

文章编号: 1001-1749(2023)02-0146-10

乌石凹陷东区流沙港组二段构造转换带控制下的 优质储层分布研究

满 勇, 邓 勇, 胡 林, 张 帅, 薛红涛, 刘 娟

(中海石油(中国)有限公司 海南分公司, 海口 570311)

摘要: 构造转换带控制了古地貌和古水流方向, 进而控制了沉积体系分布, 对油气成藏有着重要控制作用。钻探实践表明, 乌石凹陷东区流沙港组二段油气成藏条件优越, 是寻找优质储量的有利领域, 但流二段油藏单层厚度薄、连通性差、储层非均质性强。因此研究优质储层成因与展布是该区油气勘探的关键。本次研究综合利用测录井、地震、岩心等资料, 结合构造转换带控沉积分析, 剖析流二段优质储层主控因素及分布规律。研究结果表明: 侧接叠覆转换带对物源水系具良好控制作用, 是砂体有利卸载富集区, 控制厚层砂体展布; 沉积微相类型、泥质含量与砂岩粒度是影响流二段储层物性的主控因素; 侧接叠覆转换带是优质储层的有利发育区, 是寻找优质油藏的重要探区。

关键词: 乌石凹陷; 构造转换带; 优质储层; 主控因素; 重要探区

中图分类号: P 631.4 **文献标志码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1001-1749.2023.02.03

0 引言

断裂转换带是断裂为了保持应变和位移量守恒而诱导出的调节性构造变形, 是油气勘探的重要领域, 分布在多种类型的伸展或挤压盆地中^[1-2]。转换带在不同演化阶段对油气运移、沉积体展布具有明显的控制作用^[3-5]。在陆相断陷湖盆中, 构造运动控制物源发育, 形成构造转换带, 控制古地貌格局和古水流方向, 进而控制沉积体系分布^[6-11]。徐长贵等^[12]认为物源区、沟槽地貌及古地形坡度决定了转换带沉积体的展布和范围; 刘子漩等^[13]根据正断裂平面组合关系及倾向将构造转换带划分为15种类型; 李峻颀等^[2]将转换带划分为挠曲型平行转换

带、雁列型共线转换带带等几种类型。在沉积体系研究基础上, 人们对储层进一步研究认为, 低渗透层主要受沉积、成岩作用影响形成, 而沉积作用决定了成岩作用类型及强度, 成岩早期强烈压实、胶结作用降低了储层孔隙度及渗透率^[14]。尤丽等^[15]认为沉积相带及压实作用是乌石凹陷流二段储层物性的主控因素。

乌石凹陷位于北部湾盆地南部拗陷带的北部, 北面毗邻企西隆起, 南邻流沙凸起(图1), 是已证实的富烃凹陷。目前已发现多个大中型油田及含油构造, 已发现油气主要集中在乌石凹陷东区反转构造带^[16]。位于反转构造带的乌石A、B油田已发现地质储量中, 流沙港组二段占比最大, 达到50%, 证实乌石东区反转构造带流二段成藏条件优越, 是寻找

收稿日期: 2022-10-09

基金项目: 国家科技重大专项(2016ZX05024-006); 中海油南海西部油田上产2000万方关键技术研究项目(CNOOC-KJ135ZDXM38ZJ)

第一作者: 满勇(1990-), 男, 本科, 工程师, 从事油气勘探与油气成藏方面的研究, E-mail: manyong@cnooc.com.cn。

优质储量的优质领域。但流二段面临着油层单层厚度薄、储层非均质性强,高渗透性、连通性好的优质储量少的难题。因此,寻找大型优质储层是本区勘探的核心问题。徐雪丰^[18]提出了乌石凹陷源汇时空耦合的控砂模式;罗威^[17]从湖平面变化、物源、古地貌、断裂等宏观角度分析了流二段大型储集体发育条件,但是目前缺乏关于乌石凹陷断裂转换带控砂模式的精细研究。由于流沙港组是乌石凹陷目前主要勘探层系,笔者主要探讨始新世发育的断裂形成不同构造转换带对流二段砂体的控制作用。通过对断裂差异活动及组合样式分析,提出了盆缘、凹中单断同向转换带及侧接叠覆转换带两种转换带控砂模式,研究了乌石东区流二段沉积体系展布特征与优势沉积微相分布规律,并结合储层微观特征研究,明确了有利储层发育区,为勘探部署提供了借鉴。

1 区域地质背景

北部湾盆地位于印度洋板块、菲律宾板块和欧亚板块三大板块交汇处,盆地早期控凹断裂主要呈北东向,为古近纪裂谷伸展成因,盆地演化过程主要经历了古近纪伸展和新近纪热沉降两大阶段,发育两类原型盆地叠加形成的“先断后坳”双层结构^[12]。乌石凹陷位于北部湾盆地南部坳陷带,经历了古近纪三期裂陷和新近纪坳陷^[14],在构造应力持续旋转过程中形成 3 套断裂系统。①古新世,在北西—南东向拉张应力场下,发育北东东向 7 号控凹断裂^[19],断裂下降盘沉积了古新统长流组冲积相地层;②始新世,拉张应力顺时针旋转至北北西—南南东向,7 号断裂持续活动,乌石东区发育多条与之平行的北东向控沉积断裂,控制了流沙港组沉积,而在凹陷西区开始发育北西向 6 号断裂,7 号断裂活动强度大于 6 号断裂,乌石东区沉积了完整始新世流沙港组地层,自下而上沉积了流沙港组三段(E2l3, 顶面 T86)、流沙港组二段(E2l2, 顶面 T83)、流沙港组一段(E2l1, 顶面 T80);③始新世至渐新世,应力再次发生顺时针旋转,呈南北向拉张,6 号断裂活动增强,沉积中心迁移至 6 号断裂下降盘,沉积了厚层渐新统涠洲组地层,自下而上沉积了涠洲组三段(E3w3, 顶面 T72)、涠洲组二段(E3w2, 顶面 T70)、涠洲组一段(E3w1, 顶面 T60)。新近纪后,凹陷整体进入热沉降阶段,接受海相沉积^[20-22]。

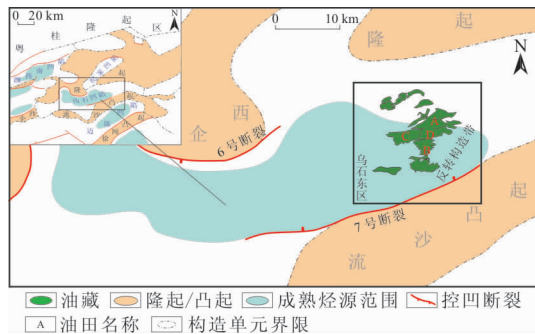


图 1 乌石凹陷地质背景图

Fig. 1 Geological background map of Wushi sag

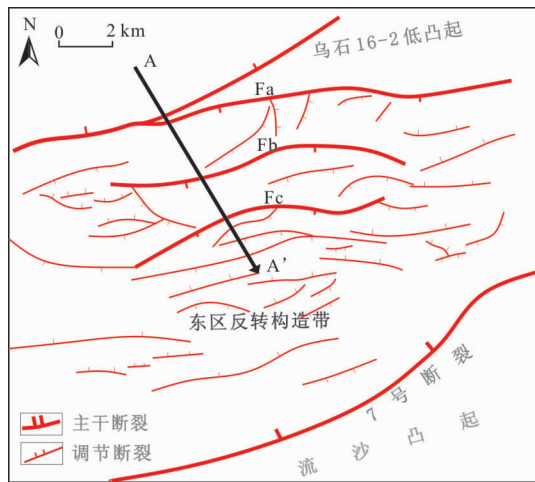


图 2 乌石东区流二段断裂展布图

Fig. 2 The fractures distribution of second member of Liushagang formation in the eastern area of Wushi

2 叠前断裂控沉积作用分析

2.1 乌石东区流二段构造转换带类型

基于构造运动引起断裂差异活动,导致断裂下盘相对凸起,上盘形成相对低地,沉积物从凸起向低地汇聚。不同的断裂组合又对沉积物供水系在盆内的分散起着汇聚、引导和阻碍作用^[6]。根据乌石凹陷构造背景、断裂活动性及断裂组合样式等对东区构造转换带类型进行划分,乌石东区发育了两种断裂转换带。控沉积断裂在 seismic 剖面出现断距的低值点,说明局部断裂活动较弱,是断裂分段生长连接部位,指示发育构造转换带。始新世时期,乌石东区地势整体北高南低,北部企西隆起是该时期的主要物源区。乌石东区反转构造带主要发育三条大型同

沉积断裂,由北向南依次为 Fa、Fb、Fc,三条断裂整体走向呈北东—近东西向,走向近于平行(图 2)。断裂逐次向南倾斜,剖面组合成“H”型,早、中始新世以简单伸展作用为主,Fa、Fb、Fc 三条断裂在古新世拉张阶段开始活动,中始新世流二段沉积时期活动最为强烈,控制了厚层流二段地层沉积,断裂下降盘地层明显加厚,研究区构造形态整体较为平坦、地层南倾。始新世末期至渐新世早期,受构造应力旋转及重力作用影响下,Fa、Fb、Fc 断裂沿着流二段底部塑性层发生滑脱,由早期高倾角断裂转变为上陡下缓的铲式断裂(图 3)。以三维地震为基础,结合古落差定量分析流二段断裂活动性,三条控沉积断裂东西向活动性呈现明显差异(图 4)。北部 Fa 断裂整体活动性强,东西向存在多个活动强度突变点,在断裂上升盘形成多个沟槽地貌。注中 Fc 断裂活动强度较 Fa 弱,活动性整体呈西弱东强,东侧也存在突变点。Fa、Fc 两条断裂活动突变点形成单断同向转换带,沉积物通过活动差异大的“入口”向断裂下降盘输送,分别控制了北部物源优势汇聚及注中沉积体优势展布。对 Fb、Fc 断裂位置关系、力学机制以及断裂相互连接方式进行精细分析,乌石凹陷东区发育的另一种构造转换带可以定义为侧接叠覆型构造转换带,走向近于平行的 Fb、Fc 断裂,由于 Fb 断裂西侧活动性强于东侧,在下降盘形成西低东高的古地貌形态,Fc 断裂东侧断裂活动性强于西侧,两条断裂东、西活动强度一正一反,在乌石东区中部形成“软连接”,差异活动形成侧接叠覆转换带,在地形上表现为斜坡特征,从而对砂体产生优势汇聚、优势引导、优势沉积作用,控制了乌石东区最大规模沉积体入盆后沿转换带优势展布。

2.2 沉积相展布特征

始新世,乌石东区断裂活动明显,南部 7 号控凹断裂向北倾,东区整体形成“南断北超”的构造格局。整个乌石凹陷发育北部企西隆起和南部流沙凸起两大物源体系。中始新世流二段沉积期,湖平面经历了湖侵—湖退—湖侵的过程,流二段三分为上、中、下层序,流二段中层序沉积期明显的湖平面下降为物源向凹陷内搬运创造了条件,使得东区北部缓坡反转构造带发育较大规模的长源三角洲,而东区南部陡坡带则主要发育短源的扇三角洲。

流二段中层序沉积时期,反转构造带地层岩性以灰色中砂岩、细砂岩、粉砂岩与灰色泥岩互层为主,砂地比为 30%~60%。近物源的 WS-7 井以岩屑长石砂岩为主,较近物源的 WS-8、9 井以长石

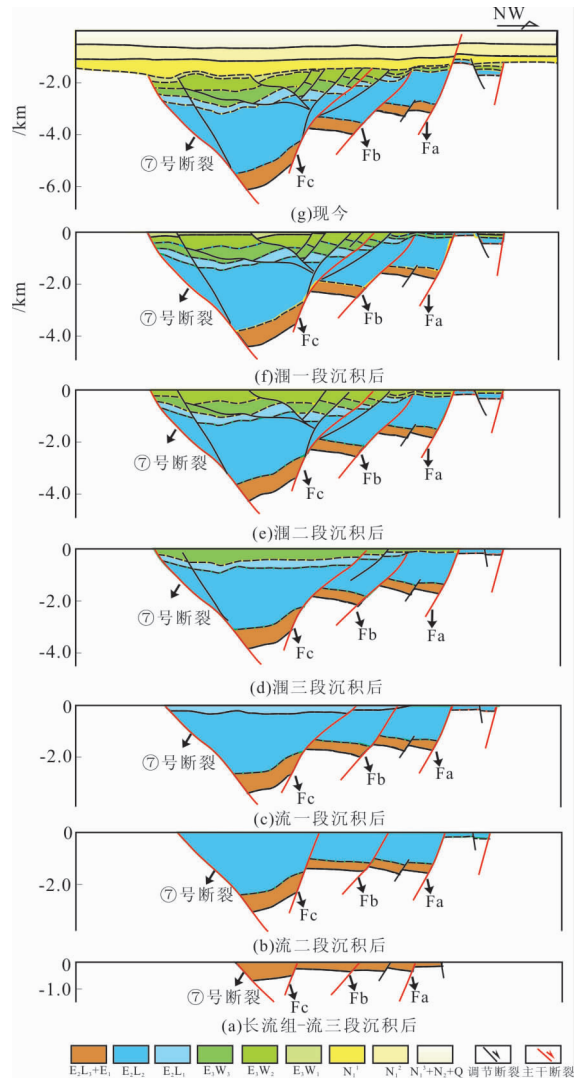


图 3 乌石凹陷东区构造演化剖面

Fig. 3 The tectonic evolution in the east of Wushi sag

石英砂岩为主,最远端的 WS-14 井以石英砂岩为主,反映出远离物源区,岩屑含量逐渐降低,石英含量逐渐升高的趋势(图 5)。砂岩分选中等—好、磨圆呈次棱角—次圆状,成熟度较高,样品粒度概率累积曲线表现为两段式,主要为悬浮次总体和跳跃次总体,反映的是牵引流沉积环境;GR 测井曲线形态多表现为小幅箱形、小幅箱形—钟形、钟形、指形、齿形和漏斗形(图 6);地震反射特征表现为中等连续、中高频以及中强振幅,前积特征明显(图 7)。利用录井、岩壁心、测井和地震等资料,综合分析认为,反转构造带流二段中层序发育三角洲沉积。反转构造带前端 Fc 断裂下降盘有多口钻井揭示地层岩性与反转构造带的不同,其岩性为砂岩与黑色页岩、深灰色泥岩不等厚互层,表明水体加深,沉积环境主要为

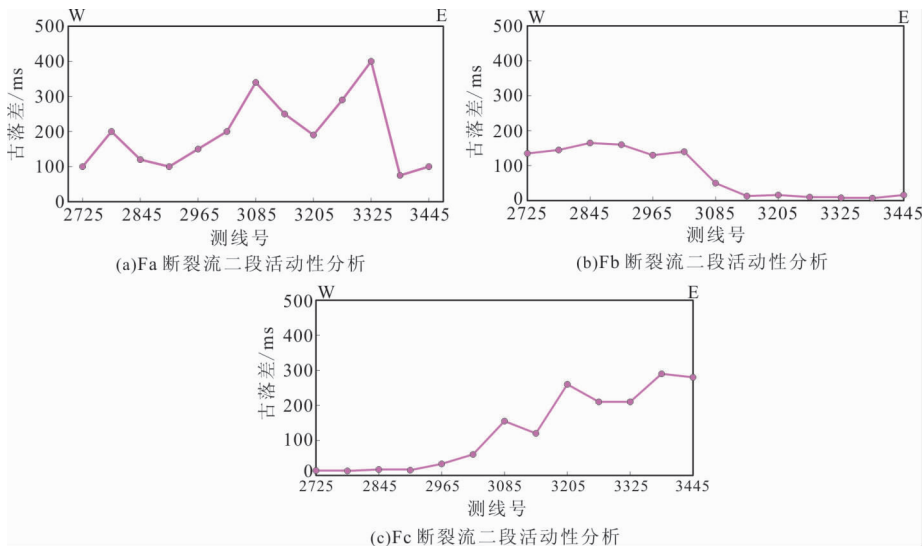


图 4 乌石东区 Fa、Fb、Fc 断裂古落差分析图

Fig. 4 Analysis chart of the ancient fall of Fa、Fb、Fc fault households in the eastern area of Wushi

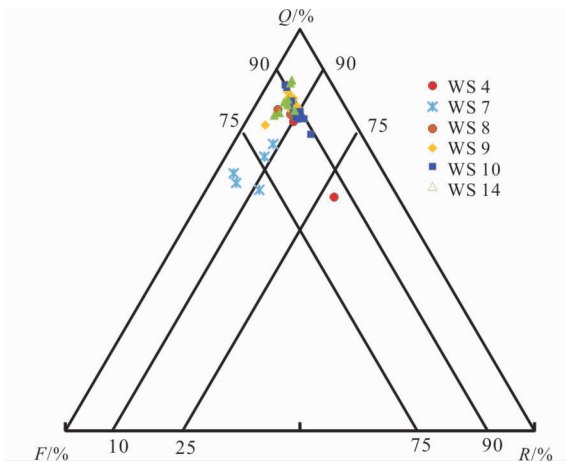


图 5 乌石东区流二段砂岩成分三角图版

Fig. 5 Triangular plate of sandstone components in the Liushagang second section w in the eastern area of Wushi

中深湖或深湖相。砂岩岩性为含砾砂岩、粗砂岩、中砂岩、细砂岩和粉砂岩,分选较差,岩心见叠覆正递变冲刷构造,可见生物扰动化石,综合分析为湖底扇沉积。

2.3 转换带对沉积的控制作用

断裂活动性及组合样式差异共同控制了转换带的形成,进而控制了砂体优势展布。乌石东区三条主干控沉积断裂东西向活动性呈现明显差异,平面差异组合形成的构造转换带控制了沉积体系的展布(图 8)。

1) Fa 断裂差异活动在盆缘形成的沟槽地貌,有利于物源注入,北部三角洲砂体沿着 Fa 断裂活动突变点优势汇聚。西侧注入口发育的扇体规模较小,三角洲近源堆积,砂体主要沉积于 Fa 和 Fb 断裂之间。由于物源更靠近东北部且东侧突变点规模更大,在 Fa 断裂东侧注入口前端发育大规模北东向三角洲,分布范围广,沉积厚度大。

2) Fb、Fc 断裂差异活动形成的侧接叠覆转换带控制砂体北东向广覆式展布:由 Fa 断裂东侧注入口进入的大规模三角洲砂体沿着 Fb、Fc 断裂差异活动形成的侧接叠覆转换带优势汇聚,在 C 构造及其前端广覆式展布。钻井实践表明,位于转换带下降盘的 C-1d、C-2d 井在流二段中层序钻遇砂岩总厚度达 256 m、176 m,砂地比约 52%,测井曲线主要为箱形、钟形,岩性组合以细砂岩为主,为三角洲水下分流河道沉积与河口坝微相。砂体厚度较邻井明显增厚,且单砂体厚度大,物性好,证实了侧接叠覆转换带对物源水系良好引导作用。

3) Fc 断裂活动性突变在注中形成断裂坡折带控制了湖底扇展布:由 Fa 断裂东侧注入口进入的三角洲砂体由于规模较大,部分扇体沿着侧接叠覆转换带向西南侧延伸,部分扇体受古地貌影响垂直于 Fa 断裂向南展布至 Fc 断裂处,由于东侧断裂活动性强于西侧,且存在活动强度突变,在变出处形成断裂坡折,坡折处地势低洼水体加深,沉积物在断裂坡折之下快速卸载,形成湖底扇沉积。

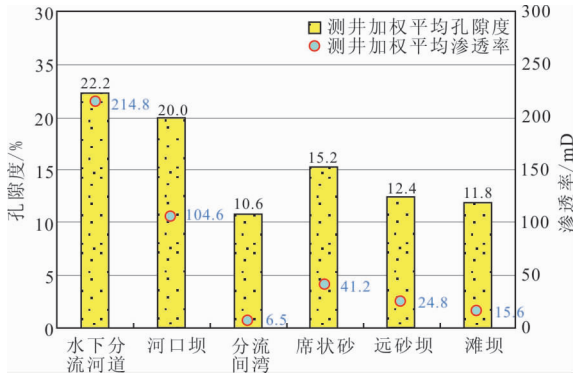


图 9 沉积微相与储层孔渗关系图

Fig. 9 Relationship between sedimentary microfacies and reservoir porosity and permeability

砂岩泥质含量、粒度与沉积环境密切相关,即使相同成因类型的砂体因其所处构造位置、河道期次及沉积水动力的差异,致使砂岩泥质含量、粒度也存

在较明显差异,并对储层的物性影响较大,表现在东区反转构造带转换带水下分流河道微相储集砂体泥质含量低、砂岩粒度有变粗的趋势,为优质储层的形成奠定了基础。钻井实践表明,远离转换带的 WS-10、WS-14 井储层物性以中—低孔,低—特低渗为主,物性较差,且物性变化较快。转换带区的 WS-8、WS-9 井则以中—高孔中—高渗储层为主,物性较好(表 1)。形成这种物性差异的主要原因在于砂岩泥质含量与粒度不同。统计表明,流二段储层物性与泥质含量负相关,低泥质杂基,储层物性较好。而砂岩面孔率与粒度中值正相关,砂岩面孔率随粒径的增大而增加。远离转换带的 WS-10、WS-14 井泥质含量高、粒度细,孔喉多被泥质杂基充填,孔隙连通性较差(图 10(a));而转换带泥质含量少、粒度粗,孔隙发育好,连通性亦好(图 10(b))。本区流二段储层的泥质含量及砂岩粒度是控制井间物性优劣的主要因素,转换带的水下分流河道微相是形成优质储层的重要条件。

表 1 乌石东区已钻井流二段储层物性统计表

Tab. 1 Reservoir properties statistics table of the second member of Liushagang formation in the eastern area of Wushi

位置	井号	深度/m	渗透率/md	孔隙度/%	岩性	样品类型
转换斜坡区	WS-4	2156.5	184.0	23.7	细砂岩	壁心
	WS-8	2133.5	99.0	22.2	粉砂岩	壁心
	WS-8	2212.0	1134.0	25.6	中细砂岩	壁心
	WS-9	2126.4	277.6	24.6	粉砂岩	壁心
	WS-9	2131.1	289.4	25.6	粉砂岩	壁心
	WS-9	2136.7	137.9	22.6	细砂岩	壁心
	WS-9	2146.6	1097.5	24.9	粉细砂岩	壁心
	WS-9	2172.5	173.5	22.0	粉细砂岩	壁心
	WS-9	2178.7	173.4	22.2	粉砂岩	壁心
	WS-9	2206.0	9.4	12.4	泥质粉砂岩	壁心
	WS-9	2293.0	548.4	19.4	细砂岩	壁心
	WS-9	2337.0	203.6	22.0	含砾中砂岩	壁心
远离转换斜坡区	WS-10	2194.6	273.6	22.7	细砂岩	壁心
	WS-10	2252.4	6.3	15.6	粉砂岩	壁心
	WS-10	2449.0	15.5	18.2	细砂岩	壁心
	WS-10	2506.6	8.3	15.9	细砂岩	壁心
	WS-10	2514.8	2.0	15.8	泥质粉砂岩	壁心
	WS-14	2598.3	0.8	13.9	泥质粉砂岩	壁心
	WS-14	2639.5	11.9	16.7	粉细砂岩	壁心
WS-14	2656.4	34.6	18.9	粉细砂岩	壁心	

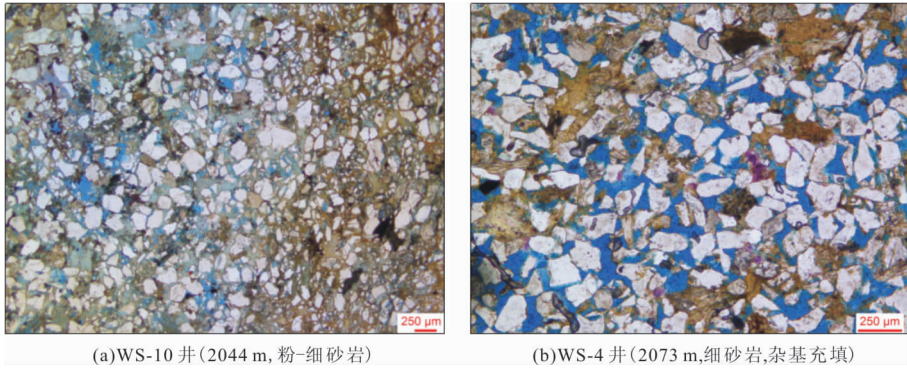


图 10 WS-10、WS-14 井镜下铸体薄片特征

Fig. 10 Microscopic sheet features of WS-10, 14

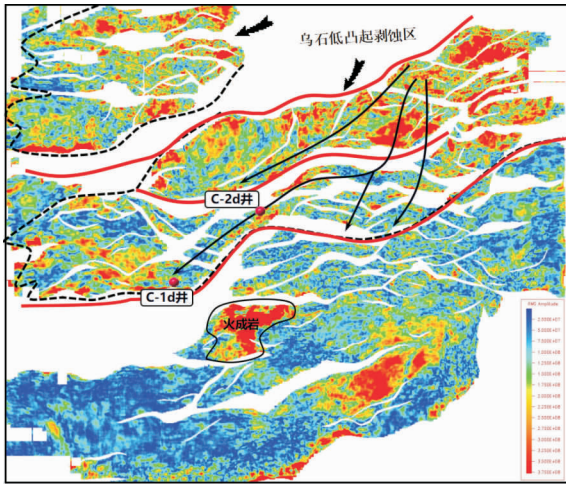


图 11 流二段属性融合(RMS+ARC)图

Fig. 11 Attribute fusion of the second member of Liushagang formation

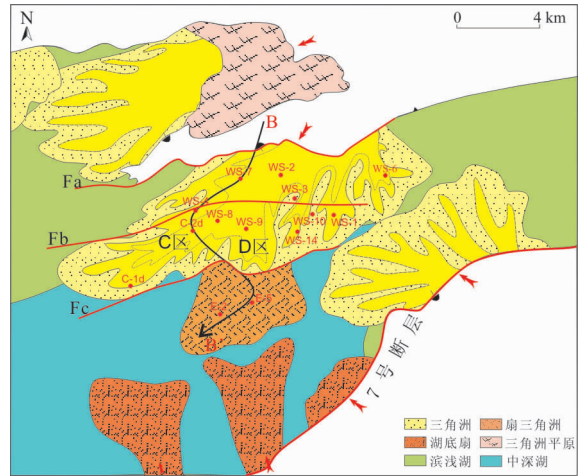


图 12 乌石东区流二段沉积微相平面图

Fig. 12 Sedimentary facies of the second member of Liushagang formation in the eastern area of Wushi

在构造转换带对沉积体系的控制作用研究指导下,利用测井曲线、岩心实物特征,结合地震剖面对沉积体系展布特征做了刻画,并利用地震属性对沉积体系平面展布进行预测。研究区地震均方根振幅属性、弧长属性平面图等与砂体展布具有良好的对应关系,尤其是对控制优质储层发育的水下分流河道砂具备良好的指示作用。在此基础上利用属性融合技术对研究区进行了精细储层预测。从属性融合平面图显示,厚层箱状水下分流河道砂表现为高振幅值的红色区域,砂泥互层的席状砂表现为低振幅值的蓝色区域,整体红色区呈三角洲的朵叶体形态由北东向南西向推进(图 11),清晰地反应了三角洲平面形态,预测了本区优质储层展布特征(图 12)。河道砂体分布严格受同沉积断裂形成的转换带控制,也佐证了前述构造转换带对沉积微相的控制作用。

综合认为乌石东区流二段有利储层主要分布在三角洲前缘水下分流河道区,尤其是位于构造转换带的乌石 C、D 区为优质砂体富集区,靠近断裂下降盘砂体厚度大、分选好、泥质含量低、物性好,是下步寻找优质油藏的重要探区。

4 结论

1) 乌石东区流二段沉积期断裂组合对沉积的控制作用表现为,北东向断裂 Fa、Fb、Fc 差异性活动形成的盆缘、凹中单断同向转换带、侧接叠覆转换带控制着北物源三角洲、湖底扇砂体优势展布,具有远距离搬运沉积的特点,表明乌石东区反转构造带具备发育大型储集体条件。

2) 沉积环境不同造成的砂岩粒度与泥质杂基差异是本区流二段储层物性优劣的主控因素,侧接叠覆转换带水下分流河道微相储集砂体粒度粗、分选好、泥质含量低,为优质储层的形成提供了借鉴。

3) 乌石东区反转构造带乌石 C、D 构造处于侧接叠覆转换带水下分流河道微相发育区,砂岩粒度较粗且泥质含量较低,为优质储层发育有利区。

参考文献:

- [1] 孙同文,高喜成,吕延防,等. 断裂转换带作为油气侧向、垂向运移通道的研究进展[J]. 石油与天然气地质, 2019,40(5):1012-1015.
SUN T W,GAO X C,LY Y F,et al. Research progress in fault transformation zones as lateral or vertical hydrocarbon migration pathways[J]. Oil & Gas Geology,2019,40(5):1012-1015. (In Chinese)
- [2] 李峻颀,侯国伟,秦兰芝,等. 构造转换带制约下的砂体富集效应:以平湖斜坡孔雀亭区平湖组为例[J]. 高校地质学报,2021,27(4):459-468.
LI J,HOU G W,QIN L Z,et al. MIAO QingSand enrichment constrained by structural conversion zone;the Pinghu formation in the Kongqueting area of the Pinghu slope[J]. Geological Journal of China Universities, 2021,27(4):459-468. (In Chinese)
- [3] 王浩然,付广,孙同文. 油源断裂古转换带恢复及其输导油气的有利条件——以南堡凹陷 2 号构造 F10 断裂为例[J]. 天然气地球科学,2016,27(10):1848-1854.
WANG H R,FU G,SUN T W. Recovery of oil-source fault ancient transfer zone and its favorable conditions to oil-gas transportation: Taking fault F10 in No. 2 structure of Nanpu sag as an example[J]. Nature Gas Geoscience, 2016, 27(10): 1848-1854. (In Chinese)
- [4] 柳屿博,黄晓波,徐长贵,等. 渤海海域辽西构造带 S 型走滑转换带特征及控藏作用定量表征[J]. 石油与天然气地质,2018,39(1):20-29.
LUI Y B,HUANG X B,XU C G,et al. Characteristics of S-shaped strike-slip transfer zones and quantitative analysis of their[J]. Oil & Gas Geology, 2018,39(1):20-29. (In Chinese)
- [5] 徐长贵,余一欣,吴奎,等. 辽东湾拗陷断裂联接及其控油气作用[J]. 石油与天然气地质,2014,35(4):456-462.
XU C G,YU Y X,WU K,et al. Fault linkages and their control on hydrocarbon accumulation in the Liaodongwan Depression, offshore Bohai Bay basin[J]. Oil & Gas Geology, 2014,35(4), 456-462. (In Chinese)
- [6] 杨希冰,谌志远,满勇,等. 乌石东区流沙港组地层断裂控砂机制[J]. 断块油气田,2017,24(3):342-345.
YANG X B,CHEN Z Y,MAN Y,et al. Sand distribution mechanism of Liu shagang formation in eastern Wushi area[J]. Fault-Block Oil & Gas Field,2017, 24(3):342-345. (In Chinese)
- [7] 陈发景,贾庆素,张洪年. 传递带及其在砂体发育中的作用[J]. 石油与天然气地质,2004,25(2):144-148.
CHEN F J,JIA Q S,ZHANG H N. Transfer zone and its relation with distribution of sand bodies[J]. Oil & Gas Geology, 2004,25(2):144-148. (In Chinese)
- [8] 王家豪,王华,肖敦清,等. 伸展构造体系中转换斜坡的控砂作用[J]. 石油与天然气地质,2008,29(1):19-25.
WANG J H,WANG H,XIAO D Q,et al. Control of transfer zone on sandbodies in the extensional structure system[J]. Oil & Gas Geology, 2008,29(1):19-25. (In Chinese)
- [9] 潘良云,李明杰,王小善,等. 酒泉盆地典型转换斜坡构造特征及控油作用[J]. 石油地球物理勘探[J]. 2013,48(3):458-466.
PAN L Y,LI M J,WANG X S,et al. Structures features of typical transfer zones and its oil-controlling significance in Jiuquan Basin[J]. Oil Geophysical Prospecting,2013,(3):458-466. (In Chinese)
- [10] 田景春,林会喜,林小兵,等. 陆相断陷湖盆断裂构造对沉积体系及砂体的控制作用研究[J]. 物探化探计算技术,2008,30(1):34-39.
TIAN J C,LIN H X,LIN X B,et al. A research of fault control action to sedimentary systems and sand bodies in continental fault depression of lake basin[J]. Computing Techniques for Geophysical and Geochemical Exploration,2008,30(1):34-39. (In Chinese)
- [11] 徐长贵. 陆相断陷盆地源汇时空耦合控砂原理:基本思想、概念体系及控砂模式[J]. 中国海上油气,2013, 25(4):1-11,21.
XU C G. Controlling sand principle of source-sink-coupling in time and space in continental rift basins; Basicidea, conceptual systems and controlling sand models [J]. China Offshore Oil and Gas, 2013, 25(4): 1-11, 21. (In Chinese)
- [12] 徐长贵,范彩伟. 南海西部近海大中型油气田勘探新

- 进展与思考[J]. 复杂油气藏, 2016, 9(1): 13—25.
- XU C G, FAN C W. New exploration progress and thinking of offshore large—medium—sized oil and gas fields in the western South China sea[J]. China Offshore Oil and Gas, 2016, 9(1): 13—25. (In Chinese)
- [13] 刘子漩, 吴冬. 断陷盆地构造转换带对砂体分布影响研究[J]. 中国海上油气, 2021, 33(2): 17—20.
- LIU Z X, WU D. The effect of structural transform zone on sandbody distribution in a fault basin[J]. Complex Hydrocarbon Reservoirs, 2021, 33(2): 17—20. (In Chinese)
- [14] 杨晓萍, 赵文智, 邹才能, 等. 低渗透储层成因机理及优质储层形成与分布[J]. 石油学报, 2007, 28(4): 57—59.
- YANG X P, ZHAO W Z, ZOU C N, et al. Origin of low—permeability reservoir and distribution of favorable reservoir[J]. Acta Petrologica Sinica, 2007, 28(4): 57—59. (In Chinese)
- [15] 尤丽, 招湛杰, 李才, 等. 乌石凹陷流沙港组储层特征与有利储层分布[J]. 东北石油大学学报, 2015, 39(6): 95—99.
- YOU L, ZHAO Z J, LI C, et al. Reservoir characteristics and favorable reservoir distribution of the quicksand port formation in Wushi depression[J]. Journal of Northeast petroleum University, 2015, 39(6): 95—99. (In Chinese)
- [16] 满晓, 胡德胜, 范彩伟, 等. 乌石凹陷“背形负花构造”成因及油气富集规律差异性研究[J]. 中国海上油气, 2021, 33(5): 32—36.
- MAN X, HU D S, FAN C W, et al. Study on the origin of “antiform negative flower structure” and the difference of oil and gas enrichment law in Wushi sag[J]. China Offshore Oil and Gas, 2021, 33(5): 32—36. (In Chinese)
- [17] 罗威, 张道军, 刘新宇, 等. 乌石凹陷南部陡坡带流二段大型储集体发育条件及特征[J]. 沉积学报, 2018, 36(1): 154—165.
- LUO W, ZHANG D J, LIU X Y, et al. Large reservoirs development condition and characteristics of the second member of Liushagang formation in the southern steep slope zone, Wushi depression[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2018, 36(1): 154—165. (In Chinese)
- [18] 徐雪丰, 胡林, 满勇, 等. 乌石凹陷东区走向斜坡控砂模式与勘探实践[J]. 西南石油大学学报(自然科学版), 2017, 39(3): 77—84.
- XU X F, HU L, MAN Y, et al. Sand control model and exploration practice for east Wushi sag strike slope[J]. Journal of Southwest Petroleum University(Science & Technology Edition), 2017, 39(3): 77—84. (In Chinese)
- [19] 杨海长, 梁建设, 胡望水. 乌石凹陷构造特征及其对油气成藏的影响[J]. 西南石油大学学报(自然科学版), 2011, 33(3): 233—239.
- YANG H C, LIANG J S, HU W S. Stratigraphic sequence and sedimentary facies of kepingtage formation in the silurian at the south area of tahe oilfield[J]. Journal of Southwest Petroleum University(Science & Technology Edition), 2011, 33(3): 233—239. (In Chinese)
- [20] 孙伟, 樊太亮, 赵志刚, 等. 乌石凹陷古近系层序地层特征及充填演化[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2008, 38(2): 83—88.
- SUN W, FAN T L, ZHAO Z G, et al. Basin filling features and evolution of sequence stratigraphy of paleogene in Wushi sag [J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2008, 38(2): 83—88. (In Chinese)
- [21] 徐建永, 张功成, 梁建设, 等. 北部湾盆地古近纪幕式断陷活动规律及其与油气关系[J]. 中国海上油气, 2011, 23(6): 363—368.
- XU J Y, ZHANG G C, LIANG J S, et al. Paleogene activities of episodic rifting and their relationships with hydrocarbon in Beibuwan basin[J]. China Offshore Oil and Gas, 2011, 23(6): 363—368. (In Chinese)
- [22] 胡林, 杨希冰, 徐雪丰, 等. 南海北部湾盆地乌石凹陷成藏主控因素与成藏模式[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2016, 36(2): 121—127.
- HU L, YANG X B, XU X F, et al. Main controlling factors and accumulation models of hydrocarbon in Wushi sag, beibu gulf basin, south china sea[J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2016, 36(2): 121—127. (In Chinese)
- [23] 蕙克来, 操应长, 王艳忠, 等. 低渗透储集层成岩作用与孔渗演化—以准格尔盆地中部1区侏罗系三工河组为例[J]. 石油勘探与开发, 2015, 42(4): 434—443.
- XI K L, CAO Y C, WANG Y Z, et al. Diagenesis and porosity—permeability evolution of low permeability reservoirs: A case study of Jurassic Sangonghe formation in Block1, central Junggar basin[J]. Petroleum

Exploration and Development, 2015, 42(4): 434-443.
(In Chinese)

- [24] 张小莉,沈英,陈文学. 利用测井资料分析成岩作用对储集层的影响[J]. 沉积学报, 2000, 18(1): 127-131.
ZHANG X L, SHEN Y, CHEN W X. Application of well logging information to analysis on the effect of diagenesis in reservoirs[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2000, 18(1): 127-131. (In Chinese)
- [25] 王瑞飞,沈平平,赵良金. 深层储集层成岩作用及孔隙

度演化定量模型——以东濮凹陷文东油田沙三段储集层为例[J]. 石油勘探与开发, 2011, 38(5): 552-559.
WANG R F, SHEN P P, ZHAO L J. Diagenesis of deep sandstone reservoirs and a quantitative model of porosity evolution: Taking the third member of Shahejie formation in the Wendong oilfield, Dongpu sag, as an example[J]. Petroleum Exploration And Development, 2011, 38(5): 552-559. (In Chinese)

Study on the distribution of high-quality hydrocarbon reservoirs under the control of structural conversion zone in the second member of Liushagang formation in the eastern area of Wushi sag

MAN Yong, DENG Yong, HU Lin, ZHANG Shuai, XUE Hongtao, LIU Juan
(CNOOC China Limited, Hainan Branch, Haikou 570311, China)

Abstract: The tectonic transition zone controls the paleogeographic pattern and paleocurrent direction and then controls the distribution of the sedimentary system. It plays a vital role in controlling oil and gas accumulation. Drilling practice shows that reservoir formation conditions of the second member of Liushagang formation in the eastern area of Wushi sag are superior, which is the most natural area for finding high-quality reserves. However, the single layer of the second member of the Liushagang formation reservoir has a single thin layer, poor connectivity, and firm reservoir heterogeneity. Therefore, studying the genesis and distribution of high-quality reservoirs is the key to oil and gas exploration in this area. In this study, the extensive use of logging, seismic, wall core, and other data, combined with the analysis of structural transition zone controlled deposition, Analysis of the main controlling factors and distribution law of high-quality reservoirs in the second member of the Liushagang formation in this area. The results show that: The lateral-overlay structural conversion zone has an excellent guide to the source water system and controls the development zone of high-quality reservoirs; Types of sedimentary microfacies, mud content, and sandstone particle size are the main factors affecting the physical properties of the second member of Liushagang formation reservoir; The lateral-overlay structural conversion zone is favorable development areas for forming high-quality reservoirs, and also essential exploration areas for finding high-quality oil reservoirs.

Keywords: Wushi sag; structural conversion zone; high-quality reservoir; main controlling factors; important exploration area