

# 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\*

邬光辉<sup>1,2</sup> 杨海军<sup>3</sup> 屈泰来<sup>2</sup> 李浩武<sup>2</sup> 罗春树<sup>3</sup> 李本亮<sup>2</sup>

WU GuangHui<sup>1,2</sup>, YANG HaiJun<sup>3</sup>, QU TaiLai<sup>2</sup>, Li HaoWu<sup>2</sup>, LUO ChunShu<sup>3</sup> and LI BenLiang<sup>2</sup>

1. 中山大学海洋学院, 广州 510275

2. 中国石油勘探开发研究院, 北京 100083

3. 中国石油塔里木油田分公司, 库尔勒 841000

1. School of Marine Sciences, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China

2. PetroChina Research Institute of Petroleum Exploration and Development, Beijing 100083, China

3. PetroChina Tarim Oilfield Company, Korla 841000, China

2011-01-10 收稿, 2012-01-05 改回.

**Wu GH, Yang HJ, Qu TL, Li HW, Luo CS and Li BL. 2012. The fault system characteristics and its controlling roles on marine carbonate hydrocarbon in the Central uplift, Tarim basin. *Acta Petrologica Sinica*, 28(3):793–805**

**Abstract** Based on the analysis of 3D seismic data and regional geology data, lots of NW and NWW trending compression faults and NE trending strike-slip faults, but with less extensional faults, are identified in the Central uplift of the Tarim craton, which has the main characters of diversity of styles, multiple epochs and inheritance of evolution, and segmentation along strike. Most of the compression faults are detachment thrusts slipped in Middle Cambrian salt layer but not basement involved as previous cognition, which formed in the end of Early Ordovician with 4 kinds of fault styles, and had transpression effects and segmentation along the fault belt. Many strike-slip faults are discovered in the northern slope of the Central uplift by the 3D seismic data in recent years. There were tulip flower structure, upstanding structure and positive flower structure in profiles, and en echelon structure, feathered structure, brush structure, and so on, converged to southwest in plane. NE-trending sinistral strike-slip faults were developed by the intensive three stages of oblique collision from the south Tarim plate boundary in Silurian, Middle Devonian and Late Permian. The fault system, mostly distributed in Palaeozoic, can be divided into 3 types and 3 levels and 4 groups of orientation, which controlled the structure framework and shape of the Central uplift with layering in vertical and the zoning from north to south and blocking from west to east. The fault system of the Central uplift undergone 4 stages with 9 periods' evolution: extensive extension-weak compression stage in Neoproterozoic, local weak extension period in Cambrian to Early Ordovician-powerful thrusting period in Middle-Late Ordovician, strike-slip fault developed stage in Silurian-Middle Devonian, and partly inherited faulting stage in Carboniferous-Early Triassic. It is obvious that the fault system played important roles in the hydrocarbon accumulation of Lower Palaeozoic marine carbonate in the Central uplift. It is not only the oil and gas composite accumulation in vertical, but also the favorable reservoirs and enriching hydrocarbon controlled by faults. Different type and stage faults had varied effects which caused the segmentation of hydrocarbon distribution along the fault belt. The migration-accumulation system consisted by hydrocarbon source fault and adjacent reservoir controlled the fluid orderly distribution.

**Key words** The Central uplift; Fault; Evolution; Carbonate; Hydrocarbon

**摘要** 结合新三维地震与区域地质资料研究,塔里木克拉通中部的塔中隆起挤压断裂与走滑断裂发育,张性断裂欠发育,断裂系统具有构造样式的多样性、形成演化的多期性、构造发育的继承性及平面展布的区段性。新资料表明挤压断裂缺少基底卷入型,多在中寒武统盐膏层滑脱,主要发育4种断裂样式,形成于早奥陶世末,多具有扭压作用与分段性。塔中隆起北斜坡新发现一系列北东向左旋走滑断裂带,剖面上以负花状构造、直立型构造、正花状构造为主,平面上发育向西南方向收

\* 本文受国家自然科学基金重点项目(40534019)和国家重大科技专项(2008ZX05004-04)联合资助

第一作者简介: 邬光辉,男,1971年生,高级工程师,从事石油地质研究, E-mail: guanghui\_wu@petrochina.com.cn

致的雁列构造、羽状构造、帚状构造等;塔中地区经历志留纪晚期、中泥盆世、晚二叠世等三期走滑断裂作用,东南方向强烈斜向挤压作用是走滑断裂形成的动力机制。塔中隆起断裂主要分布在下古生界,三类、三级、四级方向断裂控制了塔中隆起纵向分层、南北分带、东西分块的构造格局。塔中隆起经历新元古代强伸展-弱挤压的断裂发育阶段、寒武纪-奥陶纪局部弱伸展-强挤压逆冲断裂发育阶段、志留纪-中泥盆世走滑断裂发育阶段、石炭纪-早三叠世局部断裂继承性发育阶段等4阶段9期的差异发育演化史。塔中隆起断裂对下古生界海相碳酸盐岩油气分布控制作用明显,断裂控制了油气的纵向复式聚集,断裂带储层发育、油气富集;不同时期、不同类型断裂控油作用有差异性,断裂带横向上的变化造成油气分布的区段性;油气源断裂与储层组成的运聚体系内具有流体分布的有序性。

**关键词** 塔中隆起;断裂;演化;碳酸盐岩;油气

**中图法分类号** P542.3; P588.245; P618.13

# 1 引言

断裂作用贯穿于油气的生排运聚、调整与破坏的全过程,一直是石油地质研究的热点(England *et al.*, 1987; Aydin,

2000; Wibberley and Shimamoto, 2003; 金之钧和张发强, 2005; Graham *et al.*, 2006; 罗群等, 2007; Faulkner *et al.*, 2010)。克拉通盆地内部构造活动相对较弱,多为大隆大坳构造格局,断裂欠发育(Leighton *et al.*, 1990; Levorsen, 2001)。而塔里木板块较小,遭受多期强烈构造作用,克拉通内部断裂较发育,并与油气分布密切相关(汤良杰, 1996; 贾

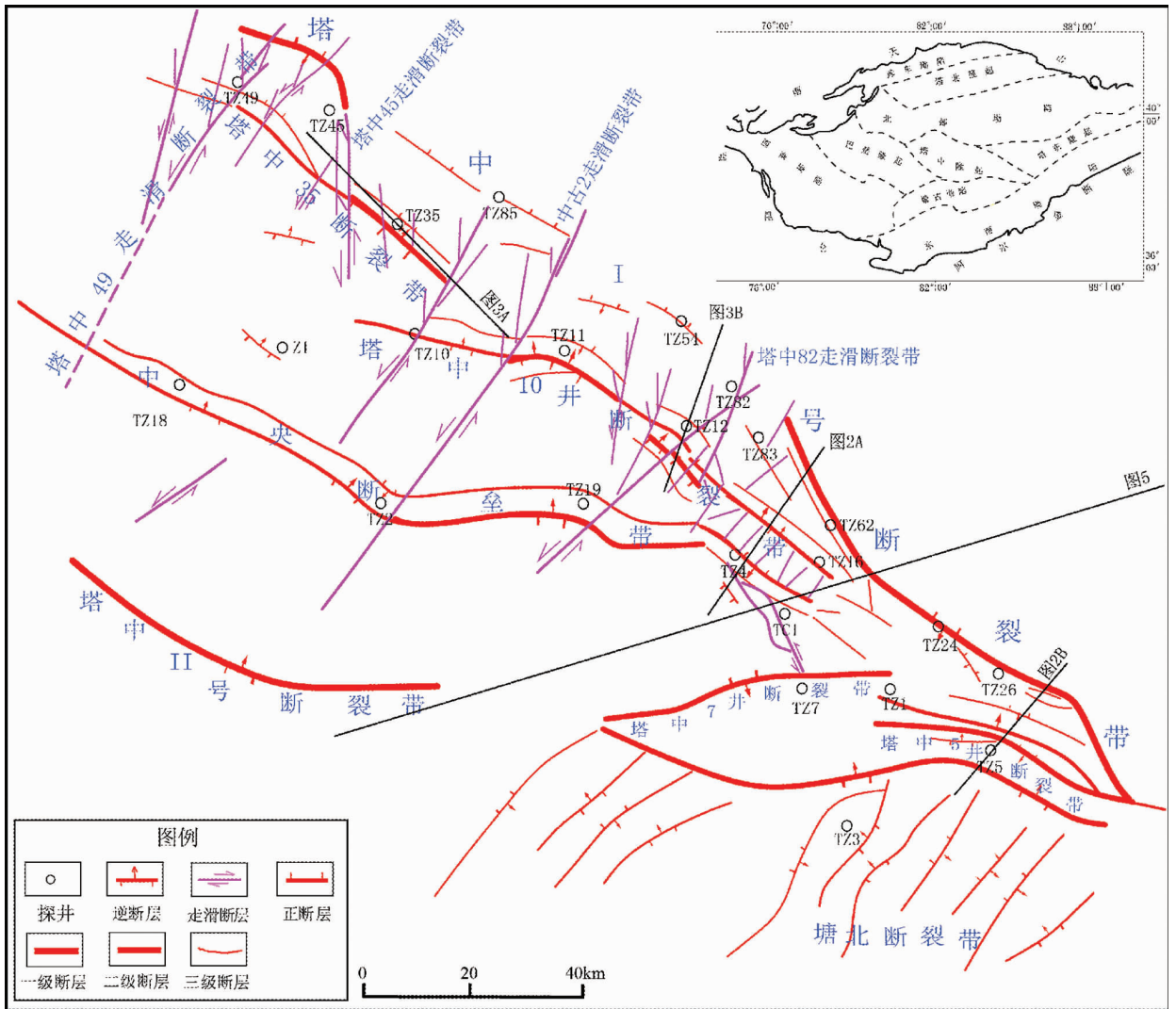


图1 塔里木盆地塔中隆起断裂系统纲要图

Fig.1 The outline map of fault system distribution in the Central uplift, Tarim basin

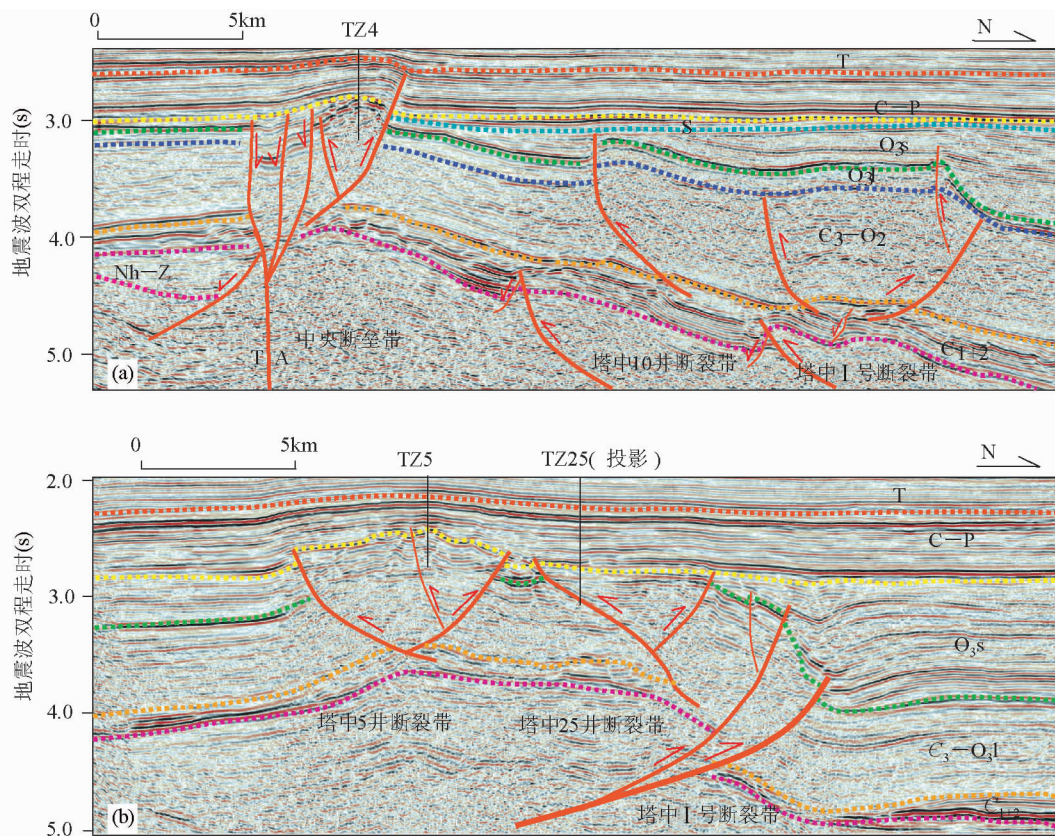


图2 塔中隆起南北向地震剖面(剖面位置见图1)

Fig.2 The NS seismic profiles across the Central uplift (profiles location in Fig.1)

承造,1997;Jia *et al.*,1998;何登发等,2008)。

塔中隆起位于塔里木克拉通中部(图1),前期研究表明为继承性发育的古隆起,发育多组方向断至基底的逆冲断层,形成于加里东末期-早海西期(贾承造,1997;吕修祥和胡轩,1997;张振生等,2002;李明杰等,2004)。近年来,随着大面积三维地震的部署,塔中隆起下古生界碳酸盐岩油气勘探不断取得新发现,成为塔里木盆地油气勘探开发的重点领域(Zhou *et al.*,2010),同时发现很多不同于二维地震资料显示的断裂类型与特征(邬光辉等2005;丁长辉等,2009;李传新等,2009),断裂在海相碳酸盐岩油气储层与油气运聚成藏中的作用开始受到重视(罗春树等,2007;吕修祥等,2009)。

因此,解剖塔中隆起断裂系统构造特征及其控油作用,对研究古老克拉通内古隆起构造及油气勘探具有重要意义。本文在新三维地震资料与区域成藏条件分析的基础上,系统分析塔中隆起断裂系统的构造样式、分布与演化特征,探讨断裂与海相碳酸盐岩油气分布的关系。

## 2 断裂的剖面组合样式

通过新三维地震资料解释,发现塔中隆起不仅挤压断裂系统发育,同时发育大量走滑断裂,而张性断裂欠发育。

### 2.1 挤压断裂

新三维地震剖面显示,塔中地区中寒武统盐膏层广泛分布,基底与寒武系盐上盖层具有不同的构造变形特征(图2a),不同于早期二维地震资料解释的基底卷入构造模型。盐上古生界块断作用明显,铲式逆冲断裂发育,但除塔中I号断裂带东、西段外,挤压断裂大多未断至基底,在寒武系膏盐层中滑脱消失,为盖层滑脱型断裂。而盐下以褶皱作用为主,塔中出现整体隆升,断裂较少,断裂发育位置比盐上断裂根部位置靠前,未与盐上断裂重合(图2a),出现上下分层变形的特征。

断裂活动较弱的地区,通常发育单向冲断的单条逆冲断裂,一般断距较小,断面上陡下缓呈铲式,多产生较平缓的断层传播褶皱,如塔中10井断裂带东部(图2a)。在冲断作用的前展发育过程中,也可产生多条相同方向的逆冲断层,形成同向冲断系统,在塔中基底比较发育(图2a)。

随着构造活动的加强,单冲断裂带容易产生反向的次级背冲断层,形成“y”字型断裂带,在中央断垒带、塔中5井断裂带发育,背冲断块多为复杂的狭长断垒带(图2)。邻近的断裂带,在强烈的对冲作用下,可形成反向对冲断层,如塔中5井断裂带与塔中25井断裂带主断层形成反向对冲断层

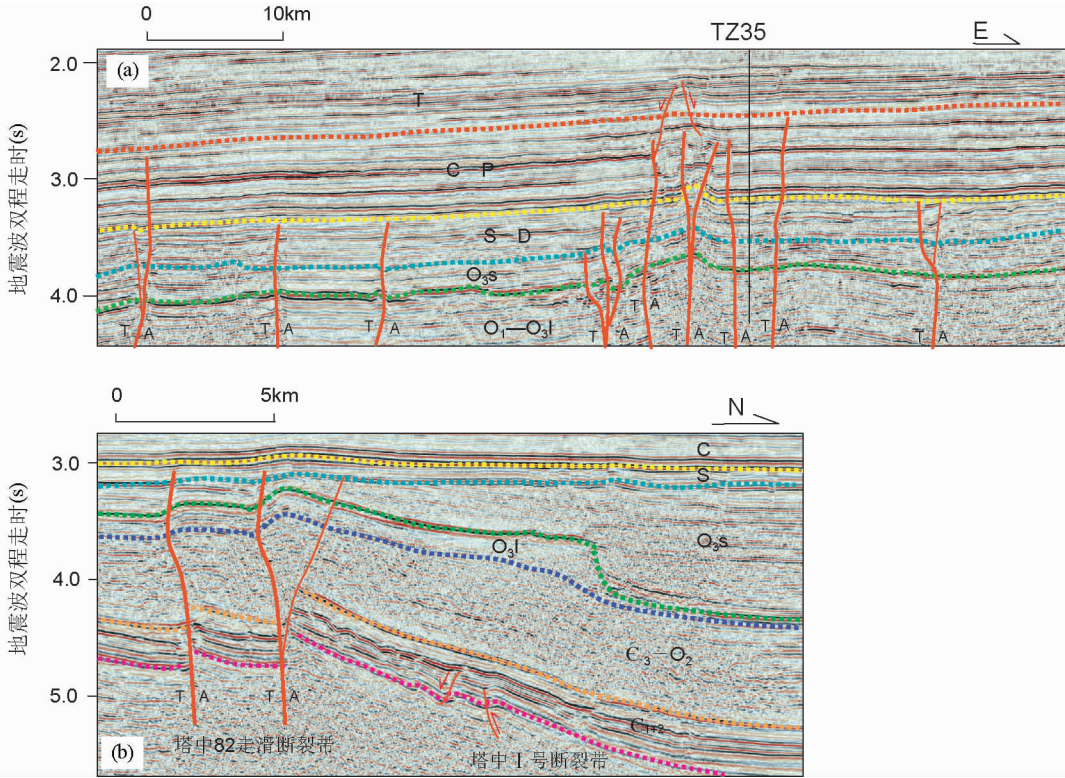


图3 塔中隆起典型走滑断裂地震剖面(剖面位置见图1)

Fig. 3 The typical seismic profiles of strike-slip faults in the Central uplift (profiles location in Fig. 1)

(图2b),在对冲断块间形成下凹向斜过渡带。随着对冲断裂的发育,可能形成三角带。

在单冲型断裂进一步发育过程中,可能伴有次生同向调节断裂,形成倒“入”字型构造。如塔中1号断裂带东段表现为大型铲形逆冲断裂(图2b),下盘地层产生牵引,地层发生挠曲,形成拖曳褶皱;上盘形成狭窄的断层传播褶皱,随着褶皱作用加强,出现同向调节断层。断裂活动强烈区段,也可形成多条同向冲断的叠瓦构造。

结合区域构造成图分析,随着构造挤压作用的加强,塔中隆起相继出现单冲型、同向冲断型、“y”字型、倒“入”字型等4种主要断裂组合样式。

## 2.2 走滑断裂

前期二维地震资料难以识别走滑断裂,新三维地震资料揭示塔中地区发育一系列北东向走滑断裂系统(丁长辉等,2009;李传新等,2009)(图1)。

“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,是走滑断裂的重要鉴别标志(Harding, 1990)。塔中地区“负花状构造”发育(图2a、图3),主断面陡立,向下断穿寒武系至基底,向上多断至志留系-泥盆系,西部少量断至二叠系。主干断裂在奥陶系-志留系形成二条或多条分支断裂,向上撒开,形成反向下掉的断堑。断面高陡,向下收敛、合并,具有明显的“拉张、正断、向形”的负花状构

造特征,不同层位的断距变化较大。有的区段主干断裂一直向上延伸,仅在一侧发育分支断裂,形成半花状构造。

在塔中4、塔中45等井区多发育直立型的走滑断裂(图3),以单一主干断裂发育为特征,尚未形成分支断裂。其断裂带狭窄高陡,断距较小,断层核不发育。断面既有平直延伸的,也有折曲转向的,倾角多 $>80^\circ$ 。由于断面陡直,倾角稍有变化即可能造成断面倾向反转,从而导致断层倾向沿走向发生变化。

在塔中35、塔中82等井区沿走滑断裂带收敛处也出现“正花状构造”(图3),主干断裂于奥陶系上部形成二个分支断裂向上撒开背冲,在碳酸盐岩顶部形成断垒,类似冲断系统的突发构造,但断面高陡,向下收敛、合并,具有明显的“挤压、逆断、背形”的正花状构造特征。

## 2.3 张性断裂

新三维地震资料分析,塔中隆起下古生界没有大规模的正断裂活动,仅在局部地区存在三种类型张性断裂:一是前寒武系可见多米诺式正断层,形成小型箕状断陷(图2a),后期可为逆冲断裂改造或是形成反转;二是在局部中下寒武统发育小型正断层,局部发育至下奥统,断距一般不过50m,断面高陡平直,延伸长度一般数千米内(图2a);三是在西部二叠系火成岩上部见少量正断层(图3a),为受控火成岩冷却收缩形成的局部拉张效应。

### 3 断裂分布特征

塔中隆起断裂系统的分布表现出明显的纵向上分层(图2),平面上南北分带、东西分块的特点(图1)。

#### 3.1 断裂纵向分层

断裂系统纵向可分为基底构造层序(下寒武统至基底)、下构造层序(中寒武统-泥盆系)、上构造层序(石炭系及其以上层)(图2)。

断裂主要分布在下构造层序,发育北西向、北西西向高角度逆冲断裂带,同时发育北东向走滑断裂系统,在北部斜坡区形成网状交错。基底构造层断裂主要分布在中央断垒带、塔中10井断裂带、塔中I号断裂带,与下构造层挤压断裂的部位相当,但规模较小,派生调节断裂欠发育。上构造层断裂少,仅在中央断垒带、塔中5井断裂带有少量继承性的逆断层活动(图2),火成岩活动区局部有走滑断裂与正断层的发育,向上可断至三叠系下部(图3)。三叠系以上地层以整体沉降为主,缺少断至白垩系-新生界的断层。

#### 3.2 断裂平面南北分带、东西分块

塔中隆起挤压断裂向西撒开、向东收敛呈发散状分布,主体呈北西向、北西西向、北东向、东西向四组方向发育,具有南北分带的特征(图1)。北带包括呈北西走向的塔中I号断裂带、塔中10井断裂带等呈北西走向,在东部收敛合并呈剪刀状。中带发育北西西向斜列展布的狭长断垒带,断裂构造活动强烈。南带北东向展布断裂成排出现,形成很宽的叠瓦冲断带。

走滑断裂主要分布在塔中北斜坡中西部,呈北东向展布,以一定间距呈带状出现,截切主体挤压断裂,以塔中82、塔中45、中古2等大型的走滑断裂带将塔中北斜坡分为东西展布的不同区段(图1)。走滑断裂带平面上构造特征变化大,在上部志留系-泥盆系多见帚状构造、羽状构造分布,向东北方向撒开、向南西方向收敛,也出现雁列构造、拉分地堑等多种构造组合。在下部寒武-奥陶系多为狭长的斜列剪切带、线状延伸的辫状构造等。

#### 3.3 断裂带具有区段性

塔中隆起大型的断裂带具有明显的分段性(图1),具有三种表现形式:一是不同区段上的构造样式有明显差异,如塔中I号断裂带;二是挤压断裂带为走滑断裂错开分段,如塔中10井断裂带;三是形成演化有差异,如中央断垒带。

塔中I号断裂带在横向上具有明显的差异性与分段性(图2、图4)。东部为大型逆冲断裂带,构造活动剧烈,地层变形强烈,寒武系垂直断距可达2000m,断层破碎带宽达数千千米,向西断距很快减小到500m以下,斜向冲断特征明显,

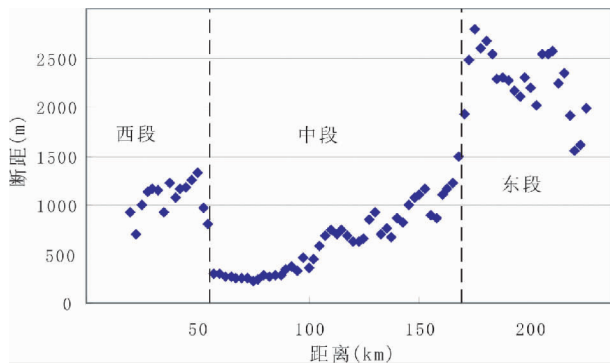


图4 塔中I号断裂带沿走向上下盘寒武系高差  
Fig. 4 The downthrow between hanging wall and foot wall of Cambrian along the Tazhong No. 1 fault belt

具有右旋压扭特征。中段基底断裂向西逐渐消失(图3b),未断开寒武系盐膏层,呈宽缓的挠折带,向西渐变为缓坡。局部发育在寒武系盐膏层滑脱的小型断裂,断裂活动中止于奥陶系碳酸盐岩,垂直断距一般小于100m。西部塔中45井区又出现基底卷入的高陡断裂,以单冲型断裂为主,断裂带地层挠曲明显,断距较小,但上下盘高差逾1000m,向西逐渐降低。

#### 3.4 断裂分级特征

塔中隆起断裂规模差异大,对构造与油气的影响作用也不同,根据塔中断裂的规模与作用可分为三级(图1、图2):

一级断裂控制隆起的形成与演化,主要有塔中I号断裂带、塔中II号断裂带。早奥陶世末塔中地区随着一级断裂的发育开始隆升,奥陶纪末断裂活动停滞后塔中隆起基本定型,并控制了塔中隆起北西向的展布形态,成为南北构造边界。

二级断裂控制构造带的分布与特征,包括主要挤压断裂带的主断裂、大型走滑断裂带(图2)。二级断裂控制了不同区带的展布及其构造样式,造成塔中隆起平面南北分带、东西分块。

三级断裂调节不同区段的构造变形,其规模较小、数量多,对局部圈闭、油气藏有一定控制作用。三级断裂有两种类型,一是主断裂伴生或派生的正向与反向调节断层,二是位于主断裂之间的次级断裂。

### 4 断裂的形成与演化特征

塔中隆起发育多期不同性质、不同特征的断裂系统,断裂活动具有多期性、继承性与迁移性的特征。

#### 4.1 断裂形成演化的多期性

结合区域地质与地震剖面分析,识别出4个阶段9期断

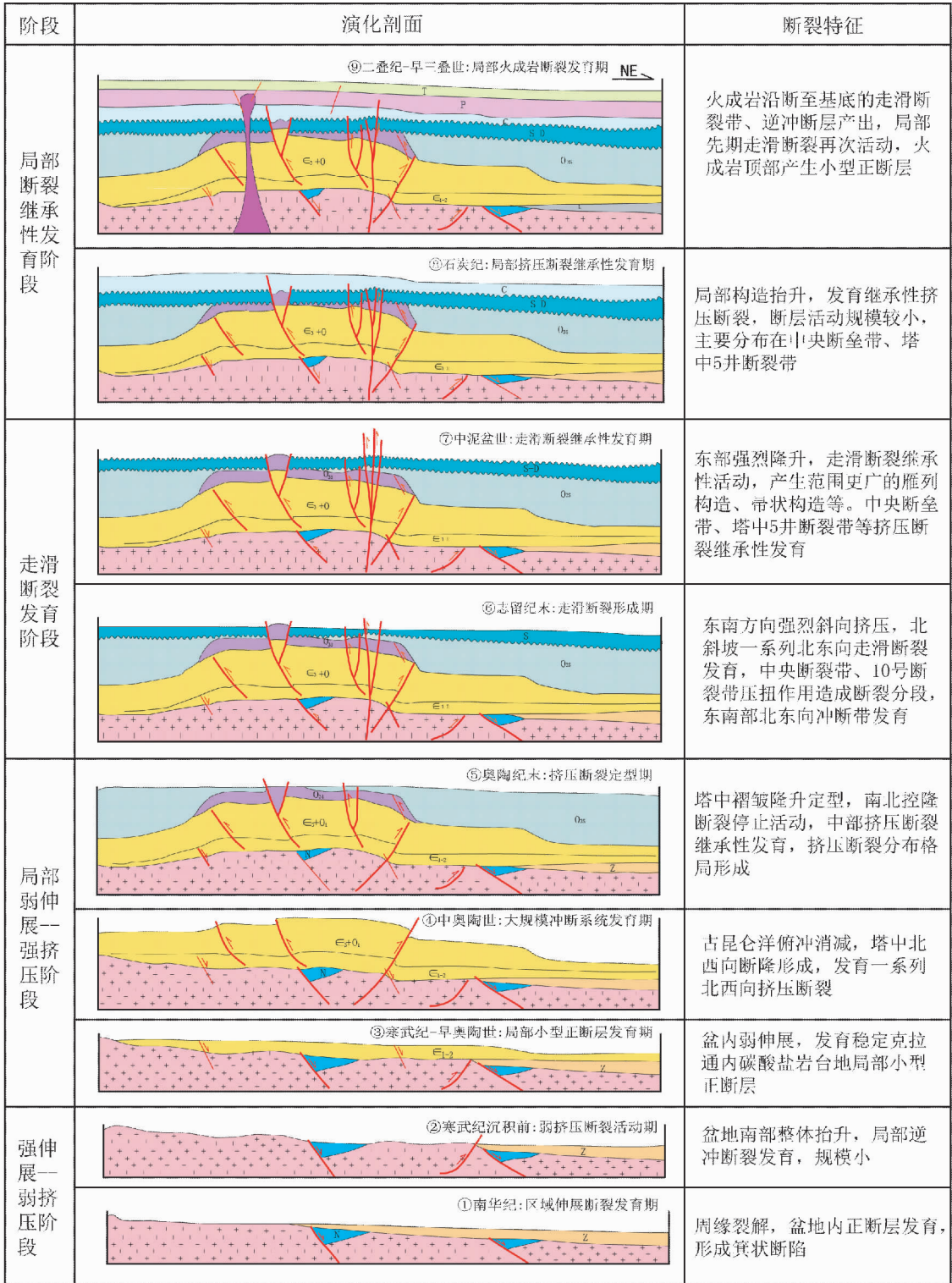


图5 塔中隆起断裂演化模式图

Fig. 5 The fault evolution model in the Central uplift, Tarim basin

裂演化过程(图5)。

#### 4.1.1 新元古代强伸展-弱挤压的断裂发育阶段

(1)南华纪区域伸展断裂发育期。南华纪中晚期,塔里木板块周边进入区域裂陷时期(Lu *et al.*, 2008),发育与

Rodinia 超大陆裂解同期的伸展断裂。在塔中1号断裂带中部、塔中4井区新三维剖面上(图2),发现有保存较好的南华系正断层,形成规模不等的箕状断陷。钻井发现南华纪火成岩(Guo *et al.*, 2005),盆地内碎屑锆石测年也显示有本期

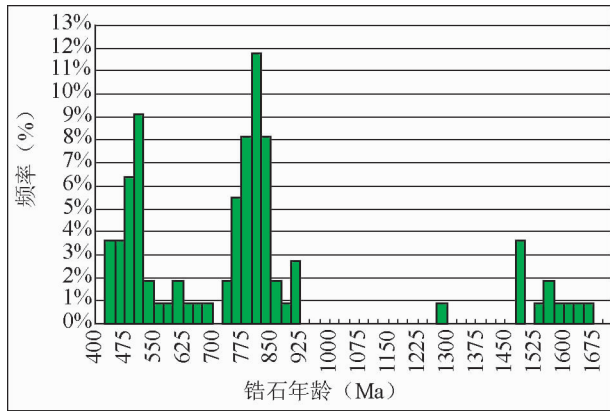


图6 塔里木盆地志留系碎屑锆石<sup>207</sup>Pb/<sup>235</sup>U 年龄频谱

Fig.6 Frequency spectrum of <sup>207</sup>Pb/<sup>235</sup>U ages of Silurian clastic zircon from Tarim basin

构造-热事件(图6),表明南华纪盆地内部具有广泛的强伸张构造活动。

(2)寒武纪沉积前弱挤压断裂活动期。塔中地区东部三维地震剖面上,寒武系削蚀前寒武特征明显,而且寒武系自西北向东南超覆减薄,中下寒武统厚度从1100m减少至300m以下。塔参1井下寒武统地层有缺失,并直接覆盖在南华纪火成岩之上,其间缺失巨厚的震旦系。局部地区地震剖面见残存的小型挤压断裂。可见寒武系沉积前塔中地区东部发生挤压抬升,寒武系与震旦系不是连续沉积。

4.1.2 寒武纪-奥陶纪局部弱伸展-强挤压的断裂发育阶段

(1)寒武纪-早奥陶世局部小型正断层发育期。寒武纪-早奥陶世塔中地区发育稳定的克拉通内碳酸盐岩台地(贾承造,1997),与满西地区连为一体。断层欠发育,仅在局部地区中下寒武统发育小型正断层(图2a),断距较小、延伸长度很短。此期塔中处于克拉通内弱伸展背景,未见大型的正断层发育。

(2)中奥陶世大规模冲断系统发育期。近期年代学资料表明,西昆仑在早奥陶世晚期已进入碰撞聚敛阶段(Ye et al., 2008),盆地南部志留系碎屑锆石测年数据也检测到大量的早奥陶世晚期(图6),表明塔里木板块南缘此时已进入挤压构造背景。塔中隆起上、下奥陶统之间发育广泛的不整合(图2),其间缺失中奥陶统一间房组、上奥陶统吐木休克组(杨海军等,2007)。塔中I号断裂带、中央断垒带等北西向的主要挤压断裂带相继发育,塔中北西向古隆起形成,中奥陶世是塔中北西向挤压断裂与古隆起形成的关键时期。

(3)奥陶纪末挤压断裂定型期。塔中东南部北东向弧形展布的塘北断裂带、塔中7井断裂带为石炭系覆盖的奥陶系潜山带,地层缺失多,形成期难以准确识别(魏国齐和贾承造,1998)。通过志留系碎屑锆石测年对比分析(表1),塔东、塔北地区检测到来自阿尔金地区奥陶纪火成岩的物源,而塔中地区志留系碎屑锆石缺少奥陶纪年龄数据,表明奥陶

表1 塔里木盆地志留系碎屑锆石测年统计(据郭光辉等, 2009)

Table 1 Statistics of zircons ages from Silurian clastic rocks in Tarim basin (after Wu et al., 2009)

样品号	谐和年龄 (Ma)	
塔中 TZ-1A	765 ± 19	2142 ± 85
塔中 TZ-1B	752 ± 3	2000 ± 3
塔中 TZ-2	766 ± 0.3	1938 ± 28
塔东 YN2-4	474 ± 50	885 ± 1
塔北 YM-1	447 ± 65	760 ± 6
		1556 ± 290
		1600 ± 20

纪末期塔中东部已有强烈隆升,阻隔了来自阿尔金地区的物源。塘古坳陷地震剖面见志留系向奥陶系断裂带上超覆,沉积研究也认为东南方向在志留纪沉积前已抬升(张金亮和张鑫,2007)。结合区域资料(马润泽等,2003;吴才来等,2005),可以推断在奥陶纪晚期塔中隆起东南部北东向断裂带与塘古坳陷冲断带已开始活动,塔中隆起挤压断裂的构造格局形成。

4.1.3 志留纪-中泥盆世走滑断裂发育阶段

(1)走滑断裂形成期。志留纪中晚期,塔中古隆起遭受来自西南方向的强烈构造作用,塘古坳陷大规模逆冲断裂带形成(魏国齐和贾承造,1998;李明杰等,2004;李本亮等,2009),塔中10井断裂带、中央断垒带产生斜向冲断。塔中志留系顶部遭受剥蚀,保存不完整。受北东向基底结构影响(李曰俊等,2008),以及先期的北西向逆冲带作用,在塔中北斜坡产生一系列左旋走滑断裂带(图1)。地震剖面上寒武系-奥陶系与志留系变形特征相似、断距相当(图3),走滑活动主要发生在志留纪。

(2)走滑断裂继承发育期。中泥盆世阿尔金断隆强烈隆升(贾承造,1997),塔中东部整体抬升剥蚀,出露广泛的奥陶系碳酸盐岩风化壳。随着北西向冲断作用向隆起内部传递,塔中大型走滑断裂带又有继承性活动,向上发散扩展发育至中下泥盆统(图3),并卷入了强烈的构造变形,断裂带宽、变形复杂,一系列雁列构造、羽状构造沿主断裂带附近发育,其变形特征与志留系有差异。

4.1.4 石炭纪-早三叠世局部断裂继承性发育阶段

(1)石炭纪局部挤压断裂继承性发育期。石炭系沉积后塔中地区以整体升降为主,石炭纪末期中央断垒带有微弱的继承性挤压活动,石炭系顶部小海子组遭受剥蚀。此期断层活动规模较小、影响范围有限,主要分布在中央主垒带、塔中5井断裂带(图2)。

(2)二叠纪-早三叠世火成岩相关断裂发育期。塔中地区中西部广泛发育早二叠世火成岩(余星等,2009),地震剖面上火成岩多沿断至基底的走滑断裂带、逆冲断层产出,也有孤立点状突出的。在塔中35井区等局部火成岩发育区周边及顶部可形成小型正断裂发育,有的断裂活动至三叠系底部(图3)。另一种表现形式是先期走滑断裂再次活动,或改造前期断裂,以直立型走滑断裂为主,规模很小。

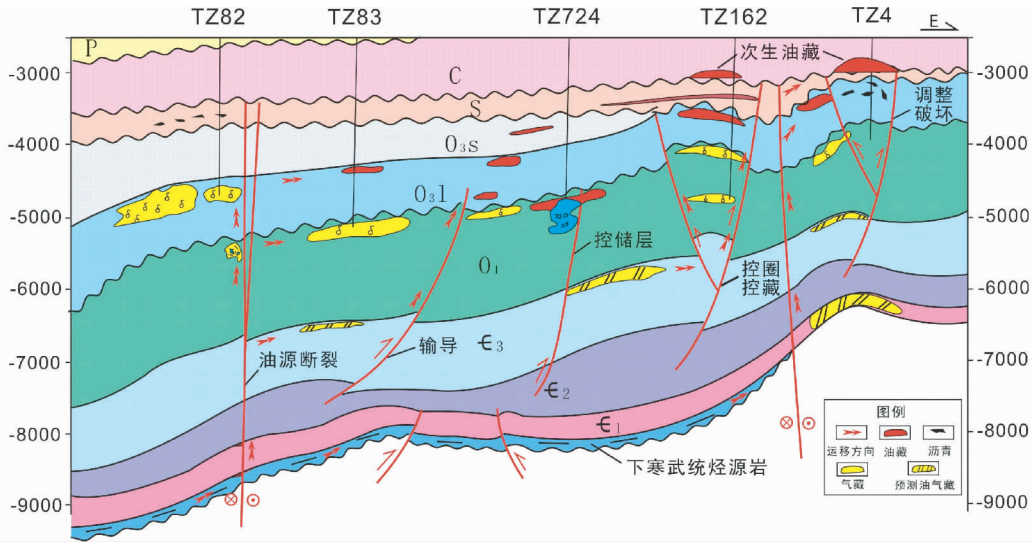


图7 塔中隆起成藏模式图

Fig.7 Hydrocarbon forming mode of the Central uplift

#### 4.2 断裂发育的继承性与迁移性

虽然塔中隆起经历多期不同特征的断裂活动,但主要的断裂带具有继承发育的特点(图2、图5)。塔中I号断裂带形成于中奥陶世,在奥陶纪末基本定型;中央断垒带、塔中10井断裂带中奥陶世开始形成,晚加里东-早海西期继承性发育,局部持续至晚海西期,具有形成早、定型晚的特点。走滑断裂带主要发育在志留纪-中泥盆世,局部地区在晚海西期有继承性活动。

中晚奥陶世塔中隆起挤压断裂作用活跃,塔中I号断裂带等北西向挤压断裂均有活动,奠定了塔中的断裂分布格局。奥陶纪末期,塔中南北两侧的塔中I号、塔中II号控隆断裂停止活动,断裂活动强烈区迁移至中部及东部地区。志留纪主要在塔中北斜坡发育北东向走滑断裂,在东南部形成排成带的北东向逆冲断裂带,断裂活动表现为西弱东强,以压扭作用为主,断裂的分段性更加明显。塔中隆起早期断裂活动南北强、中部弱,晚期断裂作用东强西弱,断裂活动强度逐步减弱,呈现向中部迁移、向东部迁移的发育趋势。

## 5 断裂对海相碳酸盐岩油气分布的控制作用

塔里木盆地断裂对碎屑岩油气的分布具有明显的控制作用(贾承造,1997;张仲培等,2009),对碳酸盐岩储层具有重要的建设性作用(康玉柱,2007;王招明等,2007;吕修祥等,2009;朱光有等,2009)。目前塔里木盆地下古生界碳酸盐岩是寻找大油气田勘探的重点,但塔中、轮南奥陶系碳酸盐岩在面积广泛含油气的背景下,流体性质变化大、油气分布复杂(周新源等,2006;杨海军等,2007;翟晓先和云露,

2008)。通过油气藏解剖,塔中隆起油气不仅受储层控制(Zhou *et al.*, 2010),断裂对碳酸盐岩油气分布也有明显的控制作用。

#### 5.1 断裂控制了油气的富集

塔中隆起目前发现的大多油气分布在断裂带及其附近,断裂控制油气的富集主要体现在三方面:

(1)断裂带是油气运聚的最有利方向。塔中大多油气藏具有垂向运移的特点,油气藏地球化学显现明显的垂向运移证据(刘克奇和金之钧,2004;潘立银等,2007)。同时断裂形成局部构造高,是油气侧向运移的指向区。塔中地区不同类型、不同级别的断裂系统在空间形成复杂的三维输导网络。断裂带也是裂缝集中发育部位,岩心样品的物性分析表明,含裂缝样品是未含裂缝样品渗透率的2~3个数量级,是油气运移的优势通道。在断裂带上,95%以上的探井有油气或沥青显示,而没有任何显示的失利井几乎都远离断裂带,表明断裂带普遍发生过油气充注。

(2)断裂控制了油气的纵向分布。石炭系以上断裂很少发育,油气显示与发现都集中在石炭系及其以下层系。塔中I号带断裂主要断至奥陶系,奥陶系以上层位油气产出很少。塔中10井断裂带断至石炭系底部,形成石炭系、志留系、上奥陶统、下奥陶统等多层系复式含油气(图7)。统计分析表明,塔中油气的产出主要集中在断裂断至的不整合面附近。

(3)断裂带油气富集。断裂带是塔中隆起圈闭发育的主要部位,志留系-石炭系碎屑岩的圈闭主要分布在断裂带上(孙龙德等,2007),并聚集了93%的油气储量。同时断裂带也是多种成因缝洞体发育的有利部位,地震储层预测沿断裂带储层最发育,70%以上碳酸盐岩缝洞发育的探井直接与断裂相关。统计分析表明(图8),塔中地区碎屑岩油气流井主



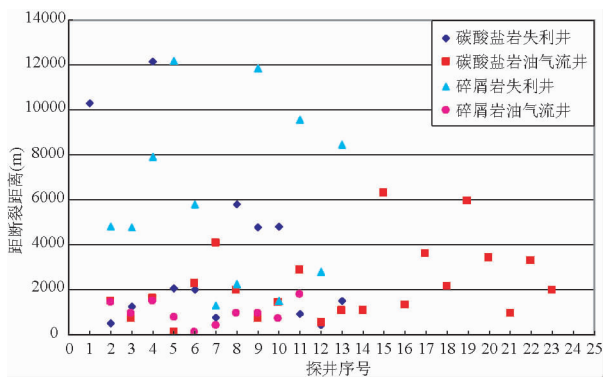


图8 塔中隆起探井与油气源断裂距离分类统计散点图

Fig.8 The distance between the different kinds of wells and the hydrocarbon source faults of the Central uplift

要分布在距断裂 2km 范围内,大于此距离的探井几乎全部失利;碳酸盐岩油气流井可能距离油气源断裂达 6km,但大多也分布在距断裂 4km 范围内。碳酸盐岩油气主要受缝洞系统控制 (Zhou *et al.*, 2010),而断裂带是缝洞体储层最发育的地区,目前奥陶系发现的中古 8、塔中 62 等油气富集区块都分布在断裂带上,约占 80% 的碳酸盐岩油气储量。

## 5.2 多期多类断裂造成油气分布的差异性与区段性

### 5.2.1 不同类型、不同时期断裂控油作用的差异性

塔中隆起多期构造活动造成了加里东晚期、晚海西期、喜山期等三期油气成藏与加里东末期-早海西期油气的破坏与调整期 (周新源等, 2006; Li *et al.*, 2010),不同类型、不同时期的断裂控油作用不同。

塔中 I 号断裂带东、西段与走滑断裂深切基底,成为沟通中下寒武统烃源岩的有效的油气源断裂,油气也集中分布在东西两端。走滑断裂与现今的区域挤压应力方向一致,有利于断裂的开启,为喜山晚期油气运移的重要通道,形成沿走滑断裂带富气的特征。而大多数挤压断裂未断穿中寒武统盐膏层,对烃源岩生成的油气主要起输导作用 (图 7),部分二、三级断裂对储层控制作用明显。断裂活动强烈的中央断垒带、塔中 5 井断裂带等造成碳酸盐岩潜山的出露与油气破坏严重,而断裂活动较弱的塔中 I 号断裂带、塔中 10 井断裂带古油藏保存条件较好。

中晚奥陶世塔中大型断隆形成,北西向断裂造成了南北分带的构造特征,控制了塔中隆起的油气运聚,油气自斜坡向隆起高部位运聚、自深层沿断裂垂向聚集的基本态势长期保持不变,形成大面积含油气、断裂带富集的油气分布格局,整个塔中隆起早期普遍有油气充注。志留纪-早中泥盆世断裂活动强烈,逆冲断裂与走滑断裂通天,挤压断裂以构造抬升、盖层缺失为主,走滑断裂则沟通大气水,大量油气遭受破坏,形成志留系大面积分布的沥青砂岩,其中沥青砂岩厚度大于 40m 的探井都分布在断裂带附近 (图 7),在中央断垒带

的塔中 2、塔中 19 等井奥陶系也常见干沥青。此期断裂活动较弱的斜坡区则有利于油气的保存,塔中 I 号断裂带基本停止活动,上覆有厚达 400 ~ 1200m 的巨厚桑塔木组泥岩,存在大量未遭受破坏的油气 (杨海军等, 2007) (图 7)。早海西期之后的断裂活动很弱,在晚海西期、喜山期油气成藏过程中主要起输导作用,对油气藏以局部调整作用为主。如塔中志留系沥青砂岩形成后,还有后期正常原油的充注与再成藏 (潘立银等, 2007)。

由此可见,不同类型、不同时期的断裂对油气运聚成藏作用各异,造成塔中北斜坡下古生界碳酸盐岩普遍含油气、斜坡富集的面貌 (图 7)。

### 5.2.2 断裂横向变化造成油气分布的区段性

通过断裂内部结构、地化与胶结物等研究可以认识碎屑岩断层带输导作用 (Labaume *et al.*, 2001; Bastesen *et al.*, 2009),而碳酸盐岩断裂带由于强烈非均质性,以及孔-缝-洞三重运载介质空间组合的多样性与差异性,造成流体流动横向变化的非均质性与复杂性 (Peacock *et al.*, 1998; Perez and Boles, 2003; Childs *et al.*, 2009)。

塔中碳酸盐岩油气沿断裂带富集已为勘探实践所证实,但是沿同一断裂带同样有干井与出水井分布 (Zhou *et al.*, 2010)。通过塔中 82 井区走滑断裂带与典型井分析表明,走滑带寒武系盐膏层顶部断裂要素横向变化大 (图 9),北部塔中 82 井区断裂带的断距、宽度都比较大,两盘地层倾向变化大,断裂带破碎严重,钻探表明该区段油气丰富。而中段断裂带的宽度突然变小,两盘的落差也很小,此段范围内断裂的油源作用相对较差,油气勘探效果也不好。至南部塔中 12 井区断裂带的宽度突然增大,断距也有增长,油气输导作用较好,有利储层发育区可能形成油气的富集。

油气藏解剖表明,塔中 I 号断裂带、塔中 82 走滑断裂带、塔中 45 走滑断裂带等含油气区带都呈现出油气的分段性 (周新源等, 2006; 杨海军等, 2007)。分析表明,油气源断裂横向的变化容易形成油气输导系统强烈的非均质性 (Perez

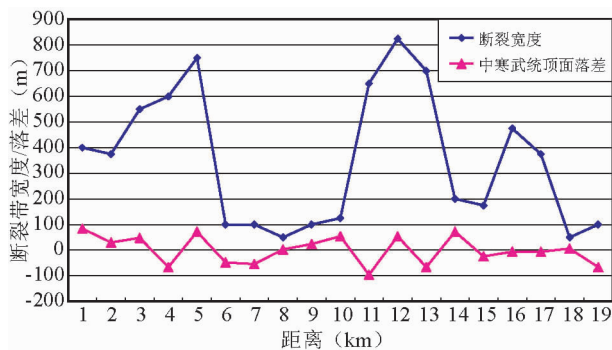


图9 塔中 82 走滑带沿中寒武统盐膏层顶断裂要素横向变化

Fig.9 The fault elements within the top of Middle Cambrian salt layer along TZ82 strike-slip fault

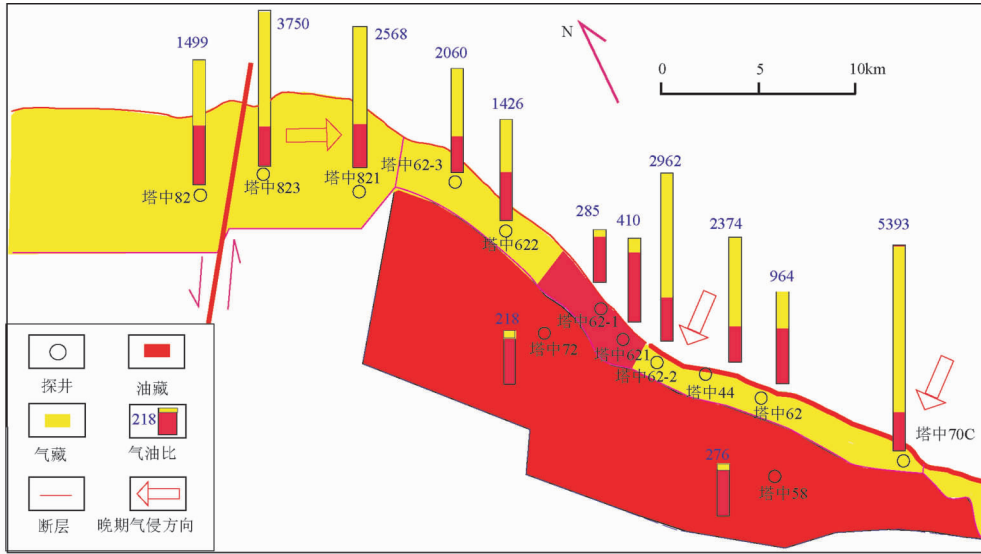


图 10 塔中 62 井区奥陶系礁滩体油气运聚体系划分图

Fig. 10 The subdivision of migration and accumulation system along the platform margin carbonate reservoirs of Ordovician in TZ62 area

and Boles, 2003; Peter *et al.*, 2009; Faulkner *et al.*, 2010), 从而造成油气充注的不均一, 沿断裂带出现油气分布的分段性。塔中隆起逆冲断裂构造作用强烈的破碎带容易形成高效输导区, 并发育缝洞体储层, 形成富集区段。走滑断裂带横向变化更为复杂, 优势运移通道成段状或点状交错出现, 造成沿断裂带横向上油气分布的差异性与分段性更为明显。

### 5.3 油气源断裂控制了油气分布的有序性

塔中隆起北斜坡 6000 km<sup>2</sup> 范围内广泛含油气, 但其油气相态多变、油气水关系复杂 (杨海军等, 2007; 陈利新等, 2008; Zhou *et al.*, 2010)。如在塔中 62 井区, 中部的塔中 621 井区是正常油, 东西两端的塔中 62、塔中 622 井区是凝析气, 气油比变化大 (图 10), 油重气干; 油气水分布复杂, 出现高部位出水, 低部位出气等复杂现象。

由于塔中 I 号带奥陶系良里塔格组天然气来自于中下寒武统烃源岩形成的原油裂解气 (Zhang *et al.*, 2006; 杨海军等, 2007; Tian *et al.*, 2010), 充注时间在喜山晚期, 天然气充注强度控制了该区的油气成藏与富集 (周新源等, 2006; 赵文智等, 2009), 因此这类下生上储成藏模式中需要从 2000 m 以下的地层中垂向运移大量的天然气, 气源断裂的输导作用至关重要。

断裂要素分析表明, 塔中 I 号带基底断裂主要分布在塔中 621 井以东, 断层活动东强西弱 (图 4)。东部地区通过塔中 I 号气源断裂将深部的原油裂解气源源不断的向上运移, 与奥陶系礁滩体古油藏混合形成凝析气藏, 由于断裂带的横向差异, 天然气充注的强度不同, 造成井间气油比有变化 (图 10)。天然气沿塔中 I 号断裂带向上运移后沿礁滩体储层自北向南高部位再运移, 由于现今正处于天然气充注期, 气侵

强度北强南弱, 在南部塔中 72-塔中 58 井区气侵波及作用弱, 仍然呈现油藏特征, 形成了“北气南油”的分布特征 (图 10)。

在西部塔中 821 井区, 北部 I 号断裂带未断穿寒武系盐膏层, 不是有效油源断层, 而北东向塔中 82 走滑断裂发育, 断穿基底, 是气源运移的优势通道。大量裂解气沿走滑断裂垂向运移至奥陶系礁滩体后, 向南东方向塔中 621 井区运移, 造成本区气油比西高东低, 逐渐降低 (图 10), 东西方向上油气分布有规律性。

中部塔中 621 井区原油密度达 0.85 g/cm<sup>3</sup>, 气油比在 250 ~ 500 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>, PVT 分析为油藏; 而塔中 62 井区原油密度低于 0.82 g/cm<sup>3</sup>, 气油比大于 900 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>, PVT 分析为凝析气藏。分析表明, 塔中 621 井及其以西的塔中 I 号断裂未断穿基底 (图 3b), 天然气运移通道受到抑制, 晚期的气侵作用很弱, 而且远离西部走滑断裂的晚期充注, 因此在塔中 621 井区保持了油藏的特征, 气油比低。

通过对本区油气藏的解剖表明, 由于断裂分布的差异、断裂与储层配置的差异, 形成了一系列相对独立的油气运聚体系。在同一运聚体系中表现为靠近气源断裂的运移路径上气油比逐渐降低, 向上倾方向可能保存早期的原油, 下倾低部位天然气充注少的部位可能含水, 同一运聚单元中油气水分布具有有序性。

## 6 结论

(1) 塔中隆起发育三类、三级、四级方向断裂, 以挤压断裂为主, 同时发育走滑断裂, 张性断裂欠发育。塔中隆起断

裂样式具有多样性,下古生界挤压断裂多在寒武系盐膏层滑脱,左旋走滑断裂受控志留纪-中泥盆世东南方向斜向挤压作用。断裂控制了古隆起纵向分层、南北分带、东西分块的构造格局。

(2)塔中隆起具有4个阶段、9期断裂发育,断裂形成演化具有多期性、断裂发育具有继承性、构造特征具有差异性、断裂带具有区段性。

(3)塔中隆起断裂控制了碳酸盐岩油气的富集,多期多类断裂造成油气分布的差异性与区段性,在气源断裂组成的相对独立油气运聚体系中具有油气分布的有序性。

## References

Aydin A. 2000. Fractures, faults, and hydrocarbon entrapment, migration and flow. *Marine and Petroleum Geology*, 17 (7): 797 - 814

Bastesen E, Braathen A, Nøttveit H, Gabrielsen RH and Skar T. 2009. Extensional fault cores in micritic carbonate: Case studies from the Gulf of Corinth, Greece. *Journal of Structural Geology*, 31 (4): 403 - 420

Chen LX, Yang HJ, Wu GH, Han JF, Cai CF and Zhai SL. 2008. Characteristics of the Ordovician reef-shoal reservoir in Tazhong No. 1 slope-break zone, Tarim basin. *Xinjiang Petroleum Geology*, 29 (3): 327 - 330 (in Chinese with English abstract)

Childs C, Sylta Ø, Moriya S, Bonson GB, Nicol A and Schopfer MPJ. 2009. Calibrating fault seal using a hydrocarbon migration model of the Oseberg Syd area, Viking Graben. *Marine and Petroleum Geology*, 26 (6): 764 - 774

Ding CH, Zhou HB, Lu PC, Lv D, Xian Q and Wang XF. 2009. The Paleozoic structural features and its evolution of in the Tazhong low uplift, Xinjiang. *Geotectonica et Metallogenia*, 33 (1): 148 - 153 (in Chinese with English abstract)

England W, MacKenzie AS, Mann DM and Quigley TM. 1987. The movement and entrapment of petroleum fluids in the subsurface. *Journal of Geological Society*, 144: 327 - 347

Faulkner DR, Jackson CAL, Lunn RJ, Schlische RW, Shipton ZK, Wibberley CAJ and Withjack MO. 2010. A review of recent developments concerning the structure, mechanics and fluid flow properties of fault zones. *Journal of Structural Geology*, 32: 1557 - 1575

Graham WB, Girdacea R, Mesonjesi A and Aydin A. 2006. Evolution of fracture and fault-controlled fluid pathways in carbonates of the Albanides fold-thrust belt. *AAPG Bulletin*, 90 (8): 1227 - 1249

Guo ZJ, Yin A, Bobinson A and Jia CZ. 2005. Geochronology and geochemistry of deep drill core samples from the basement of the central Tarim basin. *Journal of Asian Earth Sciences*, 25: 45 - 56

Harding TP. 1990. Identification of wrench fault using subsurface structural data: Criteria and pitfalls. *AAPG Bulletin*, 74 (10): 1090 - 1609

He DF, Zhou XY, Yang HJ, Guan SW and Zhang CJ. 2008. Formation mechanism and tectonic types of intracratonic paleo-uplifts in the Tarim basin. *Earth Science Frontiers*, 15 (2): 207 - 221 (in Chinese with English abstract)

Jia CZ. 1997. *Structure Features and Petroleum in Tarim Basin of China*. Beijing: Petroleum Industry Press, 1 - 438 (in Chinese)

Jia D. 1998. Structural features of northern Tarim basin: Implications for regional tectonics and petroleum traps. *AAPG Bulletin*, 82 (1): 147 - 159

Jin ZJ and Zhang FQ. 2005. Status and major advancements in study of hydrocarbon migration. *Oil & Gas Geology*, 26 (3): 263 - 270 (in Chinese with English abstract)

Kang YZ. 2007. Conditions and explorative directions of marine giant oil-

gas fields of Paleozoic in China. *Xinjiang Petroleum Geology*, 28 (3): 263 - 265 (in Chinese with English abstract)

Labaume P, Sheppard SMF and Moretti I. 2001. Fluid flow in cataclastic thrust fault zones in sandstones, sub-Andean zone, southern Bolivia. *Tectonophysics*, 340: 141 - 172

Leighton MW, Kolata PR, Oltz DF and Eidel JJ. 1990. Interior cratonic basins. *AAPG Memoirs*, 51: 1 - 819

Levorsen AI. 2001. *Geology of Petroleum*. 2<sup>nd</sup> Edition. Tulsa: The AAPG Foundation, 1 - 700

Li BL, Guan SW, Li CX, Wu GH, Yang HJ, Han JF, Luo CS and Miao JJ. 2009. Paleo-tectonic evolution and deformation features of the lower uplift in the Central Tarim basin. *Geological Review*, 55 (4): 521 - 530 (in Chinese with English abstract)

Li CX, Jia CZ, Li BL, Yang G, Yang HJ, Luo CS, Han JF and Wang XF. 2009. Distribution and tectonic evolution of the Paleozoic fault system, the north slope of Tazhong uplift, Tarim basin. *Acta Geologica Sinica*, 83 (8): 1065 - 1073 (in Chinese with English abstract)

Li MJ, Zheng ML, Feng ZR and Zhang JY. 2004. Structural characteristics and evolution of Tazhong low uplift. *Journal of Xi'an Shiyou University (Natural Science Edition)*, 19 (4): 43 - 45 (in Chinese with English abstract)

Li QM, Wu GH, Pang XQ, Pan WQ, Luo CS, Wang CL, Li XS and Zhou B. 2010. Hydrocarbon accumulation conditions of Ordovician carbonate in Tarim basin. *Acta Geologica Sinica*, 84 (5): 1180 - 1194

Li YJ, Wu GY, Meng QL, Shi J, Feng XJ and Zheng M. 2008. Active modes and mechanisms of the Paleozoic faultings in western Tarim. *Chinese Journal of Geology*, 43 (4): 727 - 745 (in Chinese with English abstract)

Liu KQ and Jin ZJ. 2004. Ordovician petroleum accumulation system in Tazhong low uplift of Tarim basin. *Earth Science*, 29 (4): 489 - 494 (in Chinese with English abstract)

Lu SN, Li HK, Zhang CL and Niu GH. 2008. Geological and geochronological evidence for the Pre-Cambrian evolution of the Tarim Craton and surrounding continental fragments. *Precambrian Research*, 160 (1 - 2): 94 - 107

Luo CS, Yang HJ, Cai ZZ, Wu GH and Dong LS. 2007. Controlling factors of premium reservoir rock in Tazhong wellblock-82. *Xinjiang Petroleum Geology*, 28 (5): 589 - 591 (in Chinese with English abstract)

Luo Q, Jiang ZX and Pang XQ. 2007. *Mechanism and Model of Fault Controlling Petroleum Accumulation*. Beijing: Petroleum Industry Press, 1 - 318 (in Chinese)

Lv XX and Hu X. 1997. Hydrocarbon accumulation and distribution in Tazhong low uplift of Tarim basin. *Oil & Gas Geology*, 18 (4): 288 - 293 (in Chinese with English abstract)

Lv XX, Li JJ and Wang WG. 2009. Responses of marine carbonate reservoirs to fault activities. *Geological Science and Technology Information*, 28 (3): 1 - 5 (in Chinese with English abstract)

Ma RZ, Liu YC and Liu JD. 2003. Age and tectonic setting of the epimetamorphic rock series along the southern margin of Tarim Basin. *Xinjiang Geology*, 21 (1): 51 - 56 (in Chinese with English abstract)

Pan LY, Ni P, Ou GX and Li LQ. 2007. Multistage petroleum charges in the Silurian of Tazhong north slope of the Tarim basin, northwest China: Evidence from fluid inclusions and organic geochemistry. *Acta Petrologica Sinica*, 23 (1): 131 - 136 (in Chinese with English abstract)

Peacock DCP, Fisher QJ and Willemsse EJM. 1998. The relationship between faults and pressure solution seams in carbonate rocks and the implications for fluid flow. *Geological Society (London) Special Publication*, 147: 105 - 115

Perez RJ and Boles JR. 2003. Mineralization, fluid flow, and sealing properties associated with an active thrust fault: San Joaquin basin, California. *AAPG Bulletin*, 87 (3): 465 - 478

Peter E, Nicholas CD and Stephen PB. 2009. Structural and diagenetic control of fluid migration and cementation along the Moab fault,

- Utah. AAPG Bulletin, 93(5): 653–681
- Sun LD, Li YJ, Jiang TW and Yang HJ. 2007. The central Tarim lower uplift: A composite hydrocarbon accumulation play in the Tarim basin, NW China. Chinese Journal of Geology, 42(3): 602–620 (in Chinese with English abstract)
- Tang LJ. 1996. Tectonic Evolution and Styles of Tarim Basin. Beijing: Geological Publishing House, 1–136 (in Chinese)
- Tian J, Chen JQ, Jiao J and Pang XQ. 2010. Comparison of the surface and underground natural gas occurrences in the Tazhong uplift of the Tarim basin. Acta Geologica Sinica, 84(5): 1097–1115
- Wang ZM, Zhao KZ, Wu GH, Zhang LJ, Wang ZY, Luo CS and Li XS. 2007. Characteristics and main controlling factors of the Upper Ordovician reef-bank reservoir development in the Tazhong I slope-break zone. Oil & Gas Geology, 28(6): 797–801 (in Chinese with English abstract)
- Wei GQ and Jia CZ. 1998. Structural characteristics and oil & gas of thrust belts in Tarim basin. Acta Petrologica Sinica, 19(1): 21–27 (in Chinese with English abstract)
- Wibberley CAJ and Shimamoto T. 2003. Internal structure and permeability of major strike-slip fault zones: The Median Tectonic Line in Mie Prefecture, southwest Japan. Journal of Structural Geology, 25(1): 59–78
- Wu CL, Yang JZ, Yao SZ, Zeng LS, Chen SY, Li HB, Qi XX, Wooden JL and Mazdab FK. 2005. Characteristics of the granitoid complex and its zircon SHRIMP dating at the south margin of the Bashikaogong basin, north Altun, NW China. Acta Petrologica Sinica, 21(3): 846–858 (in Chinese with English abstract)
- Wu GH, Li QM, Zhang BS, Dong LS, Zhang YG and Zhang HQ. 2005. Structural characteristics and exploration fields of No. 1 faulted slope break in Tazhong area. Acta Petrologica Sinica, 26(1): 27–30 (in Chinese with English abstract)
- Wu GH, Sun JH, Guo QY, Tang T, Chen ZY and Feng XJ. 2009. The distribution of detrital zircon U-Pb ages and its significance to Precambrian basement in Tarim basin. Acta Geoscientia Sinica, 31(1): 65–72 (in Chinese with English abstract)
- Yang HJ, Han JF, Chen LX, Wu GH and Ji YG. 2007. Characteristics and patterns of complex hydrocarbon accumulation in the Lower Paleozoic carbonate rocks of the Tazhong Palaeouplift. Oil & Gas Geology, 28(6): 784–790 (in Chinese with English abstract)
- Ye HM, Li XH, Li ZX and Zhang CL. 2008. Age and origin of high Ba-Sr appinite-granites at the northwestern of the Tibet Plateau: Implications for Early Paleozoic tectonic evolution of the western Kunlun orogenic belt. Gondwana Research, 13: 126–138
- Yu X, Chen HL, Yang SF, Li ZL, Wang QH and Li ZH. 2009. Geochemical features of Permian basalts in Tarim basin and compared with Emeshan LIP. Acta Petrologica Sinica, 25(6): 1492–1498 (in Chinese with English abstract)
- Zhai XX and Yun L. 2008. Geology of giant Tahe oilfield and a review of exploration thinking in the Tarim basin. Oil & Gas Geology, 29(5): 555–573 (in Chinese with English abstract)
- Zhang JL and Zhang X. 2007. Element geochemistry of sandstones in the Silurian of central Tarim basin and the significance in provenance discrimination. Acta Petrologica Sinica, 23(11): 2990–3002 (in Chinese with English abstract)
- Zhang M, Huang GH and Hu GY. 2006. Reservoir geochemistry of the Tazhong oilfield in the Tarim Basin, China, Part I. Geochemical characteristics and genetic classification of crude oils. Chinese Journal of Geochemistry, 25(4): 328–331
- Zhang ZP, Wang Y, Yun JB, Zhou B, Zhao ZH and Zheng ML. 2009. Control of faults at different evolution stages on hydrocarbon accumulation in Tazhong area, the Tarim basin. Oil & Gas Geology, 30(3): 316–323 (in Chinese with English abstract)
- Zhang ZS, Li MJ and Liu SP. 2002. Generation and evolution of Tazhong low uplift. Petroleum Exploration and Development, 29(1): 28–31 (in Chinese with English abstract)
- Zhao WZ, Zhu GY, Zhang SC, Zhao XF, Sun YS, Wang HJ, Yang HJ and Han JF. 2009. Relationship between the later strong gas-charging and the improvement of the reservoir capacity in deep Ordovician carbonate reservoir in Tazhong area, Tarim basin. Chinese Science Bulletin, 54: 3076–3089
- Zhou XY, Wang ZM, Yang HJ, Wang QH and Wu GH. 2006. Exploration and discovery of large condensate field in Tazhong Ordovician. Marine Origin Petroleum Geology, 11(1): 45–51 (in Chinese with English abstract)
- Zhou XY, Pang XQ, Li QM, Pang H, Xiang CF, Jiang ZX, Li SM and Liu LF. 2010. Advances and problems in hydrocarbon exploration in the Tazhong area, Tarim Basin. Petroleum Science, 7: 164–178
- Zhu GY, Zhang SC, Wang HH, Yang HJ, Men SC, Gu QY, Zhang B and Su J. 2009. Forming and distribution of deep weathering crust reservoir in North Tarim basin. Acta Petrologica Sinica, 25(10): 2384–2398 (in Chinese with English abstract)

## 附中文参考文献

- 陈利新, 杨海军, 邬光辉, 韩建发, 蔡春芳, 翟妹玲. 2008. 塔中I号坡折带奥陶系礁滩体油气藏的成藏特点. 新疆石油地质, 29(3): 327–330
- 丁长辉, 周红波, 路鹏程, 吕东, 鲜强, 王熊飞. 2009. 塔中低凸起古生界构造特征及演化. 大地构造与成矿学, 33(1): 148–153
- 何登发, 周新源, 杨海军, 管树巍, 张朝军. 2008. 塔里木盆地克拉通内古隆起的成因机制与构造类型. 地学前缘, 15(2): 207–221
- 贾承造. 1997. 中国塔里木盆地构造特征与油气. 北京: 石油工业出版社, 1–438
- 金之钧, 张发强. 2005. 油气运移研究现状及主要进展. 石油与天然气地质, 26(3): 263–270
- 康玉柱. 2007. 中国古生代海相大油气田形成条件及勘探方向. 新疆石油地质, 28(3): 263–265
- 李本亮, 管树巍, 李传新, 邬光辉, 杨海军, 韩剑发, 罗春树, 苗继军. 2009. 塔里木盆地塔中低凸起古构造演化与变形特征. 地质论评, 55(4): 521–530
- 李传新, 贾承造, 李本亮, 杨庚, 杨海军, 罗春树, 韩剑发, 王晓峰. 2009. 塔里木盆地塔中低凸起北斜坡古生代断裂展布与构造演化. 地质学报, 83(8): 1065–1073
- 李明杰, 郑孟林, 冯朝荣, 张军勇. 2004. 塔中低凸起的结构特征及其演化. 西安石油大学学报(自然科学版), 19(4): 43–45
- 李曰俊, 吴根耀, 孟庆龙, 师骏, 冯晓军, 郑民. 2008. 塔里木西部地区古生代断裂活动的方式和机制. 地质科学, 43(4): 727–745
- 刘克奇, 金之钧. 2004. 塔里木盆地塔中低凸起奥陶纪油气成藏体系. 地球科学, 29(4): 489–494
- 吕修祥, 胡轩. 1997. 塔里木盆地塔中低凸起的形成和演化. 石油天然气地质, 18(4): 288–293
- 吕修祥, 李建交, 汪伟光. 2009. 海相碳酸盐岩储层对断裂活动的响应. 地质科技情报, 28(3): 1–5
- 罗春树, 杨海军, 蔡振忠, 邬光辉, 董立胜. 2007. 塔中82井区优质储集层的控制因素. 新疆石油地质, 28(5): 589–591
- 罗群, 姜振学, 庞雄奇. 2007. 断裂控藏机理与模式. 北京: 石油工业出版社, 1–318
- 马润则, 刘援朝, 刘家铎. 2003. 塔里木南缘浅变质岩形成时代及构造背景. 新疆地质, 21(1): 51–56
- 潘立银, 倪培, 欧光习, 李林强. 2007. 中国塔里木盆地塔中北坡志留系多期石油充注: 流体包裹体和有机地球化学证据. 岩石学

- 报, 23(1): 131-136
- 孙龙德, 李曰俊, 江同文, 杨海军. 2007. 塔里木盆地塔中低凸起: 一个典型的复式油气聚集区. 地质科学, 42(3): 602-620
- 汤良杰. 1996. 塔里木盆地构造演化和构造样式. 北京: 地质出版社, 1-136
- 王招明, 赵宽志, 邬光辉, 张丽娟, 王振宇, 罗春树, 李新生. 2007. 塔中 I 号坡折带上奥陶统礁滩型储层发育特征及其主控因素. 石油与天然气地质, 28(6): 797-801
- 魏国齐, 贾承造. 1998. 塔里木盆地逆冲带构造特征与油气. 石油学报, 19(1): 11-17
- 吴才来, 杨经绥, 姚尚志, 曾令森, 陈松永, 李海兵, 戚学祥, Wooden JL, Mazdab FK. 2005. 北阿尔金巴什考供盆地南缘花岗岩体特征及锆石 SHRIMP 定年. 岩石学报, 21(3): 846-858
- 邬光辉, 李启明, 张宝收, 董立胜, 张亚光, 张欢庆. 2005. 塔中 I 号断裂坡折带构造特征及勘探领域. 石油学报, 26(1): 27-30
- 邬光辉, 孙建华, 郭群英, 唐涛, 陈志勇, 冯晓军. 2009. 塔里木盆地碎屑锆石年龄分布对前寒武纪基底的指示. 地球学报, 31(1): 65-72
- 杨海军, 韩剑发, 陈利新, 邬光辉, 吉云刚. 2007. 塔中古隆起下古生界碳酸盐岩油气复式成藏特征及模式. 石油与天然气地质, 28(6): 784-790
- 余星, 陈汉林, 杨树锋, 房子龙, 王清华, 李兆恒. 2009. 塔里木盆地二叠纪玄武岩的地球化学特征及其与峨眉山大火成岩省的对比. 岩石学报, 25(6): 1492-1498
- 翟晓先, 云露. 2008. 塔里木盆地塔河大型油气田地质特征及勘探思路回顾. 石油与天然气地质, 29(5): 555-573
- 张金亮, 张鑫. 2007. 塔中地区志留系砂岩元素地球化学特征与物源判别意义. 岩石学报, 23(11): 2090-3002
- 张仲培, 王毅, 云金表, 周波, 赵泽辉, 郑孟林. 2009. 塔中地区断裂不同演化阶段对油气聚集的控制. 石油与天然气地质, 30(3): 316-323
- 张振生, 李明杰, 刘社平. 2002. 塔中低凸起的形成和演化. 石油勘探与开发, 29(1): 28-31
- 赵文智, 朱光有, 张水昌, 赵雪凤, 孙玉善, 王红军, 杨海军, 韩剑发. 2009. 天然气晚期强充注与塔中奥陶系深部碳酸盐岩储集性能改善关系研究. 科学通报, 54(20): 3218-3230
- 周新源, 王招明, 杨海军, 王清华, 邬光辉. 2006. 塔中奥陶系大型凝析气田的勘探和发现. 海相油气地质, 11(1): 45-51
- 朱光有, 张水昌, 王欢欢, 杨海军, 孟书翠, 顾乔元, 张斌, 苏劲. 2009. 塔里木盆地北部深层风化壳储层的形成与分布. 岩石学报, 25(10): 2384-2398