

Yue L P, Deng T, Zhang R, et al. Paleomagnetic chronology and records of Himalayan uplift on the Longgugou section of Gyirong-Oma basin in Xizang (Tibet). *Chinese J. Geophys.* (in Chinese), 2004, 47(6): 1009~1016

# 西藏吉隆—沃马盆地龙骨沟剖面古地磁年代学及喜马拉雅山抬升记录

岳乐平<sup>1, 3</sup> 邓涛<sup>2</sup> 张睿<sup>1</sup> 张兆群<sup>2</sup> F. Heller<sup>4</sup> 王建其<sup>1</sup> 杨利荣<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 西北大学大陆动力学教育部重点实验室, 西北大学地质系, 西安 710069

<sup>2</sup> 中国科学院古脊椎动物与古人类研究所, 北京 100044

<sup>3</sup> 中国科学院西安地球环境研究所, 黄土与第四纪地质国家重点实验室, 西安 710075

<sup>4</sup> Institute of Geophysics ETH, Zurich Switzerland CH-8093

**摘要** 研究了西藏吉隆—沃马盆地龙骨沟剖面新近纪沉积环境, 作了古地磁年代学研究, 认为喜马拉雅山北坡新生代断陷盆地发育始于 7.2MaB.P., 3.2MaB.P. 湖盆萎缩消亡, 标志着喜马拉雅山地区在 7.2MaB.P. 和 3.2MaB.P. 发生过强烈的隆升事件. 沃马盆地龙骨沟剖面所含三趾马动物群化石层年龄大约为 7.0~6.7MaB.P., 隐示着此时青藏地区三趾马生活区与当时的华北平原三趾马生活区有着大体相当的地理、气候环境. 之后由于喜马拉雅山持续抬升, 断陷盆地下沉, 并在 5.9~3.6MaB.P. 期间湖盆面积最为广阔. 青藏高原抬升而华北平原沉降, 中国西部地区地形高于东部, 东西部气候环境发生重大差异. 3.6MaB.P. 由于青藏地区持续强烈隆升, 西部地区河流切穿古老湖盆, 3.20MaB.P. 吉隆—沃马湖盆萎缩, 于 1.7MaB.P. 逐渐消失, 进入侵蚀切割阶段.

**关键词** 西藏吉隆—沃马盆地 古地磁年代学 三趾马动物群 喜马拉雅山抬升

**文章编号** 0001-5733(2004)06-1009-08 **中图分类号** P318 **收稿日期** 2003-04-28, 2004-05-24 **收修定稿**

## PALEOMAGNETIC CHRONOLOGY AND RECORDS OF HIMALAYAN UPLIFT ON THE LONGGUGOU SECTION OF GYIRONG-OMA BASIN IN XIZANG(TIBET)

YUE Le-Ping<sup>1, 3</sup> DENG Tao<sup>2</sup> ZHANG Rui<sup>1</sup> ZHANG Zhao-Qun<sup>2</sup>  
F. Heller<sup>4</sup> WANG Jian-Qi<sup>1</sup> YANG Li-Rong<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Key Laboratory for Continental Dynamics of Ministry Education, Geology Department, Northwest University, Xi'an 710069, China

<sup>2</sup> Institute of Vertebrate Palaeontology and Paleoanthropology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100044, China

<sup>3</sup> Institute of Earth Environment of Chinese Academy of Sciences, Xi'an 710075, China

<sup>4</sup> Institute of Geophysics ETH, Zurich CH-8093, Switzerland

**Abstract** We study the Neogene sedimentary environment of the Longgugou section in the Gyirong-Oma Basin, Xizang (Tibet) by means of paleomagnetic chronology. Analogy shows that Cenozoic fault-bounded basin on the north slope of Himalayas formed by 7.2MaB.P. And it shrank and died

**基金项目** 国家“973”项目(G2000077700, 2003CB214607), 国家自然科学基金项目(40372202), 教育部重大科学技术项目“中国新生代地形倒转及资源环境效应”, 西北大学大陆动力学教育部重点实验室开放基金资助.

**作者简介** 岳乐平, 男, 1949 年生, 1976 年毕业于西北大学, 理学博士, 教授、博士生导师, 中国地球物理学会古地磁专业委员会委员、中国第四纪研究委员会委员. E-mail: yleping@nwu.edu.cn

3.2 MaB.P. It marked that the region around the Himalayas had experienced intensified uplift covering the interval from 7.2 to 3.2MaB.P. The age of Hipparion fossils localities in the Longgugou section is about 7.0~6.7MaB.P. In comparison with Hipparion fauna in North China, they should have similar geographic and climatic environment. Since the continual rise of the Himalayas, the fault-bounded basin subsided and the lake-basins attained the biggest area during the period of 5.9~3.6 MaB.P. With the uplift of the Qinghai-Xizang Plateau and the subsidence of plain of North China, the topography of the west became higher than that of the east, and there had occurred great change in climatic environment between these two regions. For the reason of continually intensified uplift of Qinghai-Xizang 3.6MaB.P., the rivers in the west region cut through the ancient lake-basins and the lake basin of Gyirong-Oma contracted 3.2 MaB.P., died out 1.7 MaB.P., and then stepped into the stage of erosion and dissection.

**Key words** Gyirong-Oma basin of Xizang, Paleomagnetic chronology, Hipparion fauna, Himalayan uplift.

# 1 引言

新生代时期最重要的地质事件之一是印度板块与欧亚板块碰撞和相互挤压,以及由此引起的青藏高原隆升.雄壮、巍峨的喜马拉雅山从此屹立在世界的东方.在印度板块向北漂移过程中,受印度板块碰撞影响欧亚板块发生形变,由于新特提斯海的消亡以及青藏地区的抬升,新的分水岭形成,早期注入新特提斯海的河流消失,新的河流注入沿喜马拉雅山北坡发育的一系列断陷盆地,吉隆-沃马盆地即是其中之一.吉隆-沃马盆地记录了新生代晚期中国大陆地势由西低东高向西高东低转化的环境效应.

吉隆-沃马盆地沉积特征、古生物记录及时间标尺研究具有重要意义.

吉隆-沃马盆地位于喜马拉雅山西北坡(图1),海拔4100~4400m,盆内沉积了新近纪河湖相沉积.20世纪70年代末,中国科学院青藏高原综合考察队在吉隆-沃马盆地沃马村附近新生代地层内发现三趾马动物群,按岩性将这套地层划分为上、中、下三套,定名为沃马组,时代定为上新世中、晚期<sup>[1]</sup>.青藏地区与华北地区在新近纪同时存在三趾马动物群,说明在此时期两地的气候环境有相似性,与现今的两地气候环境、地理景观差异浑然不同,因此标定沃马地区三趾马动物群化石层年代,对研究青藏高原环境变迁有重要意义.

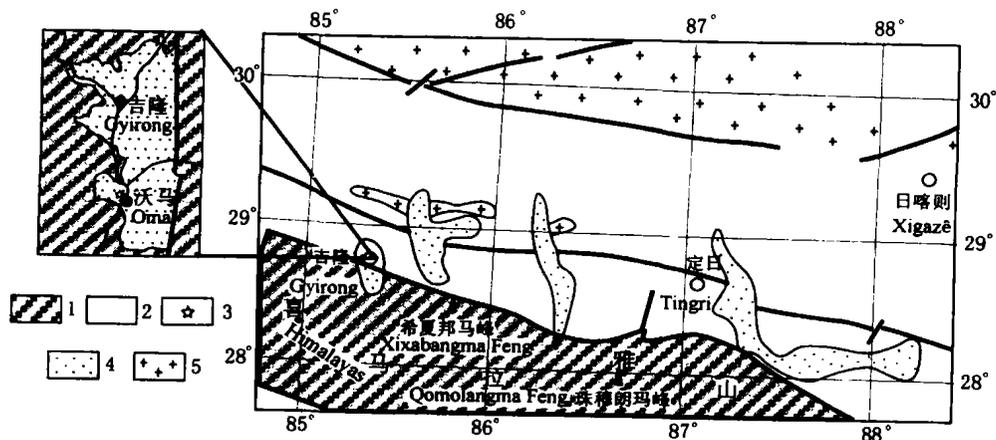


图1 吉隆-沃马盆地位置及采样剖面位置图

1 喜马拉雅山地区 Himalaya mountains; 2 断层 fault; 3 采样位置 sampling locality; 4 新生代盆地 Cenozoic Basin; 5 基岩区 rock area.

Fig.1 Locality of Gyirong-Oma Basin of sampling section

中国学者对西藏地区三趾马化石作过许多研究<sup>[2]</sup>。为了标定这套含三趾马动物群地层的时代,申旭辉等<sup>[3]</sup>曾对龙骨沟剖面进行过磁性地层学研究。早期的磁性地层工作往往采集样品较少,上述研究在产出三趾马动物群化石的沃马盆地龙骨沟剖面厚约160m的地层中仅采集了32个样品。样品数量对于时间跨度近4Ma B.P., 极性多变的新生代地层显然不够,建立较为准确的时间标尺可能也很困难。吉隆-沃马盆地记录了喜马拉雅山抬升及北麓断陷盆地发育演化的信息,因此建立准确的时间标尺至关重要,它是研究盆地演化信息的基础。为了取得高分辨率的磁性地层年龄数据,我们在产出三趾马动物群化石的沃马盆地龙骨沟剖面采集了348块古地磁标本,在古地磁年代学研究基础上,标

定了地层时代,分析了沉积特征,研究了盆地记录的地质环境信息与气候环境信息,讨论了喜马拉雅山抬升。

## 2 地层概况

喜马拉雅山的快速抬升以及伴随的剥蚀,在山体两侧形成了大量的剥蚀堆积。在喜马拉雅山南坡以中、上段西瓦里克群为代表,北坡以扎达群与吉隆群为代表。

前人对吉隆-沃马盆地的地层已做过研究<sup>[3~5]</sup>。为了分析盆地沉积环境及标定不同环境的古地磁时间标尺,作者从沉积学角度对地层做简单描述(见图2)。

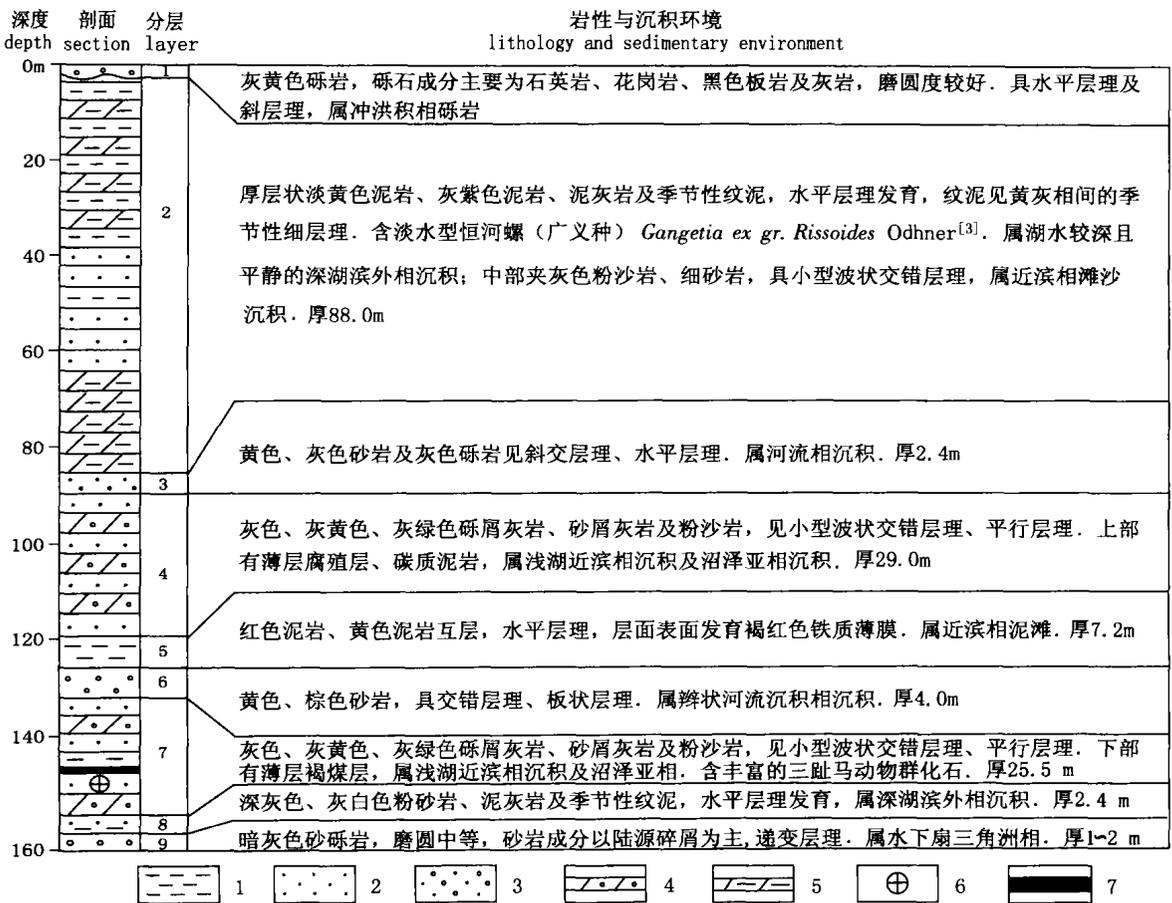


图2 吉隆-沃马剖面地层柱状图

1 泥岩 mudstone; 2 砂岩 sandstone; 3 砾岩 conglomerate; 4 含砾灰岩 limestone with conglomerate;  
5 泥灰岩 mud limestone; 6 化石层 fossils layer; 7 褐煤 lignite layer.

Fig. 2 Column of lithology in Gyirong-Oma section

### 3 样品采集及实验室测试结果

本次工作在沃马剖面厚约 160m 的地层中共采集古地磁标本 348 块, 采样密度大约为 1 块/0.5m. 标本加工成两份平行样品共 348×2 块, 一份(A 组)在西北大学大陆动力学教育部重点实验室完成, 使用英国 MINISPING 公司制造的旋转磁力仪, 退磁

使用美国 TSM-2 热退磁仪; 另一份(B 组)作者带到瑞士苏黎世理工大学地球物理学院古地磁实验室做测试, 剩磁测量使用美国 2G 公司的超导磁力仪, 退磁使用美国 TSM-2 热退磁仪, 部分样品做岩石磁学测试, 以了解岩石剩磁载体, 选择正确的退磁方法, 分析特征剩磁矢量. 大约有 20 块样品在加工过程或测试过程中损坏.

等温剩磁饱和曲线是识别磁性矿物种类最常用

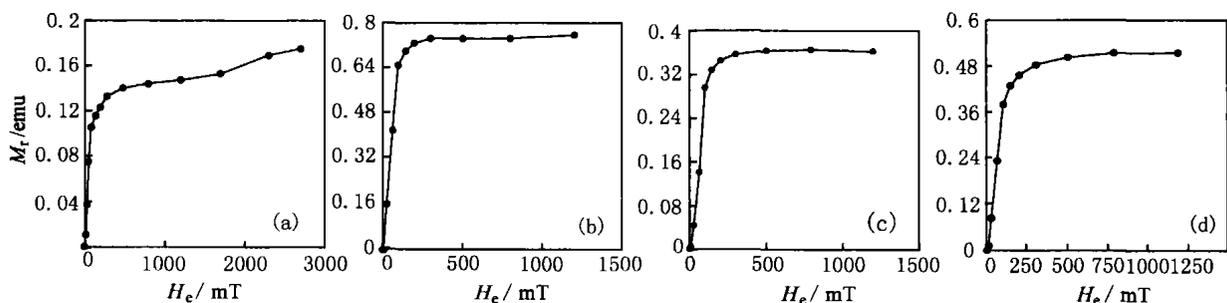


图 3 吉隆-沃马盆地样品饱和等温剩磁曲线  
 $M_r$  为等温剩磁,  $H_e$  为外磁场.

Fig. 3 Saturation curves of IRM of samples in Gyirong-Oma section

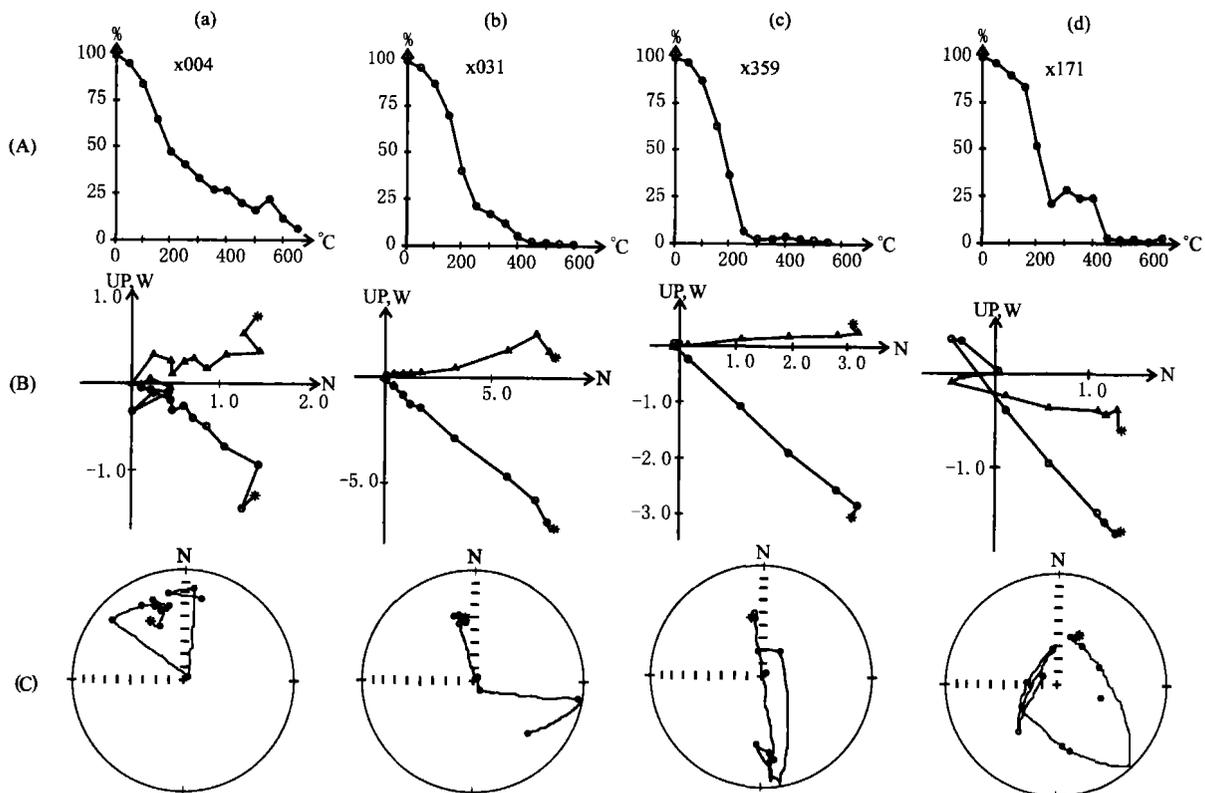


图 4 吉隆-沃马盆地古地磁样品热退磁结果

(A) 矢量 Z 氏投影图; (B) 矢量强度变化图; (C) 矢量正交投影图;  
 (a, b) 正极性剩磁; (c, d) 反转极性剩磁.

Fig. 4 Thermal demagnetization of sample in Gyirong-Oma section

(A) Zijdereld project, (B) magnetic intensity, and (C) normal project.

的方法之一<sup>[6]</sup>, 样品在 300mT 下达到饱和值的 80%~90%, 表明样品磁载体主要为低矫顽力的磁性矿物(主要为磁铁矿、磁赤铁矿), 大部分样品的等温剩磁饱和曲线在 300mT 下达到饱和值的 80%~90%, 表明样品剩磁载体主要为磁铁矿或磁赤铁矿(图 3), 部分样品(图 3a)在 300mT 下剩磁仍在继续增加, 甚至在 2.5T 时仍未达到饱和值, 也指示了高矫顽力磁性矿物的存在(如赤铁矿). 根据岩石磁性载体种类及前人的经验, 采用热退磁效果可能更好.

图 4 是沃马剖面岩石样品热退磁结果. 图 4(a,b)记录了正极性剩磁. 图 4a 的样品退磁温度达到 650°C, 剩磁矢量趋向原点, 显示出正极性样品剩磁特征. 图 4b 的样品退磁温度达到 250°C 时, 剩磁矢量趋于稳定且趋向原点, 显示原生特征剩磁矢量方向, 退磁温度达到 500°C 时, 由于剩磁强度太低,

矢量方向发生偏离. 图 4(c,d)记录了反转极性剩磁. 随着退磁温度增加, 样品极性方向逐渐倒转. 图 4(c,d)的样品在系统退磁过程中剩磁矢量方向逐渐发生倒转, 在退磁温度到达 300°C 后剩磁强度趋于稳定, 极性发生倒转, 显示出反极性的原生特征剩磁矢量方向. 温度达到 500°C 由于剩磁强度太低, 矢量方向发生偏离. 300~450°C 间的矢量合成方向代表了原生特征剩磁矢量方向. 在比较了热退磁与交变退磁结果后, 认为沃马剖面样品热退磁退磁效果较好. 对全部样品进行了热退磁, 退磁温度为 50、100、150、200、250、300、350、400、450、500、550、600°C 和 650°C. 大部分样品获得了原生特征剩磁, 有 21 块样品没有明显的原生特征剩磁, 没有进入使用数据库. 除去损坏的 20 块样品, 作为磁性地层学极性解释的样品共 307 块. 通过原生剩磁矢量分析, 得到剖面极性变化序列.

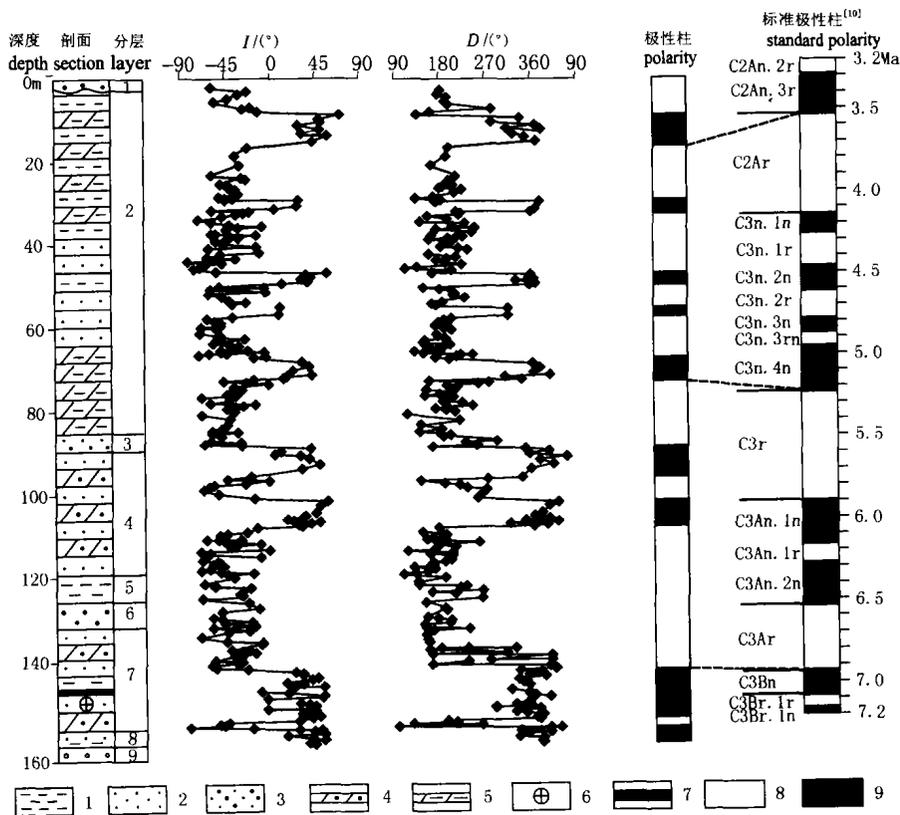


图 5 吉隆-沃马剖面古地磁测试结果(*I* 为磁倾角, *D* 为磁偏角)

1 泥岩 mudstone; 2 砂岩 sandstone; 3 砾岩 conglomerate; 4 含砾灰岩 limestone with conglomerate; 5 泥灰岩 mud limestone; 6 化石层 fossils layer; 7 褐煤 lignite layer; 8 负极性带 revised polarity; 9 正极性带 normal polarity.

Fig. 5 The measurement result of paleomagnetism of Gyirong-Oma section

在将剖面记录的极性变化序列与古地磁年表对比时, 最好有其他年龄数据佐证, 但我国目前第三纪地层, 包括华北、西北地区的第三系红粘土, 西北地

区内陆盆地河湖相沉积物中罕见测年物质(如火山物质), 分析古地磁年代时大多缺少同位素年龄或其他年龄佐证<sup>[7~10]</sup>, 因此, 如果有条件最好引用古生

物证据,或只能根据极性变化特征与极性年表对比。(图 5)。所幸的是沃马剖面含有较丰富的哺乳动物化石。其中大多是我国北方保德期动物群的典型分子,如吉隆三趾马 *Hipparion gyirongensis* Hsu, 西藏大唇犀 *Chilotherium Xizangensis* Huang, 鹿 *Metacervulus capreolinus* Teilhard et Trassaet, 小古长颈鹿 *Palaeotragus micodon* Koken, 葛氏羚羊 *Gazella gaudryi* Schlosser, 斑猎狗 *Crocuta* sp 等,这些化石目前的地质记录多为中新世晚期。我国的保德期相当于欧洲的 Turolian 期,对应于 MN<sup>15</sup>~MN<sup>12</sup>,时代为 5.3~8Ma。作者在时代划分对比时考虑了古生物因素,结合极性变化序列特征,与 Cande S C, Kent D V<sup>95</sup> 古地磁年表进行了对比。结果表明,沃马剖面记录了可与 Cande S C, Kent D V<sup>95</sup> 古地磁年表的 9 个正极性带与 9 个负极性带对比,分别为 C<sup>3</sup>Br. 1n, C<sup>3</sup>BR. 1r, C<sup>3</sup>Bn, C<sup>3</sup>Ar, C<sup>3</sup>An. 2n, C<sup>3</sup>An. 1r, C<sup>3</sup>An. 1n, C<sup>3</sup>r, C<sup>3</sup>n. 4n, C<sup>3</sup>n. 3r, C<sup>3</sup>n. 3n, C<sup>3</sup>n. 2r, C<sup>3</sup>n. 2n, C<sup>3</sup>n. 1r, C<sup>3</sup>n. 1n, C<sup>3</sup>Ar, C<sup>2</sup>An. 3n, C<sup>2</sup>An. 2r。第 9 层厚约 2m 的砾石层未采集样品,第 8 层记录了 C<sup>3</sup>Br. 1n, 剖面底部年龄约 7.2Ma。含三趾马化石的第 7 层记录了 C<sup>3</sup>BR. 1r 与 C<sup>3</sup>Bn, 化石层年龄约 7.0Ma。剖面顶部记录了 C<sup>2</sup>An. 2r, 年龄约 3.2Ma。

#### 4 吉隆—沃马盆地新近纪的沉积环境演化

沃马盆地形成于 7.2~3.2MaB.P., 其演化大约经历了盆地形成—扩展—收缩, 扩展—收缩, 扩展—收缩—消亡几个阶段。相对应的沉积环境为: 水下扇三角洲—深湖滨外相—近滨相、沼泽亚相, 河流相—近滨相、沼泽亚相, 河流相—近滨相、滨外相—冲洪积相等三个大旋回。沃马盆地沉积相组合特征反映了区域构造演化、气候变化、古地貌及物源补给方式。在一定程度上记录了喜马拉雅山北坡环境演化特征。根据沃马盆地沉积相剖面上的变化, 将沉积相由下至上划分为 3 个沉积旋回组合。

**第一旋回:** 由第 9、8、7 层组成, 时间大约为 7.2~6.7MaB.P.。由于新特提斯海的消亡以及青藏地区的抬升, 喜马拉雅山北坡发育了一系列断陷盆地。盆地形成早期, 断陷盆地边缘具有陡坡特征, 大量粗颗粒冲洪积物进入湖盆, 在底部形成粗粒的扇三角洲沉积(第 9 层)。这一阶段大约形成于 7.2MaB.P., 它可能

记录了喜马拉雅山及青藏高原的一次明显抬升过程。其后盆地持续下沉湖水渐深, 沉积了一套反映湖水较深且平静的深湖滨外相沉积, 即水平层理发育的深灰色粉砂岩、灰色细砂岩、泥灰岩及季节性纹泥(第 8 层)。大约在 7~6.7MaB.P. 期间, 构造运动趋于平静, 盆地稳定或微微抬升, 湖水变浅, 盆内沉积了一套近滨相浅湖沉积、沼泽沉积(第 7 层)。在褐煤层之下发现三趾马动物群化石, 如吉隆三趾马 *Hipparion chilonensis*、大唇犀 *Chilotherium* sp.、小古长颈鹿 *Palaeotragus microdon* Koken 等森林草原型动物<sup>[1]</sup>, 联系到我国华北此时广泛分布的含三趾马化石的红色土地层<sup>[7]</sup>, 说明此时喜马拉雅山北坡断陷盆地的气候环境与华北相似。

**第二旋回:** 由第 6、5、4 层组成, 时间大约为 6.7~5.9MaB.P.。盆地再次下沉, 洪水进入盆地, 在第一旋回之上再次形成粗颗粒冲洪积沉积物。随着盆地沉降水体渐深, 剖面位置沉积了近滨相的砂屑灰岩、粉砂岩、红色泥岩以及沼泽亚相的腐殖质层。

**第三旋回:** 由第 3、2 层组成, 时间大约为 5.9~3.2MaB.P.。冲洪积的粗颗粒物再一次大量进入湖盆, 沉积了一套具斜交层理的黄色、灰色砂岩及灰色砾岩。之后盆地持续沉降, 沉积了厚度约达 88m 的深湖滨外相沉积, 为厚层状淡黄色泥岩、灰紫色泥岩、泥灰岩及季节性纹泥, 水平层理发育, 纹泥见黄灰相间的季节性细层理。期间盆地有小幅回返抬升, 沉积了少量灰色粉砂岩、细砂岩等近滨相滩沙沉积。此时断陷盆地最为发育, 成为大湖发育期。3.2MaB.P. 之后, 青藏地区快速抬升, 喜马拉雅山北麓断陷湖盆地迅速萎缩, 吉隆—沃马盆地的沃马区域湖盆消失, 据王富葆<sup>[5]</sup> 研究, 大约 1.7MaB.P. 吉隆湖盆消失。在原湖相沉积之上发育了一套第四纪河流相沉积, 此时标志着喜马拉雅山北麓断陷湖盆结束了发展历史, 进入侵蚀切割阶段。

#### 5 喜马拉雅山抬升与新生代中国东西部地形变化

喜马拉雅山抬升及青藏高原隆升后中国地形发生了重大变化, 科学家们从各个角度展开了研究<sup>[12~16]</sup>。新生代印度板块与亚洲板块碰撞以来发生过多次隆升, 印度大陆与亚洲大陆首次碰撞始于 60MaB.P., 两大陆完全汇聚拼合<sup>[15]</sup>。始新世的首次碰撞使冈底斯山隆起, 但喜马拉雅山并未隆起,

23MaB.P.以后喜马拉雅运动第2幕十分强烈,喜马拉雅山崛起.李吉均等<sup>[16]</sup>研究了青藏高原东部芒康4400m的分水岭夷平面上覆玄武岩,测得的K-Ar年龄为3.4MaB.P.和3.8MaB.P.,认为是该夷平面因青藏运动A幕(3.6MaB.P.)发生的沿裂隙喷发的玄武岩.同时研究了昆仑山地区的夷平面,主夷平面消平的最新火山岩K-Ar年龄为7MaB.P.,认为青藏地区在7MaB.P.有一次隆升,并形成了中新世中晚期的主夷平面,但上新世中期已被夷平,高原最近一次强烈隆升为3.6MaB.P.<sup>[16]</sup>.

前人的上述研究中从山体或高原隆升、夷平的角度论述了“盆山构造体系”,造山运动、地壳变形.基本结论为喜马拉雅山于23MaB.P.以后崛起,青藏高原隆升但多次被夷平.李吉均观点具有代表性,即7MaB.P.有一次强烈隆升,最后一次最强烈的隆升发生在3.6MaB.P..作者认为吉隆-沃马盆地记录的喜马拉雅山抬升阶段与文献<sup>[16]</sup>结果基本一致.

根据本文的研究结果,7.2MaB.P.喜马拉雅山的一次较强烈的隆升,北麓断陷盆地大规模发育,吉隆-沃马盆地形成,湖盆面积逐渐扩大.在沃马盆地7~6.7MaB.P.期间的地层中发现森林草原型三趾马动物群化石,而此时华北地区广泛生活着三趾马动物群,说明此时喜马拉雅山北坡的地理、气候环境与华北相似.两地海拔高度差异不大.6.7MaB.P.之后三趾马动物群在该区消失,可能是青藏地区海拔高度、生态环境已不适宜三趾马动物群生存,然而在华北地区依然生活着三趾马动物群,表明6.7MaB.P.之后中国西部地区地势已明显高于东部,青藏高原的抬升与大气环流改变、季风形成的偶合,对东西部环境差异产生重大影响.根据沃马盆地沉积环境演化记录分析,在5.9~3.2MaB.P.期间喜马拉雅山稳定抬升,断陷盆地下沉发育为广泛的深湖.3.2MaB.P.由于青藏地区持续强烈隆升,西部地区河流切穿古老湖盆,吉隆-沃马湖盆萎缩并逐渐消失,进入侵蚀切割阶段,中国地形西高东低地势加强.安芷生<sup>[15]</sup>通过中国北方粉尘堆积研究认为7.2MaB.P.东亚季风初现期,冬季风与夏季风较弱.3.4MaB.P.以后冬季风加强,其原因是7.2MaB.P.青藏高原的一次较强烈隆升及3.6MaB.P.以后的青藏高原一次强烈隆升<sup>[7]</sup>.中国北方8MaB.P.以来的粉尘堆积研究有系列报道,大多支持8~7MaB.P.与3.6MaB.P.有两次重要

而明显的气候环境变化,认为是青藏高原抬升,东亚季风加强所致.这与吉隆-沃马盆地记录到的7.2MaB.P.喜马拉雅山北坡断陷盆地发育,3.2MaB.P.湖盆萎缩消亡时间基本一致.

## 6 结论与讨论

吉隆-沃马盆地新生代地层古地磁年代测定结果表明,沃马剖面记录可与Cande S C, Kent D V 95古地磁年表的9个正极性带与9个负极性带对比,分别为C3Br.1n, C3BR.1r, C3Bn, C3Ar, C3An.2n, C3An.1r, C3An.1n, C3r, C3n.4n, C3n.3r, C3n.3n, C3n.2r, C3n.2n, C3n.1r, C3n.1n, C3Ar, C2An.3n, C2An.2r.第8层记录了C3Br.1n,剖面底部年龄约7.2Ma.含三趾马化石的第7层记录了C3BR.1r与C3Bn,化石层年龄约7.0Ma.剖面顶部记录了C2An.2r,年龄约3.2Ma.表明盆地发育始于7.2MaB.P.,于3.2MaB.P.湖盆萎缩消亡.标志着青藏高原在7MaB.P.有一次强烈隆升,最后一次最强烈的隆升发生在3.6MaB.P..在沃马盆地7~6.7MaB.P.期间的地层中发现森林草原型三趾马动物群化石,而此时华北地区广泛生活着三趾马动物群,说明此时喜马拉雅山北坡的地理、气候环境与华北相似,两地海拔高度差异不大.而此后的三趾马动物群在此地消失可能意味着新生代中期以后(7MaB.P.)青藏地区海拔逐渐高于华北地区,中国地形发生重大变化.

张国伟教授、张云翔教授提出了宝贵的修改意见,王焰博士、Simo博士在苏黎士理工大学古地磁实验室提供了许多帮助,在此表示衷心感谢.

## 参考文献

- [1] 黄万波, 计宏祥. 西藏三趾马动物群的首次发现及其对高原隆起的意义. 科学通报, 1979, 19: 885~889  
Huang W B, Ji H X. First discovery of hipparion fauna in Tibet with influence on the uplift of the plateau. *Chinese Science Bulletin* (in Chinese), 1979, 19: 885~889
- [2] 邱占祥, 黄为龙, 郭志慧. 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, 1987. 135~185  
Qiu Z X, Huang W L, Guo Z H. Hipparion Fossils of China. *Palaeontologia Sinica. New Series C*, 25 (in Chinese). Beijing: Science Press, 1987. 135~185
- [3] 申旭辉, 王富葆, 张杰. 西藏吉隆盆地晚新生代磁性地层学研究及有关问题讨论. 见: 青藏高原形成演化、环境变迁与生态环境系统研究学术论文集. 北京: 科学出版社, 1995. 103~110  
Shen X H, Wang F B, Zhang J, et al. Late Cenozoic magne-

- tostratigraphy and concerned discussion of Gyirong Basin, South of Tibet. In: Annual of Formation and Environment of Tibetan Plateau with Environmental System Research (in Chinese). Beijing: Science Press, 1995. 103~110
- [4] 陈万勇, 范贵忠, 于浅黎. 西藏吉隆盆地上新世沉积相、粘土矿物特征及古气候. 古脊椎动物与古人类, 1977, **15**(4): 265~270  
Chen W Y, Fan G Z, Yu Q L. The sedimentary environments, clunch mineral and paleoclimate of Jilong Basin. Tibet in the Pliocene. *Vertebrata Palasiatica* (in Chinese), 1977, **15**(4): 265~270
- [5] 王富葆, 申旭辉, 李升峰等. 吉隆盆地的形成演化、环境变迁与喜马拉雅山隆起. 中国科学, 1996, **24**(6): 323~328  
Wang F B, Shen X H, Li S F, et al. Formation and evolvement of Jilong Basin with its environment transform and uplift of Himalayas. *Science in China* (in Chinese), 1996, **24**(6): 323~328
- [6] Zhu R-X, Tschu Kang-kun. Studies on Paleomagnetism and Reversals of Geomagnetic Field in China. Beijing: Science Press, 2001
- [7] An Z-S. Evolution of Asian monsoons and phased uplift of the Himalaya-Tibetan plateau since Late Miocene times. *Nature*, 2001, **411**(3): 62~66
- [8] 岳乐平, F Hller, 邱占祥等. 兰州盆地第三系磁性地层年代与古环境记录. 科学通报, 2000, **45**(18): 1998~2002  
Yue L P, Hller F, Qiu Z X, et al. Magnetostratigraphy and paleoenvironmental record of Tertiary deposits of Lanzhou Basin. *Chinese Science Bulletin* (in English), 2001, **46**(9): 770~773
- [9] 方小敏, 李吉均, 朱俊杰等. 甘肃临夏盆地新生代地层绝对年龄测定与划分. 科学通报, 1997, **42**(14): 1457~1471  
Fang X M, Li J J, Zhu J J, et al. Absolute dating and classification of Cenozoic deposits of the Linxia Basin, Gansu. *Chinese Science Bulletin* (in Chinese), 1997, **42**(14): 1457~1471
- [10] 赵志军, 方小敏, 李吉均. 祁连山北源酒东盆地晚新生代磁性地层. 中国科学(D辑), 2001, **31**(增刊): 195~201  
Zhao Z J, Fang X M, Li J J. Late Cenozoic magnetic polarity stratigraphy in the Jiudong Basin, northern Qilian Mountain. *Science in China* (Series D) (in Chinese), 2001, **31**(Suppl.): 195~201
- [11] Cande S C, Kent D V. Revised calibration of the geomagnetic polarity timescale for the Late Cretaceous and Cenozoic. *Journal of Geophysical Research*, 1995, **100**: 6093~6095
- [12] 傅容珊, 李力刚, 黄建华等. 青藏高原隆升过程的三阶段模式. 地球物理学报, 1999, **42**(5): 609~616  
Fu R S, Li L G, Huang J H, et al. Three-step model of the Qinghai-Xizang plateau uplift. *Chinese J. Geophys.* (in Chinese), 1999, **42**(5): 609~616
- [13] Wang P-X. Late Cenozoic environmental evolution in China: Marine factos and records. In: Jablonski N G. eds. The Changing Face of East Asia During the Tertiary and Quaternary. Hong Kong: The Hong Kong University, 1997. 163~274
- [14] 傅容珊, 徐耀民, 黄建华. 青藏高原挤压过程的数值模拟. 地球物理学报, 2000, **43**(3): 346~355  
Fu R S, Xu Y M, Huang J H. Numerical simulation of the compression uplift of the Qinghai-Xizang plateau. *Chinese J. Geophys.* (in Chinese), 2000, **43**(3): 346~355
- [15] 钟大赉, 丁林, 季建清等. 中国西部新生代岩石圈会聚和东部岩石圈离散的耦合关系与环境格局演变的探讨. 第四纪研究, 2001, **21**(4): 303~312  
Zhong D L, Ding L J, Ji J Q, et al. Coupling of the lithospheric convergence of west China and dispersion of east China in Cenozoic; Link with Paleoenvironmental Changes. *Quaternary Sciences* (in Chinese), 2001, **21**(4): 303~312
- [16] 李吉均, 方小敏, 潘保田等. 新生代晚期青藏高原强烈隆起及其对周边环境的影响. 第四纪研究, 2001, **21**(5): 381~391  
Li J J, Fang X M, Pan B T, et al. Late Cenozoic intensive uplift of Qinghai-Xizang Plateau and its impacts on environments in surrounding area. *Quaternary Sciences* (in Chinese), 2001, **21**(5): 381~391