

文章编号: 1009-3850(2010)02-0026-06

饶阳凹陷古近系成岩作用特征

许丽丽¹, 国景星¹, 张健¹, 袁著纲^{1,2}, 张勇¹

(1. 中国石油大学 地球资源与信息学院, 山东 青岛 266555; 2. 中海油研究中心, 北京 100027)

摘要: 通过 26 口井岩石薄片和铸体薄片的镜下观察及 14 口井扫描电镜等资料的分析, 对饶阳凹陷古近系碎屑岩储层的岩石学特征、成岩作用及成岩相进行了研究。研究区储层砂岩的成分成熟度和结构成熟度均较低, 岩石类型以长石砂岩和岩屑长石砂岩为主, 磨圆中等, 多呈次棱次圆状, 分选中等偏差。成岩作用主要有压实作用、胶结作用、交代蚀变作用、溶解作用等。中深部储层的成岩相组合可划分为胶结-溶解成岩相、胶结成岩相、压实-胶结成岩相、胶结-溶解-交代成岩相 4 种类型。

关键词: 饶阳凹陷; 古近系; 岩石学特征; 成岩作用; 成岩相

中图分类号: TE122.2⁺21

文献标识码: A

1 研究区概况

饶阳凹陷位于渤海湾裂谷盆地内的冀中拗陷中部, 是在中国东部中-新生代断陷盆地背景上发育起来的单段式箕状含油凹陷, 属于冀中拗陷一个次级构造单元。该凹陷北接霸县凹陷, 南临新河凸起, 东与献县凸起相邻, 西到高阳低凸起, 面积约 6300 km² (图 1)^[1,2]。本文研究的主要是古近系始新统与渐新统, 包括孔店组、沙河街组、东营组, 沉积总厚度达 5000 m, 根据沉积环境可分为辫状河三角洲相、河流相、湖泊相、冲积扇相等。沉积相与成岩作用是控制油气储层物性的两个基本因素, 储层物性的好坏最终取决于这两个因素之间的组合关系。

2 储层岩石学特征

本区 104 个岩石薄片、147 个扫描电镜照片的统计资料表明, 研究区储层岩石类型以长石砂岩和岩屑长石砂岩为主, 偶见亚长石砂岩和长石岩屑砂岩 (图 2)^[3~5]。砂岩中石英含量较低, 一般在

30%~60%之间; 长石含量较高, 一般在 25%~45%之间; 岩屑含量普遍较高, 平均在 10%~20%左右, 且岩屑成分复杂, 主要是酸性喷出岩, 少量中基性喷出岩、碳酸盐岩及板岩、千枚岩等变质岩; 胶结物主要为碳酸盐岩, 还有少量的硅酸盐、粘土矿物等。说明研究区砂岩不稳定成分较高, 具有较低的成分成熟度。储层岩石颗粒多呈次棱次圆状, 磨圆度中等, 分选中等偏差, 以孔隙式-基底式胶结为主, 颗粒接触关系多呈点-线式接触, 孔隙类型主要为粒间孔、溶蚀孔, 由此可见研究区砂岩的结构成熟度不高。

3 成岩作用类型

通过研究区 26 口井的普通薄片和铸体薄片的镜下观察及对 14 口井扫描电镜等资料的分析, 认为该区砂岩储层成岩作用复杂, 成岩现象丰富。常见的成岩作用有压实作用、胶结作用、交代蚀变作用、溶蚀作用等类型。

3.1 压实作用

收稿日期: 2010-06-02 改回日期: 2010-08-04

作者简介: 许丽丽 (1984-), 女, 硕士研究生, 主要从事储层与沉积研究。E-mail: xuziyuan123@yahoo.cn

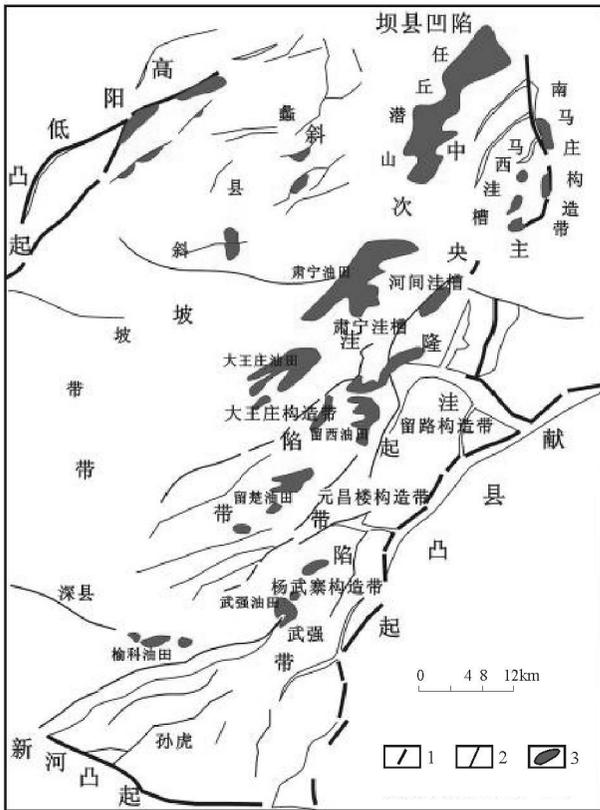


图 1 饶阳凹陷构造单元划分示意图

1 主要断层; 2 次级断层; 3 油田

Fig 1 Structural division of the Raoyang depression

1= major fault 2= secondary fault 3= oil field

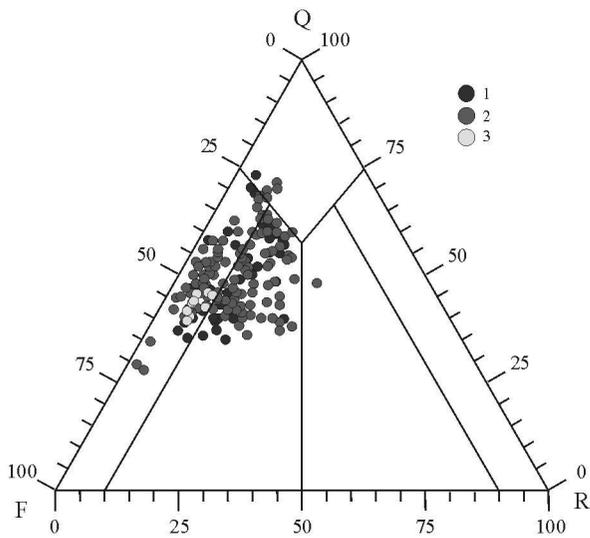


图 2 饶阳凹陷古近系储层岩石类型三角图解

1 东营组; 2 沙河街组; 3 孔店组

Fig 2 Ternary diagram of the Paleogene reservoir types in the Raoyang depression

1= Dongying Formation; 2= Shahejie Formation; 3= Kongdian Formation

通过对研究区砂岩储层孔隙度随埋深的变化情况研究发现, 由于研究区内的岩石矿物成分含较多长石、岩屑、杂基等以塑性为主的碎屑, 随着埋深加大, 压实作用增强, 使砂岩储层的原生孔隙大为减小。埋深从 2000m 至 5000m, 最大孔隙度由 32.9% 降至 2.17%, 平均孔隙度下降率为 1.02%/100m (图 3)。

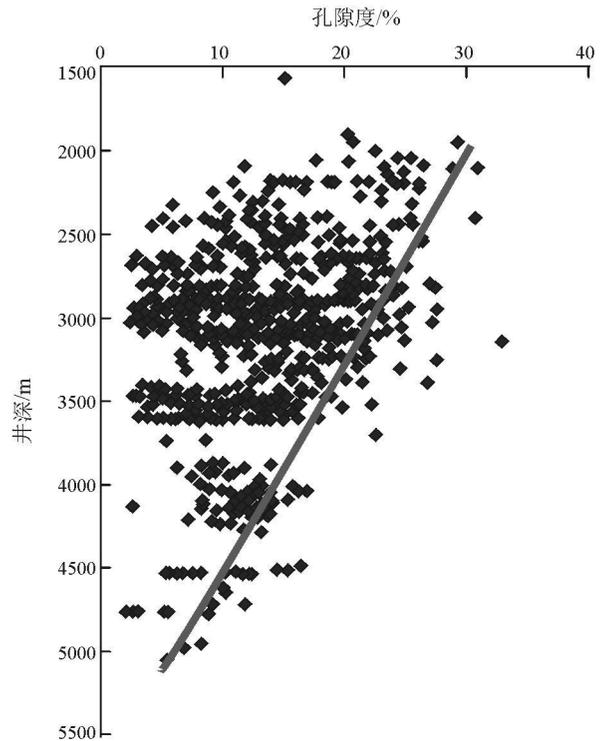


图 3 砂岩储层孔隙度随深度变化图

Fig 3 Porosity vs. burial depth diagram of the sandstone reservoirs in the Raoyang depression

机械压实作用和压溶作用对碎屑岩储层孔隙的破坏作用很强^[6]。研究区机械压实作用贯穿了整个成岩过程, 但在成岩早期对储层的影响远比其他时期大, 主要表现在以下几个方面: ①碎屑颗粒间的接触关系由点接触发展为线接触, 并进一步发展为呈缝合接触; ②发生压实定向, 使碎屑颗粒长轴近于水平方向定向排列 (图 4 a); ③塑性颗粒的压实变形, 主要是云母、泥质岩屑等受压弯曲、伸长等 (图 4 b); ④石英、长石等刚性颗粒被压裂, 或颗粒表面出现裂缝等, 长石一般沿其解理面破裂 (图 4 c); ⑤构造裂隙的产生 (图 4 d)。随着深度的增加, 压实作用逐渐减弱, 压溶作用逐渐显现。实际上压溶作用是发生在碎屑颗粒接触点的溶解作用, 这些溶解物会在附近沉淀, 使另一部分碎屑次生加大, 因此, 包括部分碎屑之间的镶嵌接触面、石英次生加大等

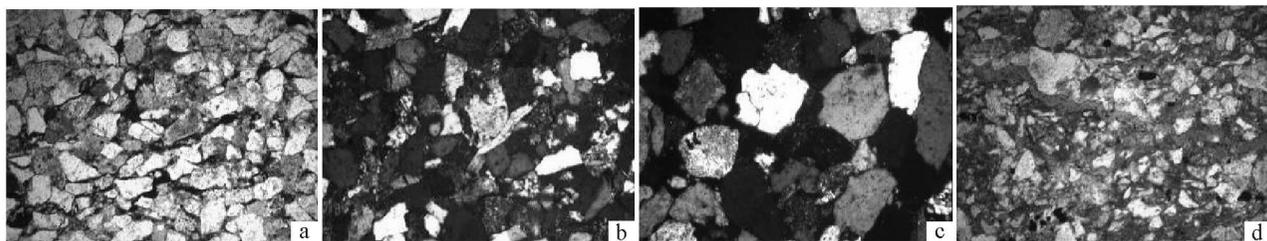


图 4 饶阳凹陷储层岩石薄片压实作用特征图

a 文 83 井, 3143.75 m, 沙三段, 颗粒长轴近于水平定向排列; b 楚 28 井, 2743.9 m, 东三段, 云母片弯曲变形; c 高 26 井, 2590.2 m, 沙一段, 石英颗粒破裂; d 宁 202 井, 3838.4 m, 沙三段, 构造裂缝

Fig 4 Compaction indicated by the thin sections of the clastic rocks in the Raoyang depression

a Horizontally oriented arrangements of the clastic grains from the third member of the Shahejie Formation, 3143.75 m, Wen 83 well; b Flexural deformation of mica from the third member of the Dongying Formation, 2743.9 m, Chu 28 well; c Fracture of quartz grains from the first member of the Shahejie Formation, 2590.2 m, Gao 26 well; d Structural cracks in the third member of the Shahejie Formation, 3838.4 m, Ning 202 well

均被视为压溶作用的证据。

3.2 胶结作用

胶结作用在研究区十分发育,是影响储层物性的重要因素之一。胶结物的矿物类型主要有碳酸盐矿物、硅酸盐矿物及自生粘土矿物,其中碳酸盐矿物中的方解石、硅酸盐矿物中的次生石英和粘土矿物中的高岭石是研究区内主要的充填矿物,对储层物性起到明显的破坏作用^[7-10]。

1. 碳酸盐胶结物

碳酸盐胶结物有方解石、白云石、铁方解石等,并具有明显的形成次序,造成了原生粒间孔隙的封闭或半封闭,使储层的孔隙度大大减少(图 5)。碳酸盐岩胶结物形成时间分为早、晚两期,早期方解石胶结物以泥晶、微晶形式出现,多为孔隙式胶结,少量为基底式,形成于浅埋成岩环境,深度范围大致为 1500~2500 m。晚期形成的方解石多为嵌连晶方解石(图 6 a)、白云石及少量的铁方解石,分布较零星,形成时间较晚,深度范围大致为 2500~3500 m。碳酸盐矿物的析出,一方面在很大程度上降低了原生孔隙度,另一方面也为溶蚀型次生孔隙的发育提供了物质基础。

2 硅酸盐胶结物

研究区硅质胶结物主要表现为石英次生加大、自生石英小颗粒的形成及长石次生加大等,出现的深度范围大致为 2300~3500 m。其中以石英次生加大为主,石英次生加大边可环绕整个碎屑石英,也可分布于石英颗粒的局部(图 6 b),其主要受控于可生长空间的限制。石英次生加大降低了储层的孔渗性,也改变了其孔隙结构,使粒间管状喉道变为片状或缝状,破坏了储层的储集性能,但同时使压实作用

得到了缓冲,使得石英次生加大边间的原生孔隙得以保存。自生石英的小晶体充填剩余粒间孔隙,使原生孔隙减少,并对次生孔隙产生不利(图 6 c)。与石英次生加大相比,长石次生加大比较少见其主要产状是在长石颗粒表面形成加大边。总之,硅质胶结物以各种不同的形式降低了砂岩孔隙度,同时又

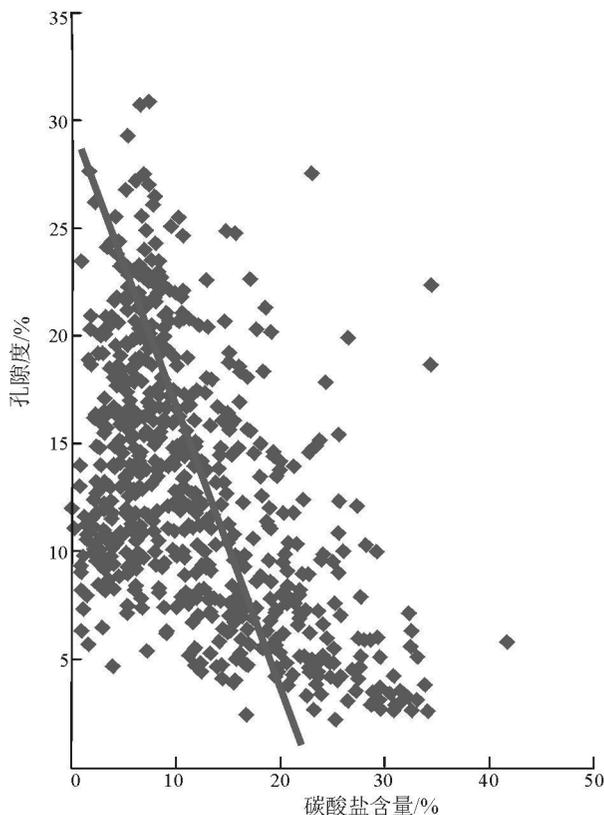


图 5 孔隙度-碳酸盐含量关系图

Fig 5 Porosity vs carbonate contents in the Raoyang depression

增加了骨架颗粒强度,抑制了压实作用的进行。

3 粘土矿物胶结物

本区粘土矿物胶结类型主要有绿泥石、高岭石等,其中以高岭石胶结物最为发育。绿泥石胶结物主要以绿泥石环边形式存在,紧邻碎屑颗粒,形成于成岩作用的早期,深度一般浅于2000m。扫描电镜下,高岭石呈书页状或蠕虫状集合体,在研究区多以假六方片状充填粒间孔,单体轮廓清楚,厚度均匀,并和自生石英晶体共生(图6d)。

3.3 交代蚀变作用

研究区的交代作用主要表现为碎屑颗粒的碳酸盐化及碎屑颗粒的粘土化。其中,方解石对长石的交代最为常见,其一般沿解理缝、颗粒边缘等薄弱处交代长石(图7a)。在3200~3500m深度范围内,出

现方解石、白云石对石英颗粒的交代,其原因可能是由于溶解作用对酸性物质进行了大量的消耗,使得孔隙流体pH值升高,硅质易溶,方解石发生沉淀而趋于稳定。碎屑颗粒的粘土化表现为绢云母化、绿泥石化、高岭石化等作用,研究区长石颗粒的绢云母化、绿泥石化较为发育(图7b)。

3.4 溶解作用

溶解作用对改善研究区储层,尤其是深部储层物性起着非常重要的作用,区内溶解作用主要表现为长石、岩屑等不稳定矿物及少量方解石胶结物的溶解。成岩作用早期,填隙物中的易溶组分(以泥-微晶方解石胶结物为主)及少量长石颗粒发生不同程度的溶解,形成大量的溶蚀孔及组构型溶孔,但大多数次生孔在成岩晚期被不同程度地充填,使得早

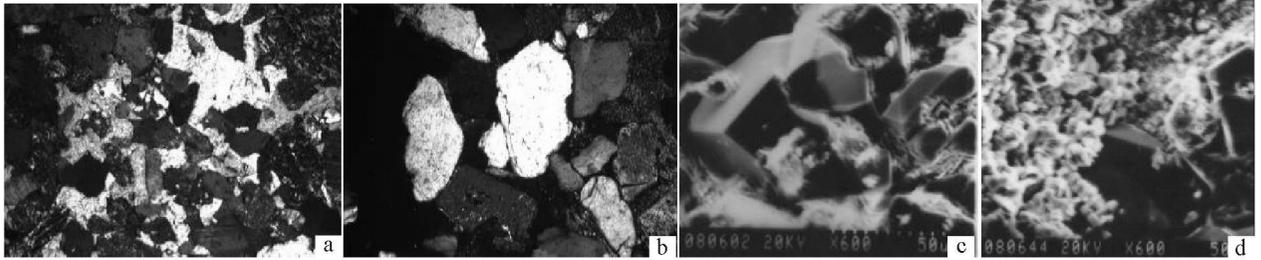


图6 饶阳凹陷储层岩石薄片及扫描电镜胶结作用特征图

a 任107井,2891.2m,沙三段,方解石呈嵌连晶胶结; b 高26井,2590.2m,沙一段,石英次生加大,加大边清晰; c 高28井,2323.1m,东三段,自生石英晶体; d 高26井,2590.2m,沙一段,自生石英晶体与高岭石共生

Fig 6 Cementation indicated by thin section and SEM examinations of the silicate minerals in the RaoYang depression

a Poikilitic intergrowth cementation of calcite from the third member of the Shahejie Formation, 2891.2 m, Ren-107 well b Secondary enlargement of quartz from the first member of the Shahejie Formation, 2590.2 m, Gao-26 well c Authigenic quartz from the third member of the Dongying Formation, 2323.1 m, Gao-28 well d Paragenesis of authigenic quartz and kaolinite from the first member of the Shahejie Formation, 2590.2 m, Gao-26 well

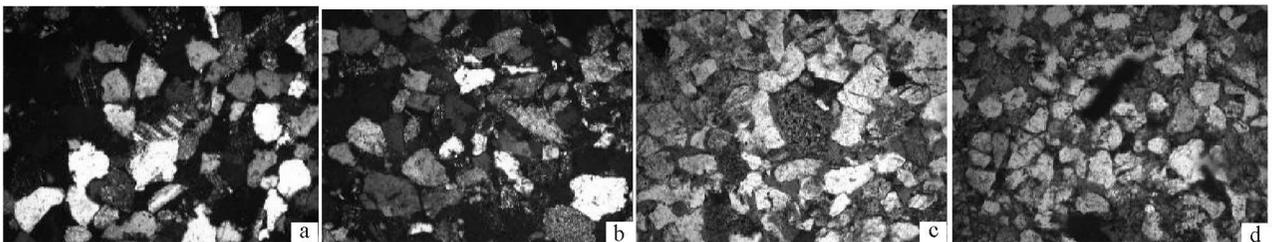


图7 饶阳凹陷储层岩石薄片交代蚀变作用及溶解作用特征图

a 高20井,2619.32m,沙二段,方解石交代长石; b 宁40井,3265.3m,沙一段,长石颗粒表面绢云母化; c 高20井,2617.6m,沙二段,长石颗粒表面溶孔,强烈溶蚀; d 高32井,2679.5m,沙二段,粒间溶孔,港湾状溶孔

Fig 7 Metasomatic alteration and dissolution indicated by thin section examination of the clastic rocks in the RaoYang depression a Metasomatism of feldspar by calcite from the second member of the Shahejie Formation, 2619.32 m, Gao-20 well b Sericitization of feldspar grains from the first member of the Shahejie Formation, 3265.3 m, Ning-40 well c Dissolution of feldspar grains from the second member of the Shahejie Formation, 2617.6 m, Gao-20 well d Intergranular embayed solution openings in the second member of the Shahejie Formation, 2679.5 m, Gao-32 well

成岩期形成的溶蚀孔常难以保存^[11]。随着深度加深,在成岩作用中晚期,溶解作用表现为长石的较强烈溶蚀、方解石的弱溶蚀及少量石英颗粒表面溶蚀(图7c)。该期溶蚀作用与泥岩中有机质的热演化产生有机酸有关,即在有机质成熟过程中产生的富含羧酸、羟基的酸性溶液进入碎屑岩中溶解长石、方解石胶结物,形成一定数量连通性较好的粒间溶孔、粒内溶孔、晶间溶孔、溶裂缝等(图7d)。

4 储层成岩相类型及相带划分

4.1 成岩相

成岩相是成岩环境的物质表现,即反映成岩环境的岩石学特征、地球化学特征和岩石物理特征的总和;成岩相是反映各种成岩事件的相对强度、成岩环境与成岩产物的综合表现。因此,成岩相包含两方面的内容,即成岩环境及该环境下的成岩产物。

沉积岩中的成岩事件具有共存性和继承性,所谓共存性是指同一岩石中可发生多个成岩事件,所谓继承性是指不同成岩环境可连续发生同一成岩事件。不同成岩相组合控制不同的储层孔隙发育特征和储集物性,成岩相是反映岩石所经历的极其复杂的成岩史和多种成岩环境下多种成岩作用的叠加与改造。因此,它不可能是某种单一成岩环境的产物,其中必定有一种或两种主要的成岩作用控制着孔隙的演化,并决定其目前的总貌,成岩相的划分有助于储层的区域评价和预测^[11,12]。

4.2 成岩相组合与储层的关系

研究区储层成岩类型丰富,成岩相组合多样。浅部储层多以压实作用为主,局部发育方解石胶结,即成岩相组合主要为压实成岩相,其次为压实胶结成岩相,研究层位以东营为组主。中深部储层深度范围在2000~3500m左右,研究层位有东三段下部和沙河街组,其中沙一段、沙二段是其主要研究层位,该区重点研究对象就是中深部储层,其成岩相组合可划分为4种类型:胶结溶解成岩相、胶结溶解交代成岩相、胶结成岩相、压实胶结成岩相。平面上各成岩相区分布如图8。

1. 胶结溶解成岩相组合

该成岩相组合在饶阳凹陷沙一、沙二段砂岩储层中最为常见,以大量方解石胶结少量长石胶结及早期环边胶结作用,压实作用中等为主要特点。原生粒间孔和剩余原生粒间孔保存较好,后期有机质演化成熟,大量酸性溶液介入,不稳定组分如长石、碳酸盐岩矿物等发生较强烈的溶蚀作用而产生大量

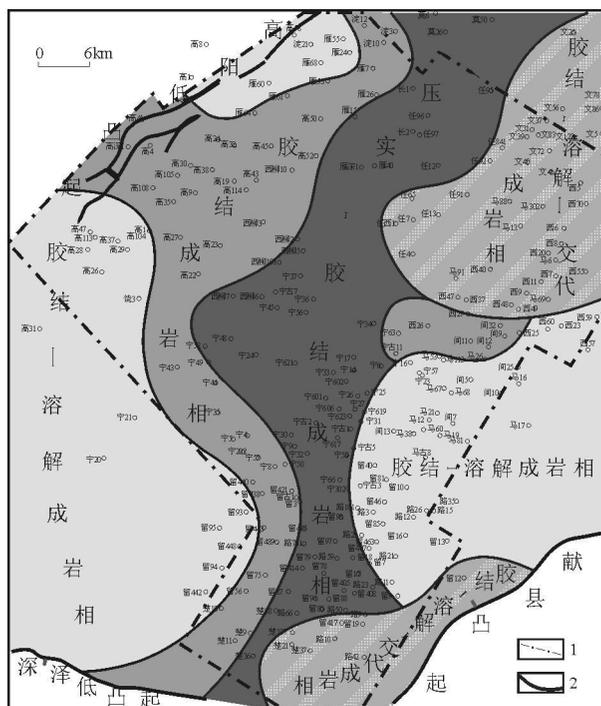


图8 饶阳凹陷中深部储层成岩相组合平面分布图

Fig. 8 Planar distribution of the diagenetic facies associations from the sandstone reservoirs in the middle and deeper parts of the Raoyang depression

次生孔隙,提高了储层的孔隙度和渗透率,为该区有利储层发育的成岩相组合。平面上主要分布在饶阳凹陷西北部高40井区,西南部高26井高28井宁20井留448井区及东部宁古3井宁57井马17井区。主要发育辫状河流相的河道、心滩,辫状河三角洲相的分流河道等沉积。

2. 胶结溶解交代成岩相组合

该成岩相组合在饶阳凹陷沙一、沙二段砂岩储层中较为常见,其特征与胶结溶解成岩相相似,局部地区出现碎屑颗粒的交代蚀变作用。孔隙类型主要为剩余粒间孔隙、次生溶蚀孔隙及部分原生孔隙,有机质成熟期产生大量的溶蚀孔,使得储层物性得到了很大改变,为该区较有利储层发育的成岩相组合。平面上主要分布在凹陷东北部任10井文83井任西1井西40井区,东南部楚28井楚37井区。

3. 胶结成岩相组合

该成岩相组合在饶阳凹陷中深部砂岩储层中较为常见,胶结作用强烈,以方解石胶结、石英次生加大为主要表现形式,使得储层原生粒间孔隙大为减少及经次生变化的剩余粒间孔隙大为减小,孔隙度和渗透率大大降低,为该区较不利储层发育的成

岩相组合。平面上主要分布在凹陷中西部高 50 井 - 宁 202 井 楚 11 井区及西 26 井 间 9 井区, 主要发育辫状河三角洲前缘亚相沉积。

4 压实 胶结成岩相组合

该成岩相组合在饶阳凹陷沙一、沙二段砂岩储层中也较为常见, 压实作用强烈为其主要特征。压实作用使得原生粒间孔隙急剧减少, 胶结作用使经次生变化的剩余粒间孔、溶蚀孔减小, 甚至完全填满整个孔隙, 储层孔隙度、渗透率特别低, 多为无效储层, 即为该区最不利储层发育的成岩相组合。平面上主要分布在凹陷的中部任 96 井 宁 52 井 楚 40 井区, 主要发育辫状河三角洲前三角洲亚相、浅湖相及半深湖相沉积。

5 结 论

(1) 研究区储层具有较低的成分成熟度和结构成熟度, 岩石类型以长石砂岩和岩屑长石砂岩为主, 偶见亚长石砂岩和长石岩屑砂岩, 岩石颗粒多呈次棱角 次圆状, 磨圆度中等, 分选中等偏差。

(2) 研究区砂岩储层成岩作用复杂, 成岩现象丰富, 常见的成岩作用有压实作用、胶结作用、交代蚀变作用、溶蚀作用等类型, 其中前三者一般表现为降低储层的储集性能, 后者在一定程度上可改善储层尤其是深部储层的储集性能。

(3) 中深部储层是该区研究的重点储层。沙一段、沙二段可划分为胶结 溶解成岩相、胶结 溶解 交代成岩相、胶结成岩相、压实 胶结成岩相 4 种成岩

相组合类型。

参考文献:

- [1] 纪友亮, 杜金虎, 赵贤正, 等. 饶阳凹陷下第三系层序类型及发育模式 [J]. 沉积学报, 2007, 25(1): 1-9
- [2] 张胜斌, 王琪, 李小燕, 等. 川中南河包场须家河组砂岩沉积 - 成岩作用 [J]. 石油学报, 2009, 30(2): 225-231
- [3] 杨仁超, 潘爱萍, 韩作振, 等. 姬塬油田砂岩储层成岩作用于孔隙演化 [J]. 西北大学学报 (自然科学版), 2007, 37(4): 626-630
- [4] 齐文, 姜在兴, 吕林, 等. 大牛地气田盒 2 3 段成岩作用研究 [J]. 大庆石油地质与开发, 2007, 26(6): 28-35.
- [5] 姜在兴等主编. 沉积学 [M]. 北京: 石油工业出版社, 2003. 119-129
- [6] 康健, 吴应川, 魏荷花. 文东深层低渗油藏成岩作用及成岩相模式研究 [J]. 西南石油, 2005, 14(5): 5-15
- [7] 周海燕, 胡见义, 郑俊章, 等. 南图尔盖盆地储层成岩作用及孔隙演化 [J]. 岩石矿物学杂志, 2008, 27(6): 547-558
- [8] 付国民, 李鑫, 梁志录, 等. 油层砂岩成岩作用及其对储层性质的影响 [J]. 西安科技大学学报, 2007, 27(3): 377-381
- [9] 李晓清, 郭勤涛, 丘东洲, 等. 淮北油田储层的成岩作用及成岩相划分 [J]. 沉积与特提斯地质, 2001, 21(4): 28-33.
- [10] 王勇, 鲍志东, 张春雷, 等. 西部凹陷北部沙河街组成岩作用及成岩相研究 [J]. 西南石油大学学报 (自然科学版), 2008, 30(5): 64-68
- [11] 高星, 陈洪德, 朱平, 等. 苏里格气田西部盒 8 段储层成岩作用及其演化 [J]. 天然气工业, 2009, 29(3): 17-22
- [12] 郑荣才, 耿威, 周刚, 等. 鄂尔多斯盆地白豹地区长 6 砂岩成岩作用与成岩相研究 [J]. 岩性油气藏, 2007, 19(2): 1-8

Diagenesis of the Palaeogene clastic rocks in the Raoyang depression

XU LI- li, GUO Jing-Xing, ZHANG Jian, XI Zhu-gang², ZHANG Yong

(1. College of Geo. resources and Information, China University of Petroleum, Qingdao 266555, Shandong, China;
2. Research Center, CNOOC, Beijing 100027, China)

Abstract: The present paper deals in the light of thin section and SEM examinations with lithology, diagenesis and diagenetic facies of the Palaeogene clastic rocks in the Raoyang depression. The sandstone reservoirs have low compositional and textural maturity and moderate roundness and sorting and consist dominantly of feldspar sandstone and lithic feldspar sandstone. The diagenesis comprises compaction, cementation, metasomatic alteration and dissolution. The diagenetic facies associations from the sandstone reservoirs in the middle and deeper parts may be grouped into four types: cementation-dissolution, cementation-compaction, cementation and cementation-dissolution-metasomatism.

Key words: Raoyang depression, Palaeogene, lithology, diagenesis, diagenetic facies