

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

漆立新

(中国石化 西北油田分公司,新疆 乌鲁木齐 830011)

摘要:通过回顾塔里木盆地地下古生界碳酸盐岩大油气田的勘探历程,总结了经验与教训,剖析了顺南气藏成藏地质条件,展望了台盆区下古生界碳酸盐岩的勘探潜力,以期对寒武系-奥陶系碳酸盐岩领域勘探提供借鉴。大油气田发现的勘探实践表明,理论创新、勘探思路转变和技术进步密切相关。塔里木盆地地下古生界碳酸盐岩领域经历了潜山(残丘)圈闭勘探、岩溶缝洞型圈闭勘探及内幕缝洞型圈闭勘探3个阶段。顺南气藏的顺南4井在鹰山组发现了多成因内幕缝洞型圈闭,测试获高产气流,气藏类型为干气藏,标志着下古生界碳酸盐岩领域进入多成因内幕缝洞型圈闭勘探阶段。沙雅隆起南坡、塔中隆起北坡和中央隆起区南坡是今后大油气田勘探的主要地区。

关键词:勘探历程;碳酸盐岩;下古生界;顺南气藏;塔河油田;塔里木盆地

中图分类号:TE122.3

文献标识码:A

Exploration practice and prospects of giant carbonate field in the Lower Paleozoic of Tarim Basin

Qi Lixin

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

Abstract: This paper reviews the exploration history of large oil/gas fields in the Lower Paleozoic carbonates in the Tarim Basin, sums up experiences and draws the necessary lessons, analyzes the geological conditions of the Shunnan gas reservoir, and predicts the exploration potential of the Lower Paleozoic carbonates, so as to provide references for exploration in the Cambrian and Ordovician carbonates. Exploration practice shows that the discovery of giant oil and gas fields are closely related with theory innovation, mentality transformation and technological progress. The exploration of the Lower Paleozoic Carbonate reservoirs has experienced three stages including buried hill (karst monadnock) trap stage, karst fractured-vuggy trap stage and interior fractured-vuggy trap stage. The well SN4 in Shunnan gas reservoir discovered an interior fractured-vuggy reservoir of multiple origins and tested high gas flow in a dry gas reservoir in Yingshan Formation, indicating the exploration of the Lower Paleozoic carbonates entering the stage of interior fractured-vuggy trap with multiple origin. The main target areas of the future exploration are the southern slope of Shaya Uplift, the northern slope of the Tazhong Uplift and the southern slope of central uplift zone.

Key words: exploration history carbonate rock, Lower Paleozoic, Shunnan gas field, Tahe oil field, Tarim Basin

塔里木盆地是典型的叠合型盆地,构造运动具有多旋回、油气具有多期成藏的特征^[1-2],台盆区下古生界碳酸盐岩勘探潜力巨大。目前,已经发现沙雅隆起、塔中隆起和巴楚隆起-麦盖提斜坡3个油气聚集区带(图1),下古生界碳酸盐岩探明石油地质储量达 17×10^8 t,油气当量超过 22×10^8 t。限于当时的资料状况、勘探技术水平及勘探思路与认识水平,勘探历程跌宕起伏、极为曲折。

1978年,中国石化西北油田分公司(前身为第三石油普查勘探指挥部),从青海奉调进入新疆,在技术、装备落后与投资不足等极其艰苦条件下,从西南坳陷向沙雅隆起战略转移。1980—1983年落实了沙雅隆起雅克拉潜山构造圈闭^[3],论证实施了沙参2井。该井于1984年9月在下古生界白云岩地层获海相油气重大突破,发现了雅克拉海相凝析气藏,实现了塔里木盆地勘探重大转折。

收稿日期:2014-10-15;修订日期:2014-11-10。

作者简介:漆立新(1962—),男,博士,教授级高级工程师,油气勘探综合研究与部署。E-mail:qilixin2006@sina.com。

基金项目:国家科技重大专项(2011ZX05005-004)。

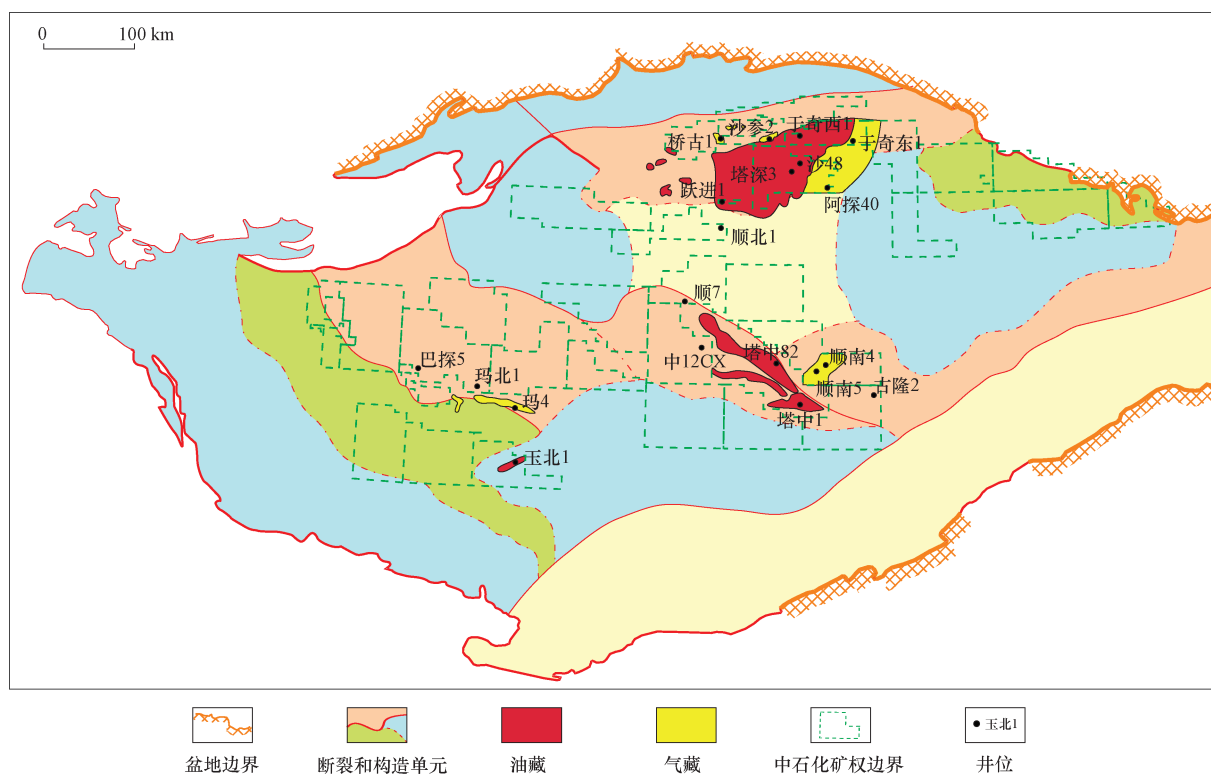


图1 塔里木盆地地下古生界碳酸盐岩勘探现状

Fig. 1 Current exploration situation of the Lower Paleozoic carbonate in Tarim Basin

沙参2井突破后,1985—1995年,西北油田分公司在下古生界碳酸盐岩领域坚持勘探,多口钻井在奥陶系古潜山(残丘)见良好油气显示,测试获油气流,但不能稳产。在对沙雅隆起上各种类型圈闭进行探索过程中,发现了石炭系、三叠系、侏罗系和白垩系中、小型砂岩油气田(藏)。在下古生界碳酸盐岩领域勘探过程中积累的经验与教训以及取得的宝贵资料,为塔河大油田的发现奠定了坚实的理论基础与技术保障。

1 塔河油田勘探实践

1.1 塔河油田发现历程

1.1.1 转变勘探思路,发现塔河油田

通过“七五”、“八五”油气勘探成功与失利的总结与反思,广大科技人员深入分析了塔里木盆地成油地质条件,逐步认识到古生代克拉通盆地具有巨大的油气潜力,是培育大型油气田的首选目标区,逐步形成并坚持了“逼近主力烃源岩,以大型古隆起、古斜坡为勘探目标,靠近大型断裂、大型不整合面寻找大型原生油气藏”的勘探思路。在这一思路的指导下,优选阿克库勒凸起艾协克1号、2号岩溶残丘作为突破口,1996—1997年部署了沙46井、

沙47井和沙48井,特别是沙48井的重大突破(图2),高产稳产,宣告发现了塔河奥陶系碳酸盐岩缝洞型大型油藏,实现了塔里木几代人寻找大油田的梦想。

塔河大油气田发现后,对其油气藏类型认识分歧较大^[4-5]。早期采用“沿断裂、找残丘、打高点”的“潜山+岩溶残丘”勘探思路,针对海西早期风化壳分布区进行井位部署,取得了较好的效果。随后向构造低部位探索时,发现油气分布不受局部构造和残丘的控制,逐步提出“塔河奥陶系碳酸盐岩油藏是缝洞型非常规油藏”,从而彻底地摆脱构造圈闭或潜山油气藏的束缚,以在油气富集区内精细刻画岩溶缝洞型储集体为主要勘探思路,展开大规模勘探,大大地拓展了油田范围。基本探明了塔河油田奥陶系油藏主体地区,原油年产量从1998年的 19×10^4 t快速增长到2002年的 219×10^4 t。

1.1.2 转变发展方式,实现跨越式发展

塔河油田奥陶系油藏主体地区探明后,加大勘探力度,由主体区中-重质油藏向东南部轻质-凝析气藏和西部超重质油藏拓展,先后发现了盐下轻质油气藏、东部凝析气藏和西部托甫台北部-艾丁-于奇西地区探明储量超 10×10^8 t的中-超重质油藏,为分公司持续增储上产奠定了资源基础。同时,由于塔河油田奥陶系缝洞型油藏埋深大、储

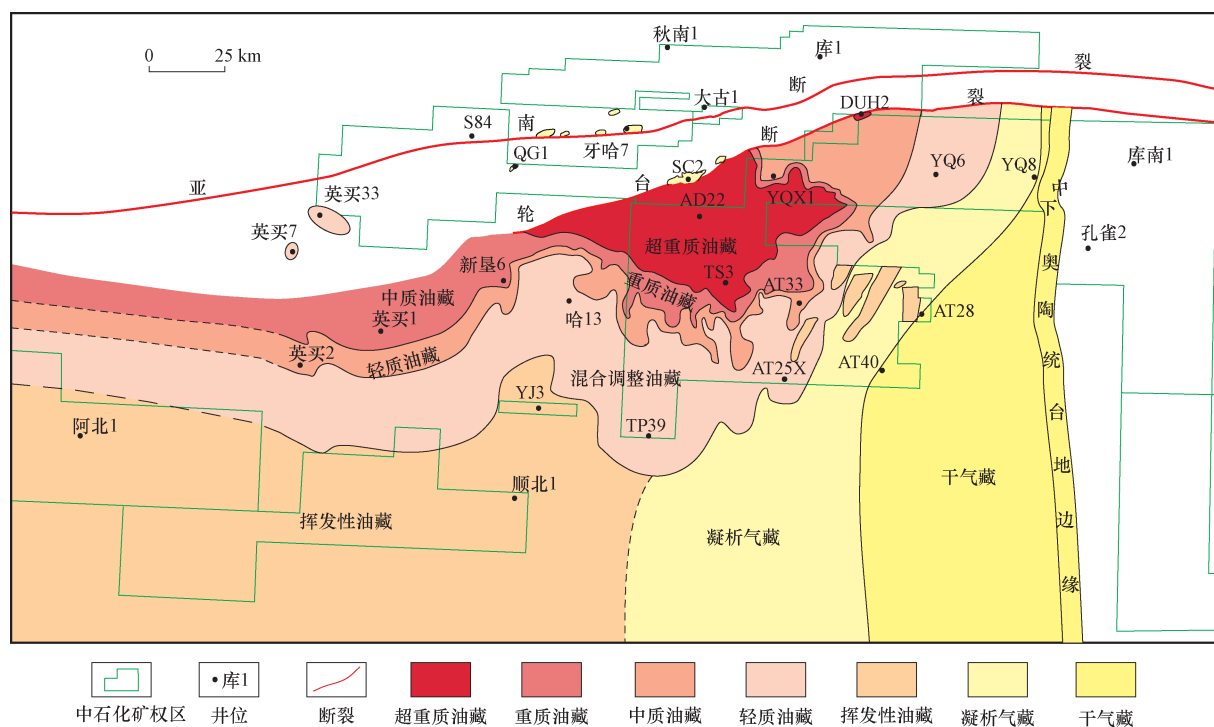


图2 塔里木盆地沙雅隆起下古生界碳酸盐岩油气藏类型分布

Fig. 2 Distribution of the Lower Paleozoic carbonate reservoir types in Shaya Uplift, Tarim Basin

层非均质性强及流体关系复杂,传统的勘探开发模式不适合此类油藏。因此,2005年西北油田分公司积极转变发展方式^[6],探索“勘探向前延伸,开发提前介入”的勘探开发一体化工作模式,以适应缝洞型油藏的地质特点。勘探开发一体化工作模式解放了勘探工作量,使勘探有更多的科研力量来探索新区,加快了油气突破步伐,实现了西北油田分公司的跨越式发展,原油年产量从2003年的 257×10^4 t增长到2010年的 700×10^4 t。

1.1.3 扩边评价,证实沙雅隆起南坡整体含油

2011年以来,西北油田分公司深化塔河油田奥陶系碳酸盐岩缝洞型油藏的地质认识,创新思路,积极向外围地区拓展和探索深层,取得了丰富的油气成果,证实油田沙雅隆起南坡奥陶系碳酸盐岩整体含油、不均富集,并整体探明了塔河油田奥陶系特大型油田。在外围地区的勘探实践中:①整体控制了塔河油田东南斜坡凝析气藏,为天然气上产奠定了资源基础;②跃进地区跃进1X井和跃进2X井实现突破(图2),顺北1井获少量油气,开拓了增储上产新阵地;③于奇西1井在超重质油藏分布区发现了轻-中质油藏,深化了成藏认识;④探索深层领域的塔深3井获得工业油流,开拓了增储上产新层位。目前,塔河油田奥陶系累计提交探明石油储量 12.58×10^8 t,形成了年产 700×10^8 t原油的稳产能源基地。

1.2 塔河油田发现意义

1.2.1 发展和丰富了中国海相碳酸盐岩成藏理论

塔河油田的发现及规模的扩大,是一个“认识—实践—再认识—再实践”的勘探实践过程,逐步形成了碳酸盐岩缝洞型油气成藏理论,发展和丰富了中国海相碳酸盐岩成藏理论。前人对此做了较为系统的总结^[3,7-9],本文不再赘述。在塔河油田持续扩大过程中,也不断形成新的认识指导着勘探部署,实现了勘探实践的四个跨越:①实现了从残丘高点找油到岩溶缝洞型圈闭找油的跨越;②实现了从单一缝洞储集体布井到缝洞发育带整体部署的跨越;③实现了逐步外扩、轻重并举到整体评价、全面部署的跨越;④实现了单一风化壳找油到多层位、立体勘探的跨越。每一个跨越都极大地推动了勘探进程,也进一步丰富了碳酸盐岩缝洞型油气成藏理论。

1.2.2 集成配套了适合油藏地质特点的工程工艺技术系列

塔河油田实现重大突破后,强化了工程工艺技术攻关,逐步集成配套了适合于缝洞型油藏地质特点的工程工艺技术系列:①三维地震采集、处理技术系列;②缝洞型储层成像、预测和评价技术系列;③超深层钻井技术系列;④超深层储层改造技术系列;⑤超深、超稠油采油技术系列。这些技术系列的形成

与发展完善为西北油田分公司储量和产量快速增长提供了技术支撑。

1.2.3 坚定了在塔里木台盆区寻找大油气田的信心

在塔河大油田发现以前,虽然在塔里木盆地碎屑岩领域找到一批中小型油气藏,但与投入的巨大人力、物力相比极不匹配,无论是原地矿部,还是原石油部,都存在塔里木盆地是否发育大油田的质疑^[10]。塔河大油田的发现,使大家坚定了在塔里木盆地台盆区寻找大油气田的信心。

1.2.4 深化认识、突破外围,实现油气新发现

西北油田分公司在塔河油田勘探开发过程中,不断深化认识,开展精细勘探并取得成效,也把在加里东中期古岩溶、海西早期古岩溶领域以及岩溶缝洞型圈闭的勘探经验在塔里木盆地其它地区推广应用,取得了多处重大突破,开拓了勘探新地区、新领域:①玉北1井在麦盖提斜坡玉北地区海西早期岩溶领域获工业油流(图1),实现麦盖提斜坡首次重大油气突破;②巴探5井在巴楚隆起加里东中期岩溶领域实现天然气突破;③中12CX井和顺7井在塔中隆起加里东中期岩溶领域取得油气突破;④顺南4井和顺南5井在塔中隆起北坡获重大天然气突破,发现顺南气藏。这些油气成果展现了塔里木下古生界碳酸盐岩具有良好的勘探前景,尤其是顺南斜坡区有望成为台盆区第一个大型气田。

2 顺南气藏勘探实践

“十二五”期间,西北油田分公司立足自有资料,针对制约下古生界碳酸盐岩勘探的烃源岩、古构造演化、储层和油气主控因素等重点问题开展了基础地质研究,为区带评价、勘探领域与目标优选提供科学依据。研究成果表明,塔中隆起北坡顺托果勒南(顺南)区块成藏条件好,具备形成大油气田的地质条件。西北油田分公司勇于实践,挺进勘探“禁区”,实现了顺南气藏的突破。

2.1 主力海相烃源岩分布

塔里木盆地寒武系-奥陶系存在中-下寒武统、中-下奥陶统和上奥陶统3套海相烃源岩已得到广泛认可^[1],但哪个层系是主力烃源岩经历了长期的争论。西北油田分公司一直坚持寒武系-中、下奥陶统烃源岩是主力烃源岩,但其分布规律与成烃规模不清(尤其是玉尔吐斯组),制约着勘探部署决策。

塔里木盆地基底是由多个微块体拼合而成,塔里木盆地南、北部在基底性质、演化存在差异。塔中-巴楚隆起广泛缺失震旦纪一早寒武世玉尔吐斯组沉积,表现为古隆起或基底隆起的特征,为晋宁期造山带^[11]。古隆起近东西向展布,东西长约600 km,南北宽80~120 km(图3)。而塔里木盆地北部在变质岩基底上沉积了震旦系的陆相冰积岩、海相灰岩以及下寒

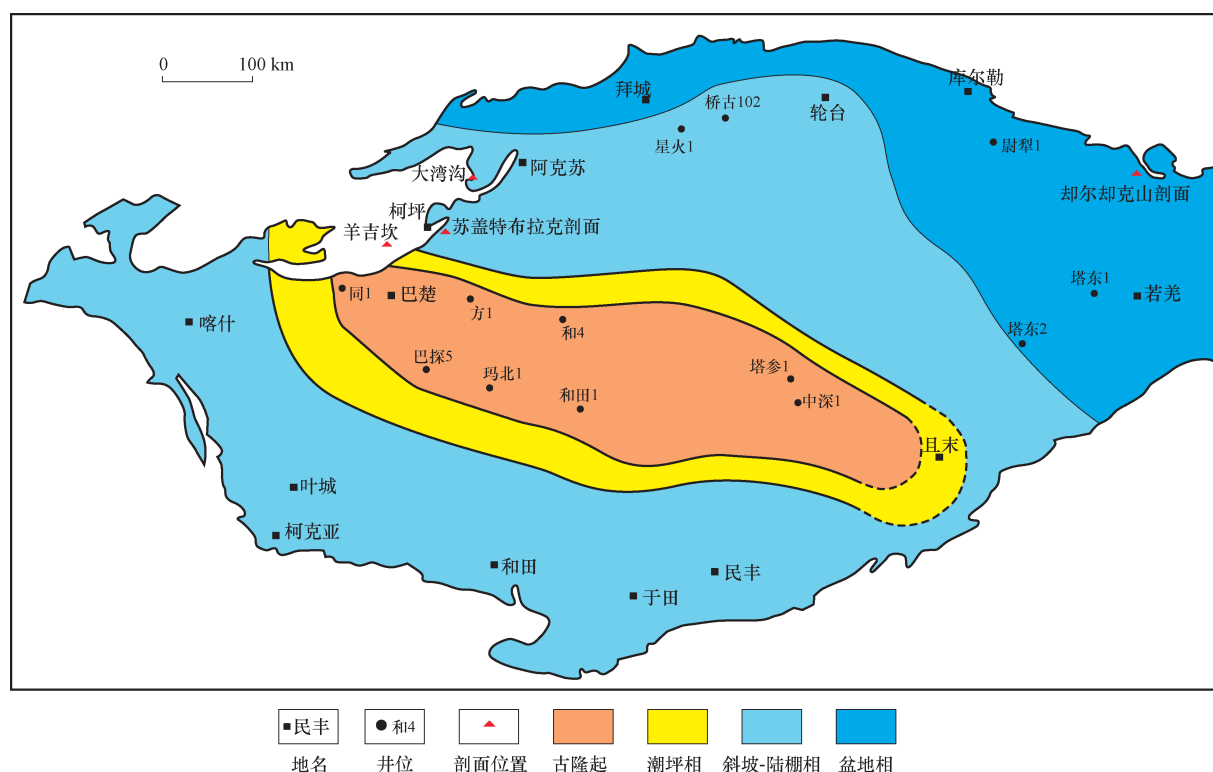


图3 塔里木盆地寒武统玉尔吐斯组沉积相

Fig. 3 Sedimentary facies of the Lower Cambian Yuertusi Fm in the Tarim Basin

武统玉尔吐斯组盆地相硅质页岩和黑色页岩。前震旦纪形成的古隆起控制着南北塔里木寒武系碳酸盐岩台地样式、演化的差异。

玉尔吐斯组在盆地东北缘为盆地相沉积,在沙雅隆起为斜坡-陆棚相沉积,环塔中-巴楚古隆起发育潮坪相,塔西南震旦纪-寒武纪早期应属于库地洋盆范畴,应该沉积有玉尔吐斯组陆棚-盆地相泥质岩。根据地震相和寒武系台地演化、沉积相编图的研究成果,满加尔坳陷、塔西南是中-下寒武统其他层系斜坡-盆地相烃源岩发育的有利地区。

露头 and 岩心资料证实玉尔吐斯组黑色页岩形成于早寒武世海侵过程中,伴生的硅质岩地球化学资料证明有深部热水作用^[12]。沙雅隆起西部星火1井揭示了玉尔吐斯组泥质岩(图3),视厚31 m,有机碳含量可达9.43%,氯仿沥青“A”含量平均 307.3×10^{-6} ,总烃含量 295×10^{-6} ,为一套好烃源岩。库鲁克塔格南雅尔当山剖面中下寒武统为次深海盆地相页岩及泥灰岩,烃源岩厚约25 m,有机碳含量平均为0.91%,属较好的烃源岩。沙雅隆起西部的尉犁1井揭示的中-下寒武统也是一套较好的烃源岩。根据烃源岩热演化程度研究成果,目前除沙雅隆起等部分地区处于高熟阶段外,其余大部分地区已经进入过成熟阶段。

从图3可以看出,下古生界碳酸盐岩除塔中-巴楚隆起区以外广泛分布下寒武统玉尔吐斯组烃源岩,在顺南斜坡和沙雅隆起东部发育玉尔吐斯组烃源岩及侧向发育寒武系-奥陶系斜坡相烃源岩,在后期纵向断裂及北东向断裂沟通下,成藏条件条件最为优越。

2.2 古构造演化

塔里木盆地受控于相邻造山带的影响,经历了震旦纪-中泥盆世、晚泥盆世-三叠纪和侏罗纪-第四纪3个伸展-聚敛旋回^[13],经历了陆内裂谷、被动大陆边缘和前陆盆地等多种原型盆地阶段,形成了加里东中期I幕、加里东中期III幕、海西早期、海西晚期、印支期、燕山中期及燕山晚期7个重要不整合面。通过盆缘及盆地古风化面、古断裂的识别与研究,确立了对下古生界碳酸盐岩溶蚀型储层形成的几期重要的古构造作用与演化特征。

2.2.1 加里东中期I幕

在巴楚-塔中隆起区表现强烈,为上奥陶统恰尔巴克组不整合上覆于中-下奥陶统一间房组、鹰山组不同层位,中-下奥陶统最大剥蚀厚度可达500余米;而在其他地区(包括沙雅隆起、麦盖提斜坡、阿瓦提-顺托果勒等)则为相对斜坡区,上奥陶统恰尔巴克组整

合-假整合覆于中奥陶统一间房组之上,一间房组几乎保存齐全。反映了加里东中期I幕规模古岩溶仅发育于巴楚-塔中隆起区。

2.2.2 加里东中期III幕

昆仑洋关闭,在巴楚-塔中隆起以南表现强烈,志留系由塔中I号断裂带向南超覆沉积,而自塔中I号断裂带向北逐步过渡到深水相沉积,在塔中-巴楚隆起以南地区构造变形强烈。

2.2.3 海西早期

主要表现在沙雅隆起、巴楚-塔中隆起以及和田河古隆起为背斜式隆起,上泥盆统-下石炭统巴楚组超覆于中、下泥盆统一奥陶系不同层位之上。尤其在沙雅隆起、和田河古隆起区上泥盆统-下石炭统巴楚组超覆于奥陶系碳酸盐岩之上,是海西早期古岩溶发育区。而隆起之间的阿瓦提断陷-满加尔坳陷、麦盖提斜坡区则上泥盆统-下石炭统巴楚组超覆于中、下泥盆统一志留系(上奥陶统)不同层位之上。

2.2.4 海西晚期

塔里木盆地内火山活动与河湖相多期喷发沉积旋回,受控于贯穿盆地南北的张性断裂活动带。北东向断裂带是发育寒武系-奥陶系碳酸盐岩内幕溶蚀储层的主要成因。尤其在有上奥陶统巨厚陆棚-浊积盆地相沉积区,寒武系-奥陶系碳酸盐岩内幕溶蚀储层发育,是碳酸盐岩内幕缝洞型圈闭形成的重要控制因素。

上述主要古构造活动形成的不整合面,在其上、下形成的储盖组合,是潜山(残丘)圈闭和岩溶缝洞型圈闭发育的基础。海西早期不整合形成了石炭系区域盖层与奥陶系碳酸盐岩岩溶储层的储盖组合,并在海西末期及以后区域挤压变动形成封闭条件——塔河奥陶系碳酸盐岩岩溶缝洞型圈闭。加里东中期I幕构造运动形成的巴楚-塔中隆起的南北斜坡区,则发育上奥陶统巨厚陆棚-浊积盆地相泥质为主的碎屑岩区域盖层与多期构造活动形成的碳酸盐岩内幕缝洞型储层形成的储盖组合,在致密灰岩封闭下发育寒武系-奥陶系碳酸盐岩内幕缝洞型圈闭。

2.3 缝洞型储集体成因机理与主控因素

塔里木盆地奥陶系碳酸盐岩主要发育缝洞型储集体,其形成与加里东中期I幕、海西早期古岩溶作用和海西晚期热液溶蚀作用密切相关,且在不同地区表现

差异巨大。前期学者对3期的古岩溶作用做了大量的研究工作^[14-17],在此不再赘述。本文着重探讨塔中隆起北坡-顺南斜坡区海西晚期热液溶蚀作用储集体形成机理。

二叠纪塔里木盆地发育大火成岩省^[18],分布范围大,目前残存厚度较大的地区在沙雅隆起西部(跃进地区跃进3井揭示二叠系火成岩达557 m),马纳岩体面积达1 900 km²。二叠纪岩浆活动在塔里木盆地主要表现为两种形式:拱破-喷发模式和未拱破-侵入模式。此外,还存在多期次喷发(侵入)-沉积旋回。

1) 拱破-喷发模式

拱张断裂带已经明显拉开,形成1~2 km宽的地堑(跃进-哈拉哈塘地区发育弧形断裂带),海西晚期的地表可明显见有火山喷发产物,古生界中有侵入体。在此背景下,寒武系-奥陶系碳酸盐岩遭受破裂,热液沿断裂带、裂缝或早期形成的缝洞体进行溶蚀改造,形成热液型或热液主导型储集体,这种模式主要发育在沙雅隆起西部地区(跃进1X井见萤石和石英的热液矿物组合)。

2) 未拱破-侵入模式

断裂带未明显拉开,在碳酸盐岩中有明显的小型断陷,热液沿张性断裂、火山活动侵位通道或早期形成的缝洞体进行溶蚀改造,形成热液型或热液主导型储集体。顺南地区上奥陶统中多见侵入体的地震反射特征,推测热液溶蚀作用在顺南地区发育。

3) 多期次喷发(侵入)-沉积旋回

二叠系火山岩与沉积岩呈间互出现,存在多期次喷发(侵入)-沉积旋回。在巴楚-麦盖提地区,钻井剖面自下而上发育多套玄武岩(安山岩)-陆相碎屑岩拱张喷发、闭合沉积旋回,形成纵向上多套热液溶蚀储层与致密灰岩交替出现分布的断裂带溶蚀储层分布模式。顺南4井取心证实顺南地区存在热液溶蚀作用,为未拱破-侵入模式。该井揭示了一套灰岩交代后形成的硅质岩储层(图4),储集空间类型分为两类:①裂缝型储层,裂缝由热液成因的粒-柱状自形石英和巨晶方解石半充填(图4a-c),可见灰岩残余的缝合线;②孔隙型储层,柱状石英硅质岩较为疏松,发育垂直方解石充填缝切割水平方解石裂缝(图4d),基质孔隙极发育(图4e、f),孔隙度为17.5%~20.5%,渗透率达 $(23.5 \sim 73.4) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。目前认为该套储层是由岩性、层系界面(间断面)、断裂-裂缝体系和富硅热液流体综合控制的多成因类型储集体(图5),在塔里木盆地是首次钻遇。

2.4 成藏主控因素与成藏规律

塔里木盆地大量研究成果与勘探实践表明^[19-20],烃源岩、盖层、缝洞型储集体发育程度和后期构造变形强弱是控制着寒武系-奥陶系碳酸盐岩油气成藏、保存与富集。寒武系-奥陶系油气藏具有多期成藏的特点。早期形成的油气藏在多期次的构造运动中发生破坏和调整,造成隆起高部位的较低成熟度的

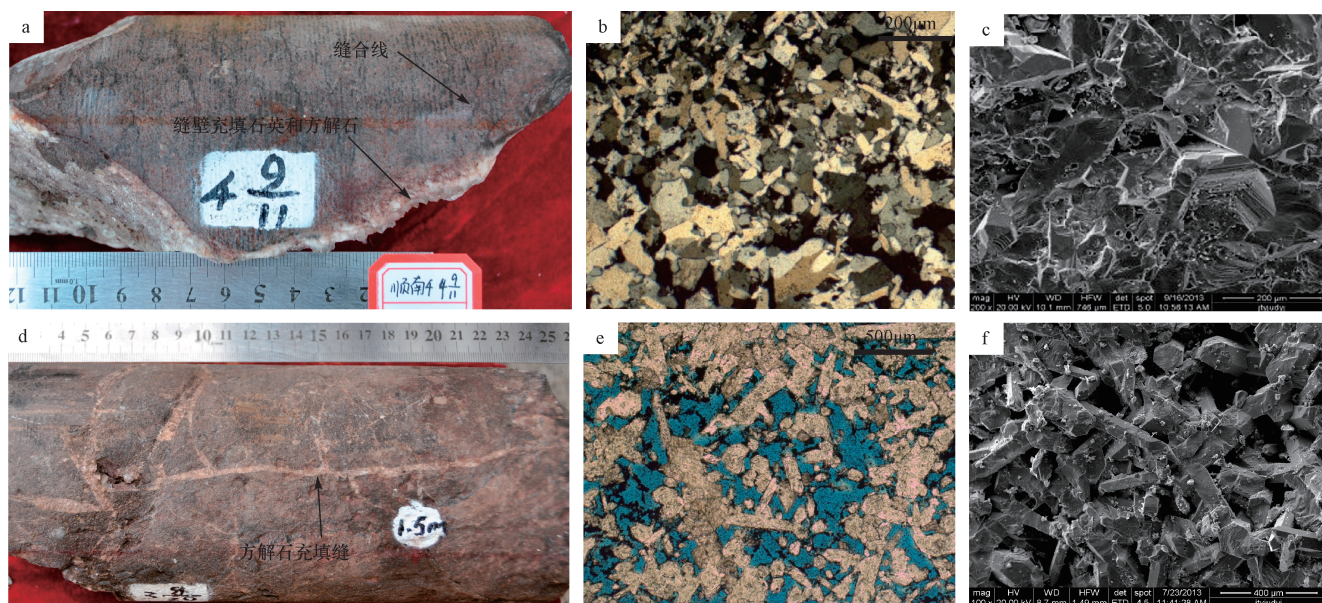


图4 塔里木盆地顺南4井鹰山组硅质岩储层特征

Fig. 4 Characteristics of silicalite reservoir of the Yingshan Formation in well Shunnan 4, Tarim Basin

a. 致密硅质岩,裂缝发育,半充填柱状石英,埋深6 673.07~6 673.20 m; b. a的岩石薄片照片,石英呈半自型-自型,镶嵌状接触,岩石致密; c. a的扫描电镜照片; d. 颗粒状硅质岩,发育垂直方解石充填缝切割水平方解石裂缝,埋深6 670.14~6 670.39 m; e. d的铸体薄片,石英呈自型柱状、它形粒状,其上分布星点状方解石,石英粒间孔发育; f. 颗粒状硅质岩,石英粒间孔发育,粒间见粘土矿物,埋深6 670.16 m

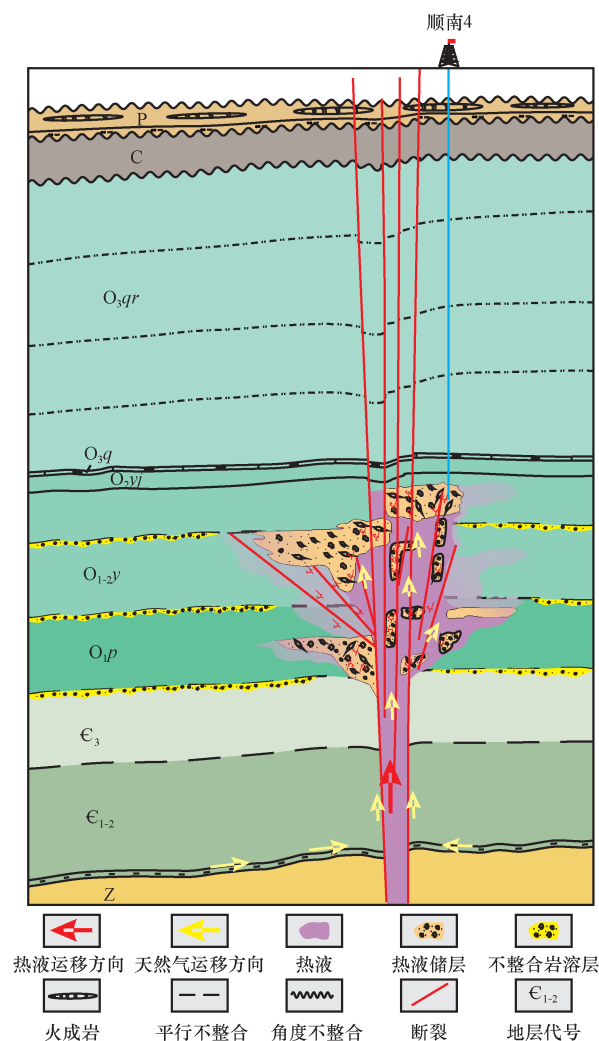


图5 塔里木盆地顺南地区多成因缝洞型储层发育模式

Fig. 5 Development model of fractured-vuggy reservoir of multiple origin in Shunnan area

P. 二叠系; C. 石炭系; O_3qr . 上奥陶统却尔却克组; O_3q . 上奥陶统恰尔巴克组; O_{2y} . 中奥陶统一间房组; O_{1-2y} . 中-下奥陶统鹰山组; O_{1p} . 下奥陶统蓬莱坝组; E_3 . 上寒武统; E_{1-2} . 中-下寒武统; Z. 震旦系

早期油藏为主,斜坡低部位则以喜马拉雅期成藏为主的高成熟度挥发性油藏或气藏。这种现象在塔河地区尤为明显(图2),气藏和挥发性油气藏与轻-重质油藏呈环带围绕超重质油藏分布。古隆起的斜坡区是晚期成藏为主的地区,分布面积大,是寻找大油气田的有利地区。

勘探实践表明,在叠合盆地中具备海相烃源岩和盖层两大基本条件下,寻找和刻画规模性缝洞型储集体是关键。塔河油田托甫台地区和跃进地区海西晚期张性走滑断裂带起到控储控藏的作用,斜坡区规模储集体往往沿断裂带分布,且是油气纵向运移的主要通道,也是油气富集的主要场所。塔中隆起北坡-顺南斜坡区发育巨厚的上奥陶统以泥岩为主的区域盖层,多成因缝洞型储集体沿多条北东向展

布的海西晚期张性走滑断裂带发育,晚期油气成藏条件优越。

2.5 顺南天然气重大突破,开拓了台盆区勘探新领域

在烃源岩、构造演化等研究成果上,最终锁定塔中隆起北坡和顺南斜坡区做为油气突破区带,把精细刻画缝洞体展布作为工作重点。顺南地区在鹰山组上段——一间房组发育板状或串珠状多种类型的异常反射,在鹰山组下部发育连片分布的强串珠状反射,能够形成以上奥陶统却尔却克组巨厚泥岩、泥灰岩为区域盖层,致密灰岩为局部盖层和侧向封挡,多成因缝洞型储集体为储层的多成因类型内幕缝洞型圈闭。2013年,针对北东向海西晚期张性走滑断裂带鹰山组发育的多成因类型内幕缝洞型圈闭部署了顺南4井和顺南5井(图6)。顺南4井在6 673.52~6 679.00 m井段放空5.48 m,漏失钻井液1 716.14 m³,顺南5井在7 209.80 m漏失泥浆1 152.50 m³,测试均获高产气流(未见凝析油),天然气干燥系数大于98%,气藏类型为干气藏。

顺南4井和顺南5井实现了塔中隆起北坡奥陶系重大油气突破,开拓了台盆区下古生界碳酸盐岩勘探新领域。2014年顺南7井在一间房组中途测试获工业气流,形成了一间房组、鹰山组和蓬莱坝组多层系含气的格局,预示着顺南斜坡区具备形成大气田的地质条件。

3 前景展望

3.1 沙雅隆起南坡——增储上产现实阵地

目前,沙雅南坡奥陶系整体含油已经得到广泛共识,累计提交探明石油储量达 15×10^8 t, 8 000 m埋深范围内勘探面积达 3×10^4 km²,探明石油当量有望达到 30×10^8 t,是一个巨型油气田,具有较大的勘探开发前景,是增储上产最为现实的区带。

3.2 塔中隆起北坡——战略培育区

塔中隆起是基底古隆起,长期继承性发育,其北坡紧邻满加尔生烃凹陷,且寒武系-奥陶系碳酸盐岩之下发育玉尔吐斯组陆棚相烃源岩,北东向断裂带纵向切穿玉尔吐斯组烃源岩和沟通满加尔寒武系-奥陶系斜坡相烃源岩,且寒武系-奥陶系碳酸盐岩纵向上发育多套多成因缝洞型储集体,呈现整体含气特征,气柱高度达800余米。塔中隆起北坡8 000 m埋深有利勘探面积达 2×10^4 km²,勘探潜力较大,是大气田的战略培育区,具备形成千亿方大气田的地质条件。

- [3] 康玉柱. 自主创新与古生代油气田的发现[J]. 中国工程科学, 2006, 8(9): 19-23.
Kang Yuzhu. Independent innovation and discovery of the paleozoic oil-gas field[J]. Engineering Science, 2006, 8(9): 19-23.
- [4] 张抗. 塔河油田的发现及其地质意义[J]. 石油与天然气地质, 1999, 20(2): 120-132.
Zhang Kang. The discovery of Tahe oilfield and its geologic implication[J]. Oil & Gas Geology, 1999, 20(2): 120-132.
- [5] 周兴熙. 初论碳酸盐岩网络状油气藏——以塔里木盆地轮南奥陶系潜山油气藏为例[J]. 石油勘探与开发, 2000, 27(3): 5-8.
Zhou Xingxi. A primary discussion on the network-like oil and gas pools in carbonate rocks; taking the Lunnan Ordovician buried-hill pool in Tarim Basin as an example [J]. Petroleum Exploration and Development, 2000, 27(3): 5-8.
- [6] 漆立新. 塔里木盆地塔河碳酸盐岩缝洞型油气藏勘探实践与外围地区前景展望[J]. 世界石油工业, 2014, 110-117.
Qi Lixin. The exploration practices of carbonate fracture-vuggy reservoirs in Tahe oil-gas field and the exploration prospects of periphery areas in Tarim Basin [J]. World Petroleum Industry, 2014, 110-117.
- [7] 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.
- [8] 康玉柱. 中国古生代海相油气田发现的回顾与启示[J]. 石油与天然气地质, 2007, 28(5): 570-575.
Kang Yuzhu. Review and revelation of oil/gas discoveries in the Paleozoic marine strata of China[J]. Oil & Gas Geology, 2007, 28(5): 570-575.
- [9] 康玉柱. 中国油气地质新理论的建立[J]. 地质学报, 2010, 84(9): 1231-1274.
Kang Yuzhu. Establishment of China's theory of oil and gas geology [J]. Acta Geologica Sinica, 2010, 84(9): 1231-1274.
- [10] 王涛. 征战死亡之海[M]. 北京: 中共党史出版社, 2013.
Wang Tao. The battle of Taklimakan [M]. Beijing: History of the Communist Party of China Publishing House, 2013.
- [11] 吴根耀, 杨海军, 王步清, 等. 塔里木克拉通继承性构造与新生构造并存的时空发育特征及其对海相油气勘探的指导[J]. 石油实验地质, 2009, 33(4): 315-323.
Wu Genyao, Yang Haijun, Wang Buqing, et al. Time-spatial developing features of co-existed inherited and neogenic structures and their guidance to marine origin oil-gas exploration in the Tarim craton [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2009, 33(4): 315-323.
- [12] 于炳松, 王黎栋, 陈建强, 等. 塔里木盆地北部寒武统底部黑色页岩形成的次氧化条件[J]. 地学前缘, 2003, 10(4): 545-550.
Yu Bingsong, Wang Lidong, Chen Jianqiang, et al. The suboxic depositional setting of black shales in Lower Cambrian from Northern Tarim Basin [J]. Earth Science Frontiers, 2003, 10(4): 545-550.
- [13] 何登发, 贾承造, 周新源, 等. 多旋回叠合盆地构造控油原理[J]. 石油学报, 2005, 26(3): 1-9.
He Dengfa, Jia Chengzao, Zhou Xinyuan, et al. Control principles of structures and tectonics over hydrocarbon accumulation and distribution in multi-stage superimposed basins [J]. Acta Petrolei Sinica, 2005, 26(3): 1-9.
- [14] 李宗杰, 王勤聪. 塔北超深层碳酸盐岩储层预测方法和技术[J]. 石油与天然气地质, 2002, 23(1): 35-44.
Li Zongjie, Wang Qinchong. Method and technique for prediction of super-deep carbonate reservoirs in North Tarim Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2002, 23(1): 35-44.
- [15] 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): 468-478.
Yu Renlian. Characteristics and significance of the Caledonian karst in the Tahe oil field, the Tarim Basin [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2005, 27(5): 468-478.
- [16] 漆立新, 顾汉明, 李宗杰, 等. 基于地震波振幅分辨塔河油田溶洞最小高度的理论探讨[J]. 地球物理学进展, 2008, 23(5): 1499-1506.
Qi Lixin, Gu Hanming, Li Zongjie, et al. Theoretical discussion on resolution of maximum height of cavity in the Tahe oilfield based on seismic amplitude [J]. Progress in Geophysics, 2008, 23(5): 1499-1506.
- [17] 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 & Gas geology, 2010, 31(1): 1-12.
- [18] 徐义刚, 何斌, 罗震宇, 等. 我国大火成岩省和地幔柱研究进展与展望[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2013, 32(1): 25-39.
Xu Yigang, He Bing, Luo Zhengyu, et al. Study on mantle plume and large igneous provinces in China: an overview and perspectives [J]. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry, 2013, 32(1): 25-39.
- [19] 闫相宾, 张涛. 塔河油田碳酸盐岩大型隐蔽油藏成藏机理探讨[J]. 地质论评, 2004, 50(4): 370-376.
Yan Xiangbin, Zhang Tao. Discussion on forming mechanism of the large-scale carbonate rock subtle reservoir in the Tahe oilfield [J]. Geological Review, 2004, 50(4): 370-376.
- [20] 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.

(编辑 张玉银)