

辽河西部凹陷沙三段浊积岩 储层中钙质夹层研究

林承焰¹ 侯连华¹ 董春梅¹ 刘泽容¹ 信荃麟¹ 黄金柱²

¹ (石油大学, 山东 东营 257062)

² (胜利石油管理局, 山东 东营 257000)

提 要 本文阐明了辽河西部凹陷高升、兴隆台、曙光和冷东四个地区沙三段浊积岩油气储层内的钙质夹层识别标志, 定性、定量地揭示了它在剖面和平面上空间分布规律, 探讨了它的成因机制, 指出了钙质胶结作用和钙质夹层对储层性质与油气分布的重要影响。

关键词 浊积岩储层 钙质夹层 沉积微相 成岩作用 断层 辽河西部凹陷

第一作者简介 林承焰 男 31岁 副教授 博士生 沉积学及石油地质学

国内外石油地质学家在成岩作用研究中对有关溶解作用和次生孔隙的形成问题表现出特别浓厚的兴趣^[1-10]。实际上, 溶解和胶结作用是一对矛盾对立的统一体, 溶解的产物在一定条件下发生沉淀和胶结作用, 胶结物也可能会发生溶解而形成次生孔隙。可见, 胶结作用与溶解作用一样对储集空间的形成和演化起到重要作用。钙质胶结作用和致密钙质夹层的形成对储层性质和油气分布有重要影响。

本文阐明了由钙质胶结成岩作用形成的钙质夹层的识别标志, 定性、定量地揭示其分布规律, 在此基础上探讨了它的成因机制, 并指出它对储层性质和油气分布的影响。

1 工区地质概况

辽河西部凹陷下第三系沙三段从上往下划分为 S_1^1 、 S_2^1 和 S_3^1 三个亚段, 分别对应于热河台、大凌河和莲花三套油层。沙三段早期在凹陷东北部高升地区莲花油层, 中期在西斜坡曙光地区大凌河油层和东侧陡坡带冷东地区, 晚期在临近深洼陷的兴隆台地区热河台油层分别形成断槽型重力流水道、缓坡浊积扇、陡坡浊积扇和湖底扇四种不同类型的浊积岩储层。其中高升二、三区莲花油层 S_3^1 砂岩组、冷东地区冷 43 断块 S_2^1 油组、曙光二区大凌河油层 I 油组和兴隆台地区热河台油层 III 油组是主力含油区块和层位, 也是本文重点研究对象。

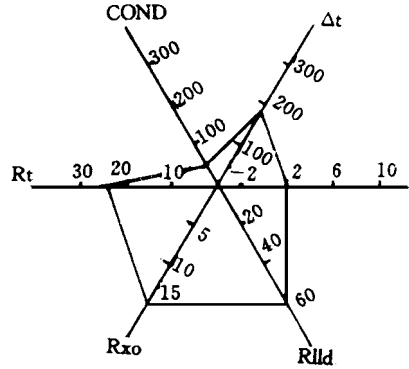
这四套浊积岩油气储层开发遇到的共同的核心问题是储层非均质性严重, 开发难度大。其中钙质胶结作用和钙质夹层的形成是影响储层物性、非均质性及油气分布的重要因

素。本文提出的钙质夹层指钙质胶结的砂岩或砾岩,其填隙物几乎全部为碳酸盐胶结物,胶结十分致密,主要分布在单砂体内,单层厚度大约为 $10\text{ cm} \sim 2\text{ m}$

2 钙质夹层的识别标志

2.1 岩性标志

灰白色钙质砂、砾岩断面上可见玻璃光泽的碳酸盐矿物晶体闪闪发光,故亦称闪光砂(砾)岩。主要岩石类型是含细砾中—粗砂岩,其次是砂质细砾岩、中—细砾岩和中—细砂岩填隙物中粘土杂基含量极少,钙质胶结物含量超过 10%。胶结物成分主要为含铁方解石,其次为方解石,少量白云石和铁白云石。胶结方式随胶结物含量不同而不同,钙质胶结物含量为 10%—15% 者,以孔隙式胶结为主,而钙质胶结物含量超过 15% 时多以基底式或嵌晶式胶结。胶结物多具晶粒结构或放射状结构,少



R_{ll} 深双侧向, $\Omega \cdot m$ SP. 自然电位, mv Δt . 声波时差, $\mu s/m$ COND. 感应测井, $m\Omega / m$ R_t . 深三侧向测井, $\Omega \cdot m$ R_{xo} . 0.5 m 梯度电阻率测井 $\Omega \cdot m$

图 1 钙质细砾岩电性星形图(曙光)

Fig. 1 A star map of logging curves of calcareous fine conglomerates

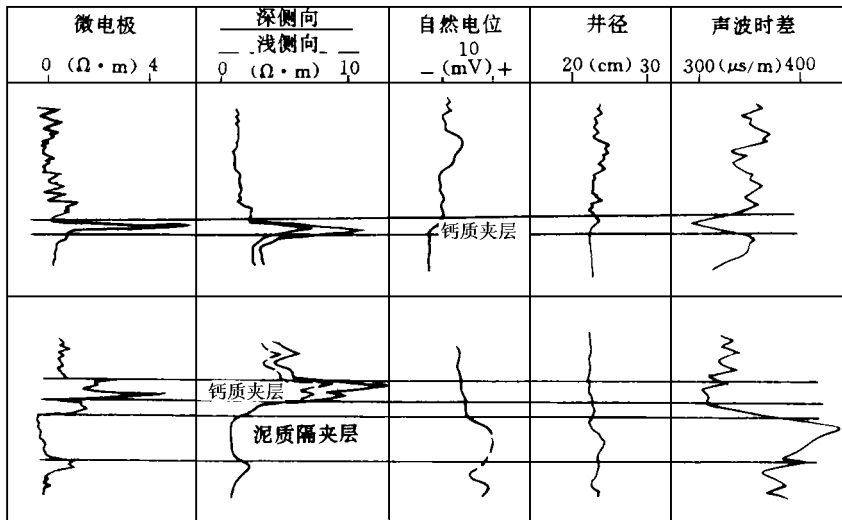


图 2 钙质夹层典型测井曲线特征

Fig. 2 Characteristics of logging curves of calcareous interbeds

量颗粒边缘具栉壳状结构。钙质胶结物主要有两种类型:一种是晶粒亮晶胶结物,中—细晶,在兴隆台、高升和曙光三个地区常见这种类型的胶结物,而在冷东地区则较少见;另一种是放射状胶结物,正交光下放射状十字轮流消光,在部分颗粒边缘呈新月形或不等厚环边状胶结,这种胶结物在四个研究地区均可见到。这两种胶结物都是由于钙质胶结成岩作用形成的

2.2 电性特征

取心井钙质夹层段相对应的测井响应值明显不同于其它岩性段,选择深侧向、微电极、0.5 m梯度、感应、声波时差和自然电位等多种测井曲线以星形图形式综合表示其电性特征(图 1)。归纳起来,钙质夹层电性特征(图 1 2): 1)深浅侧向电阻率为高值,其值与油层电阻率值相比比较接近,甚至还高,深浅侧向电阻率测井曲线之间幅度差比较小; 2)微电极曲线上呈现尖峰状,微电位与微梯度的幅度值高而幅度差较小; 3)声波时差为明显的低值,一般小于 $220\mu\text{s}/\text{m}$,接近于碎屑骨架的声波时差($180\mu\text{s}/\text{m}$); 4)自然电位偏向正异常; 5)井径无扩缩现象,钻时值高且变化小,钻遇钙质夹层时采取磨进方式钻进。

3 钙质夹层分布规律

储层中钙质夹层的空间分布状况是决定储层非均质性和影响地下流体流动的重要因素,也是探讨其成因机制的有力证据之一。

通过综合应用地质和测井识别标志,借助计算机手段和分形几何、灰色理论等数学地质方法自动识别出钙质夹层^①,从而由定性到定量、由一维、二维到三维揭示其空间展布规律。总的看来,钙质夹层在平面上和纵向上分布比较零星,横向连续性差,厚度变化较大。但是钙质夹层空间分布明显与沉积微相和断层有关。

3.1 钙质夹层分布受沉积微相控制

浊积岩沉积微相中钙质夹层分布方式有三种, 1)夹在重力流水道相的厚层粗粒浊积岩内部; 2)在砂泥岩间互的剖面中出现钙质胶结合砾砂岩,主要分布在沟堤或沟道边缘微相带; 3)夹在暗色泥岩中,分布在末梢微相、深湖一半深湖亚相或深水重力水道漫溢微相带。

根据岩心观察结果,钙质夹层形成于特定的岩性和岩相中,在粒度适中的颗粒支撑砂质细砾岩和含砾砂岩中较常见,而在较粗的中—粗砾岩和较细的细粉砂岩以及杂基支撑砂、砾岩中很少见,主要见于浊积岩沉积层序中的粗粒序层内或者鲍马层序 A B段。纵向上砂、砾岩厚度较大的层段,钙质夹层厚度、密度、层数和频数相应地也较大。

从四个地区各砂岩组和小层钙质夹层平面分布图^①可以看出,钙质夹层平面分布规律与沉积相带有一定关系。砂砾岩厚度较大的原生孔隙较发育的岩相带内钙质夹层相对比较发育。在湖泊浊积扇相中的陡坡浊积扇、缓坡浊积扇和湖底扇相,从浊积扇上的近源至远源、从有水道部分至无水道部分、从辫状沟道中心至边缘再至沟间、中心微相和末梢微相,钙质夹层平均厚度呈现由大变小趋势(表 1)。同样地,在深水重力水道相中从水道中心至边缘再至漫溢微相钙质夹层亦呈现由厚变薄趋势(表 1)。这是因为近源沟道(槽)相砂、砾岩厚度大,原生孔隙比较发育,泥质含量比较低,孔隙水易于流动,当孔隙水中碳酸钙浓度达到饱和时,在适当的 pH值和 Eh值条件下,碳酸盐矿物发生沉淀形成钙质胶结的砂、砾岩夹层,所以这种相带内形成钙质夹层的几率相对较高,单层厚度和平均累计厚度也较大,而远源典型细粒浊积岩相中砂岩厚度较薄,夹在泥岩中,钙质夹层厚度相应地也较薄。

① 林承焰,侯连华等. 辽河油田重力流储层非均质性及隔夹层研究. 科研成果报告, 1994.

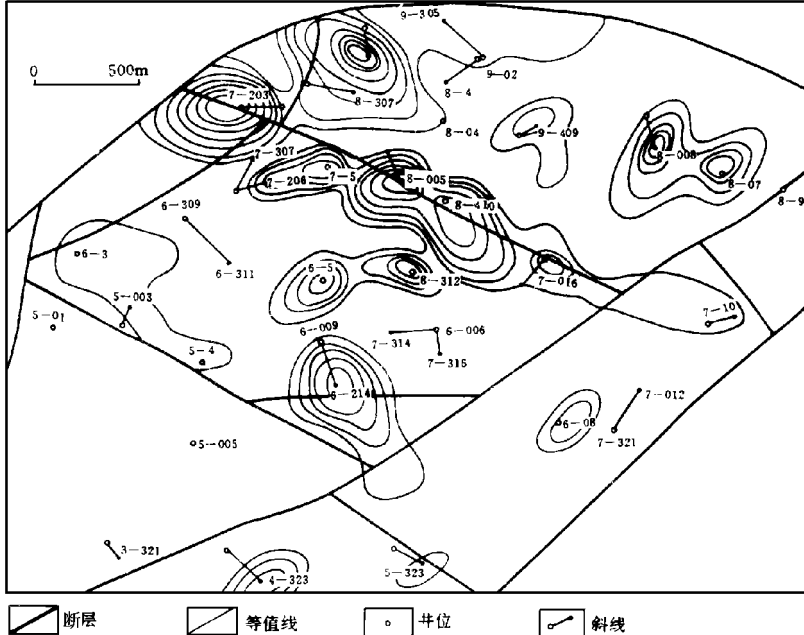
表 1 辽河西部凹陷四个地区不同沉积相带的钙质夹层

Table 1 Calcareous interbeds of different sedimentary facies belt in four areas of the west Liaohe depression

冷东沙三段II油组	陡坡油积岩	沟道中心	沟道边缘	沟间	扇中前缘
	钙质夹层厚度 m	1.50	1.17	0.66	0.72
	钙质夹层层数	1.70	1.19	0.90	0.80
	钙质夹层频数	0.039	0.029	0.019	0.020
曙光沙三中 大凌河I油组	缓坡油积岩	辫状沟道	辫状沟间	沟道前缘中心微相	
	钙质夹层厚度, m	0.8	0.6	0	
兴隆台沙三上 热河台III油组	湖底扇	辫状沟道	沟道间	中心微相	末梢
	钙质夹层厚度 m	1.556	1.158	0.834	0.305
高升沙三下莲花 油层 5 6砂岩组	重力流水道	水道中心	水道边缘	漫溢	
	钙质夹层厚度 m	1.80	0.88	0.33	

3.2 钙质夹层分布与断层有关

从钙质夹层平面分布等厚图(图3)还可以看出: 靠近断层附近的井钙质夹层厚度较大。

图 3 钙质夹层等厚图(曙二区 7-5 块大 I₄ 砂岩组)Fig. 3 Isopach of calcareous interbed (Da I₄ sandstone group in the 7-5 blocks of the Shuguang-2 area)

例如曙光大凌河油层I 油组 4砂岩组钙质夹层分布趋势与断层分布位置有一定关系, 靠近断层的井如曙 2-8-410 2-8-005 2-7-5和 2-7-203等井钙质夹层厚度较大(图 3)。可见, 钙质胶结砂砾岩的形成与断层作用也有一定关系。

4 形成机制探讨

根据本区钙质夹层的矿物岩石学研究以及它的分布特点可以认为它的形成是成岩作用造成的, 并受断层和沉积相带的控制

4.1 储层物质组成及成岩作用

浊积岩成分极不成熟, 岩石类型包括复成分砾岩、岩屑质长石砂岩和长石质岩屑砂岩。石英含量普遍偏低, 约占 3%, 长石和岩屑平均含量分别可达 30% 和 40%。颗粒越粗的岩石, 岩屑含量越高。沉积物重力流沉积储层含有一定数量的粘土杂基, 尤其是兴隆台地区粘土杂基含量最高, 平均约占 8.9%。兴隆台地区砂(砾)岩储层粘土矿物以高岭石为主, 其次为伊蒙混层, 少量伊利石; 而在泥岩中则以伊蒙混层为主, 其次为蒙脱石、高岭石和伊利石。从粘土矿物类型、组合及演化可以认为在埋藏成岩作用过程中, 蒙脱石向高岭石转化。不稳定组分包括长石、岩屑、碳酸盐泥晶和晶粒等的总含量较高, 从早成岩期至晚成岩期, 也很可能至表生期, 在粘土杂基含量少的原生粒间孔较发育的储层中发生了溶解和蚀变作用。在不稳定组份中长石和火山岩岩屑蚀变作用最为强烈, 形成了高岭石和蒙脱石等自生粘土矿物。高升二、三区莲花油层中下部长石强烈蚀变成粉末状, 形成灰白色疏松岩屑质长石砂岩。

根据地层埋深、镜质体反射率、古地温、孢粉颜色和色变指数、粘土矿物类型和组合、混层比等项参数, 参考成岩阶段划分标准^①, 冷东和曙光地区储层主要处于早成岩期 B亚期, 兴隆台地区热河台储层开始进入晚成岩期 A亚期, 高升地区莲花油层处于早成岩期 A亚期向 B亚期的过渡期。四个地区储层大约处于 1500—2500 m 中—浅埋藏, 发生了压实作用、胶结作用、溶解、溶蚀和蚀变作用等成岩事件。在高升、曙光和冷东地区储层以剩余原生粒间孔为主, 其次为次生孔隙; 在兴隆台地区储层主要为次生孔隙, 次生孔隙的形成主要与溶解作用有关。

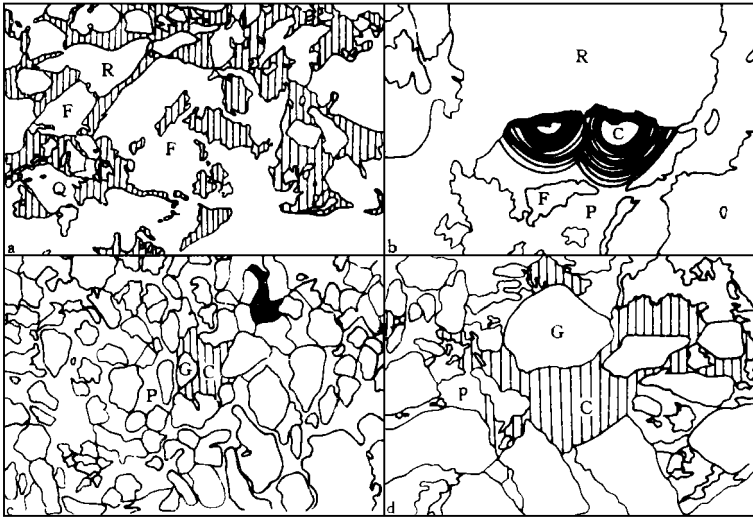
4.2 成因机制

4.2.1 钙质胶结物的物质来源

在酸性水的作用下, 粘土杂基向自生高岭石转化, 长石、岩屑和碳酸盐矿物等不稳定组分发生溶解和蚀变作用, 从而为碳酸盐胶结作用和钙质夹层的形成提供了 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 和 HCO_3^- 。粘土杂基高岭石化和不稳定组分溶解、蚀变作用在前, 钙质胶结和钙质夹层的形成在后, 其主要证据是: 1) 长石或岩屑粒内溶孔被方解石充填(图 4a); 2) 大凌河储层中高岭石被方解石包围; 3) 钙质夹层中是在粘土杂基被冲洗干净之后发生碳酸盐胶结的。在碳酸盐胶结物中含铁方解石含量最高, 其次是方解石, 白云石和铁白云石含量较少。方解石被含铁方解石包围, 方解石先形成, 而含铁方解石、铁白云石和白云石后形成。镜下观察到

^① 中国石油天然气总公司科技发展部, 储层评价研究进展, 石油科技专辑, 1990(4)

的放射状方解石和貌似鲕粒的碳酸盐胶结物与河北下葛峪剖面前寒武系雾迷山组断裂带岩溶角砾岩中碳酸盐胶结物的特征比较近似^①, 它们可能都与淋滤溶蚀交代作用有关, 是表生期成岩作用的产物



a. 基底式脱结, 钙质胶结物含量超过 10%, 碳酸盐矿物溶蚀交代长石颗粒, 冷东 91 井, S. III. 倍数 40 \times , 据阴极发光照片素描 b“鲕状”钙质胶结物充填部分孔隙, 胶结物含量 5%—10%, 冷东 83 井, 1747.80 m, 位数 100 \times c. 少量局部钙质胶结, 含量小于 5%, 高升 2-4-06 井, 1505.1 m 位数 40 \times d. 局部团块状钙质胶结含量 5%—10%。兴隆台 44 井, 2109.5 m, 倍数 100 \times G. 颗粒 Q. 石英 F. 长石 R. 岩屑 C. 钙质胶结物 P. 孔隙 上图 b, c, d 据铸体照片素描。

图 4 钙质胶结物四种分布模式

Fig. 4 Four types of distribution models of calcareous cement

4.2.2 酸性水的来源

无论是不稳定组分的溶解和蚀变作用, 还是碳酸盐胶结作用, 都与酸性水有关, 同时需要孔隙水的不断渗流和交替, 否则溶解和胶结作用很快将处于相对平衡状态而停止继续进行下去^[10]。那么, 在解释钙质夹层形成机制中非常关键的问题就是有关酸性水的来源及渗流和交替, 这需从矿物学、岩石学和岩石及流体地球化学多方面加以综合研究^[2-4]。本文研究认为酸性水可能主要有三种来源: 1) 大气酸性水, 钙质夹层的形成和分布与断层有关, 大气水很有可能顺断层渗流, 在冷东和曙光沙三中储层中的放射状和“鲕状”方解石(图 4b, d)很可能是大气水渗流作用的产物; 2) 地层水, 根据 1978—1986 年多次测定, 四个地区地层水都是 NaHCO_3 型, 冷东、曙光、高升和兴隆台地层水矿化度平均值分别为 3154.7, 4385.7, 4907.3, 3617.8×10^{-6} , 地层水性质的演化、它和岩石之间的相互作用以

① 林承焰, 1988, 燕山西段上前寒武系杨庄组—雾迷山组岩石学研究, 硕士论文。

及它顺断层的活动均有可能产生酸性水; 3) 有机质在成岩演化过程中形成的酸性水, 根据工区储层埋深和成岩演化特点, 尚未达到酸性水和油气形成高峰期, 而周围地区深洼陷中有机质成熟后形成的油气和酸性水有一部分会进入该区储层中。

4.2.3 控制因素

断层和沉积相与酸性水流动及钙质夹层的形成和分布密切相关, 主要证据有: 1) 钙质夹层平面分布趋势与断层分布位置有明显的对应吻合关系(图 3); 2) 岩石颗粒发生破裂或破碎后被致密胶结成为钙质夹层; 3) 不同相带钙质夹层分布情况不同(表 1) 断层成为大气水或地层水进入原始孔渗性好的沉积相带的通道, 不断流动的酸性孔隙水对不稳定成分进行溶解和蚀变作用, 而含有 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 和 HCO_3^- 离子的孔隙水在一定的环境下进行胶结作用, 从而导致断层附近位置和原始孔渗性好的沉积相带钙质夹层相对比较发育。

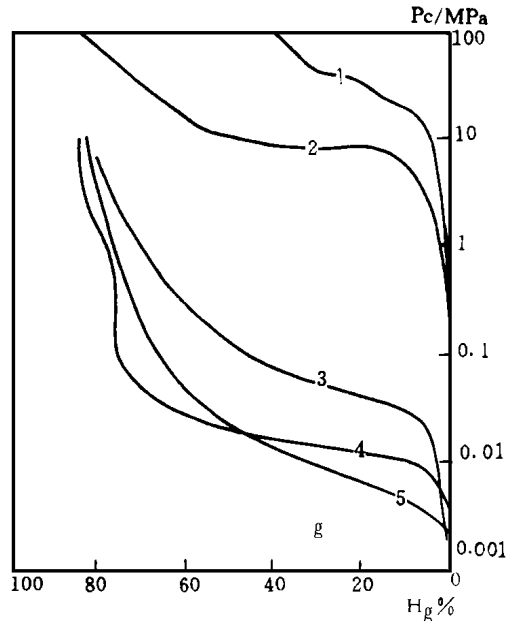
5 钙质胶结作用对储层性质的影响

通常研究认为胶结作用能够减少孔隙, 影响储层物性^[5,6]。本文认为它不仅对储层物性有明显的影晌作用, 而且对储层宏观和微观非均质特征也有重要影响, 从而进一步影响油气分布。

5.1 钙质胶结作用对储层物性的影响

本区碳酸盐胶结物含量变化很大, 从 0 变化至 15% 以上, 随着碳酸盐含量增加, 孔隙度和渗透率呈明显降低趋势, 根据碳酸盐含量及分布特点总结出钙质胶结物四种分布模式(图 4): 模式 A 钙质胶结物含量大于 10%, 其孔渗性最差, 成为储层中的钙质夹层; 模式 B C 钙质胶结物含量 5%—10%, 储层物性中等; 模式 D 碳酸盐胶结物含量最低(小于 5%), 储层物性最好。碳酸盐含量不同的样品, 其毛细管压力曲线特征不同(图 5), 它反映孔隙发育程度不同。随着样品的碳酸盐含量增加, 毛细管压力曲线从左下方移向右上方, 孔隙度和渗透率由高变低。从四个地区来看, 高二、三区 5 6 砂岩组碳酸盐胶结物含量最少, 而储集物性最好。分析

统计表明: 大多数样品钙质胶结物含量小于 5%, 含量为 5%—10% 和大于 10% 的样品较少, 以高升 3-3-05 井为例, 在 167 块样品中碳酸盐含量为小于 5%、5%—10% 和大于 10% 的样品分别占 86%、8% 和 5%, 大部分样品物性好, 钙质夹层样品在剖面中仅约占 5%。



1. 钙质胶结物含量(C)占 18.1%, 孔隙度(φ) 15.8%, 渗透率(K) $10^{-3} \mu\text{m}^2$, 兴 4-22 井, 2421.8 m
2. C 占 9.1%, φ 16.7%, $K 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 兴 4-22 井, 2466.5 m
3. C 占 5.5%, φ 29.1%, $K 180 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 高检 1 井, 1559.24 m
4. C 占 2.2%, φ 31.24%, $K 155 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 高检 1 井, 1556.79 m
5. C 占 2.3%, φ 34.84%, $K 155 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 高检 1 井, 1552.38 m

图 5 碳酸盐含量不同的样品毛细管压力曲线
Fig. 5 Capillary pressure curves of different content of carbonate in core

油积岩储层中由于碳酸盐胶结作用引起的储层物性变化特点是钙质夹层因钙质胶结作用而损失的孔隙度为 10%—15%，平均达 13%，而导致渗透率的降低幅度则更大，可降低几十倍，甚至几百倍。钙质胶结砂砾岩铸体薄片几乎看不见孔隙，仅见很少量粒内和粒缘微缝，毛细管压力曲线排驱压力可达 10 MPa

5.2 钙质胶结作用和钙质夹层与储层非均质性

含有一定数量的碳酸盐胶结物 (5%—10%) 因为它的分布不均一，而且它改变了孔隙的形态和连通程度^[7-9] (图 4)，导致储层微观非均质性，钙质夹层的存在，也增加了储层层内非均质程度。由于它在平面上分布范围有限，不能成为区域上的隔层，但在局部上成为影响地下流动的遮挡层。在考虑隔夹层对流体流动的影响时，除了考虑钙质隔夹层，还要考虑其它类型的隔夹层，以及它们和储层之间的空间相互配置关系。

小 结

1) 以沉积学理论为指导，综合应用地质和测井识别标志，借助计算机手段和数学方法，可以自动识别出钙质夹层，从而由定性到定量，从一、二维到三维揭示碳酸盐胶结作用形成的钙质夹层空间展布规律

2) 钙质夹层的形成是成岩作用造成的，它的分布受断层和沉积相带的控制。在酸性水作用下，粘土杂基的高岭石化和不稳定组分的溶解、蚀变作用为碳酸盐胶结作用和钙质夹层的形成提供物质来源。

3) 碳酸盐胶结作用和钙质夹层的形成对储层性质与油气分布有明显影响

衷心感谢辽河石油勘探局张学汝、牛仲仁、王玉娥、陆尧华、林信漾、刘纯高、王玉娟、邱莎、陈和平等人的帮助和支持!

参 考 文 献

- [1] 林承焰等. 枣园油田自来屯地区孔一段储层成岩作用及其对开发效果的影响. 地质论评, 1993, 3(5): 427—432.
- [2] 吴崇筠, 薛叔浩等著. 中国含油气盆地沉积学. 北京: 石油工业出版社, 1992.
- [3] 刘宝玉, 张锦泉主编. 沉积成岩作用. 北京: 科学出版社, 1992.
- [4] 刘泽容, 信荃麟等著. 油藏描述原理与方法技术. 北京: 石油工业出版社, 1993.
- [5] 赵澄林, 刘孟慧主编. 东濮凹陷下第三系砂体微相和成岩作用, 东营: 华东石油学院出版社, 1988.
- [6] 朱国华等. 成岩作用对砂岩储层孔隙结构的影响. 沉积学报, 1984, 2(1): 1—17.
- [7] Barnes D A, et al. Sedimentology and diagenesis of the st. peter Sandstone, central Michigan basin. AAPG Bulletin, 1992, 76(10): 1570—1582.
- [8] Chandler M A, et al. Effects of stratigraphic heterogeneity on permeability in an eolian sandstone sequence, pape sandstone, northern Arizona. AAPG Bulletin, 1989, 73: 658—668.
- [9] Daws J A, et al. Scales of permeability heterogeneity within the Brent group. Journal of petroleum Geology, 1992, 15(4): 397—418.
- [10] Schmidt V and McDonald D A 著, 陈荷立, 汤锡元译. 砂岩成岩过程中的次生储集孔隙. 北京: 石油工业出版社, 1982.

Study on Calcareous Interbeds in Turbidite Reservoir of Sha-3 Member of the Liaohe Western Depression

*Lin Chengyan*¹ *Hou Lianhua*¹ *Dong Chunmei*¹
*Liu Zerong*¹ *Xin Quanlin*² and *Huang Jinzhu*²

¹ (Petroleum University, Dongying Shandong 257062)

² (Shengli Petroleum Administration Bureau, Dongying Shandong 257000)

Abstract

At first, on the basis of observation and study on cores and using quantitative information about logging data abundantly, the recognized lithologic and logging configurations of calcareous interbeds occurring in the turbidite reservoir of the Sha-3 member are clarified in the four areas (oilfields) such as Gaosheng, xinrongtai, Shuguang and Lengdong of the Liaohe western depression. The law of spatial distribution of calcareous interbeds formed by carbonate cementation is discovered by qualitative to quantitative analyses from point to plane and from plane to three-dimension. The distribution of calcareous interbeds is obviously controlled by sediment gravity flow, sedimentary microfacies and fault. Then, according to the study on the material composition and diagenesis of reservoirs, mineral petrology and distribution of calcareous interbeds the genetic mechanism of calcareous interbed is discussed. Calcareous interbeds are mainly formed by diagenesis. Under the action of acid water, the clay mineral evolution from montmorillonite to kaolinite and the dissolution and alteration of unstable compositions such as feldspar, rock fragments and carbonate minerals etc., provide the material source of Ca^{2+} , Mg^{2+} and HCO_3^- for carbonate cementation and the formation of calcareous interbeds. Fault and microfacies have played an important role in the flowing of acid water and the formation of calcareous interbeds. At last, the authors put forward that calcite cementation and calcareous interbeds have an obvious effect on the reservoir properties and the distribution of petroleum.

Key words turbidite reservoir calcareous interbed sedimentary microfacies diagenesis fault liaohe western depression