

辽河盆地大民屯凹陷沈 95 区块砂岩 储层中钙质夹层研究

田 洋^{1,2}, 卢宗盛¹, 权英哲³, 司 勇⁴, 张华川¹, 彭 松¹

(1 中国地质大学 地球科学学院, 湖北 武汉 430074; 2 宜昌地质矿产研究所, 湖北 宜昌 443003; 3 朝鲜人民共和国沙理元地质大学 地球物理勘探学院 石油地质系, 沙理元市, 朝鲜; 4 中油辽河油田公司 研究院, 辽宁 盘锦 124010)

摘 要: 钙质夹层是控制剩余油形成与分布的主要因素之一。辽河盆地大民屯凹陷沈 95 区块钙质夹层十分发育, 利用丰富的岩心、测井资料, 识别并探讨了钙质夹层的分布规律及成因。研究表明: 本区钙质夹层是早期无铁碳酸盐与晚期含铁碳酸盐胶结形成的两期夹层; 早期钙质夹层主要分布于泛滥平原亚相、三角洲平原亚相; 晚期钙质夹层主要发育于三角洲前缘亚相, 且一般位于砂泥岩接触带, 厚层砂岩顶部碳酸盐胶结物较中部高。早期钙质夹层是沉积期、成岩早期, 蒸发作用使富钙孔隙水中的钙质沉淀形成的; 晚期钙质夹层是在有机酸作用下, Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 在烃源岩(泥岩)中溶解, 再于储集岩(砂岩)中沉淀形成的。根据夹层的分布规律可以更有效地挖掘剩余油。

关键词: 大民屯凹陷; 钙质夹层; 砂岩储层; 分布规律; 成因; 开发效果

中图分类号: P588.2 P618.13

文献标识码: A

文章编号: 1000-6524(2009)02-0152-09

Calcareous interbeds in the sandstone reservoir of Shen-95 Block within Damintun Sag, Liaohe Basin

TIAN Yang^{1,2}, LU Zong-sheng¹, KWON Yong-cho³, SI Yong⁴, ZHANG Hua-chuan¹ and PENG Song¹

(1. Faculty of Earth Sciences, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China; 2. Yichang Institute of Geology and Mineral Resources, Yichang 443003, China; 3. Faculty of Petroleum Exploration, Shalivuan University of Geosciences, Shalivuan City, DPRK; 4. Institute of Liaohe Oilfield Company, PetroChina, Panjin 124010, China)

Abstract Calcareous interbeds are one of the main factors controlling the formation and distribution of remaining oil. Calcareous interbeds are extraordinarily developed in Shen-95 Block, Damintun Sag. Using rich core and logging data available, the authors have dealt in detail with the genesis and distribution of calcareous interbeds. Studies show that calcareous interbeds in this area were formed by early nonferrous carbonate and telenetic ferroan carbonate cementation. Early calcareous interbeds are mainly distributed in the flood plain and delta plain, whereas telenetic calcareous interbeds are mainly spread in the delta front, lying in the interface between sandstone and mudstone, with their contents higher at the bottom or top of the thick sand body than in the middle part. Early calcareous interbeds were produced in the process of evaporation resulting in the precipitation of calcium-rich pore water in the deposition phase, whereas telenetic calcareous interbeds were formed during the dissolution of Ca^{2+} and Mg^{2+} in the hydrocarbon source rock (mudstone) and the precipitation of Ca^{2+} and Mg^{2+} in the reservoir rock (sandstone) under the condition of organic acid. The distribution regularity of the calcareous interbeds is obviously helpful to the exploration of remaining oil.

Key words Damintun Sag; calcareous interbeds; sandstone reservoir; distribution characteristics; genesis; development efficiency

收稿日期: 2008-10-24 修订日期: 2008-12-22

作者简介: 田 洋(1984-), 男, 硕士研究生, 从事油气储层沉积方面研究, 电话: 027-63960135, E-mail: 41834572@qq.com

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

作为陆相储层重要夹层之一的钙质夹层,是指钙质胶结的致密砂岩、砾岩(林承焰等,1996;张吉等,2003)。钙质夹层增强了储层非均质性,阻碍储层内流体流动,加大了油气开发难度,但又由于夹层的隔挡使得在油田开发后期仍有大量剩余油分布,因此,其分布规律和成因受到高度重视。辽河盆地大民屯凹陷沈 95 区块钙质夹层十分发育,前人未对其进行系统研究,笔者利用丰富的岩心、测试资料,探讨钙质夹层的分布规律及成因,为提高剩余油开发效果服务。

1 地质背景

沈 95 区块位于辽河盆地大民屯凹陷东北部(图 1),构造面积 16.9 km^2 ,含油层系为古近系沙河街组三段下部层系。该层系岩石粒度整体上粗下细,岩性组合为灰白色砂岩、含砾砂岩、灰黑色或灰绿色泥岩,上部夹少量炭质泥岩,整体为河流、三角洲沉积体系。储层砂体单个规模小,横向连通性差,平均钙质含量 5%,孔隙度 18%,渗透率 $53 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。目的层埋深在 1 800~2 100 m 之间,地温 80°C 左右,地层水为 NHCO_3 型。

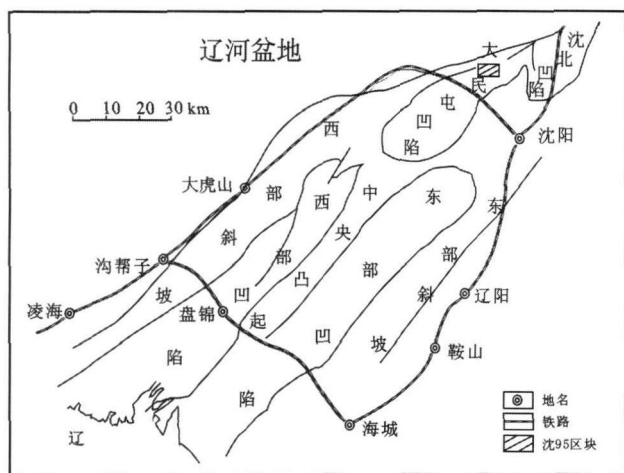


图 1 沈 95 区块构造位置

Fig 1 Tectonic location of Shen-95 Block

2 钙质夹层特征

2.1 岩性特征

沈 95 区块钙质夹层主要为钙质胶结的致密含砾砂岩、粗砂岩、中-细砂岩。钙质胶结物成分主要为无铁方解石、白云石与含铁方解石、白云石。部分

钙质夹层手标本抛光面上可见玻璃光泽的碳酸盐矿物晶体。150 余块钙质夹层薄片镜下观察表明:夹层填隙物几乎全为碳酸盐,多具晶粒结构或放射状结构,少量颗粒边缘具栉壳状结构;夹层碳酸盐含量均大于 10%,最大可达 29.3% (图 5, 1 928.10 m);碳酸盐含量为 10%~15% 者,以孔隙式胶结为主,而钙质胶结物含量超过 15% 时以基底式胶结为主。

2.2 物性特征

碳酸盐沉淀作用,是碎屑岩成岩过程中一种重要的孔隙度渗透率减少作用(Thomas *et al*, 1990),即随着碳酸盐含量增加,孔隙度渗透率降低。本区碳酸盐量与孔隙度、渗透率之间存在一定的负相关性(图 2 图 3)。在图 2 中,当碳酸盐含量 < 10% 时,孔隙度 > 10%,随着碳酸盐含量的增加,孔隙度迅速减小;当碳酸盐含量 > 10% 时,孔隙度多 < 10%,但孔隙度下降速度变缓。在图 3 中,当碳酸盐含量 < 5% 时,渗透率变化较大,但平均值呈减小趋势;当碳酸盐含量 > 5% 时,渗透率 < $1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。物性测试表明本区钙质夹层的孔隙度一般 < 13%,且渗透率 < $1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,如:静 17 井 2 110.85~2 112.30 m,孔隙度为 5.3%~13.1%,渗透率 < $1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$;静 37-69 井 1 979.60~1 982.05 m,孔隙度为 8.2%~11.3%,渗透率 < $1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。

2.3 电性特征

钙质夹层具有高电阻、高微电极、低声波时差,低自然电位值特征(薛莲花等,1996;李琳等,1996)。对取心井静 74 井、静 49-75 井钙质夹层与储层砂岩测井值进行对比,钙质夹层地层真电阻率(R_t)、冲洗带电阻率(R_{xo})与 0.5 m 梯度视电阻率(R_e)测井值均远大于储层砂岩电阻率值;声波时差(AC)则小于储层砂岩值,自然电位(SP)与储层砂岩大致相当(如表 1)。

以 R_t 、 R_{xo} 、 R_e 、 AC 与 SP 测井曲线归一化后星形图(图 4)形式综合表示电性特征,与储层砂岩相比,钙质夹层在 R_t 、 R_{xo} 、 R_e 上向外拓展,而在 AC 上向内收缩。测井曲线图上(图 5),钙质夹层测井响应明显不同于其他井段,表现为:① R_t 、 R_{xo} 、 R_e 的极高值甚至比油层电阻率值还高,表现为正方向凸起的“高尖峰”状;② 声波时差明显低值,平均值为 $246 \mu\text{s}/\text{m}$,表现为负方向凸起的“尖峰”;③ 自然电位显负异常,表现为负方向凸出;④ 一般碳酸盐含量越高,上述特征就越明显。

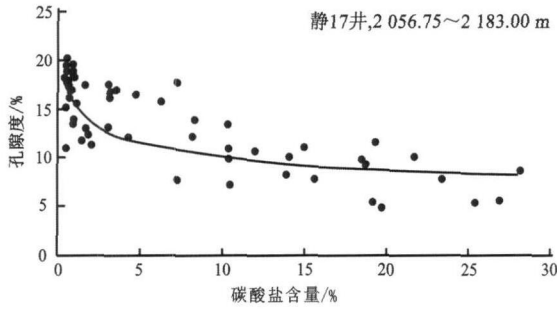


图 2 孔隙度与碳酸盐含量关系

Fig 2 Relationship between content of carbonate cement and porosity

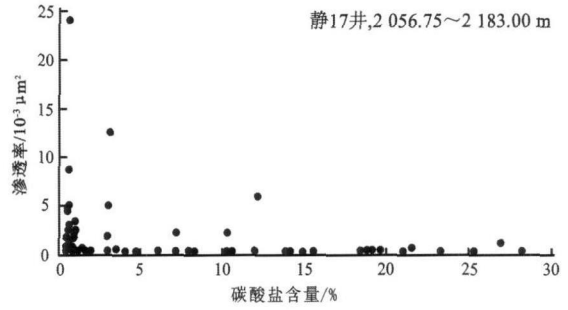


图 3 渗透率与碳酸盐含量关系

Fig 3 Relationship between content of carbonate cement and permeability

表 1 钙质夹层电性表

Table 1 Electric property of calcareous interbeds

井名	项目	$Rt/\Omega \cdot m$	$Rxo/\Omega \cdot m$	$Re/\Omega \cdot m$	$AC/\mu s \cdot m^{-1}$	SP/mV
静 74	钙质夹层	40	23	27	246	13
	储层砂岩平均值	23	14	20	265	9
	钙质夹层归一化	0.66	0.74	0.68	0.22	0.54
	储层砂岩归一化	0.36	0.43	0.49	0.33	0.38
静 49-75	钙质夹层	25	13	15	245	56
	储层砂岩平均值	14	8	11	265	57
	钙质夹层归一化	0.65	0.64	0.54	0.20	0.61
	储层砂岩归一化	0.34	0.33	0.32	0.34	0.72
平均值	钙质夹层	32	18	21	246	34
值	储层砂岩	18	11	15	265	33

注: 归一化公式 (以钙质夹层为例): (钙质夹层测井值 - 测井段最小值) / (测井段最大值 - 测井段最小值)。

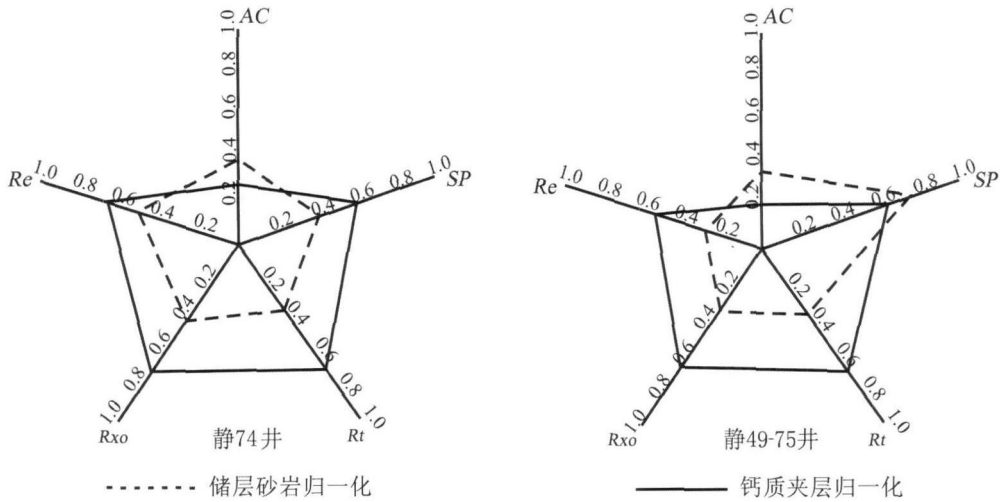


图 4 钙质夹层电性特征星形图

Fig 4 Star map of logging curves of calcareous interbeds

3 钙质夹层分布规律

沈 95 区块钙质胶结物成分主要为无铁方解石、白云石与含铁方解石、白云石。无铁方解石、白云

石, 形成于成岩早期; 而含铁方解石和白云石多形成于强烈的石英次生加大发生之后, 是成岩中晚期产物 (张琴等, 2004; 王招明等, 2004; 刘娅铭等, 2006), 因此根据胶结物成分不同, 将研究区钙质夹层可分为早晚两期。储层中钙质夹层的空间分布状况是决

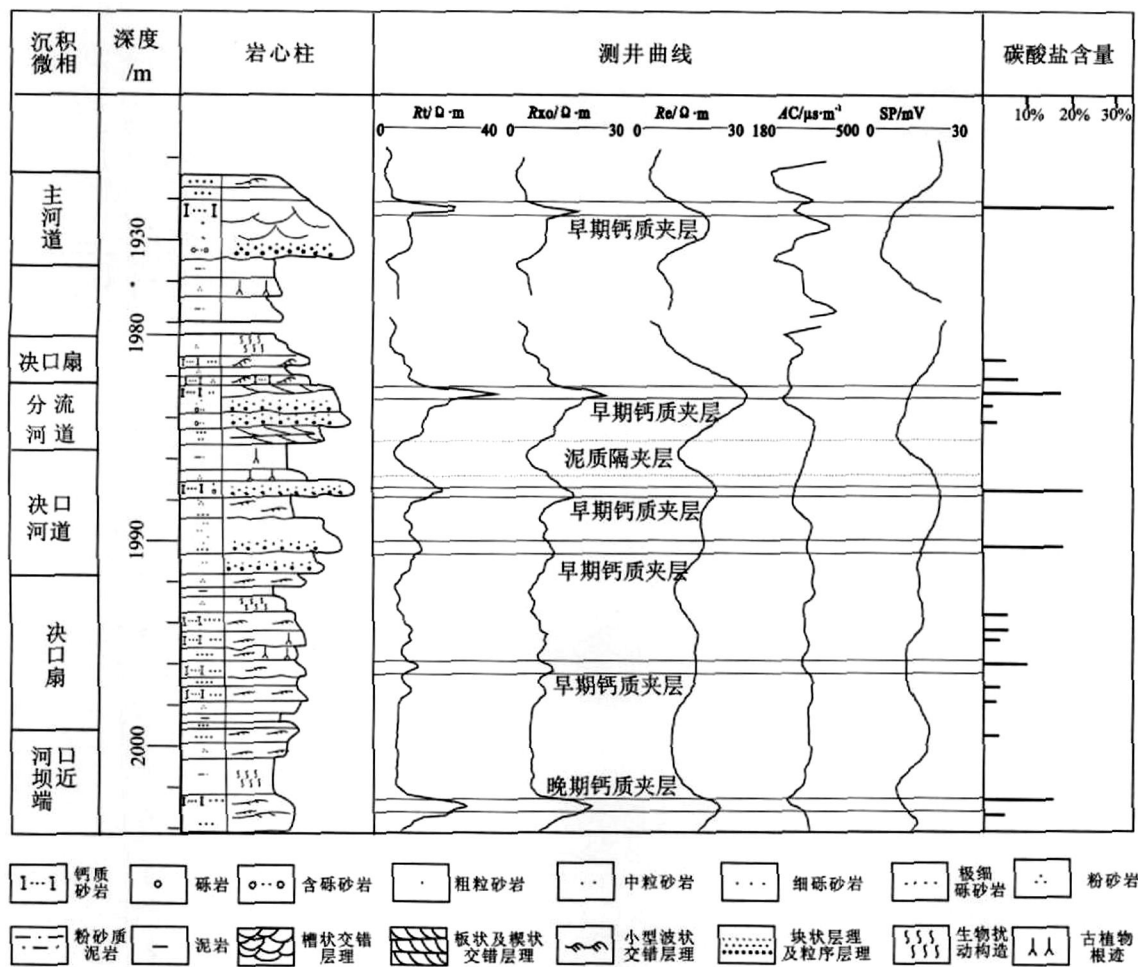


图 5 钙质夹层典型测井曲线特征 (静 37-69 井)

Fig. 5 Characteristics of logging curves of calcareous interbeds (Well Jing 37-69)

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。综合利用岩性、物性、测井识别标志,运用数学地质方法,结合测试资料,借助 petrel 软件识别了早晚两期钙质夹层 (图 6)。

总的看来本区钙质夹层在纵向上和平面上都比较发育,横向连续性较好,厚度变化较大,但钙质夹层空间分布明显与沉积微相有关。早期钙质夹层,主要分布于河流体系泛滥平原亚相、三角洲体系三角洲平原亚相。主河道微相夹层发育最好,厚度最大 (> 1.5 m);河道边部微相、决口扇微相钙质夹层厚度小 (多 < 1 m),但分布范围广;不同沉积微相,钙质夹层厚度不同,从主河道微相至分流河道微相再至决口扇微相、河道边部微相和泛滥盆地微相,钙质夹层厚度呈减小趋势,即:主河道微相 > 分流河道微相 > 决口扇微相 > 河道边部微相 > 泛滥盆地微相。晚期钙质夹层,主要分布于三角洲体系三角洲前缘

亚相。纵向上,钙质夹层主要位于砂岩与泥岩的接触带,厚层砂岩顶部底部碳酸盐含量较中部高 (图 5, 2 002~ 2 004 m);平面上,分流河道微相夹层发育好,厚度大 (0.5~ 1.5 m)。河口坝及水下分流河道边部微相钙质夹层厚度小 (多 < 0.5 m),但分布范围最广。同样地,从分流河道微相至河口坝及分流河道边部微相再至湖泊相,钙质夹层厚度呈减少趋势,即:分流河道微相 > 河口坝及分流河道边部微相 > 湖泊相。早晚两期夹层相比较,早期夹层碳酸岩含量较高,且夹层厚度大。此外,研究区还广泛发育含少量碳酸盐胶结物 (5%~ 10%) 的砂岩。

4 钙质夹层的成因探讨

众多学者对钙质夹层进行多方面研究,识别了多期钙质胶结作用,总结了各期次的特征 (Ali et al., 1996; Boles, 1998; 胡宗全等, 2003),讨论了钙质胶

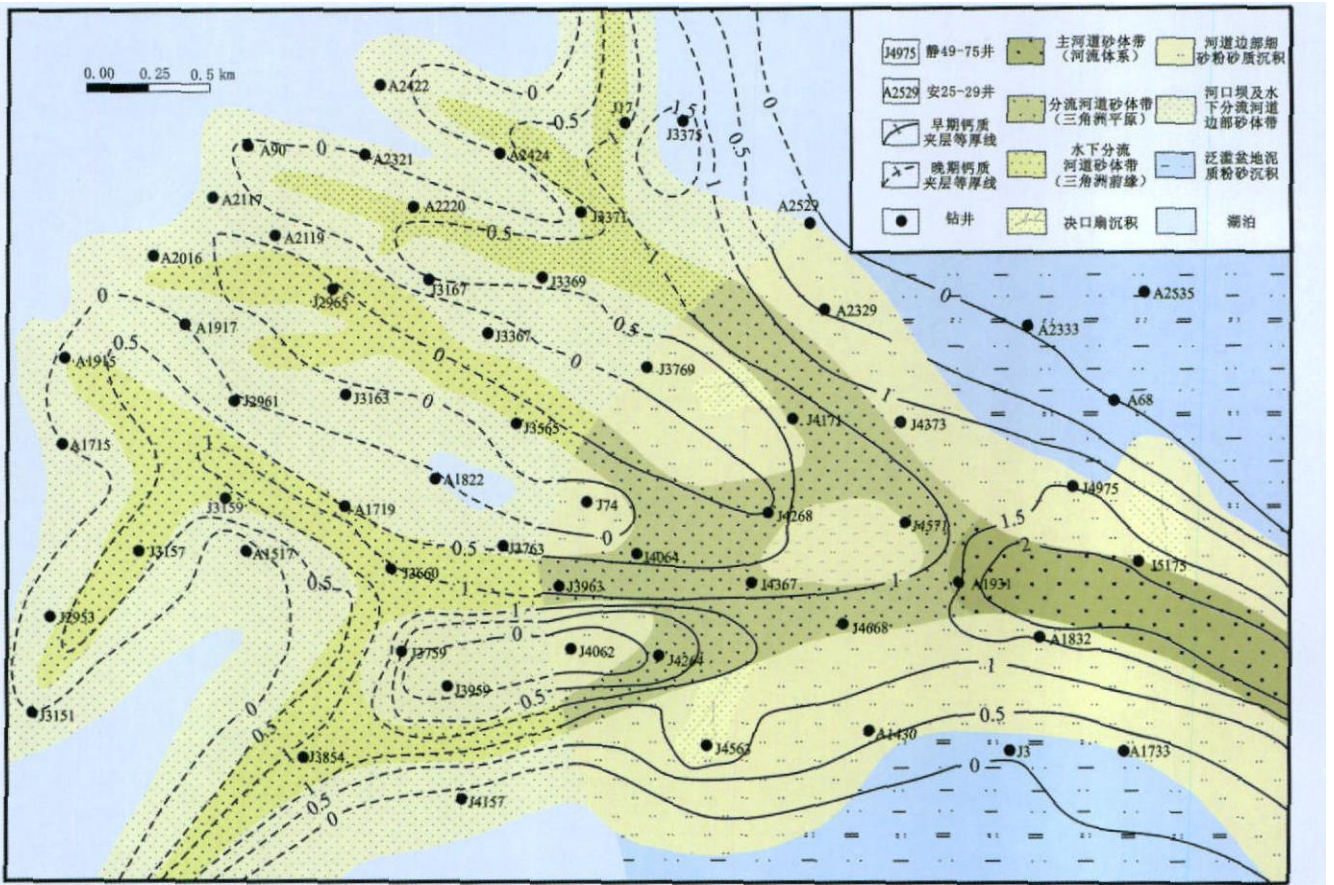


图 6 钙质夹层厚度与沉积微相关系 (II₆ 小层)

Fig 6 Relationship between thickness of calcareous interbeds and sedimentary microfacies (II₆ layer)

结物的来源 (纪友亮等, 1995 Millken *et al.*, 1998 谢寅符等, 2005), 重点探讨了成岩中晚期形成于含油气盆地内砂泥岩界面的钙质夹层, 如挪威 Useberg 盆地 (Girard 1998), 我国的塔里木盆地等 (郭宏莉等, 1999 叶瑛等, 2001; 邹海峰等, 2002), 认为其是泥岩 (烃源岩) - 流体 (油、气、水) 砂岩 (储集岩) 相互作用过程中的产物 (Berger *et al.*, 1997; Worden *et al.*, 1998 曾溅辉等, 2000 2006 漆滨汶等, 2006 张敏强等, 2007), 在此过程中有机酸起着至关重要的作用 (曾溅辉等, 2007)。

4 1 早期形成的钙质夹层成因探讨

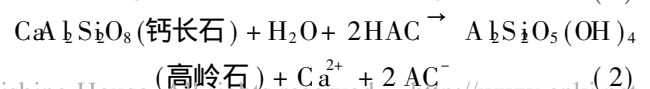
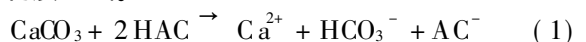
沉积时期或成岩早期, 蒸发作用使富含钙的地下水不断往上抽汲, 在接近地表不断产生碳酸钙沉淀, 形成结核从而形成无铁钙质夹层。由于泛滥平原、三角洲平原水体浅, 能量弱, 水体交换不畅, 蒸发作用强, 因此易形成钙质夹层。主河道微相砂、砾岩厚度大, 原生孔隙发育, 泥质含量低, 孔隙水易于流动, 钙质水将优先进入主河道粗粒沉积物, 因此在强蒸发作用下, 钙质夹层于主河道

微相厚度最大。

4 2 成岩中期形成的改制夹层成因探讨

4 2 1 钙质胶结物物质来源

碳酸盐胶结物的沉淀, 必然要消耗钙离子和其他阳离子, 因此, 孔隙水中有一定数量的 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Fe^{2+} 及 CO_3^{2-} 等离子是碳酸盐胶结物形成的前提。沈 95 区块储积岩石英含量为 33% ~ 43%, 平均为 38%; 长石含量为 37% ~ 48%, 平均为 43%; 岩屑含量为 10% ~ 18%, 最大可达 30% 以上, 主要为花岗岩和酸性喷出岩。与砾岩来源相同的泥岩同样含有大量不稳定微颗粒, 随着有机质成熟, 有机酸产生, 泥岩中长石、岩屑等不稳定微颗粒发生溶解和交代作用, 形成高岭石和蒙脱石等自生粘土矿物 (图 7), 同时与泥岩中早期碳酸盐 (如生物壳等) 作用, 释放 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 HCO_3^- 与 SiO_2 , 为钙质夹层的形成提供了物质基础。



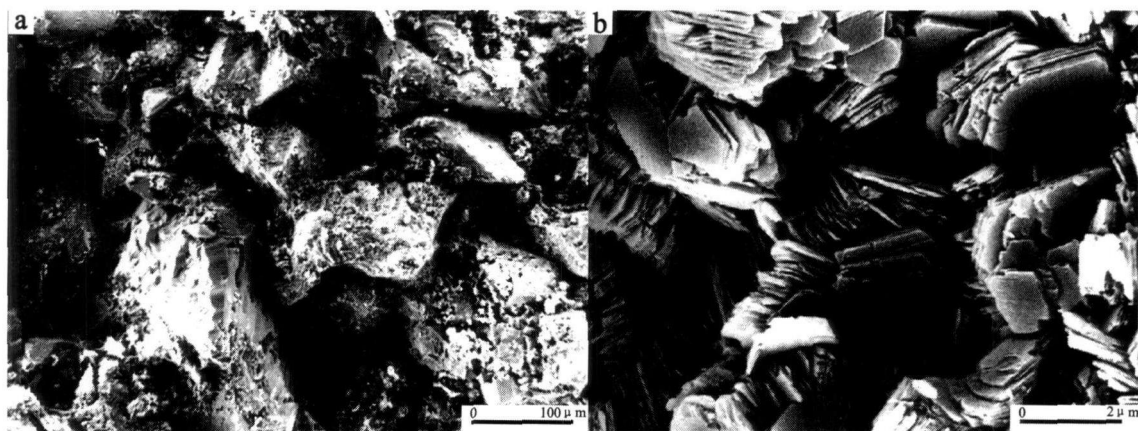
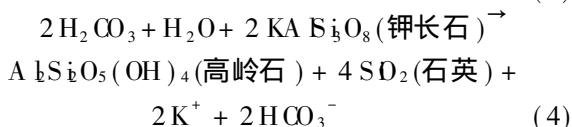
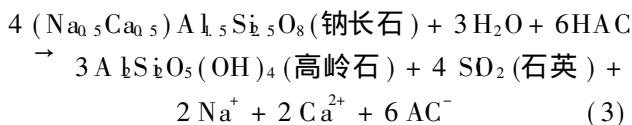


图 7 高岭石显微照片

Fig 7 Microphotographs of kaolinite

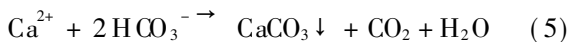
a—高岭石全貌(静 37-69 井, 2 221.5 m); b—高岭石假六方书页状集合体(静 17 井, 2 213.5 m)

a— full view of kaolinite (Well Jing 37-69, 2221.5 m); b— pseudo-hexagonal book-page-like aggregate (Well Jing 17, 2213.5 m)



4.2.2 钙质夹层的形成机制

研究区目的层埋深在 1 800~2 100 m 之间, 属中期成岩阶段, 地温 80℃ 左右, 该阶段有大量的有机酸产生(曾溅辉等, 2007), 将发生反应(1)~(4), 一方面为碳酸盐胶结提供 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 HCO_3^- 物质来源; 另一方面使有机酸的浓度大大降低, 抑制有机酸直接排入临近的砂岩体中。在驱动力的作用下, 携带大量 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 HCO_3^- 离子的烃类流体和地层水向临近的砂岩体内运移。这类流体不利于储集岩中的长石和方解石溶解, 而易在储集岩的原生孔隙中发生沉淀作用(曾溅辉等, 2001)。当泥岩中富含 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 HCO_3^- 的流体进入砂岩体中后, Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 HCO_3^- 浓度增加, 砂岩中孔隙水将发生反应:



此外, 研究区 NaHCO_3 型的地下水使 CaCO_3 溶解度降低, 更有利于 CaCO_3 沉淀(于炳松等, 2006)。只要 CO_2 压力没有到达影响反应平衡压力, 就一直有 CaCO_3 沉淀产生。开始过饱和程度大, 沉淀速度相对较快, 沉淀量也较大, 随着流体继续向砂岩体内部渗透时, 过饱和度不断降低, 沉淀速度不断下降, 沉淀量也相应减小, 如此长时间作用, 造成厚层砂岩

体顶底碳酸盐胶结物含量较中部高。

砂岩体与泥岩接触带的钙质夹层形成机理可归结为砂岩体与泥岩界面碳酸盐的迁移和化学反应的耦合过程(图 8)。首先, 在泥岩中, 泥岩和孔隙流体相互作用, 形成有机酸和各种离子; 然后, 富含有机酸的孔隙流体与泥岩中的碳酸盐、长石、岩屑等微小碎屑作用形成富 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 HCO_3^- 流体; 最后, 从泥岩中排出的富 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 HCO_3^- 流体进入临近砂岩体, 由于 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 HCO_3^- 浓度增加及砂岩体低 CO_2 压力 (p_{CO_2}), 在砂岩体与泥岩界面发生 CaCO_3 沉淀, 形成钙质夹层。

5 钙质胶结作用对开发效果的影响

一定数量的碳酸盐胶结物(5%~10%)分布不均, 改变了砂岩储层孔隙的形态和连通程度(Daws et al., 1992), 导致储层微观的非均质性。钙质夹层的存在, 也增加了层内的非均质, 它把油层划分成若干个段, 使流体垂向渗流迂回曲折, 降低油层规模与垂直渗透率, 阻碍注入水波及, 降低油田开发效果。但是, 由于夹层遮挡, 使得油田开发中后期仍有大量剩余油分布, 因此可以利用夹层分布规律挖掘油田后期的开发潜力(陈程等, 2003):

(1) 利用夹层进行选择性射孔。由于夹层和其他因素, 油层层内呈现多段水淹, 常常在总体强水淹背景中夹一或几段未弱水淹段。未弱水淹段上下一般被夹层与强水淹段分隔。因此, 在油井投产射孔时, 避射潜力段上下夹层, 可以有效地挖掘剩余油。

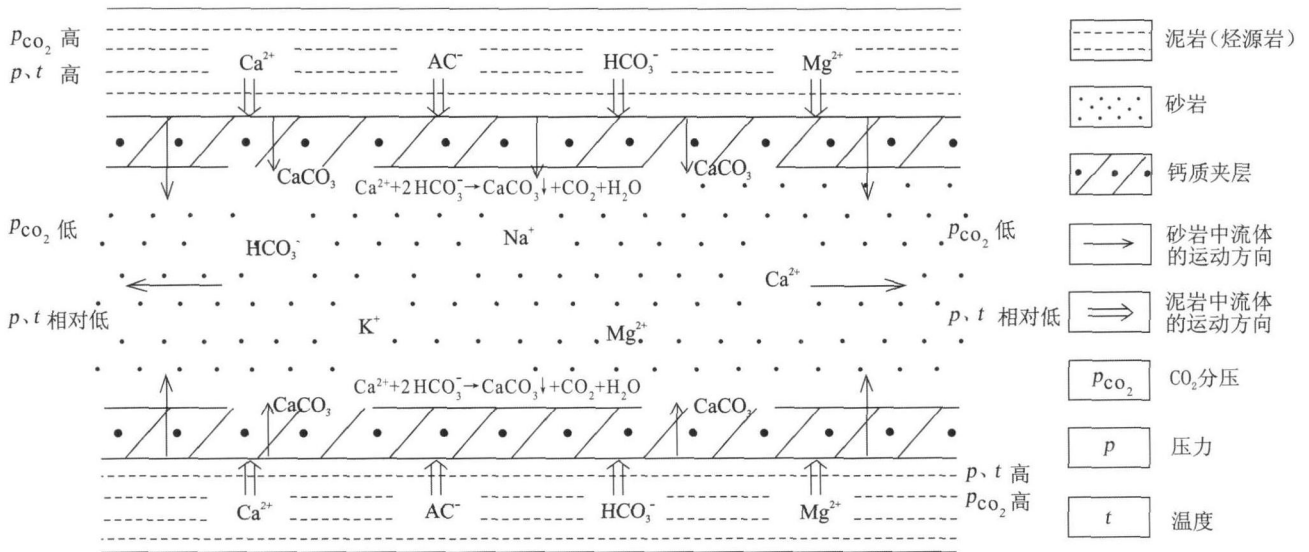


图 8 砂泥岩界面碳酸盐的迁移和化学反应过程示意图 [据漆滨汶等 (2006) 修改]

Fig 8 Sketch map showing the migration and chemical reaction process of carbonate along the sandstone-mudstone interface (modified from Qi Binwen *et al.*, 2006)

(2) 利用较稳定的夹层, 局部细分层系, 减弱层内干扰。

(3) 利用夹层封堵高含水层, 解放中低渗透段潜力。

6 结论

(1) 钙质夹层在岩性、物性和电性上具有明显标志。钙质胶结物主要为早期无铁方解石、白云石与晚期含铁方解石、白云石, 碳酸盐含量 > 10%; 物性上, 孔隙度一般 < 13%, 且渗透率 < $1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$; 电性上表现为极高电阻率, 低声波时差, 自然电位显负异常。

(2) 早期形成的钙质夹层, 主要分布于泛滥平原亚相、三角洲平原亚相。主河道微相夹层发育最好, 厚度最大; 河道边部微相、决口扇微相钙质夹层厚度小, 但分布范围广; 夹层厚度, 主河道微相 > 分流河道微相 > 决口扇微相 > 河道边部微相 > 泛滥盆地微相。晚期钙质夹层主要分布于三角洲体系三角洲前缘亚相。夹层主要位于砂岩与泥岩的接触带, 厚层砂岩顶底部碳酸盐含量较中部高; 分流河道微相夹层发育好, 且厚度大; 河口坝及水下分流河道边部微相钙质夹层厚度小, 但分布范围最广; 夹层厚度, 分流河道微相 > 河口坝及分流河道边部微相 > 湖泊相。

(3) 早期钙质夹层是蒸发作用使富钙孔隙水中

的钙质沉淀形成的; 晚期钙质夹层是在有机酸作用下 Ca^{2+} 及 Mg^{2+} 在烃源岩中 (泥岩) 溶解, 再于储集岩 (砂岩) 中沉淀形成的。

(4) 钙质夹层对储层性质与油气分布有明显影响, 根据夹层的分布规律可挖掘油田后期的开发潜力。

致谢 感谢中国地质大学 (武汉) 环境学院唐仲华教授、周炜博士等在计算机识别钙质夹层中的帮助。

References

Ali H C and James P A. 1996. Origin, distribution and significance of carbonate cements in the Albert Formation reservoirs and stones, New Brunswick, Canada [J]. *Marine and Petroleum Geology*, 13 (7): 837~846

Berger G, Lachapange J, Velde B *et al.* 1997. Kinetic constraints on illitization reactions and the effects of organic diagenesis in sandstone/shale sequences [J]. *Applied Geochemistry*, 12: 23~35

Bols JR. 1998. Carbonate cementation in Tertiary sandstones, San Joaquin basin, California [J]. *Spec. Publ. Int. Ass. Sediment.* 26: 261~284

Chen Cheng and Sun Yimei. 2003. The distribution patterns of the interlayers within thick pays and their impact on recovery efficiency Shuanghe Oilfield [J]. *Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing* 22(2): 24~27 (in Chinese).

Davis J A and Prosser D J. 1992. Scales of permeability heterogeneity within the Brent group [J]. *Journal of Petroleum Geology*, 15(4):

397~ 418.

- Girard J.P. 1998 Carbonate cementation in the Middle Jurassic Oseberg reservoir sandstones, Oseberg field, Norway: a case of deep burial high temperature polytopic calcite [J]. *Spec. Publ. Int. Ass. Sediment.* 26: 285~ 308.
- Guo Hongli and Wang Danli. 1999 Stable isotopic composition and origin analysis of the carbonate cements within sandstone reservoirs of Tarim oilgas bearing area [J]. *Petroleum Exploration and Development* 26(3): 31~ 33 (in Chinese).
- Hu Zongquan. 2003 Calcite cements in Upper Paleozoic sand reservoir of Ordos Basin [J]. *Acta Petroli Sinica* 24(4): 40~ 43 (in Chinese) (in Chinese).
- Ji Youlang, Zhao Chenglin and Liu Menghui. 1995 Diagenesis oflastic rocks in Shahejie Formation, Dongpu depression and its relation to organic matter evolution [J]. *Oil & Gas Geology* 16(2): 148~ 155 (in Chinese).
- Li Lin and Ren Zuwei. 1996 Research of intercalated beds within the gentle slope turbidite reservoir in shuer district [J]. *Journal of Xi'an Petroleum Institute* 11(3): 8~ 11 (in Chinese).
- Lin Chengyan, Hou Lianhua, Dong Chunmei *et al.* 1996 Study on calcareous interbeds in turbidite reservoir of Sha 3 member of the Liaohewestern depression [J]. *Acta Sedimentologica Sinica* 14(3): 72~ 81 (in Chinese).
- Liu Yanling, Jiang Zaixing, Zhu Jinguan, *et al.* 2006 Characteristics of carbonate cement in Donghe sandstone and its effect on reservoir [J]. *Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing* 25(3): 13~ 16 (in Chinese).
- Milliken K.L., McBride F., Cavazza W., *et al.* 1998. Geochemical history of calcite precipitation in Tertiary sandstones northern Apennines Italy [J]. *Spec. Publ. Int. Ass. Sediment.* 26: 213~ 240.
- Qi Binwen, Lin Chunming, Qiu Guixiang *et al.* 2006. Formation mechanism of calcareous incrustation in lenticular sandbody of the Shahejie Formation of Paleogene and its influence on hydrocarbon accumulation in Dongying Sag [J]. *Journal of Palaeogeography* 8(4): 519~ 530 (in Chinese).
- Thomas R. and Taylor. 1990 The influence of calcite dissolution on reservoir porosity in Miocene sandstones, Yarrakon field, offshore Texas Gulf Coast [J]. *Journal of Sedimentary Petrology* 60(3): 322~ 334.
- Wang Zhaoming, Wang Qinghua, Sun Lixia *et al.* 2004 Main features of calcite diagenesis in the Donghe sandstone [J]. *Chinese Journal of Geology* 39(4): 517~ 522 (in Chinese).
- Worden R. and Matray J.M. 1998 Carbonate cement in the Triassic Chaunoy formation of the Paris basin: distribution and effect on flow properties [J]. *Spec. Publ. Int. Ass. Sediment.* 26: 163~ 178.
- Xie Yifu and Li Hongqi. 2005 Origin of calcareous interbeds and its significance of sequence stratigraphy in Junggar Basin [J]. *Acta Petroli Sinica* 26(5): 24~ 27 (in Chinese).
- Xue Lianhua, Shi Jijian and Jin Huijian. 1996 Study of controlling mechanism of carbonate cementation on porosity evolution in lower tertiary sandstones of the Liaohewestern basin [J]. *Acta Sedimentologica Sinica* 14(2): 102~ 109 (in Chinese).
- Ye Ying, Shen Zhongyue, Peng Xiaobing *et al.* 2001 C-O isotope composition of the authigenic carbonate in Low Tertiary reservoir sandstones in Tarim Basin and its implication on the fluid origin [J]. *Journal of Zhejiang University (Sciences Edition)*, 28(3): 321~ 326 (in Chinese).
- Yu Bingsong and Lai Xingyun. 2006 Carbonic acid system of groundwater and the solubility of calcite during diagenesis [J]. *Acta Sedimentologica Sinica* 24(5): 627~ 635 (in Chinese).
- Zeng Jianhui. 2000 Fluid Physicochemical field and its evolution in tertiary system, Dongying sag [J]. *Geological Review*, 46(8): 212~ 219 (in Chinese).
- Zeng Jianhui. 2001 Effect of fluid-rock interaction on porosity of reservoir rocks in Tertiary system, Dongying sag [J]. *Acta Petroli Sinica* 22(4): 39~ 43 (in Chinese).
- Zeng Jianhui, Peng Jilin, Qiu Nansheng *et al.* 2006 Carbonate dissolution-precipitation in sandstone-shale contact and its petroleum geological meanings [J]. *Natural Gas Geoscience* 17(6): 760~ 764 (in Chinese).
- Zeng Jianhui, Zhu Zhiqiang, Wu Qiong *et al.* 2007 Experimental study on the generation of organic acids from source rocks and its effect factors [J]. *Acta Sedimentologica Sinica* 25(6): 847~ 851 (in Chinese).
- Zhang Ji, Zhang Liehui and Hu Shuyong. 2003, The genesis and characteristics and identification of intercalations in nonmarine reservoir with elastic rock [J]. *Well Logging Technology* 27(3): 221~ 224 (in Chinese).
- Zhang Minqiang, Huang Sijing, Wu Zhixuan, *et al.* 2007. Carbonate cements and their formation mechanism in Palaeogene sandstones of Lishui sag, East China Sea basin [J]. *Journal of Chengde University of Technology (Science & Technology Edition)*, 34(3): 259~ 266 (in Chinese).
- Zhang Qin, Zhu Xiaomin, Zhong Dakang *et al.* 2004. Clastic reservoir properties and their controlling factors of the Paleogene in Dongying Sag, Shandong Province [J]. *Journal of Palaeogeography* 6(4): 493~ 502 (in Chinese).
- Zou Haifeng, Gao Fuhong, Xu Xuechun *et al.* 2002 Geochemistry study on the forming mechanism of the cement of Dagang exploration area [J]. *Journal of Changchun University of Science and Technology* 32(1): 34~ 38 (in Chinese).

附中文参考文献

- 陈程, 孙义梅. 2003. 厚油层内部夹层分布模式及对开发效果的影响 [J]. *大庆石油地质与开发*, 22(2): 24~ 27.
- 郭宏莉, 王大锐. 1999. 塔里木油气区砂岩储集层碳酸盐胶结物的同位素组成与成因分析 [J]. *石油勘探与开发*, 26(3): 31~ 33.
- 胡宗全. 2003. 鄂尔多斯盆地上古生界砂岩储层方解石胶结物特征 [J]. *石油学报*, 24(4): 40~ 43.
- 纪友亮, 赵澄林, 刘孟慧. 1995. 东濮凹陷沙河街组碎屑岩成岩作用与

- 有机质演化的关系 [J]. 石油与天然气地质, 16(2): 148~ 155.
- 李琳, 任作伟. 1996. 曙二区缓坡油积岩储层隔夹层研究 [J]. 西安石油学院学报, 11(3): 8~ 11.
- 林承焰, 侯连华, 董春梅, 等. 1996. 辽河西部凹陷沙三段油积岩储层中钙质夹层研究 [J]. 沉积学报, 14(3): 72~ 81.
- 刘娅铭, 姜在兴, 朱井泉, 等. 2006. 东河砂岩中碳酸盐胶结物特征及对储层的影响 [J]. 大庆石油地质与开发, 25(3): 13~ 16.
- 漆滨汶, 林春明, 邱桂强, 等. 2006. 东营凹陷古近系沙河街组砂岩透镜体钙质结壳形成机理及其对油气成藏的影响 [J]. 古地理学报, 8(4): 519~ 530.
- 王招明, 王清华, 孙丽霞, 等. 2004. 东河砂岩钙结成岩作用的主要特征 [J]. 地质科学, 39(4): 517~ 522.
- 谢寅符, 李洪奇. 2005. 准噶尔盆地钙质夹层成因及层序地层学意义 [J]. 石油学报, 26(5): 24~ 27.
- 薛莲花, 史基安, 晋慧娟. 1996. 辽河盆地沙河街组砂岩中碳酸盐胶结作用对孔隙演化控制机理研究 [J]. 沉积学报, 14(2): 102~ 109.
- 叶瑛, 沈忠悦, 彭晓彤, 等. 2001. 塔里木盆地地下第三系储层砂岩自生碳酸盐碳氧同位素组成及流体来源讨论 [J]. 浙江大学学报理学版, 28(3): 321~ 326.
- 于炳松, 赖兴运. 2006. 成岩作用中的地下水碳酸体系与方解石溶解度 [J]. 沉积学报, 24(5): 627~ 635.
- 曾溅辉. 2000. 东营凹陷第三系流体物理化学场及其演化特征 [J]. 地质论评, 46(8): 212~ 219.
- 曾溅辉. 2001. 东营凹陷第三系水-岩相互作用对储层孔隙发育的影响 [J]. 石油学报, 22(4): 39~ 43.
- 曾溅辉, 彭继林, 邱楠生, 等. 2006. 砂-泥岩界面碳酸盐溶解-沉淀反应及其石油地质意义 [J]. 天然气地球科学, 17(6): 760~ 764.
- 曾溅辉, 朱志强, 吴琼. 2007. 烃源岩的有机酸生成及其影响因素的模拟实验研究 [J]. 沉积学报, 25(6): 847~ 851.
- 张吉, 张烈辉, 胡书勇, 陆相碎屑岩储层隔夹层成因、特征及其识别 [J]. 测井技术, 2003 27(3): 221~ 224.
- 张敏强, 黄思静, 吴志轩, 等. 2007. 东海盆地丽水凹陷古近系储层砂岩中碳酸盐胶结物及形成机制 [J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 34(3): 259~ 266.
- 张琴, 朱筱敏, 钟大康, 等. 2004. 山东东营凹陷古近系碎屑岩储层特征及控制因素 [J]. 古地理学报, 6(4): 493~ 502.
- 邹海峰, 高福红, 徐学纯, 等. 2002. 大港探区中区下第三系砂岩碳酸盐岩胶结物与填隙物的成因机理 [J]. 吉林大学学报地球科学版, 32(1): 34~ 38.