

文章编号: 0253-2697(2006)03-0006-05

## 柴达木盆地新生代成盆动力学模式

李相博<sup>1,2,3</sup> 袁剑英<sup>2</sup> 陈启林<sup>2</sup> 王 琪<sup>1</sup> 李 斌<sup>1,3</sup> 孟自芳<sup>1</sup>

(1. 中国科学院兰州地质研究所 甘肃兰州 730000; 2. 中国石油勘探开发研究院西北分院 甘肃兰州 730020;

3. 中国科学院研究生院 北京 100039)

**摘要:** 应用地震勘探资料和平衡剖面恢复技术对柴达木盆地断裂特征进行了研究,并结合柴达木盆地岩石圈结构特征和区域应力场资料,对盆地新生代构造演化阶段及盆地类型进行了重新划分和确定。该盆地演化既受区域应力场及盆缘走滑断裂活动的控制,也受地壳深部活动的影响,其成盆动力学模式为深层伸展,浅层压扭。这一模式不但较好地解释了盆地的构造特征,而且较好地解释了盆地新生代沉积迁移规律,是对“大型拆离伸展—拉分盆地”成盆模式的补充与完善。

**关键词:** 柴达木盆地;断裂特征;构造演化;成盆动力学

**中图分类号:** TE111.2

**文献标识码:** A

## Patterns of Cenozoic sedimentary basin-forming dynamics in Qaidam Basin

Li Xiangbo<sup>1,2,3</sup> Yuan Jianying<sup>2</sup> Chen Qilin<sup>2</sup> Wang Qi<sup>1</sup> Li Bin<sup>1,3</sup> Meng Zifang<sup>1</sup>

(1. Lanzhou Institute of Geology, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China;

2. Northwest Branch Institute, Research Institute of Petroleum Exploration and Development, CNPC, Lanzhou 730020, China;

3. Graduate School, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

**Abstract:** The seismic survey data and the restoring technology for profile equilibrium were applied to research the characteristics of faults in Qaidam Basin. On the basis of the lithosphere structural characteristics and the regional stress field in Qaidam Basin, the Cenozoic structural evolution stage and types of basin were redivided and determined. The result showed that the evolution of this basin was controlled by the regional stress field and breakout of margin slides and also influenced by deep activities of earth crust. The dynamic pattern was characterized by deep level extends and shallow lamination and torsion. This pattern can be used to explain the structural characteristics and Cenozoic deposition migration rule of Qaidam Basin. It also becomes the supplement and consummation to the basin-forming pattern of the large-scale open-extending and pull-apart basins.

**Key words:** Qaidam Basin; fault characteristics; structural evolution; sedimentary basin-forming dynamics

柴达木盆地位于青藏高原东北部,是我国西部地区中、新生代以来形成的大型陆内沉积盆地,也是西部地区唯一以新生代地层为主力烃源岩的含油气盆地,面积约  $12 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。区内新生界地层主要包括:古新统一始新统路乐河组( $E_{1+2}$ ),渐新统下干柴沟组( $E_3$ ),中新统上干柴沟组( $N_1$ ),上新统下油砂山组( $N_2^1$ )和上油砂山组( $N_2^2$ ),狮子沟组( $N_2^3$ )及第四系。目前在盆地基础地质、油气资源及油气富集规律等方面均取得了大量研究成果<sup>[1]</sup>,但关于该盆地在新生代的构造演化及盆地类型却一直存在争议。现有的假说基

本上可以归为三大类:以“纯挤压说”为代表,认为是挤压拗陷或前陆盆地<sup>[2-4]</sup>;以“先伸展后挤压说”为代表,认为早期为强烈伸展、晚期为挤压挠曲盆地<sup>[5]</sup>,或早期为走滑拉分盆地、晚期转为类前陆盆地<sup>[6-7]</sup>;少数科学家为代表,他们注意到了地壳深部作用对柴达木盆地形成演化的影响,认为是“大型拆离伸展—拉分盆地”<sup>[8]</sup>。笔者在对该盆地断裂特征研究的基础上,结合岩石圈结构特征及区域应力场资料,对盆地新生代构造演化阶段及盆地类型进行了重新划分和确定,并探讨其演化的动力学模式及其对沉积迁移特征的控制作用。

**基金项目:** 国家重点基础研究规划项目(2003CB214606)、中国科学院知识创新工程项目(KZCX3-SW-128)及中国石油天然气股份有限公司“十五”科技攻关项目(040107-3)联合资助。

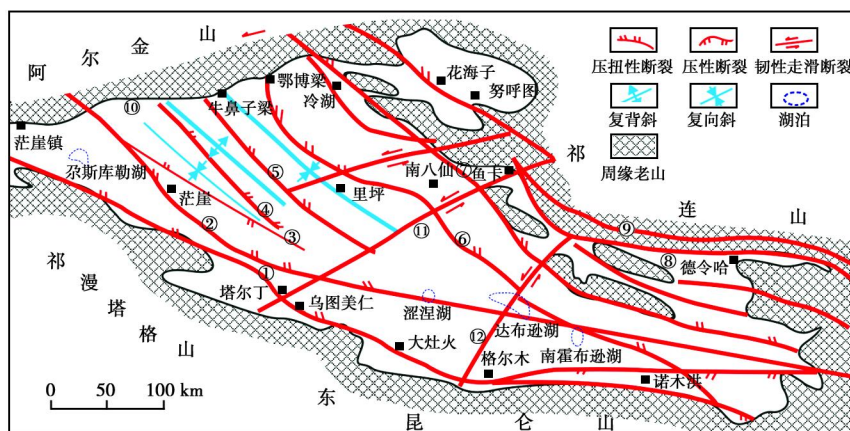
**作者简介:** 李相博,男,1965年7月生,1989年毕业于东北大学地质系,1996年获中国科学院兰州地质研究所地球化学硕士学位,现为石油勘探开发研究院西北分院高级工程师,中国科学院兰州地质研究所在读博士,现主要从事石油地质综合研究及遥感技术应用等方面的研究工作。E-mail:xiangboli@hotmail.com。

## 1 盆地断裂构造特征

### 1.1 断裂类型及特征

盆地基底深大断裂的长期和多期活动往往对盆地的形成和构造演化具有重要的控制作用<sup>[9]</sup>。目前的勘探和研究表明,柴达木盆地大部分断裂构造都是基底断裂或基底卷入型断裂<sup>[10]</sup>。主要有两组:一组为北西-北

西西方向,包括控制盆地南边界的昆北断裂、控制盆地北边界的柴北缘断裂、祁连山南缘断裂及盆地内部的号断裂、油北断裂、风南断裂、碱北断裂和葫北-陵间-达霍断裂;另一组为北北东方向,主要有控制盆地西缘阿尔金南缘断裂及盆地内部的塔尔丁-鱼卡断裂及格尔木-锡铁山断裂。两组断裂以前组为主体,共同控制着盆地现今南北成带、东西分块的构造格局(图1)。



昆北断裂; 号断裂; 油北断裂; 风南断裂; 碱北断裂; 葫北-陵间-达霍断裂; 柴北缘断裂;  
祁连山南缘断裂; 宗务隆山北侧断裂; 阿南断裂; 11 塔尔丁-鱼卡断裂; 12 格尔木-锡铁山断裂

图1 柴达木盆地基底断裂分布

Fig. 1 Distribution of basement fault in Qaidam Basin

根据断裂性质及其对沉积的控制作用,可将上述断裂构造划分为同沉积正断裂、同沉积逆冲断裂、晚期逆冲断裂(包括晚期新生逆冲断裂和晚期正反转断裂)和走滑断裂四大类型。同沉积逆冲断裂在盆地的西部及北部均有发育。在柴达木盆地迄今为止发现的最大油田——尕斯油田就是由基底卷入式的同沉积逆冲断裂控制,其特点是断裂两盘地层厚度差异较大,生长指数(下降盘厚度/上升盘厚度)最大可达7.6<sup>[11]</sup>。从所控制的地层特征看,该类逆冲断裂在盆地内发生期为古新世初期,强烈活动时间持续到上新世早期( $N_2^1$ ),上新世晚期以来( $N_2^3$ 以来)停止活动<sup>[11]</sup>,说明喜山早期盆地存在强烈的挤压作用。

盆地中的大部分同沉积正断裂由于后期构造变形的叠加与改造作用已很难识别,目前发现的几条大型同沉积正断裂主要分布在盆地深部构造层中( $E-N_2^1$ ),如XI号断裂的东段、葫北-陵间-达霍断裂及阿尔金南缘断裂。对平衡剖面的恢复研究表明,它们在中生代可能就已形成,在喜山运动早期强烈活动,在喜山末期( $N_2^3$ 以来),因受到强大压扭作用而反转逆冲(图2)。同沉积正断裂的存在又说明喜山早期盆地存在伸展作用。

晚期逆冲断裂及走滑断裂在柴达木盆地广泛发育。北部祁连山前、南部昆仑山前及西部阿尔金山前现今均表现为向盆地的晚期逆冲构造变形。以研究程度较高的柴北缘为例,主逆冲断裂均为基底卷入式构造,向北倾斜,形成一系列冲向盆内的成排成带的逆冲构造带,并于喜山晚期( $N_2^3$ 以来)在浅层形成反冲构造,说明存在强烈挤压作用。此外,多数构造带在剖面上还呈向下收敛、向上撒开的花状构造,在平面上则表现为一系列呈北西方向展布的反“S”型。如冷湖—南八仙构造带以及鄂博梁—号、号构造带等都具有上述特征,这说明存在剪切扭动作用,喜山晚期以来柴达木盆地应处于压扭构造环境中。

### 1.2 断裂分布规律

总体来看,盆地内断裂构造分布在横向上具有分带性,垂向上具有分层性。横向上,总的变形特征是南北两侧强,中间弱,西部强,东部弱;垂向上,可分浅层( $N_2^1-Q$ )及深层( $E-N_2^1$ )两个构造层次。同沉积逆断层与同沉积正断层主要分布在深层中;晚期逆冲断裂主要分布在浅层中;走滑断层由于多以花状构造形式出现,在深浅构造层次中均有反映,只是其性质前后有所改变。

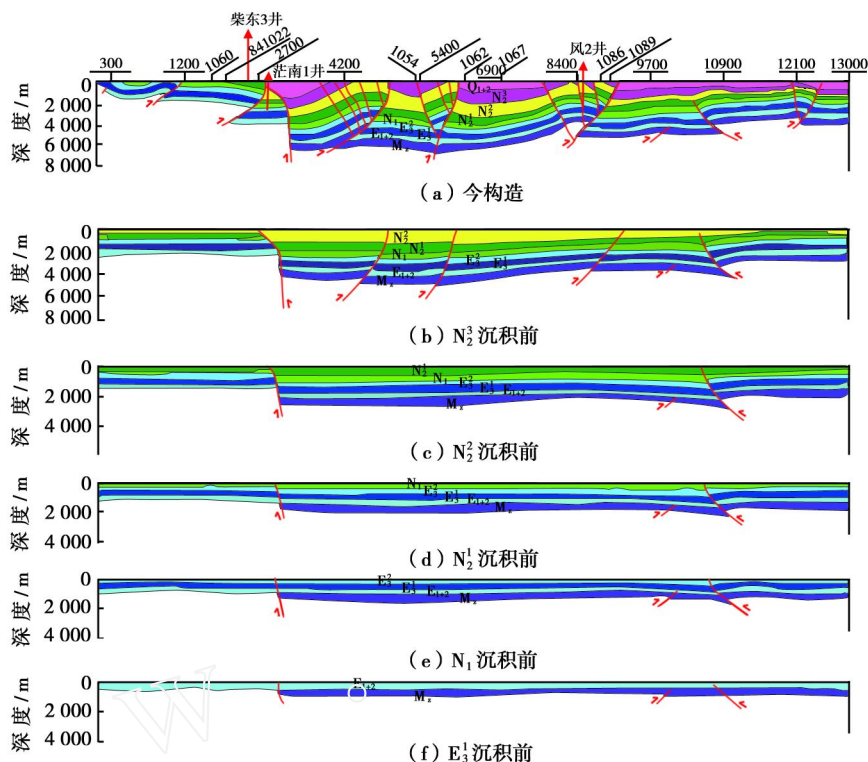


图2 柴达木盆地088地震测线构造解释及平衡地质剖面

Fig. 2 Structural explanation and equilibrium section of 088 seismic profile in Qaidam Basin

## 2 盆地断裂构造发育的控制因素

柴达木盆地新生代断裂构造发育明显表现出阶段性和复杂性特点。前者表现在新生代早期与晚期(以 $N_2^1$ 沉积期末为界)具有不同性质的构造变形;后者表现在同一时期既有伸展断裂,也有挤压逆冲断裂。其原因可能主要与不同时期的区域构造应力场特征有关,同时也受盆地地壳及岩石圈结构特征的控制。

### 2.1 区域构造应力场特征

新生代以来,由于印度板块与欧亚板块发生陆陆碰撞,为青藏高原的形成提供了强大的动力。柴达木盆地恰位于青藏高原的东北角,应力传递在其西北侧受到塔里木板块的阻挡,在东北侧受到华北板块的阻挡,因此该盆地处于整个青藏高原前缘构造应力的集中部位,构造活动十分强烈。

柴达木及邻区新生代区域构造变形主要特征可概括为<sup>[12-14]</sup>:喜山早期为近南北方向的水平挤压,北西向或北西西向的北祁连北缘断裂、中祁连断裂、柴北缘断裂、昆北断裂及北东东向的阿尔金断裂均以右行走滑为主,导致柴达木地块逆时针旋转;喜山晚期以来主应力场转为北东向的水平挤压,阿尔金断裂表现出强烈的左旋运动,导致包括柴达木地块在内整个青藏高原北部向东逃逸并顺时针旋转,原北西西向的右行走滑

断裂均转变为向北或向南的逆冲兼左行走滑,从而形成现今柴达木盆地“造山带向盆地对冲”的构造景观。周缘区域性走滑断裂旋向的改变导致柴达木地块前后出现逆时针和顺时针旋转的这一运动学过程已被古地磁、遥感及地质资料所证实<sup>[12,15-17]</sup>。由此可见,柴达木盆地在新生代始终处于巨大的压扭性应力场中,这就是该盆地走滑扭动构造、逆冲构造及反转构造发育的原因。

### 2.2 盆地地壳及岩石圈结构特征

地壳和岩石圈上地幔的结构被认为是影响沉积盆地形成和演化的因素之一<sup>[18]</sup>。亚东—额济纳旗地学断面揭示柴达木盆地地壳和岩石圈上地幔结构具有3个显著特征,地壳内普遍存在一个连续性好的低速层或低阻高导层(图3)。据Wenchen Xia资料<sup>[17]</sup>,其厚度为5~10 km,底界面埋深为25~35 km,P波速度为5.8 km/s,电阻率为1~10 m。盆地周缘地表一些主要的走滑-逆冲剪切带向深部延伸时多消失在此层内,因此推测,这些地球物理界面属于构造滑脱带或局部熔融带。盆地中地壳低速层向两侧造山带有明显增厚的趋势。据吴功建研究<sup>[19]</sup>,祁连山带低速层厚度不少于12 km,这可能意味着中地壳存在强烈的拆离伸展作用。盆地深部物质正是沿此低速层(拆离构造)流变到造山带下部,其结果势必造成中地壳内部物质亏空,从而导致上地壳裂陷作用的发生。在柴



达木盆地岩石圈底界面和莫霍面存在 3~10 km 的局部隆升现象(图 3)。岩石圈上地幔底界埋深 80 km<sup>①</sup>,比南祁连山及昆仑山地区埋深明显变浅(前者埋深 90

km,后者埋深 83 km),这可能预示着盆地深部存在地幔岩浆底辟作用及与之有关的岩石圈伸展作用。盆地深层发育的同沉积正断层可能就是这种地幔岩浆上拱

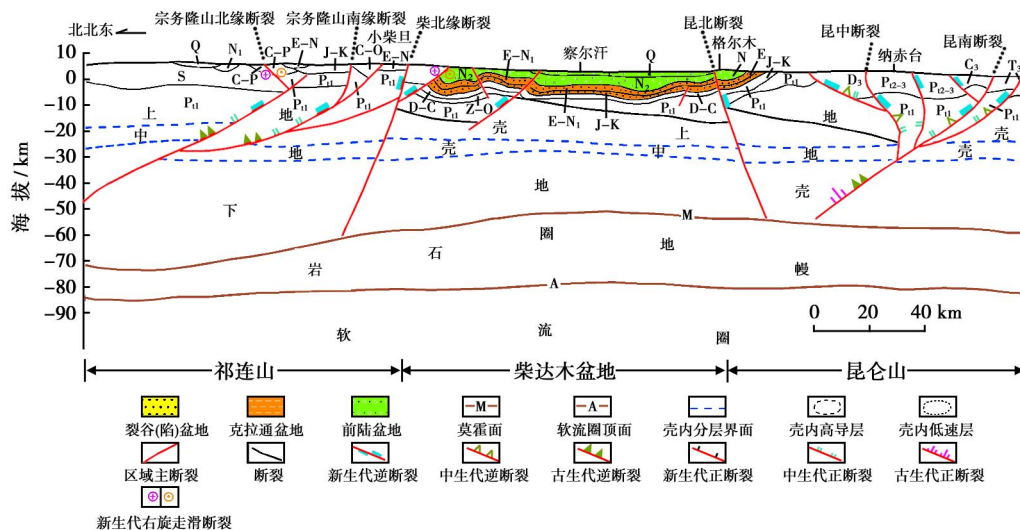


图3 柴达木盆地岩石圈结构特征

Fig. 3 Characteristics of geosphere structure in Qaidam Basin

及中地壳拆离伸展联合作用的结果。

### 3 盆地形成的动力学模式及构造演化阶段划分

#### 3.1 盆地形成的动力学模式及盆地类型

以往研究表明<sup>[20-21]</sup>,同沉积正断裂是裂陷盆地的标志,它只能形成在拉张环境中;基底卷入式的逆冲断裂是压陷盆地的标志,代表岩石圈或地壳处于挤压收缩构造背景;而走滑断裂则是岩石圈或地壳侧向运动的产物,代表一种扭动成盆动力学环境。从上述盆地断裂特征及其发育控制因素的分析不难看出,柴达木盆地新生代成盆构造环境具有两面性:既存在伸展作用又存在挤压作用。这在表面上看是矛盾的,实际上反映了一种新的成盆动力学模式,即:“深层伸展,浅层压扭”(图 4)。

在地壳深部,盆地内部岩石圈中存在中地壳及上地幔等多层向造山带缓倾的拆离滑脱(流变)构造带,正是这些软弱构造带的存在才使得地壳深部物质由盆地中心向两侧横向迁移,并向北楔入(俯冲)南祁连山下,向南楔入北昆仑山下。在这种由盆地深层拆离伸展而引起的双向楔入(俯冲)作用下,古造山带复活抬升并向盆地对冲推覆。另一方面,在地壳浅层,由于印度板块碰撞作用,盆地新生代以来始终处于巨大的压扭性应力场中,尽管主应力场方向及盆缘走滑断裂旋

向先后发生过改变,但并没有改变盆地始终处于巨大压扭性应力场中这一性质。这不但加剧了周缘造山带向盆地的逆冲与推覆,而且引起了地质块体的侧向移动即扭动变形。

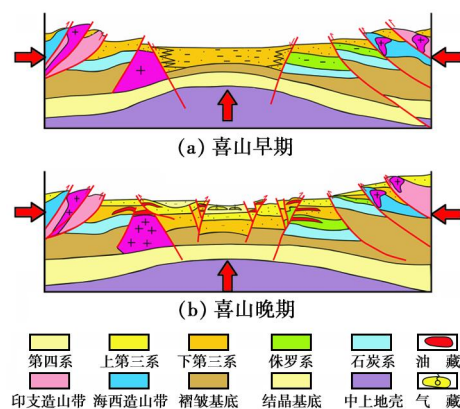


图4 柴达木盆地新生代成盆动力学模式

Fig. 4 Pattern of sedimentary basin-forming dynamics of the Cenozoic in Qaidam Basin

成盆动力学模式的复杂性决定了盆地类型的多样性,上述成盆模式决定了该盆地在新生代为伸展与压扭并存的复合性盆地。需要说明的是“大型拆离伸展-拉分盆地”的模式虽然注意到了深部作用对盆地的影响,但没有把盆地构造与区域构造结合起来进行分析,也未能注意到新生代以来主应力场方向及盆缘走滑断裂旋向改变对盆地的影响。因此,可以说“深层伸展,

①徐杰,高战武.中国石油天然气集团公司“九五”重点科研项目“中国主要含油气盆地地壳结构构造研究成果报告”.中国国家地震局地质研究所,1999.

浅层压扭”的成盆模式是对它的一种补充和完善。

### 3.2 盆地构造演化阶段划分及其对沉积迁移规律的控制

根据盆地同沉积正断层主要发育在喜山早期及强烈逆冲主要发生在喜山晚期这一事实,可将新生代演化阶段进一步划分为喜山早期的“地幔上拱为主、盖层压扭为辅”成盆阶段及喜山晚期转为“盖层压扭为主、地幔上拱为辅”的成盆阶段(图4)。

盆地在新生代的迁移叠置关系反映了盆地上述构造演化的全过程。在  $E-N_1$  阶段,受“地幔上拱为主、盖层压扭为辅”这一成盆作用的控制,柴达木盆地沉积表现为“扩展为主,迁移为辅”的特点,沉积中心由多个联合归并为一个,沉积范围逐步扩大。在扩展的同时,也表现出向东迁移的趋势,但不是很明显。在  $N_2-Q$  阶段,受“盖层压扭为主、地幔上拱为辅”这一成盆作用的控制,盆地沉积表现为“迁移为主,扩展为辅”的特点,盆地的沉积中心向盆地的中部和东部明显迁移,形成了偏叠置关系。

## 4 结论

(1) 柴达木盆地新生代断裂构造可划分为同沉积正断裂、同沉积逆冲断裂、晚期逆冲断裂及走滑断裂四大类型。构造发育明显表现出阶段性和复杂性特点,同一时期既发育同沉积正断裂,也发育同沉积逆冲断裂。这一特征既受盆地邻区区域构造应力场及盆缘走滑断裂活动的控制,也受地壳深部岩石圈结构特征的影响。

(2) 柴达木盆地新生代成盆动力学模式为“深层伸展,浅层压扭”。新生代构造演化可划分为两大阶段,即喜山早期的“地幔上拱为主、盖层压扭为辅”阶段及喜山晚期的“盖层压扭为主、地幔上拱为辅”阶段。盆地沉积演化也表现为早期的“扩展为主,迁移为辅”阶段与晚期的“迁移为主,扩展为辅”阶段。

(3) “深层伸展,浅层压扭”成盆模式是对“大型拆离伸展-拉分盆地”的模式补充和完善。盆地地壳深部存在向造山带下缓倾的拆离滑脱层已被越来越多的资料证实<sup>[22-24]</sup>。由此看来,该模式可能对地处欧亚大陆腹地的中国西部盆地的形成演化、盆山耦合关系的研究具有普遍意义,对油气成藏也具有重要的影响作用。

致谢 参加本项研究工作的还有甘肃省地矿局左国朝教授、中国石油勘探开发研究院王新民教授及周炎如、何亨华、李碧宁、陈迎宾、张正刚。在此一并表示衷心感谢。

### 参考文献

[1] 徐凤银,彭德华,侯恩科.柴达木盆地油气聚集规律及勘探前景

[J].石油学报,2003,24(4):1-12.

- [2] 彭作林,惠荣耀.中国西部准噶尔、柴达木、酒西盆地天然气赋存条件及资源预测[M].兰州:甘肃科学技术出版社,1991:162-227.
- [3] 狄恒恕,王松贵.柴达木盆地北缘中新代构造演化探讨[J].地球科学,1991,16(5):533-539.
- [4] 黄华芳,王金荣.造山型盆地构造演化与油气赋存[M].兰州:兰州大学出版社,1994:110-190.
- [5] 金之均,张明利,汤良杰.柴达木盆地中-新生代构造演化[J].地球学报,1999,20(增刊):68-77.
- [6] 翟光明,宋建国,靳久强,等.板块构造演化与含油气盆地形成和评价[M].北京:石油工业出版社,2002:276-287.
- [7] Xia Wen-chen, Zhang Ning, Yuan Xiao-ping, et al. Cenozoic Qaidam basin, China: A stronger tectonic inversed, extensional rifted basin[J]. AAPG Bulletin, 2001, 85(4): 715-736.
- [8] 崔军文,唐哲民,邓晋福,等.阿尔金断裂系[M].北京:地质出版社,1999:226-230.
- [9] 罗群,庞雄奇.柴达木盆地断裂特征与油气区带成藏规律[J].西南石油学院学报,2003,25(1):1-5.
- [10] 戴俊生,曹代勇.柴达木盆地构造样式的类型和展布[J].西北地质科学,2000,21(2):57-63.
- [11] 邹华耀,胡文义.生长逆断层与油气生成、运移和聚集——以柴达木盆地东斯断陷为例[J].石油与天然气地质,1993,14(3):200-206.
- [12] 李相博,王新民,袁剑英,等.青藏高原东北部旋卷(扭)构造变形及其形成地质条件分析——兼评法国地质学家 Tapponnier 的“走向滑移线场和构造逃逸理论”[J].大地构造与成矿学,2001,25(2):120-127.
- [13] 邢成起,张杰,吕德徽.关于阿尔金北缘活动断裂带运动方式的转变机制的讨论[J].西北地震学报,1998,20(2):52-57.
- [14] 刘增乾,徐宪,潘桂棠,等.青藏高原大地构造与形成演化[M].北京:地质出版社,1990:128-142.
- [15] 杨藩,叶素娟,曹春潮,等.新生代阿尔金断层中、东段右性走滑特征[J].地质科学,1994,29(4):346-353.
- [16] 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.
- [17] 陈正乐,张岳桥,陈宣华,等.阿尔金断裂中段新生代走滑过程的沉积响应[J].中国科学D辑,2001,31(增刊):90-96.
- [18] 金之钧,殷进垠,谢方克,等.盆地岩石圈结构与油气成藏的分布[J].地质科学,2003,38(3):392-402.
- [19] 吴功建.格尔木—额济纳旗地质断面综合研究[J].地质学报,1998,72(4):289-299.
- [20] Bott M H P. Mechanism of rifting: Geodynamic modeling of continental rift system [M]. Olesen K H. Continental rift: Evolution, structure, tectonics. Amsterdam: Elsevier, 1995: 27-43.
- [21] 刘和甫.沉积盆地动力学分类及构造样式分析[J].地球科学,1993,18(6):699-723.
- [22] 许志琴,杨经绥,姜枚,等.大陆俯冲作用及青藏高原周缘造山带的崛起[J].地学前缘,1999,6(3):139-151.
- [23] 蔡学林,曹家敏,刘援朝,等.青藏高原多向碰撞—楔入隆升地球动力学模式[J].地学前缘,1999,6(3):181-189.
- [24] 牛树银,孙爱群,白文吉,等.造山带与相邻盆地间物质的横向迁移[J].地学前缘,1995,2(1-2):85-91.

(收稿日期 2005-03-30 改回日期 2005-10-24 编辑 张怡)