

黄土磁化率及其古环境意义述评

刘安娜

(陕西师范大学旅游与环境学院 西安 710062)

摘要:黄土是第四纪时期的重要堆积物,其对于古环境的恢复具有极重大的意义。黄土磁化率对古降水量的推算,以及建立古气候复元的定量模型等都已成为可行。同时,对现代土壤环境与降尘等环境因素的研究是磁化率应用性研究的新领域。

关键词:黄土;磁化率;环境意义

The Review of Paleoenvironmental Influence of Magnetic Susceptibility in the Loess

LIUAN-na

School of Tourism and Environment, Shaanxi Normal University, Xi'an 710062, China

ABSTRACT: The Chinese loess is important Quaternary sediment. The information from the loess is important to understand Quaternary paleoenvironment. It is possible to use the magnetic susceptibility of the loess to propose quantitative models for restoring paleoenvironment on the basis of paleoprecipitation. At the same time, the research of the modern soil and aeolian dust is the new field about the applied study of magnetic susceptibility.

Key words: The loess; Magnetic susceptibility; The paleoenvironmental influence

近几十年来,世界环境变化的速度和规模极为显著,已经影响到地球及其依存的人类。认识古环境和古气候,勾画现今环境的原始轮廓,为环境问题的研究提供可靠的磁学依据无疑是很有意义的^[1]。沉积物是在特定的沉积环境中形成的,记载了环境条件的变化,其所携带的磁性矿物则因其对环境的灵敏反映和记录的稳定性而成为较好的环境指示物质。磁化率作为表征物质磁学特征的物理量,能够判断样品记载的环境变化信息、分析古气候变化规律及其细节、推断样品形成过程的环境条件、为古环境研究提供可靠的磁学证据。同时,对作为现代沉积物的土壤环境与现代降尘等也具有较好的研究意义^[10, 11]。

1 磁化率的环境意义

1982年10月7日的《Nature》杂志中,Denis V. Kent发表了一篇虽短却极具纪念意义的文章。在这篇文章中,列举了在印度洋采取的10m长岩心样品的浮游有孔虫壳的氧同位素比、碳酸钙含量、初始磁化率、天然剩余磁化强度及其倾角的测定结果。Kent表示,深海沉积物的天然剩余磁化强度(NRM)的变化是受碳酸钙含量的变化以及初始磁化率所代表的沉积物的磁学性质的变化的影响,天然剩余磁化强度的变化和氧同位素比等之间的联系并不说明与地球磁场的变化相关。正是由于这篇论文,人们开始认识到氧同位素比与初始磁化率变化间的密切联系,开始对取代测定手段繁琐的氧同位素比,甚至作为古气候代用指标的初始磁化率进行认真的考察研究。1982年12月2日的《Nature》杂志发表了Friedrich Heller和刘东生的一篇具有代表性的关于黄土-古土壤磁性研究的论文。研究了洛川剖面长136m的岩心样品。他们基于磁性地层学研究,最先提出了一些关于黄土-古土壤年代的可靠结果,同时,发现了黄土-古土壤的初始磁化率变化很大,特别是古土壤的初始磁化率可达数倍以上。他们把这种初始磁化率与天然剩余磁化强度的变化解释为古地磁奥尔杜威事件以来17回冰川扩大的结果。在他们发表的下一篇同样关于洛川的论文中,强调了初始磁化率和氧同位素比的关系,引用了Kent(1982)的论点。自此之后,黄土-古土壤岩石磁学的研究,不仅仅停留在磁性地层学的领域,而且作为古气候研究的新突破点迅速地被人们关注^[2-4]。

环境磁学研究中较多地用到了频率磁化率 χ_{fd} ,据其频率的高低,频率磁化率 χ_{fd} (frequency dependent susceptibility)分为高频和低频,其值通过分别对沉积物样品进行高频(χ_{hf})和低频(χ_{lf})磁化率测量后计算得出,其公式为:

$$\chi_{fd} = (\chi_{lf} - \chi_{hf}) / \chi_{lf} \times 100\%$$

样品的频率磁化率与其所含磁性颗粒的多少呈正相关,我国北方黄土在形成古土壤的过程中有许多对低频磁化率敏感的SP磁性颗粒形成,不同气候条件下形成的SP磁性颗粒的相对含量反映了古气候温湿程度的强弱和持续时间的长短。在形成黄土时由于弱磁性粉尘通量增大,降低了其中强磁性物质对物质整体磁性的贡献,因而黄土磁化率较低。古土壤是重建古地理环境的最好手段,利用频率磁化率能够鉴别各种环境下的古土壤,如冰渍物环境中的埋藏土、黄土环境中的古土壤、风砂环境中的埋藏土等。

2 黄土磁化率的分布以及与古环境演变的关系

Heller等通过与 ^{10}Be 浓度的对比分辨出沉积和后来成土过程中形成的磁性矿物,认为后生的磁铁矿与当地当时的降雨量有直接的关系,因此古降雨量可以计算出来。全新世古土壤平均降雨量为600mm/a,马兰黄土平均为310mm/a,中更新世平均为540mm/a。吕厚远^[5]等研究现代土壤磁化率和气候条件(温度、降水量)变化的统计规律发现,在一定年平均温度和年平均降水量范围内,磁化率随年平均温度和年降水量的增加而增大。但当年平均温度超过15℃、年降水量超过1100mm时,随温度和降水量的继续增加,土壤磁化率反而减少。吕厚远等以黄土高原及周边地区63个表土磁化率数据用四次多项式的方程定量估算洛川地区末次间冰期时的地表年平均温度为11~13℃,年平均降水量600~700mm。全新世降水量与末次间冰期类似,年平均温度比末次间冰期低1℃。末次冰期时年平均温度4~5℃,年降水量约350mm。同时,磁化率对土壤形成过程的环境条件,植被覆盖类型以及大气颗粒污染物的来源和风沙产地的环境特征等有十分明确的环境指示作用。

周群英等^[6]对西安西部西周沔镐遗址附近的全新世土壤剖面进行了研究。结果显示马兰黄土磁化率值最低,表明马

(收稿日期:2006-03-20 接受日期:2006-04-13)

兰黄土形成在冰期的干旱环境当中,沙尘暴大量堆积粉尘,生物风化成壤作用极弱。全新世剖面的磁化率也有显著波动,在古土壤层 S0 磁化率值出现最大值,表明在 S0 形成时期,气候条件温暖湿润,生物风化成壤很强烈。而在全新世黄土 I0 中磁化率再次降低,说明东南季风格局发生突变,西北季风势力大大增强从此进入一个相对干旱缺水时期。因此推断从 3100aB. P. 前开始,季风格局发生突变,造成黄土高原地区严重干旱,导致环境恶化,水土生物资源严重退化,先周人被迫将其都邑从黄土高原腹地迁到关中盆地西部渭河北侧黄土台塬(周原),后来又迁至渭河南侧沔河下游平坦低洼潮湿地带,西周人农业生产活动则相对比较易于发展。

3 黄土磁化率的空间分布

庞奖励^[7]对比了榆林、米脂、吴堡、洛川、环县、西峰、宝鸡、西安、渭南等七个剖面发现不同地点同期地层磁化率曲线相似,但磁化率值明显不同,表现为:从北向南,磁化率曲线形态及磁化率值明显变化,在形态上,榆林、环县出现与 3 层古土壤对应的 3 个峰值;在吴堡一带呈两个峰值,并与两层古土壤相对应;在西安、洛川、宝鸡等地,磁化率曲线逐渐地缩合为一个很宽的峰区,与复合古土壤的现象一致。在磁化率值上,黄土高原北、西部的古土壤值偏低,在 80SI~100SI 之间,反映降雨量和温度比较低,实际的成土程度也较低;在中、南部地区,土壤磁化率大于 200SI,说明成土程度、降雨量和温度都较高。末次冰期时期形成的堆积物中,榆林表现出 2 个峰值(50±SI)与 2 层黄土层相对应,低值(10±SI)与古风成砂相对应。环县的 2 个峰值较低(45±SI),暗示成土作用极弱;而低值(30±SI)对应黄土层。洛川、西安、宝鸡、渭南等地出现 2 个率峰值与 2 层弱古土壤对应。而且从北向南,弱土壤层磁化率依次变化为 30SI~60SI~100SI~200SI~300SI。也就是说,末次冰期内出现了 2 次东亚季风环境效应相对增强的时期,且主要在黄土高原南部表现出来,形成了弱土壤,在北部地区不明显。S0 古土壤在各地均呈现明显的峰值,但从北向南,磁化率变化为 70SI~80SI~150SI~200SI~300SI,成土作用越来越强。

曹继秀等^[8]通过对青海孟达山、西宁大墩岭、兰州九洲台、兰州墩洼山诸黄土剖面的磁化率研究发现,随着埋藏深度的增加、时间的延长,磁化率有逐渐降低的趋势。在六盘山以东的陕西,也有这种现象如宝鸡剖面,其第七层古土壤的磁化率还没有马兰黄土高。此现象称为磁化率的埋藏效应。

李徐生等^[9]研究了镇江下蜀黄土-古土壤序列,认为下蜀黄土的磁化率曲线具有明显的旋回特征,分别记录了该地区 7~8 次大的冷暖气候旋回,8 个曲线峰值段对应的古土壤层代表了 8 个较为温暖湿润的成壤时期;而磁化率谷值段对应的 7 个黄土层则代表了 7 个气候较为干冷时期的风尘堆积,由于气候干冷,风力作用增强,冬季风带来了北方风尘及富集河湖相沉积物增多,粉尘堆积速率加快。这与北方黄土序列揭示的中更新世以来黄土高原地区存在 7 次大的冷暖气候旋回相对应,进一步说明了我国东部地区中更新世普遍存在达 7~8 次大的气候旋回,而长江中下游地区的气候变化同黄土高原地区具有一致性和相似性,暗示了中国南北两大区域中更新世以来可能经历了基本同步的气候变化。

4 黄土高原现代天然降尘的磁化率

孙东怀、苏瑞侠、陈发虎等^[10]分别采集甘肃环县、甘肃西峰、陕西彬县、陕西礼泉、陕西定边、兰州及其以东的榆中的现代天然降尘。其结果表明,各地点上每个季节的磁化率值一

般都在 70~80 单位(10~8m³/kg)以上。秋冬两季天然降尘的磁化率较低,约 50~130 单位之间,春夏两季粉尘的磁化率较高,约为 90~230 单位。这一结果与西北沙漠区及西部黄土高原现代粉尘的磁化率结果基本一致。虽然南部 2 个点上粉尘磁化率值的季节性变化规律并不明显,但中部和西北部 2 个点磁化率值的季节性变化一致表明,夏季磁化率值明显高于其它季节的,这可能显示了降水对磁化率值的作用。

天然粉尘磁化率值的基本特征是它明显高于冰期黄土,对如此高的磁化率值,有 2 种可能的解释,一种是相当数量的粉尘在原地已受到了成壤作用的改造后被再搬运到沉积区。另一种是现代工业和民用污染的影响。从分布于不同地区的粉尘来看,它们受工业和民用污染的可能性差别较大,例如,环县的粉尘收集点上周围几十公里内没有明显的工业活动,农户也十分稀少,但粉尘的磁化率值几乎与其它地点在同一水平上,看来现代污染可能不是其磁化率高的主要原因。这说明间冰期原始粉尘的磁化率也已受到了原地气候条件的影响,从后面对粉尘搬运方式和搬运距离的分析来看,主要的粉尘物质为一步步方式搬运的近源粉尘,这样的话,影响粉尘沉积前磁化率的气候和沉积后的气候可能是同一气候系统,也就是说,最终的磁化率值反映了大范围的气候条件。所以,间冰期风成物质磁化率值高至少有 2 方面的原因,一是粉尘磁化率本底值较高,二是成壤作用会使原来较高的磁化率进一步升高,磁化率值反映了大范围的气候条件。

5 结语

综上所述,从上世纪八十年代开始,黄土磁化率就被广泛应用于对古降水、古环境的恢复研究中,并取得了重要成果,成为古环境演变的有效代用指标,从而对未来的气候环境变化趋势的预测具有重要意义。同时,磁化率也被应用于古生态环境的突变,进而推断人类活动的变迁,从另一角度佐证了人类社会的历史。在现代土壤环境与环境污染等方面,也是磁化率新的应用领域。

参考文献

- [1] 张普纲,樊行昭,霍俊杰. 磁性参数的环境指示意义[J]. 太原理工大学学报, 2003, 34(3): 301-308
- [2] 刘东生. 黄土与环境[M]. 科学出版社, 北京, 1985: 62-81
- [3] 郝青振,郭正堂. 1.2Ma 以来黄土-古土壤序列风化成壤强度的量化研究与东亚夏季风演化[J]. 中国科学(D 辑). 2001, 31(6): 520-528
- [4] 张玉芬,李长安,刘雪梅等. 黄土高原西缘 3 万年以来古气候变化-磁化率代用气候曲线的多尺度分析[J]. 华东师范大学学报(自然科学版), 2003, 4: 66-72
- [5] 郭正堂,魏兰英,吕厚远. 晚第四纪风尘物质成分的变化及其环境意义[J]. 第四纪研究, 1999, 1: 41-48
- [6] 周群英,黄春长. 西周沔镐遗址全新世土壤研究[J]. 地理科学, 2003, 23(6): 310-315
- [7] 庞奖励. 晚更新世以来黄土高原地区古季风的时空演化[J]. 中国沙漠, 1999, 19(1): 72-76
- [8] 曹继秀,张宇田,王建民,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(3): 124-132
- [9] 李徐生,杨达源. 镇江下蜀黄土古土壤序列磁化率特征与环境记录. 中国沙漠, 2002, 22(1): 27-32
- [10] 孙东怀,苏瑞侠,陈发虎,等. 黄土高原现代天然降尘的组成、通量和磁化率[J]. 地理学报, 2001, 56(2): 171-180
- [11] 陈满荣,愈立中,张卫国,等. 山西耕作土壤样品磁性空间分异及其环境意义[J]. 生物磁学, 2006, 6(1): 1-5