

DOI:10.19751/j.cnki.61-1149/p.2019.03.013

深部优质储层成因机理 ——以准噶尔盆地阜东斜坡区侏罗系三工河组碎屑岩储层为例

李彦举¹, 张婷², 许泰³, 朱秀兰³, 段琼³

(1. 兰州城市学院, 甘肃 兰州 730000; 2. 甘肃省油气资源研究重点实验室/中国科学院
油气资源研究重点实验室, 甘肃 兰州 730000; 3. 陇东学院, 甘肃 庆阳 745000)

摘要:阜东斜坡区侏罗系三工河组 3 600~4 300m 内存在平均孔隙度 12.7%、平均渗透率 12.2mD 的优质碎屑岩储层。为了探明其成因机理,通过岩心观察和扫描电镜等技术手段分析了 1 232 个储层样品,确定了其沉积环境特征、岩石和孔隙类型,并通过 GC-MS 分析了 13 个烃源岩样品的地球化学特征。结果表明,研究区地层发育于辫状河三角洲-湖相体系,岩性主要包括中砂岩、粗砂岩和细砂岩,砂岩以长石砂岩和长石岩屑砂岩为主,结构和成分成熟度低;孔隙以原生粒间孔、粒内容孔和粒间溶孔为主。烃源岩中有机质属于 II₂-III 型,处于低成熟-成熟阶段,正在大量生成乙酸和乙二酸。溶蚀作用是深部优质储层发育的根本原因,烃源岩中有机质热解排出的有机酸溶蚀了长石颗粒,形成了大量的次生孔隙,从而改善了储层物性;其溶蚀产物高岭石在深部优质储层段的大量发育,为溶蚀机理提供了有利的证据。

关键词:深部优质储层;次生孔隙;储层物性;阜东斜坡区;准噶尔盆地

中图分类号:TE122.2

文献标志码:A

文章编号:1009-6248(2019)03-0151-11

Formation Mechanism of Deeply Buried High-quality Reservoir: Example from Clastic Reservoir of Sangonghe Formation in Fudong Slope Zone, Junggar Basin

LI Yanju¹, ZHANG Ting², XU Tai³, ZHU Xiulan³, DUAN Qiong³

(1. Lanzhou City University, Lanzhou 730000, Gansu, China; 2. Key Laboratory of Petroleum Resources, Gansu Province/
Key Laboratory of Petroleum Resources Research, Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences,
Lanzhou 730000, Gansu, China; 3. Longdong University, Qingyang 745000, Gansu, China)

Abstract: A high-quality clastic reservoir exists at the depth range of 3 600~4 300m in Sangonghe Formation of Fudong slope zone, Junggar Basin, having an average porosity of 12.7% and average permeability of 12.2mD. In order to explore its formation mechanism, 1 232 reservoir samples have been tested and analyzed through core observation, thin identification, X-ray diffraction and scanning electron microscope, and then their sedimentary environment, rock and pore types have been determined. And the geochemical characteristics, organic matter types and maturity of 13 source rock samples have been analyzed by GC-MS method. The results reveal that the reser-

收稿日期:2018-12-10;修回日期:2019-05-17

基金项目:国家自然科学基金面上项目“富火山岩岩屑砂砾岩储层中沸石类自生矿物的形成条件和溶蚀机理及其对储层物性的影响”(41872145)

作者简介:李彦举(1989-),男,甘肃会宁人,副教授,主要从事石油地质学和沉积学的研究。E-mail:lyanju@lzb.ac.cn

voir of the research area is developed in the braided river delta-lake sedimentary system, which mainly consists of braided river delta frontier and shore-shallow lake subfacies. The lithology is mainly composed of medium sandstone, coarse sandstone and fine sandstone, which mostly belong to feldspar sandstone and feldspar lithic sandstone with low texture maturity and component maturity. Pore types primarily contain intergranular pore, intergranular solution pore and solution pore in grains. The kerogen of source rocks belongs to type II₂-III and has a wide range of maturity, which produces abundance of acetic acid and oxalic acid. Dissolution is the main cause for the development of deep high-quality reservoirs the pyrolysis. The organic matter in source rock released organic acid to corrode feldspar particles through fractures and unconformities into reservoir, and then the secondary pores was formed, which improves the reservoir properties. The kaolinite, served as the dissolution product, was developed mostly in deep high-quality reservoirs, providing a favorable evidence for the mechanism of dissolution.

Keywords: deeply buried high-quality reservoir; secondary pore; reservoir characteristic; Fudong slope zone; Junggar Basin

0 引言

深部优质储层一般是指埋深在 3 000~6 000 m 内,孔隙度大于 10%、渗透率大于 10 mD 的储层(钟大康等,2008)。随着国内外油气勘探的不断深入和技术的日趋成熟,勘探的目标逐渐由中浅层转向深层,深部优质储层不断被发现(EHRENBERG S N, 1993; WILKINSON M, 1997; AASE N E et al., 1996)。其中探明储量的 63.3% 分布在碎屑岩, 35.0% 分布在碳酸盐岩,其余的 1.7% 分布在变质岩和火成岩(CAO B F et al., 2013)。关于其成因机理,历来众说纷纭,莫衷一是,其中最具代表性的是颗粒薄膜效应、早期油气充注、孔隙流体超压、膏盐效应和溶蚀作用(PANG Rong et al., 2014)。颗粒薄膜效应最早可以追溯到 20 世纪 60 年代(HEALD MT, et al., 1960),并不断被后来的研究者所证实(SWALE D L, 1988; DIXON S A et al., 1989);颗粒薄膜可以发育在多种沉积环境中,但主要见于三角洲相(夏景生等,2009;张晶等,2013),其次是河流相(DOWEY P J, et al., 2012)。早期油气充注改善储层物性的说法一直颇具争议,国内学者认为油气充注可以抑制自生石英和伊利石的发育,从而改善储层物性(蔡进功等, 2013;胡海燕,2004)。但是 Taylor (TAYLOR T R, 2005)等的研究表明烃类流体对石英胶结速率和储层质量没有可观的影响。孔隙流体超压最易理解:孔隙压力削弱了有效应力,延缓了机械压实速率,从而最

大限度地保留了原生粒间孔隙。但是由于地层压力发育历史的复杂性和胶结作用的破坏,孔隙流体超压可能只在成岩作用早期发挥作用(张凯逊等,2016)。膏盐效应是由于膏盐与周围沉积物的热导率差异造成膏盐上部沉积物正热异常,下部沉积物的负热异常,负热异常抑制了石英颗粒等胶结物的发育,从而造成富膏盐区域与正常区域砂岩物性的差异。溶蚀作用是形成深部优质储层的最普遍的机理,只是不同的地区发育程度不同而已。最常见的被溶蚀组分是碳酸盐胶结物,其次是长石颗粒和岩石碎屑。笔者在准噶尔盆地阜东斜坡区侏罗系三工河组碎屑岩储层沉积环境和岩石学特征分析的基础上,由溶蚀现象出发,系统地研究了溶蚀作用发育必须具备的条件,认为研究区完全具备溶蚀作用发育所需的最佳条件,长石颗粒溶蚀形成的次生孔隙是研究区深部优质储层发育的根本原因。

准噶尔盆地位于中国新疆维吾尔自治区北部,在阿勒泰山和天山之间,是中国西部最有潜力的大型叠合含油气盆地之一。阜东斜坡区位于盆地中北部,包括阜康凹陷东端、五彩湾凹陷南部、白家海凸起、北三台凸起、阜康断裂带北部和沙帐断褶带西南部,面积约 5 000 km²(图 1)。侏罗系自下而上依次划分为八道湾组(J_{1b})、三工河组(J_{1s})、西山窑组(J_{2x})、头屯河组(J_{2t})和齐古组(J_{3q})。三工河组储层沉积于辫状河三角洲-湖泊相体系,与下伏的八道湾组呈不整合接触,储层平均厚度约 260 m,沉积时期经历了一次水进一水退过程,顶部和底部储层厚

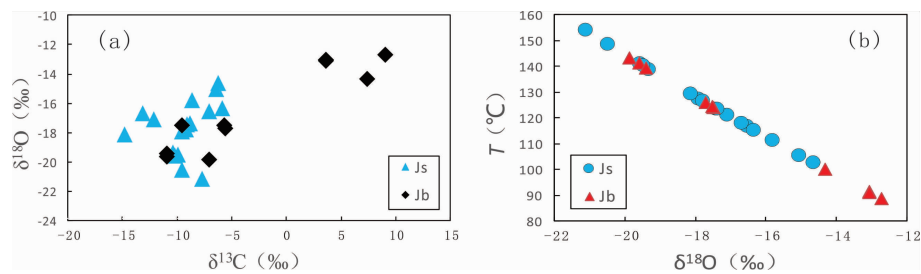


图 2 (a)碳酸盐胶结物碳氧同位素值和(b)温度值

Fig. 2 (a)Carbon and oxygen stable isotope in carbonate cements and (b)paleo temperature

在储层样品无机碳酸盐胶结物稳定同位素研究的基础上,烃源岩层样品生物标志化合物能够提供沉积水体和环境更加丰富的信息。笔者选取了研究区 13 块烃源岩样品,其中 8 块来自三工河组,2 块来自西山窑组,3 块来自八道湾组。实验时将样品分为 2 部分,其中一部分使用碳硫分析仪和 Rock - Eval 热解分析仪分别测定样品的 TOC(总有机碳)含量和生烃潜量($S_1 + S_2$);另一部分样品用氯仿进行索氏抽提 72h,抽提物用正己烷沉淀后过滤除去沥青质,经柱色层分离后分别用正己烷,二氯甲烷和甲醇冲洗得到饱和烃,芳烃和非烃。使用安捷伦科技有限公司 6890N - GC/5973N - MS 对饱和烃进行分析,结果见表 1 和表 2。研究区烃源岩样品

OEP₂₅₋₂₉ 为 1.03~1.61(OEP 是用正构烷烃奇偶数碳优势来判别有机质成熟度的参数),CPI(碳优势指数)为 1.01~1.73, R_o (镜质组反射率)为 0.47~0.88,处于低演化阶段,还未大量生烃。三工河组样品 P_r/P_h (姥植比,姥鲨烷和植烷相对丰度之比,用于判别沉积环境的氧化还原程度)分布在 0.89~2.04,只有一个样品的 P_r/P_h 小于 1,表明沉积物埋藏于氧化环境。 T_s/T_m (三降藿烷的一对异构体的相对丰度比值,用来评价有机质的热演化程度)分布在 0.01~0.42,除台 13 检测到一定丰度的 γ 蜡烷外,其余样品中 γ 蜡烷丰度较低,有机质演化程度不高,沉积水体盐度偏低,这与碳酸盐胶结物稳定同位素的研究结果一致。

表 1 研究区烃源岩样品生物标志化合物参数表

Tab. 1 The biomarkers parameters of Jurassic source rocks from Fudong slope area in Junggar Basin

样品名称	层位	岩性	P_r/nC_{17}	P_h/nC_{18}	P_r/P_h	OEP ₂₅₋₂₉	CPI	T_s/T_m	C2920S/ (20S+20R)	C ₂₉ ββ/ (αα+ββ)
阜 4	J _{2x}	深灰色泥岩	0.56	0.48	1.17	1.22	1.32	—	0.36	0.24
阜 2	J _{2x}	碳质泥岩	2.51	0.38	4.91	1.44	1.68	0.01	0.31	0.21
阜 4-1	J _{1s}	碳质泥岩	0.33	0.21	1.63	1.58	1.7	0.18	0.38	0.24
阜 4-2	J _{1s}	碳质泥岩	0.54	0.29	1.73	1.39	1.45	0.15	0.37	0.26
阜 4-3	J _{1s}	碳质泥岩	0.62	0.46	1.47	1.31	1.5	0.03	0.38	0.22
阜 4-4	J _{1s}	碳质泥岩	0.51	0.3	1.28	1.42	1.35	0.06	0.35	0.31
阜 1	J _{1s}	黑色泥岩	0.61	0.25	2.04	1.04	1.09	0.16	0.48	0.53
阜东 9	J _{1s}	灰绿色泥岩	0.58	0.59	1.95	1.16	1.13	0.25	0.41	0.45
台 52	J _{1s}	碳质泥岩	0.43	0.35	1.59	1.26	1.32	0.42	0.32	0.45
台 13	J _{1s}	碳质泥岩	0.44	0.37	0.89	1.03	1.01	0.33	0.53	0.49
大黑山煤矿	J _{1b}	煤	0.56	0.05	7.78	1.35	1.45	0.01	0.46	0.27
张家庄煤矿	J _{1b}	煤	1.12	0.1	7.74	1.61	1.73	0.01	0.43	0.24
北 27	J _{1b}	黑色泥岩	0.58	0.56	2.6	1.39	1.64	0.1	0.32	0.52

注:Pr/nC17 是姥鲨烷与相邻正构烷烃相对丰度之比;Ph/nC18 是植烷与相邻正构烷烃相对丰度之比;Pr/Ph 是姥植比;OEP 是用正构烷烃奇偶数碳优势来判别有机质成熟度的参数;CPI 是碳优势指数; T_s/T_m 是三降藿烷的一对异构体的相对丰度比值,用来评价有机质的热演化程度;C2920S/(20S+20R) 是甾烷 20S 构型与甾烷 20S 和 20R 构型之和的比值;C₂₉ββ/(αα+ββ) 是甾烷 ββ 构型与 αα 构型和 ββ 构型之和的比值。

表2 阜东斜坡区侏罗系三工河组烃源岩地球化学参数表
Tab.2 The basic geochemical parameters of Jurassic source rocks from Fudong slope area in Junggar Basin

样品名称	层位	岩性	Ro	T _{max} (℃)	族组分				
					饱和烃(%)	芳烃(%)	非烃(%)	沥青质(%)	饱/芳
阜4	J _{2x}	深灰色泥岩	0.88	426	24.48	30.94	33.39	11.19	0.79
阜2	J _{2x}	碳质泥岩	0.64	431	14.61	16.31	38.39	30.69	0.89
阜4-1	J _{1s}	碳质泥岩	0.67	439	33.55	22.07	41.16	3.23	1.52
阜4-2	J _{1s}	碳质泥岩	0.85	432	43.96	22.63	30	3.41	1.94
阜4-3	J _{1s}	碳质泥岩	0.87	440	32.32	22.96	41.33	3.39	1.40
阜4-4	J _{1s}	碳质泥岩	0.87	451	17.22	16.45	57.61	8.71	1.05
阜1	J _{1s}	黑色泥岩	0.8	482	28.99	28.85	34.93	7.22	1.00
阜东9	J _{1s}	灰绿色泥岩	0.47	443	35.21	5.15	58.54	1.09	6.84
台52	J _{1s}	碳质泥岩	0.72	447	34.43	20.82	43.44	1.3	1.65
台13	J _{1s}	碳质泥岩	0.6	436	36.03	7.36	54.56	2.05	4.89
大黑山煤矿	J _{1b}	煤	0.61	445	21.77	27.61	15.33	35.29	0.79
张家庄煤矿	J _{1b}	煤	0.63	440	19.94	18.37	16.58	45.1	1.08
北27	J _{1b}	黑色泥岩	0.48	442	30.15	15.02	53.82	1.01	2.01

1.2 沉积相

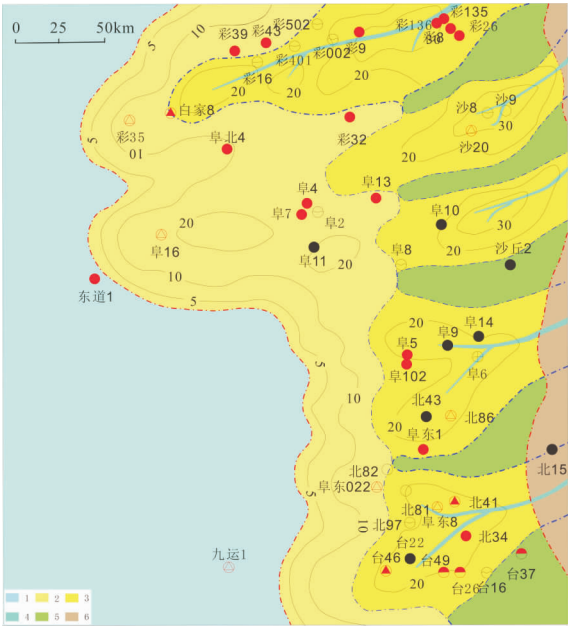
准噶尔盆地阜东斜坡区三工河组发育于辫状河三角洲-湖泊相沉积体系,以辫状河三角洲前缘亚相和滨浅湖亚相为主,并发育有少量的三角洲平原亚相。其中,三角洲前缘亚相又可细分为水下分流主河道、水下分流河道微相、水下分流河道间微相和席状砂(图3)。

水下分流河道:发育有大量的灰色含砾砂岩和粗砂岩,在分流河道主河道偶见灰色的砂砾岩。较粗的含砾砂岩和粗砂分布在河道底部,泥质含量低,反应了较强的水动力条件。随着水动力条件的减弱,中部以板状层理发育中粗砂岩和中砂岩,顶部覆盖少许分流河道间水平层理的粉砂岩。测井曲线显示块状箱形高幅度特征。

水下分流河道间:分流河道间沉积是水下分流河道之间的较细粒的沉积物,沉积于水动力较弱的环境中,发育有中薄层灰色泥岩和泥质粉砂岩。但因水下分流河道决口发育少量的灰色细砂岩和中砂岩,泥岩和粉砂岩以波纹层理和水平层理为主,细砂岩呈波状交错层理,中砂岩呈板状交错层理。测井曲线显示中高幅齿化箱形及漏斗形。

席状砂:席状砂是辫状河三角洲前缘的末端沉积,紧邻滨浅湖沉积,横向延伸较远,纵向上厚度较

小,发育有薄层的灰色细砂岩和粉砂岩。席状砂沉积经过湖水频繁淘洗,砂体中泥质含量低,测井曲线显示中低幅指状特征。



1. 滨浅湖;2. 前缘席状砂;3. 前缘水下分流河道;4. 前缘水下分流主河道;5. 前缘水下分流河道间;6. 三角洲平原

图3 研究区三工河组沉积相特征图

Fig.3 Plane graph of sedimentary facies of Sangonghe Formation

滨浅湖:滨浅湖沉积在研究区三工河组大量发育,岩性以暗色泥岩和泥质粉砂岩为主,夹有少量的粉砂岩和泥质粉砂岩,多呈波纹层理和水平层理构造,测井曲线显示低幅度线状特征。滨浅湖水生生物繁茂,生物化石丰富,适宜烃源岩发育,研究区三工河组两套烃源岩均发育于滨浅湖相。

2 储层基本特征

2.1 岩石类型

阜东斜坡区侏罗系三工河组储层 1 232 个岩心样品的统计表明,三工河组储层主要以细粒的粗砂岩(18.0%)、中砂岩(29.8%)和细砂岩(12.8%)为主,粗粒的砾岩(11.8%)和含砾砂岩(12.3%)的含量较少;还有少量的泥质砂岩和砂砾岩等。储层砂岩中长石平均含量为 13.1%,岩屑平均含量为 54.9%,石英平均含量为 32.0%,以岩屑砂岩和长石岩屑砂岩为主,多呈灰色或灰绿色,分选较好,磨圆中等,成分和结构成熟度都较低(图 4);砂砾岩也多呈灰绿色,砾石分选差,磨圆较好,以次棱角-次圆状为主,成分较为复杂,含有大量的火山碎屑。杂基含量为 0.3%~12.2%,平均为 3.1%。胶结物含量为 0.3%~4.0%,主要是碳酸盐和硅质胶结,其次是石英次生加大和菱铁矿。

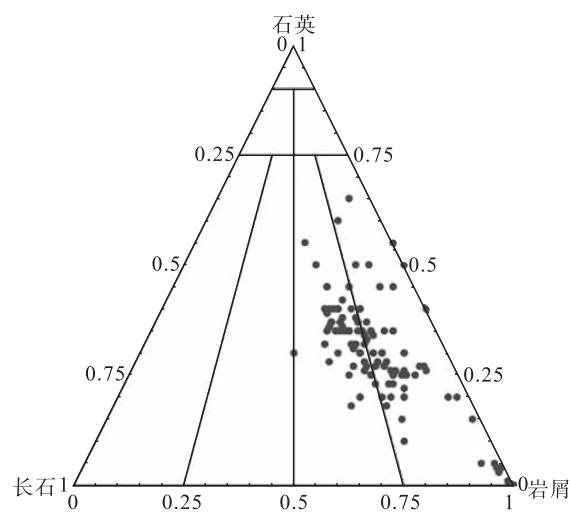


图 4 研究区砂岩分类砂岩类型三角图

Fig. 4 Petrologic characteristics of reservoir rocks

2.2 储层孔隙特征及分类评价

阜东斜坡区三工河组储层孔隙度为 2.3%~

27.0%,平均为 12.89%,渗透率为 0.01~911.68 mD,平均为 1.44 mD,属于中孔低渗储层。孔隙以原生粒间孔、粒内溶孔和粒间溶孔为主,占整个孔隙空间的 90%以上,还有少量的微裂缝、基质溶孔和晶间孔等。主要孔隙组合类型包括原生粒间孔+粒间溶孔(原生粒间孔为主,面孔率<20%,渗透性较好,是最主要的孔隙组合类型,主要见于中砂岩)、粒间溶孔+原生粒间孔(粒间溶孔为主,面孔率大于 20%,部分可达 80%,渗透性差)和微孔+粒内溶孔(连通性差,基本处于孤立状态)。压汞资料和铸体薄片显示,三工河组储层孔喉普遍较粗,喉道以大喉道和中喉道为主,呈片状、湾片状或管束状,大多数样品的毛管压力曲线呈现粗歪度。

为了对储层物性特征有更加直观的认识,笔者通过参考油田孔渗评价标准,综合考虑研究区储层孔渗特点,结合压汞资料,将研究区储层划分为 5 类。如表 2 所示,研究区储层样品落在 V 类储层(差)范围内的孔隙度占 3.55%,渗透率占 14.76%;落在 IV 类储层(较差)范围内的孔隙度占 35.55%,渗透率占 22.62%;落在 III 类储层(中等)范围内的孔隙度占 7.11%,渗透率占 17.62%。落在 II 类储层(较好)范围内的孔隙度占 13.03%,渗透率占 17.62%;I 类储层(好)孔隙度占 40.76%,渗透率占 6.67%。

从孔隙度与深度关系图(图 5)可以看出,储层孔隙度与埋藏深度之间存在明显的负相关关系。在 1 500~3 600 m 深度内,储层孔隙度随着深度的增加急剧减小,最大孔隙度从 35%降低到 15%,这是压实作用造成的。3 600~4 300 m 深度内,储层孔隙度没有延续下降的趋势,最大值从 15%增加到 22%,从而在研究区的深部形成了一段平均孔隙度 12.7%、平均渗透率 12.2 mD 的优质储层(II 类,较好),这是溶蚀作用形成的次生孔隙带。从 4 300 m 开始,孔隙度又持续下降,储层物性进一步变差。

3 深部优质储层发育机理

3.1 沉积相是深部优质储层发育的基础

沉积相控制着碎屑岩储层的分选、粒度和杂基含量等,是影响储层物性的最基本因素。前已述及,研究区储层主要发育于辫状河三角洲前缘水下分流河道微相,夹有少量的水下分流河道间微相。3 600~

表 3 阜东斜坡区侏罗系三工河组碎屑岩储层分类评价表

Tab. 3 Classification evaluation of clastic reservoir from Jurassic Sangonghe Formation of Fudong slope zone, Junggar Basin

分类依据	I 类储层	II 类储层	III 类储层	IV 类储层	V 类储层
储层等级	好	较好	中等	较差	差
孔隙度(%)	>15	12~15	10~12	5~10	<5
渗透率(mD)	>100	10~100	1~10	0.1~1	<0.1
最大孔喉半径(μm)	>10	2~10	0.5~2	0.1~0.5	<0.1
均质系数	>0.3	0.2~0.3	0.15~0.2	0.1~0.15	<0.1
孔隙度占比	40.76%(172)	13.03%(55)	7.11%(30)	35.55%(150)	3.55%(15)
渗透率占比	6.67%(28)	17.62%(74)	22.62%(95)	38.33%(161)	14.76%(62)

注:孔隙度占比是指满足孔隙度分类条件的样品数占总样品数的比值;渗透率占比是指满足渗透率分类条件的样品数占总样品数的比值。

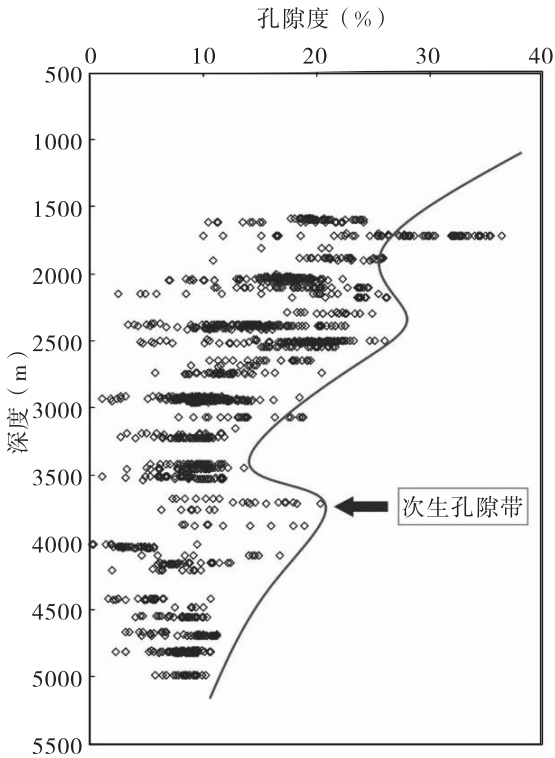


图 5 孔隙度-深度关系图

Fig. 5 Relationship between porosity and depth

4 300 m 深部优质储层发育范围内,发育于分流河道间的样品泥质杂基含量高,平均孔隙度为 8.2%,岩性以浅灰或深灰色的细砂岩、粉砂岩和粉砂质泥岩为主;发育于分流河道的样品泥质杂基含量低,平均孔隙度为 13.69%,岩性以浅灰色或灰色的砾岩、砂砾岩和粗砂岩为主;4 000~4 100 m 层段孔隙度小于 5%的样品均来自于分流河道间。沉积相对储层物性的影响非常明显。

3.2 溶蚀作用是深部优质储层发育的根本原因

3.2.1 有机酸

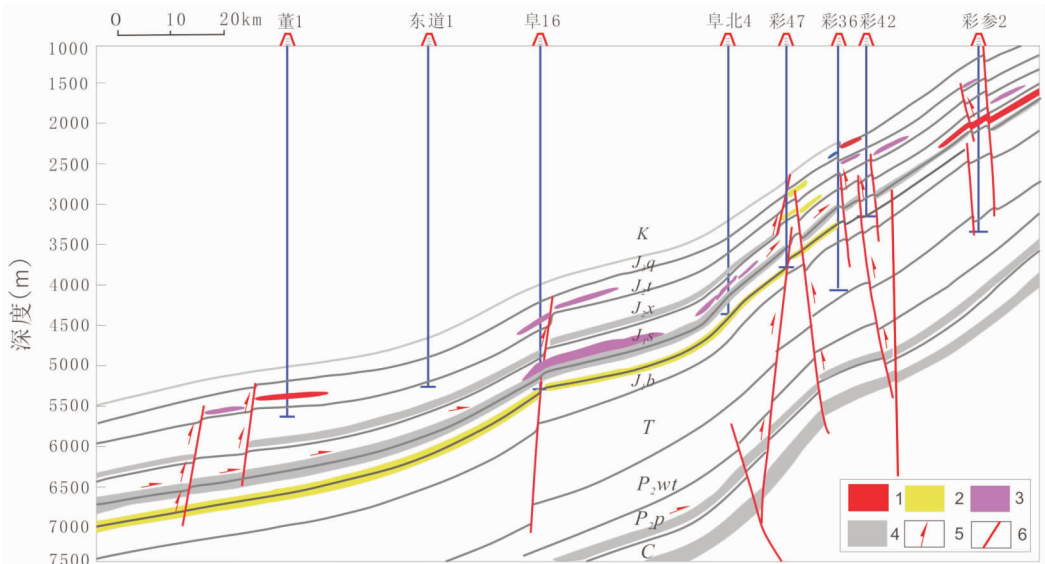
SURDAM(SURDAM R C et al. , 1989) 和 BARTH(BARTH T et al. ,1989)认为次生孔隙的形成和保存必须具备以下条件:①烃源岩层和储层临近,或者储层同时也是烃源岩层。②烃源岩热解排出大量的有机酸。③储层和烃源岩之间具备良好的运移通道(裂缝或不整合面)。有机质类型是评价烃源岩的关键,根据杨万里烃源岩分类标准(杨万里等,1981),该区烃源岩主要为 II₂-III 型烃源岩,少量烃源岩的族组分显示出 I 和 II₁ 型特征。烃源岩中干酪根只有达到一定的热演化程度(有机质成熟度)才能开始大量生烃排酸,目前表征有机质成熟度的指标种类繁多,常用的有镜质体反射率(R_o)、最高热解峰温度(T_{max})和生物标志化合物等参数。研究区烃源岩镜质体反射率 R_o 值分布范围为 0.47~0.88,平均为 0.70;热解峰温度 T_{max} 值为 426~482℃,平均为 442℃(表 2)。MACKENZIE(MACKENZIE A S et al. , 1980)最早提出用生物标志化合物参数 C29-甾烷 20S/(20S+20R)和 C29-甾烷 β/(αα+ββ)来判断成熟度,C29₅α₁₄α₁₇α(H)-甾烷 20 R 构型属于生物合成构型,随着成熟度增加,会向着 20S 的地质构型转化,同样,热稳定性较低的 αα 构型也会像热力学更稳定的 ββ 构型转化,因而是判断成熟度的较好指标,但该 2 个参数的极限值分别为 0.52~0.55 和 0.67~0.71,使用时应当注意。研究区三工河组烃源岩的 C29-甾烷 20S/(20S+20R)值为 0.31~0.53,C29-甾烷 β/(αα+ββ)值为 0.21~0.53,均未达到极限值。结

合 R_o 和 T_{max} 值可知,该地区的烃源岩主要处于低成熟—成熟阶段,处于强酸性-弱酸性向弱碱性过渡的成岩环境。根据前述已知,碳酸盐胶结物的成岩温度在 $100\sim 160^{\circ}\text{C}$,该区干酪根正在大量生成乙酸和乙二酸(袁佩芳等,1996;李得路等,2013)。

3.2.2 疏导体系

烃源岩层干酪根热解产生的有机酸要进入储层需要裂缝或者不整合面作为疏导体系,研究区侏罗系三工河组和八道湾组呈不整合接触,从董1-东道1-阜16-彩47-彩36-彩48-彩参2井侏罗系油气成藏模式图(图6)可以看出,研究区侏罗系存在大

量的构造裂缝,尤其在剖面的东北部,裂缝的分布更加密集且相互交错,充分沟通了烃源岩层和储层,部分裂缝甚至贯穿了侏罗系、三叠系和二叠系。构造裂缝的存在不仅增加了储集空间,而且提供了有机酸运移的通道。前述已知,研究区三工河组碳酸盐胶结物中 $\delta^{13}\text{C}$ 在 $-15\text{‰}\sim -5\text{‰}$,根据自然界中碳同位素的分馏机理(HUDSON J D,1997),无机碳源的 $\delta^{13}\text{C}$ 值分布在 $-4.0\text{‰}\sim 4.0\text{‰}$,如果具有较低的 $\delta^{13}\text{C}$ 值,则说明具有一定数量的有机碳的加入,所以可以肯定研究区烃源岩层生成的有机酸进入了储层。



1. 油层;2. 气层;3. 预测油层;4. 烃源岩层;5. 油气运移方向;6. 断层

图6 董1-东道1-阜16-彩47-彩36-彩48-彩参2井侏罗系油气成藏模式图

Fig.6 Hydrocarbon accumulation pattern diagram of

Dong1-Dongdao1-Fu16-Cai47-Cai36-Cai48-Caishen2 well

3.2.3 可溶组分

当烃源岩层的有机酸通过裂缝和不整合面进入储层后就会溶蚀碎屑颗粒和填隙物,其中最主要的是长石颗粒。研究区砂岩以岩屑砂岩和长石岩屑砂岩为主,储层中大量的长石颗粒和火山岩碎屑为有机酸的溶蚀作用提供了物质基础(图7)。沈照理等(1998)研究表明,钾长石、钠长石和钙长石溶解过程中都会生成高岭石,只有过渡型中长石溶解后会产生绢云母和石英;过渡型的中长石本质上是由钾长石和钠长石组成的,在酸性介质条件下发生水解反应时,最终的产物还是高岭石和石英。张善文

(2007)认为在相对封闭的成岩环境中,若长石溶蚀的产物(高岭石和石英)不能有效得带出,溶解单位体积的钾长石、钠长石和钙长石最大分别能够增加13.56%、6.76%和4.07%的孔隙度。

通过扫描电镜和X衍射分析表明,研究区三工河组碎屑岩储层样品中黏土矿物的组合主要是高岭石、伊利石、绿泥石和伊/蒙混层,仅有局部地区可见蒙脱石。其中,高岭石的含量最高,在5%左右,扫描电镜下呈书页状和蠕虫状。从单井黏土矿物含量分布图可以看出,在深部优质储层发育深度范围内,随着深度的增加,伊利石和伊/蒙混层的含量变化不

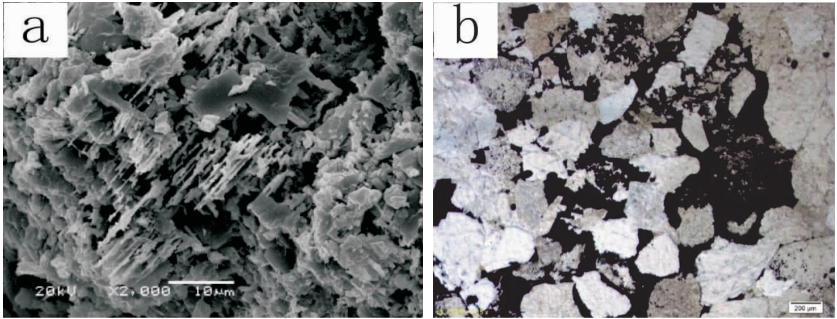


图 7 (a)阜 4 井,3 778.0 m,长石颗粒的溶蚀和书页状的高岭石;(b)阜 12 井,3 848.2 m,粒间溶孔和粒内溶孔

Fig. 7 (a)Dissolution of feldspar grains and kaolinite, (b)intergranular solution pore and solution pore in grains

大;绿泥石的含量先减小再增大,没有规律性;高岭石含量尽管略有波折,但总体上明显地增大了,这与长石溶解产生高岭石的结果相吻合(图 8)。

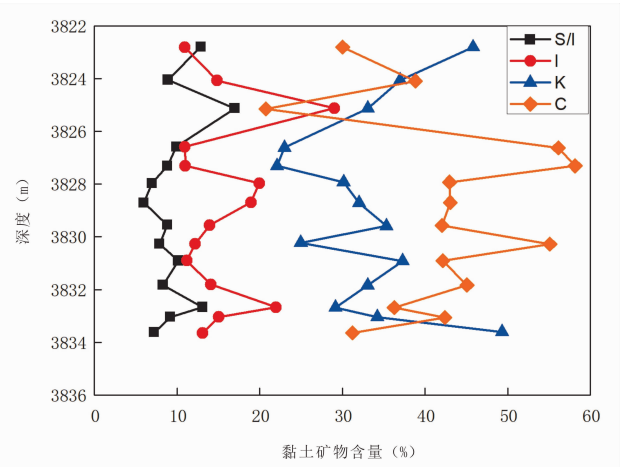


图 8 阜 2 井黏土矿物分布图

Fig. 8 Clay minerals distribution of typical well section

4 结论

(1)准噶尔盆地阜东斜坡区侏罗系三工河组发育于辫状河三角洲-湖泊相沉积体系,以三角洲前缘和滨浅湖亚相为主。岩性主要包括中砂岩、粗砂岩和细砂岩等,砂岩以长石砂岩和长石岩屑砂岩为主,结构和成分成熟度低。储层孔隙以原生粒间孔、粒内溶孔和粒间溶孔为主。

(2)准噶尔盆地阜东斜坡区三工河组储层内部夹有两套烃源岩层,烃源岩有机质属于Ⅱ₂-Ⅲ型,镜

质体反射率 R_o 平均值为 0.7,热解峰温度 T_{max} 平均为 442℃,处于低成熟-成熟热演化阶段,正在大量生成乙酸和乙二酸;成岩环境是强酸性-弱酸性向弱碱性过渡阶段。

(3)沉积相是深部优质储层发育的基础。溶蚀作用是深部优质储层发育的根本原因,烃源岩中有有机质热解排出的有机酸是溶蚀介质,储层中的构造裂缝和不整合面为有机酸提供了良好的运移通道,长石颗粒是可溶组分,其溶蚀产物高岭石在深部优质储层段的大量发育,为溶蚀机理提供了有利的证据。

参考文献(References):

蔡进功,张枝焕,朱筱敏,等. 东营凹陷烃类充注与储集层化学成岩作用[J]. 石油勘探与开发, 2003, 30(3): 79-83.

CAI J G, ZHANG Z H, ZHU X M, et al. Hydrocarbon filling and chemical diagenesis evolution of the clastic reservoir of thePaleogene in Dongying sag[J]. Petroleum Exploration and Development, 2003, 30(3): 79-83.

胡海燕. 油气充注对成岩作用的影响[J]. 海相油气地质, 2004,9(1-2):85-90.

HU H Y. Effect of hydrocarbon emplacement to diagenesis of reservoir[J]. Marine Origin Petroleum Geology, 2004(1-2):85-90.

李得路,赵卫卫. 鄂尔多斯盆地寺湾咀沟地区长 2 油层组成岩作用及对储层的影响[J]. 岩性油气藏, 2013, 25(3):77-82.

LI D L, ZHAO WW. Diagenesis and its effect on reservoir

- properties of Chang 2 oil reservoir set in Longzuigou area of Xiawanzu, Ordos Basin[J]. *Lithologic Reservoirs*, 2013, 25(3): 77-82.
- 李倩文, 金振奎, 姜福杰. 白云岩成因碳氧同位素分析方法初探——以北京燕山地区元古界白云岩为例[J]. *岩性油气藏*, 2014, 26(4): 117-123.
- LI Q W, JIN Z K, JIANG F J. Carbon and oxygen isotope analysis method for dolomite formation mechanism: A case study from Proterozoic dolomite in Yanshan area[J]. *Lithologic Reservoirs*, 2014, 26(4): 117-123.
- 潘荣, 朱筱敏, 王星星, 等. 深层有效碎屑岩储层形成机理研究进展[J]. *岩性油气藏*, 2014, 26(4): 73-81.
- PAN R, ZHU X M, WANG X X, et al. Advancement on formation mechanism of deep effective clastic reservoir[J]. *Lithologic Reservoirs*, 2014, 26(4): 73-81.
- 邵龙义, 窦建伟, 张鹏飞. 西南地区晚二叠世氧、碳稳定同位素的古地理意义[J]. *地球化学*, 1996, 25(6): 575-581.
- SHAO L Y, DOU J W, ZHANG P F. Paleogeographic significances of carbon and oxygen isotopies in late Permian rocks of Southwest China[J]. *Geochimica*, 1996, 25(6): 575-581.
- 沈照理, 朱宛华, 钟佐桑. 水文地球化学基础[M]. 北京: 地质出版社, 1998, 10-113.
- SHEN Z L, ZHU W H, ZHONG Z S. Basics of Hydro-geochemistry[M]. Beijing: Geology Press, 1998, 10-53.
- 夏景生, 王志坤, 陈刚, 等. 东营凹陷东部深层浊积扇油藏成藏条件与模式研究[J]. *岩性油气藏*, 2009, 21(1): 55-61.
- XIA J S, WANG Z K, CHEN G, et al. Accumulation condition and model of turbidite fan reservoir in eastern Dongying Sag[J]. *Lithologic Reservoirs*, 2009, 21(1): 55-61.
- 杨万里, 李永康, 高瑞祺, 等. 松辽盆地陆相生油母质的类型与演化模式[J]. *中国科学*, 1981, 24(8): 1000-1009.
- YANG W L, LI Y K, GAO R Q, et al. Type and evolution model of continental hydrocarbon source rock from Songliao basin[J]. *Science China*, 1981, 24(8): 1000-1009.
- 袁佩芳, 卢焕勇, 祝总祺, 等. 济阳坳陷下第三系烃源岩的热解实验[J]. *科学通报*, 1996, 41(8): 728-730.
- YANG P F, LU H Y, ZHU Z Q, et al. The pyrolysis experiments of Paleogene source rocks in Jiyang depression [J]. *Chinese Science Bulletin*, 1996, 41(8): 728-730.
- 张凯逊, 白国平, 曹斌风, 等. 深层碎屑岩含油气储层发育特征[J]. *工程科学学报*, 2016, 38(1): 1-10.
- ZHANG K X, BAI G P, CAO B F, et al. Geological features of siliciclastic reservoirs in deep petroleum accumulations[J]. *Chinese Journal of Engineering*, 2016, 38(1): 1-10.
- 张晶, 李双文, 刘化清, 等. 歧口凹陷歧南斜坡深部储层特征及综合评价[J]. *岩性油气藏*, 2013, 25(6): 46-53.
- ZHANG J, LI S W, LIU H Q, et al. Characteristics of comprehensive evaluation of deep reservoirs in Qinan ramp, Qikou Sag[J]. *Lithologic Reservoirs*, 2013, 25(6): 46-53.
- 张善文. 成岩作用过程中的“耗水作用”及其石油地质意义[J]. *沉积学报*, 2007, 25(5): 701-707.
- ZHANG S W. “Water consumption” in diagenetic stage and its petroleum geological significance[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2007, 25(5): 701-707.
- 张秀莲. 碳酸盐岩中氧、碳稳定同位素与古盐度、古水温的关系[J]. *沉积学报*, 1985, 3(4): 17-30.
- ZHANG X L. Relationship between carbon and oxygen stable isotope in carbonate rocks and paleosalinity and paleotemperature of seawater[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1985, 3(4): 17-30.
- 钟大康, 朱筱敏, 王红军. 中国深层优质碎屑岩储层特征与形成机理分析[J]. *中国科学(D辑)* 2008, 38(增刊 I): 11-18.
- ZHONG D K, ZHU X M, WANG H J. Characteristics and genetic mechanism of deep-buried clastic reservoir in China[J]. *Science in China (Series D)*, 2008, 38(suppl.): 11-18.
- AASE N E, B J, RKUM P A, NADEAU P H. The effect of grain-coating microquartz on preservation of reservoir porosity[J]. *AAPG Bull*, 1996, 80(10): 1654-1673.
- Barth T, Bjørlykke K. Organic acids from source rock maturation: Generation potentials, transport mechanisms and relevance for mineral diagenesis[J]. *Geochemistry*, 1993, 8: 325-337.
- CAO B F, BAI G P, WANG Y F. More attention recommended for global deep reservoirs[J]. *Oil Gas J*, 2013, 111(9): 78-86.
- DIXON S A, Summers D M, Surdam R C. Diagenesis and preservation of porosity in Norphlet Formation (Upper

Jurassic), southern Alabama [J]. AAPG Bulletin, 1989, 73(6):707-728.

DOWEY P J, HODGSON D M, WORDEN R H. Pre-requi-sites, processes, and predictions of chlorite grain coat-ings in petroleum reservoirs; a review of subsurface ex-amples[J]. Mar Pet Geol, 2012,32(1):63-75.

EHRENBERG S N. Preservation of anomalously high po-rosity in deeply buried sandstones by grain-coating chlo-rite: Examples from the Norwegian Continental Shelf [J]. AAPG Bull, 1993, 77(7): 1260-1286.

HEALD M T, ANDEREGG R C. Differential cementation in the Tuscarora sandstone[J]. Journal of Sedimentary Petrology, 1960, 30(4):568-577.

HUDSON J D. Stable isotopes limestone lithification[J]. Journal of Geological Society, 1997, 133(4):637-660.

MACKENZIE A S, PATIENCEE R L, MAXWELL J R, et al. Molecular parameters of maturation in the Toarcian shales, Paris, France I: changes in the configuration of the acyclicisoprenoid alkanes, steranes and triterpanes [J]. Geochimica et Cosmochimica Acta,1980,44(11): 1709-1721.

SCHOPF T J M. Paleo-oceanography [M]. Cambridge: Harvard University Press, 1980:341-352.

SURDAM R C, CRSSEY L J, HAGEN E S. Organic-inor-ganic interaction and sandstone diagenesis[J]. AAPG Bulletin, 1989, 73(1):1-23.

SWALE D L. Petrology and diagenesis of Pocono-Price Big Injun Sandstone, Granny’s Creek Field, West Virginia [J]. AAPG Bulletin, 1988, 72(8):972-991.

TAYLOR T R, KITTRIDGE M C, WINEFIELD P, et al. Reservoir quality and rock properties modeling results—Jurassic and Triassic sandstones; greater shearwater high pressure/high temperature (HPHT) area, United Kingdom central North Sea[J]. Marine and Petroleum Geology, 2005,65:1-21.

WILKINSON M, DARBY D, HASZELFINE R S, et al. Secondary porosity generation during deep burial associ-ated with overpressure leak—off: Furmar Formation, United Kingdom Central Graben [J]. AAPG Bull, 1997, 81(5): 803-813.

新疆普昌岩浆型钒钛磁铁矿

成矿区带:塔里木陆块北缘成矿带(Ⅲ-13)。

建造构造:石炭纪基性侵入岩体,岩性主要为辉长岩,其次为斜长岩,并含少量橄榄辉长岩、苏长辉长岩、易剥辉长岩。

成矿时代:石炭纪。

成矿组分:Fe,(Ti,V)。

矿床实例:(新)阿图什市普昌钒钛磁铁矿床。

简要特征:钛磁铁矿呈似层状、囊状产于中粒辉长岩相中。矿石中金属氧化物主要有钛磁铁矿、钛磁赤铁矿、钛铁矿;金属硫化物主要为磁黄铁矿,次有黄铜矿、黄铁矿。矿石构造主要为条带状、浸染状构,次为块状。矿床平均品位 TFe 为 26.70%,TiO₂ 为 4.17%,伴生 V₂O₅ 为 0.17%。

成因认识:晚古生代裂谷环境,富铁质基性岩浆分异成矿。

(中国地质调查局西安地质调查中心 杨合群)