

文章编号:1009-9603(2021)05-0001-12

DOI:10.13673/j.cnki.cn37-1359/te.2021.05.001

济阳坳陷不同领域油气勘探思路与方向

王永诗

(中国石化胜利油田分公司,山东 东营 257000)

摘要:济阳坳陷是中国东部典型陆相断陷盆地,经历了60 a勘探历程,目前已进入复杂隐蔽油气藏为主的精细勘探阶段。面临勘探程度高、资源发现程度高、勘探目标碎小隐蔽等严峻形势,深化油气勘探,实现规模增储、效益勘探成为必须解决的问题。通过系统梳理勘探现状及存在的关键问题,认为济阳坳陷沙四段上亚段及以上层系勘探程度高,为成熟领域;沙四段下亚段及以下层系勘探程度低,为“三新”领域;页岩油气资源潜力大,为接替领域。针对不同勘探领域,提出了相应的勘探思路,即精细勘探成熟领域稳定增储、风险勘探和预探“三新”领域规模发现、源内勘探页岩油气谋划长远。

关键词:成熟领域;“三新”领域;页岩油气;精细勘探;风险勘探;源内勘探;济阳坳陷

中图分类号:TE132.1

文献标识码:A

Ideas and directions for oil and gas exploration in different fields of Jiyang Depression, Bohai Bay Basin, China

WANG Yongshi

(Shengli Oilfield Company, SINOPEC, Dongying City, Shandong Province, 257000, China)

Abstract: Jiyang Depression is a typical continental faulted basin in eastern China. It has experienced 60 years of exploration and development and entered a fine exploration stage of complex subtle reservoirs. Given the high degree of exploration and resource discovery, small and hidden exploration targets, and other grave situations, it is necessary to deepen oil and gas exploration and realize large-scale storage increase and efficient exploration. After the systematical analysis of the existing exploration state and key problems, it is considered that the exploration degree in the Upper Submember and its upper strata of the Fourth Member of Shahejie Formation in Jiyang Depression is high, which is a mature field. The exploration degree in the Lower Submember and its lower strata of the Fourth Member of Shahejie Formation is low, which belongs to the “three-new” field. In addition, shale oil and gas resources have great potential, representing an alternative exploration field. In light of different exploration fields, corresponding exploration ideas are put forward, namely fine exploration in mature fields for stable reservoir increase, risk exploration and preliminary prospecting in the “three-new” fields for large-scale discovery, and in-source exploration of shale oil and gas fields for a long-term plan.

Key words: mature field; “three new” field; shale oil and gas; fine exploration; risk exploration; in-source exploration; Jiyang Depression

济阳坳陷是渤海湾盆地的典型代表,为地质条件最复杂的断陷盆地。回顾济阳坳陷60 a的勘探历程,先后经历了1961—1982年的构造油气藏勘探阶段,1983—1995年的复式油气藏勘探阶段,1996—2012年隐蔽油气藏勘探阶段,2013年以来进入油气

精细勘探阶段^[1]。济阳坳陷面临油气资源发现率高、中浅层勘探程度高、成藏规律认识不系统、地震资料精度低等诸多难题,需重新认识资源潜力,系统揭示油气分布规律及富集机制,创新发展地震勘探技术,破解勘探目标发现难的困境,实现可持续

收稿日期:2021-05-28。

作者简介:王永诗(1964—),男,山东邹平人,正高级工程师,博士,从事石油地质研究与油气勘探管理工作。E-mail:wangysh623@sina.com。

高质量勘探。

济阳拗陷含油气层系多,已发现太古界至新近系等12套含油气层系,其中沙四段上亚段及以上层系勘探程度高,探明程度超过60%,为成熟领域;沙四段下亚段及以下层系探明程度多小于40%,为“三新”领域;非常规页岩油气资源潜力大,尚处于起步阶段,为接替领域。基于不同勘探领域的认识程度和当前技术发展现状,分层次提出不同领域勘探部署思路,即精细勘探成熟领域稳定增储、风险勘探和预探“三新”领域规模发现、源内勘探页岩油气谋划长远,以期为济阳拗陷油气勘探的规模发现和储量的稳定增长提供参考。

1 精细勘探成熟领域稳定增储

济阳拗陷沙四段上亚段及以上层系探明石油地质储量占总探明石油地质储量的93.0%，“十二五”以来,沙四段上亚段及以上层系新增控制石油地质储量为 $51\ 123 \times 10^4$ t,预测石油地质储量为 $56\ 548.83 \times 10^4$ t,分别占总控制、预测石油地质储量的82.3%和81.8%。成熟层系仍然是稳定增储的主要领域。

精细勘探是针对高勘探程度区,基于大量勘探开发数据及已有理论认识,全盆地、全层系、多类型、多尺度精细认识剩余油气资源、有效储层以及成藏规律,创新发展勘探技术,实现可持续高质量勘探。

1.1 精细勘探评价流程

1.1.1 勘探层单元划分

不同勘探阶段的勘探单元划分是油气选区评价的基础^[2]。在精细勘探阶段,提出了勘探层单元的概念,即以二、三级构造带和构造层或构造亚层为基础,综合考虑勘探程度、认识程度、油气成藏主控因素差异,划分的具有相对统一的构造体系、沉积体系、油气运聚体系的地质单元^[3-4]。

勘探层单元纵向上以已发现油气藏的沉积储层特征、油藏类型、油气富集规律及流体性质为依据,同时考虑不同层系的勘探程度(钻探、油气资源发现)、层系之间的勘探技术的差异性,进行勘探目的层系的划分;平面上要体现油气成藏组合的相对独立性及构造体系、沉积体系的完整性,以二、三级构造带为基础,以构造脊、大断裂、分隔槽、沉积相带、构造鞍部为界划分。由此将济阳拗陷划分为太古界、古生界、中生界、孔店组—沙四段下亚段、沙

四段上亚段、沙三段、沙二段、沙一段—东营组、馆陶组—明化镇组等9个层系共305个勘探层单元。

以埕岛地区为例,可划分出9个勘探层单元(图1),分别为:埕岛低凸起新近系、埕岛低凸起古近系(主要为沙一段—东营组)、埕岛低凸起中生界、埕岛低凸起古生界、埕岛低凸起太古界、埕岛东部斜坡带古近系(沙一段—东营组)、埕岛南部断裂带新近系、埕岛南部断裂带中生界、埕岛南部断裂带古生界。

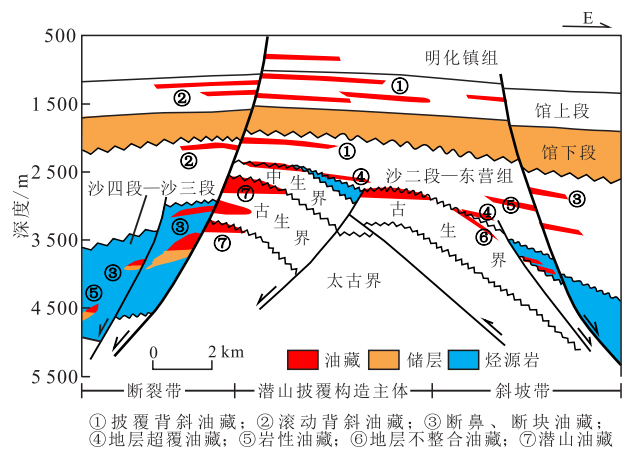


图1 埕岛地区油气成藏模式
Fig.1 Hydrocarbon accumulation modes in Chengdao area

在勘探层单元划分的基础上,以油气资源评价为基础,正演和反演方法相结合,进行勘探层单元油气资源量评价,进而明确勘探层单元剩余油气资源潜力,以满足近中期勘探需求。

1.1.2 勘探层单元优选

勘探层单元优选是从地质认识的可靠性、物探技术的适应性及预期经济价值3个维度开展。按照勘探领域的性质,将其划分为增储领域和突破领域(图2)。在济阳拗陷305个勘探层单元中,综合考虑

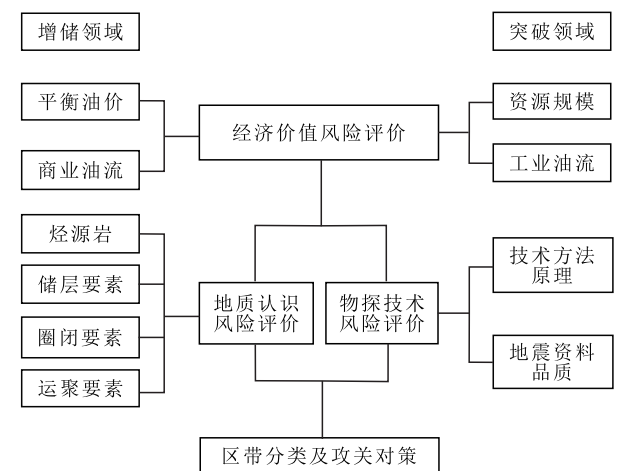


图2 勘探层单元优选流程
Fig.2 Evaluation and optimization process of exploration layer units

油气资源发现情况、剩余油气资源潜力、当前勘探及研究重点方向等因素,筛选出2018年122个勘探层单元。其中勘探增储领域(88个勘探层单元)以商业发现为中心,注重落实油气资源品质及商业油流率,评价千万吨级以上勘探层单元13个,以三角洲-浊积岩、滩坝砂、砂砾岩等储集体为主;勘探突破领域(34个勘探层单元)以油气资源发现为中心,注重油气资源潜力及其在勘探领域的带动意义,评价千万吨级以上勘探层单元10个,以红层、潜山及地层油藏为主。通过开展勘探层单元优选,明确了效益勘探阵地及攻关方向,为勘探部署和科技攻关提供了决策依据。

1.1.3 精细地质模型建立

济阳坳陷成熟领域勘探方向主要分布在构造转换带、沉积结合部、地层突变带,这些地区不是油气资源的空白区,而是认识的相对薄弱区,必须建立精细地质模型。

在构造精细建模方面,提出了断陷盆地“斜向拉伸”动力学背景控制的扭张构造样式及控藏作用。济阳坳陷在古近纪近南北向拉张构造背景下,使斜交区域拉伸方向的基底断层复活,形成一系列扭张断裂系统,表现为雁列状、弧状断裂系,这些扭张断裂系控制了圈闭发育、油气运聚与成藏。以此为指导,在临商扭张断裂带、夏口扭张断裂带等地区勘探取得了重要进展。

在沉积精细地质建模方面,随着大型沉积体主体的逐步探明,勘探逐渐向沉积体的侧翼或多类沉积体的结合部转移,这些部位沉积储层分布复杂,准确预测储集体分布是勘探关键。以古近系陡坡带砂砾岩体为例,在先期沟-扇对应认识的基础上,认识到古冲沟侧翼基岩断裂发育,小型冲沟控制形成了多个独立的砂砾岩体,这些扇体泥岩隔层更为

发育,可形成受岩性、构造双重控制的岩性构造圈闭,使砂砾岩体勘探空间和领域得到进一步拓展。

在地层不整合的精细识别方面,除受区域构造运动控制的一级地层不整合外,综合古生物、古风化壳、底砾岩、构造变形标志、同位素年龄等资料,利用测井综合分层曲线、地震高阶时频分析联合识别了二级、三级地层不整合,利用地震属性瞬时相位技术、夹角地震外推技术等准确识别出地层不整合圈闭,这些二、三级地层不整合圈闭的油气成藏条件好、勘探潜力大。

1.1.4 油藏分布序列建立

断陷盆地的构造格局及沉积充填控制着圈闭类型、输导体系、储集条件、源储配置等油气成藏要素的有序发育,决定了不同构造带的油藏分布序列^[5]。在同一洼陷内,油气有序成藏表现为从洼陷中心到边缘,油藏类型依次发育岩性、构造、地层油藏,形成油藏纵向叠置、横向毗邻、有序分布的成藏特征^[5](图3)。在断陷盆地不同层序格架内,主力烃源岩层系的油藏分布序列最完整,随着远离烃源岩层系,油藏分布序列虽不完整但依然有序分布(图4)。在同一沉积体系内从深层到浅层,也表现出岩性、构造、地层油藏的有序分布特征。油藏类型的有序分布决定了油藏属性特征的对应性,不同类型油藏的属性特征决定了油气富集程度;洼陷中心的岩性油藏,油气充满度高,油气富集受地层压力及储集物性控制;斜坡带的构造油藏,油气充满度中等,油气富集受圈闭及储集物性控制;洼陷边缘的地层油藏,油气充满度较低,油气富集受输导及圈闭条件控制^[6]。

断陷盆地油藏类型分布的有序性突破了以区带为单元的油气分布规律认识的局限,储量“空白区”内油藏序列的不完整性正是精细勘探的方向所

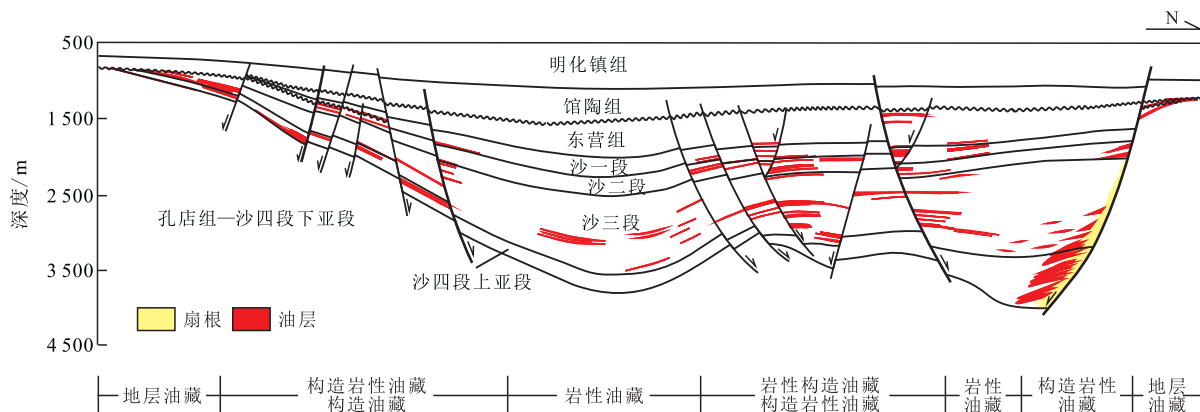


图3 断陷盆地不同构造带油藏分布序列模式

Fig.3 Reservoir distribution modes in different tectonic belts in faulted basins

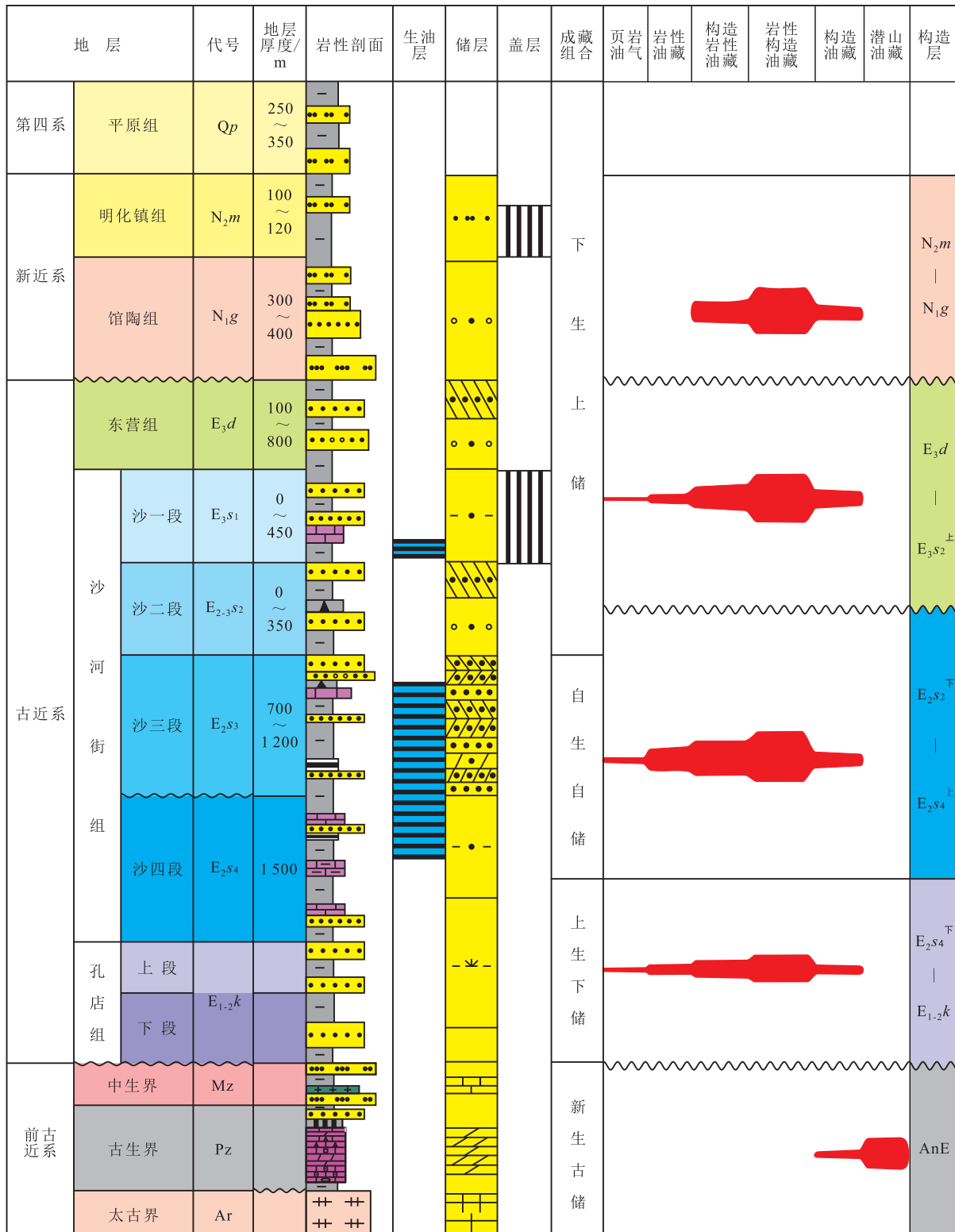


图4 断陷盆地不同层序格架油藏分布序列模式

Fig.4 Reservoir distribution modes of different sequence frameworks in faulted basins

在,油藏类型的有序性是成熟探区精细勘探的指导方针。同时油气富集模式的差异性决定了不同类型油气藏的勘探思路及关键技术,是实现高效勘探的关键。

1.1.5 成藏主控因素剖析

在油藏分布序列模式指导下,系统梳理储量“空白区”与油气成藏区的关系,可基本明确储量“空白区”的可能油藏类型。需通过对已发现油气

藏的解剖,明确成藏主控因素。例如渤南洼陷浊积岩油藏勘探,对其油气成藏区及失利井失利原因解剖表明,地层压力系数、储层厚度及断层封堵性控制油气充满度及含油高度;洼陷带烃源岩生烃形成异常高压,油气充注动力强,含油砂体油气充满度高,含油高度大,以岩性油藏为主;斜坡带地层以常压为主,断层发育,浊积岩受断层切割,形成构造岩性或岩性构造油藏。通过统计将砂体倾角、圈闭闭合高度、断层泥涂抹因子3个表征参数与油藏的含油高度进行多元回归,建立含油高度定量预测模型^[6]。断层泥涂抹因子决定了不同倾角砂体的圈闭含油高度,从而实现对圈闭含油面积的定量预测。含油高度定量预测模型为:

$$H = 1.369\theta + 0.943h - 38.942k + 18.307 \quad (1)$$

1.1.6 精细勘探技术攻关

在精细地质建模和主控因素剖析的基础上,针对不同类型油藏勘探的技术瓶颈,攻关完善了河道砂、砂砾岩、浊积岩、低级序断层解释等精细勘探技术,提高了钻探成功率。

河道砂精细勘探技术 形成了精细层控追踪、地震 RGB 属性融合与叠前泊松比反演进行砂体描述、利用地震衰减梯度属性进行含油性检测的勘探技术,在埕岛、垦东、三合村等地区应用,实钻吻合率达到78%。

砂砾岩精细勘探技术 形成了测井曲线重构进行旋回划分、储层成岩演化及孔喉结构进行储层评价的勘探技术。该技术应用于东营凹陷北带深部砂砾岩体勘探,钻探成功率由80%提高至90%。

浊积岩精细勘探技术 形成了高精度层序地层等时对比、多属性拟合的储层预测及油气成藏量化评价等勘探技术。该技术应用于渤南洼陷、牛庄洼陷、临南洼陷等洼陷带沙三段浊积岩勘探实践,钻探成功率提高12%。

低级序断层解释精细勘探技术 形成了相干分析、蚂蚁追踪等低级序断层精细刻画、以断层封闭性评价为核心的圈闭有效性评价等勘探技术。在惠民凹陷南坡及中央带、东营凹陷南坡陈官庄-王家岗地区、渤南洼陷垦西断裂带、车镇凹陷南坡大王庄地区应用,钻探成功率提高15%。

1.2 精细勘探方向

济阳拗陷成熟层系勘探潜力主要赋存于储量“空白区”,主要分布于构造转换带、沉积结合部、地层突变带。

1.2.1 构造转换带

构造转换带是指2个或以上正向构造带(背斜带或断裂带)之间的调节变形带。济阳拗陷古近纪由伸展构造到走滑-伸展构造的变化,控制了构造转换带的形成和发育。构造转换带可以分为弧形断裂系、羽状断裂系、帚状走滑伸展断裂系等。构造转换带控制沉积体系和隐蔽圈闭的发育;其中弧形断裂系控制陡坡带水下扇构造岩性圈闭发育,羽状断裂系控制中央背斜带浊积岩构造岩性圈闭发育,帚状走滑伸展断裂系控制构造尾部拉分区构造岩性圈闭发育。

1.2.2 沉积结合部

沉积结合部是指2个或以上沉积体系侧向或相向对接的边缘部位,或同一沉积体系不同相带之间的过渡区。以往认为沉积结合部储层不发育,通过沉积体系的重新认识,在东营三角洲前积体前方提出了坡移扇沉积新认识^[7],指出受古地形和水动力条件控制,从坡到洼发育滑动、滑塌、砂质碎屑流、浊积岩等沉积砂体^[8]。其中滑动、滑塌及碎屑流是过渡地带主要沉积类型,受断层切割可形成构造岩性、岩性构造油藏。

1.2.3 地层突变带

地层突变带是指由于地层超覆或剥蚀,造成地层缺失、形成地层不整合的变化带。按照不整合的规模可以分为3个级别,济阳拗陷古近系一级不整合有2个,分别为古近系与前古近系之间和新近系与古近系之间;二级不整合有2个,分别为沙四段下亚段与沙四段上亚段、沙二段下亚段与沙二段上亚段;三级不整合为局部不整合,分别位于孔店组内部、沙河街组内部、沙河街组与东营组之间、馆陶组与明化镇组之间。这些不整合形成地层超覆或地层剥蚀圈闭,而圈闭有效性、油源及富集条件评价是其油气勘探的关键。

成熟层系构造转换带、沉积结合部、地层突变带的油气资源潜力大,但其构造更加复杂,储层变化更快,地层接触关系复杂,油气成藏条件苛刻,精细勘探是破解难题的必由之路。

2 风险勘探和预探“三新”领域规模发现

2.1 风险勘探成效

风险勘探是推进成熟探区深化地质认识,实现“三新”领域战略突破的重要举措。自2006年济阳

拗陷实施风险勘探以来,截至2020年针对新区带、新层系、新类型等“三新”领域系统开展基础石油地质条件研究和风险勘探,完钻风险探井34口,其中见油气显示井26口,油气层井22口,获工业油气流井11口。这些风险探井的实施,促进了“三新”领域油气成藏规律认识的深化,发现了规模增储和建产阵地,实现了勘探的新突破,保障了济阳拗陷油气勘探的稳定发展。

2.1.1 古近系深层取得规模发现

随着济阳拗陷中浅层油气勘探程度的不断提高,勘探向深层进军是必然趋势,但深层的油气源条件、有效储层条件是制约勘探的关键问题。为此,针对孔店组—沙四段深层不同类型储集体开展风险勘探。

2006年在东营凹陷北部陡坡带钻探的新利深1井,在沙四段获得高产工业油气流,折算日产油量为99.9 t/d,日产气量为 $30 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,揭示了陡坡带深层砂砾岩具有形成油气聚集的有利条件。

2007年在渤南洼陷钻探的渤深8井于沙四段获得日产油量为8.8 t/d,日产气量为 $32\,214 \text{ m}^3/\text{d}$,促进了义176块 $3\,781 \times 10^4 \text{ t}$ 探明石油地质储量的发现和动用。

2008年在利津洼陷带钻探的利57井于沙四段上亚段纯下次亚段获日产油量为4.16 t/d。其后钻探的利67井获日产油量为 $83.4 \text{ m}^3/\text{d}$,突破了滩坝砂岩4 000 m以下有效储层不发育的认识禁区,引领东营凹陷西部滩坝砂岩油藏勘探全面进入深洼区,整体上报探明石油地质储量 $8\,463.56 \times 10^4 \text{ t}^{[9]}$ 。

这些风险探井的钻探,揭示了济阳拗陷古近系深层油气成藏富集的基本条件,为全面认识深层油气资源潜力、有效储层发育和油气成藏提供了资料支撑。

2.1.2 低勘探程度区成为增储建产新阵地

以青东凹陷为例。青东凹陷早期完钻探井5口,仅青东5井获低产油流,勘探认识程度低,勘探潜力不明确。“十一五”以来,重新认识青东凹陷走滑断裂的控藏作用以及沙四段上亚段烃源岩早生速排的演化特征,明确了油气成藏富集的主控因素,建立了油气成藏模式。2008年钻探的青东12井于沙四段获得日产油量为54 t/d,推动青东5块勘探开发,从而发现桥东油田^[10],其后又相继取得青东17井区(沙四段下亚段)、青东30井区(沙三段下亚段)、青东25井区(中生界)勘探的突破,2020年底青东凹陷累积上报三级石油地质储量 $3\,860 \times 10^4 \text{ t}$ 。

2.1.3 前古近系潜山勘探迎来新高潮

济阳拗陷古生界潜山在经过20世纪70—80年代和90年代两轮次的勘探后,进入沉寂期。2015年以来,加强潜山成山—成储—成藏机制研究,先后提出了“挤—拉—滑—剥”共控成山机制,“风化淋滤—构造裂隙—流体溶蚀”三元控储机制,油气侧向运移、走向运移、高压倒灌,后期不活动老断层可形成有效封堵等多种油气成藏模式^[11-14]。以这些认识为指导,2016年钻探车古27井,在古生界获得日产气量为 $76\,412 \text{ m}^3/\text{d}$,证明了上古生界煤系烃源岩形成独立的含油气系统,古生界潜山具有古近系、石炭系—二叠系双源供烃条件,上、下古生界都具有有利的成藏条件。古生界潜山成山—成储—成藏机制新认识有效地指导了埕岛、高青、义和庄、陈家庄、孤北等地区潜山油气勘探新发现,带来了潜山勘探新高潮。

2.2 风险勘探启示

2.2.1 风险勘探是实现“三新”领域突破的发动机

新利深1、渤深8等井的钻探表明,济阳拗陷埋深在3 500 m以下的深层发育有效储层,具有较好的油气成藏条件,从而发现了孔店组、沙四段新的含油气系统,极大地拓展了济阳拗陷勘探空间。

车古27井钻探证实了石炭系—二叠系煤系烃源岩具有生成工业油气藏的资源条件,从而在下古生界和新生界勘探发现的基础上,发现了上古生界含油气系统。新的含油气系统的发现带来了资源量的大幅增加和勘探新领域的突破,为已处于高勘探程度阶段的济阳拗陷勘探发展注入了新的动力。风险探井的突破,有效引领了同领域的勘探发展。

2.2.2 风险勘探是深化地质规律认识的推进器

利57井的勘探突破带来了断陷盆地滩坝砂大面积分布、大面积含油的新认识,突破了断陷盆地滩坝砂岩“溜边、爬坡、小范围分布、构造控藏”的传统认识,有效储层下限大幅延伸,发展了断陷盆地隐蔽油气藏勘探理论。济阳拗陷潜山成山—成储—成藏机制新认识认为走滑运动对成山具有重要作用,建立“走向输导、高压倒灌输导”新的油气成藏模式,使负向潜山带、源下潜山带等成为重要的勘探方向,丰富了济阳拗陷多样性潜山油气成藏理论,带来了潜山勘探的新高潮。

2.2.3 风险勘探是规模储量发现的重要途径

青东12井的勘探突破,实现了青东凹陷工业产能突破,从而带动青东凹陷区带评价进程,发现了三千万吨级桥东油田。桥东油田的突破展示了济

阳拗陷主力富油凹陷周缘小洼陷规模勘探潜力。通过优选重点评价青南洼陷、三合村洼陷、富林洼陷,其中三合村洼陷发现了五千万吨级的三合村油田,青南洼陷发现了二千万吨级的青南油田。

同时必须看到,风险勘探领域地质认识程度低,勘探技术受到的制约因素多,必须认真分析风险勘探领域关键问题,以油气成藏条件为重点,加强地质历史时期成烃、成圈、成储、成藏的研究,持续攻关勘探技术,优选风险勘探领域,做好长远规划安排,制定阶段研究计划,实时提出风险勘探目标,带动新的规模储量发现。

2.3 风险勘探方向

济阳拗陷常规油气风险勘探应重点围绕勘探程度低的太古界、中一古生界、古近系深层以及外围探区展开。

2.3.1 太古界潜山

济阳拗陷太古界潜山风化壳油藏发现储量 3.697×10^4 t,具有富集高产的特征。近年来,中国海洋石油渤海公司在渤中拗陷西南缘的太古界潜山发现了亿吨级的渤中19-6油气田,在近千米的太古界钻遇地层中,发育顶部大气淡水淋滤风化壳储集系统和内幕深部流体溶蚀裂缝储集系统。渤中19-6-7井钻遇太古界983 m,测井解释气层440 m,净毛比为38.8%^[15]。胜利油田2008年完钻的埕古19井钻遇太古界1433 m,岩性为二长花岗片麻岩,测井解释I类和II类储层271.3 m,揭示了济阳拗陷太古界存在风化壳和内幕等多套储层。

针对太古界潜山需在构造演化研究基础上,加强岩相、结构、断裂、风化程度对风化壳及内幕储层控制作用的研究,明确储层非均质性特征,开展太古界地震处理技术攻关,多种方法刻画储层发育,综合考虑油源、储层和资料等因素,扩大风化壳油

藏含油范围,探索太古界潜山内幕含油性。

近期针对埕岛-桩海潜山、东营北带潜山、孤岛潜山、义和庄潜山等风化壳油藏和内幕油藏开展风险勘探。特别是埕北30潜山与渤中19-6潜山属于统一的潜山构造带,埕北30潜山地震资料显示太古界断层发育和内幕层状反射特征,具有发育内幕油气藏的可能性。

2.3.2 中一古生界潜山

中一古生界潜山是济阳拗陷重要的增储领域之一,也是富集高产领域,有潜山百吨井65口,千吨井8口,占济阳拗陷千吨井的44.0%。截至2019年底,济阳拗陷中一古生界潜山油藏已探明石油地质储量 2.21×10^8 t、控制石油地质储量 $3.072.92 \times 10^4$ t、预测石油地质储量 $4.683.49 \times 10^4$ t,剩余资源量 11.1×10^8 t,显示出良好的勘探潜力。

济阳拗陷潜山具有演化的叠合性、结构的多样性、储层的复杂性、油气的多源性、成藏的差异性。要建立潜山“成因-结构”分类体系,加强有效储层发育控制因素研究,形成多类型多断裂地震描述技术,建立基于不同油藏类型的潜山差异富集规律及平面分布模式。

对于下古生界潜山,近期要以埕岛-桩海、孤西、车西、高青-平南、长堤等潜山负向构造带开展风险勘探和预探(图5),加强目的层系碳酸盐岩性圈闭的风险勘探,同时积极勘探孤岛、义和庄等潜山内幕油藏。

对于上古生界潜山,济阳拗陷煤系地层分布面积为5500 km²,暗色泥岩分布面积为6000 km²(图6),处于成熟-高成熟演化阶段,具有规模成藏的油气资源潜力。需深化烃源岩二次生烃潜力研究,加强碎屑岩及碳酸盐岩储层成储机制及分布规律研究,明确油气成藏模式。近期以惠民、临清、车西、孤

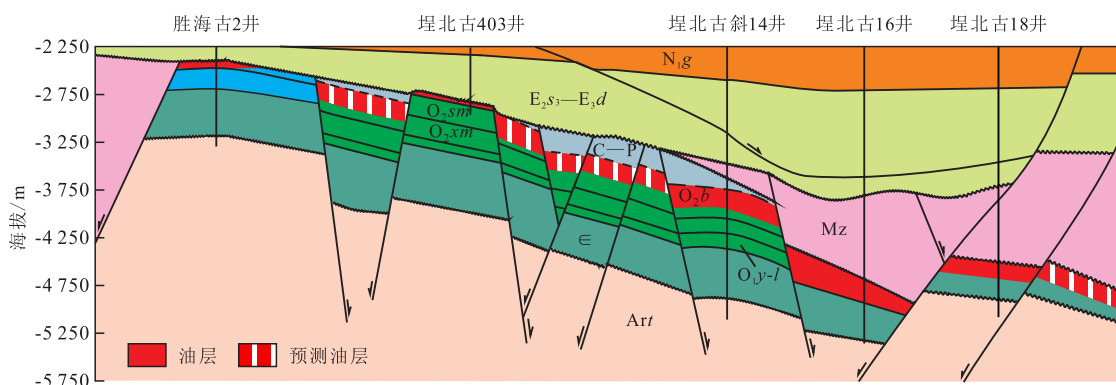
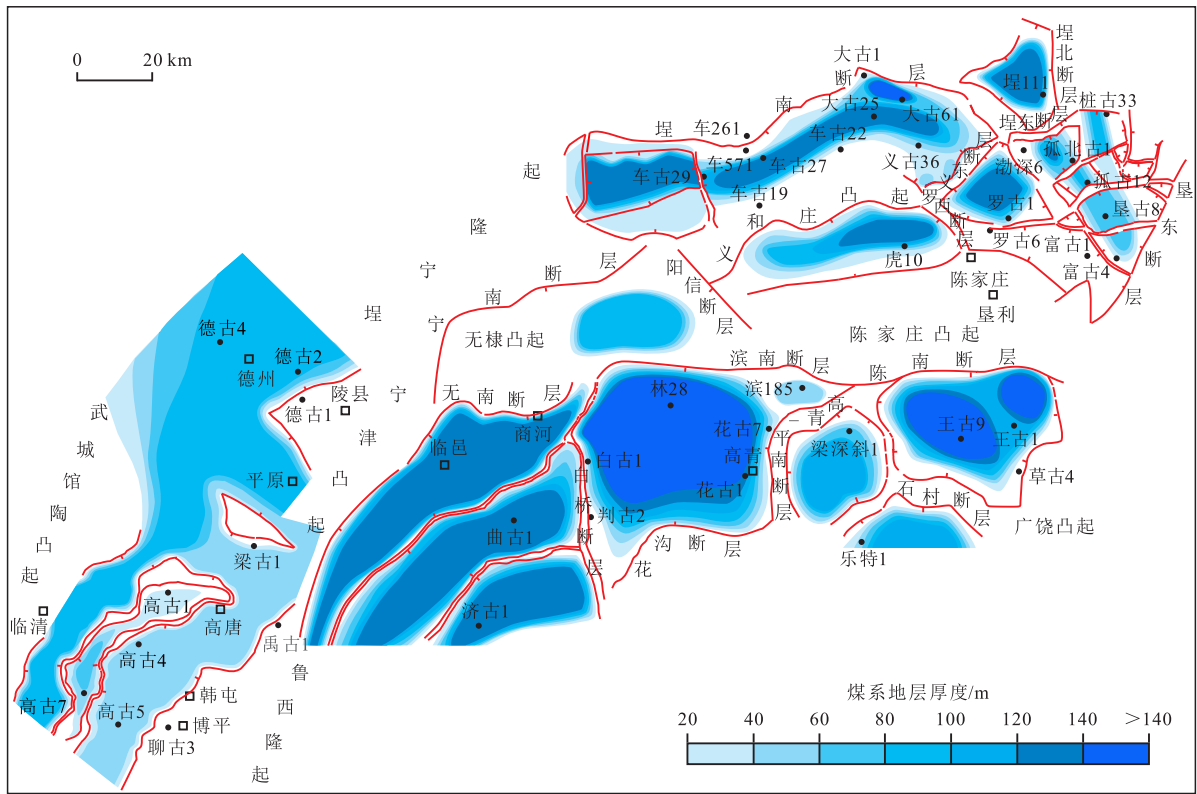
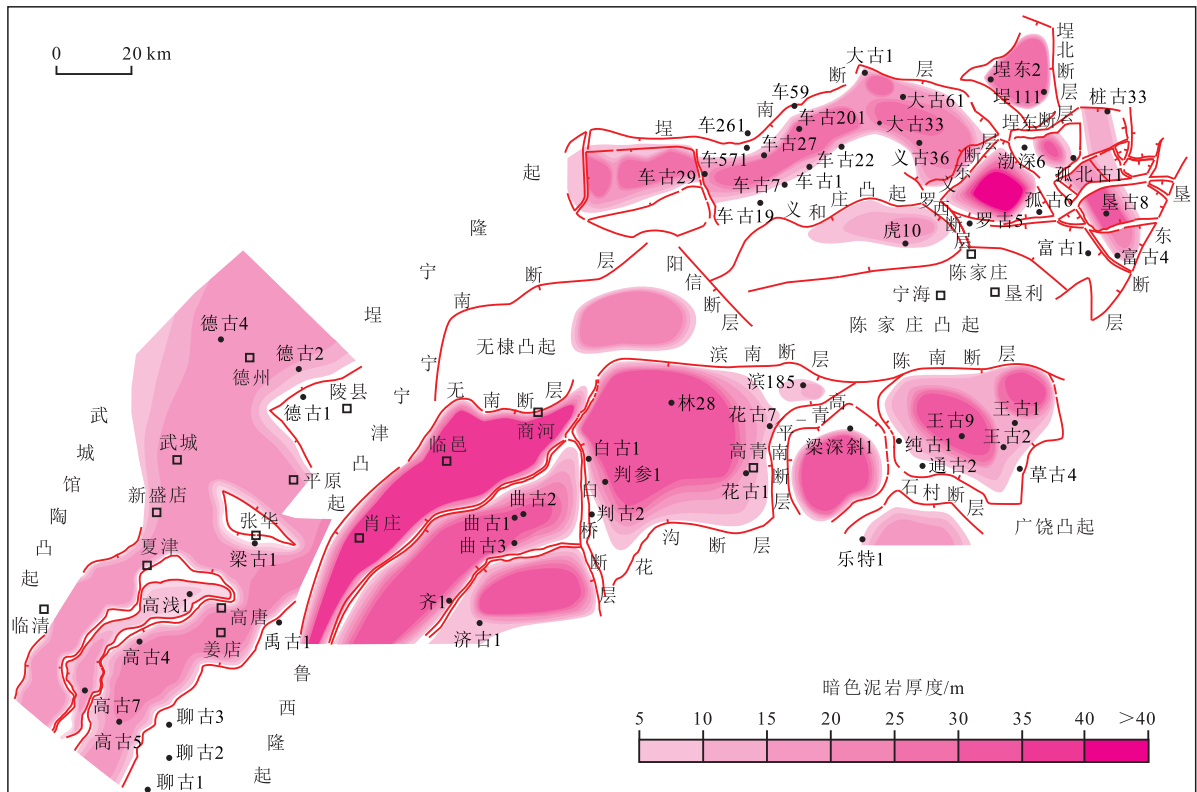


图5 埕岛地区潜山油气成藏模式

Fig.5 Hydrocarbon accumulation modes of buried hills in Chengdao area



a—太原组煤系地层厚度等值线



b—太原组暗色泥岩厚度等值线

图6 济阳坳陷上古生界煤系地层和暗色泥岩厚度分布

Fig.6 Thickness distribution of Upper Paleozoic coal measures and dark mudstone in Jiyang Depression

北等地区开展风险勘探和预探,特别要加强石炭系碳酸盐岩的风险勘探,以期尽快取得勘探新发现。

2.3.3 古近系深层

孔店组一沙四段是盆地裂陷初期形成的独立

含油气系统,形成自源和它源2种油气成藏体系(图7),整体勘探程度相对较低,储量发现少。近两年针对孔店组一沙四段先后部署的丰深斜101井、丰深斜11井等自源油气成藏体系相继获得成功,展示了良好的勘探潜力。需加强以下几个方面的研究:加强原型盆地恢复研究,明确构造对地层的充填控制作用;以含油气系统为单元,评价深层烃源岩资源量,明确油气相态特征;以相控为准则,明确区域优质储层的空间展布及发育规律^[16];开展基于模式识别的储层预测技术研究,形成地球物理描述技术;建立源-断-储-圈耦合控藏的油气成藏模式,多因素叠合开展潜力评价与目标优选工作。

近期应以东营凹陷和沾化凹陷的渤南洼陷为重点,在东营北带东段勘探突破的基础上,突破东营北带中-西段,并积极向沾化凹陷陡坡带和洼陷带拓展,特别是在油气资源评价基础上,积极探索孔店组含油气情况。

2.3.4 外围地区

东部探区的外围地区主要指临清坳陷东部、淮北凹陷及济阳坳陷主力凹陷周缘小洼陷。外围地区总体勘探程度低,虽然取得了一定程度的勘探发现,但除了淮北凹陷外,其他地区仍未能形成有效的接替阵地。制约外围地区勘探的主要原因是资料较少,油气成藏地质条件认识不清楚,资源潜力与勘探方向不明确;此外相对于济阳坳陷富油凹陷,外围地区勘探风险较大、勘探投入产出比较低,导致在油田勘探投入相对稳定前提下,外围地区勘探工作量偏低、研究力量投入不足。

面对济阳坳陷主力凹陷勘探程度不断提高、勘探发现难度不断加大的新常态,需加大外围地区研究和预探力度,尽快取得战略发现,并形成有效接

替。近期一方面要借鉴济阳坳陷勘探发现实践经验,依托现有资料,开展油气基础地质研究,明确油气资源潜力和有利勘探目标;另一方面开展外围地区区块或洼陷分类评价,优选资源量较大、成藏条件较好的区块或洼陷,积极开展风险勘探和预探。近期重点是临清坳陷,要充分借鉴邻区勘探经验,以上古生界为主要目的层,加强二次生烃条件和油气富集规律研究,开展煤成气风险勘探。

3 源内勘探页岩油气谋划长远

3.1 页岩油勘探研究进展

源内页岩油气是重要的资源接替领域。21世纪以来,全球非常规页岩油气勘探进入活跃期。济阳坳陷页岩油气资源丰富,分布广泛。沙四段上亚段、沙三段下亚段和沙一段泥页岩有机质丰度高、类型好,主要处于成熟-高成熟演化阶段,具备形成页岩油气的物质基础;无机矿物中脆性矿物含量较高,利于页岩油气的开采;储集空间为微孔和微裂缝,中、晚成岩作用过程中,异常高压及大量次生孔隙的形成,利于页岩油气的保存^[17]。

自2009年以来,胜利油区加强了针对页岩油的基础石油地质研究,目前已初步建立了适用于陆相断陷盆地页岩油实际的含油性、储集性、可动性、可压性的甜点评价指标体系(图8),基于地质-工程综合评价,进行了济阳坳陷页岩油甜点评价^[18-25],优选东营凹陷牛庄、博兴、利津洼陷及沾化凹陷渤南洼陷等作为先行试验区,取得了较好的开发效果。其中,牛庄洼陷牛斜55井沙四段上亚段埋深3 588.5~3 786.0 m井段,压裂试油,3 mm油嘴,峰值日产量为68.5 m³/d,日产气量为3 140 m³/d;渤南洼陷义页

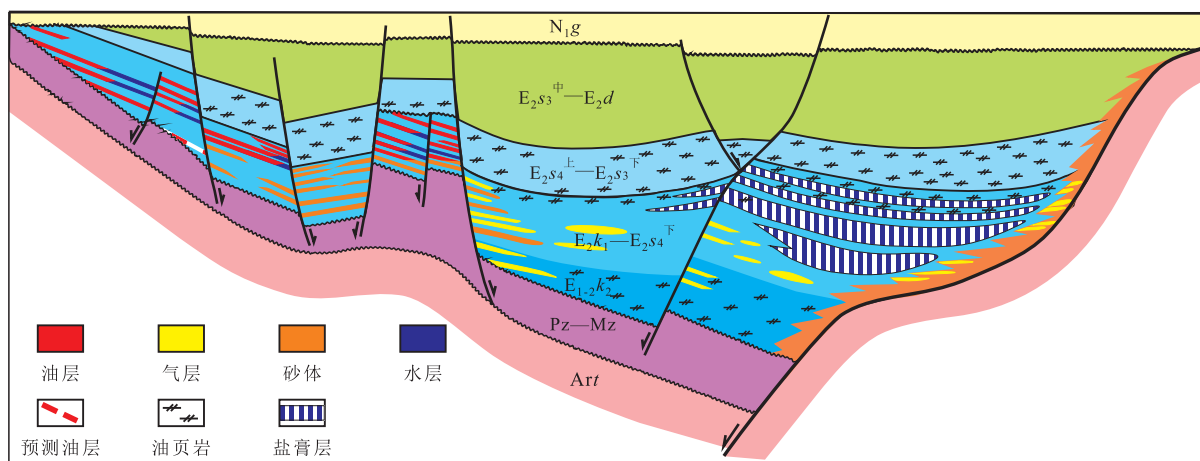


图7 济阳坳陷孔店组一沙四段油气成藏模式

Fig.7 Hydrocarbon accumulation modes of Kongdian Formation - Fourth Member of Shahejie Formation in Jiyang Depression

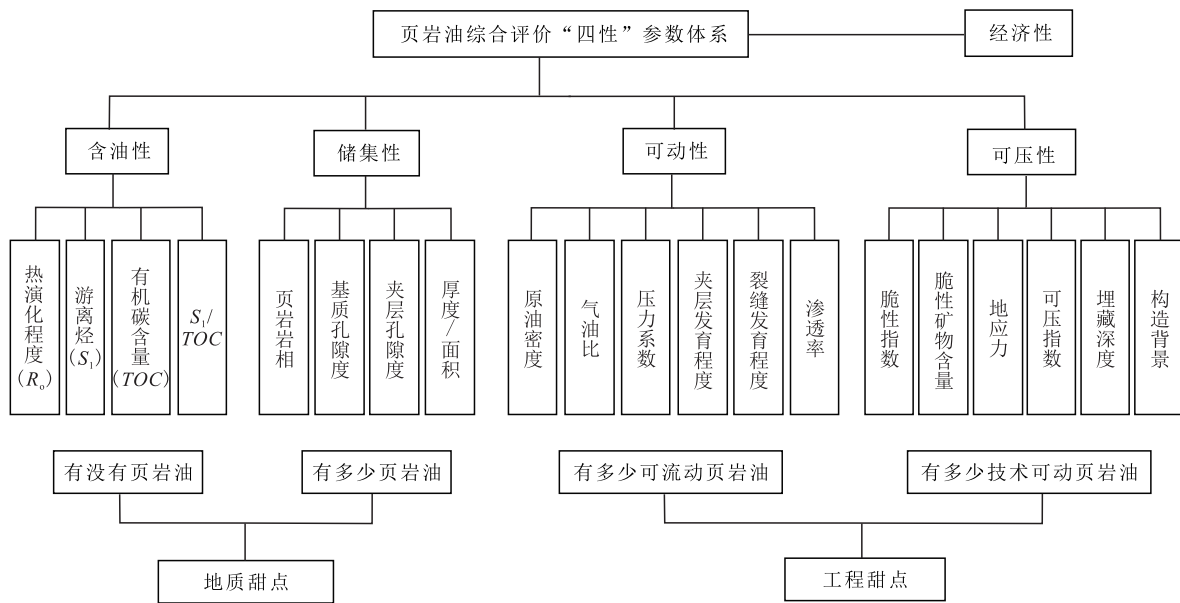


图8 济阳拗陷页岩油甜点评价指标体系

Fig.8 Evaluation index system of shale oil sweet spots in Jiyang Depression

平1井沙三段下亚段测井解释Ⅰ类油层6层89 m,Ⅱ类油层17层169.9 m,Ⅲ类油层25层168.4 m,在埋深3 538~4 861 m井段,采用多尺度复杂缝网压裂技术和密切割技术,21段压裂,峰值日产油量为105 m³/d;博兴洼陷樊页平1井应用水平段“一趟钻”技术,沙四段上亚段页岩油水平井段长度为1 267 m,应用组合缝网压裂试油,峰值日产油量为171 t/d,日产气量为15 823 m³/d。目前正在进行利津洼陷页岩油探索评价。牛庄洼陷、渤南洼陷、博兴洼陷页岩油勘探的突破,表明断陷盆地页岩油具有巨大的勘探潜力,是战略接替的重要方向。

3.2 页岩油勘探方向

济阳拗陷页岩油资源潜力大,尚处于起步阶段。需持续加强储集系统演化与储集有效性研究、流体系统演化与流动有效性评价、地质甜点分类与突破方向优选、工程甜点评价与工程工艺技术攻关,分区带、分层系、分类型探索,加快推进页岩油勘探。

济阳拗陷沙四段上亚段页岩油主要分布于东营凹陷各次级洼陷,其次为沾化凹陷渤南洼陷、孤北洼陷以及车镇凹陷郭局子洼陷;沙三段下亚段页岩油气主要分布于各凹陷的洼陷中部地区;沙一段页岩油气分布于沾化凹陷和车镇凹陷中部。其中,沙四段上亚段可进行页岩油气兼探,沙三段下亚段、沙一段泥页岩应以页岩油勘探为主。需在东营凹陷、沾化凹陷取得突破的基础上,不断扩大勘探成果,尽快建成勘探开发示范区,加强车镇凹陷、惠

民凹陷沙三段等不同类型页岩油和淮北凹陷孔店组页岩气的风险勘探,以寻找资源接替,谋划长远发展。

4 结束语

济阳拗陷勘探实践表明,断陷盆地地质条件的复杂性,决定了勘探领域的多样性、勘探过程的波动性和勘探历程的长期性。在当前高勘探程度阶段,更需坚定勘探信心,加强油气资源潜力再评价、石油地质规律再认识,分类梳理勘探领域,制定适应的勘探思路。基于济阳拗陷不同勘探领域的认识程度和当前技术发展现状,分层次提出不同领域勘探部署思路,指明了勘探方向,为断陷盆地深化油气勘探提供借鉴。

成熟领域剩余油气资源潜力依然较大,仍是稳产增储的主要阵地。潜力方向主要位于构造转换带、沉积结合部、地层突变带,构造、沉积或地层分布复杂,精细勘探是勘探的必然要求。应加强构造、储层、圈闭的精细研究,地质、地球物理分析结合,落实有利勘探目标。

“三新”领域勘探及认识程度低,是规模发现的重要战场。潜力方向主要为前古近系潜山、孔店组深层—沙四段下亚段及外围低勘探程度区,需在加强宏观地质规律研究基础上,积极风险勘探和预探,加快勘探发现进程。

源内页岩油气勘探刚刚起步。渤南、牛庄、博

兴洼陷勘探表明,断陷盆地页岩油具有良好的勘探前景和巨大的勘探潜力,持续加强储集系统演化与储集有效性研究、流体系统演化与流动有效性评价、地质甜点分类与突破方向优选、工程甜点评价与工程工艺技术攻关,勘探开发工程一体化进行分类、分区、分层评价,页岩油气必将成为济阳坳陷油气勘探战略接替领域。

符号解释

h ——圈闭闭合高度,为圈闭顶点与圈闭溢出点之间的垂直高度,m;

H ——含油高度,m;

k ——断层泥涂抹因子,为断层断距范围内页岩或黏土的百分比,实际为泥岩百分含量,%;

θ ——砂体倾角,为砂体上倾方向与水平面的夹角, $(^\circ)$ 。

参考文献

- [1] 宋明水. 济阳坳陷勘探形势与展望[J]. 中国石油勘探, 2018, 23(3): 11-17.
SONG Mingshui. The exploration status and outlook of Jiyang depression[J]. China Petroleum Exploration, 2018, 23(3): 11-17.
- [2] 王永诗, 赵乐强. 隐蔽油气藏勘探阶段区带评价方法及实践——以济阳坳陷为例[J]. 油气地质与采收率, 2010, 17(3): 1-5.
WANG Yongshi, ZHAO Leqiang. Prospect evaluation approach and application in exploration stage of subtle reservoir—a case of Jiyang depression[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2010, 17(3): 1-5.
- [3] 宋明水, 王永诗, 李友强. 成熟探区“层勘探单元”划分与高效勘探[J]. 石油勘探与开发, 2018, 45(3): 520-527.
SONG Mingshui, WANG Yongshi, LI Youqiang. Division of “layer exploration unit” and high-efficiency exploration in mature exploration area[J]. Petroleum Exploration and Development, 2018, 45(3): 520-527.
- [4] 宋明水, 李友强. 济阳坳陷油气精细勘探评价及实践[J]. 中国石油勘探, 2020, 25(1): 93-101.
SONG Mingshui, LI Youqiang. Evaluation and practice of fine petroleum exploration in the Jiyang depression[J]. China Petroleum Exploration, 2020, 25(1): 93-101.
- [5] 王永诗, 郝雪峰, 胡阳. 富油凹陷油气分布有序性与富集差异性——以渤海湾盆地济阳坳陷东营凹陷为例[J]. 石油勘探与开发, 2018, 45(5): 785-794.
WANG Yongshi, HAO Xuefeng, HU Yang. Orderly distribution and differential enrichment of hydrocarbon in oil-rich sags: A case study of Dongying Sag, Jiyang Depression, Bohai Bay Basin, East China[J]. Petroleum Exploration and Development, 2018, 45(5): 785-794.
- [6] 李如一. 断层圈闭封闭性综合判别方法及其应用[J]. 大庆石油地质与开发, 2019, 38(4): 1-6.
LI Ruyi. Comprehensive judging method for the sealing of the fault trap and its application[J]. Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing, 2019, 38(4): 1-6.
- [7] 刘鑫金, 刘惠民, 宋国奇, 等. 东营凹陷洼陷斜坡带坡移扇沉积特征及展布模式[J]. 油气地质与采收率, 2016, 23(4): 1-10.
LIU Xinjin, LIU Huimin, SONG Guoqi, et al. Sedimentary characteristics and distribution pattern of the slope-shifting fan in the low-lying slope zone of Dongying sag[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2016, 23(4): 1-10.
- [8] 蒙启安, 吴海波, 李军辉, 等. 陆相断陷湖盆斜坡区类型划分及油气富集规律——以海拉尔盆地乌尔逊—贝尔凹陷为例[J]. 大庆石油地质与开发, 2019, 38(5): 59-68.
MENG Qi'an, WU Haibo, LI Junhui, et al. Type classification of the slope area in the continental faulted lake basin and the hydrocarbon enrichment characteristics: Taking Wuertun-Beier Sag in Hailar Basin as an example[J]. Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing, 2019, 38(5): 59-68.
- [9] 王永诗, 刘惠民, 高永进, 等. 断陷湖盆滩坝砂体成因与成藏: 以东营凹陷沙四上亚段为例[J]. 地学前缘, 2012, 19(1): 100-107.
WANG Yongshi, LIU Huimin, GAO Yongjin, et al. Sandbody genesis and hydrocarbon accumulation mechanism of beach-bar reservoir in faulted-lacustrine-basins: A case study from the upper of the fourth member of Shahejie Formation, Dongying Sag[J]. Earth Science Frontiers, 2012, 19(1): 100-107.
- [10] 王永诗, 杨贵丽, 张顺. 青东凹陷油气成藏条件再认识[J]. 中国矿业大学学报, 2017, 46(5): 1116-1125.
WANG Yongshi, YANG Guili, ZHANG Shun. Further recognition of the oil and gas accumulation conditions of Qingdong sag[J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2017, 46(5): 1116-1125.
- [11] 马立驰, 王永诗, 景安语. 渤海湾盆地济阳坳陷隐蔽潜山油藏新发现及其意义[J]. 石油实验地质, 2020, 42(1): 13-18.
MA Lichi, WANG Yongshi, JING Anyu. Discovery and significance of subtle buried hills in Jiyang Depression, Bohai Bay Basin[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2020, 42(1): 13-18.
- [12] 林会喜, 熊伟, 王勇, 等. 济阳坳陷埕岛潜山油气成藏特征[J]. 油气地质与采收率, 2021, 28(1): 1-9.
LIN Huixi, XIONG Wei, WANG Yong, et al. Hydrocarbon accumulation in Chengdao buried hill of Jiyang Depression[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2021, 28(1): 1-9.
- [13] 马立驰, 王永诗, 景安语. 渤海湾盆地济阳坳陷下古生界潜山勘探新认识与新发现[J]. 油气地质与采收率, 2021, 28(1): 10-16.
MA Lichi, WANG Yongshi, JING Anyu. New understanding and discovery in exploration of Lower Paleozoic buried hills in Jiyang Depression, Bohai Bay Basin[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2021, 28(1): 10-16.
- [14] 赵凯, 蒋有录, 胡洪瑾, 等. 济阳坳陷潜山油气分布规律及富集样式[J]. 断块油气田, 2018, 25(2): 137-140.
ZHAO Kai, JIANG Youlu, HU Hongjin, et al. Distribution regularities and enrichment styles of buried-hill reservoirs in Jiyang Depression[J]. Fault-Block Oil and Gas Field, 2018, 25(2): 137-140.

- [15] 徐长贵,于海波,王军,等.渤海海域渤中19-6大型凝析气田形成条件与成藏特征[J].石油勘探与开发,2019,46(1):25-38.
XU Changgui, YU Haibo, WANG Jun, et al. Formation conditions and accumulation characteristics of Bozhong19-6 large condensate gas field in offshore Bohai Bay Basin[J]. Petroleum Exploration and Development, 2019, 46(1): 25-38.
- [16] 孟涛.渤海湾盆地济阳坳陷渤南洼陷沙四下亚段红层有利储层成因机制[J].石油实验地质,2020,42(1):19-27.
MENG Tao. Formation mechanism of favorable reservoirs in red beds in lower submember of fourth member of Shahejie Formation, Bonan Subsag, Jiyang Depression, Bohai Bay Basin[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2020, 42(1): 19-27.
- [17] 宋明水.济阳坳陷页岩油勘探实践与现状[J].油气地质与采收率,2019,26(1):1-12.
SONG Mingshui. Practice and current status of shale oil exploration in Jiyang Depression[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2019, 26(1): 1-12.
- [18] 王勇,刘惠民,宋国奇,等.济阳坳陷页岩油富集要素与富集模式研究[J].高校地质学报,2017,23(2):268-276.
WANG Yong, LIU Huimin, SONG Guoqi, et al. Enrichment controls and models of shale oil in the Jiyang Depression, Bohai Bay Basin[J]. Geological Journal of China Universities, 2017, 23(2): 268-276.
- [19] 王勇,王学军,宋国奇,等.渤海湾盆地济阳坳陷泥页岩相与页岩油富集关系[J].石油勘探与开发,2016,43(5):696-704.
WANG Yong, WANG Xuejun, SONG Guoqi, et al. Genetic connection between mud shale lithofacies and shale oil enrichment in Jiyang Depression, Bohai Bay Basin [J]. Petroleum Exploration and Development, 2016, 43(5): 696-704.
- [20] 曹婷婷,姚威,李志明,等.渤海湾盆地沾化凹陷湖相泥页岩地球化学特征及有机质富集规律[J].石油实验地质,2020,42(4):558-564.
CAO Tingting, YAO Wei, LI Zhiming, et al. Geochemical characteristics of lacustrine shale and enrichment mechanism of organic matter in Zhanhua Sag, Bohai Bay Basin[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2020, 42(4): 558-564.
- [21] 张春池,彭文泉,胡小辉,等.沾化凹陷沙河街组页岩气成藏条件研究[J].特种油气藏,2019,26(3):12-17.
ZHANG Chunchi, PENG Wenquan, HU Xiaohui, et al. Shale gas accumulation conditions of Shahejie formation in Zhanhua depression[J]. Special Oil & Gas Reservoirs, 2019, 26(3): 12-17.
- [22] 杜世涛,田继军,李沼鹤,等.准噶尔盆地二叠系页岩气储层特征及潜力区优选[J].特种油气藏,2018,25(2):49-55,69.
DU Shitao, TIAN Jijun, LI Zhaoti, et al. Permian shale gas reservoir characterization and favorable area identification in Junggar Basin[J]. Special Oil & Gas Reservoirs, 2018, 25(2): 49-55, 69.
- [23] 华彬,曾建强.东营凹陷泥页岩中碳酸盐成因及地质意义[J].断块油气田,2019,26(4):453-458.
HUA Bin, ZENG Jianqiang. Carbonate genesis and geological significance of shale in Dongying Sag [J]. Fault-Block Oil and Gas Field, 2019, 26(4): 453-458.
- [24] 余涛,卢双舫,李俊乾,等.东营凹陷页岩油游离资源有利区预测[J].断块油气田,2018,25(1):16-21.
YU Tao, LU Shuangfang, LI Junqian, et al. Prediction for favorable area of shale oil free resources in Dongying Sag [J]. Fault-Block Oil and Gas Field, 2018, 25(1): 16-21.
- [25] 李政.陆相盆地不同岩性页岩含油性及其可动性比较——以渤海湾盆地东营凹陷古近系沙四上亚段为例[J].石油实验地质,2020,42(4):545-551,595.
LI Zheng. Comparison of oil-bearing properties and oil mobility of shale with different lithologies in continental basins: a case study of the upper fourth member of Paleogene Shahejie Formation in Dongying Sag, Bohai Bay Basin [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2020, 42(4): 545-551, 595.

编辑 邹澂滢