

走滑断裂特征对油气勘探方向的选择

——以塔中北坡顺1井区为例

李萌^{1,2,3}, 汤良杰^{1,2}, 李宗杰⁴, 甄素静^{1,2}, 杨素举⁴, 田亚杰^{1,2}

(1. 中国石油大学(北京) 油气资源与探测国家重点实验室, 北京 102249; 2. 中国石油大学(北京) 盆地与油藏研究中心, 北京 102249; 3. 中国冶金地质总局 矿产资源研究院, 北京 101300; 4. 中国石化 西北油田分公司, 乌鲁木齐 830011)

摘要:通过三维地震精细解释,运用断距分析、断层生长指数等方法,探讨了塔中北坡顺1井区走滑断裂的几何学特征、活动期次及其成因机制。该区走滑断裂及其伴生构造具有明显的分层特征,同时又具有分段差异;西段构成基底走滑卷入的“负花状”构造,东段则表现为盖层滑脱型。加里东中期(Ⅲ幕)基底走滑断裂已开始活动;海西早期,走滑断裂再次活动,上奥陶统桑塔木组厚层泥岩起到滑脱层的作用,基底走滑断裂剪切引起的盖层变形,在志留系发育伴生雁列正断层及其地堑、地垒组合;海西末期,挤压应力沿NE走向释放减弱而出现构造分异,基底走滑断裂西段再次复活,并与雁列正断裂上下贯通构成“负花状”构造;之后在印支期持续活动,发育断层相关褶皱等。海西末期—印支期,基底卷入型走滑断裂油气运移通道的开启、志留系等构造圈闭的定型与主成藏期具备良好的时空配置关系,走滑断裂附近可发育奥陶系岩溶。

关键词:石油地质;走滑断裂;断裂特征;顺1井区;塔中北坡

中图分类号:TE122.3

文献标识码:A

Fault characteristics and their petroleum geology significance:

A case study of well Shun-1 on the northern slope of the central Tarim Basin

Li Meng^{1,2,3}, Tang Liangjie^{1,2}, Li Zongjie⁴, Zhen Sujing^{1,2}, Yang Suju⁴, Tian Yajie^{1,2}

(1. State Key Laboratory of Petroleum Resource and Prospecting, China University of Petroleum, Beijing 102249, China;

2. Basin & Reservoir Research Center, China University of Petroleum, Beijing 102249, China; 3. Institute of Mineral Resource Research, China Metallurgical Geology Bureau, Beijing 101300; 4. SINOPEC Northwest Oilfield Company, Urumqi, Xinjiang 830011, China)

Abstract:The geometric characteristics, active stages and formation mechanism of strike-slip faults in well Shun-1 area on the northern slope of the central Tarim Basin were studied through 3D seismic interpretation and combined with fault throw and fault growth index analyses. The study area has clear layered characteristics. Deep structures are mainly of linear strike-slip faults; middle structures are primarily normal faults which group sinistralen echelon and form horst-graben structures, locally forming negative flower structures with a basement strike-slip fault. Small-scale normal faults are developed in shallow structures. Basement strike-slip faults have formed in the middle Caledonian and activated again associated with en echelon normal faults in Silurian during the early Hercynian. The thick Sangtamu Formation mudstone of the Upper Ordovician is identified as a detachment layer, which resulted the decollement between the basement strike-slip fault and its cover. This region has experienced magmatism and widespread extension in the late Hercynian. The rejuvenation of basement strike-slip faults resulted in the local strong compression in the latest Hercynian and fault-related folds in the Indosinian. In the latest Hercynian, basement strike-slip faulting was linked with en echelon normal faults, which could be favorable hydrocarbon migration paths. Strike-slip induced folds cut by en echelon normal faults, forming faulted anticlines, faulted nose and fault blocks, could be favorable traps for petroleum accumulation. The Ordovician palaeokarst that developed extensively near strike-slip fault zones, is an important future target for petroleum exploration.

Keywords: petroleum geology; strike-slip fault; fault characteristics; well Shun-1 area; northern slope of central Tarim Basin

收稿日期:2014-11-21;修订日期:2015-12-14。

作者简介:李萌(1984—),男,博士研究生,从事含油气盆地构造研究。E-mail: limeng.juwen@163.com。

通信作者:汤良杰(1957—),男,教授,主要研究方向为含油气盆地构造分析。E-mail: tanglj@cup.edu.cn。

基金项目:国家重点基础研究发展计划(973计划)项目(2012CB214804, 2005CB422107),国家自然科学基金项目(41172125, 40972090), 国家科技重大专项(2011ZX05002-003-001, 2011ZX05029-002, 2011ZX05002-006-007HZ), 中国石油化工股份有限公司项目(P11086)和中国石化西北油田分公司项目(KY2012-S-051)联合资助。

走滑断裂是一类重要的构造类型,以陡直断面和“花状”构造等为主要识别特征,在油气富集中发挥着重要的作用^[1-3]。近年来,走滑断裂的研究在塔里木盆地油气勘探中得到越来越多的关注,许多学者从油气运移^[4-5]、储层物性^[6-8]、油气圈闭^[9-11]等方面探讨了走滑断裂的石油地质意义。

近年来,塔中北坡顺托果勒区块相继在顺1、顺9井等发现了志留系油藏,实现了该区碎屑岩系勘探领域的突破。顺托区块主要断裂以左行走滑为主,对志留系油气聚集成藏具有重要控制作用。前人在走滑断裂的几何学特征、形成机制、控油作用等方面做了许多工作^[12-18]。目前的研究一般认为顺托地区主要发育基底卷入型走滑断裂,还未认识到上奥陶统泥岩对走滑构造相关变形的控制作用,因此该区走滑断裂的变形样式还需进一步研究,而走滑断裂体系的形成过程与志留系油气成藏的关系等有待进一步探讨。本文主要根据三维地震解释成果,探讨顺托果勒区块断裂体系尤其是走滑断裂的变形特征、形成机理及其石油地质意义,旨在为该地区的地质构造建模和油气勘探提供新的思路。

1 区域地质背景

顺托果勒低隆位于卡塔克和沙雅2大古隆起之间,西临阿瓦提凹陷,东连满加尔坳陷,是整体呈北西向缓倾的斜坡构造(图1)。该低隆形成于加

里东中期(奥陶纪末期),后期改造作用不太强烈,是塔里木盆地中相对稳定的二级构造单元。其低隆形态保存至今,长期以来是顺托北部和满加尔坳陷等油气运移的有利指向区。顺1三维工区位于顺托果勒区块,顺1、顺9井等证实该区志留系具有良好的油气勘探前景,而顺托1井在奥陶系也已获得良好的油气显示。区内主要发育有一条NE向的顺托1号走滑断裂带^[13],可作为油气垂向运移的重要通道。

根据钻井及地震资料揭示,顺1三维工区除广泛缺失侏罗系外,奥陶系、志留系、泥盆系等也有不同程度的缺失^[18],其他地层发育相对完整(表1)。志留系柯坪塔格组是古生界碎屑岩主要目的层之一,自北西向南东方向超覆沉积,该组自上而下分为下段(S_1k^1)、中段(S_1k^2)和上段(S_1k^3),上段自下而上可分下1亚段(S_1k^{3-1})、上2亚段(S_1k^{3-2})和上3亚段(S_1k^{3-3})。此外,顺托果勒地区上奥陶统主要发育了一套巨厚的却尔却克组(O_3qq)混积陆棚相碎屑岩沉积^[18],在顺1井区稳定沉积厚度超过500 m;而卡塔克隆起上奥陶统桑塔木组(O_3s)为海侵的陆棚相沉积,以厚层泥岩和灰质泥岩为特征;受海西早期的抬升剥蚀作用,该套地层卡塔克隆起上厚度变化较大,局部甚至完全缺失^[19]。

2 断裂几何学特征

对顺1三维工区的剖面解释表明,该区构造变

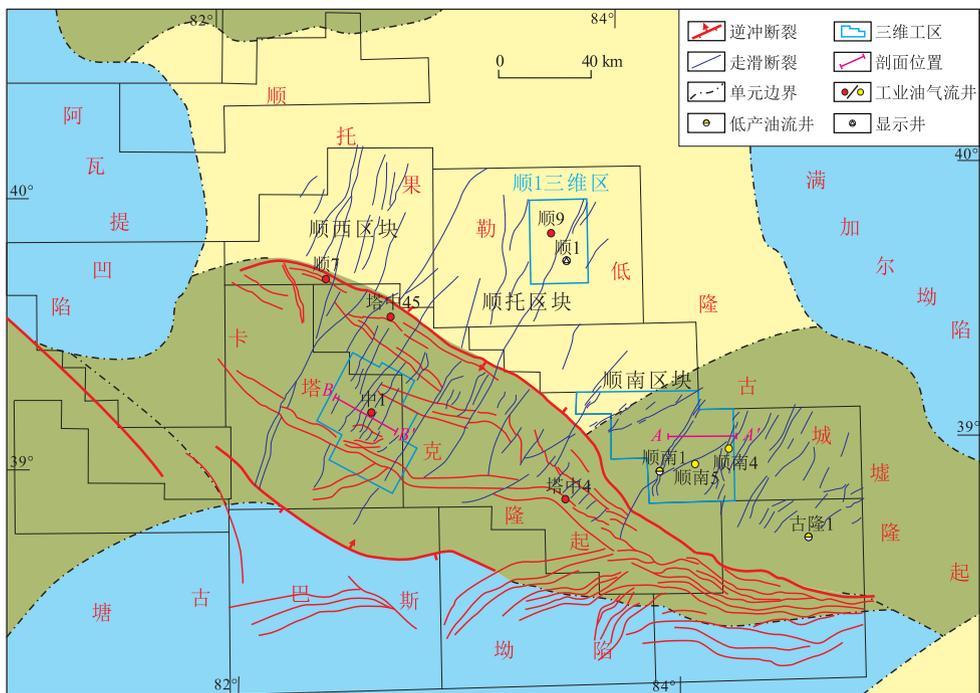


图1 塔中北坡构造位置及走滑断裂分布

Fig.1 Tectonic location and strike-slip fault distribution on the northern slope of the central Tarim Basin

表 1 塔中北坡顺托果勒区块顺 1 井区层序分层

Table 1 Stratigraphic sequence of well Shun-1 area in Shuntuoguo region on the northern slope of the central Tarim Basin

年代地层系	统	年龄/Ma	岩石组	地层段	代号	地震反射界面	构造运动	
中生界	白垩系	K						
	侏罗系	J				T ⁰	燕山中期运动	
	三叠系	T					印支运动	
古生界	二叠系	P ₃	沙井子组	上碎屑岩段	P _{3s}	T ₃ ⁰	海西末期运动	
		P ₂	开派兹雷克组	火山岩段	P _{2k}	T ₂ ⁰	海西晚期运动	
	一叠系	P ₁	库普库兹满组	下碎屑岩段	P _{1-2k}	T ₁ ⁰	海西中期 II 幕运动	
		C ₂	雨润组			T ₂ ⁰		
	石炭系	C ₁	318	小海子组	灰岩段	C _{1x}	T ₁ ⁰	海西中期 I 幕运动
				卡拉沙依组	含灰岩段 砂泥岩段	C _{1Al}	T ₁ ⁶	
		C ₁	359	巴楚组	中泥岩段	C _{1b}	T ₁ ^{6S}	海西早期运动
					生屑灰岩段 下泥岩段	C _{1b}	T ₁ ⁷	
	泥盆系	D ₁	385	克孜尔塔格组		D _{1k}	T ₁ ⁰	海西早期运动
		D ₁₋₂	416	依木干他乌组	红色泥岩段	S _{1y}	T ₁ ⁰	
志留系	S ₁	428	塔塔埃塔格组	上段	S _{1t}	T ₁ ⁰	加里东中期 III 幕运动	
				柯坪塔格组	上 3 亚段 上 2 亚段 上 1 亚段 中段 下段	S _{1k} ¹ S _{1k} ² S _{1k} ³ S _{1k} ⁴ S _{1k} ⁵		T ₁ ⁰
	S ₁	444	桑塔木组	上段	O _{1s}	T ₁ ⁰	加里东中期 I 幕运动	
				下段	O _{1s}	T ₁ ⁰		
奥陶系	O ₃	461	良里塔格组		O _{1l}	T ₁ ⁴	加里东中期 I 幕运动	
	O ₂	472	恰尔巴克组		O _{1q}	T ₁ ⁴		
	O ₁	488	蓬莱坝组		O _{1p}	T ₁ ⁰		

形体现出深、中、浅 3 种层次的分层特征,同时沿构造走向又具有分段差异性。深层构造样式表现为基底走滑断裂,构造层为 T₇⁰(上奥陶统桑塔木组顶面)以下地层。顺托 1 号走滑带呈线型分布,由多段不连续的 NE 向走滑断裂构成,大多数延伸不远,与主位移带近平行排列(图 2a)。在横切走滑带的剖面上,该断裂向下断至基底,向上断穿 T₇⁰

(上奥陶统良里塔格组顶面),断入上奥陶统桑塔木组厚层的泥岩、灰泥岩中(图 3)。

在 T₇⁰(上奥陶统桑塔木组顶面)和 T₅⁶(石炭系巴楚组顶面)面之间,中层次构造以正断层组合样式为主。NNW 走向正断裂雁列展布,延伸长度较小,往往成对成组存在,等间距排列(图 2b)。该系列正断层整体 NE 向延伸,与下伏走滑断裂走向一致、上下叠置。剖面上往往形成地堑、地垒或断阶,向下切入上奥陶统桑塔木组泥岩中(图 3)。雁列正断层走向与走滑断裂夹角约为 45°,应属于基底走滑断裂剪切引起的盖层变形,上奥陶统桑塔木组厚层泥岩起到滑脱层的作用。

该区浅构造层主要发育规模较小的正断层和逆断层。正断层在区内广泛分布,以近 SN 走向为主,延伸较短(图 2c)。剖面上,该套正断层向上断至 T₅¹(二叠系火山岩段顶面),向下断至石炭系巴楚组,纵向断距很小,构成小型地堑、地垒等构造样式(图 3)。此外,还发育一系列逆断层(图 2d),走向以 NE 为主,主要分布在断裂带西段。大部分逆断层未断穿 T₅⁰(二叠系沙井子组顶面),常形成断层相关褶皱等构造样式。

总体来看,顺 1 井区走滑断裂的西段向志留系及以上地层扩展,与上部派生断层相连,构成基底卷入型的“负花状”构造;而东段为单条陡立的隐伏断层,构成盖层滑脱型的走滑相关构造。由于上奥陶统以泥岩为主滑脱层,塔中北坡及邻区主要发育以上 2 种主要的走滑断裂类型。类似的,A-A'剖面是顺南井区的一条三维地震剖面(图 1,4),同样可以看到基底卷入型和盖层滑脱型走滑断裂组合并存。与顺 1 井区相比较,顺南地区上奥陶统甚至

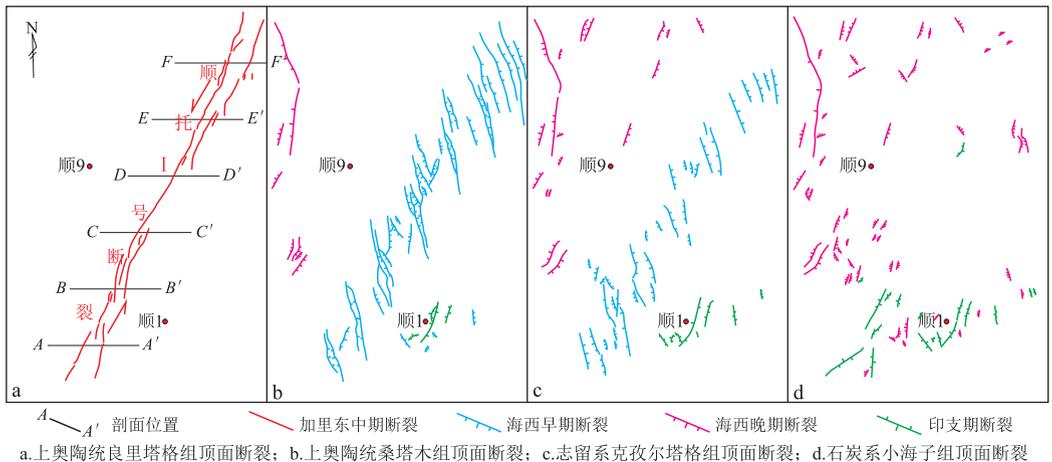


图 2 塔中北坡顺托果勒区块顺 1 三维工区断裂分布
工区位置见图 1。

Fig.2 Fault distribution in well Shun-1 area in Shuntuoguo region on the northern slope of the central Tarim Basin

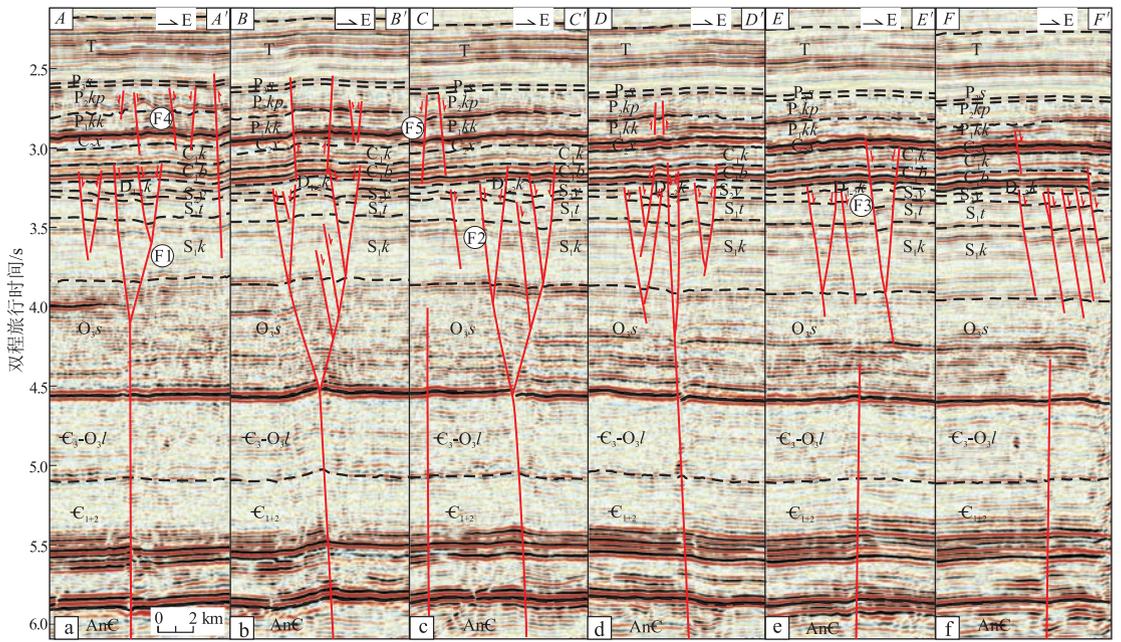


图 3 塔中北坡顺托果勒区块顺 1 井区过顺托 1 号走滑断裂带地震剖面断裂解释
剖面位置见图 2a。

Fig.3 Faults on a seismic profile crossing Shuntuo no. 1 strike-slip fault in well Shun-1 area in Shuntuoguole region on the northern slope of the central Tarim Basin

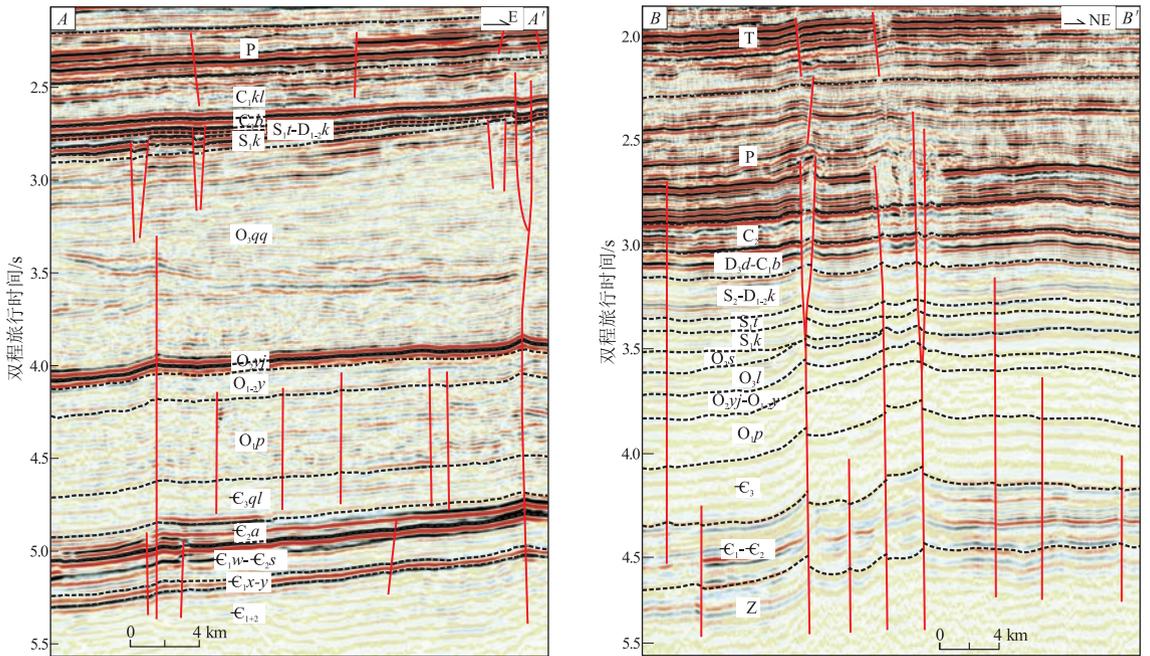


图 4 塔中北坡顺托果勒区块顺 1 井区邻区典型走滑断裂特征
剖面位置见图 1 中的 A-A', B-B'。

Fig.4 Typical strike-slip fault characteristics of adjacent region of well Shun-1 area in Shuntuoguole region on the northern slope of the central Tarim Basin

超过 2 500 m, 基底走滑断裂很难穿过这套以泥岩为主的塑性层, 因而对上覆地层构造变形的影响较小。B-B' 剖面是卡塔克隆起卡 1 井区的一条三维地震剖面(图 1, 4), 该区上奥陶统桑塔木组泥岩厚度有限, 主要发育基底卷入型的走滑断裂。

3 断裂活动期次

在三维地震解释基础上, 通过断距、断层生长指数等方法识别出顺 1 井区存在 5 期主要的断裂活动。

3.1 晚奥陶世断裂

前人研究认为,卡塔克隆起及北坡存在早奥陶世的正断层^[5],而在中奥陶世末不仅形成塔中 I 号等逆冲断裂,同时发育 NW 向被动型走滑断裂^[18]。剖面上来看,寒武—奥陶系与上覆地层变形明显不一致(图 3)。顺托 1 号走滑断裂在 T₇²(上奥陶统良里塔格组顶)界面存在明显的断距,最终消失在上奥陶统桑塔木组厚层泥岩中,因此我们推测 NW 向走滑断裂最早发育时期为晚奥陶世,即在加里东中期(Ⅲ幕)构造运动期已开始形成。在后期构造运动中,基底断裂复活,局部向上扩展并与中层伴生断裂连接。

3.2 中志留—早石炭世断裂

利用正断层上、下盘相应地层的厚度比值,即断层生长指数(Ei)分析,可以确定正断层的活动时期^[20-21]。Ei>1 时,断层发生正断层活动,且 Ei 值越大,反映拉张作用越强烈。针对中构造层雁列正断层,在地震剖面上选取具有代表性的断裂 F1、F2 和 F3(图 3),计算生长指数并分析其活动历史。

F1 断裂于中志留世开始拉张,之后持续活动到早石炭世(图 5a);F2 断裂伸展作用不太强烈(图 5b);F3 断裂在中志留世伸展强度达到高峰,之后逐渐减弱(图 5c)。

3.3 早—中二叠世断裂

在 T₅¹ 界面(中二叠统火山岩顶面)以下发育小规模的正断层。利用断层指数分析可知,F4 和 F5 断裂在早—中二叠世存在一期拉张活动(图 5d,e),而 F3 断裂在经历中志留—早石炭世的第一期伸展之后,于早二叠世再次发生伸展作用。同第一期伸展作用相比,早—中二叠世正断层断距微弱,伸展强度较低。

3.4 二叠纪末期断裂

在该区西段发现有一定规模的逆冲断层(图 2d)。2 条反向逆断层控制断背斜(图 3b),上泥盆统一二叠系体现整体变形的特点,大部分断至 T₅⁰ 界面以下,推测与晚二叠世的挤压作用有关。而在图 3a 右侧逆断层断至上奥陶统,切割层位较深,表明局部逆冲活动的强度较大。

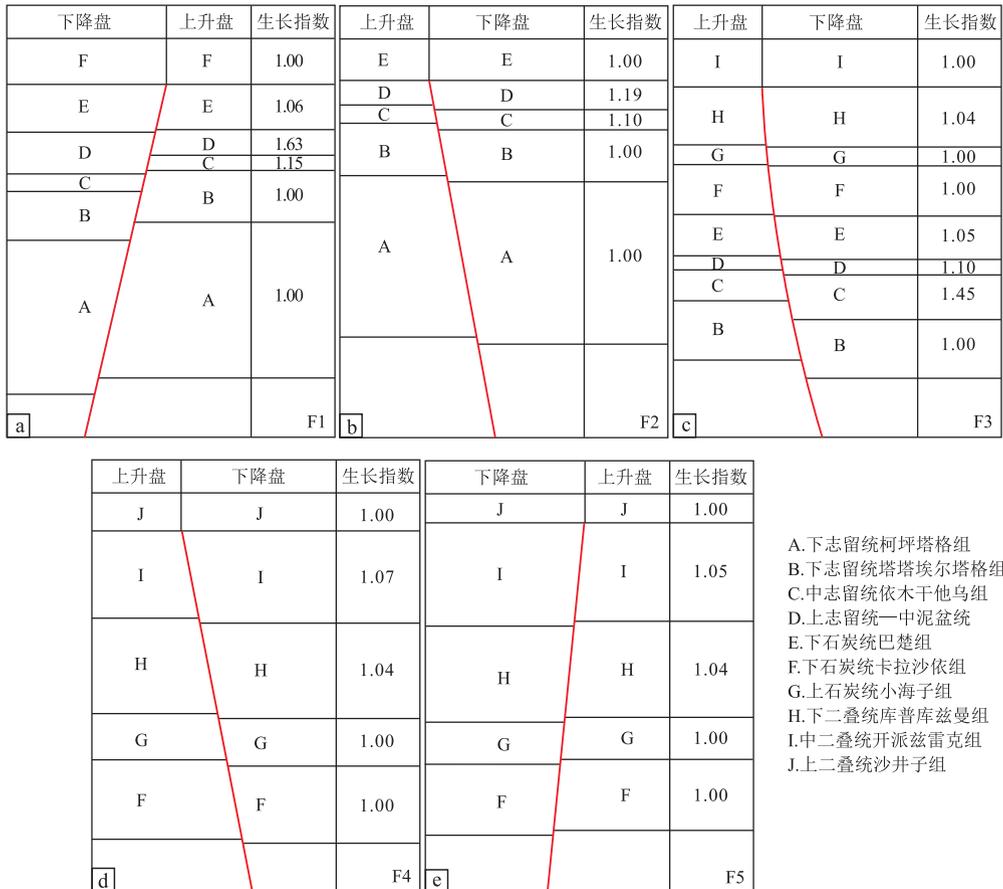


图 5 塔中北坡顺托果勒区块顺 1 井区地震剖面上正断层伸展指数
断裂位置见图 3。

Fig.5 Growth index of normal faults on seismic profiles of well Shun-1 area in Shuntuoguole region on the northern slope of the central Tarim Basin

3.5 三叠纪断裂

部分逆冲断层切入三叠系,但断距很小,在地震剖面上不易识别(图 3b)。断层上部的三叠系形成了宽缓的背斜形态,指示了在印支期的冲断活动并伴有断层相关褶皱的发育。断褶两翼地层在转折位置处厚度有减薄现象,显示断裂构造活动控制的生长地层特征。该期冲断变形微弱,分布范围局限。

4 断裂形成机制分析

相对于邻区卡塔克隆起,顺托果勒地层厚度基本稳定,构造活动不太强烈。结合该区断裂活动期次等,我们认为其经历了加里东中期、海西早期、海西晚期、海西末期和印支期等 5 个断裂活动阶段(图 6)。

加里东中期 III 幕(晚奥陶世),库地洋向南侧中昆仑微陆块俯冲消减^[22]。在此构造背景下,塔里木盆地经受自南往北的强烈挤压作用,塔中地区形成规模巨大的 NW 向逆冲断裂带,在其北缘则必然产生与断裂带垂直的 NE 向挤压分量。航磁资

料表明该区存在 NE 向的地壳薄弱带^[23],对后期 NE 向左行走滑断裂的发育起到了重要的控制作用。这与塔中地区在中、晚奥陶世的走滑活动有很好的对应关系^[4,24]。

海西早期(志留—泥盆纪),库地洋开始俯冲消减,并于泥盆纪晚期闭合,塔里木与中昆仑地块闭合;北缘的南天山洋在这一时期也自东向西向中天山地块俯冲消减^[25]。受南北两侧大洋的俯冲消减作用,塔里木整体处于强烈挤压环境中。基底 NE 向走滑断裂复活在盖层引起左行扭动变形,首先发育的是与走滑断层走向基本一致的小型宽缓褶皱,随着走滑位移量的增大,派生褶皱被一系列小型的雁列正断层所切割(图 6)。由于桑塔木组厚层泥岩的存在,基底走滑断裂与盖层之间会产生滑脱,中部雁列正断层与深部基底断裂在该时期可能并不直接相连。

海西晚期(早—中二叠世),塔里木盆地发育大规模玄武质岩浆喷发和伸展作用^[26]。中国石油

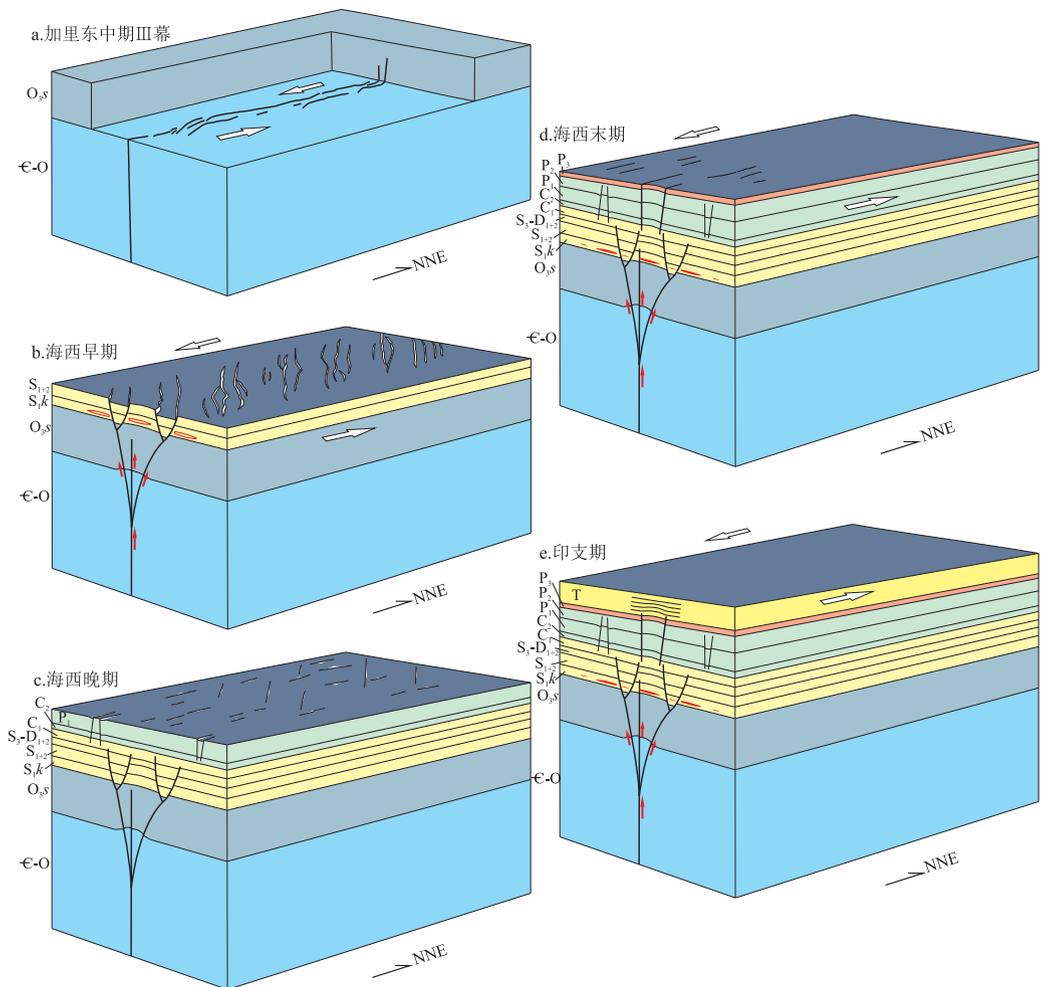


图 6 塔中北坡顺托果勒区块顺 1 井区断裂演化和成藏模式

Fig.6 Schematic model showing structural evolution and hydrocarbon accumulation of well Shun-1 area in Shuntuogule region on the northern slope of the central Tarim Basin

满西1井也揭示了邻区二叠系近300 m厚的火成岩段。在此构造背景下,区内广泛发育一系列较小规模的张性正断层,并形成一系列小型的堑—垒构造。2组正断层走向近直交,可能与深部侵入岩体上升挤压围岩而产生的共轭剪裂面有关。

海西末期(晚二叠纪世),受古特提斯洋向中昆仑地体俯冲碰撞的影响,塔里木板块内部由伸展环境转为挤压环境^[27]。在剖面上发现有规模不大的逆断层,走向近NE,属于基底NE向走滑断裂再次活动引起的盖层伴生变形;且集中分布在西段,表明靠近塔中一侧挤压活动应力较强,“负花状”构造多出现在该部位,推测海西末期活动才将走滑断裂与雁列正断裂相贯通(图6)。由于板块碰撞产生的挤压应力沿NE走向逐渐衰减,派生断层和褶皱变形也不断减弱。

印支期(三叠纪),古特提斯洋向北的俯冲作用加剧,直至甜水海—羌塘地体与塔里木板块的碰撞拼贴^[28]。中生代地层随着二叠纪形成的堑—垒构造也稍有起伏,构造样式为典型的断层转折褶皱,反映了断裂的后期再活动,但断裂活动强度已不大,属于海西末期断裂的继承性活动。

5 石油地质意义

该区断裂体系,特别是基底走滑断裂及其伴生雁列正断层对志留系油气的运聚成藏有明显的控制作用,主要体现在以下2个方面。

5.1 对油气运移的控制作用

前人研究表明,顺托果勒志留系油源主要来自寒武系—下奥陶统和中上奥陶统^[29-30]。桑塔木组厚层泥岩封闭性较好,是油气向上部运移成藏的不利因素。海西早期,基底走滑断裂活动在上部志留系派生雁列正断层,该时期正断层与基底走滑断裂初始可能并不直接相连,油气垂向运移的效果较差。至海西末期—印支期,西段走滑断裂再次活动并向上扩展发散,靠近塔中一侧派生“负花状”构造,并与浅层的各种破裂面(雁列正断层、裂隙、斜列褶皱等)连接在一起构成网状的破裂带,从而有效沟通了烃源岩与上部柯坪塔格组储层(图6)。流体包裹体证据表明,顺9井志留系油气成藏期有海西早期、海西晚期和喜马拉雅中晚期等,其中海西晚期—印支期(335.0~231.5 Ma)的油充注占有绝对优势^[15]。基底卷入型走滑断裂在油气主成藏期的开启性较好,有利于油气沿断裂的垂向运移。

5.2 对构造圈闭的控制作用

该区以志留系柯坪塔格组低幅度构造圈闭为

主,断裂控制了志留系构造圈闭的类型和演化。海西早期,基底NE向走滑断裂扭动引起上覆志留系的褶皱变形,褶曲轴向NE,一般都平行主干断裂或在其附近发育;之后派生褶皱被一系列NNW向雁列断层所切割,形成斜列的断背斜、断鼻和断块等构造。志留系圈闭在海西早期形成,海西末期基本定型,与主成藏期相匹配,圈闭油气成藏条件优越。在塔中已发现塔中4井和6井等石炭系油气藏,对该区勘探也有借鉴意义。顺1井区石炭系卡拉沙依组圈闭形成于海西末期,以背斜为主,若雁列正断层处于开启状态,则存在油气沿基底卷入走滑型断裂在浅部聚集成藏的可能性(图6)。海西期运动之后断裂活动较弱,构造圈闭的规模和完整性得以保存。

值得指出的是,走滑断裂周围发育多级别、多方位裂缝,利于产生岩溶缝洞,对于碳酸盐岩的储集性能具有明显改造作用。顺南区块的勘探证实,奥陶系岩溶缝洞沿走滑断裂带较发育,且在蓬莱坝组、鹰山组岩溶缝洞型储层中获得油气显示或工业气流。目前,顺托1井已证实该地区深部奥陶系具有良好的油气勘探潜力,是否具有类似岩溶缝洞的储层特征则是下一步研究的重要内容。

6 结论

(1)通过精细的地震解释,认为对顺1井区具有明显的构造分层和分段变形特征。深层构造样式以线型展布的高角度走滑断裂为主。中层构造以雁列正断层为主,发育地堑、地垒等组合样式;其中西段与基底走滑断裂构成基底卷入型的“负花状”构造,东段则为盖层滑脱型构造样式。浅构造层发育规模较小的正断层和逆断层。

(2)该区断裂活动可以划分为5个阶段:加里东中期(Ⅲ幕)基底走滑断裂活动阶段;海西早期,由于桑塔木组厚层泥岩的存在,走滑断裂再次活动而在盖层伴生雁列正断层;海西晚期为岩浆与广泛伸展阶段;海西末期,靠近卡塔克隆起一侧走滑挤压应力较强,基底走滑断裂西段再次复活,并与雁列正断裂上下贯通构成“负花状”构造;印支期发育断层相关褶皱等。

(3)海西末期—印支期,基底走滑断层与其伴生的雁列正断层等连接并处于开启状态,因而成为有利的油气运移通道;走滑断裂派生褶皱被雁列正断层所切割,形成的断背斜、断鼻和断块等是有利成藏位置。走滑断裂相关运移通道的开启、志留系圈闭的定型与海西末期主成藏期具备良好的时空

配置关系;走滑断裂对碳酸盐岩储集层具有明显的改造作用,奥陶系岩溶是油气富集有利区域。

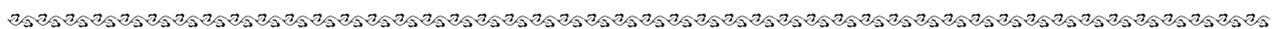
致谢:感谢审稿专家提出的宝贵修改意见,使论文得到进一步的完善,再次致以深切的谢意。

参考文献:

- [1] 许志琴,曾令森,杨经绥,等.走滑断裂、“挤压性盆—山构造”与油气资源关系的探讨[J].地球科学:中国地质大学学报,2004,29(6):631-643.
Xu Zhiqin, Zeng Lingsen, Yang Jingsui, et al. Role of large-scale strike-slip faults in the formation of petroleum-bearing compressional basin-mountain range systems[J]. Earth Science: Journal of China University of Geosciences, 2004, 29(6): 631-643.
- [2] 夏义平,刘万辉,徐礼贵,等.走滑断层的识别标志及其石油地质意义[J].中国石油勘探,2007,12(1):17-23.
Xia Yiping, Liu Wanhui, Xu Ligui, et al. Identification of strike-slip fault and its petroleum geology significance[J]. China Petroleum Exploration, 2007, 12(1): 17-23.
- [3] 王玉秀,官大勇,张宏国,等.郯庐走滑断裂带消逝端断裂特征与油气成藏[J].特种油气藏,2015,22(2):56-58.
Wang Yuxiu, Guan Dayong, Zhang Hongguo, et al. Fracturing features and oil/gas reservoir forming at the pinchout end of Tanlu strike-slip faulting belt[J]. Special Oil & Gas Reservoirs, 2015, 22(2): 56-58.
- [4] 李明杰,胡少华,王庆果,等.塔中地区走滑断裂体系的发现及其地质意义[J].石油地球物理勘探,2006,41(1):116-121.
Li Mingjie, Hu Shaohua, Wang Qingguo, et al. Discovery of strike-slip fault system in Tazhong area and geologic meaning[J]. Oil Geophysical Prospecting, 2006, 41(1): 116-121.
- [5] 邬光辉,杨海军,屈泰来,等.塔里木盆地塔中隆起断裂系统特征及其对海相碳酸盐岩油气的控制作用[J].岩石学报,2012,28(3):793-805.
Wu Guanghui, Yang Haijun, Qu Tailai, et al. The fault system characteristics and its controlling roles on marine carbonate hydrocarbon in the Central uplift, Tarim Basin[J]. Acta Petrologica Sinica, 2012, 28(3): 793-805.
- [6] 张庆莲,侯贵廷,潘文庆,等.新疆巴楚地区走滑断裂对碳酸盐岩构造裂缝发育的控制[J].地质通报,2010,29(8):1160-1167.
Zhang Qinglian, Hou Guiting, Pan Wenqing, et al. Development of fractures in carbonate rocks under the influence of strike-slip faults in Bachu area, Xinjiang, China[J]. Geological Bulletin of China, 2010, 29(8): 1160-1167.
- [7] 吕修祥,张艳萍,焦伟伟,等.断裂活动对塔中地区鹰山组碳酸盐岩储集层的影响[J].新疆石油地质,2011,32(3):244-249.
Lü Xiuxiang, Zhang Yanping, Jiao Weiwei, et al. Effect of fault activity on carbonate reservoir of Yingshan Formation in Tazhong area, Tarim Basin[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2011, 32(3): 244-249.
- [8] 乔占峰,沈安江,邹伟宏,等.断裂控制的非暴露型大气水岩溶作用模式:以塔北英买2构造奥陶系碳酸盐岩储层为例[J].地质学报,2011,85(12):2070-2083.
Qiao Zhanfeng, Shen Anjiang, Zou Weihong, et al. A fault-controlled non-exposed meteoric Karstification; a case study of Ordovician carbonate reservoir at structure YM2 in northern Tarim Basin, northwestern China[J]. Acta Geologica Sinica, 2011, 85(12): 2070-2083.
- [9] 张承泽,于红枫,张海祖,等.塔中地区走滑断裂特征、成因及地质意义[J].西南石油大学学报:自然科学版,2008,30(5):22-26.
Zhang Chengze, Yu Hongfeng, Zhang Haizu, et al. Characteristic, genesis and geologic meaning of strike-slip fault system in Tazhong Area[J]. Journal of Southwest Petroleum University: Science & Technology Edition, 2008, 30(5): 22-26.
- [10] 兰晓东,吕修祥,朱炎铭,等.走滑断裂与盖层复合成藏模式:以塔中东部中古51井区鹰山组为例[J].石油与天然气地质,2014,35(1):107-115.
Lan Xiaodong, Lü Xiuxiang, Zhu Yanming, et al. Hydrocarbon accumulation pattern jointly controlled by strike-slip faults and cap rocks: a case from Yingshan Formation in ZG-51 wellblock of eastern Tazhong area, Tarim Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2014, 35(1): 107-115.
- [11] 成凡,朱才伐,戴传瑞,等.塔北隆起西部英买32地区寒武系—奥陶系断裂特征及其对油气成藏的影响[J].油气地质与采收率,2014,21(6):53-56.
Cheng Fan, Zhu Caifa, Dai Chuanrui, et al. Features of Cambrian-Ordovician faults and their influence on oil and gas accumulation in Yingmai32 region in the western part of north Tarim uplift[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2014, 21(6): 53-56.
- [12] 全裕科,侯洪斌,漆立新,等.塔中北坡两顺地区志留系成藏条件及期次分析[J].矿物岩石,2008,28(4):100-108.
Quan Yuke, Hou Hongbin, Qi Lixin, et al. Analysis of geological conditions and exploration potential of Silurian pool in the Liangshun region, northern slope of Tazhong[J]. Journal of Mineralogy and Petrology, 2008, 28(4): 100-108.
- [13] 马庆佑,沙旭光,李玉兰,等.塔中顺托果勒区块走滑断裂特征及控油作用[J].石油实验地质,2012,34(2):120-124.
Ma Qingyou, Sha Xuguang, Li Yulan, et al. Characteristics of strike-slip fault and its controlling on oil in Shuntuoguole region, middle Tarim Basin[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2012, 34(2): 120-124.
- [14] 燕同秀.塔中北坡三顺地区古生代断裂构造特征[D].北京:中国地质大学(北京),2012.
Yan Tongxiu. Tectonic features of Paleozoic fractures in Sanshun area on the north slope of central Tarim uplift[D]. Beijing: China University of Geosciences(Beijing), 2012.
- [15] 熊万林,陈红汉,云露,等.塔中隆起北坡顺托果勒区块志留系储层油气充注历史:以顺9井流体包裹体分析为例[J].石油学报,2013,34(2):239-246.
Xiong Wanlin, Chen Honghan, Yun Lu, et al. Hydrocarbon charging history for Silurian reservoirs of Shuntuoguole block in the north slope of Tazhong uplift, Tarim Basin: constraints from fluid inclusion of Well Shun 9[J]. Acta Petrologica Sinica, 2013, 34(2): 239-246.
- [16] 杨圣彬,刘军,李慧莉,等.塔中北围斜区北东向走滑断裂特征及其控油作用[J].石油与天然气地质,2013,34(6):797-802.
Yang Shengbin, Liu Jun, Li Huili, et al. Characteristics of the NE-trending strike-slip fault system and its control on oil accu-

- mulation in north peri-cline area of the Tazhong paleouplift [J]. Oil & Gas Geology, 2013, 34(6): 797-802.
- [17] 李曰俊,孙龙德,杨海军,等.塔里木盆地晚志留世—石炭纪伸展构造的发现及其地质意义[J].地质科学,2014,49(1): 30-48.
Li Yuejun, Sun Longde, Yang Haijun, et al. New discovery of Late Silurian-Carboniferous extensional structure in Tarim Basin and its geological significance [J]. Chinese Journal of Geology, 2014, 49(1): 30-48.
- [18] 黄太柱.塔里木盆地塔中北坡构造解析与油气勘探方向[J].石油实验地质,2014,36(3): 257-267.
Huang Taizhu. Structural interpretation and petroleum exploration targets in northern slope of middle Tarim Basin [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2014, 36(3): 257-267.
- [19] 杨海军,李勇,刘胜,等.塔中地区中、上奥陶统划分对比的主要认识[J].新疆石油地质,2000,21(3): 209-210.
Yang Haijun, Li Yong, Liu Sheng, et al. Classification and correlation of middle-upper Ordovician in Tazhong Area and its key understanding [J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2000, 21(3): 209-212.
- [20] 赵岩,李曰俊,孙龙德,等.塔里木盆地塔北隆起中—新生界伸展构造及其成因探讨[J].岩石学报,2012,28(8): 2557-2568.
Zhao Yan, Li Yuejun, Sun Longde, et al. Mesozoic-Cenozoic extensional structure in North Uplift of Tarim basin and its genetic discussion [J]. Acta Petrologica Sinica, 2012, 28(8): 2557-2568.
- [21] 汤良杰,金之钧.塔里木盆地北部隆起牙哈断裂带负反转过程与油气聚集[J].沉积学报,2000,18(2): 302-309.
Tang Liangjie, Jin Zhijun. Negative inversion process and hydrocarbon accumulation of Yaha fault belt in Northern Uplift, Tarim Basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2000, 18(2): 302-309.
- [22] 丁道桂,汤良杰.塔里木盆地形成与演化[M].南京: 河海大学出版社,1996.
Ding Daogui, Tang Liangjie. The formation and evolution of Tarim basin [M]. Nanjing: Hehai University Press, 1996.
- [23] 胡德胜.塔里木盆地塔中隆起带主干断裂系统及其油气地质意义[D].北京: 中国地质大学,2010.
Hu Desheng. Research on the main fault systems and their implication to petroleum geology in Tazhong Uplift area, Tarim Basin [D]. Beijing: China University of Geosciences, 2010.
- [24] 张艳萍,杨海军,吕修祥,等.塔中北斜坡中部走滑断裂对油气成藏的控制[J].新疆石油地质,2011,32(4): 342-344.
Zhang Yanping, Yang Haijun, Lü Xiuxiang, et al. Strike-slip faults and their controls on hydrocarbon reservoir in middle part of Northern slope of Tazhong area, Tarim Basin [J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2011, 32(4): 342-344.
- [25] 汤良杰.塔里木盆地演化和构造样式[M].北京: 地质出版社,1996.
Tang Liangjie. Tectonic Evolution and Structural Styles of the Tarim Basin, Northwest China [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1996.
- [26] 陈汉林,杨树锋,王清华,等.塔里木板块早—中二叠世玄武质岩浆作用的沉积响应[J].中国地质,2006,33(3): 545-552.
Chen Hanlin, Yang Shufeng, Wang Qinghua, et al. Sedimentary response to the Early-Mid Permian basaltic magmatism in the Tarim plate [J]. Geology in China, 2006, 33(3): 545-552.
- [27] 张光亚,赵文智,王红军,等.塔里木盆地多旋回构造演化与复合含油气系统[J].石油与天然气地质,2007,28(5): 653-663.
Zhang Guangya, Zhao Wenzhi, Wang Hongjun, et al. Multicycle tectonic evolution and composite petroleum systems in the Tarim Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2007, 28(5): 653-663.
- [28] 何登发,贾承造,李德生,等.塔里木多旋回叠合盆地的形成与演化[J].石油与天然气地质,2005,26(1): 64-77.
He Dengfa, Jia Chengzao, Li Densheng, et al. Formation and evolution of polycyclic super imposed Tarim Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2005, 26(1): 64-77.
- [29] 王飞宇,张水昌,张宝民,等.塔里木盆地寒武系海相烃源岩有机成熟度及演化史[J].地球化学,2003,32(5): 461-468.
Wang Feiyu, Zhang Shuichang, Zhang Baomin, et al. Maturity and its history of Cambrian marine source rocks in the Tarim Basin [J]. Geochimica, 2003, 32(5): 461-468.
- [30] 张俊,庞雄奇,刘洛夫,等.塔里木盆地志留系沥青砂岩的分布特征与石油地质意义[J].中国科学: D 辑: 地球科学, 2004, 34(S1): 169-176.
Zhang Jun, Pang Xiongqi, Liu Luofu, et al. Distribution characteristics and petroleum geological significance of the Silurian asphaltic sandstones in Tarim Basin [J]. Science in China; Series D; Earth Sciences, 2004, 47(S1): 199-208.

(编辑 黄娟)



(上接第 112 页)

- [11] Clausen J A, Gabrielsen R H. Parameters that control the development of clay smear at low stress states: an experimental study using ring-shear apparatus [J]. Journal of Structural Geology, 2002, 24(10): 1569-1586.
- [12] Sperrevik S, Færseth R B, Gabrielsen R H. Experiments on clay smear formation along faults [J]. Petroleum Geoscience, 2000, 6(2): 113-123.
- [13] 王学军,单亦先,劳海港,等.构造变形与烃类充注一体化物理模拟的难点及解决策略[J].石油实验地质,2013,35(4): 453-456.
Wang Xuejun, Shan Yixian, Lao Haigang, et al. Difficulties and solving strategies for integrated physical simulation of tectonic deformation and hydrocarbon charging [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2013, 35(4): 453-456.

(编辑 徐文明)