

渤海湾盆地饶阳凹陷馆陶组层序地层格架 及有利区带预测

刘 鹏¹, 张立强¹, 黄志佳², 宋国奇^{1,3}

(1. 中国石油大学地球科学与技术学院, 山东青岛 266580; 2. 中国石油华北油田分公司第三采油厂, 河北河间 062450;
3. 中国石化胜利油田分公司, 山东东营 257000)

摘要:以高分辨率层序地层学和沉积学理论为指导,综合运用岩心、录井、测井及地震资料,对饶阳凹陷馆陶组层序地层和沉积相进行研究,综合分析层序地层格架下的砂体展布、储盖组合与油气分布。结果表明:馆陶组可划分为 1 个长期旋回、3 个中期旋回与 7 个短期旋回;馆陶组底部两短期旋回中发育辫状河沉积,其余地层为曲流河沉积,受控于物源方向、古地貌及断裂体系,河道砂体呈近源粗带、远源细带、北北东向弯曲展布的特点;馆陶组划分为 $Ng^{3-(3+2)}/Ng^{3-1}$ 、 Ng^{2-2}/Ng^{2-1} 及 Ng^1/Nm 底部泥岩 3 套储盖组合;断层纵向输导能力强、储盖组合配置良好的留路构造带为饶阳凹陷馆陶组的有利勘探区。

关键词:层序地层; 砂体展布; 储盖组合; 有利区带; 饶阳凹陷

中图分类号:TE 121; P 539.2 **文献标志码:**A

Sequence stratigraphic framework and favorable zone prediction in Guantao Formation of Raoyang sag, Bohai Bay Basin

LIU Peng¹, ZHANG Li-qiang¹, HUANG Zhi-jia², SONG Guo-qi^{1,3}

(1. School of Geosciences in China University of Petroleum, Qingdao 266580, China;
2. 3rd Oil Production Plant, PetroChina Huabei Oilfield Company, Hejian 062450, China;
3. SINOPEC Shengli Oilfield Company, Dongying 257000, China)

Abstract: Based on the theory of high resolution sequence stratigraphy and sedimentology, the sequence stratigraphy and sedimentary facies of Guantao Formation in Raoyang sag were studied by comprehensive analysis of core data, drilling data, logging and seismic data. The distribution of reservoir, reservoir-cap combination and distribution of hydrocarbon were further analyzed. The study shows that Guantao Formation is one long-term base-level cycle, which can be divided into three intermediate-term base-level cycles and seven short-term cycles. The braided river deposits are in the two short-term cycles at the bottom of Guantao Formation and other layers are meandering fluvial deposits. Controlled by sedimentary provenance, palaeo-geomorphology and fracture systems, the river channel deposits are characterized by a NNE ribbon pattern distribution, wide belt exhibition near the provenance and narrow belt exhibition far away from the provenance. Guantao Formation can be divided into three sets of reservoir-cap combination ($Ng^{3-(3+2)}/Ng^{3-1}$, Ng^{2-2}/Ng^{2-1} , Ng^1/Nm). Because of the favorable reservoir-cap combination and structural condition, Liulu structural zone is the favorable zone of Guantao Formation in Raoyang sag.

Key words: sequence stratigraphic; sandbody distribution; reservoir-cap combination; favorable zone; Raoyang sag

饶阳凹陷属于渤海湾盆地冀中坳陷的一个次级构造单元,其作为华北油田的主要勘探区在经历了潜山与古近系的勘探高峰后,勘探程度逐渐增高,同时勘探难度也日益增大。因此,埋藏较浅、勘探程度

较低的新近系逐渐成为又一新的勘探领域,而对新近系的研究又主要集中在其主力含油层系馆陶组中。查阅文献发现,前人对饶阳凹陷的研究主要在

古近系^[1-5],对馆陶组的研究成果较少,其中沉积相初步判定为河流相^[6],层序划分方面基本处于空白状态,但层序划分及沉积相研究是开展油气勘探工作的基础,它对层序充填模式、纵向研究单元划分、有利储集体展布、油气生储盖层及有利勘探区的预测等都有重要意义^[7-11],故急需对饶阳凹陷馆陶组层序地层与沉积相进行研究。因此,笔者依据高分辨率层序地层学对饶阳凹陷馆陶组进行层序划分与等时对比,分析各层序单元的沉积相展布特征,并运用层序、沉积的研究结果划定了储盖组合,预测出有利区带,为饶阳凹陷馆陶组的油气勘探指明方向,也为饶阳凹陷馆陶组下步的其它研究提供指导和参考。

1 层序地层特征

饶阳凹陷位于冀中坳陷中部,北接霸县凹陷,南邻新河凸起,东与献县凸起相邻,西到高阳低凸起(图 1),面积约 6 300 km²。本次研究根据地震、测井及录井等资料,在井震联合标定的基础上,将新近系馆陶组划分为 1 个长期旋回、3 个中期旋回与 7 个短期旋回。

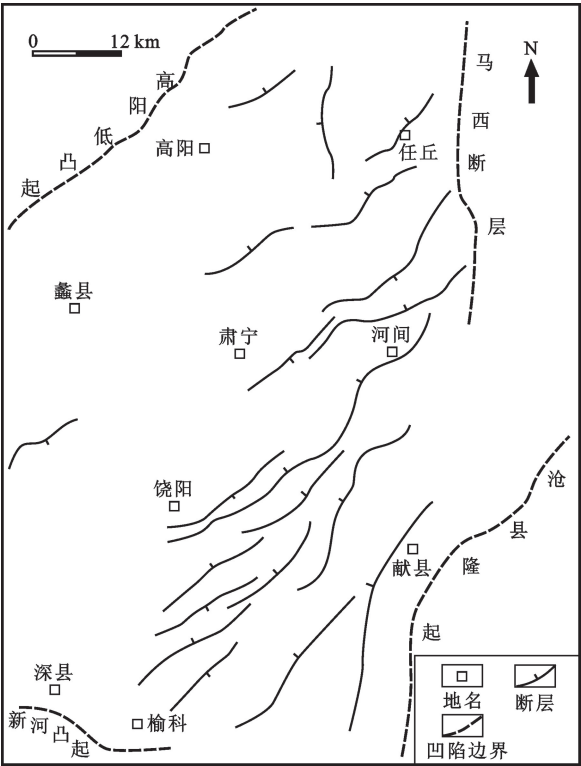


图 1 饶阳凹陷断裂系统

Fig. 1 Fault systems and location of Raoyang sag

1.1 层序界面识别与划分

在层序界面识别时,首先根据地震资料识别长

期和中期旋回界面,在此基础上依据录、测井资料识别出短期旋回界面。界面划分的依据主要有以下几个方面:①层序界面地震反射结构特征:削截、上超不整合面,中强振幅、高连续性反射同相轴;②岩性与岩相变化:岩性和岩相在垂向上的变化是界面划分的重要标志;③测井响应:自然电位及 2.5 m 电阻率曲线的突变是划分短期及中期旋回的依据。按照上述划分依据,在馆陶组顶底识别出 2 个长期旋回界面、在馆陶组内部识别出 2 个中期旋回界面及 4 个短期旋回界面。

馆陶组底界面在地震上对应 T2 反射轴,与下部东营组地层为角度不整合接触,地震剖面上可以清楚地看到削蚀和顶超现象(图 2);界面之上的馆陶组底部为大套滞留砾岩,并可见明显的冲刷侵蚀现象,为辫状河沉积,界面之下的东营组岩性以灰色或紫红色泥岩与粉细砂岩互层为主,为三角洲、湖泊沉积;在测井曲线上,界面之上 2.5 m 电阻率曲线为尖峰高阻,自然电位曲线为中、高幅箱型,而界面之下电阻率曲线呈低幅锯齿状,自然电位曲线呈中低幅指型、漏斗型或钟型。

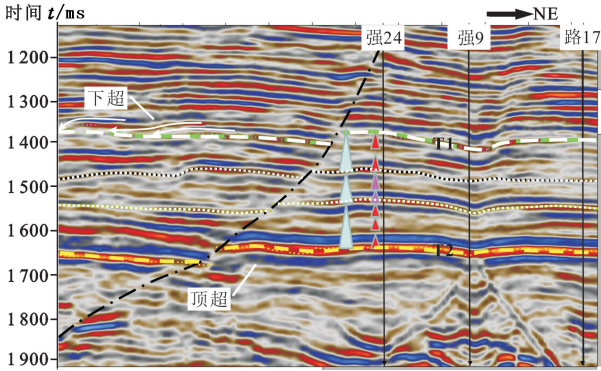


图 2 饶阳凹陷馆陶组北东向地震剖面

Fig. 2 Seismic profile from southwest to northeast in Raoyang sag

馆陶组顶界面对应 T1 地震反射轴,反射界面近水平、中等振幅、连续性较好,该界面上下没有明显的沉积间断,也没有明显的角度不整合样式,但在局部地区界面之上可见水面突然变化所产生的轻微侵蚀、下切河道及下超结构(图 2);界面上下同为河流相沉积,但沉积特点有所不同,表现为:界面之下以灰白色砂岩、粗砂岩及含砾砂岩、砾状砂岩与红色泥岩互层为特点,以砂质沉积为主,界面之上为紫红色泥岩夹棕黄色、黄色及灰色砂岩,砂岩单层厚度相对较薄,以泥质沉积为主;测井曲线上,界面之下电阻率曲线呈尖峰状高阻正异常,自然电位曲线呈中高幅钟型、箱型负异常,而界面之上电阻率曲线呈中低

阻指状、齿状正异常,自然电位曲线呈中低幅指型、波型负异常。

在识别出馆陶组顶底界两个长期旋回界面后,在其内部又识别出两个中期旋回界面,由此将馆陶组划分为 3 个中期旋回,从下到上表示为 Ng^3 、 Ng^2 、 Ng^1 。其中, Ng^3 和 Ng^2 中期旋回界面在地震上表现为中强振幅、高连续性,界面上下为整合接触;界面之下以砾岩、砂砾岩、含砾砂岩及粗砂岩为主,具“砂包泥”沉积特征,界面之上以厚层泥岩夹薄层砂岩为主,具“泥包砂”沉积特点;同时,界面上下电性特征差异明显:自然电位曲线由界面之下的箱型、钟型变为界面之上的钟型、指型,电阻率曲线由界面之下的高阻尖峰变为界面之上的低阻尖峰。 Ng^2 和 Ng^1 中期旋回界面对应的地震反射界面为中振幅、中连续性特征,界面上下为整合接触;这一界面为馆陶组中段较细砂岩和上部较粗砂岩的分界面,界面之下以中厚层紫红色泥岩夹薄层灰色、灰白色砂岩为特征,界面之上以灰白色、黄色砂岩、含砾砂岩夹紫红色泥岩为特征;界面之下,自然电位及电阻率曲线多处于泥岩基线位置,自然电位偶呈钟型、指型中低幅负异常,界面之上,电阻率曲线为中幅齿化指型、钟型,自然电位曲线为中幅钟型、箱型。

通过井震联合标定的方法识别出中、长期旋回界面之后,又利用分辨率较高的岩性及测、录井资料在 Ng^3 中识别出 2 个短期旋回界面,在 Ng^2 和 Ng^1 中各识别出 1 个短期旋回界面。短期旋回的识别标志有:①旋回的对称性;②岩相叠加样式;③小型冲刷面;④洪泛面和古土壤层。至此,把馆陶组划分为 7 个短期旋回,从下到上表示为 Ng^{3-3} 、 Ng^{3-2} 、 Ng^{3-1} 、 Ng^{2-2} 、 Ng^{2-1} 、 Ng^{1-2} 、 Ng^{1-1} (图 3)。

1.2 层序地层格架

沉积相研究对油田勘探开发具有重大的意义,而准确和精细的层序地层格架则是开展沉积相研究的基础^[12]。在对饶阳凹陷馆陶组 300 余口单井各级层序划分的基础上,结合钻井与地震层序地层特征分析,以中期旋回作为格架、短期旋回为等时地层进行了等时地层对比并建立起时间-地层格架(图 4)。

馆陶组最底部中期旋回 Ng^3 相当于馆三段,其又包括三个短期旋回。第一个短期旋回 Ng^{3-3} 沉积早期可容空间小,可容空间/沉积物供给(A/S)比值低,辫状河道发育,形成了以厚层含砾砂岩、砂岩为主的地层。第二短期旋回 Ng^{3-2} 沉积期,基准面缓慢上升、可容空间增大,泥质沉积相对增多。到第三短期旋回 Ng^{3-1} 时期基准面在短暂下降后开始上升,只

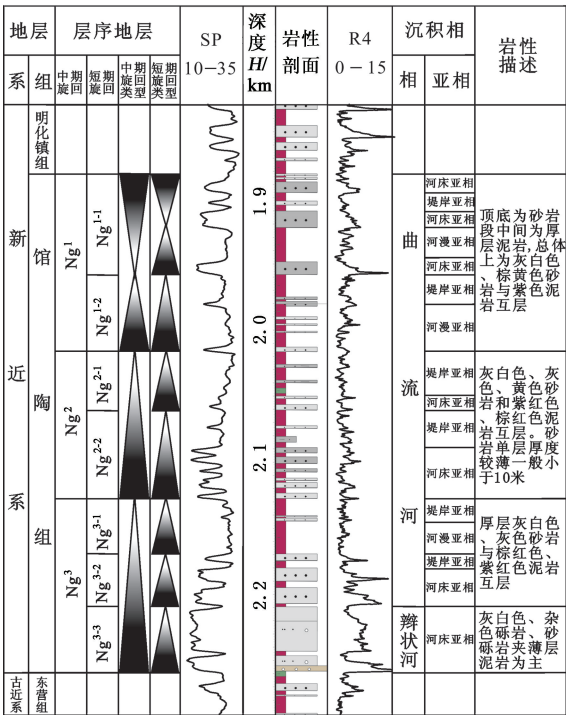


图 3 饶阳凹陷馆陶组层序及沉积相综合柱状图(路 13 井)

Fig. 3 Composite columnar section of sequence and sedimentary facies of Guantao Formation in Raoyang sag (well Lu13)

在初期有砂质沉积,到中晚期则以泥质沉积为主,反映出沉积环境由辫状河沉积过渡为以泛滥平原为主的曲流河-洪泛平原沉积,地震反射上表现为弱反射(甚至空白反射)、弱连续性与中等振幅、中等连续反射交互。

馆陶组中部中期旋回 Ng^2 相当于馆二段,其又可划分为两个短期旋回。底部短期旋回 Ng^{2-2} 沉积早期可容空间较小,可容空间/沉积物供给(A/S)比值低,河道较发育,沉积物以厚层砂岩为主,向上可容空间增大,砂层厚度变小,泥质成分增多,地震反射振幅减弱、连续性变差。到上部短期旋回 Ng^{2-1} 沉积期基准面再次下降,后持续上升,在其底部形成中薄层细砂岩,到中上部以大套泥岩为主,地震反射特征为弱反射背景下的局部中等振幅、中等连续反射。

馆陶组上部中期旋回 Ng^1 相当于馆一段,又划分为两个短期旋回。下部短期旋回 Ng^{1-2} 底部为厚层砂岩段,向上泥质含量增加并逐渐过渡为泥岩段,自然电位曲线为钟型、指型,电阻率曲线呈低幅尖峰状,齿化严重,在地震上中等振幅、中等连续性。 Ng^{1-1} 沉积期为馆陶组沉积末期,可容空间较低,河道砂岩较发育,自然电位曲线以钟型为主,部分呈指型、箱型,电阻率曲线呈中高阻,对应的地震反射轴

振幅中等、连续性好。馆陶组沉积结束后为一次较大规模的洪泛期,对馆陶组顶部地层造成了轻微侵

蚀,并在明化镇组底部沉积了厚层泥岩。

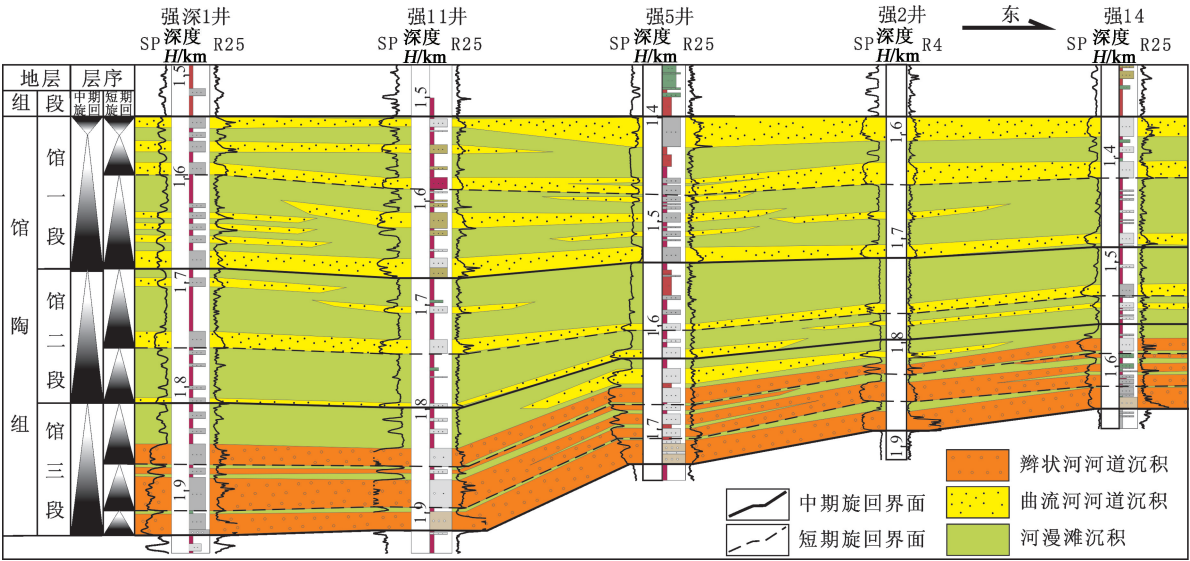


图 4 饶阳凹陷馆陶组层序格架

Fig. 4 Sequence framework of Guantao Formation in Raoyang sag

1.3 层序发育的主控因素

陆相层序地层的发育主要受控于构造运动、古地貌、古气候、沉积物供给及湖平面升降等因素^[13]。新近纪,饶阳凹陷构造活动进入了一个以拗陷为主的阶段,构造相对稳定^[6],在西高、东低、南高、北低,四周高、中间低的古地貌控制下^[14],饶阳凹陷整体处于陆上暴露环境,普遍发育的紫红色、棕红色泥岩反映了干旱-半干旱气候条件。在以上因素不起主导作用的情况下,沉积物的供给量影响着可容空间/沉积物供给比值(A/S),从而控制基准面的升降,控制着层序的发育。

在每期旋回的沉积初期,沉积物的供给量都相对较大,可容空间与沉积物供给的比值(A/S)小于1,基准面处于低位,来自各物源区的粗碎屑物质不断冲刷、侵蚀着下覆地层,形成冲刷面,并在冲刷面之上沉积了粗粒沉积物,随着时间的推移,沉积物供应量逐渐减少,A/S逐渐接近1直至大于1,形成的沉积物粒度逐渐变细并过渡到泥岩,直至下一洪泛期到来,此期沉积宣告结束。依次进行,在饶阳凹陷馆陶组形成了多期正旋回叠加样式的沉积体。

2 砂体特征及时空展布

通过对饶阳凹陷馆陶组 30 余口井近 500 m 的岩心观察及取样分析,并结合薄片鉴定、粒度分析资料,确定共发育辫状河与曲流河两种沉积相类型。

其中在纵向上,馆陶组底部 Ng³⁻³ 和 Ng³⁻² 为辫状河相,Ng³⁻¹、Ng² 以及 Ng¹ 为曲流河相。

2.1 辫状河砂体特征及时空分布

饶阳凹陷馆陶组发育的辫状河具多河道、河床坡降大、宽而浅、侧向迁移迅速等特点。按河流的微相特征,Walker^[15]和 Cant 提出了辫状河沉积的立体模型,其发育心滩是与曲流河的重要区别^[16],此外还发育河道砂岩及泛滥平原泥岩。心滩与河道砂体粒度较粗,砾岩含量较高,岩石成分复杂,主要以岩屑长石砂岩和长石砂岩为主,成分成熟度低,分选较差,磨圆次棱角状,填隙物含量一般不超过 15%,胶结类型多为孔隙式胶结。辫状河底层沉积的砂体厚度较大,发育大型槽状交错层理、板状交错层理,向上沉积物粒度略细,呈正旋回。

研究区发育的辫状河主要分布在 Ng³⁻³ 和 Ng³⁻² 两个短期旋回中,这两个短期旋回沉积期,受控于古地貌、断裂体系及物源方向,研究区广泛发育北北东向的辫状河道(图 5(a))。平面上,河道宽而浅,呈粗带状,带宽 4~10 km,在研究区北东、南西及西部近物源处,心滩砂体发育,分布范围较大,向物源汇聚的留路地区河道砂体带宽变窄^[17],厚度变小;剖面上,辫状河河道砂体单层厚度 10~30 m,呈宽/厚比较大的板状体,砂体在横向上相互联通,纵向上叠合连片。

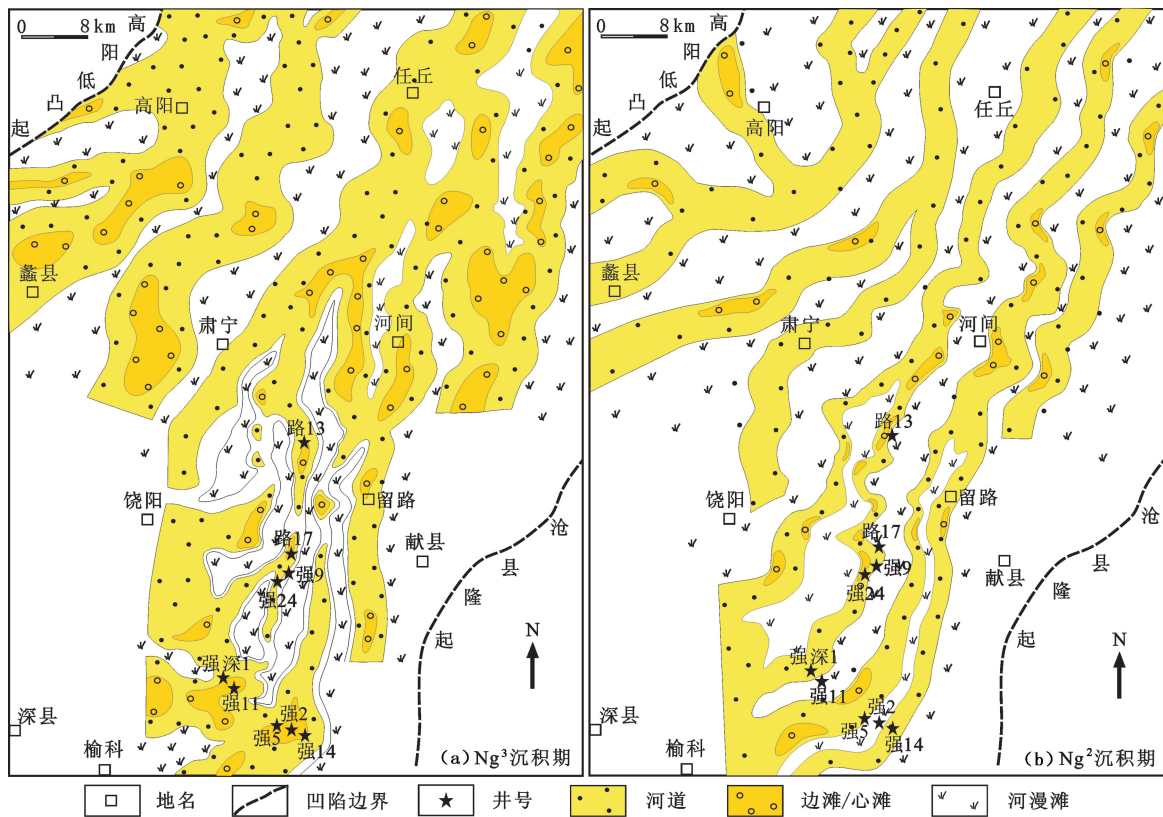


图5 饶阳凹陷馆陶组 Ng³、Ng² 中期旋回沉积相

Fig.5 Sedimentary facies of Ng³、Ng² in Raoyang sag

2.2 曲流河砂体特征及时空分布

曲流河砂体亚相类型有河床亚相、堤岸亚相、河漫亚相及牛轭湖亚相,微相类型比较丰富,包括点砂坝、天然堤、决口扇等^[18],其中点砂坝是曲流河最主要的砂体类型,它属于河道砂体,而天然堤、决口扇等属于溢岸成因砂体,为曲流河的次要砂体类型。研究区所发育的曲流河砂体主要由中细粒砂岩、粉砂岩组成,粒度较辫状河砂体细,岩石类型以长石砂岩和岩屑长石砂岩为主,成分成熟度偏低,但结构成熟度较好,碎屑颗粒分选较好,磨圆为次圆、次棱角状,胶结类型为孔隙式胶结。其“二元结构”明显,从下往上依次发育具大型槽状交错层理的中细砂岩、水平层理细砂岩、小型槽状交错层理粉细砂岩直至顶部具波纹交错层理的粉砂岩和水平纹理的粉砂质泥岩。

饶阳凹陷馆陶组 Ng³⁻¹、Ng² 和 Ng¹ 沉积期广泛发育曲流河砂体,同样受控于古地貌、断裂体系及物源方向,河道砂体呈近源粗带、远源细带、北北东向弯曲展布(图 5(b))。平面上,有多条北北东向的砂体条带,带宽 1~4 km,各条带间有汇聚与分散现象;剖面上,砂体形态呈上平下凸的透镜体,单层厚度 5~25 m,宽/厚比较小,横向连片分布,纵向相互叠置。

3 有利储盖组合及勘探区预测

3.1 有利储盖组合

储集层与盖层的配置关系是影响油气分布的重要因素^[19-20]。在以试油数据为基础,分析了饶阳凹陷馆陶组油气分布规律后发现试油数据为油层的层段,其上覆泥岩厚度都较大;试油数据为水层或含水层的,其上覆泥岩厚度都较小(图 6)。据此认为:在饶阳凹陷馆陶组中,河流相带来的大量砂体易形成储集层,而盖层的缺失是导致油气逸散的主要原因,因此确定有利储盖组合的分布对下步油气勘探选区具有重要意义。

纵观饶阳凹陷 300 余口探井馆陶组的沉积特征可以发现,Ng³⁻³、Ng³⁻² 短期旋回沉积期普遍发育辫状河砂体,到 Ng³⁻¹ 短期旋回沉积期,在近物源的东北、西南及西部地区还以砂质沉积为主,只在远离物源的中部留路地区发育厚层泥岩,到上部的 Ng² 与 Ng¹ 中期旋回沉积期依然延续了这种近源厚砂、远源厚泥的沉积特点。在垂向上,结合 Ng² 中期旋回底部砂岩、中上部泥岩以及 Ng¹ 中期旋回整体砂质沉积、明化镇组底部泥质沉积的特点,可在垂向上将馆陶组划分为 Ng³⁻⁽³⁺²⁾/Ng³⁻¹、Ng²⁻²/Ng²⁻¹ 以及 Ng¹/Nm 底部泥岩 3

套储盖组合(图 7);在平面上,远离物源区、泥岩厚度较大的留路地区为有利储盖组合分布区。

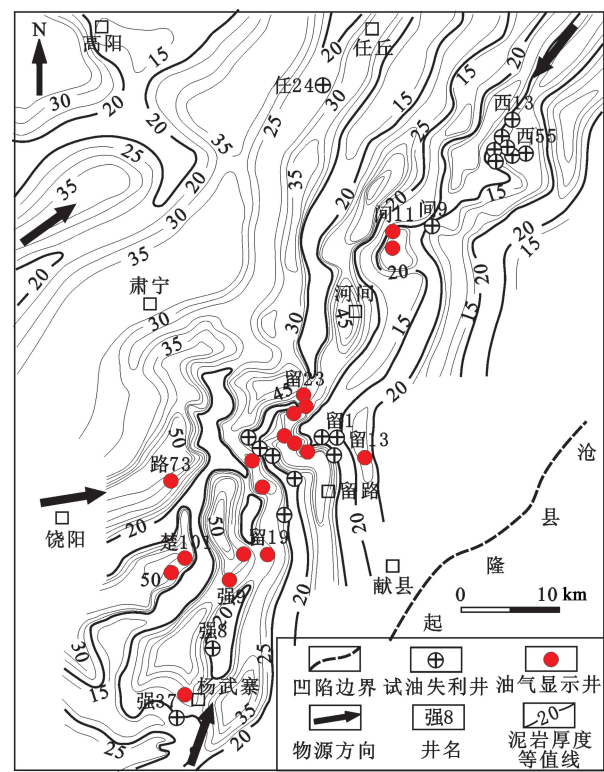


图 6 饶阳凹陷馆陶组 Ng^{-1} 泥岩等值线与下覆砂岩试油结果叠合图

Fig. 6 Combination chart of Ng^{-1} claystone contour and its underlying sandstone testing result of Guantao Formation in Raoyang sag

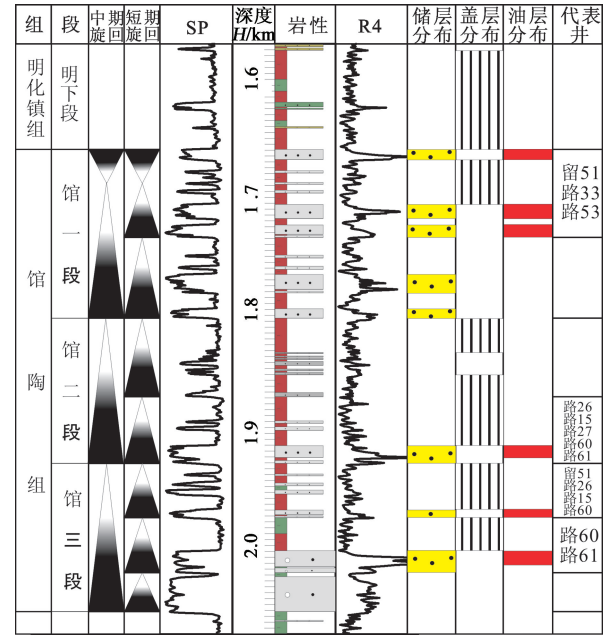


图 7 饶阳凹陷馆陶组储盖组合
Fig. 7 Reservoir-cap combination of Guantao Formation in Raoyang sag

3.2 有利勘探区

通过分析饶阳凹陷油气分布规律及试油失利原因发现油气的分布与沉积、构造存在明显的对应关系,结合油气成藏所需因素,认为饶阳凹陷馆陶组的油气勘探方向应该围绕有效生烃区,且在断层纵向输导能力强、储盖组合配置较好的地区。

目前,饶阳凹陷已发现了大量馆陶组油藏,油源对比表明:馆陶组的油气主要来自古近系沙河街组一段和三段烃源岩,两个烃源岩层位生油量较大,主要生烃期为馆陶组沉积期到第四纪^[9],与馆陶组圈闭形成期配置良好,为油气运移、聚集提供了丰富的物质资源。馆陶组油气藏形成的主控因素——断裂的活动性控制了油气运聚^[21],因此饶阳凹陷东部断阶带是最有利的油气分布区,此外结合有利储盖组合的分布,提出留路构造带为饶阳凹陷馆陶组的有利区带。

留路构造带位于饶阳凹陷中部地区,区带内的聚油构造类型主要为逆牵引背斜(如留西油田)和塌陷挤压背斜(如大王庄东和留楚油田),其中塌陷背斜多被断层复杂化,从而形成断鼻、断块等局部构造,也是油气聚集的主要圈闭类型;该区砂岩百分含量相对饶阳凹陷其他地区较低,为各向物源的交汇区,储盖组合最好。目前,此区带馆陶组已在断裂发育、砂岩厚度适中的断阶带附近发现了相当多的油气显示(图 8)。

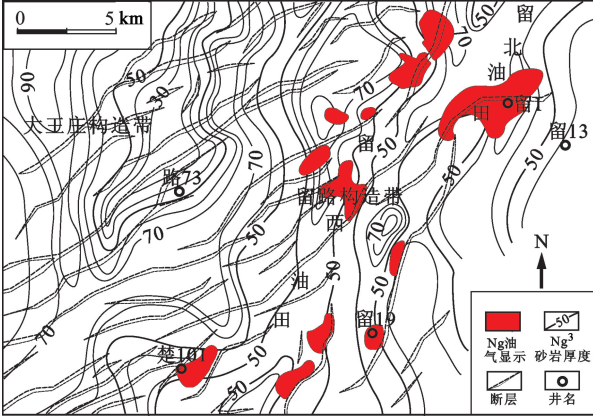


图 8 饶阳凹陷留路构造带馆陶组油气综合评价
Fig. 8 Hydrocarbon comprehensive evaluation with Liulu structural zone of Guantao Formation in Raoyang sag

4 结 论

(1) 饶阳凹陷馆陶组可识别出 2 个长期旋回界面, 2 个中期旋回界面及 4 个短期旋回界面, 据此将其划分为 1 个长期旋回、3 个中期旋回及 7 个短期

旋回。层序发育的主控因素为沉积物的供应。

(2) 饶阳凹陷馆陶组共发育辫状河与曲流河两种沉积相类型。其中辫状河相分布在馆陶组底部的 Ng^{3-3} 和 Ng^{3-2} 短期旋回中, 曲流河相分布在 Ng^{3-1} 、 Ng^2 与 Ng^1 中。受控于古地貌、断裂体系及物源方向, 河道砂体呈近源粗带、远源细带、北北东向弯曲展布。

(3) 饶阳凹陷馆陶组划分为 $\text{Ng}^{3-(3+2)}/\text{Ng}^{3-1}$ 、 $\text{Ng}^{2-2}/\text{Ng}^{2-1}$ 以及 Ng^1/Nm 底部泥岩 3 套储盖组合, 断层纵向输导能力强、储盖组合配置较好留路构造带为饶阳凹陷馆陶组的有利勘探区。

参考文献:

- [1] 王建, 马顺平, 罗强, 等. 渤海湾盆地饶阳凹陷烃源岩再认识与资源潜力分析[J]. 石油学报, 2009, 30(1): 51-55.
WANG Jian, MA Shun-ping, LUO Qiang, et al. Recognition and resource potential of source rocks in Raoyang sag of Bohai Bay Basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2009, 30(1): 51-55.
- [2] 纪友亮, 杜金虎, 赵贤正, 等. 冀中坳陷饶阳凹陷古近系层序地层学及演化模式[J]. 古地理学报, 2006, 8(3): 397-406.
JI You-liang, DU Jin-hu, ZHAO Xian-zheng, et al. Sequence stratigraphy and evolution models of the Paleogene in Raoyang sag, Jizhong depression[J]. Journal of Palaeogeography, 2006, 8(3): 397-406.
- [3] 杨剑萍, 杨君, 邓爱居, 等. 河北饶阳凹陷中央隆起带古近系沙三段上部碳酸盐岩沉积模式研究[J]. 沉积学报, 2010, 28(4): 682-687.
YANG Jian-ping, YANG Jun, DENG Ai-ju, et al. Carbonate rock facies model of the upper third member of Shahejie formation of Paleogene in the central uplift belt of Raoyang depression, Hebei Province[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2010, 28(4): 682-687.
- [4] 崔殿, 查明, 高长海, 等. 饶阳凹陷任西断层的封闭性[J]. 中国石油大学学报: 自然科学版, 2010, 34(6): 20-25.
CUI Dian, ZHA Ming, GAO Chang-hai, et al. Fault sealing of Renxi fault in Raoyang depression[J]. Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science), 2010, 34(6): 20-25.
- [5] 罗彩珍, 田世澄, 李瑞民. 冀中饶阳凹陷蠡县斜坡北段古近系沙河街组沉积相及成藏有利区带[J]. 古地理学报, 2009, 11(6): 697-701.
LUO Cai-zhen, TIAN Shi-cheng, LI Rui-min. Sedimentary facies and favorable area of hydrocarbon accumulation of

the Paleogene Shahejie formation in northern Lixian Slope of Raoyang sag in central Hebei Province[J]. Journal of Palaeogeography, 2009, 11(6): 697-701.

- [6] 王权, 马顺平, 左银卿, 等. 冀中凹陷新近系成藏条件及目标评价优选[R]. 任丘: 华北石油管理局勘探开发研究院, 1999.
- [7] 李潍莲, 孙红军, 唐文连. 辽河盆地东部凹陷北段古近系层序地层特征及油气藏分布[J]. 石油大学学报: 自然科学版, 2004, 28(5): 1-6.
LI Wei-lian, SUN Hong-jun, TANG Wen-lian. Sequence stratigraphic characteristics and petroleum distribution in the Palaeogene of northern section in the eastern sag of Liaohe Basin[J]. Journal of the University of Petroleum, China (Edition of Natural Science), 2004, 28(5): 1-6.
- [8] 徐胜林, 陈洪德, 陈安清, 等. 四川盆地泥盆系—中三叠统层序格架内生储盖分布[J]. 石油勘探与开发, 2011, 38(2): 159-167.
XU Sheng-lin, CHEN Hong-de, CHEN An-qing, et al. Distribution of source-reservoir-cap rock assemblages within the sequence framework from the Devonian to the Middle Triassic in the Sichuan Basin[J]. Petroleum Exploration and Development, 2011, 38(2): 159-167.
- [9] 孙超, 朱筱敏, 咎国军, 等. 陆西凹陷九佛堂组层序格架及其与岩性圈闭的关系[J]. 中国石油大学学报: 自然科学版, 2009, 33(3): 1-5.
SUN Chao, ZHU Xiao-min, ZAN Guo-jun, et al. Sequence framework of Jiufotang formation in Luxi depression and its relation to lithologic trap[J]. Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science), 2009, 33(3): 1-5.
- [10] 林会喜, 邓宏文, 秦雁群, 等. 层序演化对滩坝储集层成藏要素与分布的控制作用[J]. 石油勘探与开发, 2010, 37(6): 680-690.
LIN Hui-xi, DENG Hong-wen, QIN Yan-qun, et al. Control of sequence stratigraphic evolution on the distribution and hydrocarbon accumulation of beach and bar reservoirs[J]. Petroleum Exploration and Development, 2010, 37(6): 680-690.
- [11] 国景星, 刘媛. 济阳坳陷新近系层序地层构型[J]. 中国石油大学学报: 自然科学版, 2008, 32(1): 1-5.
GUO Jing-xing, LIU Yuan. Model of sequence stratum of Neogene of Jiyang depression[J]. Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science), 2008, 32(1): 1-5.
- [12] 杨勇, 陈世悦, 向奎, 等. 准噶尔盆地西北缘车排子地区下白垩统层序地层与沉积演化[J]. 中国石油大学学报: 自然科学版, 2011, 35(5): 20-26.
YANG Yong, CHEN Shi-yue, XIANG Kui, et al. Se-

- quence stratigraphy and sedimentary evolution of Lower Cretaceous series in Chepaizi area, northwestern margin of Junggar Basin[J]. Journal of China University of Petroleum(Edition of Natural Science), 2011, 35(5): 20-26.
- [13] 纪友亮, 张世奇. 陆相断陷湖盆层序地层学[M]. 北京: 石油工业出版社, 1996: 41-43.
- [14] 刘鹏. 饶阳凹陷新近系砂体展布及沉积相研究[D]. 青岛: 中国石油大学地球科学与技术学院, 2010.
- LIU Peng. Study on sandbody distribution and sedimentary facies of Neogene in Raoyang sag[D]. Qingdao: School of Geosciences in China University of Petroleum, 2010.
- [15] WALKER R G. Facies models geoscience Canada[M]. Ottawa: SEMP special Publication 31, 1982: 76-78.
- [16] 姜在兴. 沉积学[M]. 北京: 石油工业出版社, 2003: 291-293.
- [17] 张立强. 饶阳凹陷新近系馆陶组物源方向分析[J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 2012, 42(2): 321-327.
- ZHANG Li-qiang. Direction of sedimentary provenance of the Neogene Guantao formation in the Raoyang depression [J]. Journal of Jilin University(Earth Science Edition), 2012, 42(2): 321-327.
- [18] 赵澄林, 朱筱敏. 沉积岩石学[M]. 北京: 石油工业出版社, 2001: 159-162.
- [19] 王雅春, 李刚, 杨宏松, 等. 徐家围子断陷储盖组合及对天然气富集的控制作用[J]. 大庆石油学院学报, 2009, 33(4): 5-8.
- WANG Ya-chun, LI Gang, YANG Hong-song, et al. Reservoir-seal assemblage in Xujiaweizi fault depression and its control effect on natural gas enrichment[J]. Journal of Daqing Petroleum Institute, 2009, 33(4): 5-8.
- [20] 陈洪德, 覃建雄, 田景春, 等. 右江盆地层序格架中的生储盖组合特征及勘探意义[J]. 沉积学报, 2000, 18(2): 215-220.
- CHEN Hong-de, QIN Jian-xiong, TIAN Jing-chun, et al. Source-reservoir-cap rock association within sequence framework and its exploration significance[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2000, 18(2): 215-220.
- [21] 蒋有录, 卢浩, 刘华, 等. 渤海湾盆地饶阳凹陷新近系油气富集特点与主控因素[J]. 石油学报, 2011, 32(5): 791-796.
- JIANG You-lu, LU Hao, LIU Hua, et al. Enrichment characteristics and major controlling factors of hydrocarbons in the Neogene of Raoyang depression, Bohai Bay Basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2011, 32(5): 791-796.

(编辑 徐会永)