

土壤磁化率——作为一种气候指标的局限性

胡雪峰 龚子同

(中国科学院南京土壤研究所 南京 210008)

摘要 在黄土高原地区的黄土——古土壤序列中可作为代用气候指标的磁化率,在南方第四纪红色粘土沉积层内并不适用。第四纪红色粘土网纹层内的磁化率受网纹化作用影响,数值偏小,很难指示所在层段红土形成时的古气候。

关键词 磁化率;第四纪红色粘土;网纹化作用

自从发现黄土——古土壤序列中磁化率曲线与深海氧同位素有良好的可比性^[1],磁化率在黄土高原地区古气候研究中被作为一种代用气候指标。安芷生^[2]指出:古土壤的较高磁化率值在一定程度上反映了温湿气候下湿度增大促成的植被密度大、成壤作用较强的状况;反之,低磁化率值则指示了湿度较小、植被稀疏、发育黄土的干冷气候状况。

本文对江西省泰和、九江和安徽省宣州的第四纪红色粘土剖面各层的磁化率进行测定,试图探明磁化率——作为黄土研究中的一种代用的气候指标,是否同样适用于南方红土地区,指示红土沉积层内不同层段古气候的演变。

1 材料和方法

以长江以南第四纪红色粘土分布的典型地区:江西省泰和、九江和安徽省宣州作为研究地点,选择能反映层次变化的深厚的红色沉积层作为研究剖面。各剖面的具体形态描述见表1。剖面J(I)上部有较厚的下蜀黄土层;T(I)和X(I)上部也有薄层的黄棕色土覆盖。文中磁化率测定采用英国产的Bartington MS-2型磁化率仪,采用数据为体积磁化率值。红土其它性状指标的分析根据文献^[3]。

2 结果与讨论

2.1 第四纪红色粘土磁化率特征

2.1.1 表层磁化率值明显偏大

除了X(I)剖面表层磁化率值(63×10^5 SI)低于亚表层(72×10^5 SI),情况有些特殊外,其余各个研究剖面表土层磁化率均远远高于亚表层和其它各层(表2)。据俞劲炎等^[4]研究,红色风化壳磁化率与全铁量成正相关。但在此恰恰相反,表土层的全铁、游离铁以及以铁的游离度作为指标的风化程度均低于其它各层。尤其是J(I)剖面,上部是下蜀黄土层,它的风化程度及铁指标显然不能与下伏的红土相比,但其表层的磁化率依然远远高于其它各层。在黄土高原地区,有关表层磁化率值增大也有报道:兰州九洲台黄土剖面上 S_0 磁化率的最高峰要高于 S_1 磁化率值两倍;在对塬堡剖面磁化率值的测定中,发现黄土和古土壤的磁化率值有随着埋

藏深度的增加而减小的趋势^[3]。同样说明还有其它复杂的因素影响着土壤磁化率,尤其是表

表 1 研究剖面形态特征描述

| 剖面编号 及地点 | 层序 | 深度(cm) | 颜色 | 形态特征和网纹化程度 |
|-------------------|---------|------------|------------------|------------------------|
| T(I) 江西 泰和 | 1 | 0~20 | 10YR6/8 亮黄棕 | 有大量植株根须, 无网纹 |
| | 2 | 20~60 | 7.5 YR7/8 黄橙 | 有植株根须, 无网纹 |
| | 3 | 60~120 | 7.5YR7/8 黄橙 | 白色蠕虫状条纹, 网纹化程度中等 |
| | 4 | 120~300 | 7.5YR8/6 浅黄橙 | 白色蠕虫状、树枝状条纹, 网纹化程度很强 |
| | 5 | 300~500 | 5YR5/8 亮红棕 | 白色蠕虫状、树枝状条纹, 网纹化程度很强 |
| | 6 | 500~800 | 5YR5/8 亮红棕 | 白色蠕虫状、树枝状条纹, 网纹化程度很强 |
| | 7 | 800~1000 | 10RP4/6 浊紫红 | 淡黄色细小条纹, 网纹化程度中等 |
| | 8 | 1000~1200 | 10RP4/6 浊紫红 | 淡黄色细小条纹, 网纹化程度较中等 |
| | 9 | 1200~ | | 砾石层 |
| T(II) 江西 泰和 | 1 | 0~20 | 5YR6/8 橙 | 红色均质层, 有少量植物根须 |
| | 2 | 20~60 | 5 YR6/8 橙 | 细小白色斑纹, 网纹化较弱 |
| | 3 | 60~100 | 5YR6/8 橙 | 白色蠕虫状、树枝状条纹, 网纹化程度中等 |
| | 4 | 100~200 | 2.5YR5/8 亮红棕 | 白色蠕虫状、树枝状条纹, 网纹化程度中等 |
| | 5 | 200~300 | 2.5YR5/8 亮红棕 | 白色蠕虫状、树枝状条纹, 网纹化程度很强 |
| | 6 | 300~600 | 10R5/8 红色 | 白色蠕虫状、树枝状条纹, 网纹化程度很强 |
| J(I) 江西 九江 | 1 | 0~40 | 10YR6/8 亮黄棕 | 黄棕色下蜀黄土层, 无网纹 |
| | 2 | 40~220 | 10 YR6/8 亮黄棕 | 黄棕色下蜀黄土层, 无网纹 |
| | 3 | 220~310 | 10YR7/6 亮黄棕 | 黄棕色下蜀黄土, 有大量黑色锰斑, 无网纹 |
| | 4 | 310~500 | 2.5YR4/8 红棕 | 土黄色条纹, 大量黑色锰斑, 网纹化程度中等 |
| | 5 | 500~620 | 2.5YR4/8 红棕 | 白色蠕虫状、树枝状条纹, 网纹化程度中等 |
| | 6 | 620~780 | 2.5YR4/8 红棕 | 白色蠕虫状、树枝状条纹, 网纹化程度较强 |
| | 7 | 780~1200 | 10R5/6 红色 | 白色蠕虫状、树枝状条纹, 网纹化程度较强 |
| | 8 | 1200~2200 | 7.5R4/8 红色 | 白色蠕虫状、树枝状条纹, 网纹化程度很强 |
| | 9 | 2200~ | | 砂层 |
| X(I) 安徽 宣州 | 1 | 0~50 | 10YR4/8 黄棕 | 少量植物根须 |
| | 2 | 50~80 | 5 YR4/8 红棕 | 红色均质层, 无网纹 |
| | 3 | 80~100 | 10R4/8 红 | 有铁锰结核, 少量灰白斑纹, 网纹化程度较弱 |
| | 4 | 100~130 | 10R5/8 红 | 有铁锰结核和灰白斑纹, 网纹化程度中等 |
| | 5 | 130~160 | 10R5/6 红 | 有铁锰结核和灰白斑纹, 网纹化程度中等 |
| | 6 | 160~200 | 10R5/6 红 | 有铁锰结核和灰白斑纹, 网纹化程度较强 |
| | 200~260 | 2.5YR7/6 橙 | 白色蠕虫状条纹, 网纹化程度很强 | |

土层磁化率值的大小。黄镇国等^[9]认为, 在热带亚热带气候条件下, 短时期的还原条件和长时期的氧化条件交替, 促使弱磁性矿物转变成为强磁性矿物, 而使红色风化壳表土层磁化率值增大。尧德中等^[7]应用穆斯堡尔谱研究了一个有明显表土磁性增强现象的剖面, 结果表明 A 层含有 $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ 和 Fe_2O_4 , B 层含有 Fe_3O_4 , 而 C 层中这两种强磁性矿物均未出现。他把 A、B

层中强磁性矿物的形成归因于生物成矿作用,认为细菌、软体动物、节肢动物和脊索动物在体内合成 Fe_3O_4 等强磁性矿物是表土层磁化率增大的原因。此外,表土层磁化率的增大还可能与环境污染——随着工业的发展,大气中的磁性悬浮物日益增多,可向土壤提供强磁性矿物,及农业生产中磁性材料的施用等因素有关^[8]。

2.1.2 网纹层内磁化率值显著降低

表2 第四纪红色粘土各层内磁化率及不同形态铁的含量

| 剖面编号 | 层序 | 深度 (cm) | 磁化率 ($\times 10^5\text{SI}$) | 全量铁 (mg/g) | 游离铁 (mg/g) | 活性铁 (mg/g) | 铁游离度 (%) | 铁活化度 (%) |
|-------|----|------------|-----------------------------------|---------------|---------------|---------------|-------------|-------------|
| T(I) | 1 | 0~20 | 48 | 57.9 | 34.1 | 1.75 | 58.9 | 5.1 |
| | 2 | 20~60 | 34 | 56.2 | 34.1 | 1.69 | 60.7 | 5.0 |
| | 3 | 60~120 | 17 | 57.8 | 36.6 | 0.57 | 63.3 | 1.6 |
| | 4 | 120~300 | 11 | 62.3 | 41.8 | 1.02 | 67.1 | 2.4 |
| | 5 | 300~500 | 12 | 65.1 | 43.2 | 1.03 | 66.4 | 2.4 |
| | 6 | 500~800 | 13 | 67.3 | 50.9 | 1.19 | 75.6 | 2.3 |
| | 7 | 800~1000 | 14 | 88.3 | 77.9 | 0.85 | 88.2 | 1.1 |
| | 8 | 1000~1200 | 15 | 90.1 | 79.1 | 0.64 | 87.8 | 0.8 |
| T(II) | 1 | 0~20 | 75 | 58.2 | 45.2 | 1.46 | 77.7 | 3.2 |
| | 2 | 20~60 | 38 | 57.3 | 45.6 | 1.02 | 79.6 | 2.2 |
| | 3 | 60~100 | 25 | 61.3 | 50.3 | 1.31 | 82.1 | 2.6 |
| | 4 | 100~200 | 22 | 60.1 | 49.5 | 1.39 | 82.4 | 2.8 |
| | 5 | 200~300 | 17 | 68.2 | 53.4 | 1.37 | 78.3 | 2.6 |
| | 6 | 300~600 | 16 | 70.1 | 54.5 | 1.05 | 77.7 | 1.9 |
| J(I) | 1 | 0~40 | 148 | 62.2 | 27.1 | 4.06 | 43.6 | 15.0 |
| | 2 | 40~220 | 74 | 60.0 | 27.1 | 4.61 | 45.2 | 17.0 |
| | 3 | 220~310 | 37 | 57.7 | 26.5 | 4.08 | 45.9 | 15.4 |
| | 4 | 310~500 | 30 | 68.5 | 37.3 | 3.58 | 54.5 | 9.6 |
| | 5 | 500~620 | 29 | 69.3 | 42.2 | 2.47 | 60.9 | 5.9 |
| | 6 | 620~780 | 26 | 73.3 | 45.5 | 1.91 | 62.1 | 4.2 |
| | 7 | 780~1000 | 20 | 72.4 | 48.2 | 1.63 | 66.6 | 3.4 |
| | 8 | 1200~2200 | 17 | 78.1 | 48.0 | 1.52 | 61.5 | 3.2 |
| | 9 | 2200~ | 3 | 18.1 | 9.0 | 0.25 | 49.7 | 2.8 |
| X(I) | 1 | 0~50 | 63 | 52.1 | 25.4 | 3.44 | 48.8 | 13.5 |
| | 2 | 50~80 | 72 | 60.0 | 36.3 | 3.08 | 60.5 | 8.5 |
| | 3 | 80~100 | 64 | 70.4 | 41.1 | 3.1 | 58.4 | 7.5 |
| | 4 | 100~130 | 33 | 122.0 | 67.8 | 2.47 | 55.6 | 3.6 |
| | 5 | 130~160 | 26 | 102.1 | 56.3 | 2.07 | 55.1 | 3.7 |
| | 6 | 160~200 | 16 | 85.1 | 47.6 | 2.36 | 55.9 | 5.0 |
| | 7 | 200~260 | 13 | 92.7 | 52.8 | 1.64 | 57.0 | 3.1 |

研究剖面中,网纹层内的磁化率值远远低于无网纹发育的红土或黄棕色土层:T(I)网纹层磁化率值平均为 $13 \times 10^{-5}\text{SI}$,无网纹发育的磁化率值平均为 $41 \times 10^{-5}\text{SI}$;T(II)分别为 $20 \times$

10^{-5}SI 和 $57 \times 10^{-5}\text{SI}$; J(I) 分别为 $24 \times 10^{-5}\text{SI}$ 和 $86 \times 10^{-5}\text{SI}$; X(I) 分别为 $30 \times 10^{-5}\text{SI}$ 和 $68 \times 10^{-5}\text{SI}$ 。而且网纹化程度越强, 磁化率越小, 如: T(I) 的第 4~6 层, 磁化率仅为 $11 \sim 13 (\times 10^{-5}\text{SI})$; J(I) 的第 8 层, 磁化率只有 $17 \times 10^{-5}\text{SI}$; X(I) 的第 7 层, 磁化率为 $13 \times 10^{-5}\text{SI}$ 。网纹层磁化率值降低显然与该层在地质时期剧烈的还原离铁作用有关。对 T(I) 网纹层中红色部分和白色部分磁化率进行单独测定, 结果得到红色部分为 $12 \times 10^{-5}\text{SI}$, 白色部分仅为 $5 \times 10^{-5}\text{SI}$ 。这说明网纹化离铁作用的确造成了磁化率减小。但红白条纹分开后, 为什么红色部分磁化率值仍然很小, 不能与无网纹发育的红土层比较? 而且网纹层内虽然有铁的淋失, 但由于该层风化程度深, 全铁和游离铁的含量依然很高, 远远高于表层和亚表层(表 2)。若磁化率值只与全铁或游离铁有关, 那么网纹层内磁化率大幅度减小也是不好理解的。显然网纹层磁化率减少还有更本质的原因。吕厚远等^[9]曾提出在高温多雨的条件下, 强磁性矿物可向弱磁性的赤铁矿等转化, 而在水分饱和的层段内磁性矿物可被还原和分解。笔者也认为网纹层内磁性的降低可能是由于大部分强磁性矿物的分解和转换。

2.2 红土层内的磁化率指标难以指示古气候

由于网纹化及其它因素的影响, 第四纪红色粘土各层磁化率值与全铁、游离态铁和红土的风化程度没有严格的相关性, 因此很难用它来指示红土形成时的古气候。对杨浩等^[10]得出的宣城红土剖面磁化率与西峰剖面磁化率曲线和深海氧同位素曲线有很好的可比性, 笔者觉得有值得商榷之处: 首先, 所研究的剖面是否真的存在七个沉积——成土的旋回? 笔者也考察过该剖面, 发现通体都是高度风化的网纹层, 很难指出何为“母质层”, 何为“古土壤”。南方第四纪间冰期水热作用很剧烈, 红土沉积层内是否依然符合黄土高原中的黄土——古土壤的模式还有待于研究; 其次, 如果真的存在沉积——成土的模式, 根据本文的研究, “古土壤”和底下“黄棕色母质层”磁化率也很大程度上受控于网纹化作用, 前者不一定比后者大。

参 考 文 献

- 1 刘东生等. 黄土与环境. 科学出版社, 1985, 430~433
- 2 安芷生等. 最近 2 万年中国古环境变迁的初步研究. 见: 刘东生主编. 黄土. 第四纪地质. 全球变化(二). 科学出版社, 1990, 1~26
- 3 中国科学院南京土壤所. 土壤理化分析. 上海科学技术出版社, 1978
- 4 俞劲炎等. 亚热带和热带土壤的磁化率. 土壤学报. 1986, 23(1): 50~55
- 5 曹继秀等. 塬堡黄土剖面 15 万年以来磁化率气候记录及黄土磁化率时空特征. 兰州大学学报(自然科学版), 1997, 33(1): 124~132
- 6 黄镇国等. 中国南方红色风化壳. 海洋出版社, 1996, 122~126
- 7 尧德中等. 表土磁性增强现象的穆斯堡尔谱研究. 土壤通报, 1990, 23(3): 135~136
- 8 俞劲炎, 卢升高. 土壤磁学. 江西科学技术出版社, 1991, 44~52
- 9 吕厚远等. 中国现代土壤磁化率分析及其古气候意义. 中国科学, B 辑, 1994, (12): 1290~1297
- 10 杨浩等. 红土系列剖面的磁化率特征于古气候冷暖变换. 土壤学报, 1995, 32(增刊): 195~199