准噶尔盆地阜东斜坡区中上侏罗统储集层 特征差异及控制因素分析

于景维¹⁾, 叶勇²⁾, 柳妮³⁾, 朱永才²⁾, 文华国⁴⁾

- 1) 中国石油大学(北京)克拉玛依校区,新疆克拉玛依,834000;
- 2) 中国石油新疆油田分公司,勘探开发研究院,新疆克拉玛依,834000;
 - 3) 克拉玛依职业技术学院,新疆克拉玛依,834000;
- 4) 成都理工大学"油气藏地质及开发工程"国家重点实验室,成都,610059

内容提要:准噶尔盆地是中国西部地区最重要的含油气盆地之一,阜东斜坡区中上侏罗统头屯河组和齐古组是近期勘探重点。根据野外露头、钻井岩芯和分析化验资料,详细分析头屯河组和齐古组储集层特征差异,包括储集层岩矿特征和物性特征差异。岩矿特征中重点对碎屑、填隙物以及孔隙类型和结构特征进行对比分析,物性特征中重点对储集层类型进行研究,发现齐古组储集砂层储集质量总体上要好于头屯河组。通过综合分析,认为阜东斜坡区中上侏罗统储集层特征差异主要受构造、沉积相、异常压力和成岩作用复合控制,构造演化的差异是导致头屯河组和齐古组储集层特征差异的最关键因素,头屯河组物性最好储集层的微相类型为水下分流河道,齐古组物性最好储集层的微相类型为分流河道,异常压力对原生孔隙保存以及黏土矿物发育位置起到重要影响,成岩作用对于重点层位储集层物性好坏起到决定性作用,其中凝灰质的蚀变序列对于后期油气开发有重要参考价值。

关键词:准噶尔盆地;阜东斜坡区;中上侏罗统;储集层特征;控制因素

准噶尔盆地作为一个大型叠合盆地,同时也是 我国最主要的产油气盆地之一,对于我国国民经济 的增长起到不可替代作用(Lei Dewen et al., 2017; Xu Lin et al., 2017; He Wenjun et al., 2017; Zhang Guanlong et al., 2018)。阜康凹陷东部地区属于典 型的陆相缓坡,主要的油藏类型为受河道砂体控制 的岩性油藏和地层-岩性复合油藏(图1)。侏罗纪 地层既是主要的烃源岩层,也是重要的储集层 (Kuang Jun et al., 2002; Wang Minfang et al., 2005; Shang Lin et al., 2011)。前期多数勘探重点 在中侏罗统头屯河组 (J_2t) ,对其物源、沉积特征、层 序及储集层方面做了详细探讨(Liu Deguang et al., 2005; Ling Yun et al., 2006; Ji Min et al., 2009; Shang Lin et al., 2011; Zhang Xinjian et al., 2012; Yu Jingwei et al., 2014a, 2014b, 2014c, 2014d; Liu Ni et al., 2014; Qi Liqi et al., 2014). 随着勘探的深入,尤其是2012年在阜东斜坡区内阜 东 16 井及阜东 022 井上侏罗统齐古组(J₃q)获得工 业油流,使得勘探重点开始放到齐古组。由于阜东 斜坡区齐古组与头屯河组同属辫状河三角洲沉积, 以对头屯河组储集层相同研究手段对齐古组储集层 进行勘探开发,结果却很不理想,主要对于两类储集 层特征及其差异了解太少,加之优质储层控制因素 的不明确等问题阻碍下一步的勘探进程。本文以前 人研究为基础(Deledaer et al.,2003; Xu Shan et al.,2006; Yang Fengxiang et al.,2011; Wang Si'en et al.,2012),利用野外观察、测井和地震资料、研究 区 40 余口井头屯河组和齐古组近 300 m 岩芯、储集 层的物性、黏土矿物、铸体薄片、扫描电镜及同位素 分析共计 5 千余数据,系统对比两个重点层段储集 层碎屑、黏土矿物、填隙物、孔隙结构及物性等特征, 并分析控制这些差异的主要原因,以期有利研究区 中晚侏罗世地层勘探开发。

1 地质背景

准噶尔盆地位于中国新疆的北部,是中国第二

注:本文为中国石油大学(北京)克拉玛依校区人才引进项目(编号 RCYJ2016B-01-010)和新疆自治区青年基金(编号 2016D01B012)资助成果。

收稿日期:2017-04-23;改回日期:2018-03-24;责任编辑:周健。

作者简介:于景维,男,1985 年生。讲师,博士,主要从事沉积储层学、高分辨层序地层学的教学与科研。Email;yyjjww-1985@163.com。

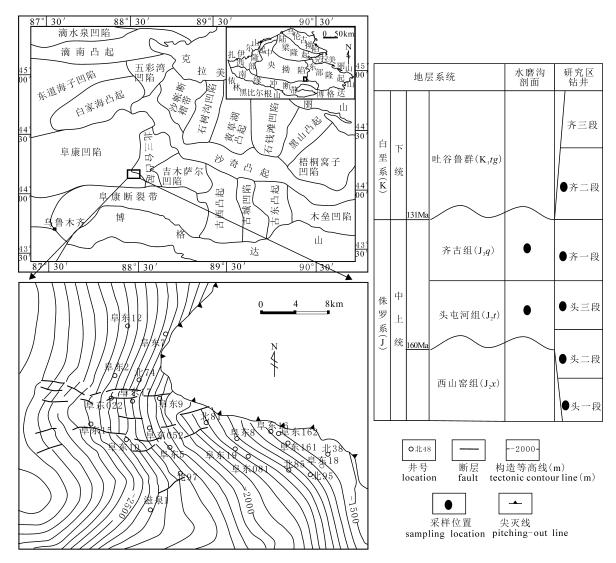


图 1 研究区地理位置图(左)及采样层位(右)

Fig. 1 Location (left) and sampling stratum (right) of study area

大的内陆盆地。大地构造位置上,准噶尔地块位于哈萨克斯坦古板块、西伯利亚古板块及塔里木古板块的交汇部位,属于哈萨克斯坦古板块。盆地构造演化极其复杂,早期演化受古亚洲洋的开裂和闭合的控制,晚期则受到了特提斯洋的关闭和青藏高原隆升的影响(Shang Lin et al.,2011)。盆地位于阿尔泰山与天山之间,西侧为准噶尔西部山地,东至北塔山麓。盆地呈不规则三角形,地势向西倾斜,北部略高于南部。根据盆地内的隆坳组合关系,将盆地划分为8个一级构造单元,29个二级构造单元。本文的研究区域主要位于一级构造单元中央坳陷东部的阜东斜坡区,宽度为20~40km,面积约800km²,整体为一简单的低缓鼻状构造(图1)。

中侏罗世后期阜东斜坡区内的主要沉积地层为 头屯河组,是一套陆相的碎屑岩沉积地层。头屯河 组自下而上可划分为头一段、头二段和头三段,结合 试油资料,头一段和头二段为储层发育的主要层段,主要发育辫状河三角洲前缘亚相;上侏罗统阜东斜坡区内的主要沉积地层为齐古组,也是一套陆相的碎屑岩沉积地层。齐古组自下而上可划分为齐一段、齐二段和齐三段,由于齐三段在研究区分布较少,齐一段和齐二段为储层发育的主要层段,主要发育辫状河三角洲平原亚相。通过对油源的分析发现,研究区中生界烃源岩主要发育于二叠系平地泉组,二叠系一三叠系小泉沟群以及中下侏罗统。

2 样品的采集与分析

本次研究所采集中上侏罗统头屯河组和齐古组样品来自乌鲁木齐南部的水磨沟剖面和 30 余口钻井(图 1),所有样品均为新鲜样品,受风化作用影响较小。共选取样品 230 块,所统计砂岩样品粒径大多数大于 0.1mm。将 230 块样品不均等分成 4 份,

根据实验需要,分别进行实验分析。第一组样品进行全岩和黏土矿物 X 衍射分析。第二组样品,磨制岩石薄片进行粒度分析。第三组样品进行扫描电镜观察和能谱分析,检测依据包括《岩石样品扫描电子显微镜分析方法》SY/T5162—1997 和《岩石矿物能谱定量分析方法》SY/T6189—1996,检测仪器包括扫描电子显微镜 JSM-5500LV 和 X-射线能谱仪QUANTAX400。第四组样品进行压汞分析。根据实验需要,针对齐古组重要样品做同位素分析。

3 储集层岩矿特征对比

3.1 碎屑特征对比

(1)碎屑含量:经大量铸体薄片鉴定结果表明,研究区头屯河组储集层砂岩中石英碎屑含量平均为23.35%,长石平均含量为21.82%,以钾长石为主,含有少量斜长石,岩屑平均含量为54.83%,主要为岩浆岩岩屑。头屯河组稳定组分石英与不稳定组分长石和岩屑之比所表征的成分成熟度指数平均为0.31;齐古组储集层砂岩中石英碎屑含量平均为23.5%,长石平均含量为12.9%,以钾长石为主,也含部分斜长石和条纹长石,岩屑平均含量为63.6%,主要为岩浆岩岩屑,其次为变质岩岩屑。齐古组储集层砂岩成分成熟度指数平均为0.3。从总体上看,头屯河组和齐古组储集层砂岩碎屑含量中长石含量有所差异,砂岩成分成熟度相似。

(2)碎屑结构:经粒度资料数据统计,研究区头

屯河组大多数储集层砂岩粒度都在细粒级范围内,颗粒分选以好为主,部分样品分选中等。砂岩磨圆度以次棱一次圆状为主,少量次棱角状。碎屑普遍具颗粒支撑,砂岩颗粒间多为点接触和点-线接触。以压嵌型和孔隙型胶结为主;齐古组大多数储层砂岩粒度都在细粒、中粒的粒级范围内。磨圆度以次棱角状为主,分选以中等和好为主,胶结类型主要为薄膜型、孔隙型和孔隙-压嵌型。从总体上看,头屯河组和齐古组砂岩的结构成熟度都较高。

3.2 填隙物特征对比

(1)杂基:研究区头屯河组储集砂岩中杂基含量 平均为1.16%,主要由泥级矿物组成;齐古组储集 砂岩中杂基含量较低,平均为0.25%,主要为粘土 物质。

(2)胶结物:通过铸体薄片鉴定和扫描电镜观察,研究区头屯河组储集砂岩中分布较广泛的胶结物矿物成分主要为水云母、粘土矿物和(铁)方解石。通过54块样品 X-衍射分析的平均数据表明(表1),粘土矿物主要为伊/蒙混层,以包膜的形式存在,其次为高岭石和绿泥石;齐古组储集砂岩中胶结物主要为粘土矿物和方解石,含少量方沸石和黄铁矿。通过52块样品 X-衍射分析的平均数据表明(表1),粘土矿物主要为伊/蒙混层,其次为高岭石和绿泥石,但伊/蒙混层含量要低于头屯河组(图2A~D)。

从总体上看,头屯河组和齐古组储集砂岩填隙 物类型相似,含量有差异。

表 1 阜东斜坡区头屯河组和齐古组填隙物含量

Table 1 Amount and composition of interstitial material of Qigu and Toutunhe Formations in Fudong slope area

层位	杂基(%)		黏土矿物(相对)(%)		胶结物(%)			
	泥质	伊蒙混层	高岭石	绿泥石	伊利石	水云母	黄铁矿	方解石	方沸石
$J_2 t$	1. 16	86.30	6.10	5.60	2.00	1.21	0.12	1. 52	0.09
J_3q	0.25	65.63	11.00	13. 17	10.20	未测到	0.50	4.20	0.40

3.3 孔隙类型及结构特征对比

根据镜下对研究区头屯河组砂岩铸体薄片的观察,砂岩储层的储集空间主要为原生粒间孔隙,部分岩石中发育粒内溶孔和微裂缝及粒间溶孔;通过齐古组砂岩铸体薄片的观察,砂岩储层的储集空间主要为原生粒间孔隙,部分岩石中发育粒内溶孔,与头屯河组相似(图 2E~H)。

孔隙结构好坏是评价储集层好坏的重要依据, 压汞曲线是孔隙结构的最直观的反映。因此,利用 压汞测试分析结果(表 2),反映研究区头屯河组和 齐古组砂岩储层孔隙结构的基本特征。

从总体上看,头屯河组排驱压力要低于齐古组,

但中值压力较高,反映出头屯河组储集砂体渗滤性 要低于齐古组;头屯河组中值半径大于齐古组,表明 头屯河组喉道要粗;分选系数的差异反映出齐古组 孔隙大小较头屯河组分布更加均匀;变异系数的差 异表明齐古组孔隙结构较头屯河组要好。

3.4 储集层物性特征对比

据研究区 300 余件样品物性分析资料统计(表2),研究区头屯河组和齐古组砂岩储层孔隙度与渗透率相关性较好,表明砂岩的储、渗能力主要依赖于砂岩基质孔隙与喉道。头屯河组储集砂岩物性较差,据 SY/T 6285—1997 油气储层评价方法,主要属于低孔低渗型储层;齐古组储集砂岩主要属于中

表 2 阜东斜坡区头屯河组和齐古组压汞特征参数

Table 2 Characteristic parameters of mercury injection in Toutunhe and Qigu Formations in Fudong slope area

层位	有效孔隙度 (%)	渗透率 (×10 ⁻³ μm²)	均值	分选系数	偏态	峰态	变异系数	中值压力 (MPa)
J ₂ t	14. 39	26. 55	10.79	2.35	-0.20 $(-3.37 \sim 0.90)$	2. 17	0. 23	3. 87
(样品 270 个)	(9. 96~23. 81)	(0. 54~95. 80)	(6.94~13.62)	(0.54~4.26)		(1. 26~7. 44)	(0. 04~0. 47)	(0. 08~9. 64)
J ₃ q (样品 90 个)	16.95 $(3.10\sim29.70)$	$ \begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$ \begin{array}{c} 10.15 \\ (7.28 \sim 13.19) \end{array} $	2. 60 (0. 94~3. 80)	0.10 $(0.01\sim0.55)$	$ \begin{array}{c} 1.70 \\ (1.34 \sim 4.37) \end{array} $	0. 25 $(0.46 \sim 0.07)$	2.00 (0.19~18.52)
层位	中值半径 (μm)	排驱压力 (MPa)	最大孔喉半径 (μm)	退汞效率 (%)	孔喉体积比	平均毛管半径 (μm)	均质系数	孔隙体积百 分数(%)
J ₂ t	0.87	0.46	5.77	24. 23	4. 32	1.81	0.20	30.50
(样品 270 个)	(0.04~9.78)	(0.02~4.66)	(0.16~9.84)	(5. 31~59. 52)	(0. 68~9. 82)	(0.05~10.12)	(0.07~0.45)	(1.15~87.89)
J ₃ q	0.40	1.00	10.7 $(0.22\sim68.54)$	22.70	3.85	3. 05	0. 20	22.75
(样品 90 个)	(0.10~6.79)	(0.02~3.30)		(5.33~100.00)	(1.85~17.74)	(0. 37~15. 87)	(0. 11~0. 36)	(10.05~31.46)

注:平均数(最小值~最大值)。

孔中渗型储层。

4 储集层特征差异控制因素

造成研究区中上侏罗统储集砂岩特征差异的因素有很多,包含构造环境,沉积环境,异常压力以及成岩作用。

4.1 构造环境

燕山运动对研究区头屯河组和齐古组沉积期的 沉积演化、生物、岩相古地理演化具有重大意义,在 其影响下,头屯河组和齐古组物源发生改变。头屯 河组时期沉积物源主要为克拉美丽山和南部渐渐隆 起的博格达山,而齐古组时期沉积物源又增加研究 区北部的北三台凸起,使得齐古组沉积速度快,岩石 粒度总体要粗于头屯河组,这为齐古组储集砂岩物 性好于头屯河组奠定基础条件。

同时,燕山运动的发生使地层褶皱隆起,也促使火山活动的复苏(Lu Bing et al.,2008),大量火山物质通过火山灰沉降或者河流搬运(Zhang Hui et al.,2000),以岩屑或填隙物形式主要存在于研究区上侏罗统齐古组(图 2I~K)。在成岩演化进程中,由于火山物质含量的不同,研究区块成岩、压力及流体活动性的差异,导致了火山物质不同的成岩途径,其溶蚀、蚀变、残存的差异性,多种粘土矿物形成提供条件(Yang Hua et al.,2007)。

另外,前人对准噶尔盆地进行异常压力形成机制研究,先将准噶尔盆地进行分割,进而对所分割区域异常压力的形成进行分析,认为侏罗纪末期到白垩纪初期发生的燕山运动使得天山造山带以及博格达山楔状体继续隆升向北挤压,准噶尔盆地东部发生差异升降、块断隆升作用,是造成研究区产生异常压力的关键因素(Zha Ming et al.,2000;Qu Jiangxiu et al.,2003)。而异常压力的存在,对于研

究区中上侏罗统粘土矿物分布有着十分重要的 影响。

4.2 沉积相和岩性

沉积相和岩性是影响研究区头屯河组和齐古组储集能力差异的重要因素。头屯河组一齐古组整体为湖退期,沉积一套以三角洲为主的陆源碎屑(Yu Jingwei et al.,2014a),从"大前缘,小平原"发展为"大平原,小前缘"。研究区中上侏罗统陆源碎屑容易受到古气候和古水动力的影响,非均质性很强(Yu Jingwei et al.,2014c)。头屯河组时期气候温暖湿润,水动力较强,波浪对于砂体冲刷频繁,钙质胶结多发育在水流受阻的河道底部;齐古组时期气候干旱,湖平面下降迅速,存在于砂岩孔隙的地下水中的碳酸盐结晶沉淀,使钙质胶结广泛存在于三角洲平原分流河道中。

同时,中上侏罗统沉积微相及岩性的不同,决定 了储集层具有不同类型和规模的孔隙组合与演化特 点,最终表现为不同沉积相和岩性对储层发育的控 制。从图 3 可看出,头屯河组在各类岩性中以高能 环境条件下沉积的水下分流河道微相类型的细砂岩 孔渗性为最好,大多数为孔隙度 15%以上,相对应 渗透率为 30×10⁻³ μm²以上,其次为分流河道微相 类型的细砂岩,大多数为孔隙度为10%以上,相对 应渗透率为 8×10⁻³ μm² 以上,再次为河口坝微相类 型的粉一细砂岩,孔隙度为6%以上,相对应渗透率 为 0.8×10⁻³ μm²以上,而水下天然堤微相类型的泥 质粉砂岩为差储层和非储层;齐古组的各类岩性中, 以高能环境条件下沉积的分流河道微相类型的细一 中砂岩孔渗性为最好,孔隙度大部分为20%以上, 相对应渗透率为 90×10⁻³ μm²以上,其次为水下分 流河道微相类型的细砂岩,大多数为孔隙度为10% 以上,相对应渗透率为 $5\times10^{-3}\mu\text{m}^2$ 以上,而天然堤

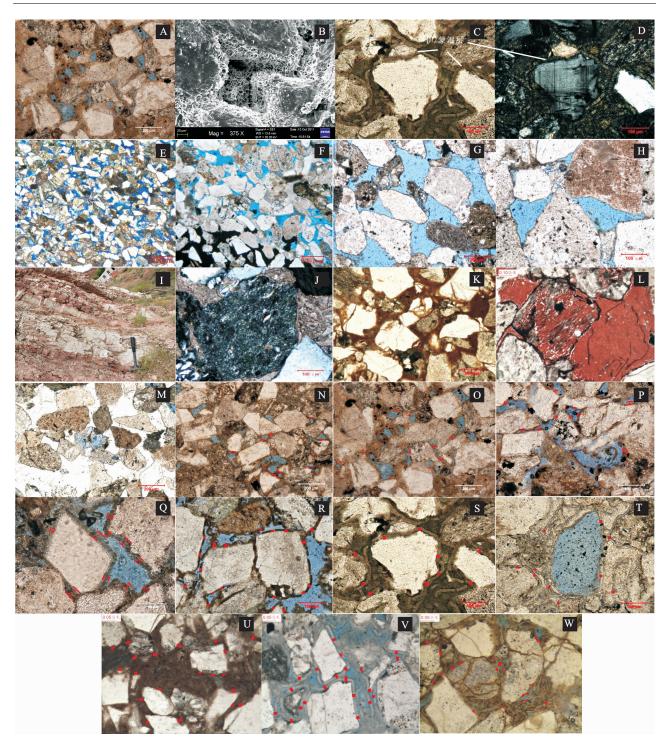


图 2 阜东斜坡区头屯河组和齐古组岩石学特征

Fig. 2 Petrological characteristics of Qigu and Toutunhe Formations in Fudong slope area

A一中细岩屑砂岩,阜东 081 井,2708. 43m, J_2t ; B一粒表包裹的似蜂巢状伊/蒙混层矿物,阜东 8 井,2521. 5 m, J_2t ; C、D一钙质中粒岩屑砂岩,阜东 16, 2037. 4m, J_3q ; E一细粒长石岩屑砂岩,阜东 5 井,3008. 23m, J_2t ,孔隙类型主要为原生粒间孔;F一细中粒长石岩屑砂岩,阜东 2 井,3177. 55m, J_2t ,孔隙类型主要为原生粒间孔及剩余粒间孔;G一细中粒长石岩屑砂岩,阜东 162 井,2001. 5m, J_3q ,孔隙类型主要为原生粒间孔;H一细中粒长石岩屑砂岩,阜东 17 井,2882m, J_3q ,孔隙类型包括原生粒间孔和溶蚀孔隙;I一灰白色凝灰质砂岩,水磨沟剖面, J_3q ;J一凝灰质岩屑,阜东 19 井,2414m, J_3q ;K一凝灰质填隙物,北 38 井,1837. 7m, J_3q ;L一方解石充填溶孔,阜东 18 井,1922. 7m, J_3q ;M一长石溶蚀,阜东 17 井,2868m, J_3q ,N一细粒岩屑砂岩,阜东 11 井,2944. 35m, J_2t^2 ;O一细粒岩屑砂岩,阜东 081 井,2708. 43m, J_2t^1 ;P一细粒岩屑砂岩,台 16 井,2438m, J_2t^2 ;Q一细粒岩屑砂岩,捻索 1 井,3711. 88m, J_2t^2 ;R一中一细粒岩屑砂岩,阜东 161 井,2052m, J_3q^1 ;S、T一中粒岩屑砂岩,阜东 161 井,2037. 4m, J_3q^1 ;U一细一中粒岩屑砂岩,阜东 18 井,1927. 5m, J_3q^1 ;W一中粒岩屑砂岩,北 38 井,1837. 7m, J_3q^1

A—Fine and middle grained lithic sandstone, Fudong 081 well, 2708. 43m, J_2t ; B—illite mixed layer on the surface of grains like hive, Fudong 8 well, 2521. 5 m, J_2t ; C, D—middle grained calcareous lithic sandstone, Fudong16 well, 2037. 4m, J_3q ; E—fine grained feldspathic lithic sandstone, Fudong 5 well, 3008. 23m, J_2t , primary porosity is the main pore type; F—fine and middle grained feldspathic lithic sandstone, Fudong 2 well, 3177. 55m, J_2t , primary porosity and residual pores are main pore types; G—fine and middle grained feldspathic lithic sandstone, Fudong 162 well, 2001. 5m, J_3q , primary porosity is the main pore type; H—fine and middle grained feldspathic lithic sandstone, Fudong 17 well, 2882m, J_3q , solution pores and primary porosity are main pore types; I—tuffaceous sands with gray and white color, Shuimogou profile, J_3q ; J—tuffaceous debris, Fudong 19 well, 2414m, J_3q ; K—tuff fillings, Bei 38 well, 1837. 7m, J_3q ; L—calcite fills solution pores, Fudong 18 well, 1922. 7m, J_3q ; M—dissolution of feldspar, Fudong 17 well, 2868m, J_3q ; N—fine grained lithic sandstone, Fudong 081 well, 2708. 43m, J_2t^1 ; P—fine grained lithic sandstone, Tai 16 well, 2438m, J_2t^2 ; Q—fine grained lithic sandstone, Fudong 18 well, 1925. 5m, J_3q^1 ; S, T—middle grained lithic sandstone, Fudong 18 well, 1925. 5m, J_3q^1 ; V—fine and middle grained lithic sandstone, Fudong 18 well, 1925. 5m, J_3q^1 ; V—fine and middle grained lithic sandstone, Bei 38 well, 1837. 7m, J_3q^1

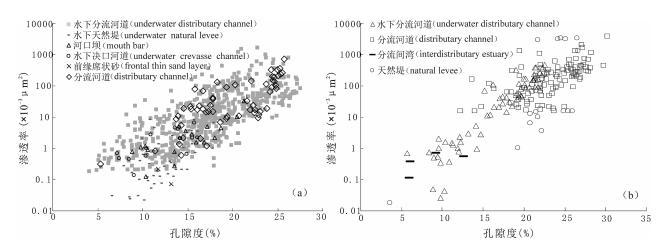


图 3 阜东斜坡区中上侏罗统沉积微相与储集物性关系

Fig. 3 Relationship between sedimentary micro-facies and reservoir physical property

in Upper-Middle Jurassic of Fudong slope area

(a)一头屯河组;(b)一齐古组

(a)—Toutunhe Formation; (b)—Qigu Formation

和分流间湾微相类型的泥质粉砂岩和砂质泥岩为差储层和非储层。

4.3 异常压力

前人对准噶尔盆地异常压力做过详细研究(Liu Zhen et al.,2002; He Kai et al.,2008),认为博格达山逆冲附加的地应力和欠压实造成异常高压普遍形成。对研究区多口井中上侏罗统压力系数统计分析,普遍表现出异常高值(图 4),地层压力系数可达到2.0,在出现高地层压力的深度附近,储集层的物性也相对变好,推测研究区异常高压带的出现对于改善储集层物性是十分有利的(Fu Guang et al.,1999; Li Lixia et al.,2001; Li Huijun et al.,2004)。首先,异常高压带附近抗压实、压溶作用较强,限制石英的增生,保存大量原生孔隙;其次,异常高压带内流体活动性变弱,从侧面限制胶结作用,为原生孔隙保存创造条件;同时,研究区少量井的中上侏罗统

岩芯中存在高角度裂缝,被泥质充填或者半充填。如果是后期构造活动产生裂缝,其范围应较广,推测应为异常高压带的产物,一定程度上有利于储集物性改善。更重要的是异常压力控制黏土矿物存在位置,只有在异常压力底部(Yu Jingwei et al.,2015),由于流体活动性较强,促使黏土矿物之间的相互转化(图 5)。

4.4 成岩作用

研究区中上侏罗统储集砂岩成岩作用包含压实作用、胶结作用以及溶蚀作用等,其中对储集质量最有影响的是压实作用和溶蚀作用。碎屑颗粒的组构特征如颗粒的大小、分选、磨圆及塑性矿物含量等对压实作用效应都有影响,颗粒越粗,分选和磨圆越好,塑性矿物含量越低,则后期抗压能力越强,有利于原生孔隙保存。储集层压实作用强度可通过压实率来定量表征,有效反映压实强度:

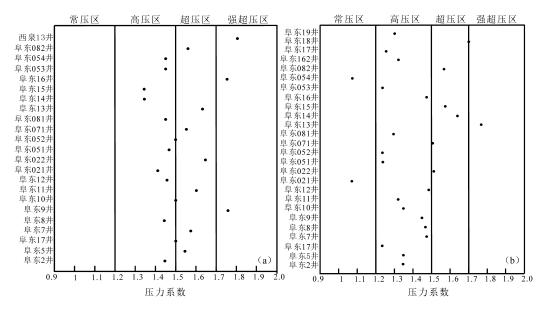


图 4 阜东斜坡区中上侏罗统地层压力系数统计

Fig. 4 Statistics of formation pressure coefficient in Upper-Middle Jurassic of Fudong slope area (a)—头屯河组;(b)—齐古组

(a)—Toutunhe Formation; (b)—Qigu Formation

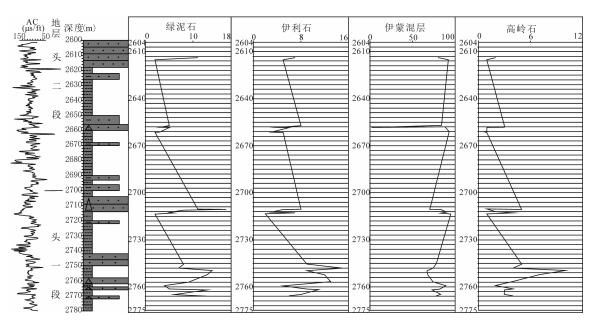


图 5 阜东斜坡区阜东 081 井头屯河组声波时差及黏土矿物相对含量纵向变化

Fig. 5 Schemes about relative content of main clay minerals and interval transit time changing in vertical of Toutunhe Formation in well FD081 of Fudong slope area

其中原始孔隙度可通过 Sneider 图版 (Sneider et al.,1978)应用分选系数进行计算 (J_2t 为 30.65%, J_3q 为 29.72%):

压实率=原始孔隙体积-压实后粒间体积×100% 原始孔隙体积

经过计算可得头屯河组储集砂岩压实率达到53.05%,齐古组储集砂岩压实率为43.96%。

另外对一部分齐古组钙质碎屑岩样品进行同位素分析,结果显示大多具有很负的 δ^{13} C(PDB)值,主要介于-7.5%~-40.4%之间,并伴有较低的 δ^{18} O 值(-6.6%~-12.2%),指示这些砂岩中钙质胶结物形成过程中受到了较为强烈的有机影响,钙质胶结物的沉淀多与相对更深部含有机酸的孔隙流体侵入有关。而较低的 δ^{18} O 值指示样品可能经历了强烈的水岩相互作用。总体反映流体为深部热流体来

源,且具有向上温度逐渐降低、壳源锶侵染加重等特征。从侧面表明后期热液的交代作用,有机酸流体沿着多期叠置分流河道冲刷面流动溶蚀沉淀(图6)。同时据镜下研究观察,以长石颗粒或含长石的碎屑颗粒溶解作用为主的溶蚀现象存在较多(图2L、M),发生时间相对稍晚,明显改善孔隙连通性和增强渗流条件(表3)。

通过上述分析发现,头屯河组砂岩受到压实作用影响较大,齐古组砂岩溶蚀作用较强是头屯河组储集层物性差于齐古组储集层物性的重要原因。

同时,凝灰质在成岩过程中的蚀变对于储集层物性也有一定的影响。头屯河组凝灰质成分先蚀变成大量伊/蒙混层和蒙皂石,由于较高异常压力限制流体活动性,少量伊/蒙混层和蒙皂石转化为绿泥石、高岭石及伊利石,大量伊/蒙混层以包膜形式存在(图 2N~Q)。对头屯河组伊/蒙混层包膜厚度进

行测量,发现厚度越大,物性相对较差(表 3);齐古组凝灰质成分由于水介质以及酸性流体环境变化,先蚀变成大量绿泥石和伊/蒙混层,后期绿泥石和伊/蒙混层转化为方解石,最终形成方沸石。伊/蒙混层和绿泥石以包膜形式存在(图 2R~W),对包膜厚度进行分析,发现厚度越大,物性相对较好(表 3)。

不同类型粘土矿物形成对于后期油气田开发有十分重要影响,尤其涉及到储集层敏感性研究。头屯河组蒙脱石类矿物发育,因此开发时期应注意水敏带来的影响;齐古组伊/蒙混层和绿泥石发育,开发时除了注意水敏,还要注意酸敏带来的危害。这是头屯河组和齐古组后期油气开发最大差别。

5 结论

(1)准噶尔盆地阜东斜坡区中上侏罗统砂岩储

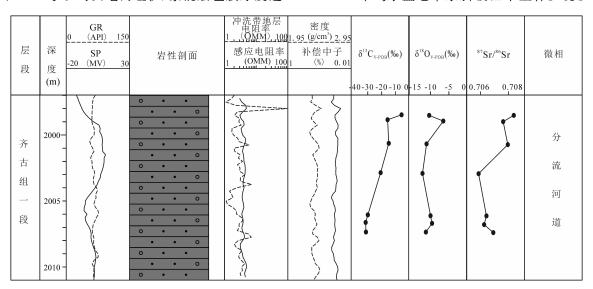


图 6 阜东斜坡区阜东 162 井综合柱状图

Fig. 6 Synthetic column map of well FD162 in Fudong slope area

表 3 阜东斜坡区头屯河组和齐古组颗粒包膜厚度与物性关系

Table 3 Relationship between reservoir physical property and capsular thickness of grains in Toutunhe and Qigu Formation of Fudong slope area

井号	深度(m)	 层位		物性	颗粒包膜厚度(μm)			
开写	休及(III)	太世	孔隙度(%)	渗透率(×10 ⁻³ μm ²)	最大值	最小值	平均值	
阜东 081 井	2708. 43	$J_2 t$	15.3	29.8	34. 3	13.6	26.60	
阜东 11 井	2944.35	$J_2 t$	17.8	46.0	70.7	11. 4	23. 40	
滋泉1井	3711.88	$J_2 t$	20.8	187.0	24.3	15.9	19.30	
台 16 井	2438.00	$J_2 t$	28.0	312.0	20.0	6.5	13.40	
北 38 井	1837.70	J_3q	19.0	28.7	14.0	5.4	7. 37	
阜东 161 井	2052.00	J_3q	21.5	52.2	21.0	6. 2	11.75	
阜东 18 井	1925.50	J_3q	20.5	90.1	18.0	7. 1	12.66	
阜东 18 井	1927.50	J_3q	29.7	778. 0	21.3	9.8	13.87	
阜东 16 井	2037.40	J_3q	25.9	270.0	23. 2	9. 2	13. 28	

层在成分成熟度、结构成熟度、填隙物类型以及孔隙 类型方面较相似,在长石含量、粘土矿物含量、孔隙 结构以及物性方面有较大差异,总体来看,齐古组储 集砂岩质量要好于头屯河组储集砂岩。

(2)构造环境,沉积相和岩性,异常压力以及成 岩作用综合控制中上侏罗统储集砂岩特征差异。燕 山运动的发生促使头屯河组和齐古组储集砂岩物源 发生变化,同时构造运动的发生伴随着活跃的火山 活动,为储集层提供大量火山物质,燕山运动还造成 地层挤压,形成异常压力;沉积相和岩性共同控制了 中上侏罗统储集层的成因类型,形成于高能环境下 细一中砂岩分流河道和水下分流河道细砂岩分别是 齐古组和头屯河组物性最好的储集砂岩;异常压力 的存在,有利于储集层原生孔隙的保存,同时在异常 压力底部更有利于黏土矿物之间的转化,在一定程 度上控制了黏土矿物转化;成岩作用类型多样,压实 作用对储集层原生孔隙的破坏最大,溶蚀作用在一 定程度上改善储层连通性和渗流性,尤其是在成岩 过程中凝灰质成分的蚀变,对于后期中上侏罗统油 藏开发方式具有重要影响。

References

- Fu Guang, Xue Yongchao, Yang Mian. 1999. The cause of abnormal pore fluid pressure and its contribution to the discussion. Marine Origin Petroleum Geology, 4(4):46~50 (in Chinese with English abstract).
- He Kai, Tian Shideng, Wen Gangfeng, Li Peijun, Li Jun. 2008.

 Abnormal pressure distribution characteristics and types in the southwest slope of Fudong slope Beisantai Swell. Journal of Oil and Gas, 30 (1): 50 ~ 54 (in Chinese with English abstract).
- He Wenjun, Zheng Menglin, Fei Liying, Yang Yibo, Yang Tongyuan, Wu Haisheng. 2017. Study on the Palaeogemorphology restoration of Triassic Baikouquan Formation of Mahu Area, Junggar Basin. Geological Review, 63(S1):59~60(in Chinese with English abstract).
- Deledaer J, Ren Junmin. 2003. The sedimentary characteristics of Qigu Formation in Jurassic in Kayindike area of Junggar Basin. Journal of Xinjiang Petroleum Institute, $15 \, (1) : 1 \sim 4$ (in Chinese with English abstract).
- Ji Min, Liu Bin. 2009. Study about the reservoir characteristics of Toutunhe Formation in central Zhunger Basin. Xinjiang Geology, 27(1):58~61(in Chinese with English abstract).
- Lei Dewen, Cheng Gangqiang, Liu Hailei, Li Xiao, Abulimiti, Tao Keyu, Cao Jian. 2017. Study on the forming conditions and exploration fields of the Mahu giant oil (gas) province, Junggar Basin. Acta Geologica Sinica, 91(7):1604~1619(in Chinese with English abstract).

- Li Huijun, Wu Tairan, Ma Zhongji, Zhu Lei, Zhang Wencai. 2004.

 Reserch on the basic characteristics and control factor of high-quality reservoir in Sulige gas field. Natural Gas Industry, 24

 (8):12~13(in Chinese with English abstract).
- Li Lixia. 2001. The diagenesis model of tertiary sandstone reservoir in Bozhong area. China offshore Oil and Gas (Geology), 15 (2):111~119(in Chinese with English abstract).
- Ling Yun, Liu Deguang, Huang Guorong, Tu Xunayi, Yang Hongyi, Li Li. 2006. The study on sedimentary facies of Toutunhe Formation in Shinan area. Xinjiang Oil & Gas, 2 (2):19~23(in Chinese with English abstract).
- Liu Deguang, Ling Yun, Yang Zhao, Wang Guijun. 2005. Genesis and significance of high lime sandstone in Toutunhe Formation, Shinan-21Wellblock, Junggar Basin. Xiniang Petroleum Geology, 26(2):170~171(in Chinese with English abstract).
- Liu Ni, Wen Huaguo, Yu Jingwei, Qi Liqi. 2014. Analysis of macroscopic heterogeneity within high resolution sequence stratigraphic framework in Toutunhe Formation of Middle Jurassic in east of Fukang slope zone, Junggar Basin. Geological Review, 60 (3): 1158 ~ 1166 (in Chinese with English abstract).
- Liu Zhen, Jin Bo, He Weiying, Han Jun, Guan Qiang. 2002. Generation and pressures in distribution of abnormal formation eastern part of the Junggar Basin. Chinese Journal of Geology, 37:91~104(in Chinese with English abstract).
- Lu Bing, Zhang Jin, Li Tao, Lu Miaoan. 2008, Analysis of tectonic framework in Junggar Basin. Xinjiang Petroleum Geology, 29 (3):283~289(in Chinese with English abstract).
- Qi Liqi, Qian Yuxiang, Wang Liang, Li Congwen, Wen Huaguo, Yu Jingwei. 2014. Characteristics of base-level cycles and sand body distribution of Toutunhe Formation in Fudong slope zone, Junggar Basin, China. Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition), 41(2):136~144(in Chinese with English abstract).
- Qu Jiangxiu, Zha Ming. 2003. Origin and characteristics of abnormal pressure in the Junggar Basin. Petroleum Geology & Experiment, 25 (4): 333 ~ 336 (in Chinese with English abstract).
- Shang Lin, Dai Junsheng, Liu Xu, Bian Baoli. 2011. Sedimentary source analysis of Jurassic Toutunhe Formation in Beisantai area in Junggar Basin. Global Geology, 30(4):579 ~ 584 (in Chinese with English abstract).
- Sneider R M, Tinker C, Modked L. 1978. Deltaic environment reservoir types and their characteristics. JPT, 30(11):1539 ~ 1546 .
- Wang Minfang, Jiao Yangquan, Zhang Fushun, Xu Zhicheng, Huang Chuangyan. 2005. Analysis of Jurassic reservoir characteristics and influential factors in Junggar Basin. Petroleum Geology and Oilfield Development in Daqing, 24 (5):20~23(in Chinese with English abstract).
- Wang Si'en, Gao Linzhi. 2012. SHRIMP U-Pb dating of zircons

- from tuff of Jurassic Qigu Formation in Junggar Basin, Xinjiang. Geological Bulletin of China, $31(4):503\sim509$ (in Chinese with English abstract).
- Xu Lin, Chang Qiusheng, Tao Qin'e, Wang Wei. 2017. Reservoir characteristics and control factors of Baikouquan Formation in Triassic, Mabei oilfield, Junggar Basin. Geological Review,63 (S1):277~278(in Chinese with English abstract).
- Xu Shan, Zhang Tingshan, Huo Jin, Huang Shiwei, Lan Guangzhi, Shi Yongming. 2006. The research on sedimentary microfacies of upper Jurassic series Qigu Formation in southern district 9 of Karamay oilfield. West-China Exploration Engineering, 124: 104 ~ 105 (in Chinese with English abstract).
- Yang Fengxiang, Wu Yuefeng, Gao Xianglu, He Yunsheng. 2011.

 Reservoir characters and evaluation of Qigu Formation in fourth No. 2 region of Karamay oilfield. Journal of Southwest Petroleum University (Science & Technology Edition), 33 (6):38~43(in Chinese with English abstract).
- Yang Hua, Yang Yihua, Shi Xiaohu, YinPeng. 2007. Influence of the Late Paleozoic volcanic activity on the sandstone reservoir in the interior of Ordos Basin. Acta Sedimentologic Sinica, 25 (4):526~534(in Chinese with English abstract).
- Yu Jingwei, Li Lulu, Qi Liqi, Wei Fei, Wen Huaguo, Li Yun. 2014a. Reservoir controlling factors of Toutunhe No. 2 Member in Fudong slope zone in eastern Junggar Basin. Xiniang Petroleum Geology, 35(1):34~38(in Chinese with English abstract).
- Yu Jingwei, Zheng Rongcai, Liu Zijun, Qi Liqi, Xu Wenli, Wen Huaguo. 2014b. Sedimentary characteristic and model of Toutunhe Formation in east of Fukang slope and Xiquan area, eastern Jungar Basin. Xinjiang Geology, 32(2):225~230(in Chinese with English abstract).
- Yu Jingwei, Zheng Rongcai, Qi Liqi, Zhang Zongbin, Wen Huaguo, Li Yunc. 2014c. Precise analysis on high-resolution sequence stratigraphy and micro-facies of Toutunhe Formation of Middle Jurassic in the east slope zone, Fukang sag, Junggar Basin. Geological Review, 60(6):1337~1347(in Chinese with English abstract).
- Yu Jingwei, Zheng Rongcai, Yin Xinhua, Qi Liqi, Zhu Yongcai. 2014d. A comprehensive research on reservoir heterogeneity of Toutunhe Formation in slope area, east of Fukang sag, eastern Junggar Basin. Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition), 41(5): 567~576(in Chinese with English abstract).
- Yu Jingwei, Ren Wei, Wang Wuxue, Wang Zesheng, Liu Ni, Ouyang Xueqi. 2015. Influencing factors study of abnormal pressure and favorable area prediction in Toutunhe Formation of Fudong slope area. Xiniang Petroleum Geology, 36(5):521 ~525(in Chinese with English abstract).
- Zha Ming, Zhang Weihai, Qu Jiangxiu. 2000. The character and origin of overpressure and its explorational significance in Junggar. Petroleum Exploration and Development, 27(2):31 ~35(in Chinese with English abstract).

- Zhang Guanlong, Lin Huixi, Zhang Kuihua, Xu Wenguo. 2018.

 Petrologic characteristics of Carboniferous volcanic rocks in
 Luxi, Junggar Basin, and their geological significance.

 Geological Review, 64(1):77 ~ 90 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Hui, Zhou Chao'an, Guo Mintai, Jia Binwen. 2000. The effect of depositional setting on alteration of landing ash. Acta Sedimentologica Sinica, 18 (4): 515 ~ 520 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Xinjian, Xu Tao, Zhou Fei, Xiu Jinlei. 2012. Sedimentary characteristics of beach bar and storm deposits in Toutunhe Formation of Jurassic in block 4 of the middle of Junggar Basin. Journal of Northeast Petroleum University, 36(5):45 ~51(in Chinese with English abstract).

参考文献

- 德勒达尔,任军民. 2003. 准噶尔盆地卡因迪克侏罗系齐古组储层沉积特征. 新疆石油学院学报,15(1):1~4.
- 付广,薛永超,杨勉. 1999. 异常孔隙流体压力的成因及其贡献探讨. 海相油气地质,4(4):46~50.
- 贺凯,田世澄,文刚锋,李培俊,李君.2008.阜东斜坡一北三台凸起 西南斜坡异常压力分布特征及类型.石油天然气学报,30(1): 50~54
- 何文军,郑孟林,费李莹,杨翼波,杨彤远,吴海生. 2017. 玛湖地区三叠系百口泉组沉积前古地貌恢复研究. 地质论评,63(S1):59 \sim 60.
- 季敏,刘斌. 2009. 准噶尔盆地腹部地区头屯河组储层特征研究. 新疆地质,27(1):58 \sim 61.
- 雷德文,陈刚强,刘海磊,李啸,阿布力米提,陶柯宇,曹剑. 2017. 准 噶尔盆地玛湖凹陷大油(气)区形成条件与勘探方向研究. 地质 学报,91(7):1604~1619.
- 李会军,吴泰然,马宗晋,朱雷,张文才. 2004. 苏里格气田优质储集 层的控制因素,天然气工业.24(8):12~13.
- 李丽霞. 2001. 渤中地区第三系碎屑岩储集层成岩作用研究. 中国海上油气地质,15(2): $111\sim119$.
- 凌云,刘得光,黄国荣,吐逊阿依,杨红霞,李立. 2006. 石南地区田头 屯河组沉积相研究. 新疆石油天然气,2(2):19~23.
- 刘得光,凌云,杨召,王桂君. 2005. 石南 21 井区头屯河组高钙砂岩的成因及其意义. 新疆石油地质, 26(2):170~171.
- 柳妮,文华国,于景维,祁利祺. 2014. 准噶尔阜康东部斜坡区中侏罗 统头屯河组高分辨层序地层格架内储集层宏观非均质性研究. 地质论评,60(5);1158~1166.
- 刘震,金博,贺维英,韩军,关强. 2002. 准噶尔盆地东部地区异常压力分布特征及成因分析. 地质科学,37(增刊):91~104.
- 鲁兵,张进,李涛,卢苗安. 2008. 准噶尔盆地构造格架分析. 新疆石油地质,29(3):283~289.
- 祁利祺,钱玉祥,王亮,李丛林,文华国,于景维. 2014. 准噶尔盆地阜东斜坡带头屯河组基准面旋回和砂体分布规律. 成都理工大学学报(自然科学版),41(2):136~144.
- 曲江秀,查明. 2003. 准噶尔盆地异常压力类型及成因探讨. 石油实验地质,25(4):333~336.
- 商琳,戴俊生,刘旭,卞保力. 2011. 准噶尔盆地北三台地区侏罗系头 屯河组沉积物源分析. 世界地质, 30(4):579~584.

- 王敏芳,焦养泉,张福顺,徐志诚,黄传炎. 2005. 准噶尔盆地侏罗系储集层特征及影响因素分析. 大庆石油地质与开发,24(5):20~23.
- 王思恩,高林志. 2012. 新疆准噶尔盆地侏罗系齐古组凝灰岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄. 地质通报,31(4):503~509.
- 许琳,常秋生,陶亲娥,王伟. 2017. 玛北斜坡三叠系百口泉组储集层特征及控制因素. 地质论评,63(S1):277~278.
- 徐山,张廷山,霍进,黄世伟,蓝光志,师永民. 2006. 克拉玛依油田九 区南上侏罗统齐古组沉积微相研究. 西部探矿工程,124:104 ~105.
- 杨凤祥,吴月风,高祥录,何云生. 2011. 克拉玛依油田四 $_2$ 区齐古组储层特征与评价. 西南石油大学学报(自然科学版),33(6):38 \sim 43.
- 杨华,杨奕华,石小虎,尹鹏. 2007. 鄂尔多斯盆地周缘晚古生代火山 活动对盆内砂岩储层的影响. 沉积学报,25(4):526~534.
- 于景维,李璐璐,祁利祺,魏芬,文华国,李云. 2014a. 阜东斜坡带头屯河组二段储集层控制因素. 新疆石油地质,35(1):34~38.
- 于景维,郑荣才,刘自军,祁利琪,徐文礼,文华国. 2014b. 准噶尔东 部阜东及西泉地区头屯河组沉积特征及相模式. 新疆地质,32

- $(2):225\sim230.$
- 于景维,郑荣才,祁利祺,张宗斌,文华国,李云. 2014c. 准噶尔盆地阜康凹陷东部斜坡带中侏罗统头屯河组高分辨层序与沉积微相精细分析. 地质论评,60(6):1337~1347.
- 于景维,郑荣才,殷新花,祁利祺;朱永才.2014d. 准噶尔盆地阜东斜坡区头屯河组储集层非均质性综合研究. 成都理工大学学报(自然科学版),41(5):567~576.
- 于景维,任伟,王武学,王泽胜,柳妮,欧阳雪琪. 2015. 阜东斜坡中侏罗统头屯河组异常高压形成机理.. 新疆石油地质,36(5):521~525.
- 查明,张卫海,曲江秀. 2000. 准噶尔盆地异常高压特征、成因及勘探意义. 石油勘探与开发, 27(2);31~35.
- 张关龙,林会喜,张奎华,许文国. 2018. 准噶尔盆地陆西地区石炭 纪火山岩岩石学特征及其地质意义. 地质论评,64(1):77~90.
- 张慧,周安朝,郭敏泰,贾炳文. 2000,沉积环境对降落火山灰蚀变作用的影响——以大青山晚古生代煤系为例. 沉积学报,18(4):515~520.
- 张新见,许涛,周朏,修金磊. 2012. 准中 4 区块侏罗系头屯河组滩坝及风暴沉积特征. 东北石油大学学报,36(5):45~51.

Character Differences and Controlling Factors of Reservoirs in the Upper-Middle Jurassic Fudong Slope Area, Junggar Basin

YU Jingwei¹⁾, YE Yong²⁾, LIU Ni³⁾, ZHU Yongcai²⁾, WEN Huaguo⁴⁾

- 1) Karamay Campus of China University of Petroleum, Karamay, Xinjiang, 834000;
- 2) CNPC Xinjiang Oilfield Exploration and Development Research Institution, Karamay, Xinjiang, 834000;
 - 3) Karamay Vocational & Technical College, Karamay, Xinjiang, 834000;
 - 4) Chengdu University of Technology, Chengdu, 610059

Abstract

The Junngar basin has been one of the most important petroliferous basins in western China. The Toutunhe and Qigu formations in the Upper-Middle Jurassic Fudong slope area are the recent key strata for exploration. Based on field outcrop, drilling cores and analysis test data, character differences of reservoirs in the Toutunhe and Qigu formations were studied in detail using petrolgic characteristics and physical properties differences of reservoirs. For the former, comparative study was performed on clastic, interstitial material, pore types and structural characteristics, and for the latter, reservoir type is the focus. The study shows that reservoir quality of the Qigu formation is better than that of Toutunhe formation. Comparative analysis indicates that the character differences of reservoirs of Upper-Middle Jurassic in study area are compositely controlled by tectonic, sedimentary facies, abnormal pressure and diagenesis, with tectonic evolution being the leading factor. The best microfacies responsible for good physical properties of the Toudunhe Formation is underwater distributary channel while the best that for the Qigu Formation is distributary channel. Abnormal pressures have important impact on preservation of primary pores and position of minerals development. Diagenesis plays a conclusive role in reservoir physical properties, with tuffaceous alteration sequence having important reference value for future exploration of oil and gas.

Key words: Junngar basin; Fudong slope area; Upper-Middle Jurassic; reservoir characters; controlling factors