

古生界复式油气聚集特征及形成条件

谭 吕, 王力群

(中海石油(中国)有限公司天津分公司, 天津 300452)

摘要:中国古生代油气资源丰富,地质条件复杂,也是中国典型的复式油气成藏聚集层系。基于对中国西部海相含油气盆地的油气勘探情况,对源岩、储层类型、盖层类型及运移通道等主要油气成藏要素综合分析,论述了多套烃源岩多期油气充注历史,认为:油气藏类型复杂,具有多套储盖组合,上、下层系间储盖组合差异大;圈闭类型复杂,主要包括背斜圈闭、断块圈闭、礁滩体圈闭、砂砾岩岩性圈闭和火山岩刺穿圈闭等;油气运移通道类型多样,主要包括断裂、不整合面、缝洞体和砂岩层段等,其中断裂主要作为纵向上的运移通道,不整合面、缝洞体及砂岩层段在横向上的运移作用明显。研究认为,多期构造运动和沉积演化叠加是复式油气藏形成的基础,多套烃源岩的多期生烃作用是复杂油气藏形成的主要因素,输导断裂和储层发育等地质条件的差异性为油气藏类型多样及分布复杂的重要因素。该成果对推动中国海相盆地油气勘探和复式油气成藏理论的发展具有重要意义。

关键词:复式油气藏;聚集特征;形成机制;碳酸盐岩;古生代

中图分类号: TE122.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-1926(2013)02-0300-10

引用格式: Tan Lü, Wang Liqun. Hydrocarbon accumulation characteristics and the formation mechanism of Palaeozoic reservoir in Tazhong area [J]. Natural Gas Geoscience, 2013, 24(2): 300-309.

[谭吕,王力群. 古生界复式油气聚集特征及形成条件[J]. 天然气地球科学, 2013, 24(2): 300-309.]

0 引言

20世纪80年代,通过对渤海湾盆地的不断探索和实践,我国地质学家首次提出复式油气聚集成藏的理论,对世界能源潜力探索做出了重要贡献。早期认为,复式油气聚集区/带是指同一油源区内不同储油层系、不同圈闭类型纵向上叠合,横向上连片形成的油气区带^[1-2]。初期,这一理论的提出主要针对我国东部裂谷型断陷含油气盆地,随着西部含油气盆地勘探开发实践的不断深入,发现这一理论对我国西部叠合盆地同样具有重要的指导意义,得到众多石油勘探家的认可和接受^[3-7]。结合东部裂谷型和西部挤压型等多成因含油气盆地,孙龙德等^[8]补充完善了复式油气聚集区的定义,认为复式油气聚集区/带是具有多个产层、多种油气藏类型和多期油气充注并在时间上和空间上复合、叠加和连片而

形成的油气聚集区带。前人认为,复式油气聚集区的形成是由于盆地的多旋回构造演化,多套烃源岩多期充注和调整,多期多类组合成藏而形成的。长期实践证明,复式油气藏理论在我国多个盆地得到了有效应用^[9],对我国能源安全和经济稳定持续发展做出了重要贡献,例如:塔里木盆地轮南地区油气储量的突破^[10],塔中古隆起下古生界油气成藏的探索进展^[11],英买力一牙哈地区复式油气藏油气富集规律的明朗化^[12],鄂尔多斯盆地油气藏的成因^[13],塔河油田成藏模式的探讨^[14]等均得益于复式油气藏理论。

塔里木盆地是复杂的古老克拉通盆地,遭受了多旋回叠合与改造^[15-16],在多个层系含油,不同层系和同一层系的不同区域都具有不同的油气藏类型,油气分布十分复杂。塔中古隆起位于塔里木盆地中部,发育了多套烃源岩^[17],在不同的地质历史时期发生过多期油气充注,后来遭受多次油藏调整、改造

甚至破坏,造成塔中地区油气藏分布极其复杂^[18-26]。塔中地区的油气分布及预测给地质勘探者们带来了巨大挑战,如何实现塔中地区的突破成为地质勘探者亟待解决的现实问题。本文在前人研究的基础上,基于复式油气藏理论和油田现场生产测试资料,对塔中地区油气聚集特征及控制因素开展研究。

1 地质背景

塔中低凸起位于塔里木盆地中部,是长期发育的继承性古隆起中央隆起带的重要组成部分,北邻满加尔凹陷,南接塘古孜巴斯凹陷,西部为巴楚隆起,东与塔东隆起相连(图 1)。塔中隆起分为塔中

南斜坡带、塔中低凸起带和塔中北斜坡带 3 个次级构造单元,油气富集主要集中于塔中北斜坡带。受多期构造运动的影响,研究区断裂十分发育,根据发育规模和期次可大致划分为 2 组:北西—南东向的挤压逆冲断裂体系,主要发育于晚加里东期,对地势控制作用明显;北东—南西向的走滑断裂体系,主要发育于晚海西期,大部分纵切至上奥陶统,个别切穿石炭系,对油气分布意义重大。其中,中西部走滑断裂发育程度高于东部,东部的挤压逆冲断裂更加发育,密集的断裂发育使该区形成众多的小背斜。晚古生代该区构造活动相对稳定,石炭纪末期东西差异基本消失。

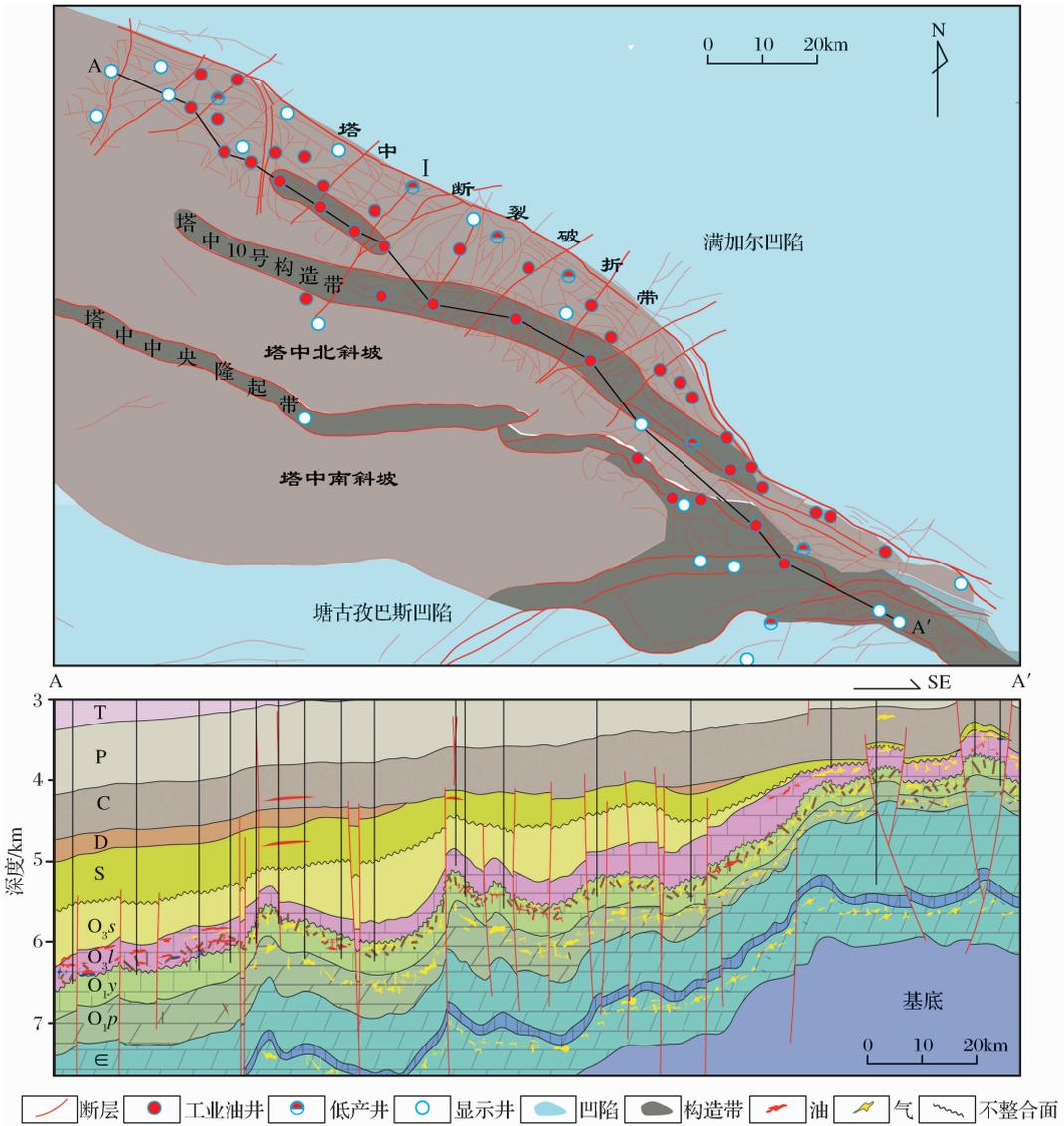


图 1 塔中地区古生界构造单元与剖面特征

塔中地区古生代主要经历 3 期较大的构造运动,随之先后经历了不同的沉积和剥蚀,形成不同的沉积特征。加里东早期,区域应力由拉张变为挤压,

呈现出塔中低凸起雏形,塔中 I 号断裂开始形成。受其影响,中奥陶世塔中低凸起以碳酸盐岩台地沉积为主;晚奥陶世随着海平面上升,整个塔中地区为

混积台地相沉积。晚加里东—早海西期,塔中隆起进一步发展并定型,泥盆系、志留系及部分奥陶系地层遭受强烈的剥蚀。晚海西期,受该构造运动影响,大量碎屑物从西向东浅水沉入,东河砂岩在区域上起到了“填平补齐”的作用,石炭系主要为海陆过渡相—滨海相沉积,自西向东依次与泥盆系、志留系、中上奥陶统泥岩或泥灰岩及下奥陶统碳酸盐岩接触。

该区地层自下而上为寒武系、奥陶系、志留系、泥盆系、石炭系、二叠系、三叠系、白垩系、古近系和新近系,整体缺失侏罗系,部分区域缺失泥盆系。古生界发育多个不整合面,主要包括寒武系底部的基底不整合面、鹰山组顶部不整合面、良里塔格组良三段顶部不整合面、志留系底部不整合面和泥盆系东河塘组底部不整合面,其中鹰山组顶和良三段顶不整合面风化壳特征明显。塔中地区具有多套烃源岩,生烃潜力巨大,其中以寒武系—下奥陶统及中上奥陶统烃源岩为主^[27]。塔里木盆地整体存在3次生烃高峰,晚加里东期和晚海西期以油充注为主,晚喜马拉雅期以气充注为主^[28-29],其中晚加里东期油藏基本被破坏殆尽。受多种因素的影响,塔中地区目前的含油气状态呈现出“多层系含油气,同层系油藏和气藏共存,上部油多气少,下部气多油少”的格局(图1)。

2 复式油气聚集特征

2.1 油气藏相态和空间分布

根据中国石油天然气行业标准,利用储层流体三元组成三角图判别法可以辨别塔中地区油气藏类型:以 C_1+N_2 、 $C_2-C_6+CO_2$ 、 C_7+ 为三角端点,对储层流体三元组成含量进行投点,并分别以 C_7+ 含量为11%和32%划2条等值线,凝析气藏集中分布在 C_1+N_2 顶部范围, $C_7+=11\%$ 线以右;挥发性油藏集中在线 $C_7+=11\%$ 和线 $C_7+=32\%$ 之间, C_1+N_2 含量分布比凝析气藏稍低;正常油藏分布于 $C_7+=32\%$ 线的左侧, C_1+N_2 含量分布一般低于挥发性油藏^[30]。利用此方法发现,塔中地区油气藏烃类相态多样,涵盖油藏、挥发性油藏和凝析气藏(图2)。

勘探实践证明,塔中地区古生界油气藏相态类型多样,空间分布复杂。纵向上,油气藏分布于多个层系,在寒武系膏盐层下、奥陶系蓬莱坝组、鹰山组顶部、良里塔格组、志留系和石炭系砂岩段等均有较好的油气显示^[31],其中鹰山组、良里塔格组和石炭系是目前塔中地区的主力产层(图1)。横向上,油气藏广泛分布,整体含油气,特别是鹰山组和良里塔格组沿大型风化壳型不整合面呈准层状分布(图1)。油气

藏相态类型涵盖油藏、挥发性油藏和凝析气藏3种类型,分布复杂,整体上:上部石炭系和志留系以油藏为主,凝析气藏和挥发性油藏较少;下部奥陶系则3种油气藏类型共存,流体分布十分复杂。目前钻井显示,寒武系及以下地层以凝析气藏为主,暂未见油藏出现。同一层系,邻近塔中1号断裂或传导性走滑断裂及局部高部位易富集凝析气藏(图1,表1)。

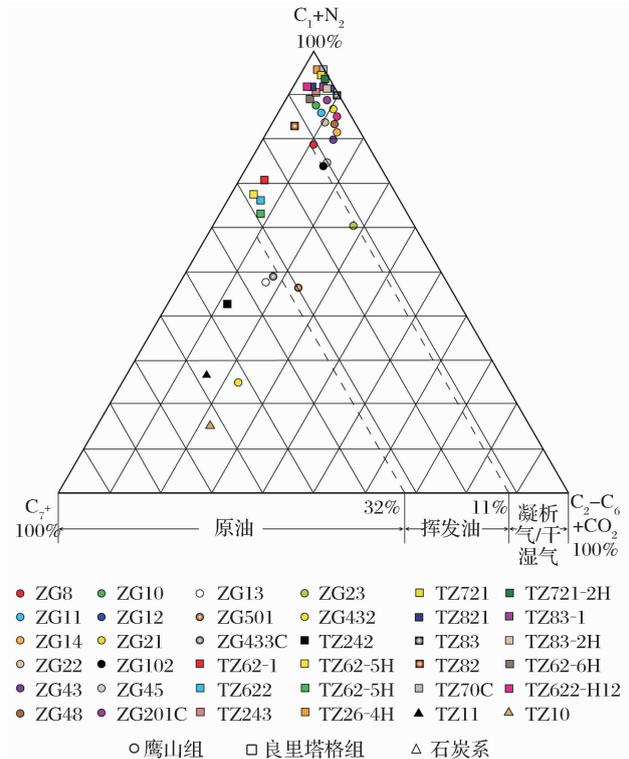


图2 塔里木盆地塔中地区储层流体三元组成三角图^[30]

2.2 多套储盖组合

塔中地区多层系油气藏主要发育5套储盖组合(表1),寒武系膏岩以下储层以溶蚀孔洞为主,伴随裂缝型储层,盖层为致密塑性膏盐层段;鹰山组顶部储层储集空间以次生型孔洞缝为主,基质孔隙不发育,直接盖层为良里塔格组底部的致密泥晶灰岩;良三段顶部储层储集空间以次生型孔洞缝为主,盖层为桑塔木组泥岩;志留系储层主要为下志留统下沥青砂岩段,储集空间以基质孔隙为主,盖层为上覆泥岩段;石炭系储层主要发育段为下石炭统的东河砂岩段,储集空间以基质孔隙为主,盖层为巴楚组的下泥岩段。纵向上多套储盖组合是塔中地区古生代复式油气藏形成的基础之一。

2.3 多类型圈闭

由于受多期构造运动的影响,塔中地区具有多种圈闭类型,主要包括背斜圈闭、断块圈闭、礁滩体圈闭、砂砾岩岩性圈闭和火山岩刺穿圈闭等(图3,表1)。

塔中地区在晚加里东时期经受过强烈的挤压逆冲断裂活动,塔中隆起的形成与此紧密相关,同时伴随逆冲断裂形成一系列构造背斜,成为后期油气储存的有利位置。当断裂在地层中传播时,其前方地层常常以褶皱的形式表现出来,称之为断层相关褶皱^[32]。这一地质活动现象可以产生微褶皱、次级裂缝储集体及透人性变形等,是重要的含油气构造^[33]。该区背斜圈闭的大量发育主要得益于晚加里东期北西—南东向的逆冲断裂的密集分布,东西

部普遍发育,是塔中地区特别是碳酸盐岩区重要的圈闭类型之一。

由于晚海西期北东—南西向左行走滑断裂的发育,塔中地区地块具有明显的分区性,形成多个断块,成为重要的含油气圈闭。断块主要发育于左行走滑断裂的左侧,断块会引起地层线的纵向移动,阻断了准层状油气通道的整体贯通性,阻碍了油气的横向运移,形成良好的横向封堵圈闭。断块圈闭在塔中地区特别是中西部分布较普遍。

表 1 塔中地区部分油气藏要素统计

| 井号 | 层位 | 油气藏类型 | 储集空间 | 盖层 | 圈闭 | 输导通道 |
|--------|-----------------|-------|---------|-----------|--------|-------------|
| TC1 | ∈ | 凝析气藏 | 次生孔洞缝 | 膏盐层段 | 膏盐层微背斜 | 走滑断裂 |
| ZG8 | O _{1y} | 凝析气藏 | 次生孔洞缝 | 致密泥晶灰岩/泥岩 | 背斜圈闭 | 走滑断裂/不整合面 |
| ZG10 | O _{1y} | 凝析气藏 | 次生孔洞缝 | 致密泥晶灰岩/泥岩 | 背斜圈闭 | 走滑断裂/不整合面 |
| ZG11 | O _{1y} | 凝析气藏 | 次生孔洞缝 | 致密泥晶灰岩/泥岩 | 背斜圈闭 | 走滑断裂/不整合面 |
| ZG14 | O _{1y} | 凝析气藏 | 次生孔洞缝 | 致密泥晶灰岩/泥岩 | 背斜圈闭 | 走滑断裂/不整合面 |
| ZG22 | O _{1y} | 凝析气藏 | 次生孔洞缝 | 致密泥晶灰岩/泥岩 | 背斜圈闭 | 走滑断裂/不整合面 |
| ZG43 | O _{1y} | 凝析气藏 | 次生孔洞缝 | 致密泥晶灰岩/泥岩 | 断陷圈闭 | 走滑断裂/不整合面 |
| ZG48 | O _{1y} | 凝析气藏 | 次生孔洞缝 | 致密泥晶灰岩/泥岩 | 背斜圈闭 | 走滑断裂/不整合面 |
| ZG13 | O _{1y} | 油藏 | 次生孔洞缝 | 致密泥晶灰岩/泥岩 | 碳酸盐岩圈闭 | 走滑断裂/不整合面 |
| ZG501 | O _{1y} | 挥发性油藏 | 次生孔洞缝 | 致密泥晶灰岩/泥岩 | 断陷圈闭 | 走滑断裂/不整合面 |
| ZG433 | O _{1y} | 挥发性油藏 | 次生孔洞缝 | 致密泥晶灰岩/泥岩 | 断陷圈闭 | 走滑断裂/不整合面 |
| TZ62-1 | O _{1l} | 挥发性油藏 | 次生孔洞缝 | 致密泥晶灰岩/泥岩 | 礁滩体圈闭 | 缝洞连通系统/不整合面 |
| TZ622 | O _{1l} | 挥发性油藏 | 次生孔洞缝 | 致密泥晶灰岩/泥岩 | 礁滩体圈闭 | 缝洞连通系统/不整合面 |
| TZ243 | O _{1l} | 凝析气藏 | 次生孔洞缝 | 致密泥晶灰岩/泥岩 | 礁滩体圈闭 | 缝洞连通系统/不整合面 |
| TZ721 | O _{1l} | 凝析气藏 | 次生孔洞缝 | 致密泥晶灰岩/泥岩 | 礁滩体圈闭 | 缝洞连通系统/不整合面 |
| TZ821 | O _{1l} | 凝析气藏 | 次生孔洞缝 | 致密泥晶灰岩/泥岩 | 礁滩体圈闭 | 缝洞连通系统/不整合面 |
| TZ83 | O _{1l} | 凝析气藏 | 次生孔洞缝 | 致密泥晶灰岩/泥岩 | 背斜圈闭 | 缝洞连通系统/不整合面 |
| TZ82 | O _{1l} | 凝析气藏 | 次生孔洞缝 | 致密泥晶灰岩/泥岩 | 背斜圈闭 | 缝洞连通系统/不整合面 |
| TZ10 | C | 油藏 | 砂砾岩原生孔隙 | 泥岩层段 | 砂砾岩圈闭 | 砂砾岩通道 |
| TZ11 | C | 油藏 | 砂砾岩原生孔隙 | 泥岩层段 | 岩浆刺穿圈闭 | 砂砾岩通道 |
| TZ401 | C | 油藏 | 砂砾岩原生孔隙 | 泥岩层段 | 砂砾岩圈闭 | 砂砾岩通道 |
| TZ402 | C | 油藏 | 砂砾岩原生孔隙 | 泥岩层段 | 砂砾岩圈闭 | 砂砾岩通道 |
| TZ16 | C | 油藏 | 砂砾岩原生孔隙 | 泥岩层段 | 砂砾岩圈闭 | 砂砾岩通道 |

塔中 1 号断裂带控制的塔中隆起北部边缘发育一狭长的礁滩体,有利于油气聚集,形成生物礁滩体圈闭。塔中北部边缘发育生物礁滩相灰岩,生物碎屑含量较多,保存有较多的溶蚀孔隙等次生孔隙,这与其他沉积相岩石物性存在明显差异,形成礁滩体圈闭。这种圈闭类型主要分布于塔中 1 号断裂带控制的台地边缘奥陶系良里塔格组,油气丰富。

砂砾岩岩性圈闭主要见于志留系和石炭系碎屑岩地层中。由于沉积环境的影响,塔中志留系和石炭系砂岩储层常以透镜体的形式出现,因岩石物性的差异,油气富集于透镜体内形成岩性圈闭。这种

圈闭类型在碎屑岩储层中广泛分布。塔中中西部地区在二叠纪经历过强烈的岩浆活动,岩浆刺穿现象普遍,形成了特殊的岩浆成因圈闭。

2.4 多类型油气运移通道

塔中地区油气运移通道类型多样,主要包括断裂、不整合面、缝洞体和砂岩层段等,其中断裂尤其是走滑断裂主要作为纵向上的运移通道,不整合面、缝洞体和砂岩通道主要作为横向上的运移通道(图 3)。前人^[34]研究表明,晚海西期的走滑断裂是晚期天然气自下而上充注的主要运移通道。晚海西期的走滑断裂多切穿基底,沟通了寒武系和奥陶系多个

层系,使上部地层遭受深部流体的影响。塔中地区奥陶系天然气与轮古东地区相似,主要来自于深部原油裂解气^[35],沿走滑断裂自下而上对相关层系进行影响。走滑断裂发育情况和生产气油比数据表明,越靠近走滑断裂,气油比越高,越富集凝析气藏^[21],说明了走滑断裂作为纵向上后期天然气运移通道这种理论的正确性。

不整合面,特别是大型风化壳型不整合面是该地区碳酸盐岩层系横向运移的主要通道。在奥陶系鹰山组顶部和良里塔格组良三段顶部存在2期明显的沉积间断,存在风化剥蚀淋滤界面,使得该区距不整合面一定范围内溶蚀作用极其发育,形成了大面积准层状裂缝孔洞型储层。大型风化壳型不整合面的存在表明了一定层位上储集空间的整体横向连通

性,是形成塔中地区奥陶系大型准层状油气藏的基础。

缝洞连通体是碳酸盐岩层系局部油气运移通道。大型断裂的次级断裂本身作为储集空间意义并不大,其更大的意义在于沟通相邻的孔洞洞穴或缝洞单元,形成更大的缝洞单元体系,使油气可以在局部空间内进行运移和油气分异,形成具有局部正常油水界面的油气藏群体。

砂岩输导层段的运移作用主要表现在志留系和石炭系。由于地质发展变化和沉积环境的更替变迁,石炭系和志留系岩性主要表现为砂泥岩互层,由于砂岩层段孔隙度和渗透率均明显优于泥岩段,是重要的油气储集层系,使油气主要表现为侧向上的运移,如石炭系东河砂岩段。

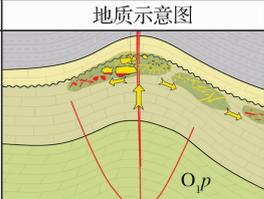
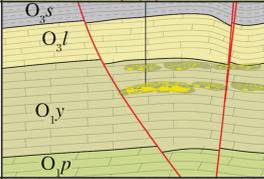
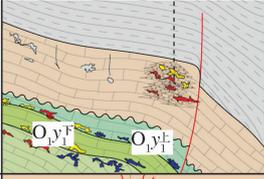
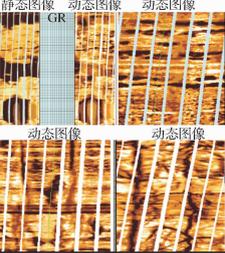
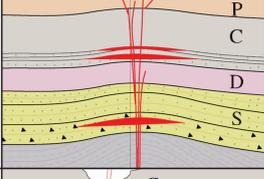
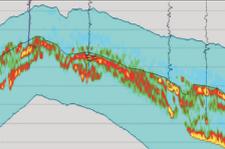
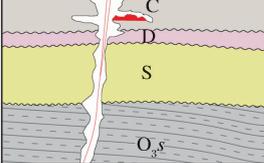
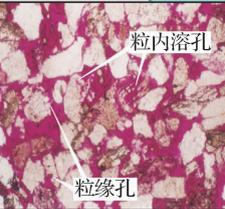
| 圈闭类型 | 地质示意图 | 运移通道 | 油气藏主要分布特征 | 运移通道证据 |
|---------|---|--------------|---|---|
| 背斜圈闭 |  | 走滑断裂不整合面缝洞系统 | 奥陶系碳酸盐岩地层分布较多,受加里东期挤压逆冲断裂影响,形成众多的小背斜;石炭系和志留系背斜型圈闭油气藏主要分布于东部 |  断裂缝钻井证据 |
| 断块圈闭 |  | 走滑断裂缝洞系统 | 奥陶系碳酸盐岩地层分布较多,发育于2个走滑断裂之间;走滑断裂密集发育的中西部多于东部 |  塔中162井,4 912.2m,O 静态图像 动态图像 动态图像 孔、洞、缝成像测井证据 |
| 礁滩体圈闭 |  | 塔中1号断裂礁滩系统 | 主要分布于塔中1号带台缘部位,受礁滩相沉积环境控制,分布局限 |  动态图像 动态图像 孔、洞、缝成像测井证据 |
| 砂砾岩圈闭 |  | 走滑断裂砂岩通道 | 主要分布于石炭系和志留系等上部层系,主要受砂岩原生孔隙的不均一性控制 |  不整合面地震证据 |
| 火山岩刺穿圈闭 |  | 岩浆刺穿通道砂岩通道 | 西部岩浆活动引起众多岩浆成因圈闭的形成,主要发育于石炭系 |  粒内溶孔 粒缘孔 砂岩通道微观证据 |

图3 塔中地区古生界主要圈闭类型与成藏组合特征

3 复式油气聚集的有利条件

3.1 多套烃源岩、多期油气充注

塔中地区具有多套烃源岩,对油气成藏有贡献的主要有寒武系一下奥陶统烃源岩和中上奥陶统烃源岩^[36-38],寒武系一下奥陶统烃源岩主要分布于北

部满加尔凹陷,上奥陶统烃源岩主要分布于塔中低凸起。早中寒武世塔里木盆地沉积环境以蒸发潟湖相和深水陆棚一盆地相为主,海相烃源岩普遍发育。奥陶系海相烃源岩的发育则与碳酸盐岩盆地的分布相关^[39-40],中奥陶世早期,碳酸盐岩盆地仅分布在塔东地区,发育优质烃源岩黑土凹页岩。中奥陶世晚

期,随着大量陆源碎屑的开始注入,以及海平面的持续上升,塔中一轮南间的阿满过渡带沉积了深水陆棚相海相烃源岩。塔里木盆地的多期沉积环境变化形成了多套烃源岩。

除了存在多套烃源岩,塔里木盆地还经受过多期油气充注。大量研究结果表明,塔中地区曾接受过至少3期油气充注过程^[41],以塔中地区早古生代奥陶系碳酸盐岩为例:第1期为晚加里东期,油气主要来自于寒武系一下奥陶统烃源岩,但由于早海西期的构造抬升运动,造成大范围油藏的破坏,主要以沥青的形式分布在岩石缝隙中;第2期为晚海西期成藏,这是1期最重要的油气充注期和有效成藏期,油气来自于中上奥陶统烃源岩,是目前石油的主要充注期;第3期成藏期是在晚喜马拉雅期,深层寒武系原油裂解气形成,并沿深大断裂向奥陶系充注,对油藏进行气洗改造,从而形成凝析气藏。

3.2 构造断裂的区域分布差异

在纵向上,构造断裂的发育程度差异主要表现在对不同期次油气充注强度的控制上。塔中地区构造发育主要经历加里东期和晚海西期,其中对油气充注期次强度影响最大的是晚海西期走滑断裂活动。事

实证明,晚海西期走滑断裂一般切穿下部基底,但上部多未切穿到石炭系^[41],这就决定了上、下各层系间遭受晚喜马拉雅期油气充注强度的差异影响,直接造成上、下层系间油气藏烃类相态的差异,因为晚海西期走滑断裂是深部天然气自下而上运移的主要通道。

横向上构造断裂差异直接导致同一层系不同区域油气充注程度的不均一性。以塔中地区奥陶系碳酸盐岩油气藏为例,奥陶系走滑断裂具有强烈的不均一性,整体上以若干大型走滑断裂作为区块控制,次级走滑断裂以主走滑断裂向外扩展,局部地区难以受走滑断裂影响。走滑断裂的作用主要表现在2个方面:一是作为油气运移通道直接控制油气富集位置;二是产生的裂缝连通相邻储集体并起到改善储集性能的作用,以此造成构造和储层的平面差异。如图4所示,走滑断裂直接影响的凝析气井构造位置高、储层连通性好,受后期油气影响强烈形成凝析气藏,而远离走滑断裂的井缺少断裂发育、储集空间以孤立洞穴为主,难以受后期天然气充注影响,仍保持正常油藏状态。这种构造断裂在横向上的差异性直接导致油气藏类型区域上的多样性,是塔中地区复式油气藏形成的重要因素。

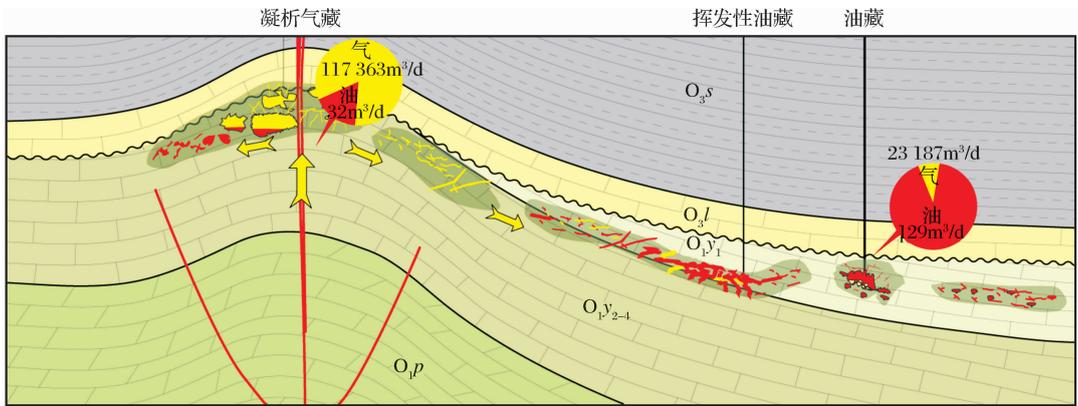


图4 构造断裂发育差异对油气藏类型的影响

3.3 沉积环境多变和储层的强非均质性

沉积环境变化是控制岩性变化的根本因素,对纵向上和横向上储层变化和差异起到控制作用,对决定多层系复式油气藏的形成意义重大。

在寒武纪一早奥陶世,塔中隆起与北部坳陷是连为一体的碳酸盐岩台地,塔中地区为半局限一开阔台地相,下奥陶统发育大套台地相碳酸盐岩。早奥陶世末,塔中I号断裂活动剧烈,塔中强烈隆升,塔中隆起开始形成。中奥陶世,塔中隆起下奥陶统鹰山组裸露并遭受强烈剥蚀和风化、淋滤,塔中地区绝大部分缺失了中奥陶统及上奥陶统底部的吐木休

克组,下奥陶统鹰山组从北向南剥蚀量逐渐增大。晚奥陶世早期,塔中地区开始接受上奥陶统良里塔格组沉积。由于长期的剥蚀改造、差异沉积,塔中I号断裂处形成北倾、高陡的断裂坡折带,沿着断裂坡折带发育台地边缘礁滩复合体。良里塔格组沉积后,塔里木盆地发生大规模海侵,沉积了桑塔木组的大套深灰色泥岩。随着桑塔木组巨厚砂泥岩的广泛沉积、填平补齐,塔中与北部坳陷又连为一体,海西期强烈构造挤压,塔中I号坡折带东部构造变形逐渐增加,此后随着塔中隆起发生整体升降活动,并形成以志留系和石炭系碎屑岩为主的砂泥交互相沉积(图5)。

沉积环境的变化造成了塔中地区储层类型的巨大差异。塔中地区古生界储层类型多样,主要有碳酸盐岩次生孔洞裂缝型储集体和碎屑岩原生孔隙储层。碳酸盐岩次生型储集体在塔中主要表现为大型风化壳型不整合面控制的准层状缝洞,规模较大的

有鹰山组顶部和良里塔格组良三段顶部的风化壳型准层状缝洞储层。碎屑岩型储层主要存在于志留系及以上层位,主要受砂体控制,连通性较好。这种储层类型的差异导致油气藏形态的不同,与多层系多类型油气藏的形成关系密切。

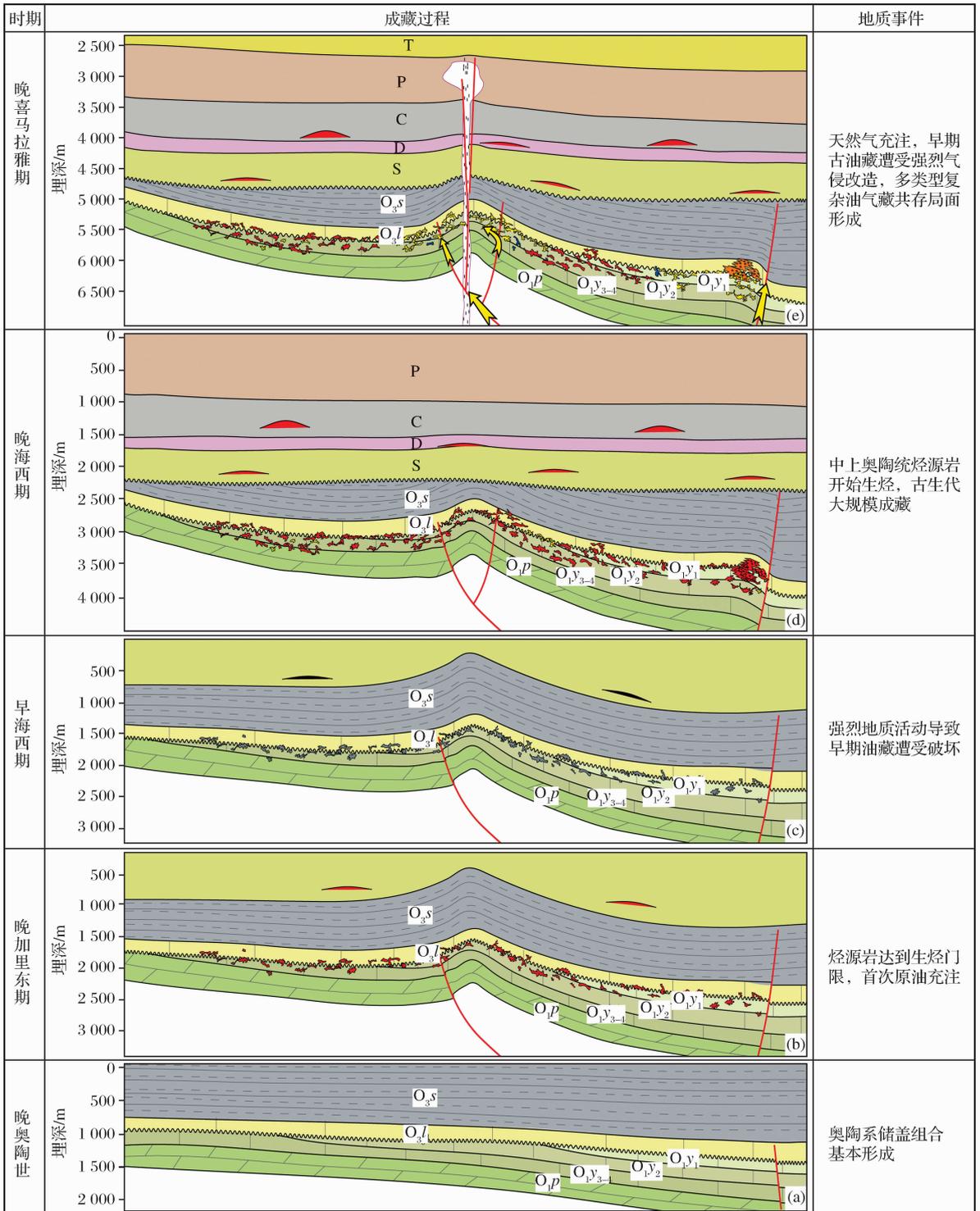


图5 塔中地区古生界复式油气藏的形成演化

3.4 复式油气聚集的形成演化过程

在寒武纪一早奥陶世,塔中隆起与北部坳陷是连为一体的碳酸盐岩台地,主要为半局限相—开阔台地相沉积环境,这一时期沉积了巨厚的烃源岩层。早奥陶世末,塔中I号断裂活动剧烈,塔中强烈活动导致塔中隆起开始形成。中奥陶世,北部凹陷继续沉积形成中奥陶统烃源岩,但塔中地区抬升接受风化剥蚀淋滤作用,这是目前鹰山组顶部大型风化壳不整合面形成的基础。晚奥陶世,塔中隆起活动性减弱,海平面上升继续接受海相碳酸盐岩沉积,期间存在短暂暴露,形成良三段顶部的不整合面,并在塔中1号断裂带附近形成狭长的礁滩体,成为重要的有效储层[图5(a)]。晚奥陶世末期,海水继续侵入,沉积环境发生明显变化,开始形成桑塔木组巨厚泥岩地层。寒武纪到奥陶纪,塔中地区构造雏形形成,沉积了2套烃源岩,形成鹰山组顶和良里塔格组良三段顶2套主要风化壳型储层,桑塔木组巨厚泥岩层是区域上的主要盖层。

奥陶系沉积后,存在一定时期的沉积间断,随后接受潮坪相沉积体系,循环发育多个砂岩和泥岩层段。志留纪末,沉积再次间断,遭受长时间剥蚀作用,造成广大区域内泥盆系的缺失。志留纪末期,晚加里东运动活动加剧,形成一系列北东—南西向的挤压逆冲断裂,致使研究区地质构造复杂性加剧;此外,寒武系烃源岩达到生烃门限并大规模生烃成藏[图5(b)]。之后,海平面上升继续接受沉积,以滨海平原相—三角洲相或滨岸滩坝—潮间潮下沉积相为主,形成若干泥岩和砂岩层段。晚海西期,由于海西运动形成了一系列北东—南西向的走滑断裂,对前期成藏造成严重破坏,目前只在志留系存在一些沥青;随后,奥陶系烃源岩达到生烃门限,发生了对目前油气藏意义重大的晚海西期成藏[图5(c)—图5(d)]。晚喜马拉雅期,来自深部的原油裂解气自下而上对早期油藏进行不同程度的气侵改造,造成多类型油气藏的形成[图5(e)]。

多套烃源岩多期充注及混合作用是造成塔中古生代油气藏流体性质复杂的主要因素。晚加里东运动产生的逆冲断裂造成塔中地区一系列微小背斜圈闭的形成;晚海西期走滑断裂影响到早古生代储层裂缝发育程度的不均一性,并且作为油气运移通道决定了后期天然气充注的差异性;二叠纪末期的火山活动产生的岩浆刺穿作用以及岩浆的冷缩过程对岩浆成因型储层和圈闭具有一定意义;沉积间断和沉积环境的变化对纵向上的储层差异具有决定性影响。

4 结论

塔里木盆地塔中地区是典型的复式油气聚集区,油气藏类型多样,涵盖油藏、挥发性油藏和凝析气藏多种类型,各类型油气藏分布在纵向上和横向上均存在明显的不均一性。

油气藏类型具有多套储盖组合,上下层系间储盖组合差异很大;圈闭类型复杂,油气运移通道类型多样,其中断裂主要作为纵向上的运移通道,不整合面、缝洞体及砂岩层段在横向运移的作用较大。

多期构造运动和沉积演化叠加是该区复式油气藏形成的基础,多套烃源岩的多期生烃作用是复杂油气藏形成的主要因素,输导断裂和储层发育等地质条件的差异性为油气藏类型多样及分布复杂的重要因素。

参考文献(References):

- [1] Li Desheng. Geological evolution of petroliferous basins on continental shelf of China[J]. AAPG Bulletin, 1984, 68(8): 993-1103.
- [2] Li Desheng. Theory and practice of petroleum geology in China[J]. Earth Science Frontiers, 1995, 2(3/4): 15-19. [李德生. 中国石油地质学的理论与实践[J]. 地质前缘, 1995, 2(3-4): 15-19.]
- [3] Chen Jingda. Research on composite hydrocarbon accumulation zone and basin[J]. Multiple Oil-gas Field, 1996, 1(1): 4-6. [陈景达. 复式油气聚集带与盆地研究[J]. 复式油气田, 1996, 1(1): 4-6.]
- [4] Wang Zecheng, Qian Kai. The composite accumulation in China natural gas area[J]. Multiple Oil-Gas Field, 1996, 1(1): 27-30. [汪泽成, 钱凯. 中国天然气区的复式成藏作用[J]. 复式油气田, 1996, 1(1): 27-30.]
- [5] Liu Xingcai, Yang Shenbiao. Formation conditions and distribution pattern of the oil fields in the compound oil-gas area, Jiyang[J]. Journal of Chengdu University of Technology, 1998, 25(2): 276-284. [刘兴材, 杨申铤. 济阳复式油气区大油田形成条件及分布规律[J]. 成都理工学院学报, 1998, 25(2): 276-284.]
- [6] Xue Shirong, Yang Xiaoqi. Discussion on the composite hydrocarbon accumulation zone genesis in north Dagang[J]. Multiple Oil-gas Field, 1998, 3(2): 1-8. [薛世荣, 杨孝秋. 北大港复式油气聚集带成因探讨[J]. 复式油气田, 1998, 3(2): 1-8.]
- [7] Sun Longde, Li Yuejun, Jiang Tongwen, et al. The central Tarim lower uplift: A composite hydrocarbon accumulation play in the Tarim basin, NW China[J]. Chinese Journal of Geology, 2007, 42(3): 602-620. [孙龙德, 李日俊, 江同文, 等. 塔里木盆地塔中低凸起: 一个典型的复式油气聚集区[J]. 地质科学, 2007, 42(3): 602-620.]
- [8] Sun Longde, Li Yuejun. The Lunnan lower uplift: A multiple

- oil-gas accumulation play in the Tarim basin, NW China[J]. Chinese Journal of Geology, 2004, 39(2): 296-304. [孙龙德, 李曰俊. 塔里木盆地轮南低凸起: 一个复式油气聚集区[J]. 地质科学, 2004, 39(2): 296-304.]
- [9] Yang Jin, Liu Di, Wu Honghua, *et al.* Structural belt styles and multiple oil and gas reservoirs/fields in petroliferous basins, northwestern China[J]. Marine Origin Petroleum Geology, 2012, 17(1): 1-9. [杨津, 刘迪, 吴红华, 等. 中国西北部含油气盆地的构造带类型及其复式油气藏(田)初探[J]. 海相油气地质, 2012, 17(1): 1-9.]
- [10] Yang Haijun Han Jianfa. Accumulation characteristics and the main controlling factors of Lunnan multilayer oil province, Tarim basin, China[J]. Science in China: Series D, 2008, 51(supplement): 65-76. [杨海军, 韩剑发. 塔里木盆地轮南复式油气聚集区成藏特点与主控因素[J]. 中国科学: D辑, 2007, 37(增刊), 53-62.]
- [11] 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. [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.]
- [12] Cui Haifeng, Zheng Duoming. Distribution regularity of composite reservoir in Yingmaili-Yaha area [J]. Oil Geophysical Prospecting, 2009, 44(4): 445-450. [崔海峰, 郑多明. 英买力—牙哈地区复式油气藏油气分布规律[J]. 石油地球物理勘探, 2009, 44(4): 445-450.]
- [13] Cao Zhonghui. Basic geology characteristics of Daniudi composite gas field in Ordos basin [J]. Journal of Southwest Petroleum Institute, 2005, 27(2): 17-21. [曹忠辉. 鄂尔多斯盆地大牛地复式气田基本地质特征[J]. 西南石油学院学报, 2005, 27(2): 17-21.]
- [14] Feng Changmao, Mao Xiaoping, Li Xiangming. Reservoir forming pattern of complicate reservoirs in Tahe oilfield [J]. Journal of Oil and Gas Technology, 2007, 29(3): 178-181. [冯常茂, 毛小平, 李相明. 塔河油田复式油气藏成藏模式探讨[J]. 石油天然气学报, 2007, 29(3): 178-181.]
- [15] Jin Zhijun. Particularity of petroleum exploration on marine carbonate strata in China sedimentary basins [J]. Earth Science Frontiers, 2005, 12(3): 15-22. [金之钧. 中国海相碳酸盐岩层系油气勘探特殊性问题[J]. 地学前缘, 2005, 12(3): 15-22.]
- [16] Zhu Guangyou, Zhang Shuichang, Zhang Bin, *et al.* Reservoir types of marine carbonates and their accumulation model in western and central China [J]. Acta Petrolei Sinica, 2010, 31(6): 871-878. [朱光有, 张水昌, 张斌, 等. 中国中西部地区海相碳酸盐岩油气藏类型与成藏模式[J]. 石油学报, 2010, 31(6): 871-878.]
- [17] Zhang Shuichang, Huang Haiping, Xiao Zhongyao, *et al.* Geochemistry of Palaeozoic marine petroleum from the Tarim basin, NW China. Part 2: Maturity assessment [J]. Organic Geochemistry, 2005, 36(8): 1215-1225.
- [18] Han Jianfa, Mei Lianfu, Yang Haijun, *et al.* The study of hydrocarbon origin, transport and accumulation in Tazhong area, Tarim basin [J]. Natural Gas Geoscience, 2007, 18(3): 426-435. [韩剑发, 梅廉夫, 杨海军, 等. 塔里木盆地塔中地区奥陶系碳酸盐岩礁滩复合体油气来源与运聚成藏研究[J]. 天然气地球科学, 2007, 18(3): 426-435.]
- [19] Lü Xiuxiang, Jiao Weiwei, Zhou Xinyuan, *et al.* Paleozoic carbonate hydrocarbon accumulation zones in Tazhong uplift, Tarim basin, western China [J]. Energy Exploration & Exploitation, 2009, 27(2): 69-90.
- [20] 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. [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.]
- [21] Zhao Wenzhi, Zhu Guangyou, Zhang Shuichang, *et al.* Relationship between the later strong gas-charging and the improvement of the reservoir capacity in deep Ordovician carbonate [J]. Chinese Science Bulletin, 2009, 54(17): 3076-3089. [赵文智, 朱光有, 张水昌, 等. 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[J]. 科学通报, 2009, 54(20): 3218-3230.]
- [22] Zhu Guangyou, Yang Haijun, Zhu Yongfeng, *et al.* Study on petroleum geological characteristics and accumulation of carbonate in Hanilcatam area, Tarim Basin [J]. Acta Petrologica Sinica, 2011, 27(3): 827-844. [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.]
- [23] Zhang Shuichang, Liang Digang, Zhu Guangyou, *et al.* Fundamental geological elements for the occurrence of Chinese marine oil and gas accumulations [J]. Chinese Science Bulletin, 2007, 52(supplement I): 28-43. [张水昌, 梁狄刚, 朱光有, 等. 中国海相油气田形成的地质基础[J]. 科学通报, 2007, 52(增刊 I): 19-31.]
- [24] Zhang Shuichang, Zhu Guangyou, Yang Haijun, *et al.* The phases of Ordovician Hydrocarbon and their origin in the Tabei uplift, Tarim basin [J]. Acta Petrologica Sinica, 2011, 27(8): 2447-2460. [张水昌, 朱光有, 杨海军, 等. 塔里木盆地北部奥陶系油气相态及其成因分析[J]. 岩石学报, 2011, 27(8): 2447-2460.]
- [25] Zhou Xinyuan, Jiao Weiwei, Han Jianfa, *et al.* Tracing hydrocarbons migration pathway in carbonate rock in Lunnan-Tahe oilfield [J]. Energy Exploration & Exploitation, 2010, 28(4): 259-277.
- [26] Yang Debin, Zhu Guangyou, Liu Jiajun, *et al.* Distribution of global condensate gas field and major factors controlling its formation [J]. Earth Science Frontiers, 2010, 17(1): 339-349. [杨德彬, 朱光有, 刘家军, 等. 全球大型凝析气田的分布特征及其形成主控因素[J]. 地学前缘, 2010, 17(1): 339-349.]
- [27] Zhang Shuichang, Hanson A D, Moldowan J M, *et al.* Paleozoic oil-source rock correlations in the Tarim basin, NW China [J]. Organic Geochemistry, 2000, 31(4): 273-286.
- [28] Zhu Guangyou, Zhang Shuichang, Su Jin, *et al.* Secondary ac-

- cumulation of hydrocarbons in Carboniferous reservoirs in the northern Tarim basin, China[J]. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 2013, 102(1): 10-26.
- [29] Zhu Guangyou, Cui Jie, Su Jin, *et al.* Accumulation and reformation of Silurian reservoir in the northern Tarim basin[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2012, 86(1): 209-225.
- [30] Zhu Guangyou, Yang Haijun, Su Jin, *et al.* True exploration potential of marine oils in the Tarim basin[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2012, 28(4): 1333-1347. [朱光有, 杨海军, 苏劲, 等. 塔里木盆地海相石油的真实勘探潜力[J]. *岩石学报*, 2012, 28(4): 1333-1347.]
- [31] Zhu Guangyou, Jiang Naihuang, Su Jin, *et al.* The formation mechanism of high dibenzothiophene series concentration in Paleozoic crude oils from Tazhong area, Tarim basin, China[J]. *Energy Exploration & Exploitation*, 2011, 29(5): 617-632.
- [32] Suppe J, Medw edeff D. Geometry and kinematics of fault propagate on folding[J]. *Ecolae Geologicae Helvetiae*, 1990, 83: 409-454.
- [33] 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. [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.]
- [34] Wu Guanghui, Cheng Lifang, Liu Yukui, *et al.* Strike-slip fault system of the Cambrian-Ordovician and its oil-controlling effect in Tarim basin[J]. *Xinjiang Petroleum Geology*, 2010, 31(supplement): 29-33. [邹光辉, 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*, 2010, 31(增刊): 29-33.]
- [35] Zhu Guangyou, Jiang Naihuang, Su Jin, *et al.* Distribution and implication of adamantane in crude oils in Lunnan area, Tarim basin in China[J]. *Energy Exploration & Exploitation*, 2012, 30(6): 957-970.
- [36] Zhang Shuichang, Wang Feiyu, Zhang Baomin, *et al.* The geochemistry research of oil and source rock in mid-up Ordovician, Tarim basin[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2000, 21(6): 23-28. [张水昌, 王飞宇, 张宝民, 等. 塔里木盆地中上奥陶统油源层地球化学研究[J]. *石油学报*, 2000, 21(6): 23-28.]
- [37] Zhu Guangyou, Zhang Shuichang, Su Jin, *et al.* The occurrence of ultra-deep heavy oils in the Tabei uplift of the Tarim basin, NW China[J]. *Organic Geochemistry*, 2012, 52: 88-102.
- [38] Zhu Guangyou, Zhao Wenzhi, Liang Yingbo, *et al.* Discussion of gas enrichment mechanism and natural gas origin in marine sedimentary basin, China[J]. *Chinese Science Bulletin*, 2007, 52(supplement): 62-76.
- [39] Zhang Shuichang, Zhang Baomin, Wang Feiyu, *et al.* Mid-Up Ordovician stratum; The main source rock of Tarim basin[J]. *Marine Origin Petroleum Geology*, 2000, 5(1/2): 16-22. [张水昌, 张宝民, 王飞宇, 等. 中上奥陶统塔里木盆地的主要油源层[J]. *海相油气地质*, 2000, 5(1/2): 16-22]
- [40] Zhang Shuichang, Liang Digang, Li Maowen, *et al.* Molecule fossil and oil-source rock correlation of Tarim basin[J]. *Chinese Science Bulletin*, 2002, 47(supplement 1): 16-23. [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.]
- [41] Yang Haijun, Zhu Guangyou, Han Jianfa, *et al.* Conditions and mechanism of hydrocarbon accumulation in large reef-bank karst oil/gas fields of Tazhong area, Tarim basin[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2011, 27(6): 1865-1885. [杨海军, 朱光有, 韩剑发, 等. 塔里木盆地塔中礁滩体大油气成藏条件与成藏机制研究[J]. *岩石学报*, 2011, 27(6): 1865-1885.]

Hydrocarbon Accumulation Characteristics and the Formation Mechanism of Palaeozoic Reservoir in Tazhong Area

TAN Lü, WANG Li-qun

(China National Offshore Oil Corporation Tianjin Branch, Tianjin 300452, China)

Abstract: Palaeozoic central Tarim basin which is complex in geology and rich in hydrocarbon is a typical composite reservoir area. Based on the production and research data obtained by now, by multidisciplinary analyses on the hydrocarbon source rocks, reservoir types, cap rock, and migration pathway of Tazhong area, the following conclusions have reached. Multiple phase hydrocarbon charging occurred in Tazhong area with multiple source rocks, and the reservoir types are complicated with multiple reservoir-cap groups. The traps include anticline, fault depression, reef flat, lithologic trap, magmatic trap and so on. Migration pathway includes fault, unconformity, fracture-hole, sandstone formation and so on, among which fault is mainly a vertical pathway, and the unconformity, fracture-hole and sandstone formation are mainly lateral pathways. Studies suggest that multiple tectonic movements and sedimentary evolution are a fundamental cause for the composite reservoir formation; multiple source rocks and multiple hydrocarbon chargings are the base of complex reservoir; inhomogeneous geology condition, especially faults and reservoir, is the direct cause for multiple types of reservoirs and its complex distribution. This research result is significant for the composite reservoir theory's advancement and for the hydrocarbon exploration in Tazhong area.

Key words: Composite reservoir; Accumulation characteristics; Formation mechanism; Carbonate; Palaeozoic