

塔中I号气田TZ83井区环状断溶体 储层发育特征及油气聚集规律

韩杰¹, 袁源¹, 肖春艳¹, 李相文², 汪鹏¹, 赵红¹

1 中国石油塔里木油田公司勘探开发研究院; 2 中国石油东方地球物理公司研究院库尔勒分院

摘要 TZ83井区鹰山组缝洞型碳酸盐岩凝析气藏是塔里木盆地塔中I号气田奥陶系大型碳酸盐岩凝析气藏的重要组成部分。通过井-震标定、地震资料精细解释,利用曲率、相干和波阻抗等地震属性识别研究TZ83井区环状断溶体储层。研究表明:①环状断溶体储层主要发育于鹰山组一段—良里塔格组五段,为环状洞穴层;②加里东中期广泛发育的不整合岩溶形成了环状断溶体的雏形,加里东晚期—海西期形成的X剪切断裂控制了环状断溶体储层发育的规模;③油气分布主要受环状断溶体储层发育规模的控制,可划分为3个相对独立的油气藏,这3个油气藏的硫化氢含量、气油比和开发特征均表现出极大的差异性。指出TZ83井区环状断溶体是在弱走滑条件下受X剪切断裂影响而形成,储层发育具有选择性、受控性、继承性和不均匀性的特点,这与塔里木盆地其他地区受大型区域性走滑断裂控制的断溶体,在储层形成机理及油气分布等方面存在较大差异。

关键词 断溶体;储层;碳酸盐岩;凝析气藏;奥陶系;塔里木盆地

中图分类号: TE122.2 **文献标识码**: A

0 前言

塔里木盆地下古生界的深大断裂及其对构造演化 and 油气成藏的重要性已获得国内外学者的广泛认同和关注^[1-3]。韩杰等^[4-5]结合塔里木盆地塔中I号气田Ⅲ区、轮古气田的勘探实践,提出了断裂及其破碎带的可钻探性,并对其油气富集机理进行了阐述。鲁新便等^[6]研究了塔河地区碳酸盐岩地层中由深大断裂及其派生的各类构造所控制而形成的岩溶缝洞体圈闭,首次提出了“断溶体圈闭”的概念,并对其形成机理及发育特征进行了全面论述,认为断溶体圈闭(油气藏)是塔河外围斜坡区极为特殊的一种油气藏类型,这类油气藏的储层是沿深大断裂发育的、具有一定规模的破碎带,它经多期改造而形成溶蚀孔洞储集体,即断控岩溶缝洞系统,上覆的泥灰岩、泥岩及侧向致密石灰岩可作为盖层,在此基础上形成了一种不规则状的断控岩溶缝洞体圈闭。

断溶体圈闭理论的提出,一方面推动了塔里木盆地区域性大型走滑断裂的研究,盆地主要走滑断裂的

断裂样式、几何形态及力学机制等被分级分段地深入解剖^[7-9];另一方面,深化了断裂及其破碎带对油气富集控制作用的研究,这体现在由“控储控藏”转变为“控储成藏”的新认识,指出断裂及其破碎带是油气部署的有利区域。依据空间展布形态和控制因素可将断溶体圈闭划分为条带状、夹心饼状和平板状等类型^[6],井位沿断裂带呈线性、条带状部署。这改变了前期在层间岩溶理论指导下按洞开发、逐洞部井的工作思路^[10-11],为富油气区带再评价、井位部署和产能建设等带来了一系列颠覆性、革命性的变化。

塔中I号气田是目前塔里木盆地已发现的规模最大的碳酸盐岩凝析气田。随着地震资料品质的提升和钻井数量的增多,在断溶体圈闭理论的指导下,近期在塔中I号气田东部TZ83井区发现了受多组次级断裂控制,平面上呈环状、纵向上具良好成层性的断溶体圈闭(本文简称环状断溶体圈闭)。这与塔北隆起塔河油田、哈拉哈塘油田,以及塔中I号气田西部的受大型区域性走滑断裂控制,平面上

收稿日期: 2018-03-29; 改回日期: 2020-03-25

本文受中国石油天然气股份有限公司重大专项“塔里木油田勘探开发关键技术研究及应用”(编号:22121G20112001)资助

第一作者: 韩杰, 硕士, 高级工程师, 主要从事塔里木盆地碳酸盐岩油气地质研究。通信地址: 841000 新疆库尔勒塔里木油田勘探开发研究院开发所; E-mail: gshanjie@163.com

呈线性、条带状分布,纵向上具穿层性的断溶体圈闭存在较大差异。本文在深化断裂及其力学机制解剖的基础之上,深入分析环状断溶体的储层发育特征及主控因素,以期进一步丰富断溶体油气地质理论,并为类似区块的研究工作提供借鉴。

1 地质背景

1.1 地质概况

塔中I号气田东部TZ83井区位于塔里木盆地塔中隆起北部斜坡带塔中I号坡折带东段(图1),奥陶系自下而上可分为中下奥陶统蓬莱坝组、鹰山组,上奥陶统良里塔格组、桑塔木组。鹰山组与良里塔格组呈假整合接触,缺失中奥陶统一间房组和吐木休克组。鹰山组自上而下可分为鹰一段—鹰四段,厚度为900 m左右,为开阔台地相台内滩沉积;良里塔

格组自上而下可分为良一段—良五段,厚度为498~646 m,地层厚度自东向西、自北向南略有加厚,岩性主要为泥—亮晶颗粒灰岩,含少量生物碎屑,属台地边缘丘、滩相沉积。主要开发目的层为鹰一段—良五段,即位于鹰山组顶面上下100 m左右范围内,岩性以泥—亮晶砂屑灰岩为主。

研究区位于塔中10号构造带和塔中I号构造带之间的斜坡区(图1),呈北西—南东走向,西北低、东南高,斜坡上发育一个鼻状构造。研究区储层以洞穴型为主,发育少量的孔洞型、裂缝型和裂缝—孔洞型储层。天然气以干气为主,非烃类含量高,凝析油含量为40.54~147.44 g/cm³。油水界面的分布不完全受构造控制,TZ721井及周边鼻状构造高部位水体活跃,斜坡区水体能量弱,整体表现为受断裂和储层控制,局部含少量边水、底水的大型准层状微—低含凝析油的凝析气藏,局部为油藏。

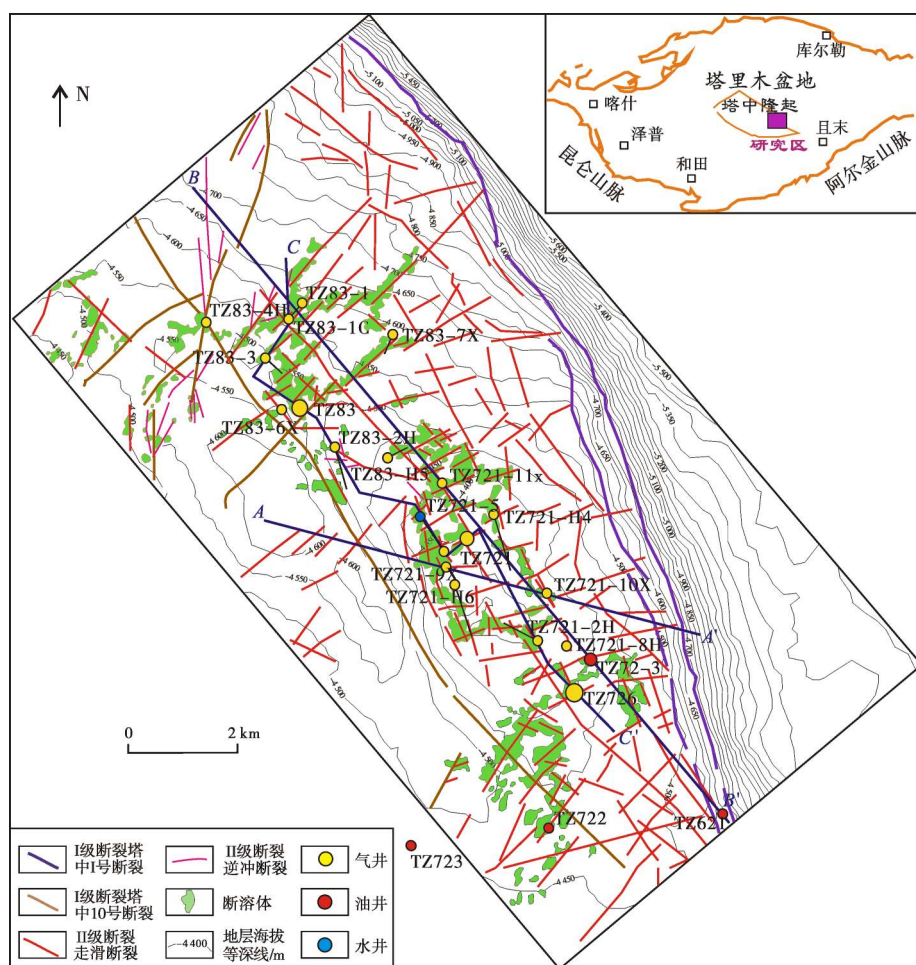


图1 塔中I号气田TZ83井区鹰山组顶面构造特征与环状断溶体叠合图

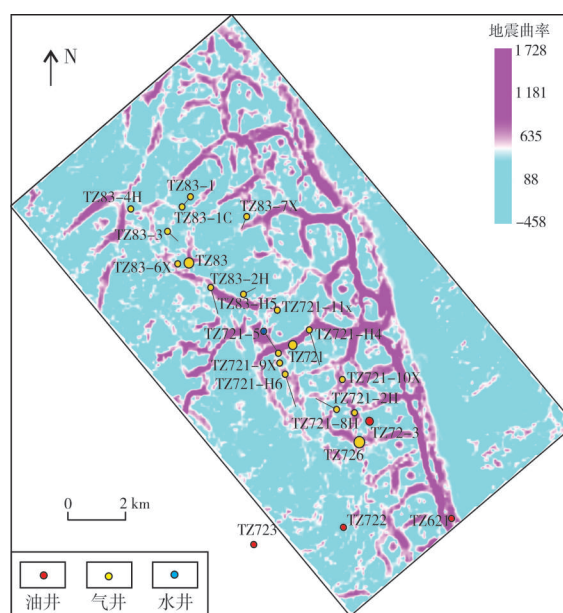
Fig. 1 Superposition map of the structure of top interface of Yingshan Formation and cyclic fault-karst reservoirs of TZ83 well area in Tazhong I gas field

1.2 断裂特征

研究区叠前深度偏移三维地震资料品质较高,通过应用地震相干体切片技术、同相轴曲率技术、地震反射能量技术等方法,显示了不同层位的平面断裂系统(图2),有效地指导了剖面断层的解释(图3)。

在图3的地震剖面上可以看到大断裂两侧寒武纪地层发生明显的扭曲、破碎,地震同相轴发生明显的错断,在寒武系—奥陶系石灰岩顶部的强轴有不同程度的挠曲,下部地层的地震同相轴有相变、沿断层轨迹有串珠状地震反射等识别特征,小断层常与大断裂伴生,呈多组分布的特征。根据区域构造运动背景以及断层平面和剖面特征,研究区断裂可分为2级4组(图1—图3)。

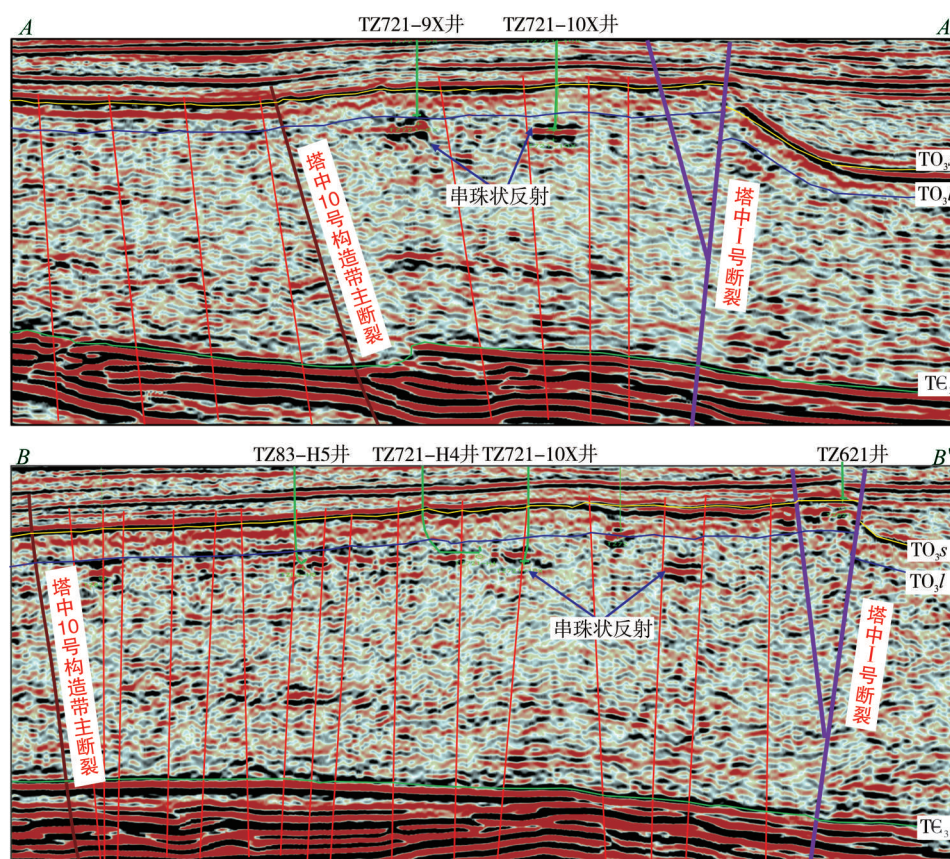
I级断裂包括塔中I号断裂、塔中10号构造带主断裂,它们发育于加里东中期,在地震剖面上非常清楚地显示断开层位为寒武系至奥陶系,控制了构造的发育、形态和走向。其中塔中I号断裂带为



注:切片时窗为沿良里塔格组顶面下70m。

图2 塔中I号气田TZ83井区地震曲率属性切片

Fig. 2 Seismic curvature attribute slice of TZ83 well area in Tazhong I gas field



注: TO_{3s} 桑塔木组底界; TO_{3l} 良里塔格组底界; TE₃ 上寒武统底界。

图3 塔中I号气田TZ83井区不同期次断裂剖面图(剖面位置见图1)

Fig. 3 Seismic section of faults of TZ83 well area in Tazhong I gas field in different periods(section position is shown in Fig. 1)

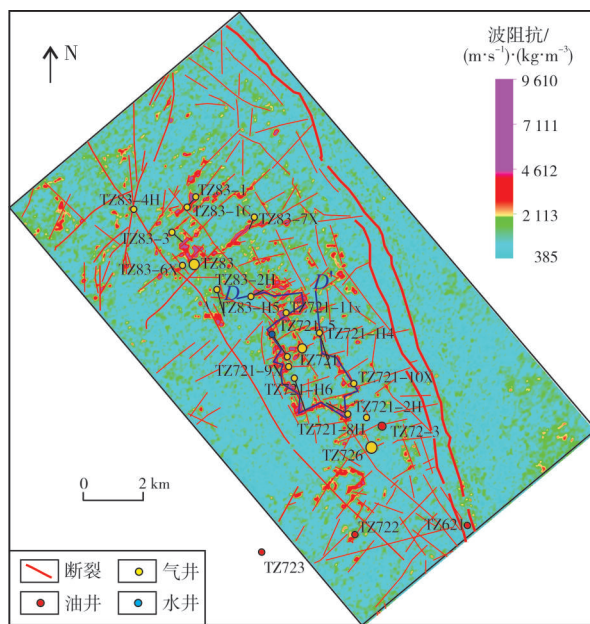
北北西—南南东走向的逆冲断裂,发育于塔中古隆起的北缘与满加尔凹陷转折端上,是构成塔中隆起东部与北部凹陷的分界断裂,在研究区西部断距大,向东断距变小,逐渐转变为一个构造枢纽带。塔中10号构造带主断裂带的强度仅次于塔中I号断裂带,为北西—南东走向,由北西向南东延伸,断距逐渐变小,消失于塔中16号构造西南翼。这2组断裂系统为北西—南东向延伸,平面上东窄西宽、呈帚状撒开(图1—图3)。

II级断裂大致可分为2组。第1组是受I级断裂控制的次级伴生断裂,主要发育于加里东晚期,为与I级断裂走向基本平行的逆冲断裂,近北北西—南南东走向,延伸长短不一,断开层位为寒武系上部至奥陶系桑塔木组下部;第2组为发育相对较晚的北北东—南南西走向的走滑断裂,主要活动期为海西早期,走向近似垂直于I级断裂,甚至切割I级断裂,断开层位从寒武系至石炭系底部不等,在剖面上为高陡断层特征。这2组断裂在平面上呈现X剪切特征,共同控制了储层的发育(图1—图3)。

2 环状断溶体储层发育特征及主控因素

2.1 环状断溶体储层发育特征

碳酸盐岩储层段的孔隙度高,其岩石物理特征常常表现为低密度和低速度,因此具有相对较低的波阻抗值,利用常规的波阻抗属性能基本反映储层的发育和分布特征。从图4平面上可划分出TZ83井区、TZ721井区和TZ726井区共3个不规则的环状断溶体,与菱形交叉的断裂在大部分区域重合(图1,图4)。研究发现断裂发育的强度和规模控制了断溶体储层平面发育的程度,如平面上沿TZ83井—TZ83-7X井、TZ721-H4井—TZ721-10X井呈线形分布的储层带,由于仅受单条断裂的控制,储层发育程度稍差;而沿TZ83井—TZ83-3井—TZ83-1井、TZ721-11X井—TZ721-5井—TZ721-H6井呈环带状分布的储层带裂缝发育(图1,图4),储层也具有较好的连续性,规模也相对较大。环状断溶体剖面上表现为不规则的连续串珠状反射,反射能量强,储层发育层位为鹰一段—良五段,即位于鹰山组顶面上下约100m的范围内(图5)。



注:波阻抗切片时窗为沿鹰山组顶面上下150m。

图4 塔中I号气田TZ83井区波阻抗属性与断裂叠合图

Fig. 4 Superposition map of wave impedance attribute and faults of TZ83 well area in Tazhong I gas field

已有的钻探结果表明,TZ83井区串珠状反射为洞穴型储层的响应,连续的串珠状反射即代表连续的洞穴层,由此推断环状储层带即代表环状洞穴层。主要证据如下:①钻井过程中出现钻具放空是钻遇溶洞最直接的标志。TZ83井区钻具放空量一般为0.23~0.85 m,而且,泥浆漏失量为157.1~2410 m³,溢流量为0.4~6.9 m³。虽然泥浆漏失和溢流可能由多种因素引起,如在钻遇裂缝发育带、孔洞发育带或大型溶洞时皆可出现泥浆漏失现象,但与明显的钻具放空相伴随的大量泥浆漏失现象,则是钻遇溶洞的结果。②测井响应特征表明普遍发育洞穴型储层。由于研究区奥陶系石灰岩的岩溶缝洞发育规模较大,并常常被角砾、砂质和泥质等充填物所充填,其自然伽马值大多为50~100 API,电阻率一般为3~70 Ω·m,部分小于2 Ω·m。这表明测井曲线上表现出的高自然伽马和低电阻特征是对岩溶缝洞内泥质充填物的响应。③经过酸压改造的钻井酸压施工曲线特征表现为洞穴+洞缘裂缝供液特征。根据前人对塔里木盆地台盆区大量钻井的统计分析^[12]:一般洞穴型储层酸压停泵压降>8 MPa,酸压曲线压力坡度>30°;裂缝孔洞型储层压降<2 MPa,压力坡度0~45°。由此统计分析研究区内9口酸压井,钻井酸压停泵压降均大于

12MPa,解释结果显示其中约85%的钻井钻遇了洞穴型储层。④钻井生产数据特征主要表现为单洞或多洞(一般为2个洞穴)供液特征,累产液与累计压降表现为线性特征,是洞穴型储层的典型响应^[13]。

从目前TZ83井区及邻区已有的取心资料分析,洞穴型储层的部分洞穴存在一定的充填,呈现规模不同、形态各异的内部充填物,包括顶部剥蚀面伴生的风化残积物(溶蚀残余物)、角砾岩、紫红色泥岩、灰绿色铝土质泥岩和含砾泥岩等,常堆积于岩溶沟谷和岩溶坑洼中。

环状洞穴层在地震剖面上具有极强的连续性,

但从开发特征分析,洞穴并非全连通状态。目前从针对TZ83井区环状断溶体、TZ726井区环状断溶体的钻探情况看,这2个井区平均井距已接近1 km,不同时期的投产井初期大部分保持原始的地层压力,开发过程也没有压力趋同的现象,这表明环状断溶体并非一条洞穴贯穿,而是洞穴与洞穴之间存在一定的分割性,各个洞穴独立存在,个别洞穴通过裂缝连接。目前仅发现TZ721-5井(侧钻井眼)与TZ721-9X井(投产初期地层压力有亏空,压力系数0.48)之间、TZ721-H6井与TZ721-2H井之间连通(开发过程中压力有干扰)。

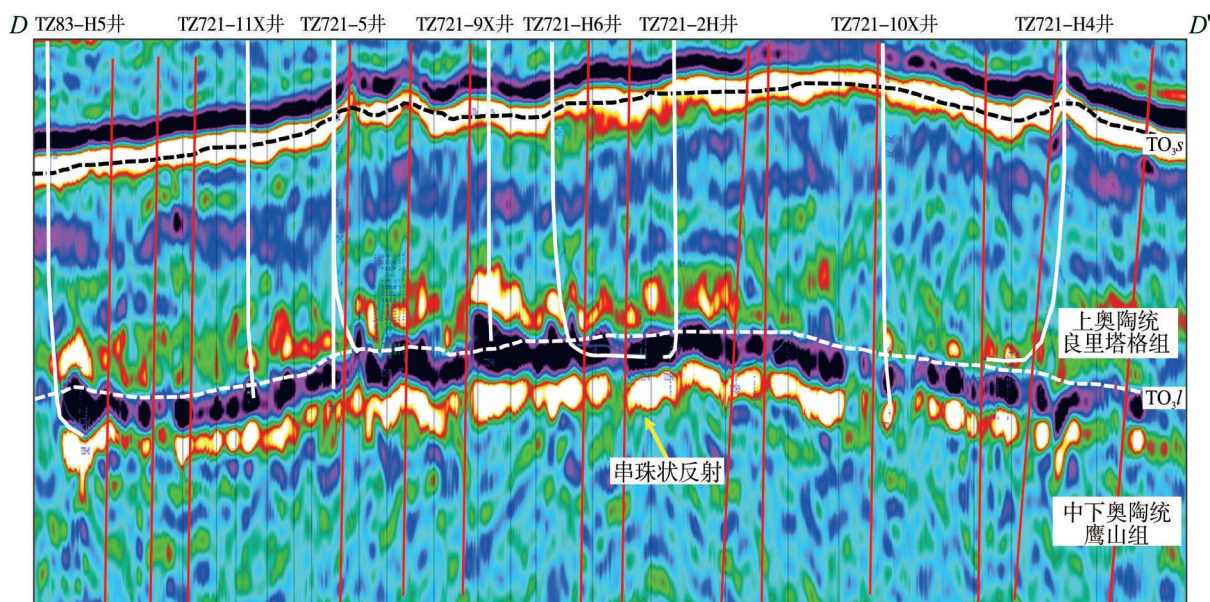


图5 塔中I号气田TZ721井区环状断溶体常规地震剖面图(剖面位置见图4)

Fig. 5 Seismic section of cyclic fault-karst reservoirs of TZ 721 well area in Tazhong I gas field(section position is shown in Fig. 4)

2.2 环状断溶体发育的主控因素

塔中隆起为继承性的古隆起,寒武系到下奥陶统分布稳定,与北部凹陷为连续沉积,位于剥蚀区的塔中北斜坡,地层厚度比下盘(顺南区块、卡塔克区块)明显要小,表明塔中古隆起在寒武纪和早奥陶世已经开始出现雏形^[14],中晚奥陶世为孤立台地发育阶段。除断裂带外,塔中地区以整体抬升为主,鹰山组大面积出露,缺失中奥陶统一间房组和吐木休克组(塔中Ⅲ区部分区域有残存),形成了加里东中期广泛发育的不整合岩溶。根据野外地质调查及相关的古生物取样分析、层序地层学旋回推算,这个不整合岩溶形成的时间约为15 Ma^[15]。并且,

塔中I号坡折带的持续活动决定了晚奥陶世良里塔格期大型台缘带的分布,因此礁滩复合体比较发育,厚度为60~300 m。

TZ83井区环状洞穴层平面上呈3个环状特征,从储层成因看,TZ83井区环状断溶体储层的发育具有选择性、受控性、继承性和不均匀性^[16]。

TZ83井区岩溶的选择性表现在层位和岩性2方面:纵向上具有极强的层位选择性,岩溶主要发育于鹰一段—良五段,位于不整合面上下100 m左右的范围内;岩性以颗粒灰岩为主,含少量的含泥灰岩,与良一段—良四段主要以含泥灰岩、泥质灰岩为主相比,更容易发生溶蚀。

岩溶发育的受控性指岩溶发育受难可溶岩、

褶曲、断裂构造等因素所控制^[17]。TZ83井区处于塔中北斜坡上的一个鼻状构造,根据背斜裂缝发育模式,背斜在形成过程中,不同构造部位承受的应力性质和应力大小不同,有平行于构造枢纽的纵向裂缝、垂直构造枢纽的横向裂缝,还有与构造枢纽斜交的斜向裂缝,且构造转折端曲率比两翼的曲率更大,更易发育构造裂缝^[18-19]。同时,构造裂缝的发育与岩层厚度、岩性等也有密切关系^[16],粒径越粗、岩层越薄越有利于构造裂缝的发育。沿TZ726井—TZ721-5井—TZ83井一线的构造轴部发育大量与构造轴线平行的北北西向张性裂缝,背斜顶部TZ721-5井周边裂缝发育密度稍大于两翼的TZ726井和TZ83井周边,裂缝平面延伸0.8~12 km。早海西期北北东向的走滑断裂是在拉张背景下形成的弱走滑断裂,它们终止于北西向的塔中I号断裂,与塔中北斜坡其他区域的北北东向走滑断裂相比,研究区北北东向断裂的规模和级次较小,但发育密度更大。

岩溶发育的继承性指每一次的构造运动,岩溶发育都会形成4个岩溶带,后期的岩溶带与前期的岩溶带叠加、改造或者兼而有之,从而形成复杂的岩溶结构^[16]。TZ83井区位于塔中北斜坡的东段,处于岩溶斜坡区,是古岩溶地下水的补给区和径流区,地表水系较发育,沟谷深切。与塔北隆起的轮古奥陶系潜山相比,由于岩溶风化的时间相对较短,不整合岩溶仅形成了TZ83井区鹰山组环状洞穴的雏形,因此TZ83井区洞穴发育规模偏小,一般洞穴直径<10 m,整体处于岩溶发育的初期,即构造和裂隙形成、渗透性逐渐加强阶段,属于喀斯特漏斗形成的初级阶段。从环状洞穴的成因看,菱形或环形分布的断裂是后期岩溶水的优势通道,沿X剪切断裂的断层相关岩溶导致同生-准同生期形成的鹰山组洞穴层向上溶蚀,最终形成了鹰一段—良五段的跨层、穿越不整合面上下且具有良好层位性的环状洞穴层。

岩溶发育的不均匀性表现为研究区储层分布的强非均质性、各向异性和封隔性,是岩溶发育的选择性、受控性和继承性的结果。其中断裂发育的规模、变形强度的大小控制了环状断溶体的储集体规模和连通程度:处于断层交会部位的TZ721-5井、TZ721-2H井、TZ83井周边的储层更为发育,且储层连通性较好,如前述的2个井组(TZ721-5井与

TZ721-9X井、TZ721-H6井与TZ721-2H井)连通均受X剪切断裂的控制,为洞穴-裂缝-洞穴连通特征;TZ83井—TZ83-7X井沿线的储层发育主要受北北东向走滑断裂的控制,断溶体呈条带状、线形分布于断裂的两侧。

3 油气聚集特征

TZ83井区缝洞型碳酸盐岩凝析气藏是塔中I号气田奥陶系大型碳酸盐岩凝析气藏的重要组成部分,整体表现为微—低含凝析油的凝析气藏,局部为弱挥发性油藏,油气分布平面上具有东油西气,纵向上具有上油下气的特征。塔中天然气气侵时间主要为喜马拉雅期,纵向上鹰山组、良里塔格组均表现为上油下气的特征。TZ72-3井在良三段试油结论为挥发性油藏,日产油56.4 m³,日产气32 424 m³,油压为23.99 MPa;平面上鹰一段—良五段在西北方向的TZ721井、TZ83井周边为凝析气藏,在东南方向的TZ722井、TZ723井为油藏,气油比自西北向东南方向呈明显减小的趋势(表1)。这与前期的研究结论一致: TZ83井区油、气、水的分布在平面上和纵向上受储层发育程度和充注强度的控制,具有差异聚集的特点^[20-21]。

研究区加里东晚期—海西期形成的X剪切断裂是油气运移的主要通道,油气充注具有“垂向输导—侧向差异聚集”的特点。前期针对TZ83井区的研究认为油气充注不是沿断层面呈面式充注,而是存在多个充注点,沿油气充注点顺次充满临近的孔洞缝体系^[22]。由于研究区X剪切断裂规模相对较小,以高陡裂缝为主且裂缝密度较大,因此随着钻井资料的增多,极难分辨主要的充注点,亦或解释为新钻一口井即要增加一个充注点,最终因充注点太多而呈现多点充注即(多点连接成面)面式充注的特征。同时受环状断溶体储层发育规模、充注强度(喜马拉雅期的原油裂解气总体自西北向东南方向充注强度逐渐减弱)及运移路径(油气充注以原地垂向立体网状运移为主,侧向运移极弱)的控制,不同环状断溶体流体性质(如水体能量、气油比、硫化氢含量)以及开发规律存在较大差异,同一个环状断溶体具有基本相似的流体性质(表1)。鹰山组油气聚集在平面上自西向东依次形成TZ83井区、TZ721井区和TZ726井区共3

表1 塔中I号气田TZ83井区鹰山组一段—良里塔格组五段油气性质统计表

Table 1 Statistics of oil and gas properties of the Yingshan Member 1 to Lianglitage Member 5 in TZ83 well area of Tazhong I gas field

环状断溶体 分类	井号	井深范围/m	天然气性质		凝析油性质				累计 气油比/ (m ³ ·t ⁻¹)
			天然气 干燥系数	硫化氢/ (mg·m ⁻³)	密度(20℃)/ (g·cm ⁻³)	密度(50℃)/ (g·cm ⁻³)	动力黏度 (50℃)/ (mPa·s)	原油 含蜡量/%	
TZ83井区 环状断溶体	TZ83	5 666.10 ~ 5 684.70	0.98	32 300.0	0.83	0.81	3.82	17.31	25 062
	TZ83-1	5 550.00 ~ 5 762.77	0.97	7 900.0	0.80	0.78	1.45	7.50	355 059
	TZ83-1C	5 218.00 ~ 5 828.00	0.98	39 333.3	0.80	0.78	1.74	11.36	17 224
	TZ83-2H	5 541.00 ~ 6 390.00	0.99	14 725.0	0.81	0.79	2.58	9.55	33 708
	TZ83-3	5 580.00 ~ 5 648.53	0.99	42 933.3	0.81	0.79	1.71	8.75	49 678
	TZ83-4H	5 549.83 ~ 5 670.00	0.86	105.3	0.78	0.76	1.28	5.50	1 153
	TZ83-H5	5 314.00 ~ 5 966.00	0.99	17 886.9	0.80	0.78	1.54	6.59	62 215
	TZ83-6X	5 128.80 ~ 5 439.50	0.99	14 142.9	0.82	0.79	2.50	19.47	46 150
	TZ83-7X	5 143.00 ~ 5 791.00	0.99	3 866.7	0.82	0.79	2.03	16.07	6 496
	平均值		0.97	19 243.7	0.81	0.79	2.07	11.34	66 305
TZ721井区 环状断溶体	TZ721	5 355.50 ~ 5 505.00	0.99	51.1	0.81	0.79	2.38	13.05	30 006
	TZ721-2H	5 450.00 ~ 6 142.00	0.99	280.8	0.81	0.79	2.52	19.37	34 805
	TZ721-H4	5 428.00 ~ 6 450.00	0.99	121.5	0.79	0.77	1.26	7.73	12 428
	TZ721-5	5 199.00 ~ 6 212.26	0.99	40.0	0.81	0.79	2.05	15.64	11 098
	TZ721-H6	5 458.00 ~ 6 502.00	0.99	71.5					59 977
	TZ721-8H	4 928.87 ~ 6 705.00	0.97	119.1	0.86	0.84	11.33	15.63	4 827
	TZ721-9X	4 969.20 ~ 5 442.00	0.99	0.0					47 690
	TZ721-10X	4 926.00 ~ 5 595.00	0.99	5.8	0.79	0.77	1.09	6.15	9 701
	TZ721-11X	5 106.00 ~ 5 583.00			0.82	0.80	2.65	23.60	6 502
	平均值		0.99	86.2	0.81	0.79	3.32	14.45	24 115
TZ726井区 环状断溶体	TZ722	5 356.70 ~ 5 750.00	0.90	3 833.3	0.80	0.78	1.58	12.03	181
	TZ723	5 469.34 ~ 5 495.00			0.81	0.79	1.78	10.94	油藏, 气微量
	TZ726	5 380.00 ~ 5 534.09	0.98		0.82	0.80	2.28	10.14	45 563
	平均值		0.94	3 833.3	0.81	0.79	1.88	11.03	

注:井深为钻井斜深。

个相对独立的油气藏。

TZ83井区环状断溶体主要表现为边水层状凝析气藏(图6)。该气藏共投产9口井,累计产油 2.99×10^4 t,产水 1.53×10^4 t,产气 4.46×10^8 m³;单井平均累计产油 0.33×10^4 t,产气 0.49×10^8 m³,产水 0.17×10^4 t;仅TZ83-1井在试采过程中见水量较高,累计产水 0.92×10^4 t。TZ83井区环状断溶体的单井生产气油比为1 153 ~ 355 059 m³/t,平均为66 305 m³/t(表1);硫化氢含量为105.3 ~ 42 933.3 mg/m³,平均为19 243.7 mg/m³(表1)。TZ83井区环状断溶体硫化氢含量明显较高,这与TZ83井区北东—南西向的走滑断裂切穿中下寒武统膏盐层,使得富含硫化氢的气

体沿断裂垂向运移有关^[23]。

TZ721井区环状断溶体主要表现为底水块状凝析气藏(图6),具有相对统一的油水界面,水体能量较强,该气藏共投产9口井,累计产油 2.27×10^4 t,产水 5.88×10^4 t,产气 3.66×10^4 t;单井平均累计产油 0.24×10^4 t,产气 0.41×10^4 t,产水 0.65×10^4 t;单井生产气油比为4 827 ~ 59 977 m³/t,平均为24 115 m³/t(表1);硫化氢含量为0 ~ 280.8 mg/m³,平均为86.2 mg/m³(表1)。

TZ726井区环状断溶体油气藏性质复杂,主要为底水块状凝析气藏,局部为油藏(图6),目前开发程度较低。

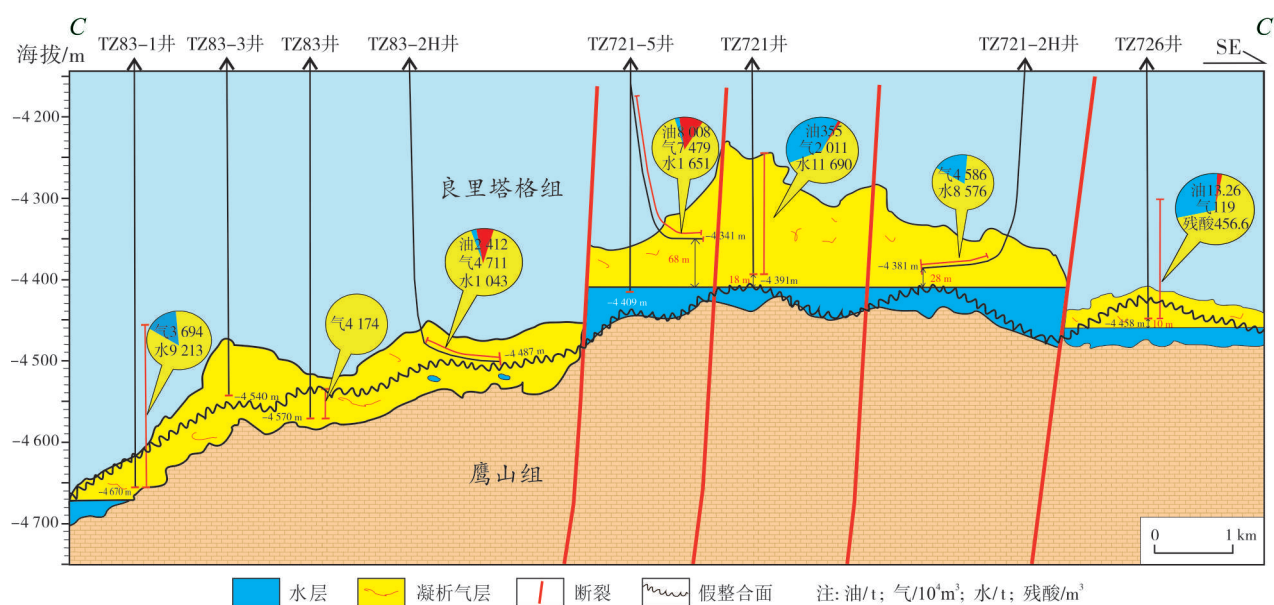


图6 塔中I号气田TZ83井区气藏剖面图(剖面位置见图1)

Fig. 6 Gas reservoir section of TZ83 well area in Tazhong I gas field(section position is shown in Fig. 1)

4 结论

(1) TZ83井区奥陶系鹰山组一段—良里塔格组五段的储层分布在平面上呈3个环状特征, 钻录井及开发特征证实环状分布的储层为环状洞穴层, 具有局部连通的特征。环状洞穴即环状断溶体, 其储层的发育具有选择性、受控性、继承性和不均匀性的特征, 不整合岩溶形成了环状洞穴的雏形, 加里东晚期—海西期的X剪切断裂控制了储层发育的规模, 形成了目前储层的主要形态。

(2) TZ83井区油气分布平面上具有东油西气, 纵向上具有上油下气的特征, 油气分布主要受环状断溶体储层发育规模的控制, 可分为3个相对独立的油气藏, 油气藏类型及流体性质具有较大差异: TZ83井区环状断溶体表现为中—高含硫化氢的层状边水凝析气藏; TZ721井区环状断溶体表现为底水块状低—微含硫化氢的凝析气藏; TZ726井区环状断溶体主要表现为底水块状凝析气藏, 局部为油藏。

(3) TZ83井区环状断溶体是在弱走滑条件下受X剪切断裂控制而形成的, 它与塔中I号气田、轮古油田及塔河油田等受大型区域性走滑断裂控制的断溶体圈闭在储层形成机理及油气分布方面存在较大差异。环状断溶体的提出是对断溶体圈闭理论的有益补充, 但仍需进一步拓展、丰富断溶体圈

闭理论的应用范围, 建立不同区块、不同油气藏类型、不同断裂类型及同一断裂不同位置的断溶体圈闭发育模式; 并且需要继续深化断溶体圈闭内部构型的研究, 定性乃至定量描述断溶体圈闭内部储层的发育特征, 以进一步指导科研生产工作。

致谢: 感谢塔里木油田公司潘文庆教授级高级工程师、张宝收高级工程师在储层成因、油气成藏方面的建设性意见。

参考文献

- [1] 郭光辉, 成丽芳, 刘玉魁, 等. 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, 32(3): 239-243.
- [2] 罗群. 断裂控烃理论的概念、原理、模式与意义[J]. 石油勘探与开发, 2010, 37(3): 316-324.
- [3] 张庆莲, 侯贵廷, 潘文庆, 等. 新疆巴楚地区走滑断裂对碳酸盐岩构造裂缝发育的控制[J]. 地质通报, 2010, 29(8): 1160-1167.
- [4] 韩杰, 江杰, 张敏, 等. 断裂及其裂缝发育带在塔中油气勘探中的意义[J]. 西南石油大学学报(自然科学版), 2015, 37(2): 11-20.
- [5] 韩杰, 袁源, 洪涛, 等. 轮古东走滑断裂破碎带结构及与油气关系[J]. 中国地质, 2016, 43(4): 1304-1316.
- [6] 鲁新便, 胡文革, 汪彦, 等. 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, 36(3): 347-355.
- [7] 杨圣彬, 刘军, 李慧莉, 等. 塔中北围斜区北东向走滑断裂特征及其控油作用[J]. 石油与天然气地质, 2013, 34(6): 797-802.
- [8] 韩俊, 曹自成, 邱华标, 等. 塔中北斜坡奥陶系走滑断裂带与岩溶储集体发育模式[J]. 新疆石油地质, 2016, 37(2):

- 145-151.
- [9] 张新超,孙赞东,赵俊省,等.塔中北斜坡走滑断裂断距及其与油气的关系[J].新疆石油地质,2013,34(5): 528-590.
- [10] 焦方正,翟晓先,等.海相碳酸盐岩非常规大油气田:塔河油田勘探研究与实践[M].北京:石油工业出版社,2008: 1-135.
- [11] 鲁新便,蔡忠贤.缝洞型碳酸盐岩油藏古溶洞系统与油气开发:以塔河碳酸盐岩溶洞型油藏为例[J].石油与天然气地质,2010,31(1): 22-27.
- [12] 田东江,罗志峰.台盆区碳酸盐岩缝洞型油藏压地地质效果评估研究[R].库尔勒:中国石油塔里木油田公司,2016: 43-98.
- [13] 熊伟.缝洞型油藏物理模拟及轮古7井区注气开发可行性研究[R].库尔勒:中国石油塔里木油田公司,2011: 33-41.
- [14] 能源,郭光辉,黄少英,等.再论塔里木盆地古隆起的形成期与主控因素[J].天然气工业,2016,36(4): 27-34.
- [15] 赵宗举,吴兴宁,潘文庆,等.塔里木盆地奥陶纪层序岩相古地理[J].沉积学报,2009,27(5): 939-955.
- [16] 欧阳孝忠.岩溶地质[M].北京:中国水利水电出版社,2013: 15-45.
- [17] GREEN D G. Fault and conduit controlled burial dolomitization of the Devonian west-central Alberta Deep Basin[J]. Bulletin of Canadian petroleum geology, 2005, 53(2): 101-129.
- [18] 潘文庆,侯贵廷,齐英敏,等.碳酸盐岩构造裂缝发育模式探讨[J].地质前缘,2013,20(5): 188-195.
- [19] 刘显太,王玉芹,杜玉山,等.背斜构造裂性碳酸盐岩油藏裂缝网络发育模式:以胜利油区富台油田车古201潜山为例[J].油气地质与采收率,2011,18(6): 70-73.
- [20] 杨俊,姜振学,向才富,等.塔里木盆地塔中83—塔中16井区碳酸盐岩油气特征及其成因机理[J].石油与天然气地质,2012,33(1): 101-110.
- [21] GILL D. Differential entrapment of oil and gas in Niagaran pinnacle-reef belt of northern Michigan[J]. AAPG bulletin, 1979, 63: 608-620.
- [22] 王福焕,韩剑发,向才富,等.叠合盆地碳酸盐岩复杂缝洞储层的油气差异运聚作用:塔中83井区表生岩溶缝洞体系实例解剖[J].天然气地球科学,2010,21(1): 33-41.
- [23] 朱光有,张水昌,梁英波.中国海相碳酸盐岩气藏硫化氢形成的控制因素和分布预测[J].科学通报,2007,52(增刊 I): 115-125.

编辑:黄革萍

Development characteristics and oil-gas accumulation rules of fault-karst reservoir of TZ83 well area in Tazhong I gas field

HAN Jie, YUAN Yuan, XIAO Chunyan, LI Xiangwen, WANG Peng, ZHAO Hong

Abstract: The fractured-vuggy carbonate condensate gas reservoir of the Yingshan Formation in TZ83 well area is an important part of the huge Ordovician carbonate condensate gas reservoirs in Tazhong I gas field, Tarim Basin. On the basis of well-seismic calibration and fine interpretation of seismic data, seismic attributes such as curvature, coherence and wave impedance were used for identifying and studying the cyclic fault-karst reservoir in TZ83 well area, and the development characteristics and oil-gas accumulation rules of cyclic fault-karst reservoir have been concluded as following: (1)The cyclic fault-karst reservoir is a ring cave layer which is mainly developed in the Yingshan Member 1 to Lianglitage Member 5. (2) The widely developed unconformity karst in the Middle Caledonian forms the rudiment of cyclic fault-karst, and the X-shear fault formed in the Late Caledonian to the Hercynian controls the scale of the cyclic fault-karst. (3)The distribution of oil and gas is mainly controlled by the scale of the cyclic fault-karst reservoirs, which can be divided into three relatively independent oil and gas reservoirs with great differences in hydrogen sulfide content, gas-oil ratio and development characteristics. It is pointed out that the cyclic fault-karst reservoir in TZ83 well area is formed under the influence of X-shear fracture in the condition of weak strike-slip, and the cyclic fault-karst reservoir has such characteristics as "selectivity, controllability, inheritance and heterogeneity", which is quite different from the fault-karst controlled by large regional strike-slip fault in other areas of Tarim Basin in reservoir forming mechanism and oil-gas distribution.

Key words: fault-karst; reservoir; carbonate; condensate gas reservoir; Ordovician; Tarim Basin

HAN Jie, First author: MSc, Senior Engineer, engaged in research of petroleum geology of carbonate in Tarim Basin. Add: Research Institute of Exploration & Development, PetroChina Tarim Oilfield Company, Korla, Xinjiang 841000, China