

文章编号: 1006-6616(1998)04-69-76

# 黄河源区距今 13 万年来古气候演化

张玉芳, 张俊牌, 徐建明, 林 防

地质矿产部水文地质工程地质研究所, 河北 正定 050803

**摘 要:** 综合分析黄河源区—青海玛多地区斗格涌盆地钻孔剖面的孢粉及易溶盐等气候代用指标, 揭示了该区 130ka B P 以来的古气候演变规律。即: 130.0—110.0ka B P 寒冷干旱; 110.0—82.0ka B P 寒温较湿; 82.0—10.4ka B P 寒冷干旱; 10.4ka B P 至现代(即全新世)温湿冷干交替。全新世古气候又可划分为 3 期: 早全新世升温期(10.4—7.5 ka B P)(Anathermal); 中全新世大暖期(7.5—3.5 ka B P)(Megathermal); 晚全新世降温期(3.5 ka B P 至今)(Katathermal)。本区古气候总的规律是: 冷期长且比全球其它地方提前, 暖期短且开始时期滞后。全新世以来气候波动具有千年尺度的振荡规律, 晚全新世至今, 气温有逐渐降低, 湿度逐渐变干的趋势。

**关键词:** 黄河源区; 130 ka B P; 古气候; 大暖期

**分类号:** P532

**文献标识码:** A

由于青藏高原的隆起及其气候变迁对亚洲乃至全球气候变化都有着巨大影响, 因此 80 年代以来中外许多学者对青藏高原古环境变迁有过较多的研究<sup>[1-6]</sup>, 但对青藏高原东部, 特别是青海省的东部研究甚少。为此, 作者选择了黄河源区—青海玛多地区斗格涌盆地为研究区, 旨在揭示其古气候演化规律, 为恢复青藏高原内部 130 ka B P 以来古气候环境及全球变化提供地质依据。该区平均海拔 4300 m, 为高寒荒漠草甸环境, 气候特点是低温、干旱、冰冻期长, 属永久冻土区。多年年平均气温  $-4.2^{\circ}\text{C}$ 、降水量 303.42 mm、蒸发量 1372.0 mm, 属高寒大陆性气候。

作者在玛多地区斗格涌盆地靠中心部位的 9206 钻孔(东经  $98^{\circ}30'03''$ , 北纬  $34^{\circ}53'05''$ )岩心中连续取样, 进行孢粉、沉积学、地球化学、年代学等综合研究, 借以探讨距今 130 ka B P 以来的古气候变化特征。

9206 孔剖面总厚度为 12.3 m。根据地层的颜色、结构及岩性的不同, 自下而上可划为 2 段, 12.3—2.0 m 以棕色、黄棕色亚粘土为主, 夹薄层粉砂, 顶部为泥砾; 2.0 m 至地表地层中的矿物成分以长石为主, 石英次之, 颗粒稍粗, 以粉粒为主, 粘粒含量为 8—26%, 可见介形虫

收稿日期: 1998-06-13

基金项目: 地质矿产部“八五”重点基础项目(8502217)

作者简介: 张玉芳(1940), 女, 研究员, 现主要从事第四纪地质与环境研究。

化石碎片,在 0.90- 0.60 m处含大量有机质。

## 1 孢粉分析

为恢复研究区古植被类型,推断古气候及古环境的演化,我们在 9206孔采集 92块孢粉样。孔深 0.00- 2.00 m,以 5- 10 cm间距采样 30件;孔深 2.00- 12.30 m,以 10- 20 cm间距采样 56件。经酸、碱法分析,共鉴定统计孢粉 5766粒,分属 35个科属,其中乔木植物花粉占孢粉总数的 26.4% (下同),灌木和草本植物花粉占 71.7%,蕨类植物孢子占 1.8%。乔木植物花粉以松属 (*Pinus*)为主,其次有冷杉属 (*Abies*)、云杉属 (*Picea*)、柏科 (*Cupressaceae*)、桦属 (*Betula*)、柳属 (*Salix*)、榛属 (*Corylus*);灌木植物花粉以麻黄属 (*Ephedra*)为主,还有怪柳科 (*Tamaricaceae*)、白刺属 (*Nitraria*);草本植物花粉主要有藜科 (*Chenopodiaceae*)、莎草科 (*Cyperaceae*)、蒿属 (*Artemisia*),其次有菊科 (*Compositae*)、木樨科 (*Oleaceae*)、蔷薇科 (*Rosaceae*)、豆科 (*Leguminosae*)、禾本科 (*Cramineae*)、十字花科 (*Cruciferae*)、茜草科 (*Rubiaceae*)、唇形科 (*Labiatae*)、唐松草属 (*Thalictrum*)、毛茛科 (*Ranunculaceae*)、虎耳草科 (*Saxifragaceae*)、律草属 (*Humulus*)、石竹科 (*Caryophyllaceae*)、荨麻科 (*Urticaceae*)、旋花科 (*Convolvulaceae*)、百合科 (*Liliaceae*)、茄科 (*Solanaceae*)、大戟科 (*Euphorbiaceae*);蕨类植物孢子有水龙骨科 (*Polypodiaceae*)、水龙骨属 (*Polypodium*)、珠蕨属 (*Cryptogramma*)和卷柏属 (*Selaginella*)

采用百分比法和孢粉浓度法作孢粉图式 (图 1),依据孢粉浓度和孢粉组合变化特征,将本剖面自下而上划分为 4个孢粉带:

孢粉I带 (孔深 12.30- 10.50m,相当于 130.0- 110.0ka BP)。孢粉稀少,浓度为 1.4- 14.3粒/克,主要为草本植物花粉藜科、禾本科、蒿属,还有律草属、虎耳草科、唇形科、毛茛科、茄科;乔木及灌木植物花粉松属和麻黄属零星出现。此孢粉组合反映为荒漠草原植被景观,气候寒冷、干旱。

孢粉II带 (孔深 10.50- 8.45 m,相当于 110.0- 82.0 ka BP)。孢粉较丰富,浓度为 2.2- 68.6粒/克,以乔木植物花粉明显增加为特征。乔木植物花粉占 0.0- 74.4%,灌木及草本植物花粉占 25.6- 94.4%,蕨类植物孢子占 0.0- 3.1%。乔木植物花粉<sup>①</sup>以针叶树种松属 (0.0- 37.8%)为主,还有云杉属 (0.0- 21.3%),冷杉属 (0.0- 14.1%),偶见落叶阔叶植物桦属、柳属花粉和针叶植物柏科花粉;灌木植物花粉以怪柳科 (0.0- 15.5%)为主,其次为白刺属和麻黄属;草本植物花粉主要有藜科 (6.6- 66.2%),蒿属 (1.5- 15.6%),其次为禾本科、毛茛科、虎耳草科、莎草科、唐松草属等;蕨类植物孢子有珠蕨属、水龙骨科、水龙骨属及卷柏属。本孢粉组合反映暗针叶林草原-疏林草原植被面貌,气候寒温较湿。

孢粉III带 (孔深 8.45- 2.00 m,相当于 82.0- 10.4 ka BP)。孢粉稀少,浓度为 1- 20.7粒/克。草本植物花粉占绝对优势,以藜科、蒿属为主,还有禾本科、菊科、虎耳草科、唐松草属、毛茛科、律草属、莎草科;灌木植物花粉零星,可见怪柳科和麻黄属;乔木植物花粉松属、云杉属、冷杉属断续出现,偶见蕨类植物珠蕨属和水龙骨科孢子。本孢粉组合呈现荒漠草原植被类型,气候寒冷干旱。

孢粉IV带 (孔深 2.00- 0.00 m,相当于 10.4 ka BP至现代)。孢粉较丰富,浓度为 19.7-

① <sup>14</sup>C由北京大学实验室测试; TL由地震局地质研究所实验室测试

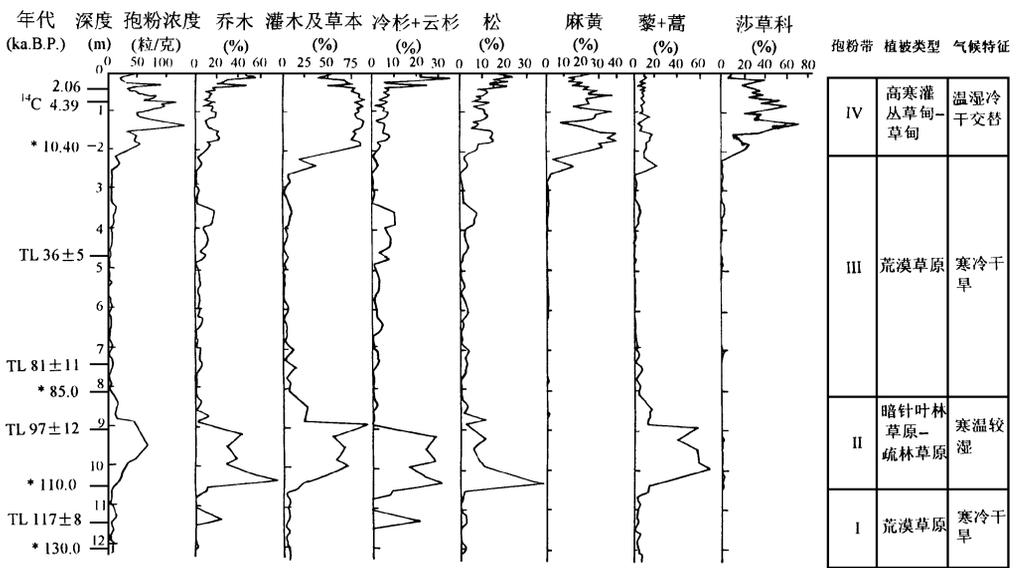


图 1 黄河源区 9206 孔 130ka B P 以来孢粉图式  
 Fig. 1 Pattern of spore-pollen in borehole 9206 of the Yellow River source area since 130 ka B P

134.8 粒/克, 灌木和草本植物花粉占绝对优势, 平均占孢粉总数的 80% 左右。灌木植物花粉主要有麻黄属, 其次为柽柳科、白刺属等; 草本植物花粉以莎草科为主, 还有藜科、蒿属、菊科、禾本科等。乔木植物花粉占一定数量, 主要为松、云杉和冷杉属, 在剖面中部可见零星落叶阔叶植物桦、柳属花粉, 植被景观为高寒灌丛草甸-草甸。该带喜湿的草本植物花粉与耐干旱的灌木植物花粉明显增加并呈交互高峰趋势, 根据孢粉浓度和孢粉组合变化, 自下而上又可划分 3 个亚带 (IV<sub>1</sub>、IV<sub>2</sub>、IV<sub>3</sub>), 每个亚带可细分为几个段 (图 2):

IV<sub>1</sub> (2.00-1.53m): 孢粉浓度较低, 为 32.3-54.6 粒/克。其中旱生灌木植物花粉中麻黄占 29.25-40.3%; 旱生草本植物花粉中藜科占 4.4-11.3%、蒿属占 3.8-7.1%; 湿生植物花粉中莎草科占 11.3-24.4%, 反映寒温较干的气候环境。

IV<sub>2</sub> (1.53-0.77m): 孢粉浓度达 52.6-134.8 粒/克, 孢粉种类和数量明显增加。喜湿的草本植物莎草花粉高达 21.4-67.6%, 其次为旱生植物花粉麻黄属、藜科、蒿属; 乔木植物花粉可见零星桦、柳属, 反映气候以温和湿润为主。根据孢粉组合变化可分为 3 个段, 其中第 2 段 (孔深 1.20-0.95m) 孢粉浓度出现低值, 同时旱生麻黄、藜、蒿出现高峰, 显示气候相对凉干。由此可见, 该段气候经历了由温和湿润-寒温偏干-温和湿润的变化。

IV<sub>3</sub> (0.77m-地表): 孢粉浓度呈下降趋势, 为 19.7-92.5 粒/克。孢粉种类和数量均减少, 麻黄、藜、蒿等旱生植物花粉与湿生莎草花粉相互消长。可分为 6 个段, 反映气候频繁波动, 呈温干与冷湿交替变化, 即由寒凉较湿-湿较干-寒冷偏湿-寒温偏干-寒冷偏湿-凉干的变化。

上述孢粉组合表明, 该区自晚更新世以来植被类型经历了由荒漠草原-暗针叶林草原、疏林草原-荒漠草原-高寒灌丛草甸-草甸的演变。在晚更新世时期, 气候出现由干冷-寒温较湿-干冷的变化。全新世以来出现了 3 次明显的气候变化阶段, 即升温期、大暖期及降温期。在升温期和大暖期均有一次降温事件。在降温期有 3 次明显的气温回升, 且气候总体呈逐渐变干

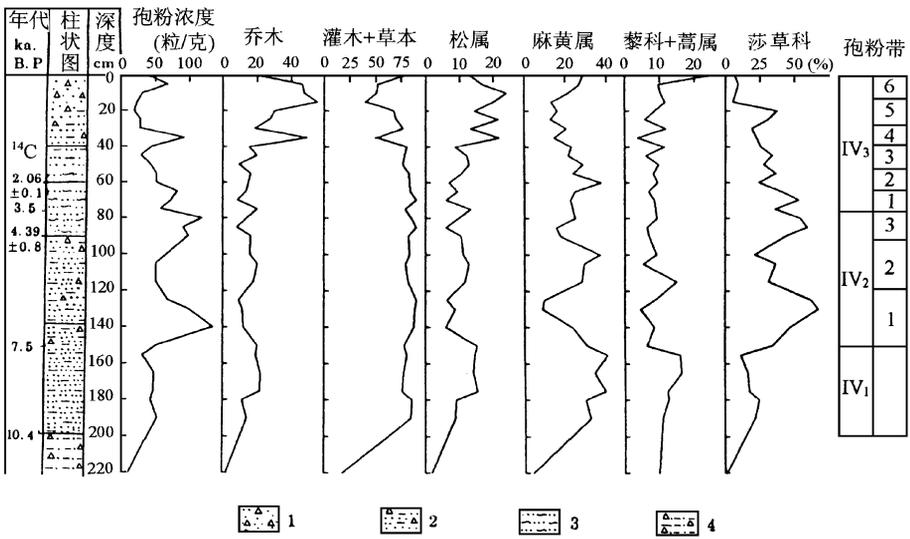


图 2 黄河源区 9206 孔全新世孢粉图式

Fig. 2 Pattern of spore-pollen in borehole 9206 of the Yellow River source area in Holocene

的趋势。

## 2 地球化学标志

湖盆内的元素大都是湖盆汇水区内地表岩石风化的产物,以岩石、矿物、离子溶液形式及被吸附的形式带入盆地内。这一作用过程与气候、地形、岩性、水文及构造等因素有关,其中气候是最活跃的因素。气候越温暖潮湿,风化搬运作用就越强,较不活泼的元素也能大量迁移进入湖盆沉积下来,而活泼的元素则保留在水中。相反,在气候干旱的条件下,风化作用和水的搬运能力较弱,不活泼的元素难以迁移至湖盆,而活泼元素则以化学方式沉积。因此,可根据各时代地层中的化学元素分析当时的古气候环境。

斗格涌盆地沉积物来自盆地周边山区,矿物成分主要是石英、长石,自上而下变化不大,而易溶盐部分则由于气候的影响差异较大。取样主要做  $K^+$ 、 $Na^+$ 、 $Ca^{2+}$ 、 $Mg^{2+}$ 、 $Li$ 、 $Si$ 、 $B$ 、 $CO_3^{2-}$ 、 $HCO_3^-$ 、 $SO_4^{2-}$ 、 $Cl^-$ 、总盐度等易溶盐和  $CaCO_3$  总量分析<sup>①</sup>。

取地球化学样品 25 件,地表—2.0 m,取样间距为 5—25 cm,孔深 2.0—12.3 m,取样间距为 70—160 cm。易溶盐分析流程是取 100 g 土样,粉碎至 35 目,加 500 g 蒸馏水,浸泡 24 h 之后,取水溶液进行测试。分析结果有如下规律(图 3)。

(1) 宏量组分 孔深 12.3—2.3 m $\pm$ ,  $Na^+$  含量为 70—80%,  $Ca^{2+}$  含量 7—10%。 $Na^+$  含量有减少趋势, $Ca^{2+}$  含量有增加的趋势。 $Mg^{2+}$  在孔深 12.3—2.0 m 范围变化不大,含量为 10—16%。2.3 m—地表,各种离子含量变化幅度较大, $Na^+$  含量 20—80%,  $Ca^{2+}$  含量 10—50%,  $Mg^{2+}$  含量 20—40%。全剖面  $K^+$  含量极少,为 1—3%。

孔深 12.3—5.0 m,  $Cl^-$  含量 58—79%,  $SO_4^{2-}$  含量 10—21%,  $HCO_3^-$  含量 10—20%。孔深

① 地质矿产部水文地质工程地质研究所测试中心分析

5.0m—地表,  $\text{Cl}^-$  逐渐减少,  $\text{SO}_4^{2-}$  逐渐增加且幅度较大, 含量可达 80%;  $\text{HCO}_3^-$  含量稍有增加的趋势。易溶盐水溶液的化学类型由  $\text{Cl}^- \text{Na}$  型至  $\text{SO}_4^{2-} \text{Na}$  型。

(2) 微量组分的变化  $\text{Li}$ ,  $\text{Sr}$ ,  $\text{B}$  是干旱气候条件下富集的典型代表性元素。 $\text{Li}$  含量较少, 一般含量为  $< 0.05 \times 10^{-6}$ ,  $\text{Sr}$  含量为  $0.40 - 0.92 \times 10^{-6}$ ,  $\text{B}$  (以  $\text{HBO}_2$  计算) 在钻孔剖面 12.3—8.5 m 之间, 其含量  $< 1.00 \times 10^{-6}$ , 在 8.5 m 之上含量稍有增加, 为  $1.00 - 2.80 \times 10^{-6}$ 。

(3)  $\text{CaCO}_3$  含量的变化 沉积物中  $\text{CaCO}_3$  的含量是区分干旱和湿润气候的一项重要标志。在气候干旱水体缩小的条件下,  $\text{CaCO}_3$  易富集沉积。在钻孔剖面 12.3—8.5 m 内,  $\text{CaCO}_3$  含量为 1.6—2.4%; 9.0—2.0 m 含量增至 10.48—17.27%; 2.0 m—地表, 含量减少为 5—13%。

(4) 总盐量变化幅度较大 在孔深 12.3—5.0 m 含量较高, 为  $1180.00 - 2208.00 \times 10^{-6}$ , 平均含量  $1716.00 \times 10^{-6}$ ; 孔深 5—2.0 m 含量逐渐减少至  $1100.00 \times 10^{-6}$  左右, 2.0 m—地表含量为  $1000.00 - 2800.00 \times 10^{-6}$ 。

由以上分析可见, 黄河源区沉积物中易溶盐水溶液的水化学类型, 由晚更新世以来的  $\text{Cl}^- \text{Na}$  型逐渐过渡到  $\text{SO}_4^{2-} \text{Na}$  型, 近现代又为  $\text{Cl}^- \text{Na}$  型, 且各种组分含量以全新世时变幅较大。 $\text{CaCO}_3$  含量在晚更新世由低值逐渐增至最高值, 进入全新世含量又有所减少, 总盐量较高, 全新世时期含量变大。以上变化均反映黄河源区的古气候在晚更新世时期较干旱, 进入全新世时期湿度有所增加, 近现代气候有逐渐变干的趋势, 而且气候波动较频繁。

### 3 结论

该区 130 ka B P 以来古气候演化有如下规律:

- (1) 130.0—110.0 ka B P 为寒冷干旱时期;
- (2) 110.0—82.0 ka B P 为寒温较湿属末次间冰期时期, 相当于深海  $\delta^{18}\text{O}$  同位素曲线阶段 5;
- (3) 82.0—10.4 ka B P 为寒冷干旱属末次冰期, 但本区开始时间较其他地区早 10 ka 左右;
- (4) 10.4 ka B P 至现代 (即全新世时期) 乃为温湿冷干交替的冰后期, 相当于深海  $\delta^{18}\text{O}$  同位素曲线阶段 1 本区全新世古气候又可划分为 3 期: ① 早全新世升温期 (10.4—7.5 ka B P), 升温是一缓慢波动过程, 之后, 温度骤然上升, 进入中全新世大暖期。② 中全新世大暖期 (7.5—

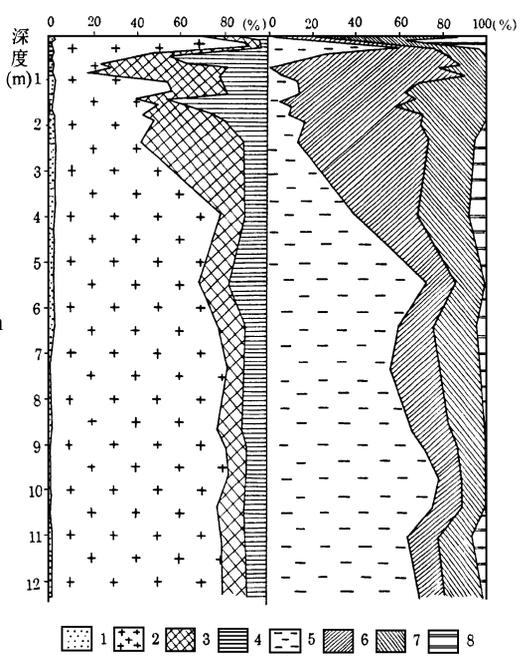


图 3 黄河源区 9206 孔 130 ka B P 以来易溶盐宏量组分变化图  
 Fig. 3 Variation of chemical components of readily soluble salt in No. 9206 borehole of the Yellow River source area since 130 ka B P  
 1.  $\text{K}^+$ ; 2.  $\text{Na}^+$ ; 3.  $\text{Ca}^{2+}$ ; 4.  $\text{Mg}^{2+}$ ; 5.  $\text{Cl}^-$ ; 6.  $\text{SO}_4^{2-}$ ; 7.  $\text{HCO}_3^-$ ; 8.  $\text{CO}_3^{2-}$

3.5 ka B P)是一个最温暖湿润的时期,始于温度最高期,结束于温度次高期,其中有冷暖干湿波动。③晚全新世降温期(3.5 ka B P- 现今)冷湿与凉干频繁波动至今。10.4 ka B P至现代,气候波动具有千年尺度的振荡规律,而且晚全新世至今温度有逐渐降低,湿度逐渐变干的趋势<sup>[7]</sup>。

黄河源区和其他地区一样<sup>[8-10]</sup>,古气候环境的变化受制于地球轨道变化所制约的冰期-间冰期的气候变化<sup>[11]</sup>,同时受太阳辐射季节性旋回等因素影响,故本区古气候变化规律与深海W<sup>18</sup>O同位素曲线反映的气候变化规律极为相似<sup>[12]</sup>,也反映其与全球变化的一致性<sup>[13]</sup>。同时青藏高原升降速率对其气候变化的影响亦不可忽视,尤其晚更新世晚期的新构造运动使青藏高原的隆升加剧,到晚更新世末本区上升至海拔4000m左右,全新世又上升了250-300m,使本区古气候有其独特之处。如末次冰期开始比全球早10.0ka左右,全新世大暖期滞后约1.5ka,在冷暖的周期变化中,冷期长暖期短。

## 参 考 文 献

- [1] 郑本兴,施雅风.中国青藏高原晚更新世以来冰川变化[J].中国第四纪研究,1985,4(1):105-117.
- [2] 孔昭宸,杜乃秋,山发寿,等.青海湖全新世植被演化及气候变化——QH85-14孔数值分析[J].海洋地质与第四纪地质,1990,10(3):79-88.
- [3] 陈克造.四万年来青藏高原的气候变迁[J].第四纪研究,1990,(1):21-31.
- [4] 徐国昌,姚辉.中国西部全新世历史时期气候的变化[J].水科学进展,1991,(4).
- [5] 王富葆.青藏高原全新世气候环境基本特征[C].施雅风等主编,中国全新世大暖期气候与环境.北京:海洋出版社,1992.
- [6] 姚檀栋,施雅风,祁连山敦德冰芯记录的全新世气候变化[C].中国全新世大暖期气候与环境.北京:海洋出版社,1992.206-210.
- [7] 张玉芳,张俊牌,徐建明,等.黄河源区全新世以来的古气候演化[J].地球科学,1995,20(4):445-449.
- [8] 竺可桢.中国近五千年来气候变迁的初步研究[J].中国科学,1973,16(2):168-189.
- [9] 安芷生,肖举乐,张景昭,等.季风与最近13万年黄土高原的气候历史[J].黄土·第四纪地质·全球变化,第二集,刘东生主编,科学出版社,1990.108-114.
- [10] 安芷生,吴锡浩,卢演畴,等.二万年来中国环境变化的初步研究[C].黄土·第四纪地质·全球变化(刘东生主编),科学出版社,1990.1-26.
- [11] 杨怀仁.第四纪气候变化[C].第四纪冰川与第四纪地质论文集(二),北京:地质出版社,1985.
- [12] Denton G A and W karlen. Holocene climatic variations—their pattern and possible cause[J]. Quaternary Research, 1973, (3): 155-205.
- [13] Zubakov V A and I I Borzenkova. Global Palaeoclimate of the Late Cenozoic[M]. Developments in palaeontology and Stratigraphy, 1990. 297-301.

# THE PALAEOCLIMATIC EVOLUTION OF THE YELLOW RIVER SOURCE AREA SINCE 130ka B P

ZHANG Yufang, ZHANG Junpai, XU Jianming, LIN Fang  
*Institute of Hydrogeology & Engineering Geology, MGMR, Zhengding Hebei 050803*

**Abstract** By a comprehensive analysis of the proxy indices of climate such as readily soluble salt and spore-pollen of borehole profiles in Dougeyong Basin, the palaeoclimatic evolution pattern of the Yellow River source area since 130 ka B P has been revealed. 1. From 130 ka B P to 110 ka B P, it was cold and dry; 2. From 110 to 82 ka B P, cold but more humid; 3. From 82 to 10.4 ka B P, cold and dry; 4. From 10.4 ka B P to recent (i. e., Holocene), there was an alternation of warm-humid and cold-dry climate. And the climate in Holocene can further be divided into three stages: 1) 10.4–7.6 ka B P it was Anathermal; 2) 7.5–3.5 ka B P Megathermal; 3) 3.5 ka B P–present Katathermal. In general palaeoclimate the area has a longer and earlier cold period and a shorter and later warm period as compared to other regions of the world. The climate fluctuations since Holocene have occurred at a time scale of one thousand years. Since Late Holocene there has been a gradual decrease in temperature and humidity.

**Key words** the Yellow River source area; 130 ka B P; palaeoclimate; Megathermal

---

(上接第 49页)

## CLIMATIC INSTABILITY CHARACTERISTIC IN LOESS PLATEAU DURING THE LAST INTERGLACIAL AGE

LI Zhenghua, YE Hao, CHEN Yun, WANG Yuhai, ZHANG Junpai  
*Institute of Hydrogeology & Engineering Geology of Chinese Academy of Geosciences, Zhending Hebei 050803*

**Abstract** Ice Core information of EEC Greenland Ice Plan (GRIP) has revealed the rapid climatic change during the last interglacial age. However, no evidence of this change was found in the United States Greenland Icecap Plan (GISP2). The study of substitutive paleoclimatic index from several sections in Loess Plateau suggests the existence of large climatic fluctuations during last interglacial age, especially in its early stage, which agrees with the result of GRIP. It is shown that the loess in China which contains climatic information characteristic of the polar area and the northern Atlantic provides the ideal record for global change analysis.

**Key words** Loess plateau; last interglacial age; climatic instability