

陕西榆林风沙滩区全新世气候和环境变迁

陈淑娥, 樊双虎, 刘秀花, 董汉文, 陆 璐, 王莉丽

(长安大学 地球科学与资源学院, 陕西 西安 710054)

摘要: 榆林长城沿线处于环境变化敏感带, 其风沙滩区沉积剖面的磁化率和粒度分析结果显示, 该区全新世早期 11 500~10 000 a BP 随着全球气候的逐渐转暖, 磁化率、黏粒和粉沙含量逐渐增高; 全新世中期的 10 000~4 500 a BP 气候相对比较湿润, 植被覆盖度增大, 风沙活动减弱, 地表沉积物当中粉沙和黏土成分含量显著增大, 风化成壤作用增强, 地表发育沙质弱古土壤; 全新世中期后段的 4 500~3 000 a BP 期间, 气候以比较温和湿润为主, 但在 4 200~4 000 a BP 出现一个气候干旱事件, 风沙活动强烈; 近 3 000 a 以来, 气候显著干旱化, 波动频繁, 地表风沙沉积物显著变粗, 表现出有 5 次沙漠扩张。该区生态环境演化、人文历史变迁基本上是自然因素与人为活动综合作用的结果, 以自然演化为主, 近代人为因素对环境变化起着加强和放大作用。

关键词: 全新世; 气候; 风沙活动; 环境变化; 榆林

中图分类号: P532 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-6561(2010)01-0081-08

Holocene Climate and Environmental Changes in the Eolian Sand Section of Yulin, Shaanxi Province

CHEN Shu-e, FAN Shuang-hu, LIU Xiu-hua, DONG Han-wen, LU Lu, WANG Li-li

(School of Earth Sciences and Resources, Chang'an University, Xi'an 710054, China)

Abstract The eolian-sand section along the Great Wall in Yulin, Shaanxi province, is sensitive to climate and environmental changes. The magnetic susceptibility and particle-size analysis in Dabaodang profile showed that the early Holocene(11 500~10 000 a BP), was a transition during the change in eolian regime and dust source because of the weakened northwesterly monsoon along with the global climatic amelioration; the middle Holocene (10 000~4 500 a BP) was relatively humid, while vegetation coverage increased, aeolian activities weakened, silt and clay compositions were significantly increased, weathering pedogenesis was enhanced, and sandy weak paleosols were developed; the late stage of the middle Holocene(4 500~3 000 a BP) was mild and humid in general, but at 4 200~4 000 a BP an arid climate event occurred, with intensive eolian sand activities, the climate was droughty and fluctuating frequently in recent 3 000 a, while eolian sand was significantly coarser, which showing 5 times desert expansions. Natural factors played an important role in the environmental changes in this area, and human activities greatly strengthened and amplified the changes at the modern times.

Key words: Holocene; climate; eolian sand activity; environmental change; Yulin

0 引言

榆林地区矿产资源丰富, 集煤、油、气、盐四大资源于一地, 现已成为中国重要的能源化工基地。该区地处毛乌素沙漠南缘与陕北黄土高原丘陵沟壑区接壤地带, 降水稀少, 大部分为沙地所覆盖, 自

然生态环境比较脆弱, 对气候环境变化及人类活动的响应敏感, 任何不合理的人类活动, 都将通过与自然过程的耦合作用而被逐级放大。因此, 如何协调好资源与环境保护之间的关系, 已成为一个不容忽视的问题。

地处该区的统万城建成于公元 419 年, 距今已

收稿日期: 2009-07-20

基金项目: 陕西省自然科学基金项目(2006D04)

作者简介: 陈淑娥(1964-), 女, 陕西三原人, 理学博士, 从事第四纪地质学和古生物地层学的教学与研究。E-mail: shuechen@chd.edu.cn

有近 1 600 a 的历史,曾是大夏国都城,后来被黄沙吞没^[1-2]。那么在榆林这样一个生态环境脆弱区进行资源开发,会不会重蹈统万城的覆辙?该区的自然环境如何变迁?弄清这些问题对于正确处理人与自然的关系,对于该区的环境保护与生态建设具有极其重要的意义。

全新世是人类文明迅速发展的时期,气候波动变化^[3-9],其气候、环境的变迁与人类文明和进步密切联系,这些已引起愈来愈多学者的兴趣和重视^[10-16]。由于该区特殊的地理位置,其沉积物敏感地记录了区域及全球的气候、环境变化信息,所以,开展全新世的气候和环境变化研究,对于阐明最近 10 000 a 来季风气候变化和人类活动影响问题具有重要意义。笔者试图从陕西榆林风沙滩地沉积物的磁化率和粒度分析结果来探讨该区全新世气候和环境的变迁及人地关系演变,为陕北能源化工基地规划建设以及政府科学决策提供环境保护的依据。

1 剖面选择及研究方法

研究剖面选择在榆林大保当镇野鸡河村,榆林至神木公路约 50 km 处的沙滩地(38°38′51.3″N, 110°1′34.5″E),海拔 1 280 m(图 1)。剖面为一开挖的断面,采样厚度 305 cm,共采综合分析样品 48 件,并在 130、170、280 cm 处采释光测年样品。剖面描述见表 1。

本研究的磁化率在陕西师范大学旅游与环境学院实验室用 MS-2B 磁化率仪(Bartington 公司生产)测定。将自然风干土样在玛瑙研钵磨碎(以不损伤自然颗粒为度),而后称取 10 g 装入特制的样

品盒进行高频和低频磁性测量,重复测量 3 次,取其平均值为最后结果。

表 1 陕西榆林大保当全新世剖面描述

Tab. 1 Description of the Holocene Profile in Dabaodang Site of Yulin Shaanxi Province

地层编号	深度/cm	地层划分及描述
1	0~140	黄棕色(5/6)细沙-中粗沙,风成交错层理发育,每 10 cm 取 1 个样品,共采样 15 个。
2	140~170	棕色(4/6)细沙为主,向下黏土、粉沙增多。5 cm 间距取样,共采样 6 个。
3	170~260	棕色(4/4)粉沙质细沙,颜色较上层深,黏土增多,有较多的白色钙质菌丝,有虫孔、根孔,孔隙数量为 9 个/cm ² 左右,孔径一般 1 mm 左右,虫根孔最大可达 1 cm 左右。其中 190~200 cm 处有灰色陶片。地貌上较硬。5 cm 间距取样,共采样 18 个。
4	260~305	粉沙质细沙,颜色比上部更浅,棕色(4/6),5 cm 间距取样,共采样 9 个。

粒度分析送中国科学院地球环境研究所测试,用 Mastersizer-S 型激光粒度仪测量,仪器的测量范围为 0.02~2 000 μm。粒度测量前,对样品进行了较为彻底的前处理,以除去样品中有机质、成壤作用过程中产生的碳酸盐和次生黏土矿物等,然后用超声波清洗仪振荡加以分散。

释光测年样品送中国科学院地球环境研究所测试,130、170、280 cm 深度的释光年代分别为(3 400±50) a BP、(4 500±120) a BP 和(11 600±260) a BP。

2 粒度参数及磁化率变化特征

沉积物粒度的变化受搬运介质、搬运方式、沉积环境和气候等因素控制^[17],所以,沉积物的粒度参数是反映沉积物来源和沉积环境的重要指标。野外对剖面沉积物的宏观形态特征观测描述在粒度曲线上得到了印证^[18-20]。研究剖面以风成沙沉积为主,风成交错层理发育。近 11 500 a 以来,粒度小于 5 μm 的黏土质量分数为 3%~8.2%,5~63 μm 的粉沙质量分数为 6%~24.6%,63~125 μm 的极细沙质量分数为 7.5%~21.1%;125~250 μm 的细沙质量分数为 25.1%~40.5%,250~500 μm 的中沙质量分数为 16.9%~41.9%,大于 500 μm 的粗沙质量分数为 1.5%~17.3%,没有大于 1 000 μm 的极粗沙。说明该区全新世以来,以极细沙-中沙、粗沙为主。

各粒度参数的计算表明(图 2~6),众数粒径(峰)分布范围为 150~350 μm,中值粒径分布范围

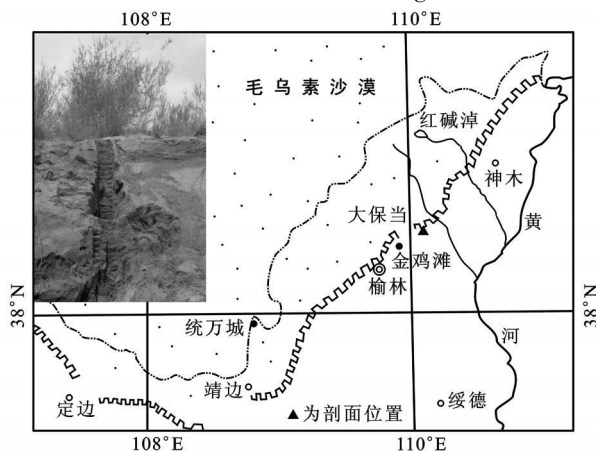


图 1 研究区域地理位置

Fig. 1 Geographic Setting of the Studied Area

为 $114 \sim 290 \mu\text{m}$, 平均粒径分布范围为 $147 \sim 310 \mu\text{m}$; 标准偏差为 $1.4 \sim 2.2 \Phi$, 大部分为 $1.4 \sim 1.6 \Phi$, 分选中等; 偏度为 $0.3 \sim 0.5$, 显示为正偏; 峰态为 $1.1 \sim 2.0$, 表明峰态为窄峰, 说明风力作用过程较久, 风成沙子成熟度较高。标准偏差与偏度呈正相关关系, 而与峰态呈反相关(图 2), 相关系数分别为 0.36 和 -0.91 。

从图 3 中可以看出, 粒度分布范围一般为 $0.5 \sim$

$893.4 \mu\text{m}$, 粒度总体分布为正偏态非对称分布。粒度频率曲线表现为双峰态, 主次组分含量相差悬殊, 主组分特别粗, 而次组分含量非常少, 也较细。主组分的众数粒径(峰)一般为 $150 \sim 350 \mu\text{m}$ 的细沙—中沙粒级, 分布曲线以众数粒度为轴对称或略有粗偏态, 分选较好, 质量分数为 $4\% \sim 7.5\%$, 已有研究表明此组分是近地表的跃移组分^[21]; 次组分的频率曲线为一个平缓低矮的尾端, 众数粒径一般为

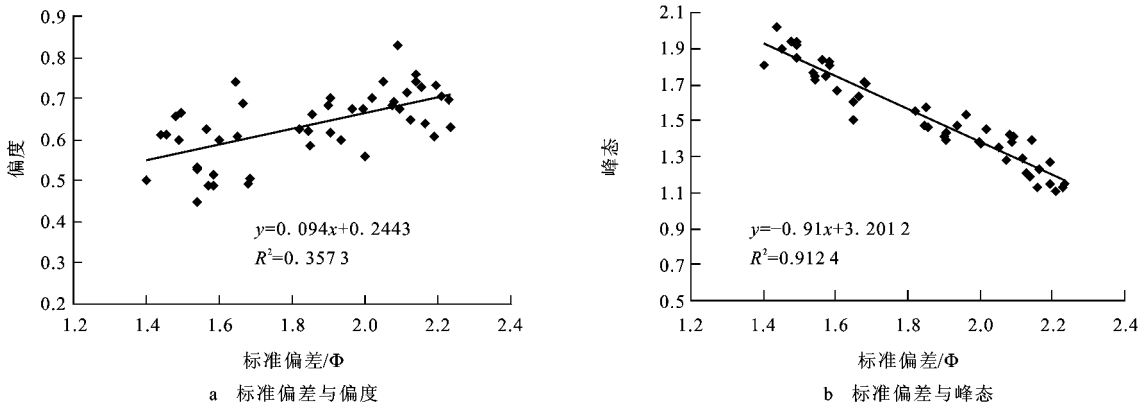


图 2 陕西榆林大保当剖面沉积物粒度参数相关关系

Fig. 2 Correlativity of Particle-size Parameters in Dabaodang Profile of Yulin, Shaanxi Province

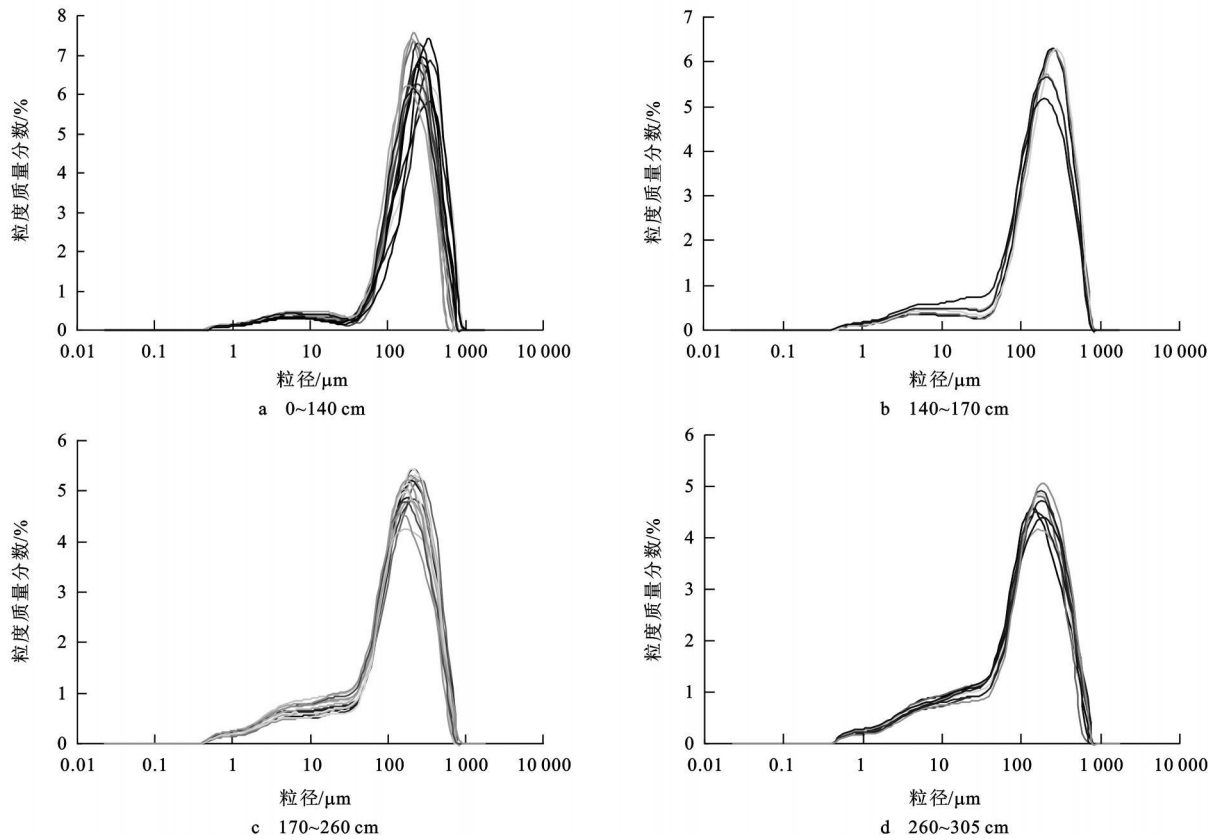


图 3 陕西榆林大保当剖面沉积物粒度频率曲线

Fig. 3 Particle-size Frequency Curves in Dabaodang Profile of Yulin, Shaanxi Province

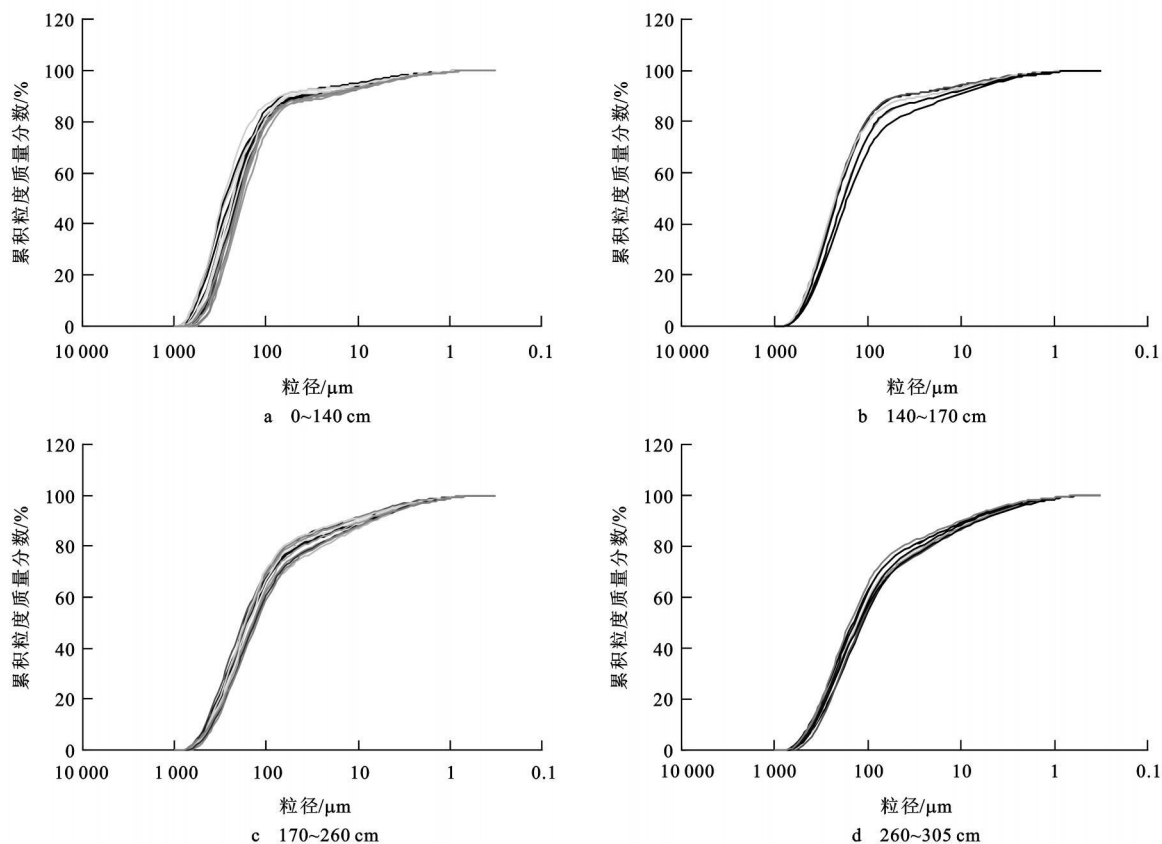


图 4 陕西榆林大保当剖面沉积物粒度累积曲线

Fig. 4 Particle-size Cumulative Curves in Dabaodang Profile of Yulin, Shaanxi Province

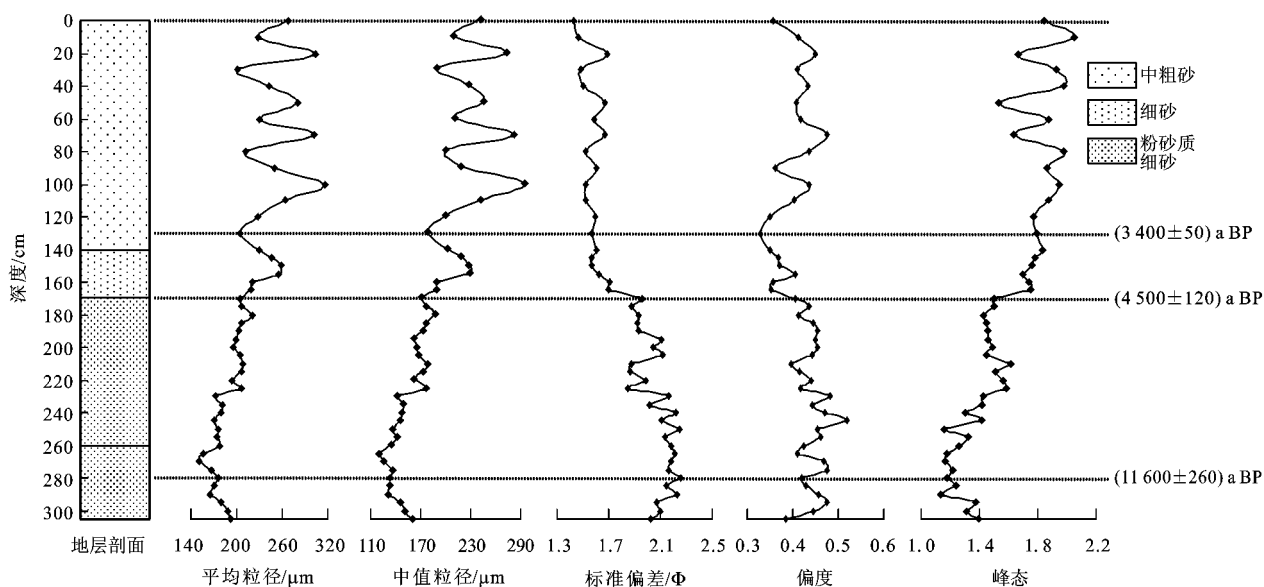


图 5 陕西榆林大保当地层剖面和粒度参数曲线

Fig. 5 Pedostratigraphic Subdivisions and Changes of Particle size Parameters in Dabaodang Profile of Yulin, Shaanxi Province

5~15 μm , 分选差, 质量分数小于 1%, 为大气中的悬移组分。粒度频率曲线与毛乌素沙地的现代风成沙^[21]、古风沙^[22]和榆林沙质黄土^[23]的曲线

特征一致。

样品的粒度累积曲线的主体由 2 个线段组成 (图 4), 他们分别对应于频率曲线上的 2 个组分, 每

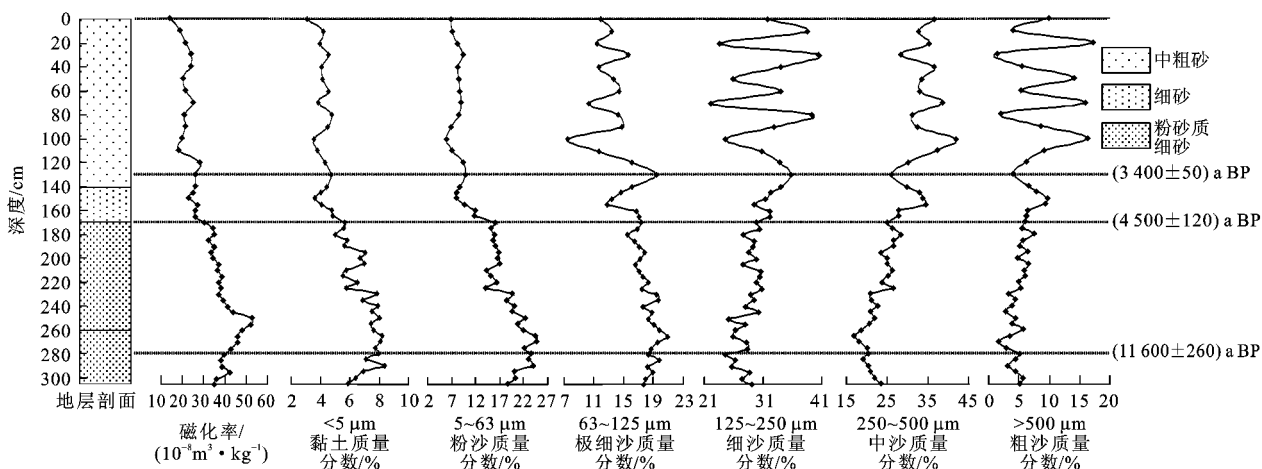


图6 陕西榆林大保当剖面磁化率和粒度变化曲线

Fig. 6 Magnetic Susceptibility and Particle size Distributions in Dabaodang Profile of Yulin, Shaanxi Province

个线段的长度与组分的粒度范围有关, 它的斜率则取决于组分的峰度, 即分选程度(图5)。其中, 80%~90%以跃移组分为主, 斜率大, 分选相对较好; 细粒段反映悬移组分, 分选相对较差, 质量分数一般不超过20%。

磁化率是一种能较好地反映气候变化的代用指标, 既能反映土壤成壤强度, 又能反映夏季风强度, 在黄土区得到了广泛应用^[11, 24-27], 但在沙漠区的应用尚不多。研究剖面全新世的磁化率为 $(14.0 \sim 52.6) \times 10^{-8} \text{ cm}^3/\text{kg}$ (图6), 明显比全新世黄土中的磁化率低, 而且0~170 cm的磁化率明显比下部170~305 cm的磁化率低。这可能与风成沙是由石英颗粒组成有关, 它是低磁性甚至是无磁性矿物, 磁化率值自然很低; 而下部的沙质古土壤层的磁化率值比上部风成沙层要高, 主要因为在成壤过程中, 由于淋溶与成壤作用, 促成了铁磁性颗粒的富集, 因而具有相对很高的磁化率。从图6可以看出, 磁化率与黏粒、粉沙曲线具有很好的一致性。

3 全新世气候和环境的变迁

沙漠—黄土过渡带风成沉积中沙粒质量分数变化可作为指示沙漠进退的一个代用指标^[28]。研究剖面的沙粒, 特别是中、粗沙含量增加, 说明气候干旱, 风沙作用强烈, 沙漠扩张。在非极端干旱的沙地堆积区, 风成沙丘或风成沙—黄土堆积序列的沉积相变化往往是气候变化的指示^[29]。从图5、6可以看出, 剖面260~280 cm深度磁化率、黏粒和粉沙含量逐渐增高, 中值粒径和平均粒径值减小,

代表新仙女木事件(Younger Dryas)之后, 全新世早期(11 500~10 000 a BP)的全球气候逐渐转暖; 在10 000~4 500 a BP黏土—粉沙的含量明显比上部多, 磁化率也较高, 地层中有较多的白色钙质菌丝, 虫孔、根孔发育, 与黄土中的古土壤特点类似^[8, 11, 27]。表明全新世中期气候湿润, 植被覆盖度增大, 风沙活动减弱, 在沙丘沉积中发育沙质弱古土壤。

2005年陕北吴堡县一带发现了6处4 500年前的大型史前人类聚落遗址, 出现中国最大的龙山文化陶窑。2009年3月, 榆林市第三次中国文物普查第二队在绥德县赵家砭乡发现一处新石器时代(龙山文化)石城遗址。石城地表散落大量陶片, 以灰陶为主, 也系龙山文化类型的遗物。所以, 笔者研究剖面190~200 cm深度采到的灰色陶片, 应属龙山文化早期的产物。

全新世中期的4 500~3 000 a BP期间, 磁化率、黏土、粉沙和极细沙明显比上部高, 说明气候以温和湿润为主。但在4 200~4 000 a BP, 中、粗沙表现为明显的峰值, 磁化率也降低, 表明气候干旱, 风沙活动强烈, 粗颗粒成分突然增大, 说明沙地扩张。全新世中期的这次气候干旱期间, 中国不同地区的降雨有明显异常表现, 南北方降水普遍减少^[30-36], 在渭河流域S₀古土壤中出现黄土夹层^[8, 37-38], 同时期热带非洲、南欧、中东、印度、韩国、北美洲中部大陆的高分辨率古气候记录一致表明, 此次气候事件造成了整个北半球中低纬度地区的干旱^[12, 39-42]。

近3 000 a以来, 磁化率、黏粒、粉沙和极细沙

明显比下部低,中值粒径和平均粒径高,粒度的标准偏差降低,分选性变好,说明近 3 000 a 来,气候变干旱,风沙作用强烈,地表沉积物显著变粗。在剖面中出现 5 个中、粗沙含量增加的峰值,分别在 0、20、50、70、100 cm 处,粒度大于 $250\ \mu\text{m}$ 的中、粗沙质量分数分别达到 46.4%、53.6%、47.7%、54.7%、58.2%。表明近 3 000 a 来,气候波动频繁,有 5 次沙漠的扩张,时间分别为 2 600 a BP、1 800 a BP、1 300 a BP、500 a BP 和现代。渭河流域黄土剖面中也表现为从大约 3 100 a BP 开始季风格局发生变化,气候向着干旱化发展,全新世的成壤期被黄土堆积期所取代;气候干旱化和水土生物资源退化,造成河水断流、沙尘暴频繁发生、草原游牧民族南侵、严重饥荒、社会动荡和商周之际朝代更替^[43]。但近 3 000 a 的气候频繁波动在黄土记录中表现不明显,可能与黄土堆积速率相对慢、黄土高原的全新世地层受人类活动影响较大有关。

1 800 a BP 和 1 300 a BP 的干旱化气候在古里雅冰芯^[44-45]、五大湖附近的沼泽沉积^[46]中也有记录。其中,剖面 30~40 cm 深度附近细沙质量分数增加,高达 56.2%,粉沙、黏土也明显增加,磁化率增加,为 $24.1 \times 10^{-8}\ \text{cm}^3/\text{kg}$ 。说明在 700~1 000 a BP 左右,东南季风强盛,气候较为温暖潮湿。这是距今较近的一个几百年尺度的显著暖期,欧洲称中世纪暖期^[47],在中国则表现为隋唐暖期^[48-50]。榆林北部的金鸡滩、刀兔海子在隋唐时期均为大湖,其后日渐萎缩,金鸡滩在宋以后涸竭^[51]。关中渭河流域与泾河流域,唐代中期气候湿润,降水丰富,大洪水灾害与特大洪水灾害发生很频繁^[52]。

在剖面 20 cm 深度附近,粗沙呈明显增加趋势,磁化率呈减少趋势,这说明近 500 年来降水量减少,气候变干旱,与明清小冰期^[48, 53]的时间相一致。那时北半球中纬度地区年平均气温的 30 a 平均值,约比 20 世纪中、后期的暖期低 $1.0\ ^\circ\text{C}$ 左右,北半球高纬度及南极地区可能低 $1.5 \sim 2.0\ ^\circ\text{C}$ 。在中国明清时代的小冰期曾引起大范围的饥谨和严重的社会动乱,引发朝代的更替^[54]。历史上榆林一直处于农耕民族与游牧民族势力进退消长的过程^[55]。魏晋南北朝、元朝和明清时期,游牧民族的南下与当时气候的冷干有关。而在唐宋时期,气候温暖湿润,陕北农业经济规模扩大,北方游牧民族的南进处于间歇期。

在剖面 10 cm 深度细沙、黏土含量增加呈峰

值;近地表则刚好相反,这说明近 200 a 来气候湿润,近代气候又处于干旱期。陕北地区近 530 a 来历史旱涝及气温变化显示,15 世纪末至 17 世纪初陕北地区处于一个干旱阶段;17 世纪中期至 18 世纪中期处于雨涝阶段;19 世纪初至今又处于干旱阶段^[56];与研究剖面的粒度和磁化率反应的气候变化基本一致。

由此可见,该区气候的变化,不仅具有鲜明的区域性特征,同时也具有全球的一致性。从本研究亦可看出,榆林北部在 2 000 a 前就是沙漠环境,与统万城遗址考古发现^[2, 57]一致。其环境的恶化是自然和人为因素共同作用的结果。明清时期,特别是晚清时期,在干冷的气候背景和人类活动加剧的共同影响下,人类的破坏成为陕北生态植被恶化的主导因素。

4 结语

榆林大堡当全新世地层剖面的粒度、磁化率呈现波动变化,反映了全新世气候的冷暖干湿波动变化。全新世早期(11 500~10 000 a BP)随着全球气候逐渐转暖,剖面中磁化率、黏粒和粉沙含量逐渐增高;全新世中期(10 000~4 500 a BP),气候湿润,植被覆盖度增大,风沙活动减弱,在沙丘沉积中发育沙质弱古土壤。全新世中期后段(4 500~3 000 a BP)期间,气候以温和湿润为主,但在(4 200~4 000 a BP)出现一个气候干旱事件,风沙活动强烈。近 3 000 a 以来,榆林地区气候波动频繁,出现 5 次沙漠扩张。

榆林风沙滩地磁化率和粒度参数的变化特征,充分说明榆林地区全新世气候和环境以自然环境的演变为主,人类活动的不合理干预自然环境,导致该地生态环境的迅速恶化,尤其是近代人为因素对环境的影响起着重要作用,证明人与环境和谐是一个不容违背的自然法则。对当今榆林能源重化工基地建设过程中可能出现的乱采乱伐、过度开采、破坏植被、空气污染、污染地下水资源,以及浪费造成的地下水短缺等问题,要有足够的认识和防范,必要时还应以地方立法加以规范,正确处理经济发展与生态环境保护的辨证关系,实现自然资源开发与自然环境保护相协调。

成文中得到陕西师范大学黄春长教授的细心审阅,并提出了宝贵的修改意见;陕西师范大学旅游与环境学院在磁化率测量中给予很大支持,中国

科学院地球环境研究所在粒度分析和释光测年方面给予很大帮助,在此一并致谢。

参考文献:

- [1] 邓辉,夏正楷,王琚瑜.从统万城的兴废看人类活动对生态环境脆弱地区的影响[J].中国历史地理论丛,2001,16(2):104-113.
- [2] 王尚义,董靖保.统万城的兴废与毛乌素沙地之变迁[J].地理研究,2001,20(3):347-353.
- [3] Denton G H, Karlen W. Holocene Climatic Variations: Their Pattern and Possible Cause[J]. Quaternary Research, 1973, 3(2): 155-174.
- [4] O'Brien S R, Mayewski P A, Meeker L D, et al. Complexity of Holocene Climate as Reconstructed from a Greenland Ice Core[J]. Science, 1995, 270: 1962-1964.
- [5] 施雅风,孔昭宸,王苏民,等.中国全新世大暖期的气候波动与重要事件[J].中国科学(B辑),1992,22(12):1300-1308.
- [6] 魏明建,李虎侯.全新世黑垆土中千年尺度的全球变化记录[M].香港:国际科学出版社,1998.
- [7] 郭正堂, Petit-Maire N, 刘东生.全新世期间亚洲和非洲干旱区环境的短尺度变化[J].古地学报,1999,1(1):68-74.
- [8] 黄春长,庞奖励,黄萍,等.关中盆地西部黄土台塬全新世气候事件研究[J].干旱区地理,2002,25(1):10-15.
- [9] Mayewski P A, Rohling E E, Stager J C, et al. Holocene Climate Variability[J]. Quaternary Research, 2004, 62(3): 243-255.
- [10] 施少华.中国全新世高温气候环境与新石器时代古文化的发展[C]//施雅风.中国全新世大暖期气候与环境.北京:海洋出版社,1992:185-191.
- [11] 付淑清,陈淑娥,魏明建,等.甘肃通渭县黄土堆积区全新世环境变迁[J].地球科学与环境学报,2005,27(4):71-75.
- [12] 许靖华.太阳、气候、饥荒与民族大迁移[J].中国科学(D辑),2000,28(4):366-384.
- [13] Huang C C, Zhou J, Pang J L, et al. A Regional Aridity Phase and Its Possible Cultural Impact During the Holocene Megathermal in the Guanzhong Basin, China[J]. The Holocene, 2000, 10(1): 135-142.
- [14] 周群英,黄春长.渭河流域全新世环境演变对人类文化发展的影响[J].地理科学进展,2008,27(5):12-18.
- [15] 钟巍,熊黑钢,舒强.全新世以来南疆地区气候环境演变与人类活动的关系[J].地理科学进展,2000,19(4):307-316.
- [16] Hoelzmann P, Keding B, Berke H, et al. Environmental Change and Archaeology: Lake Evolution and Human Occupation in the Eastern Sahara During the Holocene[J]. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 2001, 169(3): 193-217.
- [17] 成都地质学院陕北队.沉积岩(物)粒度分析及其应用[M].北京:地质出版社,1978.
- [18] Huang C C, Pang J L, Zhao J B. Chinese Loess and the Evolution of the East Asia Monsoon[J]. Progress in Physical Geography, 2000, 24(1): 75-96.
- [19] Porter S C, An Z S. Correlation Between Climate Events in the North Atlantic and China During the Last Glaciation[J]. Nature, 1995, 375: 305-308.
- [20] Ding Z, Yu Z, Rutter N W, et al. Towards an Orbital Time Scale for Chinese Loess Deposits[J]. Quaternary Science Reviews, 1994, 13(1): 39-70.
- [21] 孙东怀,安芷生,苏瑞侠,等.古环境中沉积物粒度组分离的数学方法及其应用[J].自然科学进展,2001,11(3):269-276.
- [22] 李智佩,岳乐平,薛祥煦,等.毛乌素沙地东南部边缘不同地质成因类型土地沙漠化粒度特征及其地质意义[J].沉积学报,2006,24(2):267-275.
- [23] 孙东怀,鹿化煜,Rea D,等.中国黄土粒度的双峰分布及其古气候意义[J].沉积学报,2000,18(3):327-335.
- [24] Kukla G, Heller F, Liu X M, et al. Pleistocene Climates in China Dated by Magnetic Susceptibility[J]. Geology, 1988, 16(9): 811-814.
- [25] 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.
- [26] Huang C C, Pang J L, Chen S E, et al. Holocene Dust Accumulation and the Formation of Polycyclic Cinnamon Soils (Luvisols) in the Chinese Loess Plateau[J]. Earth Surface Processes and Landforms, 2003, 28(12): 1259-1270.
- [27] 周群英,黄春长.西周沔县遗址全新世土壤研究[J].地理科学,2003,23(3):310-315.
- [28] 丁仲礼,孙继敏,刘东生.联系沙漠—黄土演变过程中耦合关系的沉积学指标[J].中国科学(D辑),1999,29(1):82-87.
- [29] 鹿化煜,周亚利, Mason J,等.中国北方晚第四纪气候变化的沙漠与黄土记录——以光释光年代为基础的直接对比[J].第四纪研究,2006,26(6):888-894.
- [30] 周卫建,卢雪峰,武振坤,等.若尔盖高原全新世气候变化的泥炭记录与加速器放射性碳测年[J].科学通报,2001,46(12):1040-1044.
- [31] 刘嘉麒,吕厚远, Negendank J,等.湖光岩玛珥湖全新世气候波动的周期性[J].科学通报,2000,45(11):1190-1195.
- [32] 安成邦,冯兆东,唐领余,等.甘肃中部4 000年前环境变化与古文化变迁[J].地理学报,2003,58(5):743-748.
- [33] 马振兴,黄俊华,魏源,等.鄱阳湖沉积物近8 ka来有机质碳同位素记录及其古气候变化特征[J].地球化学,2004,33(3):279-285.
- [34] 邵晓华,汪永进,程海,等.全新世季风气候演化与干旱事件的湖北神农架石笋记录[J].科学通报,2006,51(1):80-86.
- [35] 谭亮成,安芷生,蔡演军,等.4.2 ka BP 气候事件在中国的降雨表现及其全球联系[J].地质评论,2008,54(1):94-104.
- [36] Chen F H, Shi Q, Wang J M. Environmental Changes Documented by Sedimentation of Lake Yiem a in Arid China Since the Late Glaciation[J]. Journal of Paleolimnology, 1999, 22(2): 159-169.

- [37] Huang C C, Zhao S C, Pang J L, et al. Climatic Aridity and the Relocations of the Zhou Culture in the Southern Loess Plateau of China[J]. *Climatic Change*, 2003, 61(3): 361-378.
- [38] Huang C C, Jia Y F, Pang J L, et al. Holocene Colluviation and Its Implications for Tracing Human-induced Soil Erosion and Redeposition on the Piedmont Loess Lands of the Qinling Mountains, Northern China[J]. *Geoderma*, 2006, 136(3/4): 838-851.
- [39] Dahl S O, Nesje A. Holocene Glacier Fluctuations at Hardangerjokulen, Central-southern Norway: a High-resolution Composite Chronology from Lacustrine and Terrestrial Deposits[J]. *The Holocene*, 1994, 4(3): 269-277.
- [40] Gasse F. Diatom-inferred Salinity and Carbonate Oxygen Isotopes in Holocene Waterbodies of the Western Sahara and Sahel(Africa)[J]. *Quaternary Science Reviews*, 2002, 21(7): 737-767.
- [41] Aziz H W, Lamy F, Pätzold J. A Pronounced Dry Event Recorded Around 4.2 ka in Brine Sediments from the Northern Red Sea[J]. *Quaternary Research*, 2006, 66(3): 432-441.
- [42] Booth R K, Jackson S T, Forman S L, et al. A Severe Centennial-scale Drought in Midcontinental North America 4 200 Years Ago and Apparent Global Linkages[J]. *The Holocene*, 2005, 15(3): 321-328.
- [43] 黄春长. 渭河流域 3 100 年前资源退化与人地关系演变[J]. *地理科学*, 2001, 21(1): 30-35.
- [44] 姚檀栋, 杨志红, 皇翠兰, 等. 近 2 ka 来高分辨的连续气候环境变化记录——古里雅冰芯近 2 ka 记录初步研究[J]. *科学通报*, 1996, 41(12): 1103-1106.
- [45] 姚檀栋. 古里雅冰芯近 2000 年来气候环境变化记录[J]. *第四纪研究*, 1997, 17(1): 52-61.
- [46] Booth R K, Notaro M, Jackson S T, et al. Widespread Drought Episodes in the Western Great Lakes Region During the Past 2 000 Years: Geographic Extent and Potential Mechanisms[J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 2006, 242(3/4): 415-427.
- [47] Lamb H H. The Early Medieval Warm Epoch and Its Sequel[J]. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 1965, 1: 13-37.
- [48] 竺可桢. 中国近五千年来气候变迁的初步研究[J]. *考古学报*, 1972(1): 15-38.
- [49] 张德二. 我国“中世纪温暖期”气候的初步推断[J]. *第四纪研究*, 1993, 13(1): 7-15.
- [50] 吴宏岐, 党安荣. 隋唐时期气候冷暖特征与气候波动[J]. *第四纪研究*, 1998, 18(1): 31-38.
- [51] 陕西省地方志编纂委员会. 陕西省志第十三卷: 水利志[M]. 西安: 陕西人民出版社, 1999.
- [52] 赵景波, 顾静, 邵天杰. 唐代渭河流域与泾河流域涝灾研究[J]. *自然灾害学报*, 2009, 18(2): 50-55.
- [53] 王绍武. 小冰期气候的研究[J]. *第四纪研究*, 1995, 15(3): 202-212.
- [54] 王苏民, 刘健, 周静. 我国小冰期盛期的气候环境[J]. *湖泊科学*, 2003, 15(4): 369-376.
- [55] 王会昌. 2 000 年来中国北方游牧民族南迁与气候变化[J]. *地理科学*, 1996, 16(3): 274-279.
- [56] 王川, 杜继稳, 杜川利, 等. 530 年来陕北气候变化与东部地区关系分析[J]. *西北大学学报: 自然科学版*, 2004, 34(2): 238-241.
- [57] 邢福来. 统万城遗址考古发掘的新收获[J]. *中国历史地理论丛*, 2003, 18(专辑): 89-94.

(上接第 64 页)

- [19] Rahardjo H, Aung K K, Leong E C, et al. Characteristics of Residual Soils in Singapore as Formed by Weathering[J]. *Engineering Geology*, 2004, 73(1/2): 157-169.
- [20] 陈建平, 查明. 准噶尔盆地环玛湖凹陷二叠系不整合特征及其在油气运移中的意义[J]. *石油勘探与开发*, 2002, 29(4): 29-31.
- [21] 张建林. 地层不整合对油气运移和封堵的作用[J]. *油气地质与采收率*, 2005, 12(2): 26-29.
- [22] Little A L. The Engineering Classification of Residual Tropical Soils[C] // Committee of Seventh International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering. Seventh International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering. Mexico City: International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, 1969: 1-10.
- [23] 郝志伟, 苏朝光, 张营革, 等. 前三系不整合在油气成藏中的作用[J]. *西部探矿工程*, 2006(5): 61-63.
- [24] Jiao Z S, Surdam R C. Stratigraphic/diagenetic Pressure Seals in the Muddy Sandstone, Powder River Basin, Wyoming[C] // Ortoleva P J. Basin Compartments and Seals. London: American Association of Petroleum Geologists, 1994: 297-312.
- [25] 王广利, 朱日房, 陈致林, 等. 义和庄凸起及其北部斜坡带油气运聚研究[J]. *油气地质与采收率*, 2001, 8(4): 12-14.
- [26] 张家震, 王学军, 毕彩芹, 等. 义和庄凸起北坡油藏分布规律[J]. *新疆石油学院学报*, 2003, 15(3): 31-34.
- [27] 李丕龙, 张善文, 王永诗, 等. 多样性潜山成因、成藏与勘探——以济阳拗陷为例[M]. 北京: 石油工业出版社, 2003.
- [28] 李明诚. 石油和天然气运移、聚集的特征[J]. *地球物理学进展*, 1994, 9(1): 120-124.
- [29] 韩会平, 武春英, 蒋继辉, 等. 大路沟地区三叠系延长组长 6 储层特征及影响因素[J]. *地球科学与环境学报*, 2008, 30(2): 149-155.
- [30] 旷理雄, 郭建华, 童小兰, 等. 准噶尔盆地南缘东段油气成藏条件及成藏模式[J]. *地球科学与环境学报*, 2007, 29(1): 34-40.
- [31] 谢宗奎, 李生德, 车明, 等. 柴达木盆地侏罗系油气成藏模式与油气聚集规律[J]. *地球科学与环境学报*, 2007, 29(2): 166-169.