

塔里木台盆区碳酸盐岩成藏模式与勘探实践

漆立新, 云 露

(中国石化 西北油田分公司, 乌鲁木齐 830011)

摘要: 油气成藏模式的认识与勘探思路、勘探方向密切相关。通过对塔里木盆地勘探成果及认识回顾, 建立和丰富了塔里木台盆区油气成藏模式, 展现了勘探思路和认识的转变过程。台盆区勘探经历了从潜山构造型向古隆起(古斜坡)岩溶缝洞型的转变, 通过解析成藏条件和成藏特征, 建立了塔河油田“古隆起—古斜坡岩溶缝洞型复式成藏模式”, 形成了塔里木盆地海相碳酸盐岩油气成藏理论; 顺北油气田的发现和扩大, 与“超深断溶体复式成藏模式”的建立有关, 实现了从古隆起(古斜坡)向低部位“禁区”的空间拓展和勘探突破; 通过解析定义超深断溶体油气藏, 创新形成了超深断溶体油气成藏理论, 建立了塔里木盆地台盆区的隆起—斜坡+腹部断溶体的海相油气复式成藏的完整模式, 丰富了中国海相碳酸盐岩油气成藏理论, 为明确下步油气勘探指明了方向。

关键词: 成藏模式; 勘探方向; 台盆区; 塔里木盆地

中图分类号: TE122.3

文献标识码: A

Carbonate reservoir forming model and exploration in Tarim Basin

QI Lixin, YUN Lu

(Northwest Oilfield Branch Company, SINOPEC, Urumqi, Xinjiang 830011, China)

Abstract: The understanding of oil and gas accumulation patterns is closely related to exploration ideas and directions. Through the exploration results and knowledge review of the Tarim Basin, a hydrocarbon accumulation model in the Tarim Basin has been established and a transformation of exploration ideas and knowledge has been demonstrated. Buried hill structure model transformed to paleo-uplift (paleo-slope) karst fracture-cavity model. By analyzing the accumulation conditions and characteristics, a “paleo-uplift and paleo-slope karst fracture-cavity complex reservoir formation model” was established in the Tahe Oilfield providing a marine carbonate oil and gas accumulation model in the Tarim Basin. The discovery and expansion of the Shunbei oil and gas field is related to the establishment of the “super deep fault-karst complex accumulation model”, which has achieved spatial expansion and an exploration breakthrough from the paleo-slope to the “forbidden area” in the lower location. Analysis of an ultra-deep fault-karst oil and gas reservoir provided the basis for a model of an uplift-slope + hinterland fault-karst of the platform basin in the Tarim Basin. The complete marine hydrocarbon accumulation model has enhanced the theory of marine carbonate oil and gas accumulation in China and pointed out a direction for future oil and gas exploration.

Key words: accumulation model; exploration direction; basin area; Tarim Basin

近几年塔里木盆地超深层海相油气勘探不断取得重大突破^[1-4]。回顾塔里木盆地勘探史, 有助于进一步认识塔里木盆地深层—超深层油气成藏规律^[5]。塔里木盆地油气勘探经历了几起几落的曲折过程^[6], 与成藏模式的认识密切相关。一个盆地的油气勘探大多是从油气显示着手, 勘探初期, 围绕盆缘油苗找油, 发现了柯坪地区石炭系—二叠系大量油气显示, 烃源岩评价表明下二叠统是最好的生油岩, 石炭系也发育良好的生油岩。在盆

地早期勘探认识指导下, 勘探目的层主要聚焦中、新生界。随着 1984 年沙参 2 井海相古生界油气勘探的突破^[7], 勘探工作由盆缘转向盆地古潜山领域, “异地烃源侧向运移成藏”; 1996 年沙 48 等井在古隆起(古斜坡)区突破, 勘探工作转向阿克库勒鼻凸古岩溶领域; 2015 年实现了平缓构造低部位顺北超深层奥陶系油气藏的发现突破, 成藏模式认识也相应发生了明显改变(图 1)。

实践表明, 每一次烃源岩和成藏模式的认识转

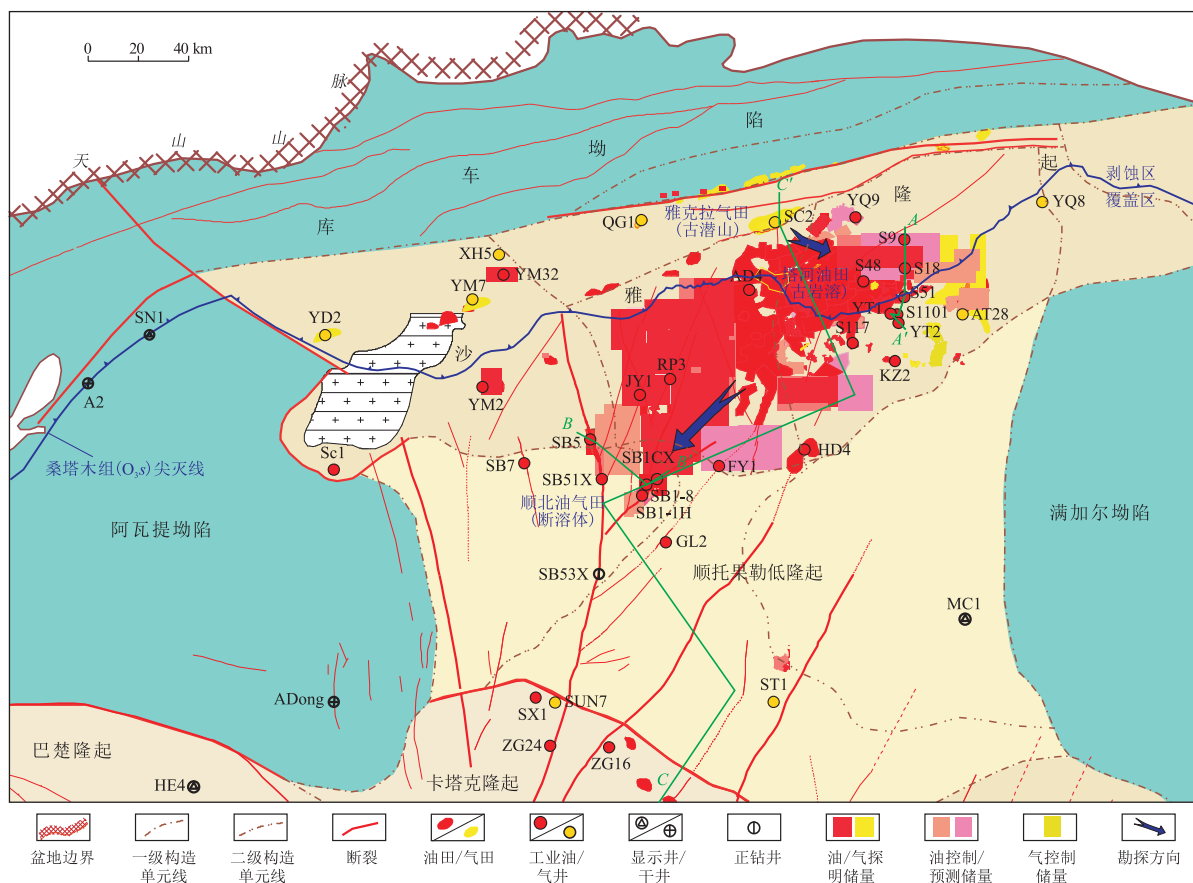


图 1 塔里木盆地碳酸盐岩领域勘探概况

Fig.1 Exploration in carbonate fields, Tarim Basin

变都会直接或间接地推进勘探大突破与大发现进程。从烃源岩研究认识和成藏模式的转变看塔里木盆地勘探历程及勘探油气成果的取得,有利于真实展现勘探思路的转变过程。本文立足于 1984 年以来勘探生产实践和寒武系—奥陶系烃源岩分布演化及其认识转变过程,对塔里木盆地台盆区复式成藏模式的形成和实践意义进行总结,为台盆区下一步油气勘探方向和领域决策提供参考依据。

1 台盆区勘探成果与认识

1984 年 9 月 22 日,沙参 2 井在奥陶系白云岩中钻遇高产油气,实现了中国古生界海相油气的首次重大突破,既是中国石化西北油田分公司进疆后的第一个里程碑,同时也是中国油气勘探史上重要的里程碑^[7]。但沙参 2 井奥陶系海相油气突破后的展开勘探却遇到了难题,即对油气来源、成藏模式等产生了较大的争论。归根结底归结于沙参 2 井奥陶系油源是海相还是陆相?是海相寒武系—奥陶系还是石炭系—二叠系?“七五”国家科技攻关研究基本明确了沙参 2 井油气的海相属性,初步认为来自于上古生界海相石炭系—二叠系,同

时明确提出要对下古生界寒武系—奥陶系烃源岩开展研究。

1986 年—1990 年短短 4 年间,塔北地区共计在前震旦系、震旦系、奥陶系、石炭系、三叠系、侏罗系、白垩系、古近系等 8 大层系中见到油气显示或高产油气^[8]。其中沙 14、沙 18 和英买 1 井等在古生界奥陶系碳酸盐岩中获得了高产油气流。在此期间,提出全盆“三隆四坳”、阿克库勒凸起是大型北东向鼻状凸起,具备良好油气成藏条件等认识,但烃源岩层系认识存在以寒武系—奥陶统^[9]为主还是上奥陶统^[10]或石炭系^[11]为主的争议,塔北地区勘探进入以中生界为主、古生界多层系兼顾立体勘探的新阶段。1989 年—1997 年,塔里木盆地的油气勘探不唯目的层论,相继以轮南地区奥陶系、三叠系、侏罗系,吉拉克、塔中石炭系,牙哈白垩系—古近系为主要目的层,扩大雅克拉,东西展开,注意中、浅层油气发现,至 1995 年底实现了油气连续突破,相继在 8 个层系发现了雅克拉、轮台、阿克库木、阿克库勒等 10 个油气田^[12]。这一系列重大油气突破,进一步拓宽了勘探者的视野,也充分揭示出在塔北沙雅隆起的广大地域内蕴藏着丰富的

油气资源,为构筑立足于克拉通古隆起、古斜坡、沿构造带的勘探指导思想奠定了理论与实践基础。

1996年西北油田分公司针对海西早期古侵蚀面之下奥陶系碳酸盐岩勘探领域部署的沙46井、沙47井、沙48井分别获高产稳产工业油气流,塔河奥陶系油气藏的发现成为台盆区海相油气勘探的第二个里程碑,从而引发对碳酸盐岩古岩溶缝洞型油气藏特征的全面认识^[13]。在这期间,随着勘探和研究的深入,逐步提出并明确了塔里木盆地海相油气勘探思路^[14],即围绕满加尔坳陷区的古隆起、古斜坡勘探。特别是处于构造低部位的沙64井奥陶系油气柱高度在250 m以上,直接证明了塔河奥陶系油气分布不受潜山或残丘高点控制,而受古隆起、古斜坡储层发育控制^[15]。这个阶段主要取得以下研究认识:(1)塔河地区奥陶系碳酸盐岩长期处于隆起、斜坡部位,奥陶系风化壳岩溶缝洞为主要储集层和油气侧向运聚通道,以满加尔坳陷寒武系—奥陶系为动力烃源岩,多期生排烃,是油气运移的长期指向区;(2)喀斯特岩溶储层的发育控制了塔河地区油气富集,加里东—海西早期表生岩溶作用形成了塔河主体区岩溶缝洞型储层,塔河奥陶系油气藏有效成藏期为海西晚期、印支—喜马拉雅期^[16];(3)加里东中期岩溶的发现极大拓展了碳酸盐岩勘探面积,同时,断穿奥陶系的断裂为上覆石炭系、三叠系、白垩系储层提供了良好运移通道,形成碎屑岩次生油气藏。在上述认识指导下,奥陶系勘探领域进一步扩大到艾丁—于奇西等地区^[17],突破了古油藏区域盖层的认识。自下而上形成了奥陶系鹰山组裂缝—溶蚀孔洞型、一间房组裂缝—溶蚀孔隙型、良里塔格组裂缝—溶蚀孔洞型储层,志留系、泥盆系、石炭系、三叠系、白垩系、古近系碎屑岩孔隙型储层的多层系、多领域立体勘探格局,进一步拓展了塔河油田油气勘探纵横空间和类型。

2010年以来,中国石化西北油田分公司开展了系统的全盆编图工作。通过对盆地构造演化、原型盆地分析与恢复、沉积相及岩相古地理编图等综合研究,2013年—2014年逐步确定了寒武系主力烃源岩的分布和演化,明确提出寒武系烃源岩不仅限于环满加尔坳陷区分布,寒武系下统玉尔吐斯组优质烃源岩发育广、生烃潜力巨大^[2],坚定了顺托果勒地区的勘探。2015年顺北油气田发现,实现了“塔河之外找塔河”的战略构想,开启了继沙参2井突破和塔河油田发现之后油气勘探的第三个里程碑^[18]。油源对比表明,台盆区海相油气整体来源于

中下寒武统主力烃源岩^[2,19]。2016年以来,立足寒武系玉尔吐斯组烃源岩分布和“抑制生烃”演化模式研究^[20],明确提出本地生烃、垂向运聚,明确了顺北地区具有“原地烃源、断裂输导、晚期成藏”特征,主要成藏期为海西晚期—喜马拉雅期,实现了碳酸盐岩构造平缓低部位油气勘探的突破。

根据塔北碳酸盐岩油气勘探实践^[21],塔北海相油气具有断裂多期活动、烃源岩多期供烃的多期成藏特征,造成塔北奥陶系由斜坡至隆起高部位地表原油密度逐渐增大、原油成熟度由高至低的油气分布特征。塔河勘探实践中,建立了“古隆起—古斜坡岩溶缝洞型复式成藏模式”,形成了多层系、多领域立体含油的勘探局面。2016年以来,针对长期处于构造低部位被视作勘探“禁区”的顺托果勒低隆,通过烃源分布与演化、储层成因机制与成藏解剖和成藏机理研究,建立了“超深断溶体复式成藏模式^[2]”,明确了超深断溶体油气藏新类型及其勘探潜力^[1],形成了下古生界碳酸盐岩走滑断裂控储、控藏、控富的油气分布新认识。

2 油气成藏模式的建立与实践意义

我国东部陆相断陷盆地经过多年的勘探实践,逐步形成了以“陆相生油”、“源控论”为代表的陆相石油地质理论^[22]。渤海湾陆相断陷盆地提出“复式油气聚集带理论”^[23]。针对中国西部海相多旋回盆地也提出了复式油气系统^[24]、油气成藏体系^[25]、成藏动力学^[26]等系统研究方法,复式油气成藏是海相多旋回叠合含油气盆地的重要特点。勘探成果表明,塔河油田是一种复式立体油气藏^[27]。由于塔里木多旋回叠合盆地具有多期构造运动、多套储盖组合、多个含油气系统、多期成藏和油气调整再分配的地质特点,致使油气藏类型繁多,形态各异,构造、地层、岩性等油气藏应有尽有。在油气分布上,由于产出层位广泛,纵向上含油气层可多层叠置,横向上可以成片分布(奥陶系),油气在各种圈闭的控制下富集成藏,表现为多期成藏的奥陶系原生油气藏叠加上覆碎屑岩次生油气藏的成藏特征(图2)。

2.1 古隆起—古斜坡岩溶缝洞型复式成藏模式

2.1.1 低地温、多套烃源、多期构造运动是持续生烃、多期成藏的重要条件

塔里木盆地台盆区长期处于冷盆状态,烃源岩油气生成、演化的速度较低。长期的地质演化历史中第一个较高地温期出现在寒武纪—奥陶纪,地温梯度可高达 $3.0\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{hm}$;第二个较高地温期发生

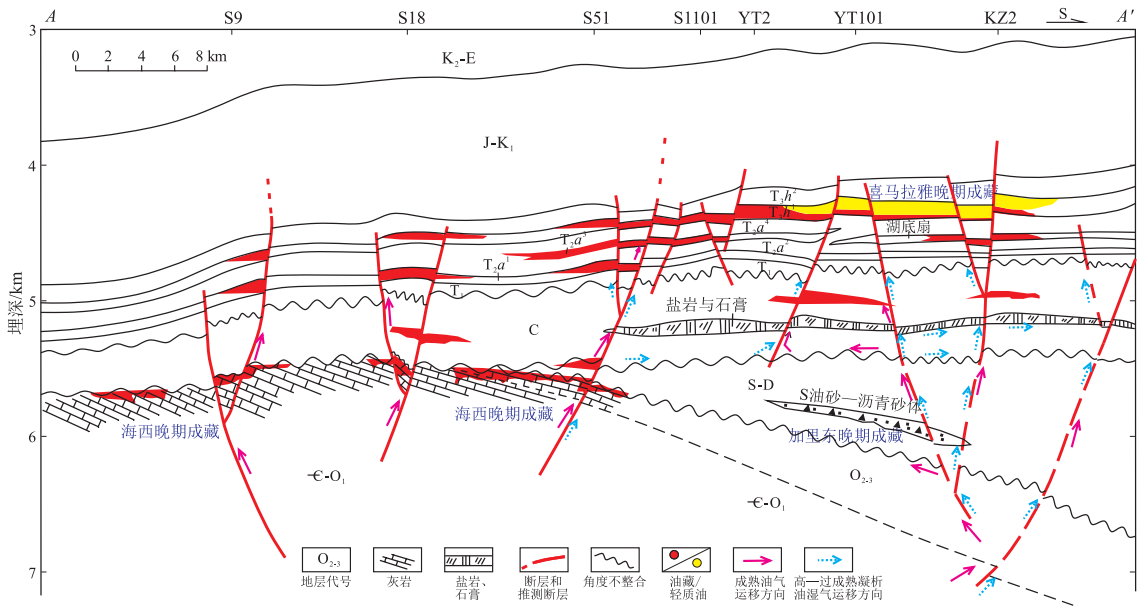


图 2 塔里木盆地塔河油田复式立体成藏模式剖面位置见图 1。

Fig.2 Three-dimensional accumulation mode of Tahe Oilfield, Tarim Basin

在二叠纪,地温梯度可高达 $3.5\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{hm}$;中生代以来为缓慢的降温期,喜马拉雅期以后,盆地降温较快。目前地温梯度普遍为 $1.8\sim 2.5\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{hm}$ 。盆地东部、中部与西部地温史存在一定差异。不同层位烃源岩从坳陷、缓坡、隆起地温史差异演化,形成了对应成熟度、对应规模、对应期次的油气供烃格局。

主力烃源岩热演化特征宏观上控制了原生油气藏流体性质及油气平面分布。塔北海相原生油气藏类型以轮台断裂为界,以北油气藏类型较为单一,为凝析气藏;以南则具有自东南向西北由凝析气藏转变为超重质油藏、油质逐渐变差的趋势。超重质油藏的覆盖范围较小,主要分布在塔河油气田西北部以及哈拉哈塘的东北部区块;重质油藏及中质油藏分布在塔河的主体区块、哈拉哈塘的北部及英买力南部区块;轻质油藏覆盖范围相对较广,主要分布在塔河油田西南斜坡带、哈拉哈塘油田;挥发性油藏及凝析气藏主要分布在阿克库勒凸起东南斜坡带、哈拉哈塘凹陷的南部及顺托果勒北部区块^[28]。这种海相原生油气藏流体性质及相态分布与烃源区热演化相一致。

2.1.2 古隆起及古斜坡带是油气侧向运移、聚集和富集的有力部位

塔里木盆地勘探研究表明,古隆起、古斜坡是油气聚集成藏的有力部位。沙雅隆起加里东期整体抬升形成锥形,不同构造部位经历了海西早期、海西晚期及印支等不同强度的隆升剥蚀、沉降转换和岩溶改造,构造高部位发育的岩溶储层为油气侧向

运聚提供了通道。满加尔坳陷区寒武系—奥陶系烃源岩、奥陶系碳酸盐岩长期岩溶储层、区域分布的下石炭统巴楚组泥岩及奥陶系碳酸盐岩岩溶不发育的致密层盖层,形成了该区生、储、盖的最佳组合。

塔里木盆地经历了多旋回构造演化过程,主要发育塔北残余型古隆起、塔中稳定型古隆起和巴楚反转型古隆起 3 个古隆起^[29]。从已发现的海相油气田(藏)来看,塔北隆起及塔中隆起区是油气主要富集区,这两大古隆起区均紧邻烃源区,作为盆地内的正向构造单元,纵横向邻近生烃区,具有近水楼台先得月的优势,是油气运移聚集的有力部位^[30]。另外满加尔坳陷及周缘这个长期、稳定的寒武系—奥陶系烃源供给区在加里东期、海西期、喜马拉雅期等具有多期、油气接替生排过程,而继承性古隆起古斜坡带始终是油气侧向运聚的有力指向区。

加里东—海西期岩溶储层的形成及其储集性能的改善为油气聚集提供了可容空间和运聚通道^[31-32];中下寒武统烃源岩海西晚期全线进入生油高峰期—高成熟期与海西晚期成藏的油气相匹配,具有古隆起背景的克拉通区是油气藏形成的另一个重要条件。

2.1.3 多期岩溶形成了纵横交错、准层状分布的缝洞型有利储集体

自加里东期运动以来,阿克库勒凸起奥陶系碳酸盐岩经历了加里东早期 I 幕、加里东早期 II 幕、加里东中期 I 幕和加里东中期 II 幕层间岩溶,以及

强烈的海西早期岩溶,形成了准层状广泛分布的多层岩溶缝洞型储层^[13]。塔河的勘探实践证明,纵横向发育的古岩溶缝洞型储层是亿吨级塔河奥陶系油气藏形成的重要条件之一。

2.1.4 非构造圈闭是主要的圈闭类型

古生界区域不整合面是岩溶发育面,也是油气侧向运移通道。 T_5^0 区域不整合面与 T_6^0 区域不整合面是古生界海相油气 2 个最重要的油气侧向运移面。塔河奥陶系不整合—古岩溶缝洞型圈闭就是受控于 T_6^0, T_7^0 油气汇聚面的大型非构造圈闭。

2.1.5 油气成藏系统的演化控制了油气藏特征

塔里木海相古生界油气受上奥陶统盖层形成、海西早期抬升剥蚀,下石炭统盖层及三叠系—侏罗系、下白垩统盖层封闭性的形成演化,先后经历了加里东晚期—海西早期先封闭后开放、海西晚期—燕山早期半封闭—封闭、喜马拉雅晚期盆地整体封闭过程。在加里东期油气成藏后遭严重破坏,海西晚期—燕山早期高成熟油气的聚集对前期重质油藏的改造,喜马拉雅期高一过成熟油气的聚集(前者如 9 区、后者如东达里亚)。多次封闭系统的开放,形成了海相重质改造原油藏;喜马拉雅期整体封闭形成了轻质油气藏和天然气藏^[16]。

2.2 超深断溶体成藏模式

2.2.1 本地有效烃源岩和大型通源走滑断裂的发育是垂向运聚成藏的必要条件

顺北奥陶系油气勘探实践表明,顺北本地发育

寒武系玉尔吐斯组烃源岩,该区处于寒武纪早期缓坡型烃源岩沉积区域,后期发育通源走滑断裂,储层以“断溶体”为主。顺北—塔河油气地球化学精细对比表明油气均来自于海相寒武系烃源岩^[19],顺北油气藏为晚期原生气藏,区别于塔河油田主体为残留—改造油藏^[28]。得益于塔北地区三维地震资料,走滑断裂能很好地分辨与解释^[33],大型通源走滑断裂在成藏过程中起重要作用^[34],晚期油气沿断裂带运聚并改造早期油气藏,主要成藏期为海西晚期—喜马拉雅期,不同期生成油气沿通源断裂垂向运聚至“断溶体”中富集成藏(图 3),具有“原地烃源、晚期成藏、断裂控富”总体特征。

2.2.2 断裂是否通源及活动期控制了油气成藏模式与不同成藏期油气藏的分布

不论异地烃源侧向(横向)运移成藏模式还是本地烃源区,通源断层是垂向运聚成藏模式的主要输导途径,断裂是否通源决定了是否成藏及其规模,通源断裂活动期控制了不同成藏期油气藏的分布。在古隆起、古斜坡区也存在本地烃源、垂向运聚成藏。寒武系玉尔吐斯组烃源岩分布广,本地烃源垂向通源断裂发育区具备本地烃源、垂向运聚成藏条件。在本地烃源发育区,碎屑岩层系也可由通源断裂形成原生气藏。

2.2.3 超深断溶体油气藏成藏特征

超深断溶体油气藏发育在构造低部位,平缓、

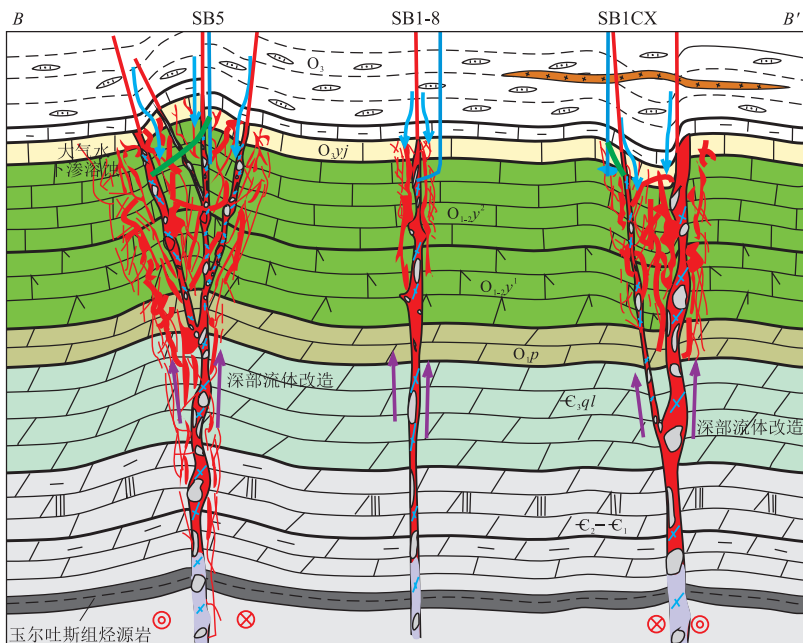


图 3 塔里木盆地顺北超深层断溶体复式成藏模式剖面位置见图 1。

Fig.3 Compound reservoir-forming model of ultra-deep fault solution in Shunbei, Tarim Basin

厚层致密走滑断裂带内部,以构造破裂作用叠加晚期埋藏流体改造形成的裂缝—洞穴型中、下奥陶统碳酸盐岩为产层^[35],以上奥陶统泥岩、致密灰岩为封盖层,原地烃源高温高压下“幕式泄压排烃”和“断控富集成藏”垂向运移为主^[2]。同时,基于多属性主向量分析和频谱分解技术对断层和溶洞进行精细刻画解释^[36],建立了超深层碳酸盐岩断溶体储层的特征及识别模式^[37]。

超深断溶体油气藏有三大特点:①油气沿通源走滑断裂带分布;②油藏埋深大(>7 300 m),纵向穿层、不受构造控制;③油气柱高度大(>510 m),横向分割性强,无统一油水界面。

2.2.4 超深断溶体成藏模式

顺北奥陶系的勘探实践和综合研究建立了走滑断裂带集“控储、控输、控藏、控富”四位一体的“寒武多期供烃,高压抑制生烃,幕式泄压排烃,构造破裂控储,断裂缝网通道,垂向泵式输导,断溶体圈闭,晚期原生油藏,走滑断裂控富”超深断溶体成藏模式。该模式的建立,突破了断裂带仅能形成裂缝与主要作为油气运移通道的传统认识^[38],指出构造低部位的顺北中奥陶统构造平缓区,致密的碳酸盐岩沿断裂带平面叠接分段形成良好侧封和顶封条件,平缓构造背景下奥陶系碳酸盐岩可形成断控型裂缝—洞穴型储层,提出了走滑断裂带可

形成不同于塔河岩溶缝洞型,以规模性裂缝—洞穴型储集体为主的超深断溶体油气藏。本地烃源走滑断裂带“控储、控输、控藏、控富”的新类型与新模式,实现了从古隆起、古斜坡向坳陷鞍部低部位“禁区”的空间拓展和突破,有望形成塔北—塔中下古生界碳酸盐岩连片含油气的新格局^[18]。

“超深断溶体复式成藏模式”的建立,丰富了中国海相油气成藏理论:①发现了全世界商业开发的最深的油藏,丰富了深层油藏形成、保存机制;②独特的断控缝洞型储层与成因机制^[39],丰富了海相超深碳酸盐岩储层形成机制;③国际少有、国内仅有的新类型油藏,丰富了海相油气勘探类型,实现了由早期古隆起潜山,逼近主力烃源岩,围绕古隆起、古斜坡岩溶缝洞,寻找大油气田,向低部位超深断溶体油气勘探的拓展,即立足原地烃源岩,在构造低部位,沿通源走滑断裂带寻找晚期原生油气藏的拓展,建立了塔里木盆地台盆区的隆起—斜坡+腹部断溶体的海相油气复式成藏完整模式(图 4)。

3 勘探方向与领域

基于以塔河油田为代表的“古隆起—古斜坡岩溶缝洞型复式成藏模式”和以顺北油气田为代表的“超深断溶体成藏模式”在塔里木盆地台盆区碳酸盐岩领域的勘探实践,转变了邻区的勘探思

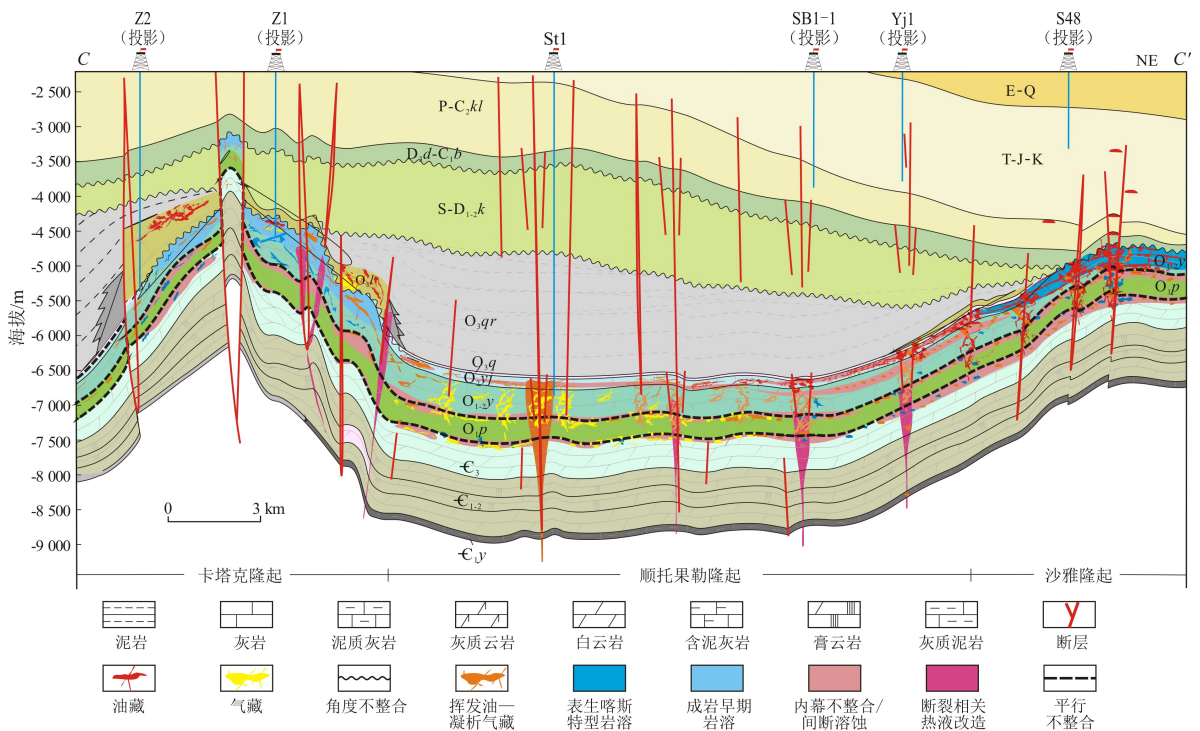


图 4 塔里木盆地台盆区复式成藏模式示意剖面位置见图 1。

Fig.4 Compound reservoir forming model in basin area of Tarim Basin

路,也推动了深层—超深层勘探技术的进步,部分地区已取得显著成效,展现了良好的势头。

“逼近主力烃源岩,围绕古隆起古斜坡,寻找大油气田”是勘探方向之一;“立足原地烃源岩,在构造低部位,沿通源走滑断裂带,寻找晚期原生油气藏”进一步解放了思想,拓展了勘探领域。

中国西部盆地均具有发育走滑断裂体系的地质条件,“超深断溶体成藏模式”可为走滑断裂带相关的油气勘探提供理论指导和技术支撑,推广前景广阔(图5)。塔里木盆地震旦系—寒武系烃源发育区,只要具备通源断裂和晚期成藏供烃条件,都值得勘探(图6)。

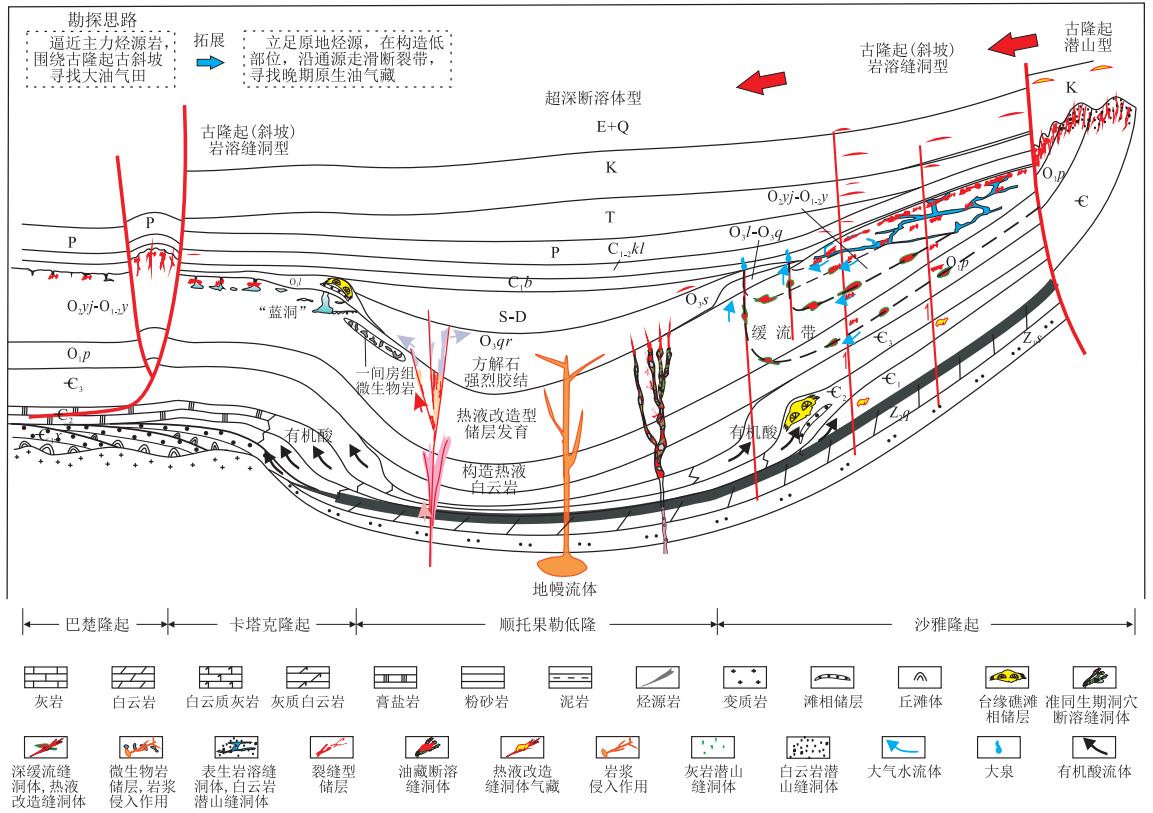


图5 塔里木盆地成藏模式与勘探思路的转变示意

Fig.5 Transformation of accumulation mode and exploration ideas in Tarim Basin

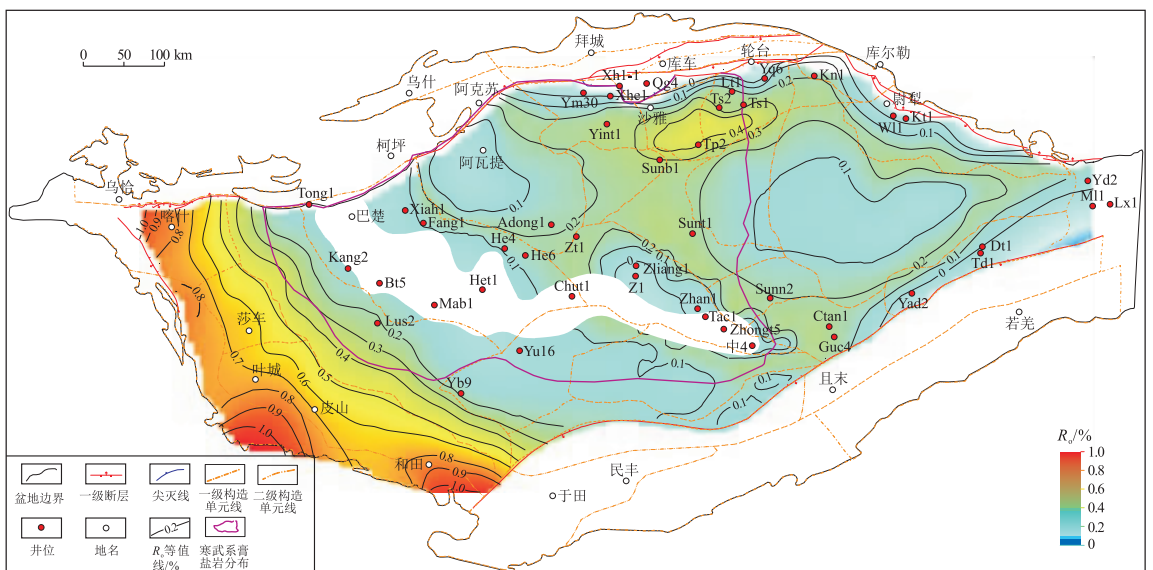


图6 塔里木盆地地下寒武统玉尔吐斯组烃源岩燕山晚期—喜马拉雅晚期热演化成熟度差异与膏盐岩分布叠合

Fig.6 Difference of thermal evolution degree of Lower Cambrian Yuertusi source rocks during late Yanshanian-Himalayan and distribution of salt rocks in Tarim Basin

研究表明,寒武系—奥陶系海相主力烃源岩在喜马拉雅期仍具生烃潜力,寒武系盐下(塔北—塔中、塔西南)部分地区具备喜马拉雅期天然气成藏条件;垂向和侧向(横向)运聚受控于断裂是否通源及活动期;本地烃源条件较差的地区侧向运移同样可以形成规模油气区,如卡塔克塔中隆起中深1、中深5井区^[40]。因此,勘探方向主要有:(1)具备本地烃源、垂向通源断裂发育的寒武系盐下和早期演化抬升晚期沉降演化区:①巴楚隆起东段寒武系储盖组合条件良好,普遍见油气显示,具备形成大油气田藏的条件;②艾丁—艾丁北地区是深层勘探最有利地区。(2)盆缘立足侧向运移晚期成藏区,如柯坪断隆东段沙井子构造带烃源条件和储盖组合好,具备晚期侧向运移成藏条件。

4 结论

(1)广泛分布的多套烃源、多期成藏、多期构造演化的复合盆地,复式成藏是普遍方式。通过长期勘探实践和综合研究,西北油田分公司建立了以塔河油田为代表的“古隆起—古斜坡岩溶缝洞型复式成藏模式”和以顺北油气田为代表的“超深断溶体成藏模式”2种复式成藏模式。

(2)明确了2种复式成藏模式区别和联系:①以塔河油田为代表的“古隆起—古斜坡岩溶缝洞型复式成藏模式”是“逼近主力烃源岩,围绕古隆起古斜坡,长期生排烃、岩溶控储、古隆起(斜坡)控藏、多期充注改造”的复式油气成藏。这种成藏模式主要基于侧向运移为主富集成藏,本地可以有烃源岩,也可以通过垂向运移。储层主要是岩溶缝洞型为主,横向连通性好,沿风化面似层状分布,是油气横向运移的主要通道之一。②以顺北油气田为代表的“超深断溶体成藏模式”,即,“寒武多期供烃,高压抑制生烃,幕式泄压排烃,构造破裂控储,断裂缝网通道,垂向泵式输导,断溶立体圈闭,晚期原生气藏,走滑断裂控富”。走滑断裂带可形成不同于塔河岩溶缝洞的规模性裂缝—洞穴型储集体超深断溶体型油气藏,储层断控为主,纵向穿层、横向分割性强,构造低部位致密的碳酸盐岩沿断裂带平面叠接分段,形成良好侧封和顶封,保存条件好,原地垂向泵式输导,这种创新成藏模式是对塔河复式成藏模式的补充和丰富。

参考文献:

[1] 焦方正.塔里木盆地顺北特深碳酸盐岩断溶体油气藏发现意义与前景[J].石油与天然气地质,2018,39(2):207-216.

- JIAO Fangzheng.Significance and prospect of ultra-deep carbonate fault-karst reservoirs in Shunbei area,Tarim Basin[J].Oil & Gas Geology,2018,39(2):207-216.
- [2] 漆立新.塔里木盆地顺北超深断溶体油藏特征与启示[J].中国石油勘探,2020,25(1):102-111.
- QI Lixin.Characteristics and inspiration of ultra-deep fault-karst reservoir in the Shunbei area of the Tarim Basin[J].China Petroleum Exploration,2020,25(1):102-111.
- [3] 杨海军,陈永权,田军,等.塔里木盆地轮探1井超深层油气勘探重大发现与意义[J].中国石油勘探,2020,25(2):62-72.
- YANG Haijun,CHEN Yongquan,TIAN Jun,et al.Major discovery and significance of ultra-deep oil and gas exploration in well Lutan-1 of the Tarim Basin[J].China Petroleum Exploration,2020,25(2):62-72.
- [4] 杨海军,邓兴梁,张银涛,等.塔里木盆地满深1井奥陶系超深断控碳酸盐岩油气藏勘探重大发现及意义[J].中国石油勘探,2020,25(3):13-23.
- YANG Haijun,DENG Xingliang,ZHANG Yintao,et al.Great discovery and its significance of exploration for Ordovician ultra-deep fault-controlled carbonate reservoirs of well Manshen 1 in Tarim Basin[J].China Petroleum Exploration,2020,25(3):13-23.
- [5] 马永生,黎茂稳,蔡勋育,等.中国海相深层油气富集机理与勘探开发:研究现状、关键技术瓶颈与基础科学问题[J].石油与天然气地质,2020,41(4):655-672,683
- MA Yongsheng,LI Maowen,CAI Xunyu,et al.Mechanisms and exploitation of deep marine petroleum accumulations in China: advances, technological bottlenecks and basic scientific problems[J].Oil & Gas Geology,2020,41(4):655-672,683
- [6] 张巨稼,惠荣.塔里木盆地油气勘探工作“六上五下”的历程[J].西安石油大学学报(社会科学版),2017,26(3):19-26.
- ZHANG Genjia,HUI Rong.The "6 On and 5 Off" process of oil-gas exploration in Tarim Basin[J].Journal of Xi'an Shiyou University (Social Sciences),2017,26(3):19-26.
- [7] 康玉柱.塔里木盆地沙参2井海相油气首次发现的历程与启迪[J].石油与天然气地质,2014,35(6):749-752.
- KANG Yuzhu.The first marine petroleum discovery in China and its significance[J].Oil & Gas Geology,2014,35(6):749-752.
- [8] 康玉柱.试论塔里木盆地油气分布规律及找油方向[J].地球科学(中国地质大学学报),1991,16(4):429-436.
- KANG Yuzhu.On regularity and oil-searching direction of hydrocarbon in Tarim Basin[J].Earth Science (Journal of China University of Geosciences),1991,16(4):429-436.
- [9] 陈正辅.塔里木盆地油气勘查中的石油地球化学研究[J].石油实验地质,1990(S1):33-35.
- CHEN Zhengfu.Petroleum geochemistry in oil and gas exploration in the Tarim Basin[J].Experimental Petroleum Geology,1990(S1):33-35.
- [10] 梁狄刚.塔里木盆地油气勘探若干地质问题[J].新疆石油地质,1999,20(3):184-188.
- LIANG Digang.Several geologic problems of oil and gas exploration in Tarim Basin[J].Xinjiang Petroleum Geology,1999,20(3):184-188.

- [11] 梁狄刚,王会祥.塔里木盆地油源问题[M]//童晓光,梁狄刚.塔里木盆地油气勘探论文集.乌鲁木齐:新疆科技卫生出版社,1992:321-330.
LIANG Digang, WANG Huixiang. Oil source problem in Tarim Basin[M]//TONG Xiaoguang, LIANG Digang. Proceedings of Petroleum exploration in Tarim Basin. Urumqi: Xinjiang Science and Technology Press, 1992:321-330.
- [12] 梁狄刚.塔里木盆地九年油气勘探历程与回顾[J].勘探家,1998,3(4):3-5.
Liang Digang. Nine-year oil and gas exploration process and review in the Tarim Basin[J]. Prospector, 1998, 3(4):3-5.
- [13] 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):751-761.
ZHAI Xiaoxian. Exploration practices in frontiers of Tahe Oilfield[J]. Oil & Gas Geology, 2006, 27(6):751-761.
- [14] 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 and Experiment, 2011, 33(4):323-331.
- [15] 云露.塔河油田奥陶系油气成藏模式研究[D].北京:中国地质大学(北京),2009.
YUN Lu. Petroleum accumulation model of Ordovician reservoir in Tahe Oilfield[D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 2009.
- [16] 顾忆.塔里木盆地北部塔河油田油气藏成藏机制[J].石油实验地质,2000,22(4):307-312.
GU Yi. Forming mechanism of hydrocarbon pools in Tahe Oilfield of the northern Tarim Basin[J]. Experimental Petroleum Geology, 2000, 22(4):307-312.
- [17] 丁勇,彭守涛,李会军.塔河油田及塔北碳酸盐岩油藏特征与成藏主控因素[J].石油实验地质,2011,33(5):488-494.
DING Yong, PENG Shoutao, LI Huijun. Features and main controlling factors of carbonate reservoirs in Tahe Oilfield and northern Tarim Basin[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2011, 33(5):488-494.
- [18] 漆立新.塔里木盆地顺托果勒隆起奥陶系碳酸盐岩超深层油气突破及其意义[J].中国石油勘探,2016,21(3):38-51.
QI Lixin. Oil and gas breakthrough in ultra-deep Ordovician carbonate formations in Shuntuoguole Uplift, Tarim Basin[J]. China Petroleum Exploration, 2016, 21(3):38-51.
- [19] 谷茸,云露,朱秀香,等.塔里木盆地顺北油田油气来源研究[J].石油实验地质,2020,42(2):248-254.
GU Rong, YUN Lu, ZHU Xiuxiang, et al. Oil and gas sources in Shunbei Oilfield, Tarim Basin[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2020, 42(2):248-254.
- [20] 顾忆,万晔璐,黄继文,等.“大埋深、高压”条件下塔里木盆地超深层油气勘探前景[J].石油实验地质,2019,41(2):157-164.
GU Yi, WAN Yanglu, HUANG Jiwen, et al. Prospects for ultra-deep oil and gas in the “deep burial and high pressure” Tarim Basin[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2019, 41(2):157-164.
- [21] 漆立新.塔里木盆地地下古生界碳酸盐岩大油气田勘探实践与展望[J].石油与天然气地质,2014,35(6):771-779.
QI Lixin. Exploration practice and prospects of giant carbonate field in the Lower Paleozoic of Tarim Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2014, 35(6):771-779.
- [22] 石宝珩.陆相生理理论的由来和发展(I) [J].石油勘探与开发,1981,1(3):14-17.
SHI Baoheng. Origin and development of terrestrial oil generation theory (I) [J]. Petroleum Exploration and Development, 1981, 1(3):14-17.
- [23] 刘震,陈艳鹏,赵阳,等.陆相断陷盆地油气藏形成控制因素及分布规律概述[J].岩性油气藏,2007,19(2):121-127,133.
LIU Zhen, CHEN Yanpeng, ZHAO Yang, et al. Distribution and controlling factors of hydrocarbon reservoirs in continental fault basins[J]. Lithologic Reservoirs, 2007, 19(2):121-127, 133.
- [24] 何治亮,顾忆,高山林.中国西部多旋回演化与油气聚集[J].石油实验地质,2005,27(5):433-438.
HE Zhiliang, GU Yi, GAO Shanlin. Polycyclic evolution and petroleum accumulation in the west of China[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2005, 27(5):433-438.
- [25] 金之钧.中国典型叠合盆地及其油气成藏研究新进展(之一):叠合盆地划分与研究方法[J].石油与天然气地质,2005,26(5):553-562.
JIN Zhijun. New advancement in research of China's typical superimposed basins and reservoiring (part I): classification and research methods of superimposed basins[J]. Oil & Gas Geology, 2005, 26(5):553-562.
- [26] 田世澄,陈建渝,张树林,等.论成藏动力学系统[J].勘探家,1996(2):20-24.
TIAN Shicheng, CHEN Jianyu, ZHANG Shulin, et al. Dynamic pool-formation system [J]. China Petroleum Exploration, 1996(2):20-24.
- [27] 云露,蒋华山.塔河油田成藏条件与富集规律[J].石油与天然气地质,2007,28(6):768-775.
YUN Lu, JIANG Huashan. Hydrocarbon accumulation conditions and enrichment rules in Tahe Oilfield[J]. Oil & Gas Geology, 2007, 28(6):768-775.
- [28] 顾忆,黄继文,贾存善,等.塔里木盆地海相油气成藏研究进展[J].石油实验地质,2020,42(1):1-12.
GU Yi, HUANG Jiwen, JIA Cunshan, et al. Research progress on marine oil and gas accumulation in Tarim Basin[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2020, 42(1):1-12.
- [29] 何登发,周新源,杨海军,等.塔里木盆地克拉通内古隆起的成因机制与构造类型[J].地学前缘,2008,15(2):207-221.
HE Dengfa, ZHOU Xinyuan, YANG Haijun, et al. Formation mechanism and tectonic types of intracratonic paleo-uplifts in the Tarim Basin[J]. Earth Science Frontiers, 2008, 15(2):207-221.
- [30] 顾忆,邵志兵,陈强路,等.塔河油田油气运移与聚集规律[J].石油实验地质,2007,29(3):224-230,237.
GU Yi, SHAO Zhibing, CHEN Qianglu, et al. Oil migration and accumulation pattern in the Tahe Oilfield[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2007, 29(3):224-230, 237.
- [31] 俞仁连.塔里木盆地塔河油田加里东期古岩溶特征及其意

义[J].石油实验地质,2005,27(5):468-472,478.

YU Renlian.Characteristics and significance of the Caledonian karst in the Tahe Oil Field, the Tarim Basin [J].Petroleum Geology & Experiment,2005,27(5):468-472,478.

[32] 何发岐.碳酸盐岩地层中不整合—岩溶风化壳油气田;以塔里木盆地塔河油田为例[J].地质论评,2002,48(4):391-397.

HE Faqi.Karst weathering crust oil-gas field on carbonate unconformity;an example from the Tahe Oilfield in the Ordovician reservoir in the Tarim Basin [J].Geological Review,2002,48(4):391-397.

[33] DENG Shang,LI Huili,ZHANG Zhongpei, et al.Structural characterization of intracratonic strike-slip faults in the central Tarim Basin[J].AAPG Bulletin,2019,103(1):109-137.

[34] 焦方正.塔里木盆地顺托果勒地区北东向走滑断裂带的油气勘探意义[J].石油与天然气地质,2017,38(5):831-839.

JIAO Fangzheng.Significance of oil and gas exploration in NE strike-slip fault belts in Shuntuoguole area of Tarim Basin [J].Oil & Gas Geology,2017,38(5):831-839.

[35] 焦方正.塔里木盆地深层碳酸盐岩缝洞型油藏体积开发实践与认识[J].石油勘探与开发,2019,46(3):552-558.

JIAO Fangzheng.Practice and knowledge of volumetric development of deep fractured-vuggy carbonate reservoirs in Tarim Basin, NW China[J].Petroleum Exploration and Development,2019,46(3):552-558.

[36] QI Jie,CASTAGNA J.Application of a PCA fault-attribute and spectral decomposition in Barnett shale fault detection [C]//

2013 SEG Annual Meeting.Houston,Texas;Society of Exploration Geophysicists,2013;1421-1425.

[37] 高利君,李宗杰,李海英,等.塔里木盆地超深层碳酸盐岩规模储层分类对比及特征分析[J].地质论评,2020,66(S1):54-56.

GAO Lijun,LI Zongjie,LI Haiying, et al.Classification comparison and characteristics analysis of ultra-deep carbonate reservoirs in the Tarim Basin[J].Geological Review,2020,66(S1):54-56.

[38] 马永生,何治亮,赵培荣,等.深层—超深层碳酸盐岩储层形成机理新进展[J].石油学报,2019,40(12):1415-1425.

MA Yongsheng,HE Zhiliang,ZHAO Peirong, et al.A new progress in formation mechanism of deep and ultra-deep carbonate reservoir [J].Acta Petrolei Sinica,2019,40(12):1415-1425.

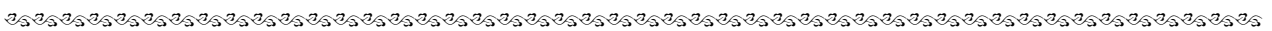
[39] 马永生,何登发,蔡勋育,等.中国海相碳酸盐岩的分布及油气地质基础问题[J].岩石学报,2017,33(4):1007-1020.

MA Yongsheng,HE Dengfa,CAI Xunyu, et al.Distribution and fundamental science questions for petroleum geology of marine carbonate in China[J].Acta Petrologica Sinica,2017,33(4):1007-1020.

[40] 张纪智,王招明,杨海军,等.塔里木盆地中深地区寒武系盐下白云岩油气来源及差异聚集[J].石油勘探与开发,2017,44(1):40-47.

ZHANG Jizhi,WANG Zhaoming,YANG Haijun, et al.Origin and differential accumulation of hydrocarbons in Cambrian subsalt dolomite reservoirs in Zhongshen area, Tarim Basin, NW China [J].Petroleum Exploration and Development,2017,44(1):40-47.

(编辑 黄娟)



(上接第 697 页)

[14] DAVIS G A,ZHENG Y.A possible cordilleran type metamorphic core complex beneath the Great Wall near Hefangkou, Huairou County, northern China [J].Geologica Society of America Abstracts with Programs,1988,20:A324.

[15] LISTER G S,DAVIS G A.The Origin of metamorphic core complexes and detachment fault formed during Tertiary continental extension in the Northern Colorado River region, U.S.A [J].Journal of Structural Geology,1988,11(1-2):65-94.

[16] 郑亚东,张青.内蒙古亚干变质核杂岩核内递进伸展作用[M]//钱祥麟.伸展构造研究.北京:地质出版社,1994:4-11.

ZHENG Yadong,ZHANG Qing.Progressive extension within the core of metamorphic core complex from the Yagan area, inner Mongolia [M]//QIAN Xianglin. Extensional tectonics research. Beijing:Geological Publishing House,1994:4-11.

[17] 宋鸿林.秦岭—大别造山带早期的伸展构造[M]//钱祥麟.伸展构造研究.北京:地质出版社,1994:12-21.

SONG Honglin.Earlier extensional tectonics along Qinling-Dabie orogenic belt [M]//QIAN Xianglin. Extensional tectonics research. Beijing:Geological Publishing House,1994:12-21.

[18] 王小凤,李中坚,陈柏林,等.郯庐断裂带[M].北京:地质出版社,2000:1-374.

WANG Xiaofeng,LI Zhongjian,CHEN Bailin, et al.The Tan-Lu Fault Zone [M]. Beijing:Geological Publishing House,

2000:1-374.

[19] 丁道桂,罗开平,刘光祥.下扬子区伸展拆离构造[J].石油实验地质,2016,38(1):1-8.

DING Daogui,LUO Kaiping,LIU Guangxiang, et al. Extensional detachment structures in the Lower Yangtze region[J].Petroleum Geology & Experiment,2016,38(1):1-8.

[20] 朱光,谢成龙,向必伟.洪镇变质核杂岩的形成机制及其大地构造意义[J].中国科学(D辑:地球科学),2007,37(5):584-592.

ZHU Guang,XIE Chenglong, XIANG Biwei. Genesis of the Hongzhen metamorphic core complex and its tectonic implications [J].Science in China (Series D: Earth Sciences),2007,50(5):649-659.

[21] 王金渝,周荔青,郭念发.苏浙皖石油天然气地质[M].北京石油工业出版社,2000:53-54.

WANG Jinyu,ZHOU Liqing, GUO Nianfa. Geology of petroleum and natural gas among Jiangsu, Zhejiang and Anhui provinces [M]. Beijing:Petroleum Industry Press,2000:53-54.

[22] 闵庆魁.宁镇山脉发现前震旦系——埠城群[J].地层学杂志,1987(2):130-134,162.

MIN Qingkui. Picheng groups were discovered in Ningzhen Mountains from the Pre-Sinian system [J].Journal of Stratigraphy,1987(2):130-134,162.

(编辑 韩 或)