

引用格式: 邵浩, 余文端, 臧素华, 等. 苏北盆地溱潼凹陷古近系戴一段油气富集规律[J]. 油气藏评价与开发, 2023, 13(6): 844-854.

TAI Hao, YU Wenduan, ZANG Suhua, et al. Hydrocarbon enrichment regularity of the first member of Paleogene Dainan Formation in Qintong Sag, Subei Basin[J]. Petroleum Reservoir Evaluation and Development, 2023, 13(6): 844-854.

DOI: 10.13809/j.cnki.cn32-1825/te.2023.06.016

苏北盆地溱潼凹陷古近系戴一段油气富集规律

邵浩, 余文端, 臧素华, 史梦君, 敬晓波, 孙伟

(中国石化华东油气分公司, 江苏南京 210019)

摘要: 苏北盆地溱潼凹陷戴一段埋藏浅、物性好, 是发掘优质储量的主力勘探层系。研究应用层序地层学、沉积学、地球化学等基础理论、技术方法, 综合地震、钻井岩心及测井等资料, 开展溱潼凹陷戴一段层序地层格架下沉积微相和油气成藏条件综合分析, 研究表明: 扇三角洲前缘相带是岩性油藏发育有利区, 纵向上最大湖泛面附近砂泥岩互层段为最优储盖组合, 戴一段油气成藏受构造背景、沉积相带及区域走滑构造带共同控制, 主要发育2大类、5小类油藏, 经钻探证实, 发现了规模整装构造—岩性油藏, 勘探成效显著。

关键词: 苏北盆地; 溱潼凹陷; 古近系; 戴一段; 富集规律

中图分类号: TE37

文献标志码: A

Hydrocarbon enrichment regularity of the first member of Paleogene Dainan Formation in Qintong Sag, Subei Basin

TAI Hao, YU Wenduan, ZANG Suhua, SHI Mengjun, JING Xiaobo, SUN Wei

(Sinopec East China Oil & Gas Company, Nanjing, Jiangsu 210019, China)

Abstract: The first member of the Dainan Formation in the Qintong Sag of the Subei Basin, characterized by its shallow burial and excellent physical properties, is identified as a key exploration target for high-quality hydrocarbon reserves. This study applies basic theories and technical methods such as sequence stratigraphy, sedimentology, and geochemistry, and integrates seismic, drilling core, and logging data to conduct a comprehensive analysis of sedimentary microfacies and oil and gas accumulation conditions under the sequence stratigraphic framework of the first member of Dainan Formation in Qintong Sag. The study shows that the fan delta front facies belt is a favorable area for the development of lithologic oil reservoirs, and the sand shale interbed near the largest lake flooding surface is the optimal reservoir cap combination vertically. The formation of oil and gas reservoirs in the first member of Dainan Formation is jointly controlled by the structural background, sedimentary facies belts, and regional strike slip structural belts. The study categorizes the oil reservoirs into two major categories and five subcategories. After drilling, it has been confirmed that large-scale integrated structural lithologic oil reservoirs have been discovered, and the exploration results are significant.

Keywords: Subei Basin; Qintong Sag; Paleogene; first member of Dainan Formation; enrichment regularity

经历50多年的勘探开发, 溱潼凹陷已进入中—高勘探程度, 油气发现难度越来越大, 为实现该区可持续发展, 亟需转变勘探思路, 加强岩性勘探, 寻找优质储量区。古近系戴南组一段(简称戴一段)具有

埋藏浅、物性好、单井产量高的特点, 一直是苏北盆地最重要的勘探层系^[1-4]。溱潼凹陷戴一段已发现探明地质储量占溱潼凹陷总探明储量的23%, 原油年产量约占溱潼凹陷总产量的30%。前期按照“构造

收稿日期: 2023-05-19。

作者简介: 邵浩(1981—), 男, 硕士, 高级工程师, 主要从事油气地质综合研究。地址: 江苏省南京市建邺区江东中路375号金融城9号楼, 邮政编码: 210019。E-mail: taihao01@163.com

基金项目: 中国石化勘探导向项目“苏北盆地增储区带评价与有利目标优选”(YTBXD-CGKT-2022-001-005-HD); 中国石化华东油气分公司科技项目“溱潼凹陷西斜坡三垛组、戴南组潜力分析及目标评价”(HDF/KJ2021-11)。

高带找油”的思路先后发现储家楼、草舍等一批构造油藏,2010年以后,开始转向岩性勘探,虽然发现帅垵和陈家舍油田,但探井成功率仅为20%左右,综合分析发现戴一段勘探存在2个难题:①戴一段纵向上未直接与有效烃源岩对接,成藏条件苛刻;②戴一段发育扇三角洲沉积,砂体较发育,横向变化快,有利勘探区带不明确。目前未对溱潼凹陷戴南组油气成藏特征开展系统研究,油气富集规律和有利勘探方向不明确,拟通过开展沉积微相、成藏条件研究,明确油气富集规律,结合多元化手段,预测有利勘探区带,以期为进一步油气勘探部署提供依据。

1 区域地质特征

溱潼凹陷位于苏北盆地东台坳陷东南部,处于吴堡低凸起与泰州凸起之间,与高邮凹陷、海安凹陷相邻,面积近1200 km²,为一北东东向展布的南断北超的箕状断陷,该凹陷由南往北可划分为:断阶带、深凹带、斜坡带3个构造单元(图1)。新生界沉积厚度达6000 m,自下而上发育的地层为:古近系泰州组、阜宁组、戴南组、三垛组,新近系盐城组及第四系东台组。

溱潼凹陷主要经历了仪征运动、吴堡运动、真武运动和三垛运动4次构造运动,奠定了凹陷走滑伸展断拗和走滑伸展断陷2个重要发展阶段^[5]。燕山尾幕的仪征运动时期,区域性不均衡抬升作用使隆起地区下侏罗统一上白垩统巨厚红色碎屑岩、火山碎屑岩建造遭受强烈剥蚀,初步奠定了区内凹凸相间的格局;吴堡运动时期,进入强烈拉张、快速下降断拗阶段,凹陷早期充填一套冲积河流相的粗碎屑建造,随后水体不断加深,交替发育了湖泊三角洲沉积体系;真武运动时期,凹陷进入伸展断陷发展时期,湖盆整体抬升,断裂活动、火山活动加强,湖盆分割成箕状小断陷盆地;三垛运动使凹陷又一次抬升,垛二段受到侵蚀,凹陷格局基本定型。依据沉积旋回、岩性组合和岩石矿物特征,戴南组分为上、下2段。上部的戴二段顶部和底部以浅灰色细砂岩、粉砂岩为主,夹棕色、红色泥岩,上部的戴二段中部以棕色、红色泥岩为主,夹浅灰色粉砂岩、泥质粉砂岩,斜坡带基本剥蚀殆尽,仅在深凹带保存,最厚可达500 m;下部的戴一段呈下粗上细的沉积特征,主要为棕色、灰色砂岩、砂砾岩夹薄层灰色泥岩,分布范围相对较广,最厚可达300 m,在斜坡带遭受局部剥蚀,是区域重要的勘探层系。

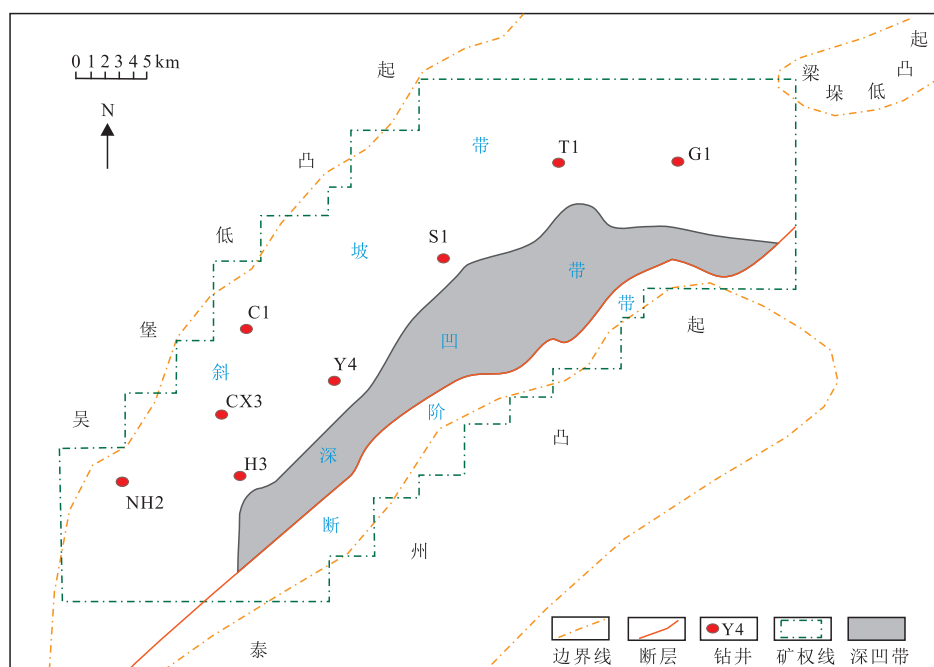


图1 溱潼凹陷构造单元划分
Fig. 1 Structural unit division of Qintong Sag

2 层系地层格架

2.1 层系界面

三级层序界面是由盆地边缘的不整合面及与其对应的盆地内部的整合面组成,在盆地范围内可追踪对比,受构造活动控制^[6]。依据地震、测井及钻井资料,识别出戴一段2个层序界面。戴一段底界面(SB30界面)是吴堡运动不整合面,超覆于阜宁组四段(简称阜四段)之上,地震剖面上具明显变化,界面之上为上超或下超反射,界面之下为削截反射,表现为强反射,连续性好。钻井揭示SB30界面上、下岩性、岩相存在突变,界面之下发育阜四段半深湖—深湖相灰黑色泥岩,之上发育戴一段灰色砂砾岩、含砾砂岩、细砂岩,测井曲线表现为突变接触,为区域上普遍发育的构造沉积间断面。戴一段顶界面(SB24界面)是戴一段与戴二段的分界线,界面之下发育灰色、深灰色泥岩,之上发育戴二段灰色细砂岩,自然伽马、自然电位及声波时差等测井曲线发生突变(图2、图3)。

2.2 体系域划分

初始湖泛面和最大湖泛面的识别是体系域划分的关键,低位体系域与湖扩体系域之间的界面为初始湖泛面,测井曲线总体表现为向上变细的正旋回特征。研究区戴南组初始湖泛面处岩性发生明显突

变,由灰色砂砾岩、细砂岩变为灰色泥岩,具有高伽马(104 API)、高自然电位(76 mV)、低电阻($0.74 \Omega \cdot m$)、高声波时差($407 \mu s/m$)的测井曲线特征。湖扩体系域与高位体系域之间的界面为最大湖泛面,测井曲线总体表现为向上变粗的反旋回特征。最大湖泛面处在地震剖面上表现为一套连续—较连续的中强振幅反射,横向可连续追踪,由灰色细砂岩、灰色泥岩变为连续的灰色泥岩,具有高伽马(106 API)、高自然电位(76 mV)、低电阻($1.5 \Omega \cdot m$)、高声波时差($460 \mu s/m$)的测井曲线特征(图3)。

2.3 层序划分

依据岩心、地震和测井等资料约束下的层序和体系域界面识别,对区内多口钻井进行层系精细划分,建立区内层系地层格架。戴一段可划分为1个三级层序,包含3个体系域:低位体系域、湖扩体系域和高位体系域。受成盆期强烈拉张作用影响,层序格架内各体系域地层分布具“东南厚、西北薄”的特征,沉积中心位于凹陷东南部,斜坡带局部遭受剥蚀。低位体系域对应戴一段“底块砂”,砂地比较高,岩性主要为灰色、棕红色厚层状砂砾岩、含砾砂岩、细砂岩夹薄层棕红色、灰色泥岩。地层厚度横向变化较大,介于0~200 m;湖扩体系域对应戴一段中部,岩性以灰色、灰黑色泥岩为主,夹薄层状灰色细砂岩、粉砂岩,区内分布稳定,厚度介于0~60 m;高位体系域对应戴一段上部,岩性主要为灰色薄层状细砂岩及

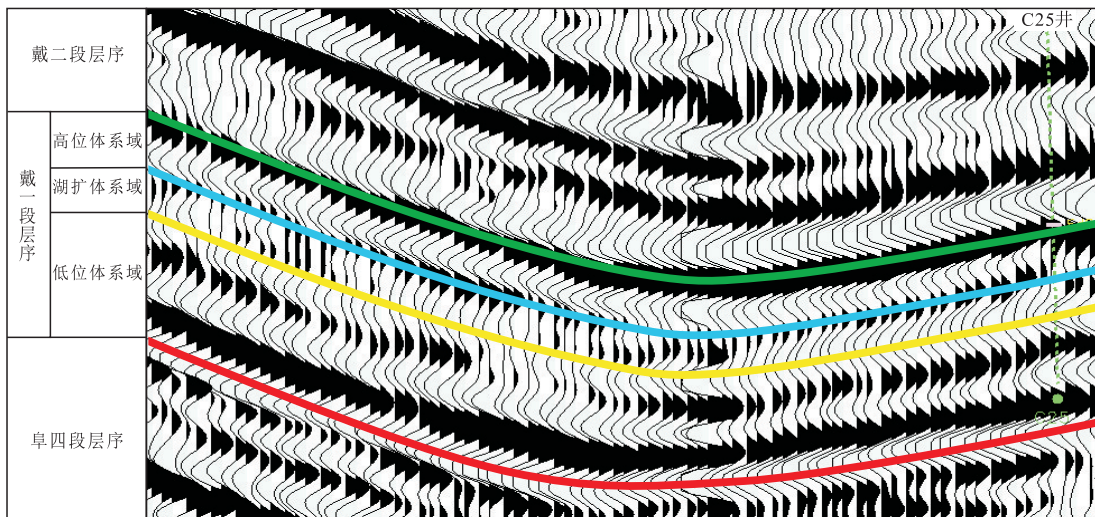


图2 溱潼凹陷过C25井地震层序划分剖面

Fig. 2 Comparison profile of seismic sequence division cross well C25 in Qintong Sag

灰色(局部棕色)泥岩,地层厚度介于0~65 m(图3)。

3 沉积相及储层特征

3.1 沉积相特征

沉积相控制着储层的发育和分布,对油气勘探具有重要的意义^[7]。综合地岩心、地震、测井及分析

化验等资料,认为溱潼凹陷戴一段发育扇三角洲沉积体系,主要由扇三角洲平原等3类亚相和辫状水道等6类微相组成^[8](图3、图4)。

扇三角洲平原亚相靠近物源区,主要由辫状水道微相组成,发育厚层砂砾岩、粗砂岩夹薄层泥岩。常见块状层理、冲刷面等沉积构造,水动力条件较强;测井曲线为高幅箱型特征,顶底突变接触(图3、

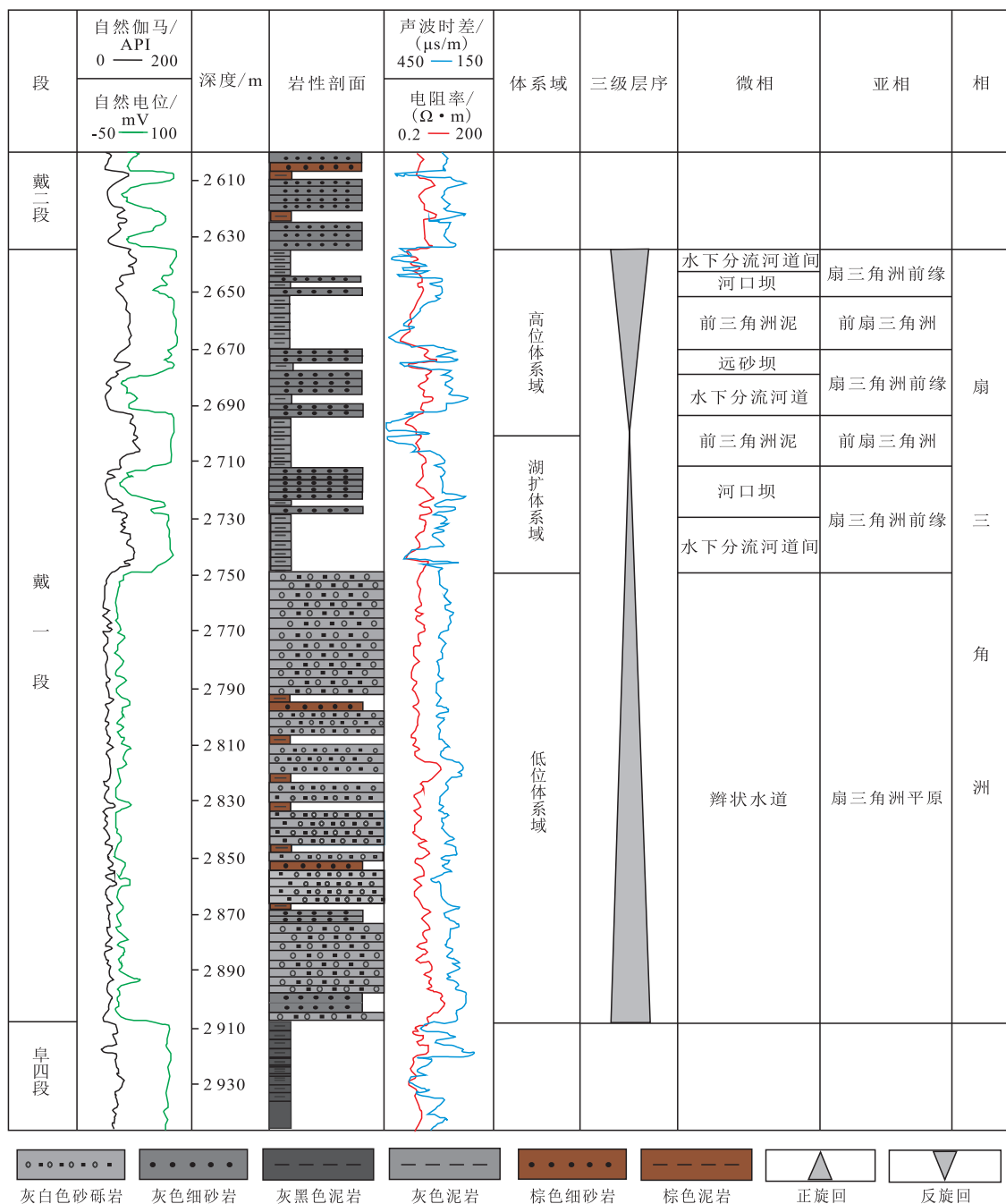


图3 溱潼凹陷L1井沉积相—层序地层柱状图

Fig. 3 Sedimentary facies—sequence stratigraphic column of well L1 in Qintong Sag

图4)。扇三角洲前缘亚相主要由水下分流河道、水下分流间湾、河口坝、远砂坝等微相组成。其中,水下分流河道水动力较强,常发育交错层理、平行层

理,主要由浅灰色含砾细砂岩和粉-细砂岩组成,具有向上变细的正粒序特征,测井曲线为中、高幅箱型-钟型;水下分流间湾以深灰色泥岩夹粉砂岩为主,测井曲线为平直形;河口坝岩性为细砂岩、粉砂岩,具有向上变粗的反粒序特征,表明水体能量逐渐增强的过程,常见波状层理、交错层理,测井曲线呈漏斗型或齿化漏斗形;远砂坝以粉砂岩、泥质粉砂岩为主,泥质含量高,测井曲线呈低幅漏斗形、指形(图3、图4)。前扇三角洲亚相远离物源,水体较深,以灰、灰色黑色泥岩为主,测井曲线为多呈平直形。

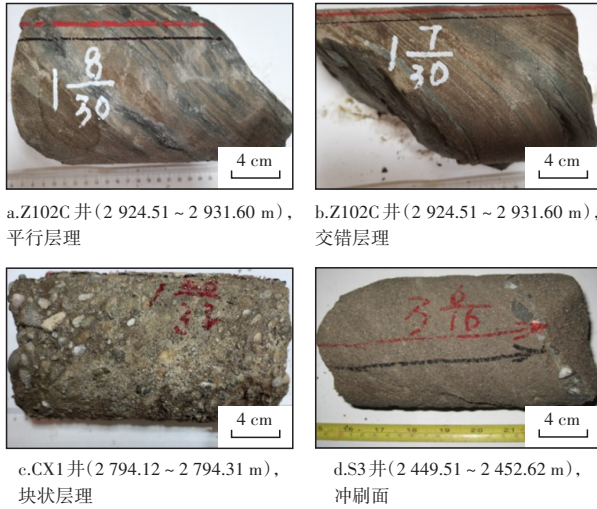


图4 溱潼凹陷戴一段沉积构造
Fig. 4 Sedimentary structure of the first member of Dainan Formation in Qintong Sag

3.2 沉积相展布规律

戴一段沉积时期,溱潼凹陷主要发育东南部的泰州凸起和东北部的广山两支物源^[9-10]。平面上,临近物源的南部时堰、储家楼次凹及东北部广山地区发育扇三角洲平原亚相。随着物源持续供给,沉积物搬运距离加大,在中部地区发育扇三角洲前缘亚相,而在西南部地区,仅发育局部物源,以湖相泥岩沉积为主(图5)。

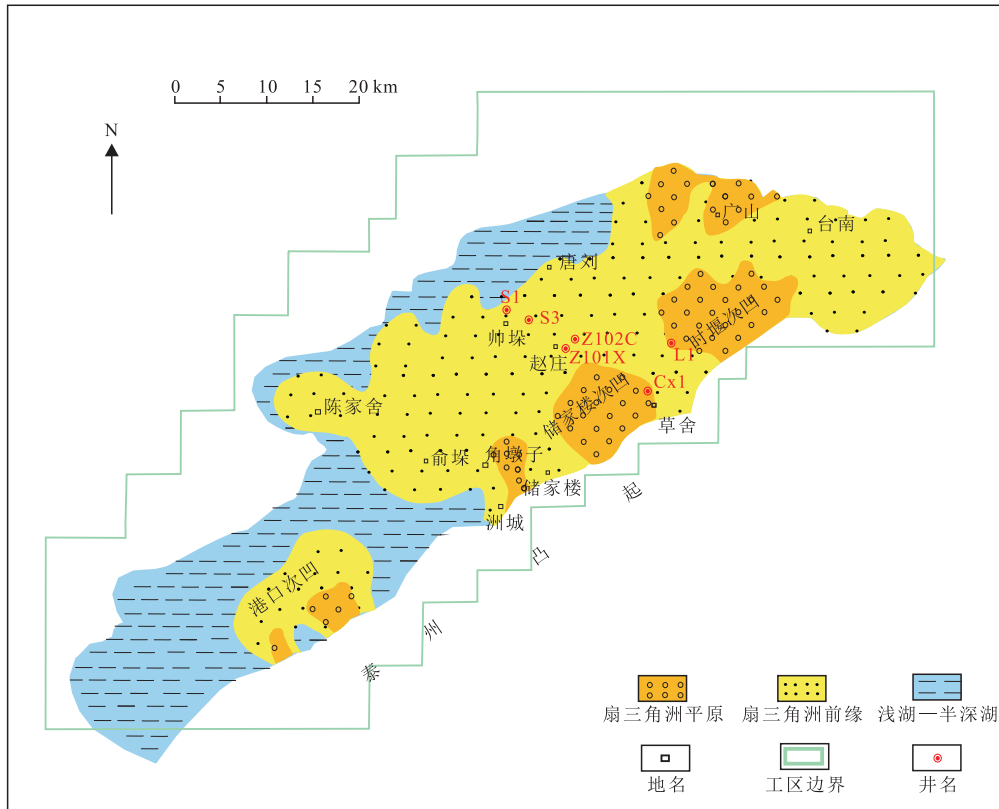


图5 溱潼凹陷戴一段沉积相图
Fig. 5 Sedimentary facies map of the first member of Dainan Formation in Qintong Sag

戴一段沉积体系受构造活动、沉积物供给及古气候控制。低位体系域时期,湖平面较低,湖盆范围仅局限分布在深凹带,扇三角洲朵叶体规模较小;湖扩体系域时期,随着湖平面的不断升高,湖盆范围逐渐扩大,可容空间不断增大,加上物源的持续供应,扇三角洲前缘一直向北西延伸至外斜坡,发育多支水下分流河道;高位体系域时期,随着湖平面的下降,湖盆范围再次缩小,扇三角洲沉积范围有所减小,外斜坡局部地区处于水上暴露状态,遭受剥蚀。高位体系域和湖扩体系域砂泥岩互层分布,含砂率适中,展布范围广,利于岩性圈闭的形成。

3.3 储层特征

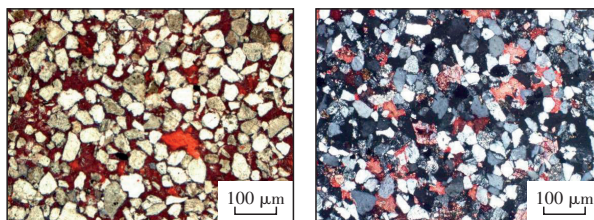
根据岩心观察和薄片鉴定结果,戴一段岩性主要发育灰色砂砾岩、含砾中—细砂岩、细砂岩、粉砂岩,泥岩主要为灰—深灰色。紧邻物源的断阶带地区主要发育砂砾岩、含砾砂岩,底部砂岩中夹杂棕红色泥岩,分选性差;斜坡带由于搬运距离远,砂岩粒度相对较细,主要发育长石石英砂岩。石英含量介于55%~67%,长石含量介于13%~26%,岩屑含量介于5%~15%,杂基含量介于5%~10%,胶结物含量介于3%~5%,以方解石为主,砂岩表现为颗粒支撑,以点接触为主,磨圆度为次棱—次圆,分选中等—好(图6)。根据岩心实测结果,戴一段孔隙度介于17.91%~34.80%,渗透率介于 $(88.7\sim 2901.9)\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$,属于中—高孔、中—高渗储层(图7)。

4 油藏类型及分布规律

根据圈闭成因和形态特征^[11],将溱潼凹陷戴一

段分为2大类5小类油藏。构造油藏细分为断鼻油藏和断块油藏;复合油藏分为构造—岩性、构造—地层油藏及地层—岩性油藏^[12]。

戴一段油藏平面展布具有较强的规律性。从断阶带到斜坡带,由于控藏因素不同,发育不同的油藏类型。东南部的断阶带地区,靠近物源,储层较发育,临近油源,由于边界断裂的持续活动,垂向输导条件较好,形成了一系列断鼻、断块油藏,油柱高度和油藏充满度较高,是溱潼凹陷构造油藏最富集区带,先后发现储家楼、洲城、草舍等油田,主要为轻质油,原油密度介于 $0.83\sim 0.86\text{ g/cm}^3$,黏度介于 $4\sim 12\text{ mPa}\cdot\text{s}$;在内斜坡带,戴一段由扇三角洲平原亚相渐变为前缘亚相,储层多为水下分流河道、河口坝等砂体,砂地比较低,有利于形成岩性油藏,油层较断阶带减少,但在输导条件较好地区,油藏充满程度较高,如帅垛油田^[13],原油主要为中质原油,密度介于 $0.87\sim 0.89\text{ g/cm}^3$,黏度介于 $34\sim 71\text{ mPa}\cdot\text{s}$;在外斜坡带,油气通过断层—砂体组合输导,由于地层的超覆尖灭,加上沉积微相的变化,部分地区砂岩相变为前扇三角洲泥岩,发育地层超覆相关油藏^[14],油层较少,油



a.S1井,井深2 433.62 m,长石石英砂岩 b.S3井,井深2 450.16 m,长石石英砂岩

图6 溱潼凹陷戴一段砂岩薄片

Fig. 6 Thin section of sandstone in the first member of Dainan Formation in Qintong Sag

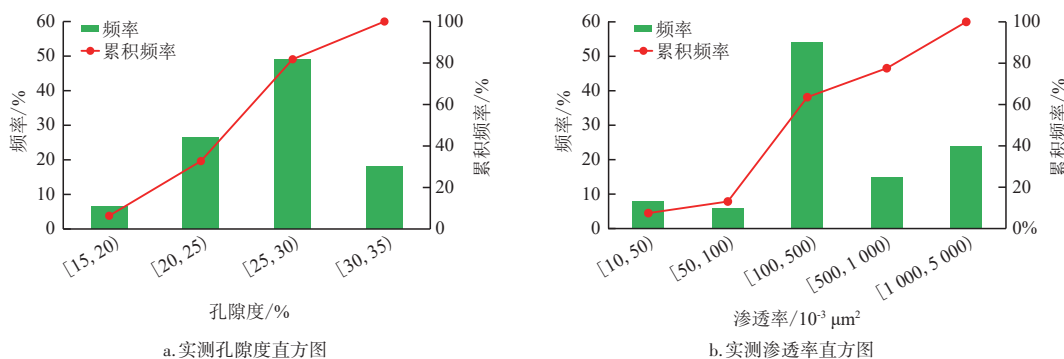


图7 溱潼凹陷戴一段储层实测孔隙度与渗透率直方图

Fig. 7 Measured porosity and permeability histogram of the first member of Dainan Formation in Qintong Sag

藏规模较小,原油密度介于0.91~0.92 g/cm³,黏度介于195.54~298.36 mPa·s。

5 成藏富集规律

5.1 近源环凹的构造高带是油气富集成藏的主要场所

溱潼凹陷自上而下发育阜四段、阜二段及泰州组3套烃源岩^[15]。其中阜二段时期,苏北盆地为广盆沉积,咸化背景下半深—深湖相烃源岩厚度大(200~450 m),分布广,具有排烃早、时间长、效率高的特点,具备生成规模油气的物质基础^[16-17]。油源对比表明:溱潼凹陷绝大部分油气主要来自阜二段烃源岩,仅在断阶带局部油藏存在混源特征(图8)。

戴一段油藏主要围绕生油深凹环带分布,油气易通过断层垂向运移,含油层位多,从戴一段I亚段到Ⅲ亚段均有成藏,油气充满程度高。因此,环凹的

构造高带是油气运移的指向区,也是油气富集的有利场所。

5.2 圈闭和主成藏期的良好耦合关系是成藏的关键

根据区域应力场与构造演化综合分析,溱潼凹陷主要发育吴堡和三垛早晚两期断层(图9)。在吴堡运动期,受到近北北西—南南东向的拉张应力作用,区内发育一系列近东西向或北北东向延伸的反向正断层,大部分向上消失于阜宁组顶面,少部分后期持续活动,控制凹陷的构造格局和油气分布;在三垛运动期,受持续右旋拉张应力作用,区内发育一系列北东东或近东西向正断层,大部分为顺向正断层。大部分断层断距小,纵向延伸短,仅在阜宁组顶面不整合面之上,控制圈闭形成。局部三垛期断层向下切穿阜宁组顶面至阜宁组—泰州组,直接沟通了构造层的油气,成为重要的导油断裂。戴一段圈闭主要形成于真武及三垛运动早期,而区内油气生排

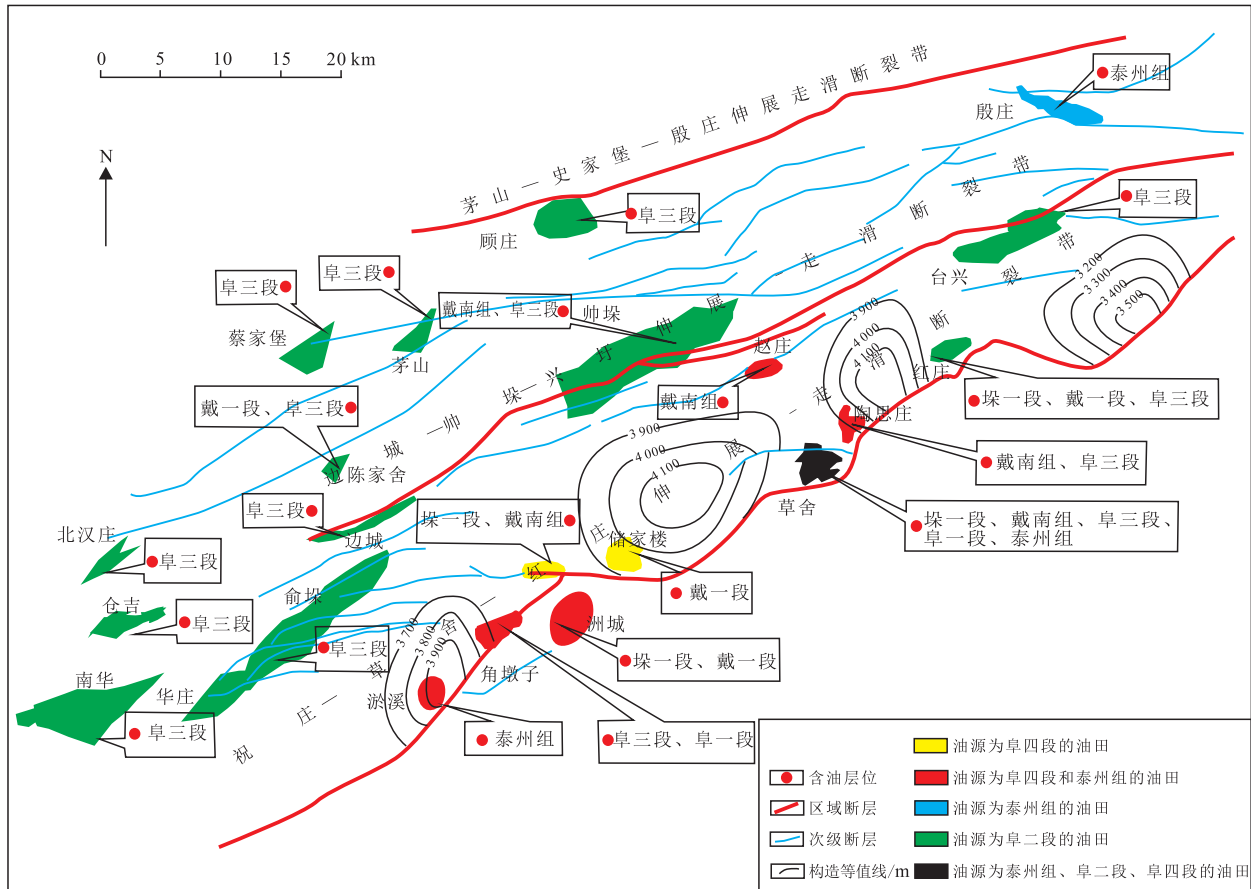


图8 溱潼凹陷主要油藏油源分布

Fig. 8 Oil source distribution map of main reservoirs in Qintong Sag

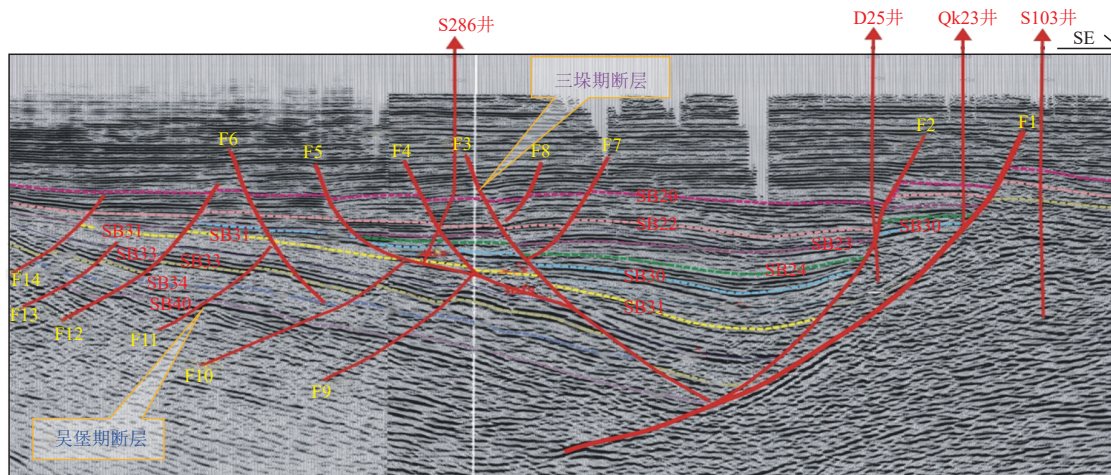


图9 溱潼凹陷断层期次划分
Fig. 9 Fault period division map of Qintong Sag

烃期在三垛组末期,盐城组时期达到高峰^[17-18],因此,戴一段圈闭主定型期晚于区域主成藏期,油气成藏耦合条件较好。

5.3 区域走滑断裂构造带控制了油气富集、调整

受邻庐断裂活动的影响,苏北盆地发育石港、汉涧、吴堡等多条走滑断裂带,控制着盆地构造格局、沉积体系、圈闭形成和油藏分布富集^[19-24]。溱潼凹陷先后经历走滑伸展断拗和走滑伸展断陷2个阶段,大量发育伸展-走滑构造样式,反映了其受伸展-走滑应力双重控制的特点,平面上表现为西部强走滑弱拉张,东部弱走滑强拉张的差异性,纵向上表现为下部地层伸展强走滑弱,上部地层走滑强伸展弱的特点。研究表明:溱潼凹陷主要发育3条伸展-走滑断裂带,自南向北依次是祝庄—草舍—红庄伸展-走滑断裂带、边城—帅垛—兴圩伸展-走滑断裂带和茅山—顾庄—殷庄伸展-走滑断裂带(图8)。围绕这些断裂带,平面上可见典型右旋走滑应力场作用下形成的雁列构造、帚状构造、“入”字形构造组合,纵向上表现为“X”形构造、花状、似花状构造。吴堡运动时期,由于区域构造伸展作用,阜三段形成大量构造圈闭,与下伏的阜二段烃源岩及上覆的阜四段泥岩盖层形成良好的成藏组合。三垛运动时期,深凹带的烃源岩成熟排烃,油气优先进入阜三段形成原油藏。晚期,随着区域构造应力场的变化,走滑作用愈

发明显,伴生的大量次级断层,是油气运移特别是垂向运移的重要通道^[25]。一些早期的原生油藏遭受破坏,油气进入戴南组圈闭成藏。目前溱潼凹陷已发现的油田和含油区块主要分布在这3条伸展-走滑断裂带两侧(图8)。因此,临近生烃灶的边城—帅垛—兴圩伸展-走滑断裂带是寻找戴南组岩性油藏的有利部位。

5.4 有利沉积相带控制了油气分布和油藏类型

基准面的旋回变化控制了戴一段储盖组合的配置关系^[6]。戴一段低位体系域时期,湖平面较低,沉积物供应充足,扇三角洲平原亚相分布较广,砂体较发育,叠置连片,泥岩隔层不发育,不利于油气保存,主要发育构造油藏;湖扩体系域时,随着湖平面逐渐升高,扇三角洲朵体不断向前推进,在最大湖泛面附近发育较好的区域泥岩盖层;高位体系域时,斜坡带扇三角洲前缘地区发育多套砂泥岩互层,是岩性油藏发育的有利储盖组合。在外斜坡带,戴一段各亚段沉积依次叠置在阜宁组顶面之上,发育地层超覆相关油藏。总之,平面上,扇三角洲前缘低砂地比地区储层物性好,是戴一段油藏尤其是岩性油藏发育有利区;纵向上,最大湖泛面附近发育优质储盖组合,单砂层厚度适中,易与小断层形成良好的侧向封堵配置关系,成藏条件优越。因此,通过戴一段勘探层段由“底块砂”转到“互层段”,有望实现油气勘探

的新突破。

6 有利区带及勘探实践

6.1 有利区带

研究以构造背景、沉积体系和“断-砂”输导体系为核心,以戴一段油气富集规律为依据,开展有利勘探区带评价。在环凹近源区开展构造精细解释,重点就储层发育区的圈闭侧向封堵条件进行分析,落实构造、构造-岩性圈闭;在斜坡带构造高带和扇三角洲前缘亚相叠合区,开展储层精细预测,落实岩性目标;在外斜坡带区域伸展一走滑断裂带发育区,开展有利砂体的精细描述和戴一段地层超覆尖灭点的精细刻画,落实地层超覆尖灭相关圈闭。通过多元、多属性构造精细解释和储层预测,落实俞垛、陈家舍、赵庄3个有利区带(图10),新发现构造、复合圈

闭为30.84 km²,圈闭资源量为2 331×10⁴t。

6.2 勘探实践

2021年,针对赵庄有利区带开展勘探评价,通过开展老井复查反馈、地震资料精细处理解释,深化沉积、成藏认识,聚焦戴一段“互层段”,实施的Z101斜井戴一段测井解释油层8层,共36.7m,常规试油获52.5 t/d高产油流,打破赵家庄地区50 a历经3轮勘探11口失利井的被动局面。2022年,提交控制储量240×10⁴t,为苏北老区勘探的高效增储提供了保障(图11)。

7 结论

1) 溱潼凹陷戴一段发育扇三角洲沉积体系,其中,扇三角洲前缘相带是岩性油藏发育有利区,纵向

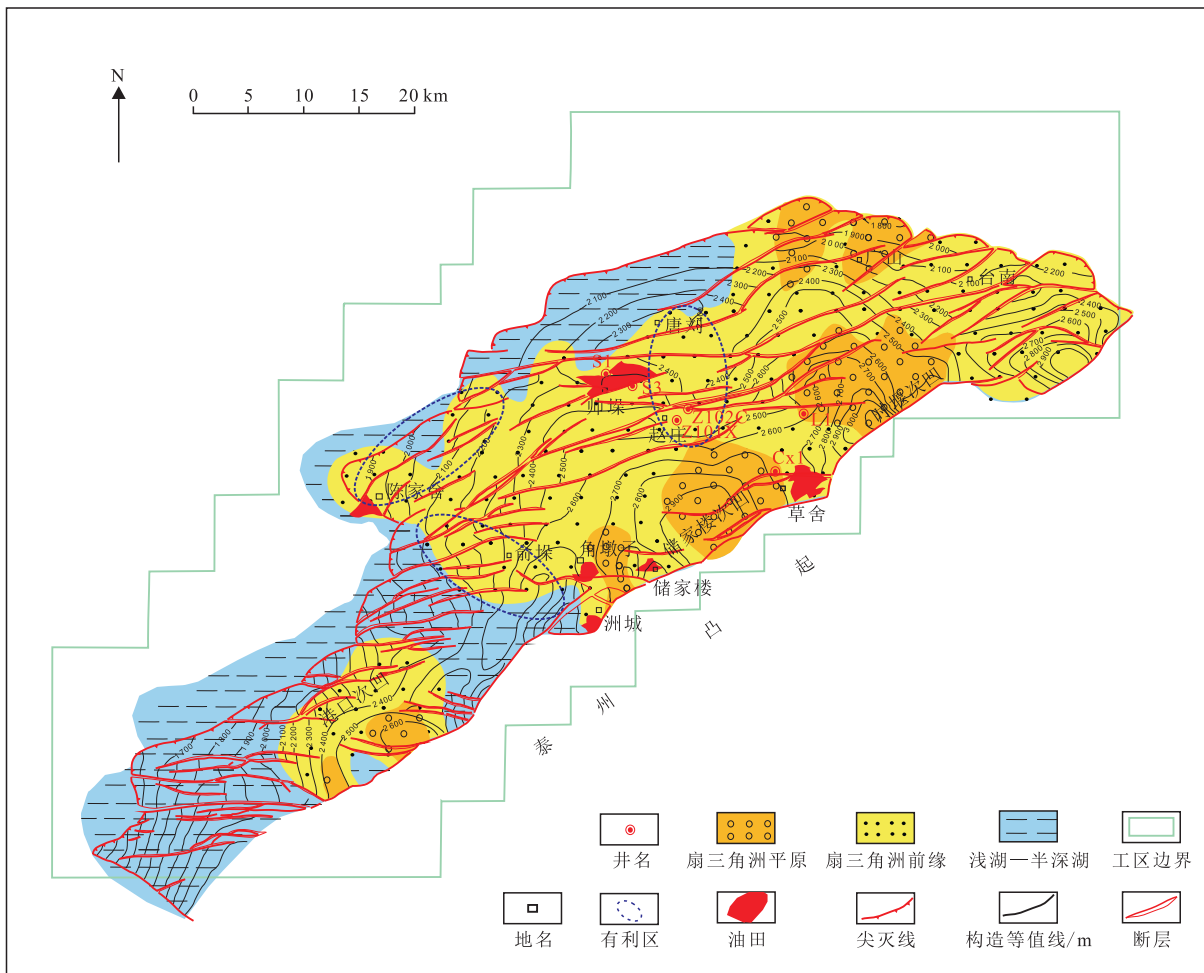


图10 溱潼凹陷戴一段有利区带分布
Fig. 10 Favorable zones distribution map of the first member of Dainan Formation in Qintong Sag

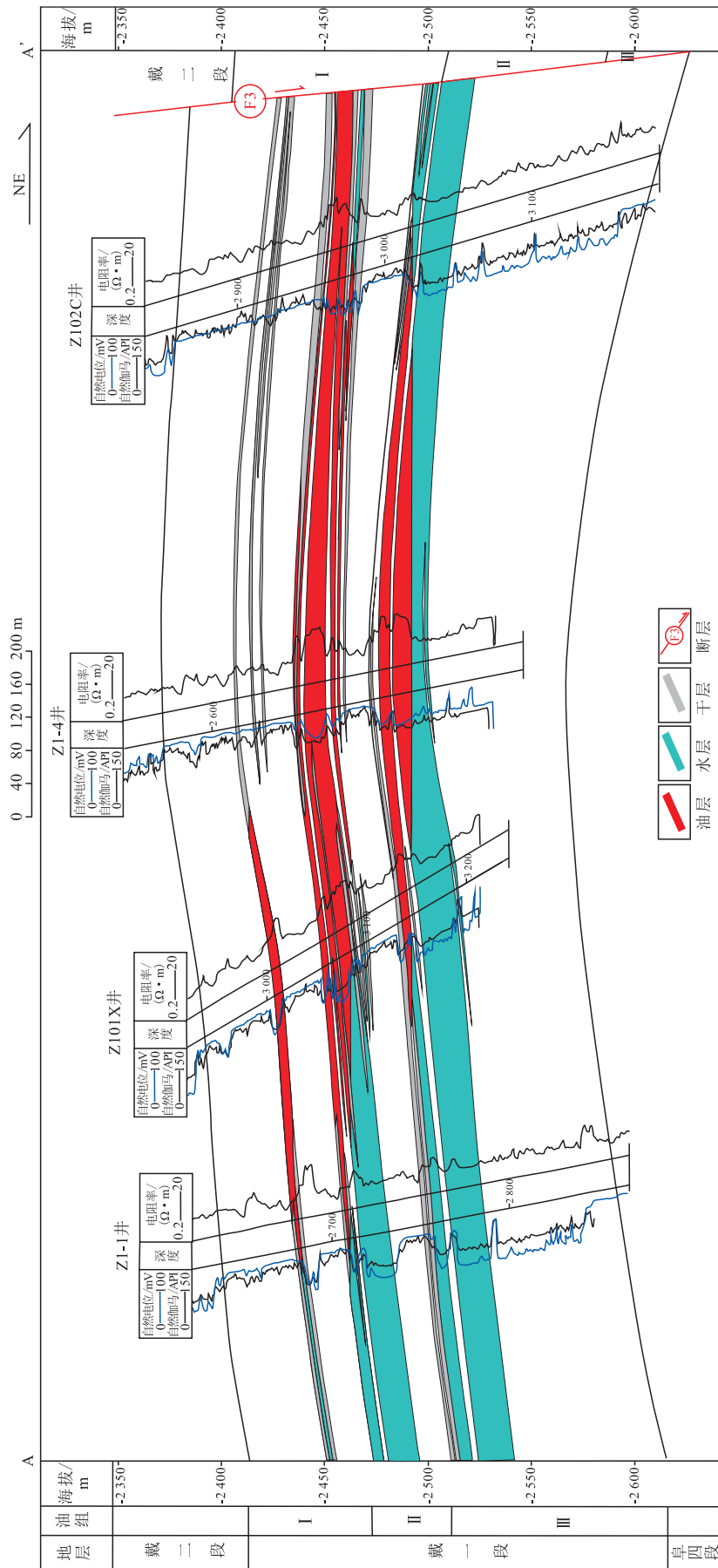


图 11 赵庄地区戴一段油藏剖面
Fig. 11 Profile map of oil reservoir in the first member of Dainan Formation of Zhaozhuang area

上湖扩体系域和高位体系域的砂泥岩互层段为最优储盖组合,成藏条件有利。

2) 戴一段主要发育2大类、5小类油藏,油藏平面分布具有较强的规律性。断阶带砂体发育,油气垂向输导条件好,主要发育构造油藏;斜坡带位于扇三角洲前缘相带,发育构造-岩性油藏;外斜坡带位于扇三角洲远端,在“断-砂”复合输导下,发育地层超覆相关油藏。

3) 戴一段油气富集受构造背景、沉积相带及区域伸展-走滑断裂带共同控制,圈闭定型早于油气主成藏期,与其形成较好的成藏耦合关系。近源环凹的构造高带输导条件较有利,是戴一段油气富集成藏的主要场所,高位体系域的扇三角洲前缘相带是岩性油藏发育有利区。3条区域伸展-走滑断裂带不仅影响了圈闭的形成,同时控制油气的富集、调整。

4) 在综合成藏分析的基础上,开展多元化构造精细解释和储层精细预测,新发现俞垛、陈家舍、赵庄3个有利区带,落实圈闭资源量为 $2\ 331\times 10^4$ t。钻探发现赵庄整装构造-岩性油藏,落实了新的高效增储上产区块。

参考文献

- [1] 陈清华,吴林,周宇成.高邮凹陷环邵伯次凹地区油气成藏条件及成藏模式[J].中国矿业大学学报,2015,44(2):282-290.
CHEN Qinghua, WU Lin, ZHOU Yucheng. Hydrocarbon accumulation conditions and modes in the area around Shaobo sub-sag, Gaoyou Sag[J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2015, 44(2): 282-290.
- [2] 李玉成.苏北盆地高邮凹陷戴南组隐蔽油气藏研究[J].石油地质,2008(1):21-27.
LI Yucheng. Reach on subtle hydrocarbon reservoirs of Dainan formation in Gaoyou sag of Subei basin[J]. Petroleum Geology, 2008(1): 21-27.
- [3] 史光辉,郑元财,周彬,等.高邮凹陷陡坡带戴南组断裂结构、沉积特征与成藏模式[J].石油天然气学报,2008,30(3):195-197.
SHI Guanghui, ZHENG Yuancai, ZHOU Bin, et al. The rift structure, sedimentary characteristic and petroleum enrichment of the Dainan Formation in Gaoyou Sag[J]. Journal of Oil and Gas Technology, 2008, 30(3): 195-197.
- [4] 巢越.金湖凹陷三河次凹戴南组油气藏烃源条件分析[J].复杂油气藏,2019,12(2):28-35.
CHAO Yue. Analysis of hydrocarbon source conditions of Dainan Formation in Sanhe Subsag of Jinhu Sag[J]. Complex Hydrocarbon Reservoirs, 2019, 12(2): 28-35.
- [5] 云露,何希鹏,花彩霞,等.苏北盆地溱潼凹陷古近系陆相页岩油成藏地质特征及资源潜力[J].石油学报,2023,44(1):176-186.
YUN Lu, HE Xipeng, HUA Caixia, et al. Accumulation characteristics and resource potential of Paleogene continental shale oil in Qintong Sag of Subei Basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2023, 44(1): 176-186.
- [6] 朱筱敏,王华,朱红涛,等.陆相层序地层学研究进展及发展关注[J].石油学报,2023,44(8):1382-1397.
ZHU Xiaomin, WANG Hua, ZHU Hongtao, et al. Research progress and development focuses of continental sequence stratigraphy[J]. Acta Petrolei Sinica, 2023, 44(8): 1382-1397.
- [7] 张喜林,朱筱敏,钟大康,等.苏北盆地高邮凹陷古近系戴南组沉积相及其对隐蔽油气藏的控制[J].古地理学报,2005,7(2):207.
ZHANG Xilin, ZHU Xiaomin, ZHONG Dakang, et al. Sedimentary facies and its controlling on subtle oil and gas reservoirs of the Dainan Formation of Paleogene in Gaoyou Sag, Subei Basin[J]. Journal of Palaeogeography, 2005, 7(2): 207.
- [8] 薛良清,徐怀大.苏北盆地高邮凹陷戴南组沉积体系[J].石油与天然气地质,1988,9(3):297-395.
XUE Liangqing, XU Huaida. Sedimentary system of the Dainan Formation in Gaoyou Depression[J]. Oil & Gas Geology, 1988, 9(3): 297-395.
- [9] 臧素华,骆卫峰,马晓东,等.苏北盆地溱潼凹陷戴一段沉积一层序特征及其对岩性勘探的指示意义[J].海洋地质与第四纪地质,2018,38(3):107-114.
ZANG Suhua, LUO Weifeng, MA Xiaodong, et al. Depositional characteristics of the first member of Dainan formation in Qintong Sag, Subei Basin and their significance to lithological exploration[J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2018, 238(3): 107-114.
- [10] 花彩霞.溱潼凹陷西部戴一段近岸水下扇砂体分布特征及勘探潜力[J].石油地质与工程,2019,33(2):15-19.
HUA Caixia. Fan bodies distribution characteristics and exploration potential of nearshore subaqueous fans in the first member of Dainan formation in western Qintong Sag[J]. Petroleum Geology and Engineering, 2019, 33(2): 15-19.
- [11] 赵力民,赵贤正,刘井旺,等.冀中坳陷古近系地层岩性油藏成藏特征及勘探方向[J].石油学报,2009,30(4):492-497.
ZHAO Limin, ZHAO Xianzheng, LIU Jingwang, et al. Characteristics of Paleogene stratigraphic and lithologic reservoirs and its exploration direction in Jizhong Depression[J]. Acta Petrolei Sinica, 2009, 30(4): 492-497.
- [12] 颜其彬.我国非构造油气藏的类型及特征[J].西南石油学院学报,1987,9(3):1-9.
YAN Qibin. Types and characteristics of non-tectonic oil-gas pools in China[J]. Journal of Southwest Petroleum Institute, 1987, 9(3): 1-9.
- [13] 吴群,余文端,骆卫峰,等.苏北盆地溱潼凹陷岩性油藏勘探成果及启示[J].中国石油勘探,2016,21(3):99-106.
WU Qun, YU Wenduan, LUO Weifeng, et al. Achievements and recognitions of exploration in lithologic reservoirs in Qintong sag, North Jiangsu Basin[J]. China Petroleum Exploration, 2016, 21(3): 99-106.

- Blasingame production-decline analysis method considering stress sensitivity[J]. *Petroleum Science Bulletin*, 2017, 2(1): 53-63.
- [18] 陈民锋, 杨子由, 秦立峰, 等. 低渗透各向异性油藏菱形井网储量动用评价及设计优化[J]. *石油与天然气地质*, 2021, 42(5): 1223-1233.
CHEN Minfeng, YANG Ziyou, QIN Lifeng, et al. Producing reserve estimation and design optimization of rhomboid well pattern in anisotropic reservoirs of low permeability[J]. *Oil & Gas Geology*, 2021, 42(5): 1223-1233.
- [19] 陈民锋, 秦立峰, 荣金曦, 等. 低渗透应力敏感储层衰竭开发产量递减规律研究[J]. *复杂油气藏*, 2022, 15(3): 78-83.
CHEN Minfeng, QIN Lifeng, RONG Jinxi, et al. Production decline law of low permeability stress-sensitive reservoir during depletion development[J]. *Complex Hydrocarbon Reservoirs*, 2022, 15(3): 78-83.
- [20] 陈民锋, 杨子由, 杨金欣. 低渗透油藏井网整体加密调整技术界限[J]. *中国海上油气*, 2020, 32(4): 78-84.
CHEN Minfeng, YANG Ziyou, YANG Jinxin. Technical limits for the overall infilling and adjustment of well pattern in low permeability reservoirs[J]. *China Offshore Oil and Gas*, 2020, 32(4): 78-84.
- [21] 杨子由, 陈民锋, 屈丹, 等. 特低渗透各向异性油藏井网加密储量动用规律[J]. *油气地质与采收率*, 2020, 27(3): 57-63.
YANG Ziyou, CHEN Minfeng, QU Dan, et al. Reserve producing law of extra-low permeability anisotropic reservoirs with infilled well pattern[J]. *Petroleum Geology and Recovery Efficiency*, 2020, 27(3): 57-63.

(编辑 常燕)

(上接第854页)

- [14] 邱旭明. 苏北盆地高邮凹陷油气输导特征及油气分布[J]. *石油与天然气地质*, 2008, 29(4): 437-443.
QIU Xuming. Features of carrier beds and distribution of oil and gas in the Gaoyou sag, the Subei Basin[J]. *Oil & Gas Geology*, 2008, 29(4): 437-443.
- [15] 陆黄生, 秦黎明, 刘军, 等. 苏北盆地溱潼凹陷油气运聚模式[J]. *地质论评*, 2009, 55(3): 395-405.
LU Huangsheng, QIN Liming, LIU Jun, et al. Petroleum Migration and Accumulation in Qintong Sag, North Jiangsu Basin[J]. *Geological Review*, 2009, 55(3): 395-405.
- [16] 祁鹏, 张功成, 王鹏, 等. 南黄海盆地南五凹油气地质特征及成藏条件新认识[J]. *中国海上油气*, 2018, 30(4): 57-64.
QI Peng, ZHANG Gongcheng, WANG Peng, et al. New understanding of hydrocarbon geological characteristics and accumulation conditions in Nanwu sag of South Yellow Sea Basin[J]. *China Offshore Oil and Gas*, 2018, 30(4): 57-64.
- [17] POWELL T G. Petroleum geochemistry and depositional setting of lacustrine source rock[J]. *Marine and Petroleum Geology*, 1986, 3(3): 200-219.
- [18] 陆黄生, 杨永才, 刘军, 等. 苏北盆地溱潼凹陷断阶带油气藏的成藏期次[J]. *地质通报*, 2008, 27(5): 633-640.
LU Huangsheng, YANG Yongcai, LIU Jun, et al. Formation stages of petroleum accumulations in fault terrace belts of the Qintong subbasin, northern Jiangsu basin, China[J]. *Geological Bulletin Of China*, 2008, 27(5): 633-640.
- [19] 徐常贵. 渤海海域大型伸展-走滑复合断裂特征与控藏作用[J]. *中国海上油气*, 2022, 34(6): 1-11.
XU Changgui. Characteristics and reservoir controlling of large-scale extension-strike slip composite faults in Bohai sea area[J]. *China Offshore Oil and Gas*, 2022, 34(6): 1-11.
- [20] 王正, 吴林, 陈清华, 等. 高邮凹陷陈堡走滑逆断层的确定及其油气意义[J]. *西北地质*, 2021, 54(3): 206-211.
WANG Zheng, WU Lin, CHEN Qinghua, et al. Study on the Determination of the Chenbao Strike-Thrust Fault in Gaoyou Sag and Its Petroleum Significance[J]. *Northwestern Geology*, 2021, 54(3): 206-211.
- [21] 刘玉瑞, 王建. 苏北盆地复杂断块油气藏勘探与技术[J]. *江苏地质*, 2003, 27(4): 193-198.
LIU Yurui, WANG Jian. Exploration and Technology of Complex Fault Block Reservoir[J]. *Jiangsu Geology*, 2003, 27(4): 193-198.
- [22] 能源, 漆家福, 张春峰, 等. 金湖凹陷石港断层构造演化及油气聚集特征[J]. *石油学报*, 2009, 30(5): 667-671.
NENG Yuan, QI Jiafu, ZHANG Chunfeng, et al. Structural evolution of Shigang Fault and features of hydrocarbon accumulation in Jinhu Sag[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2009, 30(5): 667-671.
- [23] 刘玉瑞, 刘启东, 杨小兰. 苏北盆地走滑断层特征与油气聚集关系[J]. *石油与天然气地质*, 2004, 25(3): 279-283.
LIU Yurui, LIU Qidong, YANG Xiaolan. Relation between features of strike-slip faults and hydrocarbon accumulation in Subei basin[J]. *Oil & Gas Geology*, 2004, 25(3): 279-283.
- [24] 叶绍东. 金湖凹陷铜城断层构造特征与油气成藏[J]. *地质力学学报*, 2012, 18(2): 187-194.
YE Shaodong. Structural characteristics of Tongcheng Fault and hydrocarbon accumulation in Jinhu Sag[J]. *Journal of Geomechanics*, 2012, 18(2): 187-194.
- [25] 杨立干. 金湖凹陷古近系一段成藏条件和成藏模式研究[J]. *岩性油气藏*, 2008, 20(3): 34-39.
YANG Ligan. Petroleum accumulation in lower Dainan Formation of Paleogene in Jinhu sag[J]. *Lithologic Reservoirs*, 2008, 20(3): 34-39.

(编辑 余聪)