

doi:10.3799/dqkx.2010.085

# 青藏高原新生代构造岩相古地理演化及其对构造隆升的响应

张克信<sup>1,2,3</sup>, 王国灿<sup>2,4</sup>, 骆满生<sup>1</sup>, 季军良<sup>1,2</sup>, 徐亚东<sup>1,2</sup>, 陈锐明<sup>5</sup>, 陈奋宁<sup>5</sup>,  
宋博文<sup>1,2</sup>, 梁银平<sup>1,2</sup>, 张健钰<sup>1,2</sup>, 杨永锋<sup>1,2</sup>

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. 中国地质大学地质调查研究院, 湖北武汉 430074
4. 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
5. 西安地质矿产研究所, 陕西西安 710054

**摘要:** 在系统分析青藏高原新生代 98 个残留盆地类型、形成构造背景、岩石地层序列的基础上, 对青藏高原古新世—始新世、渐新世、中新世及上新世构造岩相古地理演化特征进行了讨论: (1) 古新世—始新世: 松潘—甘孜和冈底斯带为大面积构造隆起蚀源区, 塔里木东部、柴达木、羌塘、可可西里地区主体表现为大面积的构造压陷湖盆—冲泛平原沉积, 高原西部和南部为新特提斯海。(2) 渐新世: 冈底斯—喜马拉雅和喀喇昆仑大范围沉积缺失, 指示上述地区大面积隆升, 沿雅江自东向西古河形成(大竹卡砾岩), 西昆仑和松潘—甘孜地区仍为隆起蚀源区, 塔里木、柴达木、羌塘、可可西里地区主体表现为大面积构造压陷湖盆沉积, 塔里木西南部为压陷盆地滨浅海沉积, 渐新世末塔里木海相沉积结束。(3) 中新世: 约 23 Ma 时高原及周边不整合面广布, 标志高原整体隆升, 塔里木、柴达木及西宁—兰州、羌塘、可可西里等地区主体表现为大面积的构造压陷湖盆沉积; 约 18~13 Ma 高原及周边出现中新世最大湖泊扩张期, 约 13~10 Ma 期间, 藏南南北向断陷盆地形成, 是高原隆升到足够高度开始垮塌的标志。(4) 上新世: 除可可西里—羌塘、塔里木、柴达木等少数大型湖盆外, 大部分地区为隆起剥蚀区, 由于上新世的持续隆升和强烈的断裂活动, 使大型盆地的基底抬升被分割为小盆地, 湖相沉积显著萎缩, 进入巨砾岩堆积期, 是高原整体隆升的响应, 高原从古近纪的东高西低格局, 经历了新近纪全区的不均衡隆升和拗陷, 最终铸就了西高东低的地貌格局, 青藏作为一个统一的高原发生了重大的地貌反转事件。

**关键词:** 岩相古地理; 沉积演化; 构造隆升; 新生代; 青藏高原。

中图分类号: P534; P542

文章编号: 1000-2383(2010)05-0697-16

收稿日期: 2010-05-31

## Evolution of Tectonic Lithofacies Paleogeography of Cenozoic of Qinghai-Tibet Plateau and Its Response to Uplift of the Plateau

ZHANG Ke-xin<sup>1,2,3</sup>, WANG Guo-can<sup>2,4</sup>, LUO Man-sheng<sup>1</sup>, JI Jun-liang<sup>1,2</sup>, XU Ya-dong<sup>1,2</sup>, CHEN Rui-ming<sup>5</sup>,  
CHEN Fen-ning<sup>5</sup>, SONG Bo-wei<sup>1,2</sup>, LIANG Yin-ping<sup>1,2</sup>, ZHANG Jian-yu<sup>1,2</sup>, YANG Yong-feng<sup>1,2</sup>

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. Geological Survey of China University of Geosciences, Wuhan 430074, China
4. State Key Laboratory of Geological Process and Mineral Resources, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China
5. Xi'an Institute of Geology and Mineral Resources, Xi'an 710054, China

**Abstract:** By doing an integrated research on the types of 98 remnant basins, tectonic setting and lithostratigraphic sequence, we studied the evolution of tectonic lithofacies paleogeography of the Paleocene—Eocene, Oligocene, Miocene and Pliocene of Qinghai-Tibet plateau, dividing it into four stages: (1) The Paleocene to Eocene characterized by an uplift and erosional area in

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, 40830212).

作者简介: 张克信(1954—), 教授, 博士生导师, 主要从事地层和造山带地质研究. E-mail: kx\_zhang@cug.edu.cn

Songpan-Garzê and Gangdisê, depressed basins (lakes and pluvial plain) in eastern Tarim, Qaidam, Qiangtang and Hoh Xil, and Neo-Tethys sea in western and southern Qinghai-Tibet plateau; (2) The Oligocene characterized by an uplift area in Gangdisê-Himalaya and Karakorum (marked by the absence of the sediments), rivers (originated from east and flew to west) in Yarlung Zangbo Jiang (marked by the deposition of Dazhuka conglomerate), an uplift and erosional area in western Kunlun and Songpan-Garzê, and depressed basins (lakes) in Tarim, Qaidam, Qiangtang and Hoh Xil. Besides, it is also featured with a depressed littoral and neritic basin in southwestern Tarim and the termination of marine-facies deposition at the end of the Oligocene; (3) The Miocene characterized with the widespread of regional unconformity in the plateau, the overall uplift of the plateau in its adjacent area ca. 23 Ma, depressed basins (lakes) in Tarim, Qaidam, Xining-Nanzhou, Qiangtang, Hoh Xil, lacustrine-facies deposition expanding to its peak in the plateau and its adjacent area ca. 18–13 Ma, and the formation of south-north fault basins in southern Tibet ca. 13–10 Ma, all indicating that the plateau uplifted to its peak and began to collapse; (4) The Pliocene characterized by an uplift and erosional area in most part of the plateau except in Hoh Xil-Qiangtang, Tarim and Qaidam. The continuing uplift and intensive fault in plateau elevated and divided the original large basin into small basins. The lacustrine-facies deposition prominently shrank and boulderstones accumulated, indicating a response to the overall uplift of the plateau. The plateau, which was higher in east and lower in west in physiognomy in the Paleogene, experienced a process of uneven uplift and sag in the Neogene and finally became higher in west and lower in east in physiognomy. This process indicates that a great physiognomy-reverse event happened in the Qinghai-Tibet plateau.

**Key words:** lithofacies paleogeography; evolution of sediment; uplift of the plateau; Cenozoic; Qinghai-Tibet plateau.

在系统查阅 1996—2008 年中国地质调查局在青藏高原完成的 177 幅 1:25 万地质填图和前人已发表的新生代地层资料的基础上,划分出青藏高原及邻区古近纪—新近纪残留盆地共 98 个(张克信等, 2007; Zhang *et al.*, 2010), 归属为南疆—西昆仑、柴达木—祁连—西秦岭、羌塘—川西、扬子西缘、冈底斯—喜马拉雅—恒河共 5 个地层区,进一步细分为 13 个地层分区(Zhang *et al.*, 2010). 本文以上述研究为依据,通过对青藏高原古新世—始新世、渐新世、中新世和上新世 4 个时段详细的构造岩相古地理编图(图 1~4)研究,初步查明了青藏高古近纪—新近纪不同区块沉积盆地的沉积相序及空间展布,从构造岩相古地理演化的角度揭示青藏高原古近纪—新近纪构造隆升—构造地貌演化—沉积响应的耦合关系。

## 1 古新世—始新世

青藏古新世—始新世总体构造地貌格局主要受控于印度板块与欧亚板块沿雅江缝合带的碰撞及持续挤压,影响当时的古地理和沉积分布. 当时大范围的隆起剥蚀区是东北部的松潘—甘孜、西北部的西昆仑和北部的阿尔金、祁连、阿拉善剥蚀区和南部的冈底斯陆缘弧带. 塔里木东部、柴达木、羌塘、可可西里地区主体表现为大面积的构造压陷湖盆—冲泛平原沉积区. 西部和南部为新特提斯海,从南向西北依次为藏南的喜马拉雅海、西部的松西海湾—帕米尔海和南疆的叶城海湾. 喜马拉雅海之北为冈底斯火

成岩带,以雅江缝合带相隔. 古新世—始新世青藏总体地势为东高西低、北高南低(张克信等, 2007, 2008)(图 1).

南疆—西昆仑地区,以北西—南东向展布的西昆仑和北东—南西向展布的阿尔金为构造隆起剥蚀区,西昆仑剥蚀区之北为南疆的叶城海湾和若羌陆相压陷盆地,之南为松西海湾—帕米尔滨浅海(图 1). 叶城海湾古新世—始新世沉积与下伏白垩纪海相地层为连续沉积,为新特提斯海的一部分,以半封闭的海湾滨浅海沉积为主. 古新世初开始沉积的阿尔塔什组底部普遍发育白色巨厚层状石膏层,为干旱炎热气候条件下发育的萨布哈相沉积. 之后发生大范围海侵,呈现向上变深的海侵序列,早期的封闭—半封闭的萨布哈—局限台地相沉积环境被打破,随之沉积的是大范围分布的碳酸盐岩开阔台地相,以齐姆根组、卡拉塔尔组和乌拉根组的生屑灰岩、鲕粒灰岩、牡蛎介壳灰岩和灰绿色、暗红色泥岩为代表,其中盛产海相有孔虫、介形虫和双壳类等海相动物群. 始新世晚期叶城海湾内的内源生物—化学堆积逐步被陆源碎屑沉积所替代,至渐新世初,开始大量堆积巨厚的陆源碎屑沉积(巴什布拉克组),表明从始新世末期开始,西昆仑剥蚀区和阿尔金剥蚀区的构造隆起进一步加强(唐天福等, 1992; 邵龙义等, 2006).

古近纪地层(喀什群)在帕米尔浅海—松西海湾一带分布零星,现仅少量分布在古达拉一带和龙木错北侧与蚂蟥山南侧一带. 推测该分区在古近纪时部分地区可能为低缓的隆起区,部分地区为滨海海

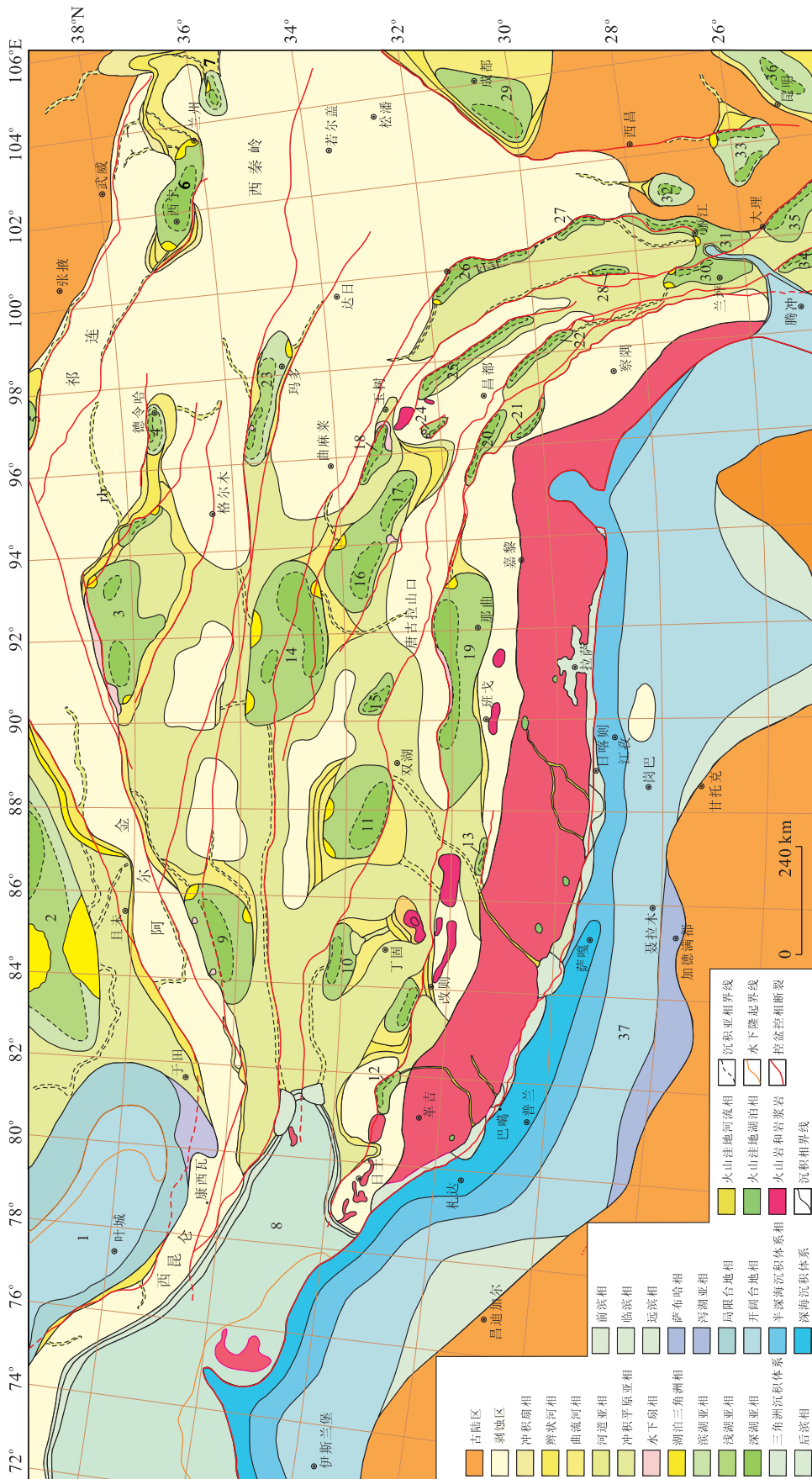


图 1 青藏高原及邻区古新世-始新世构造岩相古地理

Fig. 1 Tectonic-litho-paleogeography map of Qinghai-Tibet plateau and its adjacent areas in the Paleocene—Eocene

1. 叶城海灣; 2. 若羌盆地; 3. 柴达木盆地; 4. 德令哈盆地; 5. 酒泉盆地; 6. 西宁-兰州盆地; 7. 同心盆地; 8. 松西海灣; 9. 北美塘盆地; 10. 南美塘盆地; 11. 双湖盆地; 12. 昆仲錯盆地; 13. 尼瑪盆地; 14. 可可西里盆地; 15. 唐古拉山盆地; 16. 沱沱河盆地; 17. 杂多盆地; 18. 上拉秀盆地; 19. 伦坡拉-安多盆地; 20. 丁青盆地; 21. 八宿盆地; 22. 左贡盆地; 23. 阿拉克湖盆地; 24. 囊谦盆地; 25. 贡觉盆地; 26. 理塘盆地; 27. 拉波盆地; 28. 乡城盆地; 29. 成都盆地; 30. 兰坪盆地; 31. 丽江盆地; 32. 盐源盆地; 33. 元谋盆地; 34. 保山盆地; 35. 大理盆地; 36. 昆明盆地; 37. 喜马拉雅-雅鲁藏布海

湾—泻湖环境;新近纪经历了强烈隆起,使绝大部分古近纪沉积全被剥蚀。

古新世—始新世柴达木—祁连—西秦岭地区共包括 5 个剥蚀区和 3 个盆地区,剥蚀区为阿尔金、东昆仑、祁连、西秦岭和阿拉善剥蚀区。盆地主要为酒泉、柴达木—德令哈、西宁—兰州—同心盆地(图 1)。酒泉盆地古新世—始新世早期处于隆升剥蚀状态。始新世晚期(约 40.5 Ma)盆地开始拗陷孕育。其后盆地扩大,在北部和西部发育了山麓洪积扇—河流—三角洲相沉积,称火烧沟组( $E_{2-3}h$ ) (朱利东, 2004)。柴达木—德令哈盆地的演化受祁连山构造带、阿尔金构造带和东昆仑构造带的共同影响。古新世为无沉积的隆起区。始新世早期初始拗陷,自约 53.5 Ma 开始接受与下伏地层不整合的路乐河组( $E_2l$ )粗碎屑沉积,总体沉积面积较小。 $E_2l$  主要为紫红色砾岩与砂岩互层夹粉砂岩和泥岩,具有下部粗、中部细、上部又变粗的沉积旋回特征,反映出早期以山麓洪积扇—河流相为主、中期为滨浅湖—三角洲前缘、晚期为三角洲平原沉积。始新世晚期开始,盆地更大范围拗陷,开始形成比路乐河组分布范围更广、几乎遍及全盆地的下干柴沟组细碎屑沉积(李玉喜等, 2002;赵加凡等, 2004)。西宁—兰州—同心盆地古新世期间处于隆升剥蚀状态。约 58 Ma 的古新世末期盆地开始下陷接受沉积(岳乐平等, 2003;张进等, 2005)。58~51 Ma 沉积西柳沟组( $E_{1-2}x$ ),盆地边缘为冲洪积扇砖红色砾、砂岩组合,向盆地中部相变为砖红色块状砂岩夹泥岩为主的三角洲至湖相沉积。51.00~4.48 Ma 期间盆地沉积范围扩大,盆地广泛接受大套稳定的咸化湖相沉积(野狐城组和咸水河组)(邓中林等, 2000;方小敏等, 2007)。

羌塘—川西地区古—始新世的剥蚀区为北部的阿尔金和东昆仑,南部的日土—羌多、改则、多玛—巴青、比如洛隆和冈底斯陆缘弧带,东部的松潘—甘孜剥蚀区。盆地有北羌塘、南羌塘、昆仲错、双湖、可可西里、沱沱河—杂多、唐古拉、尼玛、伦坡拉—安多、囊谦、上拉秀、贡觉、乡城、丁青、八宿、左贡、甘孜理塘和拉波等盆地(朱利东, 2004)。西部与松西海湾相接。全区整体地势为东高西低。西部为广阔的近海冲积平原,冲积平原上河湖遍布。羌塘和可可西里地区主要是东西向分布的大—中型盆地,盆地早期沉积物皆以粗碎屑岩韵律堆积为特征,沉积厚度较大,晚期粒度变细。反映盆地初始裂陷期主要以冲积扇、辫状河、水下扇相等粗碎屑岩沉积充填为主,随后进入到盆地扩张期,沉积区扩大,以湖相细粒沉积物充填

为主(朱利东, 2004;金玮, 2007; Wang *et al.*, 2008)。

位于高原东缘的囊谦、上拉秀、贡觉、乡城、丁青、八宿、左贡、甘孜理塘和拉波等盆地,均为沿班公湖—怒江、龙木错—双湖、甘孜—理塘、澜沧江和红河等断裂及其平行的次级断裂带,在高原腹地为逆冲挤压环境下,沿断裂带之间出现的走滑拉分盆地。盆地沉积充填不对称,走滑断裂一侧发育陡坡扇三角洲或水下扇的粗碎屑沉积,厚度巨大;湖相沉积主要集中在靠近主走滑断裂的盆地轴部;走滑断裂不发育的缓坡带沉积厚度小,主要发育河流、三角洲相沉积(Zhang *et al.*, 2010)。

古新世—始新世时扬子西缘主要为大面积的构造隆起区,盆地主要有成都、兰坪、保山、大理、丽江、盐源、元谋和昆明盆地。成都盆地为受龙门山断裂控制的挤压构造背景下的构造挠曲压陷盆地。兰坪、保山、大理和丽江等盆地均为沿澜沧江断裂带、甘孜—理塘断裂和红河断裂带及其平行的次级断裂带内,在逆冲挤压环境下,沿上述断裂带出现走滑拉分盆地。成都盆地古新世—始新世在雅安—名山一带强烈沉降(陈竹新等, 2008),形成沉积中心。自西而东由冲积扇—冲积平原—湖泊沉积构成。西部沉积相带分布比东部窄。沉积厚度自西向东减小。在滇西古新统主要分布在兰坪—思茅一带,向北到达维西附近,内部出现由若干隆起分割成的多个沉积中心(何科昭等, 1996)。古新世气候干旱,在兰坪、云龙、元谋等地形成以勐野井组为代表的红色含膏盐的砂、泥质咸水湖相沉积。始新世气候相对潮湿,盆地淡水供给充足,沉积了淡水湖泊相,在兰坪、丽江、元谋等地形成沉积中心,发育了始新世厚层砂、泥质沉积,丰富的介形类、轮藻、腹足类、昆虫类化石,岩相主要为滨湖—浅湖—深湖沉积。始新世末期,受印度板块和欧亚板块碰撞,区内强烈挤压变形,沉积区向造山带转换,盆地隆起为山,盆地面积缩小,在山前和山间凹地堆积巨厚层磨拉石建造,最终结束了湖泊相沉积,代之冲洪积扇沉积(何科昭等, 1996)。

古新世—始新世期间,冈底斯陆缘弧内发育了大量钙碱性—高钾钙碱性火山岩系(林子宗群)。陆缘弧在火山活动间隙期的火山凹地内堆积了陆相河湖环境沉积(林子宗群内的大套沉积岩夹层)。在陆缘弧南侧的盆地内,发育了以秋乌组、柳曲群和错江顶群为代表的海陆过渡—滨浅海环境沉积。在陆缘弧北侧的一系列断陷盆地内,发育了以牛堡组为代表的河湖陆相环境沉积。无论是南侧的古近纪浅海相地层,还是冈底斯陆缘岩浆弧内发育的古近纪火

山岩,它们均与下伏的白垩纪海相地层之间呈角度不整合接触关系,说明印度与欧亚板块沿雅鲁藏布江带的初始碰撞发生在古新世初(65 Ma)。始新世晚期,冈底斯陆缘岩浆弧南侧的新特提斯残留海全面向西退去,从而全面结束了该带的海相沉积地层。该带并连同冈底斯陆缘弧的大部分地区被构造抬升为剥蚀区,说明印度与欧亚板块沿雅鲁藏布江带完成了全面碰撞,进入陆内演化阶段。

古新世—始新世的藏南残留海分布在冈底斯陆缘岩浆弧以南的广阔区域内,由于该带自始新世末期脱离海洋环境后一直持续隆升,使原先的古近纪残留海沉积物多数被剥蚀殆尽,现残存的古近纪海相地层仅零星分布在江孜、岗巴一定日、仲巴、萨嘎—郭雅拉和桑麦等地。藏南残留海具有明显的沉积相带分异。从北向南,海水由浅海到深海再到浅海(丁林,2003;张克信等,2008)。北带的浅海分布带很窄,也十分局限,见于仲巴和巴噶地区。南带的浅海分布带宽,分布区域较大,见于岗巴一定日一带,以滨浅海生物碎屑灰岩为主,富含底栖有孔虫和钙藻。在上述南北两带浅海沉积夹持的中间地带,为半深海—深海沉积。从东向西,半深海—深海沉积沿江孜—萨嘎—郭雅拉—桑麦一线分布;中带东部的江孜为半深海斜坡扇沉积建造;中带西部为半深海—深海含放射虫硅质岩和混杂岩建造。由此可见,中带的海水东浅西深,沉积环境东部相对稳定,西部为活动型,反映白垩纪晚期至始新世洋壳向北俯冲与陆—陆碰撞造成了地壳的抬升和新特提斯洋沿雅鲁藏布江缝合带闭合,地壳抬升首先开始于东侧,闭合的时间从东向西变新,海水是从东向西退出的。

## 2 渐新世

渐新世期间承袭了古新世—始新世青藏总体东高西低、北高南低的地势特征(张克信等,2007,2008)。与古新世—始新世相比,渐新世最大的构造地貌格局转变是冈底斯、喜马拉雅和喀喇昆仑的大面积隆升,表现为上述地区大范围的沉积缺失,沿雅江自东向西古河的形成(大竹卡砾岩)。渐新世大范围剥蚀区还有西部的西昆仑和东北部的松潘—甘孜地区。塔里木、柴达木、羌塘、可可西里地区主体表现为大面积的构造压陷湖盆沉积区。塔里木西南部为构造压陷盆地滨浅海沉积(图2)。

南疆—西昆仑地区以北西—南东向展布的西昆仑为构造隆起剥蚀区,之北为塔里木压陷盆地,其中

塔西南地区为滨浅海,塔东南地区为陆相湖盆,两者为塔中隆起所隔(郝诒纯等,2002),之东为阿尔金剥蚀区。塔里木西南部海湾的渐新世滨浅海沉积与下伏始新世海相地层为连续沉积,为新特提斯海的一部分,以半封闭的海湾滨浅海沉积为主。渐新世沉积底部发育厚数十米的白色石膏岩萨布哈沉积,向上以灰绿色粉砂岩和泥岩为主,代表了一次新的海侵。只是此次海侵规模比早白垩世—始新世期间发生的4次海侵规模都要小。之后,在渐新世末期以区域构造不整合结束了塔里木盆地的海相沉积历史,全面转变为陆相(Jin *et al.*, 2003; 贾承造等,2004; Zhang *et al.*, 2010)。

柴达木—祁连—西秦岭在渐新世沉积范围与古新世—始新世相比,整体沉积范围扩大。盆地有酒泉、肃北、苏里、张掖、武威、宁夏、柴达木、德令哈、西宁、兰州、贵德—循化、临夏、定西、兴海、合作和天水盆地。其中肃北、苏里、张掖、武威、宁夏、兴海、贵德—循化、临夏、定西、合作和天水盆地均是在渐新世开始形成接受沉积,原有的盆地沉积范围均有不同程度的扩大。

柴达木盆地渐新世时沉积范围扩大,沉积中心由油沙山一带向东南扩展。西岔沟剖面干柴沟组底部(31.5~30.5 Ma)古水流由前期的向南西转变为大致向北,并且砾石组分的特点以昆仑山区下元古界变质岩系为主,表明此时盆地南部东昆仑逆冲断裂系使昆仑山隆升,并成为该区的主控断裂(宋春晖,2006)。而大约29.5 Ma以后西岔沟剖面上干柴沟组的古水流转变为大致向南,说明阿尔金走滑断裂又成为该区的主控断裂(崔军文等,1999)。由于柴西地区受阿尔金走滑断裂和东昆仑逆冲断裂系的控制,因此在西岔沟一带,渐新世早中期沉积了大量水下扇相(宋春晖,2006)。柴北缘发育一系列湖泊三角洲,大江沟剖面古水流和物源资料显示南祁连山脉是其主要物源区。

渐新世早期酒泉盆地的抬升剥蚀,造成白杨河组不整合在火烧沟组或更老地层之上(甘肃省地质矿产局,1997)。白杨河组在酒泉盆地均有分布,南厚北薄。沉积分布的南界抵达北祁连山,由南向北沉积物粒度由粗变细,由水下扇相到湖相,古水流大致向北。表明当时盆地范围至少达现今北祁连山内。张掖和武威盆地从渐新世才开始沉降接受沉积,但湖盆面积比酒泉盆地大,均沉积了渐新世白杨河组,至渐新世末结束沉积。

西宁、兰州、宁夏、定西盆地渐新世时广泛接受大套稳定的咸化湖相沉积(野狐城组和咸水河组)。贵

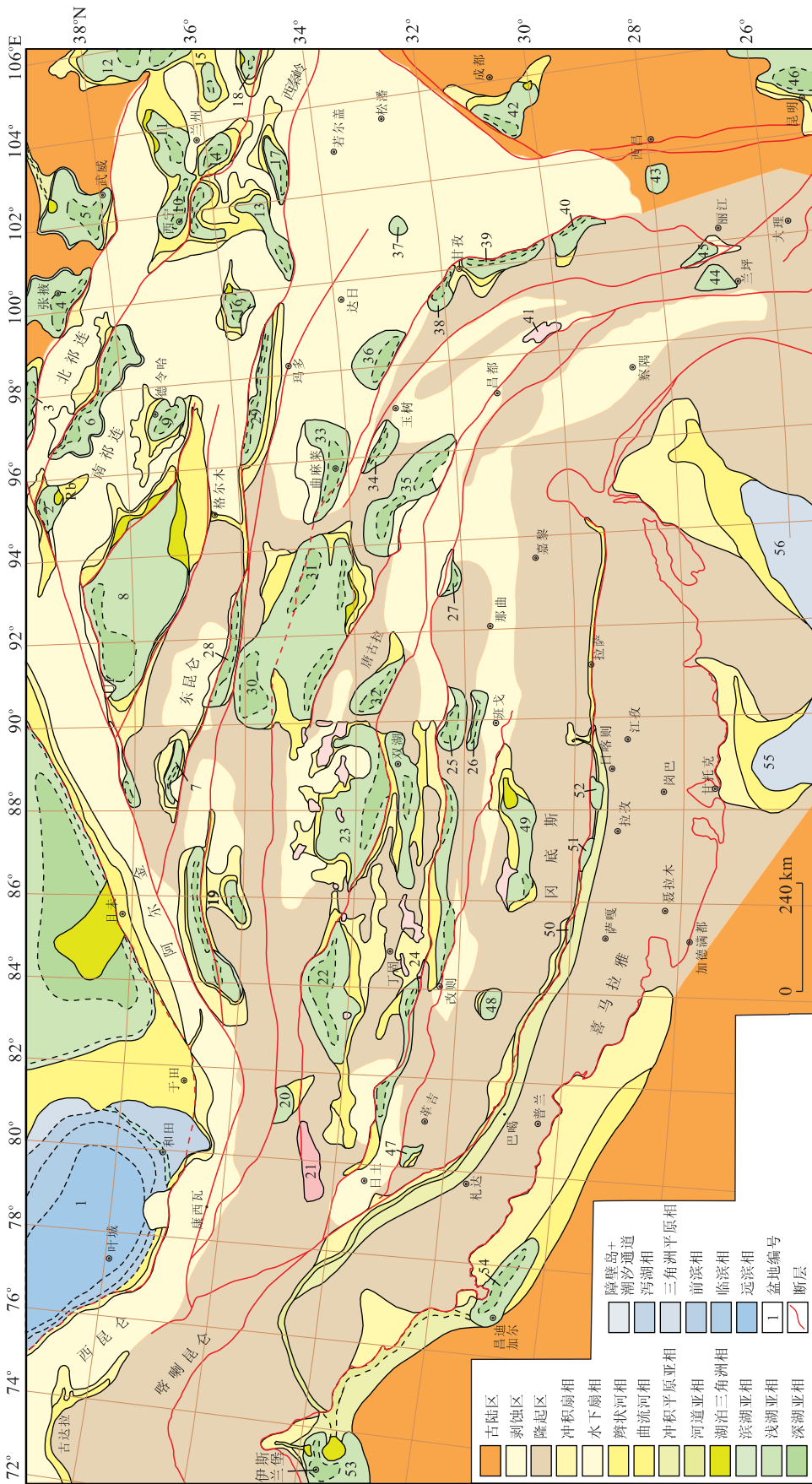


图 2 青藏高原及邻区渐新世构造岩相古地理  
 Fig.2 Tectonic-litho-paleogeography map of Qinghai-Tibet plateau and its adjacent areas in the Oligocene

1. 塔里木盆地; 2. 肃北盆地; 3. 酒泉盆地; 4. 张掖盆地; 5. 武威盆地; 6. 苏里盆地; 7. 库木库里盆地; 8. 柴达木盆地; 9. 德令哈盆地; 10. 西宁盆地; 11. 兰州盆地; 12. 宁夏盆地;
13. 草德-循化盆地; 14. 临夏盆地; 15. 定西盆地; 16. 兴海盆地; 17. 合作盆地; 18. 天水盆地; 19. 阿克苏盆地; 20. 拉竹龙盆地; 21. 松西盆地; 22. 万泉湖盆地; 23. 叶腊盆地;
24. 改则盆地; 25. 伦坡拉盆地; 26. 班戈错盆地; 27. 巴青盆地; 28. 伯拉克拉克里盆地; 29. 阿拉克湖盆地; 30. 可可西里盆地; 31. 沱沱河盆地; 32. 唐古拉盆地; 33. 曲麻菜盆地;
34. 上拉秀盆地; 35. 杂多盆地; 36. 石渠盆地; 37. 壤塘盆地; 38. 甘孜盆地; 39. 理塘盆地; 40. 拉波盆地; 41. 芒康盆地; 42. 成都盆地; 43. 盐源盆地; 44. 兰坪盆地; 45. 剑川盆地; 46. 昆明盆地; 47. 狮泉河盆地; 48. 隆格尔盆地; 49. 热布喀盆地; 50. 仲巴盆地; 51. 桑桑盆地; 52. 日喀则盆地; 53. 伊斯坦堡盆地; 54. 昌迪加尔盆地; 55. 孟加拉盆地;
56. 那加兰盆地

德—循化、临夏、天水和合作盆地在渐新世开始形成,沉积了粗碎屑为主的他拉组,盆地南缘分布冲积扇和辫状河沉积(方小敏等,2004;宋春晖,2006)。

羌塘—可可西里渐新世包含阿克苏勒、松西、万泉湖、吐错、改则、伦坡拉、班戈错、巴青、唐古拉、可可西里、沱沱河等盆地,主要呈东西向分布的大—中型盆地,盆地早期沉积物皆以粗碎屑岩韵律堆积为特征,沉积厚度较大,晚期粒度变细。反映渐新世早期主要以冲积扇、辫状河、水下扇相等粗碎屑岩沉积充填为主,随后进入到盆地扩张期,沉积区扩大,以湖相细粒沉积物为主。可可西里约30~23 Ma期间经历抬升变形,没有沉积作用发生(Wang *et al.*, 2008)。

位于东昆仑南缘的阿拉克湖和伯拉克拉克里盆地,高原东缘的杂多、曲麻莱、上拉秀、石渠、甘孜—理塘、拉波、兰坪和剑川等盆地,均为沿断裂带出现的走滑拉分盆地。由盆缘断裂一侧的陡坡带到另一侧的缓坡带,沉积粒度变小,沉积体系由冲积扇、水下扇迅速变为深湖相沉积,向缓坡带厚度变小,向浅湖—滨湖—湖泊三角洲和河流相相变,表现为在盆地内沉积物分布的不对称性。渐新世时扬子西缘主要为大面积的构造隆起区,盆地主要有成都、盐源和昆明盆地。成都盆地随着龙门山冲断带逐渐向东扩展,盆地也以渐进式向东迁移,盆地范围越来越小(李勇和曾允孚,1994)。

冈底斯—喜马拉雅—恒河渐新世时为大面积的隆起剥蚀区。盆地主要是狮泉河、隆格尔、热布喀、日喀则、桑桑、仲巴、伊斯兰堡、昌迪加尔、孟加拉和那加兰盆地。雅江带渐新世早期剥蚀抬升未接受沉积,渐新世中期开始沉积大竹卡组砾岩。大竹卡组在冈底斯南缘山前沿雅江断裂呈带状分布,多为冲积扇和河流相的砾岩,并在日喀则、桑桑和仲巴出现3个串珠状分布的拉分盆地。拉分盆地紧邻断裂一侧发育水下扇和深湖相。本次实测了5处大竹卡组古流向,方向为W和S,说明这条绵延约1500 km大河是自东流向西的,当时冈底斯是主要物源区,南部的喜马拉雅隆起高度不大。此时冈底斯隆起幅度最大,喜马拉雅初始隆起。喜马拉雅向恒河平原一侧的山前为周缘前陆盆地陆相湖盆分布区,主要有伊斯兰堡、昌迪加尔、孟加拉和那加兰4个沉积区。

### 3 中新世

中新世主要隆起剥蚀区是西部的西昆仑—喀喇昆仑,北部的祁连、阿拉善、东昆仑、西秦岭,东部的

松潘—甘孜、昌都—芒康和西昌—昭通,南部的冈底斯和喜马拉雅。中新世湖相沉积区比渐新世大,主要湖盆区是塔里木、酒泉、索尔库里—柴达木—德令哈、克孜萨依—阿牙克库木湖—布伦台、东温泉、兴海、西宁—兰州、贵德—循化—临夏—定西、泽库、夏河、合作、临潭、陇南、甜水海、土则岗日、羌多、阿鲁错—查多岗日、加错、奥依亚依拉克、玛尔查盖卡、可可西里、五道梁—沱沱河、喷呐湖、改则—帕度错—多玛、伦坡拉—安多、洛隆、松潘、芒康、维西、剑川、腾冲、南涧、成都、昭通、昆明、克勒策—汗里、札达、冈仁波齐、昂拉仁错、木斯塘、吉隆、南木林、伊斯兰堡、尼泊尔、恒河、阿萨姆—萨地亚、缅甸等地区(图3)。

塔里木盆地西南部在渐新世末期结束海相沉积,从此进入大型陆相盆地发育期,湖泊、三角洲和河流相碎屑岩沉积广泛分布于整个盆地。沿昆仑山前的盆地陡坡带形成大量的粗碎屑(砂砾岩)的水下扇沉积;向盆地内地势变缓,厚度逐渐减薄,至巴楚附近为一个隆起区(塔中隆起)(郝诒纯等,2002;司家亮,2008; Sun *et al.*, 2009)。该期部分地区局部层位发现一定数量的有孔虫,这些有孔虫类型单调,畸形分子较多,属于近海咸化湖泊相生物群(周志毅等,2001)。塔里木中新世红层中膏盐沉积发育,与化石类型均反映受干旱气候带控制。中新世晚期物源区构造隆升显著,沉积环境发生很大变化(张运东等,1999),冲积扇、河流、三角洲等边缘相发育,湖泊面积明显萎缩。西昆仑—喀喇昆仑地区为大面积隆起剥蚀区,仅发育小型山间拗陷—断陷盆地(甜水海盆地)。

位于青藏高原北侧河西走廊带的酒泉盆地,由于渐新世晚期祁连山再次强烈的构造活动,结束了白杨河组沉积历史,并导致酒泉盆地古近系变形和被剥蚀,使其后沉积的新近系不整合于古近系之上。酒泉盆地进入中新世后再次拗陷接受了疏勒河组下部较涂湖相到浅湖相夹扇三角洲相沉积,至中新世中期盆地发展到鼎盛时期,在盆地南部石羊圈一带形成了疏勒河组中部细粒深湖相沉积(宋春晖,2006)。

索尔库里—柴达木—德令哈、克孜萨依—阿牙克库木湖—布伦台盆地是一系列被昆仑山、阿尔金山、祁连山和鄂拉山围限的、大致呈北西西向的菱形盆地。索尔库里地区主体在17.7 Ma前处于隆起剥蚀,没有接受沉积,只在北部及东部与柴达木盆地贯通处接受了少量沉积。约17.7 Ma开始下陷,盆地主体开始接受沉积,发育了一套以洪积扇—滨浅湖相为主的沉积地层(油沙山组下段)。14.20~9.88 Ma期间是盆地的主要发展期,盆地广泛接受

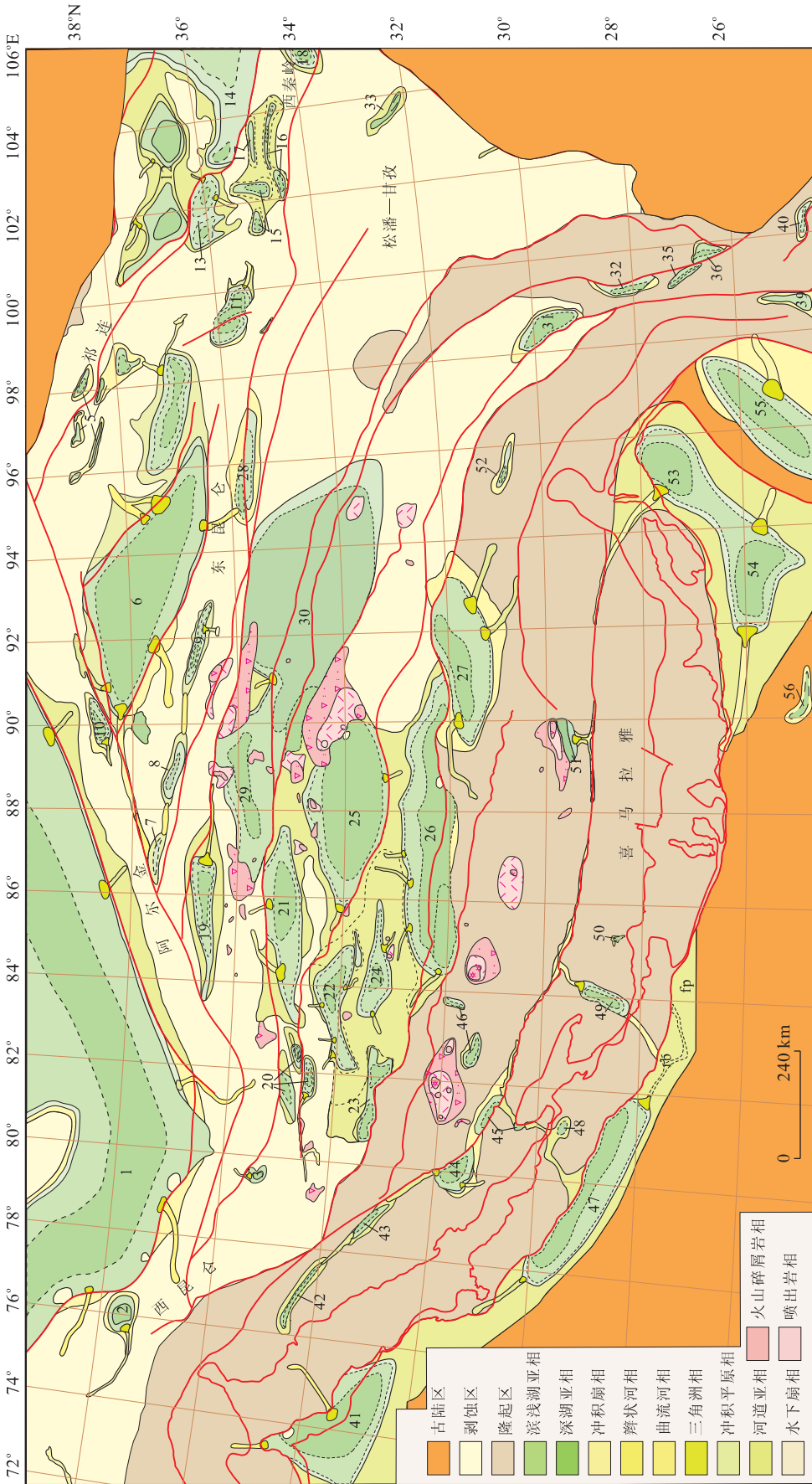


图 3 青藏高原及邻区中新世构造岩相古地理

Fig. 3 Tectonic-litho-paleogeography map of Qinghai-Tibet plateau and its adjacent areas in the Miocene

- 塔什库尔干盆地; 2. 塔里木盆地; 3. 甜水海盆地; 4. 酒泉盆地; 5. 苏里盆地; 6. 柴达木盆地; 7. 克孜萨依盆地; 8. 阿牙克库木湖盆地; 9. 布伦台盆地; 10. 索尔库里盆地; 11. 兴海盆地; 12. 西宁—兰州盆地; 13. 贵盆—循化盆地; 14. 临夏—定西盆地; 15. 泽库盆地; 16. 临潭盆地; 17. 合作盆地; 18. 陇南盆地; 19. 奥依亚依拉克盆地; 20. 土则岗日盆地; 21. 玛尔盖茶卡盆地; 22. 阿鲁错—查多岗日盆地; 23. 美多盆地; 24. 加错盆地; 25. 晒呐湖盆地; 26. 改则—帕度错—多玛盆地; 27. 仓玻玛—安多盆地; 28. 东温泉盆地; 29. 可可西里盆地; 30. 五道梁—沱沱河盆地; 31. 芒康盆地; 32. 维西盆地; 33. 热务盆地; 34. 成都盆地; 35. 维西盆地; 36. 剑川盆地; 37. 昭通盆地; 38. 昆明盆地; 39. 腾冲盆地; 40. 南河盆地; 41. 伊斯坦堡盆地; 42. 克勒策盆地; 43. 汗里盆地; 44. 札达盆地; 45. 冈达波齐盆地; 46. 普兰盆地; 47. 恒河盆地; 48. 尼泊尔盆地; 49. 木斯塘盆地; 50. 吉隆盆地; 51. 南木林盆地; 52. 洛隆盆地; 53. 萨地亚盆地; 54. 阿萨姆盆地; 55. 缅甸盆地; 56. 杜拉盆地



沉积,以大套稳定的湖相沉积为主(油沙山组上段)。大约从 9.88 Ma 以后,盆地进入萎缩期,沉积环境发生重大改变,水体变浅,由前期半深湖环境转变为不稳定的水下扇—洪积扇相,沉积了巨厚的粗碎屑沉积(常宏等,2001;葛肖虹等,2006;杨平,2007; Zhang *et al.*, 2010)。柴达木盆地渐新世—中新世早期为盆地稳定发展期,盆地整体持续下降,形成比路乐河组分布范围更广、几乎遍及全盆地的干柴沟组和油沙山组的细碎屑沉积,沉积厚度巨大。中新世晚期(约 8 Ma 以后)盆地西部逐渐抬升,沉积中心逐渐向东部迁移,盆地沉积面积缩小,接受粗碎屑的狮子沟组沉积,盆地演化进入萎缩和消亡的发展阶段(葛肖虹等,2006;宋春晖,2006)。克孜萨依—阿牙克库木湖—布伦台盆地夹持在东昆仑造山带与阿尔金造山带之间的三角地带,中新世盆地范围不断扩大并稳定发展,在盆地边缘接受了石壁梁组三角洲相沉积,向盆地中心为石壁梁组湖相沉积,总体上反映为粒度较细、成熟度较高的稳定型沉积建造<sup>①</sup>(Zhang *et al.*, 2010)。

西宁—兰州盆地在渐新世末—中新世进一步扩大,在民和一带相连,连成一个似纺锤形湖盆,盆地广泛接受大套富含膏盐层的咸化湖相细碎屑沉积(咸水河组)。从中新世晚期开始,盆地进入萎缩消亡期,前期的咸化湖环境被向上变粗的河流相—山麓相堆积所替代,具有总体向上变粗、向盆地边缘粗碎屑岩增多岩层增厚的旋回性加积—进积型层序特征(颜光普,2004;武力超等,2006; Zhang *et al.*, 2010)。

临夏—定西盆地中新世湖泊范围逐渐扩大,盆地多发育沉积速率低、水平层理发育的粉砂岩与泥岩韵律互层的湖相沉积,到 13.07 Ma 左右区域构造隆升使物源区剥蚀速率增加导致盆地物源供应相对增大(范马洁和宋春晖,2003)。随后 11.42~7.80 Ma 盆地中大部分地区沉积环境再次转入稳定湖相红色泥岩和青灰色钙质泥岩韵律沉积(Li *et al.*, 1995)。7.80~6.25 Ma 盆地内部以半咸水湖相沉积为主(马玉贞,2004)。约 6.25 Ma 盆地沉积环境由湖相细粒沉积(柳树段)转变为辫状河流相砾岩(何王家段下部)沉积,盆地西部古流向发生明显的转变(方小敏等,2004);6.25 Ma 至上新世,位于盆地西侧的拉脊山东缘(积石山)断裂和南侧的西秦岭北缘断裂受青藏高原主体隆升的影响,上部逆冲席体进一步挤压逆冲,使盆地湖水变浅,盆地逐步萎缩

(张进等,2005;宋春晖,2006)。

循化和贵德盆地于渐新世末拗陷,发育砂砾岩洪积扇—河流相沉积,21.3~9.6 Ma 为湖盆扩张最大期与稳定期(刘少峰等,2007),循化盆地、贵德盆地和临夏盆地相连为一个盆地,接受以富含膏盐层的咸化湖相为主的细碎屑沉积(咸水河组),大约于 9.6~5.0 Ma 湖盆沉积开始萎缩,进入湖缘的水下扇砾岩和砂岩层增多,明显表现出水体向上变浅的进积型序列(临夏组)(刘少峰等,2007; Zhang *et al.*, 2010)。

分布于羌塘地区的奥依亚依拉克盆地、土则岗日盆地、玛尔盖茶卡盆地、阿鲁错—查多岗日盆地、日土—羌多盆地、加错盆地、喷呐湖盆地、改则—帕度错—多玛盆地、伦坡拉—安多盆地在中新世早中期仍继承了渐新世的湖泊相碎屑岩沉积(康托组上部及喷呐湖组下部),局部夹中基性熔岩和碳酸盐岩,露头极广泛,说明羌塘地区中新世时期地形平坦,湖相分布范围大,整体上为多个湖盆和湖间岛、冲积平原相间穿插分布。湖盆内主要为紫红、砖红色砂岩、粉砂岩和泥质岩夹多层石膏及膏泥岩,部分地区相变为淡水灰岩;向盆地边缘相变为灰紫—灰红褐色砾岩夹紫红色含砾粗砂岩。

可可西里—沱沱河地区中新世为一个统一的古湖盆(刘志飞等,2001;吴珍汉等,2006)。可可西里湖盆西部为灰—黄褐色泥灰岩、粉砂岩和砂岩,含淡水生物化石(喷呐湖组),东部为灰白—褐黄色中—薄层泥灰岩,向东至五道梁、沱沱河均为灰岩、砂屑灰岩沉积(五道梁组),但在可可西里与沱沱河之间,由于受玉盘湖—雪莲湖火山和太阳湖火山活动的影响,可可西里湖盆与沱沱河湖盆之间存在相对较浅的水域。

藏南札达、普兰、冈仁波齐、木斯塘和吉隆盆地均形成于约 10 Ma 左右,它们早期快速裂陷充填,以冲积扇—辫状河相沉积为主;约 7~4 Ma 进入盆地稳定发展充填期,以水下扇—湖泊三角洲—湖泊相沉积为主;4 Ma 以后进入湖盆萎缩期,主要发育辫状河—冲积扇相(岳乐平等,2004; Wang *et al.*, 2006; Hong *et al.*, 2009; 王德朝等,2009)。

在高原东缘,沿金沙江断裂带、澜沧江断裂带和班公湖—怒江等断裂带分布的一系列小型走滑拉分盆地内多数以快速堆积的冲积扇—河流相砾岩、砂岩开始,中期进入湖相泥岩、泥灰岩、粉砂岩夹灰岩、泥质石膏层夹水下扇砂砾岩,晚期又以河流—冲积扇相砂砾岩结束(Kirby *et al.*, 2002; Clark *et al.*, 2004);部分盆地常伴有火山岩分布;盆地沉积建造巨厚,一般厚度在千米以上;盆地紧邻控盆走滑断裂

<sup>①</sup>陕西省地质调查院,2003. 新疆 1:25 万阿牙克库木湖幅区域地质调查报告。

一侧,以冲积扇、水下扇相沉积发育为主,滨湖和浅湖亚相带分布狭窄;远离控盆断裂一侧,以浅湖亚相、河流和三角洲相沉积发育为主,各相带、亚相带分布宽阔;位于陡坡带和缓坡带之间的最大下陷中心,更靠近控盆断裂一侧,以深湖亚相沉积发育为主。

恒河地区以前陆盆地河湖相沉积为主,主要分布在低喜马拉雅带—低喜马拉雅带山前的恒河平原区。最老的新生代磨拉石为分布于巴基斯坦 Potwar 高原的 Murree 组(向芳等,2002)。中新世以来随着喜马拉雅的持续隆升与剥蚀,喜马拉雅山前的前陆盆地中分布最广泛的为 Siwalik 群,几乎遍布低喜马拉雅带。约在 9.0~7.5 Ma 期间, Siwalik 群的河流相沉积速率在早期为 20~30 cm/a, 晚期为 50~55 cm/a(Valdiya, 2002), 指示喜马拉雅山的加速隆升与剥蚀。

## 4 上新世

上新世青藏高原已经隆升到了相当高度,除塔里木盆地、柴达木盆地等几个大型盆地外,大部分地区处在隆起剥蚀区。上新世在高原周缘广泛分布的磨拉石堆积是高原快速隆起的沉积响应(李吉均等,1996)。上新世青藏高原的一个显著特点是断裂活动强烈,部分大型盆地由于盆地基底隆起而被分割,高原区小盆地的数量显著增多(图 4)。

塔里木盆地由于上新世西昆仑山北缘的逆冲冲断作用进一步加剧,造成塔南的压陷沉降加大和盆地南缘地势进一步变陡,导致塔里木盆地北东高南西低(史基安,2001;周志毅等,2001;贾承造等,2004)。盆地南缘主要发育陡坡带冲积扇和下水扇粗碎屑沉积,滨湖和浅湖亚相带分布狭窄,并快速相变到深湖亚相带的细碎屑沉积。远离逆冲断裂的缓坡带则为滨—浅湖相,相带分布宽阔,沉积物厚度减小。由于山体抬升阻碍了暖湿气流北进,使盆地气候变得冷干,物理风化作用加强,是造成盆地南部西昆仑隆起区剥蚀作用加强的另一主要因素(Yin *et al.*, 2002;李海兵等,2006)。

酒泉盆地上新世以冲积和河流相粗碎屑沉积为主,砾石成分中变砂岩、片岩增多,指示物源区隆升和老地层被剥蚀,洪积扇逐渐向盆地中心推进,湖相分布区明显缩小。根据磁性地层定年,在 4.96~3.66 Ma 期间酒泉盆地的上新世地层内存在区域不整合面(玉门砾岩与下伏疏勒河组之间的不整合接触),表明从约 4.96 Ma 开始,该地区发生了强烈隆

升,使盆地抬升并使早期沉积地层变形和遭受剥蚀,形成近 1.3 Ma 的地层缺失。这一构造事件即为“青藏运动 A 幕”(李吉均等,1996;宋春晖等,2001;方小敏等,2004)。其后,盆地再次接受沉积,沉积物主要是快速的冲积扇堆积,古流向也由前期北东向转变为北西向。约 2.94~2.58 Ma 盆地边缘老君庙一带再次抬升结束沉积的历史,形成了玉门砾岩组中段与下段之间的区域性平行不整合接触,这次构造运动被称为“青藏运动 B 幕”(李吉均等,1996)。

上新世时柴达木湖盆大规模收缩,湖盆被分割成几个孤立的凹陷,盆地的沉降、沉积中心逐渐向中、东部迁移,主体湖盆迁移至一里坪—鸭湖一带,以细碎屑沉积为主。盆地周缘广大地区进一步发育大套厚层砾岩夹砂岩沉积,由水下扇逐步演化为冲积扇砾岩堆积。从柴达木盆地西南缘西岔沟剖面扇三角洲沉积的砾石分析,古水流从前期的向北转变为向南流向,砾石成分变得十分复杂,新生代红层碎屑岩含量超过 10%。在七个泉剖面发现 3.6~3.1 Ma 沉积速率达到最大(宋春晖,2006;孟庆泉,2008),说明受阿尔金山走滑逆冲断裂的巨大影响,阿尔金山物源区开始逐步大规模隆升,盆地西部拗陷区也逐步发生抬升,并进入褶皱上升回返阶段(崔军文等,1999,2006;杨平,2007)。由于在盆地西部发生抬升作用,出现地层的超覆现象,而且靠近阿尔金山断裂带的西部地区差异性逐步增强,同生反“S”型断裂和褶皱带逐步形成。至 <2.9 Ma 除盆地中部外,盆地周缘广大地区脱离沉积环境遭受剥蚀(常宏等,2001;崔军文等,2006;杨平,2007)。

西宁—兰州地区上新世时期分布多个小盆地,本文以贵德、西宁盆地为例简述其构造岩相古地理演化。贵德盆地 5.2~4.0 Ma 盆地北部边缘(甘家一带)为砾石质辫状河沉积,砾石的叠瓦状构造的统计分析表明河流由北偏东向南偏西方向流动,向南至盆地中部(贺尔加一带)逐渐相变为近源辫状河控型三角洲和浅湖沉积环境,说明湖盆范围缩小(宋春晖等,2003;方小敏等,2007;刘少峰等,2007)。4.0~3.6 Ma 盆地北部边缘(甘家一带)为冲积扇沉积,向盆地内依次相变为水下扇三角洲沉积(阿米岗一带)至浅湖环境沉积(贺尔加一带),表明湖盆范围进一步缩小。3.6~2.6 Ma 期间贵德盆地主要为冲积扇和下水扇的砾石沉积(甘家组),表明 3.6 Ma 左右区域构造活动使盆地周缘山体大规模隆升,在盆地边缘造成前期沉积地层变形和剥蚀,使后来沉积的甘家砾岩与前期沉积地层呈角度不整合接触,在远



离山体的盆地内变形弱地方形成平行不整合接触或小角度不整合接触。至  $<2.8$  Ma 构造活动使盆地再次抬升脱离沉积环境转为遭受剥蚀阶段,反映了该时段周缘山体 and 盆地具有整体急剧强烈快速构造隆升特点(宋春晖,2006;方小敏等,2007)。贵德盆地东侧的循化—化隆盆地和临夏盆地上新世构造岩相古地理演化具有与贵德盆地相似的过程,它们均在约 8.0 Ma 时出现河流相粗碎屑沉积,在 3.6 Ma 时发育冲洪积砾石沉积,分别反映了该地区的两次重要的构造隆升事件(方小敏等,2002,2007;季军良等,2010)。

羌塘地区上新世沉积主要是一套内陆湖泊相生物碎屑灰岩和细粒碎屑岩沉积(喷纳湖组),沉积比较广泛,说明羌塘地区上新世时期地形较平坦,湖相分布范围大。上新世末,由于高原进一步强烈隆升,沿深大断裂广泛发生裂隙式溢流火山活动产物不整合于喷纳湖组之上。

喜马拉雅地区的普兰、冈仁波齐、木斯塘和吉隆盆地进入上新世晚期时,湖盆加速萎缩并水体变浅,水下扇沉积增多,末期盆地湖相沉积充填消亡,以冲积扇和河流相沉积为主(岳乐平等,2004;韩建恩,2006)。

喜马拉雅山前的恒河地区上新世时继续堆积周缘前陆盆地的西瓦利克群。以尼泊尔 Churia 山附近的西瓦利克群为例,有如下沉积特征:中部(7.0~4.1 Ma)岩性主要为厚层状中—粗粒的含云母砂岩与粉砂岩形成的互层状沉积,上部含煤、植物化石及淡水生物化石;上部(4.1~2.3 Ma)岩性主要为浅色—棕色泥岩含粗砂岩的河道充填沉积(Quade *et al.*, 1995)。古流向分析表明西瓦利克群主要为流向南的河流体系沉积。与其同期的沉积物还分布在巴基斯坦的 Potwar 高原一带(Burbank and Johnson, 1982; Hoorn *et al.*, 2000; Kumar *et al.*, 2003; Sanyal *et al.*, 2005)。

## 5 岩相古地理演化与构造隆升耦合

通过对各个地层分区的残留盆地类型、形成构造背景、各分区内的岩石地层序列及其沉积特征、地层接触关系、时代确定依据与岩相古地理演化过程的综合分析(图 1、2、3 和 4),笔者将青藏高原新生代的隆升及其沉积响应划分为 3 大阶段、8 个亚阶段:(1)俯冲碰撞隆升阶段(65~34 Ma),含 3 个亚阶段:①65~56 Ma;印度与欧亚板块初始碰撞,恒河前陆盆地和成都、塔里木压陷盆地形成。②56~

45 Ma;印度与欧亚板块碰撞高峰期,高原北部柴达木—可可西里—羌塘压陷盆地和东北缘的兰州—西宁压陷盆地形成、高原东缘走滑拉分盆地初始形成。

③45~34 Ma;40 Ma 左右藏南新特提斯残留海消亡,印度与欧亚板块全面完成碰撞;约 40 Ma 以来喜马拉雅带沉积缺失,标志喜马拉雅初始隆升;36 Ma 左右冈底斯带存在区域不整合面,标志冈底斯的初始隆升;高原东缘走滑拉分盆地初始发育。

(2)陆内汇聚挤压隆升阶段(34~13 Ma),含 3 个亚阶段:①34~25 Ma;沿冈底斯分布日贡拉砾岩,标志冈底斯的持续隆升,高原东北缘出现临夏—循化新的压陷盆地。②25~20 Ma;沿冈底斯带南缘广布大竹卡砾岩,标志冈底斯带的持续快速隆升;可可西里—沱沱河地区角度不整合面发育,并使盆地内的古近纪地层抬升变形,指示可可西里—沱沱河发生较大幅度隆升;约 23 Ma 时,塔里木海相沉积结束,高原及周边不整合面广布,标志高原整体隆升。③20~13 Ma;除喜马拉雅—冈底斯—西昆仑带大范围沉积缺失,标志该区带持续隆升外,高原内及周边的大型压陷、断陷和坳陷盆地全面发展,盆内普遍出现由持续湖侵事件形成的退积型充填序列;高原东缘走滑拉分盆地发育进入鼎盛期。(3)陆内均衡调整隆升阶段(13 Ma 以来),含 2 个亚阶段:①13~5 Ma;喜马拉雅—冈底斯隆升到相当高度,使该带因东西向伸展而导致南—北向断陷盆地形成;约 8 Ma 出现强的构造抬升剥露,除藏南系列南—北向断陷盆地发育进入鼎盛期外,8 Ma 之后高原腹地和周缘大型湖泊进入湖退期。②5 Ma 以来:高原整体隆升;高原内和周缘盆地沉积萎缩。约 3.5 Ma 高原周缘堆积巨砾岩。

## References

- Burbank, D. W., Johnson, G. D., 1982. Intermontane-basin development in the past 4 Myr in the North-West Himalay. *Nature*, 298(5873): 432—436. doi:10.1038/298432a0
- Bureau of Geology and Mineral Resources of Gansu Province, 1997. Stratigraphy (Lithostratic) of Gansu Province. China University of Geosciences Press, Wuhan, 1—288 (in Chinese).
- Chang, H., Fang, X. M., An, Z. S., et al., 2001. Miocene-Pliocene strata features in the Suerkal basin and the palaeo-environment significance. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 21(3): 107—111 (in Chinese with English abstract).
- Chen, Z. X., Jia, D., Wei, G. Q., et al., 2008. Meso-Cenozoic

- sediment transport and tectonic transition in the western Sichuan foreland basin. *Geology in China*, 35(3): 472—481 (in Chinese with English abstract).
- Clark, M. K., Schoenbohm, L. M., Royden, L. H., et al., 2004. Surface uplift, tectonics, and erosion of eastern Tibet from large-scale drainage patterns. *Tectonics*, 23: TC1006. doi:10.1029/2002TC001402
- Cui, J. W., Tang, Z. M., Deng, J. F., et al., 1999. Altun fault system. Geological Publishing House, Beijing, 1—315 (in Chinese).
- Cui, J. W., Zhang, X. W., Tang, Z. M., 2006. Tectonic divisions of the Qinghai-Tibet plateau and structural characteristics of deformation on their boundaries. *Geology in China*, 33(2):256—267 (in Chinese with English abstract).
- Deng, Z. L., Hou, Y. C., Gu, F. B., 2000. Filling characteristics, sporopollen assemblage and palaeoclimate variation of Tertiary basins in the northeastern Qinghai-Tibet plateau. *Qinghai Geology*, (1):43—53 (in Chinese with English abstract).
- Ding, L., 2003. Paleocene deep-water sediments and radiolarian faunas; implications for evolution of Yarlung-Zangbo foreland basin, southern Tibet. *Science in China (Ser. D)*, 46(1):84—91. doi: 10.1360/03yd9008
- Fan, M. J., Song, C. H., 2003. A sedimentary environment analysis and the tectonic uplift of Linxia basin in the northeast margin of Tibetan plateau. *Journal of Lanzhou University (Natural Science)*, 39(3):84—89 (in Chinese).
- Fang, X. M., Carmala, G., 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 and Planetary Science Letters*, 210(3—4):545—560. doi:10.1016/S0012—821X(03)00142—0
- 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., Zhao, Z. J., Li, J. J., et al., 2005. Magnetostratigraphy of Late Cenozoic Laojunmiao anticline in the northern Qilian Mountains and its implications for the northern Tibetan plateau uplift. *Science in China (Ser. D)*, 48(7):1040—1051.
- Ge, X. H., Ren, S. M., Ma, L. X., et al., 2006. Multi-stage uplifts of the Qinghai-Tibet plateau and their environmental effects. *Earth Science Frontiers*, 13(6):118—130.
- Han, J. E., 2006. Sequence stratigraphy of Pliocene-Eopleistocene epoch and its paleoenvironmental significance in Zanda basin, Tibet (Dissertation). Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing (in Chinese).
- Hao, Y. C., Guan, S. Z., Ye, L. S., et al., 2002. Neogene stratigraphy and palaeogeography in the western Tarim basin. *Acta Geologica Sinica*, 76(3):289—298 (in Chinese with English abstract).
- He, K. Z., Zhao, C. H., He, H. S., et al., 1996. Intracontinental rift and orogeny in western Yunnan. China University of Geosciences Press, Wuhan, 1—141 (in Chinese).
- Hong, H. L., Zhang, K. X., Li, Z. H., 2009. Climatic and tectonic uplift evolution since ~7 Ma in Gyirong basin, southwestern Tibet plateau; clay mineral evidence. *International Journal of Earth Sciences*, doi:10.1007/s00531—009—0457—x
- Hoorn, C., Ohja, T., Quade, J., 2000. Palynological evidence for vegetation development and climatic change in the Sub-Himalayan zone (Neogene, Central Nepal). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 163(3—4):133—161. doi:10.1016/S0031—0182(00)00149—8
- Ji, J. L., Qiang, T., Kou, X. H., 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).
- Jia, C. Z., Zhang, S. B., Wu, S. Z., 2004. Stratigraphy of the Tarim basin and adjacent areas. Science Press, Beijing (in Chinese).
- Jin, W., 2007. Research on sedimentary response to uplifting of Tibetan plateau hinterland and oil-gas reservation during the Late Cretaceous-Paleogene period (Dissertation). Chengdu University of Technology, Chengdu (in Chinese).
- Jin, X. C., Wang, J., Chen, B. W., 2003. Cenozoic depositional sequences in the piedmont of the West Kunlun and their paleogeographic and tectonic implications. *Journal of Asian Earth Sciences*, 21(7):755—765. doi:10.1016/S1367—9120(02)00073—1
- Kirby, E., Reiners, P. W., Krol, M. A., et al., 2002. Late Cenozoic evolution of the eastern margin of the Tibetan plateau; inferences from  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  and (U-Th)/He thermochronology. *Tectonics*, 21(1);doi:10.1029/2000TC001246
- Kumar, R., Ghosh, S. K., Mazari, R. K., et al., 2003. Tectonic impact on the fluvial deposits of Plio-Pleistocene Himalayan foreland basin, India. *Sedimentary Geology*, 158(3—4):209—234. doi:10.1016/S0037—0738(02)00267—1
- Li, H. B., Valli, F., Xu, Z. Q., et al., 2006. Deformation and tectonic evolution of the Karakorum fault, western Tibet. *Geology in China*, 33(2):239—255 (in Chinese with English abstract).

- Li, J. J., Pan, B. T., Chen, F. H., et al., 1995. Uplift of the Qinghai-Tibet plateau and global change. Lanzhou University Press, Lanzhou, 1—207.
- Li, J. J., Fang, X. M., Ma, H. Z., et al., 1996. Geomorphological and environmental evolution in the Upper Reaches of the Yellow River during the Late Cenozoic. *Science in China (Ser. D)*, 39(4): 380—390.
- Li, Y., Zeng, Y. F., 1994. Fill sequence of Longmen Mountains foreland basin. *Journal of Chengdu Institute of Technology*, 21(3): 46—55 (in Chinese with English abstract).
- Li, Y. X., Pang, X. Q., Tang, L. J., et al., 2002. The S-N tectonic system in the west of Qaidam basin and its control on petroleum. *Petroleum Exploration and Development*, 29(1): 65—68 (in Chinese with English abstract).
- Liu, S. F., Zhang, G. W., Heller, P. L., 2007. Evolution of Cenozoic basins in Xunhua-Guide region and implication for plateau accretion. *Science in China (Ser. D)*, 50 (Suppl. II): 277—291.
- Liu, Z. F., Wang, C. S., Yi, H. S., et al., 2001. Reconstruction of depositional history of the Cenozoic Hoh Xil basin. *Acta Geologica Sinica*, 75(2): 250—258 (in Chinese with English abstract).
- Ma, Y. Z., 2004. Late Cenozoic vegetational evolution and environmental transition of the northeast Tibetan plateau (Dissertation). Lanzhou University, Lanzhou (in Chinese).
- Meng, Q. Q., 2008. High resolution magnetostratigraphy in the north of Qaidam basin and the sedimentary response to tectonic since Late Cenozoic (Dissertation). Lanzhou University, Lanzhou (in Chinese).
- Quade, J., Cater, J. M. L., Ojha, T. P., et al., 1995. Late Miocene environmental change in Nepal and the northern Indian subcontinent; stable isotopic evidence from palaeosols. *GSA Bulletin*, 107(12): 1381—1397. doi: 10.1130/0016-7606(1995)
- Sanyal, P., Bhattacharya, S. K., Prasad, M., 2005. Chemical diagenesis of Siwalik sandstone; isotopic and mineralogical proxies from Surai Khola Section, Nepal. *Sedimentary Geology*, 180(1—2): 57—74. doi: 10.1016/j.sedgeo.2005.06.005
- Shao, L. Y., He, Z. P., Gu, J. Y., et al., 2006. Lithofacies palaeogeography of the Paleogene in Tarim basin. *Journal of Palaeogeography*, 8(3): 353—364 (in Chinese with English abstract).
- Shi, J. A., 2001. Sequence stratigraphy and sedimentary, diagenetic evolution of western Tarim basin. Science Press, Beijing, 147—156 (in Chinese).
- Si, J. L., 2008. Cenozoic uplift and growth of northwestern margin of the Tibetan plateau (Dissertation). China University of Geosciences, Beijing (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).
- 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. doi: 10.1360/03tb9039
- Song, C. H., Fang, X. M., Li, J. J., et al., 2001. Tectonic uplift and sedimentary evolution of the Jiuxi basin in the northern margin of the Tibetan plateau since 13 MaBP. *Science in China (Ser. D)*, 44(Suppl.): 197—202.
- Song, C. H., Fang, X. M., Li, J. J., et al., 2003. Pliocene sedimentary environment of the Guide basin on the northeast margin of the Qinghai-Tibetan plateau and its significance. *Quaternary Sciences*, 23(1): 92—102 (in Chinese with English abstract).
- Sun, J. M., Zhang, Z. Q., Zhang, L. Y., 2009. New evidence on the age of the Taklimakan desert. *Geology*, 37(2): 159—162.
- Tang, T. F., Xue, Y. S., Yu, C. L., et al., 1992. Marine sedimentary characteristics and environments from Late Cretaceous to Early Tertiary in the west part of Talimu basin of Xinjiang. Science Press, Beijing, 1—138 (in Chinese).
- Valdiya, K. S., 2002. Emergence and evolution of Himalaya; reconstructing history in the light of recent studies. *Progress in Physical Geography*, 26(3): 360—399. doi: 10.1191/0309133302pp342ra
- Wang, C. S., Zhao, X. X., Liu, Z. F., et al., 2008. Constraints on the early uplift history of the Tibetan plateau. *PNAS*, 105(13): 4987—4992. doi: 10.1073/pnas.0703595105
- Wang, D. C., Zhang, J. J., Yang, X. Y., et al., 2009. Tectonic and environmental evolution of Gyirong basin, and its relationship to the uplift of Tibetan plateau. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis*, 45(1): 79—89 (in Chinese with English abstract).
- Wang, G. C., Garver, J. I., Liu, C., 2008. Cenozoic tectonic history in the Gyirong-Nyalam area, south Tibet; evidence from fission-track thermochronology. In: Garver, J. I., Montarino, M., eds., Proceedings from the 11th international conference on thermochronometry, Anchorage Alaska, Sept., 2008.
- Wang, Y., Deng, T., Biasatti, D., 2006. Ancient diets indicate significant uplift of southern Tibet after ca 7 Ma. *Geology*, 34(4): 309—312. doi: 10.1130/G22254.1
- Wu, L. C., Yue, L. P., Wang, J. Q., et al., 2006. Magne-

- tostratigraphy of stratotype section of the Neogene Xiejian Stage. *Journal of Stratigraphy*, 30(1): 50—53 (in Chinese with English abstract).
- Wu, Z. H., Wu, Z. H., Hu, D. G., et al., 2006. Features of Early Miocene large paleolakes in the interior of the Qinghai-Tibet plateau and their tectonic significance. *Geological Bulletin of China*, 25(7): 782—791 (in Chinese with English abstract).
- Xiang, F., Wang, C. S., Zhu, L. D., 2002. Feature of Cenozoic molasse at the south edge of Qinghai-Tibetan plateau. *Journal of Chengdu University of Technology*, 29(5): 515—520 (in Chinese with English abstract).
- Xie, G. P., 2004. The Tertiary and local mammalian faunas in Lanzhou basin, Gansu. *Journal of Stratigraphy*, 28(1): 67—80 (in Chinese with English abstract).
- Yang, P., 2007. Study on Tertiary sequence biostratigraphy in Qigequan-Hongliuquan region, western Qaidam basin (Dissertation). China University of Geosciences, Beijing, 1—101 (in Chinese).
- Yin, A., Rumelhart, P. E., Butler, R., et al., 2002. Tectonic history of the Altyn Tagh fault system in northern Tibet inferred from Cenozoic sedimentation. *Geological Society of America Bulletin*, 114(10): 1257—1295. doi: 10.1130/0016-7606(2002)
- 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 Journal of Geophysics*, 47(6): 1009—1016 (in Chinese with English abstract).
- Yue, L. P., Qiu, Z. X., Xie, G. P., 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, J., Ma, Z. J., Ren, W. J., 2005. The sedimentary characteristics of Cenozoic strata in central and southern Ningxia and their relationships with the development of the Qinghai-Tibetan plateau. *Acta Geologica Sinica*, 79(6): 757—773 (in Chinese with English abstract).
- 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, 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.
- Zhang, Y. D., Song, J. G., Zhu, R. K., 1999. Characteristics of sedimentary facies and lithofacies paleogeography of Upper Tertiary in southwest depression, Tarim basin. *Xinjiang Petroleum Geology*, 20(2): 123—126, 171 (in Chinese with English abstract).
- Zhao, J. F., Chen, X. H., Du, Y. B., 2004. The Tertiary sedimentary evolution of the Qaidam basin, Northwest China. *Petroleum Exploration and Development*, 31(3): 41—44 (in Chinese with English abstract).
- Zhou, Z. Y., Zhao, Z. X., Hu, Z. X., et al., 2001. Stratigraphy of the Tarim basin. Science Press, Beijing, 1—359 (in Chinese).
- Zhu, L. D., 2004. Uplift of the north of Qinghai-Tibet plateau and record in basins and geomorphy (Dissertation). Chengdu University of Technology, Chengdu (in Chinese).

#### 附中文参考文献

- 常宏, 方小敏, 安芷生, 等, 2001. 索尔库里盆地中—上新世地层特征及其环境意义. *海洋地质与第四纪地质*, 21(3): 107—111.
- 陈竹新, 贾东, 魏国齐, 等, 2008. 川西前陆盆地中—新生代沉积迁移与构造转换. *中国地质*, 35(3): 472—481.
- 崔军文, 唐哲明, 邓晋福, 等, 1999. 阿尔金断裂系. 北京: 地质出版社, 1—315.
- 崔军文, 张晓卫, 唐哲民, 2006. 青藏高原的构造分区及其边界的变形构造特征. *中国地质*, 33(2): 256—267.
- 邓中林, 侯元才, 古凤宝, 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*, (1): 43—53.
- 丁林, 2003. 西藏雅鲁藏布江缝合带古新世深水沉积和放射虫动物群的发现及对前陆盆地演化的制约. *中国科学(D辑)*, 33(1): 47—58.
- 范马洁, 宋春晖, 2003. 青藏高原东北缘临夏盆地王家山地区沉积环境分析与构造隆升. *兰州大学学报(自然科学版)*, 39(3): 84—89.
- 方小敏, 宋春晖, 戴霜, 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.
- 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.
- 方小敏, 赵志军, 李吉均, 等, 2004. 祁连山北缘老君庙背斜晚新生代磁性地层与高原北部隆升. *中国科学(D辑)*, 34

(2): 97—106.

甘肃省地质矿产局, 1997. 甘肃省岩石地层. 武汉: 中国地质大学出版社, 1—288.

葛肖虹, 任收麦, 马立祥, 等, 2006. 青藏高原多期次隆升的环境效应. 地学前缘, 13(6): 118—130.

韩建恩, 2006. 西藏札达盆地上新世—早更新世层序地层学及其古环境意义(硕士学位论文). 北京: 中国地质科学院.

郝诒纯, 关绍曾, 叶留生, 等, 2002. 塔里木盆地西部地区新近纪地层及古地理特征. 地质学报, 76(3): 289—298.

何科昭, 赵崇贺, 何浩生, 等, 1996. 滇西陆内裂谷与造山作用: 滇西地区印支期后的构造演化. 武汉: 中国地质大学出版社, 1—141.

季军良, 强泰, 寇晓虎, 等, 2010. 青海循化盆地新近纪磁性地层学研究. 地球科学——中国地质大学学报, 35(5): 803—810.

贾承造, 张师本, 吴绍祖, 2004. 塔里木盆地及周边地层(上、下册). 北京: 科学出版社.

金玮, 2007. 青藏高原腹地晚白垩—古近纪高原隆升的沉积响应与油气后期保存(博士学位论文). 成都: 成都理工大学.

李海兵, Valli, F., 许志琴, 等, 2006. 喀喇昆仑断裂的变形特征及构造演化. 中国地质, 33(2): 239—255.

李吉均, 方小敏, 马海洲, 等, 1996. 晚新生代黄河上游地貌演化与青藏高原隆起. 中国科学(D辑), 26(4): 316—322.

李勇, 曾允孚, 1994. 龙门山前陆盆地充填序列. 成都理工学院学报, 21(3): 46—55.

李玉喜, 庞雄奇, 汤良杰, 等, 2002. 柴西地区近南北向构造系统及其控油作用分析. 石油勘探与开发, 29(1): 65—68.

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 I): 235—248.

刘志飞, 王成善, 伊海生, 等, 2001. 可可西里盆地新生代沉积演化历史重建. 地质学报, 75(2): 250—258.

马玉贞, 2004. 青藏高原东北部晚新生代植被演化和环境变迁(博士学位论文). 兰州: 兰州大学.

孟庆泉, 2008. 柴达木盆地北缘晚新生代精细磁性地层学与沉积对构造的响应(博士学位论文). 兰州: 兰州大学.

邵龙义, 何志平, 顾家裕, 等, 2006. 塔里木盆地古近纪岩相古地理. 古地理学报, 8(3): 353—364.

史基安, 2001. 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, 147—156.

司家亮, 2008. 青藏高原西北缘新生代构造隆升及扩展(博士学位论文). 北京: 中国地质大学.

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(博士学位论文). 兰州: 兰州大学.

宋春晖, 方小敏, 李吉均, 等, 2001. 青藏高原北缘酒西盆地

13 Ma 以来沉积演化与构造隆升. 中国科学(D辑), 31(增刊): 155—162.

宋春晖, 方小敏, 李吉均, 等, 2003. 青藏高原东北部贵德盆地上新世沉积环境分析及其意义. 第四纪研究, 23(1): 92—102.

唐天福, 薛耀松, 俞从流, 等, 1992. 新疆塔里木盆地西部晚白垩世至早第三纪海相沉积特征及沉积环境. 北京: 科学出版社, 1—138.

王德朝, 张进江, 杨雄英, 等, 2009. 吉隆盆地构造、环境演化与青藏高原隆升. 北京大学学报(自然科学版), 45(1): 79—89.

武力超, 岳乐平, 王建其, 等, 2006. 新近系谢家阶层型剖面古地磁年代学研究. 地层学杂志, 30(1): 50—53.

吴珍汉, 吴中海, 胡道功, 等, 2006. 青藏高原腹地中新世早期古大湖的特征及其构造意义. 地质通报, 25(7): 782—791.

向芳, 王成善, 朱利东, 2002. 青藏高原南缘新生代磨拉石的沉积特征. 成都理工学院学报, 29(5): 515—520.

颜光普, 2004. 甘肃兰州盆地的第三纪地层及哺乳动物群. 地层学杂志, 28(1): 67—80.

杨平, 2007. 柴达木盆地西部七个泉—红柳泉地区第三系层序生物地层学研究(博士学位论文). 北京: 中国地质大学, 1—101.

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.

张进, 马宗晋, 任文军, 2005. 宁夏中南部新生界沉积特征及其与青藏高原演化的关系. 地质学报, 79(6): 757—773.

张克信, 王国灿, 曹凯, 等, 2008. 青藏高原新生代主要隆升事件: 沉积响应与热年代学记录. 中国科学(D辑), 38(12): 1575—1588.

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.

张运东, 宋建国, 朱如凯, 1999. 塔里木盆地西南坳陷上第三系沉积相及岩相古地理特征. 新疆石油地质, 20(2): 123—126, 171.

赵加凡, 陈小宏, 杜业波, 2004. 柴达木第三纪湖盆沉积演化史. 石油勘探与开发, 31(3): 41—44.

周志毅, 赵治信, 胡兆珣, 等, 2001. 塔里木盆地各纪地层. 北京: 科学出版社, 1—359.

朱利东, 2004. 青藏高原北部隆升与盆地和地貌记录(博士学位论文). 成都: 成都理工大学.