

# Strike-Slip Fault System and It's Controlling on the Formation of "Reservoir of Fault Controlling Dissolution"

—A Case Study of Toufutai Area, Tahe Oil Fields

Tao Wu<sup>1</sup>, Shaokang Dai<sup>2</sup>, Fei Cao<sup>1</sup>, Juan Zhang<sup>1</sup>, Zhiqiang Lu<sup>1</sup>, Hengmao Tong<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Research Institute of Exploration and Development, SINOPEC Northwest Oilfield Company, Urumqi Xinjiang

<sup>2</sup>Key National Laboratories of Oil and Gas Resources and Exploration, China University of Petroleum, Beijing

Email: \*tonghm@cup.edu.cn, tong-hm@163.com

Received: Oct. 9<sup>th</sup>, 2017; accepted: Oct. 23<sup>rd</sup>, 2017; published: Oct. 31<sup>st</sup>, 2017

## Abstract

Tahe Oilfield is a large carbonate oil field found in the Tarim Basin. The development practice shows that the fault formation, evolution and the mechanism of the control, as well as the law controlling, the carbonate dissolution need to further deepen study. In this paper, Toufutai area as a case study, using high-precision three-dimensional seismic data and oil field production dynamic data, the Ordovician fault system in Tuofuai area of Tahe Oilfields was studied. Based on the analysis of the characteristics, formation, evolution and origin mechanism of the fault system, and the interpretation of the karst cave distribution, this paper studies the control and influence of the strike slip fault on the formation of the karst cave. The results show that the strike-slip faults formed in the early Caledonian-Hercynian movement are "karst cave controlling fault", in which the fault scale, structural style, fault activity period, the distribution of waterproofing layer of Ordovician Suangtamu formation are the main factors of karst cave development. This knowledge enriches the connotation of the theory of "reservoir of fault related dissolution" of carbonate rock and has the guiding significance for further exploration and development of other oil fields in Tarim Basin.

## Keywords

Strike-Slip Fault, Carbonatite, Fault Controlling Dissolution, Karst Effect, Tahe Oilfields

# 走滑断裂系对碳酸盐岩“断溶体”油藏形成的控制作用

—以塔河油田托甫台北为例

吴涛<sup>1</sup>, 戴少康<sup>2</sup>, 曹飞<sup>1</sup>, 张娟<sup>1</sup>, 卢志强<sup>1</sup>, 童亨茂<sup>2\*</sup>

\*通讯作者。

<sup>1</sup>中石化西北油田分公司勘探开发研究院; 新疆 乌鲁木齐  
<sup>2</sup>中国石油大学北京油气资源与探测国家重点实验室, 北京  
Email: \*tonghm@cup.edu.cn, tong-hm@163.com

收稿日期: 2017年10月9日; 录用日期: 2017年10月23日; 发布日期: 2017年10月31日

## 摘要

塔河油田是在塔里木盆地发现的特大碳酸盐岩油气田。开发实践表明, 断裂的形成演化及成因机制, 以及对溶蚀作用的控制作用规律还需要进一步深化研究。本文以塔河油田托甫台区为例, 利用高精度三维地震资料及油田生产动态资料, 在对断裂系统特征、形成演化及其成因机制系统解析的基础上, 结合溶洞分布的解释, 研究分析走滑断裂对溶洞形成的控制和影响。结果表明, 加里东中期-海西运动早期形成的走滑断裂均是“控洞断裂”, 其中断层规模、构造样式、断裂活动期次、奥陶系隔水层桑塔木组的分布是控制溶洞发育的主要因素。该认识丰富了碳酸盐岩“断溶体圈闭”理论的内涵, 并对塔里木其他油田进一步的勘探开发有指导意义。

## 关键词

走滑断裂, 碳酸盐岩, 断溶体, 岩溶作用, 塔河油田

Copyright © 2017 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

塔河油田是 1996 年在塔里木盆地发现的特大碳酸盐岩油气田, 储层主体是奥陶系的碳酸盐岩[1]-[6]。塔河油田托甫台区处于塔里木盆地东北坳陷阿克库勒凸起西南倾末端[7], 北东方向毗邻塔河油田主体区(图 1)。前人认为塔河油田属于阿克库勒凸起上的碳酸盐岩缝洞型油气藏, 经多期岩溶作用的叠加改造, 形成以风化壳岩溶为主的缝洞体, 其中岩溶古地貌是控制岩溶发育的重要因素之一[6] [8] [9]。随着塔河油田勘探开发的不断深入, 发现塔河油田岩溶缝洞体的发育与断裂发育之间有良好的匹配关系, 具有明显的“断控岩溶”特征, 以断裂带为核心发生溶蚀扩大, 使之成为覆盖区中-下奥陶统岩溶缝洞体发育的有利区带[10]-[18]。在此基础上, 鲁新便等[19]首次提出了“断溶体”油藏的概念(储层发育及油气分布受断层及其溶蚀孔洞所控制而形成的油藏), 并进一步阐述了塔河上奥陶统覆盖区“断溶体”油藏的形成机理及其特征, 十分明确地指出了断层与碳酸盐岩溶蚀作用和油气成藏的紧密联系。“断溶体”模式对塔河油田的开发发挥了良好的指导作用。

随着塔河油田开发挖潜的不断深入, 发现不同断裂、同一断裂带的不同段落、主次断裂不同的组合方式、以及离断裂带的远近都对油井的产量有影响, 但具体的影响作用没有明确的认识; 已有的断裂演化研究均依据 Anderson 断层模式[20], 但该模式基于均匀介质, 具有显著的局限性; 已有的“断溶体”模式无法满足塔河油田进一步开发挖潜的需要, 需要进一步的深化研究。

本文以广义断层模式理论(即先存构造条件下的断层作用模式[21] [22] [23] [24])为指导, 利用高精度三维地震资料, 结合钻井资料和开发动态数据, 以塔河油田托甫台地区为例, 主要针对 TP12CX 和 S99

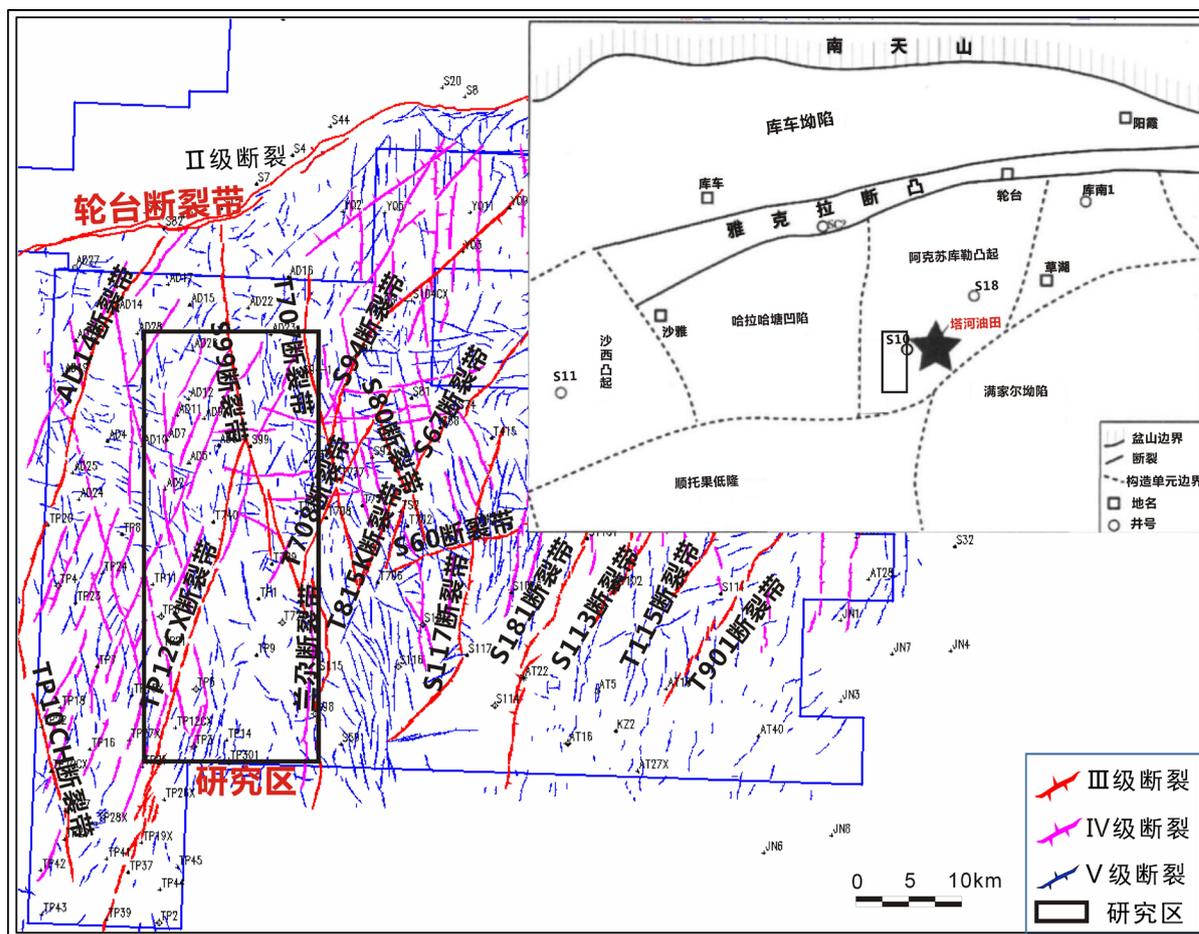


Figure 1. The distribution map of Ordovician faults in Tahe area

图 1. 塔河油田奥陶系  $T_7^6$  反射层断裂分布图

两个走滑断裂带(图 1), 精细解剖断裂系统特征、演化及成因机制, 包括断层的产状(走向与倾角)、剖面主次断裂的组合特征(构造样式)、平面组合特征及其横向变化(分段性)、断层的性质、演化历史和动力机制等。在此基础上, 研究分析断裂对碳酸盐岩溶蚀作用的控制和影响作用特征和规律, 建立走滑断裂系统对溶蚀作用的控制作用模式。

该模式的建立将深化碳酸盐岩“断溶体”控藏模式, 一方面可以指导塔河油田进一步的开发挖潜, 另一方面, 也可以为其他“断溶体”碳酸盐岩油藏的勘探开发提供借鉴。

## 2. 托甫台区走滑断裂系的几何特征

托甫台区所在的塔河油田位于塔里木盆地北部沙雅隆起阿克库勒凸起, 先后经历了加里东期、海西期、印支期—燕山期及喜马拉雅期等多期构造运动(表 1), 在上述构造演化背景下, 形成了一系列规模不等、多期叠加的断裂系统。

通过三维地震资料系统的构造解释, 塔河油田西部的断裂在平面上分布具明显的规律, 构成了十分显著的共轭走滑断裂系(平面“X”型), 表现为“菱形格状”的组合特征(图 1)。本文重点解剖托甫台地区(图 1 黑色方框内区域)内的一对共轭走滑断裂系——S99 断裂带、TP12CX 断裂带的特征。

NNW 向的 S99 断裂带和 NNE 向的 TP12CX 断裂带具有典型的共轭特征, 构成托甫台地区的构造格架(图 2)。本文三维地震资料构造解释的基础上, 从断层的产状(走向与倾角)、剖面主次断裂的组合特征(构

**Table 1.** The tectonic evolution and active stages of fault  
**表 1.** 塔河油田构造演化及断裂活动期次表

地质时代		波组	接触关系	期	应力体制 及主应力方向	断裂活动及强度
代	纪、世					
新生代	Q	T <sub>1</sub>		喜马拉雅期	NE-SW 向挤压	无断裂活动
	N <sub>2</sub>	T <sub>2</sub> <sup>0</sup>	上超-卸载			
	N <sub>1</sub>	T <sub>3</sub> <sup>0</sup>	上超-卸载			
中生代	E	T <sub>3</sub> <sup>0</sup>	上超-卸载	燕山-印支期	NE-SW 向挤压	TP12cx、S99 主干断裂微弱右旋走滑活动 T-K 发育有 NE 向雁列正断层
	K <sub>2</sub>	T <sub>3</sub> <sup>2</sup>				
	K <sub>1</sub>	T <sub>3</sub> <sup>2</sup>				
	J	T <sub>4</sub> <sup>0</sup>	局部卸载			
	T	T <sub>4</sub> <sup>0</sup>	卸载			
	P <sub>3</sub>	T <sub>4</sub> <sup>6</sup>	卸载			
晚古生代	P <sub>1-2</sub>	T <sub>5</sub> <sup>0</sup>	卸载	海西期	N-S 向弱挤压	TP12cx 主干断裂弱压扭活动, S99 主干断裂张扭活动
	C <sub>2</sub>	T <sub>5</sub> <sup>1</sup>	上超-卸载			
	C <sub>1</sub>	T <sub>5</sub> <sup>1</sup>	上超-卸载			
	D <sub>3</sub>	T <sub>5</sub> <sup>6</sup>				
	D <sub>1-2</sub>	T <sub>5</sub> <sup>6</sup>	卸载			
	S	T <sub>5</sub> <sup>7</sup>	卸载			
早古生代	O <sub>3</sub>	T <sub>6</sub> <sup>0</sup>	上超	加里东晚期	N-S 向挤压	TP12cx、S99 主干断裂弱压扭活动
	O <sub>1-2</sub>	T <sub>6</sub> <sup>1</sup>	上超-卸载			
	E	T <sub>7</sub> <sup>0</sup>	上超-卸载			
	E	T <sub>7</sub> <sup>4</sup>	上超			
元古代	Z	T <sub>8</sub> <sup>0</sup>	上超-卸载	加里东中期	稳定阶段	无断裂活动
	Z	T <sub>9</sub> <sup>0</sup>	上超-卸载			
	Z	T <sub>10</sub> <sup>0</sup>	上超-卸载			
AnZ						

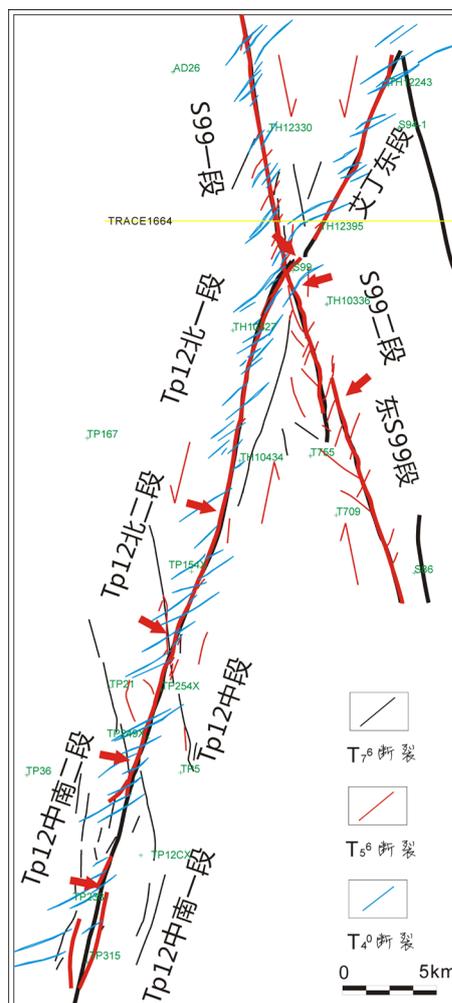
造样式)、平面组合特征及其横向变化(分段性)来解剖 S99、TP12CX 断裂带的几何特征。

### 2.1. 断裂剖面组合特征——构造样式

通过三维高精度三维地震资料(包括相干体)的构造解析,塔河油田托甫台区的 TP12CX、S99 断裂带为典型的共轭走滑断裂系,但主次断裂的剖面组合特征在不同段落表现出显著的差异,即不同段落存在不同类型的构造样式。通过对地震资料的精细解释(4 × 4),识别出单支状、花状两大类走滑断裂构造样式,其中花状断裂包括半花状、正花状、负花状、复合型四个亚类(图 3)。正是这种构造样式的横向变化是导致“断控储层”横向差异的地质基础。

“单支状”:只有主干断裂,没有分支断层。走滑作用的同时也有垂向位移,导致地层错断。断裂面高陡狭窄,剖面呈独立单支状,平面为线性展布(图 3)。

“花状构造”:花状构造是走滑断裂中主干断裂和分支断裂在剖面上的特殊组合形态,是鉴别走滑



**Figure 2.** The ichnography of faults in western Tahe area  
**图 2.** 托甫台地区 S99、TP12CX 走滑断裂系不同反射层  
 断层平面叠合图(反射层界面代号的涵义见表 1)

断裂的重要标志之一。花状构造样式主要特征为主干断裂基底走滑错断，断裂面高陡狭窄，浅层地层破碎明显，分支断裂发散，向下底部收敛、合并，一般分负花状构造和正花状构造。但本区除上述两种类型外，还识别出正-负花状的叠加类型(“复合型”)及只有一侧发育分支断裂的“半花状构造”，即本区的花状断裂包括半花状、正花状、负花状、复合型四个亚类(图 3)。

正花状构造样式主要在奥陶系地层发育，造成奥陶系(T74 反射层以下)斜向压扭错断，形成向上撒开的逆冲断层分支，形成背形断背斜构造(图 3)，是压扭构造作用下的产物。

负花状构造主要发育在晚古生界及中生界地层中，表现为地层斜向张扭错断，由向上撒开的正断层分支构成，形成向下塌陷的向形构造，是张扭构造作用下的产物。

复合型花状构造是本区发育的比较独特的构造样式类型，是在正花状构造的基础上叠加负花状构造而形成，是作者新发现的构造样式类型。其中在奥陶系构造层表现为正花状构造、而在上古生界和中生界地层中则表现为负花状构造，系压扭和张扭构造作用叠加而成(图 3)。

不同类型花状构造的发育为一方面为断裂活动期次的精确的构造解析提供了很好的依据，另一方面，也可以差异溶蚀作用规律研究提供线索。正花状构造、负花状构造和雁列构造活动时间是本区确定走滑

构造样式	平面特征及图示	典型剖面及图示	主要分布区
单支状			TP12CX、S99主干断裂普遍分布
半花状构造			TP12CX断裂带中段
正花状构造			S99断裂带一段
负花状构造			S99断裂带二段、东S99断裂带
正花状构造 负花状构造 复合型			S99断裂带一段

**Figure 3.** The tectonic style of strike-slip fault in western Tahe area  
**图 3.** 塔河西部走滑断裂构造样式(图中反射层代号的涵义见表 1)

断层活动期次的主要依据。

## 2.2. 主断裂带的分段性及其组合特征

TP12CX 和 S99 是组成共轭的两条走滑断裂带，但这两条断层沿走向在平 - 剖面上的构造特征均表现出明显的变化，表现出同一条断层存在明显的分段性。正是这种分段性，造成不同段落对碳酸盐岩的溶蚀作用产生很大的横向变化。

TP12CX 断裂位于塔河西南部，在  $T_7^6$  反射界面(奥陶系一间房组内)与 S99 断裂带呈锐角相交，构成共轭。该断裂走向 NNE，倾向 SEE-NWW，平面延伸较远，长约 53 km，断面陡立，倾角  $75^\circ\sim 90^\circ$ ，垂向断距不大(5~25 m)，向下均断开  $T_9^0$ ，而浅层发育程度有所不同。

按照 TP12CX 断裂带的断裂平面上的差异，次级共轭断裂交切关系，断层倾向和倾角，构造样式的差异情况等因素，可将 TP12CX 断裂带分为艾丁东段、TP12CX 北一段、TP12CX 北二段、TP12CX 中段、TP12CX 中南一、二段 6 个段落。(图 2)。

TP12CX 走滑断裂带由南向北：① 断层向上断开层位依次变浅，中南段断至泥盆 - 石炭系，而中、北段、艾丁东段上部断达三叠系；② 断层倾向从中南段以北出现反转(表现为走滑断层的丝带效应)：在南段为西倾，向北为东倾，表现出“丝带效应”；③ 断层的组合存在差异：南北两侧(南段 - 中段和艾丁东段)组合相对比较简单，中间(北段)相对比较复杂；④ 断层性质存在差异：南段 - 北段存在明显的压扭特征，艾丁东段压扭特征不明显。

S99 断裂位于塔河十区西部，断裂走向 NNW，倾向 SWW-NEE，平面延伸较远，长约 32 km，连续

性较好,断面较陡,倾角  $75^{\circ}\sim 90^{\circ}$ ,接近直立,垂向断距不大(10~40 m)。在  $T_5^6$  反射界面(石炭系巴楚组顶)平面上, S99 主干断裂连续性较好,主干断裂带附近发育了 NE-NW 向次级雁列断层。 $T_4^0$  界面(侏罗系顶)上, S99 主干断裂不发育,沿 S99 一段其原有走向发育 NE 向雁列断层。与 TP12CX 同样的划分原则,将 S99 断裂带分为 S99 一段, S99 二段, S99 东段。S99 断裂向下均断开  $T_{90}$ ,而浅层发育程度有所不同,由南向北,断开层位依次变浅, S99 东段断至泥盆-石炭系,而 S99 一、二段上部断达三叠系;断裂带影响较 TP12CX 宽, S99 东段发育一条主断裂,平面上连续,周围没有共生或派生断裂; S99 二段与 S99 一段则发育少量次级断裂,与主干断裂斜交或平行。

### 3. 走滑断裂的演化历史及成因机制

塔河油田奥陶系储层形成以来经历了多期构造运动叠加。确定哪些构造运动对本区断裂形成和演化产生影响(即断裂的活动期次和演化历史)既有重要的科学价值,也有重要的实际应用价值。本文通过构造解析的思想和技术方法,应用广义断层模式[21] [22] [23] [24],根据断裂的展布方向与组合样式、断开层位、剖面的平衡恢复(CR1664 测线的构造演化剖面,见图 5),结合区域构造应力场背景分析,确定托甫台北地区断裂系统的活动为三期:加里东中-晚期,海西期,印支-燕山期(表 1)。各期的断裂特点如下:

加里东中-晚期:区域上,本区所在的阿克库勒地区处于南北向挤压的应力状态。本区在走滑应力体制的作用下,形成共轭走滑断层系,锐角平分线的方向(南北向)为最大挤压方向(图 4)。其中 TP12CX 与 S99 的主干断裂在这一阶段形成(图 5(a)),为典型的共轭走滑断层,而与之方向一致的共轭走滑断层在本区系统发育,构成本区特征的“菱形格”状构造(图 1)。大部分断裂总体规模较大,连续性较好。

根据广义断层模式[21] [22] [23] [24],共轭走滑断层系的普遍发育,反映变形介质(奥陶系碳酸盐岩地层)总体比较均匀。

海西期:海西期运动是阿克库勒地区最为重要的一期构造运动,在近南北向挤压应力下,强烈的区域性抬升剥蚀伴随着 NE 向阿克库勒鼻凸的基本成型[16],变形强度及剥蚀程度具有北强南弱的特点。断裂发育及规模较加里东期明显增强,加里东期的断裂大部分继续活动,并发育大量与主干断裂相关的次级断裂, TP12CX 和 S99 也产生大量分支断层,正花状构造在这一阶段形成(图 5(b))。

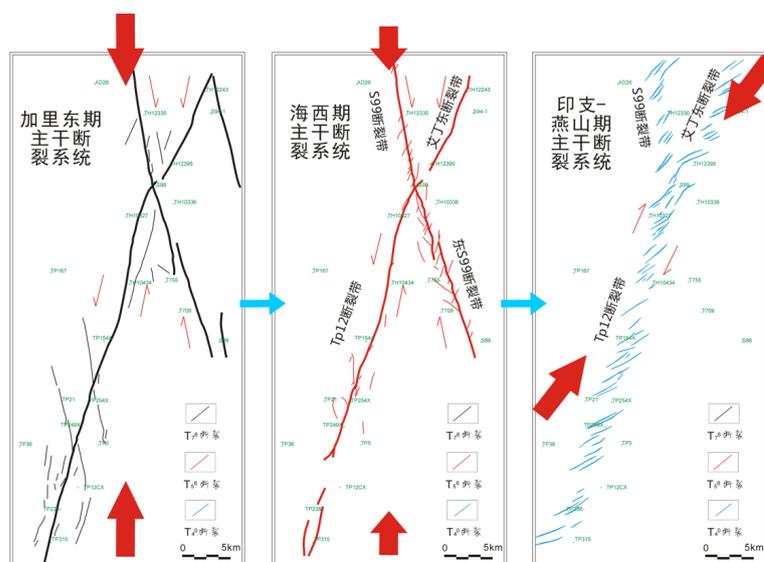


Figure 4. The complanate character of fault system in each term

图 4. 不同时期断裂系统平面特征

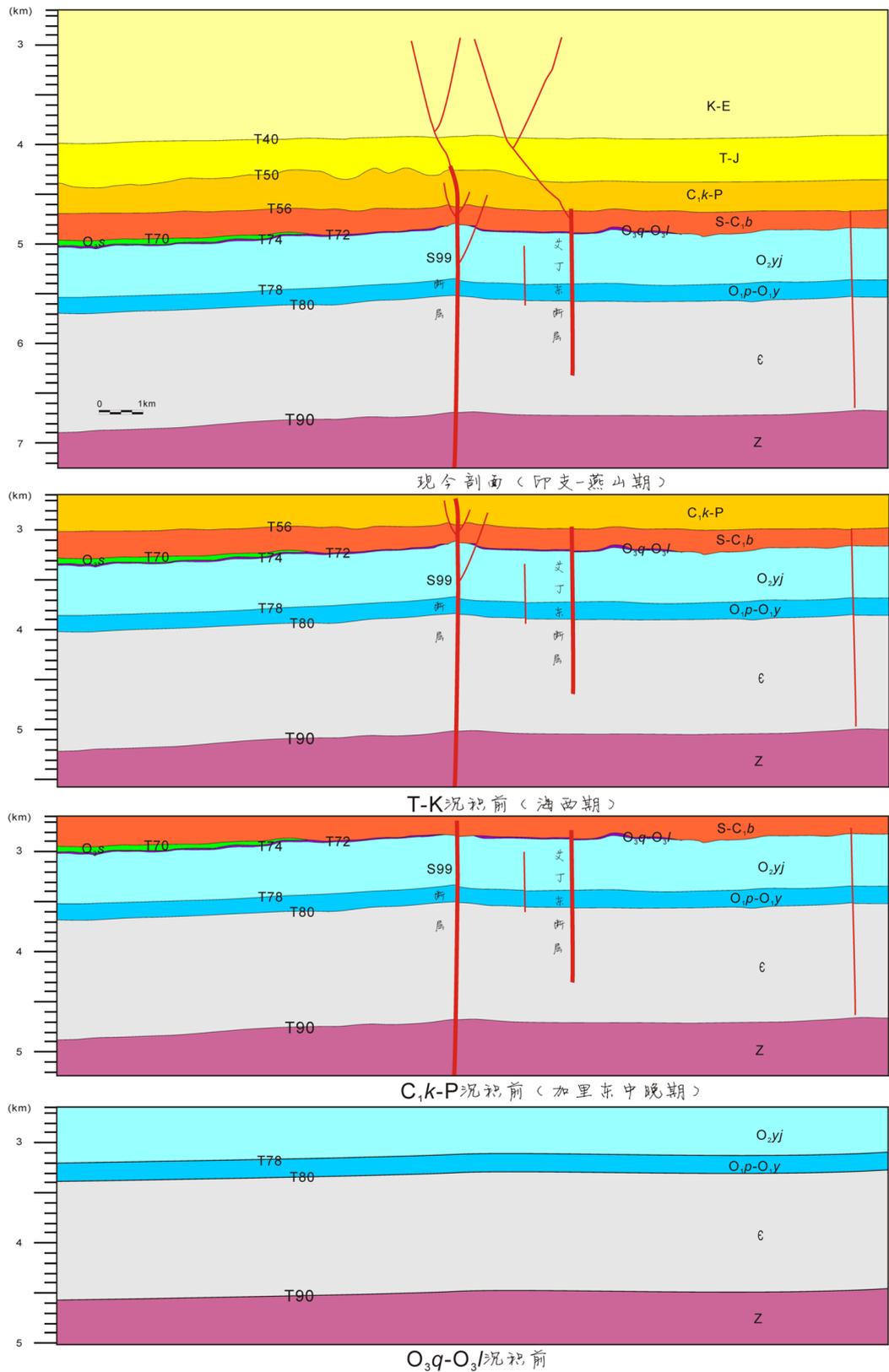


Figure 5. Tectonic evolution diagram of Trace1664 in Tahe area

图 5. 塔河十区测线 Trace1664 构造演化剖面

印支 - 燕山期: 从区域构造变形上, 印支 - 燕山期塔河地区表现为翘倾特征。塔河西部具体表现为在先存断裂的影响下, 沿着主干断裂带发育 NE 向张性正断层, 位置完全受主干断裂控制, 表现为显著的雁列组合(图 4(c))。沿 TP12CX 整条断裂都有发育, 但沿 S99 断裂只在北段发育。而雁列断层的组合方式均为左阶, 每条断层的走向基本一致(图 4(c))。根据广义断层模式, 这些小型正断层的平均走向(NE40°)可以反映最大主压应力的方向, 即印支 - 燕山期的主压应力方向为北东向(NE40°)。

小型正断层的三维结构分析表明, 这些小型正断层均是主干断层的分支断层(图 5(c)), 表明主干断层在印支 - 燕山期也有一定的活动。

## 4. 断裂对岩溶作用的控制与影响

塔河油田古岩溶作用可划分为 4 期, 即加里东中 - 晚期、海西早期、海西晚期、印支 - 燕山期, 其中主要对奥陶系碳酸盐岩起到作用岩溶时期发生于海西早期, 其次是加里东中期。桑塔木组以泥质为主的细粒碎屑岩很大程度上阻隔了海西期岩溶作用的发生, 因此, 桑塔木组尖灭线控制了海西早期岩溶的分布, 桑塔木组覆盖区是加里东中 - 晚期岩溶的分布区, 而桑塔木组剥蚀区是海西早期岩溶的分布区及加里东中期岩溶的改造区。由于托甫台地区(共轭断裂交回处以南)有巨厚的桑塔木组覆盖, 因此岩溶作用主要是加里东中 - 晚期岩溶, 岩溶缝洞系统主要受断裂控制。以北地区(共轭断裂交汇处以北)则是海西早期岩溶的分布区及加里东中 - 晚期岩溶的改造区。

### 4.1. 断裂带岩溶特征控制因素

奥陶系是塔河油田的主要储层。由于奥陶系沉积环境十分稳定, 原始地层岩性横向变化很小, 在没有后期改造的区域, 地震剖面上表现为横向十分稳定的同向轴。但由于后期的断裂和溶蚀作用, 使地震相的形态和特征产生变化(漆立新, 2005)。地震相的这种变化, 反过来可以用来解释溶蚀作用的分布情况。为此, 作者以 TP12CX 和 S99 两条断裂为目标, 选择平行和垂直断裂的系列地震剖面, 利用地震相, 并结合生产动态资料, 进行岩溶分布特征的解释, 并对两条断层不同段落的岩溶作用特征(包括岩溶作用深度, 断裂带控制的岩溶作用范围, 以及岩溶作用下形成的缝洞体形态)进行了详细描述与统计(图 6, 图 7)并与生产动态资料进行了对比分析(图 7)。

结果表明不同断裂带, 或同一断裂带不同段落, 其岩溶作用特征均有不同, 断裂带岩溶波及范围以及岩溶作用深度整体由南向北逐渐增加, 其中在 TP12CX 与 S99 交汇处, 主断裂与次级断裂交汇处, 或次级断裂较为发育的段落, 波及范围与作用深度也有所增加。由此说明, 研究区内岩溶作用主要受到上奥陶统桑塔木组厚度, 断裂断达层位与活动性, 断裂的构造样式等几个因素有关。

#### 1) 上奥陶统桑塔木组是控制海西期表层岩溶作用的主要因素

上奥陶统桑塔木组岩性以泥质为主的细粒碎屑岩, 当其厚度小于 100 m 左右的时候, 对海西早期大气水的向下渗透没有起到明显的阻隔作用。因此在上奥陶统桑塔木组剥蚀区或较薄的区域(S99 断裂带, TP12CX 断裂带艾丁东段, 北一段, )即使不在断裂带附近, 整个 T74 以下 200 m 范围内均可见明显的岩溶现象, 而在桑塔木组较厚的托甫台区(TP12CX 断裂带中段, 中南段), 在非断裂带以外的区域, 岩溶作用基本不发育。

#### 2) 断裂断达层位与活动性

无论是中下奥陶统直接出露的北部地区还是桑塔木组覆盖区, 中下奥陶统都表现出海西早期岩溶强烈或较为强烈发育的特征。这主要在于海西早期构造运动形成大量的断裂和巨大的地形高差为该期岩溶作用在桑塔木组覆盖区的进行提供了比较好的水体循环条件。其中 TP12CX 断裂带中南一段内奥陶系内幕次级断裂并没有断开桑塔木组地层, 因此相比断达志留系的主断裂, 其受断裂带控制的缝洞体没有受

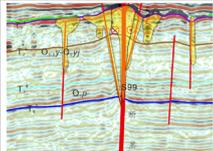
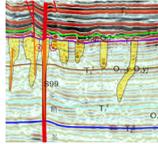
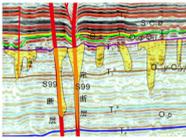
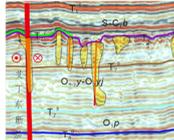
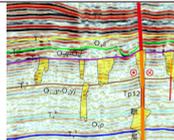
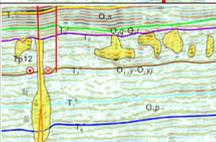
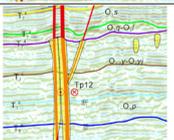
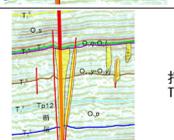
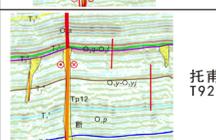
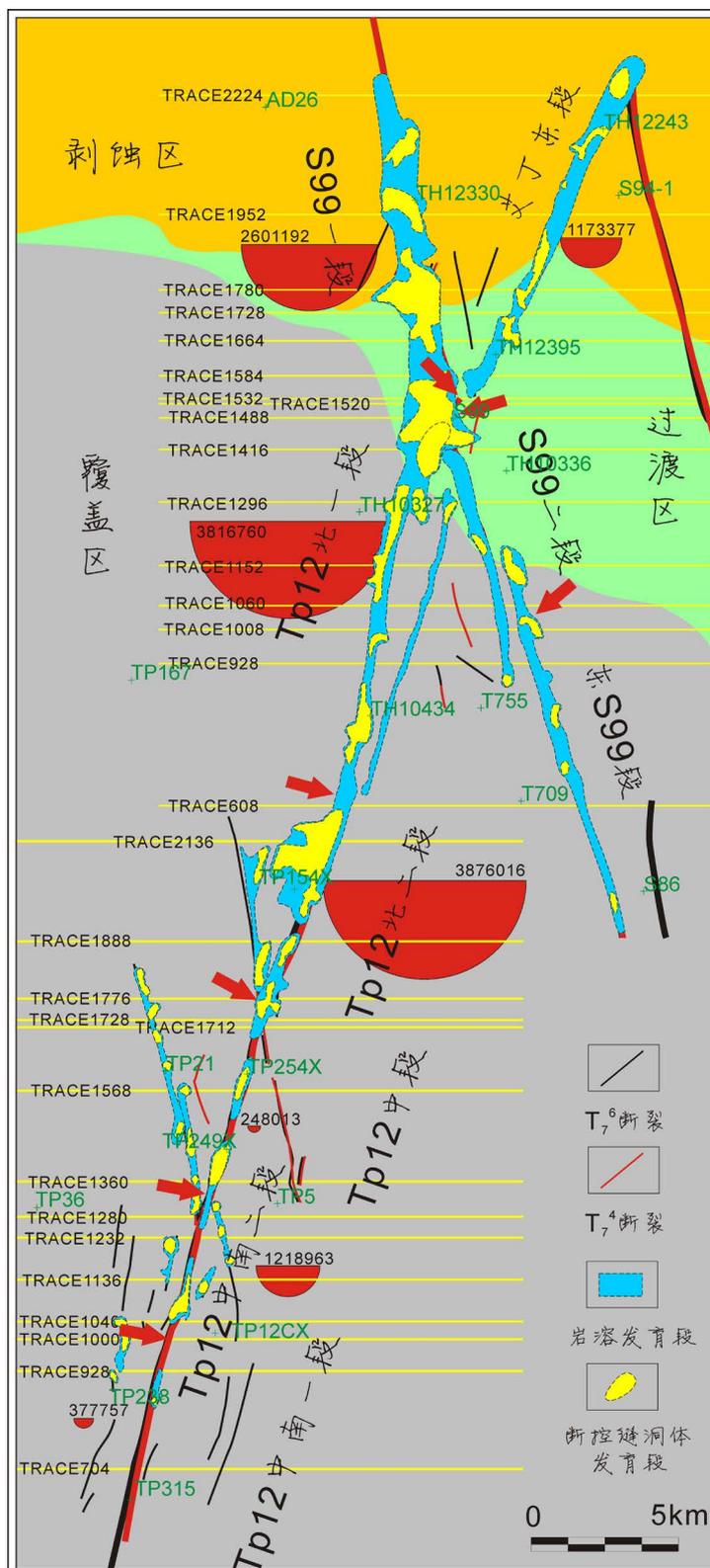
断裂带	断裂构造样式	典型岩溶剖面	岩溶作用特征	断裂带岩溶波及范围(m)	T <sub>1</sub> 界面以下岩溶发育深度(m)	
					平均	最大
S99一段	正花状负花状复合型	 10区西 T11780	花状构造发育, 岩溶剖面特征呈“V型”	300-1170	265	990
S99二段	单支状负花状	 10区西 T11296	主断裂带附近次级断裂形成的岩溶剖面呈“并列型”或呈独立“单支型”	230-870	260	600
东S99段	单支状负花状	 10区西 T11008	主断裂带附近次级断裂形成的岩溶剖面呈“并列型”或呈独立“单支型”	300-680	260	710
TP12CX艾丁东段	单支状	 10区西 T11780	主断裂带附近次级断裂形成的岩溶剖面呈“并列型”或呈独立“单支型”	170-720	280	970
TP12CX北一段	单支状雁列状	 10区西 T1928	主断裂带附近次级断裂形成的岩溶剖面呈“并列型”或呈独立“单支型”	390-750	245	1075
TP12CX北二段	单支状负花状	 托甫台区 T2136	主断裂带附近次级断裂形成的岩溶剖面呈“并列型”或呈独立“单支型”	270-750	145	1085
TP12CX中段	半花状	 托甫台区 T11776	主断裂带附近次级断裂形成的岩溶剖面呈“V型”	750-1125	165	1130
	单支状	 托甫台区 T11568	主断裂带附近次级断裂形成的岩溶剖面呈“并列型”或呈独立“单支型”			
TP12CX中南二段	负花状	 托甫台区 T11040	主断裂带附近次级断裂形成的岩溶剖面呈“并列型”或呈独立“V型”	290-675	60	1040
TP12CX中南一段	单支状	 托甫台区 T1928	主断裂带附近次级断裂形成的岩溶剖面呈“并列型”或呈独立“单支型”	210-345	60	300

Figure 6. The distribution regularity of karst in fault zone

图 6. 断裂带岩溶特征分布规律



**Figure 7.** Fault controlling dissolution and accumulative oil production in Toufutai area, Tahe oil fields

**图7.** 塔河油田托甫台地区主断控岩溶分布图及其不同段落累积产油量分布

到海西期岩溶作用改造, 规模较小, 或断裂存在而没有岩溶作用, 缝洞体不发育。

### 3) 断裂的构造样式

除了断裂交汇处由于断裂破碎带较宽, 裂缝发育而使岩溶作用更为发育外, 在一些段落内, 由于走滑断裂花状分支断裂的发育, 使得岩溶作用发育, 缝洞体规模扩大, 这类特征在剥蚀区 S99 一段与二段尤其显著。

## 4.2. 断溶体的发育规律

根据对研究区内断裂带的断层形成、活动期分析, 对断裂带缝洞体分布特征的分析, 对断溶体的发育规律总结如下。

1) 加里东中期至海西早期构造运动形成的断层, 可以视为“控洞断裂”, 沿这类断裂均可以发育有加里东中期古岩溶作用形成的洞穴, 叠加上风化裂缝及构造裂缝(多期构造裂缝), 形成目前的断控缝洞体。从目前断层分析结果看, 研究区内 TP12CX 与 S99 断裂均是“控洞断裂”, 沿这些断裂带均有断控缝洞体发育。断控缝洞体从主断层带向外, 发育程度减弱, 缝洞体规模减小。主断裂带之间的广大地区, 发育的中-小断层, 如果这些断层是加里东中就形成, 也是“控洞断层”, 可以沿断层形成规模相对小, 分布“孤立”的缝洞体, 特别是在加里东晚期-海西早期位于覆盖区的这样的区域, 由于这些缝洞体没有受到海西期岩溶作用叠加改造, 这种特征应该更清晰。

2) 岩溶的发育与断层的规模密切相关。主断裂延伸较长, 控洞作用显著, 断控缝洞体相对发育, 控制岩溶发育的深度和宽度都相对较大。同生的中-小断裂, 如果与主断裂联通, 在古岩溶作用时期, 无论其是否处于岩溶覆盖区还是裸露区, 与主断裂一样可以经历多期的岩溶作用, 断控缝洞体也发育。但是距离主断裂相对较远中小断层, 即使是加里东中期-海西早期形成的断层, 岩溶作用强度降低, 断控缝洞规模也较小。

3) 断裂带交汇、次级断裂发育是断控缝洞体较为发育的部位。TP12CX 和 S99 交汇的区域, 溶洞特别发育, 在数平方公里的范围内, 累积产油接近四百万吨。花状构造(有分支断裂的走滑断层带)发育的段落(特别是复合花状构造), 断控岩溶体的宽度明显较单支状(无分支断裂的走滑断层)的要大。

4) 印支-燕山期存在活动的断裂(TP12CX)的溶蚀作用较该期无活动的断裂(S99 东南段)有明显增强。

5) 加里东晚期-海西早期形成或活动的断层, 其是否处于岩溶裸露区的条件十分重要, 过渡区最为有利。加里东晚期-海西早期形成或活动的断层是否处于岩溶裸露区的条件变得相对重要。处于岩溶裸露区, 具有供水条件, 如果, 断裂带低部位存在产生“上升泉”的通道, 可以沿断裂带产生大规模古岩溶作用, 形成断控缝洞体(可以产生多期叠加岩溶作用)。如果断裂带整个处于覆盖区, 无供水条件, 该时期的古岩溶作用就不发育, 只能残留加里东中期古岩溶作用形成的缝洞体。

## 5. 结论

1) 塔河油田西部的主干断裂 TP12CX, 与 S99 在平面上表现为 NNE-NNW 向的共轭“X”型断裂系, 具有明显的分段性, 其中 TP12CX 断裂带划分 6 个段落, S99 断裂带分为 3 个段落。TP12CX 断裂带和 S99 断裂带总体向下断开  $T_9^0$ , 深入震旦系基底, 向上断开  $T_5^0$ , 断入三叠系地层, 断距下大上小, 断面陡直, 两者均为高角度走滑断裂。在三叠系至白垩系地层, 平面上沿着主干断裂走向发育有一系列雁列式正断层。不同段落构造样式存在差异, 主要存在正花状、负花状、复合花状、单支状等构造样式。

2) 塔河西部断裂活动期次分为三期, 分别为加里东中-晚期、海西期, 印支-燕山期。断裂的形成演化主要与塔河地区(阿克库勒地区)受到的应力作用有关。其中 S99 东段印支-燕山期活动不明显, S99 其他段落和 TP12CX 断裂三期均有活动。

3) TP12CX 与 S99 断裂系是在加里东中 - 晚期南北向挤压作用下发育的 X 共轭剪破裂, 海西期叠加继承性发育, 印支 - 燕山期主压应力转为北东向, 在主干断裂作为先存构造活动, 并导致上覆地层发育 NE 向雁列正断层。

4) 研究区经历了加里东期、海西期岩溶作用, 并受印支 - 燕山期的改造。上覆隔水层覆盖、断裂及其伴生裂缝是控制加里东中期及海西早期岩溶发育的主导因素。塔河地区北部上奥陶统剥蚀区以加里东期和海西早期岩溶作用叠加, 南部上奥陶统覆盖区受加里东中期岩溶的控制。不同断裂构造样式对岩溶的控制作用中, 复合花状构造最为有利、其次是负花状构造和正花状构造、最次是单支状构造。断层规模、断层交汇、后期活动、构造样式、盖层覆盖情况是“断控岩溶”的 5 个主要因素。

## 基金项目

国家自然科学基金项目(编号 41272160 和 40772086)和中石化西北油田分公司“塔河油田奥陶系油藏主干断裂精细描述方法研究”项目资助。

## 参考文献 (References)

- [1] 周玉琦, 黎玉战, 侯鸿斌. 塔里木盆地塔河油田的勘探实践与认识[J]. 石油实验地质, 2001, 23(4): 363-367.
- [2] 张希明. 新疆塔河油田下奥陶统碳酸盐岩缝洞型油气藏特征[J]. 石油勘探与开发, 2001, 28(5): 17-22.
- [3] 阎相宾. 塔河油田奥陶系碳酸盐岩储层特征[J]. 石油与天然气地质, 2002, 23(3): 262-265.
- [4] 李培廉, 张希明, 陈志海. 塔河油田奥陶系缝洞型碳酸盐岩油藏开发[M]. 北京: 石油工业出版社, 2003.
- [5] 黎玉战, 徐传会. 塔里木盆地塔河油田发现历程及其意义[J]. 石油实验地质, 2004, 26(2): 180-186.
- [6] 翟晓先. 塔里木盆地塔河特大型油气田勘探实践与认识[J]. 石油实验地质, 2011(4): 323-331.
- [7] 俞仁连, 傅恒. 构造运动对塔河油田奥陶系碳酸盐岩的影响[J]. 天然气勘探与开发, 2006(2): 1-6.
- [8] 姚姚, 唐文榜. 深层碳酸盐岩岩溶风化壳洞缝型油气藏可检测性的理论研究[J]. 石油地球物理勘探, 2003, 36(6): 212-216.
- [9] 施强, 田宏永. 塔河油田奥陶系油气藏特征简析[J]. 西部探矿工程, 2005(7): 72-73.
- [10] 李振宏, 贾建恒, 冯武军. 断裂和不整合面对古岩溶的控制作用[J]. 海相油气地质, 2003(Z1): 87-91+9-10.
- [11] 吕修祥, 杨宁, 周新源, 杨海军, 李建交. 塔里木盆地断裂活动对奥陶系碳酸盐岩储层的影响[J]. 中国科学(D 辑: 地球科学), 2008, S1: 48-54.
- [12] 漆立新. 塔河油田碳酸盐储层高精度地震勘探的思考[J]. 石油物探, 2005, 44(4): 353-355.
- [13] 彭守涛, 何治亮, 丁勇, 张涛, 夏东领, 汲生珍, 云金表. 塔河油田托甫台地区奥陶系一间房组碳酸盐岩储层特征及主控因素[J]. 石油实验地质, 2010, 2: 108-114.
- [14] 祝贺, 孟万斌, 曾海燕, 杨永剑. 托甫台地区奥陶系碳酸盐岩储层特征及控制因素分析[J]. 岩性油气藏, 2010, S1: 54-59.
- [15] 邬光辉, 成丽芳, 刘玉魁, 汪海, 曲泰来, 高力. 塔里木盆地寒武-奥陶系走滑断裂系统特征及其控油作用[J]. 新疆石油地质, 2011, 3: 239-243.
- [16] 周文, 李秀华, 金文辉, 赵志超, 周秋媚. 塔河奥陶系油藏断裂对古岩溶的控制作用[J]. 岩石学报, 2011, 8: 2339-2348.
- [17] 李阳, 范智慧. 塔河奥陶系碳酸盐岩油藏缝洞系统发育模式与分布规律[J]. 石油学报, 2011, 1: 101-106.
- [18] 韩革华, 漆立新, 李宗杰, 樊政军. 塔河油田奥陶系碳酸盐岩缝洞型储层预测技术[J]. 石油与天然气地质, 2006, 6: 860-870 + 878.
- [19] 鲁新便, 胡文革, 汪彦, 李新华, 李涛, 吕艳萍, 何新明, 杨德彬. 塔河地区碳酸盐岩断溶体油藏特征与开发实践[J]. 石油与天然气地质, 2015, 3: 347-355.
- [20] Anderson, E.M. (1951) The Dynamics of Faulting. 2nd Edition, Oliver and Boyd, Edinburgh.
- [21] Tong, H. and Yin, A. (2011) Reactivation Tendency Analysis: A Theory for Predicting the Temporal Evolution of Preexisting Weakness under Uniform Stress State. *Tectonophysics*, 503, 195-200.

- 
- [22] Tong, H., Koyi, H., Huang, S. and Zhao, H. (2014) The Effect of Multiple Pre-Existing Weaknesses on Formation and Evolution of Faults in Extended Sandbox Models. *Tectonophysics*, **626**, 197-212.
- [23] 童亨茂, 陈正乐, 刘瑞珣. 广义剪切破裂准则[J]. 自然杂志, 2015, 37(6): 441-447.
- [24] 童亨茂, 王建君, 赵海涛, 李波, 郝化武, 王明阳. “摩尔空间”及其在先存构造活动性预测中的应用[J]. 中国科学: 地球科学, 2014, 44(9): 1948-1957.

**知网检索的两种方式:**

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>  
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2163-3967, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>  
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>  
期刊邮箱: [ag@hanspub.org](mailto:ag@hanspub.org)