

文章编号:1000-0550(2019)04-0868-10

DOI: 10.14027/j.issn.1000-0550.2018.176

塔里木盆地塔中Ⅲ区奥陶系碳酸盐岩油气成藏主控因素及有利区带

孙东¹,潘建国¹,胡再元¹,杨丽莎¹,周俊峰¹,韩杰²,李闯¹,房启飞¹

1.中国石油勘探开发研究院西北分院,兰州 730020

2.中国石油塔里木油田分公司勘探开发研究院,新疆库尔勒 841000

摘要 碳酸盐岩是塔里木盆地塔中地区古生界油气勘探的主要目的层,探讨其成藏主控因素对碳酸盐岩勘探具有重要的意义。针对塔中Ⅲ区油气成藏规律复杂、难以有效拓展的难题,从构造断裂发育演化对碳酸盐岩储层沉积、储层后期改造以及油气运移和聚集的影响入手,明确了受断裂挤压抬升控制的高能相带是岩溶储层发育的物质基础,塔中Ⅲ区广泛发育台内高能滩和台内缓滩;北东向走滑断裂体系羽状破碎带和斜列叠置破碎带是储层最为发育的区域;关键成藏期古构造控制了塔中Ⅲ区古生界油气由北向南的运移路径,鼻状构造区油气运聚有利。在此基础上,结合区域盖层展布特征、储层分类预测结果和实钻油藏特征进行了成藏有利区综合评价,指明了塔中Ⅲ区下步勘探有利方向。

关键词 高能相带;断裂破碎带;古构造;油气成藏;碳酸盐岩;塔里木盆地

第一作者简介 孙东,男,1977年出生,高级工程师,油气地质综合研究,E-mail:sund@petrochina.com.cn

中图分类号 P618.13 **文献标志码** A

0 引言

碳酸盐岩油气田在世界大中型油气田中占有十分重要的地位,在我国塔里木盆地油气勘探实践中也不例外。塔里木盆地古生界碳酸盐岩分布范围广、厚度大、生储盖空间配置优越^[1],相继发现了塔中、塔河、轮南、英买力及哈拉哈塘等下古生界碳酸盐岩油气藏。但碳酸盐缝洞储层非均质性强^[2],加之构造变动剧烈,导致油气分布规律较为复杂^[3-4]。塔中Ⅲ区位于塔中低凸起西段,自2006年首获发现以来,已部署数十口钻井,在塔中地区碳酸盐岩产能建设中发挥着重要作用。但近年来在塔中Ⅲ区主要产能区向西、向南拓展的过程中,钻井成功率较低,遭遇勘探瓶颈。因此深入解剖塔中Ⅲ区已有油气藏,探讨其油气成藏主控因素及油气富集有利区,对塔中Ⅲ区乃至国内其他盆地碳酸盐岩油气勘探具有重要的意义。

本文以塔中Ⅲ区完备的地震、地质资料为基础^[5],从高能相带厘定、断裂破碎带划分、关键成

藏期古构造及储层地震响应特征分析入手,探讨其油气成藏主控因素并开展了油气成藏有利区的综合评价,以期对碳酸盐岩油气勘探提供借鉴。

1 区域地质概况

塔中低凸起位于塔里木盆地中央隆起中部,东与塔东低凸起相连,西与巴楚断隆相接,南为塔吉克巴斯坳陷,北部以塔中Ⅰ号断裂与满加尔凹陷相邻,是一个长期继承性古隆起,塔中Ⅲ区位于塔中低凸起西部(图1)。

塔中低凸起形成于加里东末期,海西期定型,总体表现为早期构造活动强烈、晚期构造活动相对稳定、以升降为主的演化特点。塔中低凸起古生界寒武系—志留系均有发育,奥陶系自下而上依次发育下奥陶统蓬莱坝组、鹰山组、中奥陶统一间房组、上奥陶统良里塔格组与桑塔木组。奥陶系与上覆志留系呈不整合接触,缺失部分上奥陶统地层。中晚奥陶世,塔中Ⅰ号带处于台缘相带,在这种沉积背景下,发育了

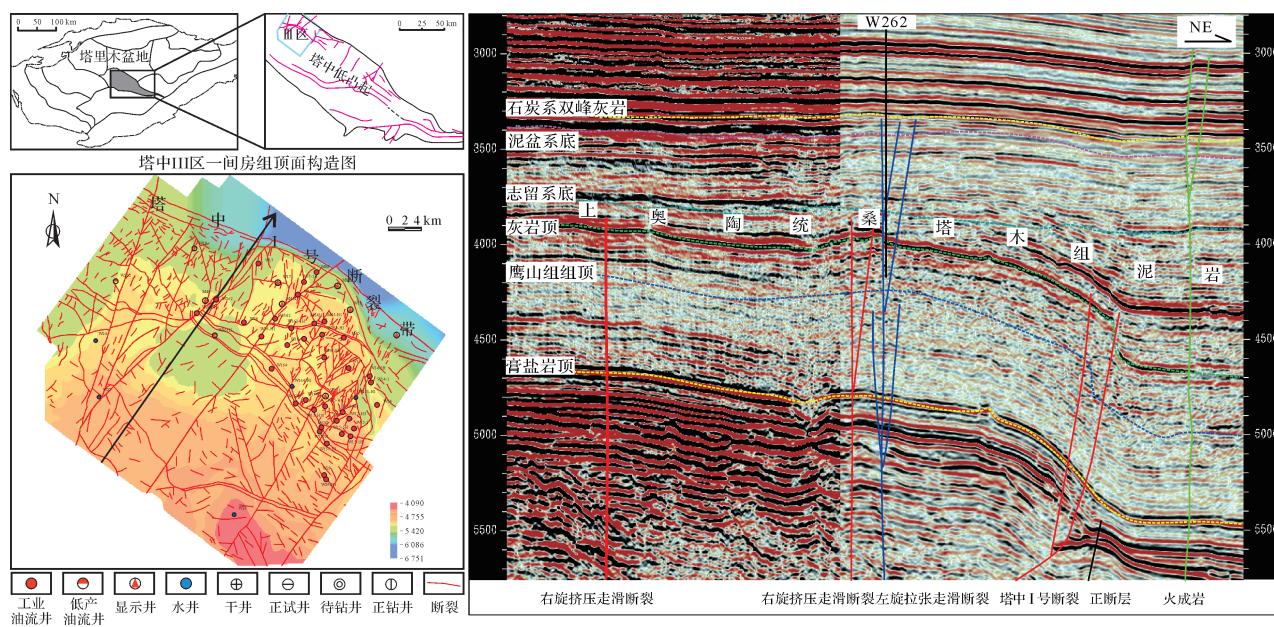


图1 塔中Ⅲ区区域构造位置与北东—南西向地震地质解释剖面

Fig.1 Regional tectonic location of Tazhong block III, and seismic interpretation section in NE to NW directions

大规模稳定的镶边台缘礁滩体。在塔中Ⅰ号带呈现西滩东礁的特点,钻井证实塔中Ⅲ区上奥陶统良里塔格组及一间房组为主要储层发育段及勘探目的层。

塔中Ⅲ区主要发育四期断裂:震旦纪—早古生代,塔里木板块的拉张环境^[6]形成了塔中Ⅰ号断裂北侧寒武系一下奥陶统正断层(第一期)(图1剖面中黑色断裂)。中奥陶世强烈的冲断挤压使塔中地区成为塔南前陆盆地的前缘隆起,造成塔中低凸起的沉积间断与地层剥蚀,形成向东收敛的帚状构造体系,整体表现为右行挤压性质(第二期)。该期在塔中Ⅲ区形成几组较大的断裂组合,第一组为最北部沿台缘发育的塔中Ⅰ号断裂带;第二组为W26—M45断裂带,延伸距离相对较短;第三组为W24井北—W261H—M63断裂带,W25井附近的北西南东向断裂均为该断裂派生的分支断裂;第四组为W28井北逆冲断裂和弧形断裂(图1剖面中红色断裂)。海西中晚期,冲断构造进一步加强,在冲断和右行挤压走滑不足以吸收挤压应力时,地层发生破碎,产生北东向左行走滑断裂体系^[7-8](第三期),主要包括W15、M63—W151、M45等走向相近的走滑断裂(图1剖面中蓝色断裂)。二叠纪火山活动多沿早期走滑断裂和逆冲断裂发育,岩浆刺穿对早期断裂进行叠加改

造,岩浆侵入和底辟作用致使地层隆升^[5](图1剖面中绿色断裂)(第四期)。

2 油气成藏主控因素

关于塔中地区古生界碳酸盐岩油气富集成藏的主控因素,前人普遍认为塔中古隆起是一个长期继承性古隆起,是周边凹陷烃源岩生成油气的长期运移指向区^[9-11];断裂、不整合面和裂缝组成的输导体系控制了塔中油气的聚集与分布^[3,12-13];多套优质储层(塔中Ⅰ号礁滩复合体,下奥陶统岩溶储层)为大型油气田的形成提供了优质储集空间^[14-15];奥陶系良里塔格组上覆巨厚的桑塔木组泥岩是该区良好的区域盖层^[16]。

在这些宏观认识的基础上,进一步就塔中Ⅲ区古生界碳酸盐岩油气成藏主控因素进行了研究,主要取得了以下几点认识。

2.1 良里塔格期高能相带展布

良里塔格组沉积时期,古地貌相对高部位是高能相带分布的有利区域^[17];沉积相带是岩溶储层发育的物质基础,高能相带发育区往往容易发生后期的溶蚀,从而产生大规模的岩溶储层。在上覆桑塔木组地层填平补齐的过程中,局部高部位仍会沉积碳酸盐岩,这些桑塔木组中的灰岩沉积区即是良里塔格组高能相带分布的主

体区域^[5,16]。塔中地区上奥陶统桑塔木组泥岩与下伏良里塔格组碳酸盐岩之间,存在较大的阻抗界面,导致其反射界面为区域分布的强振幅反射。与此类似,由于阻抗界面的存在,桑塔木组底部碳酸盐岩与上部泥岩之间也会形成局部的强振幅反射(图2中虚线圈所示部位)。

从Tg5'地震反射层向上30 ms提取均方根振幅属性平面,可以看到W17井区、M45井区、W261H—M63井区及W28井北围斜部位等地区发育明显的强振幅分布区。从地震剖面看,桑塔木组底部强振幅与第二期右行挤压走滑断裂体系存在密切的关系(图2b);从平面展布看,W261H—M63井区强振幅与右行挤压走滑断裂的展布十分吻合,W26—M45断裂也控制了强振幅的分布(图2a)。但塔中Ⅰ号带作为区域性断裂,并没有像内带二期断裂一样控制强振幅的平面展布。

分析认为高能相带的展布与塔中Ⅰ号带断裂性质、塔中整体地层缩减平衡有关。从图2西段剖面中看,塔中Ⅰ号断裂带断距达400 m,隆升活动剧烈,导致古地貌相对高,形成高能相带,对应地在桑塔木组顶部形成大面积强振幅;中部垒带地区隆升剧烈,形成桑塔木组底部的强振幅;W28井北断裂附近逆冲推覆量较小,在桑塔木组底部形成少量强振幅。从图2中段剖面看,塔中Ⅰ号断裂带断距减小,高能相

带向南迁移至W26—M45断裂附近;中部垒带断距依然较大,高能相带比较发育;W28井北围斜部位出现高能相带。从图2东段剖面看,塔中Ⅰ号断裂无明显断距,已转变为走滑性质;整体地层缩减的部位已转移至W28井北两条断裂带附近,中部垒带活动减弱;高能相带向南迁移,主要发育于中部垒带及W28井北围斜部位。

振幅越强表明泥岩与灰岩的阻抗差越大,也就说明下伏碳酸盐岩所处古地貌位置越高,经历了更多的波浪淘洗之后灰岩越纯净。简单地以灰岩振幅的强弱作为相带划分的依据,可以将塔中Ⅲ区良里塔格组划分为以下几个相带:台内高能滩、台内缓滩和滩间海。W17位于台缘高能滩带,上奥陶统良里塔格组以灰色亮晶砂屑灰岩为主,可见大量棘屑、腹足、藻类等生物碎屑。从高效井分布情况看,W15高效井区均位于台内高能滩及台内缓滩区,W162高效区均位于台内缓滩区,W151、W262及M86高效井虽不位于高能相带,但由于位于北东向走滑断裂破碎带,地层破碎严重,储层发育良好。由此可见,塔中Ⅲ区中奥陶统开始发育的右行挤压走滑断裂造成的正地形控制了良里塔格组高能相带的展布,这种影响一致持续到上奥陶统桑塔木组沉积早期,极大地提高了塔中Ⅲ区上奥陶统的储层质量。

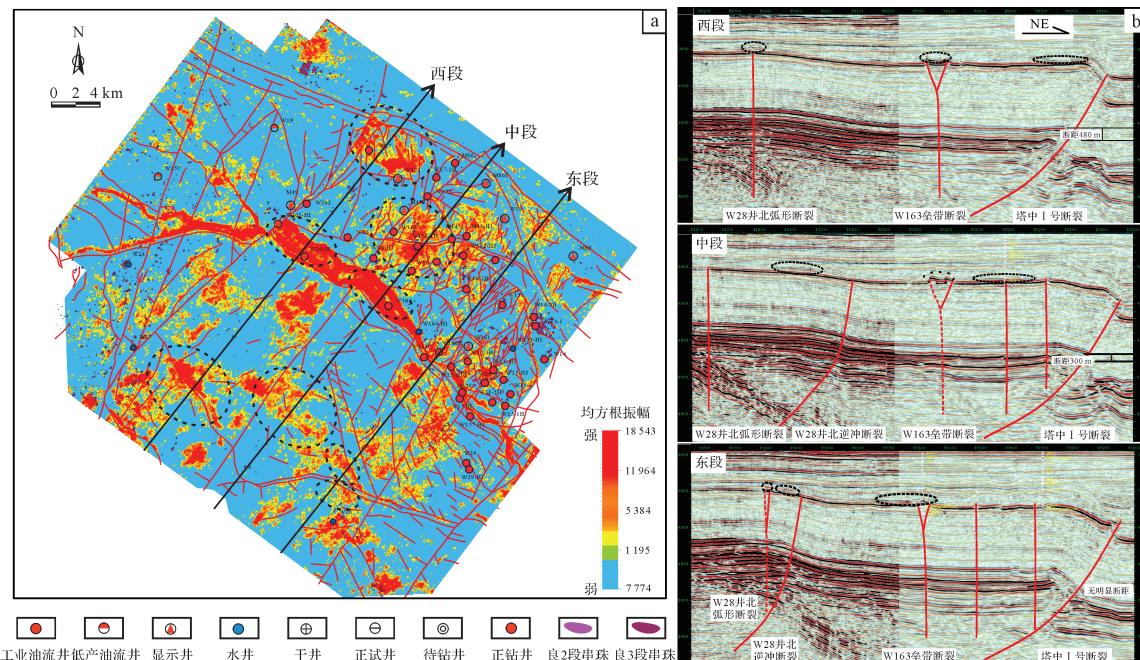


图2 塔中Ⅲ区奥陶系桑塔木组底均方根振幅属性与地震地质解释剖面图

Fig.2 (a) RMS attribute map of bottom of the Sangtamu Formation, and (b) seismic profile with geological interpretation in block III, Tazhong

2.2 断裂破碎带与优质储层展布

走滑断裂对塔里木盆地碳酸盐岩储层具有极其重要的作用^[5,18]。晚期走滑断裂对储层的改造主要体现在两个方面:一方面,断裂活动会使自身脆性较强的碳酸盐岩形成破碎带及裂缝发育区,并通过物理及化学作用改善其储集性能^[19-22]。另一方面,酸性流体沿裂缝深入,会极大地改善原有储层,同时深部热液流体由下而上垂向运移,并对围岩进行溶蚀,形成大量溶蚀孔洞^[20,23]。塔中Ⅲ区塔中45井发现的萤石交代与高含氟热液活动有关,萤石交代与白云岩化作用优化了碳酸盐岩储层^[24-26]。从塔中Ⅲ区一间房组顶面断裂与裂缝预测结果叠合图来看,沿走滑断裂裂缝发育较为集中,而远离走滑断裂裂缝明显减少(图3a)。W17井位于北东向走滑断裂附近,钻井过程中存在放空漏失现象(累计漏失钻井液97.9 m³),成像测井分析表明其裂缝发育且存在溶蚀现象,测井解释Ⅱ类裂缝—孔洞型储层11 m,该井酸压后获得高产工业油气流。

塔中Ⅲ区发育一系列近于平行的北东向走滑断裂体系^[5],断裂规模上虽有所差异,但平面上分带现象均较明显,均可以识别出线性走滑带、斜列走滑带及羽状走滑带。从W15井区向西一直到W17井区及W19井区,发育一系列羽状走滑断裂,包括W15、W151、M45、W17-1、W17、W19及W25井北羽状

破碎带。16口高效井基本都分布于这几个羽状破碎带,如W17羽状破碎带有W17和W262两口高效井,W17-1羽状破碎带有W162和M86两口高效井等,W157和M63C两口高效井位于斜列叠置破碎带和羽状破碎带交会部位(图3a)。W162-1H井位于羽状破碎带,成像测井显示裂缝发育,测井解释Ⅱ类裂缝—孔洞型储层9.5 m,酸压后日产原油110 m³。

走滑断裂的不同部位对储层发育具有差异明显的控制作用,从沿走滑断裂带的地震剖面可以看出,线性走滑带串珠发育较少,斜列叠置破碎带发育一定数量串珠,而羽状破碎带发育大量串珠状强反射,代表了储层发育最为集中的区域(图3b)。由此可以看出,羽状破碎带和斜列叠置破碎带是塔中Ⅲ区北东向走滑断裂体系中地层最为破碎的区域,是晚海西期岩溶储层最为发育的区域,具备大规模储层发育的基本条件。由此推测W151井区、W17井区及W19井区、W25井北区域、W25井区、W261H井区及W28井北区域应该具备良好的储层发育条件。

2.3 油气运移路径与高效富集区

对油气藏的研究表明,塔中地区奥陶系的油气主要来源于寒武系烃源岩,晚加里东期和晚海西期是塔中地区的关键成藏期^[14,27-29]。王福焕等^[9]、李素梅等^[11]认为塔中Ⅰ号断裂带与斜交的北东向走滑断裂的交会点是油气的主要注入点,之后油气沿构造脊

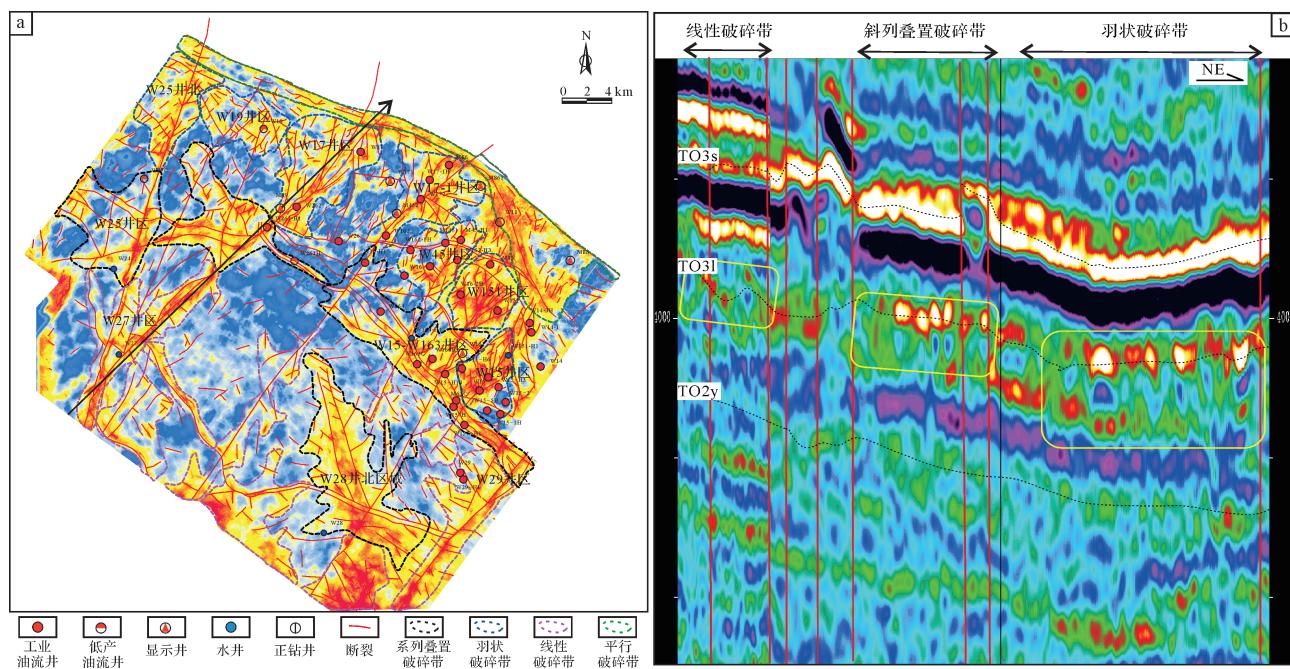


图3 塔中Ⅲ区奥陶系碳酸盐岩断裂破碎带划分及地震剖面图
Fig.3 (a) Plan view of fracture zones, and (b) seismic profile in block III, Tazhong

由构造低部位向高部位运移^[9,11]。油气侧向运移的主要通道是不整合面^[30], 塔中地区下古生界碳酸盐岩发育多个不整合面, 这其中就包括地震反射Tg5''层, 在塔中Ⅲ区该反射层对应一间房组顶面。该不整合面是塔中地区构造演化中最为重要的一期不整合面, 形成于中加里东期, 钻井资料显示该不整合面附近具有良好的油气显示, 表明这一层段曾经发生过规模油气运移和聚集^[12]。

由此形成断裂—不整合输导体系, 深层油气通过断裂运移到浅层后, 通过不整合面实现油气的横向运移。在精细三维地震层位追踪与古构造图基础上, 得到晚加里东期关键时刻的奥陶系一间房组顶面古构造图。晚加里东期一间房组顶面古构造整体南高北低, 其中存在几个较大的鼻状构造, 包括W15、M45—W162、W17—W162、W262及W19—W25井区鼻状构造。这些鼻状构造是晚加里东期油气运移的有利通道, 取得了良好的勘探实效, 如W15鼻状构造上有W15、W157等7口高效井, W17—W162及M45—W162鼻状构造上有W17、W162等7口高效井等。失利井均位于鼻状构造以外或古构造较低位置, 如W19、M861

及W164-H1等(图4)。W151、M86两口高效井在晚加里东期古构造图上虽不在油气有利运移路径上, 但从塔中Ⅲ区奥陶系碳酸盐岩断裂破碎带划分平面图中可以发现其位于大型走滑断裂附近, 晚海西期大型走滑断裂发育, 是油气运移的主要通道(图3)。

3 成藏有利区带

3.1 优质储层地震响应特征

串珠状强振幅是塔里木古生界碳酸盐岩中最常见的储层地震响应, 表现为地震剖面上的强振幅短反射段, 总体波形特点为两谷夹一峰^[31-32]。关于串珠状强反射的成因, 前人已多有论述, 普遍认为岩溶储层的存在会引起绕射地震波场, 对这些绕射波进行收敛就会形成短反射段, 也就是所谓的串珠状反射^[31,33-34]。从目前钻探情况看, 塔中Ⅲ区高效井多为强串珠地震反射, 如W162等; 但仍不排除像M63C这样比较弱的地震反射类型(图5上图)。正演模拟表明, 裂缝等小尺度储层在叠后偏移记录上并没有明显的体现, 相对较弱的振幅体现也会淹没在地震资料背景噪音中^[31]。

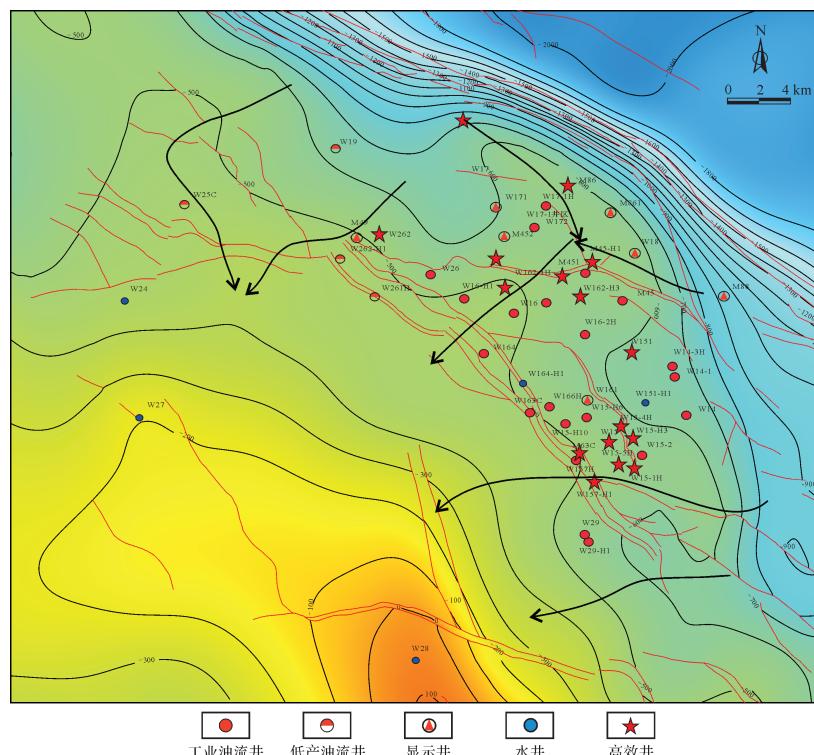


图4 塔中Ⅲ区志留系沉积前奥陶系一间房组顶面古构造图

Fig.4 Paleostructure map of the top of the Yijiangfang Formation prior to Silurian deposition, block III, Tazhong

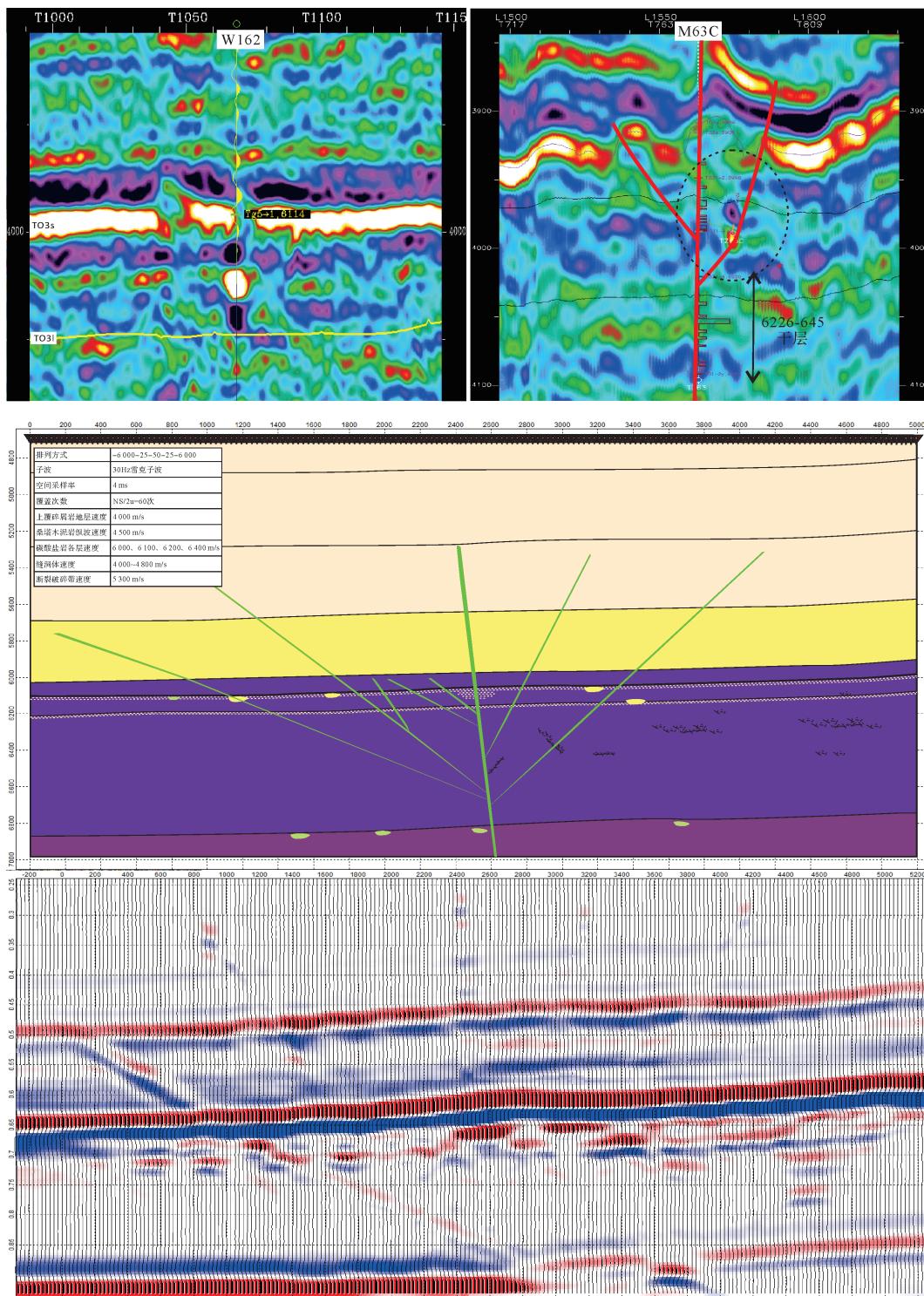


图5 塔中Ⅲ区高效井地震反射剖面、高能相带与断裂破碎带复合正演模型及叠后克希霍夫偏移记录

Fig.5 Seismic profile across highly effective wells, forward model, and post-stack Kirchhoff migration record of high-energy facies belts and fracture zone in block III, Tazhong

针对W15井区断裂破碎带建立正演模型,开展系统正演模拟,具体弹性波波动方程正演模拟方法参见笔者论文^[31~32],具体模型设计参数及地层、储层

速度设置参见图5中表格。正演模型设计参考了塔中Ⅲ区受台内缓滩区和断裂破碎带的双重控制,在模型中设置了高能相带、断裂破碎带和实钻发现的

大规模岩溶储层。从正演模拟结果看,高能相带的存在会造成内幕存在较强振幅的地震反射,但地质模型上连续的高能相带并没有得到完全的体现,原因在于受到了大规模洞穴储层及断裂破碎带的影响。由此可见,串珠状强反射间的高能相带虽不是强反射,但不能轻易否定它的储层发育程度(图5)。因此笔者认为在碳酸盐岩综合评价过程中应着重对有利区带的优选,不能轻易排除非串珠区域。

3.2 成藏有利区带

由前述可知,构造断裂发育演化对碳酸盐岩储层沉积、储层后期改造以及油气运移和聚集方面起着重要的作用。晚加里东期挤压断裂控制高能相带的展布,成为优质储层发育的物质基础,塔中I号断裂带、M45井断裂、W163垒带及W28井北围斜部位

发育的高能相带是储层发育的有利区域。受晚期断裂破碎及溶蚀影响,W15、W151、W25井北等羽状破碎带和W25井区、W261H井区及W28井北斜列叠置破碎带为岩溶储层发育的有利区域。晚加里东期古构造控制了油气侧向运移的优势路径,W15井区、W262、W19—W25等鼻状构造是晚加里东期油气运移的有利通道。在这些认识的基础上,结合区域盖层展布特征、储层分类预测结果和实钻油藏特征提出了下步勘探的有利区带:有利区带11个,包括W19井区等,岩相有利、位于断裂破碎带、储层发育、油气运聚有利,是塔中Ⅲ区目前最有潜力的高效区域。较有利区带6个,包括W151井区等,具备一定的资源潜力。其他区域从目前资料情况来看,不具备良好油气藏条件(图6)。

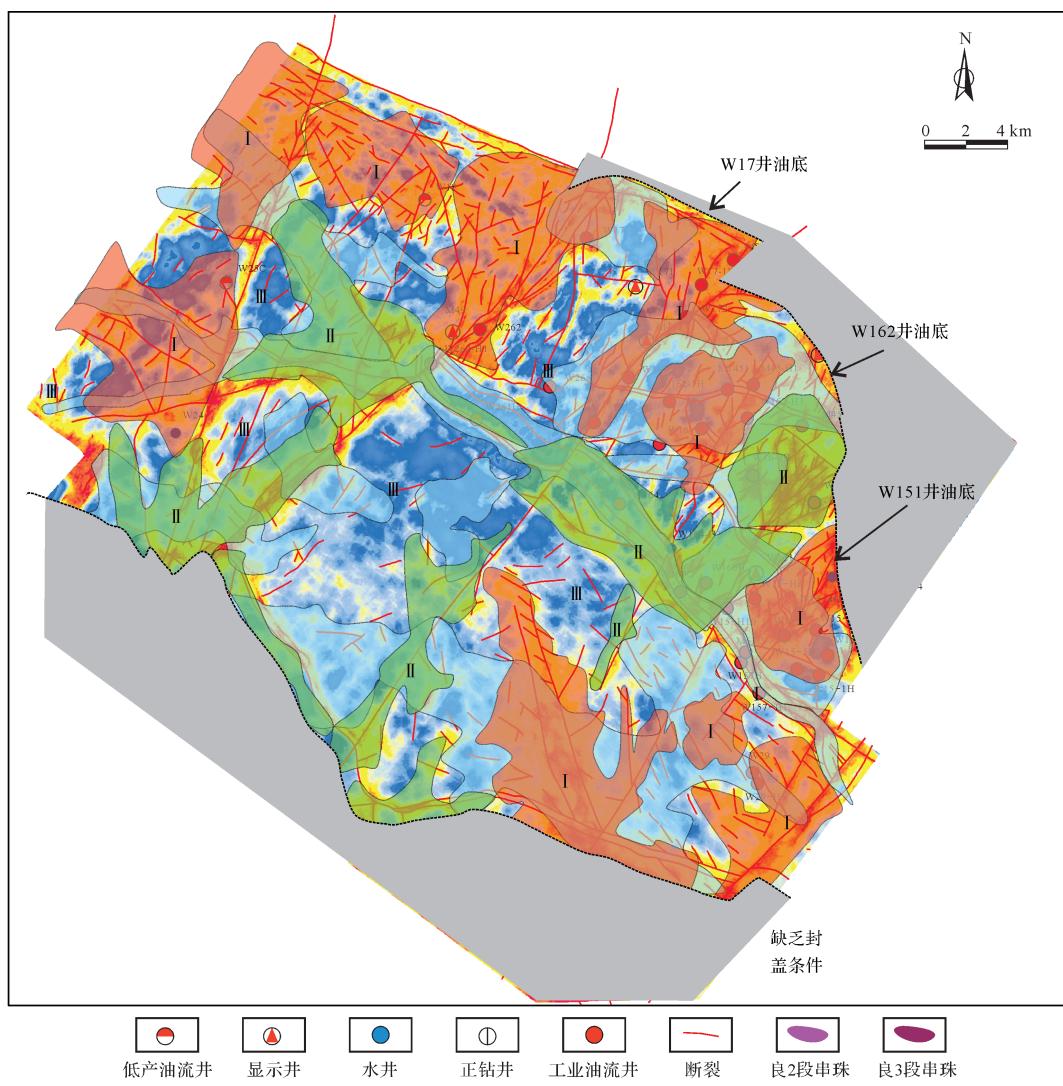


图6 塔中Ⅲ区一间房组碳酸盐岩综合评价图

Fig.6 Comprehensive evaluation map of Yijianfang Formation, Block III, Tazhong

4 结论

(1) 受晚加里东期断裂挤压抬升控制的高能相带是塔中Ⅲ区碳酸盐岩岩溶储层发育的物质基础,其分布与塔中Ⅰ号带断裂性质与塔中整体地层缩减平衡有关系,塔中Ⅲ区广泛发育台内高能滩和台内缓滩。

(2) 断裂破碎作用以及酸性流体的溶蚀作用使晚海西期广泛发育的北东向走滑断裂体系成为优质储层集中发育区,走滑断裂具有明显的分段性,羽状破碎带和斜列叠置破碎带是储层最为发育的区域,W25井北等4个井区为储层发育有利区。

(3) 以区域不整合面发育为前提,关键成藏期古构造控制了塔中Ⅲ区古生界碳酸盐岩油气由北向南的运移路径,鼻状构造区油气运聚有利,其与区域盖层共同控制了塔中Ⅲ区碳酸盐岩高效富集区的分布。

(4) 结合实钻井地震响应特征及弹性波波动正演模拟分析认为,串珠状强振幅反射和杂乱—弱地震反射都可能是优质储层的地震响应,滩相储层地震响应受断裂切割影响严重,综合评价时不能轻易否定非串珠区域,应积极探索多类型地震反射。

(5) 基于有利岩相、断裂破碎带、关键成藏期古构造、封盖条件、实钻油藏特征及储层分类预测结果等认识,认为W19井区等11个区带是下步勘探的有利区,W151井区等6个区带为较有利区。

参考文献(References)

- [1] 翟光明,何文渊. 塔里木盆地石油勘探实现突破的重要方向[J]. 石油学报, 2004, 25 (1) : 1-7. [Zhai Guangming, He Wenyuan. An important petroleum exploration region in Tarim Basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2004, 25(1): 1-7.]
- [2] 吕修祥,金之钧. 碳酸盐岩油气田分布规律[J]. 石油学报, 2000, 21(3) : 8-12. [Lü Xiuxiang, Jin Zhijun. Distribution patterns of oil-gas fields in the carbonate rock[J]. Acta Petrolei Sinica, 2000, 21(3): 8-12.]
- [3] 周新源,吕修祥,杨海军,等. 塔中北斜坡走滑断裂对碳酸盐岩油气差异富集的影响[J]. 石油学报, 2013, 34(4) : 628-637. [Zhou Xinyuan, Lü Xiuxiang, Yang Haijun, et al. Effects of strike-slip faults on the differential enrichment of hydrocarbons in the northern slope of Tazhong area [J]. Acta Petrolei Sinica, 2013, 34(4): 628-637.]
- [4] 马永生,蔡勋育,郭彤楼,等. 四川盆地普光大型气田油气充注与富集成藏的主控因素[J]. 科学通报, 2007, 52(增刊1) : 149-155. [Ma Yongsheng, Cai Xunyu, Guo Tonglou, et al. The controlling factors of oil and gas charging and accumulation of Puguang gas field in the Sichuan Basin[J]. Chinese Science Bulletin, 2007, 52(Suppl. 1): 149-155.]
- [5] 胡再元,孙东,胡圆圆,等. 断裂系统对碳酸盐岩储层的控制作用:以塔里木盆地塔中Ⅲ区奥陶系为例[J]. 天然气地球科学, 2015, 26(增刊1) : 97-108. [Hu Zaiyuan, Sun Dong, Hu Yuanyuan, et al. The controlling effect of carbonate fault system on reservoirs: A case study in the 3rd block of Tazhong area[J]. Natural Gas Geoscience, 2015, 26(Suppl. 1): 97-108.]
- [6] 贾承造,魏国齐. 塔里木盆地构造特征与含油气性[J]. 科学通报, 2002, 47(增刊1) : 1-8. [Jia Chengzao, Wei Guoqi. Structural characteristics and petrolierous features of Tarim Basin[J]. Chinese Science Bulletin, 2002, 47(Suppl. 1): 1-8.]
- [7] 李传新,贾承造,李本亮,等. 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[J]. 地质学报, 2009, 83(8) : 1065-1073. [Li Chuanxin, Jia Chengzao, Li Benliang, et al. Distribution and tectonic evolution of the Paleozoic fault system, the north slope of Tazhong uplift, Tarim Basin[J]. Acta Geologica Sinica, 2009, 83(8): 1065-1073.]
- [8] 李本亮,管树巍,李传新,等. 塔里木盆地塔中低凸起古构造演化与变形特征[J]. 地质论评, 2009, 55 (4) : 522-530. [Li Benliang, Guan Shuwei, Li Chuanxin, et al. Paleo-tectonic evolution and deformation features of the lower uplift in the central Tarim Basin [J]. Geological Review, 2009, 55 (4) : 522-530.]
- [9] 王福焕,王招明,韩剑发,等. 塔里木盆地塔中地区碳酸盐岩油气富集的地质条件[J]. 天然气地球科学, 2009, 20(5) : 695-702. [Wang Fuhuan, Wang Zhaoming, Han Jianfa, et al. Geological conditions of oil and gas enrichment in carbonate reservoirs of Tazhong area, Tarim Basin[J]. Natural Gas Geoscience, 2009, 20(5): 695-702.]
- [10] 杨海军,韩剑发,陈利新,等. 塔中古隆起下古生界碳酸盐岩油气复式成藏特征及模式[J]. 石油与天然气地质, 2007, 28 (6) : 784-790. [Yang Haijun, Han Jianfa, Chen Lixin, et al. Characteristics and patterns of complex hydrocarbon accumulation in the Lower Paleozoic carbonate rocks of the Tazhong palaeouplift[J]. Oil & Gas Geology, 2007, 28(6): 784-790.]
- [11] 李素梅,庞雄奇,杨海军,等. 塔里木盆地海相油气源与混源成藏模式[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 2010, 35(4) : 663-673. [Li Sumei, Pang Xiongqi, Yang Haijun, et al. Generation, migration and accumulation model for the marine oils in the Tarim Basin[J]. Earth Science- Journal of China University of Geosciences, 2010, 35(4): 663-673.]
- [12] 白忠凯,吕修祥,于红枫,等. 塔中地区下古生界碳酸盐岩输导体系特征及成藏意义[J]. 地质科技情报, 2011, 30(5) : 60-68. [Bai Zhongkai, Lü Xiuxiang, Yu Hongfeng, et al. Characteristics and accumulation significance of the pathway systems in Lower Palaeozoic carbonate, Tazhong area [J]. Geological Science and Technology Information, 2011, 30(5): 60-68.]
- [13] 吕修祥,金之钧,皮学军,等. 塔里木盆地下古生界碳酸盐岩

- 油气聚集与分布[J]. 中国科学(D辑): 地球科学, 1999, 29(4): 358-361. [Lü Xiuxiang, Jin Zhijun, Pi Xuejun, et al. Hydrocarbon accumulation and distribution in Lower Paleozoic carbonates in Tarim Basin[J]. *Science China (Seri. D): Earth Sciences*, 1999, 29(4): 358-361.]
- [14] 杨海军, 邬光辉, 韩剑发, 等. 塔里木盆地中央隆起带奥陶系碳酸盐岩台缘带油气富集特征[J]. 石油学报, 2007, 28(4): 26-30. [Yang Haijun, Wu Guanghui, Han Jianfa, et al. Characteristics of hydrocarbon enrichment along the Ordovician carbonate platform margin in the central uplift of Tarim Basin[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2007, 28(4): 26-30.]
- [15] 焦伟伟, 吕修祥, 周园园, 等. 塔里木盆地塔中地区奥陶系碳酸盐岩储层主控因素[J]. 石油与天然气地质, 2011, 32(2): 199-206. [Jiao Weiwei, Lü Xiuxiang, Zhou Yuanyuan, et al. Main controlling factors of the Ordovician carbonate reservoirs in Tazhong area, the Tarim Basin [J]. *Oil & Gas Geology*, 2011, 32(2): 199-206.]
- [16] 韩杰, 江杰, 潘文庆, 等. 塔中西部奥陶系桑塔木组底界灰岩段的识别及沉积学意义[J]. 天然气地球科学, 2014, 25(4): 490-497. [Han Jie, Jiang Jie, Pan Wenqing, et al. Identification of limestone formation below Sangtamu Group of Ordovician and its sedimentary meaning in western Tazhong[J]. *Natural Gas Geoscience*, 2014, 25(4): 490-497.]
- [17] 冯增昭, 鲍志东, 吴茂炳, 等. 塔里木地区奥陶纪岩相古地理[J]. 古地理学报, 2007, 9(5): 447-460. [Feng Zengzhao, Bao Zhidong, Wu Maobing, et al. Lithofacies palaeogeography of the Ordovician in Tarim area[J]. *Journal of Palaeogeography*, 2007, 9(5): 447-460.]
- [18] 孙东, 杨丽莎, 王宏斌, 等. 塔里木盆地哈拉哈塘地区走滑断裂体系对奥陶系海相碳酸盐岩储层的控制作用[J]. 天然气地球科学, 2015, 26(增刊1): 80-87. [Sun Dong, Yang Lisha, Wang Hongbin, et al. Strike-slip fault system in Halahatang area of Tarim Basin and its control on reservoirs of Ordovician marine carbonate rock [J]. *Natural Gas Geoscience*, 2015, 26(Suppl. 1): 80-87.]
- [19] 吕修祥, 杨宁, 周新源, 等. 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, 38(增刊1): 48-54. [Lü Xiuxiang, Yang Ning, Zhou Xinyuan, et al. Influence of Ordovician carbonate reservoir beds in Tarim Basin by faulting[J]. *Science China (Seri. D): Earth Sciences*, 2008, 38(Suppl. 1): 48-54.]
- [20] 潘文庆, 刘永福, Dickson J A D, 等. 塔里木盆地古生界碳酸盐岩热液岩溶的特征及地质模型[J]. 沉积学报, 2009, 27(5): 983-994. [Pan Wenqing, Liu Yongfu, Dickson J A D, et al. The geological model of hydrothermal activity in outcrop and the characteristics of carbonate hydrothermal karst of Lower Paleozoic in Tarim Basin[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2009, 27(5): 983-994.]
- [21] 张仲培, 王毅, 云金表, 等. 塔中地区断裂不同演化阶段对油气聚集的控制[J]. 石油与天然气地质, 2009, 30(3): 316-323, 315. [Zhang Zhongpei, Wang Yi, Yun Jinbiao, et al. Control of faults at different evolution stages on hydrocarbon accumulation in Tazhong area, the Tarim Basin [J]. *Oil & Gas Geology*, 2009, 30(3): 316-323, 315.]
- [22] 李萌, 汤良杰, 漆立新, 等. 塔北隆起南坡差异构造演化及其对油气成藏的控制[J]. 天然气地球科学, 2015, 26(2): 218-228. [Li Meng, Tang Liangjie, Qi Lixin, et al. Differential tectonic evolution and its controlling on hydrocarbon accumulation in the south slope of Tabei uplift [J]. *Natural Gas Geoscience*, 2015, 26(2): 218-228.]
- [23] 朱光有, 杨海军, 朱永峰, 等. 塔里木盆地哈拉哈塘地区碳酸盐岩油气地质特征与富集成藏研究[J]. 岩石学报, 2011, 27(3): 827-844. [Zhu Guangyou, Yang Haijun, Zhu Yongfeng, et al. Study on petroleum geological characteristics and accumulation of carbonate reservoirs in Hanilcatam area, Tarim Basin [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2011, 27(3): 827-844.]
- [24] 苏劲, 张水昌, 杨海军, 等. 断裂系统对碳酸盐岩有效储层的控制及其成藏规律[J]. 石油学报, 2010, 31(2): 196-203. [Su Jin, Zhang Shuichang, Yang Haijun, et al. Control of fault system to formation of effective carbonate reservoir and the rules of petroleum accumulation [J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2010, 31(2): 196-203.]
- [25] 张水昌, 梁狄刚, 黎茂稳, 等. 分子化石与塔里木盆地油源对比[J]. 科学通报, 2002, 47(增刊1): 16-23. [Zhang Shuichang, Liang Digang, Li Maowen, et al. Molecular fossils and oil-source rock correlations in Tarim Basin, NW China [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2002, 47(Suppl. 1): 16-23.]
- [26] 张兴阳, 张水昌, 罗平, 等. 塔中地区晚燕山—喜马拉雅期油气调整与热液活动的关系[J]. 科学通报, 2007, 52(增刊1): 192-198. [Zhang Xingyang, Zhang Shuichang, Luo Ping, et al. Late Yanshan-Himalayan hydrocarbon reservoir adjustment and hydrothermal fluid activity in the central Tarim Basin [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2007, 52(Suppl. 1): 192-198.]
- [27] 陈利新, 杨海军, 邬光辉, 等. 塔中I号坡折带奥陶系礁滩体油气藏的成藏特点[J]. 新疆石油地质, 2008, 29(3): 327-330. [Chen Lixin, Yang Haijun, Wu Guanghui, et al. Characteristics of the Ordovician reef-shoal reservoir in Tazhong No. 1 slope-break zone, Tarim Basin [J]. *Xinjiang Petroleum Geology*, 2008, 29(3): 327-330.]
- [28] 肖中尧, 张水昌, 赵孟军, 等. 简析塔中北斜坡A井志留系油气藏成藏期[J]. 沉积学报, 1997, 15(2): 150-154. [Xiao Zhongyao, Zhang Shuichang, Zhao Mengjun, et al. A brief analysis on forming periods of Silurian pools in the Tazhong A Well [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1997, 15(2): 150-154.]
- [29] 林青, 王培荣, 金晓辉, 等. 塔中北斜坡塔中45井奥陶系油藏成藏史浅析[J]. 石油勘探与开发, 2002, 29(3): 5-7. [Lin Qing, Wang Peirong, Jin Xiaohui, et al. Reservoir-forming history of Ordovician reservoir at Well Tazhong 45 in the northern slope of Tazhong uplift [J]. *Petroleum Exploration and Develop-*

- ment, 2002, 29(3): 5-7.]
- [30] Song G Q, Chen H H. Quantitative evaluation of transporting efficiencies for hydrocarbon migration along different unconformities in a Cainozoic lacustrine basin: Examples from the Dongying Depression, Bohai Bay Basin, East China[J]. Journal of Geochemical Exploration, 2009, 101(1): 97.
- [31] 孙东,潘建国,潘文庆,等. 塔中地区碳酸盐岩溶洞储层体积定量化正演模拟[J]. 石油与天然气地质,2010,31(6):871-878,882. [Sun Dong, Pan Jianguo, Pan Wenqing, et al. Quantitative forward modelling of cavity volume in carbonate reservoirs in Tazhong area[J]. Oil & Gas Geology, 2010, 31(6) : 871-878, 882.]
- [32] 孙东,潘建国,雍学善,等. 碳酸盐岩储层垂向长串珠形成机制[J]. 石油地球物理勘探,2010,45(增刊1): 101-104. [Sun Dong, Pan Jianguo, Yong Xueshan, et al. Formation mechanism of vertical "long string beads" in carbonate reservoir[J]. Oil Geophysical Prospecting, 2010, 45(Suppl. 1): 101-104.]
- [33] Yao Y, Xi X. Reflected wavefield in random media: a review [J]. Journal of Geophysics and Engineering, 2004, 1 (2) : 147-152.
- [34] 吴永国,贺振华,黄德济. 串珠状溶洞模型介质波动方程正演与偏移[J]. 地球物理学进展,2008, 23 (2) : 539-544. [Wu Yongguo, He Zhenhua, Huang Deji. Wave equation forward modeling and migration for beads-shaped corroded cave model [J]. Progress in Geophysics, 2008, 23(2): 539-544.]

Main Factors Controlling Carbonate Reservoir Formation: Case study of Tazhong block III, Tarim Basin

SUN Dong¹, PAN JianGuo¹, HU ZaiYuan¹, YANG LiSha¹, ZHOU JunFeng¹, HAN Jie², LI Chuang¹, FANG QiFei¹

1. PetroChina Research Institute of Petroleum Exploration and Development-Northwest, Lanzhou 730020, China

2. Research Institute of Exploration and Development, Tarim Oilfield Company, Korla, Xinjiang 841000, China

Abstract: Carbonate rock is the major target horizon for Paleogene oil/gas exploration in the Tazhong area of the Tarim Basin. Study of the major factors controlling reservoir formation plays an important role in carbonate exploration. The complexity of reservoir forming in Tazhong block III has restricted exploration, so analysis of carbonate reservoir deposition and later re-formation was carried out in terms of tectonic evolution to confirm that the high-energy facies controlled by faulted uplifting was the material basis for karstification. High-energy shoals and inner platform gentle shoals are widely developed in Tazhong block III. The feather-shaped fractured zone and echelon faults in the NE strike-slip fault system are favorable areas for reservoir development. The paleostructures in the crucial period of hydrocarbon accumulation controlled the migration pathway for Paleogene oil/gas migration from north to south in Tazhong block III, where a nose-like structure is most favorable for oil/gas migration and accumulation. Based on the above work, a comprehensive evaluation of reservoir formation was carried out based on regional seal distribution, reservoir prediction and existing drilling records, to direct future exploration.

Key words: high-energy facies; fractured zone; paleostructures; reservoir forming; carbonate rock; Tarim Basin