

太白山佛爷池湖泊沉积理化分析反映的8 000 aBP 以来环境变化

刘耕年, 傅海荣, 崔之久, 唐元新

(北京大学环境学院, 北京 100871)

摘要: 封闭湖泊沉积物比较完整地记录了环境演化信息, 是研究古环境变化的理想材料。通过对太白山佛爷池湖心剖面沉积物样品粒度参数、总有机碳、有机碳同位素、($T D_2/K_2O$)、碳酸盐含量等气候环境代用指标的分析, 结合剖面的岩性特征与 ^{14}C 测年, 指出本区气候环境经历了四个变化阶段: (1) 8 200 aBP~ 5 900 aBP 的温暖潮湿阶段, 出现较为适宜的气候; (2) 5 900 aBP~ 4 400 aBP 气候变得恶劣, 较为冷干; (3) 4 400 aBP~ 2 700 aBP 气候恢复为温湿类型; (4) 2 700 aBP 以后气候再一次急剧变冷干, 大至到900 aBP 逐渐变得温湿, 与太白山地区现代气候类型相符。

关键词: 东佛爷池; 全新世; 沉积物; 代用指标

中图分类号: P543 632

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2005)04-0001-04

An 8 000 Years Environmental Change Record of Lacustrine Deposits of Foyechi Lake at Taibai Mountains

LU Geng-nian, FU Hai-rong, CU I Zhi-jiu, TANG Yuan-xin

(College of Environmental Sciences, Peking University, Beijing 100871, China)

Abstract: Foyechi Lake locates at Taibai Mountains (33°41' ~ 34°10'N, 107°19' ~ 107°58'E), with altitude of 3 410 m above sea level. The lake is glacial erosion formation. Based on field observation and sampling of the lacustrine deposits and the analysis of grain size, TOC, $\delta^{13}C$, $T D_2/K_2O$, carbonate, and ^{14}C datings of the deposits, the local climate have been undergoing four periods change: (1) the climate was warm and humid in 8 200~ 5 900 aBP; (2) the climate changed rigorous cold and dry in 5 900~ 4 400 aBP; (3) the climate was warm and humid again in 4 400~ 2 700 aBP; (4) the climate became cold and dry again since 2 700 aBP.

Key words: Foyechi Lake; deposit; Holocene; climate change

湖泊沉积是湖泊流域气候、地质、生物等综合作用的产物^[1]。内陆封闭湖泊沉积作为气候与环境变迁的忠实记录者, 记录了大量的环境变化的信息。它的连续性、高分辨率及对气候与环境变化的高敏感性使之成为研究古气候的理想材料^[2]。利用内陆封闭湖泊沉积物恢复陆地古气候环境是进行过去全球变化研究的重要内容和手段之一^[1]。

利用湖泊沉积记录重建古气候环境演化序列的关键是寻求有效的气候环境代用指标, 以定量的提取湖泊沉积记录的环境气候信息。在本文中, 笔者选取了秦岭太白山佛爷池全新世以来湖泊沉积物粒度、总有机碳(TOC)、有机碳同位素($\delta^{13}C$)、($T D_2/K_2O$)、频率磁化率、磁化率、碳酸盐含量等气候环境代用指标, 试图恢复该地区全新世以来的气候环境演化序列。

1 研究区自然地理概况

太白山位于陕西省眉县、周至县和太白县交接带(33°

41' ~ 34°10'N - 107°19' ~ 107°58'E), 主峰拔仙台海拔3 767 m, 系秦岭山脉最高峰。太白山山体是由燕山运动形成的巨大花岗岩岩基构成, 受后期断裂运动和岩脉侵入的影响, 主体岩体多为混合花岗岩和二长花岗岩。

太白山的自然景观垂直分带非常明晰。在海拔3 300 m 以上的为高山景观, 岩石裸露, 寒冻风化作用强烈, 山坡上发育有石流坡、石河、冰缘岩柱、倒石锥等, 山顶和湖边平地上发育有石海、草丛土堆、雪蚀洼地和石多边形等; 海拔2 600 ~ 3 300 m 为亚高山景观; 海拔2 600 m 以下为中山景观, 主要是落叶阔叶林。

太白山高山带寒冷时期长达9~ 10个月, 10~ 4月的平均气温低于- 9℃, 7~ 8月的平均气温为7~ 10℃, 年温差达19℃。海拔3 500 m 处年均温在- 2℃以下。高山带降水约为750~ 800 mm, 集中在7~ 9月。

佛爷池位于拔仙台西南侧, 位于向南开口的古冰斗底部, 为一冰斗湖, 湖底海拔3 410 m。现今湖水变化比较大, 有

* 收稿日期: 2005-04-26

基金项目: 国家自然科学基金资助(90102016, 40271014)

作者简介: 刘耕年(1962-), 男, 北京大学环境学院教授, 从事地貌学与第四纪地质学的教学和科研工作。

时干涸。在湖泊西部挖掘剖面222 m,进行系统采样。本文即根据所采样品分析展开研究。

2 实验方法

用于分析测试的剖面210 cm,在实验室采用4 cm的间隔对样柱取样,共得到样品52个。沉积物样品的¹⁴C年代、粒度分布、总有机碳含量、有机碳同位素、磁化率等项目在中国科学院南京地理与湖泊研究所沉积与环境开放实验室完成。

沉积物绝对年龄由中科院南京地理与湖泊研究所沉积与环境开放实验室¹⁴C实验室吴艳宏用液闪法在Wallac Quantulus 1220型低本底液体闪烁谱仪上测定。

粒径大于45 μm的粒级分布采用南京地理与湖泊研究所研制的SFY-B1音波调频振动式自动筛分粒度仪测定;粒径小于45 μm的粒级分布则采用日本SEISHIN株式会社生产的SKC-2000型光透式粒度分布测定仪测定。

磁化率数据的测定采用的仪器是英国Bartington公司生产的MS2型磁化率测量仪MS2双频探头(高频47 kHz,低频0.47 kHz)。样品装入8 ml的方形样品测量盒,放在40的烘箱中烘干,称量后进行测量。

总有机碳的分析,采用的电热板加热-K₂Cr₂O₇容量法。用过量的K₂Cr₂O₇-H₂SO₄溶液在电热板加热的条件下,

使土壤有机质中的碳氧化成CO₂,而Cr₂O₇²⁻被等量的还原为Cr³⁺,剩余的Cr₂O₇²⁻再用Fe²⁺标准溶液滴定。根据有机碳被氧化前后Cr₂O₇²⁻数量的变化,计算出总有机碳的含量。

将有机碳在过量的氧气中燃烧生成CO₂和H₂O,然后进行分离转移,将得到的CO₂用不同的冷冻剂净化、收集。在MAT-251型质谱仪上测定其δ¹³C值。

计算采用国际PDB标准:

$$\delta^{13}C = \frac{(^{13}C/^{12}C)_{\text{样}} - (^{13}C/^{12}C)_{\text{标}}}{(^{13}C/^{12}C)_{\text{标}}} \times 1000\%$$

沉积物样品的离子含量分析在中国科学院地理所分析中心完成。

3 实验结果

东佛爷池沉积物的粒度分布、总有机碳(TOC)、有机碳同位素(δ¹³C)、(T_{D2}/K₂O)、频率磁化率、磁化率、Fe₂O₃、碳酸盐含量等各项代用指标测试值随剖面深度变化见图1。在剖面深度206 cm处¹⁴C年龄为8180 ± 170 aBP,82 cm为6080 ± 80 aBP,由此推算从深度206~82 cm处的平均沉积速率为0.59 mm/a,从82 cm处到地表的平均沉积速率为0.135 mm/a。

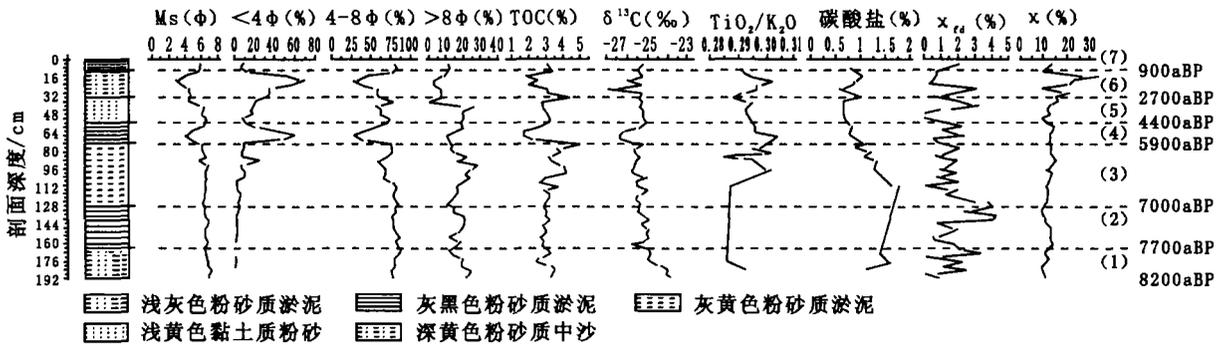


图1 东佛爷池沉积岩心环境代用指标垂直分布图解

4 沉积物揭示的气候环境演化特征

理解湖泊沉积中代用指标的环境意义和确定较准确的沉积年代,是利用湖泊沉积物重建过去气候环境演变的两个关键的环节^[1]。本文拟根据对东佛爷池湖心人工剖面所分析的环境代用指标的综合判识,初步的探讨该地区全新世以来的气候环境演化过程。

4.1 各项代用指标的气候环境意义

东佛爷池地处高山寒冻地带,地表裸露程度高,化学风化作用不甚强烈,而以物理风化为主。湖泊径流区面积狭小、湖面面积小、集水区域窄、物源供给少是东佛爷池的典型特征。区域性的特征决定了气候环境代用指标的指示意义,与在其他地区研究实例中的指示意义会有不同。

(1) 粒度分布(φ) 粒度分布的特征直接反映着水动力条件的强弱。本文选用<4φ(细~粗砂)、4~8φ(细~粗粉砂)、>8φ(黏土)以及平均粒径(Ms)几个指标来指示水动力条件的改变。气候冷干的情况下,植被的覆盖较差,寒冻风化作用加强,同时容易发生暴雨,产生急促的流水冲刷搬运,致使沉积物中粗颗粒组分含量大。反之,气候温湿的条件下,植被发育较好,有一定程度的成土作用,流水持续均匀,使沉积物

中有较多量的细颗粒的粉砂、黏土成分。黏土组分含量能够比较敏感的指示植被发育、化学风化程度与水动力的条件,可以独立作为一个判识的指标。

(2) 总有机碳(TOC) 封闭湖泊沉积物总有机碳的变化是气候环境变迁较好的代用指标,尤其对单一湖相沉积系列更是如此^[3]。东佛爷池为一高海拔、低水温、少水生生物的贫营养湖。有机碳来源依靠周边山地陆生植被的输入。当气候温暖湿润时,陆生植被发育较为茂盛,有较多量的有机质输入湖泊,同时湖泊水位较高,有机质保存程度较为完好,有机碳的含量高,反之,在冷干的气候条件下,植被覆盖程度差,有机碳的含量较低。

(3) 有机碳同位素(δ¹³C) 东佛爷池沉积物源单一,有机质来源于陆生植被,湖水pH值平均为5.89,抑制了水汽界面的CO₂的交换,湖泊内生产力低。湖泊水生生物生命过程进行的同位素分馏对有机碳同位素的分布几乎没有贡献。

在陆地生态系统中,不同类型的植被有不同的有机碳同位素值域^[4]。有机碳同位素值首先能指示植被类型。碳的同位素通过光合作用(一般有催化酶的参与)在植物生命过程中发生动力学分馏,其结果是产生轻同位素(¹²C)在植物体中的富集。C3植物采用卡尔文循环固着CO₂,在RuBP酶的作用下,

该种植物类型的 $\delta^{13}\text{C}$ 值的分布范围为 -34‰ ~ -23‰ , 平均值约为 -25‰ , 一般生存在较为湿润的气候条件下, 指示着森林植被类型^[4-6]。C4 植物利用 Hatch-Slack 循环固着与 CO_2 平衡的 HCO_3^- , 在 PEP 酶的作用下, 碳同位素相对的偏重, 分布范围为 -23‰ ~ -6‰ , 平均值约为 -14‰ 。C4 类植物多是耐旱的草本植物^[4-6]。CAM 植物类型的固碳则既可以以 RuBP 途径也可以以 PEP 途径, 所以这类植物的碳同位素值的分布包括了 C3 和 C4 植物的分布范围^[4-6]。

植物生命活动过程中外界气候条件(温度, CO_2 浓度等)的变动会造成有机碳同位素分馏的变化。在较单一的物源的控制条件下, $\delta^{13}\text{C}$ 能很好的反映温度的变化^[3]。东佛爷池剖面 $\delta^{13}\text{C}$ 平均值约为 -25.32‰ , 应该为 C3 植物的贡献。对 C3 植物而言, 温度升高时, $\delta^{13}\text{C}$ 偏重, 温度降低时, $\delta^{13}\text{C}$ 偏轻^[7]。

(4) $(\text{TD}_2/\text{K}_2\text{O})$ 含钾的硅酸盐矿物易于被风化分解, 岩石风化后钾被析出并为流水所带走, 但是由于钾的离子半径较大, 极化率较高, 所以容易被黏土所吸附^[8]。钛元素形成可难溶解性的矿物($\text{TD}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ 以及金红石等), 不容易被搬运, 在风化壳的内部(或土壤的表面)由于其他元素在风化、水化过程中的流失使钛产生相对的富集^[8]。当东佛爷池地区气候呈现冷干时, 寒冻风化作用强烈, 植被覆盖较差, 暴雨造成急促的冲刷搬运, 将粗颗粒物带入湖泊沉积, 使得沉积物中 TD_2 含量较高; 同时, 成土作用弱, 细颗粒的黏土进入量少。所以沉积物中 $(\text{TD}_2/\text{K}_2\text{O})$ 高值指示较为冷干的气候条件。而低值则反之, 指示较为温暖潮湿的气候环境条件。

(5) 频率磁化率(X_{fd})与磁化率(X) 频率磁化率是通过分别对样品进行高频(X_{hf})和低频(X_{lf})的测量来完成的。表示为 $[(X_{hf} - X_{lf})/X_{lf}] \times 100\%$ 。频率磁化率对指示气候与环境变化有独特的意义。这是因为细粒的超顺磁/稳定单畴界限附近的细黏滞性铁磁颗粒只对低频磁化率有贡献, 这造成了高频磁化率与低频磁化率之差^[2,9]。由于沉积物样品频率磁化率的变化可以确定细黏滞性颗粒的相对含量波动, 间接的指示沉积动力的变化, 故利用沉积物频率磁化率既可以提供沉积物磁性资料又可得到环境变化的信息^[9]。东佛爷池周边的岩石为混合花岗岩和二长花岗岩, 其铁磁性矿物含量低, 而且东佛爷池湖水流域小, 陆源物质很容易就能到达湖心位置。这使得沉积物样品的磁化率的值较低(8.16×10^{-8} ~ $13.64 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$, 平均 $12.78 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$)。磁化率的变化特征不明显, 基本上不具备有气候环境的指示意义。

胡守云等在研究若尔盖盆地湖泊沉积物时发现, 当 X 越低, X_{fd} 的误差越大, 当质量磁化率小于 $20 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$ 时, 频率磁化率所反映的是测试的误差^[10]。东佛爷池沉积物频率磁化率的特点是测定值低, 且波动大, 基本不能反映环境变化的细节。

(6) 碳酸盐含量封闭湖盆中, 碳酸盐的溶解、沉淀主要取决于其饱和度, 而饱和度又与湖水的体积(有效降水)以及湖水的矿化度(盐度)有关^[11,12]。碳酸盐含量能用来指示气候的干湿变化。对东佛爷池而言, 沉积物依赖于外界的输入, 在气候温湿时, 具有相对较高的湖面, 但输入的溶盐离子量也大, 湖水矿化度相对较大, 引起碳酸盐的沉淀, 沉积物中碳酸盐含量高。相反地, 在冷干的气候环境下, 不具备经常性的径流, 周边化学风化作用弱, 经过淋滤、搬运输入的溶盐离子量小, 湖面虽然较低, 但由于湖水矿化度低, 碳酸盐沉淀少, 沉积物中碳酸盐含量低。对沉积物中可溶盐离子含量的测定

证实了这一推论。在可溶盐离子含量, 包括 K^+ 、 Na^+ 、 Mg^{2+} 、 SO_4^{2-} 、 Cl^- 呈现较高值的剖面部分, 碳酸盐含量也较高。反之亦然。所以可以用碳酸盐高含量来指示温湿的气候环境, 而低含量指示较冷干的气候环境。

必须指出的是, 东佛爷池沉积物来源单一, 位处高寒地区, 化学风化作用弱, 可溶盐离子含量总体较低, 可溶盐离子含量变化本身包含着气候环境变动的信息, 但只能表现出趋势的变化, 而不能完备的反映气候变动的细节。

4.2 太白山顶全新世以来的气候环境演化

东佛爷池剖面的年代序列根据 ^{14}C 方法测定的两个年龄数据计算的平均沉积速率推算而来。结合剖面的岩性特点, 综合各项气候环境代用指标, 可以将进入全新世 $8180 \pm 170 \text{ a}$ 以来该地区的气候环境演化做阶段性的划分。

对剖面进行综合的考察, 剖面位置 80 cm 处(对应年龄 5800 aBP) 是一个转折点。以下的剖面, 沉积物以 $> 4\phi$ 的粒度为主, $< 4\phi$ 的颗粒由下而上虽然呈现渐增的趋势, 但总体不超过 10% 。平均粒径(M_S) 6.75ϕ , 本段物质较细且波动不大, 气候类型当以为细颗粒物指示的较为温湿为主。细-粗粉砂与黏土的含量则呈明显的反方向变化, 表明在温湿气候背景下水动力条件的轻微的交互变动。由于碳酸盐含量总体较低, 其变化特征虽不能提供有关气候波动的细节, 但能揭示出趋势。本段碳酸盐含量相对较高, 也指示温湿气候下的较高的湖面、较高的矿化度环境。

80 cm 处以上的剖面, 碳酸盐含量低, 平均为 0.75% 。粒度参数变化特征与下段明显不同。细-粗粉砂与黏土的含量表现为同步的变化, 而 $< 4\phi$ 的细颗粒则与 $> 4\phi$ 的细-粗砂组分含量呈反方向变动。平均粒径最低 2.80ϕ , 最高 6.70ϕ , 物质颗粒较粗而且波动较大。本段的气候类型当判识为冷干-温湿类型的交替变化为主。

据此, 可将 80 cm 以下的部分(8200 aBP ~ 5900 aBP) 划分为第一个大的阶段, 以上的部分(8200 aBP ~ 0) 划分为第二个大的阶段。

结合 TOC 、 $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\text{TD}_2/\text{K}_2\text{O}$ 等指标, 可以做进一步的细致划分:

I. (1) $210 \sim 180 \text{ cm}$ ($8200 \sim 7700 \text{ aBP}$) 岩性为浅灰色粉砂质淤泥, 有腐殖质气味, 剖面 210 cm 以下仍然为湖相的沉积, 但未继续向下挖掘。本段碳酸盐含量较高, 黏土组分, TOC 、 $\delta^{13}\text{C}$ 较高, 均呈下降的趋势。剖面自下而上 $\delta^{13}\text{C}$ 值从 -23.78‰ 降低到 -25‰ , 判识为全新世以来的降温期, 气候类型为暖湿转温湿;

(2) $180 \sim 140 \text{ cm}$ ($7700 \sim 7000 \text{ aBP}$) 岩性为灰黑色粉砂质淤泥, 有腐殖质气味, 本段气候类型仍然判识为温湿, 碳酸盐含量较高, $\text{TD}_2/\text{K}_2\text{O}$ 很低, 且未出现波动, 曲线平直。 $\delta^{13}\text{C}$ 值有由低—高一低的变化过程。细-粗粉砂与黏土的含量反方向变化, 黏土含量也有由最开始的低升高再降低的变化过程。表明在温湿气候背景下温度与湿度在程度上的波动; 在剖面 152 cm 处发现有灌木的枝条。可见此时期的气候适宜, 陆生植被很繁盛, 降水多, 水动力强, 且湖面较高, 使枝条得以保存。

(3) $140 \sim 80 \text{ cm}$ ($7000 \sim 5900 \text{ aBP}$) 岩性为灰黄色粉砂质淤泥。从本段下部到上部, 黏土含量升高, 到剖面 100 cm 处达到整个剖面的最高值 28% , 之后黏土含量降低。 TOC 在本段含量渐高, 经历一次峰-谷的波动($112 \sim 80 \text{ cm}$), 到顶

部84~ 80 cm 处达到整个剖面的最高值。 $\delta^{13}C$ 首先升高, 至120 cm 处上下时, 具有两个峰值, 之后降低, 到本段顶部时, 又有所回复。碳酸盐含量增加到120 cm 处时达到一个峰值, 之后呈现下降的趋势, 并表现出高低的较强烈的波动。 $T D_2 / K_2 O$ 在本段出现强烈的波动, 在剖面112 cm 处时出现一个高值, 之后又落到到谷值, 以后再经波动回升。

剖面96 cm 处对应的当是一个气候变干的波动, TOC 含量位处低谷。但 $\delta^{13}C$ 的反应却不甚敏感。细- 粗砂含量曲线出现一个正偏移的突起, 细- 粗粉砂则出现凹谷, 同时, 黏土也出现低谷, 在此处本段细- 粗粉砂与黏土组分含量惟一次出现同步变化。

把本段与其他阶段做一对比, 发现, 在某些位置, 对一确定的点而言, 按照前述的对各项代用指标的意义的解释, 各项指标不能很好的匹配与相互支持, 尤其表现在 TOC, $T D_2 / K_2 O$, $\delta^{13}C$ 几个指标上。本段气候波动剧烈, 是一个原因。可能的一种解释是, 本段上部, 温湿气候条件下, 温度变化不大, 但降水增多量大, 致使进入湖泊的有机物增多量大, 总有机碳含量在上段出现异常的高值段。同时, $T D_2$ 的矿物或碎屑由于增强的水动力条件, 搬运进入湖泊的量也增加很多, 致使 $T D_2 / K_2 O$ 数值指示的意义与前述的有所不同, $T D_2 / K_2 O$ 反而反映了较为温湿条件下降水量较大的环境。

II. (4) 80~ 60 cm (5 900~ 4 400 aBP) 本段岩性为灰黑色粉砂质。平均粒径指数达到谷值, 细- 粗砂组分含量达到峰值, 细- 粗粉砂组分含量达到谷值, 黏土含量很低。TOC 的含量急剧降低到谷值, 为 1. 62%; $\delta^{13}C$ 也剧烈降低, 达到- 26. 28‰的低值。 $T D_2 / K_2 O$ 出现峰值。各项指标表明, 本段为气候急剧变恶劣的时期, 气候类型为冷干, 尤其在剖面72 cm 处, 各指标的峰值和谷值出现, 为气候最恶劣的时段。

(5) 60~ 36 cm (4 400~ 2 700 aBP) 本段岩性为浅黄色黏土质粉砂。平均粒径恢复到 6ϕ 以上, 细- 粗砂组分含量低, 降低到20% 以下。细- 粗粉砂组分含量与黏土含量成反方向的变化。TOC 值恢复到3% 左右, $\delta^{13}C$ 回复到- 25. 23‰左右, 且趋势平缓, 变动不大。 $T D_2 / K_2 O$ 降低。但本段碳酸盐含量维持低值。

本段气候类型判识为温湿, 值得注意的是本段顶部的一个气候波动。40 cm 处, 黏土含量急剧降低几近于零, 平均粒径突然降低到约4. 5 ϕ ; 细- 粗粉砂组分出现一个突兀的高峰, 达到78% 的含量, 同时TOC 含量出现低值, 而 $T D_2 / K_2 O$ 突然升高。此处当为一个较剧烈的向冷干趋势的波动。到本段顶部, 即与上段界线36 cm 处, 气候回复到温湿的条件, TOC 出现了一个高值, $T D_2 / K_2 O$ 出现一个低谷, 碳酸盐含量呈现一个峰值。此处为一气候变好的时期。

参考文献:

[1] 曹建廷, 沈吉, 王苏民 内蒙古岱海湖泊沉积记录的小冰期气候环境[J]. 湖泊科学, 2000, 12, (2): 97- 104
 [2] 吴瑞金 湖泊沉积物的磁化率、频率磁化率及其古气候意义- 以青海湖、岱海近代沉积为例[J]. 湖泊科学, 1993, 5(2): 128- 135
 [3] 吴敬禄, 李世杰, 等 若尔盖盆地兴措湖沉积记录揭示的近代气候与环境[J]. 湖泊科学, 2000, 12(4): 291- 296
 [4] M. Schidlowski Isotope fractionation in the terrestrial carbon cycle: a brief overview [J]. Adv Space Res., 1995, 15(3): 441- 449
 [5] 李玉成, 葛宏华, 等 重建气候环境演化历史的碳同位素技术[J]. 安徽大学学报(自然科学版), 2001, 25(3): 73- 78
 [6] 吴敬禄, 沈吉, 王苏民 湖泊沉积物中有机质 $\delta^{13}C$ 形成条件兼论若尔盖盆地中 $\delta^{13}C$ 所示古气候特征[A]. 青藏高原形成演化、环境变迁与生态系统研究, 学术论文年刊(1994) [C]. 北京: 科学出版社, 1995. 175- 181.

(6) 36~ 12 cm (2 700~ 900 aBP) 本段为又一个气候变恶劣的时期。岩性为深黄色粉砂质中砂, 含灰色淤泥。TOC 含量和 $\delta^{13}C$ 均急剧降低, 出现谷值, TOC 最低达1. 72%, $\delta^{13}C$ 最低达- 27. 03‰。细- 粗砂增多, 细- 粗粉砂降低, 黏土组分含量很低。在剖面20 cm 处, 细- 粗砂含量达到最高后趋向下降, 细- 粗粉砂含量达到最低后再呈上升的趋势, $T D_2 / K_2 O$ 达到一个峰值。本段至20 cm 处达到最恶劣, 比第(4) 阶段72 cm 处更甚。

(7) 12~ 0 cm (900 aBP~ 0) 历经前段的恶劣气候时期以后, 本段以来, 细- 粗砂降低, 低于10%, 细- 粗粉砂含量回升, 黏土含量回升, 但未超过14%。TOC 含量和 $\delta^{13}C$ 回升, 而 $T D_2 / K_2 O$ 则恢复低值。本段气候类型变为温湿, 与现代东佛爷池地区的气候类型相符。

5 讨论与结论

田泽生等(1990) 将黄河中游黄土高原古气候变化模式与太白山古雪线变化和冰川类型的演变过程对比, 以确定各次雪线的相对年龄。认为太白山的古雪线变化和冰川演变过程, 与黄土高原古气候变化模式十分吻合, 与文化分期也有对应的关系, 从而将太白山全新世以来分为五个阶段: (1) 10 000~ 8 500 aBP, 冷干、冰进; (2) 8 500~ 7 000 aBP, 温凉湿润; (3) 7 000~ 5 500 aBP, 冷干、冰进; (4) 5 500~ 3 000 aBP, 温暖湿润; (5) 3 000~ 1 400 aBP, 冷干; (6) 1 400 aBP~ 0, 温暖湿润^[13]。而在太白山的北面, 是黄土高原的主体陕北高原。黄春长(1989) 对渭河流域全新世以来的环境气候变化也有如下的分期: (1) 8 500~ 6 800 aBP, 暖湿期; (2) 6 800~ 5 000 aBP, 冷干期; (3) 5 000~ 3 120 aBP, 暖湿期; (4) 3 120~ 1 400 aBP, 冷干期; (5) 1 400 aBP~ 0 暖湿期^[14]。童国榜、张俊牌等^[15~ 17] 根据太白山佛爷池、芳香寺沉积剖面样品恢复了该区近千年的环境演化, 明确指出小冰期的时段在 1 420~ 1 920 aAD, 最盛期在 1 350~ 1 700 aAD。崔之久等^[18] 根据佛爷池剖面沉积的孢粉和粒度对近 8 200 aBP 以来环境演化进行探讨, 指出本区气候环境经历了四个阶段的变化。将本文的结果与以上研究者得出的结果做一对比, 在气候变化的阶段划分以及大致的时段上基本吻合。即太白山佛爷池湖泊沉积记录的全新世以来的气候环境演化, 与深海氧同位素和黄土模式揭示的全新世气候环境演化规律能很好的对应, 反映 8 200 aBP~ 5 900 aBP 为温暖潮湿阶段, 出现较为适宜的气候; (2) 5 900 aBP~ 4 400 aBP 气候变得恶劣, 较为冷干; (3) 4 400 aBP~ 2 700 aBP 气候恢复为温湿类型; (4) 2 700 aBP 以后气候再一次急剧变冷干, 大至到 900 aBP 逐渐变得温湿, 与太白山地区现代气候类型相符。

为下沉、塌陷,如不积水,对建筑物的损害较轻。而在采空区的四周边内、外侧上方地表附近,是各种变形的集中区,对建筑物的损害较为严重。地面塌陷深度越大,对地面建筑物的破坏程度也会越高。

兖州市境内,因采煤地面塌陷造成的民房损坏、村庄搬迁现象是较普遍的。目前,已有部分村庄搬迁或即将搬迁,将来还会有不少村庄要搬迁。

(3) 破坏公路、铁路等交通设施。境区内,采煤塌陷破坏了较多的通过矿区公路,使得路面变得波状起伏,凹凸不平。最典型的是兖-邹公路,路面虽几经修复,目前还是高洼不平,雨天泥浆四溅,晴天尘土飞扬。另外,一些乡间公路在积水区被截断,非积水区起伏不平,沉降处路面受挤压而隆起;未沉降(或轻度沉降)区的外围形成裂缝,有的宽达10~30 cm,甚至形成“断层”,严重影响了车辆的运行。

(4) 影响矿区土壤环境。塌陷坑和地裂缝改变了原来相对稳定的土壤结构,由于水肥沿倾斜的地面和开裂的地裂缝渗漏流失,从而导致土壤肥力不断下降。据调查,兴隆庄、鲍店、杨村、田庄等煤矿塌陷区这一危害比较严重,土壤肥力明显下降,农作物大幅度减产。

由于地下煤层采空而引起地表塌陷最终形成了常年或季节性积水区,不仅被水淹的土壤本身就丧失了其耕种功能,而且受积水影响,周边地区土壤的沼泽化现象加剧。兴隆庄煤矿积水区及周围,鲍店煤矿兖州境内的积水区及周围和东滩、杨村煤矿的局部区段这一危害比较严重,由于无法种

参考文献:

- [1] 沈光寒,李白英,吴戈. 矿山特殊开采理论与实践[M]. 北京:煤炭工业出版社,1991.
- [2] 李景贤,王勇,会延龙,等. 地方龙口进港专线煤田采空区塌陷分析[J]. 西部探矿工程,2004,(10):40-42.
- [3] 纪万斌. 我国东北地区采煤塌陷灾害的预测及治理途径[J]. 中国地质灾害与防治学报,1997,8(增刊):60-68.
- [4] 马伟民,王金庄,聂孟荀,等. 煤炭岩层与地表移动[M]. 北京:煤炭工业出版社,1981.
- [5] 张荣隋,梁栋彬,等. 山东省兖州市采煤区地质灾害调查报告[R]. 山东省第二地质矿产勘查院,2002:23-33.
- [6] 陈龙乾,郭达志,许善宽,等. 兖州矿区采煤塌陷地状况与综合治理途径研究[J]. 自然资源学报,2002,17(4):504-508.
- [7] 吴爱民,陆书南. 兖州煤田采矿塌陷及其环境改造利用[J]. 中国地质灾害与防治学报,1997,8(增刊):191-195.
- [8] 吕鸣伦. 鲁中南平原地区采煤塌陷地的综合整治[J]. 中国人口·资源与环境,1995,5(4):39-43.
- [9] 杨国治,陈怀满,毛景东,等. 徐州煤田塌陷地的复垦与利用[J]. 土壤,1996,(6):319-323.
- [10] 吴光炜,彭建平. 关于巨野煤田塌陷区的治理与利用探讨[J]. 菏泽师专学报,2001,23(4):20-28.
- [11] 姜岩,郭建斌,张怀新,等. 兖州矿区开采塌陷土地复垦与综合利用研究[J]. 煤炭环境保护,2000,14(4):21-23.
- [12] 高清武,牛景才. 煤田采空区塌陷及其影响因素分析[J]. 中国地质灾害与防治学报,1997,8(3):57-61.

(上接第4页)

- [7] 沈吉,吴瑞金,安芷生. 大布苏湖沉积剖面有机碳同位素特征与古环境[J]. 湖泊科学,1998,10(3):8-10.
- [8] 刘英俊,等. 元素地球化学[M]. 北京:科学出版社,1984:47-57.
- [9] 张振克,吴瑞金,王苏民. 岱海湖泊沉积物频率磁化率对历史时期环境变化的反映[J]. 地理研究,1998,17(3):297-302.
- [10] 胡守云,邓成龙,等. 湖泊沉积物磁性性质的环境意义[J]. 科学通报,2001,46(17):1491-1494.
- [11] 王云飞. 青海湖、岱海的湖泊碳酸盐化学沉积与气候环境变化[J]. 海洋与湖沼,1993,24(1):31-35.
- [12] 方小敏,李吉均,等. 临夏盆地约30Ma以来CaCO₃含量变化与气候演变[A]. 青藏项目专家委员会. 青藏高原形成演化、环境变迁与生态系统研究,学术论文年刊(1994)[C]. 北京:科学出版社,1995:55-65.
- [13] 田泽生,黄春长. 秦岭太白山冰川发育与黄土高原气候变迁[J]. 地理研究,1990,9(3):15-22.
- [14] 黄春长. 渭河流域全新世黄土与环境变迁[J]. 地理研究,1989,8(1):20-31.
- [15] 董国榜,张俊牌,范淑贤,等. 秦岭太白山顶近千年来的环境变化[J]. 海洋地质与第四纪地质,1996,16(4):95-103.
- [16] 董国榜,吴锡浩,董琳,等. 太白山最近1000年的孢粉记录与古气候重建尝试[J]. 地质力学学报,1998,4(4):58-63.
- [17] 张俊牌,董敏,王书兵,等. 太白山芳香寺剖面孢粉记录的古气候重建[J]. 地质力学学报,2001,7(4):315-320.
- [18] 崔之久,唐元新,李建江,等. 太白山佛爷池剖面的全新世环境变化信息[J]. 地质力学学报,2003,9(4):330-336.

植作物而造成绝产。

3 地面塌陷防治对策

煤炭产业是兖州的重要产业支柱,对兖州的经济的发展起着相当重要的作用。然而大片的土地资源受到破坏也带来不可估量的损失。保护矿山环境和生态安全是实现我国矿产资源可持续发展战略的重要保证。因此,必须本着有利于兖州矿区农业可持续发展,既能保证煤炭生产的正常进行,又能处理好土地塌陷后的治理问题;把宏观和微观结合起来,全方位考虑采煤塌陷的综合治理途径。

经过本次调查得知,凡是开采过的煤矿区,都有不同程度的地面塌陷现象存在,但由于各个矿区煤层埋藏的深度、厚度和开采程度的不同,所引起地面塌陷程度也不同。对采煤塌陷区的防治工作,已有不少关于这方面的研究^[6-11]。综合他们的观点和实际调查结果最后提出以下几点措施:

(1) 采煤方式应以巷道挖凿为佳,同时要留设保护性煤柱,加强回填工作。

(2) 根据本区的煤田地质条件和大量的实际调查统计确定,地面各种建筑设施建设前,应详细调查煤矿开采历史和开采状况,新建的地表构筑物应选在远离采空区的地方为宜。

(3) 采取切实可行的方法,依据矿区土壤学、环境科学、区域综合规划等科学理论,结合不同等级塌陷区的自身特点,对塌陷土地进行恢复和综合治理,最终恢复土地的生产能力,实现矿区生态系统的平衡。