

文章编号: 1000-0550(2006)05-0650-07

# 新疆拜城古近系磁性地层划分<sup>①</sup>

郑 民<sup>1,2</sup> 孟自芳

(1. 中国科学院地质与地球物理研究所 兰州 730000 2. 中国科学院研究生院 北京 100039)

**摘 要** 通过对研究区 387 个可靠退磁数据的分析, 确定其原生剩磁的极性及其变化。在此基础上根据古地磁测试资料, 引入小波分析方法, 对塔里木盆地拜城古近纪红层进行了磁性地层精确划分, 确定了不同层段的地质时代, 建立了克拉苏河剖面磁性地层柱。样品测试结果表明, 绝大部分样品的磁性较强, 退磁曲线质量较高, 且分离出两个稳定分量: 低温分量和高温分量, 由此进行主分量分析并利用菲舍尔统计法求得最终结果, 在小波分析方法的帮助下, 参照国际标准磁性地层年表和综合地层划分方案, 建立克拉苏河磁性地层柱。确定出吉迪克组、苏维依组、苏维依组/库姆格列木组以及库姆格列木组底界年代分别为 27.7Ma、38Ma、60.5Ma, 其沉积速率在 10~130mm/a。

**关键词** 新疆拜城 古近系 磁性地层 小波变换

**第一作者简介** 郑民 男 1979 年出生 博士研究生 构造地球化学

**中图分类号** P539.3 **文献标识码** A

## 1 引言

塔里木盆地拜城地区在地层区划上属塔里木区塔北—塔东分区库车小区<sup>[1,2]</sup>, 是古近系广泛发育的地区之一。该区古近系岩性以巨厚的陆相红色砂砾岩和互层的杂色膏盐和泥岩为主, 区域展布表现出东厚西薄的特征, 最大厚度可达 2000 m。由于化石稀少且保存不佳, 研究区古近系生物地层研究程度不高, 促使地学工作者采用综合地层研究来确定本区古近系的精细地质年代。磁性地层学以岩石原生剩磁的极性及其变化作为地层划分和对比的等时面, 研究结果没有穿时性, 可用于进行全球性对比, 因而古地磁方法在红层(哑地层)定年方面有独到之处。

塔里木盆地古近系研究已经有七十多年的历史, 中外地质学家自 1928 年起就在库车坳陷进行过调查, 系统研究则始于 20 世纪 50 年代。但学术界对库车坳陷古近系各组地层的时代归属、个别层位的底界以及新构造运动的期次及起始时间等重要问题至今仍然存在较大分歧<sup>[3~10]</sup>。深入进行研究区及周边地区古近系的磁性地层学研究, 不仅有助于进一步完善塔里木盆地古近纪地层的划分和对比, 解决一些长期争议不休的问题, 而且对于探讨库车坳陷在印度—欧亚大陆碰撞后天山造山带隆升的起始时限、天山造山带与库车坳陷的耦合关系、陆内变形等都具有重要科学意义。作者在广泛调查后选取拜城县克拉苏河剖

面(图 1)作为重点研究对象, 以期用古地磁资料确定该剖面红层主要层段的精细地质年代。

## 2 地质概况与样品采集

据区域地质资料, 研究区内古近系为巨厚的陆相红色砂砾岩和互层的杂色膏盐和泥岩, 含动植物化石。自下而上为库姆格列木群、苏维依组, 二者之间为平行不整合接触, 其中库姆格列木群自下而上分为塔拉克组、小库孜拜组和阿瓦特组, 各组之间为连续沉积<sup>[11,12]</sup>。库姆格列木群主要为棕褐色、紫红色沙质泥岩; 下部紫红色、黄绿色泥岩互层夹薄层石膏、泥灰岩, 底部常为砾岩, 厚约 102~592 m。含瓣鳃类 *Leda crispata* *Ukrainica* *sokolov*, *Corbula subpisum*; 介形虫类 *Sinocypris xiakoujiba yiensis* *Loxoconcha* sp 等<sup>[11]</sup>; 张一勇等(1991)在研究中发现大量孢粉组合, 其中塔拉克组的 *Ephedripites-Parcisporites-Proteacidites* 小库孜拜组的 *Ephedripites-Nomapolles-Edithriporites* 阿瓦特组的 *Ephedripites-Quercoidites-Nitriaradites-Meliaceoidites*<sup>[13]</sup>, 史基安等也对这些孢粉组合进行了讨论, 并认定为库姆格列木组时代为古新统一始新统<sup>[12]</sup>。苏维依组主要为褐红色、棕褐色中—细粒砂岩、泥岩互层夹数层紫红、灰色砾岩。区域上西部渐变为褐色泥岩、粉砂岩夹石膏岩盐, 厚约 200~571 m。含介形虫类 *Cyprideis littoralis* *Dawiduk*

①国家自然科学基金项目“塔里木盆地北缘始新统一古新统磁性地层划分”(批准号: 40074014)资助。

收稿日期: 2005 01 21 收修修改稿日期: 2006 03 09

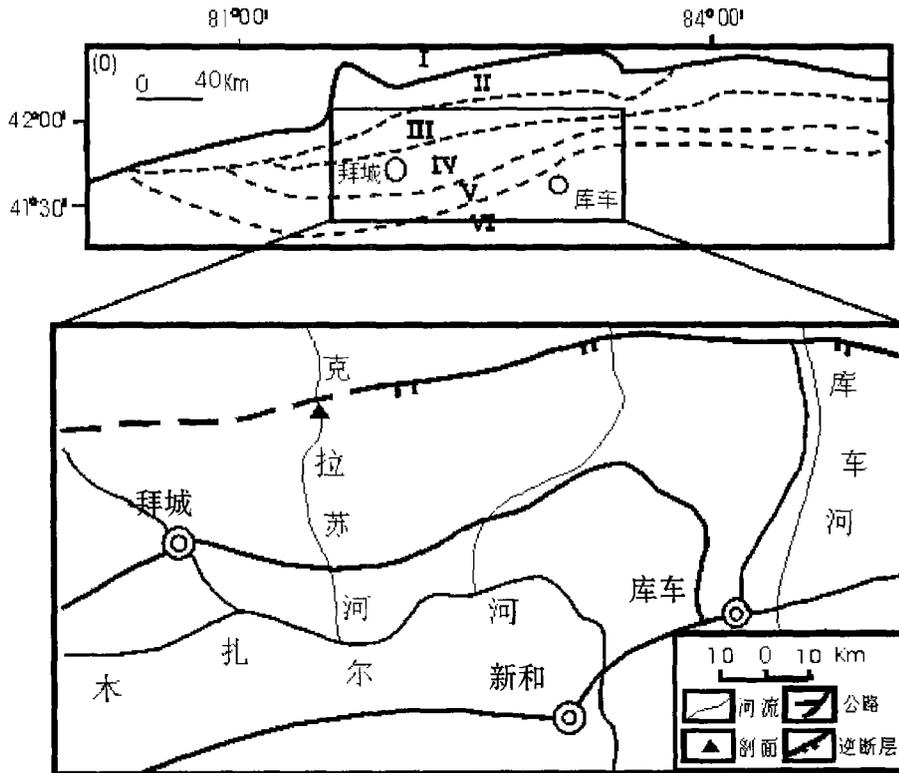


图 1 研究区地理位置

Fig. 1 Location of the sampling

*steensoni Eucypris bngai*<sup>[11]</sup>; 其时代为晚始新统一渐新统。某些层段岩层变形较为强烈, 局部地段地层重复或倒转<sup>[2]</sup>。

古地磁采样必须同时满足两个条件: 岩性适宜, 精确定向<sup>[14-15]</sup>。本项研究采样过程中使用轻便岩石钻机在尽可能新鲜的岩石露头上直接钻取岩芯, 再用专用定向设备对岩芯准确定向, 定向时使用地质罗盘。在天气晴好的情况下尽可能记录定向时的太阳方位角, 用于校正地质罗盘在定向中由于局部磁异常的存在而产生的误差或因操作不当而导致的误差。

本项研究共采集定向岩芯 578 个, 采样厚度 902.2 m (倾角校正后真厚度为 518.90 m, 真地层厚度采样密度达 1.1139 个/m)。在室内用无磁锯片将定向岩芯加工成若干标准样品, 每段岩芯一般至少加工成 2 个样品, 副样用作比测或进行其他项目的分析。根据采点分布和测试数据分段进行磁性地层划分, 最终汇总为综合磁性地层柱状剖面。

### 3 测试结果与磁性地层划分

#### 3.1 样品测试

本项研究的样品测试在成都地质矿产研究所古

地磁实验室 (美制 DSM-2 旋转磁力仪) 和新疆地质调查局古地磁实验室 (英制 Minispin 磁力仪) 完成。全部样品均采用逐步热退磁法进行系统退磁, 数据处理采用 Enkin 古地磁数据处理程序。

本项研究实际测试样品 434 个, 可靠退磁数据 387 个。测试结果表明, 绝大部分样品的磁性较强, 天然剩磁强度的数量级为  $10^{-4}$  A/m, 退磁曲线质量也较高。试测样品均经过 15 步逐步热退磁处理以期分离出原生剩磁。低温阶段的退磁温度间隔为  $50^{\circ}\text{C}$ ,  $350^{\circ}\text{C}$  以上加密为  $40^{\circ}\text{C}$ ,  $500^{\circ}\text{C}$  以上加密为  $20^{\circ}\text{C}$ 。逐步热退磁处理在绝大多数样品中均分离出两个稳定分量: 解阻温度低于  $350^{\circ}\text{C}$  的低温分量和解阻温度在  $200 \sim 590^{\circ}\text{C}$  之间的高温分量 (一部分强磁性样品高温分量的解阻温度超过  $630^{\circ}\text{C}$ ), 表现为退磁曲线呈两段式, 磁化方向骤然偏转并随着退磁温度的进一步升高呈线性趋向原点, 剩磁强度迅速接近于仪器的噪音水平 (图 2)。

将测试数据绘制成正交矢量投影图、规一化强度衰减曲线和体积磁率-温度关系曲线, 进行主分量分析后利用费舍尔统计法求得最终结果, 并对磁性分量进行相应的剩磁稳定性检验。根据样品在剖面中的

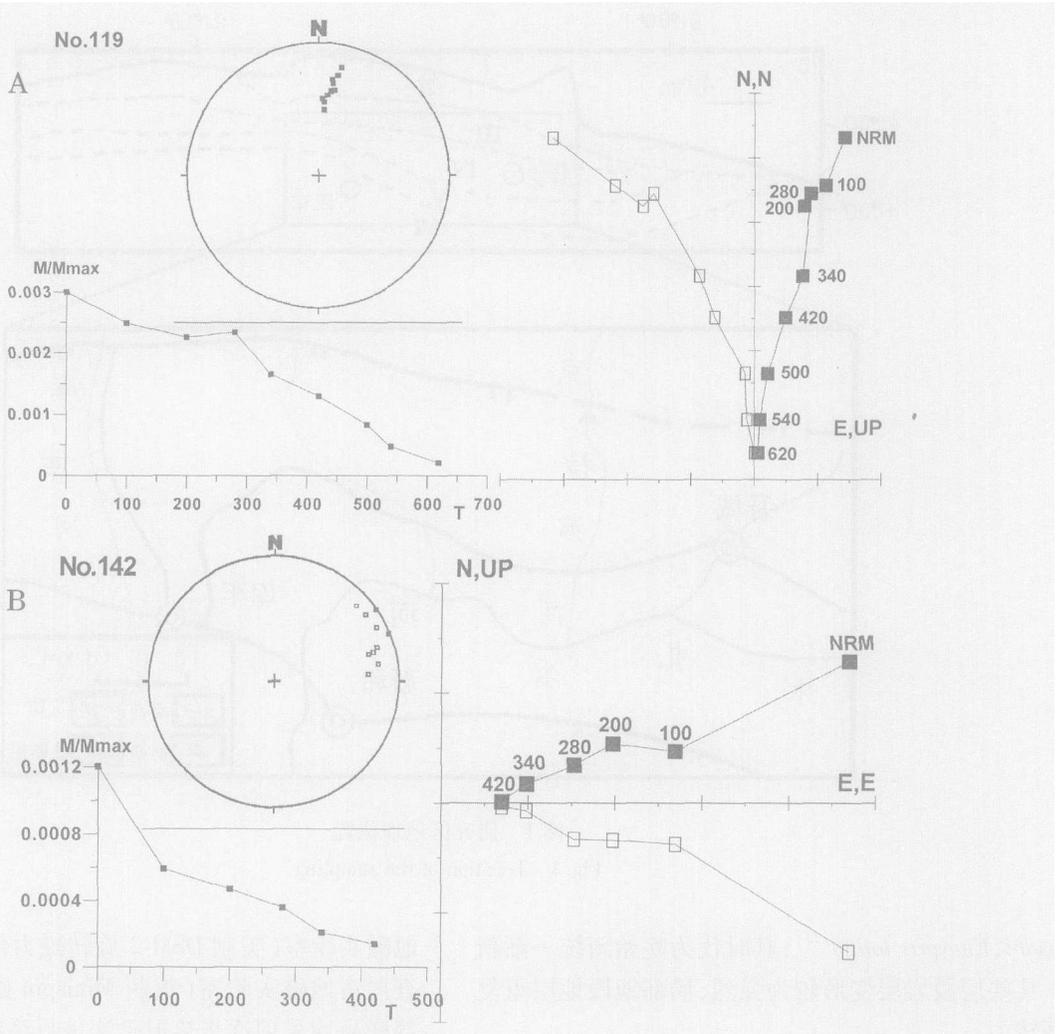


图 2 典型样品的退磁曲线(层面坐标系)

A. 中新统一渐新统地层样品 (346-376); B. 始新统一古新统地层样品 (119, 142)

Fig 2 Demagnetization curve of the typical samples

位置及其高温分量磁参数绘制采样层段的磁偏角、磁倾角变化曲线, 求取虚地磁极纬度, 从而进行磁性地层划分。

### 3.2 磁性地层柱状图的建立

退磁结果表明, 绝大多数样品的低温分量磁化方向在地理坐标系中呈向北陡倾的密度程度很高的正向磁化, 312个样品低温分量的平均方向 ( $5.6^\circ/54.7^\circ$ ) 非常接近研究区的现代轴向地心偶极子场磁化方向 ( $0^\circ/53.2^\circ$ ), 并且在 99% 置信水平上未通过褶皱检验(表 1), 可知低温分量代表岩层发生构造形变以后在近代地磁场中获得的次生剩磁, 是易于在逐步退磁过程中被迅速清除的软磁组分, 其磁性载体应主要是在风化过程中形成的以针铁矿为主的次生磁性矿物。

高温分量磁化方向在地理坐标系中具正、反两种

表 1 低温分量统计结果

Table 1 Statistics of low temperature components

坐标	$n/N$	偏角	倾角	$\alpha_{95}$	$K$
地理	312/387	$5.6^\circ$	$54.7^\circ$	$3.0^\circ$	25.4
层面	312/387	$310.4^\circ$	$56.5^\circ$	$15.3^\circ$	1.9

\*  $n/N$ : 参加统计的样品数/样品总数;  $\alpha_{95}$ : 95% 置信角半径;  $K$ : 精度参数

极性, 其中 113 个样品呈正向磁化, 159 个样品呈反向磁化。高温分量磁化方向经层面校正后分化为近于反向平行的两组磁化方向, 转换(统一)极性后, 磁化方向的密集程度显著增加, 以 99% 的置信度通过了褶皱检验, 可知高温分量是在岩层于三叠纪未发生构造变动之前、在沉积阶段或成岩早期获得的沉积剩磁的原生剩磁。两种极性的样品在剖面上几乎相间分布, 表现明显的混合极性特征, 排除了后期重磁化

的可能性, 反映当时地磁场极性频繁转换, 处于磁扰期。我们根据样品在剖面上的位置和高温分量磁化方向在层面坐标系中的极性并参照国际标准磁性地

层年表借助小波分析方法绘制了克拉苏河剖面的磁性地层柱状图 (图 3)。

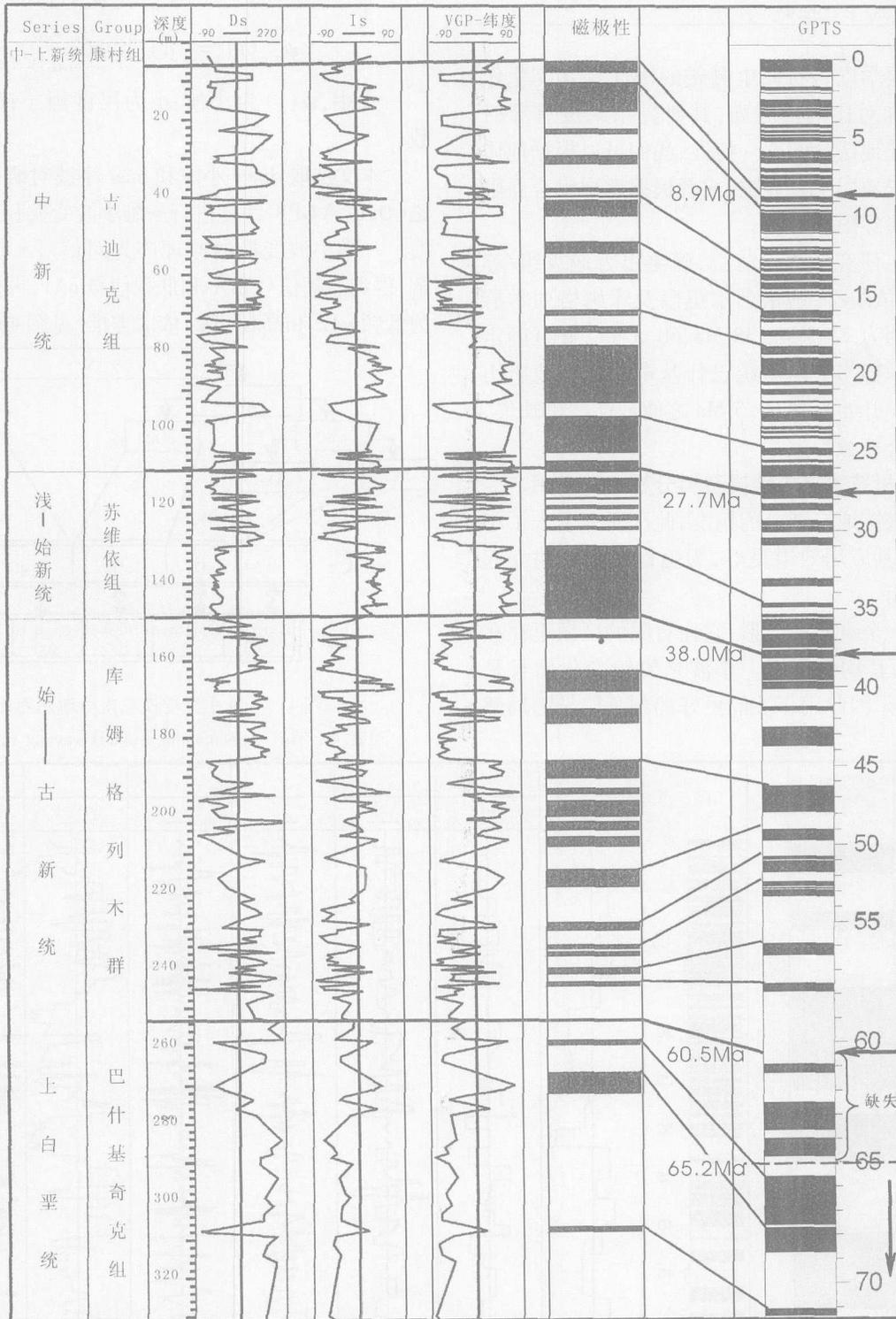


图 3 古近纪磁性地层柱状图

Fig. 3 Magnetostratigraphy of Tertiary System

表 2 高温分量统计结果

Table 2 Statistics of high temperature components

坐标系	n/N	偏角	倾角	$\alpha_{95}$	K
地理	272/887	154.3°	57.5°	17.9°	2.0
层面	272/887	192.4°	31.7°	7.2°	7.2

磁性地层学以岩石原生剩磁的极性及其变化作为地层划分和对比的等时面,其研究结果没有穿时性。利用磁性地层学的这一特性,我们可以根据地质年代界限确定地层组合界限,或者根据地层组合界限确定地质年代界限。

结合前人研究成果<sup>[11, 12, 13]</sup>,确定出吉迪克组 苏维依组,苏维依组 库姆格列木组以及库姆格列木群底界年代分别为 27.7Ma, 38Ma, 60.5Ma, 并且确定出库姆格列木群与上白垩统巴什基奇克组从地质历史的 65.2Ma 开始直到 60.5Ma 之间地层严重缺失,其间为不整合接触。

### 3.3 小波分析技术在古地磁资料分析中的应用

为提高磁性地层划分的精度,此次研究引入了小波分析技术,其应用效果良好,为磁性地层的建立起了很大的作用。

小波是一个衰减的波形,它在有限的区域里存在(不为零),且其均值为零。小波是尖锐变化而且是不规则的波形,因此用小波能更好的刻画信号的局部特征<sup>[21]</sup>。

连续小波变换 (continue wavelet transform) 的数学表达式为:

$$CWT_{a,b} = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) \overline{\psi_{a,b}(t)} dt$$

$$\psi_{a,b}(t) = |a|^{-1/2} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right)$$

式中,  $\psi(t)$  为小波;  $a$  为尺度因子;  $b$  为平移参数。

本文选取 dmey 小波和 haar 小波对研究区特征剩磁 (D, I)、VGP-纬度进行一维小波变换和连续小波变换。一维小波变换的原理即先对信号  $x$  进行一次分解,得到高频信号  $cD1$  和低频信号  $cA1$ ,再把  $cA1$  分解为低频  $cA2$  和低频  $cD2$  依次类推 (见图 4)。

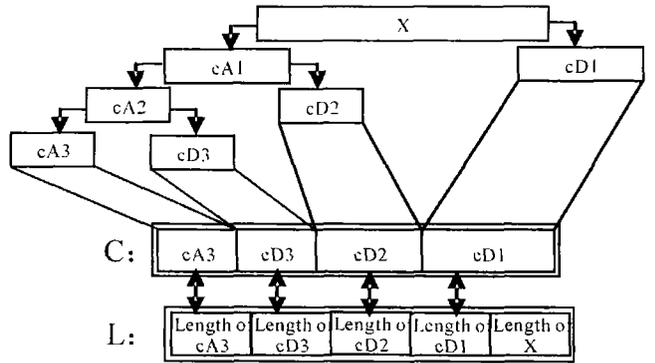


图 4 一维小波变换三次分解示意图

Fig 4 Thrice decom pound of 1D wavelet transform

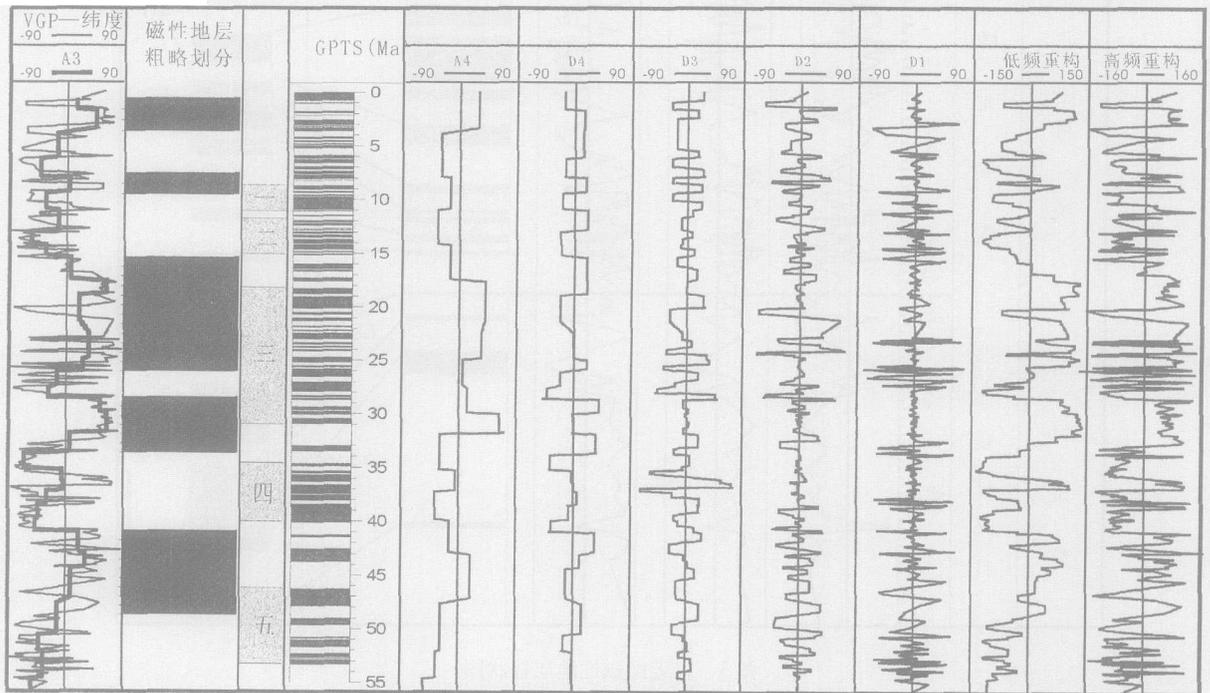


图 5 小波分析效果图

对古地磁信号进行多尺度分解, 根据具体情况经过多次检验后确定所采用的小波类型与分解的尺度, 本文进行 4 次分解。经小波分析后提取低频信号, 然后从低频到高频赋以不同系数, 合理插值后进行信号重构。在已知研究区地层大概年代的前提下, 首先应用低频信号对应好大尺度的古地磁极性时, 然后利用重构的信号在各自极性时内进行精确对比, 此方法可大大提高地层磁性对比的精度, 应用效果良好 (如图 5), 磁性地层柱状图即是在它的帮助下建立。同时高频信号 (D1) 还可以明显的表示出地磁场转换的震荡过程。

### 3.4 磁性地层柱建立的意义及其合理性验证

根据采样剖面磁性柱与标准极性年表 (GPTS) 的对比结果, 我们可以计算出各年代地层不同深度的沉积速率, 并建立沉积速率随地层年代的变化曲线, 以及采样厚度与地层年代的对 (图 6)。从图中我们可以发现, 沉积速率总体呈现由高到低的变化, 其范围在 10~130 mm/Ma 之间, 计算结果与前人工作成果吻合, 符合陆内前陆盆地的典型沉积速率。既验证了磁性地层柱建立的合理性, 也对中新代理藏史及油气生排烃演化史研究提供参考。

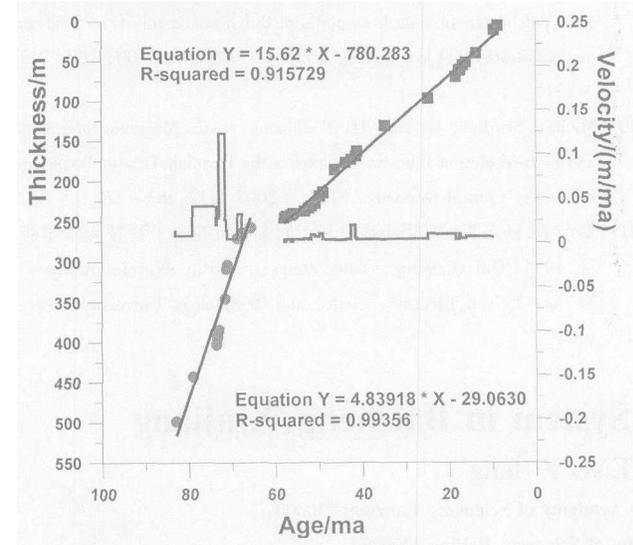


图 6 沉积速率效果图

Fig 6 Sedimentation rate effect

## 4 主要认识

(1) 通过样品原生剩磁主分量分析和相关规范处理提取相应的原生剩磁参数, 参照国际标准磁性地层年表和库车坳陷巴什基奇克组—康村组综合地层划分方案, 并在小波分析手段的帮助下, 合理建立克

拉苏河剖面古近系磁性地层柱。

(2) 结合前人研究成果, 对研究区磁性地层进行详细研究, 确定出吉迪克组 苏维依组 苏维依组 库姆格列木群以及库姆格列木群底界的地质年代分别为 27.7 Ma 38 Ma 60.5 Ma 并且确定出库木格列木群与上白垩统巴什基奇克组从地质历史的 65.2 Ma 开始直到 60.5 Ma 之间地层严重缺失, 其间为不整合接触。

(3) 对研究区特征剩磁 (D, I)、VGP—纬度进行小波分析。采用 Dmey 与 Haar 小波对古地磁信号进行多尺度分解, 大大提高地层磁性对比的精度, 应用效果良好。

(4) 范围在 10~130 mm/Ma 之间的沉积速率, 符合陆内前陆盆地的典型沉积速率, 此数据借助磁性地层柱状图计算得出, 同时也印证了磁性地层柱状图的合理性。

通过此项研究, 我们认为在现有研究基础上深入研究研究区及周边第三系的磁性地层学及岩石磁学研究, 结合理论地层学岩石穿时普遍性原理、生物地层资料进行横向比较, 并在增进对岩石剩磁获得机制理解的基础上进一步研究小波分析在古地磁数据资料信号处理中的应用, 将对塔里木盆地重大科学问题的深入研究和油气勘探开发提供更为丰富翔实的基础资料。

致谢 野外工作得到了李永安、孙东江、郑建京、陈国俊、段宏亮等的大力帮助, 测试分析工作由庄忠海、李永安、孙东江、黄宝春等指导并协助完成, 谨此一并致谢。

## 参考文献 (References)

- 1 贾承造. 塔里木盆地及周边地层. 北京: 科学出版社, 2004 [Jia Chengzao. Stratum of Tarim Basin and Circumference. Beijing: Science Press, 2004]
- 2 新疆维吾尔自治区地质矿产局. 新疆维吾尔自治区区域地质志. 北京: 地质出版社, 1993. 238~253 [Bureau of geology and mineral resources of Xinjiang Uygur Autonomous Region. Regional geology of Xinjiang Uygur Autonomous Region. Beijing: Geological Publishing House, 1993. 238~253]
- 3 李永安, 李强, 刘玉良. 塔里木陆块晚古生代以来古地磁特征研究. 新疆地质, 1989, 7(3): 23~74 [Li Yong'an, Li Qiang, Liu Yuliang. Paleomagnetic study of Tarim Block since late Paleozoic. Xinjiang Geology, 1989, 7(3): 23~74]
- 4 George A D, Marshall S J, Wynoll K H, et al. Miocene cooling in the northern Qilian Shan, northern margin of the Tibetan Plateau, revealed by apatite fission-track and vitrinite-reflection analysis

- Geology 2001, 29: 939~942
- 5 Jolivet M, Brunel M, Seward D *et al* Mesozoic and Cenozoic tectonics of the northern edge of the Tibetan plateau: fission-track constraints. *Tectonophysics* 2001, 343: 111~134
  - 6 Mayer B, Tapponnier R, Bourjot L, *et al* Crustal thickening in Gansu-Qinghai lithospheric mantle subduction and oblique strike-slip controlled growth of the Tibet plateau. *Geology* 1998, 135: 1~47
  - 7 滕志宏, 岳乐平, 何登发, 等. 南疆库车河新生界剖面磁性地层研究. *地层学杂志* 1997, 21(1): 55~62 [Teng Zhihong, Yue Leiping, He Dengfa *et al* Magnetostatigraphic research of Cenozoic section of Kuche River area, South Xinjiang. *Journal of Stratigraphy* 1997, 21(1): 55~62]
  - 8 方大钧, 陈汉林, 王朋岩, 等. 塔里木盆地中生代古地磁研究及构造意义. *地球物理学报*, 1997, 40(1): 47~55 [Fang Dajun, Chen Hanlin, Wang Pengyan *et al* Paleomagnetic study and its tectonic significance for Tarim basin in Mesozoic. *Acta Geophysica Sinica* 1997, 40(1): 47~55]
  - 9 方大钧, 沈忠悦, 谈晓冬. 塔里木地块库车坳陷早白垩世古地磁结果及磁倾角偏低的成因探讨. *地球物理学报*, 2001, 44(1): 72~82 [Fang Dajun, Shen Zhongyue, Tan Xiaodong. Paleomagnetic study on Kuche depress of Tarim block in early Cretaceous and its inclination shallowing. *Acta Geophysica Sinica* 2001, 44(1): 72~82]
  - 10 邓云山, 康健, 孟自芳. 库车坳陷同沉积演化的古地磁研究. *沉积学报*, 1998, 16(4): 109~113 [Deng Yunshan, Kang Jian, Meng Zifang. The synsedimentary fold study of Tertiary system in Kuche depression and geological significance. *Acta Sedimentologica Sinica* 1998, 16(4): 109~113]
  - 11 贾承造. 中国塔里木盆地构造特征与油气. 北京: 石油工业出版社, 1997, 5~20 [Jia Chengzao. The Characters of Structure and Oil in Tarim Basin of China. Beijing: Petroleum Industry Publishing House, 1997, 5~20]
  - 12 史基安, 陈国俊, 王琪, 薛莲花. 塔里木盆地西部层序地层与沉积、成岩演化. 北京: 科学出版社, 2001, 31~36 [Shi Jian, Chen Guojun, Wang Qi, Xue Lianhua. Sequence Stratigraphy, Sedimentary and Diagenetic Evolution in the Western Tarim Basin. Science Press, 2001, 31~36]
  - 13 张一勇, 詹家祯. 新疆塔里木盆地西部晚白垩世至早第三纪孢粉. 北京: 科学出版社, 1991, 7~59 [Zhang Yiyong, Zhan Jiazhen. The Sporopollen of Late Cretaceous and Eocene in the Western Tarim Basin of Xinjiang. Beijing: Science Press, 1991, 7~59]
  - 14 刘椿. 古地磁学导论. 北京: 科学出版社, 1991, 44~78 [Liu Chun. The Conspectus of Geomagnetism. Beijing: Science Press, 1991, 44~78]
  - 15 Hariand W B *et al*. A Geological Time Scale. Cambridge University Press, 1989
  - 16 孟自芳, 李永安, 邓云山. 新疆普鲁火山岩古地磁研究. *科学通报*, 1997, 42(2): 172~179 [Meng Zifang, Li Yong'an, Deng Yunshan. Paleomagnetic study on Pulu lava of Xinjiang. *Chinese Science Bulletin* 1997, 42(2): 172~179]
  - 17 孟自芳, 邓云山, 丁兆海. 塔里木盆地南缘中-新生代火山岩古地磁新结果. *中国科学(D辑)*, 1998, 28(增刊): 79~89 [Meng Zifang, Deng Yunshan, Ding Zhaohai. New paleomagnetic results from Cenozoic volcanic rocks along southern fringe of the Tarim Basin. *China Science in China (Series D)*, 1998, 41(Suppl): 79~89]
  - 18 Schärer K M, Burbank D W, Chen J, Weldon R J *et al*. Detachment folding in the Southwestem Tian Shan-Tarim foreland: China shortening estimates and rates. *Journal of Structural Geology* 2004, 26: 2119~2137
  - 19 Giovanni Muttoni, Maurizio Gaetani, Kiril Budurov *et al*. Middle Tertiary paleomagnetic data from northern Bulgaria: constraints on Tethyan magnetostatigraphy and paleogeography. *Paleo*, 2000, 16(4): 223~237
  - 20 Michael Szulc, Gerhard H. Bachmann *et al*. Magnetostatigraphy and high-resolution lithostratigraphy of the Permian-Triassic boundary interval in Central Germany. *EPSL*, 2003, 212: 263~278
  - 21 秦前清, 杨宗凯. 实用小波分析. 西安: 西安电子科技大学出版社, 1994 [Qin Qianqing, Yang Zongkai. Utility Wavelet Analysis. Xi'an: Xi'an Electron Science and Technology University Press, 1994]

## Magnetostratigraphy of Tertiary System in Baicheng Xinjiang

ZHENG Min<sup>1,2</sup> MENG Zifang<sup>1</sup>

(1 Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730009)

(2 Graduated School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039)

**Abstract** Magnetostratigraphic data are presented from the Kelasu River section of Baicheng County in the northern part of Tarim Basin. A dual polarity component of magnetization carried by magnetic delineates a magnetic stratigraphy of the mainly-reversed polarity. Magnetozones are dated by means of sporopollen biostratigraphy and integrated stratigraphy. According to the analysis of 387 samples, wavelet analysis is adopted to build the magnetostratigraphy in combination with the magnetic polarity time scale (MPTS). There are two primary series of strata in this section and they are Kumugeliu and Suweiji. It is estimated that the times of their intervals are 27.7Ma-38Ma and 60.5Ma with the comparison to the magnetostratigraphy already established. The sedimentation rate is 10-130mm/a.

**Key words** Baicheng Paleogene System, magnetostratigraphy, wavelet transform