

文章编号:0253-9985(2008)05-0565-09

塔里木盆地塔河大型油田地质特征及勘探思路回顾

翟晓先,云露

(中国石油化工股份有限公司西北油田分公司,新疆乌鲁木齐830011)

摘要:塔河油田位于塔里木盆地北部沙雅隆起阿克库勒凸起南部,是以奥陶系碳酸盐岩古岩溶油藏为主的油田,是我国第一个古生界海相大油田,储量规模超过十亿吨。笔者从其构造演化与沉积特征、油气藏特征与成藏模式等方面总结了所取得的成果与认识。实践表明,塔里木盆地古生界碳酸盐岩海相油气地质理论的不断丰富与完善是塔河油田发现和不断向外围、深部拓展的理论基础;成熟、配套、有效的勘探技术方法是实现重大发现的手段。

关键词:古岩溶;碳酸盐岩;勘探成果与认识;塔河地区

中图分类号:TE132.1 **文献标识码:**A

Geology of giant Tahe oilfield and a review of exploration thinking in the Tarim Basin

Zhai Xiaoxian, Yun Lu

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

Abstract: As the first marine Paleozoic giant oilfield in China and an oilfield dominated by palaeokarstic reservoir of Ordovician carbonate rock, Tahe is located on the southern Akekule Salient of Shaya Uplift, the northern Tarim Basin, with its reserves over 1 billion tons. The obtained results and knowledge about the oilfield are summarized by us in tectonic evolution, sedimentary patterns, reservoir features and hydrocarbon accumulation models. It has been practically demonstrated that continuous enrichment and improvement of petroleum geology theories on Paleozoic marine carbonate in Tarim Basin is a foundation for discovering Tahe oilfield and extending towards its periphery and deeper intervals, and that the mature, whole and effective exploration technology is a tool to make major discoveries.

Key words: palaeokarst; carbonate rock; result and knowledge of exploration; Tahe area

1 勘探历程

1.1 前期探索阶段(1978—1995年)

该阶段理论基础薄弱,认识不足,储层预测及储层改造技术不能适应地质需求,错过了及时发现、评价大油田的机会。

西北油田分公司自1978年进疆开展油气勘探工作,先后在喀什坳陷、麦盖提斜坡、巴楚隆起开展了遥感、石油物探、钻探和盆地周边地质调查

工作,先后钻探了喀1、喀2、麦参1等探井,但均未获得突破。20世纪80年代初转战塔北沙雅隆起,在跃参1号重力高上钻探了跃参1井,首次揭示了三叠系生油岩,为进一步认识塔北地质特征、开展油气普查提供了宝贵的资料。随后,将塔北作为取得突破的重点勘查地区,加强了地质综合研究工作。1984年,部署在雅克拉断凸上的沙参2井在古生界海相碳酸盐岩中钻获高产油气流,实现了塔里木盆地油气勘探的重大突破。沙参2井获得突破后,油气勘探向整个沙雅隆起推进,部署

收稿日期:2008-05-26。

第一作者简介:翟晓先(1956—),男,教授级高级工程师,石油地质和沉积储层综合研究。

在沙雅隆起上的一批探井如沙9、沙14、沙17等井均在奥陶系碳酸盐岩发现油气层,但由于对奥陶系油藏圈闭特征认识不足,储层预测及储层改造技术不能适应地质需求,错过了及时发现、评价大油田的机会。同时由于沙3井于前震旦系千枚岩顶部获得工业油气流,沙4井、沙5井、沙7井分别于侏罗系、白垩系获得工业油气流,沙22井、沙29井、沙32井在三叠系获得工业油气流,并由此发现了一批中-小型油气田群。部署在麦盖提斜坡的麦3井在石炭系灰岩中获高产油气流,发现了巴什托气田,部署在巴楚隆起上的巴参1井在石炭系获高产油气流,发现了亚松迪气田。因而曾在一段时间内,在重视下古生界碳酸盐岩勘探的同时,将勘探的重点一度转移到了中、新生界。

1.2 油气重大突破阶段(1996—1997年)

长期的勘探实践以及连续十数载的科研攻关,逐渐认识到:克拉通盆地古生界具有巨大的油气潜力,是培育大型油气田的目标区,逐步提出并坚持了“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^[1,2]。

该阶段明确了寻找塔里木克拉通盆地大型油气田的主要目标是下古生界碳酸盐岩。选择阿克库勒凸起西南部的艾协克1号、2号残丘作为奥陶系碳酸盐岩大型油气田勘探的突破口,部署了沙46井、沙47井和沙48井。沙46井于1996年8月28日开钻,1997年2月11日完钻,中途测试于中、下奥陶统5 359.14~5 504.00 m井段获日产原油212.54 m³;沙47井于1997年5月11日开钻,1997年10月11日完钻,完钻井深5 497 m,对奥陶系5 344.04~5 369.50 m井段进行DST测试,12.7 mm油嘴折算产油227 m³/d,15 mm孔板折算产气36.54×10⁴ m³/d;沙48井于1997年5月28日开钻,1997年10月20日完钻,该井于井深5 363 m进入中、下奥陶统后发生放空和严重泥浆漏失,经测试获日产原油570 m³、天然气15 000 m³的高产稳产油气流,从而实现了塔河奥陶系大油田的发现。值得一提的是,该井试采以来产量一直稳定,日产量保持在400 t左右,成为塔里木盆地稳产日产量最高、稳产时间最长、累计产量最多的一口高产稳产油井。充分表明阿克库勒凸起奥陶系碳酸盐岩赋存有极为丰富的油气资源。

上述3口井的突破,特别是沙48井的重大突破,标志着塔河油田的发现,并且拉开了寻找奥陶系碳酸盐岩大型油气田的序幕。

1.3 塔河油田扩大探明阶段(1998—2000年)

沙46、沙47、沙48井获重大突破,对油田规模、油藏类型等的认识还不清楚,只是在位于构造低部位的沙64井的突破,才进一步明确了塔河地区奥陶系原油成藏不受局部构造和碳酸盐岩古残丘幅度控制,而是受大型岩溶缝洞型圈闭及储集体发育程度的控制。从而彻底地脱离开构造圈闭的束缚,以岩溶储集体发育程度为主要目标开展大规模的勘探,大大地拓展了油田的范围。

1.4 塔河外围扩展及立体勘探阶段(2001年至今)

2001年至今,是塔河油田加快步伐向外围甩开勘探,快速发展的时期。在多个新领域获得突破与发现,进一步拓展了塔河油田纵横向油气勘探空间,形成了奥陶系鹰山组裂缝-溶蚀孔洞型储集体、一间房组颗粒灰岩裂缝-溶蚀孔隙型储集体、良里塔格组裂缝-溶蚀孔洞型储集体、志留系砂岩、泥盆系东河砂岩、石炭系巴楚组底部砂泥岩互层段致密砂岩储层及石炭系卡拉沙依组、海西期火山岩、三叠系砂岩储层等多层系、多领域的立体勘探格局。根据塔河油田多层系、多领域立体含油的勘探局面,提出了立体勘探、整体评价塔河油田的勘探思路。

目前塔河油田平面上井控含油面积达到3 027 km²,三级储量合计达到18.082 6×10⁸ t油当量,其中,探明储量8.559 2×10⁸ t油当量(油7.538 8×10⁸ t,气1 020.35×10⁸ m³),保有控制储量3.014 4×10⁸ t油当量,预测储量6.509×10⁸ t油当量。

2 地质特征综述

塔河碳酸盐岩古岩溶油田主体位于塔里木盆地北部沙雅隆起中段阿克库勒凸起,是指北以轮台断裂为界,东、南、西以中奥陶统顶面6 800 m构造等深线所圈定的范围内具有相似成藏特点和在现有经济技术条件下具有开发效益的油气藏的统称(图1)。油田主要产层为奥陶系碳酸盐岩岩溶

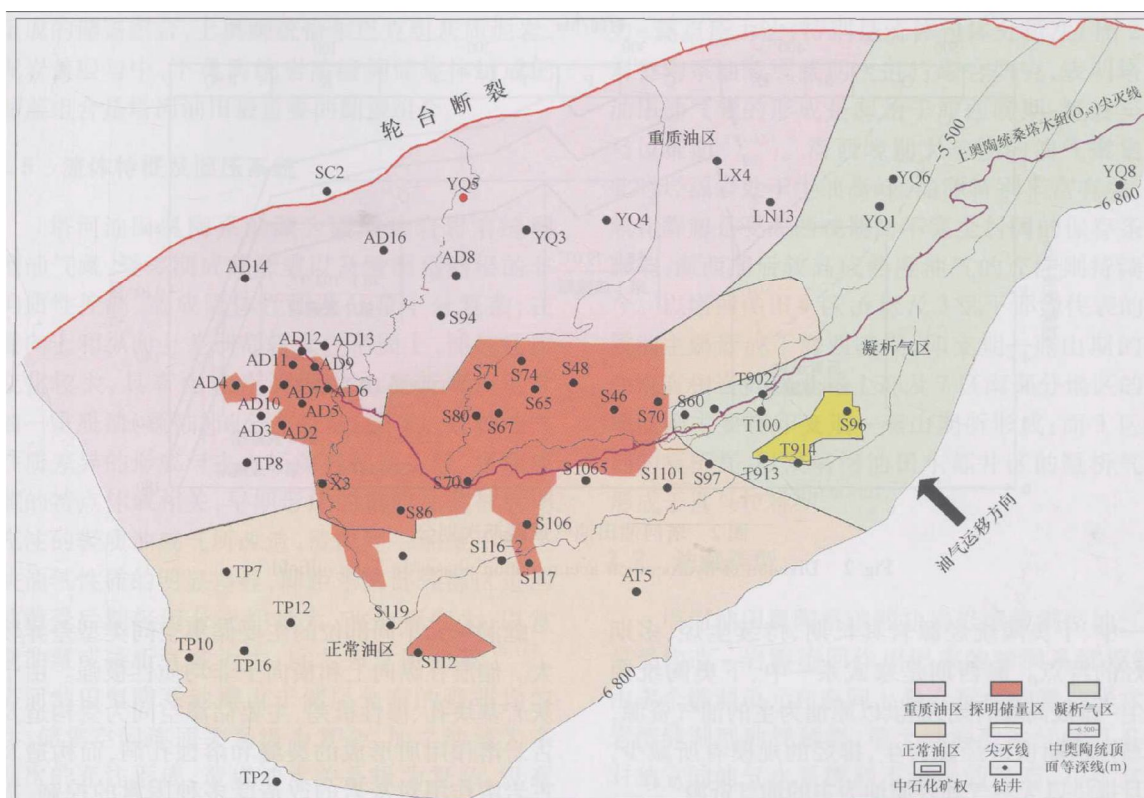


图1 塔河油田奥陶系岩溶缝洞型油气藏展布范围示意图

Fig. 1 Distribution sketch of Ordovician fractured and cavernous karst reservoirs in Tahe oilfield

缝、洞储集体,具有大面积连片整体含油、不均匀富集特点。

2.1 沉积及构造演化

塔河油田所处的阿克库勒凸起是在前震旦系变质岩基底上发育的、以寒武系—奥陶系为主体的长期发育的大型古凸起^[3]。该凸起于加里东中、晚期形成雏形,凸起上震旦系至泥盆系为海相沉积,其中寒武系—中、下奥陶统主要为碳酸盐台地沉积,上奥陶统为混积陆棚沉积;志留系为海进陆棚—滨海沉积,泥盆系则为浅海及潮坪沉积;上泥盆统东河砂岩段以滨岸沙坝、障壁沙坝沉积为主。海西早期受区域性挤压抬升形成向西南倾伏的北东向展布的大型鼻凸,并经历长期剧烈的风化剥蚀作用,大部分缺失志留系—泥盆系、上奥陶统,中、下奥陶统也受到不同程度的剥蚀,形成了大量的岩溶缝洞储集体;石炭系至二叠系为一套海陆交互相沉积,石炭系以潮坪、潮道、潟湖沉积为主;二叠系缺失上、下统,中统以火山喷发岩为主,夹粗碎屑沉积。海西晚期运动使该区再次抬

升、暴露,形成了一系列近东西向的褶皱和断裂,大部分地区仅保留下石炭统,缺失上石炭统及二叠系,局部地区下石炭统亦剥蚀殆尽(图2)。

本区中、新生界为一套巨厚陆相沉积。印支期—燕山期该区构造运动相对较弱,主要表现为整体升降,使该区缺失中、上侏罗统;至喜马拉雅期,受库车前陆盆地急剧沉降的影响,使 T_0 不整合面及以上地层由整体南倾转变为向北下倾,阿克库勒凸起最终定型。

阿克库勒凸起经历了多期构造运动,其中对奥陶系碳酸盐岩岩溶作用影响最大的构造运动是海西早期运动,其次是加里东中期运动;海西晚期运动对局部地区也有一定的影响。

2.2 烃源岩

塔河地区油气藏的主力烃源区是满加尔坳陷,该区寒武系—中、下奥陶统源岩为台缘斜坡—欠补偿盆地相沉积,烃源岩厚度大,有机质类型好、丰度高。因此,本区油气总体具外供油源的特点^[4]。

据烃源岩热演化的研究,满加尔坳陷寒武

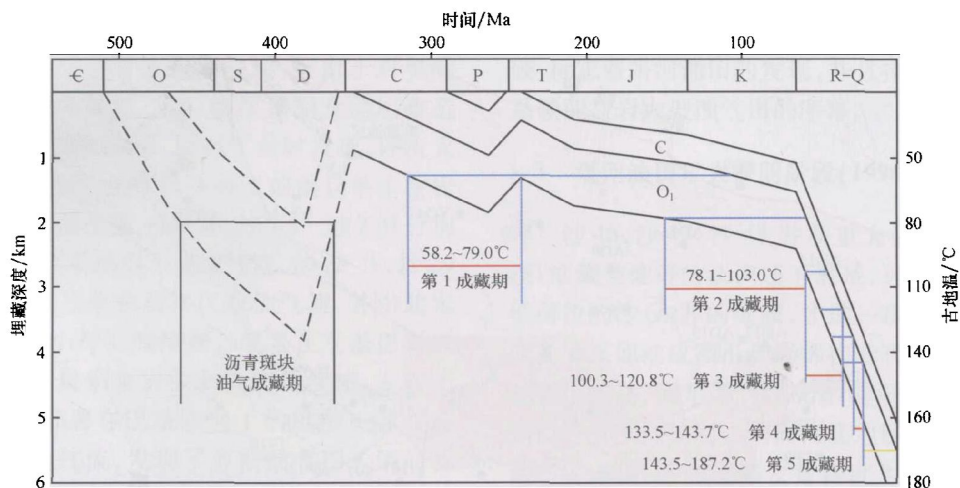


图2 塔河油田油气成藏期次划分

Fig. 2 Division of hydrocarbon accumulation phases in Tahe oilfield

系一中、下奥陶统烃源岩具长期、持续生烃、多期供烃的特点。海西期是寒武系一中、下奥陶统源岩生-排烃高峰时期,提供以原油为主的油气资源,喜马拉雅期该区烃源岩生、排烃的规模有所减少,并且提供以天然气和轻质油为主的油气资源^[5,6]。

2.3 储层特征

塔河地区奥陶系碳酸盐岩储层的特征是:

1) 奥陶系碳酸盐岩经各种成岩作用的改造,其原生孔隙已破坏殆尽,现今有效储集空间是构造及岩溶作用形成的裂缝和溶蚀孔洞。以构造缝和溶蚀孔、洞、缝等次生孔隙为主,储渗空间几何形态多样,大小悬殊,分布不均。按照储层储渗空间几何形态、大小和成因,将储集空间类型划分为3大类储集空间:碳酸盐岩大型洞穴(直径>50 mm)、溶蚀孔洞(直径0.01~50 mm,孔洞多沿裂缝发育、连通)和裂缝(风化裂缝和构造裂缝,均为高角度缝)。裂缝既是储集空间又是主要的流体流动通道。

2) 基块孔、渗性极差,难以构成有效的储集空间。据塔河地区数百口井、上万件岩心样品分析,灰岩的基块孔隙度平均在1%左右,渗透率小于 $0.1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,充分表明基块孔、渗性差的特征;仅局部基块孔、渗性较好,如塔河油田南部中奥陶统一间房组。

3) 储集体为多期次古构造-岩溶、多旋回岩溶叠加、改造产物,缝洞单元纵、横向分布复杂,同

一缝洞单元不同部位的主要储集空间类型差异较大。储层在纵向上和横向上非均质性极强。由于灰岩基块孔、渗性极差,主要储渗空间为受构造及古岩溶作用所形成的裂缝和溶蚀孔洞,而构造及古岩溶作用对灰岩的改造受多种因素的控制,极不均一,因而所形成的裂缝溶蚀孔洞的分布极不均一。

依据储集空间类型及其组合方式,塔河油田奥陶系储层类型可以分为3类:裂缝-溶洞型、裂缝-孔洞型和裂缝型。

裂缝-溶洞型和裂缝-孔洞型:是塔河油田最重要也是最好的储层类型,其孔、洞、缝均发育且以孔洞为主,裂缝孔隙度 $\geq 0.05\%$,孔洞孔隙度 $\geq 2.0\%$ 。

裂缝型:孔、洞均不发育,以裂缝为主,裂缝孔隙度 $\geq 0.05\%$ 。储集体具极强的非均质性^[7-9]。

2.4 盖层及储盖组合

塔河地区奥陶系油气藏的盖层主要为泥岩。包括三叠系下统柯吐尔组泥岩段、石炭系下统卡拉沙依组下部泥质岩段、巴楚组下泥岩段及膏泥岩、上奥陶统泥灰岩及灰质泥岩。这几类盖层在阿克库勒凸起均有分布,尤其是下石炭统卡拉沙依组下部泥岩段和巴楚组的泥岩,岩性致密、单层厚度大、层位稳定,是良好的地区性盖层。

在塔河油田奥陶系的储盖组合中,下石炭统巴楚组泥岩盖层与中、下奥陶统岩溶缝洞储集体

组成的储盖组合,上奥陶统恰尔巴克组灰质泥岩、泥岩盖层与中、下奥陶统岩溶缝洞储集体组成的储盖组合是塔河油田最重要的储盖组合。

2.5 流体特征及温压系统

塔河油田奥陶系油藏为碳酸盐岩岩溶缝洞型油气藏,受多期成藏聚集以及缝洞型储层的非均质性控制,造成流体性质及分布十分复杂,在横向上和纵向上差别都较大。平面上,油气性质变化较大,具有由东南到西北由凝析气—正常油—重质油(稠油)的分布特征(图1),这种油气性质差异的形成与主力烃源岩长期生烃、多期成藏的特点休戚相关,早期形成的重质油藏被后期充注的轻质油或气所改造,造成同一油藏不同区块油气性质的明显差异,即距东南部烃源区近的油藏受后期轻组分充注量大,改造程度大,以常规油藏或凝析气藏为主,反之为重质油藏^[10,11]。塔河油田奥陶系油藏由于储层分布的强非均匀性,储集空间连通关系极为复杂,加之油藏为多期次的充注形成,造成油水关系极为复杂,没有统一的油水界面,油田由多个大小不一、能量不等的油藏组成。

受岩溶与构造形成的缝洞系统在各区域发育的深度不同的控制,相应油气运移聚集过程中水体的残留深度也不同。目前塔河油田见水深度最浅的为北部的沙78井,进入奥陶系风化壳岩溶体即见水,埋深仅5300m左右,而艾丁4井在埋深6500m以下仍为油气层。埋深最深的油气层深度比最浅的水层深度低近1200m。塔河油田区可以划分为多个油水体系,每个油水体系有各自的油水界面,而控制油水界面深度的主要因素还是岩溶作用在纵向上的作用深度与发育程度,即储层的发育程度。从目前塔河油田各区块奥陶系揭示的情况分析,从北至南,油水界面随 T_7^4 面即中奥陶统一间房组顶部风化壳的降低而逐渐降低的趋势,即“山高水高”。

塔河油田奥陶系油藏平均压力系数为1.1,属正常压力系统。油藏平均地温梯度为每百米2.2℃,属偏低温系统^[12]。

2.6 成藏期次

应用有机质热演化史研究、圈闭形成时间法、储层自生粘土矿物测龄、储层沥青法、饱和压

力—露点压力法,特别是流体包体分析法(图2),对奥陶系油藏成藏期次进行综合研究,表明塔河油田油气藏的形成是起始于海西晚期、延续至喜马拉雅期^[13~15]。海西晚期大规模的油气聚集与此时烃源岩处于生油高峰,油源特别丰富有关,而氧化降解是受海西晚期尚不完全封闭的保存条件影响,海西期后较高成熟度油气的充注则持续至今。以塔河油田4区、6区及3区下部为代表的重质油主要形成于海西晚期,印支期—燕山期的充注也有相当贡献;3区上部及7区南部分地区的常规油则主要在印支期—燕山期所形成;而3区顶部的凝析气,以及塔河油田东部井区的凝析气则形成于喜马拉雅期^[10~12]。

2.7 油藏类型

塔河油田奥陶系碳酸盐岩岩溶缝洞型油气藏是受构造—岩溶旋回作用形成的缝洞系统控制、由多个缝洞单元在空间上叠合形成的复杂非常规岩溶缝洞型油气藏群,单个缝洞型油气藏具有相对独立的油气水系统和不规则的形态,并在空间上以不同方式叠加,形成了平面上叠合连片含油、不均匀富集,纵向上产层严格受储集体发育程度控制,且难以进行横向对比的特征(图3)^[8,12]。

碳酸盐岩岩溶缝洞型油气藏的主要特征是:

1) 储集体的基本单元为缝洞单元,基岩基本不具储、渗性能;单个缝洞单元即是一个相对独立的油气藏。储集体的分布严格受控于古风化壳岩溶作用程度,平面上叠加、纵向上分层(岩溶—构造旋回控制)。

2) 油气藏的盖层可以是上覆分布稳定的泥岩,也可以是基本不具储、渗性能的基岩,但地区性盖层更重要。

3) 油气藏内部缝洞单元的边界主要是不具储、渗性能的基岩,也可以是封闭性断裂,但前者更为重要。

4) 油气藏群整体上不具统一的底水。油田区域上呈东部高、西部低的趋势。全油田可以分为多个油水体系,每个油水体系都有自己相对独立的油水界面,而控制油水界面深度的主要因素是岩溶纵向发育程度和断裂发育程度。

5) 油藏流体性质变化较大,由东南到西北,凝析气—轻质油—正常油—重质油依次分布,原油密度轻的仅0.82 g/cm³,重的可达1.00 g/cm³

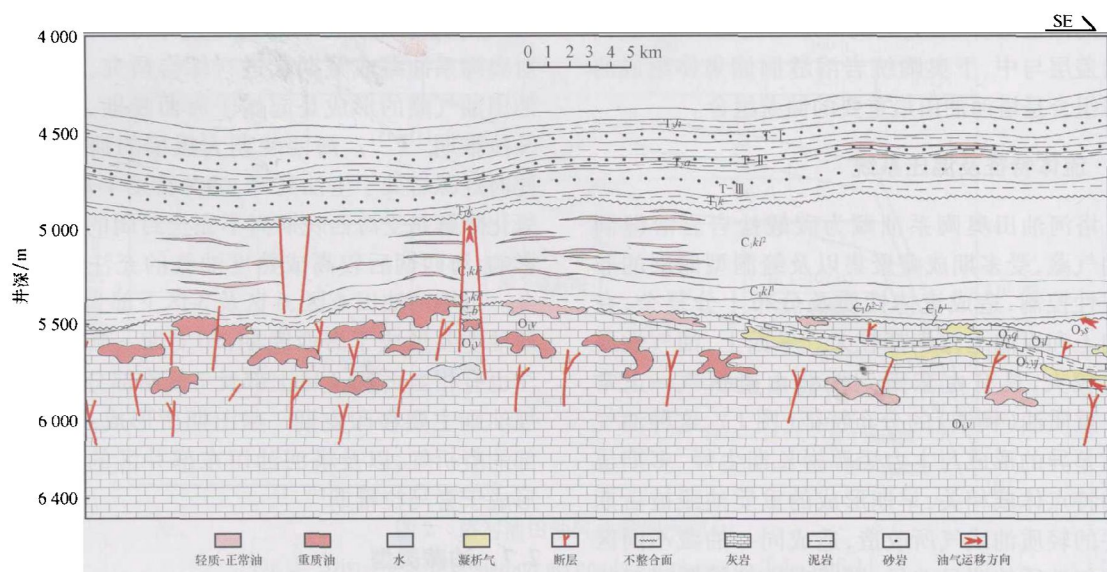


图3 塔河油田油藏剖面

Fig. 3 Profile map of an oil reservoir in Tahe oilfield

以上,与烃源岩长期生烃、多期成藏、多期改造等因素相关。

6) 目的层的埋深大,普遍大于5 500 m,为超深层油气藏,缝洞单元埋深差异达到1 300 m。

3 勘探实践与认识

3.1 理论创新

3.1.1 塔里木古生代克拉通盆地勘探思路

在长期的攻关研究和勘探实践中,逐步认识到塔里木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目标区,提出并坚持了“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,经认真研究,选择阿克库勒凸起西南部岩溶储集体发育的艾协克1号、2号岩溶残丘作为奥陶系碳酸盐岩大型油气田勘探的突破口,部署了沙46井、沙47井和沙48井,上述3口井的突破,特别是沙48井的重大突破,发现了塔河油田,并且拉开了寻找奥陶系碳酸盐岩大型油气田的序幕,这也表明,理论创新形成的正确勘探思路,是实现油气重大突破的最为基本的保证。

3.1.2 碳酸盐岩岩溶缝洞型油藏成藏理论

1) 海西期岩溶发育主控因素与储层发育规律认识带来了储量快速增长

沙46井、沙47井、沙48井获重大突破、塔河油田发现后,根据对油藏的强化研究,逐步认识到岩溶作用形成的岩溶缝洞储层是控制油气富集的主要因素,海西早期是塔河油田主体最主要的岩溶期次(图4),从而强化了对古岩溶作用的综合研究。

在对海西早期岩溶的主控因素与储层发育规律认识基础上,指出阿克库勒凸起轴部裂缝发育,是海西早期岩溶缝洞型储层发育的有利地区;同时,岩溶地貌也是控制岩溶发育的重要因素,岩溶斜坡是岩溶缝洞型储层发育的有利地区^[7,16]。因此,阿克库勒凸起轴部与岩溶斜坡的叠合部位是岩溶缝洞型储层发育最有利的地区。随着认识的提高,及时调整勘探部署,加大了该区的勘探部署力度,提高了勘探井的成功率,探井成功率达到75%,并带来了储量快速增长。相继提交7区、2区、8区探明储量 $18\,268 \times 10^4$ t油当量。基本探明塔河大油田的主体部分。

2) 加里东中期岩溶的发现,进一步开拓了勘探范围

通过“十五”前期的勘探和研究,加里东期古

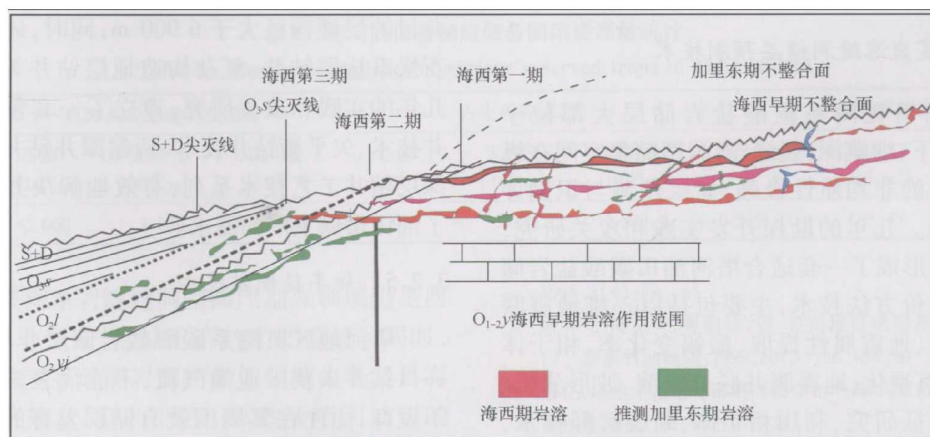


图4 塔河奥陶系岩溶储层纵向分布模式及岩溶发育范围示意图

Fig. 4 A sketch of vertical reservoir distribution and karst development of Ordovician carbonate rock in Tahe oilfield

构造、古岩溶研究取得重大进展,为塔河油田南扩提供了科学依据,加快了向外围甩开部署的步伐。塔河油田南部在中奥陶统一间房组与晚奥陶统恰尔巴克组之间,以及晚奥陶统内部(良里塔格组与桑塔木组间)存在间断,即加里东中期至少存在两幕岩溶作用(第一幕和第二幕)(图4)。同时对加里东中期岩溶作用所形成的有利储层分布区也有了深入的认识,认为主要有两类:一是阿克库勒凸起的轴部,凸起轴部裂缝发育,因而加里东中期岩溶也较发育,所以阿克库勒凸起的轴部的西南倾没端是岩溶储层发育的有利部位;二是沿加里东中期所形成的断裂发育有利储层^[16],在此认识基础上,加快了对该领域的勘探步伐,沙96井、沙106井、沙112井、沙117井等一大批井获得油气突破,相继提交探明储量 $31\,409 \times 10^4$ t油当量。使塔河油田的勘探面积向南(含南东和南西)扩大了 $3\,700\text{ km}^2$,从而扩大了该区的油气前景。

3) 深化塔河油田成藏特征认识,奥陶系油藏西扩获得重大突破,发现了艾丁油区

在塔河奥陶系油藏多期成藏与改造认识的指导下,提出艾丁地区岩溶缝洞型储层受控于早期断裂和加里东中期岩溶作用,呈条带状发育。海西早期油气成藏,海西早、晚期构造运动时期,该地区处于岩溶低部位,受该期岩溶作用影响较小,古油藏遭受破坏作用较弱,保留有相当规模的重质油藏;部署的一批钻井获得突破,艾丁4井、艾丁5井、艾丁7井等在塔河奥陶系一间房组获得高产工业油气流,近两年有望提交探明石油储量

超过 2×10^8 t,为千万吨油田建设奠定了坚实的资源基础。

3.1.3 碎屑岩领域二次成藏理论

通过近年对中、新生界碎屑岩领域的深入勘探,完善了晚期油气调整运移、二次成藏理论,指导了碎屑岩领域的勘探,实现了新地区、新领域的突破。

通过对碎屑岩领域成藏地质条件及成藏规律的深入研究,深化了认识,提出喜马拉雅期构造反转控制着油气的调整运移及二次成藏,塔河油田南部处于相对高部位,是油气调整运移聚集的指向区,所以是上古生界和中生界碎屑岩的油气富集有利区。遂加大了对三叠系、白垩系和第三系等中、新生界碎屑岩的立体勘探。截至2007年底,中、新生界碎屑岩累计探明储量 $6\,251.95 \times 10^4$ t油当量(石油 $4\,114.55 \times 10^4$ t、气 $213.74 \times 10^8\text{ m}^3$);油气勘探成果取得了丰硕的成果。

3.2 技术进步

工程、工艺技术的创新、进步和发展是实现油气重大突破与储量快速增长的不可或缺的重要支撑。塔河地区1995年以前就已经在奥陶系碳酸盐岩发现油气,并且获不稳定的油气流,但由于勘探技术与勘探对象不适应,未形成规模,亦未能进行全面评价。针对这一瓶颈“八五”以来,在取得重大油气突破的同时,强化了工程工艺技术攻关,逐步形成了一套适合于塔河油田勘探的方法技术。

3.2.1 地震岩溶缝洞储层预测技术

塔河油田奥陶系碳酸盐岩储层大都位于5 300 m以下,埋藏深,裂缝、溶洞型储集空间在纵向及横向上的非均质性极强,储层预测与识别评价十分困难。几年的勘探开发实践和攻关研究,初步建立并形成了一套适合塔河油田碳酸盐岩储层的预测评价方法技术,主要包括以三维地震联片处理技术、地震属性提取、振幅变化率、相干体计算、三维可视化、地震测井联合反演、波形分析、地震反射特征研究、利用相干体、断裂解释技术、模型正演技术、多尺度边缘检测技术、分频处理技术等^[17]。较好地解决了塔河油田碳酸盐岩岩溶缝洞型储集体预测与识别评价难题,建立了岩溶缝洞储层的地震响应特征,提高了储层预测精度,经实钻验证储层预测的吻合率高达90%以上。

3.2.2 碳酸盐岩储层测井半定量解释技术

塔河油田奥陶系碳酸盐岩储层大多以裂缝、溶洞型储集空间为主,在纵向及横向上的非均质性极强,测井储层识别与评价十分困难。针对这一难题,研发出一套包括成像测井技术、长源距声波全波测井技术、综合裂缝概率模型技术、双侧向电阻率及差异识别裂缝、双井径与钻头直径差值识别裂缝、声波、密度测井识别裂缝、自然伽马能谱测井识别裂缝、常规测井资料综合解释识别评价缝、洞发育段的测井半定量解释技术方法系列。通过岩心-成像测井-常规测井的标定,半定量解释储层,有效地解决了碳酸盐岩缝洞型储层测井识别与评价难题,进行了广泛应用,取得良好的效果。

3.2.3 酸化压裂储层改造技术

针对碳酸盐岩非常规复杂储集体自然建产率低的瓶颈,通过技术攻关与实践,形成了由前期清除技术、前置酸压技术、交替注入技术、快速助排技术、高排量施工、压前压后油井管理及酸压效果评估等技术组成的一套相对适应塔河地质特点的储层造技术系列,经推广应用,极大地改善了储层的渗流能力,大幅度提高了油气产量。

3.2.4 超深层复杂地层钻井技术

随着塔河地区勘探进一步向外围扩展,勘探

井目的层埋深已大于6 000 m,同时,还需解决过石炭系盐层钻井、复杂构造地层钻井等难题。近几年的实践和攻关研究,建立了一套包括穿盐钻井技术、欠平衡钻井技术、特超深井钻井技术等超深层钻井工艺技术系列,有效地解决并基本满足了油田增储上产的需求。

3.2.5 短半径侧钻技术

塔河地区奥陶系碳酸盐岩储层非均一性强,一口钻井未获工业油气流,不能代表该地区储层不发育,往往在其周围就有储层发育的部位。地球物理储层预测技术可在该井周围确定储层发育部位,利用短半径侧钻技术在该井进行侧钻,往往可取得良好的效果。利用这项技术“解放”了一大批未获工业油气流的钻井,不仅大幅增加了可采储量,也大幅增加了储量动用程度,取得了较好的效益。

3.2.6 碎屑岩隐蔽圈闭识别与评价技术

针对塔河地区中生界碎屑岩低幅度、岩性及复合型隐蔽圈闭落实难度大,逐渐摸索出了以地震资料精细标定解释、速度研究、地震振幅属性提取分析等技术为核心的隐蔽圈闭识别与评价技术,加大了科技攻关和综合研究力度,相继发现了一批上倾尖灭型非背斜圈闭和受岩性上倾尖灭+断裂控制的非背斜圈闭并部署钻井,相继测试获工业油流,开拓了塔河南三叠系辫状三角洲河道、河口坝油气勘探的新领域。非背斜领域的突破,发现了新的圈闭类型,开拓了新的勘探领域,进一步说明塔河油田碎屑岩勘探领域具有较好的勘探前景,同时开发了一套“以振幅找油”为核心的成熟的碎屑岩隐蔽圈闭落实与评价技术,为碎屑岩领域油气勘探奠定了坚实的物质和技术基础。

4 前景展望

塔河探区油气资源量为 40.54×10^8 t油当量,其中石油 25.91×10^8 t,天然气 $14\,624.81 \times 10^8$ m³。截止2007年底,塔河探区储备圈闭有37个,油气资源量为 6.06×10^8 t油当量,其中,石油 $4.625\,6 \times 10^8$ t,天然气 $1\,438.94 \times 10^8$ m³(表1),说明塔河奥陶系岩溶缝洞型圈闭为最重要勘探层系,其次为中生界和上古生界地层。

表1 塔河油田各领域储备圈闭资源量统计

Table 1 Resources statistics of various reserved traps in Tahe oilfield

探区	奥陶系岩溶缝洞型圈闭			古生界碎屑岩			中生界碎屑岩		
	石油/ (10 ⁴ t)	天然气/ (10 ⁸ m ³)	油当量/ (10 ⁴ t)	石油/ (10 ⁴ t)	天然气/ (10 ⁸ m ³)	油当量/ (10 ⁴ t)	石油/ (10 ⁴ t)	天然气/ (10 ⁸ m ³)	油当量/ (10 ⁴ t)
塔河	42 000	1 200	54 000	2 039	53.47	2 573.7	2 217.43	185.47	4 072.13

塔河奥陶系岩溶缝洞型圈闭勘探领域仍是西北分公司“十一五”增储上产的主要领域。同时,三叠系和白垩系碎屑岩圈闭勘探领域由于其具有较好的经济效益,有助于进一步改善塔河油田的资源结构,是另一重要勘探领域。志留系、泥盆系、石炭系在深化成藏条件研究和强化圈闭落实评价的基础上,依然是重要的潜在勘探领域。

寒武一下奥陶统内幕圈闭勘探领域目前已针对阿克库勒东侧台缘相建隆领域部署了一口探井,虽然未获油气突破,但钻遇较好储层与油气显示,已获得了超深层领域油气成藏及控因等方面的重要认识。进一步证实该领域具有一定前景,是实现“塔河深层找塔河”战略目标的有利领域^[16]。

参 考 文 献

- 1 翟晓先,刘鹏生.塔里木盆地北部复杂地质条件下寻找大油气田的方向和地区[A].见:康玉柱,陆青,张文献,等.中国塔里木盆地石油地质文集[C].北京:地质出版社,1996.41~45
- 2 陈发景,王燮培,汤良杰.新疆塔里木盆地北部构造演化与油气关系[M].北京:地质出版社,1996.78~82
- 3 费琪.成油体系与模拟[M].武汉:中国地质大学出版社,1997
- 4 张宝民,赵孟军,肖中尧,等.塔里木盆地优质气源岩特征[J].新疆石油地质,2000,21(1):33~37,86~87
- 5 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):59~65
- 6 顾乔元,潘文庆,曹淑玲,等.轮南地区奥陶系油气成藏特征[J].新疆石油地质,1999,20(3):36~38,96
- 7 顾亿.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
- 8 张希明.塔河油田下奥陶统碳酸盐岩缝洞型油气藏特征[J].石油勘探与开发,2001,28(5):17~22
- 9 丁勇,晏银华,顾亿,等.塔里木盆地塔河油田成藏史与成藏机制[J].新疆石油地质,2001,22(6):478~479
- 10 林忠民.塔河油田奥陶系碳酸盐岩储层特征及成藏条件[J].石油学报,2002,23(3):23~26
- 11 赵靖州.油气成藏年代学研究进展及发展趋势[J].地球科学进展,2002,17(3):378~381
- 12 李明娟,张永贵,郭兴威,等.塔河南部地区碳酸盐岩油气预测技术研究[J].石油与天然气地质,2006,27(4):536~541
- 13 陈红汉.油气成藏年代学研究进展[J].石油与天然气地质,2007,28(2):143~150
- 14 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
- 15 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):570~576
- 16 樊政军,柳建华,张卫峰.塔河油田奥陶系碳酸盐岩储层测井识别与评价[J].石油与天然气地质,2008,29(1):61~66
- 17 马安来,金之钧,王毅.塔里木盆地台盆区海相油源对比存在的问题及进一步工作方向[J].石油与天然气地质,2006,27(3):356~363

(编辑 高 岩)

(上接第564页)

- 10 赵重远.试说中国后海西地台的存在和其地质意义[J].石油与天然气地质,2005,26(1):16~22
- 11 洪汉净,马宗晋,程国梁,等.我国大陆古板块运动演化的特征[J].石油与天然气地质,2005,26(1):23~28
- 12 康玉柱,陆青,张文献,等.中国塔里木盆地石油地质文集[M].北京:地质出版社,1996.12~13
- 13 邱蕴玉,徐濂.扬子区海相油气保存条件及油气成藏规律研究[M].北京:科学出版社,1993.184~208
- 14 何登发,马永生,杨明虎.油气保存单元的概念与评价原理[J].石油与天然气地质,2004,25(1):1~8
- 15 周玉琦,易荣龙,舒文培,等.中国石油与天然气资源[M].武汉:中国地质大学出版社,2004.20~30
- 16 Lu Xiuxiang, Jin Zhijun, Liu Luofu, et al. Oil and gas accumulations in the Ordovician carbonates in the Tazhong Uplift of Tarim Basin, west China [J]. Journal of Petroleum Science and Engineering, 2004, 41(1): 109~121

(编辑 董 立)