

东营凹陷北带沙四下亚段深层砂砾岩储层 储集空间特征及成因机制

王淑萍¹, 徐守余¹, 董春梅¹, 王丽萍²

(1. 中国石油大学(华东)地球科学与技术学院, 山东 青岛 266580;

2. 中国石化胜利油田东胜集团股份有限公司, 山东 东营 257000)

摘要: 东营凹陷民丰洼陷北带沙四下亚段深层砂砾岩储层储集空间特征及成因机制认识不清的问题, 给该地区油气勘探带来了极大的风险。综合运用薄片鉴定、扫描电镜观察、流体包裹体分析及岩心物性分析等多种技术方法, 结合压力演化史、油气成藏史、有机质热演化史等研究成果, 对东营凹陷北带沙四下亚段砂砾岩储层储集空间特征及成因机制进行了系统研究。结果表明, 东营凹陷北带沙四下亚段砂砾岩储层储集空间以残余原生孔隙为主, 相对含量占 60% 以上, 含有少量的次生溶蚀孔隙及微裂缝。在早期异常高压、早期油气充注以及膏岩层的发育等多种因素的综合作用下, 东营凹陷北带沙四下亚段砂砾岩储层原生孔隙得以有效的保存至深层, 从而为油气聚集提供了优质的储集空间; 沙四下亚段深层砂砾岩储层经历了酸性→碱性→酸性的溶解过程, 溶解作用相对较弱, 次生孔隙含量低, 对储层物性的贡献量小。

关键词: 储集空间; 成因机制; 沙四下亚段; 砂砾岩体; 东营凹陷北带

中图分类号: TE122.2⁺3

文献标志码: A

文章编号: 1672-1926(2014)08-1135-09

引用格式: Wang Shuping, Xu Shouyu, Dong Chunmei, *et al.* Reservoir-space characteristics and genetic mechanism of deep glutenite reservoir of Es₄^x in the north zone of the Dongying Depression [J]. Natural Gas Geoscience, 2014, 25(8): 1135-1143. [王淑萍, 徐守余, 董春梅, 等. 东营凹陷北带沙四下亚段深层砂砾岩储层储集空间特征及成因机制[J]. 天然气地球科学, 2014, 25(8): 1135-1143.]

0 引言

随着油气勘探程度的不断提高和勘探深度的不断下潜, 中浅层油气勘探已进入高成熟阶段, 深层已成为“增储上产”的重要勘探领域。目前, 多数学者^[1-3]认为深层储层储集空间以次生孔隙为主, 但是针对深层次生孔隙的成因却存在不同的观点: 一种观点认为深层次生孔隙为深层溶蚀成因^[4]; 另一种观点认为深部次生孔隙带为浅层形成、保存至深层的次生孔隙带^[5-6]。也有少数学者^[7-9]认为深层储层储集空间主要为有效保存下来的原生孔隙, 次生孔

隙只是局部发育。

东营凹陷民丰洼陷北部陡坡带沙四下亚段近岸水下扇砂砾岩体紧邻深湖相烃源岩分布, 具有极佳的生储盖匹配关系, 有利于形成岩性或构造—岩性油气藏, 勘探潜力巨大。近年来, 该区沙四下亚段深层油气勘探取得了重大突破, 如丰深 1 井沙四下亚段 4 316.6~4 343m 日产油 81.7t、日产气 118 336m³。目前, 普遍认为东营凹陷民丰洼陷北带沙四下亚段深层砂砾岩储层储集空间以次生孔隙为主, 关于次生孔隙的成因存在 2 种观点: 一种观点认为是浅层有机酸溶解形成的次生孔隙保存至深层; 另一种观

收稿日期: 2013-08-09; 修回日期: 2013-10-14.

基金项目: 国家科技重大专项(编号: 2011ZX05009-003); 中央高校基本科研业务费专项资金项目(编号: 12CX04001A; 13CX02035A) 联合资助。

作者简介: 王淑萍(1978-), 女, 甘肃民勤人, 博士研究生, 主要从事油气储层评价研究. E-mail: wshpwyzh0619@163.com.

点认为是深层溶解成因^[10-11]。但是,笔者通过系统研究认为东营凹陷北带沙四下亚段砂砾岩储层储集空间以原生孔隙为主。对储层储集空间类型及成因机制认识不清,是造成深层油气勘探虽然取得了突破、但勘探成功率却较低的直接原因,给此类油气藏勘探开发带来极大的困难和风险,如紧邻丰深1井钻探的丰深2井和丰深3井均未成功(前者为干井,后者仅日产 $2.64 \times 10^4 \text{ m}^3$ 天然气)^[12]。因此,系统研究东营凹陷民丰洼陷北部陡坡带沙四下亚段深层近岸水下扇砂砾岩储层储集空间特征及其成因机制,不仅对东营凹陷北带沙四下亚段深层砂砾岩储层油气勘探思路及勘探部署具有重要的指导意义,而且对其他地区断陷湖盆深层油气勘探开发具有重

要的借鉴意义。

1 地质概况

东营凹陷是济阳拗陷的一个次级构造单元,东接青坨子凸起,南部为鲁西隆起和广饶凸起,西邻林樊家凸起、高青凸起,北以陈家庄—滨县凸起为界,总体走向为NE向,剖面上具有北断南超的开阔型箕状凹陷特征^[13]。民丰地区位于东营凹陷的东北部,陈南断层的下降盘,其北部为陈家庄凸起,南邻中央隆起带,东部为青坨子凸起,西部为利津洼陷^[14](图1)。古近系沙四下亚段沉积时期,东营凹陷处于断陷初期,气候干旱,湖盆水体范围较小,盐度较大。民丰洼陷边界断层附近作为湖盆的沉降中

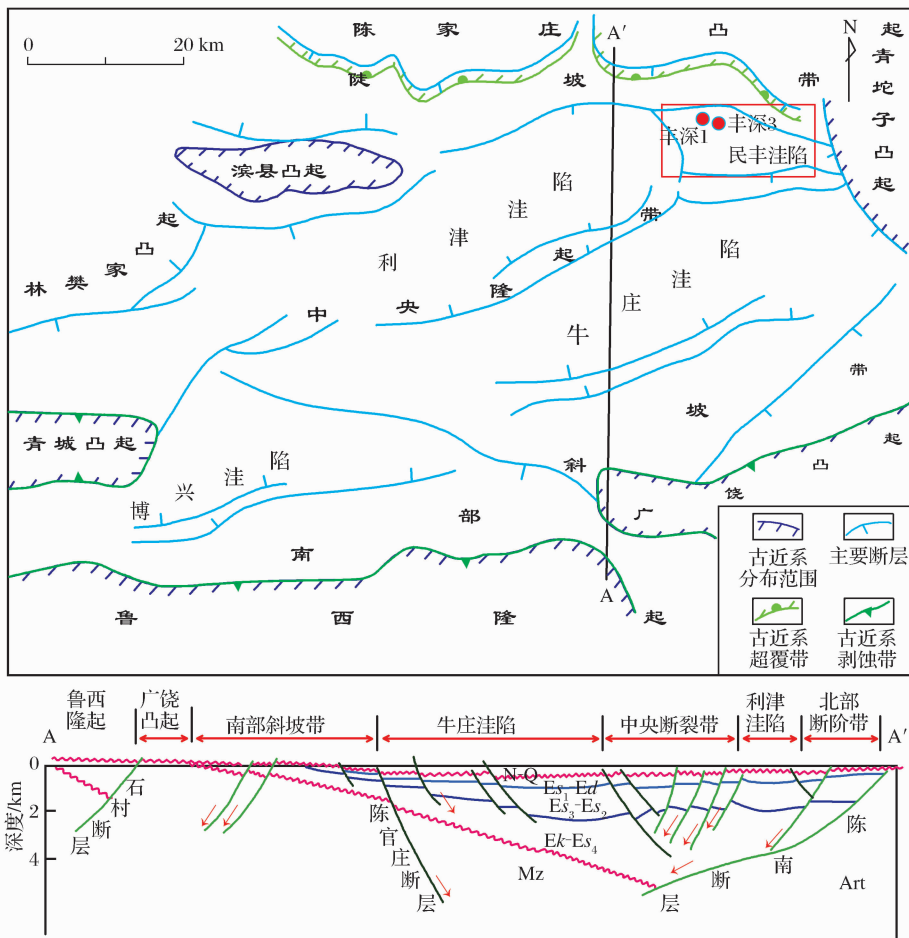


图1 东营凹陷构造单元划分

Fig. 1 Tectonic unit division in the Dongying Depression

心,水深较大,季节性洪水携带大量陆源碎屑物质在陈南断层下降盘沉积了大规模近岸水下扇砂砾岩体^[15],而在洪水停滞期,湖水强烈蒸发,沉积了厚层的膏盐和盐岩,剖面上膏盐岩和砂砾岩互层的沉积组

合对储层后期的成岩演化和储集空间形成影响特殊。沙四下亚段砂砾岩类型主要为复模态不等粒砂岩、中粗砂岩或含砾砂岩、细砾岩,砂岩类型主要为岩屑质长石砂岩、长石质岩屑砂岩,其次为长石砂岩,杂基含

量较高,分选较差。砂岩碎屑颗粒中石英含量为5%~80%,平均为37.11%,长石含量平均为33.65%,岩屑含量在5%~80%之间,平均为25.98%,以变质岩碎屑为主,其次是沉积岩岩屑和岩浆岩岩屑。

2 储集空间类型及特征

根据研究区80余张岩石铸体薄片观察及16块扫描电镜分析,东营凹陷北带沙四下亚段砂砾岩储层储集空间以残余原生孔隙为主,含少量次生孔隙及微裂缝。

整体上,原生粒间孔隙形状规则,边缘平直,无

明显的溶蚀改造痕迹[图2(a),图2(b)],部分粒间孔隙发生油气充注,并且粒间发育的碳酸盐胶结物晶形完整,边缘平直,未发生次生溶蚀作用[图2(c)]。次生孔隙主要是由长石、岩屑等酸性不稳定矿物的少量溶蚀而形成孤立的粒内溶孔或颗粒边缘的粒间溶扩孔隙[图2(d),图2(g)],孔隙形状不规则,常呈锯齿状或港湾状溶蚀边缘,孔隙间连通性差;还可见少量粒间碳酸盐胶结物溶解形成的次生孔隙[图2(h),图2(i)],孔隙形状不规则,常见碳酸盐溶蚀残余。另外,研究区还发育少量的超压裂缝[图2(e)]及贴粒缝[图2(f)]等微裂缝。

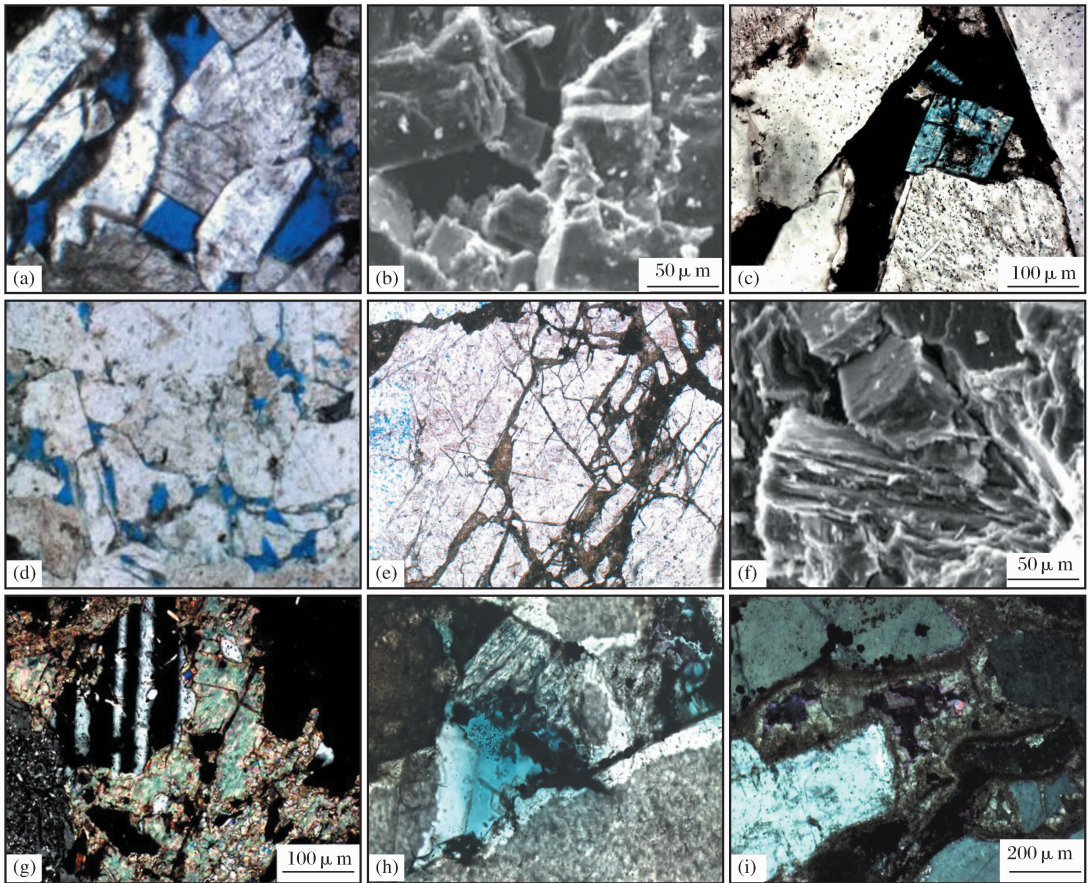


图2 东营凹陷北带沙四下亚段砂砾岩储层储集空间特征

Fig. 2 Characteristics of reservoir-space of glutenite in E_{s4} in the north zone of the Dongying Depression

(a) 丰深1井,4 322.5m,残余原生粒间孔,50 \times (-);(b) 丰深1井,4 349.3m,原生孔隙,扫描电镜;(c) 丰深1井,4 321.9m,粒间孔隙充填沥青和铁白云石,铁白云石呈自形,100 \times (-);(d) 丰深3井,4 785.3m,次生溶蚀孔,25 \times (-);(e) 丰深4井,4 403.1m,颗粒内压裂缝,50 \times (-);(f) 丰8井,4 195.8m,贴粒缝,扫描电镜;(g) 丰深3井,4 867m,碳酸盐充填部分长石溶孔,100 \times (+);(h) 丰深1井,4 323.3m,铁白云石胶结物溶解孔隙,20 \times (-);(i) 丰深4井,4 476.15m,白云石胶结物溶解孔隙,50 \times (+)

次生孔隙指岩石在埋藏成岩过程中形成的新孔隙,在识别储集空间类型时应将原始粒间孔隙和其周围颗粒溶解形成的新孔隙区分为原生孔隙和次生孔隙^[10,12]。根据上述原则,利用蔡司 Axioscope A1

APOL. 数字透反偏光显微镜和 Axio Vision Software Rel. 图像分析软件对东营凹陷沙四下亚段砂砾岩储层原生面孔率与次生面孔率定量统计表明,深层砂砾岩储层中次生孔隙面孔率普遍小于1%

(图 3)。

统计资料表明,随着储层孔隙度增大,原生面孔率百分含量(原生面孔率占总面孔率百分比)呈增大趋势,而次生面孔率百分含量(次生面孔率占总面孔

率百分比)呈减小趋势(图 3)。总体上,沙四下亚段深层砂砾岩储层的原生面孔率百分比一般大于 60%,而次生面孔率百分比一般小于 40%,储层储集空间以残余原生孔隙为主(图 3)。

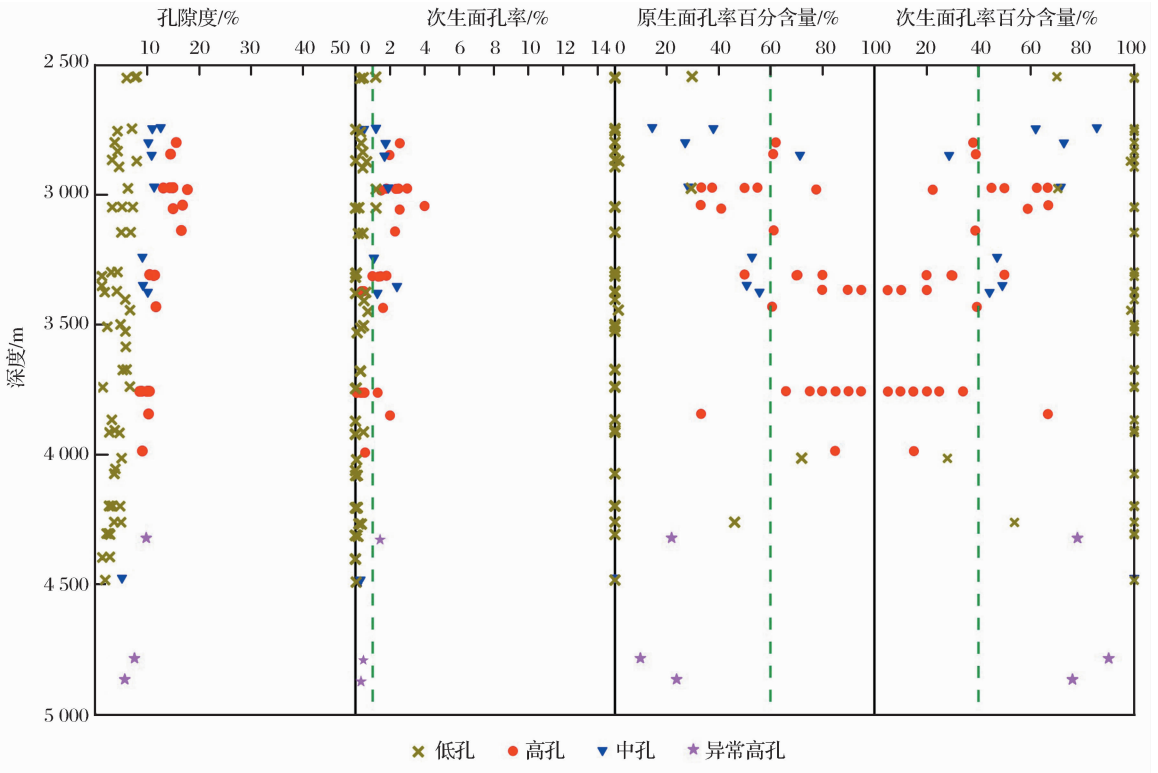


图 3 东营凹陷沙四下亚段砂砾岩储层储集空间含量定量统计结果

Fig. 3 Quantitative statistics of reservoir-space content of glutenite reservoir in Es₄ in the north zone of the Dongying Depression

3 储集空间成因机制

沉积物沉积之后埋藏到深层的过程中,将经历复杂的成岩环境演化过程。深部储层储集空间的形成与演化受到成岩作用、地层压力及地层温度等多种因素的综合作用。

3.1 原生孔隙保存机制

3.1.1 早期异常高压

早期异常高压的存在可以减缓压实作用,使储层部分原生孔隙得到有效保存^[16]。流体包裹体研究成果表明,东营凹陷北带沙四下亚段储层在沙四上亚段沉积时期—东营组沉积中期(45~24Ma),处于中超压,沙三中亚段储层异常压力最高,古压力系数可达 1.48;到东营组沉积中期—明化镇沉积末期(24~2Ma),地层压力以常压、弱超压为主,最大压力系数仅为 1.26;直到平原组沉积期至今(2~0Ma),地层压力表现为常压^[10]。同时,沙四下亚段

顶部和底部稳定盐膏岩层的封隔作用下,沙四下亚段形成超压封存箱,使早期发育的地层超压得到了有效的保存^[10-11]。铸体薄片镜下观察表明,储层孔隙边缘平直,可见颗粒间点接触现象[图 2(a)]。储层实测物性统计结果表明,常压—弱超压(压力系数为 0.9~1.2)储层平均孔隙度为 9.1%,中超压(压力系数为 1.2~1.5)储层平均孔隙度高达 15.14%。因此,东营凹陷沙四下亚段储层早期形成的异常高压,在储层后期埋藏过程中减缓了压实作用的进行,从而使原生粒间孔隙得到有效保存。

3.1.2 早期油气充注

早期油气的充注一方面改变了孔隙流体的性质,减缓或抑制胶结作用;另一方面,充注产生的超压能缓冲地层的压实作用,使深部储层孔隙得到保护。随着储层含油级别增高,沙四下亚段储层平均孔隙度呈明显增大趋势,而胶结物的含量呈明显的减小趋势,并且当含油级别达到油浸—饱含油时,油气充注对碳

酸盐及硬石膏胶结作用的抑制尤其明显(表 1)。

东营凹陷北带沙四段共发生了 2 期油气充注,第一期油气充注发生时间早,主要发生在 39~31.9Ma,第二期油气充注主要发生在 13~0Ma^[16]。另外,丰深 1 井沙四下亚段气藏主要为原油裂解气,也证明沙四下亚段储层发生了早期油气充注^[17]。王艳忠^[10]研究认为,至距今 24.6Ma 沙四下亚段顶界地层温度达到 130℃、底界地层温度达到 150℃,有机酸已开始发生脱羧作用,浓度大大降低,而石膏进入大规模脱水阶段,石膏脱出的大量碱性水控制了地层水的 pH 值,地层水呈碱性。在碱性环境下,蒙脱石快速向伊/蒙混层转化,同时释放出 Ca^{2+} 、 Na^{+} 、

Fe^{2+} 、 Mg^{2+} 等碱金属离子。在富含 Ca^{2+} 、 Fe^{2+} 、 Mg^{2+} 的碱性地层水条件下,碳酸盐将沉淀充填原生孔隙。由此可知,东营凹陷沙四下亚段第一期油气充注时间明显早于碳酸盐胶结物大量沉淀的时间。铸体薄片镜下观察表明,发生油气充注的原生孔隙中,自生碳酸盐矿物的晶形非常自形[图 2(c)]。这主要是由于油气充注的抑制作用,自生碳酸盐矿物的生长受到抑制,生长作用缓慢,具有充分的时间进行结晶,因而自生碳酸盐矿物的自形程度高。因此,早期油气的充注很大程度上抑制了胶结物生长的进行,使压实残余原生孔隙度能够免受胶结作用的破坏,而有效保存到深层。

表 1 不同含油级别储层平均胶结物含量及平均孔隙度统计

Table 1 Statistics of average cement-content and porosity in reservoir of different oil-bearing grade

含油性	胶结物 总量/%	方解石 含量/%	白云石 含量/%	菱铁矿 含量/%	高岭石 含量/%	石英加大 含量%	黄铁矿 含量/%	硬石膏 含量/%	孔隙度 /%	样品数 /个
不含油	10.97	3.45	5.47	0.56	0.1	0.22	0.84	0.24	11.94	204
油迹	13.11	4.31	7.16	0.11	0.11	0.14	0.69	0.15	10.98	223
油斑	13.81	3.18	8.46	0.3	0.21	0.24	0.68	0.04	12.23	372
油浸	7.92	1.9	4.75	0.08	0.22	0.22	0.52	0.002	17.67	332
饱含油	5.22	0.88	3	0.38	0.01	0.28	0.69	0	20.51	238

3.1.3 膏盐层的发育

东营凹陷北带沙四下亚段沉积时期,气候干旱,湖盆萎缩,沉积了大套、多期膏盐岩。膏盐层的发育对下伏砂砾岩储层成岩作用及储集空间的形成产生了明显的影响。膏盐层的影响作用主要是由其本身的特殊性质所决定的。

首先,膏盐层密度较低,一般在 2.1~2.2g/cm³ 之间,且相对变化小,使得下伏地层所受的压力较小,减弱了地层的压实作用,使原生孔隙容易被保存下来^[18]。

其次,膏盐层热导率高,隔热性差,使得下伏地层的的热量易于散失,造成沙四下亚段地层温度梯度低(图 4)。地温场是控制储层成岩速率的主导因素之一。地温梯度的不同,可以引起储层热压实差异,从 1km 埋藏深度到 4km,相同埋藏深度的砂岩,每增加单位地温梯度,孔隙度因热压实作用平均减小约 7%^[19]。温度的提高不仅加速了砂岩内的化学成岩速度,而且还可能促进地层的机械压实速度,从而加快砂岩孔隙度的减少。造成相同地静压力条件下,处于较低地温状态的砂岩孔隙度要高于较高地温处的砂岩;低地温梯度盆地的砂岩孔隙度衰减较缓慢,原生孔隙保存的深度较大^[19]。因此,一方面

低地温梯度下,岩石的抗压能力强,储层成岩演化慢,原生孔隙的减少率低于其上、下的相对高地温梯度区,深部储层中部分原生孔隙得以有效保存;另一方面较低古地温梯度区不利于有机质的成熟与有机酸的大量生成,并且水-岩反应的速率受到抑制,储层不能发生大规模的溶解而形成大量的次生孔隙,从而使储层储集空间中次生孔隙的相对含量低,主要以原生孔隙为主。

再次,膏盐层非常致密,具有良好的封闭性:一方面使得下伏储层中的流体不易排出,压力不易释放,从而促使异常高压的发育,异常高压抑制压实作用,有利于原生孔隙的保存;另一方面使储层中成岩流体流动不畅,减缓水-岩反应速率,溶蚀产物不易交换,成岩流体易饱和,不利于次生溶蚀孔隙的形成。另外,笔者研究发现,膏盐层的发育对其上、下 100m 范围内的储层碳酸盐胶结作用会产生较大的影响,膏盐层上、下受影响深度范围之外碳酸盐致密胶结,颗粒、胶结物基本无溶蚀痕迹,但影响深度范围之内,碳酸盐胶结物含量明显较少,原生孔隙保存较多。以丰深 1 井为例,3 915m 样品点属于膏盐岩之上的储层,受膏盐层的影响较小,4 349.3m 样品点属于膏盐层之下的储层,同样受膏盐层的影响较小,

而 4 322.5m、4 323.2m 及 4 324.6m 样品点的储层处于膏岩层的影响深度范围之内。统计表明,处于膏盐层影响深度范围之外的储层碳酸盐胶结物含量高于

影响深度范围之内储层的 2~3 倍(图 5)。这是因为膏盐层的存在封隔流体的流动,改变了流体性质,从而减少胶结物的沉淀,有利于原生孔隙的保存^[20]。

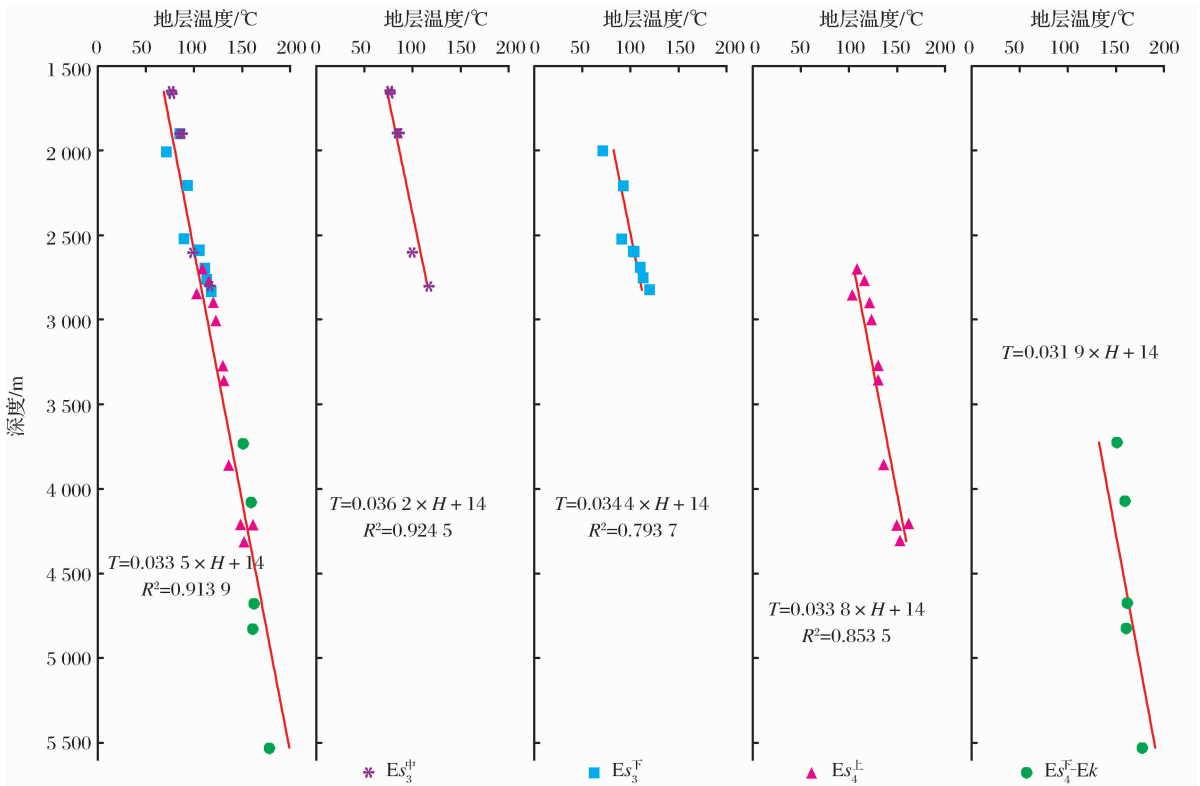


图 4 东营凹陷北带沙三中亚段—孔店组地温与深度关系^[10]

Fig. 4 Relationship between ground-temperature and depth in Es_3^F-Ek in the north zone of the Dongying Depression^[10]

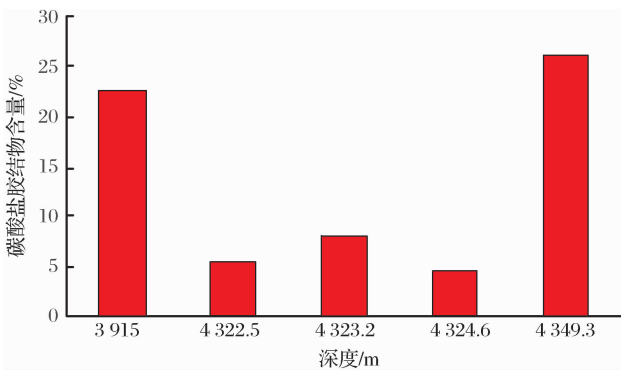


图 5 丰深 1 井不同深度点样品碳酸盐胶结物含量分布特征

Fig. 5 Distribution of carbonate cement in samples from different depth in well Fengshen 1

在上述多种因素的综合作用下,东营凹陷北带沙四下亚段砂砾岩储层原生孔隙得以有效的保存至深层,从而为油气聚集提供了优质的储集空间。

3.2 次生孔隙形成机制

研究表明,东营凹陷北带沙四下亚段砂砾岩储层次生孔隙含量低,主要包括长石、石英、岩屑等骨

架颗粒以及碳酸盐胶结物的溶解孔隙。定量统计表明,各矿物溶解产生的面孔率一般小于 1%,仅少数样品的长石溶蚀面孔率超过 1%(图 6)。

通过碳酸盐充填长石溶解孔隙[图 2(g)]及碳酸盐胶结物的溶解[图 2(h),图 2(i)]现象,可推断储层经历了早期长石溶解和晚期以碳酸盐胶结物溶解为主的 2 期酸性溶解;同时,盐水包裹体均一温度分析表明,沙四下亚段储层石英次生加大边中盐水包裹体平均均一温度较低的约为 115~120℃(表 2),而石英加大边中盐水包裹体平均均一温度较高的约为 155~160℃(表 2),也说明储层经历了 2 期酸性流体作用。有机质在埋藏演化过程中会产生大量的有机酸,75~90℃是短链羧酸浓度最大时期(即干酪根释放含氧基团的最高峰),80~120℃为有机酸保存的最佳温度^[20-21]。因此,第一期酸性流体作用时期恰好为有机酸大量生成并有效保存的时期,有机酸控制了地层水 pH 值,使地层水呈酸性,长石、岩屑等酸性不稳定矿物开始发生溶蚀。但是,由

于系统封闭,地层超压存在,酸性流体的流动性弱,有机酸溶解规模小,形成的次生孔隙含量低。

随着地层埋深的增加,当温度大于 120℃ 时,有机酸开始发生脱羧作用生成 CO₂ 和烃类^[21-22],浓度大大降低,并且上伏膏岩层进入大规模脱水阶段^[20],石膏脱出的大量碱性水控制了地层水的 pH 值,地层水呈碱性。在碱性环境下,自生碳酸盐矿物将沉淀充填原生孔隙和早期形成的长石溶解孔隙,但是超压油气充注作用下成藏的储层中碳酸盐胶结作用明显受到抑制,碳酸盐胶结物含量明显偏低,同时石英及早期加大边将发生少量溶解作用形成次生

孔隙。随着地层埋深进一步增加,当地层温度达到 150℃ 时,石膏基本上全部脱水转化为硬石膏^[20],地层水碱性逐渐减弱,并且有机酸发生强烈热脱羧作用而大量分解,生成 CO₂ 并溶解于地层水^[21-22],使地层水逐渐变为弱酸性,形成第二期酸性流体,碳酸盐胶结物开始发生溶解。此时,由于储层经历了较强压实与胶结作用而变得致密,酸性流体难以进入,碳酸盐溶解作用弱,并且在封闭的地层温压条件下,碳酸盐胶结物易受 CO₂ 分压及本身所在酸性介质中溶解度的影响而不能大规模溶解^[16]。因此,碳酸盐胶结物溶解形成的次生孔隙含量低。

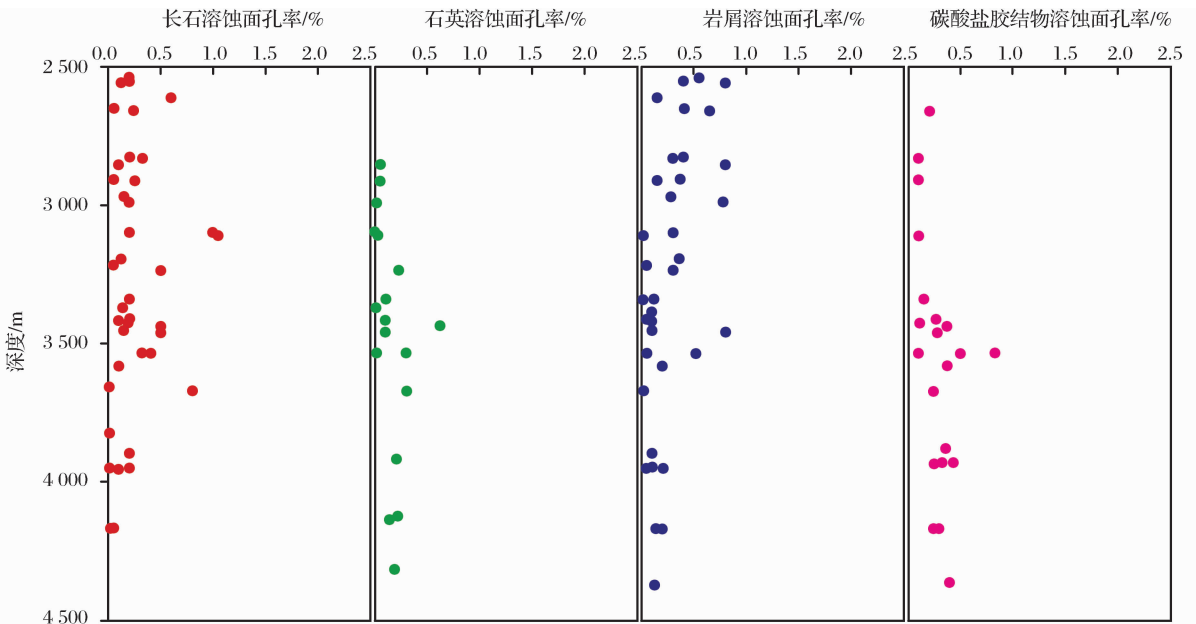


图 6 东营凹陷北带沙四下亚段砂砾岩储层溶蚀面孔率含量分布特征

Fig. 6 Distribution of dissolution plane porosity of glutenite reservoir in Es₄^N in the north zone of the Dongying Depression

表 2 东营凹陷北带沙四下亚段储层流体包裹体平均均一温度

Table 2 Average homogenization-temperature of fluid inclusion in Es₄^N in the north zone of the Dongying Depression

井号	深度/m	层位	宿主矿物	类型	包裹体个数	平均均一温度/℃
丰 8	4 397.5	Es ₄ ^F	石英加大边	盐水	6	115.0
丰 8	4 200.7	Es ₄ ^F	石英胶结物	盐水	5	124.1
丰深 3	4 867.0	Es ₄ ^F	石英加大边	盐水	1	155.0
丰深 3	4 785.7	Es ₄ ^F	石英加大边	盐水	1	155.0
丰深 10	4 260.6	Es ₄ ^F	石英加大边	盐水	1	155.5
丰深 3	4 785.7	Es ₄ ^F	石英加大边	盐水	1	160.0

4 结论

(1) 东营凹陷北带沙四下亚段深层砂砾岩储层储集空间以残余原生孔隙为主,还有少量的次生溶

蚀孔隙及微裂缝;随着储层孔隙度增大,原生面孔率百分含量呈增大趋势,而次生面孔率百分含量呈减小趋势。

(2) 早期异常高压、早期油气充注以及膏岩层的

发育等多种因素的综合作用下,东营凹陷北带沙四下亚段砂砾岩储层原生孔隙得以有效的保存至深层,从而为油气聚集提供了优质的储集空间。

(3) 东营凹陷北带沙四下亚段砂砾岩储层经历了酸性→碱性→酸性的溶解过程,溶解作用相对较弱,次生孔隙含量低,对储层物性的贡献量小。

参考文献(References):

- [1] Zhu Xiaomin, Wang Yingguo, Zhong Dakang, *et al.* Pore types and secondary pore evolution of Paleogene Reservoir in the Jiyang Sag[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2007, 81(2): 197-204. [朱筱敏, 王英国, 钟大康, 等. 济阳拗陷古近系储层孔隙类型与次生孔隙成因[J]. *地质学报*, 2007, 81(2): 197-204.]
- [2] Chen Yongqiao, Yu Xinghe, Zhou Xingui, *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. [陈永峭, 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.]
- [3] Yuan Jing. Diagenesis and secondary pore development in Paleogene deep formation in Dongying Sag[J]. *Coal Geology & Exploration*, 2003, 31(3): 20-23. [袁静. 东营凹陷下第三系深层成岩作用及次生孔隙发育特征[J]. *煤田地质与勘探*, 2003, 31(3): 20-23.]
- [4] Yuan Jing, Zhang Shanwen, Qiao Jun, *et al.* Cause of formation and dynamic mechanisms in multiply medium of dissolved pores in deep formation of Dongying Sag[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2007, 25(6): 840-846. [袁静, 张善文, 乔俊, 等. 东营凹陷深层溶蚀孔隙的多重介质成因机理和动力机制[J]. *沉积学报*, 2007, 25(6): 840-846.]
- [5] Li Guangyun, Lai Fuqiang, He Jiacheng, *et al.* Reservoir characteristic and controlling factors on physical properties of Lower Jurassic tight sandstone in the Quidong Sag[J]. *Natural Gas Geoscience*, 2013, 24(2): 310-319. [李光云, 赖富强, 何加成, 等. 吐哈盆地丘东洼陷下侏罗统致密砂岩储层特征及物性主控因素[J]. *天然气地球科学*, 2013, 24(2): 310-319.]
- [6] Lian Chengbo, Zhong Jianhua, Yang Yufang, *et al.* Influence of Quan 4 Formation sandstone diagenesis on reservoir properties in Longxi region, Songliao Basin[J]. *Natural Gas Geoscience*, 2009, 20(5): 691-694. [连承波, 钟建华, 杨玉芳, 等. 松辽盆地龙西地区泉四段砂岩成岩作用对储层物性的影响[J]. *天然气地球科学*, 2009, 20(5): 691-694.]
- [7] Jin Zhenkui, Su Kui, Su Nina. Origin of Jurassic deep burial high-quality reservoirs in the central Junggar Basin[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2011, 32(1): 25-31. [金振奎, 苏奎, 苏妮娜. 准噶尔盆地腹部侏罗系深部优质储层成因[J]. *石油学报*, 2011, 32(1): 25-31.]
- [8] Zhong Dakang, Zhu Xiaomin. Reservoirs characteristics and formation mechanism of high quality reservoirs in Kela-2 Gas-field[J]. *Natural Gas Industry*, 2007, 27(1): 8-11. [钟大康, 朱筱敏. 克拉2气田储层特征及优质储层形成机理[J]. *天然气工业*, 2007, 27(1): 8-11.]
- [9] Salman B, Robert H L, Linda B. Anomalous high porosity and permeability in deeply buried sandstone reservoirs: Origin and predictability[J]. *AAPG Bulletin*, 2002, 86(2): 301-328.
- [10] Wang Yanzhong. Genetic Mechanism and Evolution Model of Secondary Pore Development Zone of Paleogene in the North Zone in Dongying Depression[D]. Qingdao: China University of Petroleum, 2010. [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), 2010.]
- [11] Wang Yanzhong, Cao Yingchang, Li Yongxin, *et al.* Controlling factor on the paleogene deep effective reservoirs in the Bonan Sag[J]. *Natural Gas Geoscience*, 2012, 23(6): 996-1003. [王艳忠, 操应长, 李永新, 等. 渤南洼陷古近系深层有效储层控制因素研究[J]. *天然气地球科学*, 2012, 23(6): 996-1003.]
- [12] Zhong Jianhua, Wang Guozhuang, Gao Xiangcheng, *et al.* Sedimentary features, genesis and relation to hydrocarbon of fan-anticline in the north slope of the Dongying Sag[J]. *Chinese Journal of Geology*, 2004, 43(4): 625-636. [钟建华, 王国壮, 高祥成, 等. 东营凹陷北部陡坡带丰1扇背斜的特征、成因及其与油气的关系[J]. *地质科学*, 2004, 43(4): 625-636.]
- [13] Zhang Yonggang, Xu Weiping, Wang Guoli, *et al.* Oil and Gas Accumulation Assembly of Continental fault Basin in East China[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2006: 127-131. [张永刚, 许卫平, 王国力, 等. 中国东部陆相断陷盆地油气成藏组合体[M]. 北京: 石油工业出版社, 2006: 127-131.]
- [14] Wan Nianming, Wang Yanzhong, Cao Yingchang, *et al.* Over-pressured fluid compartment and hydrocarbon accumulation of deep layer of Es₄ in the north zone of Minfeng Sag, Dongying Depression[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2010, 28(2): 395-400. [万念明, 王艳忠, 操应长, 等. 东营凹陷民丰洼陷北带沙四段深层超压封存箱与油气成藏[J]. *沉积学报*, 2010, 28(2): 395-400.]
- [15] Sui Fenggui, Cao Yingchang, Liu Huimin, *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): 246-256. [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): 246-256.]
- [16] Pu Xiugang, Zhou Lihong, Wang Wenge, *et al.* Medium-deep clastic reservoirs in the slope area of Qikou Sag, Huanghua Depression, Bohai Bay Basin[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2013, 40(1): 36-48. [蒲秀刚, 周立宏, 王文革, 等. 黄骅拗陷歧口凹陷斜坡区中深层碎屑岩储集层特征[J]. *石油勘探与开发*, 2013, 40(1): 36-48.]
- [17] Sun Xiuli. Hydrocarbon Charging Mechanism and Reservoir Forming Models in the Deep Formations of North Belt, Dongying Depression[D]. Beijing: China University of Geosciences, 2010. [孙秀丽. 东营凹陷北带深层油气充注机理及成藏模式研究[D]. 北京: 中国地质大学, 2010.]

- [18] Du Xiaodi, Yao Chao. The necessary need of deep oil and gas exploration[J]. *Marine Oil and Gas Geology*, 2001, 6(1): 1-5. [杜小弟, 姚超. 深层油气勘探势在必行[J]. *海相油气地质*, 2001, 6(1): 1-5.]
- [19] Shou Jianfeng. Dynamic Mechanisms and Models of Sandstone Compaction in Oil and Gas Basin in Northern China[D]. Beijing: China Petroleum Exploration and Development Research Institute, 2004: 42-47. [寿建峰. 中国北方油气盆地砂岩成岩压实作用的动力成因机制与模式[D]. 北京: 中国石油勘探开发研究院, 2004: 42-47.]
- [20] Wang Shuping. Diagenesis Researches of Natural Gas Reservoir with Gyprock And Salt Bed in Minfeng Area of the lower Part of Number 4 of Sha Hejie Formation in Dongying Depression[D]. Dongying: China University of Petroleum, 2007. [王淑萍. 东营凹陷民丰地区沙四下亚段膏盐层系天然气储层成岩作用研究[D]. 东营: 中国石油大学(华东), 2007.]
- [21] Surdam R C, Boese S W, Crossey G J. The chemistry of secondary porosity[J]. *AAPG Memoir*, 1984, 37: 127-151.
- [22] Surdam R C, Crossey L J, Hagen E S. Organic-inorganic and sandstone diagenesis[J]. *AAPG Bulletin*, 1989, 73: 1-23.

Reservoir-space Characteristics and Genetic Mechanism of Deep Glutenite Reservoir of Es_4^x in the North Zone of the Dongying Depression

WANG Shu-ping¹, XU Shou-yu¹, DONG Chun-mei¹, WANG Li-ping²

(1. School of Geosciences in China University of Petroleum, Qingdao 266580, China;

2. Dongsheng Group Co., Ltd. of Shengli Oil Field, SINOPEC, Dongying 257000, China)

Abstract: The reservoir-space characteristics and its genetic mechanism of deep glutenite reservoir in the lower part of the fourth member of the Shahejie Formation (Es_4^x) in the north zone of the Minfeng Sag in the Dongying Depression haven't been clearly understood, and it has brought out great risks to hydrocarbon exploration. Based on a combination of thin-section identification, scanning electron microscope (SEM) observation, fluid inclusion analysis and an analysis of core properties, in addition to knowledge on the pressure evolution history, the history of hydrocarbon accumulation and the thermal evolution of organic matters, systematic study has been carried out about the reservoir-space characteristics and its genetic mechanism of glutenite reservoir in Es_4^x in the north zone of the Dongying Depression. The reservoir-space of glutenite reservoir is mainly residual primary pores in Es_4^x in the north zone of the Dongying Depression whose relative content is more than 60%, with a small amount of secondary dissolution-pores and microcrack. As a result of the combination of early abnormal high pressure, early hydrocarbon-filling as well as the development of gypsum-salt bed, the primary pores of the glutenite reservoir in Es_4^x in the north zone of the Dongying Depression are effectively reserved to the deep, which has provided high-quality reservoir-space for hydrocarbon-accumulation. The glutenite reservoir has experienced the dissolution process of "acid-alkaline-acid", and the dissolution is weaker with a small amount of secondary pores, which contributes little to its physical properties.

Key words: Reservoir space; Genetic mechanism; Es_4^x ; Glutenite body; North zone of the Dongying Depression