

# 以气候变化为标志的中国第四纪 地层对比表\*

刘东生<sup>①</sup> 施雅风<sup>②</sup> 王汝建<sup>③</sup> 赵泉鸿<sup>③</sup>  
翦知湔<sup>③</sup> 成鑫荣<sup>③</sup> 汪品先<sup>③</sup> 王苏民<sup>④</sup>  
袁宝印<sup>①</sup> 吴新智<sup>⑤</sup> 邱占祥<sup>⑤</sup> 徐钦琦<sup>⑤</sup>  
黄万波<sup>⑤</sup> 黄慰文<sup>⑤</sup> 安芷生<sup>⑥</sup> 鹿化煜<sup>⑥</sup>

- (<sup>①</sup> 中国科学院地质与地球物理研究所, 北京 100029;  
<sup>②</sup> 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所, 兰州 730000;  
<sup>③</sup> 同济大学海洋地质教育部重点实验室, 上海 200092;  
<sup>④</sup> 中国科学院南京地理与湖泊研究所, 南京 210008;  
<sup>⑤</sup> 中国科学院古脊椎动物与古人类研究所, 北京 100044;  
<sup>⑥</sup> 中国科学院地球环境研究所, 西安 710054)

**摘要** 随着新技术方法的不断引入和地层学多元划分理论的提出,除了传统的岩石地层、生物地层和年代地层,又开拓了地貌地层、磁性地层、土壤地层、同位素地层、事件地层和旋相地层等新的分支。高分辨率古气候研究的需要,促使我们去探索第四纪地层,特别是陆相地层新的划分方案。本文作者在各自对不同的成因类型的第四纪沉积物的研究中,都或多或少参照深海氧同位素阶段进行过地层的划分和对比的尝试,自然就产生了以氧同位素阶段为参照的划分和对比第四纪地层的设想。我们“抛砖引玉”,提出了中国第四纪 MIS 地层表,只求“有”,尚不能求“准”,希望我们的工作能够推进我国第四纪地层的研究,对第四纪科学的发展作出贡献。

**主题词** 第四纪地层 同位素地层 地层表

## 1 前言(刘东生执笔)

第四纪地层研究的最后结晶是地层表。我国最早的第四纪地层表可能是杨钟健先生所作,他首次按成因类型将中国的第四纪沉积物划分为土状堆积、洞穴堆积、河-湖堆积、砾石堆积等,并根据脊椎动物化石群按时代进行了划分<sup>[1]</sup>。裴文中 1939 年首次把中国第

第一作者简介:刘东生 男 82岁 研究员、中国科学院院士 第四纪地质学与环境地质学专业 E-mail: tsliu@public.bta.net.cn

\* 国家自然科学基金(批准号:49894170)资助重大项目  
2000-01-19收稿

四纪地层与欧洲作了系统对比,并引入史前文化发展历史作为内容之一<sup>[2]</sup>。这两项工作奠定了中国第四纪地层划分和对比的基础,至今仍是我們进行地层划分和对比的一项重要依据。此后,20世纪50年代后期刘东生和陈承惠等对全国的第四纪地层进行了对比,首次引入气候干湿变化的概念,并于1964年出版《第四纪地质问题》<sup>[3]</sup>。

在50年代我国第一次全国地层会议和后来的第2次全国地层会议都对第四纪地层划分作了一些概要界定,但未作详细的规定,这也是当时国际上的普遍现象。我国的第四纪地层工作,此后有了很大的进展,各省在编著区域地层志中都有第四系一章。周慕林等还专门将我国第四纪地层作了系统的总结<sup>[4]</sup>。除了上述论著外,还有对第三系和第四系界线、第四纪动植物群、石器文化等方面划分和对比的论述,散见于教科书和科学论文中。

从50年代后期以来,由于测年和新技术方法不断应用于地层研究,地层学本身也由过去的综合地层划分进入多元地层划分的时代,使国际上第四纪地层的研究进入了一个全新的时期,像利用古地磁场极性倒转发展起来的磁性地层,利用大洋沉积中有孔虫介壳氧同位素建立的同位素地层,促使人们开拓了陆相地层研究的新领域,出现了如地貌地层学、土壤地层学、事件地层学和旋回地层学等新的地层学分支。

这些新的地层学分支,产生于科学上的不断创新和实际应用的需求,它们常是某一领域、某一地区或某一对象指导性地认识第四纪地层的、公认有效的方法。现阶段可以说是第四纪地层学研究的一个百花齐放的时代。这种形势下,在如何选择—个较好的方案,制定新的规范方面就有了较大的余地,可以允许大家从不同角度进行试探。本文中第四纪地层的划分采用国际地质年表上把更新统二分的原则。为便于使用者参考,在以气候变化为标志的中国第四纪地层对比表(图1)中仍用括号标出过去习惯使用的更新世  $Q_1$  到  $Q_3$  和全新世  $Q_4$ 。

在本文中,由于我们各自在不同成因类型的第四纪沉积物的研究工作中,都对海洋同位素阶段(marine isotope stages, MIS, 又称氧同位素阶段, oxygen isotope stages, OIS)有所接触,并或多或少参照同位素地层进行过地层的划分和对比的尝试,因而,便产生了把大家的尝试集中在一起,形成一个以 MIS(或 OIS)为参照系统划分和对比中国第四纪地层的方案的设想。

为什么我们要试图建立一个按 MIS 划分的中国地层表呢?

首先,虽然国际上还没有人对陆相地层采用过与大洋沉积所建立的 MIS 进行系统的对比和划分,但从中国的第四纪地层,特别是陆相地层研究中应用 MIS 对比的结果来看,这一方案是可行的。自从80年代将中国黄土—古土壤地层序列与 MIS 进行对比以后,经过多方面的检验,证明它是适合的。除黄土沉积之外,在我国南海沉积、洞穴沉积、河—湖相沉积、冰川沉积和冰芯的研究中,都已或多或少进行过与 MIS 的对比并取得可行的结果。那为什么我们不根据我国的地层发育情况,按照国际上共同认可的准则,将这方面的研究深入—步拟定—个中国的气候地层表。

其次,从20世纪80年代以来,第四纪地层,特别是陆相地层研究在全球变化研究的驱动下,日益向高分辨率方向发展。利用某些替代性气候指标获得了可以达到“千年尺度”,甚至“百年尺度”变化记录的沉积序列,少数沉积系列,如玛珥湖沉积、洞穴石钟乳沉

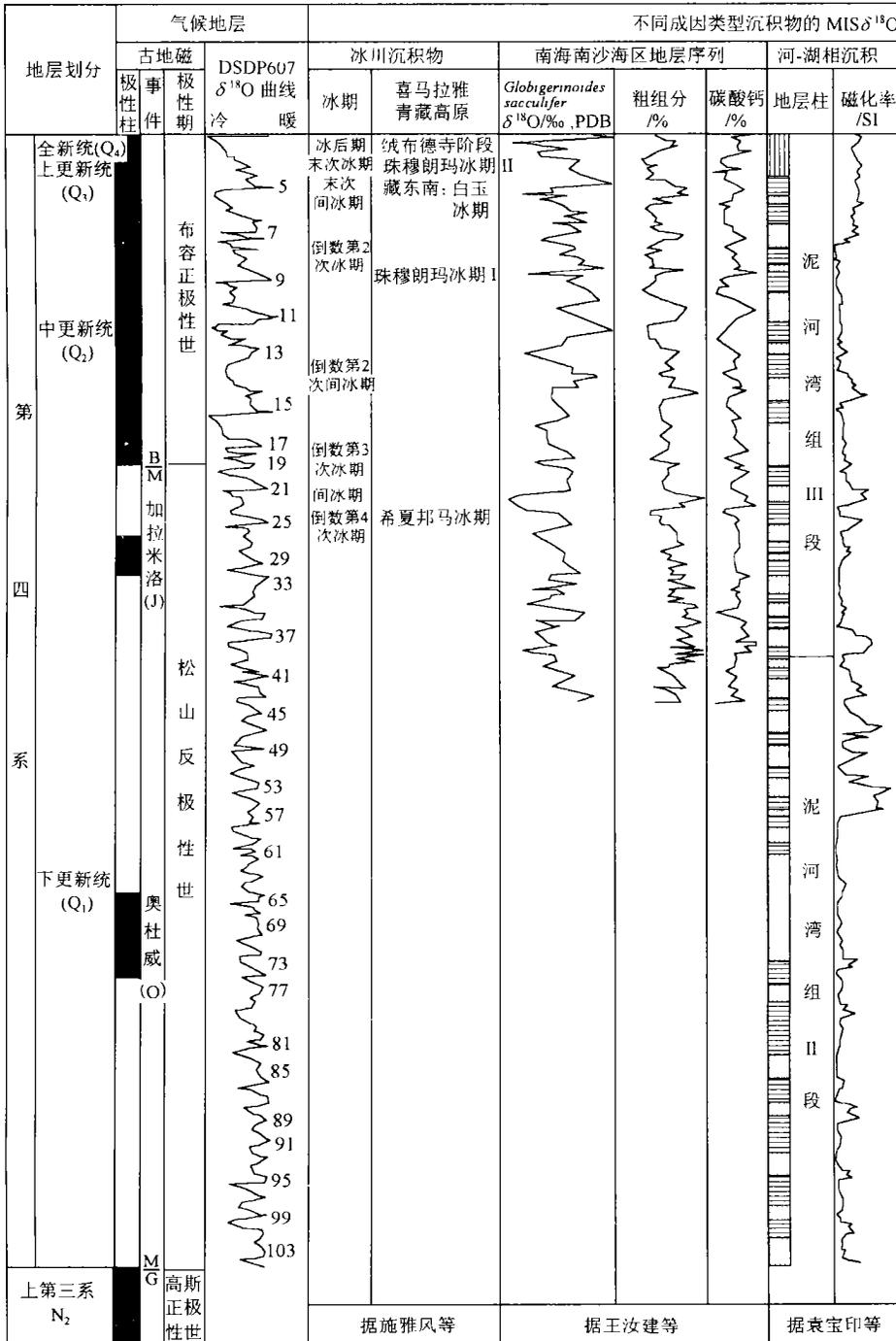
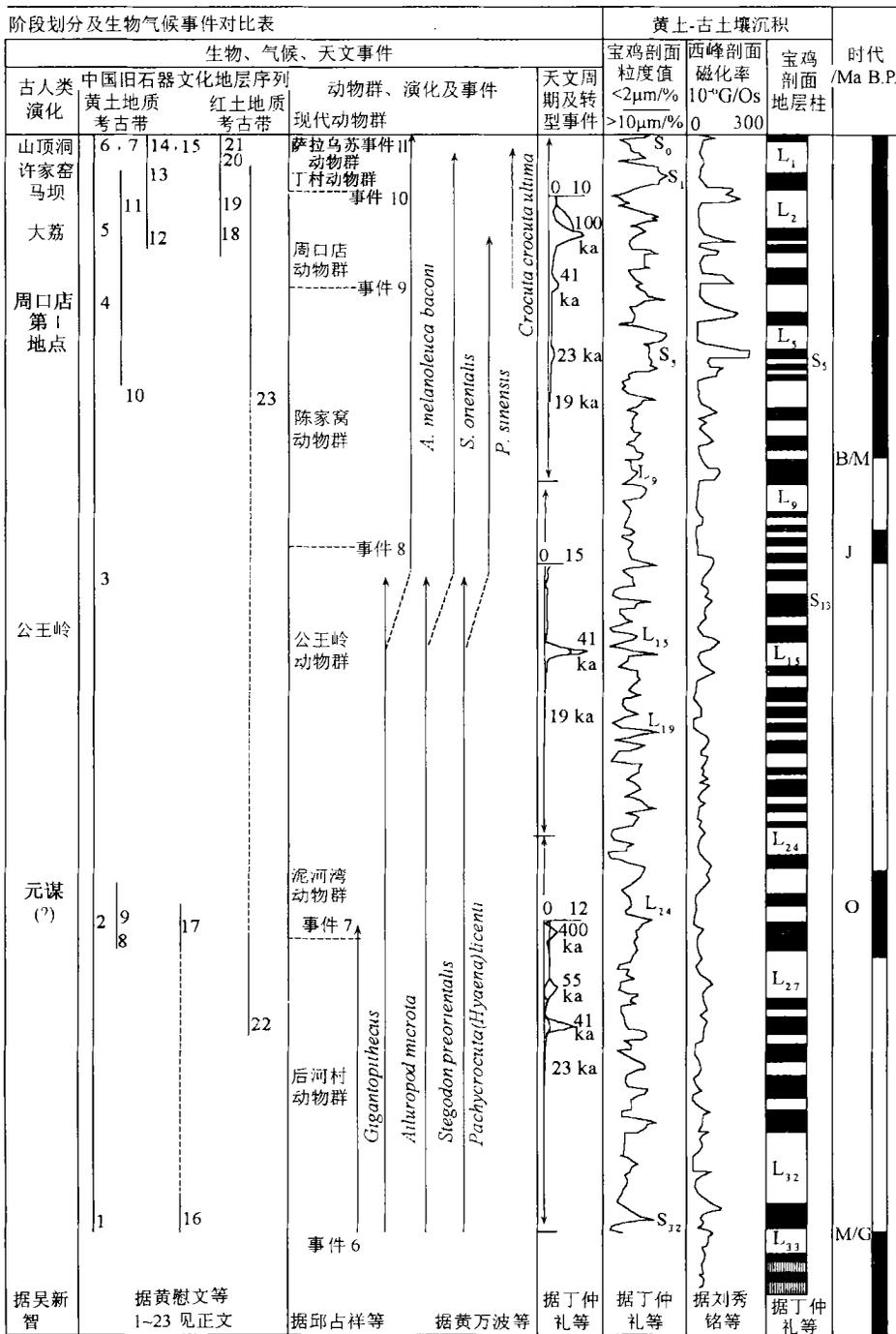


图1 以气候变化为标志的

Fig.1 Table of Chinese Quaternary stratigraphic



中国第四纪地层对比表

correlation remarked with climate change

积和泥炭沉积等可以获得更短尺度的沉积序列。这样的沉积序列使第四纪研究对于过去 2.5Ma 以来地球上发生的许多自然的和人文的过程和事件的历史有了许多全新认识, 弥补了历史文献记载的不足。在这种情况下, 地层的研究和划分也应该适应这种发展。我们把中国地层与 MIS 的对比是一种很好的选择, 可以使高分辨率地层也能容纳进来。

第三, 国际上出版了 Elsevier 公司印制的由 Bilal U. Haq 和 Frans W. B. van Eysinga 主编的第 5 次修订的国际《地质年表》(1998 年版)。这个表的特点之一是它用了很大篇幅详细地叙述了新生代, 特别是新第三纪以来的地层划分以及有关的气候事件、生物事件、人类演化和文化考古历史等(图版 I~IV); 它还专门列出第三纪以来, 特别是第四纪时期影响全球环境变化的各种关键性事件(见图版 III); 值得注意的是它也采用了气候地层的方法, 把各大洲的陆相第四纪地层作了对比(见图版 IV), 其中亚洲部分以中国黄土的划分为例, 采用了午城黄土、离石黄土和马兰黄土等岩石地层的命名, 并且以泥河湾、周口店等具有很好的古生物学基础的生物地层学命名作为亚洲的第四系生物地层单位。国际地层表已经参考了中国第四系的研究结果, 我国第四纪地质工作者的使命和我国第四纪地层研究今后发展的趋势应该是建立高分辨率的地层序列, 如能做到这一点, 将是我国对国际第四纪研究的又一重大贡献。

为此, 我们共同努力, 从冰川沉积、海洋沉积、湖相沉积、洞穴沉积和黄土沉积入手, 参考古人类、古脊椎动物和石器文化的演变, 联合编制了以气候变化为标志的中国第四纪地层对比表(可简称为中国第四纪 MIS 地层表, 图 1)。我们不是单纯地追求地层划分越来越细, 而是想通过高精度的地层划分结果, 更进一步认识地球上地质演化的沉积、剥蚀、搬运和再沉积的过程和规律, 即自然规律的多样性。在这样划分的地层的基础上, 进一步认识第四纪的地质环境, 通过再造第四纪地质环境中各种现象的历史事件的细节, 来说明第四系这个地球系统中各个圈层相互作用最为集中的载体——“信息库”的作用。

我们认为对中国第四纪 MIS 地层划分方案的提出目前还是一个“有”或“无”的问题, 尚未达到完全准确与否的阶段。我们之所以提出这一方案, 一方面是因为看到了从这样一个角度出发, 今后可以在第四纪地层研究中发现许多新的、令人兴奋的内容的可能; 另一方面在建立我们自己的第四纪 MIS 地层对比还有许多实实在在的工作要做, 我们的地层研究应该在这些方面花大力气, 而不是在名词、术语的讨论方面花费更多的时间。通过中国第四纪 MIS 地层表的编制和对重要事件年代和演化阶段划分的研究, 我们发现了第四纪时期的气候变化、海面洋流变化、生物演化, 以至于地球行星际的许多新的问题和新的苗头。对于地质学研究来说这是一项富有生命力的工作, 因为它指导人们研究大家所关心的全球环境变化、未来环境发展趋势和将来人类社会的可持续发展等问题, 这对于今后这方面的深入研究, 是很有意义的。

我们的地层表只是“抛砖引玉”, 为了请大家, 特别是第四纪地层工作者进一步讨论和完善。每一种沉积类型与 MIS 的对比, 我们把原作者的方案和意见都一并提出供大家参考。总的对比表是由刘东生等完成的, 如有错误和不当之处则是编者的责任了。但这种新的尝试不仅对我们, 而且对其它各大洲的第四纪地层的划分也是很好的一个先例。

## 2 各种第四纪沉积物和生物、考古事件与海洋同位素阶段对比

### 2.1 中国第四纪冰川-冰期及其与海洋同位素阶段对比(施雅风执笔)

#### 2.1.1 中国冰川-冰期与海洋同位素的简略比较

中国西部喜马拉雅山、青藏高原、昆仑山和天山等一系列高山高原都是在第四纪早、

表1 中国冰期与海洋同位素阶段比较表

Table 1 Comparison of glaciations in China to deep sea isotope stages

MIS $\delta^{18}\text{O}^*$	中国冰期	喜马拉雅-青藏高原	天山-阿尔泰山	东部高山区
1	冰后期	绒布德寺阶段	土格别里齐阶段	
2	末次冰期-晚冰阶 末次盛冰期	珠穆朗玛冰期II (绒布寺阶段) 横断山:大理冰期	破城子冰期II AMS $\delta^{14}\text{C}$ : 19 000~ 23 000a.B.P. (上望峰冰碛)	太白冰期II TL: 19 000a.B.P.
3	间冰阶-间冰期 a b c	$^{14}\text{C}$ : 36 000a.B.P.(藏东南)		
4	末次冰期早冰阶	62 000~72 000a.B.P. 绒布寺侧碛 藏东南:白玉冰期	破城子冰期I	太白冰期I
5	末次间冰期 a b c d e			
6	倒数第2次冰期	TL: >0.2MaB.P. (年保玉则)	契克达坂冰期 台兰冰期	
7		TL: >0.206±0.017 MaB.P.		
8		(西昆仑)		
10		珠穆朗玛冰期I		
11		基龙寺阶段		
? 12		藏东南:古乡冰期 横断山:丽江冰期		
13	间冰期	以MIS $\delta^{18}\text{O}$ 13阶段为主		
15				
16	倒数第3次冰期	聂聂雄拉冰期	柯克台不爽冰期	
17	(最大冰期)	(聂拉木冰期)		
18		ESR: 0.71 MaB.P.		
? 19		(昆仑山垭口)		
20		$^{36}\text{Cl}$ : >0.7MaB.P. (古里雅冰芯)		
21	间冰期			
? 22				
23				
24	倒数第4次冰期	希夏邦马冰期	阿合布隆冰期	
25				
26				

中期进入冰冻圈,出现山地冰川。随着冰期-间冰期气候变化,冰川规模与分布也有着多次重大伸缩。自黄汲清 40 年代建立天山冰期系统<sup>[5]</sup>至今,各高山区经过程度不等的冰川考察,建立了许多地方性的冰期名称。根据为数不多的各种定年资料和冰芯记录,可以将先前利用地貌地层法所定的冰期系列,粗略地与海洋同位素阶段比较(表 1)。由地貌地层法确定的冰期沉积,也包含若干氧同位素奇数阶段的暖期,有待今后详细研究来分离。

由于各地区差异很大,下面分喜马拉雅-青藏高原、天山-阿尔泰山和东部高山区三大区分别叙述。

### 2.1.2 喜马拉雅-青藏高原区

喜马拉雅-青藏高原区包括高原周边和中部许多山系,主要受南亚季风环流影响,区内希夏邦马峰北坡海拔 6 200m 附近分布的角砾状和岩性多变的混杂堆积,可能是最早的倒数第 4 次冰期<sup>[6]</sup>小型山麓冰川留下的冰碛,这次冰期称为希夏邦马冰期<sup>[7]</sup>。希夏邦马冰期之后的聂聂雄拉(或称聂拉木<sup>[8]</sup>)冰期的冰川堆积,以高出现代河床数百米的高冰碛阶地或高冰碛平台的形式出现<sup>[7]</sup>。这次冰期在青藏高原的各山系都发育了大规模的山麓冰川,是青藏高原的最大的一次冰期。它的时代,根据青海昆仑山垭口该期冰碛的 ESR 测年的中值为 0.71MaB.P.,结合其它证据,表明其相当于 MIS 18~16 阶段。再综合其它证据判断,该冰期起始于 MIS 20 或 18,可能在 MIS 16 进入最盛期,因而,是持续时间最长的一次冰期<sup>[9]</sup>,推算当时冰川面积超过 500 000km<sup>2</sup>。其时,青藏高原已隆升到 3 500m 左右,进入冰冻圈。借助于黄土和若尔盖地区钻孔研究资料,可以认为 MIS 13 阶段是青藏高原倒数第 3 与第 2 冰期之间间冰期的核心阶段<sup>[10]</sup>。倒数第 2 次冰期冰川遗迹,以受到相当程度破坏的高侧碛、残破终碛为标志,在出山口后叠加在倒数第 3 次冰期冰碛平原之上。这次冰期,在珠穆朗玛峰地区为珠穆朗玛冰期——基龙寺阶段<sup>[7]</sup>。根据冰碛物本身和上覆的沉积物底界的年代控制,倒数第 2 次冰期冰碛主要相当于 MIS 6 阶段,部分相当于 8 阶段以至 10~12 阶段<sup>[11~14]</sup>。

古里雅冰芯的  $\delta^{18}\text{O}$  记录清楚地显示 0.125MaB.P. 以来所有重要的气候事件,相当于 MIS 5 阶段的末次间冰期,包括了 3 次暖期(5a, 5c, 5e)和两次冷期(5b, 5d)。从 78 000aB.P. 的 5a 顶峰到末次冰期早冰阶(相当于 MIS 4)开始的 75 000aB.P. 温度急剧下降达 12℃,早冰阶的降温程度不及晚冰阶(相当于 MIS 2),但历时 17 000a 超过晚冰阶的 14 000a。早冰阶的冰川遗迹大多为晚冰阶的冰川前进所覆盖。青藏高原上的 MIS 3 具有与南北极高纬度地区不同的特征,那时青藏高原的温度比现在高出 3~4℃,达到间冰期的温度。出现于 MIS 2 的末次盛冰期(LGM),古里雅冰芯揭示在日历年龄 32 000~17 000a 之间,温度变化剧烈,有多次百年级的温度变化超过 10℃ 的气候跃动。在降水最多的高原东南边缘,末次盛冰期时,平衡线下降值可达 800m,最大超过 1 000m,而高原中西部仅为 200~500m<sup>[15]</sup>。16 000aB.P. 以后,温度波动上升,经 12 200~10 500aB.P. 的新仙女木事件后,进入全新世。青藏高原还能见到 4 000~3 000aB.P. 新冰期和 16~19 世纪小冰期的冰川遗迹。

### 2.1.3 天山-阿尔泰山区

天山-阿尔泰山区主要受西风环流影响。该区最早的冰期是柯克台不爽冰期<sup>[5]</sup>,以高出现代河床 500~600m 的冰碛高台地为代表,保存的冰碛层厚达 20~30m,被认为是倒数第 3 次冰期的遗迹。阿尔泰山南坡这次冰期的遗迹以漂砾分布于哈拉斯流域的分

水岭上<sup>[16]</sup>。倒数第 2 次冰期称为契克达坂冰期,亦称台兰冰期,它的沉积在台兰河和木扎特河河谷出山口以上以高出谷床 200~400m 的冰碛阶地为代表,出山口则为冰碛平原和分散的冰碛小丘,谷口外,地面相对下沉,原来的丘陵状冰碛呈半掩埋状态<sup>[17]</sup>。天山地区倒数第 2 次冰川规模最大。末次冰期的终碛在天山木扎特谷口成为破城子终碛,分内外两组,推测分别形成于 MIS 4 和 MIS 2 阶段。天山地区的全新世新冰期留下 1 道至多道冰碛,小冰期则有 3 道终碛<sup>[18]</sup>。

#### 2.1.4 东部高山区

中国东部确切的冰川遗迹仅存于四川螺髻山、陕西太白山、东北长白山和台湾中央山脉等少数高山区,除螺髻山外均属于末次冰期。太白山有冰斗湖、侧碛、冰川槽谷的冰川地貌和沉积,分早、晚两期。晚期侧碛的 TL 测年为 19 000aB.P.,证明是末次盛冰期时的冰川所成<sup>[19]</sup>,应相当于 MIS 2 阶段,由此推测早期应相当于 MIS 4 阶段。前人论述众多海拔 2 500m 以下山地的冰川地形和冰川沉积均属系统误解<sup>[20]</sup>。

### 2.2 南海南沙深水区第四纪地层序列(王汝建、赵泉鸿、翦知湔、成鑫荣和汪品先执笔)

南海南沙深水区第四纪地层序列是基于中德合作“太阳号”95 航次重力取样器采集的 17957-2 柱状样的研究<sup>[21]</sup>。该柱位于 10°53.9' N, 115°18.3' E。水深和柱长分别是 2 195m 和 13.84m。柱状样岩性单一,为一套灰色生物软泥。有孔虫和钙质超微化石样品处理和研究是在同济大学海洋地质重点实验室完成的。放射虫样品分析是在德国基尔大学地质古生物研究所完成,样品处理和薄片制备是在德国阿尔弗雷德·魏格纳极地与海洋研究所完成的<sup>[22]</sup>。古地磁样品是在德国基尔大学用 U 形管连续取样,由法国 CEA-CNRS 气候与环境科学实验室测定。

#### 2.2.1 氧同位素、粗组分和碳酸盐地层学

氧同位素地层学是目前古海洋学研究广泛应用的方法,对同位素分期前人已作过详细讨论和年龄标定<sup>[23]</sup>。南海近年来的工作表明氧同位素地层序列是该地区第四纪地层对比最有效的手段<sup>[24,25]</sup>。南沙海区 17957-2 柱全长 13.84m 的沉积序列揭示了 MIS 1~43 期,约 1.37Ma 的沉积历史,包括 21 个冰期-间冰期旋回<sup>[26] 1)</sup>(图 2)。该柱中的粗组分<sup>[27]</sup>和碳酸盐曲线与氧同位素曲线相当吻合,同样可以用来划分和对比冰期旋回。

#### 2.2.2 磁性地层学

南沙海区的古地磁记录包括布容期和松山期上部,加拉米洛事件<sup>[28]</sup>以及 Cobb 山事件。布容期与松山期界线位于 17957-2 柱的 796~798cm 处,年龄 0.78Ma;加拉米洛事件顶与底部深度分别是 966 和 1 016cm,年龄分别是 0.99Ma 和 1.07Ma;Cobb 山事件顶和底部深度分别是 1 120 和 1 128cm,年龄分别是 1.2Ma 和 1.21Ma<sup>[29]</sup>。

17957-2 柱在布容期与松山期界线之下记录了一次陨石撞击地球事件,在 805~810cm 层位处发现大量微玻璃球<sup>[27]</sup>。由于微玻璃陨石沉降的同时性及在澳-亚地区的广泛分布<sup>[30,31]</sup>,在深海沉积物中保存良好,是标定柱状样年龄的可靠标志。

1) Jian Z, Wang P, Chen M P *et al.* Foraminiferal responses to major Pleistocene paleoceanographic changes in the South China Sea

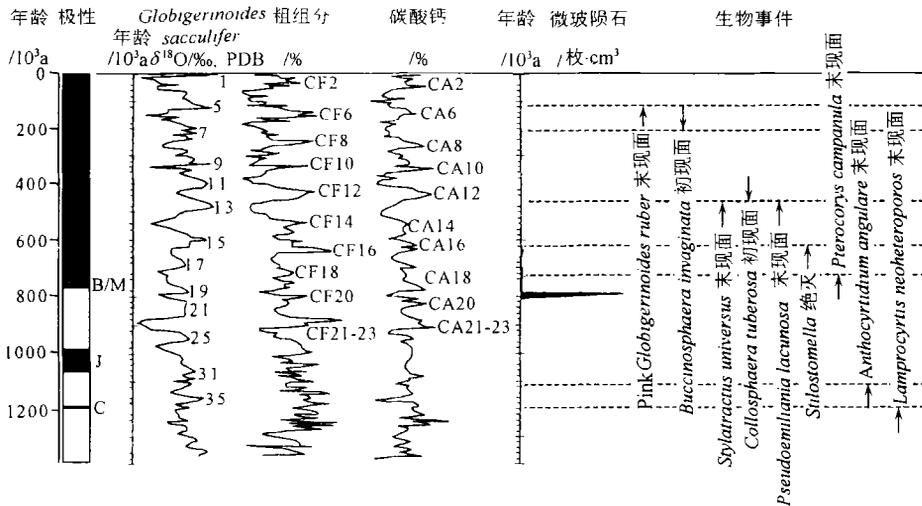


图2 南海南沙海区17957-2柱地层序列

Fig.2 The stratigraphic sequences of core 17957-2 from the seas around Nansha Islands

### 2.2.3 生物地层学

通过南沙深水区 17957-2 柱多门类生物事件的研究,建立并证实了第四纪以来属于低纬度生物地层带的 9 个生物事件<sup>[28]</sup>。这些生物事件直接与氧同位素和古地磁资料对比所得的年龄,与赤道太平洋和印度洋的年龄均相对应。浮游有孔虫粉红色 *Globigerinoides ruber* 的末现面年龄是 0.12MaB. P., 放射虫 *Buccinosphaera invaginata* 的初现面年龄是 0.21MaB. P., 放射虫 *Collosphaera tuberosa* 的初现面年龄是 0.42~0.46MaB. P., 钙质超微化石 *Pseudoemiliania lacunosa* 的末现面年龄是 0.465MaB. P., 底栖有孔虫 *Stilosomella* 绝灭事件的年龄为 0.62MaB. P., 放射虫 *Pterocorys campanula* 的末现面年龄是 0.72~0.73MaB. P., 放射虫 *Anthocyrtdium angulare* 的末现面年龄约 1.1MaB. P., 放射虫 *Lamprocyrtis neoheteroporos* 的末现面年龄对应于约 1.2MaB. P. 的内插年龄,放射虫 *Stylatractus universus* 的末现面年龄是 0.46MaB. P.。

## 2.3 南方盆地湖泊沉积(王苏民执笔)

### 2.3.1 若尔盖盆地湖泊沉积

若尔盖盆地位于青藏高原东部边缘,总面积 19 600km<sup>2</sup>,是典型的断陷盆地,已有的钻孔揭示,盆地第四纪地层的分布受盆地的构造控制明显。在南北向剖面中,南部地层主要以河流相的砂砾层为主,中部表现为河湖交替的三角洲沉积为主,西北部以细粒湖相沉积为主。在盆地北部的东西向剖面中,东部和西部均为粗粒的山麓冲-洪积扇沉积,中部为湖相沉积。上述的沉积格局与盆地南高北低,边缘断陷的特征是相一致的,盆地沉积中心位于黑河牧场以西的黑河下游地区。

盆地沉积中心 (33° 57' N, 102° 21' E) 钻取湖泊岩芯 (RM 孔), 孔深 310.46m, 取芯率 90%。全套沉积的岩性较细,以青灰色、灰色、褐棕灰色的粉砂质泥、泥质粉砂和粉砂为主,

局部有细砂层,未见中砂以上的粗碎屑沉积。泥炭层出现频率较高,达 55 层,常与薄的螺壳层伴生,但一般厚度仅数十厘米,超过 1.0m 者很少,是划分沉积旋回的重要标志。RM 孔的 B/M 界线位于 285.7m, Blake 事件在 24.76~25.48m。

根据沉积物环境多代用指标的综合判识,可区分出 23 个阶段(图 3a)。根据该孔的沉积特征、沉积旋回的结构,以及沉积速率的变化,结合环境冷暖、干湿的组合特点,0.9MaB.P.

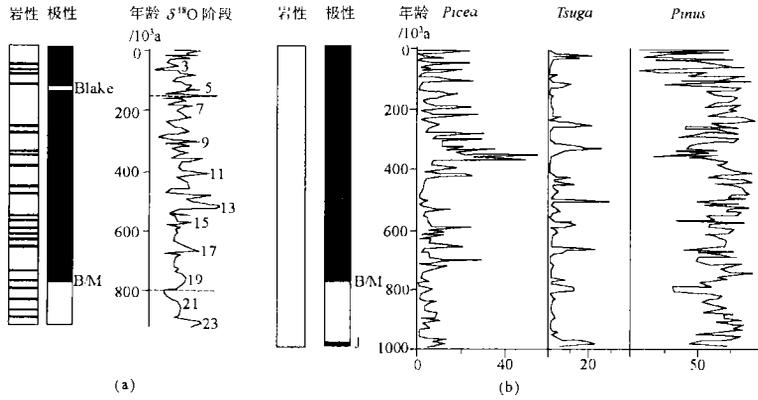


图3 若尔盖盆地和鹤庆盆地钻孔揭示的地层序列

(a) 若尔盖盆地RM孔 (b) 鹤庆盆地HQ孔

Fig.3 Stratigraphic sequences of Zoiqê and Heqing basins

以来高原东部存在 3 次明显的隆升加速时期,即 0.8MaB.P., 0.36MaB.P. 及 0.16MaB.P.:

(1) 中更新世早期高原隆升期 (0.8~0.36MaB.P.) 该期持续的时间较长,包括 20~12 阶段,总体以冷湿、暖干的组合为特点,是环境剧烈波动,变幅较大的时期,具体地可以分为 3 个阶段:以明显的降温开始的初期(20~19 阶段),环境相对较平稳,变幅较小,湖水偏淡,初始生产力较低,  $\delta^{13}C_{org}$  略负偏,介形类丰度和孢粉浓度是低值,与隆升前相比,冷期开始出现湿波动,暖期出现干波动。环境剧烈波动的中期(18~14 阶段),以冷湿与暖干的交替为主要特色,出现明显的冷湿环境;环境较稳定的后期(13~12 阶段),虽然依然维持冷湿-暖干的环境组合,但波动频率与幅度不如中期明显,而且开始出现暖期趋湿,冷期趋干的面貌。该时期总体上生物量较低,湿度较高,湖水偏淡,但温度变化较大。

(2) 中更新世晚期高原隆升期 (0.36~0.16MaB.P.) 本时期以 11 阶段内的明显降温开始,经历了 11~7 阶段,与前一隆升期相比,多项环境指标均发生了明显变化,表现温度偏低和干旱程度增加的环境面貌,沉积岩性均以棕灰色泥岩为主,表现还原不充分的弱氧化色,代表湿环境的泥炭层不发育。9 阶段以下尚见有薄层泥炭,9 阶段以上无泥炭层发育,在 10 和 8 阶段的沉积物中检出大量风成石英颗粒,反映了冷干的趋向。

(3) 晚更新世高原隆升期 (0.16MaB.P.~现今) 本次构造对环境的影响非常明显,环境的组合面貌发生根本性的变化,以冷干与暖湿的气候组合为基本特征,有效湿度明显增加,湖水淡化。上述特点说明,随着高原的进一步隆升,海拔增高,气候寒冷,减少了蒸发,促使有效湿度增大,是一个变冷变湿时期。暖期季风降水增多,冷期季风降水减少,造成与现今相同的冷干与暖湿的气候格局。

### 2.3.2 云南鹤庆深钻剖面研究

鹤庆盆地 ( $25^{\circ}51' \sim 26^{\circ}42' \text{ N}$ ,  $100^{\circ}06' \sim 100^{\circ}29' \text{ E}$ ) 位于青藏高原东南边缘的云南省西北部, 为构造断陷形成<sup>[32,33]</sup>。盆地面积  $183.8\text{ km}^2$ , 周围山体均为花岗岩出露, 最高山峰海拔  $3500\text{ m}$ 。该区夏季主要受来自孟加拉湾来的暖湿气流影响, 冬季受南支西风急流控制。盆地以北  $40\text{ km}$  处的玉龙雪山, 山地垂直植被发育。已有的物探资料表明其湖相沉积达  $700\text{ m}$  厚。钻孔位于盆地中心, 孔深  $168\text{ m}$ 。剖面均为湖相泥沉积, 岩性均一, 但从下至上色调上变化比较明显。

依据鹤庆盆地钻孔花粉资料, 对该区晚更新世以来的古植被和古气候进行了恢复(图 3b), 结果表明, 本区冷湿和暖干的气候组合具有明显的区域特征, 末次冰期该区夏季锋面降水增多, 而间冰期则相反。造成这种区域环境效应的影响, 与西南季风区大气环流的复杂性、滇西高原的地貌部位以及青藏高原地表反照率引起的热力学和动力学过程有关。1.0MaB.P. 以来的古植被演替与气候变化的阶段性特征研究表明, 该区植被和气候对高原隆升不同阶段具有明显的响应特点。明显的气候转型发生在  $0.73\text{ MaB.P.}$  和  $0.42 \sim 0.365\text{ MaB.P.}$ 。0.165MaB.P. 前后, 山体抬升引起的树线植被响应不甚明显, 可能与山体上升到一定高度和垂直带谱的稳定形成有关。13 200aB.P., 构造的差异升降和气候变化导致湖盆被切穿。

### 2.4 中国第四纪河-湖相地层与深海氧同位素曲线的对比(袁宝印执笔)

河-湖相沉积是我国第四纪沉积的重要沉积类型, 其中典型的地层有泥河湾组、三门组、元谋组、昔格达组和萨拉乌苏组等。过去在综合地层划分方案中它们都与一个特定的年代地层单位相联系, 如倍受重视的泥河湾组, 它最早被认为是早更新世的沉积, 现在看来它的实际延续时间要比原来认为的长得多。粒度分析表明, 泥河湾组沉积物, 尤其是

表2 青藏高原“隆起旋回”与地文期对照表

Table 2 Comparison of “tectonic uplift cycles” of Qinghai-Xizang Plateau to physiographic cycles

地貌类型	构造幕和构造运动	地文期	地质年龄/Ma
阶地陡坎	若尔盖运动	冰后期侵蚀	0
兰州黄河阶地T <sub>1</sub>		皋兰期堆积	0.01
阶地陡坎	间冰期运动	板桥侵蚀期	0.05
兰州黄河阶地T <sub>2</sub>		马兰堆积期	
阶地陡坎	共和运动	清水侵蚀期	0.15
兰州黄河阶地T <sub>3</sub>		周口店堆积期	
阶地陡坎	S <sub>5</sub> 运动		0.6
兰州黄河阶地T <sub>4</sub>			
阶地陡坎	昆黄运动	湟水侵蚀期	1.1
兰州黄河阶地T <sub>5</sub>			
阶地陡坎	元谋运动		1.3
兰州黄河阶地T <sub>6</sub>			
阶地陡坎	青藏运动C幕	泥河湾堆积期	1.7
兰州黄河阶地T <sub>7</sub>			
山麓剥蚀面下的陡坎	青藏运动B幕		2.5

中、上部的韵律非常清晰。夏正楷定义了“水下黄土”堆积的概念<sup>[34]</sup>,认为冰期时气候干冷,大量黄土状的粉尘降落在湖泊中,间冰期时这种粉尘数量较少,表现在粒度组成上,冰期时沉积物的颗粒粒度较粗,与典型的黄土类似,而间冰期时沉积物颗粒偏细,“水下黄土”相当于冰期时形成的粒度较粗部分,在泥河湾组剖面的上部至少可辨认出 17 层这种“水下黄土”,与其间的细粒沉积组成“水下黄土”-湖相沉积的旋回(见图 1)。

根据大量古地磁与孢粉分析的结果,袁宝印和朱日祥等<sup>[35]</sup>将泥河湾组分成 3 段:泥河湾 I 段形成于 3.4~2.48MaB.P.,为上新世的沉积,可与黄土高原的红粘土层对比;泥河湾组 II 段形成于 2.48~0.97MaB.P.,可大致与午城黄土对比;泥河湾 III 段形成于 0.97~0.13MaB.P.,可大致与离石黄土对比。泥河湾组上覆为黄土堆积,底部是发育不完全的古土壤,大致与  $S_1$  相当,以上为马兰黄土。可以说,泥河湾组在整个第四纪时期的 2.48~0.13MaB.P. 之间为连续的堆积,其中“水下黄土”-湖相沉积的旋回基本可与黄土-古土壤序列对比,从而奠定了与深海氧同位素对比的基础(见图 1)。

黄河上游兰州一带发育了多级黄河阶地,李吉均等<sup>[36]</sup>根据各级阶地上的黄土-古土壤序列确定了阶地的形成年代(表 2)。黄河阶地的形成系由青藏高原隆升和气候变化两个因素造成,目前尚无可靠的办法分别确定每个因素影响的大小。从阶地上根据黄土-古土壤序列确定的形成年代,也可与深海氧同位素阶段进行比较详细的对比(见表 2)。这一工作十分重要。

## 2.5 中国古人类主要化石及其演化关系(吴新智执笔)

经过几代人的努力中国已经在 70 多个地点发现了更新世的人类化石<sup>[37]</sup>。一般认为时代最早的是云南元谋的两枚上门齿,其古地磁年龄为大约 1.70MaB.P.,电子自旋共振年龄为 1.1~1.6MaB.P.<sup>[38]</sup>。最早的头骨出土于陕西蓝田公王岭,有脑颅,但大部面骨阙如,古地磁年龄为大约 1.15MaB.P.。此二宗化石均属于直立人(*Homo erectus*),地质时代为早更新世。湖北郧县曲远河口的两具完整,但埋藏中有严重扭曲的头骨古地磁年龄为 0.87~0.83MaB.P.,电子自旋共振年龄为 0.565MaB.P.,也有人认为与公王岭年代相仿<sup>[39]</sup>,有人认为属于直立人,也有人认为与早期智人更接近<sup>[40]</sup>。中更新世的直立人更多。周口店第 1 地点出土者材料最丰富,时代跨度从大约 0.23MaB.P. 到 0.58MaB.P.,在其上部地层中甚至有晚更新世的赤鹿和最后鬣狗。安徽和县出土过一具头盖骨,南京汤山有一个残破头骨和一个头盖骨。其余还有山东沂源的几块头骨残片,湖北郧县煤铺、郧西,河南南召,陕西洛南的牙齿。湖北建始和河南浙川各有几枚牙齿也被定为属于直立人。

中国的早期智人(*Homo sapiens*)化石地点比直立人的稍少。主要有陕西大荔的头骨,辽宁营口金牛山的头骨和部分体骨,广东曲江马坝的头盖骨,山西阳高许家窑、安徽巢县、湖北长阳和山西襄汾丁村的头骨残片,还有丁村、贵州桐梓和盘县大洞以及周口店第 4 地点的牙齿。这些地点属于中更新世后期,用铀系法测定过年代<sup>[37]</sup>,个别的可能属于晚更新世早期。中国晚期智人化石地点多达 40 余处,但完整的头骨不多,有周口店山顶洞的 3 具(已在 1941 年遗失),广西柳江和云南丽江各一具,还有四川资阳和贵州穿洞的头盖骨,云南呈贡的残破头骨等。这些地点都属于晚更新世的晚期。可惜至今还未发现时代确定的 0.1~0.03MaB.P. 的人类化石。

中国人类化石有一系列共同特征。所有已发现的更新世人类化石上门齿都呈铲形,面部都较扁平,鼻梁大都扁塌,颧骨额蝶突前外侧面大都比较朝向前方,眼眶大多呈长方形,其外下缘呈钝形,颊下部骨骼的下缘成弧形等。这些特征在中国的出现率,特别是它们组合在一起的出现率,都比其它地区古人类高得多。

中国直立人个别头骨少数特征已与智人一致,如和县头骨的眶后缩狭程度、头指数、颧鳞长高指数等,中国少数智人头骨还保留着所谓直立人独有的特征,如马坝狭的眶后缩狭,大荔和资阳等的角圆枕和厚的眉脊,大荔、许家窑头骨都很厚等。因此中国直立人与智人之间有着形态的镶嵌,无法将二者截然分开。两者间的演化是逐渐过渡的。这种现象与共同特征都指示着中国古人类是连续进化的。

中国少数化石还有个别与大多数化石不融洽的特征,如大荔头骨梨状孔上外侧膨隆,郧县头骨鼻梁高耸,马坝眼眶呈圆形,其外下缘较锐,柳江、资阳和丽江等头骨有馒头状隆起,山顶洞 101, 102 号头骨面部水平突度较大,山顶洞 102 号头骨颧骨额蝶突前外侧面比较朝向侧方等,而这些与中国大多数头骨不融洽的特征在欧洲却有高得多的出现率。我们认为它们在中国的出现可以表明曾有少量基因来自西方。

因此,中国人类进化总的情况是:连续进化为主,与外来人群杂交为辅。

## 2.6 第四纪脊椎动物群和脊椎动物演化事件(邱占祥和徐钦琦执笔)

为了建立地层对比关系,对第四纪哺乳动物群进行重新审视,对主要代表性动物群生存的时代的界线作了排序,这样便可以与 MIS 作一粗略的时间上的间接对比。哺乳动物演化事件大致可以归纳成表 3。

表3 我国主要第四纪动物群和事件与深海氧同位素阶段的初步比较

Table 3 An attempt to compare main Quaternary Fauna to deep sea oxygen isotopic stages

氧同位素阶段	年代/MaB.P.	动物群和事件
MIS 1		Modern Fauna (现代动物群)
	0.11	事件11 (the Terminal Pleistocene extinction)
MIS 2~4		Salawusu Fauna (萨拉乌苏动物群)
MIS 5		Dingcun Fauna (丁村动物群)
	0.127	事件10 (Event 10)
		Zhoukoudian Fauna (周口店动物群)
	0.5	事件9 (Event 9)
		Chenjiawo Fauna (陈家窝动物群)
	1	事件8 (Event 8)
		Gongwangling Fauna (公王岭动物群)
	1.4	小事件 (LSD of <i>Pseudoxis grayi</i> )
		Nihewan Fauna (泥河湾动物群)
	约1.87	事件7 (Event 7)
		Houhecun Fauna (后河村动物群)
	2.6	事件6 (Event 6)

(1) 在各个事件之间,可以看作是一个比较高级的气候变迁旋回。每个旋回的内部,

实际上包含了多个小的旋回( $\delta^{18}\text{O}$ 阶段),但这些小的旋回不会影响哺乳动物群性质的变化。

(2) 从哺乳动物群性质分析,在过去的 3Ma 气候变化的总趋势是变冷,其中有两次特别明显的降温事件。第一次出现在事件 6 与事件 7 之间。表 3 中用的是后河村动物群,但它并不理想。据推测,近两年正在发掘的安徽的“繁昌动物群”可能是这一阶段的有代表性的动物群。它产于长江之南,但有许多典型的北方动物群的分子。

(3) 第 2 次重大的降温事件发生在事件 8 与事件 9 之间。这里用的陈家窝动物群,其表现是原古王岭动物群中的大量的南方动物群成分的消失,反映了又一次冷期的降温。

## 2.7 中国洞穴地层工作的回顾与进展(黄万波执笔)

中国洞穴研究的首篇古生物学术论文是由英国学者 R. Owen 撰写的,他研究的标本采自重庆附近的岩溶洞穴,中国犀(*Rhinoceros sinensis* Owen)、中国獾(*Tapirus sinensis* Owen)和东方剑齿象(*Stegodon orientalis* Owen)等就是由 R. Owen 研究定名的。

从本世纪 20 年代起,我国古生物学家杨钟健、裴文中、贾兰坡和张席提等参与了洞穴的研究工作,他们除了专门从事周口店各地点之洞穴堆积的采集或研究外,还南下考察,报道过四川巴县和尚坡、云南河上洞以及两广等地的洞穴古生物地点,并总结出我国南方洞穴之灰色及黄色两种堆积,前者以灰色砂质土为主,含有新石器时代遗物;后者以黄色角砾及砂质粘土为主,含有大熊猫(*Ailuropoda*)、剑齿象(*Stegodon*)、熊(*Ursus*)、鬣狗(*Hyaena*)、犀(*Rhinoceros*)、豪猪(*Hystrix*)、猪(*Sus*)、牛(*Bos*)和猕猴(*Macaca*)等多种哺乳类化石。而后,根据哺乳动物化石组合情况,提出了“大熊猫—剑齿象”动物群(*Stegodon-Ailuropoda* Fauna)这一术语。新中国成立后,洞穴学与其它学科一样,也得到了迅速的发展。周口店遗址的发掘和研究得到了恢复。为了查明巨猿(*Gigantopithecus*)的产地和层位,裴文中和贾兰坡率队前往广西考察,1955~1960 年长达 6 年的考察中,该考察队共调查了近 400 个山洞,采集了大批哺乳动物化石,其中最值得回顾的是,不仅查明了巨猿化石的详细产地,而且还发现了与巨猿化石同时出土的一件直立人的上颌骨(带 P3—M2)化石。

近 20 年来,我国的洞穴学研究工作取得了长足的发展,相继发现了安徽和县龙潭洞的和县人(*Homo erectus*)、南京汤山的南京人(*Homo erectus*)、重庆巫山龙骨坡的巫山人(*Homo erectus*)以及湖北建始龙骨洞的建始人(*Homo erectus*)等,然而更大的突破是在江苏溧阳中始新世和安徽繁昌中新世裂隙堆积里分别找到了 45MaB.P. 和 10MaB.P. 的曙猿和古猿化石。所有这些新的发现和新的研究成果,有必要重建我国的洞穴堆积地层表(见图 1)以进行比较研究。

## 2.8 中国旧石器文化序列的地层层序(黄慰文执笔)

世界各国在条件具备时,都会建立起本国的旧石器文化序列并随新的发现不时去充实或修正它。在我国,裴文中和贾兰坡分别在 50 和 70 年代曾先后提出过这种序列<sup>[41, 42]</sup>。近年中国旧石器考古获得了重大进展,修订序列当在情理之中。不过,这件工作艰难而又复杂。因为除了旧石器考古本身,它还涉及第四纪研究许多领域,需要研究者之间开展充分讨论。本文的方案正是基于这样的目的而提出的。

### 2.8.1 旧石器文化序列的基础

一个好的文化序列必须建立在好的年代学基础之上。人类历史是地球演化史的一部分,适于第四纪研究的测年手段,包括地层学、同位素年代学和磁性地层学等,原则上也适于旧石器考古。不过,在各种方法中,地层学始终是旧石器考古年代学的基础<sup>[43]</sup>。中国幅员辽阔,既有发育很好的新生代陆相地层,又有广阔的陆架和边缘海。近年来中国第四纪研究在黄土、青藏高原和西太平洋边缘海等许多领域取得了举世瞩目的进展,为建立旧石器文化序列打下了良好的基础。

清晰的文化发展脉络是建立文化序列的又一重要条件。中国旧石器可划分为初、中、晚 3 期,对应的地质时期为:旧石器初期相当于早更新世和中更新世,旧石器中期相当于晚更新世早期,而旧石器晚期相当于晚更新世晚期,后两者的年代界线可定在约 35 000~40 000aB.P.。在人类进化过程中,作为对环境变化的“反应”的文化在不断变化。因此考古文化与特定的时期和地区存在一定的联系。不过,应该强调指出,这种联系并不总是稳定的,常常会随新的发现而作出必要的调整。一个考古文化的建立是对某地区、某时期石器工业进行技术和类型学分析研究的结果。中国旧石器考古学在 50 年代以后一段很长时间里同国外缺少正常交流,使我们的工作与国际先进水平出现了较大差距。目前考古界对境内文化发展脉络以及境内外文化对比的认识存在很大分歧。在建立一个好的中国旧石器文化序列工作方面,我们还有一段很长的路要走。

### 2.8.2 关于文化系统

过去一般将中国旧石器文化表述为“华北”和“华南”两大系统。不久前,刘东生提议建立“黄土地质考古带”和“黄土石器工业”的概念<sup>[44]</sup>。最近,他又和丁仲礼一起提出东亚季风区、印度季风区和西非季风区上新世至更新世古环境演化具有相似性的推论<sup>[45]</sup>。受上述两文的启发,我们结合建立中国旧石器文化序列的工作补充如下两点建议。

(1) 建立“红土地质考古带 (latozoic-soils geoarchaeological belt) 和“红土石器工业” (latozoic-soils lithic industry) 的概念。与黄土一样,红土也是季风环境的产物。它广泛分布于我国秦岭-淮河以南的东亚南部河谷地带,并经南亚向西扩展到非洲,成为北半球又一条纬向延伸的巨型地质体。红土地质考古带也是旧大陆迄今已知早期人类化石和文化的主要分布区,其发端年代比黄土地质考古带更早。

(2) 扩充“黄土石器工业”概念,即不限于黄土堆积之中,也包括这个地质带内来自洞穴、河流或河-湖堆积的石器工业。对“红土石器工业”亦作同样处理。这样做就完善了石器工业的空间分布了。

### 2.8.3 关于一些重要遗址的年代

与东非等地不同,由于缺少火山物质,我国早于 0.4MaB.P. 的遗址常常无法获得可靠的同位素年龄。同时,0.4MaB.P. 以内的铀系法骨化石年龄又常常偏于年轻。基于这种情况,本文对一些重要遗址的年代根据地层学,尤其是黄土-古土壤序列作出必要调整。安芷生等<sup>[46]</sup>对公王岭蓝田人遗址所作的磁性地层学研究方向上值得赞赏,但可惜他们将蓝田人化石层位与洛川黄土剖面的  $L_{15}$  下粉砂层对比肯定是不合适的。根据野外记录(本节作者当年主持该遗址发掘),蓝田人头骨和共生的动物化石常常被胶结在发育很好的钙质结核之中,表明其层位属于一个明白无误的古土壤层。如果与处于相同进化阶段的爪哇佩宁人 (Ar-Ar 年龄

1.8MaB.P.)化石对比,蓝田人的年代有可能比今天所知的早得多。另外,许家窑遗址过去根据骨化石的铀系法和古地磁测定分别为0.1MaB.P.和0.11MaB.P.。不久前,由中-挪学者合作对遗址的古地磁研究结果表明其年龄应为0.5MaB.P.。这一结果得到大同玄武岩 K-Ar 定年的支持<sup>1)</sup>。红土地质考古带的一些重要遗址有很好的年龄测定。例如,广西百色遗址用共生的玻璃陨石所作的 Ar-Ar 定年为0.803MaB.P.(未发表的数据)。

这样,经过调整的一些重要遗址,以及本文所列的其它旧石器遗址的年代为:大南沟, > 2.4MaB.P.(?); 小长梁, 1.6~1.8MaB.P.; 东谷坨, 1MaB.P.; 许家窑, 0.5MaB.P.; 大荔, 0.3MaB.P.; 萨拉乌苏, 35 000~50 000aB.P.; 峙峪,  $32\ 220 \pm 625aB.P.$ ; 西侯度, > 1.8MaB.P.; 蓝田(公王岭), 1.8MaB.P.; 周口店第1地点, 0.2~0.7MaB.P.; 周口店第15地点, 0.3MaB.P.; 三门峡, 0.3MaB.P.; 丁村, 0.128~0.250MaB.P.; 水洞沟,  $34\ 000 \pm 2\ 000aB.P.$ ,  $38\ 000 \pm 2\ 000aB.P.$ ; 下川, 16 000~36 000aB.P.; 繁昌, 2.0~2.4MaB.P.; 元谋, 1.7MaB.P.; 路南, 0.3MaB.P.(?); 大洞, 0.13~0.26MaB.P.; 观音洞, < 40 000aB.P.~0.19MaB.P.; 穿洞, 约 16 000aB.P.; 巫山, 2MaB.P.; 百色, 0.803MaB.P.; 长江中下游, 0.2~0.8MaB.P.。

#### 2.8.4 中国旧石器文化地层序列

根据上述原则,我们初拟了中国旧石器文化地层序列(见图1)。图中数字所代表的遗址名称分别为:1)大南沟,2)小长梁,3)东谷坨,4)许家窑,5)大荔,6)萨拉乌苏,7)峙峪,8)西侯度,9)蓝田(公王岭),10)周口店第1地点,11)周口店第15地点,12)三门峡,13)丁村,14)水洞沟,15)下川,16)繁昌,17)元谋,18)路南,19)大洞,20)观音洞,21)穿洞,22)巫山,23)百色和长江中下游。

### 2.9 洛川黄土地层划分简表及其说明(刘东生、安芷生和鹿化煜执笔)

洛川第四纪黄土堆积比较稳定并且连续,过去曾做了大量工作,研究程度较高,是中国第四纪地层的典型剖面。刘东生等首次利用洛川黄土-古土壤序列的磁化率曲线把黄土地层与深海地层(MIS)进行了对比<sup>[47]</sup>。

洛川剖面由上新世红粘土、更新世午城黄土、离石黄土、马兰黄土和全新世黄土堆积组成。红粘土厚约13m,为暗红色粘土质古土壤和其间的红色细粉砂-亚粘土物质组成,具棱柱状结构、粘粒胶膜和钙结核层。午城黄土厚约47m,由多层浅红褐色古土壤层和其间的风化黄土层组成。离石黄土厚约79m,由多层灰黄色厚层黄土和发育好的红褐色古土壤组成,古土壤层底部常见钙质结核。马兰黄土厚约7.0m,为灰黄色疏松黄土层。全新世黑垆土厚约1m。

磁性地层研究表明,M/G界线位于红粘土顶部以下2m处,B/M界线位于 $L_8$ 黄土层中部,加拉米洛极性亚时的顶位于 $L_{11}$ 黄土层中上部,它的底位于 $L_{13}$ 黄土层上部,奥杜威极性亚时的上界与 $S_{25}$ 古土壤层顶部一致,下界位于 $L_{27}$ 黄土层底部。根据放射性碳( $^{14}C$ )、光释光(OSL)和热释光(TL)等测年结果建立了 $S_1$ 古土壤以来的黄土-古土壤年代<sup>[48, 49]</sup>。在磁

1) Lϕvlie R, Su P, Liu C *et al.* Revised age of the Xujiayao lacustrine sediments: Implications for the chronology of the Xujiayao Paleolithic Site. 1999

性地层和测年的基础上,根据轨道调谐的方法建立的洛川黄土地层时间标尺表明,午城黄土堆积开始于 2.47MaB.P.;离石黄土堆积开始于 1.32MaB.P.;马兰黄土堆积开始于 71 000a.B.P.;全新世黄土堆积开始于 11 000a.B.P.<sup>[50]</sup>。

黄土-古土壤序列的磁化率和粒度曲线可以与深海氧同位素地层良好对比(图 4)。对磁化率变化的周期分析表明,在 2.6~1.35MaB.P.具有显著的 41 000a, 23 000a和 19 000a的周期,在 1.4~0.55MaB.P.具有显著的 41 000a, 23 000a和 19 000a的周期,在 0.6MaB.P.以来以 100 000a, 41 000a和 23 000a周期为主<sup>[50]</sup>。这一工作可以与宝鸡剖面<sup>[51]</sup>所作的结果进行比较。

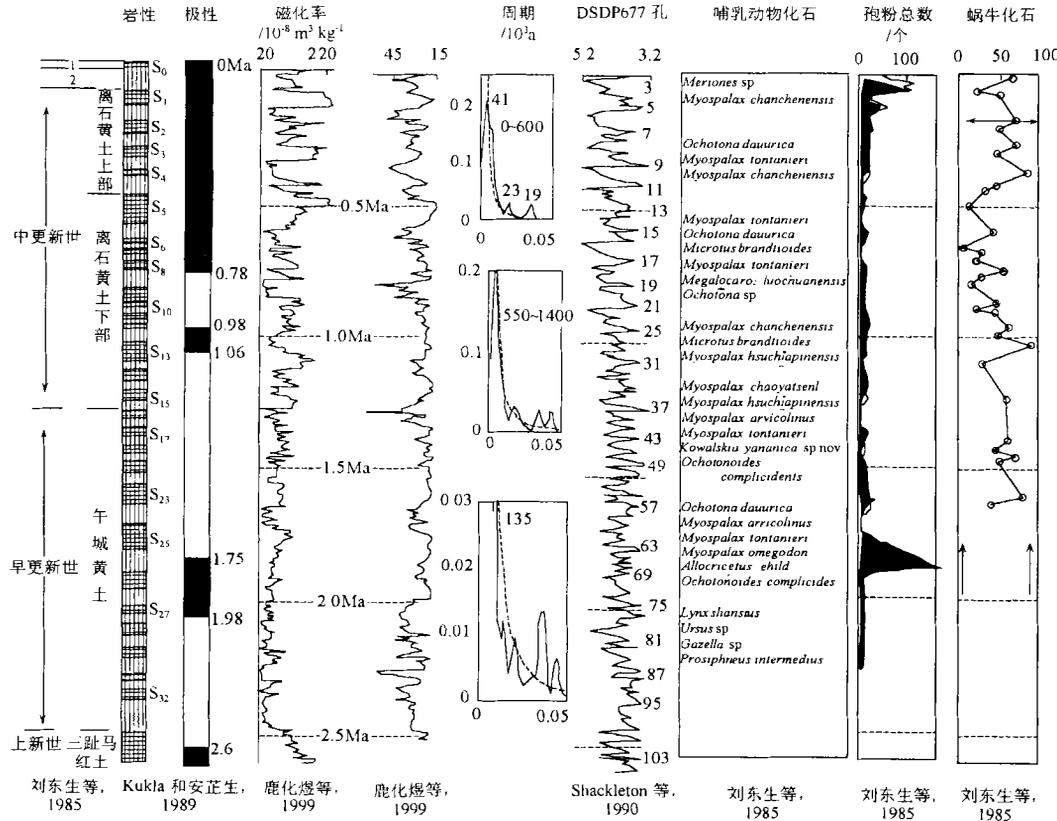


图4 洛川黄土地层划分简图

1. 全新世(黑垆土) 2. 晚更新世(马兰黄土)

Fig.4 Subdivision of Luochuan Loess Stratigraphy

黄土堆积的磁化率和粒度 (> 30μm的%)可以分别作为东亚季风气候变化的替代性指标<sup>[48, 52~54]</sup>。磁化率指示的夏季风演化约在 2.47MaB.P., 1.3MaB.P.和 0.57MaB.P.时阶段性地逐步加强<sup>[52, 53, 55]</sup>;相应地,粒度变化中粗颗粒含量增多和粉尘堆积速率加快指示了冬季风强度阶段性增强和亚洲内陆干旱化逐步增强的趋势<sup>[53]</sup>。在古土壤中磁化率的增强也反映了成土作用的影响。东亚季风气候的阶段性加强可能与青藏高原隆升所驱动的东亚气候变化密切相关<sup>[52, 55]</sup>。

哺乳动物化石在洛川黄土地层有较好的发掘,化石组合可以分为最后原鼯鼠阶段、原

始的鼯鼠阶段和方氏族鼯鼠阶段,指示了气候从相对湿热-冷暖界线不明显波动向频繁的和较大幅度冷暖交替变化为主<sup>[48]</sup>。随着古气候的阶段演化,在中国相应应有元谋人、公王岭人、陈家窝人和周口店人的不同演化阶段<sup>[48, 50]</sup>。

孢粉分析结果表明从下到上可以分为 6 个孢粉带:

**I 带** 午城黄土下部,含孢粉稀少,除含少量亚热带成分山毛榉以外,其余均为现今当地习见的暖温带落叶阔叶林、草甸和草原成分。

**II 带** 午城黄土中、上部,除有现今当地习见的落叶阔叶林、草甸和草原成分外,尚有当地现今没有的山毛榉属、山核桃属和山矾属等亚热带植物成分,该带为整个剖面孢粉最富集和亚热带成分较多的段落。

**III 带** 午城黄土顶部和离石黄土底部,孢粉稀少。

**IV 带** 离石黄土下部,含孢粉较多,除含 1 粒山矾属花粉为亚热带成分外,其余均与当地现今习见落叶阔叶林、草甸和草原成分相同。

**V 带** 离石黄土中部,孢粉稀少。

**VI 带** 离石黄土上部,马兰黄土和全新世黄土。含孢粉较多,除了有现今当地的落叶阔叶林、草甸和草原成分外,尚见到 3 粒属暖温带南部与亚热带成分的枫香属花粉。

洛川地层系统的蜗牛化石发掘共得 5 科 8 属 17 种,有 2 178 个个体,早更新世以汉山间齿螺占优势,粉华蜗牛与西口华蜗牛次之,反映了较暖湿的环境,中更新世仍以汉山间齿螺占优势,指示了以温暖湿润的环境向半湿润、半干旱的环境转化,晚更新世汉山间齿螺减少,耐干旱寒冷种属增多,指示了气候的进一步干寒,全新世黑垆土的蜗牛化石与现代组合十分相似<sup>[48]</sup>。最近吴乃琴对洛川蜗牛化石进行了更深入的研究。

洛川黄土-古土壤序列的土壤地层、磁性地层、生物地层和气候地层划分有较好的对应,在中国北方第四纪堆积中具有代表性,可以作为其它堆积地层划分的参考。我们建议在陕西洛川黑木沟等地选择研究程度高、剖面出露好、能够供其他研究者参考的地层剖面作为中国黄土-古土壤标准剖面 and 自然遗产加以保护,并把这一标准剖面向 2003 年第 XVI 届 INQUA 大会正式提出,以取得支持和承认。

## 参 考 文 献

- 1 Young C C. The Plio-Pleistocene boundary in China. 18th International Geological Congress, Report of the 18, Part IX. Great Britain: Session, 1948. 115~120
- 2 Pei W C. An attempted correlation of Quaternary geology, paleontology and prehistory in Europe and China. *Geochronological Table*, 1939, (1):1~17
- 3 中国科学院地质研究所编. 第四纪地质问题. 北京:科学出版社,1964. 1~233
- 4 周慕林等. 中国地层 第四系. 北京:地质出版社,1988. 1~276
- 5 Huang T K. Pleistocene morainic and non-morainic deposits in the Taqlaq area, north of Aqsu, Sinkiang. *Bulletin of Geological Society of China*, 1944, 24(1~2):125~145
- 6 施雅风. 青藏高原冰冻圈的变化. 见:施雅风,李吉均,李炳元主编. 青藏高原晚新生代隆升与环境变化. 广州:广东科技出版社,1998. 347~372
- 7 郑本兴,施雅风. 珠穆朗玛峰地区第四纪冰期探讨. 珠穆朗玛峰地区科学考察报告(1966~1968),第四纪地质. 北京:科学出版社,1976. 29~62
- 8 李炳元,王富葆,张青松等. 西藏第四纪地质. 北京:科学出版社,1983. 1~248

- 9 王苏民,沈吉,马燕等. 青藏高原东部 800ka 来古气候与古环境变迁的初步研究. 见: 青藏项目专家委员会编. 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). 北京: 科学出版社, 1995. 236~248
- 10 施雅风. 第四纪中期青藏高原冰冻圈的演化及其与全球变化的关系. 冰川冻土, 1998, **20**(3): 197~208
- 11 郑本兴,李世杰,王苏民等. 若尔盖盆地周围高山第四纪冰川演变历史. 见: 青藏项目专家委员会编. 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). 北京: 科学出版社, 1995. 218~226
- 12 Lehmkuhl F, Liu S J. An outline of physical geography including Pleistocene glacial landforms of eastern Tibet. *Geojournal*, 1994, **340**:7~30
- 13 Bunbank D W, Kang J C. Relative dating of the Quaternary moraines Rongbuk Valley, Mount Everest, Tibet: Implication for an ice sheet on the Tibetan Plateau. *Quaternary Research*, 1991, **36**(1):1~18
- 14 Ono Y, Liu D, Zhao Y. Paleoenvironment of Tibetan Plateau viewed from glacial fluctuations in the north foot of the West Kunlun Mountains. 日本地学杂志, 1997, **106**:184~198
- 15 施雅风,郑本兴,姚植栋等. 青藏高原末次冰期最盛时的冰川与环境. 冰川冻土, 1997, **19**(2): 97~113
- 16 崔之久,易朝路,尹立浮. 新疆阿尔泰哈拉斯河流域及其领域的第四纪冰川作用. 冰川冻土, 1992, **14**(4): 332~341
- 17 费道洛维奇 B A, 严钦尚. 中国西部天山冰期次数和性质问题. 中国第四纪研究, 1960, **3**(1~2): 9~38
- 18 陈吉阳. 天山乌鲁木齐河源全新世冰川变化的地衣年代学若干问题的初步研究. 中国科学, 1988, (1): 95~104
- 19 Rost R T. Paleoclimatic field studies in and along the Qingling Shan (Central China). *Geojournal*, 1994, **34**(1):107~120
- 20 施雅风,崔之久,李吉均等. 中国东部第四纪冰川与环境问题. 北京: 科学出版社, 1989. 1~462
- 21 Sarnthein M, Pflaumann U, Wang P *et al.* eds. Preliminary Report on Sonne-95 Cruise "Monitor Monsoon" to the South China Sea, *Berichte-Reports*. Kiel: Geologisch-Paläontologisches Institut der Universität Kiel, 1994. 68~225
- 22 王汝建, Abelmann A. 南海更新世的放射虫生物地层学. 中国科学(D辑), 1999, **29**(2): 137~143
- 23 Prell W L, Imbrie J, Martinson D G *et al.* Graphic correlation of oxygen isotope stratigraphy application to the Late Quaternary. *Paleoceanography*, 1986, **1**:137~162
- 24 汪品先, 闵秋宝, 卞云华等. 十三万年来南海北部陆坡的浮游有孔虫及其占海洋意义. 地质学报, 1986, **60**: 215~225
- 25 王律江, 汪品先, 卞云华. 晚第四纪南海北部陆坡表层水温及水团的变迁. 见: 业治铮, 汪品先. 南海晚第四纪古海洋学研究. 青岛: 青岛海洋大学出版社, 1992. 66~77
- 26 赵泉鸿, 汪品先. 南海第四纪古海洋学研究进展. 第四纪研究, 1999, (6): 481~501
- 27 赵泉鸿, 蒋知潜, 李保华等. 南沙深海沉积中的中更新世微玻璃石. 中国科学(D辑), 1999, **29**(1): 45~49
- 28 王汝建, 李保华, 成鑫荣等. 南沙深水区第四纪生物地层学研究. 第四纪研究, 1999, (6): 541~548
- 29 Berggren W A, Kent D V, Swisher III C C *et al.* A revised Cenozoic geochronology and chronostratigraphy. Geochronology, time scales and global stratigraphic correlation, SEPM (Society for Sedimentary Geology), Special publication, 1995, **54**:129~212
- 30 Glass B. Microtektites in deep-sea sediments. *Nature*, 1967, **214**:373~374
- 31 李春来, 林文祝, 欧阳自远. 黄土中 0.7Ma 微玻璃陨石赋存层位地球化学(1) 撞击效应对古气候的影响: 稳定同位素研究. 科学通报, 1994, **39**(7): 629~632
- 32 蒋雪中, 王苏民, 羊向东. 云南鹤庆盆地 30ka 以来的古气候与环境变迁. 湖泊科学, 1998, **10**(2): 10~16
- 33 羊向东, 王苏民, 童国榜等. 云南鹤庆古湖晚更新世的孢粉记录及其古气候学意义. 第四纪研究, 1998, (4): 335~343
- 34 夏正楷. 泥河湾盆地的水下黄土堆积及其古气候意义. 地理学报, 1992, **47**(1): 58~65
- 35 袁宝印, 朱日祥, 田文来等. 泥河湾组的时代、地层划分和对比问题. 中国科学(D辑), 1996, **26**(1): 67~73
- 36 李吉均等. 青藏高原隆起的时代、幅度和形式的探讨. 中国科学, 1979, (6): 608~616
- 37 吴新智, 黄慰文, 祁国琴. 中国古人类遗址. 上海: 上海科技教育出版社, 1999. 1~307

- 38 吴新智. 20 世纪的中国人类古生物学研究与展望. 人类学学报, 1999, **18**(3): 167~168
- 39 李炎贤, 计宏祥, 李天元. 郟县人遗址发现的石制品. 人类学学报, 1998, **17**(2): 94~120
- 40 张银运. 郟县人类头骨化石与周口店直立人头骨的形态比较. 人类学学报, 1995, **14**(1): 1~7
- 41 裴文中. 中国旧石器时代的文化. 见: 郭沫若等. 中国人类化石的发现与研究. 北京: 科学出版社, 1955. 53~89
- 42 贾兰坡, 王 建. 西侯度——山西更新世早期古文化遗址. 北京: 文物出版社, 1978. 1~85
- 43 Bordes F. The Old Stone Age. New York: McGraw-Hill Book Company, 1968. 22
- 44 刘东生. 黄土石器工业. 见: 徐钦琦, 李隆助编. 垂杨介及她的邻居们——庆贺贾兰坡院士九十华诞国际学术讨论会文集. 北京: 科学出版社, 1998. 35~45
- 45 刘东生, 丁仲礼. 季风区古环境演化的相似性与人类演化. 第四纪研究, 1999, (4): 289~298
- 46 安芷生, 高万一, 祝一志等. “蓝田人”的磁性地层年龄. 人类学学报, 1990, **9**(1): 1~7
- 47 Heller F, Liu T S. Magnetostratigraphical dating of loess deposits in China. *Nature*, 1982, **300**: 431~433
- 48 刘东生等. 黄土与环境. 北京: 科学出版社, 1985. 1~481
- 49 Fourman S L. Late Pleistocene chronology of loess deposition near Luochuan, China. *Quaternary Research*, 1991, **36**: 19~28
- 50 Lu H Y, Liu X D, Zhang F Q *et al.* Astronomical calibration of loess-paleosol deposits at Luochuan, central Chinese Loess Plateau. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 1999, **154**: 237~246
- 51 Ding Z L, Yu Z W, Rutter N *et al.* Towards an orbital time scale for Chinese loess deposits. *Quaternary Science Review*, 1994, **13**: 39~70
- 52 An Z S, Liu T S, Lou Y C *et al.* The long-term paleomonsoon variation recorded by the loess-paleosol sequence in Central China. *Quaternary International*, 1990, **7~8**: 91~95
- 53 Xiao J L, An Z S. Three large shifts in East Asian monsoon circulation indicated by loess-paleosol sequences in China and late Cenozoic deposits in Japan. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 1999, **154**: 179~189
- 54 Lu H Y, van Huissteden J, An Z S *et al.* East Asia winter monsoon changes on millennial time scale before the last glacial-interglacial cycle. *Journal of Quaternary Science*, 1999, **14**: 101~111
- 55 An Z S, Wang S M, Wu X H *et al.* Aeolian evidences from Chinese Loess Plateau: Onset of the northern hemisphere glaciation in late Tertiary and forcing of the uplift of the Tibetan Plateau. *Science in China (Series D)*, 1999, **42**(3): 258~271
- 56 An Z S, Ho C K. New magnetostratigraphic dates of Lantian *Homo erectus*. *Quaternary Research*, 1989, **32**: 213~221

## TABLE OF CHINESE QUATERNARY STRATIGRAPHIC CORRELATION REMARKED WITH CLIMATE CHANGE

Liu Tungsheng<sup>①</sup> Shi Yafeng<sup>②</sup> Wang Rujian<sup>③</sup> Zhao Quanhong<sup>③</sup>  
 Jian Zhimin<sup>③</sup> Cheng Xinrong<sup>③</sup> Wang Pinxian<sup>④</sup> Wang Sumin<sup>④</sup>  
 Yuan Baoyin<sup>⑤</sup> Wu Xinzhi<sup>⑤</sup> Qiu Zhanxiang<sup>⑤</sup> Xu Qinqi<sup>⑤</sup>  
 Huang Wanbo<sup>⑥</sup> Huang Weiwen<sup>⑤</sup> An Zhisheng<sup>⑥</sup> Lu Huayu<sup>⑥</sup>

(① *Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029;* ② *Cold and Arid*

*Regions Environment and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000;*

③ *Laboratory of Marine Geology, Tongji University, Shanghai 200092;* ④ *Nanjing Institute of Geography*

*and Limnology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008;* ⑤ *Institute of Vertebrate*

*Paleontology and Paleoanthropology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100044;*

⑥ *Institute of Earth Environment, Chinese Academy of Sciences, Xi'an 710054*)

### Abstract

Rapid progresses have been made in stratigraphy during past decades with the new idea of multiple subdivision in theoretical stratigraphy itself and with the development of new techniques and by them being used in stratigraphic studies. Several new branches, such as magnetostratigraphy, pedostratigraphy, climatostratigraphy and stable isotope stratigraphy frequently appeared in the literature. These new branches are with special importance in the high resolution paleoclimatic research during the Quaternary.

Most of the authors of this paper are thinking of a new way to subdivide and to correlate the stratigraphic sequences in their studies dealing with different kinds of Quaternary deposits in China. With the first successful attempt of the correlation of the Luochuan loess-paleosol sequence with deep sea sediments by Liu and Heller in early 80's, several of us thereafter tried more or less to correlate our sequences to the marine isotope stages (MIS). The preliminary results of our practice stimulated us to perform a stratigraphical table of Quaternary deposits in China based mainly on the correlation with MIS.

An attempt is made with the purpose of "throw out a minnow to catch a whale". We only tried to do it and did not expect the satisfactory at this moment. It seems we still have a long way to perform this table. We hope all Quaternary scientists in China will concern this stratigraphical table and gradually make it more perfect and therefore more useful.

**Key words** Quaternary strata, isotopic stratigraphy, stratigraphic table