

青藏高原东北边缘晚新生代哺乳动物化石的 磁性地层学

方小敏^{①②} 宋春晖^{①②} 高军平^① 聂军胜^① 颜茂都^① 徐先海^① 孙 东^①

(^①兰州大学西部环境教育部重点实验室和资源环境学院, 兰州 730000; ^②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: fangxm@lzu.edu.cn)

摘要 青藏高原东北边缘的贵德盆地发育巨厚的新生代地层, 其中含较丰富的哺乳动物化石, 在青藏高原北部很具有代表性. 较精确地确定其地层年代对我国北方尤其西部哺乳动物演化进程和生态环境变化的研究, 以及对高原隆升过程的研究具有重要的科学意义. 古地磁测年表明含化石层位的贺尔加剖面年龄约为 6.5~3.1 MaBP, 第一、二和三化石层的年代分别约为 5.25, 5.1 和 4.4 MaBP. 较精确地测定了贵德羚羊和中国互棱齿象的生存时代, 它们分别出现于距今 5.25 和 4.4 Ma. 它们的演化与岩性和沉积速率变化共同指示青藏高原东北部此时处于强烈隆升的开始阶段, 高原东部及其邻近山地的高度可能还不足以明显阻碍高原南北动物的交往.

关键词 青藏高原 贵德盆地 晚新生代地层 哺乳动物化石 古地磁

随着全球气候变化、亚洲季风和青藏高原隆起过程及其环境效应研究工作的深入开展, 中国北方和西北新生代地层的年代学工作取得了巨大的进展^[1~4], 其中一个很重要的推动因素就是环境变化和过程研究所要求的对地层的高分辨率精确定年. 然而, 针对新生代古生物化石层位开展的绝对年代学工作却很少, 这与 20 世纪 80 年代以来中国新生代古生物化石研究所取得的进展^[5~11]形成鲜明对照, 同时也阻碍了后者的进一步发展. 因此, 借助高原隆升和环境变化研究的经验, 测定包含中国北方和西部新生代重要古生物化石层位的地层的绝对年代, 准确测定每个重要古生物化石层位, 尤其每个重要属种的发生和消失的绝对年代, 从而建立起完整的基于自身绝对测年的中国北方新生代哺乳动物化石演化年代表, 对进一步推动中国新生代古生物地层、生物演化和生态环境变化研究具有重要的意义.

结合高原隆升过程的研究, 我们首先选择青海贵德盆地晚新生代地层进行古地磁年代测定, 因为这套地层中发现了较多的哺乳动物化石, 其中发现有层位准确的中国互棱齿象(*Anancus sinensis*)和楔形互棱齿象(*Anancus cuneatus*)化石^[6], 它们是新生代地层中的具有断代意义的分子, 在整个欧亚大陆和高原南北都有发现. 但在中国一直没有较精确的年代, 郑绍华等人^[6]依据这些哺乳动物化石仅发现位于保德期红土和第四纪黄土地层中的事实, 以及贵德盆

地发现的互棱齿象应可与榆社盆地产自“榆社Ⅱ带”的相似种相对比, 推断其时代应为上新世, 而现在认为与其应为同属的 *Pentalophodon simplex* 和 *P. pingliangensis* 则被认为是上新世末或更新世初的产物^[7~9]. 因此, 准确断定这两个属种的年代, 无论对贵德盆地和高原东北相似盆地中地层年代的确定和高原南北动物演化与高原隆升过程研究, 还是对其本身在新生代地层中的断代作用认识都有十分明确的科学意义.

1 地层及古生物化石层位

贵德盆地位于青海东北部、黄河上游松巴峡以西和龙羊峡以东, 北以青海南山和拉脊山西端为界, 南依巴吉山, 西靠瓦里贡山, 东至札马杂日山, 盆地平均海拔约 3100 m, 黄河从盆地面上下切了 900 m, 形成多级阶地, 目前贵德县城就位于第 1 级阶地上, 海拔约 2230 m (图 1). 贵德盆地属祁连-贺兰地层区, 松潘地层分区和札马山小区^[10], 区内出露元古代、三叠纪、第三纪与第四纪地层, 其中第三系广泛分布, 厚度大, 与下伏元古界、三叠系均呈不整合接触, 与上覆第四系平行不整合或整合接触. 新生代地层非常发育. 1885 年洛采(L. V. Loczy)将盆地内的一套红色山麓-河湖相沉积命名为“贵德系”或“贵德建造”, 并依其中发现的 *Myospalax arvicolinus* 定其时代为上新世. 近来一些单位和研究者对盆地地层先后提出

不同的划分意见^[6,12~14],并将贺尔加一带含典型三趾马动物群化石的河湖相沉积划归为下东山组,而其上一套较粗粒物质的河湖相沉积划为上滩组^[12~14].在贵德和化隆盆地下东山组中发现大量的哺乳动物化石,计有 10 个属种,整体面貌比较单调,但均为我国北方保德期典型三趾马动物群中的常见分子,如 *Sinocastor* sp., *Gomphotherium* sp., *Hipparion platyodus*, *Chilotherium* sp., *Axis* sp., *Palaeotragus* cf. *decipiens* 和 *Gazella gaudryi* 等,时代为晚中新世^[13].贺尔加上滩组发掘出一批哺乳动物化石,计有 8 属种,

主要有 *Anancus sinensis*, *A. cuneatus*, *Happarion* cf. *tchicoicum*, *Axis shansiulis*, *Chilotherium* sp., *Gazella kueitensis*, *Mymomys* sp., *Felis* sp., *Ochotona* sp. 和 *Leporidae* indet. 等^[6,13],其中 *Anancus sinensis* 和 *A. cuneatus* 从未见于保德期“三趾马红土”中^[6],而谷祖纲等人^[13]认为他们发现的 *Happarion* cf. *tchicoicum* 是一类保留原始特征、又高度特化的三趾马,国内外仅见于相当于 Ruscinian 期或高庄期地层中,它们共同指示上滩组的时代为上新世^[6,13].上述研究为我们展开详细的磁性地层研究打下了良好的基础.

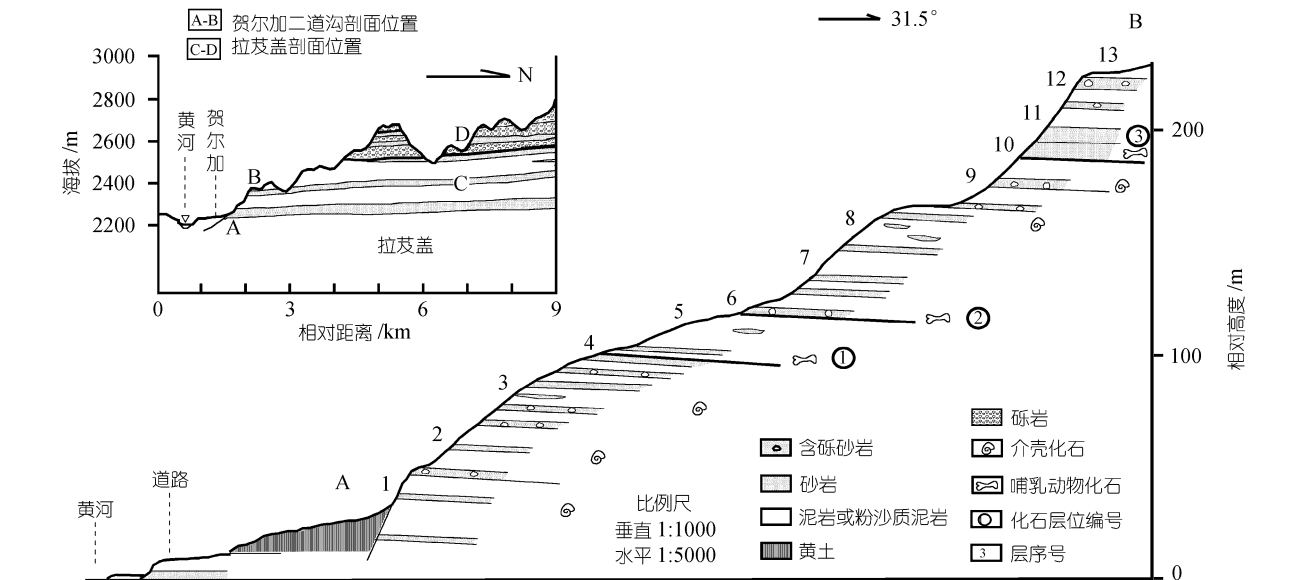


图 1 贵德贺尔加二道沟-拉茭盖剖面位置(上)及二道沟实测剖面图(下)

根据我们对盆地地层的调查^[14],初步确定盆地新生代地层在岩性上明显由三大部分组成,即由特征的紫红-桔红色砂砾岩、砂岩和粉砂质泥岩组成的老第三系,它主要出露于盆地边缘如阿什贡一带;中部主要为杂色(暗红、灰、灰绿、褐色)泥岩和粉砂岩夹砂岩和蓝灰色泥灰岩;上部主要为大套灰色砾岩组成.在农春河一带盆地中部和上部地层发育较齐全(图 1).在农春河河口贺尔加二道沟-拉茭盖剖面出露的杂色泥岩和粉砂岩就是早先开挖化石的地层,它相当于中部地层的顶部,并且向北(沟头或盆地边缘)方向产生明显横向相变.在甘家北部相变为灰色、土黄色砾岩、砂岩与浅褐红色粉砂岩,其上即为遍布盆地的大套灰色砾岩,在多雷仓至甘家一带出露完整,代表青藏高原急剧隆升的产物(图 1).因此,含化石

的贺尔加二道沟-拉茭盖剖面年代的准确厘定,无论是对盆地及周缘地区地层划分、高原隆升,还是对古生物演化研究和定年,都是至关重要的.

本次磁性地层由代表地层下、上部的二道沟剖面 and 拉茭盖剖面组成,总厚 384 m,剖面移动沿一厚层砂岩标志层进行(图 1, 2).贺尔加二道沟剖面实测厚度为 227 m (图 2),含三层早先开挖的化石层,依岩性、沉积构造和化石特征,地层划分为 14 个岩性组合层(细分为 55 层).从上而下,地层和化石以及与郑绍华等^[6]划分层位对比简述如下:

- 14. 暗红色泥岩夹灰绿色泥岩,厚 12 m
- 12~13. 灰绿或草绿色细砂岩与暗红色粉砂质泥岩,夹含细砾砂岩(进一步分为 3 层,相当于文献[6]31~33 层),厚 16 m
- 11. 灰绿色泥岩夹灰绿或杏黄色砂岩(进一步分为 3

个层, 相当于文献[6]30 层), 厚 8.5 m

10. 杏黄与灰绿色细砂岩互层, 含第三层哺乳动物化石, 成分为 *Anancus sinensis*, *Axis shansiulis* 和 *Gazella kuetensis* (相当于文献[6]29 层), 厚 14.5 m

8~9. 上部灰绿夹蓝灰、暗红色泥岩夹杏黄和灰绿色细砂岩, 含螺、蚌化石和哺乳动物化石碎片(进一步分为 10 层, 相当于文献[6]23~28 层), 厚 30.5 m

7. 暗红和灰绿色泥岩夹厚层灰绿或杏黄色含细砾砂岩和砂岩(进一步分为 5 层, 相当于文献[6]18~22 层), 厚 35 m

6. 杏黄和灰色细砾质砂岩, 顶部为泥质砂岩, 含第 2 层哺乳动物化石, 成分为 *Mymomys* sp., *Ochotona* sp. 和 *Gazella kuetensis* (相当于文献[6]17 层), 厚 5.5 m

5. 灰绿与暗红色泥岩、粉砂质泥岩夹灰色砂岩(进一步划分为 6 层, 相当于文献[6]11~16 层), 厚 15 m

4. 灰色泥岩, 含第 1 层哺乳动物化石, 成分为 *Hipparion* sp., *Chilotherium* sp., *Gazella kuetensis* 和 *Axis shansius* (相当于文献[6]10 层), 厚 3.5 m

2~3. 灰绿与暗红色泥岩互层, 夹灰色含细砾砂岩和细砂岩, 含螺蚌化(进一步分出 16 层, 相当于文献[6]1~9 层), 厚 56 m

1. 灰绿、暗红色泥岩与灰色含细砾砂岩互层, 含螺、蚌化石(进一步可划分为 9 个层), 厚 20m

拉茂盖剖面实测厚度为 180 m(图 1), 由下而上划分为 9 层(11~19 层):

11~14. 同上剖面, 厚 45 m

15. 土黄、浅红色泥岩、粉砂岩和砂岩互层, 偶夹薄层砂质细砾岩, 含哺乳动物化石 *Hipparion* cf. *tchicoicum*, *Hipparion* sp., 厚 55 m

16. 土黄、浅红色粉砂岩与砂质细砾岩互层, 厚 16 m

17. 灰色厚层砂质细砾岩夹土黄色砂岩, 厚 14 m

18. 土黄色砂岩、粉砂岩与灰色细砾岩互层, 厚 25 m

19. 灰色厚层砾岩夹土黄色砂岩, 厚 25 m

2 磁性地层与哺乳动物化石年代测定

选取原先开挖化石的贺尔加寺庙二道沟剖面进行 2 m 间隔等距离采样, 拉茂盖剖面 2~3 m 间隔采样, 获得定向样品 183 组共 560 多个. 二道沟剖面第一、二套样品和拉茂盖剖面第一套样品共 360 多个在兰州大学西部环境教育部重点实验室古地磁与岩石磁学实验室用美国 ASC 公司 TD-48 大容量热退磁仪进行热退磁处理, 样品剩磁强度在捷克 AGICO 公司 JR-5A 高精度旋转磁力仪上进行测定. 热退磁仪样品出口和旋转磁力仪样品测定部位均置于大型霍尔姆兹地磁屏蔽架中央(20 cm 半径区域内抵消磁场小于

20 伽玛), 以最大限度消除地磁场的影响. 退磁过程为选择不同岩性和层位的样品在 25~685℃范围内进行 18 步系统热退磁, 大多数样品均表现出基本一致的变化趋势, 即在约 200℃剩磁矢量强度和角度发生了较大的转折, 代表了黏滞剩磁的去除. 350~400℃之后, 有些甚至达 500℃之后, 剩磁方向随温度升高才表现出稳定的原点走向, 强度在 580℃起先明显减小, 然后逐步缓慢减小, 直到约 600℃之后剩磁开始显著降低, 在 685℃降低为零, 而剩磁方向稳定指向原点, 表明这一剩磁成分为原生剩磁, 其携带矿物可能主要为赤铁矿和磁铁矿. 因此, 其余样品根据系统退磁确定的特征剩磁的退磁温度进行 2~3 步退磁分析. 二道沟剖面第 3 套样品和拉茂盖剖面第 2 套样品共 200 多个在美国密歇根大学古地磁实验室地磁屏蔽室中 4 步(550, 580, 600 和 650℃)热退磁处理后, 于 2G 超导磁力仪上测定. 3 套样品经费歇尔平均后得出特征剩磁方向, 然后依特征剩磁方向的磁偏角和磁倾角计算虚地磁极(VGP)的纬度, 表达最后地层记录的磁性.

图 2 为测定的地层古地磁方向和极性随高度的变化. 它表明古地磁学测量在二道沟剖面中共检出 6 个清晰的正磁极(N1~N6)和 6 个反磁极(R1~R6), 在拉茂盖剖面中共检出 3 个清晰的正磁极(N1~N3)和两个反磁极(R1~R2)(图 2). 如以化石给出的地层宏观年龄上新世为基础, 我们发现二道沟剖面揭示出的地磁极性变化可与标准极性年表^[15]中的吉尔伯特反极性世和极性世 3An 进行非常好的对比, 即正磁极 N1~N4 分别对比于吉尔伯特反极性世中的 4 个正磁极性事件——努尼瓦克、科奇蒂、西杜夫和斯维拉事件, 反磁极 R1~R5 对比于吉尔伯特反极性世中的反极性部分, 余下的两个正磁极 N5 和 N6 及其间的反磁极 R6 则应是极性世 3An 中的两个正磁极 3An.1n 和 3An.2n 及其间反极性 3An.1r 的记录(图 2). 拉茂盖剖面底部出现的正磁极 N3 因其与二道沟剖面正磁极 N1 同属砂岩标志层, 也应视为努尼瓦克事件的记录, R2 则是吉尔伯特反极性世的最上部(图 2). 这样, 以正磁极为主的剖面中上部应是高斯正向世的记录, 其中的短暂反磁极 R1 可对比于高斯世中的马莫斯事件, 对比所获得的剖面磁极性厚度-年代基本呈线性变化, 沉积速率在约 6.2, 5.2 和 3.6 Ma 以来有明显增加(图 3), 与这些时期剖面发育较粗粒的砂岩及剖面上部出现砾岩的事实一致, 古地磁的解释是合理的.

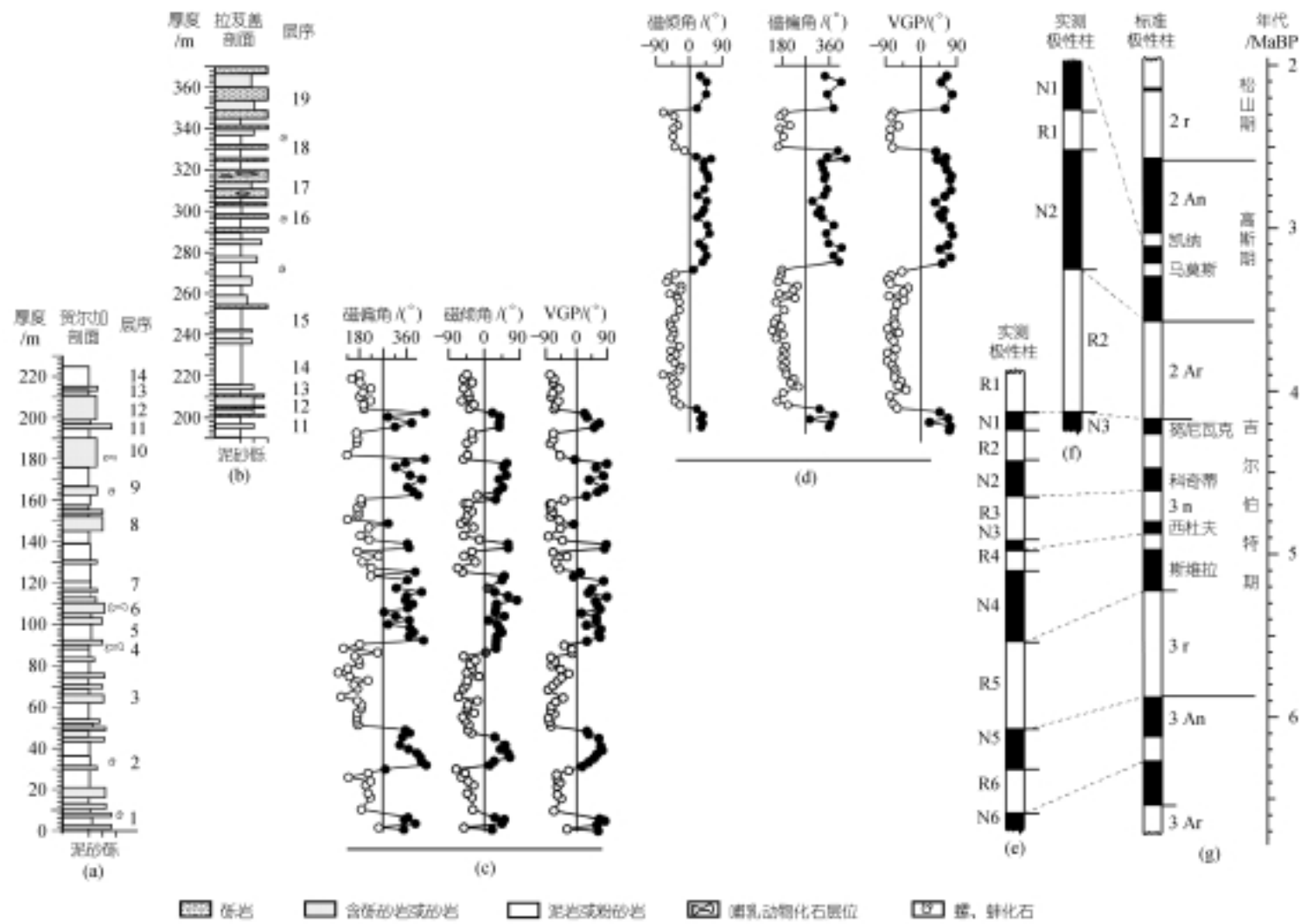


图 2 贺尔加二道沟-拉茂盖剖面磁极性变化及其与标准磁极性柱的对比
(a), (c), (e): 二道沟剖面、VGP 纬度和磁极性; (b), (d), (f): 拉茂盖剖面、VGP 纬度和磁极性

这样, 依据磁极性年龄及其所决定的沉积速率, 推算测量剖面的年龄约为 6.5~3.1 MaBP, 第一、二和三化石层的年代分别约为 5.25, 5.1 和 4.4 MaBP.

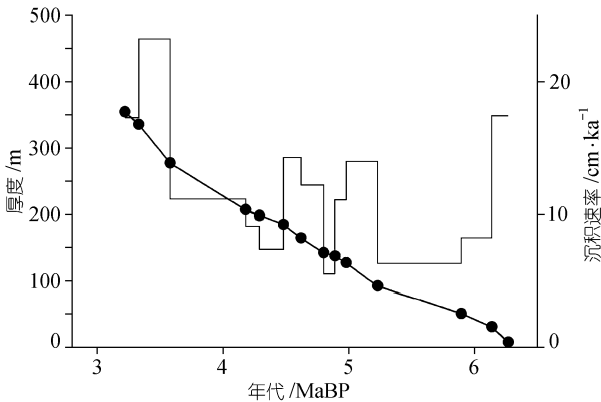


图 3 贺尔加二道沟-拉茂盖剖面磁极性年龄-厚度关系及磁极性点所决定的沉积速率变化

3 讨论与结论

Bohlin 1938 年研究了贵德盆地的羚羊化石并命名了贵德羚羊(*Gazella kuetensis*), 由于层位不详, 后人推测其时代可能属于维拉弗朗期. 郑绍华等人^[6]在贵德贺尔加地层第一、二和三化石层中都发掘出了 *Gazella kuetensis*, 使得贵德羚羊有了准确的层位和大致的年代, 后来在其他地区的新世地层中也陆续有所发现, 现在我们的古地磁测年表明其生活的年代约为 5.3~4.4 Ma, 即上新世初期, 使其在地层定年中有了明确的意义. 第三化石层因含有中国北方普遍发现的中国互棱齿象, 使其在北方地层对比中有较大的意义, 但其较精确的年代一直没有确定. 我们古地磁测年表明其年代约为 4.4 Ma, 属早上新世晚期. 由于在高原南面的南亚西瓦里克地层中也发现相似的 *Anancus* 的存在, 我们推测高原东部及其邻近山地至迟在约 4.4 Ma BP 还没有隆升到足以阻隔这些动物交往的高度, 这与贵德盆地地层沉积速率和岩性的变化所反映的高原高度变化是十分相似的. 贵德盆地最上部为一套巨厚的巨砾岩(图 2), 代表高原的急剧隆升. 贺尔加剖面从地层上正好位于这套巨砾岩之下, 向山前相变为砂、砾岩互层, 其下无论在盆地中央还是山前均为灰绿色的代表低地环境的细粒湖相沉积, 因此, 贺尔加剖面地层正好代表高原从低地环境向高原开始大规模隆升的过渡时期. 贺尔加剖面沉积速率变化也清晰地表明, 从约 5.2

MaBP 开始, 沉积速率整体开始加快, 而从 3.6 MaBP 开始, 沉积速率急剧增加 1 倍以上(图 3). 因此, 无论是剖面中动物演化还是地层沉积环境与沉积速率的变化, 都一致反映高原东北部在早上新世的高度可能不会太高. 这一结论与我们在临近的临夏盆地地貌地层演化所得出的高原东北部从约 3.6 MaBP 才开始强烈隆起的结论^[16]基本一致.

致谢 写作过程中, 郑绍华、邱占祥和谷祖纲教授给予有意义的讨论, 李吉均院士和安芷生院士审阅了全文. 参加野外工作的还有苗运法、白晋峰、杨胜利等, 作者表示感谢. 本工作受国家自然科学基金(批准号: 49871010)、教育部科学技术重大研究项目、中国科学院“百人计划”(人教字[2000]005)和国家重点基础研究发展规划项目(G1998040809)资助.

参 考 文 献

- 1 刘东生. 黄土与环境. 北京: 科学出版社, 1985. 245~247
- 2 岳乐平, 张云翔. 山西合汾马与古地磁. 古脊椎动物学报, 1998, 36(1): 76~80
- 3 孙东怀, 刘东生, 陈明扬, 等. 中国黄土高原红粘土序列的磁性、地层与气候变化. 中国科学, D 辑, 1997, 27(3): 256~270
- 4 方小敏, 李吉均, 朱俊杰, 等. 甘肃临夏盆地新生代地层绝对年代测定与划分. 科学通报, 1997, 42(14): 1457~1471
- 5 邱占祥, 黄为龙, 郭志慧. 中国的三趾马化石. 中国古生物志(175), 新丙种第 25 号. 北京: 地质出版社, 1987. 225
- 6 郑绍华, 吴文裕, 李毅, 等. 青海贵德、共和两盆地晚新生代哺乳动物. 古脊椎动物学报, 1985, 23(2): 89~134
- 7 薛祥熙. 短象类化石在陕西的新发现. 古脊椎动物与古人类, 1962, 6(2): 173~181
- 8 薛祥熙, 岳东平, 张云翔. 山阳盆地红色地层的磁性、生物和岩石地层界限的对比. 中国科学, B 辑, 1994, 24(4): 413~417
- 9 宗冠福. 五棱齿象一新种. 古脊椎动物与古人类学报, 1979, 17(1): 81~84
- 10 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
- 11 Tedford R H, Flynn L J, 邱占祥. 晚新生代盆地古地磁哺乳动物生物地层标准. 古脊椎动物学报, 1991, 11(4): 519~526
- 12 青海省地质矿产局. 青海省区域地质志. 北京: 地质出版社, 1985
- 13 谷祖纲, 白生海, 张显庭, 等. 青海省贵德、化隆两盆地新第三系的划分与对比. 地质学杂志, 1992, 16(2): 96~104
- 14 宋春晖, 方小敏, 高军平, 等. 青藏高原东北部贵德盆地新生代沉积演化与构造隆升. 沉积学报, 2001, 19(4): 493~500
- 15 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
- 16 李吉均, 方小敏. 青藏高原隆升与环境变化研究. 科学通报, 1998, 43(15): 1569~1574

(2002-04-02 收稿, 2002-06-25 收修改稿)