

兰州盆地第三系磁性地层年代与古环境记录

岳乐平^① F. Heller^② 邱占祥^③ 张莉^① 颀光普^④ 邱铸鼎^③ 张云翔^①

①西北大学地质系, 西安 710069; ②Institute of Geophysics, ETH-Honggerberg, CH-8093 Zurich, Switzerland; ③中国科学院古脊椎动物与古人类研究所, 北京 100044; ④兰州自然博物馆, 兰州 730050. Email: yleping@yeah.net

摘要 对兰州盆地永登剖面第三系沉积物进行了磁性地层学研究, 建立了古新世~中新世磁性地层序列, 并对比 BKS95 古地磁年表为相应地层及所含哺乳动物群建立了时间标尺, 讨论了盆地古环境记录及与青藏高原隆升关系. 结果表明: 西柳沟组顶界年龄约 51 Ma, 时代为始新世. 野狐城组顶界年龄大约为 31.5 Ma, 底界年龄为 51 Ma, 时代为早始新世晚期~早渐新世早期. 咸水河组顶界年龄大约为 15 Ma, 底界年龄约为 31.5 Ma, 时代为早渐新世~中中新世. 咸水河组下段地层年龄为 31.5~20.0 Ma, 时代为早渐新世及早中新世早期. 咸水河组中段地层年龄约 20.0~16.5 Ma, 时代为早中新世中期.

关键词 古地磁年代学 兰州盆地 第三系 青藏高原 古环境

兰州盆地位于青藏高原的东北隅, 盆地内较完整地沉积了白垩纪晚期及第三纪以来不同时期的沉积物, 保存了丰富的哺乳动物化石, 记录了青藏高原上升过程的各种信息, 对研究青藏高原以及中国北方大陆地理形态, 气候环境变迁均有重要意义.

20 世纪 30 年代, 杨锺健、卞美年在兰州盆地发现了一批哺乳动物化石, 并建立了长川子系、咸水河系、观音寺系和五泉山系等一系列岩石地层单元. 20 世纪 80 年代以来, 邱占祥等人^[1-3]在兰州盆地又发现了丰富的哺乳动物化石, 并命名为南坡坪动物群、峡沟动物群、张家坪动物群和对亭沟动物群. 化石的发现对研究哺乳动物本身的演化历史, 古动物地理的恢复, 特别是对于渐新世和中新世界线的划分具有重要意义. 我们开展了兰州盆地第三系地层古地磁年代学研究, 建立了兰州盆地第三系地层古地磁年代学序列. 本文将为上述研究提供准确的时间标尺, 为恢复青藏高原隆起的历史提供年龄数据.

1 地质背景

兰州盆地内白垩系河口群以上的第三系地层(包括细柳沟组、野狐城组和咸水河组)主要分布于黄河以北. 西侧至野狐城, 与河口群呈不整合接触, 东侧由于多被第四系覆盖, 地层出露仅延伸至朱家井-高山村一线. 北缘可至下街一线, 再向北为黄土覆盖. 南至黄河北岸(图 1).

1997 年邱占祥等人^[2]在研究咸水河组时, 对这套地层作了详细的描述与划分, 本次工作选择、测量地层剖面, 采集样品以及作磁性地

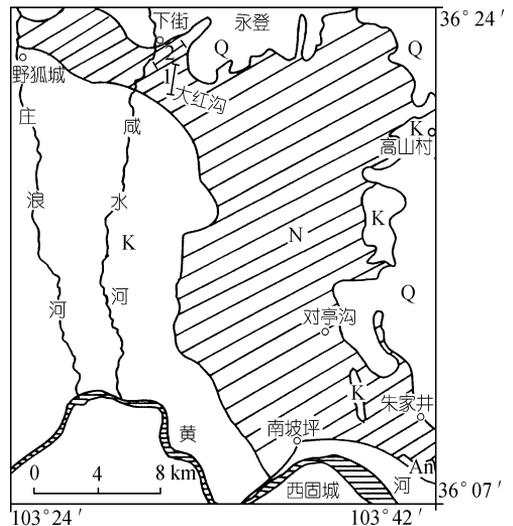


图 1 兰州盆地第三系分布范围及采样位置
据 1965 年 1: 200 000 兰州幅地质图改绘. An: 前寒武;
K: 白垩系; N: 第三系; Q: 第四系; 1. 大红沟剖面;
2. 咸水河剖面

层划分对比均依据该地层划分方案. 采集古地磁样品的剖面选择在永登县下街乡大红沟与咸水河沿岸. 两个剖面简述如下:

大红沟剖面, 厚 1 107 m:

4. 咸水河组中段: 红色黏土夹白色厚层砂岩, 为该组中段的下半部分. 含张家坪动物群.
3. 咸水河组下段: 红色黏土夹黄色厚层砂岩. 含南坡坪动物群与峡沟动物群.
2. 野狐城组: 含石膏夹层的紫红色黏土及砂岩.
1. 西柳沟组: 砖红色块状砂岩.

下街咸水河剖面, 厚 289 m:

2. 咸水河组上段: 黄色砂砾岩与浅棕色黏土互层. 含泉头沟动物群.
1. 咸水河组中段: 红色黏土夹白色厚层砂岩, 为该组中段的上半部分. 含对亭沟动物群.

大红沟剖面与咸水河剖面地层连续, 构造简单, 为向北倾斜的单斜地层, 地层产状稳定, 以细颗粒岩性为主(西柳沟组除外), 适宜作磁性地层学研究. 两个剖面相距 2 km, 厚层白砂岩可作为剖面对比的标志层.

2 测试与结果

大红沟剖面厚 1 107 m, 采集古地磁标本 481 块; 咸水河剖面厚 289 m, 采集古地磁标本 145 块. 古地磁样品定向使用任意面产状要素法定向、采集. 采集古地磁样品的两个剖面之间有 66 m 厚地层重复, 13 块古地磁标本重复. 衔接后的永登第三系剖面厚 1 330 m.

全部古地磁样品在瑞士苏黎世理工大学地球物理学院古地磁实验室完成测量. 剩磁测量使用美国 2G 公司生产的超导磁力仪, 整个实验是在零磁空间中完成. 全部样品采用热退磁处理. 热退磁仪器使用美国 TSD-1 型热退磁仪. 大多数样品的退磁温度为 100, 200, 300, 400, 500, 550, 600, 620, 640, 650, 660 和 680℃.

图 2(a)是一块在正常地磁场下获得原生剩磁的正向极性样品的测量结果. 100℃以下被清除的第 1 个剩磁分量是在现代地磁场下获得的次生黏滞剩磁分量. 第 2 个分量在 100~600℃之间保持稳定, 该分量矢量合成后的方向趋向原点, 可以被认为是在正常地磁场下获得的稳定原生剩磁. 图 2(b)是一块在倒转地磁场下获得的原生剩磁的反向极性样品的测量结果. 第 1 个分量大约在 200~300℃被清除, 为不稳定的黏滞剩磁. 退磁温度达到 300℃后, 样品极性方向发生倒转. 将 400~600℃之间保持稳定的第 2 个分量作矢量合成, 矢量方向趋向原点, $DEC = 202^\circ$, $INC = -41.5^\circ$, 显示出在倒转地磁场下获得的反向极性原生剩磁. 对每块样品逐一进行了剩磁矢量分析, 判断原生剩磁组合, 绝大多数样品的稳定原生剩磁组分被分离出来, 退磁效果良好, 保证了古地磁测量结果的可靠性.

兰州盆地永登剖面第三系地层包括西柳沟组 0~152 m, 野狐城组 152~592 m, 咸水河组下、中段 592~1 330 m.

西柳沟组下部地层出露不好, 因此没有取样, 仅在上部 152 m 采集了古地磁样品. 测量结果表明这段地层记录了 3 个正极性带, 与 Berggren 等人^[4]1995 年的极性年表(简称 BKSA95 年表)^[4]对比, 对应于 C25n, C24n 与 C23n. 西柳沟组顶界年龄大约为 51 Ma, 西柳沟组采样剖面的底界年龄大约为 58 Ma(图 3).

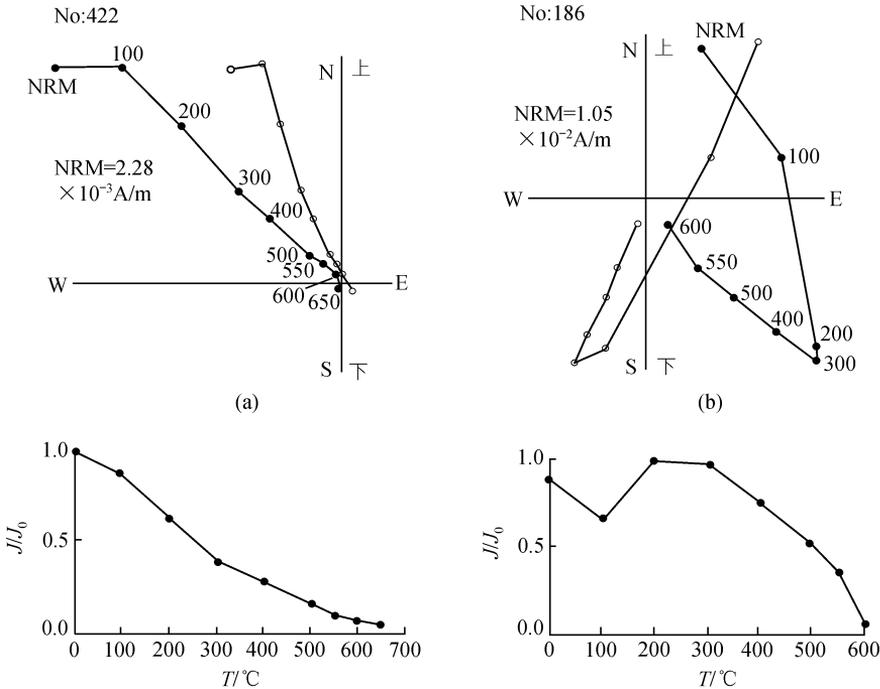


图2 兰州盆地永登剖面古地磁样品热退磁图

上图为 Zijderveld 投影, 空心圈为水平分量投影, 实心点为垂直分量投影; 下图为磁化强度变化图

野狐城组记录了 9 个正极性带与 9 个负极性带。9 个正极性带对应于 C13n, C15n, C16n, C17n, C18n, C19n, C20n, C21n 及 C22n(还包括 C23n 上部), 其间有 3 段经历时间较长的负极性带分别对应于 C12r, C13r 及 C20r。这 3 个负极性带的极性非常稳定, 并且可与 BKSA95 年表很好的对比。野狐城组的顶界年龄大约为 31.5 Ma, 底界年龄为 51 Ma(图 3)。

咸水河组记录了 19 个正极性带与 20 个负极性带。19 个正极性带分别对应于 C12n, C11n, C10n, C9n, C8n, C7n, C6Cn(C6Cn1n, C6Cn2n), C6Bn(C6Bn1n, C6Bn2n), C6An(C6An1n, C6An2n), C6n, C5En, C5Dn, C5Cn(C5Cn1n, C5Cn2n, C5Cn3n), C5Bn。其中咸水河组下段对应于 C12r 上部, C12n, C11n, C10n, C9n, C8n, C7n, C6n, C6Bn, C6An 以及 C6r 的下部。咸水河组中段的下部对应于 C6n, C5En, C5Dn, C5Cn (C5Cn1n, C5Cn2n, C5Cn3n), C5Bn。咸水河组底界年龄大约为 31.5 Ma, 测量剖面的咸水河组顶界年龄大约为 15 Ma(图 3)。

3 磁性地层年代及岩石地层与生物地层对比

兰州盆地永登剖面的西柳沟组砖红色粗砂岩(0~152 m)的年龄约为 58~51 Ma, 时代为晚古新世与早始新世早期。由于该剖面最底部的砖红色砂岩并未取样作古地磁测量, 因此估计西柳沟组的年龄可能更老一些。

野狐城组是一套含石膏夹层的砂泥岩互层(152~592 m), 古地磁年龄约为 51~31.5 Ma, 时代为早始新世晚期至早渐新世早期。

咸水河组下段是一套红色黏土夹黄色砂岩的河湖相地层, 以厚层块状白砂岩底部为其顶界(973 m), 以薄层状黄色砂岩为其底界(592 m), 其间含南坡坪动物群与峡沟动物群, 地层年

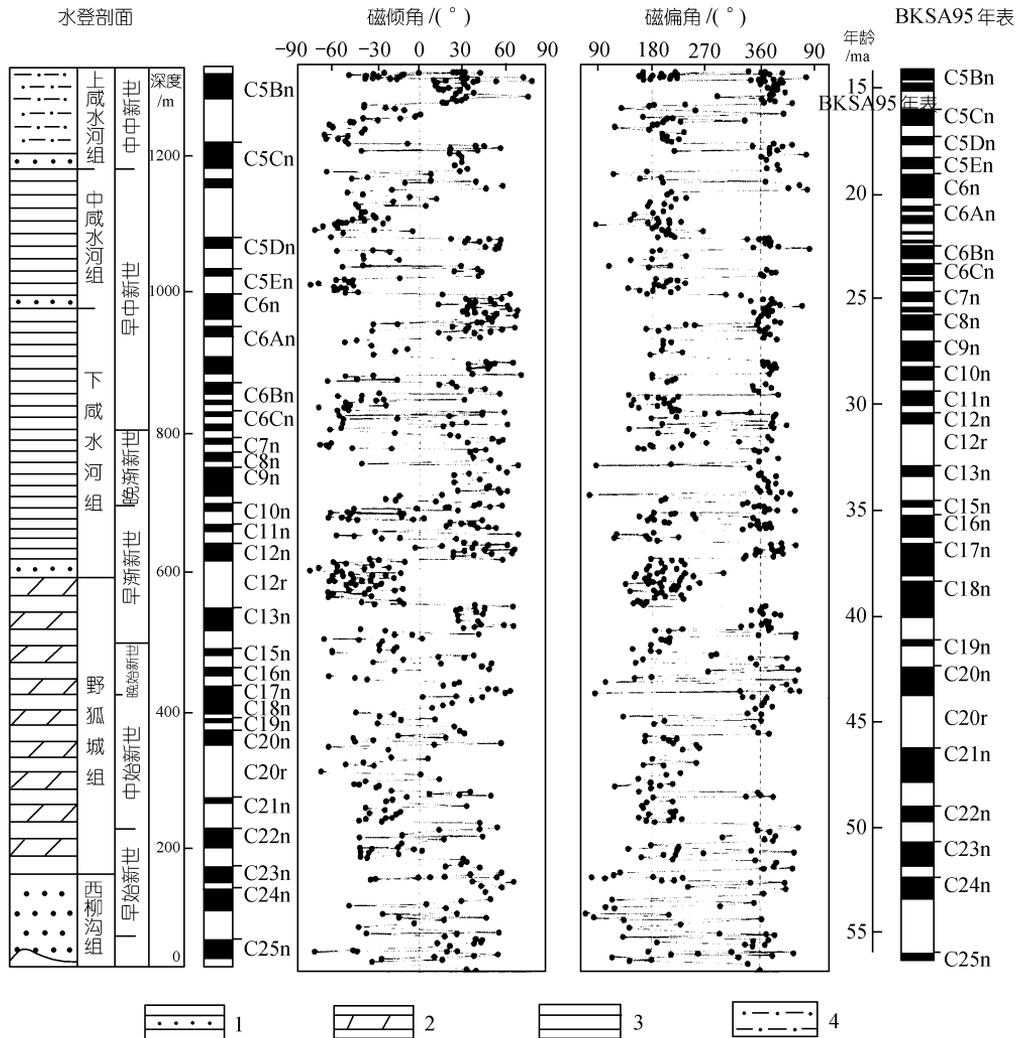


图 3 兰州盆地永登剖面磁性地层划分及与 BKS95 年表对比

1. 砂岩, 2. 含石膏夹层黏土, 3. 黏土, 4. 砂砾岩与黏土互层

龄为 31.5~20.0 Ma, 时代为渐新世及早中新世早期.

咸水河组中段是一套红色黏土夹白色砂岩. 以底部第 1 层白砂岩为其底界(973 m), 以第 1 层棕黄色含砾砂岩(磨圆较好的砂砾石层)为其顶界(1 177 m), 年龄为 16.5 Ma. 咸水河组中段含张家坪动物群与对亭沟动物群, 地层年龄为 20.0~16.5 Ma, 时代为早中新世中期. 张家坪动物群化石的产出层位的年龄大约为 20.4 Ma, 距渐新世/中新世界线(23.80 Ma)大约有 3.80 Ma 时间间隔.

咸水河组上段是一套棕红色含砾砂岩, 磨圆较好的灰黄色砾石层与黏土互层. 剖面深度为 1 177~1 330 m, 其年龄为 16.5~15 Ma, 时代为中中新世早期.

4 兰州盆地古环境记录及其与青藏高原隆升关系

40 Ma 前后印度板块与亚洲板块间的特提斯洋被最终封闭, 青藏地区南部冈底斯带首先受到印度板块下插、挤压而隆起, 导致冈底斯山脉及相关盆地的形成, 其为喜马拉雅第 1 期

运动^[5]。兰州盆地位于青藏高原东北隅,正如西瓦利克岩层对于喜马拉雅山脉一样,兰州盆地的沉积也应该在一定程度上反映青藏高原上升的时间、期次和幅度,盆内沉积物记录了青藏高原隆升过程的丰富信息。野狐城组(52~32 Ma)是一套岩性稳定的含大量石膏夹层的红色砂岩或砂质黏土。大量石膏层的出现代表了干燥气候条件下的盐湖沉积,经历大约 20 Ma 的区域广泛的水体沉积,反映了长期稳定的构造环境。大约在 32 Ma 前,盆地基底开始隆升,水体萎缩、干涸。在野狐城组之上发育山前洪积与辫状河流相沉积的咸水河组,其下段底部的厚层黄色砂岩中含大量不稳定矿物及植物碎片,具有较为典型的近源低山物源沉积特征。这一时期气候环境发生巨大变化(经历数千万年的盐湖沉积结束),构造环境也发生较大变化(水体萎缩、干涸,周缘山体抬升),蕴藏着“青藏高原”第一次发生大范围隆升并波及到其东北隅兰州地区。兰州地区隆起的时间在 32 Ma 前后,表明青藏高原东北隅的隆起时间可能晚于青藏高原南缘的冈底斯地区。

第 1 期抬升后,进入相对平静时期,周缘山地遭受剥蚀,盆地在接受了近源山地剥蚀物后广泛沉积了泛滥平原型的厚层红色黏土。大约在 20 Ma 前后,盆内开始接受咸水河组中段沉积,其沉积特征与下段有较大差异,含多层白色厚层砂岩,砂岩砂粒纯净,成熟度较高。表明物质来源于较远的高地,反映出早中新世中期(20 Ma,古地磁年表 C6n 极性时),该地区发生第 2 次较大范围隆升。

施雅风等人^[5]认为青藏高原的第 2 次隆升在 25~17 Ma,钟大赉等人^[6]研究这期隆升发生在 21~17 Ma。李吉均等人^[7, 8]在临夏盆地的研究认为在 21.8 MaBP 有一次重大环境变化。兰州盆地大约在 20 MaBP(古地磁年表 C6n 极性时)记录到一次较大的环境变化,可能是青藏高原的第 2 次隆升波及到兰州地区。

致谢 本工作作为国家自然科学基金(批准号:49472083,49572133,49972004)和瑞士苏黎世理工大学学院基金资助项目。

参 考 文 献

- 1 邱占祥,谷祖纲. 甘肃兰州一带第三纪中期哺乳动物化石地点. 古脊椎动物学报, 1988, 26(3): 198~213
- 2 邱占祥,王伴月,邱铸鼎,等. 甘肃兰州盆地咸水河组研究新进展. 见:董永生编. 纪念杨锺健教授百年诞辰论文集. 北京:海洋出版社,1997. 177~192
- 3 谷祖纲,王四海,黄钊文,等. 临夏盆地第三系年代地层学研究及 Giraffokeryx 在中国的发现. 科学通报, 1995, 40(5): 440~420
- 4 Berggren W D, Kent D V, Swisher C C, et al. A revised cenozoic geochronology and chronostratigraphy. In: Berggren W D, Kent D V, Aubry M P, et al, eds. Geochronology Time Scales and Global Stratigraphic Correlation. Tulsa: MEPM Special Publication, 1995. 129~221
- 5 施雅风,汤懋苍,马玉贞. 青藏高原二期隆升与亚洲季风孕育关系探讨. 中国科学, D 辑, 1998, 28(3): 264~271
- 6 钟大赉,丁林. 青藏高原隆升过程及其机制的探讨. 中国科学, D 辑, 1996, 26(4): 289~295
- 7 李吉均,方小敏. 青藏高原隆起与环境变化研究. 科学通报, 1998, 43(15): 1569~1574
- 8 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

(2000-03-01 收稿, 2000-06-01 收修改稿)