

文章编号:1673-5005(2011)05-0006-08

东营凹陷民丰北带古近系沙三段成岩演化及其对储层物性的影响

操应长¹, 陈 林^{1,2}, 王艳忠¹, 隋风贵^{1,2}

(1. 中国石油大学 地球科学与技术学院, 山东 青岛 266555; 2. 中国石化胜利油田 西部新区研究中心, 山东 东营 257015)

摘要:综合利用岩石薄片、埋藏史及流体包裹体等资料,对民丰北带古近系沙三段成岩演化及其对储层物性的影响进行研究。结果表明:沙三段沉积初期至距今 38 Ma 成岩作用主要为压实作用,距今 38 ~ 32 Ma 发生第一期酸性溶解,距今 32 ~ 25 Ma 发生石英溶解、碳酸盐胶结及第一期油气充注,距今 25 ~ 2 Ma 发生第二期酸性溶解及第二期油气充注,距今约 2 Ma 发生晚期碳酸盐胶结,距今 2 Ma 至现今发生第三期酸性溶解及第三期油气充注;对储层物性演化影响较大的主要有压实作用、碳酸盐胶结、酸性溶解及油气充注;第一期油气充注发生在碳酸盐胶结的早中期,抑制了碳酸盐继续胶结,使孔隙得以保存,未发生油气充注或充注弱的储层中碳酸盐胶结强烈,孔隙多大量损失,现今物性较差。

关键词:成岩演化;沙三段;民丰北带;东营凹陷

中图分类号:TE 122.2 **文献标志码:**A **doi:**10.3969/j.issn.1673-5005.2011.05.002

Diagenetic evolution of Es₃ reservoir and its influence on property in the northern Minfeng sub-sag of Dongying sag

CAO Ying-chang¹, CHEN Lin^{1,2}, WANG Yan-zhong¹, SUI Feng-gui^{1,2}

(1. School of Geosciences in China University of Petroleum, Qingdao 266555, China;

2. Western New Prospect Research Center, Shengli Oilfield, Dingying 257015, China)

Abstract: Through the analysis of lots of rock thin sections of Es₃ formation in the northern Minfeng sub-sag of Dongying sag, combined with the homogenization temperature analysis of fluid-inclusion and burial history, the process of diagenetic evolution and its influence on the reservoir property were studied. The diagenetic sequence is: from the beginning of the deposition of Es₃ to 38 Ma ago, the main type of diagenesis is compaction; from 38 to 32 Ma ago, the first phase of acid dissolution; from 32 to 25 Ma ago, quartz dissolution/ carbonate cementation and the first phase of hydrocarbon filling; from 25 to about 2 Ma ago, the second phase of acid dissolution and hydrocarbon filling; about 2 Ma ago, the later carbonate cementation; from 2 Ma ago until now, the third phase of acid dissolution and hydrocarbon filling. Among them, compaction, carbonate cementation, acid dissolution and former hydrocarbon filling exert the most important effect on the evolution of reservoir physical property. The first phase of hydrocarbon filling occurred in the early and medium stage of carbonate cementation, which hindered the carbonate cementation, and the porosity would be preserved. If hydrocarbon filling didn't occur or the hydrocarbon filling was not enough, carbonate cementation would be intensive, and the property would be poor.

Key words: diagenesis evolution; Es₃; north of Minfeng sub-sag; Dongying sag

1 地质概况

民丰北带位于东营凹陷北部陡坡带东段,西与胜坨油田相邻,东到青坨子凸起,南邻民丰洼

陷,北至陈家庄凸起,是由陈南铲式扇形边界断层所控制的陡斜坡构造带(图 1),具有断坡陡峭、山高谷深、沟梁相间的古地貌特征^[1],自西向东发育盐 16、盐 18 两大古冲沟,古冲沟内广泛发育近岸

收稿日期:2011-01-26

基金项目:国家油气重大专项课题(2008ZX05051-02);国家自然科学基金项目(140972080)

作者简介:操应长(1969-),男(汉族),安徽潜山人,教授,博士,博士生导师,主要从事沉积学、层序地层学等教学和科研工作。

水下扇砂砾岩扇体,紧邻烃源岩分布,成藏条件优越,勘探潜力大^[2],并已获得较好的工业油流,如丰深 1 井已取得重大突破^[3]。由于民丰洼陷古近系储层经历了复杂的成岩环境,储层成岩演化及物性演化较为复杂。目前针对民丰北部地区成岩演化及物性演化方面的研究不够具体,多是针对整个东营凹陷或东营北带^[4-8],且对成岩演化序列的判断也没有给出足够的证据。笔者以民丰北带沙三段为例,从储层微观分析入手,结合流体包裹体资料、埋藏史及热史分析,恢复沙三段储层流体演化、成岩演化过程,并探讨各成岩作用对储层物性演化的影响。

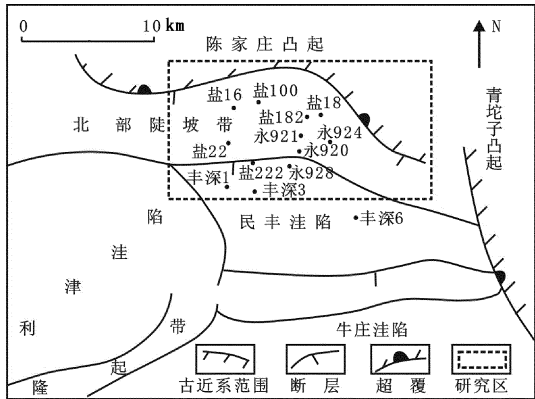


图 1 东营凹陷民丰洼陷北带位置

Fig.1 Location of northern Minfeng sub-sag of Dongying sag

2 储层特征

2.1 岩石学特征

本文研究主要针对民丰北带砂砾岩中的细砾岩、含砾砂岩及砂岩储层。对 100 多块岩石薄片资料的观察分析表明,沙三段储层以岩屑质长石砂岩为主(图 2),其中石英体积分数为 18% ~ 45%,平均 34.34%;长石体积分数为 23% ~ 70%,平均 38.95%;岩屑体积分数为 3% ~ 43%,平均 24.86%,且岩屑成分复杂,类型多样,主要为变质岩岩屑。填隙物中杂基体积分数为 0.5% ~ 14%,平均 4.11%;胶结物体积分数为 0 ~ 27%,平均 4.43%。整体上分选中等—差,磨圆以次棱角状为主,支撑方式以颗粒支撑为主,颗粒之间主要呈点—线接触;胶结物可见钙质、硅质和泥质,以钙质为主,胶结类型以孔隙—接触式胶结为主,常见基底式胶结。以上分析表明民丰北带沙三段储层成分成熟度及结构成熟度相对较低,胶结作用中等偏强。

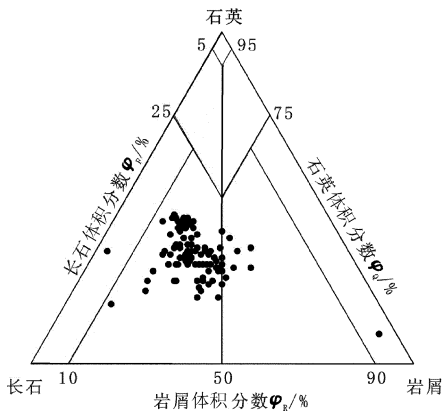


图 2 东营凹陷民丰北带沙三段岩石组分三角图

Fig.2 Lithological composition of Es₃ sandstone in northern Minfeng sub-sag of Dongying sag

2.2 储集特征

总体上,沙三段储集物性较好,以中—高孔、中—高渗储层为主,储集空间类型主要可见原生粒间孔、粒间溶孔、粒内溶孔。次生溶孔以长石颗粒及碳酸盐胶结物的溶解孔为主。邱隆伟等^[2]对民丰洼陷沙三段 4 599 个样品的孔隙类型统计显示,沙三段储集空间类型以次生孔为主,且主要为粒间溶蚀孔。

3 成岩作用特征

沙三段压实作用中等偏弱,颗粒以点—线接触为主;胶结作用主要为碳酸盐胶结,其次为石英的次生加大,并可见两期,少量的自生高岭石及黄铁矿胶结(图 3,图中 Ka 为高岭石,CA 为方解石,P 为黄铁矿)。胶结物不仅充填原生粒间孔,也会充填在前期次生溶孔之中(图 4(a)、(e)、(f)),导致孔隙大量损失;交代作用普遍存在,类型多样(图 3(a)、(d)、(e)、(f));溶解作用主要为长石颗粒溶解、碳酸盐胶结物溶解、少量石英颗粒及其加大边的溶解及岩屑的溶解等(图 4,图中 R 为岩屑,F 为长石,Q 为石英)。总体上沙三段成岩作用呈压实中等、胶结及交代作用中等偏强、溶解作用较为强烈的特征。

4 成岩演化序列

首先根据岩石薄片中生矿物之间的交代关系及溶解—充填等现象,分析各成岩作用发生的先后顺序,其次通过对烃源岩及膏岩层的埋藏热演化分析,确定各期流体形成的时间,进而确定各期成岩作用形成的时间,然后利用流体包裹体均一温度确定成岩作用发生的精确时间对上述分析进行验证,并确定油气充注期次,最终使各分析结果相互补充,综

合建立成岩演化序列。

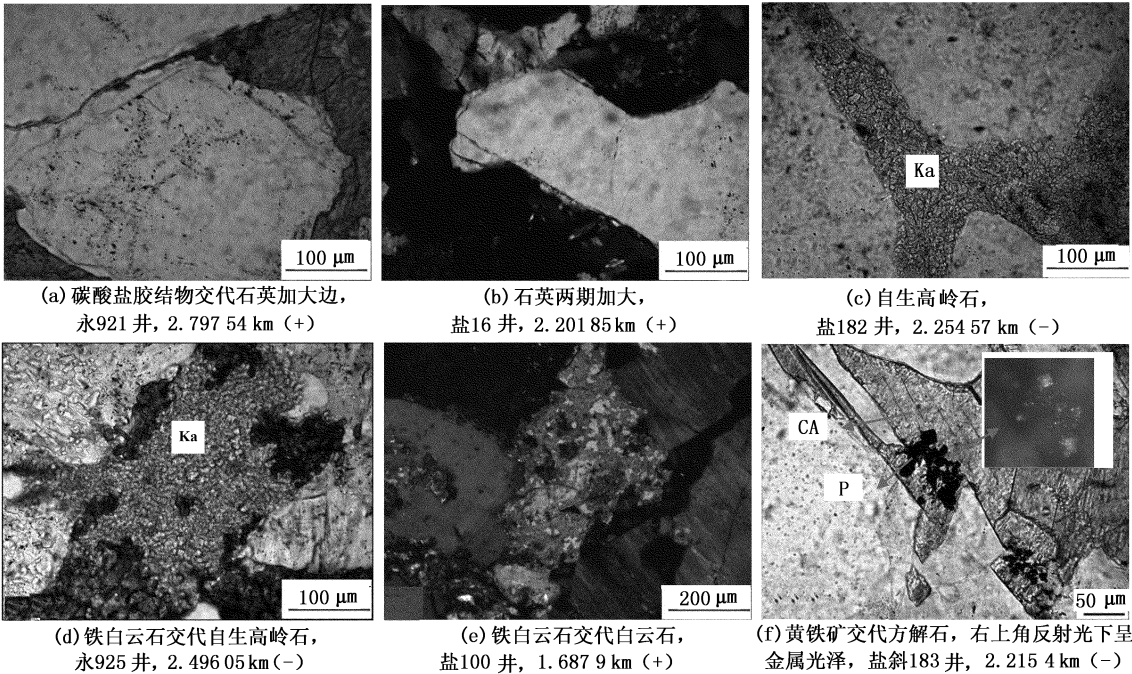


图3 民丰北带沙三段主要胶结、交代作用类型

Fig.3 Main kinds of cementation and metasomatism in Es₃ of Northern Minfeng-sub sag

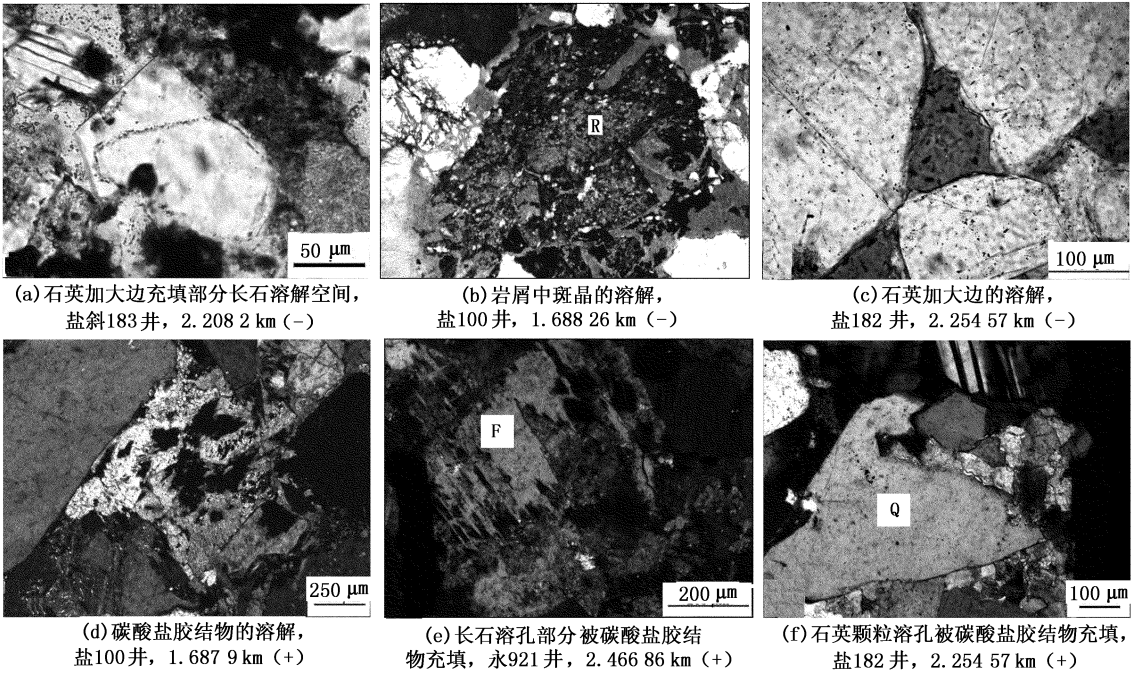


图4 民丰北带沙三段主要溶解作用及溶解充填现象

Fig.4 Main kinds of dissolution and filling role of dissolution of Es₃ in northern Minfeng sub-sag

4.1 岩石薄片资料分析

首先,根据溶解作用及溶解-充填关系,可见长石溶孔被碳酸盐胶结物充填,且碳酸盐胶结物也发生了溶解(图4(d)、(e)),推断长石溶解早于碳酸盐胶结,早于碳酸盐胶结物溶解;亦可见长石的溶解空间部分被石英加大边充填(图4(a)),石英颗粒

及其加大边也发生了溶解且溶解空间被碳酸盐胶结物充填(图4(c)、(f)),推断长石溶解早于石英加大,早于石英溶解,早于碳酸盐胶结。其次,根据各自生矿物之间的相互交代关系,可见碳酸盐胶结物交代石英加大边(图3(a)),且碳酸盐胶结物被黄铁矿交代(图3(f)),说明石英加大早于碳酸盐胶

结,早于黄铁矿胶结。各碳酸盐胶结物之间,主要可见铁白云石及铁方解石交代白云石(图3(e)),说明铁白云石和铁方解石形成较晚。另外,长石的溶解产物在适当条件下以自生高岭石和石英加大边的形式沉淀^[9],也可见自生高岭石被铁白云石胶结物交代(图3(d)),说明自生高岭石形成较早。

综合分析,各成岩作用的先后顺序为长石溶解→石英加大/自生高岭石→石英溶解→碳酸盐胶结→碳酸盐胶结物溶解/少量黄铁矿胶结。

4.2 埋藏史及热史分析

储层中自生矿物的沉淀及组分的溶解均是对地层流体性质变化的响应,所以研究地层流体的演化对于成岩演化研究至关重要。民丰洼陷古近系发育多套有效烃源岩^[10-12],并发育厚层的膏盐层,烃源岩在埋藏热演化过程中会释放大量的有机酸,而膏盐层在演化过程中可释放大量的富含 Ca^{2+} 的碱性水。可见,烃源岩和膏盐层的热演化会影响孔隙流体的酸碱性,进而影响成岩作用及储层物性的演化。

丰深1井位于民丰洼陷北带斜坡部位(图1),发育两套烃源岩及厚层膏盐层。通过分析其烃源岩及膏盐层热演化来研究地层流体性质的演化,并结合上述分析结果,根据各成岩作用发生所需要的流体环境来确定各期流体所对应的成岩作用类型。

根据丰深1井埋藏史(图5),沙三段沉积后至距今38 Ma,底界温度小于80℃,烃源岩尚未成熟,地层水pH值基本受沉积水体控制,由于沙三段沉积时期总体上为凹陷扩张期^[13],沉积水体基本呈中性,成岩作用主要为压实排水;距今38~32 Ma沙四上亚段烃源岩成熟,生成大量有机酸^[14],且沙三下亚段部分烃源岩温度也达到75~80℃,也可产生部分有机酸,使沙三段地层水呈酸性,这一时期可发生长石的溶解及石英的加大;距今32~25 Ma地层温度达到97℃,由于沙四上亚段有机酸发生脱羧,同时沙四下亚段石膏开始脱水^[14],生成大量碱性水,控制了沙三段地层水呈碱性,这一时期可发生石英溶解、碳酸盐矿物胶结;距今25~2 Ma沙三段经历了抬升和再沉降,有机酸生成量降低,但由于沙四上亚段因抬升再次进入大量生酸阶段,使沙三段pH值基本呈酸性,这一时期的酸性流体环境则对应于第二期酸性溶解(碳酸盐胶结物的溶解);距今约2 Ma,由于沙四上亚段石膏脱水^[14],使地层水呈碱性,由于沙四上亚段膏岩层不甚发育,脱出的碱性水有限,地层流体呈碱性的时间短,故在这一期碱性流体环境中可形成少量碳酸盐胶结物;距今约2 Ma至

现今,沙三段持续沉降,底界温度由110℃升至大于120℃,进入有机酸大量生成阶段,且这一温度范围处于有机酸的有利保存区,地层水重新受有机酸控制,至现今地层水仍呈弱酸性,这一阶段可发生第三期酸性溶解,部分原油发生裂解生成少量沥青质和 H_2S , H_2S 与地层中的 Fe^{3+} 反应,可生成少量黄铁矿。

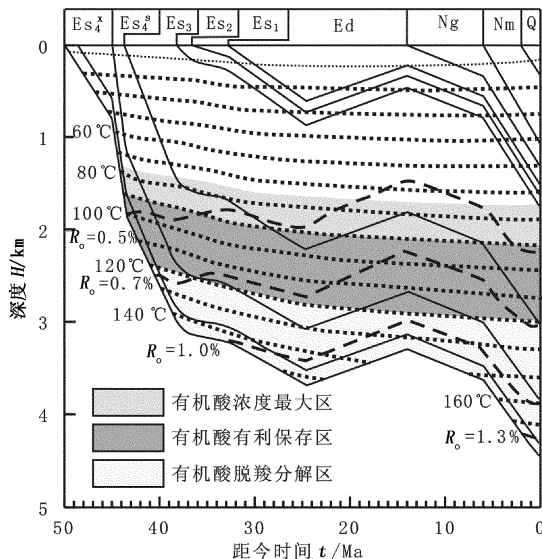


图5 丰深1井埋藏史(据宋国奇,修改)

Fig.5 Burial history of well Fengshen1

(After Song Guoqi, modified)

4.3 流体包裹体均一温度分析

东营凹陷沙三段流体包裹体数据(表1,据胜利油田地质科学研究所)表明,丰深1井2.8654 km处长石表面溶蚀孔洞中的盐水包裹体平均均一温度有83.7、102.7及113.6℃三组,通过在埋藏史图上投影可知,均一温度为83.7℃的溶解处于第二期酸性溶解时期(距今25~2 Ma),而均一温度为102.7、113.6℃的溶解均发生在距今2 Ma之后,证明存在第三期酸性溶解。另外丰深1井2.8656 km处石英加大边里的油包裹体均一温度为120.5℃,说明该石英加大形成时的温度应大于120.5℃,根据埋藏史图(图5),这一温度应在距今2 Ma之后,即第三期酸性溶解时期,证明第三期酸性溶解时期也发生了石英的加大。

在利用流体包裹体均一温度确定民丰洼陷沙三段油气充注的期次及时间上,很多学者观点大体一致^[15-16],认为发生了三期充注,如刘惠民^[16]根据油包裹体同期的盐水包裹体均一温度分析认为,民丰洼陷沙三段第一期油气充注的时间为距今28~25 Ma,第二期为距今7.1~3.4 Ma,第三期为距今1.1 Ma至现今。

表 1 丰深 1 井流体包裹体测试数据

Table 1 Test data of fluid inclusions of well Fengshen1

井号	深度 H/km	岩 性	寄主矿物	类型	直径 d/mm	均一温度 $T_1/^\circ\text{C}$	平均均一温度 $T_2/^\circ\text{C}$
丰深 1	2. 865 4	细砾岩	长石表面溶蚀孔洞	盐水	7	83. 6	83. 7
丰深 1	2. 865 4	细砾岩	长石表面溶蚀孔洞	盐水	8	83. 8	
丰深 1	2. 865 4	细砾岩	长石表面溶蚀孔洞	盐水	8	102. 7	102. 7
丰深 1	2. 865 4	细砾岩	长石表面溶蚀孔洞	盐水	10	113. 6	113. 6
丰深 1	2. 865 6	砂质砾岩	石英次生加大	原油	5	120. 5	120. 5

4.4 成岩演化序列的综合建立

通过对各种分析结果的相互补充、验证,沙三段成岩演化可确定为:开始沉积至距今 38 Ma,地层流体呈中性,成岩作用以压实为主;距今 38 ~ 32 Ma,地层流体呈酸性,发生长石溶解、石英加大及自生高岭石沉淀;距今 32 ~ 25 Ma,地层流体呈碱性,发生石英溶解、碳酸盐胶结,期间距今 28 ~ 25 Ma 发生第一期油气充注;距今 25 ~ 2 Ma,地层流体为酸性,发生第二期酸性溶解、石英加大,期间距今 7.1 ~ 3.4 Ma 发生第二期油气充注;距今约为 2 Ma 时,地层流体为碱性,发生晚期碳酸盐胶结;距今 2 Ma 至现今,地层流体为酸性,发生第三期酸性溶解及石英加大,形成少量黄铁矿及沥青质,其中距今 1.1 Ma 至现今发生第三期油气充注。

5 成岩演化对物性演化的影响

以成岩演化序列为约束,选取沙三段油、水层铸体薄片,利用反演回剥法,对面孔率演化进行定量恢复,分析各成岩作用对储层物性的影响。油层以盐 182 井 2. 263 85 km 为例,水层以盐 18 井 1. 958 71 km 为例进行说明。通过反演回剥计算可知(图 6),对沙三段储层物性演化起到重要影响的有压实作用、碳酸盐胶结及溶解作用。另外油、水层面孔率演化也具有较大的差异性:水层的碳酸盐胶结强于油层,而后期溶解明显弱于油层,导致油层现今面孔率高于水层,说明油气充注对储层成岩作用及物性演化也会产生重要影响。

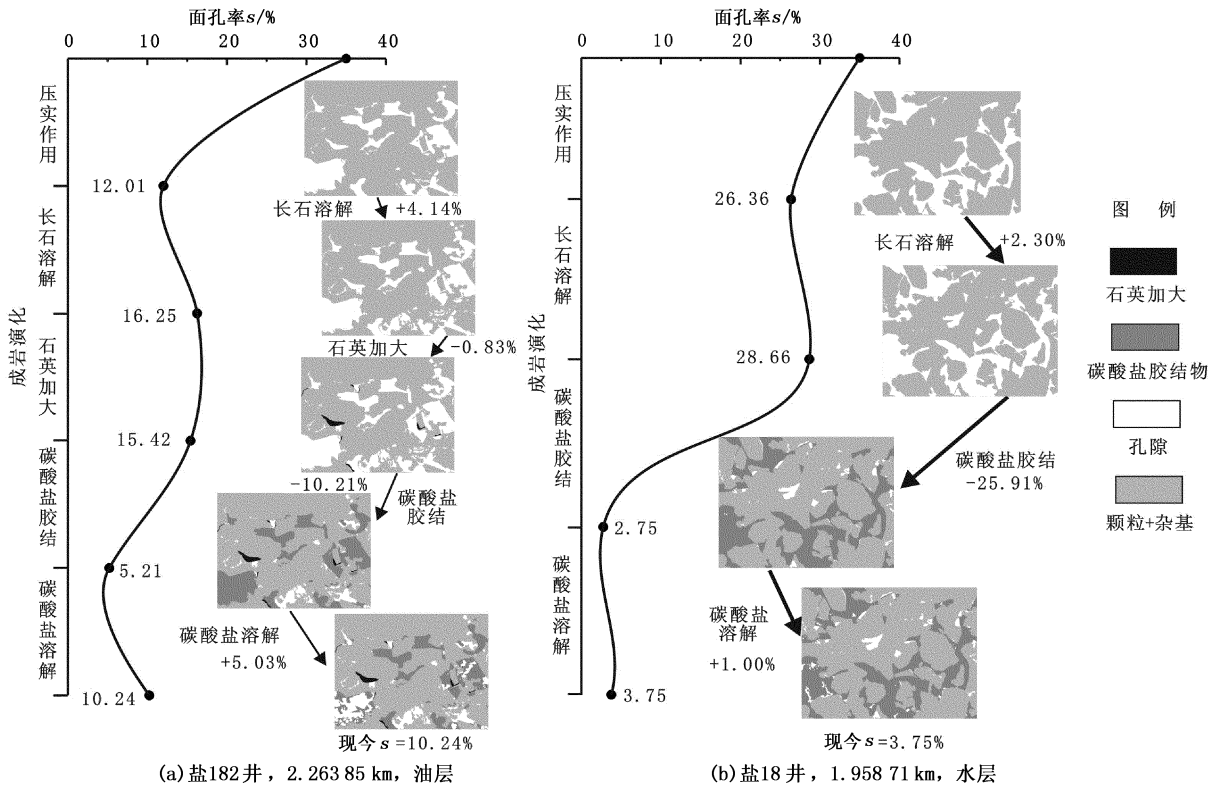


图 6 民丰北带沙三段油、水层面孔率演化反演回剥结果

Fig. 6 Inversion results of physical property of oil and water reservoir of Es₃ in northern Minfeng sub-sag

前人研究认为油气充注对成岩作用具有重要影响^[9,17-19]:它一方面可提供一定量的有机酸,改变孔隙水化学组成,使地层流体 pH 值降低;另一方面会限制流体活动,阻碍离子间的传递。可见油气充注一方面可促进酸溶性矿物的溶解甚至强烈溶解,另一方面会抑制自生矿物的形成以及矿物间的交代和转化。薄片观察中也可见油层中的碳酸盐胶结物含量明显低于水层或干层。根据上述分析,第一期油气充注时(距今 28 ~ 25 Ma)地层流体为碱性,正处于碳酸盐矿物的沉淀时期,故油气充注强烈的储层

中,由于 pH 值的降低和流体活动被限制,碳酸盐的继续胶结受到抑制,孔隙得以保存,演化至今成为有效储层,而油气充注微弱或未充注的储层,碳酸盐胶结继续进行,胶结相对强烈,大量孔隙被充填,导致储层流体活动困难,物性很难再被较大改造,演化到现今仍较差。

综合上述岩石薄片资料分析、埋藏史及热史分析、流体包裹体均一温度分析及成岩演化对物性演化影响的分析,东营凹陷民丰北带沙三段流体演化、成岩演化及物性演化过程可归纳为图 7。

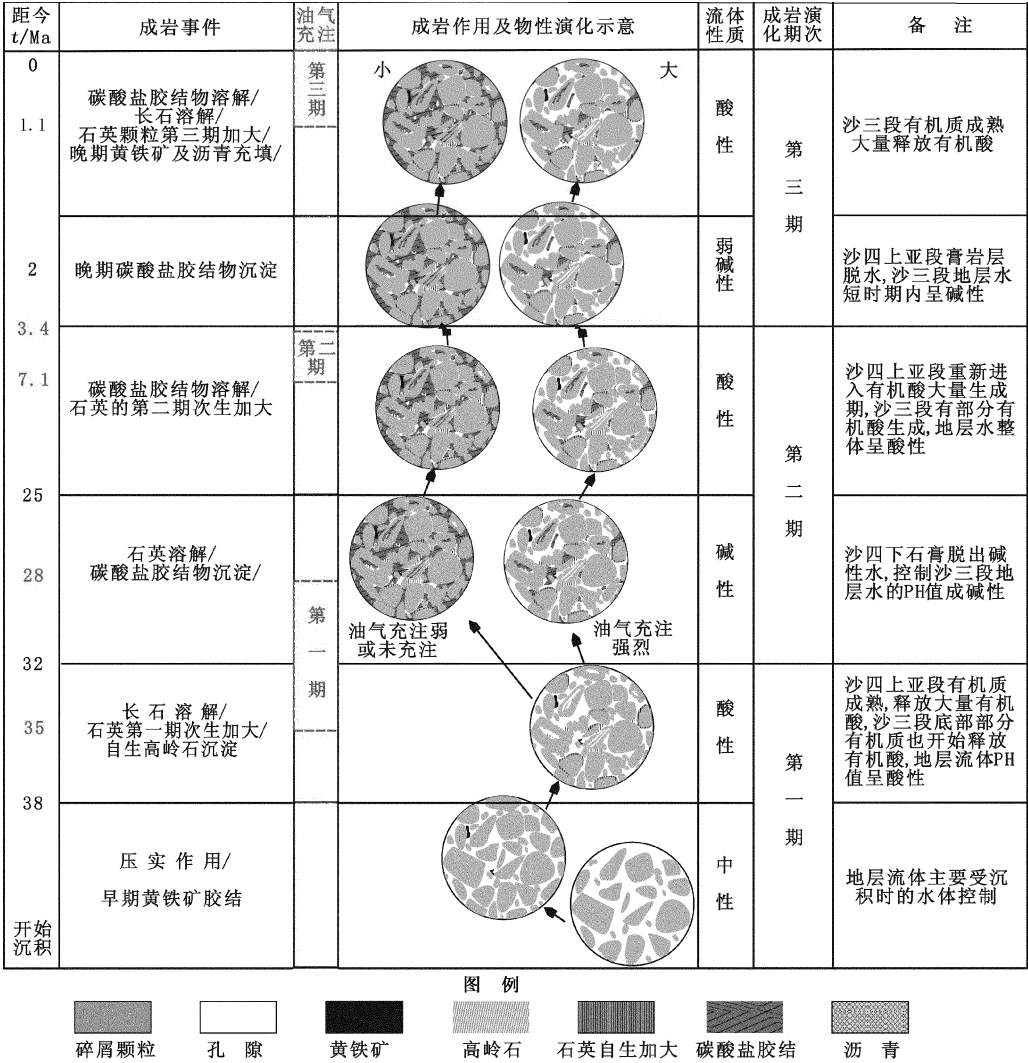


图 7 民丰北带沙三段储层成岩演化及物性演化

Fig. 7 Reservoir diagenesis evolution and quality evolution of Es₃ in northern Minfeng sub-sag

6 结 论

(1)民丰北带沙三段经历了多期酸碱交替的流体演化,成岩演化呈多期溶解、多期胶结的特征,其成岩序列为:初始沉积至距今 38 Ma 成岩作用主要为压实作用;距今 38 ~ 32 Ma 发生第一期酸性溶解;

距今 32 ~ 25 Ma 发生石英的溶解、碳酸盐胶结,期间发生第一期油气充注;距今 25 ~ 2 Ma 发生第二期酸性溶解,期间发生第二期油气充注;距今约 2 Ma 发生晚期碳酸盐胶结;距今 2 Ma 至现今发生第三期酸性溶解及第三期油气充注。

(2)对研究区目的层储层物性演化有重要影响

的有压实作用、碳酸盐胶结、油气充注以及酸性溶解作用。油气充注发生在第一期碳酸盐胶结的早中期,油气充注强的储层中碳酸盐胶结物的继续沉淀受到抑制甚至停止,孔隙得以保存,而油气充注弱或未充注的储层中碳酸盐胶结继续进行,使孔隙大量损失,后期很难再被较好改造,演化到现今物性较差。

参考文献:

- [1] 孔凡仙. 东营凹陷北带砂砾岩扇体勘探技术与实践[J]. 石油学报, 2000, 21(5): 27-31.
KONG Fan-xian. Exploration technique and practice of sandy-conglomeratic fans in the northern part of dongying depression[J]. Acta Petrolei Sinica, 2000, 21(5): 27-31.
- [2] 邱隆伟, 黄双泉. 民丰洼陷沙三段孔隙发育特征及储层物性主控因素[J]. 中国石油大学学报: 自然科学版, 2009, 33(4): 10-11.
QIU Long-wei, HUANG Shuang-quan. Characteristics of pore development and controlling factors of reservoir property of Es₃ in Minfeng sag[J]. Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science), 2009, 33(4): 10-11.
- [3] 隋风贵, 操应长, 刘惠民, 等. 东营凹陷北带东部古近系近岸水下扇储集物性演化及其油气成藏模式[J]. 地质学报, 2010, 84(2): 247-255.
SUI Feng-gui, CAO Ying-chang, LIU Hui-min, et al. Physical properties evolution and hydrocarbon accumulation of Paleogene nearshore subaqueous fan in the eastern north margin of the Dongying depression[J]. Acta Geologica Sinica, 2010, 84(2): 247-255.
- [4] 游国庆, 潘家华, 刘淑琴, 等. 东营凹陷古近系砂岩成岩作用与孔隙演化[J]. 岩石矿物学杂志, 2006, 25(3): 237-242.
YOU Guo-qing, PAN Jia-hua, LIU Shu-qin, et al. Diagenesis and pore evolution of Paleogene sandstone reservoir in Dongying depression[J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 2006, 25(3): 237-242.
- [5] 李军亮. 渤海湾盆地东营凹陷深层砂砾岩储层成岩演化特征[J]. 石油实验地质, 2008, 30(3): 252-255.
LI Jun-liang. Diagenesis evolution characteristics of deep buried glutenite reservoir bed in the dongying sag, the Bohai bay Basin[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2008, 30(3): 252-255.
- [6] 谭先锋, 田景春, 李祖兵, 等. 碱性沉积环境下碎屑岩的成岩演化: 以山东东营凹陷陡坡带沙河街组四段为例[J]. 地质通报, 2010, 29(4): 535-543.
TAN Xian-feng, TIAN Jing-chun, LI Zu-bing, et al. Diagenesis evolution of fragmental reservoir in alkali sediment environment: taking the member 4 of Shahejie formation of steep-slope zone in Dongying sag, Shandong, China for example[J]. Geological Bulletin of China, 2010, 29(4): 535-543.
- [7] 陈永峨, 于兴河, 周新桂, 等. 东营凹陷各构造区带下第三系成岩演化与次生孔隙发育规律研究[J]. 天然气地球科学, 2004, 15(1): 68-74.
CHEN Yong-qiao, YU Xing-he, ZHOU Xin-gui, et al. Research on diagenetic evolutive succession and occurrence of secondary porosity of lower tertiary in different structural belt of Dongying depression[J]. Natural Gas Geoscience, 2004, 15(1): 68-74.
- [8] 路慎强. 渤海湾盆地东营凹陷古近系碎屑岩储层成岩研究[J]. 石油实验地质, 2008, 30(5): 456-459.
LU Shen-qiang. Reservoir diagenetic sequence and its influence on pore development in the Paleogene sandstones in the Dongying sag of the Bohai bay Basin[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2008, 30(5): 456-459.
- [9] 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 Jin-gong, ZHANG Zhi-huan, ZHU Xiao-min, et al. Hydrocarbon filling and chemical diagenesis evolution of the clastic reservoir of the Paleogene in Dongying sag[J]. Petroleum Exploration and Development, 2003, 30(3): 79-83.
- [10] 朱光有, 金强, 张水昌, 等. 东营凹陷沙河街组湖相烃源岩的组合特征[J]. 地质学报, 2004, 78(3): 416-427.
ZHU Guang-you, JIN Qiang, ZHANG Shui-chang, et al. Combination characteristics of lake facies source rock in the Shahejie formation, Dongying depression[J]. Acta Geologica Sinica, 2004, 78(3): 416-427.
- [11] 宋国奇, 金强, 王力, 等. 东营凹陷深层沙河街组天然气生成动力学研究[J]. 石油学报, 2009, 30(5): 673.
SONG Guo-qi, JIN Qiang, WANG Li, et al. Study on kinetics for generating natural gas of Shahejie formation in deep-buried sags of Dongying depression[J]. Acta Petrolei Sinica, 2009, 30(5): 673.
- [12] 朱光有, 金强, 王锐. 有效烃源岩的识别方法[J]. 石油大学学报: 自然科学版, 2003, 27(2): 7-9.
ZHU Guang-you, JIN Qiang, WANG Rui. Identification methods for efficient source rocks[J]. Journal of the University of Petroleum, China (Edition of Natural Science), 2003, 27(2): 7-9.
- [13] 王居峰. 陆相断陷盆地陡坡带沉积相类型与沉积演

- 化特征:以东营凹陷民丰地区沙三段、沙四段为例[J]. 天然气地球科学, 2008, 19(5): 611-617.
- WANG Ju-feng. Sedimentary facies types and evolution features on steep slope belt in terrestrial fault-depressed basin; a case in Sha 3 and 4 member of Minfeng area in Dongying depression [J]. Natural Gas Geoscience, 2008, 19(5): 611-617.
- [14] 王艳忠. 东营凹陷北带古近系次生孔隙发育带成因机制及演化模式[D]. 青岛:中国石油大学(华东)地球资源与信息学院, 2010.
- WANG Yan-zhong. Genetic mechanism and evolution model of secondary pore development zone of Paleogene in the north zone in Dongying depression[D]. Qingdao: College of Geo-Resources and Information, China University of Petroleum, 2010.
- [15] 蔡李梅, 陈红汉, 李纯泉, 等. 济阳坳陷东营凹陷沙三中亚段流体包裹体古流体势场恢复[J]. 石油与天然气地质, 2009, 30(1): 17-25.
- CAI Li-mei, CHEN Hong-han, LI Chun-quan, et al. Reconstruction of the paleo-fluid potential field of Es³ in the Dongying sag of the Jiyang depression with systematic fluid inclusion analysis [J]. Oil & Gas Geology, 2009, 30(1): 17-25.
- [16] 刘惠民. 民丰洼陷沙三段岩性油气藏油气充注事件的压力响应[J]. 新疆石油地质, 2009, 30(4): 484-485.
- LIU Hui-min. Pressure response to hydrocarbon charging events in Es₃ member of Minfeng sub-sag[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2009, 30(4): 484-485.
- [17] 张枝焕, 胡文瑄, 曾溅辉, 等. 东营凹陷下第三系流体—岩石相互作用研究[J]. 沉积学报, 2000, 18(4): 560-565
- ZHANG Zhi-huan, HU Wen-xuan, ZENG Jian-hui, et al. Study of fluid-rock interactions in Eocene formation in Dongying depression, Bohai Gulf Basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2000, 18(4): 560-565.
- [18] 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): 85-89.
- HU Hai-yan. Effects of hydrocarbon emplacement to diagenesis of reservoirs[J]. Marine Origin Petroleum Geology, 2004, 9(1/2): 85-89.
- [19] 李艳霞, 刘洪军, 袁东山, 等. 石油充注对储层成岩矿物演化的影响[J]. 石油与天然气地质, 2003, 24(3): 274-280.
- LI Yan-xia, LIU Hong-jun, YUAN Dong-shan, et al. Effect of oil charging on reservoir's diagenetic mineral evolution[J]. Oil & Gas Geology, 2003, 24(3): 274-280.

(编辑 徐会永)

(上接第5页)

- [10] 邓攀, 陈孟晋, 杨泳. 分形方法对裂缝性储集层的定量预测研究和评价. [J]. 大庆石油地质与开发, 2006, 25(2): 18-20.
- DENG Pan, CHEN Meng-jin, YANG Yong. The application of fractal approach to the quantitative estimation research and evaluation of fractured reservoir[J]. Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing, 2006, 25(2): 18-20.
- [11] 周英杰, 张敬轩, 张吉昌, 等. 裂缝性潜山油藏储集体岩性定量识别: 以埕北30太古界潜山储集体为例[J]. 中国岩溶, 2002, 21(2): 140-144.
- ZHOU Ying-jie, ZHANG Jing-xuan, ZHANG Ji-chang, et al. Quantitative spotting on oil storage of fractured-rocks in hidden mountain-case study on No. CB 30 hidden mountain of the Archean group [J]. Carsologica Sinica, 2002, 21(2): 140-144.
- [12] 宋惠珍, 贾承造, 欧阳健, 等. 缝性储集层研究理论与方法: 塔里木盆地碳酸盐岩储集层裂缝预测[M]. 北京: 石油工业出版社, 2001.

(编辑 徐会永)