

doi:10.3799/dqkx.2010.091

青藏高原东北缘循化盆地渐新世—上新世 沉积相分析与沉积演化

张键钰^{1,2}, 张克信^{1,2*}, 季军良^{1,2}, 骆满生^{1,2}, 陈奋宁³, 徐亚东^{1,2}, 王岳明⁴

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. 中国地质大学地球科学学院, 湖北武汉 430074

3. 西安地质矿产研究所, 陕西西安 710054

4. 甘肃省地质矿产勘查开发局, 甘肃兰州 730000

摘要: 位于循化盆地南缘的积石镇羊圈贡拜—西沟上庄剖面发育连续完整的晚渐新世—上新世地层, 从老至新依次出露渐新统一中新统他拉组、中新统咸水河组(中庄段、上庄段、东乡段)和中新统一上新统临夏组(柳树段和何王家段)。沉积相分析认为, 他拉组以冲积扇相为主, 咸水河组以富含膏盐层的咸化湖相—三角洲前缘相为主, 临夏组以湖相—三角洲前缘相夹水下扇相为主。通过对沉积序列中古流向的系统测量和分析, 揭示他拉组、咸水河组沉积期的古水流方向多在 SE-NW 之间, 结合物源分析, 表明当时西秦岭北缘逆冲带和拉脊山逆冲带均已隆起并遭受剥蚀成为循化盆地沉积物的物源供应区; 而在临夏组沉积期, 古水流以 NWW 为主, 推测循化盆地东部的积石山隆起成为物源的主要供应区。剖面粒度概率累积曲线和 $G-M$ 图分析结果印证了对剖面沉积相的划分, 并指示盆地沉积时期的三角洲前缘和水下扇发育区存在牵引流。

关键词: 循化盆地; 沉积相; 古流向; 物源分析; 粒度分析。

中图分类号: P542

文章编号: 1000-2383(2010)05-0774-15

收稿日期: 2010-05-31

Oligocene-Pliocene Sedimentary Facies Analysis and Sedimentary Evolution of Xunhua Basin in Northeastern Margin of Qinghai-Tibet Plateau

ZHANG Jian-yu^{1,2}, ZHANG Ke-xin^{1,2*}, JI Jun-liang^{1,2}, LUO Man-sheng^{1,2}, CHEN Fen-ning³,
XU Ya-dong^{1,2}, WANG Yue-ming⁴

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

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

3. Xi'an Institute of Geology and Mineral Resources, Xi'an 710054, China

4. Gansu Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development, Lanzhou 730000, China

Abstract: The measured section in the southern margin of Xunhua basin located at Yangjuangongbai-Xigoushangzhuang Village, Jishi Town, Xunhua County, Qinghai Province, consists of Miocene to Pliocene strata, named as Tala Fm., Xianshuihe Fm. (consisting of Zhongzhuang Mem., Shangzhuang Mem. and Dongxiang Mem.) and Linxia Fm. (consisting of Liushu Mem. and Hewangjia Mem.). The detailed research of sedimentary facies indicates that the depositional system of the section consists of alluvial fan facies (Tala Fm.), salt water lacustrine facies and delta front facies (Xianshuihe Fm.), lacustrine facies and delta front facies with underwater fan facies (Linxia Fm.) from bottom to top. Paleocurrent measurements obtained from the imbricated structures and cross-beddings show that the paleocurrent direction of section was SE-NW, except the Linxia Fm.. The sedimentary origin analysis demonstrates that the northern margin of the western Qinling thrust belt and the south margin of the Lajishan thrust belt had uplifted as denudation areas and provided deposits to the Xunhua basin. On the contrary, during the depositional stage of the Linxia Fm., the paleocurrent was NWW, indicating that the Jishi Mountain of the eastern edge of

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. 40921062, 40830312)。

作者简介: 张键钰 (1986—), 男, 硕士研究生, 主要从事沉积学及微体古生物学研究。E-mail: zjytd@163.com

* 通讯作者: 张克信, E-mail: kx_zhang@cug.edu.cn

Xunhua basin had uplifted as a main denudation area during the Late Miocene-Pliocene. The results of the grain size probability accumulative curves and C-M patterns accord with the division of sedimentary facies mentioned above, and indicate that some tractive current developed in delta front facies and underwater fan facies.

Key words: Xunhua basin; sedimentary facies; paleocurrent; provenance analysis; grain size analysis.

研究区的剖面位于循化盆地南缘,属青海省循化撒拉族自治县辖区(图 1). 循化盆地位于青藏高原东北缘的青藏高原与黄土高原的交汇处,西秦岭北缘与祁连山的结合部位,属压陷盆地. 受相邻分布的拉脊山和西秦岭北缘逆冲带所限,形成具有青藏高原东北缘典型构造特征的菱形盆山展布形态(于庆文,2001;宋春晖,2006;刘少峰等,2007). 关于循化及其周缘地区构造和盆地沉积(谷祖纲等,1992;邓中林等,2000;周江羽等,2002;宋春晖等,2003;郑德文等,2003; Horton *et al.* , 2004; 宋春晖,2006; 刘少峰等, 2007; 张克信等, 2007; Zhang *et al.* , 2008, 2010)、磁性地层(方小敏等,1997; Fang *et al.* , 2003, 2005; Parés *et al.* , 2003; Horton *et al.* , 2004; Dai *et al.* , 2006)及盆地发育与西秦岭北缘逆冲作用的关系(谷祖纲等, 1992; 李廷栋, 1995; 岳乐平等,2003)等问题的研究已经取得了一些重要研究成果,但通过对盆地沉积序列和沉积相精细分析,从沉积学角度反映盆地演化与周缘山系

的隆升等关键问题还有待于进一步深入.

研究区内晚渐新世—上新世地层出露完整. 本次实测剖面位于青海省循化县县城南侧(简称循化剖面,剖面代号 S20),剖面起点在循化县积石镇羊圈贡拜村,剖面终点至西沟上庄(起点坐标:35°49′30″N,102°30′00″E;终点坐标:35°48′18″N,102°16′10″E). 本文通过对循化剖面自下而上进行精细的层序划分和沉积相分析研究,揭示循化盆地晚渐新世—上新世期间的沉积环境演变,从而为研究循化盆地周缘山系新生代隆升与剥蚀历史提供沉积学证据(王二七等,2000;刘少峰和张国伟,2005;刘少峰等,2007).

1 实测剖面岩石地层与地质年代简述

本次实测的循化剖面总厚 1 047 m,自下而上共分 213 层(图 2、图 3 和图 4). 根据循化剖面岩性岩相组合特征,自下而上依次划分为渐新统一中新统他拉组(EN_t),中新统咸水河组(N_{1x})(自下而上为

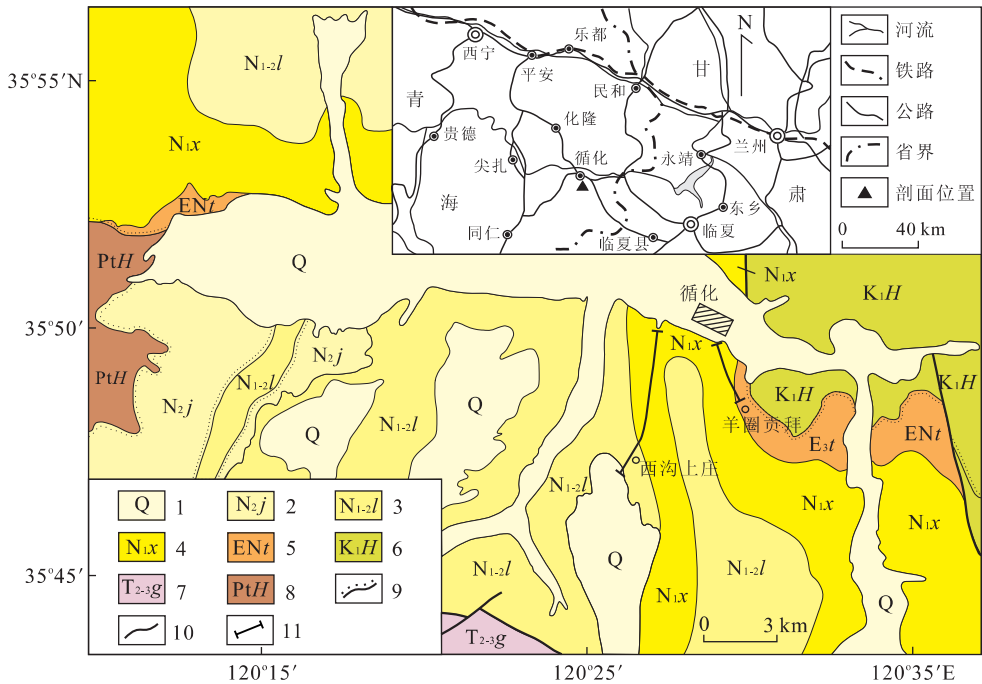


图 1 研究区地质简图及剖面位置

Fig. 1 Geological map of studied area and the location of the measured section

1. 第四系;2. 上新统积石组;3. 中—上新统临夏组;4. 中新统咸水河组;5. 渐新统一中新统他拉组;6. 下白垩统河口群;7. 中—上三叠统古浪堤组;8. 元古宇化隆岩群;9. 角度不整合;10. 断层;11. 实测剖面

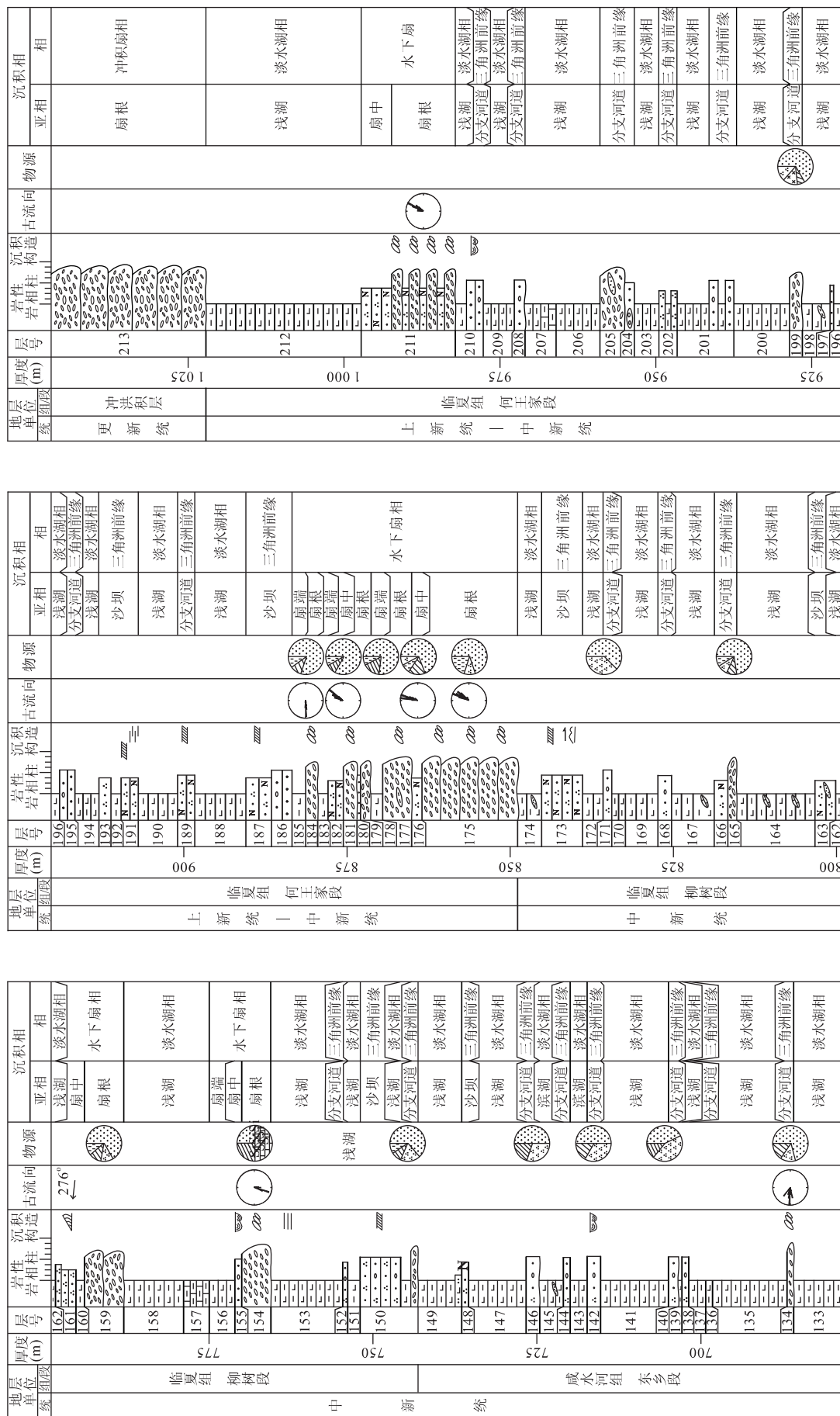


图4 青海省循化县积石镇西沟上庄中新统-上新统实测剖面岩性岩相柱状图(图例参见图2)

Fig. 4 Lithological and lithofacies column for the measured section of Miocene-Pliocene in Xigoushangzhuang, Jishi Town, Xunhua County, Qinghai Province

中庄段(N_{1cz})、上庄段(N_{1sz})、东乡段(N_{1d})和中新统一上新统临夏组(N_{1-2l}) (自下而上为中新统柳树段(N_{1l})和中新统一上新统何王家段(N_{1-2h})) (张克信等, 2007)。

他拉组(第1~22层): 未见底, 出露部分(厚124.06 m)以红褐色厚层状中—粗砾岩、含砾中—粗砂岩为主, 顶部发育紫红色泥岩夹层。

咸水河组(第23~149层)(厚618.45 m): 自下而上划分为中庄段(第23~58层)、上庄段(第59~80层)、东乡段(第81~149层), 与下伏他拉组、上覆临夏组均呈整合接触。中庄段(厚145.46 m)下部为紫红色粉砂质泥岩夹浅灰色中—粗砾岩和紫红色含砾中—细砂岩, 偶夹石膏层; 上部为红褐色、紫红色泥岩夹砂岩, 含少量石膏夹层和粗砂岩夹层。上庄段(厚138.20 m)为紫红色、褐红色粉砂岩、泥质粉砂岩与粉砂质泥岩互层夹膏泥岩与少量薄层石膏, 底部为土黄色钙质粉砂岩。东乡段(厚334.79 m)下部蓝灰色、灰绿色膏泥岩与石膏层不等厚互层; 中部为紫红色钙质泥岩、粉砂岩夹含砾粗砂岩, 上部为灰红色泥岩与灰绿色含砾粗砂岩、粗砂岩互层。该组内各段之间均呈整合接触。

临夏组(第150~212层)(厚279.80 m): 自下而上划分为柳树段(第150~174层)和何王家段(第175~212层), 与上覆更新统呈角度不整合接触。柳树段(厚106.38 m)下部为灰红、灰绿色砾岩、含砾粗砂岩、砂岩与灰红色钙质泥岩互层, 具少量泥灰岩层, 上部为灰白、灰红、暗灰色钙质泥岩和砂岩, 局部夹砾岩、含砾粗砂岩。何王家段(厚173.42 m)下部为浅灰色中—粗砾岩与灰黄色中—粗砂岩互层, 上部为土黄色中—细砂岩与土红色、黄褐色钙质泥岩互层, 夹少量泥灰岩。

本次在循化剖面上获得如下磁性地层年龄(季军良等, 2010): 他拉组上部为23.1~21.2 Ma, 咸水河组为21.2~9.6 Ma(中庄段为21.2~16.0 Ma、上庄段为16.0~14.6 Ma、东乡段为14.6~9.6 Ma), 临夏组为9.6~5.0 Ma(柳树段9.6~7.3 Ma、何王家段为7.3~5.0 Ma)。循化剖面的柳树段底部(第153层)产哺乳动物群^①。经鉴定其主要是平齿三趾马 *Hipparion* (*Hipparion*) *platyodus* Sefve、鹿类 *Cervocerus* gen et. indet、大唇犀和保德羚羊等^①。与循化剖面柳树段底部相类似的三趾马动物群在青藏高原东北部的贵德(Parés *et al.*, 2003; Fang *et al.*, 2005)、化隆盆地(方小敏等, 2002)、临夏盆地(Fang *et al.*, 2003)、固原(Jiang *et al.*, 2007)和青藏高原南部的吉隆盆地(李传夔和邱铸鼎, 1980; 邱铸鼎等, 1981; 邱占祥等, 1990; 刘梦儒等, 1992; 岳乐平等, 2004)均有发现。根据这些盆地磁性地层学的研究结果(方小敏等, 1997; Fang *et al.*, 2003, 2005; Parés *et al.*, 2003; Horton *et al.*, 2004; Dai *et al.*, 2006), 上述三趾马生存的地质年代主要为中新世晚期。循化剖面柳树段底部的磁性地层年龄与所产三趾马动物群所指示的时代一致。

2 沉积相及沉积环境分析

2 沉积相及沉积环境分析

本文通过对研究区内实测剖面详细分层观察描述, 以岩性、沉积构造、粒度分析等实测资料为依据, 自下而上进行了沉积亚相和沉积相分析(图2、图3和图4)。

2.1 冲积扇相

冲积扇相分布在循化剖面的他拉组第1~19层(图2)。由扇根、扇中和扇端3种亚相组成。

扇根亚相仅由砾岩层构成, 单个砾岩层厚4.0~7.0 m, 分布在他拉组第1、3~6、9、11、13~15和19层(图2)。砾石大小相差较大, 分选较差, 次圆状砾石为主。杂基支撑, 砾石间杂基为泥、粉砂、细砂—粗砂, 具碎屑流特征。砾岩层之底发育冲刷面, 砾石具叠瓦状构造(图5a), 指示由间歇性洪水携带的碎屑流经一定距离搬运堆积而成。此种扇根亚相出现砾石层的反复叠置现象, 缺失细粒部分, 原因是先前沉积的较细粒部分可能被较晚发生的碎屑流冲刷了。

扇中亚相主要由含砾砂岩层组成, 单个砂岩层厚2.0~10.0 m, 分布在他拉组第2、4、7、8、10、12、14层和16层(图2), 为浅桔红色、砖红色、红褐色等红色为主的含砾粗砂岩、中—粗砂岩, 分选和磨圆一般, 以块状层理为主, 显示搬运距离较短和快速堆积的特征。

扇端亚相主要由细砂—泥岩层组成, 单个岩层厚3.0~6.4 m, 分布在他拉组第8、17和18层(图2), 为红褐色钙质泥岩和含膏质细砂岩, 含钙质结核、少量砂和细砾, 以块状层理为主, 为快速堆积层。

本次对他拉组的砂岩层进行了粒度分析, 由于测试样品多集中于砂岩夹层, 因此概率累积曲线中缺乏滚动组分。他拉组砂岩的概率累计曲线多呈“低斜多段”式(图6a), 由多条不同斜率的短直线段组

^①中国地质大学地质调查研究院, 2008. 青海1:5万奴合家幅、校都乡幅区域地质调查报告, 武汉。

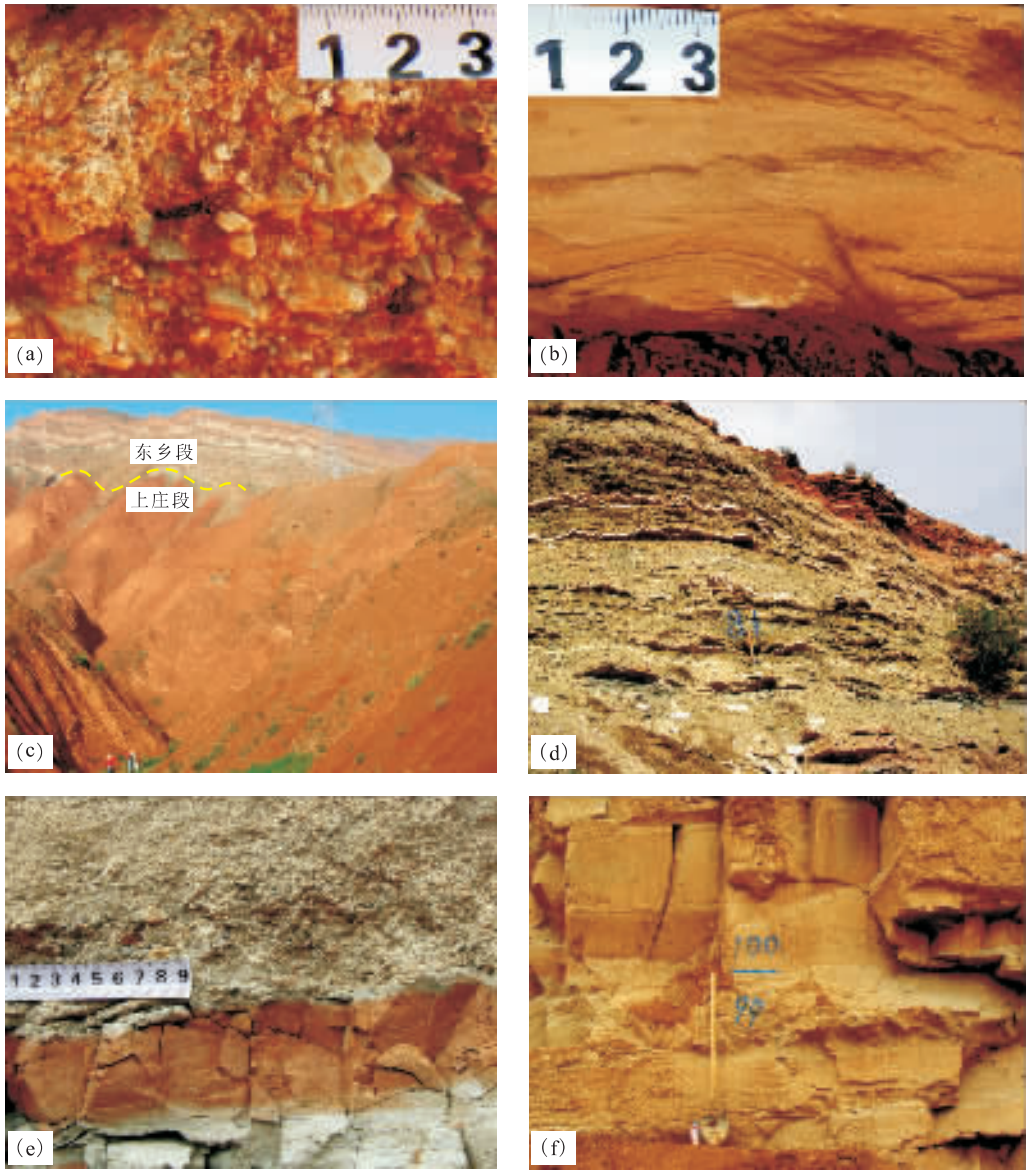


图 5 青海省循化县积石镇羊圈贡拜村渐新世—中新世地层沉积构造

Fig. 5 Sedimentary structures of the Oligocene-Miocene strata in Yangjuangongbai Village, Jishi Town, Xunhua County, Qinghai Province

a. 冲积扇相的扇根沉积, 叠瓦状排列的砾石, 剖面第 5 层底部; b. 淡水湖相的滨湖沉积, 具沙纹层理的钙质粉砂岩, 第 52 层上部; c. 上庄段和东乡段下部层序; d. 半咸水湖相的浅湖沉积, 为蓝灰、灰绿色膏泥岩夹白色薄层石膏, 第 81 层; e. 三角洲前缘的分支河道沉积, 具底冲刷面和正粒序层理的含砾砂岩, 第 97 层; f. 淡水湖相的浅湖沉积, 钙质泥岩中的水平层理, 第 99 层和第 100 层

成, 总体斜率较低, 无确定粗细截点, 指示其为粒度分布范围较大、分选性较差的近源沉积, 反映动荡环境中能量不稳定的特点, 为冲积扇相沉积(成都地质学院陕北队, 1976)。

2.2 淡水—微咸水湖相

湖相沉积从循化剖面的他拉组顶部一直分布到临夏组何王家段顶部, 是该剖面分布最广的相, 可据不含膏盐层和含少量膏盐层两种情况, 分为淡水湖相和微咸水湖相。淡水湖相由浅湖和滨湖亚相组成。

浅湖亚相主要由泥岩、粉砂岩组成, 分布在他拉组顶部第 20~22 层(图 2), 咸水河组中庄段的第 26~28 层、30 层、32 层、49~50 层、52~54 层、56~58 层(图 2), 咸水河组东乡段第 94~96 层、98~100 层、102 层、104 层、108~109 层、111 层、113 层、115 层、117~119 层、121 层、123 层、125 层、127 层、129 层、131 层、133 层、135~137 层、139 层、141 层、147 层、149 层(图 3、图 4), 临夏组柳树段第 150~151 层、153 层、157~158 层、162 层、164 层、167 层、169

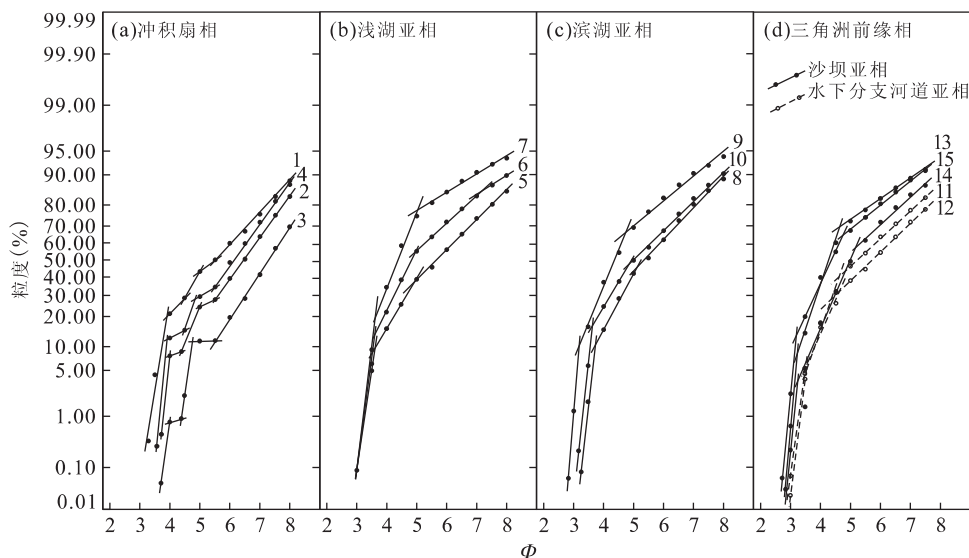


图 6 青海省循化县积石镇羊圈贡拜—西沟上庄渐新统一上新统实测剖面各沉积相粒度概率累积频率

Fig. 6 Grain size probability accumulative curves of the various sedimentary facies for the measured section of Oligocene-Pliocene in Yangjuangongbai-Xigoushangzhuang, Jishi Town, Xunhua County, Qinghai Province

样品的粒度测试在中国地质大学生物地质与环境地质教育部重点实验室 LASER 粒度仪室内完成, 测量仪器为 LS230 激光粒度分析仪, 测量范围为 $0.04 \sim 2000 \mu\text{m}$ 。样品层位: 1. 他拉组第 7 层; 2. 他拉组第 9 层; 3. 他拉组第 12 层; 4. 他拉组第 18 层; 5. 咸水河组中庄段第 26 层; 6. 咸水河组中庄段第 54 层; 7. 咸水河组中庄段第 58 层; 8. 咸水河组中庄段第 34 层; 9. 咸水河组中庄段第 35 层; 10. 咸水河组中庄段第 38 层; 11. 咸水河组中庄段第 47 层; 12. 咸水河组东乡段第 119 层; 13. 咸水河组中庄段第 55 层; 14. 临夏组柳树段第 150 层; 15. 临夏组柳树段第 163 层

层、172 层、174 层 (图 4), 临夏组何王家段第 188 层、190 层、194 层、196~198 层、200~201 层、203 层、206~207 层、209 层、210 层、212 层 (图 4)。其为紫红色、灰红色、桔红色中一薄层钙质、粉砂质泥岩和钙质、泥质粉砂岩, 其中咸水河组东乡段中上部钙质泥岩中夹蓝灰色泥质条带; 第 157 层和第 207 层可见灰白色中一厚层泥灰岩, 临夏组何王家段中上部浅湖相泥岩中多见钙质结核, 个别层位可见少量薄层石膏或石膏脉。第 28 层、53 层、58 层的钙质、泥质粉砂岩中发育平行层理; 第 52 层的钙质粉砂岩中发育典型的波纹层理 (图 5b), 说明悬浮沉积物质丰富, 水流波痕在向前迁移的同时向上叠覆, 为淡水湖相与三角洲前缘相交替沉积的特征; 第 50 层、99 层、100 层和 153 层钙质粉砂岩、泥岩中可见水平层理 (图 5f), 指示低能或静水沉积环境。浅湖亚相沉积的概率累积曲线呈两段式“高斜二悬”式 (图 6b), 细截点明显高于冲积扇相沉积。分选性好。受不同时期物源供应、古气候、古构造等控制作用的影响, 各时期浅湖环境的沉积组合特征也有所不同。剖面中湖相沉积自下而上显示多次粗细的交替变化 (图 6b)。

滨湖亚相由粉砂岩及泥岩构成, 出现在咸水河组中庄段第 33~45 层 (图 2), 东乡段第 106、120、143、145 层 (图 3, 4), 为红褐色含细砾石英中一粗砂

岩、钙质粉砂岩和粉砂质泥岩。含砾砂岩中砾石分选性和磨圆度较好, 指示滨湖区湖浪作用所致的水介质能量较高的沉积环境。第 34 层、44 层、126 层和 145 层的粉砂岩和粉砂质泥岩中夹少量砂岩透镜体。第 33~35 层、44~45 层中砂岩夹少量的石膏脉, 脉厚约 $0.2 \sim 1.0 \text{ cm}$, 显示沉积时期气候有向干旱转变的趋势。滨湖亚相沉积的概率累积曲线与浅湖亚相相似, 亦呈两段式“高斜二悬”式 (图 6c), 但细截点介于冲积扇相沉积与浅湖亚相沉积之间。其岩性结构成熟度相对浅湖亚相较低, 分选性较差。同样, 受沉积组合特征的变化所限, 剖面中滨湖相沉积随浅湖亚相呈现粗细的交替变化 (图 6c)。

微咸水湖相分布在咸水河组上庄段的第 59~80 层 (图 2, 3), 且均属浅湖亚相沉积。岩性以紫红色中一薄层钙质泥岩及膏泥岩为主, 夹少量蓝灰色泥质条带和较丰富的石膏薄层, 其中石膏层厚约 $1.0 \sim 4.0 \text{ cm}$, 均为块状层理, 指示沉积速率增大。微咸水湖相的浅湖亚相粒度概率累计曲线特点近似于淡水湖相的浅湖亚相沉积特点 (图 7b)。

2.3 半咸水—咸水湖相

剖面中的湖相沉积根据膏泥岩或石膏含量的多寡亦可划分为咸水与半咸水湖相, 均为浅湖亚相沉积。

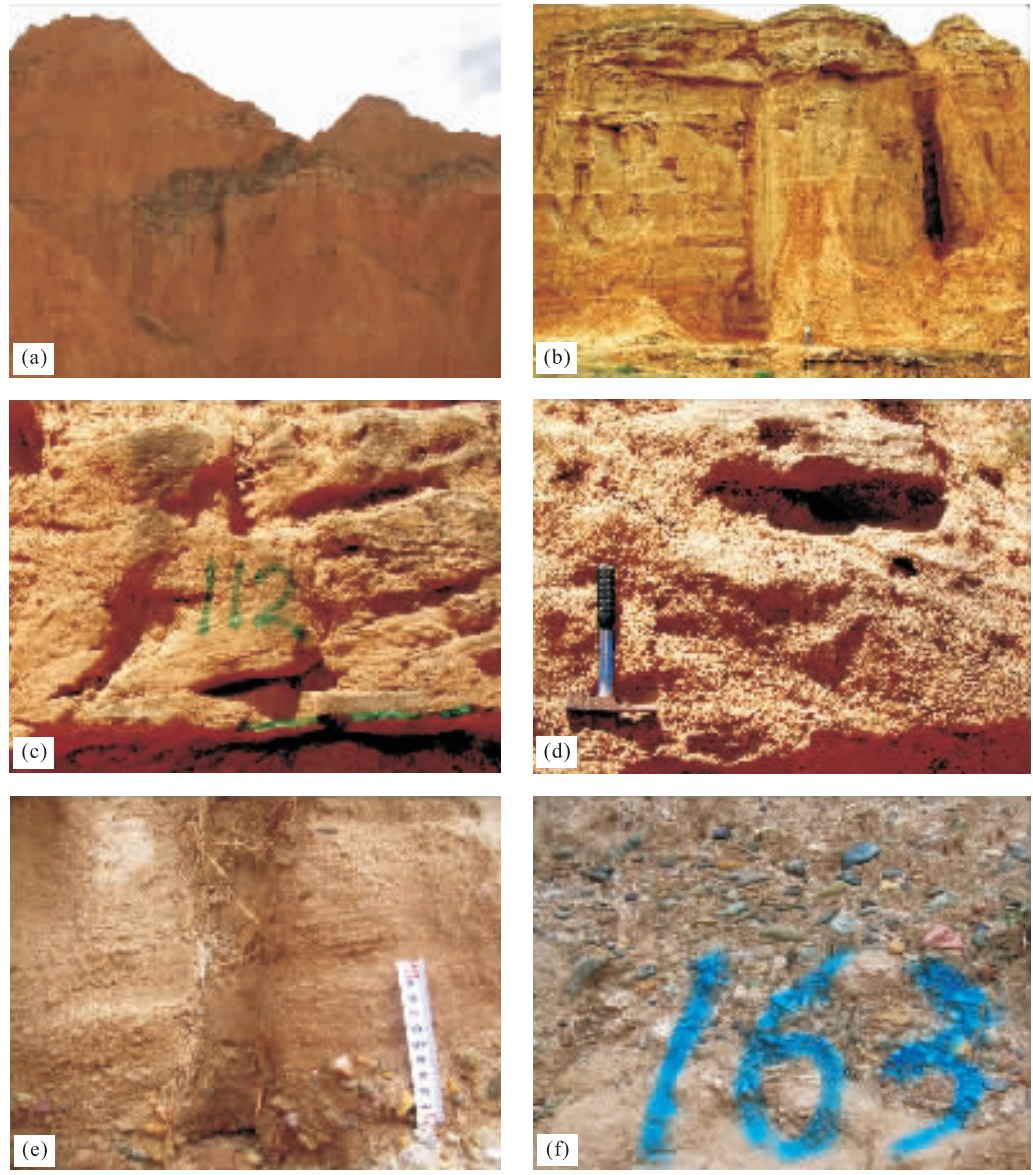


图 7 青海省循化县积石镇西沟上庄中新世—上新世地层沉积构造

Fig. 7 Sedimentary structures of the Miocene-Pliocene strata in Xigoushangzhuang Village, Jishi Town, Xunhua County, Qinghai Province

a. 三角洲前缘泥岩—粉砂岩层中的水下分支河道充填的砂岩透镜体,第 107 层;b. 东乡段中下部的三角洲前缘沙坝沉积和淡水浅湖相具水平和平行层理的泥岩—粉砂岩层;c. 三角洲前缘的水下分支河道沉积,为具楔状交错层理的含砾砂岩,第 112 层底部;d. 三角洲前缘的水下分支河道沉积,具板状交错层理的细砾岩,第 114 层;e. 水下扇相沉积,为具叠瓦状构造与平行层理的砾岩及含砾砂岩,第 159 层底部;f. 三角洲前缘沙坝沉积,具叠瓦状的砾岩夹层,第 163 层

半咸水湖相分布在咸水河组东乡段下部的第 81~82、84、86~90 层(图 3),为紫红色薄层钙质膏泥岩夹石膏层(图 5d),石膏单层厚度 0.1~0.4 m. 咸水湖相分布于咸水河组东乡段下部的第 83、85、91~92 层(图 3),为紫红色中—薄层钙质膏泥岩与石膏层不等厚互层或石膏夹膏泥岩,多为块状层理,局部发育水平层理.

半咸水—咸水浅湖亚相沉积中紫红色膏泥岩与灰白色石膏层的互层构成了东乡段下部标志性的“斑

马层”(图 5c),区别于下伏的咸水河组上庄段微咸水浅湖亚相地层,显示循化盆地进入气候相对干旱的稳定湖盆沉降阶段. 半咸水—咸水湖相的浅湖亚相粒度概率累积曲线特点也与淡水湖相的浅湖亚相沉积特点(图 6b)相似,同为两段式“高斜二悬”式.

2.4 三角洲前缘相

三角洲前缘相在剖面中与淡水湖相相间分布(图 2,3,4),主要由分支河道和沙坝亚相组成.

分支河道亚相由砾岩和含砾砂岩组成,分布于

咸水河组中庄段第 23~25 层、29 层、31 层、46~48 层(图 2),咸水河东乡段第 93 层、97 层、101 层、107 层、112 层、114 层、116 层、118~120 层、122 层、124 层、126 层、128 层、130 层、132 层、134 层、138 层、140 层、142 层、144 层、146 层(图 3 和图 4),临夏组柳树段第 150 层、152 层、165~166 层、168 层、171 层(图 4),临夏组何王家段第 189 层、195 层、201~202 层、204~205 层、208 层和 210 层(图 4)。岩性以紫红色、灰绿色含砾中—粗砂岩和中—粗砾岩为主,常见底冲刷面且具正粒序层理(图 5e)。含砾砂岩和砾岩层内均可见砂岩、含砾砂岩或砾岩透镜体(图 6a)。砂岩中广泛发育各种交错层理:第 107 层、112 层、124 层、126 层、142 层和 210 层可见槽状交错层理;第 112 层具楔状交错层理(图 7c);第 114 层、150 层和 189 层发育板状交错层理(图 7d)。单个砾岩层厚 0.7~4.0 m,中—粗砾岩的砾石大小相差小,砾径多在 1.0~5.0 cm,分选性中等—好,磨圆以次圆—圆为主,指示较强的水动力环境;填隙物仅为砂岩。砾石具叠瓦状构造,砾岩层底部发育底冲刷面。

三角洲前缘水下分支河道亚相的粒度概率累积曲线整体呈上拱状(图 6d),具多段式特征,由一个跳跃总体和两个悬浮总体组成。反映能量较强的不稳定动荡水流入湖,流体密度大,堆积快。概率曲线除反映牵引流沉积特征外,也反映多组水流的影响(袁静等,2003)。

沙坝亚相主要由砂岩组成,分布在咸水河组中庄段第 50 层、55 层(图 2),咸水河东乡段第 103 层、105 层、148 层(图 3,图 4),临夏组柳树段第 150 层、163 层、173 层(图 4),临夏组何王家段第 186~187 和 191~193 层(图 4)。岩性以灰白色、灰绿色长石石英中—粗砂岩、细砂岩为主,具少量的含砾石英粗砂岩,于第 55 层、148 层和 163 层可见粗砂岩、砾岩或泥灰岩透镜体,发育丰富的平行层理(图 7b)、板状交错层理、楔状交错层理和小型的爬升层理,砂岩中的砾岩夹层具叠瓦状构造(图 7f)。三角洲前缘沙坝亚相沉积的砂岩分选性较好。概率累积曲线呈高斜上拱状(图 6d),斜率高于同相的分支河道沉积曲线,但仍显示出多段式特征。河口区坡度大、沉积速率高、受多组水流影响的环境特点,是三角洲前缘沙坝沉积的重要特征(袁静等,2003)。

将所选取的 54 个样品粒度参数测试数据投影到 $C-M$ 图中,显示散点主要集中在 $C(70\sim150\ \mu\text{m})$ 与 $M(10\sim60\ \mu\text{m})$ 的相交区域(图 8),与典型的牵引流 $C-M$ 图像很不相同。对应标准的均匀悬浮(RS)

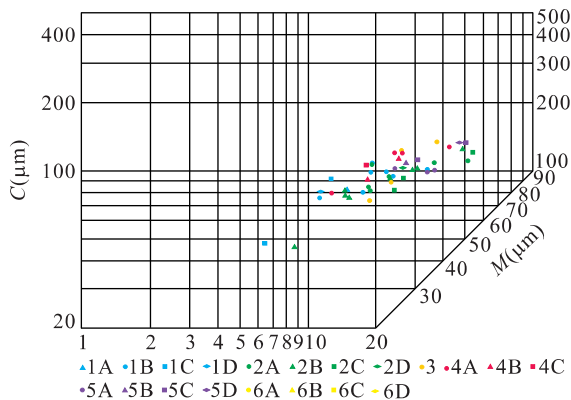


图 8 青海省循化县积石镇羊圈沟拜—西沟上庄渐新统—上新统实测剖面样品粒度 $C-M$ 图

Fig. 8 $C-M$ pattern of the samples for measured section of Oligocene-Pliocene in Yangjuangongbai-Xigoushang-zhuang, Jishi Town, Xunhua County, Qinghai Province

取样层位及其沉积环境:1. 他拉组:1A. 扇根相(第 9 层);1B. 扇中相(第 8 层、10 层、12 层、14 层);1C. 扇端相(第 17 层、18 层);1D. 浅湖相(第 20 层);2. 咸水河组中庄段:2A. 浅湖相(第 26 层、30 层、52 层、54 层、56 层、58 层);2B. 滨湖相(第 34 层、35 层、38 层、44 层、45 层);2C. 沙坝相(第 50 层、55 层);2D. 分支河道相(第 47 层);3. 咸水河组上庄段浅湖相(第 59 层、60 层、70 层、78 层);4. 咸水河组东乡段:4A. 浅湖相(第 118 层、121 层、125 层、149 层);4B. 滨湖相(第 126 层、143 层);4C. 分支河道相(第 119 层);5. 临夏组柳树段:5A. 浅湖相(第 150 层、158 层、172 层);5B. 扇中相(第 161 层);5C. 沙坝相(第 150 层、163 层);5D. 分支河道相(第 166 层);6. 临夏组何王家段:6A. 浅湖相(第 188 层、206 层);6B. 沙坝相(第 191 层、193 层);6C. 扇中相(第 182 层);6D. 扇端相(第 178 层)

段,散点位于其下部的浊流沉积区域内,且沉积物以悬浮物质为主。总体上,尽管数据落在了浊流沉积区域内,但 $C-M$ 值的分布范围又较典型的浊流沉积要窄(成都地质学院陕北队,1976)。由于实测剖面位于循化盆地南缘,因此推测盆地沉积时期的水流特征可能为受浊流影响的牵引流。

概率累积曲线总体的“低斜状”或“上拱式”,以及 $C-M$ 图上总体落在浊流沉积区域,均显示了紊流作用的影响。紊流作用的产生可能与快速水流,以及较高的悬浮颗粒含量有关。

2.5 水下扇相

水下扇相沉积分布于剖面上部临夏组柳树段和临夏组何王家段(图 4),由扇根、扇中和扇端 3 种亚相组成。

扇根亚相主要由中—粗砾岩构成,部分与砂岩构成沉积旋回。单个砾岩层厚 1.5~6.0 m,分布在临夏组柳树段底部第 154 层、159 层(图 4),临夏组何王家段底部第 175 层、177 层、179~181 层、184

层和上部第 211 层(图 4)。砾石大小相差较小,砾径多在 1.0~3.0 cm,分选性中等,磨圆以次棱角一次圆为主,填隙物成分单一,为中—粗砂岩。砾岩层底部发育底冲刷面,砾石具叠瓦状构造(图 7e)。指示重力流经过一定距离搬运而沉积。

扇中亚相由中—粗砂岩组成,单个砂岩层厚 1.0~2.5 m,分布在临夏组柳树段底部第 155 层、160~161 层(图 4),临夏组何王家段第 176 层、182 层和 211 层(图 4)。为灰绿色、灰红色厚层状长石石英中—粗砂岩,于 161 和 182 层可见泥灰岩、砂岩透镜体,155 层发育大型的槽状交错层理。

扇端亚相由泥岩层组成,单个岩层厚 1.5~4.0 m,分布在临夏组柳树段第 156 层(图 4),临夏组何王家段底部第 178 层、183 层和 185 层(图 4)。为灰黄色、紫红色薄层钙质泥岩,局部夹中—细砂岩、泥灰岩透镜体,块状层理为主,属快速堆积。

水下扇相的各亚相粒度概率累积曲线与冲积扇相各亚相的曲线特点较为吻合,均表现“低斜多段”式(图 6a)。

3 沉积演化

据上述对实测剖面自下而上详细的沉积相分析,结合对本剖面的古流向、物源、沉积速率和碎屑颗粒粒度分析的 $C-M$ 图解,将循化盆地的渐新世—上新世沉积演化划分为如下 3 个阶段。

3.1 盆地初始快速裂陷期(23.1~21.2 Ma)

以实测剖面的他拉组第 1~22 层的沉积序列为代表,古地磁年龄值为 23.1~21.2 Ma(季军良等, 2010),为渐新世晚期—中新世早期(图 9)。实测剖面他拉组冲积扇相砾岩的古流向主要为 NW 和 SSE 向,少数为 S 和 W 向,反映盆地初始快速裂陷期的物源多源的特点,指示盆地周缘已存在山系。从他拉组古流向为 NW 向的砾岩砾石成分分析(图 2)可知,砾岩主要成分为砂岩、灰岩及少量板岩。这与盆地南侧西秦岭北缘逆冲带的三叠系果木沟组、江里沟组、古浪堤组和二叠系石关组、大关山组的岩性组合特征(青海省地质矿产局,1991,1997;郑德文等,2006;王二七等,2007)相似。古流向为 SE 向的砾岩砾石成分分析(图 2)可知,砾岩中含有一定石英岩,可能来自盆地北部的拉脊山区的元古宇化隆岩群的石英片岩。反映该期盆地南部的西秦岭和北部的拉脊山均已成为隆起区,遭受剥蚀且向盆地提供物源。他拉组冲积扇相的沉积速率较大(图 9),为

盆地初始裂陷期沉积物快速充填的产物。碎屑颗粒的粒度与分布受流水能量控制,与沉积物形成环境极为密切。 $C-M$ 图解上 C 值是粒度累积曲线上颗粒含量 1% 处对应的粒径值,代表最大搬运能力(图 8)(成都地质学院陕北队,1976), C 值的大小,显示了水流作用的强弱。他拉组 C 值(图 8)大小相间,跨度较大,显示该沉积时期水流不稳、流速交替多变的特点,反映了盆地充填初期的多旋回沉积特征。中值 M 表示平均搬运能力(成都地质学院陕北队,1976)。剖面底部中值 M 变化较大(图 8),平均搬运能力时大时小,显示出水流不稳,流速交替多变的演化特点。

3.2 盆地稳定发展期(21.2~9.6 Ma)

以实测剖面的咸水河组第 23~149 层的沉积序列为代表,古地磁年龄值为 21.2~9.6 Ma(季军良等,2010),为中新世早—中期。循化盆地进一步压缩沉降,盆地进一步扩大,以湖相—三角洲前缘相交替沉积为主(图 9)。

中庄段古流向(图 2)以 NW 向为主,少量为 SW 向;东乡段古流向以 SW、SE 和 S 向为主,少量 NE 向。其物源分析表明,砾石成分为砂岩、火成岩、硅质岩、石英岩和少量变质岩,反映咸水河组沉积期由南部的西秦岭和北部的拉脊山共同提供物源。但古流向揭示出中庄段沉积期以南部的西秦岭物源区为主,暗示盆地古地势可能南高北低;东乡段沉积期以北部的拉脊山为主要物源区,暗示盆地古地势可能北高南低。盆地稳定发展期的盆地沉积速率总体较高(图 9)。

$C-M$ 图解上进入咸水河组 C 值跨度减小以及临夏组 C 值趋于统一,显示该沉积时期水流的流速、流向逐渐稳定,反映了盆地进入稳定的沉降期。剖面自下向上中值 M 变化范围的递减,说明水流稳定,印证湖盆进入其最大沉降期(图 8)。

3.3 裂后充填消亡期(9.6~5.0 Ma)

以实测剖面的咸水河组第 150~213 层的沉积序列为代表,古地磁年龄值为 9.6~5.0 Ma(季军良等,2010),为中新世晚期—上新世早期。循化盆地进入萎缩阶段。为淡水湖相—三角洲前缘相沉积和下水扇相沉积(图 9)。

柳树段和何王家段的古流向以 WNW 为主,少量为 S 和 NW 向。砾石成分为砂岩、石英岩、硅质岩和超基性岩(图 4),反映为多向物源,除南部的西秦岭、北部的拉脊山提供物源外,东部的积石山也以明显隆起,成为主要的物源区。沉积序列中的砾石成分

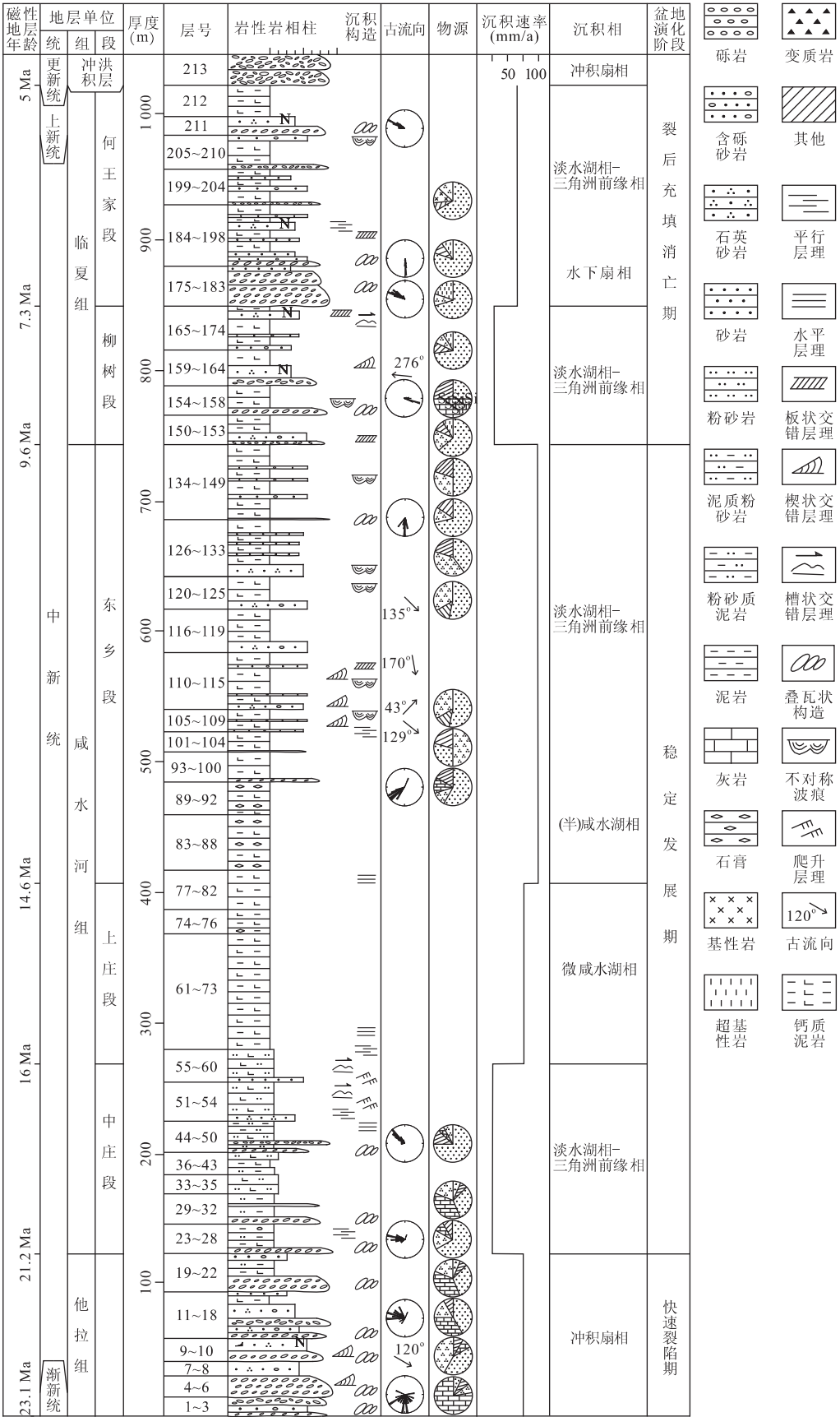


图 9 青海省循化县积石镇羊圈贡拜—西沟上庄渐新统—上新统实测剖面岩性岩相柱状图

Fig. 9 Lithological and lithofacies column for the measured section of Oligocene-Pliocene in Yangjuangongbai-Xigoushangzhuang, Jishi Town, Xunhua County, Qinghai Province

与周缘区地层的岩性组合较为一致(青海省地质矿产局, 1991, 1997; 王二七等, 2000; 郑德文等, 2006)。

4 结论

(1)对青海省循化县积石镇羊圈贡拜—西沟上庄渐新世—上新世实测剖面的沉积相分析认为, 渐新世晚期—中新世早期他拉组以冲积扇相为主, 顶部为淡水湖相; 中新世早—中期咸水河组以富含膏盐层的咸化湖相—三角洲前缘相为主; 其中中庄段以淡水湖相—三角洲前缘相, 上庄段为微咸水湖相, 东乡段以淡水湖相—三角洲前缘相为主, 底部为(半)咸水湖相; 中新世晚期—上新世早期临夏组以湖相—三角洲前缘相为主, 柳树段中部、何王家段底部和上部为水下扇相。

(2)他拉组、咸水河组和临夏组何王家段沉积期的古水流方向多在 SEE-NEE 之间, 结合物源分析, 表明当时西秦岭北缘逆冲带和拉脊山逆冲带均已隆起并遭受剥蚀成为循化盆地沉积物的物源供应区; 而在临夏组柳树段沉积期, 古水流以 NWW 为主, 推测循化盆地东部的积石山隆起成为物源的主要供应区。

(3)粒度概率累积曲线和 $C-M$ 图分析结果印证了对剖面沉积相的划分, 并指示在咸水河组中庄段、东乡段中上部、临夏组柳树段及何王家段中部的三角洲前缘相沉积和临夏组柳树段中部、何王家段底部及上部的水下扇相内存在牵引流。

(4)渐新世晚期—中新世早期(23.1~21.2 Ma)循化盆地进入快速裂陷期, 以冲积扇相为主; 中新世早—中期(21.2~9.6 Ma)循化盆地进一步压陷沉降, 盆地进一步扩大, 进入稳定发展期, 以湖相为主; 中新世晚期—上新世早期(9.6~5.0 Ma)循化盆地沉降进入后期, 盆地趋于萎缩。

致谢: 本文是中国地质大学“地质转折期研究”国家创新群体研究成果。中国地质大学(武汉)地调院寇晓虎博士、地学院研究生路晶芳、强泰和韩芳等参加了野外工作, 在此谨表谢意。

References

Bureau of Geology and Mineral Resources of Qinghai Province, 1991. Regional geology of Qinghai Province. Geological Publishing House, Beijing, 1—217 (in Chinese).
Bureau of Geology and Mineral Resources of Qinghai Prov-

ince, 1997. Stratigraphy (lithostratic) of Qinghai Province. China University of Geosciences Press, Wuhan, 194—196 (in Chinese).

Dai, S., Fang, X. M., Dupont-Nivet, G., et al., 2006. Magnetostratigraphy of Cenozoic sediments from the Xining basin: tectonic implications for the northeastern Tibetan plateau. *Journal of Geophysical Research*, 111, B11102. doi: 10.1029/2005JB004187

Deng, Z. L., Hou, Y. C., Gu, F. B., et al., 2000. Filling characteristics, sporopollen assemblage and palaeoclimate variation of Tertiary basins in the northeastern Qinghai-Tibet plateau. *Qinghai Geology*, 9(1): 43—53 (in Chinese with English abstract).

Fang, X. M., Garzzone, C., Van der Voo, R., et al., 2003. Flexural subsidence by 29 Ma on the NE edge of Tibet from the magnetostratigraphy of Linxia basin, China. *Earth Planet Sci. Lett.*, 210(3—4): 545—560.

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., 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.

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. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 117(9—10): 1208—1225. doi: 10.1130/B25727.1

Gu, Z. G., Bai, S. H., Zhang, X. T., et al., 1992. Division and correlation of the Neogene rocks in the Guide and Hualong basins in Qinghai Province. *Journal of Stratigraphy*, 16(2): 96—119 (in Chinese).

Horton, B. K., Dupont-Nivet, G., Zhou, J., et al., 2004. Mesozoic-Cenozoic evolution of the Xining-Minhe and Dangchang basins, northeastern Tibetan plateau: magnetostratigraphic and biostratigraphic results. *J. Geophys. Res.*, 109(B4): 1—15. doi: 10.1029/2003JB002913

Ji, J. L., Zhang, K. X., Qiang, T., et al., 2010. Magnetostratigraphy of the Neogene strata in the Xunhua basin, Qinghai Province. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 35(5): 803—810 (in Chinese with English abstract).

Jiang, H. C., Ding, Z. L., Xiong, S. F., 2007. Magnetostratigraphy of the Neogene Sikouzi Section at Guyuan,

- Ningxia, China. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 243(1—2): 223—234. doi: 10. 1016/j. palaeo. 2007. 07. 016
- Li, C. K., Qiu, Z. D., 1980. Early Miocene mammalian fossils from Xining basin, Qinghai. *Vertebrata Palasiatica*, 18(3): 198—214 (in Chinese with English abstract).
- Li, T. D., 1995. The uplifting process and mechanism of the Qinghai-Tibet plateau. *Acta Geoscientia Sinica*, (1): 1—9 (in Chinese with English abstract).
- Liu, M. R., 1992. Stratigraphic sequence and fossil assemblage of Neogene system in Xining-Minhe basin. *Qinghai Geology*, 1(2): 1—18 (in Chinese with English abstract).
- Liu, S. F., Zhang, G. W., 2005. Fundamental ideas, contents and methods in study of basin and mountain relationships. *Earth Science Frontiers*, 12(3): 101—111 (in Chinese with English abstract).
- Liu, S. F., Zhang, G. W., Heller, P. L., 2007. The development and the indicating function from Xunhua-Guide Cenozoic basin. *Science in China (Ser. D)*, 37(Suppl.): 235—248 (in Chinese).
- Parés, 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. *J. Geophys. Res.*, 108(B1): 1—11. doi: 10. 1029/2001JB001349
- Qiu, Z. D., Li, C. K., Wang, S. J., 1981. Discussion on Miocene stratigraphy and mammals from Xining basin, Qinghai. *Certebrata Palasiatica*, 19(4): 313—320 (in Chinese with English abstract).
- Qiu, Z. X., Xie, J. Y., Yan, D. F., 1990. Discovery of some Early Miocene mammalian fossils from Dongxiang, Gansu. *Vertebrata Palasiatica*, 28(1): 9—24 (in Chinese with English abstract).
- Shanbei Team in Chengdu College of Geology, 1978. Analysis and applications of sedimentary rocks (sediments) grain size. Geological Publishing House, Beijing, 11—45 (in Chinese).
- Song, C. H., 2006. Tectonic uplift and Cenozoic sedimentary evolution in the northern margin of the Tibetan plateau (Dissertation). Lanzhou University, Lanzhou (in Chinese with English abstract).
- Song, C. H., Fang, X. M., Li, J. J., et al., 2003. Sedimentary evolution of the Guide basin in the Late Cenozoic and the uplift of the Qinghai-Tibet plateau. *Geological Review*, 49(4): 337—346 (in Chinese with English abstract).
- Wang, E. Q., Zhang, Q., Burchfiel, C. B., 2000. The Lajishan fault belt in Qinghai Province: a multi-staged uplifting structural window. *Scientia Geologica Sinica*, 35(4): 493—500 (in Chinese with English abstract).
- Yu, Q. W., 2001. Cenozoic coupling of uplift-sedimentary-climate evolution in the northeastern Qinghai-Tibet plateau. China University of Geosciences Press, Wuhan, 1—123 (in Chinese).
- Yuan, J., Du, Y. M., Li, Y. N., 2003. Probability cumulative grain size curves in terrigenous depositional environments of the Paleogene in Huimin sag. *Petroleum Exploration and Development*, 30(3): 103—106 (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).
- Yue, L. P., Qiu, Z. X., Xie, G. P., et al., 2003. Sedimentary environment of Tertiary recorded in the Yongdeng Section of Lanzhou basin. *Acta Sedimentologica Sinica*, 21(4): 683—687, 694 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, K. X., Wang, G. C., Cao, K., 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, K. X., Wang, G. C., Chen, F. N., et al., 2007. Coupling between the uplift of Qinghai-Tibet plateau and distribution of basins of Paleogene-Neogene. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 32(5): 583—597 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, K. X., Wang, G. C., Ji, J. L., et al., 2010. Stratigraphic realm and sedimentary sequence of Paleogene-Neogene of Qinghai-Tibet plateau and sedimentary response to the uplift of the plateau. *Science in China (Earth Sciences)*, 53(9): 1271—1294.
- Zheng, D. W., Zhang, P. Z., Wang, J. L., et al., 2003. Late Cenozoic deformation subsequence in northeastern margin of Tibet: Detrital AFT records from Linxia Basin. *Science in China (Ser. D)*, 46(Suppl.): 266—275.
- Zheng, D. W., Zhang, P. Z., Wan, J. L., et al., 2003. The timing sequence of tectonic deformation in Northeast Qinghai-Tibet plateau—fission track evidence of the debris apatite. *Science in China (Ser. D)*, 33(Suppl.): 190—198 (in Chinese).
- Zheng, D. W., Zhang, P. Z., Wan, J. L., et al., 2006. Tectonic events, climate and conglomerate: example from Jishishan Mountain and Linxia basin. *Quaternary Sciences*, 26(1): 63—69 (in Chinese with English abstract).

Zhou, J. Y., Wang, J. H., Yin, A., et al., 2002. Depositional patterns and tectonic setting of Early Tertiary basins in the NE margin of the Tibetan plateau; a case study of the Nangqian and Xialaxiu basins. *Acta Sedimentologica Sinica*, 20(1): 85—91 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

成都地质学院陕北队, 1976. 沉积岩(物)粒度分析及其应用. 北京: 地质出版社, 11—45.

邓中林, 侯元才, 古凤宝, 等, 2000. 青海东北部第三纪西宁—贵德—化隆盆地充填特征、孢粉组合方式与古气候演变. *青海地质*, 9(1): 43—53.

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, 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.

谷祖纲, 白生海, 张显庭, 等, 1992. 青海省贵德、化隆两盆地新第三系的划分与对比. *地层学杂志*, 16(2): 96—119.

季军良, 张克信, 强泰, 等, 2010. 青海循化盆地新近纪磁性地层学及其对青藏高原东北缘隆升的年代学制约. *地球科学——中国地质大学学报*, 35(5): 803—810.

李传夔, 邱铸鼎, 1980. 青海西宁盆地早中新世哺乳动物化石. *古脊椎动物与古人类*, 18(3): 198—214.

李廷栋, 1995. 青藏高原隆升的过程和机制. *地球学报*, (1): 1—9.

刘梦儒, 1992. 西宁—民和盆地上第三系层序及所含化石. *青海地质*, 1(2): 1—18.

刘少峰, 张国伟, 2005. 盆山关系研究的基本思路、内容和方法. *地学前缘*, 12(3): 101—111.

刘少峰, 张国伟, Heller, P. L., 2007. 循化—贵德地区新生代盆地发育及其对高原增生的指示. *中国科学(D 辑)*, 37(增刊): 235—248.

青海省地质矿产局, 1991. 青海省区域地质志. 北京: 地质出版社, 1—217.

青海省地质矿产局, 1997. 青海省岩石地层. 武汉: 中国地质大学出版社, 194—196.

邱铸鼎, 李传夔, 王士阶, 1981. 青海西宁盆地中新世地层及哺乳动物群性质. *古脊椎动物与古人类*, 19(4): 313—320.

邱占祥, 谢骏义, 阎德发, 1990. 甘肃东乡几种早中新世哺乳动物化石. *古脊椎动物学报*, 28(1): 9—24.

宋春晖, 2006. 青藏高原北缘新生代沉积演化与高原构造隆升过程(学位论文). 兰州: 兰州大学.

宋春晖, 方小敏, 李吉均, 等, 2003. 青海贵德盆地晚新生代沉积演化与青藏高原北部隆升. *地质论评*, 49(4): 337—346.

王二七, 张旗, Burchfiel, C. B., 2000. 青海拉脊山: 一个多阶段抬升的构造窗. *地质科学*, 35(4): 493—500.

于庆文, 2001. 青藏高原东北缘新生代隆升—沉积—气候演化及其耦合. 武汉: 中国地质大学出版社, 1—123.

袁静, 杜玉民, 李云南, 2003. 惠民凹陷古近系碎屑岩主要沉积环境粒度概率累积曲线特征. *石油勘探与开发*, 30(3): 103—106.

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.

岳乐平, 邱占祥, 颜光普, 等, 2003. 兰州盆地永登剖面记录的第三纪沉积环境. *沉积学报*, 21(4): 683—687, 694.

张克信, 王国灿, 陈奋宁, 等, 2007. 青藏高原古近纪—新近纪隆升与沉积盆地分布耦合. *地球科学——中国地质大学学报*, 32(5): 583—597.

郑德文, 张培震, 万景林, 等, 2003. 青藏高原东北边缘晚新生代构造变形的时序——临夏盆地碎屑颗粒磷灰石裂变径迹记录. *中国科学(D 辑)*, 33(增刊): 190—198.

郑德文, 张培震, 万景林, 等, 2006. 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.

周江羽, 王江海, 尹安, 等, 2002. 青藏东北缘早第三纪盆地充填的沉积型式及构造背景——以囊谦和下拉秀盆地为例. *沉积学报*, 20(1): 85—91.