

准噶尔盆地红车断裂带结构与成藏差异性分析

吴孔友¹, 郭建勋¹, 姚卫江², 刘 庆³, 刘 寅¹, 刘 波¹

1. 中国石油大学(华东)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地球物理研究所, 新疆 乌鲁木齐 830013;

3. 中国石油化工股份有限公司江苏油田分公司, 江苏 扬州 225012

摘 要: 红车断裂带中断裂十分发育, 体系复杂, 且主断裂延伸长, 空间上不同部位断裂特征及控藏作用差异明显。利用测井、岩心、高精度地震数据体资料, 根据断裂性质、组合样式及活动强度差异性等, 在平面上将红车断裂分为南北两段, 北段主要发育逆断裂, 南段主要发育走滑断裂; 在剖面上分为上下两层断裂体系, 上层为张性断裂体系, 下层为压性断裂体系。红车断裂带深部断裂结构发育, 成岩胶结作用强。对流体包裹体及裂缝胶结程度研究表明, 红车断裂深部早期封闭性较差, 但随成岩胶结作用进行, 北段封闭性逐渐变好。断裂带浅部为砂泥岩互层, 断裂结构不发育。利用断层泥比率、断裂带泥质含量、断面正应力及紧闭指数评价其封闭性, 显示浅部封闭性在不同时期变化较大: 白垩纪早期南段好于北段, 古近纪中晚期—新近纪早期北段好于南段。红车断裂带北段油气比南段更为丰富, 在北段为阶梯状成藏模式, 南段为“花状”成藏模式。

关键词: 断裂结构; 断裂体系; 控藏差异; 红车断裂带; 准噶尔盆地

ANALYSIS ON THE STRUCTURE AND ACCUMULATION DIFFERENCES OF HONGCHE FAULT BELT IN JUNGAR BASIN

WU Kong-you¹, GUO Jian-xun¹, YAO Wei-jiang², LIU Qing³, LIU Yin¹, LIU Bo¹

1. School of Geosciences, China University of Petroleum (East China), Qingdao 266580, Shandong Province, China;

2. Geophysics Research, Institute of Exploration and Development, Xinjiang Oilfield Branch, CNPC, Urumqi 830013, China;

3. Jiangsu Oilfield Branch, SINOPEC, Yangzhou 225012, Jiangsu Province, China

Abstract: Fractures in the Hongche fault belt are highly developed with complex system and a long extension of major fault. There are obvious differences in the fault characteristics and reservoir-forming control in different spatial parts. Based on the logging, core and high-precision 3D seismic data, according to the differences in fault property, combination style and activity intensity, the Hongche fault belt, in plane view, can be divided into two segments of north and south which are dominated by reverse and strike-slip faults respectively; while in profile, divided into upper extension and lower compression fault systems. The fault structure is developed in deep with strong cementation. The study on the fluid inclusions and cementation degree of fractures indicate that the sealing capacity of deep fault is poor in the early stage, yet that in the north getting better with the cementation process. The fracture is undeveloped in the sand-mudstone interbedded shallow part of the fault belt. The results of SGR, R_m , F and I_{FT} suggest that the sealing of

收稿日期:2018-02-05;修回日期:2018-04-11. 编辑:张哲.

基金项目:国家科技重大专项“岩性地层油气藏区带、圈闭评价方法与关键技术”(2017ZX05001003);中国科学院先导科技 A 类专项“深层油气运聚机理与成藏模式”(XDA14010301).

作者简介:吴孔友(1971—),男,博士,教授,从事地质构造与油气成藏研究,通信地址 山东省青岛市黄岛区长江西路 66 号, E-mail//wukongyou@163.com

通信作者:郭建勋(1993—),男,硕士,地质学专业,通信地址 山东省青岛市黄岛区长江西路 66 号, E-mail//775465610@qq.com

shallow part vary greatly in different periods. Specifically, the sealing of north segment is better than that of south in Early Cretaceous, while the case is the opposite during Middle and Late Paleogene-Early Neogene. The reservoir in the north is more abundant than that in the south, corresponding to ladder-like and flowerlike accumulation models separately.

Key words: fractural structure; fault system; reservoir-controlling difference; Hongche fault belt; Junggar Basin

0 引言

准噶尔盆地西北缘车拐地区处于沙湾、盆1井西与玛湖三大生烃凹陷油气运移有利指向区,具有巨大勘探潜力。红车断裂带是车拐地区重要的二级构造单元之一,成藏条件极为有利^[1-7]。红车断裂带内断裂十分发育,而封闭性的差异使断裂既可以作为油气运移的通道又可以作为圈闭的遮挡物,对相关油藏的形成具有控制作用^[8-12]。目前对红车断裂带控藏作用的研究主要集中于断裂演化、组合关系、空间分布与封闭性等方面^[13-14],特别是常把红车断裂带作为一个整体来研究,而实际上该断裂带在不同部位地质特征区别较大,目前缺少对其不同部位差异性的对比分析研究。本文根据几何形态及活动强度等将红车断裂带分为南北两段,通过对比研究,揭示其在空间上控藏作用及成藏模式的差异性,总结油气成藏规律,为红车断裂带油气勘探提供新思路与理论参考。

1 地质背景

红车断裂带位于准噶尔盆地西北缘南部,在构造上位于西准噶尔海西褶皱带与准噶尔古老地块之间的槽台过渡区^[15-16]。该带近南北走向,长约 70 km,宽 10~20 km,西部为车排子凸起,东北部为中拐凸起,北部与克百断裂带相邻,东南部与沙湾凹陷相连(图 1),是准噶尔盆地西北缘油气有利富集区之一^[17-18]。该断裂带经历了海西、印支、燕山和喜马拉雅等多期构造运动叠加改造,断裂复杂多样^[19]。发育的地层主要有石炭系、二叠系、三叠系、侏罗系、白垩系、古近系、新近系及第四系。由于多次构造运动,主断裂上盘从南到北二叠系、三叠系及侏罗系有不同程度的缺失。

2 断裂分段特征

在三维地震资料精细解释基础上,根据断裂性质、内部结构、组合样式及活动强度差异性等可将红车断

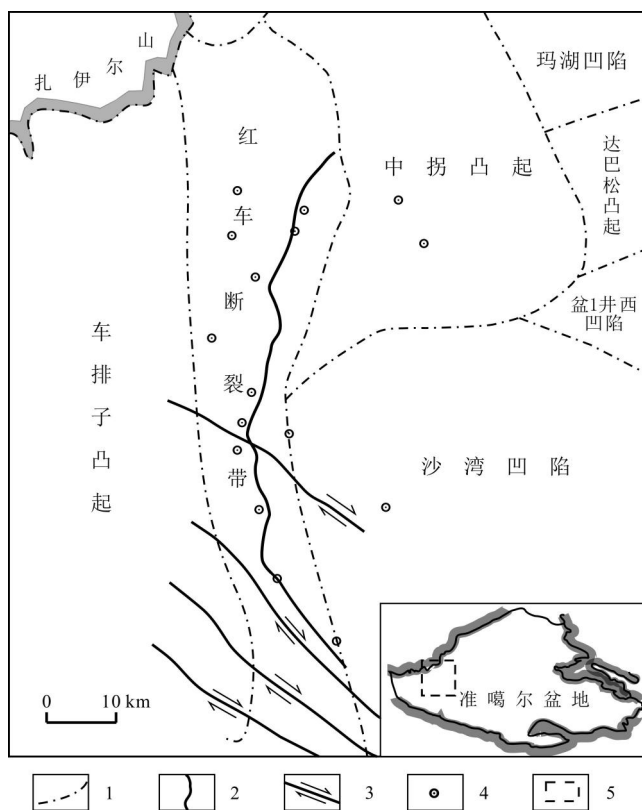


图 1 研究区构造简图

Fig. 1 Tectonic sketch map of the study area

1—构造分区线(tectonic division); 2—主要断裂(major fault); 3—走滑断层(strike-slip fault); 4—井位(well); 5—研究区位置(study area)

裂带分为南、北两段(图 2)。北段主要发育逆断层,南段除逆断层外还发育多条走滑断层,平面上不同部位走向及构造样式差异性明显^[20],分段特征显著。

红车断裂带北段北部紧邻红山嘴转换带,南部以车 30 井北为界与红车断裂带南段相接,在平面上呈北北东走向,带内深层发育逆断层,断面多呈铲状、叠瓦状组合,浅层多为正断层,呈阶梯状或地堑式组合。北段整体构造活动持续时间长且强,断距大,主断裂切穿侏罗系,上盘缺失部分二叠系、三叠系及部分侏罗系,石炭系直接与下盘二叠系及中生界对接(图 2)。南段

主断裂走向变化较大,整体呈北西向,深层逆断层发育,断面较为陡直,呈叠瓦状组合,另外发育多条走滑断层,切割并改造先前形成的逆断层,在剖面上呈“花状”组合,与北段区别明显;浅层正断层也多呈“花状”组合,南段整体活动性较北段弱且时期较短,断距较小,主断裂仅切穿侏罗系下部,地层缺失情况与北段相似(图2)。

3 断裂分层特征

红车断裂带主要构造变形集中于石炭系—侏罗系内部,白垩系至新近系构造简单。以白垩系底为界,可将红车断裂带纵向上划分为上层(白垩系—新近系)断裂体系和下层(石炭系—侏罗系)断裂体系。根据红车断裂带平面分段性特点,可将断裂体系划分

为:北段上层伸展断裂体系(图2a)、北段下层逆冲断裂体系(图2b)、南段上层伸展—张扭断裂体系(图2c)及南段下层逆冲—压扭断裂体系(图2d)。

北段上层伸展断裂体系主要发育正断层,规模小,延伸短,断距小,呈阶梯式、堑垒式等组合样式,分布于凸起斜坡区;北段下层逆冲断裂体系主要发育逆断层,断面上陡下缓,断裂间呈叠瓦状组合,发育一系列逆断层与主控断裂组成“Y”字形构造;南段上层伸展—张扭断裂体系主要发育正断层与张扭性走滑断层,正断层特征与北段浅层体系相似,规模较大的张扭性走滑断层可下切至侏罗系,断面较为陡直,分支断裂与主断裂组成“Y”字形及负花状组合;南段下层逆冲—压扭断裂体系同时发育逆断层与压扭性走滑断层,逆断层可见叠瓦状组合,断面较北段陡直,压扭性

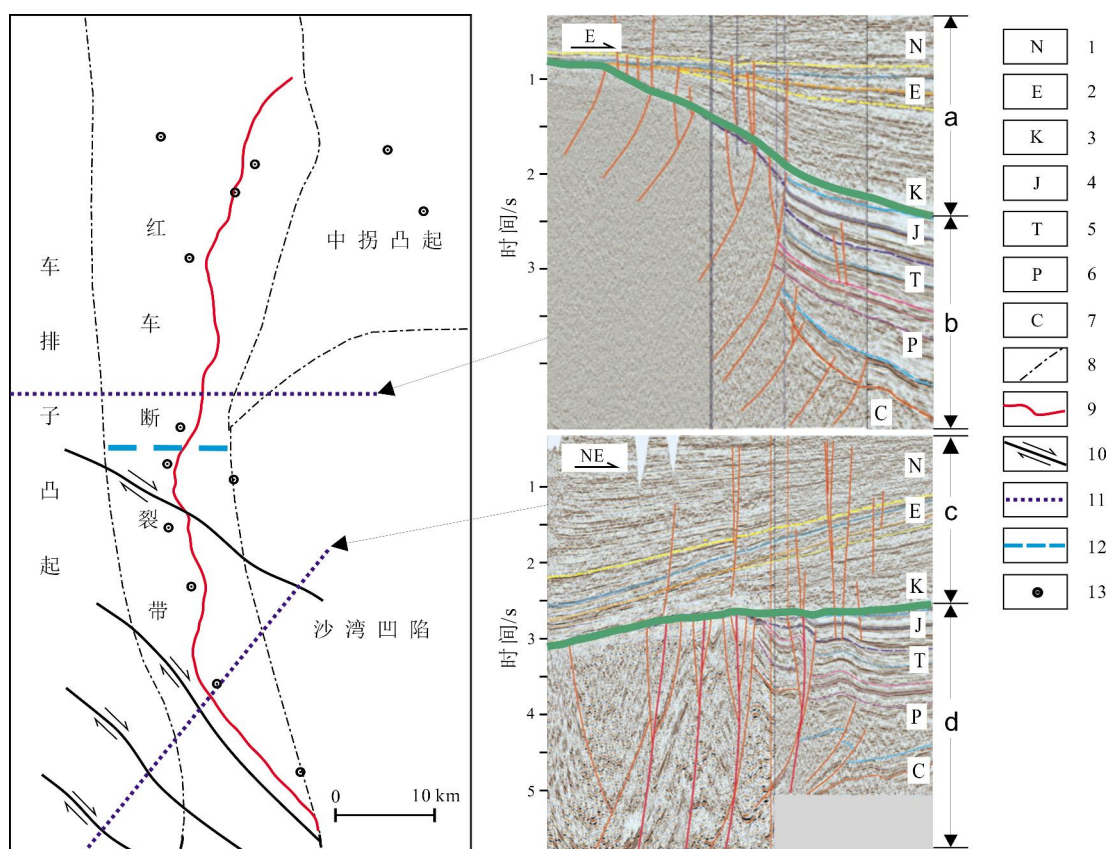


图2 红车断裂带分段特征

Fig. 2 Structural features of both segments of the Hongche fault belt

1—新近系(Neogene); 2—古近系(Paleogene); 3—白垩系(Cretaceous); 4—侏罗系(Jurassic); 5—三叠系(Triassic); 6—二叠系(Permian); 7—石炭系(Carboniferous); 8—构造分区线(tectonic division line); 9—主断裂(major fault); 10—走滑断层(strike-slip fault); 11—剖面线(profile line); 12—南北分段线 (division of north and south segments); 13—井位 (well); a—北段上层伸展断裂体系 (extensional fault system in upper layer of north segment); b—北段下层逆冲断裂体系(thrust fault system in lower layer of north segment); c—南段上层伸展—张扭断裂体系(extensional-tensional shear fault system in upper layer of south segment); d—南段下层逆冲—压扭断裂体系(thrust-compressional fault system in lower layer of south segment)

走滑断层与主控逆断层相比,规模与断距较小且形成时间较晚,分支断裂极为发育,多呈铲式,与主断裂组成正花状构造。

根据断层规模,下层断裂体系占据主导地位,控制红车断裂带的构造格局及地层的展布,同时控制着上层断裂的活动与该区油气运聚。上层断裂体系形成时,红车断裂带已被埋藏,且逐渐向南掀斜,地层多为简单单斜,对构造格局无控制作用,仅影响油气运聚。

4 断裂封闭性

4.1 深部断裂带结构特征

岩心及野外观察均表明,无论是什么性质的断层,在形成与活动过程中,断层两盘地层岩石均发生破裂并填充在断层错动拉开的空间中,使断层两盘以“带”接触^[21]。断裂带是一个三维地质体,具有复杂的结构^[22-23]。红车断裂带深部(石炭系及二叠系)多发育火成岩,脆性较强,主要发育滑动破碎带和诱导裂缝带^[24]所组成的“三明治”式结构。

结合岩心观察、测井资料处理与解释,显示红车断裂带深部内部结构十分复杂,滑动破碎带和诱导裂缝带宽度变化较大,且普遍有单条断裂内发育多条滑动破碎带现象。北段主要发育逆断层,断裂分支少,但内部结构发育,滑动破碎带和诱导裂缝带宽度大(图3a),而南段由于走滑断裂剖面呈“花状”分支组合,单井发育多条断裂带结构,但单条断裂带窄,内部结构不发育(图3b)。

4.2 深部断裂封闭性评价

4.2.1 裂缝带胶结封闭机理

断裂带的胶结封闭作用与构造运动密切相关,当断裂处于活动期时,流体运移作用显著,此时断裂带中的流体主要为大气降水、油气及深部来源的热液等。当断裂短期静止时,断裂带内流体的运移动力不足,混合加剧,随着物理、化学条件的改变,断裂带上部开始逐渐封闭,断裂静止时间越长,流体的混合作用越充分,胶结物不断沉淀,导致断裂胶结封闭的范围扩大,封闭性进一步加强。当断裂处于长期静止时期,胶结作用持续进行,最终导致胶结物充满裂缝空间,封闭性变好^[25]。

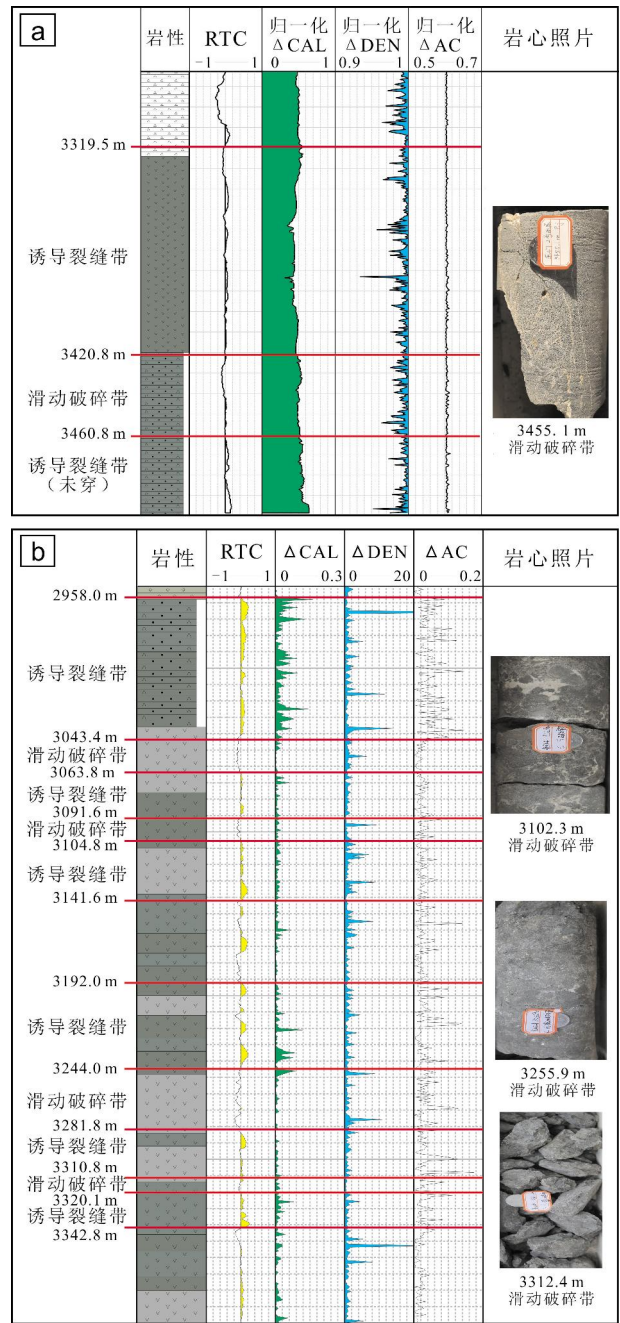


图3 断裂带内部结构测井曲线综合判别图

Fig. 3 Integrated logging interpretation curves of the fault belt
a—车47井,红车断裂带北段(C47 well in the north segment of Hongche fault belt); b—车60井,红车断裂带南段(C60 well in the south segment of Hongche fault belt)

4.2.2 成岩胶结期次判断

对红车断裂带内不同结构单元发育的脉体进行流体包裹体测试,发现主要为盐水包裹体,部分含有烃类包裹体(图4a、b)。包裹体均一温度可分为3组:60~80℃、100~120℃、130~150℃(图4c)。3组中均有盐水包

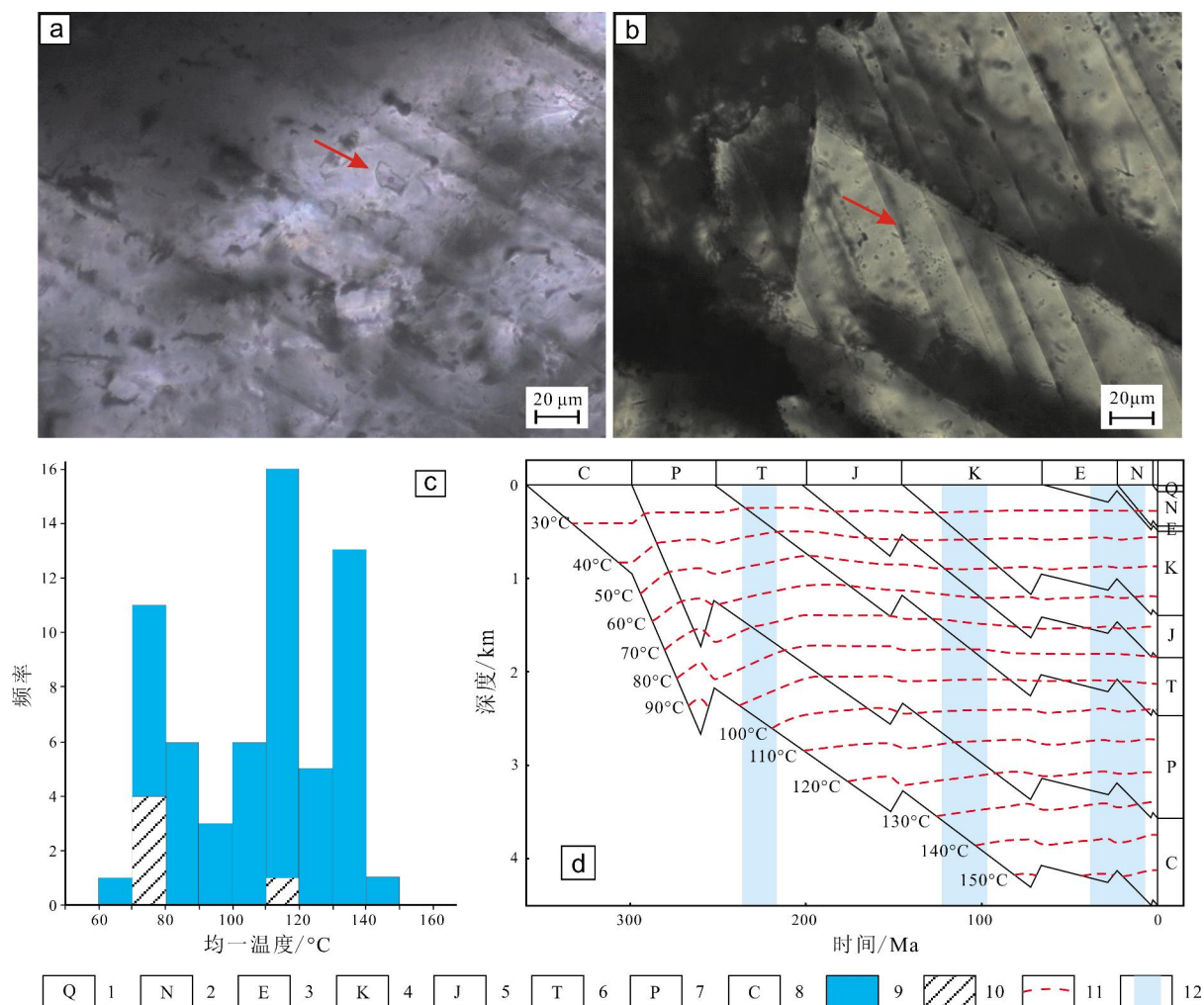


图4 红车断裂带流体活动综合分析

Fig. 4 Comprehensive analysis of the fluid activity in Hongche fault belt

a—车60井,3256.9 m,石炭系,滑动破碎带(C60 well at the depth of 3256.9 m in glide fracture zone, Carboniferous); b—车231井,1436.47 m,石炭系,滑动破碎带,紫外光下呈淡蓝绿色(C231 well at 1436.47 m in glide fracture zone, Carboniferous, showing light aquamarine blue under UV-light); c—流体包裹体均一温度分布直方图(homogenization temperature histogram of fluid inclusion); d—拐1井埋藏史图(burial history of G1 well); 1—第四系(Quaternary); 2—新近系(Neogene); 3—古近系(Paleogene); 4—白垩系(Cretaceous); 5—侏罗系(Jurassic); 6—三叠系(Triassic); 7—二叠系(Permian); 8—石炭系(Carboniferous); 9—盐水包裹体(brine inclusion); 10—烃类包裹体(hydrocarbon inclusion); 11—地温曲线(geothermal curve); 12—均一温度对应区间(corresponding interval of homogenization temperature)

裹体发育, 烃类包裹体只发育于前两组. 根据埋藏史图(图4d)发现3个温度范围的包裹体分别对应三叠纪中晚期、白垩纪早期及古近纪中晚期—新近纪早期, 说明研究区这3个时期存在3次大规模流体活动. 结合前人研究^[26-28]、烃类包裹体观察与构造演化史, 认为这3次流体活动分别对应红车断裂带内3期成藏, 其中第三期主要以下层油气向上层调整运移为主, 而本此研究所取样品来自石炭系与二叠系, 故未发现对应的烃类包裹体.

4.2.3 深部断裂封闭性

在断裂内部结构中, 滑动破碎带在强烈的断裂作用下, 发生研磨、破碎, 往往具有较低的渗透率和孔隙度, 封闭性较好, 此时影响断裂带封闭性的主要因素为诱导裂缝带胶结程度的高低和范围的大小. 红车断裂带主断裂在中侏罗世后停止活动, 结合胶结封闭机理与包裹体分析, 认为红车断裂深部在前两次成藏期作为热液流体与油气的运移通道, 胶结作用尚无法形成有效的封闭, 为“边充注、边胶

结”的模式,封闭性较差;而在古近纪中晚期—新近纪早期的第三次成藏期时,由于长时间的流体活动与相对稳定的环境有利于胶结作用的进行,红车断裂封闭性变好.

对红车断裂带内不同部位胶结情况进行统计,北段胶结率最高,约为 96%,南段由于后期走滑断层的再活动,胶结率低,约为 40%(表 1). 北段胶结率远高于南段,且北段断裂结构发育程度较高,诱导裂缝带及滑动破碎带宽度、裂缝密度均高于南段,因此,古近纪中晚期以来红车断裂带深部的封闭性北段好,南段差(图 5a).

表 1 红车断裂带胶结率统计表
Table 1 Cementation rates of the Hongche fault belt

分段	裂缝条数	胶结条数	心长/cm	胶结率	裂缝发育密度/(条/cm)
北段	284	274	445	96%	0.64
南段	15	6	50	40%	0.3

4.3 浅部断裂封闭性评价

红车断裂带二叠系以上层系(浅部)主要为砂泥岩,断裂带结构不发育. 选取断层泥比率(SGR)、断面应力(F)、断裂带泥质含量(R_m)、断层紧闭指数(I_{FT})

4个参数对红车断裂主断裂进行评价. 结合前人研究及研究区实际情况,认为 SGR 值与 R_m 值大于 0.6 时封闭性好,0.4~0.6 之间时封闭性中等,小于 0.4 则封闭性差; I_{FT} 大于 1 时封闭性好,小于 1 时封闭性差^[29-30].

在红车断裂带分段基础上,计算第三次成藏期(古近纪中晚期—新近纪早期)各段的封闭性. 根据封闭性差异,将北段进一步分为南、北两部分,南段分为北、中、南三部分,结果显示红车断裂北段北部较好,南部好;南段中部较好,南部与北部均差(图 5b). 整体上北段封闭性好于南段(表 2).

在剖面演化恢复基础上,计算第二次成藏期(白垩纪早期)各段的封闭性,结果显示北段北部差,南部好;南段北部较好,中部差,南部好(图 5c),整体上南段封闭性好于北段(表 2).

由于红车断裂在中侏罗世后才停止活动,因此第一成藏期(三叠纪中晚期)封闭性差;第三次成藏期后构造活动趋于稳定,封闭性未发生变化,整体表现为北段好南段差. 研究表明红车断裂浅部在不同时期封闭性差异较大,这是影响不同成藏期油气藏变化的重要因素之一.

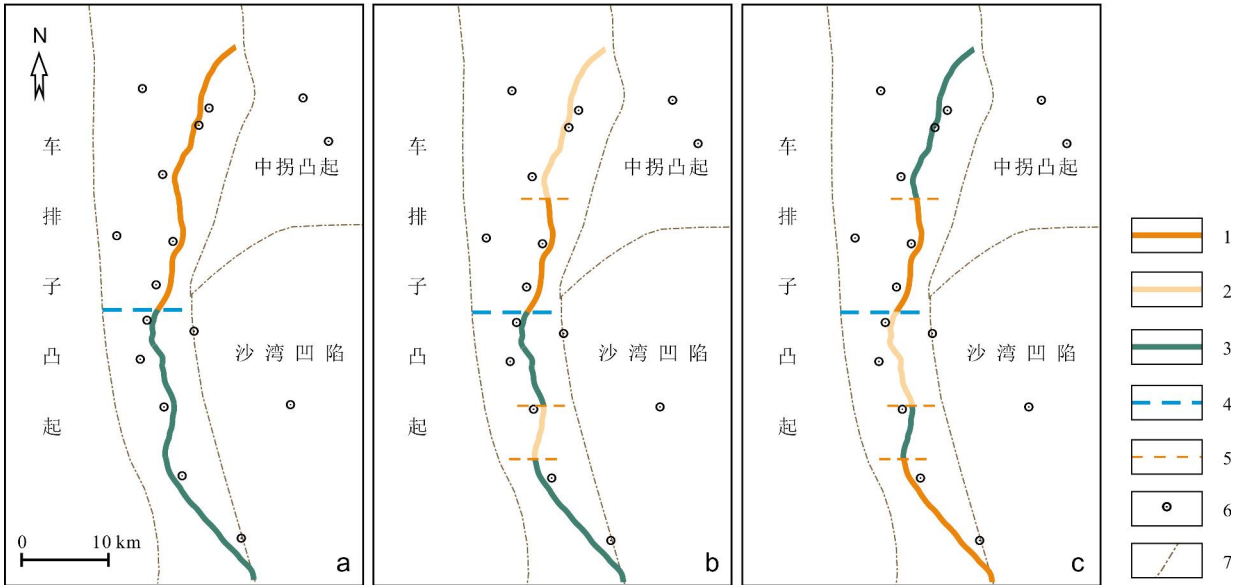


图 5 红车断裂封闭性评价

Fig. 5 Sealing evaluation of the Hongche fault

a—深部封闭性(sealing of deep part); b—浅部新近纪至今封闭性(sealing of shallow part from Neogene to present); c—浅部白垩纪封闭性(sealing of shallow part in Cretaceous); 1—封闭性好(good sealing); 2—封闭性较好(medium sealing); 3—封闭性差(poor sealing); 4—分段线(segment division); 5—次级分段线(subdivision line); 6—井位(well); 7—构造分区线(tectonic division)

表 2 红车断裂封闭性评价表

Table 2 Sealing evaluation of the Hongche fault

时期	断层分段	SGR 均值	R _m 均值	I _{rr} 均值	F 均值	结论
古近纪 中晚期—新近 纪早期	红车断裂北段北部	0.21	0.11	1.06	49.51	较好
	红车断裂北段南部	0.5	0.36	1.53	48.8	好
	红车断裂南段北部	0.24	0.15	0.84	41.05	差
	红车断裂南段中部	0.18	0.09	1.37	61.51	较好
	红车断裂南段南部	0.31	0.1	0.82	34.81	差
白垩纪 早期	红车断裂北段北部	0.2	0.16	0.76	37.65	差
	红车断裂北段南部	0.61	0.48	2.18	42.99	好
	红车断裂南段北部	0.46	0.2	1.41	23.39	较好
	红车断裂南段中部	0.24	0.11	0.98	44.44	差
	红车断裂南段南部	0.37	0.24	2.73	91.53	好

5 红车断裂控藏作用差异性分析

5.1 油气分布特征

红车断裂带内油气藏主要分布于新近系沙湾组、

白垩系吐谷鲁群、侏罗系八道湾组、三叠系克拉玛依组和石炭系之中，其中沙湾组油气主要分布于红车断裂带南段及北段南部；吐谷鲁群的油气主要分布于红车断裂带南段；克拉玛依组油气主要分布于北段北部；八道湾组及石炭系的油气主要集中于北段南部（图 6a）。总体上红车断裂带内油气分布北段较多，南段较少。经过 3 期成藏调整后，油气藏主要分布在主断裂周围，且不同深度具有差异性：在侏罗系及下伏地层中，油气分布较近于红车断裂，主要分布于封闭性较好的北段（图 6b）；在侏罗系上覆地层中油气分布较远离断裂且多位于断裂带南段（图 6c），说明红车断裂带不同部位对油气成藏具有不同的控制作用。

5.2 红车断裂带控藏作用及成藏模式差异性

在红车断裂带北段，主要构造以逆断层为主。在三叠纪中晚期红车断裂处于活动期，封闭性差，来自沙湾凹陷的油气可沿红车断裂向浅部运移，形成部分岩性油藏；在白垩纪早期北段南部浅层封闭性变好，有利于油气成藏；而在古近纪中晚期—新近纪早期北段整

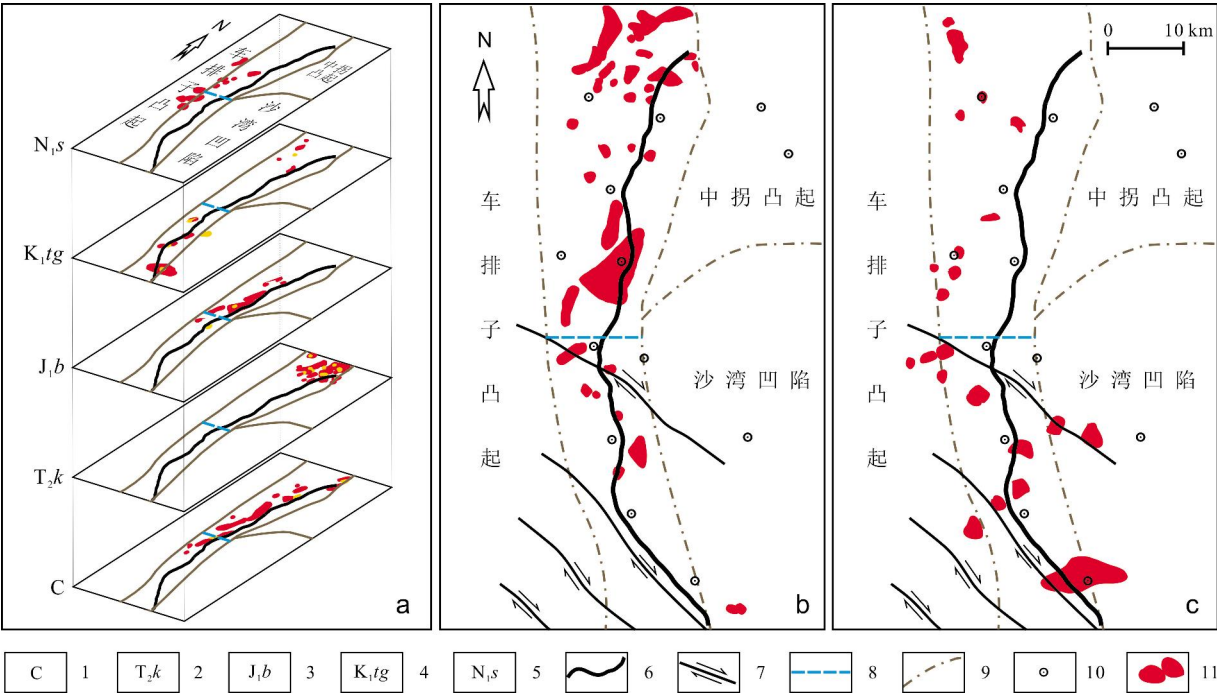


图 6 红车断裂带油气分布特征

Fig. 6 Characteristics of the hydrocarbon distribution in Hongche fault belt

a—红车断裂带主要层系油气分布 (hydrocarbon distribution in the main layers of Hongche fault belt); b—红车断裂带深部油气分布 (hydrocarbon distribution in the deep part of Hongche fault belt); c—红车断裂带浅部油气分布 (hydrocarbon distribution in the shallow part of Hongche fault belt); 1—石炭系 (Carboniferous); 2—三叠系克拉玛依组 (Triassic Karamay fm.); 3—侏罗系八道湾组 (Jurassic Badaowan fm.); 4—白垩系吐谷鲁群 (Cretaceous Tugulu Gr.); 5—新近系沙湾组 (Neogene Shawan fm.); 6—主要断裂 (major fault); 7—走滑断层 (strike-slip fault); 8—分段线 (segment division); 9—构造分区线 (tectonic division); 10—井位 (well); 11—含油气区 (reservoir area)

体封闭性变好,南段变差,有利于北段断控圈闭形成,同时整体构造向南掀斜,导致南部油气向北运移形成新的油藏,从而产生侏罗系油藏的二次充注现象^[31-32]。由于下层逆断层封闭性好,油气无法通过正断层向上运移,北段油藏多分布于侏罗系及下伏地层中,并以断控油藏为主。红车断裂带北段油气在叠瓦状逆断裂、不整合面及厚砂体的配合下^[15]从深到浅、由近及远运移,形成阶梯状成藏模式(图 7a)。

红车断裂带南段发育多条逆断层改造而成的走滑断层,在白垩纪早期,由于封闭性较好形成大量油气藏,但在古近纪中晚期—新近纪早期,由于封闭性变差且整体构造向南掀斜,前期形成的油藏被破坏而部分向北运移,部分沿着上层正断层向浅部运移,形成南段油藏主要分布于白垩系及上覆地层的特征。南段油气在走滑断裂、不整合面及浅部正断层的配合下,自下而上运移。由于浅部走滑断裂分支断裂分散范围较大,在浅部易形成“花状”运移模式(图 7b)。

6 结语

1)红车断裂带在平面上可分为南、北两段。北段深部为逆断层,浅部为正断层;南段深部为走滑断层并改造先前的逆断层,浅部为正断层及走滑断层。在剖面上

以白垩系底为界,可分为北段上层伸展断裂体系、北段下层逆冲断裂体系、南段上层伸展—张扭断裂体系及南段下层逆冲—压扭断裂体系。

2)红车断裂带深部早期封闭性较差,随成岩胶结作用进行,北段封闭性逐渐变好;浅部封闭性在不同时期变化较大,白垩纪早期南段好于北段,古近纪中晚期—新近纪早期北段好于南段。

3)红车断裂带内油气分布北段较多,南段较少。油藏分布受断层控制明显,北段为阶梯状成藏模式,南段为“花状”成藏模式。

参考文献:

- [1]张枝焕,刘洪军,李伟,等.准噶尔盆地车排子地区稠油成因及成藏过程[J].地球科学与环境学报,2014,36(2):18-32.
- [2]陈轩,张昌民,张尚锋,等.准噶尔盆地红车断裂带岩性地层油气藏勘探新思路[J].石油与天然气地质,2010,31(4):420-427.
- [3]石听,张立平,何登发,等.准噶尔盆地西北缘油气成藏模式分析[J].天然气地球科学,2005,16(4):460-463.
- [4]陈世加,冉乙钧,路俊刚,等.红车断裂带断层封闭性的地球化学研究[J].西南石油大学学报:自然科学版,2008,30(1):21-24.
- [5]甘学启,姜懿洋,秦启荣,等.红车断裂带石炭系火山岩油藏储层特征[J].特种油气藏,2011,18(2):45-47.
- [6]Wu K Y, Paton D, Zha M. Unconformity structures controlling stratigraphic reservoirs in the north-west margin of Junggar basin,

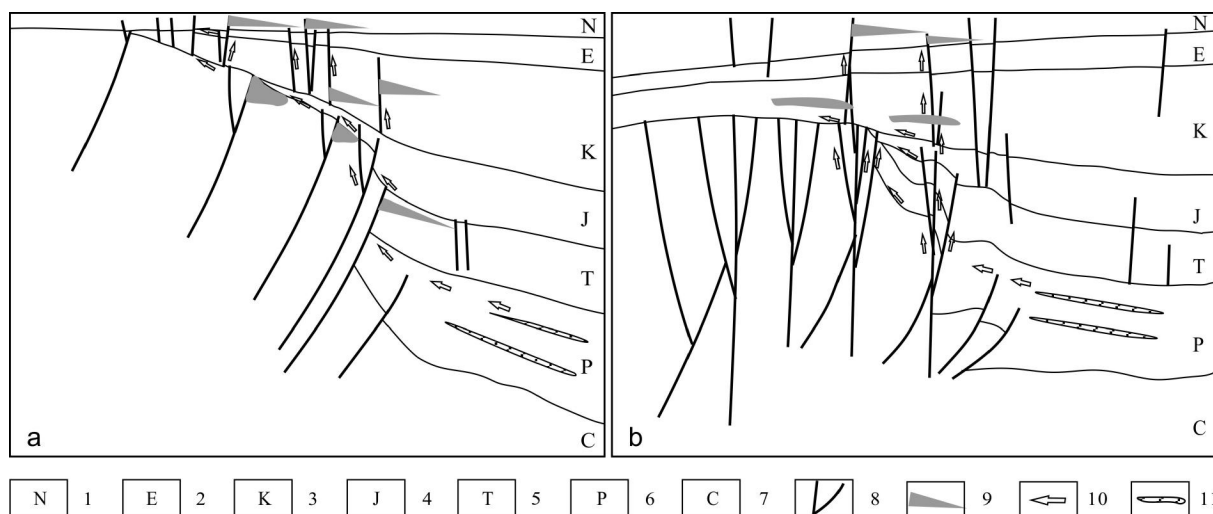


图 7 红车断裂带油气成藏模式

Fig. 7 Hydrocarbon accumulation model in Hongche fault belt

a—红车断裂带北段“阶梯状”成藏模式 (ladder-like accumulation model in the north segment); b—红车断裂带南段“花状”成藏模式 (flowerlike accumulation model in the south segment); 1—新近系 (Neogene); 2—古近系 (Paleogene); 3—白垩系 (Cretaceous); 4—侏罗系 (Jurassic); 5—三叠系 (Triassic); 6—二叠系 (Permian); 7—石炭系 (Carboniferous); 8—断裂 (fault); 9—油气藏 (reservoir); 10—油气运移方向 (migration direction of hydrocarbon); 11—烃源岩 (source rock)

- North-west China[J]. *Frontiers of Earth Science*, 2013, 7(1):55-64.
- [7] Zhao Q, Wang H Y, Liu D X, et al. Oil sands forming model of the northwest edge of the Junggar Basin, China[J]. *Advanced Materials Research*, 2015, 1092/1093:1430-1435.
- [8] Labaume P, Moretti I. Diagenesis-dependence of cataclastic thrust fault zone sealing in sandstones: Example from the Bolivian Sub-Andean Zone[J]. *Journal of Structural Geology*, 2001, 23(11):1659-1675.
- [9] Pluymakers A M H, Spiers C J. Compaction creep of simulated anhydrite fault gouge by pressure solution: Theory V. Experiments and implications for fault sealing[J]. *Geological Society, London, Special Publications*, 2015, 409(3):457-467.
- [10] Agosta F, Prasad M, Aydin A. Physical properties of carbonate fault rocks, Fucino Basin (Central Italy): Implications for fault seal in platform carbonates[J]. *Geofluids*, 2007, 7(1):19-32.
- [11] 洪峰, 宋岩, 余辉龙, 等. 柴达木盆地北缘典型构造断层封闭性与天然气成藏[J]. *石油学报*, 2002, 23(2):11-15.
- [12] 吕延防, 王伟, 胡欣蕾, 等. 断层侧向封闭性定量评价方法[J]. *石油勘探与开发*, 2016, 43(2):310-316.
- [13] 隋凤贵. 准噶尔盆地西北缘构造演化及其与油气成藏的关系[J]. *地质学报*, 2015, 89(4):779-793.
- [14] 何登发, 陈新发, 况军, 等. 准噶尔盆地石炭系油气成藏组合特征及勘探前景[J]. *石油学报*, 2010, 31(1):1-11.
- [15] 范存辉, 秦启荣, 袁云峰, 等. 红车断裂带石炭系构造特征及裂缝发育模式[J]. *特种油气藏*, 2010, 17(4):47-49.
- [16] 潘建国, 郝芳, 谭开俊, 等. 准噶尔盆地红车地区火山岩储层特征及主控因素[J]. *石油地质与工程*, 2007, 21(5):1-4.
- [17] 严世帮, 胡望水, 李瑞升, 等. 准噶尔盆地红车断裂带同生逆冲断裂特征[J]. *岩性油气藏*, 2008, 20(1):64-68.
- [18] 姚卫江, 党玉芳, 张顺存, 等. 准噶尔盆地西北缘红车断裂带石炭系成藏控制因素浅析[J]. *天然气地球科学*, 2010, 21(6):917-923.
- [19] 吴孔友, 刘波, 刘寅, 等. 准噶尔盆地中拐凸起断裂体系特征及形成演化[J]. *地球科学与环境学报*, 2017, 39(3):406-418.
- [20] 邢翔, 胡望水, 袁惠君, 等. 准噶尔盆地西北缘红-车断裂带断裂特征初步研究[J]. *石油天然气学报*, 2009, 31(5):213-215.
- [21] 付广, 殷勤, 杜影. 不同填充形式断层垂向封闭性研究方法及其应用[J]. *大庆石油地质与开发*, 2008, 27(1):1-5.
- [22] Antonellini M, Aydin A. Effect of faulting on fluid flow in porous sandstones: Petro-physical properties[J]. *AAPG Bulletin*, 1994, 78(3):355-377.
- [23] Knipe R J. Juxtaposition and seal diagrams to help analyze fault seals in hydrocarbon reservoirs[J]. *AAPG*, 1997, 81(2):187-195.
- [24] 吴智平, 陈伟, 薛雁, 等. 断裂带的结构特征及其对油气的输导和封堵性[J]. *地质学报*, 2010, 84(4):570-578.
- [25] Liu Y, Wu K Y, Wang X, et al. Geochemical characteristics of fault core and damage zones of the Hong-Che Fault Zone of the Junggar Basin (NW China) with implications for the fault sealing process[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2017, 143:141-155.
- [26] 沈扬, 贾东, 赵宏亮, 等. 准噶尔盆地西部车排子凸起新近系沙湾组成藏体系与富集规律[J]. *地质通报*, 2010, 29(4):581-588.
- [27] 曹剑, 胡文瑄, 姚素平, 等. 准噶尔盆地西北缘油气成藏演化的包裹体地球化学研究[J]. *地质论评*, 2006, 52(5):700-707.
- [28] 李振华, 邱隆伟, 孙宝强, 等. 准噶尔盆地中拐地区佳木河组流体包裹体特征及成藏期次划分[J]. *天然气地球科学*, 2013, 24(5):931-939.
- [29] 张新顺, 王建平, 李亚晶, 等. 断层封闭性研究方法评述[J]. *岩性油气藏*, 2013, 25(2):123-128.
- [30] 田辉, 查明, 石新璞, 等. 断层紧闭指数的计算及其地质意义[J]. *新疆石油地质*, 2003, 24(6):530-532.
- [31] 王卓超, 叶加仁. 准噶尔盆地西北缘车拐地区侏罗系成藏动力学模拟[J]. *地质科技情报*, 2010, 29(2):63-67.
- [32] 程亮, 关利军, 王振奇, 等. 红山嘴地区三叠系油气成藏主控因素[J]. *断块油气田*, 2008, 15(6):28-31.