 朱照宇, 王俊达, 黄宝林, 等. 红土·黄土·全球变化. 第四纪研究, 1995, (3): 267~277
- 4 杨达源, 韩辉友, 周旅复, 等. 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
- 5 杨达源. 中国东部的第四纪风尘堆积与季风变迁. 第四纪研究, 1991, (4): 354~360
- 6 杨浩, 李小平, 赵其国, 等. 宣城风积-红土系列剖面有机碳同位素的特征及意义. 土壤学报, 1995, 32 (增刊): 177~183
- 7 杨浩, 夏应菲, 赵其国, 等. 红土系列剖面的磁化率特征与古气候冷暖变换. 土壤学报, 1995, 32 (增刊): 195~200
- 8 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
- 9 杨浩, 赵其国, 李小平, 等. 安徽宣城风成沉积——红土系列剖面 ESR 年代学研究. 土壤学报, 1996, 33(3): 293~300
- 10 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. 海洋地质与第四纪地质, 1997, 17(4): 73~81
- 11 方鸿琪. 长江中下游地区的第四纪沉积. 地质学报, 1961, 41(3~4): 354~366
- 12 席承藩. 关于中国红色风化壳的几个问题. 中国第四纪研究, 1965, 4(2): 42~54
- 13 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龄. 安徽地质, 1996, 6(3): 48~56
- 14 蒋复初, 吴锡浩, 肖华国, 等. 九江地区网纹红土的时代. 地质力学学报, 1997, 3(4): 27~32
- 15 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): 1465~1469[摘要][PDF]
- 16 朱显谟. 江西红壤之气候问题. 中国土壤学会会志, 1948, 1(1): 51~56
- 17 李驭亚. 华南第四纪网纹红土虫状白斑的成因探讨. 地质论评, 1965, 23(2): 144~145
- 18 徐馨. 长江中下游网纹层问题的讨论. 第四纪冰川与第四纪地质论文集(第一集). 北京: 地质出版社, 1984. 104~112
- 19 朱景郊. 网纹红土的成因及其研究意义. 地理研究, 1988, 7(4): 12~20
- 20 朱显谟. 中国南方的红土与红色风化壳. 第四纪研究, 1993, (1): 75~84
- 21 Hu X F, Yuan G D, Gong Z T. Origin of Quaternary red clay of southern Anhui Province. Pedosphere, 1998, 8(3): 267~272
- 22 熊尚发, 丁仲礼, 刘东生. 赣北红土与北京邻区黄土及沙漠砂的粒度特征对比. 科学通报, 1999, 44(11): 1216~1219
- 23 Hu X F, Gong Z T. A “yellow cap” on Quaternary red clay in Jiangxi Province. Pedosphere, 1999, 9(4): 311~318
- 24 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
- 25 Xiong S F, Sun D H, Ding Z L. Aeolian origin of the red earth in southeast China. Journal of Quaternary Science, 2002, 17 (2): 181~191[DOI]
- 26 刘良梧, 龚子同. 宣城第四纪红色粘土剖面的发育特征. 第四纪研究, 2000, 20(5): 464~468
- 27 刘良梧, 龚子同. 古红土的发育与演变. 海洋地质与第四纪地质, 2000, 20(3): 37~42
- 28 胡雪峰, 程天凡, 巫和听. 南方网纹红土内是否可能存在多个“沉积-成土”过程的旋回. 科学通报, 2003, 48(9): 969~975 [摘要][PDF]
- 29 胡雪峰, 沈铭能, 方圣琼. 皖南网纹红土的粒度分布特征及古环境意义. 第四纪研究, 2004, 24(2): 160~166
- 30 Xiao J L, Porter S C, An Z S, et al. Grain size of quartz as an indicator of winter monsoon strength on the Chinese Loess Plateau of central China during the last 130,000 yr. Quaternary Research, 1995, 43: 22~29[DOI]
- 31 孙有斌, 鹿化煜, 安芷生. 黄土-古土壤中石英颗粒的粒度分布. 科学通报, 2000, 45(19): 2094~2097[摘要][PDF]
- 32 孙有斌. 黄土样中石英单矿物的分离. 岩矿测试, 2001, 20(1): 23~26
- 33 李吉均, 张林源, 邓养鑫, 等. 庐山第四纪环境演变和地貌发育问题. 中国科学, B 辑, 1983, 13(8): 734~743
- 34 Zhao Q C, Xue S K, Shi H, et al. Preliminary study on element leaching and current soil-forming process of red soils. Pedosphere, 1991, 1(2): 117~126
- 35 Gong Z T, Chen Z C, Zhao W J, et al. Classification of ferrallitic soils in Chinese soil taxonomy. Pedosphere, 2000, 10(2): 125~133
- 36 袁国栋, 龚子同. 第四纪红土的土壤发生及其古地理意义. 土壤学报, 1990, 27(1): 54~62

(2004-10-09 收稿, 2005-01-31 收修改稿)