

# 磁化率测量过程中样品重量对磁化率的影响

曾方明 赖忠平 刘向军

(中国科学院青海盐湖研究所, 青海 西宁 810008)

**摘要:**磁化率是新生代乃至前新生代地层古环境研究的常规代用指标,被广泛用于风尘堆积、湖泊沉积物以及海洋沉积物中。沉积物磁化率值的准确测量对于古环境重建十分重要。在磁化率测量过程中单个样品质量对于磁化率测量值的影响,目前尚无报道。选取甘肃临洮晚第四纪黄土—古土壤样品,通过测量同一样品不同质量的磁化率,查看样品质量对磁化率值的影响。结果表明,1) 样品质量对于磁化率值具有显著影响。样品质量小于 6 g 时,LT297 和 LT365 样品的低频磁化率值( $\chi_{lf}$ )随着样品质量增加而变大,质量达到 6 g 之后 $\chi_{lf}$ 基本保持不变。2) 样品的频率磁化率( $\chi_{fd}\%$ )与质量之间关系复杂,没有一定的规律,样品质量小于 6 g 时与大于等于 6 g 时相比, $\chi_{fd}\%$ 变化幅度加大。3) 建议测量磁化率的样品净重以不少于 6 g 为宜。

**关键词:**磁化率;质量;古环境

中图分类号:P534.63;P532

文献标识码:A

文章编号:1008-858X(2014)03-0021-05

## 1 引言

磁化率( $\chi$ )是衡量物质被磁化强弱的量,是磁化强度( $M$ )对外加场( $H$ )的一阶导数( $\chi = dM/dH$ );磁化率主要有体积磁化率( $\kappa$ )和质量磁化率( $\chi$ ),二者之间的关系为 $\chi = \kappa/\rho$ , $\rho$ 为密度<sup>[1]</sup>。磁化率主要与磁性矿物的种类和含量有关。沉积环境中磁性矿物受气候和环境过程控制,因此沉积物的磁化率特征记录了古环境变化信息<sup>[2]</sup>。由于磁化率测试对样品没有任何破坏,而且不需进行前处理,经济快速,所以磁化率在地层古环境研究中是最常见的代用指标之一。

一般地,由于成壤作用生成的磁性矿物导致中国黄土—古土壤序列中古土壤层的磁化率比黄土层的要高<sup>[3-4]</sup>。中国第四纪黄土磁化率指标能够与深海氧同位素对比<sup>[5-6]</sup>,并记录了

东亚夏季风演变<sup>[7-8]</sup>,从而将中国黄土直接纳入到全球古环境演变体系中。青海湖黑马河黄土地层的磁化率记录了 12.7 ka 以来的气候变化<sup>[9]</sup>。临洮晚第四纪黄土的磁化率<sup>[10]</sup>与正烷基-2-酮比值  $C_{27}/C_{31} - ket$ <sup>[11]</sup>具有一致的变化特征。表土磁化率和大气降水<sup>[12-15]</sup>以及大气温度<sup>[12,16]</sup>关系密切。在泥河湾古人类遗址的定年中,磁化率地层是开展地层对比的良好工具<sup>[17]</sup>。在将陆地风尘堆积记录向前推至早中新世~22 Ma 的研究中,磁化率是野外地层工作的重要工具<sup>[18-22]</sup>。云南滇池钻孔沉积物的磁化率可以指示 700 年来滇池湖面的水位变化<sup>[23]</sup>。磁化率在海洋沉积研究中也发挥着重要作用<sup>[24-25]</sup>。磁化率还可以帮助理解奥陶纪地层的沉积环境变化<sup>[26]</sup>。

虽然磁化率和粒度以及矿物的关系过去已有研究<sup>[27]</sup>,但是单个样品的磁化率在测量时所选取的质量对其测量值的大小有何影响,目前

收稿日期:2013-12-30;修回日期:2014-01-21

基金项目:国家自然科学基金(41402314);中国科学院盐湖资源与化学重点实验室开放基金(KLSLRC-KF-13-DX-11);青海省科技厅自然科学基金项目(2012-Z-933Q);中国科学院“西部之光”人才培养计划“西部博士资助项目”

作者简介:曾方明(1982-),男,博士,副研究员,主要研究方向为第四纪地质。Email:fmzeng@163.com。

并没有报道。这一问题关系到所测磁化率值的准确性。本文选取甘肃临洮黄土—古土壤序列的两个样品,对它们不同质量所对应的磁化率进行了测定,目的是查看样品质量对磁化率值的影响并探讨在测量磁化率时应当选取的适宜质量。

## 2 材料与方 法

临洮 II 号剖面 ( $35^{\circ}22'11.47''N, 103^{\circ}55'26.47''E$ ) 位于黄土高原西部,厚 9 m,上部 8 m 为晚第四纪黄土—古土壤序列,底部 1 m 为新近纪泥岩,未见底。为了查明样品质量对磁化率值的影响,本次选取了临洮 II 号剖面的两个样品(图 1)为主要研究对象,LT297 来自末次间冰期 S1 古土壤层,LT365 取自倒数第二次冰期 L2 黄土层。

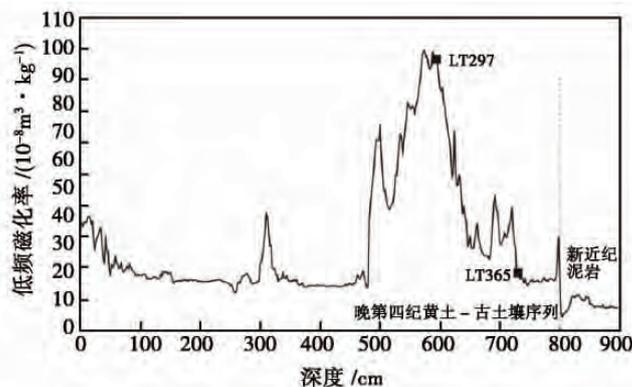


图 1 临洮 II 号剖面磁化率曲线与样品信息

Fig. 1 Magnetic susceptibility curve of the Lintao II section and the sample information

## 3 结果与讨论

### 3.1 不同质量对低频磁化率的影响

质量磁化率是地层古环境研究中最常见的一个指标,因此在实验室准确测定该指标对于探讨和恢复古环境具有重要意义。由图 2a、图 2b 可以看出,当样品质量小于 6 g 时,低频磁化率值随质量增加而增加,变化幅度非常大,LT297 样品 5.001 g 和 1.002 g 对应的磁化率的差值为 8.92 个磁化率单位 ( $10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$ ),

磁化率测试在青海师范大学青藏高原环境与资源教育部重点实验室测定。所采用的仪器为英国产 Bartington MS2B 磁化率仪和德国产 sartorius BSA223S 分析天平(可读性为 0.001 g)。磁化率测试过程,1) 将风干的样品倒入容积为 10 mL 的圆柱体塑料盒,称取样品的质量;2) 测量 1 次磁化率仪的背景值,放入样品连续测量 3 次,取出样品测量 1 次背景值,前后两次测量的背景值变化应当小于 0.3。低频为 470 Hz,高频为 4 700 Hz,单位档为 SI,测量档为 0.1 档。样品的低(高)频磁化率值 = (样品 3 次测量的平均值 - 前后两次背景值的平均值)  $\times 10$  / 样品质量,单位为  $10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$ 。频率磁化率 ( $\chi_{fd} \%$ ) = (低频磁化率  $\chi_{lf}$  - 高频磁化率  $\chi_{hf}$ ) /  $\chi_{lf} \times 100$ 。本次测得 10.004 g 自来水的磁化率在 SI 单位下对应的读数为 -1.0,表明仪器具有良好的测试精度。

LT365 样品 5.001 g 和 0.998 g 对应的磁化率的差值为 5.42 个磁化率单位。两个样品的质量大于等于 6 g 所对应的磁化率基本保持稳定,变化范围小于 1.17 个磁化率单位。

### 3.2 不同质量对频率磁化率的影响

磁化率测量过程中,频率变动只对超顺磁/稳定单畴(SP/SSD)的临界点附近的颗粒影响最大<sup>[3]</sup>。在 470 Hz 和 4 700 Hz 两个频率测得的磁化率的差值就反映了这些临界颗粒对磁化率的贡献<sup>[28]</sup>。来自黄土高原 180 块表土样品的磁化率研究表明,频率磁化率 ( $\chi_{fd} \%$ ) 较好

地反映了成壤作用形成的磁性颗粒,气候意义明确;与低频磁化率相比,频率磁化率与年均降水具有更高的线性回归相关系数( $R^2 = 0.755$ ),可较好地定量重建晚第四纪中国黄土—古土壤序列记录的古降水变化<sup>[14]</sup>。也有学者认为磁化率随地层深度变化很大,用表土

建立的磁化率与降水的经验公式套用至整个剖面并不合适,提出 $\chi_{fd}/\text{HIRM}$ (等温剩磁的硬磁组分)比值是更为有效的古降水指标<sup>[29]</sup>。因此,频率磁化率在定量重建古降水方面具有关键意义。

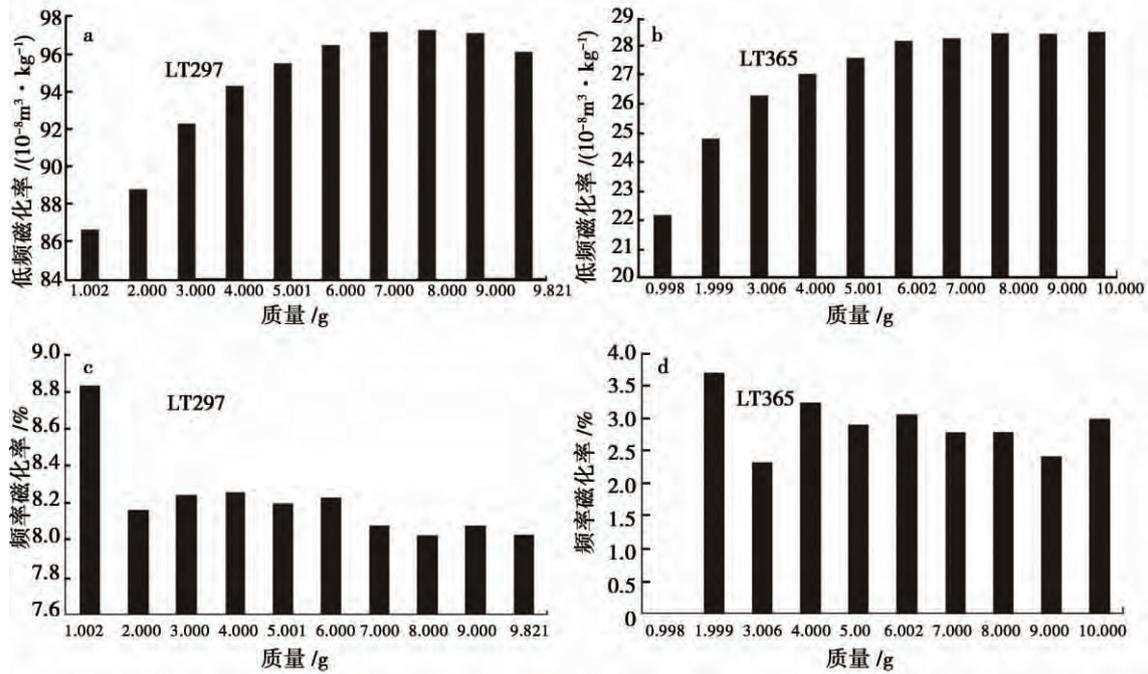


图2 样品 LT297 和 LT365 不同质量对应的磁化率

Fig.2 Magnetic susceptibilities measured with different masses of samples LT297 and LT365

在 LT297 和 LT365 样品中,频率磁化率( $\chi_{fd}\%$ )的变化与样品质量之间的关系复杂,不存在规律性变化(图 2c,图 2d)。样品质量大于等于 6 g 的变化范围(LT297 为 0.20,LT365 为 0.64)要明显小于质量小于 6 g 的变化范围(LT297 为 0.67,LT365 为 3.69)。

综上所述,在磁化率测试过程中,样品质量对于磁化率数值具有显著影响。当样品称取太少时,势必会影响磁化率测量值的准确性。为了获得高质量的磁化率数据,本文建议磁化率测量时的样品质量应大于等于 6 g。

## 4 结 论

过去在磁化率测量时就样品质量对其影响的关注一直不够。临洮黄土—古土壤样品不同

质量所对应的磁化率值表明,在磁化率测量中,样品质量对磁化率值具有显著影响。低频磁化率值的变化与样品质量存在规律性变化,而频率磁化率的变化与样品质量的关系复杂。建议测量磁化率时样品重量应不少于 6 g。

致谢:中国科学院青海盐湖研究所刘瑞元和青海师范大学李凡共同参与了野外工作;青海师范大学生命与地理科学学院鄂崇毅博士、侯光良博士给予了支持;磁化率的工作也得到了中国科学技术大学地球和空间科学学院周鑫博士的大力支持,在此一并致谢!

## 参考文献:

- [1] 刘青松,邓成龙. 磁化率及其环境意义[J]. 地球物理学报, 2009, 52(4): 1041-1048.
- [2] 邓成龙,刘青松,潘永信,等. 中国黄土环境磁学[J].

- 第四纪研究, 2007, 27(2): 193–209.
- [3] Zhou L P, Oldfield F, Wintle A G, *et al.* Partly pedogenic origin of magnetic variations in Chinese loess [J]. *Nature*, 1990, 346(6286): 737–739.
- [4] Liu Q S, Jackson M J, Banerjee S K, *et al.* Mechanism of the magnetic susceptibility enhancements of the Chinese loess [J]. *Journal of Geophysical Research*, 2004, 109(B12), B12107.
- [5] Heller F, Liu T S. Magnetism of Chinese loess deposits [J]. *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society*, 1984, 77(1): 125–141.
- [6] Hovan S A, Rea D K, Pisias N G, *et al.* A direct link between the China loess and marine  $\delta^{18}\text{O}$  records: aeolian flux to the north Pacific [J]. *Nature*, 1989, 340(6231): 296–298.
- [7] An Z S, Kukla G J, Porter S C, *et al.* Magnetic susceptibility evidence of monsoon variation on the Loess Plateau of Central China during the last 130 000 years [J]. *Quaternary Research*, 1991, 36(1): 29–36.
- [8] Hao Q Z, Wang L, Oldfield F, *et al.* Delayed build-up of Arctic ice sheets during 400 000-year minima in insolation variability [J]. *Nature*, 2012, 490(7420): 393–396.
- [9] 王建国, 马海州, 谭红兵, 等. 青海湖南岸黑马河黄土剖面碳酸盐含量与记录的古气候变化 [J]. *盐湖研究*, 2005, 13(4): 5–8.
- [10] 曾方明, 向树元, 路玉林, 等. 甘肃临洮晚更新世黄土环境变迁 [J]. *地球科学——中国地质大学学报*, 2007, 32(5): 703–712.
- [11] Zeng F M, Xiang S Y, Zhang K X, *et al.* Environmental evolution recorded by lipid biomarkers from the Tawan loess-paleosol sequences on the west Chinese Loess Plateau during the late Pleistocene [J]. *Environmental Earth Sciences*, 2011, 64(7): 1951–1963.
- [12] 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.
- [13] Han J M, Lu H Y, Wu N Q, *et al.* The magnetic susceptibility of modern soils in China and its use for paleoclimate reconstruction [J]. *Studia Geophysica et Geodaetica*, 1996, 40(3): 262–275.
- [14] 宋扬, 郝青振, 葛俊逸, 等. 黄土高原表土磁化率与气候要素的定量关系研究 [J]. *第四纪研究*, 2012, 32(4): 679–689.
- [15] Xia D, Jia J, Li G, *et al.* Out-of-phase evolution between summer and winter East Asian monsoons during the Holocene as recorded by Chinese loess deposits [J]. *Quaternary Research*, 2014, 81(3): 500–507.
- [16] 曾方明. 晚第四纪黄土古温度定量重建研究进展 [J]. *地质科技情报*, 2013, 32(4): 84–88.
- [17] Zhu R X, Hoffman K A, Potts R, *et al.* Earliest presence of humans in northeast Asia [J]. *Nature*, 2001, 413(6854): 413–417.
- [18] Guo Z T, Ruddiman W F, Hao Q Z, *et al.* Onset of Asian desertification by 22 Myr ago inferred from loess deposits in China [J]. *Nature*, 2002, 416(6877): 159–163.
- [19] Hao Q Z, Guo Z T. Magnetostratigraphy of a late Miocene-Pliocene loess-soil sequence in the western Loess Plateau in China [J]. *Geophysical Research Letters*, 2004, 31(9), L09209.
- [20] Hao Q Z, Guo Z T. Magnetostratigraphy of an early-middle Miocene loess-soil sequence in the western Loess Plateau of China [J]. *Geophysical Research Letters*, 2007, 34(18), L18305.
- [21] Zhan T, Guo Z T, Wu H B, *et al.* Thick Miocene eolian deposits on the Huajialing Mountains: The geomorphic evolution of the western Loess Plateau [J]. *Science China Earth Sciences*, 2011, 54(2): 241–248.
- [22] Ge J Y, Guo Z T, Zhan T, *et al.* Magnetostratigraphy of the Xihe loess-soil sequence and implication for late Neogene deformation of the West Qinling Mountains [J]. *Geophysical Journal International*, 2012, 189(3): 1399–1408.
- [23] 陈荣彦, 宋学良, 张世涛, 等. 滇池 700 年来气候变化与人类活动的湖泊环境响应研究 [J]. *盐湖研究*, 2008, 16(2): 7–12.
- [24] Robinson S G, Maslin M A, McCave I N. Magnetic susceptibility variations in Upper Pleistocene deepsea sediments of the NE Atlantic: Implications for ice rafting and paleocirculation at the Last Glacial Maximum [J]. *Paleoceanography*, 1995, 10(2): 221–250.
- [25] 李海燕, 张世红, 方念乔. 东帝汶海 MD98–2172 岩芯磁记录与还原成岩作用过程 [J]. *第四纪研究*, 2007, 27(6): 1023–1030.
- [26] 武振杰, 姚建新, 陈留勤, 等. 新疆阿克苏地区中、上奥陶统碳酸盐岩磁化率与层序地层关系 [J]. *现代地质*, 2009, 23(4): 229–237.
- [27] 王建, 刘泽纯, 姜文英, 等. 磁化率与粒度, 矿物的关系及其古环境意义 [J]. *地理学报*, 1996, 51(2): 155–163.
- [28] Hao Q Z, Guo Z T. Quantitative measurements on the paleo-weathering intensity of the loess-soil sequences and implication on paleomonsoon [J]. *Science in China (Series D)*, 2001, 44(6): 566–576.
- [29] Liu Z, Liu Q, Torrent J, *et al.* Testing the magnetic proxy  $\chi_{\text{FD}}/\text{HIRM}$  for quantifying paleoprecipitation in modern soil profiles from Shaanxi Province, China [J]. *Global and Planetary Change*, 2013, 110: 368–378.

## The Influence of Mass on Magnetic Susceptibility during the Measurement

ZENG Fang-ming ,LAI Zhong-ping ,LIU Xiang-jun

(*Qinghai Institute of Salt Lakes , Chinese Academy of Sciences , Xining 810008 , China*)

**Abstract:** Magnetic susceptibility , usually used in eolian deposits , lacustrine sediments and marine sediments , has been one of the most important indexes to reconstruct the paleoenvironmental evolution for Cenozoic strata and even pre-Cenozoic strata. Accurate measurement of magnetic susceptibility is critical. Investigating the effect of mass of a specific sample on magnetic susceptibility measurement has not been reported yet. The current study measured the magnetic susceptibilities of various masses for two air-dried samples (LT297 and LT365) taken from the late Quaternary loess-paleosol sequences at Lintao County , Gansu Province , in the Chinese Loess Plateau. The effect of mass on susceptibility measurement were investigated. The results show that: (1) The effect of mass is significant. When the mass is less than 6g , the low-frequency magnetic susceptibilities ( $\chi_{lf}$ ) increases with the increase of mass , and when the mass is no less than 6g the  $\chi_{lf}$  values remains stable. (2) The relationship between frequency-dependent magnetic susceptibility ( $\chi_{fd}\%$ ) and the mass is complicated. When the mass is less than 6g , the amplitude of variation of  $\chi_{fd}\%$  value is larger than that of mass of more than 6g. (3) The authors suggest that mass should be no less than 6 g for a sample during the susceptibility measurement.

**Key words:** Magnetic susceptibility measurement; Mass effect; Paleoenvironment reconstruction

(上接第8页)

## Discussion on Sedimentary Characteristics of the Paleogene Salt-bearing Formation and Saltforming Model of the Paleo-Saline in Hoh Xil Area

GONG Da-xing<sup>1,2</sup> , YI Hai-sheng<sup>2</sup> , ZHOU Jia-yun<sup>1</sup> , WU Chi-hua<sup>2</sup> , Xia Guo-qing<sup>2</sup>

(1. *Institute of Multipurpose Utilization of Mineral Resources , Chinese Academy of Geological Sciences , Chengdu , 610041 , China*; 2. *Chengdu University of Technology , Chengdu , 610500 , China*)

**Abstract:** The Hoh xil area is the most important sedimentary basin in the tectonic domain of Qiangtang—West Yunnan in Cenozoic. That has been called red-layer or gypsum-salt bed is very wide distribution in this area , it gives us a bright window to the salt-forming mechanism of continental palaeo-block. Taking sedimentology and paleogeographic analysis as guiding theory , focusing on Yaxicuo formation in Oligocene , selecting Cuorendejia (CRDJ) basin and Tuotuohe (TTH) basin in Hoh Xil area as the main research object , two salt-bearing series could be recognized. Comprehensive evaluation revealed that both of the salt-bearing series formed in the same period and paleoclimate , but there are different palaeogeographical conditions , different scale of the Paleo-Saline and salt-forming mechanism for the two secondary salt basins. The CRDJ basin was an opening playa , while the TTH basin was more closed , imply that the wide Hoh Xil area was consisted by a series of distinctive , secondary salt basins.

**Key words:** Salt-bearing formation; Sedimentary characteristics; Saltforming model; Sealing of paleo-saline; Paleogene; Hoh Xil