



中国地质
Geology in China
ISSN 1000-3657, CN 11-1167/P

《中国地质》网络首发论文

题目： 济阳坳陷埕北 30 中生界潜山“源-断-藏”耦合成藏模式
作者： 谢芳，朱传庆，李科甫，马立驰，景安语，孙超
网络首发日期： 2026-03-24
引用格式： 谢芳，朱传庆，李科甫，马立驰，景安语，孙超. 济阳坳陷埕北 30 中生界潜山“源-断-藏”耦合成藏模式[J/OL]. 中国地质.
<https://link.cnki.net/urlid/11.1167.P.20260323.1627.004>



网络首发：在编辑部工作流程中，稿件从录用到出版要经历录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿等阶段。录用定稿指内容已经确定，且通过同行评议、主编终审同意刊用的稿件。排版定稿指录用定稿按照期刊特定版式（包括网络呈现版式）排版后的稿件，可暂不确定出版年、卷、期和页码。整期汇编定稿指出版年、卷、期、页码均已确定的印刷或数字出版的整期汇编稿件。录用定稿网络首发稿件内容必须符合《出版管理条例》和《期刊出版管理规定》的有关规定；学术研究成果具有创新性、科学性和先进性，符合编辑部对刊文的录用要求，不存在学术不端行为及其他侵权行为；稿件内容应基本符合国家有关书刊编辑、出版的技术标准，正确使用和统一规范语言文字、符号、数字、外文字母、法定计量单位及地图标注等。为确保录用定稿网络首发的严肃性，录用定稿一经发布，不得修改论文题目、作者、机构名称和学术内容，只可基于编辑规范进行少量文字的修改。

出版确认：纸质期刊编辑部通过与《中国学术期刊（光盘版）》电子杂志社有限公司签约，在《中国学术期刊（网络版）》出版传播平台上创办与纸质期刊内容一致的网络版，以单篇或整期出版形式，在印刷出版之前刊发论文的录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿。因为《中国学术期刊（网络版）》是国家新闻出版广电总局批准的网络连续型出版物（ISSN 2096-4188，CN 11-6037/Z），所以签约期刊的网络版上网络首发论文视为正式出版。

济阳坳陷埕北 30 中生界潜山“源-断-藏”耦合成藏模式

谢芳^{1,2}, 朱传庆^{1,2}, 李科甫^{1,2}, 马立驰³, 景安语^{4,5}, 孙超^{4,5}

(1. 中国石油大学(北京)油气资源与工程全国重点实验室, 北京 102249; 2. 中国石油大(北京)地球科学学院, 北京 102249; 3. 中国石油化工股份有限公司勘探开发研究院, 北京 100083; 4. 中国石化胜利油田分公司, 山东 东营 257001; 5. 中国石化胜利油田分公司勘探开发研究院, 山东 东营 257015)

摘要:【研究目的】埕北 30 潜山位于济阳坳陷与渤中、黄河口等凹陷的交汇地带, 具备优越的生烃与成藏条件。尽管下古生界潜山油气勘探已取得较高程度认识, 但中生界潜山因构造类型多样、构造格局复杂, 其油气来源、输导机制与成藏动力学过程仍认识不足。【研究方法】以埕北 30 潜山中生界油藏为例, 基于地震、钻测井、包裹体热史、热演化模拟及流体运移数值模拟等多源资料, 系统分析了潜山油气成藏的地质条件、运移特征与动力学过程。【研究结果】埕北 30 中生界潜山油气来源主要为渤中凹陷沙一段和沙三段、黄河口凹陷沙三段烃源岩, 表现出典型的“双油源供给”特征; 埕北 30 北断层与埕北 307 东断层在新生界沉积期活动强烈, 是生烃凹陷与潜山圈闭之间的高效输导通道; 包裹体均一温度与盆地热史模拟结果显示, 油气充注持续约 11Ma, 但主成藏期集中于 9-7Ma, 呈现“晚期集中充注”特征。【结论】埕北 30 中生界潜山成藏过程受“源-断-藏”三期耦合控制, 形成“双油源供给、断层高效输导、晚期集中充注”的成藏模式。该模式揭示了断层控制下潜山成藏的动力学机制, 对济阳坳陷及渤海湾盆地潜山型油藏的勘探具有重要指导意义。

关键词: 济阳坳陷; 埕北 30 中生界潜山; 油气勘查工程; 油气成藏模式; 断层输导

创新点: (1) 系统揭示了埕北 30 潜山“双油源供给-断层高效输导-晚期集中充注”这一完整的成藏动力学过程, 明确了其油气来源、输导模式与成藏时期; (2) 构建了受断层控制的“源-断-藏”三期耦合成藏模式, 为同类潜山油藏的勘探提供理论依据。

“Source-fault-accumulation” coupled accumulation model of the

Chengbei 30 Mesozoic buried hill in the Jiyang Depression

XIE Fang^{1,2}, ZHU Chuanqing^{1,2}, LI Kefu^{1,2}, MA Lichi³, JING Anyu^{4,5}, SUN Chao^{4,5}

(1. State Key Laboratory of Petroleum Resources and Engineering, China University of Petroleum (Beijing), Beijing 102249, China; 2. College of Geosciences, China University of Petroleum (Beijing), Beijing 102249, China; 3. Petroleum Exploration & Production Research Institute of Sinopec, Beijing 100083, China; 4. Shengli Oilfield Company, SINOPEC, Dongying City, Shandong Province 257001, China; 5. Exploration and Development Research

作者简介: 谢芳, 女, 2000 年 5 月生, 在读博士, 从事油气成藏相关研究工作。E-mail: 13367373596@163.com。

通讯简介: 朱传庆, 男, 1981 年 9 月生, 博士, 教授, 博士生导师, 从事输导体系评价与油气成藏相关研究工作。E-mail: zhucq@cup.edu.cn。

Institute, Shengli Oilfield Company, SINOPEC, Dongying City, Shandong Province 257015, China)

Abstract: [Objective] The Chengbei 30 buried hill is located at the junction of the Jiyang Depression and the Bozhong and Huanghekou sags, where favorable conditions for hydrocarbon generation and accumulation are developed. Although the Lower Paleozoic buried hills have been relatively well explored, the Mesozoic buried hills remain poorly understood in terms of hydrocarbon sources, migration pathways, and accumulation dynamics because of their diverse structural types and complex structural framework. [Methods] Taking the Mesozoic reservoir in the Chengbei 30 buried hill as an example, this study integrates multiple datasets, including seismic profiles, drilling and well-logging data, fluid inclusion thermometry, thermal evolution modeling, and fluid migration simulations. The geological conditions, migration pathways, and dynamic processes of hydrocarbon accumulation were comprehensively analyzed. [Results] The hydrocarbons in the Chengbei 30 Mesozoic buried hill mainly originated from the Es₁ and Es₃ source rocks in the Bozhong Depression and the Es₃ source rocks in the Huanghekou Depression, exhibiting a distinct dual-source supply pattern. The Chengbei 30 North Fault and Chengbei 307 East Fault were highly active during the Cenozoic sedimentary period, acting as efficient conduits connecting the hydrocarbon-generating depressions and the buried-hill traps. Fluid inclusion homogenization temperatures and basin thermal modeling indicate that hydrocarbon charging lasted approximately 11 Ma, with the main accumulation stage concentrated between 9-7 Ma, showing a late-stage concentrated charging feature. [Conclusions] Hydrocarbon accumulation in the Chengbei 30 Mesozoic buried hill was controlled by the coupling of source rock evolution, fault activity, and hydrocarbon accumulation timing, forming an accumulation model characterized by dual-source hydrocarbon supply, efficient fault-controlled migration, and late-stage concentrated charging. This model reveals the dynamic mechanism of fault-controlled hydrocarbon accumulation in buried-hill reservoirs and provides important guidance for the exploration of buried-hill reservoirs in the Jiyang Depression and the Bohai Bay Basin.

Keywords: Jiyang depression; Chengbei 30 Mesozoic buried hill; petroleum exploration engineering; hydrocarbon accumulation model; fault conduit system

Highlights: (1) The complete dynamic accumulation process of the Chengbei 30 buried hill, characterized by dual-source hydrocarbon supply, efficient fault-controlled migration, and late-stage hydrocarbon accumulation research concentrated charging, was systematically revealed, clarifying its hydrocarbon sources, migration pathways, and accumulation timing. (2) A “source-fault-accumulation” three-stage coupled accumulation model was established, highlighting the key role of fault activity in controlling hydrocarbon migration and accumulation. This model provides a theoretical basis for the exploration of similar buried-hill reservoirs.

About the first author: XIE Fang, female, born in 2000, Ph.D. candidate, mainly engaged in hydrocarbon accumulation research, E-mail: 13367373596@163.com.

About the corresponding author: ZHU Chuanqing, male, born in 1981, a Professor and Doctoral Supervisor. Mainly engaged in research related to migration system evaluation and hydrocarbon accumulation, E-mail: zhucq@cup.edu.cn.

1 引言

渤海湾盆地是中国东部最重要的含油气盆地之一，其形成演化与华北克拉通的多期

伸展-走滑构造活动密切相关(朱光等, 2008; Liu et al., 2016; Xu et al., 2018; 刘海青等, 2025)。济阳拗陷作为盆地南部的典型断陷单元, 经历了从中生代到新生代多次的挤压和伸展过程, 发育了多套生烃层系和不同类型的油气藏(刘兴材, 杨申镛, 1998; Su et al., 2009; Liu et al., 2022)。其中, 潜山油藏以圈闭类型多样、油气来源复杂而成为近年来油气勘探的重点目标之一(王永诗等, 2025)。

埕北 30 潜山早期勘探成果主要集中于下古生界潜山(王永诗等, 2024)。该层系勘探程度高、已发现储量丰富, 成为区内重要的产油层系。相比之下, 中生界潜山虽具有良好的构造背景和潜在的油气成藏条件, 但整体勘探程度明显偏低, 其储层特征与成藏模式仍缺乏系统认识。受多期构造活动影响, 中生界潜山经历了复杂的构造改造过程, 导致储层非均质性强、油气运移路径复杂, 成为当前制约该层系勘探突破的重要因素。

近年来, 区域地震与钻井资料揭示, 埕北 30 潜山发育复杂的断裂体系和多期次不整合面, 具备潜在的油气富集条件。然而, 中生界潜山油气来源、运移路径与成藏动力学过程仍缺乏系统研究, 特别是不同凹陷供源体系之间的耦合关系及其时空匹配尚不明确。

油气成藏是一个受多因素制约的动态过程, 烃源岩生烃演化、断裂输导与储盖组合之间的耦合关系决定了成藏的时空格局(Xu et al., 2019; Dang et al., 2024)。近年来, 随着数值模拟技术的发展, 除 Petromod、Trinity 等传统数值模拟软件外, COMSOL 多物理场模拟也逐渐应用于流体运移研究, 为揭示油气成藏动力学过程提供新的技术手段(文自娟等, 2015)。

基于此, 本文以济阳拗陷东北部的埕北 30 中生界潜山为研究对象, 综合地震、钻测井、包裹体、热演化模拟及流体运移数值模拟等多源资料, 系统研究中生界潜山油气成藏的地质条件、输导特征及成藏动力学过程, 建立成藏模式。旨在明确埕北 30 潜山中生界油气来源; 揭示断裂活动与油气生成、运移的时空耦合关系; 阐明断层控制下潜山成藏的动力学机制。研究结果可为济阳拗陷及渤海湾盆地潜山型油气藏的进一步勘探提供地质依据和理论参考。

2 区域地质概况

埕北 30 潜山位于渤海湾盆地济阳拗陷东北部, 处于济阳拗陷与渤中凹陷、黄河口凹陷等构造单元的交界处, 紧邻我国东部最大的走滑断裂——郯庐断裂带(Qiu et al., 2025)(图 1(a))。古生代华北板块总体上以升降运动为主, 但由于多期构造演化, 其开合作用造成了华北内部地壳较弱的挤压变形, 中生代是济阳拗陷的裂前拱起挤压变形-初始断陷阶段, 受郯庐断裂的影响较大, 新生代经历断陷-断拗转换-拗陷的过程, 发育了一个完整的裂陷旋回(王颖等, 2002; 张晓庆等, 2017; 吴智平等, 2022; Li et al., 2023)。在多期构造运动背景下, 该区断裂系统异常复杂, 主要发育北东走向及东西走向两组断层, 相互切割, 形成一系列断块(Wang et al., 2023; 陈雪芬, 2024)(图 1(b))。地震和钻、

测井资料揭示, 研究区自下而上发育太古宇、寒武系、中-下奥陶统、上石炭统、二叠系、中-下侏罗统、下白垩统、古近系、新近系和第四系地层 (图 1(c))。

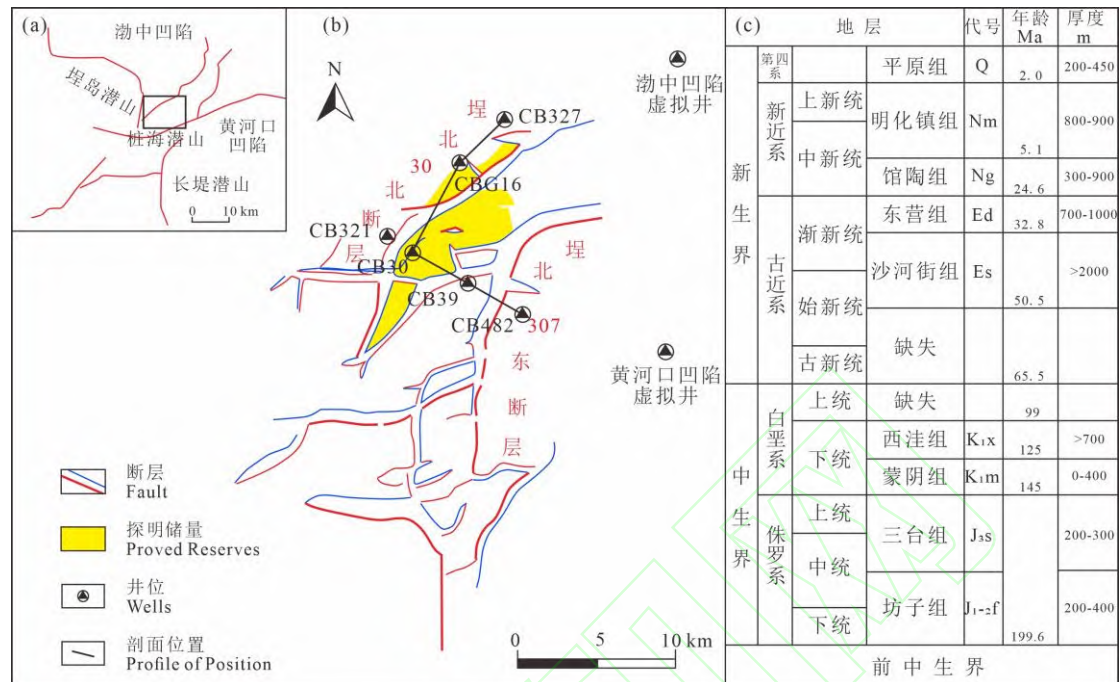


图 1 埭北 30 潜山构造位置 (a)、断层展布 (b) 与地层格架 (c) (图 1(a)修改自 (陈雪芬, 2024), 图 1(b)修改自 (孙超, 2021), 图 1(c)修改自 (吴智平等, 2022))

Fig.1 (a) Tectonic Location, (b) Fault Distribution, and (c) Stratigraphic Framework of the Chengbei 30 Buried Hill (Fig.1(a) modified from Chen, 2024; Fig.1(b) modified from Sun, 2021; Fig.1(c) modified from Wu et al., 2022)

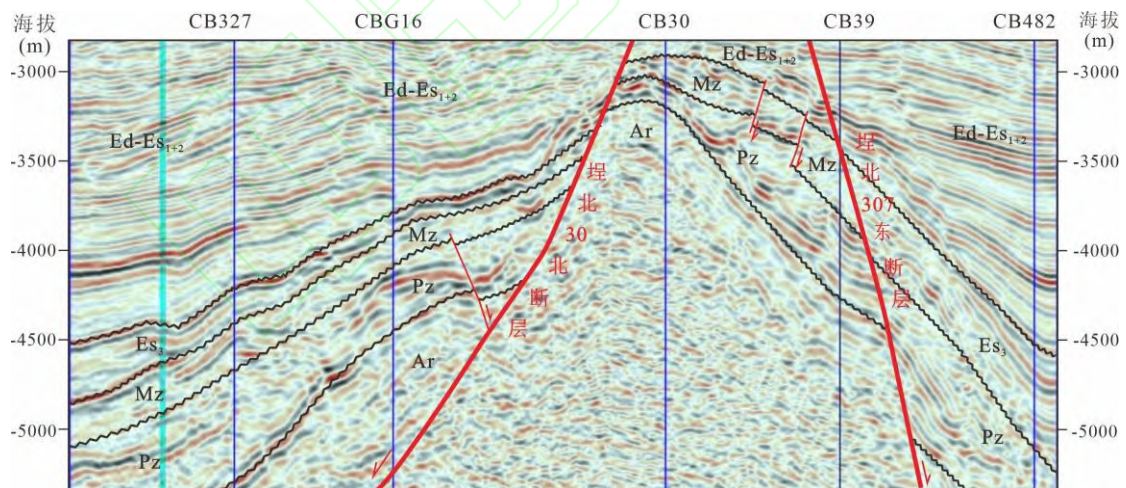


图 2 渤中凹陷-埭北 30 潜山-黄河口凹陷地震地质结构剖面图 (剖面位置见图 1)

Fig.2 Seismic-Geological Structural Cross-Section of Bozhong Depression - Chengbei 30 Buried Hill - Huanghekou Depression (see Fig.1 for location)

新近系东营组和沙河街组泥岩发育稳定、分布广泛, 构成了埭北 30 中生界潜山的良好区域性盖层 (张波等, 2024)。埭北 30 地区位于 NNE 向埭北 30 北断层与近 SN 向埭北 307 东断层之间, 并受埭北 39 以北近 EW 向断裂切割 (图 1)。剖面资料表明, 该区断裂在古近纪活动强烈, 控制了渤中凹陷南洼和黄河口凹陷西洼的形成与演化 (图 2)。

断层埕北 30 北断层和埕北 307 东断层两条倾角相近的正断层呈相向倾斜分布，埕北 30 潜山位于二者的上升盘，并分别通过这两条断层与渤中凹陷和黄河口凹陷的古近系地层相接。

渤海海域烃源岩特征渤海海域以古近系沙三段、沙一段和东三段为主要烃源岩层（米立军等, 2023）。渤中凹陷沙三段烃源岩是渤海湾盆地最优质的烃源岩之一，发育面积广、厚度大（徐长贵等, 2025），其有机质类型主要为 I-II₁ 型，具有良好的生烃潜力（黄志等, 2020；黄谦等, 2022）。黄河口凹陷的沙三段烃源岩有机质丰度较高，但沙三中、沙三下亚段主要为 II₁ 型，生烃潜力较好（王松等, 2022）。埕北 30 中生界潜山北临渤中凹陷、东临黄河口凹陷，油源条件好。

3 油气来源与储盖组合

3.1 油源对比

渤中凹陷沙一段烃源岩 $T_s/T_m < 1$ ，重排甾烷含量较低，4-甲基甾烷含量中等（图 3(a)），规则甾烷呈“L”型， C_{28} 甾烷丰度高于 C_{29} 甾烷丰度，成熟度较低。沙三段烃源岩 $T_s/T_m > 1$ ，重排甾烷和 4-甲基甾烷含量中等（图 3(b)），规则甾烷呈“L”型， C_{28} 甾烷丰度低于 C_{29} 甾烷丰度，成熟度较高。黄河口凹陷沙三段为高 4-甲基甾烷、低伽马蜡烷的生物标志化合物组合特征（图 3(c)）， $T_s/T_m > 1$ ，规则甾烷呈“V”型分布，重排甾烷含量较高，成熟度较高。

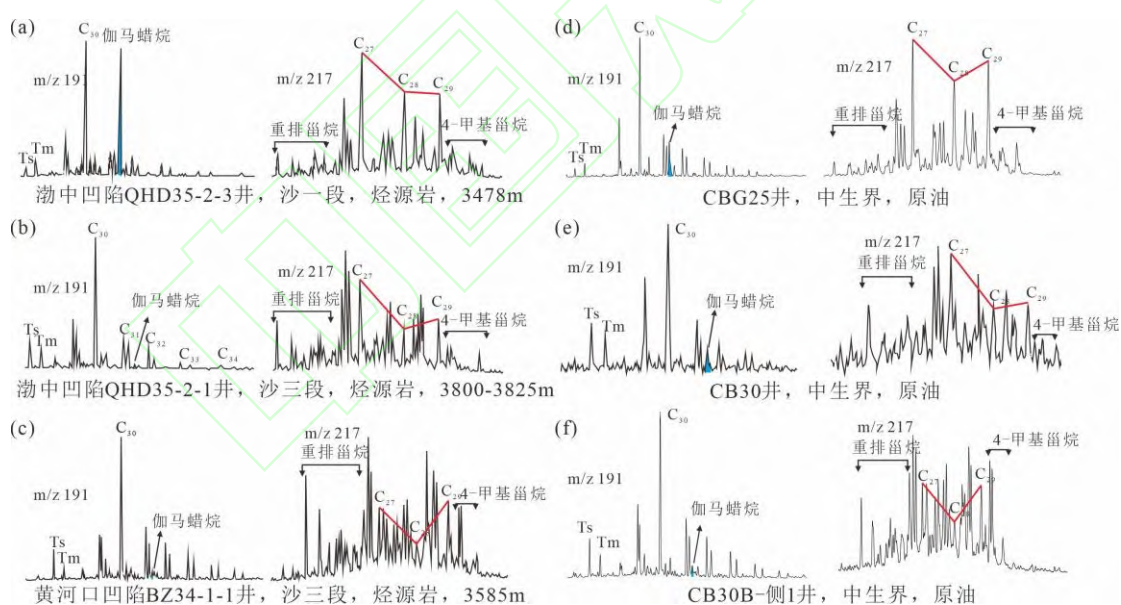


图 3 油源对比质量色谱图

（图 3(a)、(b)来源于（任拥军等, 2015），图 3(c)来源于（周心怀, 2012），图 3(d)、(f)为中国石油大学（北京）油气资源与工程国家重点实验室测试结果，图 3(e)来源于胜利油田）

Fig.3 Qualitative Chromatograms for Oil-Source Correlation

(Fig.3(a) and 2(b) are from Ren et al., 2015; Fig.3(c) is from Zhou, 2012; Fig.3(d) and Fig.3(f) are test results of the State Key Laboratory of Petroleum Resources and Engineering, China University of Petroleum (Beijing);

Fig.3(e) is from Shengli Oilfield)

埕北 30 中生界潜山主要分为三类原油。第 I 类原油为 CBG25 井中生界原油（图

3(d)。该类原油 4-甲基甾烷发育， C_{28} 甾烷丰度较高， $T_s < T_m$ ，成熟度较低，与渤中凹陷沙一段烃源岩相似，规则甾烷呈“L”型，但 C_{28} 甾烷丰度低于 C_{29} 甾烷丰度，与渤中凹陷沙三段相似，且 γ 蜡烷含量相较于渤中凹陷沙一段较低，介于渤中凹陷沙三段烃源岩与沙一段烃源岩之间，推测其可能为渤中凹陷沙一段和沙三段混源。

第II类原油为 CB30 井中生界原油（图 3(e)），该类原油重排甾烷与 4-甲基甾烷中等发育，规则甾烷呈“L”型分布，成熟度较高， $T_s > T_m$ ， γ 蜡烷含量低。推测来源于渤中凹陷沙三段烃源岩。

第III类原油为 CB30B-侧 1 井中生界原油（图 3(f)），重排甾烷和 4-甲基甾烷含量很高，规则甾烷呈 V 型， $T_s > T_m$ ，成熟度较高。推测来源于黄河口凹陷沙三段烃源岩。

3.2 储盖组合

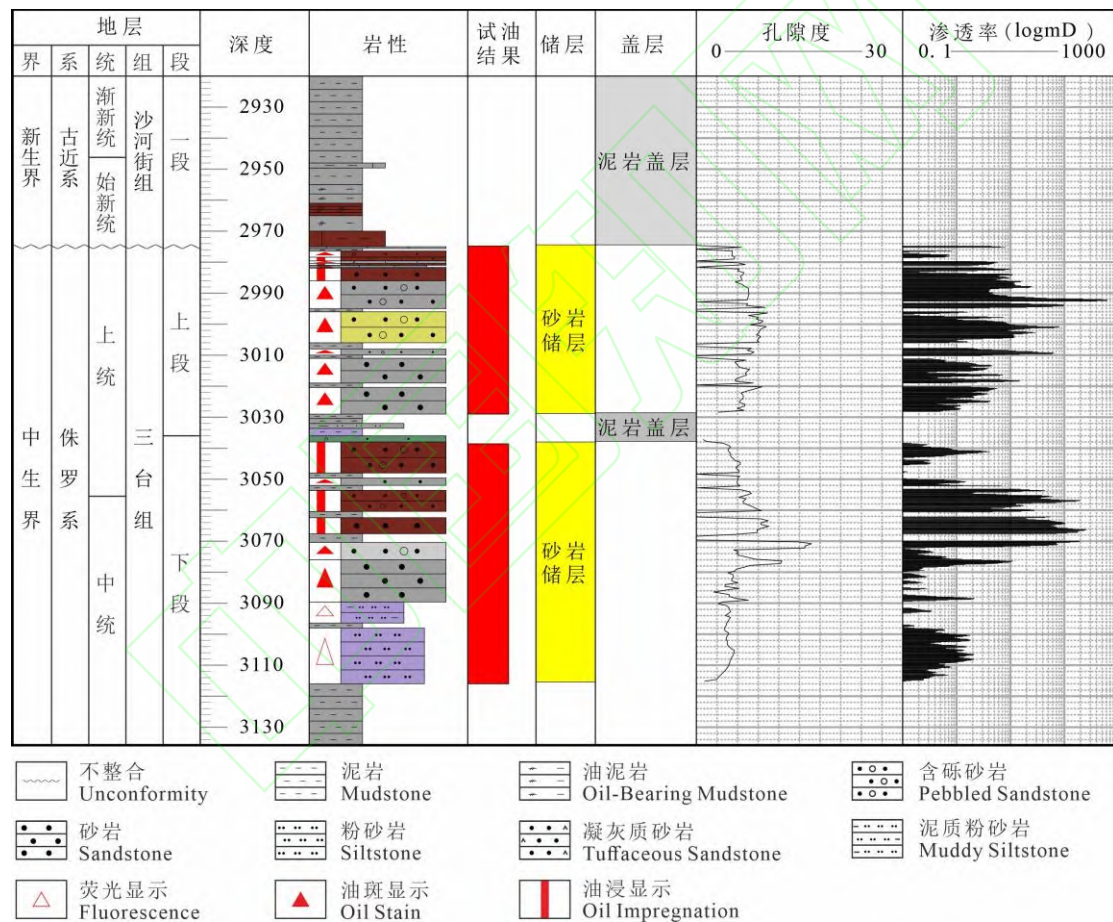


图 4 CB30 井储盖组合

Fig.4 Reservoir-Cap Assemblage of Well CB30

埕北 30 中生界潜山油藏储层以碎屑岩为主，其中砂岩为有利储层，形成于辫状三角洲（孙超, 2021），顶面发育区域性不整合。该油藏主要由两套储盖组合构成（图 4）：沙一段泥岩盖层与中生界顶面三台组上段砂岩、三台组上段底部泥岩与三台组下段砂岩。三台组上段砂岩储层孔隙度介于 4.95%-11.89%之间，平均值为 7.37%，渗透率介于 0.1-630mD，平均值为 19.09mD；三台组下段砂岩储层孔隙度介于 3.95%-17.89%之间，平均

值为 8.99%，渗透率介于 0.1-261.10mD 之间，平均值为 17.11mD。中生界储层非均质性强，总体物性较好。

3.3 成藏期次

通过对埕北 30 潜山储层石英颗粒中烃类包裹体的系统分析（样品位置见图 1），均一温度分布呈现单峰型特征(图 5),峰值区间为 130-135°C,整体分布范围为 125-150°C。由图 5 可知，峰值温度 130-135°C对应的成藏时间为 9-7Ma（馆陶组沉积末期），包裹体全温度区间（125-150°C）对应 11-0Ma，涵盖馆陶组沉积末期至今，表明潜山存在持续约 11Ma 的油气充注过程，但主体成藏事件集中于馆陶组末期。

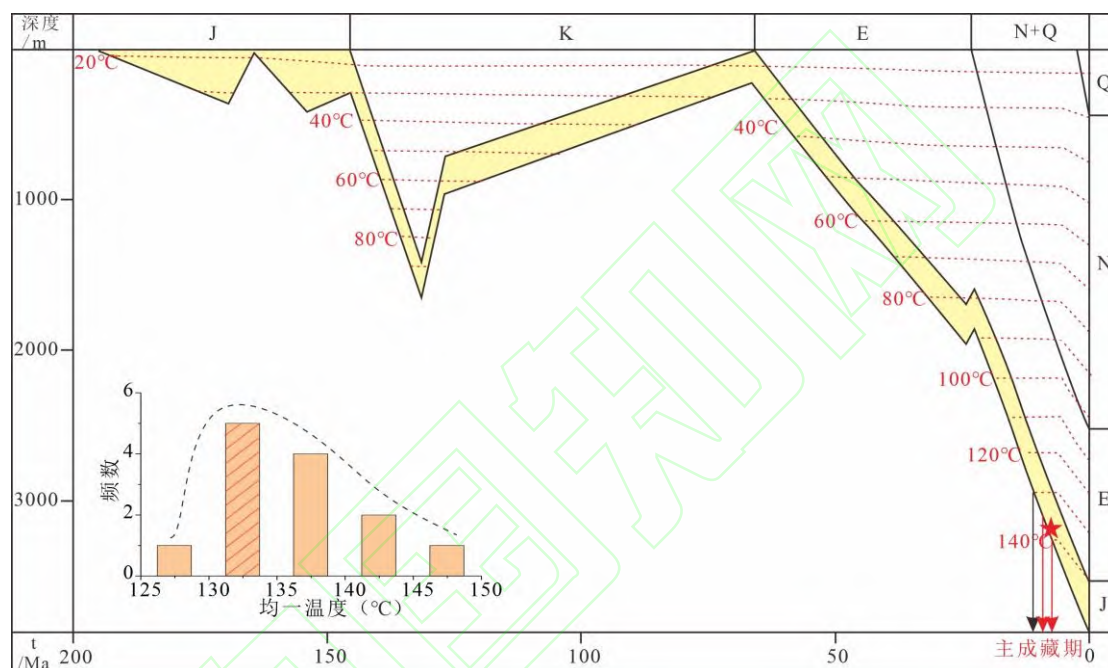


图 5 埕北 321 井埋藏史-热史与油气充注期次

Fig.5 Burial History-Thermal History and Hydrocarbon Charging Stages of Well CB321

选取潜山附近临近各个凹陷中心的虚拟井，基于济阳坳陷热史数据(Li et al., 2017)，结合前人镜质体反射率（黄志等, 2020；王松等, 2022），采用盆地模拟软件 PetroMod 开展烃源岩热演化史恢复（图 6），虚拟井位置如图 1。

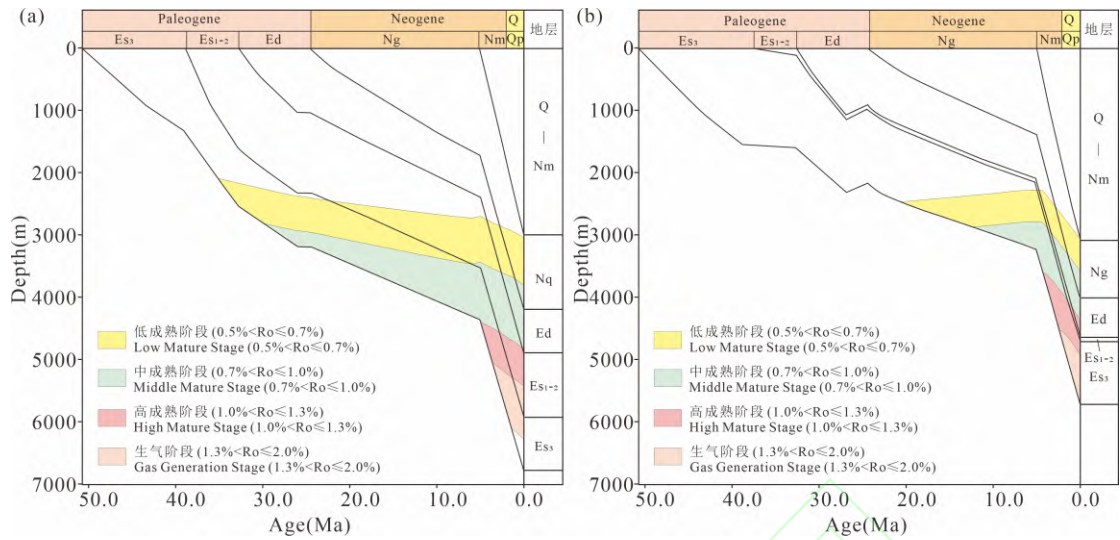


图 6 烃源岩生烃演化 ((a) 渤中凹陷南洼、(b) 黄河口凹陷西洼)

Fig.6 Hydrocarbon Generation Evolution of Source Rocks ((a) Southern Sag of Bozhong Depression; (b) Western Sag of Huanghekou Depression)

受不同地质背景和地层条件影响，渤中凹陷与黄河口凹陷烃源岩进入成熟阶段的时期有所差异（图 6）。渤中凹陷沙三段烃源岩在沙一、二段沉积初期开始成熟（ $0.5\% < Ro \leq 0.7\%$ ），东营组沉积初期进入生烃高峰（ $0.7\% < Ro \leq 1.0\%$ ），大量生成油气；明化镇组沉积初期，烃源岩普遍进入高成熟阶段（ $1.0\% < Ro \leq 1.3\%$ ），产物以凝析油气为主，而后快速沉积进入过成熟阶段（ $Ro > 1.3\%$ ），以生干气为主；现今凹陷大部分区域处于过成熟阶段，凹陷中心沙三段烃源岩已经停止生烃。渤中凹陷沙一段烃源岩在馆陶组沉积初期开始生烃，在馆陶组沉积末期进入生烃高峰，而后快速埋藏进入了高成熟阶段，现今底部已达过成熟阶段。黄河口凹陷西洼沙三段烃源岩在馆陶组沉积初期开始生烃，在明化镇组沉积中期进入生烃高峰，到明化镇组沉积末期已经进入高成熟阶段，现今沙三段烃源岩已经处于过成熟阶段，产物以干气为主。总体而言，渤中凹陷较黄河口凹陷更早进入生烃高峰，现今成熟度过高。在主成藏期（9-7Ma）时，渤中凹陷和黄河口凹陷沙三段烃源岩均处于生烃高峰，大量生成石油，而渤中凹陷沙一段烃源岩刚开始进入生烃高峰，生成的油气较少，结合油源对比结果认为油气主要来源于渤中凹陷和黄河口凹陷沙三段，成藏后期可能有部分渤中凹陷沙一段油源混入。

3.4 输导主控因素

油气从烃源岩生成后，其进一步的运移和聚集过程受到多种地质因素的控制，其中断裂系统起着关键作用。

本研究通过断层生长速率来评估断层的活动强度，计算公式如下（李勤英等, 2000）：

$$V_f = \frac{H_f - H_u}{T} \quad (1)$$

式中 V_f 为断层生长速率，m/Ma； T 为沉积时间，Ma； H_f 、 H_u 分别表示断层下降盘和上升盘的地层厚度，m。

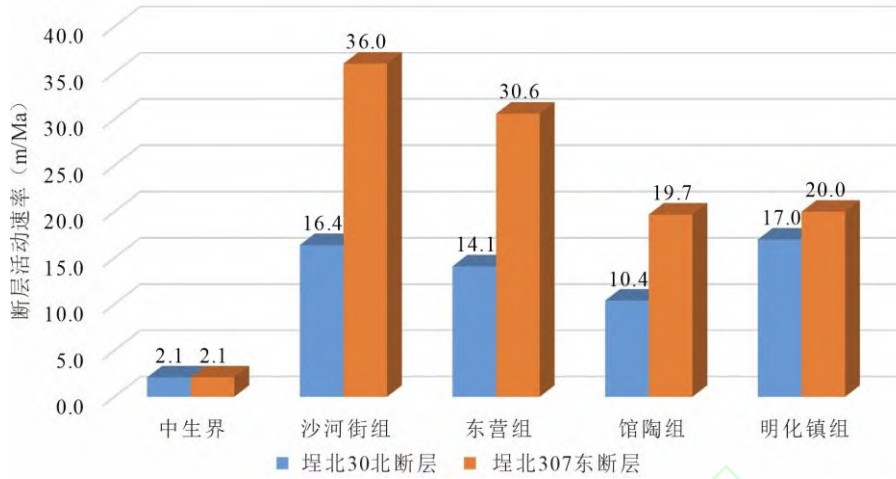


图7 断层活动速率

Fig.7 Fault Activity Rate

埋北 30 北断层和埋北 307 东断层的生长速率如图 7 所示。总体而言，埋北 30 北断层自新生界以来生长速率整体较为稳定，各时期均大于 10m/Ma。其中，沙河街组和明化镇组沉积时期生长速率最高，分别为 16.4m/Ma 和 17.0m/Ma。在断层活动的时间内，其多处于开启状态，为油气运移提供通道（陈业全，王伟锋, 2004; 王浩然等, 2023），因此初步判断埋北 30 北断层和埋北 307 东断层为主要的油源断层。

为定量表征油源断层的启闭性，本文获取各断层断点的泥岩涂抹因子（SGR）、断面正应力（ δ ）及泥岩流体压力（P），并基于上述参数计算断层开启系数（FOI），定义如下（张立宽等, 2013）：

$$F_{OI} = \frac{P}{\delta \cdot SGR} \quad (2)$$

式中， F_{OI} 为无量纲参数；P 为泥岩流体压力，MPa； δ 为断面正应力，MPa；SGR 为泥岩涂抹因子，%。

而后将开启系数（ F_{OI} ）的全部数据按大小划分成若干个数值区间。在每个区间内，计算油气运移开启的有效节点（n：即出现油气显示的节点）占总有效节点（N）的比例，将其定义为断层连通概率（ N_p ）（张立宽等, 2013）：

$$N_p = \frac{n}{N} \quad (3)$$

该统计结果反映了不同 F_{OI} 区间内断层作为油气运移通道的开启概率。

进一步地，在埋北 307 东断层以及埋北 30 北断层及其邻近断层选取 12 个剖面计算其连通概率，建立数学函数关系式如下：

$$N_p = \begin{cases} 0, & F_{OI} \leq 0.41 \\ -0.0123F_{OI}^2 + 0.3126F_{OI} - 0.0955, & 0.41 < F_{OI} < 4.30 \\ 1, & F_{OI} \geq 4.30 \end{cases} \quad (4)$$

该函数反映了断层开启系数（ F_{OI} ）与连通概率（ N_p ）之间的定量关系。本文图 8 和图 9 中的断层连通概率均依据该拟合函数进行计算。随着 F_{OI} 增大， N_p 逐渐升高，表明断层更倾向于开启，油气输导能力增强。当 F_{OI} 低于 0.41 时，断层基本处于封闭状态，

油气难以通过断层输导；而当 F_{OI} 大于 4.30 时，断层趋于完全开启，油气可沿断层有效运移。

如图 8 所示，在埕北 307 东断层上共选取了五个断点，测线位置见图 8(a)。采用克里金插值方法获得断层连通概率的空间分布，并将结果投影至断面上（图 8(b)）。图 8(b) 展示了断层下盘特征，其中虚线表示地层顶底界面与断层下盘的交界位置，实线为地层与上盘的界面在下盘上的投影。主要地震反射界面包括： T_2 （沙一段顶面）、 T_6 （沙四段顶面）、 T_r （中生界顶面）及 T_g （古生界顶面）。总体而言，断层连通概率越高，表明其油气输导能力越强。

由图 8 可见，1 号测线处中生界的连通概率显著偏高，并沿断面垂直方向连续分布，指示断层具有较强的垂向输导能力。结合图 2 可知，该处断层上盘的沙三段地层与下盘的中生界地层直接对接，表明黄河口凹陷沙三段油源可通过埕北 307 东断层输导进入埕北 30 中生界潜山，该位置为油气运移与充注的重要通道。

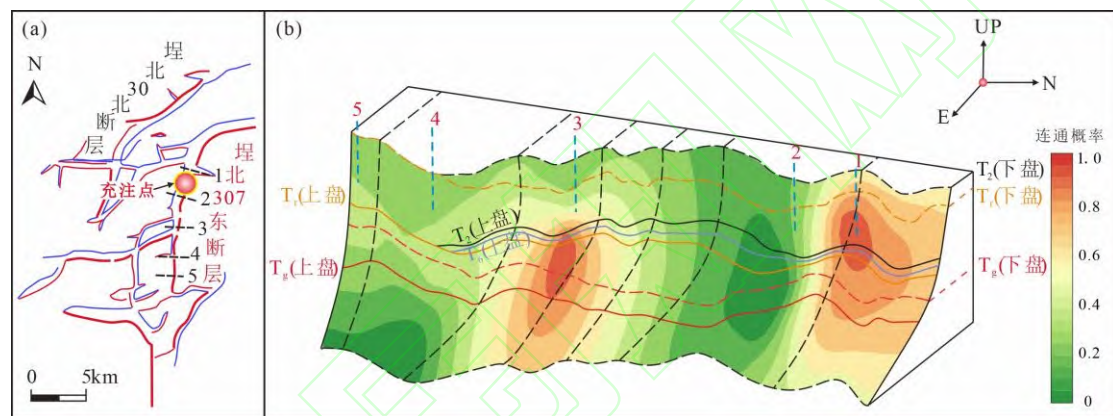


图 8 埕北 307 东断层连通概率-断面展布拓扑图

Fig.8 Sectional Topology Map of Connectivity Probability for the Chengbei 307 Eastern Fault

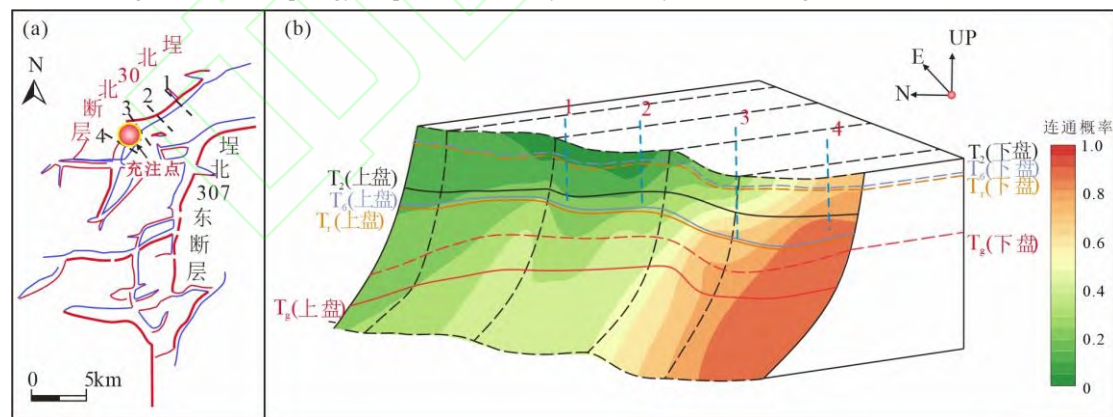


图 9 埕北 30 北断层连通概率-断面展布拓扑图

Fig.9 Sectional Topology Map of Connectivity Probability for the Chengbei 30 Northern Fault

同样地，从图 9 可见，4 号测线处为埕北 30 北断层的断面脊，断面脊通常为油气运移的优势通道，且该处断层连通概率亦较高，并在断层走向与垂向方向上均表现出较好的连通性。该位置沙河街组地层与中生界地层直接接触，表明渤中凹陷沙三段油源可沿断层垂向运移至埕北 30 中生界潜山。此外，在成藏后期沙一段油源亦可由烃源岩直接

充注至潜山，为其油气成藏提供重要的运移通道。

4 讨论

4.1 石油运移模拟

在区域性盖层的有效封堵之下，油气自烃源岩排出进入输导体后，首先在浮力的作用下垂向分异并向输导体顶面运移。当油气到达封盖层后，通常沿构造脊方向汇聚，并沿构造脊上倾方向呈管道状长距离运移，最终在有利部位聚集成藏。因此，构造脊成为油气从高势区向低势区运移与汇聚的重要通道，对源外油气成藏和富集起明显控制作用。

研究区自东营末期经历一次抬升剥蚀后，总体进入持续沉积阶段。本研究使用盆地模拟软件恢复了研究区 11Ma 的中生界顶面埋深，并开展流体势模拟（图 10（a））。研究表明，在成藏初期（11Ma）埕北 30 中生界潜山位于区域构造相对高部位，在流体势差的驱动下，渤中凹陷与黄河口凹陷生成的原油向埕北 30 中生界潜山运移并逐渐汇聚。随着后期持续沉积，生油凹陷埋藏深度进一步增加，烃源岩持续生烃并向潜山充注，最终在埕北 30 中生界潜山形成油气藏（图 10（b））。

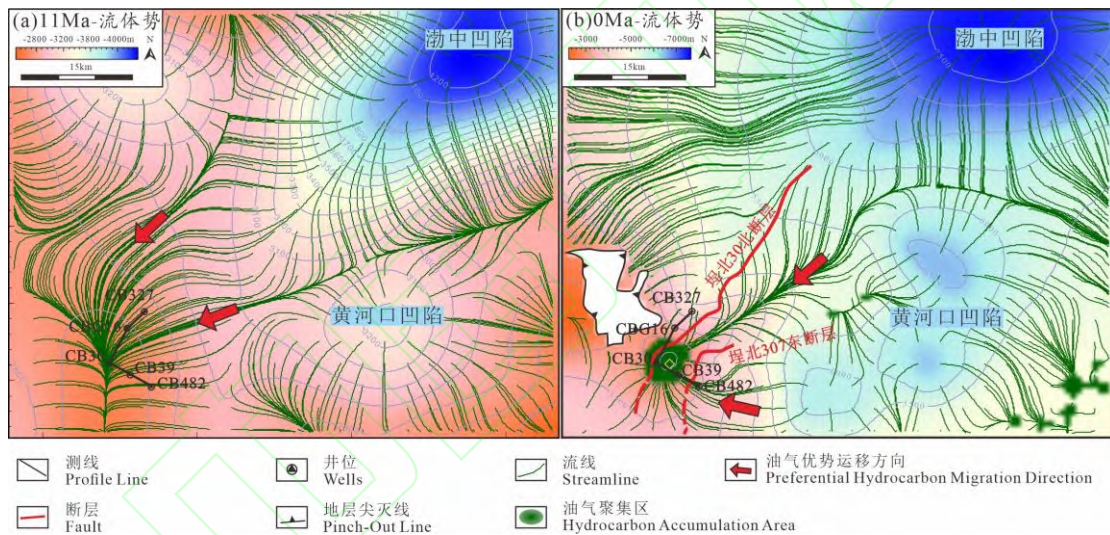


图 10 中生界顶面流体势模拟

Fig.10 Fluid Potential Simulation of the Mesozoic Top Surface

图 11 给出了基于图 4 构建的二维地质 - 断层结构简化模型。模型中心为埕北 30 潜山，两侧发育边界正断层（埕北 30 北断层、埕北 307 东断层），断层为油气运移提供了通道，其渗透率设定为 100mD。潜山地层自下而上依次为基底、古生界、中生界和新生界沉积层系，其中发育多套储集层（渗透层），且渗透率整体呈自下而上逐渐增大的特征。

古近系沙河街组一段-二段储层孔隙度为 15%-25%，渗透率为 4-50mD（佟欢等，2024），本文取其中值，将新生界储层孔隙度设定为 20%，渗透率为 27mD。中生界储层参数采用埕北 30 井统计均值，孔隙度为 8.18%，渗透率为 18.1mD。古生界储层取埕北 302 测井解释孔隙度均值 6%，渗透率 4mD（王永诗等，2024）。模型两侧为 Es₃ 烃源岩层，是油气的主要生烃层，油的密度取值为 900kg/m³，动力黏度为 3.4mPa·s（郭志扬等，

2020)。

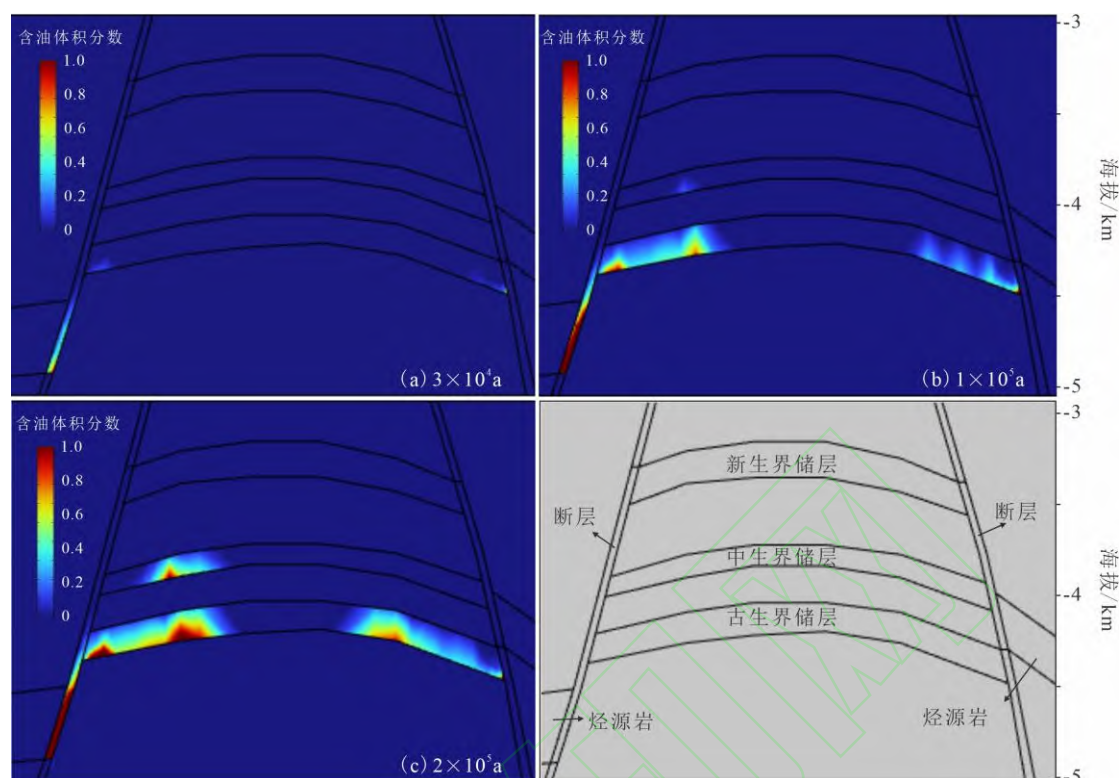


图 11 油运移模拟结果

Fig.11 Oil Migration Simulation Results

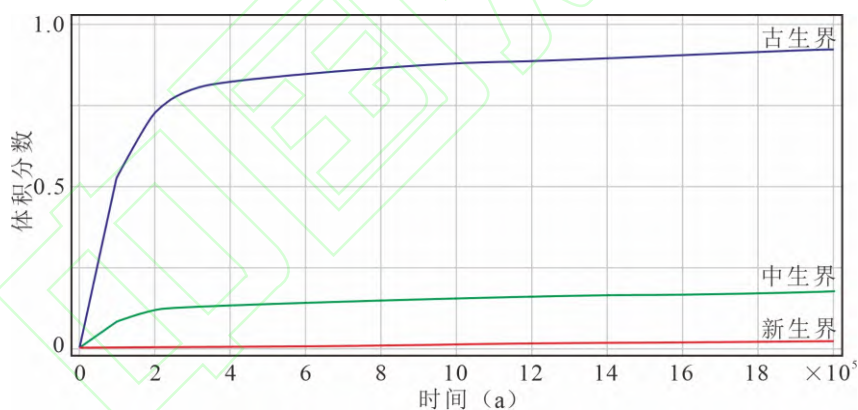


图 12 储层中油的体积分数随时间变化

Fig.12 Variation of Oil Volume Fraction in Reservoirs with Time

图 11、12 显示，各层储层中油的体积分数（即油气饱和度）随时间变化显著不同。古生界储层在 $0-1 \times 10^5 \text{a}$ 内迅速上升，随后增速减缓，最终趋近于 1；中生界增长趋势类似，但幅度较小；新生界则始终维持在极低水平，几乎无油气注入。数值模拟结果揭示了油气运移过程：(a) 初期油气自烃源岩排出，沿断层局部聚集，主要进入古生界储层；(b) 随着运移增强，油气沿断层向上大量迁移，古生界储层中聚集明显，部分继续上移至中生界；(c) 中生界储层中亦出现明显油气聚集。

综上，模拟结果表明，断层在油气运移与聚集中起主控作用，控制了油气的主要运移通道及富集位置。油气优先富集于邻近烃源岩、物性较优的储层中，但受充注动力与

运移距离限制，远距离上升运移受阻。沙三段烃源岩生成的油气主要聚集于古生界与中生界储层，对远离源岩的新生界储层贡献极为有限。该认识与前人对埕北 30 井的油源对比结果一致，时丕同（2009）研究表明，埕北 30 井新生界原油主要来源于渤中凹陷沙一段烃源岩。

4.2 建立成藏模式

主成藏期（9-7Ma）对应渤中凹陷沙三段、沙一段和黄河口凹陷沙三段烃源岩生烃高峰，为油气成藏提供了充足的油源条件。埕北 30 北断层和埕北 307 东断层在油气运移过程中发挥了关键输导作用，为中生界潜山油气成藏提供了高效通道。根据烃源岩热演化与断层活动特征的匹配关系，渤中凹陷沙三段烃源岩在东营组沉积末期已达到生烃高峰，断裂体系具备良好的输导条件。然而，包裹体均一温度显示，在东营组沉积末期至馆陶组沉积中期（约 29-11Ma）期间，并未发生明显油气充注。前人研究表明，埕北 30 潜山的油气充注时间为 15-2Ma（郭志扬, 2020），与本次研究结果所揭示的晚期一次成藏事件相吻合。相较渤中凹陷生烃高峰期，埕北 30 中生界潜山的成藏时间明显滞后，笔者认为可能有两方面原因：其一，渤中凹陷生烃中心距埕北 30 中生界潜山较远，油气运移路径长，导致成藏时间较生烃期延后，体现了油气运移的滞后效应（牛成民等, 2022）；其二，东营组沉积末期区域构造抬升显著，油气在运移过程中发生逸散，未能及时聚集于潜山储层中。

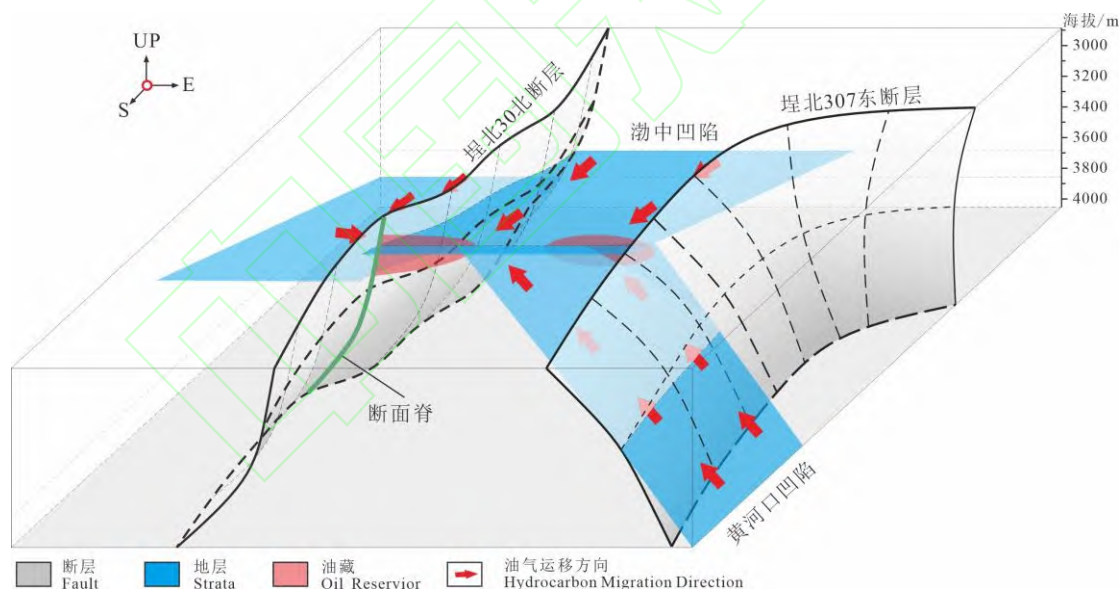


图 13 埕北 30 中生界潜山“源-断-藏”耦合成藏模式

Fig.13 “Source-Fault-Trap” Coupling Model of Hydrocarbon Accumulation in the Chengbei 30 Mesozoic Buried Hill

根据烃源岩生烃时期、断层活动时期以及油气成藏期，即“源-断-藏”三期耦合，埕北 30 中生界潜山成藏模式表现为“双油源供给、断层高效输导、晚期集中充注”的特征（图 13）：油气来源于渤中凹陷沙一段和沙三段以及黄河口凹陷的沙三段烃源岩，潜山受埕北 30 北断层（正断层）和埕北 307 东断层（走滑正断层）控制，两条断层在沙河街组至明化镇组沉积期活动性强，烃源岩与潜山对接处断层连通概率大，可作为渤

中凹陷和黄河口凹陷烃源岩油气运移的关键通道。烃类包裹体分析表明，研究区主成藏期为 9-7Ma。该时期断层活动与烃源岩生烃阶段具有良好的时空匹配关系。相比之下，早期（东营组沉积末期）因油气运移滞后或构造抬升导致未有效成藏，整体呈现晚期集中充注的特点。

5 结论

（1）埕北 30 潜山油气来源于渤中凹陷沙一段与沙三段及黄河口凹陷沙三段烃源岩，呈现出“双源供给”特征。

（2）油气充注过程持续约 11Ma，主体成藏期集中于 9-7Ma，与烃源岩生烃高峰相匹配，表现为“晚期集中充注”的成藏特征。

（3）埕北 30 北断层与埕北 307 东断层在新生界以来活动强烈、长期处于开启状态，具备良好的油气输导能力，是控制该区油气从渤中与黄河口凹陷烃源岩向中生界潜山运移与成藏的主要通道，但受控于充注动力和储层物性，油气主要聚集于古生界与中生界储层

（4）成藏过程受“源-断-藏”三期耦合控制，形成埕北 30 中生界潜山成藏模式：双油源供给、断层高效输导、晚期集中充注。该模式揭示了中生界潜山油藏成藏的关键控制因素，可为济阳坳陷及类似盆地潜山油气勘探提供参考。

References

- Chen Xuefen. 2024. Classification of Buried-hill Fault Types of Lower Paleozoic in Jiyang Depression and Its Guiding Significance-Takling Chengbei 30 Buried Hill as an Example[J]. Journal of Shandong Institute of Petroleum and Chemical Technology, 38(01): 9-14. (in Chinese with English abstract)
- Chen Yequan, Wang Weifeng. 2004. Geodynamics Process in the Junggar Basin [J]. Journal of Geomechanics, (02): 155-164. (in Chinese)
- Dang Wen-Long, Gao Gang, You Xin-Cai, Fan Ke-Ting, Wu Jun, Lei De-Wen, He Wen-Jun, Tang Yong. 2024. Geochemical Identification of a Source Rock Affected by Migrated Hydrocarbons and Its Geological Significance: Fengcheng Formation, Southern Mahu Sag, Junggar Basin, NW China [J]. Petroleum Science, 21: 100-114.
- Guo Zhiyang, Liu Hua, Cheng Bin, Yang Guili, Xu Haoqing, Zhang Zhiqing. 2020. Characteristics and Source of Oils and Gases in Chengdao-Zhuangxi Buried-Hill, Jiyang Depression, Bohai Bay Basin[J]. Natural Gas Geoscience, 31(10): 1437-1452 (in Chinese with English abstract).
- Guo Zhiyang. 2020. Hydrocarbon Accumulation Pattern of Paleozoic in Chengdao-Zhuangxi Buried-Hill Belt, Jiyang Sub-basin [D]. China University of Petroleum (East China) (in Chinese with English abstract).
- Huang Qian, Chen Rongtao, Peng Xiaobo, Li Xinqi, Wang Ning. 2022. Characteristics and Geological Significance of Biomarkers from the Paleogene Source Rocks in Bozhong Sag, Bohai Bay Basin[J]. Bulletin of Geological Science and Technology, 41(03): 180-192 (in Chinese with English abstract).
- Huang Zhi, Li Huiyong, Li Xinqi, Hu Anwen, Xiao Shuguang. 2020. Evolution of Southwest Bozhong SUB-Depression and Its Bearing on Hydrocarbon Generation[J]. Marine Geology Frontiers, 36(11): 45-51 (in Chinese with English abstract).
- Li Chengming, Zhang Changhou, Cope Tim D.. 2023. A new model for the segmentation, propagation and linkage of the Tan-Lu fault zone, East Asia[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 241: 105466.
- Li Qinying, Luo Fengzhi, Miao Cuizhi. 2000. Research Methods and Applications in Fault Activity Rate Studies[J]. Fault-Block Oil & Gas Field, (02): 15-17+4. (in Chinese)
- Liu Haiging, Jin Pengbo, Liu Jingdong, Liu Hua, Zou Juan, Chen Lei. 2025. Characteristic of Faults in Laoyemiao Structural Belt, Nanpu Depression and Its Control on Hydrocarbon Accumulation [J]. Geology in China, 52(05): 1889-1901 (in Chinese with English abstract).
- Liu Qiongying, He Lijuan, Huang Fang, Zhang Linyou. 2016. Cenozoic lithospheric evolution of the Bohai Bay Basin, eastern North China Craton: Constraint from tectono-thermal modeling[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 115: 368-382.
- Liu Xingcai, Yang Shenbiao. 1998. Formation Conditions and Distribution Patterns of Large Oilfields in the Jiyang Complex Hydrocarbon Area[J]. Journal of Chengdu University of Technology(Science & Technology Edition), (02). (in Chinese)
- Liu Yiming, Liu Lijun, Wu Zhiping, Li Wei, Hao Xin. 2022. New Insight into East Asian Tectonism since the Late Mesozoic Inferred from Erratic Inversions of NW-Trending Faulting within the Bohai Bay Basin [J]. Gondwana Research, 102: 17-30.
- Mi Lijun, Xu Jianyong, Li Wei. 2023. Shale Oil Resource Potential in the Bohai Sea Area[J]. Oil & Gas Geology, 44(06): 1366-1377 (in Chinese with English abstract).
- Niu Chengmin, Yang Haifeng, Zhao Dijiang, Zhang Can, Peng Jingsong. 2022. Study on the Ultra-Late Hydrocarbon Accumulation and Migration Lagging Effect in Laizhouwan Sag, Bohai Sea[J]. Earth Science, 47(02): 464-478 (in Chinese with English abstract).
- Qiu Liang, Fu Yu, Yan Danping, Wang Tianheng, Gan Wei, Li Chengming, Kong Ruoyan, Chu Rong, Chen Xiaoyu,

- Zhang Rui, Sun Shouheng, Dong Xiaoyu. 2025. Timing, Geometry, and Kinematics of the Yilan-Yitong Fault Zone in the Northern Tan-Lu Fault System of Northeast Asia [J]. *China Geology*, 8: 265-280.
- Li Zongxing, Zuo Yinwei, Qiu Nansheng, Gao Jun. 2017. Meso–Cenozoic lithospheric thermal structure in the Bohai Bay Basin, eastern North China Craton[J]. *Geoscience Frontiers*, 8: 977-987.
- Ren Yongjun, Du Yufei, Guo Xiaoxiao, Wang Guanmin. 2015. Characteristics and Distribution of Paleogene High-quality Source Rocks in Bozhong Sag[J]. *Petroleum Geology and Recovery Efficiency*, 22(01): 5-13 (in Chinese with English abstract).
- Shi Pitong. 2009. Study on The Dynamic System of Oil and Gas Migration and Accumulation in Chengdao Area[D]. China University of Petroleum (in Chinese with English abstract).
- Su Jinbao, Zhu Wenbin, Lu Huaifu, Xu Mingjie, Yang Wei, Zhang Zhiyong. 2009. Geometry styles and quantification of inversion structures in the Jiyang depression, Bohai Bay Basin, eastern China[J]. *Marine and Petroleum Geology*, 26: 25-38.
- Sun Chao. 2021. Lithology and Reservoir Quality of Mesozoic Buried Hill in the Chengdao-Zhuanghai Area, Jiyang Depression[J]. *Science Technology and Engineering*, 21(36): 15411-15420 (in Chinese with English abstract).
- Tong Huan, Zhu Shifa, Cui Hang, Cai Wendian, Ma Lichi. 2024. Characteristics and Controlling Factors of High-quality Reservoirs of Mixed Siliciclastic-carbonate Sediments in the 1st to 2nd Members of the Paleogene Shahejie Formation, Zhuanghai Area, Bohai Bay Basin[J]. *Oil & Gas Geology*, 45(04): 1106-1120 (in Chinese with English abstract).
- Wang Haoran, Su Bilin, Fu Guang. 2023. Prediction Methods of Advantageous Pathways of Hydrocarbon Migration by Oil-Source Fault and Its Application [J]. *Geology and Resources*, 32(06): 762-771 (in Chinese with English abstract) .
- Wang Song, Wang Longfei, Chen Rongtao, Cheng Fuqi, Liu Mengxing. 2022. Organic Geochemical Characteristics of Source Rocks in Huanghekou Sag[J]. *Journal of Xi'an Shiyou University(Natural Science Edition)*, 37(03): 9-15+26 (in Chinese with English abstract).
- Wang Ying, Zhao Xikui, Gao Boyu. 2002. Characters of Tectonic Evolution of the Jiyang Depression[J]. *Journal of Chengdu University of Technology(Science & Technology Edition)*, (02): 181-187 (in Chinese with English abstract).
- Wang Yongshi, Luo Xia, Hu Yang, Shi Xiaoguang, Zhang Bo. 2025. Formation, Evolution, and Distribution Law of Mesozoic-Paleozoic Buried Hills in Jiyang Depression[J]. *Petroleum Geology and Recovery Efficiency*, 32(02): 1-13 (in Chinese with English abstract).
- Wang Yongshi, Tian Wen, Wang Xuejun, Jing Anyu, Ma Lichi, Ma Shuai. 2024. Formation Mechanism and Development Model of the Lower Paleozoic buried Hill Reservoirs in the Jiyang Depression[J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 44(06): 802-813 (in Chinese with English abstract).
- Wang Yongshi, Zhang Pengfei, Wang Xuejun, Ma Shuai, Luo Xia, Zhang Yunyin, Xiong Wei, Wang Yong, Tian Wen, Liu Ruijuan. 2024. New Understanding and Research Directions of Oil and Gas Accumulation in Paleozoic Buried Hills, Jiyang Depression[J]. *Petroleum Geology and Recovery Efficiency*, 31(06): 1-17 (in Chinese with English abstract).
- Wang Zhiwei, Zhang Kai, Wu Qunhu, Zhou Hongke, Yu Shina, Li Yang. 2023. Structural Evolution Characteristics and Genesis of Buried Hill Faults in the Chengdao–Zhuanghai Area [J]. *Frontiers in Earth Science*, 11.
- Wen Zijuan, Tang Hai, Lv Dongliang, Gan Qingming, Liang Yi, WANG Xiaojun. 2015. Simulation on the Non-linear Seepage Law of Low-permeability Oil Fields with COMSOL Software[J]. *Oil Drilling & Production Technology*, 37(04): 72-75 (in Chinese with English abstract).
- Wu Zhiping, Zhang Meng, Zhang Xiaoqing, Wang Di, Cheng Yanjun. 2022. Evolution and Reservoir Characteristics of the “Chengbei-Kendong ” Structural Transfer Zone in the Bohai Bay Basin[J]. *Oil & Gas Geology*, 43(06):

1321-1333+1358 (in Chinese with English abstract).

- Xu Changgui, Peng Jingsong, Wu Qingxun, Sun Zhe, Ye Tao. 2019. Vertical Dominant Migration Channel and Hydrocarbon Migration in Complex Fault Zone, Bohai Bay Sag, China [J]. *Petroleum Exploration and Development*, 46: 720-728.
- Xu Changgui, Yang Haifeng, Xu Wei, Wang Guangyuan, Liu Xiaojian, Yan Ge. 2025. New Fields and Resource Potential of Tight Oil and Gas and Shale Oil Exploration in the Bohai Sea Area. *Acta Petrolei Sinica*, 46(01): 173-190+264 (in Chinese with English abstract).
- Xu Qinmian, Yang Jilong, Hu Yunzhuang, Yuan Guibang, Deng Chenglong. 2018. Magneto stratigraphy of two deep boreholes in southwestern Bohai Bay: Tectonic implications and constraints on the ages of volcanic layers[J]. *Quaternary Geochronology*, 43: 102-114.
- Zhang Bo, Wang Yongshi, Huang Zheng, Wang Hao. 2024. Structural Style and Hydrocarbon Accumulation Pattern in the Paleozoic Mesozoic Buried Hills in the Eastern Zhanhua Sag, Jiyang Depression[J]. *China Petroleum Exploration*, 29(02): 46-57 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Likuan, Luo Xiaorong, Song Guoqi, Hao Xuefeng, Qiu Guiqiang, Song Chengpeng, Lei Yuhong, Xiang Lihong, Liu Keqi, Xie Yubao. Quantitative Evaluation of Parameters to Characterize Fault Opening and Sealing During Hydrocarbon Migration[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 34(01): 92-100 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Xiaoqing, Wu Zhiping, Zhou Xinhuai, Niu Chengmin, Li Wei, Ren Jian, Zhang Jing. 2017. Cenozoic Tectonic Characteristics and Evolution of the Southern Bohai Sea[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 41(01): 50-60 (in Chinese with English abstract).
- Zhou Xinhuai. 2012. The Accumulation Model of BZ28-2S Oilfield and Its Exploration Significance[J]. *China Offshore Oil and Gas*, 24(05): 1-5+10 (in Chinese with English abstract).
- Zhu Guang, Hu Zhaoqi, Chen Ying, Niu Manlan, Xie Chenglong. 2008. Evolution of Barly Cretaceous Extensional Basins in the Eastern North China Craton and Its Implication for the Craton Destruction[J]. *Geological Bulletin of China*, (10): 1594-1604 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 陈雪芬. 2024. 济阳拗陷下古生界潜山断层类型划分及指导意义——以埕北 30 潜山为例[J]. *山东石油化工学院学报*, 38(01): 9-14.
- 陈业全, 王伟锋. 2004. 准噶尔盆地构造动力学过程[J]. *地质力学学报*, (02): 155-164.
- 郭志扬. 2020. 济阳拗陷埕岛-桩西潜山带古生界油气成藏模式研究[D]: 中国石油大学(华东).
- 郭志扬, 刘华, 程斌, 杨贵丽, 徐昊清, 张芷晴. 2020. 渤海湾盆地济阳拗陷埕岛—桩西潜山油气特征与来源[J]. *天然气地球科学*, 31(10): 1437-1452.
- 黄谦, 陈容涛, 彭晓波, 李新琦, 王宁. 2022. 渤海湾盆地渤中凹陷古近系烃源岩生物标志物特征及其地质意义[J]. *地质科技通报*, 41(03): 180-192.
- 黄志, 李慧勇, 李新琦, 胡安文, 肖述光. 2020. 渤中西南洼槽演化特征及生烃潜力[J]. *海洋地质前沿*, 36(11): 45-51.
- 李勤英, 罗凤芝, 苗翠芝. 2000. 断层活动速率研究方法及应用探讨[J]. *断块油气田*, (02): 15-17+4.
- 刘海青, 靳鹏菠, 刘景东, 刘华, 邹娟, 陈蕾. 2025. 南堡凹陷老爷庙构造带断裂特征及其对油气成藏的控制作用[J]. *中国地质*, 52(05): 1889-1901.
- 刘兴材, 杨申镛. 1998. 济阳复式油气区大油田形成条件及分布规律[J]. *成都理工学院学报*, (02).
- 米立军, 徐建永, 李威. 2023. 渤海海域页岩油资源潜力[J]. *石油与天然气地质*, 44(06): 1366-1377.
- 牛成民, 杨海风, 赵弟江, 张参, 彭靖淞. 2022. 渤海海域莱州湾凹陷油气超晚期成藏与油气运移滞后效应[J]. *地球科学*, 47(02): 464-478.

- 任拥军, 杜雨佳, 郭潇潇, 王冠民. 2015. 渤中凹陷古近系优质烃源岩特征及分布[J]. 油气地质与采收率, 22(01): 5-13.
- 时丕同. 2009. 埕岛地区油气成藏动力系统研究[D]: 中国石油大学.
- 孙超. 2021. 济阳拗陷埕岛-桩海地区中生界潜山储层岩性与储层质量[J]. 科学技术与工程, 21(36): 15411-15420.
- 佟欢, 朱世发, 崔航, 蔡文典, 马立驰. 2024. 渤海湾盆地桩海地区古近系沙河街组一段-二段混积岩优质储层特征与控制因素[J]. 石油与天然气地质, 45(04): 1106-1120.
- 王浩然, 宿碧霖, 付广. 2023. 油源断裂输导油气优势路径预测方法及其应用[J]. 地质与资源, 32(06): 762-771.
- 王松, 王飞龙, 陈容涛, 程付启, 刘梦醒. 2022. 黄河口凹陷烃源岩有机地球化学特征分析[J]. 西安石油大学学报(自然科学版), 37(03): 9-15+26.
- 王颖, 赵锡奎, 高博禹. 2002. 济阳拗陷构造演化特征[J]. 成都理工学院学报, (02): 181-187.
- 王永诗, 罗霞, 胡阳, 石晓光, 张波. 2025. 济阳拗陷中——古生界潜山形成演化及分布规律[J]. 油气地质与采收率, 32(02): 1-13.
- 王永诗, 田雯, 王学军, 景安语, 马立驰, 马帅. 2024. 济阳拗陷下古生界潜山储层形成机制与发育模式[J]. 矿物学报, 44(06): 802-813.
- 王永诗, 张鹏飞, 王学军, 马帅, 罗霞, 张云银, 熊伟, 王勇, 田雯, 刘瑞娟. 2024. 济阳拗陷古生界潜山油气成藏新认识与攻关方向[J]. 油气地质与采收率, 31(06): 1-17.
- 文自娟, 唐海, 吕栋梁, 甘庆明, 梁毅, 王小军. 2015. 利用 COMSOL 软件模拟低渗油田非线性渗流规律[J]. 石油钻采工艺, 37(04): 72-75.
- 吴智平, 张勐, 张晓庆, 王迪, 程燕君. 2022. 渤海湾盆地“埕北-垦东”构造转换带形成演化及成藏特征[J]. 石油与天然气地质, 43(06): 1321-1333+1358.
- 徐长贵, 杨海风, 徐伟, 王广源, 刘晓健, 燕歌. 2025. 渤海海域致密油气及页岩油勘探新领域及资源潜力[J]. 石油学报, 46(01): 173-190+264.
- 张波, 王永诗, 黄铮, 王浩. 2024. 济阳拗陷沾化东部古——中生界潜山构造样式与成藏模式[J]. 中国石油勘探, 29(02): 46-57.
- 张立宽, 罗晓容, 宋国奇, 郝雪峰, 邱桂强, 宋成鹏, 雷裕红, 向立宏, 刘克奇, 解玉宝. 2013. 油气运移过程中断层启闭性的量化表征参数评价[J]. 石油学报, 34(01): 92-100.
- 张晓庆, 吴智平, 周心怀, 牛成民, 李伟, 任健, 张婧. 2017. 渤海南部新生代构造发育与演化特征[J]. 大地构造与成矿学, 41(01): 50-60.
- 周心怀. 2012. 渤中 28-2 南油田成藏模式及其勘探意义[J]. 中国海上油气, 24(05): 1-5+10.
- 朱光, 胡召齐, 陈印, 牛漫兰, 谢成龙. 2008. 华北克拉通东部早白垩世伸展盆地的发育过程及其对克拉通破坏的指示[J]. 地质通报, (10): 1594-1604.