

doi:10.3799/dqkx.2010.093

青海循化盆地新近纪磁性地层学

季军良^{1,2}, 张克信^{1,3,4}, 强 泰³, 寇晓虎³, 陈奋宁³, 徐亚东³, 路晶芳³, 林启祥³

1. 中国地质大学生物地质与环境地质教育部重点实验室, 湖北武汉 430074

2. 中国地质大学地质过程与矿产资源国家重点实验室, 湖北武汉 430074

3. 中国地质大学地球科学学院, 湖北武汉 430074

4. 中国地质大学地质调查研究院, 湖北武汉 430074

摘要: 青藏高原东北部是研究高原隆升和东亚季风演化的重要地区。通过对青藏高原东北部循化盆地西沟剖面新近纪河湖相沉积的磁性地层学研究, 建立了西沟剖面约 14.6~5.0 Ma 沉积物的磁极性年代框架。沉积相的分析表明, 循化盆地在约 14.6~5.0 Ma 期间总体上处于充填萎缩阶段。西沟剖面巨厚层砾岩首次出现的时间约为 7.3 Ma 前, 应是青藏高原东北部快速隆升的沉积响应。这与青藏高原在约 8.0 Ma 前快速隆升的时间相近, 进一步说明约 8.0 Ma 前青藏高原的构造隆升具有准同时性。

关键词: 青藏高原; 循化盆地; 磁性地层; 新近纪; 隆升。

中图分类号: P539.3

文章编号: 1000-2383(2010)05-0803-08

收稿日期: 2010-05-31

Magnetostratigraphy of the Neogene Strata in Xunhua Basin, Qinghai Province

JI Jun-liang^{1,2}, ZHANG Ke-xin^{1,3,4}, Qiang Tai³, KOU Xiao-hu³, CHEN Fen-ning³,
XU Ya-dong³, LU Jing-fang³, LIN Qi-xiang³

1. Key Laboratory of Biogeology and Environmental Geology of Ministry of Education, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

2. State Key Laboratory of Geological Process and Mineral Resources, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

3. Faculty of Earth Sciences, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

4. Geological Survey of China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

Abstract: Xunhua basin is one of the inter-mountainous basins distributed in northeastern margin of the Tibetan plateau with over 1 000 m thick lacustrine and fluvial sediments of the Cenozoic. These sediments record both tectonics and climate changes and provide great potential for deciphering how tectonic uplift and climate change interact with each other. However, the absence of high resolution chronology of these sediments has prevented us from understanding their relationship. Accordingly, we performed a detailed magnetostratigraphic study of the Neogene lacustrine and fluvial sediments at the Xigou Section in the Xunhua basin. 560 samples were collected from 280 sites throughout ~560 m thick lacustrine and fluvial sedimentary sequences. A total of 267 samples yielded well defined characteristic remanent magnetization components (ChRMs) by stepwise thermal demagnetization and were used to establish the magnetostratigraphy of the Xigou Section. Based on the vertebrate fossils found at the upper part of the section and characters of the magnetozones, the magnetostratigraphy of the Xigou Section can correlate well with the geomagnetic polarity timescale (CK95), which suggests a depositional age of ~14.6 Ma to ~5.0 Ma. On the basis of the analysis of the sedimentary facies at the Xigou Section, we are convinced that the Xunhua basin shranked gradually during ~14.6 to 5.0 Ma. One huge thick conglomerate layer (~20 m thickness) appeared firstly at ~7.3 Ma and was considered to be caused by rapid uplift of the surrounded mountains, which was almost coinstantaneous with rapid uplift of the Tibetan plateau at ~8.0 Ma, implying the synchronous uplift of the Tibetan plateau.

Key words: Tibetan plateau; Xunhua basin; magnetostratigraphy; Neogene; uplift.

基金项目: 中国地质调查局项目 (No. 1212010610103); 国家自然科学基金项目 (Nos. 40902049, 40921062, 40830212); 中央高校基本科研业务费专项资金资助项目 (No. CUGL09206).

作者简介: 季军良 (1977—), 男, 讲师, 主要从事磁性地层学与第四纪地质学研究. E-mail: jijl@cug.edu.cn

构造运动与气候变化的关系是当前地球系统科学研究的重大课题之一 (Molnar and England, 1990; Ruddiman and Burg, 1997; 汪品先, 2005)。青藏高原东北部构造运动非常活跃, 是高原向东北方向扩展的最新前缘部位 (Meyer *et al.*, 1998; 张培震等, 2006; Liu *et al.*, 2007; 袁道阳等, 2007); 同时, 它又处在东部季风区、西北干旱区和青藏高原高寒区三大自然带的交汇处, 是气候变化的敏感区。因此, 青藏高原东北部是进行构造运动与气候变化研究的最佳场所。

青藏高原东北部分布的盆地众多, 包括青藏高原形成前已存在的盆地及高原隆升过程中新形成的盆地。这些盆地内堆积的新生代沉积与青藏高原的构造隆升密切相关, 是研究高原隆升和气候变化的良好载体。近十年来, 国内外学者通过磁性地层学方法建立了青藏高原东北部一些盆地内沉积物的磁极性年代框架, 在此基础上通过沉积记录探讨了高原的隆升过程与气候变化 (方小敏等, 1997, 2007; Dettman *et al.*, 2003; Fang *et al.*, 2003, 2005; Pares *et al.*, 2003; Song *et al.*, 2003; Dupont-Nivet *et al.*, 2007, 2008; Fan *et al.*, 2007; Liu *et al.*, 2007; Zhang *et al.*, 2008)。循化盆地是青藏高原东北部众多盆地中的一个, 目前有关该盆地新生代沉积的磁性地层学研究还未见报道。本文对循化盆地西沟剖面新近系河湖相沉积进行了磁性地层

学研究, 力求建立该剖面精细的磁极性年代框架, 为深入探讨青藏高原东北缘新生代的隆升历史和该地区的古气候变化提供重要的年代学基础。

1 地质概况

循化盆地位于青藏高原东北部的东南区, 是在白垩纪盆地的基础上再次拗陷而成的山间盆地, 其发育受南、北两侧的西秦岭断裂带和拉脊山断裂带控制 (Liu *et al.*, 2007) (图 1)。在地貌上, 循化盆地的海拔约为 2 000~2 500 m, 拉脊山和西秦岭的海拔多在 4 000 m 以上, 循化盆地东侧积石山的海拔约为 2 200 m, 总体上呈一向东张开的盆地。循化盆地内堆积的第三系河湖相沉积厚千余米, 岩性特征与相邻的临夏盆地类似 (Fang *et al.*, 2003), 由老到新可依次分为他拉组、中庄组、上庄组、东乡组、柳树组和何王家组。

西沟剖面位于循化县城西南约 1 km 的西沟村附近, 整个剖面的地层厚度大于 600 m, 由新近系的东乡组、柳树组和何王家组构成。地层产状略向西南倾斜, 倾角从剖面底部向上由 7°左右逐渐变为近水平。东乡组厚约 380 m, 下部岩性为灰绿色厚层石膏与紫红色钙质泥岩互层, 中、上部为棕红色泥岩与浅灰、灰绿色砂岩互层, 夹少量含砾粗砂岩和细砾岩。柳树组厚约 70 m, 岩性为灰红、浅灰色泥岩、砂岩和

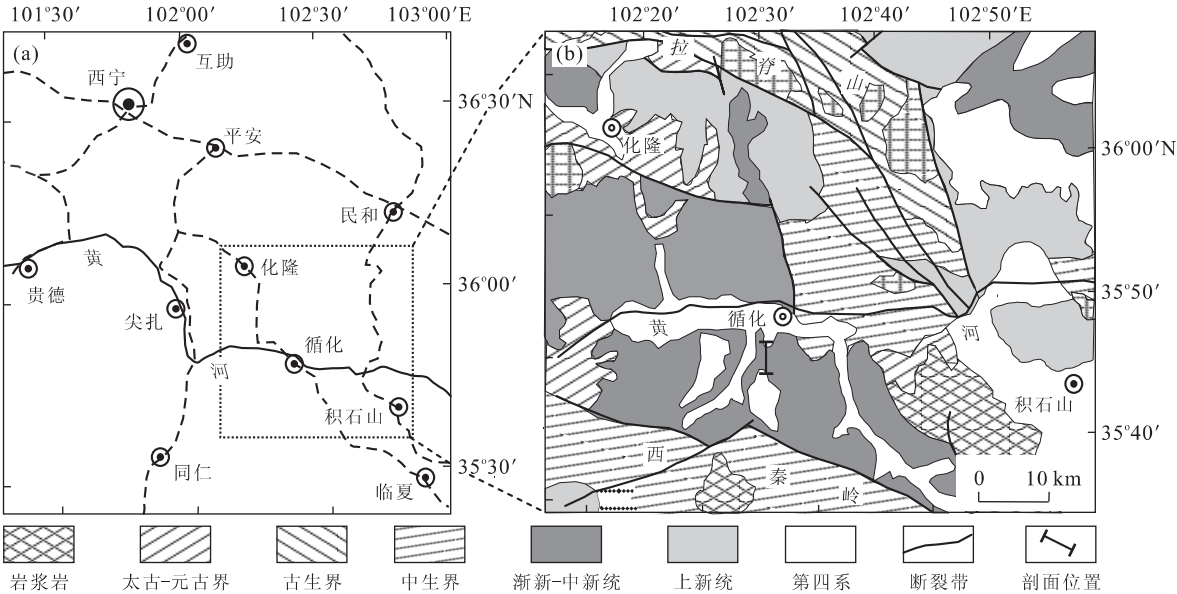


图 1 (a)研究区地理位置; (b)研究区地质简图 (据中国地质调查局与成都地质矿产研究所, 2004 绘制) 和西沟剖面位置

Fig. 1 (a) Map showing the location of the studied area; (b) sketch geological map showing the Xunhua basin and the location of the Xigou Section

砾岩互层，上部出现少量钙结核。何王家组厚约 159 m，岩性与柳树组相似，但砾岩和砂岩明显增多，厚度也显著增大，局部含大量钙结核。上述地层之间均为整合接触。何王家组之上为巨厚砾岩夹少量砂岩薄层或透镜体，为黄河五级阶地（潘保田等，1996）。

2 样品采集与测试方法

在野外，用便携式钻机钻取古地磁样品，并用配套的测量器对样品进行野外定向。由于何王家组顶部厚约 50 m 的地层风化严重，又被剥落的砾石覆盖，未能取到古地磁样。除此之外，对西沟剖面按约 2 m 的间距采样，但根据岩性的不同采样间距略有变化。整个剖面共采点 280 个，每个采点一般钻取两块独立定向样品，共取样 560 余块。

按测试要求，所有样品在中国地质大学（武汉）生物地质与环境地质教育部重点实验室古地磁样品处理室内加工成 2.2 cm 长的圆柱体。每个采点选取一块样品进行古地磁测试。样品的测试工作在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的磁屏蔽屋内完成。测试样品在 MMTD-80 型热

退磁炉中进行 18 步左右的系统热退磁，热退磁间距在 500 ℃ 以下为 50 ℃；500~600 ℃ 的退磁温度为 525 ℃、550 ℃ 和 585 ℃；600 ℃ 以上的退磁间距为 10 ℃ 或 15 ℃；最高退磁温度为 675 ℃。样品的剩磁测量在 2G-760 U-Channel 超导磁力仪上完成。退磁结果的分析采用 Zijderveld(1967)图解法，特征剩磁方向的统计采用主分量分析法(Kirschvink, 1980)。

3 测试结果

西沟剖面多数样品的天然剩磁强度为 $10^{-2} \sim 10^{-3}$ A/m。从图 2 中可以看出，样品的剩磁方向多表现为双组分特征，即低温组分(<300 ℃)和中、高温组分(>300 ℃)。中、高温组分大多线性趋向原点，代表了特征剩磁的方向。剩磁强度衰减曲线分别在 585 ℃(磁铁矿的居里温度)和 675 ℃(赤铁矿的居里温度)时明显下降，表明样品中的主要载磁矿物为磁铁矿和赤铁矿。

西沟剖面共测试古地磁样品 280 块，其中 267 块样品获得特征剩磁。根据获得特征剩磁样品的倾向、倾角和剖面的经纬度，计算获得样品的虚地磁极纬度。图 3 是西沟剖面的磁偏角、磁倾角、虚地磁极

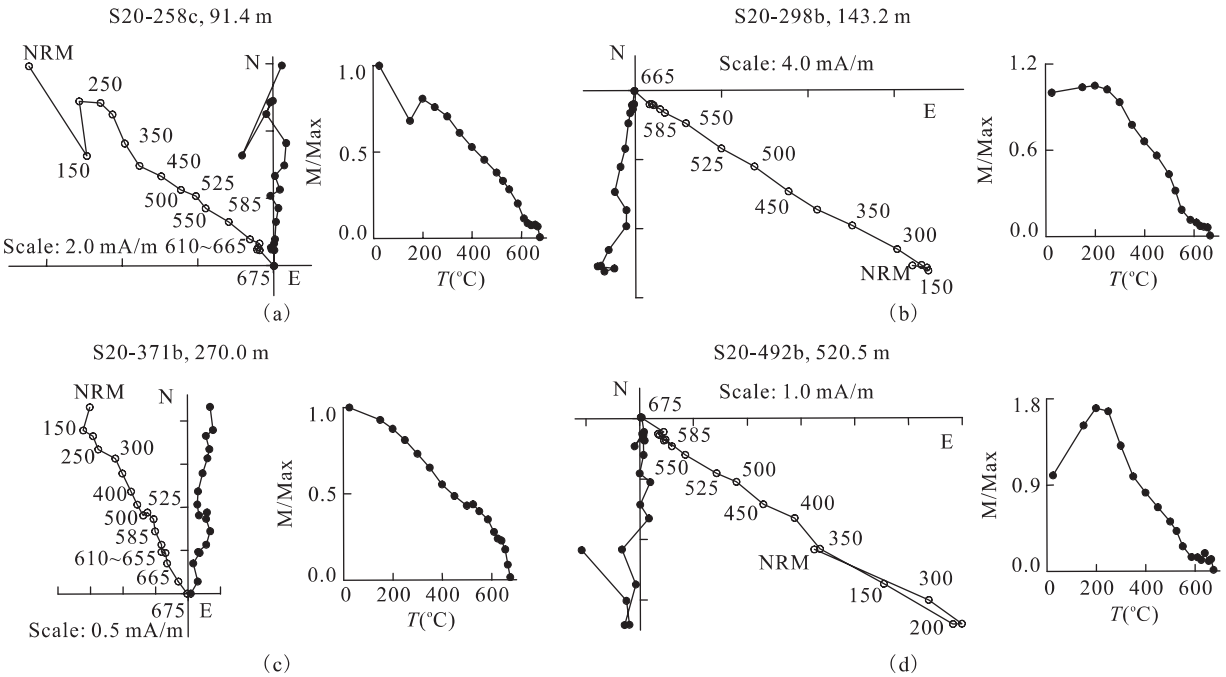


图 2 西沟剖面代表性样品热退磁正交矢量(Z 式图)和剩磁强度比值随温度变化曲线

Fig. 2 Orthogonal (Zijderveld) vector plots of representative specimens from different levels in the Xigou section and Decay of the nature remanent magnetization (NRM) during thermal demagnetization

实心(空心)圆点代表剩磁的水平(垂直)分量,图中数据为温度(℃)

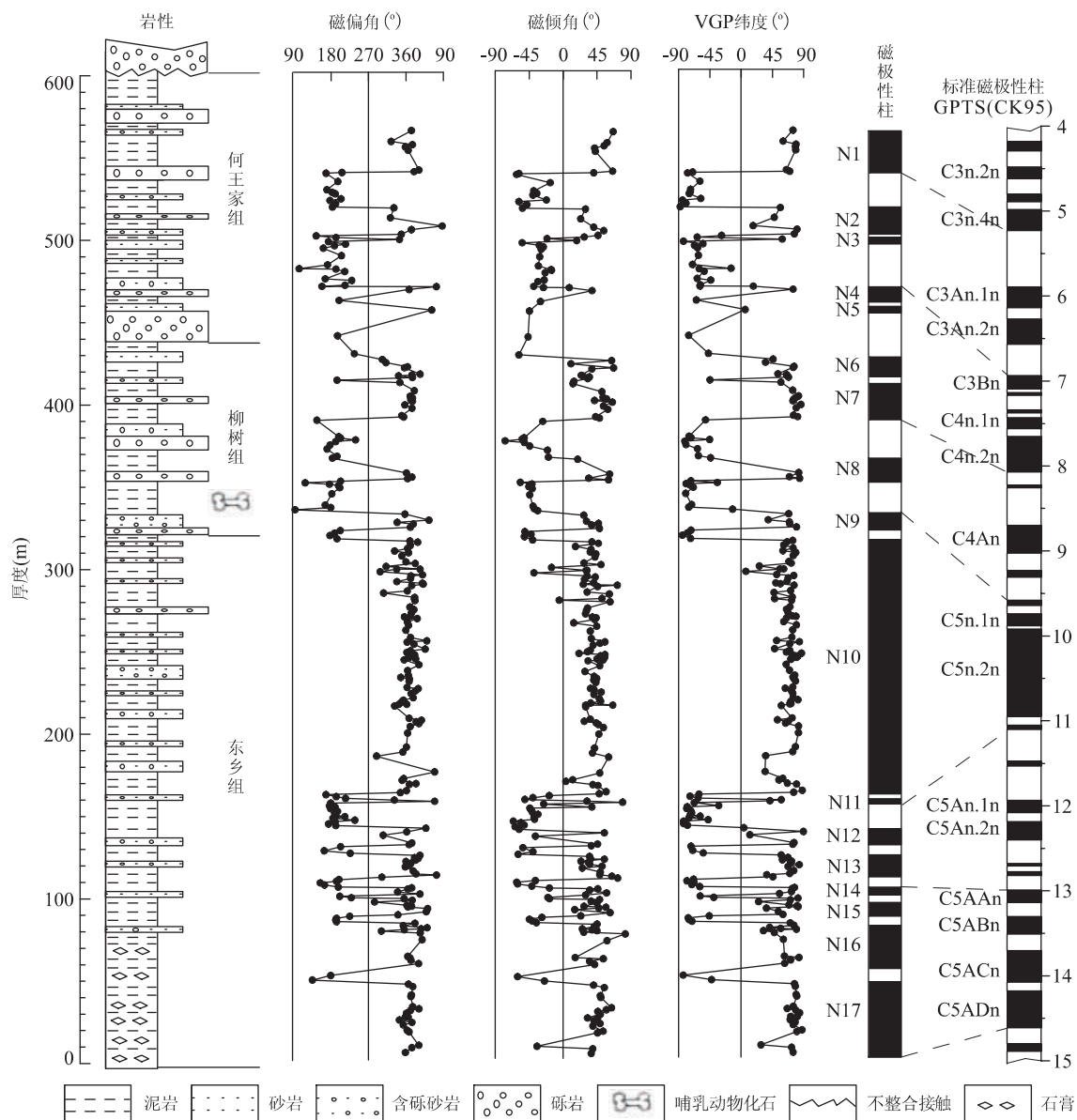


图 3 循化盆地西沟剖面岩性、磁性地层及与标准极性柱(Cande and Kent, 1995)的对比

Fig. 3 Lithology and magnetostratigraphic results from the Xigou Section in the Xunhua basin and correlations with the CK95 GPTS

(VGP)纬度和由此建立的极性柱。西沟剖面共获得 17 个正极性带和 16 个负极性带。在综合考虑了剖面中发现的哺乳动物化石、剖面的磁极性柱特征和岩性变化的基础上,本文将西沟剖面磁极性柱与标准极性柱(Cande and Kent, 1995)进行对比。

中国地质大学(武汉)地质调查研究院(2008)^①在该地区进行 1 : 5 万地质填图工作时,从西沟剖面柳树组底部、约 350 m 的厚度处发现含有大量哺乳动物化石的岩层。经过野外发掘和室内的初步鉴定结果,该化石层含有平齿三趾马 (*Hipparion*

platyodus)、大唇犀 (*Chilotherium* sp.)、新俄罗斯鹿比较种 (*Cervocerus* cf. *novorossiae*)、鹿 (*Cervocerus* gen et sp. indet)和保德羚羊 (*Gazella paothenensis*)、高氏羚羊 (*Gazella gaodryi*)等,其中三趾马(*Hipparion*)化石在青藏高原东北部的贵德、化隆盆地(Song *et al.* , 2003)、临夏盆地(Fang *et al.* , 2003b)、固原(Jiang *et al.* , 2007)和高原南部的吉隆盆地(岳乐平等,2004)、扎达盆地(Wang *et al.* , 2008)均有发现。根据这些盆地磁性地层学的研究结果,三趾马化石的地质年代主要为中新世晚期—上新世。在这一化石层之下,是西沟剖面磁极性柱中最长的一个正极性带 N10,考虑到其化石所指示的

^①林后祥,朱云海,2008. 青海 1 : 5 万祁连山幅(I48E002002)区域地质调查报告. 武汉:中国地质大学地质调查研究院.

地层年代,将 N10 对应于标准极性柱的 C5n. 2n~C5n. 1n, N12~N17 由 6 个正极性带和 6 个负极性带组成,极性倒转比较频繁,与标准极性柱的 C5An. 1n~C5ADn 有较好的对应关系. 剖面上部的极性带 N8~N1 对应于标准极性柱的 C4An~C3n. 4n. 尽管标准极性柱中个别极短暂极性事件在西沟剖面的磁极性柱中并没有出现,这可能是由于受岩性的影响,部分地层的采样间距过大造成的,但从整体上看,西沟剖面的极性柱与标准极性柱的对应关系还是比较好的.

根据上述结果,西沟剖面的年代约为 14.6~5.0 Ma,东乡组、柳树组和何王家组的年代分别为 14.6~9.6 Ma, 9.6~7.3 Ma 和 <7.3 Ma,含三趾马动物群化石层的年龄约为 9.0 Ma. 根据沉积速率外推何王家组顶部的年龄约为 4.5 Ma,这与临夏盆地磁性地层学的研究结果相同(Fang *et al.*, 2003b).

4 沉积记录的盆地演化及其区域构造意义

循化盆地西沟剖面磁性地层学的研究结果为通过沉积记录认识研究区的构造演化,进而为探讨青藏高原东北缘的隆升历史提供了重要的年代学基础.

西沟剖面东乡组主要以湖相沉积的泥岩为主,上部夹有少量薄层砂岩和含砾砂岩,表明这一时期盆地及其周缘的构造活动比较稳定,物源供给相对较远. 柳树组也以细粒泥岩为主,但相对于东乡组而言,砂岩厚度略有增加,并出现少量砾岩层和钙结核,湖相沉积逐渐被山前河流—三角洲相沉积所替代,说明湖盆逐渐萎缩,周边山体与盆地之间的地势高差相对有所增加.

西沟剖面最显著的岩性变化出现在何王家组底部,为厚度约 20 m 的巨厚层砾岩堆积,砾石的直径多为 1~20 cm,分选差,磨圆中等,其上砾岩和砂岩均明显增多和增厚,沉积相转变为以辫状河—扇三角洲相为主. 这说明循化盆地进一步萎缩,周边山体与盆地的相对地势高差明显增大,沉积物以近源搬运、堆积为主.

根据西沟剖面磁性地层学的研究结果,何王家组底部巨厚层砾岩出现的时间约为 7.3 Ma 前,这与青藏高原在约 8.0 Ma 时普遍发生构造隆升的时间基本相同. 国外一些学者综述了发生在高原内部和周边的构造、环境变化事件,认为青藏高原在

8.0 Ma 前后快速隆升了 1 000~2 000 m,达到甚至超过了现今的海拔高度(Harrison *et al.*, 1992; Molnar, 2005). 方小敏等(2007)综合了西宁盆地和贵德盆地的古地磁年代学结果,通过沉积记录和盆地边缘逆冲断层的研究,指出约 8.0 Ma 以来青藏高原东北部的地壳挤压形变达到最大,从而导致山体急剧隆升和断裂褶皱大规模向盆地内扩展. 循化盆地古流向和沉积物碎屑成分的统计和分析表明,拉脊山逆冲带快速隆升剥露的年代为中新世晚期至上新世(Liu *et al.*, 2007). 临夏盆地在约 7.8 Ma 前出现生长地层,表明该地区山体发生快速构造抬升(袁道阳等, 2007). 裂变径迹年代学的研究数据表明,约 8.0 Ma 前循化盆地东侧的积石山岩体快速抬升(郑德文等, 2006a),青藏高原最东北缘的六盘山发生快速冷却事件(Zheng *et al.*, 2006b). 张培震等(2006)系统总结了青藏高原东北缘晚新生代以来构造隆升的证据,指出 8.0 Ma 前后青藏高原向周边扩展,并伴随着山脉隆起和盆地消亡. 东亚季风和印度季风在 8.0 Ma 前后显著增强,则被认为是青藏高原在约 8.0 Ma 前快速隆升、海拔显著增高的结果(Harrison *et al.*, 1992; An *et al.*, 2001; Molnar, 2005; 安芷生等, 2006). 因此,青藏高原在 8.0 Ma 前后的隆升事件具有准同时性. 循化盆地在 7.3 Ma 前巨厚层砾岩的首次出现,与青藏高原其他地质记录和高原周边季风区反映的高原快速隆升、海拔大幅增加的时间基本相同,说明循化盆地巨厚层砾岩的首次出现应是青藏高原东北部快速隆升的沉积响应.

气候因素也可能导致巨厚层砾岩的堆积,如约 4.0~2.0 Ma 前全球准同时性的磨拉石堆积、沉积速率加快就被认为是气候由稳定期转变为不稳定期所致(Zhang *et al.*, 2001; Sun *et al.*, 2004). 目前,尽管在沉积记录的变化是气候还是构造导致的这一问题上还存在很大分歧,但一般认为在晚上新世全球气候进入两极发育永久冰盖、气候波动频繁的冰期—间冰期(Zachos *et al.*, 2001)之前,中国西部盆地的巨厚层砾岩堆积主要是山体隆升造成的(Sun *et al.*, 2004; Sun, J. M. *et al.*, 2005; Sun, Z. M. *et al.*, 2005; 孙继敏和朱日祥, 2006),而晚上新世以来的西域砾岩则是构造隆升与冰期—间冰期气候频繁波动共同作用的产物(Sun, J. M. *et al.*, 2005; 孙继敏和朱日祥, 2006). 因此,气候变化可能不是循化盆地约 7.3 Ma 前出现巨厚层砾岩的主因.

5 结论

循化盆地西沟剖面的河湖相沉积厚约 600 m, 出露地层包括东乡组、柳树组和何王家组。在系统热退磁的 280 块样品中, 267 块样品获得了特征剩磁, 它们记录 17 个正极性带和 16 个负极性带。通过与标准极性柱的对比, 西沟剖面的磁极性带对应于标准极性柱的 C5ADn~C3n. 4n, 年代约为 14. 7~5. 0 Ma; 东乡组、柳树组和何王家组的年代分别为 14. 6~9. 6 Ma、9. 6~7. 3 Ma 和 7. 3~4. 5 Ma; 含三趾马动物群的化石层年龄约为 9. 0 Ma。

西沟剖面的沉积记录表明, 14. 6~5. 0 Ma 盆地的总体演化趋势是逐渐萎缩的, 其中最显著的岩性变化发生在约 7. 3 Ma 前, 为厚度约 20. 0 m 的砾石堆积。这个巨厚层砾岩应是青藏高原东北部快速隆升的沉积响应。其出现时间与青藏高原约 8. 0 Ma 前的快速隆升事件基本相同, 表明约 8. 0~7. 0 Ma 前青藏高原的快速隆升具有准同时性。

References

- An, Z. S., Kutzbach, J. E., Prell, W. L., et al., 2001. Evolution of Asian monsoons and phased uplift of the Himalaya-Tibetan plateau since Late Miocene times. *Nature*, 411: 62—66. doi:10. 1038/35075035
- An, Z. S., Zhang, P. Z., Wang, E. Q., et al., 2006. Changes of the monsoon-arid environment in China and growth of the Tibetan plateau since the Miocene. *Quaternary Sciences*, 26(5): 678—693 (in Chinese with English abstract).
- Cande, S. C., Kent, D. V., 1995. Revised calibration of the geomagnetic polarity timescale for the Late Cretaceous and Cenozoic. *Journal of Geophysical Research*, 100 (B4): 6093—6095.
- China Geological Survey Bureau, Chengdu Institute of Geology and Mineral Resources, 2004. Geological map of Tibetan plateau and adjacent areas (1 : 1 500 000). Chengdu Cartographic Publishing House, Chengdu (in Chinese).
- Dettman, D. L., Fang, X. M., Garzione, C. N., et al., 2003. Uplift-driven climate change at 12 Ma: a long $\delta^{18}\text{O}$ record from the NE margin of the Tibetan plateau. *Earth and Planetary Science Letters*, 214(1—2): 267—277. doi:10. 1016/S0012—821X(03)00383—2
- Dupont-Nivet, G., Hoorn, C., Konert, M., 2008. Tibetan uplift prior to the Eocene-Oligocene climate transition: evidence from pollen analysis of the Xining basin. *Geology*, 36(12): 987—990. doi:10. 1130/G25063A. 1
- Dupont-Nivet, G., Krijgsman, W., Langereis, C. G., 2007. Tibetan plateau aridification linked to global cooling at the Eocene-Oligocene transition. *Nature*, 445: 635—638. doi:10. 1038/nature05516
- Fan, M. J., Dettman, D. L., Song, C. H., et al., 2007. Climatic variation in the Linxia basin, NE Tibetan plateau, from 13. 1 to 4. 3 Ma: the stable isotope record. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 247 (3—4): 313—328. doi:10. 1016/j. palaeo. 2006. 11. 001
- Fang, X. M., Garzione, C., Van der Voo, R., et al., 2003b. Flexural subsidence by 29 Ma on the NE edge of Tibet from the magnetostratigraphy of Linxia basin, China. *Earth and Planetary Science Letters*, 210: 545—560. doi:10. 1016/S0012—821X(03)00142—0
- Fang, X. M., Li, J. J., Zhu, J. J., et al., 1997. Absolute age determination and division of the Cenozoic stratigraphy in the Linxia basin, Gansu Province, China. *Chinese Science Bulletin*, 42(14): 1457—1471 (in Chinese).
- Fang, X. M., Song, C. H., Dai, S., et al., 2007. Cenozoic deformation and uplift of the NE Qinghai-Tibet plateau: evidence from high-resolution magnetostratigraphy and basin evolution. *Earth Science Frontiers*, 14(1): 230—242 (in Chinese with English abstract).
- Fang, X. M., Yan, M. D., Van der Voo, R., et al., 2005. Late Cenozoic deformation and uplift of the NE Tibetan plateau: evidence from high-resolution magnetostratigraphy of the Guide basin, Qinghai Province, China. *GSA Bulletin*, 117(9—10): 1208—1225. doi:10. 1130/B25727. 1
- Harrison, T. M., Copeland, P., Kidd, W. S. F., et al., 1992. Raising Tibet. *Science*, 255(5025): 1663—1670.
- Jiang, H. C., Ding, Z. L., Xiong, S. F., 2007. Magnetostratigraphy of the Neogene Sikouzi Section at Guyuan, Ningxia, China. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 243: 223—234. doi:10. 1016/j. palaeo. 2006. 07. 016
- Kirschvink, J. L., 1980. The least-squares line and plane and the analysis of paleomagnetic data. *Geophys. J. R. Astron. Soc.*, 62: 699—718.
- Liu, S. F., Zhang, G. W., Heller, P. L., 2007. Cenozoic basin development and its indication of plateau growth in the Xunhua-Guide district. *Science in China (Ser. D)*, 50 (Suppl. II): 277—291. doi:10. 1007/s11430—007—6012—3
- Meyer, B., Tapponnier, P., Bourjot, L., et al., 1998. Crustal thickening in Gansu-Qinghai, lithospheric mantle subduction, and oblique, strike-slip controlled growth of the Tibet plateau. *Geophysical Journal International*, 135 (1): 1—47. doi:10. 1046/j. 1365—246X. 1998. 00567. x

- Molnar, P., 2005. Mio-Pliocene growth of the Tibetan plateau and evolution of East Asian climate. *Palaeontologia Electronica*, 8(1): 1–23.
- Molnar, P., England, P., 1990. Late Cenozoic uplift of mountain ranges and global climate change: chicken or egg? *Nature*, 346: 29–34. doi:10.1038/346029a0
- Pan, B. T., Li, J. J., Cao, J. X., et al., 1996. Study on the geomorphic evolution and development of the Yellow River in the Hualong basin. *Mountain Research*, 14(3): 153–158 (in Chinese with English abstract).
- Pares, J. M., Van der Voo, R., Downs, W. R., et al., 2003. Northeastward growth and uplift of the Tibetan plateau: magnetostratigraphic insights from the Guide basin. *Journal of Geophysical Research*, 108(B1). doi:10.1029/2001JB001349
- Ruddiman, W. F., Burg, J. P., 1997. Tectonic uplift and climate change. Plenum Press, New York.
- Song, C. H., Fang, X. M., Gao, J. P., et al., 2003. Magnetostratigraphy of Late Cenozoic fossil mammals in the northeastern margin of the Tibetan plateau. *Chinese Science Bulletin*, 48(2): 188–193.
- Sun, J. M., Zhu, R. X., An, Z. S., 2005. Tectonic uplift in the northern Tibetan plateau since 13.7 Ma ago inferred from molasse deposits along the Altyn Tagh fault. *Earth and Planetary Science Letters*, 235: 641–653. doi:10.1016/j.epsl.2005.04.034
- Sun, J. M., Zhu, R. X., 2006. Cenozoic deposits in the northern Tianshan Mountains and its implications for Neotectonics and environmental changes. *Quaternary Sciences*, 26(1): 14–19 (in Chinese with English abstract).
- Sun, J. M., Zhu, R. X., Bowler, J., 2004. Timing of the Tianshan Mountains uplift constrained by magnetostratigraphic analysis of molasse deposits. *Earth and Planetary Science Letters*, 219: 239–253. doi:10.1016/S0012-821X(04)00008-1
- Sun, Z. M., Yang, Z. Y., Pei, J. L., et al., 2005. Magnetostratigraphy of Paleogene sediments from northern Qaidam basin, China: implications for tectonic uplift and block rotation in northern Tibetan plateau. *Earth and Planetary Science Letters*, 237: 635–646. doi:10.1016/j.epsl.2005.07.007
- Wang, P. X., 2005. Cenozoic deformation and history of sea-land interactions in Asia. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 30(1): 1–18 (in Chinese with English abstract).
- Wang, S. F., Zhang, W. L., Fang, X. M., et al., 2008. Magnetostratigraphy of the Zanda basin in Southwest Tibet plateau and its tectonic implications. *Chinese Science Bulletin*, 53(9): 1393–1400. doi:10.1007/s11434-008-0132-9
- Yuan, D. Y., Zhang, P. Z., Fang, X. M., et al., 2007. Late Cenozoic tectonic deformation of the Linxia basin, northeastern margin of the Qinghai-Tibet plateau. *Earth Science Frontiers*, 14(1): 243–250 (in Chinese with English abstract).
- Yue, L. P., Deng, T., Zhang, R., et al., 2004. Paleomagnetic chronology and records of Himalayan uplift on the Longgugou Section of Gyirong-Oma basin in Xizang (Tibet). *Chinese J. Geophys.*, 47(6): 1009–1016 (in Chinese with English abstract).
- Zachos, J., Pagani, M., Sloan, L., et al., 2001. Trends, rhythms, and aberrations in global climate 65 Ma to present. *Science*, 292(5517): 686–693. doi:10.1126/science.1059412
- Zhang, K. X., Wang, G. C., Cao, K., et al., 2008. Cenozoic sedimentary records and geochronological constraints of differential uplift of the Qinghai-Tibet plateau. *Science in China (Ser. D)*, 51(11): 1658–1672. doi:10.1007/s11430-008-0132-2
- Zhang, P. Z., Molnar, P., Downs, W. R., 2001. Increased sedimentation rates and grain sizes 2–4 Myr ago due to the influence of climate change on erosion rates. *Nature*, 410: 891–897. doi:10.1038/35073504
- Zhang, P. Z., Zheng, D. W., Yin, G. M., et al., 2006. Discussion on Late Cenozoic growth and rise of northeastern margin of the Tibetan plateau. *Quaternary Sciences*, 26(1): 5–13 (in Chinese with English abstract).
- Zheng, D. W., Zhang, P. Z., Wan, J. L., et al., 2006a. Tectonic events, climate and conglomerate: example from Jishishan Mountain and Linxia basin. *Quaternary Sciences*, 26(1): 63–69 (in Chinese with English abstract).
- Zheng, D. W., Zhang, P. Z., Wan, J. L., et al., 2006b. Rapid exhumation at ~8 Ma on the Liupan Shan thrust fault from apatite fission-track thermochronology: implications for growth of the northeastern Tibetan plateau margin. *Earth and Planetary Science Letters*, 248(1–2): 198–208. doi:10.1016/j.epsl.2006.05.023
- Zijderveld, J. D. A., 1967. A. C. demagnetization of rocks: analysis of results. In: Collinson, D. W., Creer, K. M., Runcorn, S. K., ed. *Methods in paleomagnetism*. Elsevier, New York, 254–286.

附中文参考文献

- 安芷生, 张培震, 王二七, 等, 2006. 中新世以来我国季风—干旱环境演化与青藏高原的生长. *第四纪研究*, 26(5): 678–693.

方小敏,李吉均,朱俊杰,等,1997. 甘肃临夏盆地新生代地层绝对年代测定与划分. 科学通报,42(14): 1457—1471.

方小敏,宋春晖,戴双,等,2007. 青藏高原东北部阶段性变形隆升:西宁、贵德盆地高精度磁性地层和盆地演化记录. 地学前缘,14(1): 230—242.

潘保田,李吉均,曹继秀,等,1996. 化隆盆地地貌演化与黄河发育研究. 山地研究,14(3): 153—158.

宋春晖,方小敏,高军平,等,2002. 青藏高原东北边缘晚新生代哺乳动物化石的磁性地层学. 科学通报,47(23): 1824—1828.

孙继敏,朱日祥,2006. 天山北麓晚新生代沉积及其新构造与古环境指示意义. 第四纪研究,26(1): 14—19.

汪品先,2005. 新生代亚洲形变与海陆相互作用. 地球科学——中国地质大学学报,30(1): 1—18.

袁道阳,张培震,方小敏,等,2007. 青藏高原东北缘临夏盆地晚新生代构造变形及过程. 地学前缘,14(1): 243—250.

岳乐平,邓涛,张睿,等,2004. 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. 地球物理学报,47(6): 1009—1016.

张培震,郑德文,尹功明,等,2006. 有关青藏高原东北缘晚新生代扩展与隆升的讨论. 第四纪研究,26(1): 5—13.

郑德文,张培震,万景林,等,2006a. 构造、气候与砾岩——以积石山和临夏盆地为例. 第四纪研究,26(1): 63—69.

中国地质调查局成都地质矿产研究所,2004. 青藏高原及邻区地质图(1:1 500 000). 成都:成都地图出版社.

《地球科学——中国地质大学学报》
2010 年 第 35 卷 第 6 期 要目预告

南海表层沉积物中的碳酸钙含量分布及其影响因素	张兰兰等
南天山英买来花岗岩的地质—地球化学特征及其地质意义	马乐天等
东秦岭金堆城花岗斑岩体的年龄、物质来源及成矿机制	焦建刚等
遵义下寒武统富硒黑色岩系地球化学:成因和硒富集机理	冯彩霞等
华北克拉通南缘小秦岭金矿区基性脉岩时代及地质意义	毕诗健等
武夷山成矿带桃溪隆起、岩浆侵入和区域铜多金属矿成矿作用	陈世忠等
内蒙古金厂沟梁地区晚三叠世脉岩地球化学特征及成岩动力学背景	付乐兵等
华北—西伯利亚板块对接带早白垩纪的裂解:来自西拉木伦断裂带中性岩墙群的锆石 U-Pb 年龄及地球化学证据	李益龙等
北祁连西段石鸡河地区火山岩地球化学特征及其动力学意义	刘晓煌等
湖北清江和尚洞滴水微生物群落随空间和季节的变化	赵锐等
南海北部陆缘的磁异常特征及居里面深度	吴招才等
三峡库区万州城区山湾堰塘沉积物特征及演化历史	刘雪梅等