

准噶尔盆地中部4区块头屯河组成藏要素 配置关系及控藏作用

刘振阳¹, 石好果¹, 任新成¹, 程长领¹, 魏恒飞²

(1. 中国石化胜利油田分公司 勘探开发研究院, 山东 东营 257015;

2. 中国石油大学(华东) 科学技术研究院, 山东 青岛 266580)

摘要: 在对准噶尔盆地中部4区块头屯河组烃源岩及充注期次、超压及油源断层等成藏要素配置关系分析的基础上, 利用断层输导有效性评价系数和断层启闭系数定量评价研究区断层输导的有效性、断层与砂体的有效配置, 认为研究区油气输导呈“工”字型分布, 油源断层和圈闭的有机耦合是头屯河组油气成藏的基础, 构造运动使断层开启, 生烃增压, 油气沿油源断层向上运移, 是其成藏的关键, 据此建立早期充注—超压驱动—断层沟通—幕式成藏的油气成藏模式。综合分析认为, 头屯河组油气来自八道湾组, 且发生2期油气充注, 油气成藏过程可分为3幕。头屯河组油气成藏与分布受八道湾组烃源岩生烃范围和油源断层控制, 且距油源断层越近越容易成藏。

关键词: 成藏要素 配置关系 超压 油源断层 成藏模式 头屯河组 准噶尔盆地

中图分类号: TE112.3

文献标识码: A

文章编号: 1009-9603(2017)04-0030-06

Spatial matching relation of oil reservoir forming factors and its control effect on hydrocarbon reservoiring in the 4th Block of Toutunhe Formation of central Junggar Basin

Liu Zhenyang¹, Shi Haoguo¹, Ren Xincheng¹, Cheng Changling¹, Wei Hengfei²

(1. Exploration and Development Research Institute, Shengli Oilfield Company, SINOPEC, Dongying City, Shandong Province, 257015, China; 2. Academy of Science and Technology, China University of Petroleum (East China), Qingdao City, Shandong Province, 266580, China)

Abstract: Based on analysis of matching relationship among oil reservoiring factors of source rock in the Toutunhe Formation, hydrocarbon infilling times, overpressure and oil source faults in the 4th Block of central Junggar Basin, effectiveness of fault transportation and effective configuration between fault and sandbodies were evaluated quantitatively by effective evaluation coefficient and fault open and closure coefficient. It is considered that hydrocarbon transports in a I-shape way. Reasonable match of effective faults and traps is the basic condition for the accumulation of oil and gas in the Toutunhe Formation. Tectonic movement leads to fault opening. Hydrocarbon generation increases the stratigraphic pressure. The pressure transfer causes oil and gas to migrate upward along the effective fault. This is the key for the accumulation of oil and gas in the Toutunhe Formation. As a result, a hydrocarbon reservoiring mode is built, which describes a mode of hydrocarbon early filling-overpressure driving-fault connecting-episodic hydrocarbon accumulation. The comprehensive analysis shows that the hydrocarbon in the Toutunhe Formation are from the Badaowan Formation, and hydrocarbon charging occurred two times. The hydrocarbon accumulation process can be divided into three episodes. Hydrocarbon accumulation and distribution are controlled by the scale of hydrocarbon generation in the Badaowan Formation and the distribution of oil source faults, and hydrocarbon accumulation is more likely to happen where reservoir is adjacent to the oil source faults.

收稿日期: 2017-03-10。

作者简介: 刘振阳(1986—), 男, 山东寿光人, 工程师, 硕士, 从事油气地质及勘探工作。联系电话: 15266047623, E-mail: lzywzm@126.com。

基金项目: 国家科技重大专项“准噶尔盆地碎屑岩层系油气富集规律与勘探评价”(2016ZX05002-002)。

Key words: reservoir forming factor; spatial matching; overpressure; oil source fault; hydrocarbon accumulation pattern; Toutunhe Formation; Junggar Basin

准噶尔盆地腹部地区侏罗纪湖盆水体较浅,坡度较缓,为三角洲沉积,具有多旋回、多物源的特点,有利于岩性圈闭的发育。目前准噶尔盆地中部4区块已完钻井13口,其中见油流井4口,测井解释油气层井9口,充分展示研究区油气潜在资源远景。但油气显示分布于不同层位的储层中,从八道湾组到头屯河组均有分布,集中分布在董1—董3、董7和董6井区。油气的这种分布特征除了与成藏要素品质有关外,更重要的是受成藏要素配置关系的控制。前人已对研究区成藏要素及成藏模式进行过大量研究和探讨^[1-3],但主要是针对成藏要素静态单一因素的研究,缺乏成藏机制和分布规律的深入分析。为此,对研究区成藏要素配置关系及控藏作用进行研究,明确油气成藏规律,预测油气藏发育的有利区带,以期降低勘探风险。

1 区域地质概况

准噶尔盆地为前海西基底上发育的叠合盆地,准噶尔盆地中部4区块位于阜康凹陷(图1),北邻白家海凸起,南邻北天山山前构造带,东连北三台凸起,西接莫索湾凸起。侏罗系发育的地层由下而上依次是八道湾组(J_1b)、三工河组(J_1s)、西山窑组(J_2x)和头屯河组(J_2t)。早一中侏罗世早期,该盆地南缘沉降幅度大、沉积物堆积厚,在八道湾组和西山窑组沉积4套煤系地层,具备雄厚的煤成烃物质基础,是该盆地最主要的烃源岩。侏罗世早期该盆地为热带—亚热带气候,雨量充沛,植物繁茂,沼泽遍布,为滨湖沉积,岩性大致可分为上、下2段:下部为灰绿、灰黑色泥岩、煤层和砾岩、含砾砂岩互层及泥岩、细砂岩互层;上部为灰绿色石英砂岩、中砾

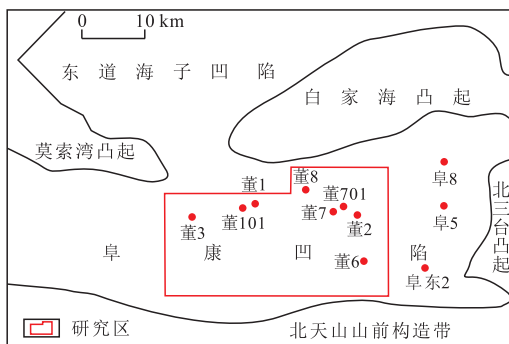


图1 准噶尔盆地中部4区块区域构造位置

Fig.1 Structural location of the 4th Block in central Junggar Basin

岩、浅灰绿色中砂岩与泥岩互层。侏罗世中晚期,继承前期的古地理及沉积环境,气候更为潮湿干热,岩性大致也可分为上、下2段:下部为灰绿、黄灰色石英砂岩、粉砂岩和灰绿、灰黑色泥岩、炭质泥岩与煤层互层;上部为黄绿色细砂岩、粗一中细砂岩和灰黑、灰绿、紫褐色泥岩互层^[4-5]。

2 成藏要素

2.1 油气来源及充注期次

勘探实践表明,油气藏形成与多种地质因素有关,烃源岩作为油气藏形成的物质基础是油气成藏不可缺少的条件^[6-8]。根据研究区原油和油砂样品甾烷和萜烷特征,结合碳同位素和类异戊二烯烷烃参数,将侏罗系原油和油砂分为2类。Ⅰ类三环萜烷含量低, C_{29} -降霍烷含量高,甾烷呈以 C_{29} 为主的反“L”型,碳同位素偏重,姥鲛烷与植烷比值较大,为来源于氧化环境的陆源高等植物。Ⅱ类含有少量的三环萜烷,甾烷整体呈“V”型,其有机质来源既有陆源高等植物,又有水生生物;Ⅱ类又可以划分为Ⅱ₁、Ⅱ₂和Ⅱ₃共3个亚类,Ⅱ₁亚类三环萜烷以 C_{19} 为主峰,甾烷呈以 C_{29} 为主的“V”型,碳同位素整体偏重,姥鲛烷与植烷比值大于1,主要分布在三工河组和头屯河组;Ⅱ₂亚类三环萜烷以 C_{19} — C_{20} 为主,甾烷呈以 C_{27} 为主的“V”型,碳同位素整体偏重,姥鲛烷与植烷比值大于1,主要分布在董701井区头屯河组;Ⅱ₃亚类三环萜烷呈以 C_{21} — C_{23} 为中心的倒“V”型,甾烷呈 C_{29} 为主的“V”型,仅分布在董1井和董101井区清水河组和头屯河组,碳同位素小于 -28.8% ,姥鲛烷与植烷比值约为1。

另外,通过对三工河组和头屯河组原油和油砂样品生物标志化合物分析,发现这2个层位姥鲛烷与植烷比值多大于2,三环萜烷含量相对较低,以 C_{19} 三环萜烷为主,伽马蜡烷指数较低,降霍烷含量较高,升霍烷含量较低,甾烷多以 C_{29} 规则甾烷为主,甾烷 $C_{29}\beta\beta/(\beta\beta+\alpha\alpha)$ 值主要为0.50~0.66,甲基菲指数为0.42~0.84,原油成熟度为0.75~0.9。说明三工河组和头屯河组为同一类原油,且均为典型淡水环境下煤系烃源岩所形成的原油,碳同位素主要为 -27.7% ~ -26.3% ,与侏罗系八道湾组原油特征相近。因此,三工河组和头屯河组的原油均来源于侏罗系八道湾组。

分析头屯河组油砂样品包裹体荧光照片(图2)可知,主要发生2期油气充注。由生物标志化合物计算原油成熟度主要分布在0.7~0.75和0.8~0.85,

实测油砂样品包裹体均一温度主要为80~90℃和105~115℃,均表明头屯河组至少也发生2期油气充注。

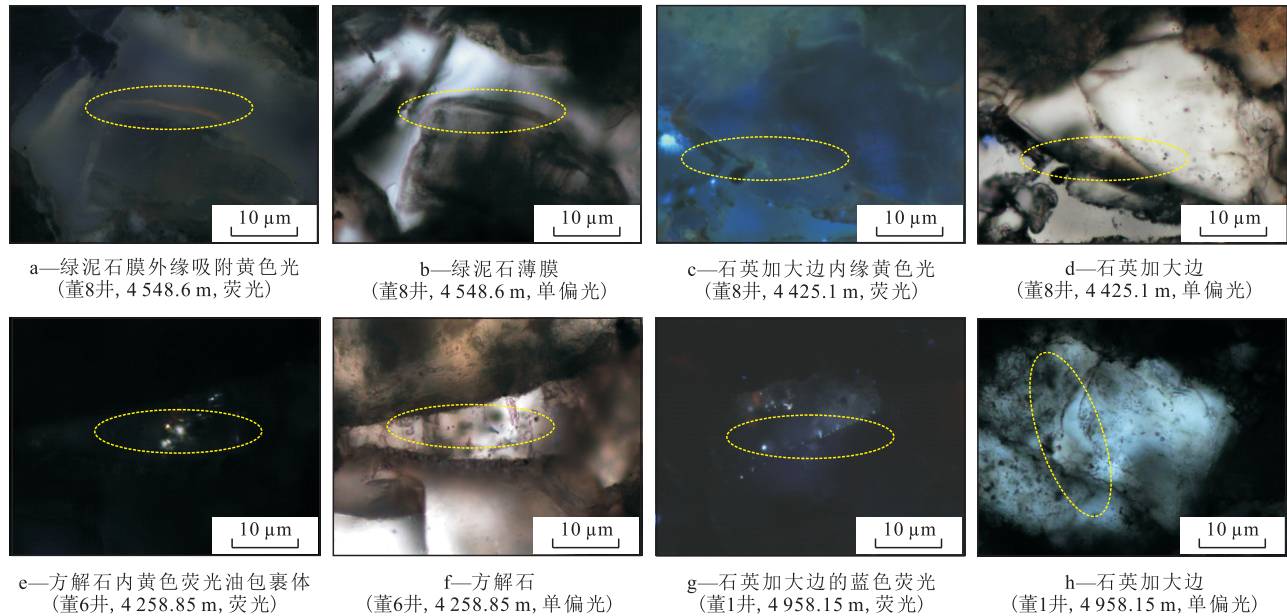


图2 准噶尔盆地中部4区块头屯河组油砂样品包裹体荧光照片

Fig.2 Fluorescence analysis of oil and gas inclusions in the Toutunhe Formation of the 4th Block in central Junggar Basin

2.2 超压

烃源岩生烃是引起超压的重要因素,烃源岩在生烃过程中干酪根由固态逐渐向液态或气态的石油及天然气转化,导致流体体积膨胀,干酪根体积减小,使干酪根支撑的部分上覆地层压力转移到孔隙流体,当流体不能及时排出时,造成流体超压。前人研究发现,西山窑组和八道湾组泥岩层均发育良好的烃源岩,有机质丰度较高,在研究区内均已达到成熟阶段,且随成熟度的增加,生成的烃类增加,当生成的烃类不能及时排出时,造成烃源岩内流体压力的增加^[9]。

分析结果表明,研究区主要发育西山窑组泥岩段和八道湾组泥岩段2个超压泥岩分隔层,两者往往相对等时地沿同一地层分布。西山窑组泥岩分隔内地层压力系数超过1.5,八道湾组泥岩分隔层内地层压力系数超过2.0。分析董7和董3等多口井西山窑组泥岩地层压力与埋深关系(图3)可知,研究区在埋深为4 500 m附近开始进入超压,随埋深的增加,地层压力逐渐增加,超压幅度也逐渐增加。从埋深为4 500 m(镜质组反射率约为0.65%)到6 500 m(镜质组反射率约为0.9%),泥岩中的流体压力增加44 MPa,平均增加2.2 MPa/hm;当埋深达到5 200 m时,地层压力系数可达2.11,压差达56.5 MPa。在西山窑组烃源岩之上,董701井区多为常

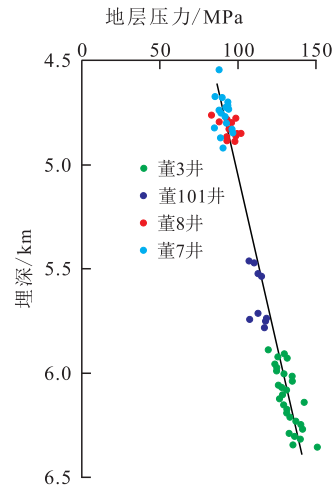


图3 准噶尔盆地中部4区块西山窑组泥岩地层压力与埋深关系

Fig.3 Relationship between formation pressure of mudstone and depth of the Xishanyao Formation in the 4th Block of central Junggar Basin

压,地层压力系数约为1.0,董3井区多为过渡带—超压带,地层压力系数多为1.0~1.5。另外,在西山窑组和八道湾组泥岩分隔层之间发育1个超压带,地层压力系数为1.6~2.0,董3井—董2井区也存在一定的压力梯度。

2.3 油源断层

研究区油源断层多为走滑性质的正断层,采用隋风贵等在研究准噶尔盆地中部地区油气成藏规

律及勘探方向时提出的计算公式^[10]对其进行评价,表达式为

$$K_f = \frac{H(\rho_r - \rho_w)g \cos \gamma}{\Delta p + p_L} \quad (1)$$

考虑到垂向断距,采用张立宽等在研究渤海湾成熟探区时提出的计算公式^[11]对油源断层的输导性进行评价,表达式为

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

由式(1)和式(2)分别计算研究区现今和距今20 Ma的90条断至头屯河组断层的输导有效性评价系数和断层启闭系数,发现两者呈负相关(图4),相关系数分别为0.918和0.944。另外,由图5可以看出,断层倾角与断层启闭系数呈正相关,相关系数为0.904。

利用图4和图5拐点分布特征和井旁断层垂向开启性,根据断层输导有效性评价系数将断层有效性进一步划分为4个级别:①断层垂向封闭, $K_f > 1$, $C < 2$, $\gamma < 10^\circ$, 断层倾角较小,断面承受的正压力较大,断层处于封闭状态;②断层开启性差, $0.6 < K_f < 1$, $2 < C < 3$, $10^\circ < \gamma < 50^\circ$;③断层开启性中等, $0.2 < K_f < 0.6$, $3 < C < 10$, $50^\circ < \gamma < 75^\circ$;④断层开启性好, $K_f < 0.2$, $C > 10$, $\gamma > 75^\circ$, 断层倾角较大,断面承受的

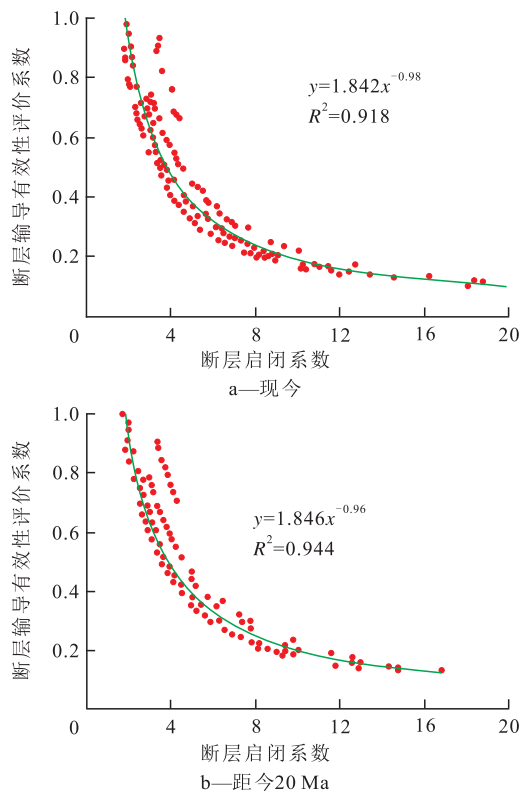


图4 断层启闭系数与断层输导有效性评价系数相关性

Fig.4 Correlation between the fault opening and closing coefficient and the evaluation coefficient of fault transport effectiveness

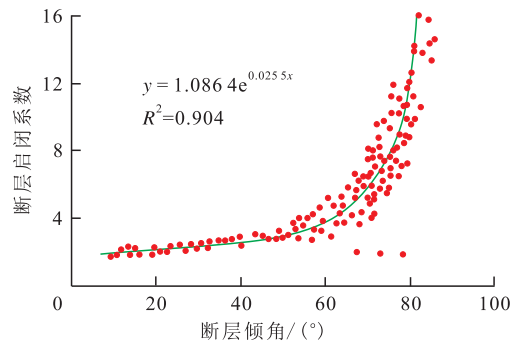


图5 断层倾角与断层启闭系数相关性

Fig.5 Correlation between the fault opening and closing coefficient and the dip of the fault

正压力较小,断层易于开启。

研究区多为具有走滑性质的正断层,在剖面上既有呈孤立状的,也有呈花状的;既有主断层,也有伴生断层,主断层断至基底,而伴生断层仅断至主断层。主断层倾角大,伴生断层倾角小,尤其在董1井区;主断层断距大,伴生断层断距小;主断层开启性较好,伴生断层开启性较差。

2.4 输导体系

输导体系及其形成演化是研究油气成藏的基础,其形成演化控制油气的运移与聚集。中生代准噶尔盆地具有盆大水浅、隆拗相间、源多坡缓、震荡演化的沉积特征,这种沉积背景有利于三角洲沉积。准噶尔盆地中部地区以三角洲前缘亚相为主,砂体具有厚度大、分布广、横向连续性好、成熟度高、物性好和输导能力强的特点。影响侏罗系烃源岩向头屯河组运移油气的输导层主要有白垩系清水河组和侏罗系三工河组2套输导层,从八道湾组运移过来的油气在三工河组和清水河组内沿砂体横向输导,再加上断层的垂向输导,形成研究区的“工”字型油气输导模式(图6)。从目前已钻井的岩性特征来看,清水河组和三工河组发育的砂体厚度较大,发育单层厚度均为大于等于20 m的砂岩或含砾砂岩,整体含砂率均超过50%,且横向分布稳定,

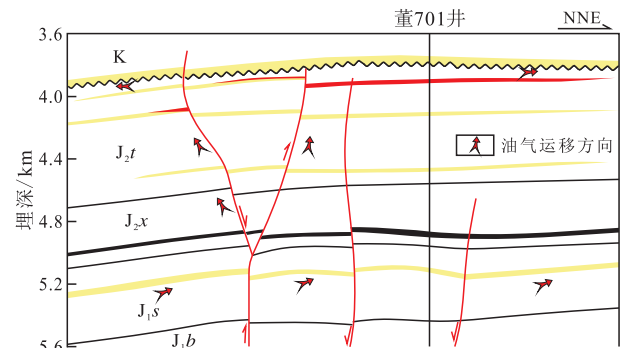


图6 准噶尔盆地中部4区块侏罗系“工”字型油气输导模式

Fig.6 I-shape oil-gas migration pattern of the Jurassic in the 4th Block of central Junggar Basin

是良好的油气横向输导通道。在地震属性上也呈现大面积且连续分布的三角洲前缘砂体特征。综合分析认为,这2套砂体对研究区油气横向输导具有至关重要的作用^[12-13]。

3 成藏要素配置关系

成藏要素的存在及品质固然重要,但其配置关系不仅是油气能否成藏的关键,还控制了油气藏的分布。通过对包裹体测温及埋藏史研究发现,三工河组油气充注时间主要发生在距今120~60 Ma和20~5 Ma,第1期油气成藏时间较头屯河组早,而第2期与头屯河组有重合。另外,通过对三工河组样品颗粒荧光指数分析测试,发现其储层的颗粒荧光指数均大于5%,董1井为19.2%~42%,董8井为34.1%,董701井为7%~28.8%,这说明三工河组在地质历史时期存在过古油藏,八道湾组烃源岩油气在向上运移过程中,曾在三工河组聚集。

研究烃源岩、超压及断层配置关系,结合油源对比、油气成藏期次、不同油藏间地球化学响应及

三工河组沉积时期确有古油藏存在的实际情况,将研究区油气成藏过程分为3幕^[14]:第1幕发生在白垩纪末期~距今65 Ma,八道湾组烃源岩生成的油气运移到三工河组和八道湾组砂体内,发生第1次增压,并侧向运移,在断凸或构造鼻凸部位聚集成藏;第2幕发生在距今65~20 Ma,随着油气的不断聚集,油藏压力不断升高,在喜马拉雅期构造应力作用下,断层开启,油气沿油源断层运移至头屯河组主河道和分支河道砂体内,至三工河组油藏压力下降,断层再次封闭;第3幕发生在距今20 Ma~现今,在三工河组发生第2次增压,在喜马拉雅三期构造应力作用下,断层开启,油气再次充注到头屯河组。

4 控藏作用

油源断层和圈闭的有机耦合是头屯河组油气成藏的基础,构造运动使断层开启,生烃增压,油气沿油源断层向上运移,是头屯河组油气成藏的关键,据此建立早期充注—超压驱动—断层沟通—幕式成藏的油气成藏模式(图7)。

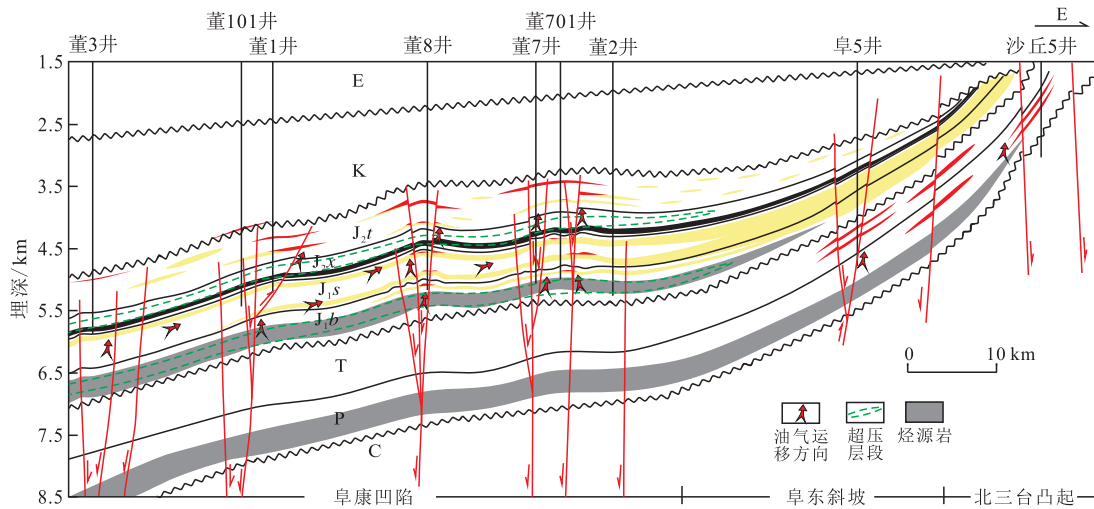


图7 准噶尔盆地中部4区块油气成藏模式

Fig.7 Oil-gas accumulation pattern of the 4th Block of central Junggar Basin

分析研究区头屯河组油气成藏过程、成藏主控因素及成藏模式认为,头屯河组油气成藏与分布受八道湾组烃源岩生烃范围和油源断层控制,且距油源断层越近越容易成藏。侏罗系八道湾组暗色泥岩在阜康凹陷以西和昌吉凹陷西部2个地区最发育。从油藏剖面及已钻井的油气显示来看,研究区已发现出油井的分布均受八道湾组烃源岩控制,且距烃源岩沉积中心较近。分析准噶尔盆地中部及阜东地区若干口探井钻探情况及其与不同级别断层关系发现,已完钻的45口井中有油源断层沟通的

油气显示井达34口,占总钻井数的75.6%,且油藏均沿油源断层分布,距油源断层越近越容易成藏,因此油源断层控制油气成藏与分布。

5 结论

准噶尔盆地中部4区块头屯河组油气藏形成受烃源岩、超压和油源断层等成藏要素控制。通过油源对比确定头屯河组油气来自八道湾组,分析油砂样品包裹体荧光照片、计算生物标志化合物原油成

熟度和实测包裹体均一温度认为,头屯河组油气发生过2期油气充注。综合油源对比、油气成藏期次、不同油藏间地球化学响应及三工河组沉积时期确有古油藏存在的实际情况,将研究区油气成藏过程分为3幕,建立早期充注—超压驱动—断层沟通—幕式成藏的油气成藏模式。头屯河组油气成藏与分布受八道湾组烃源岩生烃范围和油源断层控制,且距油源断层越近越容易成藏。

符号解释:

K_r ——断层输导有效性评价系数; H ——断点埋深,m;
 ρ_r ——上覆地层平均密度, g/cm^3 ; ρ_w ——上覆地层水密度, g/cm^3 ; g ——重力加速度, m/s^2 ; γ ——断层倾角, $(^\circ)$; Δp ——剩余流体压力,MPa; p_t ——泥岩塑性变形极限压力,MPa;
 C ——断层启闭系数; p ——流体压力,MPa; δ ——断面正应力,MPa; SGR ——泥岩涂抹因子。

参考文献:

- [1] 隋风贵,许涛,乔玉雷.准中地区三工河组三角洲砂体成因地质模型[J].新疆石油地质,2012,33(2):142-144.
Sui Fenggui, Xu Tao, Qiao Yulei. Geologic model for delta sand genesis of Sangonghe formation in central Junggar basin [J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2012, 33(2): 142-144.
- [2] 王居峰,蔡希源,邓宏文,等.准噶尔盆地腹部侏罗系高分辨率层序地层特征[J].石油学报,2006,27(2):16-19.
Wang Jufeng, Cai Xiyuan, Deng Hongwen, et al. High-resolution sequence stratigraphic characteristics of Jurassic system in the central part of Junggar Basin [J]. Acta Petrolei Sinica, 2006, 27(2): 16-19.
- [3] 林会喜,许涛,乔玉雷,等.“多元控储”储集层评价模型在准中地区的应用[J].新疆石油地质,2012,33(2):211-213.
Lin Huixi, Xu Tao, Qiao Yulei, et al. Application of multifactor-controlling reservoir evaluation model to central Junggar basin [J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2012, 33(2): 211-213.
- [4] 张敏,修金磊,陈林,等.准噶尔盆地中部2、4区块侏罗系头屯河组物源体系及沉积演化特征[J].石油天然气学报,2014,36(6):45-50.
Zhang Min, Xiu Jinlei, Chen Lin, et al. The provenance systems and characteristics of sedimentary evolution of Jurassic Toutunhe Formation in the 2nd and 4th blocks of Central Junggar Basin [J]. Journal of Oil and Gas Technology, 2014, 36(6): 45-50.
- [5] 张立强,严一鸣,熊丽.白音查干凹陷下白垩统都红木组都一段砂体的差异性沉积模式[J].油气地质与采收率,2016,23(6):28-33.
Zhang Liqiang, Yan Yiming, Xiong Li. Differential sedimentary model of sandbodies in the first member of lower Cretaceous Duhongmu Formation in Baiyichagan sag [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2016, 23(6): 28-33.
- [6] 王柯,黄兴文,郝建荣.盐岩对烃源岩热演化及储层温度的影响——以加蓬盆地X区块为例[J].油气地质与采收率,2016,23(6):47-51.
Wang Ke, Huang Xingwen, Hao Jianrong. Effect of salt on thermal evolution of source rock and the temperature of reservoir: A case study of Block X in Gabon coastal basin [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2016, 23(6): 47-51.
- [7] 席勤,余和中,顾乔元,等.塔里木盆地阿瓦提凹陷主力烃源岩探讨及油源对比[J].大庆石油地质与开发,2016,35(1):12-18.
Xi Qin, Yu Hezhong, Gu Qiaoyuan, et al. Main hydrocarbon source rocks and contrasts for Awati Sag in Tarim Basin [J]. Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing, 2016, 35(1): 12-18.
- [8] 朱扬明,孙林婷,郝芳,等.川东北飞仙关组-长兴组天然气几个地球化学问题探讨[J].石油与天然气地质,2016,37(2):354-362.
Zhu Yangming, Sun Linting, Hao Fang, et al. Discussion on several geochemical issues of gases in Feixianguan-Changxing Formations in northeastern Sichuan Basin, China [J]. Oil & Gas Geology, 2016, 37(2): 354-362.
- [9] 涂丹凤,牛成民,钱赓,等.利用地层压力系数分析黄河口凹陷中央隆起带新近系油气输导体系[J].油气地质与采收率,2016,23(5):23-29.
Tu Danfeng, Niu Chengmin, Qian Geng, et al. Using formation pressure coefficient to study hydrocarbon carrier system in the central uplift belt of Huanghekou sag [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2016, 23(5): 23-29.
- [10] 隋风贵,乔玉雷,林会喜,等.准噶尔盆地中部地区油气成藏规律及勘探方向[R].东营:中国石化胜利油田分公司,2011.
Sui Fenggui, Qiao Yulei, Lin Huixi, et al. Hydrocarbon accumulation law and exploration direction in central Junggar Basin [R]. Dongying: Shengli Oilfield Company, SINOPEC, 2011.
- [11] 张立宽,罗晓容,廖前进,等.断层连通概率法定量评价断层的启闭性[J].石油与天然气地质,2007,28(2):181-190.
Zhang Likuan, Luo Xiaorong, Liao Qianjin, et al. Quantitative evaluation of fault sealing property with fault connectivity probabilistic method [J]. Oil & Gas Geology, 2007, 28(2): 181-190.
- [12] 张秀云.不同运移方向下断—砂配置聚集油气的差异性[J].大庆石油地质与开发,2016,35(2):14-19.
Zhang Xiuyun. Differences in the oil-gas accumulation by the fault and sandbody match in different migration directions [J]. Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing, 2016, 35(2): 14-19.
- [13] 姜治群,吴智平,李伟,等.断裂对黄河口凹陷新近系油气分布的控制作用[J].特种油气藏,2016,23(6):50-54.
Jiang Zhiqun, Wu Zhiping, Li Wei, et al. Effect of faults on Neogene hydrocarbon distribution in the Yellow River Estuary Depression [J]. Special Oil & Gas Reservoirs, 2016, 23(6): 50-54.
- [14] 牛子斌,柳广弟,曹喆,等.银额盆地查干凹陷油藏特征及油气成藏过程[J].石油实验地质,2016,38(1):32-39.
Niu Zhibin, Liu Guangdi, Cao Zhe, et al. Reservoir characteristics and hydrocarbon accumulation in Chagan Sag, Yingen-Ejinaqi Basin [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2016, 38(1): 32-39.