

成熟探区“勘探层单元”研究及其在渤海湾盆地 东营凹陷的应用

宋明水¹,王永诗²,王学军²,郝雪峰²,李友强²,陈冬霞³,王福伟³,王翘楚³,石学斌³,邹易³

[1. 中国石化石油工程地球物理有限公司,北京 100020; 2. 中国石化胜利油田分公司勘探开发研究院,山东 东营 257015;
3. 中国石油大学(北京)油气资源与探测国家重点实验室,北京 102249]

摘要:中国东部成熟探区已经整体达到高勘探程度阶段,选取适合于成熟探区精细勘探的评价单元,对于降低勘探风险、实现高效勘探具有重要意义。“勘探层单元”是基于当前地质规律认识与勘探精细程度的成藏-地质评价方法,主要研究内容包括层单元界定与划分、层单元剩余资源潜力评价、层单元油气成藏规律分析和成藏模式、层单元优选与分类评价以及勘探部署。“勘探层单元”继承了系统论的思想,是勘探区带研究中的相控论和带控论的延伸和发展。它提出了一个将油气系统、油气聚集区带、油气藏多个层次相统一的综合研究体系,其研究方法论体现了整体与个体的统一、系统性与差异性的统一、系统研究与精细表征的统一、预测性与实效性的统一。依据“勘探层单元”的研究思路,将渤海湾盆地东营凹陷含油气层系划分为9套勘探层系、193个勘探层单元,在综合考虑成藏过程和成藏特征的差异性及相似性的基础之上,将勘探层单元总结为20种类型,实现了地质认识与部署思路的精细化和立体化;开展基于“勘探层单元”的剩余资源精细评价和勘探目标效益评价,明确了东营凹陷古近系沙河街组四段上亚段-东营组、新近系馆陶组-明化镇组、古生界潜山、古近系孔店组-沙四段下亚段等4大领域22个最优勘探层单元为近、中期增储和突破的重要方向,为高效勘探提供依据。

关键词:资源潜力;成藏模式;勘探层单元;成熟探区;断陷盆地;剩余油气资源;东营凹陷;渤海湾盆地

中图分类号:TE122.3

文献标识码:A

Research of “synthem units of exploration” in mature exploration area and its application in the Dongying Sag, Bohai Bay Basin

Song Mingshui¹, Wang Yongshi¹, Wang Xuejun², Hao Xuefeng², Li Youqiang², Chen Dongxia³,
Wang Fuwei³, Wang Qiaochu³, Shi Xuebin³, Zou Yi³

[1. SINOPEC Geophysics Co., Ltd., Beijing 100020, China; 2. Research Institute of Exploration and Development of Shengli Oilfield Branch Company, SINOPEC, Dongying, Shandong 257015, China; 3. State Key laboratory of Petroleum Resources and Prospecting, China University of Petroleum (Beijing), Beijing 102249, China]

Abstract: The explored areas in eastern China have reached high exploration maturity as a whole. Selecting evaluation units suitable for fine exploration in these areas is of great significance to reducing exploration risks and achieving efficient exploration. As a hydrocarbon accumulation-geological evaluation method suitable for current geological understanding and fine exploration, research of “synthem units of exploration” mainly includes the definition and division of synthem units of exploration, the evaluation of remaining resource potential, the analysis of oil and gas accumulation patterns and accumulation modes, the selection and classification evaluation, and related exploration deployment. The concept of synthem unit of exploration inheriting the thought of system theory, is an extension and development of sedimentary facies-control theory and structural zone-control theory in hydrocarbon play study. It puts forward a comprehensive research system integrating petroleum system, play and oil and gas reservoir, featuring research methodology embodying the unity of the whole and individual, the unity of systematization and heterogeneity, the unity of systematic research and fine characterization, and the unity of predictability and effectiveness. According to

收稿日期:2021-07-14;修订日期:2022-03-20。

第一作者简介:宋明水(1964—),男,博士、教授级高级工程师,地球物理研究和管理。E-mail: Songs.osgc@sinopec.com。

基金项目:国家科技重大专项(2016ZX05006)。

the concept, the 193 synthem units of exploration are recognized in 9 exploration target zones in Dongying Sag and classified into 20 types, comprehensively considering the differences and similarities of reservoir-forming processes and characteristics. Thereby, fine, multi-dimensional geological understanding and exploration deployment have been achieved. Fine assessment of the remaining resource potentials and benefit evaluation of exploration targets are carried out based on the concept of exploration structural-layer unit, making it clear that there are 22 optimal exploration structural-layer units in 4 domains of interest in Dongying Sag, including the upper fourth member of Shahejie Formation-Dongying Formation of the Paleogene, the Neogene Guantao Formation-Minghuazhen Formation, the Paleozoic buried hill, and the Paleogene Kongdian Formation-the lower fourth member of Shahejie Formation. These are important targets for reserve growth and exploration breakthrough in the near and medium term, serving as a basis for efficient exploration.

Key words: resource potential, hydrocarbon accumulation mode, synthem unit of exploration, mature exploration area, faulted basin, residual oil and gas resources, Dongying Sag, Bohai Bay Basin

引用格式:宋明水,王永诗,王学军,等.成熟探区“勘探层单元”研究及其在渤海湾盆地东营凹陷的应用[J].石油与天然气地质,2022,43(3):499-513. DOI:10.11743/ogg20220302.

Song Mingshui, Wang Yongshi, Wang Xuejun, et al. Research of “synthem units of exploration” in mature exploration area and its application in the Dongying Sag, Bohai Bay Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2022, 43(3): 499-513. DOI: 10.11743/ogg20220302.

随着油气勘探开发的不断深入,目前中国不少勘探区已逐步成为成熟探区,如松辽盆地和渤海湾盆地各探区、准噶尔盆地西北缘、酒泉盆地西西坳陷、四川盆地川中地区等^[1]。其中渤海湾盆地经历了60年的勘探取得了巨大勘探成效,建成了中国最大的油区,形成了辽河、黄骅、冀中、济阳、临清和渤中6个含油气坳陷^[2]。在几十年的勘探历程中,油气勘探对象由含油气盆地、含油气系统、油气聚集带、油气田到油气藏,勘探单元的划分由大到小、不断细化;研究对象由个体解剖到整体有序和常规-非常规兼顾;成藏要素研究由简到繁到多元耦合^[3-5]。在油气勘探实践中,形成了特色的中国陆相油气成藏理论,可以概括为“源控论”^[6-7]、“带控论”^[8-9]、“相控论”^[10-11]、“满凹含油论”^[12]等,其中带控论的代表是“复式油气聚集带理论”^[2,5,13-14]、“隐蔽油气藏聚集理论”^[15-17]、“洼槽聚油理论”^[18]、“斜坡区油气聚集理论”等^[19-21]。按国际通行标准,探井密度0.1~0.5口/km²为勘探成熟区^[22-23]。渤海湾盆地各探区目前已经整体达到高勘探程度,如济阳坳陷平均探井密度为0.23口/km²,部分地区超过了0.5口/km²,探明程度为51.9%。发现油气藏的规模越来越小,油气藏的埋深越来越大,探明储量品质不断下降,但成熟探区仍然是中国在今后相当长时间内探明储量增长和油气生产的主要领域^[24-25]。针对成熟探区,在精细勘探阶段,明确下步剩余资源潜力、优选勘探方向、落实勘探目标,是一个贯穿始终、持续思考的课题。对东部断陷盆地这样的成熟探区,目前勘探的关键是如何借助于几十年积累形成的有关油气成因模式、成藏模式和油气分布规律的认识,对现有资料重新评价,开展精细

勘探,获得新认识,指导勘探部署。立足渤海湾盆地济阳坳陷东营凹陷勘探实践,作者研究了符合当前地质规律认识与勘探精细程度的成藏-地质评价方法,首先提出“勘探层单元”概念^[26],开展基于“勘探单元”的剩余资源的精细劈分、成藏模式研究和勘探目标的效益评价,明确东营凹陷勘探领域和高效“勘探单元”,并在济阳坳陷的推广应用取得了良好勘探成效。

1 “勘探层单元”内涵

1.1 勘探单元类型

最早的油气勘探单元是背斜,Hunt(1861)和White(1885)先后提出了背斜油气成藏理论,是油气勘探理论的开端^[27-28]。随着勘探范围的扩大和勘探技术的进步,油气勘探研究的对象更为复杂,岩性油气藏、地层油气藏、非常规油气藏逐渐成为油气勘探的目标,但这些都是以圈闭和油气藏为目标的具体勘探单元。随着油气藏发现的数量越来越多,油气田开始被视为勘探单元,指盆地的三级构造单元内的油藏、气藏、油气藏的总和,包括构造成因和非构造成因的油气田。油气田强调的是单一的局部构造内的一个或多个类型、不同时代的油藏、气藏或油气藏。Dow(1972)和Magoon(1994)提出了含油气系统的概念,提出油气藏的形成包括多个基本要素:烃源岩、储集层、盖层、圈闭及油气生运聚过程、时空匹配关系,强调以烃源岩为中心,一个凹陷往往就是一个系统^[29-30]。在此过程中,White(1980)等提出了油气成藏组合(play)的概念,用于描

述一组在地质上相互联系具有类似烃源岩、储层和圈闭的勘探对象,尽管后来不同人对油气成藏组合的理解有差异,但共同的认识都是以圈闭或油气藏为中心,强调岩性或岩相的变化和组合关系^[31-33]。含油气系统和油气成藏组合概念的提出,使得油气勘探范围更精确,勘探风险有所降低。针对中国含油气盆地的特点,金之钧(2003)等提出了成藏体系的概念,成藏体系包括同一运聚系统内有效烃源岩和与其相关的油气藏以及油气藏形成所需要的一切地质要素和作用,强调以“藏”为核心,或者说是以控制油气运移指向的构造单元为核心^[34]。在中国长期的勘探实践中,一般以含油气盆地中发现的有利二级构造带作为勘探单元,寻找有利区带也一直是勘探的主要任务之一,先后形成了有关构造带、岩性岩相带、潜山带、斜坡带、凹陷带及复式油气聚集带等勘探单元的油气聚集成藏理论^[35-41]。总之,勘探单元的划分是随着地质认识和部署思路的变化而动态改变的,且必须与所处的勘探阶段相适应。

1.2 “勘探层单元”的概念

勘探区带是勘探生产的基本工作单元,是地质认识和勘探程度的综合反映。合理划分勘探区带不仅是科学认识勘探潜力和开展勘探部署的根本,也是当前精细勘探合适的抓手。现有区带理论中的勘探区带范围大,仅考虑宏观主要勘探目的层所属构造带(如陡坡带、斜坡带、洼陷带等)、沉积体系(如三角洲、浊积岩、砂砾岩体等)的完整性,而未考虑不同部位成藏差异性,不同层系的储集及成藏的差异性,区带边界主要考虑当前主力层或主力储集体,“直上直下一刀切”,造成区带优选评价的精度不够。当前精细勘探、高效勘探背景下油藏发现面临小、碎、隐的特点,这就要求细分勘探区带,实现精细评价。

含油气盆地在平面上和在纵向不同层系之间油气成藏规律存在较大差异,这种差异性决定了不同地区、不同层系油气富集程度的差异,也预示着油气勘探的方向变化。对这种差异性的把握是勘探认识的核心内容之一,需要在不同勘探阶段针对新的地质认识,采用适合于不同阶段部署思路的勘探单元。宋明水等(2018)立足济阳拗陷勘探实践,研究了符合当前地质规律认识与勘探精细程度的成藏-地质评价方法,首先提出“勘探层单元”概念^[26]。“勘探层单元”是指断陷盆地同一个构造层或构造亚层中,具有相对统一的构造体系、沉积体系、油气运聚体系的勘探地质单元(图1),它既是一个具有相对完整的地质特征和成藏特征、相对完善的地质认识和勘探技术体系的基本地质单元,也

是一个具有相对统一的勘探思路、部署方案的基本勘探工作单元。“勘探层单元”既是对成熟探区平面勘探区域的进一步聚焦,又是对勘探方向的进一步明确,即明确到纵向的某一个层系,使得勘探区域和方向更加精细化、具体化^[26]。

1.3 “勘探层单元”与其他勘探单元的关系

“勘探层单元”研究关注不同勘探层单元中油气藏类型、规模、分布规律及成藏模式存在的差异和联系,关键要素体现在控制油气藏形成和油气分布的4个方面,即构造层、沉积体系、构造体系和油气运聚体系。研究构造层中各体系对油气藏形成的控制作用和油气藏分布规律。“勘探层单元”继承了系统论的思想,在含油气系统的成藏要素及其时空配置关系的基础上,又体现了成藏体系和成藏组合中以藏为核心的观念,将陆相盆地长期形成的区带油气成藏理论应用到勘探层单元划分、勘探层单元油气藏类型和油气成藏模式的研究中,用于指导空白区的勘探,实现精细、高效勘探。

2 “勘探层单元”研究内容和研究意义

“勘探层单元”研究的总体目标是系统梳理分析凹陷内各层系平面上和纵向构造、沉积、油藏分布等宏观地质特征,在深入剖析成藏规律与勘探成效基础上,科学界定并精细划分勘探层单元,明确共性,突出差异,形成一套可供推广借鉴的勘探层单元划分与命名、剩余资源评价、分类评价与优选等理论方法体系,发展石油地质认识,优化勘探部署思路,为成熟探区高效勘探研究和部署提供科学依据。

2.1 “勘探层单元”研究内容与研究流程

“勘探层单元”研究的主要内容包括以下5个方面(图2)。

1) 勘探层单元界定与划分

在分层系梳理勘探工作量与油气发现现状的基础上,科学界定勘探层单元,建立勘探层单元划分方案及边界确定依据,并进行勘探层单元划分,由此建立勘探层单元命名方法体系,借助于对各勘探层单元现状的全面梳理,明确勘探发展阶段与重点领域。

2) 勘探层单元剩余资源潜力评价

以成因法资源评价结果为基础,正演(成因法)、反演(统计法、勘探程度法、最终探明程度法)相结合,结合勘探认识,开展区带资源量评价,并进行勘探层单元资源量劈分,多因素结合,统计分析剩余资源潜力与分

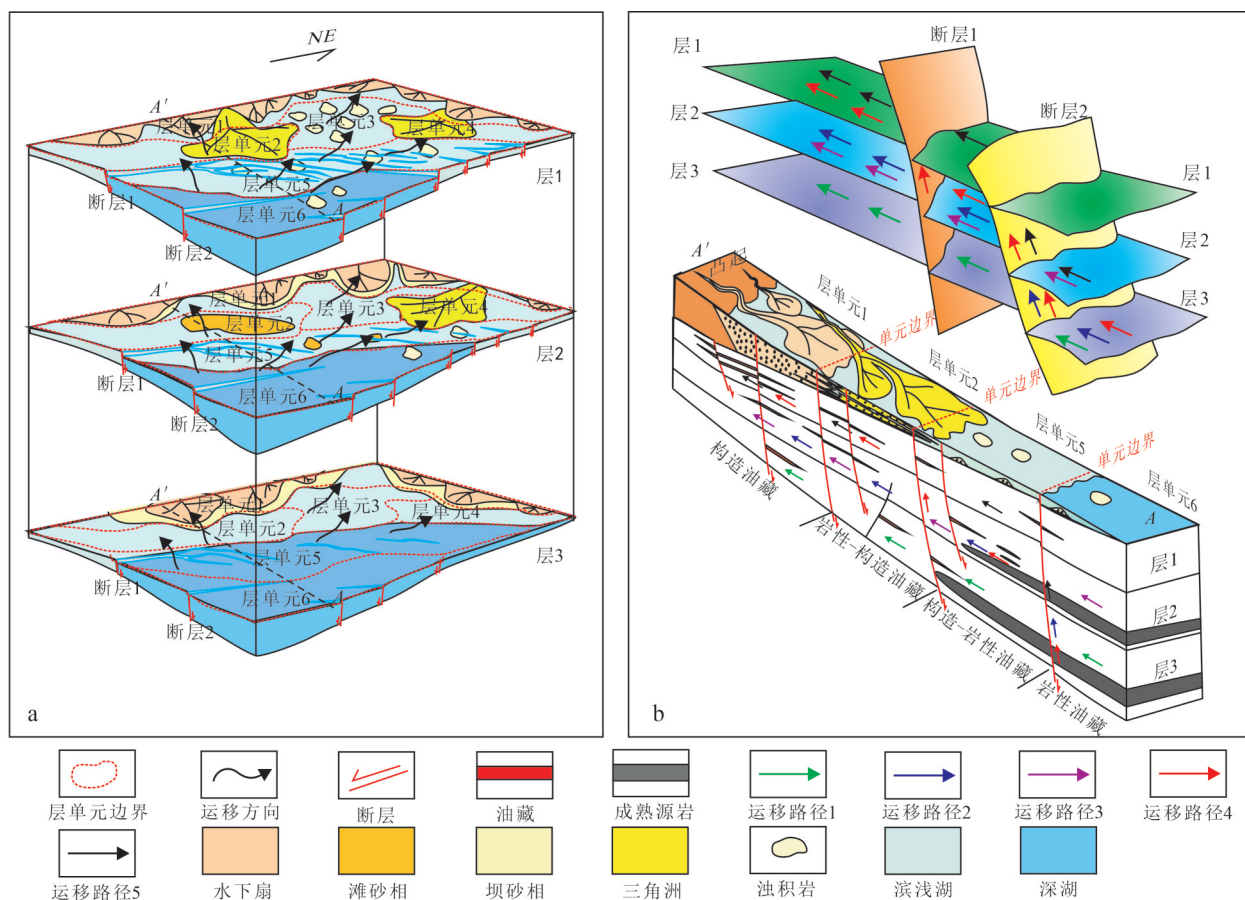


图1 勘探层单元概念模式

Fig. 1 Schematic diagram showing the concept of synthem unit of exploration

a. 层单元边界及空间分布; b. 层单元油气运移聚集模式

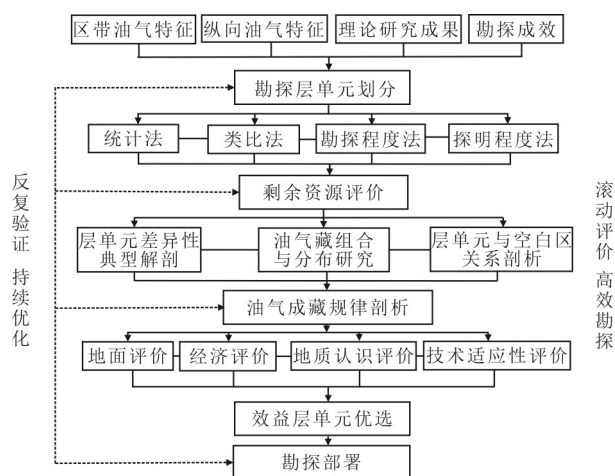


图2 勘探层单元研究技术流程

Fig. 2 Technical workflow for studying synthem unit of exploration

布特征。

3) 勘探层单元油气成藏规律分析和成藏模式总结

在分别对同层系重点层单元典型油气成藏、同类型不同层系勘探层单元典型油气成藏开展解剖的基础上,建立勘探层单元油气藏组合及分布模式,结合对勘

探层单元内已知油气藏与空白区关系的分析,明确勘探层单元空白区类型,预测空白区油气藏类型和油气分布特征,为优选评价奠定基础。

4) 勘探层单元优选与分类评价方法研究

根据勘探实践需求,现金流和下限值法相结合,针对性建立不同领域的经济评价指标体系,研究经济评价关键参数取值标准,建立不同类型经济评价标准与图版。综合考虑地面条件、地质认识、经济条件、技术适用性等因素,对勘探层单元进行分类评价。

5) 勘探层单元评价与勘探部署

应用建立的勘探层单元评价方法,对探区内勘探层单元的优选评价,优选层单元部署和钻探成效分析,以及评价方法的适应性研究,在部署实践中不断修改完善,遴选有利勘探层单元,明确近中期勘探部署重点方向与领域,为勘探决策提供科学依据。

2.2 “勘探层单元”的研究意义

1) “勘探层单元”研究体现了系统论思想,建立在带控论及相控论的基础之上,继承性强。勘探层单元

的划分纵向上要细分目的层系,平面上要细分勘探区块。勘探层单元中的单元既体现了同一层序不同构造带(陡坡带、缓坡带、洼陷带、潜山带)中“带”的思想,继承了带控论,又反映了同一构造带不同层系的沉积特征差异性的“相”的思想,继承了相控论。勘探层单元中重要的理论研究部分是层单元油气成藏规律分析和成藏模式总结,核心是要揭示层单元类型以及其内部的油气成藏机制,阐明油气藏类型和油气水分布的规律性。因而,勘探层单元下延可直达目标,即圈闭和油气藏,并进一步揭示内部油气水界面及含油气性差异。

2)“勘探层单元”勘探类型相对唯一,单元规模适中。层单元所在的成藏体系相对独立,可以实现对单元的地质体进行精细建模,能够详细阐明单元内部的地质格架、流体运移、油气藏类型、油气水分布规律等。解决了区带规模较粗带来的勘探风险较大的问题,也避免了圈闭规模过细不利于规律总结和预测评价的问题。

3)“勘探层单元”将勘探理论与勘探开发技术相结合,融合性强。综合考虑了成藏条件、勘探程度、勘探理论技术、勘探思路、方案部署、开发效果等多个因素。纵向上要细分目的层系,平面上要细分勘探区块,勘探理论与勘探开发技术相互融合,既继承又发展^[12]。

4)通过“勘探层单元”的研究可以有效预测空白区,预测性强。通过将空白区分为空白层单元类型、空白层单元、层单元中的空白区等类型,分别针对不同的空白区类型开展研究,明确勘探层单元空白区类型,应用已知勘探层单元内油气成藏特征和分布规律,较好地预测空白区油气藏类型、油气分布特征和资源潜力。

5)“勘探层单元”研究将层单元优先与勘探效益结合,时效性强。对勘探层单元进行分类评价既分析地面条件、地质认识,又考虑经济条件、技术适用性等因素,并在部署实践中不断修改完善,为勘探部署方向决策提供科学依据。

总的来说,“勘探层单元”的理论意义和实践意义在于它提出了一个将油气系统、油气聚集区带、油气藏多个层次相统一的综合研究体系,其研究方法论体现了整体与个体的统一、系统性与差异性的统一、系统研究与精细表征的统一、预测性与实效性的统一。

3 东营凹陷“勘探层单元”研究与勘探实践

东营凹陷作为中国东部陆相断陷盆地成熟探区的典型代表之一,其油气分布有序性及富集差异性的特

征可以为类似成熟探区的油气勘探提供借鉴^[42-44]。东营凹陷是济阳坳陷的一个次级构造单元,面积约5 850 km²,截至2019年底,东营凹陷探明地质储量为25.62 × 10⁸ t,整体探井密度为0.44口/km²,自下而上发现了太古宇、下古生界、上古生界、中生界、新生界的孔店组、沙四段(下亚段和上亚段)、沙三段(上、中、下3个亚段)、沙二段、沙一段、东营组、馆陶组及明化镇组等12套含油气层系,其中沙四上亚段及以上主力增储层系探明程度总体达60%以上。

3.1 “勘探层单元”划分与分类

为了体现勘探层单元的划分“纵向上细分目的层系,平面上细分勘探区块”的原则,在东营凹陷层单元划分时,首先对勘探现状进行梳理,分层系统计探区内探井、三维地震以及已发现油气储量、出油点、油层井情况;分析不同层系探井密度、探井油流率、油气藏类型及资源发现程度,并根据已发现层系的勘探程度、认识程度、上下目的层系之间的勘探技术和部署思路的差异程度,进行勘探目的层系的划分。东营凹陷已发现的12套含油气层系可划分为基底层太古宇、下古生界,裂陷期上古生界-中生界,断陷初始期孔店组-沙四下亚段,断陷鼎盛期沙四上亚段、沙三段、沙二段,断陷萎缩期沙一段-东营组,拗陷期馆陶组-明化镇组等9套主要目的层;其中重点勘探的孔店组-明化镇组又进一步划分为9个勘探层(图3a)。平面勘探单元划分时,综合考虑探区内不同目的层系的构造体系、沉积体系、运聚体系的完整性及差异性,分别建立区带、运聚单元和三级构造带等三级边界划分标准,并进行勘探单元的精细划分。

以沙四上亚段(沙四上)为例,在构造体系上,东营凹陷具有“北断南超、北深南浅”的箕状构造格局。由北向南依次主要发育有北部陡坡带和断裂构造、北部洼陷、中央断裂背斜带(中央隆起带)、南部洼陷带、南部缓坡断裂构造带和南部断鼻带等,在北部凸起周边发育一些小型的周缘构造和小型次洼(图3b)。东营凹陷沙四上亚段沉积体系,自北向南依次发育众多的水下扇砂砾岩体、深湖相、半深湖相、砂质滩坝、灰质滩坝、三角洲砂岩等。沙四上亚段砂体分布较广,断层较为发育,构造格局在不同地区存在差异。通过流体势及断层封闭性的评价能够识别输导体系控制下的油气运移路径。该区的流体势高势区位于中央带民丰洼陷,中央背斜带,利津洼陷带,牛庄洼陷以及博兴洼陷。向洼陷边缘随着埋深变浅,流体势逐渐降低。东营北带,南坡凹陷边缘地区为流体势低势区(图3c)。由于沙四上亚

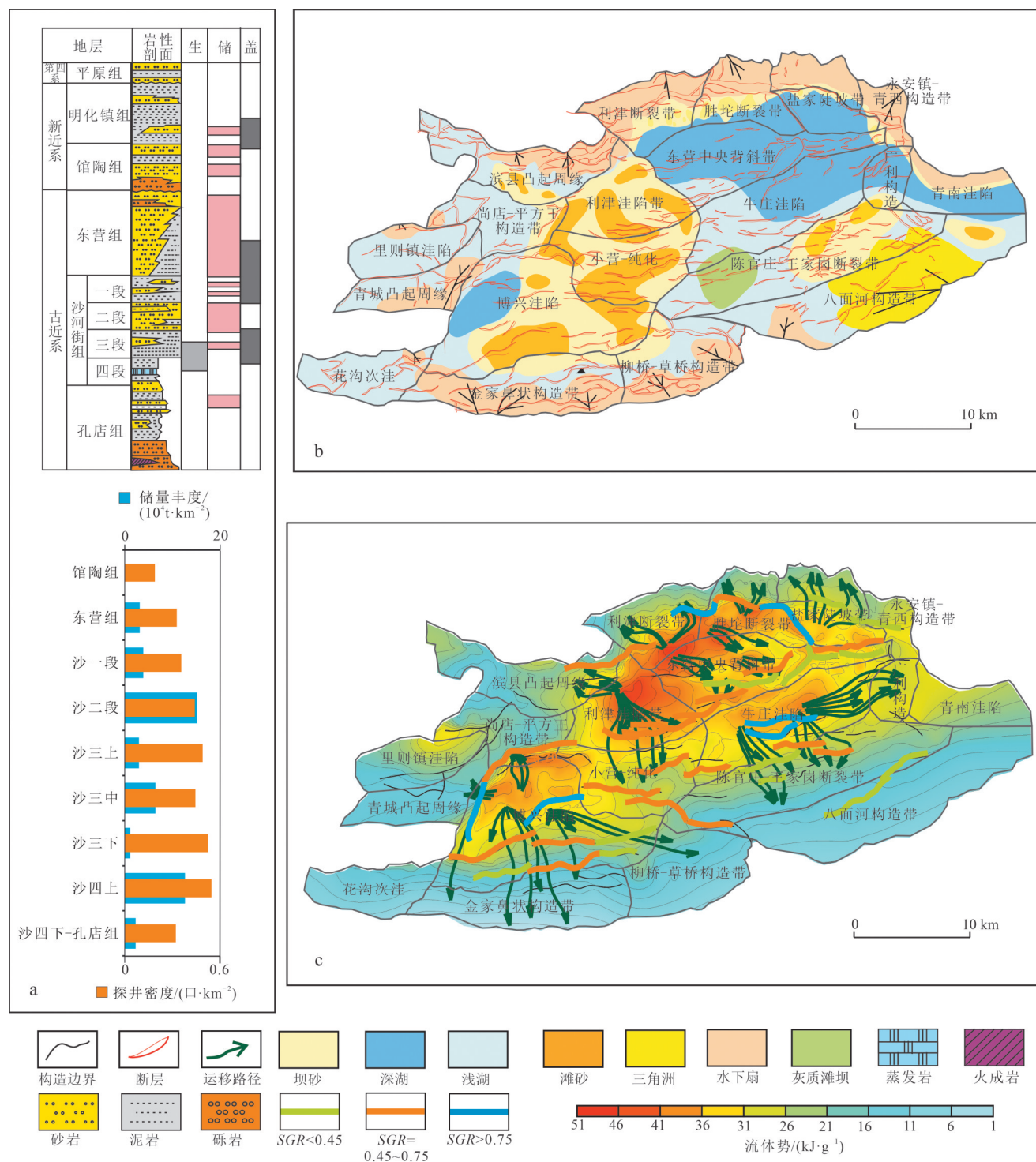


图3 东营凹陷不同层系勘探程度及沙四上亚段构造体系、沉积体系、运聚体系划分

Fig. 3 Situation in the exploration of different sequences in the Dongying Sag and the division of structural, sedimentary and migration-accumulation systems in the upper fourth member of Shahejie Formation in the Dongying Sag

a. 东营凹陷地层分布及勘探程度; b. 东营凹陷沙四上亚段构造单元划分与沉积相平面分布;

c. 东营凹陷沙四上亚段油气优势运移路径及油气聚集区平面分布

段断层较为发育,对油气运移产生封堵或输导作用,因而断层封闭性对于油气运移路径也有较为重要的控制作用。本研究采用泥岩涂抹因子(SGR)作为主要评价参数定量评价断层封闭性。根据前人研究,将 SGR 值

大于0.75视为封闭性较强, SGR 值在0.45~0.75视为封闭性中等, SGR 值小于0.45视为断层封闭性较差^[45-47]。综合流体势及断层封闭性评价,可以确定沙四上亚段油气运移的路径及优势聚集区(图3c)。自每个

洼陷中心到边缘,依次发育岩性油藏、构造-岩性油藏、岩性-构造油藏、构造油藏、地层油藏,油藏类型在平面上分布是有序的,且围绕洼陷中心呈环带状分布(图4)。依据构造单元、沉积体系、运移体系和油气藏的分布特征,结合勘探现状,将东营凹陷沙四上亚段划分为20个勘探层单元(图4;表1)。按此方法,初步将东营凹陷9个勘探层划分为193个“勘探层单元”(图5)。

3.2 “勘探层单元”优选

勘探层单元优选的目的是选准高效“勘探层单元”。所谓“高效”是指具备良好的成藏条件,含油气概率高,资源有较高经济价值,当前的勘探理论技术可行,地面条件允许(在经济日益发达的东部地区尤其显得重要)。因此在勘探层单元优选时首先需要对层单元进行类型划分,分析油气成藏组合特征,总结油气成

藏模式,阐明层单元内部油气水分布关系,用于指导空白层单元的勘探或层单元内部的空白区的勘探。

3.2.1 “勘探层单元”类型

勘探层单元作为精细的勘探评价单元,各单元在构造格局、沉积背景、储层发育特征、油藏类型等方面可能存在一定的相似性和差异性。在综合考虑成藏过程和成藏特征差异性及其相似性的基础之上,对同层系的勘探层单元进行分类。对于某一层位而言,勘探层单元的分类要优先考虑构造格局的控制。原则上只有处于相同二级构造带的层单元可以被归为一类,不属于同一构造带的层单元不能合并归类;其次,对于不同二级构造带的勘探层单元,依据其沉积相带或储层类型加以区分,沉积相带具有统一性和相似性的勘探层单元可考虑归为同一类别;再次,需要在构造

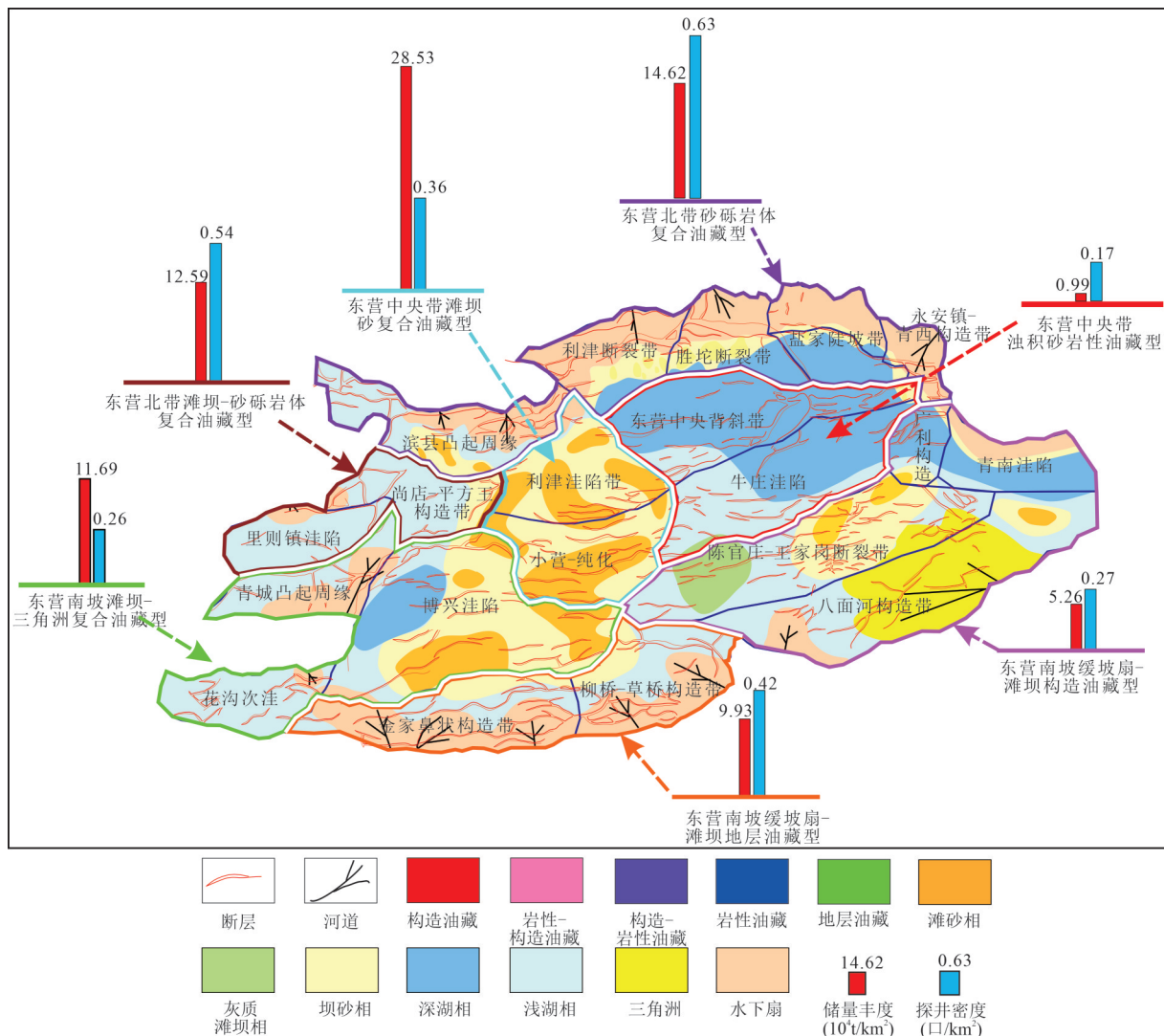


图4 东营凹陷沙四上亚段勘探层单元平面分布

Fig. 4 Plane distribution of the synthem units of exploration in the upper fourth member of Shahejie Formation, Dongying Sag

表1 东营凹陷沙四上亚段勘探层单元类型及其特征

Table 1 Different types of synthem units of exploration and their features in the upper fourth member of Shahejie Formation, Dongying Sag

区带	勘探单元	勘探层单元类型	面积/km ²	探井数量/口	探明储量/(10 ⁴ t)	储层类型	圈闭类型
南坡	青城凸起周缘	滩坝-三角洲复合油藏型	173.50	42	596.57	滩坝砂、三角洲、浊积砂	地层、构造
南坡	博兴洼陷	滩坝-三角洲复合油藏型	617.67	199	10 651.19	滩坝砂	构造、岩性
南坡	花沟次洼	滩坝-三角洲复合油藏型	171.39	10	—	—	—
南坡	金家鼻状构造带	缓坡扇-滩坝地层油藏型	377.13	60	1 728.21	缓坡扇	地层
南坡	柳桥-草桥构造带	缓坡扇-滩坝地层油藏型	340.74	89	1 837.55	缓坡扇、滩坝砂、三角洲	地层、构造
南坡	陈官庄-王家岗断裂带	缓坡扇-滩坝构造油藏型	544.77	196	1 441.44	滩坝砂、缓坡扇	构造
南坡	青南洼陷	缓坡扇-滩坝构造油藏型	195.20	23	583.70	滩坝砂	构造
南坡	八面河构造带	缓坡扇-滩坝构造油藏型	479.37	75	—	—	—
南坡	广利构造带	缓坡扇-滩坝构造油藏型	84.60	57	4 837.90	三角洲、滩坝砂、浊积岩	构造、岩性
中央带	牛庄洼陷	浊积砂岩性油藏型	404.37	83	816.66	浊积砂	岩性
中央带	中央背斜带	浊积砂岩性油藏型	375.56	50	—	—	—
中央带	小营-纯化构造带	滩坝砂岩性油藏型	293.41	157	9 150.08	滩坝砂	构造、岩性
中央带	利津洼陷	滩坝砂岩性油藏型	252.93	39	7 123.44	滩坝砂	岩性
北带	尚店-平方王构造带	滩坝-砂砾岩体复合油藏型	203.22	202	4 806.83	滩坝砂、砂砾岩体、三角洲	构造、岩性
北带	里则镇洼陷	滩坝-砂砾岩体复合油藏型	178.65	5	—	—	—
北带	滨县凸起周缘	砂砾岩体复合油藏型	290.47	227	3 663.78	砂砾岩体	构造、岩性、地层
北带	利津断裂带	砂砾岩体复合油藏型	210.95	116	3 266.13	砂砾岩体	岩性、构造、地层
北带	胜坨断裂带	砂砾岩体复合油藏型	184.95	94	1 686.30	砂砾岩体	岩性/构造
北带	盐家陡坡带	砂砾岩体复合油藏型	100.73	61	7 801.81	砂砾岩体	岩性、构造
北带	永安镇-青西构造带	砂砾岩体复合油藏型	73.80	46	1 368.02	砂砾岩体	构造、岩性

注:“—”表示无数据统计。

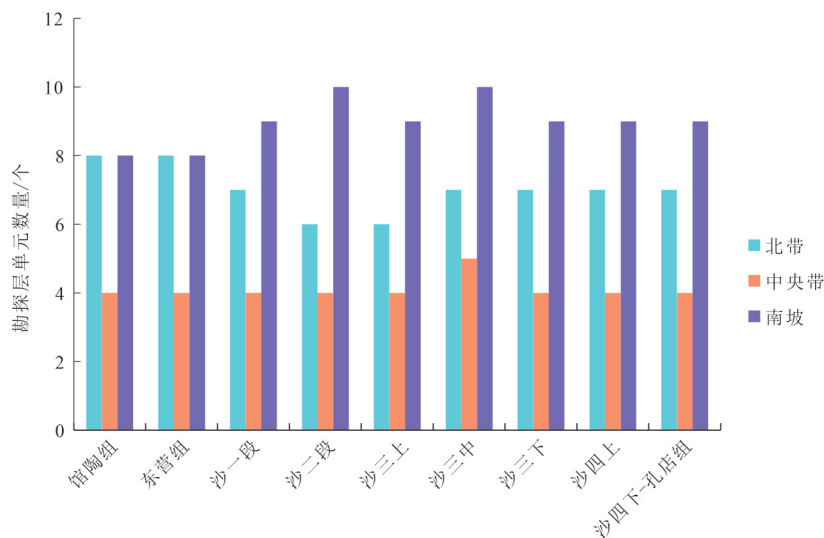


图5 东营凹陷勘探层单元分布柱状图

Fig. 5 Histogram showing the distribution of the synthem units of exploration in the Dongying Sag

和沉积的基础之上考虑合并的层单元类型内部油藏类型及分布是否存在统一性,若层单元内部的油藏类型及分布差异很大,则要分为不同类别。依照上述原则,将东营凹陷沙四上勘探层单元分为7类,如表1所示,包括南部滩坝-三角洲复合油藏型、南部缓坡扇-滩坝地层油藏型、南部缓坡扇-滩坝构造油藏型、中央

带浊积砂岩性油藏型、中央带滩坝砂岩性油藏型、北带滩坝-砂砾岩体复合油藏型和砂砾岩体复合油藏型。综合分析东营凹陷新近系勘探层单元类型,发现对于分属同一构造带的层单元而言,在纵向分布上具有一定的统一性和相似性。其相似性体现在层单元类型、沉积体系的继承性和油藏类型及分布的相似

性,如东营凹陷北带的层单元多数以砂砾岩体复合油藏型层单元为主,而中央构造带的层单元纵向上多以三角洲-半深湖构造-岩性油藏层单元类型和浊积岩岩性油藏层单元类型为主,南部主要以滩坝岩性油藏型、滩坝-三角洲地层油藏型、缓坡扇-滩坝复合油藏型等。而对于不同构造带而言,层单元类型的分布则存在较大的差异性(图6)。

3.2.2 “勘探层单元”油气成藏模式和油-气-水分布规律

不同类型的勘探层单元在层位分布上具有一定的规律性和差异性,其规律性和差异性取决于不同勘探层单元的构造背景和沉积环境,同时能够反映油气藏分布的差异性和有序性。以东营凹陷北带砂砾岩体复合油藏型勘探层单元为例,由于沙三段和沙四段不同成熟度的多套烃源岩排烃,表现为多源近源、多期成藏的特征^[48]。由砂砾岩砂体近源输导,由于烃源岩内部存在较高的异常压力,油气在源-储压力差作用下向圈闭充注,进入圈闭后在浮力作用下继续向构造高部位聚集,层单元内部的局部构造控制油气的富集,具差

异成岩作用下的扇根封堵、扇中聚集的特点。不同埋深下的油气分布纵向分带性,是构造和岩石物性双重控制下的复合型油藏聚集(图7)。

结合现今油气展布特征,对于东营凹陷北带砂砾岩体复合型油藏层单元而言,其油藏含油气性的差异主要体现在油藏分布序列以及油气水层序列的差异。自深部沙四段至中部沙三下及沙三中亚段,油藏类型从沙四下的成岩圈闭凝析气藏,到沙四上亚段的成岩圈闭油藏,再到沙三下-沙三中亚段的构造-岩性油藏。与之对应,油气水层的序列自下而上分别为沙四段的非油即干,到沙三下亚段的油水间互,再到沙三中亚段的构造控制下的油上水下的常规油气分布。与此同时,油柱高度会随着深度发生变化,以沙四上亚段为例,不同砂组的油柱高度由底部向上部逐渐递减,这与扇根封堵能力有关^[49-50](图8)。

3.2.3 “勘探层单元”资源潜力

“勘探层单元”的基础是“区块”,因此资源潜力评价应在区块资源分析的基础上展开。以成因法资源评价结果为基础,正演(成因法)、反演(统计法、勘探程度

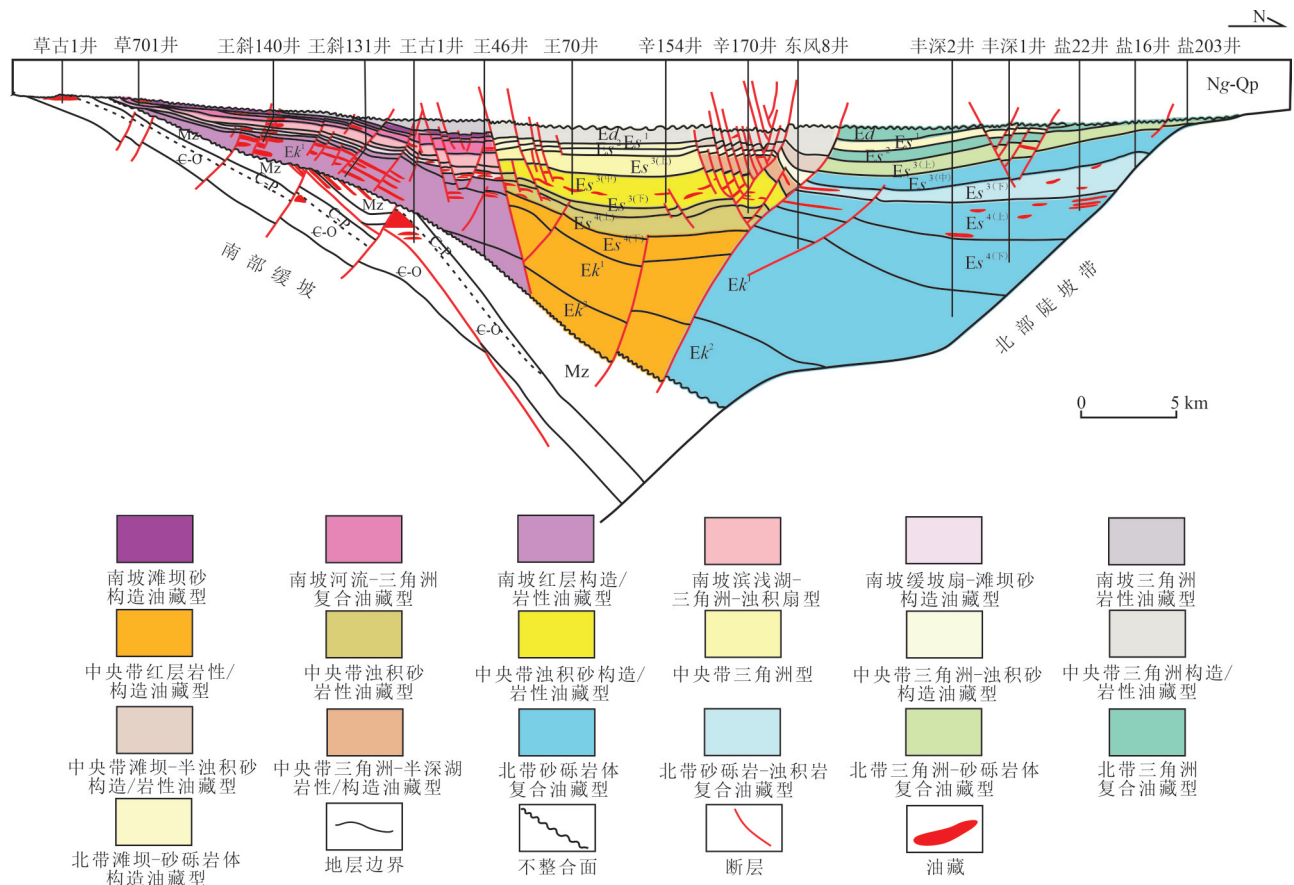


图6 东营凹陷南北向油藏剖面及勘探层单元类型分布

Fig. 6 Map showing the north-south reservoir profile and the corresponding synthem unit of exploration types in the Dongying Sag

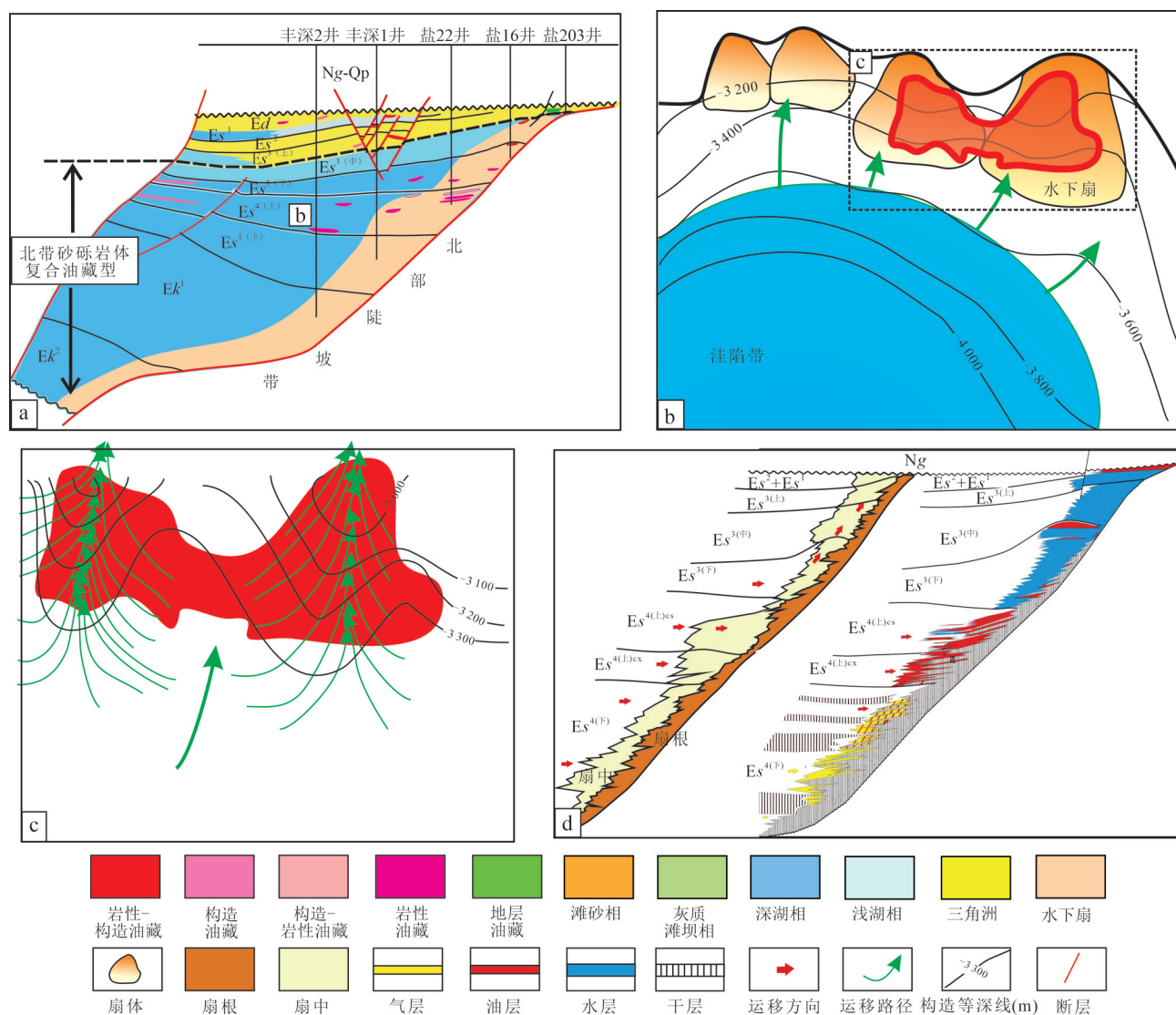


图7 东营凹陷北带砂砾岩体复合油藏型勘探层单元成藏模式

Fig. 7 Accumulation model of the exploration synthem unit of composite reservoir type in the coarse-grained clastic deposits in the north structural zone of Dongying Sag

- a. 北带砂砾岩体复合油藏型勘探层单元分布范围; b. 北带沙四上亚段扇体展布与油气运移特征; c. 盐家地区构造鼻分布与油气运移路径; d. 北带砂砾岩体复合油藏型勘探层单元油气纵向分布特征

法、最终探明程度法)相结合,结合勘探认识,开展区带资源量评价。具体来说,成因法是首先分析评价勘探层单元与成熟勘探层单元的关联性,考虑单元、层系高效运聚条件差异,采用类比法,定性定量结合,进行勘探层单元资源量的评价。统计法是以勘探层单元已发现油藏为基础,根据勘探层单元勘探程度、资源发现程度的差异,对于资源发现较多、资料丰富的勘探层单元应用地质帕莱托法进行评价;对于资源发现相对较少的勘探层单元应用规模序列法进行评价。

遵循以上原则和方法,对东营凹陷193个“勘探层单元”进行了资源量计算,明确了东营凹陷剩余资源量的分布。整体来看,“勘探层单元”剩余资源规模大于

$1\ 000 \times 10^4$ t的有41个、剩余资源丰度大于 20×10^4 t/km² 的2个,仍然具有较大剩余资源基础和较高的剩余资源丰度,但不同层系存在差异(表2)。

3.2.4 经济评价及技术适用性

在进行经济评价时,首先分析经济评价指标适用范围,结合增储领域和突破领域区带勘探特点及勘探目的,确定增储领域和突破领域的区带经济评价指标体系。在研究不同类型油藏开发方案设计特点、经济参数取值特点的基础上,针对增储领域,着重开展产能变化特征研究,分析勘探层单元产能频率分布特征及递减规律,探索以概率的方式表达经济可行性,建立层

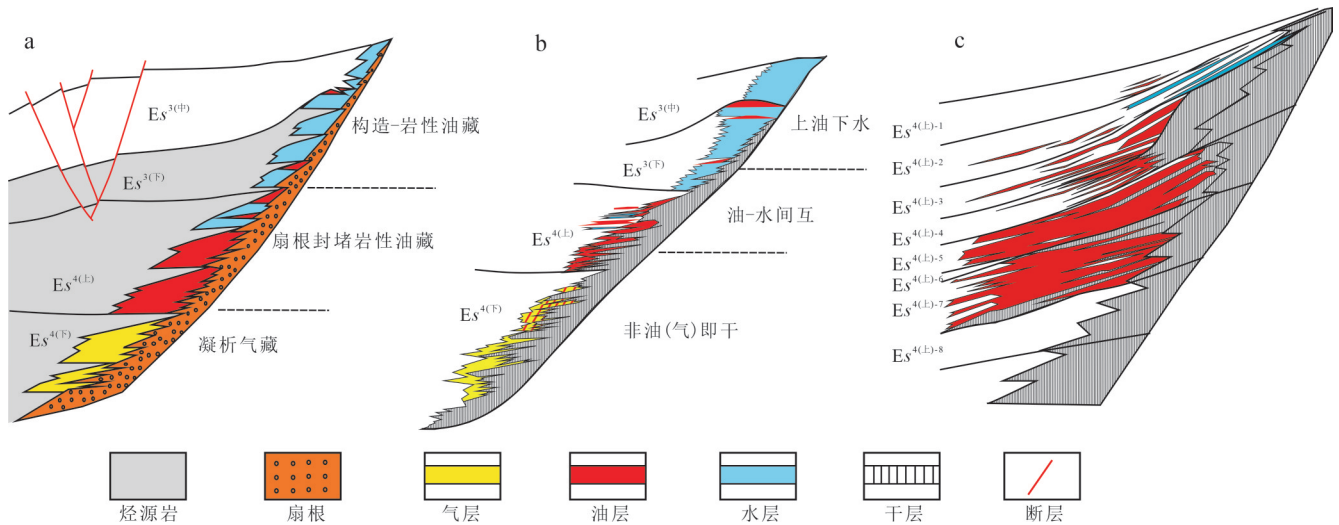


图8 东营凹陷北带砂砾岩体油气藏含油气性差异分布模式

Fig. 8 Differential distribution model of oil/gas-bearing properties of the coarse-grained clastic reservoirs in the north structural zone of Dongying Sag

a. 油藏分布序列; b. 油-水分布序列; c. 沙四上亚段油柱高度

单元商业油流标准。针对突破领域,研究不同类型油藏储量丰度频率分布特征,分析勘探层单元新增储量规模变化特征、产能频率分布特征、采油速度及递减规律,建立最小经济储量规模标准。经过经济评价,从东营凹陷193个“勘探层单元”中的41个剩余资源其资源规模大、剩余资源丰度高的勘探层单元中,再次筛选出33个平衡油价小于70 \$/bbl的“勘探层单元”(表2)。

技术适用性分析主要包括地质认识可靠性评价和物探技术适应性评价。通过“十二五”以来探井钻探效果分析和不同类型区带典型解剖,发现储集层因素、圈闭因素、输导因素及构造部位低是造成探井失利的主要原因。这里面有地震资料品质原因,有沉积储集层发育规律、油气成藏及富集规律认识的原因,也有地球物理技术预测方法的原因。物探技术适应性评价方面,通过调研常用地球物理技术(储层预测、超剥边界刻画、复杂断裂刻画、地层流体检测技术)的适用条件,包括地质意义、识别精度、实钻吻合率等,建立评价标准,实现勘探技术适应性量化评价。基于勘探层单元的技术适用性分析,对筛选出来的33个有效益的“勘探层单元”进一步开展优选,确认了26个最优的“勘探层单元”。

3.3 勘探成效

2019年,对优选出的26个“勘探层单元”中22个开展了钻探,部署探井40口,完钻19口,工业油流率58%,较2017年和2018年的新生界工业油流率提高14个百分点以上(2017年40%,2018年44%),层单元

主要包括滨县凸起周缘 $Es^{4(上)}$,滨县凸起周缘 Es^2 ,小营-纯化构造带 $Es^{4(上)}$,胜坨断裂带 $Es^{4(上)}$,牛庄洼陷带 $Es^{3(中)}$,陈官庄-王家岗断裂带 $Es^{4(上)}$,利津断裂带 $Es^{4(上)}$ 等;新增石油地质探明、控制、预测等三级储量 $5\,424 \times 10^4$ t,取得了较好的勘探效益。例如,利津断裂带 $Es^{4(上)}$ 层单元,为砂砾岩体复合油藏型,勘探单元面积 211 km^2 ,剩余资源量 $1\,865 \times 10^4$ t,平衡油价低于50 \$/bbl,技术适用性评价较好。2019年,完钻探井6口,3口获工业油流(利斜939、坨斜206、坨斜208),利斜854井沙四上亚段综合解释油层7层20.9 m,待试油,新增利斜939块控制储量 945×10^4 t(图9)。另外,勘探层单元研究在济阳坳陷推广应用也取得了很好的效果,2019探井实施率为51.9%,储量贡献率为56.5%(2018年分别为32.0%,47.7%),说明选区准确性提高,勘探成效大幅提升。

4 结论

1) 勘探层单元是基于当前地质规律认识与勘探精细程度的成藏-地质评价方法,主要研究包括层单元界定与划分、层单元剩余资源潜力评价、层单元油气成藏规律分析和成藏模式、层单元优选与分类评价及勘探部署等5方面的内容。

2) “勘探层单元”继承了系统论的思想,是勘探区带研究中的相控论和带控论的延伸和发展。它提出了一个将油气系统、油气聚集区带、油气藏多个层次相统一的综合研究体系。其研究方法论体现了整体与个体

表2 东营凹陷勘探单元优选评价

Table 2 Selection and evaluation of synthem units of exploration in the Dongying Sag

区带	勘探单元	层位	勘探单元类型	剩余资源规模/ (10^4 t)	剩余资源丰度/ (10^4 t·km ⁻²)	平衡油价/ ($\$ \cdot \text{bbl}^{-1}$)	技术 适用性
东营北带	胜坨断裂带	Es ²	三角洲复合油藏型	1 492	6.36	<70	适用
东营北带	滨县凸起周缘	Es ^{3(上)}	砂砾岩体构造/岩性油藏型	1 387	4.65	<70	适用
东营北带	利津断裂带	Es ^{4(上)}	砂砾岩体复合油藏型	1 865	8.84	<70	适用
东营南坡	金家鼻状构造带	Es ^{4(上)}	缓坡扇-滩坝地层油藏型	1 886	5.00	<70	适用
东营北带	胜坨断裂带	Es ^{4(上)}	砂砾岩体复合油藏型	2 455	13.27	<70	适用
东营北带	滨县凸起周缘	Es ^{4(上)}	砂砾岩体复合油藏型	6 047	20.82	<70	适用
东营北带	尚店-平方王构造带	Es ^{4(上)}	滩坝-砂砾岩体复合油藏型	2 468	12.15	<70	适用
东营中央带	东营中央背斜带	Es ²	三角洲-浊积砂构造油藏型	4 091	11.83	<70	较适用
东营南坡	广利构造	Es ^{4(上)}	缓坡扇-滩坝构造油藏型	1 238	14.63	<70	较适用
东营北带	滨县凸起周缘	Es ²	三角洲复合油藏型	2 121	11.79	<70	较适用
东营北带	尚店-平方王构造带	Es ^{3(上)}	砂砾岩体构造/岩性油藏型	1 505	7.41	<70	较适用
东营中央带	东营中央背斜带	Es ^{3(中)}	浊积砂岩性油藏	3 118	8.43	<70	较适用
东营中央带	牛庄洼陷	Es ^{3(中)}	浊积砂构造/岩性油藏	2 390	6.20	<70	较适用
东营北带	林樊家构造带	Es ^{4(下)} -Ek	红层岩性油藏型	1 423	2.82	<70	较适用
东营南坡	金家鼻状构造带	Es ¹	滩坝-三角洲地层油藏型	1 557	4.57	<70	较适用
东营南坡	柳桥-草桥构造带	Es ^{3(上)}	三角洲-浊积砂地层/岩性油藏型	2 253	6.61	<70	较适用
东营南坡	金家鼻状构造带	Es ^{4(下)} -Ek	红层构造/岩性油藏型	1 012	2.00	<70	较适用
东营北带	滨县凸起周缘	Ng	河道砂岩性油藏型	1 248	3.61	<70	较适用
东营北带	盐家陡坡带	Es ^{4(上)}	砂砾岩体复合油藏型	3 743	37.16	<70	较适用
东营南坡	博兴洼陷	Es ^{4(上)}	滩坝-三角洲复合油藏	2 563	4.15	<70	较适用
东营中央带	小营-纯化构造带	Es ^{4(上)}	滩坝砂岩性油藏型	3 074	10.48	<70	较适用
东营中央带	牛庄洼陷	Es ^{4(上)}	浊积砂岩性油藏型	1 610	3.98	<70	较适用
东营南坡	陈官庄-王家岗断裂带	Es ¹	滩坝砂构造油藏型	2 072	4.01	<70	待攻关
东营北带	盐家陡坡带	Es ²	三角洲复合油藏型	2 060	9.88	<70	待攻关
东营北带	永安镇-青西构造带	Es ²	三角洲复合油藏型	2 008	16.05	<70	待攻关
东营中央带	小营-纯化构造带	Es ^{3(中)}	浊积砂岩性油藏	1 106	3.48	<70	待攻关
东营南坡	博兴洼陷	Es ^{3(中)}	浊积砂复合油藏	2 127	3.44	<70	待攻关
东营北带	胜坨断裂带	Ed	三角洲构造/岩性油气藏型	1 401	5.18	<70	待攻关
东营北带	利津断裂带	Es ¹	滩坝-砂砾岩体构造油藏型	1 148	4.33	<70	待攻关
东营北带	尚店-平方王构造带	Es ¹	滩坝-砂砾岩体构造地层油藏型	1 212	5.94	<70	待攻关
东营中央带	东营中央背斜带	Es ^{4(上)}	浊积砂岩性油藏型	1 502	4.00	<70	待攻关
东营北带	永安镇-青西构造带	Es ^{3(上)}	三角洲-砂砾岩体复合油藏型	1 111	7.83	<70	待攻关
东营北带	滨县凸起周缘	Es ^{3(中)}	砂砾岩体复合油藏型	1 068	3.68	<70	待攻关
东营南坡	博兴洼陷	Es ^{4(下)} -Ek	红层岩性油藏型	1 788	3.20	≥70	适用
东营南坡	陈官庄-王家岗断裂带	Es ^{4(下)} -Ek	红层构造/岩性油藏型	5 544	12.05	≥70	适用
东营南坡	金家鼻状构造带	Ng	河道砂岩性油藏型	1 072	2.00	≥70	较适用
东营南坡	柳桥-草桥构造带	Ng	河道砂岩性油藏型	1 253	2.40	≥70	较适用
东营北带	胜坨断裂带	Ng	河道砂岩性油藏型	1 309	6.51	≥70	较适用
东营中央带	牛庄洼陷	Es ^{4(下)} -Ek	红层岩性/构造油藏型	2 010	5.00	≥70	较适用
东营南坡	陈官庄-王家岗断裂带	Es ^{4(上)}	缓坡扇-滩坝构造油藏型	1 543	2.83	≥70	较适用
东营北带	郑家-王庄斜坡带	Ng	河道砂岩性油藏型	1 230	4.51	≥70	较适用

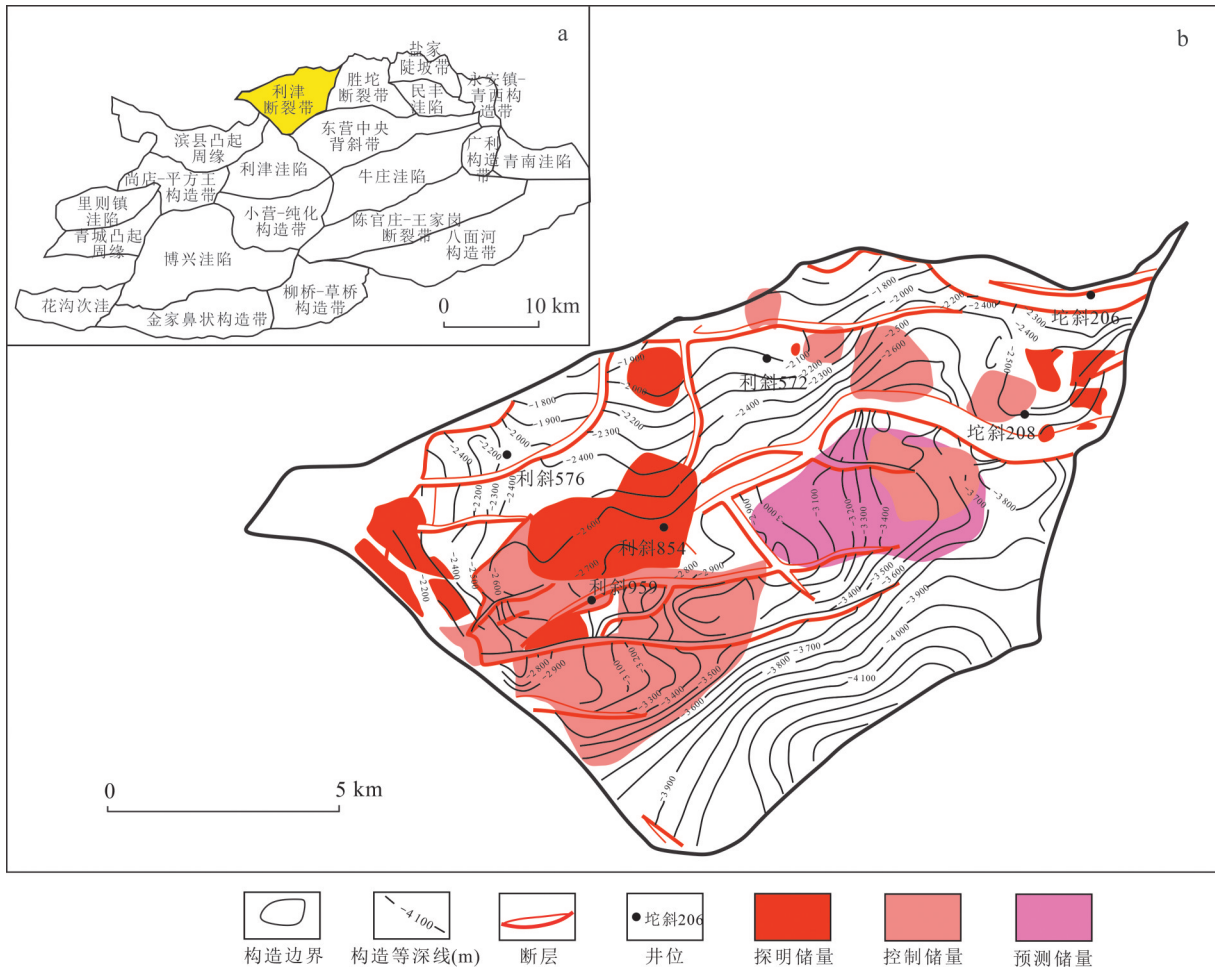


图9 东营凹陷北带利津断裂带沙四上亚段勘探成果

Fig. 9 Exploration results in the upper fourth member of Shahejie Formation in Lijin fault zone in the north structural zone of Dongying Sag
a. 东营凹陷沙四上亚段勘探层单元分布; b. 北带利津断裂带沙四上亚段勘探层单元

的统一、系统性与差异性的统一、系统研究与精细表征的统一、预测性与实效性的统一。

3) 依据勘探层单元的研究思路,将东营凹陷12套含油气层系划分为9套勘探层、193个勘探层单元,在综合考虑成藏过程和成藏特征的差异性及相似性的基础之上,将勘探层单元总结为20种类型,实现了地质认识与部署思路的精细化和立体化。

4) 开展基于“勘探层单元”的剩余资源精细劈分和勘探目标效益评价,明确了东营凹陷古近系4大领域22个最优勘探层单元,为近中期增储和突破的重要方向,为“十三五”高效勘探提供依据。

参 考 文 献

- [1] 牛嘉玉,姜雪竹,刘海涛,等. 成熟探区精细勘探分层系区带评价方法[J]. 石油勘探与开发,2013,40(1):27-35.
Niu Jiayu, Jiang Xuezhu, Liu Haitao, et al. Detailed assessment of a single-combination oil-gas accumulation zone in a mature exploration basin, China[J]. Petroleum Exploration and Development, 2013, 40(1): 27-35.
- [2] 胡见义,牛嘉玉. 渤海湾盆地油气聚集理论和勘探实践的再深化[J]. 石油学报,2001,22(1):1-5.
Hu Jianyi, Niu Jiayu. The further deepening of oil-gas accumulation theory and exploratory practice of Bohai Bay Basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2001, 22(1): 1-5.
- [3] 李德生. 渤海湾盆地复合油气田的开发前景[J]. 石油学报,1986,7(1):1-21.
Li Desheng. Prospect of the composite megastructural oil and gas fields in Bohai Bay Basin of China[J]. Acta Petrolei Sinica, 1986, 7(1): 1-21.
- [4] 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——以渤海湾盆地济阳凹陷东营凹陷为例[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.
- [5] 邹才能,杨智,张国生,等. 常规-非常规油气“有序聚集”理论认识及实践意义[J]. 石油勘探与开发,2014,41(2):14-26.
Zou Caineng, Yang Zhi, Zhang Guosheng, et al. Conventional and unconventional petroleum “orderly accumulation”: Concept and practical significance[J]. Petroleum Exploration and Development, 2014, 41(2): 14-26.

- ment, 2014, 41(2):14-26.
- [6] 胡朝元. 对松辽盆地油气藏形成和分布规律的初步认识[J]. 大庆石油地质与开发, 1989, 8(2): 1-17.
Hu Chaoyuan. A preliminary knowledge of the hydrocarbon accumulation and its distributional regularity in Songliao Basin[J]. Petroleum Geology and Development in Daqing, 1989, 8(2): 1-17.
- [7] 胡朝元. 生油区控制油气田分布——中国东部陆相盆地进行区域勘探的有效理论[J]. 石油学报, 1982, 2(2): 9-13.
Hu Chaoyuan. Source bed controls hydrocarbon habitat in continental basins, eastern China[J]. Acta Petrolei Sinica, 1982, 2(2): 9-13.
- [8] 胡见义, 徐树宝, 童晓光. 渤海湾盆地复式油气聚集区(带)的形成和分布[J]. 石油勘探与开发, 1986, 1(1): 1-8.
Hu Jianyi, Xu Shubao, Tong Xiaoguang. Formation and distribution of complex petroleum accumulation zones in Bohai Bay Basin[J]. Petroleum Exploration and Development, 1986, 1(1): 1-8.
- [9] 田在艺, 史卜庆, 罗平, 等. 渤海湾盆地复式油气聚集带高勘探程度区进一步挖潜的领域[J]. 石油学报, 2002, 23(3): 1-5.
Tian Zaiyi, Shi Buqing, Luo Ping, et al. Further petroleum exploration domains in composite oil-gas accumulation zones of Bohai Bay Basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2002, 23(3): 1-5.
- [10] 邹才能, 陶士振, 薛叔浩. “相控论”的内涵及其勘探意义[J]. 石油勘探与开发, 2005, 32(6): 7-12.
Zou Caineng, Tao Shizhen, Xue Shuhao. Connotation of “Facies Control Theory” and its significance for exploration[J]. Petroleum Exploration and Development, 2005, 32(6): 7-12.
- [11] 贾承造, 郑民, 张永峰. 非常规油气地质学重要理论问题[J]. 石油学报, 2014, 35(1): 1-10.
Jia Chengzao, Zheng Min, Zhang Yongfeng. Four important theoretical issues of unconventional petroleum geology[J]. Acta Petrologica Sinica, 2014, 35(1): 1-10.
- [12] 赵文智, 邹才能, 汪泽成, 等. 富油气凹陷“满凹含油”论——内涵与意义[J]. 石油勘探与开发, 2004, 31(2): 5-13.
Zhao Wenzhi, Zou Cai, Wang Zecheng, et al. The intension and signification of “Sag-wide Oil-Bearing Theory” in the Hydrocarbon-rich Depression with terrestrial origin[J]. Petroleum Exploration and Development, 2004, 31(2): 5-13.
- [13] 张文昭. 中国陆相盆地油气藏类型及复式油气聚集区油气藏序列[J]. 大庆石油地质与开发, 1989, 8(4): 1-14.
Zhang Wenzhao. All types of hydrocarbon accumulations and their composite accumulation areas in the continental basins in China[J]. Petroleum Geology and Development of Daqing, 1989, 8(4): 1-14.
- [14] 翟光明, 王建君. 论油气分布的有序性[J]. 石油学报, 2000, 21(1): 1-9.
Zhai Guangming, Wang Jianjun. Petroleum exploration the regularity of oil deposits' distribution[J]. Acta Petrolei Sinica, 2000, 21(1): 1-9.
- [15] 李丕龙, 张善文, 宋国奇, 等. 断陷盆地隐蔽油气藏形成机制——以渤海湾盆地济阳坳陷为例[J]. 石油实验地质, 2004, 26(1): 3-10.
Li Pilong, Zhang Shanwen, Song Guoqi, et al. Formation mechanism of subtle reservoirs in faulted basins——A case study of Jiyang Depression in Bohai Bay Basin[J]. Petroleum Experimental Geology, 2004, 26(1): 3-10.
- [16] 陈冬霞, 庞雄奇, 姜振学, 等. 中国东部陆相盆地隐蔽油气藏成藏机理与模式[J]. 石油勘探与开发, 2006, 33(2): 178-183.
Chen Dongxia, Pang Xiongqi, Jiang Zhenxue, et al. Formation mechanism and model of subtle traps in continental basins of east China[J]. Petroleum Exploration and Development, 2006, 33(2): 178-183.
- [17] 庞雄奇, 陈冬霞, 张俊. 隐蔽油气藏成藏机理研究现状及展望[J]. 海相油气地质, 2007, 12(1): 56-62.
Pang Xiongqi, Chen Dongxia, Zhang Jun. Progress and prospect of research on hydrocarbon accumulation mechanism of subtle reservoirs[J]. Marine Oil and Gas Geology, 2007, 12(1): 56-62.
- [18] 赵贤正, 金凤鸣, 王权, 等. 陆相断陷盆地洼槽聚油理论及其应用——以渤海湾盆地冀中坳陷和二连盆地为例[J]. 石油学报, 2011, 32(1): 18-24.
Zhao Xianzheng, Jin Fengming, Wang Quan, et al. Theory of hydrocarbon accumulation in troughs within continental faulted basins and its application: A case study in Jizhong Depression and Erlian Basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2011, 32(1): 18-24.
- [19] 赵贤正, 金凤鸣, 李玉帮, 等. 断陷盆地斜坡带类型与油气运聚成藏机制[J]. 石油勘探与开发, 2016, 43(6): 841-849.
Zhao Xianzheng, Jin Fengming, Li Yupang, et al. Slope belt types and hydrocarbon migration and accumulation mechanisms in rift basins[J]. Petroleum Exploration and Development, 2016, 43(6): 841-849.
- [20] 付晓飞, 王朋岩, 申家年, 等. 简单斜坡油气富集规律——以松辽盆地西部斜坡北段为例[J]. 地质论评, 2006, 52(4): 522-531.
Fu Xiaofei, Wang Pengyan, Shen Jiannian, et al. Migration and accumulation of oil and gas in a simple slope area: A case study on the western slope of the northern Songliao Basin[J]. Geological Review, 2006, 52(4): 522-531.
- [21] 蒙启安, 赵波, 梁江平, 等. 源外斜坡区油气成藏要素研究——以松辽盆地北部西部斜坡区为例[J]. 地质学报, 2014, 88(3): 433-446.
Meng Qian, Zhao Bo, Liang Jiangping, et al. Hydrocarbon accumulation factors of the slope area outside of source area: A case study of west slope area in northern Songliao Basin[J]. Acta Geologica Sinica, 2014, 88(3): 433-446.
- [22] Emil D A, David H R. The enigma oil and gas field growth[J]. AAPG Bulletin, 1994, 78(3): 321-332.
- [23] 张抗. 对中国石油可采资源量的讨论[J]. 石油与天然气地质, 2003, 24(1): 7-11.
Zhang Kang. Discussion on recoverable oil resources in China[J]. Oil & Gas Geology, 2003, 24(1): 7-11.
- [24] 侯连华, 邹才能, 匡立春, 等. 老油气区精细勘探潜力与方法技术[J]. 石油与天然气地质, 2009, 30(1): 108-115.
Hou Lianhua, Zou Caineng, Kuang Lichun, et al. Potential and technologies of refined exploration in mature oil and gas regions[J]. Oil & Gas Geology, 2009, 30(1): 108-115.
- [25] 张善文. 成熟探区油气勘探思路及方法——以济阳坳陷为例[J]. 油气地质与采收率, 2007, 14(3): 1-4.
Zhang Shanwen. Exploration idea and method for mature exploration areas——Taking Jiyang Depression as an example[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2007, 14(3): 1-4.
- [26] 宋明水, 王永诗, 李友强, 等. 成熟探区“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, et al. Division of “layer exploration unit” and high-efficiency exploration in mature exploration area[J]. Petroleum Exploration and Development, 2018, 45(3): 520-527.
- [27] White I C. The geology of natural gas[J]. Sciences, 1885, 5: 521-522.
- [28] 柳广第, 张厚福. 石油地质学[M]. 北京: 石油工业出版社, 2009.
Liu Guangdi, Zhang Houfu. Petroleum geology[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2009.

- troleum Industry Press, 2009.
- [29] Dow W G. Application of oil correlation and source rock data to exploration in Williston Basin: Abstract[J]. AAPG Bulletin, 1972, 56(3): 615-615.
- [30] Magoon L B, Dow W G. The petroleum system—from source to trap[J]. AAPG Memoir, 1994, 60: 3-22.
- [31] White D A. Assessing oil and gas plays in faces-cycle wedges[J]. AAPG Bulletin, 1980, 64(8): 1158-1178.
- [32] Allan P A, Allen J P. Basin analysis: Principles and applications[M]. Oxford: Black well Scientific Publications. 1990.
- [33] Brade J P, Gralla P, Harwijanto J, et al. Exploration at the eastern edge of the Precaspian Basin: Impact of data integration on Upper Permian and Triassic prospectivity[J]. AAPG Bulletin, 2002, 86(3): 399-415.
- [34] 金之钧,张一伟,王捷,等著.油气成藏机理与分布规律[M].北京:石油工业出版社,2003:73-94.
Jin Zhijun, Zhang Yiwei, Wang Jie, et al. Oil and gas accumulation mechanism and distribution law[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2003:73-94.
- [35] 童晓光.论成藏组合在勘探评价中的意义[J].西南石油大学学报(自然科学版),2009,31(6):1-8.
Tong Xiaoguang. A discussion on the role of accumulation in the exploration evaluation[J]. Journal of Southwest University of Petroleum (Natural Science Edition), 2009, 31(6): 1-8.
- [36] 童晓光,李浩武,肖坤叶,等.成藏组合快速分析技术在海外低勘探程度盆地的应用[J].石油学报,2009,30(3):317-323.
Tong Xiaoguang, Li Haowu, Xiao Kunye, et al. Application of play quick analysis technique in oversea basins with low-degree exploration[J]. Acta Petroleologica Sinica, 2009, 30(3): 317-323.
- [37] 吴河勇,王跃文,梁晓东,等.向斜成藏理论及其石油地质意义[J].地学前缘,2015,22(1):181-188.
Wu Heyong, Wang Yuewen, Liang Xiaodong, et al. Theory of petroleum accumulation in syncline and its significance to petroleum geology[J]. Geoscience Frontier, 2015, 22(1): 181-188.
- [38] 赵文智,何登发,范士芝.含油气系统术语、研究流程与核心内容之我见[J].石油勘探与开发,2002,29(2):1-7.
Zhao Wenzhi, He Dengfa, Fan Tuzhi. The study on terminology, technological process and kernel content of petroleum system[J]. Petroleum Exploration and Development, 2002, 29(2): 1-7.
- [39] 谢寅符,马中振,刘亚明,等.以成藏组合为核心的油气资源评价方法及应用:以巴西坎波斯(Campos)盆地为例[J].地质科技情报,2012,31(2):45-49.
Xie Yinfu, Ma Zhongzhen, Liu Yaming, et al. Method of play cored oil and gas resource assessment and application: Taking Campos Basin in Brazil as an example[J]. Geological Science and Technology Information, 2012, 31(2): 45-49.
- [40] 唐勇,宋永,何文军,等.准噶尔叠合盆地复式油气成藏规律[J].石油与天然气地质,2022,43(1):132-148.
Tang Yong, Song Yong, He Wenjun, et al. Characteristics of composite hydrocarbon accumulation in a superimposed basin, Junggar Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2022, 43(1): 132-148.
- [41] 黎茂稳,马晓潇,金之钧,等.中国海、陆相页岩层系岩相组合多样性与非常规油气勘探意义[J].石油与天然气地质,2022, 43(1):1-25.
Li Maowen, Ma Xiaoxiao, Jin Zhijun, et al. Diversity in the lithofacies assemblages of marine and lacustrine shale strata and significance for unconventional petroleum exploration in China[J]. Oil & Gas Geology, 2022, 43(1): 1-25.
- [42] 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.
- [43] 宋明水,王永诗,郝雪峰,等.渤海湾盆地东营凹陷古近系深层油气成藏系统及勘探潜力[J].石油与天然气地质,2021,42(6):1243-1254.
Song Mingshui, Wang Yongshi, Hao Xuefeng, et al. Petroleum systems and exploration potential in deep Paleogene of the Dongying Sag, Bohai Bay Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2021, 42(6): 1243-1254.
- [44] 蒋有录,苏圣民,刘华,等.渤海湾盆地古近系油气富集差异性主控因素[J].石油与天然气地质,2020,41(2):248-258.
Jiang Youlu, Su Shengmin, Liu Hua, et al. Differential hydrocarbon enrichment of the Paleogene and its main controlling factors in the Bohai Bay Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2020, 41(2): 248-258.
- [45] 熊伟.东营凹陷南部斜坡带输导体系研究[D].东营:中国石油大学,2009.
Xiong Wei. Study on the transport system in the southern slope zone of Dongying sag[D]. Dongying: China University of Petroleum, 2009.
- [46] 徐守余,李学艳.胜利油田东营凹陷中央隆起带断层封闭模式研究[J].地质力学学报,2005,11(1):19-24.
Xu Shouyu, Li Xueyan. Fault seal model of the central uplift Dongying depression[J]. Journal of Geomechanics, 2005, 11(1): 19-24.
- [47] 肖淑明,王国壮,钟建华,等.东营凹陷沙一段断层封闭性研究[J].地质力学学报,2009,15(3):296-304.
Xiao Shuming, Wang Guozhuang, Zhong Jianhua, et al. Analysis of the sealing process of faults in member 1 of Shahejie formation in Dongying sag[J]. Journal of Geomechanics, 2009, 15(3): 296-304.
- [48] 蒋有录,苏圣民,刘华,等.渤海湾盆地油气成藏期差异性及其主控因素[J].石油与天然气地质,2021,42(6):1255-1264.
Jiang Youlu, Su Shengmin, Liu Hua, et al. Differences in hydrocarbon accumulation stages and main controlling factors in the Bohai Bay Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2021, 42(6): 1255-1264.
- [49] 鲜本忠,王永诗,周廷全,等.断陷湖盆陡坡带砂砾岩体分布规律及控制因素——以渤海湾盆地济阳坳陷车镇凹陷为例[J].石油勘探与开发,2007,34(4):429-436.
Xian Benzong, Wang Yongshi, Zhou Tingquan, et al. Distribution and controlling factors of glutinite bodies in the active region of a rift basin: An example from Chechen Sag, Bohai Bay Basin[J]. Petroleum Exploration and Development, 2007, 34(4): 429-436.
- [50] 宋国奇,刘鑫金,刘惠民.东营凹陷北部陡坡带砂砾岩体成岩圈闭成因及主控因素[J].油气地质与采收率,2012,19(6):37-41.
Song Guoqi, Liu Xinjin, Liu Huimin. Study on genetic mechanism and controlling factors of conglomerate diagenesis trap in northern Dongying sag[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2012, 19(6): 37-41.

(编辑 张玉银)