

<https://doi.org/10.3799/dqkx.2026.129>



渤海湾超级盆地低勘探程度凹陷勘探进展与部署

于海涛¹, 张昊天¹, 刘海涛^{2*}, 孟涛³, 张东伟⁴, 崔宇⁵, 赵旭⁶, 张诏毓¹

1. 东北石油大学地球科学学院, 黑龙江大庆 163318

2. 中国石油勘探开发研究院, 北京 100083

3. 中国石化胜利油田分公司, 山东东营 257015

4. 中国石油辽河油田公司, 辽宁盘锦 124010

5. 中国石油大港油田公司, 天津 300280

6. 中国石油华北油田公司, 河北任丘 062550

摘要:为进一步明确“十五五”期间低勘探程度凹陷油气勘探方向,在对渤海湾超级盆地近期油气勘探发展形势和新进展分析的基础上,揭示油气来源的新认识,系统梳理该认识适用性并开展排队优选研究,最后提出低勘探程度凹陷勘探思路.研究表明:低勘探程度凹陷油气来源存在3点新认识,一是咸化湖富有机质藻源岩具有早期生烃、多期生烃机制,二是局部热异常及咸化湖烃源岩揭示小而浅凹陷自身具有一定的生烃潜力,三是油气具有来源于相邻主力富油凹陷长距离输导的可能.根据目前勘探进展,低勘探程度凹陷的理论技术成果将助推渤海湾盆地石油天然气增储上产,对保障东部地区能源供应、拉动着区域社会经济建设具有重要理论和实践意义.

关键词:低勘探程度凹陷;渤海湾超级盆地;保定凹陷;庙西凹陷;油气来源;油气地质.

中图分类号: P618

文章编号: 1000-2383(2026)05-1736-13

收稿日期: 2026-02-15

Exploration Progress and Deployment of Low Exploration Degree Depression in Bohai Bay Super Basin

Yu Haitao¹, Zhang Haotian¹, Liu Haitao^{2*}, Meng Tao³, Zhang Dongwei⁴, Cui Yu⁵, Zhao Xu⁶, Zhang Zhaoyu¹

1. College of Earth Sciences, Northeast Petroleum University, Daqing 163318, China

2. Research Institute of Petroleum Exploration and Development, PetroChina, Beijing 100083, China

3. SINOPEC Shengli Oilfield Company, Dongying 257015, China

4. Liaohe Oilfield Company, PetroChina, Panjin 124010, China

5. Dagang Oilfield Company, PetroChina, Tianjin 300280, China

6. Huabei Oilfield Company, PetroChina, Renqiu 062550, China

Abstract: To further clarify the direction of oil and gas exploration in low exploration degree depression during the “15th Five-Year Plan” period, based on an analysis of the recent development and progress of oil and gas exploration in the Bohai Bay super basin, this study reveals new insights into the sources of oil and gas, systematically sorts out the applicability of these insights,

基金项目: 油气重大专项(No.2024ZD1400100);黑龙江省自然科学基金项目(No.LH2024D007).

作者简介: 于海涛(1989-), 博士, 讲师, 主要从事油气成藏及综合地质评价研究. ORCID: 0000-0002-9940-1861. E-mail: yuhaitao.125@163.com

***通讯作者:** 刘海涛, E-mail: liu_haitao@petrochina.com.cn

引用格式: 于海涛, 张昊天, 刘海涛, 孟涛, 张东伟, 崔宇, 赵旭, 张诏毓, 2026. 渤海湾超级盆地低勘探程度凹陷勘探进展与部署. 地球科学, 51(5): 1736-1748.

Citation: Yu Haitao, Zhang Haotian, Liu Haitao, Meng Tao, Zhang Dongwei, Cui Yu, Zhao Xu, Zhang Zhaoyu, 2026. Exploration Progress and Deployment of Low Exploration Degree Depression in Bohai Bay Super Basin. *Earth Science*, 51(5): 1736-1748.

conducts prioritization and selection research, and finally proposes exploration ideas for low exploration degree depression. The results reveal three new understandings about the sources of oil and gas in low exploration degree depression. First, there is an early hydrocarbon generation and multi-stage hydrocarbon generation mechanism in organic-rich algal source rocks of salinized lakes. Second, local thermal anomalies and hydrocarbon source rocks in salinized lakes reveal the potential for hydrocarbon generation in small and shallow sags. Third, the oil and gas originate from long-distance transport in adjacent major oil-rich sags. According to the current exploration progress, the theoretical and technological achievements in low exploration degree depression will boost the increase in reserves and production of oil and gas in the Bohai Bay basin, which has important theoretical and practical significance for ensuring energy supply in the eastern region and driving regional socio-economic development.

Key words: low exploration depression; Bohai Bay super basin; Baoding depression; Miaoxi depression; hydrocarbon origin; petroleum geology.

渤海湾盆地是我国石油储量、产量最多的盆地,经60余年勘探开发,面临目标复杂化与隐蔽化等挑战,寻找规模接替领域已成为增储稳产的关键。超级盆地概念(Khafizov *et al.*, 2022; Baptista *et al.*, 2023; Tari *et al.*, 2023; Albriki *et al.*, 2024)的提出为渤海湾盆地重新焕发活力提供了重要的理论支撑,北美二叠超级盆地勘探历程表明,产量经历长期下降后,页岩油、深层等新领域的重大突破可以带来储量产量的再次大幅增长。渤海湾盆地(陆上)同样面临产量持续下降的局面,迫切需要解决资源潜力和规模增储的难题,推动储量产量二次增长高峰快速到来(Jiang *et al.*, 2026)。

“十四五”以来,中浅层成熟领域稳定增储,潜山(王清斌等, 2025)、古近系深层(王永诗等, 2025)、低勘探程度凹陷(徐田武等, 2026)等常规新领域不断取得新发现,陆相页岩油获战略突破,渤海湾盆地勘探呈现出“深浅并举、常非并重、全区共进”的良好局面。近年来,保定、庙西等凹陷突破发现证实低勘探程度凹陷是未来增储的重要方向。

然而,从勘探部署角度来看,低勘探程度凹陷的实践难题主要表现为2方面:一是部分凹陷因地面工程原因导致勘探工作未能进行,未来也较难进行大规模的油气勘探开发;二是因其总体规模较小,埋藏较浅,按照传统生油理论认为生油潜力有限,经传统烃源岩评价方法进行估算后,资源潜力有限,且部分凹陷已进行过几轮勘探,成效较差。通过梳理基础资料及勘探现状,制约低勘探程度凹陷取得突破的理论难题主要表现为2方面:一是目前取得的突破,多以咸化环境控制下的低熟油、页岩油气或煤成油气为主,生烃演化模式难以应用,有效烃源岩发育特征及分布规律认识不清;二是油气来源认识不清,凹陷结构、供烃条件及输导体系落实程度不足,导致成藏主控因素不明确。其技术

瓶颈主要表现为2方面:一是在钻井少、地震资料有限的情况下,如何能够准确预测凹陷结构,明确湖盆发育特征及低勘探程度凹陷与主力凹陷协同演化关系;二是基于已有资料,如何能够快速评价资源潜力,为综合排队提供依据。

保定、庙西等凹陷突破发现均在一定程度上打破了传统认知,建立了油气来源或勘探领域的新认识,为了进一步明确渤海湾超级盆地低勘探程度凹陷勘探方向,针对近年来典型低勘探程度凹陷进行系统梳理与研究,重点分析在勘探过程中勘探思路的转变历程,总结典型案例带来的经验启示,初步梳理低勘探程度凹陷勘探理论技术,为渤海湾盆地低勘探程度凹陷下一步油气勘探提供参考和借鉴。

1 渤海湾超级盆地低勘探程度凹陷概况

渤海湾盆地是多个原型盆地的不同部位、经历多期和多样化改造叠合与复合的地质体,新生代在区域伸展背景下的先断后拗双层结构,是全球25个超级盆地之一(吕建中等, 2019)。由于控凹断层的构造活动强烈,盆地形成了典型的多隆多凹相间分布的格局(徐长贵等, 2024),形成了构造格局、沉积充填、成藏要素组合各异的54个凹陷(图1),勘探、认识程度差异大,其中储量发现程度较高的凹陷21个,发现程度低的凹陷33个,已发现油气平面分布不均衡(刘海涛等, 2022)。

地层中发育多套烃源岩和含油气系统,特别是古近系的多套优质湖相烃源岩,是盆地油气最主要的来源。成熟探区勘探实践以及前人的研究表明,渤海湾盆地古近纪发育了包括沙河街组四段、沙河街组三段、沙河街组一段、孔店组和东营组在内的多套烃源岩,特别是沙三段半深湖相-深湖暗色泥

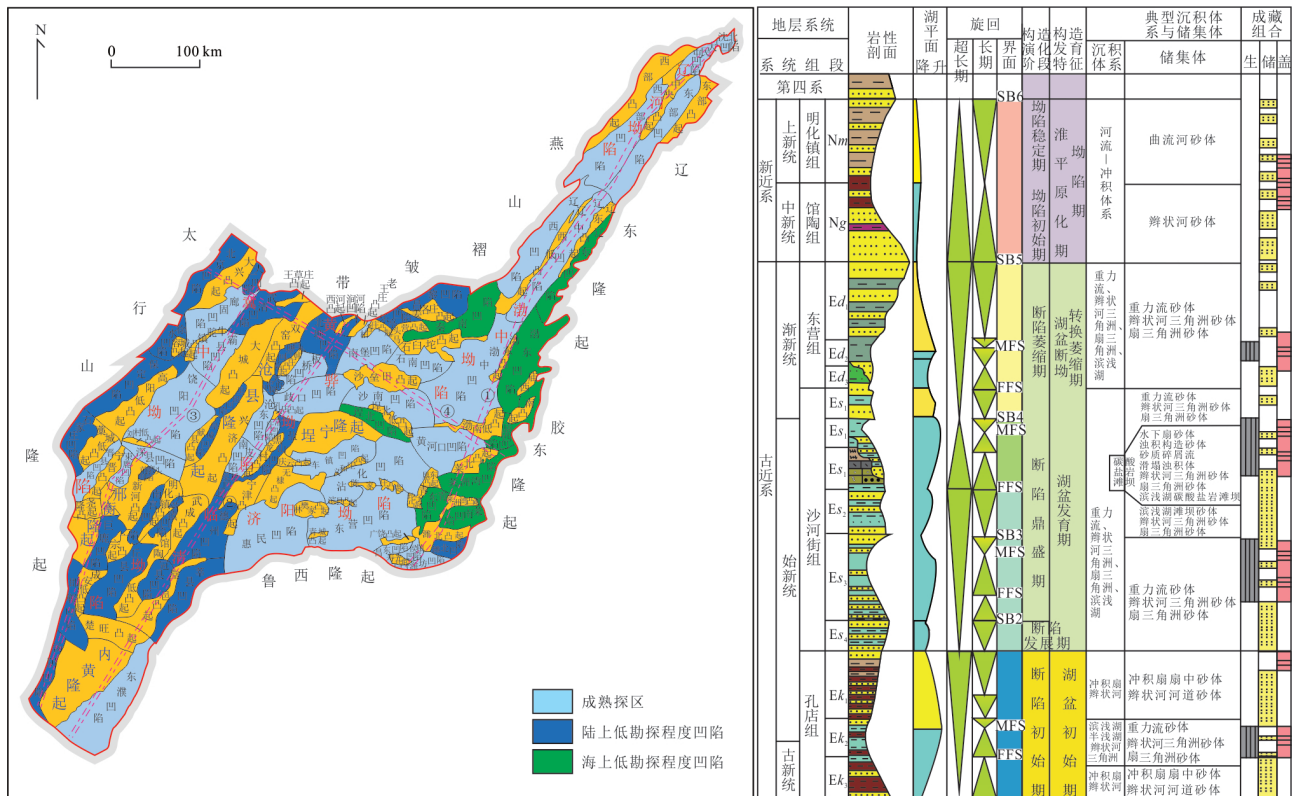


图 1 渤海湾盆地低勘探程度凹陷分布(a)及地层系统(b)

Fig.1 Distribution of low exploration degree depression in Bohai Bay super basin (a) and stratigraphic system map (b)

①营口-潍坊走滑断裂带;②黄骅-东濮走滑断裂带;③霸县-汤阴走滑断裂带;④张家口-蓬莱走滑断裂带

页岩,被认为是整个盆地内的最优质的烃源岩(张功成等, 2024)。

目前来看,低勘探程度凹陷整体分布受燕山物源区、太行山物源区及盆内走滑断裂带影响较大。在其影响下,整体表现出“多、散、杂、难”的特点:

“多”是层系多、类型多。如保定凹陷 G77X、BQ1X 等预探井在东营组获高产工业油流,类型有早熟油、低熟油;莘县凹陷禹城洼陷部署的 YX6cHF 井在沙三段下亚段钻遇低成熟页岩油,日产油量近 6 t/d(当量),已累计产油量超过 430 t,突破了禹城洼陷工业油流关(刘惠民, 2024);秦南凹陷沙三段、沙一段、东三段均表现出较强的生烃能力,古近系与新近系均有油气发现;QHD29-2 油田从深到浅依次分布特稠油、轻质油、凝析油和稠油(雷闯等, 2024);辽东湾坳陷发育低熟油,具有高密度、高酸值、高胶质+沥青质的特征(李威等, 2025)。

“散”是分散在富油凹陷周边,在凸起区或大断层的下降盘或边缘地区,如秦南凹陷围绕凹陷主断裂带、边缘凸起带以及边界断层附近发育自生自储、早生晚储、下生上储近源 3 种成藏模式。济阳坳陷周缘邵家洼陷、滨南次洼、里泽镇洼陷及花沟洼

陷等靠近郯庐断裂带,后期都发育自身烃源岩,并受郯庐断裂走滑改造,而三合村洼陷、富林洼陷、青东凹陷、青南-青西洼陷等在坳陷演化过程中逐步被边缘化,演化程度变弱,没有自身烃源岩。

“杂”是类型比较杂,包括油藏类型及成藏条件均较为复杂。一是自源型的凹陷,通过本轮研究,需在烃源岩评价方面取得新的认识,重新确定生储盖组合并确定含油层系;二是他源型凹陷,尤其是紧邻已知富油凹陷的,需确定是否具备油气长距离运移通道,如秦南凹陷南侧发现多个油气田,中海油已发现落实探明储量 1 074.9 万吨,秦南凹陷北部为姜各庄凸起、留守营凸起,面积近 950 km²,紧邻秦南凹陷,目前无井钻探。

“难”是大部分凹陷没有取得突破,即使突破了仍然存在很多问题。一是烃源岩的岩相、有机质赋存状态、生烃母质与主力富油凹陷烃源岩有明显差别,这类烃源岩的生烃潜力和分布特征缺乏系统评价,导致资源潜力认识不清;二是基本成藏条件研究薄弱,对常规、非常规油气成藏主控因素及富集规律认识不清楚,导致勘探主力层系与类型不明确,长期制约区内规模勘探;三是相对富油凹陷,勘探程度、认识程度低,储量

发现少、资源认识不清,现有区带优选评价方法难以适应低勘探程度凹陷勘探评价与战略选区。

2 近期低勘探程度凹陷勘探进展

近年来,渤海湾超级盆地针对低勘探程度凹陷加大勘探力度,强化地质研究与技术攻关,不断取得勘探战略发现和突破。从勘探领域来看,既涵盖常规油气藏(岩性地层油气藏、岩性构造油气藏、断块油气藏等,构造油气藏少见),也涵盖非常规油气藏,“常非一体”勘探思路指导下的“进源找油”为页岩油勘探指明了方向;从勘探层系来看,低勘探程度凹陷在浅层(馆陶组及东营组)和深层(沙河街组及孔店组)均有不同程度的突破,标志着低勘探程度凹陷在未来勘探中,要着眼于全层系;从平面分布来看,既要关注斜坡高部位岩性地层油气藏的分布,也要考虑凹陷内部非常规油气的存在,同时深凹区岩性油藏与页岩油藏呈现连片分布、满凹含油的特征(表1)。

与凹陷勘探早期有所不同,低勘探程度凹陷大多经历过几轮勘探,有些凹陷已见成效或已有一定的钻井及地震资料,但是往往由于地面工程原因或几轮勘探失利未能持续推进。如果没有新的资料或理论支撑,重复传统的区域勘探工作很难取得突破。而上述凹陷取得突破的关键在于新的勘探部署提供了新的资料支撑,本文选取保定凹陷、沧东凹陷及禹城洼陷进行重点剖析,其代表性主要表现为以下3点:一是从勘探实践方面,已有油气发现,资料逐渐丰富,研究进展领先其他

凹陷,可为北塘、潍北、青东等凹陷在源储配置、输导条件及油气成藏模式等方面起到引领作用;二是从区域构造方面,以保定凹陷的突破为契机,梳理太东断裂带分段活动特征对构造演化的影响,下一步需在同一构造带控制下探讨不同凹陷地质结构差异性,如郟庐断裂带、燕山褶皱带、黄骅-东濮走滑断裂带等;三是在油气来源方面,可将低勘探程度凹陷分为自源型凹陷和他源型凹陷。

对于自源型凹陷,主要有3点启示:一是对于湖盆结构需要重新认识,对于沉降中心或湖盆范围认识不清导致烃源岩发育条件认识不清;二是对于生排烃机制需要重新认识,咸化环境或局部热异常导致烃源岩生排烃机制不同,生排烃门限变浅;三是对于勘探领域需要重新认识,“全油气系统”、“常非一体”、“进源找油”等勘探理念引导我们持续关注近源、源内岩性油藏及页岩油领域。对于他源型凹陷,首先关注其与临近富油凹陷在地质结构上协同演化的可能性,其次分析其在构造演化中具有统一湖盆或烃源岩的可能性,然后明确跨凹陷输导体系,最后揭示油气来源于临近富油凹陷油气长距离输导的可能性。

2.1 自源型凹陷

2.1.1 对于湖盆结构的新认识 沧东凹陷的突破表明,低勘探程度凹陷面积小、埋藏浅,资料少,均会导致对于湖盆结构认识不准确,间接导致对烃源岩发育条件判断不准确。进行原型盆地恢复及构造-沉积演化再认识是解决这一问题的关键所在。前期研究认为沧东凹陷孔二段沉积期,沧东深凹区

表1 渤海湾超级盆地低勘探程度凹陷重大突破发现统计

Table 1 Statistics of major breakthrough discoveries in low exploration degree depression of the Bohai Bay super basin

探区	凹陷名称	代表井	层系	突破及意义
大港	沧东凹陷	沧探1井	古近系孔二段	实现了沧东凹陷深层岩性油气藏勘探的重大突破
大港	北塘凹陷	塘29-26C	古近系沙四段	重新认识沙四段地层,明确新含油气系统
华北	保定凹陷	高77X井、 保清1X井	古近系东营组、 新近系馆陶组	单个油藏石油地质储量近亿吨,证实早熟油、低熟油勘探场面大,太行山前第一排凹陷浅层油气富集
华北	武清凹陷	泗探1井	古近系沙四段	证实了冀中拗陷古近系深层具有较大潜力
胜利	临清拗陷 禹城洼陷	YX6cHF井	古近系沙三下亚段	引领了济阳拗陷外围小洼陷勘探突破新方向
胜利	车镇凹陷 郭局子洼陷	郭页1HF井	古近系沙三下亚段	为外围小洼陷勘探突破提供了新的解决方案
冀东	辽中凹陷	东升4井、东升402井	古近系东二段、 古近系东三段	揭示了走滑带和深洼带油气是主要突破方向,明确了斜坡带成藏有利条件
中海油	庙西莱州湾	PL15-2-1、 KL16-1-1	新近系明化镇组、 新近系馆陶组	局部热异常及咸化湖烃源岩揭示小而浅凹陷自身生烃潜力

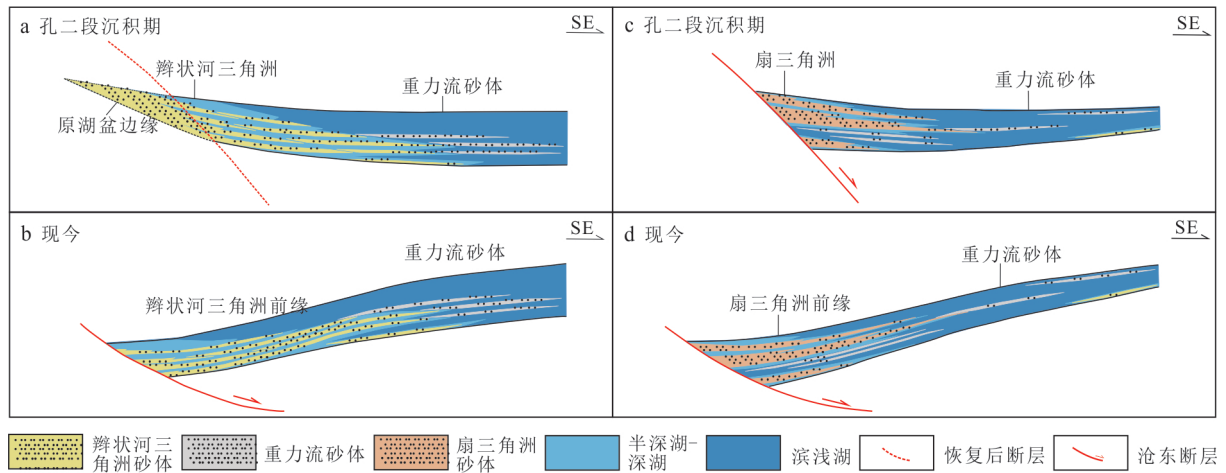


图2 沧东深凹区演化模式

Fig.2 Evolutionary model of Cangdong deep depression area

据周立宏等(2024); a~b. 拗陷湖盆-旋转掀斜演化模式; c~d. 断陷湖盆-继承沉降演化模式

为拗陷湖盆结构,整体呈中心沉降的碟状湖盆结构,之后经历构造反转、剥蚀,现今为孔二段残余湖盆(图2a, 2b). 通过部署沧探1井,综合分析岩相组合特征、构造演化、盆内断裂活动等地质条件,认为沧东断层在孔二段沉积期就已经开始活动,并对湖盆结构产生控制作用. 因此,孔二段沉积期深凹区为沧东断层早期活动控制形成的低幅度断陷湖盆结构,之后沧东断层持续活动,控制形成现今的深凹构造(周立宏等, 2024; 赵贤正等, 2025)(图2c, 2d).

2.1.2 对于生排烃机制的新认识 陆相断陷盆地“咸化富烃”认识及咸化湖富有机质藻源岩早期生烃、多期生烃机制均表明,咸化水体和强还原环境有利于有机质保存和生烃转化. 这类烃源岩有机质丰度高,藻腐泥组剪含量高,生烃活化能低,易于低温演化阶段大量生烃(张锐锋等, 2023). 在这样的机制下,生排烃门限变浅,易生成大量早熟油、低熟油,因此资源潜力得到新认识. 济阳拗陷沙四段咸化环境生烃母质多为嗜盐菌藻类,古生产力高;咸化环境水体盐度分层,还原性强,有机质保存条件好,埋藏效率高,呈层状富集. 由此可知,咸化环境有机质以非共价键缔合结构为主,活化能低(图3a),易于生烃;烃源岩水平页理发育(图3b),易于排烃. 模拟实验和勘探实践表明,咸化环境与淡水环境相比,烃源岩排烃门限变浅500 m(图3c),排烃量增加20%以上(王永诗等, 2024).

从全盆角度来看,受岩石圈减薄、地幔上涌、与邻庐断裂带强烈走滑活动相伴生的火山喷发、火山岩体侵入等因素影响(Liu *et al.*, 2016, 2018, 2022;

Wang *et al.*, 2025)(图4),会导致大地热流值较高,平均地温梯度较高. 表明高热能高地温梯度有利于烃源岩的快速演化(石文龙等, 2019),同时使烃源岩排烃门限变浅. 庙西凹陷有机质转化系数分析结果显示,庙西南洼陷有效烃源岩的排烃门限在2250 m,对应镜质组反射率(R_0)为0.6%,其排烃门限深度明显浅于渤海湾盆地其他洼陷(赵野等, 2020).

热液上涌通常会促进有机质富集,沿深大断裂不断上涌的热液流体不仅能提供丰富的营养物质(如N、P等元素)和金属元素(如Fe、Cu、Mn),促进古生产力的提高,其携带的大量盐类及还原性气体还会促使底层水体形成缺氧环境,为有机质的富集提供良好的保存条件. 东营凹陷沙河街组热液流体活动可以提高湖盆底部水体的盐度,促进湖水分层的形成,有利于缺氧环境的发育和优质烃源岩的形成. 热液流体的高温效应可以促进烃源岩的生排烃,同时高压效应有利于油气的运移(侯中帅等, 2019; Li *et al.*, 2024). 以庙西凹陷为例(图5),热液流体的稀土元素配分特征与古近系烃源岩一致,热液活动对有机质富集的影响具有明显的阶段性. 随着 δE_u 增大,古生产力迅速增大,水体的还原程度不断增强,TOC含量逐渐增高;当 δE_u 大于2时,古生产力的增长速度逐渐变缓,水体的还原程度不断减弱,TOC含量也随之降低(杨海风等, 2025).

2.1.3 对于勘探领域的新认识 济阳拗陷周缘小洼陷早期在源控论的指导下通过寻找烃源岩及钻探高位潜山,发现临清拗陷东部沙三段、孔二段烃源岩. 后期在含油气系统理论的指导下钻探洼陷周

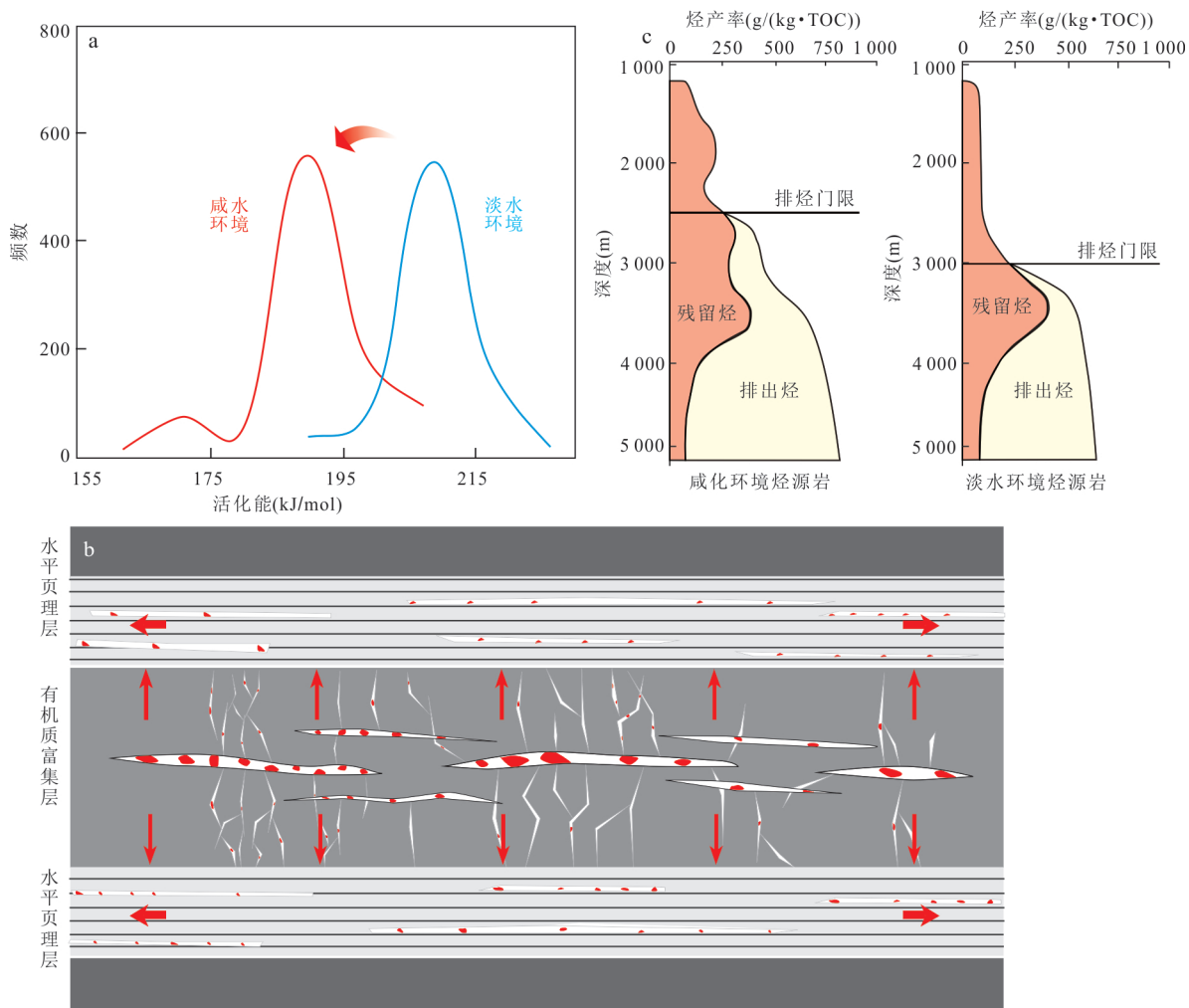


图3 济阳坳陷咸化源岩高效生排烃机制示意

Fig.3 Schematic diagram of efficient hydrocarbon generation and expulsion mechanism of salinized source rocks in Jiyang depression

据王永诗等(2024). a.不同环境烃源岩活化能对比;b.咸化环境烃源岩生排烃示意;c.不同环境烃源岩生排烃模式

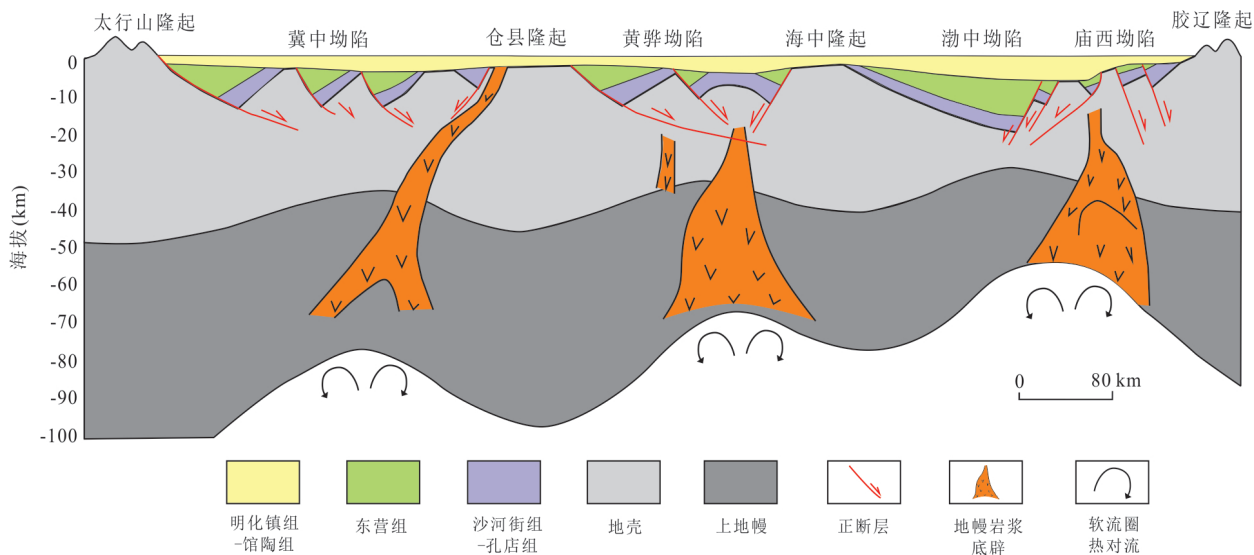


图4 渤海湾超级盆地大地热流分布剖面(据徐长贵等,2019)

Fig.4 Distribution profile of geothermal flow in Bohai Bay super basin

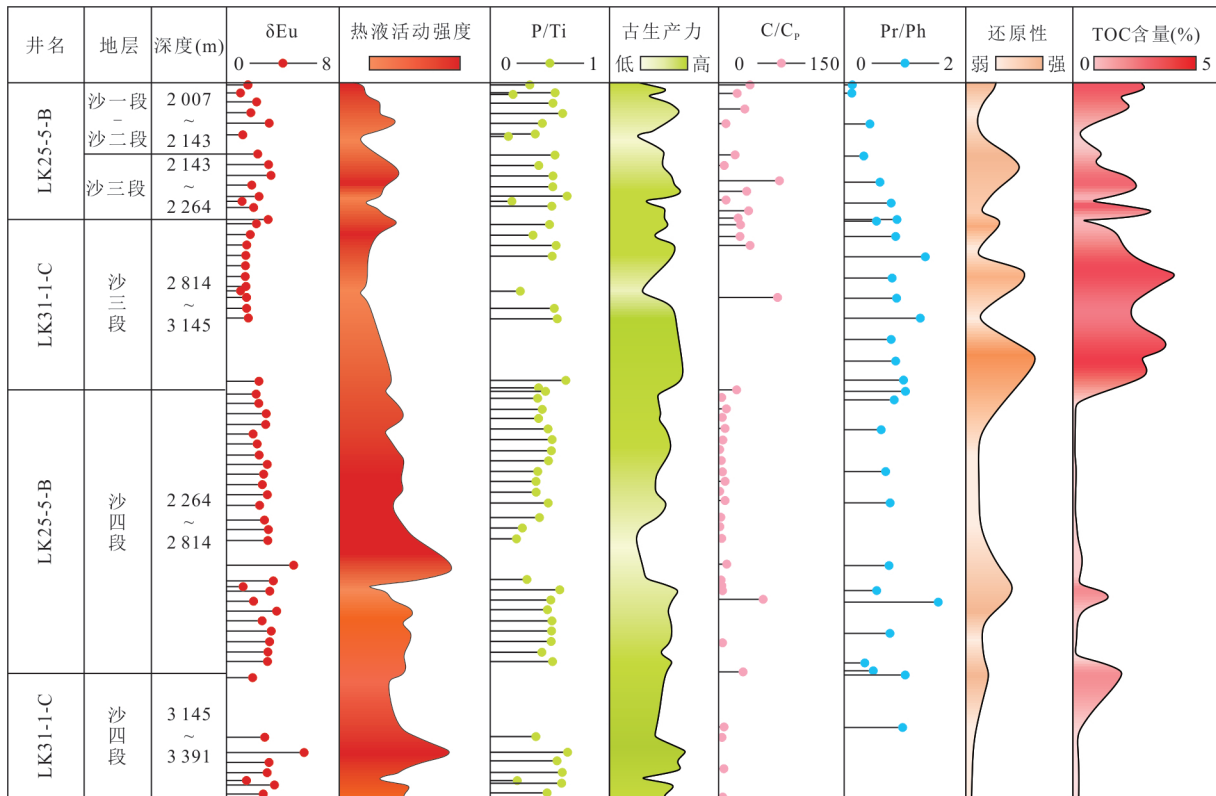


图 5 庙西凹陷古近系烃源岩元素地球化学特征与热液活动强度关系(据杨海风等, 2025)

Fig.5 Relationship diagram between elemental geochemical characteristics and hydrothermal activity intensity of Paleogene source rocks in Miaoxi depression

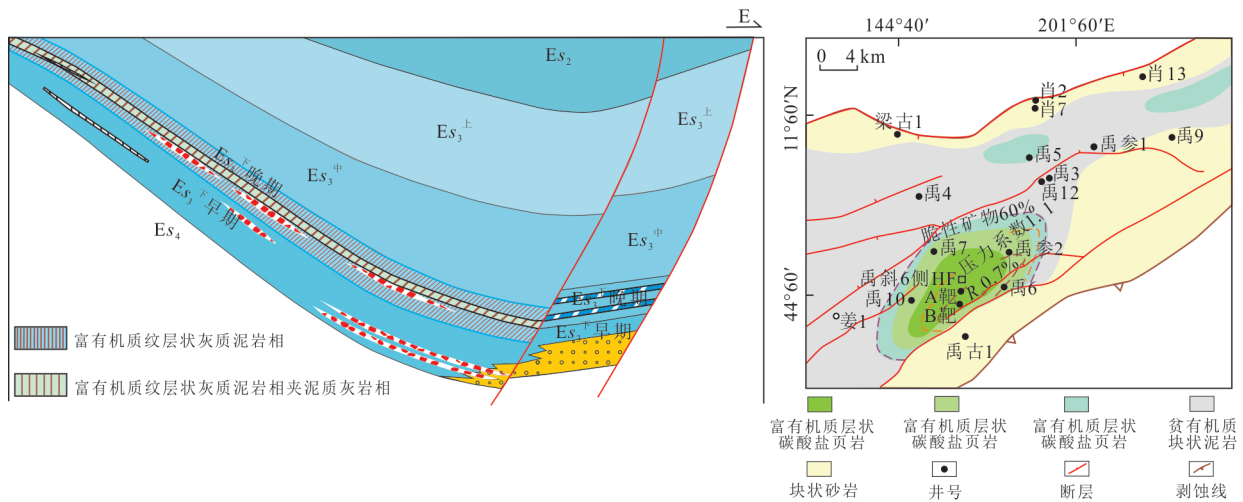


图 6 禹城洼陷油气藏剖面及四性关系

Fig.6 Oil and gas reservoir profile and four-property relationship diagram of Yucheng sag

缘正向构造并继续钻探高位潜山,发现贾2、德1低熟构造油藏;随后钻探上古生界煤成气藏并继续钻探洼陷周缘正向构造,发现高古4太原组煤成气藏.

禹城洼陷先后以构造圈闭、近源沙三段与沙四段岩性圈闭为目标进行探索,完钻各类探井10余口,均未获得突破.在页岩油勘探突破启示

下,开展了沙三段中、下亚段烃源岩“四性”评价以落实有利页岩油发育层段,部署的禹斜6侧HF井在沙三段下亚段钻遇低成熟页岩油,突破了禹城洼陷工业油流关(图6).

勘探实践表明,发育在盆缘的地区的小洼陷,地温往往要高一些,预示着小洼陷与主体洼

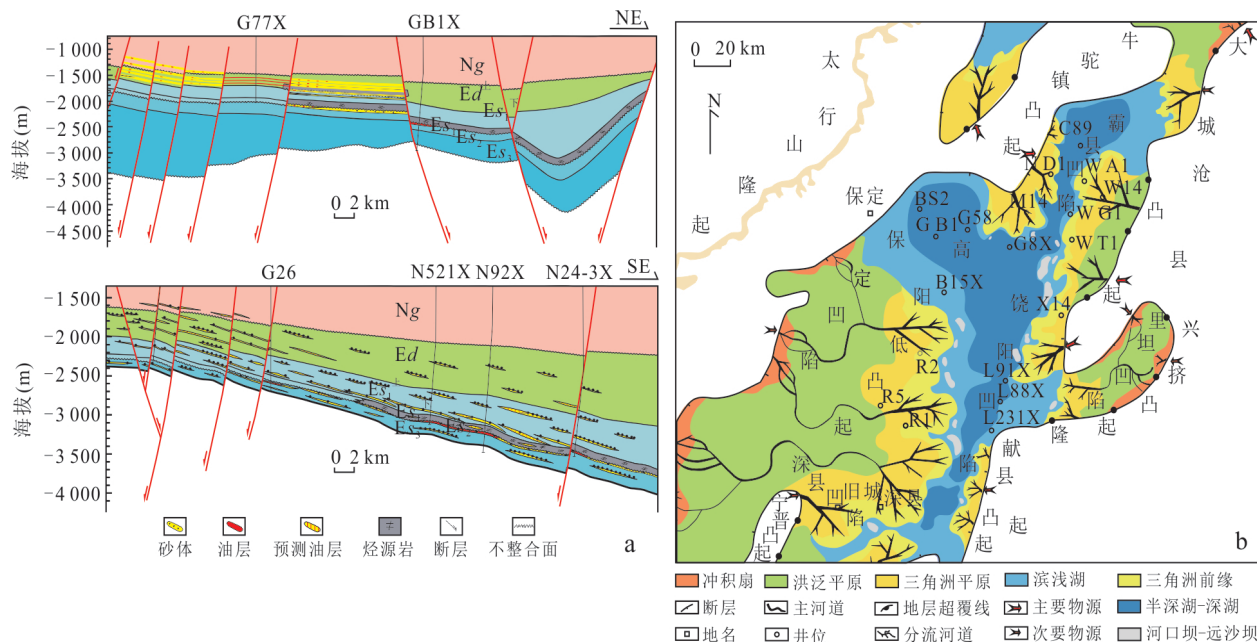


图 7 保定凹陷清苑构造带“双向供烃、断砂输导、浅层富集”成藏模式(据李熹微等, 2025)

Fig.7 Hydrocarbon accumulation pattern of “two-way hydrocarbon supply, hydrocarbon transport by sand and fault, and hydrocarbon enrichment in shallow formation” in Qingyuan structural belt in Baoding sag

a. 保定凹陷沙一下统一汇水湖盆分布范围; b. 保定凹陷断砂输导体系发育特征

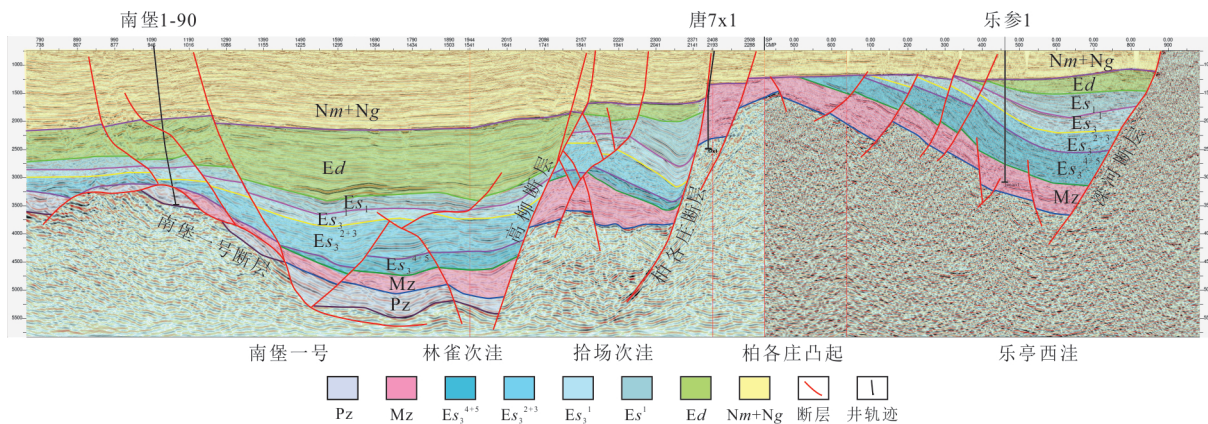


图 8 南堡凹陷-拾场次洼-柏各庄凸起-乐亭西洼结构剖面

Fig.8 Structural profile of Nanpu depression-Shichangciwa-Baigezhuang uplift-Letingxiwa

陷有不同的热演化史. 周缘小洼陷烃源岩的岩相、有机质赋存状态、生烃母质与主力富油洼陷烃源岩有明显差别, 这类烃源岩的生烃潜力和分布特征缺乏系统评价, 导致资源潜力认识不清, 对于近源、源内岩性油藏及页岩油领域的持续关注, 可早日揭示小洼陷生烃潜力并打开新局面.

2.2 他源型凹陷

低勘探程度凹陷可能与临近富油凹陷存在协同演化的关系, 具有富油凹陷生成的油气经过长距离输导至低勘探程度凹陷的可能. 以保定凹陷为例, 保定凹陷以一次三维地震采集和二维重新

处理的地震资料为基础(张保卫等, 2022), 与东部的饶阳凹陷进行整体研究, 通过整体认识地质结构, 明确凹陷具独特的“双层结构”. 从构造位置看, 保定凹陷东部斜坡带北段东、北两个方向被沙一下亚段烃源岩包围, 是油气向南、向西运移的指向区, 沙一下亚段在广湖盆沉积背景下发育多个相对独立的沉积洼槽. 北部的保北-淀北洼槽与东部为近南北走向的赵皇庄洼槽地层埋深均在 2 100 m 以下, 具备早期生烃、多期生烃条件(李志军等, 2024). 两个生油洼槽将清苑构造带包围, 使其具备双向供烃条件(李熹微等, 2025)(图 7a).

通过建立清苑地区河湖交互“枝网状”砂体发育新模式,明确主要成藏期古构造脊分布控制着油气运移和汇聚,万安斜坡区位于赵皇庄、西柳古构造脊延伸方向,是蠡县斜坡和保定周边油源向清苑构造运移聚集的主要指向.源-断-砂-脊配置形成优势运移通道控制油气分布,斜坡高部位断裂发育区以构造油藏为主,斜坡低部位弱构造区河湖交互砂体发育,是岩性油藏发育有利区(图 7b).

目前有证据表明,乐亭凹陷与临近的南堡凹陷也可能具备协同演化关系,通过唐 7x1 井的部署发现,南堡凹陷与乐亭凹陷的连接部位,根据古生物的麻黄粉、杉粉、栎粉等主要化石证实沙三段、沙四段的存在,即通过原型盆地的恢复可以落实南堡凹陷与乐亭凹陷的协同演化关系,进一步探究南堡凹陷有效烃源岩生成的油气经长距离输导至乐亭凹陷的可能性(图 8).

3 低勘探程度凹陷油气资源潜力及关键技术

根据勘探工作量及发现油气情况,将低勘探程度凹陷研究划分三个层级,针对不同层级依次开展部署,加强理论认识与技术攻关.一类凹陷为已发现油气的凹陷,如保定、北塘、潍北、青东等凹陷,从构造样式与圈闭类型、沉积体系与储层展布、供烃条件与输导通道等方面进行分析,分析源储配置与输导条件,建立油气成藏模式,落实增储区带;二类凹陷为有重要勘探苗头的凹陷,如武清、德州、莘县等凹陷,运用“常非一体”勘探思路,开展咸化源岩

高效生排烃机制研究及有效烃源岩评价,落实有利储集体成因类型及分布,探索低勘探程度凹陷突破新路径;三类凹陷为其他凹陷,如南宫、巨鹿、吴桥等凹陷,加强基础地质研究,重点开展凹陷结构及演化、烃源岩生烃潜力及综合地质评价,预测油气勘探前景;针对盆外低勘探程度区,围绕制约研究区关键地质问题开展解剖研究,并将低勘探程度凹陷成盆、成烃、成藏及综合评价技术推广应用到该区.关键技术围绕油气来源及资源评价开展(图 9):

3.1 低勘探程度凹陷地质结构与目标地质体综合预测技术

对凹陷结构的认识是重新认识烃源岩发育条件的关键,以重磁电震多参数联合反演理论为基础,利用“密度-磁化率-电阻率-速度”关系将多地球物理场有机融合,创新高精度重磁电处理技术,提高地球物理资料的信噪比和分辨能力,通过地质-地球物理多信息一体化解释,突破单一技术的局限性,提高低勘探程度凹陷地质结构和目标地质体预测的精度.

3.2 低勘探程度凹陷资源潜力快速定量预测技术

资源潜力预测是低勘探程度凹陷尽早部署勘探的关键所在,由于低勘探程度凹陷资料少,建立融合地震、地质、地化等多源数据融合技术,提高低勘探程度凹陷资源识别精度和预测能力;同时引入大数据分析技术,开发智能化算法,实现对复杂地质条件下资源潜力的定量分析与评价;最后建立面向地质风险的多维度评估模型,为勘探决策制定提

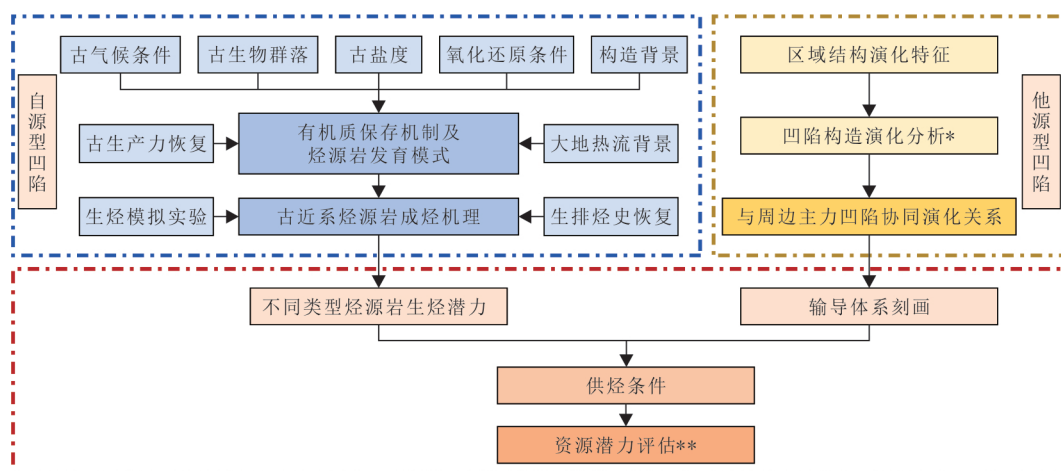


图 9 低勘探程度凹陷资源潜力评估技术路线

Fig.9 Technical route for evaluating resource potential of low exploration degree depression

*对应低勘探程度凹陷地质结构与目标地质体综合预测技术;**对应低勘探程度凹陷资源潜力快速定量预测技术

供工具,减少资源潜力预测的不确定性。

4 油气勘探意义及部署

渤海湾超级盆地低勘探程度凹陷与成熟探区相比,整体表现出“多、散、杂、难”的特点,且技术储备不足,相关勘探实践尚处于早期阶段,勘探风险大、探索性强。但是渤海湾盆地作为中国超级盆地之一,前景可观,低勘探程度凹陷作为重要的接替领域及增长点之一,一旦取得突破将为渤海湾盆地重新焕发活力提供重要的支撑。

4.1 油气勘探意义

基于对渤海湾超级盆地近期油气勘探发展形势和新进展分析,对于下一步勘探开发的3点指示意义。

4.1.1 立足超级盆地概念,进行整体认识 超级盆地的概念为从盆地整体认识提供了良好的契机,以“沧东-吴桥-德州凹陷孔二段统一汇水湖盆”的认识为例。沧东凹陷的突破,为孔二段地层发育范围的重新厘定提供了重要证据,也证实孔二段沉积期为淡水-半咸水湖盆。通过整体认识,初步明确吴桥凹陷、德州凹陷与沧东凹陷具有相似的地层结构与相近的演化特征,可借鉴保定-饶阳凹陷沙一下统一汇水湖盆的认识,探索沧东-吴桥-德州凹陷孔二段统一汇水湖盆的可能性。

4.1.2 以区域构造为纽带,探讨区域构造控制下的凹陷结构及演化的差异性 通过低勘探程度凹陷分布规律可以发现,目前主要分布于太行山东断裂、郯庐断裂带、燕山褶皱带及黄骅-东濮走滑断裂带等。通过对太行山东断裂进行系统解剖,明确太行山东断裂水平断距呈明显的三段性,中段持续活动性最强,位移最大,明显发育两处构造转换带,控制了沉积与沉降中心,决定了保定凹陷与石家庄凹陷和徐水凹陷的差异。未来需针对上述构造带进行系统解剖,探讨区域构造控制下的凹陷结构及演化的差异性。

4.1.3 聚焦烃源岩形成机制,建立多类型烃源岩评价体系 在烃源岩原有认识的基础上,有针对性的形成无井-少井区烃源岩评价技术方法,并进行分区分类评价,预测有效烃源岩的分布规律。既要高度关注常规油气,也要兼顾咸化环境控制下的低熟油、页岩油气或煤成油气,建立多类型烃源岩评价体系。

4.2 油气勘探部署

基于以上分析,“十五五”期间针对该领

域将开展如下部署。

4.2.1 打破矿权限制,整体部署 超级盆地概念的提出为渤海湾盆地整体认识、整体部署提供了理论支撑,各油田可以共享资料,建立覆盖全盆的跨区大剖面,开展全盆范围内统层工作,为渤海湾盆地沉积、构造整体认识奠定基础。

4.2.2 补充井震资料,重新认识 近期勘探成果表明,“小而浅”的凹陷仍然具有较大的勘探潜力,需要以新的钻井、地震或分析测试资料为依托,针对各凹陷结构及生烃机制开展重新认识,重点关注湖盆结构、咸化环境、局部热异常等问题,重新认识油气来源并评价资源潜力。

4.2.3 形成区域认识,综合排队 近年来依托渤海湾专班针对全盆沉积环境、构造演化背景、烃源岩母质来源、大地热流特征等形成了区域认识,在区域认识的指导下依次研判各凹陷生烃潜力,做出综合排队决策并进行资源配置,依次部署勘探实践,是尽早取得突破的关键环节。

5 结论

(1)油气来源是低勘探程度凹陷取得突破要解决的首要问题,按照油气来源可以讲低勘探程度凹陷划分为自源型凹陷和他源型凹陷。根据已突破凹陷带来的启示,自源型凹陷主要从湖盆结构、咸化湖盆、页岩岩相等入手,他源型凹陷主要从地质结构、输导体系刻画入手,判断油气来源于临近富油凹陷的可能性。

(2)根据目前取得的勘探成果,低勘探程度凹陷油气分布于各层系各位置,涵盖常规油气和非常规油气,平面呈现连片分布、满凹含油的特征。

(3)低勘探程度凹陷是渤海湾超级盆地增储上产的重要领域,尽快形成低勘探程度凹陷理论和技术,保持战略定力,持续加强探索和研究力度、不断创新理论认识、突破技术瓶颈,是加快低勘探程度凹陷规模勘探的重要举措。

References

- Albriki, K., Wei, G. Q., Wang, F. Y., et al., 2024. Nature and Occurrence, Geochemical Characteristics, and Families of the Crude Oils in Sirt Basin, Libya: Implication for Super Rift Basin Petroleum System. *Journal of African Earth Sciences*, 216: 105307. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2024.105307>

- Baptista, R. J., Ferraz, A. E., Sombra, C., et al., 2023. The Presalt Santos Basin, a Super Basin of the Twenty-First Century. *AAPG Bulletin*, 107(8): 1369–1389. <https://doi.org/10.1306/04042322048>
- Hou, Z.S., Chen, S.Y., Liu, H.M., et al., 2019. Hydrothermal Fluid Activity and Its Hydrocarbon Geological Significance in Dongying Depression. *Journal of China University of Mining & Technology*, 48(5): 1090–1101 (in Chinese with English abstract).
- Jiang, D. X., Du, X. F., Liu, S. X., et al., 2026. Reserve Growth Modeling and Prediction in Oil Fields of the Bohai Bay Basin, China. *Natural Resources Research*, 35(2): 1095–1111. <https://doi.org/10.1007/s11053-025-10598-4>
- Khafizov, S., Syngaevsky, P., Dolson, J. C., 2022. The West Siberian Super Basin: The Largest and Most Prolific Hydrocarbon Basin in the World. *AAPG Bulletin*, 106(3): 517–572. <https://doi.org/10.1306/11192121086>
- Lei, C., Yin, Sh.Y., Dong, G.Y., et al., 2024. Research on Hydrocarbon Generation Characteristics of Source Rocks in Low-Exploration Area—A Case Study of the Qinnan Sag, Bohai Bay Basin. *Geological Review*, 70(4): 1391–1402 (in Chinese with English abstract).
- Li, P. W., He, Z. L., Hu, Z. Q., et al., 2024. Conditions for the Enrichment of Karst Hydrothermal Resources in Bohai Bay Basin. *Energy Geoscience*, 5(1): 100234. <https://doi.org/10.1016/j.engeos.2023.100234>
- Li, W., Gao, Y.F., Li, Y. C., 2025. Characteristics and Development Prospect of Low-Mature Oil in Bohai Sea: A Case Study of South Liaoxi Depression. *Earth Science*, 50(1): 172–180 (in Chinese with English abstract).
- Li, X.W., Yang, B., Jiang, F.J., et al., 2025. Characteristics and Accumulation Model of the Whole Petroleum System in Baoding-Raoyang Sags, Jizhong Depression, Bohai Bay Basin. *Acta Petrolei Sinica*, 46(6): 1108–1125 (in Chinese with English abstract).
- Li, Z.J., Ma, X.F., Luo, Q., et al., 2024. Characteristics and Hydrocarbon Generation Mechanism of Early-Mature and Late-Mature Oils in Baoding Depression of Bohai Bay Basin. *Acta Petrolei Sinica*, 45(3): 500–516 (in Chinese with English abstract).
- Liu, H. M., 2024. Exploration Situation and Development Strategy of Shengli Oilfield during “14th Five-Year Plan in 2021–2025”. *Petroleum Geology and Recovery Efficiency*, 31(4): 1–12 (in Chinese with English abstract).
- Liu, H. T., Yu, H. T., Sun, Y., et al., 2022. Formation and Differential Enrichment of Oil and Gas on Multiple Types of Slopes in Rifted Basins: Taking the Bohai Bay Basin as an Example, China. *Acta Petrologica Sinica*, 38(9): 2697–2708 (in Chinese with English abstract).
- Liu, Q. Y., He, L. J., Chen, L. C., 2018. Tectono-Thermal Modeling of Cenozoic Multiple Rift Episodes in the Bohai Bay Basin, Eastern China and Its Geodynamic Implications. *International Journal of Earth Sciences*, 107(1): 53–69. <https://doi.org/10.1007/s00531-017-1550-1>
- Liu, Q. Y., He, L. J., Huang, F., et al., 2016. Cenozoic Lithospheric Evolution of the Bohai Bay Basin, Eastern North China Craton: Constraint from Tectono-Thermal Modeling. *Journal of Asian Earth Sciences*, 115: 368–382. <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2015.10.013>
- Liu, Q. Y., He, L. J., Yi, Z. J., et al., 2022. Anomalous Post-Rift Subsidence in the Bohai Bay Basin, Eastern China: Contributions from Mantle Process and Fault Activity. *Tectonics*, 41: e2021TC006748. <https://doi.org/10.1029/2021tc006748>
- Lv, J.Z., Liu, J., Sun, N.D., et al., 2019. The “Super Basin Model”—A New Idea of Increasing Reserves and Production in Mature Basins. *International Petroleum Economics*, 27(9): 40–48 (in Chinese with English abstract).
- Shi, W.L., Niu, Ch.M., Yang, B., et al., 2019. Mechanism of “Strike-Slip-Extensional” Composite Faults-Controlled Hydrocarbon Accumulation in the Northeastern Laizhouwan Sag, and Its Enlightenment for Exploration. *Oil & Gas Geology*, 40(5): 1056–1064 (in Chinese with English abstract).
- Tari, G., Bada, G., Boote, D. R. D., et al., 2023. The Pannonian Super Basin: A Brief Overview. *AAPG Bulletin*, 107(8): 1391–1417. <https://doi.org/10.1306/02172322098>
- Wang, Q.B., Liu, X.J., Y, T., et al., 2026. Analysis of the Main Controlling Factors of the Fractured Reservoirs Development in the Buried Hills of the Archean Metamorphic Rocks in the Bohai Sea Area. *Earth Science*, 50(2): 453–465 (in Chinese with English abstract).
- Wang, X. W., Liu, H. Y., Wang, T. H., et al., 2025. Mechanism of Heat Transfer and Accumulation in Sedimentary Basin Geothermal Anomaly Belts: A Case Study of Bohai Bay Basin, China. *Geothermal Energy*, 13(1): 1–25.
- Wang, Y.S, Gao, Y., Li, J.L., et al., 2025. New Exploration Areas and Resource Potential of Paleogene Clastic Rock Tight Oil in Jiyang Depression of Bohai Bay Basin. *Acta Petrolei Sinica*, 46(1): 118–136 (in Chinese with English abstract).

- Wang, Y.S., Zhang, P.F., Wang, X.J., et al., 2024. Theoretical Progress and Practice of Refined Oil and Gas Exploration in Mature Exploration Area of Jiyang Depression. *Petroleum Geology and Recovery Efficiency*, 31(4): 13—23 (in Chinese with English abstract).
- Xu, C. G., Yu, H. B., Wang, J., et al., 2019. Formation Conditions and Accumulation Characteristics of Bozhong 19-6 Large Condensate Gas Field in Offshore Bohai Bay Basin. *Petroleum Exploration and Development*, 46(1): 27—40 (in Chinese with English abstract).
- Xu, C. G., Zhou, J. X., Yang, H. F., et al., 2024. New Fields, New Types and Resource Potentials of Oil-Gas Exploration in Bohai Sea. *Acta Petrolei Sinica*, 45(1): 163—182 (in Chinese with English abstract).
- Xu, T. W., Duan, J. B., Zhang, C. F., et al., 2026. Significant Oil and Gas Discoveries and Inspirations in Underexplored Areas of Old Oil Fields: A Case Study of Southwest Sag in Dongpu Depression, Bohai Bay Basin. *Earth Science*, 51(1): 257—271 (in Chinese with English abstract).
- Yang, H. F., Fang, Zh., Wang F. L., et al., 2025. Influence of Deep Hydrothermal Fluid on Organic Matter Enrichment and Its Activity Mode in Shahejie Formation and Dongying Formation of Bohai Bay Basin. *Acta Petrolei Sinica*, 46(6): 1089—1107 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, B. W., Yue, H. Y., Xie, W., et al., 2022. Characteristics and Hydrocarbon Generation Mechanism of Early Low-Mature Oil in Baoding Sag, Bohai Bay Basin. *Acta Petrolei Sinica*, 46(6): 1359—1368 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, G. C., Tong, D. J., Chen, K., et al., 2024. Tectonic Evolution and Source Rocks Development of the Super Oil-Rich Bohai Bay Basin, East China. *Petroleum Exploration and Development*, 51(5): 1165—1182 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, R. F., He, H. Q., Zhu, Q. Z., et al., 2023. Major Discovery and Enlightenment from Petroleum Exploration of Dongying Formation in Baoding Sag, Bohai Bay Basin. *China Petroleum Exploration*, 28(2): 11—23 (in Chinese with English abstract).
- Zhao, X. Z., Pu, X. G., Luo, Q., et al., 2025. Circle Structure and Orderly Hydrocarbon Accumulation of Whole Petroleum System in a Continental Rifted Basin: A Case Study of Kong-2 Member in Cangdong Sag, Bohai Bay Basin, China. *Petroleum Exploration and Development*, 52(3): 587—599 (in Chinese with English abstract).
- Zhao, Y., Yang, H. F., Huang, Z., et al., 2020. Strike-Slip Structural Characteristics and Its Controlling Effect on Hydrocarbon Accumulation in Miaoxinan Sag, Bohai Sea. *Petroleum Geology and Recovery Efficiency*, 27(4): 35—44 (in Chinese with English abstract).
- Zhou, L. H., Chen, Ch. W., Sun, T., et al., 2024. A Major Discovery in the Second Member of the Paleogene Kongdian Formation in Well Cangtan1 in Cangdong Deep Subsag Area in Bohai Bay Basin and Its Exploration Significance. *China Petroleum Exploration*, 29(2): 16—29 (in Chinese with English abstract).

中文参考文献

- 侯中帅,陈世悦,刘惠民,等,2019.东营凹陷热液流体活动及其油气地质意义.中国矿业大学学报,48(5): 1090—1101.
- 雷闯,殷世艳,董桂玉,等,2024.低勘探程度地区烃源岩生烃特征研究—以渤海海域秦南凹陷为例.地质论评,70(4): 1391—1402.
- 李威,高玉飞,李友川,2025.渤海海域低熟油特征及发育前景:以辽西南洼为例.地球科学,50(1): 172—180.
- 李熹微,杨博,姜福杰,等,2025.渤海湾盆地冀中坳陷保定凹陷-饶阳凹陷全油气系统特征与成藏模式.石油学报,46(6): 1108—1125.
- 李志军,马学峰,罗强,等,2024.渤海湾盆地保定凹陷早熟低熟油特征及成烃机制.石油学报,45(3): 500—516.
- 刘惠民,2024.胜利油田“十四五”勘探形势与发展战略.油气地质与采收率,31(4): 1—12.
- 刘海涛,于海涛,孙雨,等,2022.断陷盆地多类型斜坡形成与油气差异富集规律—以渤海湾盆地为例.岩石学报,38(9): 2697—2708.
- 吕建中,刘嘉,孙乃达,等,2019.“超级盆地模式”—成熟盆地油气增储上产新思路.国际石油经济,27(9): 40—48.
- 石文龙,牛成民,杨波,等,2019.莱州湾凹陷东北洼“走滑—伸展”复合断裂控藏机理及勘探启示.石油与天然气地质,40(5): 1056—1064.
- 王清斌,刘晓健,叶涛,等,2025.渤海海域太古界变质岩潜山裂缝型储层发育主控因素分析.地球科学,50(2): 453—465.
- 王永诗,高阳,李军亮,等,2025.渤海湾盆地济阳坳陷古近系碎屑岩致密油勘探新领域及资源潜力.石油学报,46(1): 118—136.
- 王永诗,张鹏飞,王学军,等,2024.济阳坳陷成熟探区油气精细勘探理论进展与实践.油气地质与采收率,31(4): 13—23.
- 徐长贵,于海波,王军,等,2019.渤海海域渤中19-6大型凝析气田形成条件与成藏特征.石油勘探与开发,46(1): 27—40.

- 徐长贵,周家雄,杨海风,等,2024.渤海海域油气勘探新领域、新类型及资源潜力.石油学报,45(1):163-182.
- 徐田武,段金宝,张成富,等,2026.老油田低勘探区油气重要发现与启示:以渤海湾盆地东濮凹陷西南洼为例.地球科学,51(1):257-271.
- 杨海风,房舟,王飞龙,等,2025.渤海湾盆地沙河街组-东营组深部热液对有机质富集的影响及模式.石油学报,46(6):1089-1107.
- 张保卫,岳航羽,谢伟,等,2022.反射地震在冀中坳陷保定凹陷精细地质结构探测中的应用.物探与化探,46(6):1359-1368.
- 张功成,佟殿君,陈凯,等,2024.渤海湾超级油盆构造演化及其烃源岩发育.石油勘探与开发,51(5):1165-1182.
- 张锐锋,何海清,朱庆忠,等,2023.渤海湾盆地保定凹陷东营组油气勘探重要发现与启示.中国石油勘探,28(2):11-23.
- 赵贤正,蒲秀刚,罗群,等,2025.陆相断陷盆地全油气系统圈层结构与油气有序成藏—以渤海湾盆地沧东凹陷古近系孔二段为例.石油勘探与开发,52(3):587-599.
- 赵野,杨海风,黄振,等,2020.渤海海域庙西南洼陷走滑构造特征及其对油气成藏的控制作用.油气地质与采收率,27(4):35-44.
- 周立宏,陈长伟,孙统,等,2024.渤海湾盆地沧东深凹区勘探1井古近系孔二段重大突破与勘探意义.中国石油勘探,29(2):16-29.