

## 平顶村剖面古气候变化记录

迟振卿 闵隆瑞

**摘要：**对河北省阳原盆地平顶村剖面的野外观察、孢粉分析及<sup>14</sup>C测年，作者认为，该剖面的地质时代为晚更新世晚期至全新世早期。依据Fe<sup>3+</sup>/Fe<sup>2+</sup>值估计古温度并结合CaCO<sub>3</sub>含量变化分析，该区自晚更新世晚期至全新世早期，古气候经历了温凉湿润寒凉偏干 寒冷湿润 温凉干燥的变化过程；孢粉组合特征反映植被曾经历森林植被和森林草原植被的演化。

**关键词：**阳原；平顶村剖面；古气候变化

**中图分类号：**P532

**文献标识码：**A

## RECORD OF PALEOENVIRONMENTAL CHANGES IN PINGDINGCUN SECTION , HEBEI PROVINCE

CHI Zhen-qing, MIN Long-rui

(Institute of geology, CAGS, Beijing 100082, China)

**Abstract :** From field observation, sporopollen analysis and <sup>14</sup>C dating of samples collected from the Pingdingcun Section, Hebei province, the sediments involved are determined to have formed from Late Pleistocene to Early Holocene. According to an estimate of the temperature then prevailing by Fe<sup>3+</sup>/Fe<sup>2+</sup> ratio and an analysis of the change of CaCO<sub>3</sub> content, the paleoclimate of the Yangyuan area has obviously experienced four stages in the period, i.e. warm-humid, cold-dry, cold-humid and warm-dry stages. The sporopollen assemblages reflect that a change in vegetation from forest to grass land has occurred.

**Key words :** Yangyuan County; Pingdingcun Section; paleoclimatic change

平顶村位于河北省阳原县东南约21km处，地理坐标为40° 06' N，114° 24' E(图1)。村西的平顶村沙河河壁切割出良好的露头剖面，地貌上属桑干河的二级基座阶地，基底为洪积扇前缘的细粒黄土状沉积物及湖积物。我们在该剖面较系统地采取了Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、FeO、CaCO<sub>3</sub>及孢粉分析样，以探讨泥河湾地区晚更新世晚期至全新世早期的气候演化趋势及古植被变化特征。

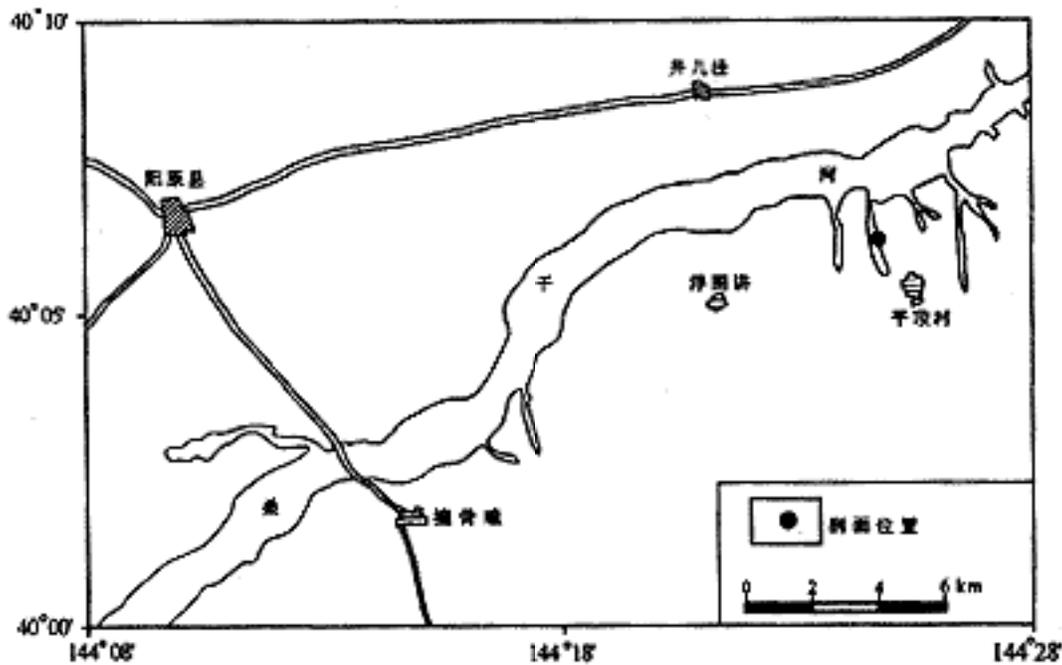


图1 河北省阳原县平顶村剖面地理位置

Fig.1 Site of Pingdingcun section in Yangyuan County, Hebei Province

## 1 剖面描述及地质时代分析

剖面出露总厚度为660cm，从上至下分为八层：

(1)黄褐色粉砂层，含少量的小砾石。0cm ~ 70cm

(2)黄色粉砂夹褐色粘土质粉砂条带，含云母片，具水平层理。70cm ~ 120cm

(3)黄色粉砂层，含较多的云母片。120cm ~ 230cm

(4)灰褐色黄土状土，发育较多的孔隙和一些植物根系，风化表皮呈棕黄色，有明显的垂直节理。230cm ~ 300cm

(5)黄土，垂直节理发育。300cm ~ 460cm

(6)浅红色粉砂，有不均匀的弱土壤化，510cm ~ 530cm处夹含螺化石的灰绿色粉砂质粘土，粘土层之上土壤层呈灰色。460cm ~ 580cm

(7)黄色粉细砂。580cm ~ 620cm

(8)上部为浅红色粉细砂，下部为黄色粉细砂。620cm ~ 660cm

根据区域内的沉积地层对比及剖面沉积物特征分析，我们认为第6 ~ 第8层属湖相沉积物；第5层为冲积扇前缘的黄土堆积；第4层属于古土壤层；第1 ~ 第3层为冲积河漫滩相的沉积物。

从孢粉分析结果看(表1)，整个剖面中未见亚热带山核桃、枫香及罗汉松等第三纪子遗植物花粉，因此其时代应属第四纪。从平顶村剖面分析看出在120cm以下具有与华北地区晚更新世晚期相似的孢粉组合特征<sup>[1]</sup>。在480cm处的弱土壤化沉积物中取<sup>14</sup>C测年样，经中国地震局地壳应力研究所<sup>14</sup>C分析室分析，结果为19157aBP ± 105aBP，因此将这一段划归晚更新世晚期或末期。120cm以上孢粉组合与华北北部地区全新世早期<sup>[2]</sup>地层中的孢粉组合特征相近，故120cm以上沉积物的地质时代拟置于全新世早期。

## 2 孢粉组合反映的古环境特征

平顶村剖面取了9件孢粉样品，经国家地震局地质研究所严富华研究员分析，样品中均含有较丰富的孢粉。

### 2.1 分析结果

样品中共得到各类孢粉1224粒，分别属于27个植物自然分类科、属(表1)。其中乔木植物花粉有：冷杉属(*Abies*)、云杉属(*Picea*)、松属(*Pinus*)、桦属(*Betula*)、栎属(*Quercus*)、胡桃属(*Juglans*)、椴属(*Tilia*)、柳属(*Salix*)及豆科(*Leguminosae*)；灌木及草本植物花粉有：麻黄属(*Ephedra*)、榛属(*Corylus*)、蒿属(*Artemisia*)、紫菀属(*Aster*)、菊科(*Compositae*)、藜科(*Chenopodiaceae*)、蓼属(*Polygonum*)、伞形科(*Umbelliferae*)、律草属(*Humulus*)、地榆属(*Sanguisorba*)、杜鹃科(*Eriaceae*)、石竹科(*Caryophyllaceae*)、毛茛科(*Ranunculaceae*)、禾本科(*Cramineae*)；蕨类植物孢子有：石松属(*Lycopodium*)、卷柏属(*Selaginella*)、凤尾蕨属(*Pteris*)、真蕨纲(*Filicales*)。

根据乔木植物花粉及草本植物花粉在该剖面纵向上的变化情况，可划分出两个孢粉组合带，自下而上为：

带：松-冷杉-蒿花粉富集带。该花粉带深度为120cm~660cm，主要特征是，乔木植物花粉居优势，平均可占孢粉总数的71.4%。在乔木植物中又以针叶裸子植物松及冷杉花粉占多数，平均分别可达孢粉总数的58.8%及14.2%。灌木及草本植物花粉较少，平均仅占孢粉总数的22.5%，而且其中又以蒿、藜较多，二者最多分别可占总数的27.3%和11.4%。蕨类植物孢子很少，最多仅占孢粉总数的5.6%。

表1 平顶村剖面孢粉谱

Table 1 Sporopollen spectrum of Pingdingcun section

孢粉名称粒数/% 样号	1	2	3	4	5	6	7	8	9
孢子花粉总数	127/100	171/100	174/100	191/100	202/100	130/100	151/100	54/100	44/100
乔木植物花粉总数	57/44.9	69/40.4	134/77	163/58	174/86.1	102/78.5	116/76.8	37/68.5	24/54.5
灌木及草本花粉总数	66/52	97/56.7	38/21.8	24/12.6	25/12.4	25/19.2	30/19.9	14/25.9	20/45.5
蕨类植物孢子总数	4/3.1	5/2.9	2/1.2	4/2.1	3/1.5	3/2.3	5/3.3	3/5.6	
乔木植物花粉									
冷杉属( <i>Abies</i> )	1/0.8		9/5.2	32/16.8	31/15.3	23/17.7	28/18.5	9/16.7	4/9.1
云杉属( <i>Picea</i> )			1/0.6	2/1.0	2/1.0	1/0.8	3/2.0	1/0.8	1/2.3
松属( <i>Pinus</i> )	52/40.9	64/37.4	123/70.0	126/66.0	137/67.0	76/58.5	84/55.6	27/50	19/43.2
桦属( <i>Betula</i> )	2/1.6	2/1.2	1/0.6	1/0.5	2/1.0	1/0.8	1/0.7		
栎属( <i>Quercus</i> )		1/0.6							
胡桃属( <i>Juglans</i> )	1/0.8								

椴 属(Tilia)		1/0.6		1/0.5	1/0.5				
柳 属(Salix)		1/0.6		1/0.5	1/0.5	1/0.8			
豆 科 (Leguminosae)	1/0.8								
灌木及草本植物 花粉									
麻黄属(Ephedra)	2/1.6	1/0.6	3/1.7	3/1.6	2/1.0	1/0.8	2/1.3		1/2.3
榛 属(Corylus)	1/0.8	1/0.6	1/0.6		1/0.5		1/0.7		
蒿 属 (Artemisia)	31/24.4	65/38	21/12.1	13/6.8	11/5.4	14/10.8	16/10.6	7/13	12/27.3
紫菀属(Aster)	1/0.8	1/0.6	1/0.6				1/0.7		
菊 科 (Compositae)	2/1.6	3/1.7	1/0.6	1/0.5	2/1.0	1/0.8	1/0.7	1/1.8	1/2.3
藜 科 (Chenopodiaceae)	20/15.7	18/10.5	6/3.4	4/2.1	5/2.5	6/4.6	5/3.3	4/7.4	5/11.4
蓼 属 (Polygonum)	2/1.6	1/0.6	1/0.6	1/0.5	1/0.5				
伞形科 (Umbelliferae)	1/0.8					1/0.8	1/0.7		
律草属(Humulus)	1/0.8	1/0.6			1/0.5				
地榆属 (Sanguisorba)		1/0.6	1/0.6						
杜鹃科(Eriaceae)		1/0.6						1/1.8	
石竹科	1/0.8		1/0.6						
毛茛科 (Ranunculaceae)	1/0.8			1/0.5					
禾本科 (Gramineae)	3/2.4	4/2.3	2/1.1	1/0.5	2/1.0	2/1.5	3/2.0	1/1.8	1/2.3
蕨类植物孢子									
石松属 (Lycopodium)	1/0.8	2/1.2	1/0.6	1/0.5	2/1.0	1/0.8	1/0.7	1/1.8	
卷柏属 (Selaginella)	2/1.6	3/1.7	1/0.6	2/1.0	1/0.5	1/0.8	3/2.0	2/3.7	
凤尾蕨属(Pteris)						1/0.8			
真蕨纲(Filicales)	1/0.8			1/0.5			1/0.7		

带：蒿-藜-松花粉优势带。该带深度0~120cm，特点是草本植物花粉多，占52%~56.7%，且花粉种类明显多于带；木本花粉数量比带明显减少，占孢数总数的40.4%~44.9%。木本花粉中仍以松为主，平均可占总数的39.1%，此外，还有少量的桦、栎、胡桃、椴等阔叶植物花粉。

## 2.2 古环境讨论

根据孢粉分析结果，平顶村剖面由下而上分为两个气候阶段(图2)：

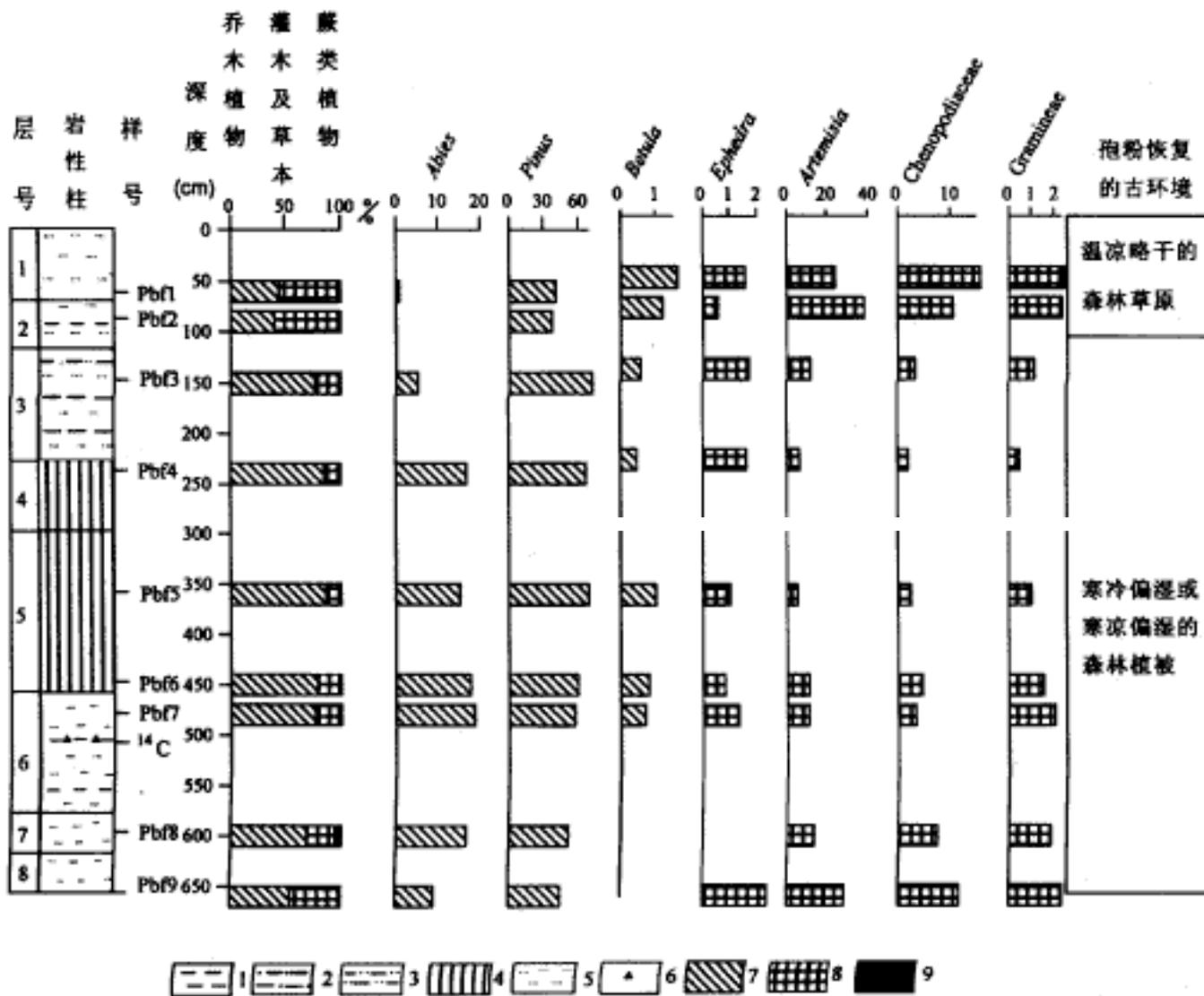


图2 平顶村剖面孢粉图式

Fig.2 Phlynogram of Pingdingcun section

- 1.粘土；2.粉砂质粘土；3.粘土质粉砂；4.黄土状土；5.粉砂；6.螺化石；  
7.木本植物；8.草本植物；9.蕨类孢子

(1)森林植被，寒冷偏湿或冷凉偏湿的气候段。该段由 带的孢粉植物组成，木本植物可占植物总数的3/4，且在木本植物中又以松及冷杉为主，二者平均约占总数的77%，可见当时植被为由松及冷杉等针叶植物组成的针叶林。从该段植被的主要成分 是喜冷湿的针叶植物松和冷杉，而未见喜暖湿的胡桃、栎等阔叶植物分子，可推论这一时段是一种冷凉或寒冷的偏湿气候环境，气温比现代低。

(2)森林草原类型植被，温凉略干气候段。据 带孢粉植物组成分析，草本植物多于木本植物。在草本植物中，又以草原成分蒿、藜为主，二者可占总数的48.5%~50.1%。在木本植物中仍是针叶植物松居多，约占37.4%~40.9%，可见这一时段植被应属森林草原类型。草本植物蒿、藜，一般认为，均要求温凉略干的生态环境。在该段中喜冷的冷杉明显减少，云杉消失，可见这一时段气候比前期( 带)气温较高，是一种气温略低于现代的气候环境。由于气温回升，致使喜凉气候的冷杉、云杉林线上移，离剖面点相对远。

### 3 $Fe^{3+}/Fe^{2+}$ 及 $CaCO_3$ 含量变化反映的气候变化

在第四纪环境研究中， $CaCO_3$  [3,4] 为湿度变化的良好代用指标，而全铁 [5]、 $Fe^{3+}/Fe^{2+}$  [6,7] 常被作为温度变化的代用指标。 $CaCO_3$ 含量高指示气候相对干燥，反之，气候相对湿润。有人 [6] 提出利用沉积物中的 $Fe^{3+}/Fe^{2+}$ 值估算古温度，估算公式为：

$$t = T/X_a \cdot X_n$$

其中：t—估算的古温度；T—研究区的现代年平均温度； $X_a$ —剖面的 $Fe^{3+}/Fe^{2+}$ 平均值； $X_n$ —样品的 $Fe^{3+}/Fe^{2+}$ 值。

在平顶村剖面中以30cm为间距取22件铁及碳酸钙分析样品，其中氧化铁由中国地质大学化学分析室测试，碳酸钙在中国地质科学院地质力学研究所利用CSC-1碳酸盐含量分析仪测试。依据上述公式对平顶村剖面不同时期的年均温度进行估算。剖面 $Fe^{3+}/Fe^{2+}$ 平均值为1.97，现代年平均温度约7.4℃，估算结果列于表2。估算结果结合 $CaCO_3$ 变化，可分为四个主要的气候演化阶段：

表2 平顶村剖面 $Fe^{3+}/Fe^{2+}$ 比值和 $CaCO_3$ 含量变化反映的古气候特征

Table 2 Reconstructed paleoclimatic feature according to variation of the ratio value of  $Fe^{3+}/$

Fe<sup>2+</sup> and the content of CaCO<sub>3</sub>

样号	深度 /cm	CaCO <sub>3</sub> /%	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /%	FeO /%	Fe <sup>3+</sup> /Fe <sup>2+</sup>	古温度重建 /	古环境特征
1	30	13.78	2	1.24	1.61	6.5	温凉偏干
2	60	10.47	2.2	1.06	2.08	7.81	
3	90	10.13	1.97	1.15	1.71	6.42	
4	120	9.69	1.91	1.31	1.46	5.48	寒冷偏湿
5	150	9.68	1.92	1.34	1.43	5.37	
6	180	9.20	1.75	1.19	1.47	5.52	
7	218	8.74	1.29	1.27	1.02	3.83	
8	240	13.84	2.45	1.44	1.70	6.39	温凉—冷凉偏干
9	270	12.22	2.46	1.49	1.65	6.2	
10	300	12.12	2.72	1.29	2.11	7.93	
11	330	12.62	2.73	1.36	2.00	7.51	
12	360	13.49	2.73	1.26	2.17	8.15	
13	390	13.53	2.75	1.25	2.2	8.26	
14	420	12.25	2.75	1.08	2.55	9.58	温凉偏湿
15	450	11.59	2.66	1.17	2.27	8.53	
16	480	10.75	2.41	1.14	2.11	7.93	
17	510	9.63	2.64	1.29	2.05	7.7	
18	540	10.80	3.26	1.25	2.61	9.8	
19	570	9.79	2.38	1.19	2.00	7.51	
20	600	8.54	2.08	1.13	1.84	6.91	
21	630	10.57	2.32	1.05	2.21	8.3	
22	660	12.46	2.85	0.93	3.06	11.49	

.温凉偏湿的气候阶段, 660cm ~ 450cm, 平均温度8.52, 碳酸钙含量平均为10.5%。在22号样品位置表现为明显的暖干气候特点, 恢复其古温度达11.49, 碳酸钙含量为10.5%。因该样处于剖面底部, 这种气候特点是阶段中的一次气候事件, 还是阶段前的不同气候阶段有待进一步研究证明。

.温凉-寒凉偏干气候阶段, 420cm ~ 240cm, 平均温度7.7, 碳酸钙含量平均为11.1%。自下部向上温度波动减缓, 从9.58的温凉至6.2 ~ 6.39的寒凉气候; 碳酸钙含量变化幅度较小。

.寒冷偏湿的气候阶段, 210cm ~ 120cm, 平均温度5.05, 碳酸钙含量平均为9.32%。在210cm处出现一次明显的冷湿气候事件, 平均温度只有3.83, 碳酸钙含量为8.74%。

.温凉偏干的气候阶段, 90cm ~ 30cm, 平均温度6.91, 碳酸钙含量平均为11.5%。在30cm以上气候干燥加剧, 碳酸钙含量达13.78%。

在泥河湾盆地的虎头梁、许家窑等地多处发现融冻褶皱现象<sup>[8, 9, 10]</sup>, 其形成时代为10000aBP ~ 27000aBP, 这一时间段与平顶村剖面的时间段基本一致。从剖面中铁和碳酸钙含量恢复的古环境来看, 在210cm ~ 120cm为一次寒冷阶段, 且气候偏湿, 满足融冻褶皱形成所需的低温湿润条件。

## 4 结论

(1) 平顶村剖面的地质时代为晚更新世晚期至全新世早期。

(2) 平顶村剖面中, 根据 $Fe^{3+}/Fe^{2+}$ 值估算的年均温度及 $CaCO_3$ 含量变化分析, 河北阳原盆地晚更新世晚期至全新世早期曾经历温凉偏湿 温凉-寒凉偏干 寒冷偏湿 温凉偏干的气候波动, 其中又有若干次级小波动。

(3) 据剖面中的孢粉组合分析, 可将其分为两个阶段。120cm之下为寒冷偏湿或寒凉偏湿的森林植被环境, 之上为温凉略干的森林草原植被环境。

(4) 由于该剖面取样密度, 特别是孢粉样品及测年样品的密度偏小, 给分析带来一定的困难。所分析的古气候变化只提供一个大致轮廓, 而其中可能存在的小的气候事件不能清楚地反映出来, 如可能形成融冻褶皱的120cm ~ 210cm段的地质年龄等还需进一步工作。

(5) 化学分析与孢粉分析所恢复的古环境特征存在一些矛盾, 其原因一方面可能是由于孢粉部分来自较远的山区, 给分析造成假象; 另一方面, 化学元素在沉积物中的积累, 除气候因素外, 还存在其它复杂的影响因素。因此, 若条件允许应深入研究, 以多种方法相互补充、印证。

基金项目: 原地质矿产部“九五”重点基础研究项目(编号: 9501113)和河北省阳原、井儿沟幅1/5万区调项目

作者简介: 迟振卿(1970—), 女, 助理研究员, 从事地貌及第四系地质研究工作。

作者单位: (中国地质科学院地质研究所, 北京 100037)

## 参考文献

- [1] 童国榜, 羊向东, 王苏民, 等. 第四纪气候事件的孢粉记录 [J]. 海洋地质与第四纪地质, 1998, 18(3): 13~22.
- [2] 罗宝信, 王毓钊, 林泽蓉. 河北第四纪孢粉与气候地层的探讨 [A]. 卫奇, 谢飞主编. 泥河湾研究论文选编 [C]. 北京: 文物出版社, 1981.328~333.
- [3] 刘东生, 丁仲礼. 二百五十万年来季风环流与大陆冰量变化的阶段性耦合过程 [J]. 第四纪研究, 1992, (1): 12~23.
- [4] 任剑璋, 安芷生, J Head. 陕西盆地最近13 ka的环境演化研究 [A]. 黄土、第四纪地质、全球变化 [C]. 1996, (4): 90~98.
- [5] 张宗祜, 魏明建. 黄土中全氧化铁与气候指标的定量关系 [J]. 科学通报, 1995, (1): 1219~1221.
- [6] 周延兴. 论沧洲沿海地区第四纪沉积物的 $Fe^{3+}/Fe^{2+}$ 垂直变化周期性及其应用 [J]. 海洋地质与第四纪地质, 1984, 4(2): 103~110.
- [7] 余素华, 朱照宇, 李炳元, 等. 23万年以来青藏高原甜水海湖岩心铁元素的气候记录刍议 [J]. 海洋地质与第四纪地质, 1998, 18(3): 63~69.
- [8] 袁振新. 阳原县虎头梁冰缘融冻褶皱的发现和意义 [A]. 卫奇, 谢飞主编. 泥河湾研究论文选编 [C]. 北京: 文物出版社, 1981.383~385.
- [9] 周延儒, 张兰生, 李华章. 华北更新世最后冰期以来的气候变迁 [A]. 卫奇, 谢飞主编. 泥河湾研究论文选编 [C]. 北京: 文物出版社, 1981.386~391.
- [10] 吴子荣, 高福清. 泥河湾组顶部冻融变形的机制分析和时代探讨 [A]. 卫奇, 谢飞主编. 泥河湾研究论文选编 [C]. 北京: 文物出版社, 1981.392~396.

收稿日期: 1999-07-15