

塔里木盆地玉北地区断裂系统解析

黄太柱

(中国石化 西北油田分公司,新疆 乌鲁木齐 830011)

摘要:通过三维地震资料精细解释、钻井资料和地质资料综合对比分析,认为塔里木盆地玉北地区断裂系统主体表现为逆冲断裂。断裂主要在两个层次发育:一是发育在基底,构成基底断裂带或基底软弱带;二是发育在寒武系-奥陶系碳酸盐岩中的断裂带。玉北地区断裂系统由一系列呈北东东走向的断裂带组成,主要包括玉北7断裂带、玉北1断裂带、玉东1断裂带、玉东2断裂带、玉东3断裂带、玉东4断裂带等。单个断裂带往往由一条主断裂及其伴生的一组次级断裂组成。主断裂断面倾角上陡下缓,往深层在中-下寒武统盐岩层系中发生滑脱。主断裂和次级断裂常形成背冲型断裂组合,在剖面上构成“断垒”形态。寒武系-奥陶系碳酸盐岩断裂带主要形成于加里东中期,经历了加里东中期早幕(早奥陶世蓬莱坝期)、I幕(早-中奥陶世鹰山期)和III幕(晚奥陶世)3个幕次的活动,海西晚期断裂活动非常微弱。断裂带具有明显的分段变形特点,断裂系统和主不整合共同制约垂向构造分层。

关键词:逆冲作用;滑脱作用;断裂系统;玉北地区;塔里木盆地

中图分类号:TE121.2

文献标识码:A

Analysis on the fault system of Yubei region, Tarim Basin

Huang Taizhu

(Northwest Oilfield Company, SINOPEC, Urumqi, Xinjiang 830011, China)

Abstract: Based on accurate 3-D seismic interpretation, comprehensive analysis of the drilling and geological data, it is indicated that the fault systems of the Yubei region in Tarim Basin are dominated by thrust faults. These thrust faults occur in two horizons. One is the basement where the thrusts consist basement fault zone (or basement weak zones). The other is the Cambrian-Ordovician carbonates where a thrust zone occurs. The Yubei fault system consists of a series of NEE-trending thrust zones including Yubei No. 7, Yubei No. 1, Yudong No. 1, Yu-dong No. 2, Yudong No. 3 and Yudong No. 4. Each single thrust belt is often composed of one main thrust and a set of associated secondary thrust faults. The fault plane of the main fault dips steeply at the upper part and flattens towards the deeper part, and detaches in the Mid-Lower Cambrian salt layers. The main thrust and its associated secondary back-thrusts commonly form pop-up fault assemblage showing “fault-horse” geometry on profile. These fault zones in the Cambrian-Ordovician carbonate rocks were mainly formed in the mid-Caledonian, experiencing movement of the early-epoch (the Early Ordovician Penglaiba stage), I-epoch (the Mid-Early-Ordovician Yingshan stage), and III-epoch (the Late-Ordovician) of the mid-Caledonian. The fault movement was very weak in the Hercynian. The fault zones are characterized by significant segmented deformation. The fault system and major unconformities jointly control the vertical structural layering.

Key words: thrusting, detachment, fault system, Yubei area, Tarim Basin

玉北地区位于塔里木盆地西南坳陷区麦盖提斜坡东段(图1),中石化探区包括麦盖提1、麦盖提2和麦盖提3三个油气勘查区块,勘探面积12 978 km²。勘探成果已经证实,玉北地区具有较丰富的油气资源,已经找到了玉北1油田。但玉北地区地质条件复杂,构造演化史长,构造变形强烈,断裂发育,存在多个主不整合,构造变形对油气成藏和富集的控制条件复杂,导致油气赋存富集规律不清。文章主要讨论麦盖提1和麦盖提2

两个油气勘查区块断裂系统及差异性活动规律。

玉北地区主要发育古生界和新生界,缺失中生界(表1)。寒武系-奥陶系为海相碳酸盐岩沉积,其中中-下寒武统发育一套盐岩层系,为该区主滑脱层。志留系-泥盆系为海相碎屑岩沉积,遭受强烈剥蚀,残留较少。石炭系-二叠系为海陆交互相碳酸盐岩和碎屑岩沉积,发育较为齐全。新生界为陆相碎屑岩沉积。

收稿日期:2013-11-04;修订日期:2014-01-05。

作者简介:黄太柱(1961—),男,硕士、高级工程师,石油地质。E-mail:htz41801@sina.com。

基金项目:中国石油化工有限公司项目(P11084)。

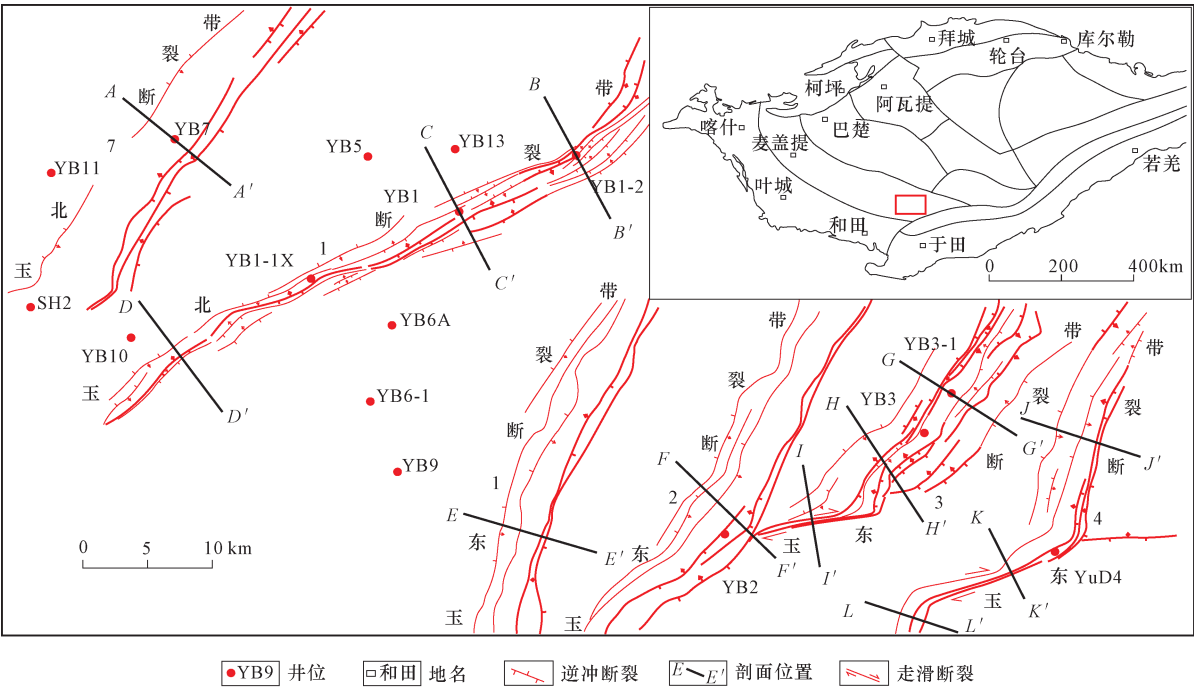


图 1 玉北地区断裂系统
Fig. 1 Sketch map of fault system in Yubei region

前人对麦盖提斜坡构造特征开展了大量研究工作, 揭示了麦盖提斜坡及邻区经历了多期构造演化过程^[1-5], 指出麦盖提斜坡及邻区发育多期主不整合并探讨了各期主不整合的特征^[1-3,6]。解剖了麦盖提斜坡与巴楚隆起的分界断裂带特征^[7-8], 阐述了玉北地区断裂构造及变形特征^[9-11]。关于玉北 1 井背斜带, 认为受区域顺扭作用应力场, 是加里东中、晚期与海西晚期两个阶段 3 次构造变形的产物, 提出走滑构造对中部构造层背斜幅度的贡献占有绝对优势, 逆冲断层是下部构造层变形的关键^[12]。对于整个玉北地区断裂构造特征, 认为发育 5 期不同性质的断裂, 即: 加里东早期基底张性正断裂、晚寒武世 - 早奥陶世基底卷入型走滑断裂、加里东中 - 晚期盖层滑脱型逆冲断裂、海西晚期继承性逆冲和走滑断裂、喜马拉雅中晚期挤压逆冲断裂^[13]。进一步揭示了麦盖提斜坡及邻区构造演化、构造变形对油气聚集成藏的控制作用^[1-6,11-13]。

尽管前人对麦盖提斜坡及邻区的油气地质研究取得了进展, 对玉北地区断裂构造特征研究也取得了新的认识, 但总体来看, 该区研究程度还比较低, 相关的构造演化、构造变形及其控油气作用仍需要做进一步探讨, 如玉北地区断裂系统主要特征、断裂样式、平面展布及分布规律等。本文试图在三维地震资料精细解释的基础上, 对玉北地区断裂系统几何学样式及其发育分布做出新的分析。

1 断裂系统几何学特征

依据对玉北地区三维地震剖面解释结果, 玉北断

裂系统主要由 6 个呈 NEE 走向的逆冲断裂带组成, 自 NW 往 SE 方向依次为玉北 7 断裂带、玉北 1 断裂带、玉东 1 断裂带、玉东 2 断裂带、玉东 3 断裂带、玉东 4 断裂带 (图 1), 对其几何学特征分析如下。

1.1 玉北 7 断裂带

从图 2 可以看出, 玉北 7 断裂带由发育在古生界的逆冲断裂带和深层基底断裂带组成。基底断裂表现为逆冲性质, 呈背冲式特征。基底断裂之上的古生界逆冲断裂带, 在剖面上表现为由 NW 往 SE 方向逆冲, 断裂呈铲状, 上部倾角陡, 往深层变缓, 向下终止于中 - 下寒武统盐岩层系滑脱层中。断裂带由 2 ~ 3 条主冲断层和 1 条反冲断层组成, 构成不对称的背冲形态。断裂带向上断入二叠系, 往深层在底部断坪与断坡拐点处, 中 - 下寒武统盐岩层系明显加厚。受玉北 7 断裂带控制的构造形态具有断裂传播褶皱特征, 背斜不对称, NW 翼较缓, SE 翼较陡。断裂带夹持的构造高部位与其两侧地层厚度有明显差异: ①蓬莱坝组 (O_1p) 厚度 NW 一侧厚, SE 一侧薄; ②鹰山组 ($O_{1-2}y$) NW 一侧薄, SE 一侧厚; ③断裂带夹持的高部位缺失上奥陶统, 其两侧断洼处发育上奥陶统; ④断裂带上部石炭系 - 二叠系略具顶薄翼厚的特征, 表明海西晚期断裂带仍有活动, 控制地层厚度分布, 但断裂活动性明显减弱。从断裂发育程度和褶皱幅度变化来看, 自中 - 下寒武统盐岩层系滑脱层之上, 古生界 - 新生界皆受断裂活动影响发生变形, 但断裂带具有明显断距的层位主要出现在奥陶系, 表明该断裂带在加里东中

表 1 玉北地区地层发育和构造运动
Table 1 Stratigraphy and tectonic movement of Yubei region

地层系统				反射界面	年龄/ Ma	岩性地层	构造运动
新生界	第四系	上新统	阿图什组	T ⁰ ₁	5.4		喜马拉雅早期运动 23.03Ma
			帕卡布拉克组	T ⁰ ₂	12		
	新近系	中新统	安居安组	T ⁰ ₃	23.03		
			克孜洛依组	T ⁰ ₄	33.9		
	古近系	渐新统	巴什布拉克组	T ⁰ ₅	55.8		
			乌拉根组				
		始新统	卡拉塔组				燕山晚期运动 65.5Ma
			齐姆根组				
		古新统	阿尔塔什组		65.5		
			吐依洛克组	T ⁰ ₆			
中生界	白垩系	上统	古城组				燕山中期运动 145.5Ma
			巴什基奇克组	T ¹ ₁	99.6		
		下统	巴西盖组				
			舒盖河组				
			亚格列木组组	T ¹ ₂	145.5		
	侏罗系	上统	卡拉扎组	T ¹ ₃	161.2		印支运动 199.6Ma
			齐古组	T ¹ ₄	175.6		
		中统	恰克马克组	T ¹ ₅	199.6		
			克孜勒努尔组				
		下统	阳霞组	T ¹ ₆	228.7		
	三叠系	上统	哈拉哈塘组	T ² ₁	245		海西末期运动 251Ma
			阿克库勒组	T ² ₂	251		
		中统	柯吐尔组	T ² ₃	260.4		
			沙井子组	T ² ₄	270.6		
		下统	南闸组	T ² ₅	299		
古生界	二叠系	上统	开派雷兹克组	T ³ ₁	318.1		海西中期运动 299Ma
			库普库兹满组	T ³ ₂	328.3		
		中统	小海子组	T ³ ₃	345.3		
			卡拉沙依组	T ³ ₄	359.2		
			巴楚组	T ³ ₅	385.3		
	石炭系	上统	东河塘组	T ⁴ ₁	416		海西早期运动 385.3Ma
			克孜尔塔格组	T ⁴ ₂	428.2		
		中下统	依木干他乌组	T ⁴ ₃	433.4		
			塔塔埃尔塔格组	T ⁴ ₄	443.7		
			柯坪塔格组	T ⁴ ₅	445.6		
	泥盆系	上统	桑塔木组	T ⁵ ₁	452		加里东中期运动 (II幕) 468.1Ma
			良里塔格组	T ⁵ ₂	455.8		
		中统	恰尔巴克组	T ⁵ ₃	460.9		
			一间房组	T ⁵ ₄	468.1		
			鹰山组	T ⁵ ₅	471.8		
	志留系	上统	蓬莱坝组	T ⁶ ₁	477.4		加里东中期运动 (I幕) 468.1Ma
			丘里塔格下亚群	T ⁶ ₂	488.3		
		中统	阿瓦塔格组	T ⁶ ₃	501		
			沙依里克组	T ⁶ ₄	508		
			吾松格尔组	T ⁶ ₅	515		
元古界	震旦系	上统	肖尔布拉克组	T ⁷ ₁	525		柯坪运动 542Ma
			玉尔吐斯组	T ⁷ ₂	542		
		中统	玉尔吐斯组	T ⁷ ₃			
			玉尔吐斯组	T ⁷ ₄			
			玉尔吐斯组	T ⁷ ₅			

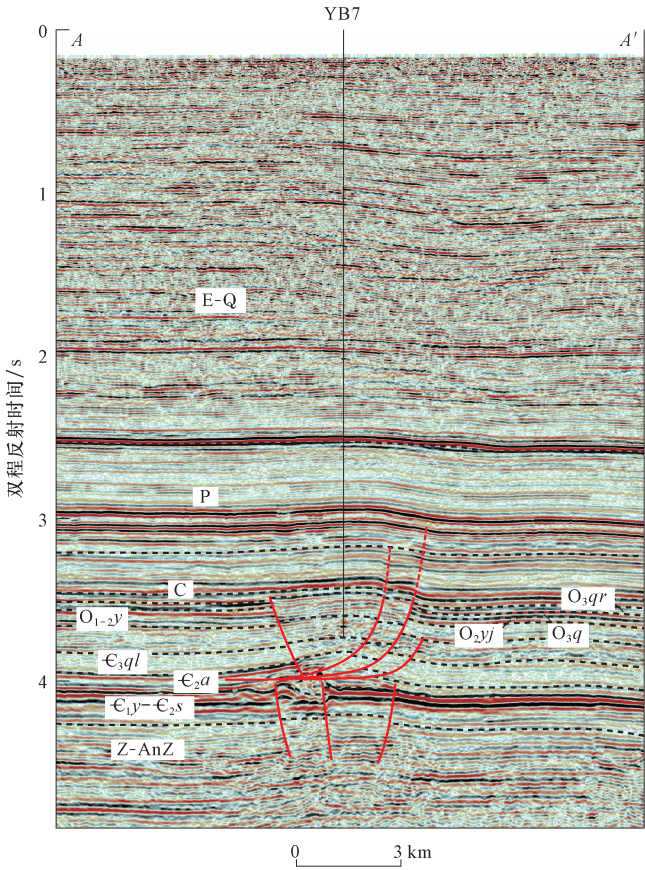


图 2 玉北 7 断裂带三维地震解释剖面(剖面位置见图 1)
Fig. 2 Yubei No. 7 fault zone interpreted on 3-D seismic profile(see Fig. 1 for the location)

期活动强烈,加里东晚期-海西早期断裂继承性活动,海西晚期断裂活动主要引起石炭-二叠系褶皱变形(图 2)。

1.2 玉北 1 断裂带

玉北 1 断裂带具有明显的分段性,沿走向方向主

断裂断面倾向发生显著变化,可以划分为 3 段,分别为玉北 1-2 段、玉北 1 段和玉北 1-1 段(图 1,图 3)。

1) 玉北 1-2 段

该段基底发育背冲式断裂,导致中-下寒武统盐岩层系聚集增厚。古生界表现为向 NW 方向逆冲的滑脱断裂,断面呈铲状形态,上部倾角较陡,往深层逐渐变缓,在中-下寒武统盐岩层系中发生滑脱并消失。在寒武系-奥陶系中,断距可达数百米,与反冲断裂一起构成背冲型断垒带。断裂向上断至石炭系-二叠系,断距变小,在晚古生代地层中形成断层传播褶皱。断垒带缺失上奥陶统,在断裂带两侧断凹部位,发育哈尔巴克组(O_{3qr})和却尔却克组(O_{3q})。石炭系-二叠系具有顶薄翼厚的披覆构造特征(图 3a)。

2) 玉北 1 段

该段基底仍发育背冲式断裂,导致中-下寒武统盐岩层系受基底冲断作用发生流动聚集。古生界主断裂发生反向逆冲,表现为断面往 SE 方向逆冲,断面呈铲状形态,上陡下缓,向下滑脱并消失在中-下寒武统盐岩层系滑脱层中。主冲断层与反冲断层在寒武-奥陶系断距较大,构成背冲型断垒带,形成断块或断褶潜山。断裂带向上断至石炭系-二叠系,断距迅速变小,褶皱作用明显,具有顶薄翼厚特征,形成潜山之上的披覆构造(图 3b)。

3) 玉北 1-1 段

该段寒武系-奥陶系主断裂带往 SE 方向逆冲,断面呈铲状形态,上陡下缓,向深层滑脱并消失在中-下寒武统盐岩层系中。与反冲断层构成背冲型断垒带,但断垒带变得很窄,表明该段断层可能具有一定的走滑分量。该段石炭系-二叠系和新生界变形微弱,表

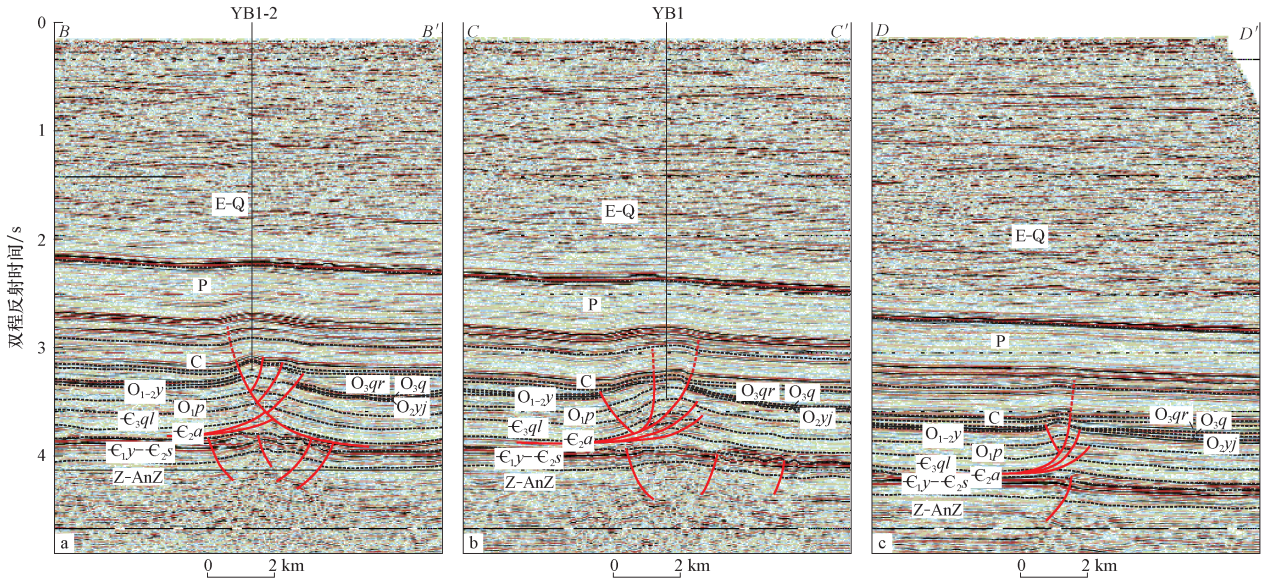


图 3 玉北 1 断裂带三维地震解释剖面(剖面位置见图 1)
Fig. 3 Yubei No. 1 fault zone interpreted on 3-D seismic profiles(see Fig. 1 for the location)
a. 玉北 1-2 段; b. 玉北 1 段; c. 玉北 1-1 段

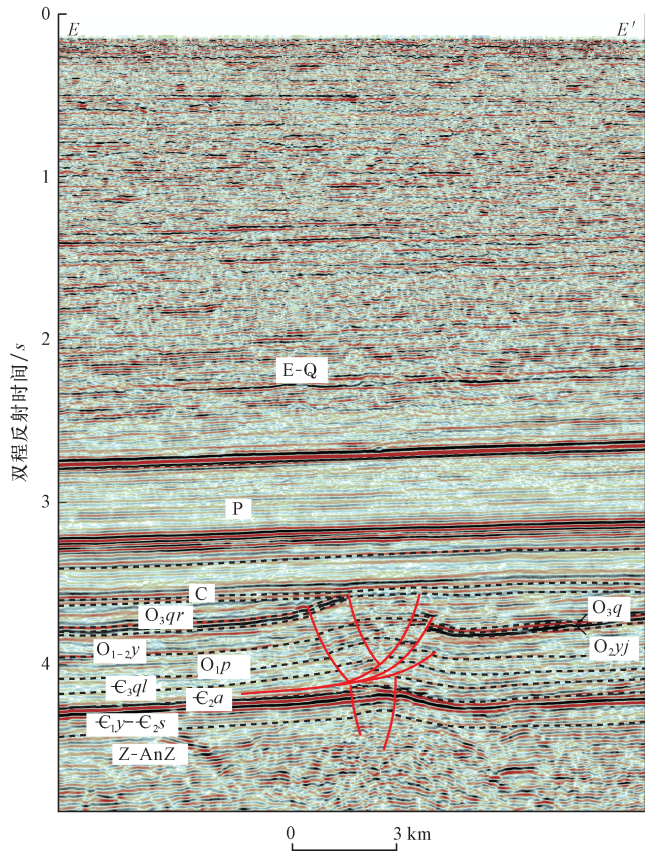


图 4 玉东 1 断裂带三维地震解释剖面(剖面位置见图 1)
Fig. 4 Yudong No. 1 fault zone interpreted on
3-D seismic profile(see Fig. 1 for the location)

明断裂活动主要发生在加里东中期,海西晚期和喜马拉雅期断裂基本没有活动(图 3c)。

1.3 玉东 1 断裂带

玉东 1 断裂带也是由基底断裂带和古生界断裂带组成,基底断裂带具有背冲形态(图 4)。古生界主断裂带在剖面上往 SE 方向逆冲,断面呈铲状,上陡下缓,向深层在中-下寒武统盐岩层系中发生滑脱并消失。主逆冲断裂与反冲断裂组成背冲式断垒带,断裂带主要发育在寒武系-奥陶系中,控制寒武系-奥陶系断层传播褶皱的形成,使得断垒带成为碳酸盐岩潜山。断垒带高部位与其两侧地层接触关系有差异,在断垒带顶部石炭系巴楚组(C_1b)直接不整合覆盖在奥陶系鹰山组(O_{1-2y})之上,在两侧断凹处奥陶系鹰山组(O_{1-2y})之上发育上奥陶统一间房组(O_{3y})、哈尔巴克组(O_{3qr})和却尔却克组(O_{3q})沉积,其上再被石炭系巴楚组(C_1b)不整合覆盖(图 4)。玉东 1 断裂带主要形成于加里东中期,在寒武系-奥陶系碳酸盐岩地层中活动强烈,断裂带之上的石炭系-二叠系和新生界没有断开,褶皱变形也不明显,表明断裂带后期活动微弱。

1.4 玉东 2 断裂带

玉东 2 断裂带由基底断裂和古生界断裂叠置组

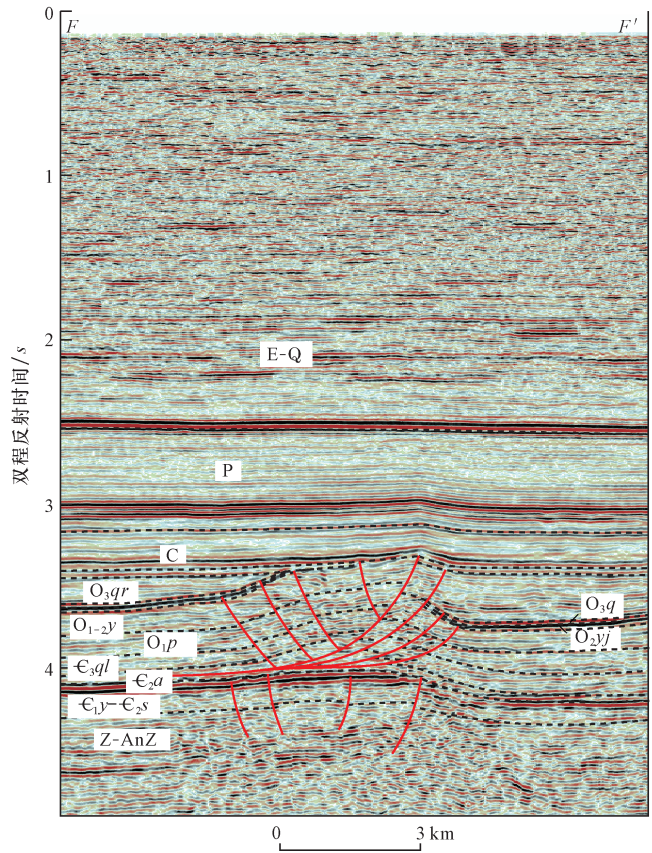


图 5 玉东 2 断裂带三维地震解释剖面(剖面位置见图 1)
Fig. 5 Yudong No. 2 fault zone interpreted on
3-D seismic profile(see Fig. 1 for the location)

成,基底断裂带具挤压性质,断开基底并往上进入中-下寒武统盐岩层系,具有背冲形态。发育在寒武系-奥陶系海相碳酸盐岩中的主断裂带,在剖面上表现为往 SE 方向逆冲,断面呈铲状形态,上陡下缓,往深层在中-下寒武统盐岩层系中发生滑脱并消失(图 5)。主冲断层与反冲断裂组成不对称的背冲型断背斜潜山构造,主断层所在的 SE 翼断距大,构造相对较陡;反冲断层所在的 NW 翼断距较小,构造相对较缓(图 5)。断裂带往浅层没有继续发展切穿石炭系-二叠系,而是终止于 T_1^0 主不整合面,石炭系-二叠系见有极微弱的顶薄翼厚现象。断背斜潜山顶部鹰山组(O_{1-2y})之上缺失上奥陶统,直接被下石炭统巴楚组(C_1b)不整合覆盖。两侧断凹处鹰山组(O_{1-2y})之上发育上奥陶统恰尔巴克组(O_{3qr})和却尔却克组(O_{3q}),其上再被下石炭统巴楚组(C_1b)不整合覆盖。该断裂带主要形成于加里东中期,其后断裂活动微弱。

1.5 玉东 3 断裂带

玉东 3 断裂带具有明显的分段性特征,由 NE 往 SW 可分为玉东 3-1 段、玉东 3-2 段、玉东 3-3 段。

1) 玉东 3-1 段

该段基底断裂表现为背冲型断裂带,从基底往上断开寒武系底部,两翼不对称,NW 翼陡,SE 翼缓。叠

置在基底断裂之上的古生界断裂带,表现为两条相向逆冲的断裂,夹持一个断层三角带。早期往 SE 方向逆冲的断裂,活动性较弱,断距较小,后期往 NW 方向逆冲的断裂,活动性较强,断距较大,切割早期断裂。断面具铲状形态,上陡下缓,往深层滑脱并消失在中-下寒武统盐岩层系中。断裂带控制寒武系-奥陶系断背斜碳酸盐岩潜山的形成,往上终止于 T_7^0 主不整合,断垒带顶部鹰山组 (O_{1-2y}) 之上缺失上奥陶统,两翼断凹部位鹰山组 (O_{1-2y}) 之上发育上奥陶统。 T_7^0 主不整合之上,石炭系-二叠系略具披覆形态,新生界基本没有变形(图 6a)。

2) 玉东 3-2 段

该段古生界断裂带逆冲方向发生转向,主断裂带表现为一组往 SE 方向逆冲的叠瓦断裂带,断面呈铲状形态,上陡下缓,往深层进入寒武系-奥陶系盐岩层系发生滑脱并消失。主断裂带与反冲断裂组成背冲式断背斜碳酸盐岩潜山构造,整个断垒带石炭系巴楚组 (C_1b) 直接覆盖在奥陶系鹰山组 (O_{1-2y}) 之上。断垒带两侧断凹部位,在巴楚组 (C_1b) 和鹰山组 (O_{1-2y}) 之间,还发育上奥陶统恰尔巴克组 (O_{3qr}) 和却尔却克组 (O_{3q})。地震剖面显示石炭系-二叠系有微弱的褶皱变形,但新生界没有卷入变形(图 6b)。

3) 玉东 3-3 段(走滑段)

该段断裂走向发生明显转向,主断面产状变陡,近于直立,向下断至基底,并伴生多条分支断裂,显示出正花状构造组合特征。主断裂北侧中-下寒武统盐岩层系聚集增厚,中-下奥陶统整体卷入变形,表现出一定程度的逆冲滑脱。石炭系-二叠系具有较微弱的褶皱变形,略具顶薄翼厚的披覆构造形态(图 6c)。

1.6 玉东 4 断裂带

玉东 4 断裂带具有明显的分段性,不同段在断面倾向、逆冲方向、活动强度、变形样式上差异显著。

1) 玉东 4-1 段

该段基底断裂往 SE 方向逆冲,变形简单。发育在寒武系-奥陶系碳酸盐岩中的断裂带,主断裂往 SE 方向逆冲,与反冲断裂一起,构成背冲型断背斜潜山。主断面呈铲状形态,上陡下缓,往深层在中-下寒武统盐岩层系中发生滑脱并消失。断裂带往上没有切过 T_7^0 主不整合,表明加里东中期以后活动性微弱(图 7a)。

2) 玉东 4-2 段(走滑段)

该段断裂走向由 NE 向转变为近 EW 向,断面产状陡立,往深层断入基底,往上断入上奥陶统,被 T_7^0 主不整合所截,具有正花状构造特征,断裂带两侧地层厚度出现很大差别。断裂带往上被 T_7^0 主不整合所截,石炭系-二叠系和新生界基本无变形(图 7b)。

3) 玉东 4-3 段

该段断裂走向再由近 EW 向转变为 NE 向,表现为基底走滑断裂带与寒武系-奥陶系冲断带的组合。基底走滑断裂带具正花状构造形态,往深层进入基底,往上花状构造顶部可断入鹰山组 (O_{1-2y})。寒武系-奥陶系冲断带主断层往 SE 方向逆冲,断面呈铲状,上陡下缓,往深层在中-下寒武统盐岩层系中发生滑脱并消失。主断层与反冲断层构成一个较窄的背冲型断垒带,形成寒武系-奥陶系碳酸盐岩潜山,潜山顶部缺失上奥陶统,石炭系-二叠系不整合披覆在鹰山组 (O_{1-2y}) 之

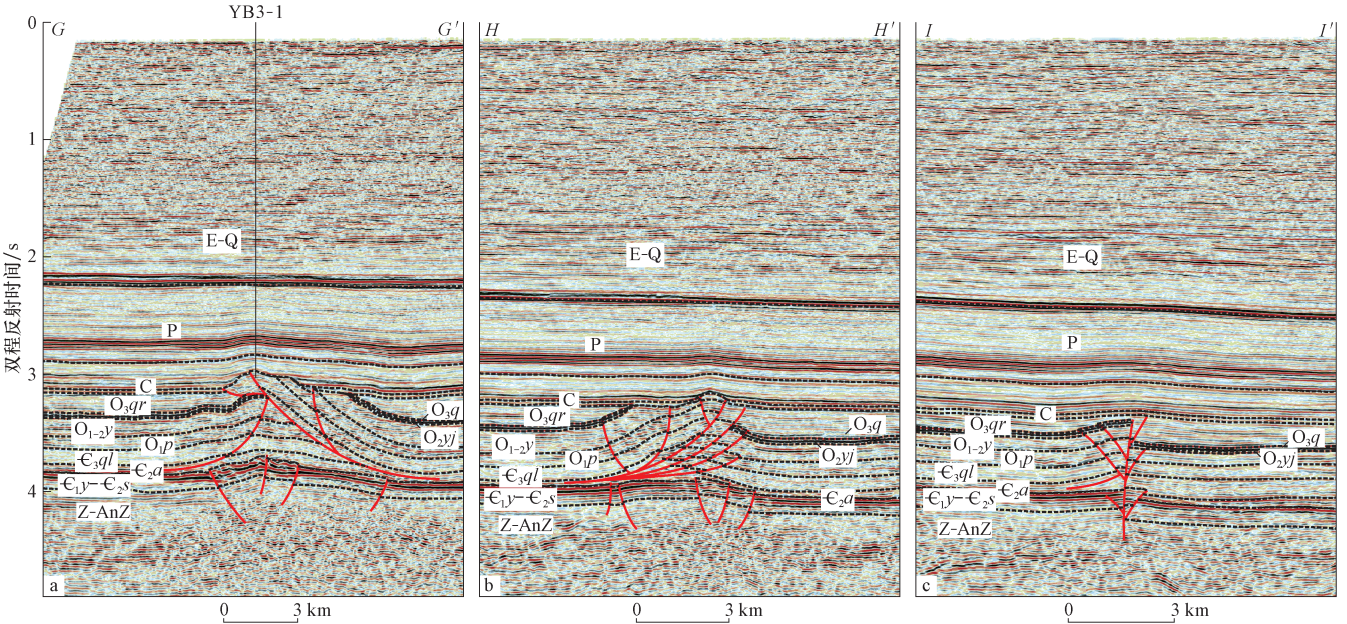


图 6 玉东 3 断裂带三维地震解释剖面(剖面位置见图 1)

Fig. 6 Yudogn No. 3 fault zone interpreted on 3-D seismic profiles(see Fig. 1 for the location)

a. 玉东 3-1 段;b. 玉东 3-2 段;c. 玉东 3-3 段

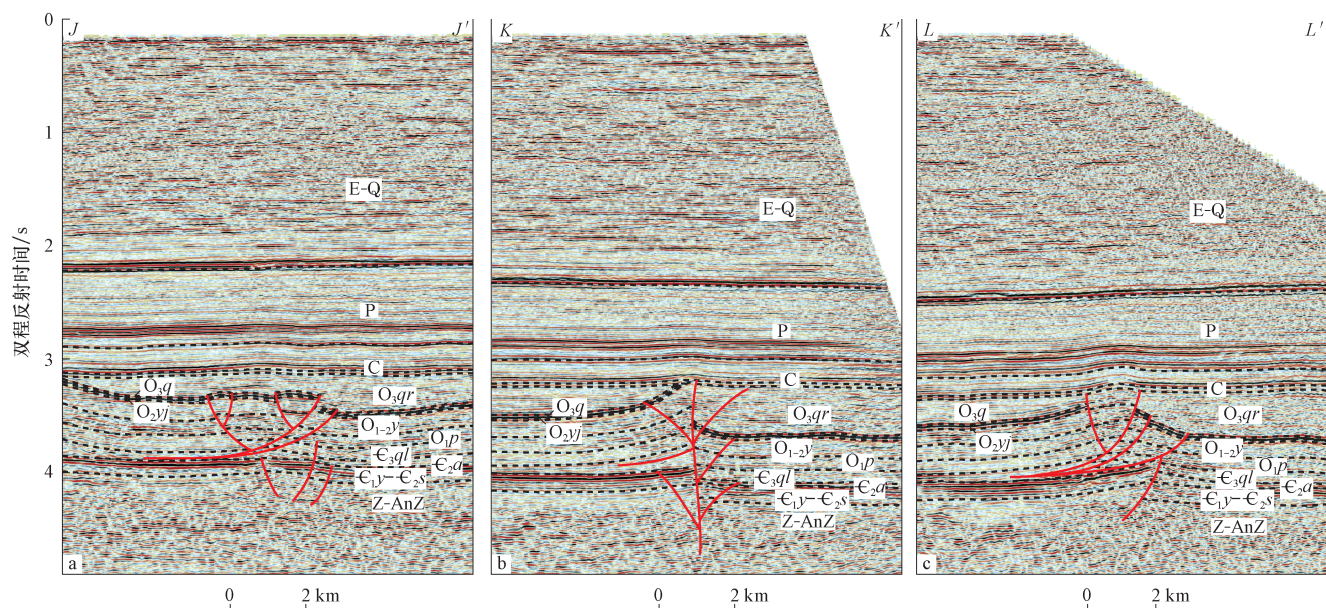


图7 玉东4断裂带三维地震解释剖面(剖面位置见图1)

Fig. 7 Yudogn No. 4 fault zone interpreted on 3-D seismic profiles(see Fig. 1 for the location)

a. 玉东4-1段;b. 玉东4-2段;c. 玉东4-3段

上。断垒带两侧断凹部位发育上奥陶统。石炭系-二叠系略具顶薄翼厚的披覆背斜特征,总体看海西晚期活动强度不大。新生界基本无变形,表明喜马拉雅期构造活动微弱(图7c)。

2 断裂系统活动和分布的规律性

2.1 断裂系统活动期次和活动强度具有差异性

前人研究认为玉北地区断裂构造具有多期活动的特征,同时认为不同活动期断裂具有不同的性质^[9,10]。根据上述对三维地震剖面的精细解释,表明该区断裂构造主要有3个形成期,都以挤压逆冲活动为主。

1) 基底断裂形成期

该区基底断裂带主要形成于前南华纪末塔里木运动期(距今约850 Ma),塔里木运动代表古塔里木板块的一次聚合过程,标志着塔里木盆地基底的最终形成。塔里木运动期形成的断裂带,都是以先存基底软弱带的形式出现,常控制后期断裂带发育的具体部位和规模。

2) 加里东中期断裂形成期

是玉北断裂带的主形成期,加里东中期断裂活动可分为3个幕,①加里东中期早幕断裂活动,发生在早奥陶世蓬莱坝期,主断裂开始形成,活动性相对较弱,断层往上断入蓬莱坝组(O_{1p}),被 T_1^8 不整合界面隔断;②加里东中期I幕断裂活动,发生在早-中奥陶世鹰山期,主断裂开始发育,主断裂常由3~5条断裂组成,主断裂和分支断裂在平面上大致平行分布,断层往上断入鹰山组(O_{1-2y}),该期断裂带变形范围增宽,构

造幅度增大,断裂带的走滑调节段也开始活动;③加里东中期III幕断裂活动,发生在晚奥陶世,断裂带强烈逆冲推覆,地貌高差大,断垒带部位强烈隆升遭受剥蚀,导致石炭系巴楚组(C_1b)直接覆盖在奥陶系鹰山组(O_{1-2y})之上,两侧断凹部位沉陷,发生同构造沉积作用,发育较厚的上奥陶统。

3) 海西晚期断裂调整期

总体看,玉北地区海西晚期断裂活动微弱,仅在西北部玉北7和玉北1断裂带,沿先存主断裂发生继承性调整活动,断裂往上断入石炭系-二叠系,但断距较小,导致石炭系-二叠系形成受断裂控制的挠褶变形;玉东1、玉东2、玉东3和玉东4断裂带,在海西晚期活动性极其微弱,可能只影响到石炭系-二叠系低幅度披覆背斜的形成。

2.2 断裂系统和主不整合共同控制垂向构造分层

由于构造活动具有显著的分期性,断裂构造和主不整合发育,造成该区在垂向上构造分层明显,同时不同构造层具有明显的差异性。

1) 基底构造层

该构造层断裂发育,断裂主要出现在基底中,构成先存基底软弱带,往上常断入中-下寒武统盐岩层系中,是中-下寒武统盐岩层系聚集增厚的触发因素之一,也是寒武系-奥陶系断裂构造形成的主要控制机制,其形成和演化可能受控于构造反转作用^[14-16]。

2) 寒武系-奥陶系构造层

这是玉北地区断裂构造发育、变形最强烈的主构造层,在剖面上奥陶系层位,往往一组断裂呈较宽的“带

状”产出,断面产状较陡;往深层到寒武系层位,多条断裂合并变窄,呈紧闭的“束状”产出,断面产状变缓,并在中-下寒武统盐岩层系中发生滑脱而消失。由于断裂带的发育,寒武系-奥陶系碳酸盐岩形成断垒带和断凹区相间排列的格局。该构造层以 T_7^0 主不整合界面与上覆石炭系-二叠系构造层分开。这种断裂构造集中在深层下古生界海相层系发育的状况,可能与力学分层及岩石厚度变化控制断层变形有关^[17-19]。

3) 石炭系-二叠系披覆构造层

总体来看,玉北地区石炭系-二叠系变形微弱,断裂构造不发育。仅在玉北7和玉北1断裂带,见有早期断裂继承性活动,往上断入石炭系-二叠系,但是断距很小。石炭系-二叠系构造变形,主要表现为沿各断垒带之上的披覆作用,具有顶薄翼厚的特征,但构造幅度也较小。该构造层以 T_7^0 主不整合界面与下伏寒武系-奥陶系分开,以 T_5^0 主不整合界面与上覆新生界构造层分开。

4) 新生界稳定构造层

玉北地区新生界构造层十分稳定,没有发生明显的断裂和褶皱变形,不整合覆盖在石炭系-二叠系之上。

2.3 断裂系统具有分段变形的特点

地震资料精细解释结果表明,玉北地区玉北7、玉东1和玉东2断裂带分段变形特征不明显,但玉北1、玉东3和玉东4断裂带具有明显的分段变形特点。玉北1-2段和玉北1段之间、玉东3-1段和玉东3-2段之间的分段,主要受控于构造的转换作用或局部走滑活动^[20-22],主断裂带逆冲方向发生反向逆冲作用所致。玉东3、玉东4断裂带走滑段的发育,主要受控于断裂带不均匀逆冲推覆产生的“撕裂”作用,断裂带走向发生明显转向,断裂带变窄,断面产状陡立,形成花状构造(图6c,图7b)。

3 结论和讨论

1) 玉北地区发育的断裂样式,主体表现为逆冲断裂。断裂主要在两个层次发育:一是发育在基底,构成基底断裂带或基底软弱带;二是发育在寒武-奥陶系碳酸盐岩中的断裂带。这两个层次的断裂带共同构成玉北断裂系统。玉北地区不发育区域性走滑断裂带,局部走滑断裂是主断裂带不均匀逆冲推覆产生的“撕裂”作用的结果。

2) 玉北地区断裂系统经历了多期活动,基底断裂带主要形成于前南华纪末塔里木运动期(距今约850 Ma),在加里东中期复活,往上断入中-下寒武

统盐岩层系中,控制盐岩层系的局部增厚,同时控制上部寒武系-奥陶系碳酸盐岩断裂带的形成。寒武系-奥陶系碳酸盐岩断裂带主要形成于加里东中期,经历加里东中期早幕(早奥陶世蓬莱坝期)、I幕(早-中奥陶世鹰山期)和III幕(晚奥陶世)等3个幕次的活动。海西晚期断裂活动非常微弱,喜马拉雅期属于断裂活动静止期。关于该区断裂活动期次,还存在3方面的问题:①加里东早期(早-中寒武世)断裂活动问题:加里东早期处于区域性伸展环境中,但目前并没有发现存在伸展断裂的直接证据,该时期是否发育伸展断裂,仍需做进一步研究。②加里东晚期-海西早期断裂活动问题:由于该区缺失志留系-泥盆系,缺乏判定这一时期断裂构造是否活动的地质实体,但根据这一时期区域构造特征及邻区志留系-泥盆系发育状况,反映加里东晚期-海西早期可能以隆升剥蚀为主,断裂活动不强烈。③印支-燕山期断裂活动问题,塔里木西部大范围缺失中生代地层,印支-燕山期断裂构造是否活动,也缺乏直接的地层证据来进行判断,依据区域构造特征及 T_5^0 主不整合界面上、下地层的完整性判断,印支-燕山期该区可能以隆升剥蚀为主,断裂活动不明显。

3) 该区断裂系统和主不整合共同制约垂向构造分层,自下而上可以划分为基底构造层、寒武系-奥陶系构造层、石炭系-二叠系披覆构造层和新生界稳定构造层。在断裂带平面分布上,玉北1、玉东3和玉东4断裂带具有明显的分段变形特点,这种分段性一方面受控于构造转换作用,另一方面与局部走滑带的形成有关。

4) 本文仅对玉北三维区断裂系统变形样式、断裂形成时期及断裂分布规律进行了初步探讨。对该区断裂构造而言,还存在一系列需要深入讨论的科学问题,如该区断裂构造形成和演化的控制机理,玉北三维区及相邻地区断裂构造在变形样式、活动期次和分布模式方面的差异性,断裂活动在控制该区岩溶不整合、碳酸盐岩缝洞型储层及油气聚集成藏方面所起的作用等等。这些问题的探讨将有助于深化认识克拉通内盆地的构造演化过程以及断裂构造与油气聚集的关系^[23-24]。

参考文献

- [1] 吕海涛,张仲培,邵志兵,等. 塔里木盆地巴楚-麦盖提地区早古生代古隆起的演化及其勘探意义[J]. 石油与天然气地质, 2010, 31(1): 76-83, 90.
Lü Haitao, Zhang Zhongpei, Shao Zhibing, et al. Structural evolution and exploration significance of the Early Paleozoic palaeouplifts in Bachu-Maigaiti area, the Tarim Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2010, 31(1): 76-83, 90.
- [2] 张仲培,刘士林,杨子玉,等. 塔里木盆地麦盖提斜坡构造演化及油气地质意义[J]. 石油与天然气地质, 2011, 32(6): 909-919.

- Zhang Zhongpei, Liu Shilin, Yang Ziyu, et al. Tectonic evolution and its petroleum geological significances of the Maigaiti Slope, Tarim Basin [J]. *Oil & Gas Geology*, 2011, 32(6): 909–919.
- [3] 丁文龙, 漆立新, 云露, 等. 塔里木盆地巴楚-麦盖提地区古构造演化及其对奥陶系储层发育的控制作用[J]. *岩石学报*, 2012, 28(8): 2542–2556.
- Ding Wenlong, Qi Lixin, Yun Lu, et al. The tectonic evolution and its controlling effects on the development of Ordovician reservoir in Bachu-Markit, Tarim basin [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2012, 28(8): 2542–2556.
- [4] 郭倩, 蒲仁海. 塔里木盆地巴麦-塔中地区晚古生代古构造演化及油气成藏分析[J]. *石油地球物理勘探*, 2011, 46(2): 317–325.
- Guo Qian, Pu Renhai. Neopaleozoic tectonic evolution and hydrocarbon analysis in Bamai-Tazhong area, Tarim Basin [J]. *Oil Geophysical Prospecting*, 2011, 46(2): 317–325.
- [5] 刘高波, 施泽进, 余晓宇. 巴楚-麦盖提的区域构造演化与油气分布规律[J]. *成都理工大学学报*, 2004, 31(2): 157–161.
- Liu Gaobo, Shi Zejin, She Xiaoyu. Regional tectonic evolution and distribution of Bachu-Markit [J]. *Journal of Chengdu University of Technology*, 2004, 31(2): 157–161.
- [6] 李新民, 丁勇, 张旭, 等. 巴楚-麦盖提地区不整合面特征与油气分布关系[J]. *新疆石油地质*, 2001, 22(6): 475–477.
- Li Xinmin, Ding Yong, Zhang Xu, et al. Characteristics of unconformity and its relations to hydrocarbon in Bachu-Mageti area [J]. *Xinjiang Petroleum Geology*, 2001, 22(6): 475–477.
- [7] 杨海军, 李曰俊, 冯晓军, 等. 塔里木盆地玛扎塔格构造带断裂构造分析. *地质科学*, 2007, 42(3): 506–517.
- Yang Haijun, Li Yuejun, Feng Xiaojun, et al. Analysis on thrusting of the Mazhatage structural belt in the Tarim Basin [J]. *Chinese Journal of Geology*, 2007, 42(3): 506–517.
- [8] 孟庆龙, 李曰俊, 师骏, 等. 塔里木盆地西部色布亚断裂和康西断裂的主要特征及活动时代[J]. *地质科学*, 2008, 43(2): 282–293.
- Meng Qinglong, Li Yuejun, Shi Jun, et al. Main characters and active ages of the Serikbuya and Kangxifaults in the western Tarim Basin [J]. *Chinese Journal of Geology*, 2008, 43(2): 282–293.
- [9] 云金表, 周波, 王书荣. 塔里木盆地玉北1井背斜带变形特征与形成机制[J]. *石油与天然气地质*, 2013, 34(2): 215–219.
- Yun Jinbiao, Zhou bo, Wang Shurong. Deformation characteristics and forming mechanism of the Well Yubei 1 anticline belt in the Tarim Basin [J]. *Oil & Gas Geology*, 2013, 34(2): 215–219.
- [10] 杜永明, 余腾孝, 郝建龙, 等. 塔里木盆地玉北地区断裂特征及控制作用[J]. *断块油气田*, 2013, 20(2): 170–174.
- Du Yongming, Yu Tengxiao, Hao Jianlong, et al. Fracture characteristics and control action on hydrocarbon accumulation in Yubei Area of Tarim Basin [J]. *Fault-block Oil and Gas Field*, 2013, 20(2): 170–174.
- [11] 王晶, 赵锡奎, 李坤, 等. 麦盖提斜坡玛南断裂演化及其油气意义[J]. *断块油气田*, 2012, 19(1): 27–31.
- Wang Jing, Zhao Xikui, Li Kun, et al. Evolution and its oil and gas significance in Manan fault of Markit Slope [J]. *Fault-block Oil and Gas Field*, 2012, 19(1): 27–31.
- [12] 陈强路, 周凌方, 张根法, 等. 塔里木盆地巴楚-麦盖提地区油气勘探领域评价[J]. *石油实验地质*, 2009, 31(4): 343–349.
- Chen Qianglu, Zhou Lingfang, Zhang Genfa, et al. Evaluation of oil and gas exploration domains in Bachu-Maigaiti area of Tarim Basin [J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2009, 31(4): 343–349.
- [13] 吕修祥, 杨海军, 白忠凯, 等. 塔里木盆地麦盖提斜坡东段油气勘探前景[J]. *石油实验地质*, 2010, 32(6): 521–526.
- Lü Xiuxiang, Yang Haijun, Bai Zhongkai, et al. Hydrocarbon exploration prospects in the east section of the Maigaiti Slope in the Tarim Basin [J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2010, 32(6): 521–526.
- [14] Elena K A, Harris L B, Jimmy P, et al. Transfer zones and fault reactivation in inverted rift basins: Insights from physical modelling [J]. *Tectonophysics*, 2007, 441: 1–26.
- [15] Grimaldi G O, Dorobek S L. Fault framework and kinematic evolution of inversion structures: Natural examples from the Neuquén Basin, Argentina [J]. *AAPG Bulletin*, 2011, 95: 27–60.
- [16] Garcia P M, Comas M, Soto J I, et al. Strike-slip tectonics and basin inversion in the Western Mediterranean: the Post-Messinian evolution of the Alboran Sea [J]. *Basin Research*, 2013, 25(4): 361–387.
- [17] Ferrill D A, Morris A P. Fault zone deformation controlled by carbonate mechanical stratigraphy, Balcones fault system, Texas [J]. *AAPG Bulletin*, 2008, 92: 359–380.
- [18] Childs C, Manzocchi T, Walsh J J, et al. A geometric model of fault zone and fault rock thickness variations [J]. *Journal of Structural Geology*, 2009, 31: 117–127.
- [19] David A F, Alan P M, Ronald N Mc, et al. Fault zone deformation and displacement partitioning in mechanically layered carbonates: The Hidden Valley fault, central Texas [J]. *AAPG Bulletin*, 2011, 95: 1383–1397.
- [20] Berglar K, Gaedicke C, Franke D, et al. Structural evolution and strike-slip tectonics off north-western Sumatra [J]. *Tectonophysics*, 2010, 480: 119–132.
- [21] Bose S, Mitra S. Analog modeling of divergent and convergent transfer zones in listric normal fault systems [J]. *AAPG Bulletin*, 2010, 94(9): 1425–1452.
- [22] Turner S A, Liu J G, Cosgrove J W. Structural evolution of the Piqiang fault zone, NW Tarim Basin, China [J]. *Journal of Asia Earth Sciences*, 2011, 40: 394–402.
- [23] Pinet N, Lavoie D, Dietrich J, et al. Architecture and subsidence history of the intracratonic Hudson Bay Basin, northern Canada [J]. *Earth Science Reviews*, 2013, 125: 1–23.
- [24] Hennings P, Allwardt P, Paul P, et al. Relationship between fractures, fault zones, stress, and reservoir productivity in the Suban gas field, Sumatra, Indonesia [J]. *AAPG Bulletin*, 2012, 96: 753–772.

(编辑 董立)