

文章编号: 1000-0550(2008) 04-0552-07

# 柴达木盆地新生代沉积转移及其动力学意义<sup>①</sup>

吕宝凤<sup>1</sup> 赵小花<sup>2</sup> 周 莉<sup>2</sup> 段生盛<sup>3</sup>

(1. 中国科学院广州地球化学研究所 中国科学院边缘地质重点实验室 广州 510640

2. 青海油田分公司勘探开发研究院 甘肃敦煌 736202 3. 青海油田分公司勘探事业部 甘肃敦煌 736202)

**摘 要** 新生代柴达木盆地的拗陷、沉积作用和周缘山体隆升存在着很好的耦合关系, 沉积中心位置、沉积范围大小及沉积中心的平面形态有规律的变化, 反映出新生代柴达木盆地承受过来自北缘祁连山方向、西北缘阿尔金山方向以及南缘昆仑山方向三组挤压应力的作用, 其中来自阿尔金山方向的应力一直在持续发挥作用; 来自盆地南北缘的应力也始终发挥重要作用, 同时经历了一个由北东向(古近纪早—中期)→北北东向(古近纪末期—中新世早期)→近南北向(中新世中期—上新世中期)→北东向(上新世晚期)的转向过程。在此基础上建立了柴达木盆地新生代发展演化模式, 提出柴达木盆地新生代经历了由北向南挤压—旋转、由南西向北东挤压—旋转以及由向北挤压—旋转的动力学演化过程。

**关键词** 柴达木盆地 新生代 沉积迁移 区域应力场 动力学机制

**第一作者简介** 吕宝凤, 男, 1964 年出生, 博士, 研究员, 石油地质学、含油气盆地分析 E-mail: lbfg@igig.ac.cn

中图分类号 P546 文献标识码 A

沉积建造通常是指具有一定物质组成的沉积物质以及它们所能反映出来的形成环境和发生、发展的过程的集合体; 改造通常是指地壳各部分经过地壳运动而改变它们原来的形态的作用和过程; 建造和改造是相互影响、相互依存的两个作用过程, 建造反映改造, 改造控制建造, 探讨建造和改造不仅从一个侧面揭示地壳构造运动的过程和方式、对了解地质历史具有重要意义, 而且还可以进一步掌握有关矿产的分布规律<sup>[1]</sup>。柴达木盆地处于祁连山、东昆仑山及阿尔金山三大山系的交汇部位, 新生代盆地的拗陷和周缘山体的隆升存在着很好的耦合关系: 板块作用产生的区域应力场促使周缘山体的隆升和盆地的拗陷, 而盆地的拗陷又直接控制了沉积作用的范围和性质; 反过来说, 沉积作用范围和性质的变化能够有效的反映周缘山体的隆升和盆地拗陷的过程和特征, 进而反映区域应力场作用的方式和过程, 因此, 通过对各套地层沉积强度和沉积范围的分析, 可以认识在不同的地质历史阶段曾经的古构造背景, 从而达到认识盆地形成机制的目的。

## 1 地质背景

柴达木盆地是我国西部的一个重要的中新世界

含油气盆地, 位于青藏高原东北隅, 在大地构造位置上属于特提斯构造域的东部, 是在早古生代或前古生代花岗岩系和变质岩系基底上发育起来的中新生代内陆山间盆地<sup>[2]</sup>。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, 在新生代盆地经历了古新世—始新世( $E_{1-2}$ )的初始断陷阶段、渐新世—中新世早期( $E_3-N_1^1$ )的主陷阶段和中新世晚期以后( $N_1^2-Q$ )的萎缩阶段。随着三大构造带的相互作用及祁连山、昆仑山和阿尔金山的隆升, 湖盆有规律地自西向东迁移, 造成盆地西高东低以及南北分带、东西分块的构造格局<sup>[2-6]</sup>(图 1), 形成了一套以湖泊—河流相为主的陆相沉积层序(图 2)。

## 2 沉积迁移特征

柴达木盆地处于祁连山、东昆仑山及阿尔金山三大山系的交汇部位, 新生代总体构造格局为东昆仑山和祁连山相向挤压对冲、阿尔金山向东南方向逆冲, 三大山系的共同作用构成了柴达木盆地总体挤压+走滑的区域应力场背景。柴达木盆地新生代沉积正是在这种背景下发生的, 沉积作用不仅表现为有规律的自西向东迁移<sup>[7]</sup>, 和区域应力场的耦合关系也很有规律<sup>[8,9]</sup>, 表现为: 区域应力场的作用促使周缘

<sup>①</sup>中国科学院知识创新工程重要方向项目(编号: kzcx2-yw-203-2)、中国科学院边缘地质重点实验室创新项目(编号: GIGCX-04-04)联合资助。  
收稿日期: 2007-08-29 收修修改稿日期: 2007-11-14

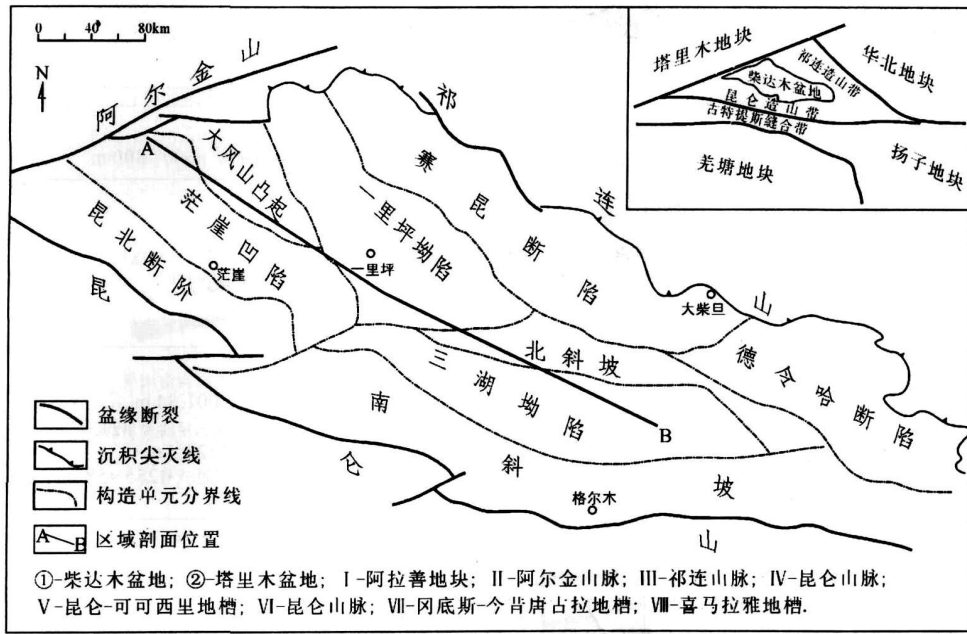


图 1 柴达木盆地构造位置及内部构造单元划分

Fig 1 Map showing the location and the inner structure of Qaidam Basin

山系隆升, 山系的隆升控制沉积中心的位置、沉积作用范围以及沉积中心的平面形态, 因此可以通过不同地质阶段沉积中心的位置、沉积作用范围以及沉积中心的平面展布形态分析来了解周缘山系的隆升状况, 进而推测区域应力场作用的方式和方向, 按照这种思路, 基于前人对柴达木盆地新生代湖盆演化与沉积中心迁移研究成果<sup>[7, 9, 10]</sup>, 笔者编出了柴达木盆地不同地质阶段沉积中心迁移剖面图(图 3)及沉积中心迁移与应力演化趋势图(图 4)。

(1) 路乐河组 ( $E_{1+2}$ )

古—始新统路乐河组 ( $E_{1+2}$ ) 沉积期是柴西南新生代湖盆形成初期, 总体沉积面积较小, 沉积范围呈北西—南东向展布, 长宽比也较小, 地震资料解释显示具有东南薄西北厚的特点, 沉积最厚的地方位于花土沟—油泉子一带, 达 1 350 m, 向外围地层逐渐变薄。指示了当时总体上东南高、西北低的地形特征, 区域主应力可能来自北方和西北方(图 4-A)。

(2) 下干柴沟组下段 ( $E_3^1$ )

渐新统下干柴沟组下段 ( $E_3^1$ ) 沉积面积明显扩大, 沉积范围呈北西—南东向展布, 但方向性和长宽比明显加大, 且西北部沉积边界变得平直, 地震资料解释结果显示厚度整体相对比较均一、沉积中心向东南移, 仍具有向西北阿尔金山前增厚、向东南方向减薄的现象, 指示当时总体上东南高、西北低的地形特

征, 区域主应力可能来自北方和西北方, 只是来自北方的应力可能占据更多的份量(图 4-B)。

(3) 下干柴沟组上段 ( $E_3^2$ )

渐新统下干柴沟组上段 ( $E_3^2$ ) 沉积范围进一步扩大, 并呈北西—南东向展布, 但方向性和长宽比明显降低, 且西北边界变得更加平直, 在阿尔金山前北东—南西向线度明显加大, 地震资料解释结果显示沉积中心集中到花土沟一带, 表明当时沉积、沉降中心南移, 表明来自西北方的区域主应力所占份量明显增加(图 4-C)。

(4) 上干柴沟组下段 ( $N_1^1$ )

中新统上干柴沟组下段 ( $N_1^1$ ) 沉积面积继续扩大, 沉积展布范围呈北西—南东向, 方向性更加明显, 长宽比加大, 地震资料解释结果显示地层整体西薄东厚, 表明沉积中心进一步向东向南迁移, 区域主应力方向为北北东—南南西向(图 4-D)。

(5) 上干柴沟组上段 ( $N_1^2$ )

中新统上干柴沟组上段 ( $N_1^2$ ) 沉积面积继续扩大, 沉积展布范围总体呈北西—南东向, 但方向性和长宽比明显降低, 南部沉积边界逐渐由北西向转为北西西向, 且变得逐渐平直, 地震资料解释结果显示地层整体西薄东厚, 表明沉积中心进一步向东向南迁移, 来自南部边界向北的区域挤压应立场逐渐发挥重要作用(图 4-E)。

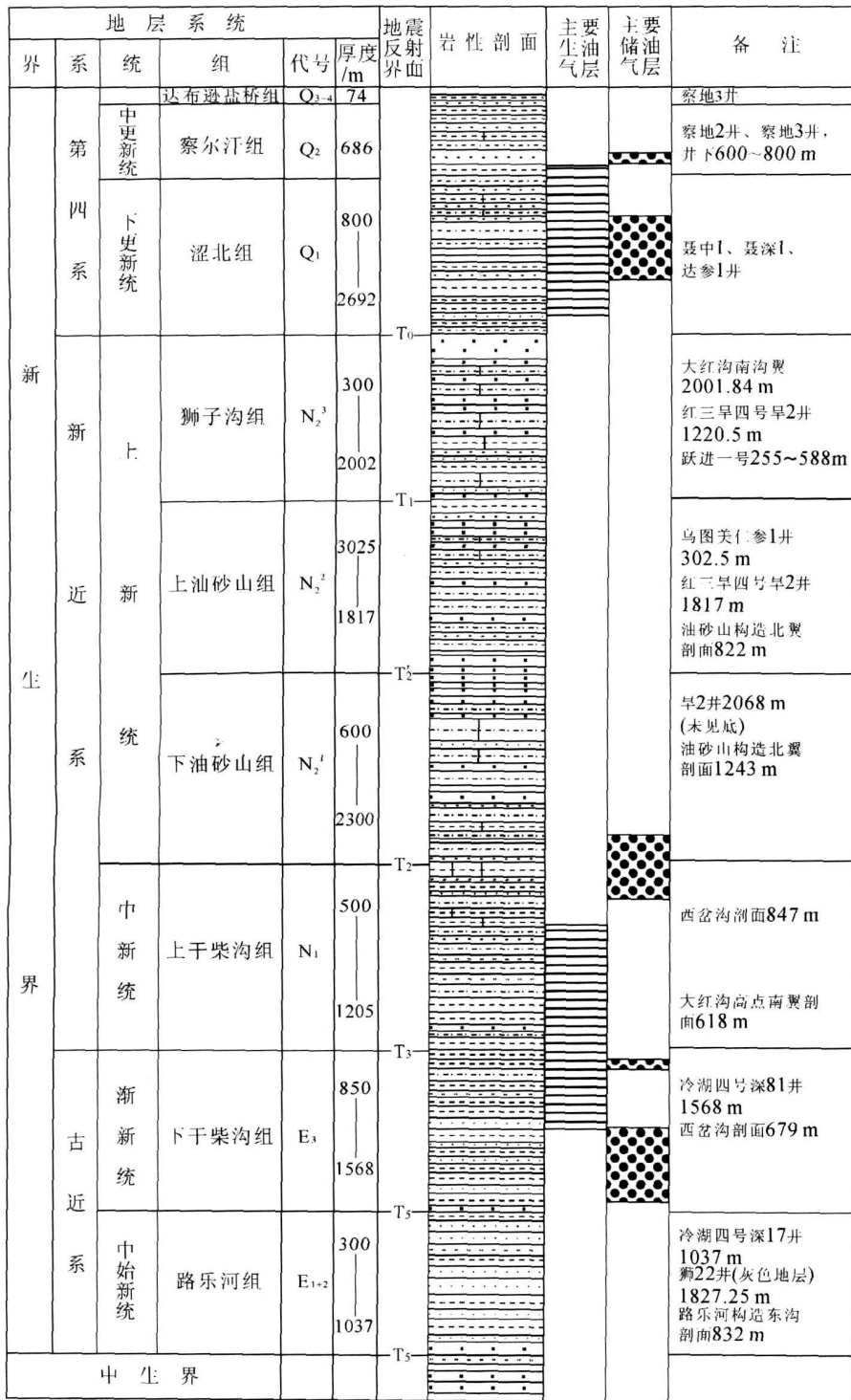


图 2 柴达木盆地新生界综合柱状图

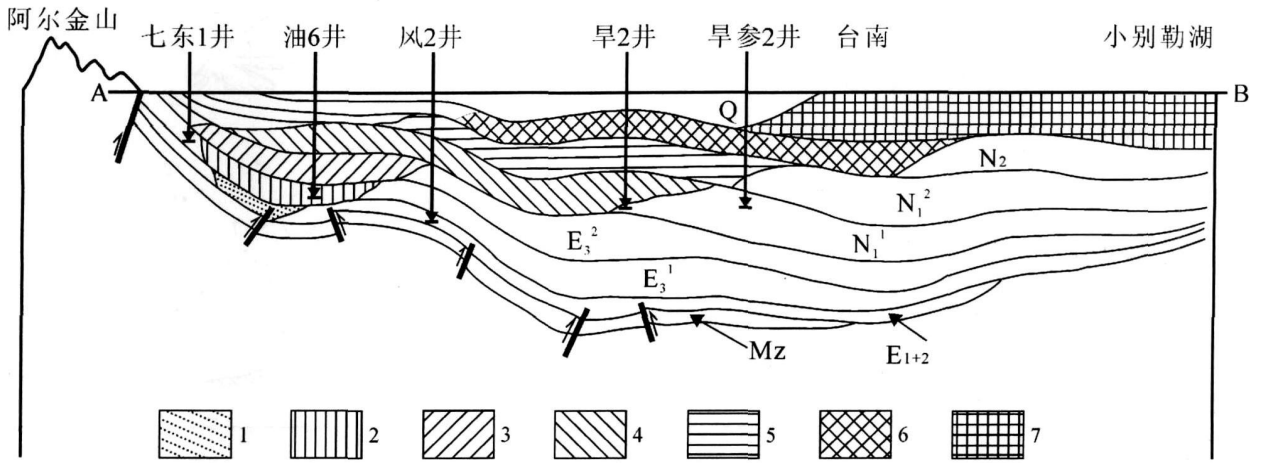
Fig. 2 Integrated Cenozoic column of Qaidam Basin

(6) 下油砂山组 (N<sub>2</sub><sup>1</sup>)

上新统下油砂山组 (N<sub>2</sub><sup>1</sup>) 沉积面积更大, 沉积展布范围总体呈北西—南东方向, 方向性和长宽比变化不大, 但南部沉积边界进一步由北西向转为北西西

向, 且变得更加平直, 沉积中心和沉积范围同步东移, 表明来自南部边界向北的区域挤压应力场已成为当时的主要应力场 (图 4-F)。

(7) 上油砂山组 (N<sub>2</sub><sup>2</sup>)



1-古一新新统沉积中心; 2-渐新统下部沉积中心; 3-渐新统上部沉积中心; 4-中新统下部沉积中心; 5-中新统上部沉积中心; 6-上新统沉积中心; 7-第四系沉积中心;

图 3 柴达木盆地新生代沉积中心迁移变化 (据赵文智, 2006 有修改) (剖面位置见图 1)

Fig 3 Map showing the Cenozoic sedimentary migration in Qaidam Basin

上新统上油砂山组 ( $N_2^2$ ) 沉积面积还在加大, 沉积展布范围总体呈北西—南东方向, 方向性和长宽比明显加大, 沉积中心进一步东移, 南部沉积边界转为近东西向, 且更加平直。表明当时来自南部边界向北的区域挤压应力场仍为主要应力场 (图 4-G)。

#### (8) 狮子沟组 ( $N_2^3$ )

上新统狮子沟组 ( $N_2^3$ ) 沉积面积又明显减小, 沉积展布范围总体呈北西—南东向, 方向性和长宽比进一步加大, 沉积中心进一步东移。表明当时盆地所受区域应力场又转为北东—南西向。

上述柴达木盆地古应力背景的沉积分析显示, 新生代柴达木盆地承受过来自盆地北缘祁连山方向、西北部阿尔金山方向以及南缘昆仑山方向三组挤压应力的作用, 只是不同地史阶段、不同方向来源的应力所占份量不同: 其中来自阿尔金山方向的应力一直在持续发挥作用; 来自盆地南北两缘的应力也始终发挥重要作用, 经历了一个由北东向 (古近纪早—中期)  $\rightarrow$  北北东向 (古近纪末期—中新世早期)  $\rightarrow$  近南北向 (中新世中期—上新世中期)  $\rightarrow$  北东向 (上新世晚期) 的转向过程。这与中国地质科学院地质力学研究所操成杰、王小凤根据磁组构对古应力研究的结果<sup>[11]</sup>非常接近。同时, 进一步说明柴达木盆地新生代不是单一性质的盆地, 而应是具有不同构造应力场背景和形态特征的多期上下叠置而形成的叠合盆地。

### 3 动力学意义

关于柴达木盆地形成和演化的动力学机制问题,

曾有多家生产、科研机构进行过研究, 并从不同的角度出发建立过不同的演化模型<sup>[11~18]</sup>。

纵观柴达木盆地古新世—上新世沉积时期应力场特征可以看出: 新生代柴达木盆地一直处于祁连山、阿尔金山、昆仑山三大体系的相互作用形成的挤压—走滑的区域应力环境中, 周缘山系的隆升是造成沉积中心的位置、沉积作用范围以及沉积中心的平面形态变化的直接原因。

以板块构造格局和相对运动分析为背景, 结合盆地内部沉积体系特征、构造组合特征等综合分析, 笔者认为: 印度板块的持续北移和陆内俯冲所造成的青藏高原整体近南北向的挤压、同时受北侧欧亚板块抵挡是柴达木盆地周缘山体隆升和盆地拗陷的根本动力来源; 由于随着印度板块的持续北移, 不同地史阶段祁连山、阿尔金山、昆仑山三大山系具有不同的相对位置和不同的相互作用方式, 加上受西侧塔里木板块侧向压扭和盆地不同区块基底刚性程度不一<sup>[19]</sup>的影响, 使得盆地在不同地史阶段具有不同的构造应力场和不同的形态, 出现了 NE、NNE、近 SN 和 SE 向等多种方向的主压应力轴线, 这种构造变形机制造成了盆地内部以 NW—NWW 向断裂为主、南北分带、东西分段, 以及“反 S 形”构造、“斜列式”构造、南北向张性构造等多种形式构造并存的构造面貌。

结合古地磁分析<sup>[14, 15]</sup>和平衡剖面分析确定的盆地边界和形态, 笔者建立了柴达木盆地新生代构造演化动力学模型 (图 5), 总体分为三大阶段:

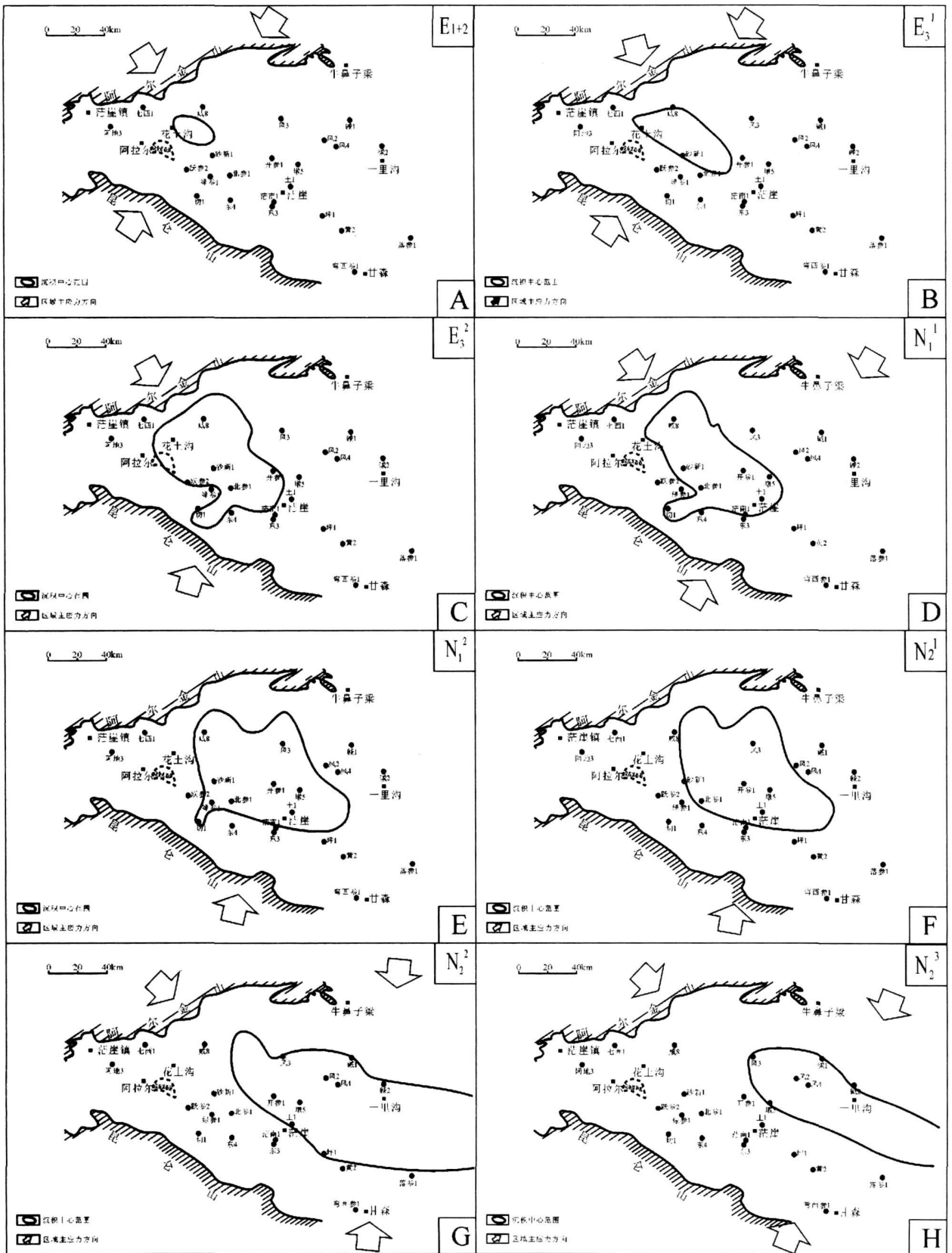


图 4 柴达木盆地沉积中心迁移与应力演化趋势

Fig 4 Map showing the evolution of sedimentary migration and stress field in Qaidam Basin

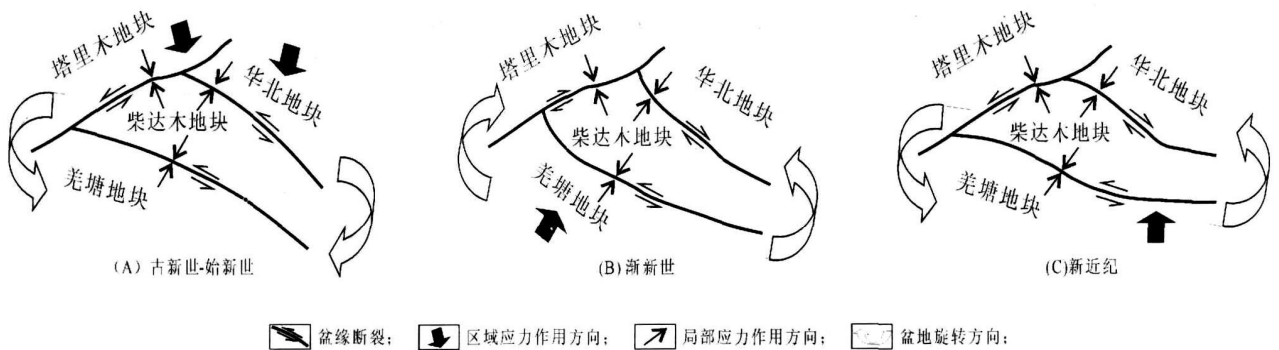


图 5 柴达木盆地构造演化动力学机制

Fig 5 Dynamic Cenozoic evolution pattern of Qaidam Basin

古新世—始新世,柴达木地块受到的挤压主动力来源于北而施于南,由于华北与塔里木地块南移,且华北地块的南移速度远大于塔里木地块,造成阿尔金断裂和祁连断裂都处于左行走滑挤压状态,此时柴达木地块最大受力部位应在阿尔金断裂与祁连断裂交界处的昆特依坳陷(图 5-A)。

渐新世,喜马拉雅地块进一步挤压,阿尔金断裂转为右行走滑挤压,盆地东、西两端向北偏转,此时最大挤压受力区应在柴西南,形成新的柴西南挤压拗陷型盆地,由于柴达木地块向西南推进以及南、西双向的剪切作用,在平行于应力作用的近南北向发育张性构造带(尤其在柴西南),盆地内部则出现反“S形”构造(图 5-B)。

新近纪,由于青藏高原北侧东西向构造带的整体继续北移,柴达木地块受到近南北向的挤压应力,这种挤压作用力可能在新近纪末的喜马拉雅晚期运动达到最强,且主要作用于盆地东半部,阿尔金断裂再度转为左行走滑,在派生的剪切应力作用下,新近纪沉积中心从西南向东北逐步迁移,同时盆地东南部向北偏转,之后在北东向统一挤压应力场作用下,几大地块紧密拼合,缓慢北移,该期的构造运动主要表现为褶皱与造山,在柴达木盆地内部形成一排排壮观的北西—北西西向构造带(图 5-C)。

第四纪,应力作用方式恢复到北东向,但强度不大,构造格局基本没有发生太大变化,并最终定型为现今的面貌。

### 参考文献 (References)

1 地质矿产部地质辞典办公室. 地质辞典(一) [M]. 北京: 地质出版社, 1983 289-290 [Geological Dictionary Editorial Group. Geological Dictionary (1) [M]. Beijing: Geological Publishing House 1983 289-290]

2 段毅, 彭德华, 张辉, 等. 柴达木盆地西部尕斯库勒油田  $E_3$  油藏成藏条件与机制 [J]. 沉积学报, 2005, 23(1): 150-155 [Duan Yi, Peng Dehua, Zhang Hui, et al. Oil accumulation conditions and formation mechanism for  $E_3$  oil pool in Gaskule Oilfield of Western Qaidam Basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2005, 23(1): 150-155]

3 段宏亮, 钟建华, 马锋, 等. 柴达木盆地西部中生界原型盆地恢复 [J]. 沉积学报, 2007, 25(1): 65-73 [Duan Hongliang, Zhong Jianhua, Ma Feng, et al. Reconstruction of the Mesozoic proto-type basin in the west Qaidam Basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2007, 25(1): 65-73]

4 王步清. 柴达木盆地新生代构造演化与沉积特征 [J]. 新疆石油地质, 2006, 27(6): 670-672 [Wang Buqing. Structural evolution and sedimentary characteristics of Cenozoic in Qaidam Basin [J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2006, 27(6): 670-672]

5 翟光明, 徐凤银, 李建青. 重新认识柴达木盆地力争油气勘探获得新突破 [J]. 石油学报, 1997, 18(2): 1-7 [Zhai Guangming, Xu Fengyin, Li Jianqing. A reconsideration of Qaidam Basin for a great breakthrough in oil and natural gas exploration [J]. Acta Petrologica Sinica, 1997, 18(2): 1-7]

6 柳祖汉, 吴根耀, 杨孟达, 等. 柴达木盆地西部新生代沉积特征及其对阿尔金断裂走滑活动的响应 [J]. 地质科学, 2006, 41(2): 344-354 [Liu Zuhuan, Wu Genyao, Yang Mengda, et al. Sedimentary features of the Cenozoic in the Western Qaidam Basin: response to strike-slipping of the Alyn Tagh Fault [J]. Chinese Journal of Geology, 2006, 41(2): 344-354]

7 赵文智, 邹才能, 宋岩, 等. 石油地质理论与方法进展 [M]. 北京: 石油工业出版社, 2006 50-51 [Zhao Wenzhi, Zou Caineng, Song Yan, et al. New Advances of Theory and Method on Petroleum Geology [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2006 50-51]

8 李继亮, 肖文交, 闫臻. 盆山耦合与沉积作用 [J]. 沉积学报, 2003, 21(1): 52-60 [Li Jiliang, Xiao Wenjiao, Yan Zhen. Basin-range coupling and its sedimentation [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2003, 21(1): 52-60]

9 漆亚玲, 汪立群, 彭德华, 等. 柴达木盆地西部第三系天然气成因类型分布预测 [J]. 沉积学报, 2006, 24(6): 910-916 [Qi Yaling, Wang Liqun, Peng Dehua, et al. Predicting the distribution of natural gas genetic type in Tertiary Formation in the west Qaidam Basin [J].

- Acta Sedimentologica Sinica 2006, 24(6): 910-916]
- 10 蒋宏忱, 于炳松, 王黎栋, 等. 柴达木盆地西部红狮凹陷第三系下干柴沟组沉积相分析 [J]. 沉积学报, 2003, 21(3): 391-397 [ Jiang Hongchen Yu Binsong Wang Lidong *et al* Analysis on depositional facies of the Lower Ganchaigou Formation in Hongliuquan-Shizigou Area Western Qaidam Basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica 2003, 21(3): 391-397]
  - 11 操成杰, 王小凤. 柴达木盆地近 SN 向构造形成机制与油气成藏意义 [J]. 地质力学学报, 2005, 11(1): 74-80 [ Cao Chenjie Wang Xiaofeng Genetic mechanism of nearly N-S-trending structure in the Qaidam Basin and their significance for formation of hydrocarbon [J]. Journal of Geomechanics 2005, 11(1): 74-80]
  - 12 王金荣, 彭作林, 李益三. 柴达木盆地构造应力场及其地质意义 [J]. 兰州大学学报 (自然科学版), 1991, 27(3): 120-125 [Wang Jinrong Peng Zuolin Li Yisan The tectonic stress field for the Qaidam Basin and its geological significance [J]. Journal of Lanzhou University (Natural Sciences), 1991, 27(3): 120-125]
  - 13 王金荣, 黄华芳. 柴达木盆地断裂构造效应 [J]. 兰州大学学报 (自然科学版), 1994, 30(4): 116-121 [Wang Jinrong Huang Huafang The tectonic effect of transcompressional fault in Qaidam Basin [J]. Journal of Lanzhou University (Natural Sciences), 1994, 30(4): 116-121]
  - 14 余辉龙, 邓宏文, 胡勇. 从古地磁资料看柴达木盆地古构造环境 [J]. 石油勘探与开发, 2002, 29(6): 41-44 [Yu Hui long Deng Hongwen Hu Yong Paleo-structural environment study by paleomagnetic data in Qaidam Basin [J]. Petroleum Exploration & Development 2002, 29(6): 41-44]
  - 15 李朋武, 崔军文, 高锐, 等. 柴达木地块新生代古地磁新数据及其构造意义 [J]. 地球学报, 2001, 22(6): 563-568 [ Li Pengwu Cui Junwen Gao Rui *et al* New Cenozoic paleomagnetic data from Qaidam Massif and their tectonic implications [J]. Acta Geoscientia Sinica 2001, 22(6): 563-568]
  - 16 王步清, 肖安成, 程晓敢, 等. 柴达木盆地北缘新生代右行走滑冲断构造带的几何学和运动学 [J]. 浙江大学学报 (理学版), 2005, 32(2): 225-230 [Wang buqing Xiao Ancheng Cheng Xiaogan *et al* Geometry and kinematics of Cenozoic right-lateral strike-slip thrust structural belt in the north margin of the Qaidam Basin [J]. Journal of Zhejiang University (Science Edition), 2005, 32(2): 225-230]
  - 17 李相博, 袁剑英, 陈启林, 等. 柴达木盆地新生代成盆动力学模式 [J]. 石油学报, 2006, 27(3): 6-10 [ Li Xiangbo Yuan Jianying Chen Qilin *et al* Patterns of Cenozoic sedimentary basin-forming dynamics in Qaidam Basin [J]. Acta Petroli Sinica 2006, 27(3): 6-10]
  - 18 曹国强, 陈世悦, 徐凤银, 等. 柴达木盆地西部中-新生代沉积-构造演化 [J]. 中国地质, 2005, 32(1): 33-39 [Cao Guoqiang Chen Shiyue Xu Fengyin *et al* Cenozoic sedimentary and tectonic evolution in the western Qaidam Basin [J]. Geology in China 2005, 32(1): 33-39]
  - 19 陈世悦, 徐凤银, 彭德华. 柴达木盆地基底构造特征及其控油意义 [J]. 新疆石油地质, 2000, 21(3): 175-179 [Chen Shiyue Xu Fengyin Peng Dehua Characteristics of basement structures and their controls on hydrocarbon in Qaidam Basin [J]. Xinjiang Petroleum Geology 2000, 21(3): 175-179]

## Cenozoic Sedimentary Migration in Qaidam Basin and Its Significance on the Dynamic Mechanism

LV Bao-feng<sup>1</sup> ZHAO Xiao-hua<sup>2</sup> ZHOU Li<sup>2</sup> DUAN Sheng-sheng<sup>3</sup>

(1 Guangzhou Institute of Geochemistry Chinese Academy of Sciences Key Laboratory of Marginal Sea Geology CAS Guangzhou 510640

2 Research Institute of Petroleum Exploration and Development Qinghai Oil Field Company Dunhuang Gansu 736202;

3 Exploration Department of Qinghai Oil Field Company Dunhuang Gansu 736202)

**Abstract** Within the period of Cenozoic, the downwarping and the sedimentation have good relationships with the uplift of surrounding mountains. The regular change of the position, the range and the plane shape of sedimentary center indicates that Qaidam basin underwent three compresso-shear stress field from the north Qilian mountain, the Allyn mountain and Kunlun mountain. The stress field from Allyn Mountain compressed continuously from the beginning to the end of Cenozoic. The stress field from northern and southern boundary also compressed continuously and experienced a direction change history, the NE-SW direction (E), the NNE-SSW direction ( $E_3-N_1^1$ ), nearly S-N direction and NE-SW direction. So the Cenozoic evolution pattern has been made according to which, the Qaidam Basin experienced four compresso-shear stages, their directions are NE-SW (E), NNE-SSW ( $E_3-N_1^1$ ), nearly S-N ( $N_1^2-N_2^2$ ) and NE-SW ( $N_2^3-Q$ ).

**Key words** Qaidam Basin, Cenozoic, sedimentary migration, stress field, dynamic mechanism