

保德阶层型剖面磁性地层学研究<sup>①</sup>岳乐平<sup>1)3)</sup> 邓涛<sup>2)</sup> 张云翔<sup>1)3)</sup> 王建其<sup>1)</sup> 张睿<sup>1)</sup> 杨利荣<sup>1)</sup> F. Heller<sup>4)</sup>

(1) 西北大学大陆动力学教育部重点实验室, 西北大学地质系 陕西西安 710069;

2) 中国科学院古脊椎动物与古人类研究所 北京 100044;

3) 中国科学院地球环境研究所 陕西西安 710075; 4) Institute of Geophysics, ETH, Zurich, Switzerland)

**摘要:** 古地磁测量表明, 中国新近系保德阶界线层型, 山西保德冀家沟剖面记录了12个正极性段与11个负极性段。上部黄土显示了正极性与负极性, 记录了松山负反极性带的一部分; 红色黏土与砂砾岩层记录了Cande 95古地磁极性年表中的C2A<sub>n</sub>-1<sub>n</sub>, C2A<sub>n</sub>-2<sub>n</sub>, C2A<sub>n</sub>-3<sub>n</sub>, C3<sub>n</sub>-1<sub>n</sub>, C3<sub>n</sub>-2<sub>n</sub>, C3<sub>n</sub>-3<sub>n</sub>, C3<sub>n</sub>-4<sub>n</sub>, C3A<sub>n</sub>-1<sub>n</sub>, C3A<sub>n</sub>-2<sub>n</sub>, C3B<sub>n</sub>, C4<sub>n</sub>-1<sub>n</sub>, C4<sub>n</sub>-2<sub>n</sub>及其间负极性带。剖面红色黏土的地质年龄为8.0Ma—3.0Ma, 包括了榆社期的早期和保德期的中、晚期。冀家沟保德阶剖面含有二层哺乳动物化石层, 上化石层以含丰富的鹿科化石为特点, 相当于含49地点动物群的层位, 年龄约5.50Ma; 下化石层相当于含30地点动物群层位, 古地磁年龄应当在6.5Ma—7.0Ma之间。

**关键词:** 新近系, 保德阶, 哺乳动物化石, 年代地层学, 古地磁

中图分类号: P 534.62 文献标识码: A 文章编号: 0253-4959(2004)01-0048-04

新近系红黏土因含丰富的哺乳动物化石、详尽的气候环境演化记录而倍受科学工作者关注。半个多世纪以来, 山西省保德县冀家沟剖面作为中国北方新近系保德阶的层型剖面, 因在高等院校教科书及科学文献中被大量引用而闻名于世(袁复礼, 杜恒俭, 1984; 李传夔等, 1984; 邱占祥, 1987; 童永生, 1995; 朱日祥等, 1996; 孙东怀等, 1997; 方小敏等, 1997; 丁仲礼等, 1998; 张云翔等, 2001)。遗憾的是该剖面始终没有进行过年代学研究, 不但影响到中国新近纪地层层序的建立, 而且给中国三趾马动物群与世界其他地区动物群的对比带来困难。2001年全国地层委员会批准对保德阶层型剖面进行古地磁年代学研究, 建立中国北方红黏土建阶剖面时间标尺。

冀家沟剖面位于保德县腰庄乡冀家沟村南主沟谷南侧支沟中(N39°00.175', E111°09.808')。该剖面首先由德国人师丹斯基描述(Zdansky, 1923), 并采集了丰富的哺乳动物化石。该剖面出露良好, 红色黏土发育。王挺梅等(1955), 山西区调队(1978年)又进一步工作。2001年笔者等在前人挖掘化石地点的剖面上采集了古地磁标本, 发掘和收集了化石。本文是古地磁年代学的研究成果, 化石另有专题研究。

## 一、地层剖面描述

冀家沟剖面各层岩性简介如下:

14. 第四纪黄土 灰黄色, 疏松 厚约30—50m

—————假整合—————

静乐组

13. 红褐色黏土 上部以深红色为特征, 土壤特征特别明显, 具明显的土壤团粒结构, 含黑色斑点、黑色丝状物及少量白色碳酸钙丝状物, 厚约2m, 底部有钙质淀积层, 但钙质结核不明显; 中部红色黏土色调较淡, 颗粒较粗且较疏松, 土壤结构明显, 含白色碳酸钙丝状物, 底部无钙质结核层; 下部为一层约0.6m厚的灰色薄层砂砾岩层 4.3m

12. 红褐色黏土夹13层钙质结核层 上部以深红色为特征, 土壤特征特别发育, 具明显的土壤团粒结构、黑色斑点及丝状物, 含少量白色碳酸钙丝状物, 底部有薄层钙质结核层, 厚约0.2m; 中部红色黏土色调较淡, 颗粒较粗且较疏松, 土壤结构明显, 含白色碳酸钙丝状物, 底部钙质结核层较厚, 约为0.5m; 下部为深红褐色黏土, 具明显的土壤团粒结构、黑色斑点及丝状物, 少量白色碳酸钙丝状物, 底部钙质结核层厚约1m 10.1m

保德组

11. 褐红色黏土夹3层钙质结核层 黏土层相对较厚, 多为3—4m, 钙质结核层也较厚, 一般厚约0.5m。红黏土具明显的土壤团粒结构、黑色斑点及丝状物, 少量白色碳酸钙丝状

① 全国地层委员会中国新近纪地层建阶研究项目(No. 14)、国家自然科学基金(No. 49972004)与西北大学大陆动力学教育部重点实验室基金资助。

文稿接受日期: 2003-09-28; 修改稿收到日期: 2003-10-10。

第一作者简介: 1949年生, 男, 吉林省和龙人, 教授, 博士生导师, 从事新生代地质与环境、古地磁学研究。 <http://www.cnki.net>

- 物。含 *Cervocerus novorodiae* 等化石 11.7m
  - 10. 黄灰色厚层砂砾岩层 胶结坚硬, 砾石成分以灰岩为主, 其次为砂岩, 磨圆较好, 分选较差, 砾径多为 5cm, 大者 20cm 小者 0.5cm, 呈透镜状, 不同位置厚度不同 2.0m
  - 9. 红褐色黏土 下部色深上部色浅, 质地较硬, 含少量砂砾及钙质结核。含 *Chilotherium* 等哺乳动物化石 3.0m
  - 8. 黄灰色厚层砂砾岩层 胶结坚硬, 砾石成分以灰岩为主, 其次为砂岩, 磨圆较好, 分选较差, 砾径大多在 5cm 左右, 大者 20cm、小者 0.5cm, 呈透镜状, 不同位置发育厚度不同 2.0m
  - 7. 深红褐色黏土 质地疏松, 土壤结构明显, 具团粒、棱柱状结构, 棱柱表面有铁锰薄膜 1.2m
  - 6. 厚层钙质结核层 0.8m
  - 5. 淡红色黏土 质地均一, 具轻微的土壤结构。期间含有 3 层薄层钙质结核层 2.0m
  - 4. 黄灰色巨厚砂砾岩层 胶结坚硬, 砾石成分以灰岩为主, 其次为砂岩, 磨圆中等, 分选较差, 砾径多在 5cm 左右, 大者 50cm、小者 1cm, 呈透镜状, 不同位置厚度不同 1.5m
  - 3. 红色黏土 土壤团粒结构明显, 含黑色斑点、黑色丝状物及少量白色碳酸钙丝状物 5.0m
  - 2. 黄灰色厚层砂砾岩层 胶结坚硬, 砾石成分以灰岩为主, 其次为砂岩, 磨圆较好, 分选较差, 砾径多在 5cm 左右, 大者 20cm、小者 0.5cm。砾石层在剖面上呈陡坎状 15.0m
- 不 整合—————
- 1. 石炭系 砂页岩

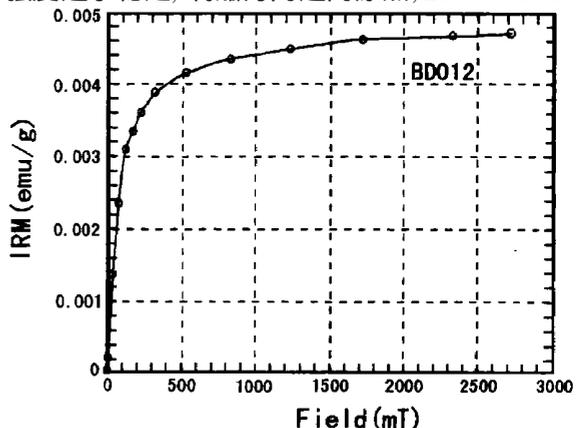
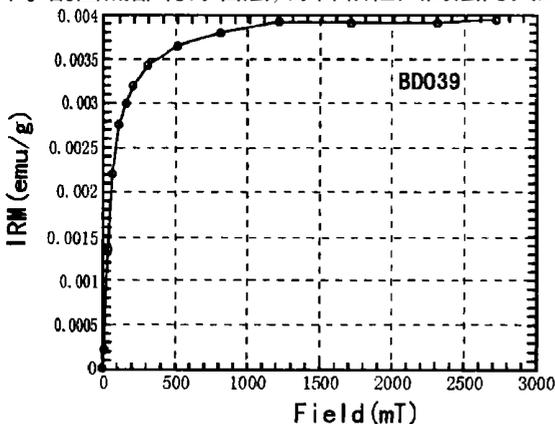
### 二、样品采集与古地磁测量

冀家沟剖面新近系厚 59.1m, 其中红色黏土厚 44.1m, 采集古地磁样品 218 个。此外在红色黏土之上黄土最底部 1m 地层中采集样品 7 个, 共采样品 225 个。剖面底部有砾岩层, 砾石颗粒大而层内又鲜

有细颗粒夹层与透镜体, 岩性不适宜进行古地磁测量, 因此砾岩层中采集样品很少。

判断样品特征剩磁载体、采用合适的退磁方法、选取正确的特征剩磁矢量, 是磁性地层学研究的成功保障。笔者在瑞士苏黎世理工大学地球物理学院古地磁实验室测量了保德红黏土样品的等温剩磁获得曲线。等温剩磁获得曲线由美国 Impulse Magnetizer IM-10-30 仪器测量而得。样品等温剩磁 (IRM) 在 300mT 基本获得饱和, 表明样品的大部分 IRM 由低矫顽力的磁铁矿和磁赤铁矿所携带。样品在本实验的最大磁场 2700 mT 时没有完全饱和, 表明样品存在少量高矫顽力磁性矿物(如赤铁矿)(图 1)。退磁实验表明, 热退磁在 300—400 中低温段可以将不稳定的粘滞次生剩磁清除掉, 显示出特征剩磁矢量。部分样品在退磁温度为 500—600 时才显示出特征剩磁。这一结果与样品的岩石磁学特征相符。

剩磁测量在西北大学大陆动力学教育部重点实验室古地磁室完成测试分析。剩磁测量使用英国 MINISPING 旋转磁力仪, 退磁使用美国 DMS-2 热退磁仪。全部样品在测量完 NRM 后, 进行了分档热退磁。退磁温度为 50、100、150、200、250、300、350、400、450、500、550、600、650。对 14 个温度段的剩磁进行了矢量分析, 大部分样品在 200—400 之间的中档温度段显示出稳定的原生沉积剩磁。部分样品原生剩磁非常稳定, 其 NRM 依然保持着原生沉积剩磁特征, 而有些样品则在高温退磁后才显示出原生沉积剩磁特征。总之, 保德红土的剩磁强度较大, 原生沉积剩磁稳定, 几乎所有样品通过热退磁都获得了原生剩磁。图 2A 与图 2B 是两块记录了正极性的红黏土样品 (No. 001、No. 028), 热退磁温度达到 200 时剩磁强度趋于稳定, 剩磁方向趋向原点, 200—500 退



磁后的剩磁矢量合成能反映原生沉积剩磁。图 2C 与图 2D 是两块记录了负极性的红黏土样品(No. 037、No. 049)。No. 037 样品剩磁方向于 300° 退磁后趋向原点, 热退磁温度达到 550° 时剩磁强度才趋于稳定, 300°—650° 退磁后的剩磁矢量合成能反映原生沉积剩磁。No. 049 样品热退磁温度达到 300° 时剩磁强度才趋于稳定, 剩磁方向于 300° 趋向原点, 300°—650° 退磁后的剩磁矢量合成能反映原生沉积剩磁。

### 三、冀家沟剖面及化石层的古地磁记录

测量结果显示, 冀家沟剖面记录了 12 个正极性段与 11 个负极性段。上部黄土显示了正极性与负极性, 记录了松山负极性带的一部分。该剖面黄土底部与红土顶部均有缺失, 黄土与红土之间为假整合接触。剖面的第 13 层与 12 层红色黏土(1—15.4m) 记录了 7 个正极性段与 6 个负极性段, 与 Cande 95 古地磁极性年表中的  $C2An.1n$ 、 $C2An.2n$ 、 $C2An.3n$ 、 $C3n.1n$ 、 $C3n.2n$ 、 $C3n.3n$ 、 $C3n.4n$  及其间的负极性期对比, 年龄约为 2.60—5.30Ma, 该段地层的时代相当于榆社期。剖面的第 11 层红色黏土(15.4—26.1m) 记录了 2 个正极性段与 3 个负极性段, 分别为  $C3r$ 、 $C3An.1n$ 、 $C3An.1r$ 、 $C3An.2n$  及  $C3Ar$  上部, 年龄 5.30Ma—6.60Ma。第 11 层顶部的化石层记录了  $C3r$  上部, 年龄 5.50Ma 左右。剖面第 9 层至第 3 层(26.1—54m) 记录了 3 个正极性段与 3 个负极性段, 包括  $C3Ar$ 、 $C3Bn$ 、 $C3Br$ 、 $C4n.1n$ 、 $C4n.1r$ 、 $C4n.2n$  及其间短暂的极性段, 年龄大约 6.60Ma—8.00Ma。其中第 9 层的化石层对应于  $C3Ar$ , 年龄大约 6.50Ma—7.00Ma。由于第 4、8、10 层为砾岩层,

没有取样, 可能遗漏了 1—2 个短暂的极性段, 但  $C4n.2n$  与  $C3An.2n$  两个长极性段被记录了下来, 在与标准极性年表对比中成为标志。剖面最底部的砾岩层胶结坚硬且不含砂泥岩夹层, 无法取样作磁性测量。照上部地层砾岩层沉积速率估算, 15m 厚的砾岩层沉积时间不会超过 2Ma。综上所述, 冀家沟红黏土底界年龄约 8Ma, 剖面新近系的底界年龄约 10Ma。

中国的新近系由下至上分为谢家阶、山旺阶、通古尔阶、保德阶、高庄阶和麻则沟阶(全国地层委员会, 2001、2002), 其中榆社阶的年龄 5.3Ma—2.5Ma, 保德阶的年龄为 12.0Ma—5.3Ma。根据保德冀家沟剖面古地磁测量结果, 该地新近系红色黏土地层的古地磁年龄约为 8.0Ma—3.0Ma, 整个剖面新近系(包括下部砾岩层) 年龄约 10Ma—3.0Ma, 即该剖面沉积了高庄阶的下部和保德阶的中上部。由于冀家沟剖面不含保德阶底界层位, 称之为层型剖面并不合适。所以将冀家沟保德阶层型理解为单位层型更准确一些。

冀家沟剖面有二层哺乳动物化石层, 下化石层是目前农民正在挖掘的层位, 位于上(第 10 层)、下(第 8 层) 砾岩层之间的第 9 层红色黏土中。挖化石的洞穴延伸很远甚至穿透山梁, 但不越过上下砾岩层。该层红色黏土记录了  $C3Ar$ 、 $C3Bn$ , 化石层的古地磁年龄应当在 6.5Ma—7.0Ma 之间。上化石层位于第 11 层顶部, 相当于  $C3r$  的上部, 年龄 5.50Ma 左右。保德地区具有众多的产三趾马动物群化石的地点, 其中以 30 地点(戴家沟) 和 49 地点(冀家沟) 地点为代表, 笔者曾追踪对比两个地点化石层位, 冀家沟和戴家沟仅一梁之隔, 直线距离约 2km, 化石

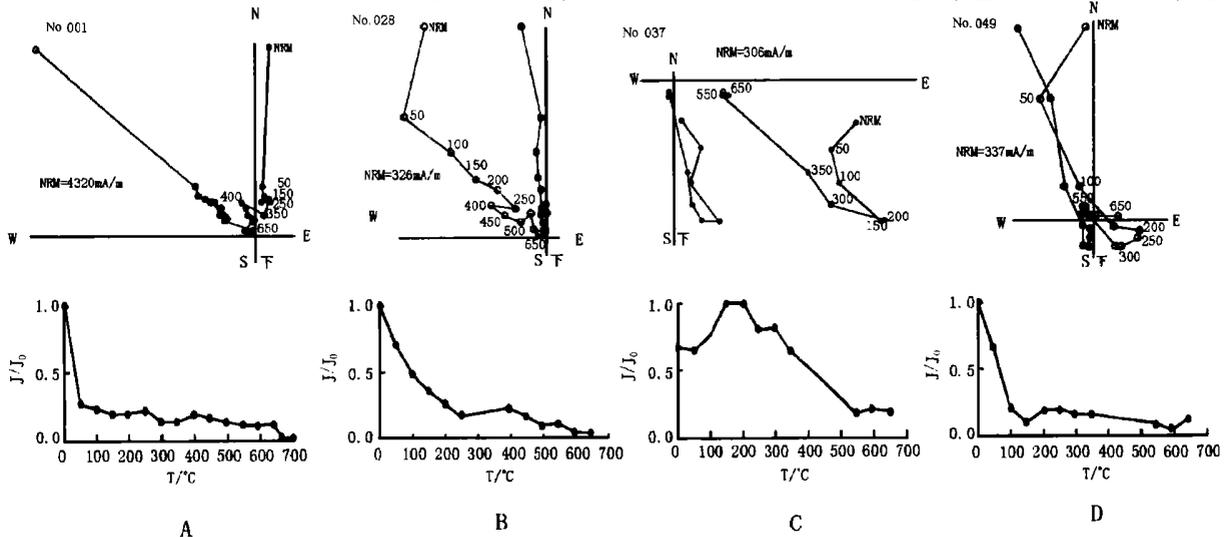


图 2 保德冀家沟红黏土退磁结果

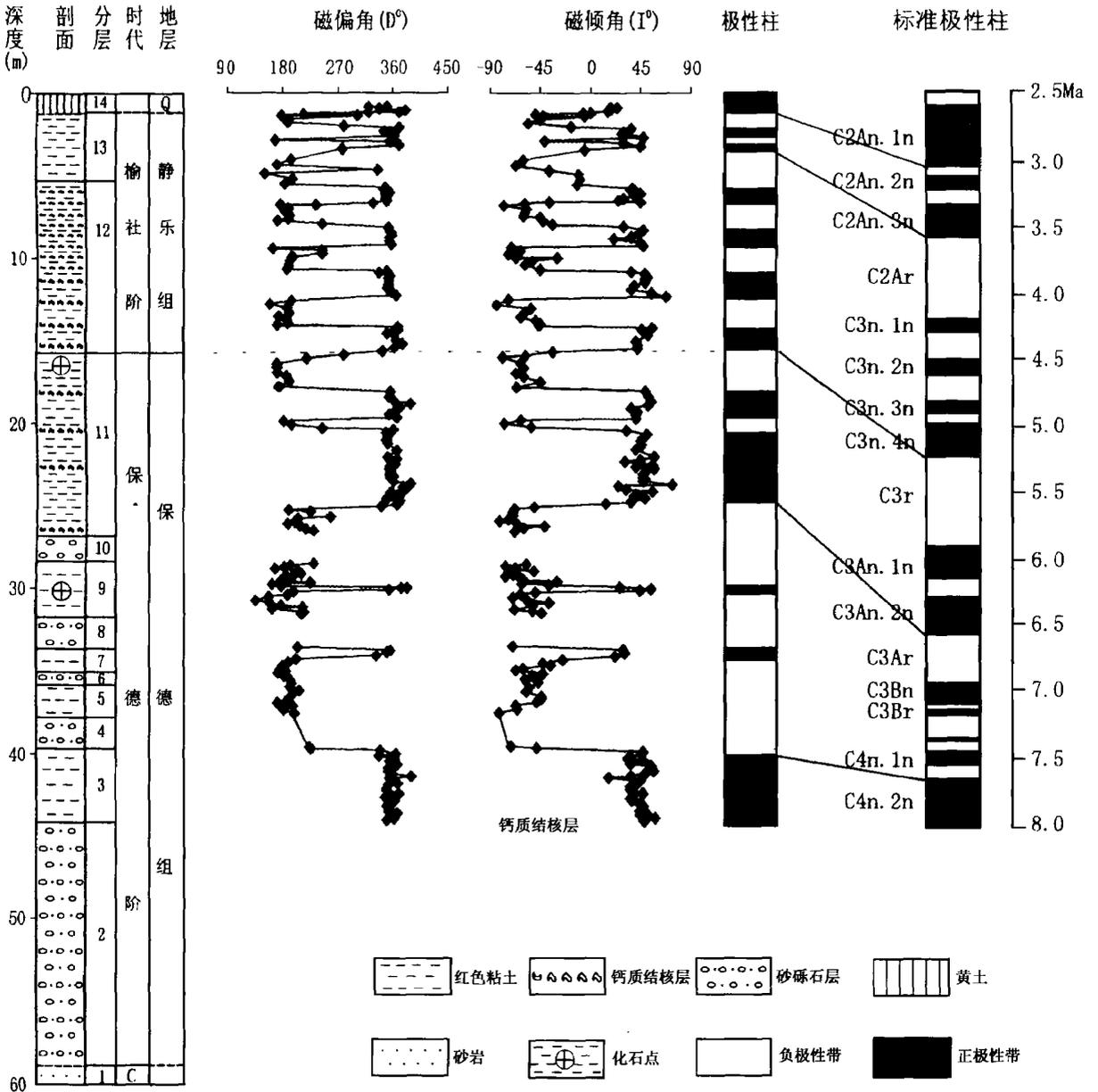


图3 保德冀家沟剖面古地磁测量结果

层可以直接对比。冀家沟剖面的下层化石层位相当于戴家沟化石层, 该层以含有丰富的 *Chilotherium* 为特点, 并含有较多的 *Hipparion*、*Samotherium* 及 *Gazella* 等, 这一层位相当于含 30 地点动物群的层位, 年龄大约 6.50Ma—7.00Ma 之间。上层化石层以含丰富的鹿科化石为特点, 相当于含 49 地点动物群的层位, 年龄 5.50Ma 左右。对于卖龙骨的农民而言, 在该层发掘的经济效益甚微, 因此现已无人采挖。冀家沟剖面的上化石层比下化石层高出大约 15m 左右, 二者古地磁年龄相差 1.0—1.5Ma。这一现象与府谷老高川三趾马动物群化石地点的情况相似(张云翔等, 2001), 只是在老高川剖面上, 上述二层位间的间距更大一些。

### 参 考 文 献

丁仲礼, 孙继敏, 杨石岭, 熊尚发, 顾兆炎, 刘东生, 朱日祥, 郭 斌, 岳乐平. 1998. 灵台黄土—红粘土序列的磁性地层及粒度记录. 第四纪研究, (1): 86—94.

中国科学院南京地质古生物研究所编. 2000. 中国地层研究二十年 (1979—1999). 合肥: 中国科技大学出版社. 347—372.

方小敏, 李吉均, 朱俊杰, 陈怀录, 曹继秀. 1997. 甘肃临夏盆地新生代地层绝对年龄测定与划分. 科学通报, 42(14): 1457—1471.

邓 涛, 王伟铭, 岳乐平, 张云翔. 2004. 中国新近系保德阶建阶研究新进展. 地层学杂志, 28(1): 32—38.

全国地层委员会. 2001. 中国区域年代地层(地质年代)表( ), 地层学杂志, 25(增刊): 359—360.

全国地层委员会编. 2001. 中国地层指南及中国地层指南说明书(修订版). 北京: 地质出版社. 21—24. (下转第 63 页)

So it is suggested that the Smith stratigraphic system of the "Sanhekou Group" which is based on the age of some fossils must be disintegrated. It must be redetermined according to the regional superimposition relationships of the tectono-stratigraphic unit of the Qiaotou, Tunzhai and Yangtangzhai Formations. The new stratigraphic system of the metamorphics is composed of two sheets-complexes similar to the Xuehua-taiping Group-complex of Late Sinian age and the Qiaotou, Yangtangzhai Formation-complexes of Early Devonian. Either of them is the main component of the tectonic mélange zone at Indosinian-Variscan stage.

**Key words** South Qinling, Gansu, Sanhekou Group, tectono-stratigraphic unit system, palaeoceanography, Paleozoic, Sinian

(上接第 51 页)

全国地层委员会编. 2002. 中国区域年代地层(地质年代)表说明书. 北京:地质出版社. 12—15.

朱日祥, 潘永信, 丁仲礼. 1996. 红粘土的磁学性质. 第四纪研究. (3): 232—238.

孙东怀, 刘东生, 陈明扬, 安芷生. 1997. 中国黄土高原红粘土序列的磁性地质学与气候变化. 中国科学(D 辑), 27(3): 265—270.

李传夔, 吴文裕, 邱铸鼎. 1984. 中国陆相新第三纪的初步划分与对比. 古脊椎动物与古人类, 22(3): 163—178.

张云翔, 岳乐平, 曹红霞. 2001. 黄河中游新近纪三趾马动物群序列. 科学通报, 45(11): 1196—1199.

邱占祥, 黄为龙, 郭志慧. 1987. 中国的三趾马化石. 中国古生物志, 新丙种第 25 号. 北京: 科学出版社. 135—185.

赵景波. 1987. 山西保德第三纪晚期红土的研究. 沉积学报, 7(3):

113—120.

袁复礼, 杜恒俭. 1984. 中国新生代生物地层学. 北京: 地质出版社. 94—126.

童永生. 1995. 中国新生代哺乳动物分期. 古脊椎动物学报, 33(4): 290—314.

薛祥熙, 张云翔, 岳乐平. 1995. 陕西府谷老高川三趾马动物群的出现及时代分期. 科学通报, 40(5): 447—449.

Cande S C & Kent D V. 1995. Revised calibration of geomagnetic polarity timescale for the Late Cretaceous and Cenozoic. *Journal of Geophysical Research*, 100: 6093—6095.

Zdansky O. 1923. Fundorte der *Hipparion*-Fanna um Pao-Te-Hsien in NW-Shansi. *Bulletin of the Geological Survey China*, (5): 69—81.

## MAGNETOSTRATIGRAPHY OF STRATOTYPE SECTION OF THE BAODE STAGE

YUE Le-ping<sup>1)3)</sup>, DENG Tao<sup>2)</sup>, ZHANG Yun-xiang<sup>1)3)</sup>, WANG Jian-qi<sup>1)</sup>,  
ZHANG Rui<sup>1)</sup>, YANG Li-rong<sup>1)</sup> and F. Heller<sup>3)</sup>

(1) Key Laboratory for Continental Dynamics of the Ministry of Education, Geology Department, Northwest University, Xi'an, 710069; 2) Institute of Vertebrate Paleontology and Paleoanthropology, the Chinese Academy of Sciences(CAS), Beijing, 100044; 3) State Key Laboratory of Loess and Quaternary Geology, Institute of Earth Environment, the Chinese Academy of Sciences(CAS), Xi'an 710075;

4) Department of Geophysics, ETH, Zurich, CH-8093, Switzerland)

**Abstract** Paleomagnetic measurements demonstrate that the Jijiagou section which is the stratotype one of Baode Stage of the Neogene in China records 12 normal and 11 reversed polarity zones. In the section the upper loess layers include normal and reversed polarity zones, recording parts of Matuyama reversed polarity zone; the lower layers of red clay and sandy gravel record normal polarity zones including C2An. 1n, C2An. 2n, C2An. 3n, C3n. 1n, C3n. 2n, C3n. 3n, C3n. 4n, C3An. 1n, C3An. 2n, C3Bn, C4n. 1n, C4n. 2n and interbedded reversed zones corresponded to Cande 95 Time Scale. The geological age of the Jijiagou section located at Baode County, Shaanxi Province is 8.0—3.0 Ma, comprising the early stage of Yushe Stage and middle, late stage of the Baode Stage. Some sections of the Baode Stage contain two fossil mammal layers. The upper one characterized by containing sufficient fossils of deer family which can be corresponded to the location of the 49th site fauna has age of about 5.50Ma. The lower one can be corresponded to the location of the 30th site fauna, paleomagnetic age of which is between 6.5 Ma and 7.0 Ma.

**Key words** Neogene, Baode Stage, fossil mammal, chronology, paleomagnetism