

渤海海域歧南断阶带侏罗系 优质储层影响因素

赵清平,赵国祥,万琳,樊建华,汪晓萌

(中海石油(中国)有限公司天津分公司渤海石油研究院,天津 300452)

摘要:歧南断阶带侏罗系储层内部结构复杂,具有强储层非均质性,储层发育特征及影响因素一直制约着该区勘探。通过对岩石类型、储层物性特征、储集空间类型及孔隙结构的分析证实,研究区侏罗系为一套富含火山碎屑物质的近源沉积,发育多套煤层;储层物性以中孔低渗为主,发育低渗背景下的优质储层,孔隙结构分析表明不同孔隙结构储层在孔隙度方面相差不大,渗透率相差较大;储集空间以溶蚀形成的次生孔为主,多为长石及火山物质溶蚀;有利的沉积因素,多期次多类型的溶蚀作用是本区形成优质储层的主要因素,研究区煤系地层的存在有效地增加了有机酸浓度,在促进溶蚀作用进行的同时,减少了碳酸盐矿物的胶结;此外储层中大量发育的火山碎屑物质在酸性流体下易于溶蚀,增强了储集物性,但其也降低了岩石抗压能力,对储层物性的影响具有双面性。

关键词:歧南断阶带;侏罗系;优质储层;煤系地层;溶蚀作用

中图分类号:P618.13

文献标识码:A

DOI:10.16028/j.1009-2722.2015.07004

优质储层作为一个相对概念,是指在普遍低孔低渗的背景下发育相对高的孔隙度及渗透率指标的储层^[1,2]。随着国内外油气勘探事业的发展,储层也由高渗透储层转向低渗透储层,越来越多的学者开始关注低孔低渗背景下优质储层的形成机制^[3-10]。而渤海海域勘探在经历了近半个世纪的发展之后已逐渐从中浅层转向中深层甚至深层,由于埋深的增加使得储层具有很强的非均质性,以研究区歧南断阶带侏罗系储层为例,在钻遇侏罗系地层的十余口井中,仅部分井发现了厚的油层且测试获得高产油流,另有部分井虽有油气显示但测试不产液或产液量很低,说明储层内部结构复杂,非均质性强,其储层发育特征及优质储

层成为制约勘探部署的关键问题。因此,本文以歧南断阶带侏罗系储层作为研究对象,通过系统的沉积、成岩等方面的研究来分析储层非均质原因,找出优质储层的影响因素,为该区下一步勘探提供一定的借鉴意义。

1 地质背景

歧南断阶带位于歧口凹陷以南,埕子口凸起以北,是埕子口凸起向歧口凹陷过渡的斜坡—断阶构造带,由羊二庄、海四等长期发育的生长断层形成。北以海一大断裂为界,东西边界分别为曹妃甸 7-2 构造和大港油田的友谊构造^[11],东西长约 50 km,南北宽约 27 km,面积约 1 200 km²(图 1)。作为我国最早进行海上油气勘探的地区,也是渤海海域西部油气富集的最有利区域^[12]。凹陷内广泛发育的有机质类型好、丰度高、厚度大、埋藏深的沙河街组成熟生油岩是整个断阶带油气

收稿日期:2015-04-14

基金项目:国家科技重大专项(2011ZX05023-006-002)

作者简介:赵清平(1966—),女,高级工程师,主要从事石油地质方面的研究工作。E-mail:zhaopq2@cnooc.com.cn

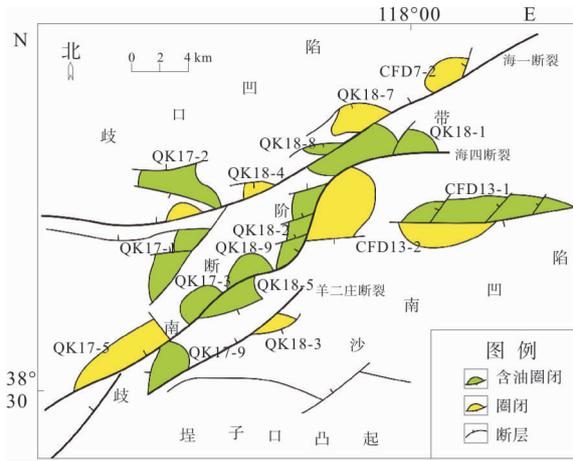


图 1 渤海海域歧南断阶带区域构造

Fig. 1 Structural map of the Qinan fault step belt in Bohai Sea area

成藏的物质基础^[11]。

研究区所在的歧口凹陷在印支期末受板块运动影响遭受隆升剥蚀, 地层披覆于古生界地层之上, 燕山期末地层继续遭受挤压形成褶皱, 遭受剥蚀至殆尽^[13], 晚燕山时期由于不均匀断块运动使得背斜核部地层开始不再遭受剥蚀, 接受正常沉积, 而局部地区地层被强烈剥蚀; 沙河街组之后歧口凹陷不再遭受挤压剥蚀, 依次沉积了沙河街、东营、馆陶、明化镇组地层, 后期沉积地层与下伏地层间呈明显角度削截, 为不整合接触。歧南断阶带侏罗系砂体主要为山间片流—短源辫状河直接进入湖形成的冲积扇、辫状河心滩和沿岸沙坝, 为一套河湖相碎屑岩和中酸性火山岩夹煤层及油页岩组成, 含丰富的植物化石。

2 储集岩特征

2.1 岩石类型

根据 13 口井的岩心、壁心及岩屑观察以及 121 个岩心、壁心及岩屑岩石薄片鉴定, 研究区侏罗系主要由沉凝灰岩、凝灰质砂岩、凝灰岩、少量酸性喷出岩及砂砾岩、砂岩及泥岩、煤层组成。夹多层煤系和火山碎屑物质含量高是其最大特征, 大部分砂岩样品中均含有不同数量的火山碎屑物质, 凝灰岩、沉凝灰岩及凝灰质砂岩占样品总数的 60% 左右; 样品中砂岩以岩屑长石砂岩为主, 结构及成分成熟度低, 长石多以碱性长石为主, 大多风化淋滤成污浊状或蜂窝状, 高岭石化及绢云母化常见; 岩屑则多以酸性喷出岩岩屑为主, 填隙物以高岭石为主, 含量介于 5%~12% 之间。部分砂岩中局部碳酸盐胶结或石英次生加大胶结。8 块煤岩样品的显微组分分析结果表明, 研究区煤样为腐植煤, 处于气煤—长焰煤煤阶, 显微组分以镜质组和惰质组为主。

2.2 储集空间类型

根据 68 块岩心铸体薄片观察认为, 研究区侏罗系砂岩储集层的储集空间类型以混合型及次生孔隙为主, 主要为扩大粒间孔、粒间孔、铸模孔、填隙物内孔及裂缝等。不同岩石类型储集空间类型存在差异(图 2), 其中砂岩及凝灰质砂岩样品中孔隙多呈长条状、扁豆状, 连通性好, 粒间胶结物

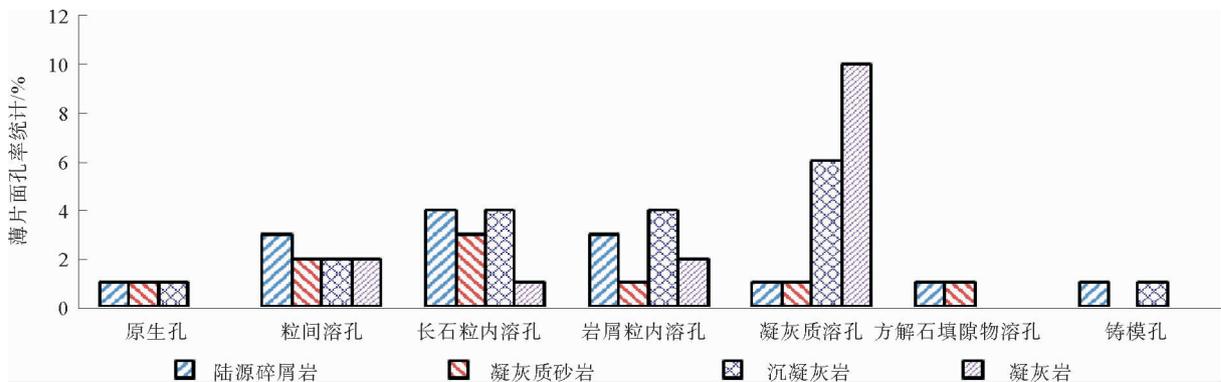
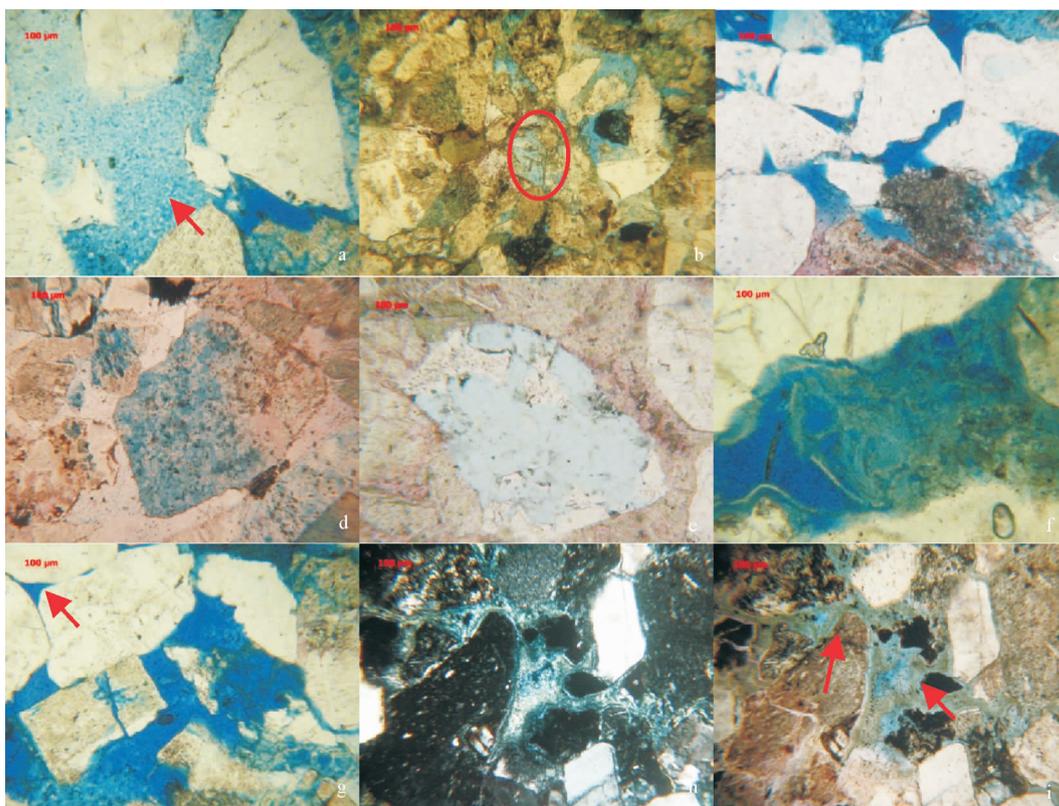


图 2 侏罗系储层不同岩石类型储集孔隙特征

Fig. 2 Pore characteristics of different rocks for Jurassic reservoir

多为高岭石(图 3a),砂岩中储集空间类型主要为长石粒内溶孔(图 3b)、粒间孔(图 3c),此外有少量的岩屑粒内溶蚀孔隙(图 3d)、超大孔、铸模孔(图 3e)、缝状溶蚀孔和方解石填隙物内溶孔;凝灰质砂岩储集孔隙以凝灰质成分溶蚀孔(图 3f)、长石及岩屑粒内溶孔为主,具少量原生孔(图

3g)、铸模孔、方解石填隙物内溶孔和缝状溶蚀孔;而沉凝灰岩样品中孔隙多呈圆状、卵圆状,孤立孔居多,连通性差,粒间胶结物为火山尘(图 3h),储集孔隙以凝灰质成分溶孔为主(图 3i),其次为粒间溶蚀孔隙和岩屑粒内溶蚀孔,少量长石粒内溶孔。



a 粒间大量充填高岭石(QK17-9-C井,2 420.68 m,蓝色铸体薄片,单偏光);b 长石粒内溶孔(QK17-9-B井,2 317.37 m,蓝色铸体薄片,单偏光);c 粒间溶孔发育(QK17-9-C井,2 421.47 m,蓝色铸体薄片,单偏光);d 岩屑粒内溶蚀(QK17-9-A井,2 845.27 m,蓝色铸体薄片,单偏光);e 长石溶蚀形成铸模孔(QK17-9-C井,2 219.12 m,蓝色铸体薄片,单偏光);f 凝灰质物质溶蚀(QK17-9-C井,2 218.44 m,蓝色铸体薄片,单偏光);g 原生孔(红色箭头所指,QK17-9-C井,2 420.68 m,蓝色铸体薄片,单偏光);h 凝灰质物质充填孔隙(QK17-9-A井,3 674 m,蓝色铸体薄片,正交偏光);i 凝灰质物质溶蚀(红色箭头所指,QK17-9-A井,3 674 m,蓝色铸体薄片,单偏光)

图 3 岐南断阶带侏罗系储层典型孔隙

Fig. 3 Some representative pore types in Jurassic reservoir of Qinan fault step belt

2.3 物性及孔隙结构特征

根据中国海洋石油总公司企业标准^[14],对研究区侏罗系储层 85 个岩心及壁心实测物性数据进行了统计(图 4),结果表明,储层孔隙度主要分布在 15%~25%区间,占总样品数的 81.2%,平均值为 19.2%;渗透率主要分布在 $< 10 \times$

$10^{-3} \mu\text{m}^2$ 区间,平均值为 $9.0 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,占总测试样品数的 83.8%;属中孔低渗型储层;泥质含量在 0~20.7%之间,但大多数样品泥质含量 $< 10\%$;碳酸盐含量分布不均,多数样品碳酸盐含量不足 5%,但个别样品碳酸盐含量高达 40.2%。储层具有强非均质性,存在明显低孔低渗背景下的优质储层。

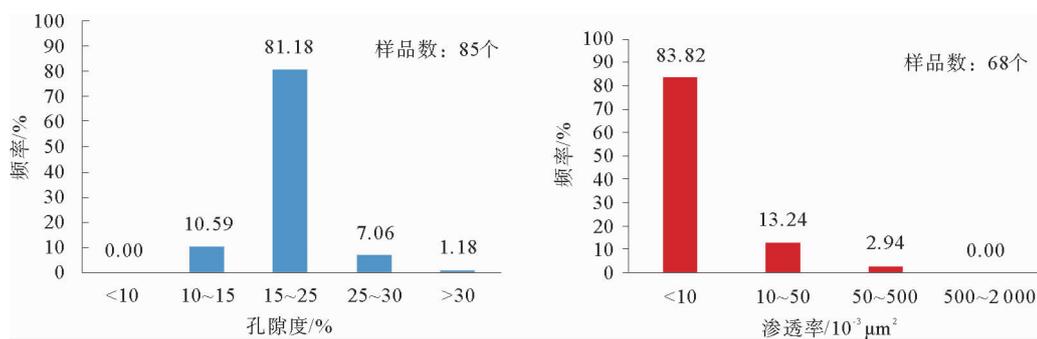


图 4 研究区侏罗系储层孔隙度及渗透率直方图

Fig. 4 Histogram of porosity and permeability for Jurassic reservoir of Qinan fault step belt

根据侏罗系储层段的压汞曲线参数及形态特征,研究区主要的孔隙结构可分为好中差 3 类,其中好级别储层孔隙结构的渗透率一般 $>10 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,有的可达到 $50 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,压汞曲线形态为偏粗歪度、分选中等,汞饱和度在 70% 以上,喉道半径较大,平均为 $3.4 \mu\text{m}$,最大孔喉半径 $14.7 \mu\text{m}$,平均排驱压力为 0.05 MPa ;中等级别储层渗透率介于 $(1 \sim 10) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 之间,曲线形态为较细歪度,喉道半径较小,平均为 $0.94 \mu\text{m}$,最大孔喉半径 $1.7 \mu\text{m}$,排驱压力为 0.43 MPa ;而差级别储层曲线形态偏细歪度,汞饱和度 30% 左右,渗透性较差,孔喉半径也较小,一般多为差储层。

3 优质储层影响因素

3.1 有利沉积因素是优质储层形成的前提

对于埋深相差不大的储集层而言,沉积环境、碎屑颗粒物理性质是影响储层物性的主要因素^[15,16],而沉积环境对储层物性的影响主要表现为不同沉积相带储层的物性不同。沉积相的分析确定研究区侏罗系主要储集砂体有 3 类,分别为辫状河心滩、沿岸砂坝和冲积扇(图 5),不同沉积相带下储层差异性明显(表 1),其中辫状河心滩以凝灰质砂(砾)岩、含砾砂岩为主,颗粒分选较好,磨圆度较高,单层厚度较大,一般 $15 \sim 30 \text{ m}$,具有低的泥质含量($0 \sim 10.8\%$),孔隙度为 $12.2\% \sim 23.6\%$,渗透率较高,最高可达 $277.5 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,多不含碳酸盐矿物,但局部碳酸盐胶结严重;沿岸砂坝主体以凝灰质砂岩为主,砂体厚度一般在 $5 \sim 7 \text{ m}$ 间,颗粒分选好,磨圆度高,同样

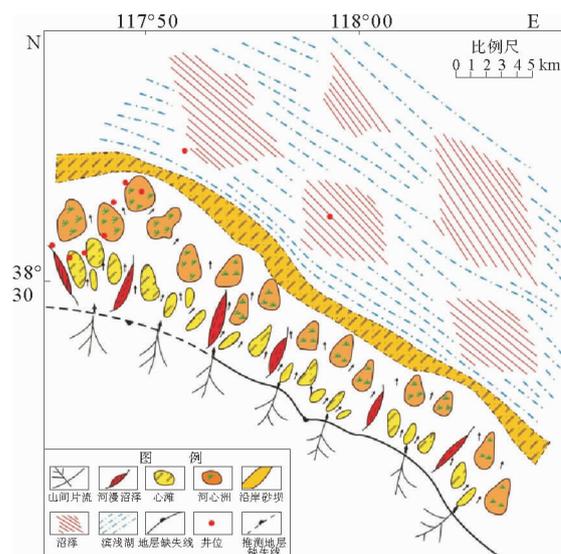


图 5 歧南断阶带侏罗系沉积相平面展布

Fig. 5 Distribution pattern of sedimentary facies of Jurassic reservoir of Qinan fault step belt

泥质含量较低,一般不超过 10%,孔隙度多介于 $10\% \sim 20\%$ 之间,渗透率变化较大,位于砂坝外缘的凝灰质粉—细砂岩和沉凝灰岩,由于颗粒较细,成分成熟度低,泥质含量高而具有更低的储层物性;冲积扇沉积相以含砾砂岩、砂砾岩为主,可分为扇根、扇中及扇端亚相,其中以扇中砂岩为最佳储层,厚度可达 89.2 m ,但由于其岩石组成的结构成熟度和成分成熟度均较低,因此,储层物性一般,孔隙度 10% 左右,渗透率 $<10 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。同时不同岩性储层物性也存在差异,主要的 3 种碎屑岩砂(砾)岩、凝灰质砂岩和凝灰岩孔隙度相差不大,但渗透率相差很多,砂岩渗透率最好,沉凝灰岩最差。

表1 不同沉积相类型储层综合评价

Table 1 Integrated reservoir evaluation of different sedimentary facies

井号	沉积相	厚度/m	孔隙度/%	渗透率/ $10^{-3} \mu\text{m}^2$	泥质含量/%
QK17-9-A	砂坝内缘	0.8~4.5/2.7	14.3~19.3/15.8	4.7~13.6/6.2	11.3~20.4/15.1
	砂坝	1.1~3.6/1.8	14.8~21.8/17.4	12.6~52.2/22.4	2.3~11.8/5.1
	砂坝外缘	0.3	14.8~17/15.1	1.7~20.8/6.9	12.9~20.7/14.1
	心滩	2.6~37.5/12.4	12.2~19.7/13.8	3.6~54.9/24.6	0~2.9/1.4
	心滩(岩心样品)	/	14.2~20.4/16.2	0.7~37.3/18.7	/
	河道侧翼	5	16.6	3.6	14.4
QK17-9-B	砂坝内缘	0.8~9.8/3.4	13.1~14.9/13.7	2.5~25.1/16.3	13.3~17.9/14.6
	砂坝	1.7~7.3/3.6	16.6~19.4/17.1	29.2~54.1/34.5	2.1~2.7/2.4
	砂坝外缘	0.8~9.2/3.1	13.7~17.4/14.4	1.3~31.4/8.7	10.3~17.5/12.5
	砂坝外缘(岩心样品)	/	11.6~17/13.5	0.1~0.72/0.3	/
	心滩	4.3~36.4/12.2	13.3~18.8/14.6	15.1~46.4/24.2	0.3~8.4/3.6
	心滩(岩心样品)	/	15.4~23.6/19.1	0.43~277.5/13.2	/
QK17-9-C	冲积扇中	89.2	12.3	5	5.4
	砂坝内缘	5.2	13.4~16.5/14.2	8.5~16.9/10.4	10.2~10.8/10.5
	砂坝	5.5~11.1/7.9	14.2~17/15.3	5.6~18.2/9.8	6.9~7.8/7.1
	砂坝外缘	1.0~10.9/3.1	10.3~18.4/13.8	0.3~13.9/3.9	11.8~20.5/13.2
	砂坝外缘(岩心样品)	/	13.5~21.6/15.7	0.02~0.66/0.2	/
	心滩	11.3~34.1/18.6	16.2~17/16.6	22.6~22.9/22.7	5.9~6/5.9
	心滩(岩心样品)	/	21.9	13.7	/
	河道侧翼	10.9	10.5~11.8/10.9	2.7~7/3.6	8.6~10.8/9.1
河道侧翼(岩心样品)	/	15.8~23/17.1	0.03~0.95/0.3	/	

注:0.8~4.5/2.7=最小值~最大值/平均值

3.2 多期次多类型溶蚀是优质储层形成的关键

作为影响储层孔隙演化的主要因素,成岩流体决定了矿物的沉淀和溶解情况。虽然现在大量学者提出,在碱性流体环境下溶蚀作用可对储层进行改造^[17,18],但大部分溶蚀型次生孔隙主要是酸性流体所造成^[19-21]。而其酸性流体来源可以是多样的^[22,23],研究区形成次生孔隙主要的2种酸性流体分别来源于大气淡水及有机质热演化过程中释放的有机酸。

3.2.1 不整合面之下的表生淋滤作用

在我国潜山油气勘探中常见表生作用下由地表水与岩石反应形成的次生孔隙。通过区域构造研究我们确定,研究区侏罗系地层在沉积之后遭受了长时间的剥蚀(约20 Ma),由于长时间出露遭受大气淡水的淋滤、溶蚀,使碎屑岩储层产生次生孔隙,大量孔隙充填高岭石也证实储层经历过表生淋滤作用。通过物性分析我们发现,储层孔隙度变化范围一般介于10%~20%之间,变化不

大,但渗透率却变化较大,为 $(0.02 \sim 277.5) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$;而储层物性与不整合面之间的相关关系(图6)表明,随着与不整合面距离的增大,孔隙

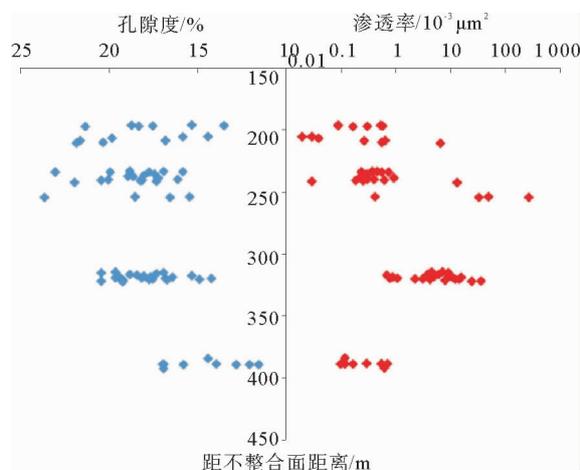


图6 储层物性与不整合面之间的相关性

Fig. 6 Correlation between reservoir property and unconformity surface

度虽然有减少,但幅度不大,而渗透率减少的幅度却很大。在不整合面之下 250 m 以内各类储层均保持有较好的储集物性,其孔隙度一般 $>15\%$,部分样品孔隙度 $>20\%$,最大孔隙度可达 23.6% ,渗透率大多介于 $(0.1\sim 1)\times 10^{-3}\ \mu\text{m}^2$ 之间,部分样品超过 $10\times 10^{-3}\ \mu\text{m}^2$,最大渗透率可达 $277.5\times 10^{-3}\ \mu\text{m}^2$;在距离不整合面 250~350 m 范围内各类储层物性明显降低,其孔隙度一般介于 $15\%\sim 20\%$ 之间,孔隙度最大 20.4% ,渗透率大多在 $(1\sim 10)\times 10^{-3}\ \mu\text{m}^2$ 之间,仍保持有一定的渗透率;但在距不整合面 350 m 以下,储层渗透率明显变差,非均质性增强,虽然局部可见 17% 的孔隙度值,但其渗透率绝大多数 $<1\times 10^{-3}\ \mu\text{m}^2$ 。受限于样品取样深度,不整合面之下 0~200 m 内无物性数据,但根据研究区物性变化趋势,推测 200 m 深度范围内储层物性应好于 200~250 m 的。之所以出现这种趋势是因为在长期表生淋滤作用下,由于大气淡水对近地表(距离不整合面 250 m 以内)的砂体中的火山物质、长石及岩屑等易溶组分高岭土化、泥化,随后被水介质带走,使得孤立孔隙的连通性增强,导致其渗透率增加,而远离地表的砂体(距不整合面 350 m 以下)表生淋滤作用弱,孔隙的孤立状态未被改善。

3.2.2 有机质热降解形成有机酸改善储层

在有机质热演化过程中产生的有机酸是研究区发生溶蚀的酸的主要来源。一方面通过镜质体反射率及 X-衍射黏土矿物分析数据得出研究区成岩阶段以中成岩阶段 B 期为主,正好对应大量有机酸生成时期;此外研究区 $80\sim 95\text{ }^\circ\text{C}$ 的地层埋深温度也处于煤、有机质大量生成、排出高峰期。通过对储层储集空间类型的识别我们确定,研究区溶蚀多发生在长石及岩屑中,而有机酸对铝硅酸盐矿物的作用机制有 2 种:①有机酸与这类矿物反应使之蚀变成其他矿物,在这种矿物相转变过程中体积减少,孔隙度增加;②有机酸中阳离子与铝硅酸盐矿物中的 Al^{3+} 和 SiO_2 络合形成络合物,使 Al^{3+} 随流体迁移而形成次生孔隙。

此外研究区还夹有几套煤层。煤系地层的存在更增加了有机酸的浓度,这是因为有机酸生成能力与母质类型有关,Ⅲ型干酪根产生的有机酸要高于Ⅰ型,因此,煤产生的有机酸要高于泥岩^[24],根据前人文献,煤中有机酸浓度比泥岩中

的高几十倍甚至几百倍^[20]。对研究区 QK17-9-B 及 QK17-9-C 2 口井的有机酸分析结果也表明,研究区煤的有机酸生成能力远远高于泥岩的(图 7),相当于泥岩的 4 倍,平均可以达到 $12\ \text{mg/g}$,大量的有机酸对碎屑物质,尤其是长石和岩屑的溶蚀是研究区优质储层形成的关键,镜下长石及岩屑发育铸模孔(图 3e)证实存在大面积溶蚀作用。同时煤系地层的存在也使得早期水介质呈酸性,导致成岩早期缺乏碳酸盐胶结(碳酸盐含量多 $<5\%$),对储层有利。

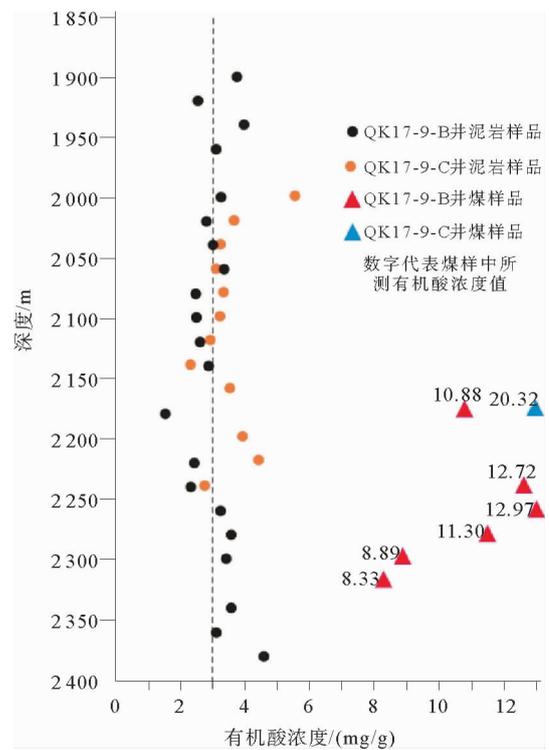


图 7 研究区侏罗系岩石有机酸浓度纵向分布

Fig. 7 Distribution of rock organic acid concentration with depth for Jurassic reservoir of Qinan fault step belt

此外,由于研究区羊二庄、海四断裂穿过歧南断阶带侏罗系地层,在构造应力作用下,其砂体中发育大量大小不同的构造缝、微裂缝,这些裂缝的存在构成了流体的有利通道,为溶蚀的发育提供了有利条件,而在不整合面或断裂带附近有有机酸浓度会达到高值,更有利于次生孔隙形成。

3.3 高含量火山碎屑物质对储层影响的双面性

歧南断阶带侏罗系碎屑岩中含有不同程度的

火山碎屑物质,其在砂岩中的含量不足10%,在凝灰质砂岩中的含量在10%~50%之间,在沉凝灰岩中的含量较高,大多高于50%,个别可达90%。火山碎屑物质对储层的影响具有双面性,一方面由于火山碎屑物质性质较软,具有较低的矿物稳定性,抗压实能力差,通过铸体薄片下对不同岩性原生孔隙的观察发现,部分砂岩中仍可见少量原生孔隙,但沉凝灰岩中基本不见原生孔隙,大多铸体薄片面孔率为0,说明火山碎屑物质在压实作用下变得更加致密,而这也是造成储层物性大量降低的原因。同时火山碎屑物质易被挤压变形形成假杂基,也易发生蚀变,早期凝灰质物质蚀变形成的蒙皂石等矿物在后期成岩转化过程中转变为伊利石,使得储层孔隙空间更加复杂,非均质性变强,这也解释了在孔隙度相近的情况下沉凝灰岩渗透率明显低于砂岩的原因;而另一方面火山碎屑物质在流通性好的酸性水条件下易于发生溶蚀溶解^[25-27],前人关于凝灰质砂岩乙酸溶蚀试验的结果表明,凝灰质砂岩更容易发生溶蚀,其溶蚀量是石英砂岩的7~11倍^[28],凝灰质明显被溶蚀,且溶蚀随酸浓度增加而增加,在有机酸的作用下,蚀变凝灰质填隙物溶蚀形成的次生孔隙明显高于伊利石和长石溶蚀形成的次生孔隙。此外,砂岩次生孔隙边缘的凝灰质物质的残余在一定程度上能够抑制石英次生加大的发生^[29],使得孔隙得到保存。

4 结论

歧南断阶带侏罗系沉积一套以近源冲积扇、辫状河心滩及沿岸砂坝为主的碎屑沉积,其砂体成分及结构成熟度均较低,以含有大量火山碎屑物质及发育多层煤层为主要特征;储层物性整体以中孔低渗为主,具有强非均质性,不同孔隙结构孔隙度相差不大,渗透率变化较大,主要储集空间为溶蚀形成的次生孔隙,其溶蚀矿物多为长石及凝灰质物质;影响歧南断阶带侏罗系储层的因素很多,沉积相类型、火山碎屑物质及煤层发育情况、距不整合面及距主要断裂的距离等为主要因素,其中有利的沉积相类型、有机质及煤层产生的大量有机酸溶蚀、长时间的表生淋滤作用及高含量的火山碎屑物质是优质储层形成的关键。

参考文献:

- [1] 王文楷. 川西坳陷新场地区须四下亚段优质储层形成机理研究[D]. 成都:成都理工大学,2011.
- [2] Bloch S, Lander R H, Bonnell L. Anomalous high porosity and permeability in deeply buried sandstone reservoirs: origin and predictability [J]. AAPG Bulletin, 2002, 86(2):301-328.
- [3] 赵艳,吴胜和,徐樟有. 川西新场气田上三叠统须家河组二段致密砂岩优质储层控制因素[J]. 中国石油大学学报(自然科学版),2010,34(3):1-6.
- [4] Ehrenberg S N. Preservation of anomalously high porosity in deeply buried sandstones by grain-coating chlorite: examples from the Norwegian continental shelf [J]. AAPG Bulletin, 1993, 77(7):1 260-1 286.
- [5] 冯艳红,向芳,王元君,等. 渤中凹陷石南斜坡区古近系中深层优质储层形成机理[J]. 断块油气田,2012, 19(4): 418-422.
- [6] 何海清,王兆云,程玉群. 渤海湾盆地深层石油地质条件分析[J]. 沉积学报,1999,17(2):273-279.
- [7] Jia J H, Gu J Y. Control factors and porosity evolution of high-quality sandstone reservoirs of Kela-2 gas field in Kuqa Depression [J]. Chinese Science Bulletin, 2002, 47(S1): 100.
- [8] 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:地球科学,2008, 38(S1):11-18.
- [9] Lai J, Wang G W, Ran Y, et al. Predictive distribution of high-quality reservoirs of tight gas sandstones by linking diagenesis to depositional facies: evidence from Xu-2 sandstones in the Penglai area of the central Sichuan basin, China [J]. Journal of Natural Gas Science and Engineering, 2015, 23:97-111.
- [10] 王多云,郑希民,李风杰,等. 低孔渗油气富集区优质储层形成条件及相关问题[J]. 天然气地球科学,2003,14(2): 87-91.
- [11] 谢向阳,罗毓辉. 歧南断阶带断裂体系与油气分布[J]. 西安石油学院学报(自然科学版),2001,16(5):4-6.
- [12] 邓运华. 歧南断阶带油气聚集因素探讨[J]. 中国海上油气,1995,9(4):246-252.
- [13] 陈宪保,韩信,卢异,等. 歧口凹陷形成控制因素与演化特征[J]. 断块油气田,2013,20(5):560-563.
- [14] 中国海洋石油总公司勘探专业标准委员会. Q/HS 1027-2007 储盖层定量评价规范[S]. 中国海洋石油总公司,2008.
- [15] 陈纯芳,赵澄林,李会军. 板桥和歧北凹陷沙河街组深层碎屑岩储层物性特征及其影响因素[J]. 石油大学学报(自然科学版),2002,26(1):4-7.
- [16] 黄思静,侯中键. 地下孔隙度和渗透率在空间和时间上的

- 变化及影响因素[J]. 沉积学报, 2001, 19(2): 224-230.
- [17] 邱隆伟, 姜在兴, 操应长, 等. 泌阳凹陷碱性成岩作用及其对储层的影响[J]. 中国科学(D辑), 2001, 31(9): 752-758.
- [18] 邱隆伟, 赵伟, 刘魁元. 碱性成岩作用及其在济阳拗陷的应用展望[J]. 油气地质与采收率, 2007, 14(2): 10-15.
- [19] Surdam R C, Crossey L J, Hangen E S, et al. Organic-inorganic interaction and sandstone diagenesis[J]. AAPG Bulletin, 1989, 73(1): 1-23.
- [20] 裴亦楠, 薛叔浩, 应凤祥. 中国陆相油气储集层[M]. 北京: 石油工业出版社, 1997: 149-217.
- [21] Stoessel R K, Pittman E D. Secondary porosity revisited: The chemistry of feldspar dissolution by carboxylic acids and anions [J]. AAPG Bulletin, 1990, 74(12): 1 795-1 805.
- [22] 应凤祥, 罗平, 何东博, 等. 中国含油气盆地碎屑岩储集层成岩作用与成岩数值模拟[M]. 北京: 石油工业出版社, 2004: 231-239.
- [23] Schmidt V, McDonald D A. 砂岩成岩过程中的次生储集孔隙[M]. 陈荷立, 汤锡元, 译. 北京: 石油工业出版社, 1982: 272-276.
- [24] 朱抱荃, 程中第, 应凤祥. 地层干酪根有机酸与储层次生孔隙的关系[J]. 石油实验地质, 1996, 18(2): 206-215.
- [25] 程日辉, 沈艳杰, 颜景波, 等. 海拉尔盆地火山碎屑岩的成岩作用[J]. 岩石学报, 2010, 26(1): 47-54.
- [26] 王宏语, 樊太亮, 肖莹莹, 等. 凝灰质成分对砂岩储集性能的影响[J]. 石油学报, 2010, 31(3): 432-439.
- [27] 张丽媛, 纪友亮, 刘立, 等. 火山碎屑岩储层异常高孔隙成因——以南贝尔凹陷东次北北洼槽为例[J]. 石油学报, 2012, 33(5): 814-821.
- [28] 张凡芹, 王伟峰, 王建伟, 等. 苏里格庙地区凝灰质溶蚀作用及其对煤成气储层的影响[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2006, 36(3): 365-369.
- [29] 王建伟, 鲍志东, 陈孟晋, 等. 砂岩中的凝灰质孔隙物分异特征及其对油气储集空间影响——以鄂尔多斯盆地西北部二叠系为例[J]. 地质科学, 2005, 40(3): 429-438.

THE CONTROLLING FACTORS OF JURASSIC HIGH QUALITY RESERVOIRS IN QINAN FAULT STEP BELT OFF BOHAI SEA

ZHAO Qingping, ZHAO Guoxiang, WAN Lin, FAN Jianhua, WANG Xiaomeng

(Bohai Oil Field Exploration and Development Research Institute, Tianjin Branch Company, CNOOC, Tianjin 300452, China)

Abstract: The Jurassic reservoir in the Qinan fault step belt is heterogeneous due to complex internal textures. It is one of the major problems faced in oil exploration. Based on the study of rock types, reservoir physical properties, reservoir space types and pore structures, it is concluded that the Jurassic of the area is a kind of proximal sediments rich in pyroclastic materials intercalating coal seams. The reservoir is characterized by medium porosity and low permeability. High quality reservoirs are sometimes found in the low permeability sequence. Pore structure analysis shows that permeability may change greatly though the porosity remains similar. Secondary pores caused by multi-cyclic dissolution of feldspar and volcanic materials dominate sometimes. The quality of reservoirs depends upon the dissolution by acidic fluids. The coal strata are believed the source of organic acids, which promoted the dissolution and the reduction of carbonate minerals. The pyroclastic materials have double affect on the reservoir, on the one hand, they are apt to be corroded and dissolved to increase the reservoir porosity and block the process of quartz overgrowth, on the other hand, it may reduces the compaction of sediments which are favorable for reservoir properties.

Key words: Qinan fault step belt; Jurassic; high quality reservoir; coal strata; dissolution