

柴达木盆地北缘走滑断层地震剖面解释及形成机理分析

王桂宏^{1, 2)}, 马达德³⁾, 周川闽^{1, 2)}, 周苏平³⁾

1) 中国石油勘探开发研究院, 北京 100083;

2) 国家石油采收率重点实验室, 北京 100083;

3) 中国石油青海油田公司, 甘肃敦煌 736200

摘要: 柴达木盆地位于青藏高原的北部, 研究区处于阿尔金山构造带与南祁连构造带所夹持的钝角一侧。目前对柴北缘地区构造样式存在两种认识: 一是逆冲推覆双层构造模式, 一是走滑近花状构造模式。造成这种认识差异的主要原因也有两个: 一是区域上构造类比引起; 二是穿过柴北缘几大构造带的地震剖面信噪比较差, 不能很好反映地层的展布。因此在对冷湖构造带深部构造圈闭变形特征及形成期等方面存在认识上的差异, 以至于勘探评价不够客观。作者通过地震剖面、遥感图像解译及井下资料, 对柴北缘冷湖构造带的走滑变形特征进行了系统分析, 证明柴北缘冷湖构造带发育隐形高角度走滑断裂带, 文中对多条穿过构造带剖面的走滑构造样式进行了解释。结合区域背景资料和地层展布特征, 分析了走滑断裂活动的动力学特征, 并得出柴北缘地区的走滑断裂具有反转构造变形特征的结论。

关键词: 柴达木盆地; 北缘; 走滑断裂; 地震剖面; 解释; 机理

中图分类号: P542.3; P315.2 文献标志码: A doi: 10.3975/cagsb.2011.02.09

The Seismic Profile Interpretation and Development Mechanism of Strike-slip Faults in Northern Qaidam Basin

WANG Gui-hong^{1, 2)}, MA Da-de³⁾, ZHOU Chuan-min^{1, 2)}, ZHOU Su-ping³⁾

1) *Research Institute of Petroleum Exploration and Development, PetroChina, Beijing 100083;*

2) *State Key Laboratory of Enhancement Oil Recovery, Beijing 100083;*

3) *Qinghai Oil Company, PetroChina, Dunhuang, Gansu 736200*

Abstract: Located in Qinghai-Tibet Plateau, the Cenozoic Qaidam Basin owes its development to the formation of the plateau, and the complex structures at different sites play an important role in the formation of various interpretations. There are two different opinions concerning the structural styles in northern Qaidam Basin: one is the opinion of overthrust faults which has been somehow overwhelming for many years, and the other is the opinion of strike-slip faults developed in recent years, which however has not been accepted by many researchers. There are two main reasons responsible for such a situation, i.e., regional geological analogy and poor seismic data over the structural belts. Some geologists compare northern boundary tectonics of the Qaidam Basin with southern margin of the Jiuquan Basin located north of the Qilian Mountain. In addition, the seismic data over faulted belts of the Qaidam Basin are usually very insufficient for interpretation. So different well designers have different inclinations in the choice and evaluation of structural traps for drilling. Based on seismic and remote sensing data, the authors interpreted the Lenghu strike-slip fault belt as dextral displacement. However, there existed an inversion of early extensional strike slip in Paleogene period, and the inverted strike slip deformation controlled secondary accumulation of strike slip faults belts.

本文由中国石油天然气股份有限公司重大专项“柴达木盆地油气勘探开发关键技术研究”资助。

收稿日期: 2010-10-18; 改回日期: 2010-12-31。责任编辑: 魏乐军。

第一作者简介: 王桂宏, 男, 1967 生。高级工程师。主要从事含油气盆地构造分析与石油地质研究。地址: 100083, 北京市海淀区学院路 20 号, 中国石油勘探开发研究院培训中心。E-mail: wanggh@petrochina.com.cn。

Key words: Qaidam basin; northern boundary; strike slip faults; seismic profiles; interpretation; mechanism

一般说来，柴达木盆地属于我国西部盆地群的一员，但其构造属性，特别是晚第三纪以来的沉积构造变形过程完全受制于青藏高原的隆升演化过程(许志琴等, 2001)，因此柴达木盆地应属于高原盆地(图 1)，它与我国西北地区及中亚地区许多盆地完全不同，差异性表现为：一是受青藏构造域演化控制，为第三纪以来的新生代盆地，受喜山运动影响较为明显；二是受控于周边特提斯构造域的演化，盆地所处的地壳经受了多次拖曳与挤压作用，构造反转作用较强；三是受扭动性深大断裂控制，盆地沉积中心沿断裂带走向具有迁移特征；四是盆地周边造山带的差异性分期活动导致新生代盆地沉积中心与沉降中心的不一致；五是晚喜山运动阶段，伴随着青藏高原的强烈隆升，早喜山期构造格局急剧改变，柴达木盆地东南部基底迅速沉降，沉积了厚度巨大的上油砂山组、狮子沟组与第四系沉积，盆地的急剧沉降主要在该阶段。现为晚喜山期走滑盆地发育阶段。

由于柴达木盆地处于青藏高原内部，晚喜山期盆地沉降与周缘造山带隆升相互耦合(李海兵等, 2002)，盆地边界断裂带的持续走滑活动导致沉积沉

降中心由西向东迁移，构造变形由西向东、由北向南逐渐减弱。这些构成了柴达木盆地晚喜山期构造变形的基本特征，并与晚喜山期青藏高原走滑逃逸的构造活动方式具有一致性(Molnar et al., 1975)。这也是相对于我国西部地区其它盆地，柴达木盆地构造特征具有特殊性的重要原因。

因此不能简单地将柴达木盆地与西北地区的其它进行类比(雷振宇, 2004)，如将天山两侧构造变形特征与祁连山南北两麓类比，可能就会得出相似但相反方向的构造变形的认识或想法。但从区域构造分布看，祁连山南北两侧具有不同的构造控制作用。该区在新生代的构造变形主要受控于阿尔金走滑断裂带(刘永江等, 2001)，祁连山北麓为阿尔金走滑带由走滑转换为逆冲带的前端部位，也就是地壳块体运动位移的转折受限位置，这样酒泉盆地的南侧易形成大规模的逆冲推覆构造(图 1)。

1 构造背景

柴北缘断陷被夹持于苏干湖盆地和柴达木盆地的中央拗陷之间，受赛什腾山—绿梁山逆冲推覆构造的控制，呈北西向延伸，长约 300 km，宽 20~

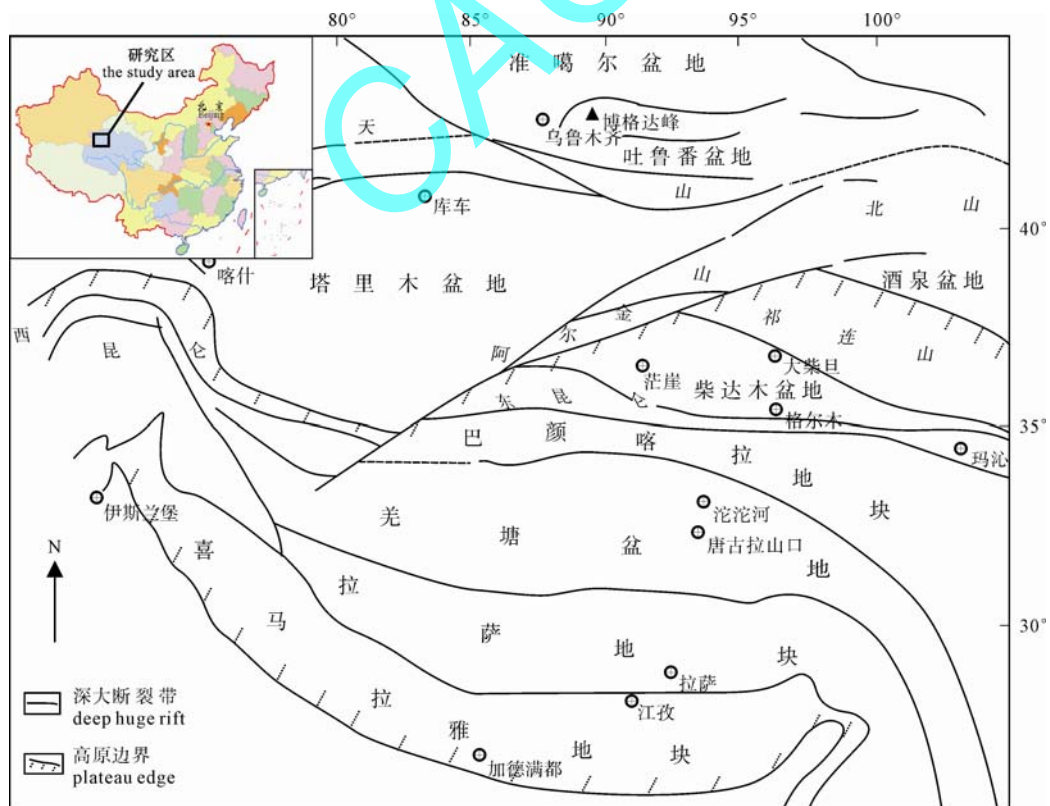


图 1 青藏高原及邻区断裂构造与盆地分布
Fig. 1 Faults and basins in Qinghai-Tibet plateau and adjacent areas

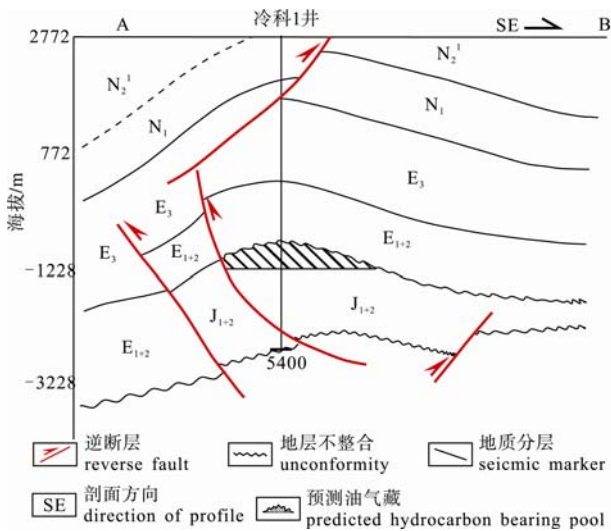


图3 柴北缘冷湖五号构造两层楼模式油藏剖面图(穆剑等, 1999)(剖面位置见图2)

Fig. 3 Two-layer model of structural style in northern Qaidam Basin (MU Jian et al., 1999)(for profile position see Fig. 2)

即经过这些构造带地层是连续分布的, 给层位的追踪造成错觉。但通过进行地震标准层的追踪解释, 仔细观察后可以发现高角度断层的存在(图 4-I)。走滑断层两侧地层的不协调性较为清楚, 可见两侧波组犬牙交错的相互嵌入状接触。显然, 两侧地层具有一定的挤压作用, 但从断层倾角和两盘地层的变形看, 断层上盘又不具备逆冲的形迹; 两盘的运动并不是以垂向于断层走向的方向进行, 而是平行于断层走向。因此该断层属于压性走滑断层, 或压扭性断层。

因此, 根据信噪比较低的地震剖面进行断层解释, 需要借助于层位追踪。在确定标志层的基础上, 根据

区域性大剖面进行全区的解释, 这样才能把握地层的展布。在对地震标志层进行追踪时, 要关注隐性高角度走滑断层的断点分布, 特别是标志层同相轴难以继续延伸时, 要留意断层是否存在。这种解释方法是建立在地层追踪对比的基础上, 因此与就断层来解释断层具有不同的分析思路。后者很容易受模式影响。通过对柴北缘地区进行较详细的构造解释工作, 合理追踪了该区中新生界的展布, 对构造样式有了较为清楚的认识(图 5)。部分剖面上走滑带两侧的基底埋深差异较大, 显然是高角度断层所致。

走滑带南侧(图 5 左侧)为深拗陷, 基底埋深大, 地层厚度大, 断裂北侧(图 5 右侧)基底浅, 中新生界薄。如果是断层的逆冲作用造成北侧块体抬升, 南侧块体拗陷沉降, 那么该逆冲带的规模及其变形强度就一定较为显著, 并且断裂带两盘地层的挠曲会呈现出一定的不对称性; 即造成如此深的拗陷应出现有倒转性背斜和不对称的向斜拗陷, 但实际是背斜构造和拗陷基本为对称, 甚至是背斜反呈现出向北偏转的特征, 如图 4 右侧背斜的北翼(右边)较南翼更陡些。

因此造成两侧基底发生剧烈高差的断层可能为高角度走滑断层, 也就是造成变形的动力并不是简单的由盆地北界(祁连山构造带)向盆地内部的挤压作用, 而很可能是盆地内部块体沿断裂带两侧发生的位错, 是一种压扭性变形。

3 柴北缘地区走滑断层形成机理及走滑量分析

根据冷湖五号构造地面地质图(图 6), 主断层两侧出露的地层基本一致, 没有形成逆冲与逆掩的不

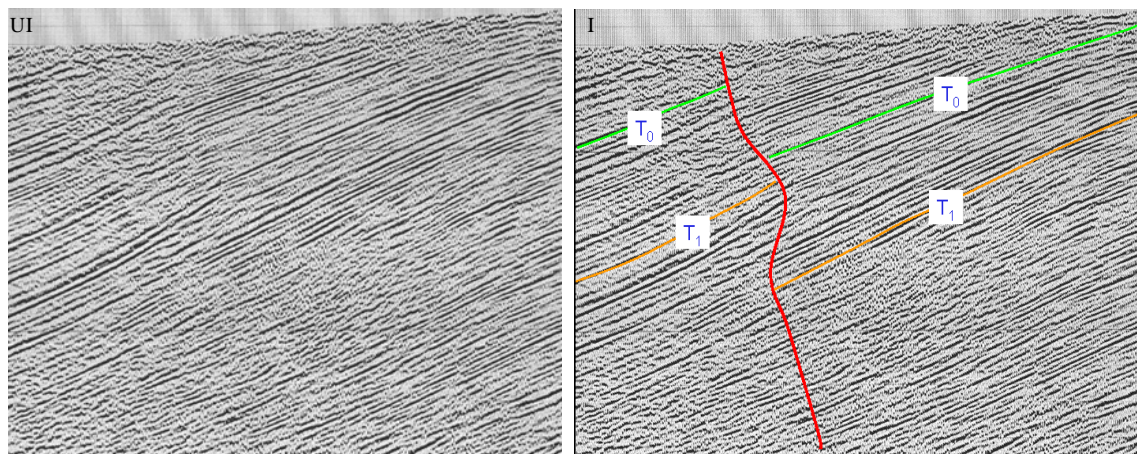


图4 柴北缘冷湖走滑断层(UI-未解释剖面, I-解释剖面; 剖面右侧为北东端)

Fig. 4 Lenghu strike slip fault (UI-uninterpreted profile, I-interpreted profile, right lateral indicating northeast end)

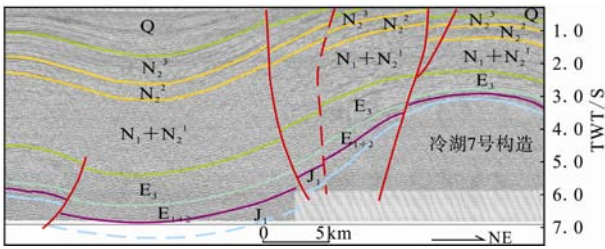


图 5 冷湖七号构造地震解释剖面
 Fig. 5 Seismic interpretation profile of Lenghu No. 7 structure (line in northeast, right lateral indicating north-east end)

主走滑断裂位于构造带的一侧, 构造主体沿轴部发生了旋转
 Principle strike slip fault located in southern side of structure belt, the major section rotated clockwise

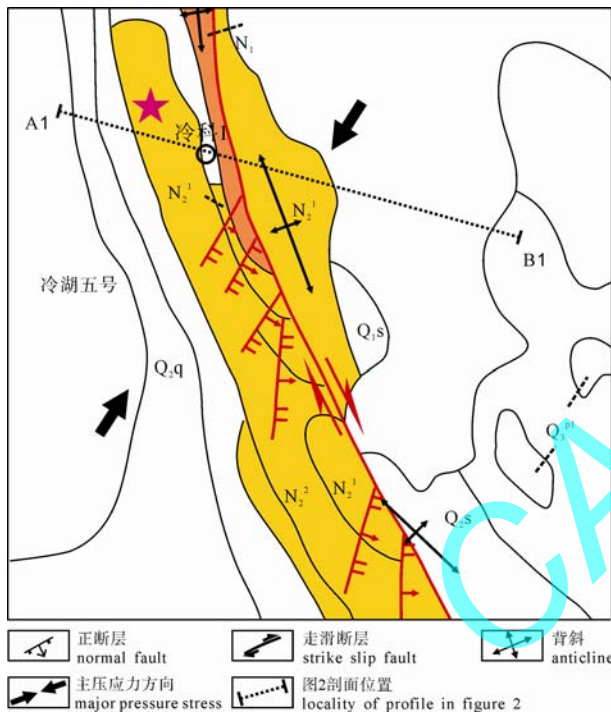


图 6 冷湖五号地面地质图与走滑变形解释(宽箭头代表构造挤压应力的方向)

Fig. 6 Geological map and strike slip fault interpretation (broad arrow representing tectonic stress)

对称形态, 反映出断层两侧地层均发生了上冲。同时主断层的走滑特征可由错列的出露地层得到显示, 仅从这一小区块的局部看, 似乎显示为左行走滑。但在更广的范围内, 结合冷湖一系列褶皱构造的平面展布, 最后一期构造变形应该是右行走滑(黄汉纯等, 1989; 魏国齐等, 2005)。

理想的走滑变形构造模式可以形成一系列次生断层和局部构造, 并且可以根据次级构造组合判断主断层的走滑方向。从柴北缘冷湖五号的地面构造样式、断裂组合等特征可以帮助推断形成该构造的动力学性质(图 6)。形成冷湖五号的最大主压应力方

向为 NE 向, 该构造应力导致冷湖断裂带发生右行走滑作用, 可以看出变形较大的一侧位于断层的西南侧, 断层西南侧的地面构造相对较为完整, 并且褶皱上发育小规模横向正断层, 反映了该处可能为背斜核部的位置。

解释剖面(图 7)清楚的揭示了走滑断层形成的花状构造样式, 同时可以看出走滑断层在沉积地层内并不是直立的, 甚至带有弯曲弧形的形态, 这可能与走滑断层的多期次活动有关, 也反映了两侧地层在走滑位移过程中具有较强的挤压作用, 由断层两侧地层同时向上翘倾可以看出这一特点。

根据图 7 剖面上冷科 1 井东南方向 N_1 、 N_2^1 的东侧地表出露地层应为 N_2^2 , 但图 6 冷湖五号的东侧为 Q_4 , 推断 Q_4 仅为地表的厚度较薄的风化坡积物, 断裂东南侧块体隆升高度大于断裂西北侧。

走滑断层的走滑量判断是一项难度较大的工作, 这主要是对于走滑断层上不同位置的地质点, 走滑量是有差异的, 并且一条主走滑断层由断层的起发端至消失端, 走滑距离是逐渐减小的。根据编制的柴北缘地区西段路乐河组厚度图上厚薄单元的位错关系, 对走滑断层两侧地层的走滑量进行大概估算, 在冷湖五号、六号附近的走滑断裂带两侧有两组相似的厚度分布区, 即厚薄分布的特征具有相似性, 据此判断冷湖断裂带在该段的走滑距离约 20 km。

4 讨论

4.1 盆地演化与走滑断层形成

通过建立新的地震解释构造样式, 对柴北缘断裂系统进行了重新认识, 揭示了柴北缘地区走滑断裂体系及其分布, 并根据地震资料对断层的活动时间有了进一步认识。柴北缘地区断裂发育(图 2), 一级断裂规模巨大, 长期活动, 通常是盆地的边界断层或盆地内部一级构造单元的分界断层。大型基底断裂对盆地的形成演化和构造格局有控制作用, 同时也控制着油气生成、运移、聚集、保存和改造及

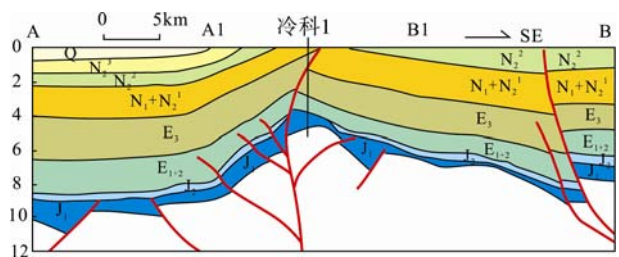


图 7 冷湖五号构造地震解释剖面(A1-B1 段与图 3 剖面位置一致)

Fig. 7 Seismic interpretation of Lenghu 5 structure (Sec A1-B1 consistent with profile position in Fig. 3)

各要素的配置。较可靠的大型断裂有昆特依凹陷西缘的盐土墩断裂(F_1)、赛什腾南缘断裂带(F_2)、马仙断裂带(F_3)、葫芦山北断裂(F_4)、伊北断裂(F_5)、柴中断裂带(F_6)、冷湖-陵间断裂带(F_7)等,在平面上成菱形网络分布,反映了这些断裂最新活动以走滑作用为主。

柴达木盆地,尤其是柴北缘地区走滑构造的发育与第三纪以来块体的旋转有很大关系(李朋武等,2001)。在早喜山阶段,柴北缘断裂带可能经历了左行伸展走滑的作用过程,这也是早第三纪盆地扩展沉降的主要控制背景(王桂宏,2006a),在晚喜山阶段,因青藏高原强烈的造山作用与挤压作用,早期的伸展性走滑断层反转为压性走滑断层(王桂宏等,2006b),柴北缘西段形成了菱形格局的断裂构造体系。走滑断裂带上发育一系列雁行排列的构造,如冷湖构造带与鄂博梁构造带,重新解释后,地震剖面显示了走滑断裂特有的花状构造特点(图7)。

4.2 走滑断层与局部构造样式

沿着走滑带,与褶皱伴生的断层可能同时发育逆断层和正断层,并且构造样式可能有较大的变化(Barnes et al., 1999)。走滑断层由于断裂面较陡,断层两侧的地层变形往往较弱,因而地震剖面上识别走滑断裂有一定的难度。因所处的构造应力场不同,不同地区的走滑断层识别标志有所差异。尽管如此,走滑断层的基本特征之一是断裂发育于深部,并且深部断裂面较陡,这主要是因为深部地壳块体沿走滑断裂面在平面上的滑动距离要大于断裂面两侧地层的垂向运动距离。

走滑断裂作用形成的帚状构造圈闭体系模式与柴北缘地区的区域构造格架背景相一致,但应该说明的是,帚状构造体系仅仅是与冷湖构造带、鄂博梁构造带等大型反转型走滑构造带相伴生的,并不能涵盖该区其它与断裂相关的构造。之所以要特别强调这些构造带的走滑构造特征,强调它们的新生性,主要是因为它们在盆地中非常醒目,不但成带性好、个数多,而且圈闭面积也很大,容易引起油气勘探家的关注,然而其中某些构造的钻探并没有取得突破。以走滑构造体系对圈闭构造样式进行重新认识,揭示了这些构造带的深浅层构造的关系和圈闭构造样式,有助于识别出与古构造相关的继承性构造圈闭,为勘探原生油气藏指明方向。

5 结论

柴达木盆地作为青藏高原的一部分,其在晚喜山期的构造变形与我国西北地区其它中生代盆地

具有较大的不同,走滑构造变形是其主要特征。由于受区域构造类比和地震资料品质的影响,过去对柴北缘地区发育的多条构造带大多解释为双层逆冲推覆构造,然而这种观点很难解释构造格局在横向上的突变性以及纵向上的渐变性。通过对地震解释标准层的广泛对比,识别出了地震剖面上的高角度断层发育的部位,并建立了走滑构造样式。挤压走滑构造变形主要发生于晚第三纪以来的晚喜山运动,与青藏高原强烈隆升阶段相一致。因断裂带强烈走滑作用形成的多条褶皱带及其构造圈闭大多晚于该区侏罗系烃源岩大规模生排烃期,因而其聚集原生油藏的可能性较低,只有那些具有早期发育背景构造圈闭才有聚集原生油藏的可能。由于较强的构造变形带以带状分布,而其两侧的区域构造变形强度较弱,可能会对构造带两侧部位油气藏的保存较为有利。此外,挤压型走滑断层具有较强的封挡作用,构造带两侧的油气,尤其深部油藏的油可能难以通过走滑断裂带运移至走滑带的构造圈闭中,这样可为寻找原生型及次生气藏指明方向。

参考文献:

- 黄汉纯,周显强,王长利. 1989. 柴达木盆地构造演化与石油富集规律[J]. 地质论评, 35(4): 314-323.
- 雷振宇,杜社宽,张朝军. 2004. 中亚地区与中国西部盆地类比及其油气勘探潜力[J]. 地球学报, 25(1): 67-72.
- 李海兵,杨经绥,史仁灯,吴才来, TAPPONNIER P, 万渝生, 张建新, 孟繁聪. 2002. 阿尔金走滑断陷盆地的确定及其与山脉的关系[J]. 科学通报, 47(1): 63-67.
- 李朋武,崔军文,高锐,李莉. 2001. 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, 22(6): 563-568.
- 刘永江,葛肖虹,叶慧文,刘俊来, FRANZ N, GENSER J, 潘宏勋,任收麦. 2001. 晚中生代以来阿尔金断裂的走滑模式[J]. 地球学报, 22(1): 23-28.
- 门相勇,赵文智,余辉龙. 2001. 柴达木盆地北缘冷湖地区油气成藏条件研究与勘探建议[J]. 石油勘探与开发, 28(4): 4-7.
- 穆剑,汪立群. 1999. 论柴达木盆地冷湖—南八仙构造带的含油气远景[J]. 石油学报, 20(2): 18-22.
- 王桂宏,谭彦虎,陈新领,马立协,苏爱国,张水昌,张斌. 2006a. 柴达木盆地构造演化与油气勘探领域[J]. 中国石油勘探, 12(1): 80-84.
- 王桂宏,徐凤银,陈新领,马达德,马立协,苏爱国,周苏平. 2006b. 柴北缘地区走滑反转构造及其深部地质因素分析[J]. 石油勘探与开发, 33(2): 201-204.
- 魏国齐,李本亮,肖安成,陈汉林,杨树锋. 2005. 柴达木盆地北缘走滑—冲断构造特征及其油气勘探思路[J]. 地学前缘, 12(4): 397-402.
- 许志琴,杨经绥,姜枚. 2001. 青藏高原北部的碰撞造山及深部动力

学—中法地学合作研究新进展[J]. 地球学报, 22(1): 5-10.

References:

- BARNES P M, AUDRU J C. 1999. Recognition of active strike-slip faulting from high-resolution marine seismic reflection profiles: Eastern Marlborough fault system, New Zealand[J]. *GSA(Geological Society of American Bulletin)*, 111(4): 538-559.
- HUANG Han-chun, ZHOU Xian-qiang, WANG Chang-li. 1989. Tectonic Evolution of the Qaidam Basin and the Regularity of Oil Accumulation[J]. *Acta Geoscience Sinica*, 35(4): 314-323(in Chinese with English abstract).
- LEI Zhen-yu, DU She-kuan, ZHANG Chao-jun. 2004. A Comparison of the Basins in Western China with those in Central Asia and the Oil-Gas Exploration Potential of Western China[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 25(1): 67-72(in Chinese with English abstract).
- LI Hai-bing, YANG Jing-sui, SHI Ren-deng, WU Cai-lai, TAPPONNIER P, WAN Yu-sheng, ZHANG Jian-xin, MENG Fan-cong. 2002. Identifying strike slip faulted basin and the relationship with the mountains[J]. *Chinese Science Bulletin*, 47(1): 63-67(in Chinese with English abstract).
- LI Peng-wu, CUI Jun-wen, GAO Rui, LI Li. 2001. New cenozoic paleomagnetic data from Qaidam massif and their tectonic implication[J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 22(6): 563-568(in Chinese with English abstract).
- LIU Yong-jiang, GE Xiao-hong, YE Hui-wen, LIU Jun-lai, FRANZZ N, GENSER J, PAN Hong-xun, REN Shou-mai. 2001. Strike-Slip Model for Altyn Tagh Fault Developed since Late Mesozoic[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 22(1): 23-28(in Chinese with English abstract).
- MEN Xiang-yong, ZHAO Wen-zhi, YU Hui-long. 2001. Petroleum accumulation and exploration propositions of Lenghu area in northern Qaidam basin[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 28(4): 4-7(in Chinese with English abstract).
- MOLNAR P, TAPPONNIER P. 1975. Cenozoic tectonics of Asia: Effects of continental collision[J]. *Science*, 189: 419-426.
- MU Jian, WANG Li-qun. 1999. Petroleum Prospect of Lenghu-Nanbaxian belt in Qaidam basin[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 20(2): 18-22(in Chinese).
- WANG Gui-hong, TAN Yan-hu, CHEN Xin-ling, MA Li-xie, SU Ai-guo, ZHANG Shui-chang, ZHANG Bin. 2006a. Cenozoic Tectonic Evolution and Oil/gas Exploration Field in Qaidam Basin[J]. *China Petroleum Exploration*, 11(1): 80-84(in Chinese with English abstract).
- WANG Gui-hong, XU Feng-yin, CHEN Xin-ling, MA Da-de, MA Li-xie, SU Ai-guo, ZHOU Su-ping. 2006b. Strike slip faults reversion and deep geologic setting in north Qaidam Basin[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 33(2): 201-204(in Chinese with English abstract).
- WEI Guo-qi, LI Ben-liang, XIAO An-cheng, CHEN Han-Lin, YANG Shu-feng. 2005. Strike-thrust structures and petroleum exploration in northern Qaidam Basin[J]. *Earth Science Frontiers*, 12(4): 397-402(in Chinese with English abstract).
- XU Zhi-qin, YANG Jing-sui, JIANG Mei. 2001. Collision-Orogeny of the Northern Qinghai-Tibet Plateau[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 22(1): 5-10(in Chinese with English abstract).