

安徽凤阳石英岩发育土壤的磁学性质及环境磁学意义^①

李 勇

(安徽科技学院理学院, 安徽凤阳 233100)

摘 要:通过对安徽凤阳石英岩发育土壤典型剖面的磁学参数测量, 结果表明, A 层和 B 层中的磁性矿物含量明显高于 C 层, 且 A 层和 B 层中磁性矿物的粒度明显比 C 层细。C 层的磁学性质由磁铁矿主导, A 层和 B 层的磁学性质由磁赤铁矿主导。磁赤铁矿是石英岩在成土过程中形成的次生矿物。土壤中磁赤铁矿的出现及含量的变化指示成土作用的强弱。石英岩的磁性对土壤的磁性影响甚小, 而成土作用和生物作用对土壤磁性增强起到了主要作用。

关键词:石英岩; 土壤; 磁赤铁矿; 成土作用; 生物作用

中图分类号: P318

环境磁学是一门介于地学、磁学和环境科学之间的新兴交叉学科^[1], 环境磁学方法因样品用量少、灵敏度高、简单快捷、无破坏性等特点, 逐步受到人们的关注。从 20 世纪 80 年代开始, 环境磁学方法被用于研究土壤磁学性质, 并且着重于土壤磁学发生机理和影响因素的研究^[3-4]。如, 表土磁性增强的机理^[4-5], 古土壤磁性增强的机理^[6-7], 玄武岩和碳酸盐岩发育土壤的磁学发生机理等^[8-10]。土壤磁性主要由原生矿物风化、成土、侵蚀、搬运等形成^[11], 生物作用对土壤的磁性也起到重要作用^[12], 主要是微生物活动及环境化学因子的变化, 如有机质、酸碱度、氧化-还原电位等, 使得磁性和非磁性物质发生沉淀-溶解、水解、络合、吸附、氧化-还原等作用, 从而影响土壤的磁性。

我国学者已对南方玄武岩、贵州碳酸盐岩等岩石发育土壤的磁学性质及发生机理进行过深入研究^[8-10]。对发育于石英岩之上的表土, 作者前期进行了初步研究^[13], 将安徽省凤阳县石英岩与发育于石英岩之上的表土的磁学性质进行了对比, 并分析了两者磁学性质的差异及环境意义。本文通过研究发育于石英岩之上的土壤剖面的磁学性质, 进一步揭示磁学参数随土壤剖面深度变化的环境磁学意义。

1 样品采集与实验方法

本文在安徽省凤阳县灵山上方圆 1 000 m² 范围内挖了 5 条发育于石英岩之上的土壤剖面(L1 ~

L5)(图 1), 土壤剖面从地表一直延伸到地下砾石层, 深度为 70 ~ 110 cm 不等, 所有剖面的地层充填序列基本一致, 按土壤颜色和颗粒大小所有剖面大致都分 3 层, 以 L4 剖面为例从上至下依次是: A 层(0 ~ 22 cm), 该层呈灰色, 颗粒细, 土壤中含有大量植被的根; B 层(22 ~ 55 cm), 该层呈浅黄色, 颗粒较粗并夹杂有大量砂石, 土壤中含有少量植被的根; C 层(55 ~ 93 cm), 该层呈黄色, 颗粒粗并夹杂有大量砾石, 土壤中无植被的根。5 条剖面的岩性变化一致, 本文选择了其中具有代表性的 L4 剖面进行采样, 以 3 cm 为间距, 共采集样品 31 个。样品采回后, 置于室内自然风干, 然后过 80 目筛, 再将过筛的样品装入 8 cm³ 方形无磁性塑料样品盒中, 进行磁学参数测量。具体测量步骤如下:

(1) 用 KLY-4S 卡帕桥磁化率仪测量低场体积磁化率。

(2) 用 D-2000 交变退磁仪测量非磁滞剩磁(交变场峰值为 100 mT, 稳定直流磁场为 0.05 mT)。

(3) 用 IM10-30 脉冲磁化仪在 300 mT 的脉冲磁场中获得等温剩磁(IRM_{300mT}), 在 1 T 的脉冲磁场中获得饱和等温剩磁(SIRM), 通过公式 $S_{300} = \text{IRM}_{300\text{mT}}/\text{SIRM}$ 计算 S_{300} 比率, 选取典型样品测量等温剩磁获得曲线和反向退磁曲线。

(4) 用 KLY-4S 卡帕桥磁化率仪和 CS-3 温度控制系统在氩气环境下测量典型样品的磁化率随温度变化曲线(κ -T 曲线)。

基金项目: 安徽省优秀青年人才基金项目(2010SQRL097)、安徽省自然科学基金一般项目(KJ2010B293)和安徽科技学院重点建设课程项目(AKXK20102-2)资助。

作者简介: 李勇(1975—), 男, 湖南祁东人, 硕士, 副教授, 主要从事磁学和环境磁学研究。E-mail: liyong197510@163.com

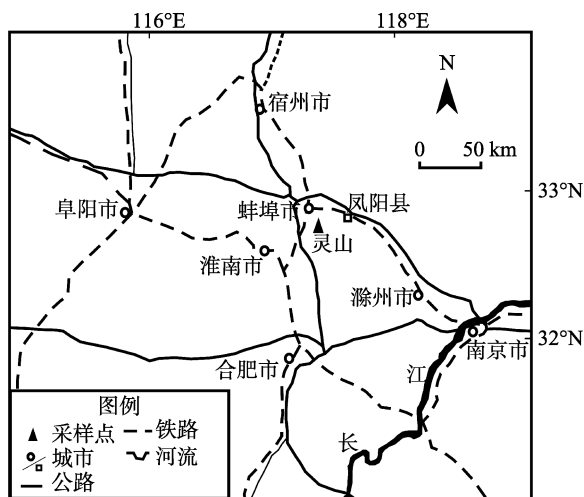


图1 采样位置

Fig. 1 Sampling locations

所有剩磁测量均在 JR-6A 旋转磁力仪上完成。经质量校正后得到质量磁化率(χ)、饱和等温剩磁(SIRM)、非磁滞剩磁磁化率(χ_{ARM})等。

2 结果与讨论

2.1 磁性参数随深度变化特征

样品的 χ 和SIRM能粗略反映样品中磁性矿物含量,但也受到磁性矿物类型和颗粒大小的影响^[1, 14]。与 χ 不同,SIRM不受顺磁性和抗磁性矿物的影响,主要由亚铁磁性矿物与不完整反铁磁性矿物贡献。

χ_{ARM} 对样品中亚铁磁性矿物数量和颗粒大小都极为敏感,尤其是对细晶粒的稳定单畴($0.02 \sim 0.04 \mu\text{m}$)颗粒最为敏感^[15-16],但会受到携磁矿物含量的影响。 S_{300} 比率及剩磁矫顽力(B_{cr})主要反映不完整反铁磁性矿物与亚铁磁性矿物的相对比例。 S_{300} 比率随不完整反铁磁性矿物含量增加而下降。相对亚铁磁性矿物,不完整反铁磁性矿物具有较高的 B_{cr} 值。

发育于石英岩之上的典型土壤剖面 L4 上的样品测试结果表明,该区域的磁学参数随采样深度具有规律性的变化(图2)。A层和B层的 χ 、SIRM和 χ_{ARM} 都明显高于C层(图2),说明A层和B层中的磁性矿物含量高于C层,A层和B层中的磁性矿物粒度较C层细。C层的 χ 和 χ_{ARM} 相差不大,说明C层中磁性矿物含量和磁性矿物颗粒大小没有明显的差别。A层的 χ 、SIRM和 χ_{ARM} 的平均值($128.8 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$ 、 $74.0 \times 10^{-4} \text{ Am}^2/\text{kg}$ 和 $1052.7 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$),比B层的 χ 、SIRM和 χ_{ARM} 的平均值($97.1 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$ 、 $69.6 \times 10^{-4} \text{ Am}^2/\text{kg}$ 和 $995.8 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$)高,说明在整条土壤剖面上A层中磁性矿物含量最高,磁性颗粒最细。整条剖面的 S_{300} 比率都大于92%(图2d),并且A层中6 cm处的样品、B层中42 cm处的样品和C层中90 cm处的样品,在300 mT脉冲磁场下分别获得其饱和等温剩磁的94.6%、94.8%和93.5%(图3),且剩磁矫顽力分别为27.2 mT、38.1 mT和32.0 mT(图3b),说明样品中都以软磁性的亚铁磁性矿物为主。

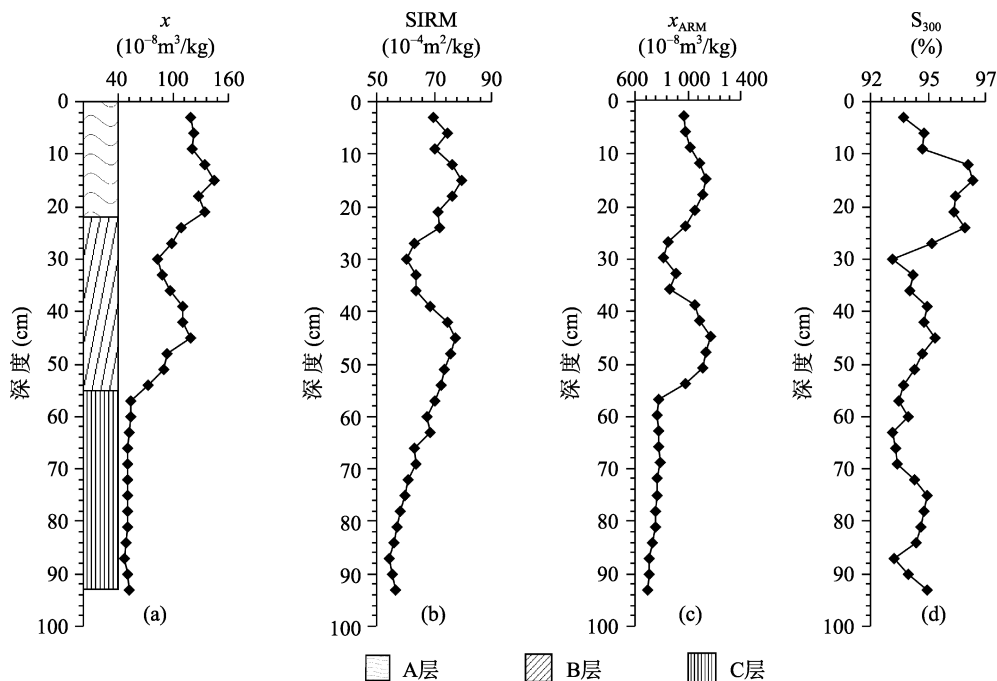


图2 土壤剖面的磁学参数随采样深度的变化

Fig. 2 Magnetic parameters of soil section varied with sampling depth

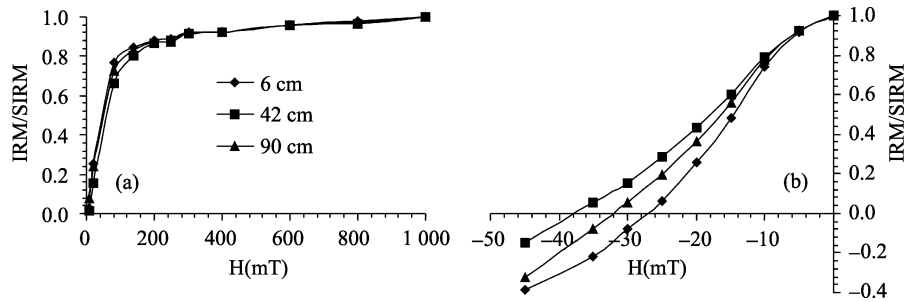


图 3 代表样品的等温剩磁获得曲线(a)和反向场退磁曲线(b)

Fig. 3 IRM acquisition curves and DC demagnetization curves for representative samples

2.2 磁化率随温度变化特征

样品的 κ -T 曲线不仅可以用于识别样品中赋存的磁性矿物类型,还可以有效地反映磁性矿物在加热过程中的转变规律^[17-18]。图 4a 是 A 层 15 cm 处样品的 κ -T 曲线。在 200℃ 以下,随着温度的升高样品的磁化率略有增加,当温度升至 250℃ 附近时,加热曲线出现一个明显的峰值,这种现象在石英岩发育的表土和黄土中都存在^[13, 19],从氧化铁矿物的磁学性质来推断,这可能是加热过程中铁的氢氧化物(如纤铁矿)脱水生成磁赤铁矿($\gamma\text{FeOOH} \rightarrow \gamma\text{Fe}_2\text{O}_3$)形成的^[19-21]。当温度从 250℃ 升至 450℃ 时,磁化率随温度的升高逐渐降低,这可能是亚稳定、强磁性的磁赤铁矿受热转化成热稳定的、弱磁性的赤铁矿($\gamma\text{Fe}_2\text{O}_3 \rightarrow \alpha\text{Fe}_2\text{O}_3$)

造成的^[22-23]。当温度升至 500℃ 左右时,又出现一个峰值,这可能是样品在加热过程中生成新的强磁性矿物而形成的,如含铁硅酸盐矿物或黏土矿物在高温下分解形成磁铁矿^[20, 22]。当温度升至 590℃ 附近时,样品的磁化率急剧下降到几乎接近于零。样品冷却曲线高于加热曲线,且在 590℃ 以下磁化率随温度的降低而快速升高,说明样品在加热过程中新生成了磁铁矿,新生成的磁铁矿可能来自样品中黏土矿物的高温(590℃ ~ 700℃)转化^[21-22]。由以上分析并结合灵山的湿气候条件及成土环境,得出 A 层样品中含有一定量的磁赤铁矿、铁的氢氧化物(如纤铁矿),另外,可能含有磁铁矿、含铁硅酸盐矿物或黏土矿物等,其中磁赤铁矿是样品磁化率的主要贡献者。

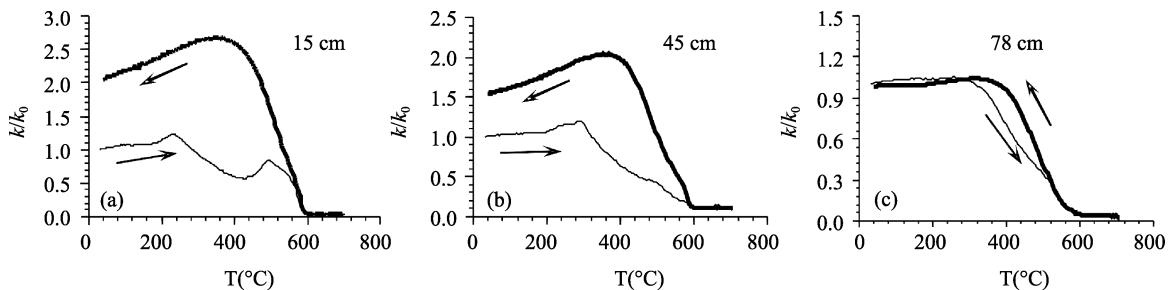
图 4 代表样品的 κ -T 曲线Fig. 4 κ -T curves for representative samples

图 4b 是 B 层 45 cm 处样品的 κ -T 曲线,在 200℃ 以下,随着温度的升高样品的磁化率变化不大,当温度从 200℃ 升至 300℃ 时,加热曲线出现一个小峰值,但此峰值没有 A 层 15 cm 处样品的峰值高。当温度从 300℃ 升至 590℃ 时,磁化率随温度的升高逐渐降低到接近于零,这可能是样品中磁赤铁矿受热转化成赤铁矿造成的^[22]。在温度升高至 500℃ 左右时又出现一个峰值,但远不如 A 层 15 cm 处样品在该温度附近的峰值明显。样品冷却曲线形状与 A 层 15 cm 处样品的冷却曲线形状基本一致。由以上分析可以得

出 B 层样品中含有一定量的磁赤铁矿和铁的氢氧化物(如纤铁矿),另外,样品中可能含有磁铁矿,其中磁赤铁矿是样品磁化率的主要贡献者。

图 4c 是 C 层 78 cm 处样品的 κ -T 曲线,图中显示样品在加热到 300℃ 时,磁化率基本没有什么变化,当温度从 300℃ 升至 590℃ 时,样品的磁化率一直降低到接近于零,表现出磁铁矿的居里温度。样品冷却曲线与加热曲线基本一致,在 590℃ 附近磁化率随温度的降低急剧升高,当温度降至 400℃ 时,样品的磁化率达最大值,且与室温时的磁化率接近。说明

样品的磁化率由磁铁矿控制。

2.3 环境磁学意义

从 L4 整条剖面的 S_{300} 比率(图 2d)和剩磁矫顽力值(图 3)分析, C 层、B 层和 A 层的磁学性质都由低矫顽力的亚铁磁性矿物所主导。典型样品的 κ -T 曲线显示, 低矫顽力的磁铁矿主导 C 层的磁学性质(图 4c), 磁赤铁矿主导 B 层和 A 层的磁学性质(图 4a, 4b)。B 层和 A 层的 χ 、SIRM 和 χ_{ARM} 明显高于 C 层(图 2), 说明 B 层和 A 层中磁赤铁矿含量较 C 层高, 且磁性矿物颗粒较 C 层细。

凤阳石英岩是一种弱磁性岩石^[13], 其 χ 的平均值是 $7.4 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$, 说明石英岩中磁性矿物含量极低, 发育于石英岩之上的土壤的 χ 都远远高于石英岩, 如 L4 剖面上磁性最弱的 C 层的 χ 平均值都是石英岩的 6 倍, 这可能是在成土过程中石英岩中原生的弱磁性矿物转化成了强磁性的亚铁磁性矿物所致。

B 层和 A 层的磁学参数 χ 和 SIRM 明显高于 C 层, 这主要是土壤在发育过程中形成了新的次生亚铁磁性矿物(磁赤铁矿)所致。Mullins^[24]于 1977 年在研究表土磁性增强时就认为土壤磁性增强是由次生的磁赤铁矿引起。刘秀铭等^[6]与刘青松和邓成龙^[7]在研究黄土和古土壤时指出, 古土壤磁化率增强的主要因素之一是在成土作用下形成了超顺磁的磁赤铁矿。成土地球化学规律显示, 在湿热气候条件下, 土壤氧化铁化合物最终向磁赤铁矿和赤铁矿转化^[22]。邓成龙等^[19]在研究黄土的 κ -T 曲线时发现, 加热曲线在 $300^\circ\text{C} \sim 450^\circ\text{C}$ 之间磁化率值降低的幅度与样品中磁赤铁矿的相对含量和成土作用强度呈显著正相关。对比 A 层、B 层和 C 层中典型样品的 κ -T 曲线, 也有相似规律, 因此, B 层和 A 层中磁赤铁矿的出现及含量的变化指示成土作用的强弱。

土壤中原生的磁性矿物主要富集在粗粒级泥沙中, 次生磁性矿物则多集中在细颗粒泥沙中, 而在成土过程中次生的磁赤铁矿一般属较细的稳定单畴或超顺磁颗粒^[6-7]。B 层和 A 层中主要磁性矿物为次生的磁赤铁矿, 因此, B 层和 A 层中磁性颗粒较 C 层细。

众多学者都认为成土作用是土壤磁性增强的主要原因^[25-27], 但也有学者提出生物作用对土壤磁性的增强也起到了一定的作用^[4, 12, 24]。在整条土壤剖面中 A 层的 χ 、SIRM 和 χ_{ARM} 平均值最高, 成土作用对 A 层的磁性增强起到了重要作用。但 A 层中含有大量植被的根, 在整条剖面中该层受植物的影响最大, 且该层 15 cm 处的 χ 、SIRM 和 χ_{ARM} 都为整条剖面的最

高值, 说明生物作用尤其是地表生长的植物对 A 层土壤的磁性也起到了重要的作用。

3 结论

通过对比石英岩和发育于石英岩之上的土壤的磁学参数, 得出在成土作用和生物作用下, 发育于石英岩之上的土壤的磁性明显增强, 这主要是由次生的磁赤铁矿引起的, 而石英岩的磁性对土壤的磁性影响甚小。土壤中磁赤铁矿的出现及含量的变化指示了成土作用和生物作用的强弱。

参考文献:

- [1] Thompson R, Oldfield F. Environmental Magnetism[M]. London: Allen and Unwin, 1986
- [2] 卢升高, 俞劲炎. 土壤磁学及其应用研究进展[J]. 土壤学进展, 1991, 19(5): 1-8
- [3] 俞劲炎, 詹硕仁, 吴芳生, 朱祖祥. 热带亚热带土壤的磁化率[J]. 土壤学报, 1986, 23(1): 50-56
- [4] Leborgne E. Anomalous magnetic susceptibility of topsoil (in French) [J]. Annals. Geophys., 1955, 11: 399-419
- [5] Leborgne E. Influence of fire on the magnetic properties of the soil and those of schist and granite (in French) [J]. Annals. Geophys., 1960, 16: 159-195
- [6] 刘秀铭, 刘东生, Heller F, 许同春. 黄土频率磁化率与古气候冷暖变换[J]. 第四纪研究, 1990, 1(1): 42-50
- [7] 刘青松, 邓成龙. 磁化率及其环境意义[J]. 地球物理学报, 2009, 52(2): 1 041-1 048
- [8] 卢升高, 张子玉, 俞劲炎, 张卫国, 俞立中. 玄武岩发育土壤的磁化率及其机理解析[J]. 土壤学报, 1999, 36(4): 544-550
- [9] 卢升高, 俞劲炎. 杭州附近几种红壤中磁性矿物的分离与鉴定[J]. 土壤通报, 2000, 31(5): 196-198
- [10] 朱立军, 傅平秋, 万国江. 贵州碳酸盐岩发育土壤磁学性质及其发生机理[J]. 土壤学报, 1997, 34(2): 212-219
- [11] 杨萍果, 毛任钊, 翟正丽. 土壤磁性的应用研究进展[J]. 土壤, 2008, 40(2): 153-158
- [12] 吕厚远, 刘东生. C_3 、 C_4 植物及燃烧对土壤磁化率的影响[J]. 中国科学 (D 辑), 2001, 31(1): 43-53
- [13] 李勇, 李海燕, 白凌燕, 秦炎福, 官邦贵, 吕跃凤. 发育于石英岩之上的表土磁学性质及其环境磁学意义[J]. 土壤, 2009, 41(1): 60-66
- [14] Maher BA. Characterization of soils by mineral magnetic measurements[J]. Phy. Earth Planet. Inter., 1986, 42: 76-92
- [15] Yamazaki T, Ioka N. Gautionary note on magnetic grain-size estimation using the ratio of ARM to magnetic susceptibility[J]. Geophys. Res. Lett., 1997, 24: 751-754

- [16] Maher BA. Magnetic properties of some sub-micro magnetite[J]. *Geophys. J.*, 1998, 94: 83–96
- [17] Dunlop DJ, Ozdemir O. *Rock Magnetism: Fundamentals and Frontiers*[M]. Cambridge (UK): Cambridge Univ. Press, 1997
- [18] Li HY, Zhang SH. Detection of mineralogical changes in pyrite using measurements of temperature-dependence susceptibilities[J]. *Chinese J. Geophys.*, 2005, 48(6): 1454–1461
- [19] 邓成龙, 朱日祥, 袁宝印. 黄土高原全新世风成沉积的岩石磁学性质及其古气候意义[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 2002, 22(4): 37–44
- [20] 王喜生, Lovlie R, 苏朴. 许家窑泥河湾沉积物的岩石磁学性质[J]. *中国科学 (D 辑)*, 2002, 32(4): 271–278
- [21] Oches EA, Banerjee SK. Rock-magnetic proxies of climate change from loess-paleosol sediments of the Czech Republic[J]. *Studina Geoph. et Geod.*, 1996, 40: 287–300
- [22] Florindo F, Zhu RX, Guo B, Yue L, Pan Y, Speranza F. Magnetic proxy climate results from the Duanjiapo loess section, southernmost extremity of the Chinese loess plateau[J]. *J. Geophys. Res.*, 1999, 104: 645–659
- [23] 刘秀铭, John S, 蒋建中, Jan B, Paul H, Tim R, 毛学刚. 磁赤铁矿的几种类型与特点分析[J]. *中国科学: 地球科学*, 2010, 40(5): 592–602
- [24] Mullins CE. Magnetic susceptibility of the soil and its significance in soil science—A review[J]. *J. Soil Sci.*, 1977, 28: 223–246
- [25] Zhou LP, Oldfield F, Wintle AG, Robinson SG, Wang JT. Partly pedogenic origin of magnetic variations in Chinese loess[J]. *Nature*, 1990, 346: 737–739
- [26] Han JM. Palaeo climatic impact on the magnetic and stable isotopic characteristics of the Chinese loess (PhD Thesis) [D]. Brussel: Vrije Universiteit Brussel, 1991: 190–191
- [27] Maher BA. Magnetic properties of modern soil and quaternary loessic paleosols: Palaeoclimatic[J]. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 1998, 137: 25–54

Magnetic Property and Environmental Magnetism Significance of Soil Derived from Quartz in Fengyang County, Anhui Province

LI Yong

(College of Sciences, Anhui Science and Technology University, Fengyang, Anhui 233100, China)

Abstract: Mineral magnetic parameters were measured on typical soil section derived from quartz in Fengyang County, Anhui Province. Results showed that the contents of magnetic minerals in A layer and B layer were obviously higher than C layer, and the particle sizes of magnetic minerals in A layer and B layer were obviously smaller than C layer. Magnetite dominated magnetic properties of C layer but maghemite dominated A layer and B layer. Maghemite was secondary mineral formed in the process of pedogenesis. The appearance of maghemite in soil and the change of its content can reflect process of pedogenesis. The magnetic enhancement of soil showed that quartzite magnetism had little influences to the magnetism of soil, but pedogenesis and biological action influenced it obviously.

Key words: Quartzite, Soil, Maghemite, Pedogenesis, Biological action