

塔里木盆地奥陶系油气成藏规律与勘探方向

吕海涛^{1,2}, 丁勇², 耿锋²

(1. 西南石油大学 地球科学与技术学院, 四川 成都 610500;

2. 中国石化 西北油田分公司 勘探开发研究院, 新疆 乌鲁木齐 830011)

摘要:塔里木盆地奥陶系碳酸盐岩油气显示普遍,但发现的油气田(藏)少。针对目前在塔里木已经发现的一批以奥陶系为主要产层的油气田(藏),总结油气成藏规律和富集主控因素,有利于分析有利勘探方向和领域。从塔里木盆地奥陶系地层结构、储层类型、盖层条件和含油气系统(烃源岩、主要生排烃期、含油气系统划分)分析入手,解剖了目前已发现奥陶系油气藏油气平面分布和纵向分布特征,认为塔里木盆地奥陶系以碳酸盐岩缝洞型油气藏为主,具有大面积连片或成带分布的特征。进一步结合前人认识总结了塔里木盆地奥陶系碳酸盐岩成藏规律为:与烃源岩生排烃期相匹配的、发育在古隆起、古斜坡背景上的岩溶缝洞储集体,或受深大断裂带控制的多成因类型的缝洞型储集体,具有大范围富集成藏的特征,储集体发育程度是控制油气成藏差异的关键因素。同时提出,需要用动态的视角认识奥陶系的成藏过程和用辩证的思维优选碳酸盐岩勘探领域与目标。在此认识下综合分析认为,塔河油田奥陶系深层和顺南-古隆地区奥陶系是当前发现大、中型油气田(藏)的最现实目标。

关键词:缝洞型储集体;油气成藏;碳酸盐岩;奥陶系;塔里木盆地

中图分类号:TE122.3

文献标识码:A

Hydrocarbon accumulation patterns and favorable exploration areas of the Ordovician in Tarim Basin

Lü Haitao^{1,2}, Ding Yong², Geng Feng²

(1. Institute of Earth Science and Technology, Southwest Petroleum University, Chengdu, Sichuan 610500, China;

2. Exploration and Development Research Institute, Northwest Oilfield Branch Corporation, SINOPEC, Urumqi, Xinjiang 830011, China)

Abstract: Oil and gas shows are common in the Ordovician carbonates in Tarim Basin, but few oil and gas fields (reservoirs) have been found. Based on the current Ordovician oil and gas fields (reservoirs) in Tarim Basin, summarizing the hydrocarbon accumulation patterns and main controlling factors of enrichment is helpful to identify potential exploration target areas. According to the analysis of the Ordovician geology conditions, reservoir types, sealing conditions and petroleum system (source rocks, the main hydrocarbon generation and expulsion period, petroleum system division), we analyzed the areal and lateral distribution characteristics of the Ordovician reservoirs. The results show that fractured-vuggy carbonate reservoir is the main reservoir type of the Ordovician in Tarim Basin, which are characterized by large scale continuous distribution or zonal distribution. In combination with the previous understandings, we summarized the regularity of the Ordovician carbonate reservoirs in Tarim Basin: fractured-vuggy karst reservoirs that matched well with hydrocarbon generation and expulsion period and were development on paleo-uplifts and paleo-slopes, and/or fractured-vuggy carbonate reservoirs of multiple origins that were controlled by deep faults are characterized by large scale hydrocarbon enrichment and the development of reservoirs is the key factor controlling differential hydrocarbon accumulation. It is proposed to understand the hydrocarbon accumulation process from a dynamic perspective and to identify carbonate exploration targets via dialectical thinking. According to the comprehensive analysis, the deep interval of the Ordovician in Tahe oilfield and the Ordovician in south Shunnan-Gulong area are the most favorable target for discovering large and medium sized gas fields (reservoir).

Key words: fractured-vuggy reservoir, hydrocarbon accumulation, carbonate rock, Ordovician, Tarim Basin

自1984年沙参2井^[1]取得塔里木盆地海相碳酸盐岩油气勘探导向性突破以来,相继发现了一批以

收稿日期:2014-10-15;修订日期:2014-11-02。

第一作者简介:吕海涛(1977—),男,博士研究生、高级工程师,石油地质。E-mail:lvht.xbsj@sinopec.com。

基金项目:国家科技重大专项(2010ZX05005-004)。

奥陶系为主要产层的油气田(藏),如塔河、轮南、哈拉哈塘、跃进、英买力、塔中、顺南、古城、玉北等。中石化西北油田分公司在塔里木盆地针对奥陶系碳酸盐岩持续勘探了 30 多年,在矿权区块内保有三级地质储量 27.24×10^8 t 油当量(截止 2013 年底),并建成了年产 730×10^4 t 原油、 15×10^8 m³ 天然气的塔河油气田。塔里木盆地是大型叠合盆地,石油地质条件和成藏过程都极其复杂^[2-5],其中奥陶系碳酸盐岩油气显示普遍,但发现的油气田(藏)少。因此,针对目前已经发现的油气田(藏),总结油气成藏规律和富集主控因素,分析有利方向和领域,将对塔里木盆地中石化探区奥陶系油气勘探部署工作具有重要的指导意义。

1 油气地质条件

1.1 地层结构

奥陶系是塔里木盆地海相克拉通重要组成部分,除库车坳陷、塔东南断隆区外,盆地内广泛分布,并在盆地周缘出露了完整的地质剖面(图 1)。奥陶系总体呈现“东盆西台”的沉积格局,盆地西部以碳酸盐岩台地相沉积为主,岩石地层序列自下而上分为蓬莱坝组、鹰山组、一间房组、恰尔巴克组、良里塔格组和桑塔木组;盆地东部总体为盆地-斜坡相沉积,以碎屑岩为主,岩石地层序列自下而上分为突尔沙克塔格群上部、黑土凹组、却尔却克组。

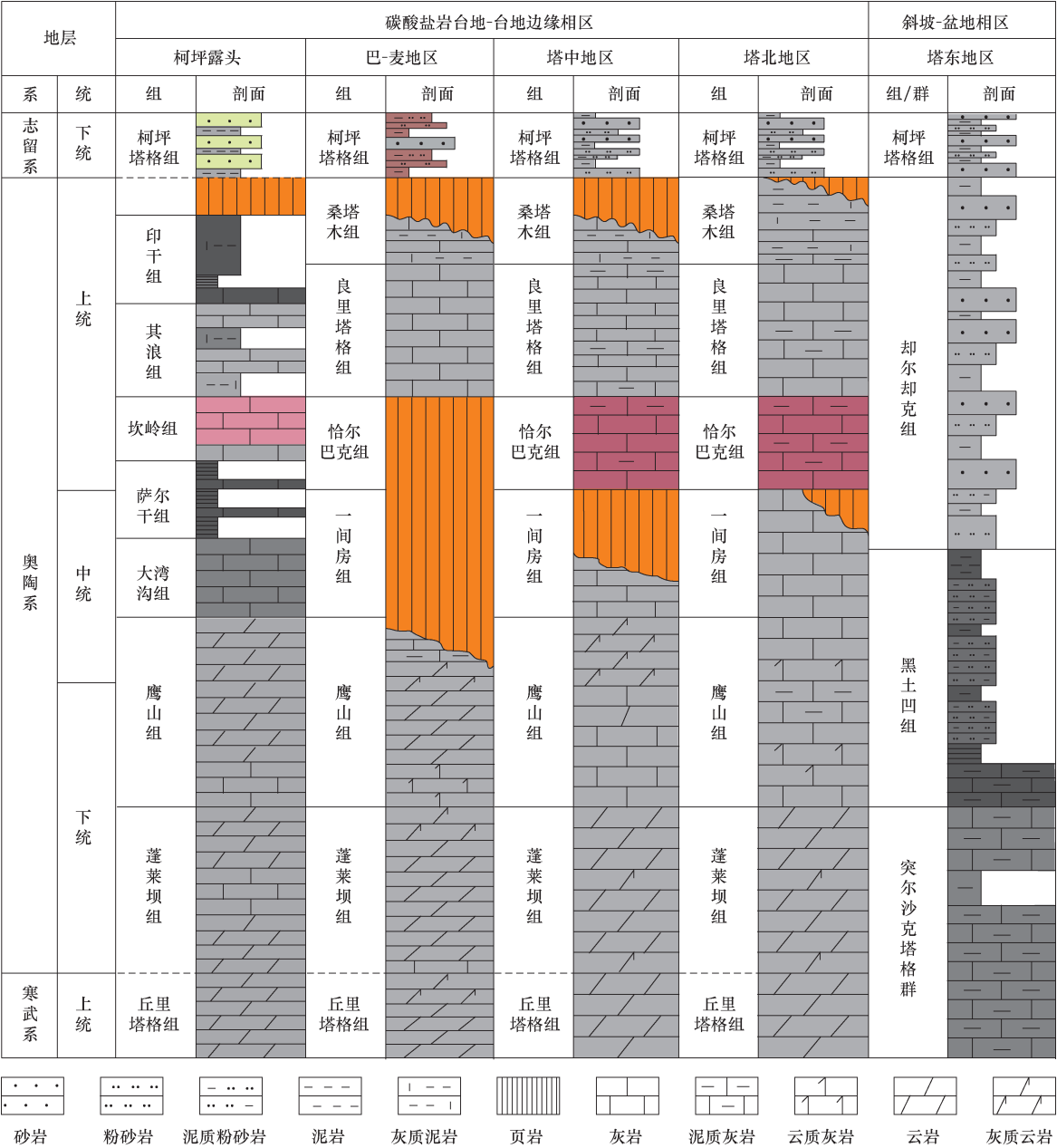


图 1 塔里木盆地奥陶系对比
Fig. 1 Correlation of the Ordovician in Tarim Basin

1.2 储层类型

塔里木盆地奥陶系碳酸盐岩基质基本不具备储集能力,有效储集空间的形成需经构造、岩溶等建设性成岩作用改造^[6]。总体而言,奥陶系碳酸盐岩储集空间以溶洞、溶蚀孔洞和裂缝型为主,粒间孔、晶间孔等发育较差。依据储集空间类型及其组合方式,一般将储集体划分为洞穴型、裂缝-孔洞型、溶蚀孔洞型和裂缝型四大类型,并常以缝洞型简而代之。从目前主要油气产层来看,最主要的储集空间是受多期喀斯特作用形成的缝洞集合体^[7],几何形态多样,大小悬殊,分布不均。其次是受断裂带控制的裂缝型储集体和顺断裂带发育的受深部热液等埋藏溶蚀作用控制的溶蚀缝洞型储集体。局部地区也发育少量受白云岩化作用控制形成的孔隙型储层及在颗粒灰岩段发育的溶蚀孔隙型储层^[8],但规模比较小。

1.3 盖层条件

构成奥陶系碳酸盐岩的区域盖层主要有上奥陶统、志留系、石炭系,主要岩性为泥岩、灰质泥岩及含膏泥岩,岩性致密、单层厚度大、分布稳定。这3套区域盖层封盖了台盆区超过85%的油气资源^[2]。此外,中、下奥陶统广泛发育致密碳酸盐岩,对缝洞型储集体构成局部封盖和侧向遮挡作用^[9-10]。

1.4 含油气系统

1) 烃源岩

下古生界富有机质烃源岩主要发育在下寒武统和中-下奥陶统,岩性以黑色炭质页岩为主^[9]。从盆地周缘露头及盆内少量钻井揭示的资料来看,盆地东部主要烃源岩为下寒武统西山布拉克组(ϵ_{1xs})上部、西

大山组(ϵ_{1xd})、中寒武统莫合尔山组(ϵ_{2m})下部和 中-下奥陶统黑土凹组($O_{1+2}ht$);盆地西部烃源岩以下寒武统玉尔吐斯组(ϵ_{1y})为主,并推测可能发育寒武系潟湖相烃源岩^[5]和中、上奥陶统萨尔干组斜坡-盆地相烃源岩。海相油源对比分析表明,目前在奥陶系发现的油气与上述烃源岩有亲缘关系,但对主力的烃源层和烃源灶尚存在争议^[11-16],还需要随着勘探实践逐步深入研究和认识(图2)。

2) 主要生、排烃期

根据典型油气藏解剖与烃源岩生排烃史研究,塔里木盆地寒武系-中、下奥陶统烃源岩主要排烃期有加里东晚期-海西早期、海西晚期和喜马拉雅期^[12]。因同一套烃源岩在不同构造位置或同一构造位置不同层系的烃源岩埋深差异大,进而造成了不同生排烃期生成的油气性质存在差异^[17]。总体而言,加里东晚期-海西早期以低成熟油气为主,海西晚期以正常成熟-高成熟油气为主,喜马拉雅期为高成熟-过成熟凝析油气和干气^[12]。

3) 含油气系统

由于受多期构造演化和烃源岩分布的不确定性的影响,目前尚不能准确厘定各个含油气系统的边界,部分地区奥陶系可能在不同构造期处在不同的含油气系统内,甚至有可能在同一构造期内同时处于两个或多个含油气系统中。

基于对海相油气藏性质的认识及对烃源岩的推断,分析与奥陶系成藏相关的含油气系统有满加尔寒武系-奥陶系海相油气系统(已知)^[12]、阿瓦提寒武系-奥陶系海相油气系统(可能)、塔西南寒武系-奥陶系海相油气系统(推断)和塔西南石炭系-二叠系海相油气系统(可能)(图3)。从沙雅隆起和卡塔克-顺托果勒-古城墟隆起勘探成果来看,位于满加尔寒

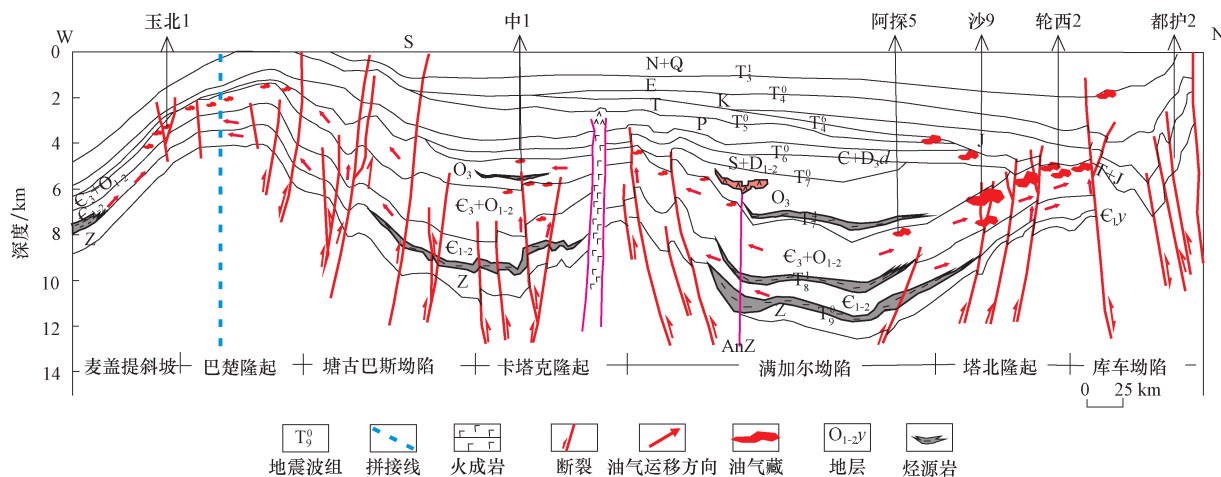


图2 塔里木盆地奥陶系生、储、盖组合剖面示意图

Fig. 2 Schematic diagram showing reservoir and caprock assemblage of the Ordovician in Tariatam Basin

N + Q. 新近系 + 第四系; E. 古近系; K. 白垩系; T. 三叠系; P. 二叠系; C + D_{3d}. 石炭系 + 上泥盆统; S + D₁₊₂. 志留系 + 中、下泥盆统;

O₃. 上奥陶统; ϵ + O₁₊₂. 上寒武统 + 中、下奥陶统; ϵ_{1-2} . 中、下寒武统

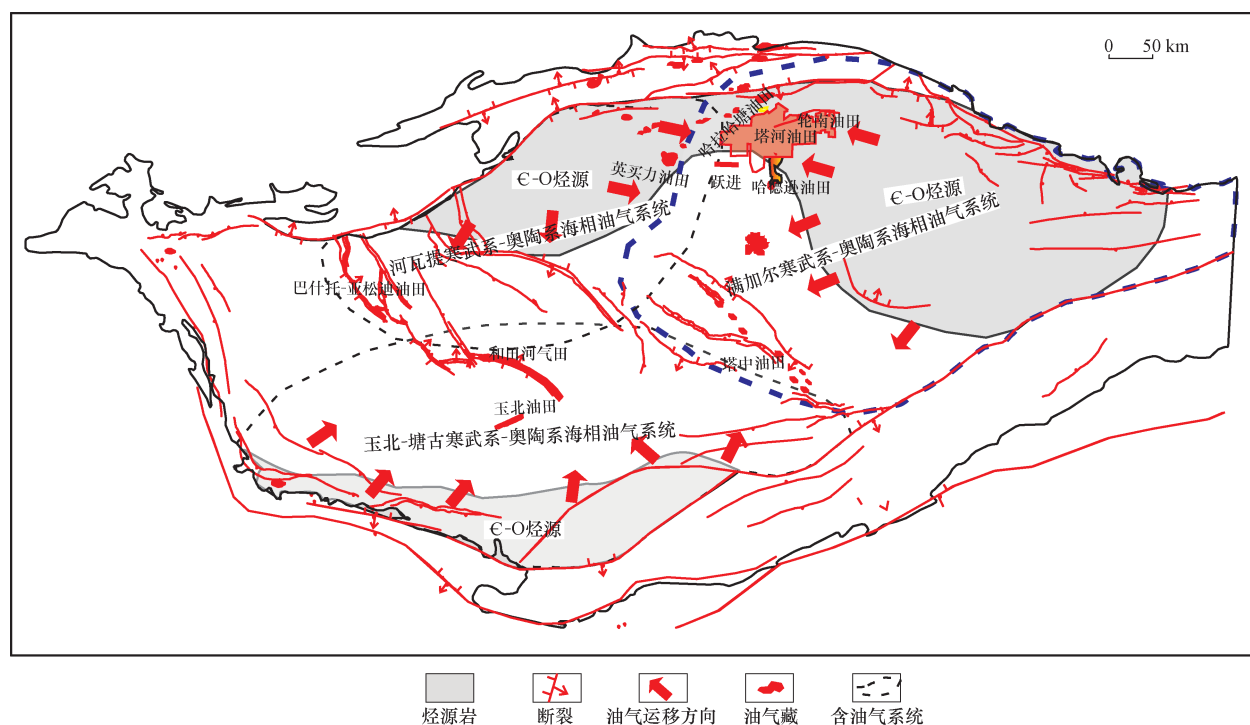


图3 塔里木盆地奥陶系油气田(藏)分布与海相含油气系统划分

Fig. 3 Marine petroleum system and the Ordovician reservoir distribution in Tarim Basin

武系-奥陶系海相油气系统是奥陶系碳酸盐岩最主要的油气富集成藏条件。

2 油气藏富集规律与主控因素

2.1 油气分布特征

塔里木盆地奥陶系碳酸盐岩油气显示丰富,但勘探发现的油气田相对集中。

1) 平面分布特征

已发现的油气田(藏)主要沿环满加尔坳陷西缘分布,并呈现远源区为油、近源区为气的特点,具有大面积分布、流体分布复杂、油藏类型多样的特征。如以塔河油田为代表的沙雅隆起油气富集区和以塔中-顺南-古城地区为代表的天然气富集区。此外,在巴楚隆起-麦盖提斜坡等地区发现的和田河气田、玉北油田和巴探5气藏,以及在雅克拉断凸发现的雅克拉奥陶系油气藏,主要沿构造带分布,具有碳酸盐岩潜山型油气藏特征。

2) 纵向分布特征

除部分具有潜山特征的油气藏外,典型的碳酸盐岩缝洞型油气纵向上普遍无统一的油水界面,且油气分布不完全受构造位置高低的控制,具有“立体层楼式”的复式聚集特征(图4)。如塔河油田中、下奥陶统含油气层顶面高差达2 000 m,测试出油气层段距离油藏顶面距离最大可达330 m(塔深3井),且有进一步增大的趋势。

2.2 油气富集主控因素

圈闭是油气富集成藏的基础。碳酸盐岩缝洞型储集体是一种特殊类型的圈闭,往往是以集合体的形式存在,具有大面积连片或成带分布的特征。勘探实践表明,塔里木盆地奥陶系油气富集程度受控于碳酸盐岩储集体发育程度,同时储集体形成期与油气充注期匹配性以及储集体与充注通道的连通程度对成藏有着重要影响。

2.2.1 储集体发育程度是控制油气富集的关键因素

以塔河油田奥陶系为代表的碳酸盐岩缝洞型油气藏勘探开发结果表明,在富油气区,储集体的发育程度是控制油气富集的关键因素。在塔河油田4、6区,岩溶缝洞储集体极为发育,油气聚集远大于局部残丘的高度和面积,且直接钻遇缝洞体的井普遍具有初期日产量高、连续稳产时间长、累计产液量大的特征,如沙48井。而在塔河油田南部,缝洞型储集体发育规模相对较小,部分钻在地震资料显示的大规模储集体之外的井,一般也能见到良好油气显示,虽经大规模酸压改造,但往往仅能获得少量油气,如沙114井等。

2.2.2 储集体形成时期与油气充注期匹配是成藏的关键

圈源匹配是控制油气成藏的关键要素。综合研究

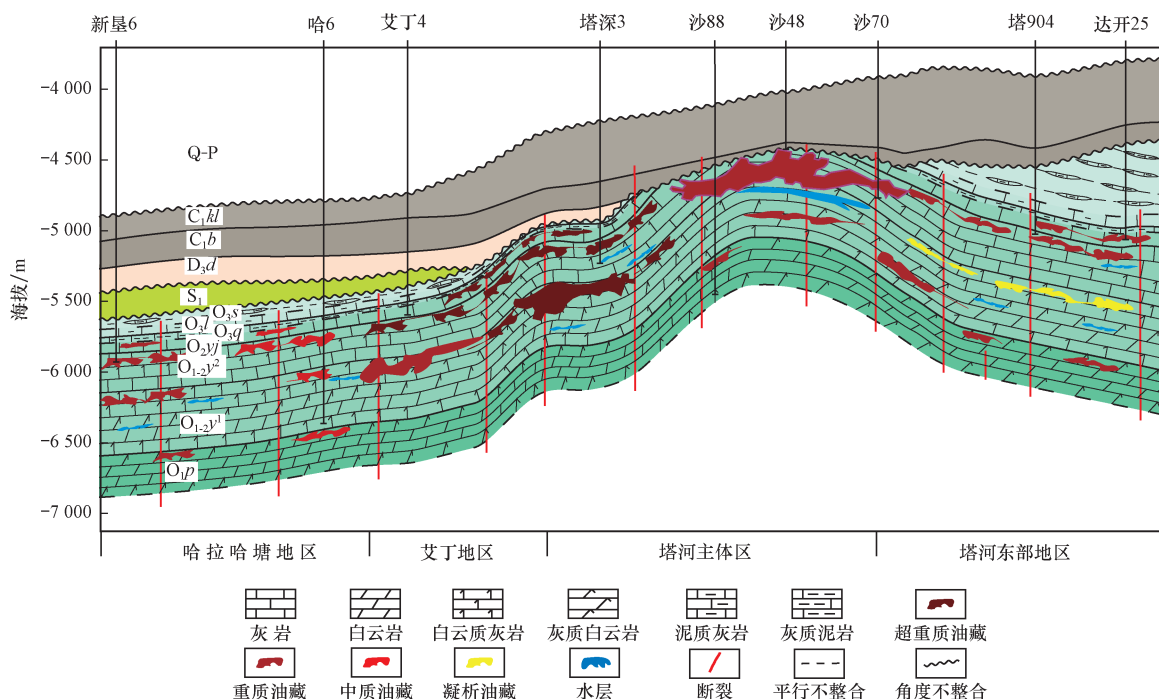


图4 塔里木盆地塔河奥陶系油气藏剖面示意图

Fig. 4 Schematic profile of the Ordovician reservoir in Tahe of Tarim Basin

Q-P. 第四系—二叠系; C_{1kl} . 下石炭统卡拉沙依组; C_{1b} . 下石炭统巴楚组; D_{3d} . 上泥盆统东河塘组; S_1 . 下志留统;

O_{3s} . 上奥陶统桑塔木组; O_{3l} . 上奥陶统良里塔格组; O_{3q} . 上奥陶统恰尔巴克组; O_{2yl} . 中奥陶统一间房组;

O_{1-2y^2} . 中、下奥陶统鹰山组上段; O_{1-2y^1} . 中、下奥陶统鹰山组下段; O_{1p} . 下奥陶统蓬莱坝组

表明,塔里木盆地寒武系—奥陶系生、排烃期为加里东晚期—海西早期、海西晚期和喜马拉雅期,奥陶系缝洞型储集体富集成藏的关键是要与之相匹配。

1) 喀斯特作用控制的储集体形成与油气充注期的匹配

塔里木盆地奥陶系经历的喀斯特作用主要发育在加里东中—晚期和海西早期两大构造活动期,形成了规模庞大的岩溶缝洞系统^[18-20]。加里东中—晚期形成的储集体与晚志留世—早、中泥盆世沉积后寒武系大规模生、排烃相匹配,形成了大规模油气藏,如钻井揭示分布广泛的沥青质,而保存下来古油藏以塔河西北部超重质油藏为代表。海西早期是塔里木盆地奥陶系碳酸盐岩岩溶系统发育最为典型的时期,以塔河主体区为代表,形成了典型的岩溶地貌和地下岩溶系统,该期储集体与石炭纪—二叠纪生、排烃期相匹配。

部分地区奥陶系碳酸盐岩在海西晚期和印支期—燕山期遭受暴露剥蚀,形成了规模大小不等的碳酸盐岩潜山,与喜马拉雅期为主的晚期充注相匹配,如和田河气田^[21]。

2) 裂缝系统控制下埋藏溶蚀缝洞系统的形成与油气充注的匹配

塔里木盆地多为旋回叠合盆地,每期构造运动都可在奥陶系碳酸盐岩中形成了规模不一的裂缝系统,即可构成有效储集空间,也可为溶蚀作用提供渗流通

道。目前已经在塔河油田、塔中油田和麦盖提斜坡等地区或多或少见到了典型的热液活动产物,综合分析认为其形成多与中晚二叠世剧烈岩浆活动相关^[22]。值得一提的是顺南4井气藏,其储集体为典型碳酸盐岩热液溶蚀缝洞体系,主要储集空间为高温流体顺断裂带改造形成的碳酸盐岩溶蚀孔洞、裂缝和孔隙。该类型的储集体成藏均相对较晚,以喜马拉雅期为主。

需要说明的是,碳酸盐岩在漫长的地质时期,始终处于动态演化中,如果构造活动期形成的碳酸盐岩缝洞型储集体不能在紧随其后的埋藏期中充注油气以延缓成岩作用改造,很难长时期保持其形成时的产状^[23]。所以,岩溶缝洞型储集体的形成时期与烃源岩生排烃期相匹配是控制成藏的关键。

2.2.3 储集体与充注通道连通程度对油气富集成藏具有重要影响

构成碳酸盐岩油气充注的关键之一是断裂输导体系。在塔河油田勘探开发实践中,深大断裂带是最主要的油气运移通道,也是油气最富集区。如位于塔河油田16条北东、北西向深大断裂带上的井,虽仅占总井数24%,却贡献了油田80%的产量。但在富油气区带仍会钻到出油气很少或者无油气产出的含水缝洞体,分析主要有两种类型:一种是缺少侧向遮挡条件,影响油气能在储集体内部聚集程度,表现为地层能量

足、出水量大,如沙113井区;另一种是缺少充注通道,表现为地层能量差、出油气或水量少,多为定容性储集体,如托甫34井区。

断裂不但控制着储集体的发育规模,也控制着油气运移聚集。因此,需要辩证地看待断裂在油气成藏中的作用,既要考虑断裂开启时的通道作用,也要分析断裂闭合期的侧向遮挡作用;既要分析断裂的性质和产状,也要研究断裂的活动是否与缝洞体系成藏相匹配性。

2.3 油气成藏规律

综上所述,塔里木盆地奥陶系碳酸盐岩缝洞型油气藏成藏极其复杂,其规律性表现为与烃源岩生排烃期相匹配的、发育在古隆起、古斜坡背景上的岩溶缝洞储集体,或受深大断裂带控制的多成因类型的缝洞型储集体,具有大范围富集成藏的特征,储集体发育程度是控制油气成藏差异的关键因素。

3 勘探方向探讨

综合目前已经认识到的塔里木盆地奥陶系碳酸盐岩的石油地质条件、油气成藏规律和富集主控因素,建议坚持“逼近主力烃源岩,立足大型古隆起、古斜坡,寻找大型油气田”的勘探思想^[1,6-8],坚持在以下几个有利区带开展勘探(图5)。

3.1 逼近主力烃源区,追踪深大断裂带,谋求导向性突破

1) 环满加尔坳陷寒武系-奥陶系含油气系统

在该含油气系统中,存在两大勘探领域,一是沙雅隆起中、下奥陶统上部缝洞型储集体,已经发现了塔河油田、轮南油田、哈拉哈塘油田等一批大中型油气田,鉴于隆起北部中石化探区已经基本完成了探明,下一步的主要方向是向满加尔烃源区方向,寻找受断裂带控制的规模性轻质油气田(藏),有利勘探目标主要集中在顺托果勒低隆北部地区(顺托1井区);二是顺南-古隆地区,目前多口井已经发现天然气藏,虽然储集体发育规模存在一定风险,但该区具有优越的烃源岩和盖层条件,只要能准确识别和预测规模性储集体,应该能在该领域实现“发现塔里木盆地海相大型天然气田”的战略构想。

2) 阿瓦提坳陷寒武系-奥陶系含油气系统

这是一个根据乌鲁桥油苗、柯坪露头萨尔干组烃源岩和区域成藏构造演化背景推测而来的含油气系统,尽管近期针对该领域部署的阿北1井、顺北1井未能取得突破,但从跃参-英买地区勘探态势来看,该系统具有一定的勘探价值。因此,中石化探区有利勘探目标可能主要是在阿北-顺北地区和阿东地区顺断裂带发育的具有一定资源规模的碳酸盐岩缝洞型储集体。

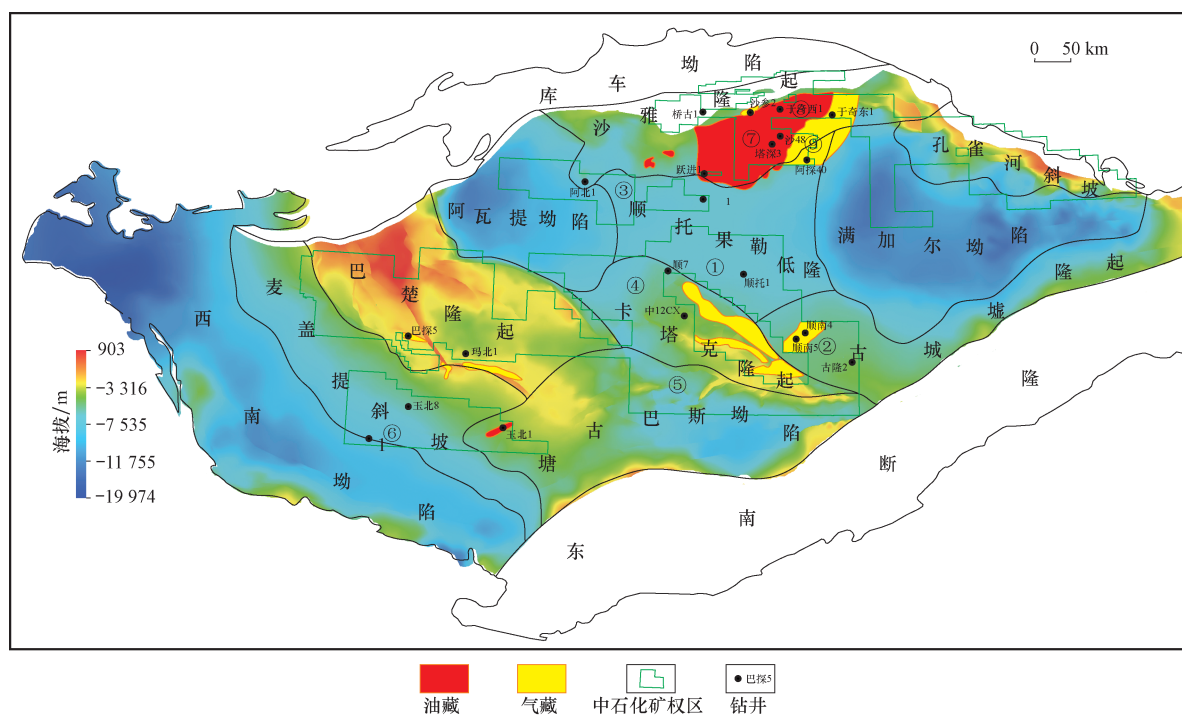


图5 塔里木盆地奥陶系中石化探区有利勘探区带分布

Fig. 5 Favorable exploration area of the Ordovician in Sinopec's exploration area in Tarim Basin

①顺托电动机勒低隆北部地区;②顺南-古城地区;③阿北-顺北地区;④阿东地区;⑤塔中南坡地区;⑥玉北地区中部;
⑦塔河地区;⑧于奇地区;⑨阿克库勒凸起东南斜坡带

3) 塔西南寒武系-奥陶系含油气系统

这是基于玉北油田、巴什托油气田、和田河气田及巴麦地区多个油气藏,并利用地球物理资料推测的含油气系统,有效成藏期主要为海西晚期。针对该含油气系统,主要的勘探思路是寻找海西早期及以前形成的古油藏或者古油藏调整后聚集成藏的次生油气藏。从当前认识到的地质条件来看,有利勘探方向有两个:一是塔中南坡中、下奥陶统碳酸盐岩,建议针对大型构造目标发育区先部署三维地震,落实储集体后实施预探;二是玉北地区中部,该区奥陶系碳酸盐岩具备在海西早期岩溶作用下,发育一定规模岩溶缝洞型储集体的相对有利条件,建议沿断裂发育带先部署三维地震,落实储集体后再实施预探。

3.2 立足三大成藏期,锁定隆起和斜坡区,培育大型油气田

从勘探实践来看,与三大成藏期相匹配的古隆起、古斜坡仍是培育大型油气田的首要地区。

1) 塔河地区

近期勘探实践显示,塔河地区奥陶系深层领域可能是实现在“老油区”发现新类型的主要方向。主要目标类型有四个。

① 加里东中、晚期形成的深部碳酸盐岩岩溶缝洞系统

其成藏过程可能与塔河油田北部超重质油藏相类似,在加里东晚期-海西早期纵向强充注的背景下,可能形成规模较大的古油藏。综合分析来看,塔河油田西北部整体位于加里东晚期-海西早期古隆起背景上,具有有利的成藏条件,是勘探的有利方向之一。

② 海西早期形成的深部碳酸盐岩岩溶缝洞型储集体

其成藏过程与塔河油田中部地区中-重质油藏相类似,在海西晚期充注背景下,可形成一定规模的油气藏。综合分析认为,阿克库勒凸起轴部深层储集体发育和成藏条件相对有利,是优先部署的方向。

对于上述两个领域,建议加大深层碳酸盐岩储集体形成的地质条件和发育模式研究,努力将其培育成塔河油田未来勘探开发接替层系。

③ 于奇地区中、西部

该区在加里东晚期-海西早期形成了规模较大的油藏,但在后期构造演化中,大部分地区因强烈的剥蚀作用而消亡,仅在保存条件较好的地区残存了少部分的超重质油藏,如于奇5井区。但近期于奇西1井获得了轻质油的发现,表明该区存在喜马拉雅期的充注,虽然目前对该井的成藏模式存在争议,但若将其与雅克拉气藏联系在一起,则可推测该区表层风化壳之下具

有独立封闭系统的碳酸盐岩缝洞型储集体,可能在喜马拉雅期获得一定规模的充注,因此该领域可能是一个培育新型油气田(藏)的重要方向。

④ 阿克库勒凸起东南斜坡带

该领域包括塔河南盐下、塔河9区和于奇东地区,已经发现了多个油气藏,以培育凝析油气藏群为主要方向,但油气水分布极其复杂,勘探工作需要稳步推进。

2) 顺南-古隆地区

该区已经实现了天然气勘探的导向性突破。建议坚持沿大型断裂带及派生断裂系统,以地震资料显示的规模性碳酸盐岩缝洞体为当前主要勘探目标,逐步甩开勘探评价,有望培育成以缝洞型储集体为主的天然气田(藏)群。

4 结论

1) 塔里木盆地奥陶系碳酸盐岩缝洞型储集体发育模式决定了在其内部所形成的油气田(藏)具有大面积连片或成带分布的特征。

2) 塔里木盆地奥陶系碳酸盐岩非常致密,在成岩作用的不均匀改造作用下,靠其自身条件就可以形成有效圈闭。圈闭系统的复杂性是造成了碳酸盐岩缝洞型油气藏复杂多变的主要因素。

3) 塔里木盆地奥陶系碳酸盐岩缝洞型油气藏成藏极其复杂,其规律性表现为与烃源岩生排烃期相匹配的、发育在古隆起、古斜坡背景上的岩溶缝洞储集体,或受深大断裂带控制的多成因类型的缝洞型储集体,具有大范围富集成藏的特征,储集体发育程度是控制油气成藏差异的关键因素。

4) 塔里木盆地奥陶系碳酸盐岩油气勘探仍需长期坚持“逼近主力烃源岩,立足大型古隆起、古斜坡,寻找大型油气田”的勘探思想。塔河油田深层奥陶系和顺南-古隆地区奥陶系是当前培育大中型油气田(藏)的最现实的目标方向。

参 考 文 献

- [1] 康玉柱. 中国海相油气田勘探实例之四塔里木盆地塔河油田的发现与勘探[J]. 海相油气地质, 2005, 10(4): 31-38.
Kang Yuzhu. Cases of discovery and exploration of marine fields in China (Part4): Tahe Oilfield in Tarim Basin [J]. Marine Oil and Gas Geology, 2005, 10(4): 31-38.
- [2] 金之钧. 中国典型叠合盆地与油气成藏研究新进展-以塔里木盆地为例[J]. 中国科学, 2004, 34(增刊1): 1-12.
Jin Zhijun. China's new progress in research on typical superimposed basins and hydrocarbon accumulation in tarim basin as an example [J]. China Science, 2004, 34(1): 1-12.
- [3] 金之钧. 中国典型叠合盆地油气成藏研究新进展(之二)-以塔里木盆地为例[J]. 石油与天然气地质, 2006, 27(3): 281-294.

- Jin Zhijun. New progresses in research of China's typical superimposed basins and reservoiring of hydrocarbons (Part II): taking Tarim basin as an example [J]. Oil & Gas Geology, 2006, 27(3): 281–294.
- [4] 汪泽成, 赵文智, 胡素云, 等. 我国海相碳酸盐岩大油气田油气藏类型及分布特征 [J]. 石油与天然气地质, 2013, 34(2): 153–160.
- Wang Zecheng, Zhao Wenzhi, Hu Suyun, et al. Reservoir types and distribution characteristics of large marine carbonate oil and gas fields in China [J]. Oil & Gas Geology, 2013, 34(2): 153–160.
- [5] 陶崇智, 白国平, 王大鹏, 等. 塔里木盆地与威尔斯盆地古生界海相碳酸盐岩油气成藏特征对比 [J]. 石油与天然气地质, 2013, 34(4): 431–440.
- Tao Chongzhi, Bai Guoping, Wang Dapeng, et al. A comparison of hydrocarbon accumulation characteristics of the Paleozoic marine carbonates in Tarim Basin and Williston Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2013, 34(4): 431–440.
- [6] 翟晓先. 塔里木盆地塔河特大型油气田勘探实践与认识 [J]. 石油实验地质, 2011, 33(4): 323–331.
- Zhai Xiaoxian. Exploration practice and experience of Tahe giant oil-and-gas field, Tarim Basin [J]. Petroleum Geology Experiment, 2011, 33(4): 323–331.
- [7] 漆立新, 云露, 塔河油田奥陶系碳酸盐岩岩溶发育特征与主控因素 [J]. 石油与天然气地质, 2010, 31(1): 1–12.
- Qi Lixin, Yun Lu. Development characteristics and main controlling factors of the Ordovician carbonate karst in Tahe oilfield [J]. Oil and Gas Geology, 2010, 31(1): 1–12.
- [8] 翟晓先. 塔河大油田新领域的勘探实践 [J]. 石油与天然气地质, 2006, 27(6): 751–762.
- Zhai Xiaoxian. Exploration practices in frontiers of Tahe oilfield [J]. Oil & Gas Geology, 2006, 27(6): 751–762.
- [9] 金之钧, 郑和荣, 蔡立国, 等. 中国前中生代海相烃源岩发育的构造—沉积条件 [J]. 沉积学报, 2010, 28(5): 875–883.
- Jin Zhijun, Zhen Herong, Cai Liguang, et al. Tectonic-sedimentary conditions for development of Pre-Mesozoic marine source rocks in China [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2010, 28(5): 875–883.
- [10] 钱一雄, 何治亮, 陈强路, 等. 塔里木盆地塔中地区奥陶系碳酸盐岩封盖性能 [J]. 石油与天然气地质, 2012, 33(1): 1–9.
- Qian Yixiong, He Zhiliang, Chen Qianglu, et al. Sealing capacity of the Ordovician carbonate rocks in Tazhong area, the Tarim Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2012, 33(1): 1–9.
- [11] 王铁冠, 王春江, 何发岐, 等. 塔河油田奥陶系油藏两期成藏原油充注比率测算方法 [J]. 石油实验地质, 2004, 26(1): 74–79.
- Wang Tieguan, Wang Cunjiang, He Faqi, et al. The Ordovician reservoir in tahe oil field two accumulation oil filling ratio measurement [J]. Petroleum Geology Experiment, 2004, 26(1): 74–79.
- [12] 顾忆. 塔里木盆地北部塔河油田油气成藏机制 [J]. 石油实验地质, 2000, 22(4): 307–312.
- Gu Yi. Reservoirs in Tahe oilfield in northern Tarim Basin accumulation mechanism [J]. Petroleum Geology Experiment, 2000, 22(4): 307–312.
- [13] 王招明, 赵宽志, 邹光辉, 等. 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 [J]. 石油与天然气地质, 2007, 28(6): 797–801.
- Wang Zhaoming, Zhao Kuanzhi, Wu Guanghui, et al. characteristics and main controlling factors of the upper Ordovician reef-bank reservoir development in the Tazhong I slope breakzone [J]. Oil & Gas Geology, 2007, 28(6): 797–801.
- [14] 张水昌, 王飞宇, 张保民, 等. 塔里木盆地中上奥陶统油层地球化学研究 [J]. 石油学报, 2000, 21(6): 23–28.
- Zhang Shuichan, Wang Feiyu, Zhang Baomin, et al. Tarim Basin oil source layer of middle-upper Ordovician geochemical study [J]. Acta Petroleum Sinica, 2000, 21(6): 23–28.
- [15] 张水昌, 张宝民, 李本亮, 等. 中国海相盆地跨重大构造期油气成藏历史—以塔里木盆地为例 [J]. 石油勘探与开发, 2011, 38(1): 1–15.
- Zhang Shuichang, Zhang Baomin, Li Benliang, et al. China Marine basin across major tectonic stage hydrocarbon accumulation history—in the Tarim Basin as an example [J]. Petroleum Exploration and Development, 2011, 38(1): 1–15.
- [16] 黄继文, 顾忆, 丁勇, 等. 塔里木盆地北部地区上奥陶统烃源条件 [J]. 石油与天然气地质, 2012, 33(6): 853–858.
- Huang Jiwen, Gu Yi, Ding Yong, et al. Upper Ordovician source rocks in northern Tarim Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2012, 33(6): 853–858.
- [17] 李天义, 周雁, 方石, 等. 磷灰石裂变径迹年龄测试分析新方法——激光剥蚀—ICPMS 法 [J]. 石油与天然气地质, 2013, 34(4): 550–557.
- Li Tianyi, Zhou Yan, Fang Shi, et al. A new method for apatite fission track dating—the Laser-ICPMS method [J]. Oil & Gas Geology, 2013, 34(4): 550–557.
- [18] 蒋炳南, 姜成生, 王士敏. 塔河油田奥陶系碳酸盐岩油藏勘探技术 [J]. 新疆石油地质, 2002, 23(6): 533–535.
- Jiang Binnan, Jiang Chenshen, Wang Shimin. The Ordovician carbonate reservoir in tahe oilfield exploration technology [J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2002, 23(6): 533–535.
- [19] 康玉柱. 塔里木盆地古生代海相碳酸盐岩储集岩特征 [J]. 石油实验地质, 2007, 29(3): 217–223.
- Kang Yuzhu. Tarim Paleozoic marine carbonate reservoir rock characteristics [J]. Petroleum Geology Experiment, 2007, 29(3): 217–223.
- [20] 刘群, 李海英, 邓光校. 地震断裂检测技术在塔河油田南部碳酸盐岩储层及油藏预测中的应用 [J]. 石油与天然气地质, 2013, 34(2): 202–206.
- Liu Qun, Li Haiying, Deng Guangxiao. Application of seismic fault detection to carbonate reservoir prediction in southern Tahe oilfield [J]. Oil & Gas Geology, 2013, 34(2): 202–206.
- [21] 王招明, 王清华, 王媛, 塔里木盆地和田河气田成藏条件及控制因素 [J]. 海相油气地质, 2000, 5(1–2): 124–132.
- Wang Zhaomin, Wang Qinhua, Wang Yuan. Hotan river of tarim basin gas accumulation conditions and control factors [J]. Marine oil and Gas Geology, 2000, 5(1–2): 124–132.
- [22] 金之钧, 朱东亚, 胡文, 等. 塔里木盆地热液活动地质地球化学特征及其对储层影响 [J]. 地质学报, 2006, 80(2): 245–253.
- Jin Zhijun, Zhu Dongya, Hu Wen, et al. Geological and geochemical characteristics of hydrothermal activity of tarim basin and its effect on reservoir [J]. Journal of Geological, 2006, 80(2): 245–253.
- [23] 罗小龙, 汤良杰, 谢大庆, 等. 塔里木盆地雅克拉断凸中生界底界不整合及其油气勘探意义 [J]. 石油与天然气地质, 2012, 33(1): 30–36.
- Luo Xiaolong, Tang Liangjie, Xie Daqing, et al. Mesozoic bottom boundary unconformity and its significance for hydrocarbon exploration in the Yakela faulted uplift Tarim Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2012, 33(1): 30–36.