

文章编号: 1008-2786-(2018)4-527-09

DOI: 10.16089/j.cnki.1008-2786.000349

福建北部闽江流域第四纪红土的磁学特征 及其环境意义

黄雨振¹, 陈秀玲^{1,2*}, 吕 镔^{1,2}, 方 红¹, 朱甜英¹

(1. 福建师范大学 地理研究所, 福州 350007; 2. 湿润亚热带生态—地理过程教育部重点实验室, 福州 350007)

摘 要: 南方第四纪红土是记录南方古环境信息的良好载体和第四纪古气候环境研究的重要内容。本文对采自福建北部闽江流域大横第四纪红土剖面的样品进行磁化率、等温剩磁、饱和等温剩磁和代表样品的 $\kappa-T$ 曲线等多磁学参数的详细测量和分析, 研究结果表明: 大横剖面的磁化率范围为 $8.87 \sim 35 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$, 饱和等温剩磁范围为 $51.77 \times 10^{-5} \sim 294.51 \times 10^{-5} \text{ Am}^2 \cdot \text{kg}^{-1}$, 总体偏低, 说明大横剖面的磁性矿物含量较低, 可能是福建北部化学风化作用强烈且温暖湿润的环境导致的; 频率磁化率、非磁滞磁化率及 $\chi_{\text{ARM}}/\text{SIRM}$ 比值说明剖面自上而下, 磁性矿物颗粒大小总体上呈现变粗趋势, 由 SP + SD 颗粒到 SD + MD 颗粒的转变, 剖面磁性矿物以磁铁矿为主, 并含有磁赤铁矿、赤铁矿和纤铁矿等。本文探讨了红土剖面的不同沉积层磁学特征变化及对环境的指示意义, 对认识该地区第四纪红土的风化特征及发育环境有一定借鉴意义。

关键词: 红土; 磁学特征; 第四纪; 闽江流域

中图分类号: P318

文献标志码: A

中国南方广泛分布着的红土, 是第四纪以来在温暖湿润地区经过长期风化作用的产物。与中国北方黄土-古土壤的沉积地层相似, 中国南方红土是记录古气候环境演变信息的可靠载体之一, 通过研究红土的色度、粒度、矿物、地化元素等理化指标, 在红土的成因、形成时代以及红土古气候与全球变化响应等方面取得一定成果^[1-3]。近年来, 中国南方红土的磁学特征成了众多学者的研究热点, 研究范围也主要集中在浙江、江西、安徽等地^[2,4-6], 但对福建的第四纪红土环境磁学的研究还鲜有报道。

福建季风气候显著, 以低缓丘陵为主, 第四纪红土沉积物广泛发育, 是研究南方红土古气候、环境变化的理想地之一, 对于完善和丰富南方第四纪红土

的研究具有重要意义。本文以福建北部闽江流域大横镇(以下简称 DH)第四纪红土剖面为研究对象, 通过对该剖面的磁学参数进行研究和分析, 以探讨福建北部第四纪红土沉积对环境的指示意义, 对于全面认识我国湿润亚热带地区第四纪气候变化过程以及热带-亚热带地区的气候变化驱动因素提供重要的补充。

1 研究材料与方法

1.1 DH 红土剖面概况

DH 红土剖面位于福建省南平市延平区大横镇(图 1), 地理坐标为 $26^{\circ}47'343''\text{N}$, $118^{\circ}15'467''\text{E}$ 。该

收稿日期(Received date): 2017-09-22; 改回日期(Accepted date): 2018-05-24

基金项目(Foundation item): 福建省自然科学基金(2014J01151); 福建省公益类科研院所基本科研专项项目(2014R1034-2)。[Natural Science Foundation of Fujian Province, China (2014J01151); Fundamental Scientific Research Activities at the Non-profit Research Institutions in Fujian Province, China (2014R1034-2)]

第一作者(Biography): 黄雨振(1992-), 男, 福建莆田人, 硕士研究生, 主要研究方向: 全球变化与第四纪。[HUANG Yuzhen (1992-), male, born in Putian, Fujian province, M.Sc. candidate, research on global change and quaternary] E-mail: 1204455283@qq.com

* 通讯作者(Corresponding author): 陈秀玲(1978-), 女, 博士, 副教授, 主要研究方向: 第四纪环境演变与人类对策。[CHEN Xiuling (1978-), female, Ph.D., associate professor, research on quaternary environmental evolution and human countermeasures] E-mail: xiulingchen@163.com

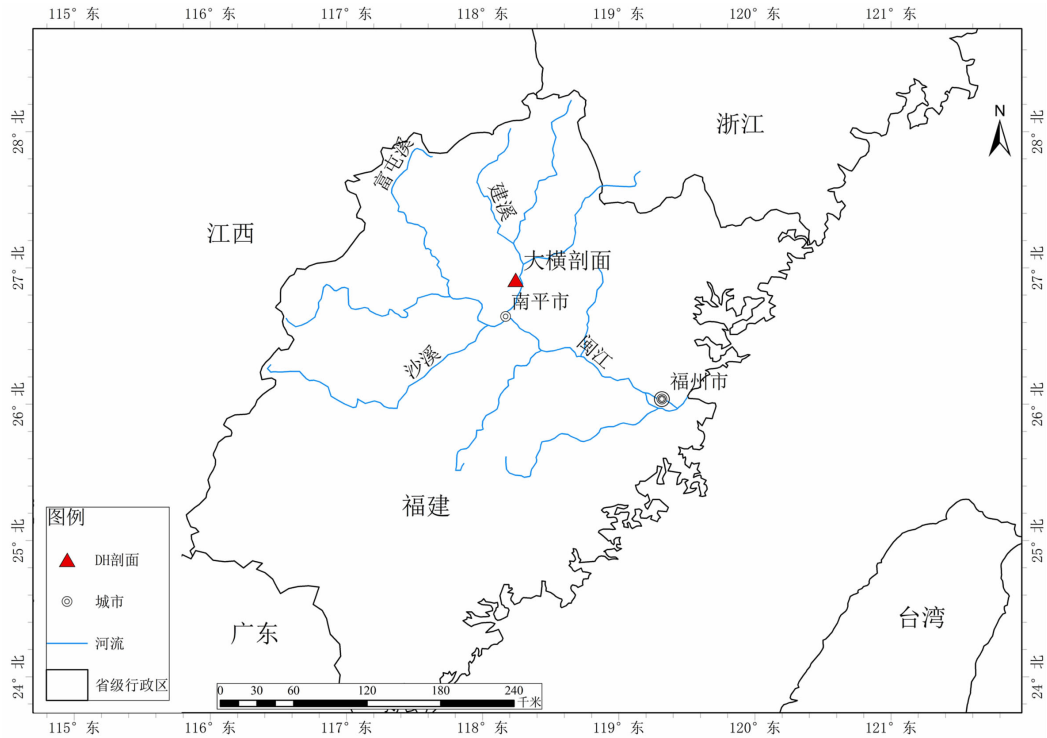


图1 福建北部闽江红土剖面采样点位置图

Fig. 1 Sketch map of Minjiang River in northern Fujian, China

剖面所处的福建西北部为闽西北隆起带,隆起带内多存在巨厚的前寒武纪变质岩,是一个中央相对隆起、两侧拗陷的地带,山脉多呈东北-西南走向。本地带广泛发育V型谷和急流瀑布,弱震、石崩和滑坡地质灾害频繁。且福建北部地区红土多为原地风化的风化壳,风化壳多数土层深厚,化学风化强烈。剖面海拔100 m,属于亚热带季风气候,年均温为19℃~22℃,年降水量达1400~2400 mm,7—9月易受台风天气影响,降水集中。DH剖面处于闽江支流-建溪河道西侧约50 m的阶地上,周围地形为低缓丘陵,所在阶地地貌类型为基座阶地。剖面底部距建溪河道水面高约15 m。剖面厚度11.3 m,底部有1.5 m厚的砾石层出露,图2为大横红土剖面的野外照片。根据剖面的不同形态特征变化对其进行了野外地层划分(表1)。

1.2 样品采集与测试

DH红土剖面以10 cm间距连续采样,共采集红土剖面样品114个。所有样品经过自然风干后,过2 mm筛,称取7 g左右样品,用保鲜膜包好放入圆柱形小盒中。磁化率采用Bartington公司生产的MS-2B型磁化率仪0.1档测量低频磁化率(χ_{lf})和高频磁化率(χ_{hf}),频率分别为470 Hz和4700 Hz,

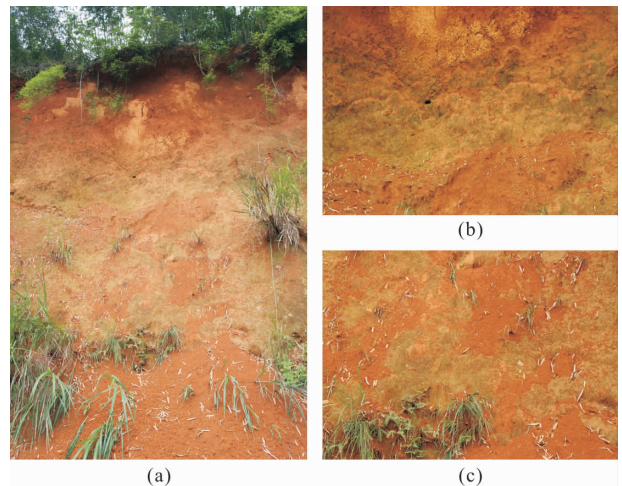


图2 福建北部闽江红土剖面图

Fig. 2 Pictures of the red earth in Minjiang River in northern Fujian

(a) 大横剖面全景; (b) 大横剖面③-④沉积层;

(c) 大横剖面⑤-⑥沉积层

并计算出频率磁化率 $\chi_{fd}(\%) = (\chi_{lf} - \chi_{hf}) / \chi_{lf} \times 100\%$ 。在实验过程中,低频和高频测量前后的背景值控制在0.2和0.3之间。等温剩磁(Isothermal Remanent, IRM)和饱和等温剩磁(Saturation Isothermal Remanence, SIRM)利用美国ASC公司产的IM 10-30强磁仪施加磁场,结合MolspinMinispin

表 1 福建北部闽江 DH 红土剖面特征描述
Tab. 1 Features of the red earth in Daheng section from
Minjiang River in northern Fujian

深度/m	沉积层代号	形态特征描述
0~0.4	①	为棕黄色(2.5YR 4/4)粉砂层,表层有植被覆盖,多植物根系,土质松散
0.4~1.5	②	为暗黄橙色(7.5YR 6/8)粘质粉砂层,少植物根系,土壤有胶结
1.5~4.5	③	为淡红棕色(5YR 5/8)粘质粉砂层,夹杂暗黄橙色(7.5YR 6/8)的类网纹结构,土壤呈团块结构,有黏粒胶膜可见,成壤作用好
4.5~6.5	④	为暗黄橙色(7.5YR 6/8)粘质粉砂层,土壤颗粒紧实
6.5~8.9	⑤	为淡黄橙色(7.5YR 8/6)粘质粉砂层,多量植物根孔及不均匀分布的黑色碳屑出现
8.9~11.3	⑥	为淡黄橙色(7.5YR 8/6)砂质粉砂层,有黑色碳屑出现

小旋转磁力仪测量。非磁滞剩磁(Non Hysteresis Remanence, ARM)则采用 ASCD-2000 型交变退磁仪(AFDemagnetizer)和 MolspinMinispin 小旋转磁力仪完成测量,交变场峰值为 100 mT,直流场为 50 μ T,并计算出非磁滞磁化率 $\chi_{APM} = \text{ARM}/H$,H 为直

流场 50 μ T。高温 $\kappa-T$ 曲线使用卡帕桥 MFK1-FA 磁化率仪和 CS-3 加热装置测量,测量时样品处于氩气环境中,最高温度为 700℃。所有实验均在湿润亚热带生态—地理过程教育部重点实验室完成。

2 结果与分析

2.1 DH 剖面的磁性矿物含量特征

土壤的磁化率(χ)和饱和等温剩磁(SIRM)可以粗略度量磁性矿物含量,但同时也取决于磁性矿物类型和颗粒大小^[7-10],其中 SIRM 可以反映单畴颗粒(Single Domain, SD)含量以及亚铁磁性矿物和不完整反铁磁性矿物^[11]。DH 红土剖面样品的 χ 变化范围在 $8.87 \times 10^{-8} \sim 35 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$,均值为 $14.16 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$ 。根据磁化率特征的变化趋势,自上而下,将 DH 红土剖面分为三段(如图 3 中的 D_1 、 D_2 、 D_3 层)。其中 D_1 层的 χ 的平均值为 $22.40 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$ 且变异系数为 30.69%,变化幅度较大。 D_2 层的 χ 平均值为 $10.68 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$,变异系数为 13.10%, χ 整体较低且变化平缓;而 D_3 层的 χ 平均值为 $14.17 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$,变异系数为 15.53%,较 D_2 层 χ 虽

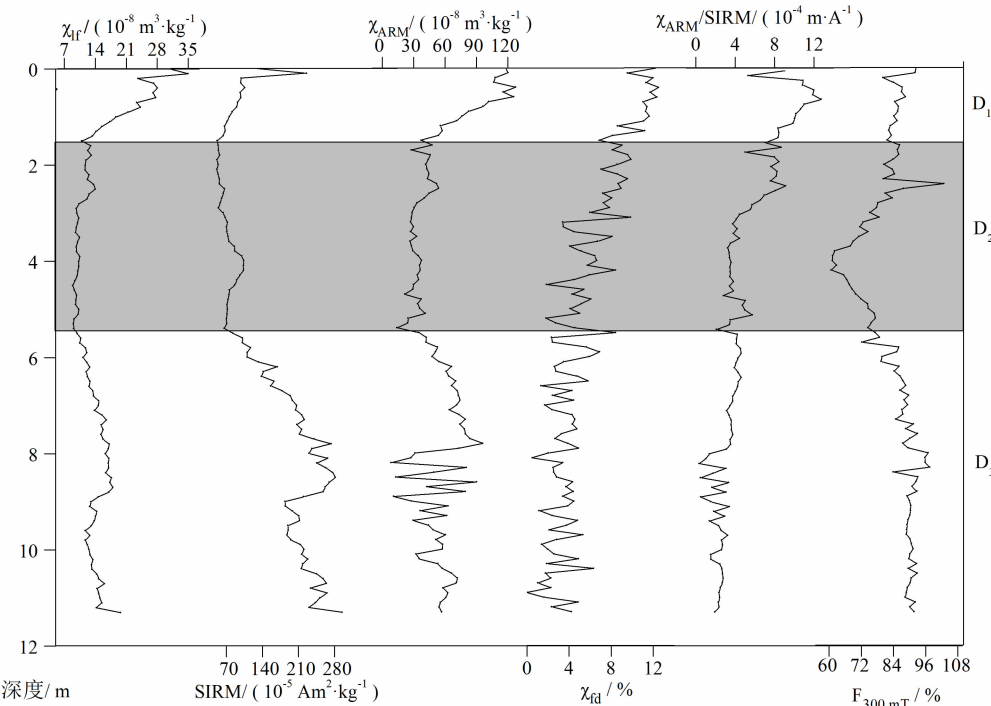


图 3 DH 剖面磁性参数变化曲线
Fig. 3 The change curves of magnetic parameters in Daheng red earth section

有小幅上升但同样变化平缓。 D_1 层的 χ 明显高于 D_2 层,且 D_2 层的 χ 值相对较低并波动很小,这与卢升高^[2]、朱丽东^[5]、胡雪峰^[4] 等人在浙江、庐山及安徽宣城研究的典型红土剖面的磁化率结果一致。与磁化率不同的是,含有亚铁磁性或者反铁磁性矿物的 SD 颗粒 SIRM 值最大,而颗粒粒径越大的 SIRM 值越低,且顺磁性矿物对 SIRM 没有贡献。样品中 SIRM 的变化范围在 $51.77 \times 10^{-5} \sim 294.51 \times 10^{-5} \text{ Am}^2 \cdot \text{kg}^{-1}$,均值为 $145.31 \times 10^{-5} \text{ Am}^2 \cdot \text{kg}^{-1}$,其中 D_1 层的 SIRM 的平均值为 $94.85 \times 10^{-5} \text{ Am}^2 \cdot \text{kg}^{-1}$,变异系数为 42.10%; D_2 层和 D_3 层的平均值分别为 $71.88 \times 10^{-5} \text{ Am}^2 \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $205.27 \times 10^{-5} \text{ Am}^2 \cdot \text{kg}^{-1}$,变异系数分别为 21.54% 和 25.92%。说明 D_1 层和 D_2 层的 SD 颗粒含量少,在 D_1 层有较大波动而 D_2 层的变化平缓; D_3 层中含有较多的亚铁磁性或者反铁磁性的 SD 颗粒矿物。

χ_{ARM} 对样品中单畴 (SD) 颗粒的亚铁磁性矿物敏感,尤其对稳定单畴 (SSD) 和假单畴 (PSD) 最为敏感,可以反映样品中细颗粒的亚铁磁性矿物含量,值越高表示样品中的细粒亚铁磁性矿物含量越多^[12-13]。DH 红土剖面中 χ_{ARM} 的变化范围为 $8.44 \times 10^{-8} \sim 127.31 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$,均值为 $53.88 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$ 。其中, D_1 层的平均值为 $90.69 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$, D_2 层和 D_3 层分别为 $35.11 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $55.94 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$ 。 χ_{ARM} 、 χ 及 SIRM 三者的曲线随深度的变化趋势大致相同(如图 3), D_1 层的 χ_{ARM} 的值相对较高,并随着剖面深度增加而逐渐减小,说明含有较多的 SSD 和 PSD 亚铁磁性矿物。 D_2 层的 χ_{ARM} 值较低,说明其含有的 SSD 和 PSD 亚铁磁性矿物含量明显低于 D_1 层的 SSD 和 PSD 亚铁磁性矿物。 D_3 层的 χ_{ARM} 有一定的波动,可能由于此部分的沉积层在强降雨时期,坡面片流、暴雨等短时期内携带的大量风化残积物交互混杂堆积,磁性矿物组成较为复杂。

2.2 DH 剖面的磁性矿物粒度特征

频率磁化率 ($\chi_{\text{fd}}\%$) 对 SP/SD 边界的颗粒非常敏感,用于指示细颗粒的磁性矿物的含量^[14-15]。按照 Fine 等^[16] 提出的 $\chi_{\text{fd}} 5\% \sim 6\%$ 作为土壤中 SP 颗粒存在与否的临界指标,小于 $5\% \sim 6\%$ 时基本上不存在 SP 颗粒,大于 10% 时说明有相当数量的 SP 颗粒存在。DH 剖面的 χ_{fd} 变化值在 $0\% \sim 12.5\%$,平均值为 5.44% ,说明整个剖面含有的 SP 颗粒有限。

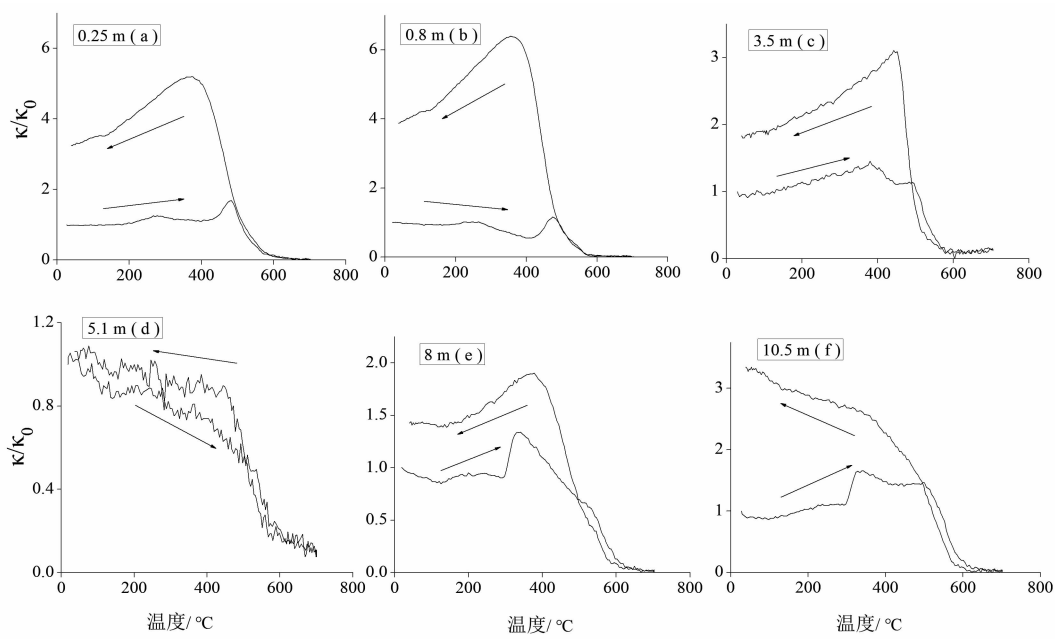
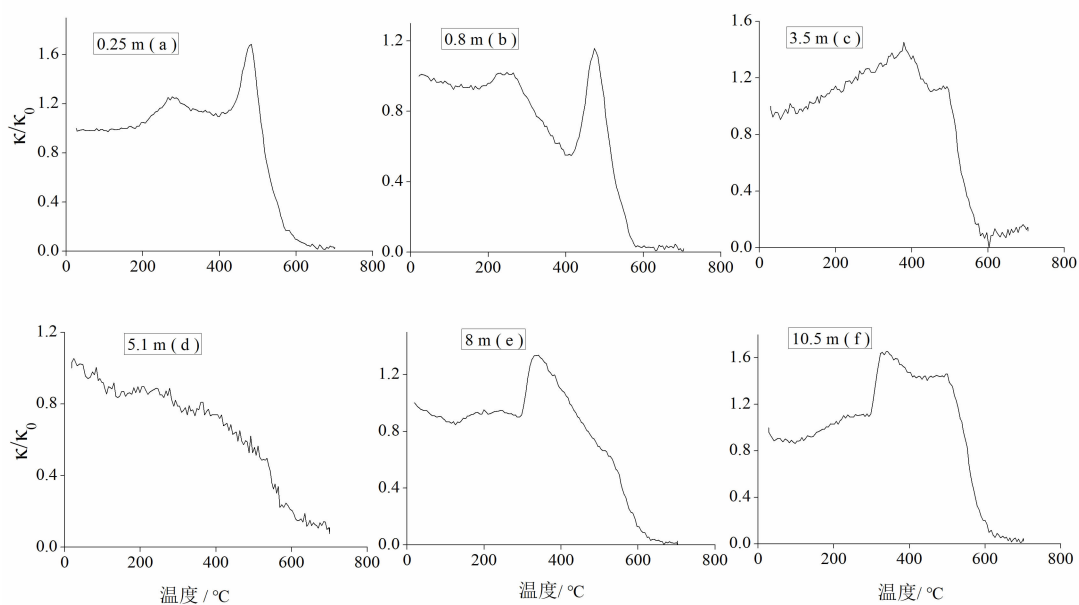
其中, D_1 层的 χ_{fd} 平均值为 10.79% , D_2 层和 D_3 层的 χ_{fd} 分别为 6.40% 、 3.41% 。在 D_1 层的 χ_{fd} 基本上大于 5 ,说明有一定的 SP 颗粒存在; D_2 层含有的 SP 颗粒相当有限; D_3 层的 χ_{fd} 基本上在 5% 以下,说明样品中几乎不含有 SP 颗粒。 D_1 层含有的 SP 颗粒较多,可能是由于表层土壤处于高温湿润的气候环境中,在强烈的化学风化作用下,有许多次生的超顺磁性亚铁磁性矿物生成。

$\chi_{\text{ARM}}/\text{SIRM}$ 可以用来指示亚铁磁性矿物的颗粒粗细的组成,低值指示样品中存在较粗的假单畴和多畴 (PSD + MD) 颗粒,高值指示样品中存在较细的单畴 (SD) 颗粒^[12]。DH 剖面的 $\chi_{\text{ARM}}/\text{SIRM}$ 值介于 $0.34 \times 10^{-5} \sim 12.74 \times 10^{-5} \text{ m} \cdot \text{A}^{-1}$,平均值为 $4.62 \times 10^{-5} \text{ m} \cdot \text{A}^{-1}$,其中 D_1 层的 $\chi_{\text{ARM}}/\text{SIRM}$ 平均值为 $9.79 \times 10^{-5} \text{ m} \cdot \text{A}^{-1}$, D_2 层的为 $5.19 \times 10^{-5} \text{ m} \cdot \text{A}^{-1}$, D_3 层的为 $2.89 \times 10^{-5} \text{ m} \cdot \text{A}^{-1}$ 。 D_1 层的 $\chi_{\text{ARM}}/\text{SIRM}$ 值最大,随着深度的加深其值逐渐减小,说明 D_1 层中含有较细的磁性颗粒, D_2 层及 D_3 层中含有磁性颗粒在逐渐变粗。DH 剖面与胡忠行^[17]、邓黄月等^[6] 人研究的剖面相比, $\chi_{\text{ARM}}/\text{SIRM}$ 比值明显偏小,可能说明 DH 剖面存在的磁性矿物主要以较粗的 PSD + MD 颗粒为主,较细的 SD 颗粒含量较低。

2.3 DH 剖面的磁性矿物种类

磁化系数 $F_{300 \text{ mT}} (\text{IRM}_{300 \text{ mT}}/\text{SIRM})$ 可以反映样品中亚铁磁性矿物和不完整反铁磁性矿物之间的相对含量比重^[2]。DH 剖面的 $F_{300 \text{ mT}}$ 的值变化波动在 $61\% \sim 103\%$ 之间,均值为 84% 。其中, D_1 层的 $F_{300 \text{ mT}}$ 在 $80.1\% \sim 92.4\%$,平均值为 85.4% ; D_2 层为 $60.8\% \sim 102.8\%$,平均值为 75.3% ; D_3 层为 $72.2\% \sim 97.5\%$,平均值为 88.6% 。整个剖面的 $F_{300 \text{ mT}}$ 基本在 80% 左右,表明整体剖面层位中的磁性颗粒含有的亚铁磁性矿物对磁化率有着较大的贡献。 D_2 层的 $F_{300 \text{ mT}}$ 较低,说明该层位的反铁磁性矿物含量有相对增多。而 D_1 层和 D_3 层中含有的亚铁磁性矿物比重增加,表明其含有的亚铁磁性矿物对磁化率的贡献变大。

$\kappa - T$ 图是利用样品在加热过程中的磁性变化来研究磁性矿物类型和状态^[18]。通过研究分析, D_1 层(图 4a 和 b)中样品加热和冷却曲线的居里点在 580°C 左右,初步推断该层样品以磁铁矿(居里点为 580°C) 为主。 D_2 层(图 5c)样品的加热曲线的居里

图4 DH剖面红土典型样品的 $\kappa-T$ 曲线Fig. 4 $\kappa-T$ curves of typical samples from Daheng red earth section图5 DH剖面红土典型样品的 $\kappa-T$ 高温部分细节变化曲线Fig. 5 $\kappa-T$ curves of detail changes in high temperature part of typical samples from Daheng red earth section

点在 580℃ 左右,而冷却曲线(图 4c)的居里点在 520℃ 左右,因而可以初步推断样品中以磁铁矿为主,在 300℃ ~ 450℃ 附近有明显的下降转折出现,说明了样品中磁赤铁矿向赤铁矿转化。位于 D_2 层下部层位的样品(图 4d) $\kappa-T$ 图可以发现样品加热曲线和冷却曲线的居里点在 580℃ 左右,表明样品中以磁铁矿为主,而加热曲线(图 5d)温度在 600℃

以上仍有微弱下降,说明赤铁矿的存在。 D_3 层样品的 $\kappa-T$ 图加热曲线(图 5e 和 f)的居里点在 620℃ 左右,而在 670℃ 左右达到 0,冷却曲线居里点都在 580℃ 左右(图 4e 和 f),可以初步判断样品中以磁铁矿为主,在 300℃ ~ 450℃ 附近加热曲线出现明显的峰值,可能指示了纤铁矿的存在。通过 $\kappa-T$ 图分析表明,DH 剖面的磁性矿物以磁铁矿为主,并存

在其他磁性矿物存在,包括磁赤铁矿、赤铁矿以及纤铁矿等。

3 DH 红土剖面不同沉积层的磁性特征变化及环境意义

DH 剖面红土磁性特征随深度波动,在剖面的不同深度的沉积层内,磁性矿物的含量、颗粒大小以及存在的类型都有差异。而对这些差异进行研究,就可以建立红土磁学特征与环境之间的演变关系,从而了解南方红土环境演变的过程^[19]。中国南方红土广泛分布在东亚季风区内,其年际温度和降水较北方黄土区相比温度湿润,南方红土复杂的环境演变和强烈的化学风化作用,使得解读红土磁学记录信息更为复杂。如吕厚远等^[20]在研究土壤磁化率中发现,中国南方高温多雨的环境不利于红土土壤中磁性矿物的保存,磁化率在高温多雨的条件下反而降低。因此,研究我国南方红土的磁学环境与北方黄土-古土壤记录的模式和指标不同,不能简单地套用^[21]。

通过分析以上多参数的磁学特征表明,DH 红土剖面的磁化率与邓黄月^[6]、Xiong 等^[22]人研究的长沙、岳阳、宣城等地的红土剖面磁化率相比偏低,这可能是在 DH 红土剖面磁化率在高温湿热的气候环境条件下,强烈的地表化学风化作用使得强磁性矿物向弱磁性矿物转变以及降水的淋溶使得磁性矿物难以保存以及 DH 红土剖面沉积物的母质本身磁性矿物含量比较低的原因导致。DH 红土剖面的 D₁ 层磁化率相对较高,有着相对较高的 SP 颗粒含量,磁性矿物颗粒较细,磁性矿物以磁铁矿为主,说明 D₁ 层位于该剖面的表层,一方面是受到人为活动的影响,有较多的磁性矿物产生;一方面是在高温多雨的环境条件下,强烈的化学风化使土壤化作用^[8,9]增强,致使土壤颗粒变细。北方黄土-古土壤沉积序列磁性记录研究表明,风化作用过程中产生 SP 和 SD 亚铁磁性颗粒,化学风化作用越强,产生的颗粒含量越多,磁化率越高。DH 红土剖面的磁化率明显低于北方黄土-古土壤的磁化率,而南方高温湿热的环境条件其化学风化作用显然是强于北方黄土-古土壤的环境条件,此前卢升高等^[2]人研究的浙江、江西九江的红土剖面也是低磁化率,说明在化学风化作用较强的南方红土磁化率基本上较低,因

此土壤磁化率与风化强度并非是简单的联系,而是风化强度超过一定的强度之后,土壤磁化率反而降低^[23-24]。因此,D₁ 层低磁化率是由于该地区强烈的化学风化环境造成的。

D₂ 层磁化率与 D₁ 层相比有一定幅度的降低且其变化平缓,磁性矿物以反铁磁性矿物为主,同时也存在超顺磁性矿物,磁性矿物颗粒大小较 D₁ 层相比有所变粗。通过分析认为,DH 剖面由于处于高温高湿的环境中,表层的有机质含量较多等因素,致使铁元素难以保存,强磁性的磁铁矿转化成弱磁性的反铁磁性矿物,而且在高温、降水充沛的环境条件下,经过干季的脱干作用,磁铁矿和磁赤铁矿都会形成稳定的赤铁矿^[25]。同时该层的亚铁磁性矿物含量明显低于 D₁ 层,证明了强烈的风化作用造成了亚铁磁性矿物极易向赤铁矿转化,说明该层中赤铁矿含量增多了,而赤铁矿的磁性较低,是造成磁化率较低的一个原因。可以认为,磁化率较低的 D₂ 层是由于高温或者滞水的环境下,土壤中铁元素的迁移和转化,使强磁性的亚铁磁性矿物向弱磁性的赤铁矿转化形成的结果,致使反铁磁性矿物含量在该层明显增多。

D₃ 层几乎不存在 SP 颗粒,有较多的 MD 颗粒,磁性矿物以磁铁矿为主,还存在纤铁矿、赤铁矿等。在 8 m 和 10.5 m 处的热磁曲线指示了 D₃ 层有纤铁矿的存在,张家铭和王明光^[26]在台湾的红壤中发现有纤铁矿的存在,在气温较高、滞水的环境中极易形成纤铁矿。此 D₃ 层处于剖面的底部层次,位于闽江的二级河流阶地之上,易处于排水不良的环境中。磁性参数在剖面 7.5~9 m 处存在高低值的波动变化,并结合该沉积层内存在较多的量植物根孔和不均匀碳屑,很有可能受到河流洪水的影响,在河流洪水期较高的水位淹没了该层位并将所携带大量山地古土壤或者碎屑物质等快速沉积下来,以及短时间的强降雨可能造成山地泥石流和塌方等块体运动,从而在该层位增加了表层风化残积物的物质以及该剖面不同层位的颗粒物质,这些物质交互混杂并快速沉积在底部层位上,因此该层位的磁性参数存在较大的波动。

4 结论

基于对福建北部闽江第四纪红土剖面磁学特征

结果的分析研究,初步得出以下结论:

(1)DH 红土剖面的磁化率在 $8.87 \times 10^{-8} \sim 35 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$,饱和等温剩磁范围为 $51.77 \times 10^{-5} \sim 294.51 \times 10^{-5} \text{ Am}^2 \cdot \text{kg}^{-1}$,说明 DH 红土剖面磁性矿物含量较少,可能是由于处于高温高湿的气候环境下,强烈的化学风化作用,强磁性的亚铁磁性矿物含向反铁磁性矿物转化,导致磁学参数值的降低。剖面由此向下出现高低值波动变化,说明剖面风化作用可能不是磁化率变化的唯一因素,可能指示了该剖面沉积风化早期区域构造地貌和气候环境的变迁。

(2)频率磁化率、非磁滞磁化率及 $\chi_{\text{ARM}}/\text{SIRM}$ 比值表明剖面自表层向下,磁性矿物颗粒大小总体呈变粗的趋势,由超顺磁性颗粒和单畴颗粒为主向单畴和多畴颗粒的特征变化,且多畴含量较多。 $\kappa-T$ 曲线指示了该剖面的磁性矿物以磁铁矿为主,并有磁赤铁矿、赤铁矿和纤铁矿等磁性矿物的存在。

参考文献 (References)

- [1] 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[J]. 土壤学报, 1995, **32** (增刊2): 195 - 200 [YANG Hao, XIA Yingfei, ZHAO Qiguo, et al. The character of magnetic susceptibility of red earth profile in South China and paleoclimate changes [J]. Acta Pedologica Sinica, 1995, **32** (Suppl. 2): 195 - 200]
- [2] 卢升高,董瑞斌,俞劲炎,等. 中国东部红土的磁性及其环境意义[J]. 地球物理学报, 1999, **42** (6): 764 - 771 [LU Shenggao, DONG Ruibin, YU Jinyan, et al. Magnetic measurement characterization of red earth profile in eastern China and its environmental implications[J]. Chinese Journal Geophysics, 1999, **42** (6): 764 - 771]
- [3] 袁大刚,张甘霖. 雨花台红土的磁化率特征及其古环境意义[J]. 土壤, 2008, **40** (1): 110 - 113 [YUANG Dagang, ZHANG Ganlin. Characterization of magnetic susceptibility of red earth at Yuhuatai and its paleoenvironmental implications [J]. Soil, 2008, **40** (1): 110 - 113]
- [4] 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? [J]. 科学通报, 2003, **48** (9): 969 - 975 [HU Xuefeng, CHENG Tianfan, WU Hexin. Do multiple cycles of Aeolian deposit pedogenesis exist in the reticulate red clay sections in southern China? [J]. Chinese Science Bulletin, 2003, **48** (9): 969 - 975]
- [5] 朱丽东,姜永见,张明强,等. 庐山 JL 剖面红土磁化率特征及古环境记录[J]. 山地学报, 2001, **29** (4): 385 - 394 [ZHU Lidong, JIANG Yongjian, ZHANG Mingqiang, et al. Characteristics of magnetic susceptibility and its paleoenvironmental records from JL red earth section, Lushan area [J]. Mountain Research, 2001, **29** (4): 385 - 394]
- [6] 邓黄月,郑祥民,杨立辉,等. 长江中下游地区第四纪红土磁学特征及其环境意义[J]. 沉积学报, 2015, **33** (2): 285 - 298 [DENG Huangyue, ZHENG Xiangmin, YANG Lihui, et al. Magnetic properties of quaternary red earth profile in Yangtze River Valley and its paleoenvironmental implications [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2015, **33** (2): 285 - 298]
- [7] OLDFIELD F. Environmental magnetism-A personal perspective [J]. Quaternary Science Reviews, 1991, **10** (1): 73 - 85
- [8] MAHER B A. Characterization of soils by mineral magnetic measurements [J]. Physics of the Earth & Planetary Interiors, 1986, **42** (1-2): 76 - 92
- [9] THOMPSON R, OLDFIELD F. Environmental magnetism [M]. London: Allen and Unwin, 1986: 758 - 759
- [10] 曲赞. 用于环境研究的磁性参数简介[J]. 地质科技情报, 1994, **13** (2): 98 - 104 [QU Zan. An introduction of magnetic parameters in environmental studies [J]. Geological Science & Technology Information, 1994, **13** (2): 98 - 104]
- [11] 符超峰,宋友桂,强小科,等. 环境磁学在古气候环境研究的回顾与展望[J]. 地球科学与环境学报, 2009, **31** (9): 312 - 322 [FU Chaofeng, SONG Yougui, QIANG Xiaoke, et al. Environmental magnetism and its application progress in paleoclimatic and paleoenvironmental changes [J]. Journal of Earth Sciences & Environment, 2009, **31** (9): 312 - 322]
- [12] MAHER B A. Magnetic properties of some synthetic sub-micron magnetites [J]. Geophysical Journal Royal Astronomical Society, 1988, **94** (1): 83 - 96
- [13] 刘秀铭,马明明, P. Hesse, 等. 澳大利亚黄土磁学性质及环境意义[J]. 第四纪研究, 2011, **31** (5): 837 - 848 [LIU Xiuming, MA Mingming, P. Hesse, et al. Magnetic properties of loess deposit in Australia and its environmental significances [J]. Quaternary Sciences, 2011, **31** (5): 837 - 848]
- [14] BLOEMENDAL J, LIU X M. Rock magnetism and geochemistry of two plio-pleistocene Chinese loess-palaeosol sequences-implications for quantitative paleoprecipitation reconstruction [J]. Paleogeography Paleoclimatology Paleocology, 2005, **226** (1-2): 149 - 166
- [15] 刘青松,邓成龙,潘永信. 磁铁矿和磁赤铁矿磁化率的温度和频率特性及其环境磁学的意义[J]. 第四纪研究, 2007, **27** (6): 955 - 962 [LIU Qingsong, DENG Chenglong, PAN Yongxin. Temperature-dependency and frequency-dependency of magnetic susceptibility of magnetite and maghemite and their significance for environmental magnetism [J]. Quaternary Sciences, 2007, **27** (6): 955 - 962]
- [16] FINE P, SINGER M J. Contribution of ferromagnetic minerals to oxalate and dithionite extractable iron [J]. Soil Society of America Journal, 1989, **53** (1): 191 - 196
- [17] 胡忠行,朱丽东,张卫国,等. 江西九庐公路红土剖面的磁学特征及其反映的风化成土作用[J]. 地球物理学报, 2011, **54** (5):

- 1319 – 1326 [HU Zhongxing, ZHU Lidong, ZHANG Weiguo, et al. Magnetic properties of red clay section along the Jiu-Lu highway at Jiujiang, Jiangxi and implications for pedogenesis [J]. Chinese Journal Geophysics, 2011, **54**(5): 1319 – 1326]
- [18] 卢升高. 中国土壤磁性与环境[M]. 北京: 高等教育出版社, 2003: 189 – 190 [LU Shenggao. Magnetism of Soils in China and Its Environment Implication [M]. Beijing: Higher Education Press, 2003: 189 – 190]
- [19] 卢升高. 中国南方红土环境磁学[J]. 第四纪研究, 2007, **27**(6): 1016 – 1022 [LU Shenggao. Environmental magnetism of Quaternary red Earth in the southern China [J]. Quaternary Sciences, 2007, **27**(6): 1016 – 1022]
- [20] 吕厚远, 韩家懋, 吴乃琴, 等. 中国现代土壤磁化率分析及其古气候意义[J]. 中国科学 (B 辑), 1994, **24**(12): 1290 – 1297 [LV Houyuan, HAN Jiamao, WU Naiqin, et al. Analysis on magnetism and paleoclimate meaning in modern soil of China [J]. Science in China (Series B), 1994, **24**(12): 1290 – 1297]
- [21] ÖZDEN Özdemir, DUNLOP D J. Thermoremanence and Néel temperature of goethite [J]. Geophysical Research Letters, 1996, **23**(9): 921 – 924
- [22] XIONG S F, SUN D H, DING Z L. Aeolian origin of the red earth in southeast China [J]. Journal of Quaternary Science, 2002, **17**(2): 181 – 191
- [23] ZHANG W G, YU L Z, LU M, et al. Magnetic properties and geochemistry of the Xiashu Loess in the present subtropical area of China, and their implications for pedogenic intensity [J]. Earth & Planetary Science Letters, 2007, **260**(1): 86 – 97
- [24] DING Z L, YANG S L, SUN J M, et al. Iron geochemistry of loess and red clay deposits in the Chinese Loess Plateau and implications for long-term Asian Monsoon evolution in the last 7.0 Ma [J]. Earth and Planetary Science Letters, 2001, **185**(1/2): 99 – 109
- [25] SCHWERTMANN U, FISCHER W, PAPENDORF H. The influence of organic compounds on the formation of iron oxides [C]. Transaction of the Ninth International Congress of Soil Science, Sydney: International Society of soil Science and Angus and Robertson, 1968, 645 – 655
- [26] 张家铭, 王明光. 台湾红壤及森林土壤中之氧化铁[J]. 土壤学报, 1995, **32**(1): 15 – 22 [ZHANG Jiaming, WANG Mingguang. Iron oxides distributed in red and forest soils of Taiwan [J]. Acta Pedologica Sinica, 1995, **32**(1): 15 – 22]

Magnetic Characteristics of Quaternary Red Earth Sequence from the Minjiang Drainage Basin in Northern Fujian and Its Environmental Significance

HUANG Yuzhen¹, CHEN Xiuling^{1,2*}, LYU Bin^{1,2}, FANG Hong¹, ZHU Tianying¹

(1. Institute of Geography, Fujian Normal University, Fuzhou 350007, China;

2. Key Laboratory of Humid Subtropical Ecosystem and Geography, Ministry of Education, Fuzhou 350007, China)

Abstract: Quaternary red earth sequences in southern China have been generally considered as potential paleoenvironmental records, because they are one of the most important terrestrial sources of information for reconstructing paleoenvironment and paleoclimate at a regional scale. In this research, the environmental magnetism records from a Quaternary red earth sequence of Daheng (DH) section in the Minjiang Drainage Basin were presented. In practice, detailed measurements and analysis of multi-magnetic parameters were performed with focuses of magnetic susceptibility, isothermal remanence, saturated isothermal remanence and $\kappa - T$ curves of representative samples collected at the Daheng Quaternary red earth section in the Minjiang River Basin of the northern Fujian, China. The magnetic characteristics of different sedimentary layers in the red earth sections and their implications for the local environment were interpreted for understanding of the weathering characteristics and the associated development environment of the Quaternary red earth in this area. Results showed that the magnetic susceptibility ranged between $8.87 \times 10^{-8} \sim 35 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$, and the saturation isothermal remanence was within a range of $51.77 \times 10^{-5} \sim 294.51 \times 10^{-5} \text{ Am}^2 \cdot \text{kg}^{-1}$. Generally, the obtained values were relatively low in extent, suggesting that there was a low magnetic mineral content at the Daheng sections, possibly caused by a

strong, warm and humid environment in the northern part of Fujian. And the frequency susceptibility, non-hysteresis magnetic susceptibility and $\chi_{\text{ARM}}/\text{SIRM}$ ratio indicated that the values of them increased from base to top, suggesting that the particle size of magnetic mineral may exhibited a decreasing trend from base to top. Investigations of the environmental magnetism records revealed that the particle size of magnetic mineral increased from interval SP + SD to that of SD + MD; and the mass of MD magnetic mineral particles was more than others. Moreover, $\kappa - T$ curves of selected samples indicated that the magnetite was the dominant magnetic mineral in the DH section, with a secondary component of maghemite, hematite, and lepidocrocite.

Key words: red earth; magnetic characteristics; Quaternary; Minjiang Drainage Basin