

# 塔河油田奥陶系走滑断裂体系特征及成因机制

马庆佑<sup>1,2,3)</sup>, 曾联波<sup>\* 1,2)</sup>, 徐旭辉<sup>4)</sup>, 耿锋<sup>3)</sup>, 童亨茂<sup>1,2)</sup>, 蒋华山<sup>3)</sup>, 肖坤泽<sup>1,2)</sup>

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)地球科学学院, 北京, 102249;

3) 中国石化西北油田分公司, 新疆乌鲁木齐, 830011; 4) 中国石化石油勘探技术研究院, 江苏南京, 211100

**内容提要:** 塔河油田奥陶系“断溶体”油藏是塔里木盆地油气勘探开发的重要对象。本文对塔河油田 10 区西、于奇西、于奇 8 井三块三维地震资料开展了精细的走滑断裂构造解析, 并在此基础上对塔河油田走滑断裂体系的形成演化过程与成因机制有新认识。研究结果表明: ①除了在塔河油田南部 10 区西、托普台等区块发育典型的“X”型共轭走滑断裂体系外, 首次发现塔河油田北部于奇地区发育非对称式共轭走滑断裂体系, 据此划分出塔河油田南、北两大走滑断裂体系, 但两者在形成时间、最大主应力方向、动力学来源等方面均存在明显差异; ②两大走滑断裂体系的形成及演化过程大致分为 3 个阶段: 加里东期中期 I 幕形成南部 NNE、NNW 两组走向的“X”型共轭走滑断裂体系, 最大主压应力方向为 N3°E, 主要受到西昆仑洋俯冲消减作用产生的由 S 向 N 的挤压应力; 加里东期晚期—海西期早期形成北部以近 NE 走向为主、少量 SN 走向组成的非对称式共轭走滑断裂体系, 最大主压应力方向为 N23°E, 主要受到南天山洋俯冲消减作用产生的由 N 向 S 的挤压应力, 海西期晚期继承性活动, 主应力方向保持不变; 印支期—燕山期两大走滑断裂体系继承性活动, 最大主压应力方向为 N37°E, 主要受到南部古特提斯洋闭合作用产生的由 S 向 N 的挤压应力; ③运用广义剪切活动准则的理论和方法, 半定量分析了 10 区西 F<sub>1</sub> (NNE 走向)、F<sub>2</sub> (NNW 走向) 两组“X”型共轭走滑断裂在不同时期的性质和活动性: 加里东期中期 I 幕, F<sub>1</sub> (NNE 走向)、F<sub>2</sub> (NNW 走向) 两组断裂初始形成, 均为剪切作用下的库仑破裂(活动性系数  $f_a = 1.0$ ); 加里东期晚期—海西期, F<sub>2</sub> (NNW 走向) 断裂压扭活动(活动性系数  $f_a = 1.1$ ), F<sub>1</sub> (NNE 走向) 断裂整体不活动(活动性系数  $f_a = 0$ ); 印支期—燕山期, F<sub>1</sub> (NNE 走向) 断裂发生张扭活动(活动性系数  $f_a = 2.1$ ), F<sub>2</sub> (NNW 走向) 断裂整体活动较弱(活动性系数  $f_a = 0.6$ )。因此, 明确了塔河油田走滑断裂体系的分布、形成演化及不同时期的活动强弱, 可以为更好地指导塔河油田下步断溶体油藏的勘探开发部署奠定基础。

**关键词:** “X”型共轭走滑断裂体系; 形成演化; 成因机制; 广义断层模式; 塔河油田

塔里木盆地是我国内陆最大的含油气盆地, 长期的勘探开发实践证实油气资源潜力巨大(汤良杰, 1994; 贾承造, 1999)。近些年在塔里木盆地塔河、顺北、跃满、富满等地区, 围绕走滑断裂带的断溶体或断控型油气藏取得了一系列的重大油气突破, 已成为目前塔里木盆地油气增储上产的主要阵地(漆立新, 2016; 焦方正, 2017; 江同文, 2021)。众多学者认识到塔河油田发育大量的走滑断裂(邬光辉等, 2012; 吕海涛等, 2017; 马庆佑等, 2020), 且走

滑断裂带与多期岩溶发育耦合或叠置形成的断溶体是油气最富集的场所(韩长城等, 2016; 鲁新便等, 2018)。不同学者对塔河油田走滑断裂的构造特征、活动历史以及形成机制等方面开展过大量的研究工作并获得了一系列的认识, 但对塔河油田走滑断裂的体系划分、形成演化及成因机制方面仍然观点不一(安海亭等, 2009; 孟祥霞等, 2015; 吕海涛等, 2017; 刘长磊等, 2018)。如安海亭等(2009)认为塔河地区 NE 向走滑断裂主要是喜山期受库车前陆

注: 本文为国家自然科学基金项目(编号 U21B2062)、国家科技重大专项项目(编号 2017ZX05005-002)、中石化科技部项目(编号 P20062-2)联合资助的成果。

收稿日期: 2021-07-29; 改回日期: 2022-01-07; 网络发表日期: 2023-01-03; 责任编委: 刘俊来; 责任编辑: 蔡志慧。

作者简介: 马庆佑, 男, 1981 年生。副研究员, 从事石油构造地质研究。E-mail: 37337428@qq.com。

\* 通讯作者: 曾联波, 男, 1967 年生。博士, 教授, 主要从事裂缝性储层与非常规油气储层形成、分布及预测技术方面的研究。E-mail: lbgzeng@cup.edu.cn。

引用本文: 马庆佑, 曾联波, 徐旭辉, 耿锋, 童亨茂, 蒋华山, 肖坤泽. 2023. 塔河油田奥陶系走滑断裂体系特征及成因机制. 地质学报, 97 (2): 496~506, doi: 10.19762/j.cnki.dizhixuebao.2023104.

Ma Qingyou, Zeng Lianbo, Xu Xuhui, Geng Feng, Tong Hengmao, Jiang Huashan, Xiao Kunze. 2023. Characteristics and genetic mechanism of the strike-slip fault system in the Ordovician of the Tahe oilfield. Acta Geologica Sinica, 97(2): 496~506.

盆地挤压而形成；孟祥霞等（2015）认为塔北隆起在晚加里东期受NNW方向挤压而发育一系列NNW向的走滑断裂，在喜马拉雅期受南天山造山的差异挤压作用而形成NNE向的走滑断裂；吕海涛等（2017）认为塔河地区加里东期中期Ⅲ幕受北天山洋盆消减的远程挤压应力形成“X”型共轭走滑断裂，加里东期晚期—海西期早期受南天山洋盆东段闭合造山挤压而形成“T”型走滑断裂。

笔者选取塔河油田走滑断裂发育具有代表性的10区西、于奇西、于奇8井三个三维区块为重点研究对象,利用研究区高精度的三维地震资料,按照构造解析的4项原则(漆家福等,2006),对塔河油田这三个区块的走滑断裂进行系统构造解析,包括确定断裂活动期次、不同期次构造的应力体制,在此基础上重新划分了塔河油田的走滑断裂体系,恢复了其形成演化过程,最后应用摩尔空间方法,半定量分析了10区西主干走滑断裂带不同时期的断层性质及其活动性,这些成果为下步塔河油田断溶体油气藏的勘探开发研究提供了可靠的地质基础。

## 1 区域地质概况

塔里木盆地是在克拉通基础上发育的叠合盆地，处于天山、西昆仑和阿尔金三大造山带之间，盆地内部复杂的构造变形受这三大造山带的控制和影响。塔河油田构造位置位于塔北地区沙雅隆起的阿克库勒凸起二级构造单元（图 1a）（马庆佑等，2015），经历了加里东期、海西期、印支期、燕山期以及喜马拉雅期 5 期构造运动（图 1b），自下而上发育 9 个区域性不整合界面，分别为南华系底 ( $T_1$  地震反射层)、震旦系顶 ( $T_9^0$ )、中一下奥陶统顶 ( $T_7^4$ )、奥陶系顶 ( $T_7^0$ )、中一下泥盆统顶 ( $T_6^0$ )、二叠系顶 ( $T_5^0$ )、三叠系顶 ( $T_4^6$ )、侏罗系顶 ( $T_4^0$ ) 和白垩系顶 ( $T_3^0$ )，塔河油田奥陶系走滑断裂的形成演化与上述构造运动相关。

## 2 走滑断裂体系构造特征

塔河油田经过多年的油气勘探开发,三维地震资料已覆盖全区。利用三维地震资料(包括相干体及其他地震属性资料),经过多轮的构造精细解释,发现塔河油田发育大量的走滑断裂,区域内延伸长度超过1 km的走滑断裂基本上得到比较准确的识别(图2)。这种系统发育、密集成网的走滑断裂体系不仅构成了十分独特的地质现象,还储存了数十亿吨级的油气,成为近些年盆地构造研究的热点(翟

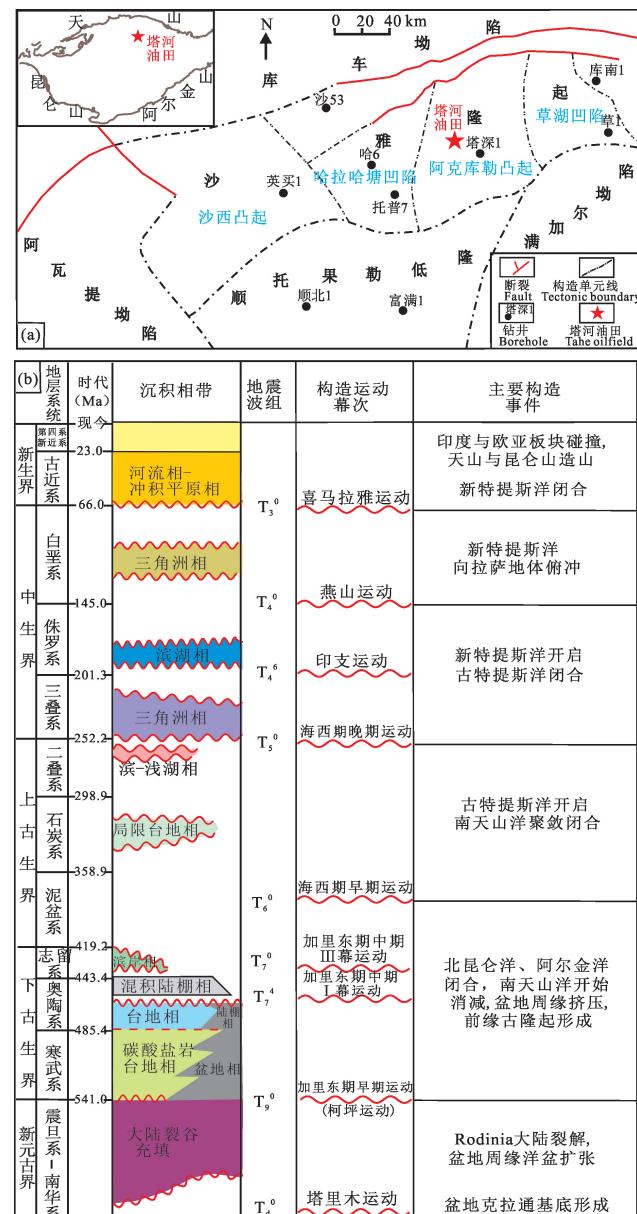


图1 塔河油田构造位置(a)与关键期构造运动(b)

Fig. 1 Structural location (a) and major tectonic event (b) of Tabo oilfield

晓先, 2011)

从塔河油田中一下奥陶统顶面( $T_7^4$  地震反射波组)的断裂分布可以看出(图 2),大致以阿克库勒断裂走向及延伸方向为界(图 2 中 NWW-EW 向延伸的点划线),塔河油田南、北两侧断裂的平面分布和组合特征存在明显的差异:南侧走滑断裂主要发育两组,走向分别为 NNW 向(平均走向为  $N17^\circ W$ )和 NNE 向(平均走向为  $N23^\circ E$ ),两组断裂的发育程度大体一致,构成基本对称的共轭(“X”型)走滑断裂体系(图 3a~c),这在塔河油田托普台北高精度三维地震资料上更清晰(吕海涛等,2017)。北侧

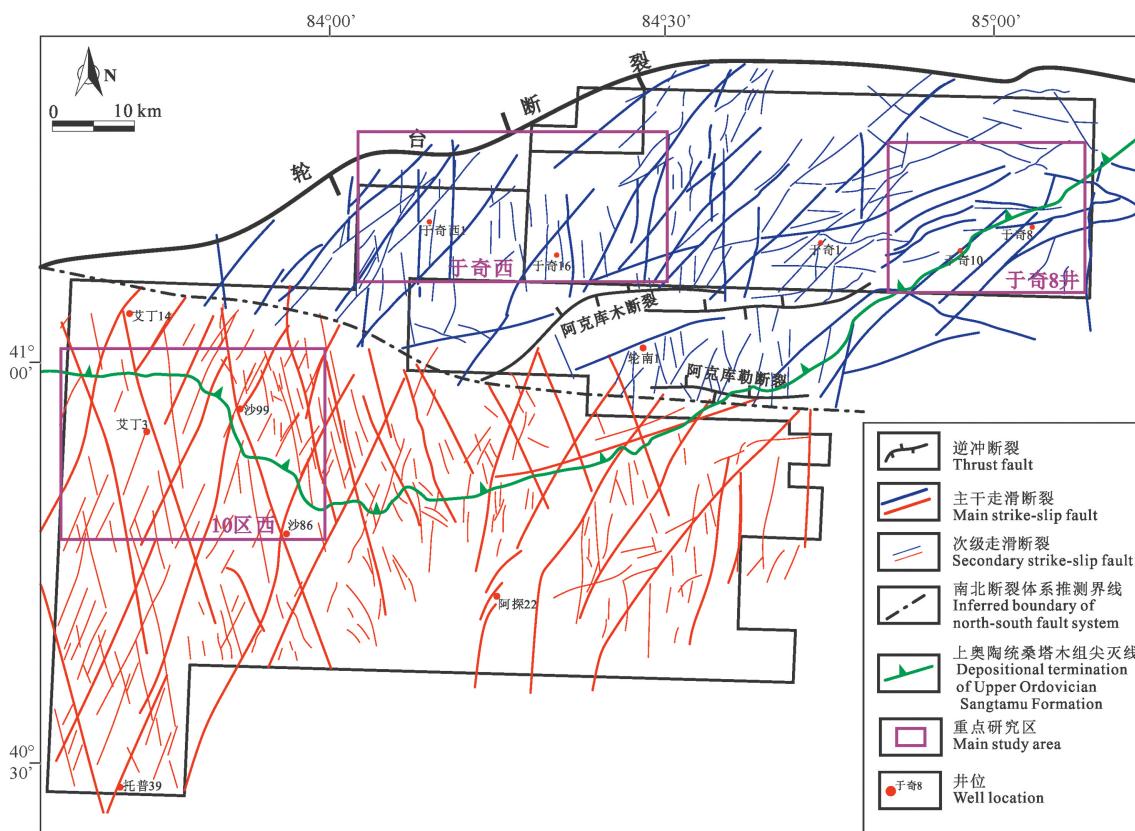
图 2 塔河油田中一下奥陶统顶面( $T_7^4$  地震反射波组)断裂分布图

Fig. 2 Sketch map showing the distribution of faults in the top of Middle-Lower Ordovician ( $T_7^4$  interface) in Tahe oilfield

走滑断裂虽然也主要发育两组,走向分别为 NE 向(平均走向为 N43°E)和近 SN 向(平均走向为 N3°E),但两组断裂的发育程度存在显著差异,如于奇西区块于奇西 1 井附近(图 2),NE 向断裂发育程度远高于 SN 向,除少量构成共轭外,大部分 NE 向断裂单组发育,近平行排列,构成非对称的共轭走滑断裂体系(索书田等, 2000)。上述南、北两个走滑断裂体系在方位和组合方面均存在很大差异,表明它们的形成时间和成因机制存在差异,应属于两个断裂体系,笔者依据平面断裂分布与组合特征的差异性大致划分出平面界线(图 2 中 NWW-EW 向延伸的点划线),推测可能受到区域挤压应力方向、形成时间、古隆起先存构造等因素控制(详见第 3.1 节)。下面以平面-剖面结合来分别阐述两大走滑断裂体系的构造特征。

## 2.1 南部走滑断裂体系特征

塔河油田 10 区西区块(位置见图 2)所发育的走滑断裂在南部走滑断裂体系中具有很好的代表性,本文以 10 区西为代表,利用该区块高精度三维地震资料(包括相干体),同时结合其他资料来阐述南部走滑断裂体系的构造特征。通过对 10 区西寒

武系—中下奥陶统( $T_9^0 \sim T_7^4$  地震反射层)平面断裂分布的对比分析发现(图 3a~c), $T_7^4$  及以下不同反射层发育的断裂具有很高相似性,均发育 NNE 与 NNW 两组走向的走滑断裂,且相互切割呈菱形状,为典型的“X”型对称式共轭走滑断裂体系,这是由于近直立的同一条走滑断裂同时切穿不同反射层的结果(图 4)。

10 区西上奥陶统一中下泥盆统( $T_7^0 \sim T_6^0$  地震反射层),由于地层后期被剥蚀而局限分布,断裂的分布也发生了变化(图 3d、图 4),表现为:① 断裂的数量明显减少,只有少量的主干断裂穿过  $T_6^0$  界面;② 断裂的活动强度减弱,表现为相干体上变弱、断裂带宽度变窄。

10 区西上泥盆统一二叠系( $T_5^7 \sim T_5^0$  地震反射层),断裂发育发生了根本的变化(图 3e),表现为:① 断裂的数量更少,几乎没有主干断裂穿过  $T_5^0$  界面;② 少量发育的断裂呈雁列分布,发育部位在主干走滑断裂的上方。

10 区西三叠系—白垩系( $T_4^6 \sim T_3^0$  地震反射层),断裂继续表现为雁列特征,但发育程度和走向发生了较大变化(图 3f),表现为:① 雁列式正断裂

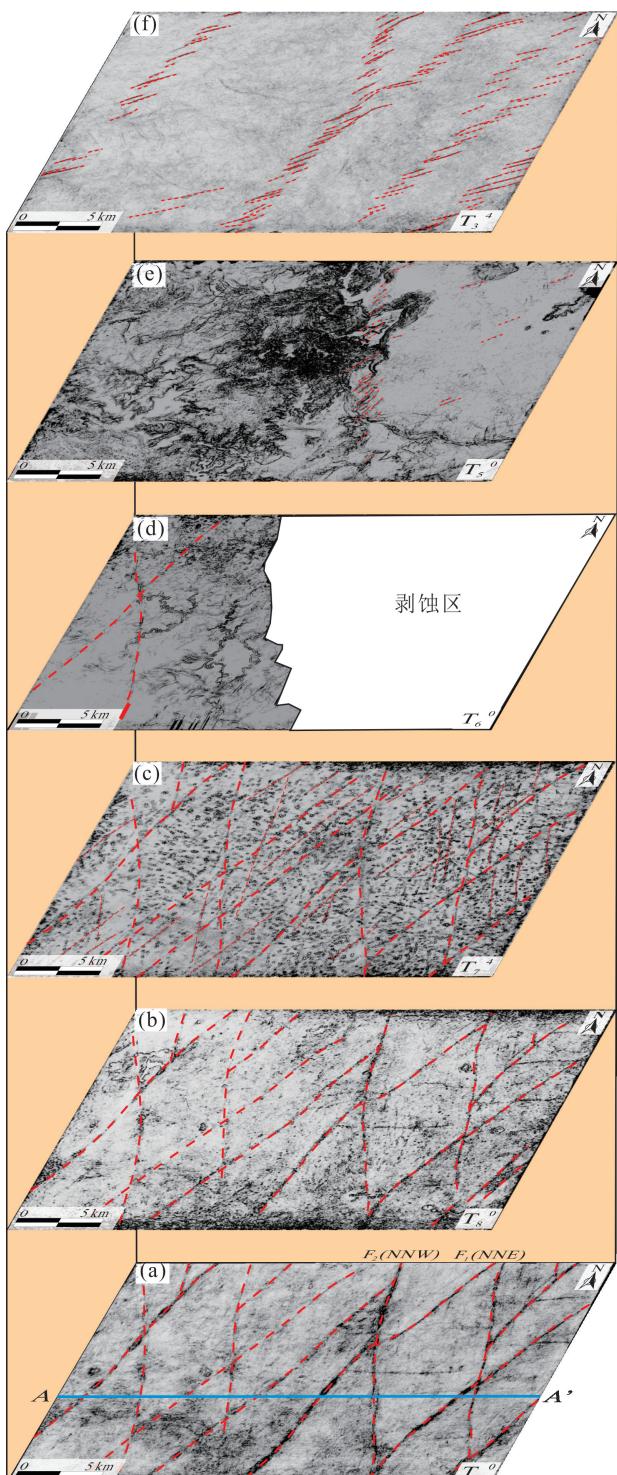


图3 塔河油田10区西区块主要层系的相干体与断裂叠合平面图

Fig. 3 Congruent maps showing faults in main strata series in west area of Block 10 of Tahe oilfield

的数量大幅度增加,并且主要沿 NNE 走向排列;②雁列式正断裂的平均走向从  $T_5^0$  反射层的  $N3^\circ E$  转化为  $N62^\circ E$ ;③雁列式正断裂均在  $T_7^4$  界面的主干走滑断裂上方发育;④NNW 向排列的雁列式正断

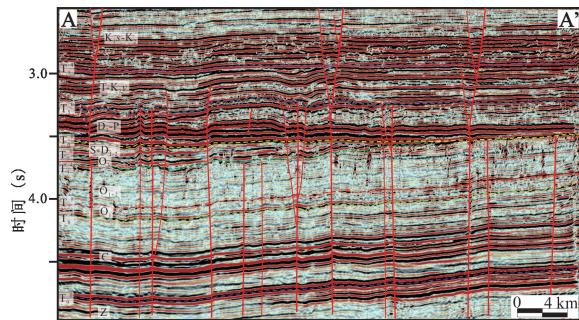


图4 塔河油田10区西区块典型地震解释剖面(剖面位置见图3)

Fig. 4 Typical seismic interpretation profile in west area of Block 10 of Tahe oilfield (section location is shown in Fig. 3)

裂数量很少。

## 2.2 北部走滑断裂体系特征

于奇西区块(位置见图2)所发育的走滑断裂在北部走滑断裂体系中具有很好的代表性,但由于奇西区块上奥陶统一中下泥盆统( $T_7^0 \sim T_6^0$  地震反射层)地层整体缺失,石炭系直接覆盖在中一下奥陶统鹰山组之上,对研究加里东期晚期—海西期早期的断裂活动特征带来了困难。而于奇8井区块(位置见图2)残留上奥陶统一中下泥盆统( $T_7^0 \sim T_6^0$  地震反射层)地层,因此笔者以于奇西区块资料为主、辅以于奇8井区块资料来系统阐述北部走滑断裂体系的构造特征。

于奇西区块主要发育近 NE 和 SN 两组走向的走滑断裂(图5、图7a),其中近 NE 走向的断裂延伸长、展布范围大、断裂带宽度大、连续性好,是该区的主干走滑断裂;近 SN 走向的断裂延伸短、断裂带宽度小、连续性差,是该区的次级走滑断裂。通过对于奇西区块寒武系中一下奥陶统( $T_9^0 \sim T_7^4$  地震反射层)平面断裂分布的对比分析发现(图5a~d), $T_7^4$  及以下不同反射层发育的断裂具有很高相似性,均发育以近 NE 与 SN 两组走向的走滑断裂,两者相交或局部切割,为非对称式共轭走滑断裂体系,这也是近直立的同一条走滑断裂同时切穿不同反射层的结果。震旦系顶界( $T_9^0$  地震反射层)受基底影响,还发育少量弧形及 NWW 向断裂(图5a)。中下奥陶统顶面( $T_7^4$  地震反射层)由于受到长期的岩溶与准夷平化作用的改造,断裂带的平面形迹比较模糊(图5d),但从地震剖面来看断裂均断穿了该界面(图7a)。

于奇西区块上奥陶统一中下泥盆统( $T_7^0 \sim T_6^0$  地震反射层)整体遭受后期剥蚀殆尽(图7a),断裂的分布特征无法观察。下石炭统巴楚组顶面( $T_5^6$ )

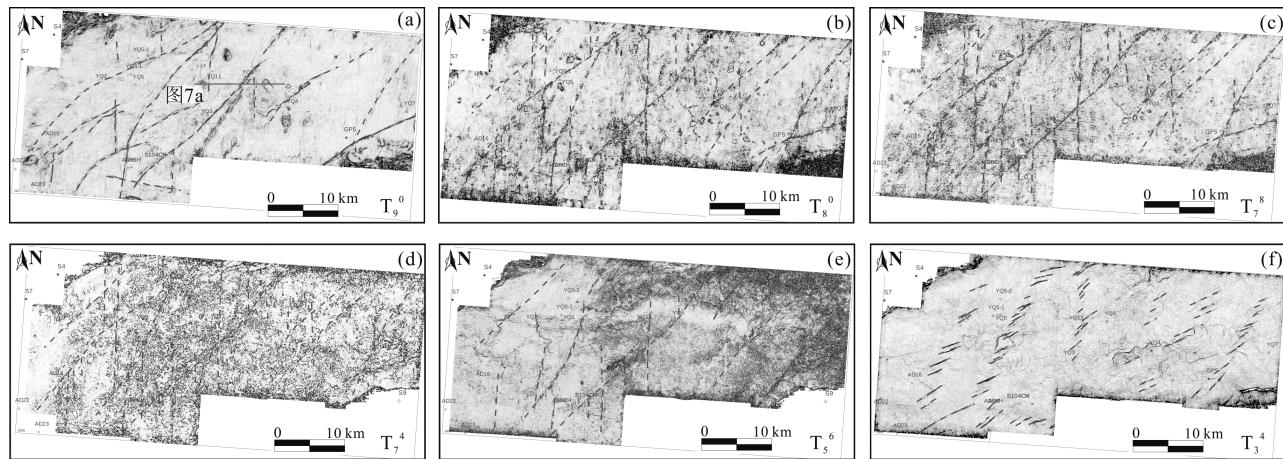


图 5 塔河油田于奇西区块主要层系的相干体与断裂叠合平面图

Fig. 5 Congruent maps showing faults in main strata series in west block of Yuqi of Tahe oilfield

地震反射层)的断裂分布与深层( $T_9^0 \sim T_7^4$  地震反射层)具有相似性,但断裂数量减少、活动强度减弱,表现为相干体影像变弱、断裂带宽度变窄(图 5e)。二叠系顶面( $T_5^0$  地震反射层)断裂形迹基本消失(图 7a),这表明近直立的同一条走滑断裂主要切穿了  $T_5^6$  之下多套地层。于奇西区块三叠系—白垩系( $T_4^6 \sim T_3^0$  地震反射层)发育多排雁列式正断层组(图 5f),且主要沿  $T_7^4$  界面近 NE、SN 两组主干走滑断裂的上方发育。

于奇 8 井区块除发育近 NE 和 SN 走向的走滑断裂外(图 6, 图 7b),由于受 NWW 向巴里英逆冲

断裂带的影响,还发育近 EW 向和 NEE 向断裂,断裂特征主要表现为:① 主干断裂穿过  $T_7^4$  反射界面,并终止于  $T_6^0$  反射界面(图 6, 图 7b),表现为寒武系—中下泥盆统( $T_9^0 \sim T_6^0$  地震反射层),断裂发育具有统一性(图 6a~c),这是由于近直立的同一走滑断裂同时切穿  $T_9^0 \sim T_6^0$  地震反射层的结果;② 上泥盆统—二叠系( $T_5^7 \sim T_5^0$  地震反射层)的断裂发育也表现为雁列式展布特征(图 6d, 图 7c),雁列式正断裂的平均走向(N3°E)与南部断裂系统保持一致,但雁列式正断裂主要沿 NE 向主干走滑断裂上方发育;③ 三叠系—白垩系( $T_4^6 \sim T_3^0$  地震反

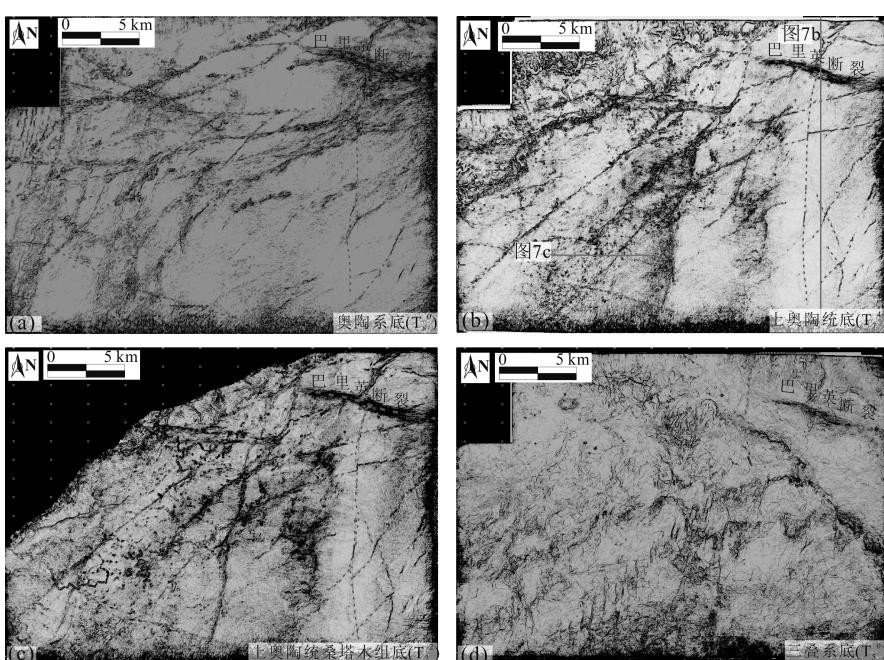


图 6 塔河油田于奇 8 区块主要层系的相干体与断裂叠合平面图(a~d)

Fig. 6 Congruent maps (a~d) showing faults in main strata series in the area of the Yuqi 8 well of Tahe oilfield

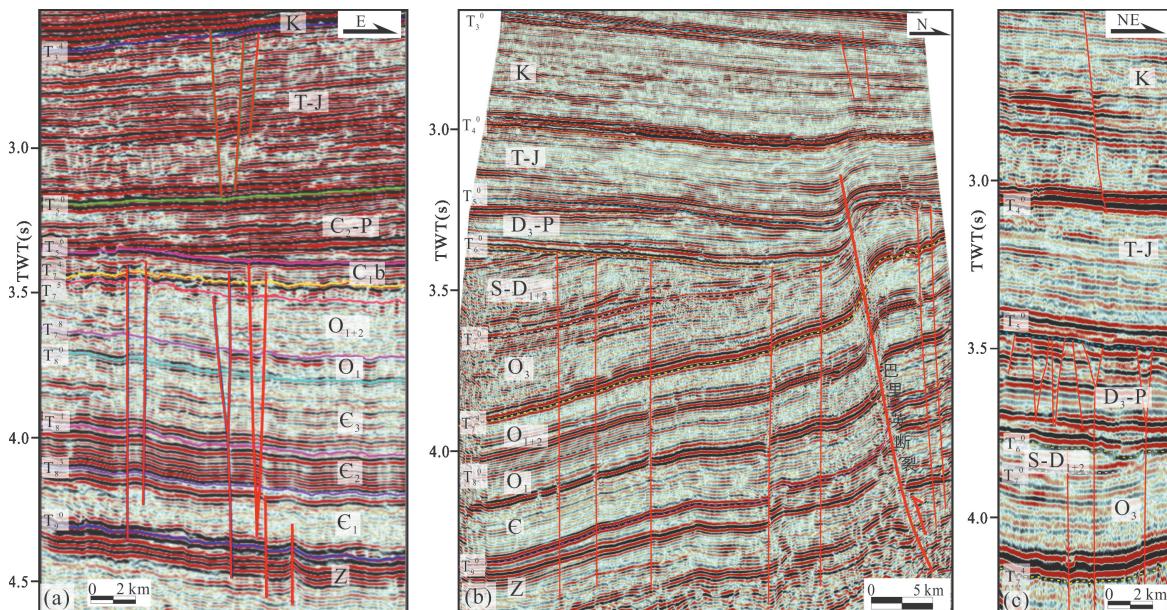


图 7 塔河油田于奇西与于奇 8 井区块典型地震解释剖面(a~c)(剖面位置见图 5、图 6)

Fig. 7 Typical seismic interpretation profiles (a~c) in west block of Yuqi and the area of the Yuqi 8 well of Tahe oilfield  
(section location is shown in Fig. 5 and Fig. 6)

射层),几乎没有与主干走滑断裂相关的雁列断裂发育。

### 3 走滑断裂体系形成演化及应力体制的构造解析

自新元古代以来,塔河油田在多期构造运动的作用下(图 1),形成了在平面上走向不同、规模不一,在剖面上主干断裂性质不同、不同时期断裂叠加的复杂断裂系统。综合上述对塔河油田南、北走滑断裂体系几何特征的构造解析,并结合区域构造活动背景,将塔河油田走滑断裂体系的形成演化划分为三大阶段:加里东期中期 I 幕近南北向( $N3^{\circ}E$ )挤压,加里东期晚期—海西期受 NNE 向( $N23^{\circ}E$ )挤压,印支期—燕山期受 NE 向( $N37^{\circ}E$ )弱挤压作用。

#### 3.1 构造演化阶段的划分及应力体制

加里东期中期 I 幕( $T_7^4$  不整合界面所反映的构造运动)(图 1),在近 SN 向( $N3^{\circ}E$ )的挤压作用下,塔河油田南部“X”型共轭走滑断裂体系初始形成(图 2、图 3a~c),其中近直立的走滑断裂切割寒武系—中奥陶统( $T_9^0 \sim T_7^4$  地震反射层);

加里东期晚期—海西期早期( $T_6^0$  不整合界面所反映的构造运动)是本区最强烈的构造活动(图 1),在受到 NNE 向( $N23^{\circ}E$ )的挤压作用下,塔河油田北部走滑断裂体系初始形成(包括巴里英等逆冲断裂的活动)(图 2,图 5a~d,图 6a~c);南部走滑断

裂体系的断裂作为先存构造不同程度地重新活动(图 3d),但不同走向断裂的活动强度存在很大的区别(NEE 向的断裂几乎没有活动);

海西期晚期( $T_5^0$  不整合界面所反映的构造运动)(图 1),本区继续受到 NNE 向( $N23^{\circ}E$ )的挤压作用(主应力方向与加里东期晚期—海西期早期保持一致),但变形强度有所减弱(图 3e)。前期所形成的走滑断裂均作为先存构造发生不同程度地重新活动,活动的相对强度与加里东期晚期—海西期早期保持一致。考虑到加里东期晚期—海西期早期和海西期晚期构造作用方向的一致性,把这两个构造期合并在一起,合称为一个大的构造期(加里东期晚期—海西期)。

上述南、北两个走滑断裂体系的平面界线(图 2 中 NWW-EW 向延伸的点划线),笔者主要是依据平面断裂分布与组合特征的差异性来大致划分的。笔者通过综合研究认为:塔河南部走滑断裂体系是中奥陶世末期(加里东期中期 I 幕运动),受到盆地南缘西昆仑洋闭合的远程挤压作用力形成的(贾承造, 1999; 吕海涛等, 2017),此时沙雅古隆起已经形成(安海亭等, 2009; 孟祥霞等, 2015),古隆起高部位在轮台断裂上盘的雅克拉及下盘的于奇西等地区,随着南部挤压应力向北部传递距离的延长,同时北部存在沙雅古隆起先存构造的阻挡,南部挤压应力逐渐释放,至目前笔者推测的分界线附近消亡;

塔河北部走滑断裂体系是晚志留世—早中泥盆世末期(加里东期晚期—海西期早期运动),受到盆地北缘南天山洋闭合的远程挤压作用力形成的(贾承造, 1999; 吕海涛等, 2017),此时沙雅古隆起的高部位在轮台断裂与阿克库勒断裂之间(大致相当于图 2 上奥陶统的尖灭线以北部位),随着北部挤压应力向南部传递距离的延长,应力逐渐释放,至目前笔者推测的分界线附近消亡。因此上述南、北两个走滑断裂体系的平面界线之间没有基底深大断裂或者构造单元分隔,笔者推测是受到区域挤压应力方向、形成时间、古隆起先存构造等综合因素控制形成的。

印支期—燕山期( $T_4^6$ 、 $T_4^0$ 、 $T_3^0$  不整合界面所反映的构造运动)(图 1),本区继续遭受挤压作用,但挤压方向继续向 E 偏转(N37°E),由于南部古特提斯洋的闭合,导致前期形成的走滑断裂均作为先存构造不同程度地重新活动,其中南部走滑断裂体系中 NNE 向的走滑断裂剧烈活动,在三叠系—白垩系( $T_4^6 \sim T_3^0$  地震反射层)中形成呈雁列式展布的正断裂(图 3f)、少量 NNW 向断裂重新活动形成呈雁列式展布的正断裂,而北部断裂系统中活动比较弱(于奇西区块有活动,于奇东区块几乎没有活动)(图 5f、图 6d)。喜山期(从  $T_3^0$  反射层向上,对应新生界地层),构造总体处于稳定阶段,研究区没有发现明显的构造变形迹象。

### 3.2 关键构造变形期应力体制的解析过程

#### 3.2.1 南部走滑断裂体系的初始形成时期

塔河油田南部“X”型共轭走滑断裂体系的准确形成时期,受  $T_7^4$  不整合界面之上大套地层剥蚀殆尽影响,是目前还有争议的难题,本文确定其形成于加里东期中期 I 幕( $T_7^4$  不整合界面所反映的构造运动),解析过程如下:

共轭走滑断裂是符合库伦剪切作用条件(均匀介质)而同时产生的(同期)、相互交叉、错动方向相反、级别相当的两组剪切破裂,是纯剪切变形的产物(Anderson, 1951; 万天丰, 1984; 索书田等, 2000)。共轭走滑断裂的形成必须符合以下两个条件:① 相对均一的岩石;② 相对均匀的应力场(走滑应力状态)。因此,塔河油田“X”型共轭走滑断裂形成前的岩层必须是近于均匀的介质(之前还未发生构造变形),而塔河油田  $T_7^4$  反射层之下是一套通常发生脆性变形的碳酸盐岩地层,  $T_7^4$  反射层之上主要是一套通常发生塑性变形的碎屑岩地层,如果晚于  $T_7^4$  界面则不满足均质介质的条件,因此推测南部走滑断裂体系应该是在中奥陶世末的加里东期

中期 I 幕运动中初始形成的;另外  $T_7^4$  界面发育受共轭走滑断裂控制的古河道(鲁新便等, 2018),而  $T_7^4$  以下(如  $T_7^6$  界面)则没有这种现象,表明在中奥陶世末该区地层抬升暴露溶蚀,南部共轭走滑断裂初始活动,所以形成  $T_7^4$  界面沿断裂控制的古河道。

主干走滑断裂后期活动切割上部地层(部分切割至  $T_6^0$  界面),而不发育雁列构造是地层间耦合程度较高的结果。虽然部分主干走滑断裂已切割至  $T_6^0$  界面,但两组不同方向(NNW 和 NNE)断裂的活动强度(相干体上显示的断裂明显程度和断裂带宽度)发生了转化。 $T_7^4$  界面以下 NNE 活动强度相对较大,向上转化为 NNW 向断裂活动强度较大。

#### 3.2.2 北部走滑断裂体系的初始形成时期

本文确定北部走滑断裂体系形成于加里东期晚期—海西期早期( $T_6^0$  不整合界面所反映的构造运动),初始形成期晚于南部走滑断裂体系,属于两个断裂体系,解析过程如下:

北部走滑断裂体系均系统地切穿  $T_6^0$  界面(图 7b),这种穿层特征明显不同于南部走滑体系,而且  $T_6^0$  界面所反应的构造运动在本区最为强烈,可以确定北部走滑体系初始形成于加里东期晚期—海西期早期。同时在加里东期晚期—海西期,北部断裂体系指示的主应力方向(N23°E)和南部断裂体系重新活动所指示的主应力方向(N23°E)完全匹配。北部走滑断裂体系局部也存在共轭特征(图 2),只是不同方向的两组断裂发育程度存在差异,也是纯剪切构造变形的产物,形成于均匀介质,表明之前没有先存断裂发育。

有学者认为北部断裂体系受轮台断裂带后期活动影响,改变了其早期的断裂走向,如果将北部断裂体系逆时针旋转 20° 左右,其断裂组合形式与南部断裂体系就完全一致。笔者认为首先作为北部断裂体系边界的轮台断裂,经分析在加里东期中期 I 幕活动比较弱,其强烈活动主要是海西期晚期;其次如果轮台断裂在海西期强烈挤压,则会导致其南部块体旋转,那么在轮台断裂南部需要发育冲起构造带来平衡该挤压缩短量,笔者通过计算轮台断裂南部最大的冲起构造带(阿克库木与阿克库勒断裂夹持部位)的缩短量,反算出轮台断裂带的旋转角度只有 2.5°(计算过程略)。因此笔者认为北部断裂体系的形成,无法用主应力方向的局部偏转来解释,应属于两个断裂体系,北部走滑断裂体系初始形成期晚于南部走滑断裂体系,是受到两期不同的挤压作用形成的。

### 3.2.3 不同阶段构造应力体制(主应力方向)的确定

共轭剪裂面锐夹角的角平分线可以准确反映最大主应力方向(Anderson, 1951; 万天丰, 1984), 因此加里东期中期 I 幕和加里东期晚期—海西期早期的主应力方向, 可以分别利用南部和北部共轭走滑断裂的角平分线平均方向(分别为 N3°E 和 N23°E)进行确定。利用平均共轭剪裂角 20(本区 NNE 与 NNW 两组共轭断裂的共轭剪裂角平均为 40°), 可以分别确定岩石的内摩擦角  $\varphi$ ( $\varphi=90^\circ-20=50^\circ$ ) 和内摩擦系数( $\tan 50^\circ \approx 1.19$ )。

张性雁列式断裂一般被认为是 R 剪切, 按照 R 剪切破裂与主应力方向的关系, 可以利用雁列式断裂的平均走向和内摩擦角的关系来确定主应力方向。这样分别确定加里东期晚期—海西期和印支期—燕山期的主应力的方向分别为 N23°E 和 N37°E。

塔河油田南部走滑断裂体系在中奥陶世末期初始形成时向北逐渐终止, 主要表现出主干断裂末端多以马尾状特征结束, 同时该时期塔里木盆地南部的和田、塔中等古隆起的活动强度明显高于北部的沙雅古隆起, 因此表明加里东期中期 I 幕构造作用的力源主要来自南部, 推测受盆地南缘西昆仑洋闭合的远程挤压作用; 加里东期晚期—海西期, 塔河油田南部走滑断裂的活动强度明显低于北部, 同时塔里木盆地北部的沙雅古隆起(如雅克拉断凸)在海西期强烈隆升, 其活动强度明显高于南部的和田、塔中等古隆起, 因此表明该时期的挤压作用主要来自北部, 推测受盆地北缘南天山洋闭合的远程挤压作用; 印支期—燕山期, 南部走滑断裂的活动强度明显高于北部, 表明其构造作用的力源来自南部, 推测受盆地南缘古特提斯洋闭合的远程挤压作用。力源的确定对于预测不同构造期构造变形强度的变化规律具有重要意义。

### 3.3 塔北共轭走滑断裂体系识别和划分

断裂体系一般指在某一地质时期内构造作用下形成的主干断裂, 以及这些主干断裂所控制或影响着后期生成并与其具有成因联系的次级断裂组合(王婧韫等, 2004)。10 区西、于奇西、于奇 8 井这三个区块发育的走滑断裂作为塔河油田走滑断裂的典型代表(图 2), 通过对上述三个区块走滑断裂的综合分析, 其中不同地区主干断裂在走向、对地层切割关系、形成时间及其成因机制等方面存在明显的差异, 因此将其划分为南、北两个大型共轭走滑断裂体系(图 2)。

塔河油田南部以 10 区西为代表发育典型的“X”型共轭走滑断裂体系, 南部主干共轭走滑断裂形成于上奥陶统沉积之前(加里东期中期 I 幕), 最大主应力方向为近 SN 向(N3°E)。

塔河油田北部走滑断裂体系的发育较为复杂, 但通过对于奇西、于奇 8 井区块发育的 NE 走向和近 SN 走向这两组走滑断裂综合分析, 表明该地区主干走滑断裂都形成于加里东期晚期—海西早期, 断裂近直立且走滑位移量都很小, 在于奇西地区的  $T_8^0 \sim T_7^8$  两层相干体界面可以识别出明显呈“X”型相交的 NE 和近 SN 两组走向断裂(图 2)。根据目前对“X”型共轭断裂的定义、形成条件、判别依据以及分布规律等方面的认识(Anderson, 1951; 万天丰, 1984), 以及关于走滑断裂的形成机制主要以纯剪切模式和简单剪切这两种模式进行解释(Sylvester, 1988)。显然运用简单剪切模式并不适用于对北部的这两组走滑断裂进行解释, 所以可以推测在北部发育的 NE 和近 SN 两组走向的走滑断裂组合是在纯剪切作用下形成的非对称式的共轭走滑断裂(索书田等, 2000), 其最大主应力为 NNE(N23°E) 方向。

## 4 不同演化阶段断裂性质及活动性预测

“断溶体”油藏是塔河油田的极为特殊且十分重要的一种油气藏类型, 是目前塔里木盆地北部地区油气勘探和开发的重要场所。研究表明断裂带构造特征是“断溶体”油藏优劣的一个非常重要的影响因素(鲁新便等, 2018), 因此准确预测走滑断裂带在不同时期的性质以及活动性, 对塔河油田以及整个塔里木盆地北部地区“断溶体”油藏的勘探开发均具有非常重要的指导意义。基于上文对塔河油田走滑断裂活动期次的划分、不同活动期的应力状态、主应力方向以及断裂性质等认识, 运用广义剪切活动准则(Tong et al., 2011a, 2014; 童亨茂等, 2014b, 2015)的理论和方法, 对走滑断裂带在不同时期的性质和活动性(活动性系数  $f_a \geq 1$ , 发生活动;  $f_a < 1$ , 不活动)进行判定。下文挑选 10 区西两条  $F_1$ (NNE 走向)、 $F_2$ (NNW 走向)的“X”型共轭走滑断裂为例来说明。

10 区西  $F_1$ 、 $F_2$  共轭走滑断裂在加里东期中期 I 幕初始形成, 纯剪切模式, 为库仑破裂(活动性系数  $f_a = 1$ )(表 1), 此时形成破裂面, 尚未发生明显断裂活动; 加里东期晚期—海西期, 10 区西区块先前形成的共轭走滑断裂作为先存构造, 据广义剪切活动

表 1 塔河油田 10 区西典型走滑断裂不同时期的性质与活动性系数综合分析表

Table 1 Properties and activity coefficients of typical strike-slip faults in different periods in the west of Block 10 of Tahe oilfield

断裂活动期次	最大主应力方向	10 区西区典型主干断裂性质及其活动性系数			
		$f_a$ (NNE)	$f_a$ (NNW)		
加里东期中期 I 幕	N3°E	1.0(左旋)	纯剪切	1.0(右旋)	纯剪切
加里东期晚期—海西期	N23°E	0.0	不活动	1.1(右旋)	压扭
印支期—燕山期	N37°E	2.1(右旋)	张扭	0.6	不活动
总体变化		左旋—不活动—右旋		右旋—右旋—不活动	

准则计算得到  $F_1$  (NNE 走向) 断裂的活动性系数  $f_a = 0$ , 不活动, 而  $F_2$  (NNW 走向) 断裂活动性系数  $f_a = 1.1$  活动。在  $T_5^0$  界面上能看到沿  $F_2$  (NNW 走向) 断裂上方发育明显的雁列式断裂(图 3e), 根据摩尔空间上的投影点分析, 该时期主干断裂性质以压扭为主(图 8);印支期—燕山期, 最大主压应力方向顺时针偏转, 该时期两条先存断层  $F_1$ 、 $F_2$  的性质以及活动性系数发生变化, 计算结果表明  $F_1$  (NNE 走向) 先存断裂的活动性系数  $f_a = 2.1$ , 活动能力强, 在  $T_3^4$  界面上能看到大量的 NNE 向排列的雁列式正断裂发育(图 3f), 表明先存主干走滑断裂该时期以张扭为主。以上分析表明, 10 区西  $F_1$  (NNE 走向) 断裂经历三个演化时期(表 1):加里东期中期 I 幕初始形成的左旋走滑(纯剪切), 加里东期晚期—海西期停止活动, 印支期—燕山期发生张扭作用下的右旋走滑(该时期发生运动方向反转, 从左旋到右旋);10 区西  $F_2$  (NNW 走向) 断裂经历三个演化时期:加里东期中期 I 幕初始形成的左旋走滑(纯剪切), 加里东期晚期—海西期发生压扭作用为主的右旋走滑, 印支期—燕山期没有整条断裂发生活动。

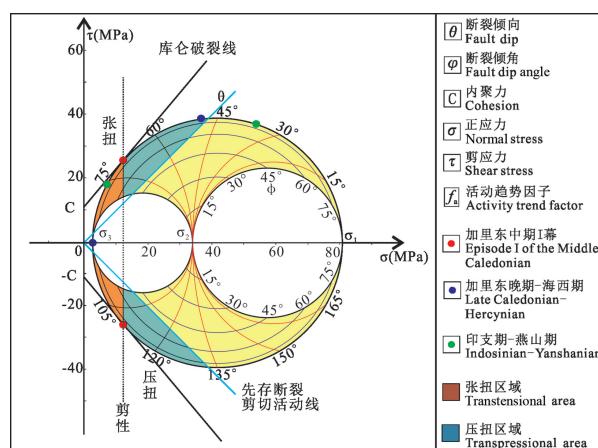


图 8 塔河油田 10 区西典型走滑断裂不同时期“摩尔空间”图解

Fig. 8 Diagram of “molar space” of typical strike-slip faults in different periods in west area of Block 10 of Tahe oilfield

## 5 结论

(1) 基于对塔河油田 10 区西、于奇西、于奇 8 井三块典型三维区块的系统构造解析, 确定塔河油田走滑断裂主要有 3 个活动期:加里东期中期 I 幕, 加里东期晚期—海西期, 印支期—燕山期。

(2) 塔河油田可划分为南、北两大走滑断裂体系:南部发育典型的 NNE、NNW 两组走向的“X”型共轭走滑断裂体系, 加里东期中期 I 幕在近 SN 向 (N3°E) 的挤压作用下形成;北部发育以 NNE 走向为主、少量近 SN 走向组合的非对称式共轭走滑断裂体系, 加里东期晚期—海西早期在 NNE 向 (N23°E) 的挤压作用下形成。

(3) 半定量厘定出塔河油田 10 区西两条  $F_1$  (NNE 走向)、 $F_2$  (NNW 走向) 走滑断裂在不同时期的性质与活动性系数:加里东期中期 I 幕,  $F_1$  (NNE 走向)、 $F_2$  (NNW 走向) 两组断裂初始形成(活动性系数  $f_a = 1.0$ ), 均为剪切作用下的库仑破裂;加里东期晚期—海西期,  $F_2$  (NNW 走向) 断裂压扭活动(活动性系数  $f_a = 1.1$ ),  $F_1$  (NNE 走向) 断裂未活动(活动性系数  $f_a = 0$ );印支期—燕山期,  $F_1$  (NNE 走向) 断裂发生张扭活动(活动性系数  $f_a = 2.1$ ),  $F_2$  (NNW 走向) 断裂整体不活动(活动性系数  $f_a = 0.6$ )。

## References

- An Haiping, Li Haiyin, Wang Jianzhong, Du Xiaofang. 2009. Tectonic evolution and its controlling on oil and gas accumulation in the northern Tarim basin. Geotectonica Et Metallogenesis, 33 (1): 142~147 (in Chinese with English abstract).
- Anderson E M. 1951. The dynamics of faulting. Edinburgh Geological Society Transactions, 8(3): 387~402.
- Han Changcheng, Lin Chenyan, Ren Lihua, Lu Xinbian, Wei Ting, Zhang Xianguo. 2016. Characteristics of Ordovician fault in the block of Tahe oilfield, Tarim basin and its controlling effect on karst reservoirs. Natural Gas Geoscience, 27(5): 790~798 (in Chinese with English abstract).
- Jia Chengzao. 1999. Structural characteristics and oil/gas accumulative regularity in Tarim basin. Xinjiang Petroleum Geology, 20(3): 177~183 (in Chinese with English abstract).
- Jiao Fangzheng. 2017. Significance of oil and gas exploration in NE strike-slip fault belts in Shuntuogoule area of Tarim basin. Oil & Gas Geology, 38(5): 831~839 (in Chinese with English abstract).

- abstract).
- Jiang Tongwen, Chang Lunjie, Deng Xingliang, Li Shiyin, Wu Guanghui, Wan Xiaoguo, Guan Baozhu. 2021. Geological understanding and evalution technology of fault controlled carbonate reservoir development: A case study of the Tarim Basin. *Natural Gas Industry*, 41(3): 1~7 (in Chinese with English abstract).
- Liu Changlei, Zhang Yiqiong, Zhang Yong, Sun Fangyuan, Chen Jiajun, He Dengfa. 2018. Analysis of regional structural cross section of the north and central Tarim basin and new insights into paleo-uplift origin. 2018. *Oil & Gas Geology*, 39(5): 1001~1010 (in Chinese with English abstract).
- Lu Xinbian, Yang Ming, Wang Yan, Bao Dian, Cao Fei, Yang Debing. 2018. Geological characteristics of 'strata-bound' and 'fault-controlled' reservoirs in the northern Tarim basin: Taking the Ordovician reservoirs in the Tahe oil field as an example. *Petroleum Geology & Experiment*, 40(4): 461~470 (in Chinese with English abstract).
- Lv Haitao, Zhang Shaonan, Ma Qingyou. 2017. Classification and formation mechanism of fault systems in the central and northern Tarim basin. *Petroleum Geology & Experiment*, 39(4): 444~452 (in Chinese with English abstract).
- Ma Qingyou, Lv Haitao, Jang Huashan, Li Xiaoyi. 2015. A division program of structural units in the Paleozoic platform-basin region, Tarim basin. *Marine Origin Petroleum Geology*, 20(1): 1~9 (in Chinese with English abstract).
- Ma Qingyou, Cao Zicheng, Jang Huaahan, Lan Mingjie. 2020. Source-connectivity of strike-slip fault zone and its relationship with oil and gas accumulation in Tahe-Shunbei area, Tarim basin. *Marine Origin Petroleum Geology*, 25(4): 327~334 (in Chinese with English abstract).
- Meng Xiangxia, Wang Hongbin, Yao Qingzhou, Yu Jianping, Dai Dongdong, Yang Lisha. 2015. Tectonic evolution characteristics of Tabei uplift and its controlling effiect on the reservoir and hydrocarbon accumulation of Ordovician carbonate. *Natural Gas Geoscience*, 26(S1): 109~120 (in Chinese with English abstract).
- Qi Lixin. 2016. Oil and gas breakthrough in ultra-deep Ordovician carbonate formations in Shuntuogoule uplift, Tarim basin. *China Petroleum Exploration*, 21(3): 38~51 (in Chinese with English abstract).
- Qi Jiafu, Xia Yiping, Yang Qiao. 2006. Structural Analysis of Oil Province. Beijing: Petroleum Industry Press; 15~19 (in Chinese with English abstract).
- Sylvester A G. 1988. Strike-slip faults. *Geological Society of America Bulletin*, 100: 1666~1703.
- Suo Shutian, Hou Guangjiu, Shi Lin, Wei Bize, Yu Yongzhi. 2000. Asymmetric and conjugate low-angle shear fracture system in Three Gorges Dam region, China. *Earth Science-Journal of China University of Geosciences*, 25(3): 283~288 (in Chinese with English abstract).
- Tang Liangjie. 1994. Evolution and tectonic patterns of Tarim basin. *Earth Science*, 19(6): 742~754 (in Chinese with English abstract).
- Tong H M, Yin A. 2011. Reactivation tendency analysis: A theory for predicting the temporal evolution of preexisting weakness under uniform stress state. *Tectonophysics*, 503(3): 195~200.
- Tong H M, Koyi H, Huang S, Zhao H. 2014a. The effect of multiple pre-existing weaknesses on formation and evolution of faults in extended sandbox models. *Tectonophysics*, 626: 197~212.
- Tong Hengmao, Wang Jianjun, Zhao Haitao, Li Bo, Hao Huawu, Wang Mingyang. 2014b. Mohr space and its application to the activation prediction of pre-existing weakness. *Science China: Earth Sciences*, 44(9): 1948~1957 (in Chinese with English abstract).
- Tong Hengmao, Chen Zhengle, Liu Ruixun. 2015. Generalized shear activation criterion, 37(6): 441~447 (in Chinese with English abstract).
- Wan Tianfeng. 1984. Discussion on the shear angle of conjugate fractures. *Geological Review*, 30(2): 106~113 (in Chinese with English abstract).
- Wang Jingyun, Song Huili, Wang Zhengbin, Liu Shu, Jin Zhenhua. 2004. Rift system of Dongpu sag and its meaning. *Oil Geophysical Prospecting*, 39(6): 724~729 (in Chinese with English abstract).
- Wu Guanghui, Chen Zhiyong, Qu Tailai, Wang Chunhe, Li Haowu, Zhu Haiyan. 2012. Characteristics of the strike-slip fault facies in Ordovician carbonate in the Tarim Basin, and its relations to hydrocarbon. *Acta Geologica Sinica*, 86(2): 219~227 (in Chinese with English abstract).
- Zhai Xiaoxian. 2011. Exploration practice and experience of Tahe giant oil-and-gas field, Tarim basin. *Petroleum Geology & Experiment*, 33(4): 323~331 (in Chinese with English abstract).

## 参 考 文 献

- 安海亭, 李海银, 王建忠, 都小芳. 2009. 塔北地区构造和演化特征及其对油气成藏的控制. *大地构造与成矿学*, 33(1): 142~147.
- 韩长城, 林承焰, 任丽华, 鲁新便, 魏婷, 张宪国. 2016. 塔里木盆地塔河10区奥陶系断裂特征及对岩溶储层的控制作用. *天然气地球科学*, 27(5): 790~798.
- 贾承造. 1999. 塔里木盆地构造特征与油气聚集规律. *新疆石油地质*, 20(3): 177~183.
- 焦方正. 2017. 塔里木盆地顺托果勒地区北东向走滑断裂带的油气勘探意义. *石油与天然气地质*, 38(5): 831~839.
- 江同文, 昌伦杰, 邓兴梁, 李世银, 邬光辉, 万效国, 关宝珠. 2021. 断控碳酸盐岩油气藏开发地质认识与评价技术——以塔里木盆地为例. *天然气工业*, 41(3): 1~7.
- 刘长磊, 张艺琼, 张永, 孙方源, 陈横俊, 何登发. 2018. 塔北-塔中区域构造地质大剖面解析及古隆起成因新解. *石油与天然气地质*, 39(5): 1001~1010.
- 鲁新便, 杨敏, 汪彦, 鲍典, 曹飞, 杨德彬. 2018. 塔里木盆地北部“层控”与“断控”型油藏特征——以塔河油田奥陶系油藏为例. *石油实验地质*, 40(4): 461~470.
- 吕海涛, 张哨楠, 马庆佑. 2017. 塔里木盆地中北部断裂体系划分及形成机制探讨. *石油实验地质*, 39(4): 444~452.
- 马庆佑, 吕海涛, 蒋华山, 李晓益. 2015. 塔里木盆地台盆区构造单元划分方案. *海相油气地质*, 20(1): 1~9.
- 马庆佑, 曹自成, 蒋华山, 兰明杰. 2020. 塔河-顺北地区走滑断裂带的通源性及其与油气富集的关系. *海相油气地质*, 25(4): 327~334.
- 孟祥霞, 王宏斌, 姚清洲, 余建平, 代冬冬, 杨丽莎. 2015. 塔北隆起构造演化特征及对奥陶系碳酸盐岩的控储控藏作用. *天然气地球科学*, 26(S1): 109~120.
- 漆家福, 夏义平, 杨桥. 2006. 油区构造解析. 北京: 石油工业出版社; 15~19.
- 漆立新. 2016. 塔里木盆地顺托果勒隆起奥陶系碳酸盐岩超深层油气突破及其意义. *中国石油勘探*, 21(3): 38~51.
- 索书田, 侯光久, 石林, 韦必则, 余永志. 2000. 三峡坝区非对称共轭低缓角度剪破裂系. *地球科学——中国地质大学学报*, 25(3): 283~288.
- 汤良杰. 1994. 塔里木盆地构造演化与构造样式. *地球科学*, 19(6): 742~754.
- 童亨茂, 王建君, 赵海涛, 李波, 郝化武, 王明阳. 2014b. “摩尔空间”及其在先存构造活动性预测中的应用. *中国科学: 地球科学*, 44(9): 1948~1957.
- 童亨茂, 陈正乐, 刘瑞瑜. 2015. 广义剪切活动准则. *自然杂志*, 37(6): 441~447.
- 万天丰. 1984. 关于共轭断裂剪切角的讨论. *地质论评*, 30(2): 106~113.
- 王婧韫, 宋慧利, 王正斌, 刘淑, 金振华. 2004. 东濮凹陷断裂体系及其意义. *石油地球物理勘探*, 39(6): 724~729.
- 邬光辉, 陈志勇, 曲泰来, 王春和, 李浩武, 朱海燕. 2012. 塔里木盆地走滑带碳酸盐岩断裂相特征及其与油气关系. *地质学报*, 86(2): 219~227.

翟晓先. 2011. 塔里木盆地塔河特大型油气田勘探实践与认识. 石

油实验地质, 33(4): 323~331.

## Characteristics and genetic mechanism of the strike-slip fault system in the Ordovician of the Tahe oilfield

MA Qingyou<sup>1,2,3)</sup>, ZENG Lianbo<sup>\*1,2)</sup>, XU Xuhui<sup>4)</sup>, GENG Feng<sup>3)</sup>, TONG Hengmao<sup>1,2)</sup>,  
JIANG Huashan<sup>3)</sup>, XIAO Kunze<sup>1,2)</sup>

1) State Key Laboratory of Petroleum Resources and Prospecting, China University of Petroleum (Beijing), Beijing 102249, China;

2) College of Geosciences, China University of Petroleum (Beijing), Beijing 102249, China;

3) Northwest Oilfield Branch of SINOPEC, Urumqi, Xinjiang 830011, China;

4) Geophysical Research Institute of SINOPEC, Nanjing, Jiangsu 211100, China

\* Corresponding author: lbgzeng@cup.edu.cn

### Abstract

The Ordovician fault-karst reservoirs in Tahe oilfield is an important object of oil and gas exploration and development in Tarim Basin. The paper analyzes the strike-slip faults in the western area of Block 10, Yuqi and the area of Yuqi 8 well in Tahe oilfield from the 3D seismic data. On this basis, a new understanding of the formation, evolution and genesis mechanism of the strike-slip fault system in Tahe oilfield is obtained. The results show that: ① In addition to the typical “X” type symmetric conjugate strike-slip fault system developed in the area of Block 10 and the Tuoputai in the south of the Tahe oilfield, the asymmetric conjugate strike-slip fault system has been discovered in the Yuqi area in north of Tahe oilfield for the first time. According to this, the south and north strike-slip fault systems in Tahe oilfield are divided. However, there are obvious differences in the formation time, maximum principal stress direction and dynamic source of the two fault systems. ② The formation and evolution of the two strike-slip fault systems can be divided into three stages: the two groups of symmetrical “X” conjugate strike-slip fault systems of NNE and NNW formed in the south of the middle Caledonian (Stage I), which were mainly affected by the subduction of the West Kunlun Ocean, and the maximum principal compressive stress direction was N3°E; Late caledonian to early hercynian produced mainly by the south tianshan ocean subduction subduction of the extrusion from N to S form of maximum principal compressive stress direction for N23° north nearly NE was given priority to, a small amount of SN to non symmetric conjugate strike-slip fracture system and late hercynian inherited but principal stress direction remains the same; The indosinian and Yanshanian strike-slip fault systems were mainly affected by the closure of the Southern Tethyan Ocean, resulting in the continuous activities of the two strike-slip fault systems, and the maximum principal compressive stress direction was N37°E. ③ The properties and activities of two groups of the “X” type symmetric conjugate strike-slip faults in different periods in west F<sub>1</sub>(NNE) and F<sub>2</sub>(NNW) in the western area of the Block 10 were analyzed semi-quantitatively by using the theory and method of generalized shear activity criterion. In the middle Stage of Caledonian (Stage I), F<sub>1</sub>(NNE) and F<sub>2</sub>(NNW) groups were formed initially by coulomb fracture (activity coefficient  $f_a = 1.0$ ) under shear action. During the late Caledonian to Hercetic period, F<sub>2</sub>(NNW) fault produced compression-torsion activity (activity coefficient  $f_a = 1.1$ ), which resulted in overall inactivity of F<sub>1</sub>(NNE) fault (activity coefficient  $f_a = 0$ ). During the Indosinian-Yanshanian period, the F<sub>1</sub>(NNE) fault was tension-torsion active (activity coefficient  $f_a = 2.1$ ), resulting in the overall inactivity of F<sub>2</sub>(NNW) fault (activity coefficient  $f_a = 0.6$ ). Therefore, the distribution, formation and evolution of the strike-slip fault system as well as the activity intensity in different periods are clarified in this paper, which can lay a better foundation for the exploration and development of the fault-solution reservoir in the Tahe oilfield.

**Key words:** “X” type conjugate strike-slip fault system; formation and evolution; formation mechanism; generalized fault model; Tahe oilfield