

准噶尔盆地大侏罗沟断层走滑特征、形成机制及控藏作用

吴孔友¹, 瞿建华², 王鹤华¹

(1. 中国石油大学地球科学与技术学院, 山东青岛 266580;

2. 中国石油新疆油田分公司勘探开发研究院, 新疆克拉玛依 834000)

摘要:根据扭动构造理论,结合物理模拟实验方法,综合运用野外露头勘测和高精度三维地震资料解释,在简单剪切模式指导下,对准噶尔盆地西北缘大侏罗沟断层特征、形成机制及控藏作用进行研究。结果表明:大侏罗沟断层为右旋平移断层,属达尔布特大型走滑断层的派生构造,并依据地层分布关系及流体包裹体信息,判断该断层形成于印支期,在燕山期有强烈活动;大侏罗沟断层形成于压扭环境,沿 Sylvester 简单剪切模式中的 R' 剪裂面发育,并派生出次级断层,构成走滑断裂体系;大侏罗沟断裂带岩石碎裂严重,糜棱化和片理化明显,主走滑带及其分支断层封闭能力均较强,形成了多个有效的断块圈闭,显示扭动构造对西北缘油气成藏具有明显的控制作用。

关键词:大侏罗沟断层; 走滑构造; 形成机制; 控藏作用; 准噶尔盆地

中图分类号:TE 121.2 **文献标志码:**A

引用格式:吴孔友,瞿建华,王鹤华. 准噶尔盆地大侏罗沟断层走滑特征、形成机制及控藏作用[J]. 中国石油大学学报:自然科学版,2014,38(5):41-47.

WU Kongyou, QU Jianhua, WANG Hehua. Strike-slip characteristics, forming mechanisms and controlling reservoirs of Dazhuluogou fault in Junggar Basin[J]. Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science), 2014,38(5): 41-47.

Strike-slip characteristics, forming mechanisms and controlling reservoirs of Dazhuluogou fault in Junggar Basin

WU Kongyou¹, QU Jianhua², WANG Hehua¹

(1. School of Geosciences in China University of Petroleum, Qingdao 266580, China;

(2. Research Institute of Exploration and Development, Xinjiang Oilfield Company, PetroChina, Karamay 834000, China)

Abstract: Using the shear structural theory and physical simulation experiments, this study focuses on the strike-slip characteristics, forming mechanisms and controlling reservoirs of Dazhuluogou fault in the northwestern margin of Junggar Basin. Comprehensive analyses of the field outcrops are combined with high precision 3D seismic data in the framework of simple shear model. The results show that the Dazhuluogou fault which was formed in a twist-compression environment is a dextral strike-slip fault, which belongs to the derived structure of Daerbute fault. It is suggested from the stratigraphic distribution relationship and fluid inclusion information that the Dazhuluogou fault was initialized during the Indosinian movement and was active in the Yanshan movement. The development of the fault was along the R' shearing plane in the simple shear model of Sylvester, where secondary structures were evolved before the strike-slip fault system was formed. Rocks in the Dazhuluogou fault zone were severely ruptured and broken, and some evolved into mylonites and schists. The closure in the main and secondary faults in strike-slip fault system is strong, resulting in the forming of a series of faulted block traps. The shear struc-

收稿日期:2014-01-19

基金项目:国家“973”计划项目(2014CB239005);国家自然科学基金项目(41272142);国家科技重大专项(2011ZX05001);山东省自然科学基金项目(ZR2012DM011)

作者简介:吴孔友(1971-),男,教授,博士,主要从事地质构造与油气成藏研究。E-mail:wukongyou@163.com。

tures which developed in the northwestern margin of Junggar Basin are relevant to the oil and gas accumulation obviously.

Key words: Dazhuluogou fault; strike-slip structure; forming mechanism; controlling reservoirs; northwestern margin

走滑断层是指断面两侧岩块主要作平行于断层走向的水平运动,常形成复杂的断裂构造体系^[1]。走滑断层具有普遍性,是地壳运动的基本方式之一,在地球表层线形构造中大于 50%^[2],但由于鉴别困难,大量与走滑有关的构造被忽略^[3]。20 世纪初期,通过新西兰、日本、加利福尼亚等国家和地区的震后地面位错现象的调查研究,才逐渐认识到走滑构造的重要性和普遍性^[4]。20 世纪 70 年代,Harding^[5]提出了“花状构造”的概念,用来描述典型的与走滑断层相关的构造变形,并分析了这类构造的地震响应和解释方法^[6],大大提升了含油气盆地中走滑断层的识别和判定,越来越多的走滑断层被揭示^[7]。同时,也发现了走滑断层与油气富集之间的紧密关系^[8]。走滑断层即能作为有效的运移通道,又能够起遮挡作用而形成圈闭^[9]。准噶尔盆地西北缘环玛湖凹陷的斜坡区构造简单,一直以来以地层、岩性油气藏勘探为主,效果不甚理想。近年来,随着高精度地震资料的采集,在构造平缓的斜坡区先后发现了多条具有走滑特征的断层,使勘探效果得到明显提升^[10]。大侏罗沟断层是其中最主要的断层,对其走滑性质、形成机制及控藏作用开展研究,为玛湖凹陷斜坡区寻找新的勘探目标提供指导。

1 地质背景

准噶尔盆地位于中国新疆北部,为一晚古生代—中生代—新生代大型挤压复合叠加盆地,内部划分为多个构造单元^[11-12]。西北缘为其内部一级构造单元,处于西准噶尔海西褶皱系与准噶尔地块之间,构造位置属前陆冲断带,是古生代晚期—中生代早期发展起来的大型冲断推覆系统^[9,13]。根据构造变形和地层发育特征,西北缘可进一步分为超剥带、断褶带和单斜带^[14]。超剥带位于山前冲断层上盘,地层剥蚀严重,侏罗—白垩系超覆沉积之上;断褶带为山前冲断层集中发育区,地层变形强烈;单斜带位于冲断层下盘,变形弱,整体呈斜坡状,因其紧邻玛湖凹陷,又称为玛湖斜坡区(图 1)。大侏罗沟断层走向平直,呈 NW 向,延伸长度大于 30 km,由西准噶尔海西褶皱系一直切至玛湖斜坡区,对西北缘的构造格局与油气成藏均具重要影响。

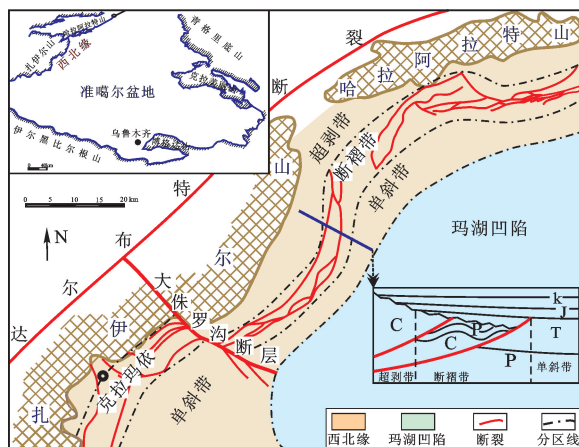


图 1 大侏罗沟断层构造背景

Fig. 1 Structural setting of Dazhuluogou fault

2 走滑特征

走滑断层特征有别于正断层和逆断层,由于其主要作平行于断层走向的水平运动^[1],基本特征为平直的断线、陡立的断面及较窄的断层带^[2],剖面上常呈“花状”^[5],平面上常形成派生或伴生构造,组成复杂的断层体系。

2.1 地表露头特征

大侏罗沟断层切断并错开扎伊尔山,且断层带附近岩石破碎严重,经长期风化剥蚀作用,地表上形成一冲沟,被定名为大侏罗沟,该断层由此得名。大侏罗沟断层限制或切断石炭系、三叠系、侏罗系、白垩系及花岗岩侵入体,被第四系覆盖(图 2(a))。就盆地盖层而言,克拉玛依盘(侧)出露三叠系(小泉沟组(T_3x),相当于白碱滩组(T_3b))、侏罗系(八道湾组(J_1b),三工河组(J_1s),西山窑组(J_2x)及齐古组(J_3q))与白垩系(吐谷鲁群(K_1tg)),而白碱滩盘(侧)仅出露白垩系吐谷鲁群(K_1tg),且克拉玛依盘三叠系与侏罗系通过大侏罗沟断层直接与白碱滩盘石炭系接触,且由于差异风化剥蚀作用,断面出露,在白碱滩盘形成断层崖(图 2(b))。依据白碱滩盘山前缺失三叠系与侏罗系,白垩系直接覆盖在石炭系之上推测,大侏罗沟断层应该控制了白垩系与侏罗系的沉积,燕山运动末期的再活动错开了白垩系。野外观察,该断裂断面近于直立,倾角约为 83° ,沿断面发育片理化岩石,擦痕、镜面及阶步发育,且擦痕近于水平,与阶步垂直。根据山体、地层错断情况,结合擦痕由深变浅指向和阶步陡坎倾向

(图 2(c)) 指示对盘运动方向,综合判定大侏罗沟断层为右旋平移走滑断层。

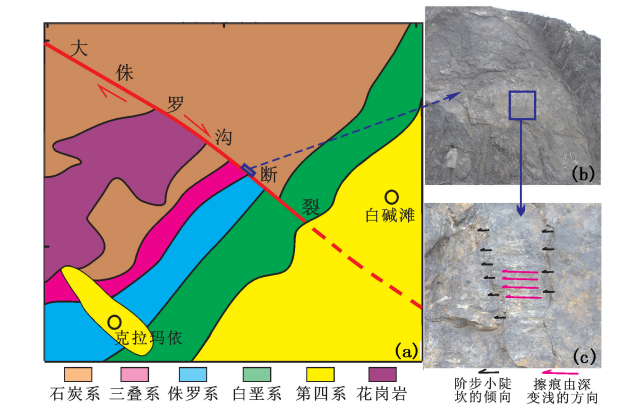


图 2 大侏罗沟断层地表特征

Fig. 2 Characteristics on ground surface of Dazhuluogou fault

2.2 地震剖面特征

“花状构造”是地震剖面上识别和判断走滑断层的关键依据^[15]。邵雨等^[10]、张越迁等^[16]通过对准噶尔盆地西北缘地震资料的解释,分别证实了“花状构造”的存在。大侏罗沟断层横向切穿整个西北缘,徐怀民等^[9]、徐朝晖等^[17]曾利用二维地震资料,在超剥带和断褶带解释出“花状构造”,推断大侏罗沟断层具有走滑性质。为进一步证实大侏罗沟断层的规模、性质,新疆油田公司在单斜带,即玛湖斜坡区部署了高精度三维地震区块。通过对地震资料的处理与精细解释,在以往认为构造简单的斜坡区发现了明显的断层痕迹。根据断点的组合分析与闭合校正,在剖面上解释出明显的“花状构造”,且“花枝”较多、产状陡、同相轴错动规模小、多具逆断距,发育在三叠系和侏罗系,向下汇聚于二叠系;主断层地震反射清楚、近于直立、同相轴错动明显,切穿深度大,从二叠系切至白垩系,其两侧分支断层倾向相反,整体显示“正花状构造”特征(图 3(a), (b)),与区域压扭性应力场相吻合。平面上(时间切片上),大侏罗沟断层派生出多条断层,组成断裂体系,分支断层位于主断层两侧,呈羽状,两侧不对称(图 3(c))。根据地震反射特征,进一步判定大侏罗沟断层为走滑断层,且活动强度较大。

3 形成机制

3.1 受力分析

准噶尔盆地西北缘走向 NE,处于西准噶尔褶皱造山系前缘,构造环境极为复杂。由于 NW 向受哈萨克斯坦板块的碰撞,NE 向受西伯利亚板块的挤

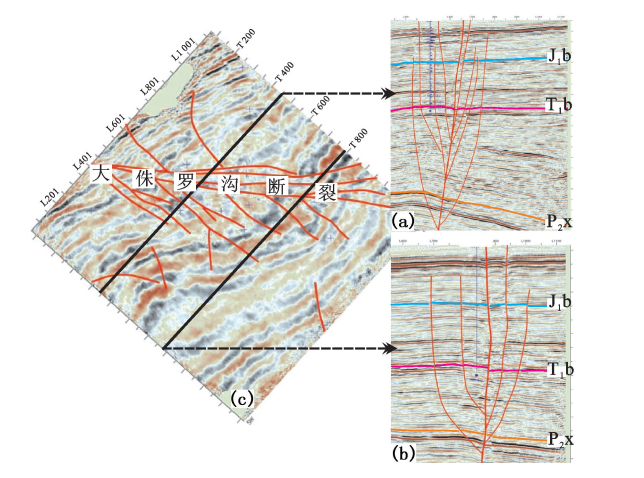


图 3 大侏罗沟断层地震反射特征

Fig. 3 Seismic reflection features of Dazhuluogou fault

压^[12,14],西准噶尔地区处于压扭环境,形成了多条规模宏大的走滑断层。自西向东发育 NE-SW 向巴尔雷克走滑断层、托里走滑断层和达尔布特走滑断层^[16]。达尔布特断层是距西北缘最近的一条巨型走滑断层,延伸长度约 400 km,与西北缘走向平行,中间隔着低矮的扎伊尔山和哈拉阿拉特山,相距约 30 km。该断层形成于二叠纪晚期,以大规模右行走滑为主^[18-19]。印支期,西准噶尔地区受到 NW 和 NE 两个方向的主应力作用,以 NE 方向为主^[20]。在此应力作用下,北部古老的阿尔泰造山带重新活动,和什托洛盖盆地开始形成,同时准噶尔盆地北缘的红岩断阶带呈叠瓦状向盆内逆冲,形成乌伦古坳陷。受此影响,达尔布特断层发生左行走滑,克拉玛依北部的 973 花岗岩体和红山花岗岩体被左旋错断 5 ~ 10 km^[21-22]。

大型走滑断层常形成派生构造,构成复杂的断裂系统^[2,4-5]。根据 Sylvester 简单剪切模式^[1],主位移带(PDZ)活动早期,将发育两组共轭剪切破裂面, R (也称同向或羽状走滑断层或里德尔剪切断层)与 R' (也称反向或共轭走滑断层), R 剪切面与主位移带夹角小($\Phi/2$, Φ 为内摩擦角), R' 剪切面与主位移带夹角大($90^\circ - \Phi/2$);中期发育一组 P 剪切破裂(与 R 破裂对称);晚期, R 、 P 断层逐渐归于主断层,形成大型的走滑断层带,同时出现雁列式派生构造。根据准噶尔盆地西北缘断层平面组合关系,本次研究采用简单剪切模式解释大侏罗沟断层的成因(图 4)。达尔布特走滑断层相当于主位移带;位于达尔布特断层两侧,包括乌兰林格断层等呈小角度相交,近于对称分布的断层,相当于 P 和 R 剪裂面;大侏罗沟断层,包括推测的克 81 井断层与达尔布特断层

近于垂直相交,相当于 R' 剪切面,且大侏罗沟断层错动方向(右旋)与达尔布特断层错动方向(左旋)相反,符合 Sylvester 简单剪切模式。

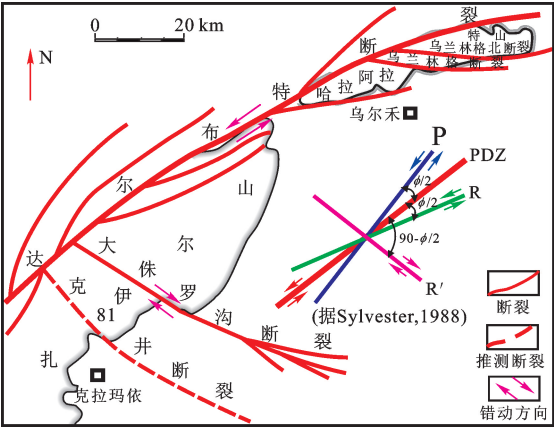


图 4 大侏罗沟断层力学成因

Fig. 4 Mechanical cause of Dazhuluogou fault

在断裂形成过程中,岩石膨胀,体积增大,孔隙

度、渗透率增加,造成断裂破碎带中流体压力下降,成为相对低流体势区,围岩中的流体运移进入岩石的裂隙中,在断裂及其附近作大规模的运移^[23-25]。流体进入断裂带中压力和温度降低,必然产生水岩相互作用,导致热液矿物的沉淀结晶而愈合破裂和角砾岩,造成断裂带裂缝的充填^[26-29]。因此,可以利用裂缝充填物中流体包裹体均一温度,结合埋藏史,大致推算断裂形成时间。针对大侏罗沟断裂带裂缝充填物,取流体包裹体样品 5 块,镜下确定 12 个次生包裹体,通过均一温度测试(表 1),主要存在 60 ~ 75 °C 和 115 ~ 125 °C 两个区间,结合该区埋藏史推算,对应三叠纪末期和白垩纪中期,再根据地震剖面上切割的深度(“花状构造”主要发育在三叠系与侏罗系)及平面上对三叠系与侏罗系分布的限制,推测大侏罗沟断裂形成于印支期,在燕山期有强烈活动。

表 1 大侏罗沟断裂流体包裹体均一温度

Table 1 Homogeneous temperature of fluid inclusions in Dazhuluogou fault

序号	矿物类型	包裹体形态	包裹体类型	尺寸/ μm	分布特征	气液比/%	均一温度/ $^{\circ}\text{C}$
1	方解石脉	菱形	盐水	7.61×4.2	簇状	18	62.7
2	方解石脉	椭圆形	盐水	4.85×3.7	簇状	16	72.4
3	方解石脉	长条形	盐水	5.52×1.6	簇状	6	68.5
4	方解石脉	椭圆形	盐水	4.33×2.6	簇状	8	65.4
5	方解石脉	椭圆形	盐水	3.01×2.9	簇状	10	65.5
6	方解石脉	椭圆形	盐水	3.43×2.8	簇状	8	66.7
7	方解石脉	椭圆形	盐水	3.43×2.2	簇状	8	63.2
8	方解石脉	椭圆形	盐水	4.33×3.6	孤立	15	123.8
9	方解石脉	菱形	盐水	6.33×4.6	孤立	20	125.1
10	方解石脉	椭圆形	盐水	4.25×3.7	孤立	18	122.7
11	方解石脉	椭圆形	盐水	3.21×2.2	孤立	16	124.6
12	石英脉	长条形	盐水	3.25×1.6	孤立	8	115.0

3.2 物理模拟

大侏罗沟断层平面延伸长度大于 30 km,在走滑错动过程中,产生次级应力场,也能形成对应的派生构造。地震资料解释显示(图 3),大侏罗沟断层主走滑位移带附近,发育众多小规模断层,两侧近对称,呈羽状相交,构成典型的走滑断裂体系。为进一步验证主断层与分支断层之间的成生关系,采用特制的走滑构造模拟仪进行物理模拟。模拟材料主要采用石英砂与黏土,根据准噶尔盆地西北缘三叠系和侏罗系砂泥比,设置实验模型。实验模拟过程中,大侏罗沟断层形成伊始,仅有 1 条分支断层(图 5 (a)),随着走滑错动进行,两侧又派生出多条分支断层(图 5(b)),形成走滑构造体系,也进一步证实了大侏罗沟断层的走滑性质。

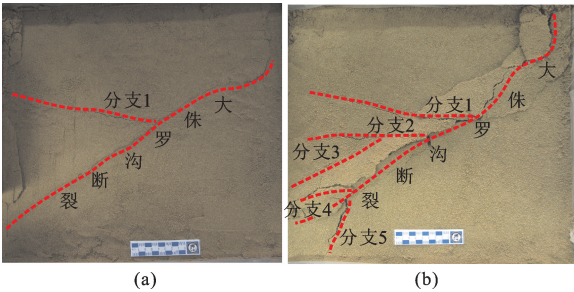


图 5 大侏罗沟断层体系物理模拟

Fig. 5 Physical simulation of Dazhuluogou fault

4 控藏作用

西北缘为准噶尔盆地油气最为富集的地区,虽然面积不足盆地的 1/10,但探明的油气储量占整个盆地的 60% 以上^[30],原油产量占全盆地的 40% 以

上^[31],勘探潜力巨大^[10]。早期的油气勘探主要集中在中、浅层的超剥带和断褶带,随着勘探的深入,重点逐渐转移到埋藏较深的单斜带。单斜带紧邻玛湖凹陷,油源充足,但构造简单,圈闭难以落实,近年来走滑构造的解释与发现,为西北缘油气勘探打开了新的局面^[10],特别是大侏罗沟断层及其派生构造的发现,对斜坡区的油气勘探具有开创性,由隐蔽圈闭的寻找,转为构造目标的评价。

大侏罗沟断层在活动过程中,产生大量次级断层,这些断层呈羽列状位于主位移带两侧,并与之相交,在三叠系形成近 10 个三角形断块,总面积近 50 km²,单个最大面积近 10 km² 的目标区(图 6)。断块圈闭是否有效决定于断层静止后的封闭性^[32]。对达尔布特及大侏罗沟断层野外露头观察发现,由于受压扭应力作用,断裂带岩石碎裂严重,有的呈糜

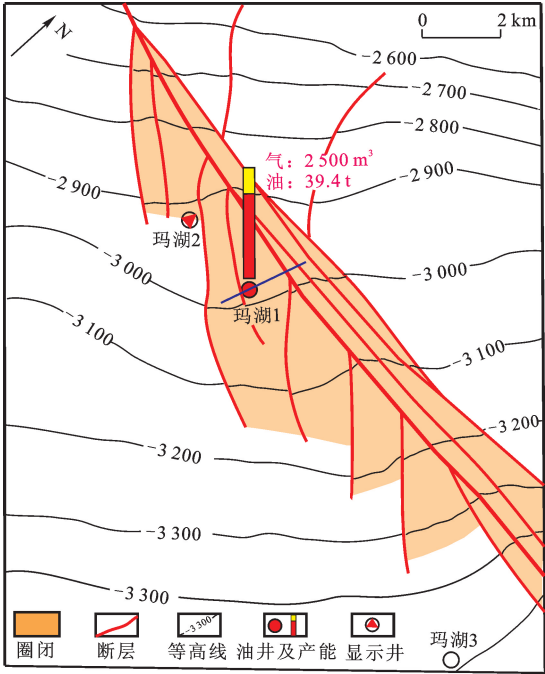


图 6 三叠系百口泉组构造图

Fig.6 Structure of Baikouquan Formation

棱化、片理化趋势,这些断层岩在断层活动停止后,将表现出很强的致密性。为进一步落实大侏罗沟断裂体系的封闭性,在地震资料精细解释确定断距,测井资料(玛湖 1 井)精细分析落实地层的基础上,建立了目的层三叠系百口泉组(T₁b)的岩性配置关系图(图 7),并采用断面应力(P)、泥质充填(R_m)、泥岩涂抹(SGR)等参数,定量评价其封闭性。图 7 中①号为主断层(大侏罗沟断层),②和③号为分支断层。通过单因素计算和多因素综合评价,三叠系百口泉组主要砂体封闭性均处于好至较好之间(表 2)。在断块区钻探的玛湖 1 井,获得日产油 39.4 t、气 2 500 m³ 的高产工业油气流;玛湖 2 井由于钻探构造部位偏低,处于油水边界附近,见显示;而在大侏罗沟断裂体系之外,以隐蔽圈闭为目标的玛湖 3 井未见任何显示,近一步证实断层对该区油气成藏的控制作用。

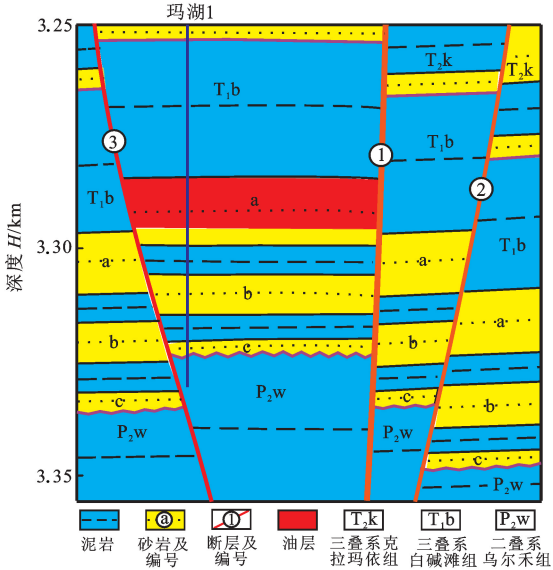


图 7 大侏罗沟断层体系封闭性评价

Fig.7 Evaluation of fault sealing of Dazhuluogou in Triassic faults

表 2 断层封闭性综合评价

Table 2 Comprehensive evaluation of fault sealing

断盘	砂岩	断层①				断层②				断层③			
		p/MPa	R _m	SGR	评价	p/MPa	R _m	SGR	评价	p/MPa	R _m	SGR	评价
上盘	a	42.07	0.58	0.55	好	42.23	0.54	0.52	好	42.13	0.46	0.53	好
	b	42.39	0.51	0.45	较好	43.40	0.45	0.35	较好	42.43	0.44	0.47	较好
	c	42.62	0.44	0.43	较好	43.89	0.43	0.46	较好	42.74	0.47	0.52	好
下盘	a	42.29	0.45	0.42	较好	43.35	0.34	0.41	较好	42.35	0.36	0.41	较好
	b	43.23	0.41	0.51	好	43.62	0.35	0.47	较好	43.25	0.44	0.54	好
	c	43.16	0.54	0.57	好	44.21	0.53	0.58	好	43.36	0.47	0.59	好

5 结 论

(1)地貌上,大侏罗沟断层错断山体;露头上,断面直立,发育水平擦痕和竖直阶步;地震剖面上,同相轴反射杂乱,发育明显的“花状构造”,平面上形成典型的扭动断裂体系,证实其具有走滑性质。该断裂形成于印支期,在燕山期有强烈活动。

(2)大侏罗沟断层形成于压扭环境,属达尔布特大型走滑断层的派生构造,沿 Sylvester 简单剪切模式中的 R' 剪裂面发育,是右行平移断层。该断层平移错动过程中也能形成派生构造,组成走滑断裂体系,并得到物理模拟实验证实。

(3)大侏罗沟断层横向切穿西北缘,与玛湖生烃凹陷直接相连,同时,在斜坡区与次级断层形成多个三角形断块。斜坡区主走滑带及其分支断层封闭能力均较强,能够形成良好的断块圈闭,并且钻井已获得高产工业油气流,揭示走滑断层对西北缘油气成藏具有明显控制作用,也为下一步油气勘探提供了极为重要的指导。

参考文献:

- [1] SYLVESTER A G. Strike-slip faults[J]. Geol Soc Am Bull, 1988, 100:1666-1703.
- [2] 徐嘉伟. 论走滑断层作用的几个主要问题[J]. 地学前缘, 1995, 2(1/2):125-135.
XU Jiawei. Some major problems on strike-slip fault[J]. Earth Science Frontiers, 1995, 2(1/2):125-135.
- [3] 刘和甫. 沉积盆地地球动力学分类及构造样式分析[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 1993, 18(6):699-724.
LIU Hefu. Dynamic classification of sedimentary basins and their structural styles[J]. Earth Science—Journal of China University of Geosciences, 1993, 18(6):699-724.
- [4] MOODY J D, HILL M J. Wrench-fault tectonics[J]. Geological Society of America Bulletin, 1956, 67(9):1207-1246.
- [5] HARDING T P. Petroleum traps associated with wrench fault[J]. AAPG Bulletin, 1974, 58(7):1290-1304.
- [6] HARDING T P. Seismic characteristics and identification of negative flower structures, positive flower structures and positive structural inversion [J]. AAPG Bulletin, 1985, 69(4):1016-1058.
- [7] 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, 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, 1:17-23.
- [8] 张延玲, 杨长春, 贾曙光, 等. 辽河油田东部凹陷中段走滑断层与油气的关系[J]. 地质通报, 2006, 25(9/10):1152-1155.
ZHANG Yanling, YANG Changchun, JIA Shuguang, et al. Relationship between strike-slip faults and petroleum in the central segment of the eastern subbasin of the Liaohe Oilfield, China [J]. Geological Bulletin of China, 2006, 25(9/10):1152-1155.
- [9] 徐怀民, 徐朝晖, 李震华, 等. 准噶尔盆地西北缘走滑断层特征及油气地质意义[J]. 高校地质学报, 2008, 14(2):217-222.
XU Huaimin, XU Zhaohui, LI Zhenhua, et al. Characteristics of strike-slip faults in the northwestern margin of Junggar Basin and their geological significance for petroleum[J]. Geological Journal of China Universities, 2008, 14(2):217-222.
- [10] 邵雨, 汪仁富, 张越迁, 等. 准噶尔盆地西北缘走滑构造与油气勘探[J]. 石油学报, 2011, 32(6):976-984.
SHAO Yu, WANG Renfu, ZHANG Yueqian, et al. Strike-slip structures and oil-gas exploration in the NW margin of the Junggar Basin, China[J]. Acta Petroleum Sinica, 2011, 32(6):976-984.
- [11] 吴孔友, 查明, 曲江秀, 等. 博格达山隆升对北三台地区构造形成与演化的控制作用[J]. 石油大学学报:自然科学版, 2004, 28(2):1-5.
WU Kongyou, ZHA Ming, QU Jiangxiu, et al. Control of Bogeda mountains uplift on the structural formation and evolution in Beisantai region[J]. Journal of the University of Petroleum, China (Edition of Natural Science), 2004, 28(2):1-5.
- [12] 陈新, 卢华复, 舒良树, 等. 准噶尔盆地构造演化分析新进展[J]. 高校地质学报, 2002, 8(3):257-267.
CHEN Xin, LU Huaifu, SHU Liangshu, et al. Study on tectonic evolution of Junggar Basin[J]. Geological Journal of China Universities, 2002, 8(3):257-267.
- [13] WU Kongyou, DOUGLAS P, ZHA Ming. Unconformity structures controlling stratigraphic reservoirs in the north-west margin of Junggar Basin, North-West China [J]. Front Earth Sci, 2013, 7(1):55-64.
- [14] 马宗晋, 曲国胜, 李涛, 等. 准噶尔盆地盆山构造耦合与分段性[J]. 新疆石油地质, 2008, 29(3):271-277.
MA Zongjin, QU Guosheng, LI Tao, et al. Tectonic coupling and segmentation of marginal structural belt in Junggar Basin[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2008, 29(3):271-277.
- [15] HARDING T P. Identification of wrench faults using subsurface structural data: criteria and pitfalls [J]. AAPG Bulletin, 1990, 75(11):1779-1788.
- [16] 张越迁, 汪新, 刘继山, 等. 准噶尔盆地西北缘乌夏走

- 滑构造及油气勘探意义[J]. 新疆石油地质, 2011, 32(5): 447-450.
- ZHANG Yueqian, WANG Xin, LIU Jishan, et al. Wuerhe-Xiazijie Strike-slip structure and petroleum exploration significance in northwestern margin of Junggar Basin[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2011, 32(5): 447-450.
- [17] 徐朝晖, 徐怀民, 林军, 等. 准噶尔盆地西北缘 256 走滑断层带特征及地质意义[J]. 新疆石油地质, 2008, 29(3): 309-310.
- XU Zhaozhui, XU Huaimin, LIN Jun, et al. 256 Strike-slip fault zone characteristic and its geological significance in northwestern margin of Junggar Basin[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2008, 29(3): 309-310.
- [18] FENG Y M, COLEMAN R G, TILTON G, et al. Tectonic evolution of the west Junggar region, Xinjiang, China[J]. Tectonics, 1989, 8(4): 729-752.
- [19] ALLEN M B, SENGOR A M C, NATALIN B A. Junggar, Turfan and Alakol Basins as Late Permian to Early Triassic extensional structures in a sinistral shear zone in the Altaid Orogenic Collage, Central-Asia[J]. Journal of the Geological Society, 1995, 152(2): 327-338.
- [20] 王伟锋, 王毅, 陆诗阔, 等. 准噶尔盆地构造分区和变形样式[J]. 地震地质, 1999, 21(4): 324-333.
- WANG Weifeng, WANG Yi, LU Shikuo, et al. Structural belts and deformation features of the Junggar Basin[J]. Seismology and Geology, 1999, 21(4): 324-333.
- [21] 孙自明, 洪太元, 张涛. 新疆北部哈拉阿拉特山走滑-冲断复合构造特征与油气勘探方向[J]. 地质科学, 2008, 43(2): 309-320.
- SUN Ziming, HONG Taiyuan, ZHANG Tao. Strike-slip-thrust composite structures and its relationships to hydrocarbon in Hala'alate mountains, northern Xinjiang[J]. Chinese Journal of Geology, 2008, 43(2): 309-320.
- [22] 孟家峰, 郭召杰, 方世虎. 准噶尔盆地西北缘冲断构造新解[J]. 地学前缘, 2009, 16(3): 171-180.
- MENG Jiafeng, GUO Zhaojie, FANG Shihu. A new insight into the thrust structures at the northwestern margin of Junggar Basin[J]. Earth Science Frontiers, 2009, 16(3): 171-180.
- [23] HOOPER E C. Fluid migration along growth faults in compacting sediments[J]. Journal of Petroleum Geology, 1991, 4(2): 161-180.
- [24] 华保钦. 构造应力场、地震泵和油气运移[J]. 沉积学报, 1995, 13(2): 77-85.
- HUA Baoqin. Stress field, seismic pumping and oil-gas migration[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1995, 13(2): 77-85.
- [25] STEVEN L, LORRAINE E, MARTIN S, et al. Vertical and lateral fluid flow related to a large growth fault, south Eugene island block 330 field, offshore Louisiana[J]. AAPG Bulletin, 1999, 283(2): 244-276.
- [26] COX S F. Faulting process of high fluid pressure an example of fault valve behavior from the water gully fault[J]. Journal of Geophysical Research, 1996, 100(7): 12841-12859.
- [27] 刘亮明. 断层带中超压流体及其在地震和成矿中的作用[J]. 地球科学进展, 2001, 16(2): 238-243.
- LIU Liangming. Overpressured fluids in fault zones and their roles in earth quake and hydrothermal metallogeny[J]. Advance in Earth Sciences, 2001, 16(2): 238-243.
- [28] 刘立, 于均民, 孙晓明, 等. 热对流成岩作用的基本特征与研究意义[J]. 地球科学进展, 2000, 15(5): 583-585.
- LIU Li, YU Junming, SUN Xiaoming, et al. Basic characteristics of thermal convection diagenesis and its research significance[J]. Advance in Earth Sciences, 2000, 15(5): 583-585.
- [29] 李忠, 费卫红, 寿建峰, 等. 华北东濮凹陷异常高压与流体活动及其对储集砂岩成岩作用的制约[J]. 地质学报, 2003, 77(1): 126-134.
- LI Zhong, FEI Weihong, SHOU Jianfeng, et al. Overpressure and fluid flow in the Dongpu Depression, North China: their constraints on diagenesis of reservoir sandstones[J]. Acta Geologica Sinica, 2003, 77(1): 126-134.
- [30] 王来斌, 查明, 陈建平, 等. 准噶尔盆地西北缘风城组含油气系统三叠纪末期油气输导体系[J]. 石油大学学报: 自然科学版, 2004, 28(2): 16-19.
- WANG Laibin, ZHA Ming, CHEN Jianping, et al. Hydrocarbon passage systems of Fengcheng petroliferous system of later Triassic in northwestern part of Junggar Basin[J]. Journal of the University of Petroleum, China (Edition of Natural Science), 2004, 28(2): 16-19.
- [31] 陶国亮, 胡文瑄, 张义杰, 等. 准噶尔盆地西北缘北西向横断层与油气成藏[J]. 石油学报, 2006, 27(4): 23-28.
- TAO Guoliang, HU Wenxuan, ZHANG Yijie, et al. NW-trending transverse faults and hydrocarbon accumulation in the northwestern margin of Junggar Basin[J]. Acta Petroleum Sinica, 2006, 27(4): 23-28.
- [32] 吴孔友, 查明. 柴达木盆地北部块断带断层控烃作用[J]. 石油学报, 2007, 28(3): 17-22.
- WU Kongyou, ZHA Ming. Hydrocarbon controlling function of fault in the North Block-faulted Belt of Qaidam Basin[J]. Acta Petroleum Sinica, 2007, 28(3): 17-22.