准噶尔盆地新生代哺乳动物化石的古地磁定年

张睿 岳乐平 王建其

(中国科学院地质与地球物理研究所古地磁与年代学实验室(岩石圈演化国家重点实验室), 北京 100029; 西北大学大陆动力学国家实验室, 西北大学地质系, 西安 710069; 中国科学院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.
E-mail: ruizhang@mail.igcas.ac.cn)

摘要 对新疆准噶尔盆地北部晚渐新世-早中新世的连续地层进行了详细的古地磁年代学研究。厚约 192 m 的铁尔斯哈巴合剖面位于乌伦古河北岸, 富含哺乳动物化石。岩石磁学的实验表明, 该套河湖相沉积物特征剩磁的载体主要为磁铁矿和赤铁矿。磁性地层分析确定的极性序列可与标准古地磁年表(GPTS)清晰对比。此外, 铁尔斯哈巴合动物群的层位位于古近系和新近系的界线之下, 而索索泉动物群层位恰位于此界线之上, 由沉积速率推算得到的铁尔斯哈巴合动物群和索索泉动物群的大致年代分别为 25.2 和 22.5 Ma。

关键词 准噶尔盆地 新生代 哺乳动物化石 磁性地层

测定地层中哺乳动物化石的绝对时间标尺一直是当前地层学工作的研究重点之一。由于中国新生代陆相地层中可用于同位素测年的材料极少, 因此磁性地层学用于地区性和区域性对比工作不失为一个有效的办法, 借助于生物年代学, 可与标准地磁极性年表(GPTS)比较予以年代标定。乌伦古河地区位于新疆准噶尔盆地北部, 水平沉积了厚层的河湖相沉积物。自 20 世纪 50 年代以来便在其新生代地层中发现了大量哺乳动物化石, 90 年代至今又开展了较为细致的生物地层学研究^[1-5], 挖掘整理了 7 套自晚渐新世至早中新世动物化石群, 并根据古生物演化修正了岩石地层^[4], 为理解新生代准噶尔盆地的古生物和古气候演化提供了一个良好的开始。然而上述研究在时间标尺的控制上仍显粗糙, 可靠的年代标尺对于评定这一地区哺乳动物演化和分布十分关键。为此我们对该地区进行磁性地层学研究, 准确测定剖面中哺乳动物化石的地质年代以便更好地理解地层剖面及临区动物群转变的自然状态和发展速度。这里我们报道乌伦古河北岸的磁性地层研究结果, 及该区域陆相新生代地层中哺乳动物群的时间和演化记录。

1 地层概况及样品采集

采样地点铁尔斯哈巴合剖面(46.6°N, 88.5°E)位于乌伦古河北岸(图 1)。乌伦古河地区新生代地层根据其岩性、接触关系及古生物证据被划分为 5 套岩石地层^[4,5], 其中主要的地层单元例如索索泉组, 广泛

图 1 准噶尔盆地铁尔斯哈巴合剖面位置

分布于准噶尔盆地北部, 整个区域沉积物以河湖相泥岩及砂岩为主。本剖面包含了上部的 4 组地层。对其简要描述如下:

4. 可可买登组: 褐黄色河流相砾岩, 厚 5 m

~~~~~不整合~~~~~

3. 哈拉玛盖组: 灰白色含砾砂岩夹灰绿色泥质粉砂岩, 厚 26 m。底部含一化石层位。

2. 索索泉组: 棕红色粉砂质泥岩为主, 夹土黄色砂岩层。本剖面的索索泉组地层大致可见两个化石层位, 下部化石层化石类似铁尔斯哈巴合动物群, 上部化石层鉴定为典型的索索泉动物群。厚 131 m。

1. 铁尔斯哈巴合组: 土黄色的泥岩、粉砂岩与砂岩互层。该剖面下部两个化石层相隔 1 m 左右, 共发现哺乳动物化石 34 种, 称为铁尔斯哈巴合动物群。厚 33 m。

研究剖面出露的岩石总厚度为 192 m, 共在铁尔

斯哈巴合、索索泉、哈拉玛盖三组地层中以 0.5 m 的基本间隔(个别砂岩层跨略大)采集古地磁定向样品 339 块。

2 古地磁结果

2.1 岩石磁学

为了详细查明各岩性单元的磁学性质,对主要的地层分别取样进行 χ - T 实验,测量是在 KLY-3s 卡帕桥上完成的。为了降低样品由于加热引起氧化作用,整个加热过程均在氩气流环境中进行。粉末样品被缓慢加热至 700 $^{\circ}\text{C}$ 。

从 χ - T 曲线(图 2)上可以看出,样品最明显的下降峰值均出现在 450~585 $^{\circ}\text{C}$ 之间,显示了以磁铁矿为主的载磁矿物。部分样品在 600~700 $^{\circ}\text{C}$ 之间还有次级的下降峰值,同样显示了赤铁矿的存在(典型样品观察,含泥质越多的样品下降越明显),同时在 300~400 $^{\circ}\text{C}$ 之间的下降可能揭示了磁赤铁矿的存在。此外,砂质样

品的初始磁化率较低,而含砂越高的样品升温曲线在 0~200 $^{\circ}\text{C}$ 之间的下降越明显,可能指示了顺磁性矿物相对含量的变化。综合分析所采样品的磁载矿物以磁铁矿及赤铁矿为主,此外应还包括了磁赤铁矿。

2.2 特征剩磁分析

把一套 339 块加工好的小样品(边长 2 cm 的立方体)进行系统热退磁,再测量每步剩磁强度,退磁温度以 50 $^{\circ}\text{C}$ 左右的间隔自天然剩磁至 585 $^{\circ}\text{C}$,对于一些剩磁强度仍然较大的样品继续以 10~20 $^{\circ}\text{C}$ 间隔退至 690 $^{\circ}\text{C}$ 。另外从一套备用样品中挑选出部分样品进行退磁测量以检测一些特征剩磁不稳定样品或验证一个极性段中只有一两块块样品的情况。全部样品的退磁及剩磁的测量是在中科院地质与地球物理研究所古地磁实验室的零磁空间中进行(<300 nT),剩磁的测量使用 2G 超导磁力仪测量。

图 3 选取了代表性样品的正交投影图:大部分样

图 2 磁化率随温度变化曲线

<https://engine.scichina.com/doi/10.1360/972005-861>

图3 部分代表性样品退磁矢量正交投影图

实心和空心圆分别表示剩磁方向在水平面和垂直面的投影。W为西，N为北，Up为上

品的天然剩磁至少由两个组分组成：第一剩磁组分变化多样但以向北及向下的正极性分量为上，显示了受现代布容期正极性磁场影响下以粘滞剩磁为主的方向，温度通常从 20~250 且其衰减方向不指向原

点。另一个高温组分(300~585 或 690)在正交投影图上随着温度升高逐渐趋向原点。

大部分样品的高温组分在大约 585 时剩余磁化强度衰减最大，显示了磁铁矿矿物特征，此外还有

一些样品保留有较强的剩余磁化强度需要退至 690 (图 3(a)~(d)), 显示了赤铁矿矿物特征。以样品显示稳定趋近原点方向为特征剩磁方向, 大部分样品的选取范围在 300~585 或 300~690 (少部分选择 610~690 或 500~585 之间), 这也与样品的载磁矿物多为磁铁矿及赤铁矿的原因一致。在总共 389 块退磁的样品中, 来自 263 个水平层位的大约 302 块显示了稳定的高温矢量, 被用来建立磁性地层柱状图。

特征剩磁方向利用最小二乘法^[11], 选择具有稳定组分的多个退磁温度(最少为 3, 通常大于 4)的剩磁矢量进行拟合。由样品特征剩磁获得的磁倾角和磁偏角计算出虚地磁极的纬度并依此得到剖面的磁极性序列。

3 磁性地层及化石层年代

在铁尔斯哈巴合剖面(图 4)中共分离出 16 个正极性带 N1~N16 和 16 个反极性带 R1~R16。前文述及, 在该地区进行了大量古生物学和岩石地层的对比工作。铁尔斯哈巴合剖面的沉积记录是连续的, 据对其底部铁尔斯哈巴合动物群的研究^[3~5], 其成员几乎全部为目前国内已知晚渐新世哺乳动物群分子, 故时代应为晚渐新世。同时, 在中部的化石组合多属晚渐新世到早中新世时期的过渡动物群。因此, 该套沉积大体时代范围处于晚渐新世-早中新世无疑, 在此基础上, 把铁尔斯哈巴合剖面极性柱与标准极性年表对比^[13], 经过仔细地上下移动比较, 将最显著的正极性段 N4 与在此期间年表中最长的正极性期 C6n 对应所得出的年代标尺和沉积特征最相吻合, 据此得到剖面时间从大约 25.4 Ma(C7r)直到 16.6 Ma (C5Cn3n)。

叶捷等在铁尔斯哈巴合剖面中共发现 5 个化石层, 包括 2 个主要的哺乳动物化石群: 一是铁尔斯哈巴合动物群(第 4 及 5 化石层), 位于铁尔斯哈巴合组底部 4.5 和 6 m 的黄棕色粉砂岩中, 包括约 34 种哺乳动物化石。动物群主要以晚渐新世的残留种为主, 例如 *Ampechinus kansuensis*, *Talpidae* gen. et sp. Indet. 等。尤其是 *Plesiosminthus* 属过去被认为仅是欧洲晚渐新世—早中新世的属种^[5]也在该剖面中出现。通过与标准极性年表对比, 得到的哺乳动物群年代为 25.2 Ma。另一个哺乳动物群(索索泉动物群)发现在距剖面底部 68 米索索泉组红棕色砂质泥岩中(第 2 化石层), 包括 21 种哺乳动物如 *Sinolagomys ulungurensis*, *Heterosminthus* sp. 等, 其中大部分都是中国典型的早

中新世动物成员^[11]。此动物群中值得注意的是发现有 *Cricetodon* sp., 该种此前报道最早出现于欧洲的 MN1 带^[5]。由对比磁性地层获得的年代为 22.5 Ma。此外, 在索索泉组底部的砂岩中筛洗出一些兼具晚渐新世和早中新世特征的过渡带化石层(第 3 化石层), 包含的小哺乳动物化石主要有 *Sinolagomys* cf. *S. kansuensis*, *Pseudoheridomys* sp. 等, 对比磁性地层获得的年代为 23.9 Ma。另在哈拉玛盖组底部的砾岩(第 1 化石层)中发现有一些化石碎片如 *Chilotherium* sp. 等, 对比磁性地层获得的年代为 18.6 Ma。

4 讨论

通过 χ -T 实验及剩磁分析, 可以推论样品中的载磁矿物以磁铁矿和赤铁矿为主。大部分样品的载磁矿物在正交投影图上都有着一致的指向原点的分量, 显示两者并存时具有同样的剩磁方向。

图 5 给出了地层的时间-深度关系, 可以看出时间标尺和深度具有良好的线性相关性(相关系数 $R^2 = 0.99$), 对应的沉积速率为 $2.1 \text{ cm} \cdot \text{ka}^{-1}$ 。显示了自 25.4~16.6 Ma 地层总体沉积速率较为稳定。我们同时还从岩石地层得到了连续沉积的证据, 并且可以看到下部的铁尔斯哈巴合组和上部的哈拉玛盖组相较于中部的索索泉组沉积物由于粒度较粗沉积速率也略高。哺乳动物化石揭示了在铁尔斯哈巴合组和索索泉组以大量的啮齿类为主要的哺乳动物^[4], 也表明了自晚渐新世至早中新世哺乳动物种群以及环境和气候都没有明显的变化。综合上述分析, 得到的磁性地层是可靠的。

参照标准极性年表^[12], 本区渐新统和中新统界线(C6Cn2n 底界)位于索索泉组距剖面底部 41 m 的砂岩和泥岩层之间。而高于铁尔斯哈巴合组和索索泉组的界线(距底部 36.5 m)。此外在两组地层界线之上 1.5 m(距底部 38 m)的黄棕色砂岩层之内还发现有一个兼具晚渐新世和早中新世特征的转换带(第 3 化石层)动物化石层。

通过野外观察, 以红褐色泥岩为主的索索泉组地层广泛超覆于准噶尔盆地北部各种岩层包括白垩纪及泥盆纪的古老岩层之上而成为北疆第三纪的标志性地层。而仅在乌河北岸一带可见到索索泉组与下伏的铁尔斯哈巴合组顶部地层为连续沉积, 无明显的沉积间断。结合磁性地层研究, 准噶尔盆地北部在此期间(23.9~18.6 Ma)应该经历了一个整体沉降的过程。

图4 铁尔斯哈巴合剖面磁性地层

5 结论

铁尔斯哈巴合剖面记录了新疆准噶尔盆地北部自晚渐新世至早中新世的磁极性转换序列, 经对比

标准极性年表^[12], 192 m厚的剖面记录了从 25.4~16.6 Ma的沉积历史。

我们在新疆准噶尔盆地北部晚渐新世-早中新世地层所进行的古地磁研究首次对所含哺乳动物化石

图 5 铁尔斯哈巴合剖面磁极性年龄-深度关系

提供了具体的时间和对河湖相沉积物提供了年代标尺的控制。铁尔斯哈巴合动物群(距底部 6 和 4.5 m, 第四及第五化石层)以及索索泉动物群(距底部 68 m, 第二化石层)对比磁性地层获得的年代为 25.2 和 22.5 Ma, 它们分别为晚渐新世动物群和早中新世动物群。哈拉玛盖组底部的第一化石层年代为大约 18.6 Ma (早中新世)。另外一个化石转换带(第三化石层)的年代测定为 23.9 Ma。连续沉积的索索泉组(年代 23.9~18.6 Ma)作为准北缘的标志性地层记录了自中新世开始以来区域范围经历的一个广泛沉积。

致谢 实验及成文过程中得到导师朱日祥院士的悉心关怀和指导;中国科学院古脊椎动物与古人类研究所叶捷、吴文裕研究员、倪喜军、毕顺东博士和白滨同学以及纽约自然历史博物馆孟津研究员在野外共同完成了地层的测量并给予了大力帮助,在此表示感谢。本工作受国家自然科学基金(批准号:40372202, 40172610)及国家 973 项目(批准号:2003CB214607)共同资助。

参 考 文 献

- 童永生, 齐陶, 叶捷, 等. 新疆准噶尔盆地北缘第三纪地层. 古脊椎动物学报, 1990, 28(1): 59—70
- 吴文裕, 叶捷, 孟津, 等. 新疆准噶尔盆地北缘第三纪地层古生物研究新进展. 古脊椎动物学报, 1998, 36(1): 24—31
- 叶捷, 吴文裕, 孟津, 等. 新疆乌伦古河流域第三纪哺乳动物地层研究的新成果. 古脊椎动物学报, 2000, 38(3): 192—202
- 叶捷, 吴文裕, 孟津. 新疆乌伦古地区第三纪哺乳动物群初

析及地层年代确定. 地层学杂志, 2001, 25(4): 283—287

- 叶捷, 吴文裕, 孟津. 新疆乌伦古地区第三系简介. 地层学杂志, 2001, 25(3): 193—200
- 李传夔, 吴文裕, 邱铸鼎. 中国陆相新第三系的初步划分与对比. 古脊椎动物学报, 1984, 22(3): 163—178
- 邱占祥, 邱铸鼎. 中国晚第三纪地方哺乳动物群的排序及其分期. 地层学杂志, 1990, 14(4): 241—260
- Tedford R H. 中国晚第三纪哺乳动物生物地层: 回顾、现状与展望. 古脊椎动物学报, 1995, 33(4): 272—289
- Flynn L J, Wu W Y. The Late Cenozoic mammal record in North China and the Neogene mammal zonation of Europe. Bollettino della societa Paleontologica Italiana, 2001, 40(2): 195—199
- Zijderveld J D A. AC demagnetization of rocks—analysis of results, in Methods in Palaeomagnetism. In: Collison D W, Creer K M, Runcorn S K, eds. New York: Elsevier Sci, 1967, 254—286
- Kirschvink J L. The least-squares line and plane and the analysis of palaeomagnetic data. Geophys J R Astr Soc, 1980, 62: 699—718
- 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[DOI]
- Berggren W A, Kent D V, Swisher C C, et al. A revised Cenozoic geochronology and chronostratigraphy. In: Berggren W A, Kent D V, Aubry M P, Hardenbol J, eds. Geochronology, timescales and global stratigraphic correlation: framework for an historical geology. SEPM (Society for Sedimentary Geology), Special Publication, 1995, 54: 129—212
- Gradstein F M, Ogg J G, Smith A G, et al. A new geologic time scale with special reference to Precambrian and Neogene. Episodes, 2004, 27(2): 83—100
- Steininger F F, Aubry M, Berggren W A, et al. The Global Stratotype Section and Point (GSSP) for the base of the Neogene. Episodes, 1997, 20(1): 23—28
- Everett L. Correlation of mammalian biochronology with the Geomagnetic polarity time scale. Bollettino della societa Paleontologica Italiana, 2001, 40(2): 225—233
- Qiu Z X, Wang B Y, Qiu Z D. Land mammal geochronology and magnetostratigraphy of mid-Tertiary deposits in Lanzhou Basin, Gansu Province, China. Eclogae Geologicae Helveticae, 2001, 94(3): 373—385
- 岳乐平, Heller F, 邱占祥. 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—2003
- Reidar Lovlie, Su Pu, Fan Xingzhao, et al. A revised paleomagnetic age of the Nihewan Group at the Xujiayao Palaeolithic site, China. Quat Sci Rev, 2001, 20: 1341—1353[DOI]
- Zhu R X, An Z S, Potts R, et al. Magnetostratigraphic dating of early humans in China. Earth-Sci Rev, 2003, 61: 341—359 [DOI]
- Fang X M, Carmala Garzione, Voo R V, et al. Flexural subsidence by 29 Ma on the NE edge of Tibet from the magnetostratigraphy of Linxia Basin, China. Earth Planet Sci Lett, 2003, 210: 545—560
- Sun J M, Zhu R X, J Bowler. Timing of the Tianshan Mountains uplift constrained by magnetostratigraphic analysis of molasses deposits. Earth Planet Sci Lett, 2004, 219: 239—253[DOI]

(2005-09-08 收稿, 2005-11-22 接受)