

<https://doi.org/10.3799/dqkx.2026.192>



渤海湾超级盆地饶阳凹陷南部深层油气成藏条件及模式

王海燕, 赵旭*, 刘辰, 张丽, 周妍, 唐宏, 马学峰, 卢山

中国石油华北油田公司勘探开发研究院, 河北任丘 062552

摘要: 为明确饶阳凹陷南部深层油气成藏条件与富集规律, 破解资源潜力不清、储层非均质性强及成藏模式不明等勘探难题, 系统分析了构造背景、烃源岩特征及储层发育机制, 并建立成藏模式加以验证。结果表明, 沙三下亚段发育半咸湖相优质烃源岩, 辫状河三角洲砂体经有机酸溶蚀及早期油气充注形成有效储层, 大型拆离滑覆构造控制多个有利背斜带, 据此建立了源内、近源两种成藏模式。依据近源模式部署的 Q104X 井获高产工业油流, 实现深层勘探重大突破。饶阳凹陷深层具备规模成藏条件, 为冀中拗陷及类似陆相断陷盆地深层油气勘探提供了重要借鉴, 对老油区资源接替与增储上产具有重要意义。

关键词: 饶阳凹陷南部; 深层; 沙三下亚段; 成藏条件; 成藏模式; 石油地质学。

中图分类号: P618.13

文章编号: 1000-2383(2026)07-2731-16

收稿日期: 2026-04-06

Accumulation Conditions and Model of Deep Oil and Gas in Southern Raoyang Sag of Bohai Bay Superimposed Basin

Wang Haiyan, Zhao Xu*, Liu Chen, Zhang Li, Zhou Yan, Tang Hong, Ma Xuefeng, Lu Shan

Exploration and Development Research Institute of Huabei Oilfield, PetroChina, Renqiu 062552, China

Abstract: To clarify the hydrocarbon accumulation conditions and enrichment patterns in the deep strata of the southern Raoyang Sag, and to address the exploration challenges of unclear resource potential, strong reservoir heterogeneity, and unknown accumulation models, this study systematically analyzed source rock characteristics, reservoir development mechanisms, and structural settings, and subsequently established and validated accumulation models. The results show that the lower submember of the third member of the Shahejie Formation (E_{s3}^F) developed high-quality source rocks in a semi-saline lacustrine environment. Braided river delta sand bodies formed effective reservoirs through organic acid dissolution and early hydrocarbon charging. A large-scale detachment and decollement structural setting controlled multiple favorable anticlinal belts. Based on these findings, two accumulation models (intra-source and near-source) were established. Following the near-source model, Well Q104X was drilled in the Yangwuzhai structural belt and yielded high-yield industrial oil flow, achieving a major exploration breakthrough in the deep strata. This study confirms that the deep strata of the Raoyang Sag possess conditions for large-scale hydrocarbon accumulation. The results provide an important reference for deep petroleum exploration in the Jizhong Depression and similar continental rift basins, and are of great significance for resource replacement and reserve/production growth in mature oil regions.

Key words: southern Raoyang Sag; deep reservoir; E_{s3}^F ; accumulation condition; hydrocarbon accumulation model; petroleum geology.

基金项目: 国家科技重大专项 (No. 2024ZD1400100)。

作者简介: 王海燕 (1988—), 女, 高级工程师, 主要从事油气地质勘探研究。ORCID: 0009-0009-0333-7614。E-mail: yjy_why1@petrochina.com.cn

* **通讯作者:** 赵旭, E-mail: yjy_zxu@petrochina.com.cn

引用格式: 王海燕, 赵旭, 刘辰, 张丽, 周妍, 唐宏, 马学峰, 卢山, 2026. 渤海湾超级盆地饶阳凹陷南部深层油气成藏条件及模式. 地球科学, 51(7): 2731–2746.

Citation: Wang Haiyan, Zhao Xu, Liu Chen, Zhang Li, Zhou Yan, Tang Hong, Ma Xuefeng, Lu Shan, 2026. Accumulation Conditions and Model of Deep Oil and Gas in Southern Raoyang Sag of Bohai Bay Superimposed Basin. *Earth Science*, 51(7): 2731–2746.

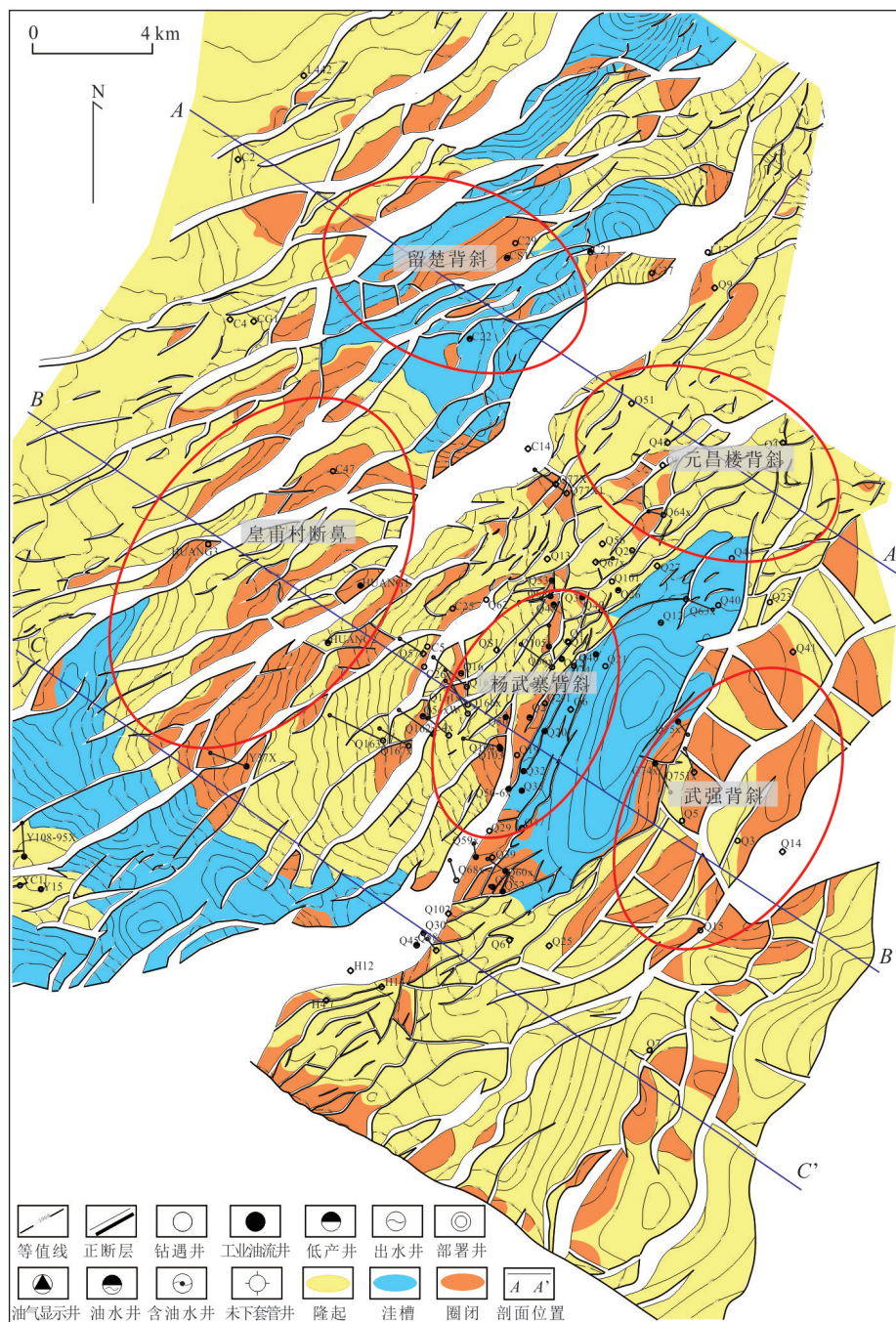


图 2 饶阳凹陷南部 T5 反射层构造图 (相当于沙三段顶面)

Fig.2 Structural map of the T5 reflection layer (corresponding to the top surface of the Es₃ member) in the southern Raoyang Sag

2017; 杨剑萍等, 2018). 饶阳凹陷南部发育留西-留楚、杨武寨、虎北 3 个生油洼槽, 工区内包括留楚、皇甫村、杨武寨、武强 4 个次级构造带 (图 2). 其北至留西构造带, 南至榆科, 东至献县凸起, 西到刘村低凸起, 勘探面积约 950 km².

研究区自下而上发育元古界、古生界、新生界多套地层, 受多期构造活动影响, 古生界、元古界多残缺不全 (赵贤正等, 2017). 依靠层序地层理论

指导, 将饶阳凹陷新生界古近系地层自下而上划分为 3 个三级层序. 第一层序为孔店组至沙四段, 第二层序为沙三段至沙二段, 第三层序为沙一段至东营组. 孔店组至沙四段为断陷分割充填早期, 绝大部分地区以陆上冲积河流相为主, 仅在孙虎-武强地区发育干盐湖、盐湖相. 沙三段至沙二段进入了湖盆扩张、深陷的稳定沉积阶段, 为深湖相-辫状河三角洲-河流相沉积. 沙一段至东营组为湖盆

发展晚期的断坳沉积阶段的滨浅湖相-河流相沉积.

2 构造特征

2.1 平面构造特征

新生代饶阳凹陷受右旋张扭应力场作用,发育伸展和走滑构造体系(苗全芸,2018).以留北和五尺断层为界,分为南北两部分.整个饶阳凹陷南部地

区经历多期构造活动,构造变形尤为复杂,主要发育了北东向(包括北北东向)和北西向(包括北西向)两组断裂体系,其中北东向为主要断裂体系(如杨武寨断层、皇甫村断层),控制区域的构造形态;北西向断层多为伸展过程中起调节作用的变换断层.受三级断层的控制,饶阳凹陷南部拆离滑覆构造在东西向上明显分带,形成东部、中部、西部三个

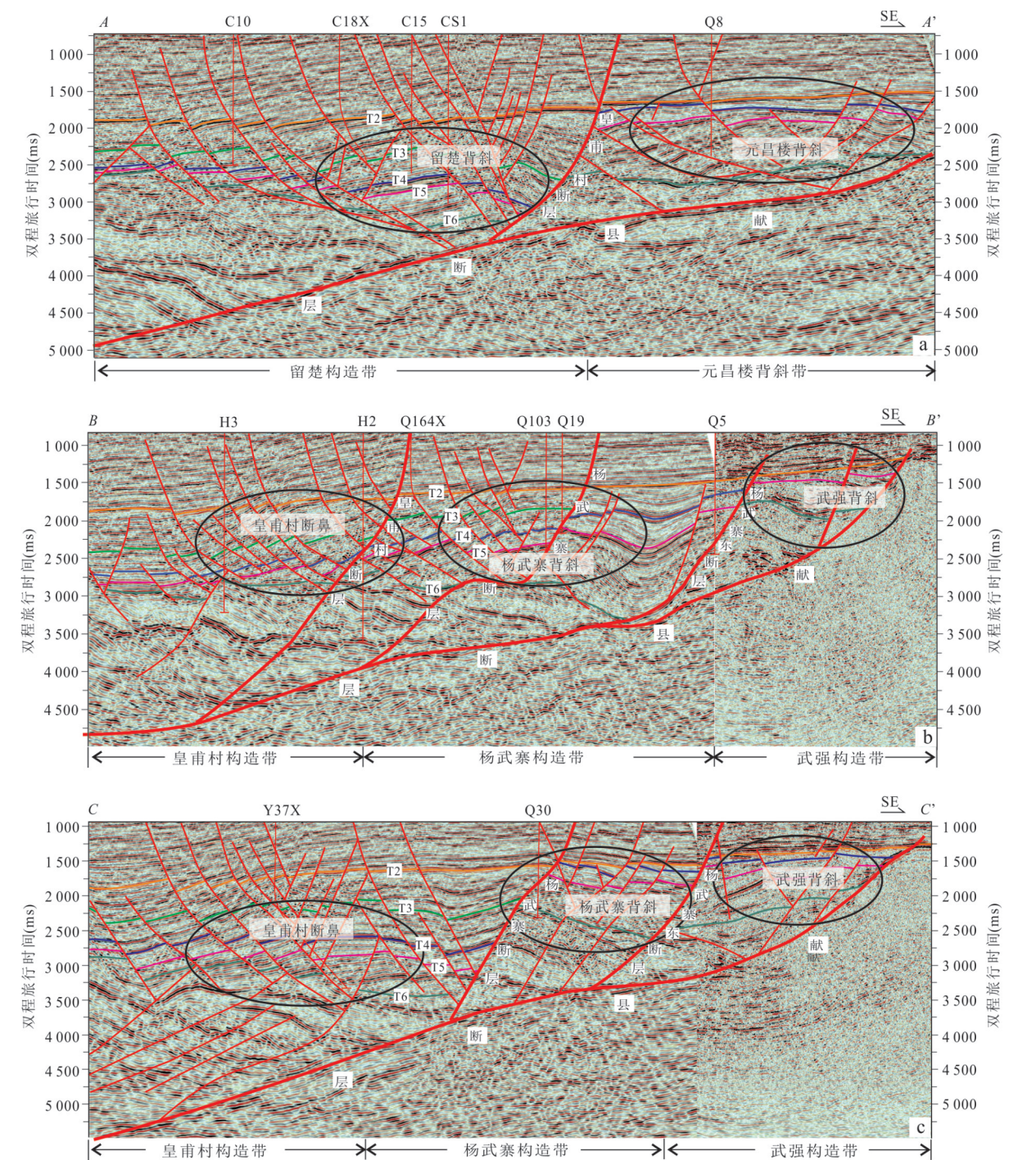


图3 饶阳凹陷南部地震剖面图(剖面图位置见图2)
Fig.3 Seismic profile of the southern Raoyang Sag (profile location shown in Fig.2)

大型背斜构造带,背斜主体部位发育大量不同级别的断层,这些断层相互交叉、切穿、重新组合,形成了多个大型正向构造圈闭群(图2),这些正向构造圈闭群成为油气运移的有利指向区。多组多类多期断裂构成整体的构造体系,控制了凹陷内的沉积建造、构造带展布、圈闭发育、油气运聚和分布。

2.2 剖面构造特征

古近纪以来,饶阳凹陷南部由于先存基底面及次级构造滑脱层存在,受区域构造应力及重力滑覆作用影响,沉积盖层沿早期拆离面或拆离断层发生滑脱变形(Li *et al.*, 2025),形成上、下构造变形不协调的伸展拆离滑覆构造体系,具有“分层滑覆、垂向叠加”的特征。下部变形系统是基底拆离面和内部拆离面之间的韧性拆离带或流变系统(王清华等, 2025),主要由沙三下亚段-孔店组组成,在拆离滑覆构造体系中充当了上部拆离滑覆体的滑脱垫。上部的伸展变形系统位于韧性变形带之上,由沙三中上、沙二、沙一及东营组构成。

从图3a可以看出,该剖面东起献县断层,整体结构为单断半地堑,献县断裂作为主拆离断层发生伸展滑脱,深部基底岩系向东拆离,其上覆沉积盖层发生不均衡伸展和扭动,在这种伸展背景下形成了元昌楼背斜带与留楚背斜带,同时三级断层留楚-皇甫村断层深部均收敛于献县滑脱断层,控制形成了留楚洼槽。从图3b、3c可以看出,三级断层杨武寨东断层、杨武寨断层、留楚-皇甫

村断层深部均收敛于献县滑脱断层,在拆离滑脱作用的伸展背景下,从东向西依次形成了武强、杨武寨以及皇甫村三大正向构造带(王余泉等, 2018)。

杨武寨中央隆起带是受杨武寨断层控制的大型塌陷背斜,规模大、背斜形态好(宋义民等, 2021),浅层已发现武强油田,其深层沙三下亚段地层厚度大,具有早期沉积、晚期隆起的特征。由此认为杨武寨中央隆起带深层具备深层规模成藏的构造背景和地层条件。

3 成藏条件分析

3.1 烃源岩条件

以往饶阳凹陷南部仅钻遇沙三上亚段和沙一下亚段两套烃源岩层系,2015年在饶阳凹陷南部杨武寨构造带部署钻探Q68X井,首次揭示饶阳凹陷南部沙三下亚段具备较好的生油能力(李志军等, 2024),为深层生油条件的重新评价提供了新的依据。

沙三段沉积早期,冀中拗陷整体进入了古近系湖盆扩张、深陷的稳定沉积阶段。饶阳凹陷南部地区构造演化对烃源岩分布具有控制作用,有效烃源岩沉积厚度受控于洼槽的分布。二级断层(主干边界断层)献县断层控制形成杨武寨洼槽和虎东洼槽,衡水断层北段控制形成深西洼槽,三级断裂虎北断层进一步发育,形成虎北洼槽,此时多个洼槽逐渐联合,范围增大,烃源岩稳定广覆发育(图4)。

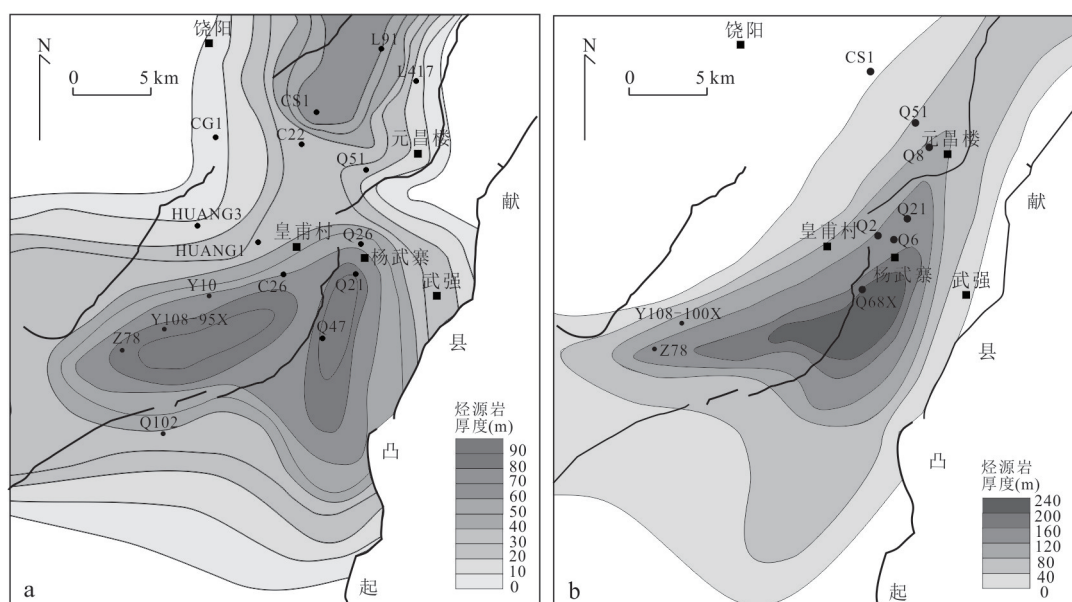


图4 饶阳南部沙三上亚段(a)和沙三下亚段(b)烃源岩等厚图(TOC>1%)

Fig.4 Isopach map of source rocks of E_{s3}^{+} (a) and E_{s3}^{+} (b) in the southern Raoyang Sag (TOC>1%)

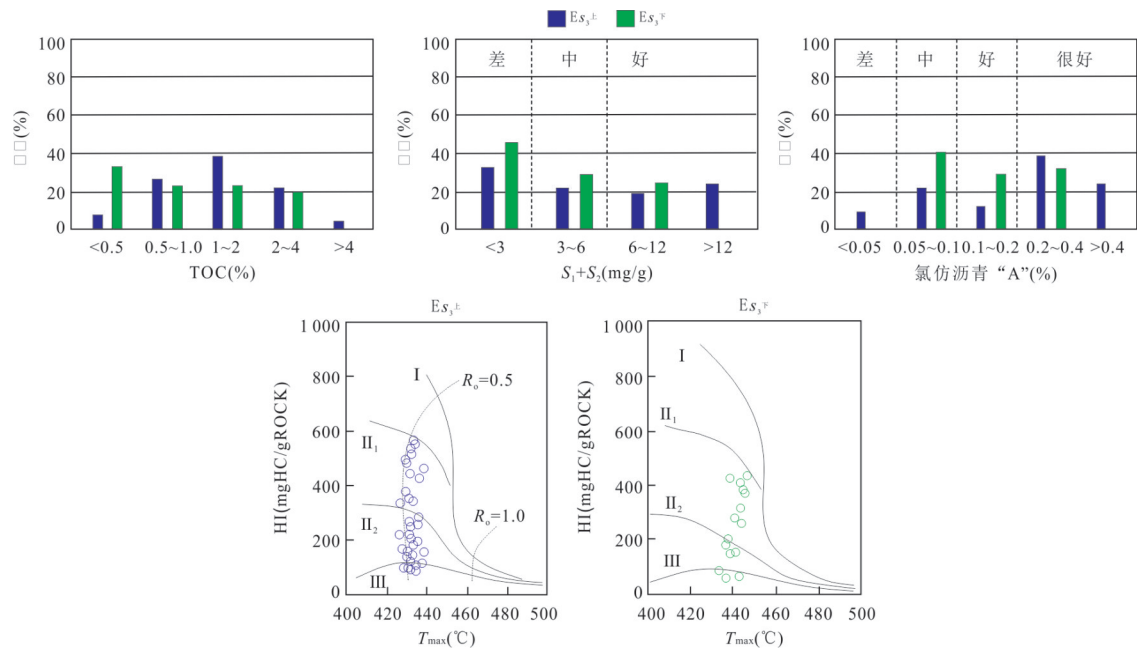


图 5 饶阳凹陷南部烃源岩实测参数

Fig.5 Measured parameters of source rocks in the southern Raoyang Sag

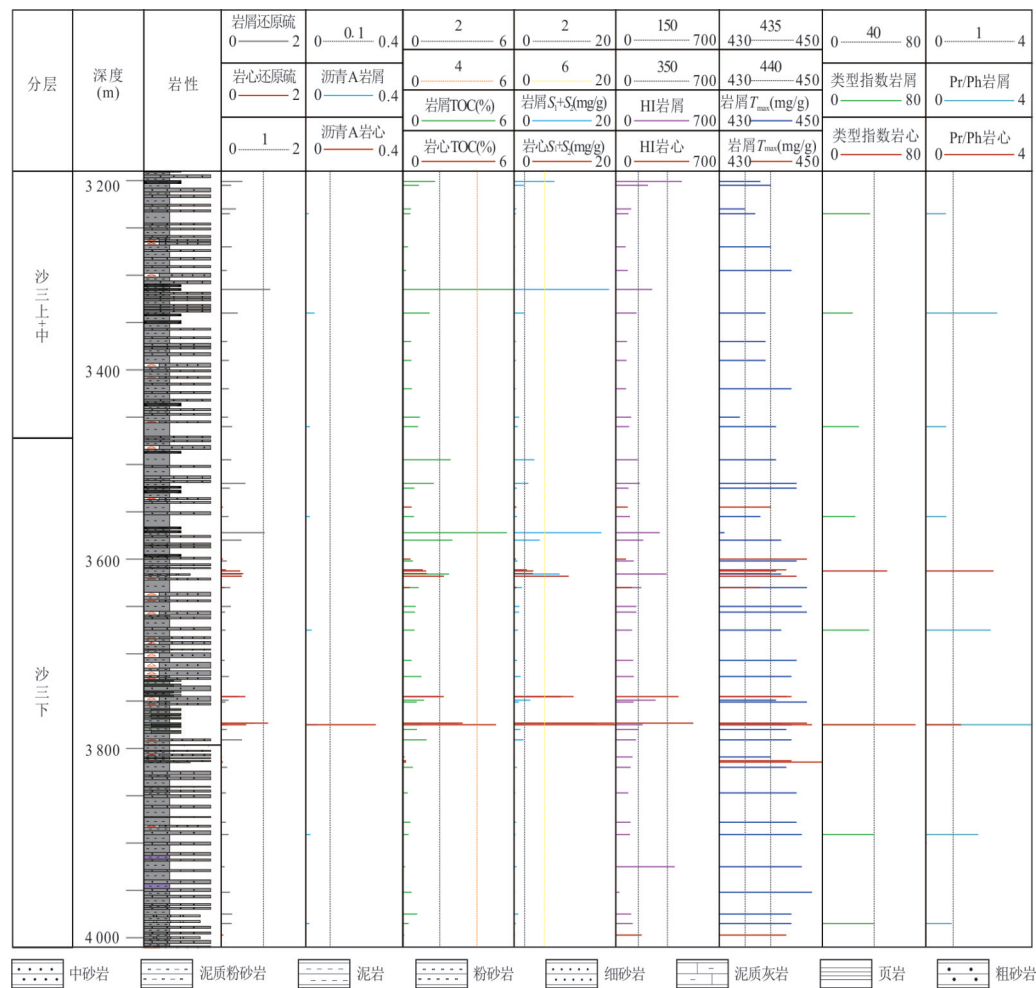


图 6 Q68X 井烃源岩地化剖面

Fig.6 Geochemical profile of source rocks in Well Q68X

沙三上亚段广覆式发育一套咸湖相优质烃源岩,为饶阳凹陷南部传统烃源岩。Q68X井在沙三下亚段钻遇暗色泥岩255 m,在3 775~3 785 m井段取深灰色油页岩壁心,有机地化分析 $\text{TOC}>2\%$, S_1+S_2 最大可达31.05 mg/g,氯仿沥青“A”含量为0.289%,OEP范围为1.06~1.18,小于1.2; $T_{\max}$ 范围为430~455℃,为中等-好成熟烃源岩,有机质类型以 II_2 型为主(图5、图6)。通过井震结合,区域追踪落实烃源岩范围,重新开展资源潜力评价,研究区深层沙三下亚段烃源岩厚度为80~180 m,分布面积600 km²,最大生油强度逾 4.0×10^6 t/km²,平均生油强度为 1.27×10^6 t/km²,留西-留楚-杨武寨洼槽沙三下亚段地质资源量1.92亿吨,剩余资源量1.69亿吨。充分说明研究区深层烃源岩分布广,生烃能力强,油气资源丰富;改变了以往饶阳南部沙三下亚段烃源岩未规模发育的认识,夯实了深层勘探资源基础,为饶阳凹陷南部深层新层系勘探带来了信心。

3.2 沉积特征及储层条件

沉积环境奠定储层形成的物质基础,不仅决定了砂岩的粒度、分选性、磨圆度等结构特征,也控制了其矿物组成与杂基含量等组分特征(Adepehin *et al.*, 2019;李熹微等,2025)。水动力环境通过影响砂岩的粒度和分选性,从根本上决定了储层的原始物性,研究区在沙三段沉积期,拉张断陷构造运动最强烈,可容沉积物空间急剧增大。在断块翘倾作用下,洼槽区周缘前古近系地层强烈隆升,遭受大规模剥蚀,为沙三段湖盆提供了大量的沉积物。饶阳凹陷南部主要有东部的沧县隆起、南部的新河凸起以及西部刘村低凸起等主要物源区,沙三段以湖泊环境发育为特色,再现了湖盆发展高潮阶段的沉积环境特点,本期沉积总面积约占50%的辫状河三角洲砂体是区内良好的储集层(彭光荣等,2025;Ye *et al.*, 2025)(图7)。

沙三下亚段沉积期,围绕洼槽区广泛发育辫状河三角洲-滨浅湖沉积,多期沉积砂体在构造沉降的负向地貌单元处汇聚,具有“环洼多向物源展布、砂体构造负地貌聚集”的构造控砂特点(图8)。受构造控砂作用的影响,西侧缓坡区发育规模巨大的朵叶状辫状河三角洲,沉积向东快速推进前积形成的三角洲前缘砂体向湖延伸距离较远,砂体进积方向与北东东向的断层相交。这些早期发育的同沉积断裂通常控制局部砂体充填体系,三角洲前缘朵叶体向湖中心进积过程中,受同沉积断裂两盘落差形成

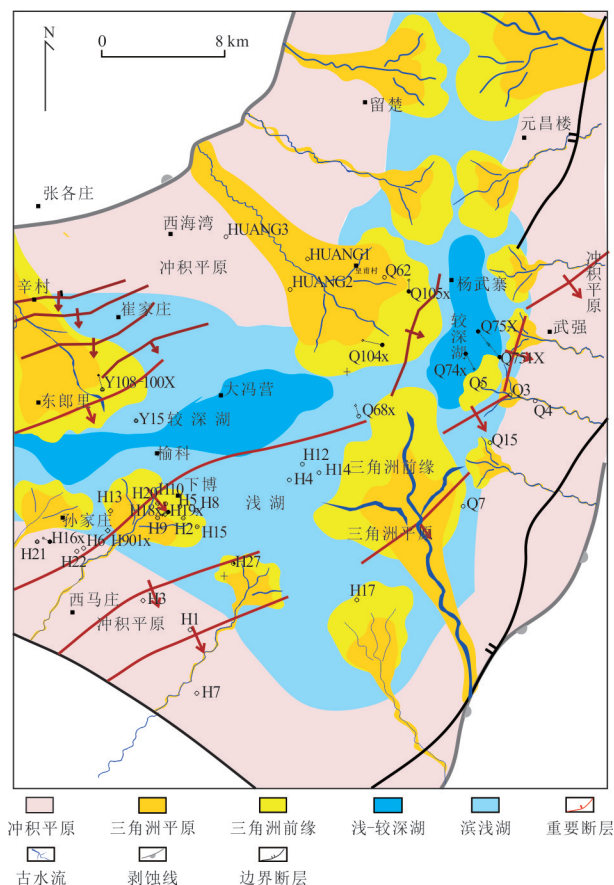


图7 饶阳凹陷南部沙三下亚段岩相古地理图

Fig.7 Lithofacies paleogeographic map of Es_3^{F} in the southern Raoyang Sag

的高可容纳空间影响,在坡折之下进行沉积充填补齐,形成砂体的局部富集。东侧受边界献县凸起控制,形成东侧物源,沙三段沉积初期,紧靠沉降中心的东部边缘受高陡构造背景影响,在东西向湖盆短轴方向上,来自东侧物源的沉积物在多期基准面升降控制下快速堆积,形成多期扇三角洲前缘朵叶体,向湖延伸范围有限,以扇三角洲前缘主干分流水道沉积为主,外前缘范围较小,厚层砂体紧靠陡坡分布。

饶阳凹陷南部深层砂岩储层埋深超过3 500 m,储集空间类型多样,孔隙结构、物性分布特征复杂,储层非均质性强(薛辉等,2020;Hao *et al.*, 2022)。饶阳凹陷南部深层储层岩性主要为岩屑长石砂岩,少量长石岩屑砂岩,成分成熟度中等,颗粒磨圆次棱-次圆。石英含量为40%~60%(平均50%),长石为17%~41%(平均33.3%),岩屑占12%~41%(平均15.8%);岩屑成分以酸性喷出岩为主,其次为变质岩、沉积岩。填隙物主要类型为方解石、白云石及泥质,少量石英、长石次生加大及自生黏土矿物;含少量石盐、硬石膏等填隙物。填隙物总含量3%~31%,

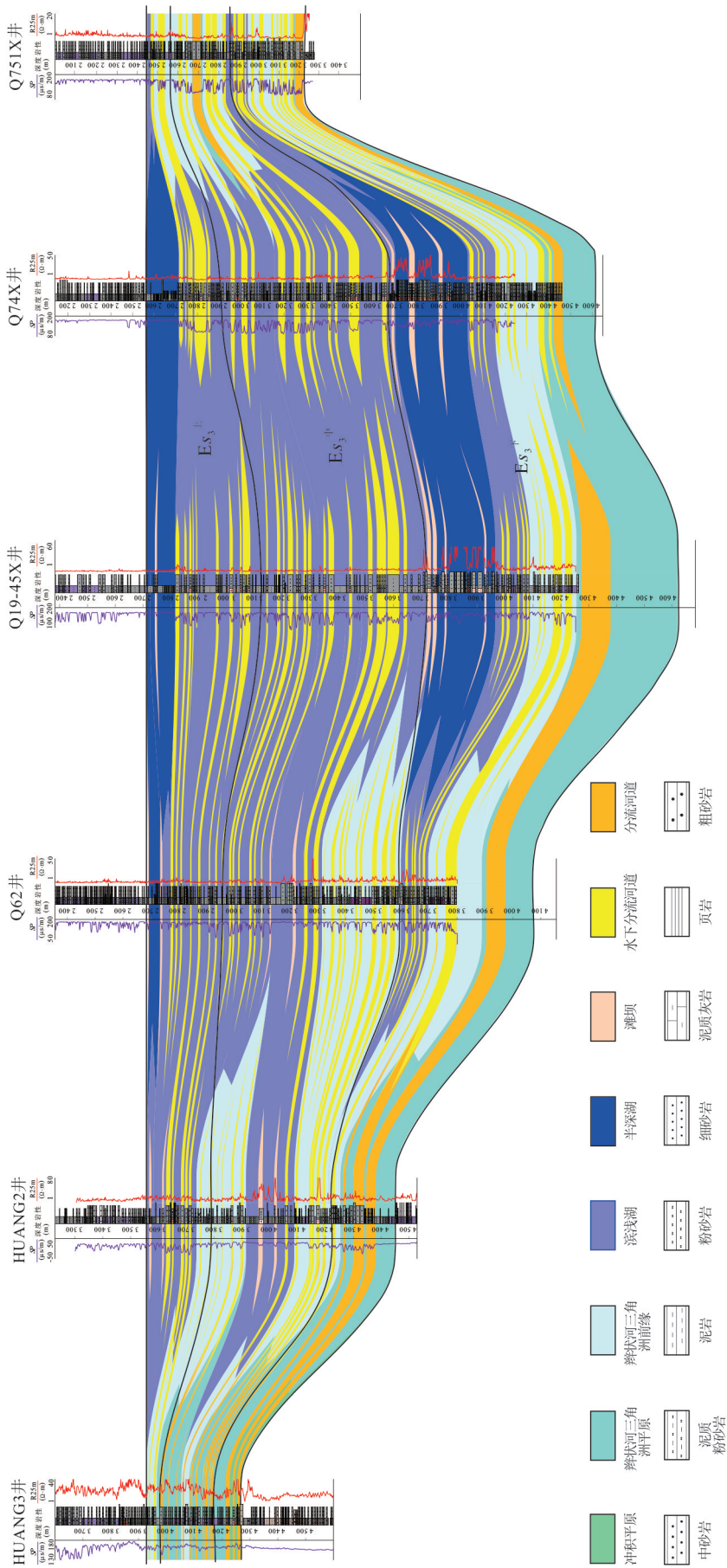


图8 饶阳凹陷南部沙三段沉积相联井剖面图
Fig.8 Correlation profile of sedimentary facies of E_{s3} in the southern Raoyang Sag

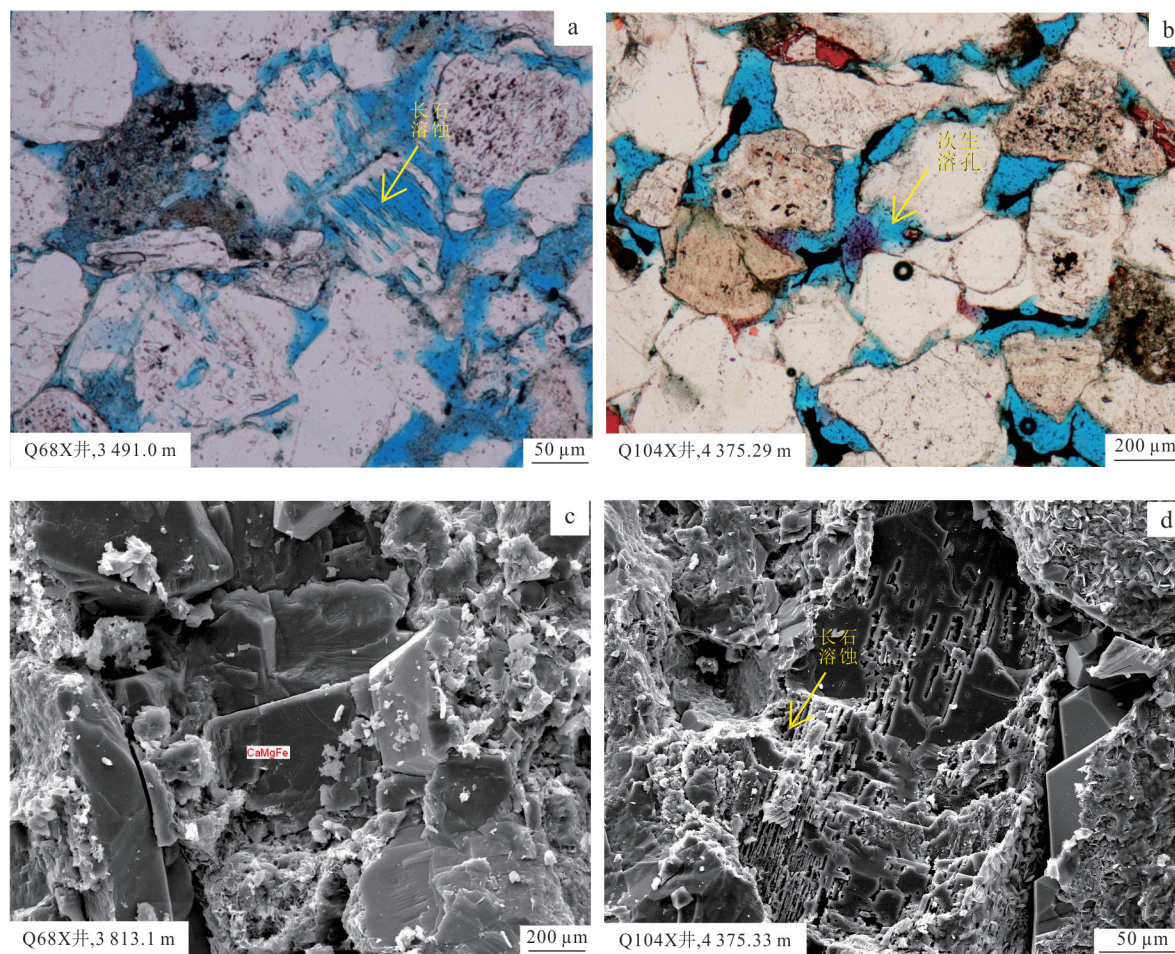


图9 饶阳凹陷南部沙三下亚段储层储集空间特征照片

Fig.9 Photographs showing reservoir space characteristics of Es_3^F reservoirs in the southern Raoyang Sag

均值12.7%,其中白云石0~28%,平均5.5%;方解石0~28%,平均4.8%;泥质0~12%,平均3.7%;石英次生加大0~1%,均值0.4%;黏土矿物0~4%,均值0.2%。黏土矿物主要为高岭石、绿泥石、伊蒙混层及伊利石,随深度增加,高岭石逐渐转变为绿泥石、伊利石,伊蒙混层中蒙脱石含量逐渐降低。

研究区沙三段砂岩储集层目前处于中成岩阶段A期,先后经历了压实作用、胶结作用和有机酸溶蚀作用的综合改造(金凤鸣等,2018)。储层主要发育粒间溶孔,其次为残余粒间孔及粒内溶孔(图9),少量铸模孔、高岭石晶间微孔,面孔率为1%~12%,颗粒间呈点、线接触。

沙三下亚段深层储层具有三种孔隙结构特征,其中I类储层孔隙结构较好,其孔隙度平均12.4%,渗透率平均17.7 mD,排驱压力平均0.19 MPa,分选系数平均1.9,喉直径为细喉-较细喉型,具有双孔介质特征且大孔较为发育。II类储层孔隙度平均5.7%,渗透率平均0.8 mD,排驱压力平均

2.33 MPa,分选系数平均0.81,喉直径为微喉型,小孔及中大孔皆有发育。III类储层孔隙度平均5.48%,渗透率平均0.2 mD,排驱压力平均5.4 MPa,分选系数平均0.28,喉直径为纳米喉型,以微细孔发育为特征。成岩期次主要处于中成岩A2亚期(蒋有录等,2018),为油气向储层充注的高峰时期。I类储层的形成,关键在于早期有机酸溶蚀和油气充注(Wang *et al.*, 2017)。早期有机酸对长石、岩屑等组分的溶蚀,扩大了粒间孔喉,形成细喉-较细喉型优势通道,且早期油气充注占据孔隙空间后,有效抑制了后期胶结作用对储层的破坏,使大孔得以保存,形成深层有效储层。杨武寨深层Q104X井的高产突破,直接归因于I类储层的发育,尤其是粒间溶孔的大量存在,显著改善了储集空间与渗流能力,成为获得高产油流的关键控制因素。

3.3 盖层及储盖组合特征

良好的盖层条件是油气聚集和保存的关键(徐靖琦等,2025)。饶阳凹陷南部沙三段发育两套区域

性盖层,共同构成了下伏储层的有效保存条件.沙三上亚段顶部发育一套暗色泥岩和油页岩集中段,厚度 50~150 m,岩性致密,横向连续性好,具备良好的区域性封盖能力.沙三下亚段顶部发育暗色泥岩夹泥灰岩段,厚度 30~120 m,泥质含量高,可形成顶部和侧向封堵,有效阻止油气逸散.沙三下亚段顶部区域性盖层和中下部优质厚砂岩储层构成了沙三下亚段优质的储盖组合,其空间上匹配良好.储盖系统稳定为油气的聚集提供了优质的储存空间.

4 深层油气成藏演化及模式

4.1 成藏期次及演化过程

油气运移和成藏是发生在地史时期的地质过程,伴随这些地质过程所形成的流体包裹体记录了当时的物理、化学信息,其中包裹体的均一温度记录了油气运移充注时储层的古地温,通过热史和储层埋藏史的恢复即可确定包裹体形成时的埋藏深度,其对应的地层时代即是油气成藏的绝对时间(张新乐等,2024).

饶阳凹陷南部CS1井沙三下亚段储层样品,油气包裹体非常发育,主要分布于石英颗粒内裂缝、石英颗粒表面以及穿石英颗粒裂缝中,呈群体分

布,大小不一,紫外光激发下发黄色、黄白色和蓝绿色荧光,透射光下褐色、浅褐色至无色(图 10).

根据 CS1 井两个沙三下亚段储层包裹体均一温度分析测试结果,包裹体均一温度分布范围为 95~145 ℃,其中存在两个特征明显的峰值区间,早期为 95~110 ℃,晚期为 120~140 ℃(图 11).结合该井的埋藏史和热史(图 12),分析认为饶南 CS1 井沙三段油气存在两期成藏,第一期为东营组末期(28.5~27.2 Ma),第二期为明化镇组沉积期(10.2~5.5 Ma).综合分析认为,CS1 井沙三段深层油气存在两期成藏,其中以晚期成藏为主,明化镇组沉积期油气充注规模最大,为沙三下亚段油气主力充注期,油气充注时间持续较长.

4.2 成藏模式

结合烃源岩发育特征、构造特征、沉积储层空间差异,认为饶阳凹陷南部深层成藏主控因素是烃源岩发育、构造背景、储层品质,三者的空间匹配关系形成了深层两种成藏模式:“源内供烃-砂体控储-广覆发育”源内成藏模式(图 13a)和“双侧供烃-酸溶控储-背斜聚油”近源成藏模式(图 13b).

4.2.1 “源内供烃-砂体控储-广覆发育”源内成藏模式 该成藏模式发育于沙三下亚段有效源岩层中,主要沉积环境为半深湖-较深湖相,岩性剖面由

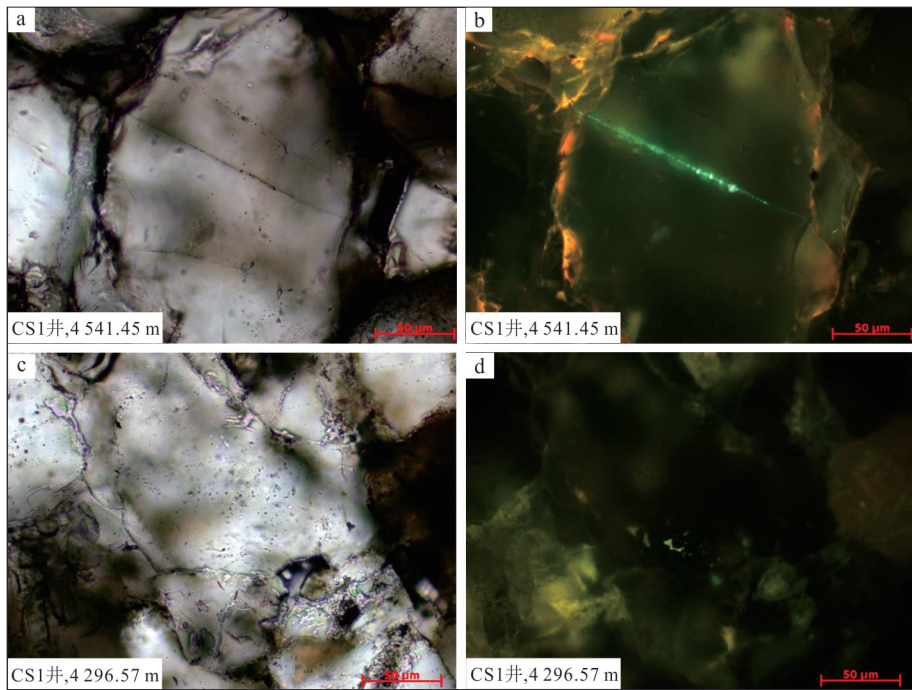


图 10 饶阳凹陷南部沙三下亚段烃类包裹体显微照片(左:透射光;右:荧光)

Fig.10 Photomicrographs of hydrocarbon inclusions of Es₃^F in the southern Raoyang Sag (left: transmitted light; right: fluorescence)

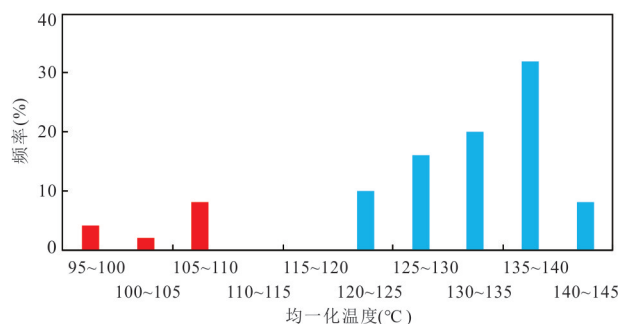


图 11 CS1 井 4 296.57、4 541.45 m 沙三下亚段包裹体均一温度分布

Fig.11 Homogeneous temperature distribution of fluid inclusions in the Es_3^F at depths of 4 296.57 m and 4 541.45 m in Well CS1

深灰色、灰色泥岩、页岩油页岩、泥质灰岩及浅灰色粉砂岩、细砂岩组成。湖盆沉积中心发育优质烃源岩,有机质丰度高,厚度大。还发育类型多样的薄层、透镜状砂体,该砂体叠加连片,成群成带。源内油气具有自生自储的特征,源岩层中的砂体、裂缝构成源内微距运移的连通网络,油气以初次运移方式发生短距离聚集,成藏类型主要受砂体发育情况控制。在洼槽深陷区聚集形成砂岩透镜体油藏,在靠近陡坡带及洼中断裂带形成砂岩上倾

尖灭油藏和构造-岩性油藏。具有厚度小、分布范围较大、多期叠加连片、满洼分布等特点。

4.2.2 “侧向供烃-酸溶控储-背斜聚油”近源成藏模式 该成藏模式发育于沙三下亚段有效源岩层以下,沉积环境为滨浅湖-三角洲相,岩性剖面由浅灰色泥岩及浅灰色细砂岩、粉砂岩组成,下部发育紫红色泥岩。该套层段由沙三下亚段烃源岩供烃,正断层活动导致下降盘优质烃源岩与上升盘沙三下亚段中下部大规模辫状河三角洲砂体直接侧向对接,一方面烃源岩早期排烃产生有机酸,这些有机酸随地层流体进入邻近砂体后,对长石、岩屑等不稳定组分发生强烈溶蚀,显著扩大了粒间孔隙与喉道,形成以粒间溶孔为主的次生孔隙体系,从而有效改善了储集物性;另一方面这种侧向对接关系使得烃源岩生成的油气无需长距离垂向运移,即可通过断层与砂体构成的输导系统直接侧向充注进入与其相邻的优质砂体中,在近源强溶蚀形成的有利储层内高效富集,形成高产油藏。该油藏模式油气富集程度取决于烃源岩生烃能力、源储对接关系以及构造背景,一般烃源岩生烃能力越强、烃源岩与储层供烃窗口越大、构造背景越优越,油气富集程度及规模越大。该成藏模式中,由于发育大

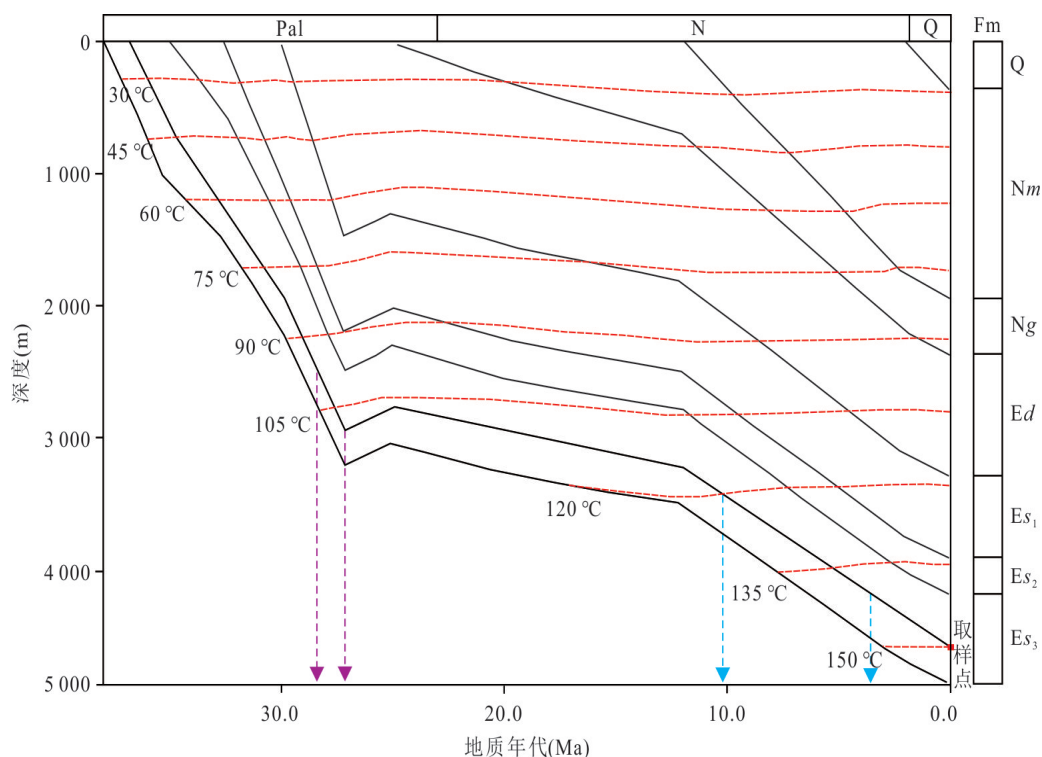


图 12 饶阳凹陷南部 CS1 井埋藏史及烃类流体充注期

Fig.12 Burial history and hydrocarbon fluid charging stages of Well CS1 in the southern Raoyang Sag

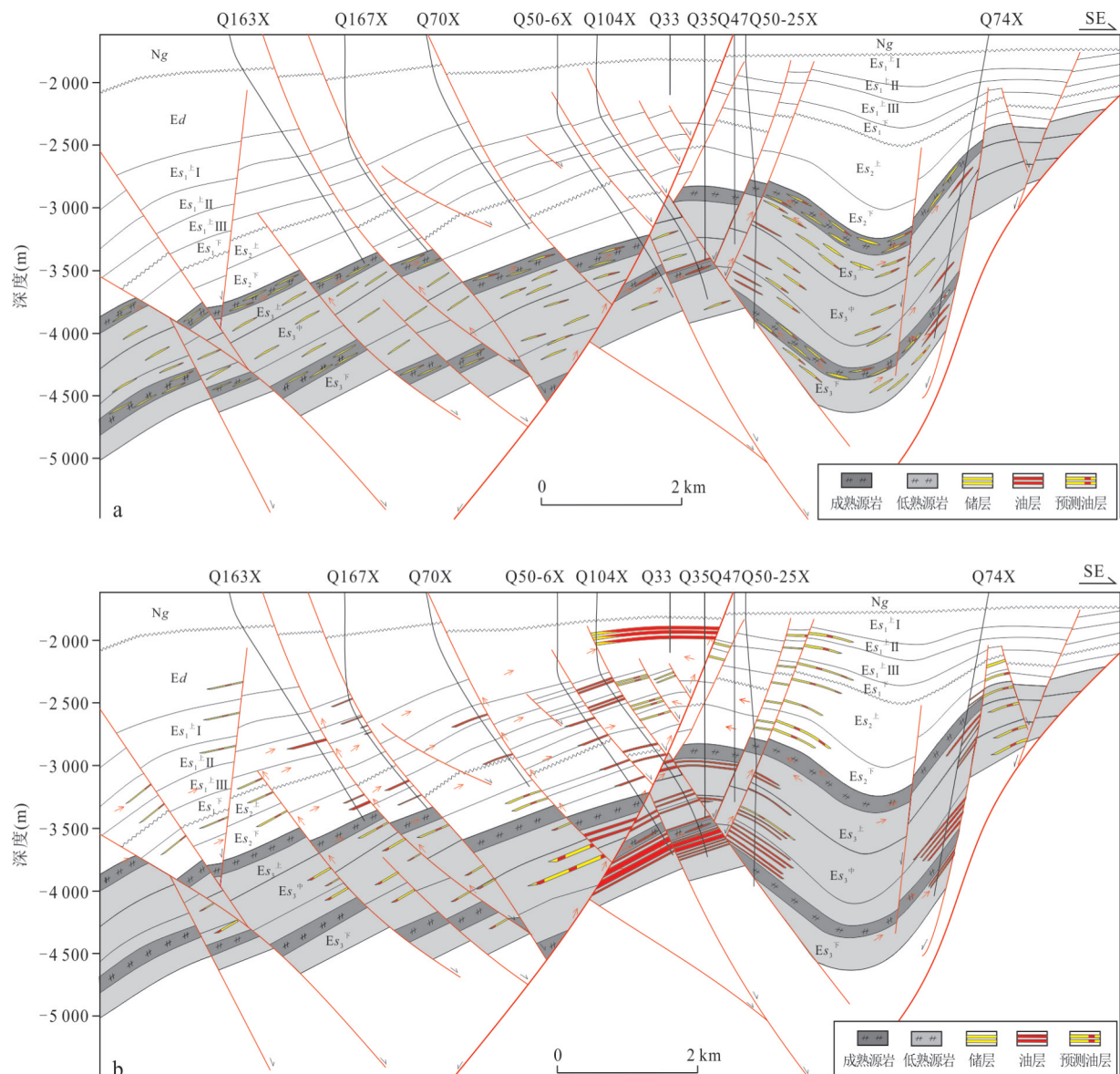


图 13 饶阳凹陷南部古近系深层油气成藏模式

Fig.13 Hydrocarbon accumulation models of deep-buried Paleogene in southern Raoyang Sag
a.“源内供烃-砂体控储-广覆发育”源内成藏模式；b.“侧向供烃-酸溶控储-背斜聚油”近源成藏模式

型三角洲砂体及储层的近源强溶蚀作用,其储层条件较好,易发现效益油藏.从宏观成藏背景看,饶阳凹陷南部拆离滑覆体系形成的杨武寨背斜、留楚背斜等多个大型背斜及断鼻,聚油背景优越,形成的优质储层被沙三下亚段优质烃源岩侧向包围,是深层油气区域上有利聚集区带.

4.3 勘探意义

在饶阳凹陷南部的勘探过程中,中浅层已实现含油连片,而沙三下亚段埋藏较深,勘探目的层单一,勘探风险较大.因此,转变勘探思路,由单一目的层转为多层系兼探,预探评价相结合,在对中浅层评价已知油藏或增加井网密度的同

时,预探杨武寨中央隆起带深层沙三下亚段新层系,在“双侧供烃-酸溶控储-背斜聚油”近源成藏模式指导下,在杨武寨构造带中央隆起带优先部署钻探 Q104X 井.测井解释 I + II 类油层共 182.8 m/60 层,其中沙三下亚段新层系钻遇 I + II 类 103.2 m/29 层.沙三下亚段 4 364.6~4 375.4 m 井段试油,油单 8 mm 放喷,日产油超 80 方,实现沙三下亚段新层系勘探突破,创下了冀中坳陷砂岩油藏 4 000 m 井深自喷日产油新纪录.后续快速建产并上交规模储量,SEC 转化率 10.8%,开辟了深层规模富集可动用的勘探新战场.

Q104X 井实现了冀中坳陷深层新层系的重大

突破,一是揭示了冀中成熟老探区深层碎屑岩领域巨大勘探潜力,为洼槽区中浅层向深层战略转移提供了信心支撑;二是验证了洼槽区“近源成藏”模式的科学性和有效性,为渤海湾盆地洼槽区类似凹陷多层系立体勘探与效益突破指明了新的方向,对老油区寻找规模储量接替具有带动意义。

5 结论

(1)饶阳凹陷南部发育大型拆离滑覆体系,形成东部、中部、西部3个大型背斜构造带,具有良好的构造背景;沙三下亚段沉积晚期,湖盆大面积发育,形成沙三下亚段半咸湖相优质烃源岩,可提供丰富油气资源;沙三下亚段沉积期,物源充足,发育大型辫状河三角洲,水下分流河道砂体和河口坝砂体为深层优势储集相带,有机酸溶蚀、油气早期充注有利于形成储层甜点,深层成藏条件有利。

(2)烃源岩发育、储层品质、构造背景的空间匹配关系形成深层两种成藏模式:“源内供烃-砂体控储-广覆发育”源内成藏模式和“双侧供烃-酸溶控储-背斜聚油”近源成藏模式。饶阳凹陷南部拆离滑覆体系形成的多个大型正向构造圈闭群,形成的优质储层双侧被沙三下亚段优质烃源岩包围,是深层油气区域上有利聚集区带。

(3)在杨武寨构造带首钻Q104X井获成功,实现沙三下亚段新层系勘探突破,发现效益富集油藏。油层厚度大,跨度广,对老区寻找规模储量接替具有带动意义。该勘探发现表明,转变勘探思路,选准勘探突破口,在勘探老区之下也会发现油气规模性突破。目前深层勘探程度较低,剩余资源量可观,找准勘探关键因素,勘探老区依然具备较大勘探潜力。

References

- Adepehin, E. J., Ali, C. A., Zakaria, A. A., et al., 2019. Occurrences and Characterisation of Textural and Mineralogical Heterogeneities in Analogue Reservoir Sandstones: Case Study of the Onshore Central Sarawak, NW Borneo. *Arabian Journal of Geosciences*, 12(16): 536. <https://doi.org/10.1007/s12517-019-4705-5>
- Cao, Z. C., Geng, F., Zhu, H., et al., 2025. Mechanism of Deep and Ultra-Deep High-Quality Reservoirs and Hydrocarbon Exploration Significance in the Cretaceous Yageliemu Formation of the Yakela Fault-Uplift Area, Northern Tarim Basin. *Chinese Journal of Geology* (*Scientia Geologica Sinica*), 60(6): 1746—1762 (in Chinese with English abstract).
- Gong, X., Zheng, L. Q., Xiong, W. L., et al., 2025. Basic Geological Conditions and Accumulation Models of Deep Oil and Gas Reservoirs in the 27-W Structure of Huizhou Sag. *Petroleum Geology and Engineering*, 39(2): 59—64, 72 (in Chinese with English abstract).
- Hao, F., Zhou, X. H., Zhu, Y. M., et al., 2022. Method and Application of Reservoir Unit Division in Continental Faulted Lacustrine Basin: An Example from the L70 Fault Block in Raoyang Sag. *ACS Omega*, 7(43): 38627—38640. <https://doi.org/10.1021/acsomega.2c04124>
- He, Z. L., Ma, Y. S., Zhu, D. Y., et al., 2021. Theoretical and Technological Progress and Research Direction of Deep and Ultra-Deep Carbonate Reservoirs. *Oil & Gas Geology*, 42(3): 533—546 (in Chinese with English abstract).
- Hou, F. X., Liu, J. W., Li, X. W., et al., 2017. Practice of Secondary Exploration in Raoyang Depression of Jizhong Depression. *China Petroleum Exploration*, 22(5): 21—32 (in Chinese with English abstract).
- Jia, C. Z., 2023. Key Scientific and Technological Problems of Petroleum Exploration and Development in Deep and Ultra-Deep Formation. *Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science)*, 47(5): 1—12 (in Chinese with English abstract).
- Jiang, Y. L., Zhang, W. J., Liu, H., et al., 2018. Properties of Fluid Inclusions and Periods of Hydrocarbon Accumulation in Paleogene Reservoirs in Raoyang Depression. *Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science)*, 42(4): 23—33 (in Chinese with English abstract).
- Jin, F. M., Zhang, K. X., Wang, Q., et al., 2018. Formation Mechanisms of Good-Quality Clastic Reservoirs in Deep Formations in Rifted Basins: A Case Study of Raoyang Sag in Bohai Bay Basin, East China. *Petroleum Exploration and Development*, 45(2): 247—256 (in Chinese with English abstract).
- Li, X. W., Jiang, S., Shi, Y. P., et al., 2025. Characterization and Genetic Mechanism of Deep Clastic Reservoirs: A Case Study of Yangwuzhai Block in Raoyang Sag. *Earth Science*, 50(7): 2861—2874 (in Chinese with English abstract).
- Li, Z. J., Xiao, Y., Tian, J. Z., et al., 2024. Potentials and Favorable Directions for New Fields, New Types of Oil-Gas Exploration in Jizhong Depression, Bohai Bay Basin. *Acta Petrolei Sinica*, 45(1): 69—98 (in Chinese with English abstract).

- English abstract).
- Liu, J., Peng, G. R., Zhang, Z. T., et al., 2025. Geological Knowledge Innovation of Deep and Ultra-Deep Layers and Discovery of Huizhou 19-6 Billion-Ton Oilfield in Pearl River Mouth Basin. *China Offshore Oil and Gas*, 37(5): 14–26 (in Chinese with English abstract).
- Ma, X. F., Yang, D. X., Wang, J., et al., 2019. The Geological Conditions, Resource Potential and Exploration Direction of Oil in Jizhong Depression, Bohai Bay Basin. *Marine Origin Petroleum Geology*, 24(3): 8–20 (in Chinese with English abstract).
- Miao, Q. Y., 2018. Cenozoic Basin Structural Styles and Their Formation and Evolution Process in the Eastern Jizhong Depression (Dissertation). China University of Petroleum, Beijing (in Chinese with English abstract).
- Peng, G. R., Liu, P., Song, P. L., et al., 2025. Characteristics of The “Fan-Braid” Complex and Main Controlling Factors of Favorable Reservoir in the Enping Formation, Huizhou 26 Sag, Pearl River Mouth Basin. *Earth Science*, 50(8): 3199–3212 (in Chinese with English abstract).
- Song, M. S., Wang, Y. S., Hao, X. F., et al., 2021. Petroleum Systems and Exploration Potential in Deep Paleogene of the Dongying Sag, Bohai Bay Basin. *Oil & Gas Geology*, 42(6): 1243–1254 (in Chinese with English abstract).
- Sun, D. Q., Liu, X. P., Li, W. H., et al., 2022. Quantitative Evaluation the Physical Properties Evolution of Sandstone Reservoirs Constrained by Burial and Thermal Evolution Reconstruction: A Case Study from the Lower Cretaceous Baxigai Formation of the Western Yingmaili Area in the Tabei Uplift, Tarim Basin, NW China. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 208: 109460. <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2021.109460>
- Song, Y. M., Wang, C. D. T., Jiang, Y., et al., 2021. Identification and Evaluation of Three Different Types of Oil Layers in Yangwuzhai Structural Belt. *Mud Logging Engineering*, 32(2): 62–69 (in Chinese with English abstract).
- Sun, L. D., Ma, F., Jiang, H., et al., 2025. Progress and Assessment of Onshore Oil and Gas Exploration and Development in Deep to Ultra-Deep Formations. *Deep Earth Energy Science & Technology*, 1(1): 14–26 (in Chinese with English abstract).
- Wang, G. W., Chang, X. C., Yin, W., et al., 2017. Depositional and Diagenetic Controls on Deeply-Buried Eocene Sublacustrine Fan Reservoirs in the Dongying Depression, Bohai Bay Basin, China. *Marine and Petroleum Geology*, 82: 297–317. <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2017.02.014>
- Wang, Q., Hao, F., Niu, C. M., et al., 2021. Origins and Deep Petroleum Dynamic Accumulation in the Southwest Part of the Bozhong Depression, Bohai Bay Basin: Insights from Geochemical and Geological Evidences. *Marine and Petroleum Geology*, 134: 105347. <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2021.105347>
- Wang, Q. H., Cheng, X. G., Xie, H. W., et al., 2025. Multiple Décollement Model and Its Petroleum Geological Significance in Kelasu Subsalt Structural Belt, Kuqa Depression. *Earth Science*, 50(1): 97–109 (in Chinese with English abstract).
- Wang, Y. Q., Qi, J. F., Zheng, R. H., et al., 2018. Paleogene Deformation and Its Control Mechanism in the Central Part of Raoyang Sag. *Geotectonica et Metallogenia*, 42(4): 628–638 (in Chinese with English abstract).
- Wu, Y. Y., Chen, Z. L., 2020. Challenges and Countermeasures for Exploration and Development of Deep CBM of South Yanchuan. *Petroleum Reservoir Evaluation and Development*, 10(4): 1–11 (in Chinese with English abstract).
- Xu, C. G., Gao, Y. D., Liu, J., et al., 2025. Discovery and Significance of the Huizhou 19-6 Billion-Ton-Level Oilfield in Deep to Ultra-deep Strata of the Pearl River Mouth Basin. *Acta Petrolei Sinica*, 46(9): 1647–1660, 1719 (in Chinese with English abstract).
- Xu, J. Q., Shen, W. F., Diao, H., et al., 2025. Assessment of Sealing Performance of Miocene Reservoirs in Xihu Sag, East China Sea Shelf Basin: A Case Study of Longjing Formation in Yuquan Structure of Central Anticline Belt. *China Offshore Oil and Gas*, 37(5): 50–61 (in Chinese with English abstract).
- Xue, H., Han, C. Y., Xiao, B. Y., et al., 2020. Characteristics of the Carbonate Cements and Their Influences on the Reservoir Pore Properties in the Middle and Deep Layers of Raoyang Sag. *Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing*, 39(1): 10–17 (in Chinese with English abstract).
- Yang, J. P., Li, Y., Li, F. Q., et al., 2018. Ancient Earthquake Records of Palaeogene Shahejie Formation in Raoyang Sag and Their Geological Significance. *Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science)*, 42(1): 1–10 (in Chinese with English abstract).
- Ye, L., Zhu, X. M., Mountney, N. P., et al., 2025. The Sedimentary Characteristics and Resource Potenti-

- tial of a Lacustrine Shallow - Water Delta on a Hanging-Wall Ramp in a Rift Basin: A Case Study from the Paleogene of the Raoyang Sag, Bohai Bay Basin, China. *Sustainability*, 17(1): 208. <https://doi.org/10.3390/su17010208>
- Zhang, X. G., Xu, G. S., Zhang, Y. M., et al., 2017. Formation Mechanism of Carbonate Cements and Its Influence on Reservoir Quality in Clastic Reservoir of Shahejie Formation, Raoyang Sag. *Mineralogy and Petrology*, 37(2): 111—119 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, X. L., Ping, H. W., Yang, X., et al., 2024. Comparison of Hydrocarbon Generation, Expulsion Periods, and Accumulation Periods of Source Rocks in Member 7 of the Yanchang Formation in the Jinghe Oilfield, Southern Ordos Basin. *Bulletin of Geological Science and Technology*, 43(1): 108—121 (in Chinese with English abstract).
- Zhao, X. Z., Jiang, Y. L., Jin, F. M., et al., 2017. Hydrocarbon Accumulation Mechanism and Model of Sub-Sags in Hydrocarbon-Rich Sag: A Case Study of Raoyang Sag in Jizhong Depression. *Acta Petrolei Sinica*, 38(1): 67—76 (in Chinese with English abstract).
- Zhao, X. Z., Jin, F. M., Wang, Q., et al., 2016. Secondary Exploration Engineering in Oil-Rich Sags of Faulted Basins. Petroleum Industry Press, Beijing (in Chinese).
- ### 中文参考文献
- 曹自成, 耿锋, 祝贺, 等, 2025. 塔里木盆地北部雅克拉断凸区白垩系亚格列木组深层-超深层优质储层发育机理及油气勘探意义. *地质科学*, 60(6): 1746—1762.
- 龚鑫, 郑立庆, 熊万林, 等, 2025. 惠州凹陷27-W构造深层油气成藏基本地质条件及成藏模式. *石油地质与工程*, 39(2): 59—64, 72.
- 何治亮, 马永生, 朱东亚, 等, 2021. 深层-超深层碳酸盐岩储层理论技术进展与攻关方向. *地质科学*, 42(3): 533—546.
- 侯凤香, 刘井旺, 李熹微, 等, 2017. 冀中坳陷饶阳凹陷二次勘探实践. *中国石油勘探*, 22(5): 21—32.
- 贾承造, 2023. 含油气盆地深层-超深层油气勘探开发的科学技术问题. *中国石油大学学报(自然科学版)*, 47(5): 1—12.
- 蒋有录, 张文杰, 刘华, 等, 2018. 饶阳凹陷古近系储层流体包裹体特征及成藏期确定. *中国石油大学学报(自然科学版)*, 42(4): 23—33.
- 金凤鸣, 张凯逊, 王权, 等, 2018. 断陷盆地深层优质碎屑岩储集层发育机理——以渤海湾盆地饶阳凹陷为例. *石油勘探与开发*, 45(2): 247—256.
- 李熹微, 蒋恕, 史原鹏, 等, 2025. 深层碎屑岩储层特征及控制因素分析: 以饶阳凹陷杨武寨地区为例. *地球科学*, 50(7): 2861—2874.
- 李志军, 肖阳, 田建章, 等, 2024. 渤海湾盆地冀中坳陷新领域、新类型油气勘探潜力及有利方向. *石油学报*, 45(1): 69—98.
- 刘军, 彭光荣, 张忠涛, 等, 2025. 珠江口盆地深层-超深层地质认识创新及惠州19-6亿吨级油田发现. *中国海上油气*, 37(5): 14—26.
- 马学峰, 杨德相, 王建, 等, 2019. 渤海湾盆地冀中坳陷石油地质条件、资源潜力及勘探方向. *海相油气地质*, 24(3): 8—20.
- 苗全芸, 2018. 冀中坳陷东部新生代盆地构造样式及形成演化过程(博士学位论文). 北京: 中国石油大学.
- 彭光荣, 刘培, 宋朋霖, 等, 2025. 珠江口盆地惠州凹陷恩平组“扇-辫”复合体发育规律及有利储层主控因素. *地球科学*, 50(8): 3199—3212.
- 宋明水, 王永诗, 郝雪峰, 等, 2021. 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. *石油与天然气地质*, 42(6): 1243—1254.
- 宋义民, 王灿丹婷, 姜勇, 等, 2021. 杨武寨构造带三种不同类型油层识别及评价. *录井工程*, 32(2): 62—69.
- 孙龙德, 马锋, 江航, 等, 2025. 陆上深层-超深层油气勘探开发进展与研判. *深地能源科技*, 1(1): 14—26.
- 王清华, 程晓敢, 谢会文, 等, 2025. 库车凹陷克拉苏构造带盐下深层多滑脱构造模式及油气地质意义. *地球科学*, 50(1): 97—109.
- 王余泉, 漆家福, 郑荣华, 等, 2018. 饶阳凹陷中部地区古近纪构造变形及控制因素. *大地构造与成矿学*, 42(4): 628—638.
- 吴聿元, 陈贞龙, 2020. 延川南深部煤层气勘探开发面临的挑战和对策. *油气藏评价与开发*, 10(4): 1—11.
- 徐长贵, 高阳东, 刘军, 等, 2025. 珠江口盆地深层-超深层惠州19-6亿吨级油田发现及其意义. *石油学报*, 46(9): 1647—1660, 1719.
- 徐靖琦, 沈伟锋, 刁慧, 等, 2025. 东海陆架盆地西湖凹陷中新统气藏封盖性能评价——以中央背斜带玉泉构造龙井组为例. *中国海上油气*, 37(5): 50—61.
- 薛辉, 韩春元, 肖博雅, 等, 2020. 饶阳凹陷中深层碳酸盐胶结物特征及其对储层孔隙特征的影响. *大庆石油地质与开发*, 39(1): 10—17.
- 杨剑萍, 李亚, 李凤群, 等, 2018. 饶阳凹陷古近系沙河街组古地震记录及地质意义. *中国石油大学学报(自然科学版)*, 42(1): 1—10.
- 张新桂, 徐国盛, 张以明, 等, 2017. 饶阳凹陷沙河街组碎屑岩储层碳酸盐胶结物形成机制及其对储层质量的影响. *矿物岩石*, 37(2): 111—119.
- 张新乐, 平宏伟, 杨鑫, 等, 2024. 鄂尔多斯盆地南缘泾河油田长7段烃源岩生、排烃期与油气成藏期对比. *地质科*

技通报,43(1): 108—121.

油学报,38(1): 67—76.

赵贤正, 蒋有录, 金凤鸣, 等, 2017. 富油凹陷洼槽区油气成藏机理与成藏模式——以冀中坳陷饶阳凹陷为例. 石油学报, 40(1): 1—10.

赵贤正, 金凤鸣, 王权, 等, 2016. 断陷盆地富油凹陷二次勘探工程. 北京: 石油工业出版社.

《地球科学》

2026年8月 第51卷 第8期 要目预告

深海保压取心球阀驱动力影响机理与预测模型	秦如雷等
野外岩石取样机器人多模态融合环境感知方法	何佳琪等
云边端协同高端钻探装备智能运维体系架构	厉瞳瞳等
大洋钻探井下流体取样离心泵流动特性及性能解析	吴川等
基于地质特征引导多源探测信息融合的岩体完整性预报方法	吴炼等
固液侵入条件下智能堵漏钻井液剪切增稠响应特性研究	孙平贺等
基于双层 CNN-LSTM 的地质钻进过程钻速建模	孙皓等
高端油气钻探装备智能安全运维关键技术研究	孙雪皓等