

文章编号: 0253-9985(2007)03-0384-06

南襄盆地南阳凹陷核桃园组储层中 碳酸盐胶结物富集规律

孙思敏¹, 罗家群²

(1. 中国石油大学, 北京 102249 2. 中国石化 河南油田分公司, 河南 南阳 473132)

摘要: 通过铸体薄片和分析化验资料, 分析了张店油田核桃园组二段储层中碳酸盐胶结物的产状及其含量随深度变化的规律。储层中碳酸盐含量总体上随深度增加而不断加大, 但在不同成岩阶段具有不同特点。在有机质成熟期尤其是半成熟-低成熟阶段(晚成岩早期), 碳酸盐含量下降明显, 是次生孔隙主要发育期。在晚成岩 B 亚期(晚成岩晚期)以后即有机质生烃高峰期以后, 储层中尤其是高孔隙储层中碳酸盐胶结物含量增加明显。碳酸盐在储层中的不断富集与泥岩压实作用和有机质成熟期的酸性孔隙水溶解作用有关。不同微相中碳酸盐富集部位不同。对于三角洲前缘分支水道微相, 它主要富集于砂体底部; 而对于河口砂坝, 则主要富集于砂体顶部。碳酸盐在储层中的富集是造成储层孔隙度下降的主要因素之一, 它对 2 450 m 深度以下储层影响尤为严重。

关键词: 碳酸盐胶结物; 碳酸盐含量; 储层; 核桃园组; 南阳凹陷; 南襄盆地

中图分类号: TE122.2 **文献标识码:** A

Enrichment pattern of carbonate cements in reservoirs of the Hetaoyuan Formation in Nanyang sag Nanxiang basin

Sun Simin¹, Luo Jiaqun²

(1. China University of Petroleum, Beijing 102249 2. Henan Oilfield Company, SINOPEC, Nanyang, Henan 473132)

Abstract Based on cast thin section and test data, a study is carried out on the occurrence of the carbonate cements in the reservoirs of the second member in Hetaoyuan Formation of Zhandian oilfield and the change of their contents with burial depth. The carbonate content increases on the whole with its increasing burial depth but presents different characteristics in different diagenetic stages. In the mature stage of organic material especially the senior low maturity stage (the early of late diagenetic stage), the content of carbonate drops sharply and the secondary pores are well developed. After the late diagenetic substage B (the late of late diagenetic stage) when the hydrocarbon generation peak is past, the content of carbonate cements reservoirs especially those of high porosity obviously increases. The continuous enrichment of carbonate in reservoirs is related with shale compaction and dissolution of acid pore water during the mature stage of organic materials. The locations where carbonate enriches vary in different microfacies. It mainly enriches at the bottom of sandbodies in delta front distributary channels and at the top of sandbodies in mouth bar. The enrichment of carbonate in reservoirs is one of the key factors that cause the reduction of reservoir porosities, especially the reservoirs with a burial depth larger than 2 450 m.

Key words carbonate cement; carbonate content; reservoir; Hetaoyuan Formation; Nanyang sag; Nanxiang basin

南阳凹陷位于南襄盆地的西北部, 是燕山晚期发育起来的以古近纪为主的中、新生代断陷盆

收稿日期: 2007-01-10

第一作者简介: 孙思敏 (1967-), 男, 博士、讲师, 油田开发地质

基金项目: 国际科技合作重点项目 (2002CB713906)

地^[1]。凹陷南断北超, 古近系最大厚度约 4 800 m, 核(桃园组)二段是凹陷的主要含油层系^[2], 近年来已发现了张店油田、北马庄-东庄油田及魏岗油田等小型油田。这些含油构造邻近深凹, 储层不发育。储层物性差一直是困扰本区勘探与开发的主要问题之一^[3~6]。储层中碳酸盐胶结非常普遍, 是影响储层物性的核心因素之一, 有时甚至超过压实作用。碳酸盐胶结对本区主力储层段核二²、核二³都有较大影响。从总体上看, 由浅到深, 碳酸盐含量不断增大; 对于同一层系, 由北部斜坡向南部深凹, 储层中碳酸盐含量增加; 从平面上看, 从三角洲前缘主水道一次级分支水道一远砂坝, 随着砂体厚度和砂地比的减小, 碳酸盐胶结作用增强。近年来, 本区勘探重点转向在南部深凹带寻找岩性油藏, 而深层的碳酸盐胶结问题尤为严重。碳酸盐是一种性质不稳定的矿物, 分析其溶蚀、迁移与重新沉淀胶结的期次和规律及其对储层物性的影响, 对于研究储层孔隙演化和预测优质储层分布并指导油气勘探具有重要意义。

1 碳酸盐胶结物的产状

核桃园组储层中的碳酸盐胶结物主要为方解石和白云石, 并以方解石为主, 根据产状特征主要分为以下几种(图 1)。

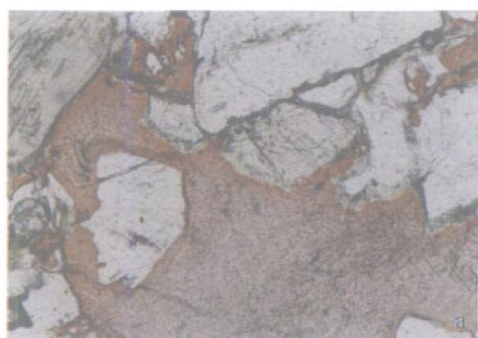
1) 泥晶状方解石、白云石: 呈泥晶状充填于粒间或呈泥晶包壳分布于粒缘, 为同沉积期的产物。

2) 单晶无铁、含铁方解石, 白云石: 半自形, 细晶, 分散状分布于泥质中或粒间孔中, 或局部集中呈斑块状, 含量一般小于 10%。

3) 嵌晶式胶结: 碎屑颗粒不接触, 碳酸盐胶结物彼此连接充填了全部孔隙, 以无铁方解石为主, 局部含量可高达 20%~35%, 使孔隙难以保存。

4) 铁方解石、铁白云石: 多呈分散状单晶分布于粒间, 碎屑颗粒压实作用强, 反映胶结形成于晚成岩期。

5) 以铁方解石、铁白云石形式交代碎屑组分: 主要是晚成岩期铁方解石和铁白云石交代长石和岩屑, 此外还可见晚期铁白云石交代早期无



粒间亮晶方解石连晶式胶结, 见菱形半自形白云石, 方解石形成晚于白云石



颗粒线接触, 粒间方解石和白云石胶结, 见长石和粒间方解石溶解, 少量粒间溶孔



粒间亮晶方解石胶结, 孔隙不发育



左下半部分粒间孔及溶孔发育, 右上半部分粒间亮晶方解石胶结, 孔隙不发育

图 1 南阳凹陷核桃园组储层中碳酸盐胶结物的产状特征

Fig. 1 Occurrence of carbonate cements in reservoirs of the Hetaoyuan Formation, Nanyang sag

a b. 南 28 井, 2 526.94 m, 单偏光, 130 倍; c. 南 28 井, 3 123.29 m, 单偏光, 130 倍; d. 南 31 井, 1 404.20 m, 单偏光, 52 倍

铁方解石,说明其形成晚于方解石。第 2 和第 3 种产状主要形成于早成岩阶段,早期碳酸盐胶结可以抑制压实进行,并为后期溶蚀孔隙形成创造条件。

2 不同成岩阶段碳酸盐含量的变化

2.1 成岩阶段划分

根据储层岩石结构、储集空间类型、自生矿物分布和形成顺序、粘土矿物类型、分布及成岩演化、有机质成熟度、孢粉颜色和镜质体反射率等特征,将本区储层成岩作用划分为早成岩 A 期和 B 期两个阶段及晚成岩 A 期和 B 期两阶段,其中晚成岩 A 期进一步细分为 A₁ 和 A₂ 两个亚期,共计 5 个阶段。

2.2 成岩阶段特征及碳酸盐含量变化

通过对南 31、南 34 等 19 口取心井砂岩岩样的碳酸盐含量分析,发现碳酸盐含量总体上随储层埋藏深度增大而加大(图 2),并且这种增大趋势在 2450m 深度以后表现得更为明显。结合本

区成岩阶段的划分,求取了不同成岩阶段碳酸盐含量与孔隙度均值(表 1)。结果显示,碳酸盐含量变化与成岩作用及有机质演化关系密切。

2.2.1 早成岩 A 期

该阶段埋深小于 1 450 m,机械压实作用弱,岩石未固结-弱固结,碎屑颗粒点接触。有机质未成熟,孢粉颜色呈淡黄色,镜质体反射率小于 0.4%。储集空间类型为原生粒间孔,平均孔隙度 26.10%。碳酸盐含量均值为 7.58%,以泥晶方解石胶结为主含少量泥晶白云石,它们为碎屑同沉积期的产物。

2.2.2 早成岩 B 期

该阶段埋深 1 450~1 850 m,机械压实作用增强,岩石半固结-固结,碎屑颗粒呈点-线接触;有机质半成熟,孢粉颜色呈黄色,镜质体反射率为 0.4%~0.5%。泥岩中蒙脱石开始明显向伊利石/蒙脱石(伊/蒙)混层转化,有少量层间水排出,早期高岭石含量降低。由于泥岩中 Ca²⁺ 及 CO₃²⁻ 离子可随脱水进入砂岩孔隙内,在孔隙内开始形成早期亮晶方解石胶结,使砂岩中碳酸盐含量迅速增大到 12.20%,而孔隙度也急速降到 13.60%。除压实作用外,碳酸盐胶结物的增加也是孔隙度降低的重要因素。但储集空间类型以原生粒间孔为主,反映了亮晶方解石胶结作用不强,对孔隙的破坏作用有限。

2.2.3 晚成岩 A₁ 亚期

该阶段埋深 1 850~2 150 m,岩石固结,碎屑颗粒线-点接触。有机质进入低成熟期,孢粉颜色呈橙黄色,镜质体反射率为 0.5%~0.7%。泥岩中蒙脱石开始快速向伊/蒙混层转化,第一次层间水快速脱出,伊/蒙混层含量增加至 50% 以上。

由于有机质成熟过程中产生的有机酸浓度此

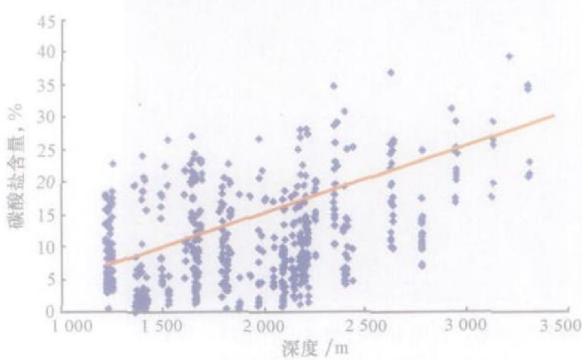


图 2 南阳凹陷核桃园组储层碳酸盐胶结物含量随深度变化关系

Fig. 2 Relationship between content of carbonate cements and burial depth of reservoirs in the Hetaoyuan Formation, Nanyang sag

表 1 南阳凹陷核桃园组储层碳酸盐含量与孔隙度随深度的变化

Table 1 Variation of the content of carbonate cements and reservoir porosity along with burial depth in the Hetaoyuan Formation, Nanyang sag

深度 /m	1 200~1 450	1 450~1 850	1 850~2 150	2 150~2 450	2 450~2 700	2 700~3 200
碳酸盐含量, %	7.58	12.20	7.90	11.80	15.30	19.70
孔隙度, %	26.10	13.60	16.44	12.70	10.50	4.60

时为最高^[7,8], 加上伊/蒙混层由无序混层转化为有序混层脱出层间水, 酸性水介质条件有利于碳酸盐胶结物溶解形成大量次生溶孔, 但酸性介质也有利于石英沉淀产生石英次生加大^[9,10]。在此阶段, 碳酸盐胶结物含量快速降到 7.90%, 孔隙度增大至 16.44%, 说明碳酸盐溶解是孔隙增加的关键因素。

2.2.4 晚成岩 A₂ 亚期

该阶段埋深 2 150~2 450 m, 岩石固结, 碎屑颗粒线-凹凸接触。有机质成熟, 孢粉颜色呈橙黄色, 镜质体反射率为 0.7%~1.2%。蒙脱石快速向伊/蒙混层转化, 第二次层间水快速脱出。由于伊/蒙混层转化脱出的层间水及排出的金属阳离子如 Ca^{2+} , Si^{4+} , Fe^{3+} , Mg^{2+} 等进入砂岩孔隙中, 形成石英、长石次生加大和含铁碳酸盐矿物胶结。碳酸盐胶结物含量上升到 11.80%, 而孔隙度下降到 12.70%。储集空间类型仍以次生溶孔为主, 但含量较 A₁ 亚期减少。碳酸盐胶结增加可能是孔隙度下降的重要因素。

2.2.5 晚成岩 B 期

该阶段埋深大于 2 450 m, 压实作用和胶结作用强, 岩石致密, 碎屑颗粒镶嵌接触。有机质高成熟, 镜质体反射率大于 1.2%。伊/蒙混层中蒙脱石含量稳定, 约为 17%~18%。其中在 2 450~2 700 m 深度段, 碳酸盐平均含量为 15.30%, 而孔隙度进一步下降至 10.50%; 在 2 700~3 200 m 段, 碳酸盐胶结物含量上升和孔隙度下降更加迅

速, 碳酸盐含量上升到 19.70%, 而孔隙度也下降至 4.60%。这反映了成岩晚期碳酸盐沉淀加速, 加之压实作用, 造成了孔隙度的快速下降。储集空间类型为少量次生溶孔。

储层中碳酸盐胶结物含量在总体随深度增加背景下, 唯一的例外发生在有机质成熟期。这说明在成岩演化过程中, 孔隙水中的 pH 值控制了碳酸盐胶结作用和次生孔隙的发育。

2.3 碳酸盐岩胶结物富集规律

可以看出, 碳酸盐胶结物在储层中随深度增大不断富集。除部分“内源”碳酸盐外, 它们大部分应当来自于储层之外。

本区沉积环境为三角洲前缘亚相, 砂体主要属水下分支水道与河口坝微相, 砂岩中的泥质含量反映了其沉积时的水体能量强弱。“四性”关系研究表明, 泥质含量越低, 储层物性愈好。通过储层中碳酸盐胶结物含量与泥质含量的关系发现, 在早成岩阶段和晚成岩 A₁ 亚期, 碳酸盐含量低, 多在 10% 以下, 碳酸盐含量与泥质含量无相关关系; 在晚成岩 A₂ 亚期, 碳酸盐含量明显升高, 多在 10% 以上, 泥质含量与碳酸盐含量开始呈反相关关系 (图 3a), 即泥质含量低的储层碳酸盐含量升高, 这说明该阶段碳酸盐开始在储层中沉淀, 碳酸盐胶结作用主要发生于泥质含量低的储层, 即高能沉积环境下储层; 在晚成岩 B 期 (图 3b), 储层中碳酸盐胶结加剧, 含量急剧上升, 与泥质含量的反相关关系更加明显, 随着泥质含量降低碳酸盐含量增加更为迅速。

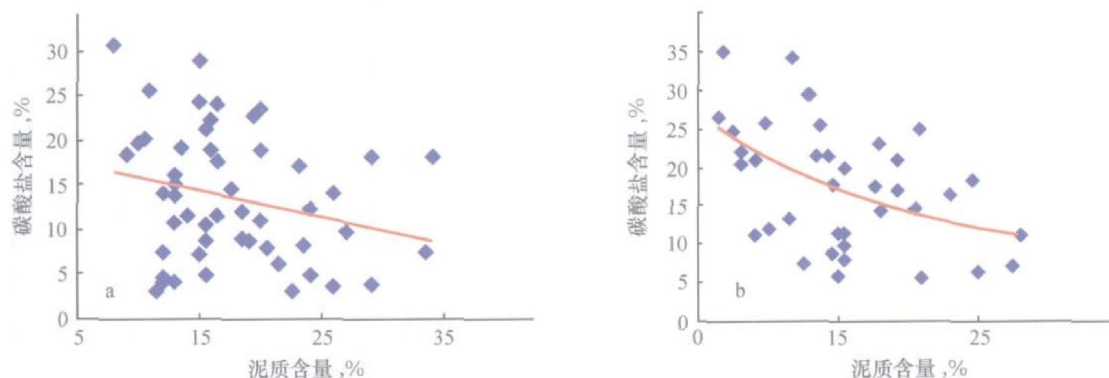


图 3 南阳凹陷核桃园组不同成岩阶段储层碳酸盐含量与泥质含量的关系

Fig. 3 Relationship between the contents of carbonate and shale in different diagenetic stages of the Hetaoyuan Formation, Nanyang sag

a. 2 150~2 450 m (晚成岩 A₂ 亚期); b. 2 450~3 300 m (晚成岩 B 期)

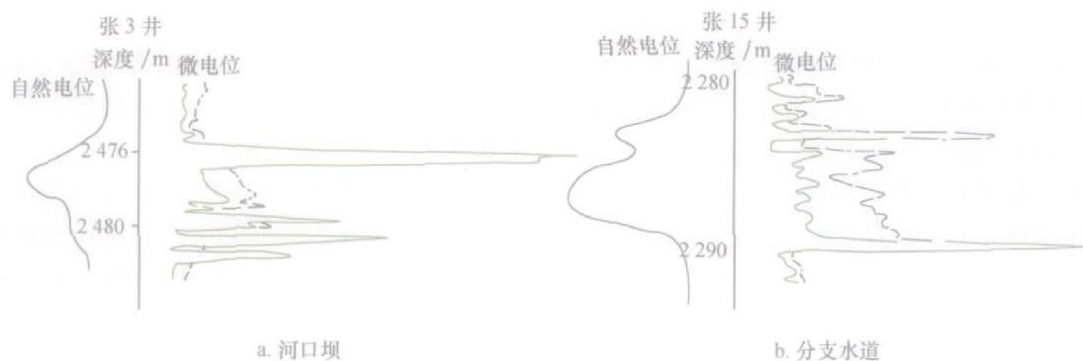


图 4 不同微相砂体中碳酸盐胶结特征

Fig. 4 Characteristics of carbonate cementation in sandbodies of different microfacies

3 测井响应特征

在本区, 碳酸盐富集形成的钙质砂岩在不同微相中有不同的表现形式, 在分支水道砂体中一般位于砂岩层低部, 在河口坝砂体中一般位于顶部, 都是砂体中物性最好的部位; 而厚层泥岩中的薄层砂往往被碳酸盐完全胶结。从图 4 中可以看出, 碳酸盐胶结除了与砂体韵律有关外, 还明显受砂体厚度影响, 在深度基本相当的情况下, 相对更厚的分支水道砂受碳酸盐胶结作用的影响更小。碳酸盐胶结形成的钙质砂岩在微电极曲线上表现为尖峰状异常高值, 微电位与微梯度幅差小或近于重合(图 4)。

因此, 储层中碳酸盐胶结物含量随深度增大的过程, 实际上反映了成岩演化过程中碳酸盐从泥岩向砂岩尤其是砂岩高孔、高渗段不断迁移和富集的过程。

4 碳酸盐胶结物富集的成因机理探讨

碳酸盐胶结物的富集主要与泥岩的压实作用和孔隙水的 pH 值变化有关。

4.1 泥岩的压实作用

在压实过程中, 泥岩孔隙压力高, 碳酸盐溶解度大, 排出大量的高浓度碳酸盐流体, 当它们进入邻近的砂岩时, 由于流体压力降低而沉淀。随着压实作用的进行, 一批又一批的孔隙流体携带碳酸盐在砂体中沉淀, 而泥岩压实过程中排出的流体可以相当于砂体孔隙体积的 10 倍以上^[11], 因而

造成碳酸盐在砂体的不断富集。所以, 砂地比(砂岩的厚度百分含量)越小, 砂岩中的碳酸盐胶结就会越严重。由于泥质含量低的储层一般为高孔、高渗层, 有利于孔隙水渗流, 加之孔隙压力低, 更有利于碳酸盐沉淀。

4.2 孔隙水的 pH 值变化

pH 值越低, 碳酸盐溶解度越高。而有机质演化过程中的半成熟和低成熟阶段(晚成岩 A₁ 亚期), 往往有机酸浓度最高(尤其是 ⊕ 型和 ⊗ 型干酪根), 随后 pH 值逐渐上升; 在晚成岩 B 期后, 生烃高峰已过, pH 值上升更为明显。这也是碳酸盐在晚成岩 B 期后含量急速上升的原因。

5 碳酸盐胶结对储层物性的影响

不同成岩阶段孔隙度与碳酸盐含量之间的散点图(图 5)显示, 二者呈明显的反相关关系, 反映了碳酸盐胶结对储层物性具有明显的破坏作用, 但在不同成岩阶段对储层物性的破坏程度不同。早成岩阶段, 孔隙度随碳酸盐含量上升而下降的速度相对较小(图 5a): 当碳酸盐含量达到 15% 时, 储层孔隙度平均值为 15%, 反映早期碳酸盐胶结对储层物性的影响也较小。在主要生烃期(晚成岩 A₁ 和 A₂ 亚期), 孔隙度变化规律相似(图 5b, c): 当碳酸盐含量为 15% 时, 储层孔隙度平均值约为 10%, 仍可作为有效储层。而晚成岩 B 期, 孔隙度随碳酸盐含量上升而下降的幅度明显加大(图 5d): 当碳酸盐含量为 15% 时, 孔隙度只有 7% 左右。因此, 总体规律是随深度增加, 碳酸盐含量增加对孔隙度的影响越来越大。在晚成岩 B 期, 这种影响尤为剧烈, 反映该时期新增碳酸盐可能直接在孔隙中央沉淀。

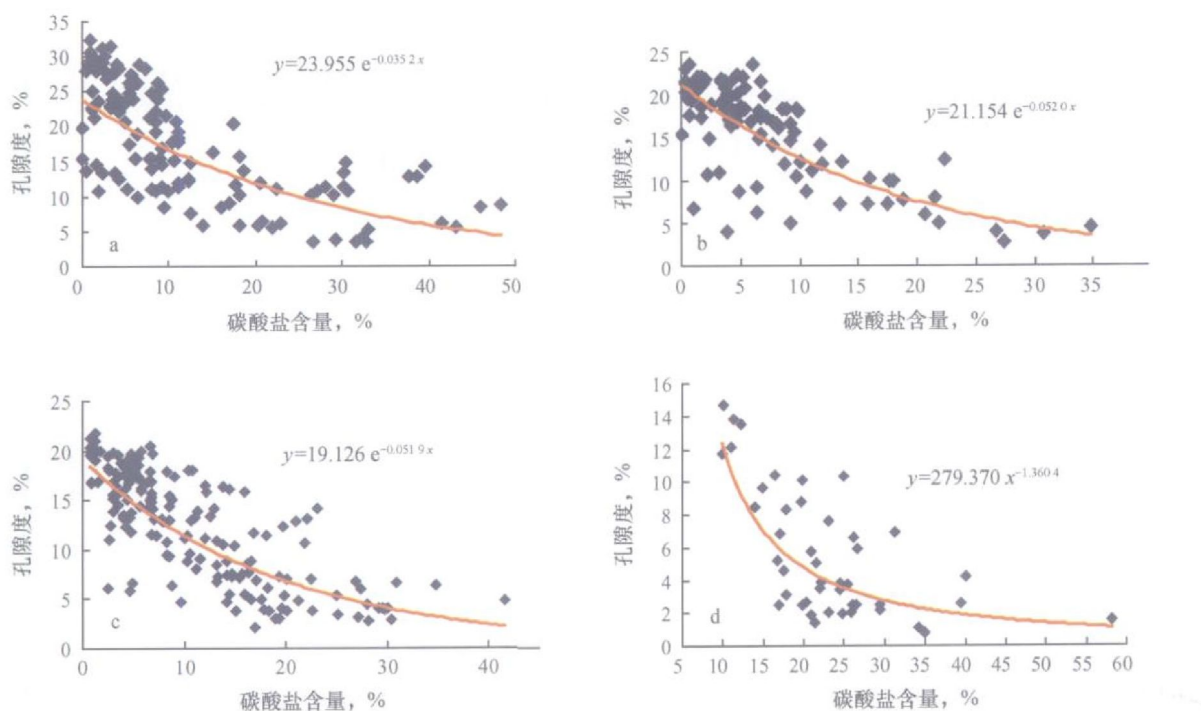


图 5 南阳凹陷核桃园组不同成岩阶段储层碳酸盐含量与孔隙度的关系

Fig. 5 Relationship between the content of carbonate cements and the porosity of reservoirs during different diagenetic stages of the Hetaoyuan Formation, Nanyang sag

- a. 1 400~1 850 m (早成岩阶段); b. 1 850~2 150 m (晚成岩 A₁ 亚期);
c. 2 150~2 450 m (晚成岩 A₂ 亚期); d. 2 450~3 300 m (晚成岩 B 期)

通过以上分析可以看出, 寻找优质储层必须考虑到碳酸盐胶结的影响。从埋藏深度上看, 优质储层发育于晚成岩 A₁ 和 A₂ 亚期及以前, 即 0~2 450 m 深度。在晚成岩 A₁ 亚期, 由于受排烃产生的酸性水影响, 最有利于次生孔隙发育, 特别是被烃源岩包围并直接接触的储层; 然而继续埋深后, 这种有利将逐渐变得不利, 尤其是水进期或高水位期三角洲前缘薄层砂一般胶结严重。在埋藏深度相同或相当的情况下, 从碳酸盐胶结物与砂体发育程度及其在不同微相砂体中的分布规律看, 砂地比较高的区域或层段更为有利。如三角洲前缘水道砂、河口坝砂和低水位期推进到深凹中的砂体 (包括来自北部斜坡与南部陡岸带的), 它们即使埋深很大, 除砂、泥岩界面附近外, 其他部分常常也会有较好的物性。此外, 封闭的成岩环境有利于碳酸盐胶结^[12, 13]。在深凹带内的断层发育区, 断层在活动期可沟通地表水形成开放的水动力环境, 不利于碳酸盐胶结物的形成。所以, 寻找优质储层时还应考虑断层的发育及其活动性。

6 结论

1) 储层中碳酸盐胶结物的含量随深度增大而增加, 但有机质成熟和排烃对碳酸盐胶结有明显的抑制作用。碳酸盐溶解期是次生孔隙的主要发育期。

2) 随成岩演化和埋藏深度增大, 碳酸盐具有从泥岩向砂岩尤其是高孔隙优质砂岩富集的规律。晚成岩 B 期 (2 450 m) 以后, 富集速度加大。

3) 碳酸盐在储层中的不断富集是造成本区储层孔隙度下降的主要因素之一。孔隙度大幅下降期和碳酸盐的主迁移期时间一致。

4) 碳酸盐胶结物最易于富集在三角洲前缘分支水道砂的底部和河口坝砂的顶部。

5) 在本区寻找优质储层主要有两个方向, 即 2 450 m 深度以上层位和砂地岩比大的地区或层段的厚层砂体。

(下转第 400 页)

有效应力)影响的理论依据,利用支撑向量回归机建立声波速度模型,根据测井资料计算声波速度、泥质含量和孔隙度,声波速度模型计算垂直有效应力,密度测井资料计算上覆岩层压力,最后由有效应力定理计算得到地层孔隙压力。与传统方法相比,该方法不需要建立正常趋势线,适用于预测砂泥岩及非欠压实成因的异常地层压力,使用范围广,且精度高。如果对计算泥质含量、孔隙度和上覆岩层压力梯度模型进行改进,预测结果准确性可进一步提高。

参 考 文 献

- 1 钻井手册编写组. 钻井手册(甲方)[M]. 北京:石油工业出版社, 1990 47~ 56
- 2 赵桂萍. 准噶尔盆地南缘异常高压及其与油气成藏的关系[J]. 石油与天然气地质, 2003, 24(4): 327~ 328
- 3 Eaton B A. The equation for geopressure prediction from well logs [A]. SPE 5544 1975
- 4 史清江, 王延江. 用于非线性回归估计的支撑向量机[M]. 山东济南: 山东大学出版社, 2004 236~ 240
- 5 Vapnik V N. The nature of statistical learning theory[M]. New York: Springer-Verlag 1999
- 6 Cristianini N, Taylor J S. An introduction to support vector machines and other kernel-based Learning methods[M]. London: Cambridge University Press 2000
- 7 邓乃杨, 田英杰. 数据挖掘中的新方法——支撑向量机[M]. 北京: 科学出版社, 2004 45~ 67
- 8 樊洪海. 地层孔隙压力预测检测新方法研究[D]. 北京: 石油大学, 2001 34~ 53
- 9 Eberhart P D, Han D H, Zoback M D. Empirical relationships among seismic velocity, effective pressure, porosity, and clay content in sandstone[J]. Geophysics 1989, 54(1): 82~ 88
- 10 刘树根, 单钰铭, 黄思静, 等. 塔河油田碳酸盐岩储层声学参数特征及变化规律[J]. 石油与天然气地质, 2006, 27(3): 399~ 404
- 11 魏春光, 雷茂盛, 万天丰, 等. 古龙-徐家围子地区营城组古构造应力场数值模拟[J]. 石油与天然气地质, 2006, 27(1): 78~ 84 105
- 12 李生杰. 岩性、孔隙及其流体变化对岩石弹性性质的影响[J]. 石油与天然气地质, 2005, 26(6): 760~ 764

(编辑 高 岩)

(上接第 389 页)

参 考 文 献

- 1 陈文学, 朱水安, 秦秉操, 等. 南阳凹陷张店油田二次勘探及认识[J]. 石油勘探与开发, 2002, 29(2): 64~ 66
- 2 林学庆, 罗家群, 陈萍, 等. 南阳凹陷北部斜坡带有利勘探目标分析[J]. 河南石油, 2002, 16(6): 11~ 13
- 3 程学峰, 李琛, 咎新, 等. 北马庄-黑龙庙地区低孔低渗储层特征及勘探潜力[J]. 河南石油, 2003, 17(1): 17~ 19
- 4 陆建林, 李思田, 邱荣华, 等. 南阳凹陷隐蔽油气藏的分类及勘探思路[J]. 江汉石油学院学报, 2004, 26(1): 27~ 28
- 5 付志方, 张本书, 咎新, 等. 南阳凹陷层序地层学研究[J]. 石油物探, 2004, 43(3): 283~ 287
- 6 程吉, 朱伟, 谭承军, 等. 陆相断陷盆地缓坡弯折带研究[J]. 新疆石油地质, 2003, 24(6): 527~ 529
- 7 肖丽华, 孟元林, 牛嘉玉, 等. 歧口凹陷沙河街组成岩史分析和成岩阶段预测[J]. 地质科学, 2005, 40(3): 346~ 362
- 8 蔡进功, 谢忠怀, 田芳, 等. 济阳坳陷深层砂岩成岩作用及孔隙演化[J]. 石油与天然气地质, 2002, 23(1): 84~ 88
- 9 钟大康, 朱筱敏, 蔡进功. 沾化凹陷下第三系砂岩次生孔隙纵向分布规律[J]. 石油与天然气地质, 2003, 24(3): 286~ 289
- 10 赵追, 赵全民, 孙冲, 等. 陆相断陷湖盆的成岩圈闭——以泌阳凹陷下第三系核桃园组三段为例[J]. 石油与天然气地质, 2001, 22(2): 154~ 157
- 11 弗里德曼 G M, 桑德斯 J E. 沉积学原理[M]. 陆伟文, 译. 北京: 科学出版社, 1987. 140~ 144
- 12 Mazzullo S J, Harris P M. Mesogenetic dissolution and its role in porosity development in carbonate reservoirs[J]. AAPG Bulletin, 1992, 76(5): 607~ 620
- 13 Geokstein R H. Fluid inclusion in sedimentary and diagenetic systems[J]. Lithos 2001, 55 159~ 193

(编辑 李 军)