

文章编号: 1000-0550(2007)02-0183-09

# 歧南凹陷沙河街组重力流水道砂体成岩作用和孔隙演化模式<sup>①</sup>

刘正华 杨香华 汪贵峰 黄海龙 张帆

(中国地质大学(武汉)石油系 武汉 430074)

**摘要** 储层物性既受沉积相平面分区性的控制,又受成岩作用的垂向分带性的控制。因此,根据不同地质背景与微相类型,建立具体的成岩作用模式,对储层评价具有指导作用。本文在分析歧南地区沉积相平面展布和垂向层序特征的基础上,对该地区沙河街组的 42 块样品进行铸体薄片、扫描电镜、阴极发光、X 衍射、古地温分析,总结了重力流主水道砂体和重力流水道侧翼、水道末梢砂体的成岩作用特征以及孔隙演化模式,指出在进行重力流水道砂体进行勘探部署时,应选择主水道中心部位进行钻探。

**关键词** 重力流水道 成岩作用 孔隙演化模式

**第一作者简介** 刘正华 女 1978 年出生 硕士 石油地质 E-mail: Liuzh\_cug@163.com

**中图分类号** P618.130.2<sup>+</sup>1 **文献标识码** A

## 1 引言

油气储层的物性是储层评价和预测的核心内容。

储层物性既受沉积相的控制,又受成岩作用的强烈影响。其中沉积相控制储层物性的平面分区性;而成岩作用决定其垂向上的分带性<sup>[1]</sup>。砂岩成分、埋藏历史、成岩环境、成岩作用序列的差异是影响储层物性的主要地质因素。因此,根据不同地质背景与微相类型,建立具体的成岩作用模式,对储层评价具有指导作用。

大港油田歧南地区随着勘探开发的不断深入,人们越来越清晰地认识到该区储层横向变化快,分油组的沉积微相及储层研究欠缺,有利储层预测难度大。凹陷区所钻探的歧南 2、6、7、8 等井均见到较好的油气显示,但均因物性较差未获得成功。现今歧南地区油气田勘探开发集中在寻找优质储集性能的砂体上。本文运用铸体薄片、扫描电镜、阴极发光、X 衍射、古地温分析等技术,对大港油田歧南地区沙河街组的取芯井的 42 块样品进行分析,通过对不同沉积相成岩作用的分析,弄清成岩作用的强度,建立该区砂岩成岩演化模式,为进一步储层评价和预测提供可靠的依

据。

## 2 地质概况

工区位于埕北断阶带张巨河构造与羊三木构造之间(图 1),即南大港断裂以南,孔 5 井以东的歧南 2、6、7、8 井区与友谊油田地区。研究区东南侧为埕宁隆起,是沙河街组的主要物源区域。北部的歧南凹陷是一长期发育的生烃凹陷,凹陷内下第三系地层分别向西、东、南三个方向抬起,依次形成西部缓坡带、南部羊二庄断阶带、东部张巨河构造带,其中西部缓坡带在近两年的地层岩性油气藏勘探中取得很好的勘探成果,南部羊二庄断阶带的友谊油田、东部张巨河构造带的张东油田也是大港油田的主要产油区块,其主要含油层系为下第三系沙一段、沙三段。受古地理背景的控制,本区沿埕北斜坡发育的羊二庄、赵北、赵东等断层(图 1),向凹陷内下掉,断层落差均在 300 m 以上,在沙三段、沙一段沉积时期活动强烈,形成了埕北断阶带的沉积陡坡,有利于重力流等阵发性水流的活动。研究区在沙河街组沉积时期沉积坡度大,而且处于沙三段—沙一段沉积时期发育的沉积沟槽内,为重力流水道活动提供了天然场所<sup>②</sup>。

① 中国石油大港油田勘探开发研究院项目《歧南水道沙河街组沉积微相研究与有利储集相带分析》资助

② 韦阿娟,邓以清,周育文.孔店隆起—埕北断阶带成藏条件分析及预探目标选择.大港油田研究院,1998

收稿日期:2006-07-04 收修修改稿日期:2006-09-20

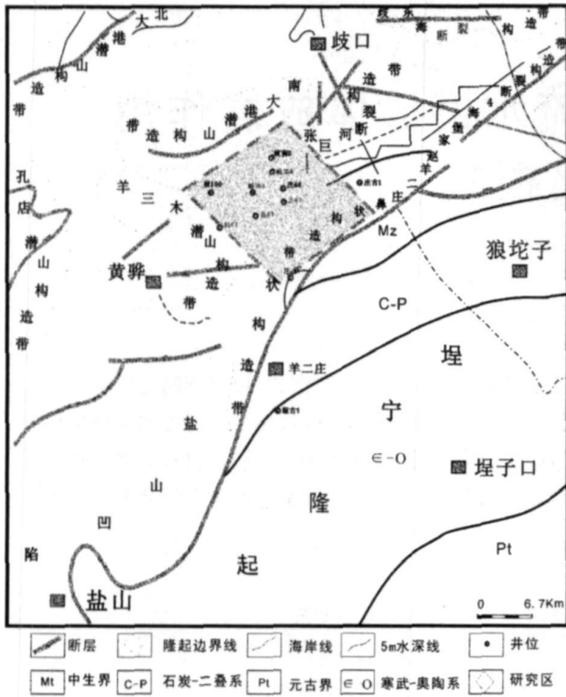


图 1 歧南凹陷构造位置

Fig 1 Structural site of Qinan depression

### 3 沉积特征

研究区发育湖岸滩坝相沉积、重力流水道沉积和近岸水下扇沉积。以重力流水道沉积、近岸水下扇扇端和扇中沉积为主, 本文主要针对重力流水道砂体展开研究。

重力流水道砂体是指由重力流或浊流在湖盆内的断凹或沟槽中所形成的带状碎屑砂体, 它可以堆积在浅水和深水中。本区的重力流水道砂体是近岸水下扇砂体沿水下断槽、洼地滑动、滑塌、再搬运沉积于歧南凹陷深水区的碎屑岩体。

#### 3.1 重力流水道砂体特征

通过对沙一段地震属性的提取, 发现砂体对均方根振幅、平均能量、平均绝对振幅响应明显。平面上水道分 3 支, 主要沿歧南 2—歧南 6—歧南 7—歧南 8 井一带分布; 剖面上砂体形态在地震反演图上显示呈条带状不连续透镜状展布 (图 2), 为多个透镜状砂体叠置的侧积复合体。水道砂体位于赵北断层下降盘或水下扇前方, 由南向北延伸。

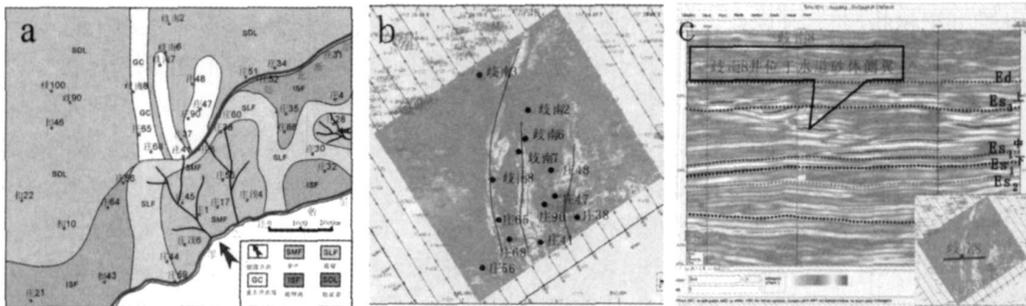


图 2 沉积相图和地震反演砂体平面及剖面形态对比图

(a 沙一中沉积相图, b 沙一中砂体形态地震反演图, c 过歧南 8 井东营底层拉平地震剖面)

Fig 2 Sedimentary facies map, seismic inversion cross-section and profile of gravity flow channel

(Fig. a Sedimentary facies map in mid E<sub>1</sub> member Fig. b the seismic inversion plan of gravity flow channel in mid E<sub>1</sub> member Fig. c the seismic inversion profile of gravity flow channel in mid E<sub>1</sub> member)

#### 3.2 沉积相垂向特征

研究区共取样 42 块, 分属不同沉积类型 (表 1), 以重力流主水道和重力流水道侧翼、水道末梢沉积为主。其中重力流主水道沉积在沙一中以庄 90 井、庄 41 井为代表; 在沙一下以庄 65 井为代表; 在沙三段以庄 47 井为代表。重力流水道侧翼、水道末梢在沙一上以庄 41 井、歧南 8 井、歧南 7 井为代表; 在沙一中以歧南 6 井、歧南 8 井为代表, 沙一下以歧南 8 井为代表。

从取芯段岩石测井、岩性资料、样品位置汇编图 (图 3) 中可以看到, 重力流主水道砂体的岩性主要由相互叠置的块状砂岩、递变层理砂岩、混积岩组成, 与下伏岩层呈侵蚀突变接触, SP 和 GR 曲线特征为箱形或钟形。

重力流水道侧翼砂体分布于水道的两侧, 或水下台地, 由浊流漫出水下堤岸而形成。岩性主要为粉细砂岩、粉砂岩、泥质粉砂岩与泥岩的互层沉积, SP 或 GR 曲线特征为微幅漏斗形或微幅齿形。

表 1 样品数据表  
Table 1 Information about samples

样品号	井号	深度 m	层位	微相类型	样品号	井号	深度 m	层位	微相类型
QN-1	庄 90	2821 46	Es <sub>1</sub> 中	重力流主水道	QN-22	歧南 6	3203 86	Es <sub>1</sub> 中	重力流水道侧翼
QN-2		2826 51	Es <sub>1</sub> 中	重力流主水道	QN-23		3294 45	Es <sub>1</sub> 中	重力流水道侧翼
QN-3		2830 46	Es <sub>1</sub> 中	重力流主水道	QN-24		3296 36	Es <sub>1</sub> 中	重力流水道侧翼
QN-4	庄 65	3002 88	Es <sub>1</sub> 下	重力流主水道	QN-25		3298 99	Es <sub>1</sub> 中	重力流水道侧翼
QN-5		3006 25	Es <sub>1</sub> 下	重力流主水道	QN-26		3300 59	Es <sub>1</sub> 中	重力流水道侧翼
QN-6	庄 47	3008.55~3008.64	Es <sub>3</sub>	重力流主水道	QN-27		3302 79	Es <sub>1</sub> 中	重力流水道侧翼
QN-7		3009.56~3009.61	Es <sub>3</sub>	重力流主水道	QN-28		3398 85	Es <sub>1</sub> 中	重力流水道侧翼
QN-8		3009.77~3009.83	Es <sub>3</sub>	重力流主水道	QN-29		3401 91	Es <sub>1</sub> 中	重力流水道侧翼
QN-9		3010.2~3010.33	Es <sub>3</sub>	重力流主水道	QN-30	歧南 7	3064 75	Es <sub>1</sub> 上	重力流水道侧翼
QN-10		3010.61~3010.69	Es <sub>3</sub>	重力流主水道	QN-31		3072 31	Es <sub>1</sub> 上	重力流水道侧翼
QN-11		3011.11~3011.20	Es <sub>3</sub>	重力流主水道	QN-32	庄 41	2353 54	Es <sub>1</sub> 上	扇端相
QN-12		3008.99~3009.06	Es <sub>3</sub>	重力流主水道	QN-33		2524	Es <sub>1</sub> 中	重力流主水道
QN-13	庄 52	3033 23	Es <sub>1</sub> 中	水下扇间湾	QN-34	歧南 8	2973 63	Es <sub>1</sub> 上	重力流水道侧翼
QN-14		3033 99	Es <sub>1</sub> 中	水下扇间湾	QN-35		3143.85~3144.03	Es <sub>1</sub> 中	重力流水道侧翼
QN-15		3035 39	Es <sub>1</sub> 中	水下扇间湾	QN-36		3358.34~3358.55	Es <sub>1</sub> 下	重力流水道侧翼
QN-16		3033 54	Es <sub>1</sub> 中	水下扇间湾	QN-37		3363.11~3363.42	Es <sub>1</sub> 下	重力流水道侧翼
QN-17		3034 78	Es <sub>1</sub> 中	水下扇间湾	QN-38	扣 46	2560 99	Es <sub>3</sub>	滩坝相沉积
QN-18		3035 91	Es <sub>1</sub> 中	水下扇间湾	QN-39		2629 35	Es <sub>3</sub>	滩坝相沉积
QN-19		3046 72	Es <sub>1</sub> 中	水下扇间湾	QN-40	扣 47	2616 57	Es <sub>3</sub>	滩坝相沉积
QN-20		3048 65	Es <sub>1</sub> 中	水下扇间湾	QN-41		2618 63	Es <sub>3</sub>	滩坝相沉积
QN-21	歧南 6	3202 12	Es <sub>1</sub> 中	重力流水道侧翼	QN-42		2620 39	Es <sub>3</sub>	滩坝相沉积

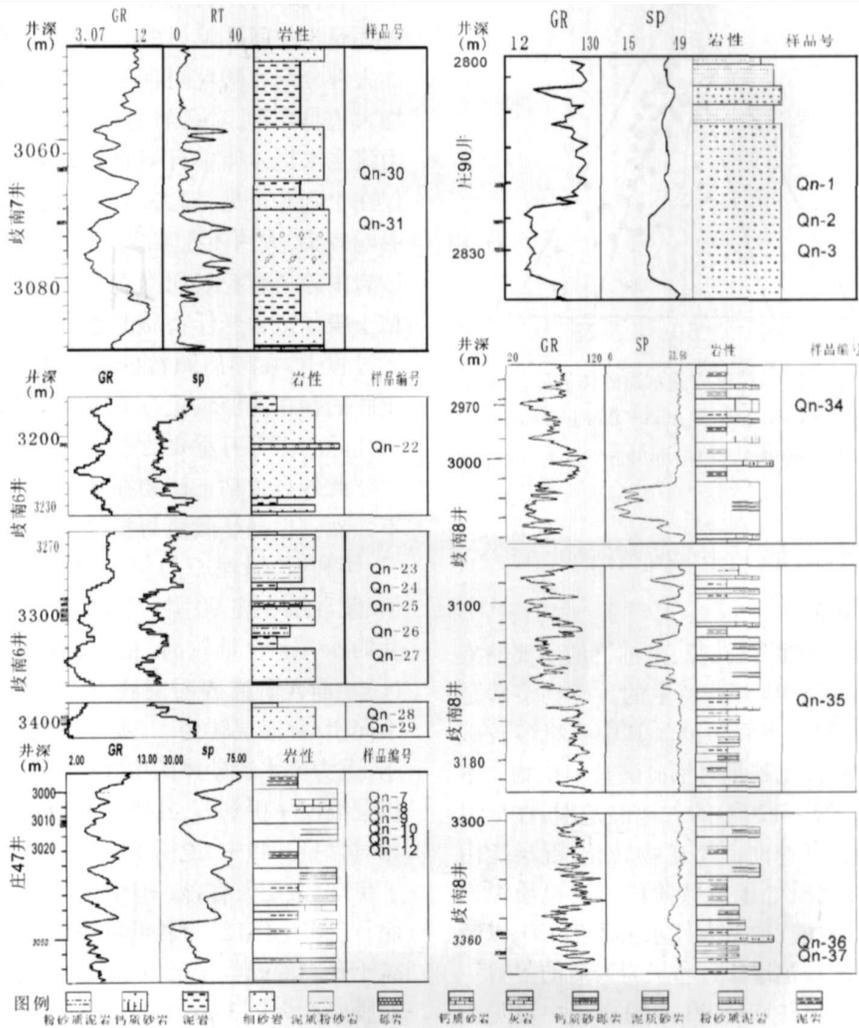


图 3 取芯段岩石测井、岩性资料、样品位置汇编图

Fig 3 Compilation of petrophysical logs lithostratigraphy and sample location for the cored intervals

重力流水道末梢分布在水道前方台地斜坡区或水道进入开阔湖区,属事件性砂体能量减弱消失所为,岩性以泥岩为主夹薄层细粉砂岩,SP或GR曲线为平直段偶夹齿形组合形态。

## 4 储层岩石特征

根据岩石薄片资料统计分析,根据余素玉砂岩分类方案<sup>[3]</sup>,本区沙一段重力流水道砂体的砂岩以岩屑砂岩为主,其次为长石岩屑砂岩(图4),岩屑主要成分主要为灰岩岩屑,其次为变质岩与火成岩岩屑。砂岩成分成熟度和结构成熟度均较低,水道末梢沉积易溶矿物组分含量较大,为溶解产生次生孔隙提供了物质基础。经分析本区重力流水道砂体中发育孔隙类型主要为粒间溶孔和粒内溶孔。

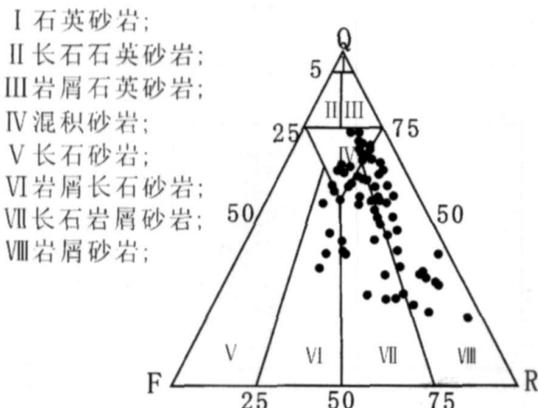


图 4 歧南凹陷沙河街组沙一段重力流水道砂体的砂岩分类

Fig 4 Sandstone classification of gravity flow channel sandstone in E<sub>3</sub> segment in Qinan depression

## 5 重力流主水道砂体的成岩特征

### 5.1 溶蚀作用较强烈

溶蚀作用形成次生溶蚀孔隙,是油气的主要储集空间。溶蚀孔隙是矿物溶解后产生的。矿物溶解是在碳酸和有机酸的作用下发生的。其中有机酸较碳酸有更强的侵蚀能力,尤其是对铝硅酸盐类矿物。本区溶蚀孔隙发育于 75~120℃的古地温范围,在该温度段,泥岩中蒙脱石迅速向混层矿物转化,混层比由 50%降至 20%,有机质处于成熟阶段。有机质泥岩脱羧形成大量的有机酸,加上大气水溶解的 CO<sub>2</sub>以及有机演化产生的 CO<sub>2</sub>,导致长石和灰岩岩屑的溶解。

在庄 41井、庄 65井和庄 90井的样品中可见长石和灰岩岩屑溶解较明显。通过铸体薄片的显微镜观察到,长石溶解形成的高岭石呈分散状分布于粒间

孔隙内(图版 I-1),对储层物性的影响较小。通过庄 90井的 SEM 观察显示,长石淋漓形成蜂窝状的粒内孔隙(图版 I-2)。在庄 65井可见灰岩岩屑局部溶解后,颗粒边缘参差不齐,形成扩大的粒间孔隙(图版 I-3)。在庄 90井通过 SEM 可以观察到灰岩岩屑组分内部溶解,形成粒内溶孔(图版 I-4 5)。

上述溶蚀作用形成的溶蚀孔隙,是重力流主水道砂体油气的主要储集空间,灰岩岩屑的溶解,不仅增大了有效孔隙空间,同时消除了砂体内部对流体的隔挡,增大了孔隙连通程度,有利于油气开发。

### 5.2 胶结作用较弱

常见的自生胶结交代矿物包括石英、长石、碳酸盐(方解石、白云石、菱铁矿等)、粘土矿物、其次还有石膏及铁质矿物。本区重力流主水道砂体中,偶见石英次生加大胶结。通过 SEM 观察,自生石英外缘晶面平直,棱角分明,呈完好的晶形存在于粒间孔隙中,破坏原生粒间孔隙(图版 I-6 7),在显微镜下观察,加大部分与原颗粒间有一条粘土膜边界(图版 I-1),加大边呈梯形,对孔隙度有一定的影响。但是本区重力流主水道砂体中石英的总体含量较低,石英加大边仅在个别井可见,加之次生加大边窄,故对岩石孔隙影响较小,大约使孔隙减少 2%~3%。此外,本区砂岩中碎屑颗粒表面附着粘土膜(图版 I-6 9 10),粘土膜是富含悬浮物质的水介质向砂质沉积体内下渗过程中,在碎屑颗粒的表面形成的粘土包<sup>[2]</sup>。粘土膜的存在能够阻止石英压溶作用的进行,对深部储层孔隙的保存有重要的意义。

此外自生粘土矿物在重力流主水道砂体中胶结不强烈。根据显微镜与扫描电镜观察可识别出高岭石、伊利石、绿泥石与伊-蒙混层等几种粘土矿物;伊-蒙混层在庄 90井、庄 65井、庄 47井以及歧南 8井的沙一下含量较高,相对含量大于 49%(图版 I-11)。前人研究表明蒙脱石在富含钾的水介质条件下向伊-蒙混层转变<sup>[3]</sup>,本区所取样的 X 衍射资料显示,重力流水道砂体的主要粘土矿物组合为绿泥石+伊-蒙混层+伊利石,几乎没有蒙脱石,而伊-蒙混层的相对含量>49%,说明本区的蒙脱石已经完全转化成了伊-蒙混层。在沙一中的庄 41井的样品中可见绿泥石(图版 I-12)呈竹叶状或叶片状。绿泥石一般会减小孔隙的孔喉半径,但是早期成岩形成的绿泥石的薄膜厚度大于 3 μm 时,能通过抑制石英的胶结的生长来保护储层,因而大量的绿泥石能增加储层的微孔性<sup>[4 5]</sup>。此外在庄 47井沙三段、歧南 8井沙一下的样

品中可见少量书状或蠕虫状的高岭石,对孔喉的堵塞较小,对储层物性影响小。总而言之,粘土矿物对储层物性的影响主要表现为增加孔喉的弯曲程度和粗糙程度,特别是桥状和衬垫产状样式的粘土矿物严重堵塞孔喉,大大降低储层渗透率。本区粘土胶结的产状样式为分散状的,对储层物性影响较小。

碳酸盐在重力流主水道砂体中的胶结不强烈。在我国陆相湖盆的砂体中,碳酸盐胶结作用具有以下特征:薄层砂岩比厚层砂岩的碳酸盐含量高,厚层砂岩顶部碳酸盐含量较中部高<sup>[9]</sup>。重力流主水道砂体具有砂厚泥薄的特点,其顶底碳酸盐胶结较好。如庄 47 井在深度 3002~3018 m 段,砂体顶、底部由于碳酸盐胶结孔隙度介于 5%~10%;而在砂体中部 3010~3012 m 的砂岩段,孔隙度高达 20%~25%。



图 5 砂岩顶底发育的钙质胶结砂岩(钙尖峰)

庄 47 井,沙三段,2295.5~3025m 与 3025~3045m

Fig 5 Calcareous cement in top and bottom part of sandbody( calcium pinnacle)

Zhuang 47 Es<sub>3</sub>members from 2295.5 m to 3025 m, from 3025 m to 3045 m

## 6 重力流水道侧翼、水道末梢砂体的成岩特征

### 6.1 胶结作用强烈

通过对水道侧翼、水道末梢砂体铸体薄片和阴极发光观察,此类砂体石英略具加大边(图版 II-1),自生粘土矿物胶结物较少,可见书页状自生高岭石和少量伊利石。孔隙充填物多为碳酸盐胶结物。通过 SEM 观察,碳酸盐胶结多为泥晶方解石和亮晶方解石。部分孔隙及粒间充填部分球粒状钙质颗粒(图版 II-2)。碳酸盐胶结中,亮晶方解石具晶粒结构,晶粒间结合紧密,晶间微孔少(图版 II-3)。而泥晶方解石胶结物呈薄膜式、板块状充填粒间(图版 II-4 5);如歧南 8 井沙一段位于重力流水道砂体侧翼,砂体侧面、上下均与泥岩接触,砂体与泥岩接触面积大,对应的碳酸盐岩含量较高,砂岩物性明显变差,孔隙度一般只有 5%~10%。上述碳酸盐胶结强烈的原因,一是由于水道侧翼、水道末梢砂体均比较薄,与泥岩充分接触,使得泥岩中的过饱和的碳酸盐压实流体进入砂体所致。其二由于重力流水道侧翼、水道末梢砂体

钙质胶结砂岩在电阻率曲线上表现为明显的钙尖峰(图 5)。上述碳酸盐胶结物是泥岩在压实过程中释放出大量的饱和碳酸盐压实流体,当它们进入邻近的砂体内时,砂体内的压力骤降,使得过饱和碳酸盐发生沉淀,形成不同形式的“顶钙”与“底钙”现象<sup>[7]</sup>。此外粘土矿物的转化,尤其是伊蒙混层演化过程中产生大量的  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{CO}_3^{2-}$  等离子。且随埋深的增加,释放的  $\text{Fe}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{Mn}^{2+}$  等也增加,使碳酸盐胶结物从无铁向贫铁和富铁方向演化。在重力流水道砂体的取样中庄 90 的 2830 m 有发现发现晚期成岩作用产物铁白云石和铁方解石(图版 I-7 8)。上述资料表明,重力流主水道砂体的顶、底部与砂泥岩接触处,碳酸盐岩胶结强烈,使顶底砂岩物性变差。

中孔隙水不流畅,为胶结物沉淀形成良好的环境。

除碳酸盐胶结物外,在歧南 6 井的 9 个样中,在 3202.12 m 和 3401.91 m 两个深度段电镜扫描的图片显示存在少量花朵状的硬石膏胶结(图版 II-6),表明沙一段沉积时期较深湖区出现间歇性盐湖沉积环境,湖盆较为闭塞,水动力条件总体上较弱。

### 6.2 溶蚀作用较弱

在重力流水道侧翼、水道末梢砂体中,长石和岩屑少量溶解(图版 II-7),局部发育溶蚀微孔隙(图版 II-8),对储层物性改善不大。

### 6.3 机械压实作用弱

重力流水道侧翼和水道末梢砂体与重力流主水道砂体相比,机械压实作用相对较强。通过 SEM 观察可见,颗粒局部有粒间微裂隙(图版 II-9)。

## 7 成岩作用阶段和成岩序列

根据裘怿楠等<sup>[8 9]</sup>、Ala 等<sup>[10]</sup>成岩阶段划分方案及其标志,对研究区成岩阶段进行了划分。表明歧南水道沙河街组沙一段砂岩成岩阶段处于晚期成岩 A 阶段,歧南 2 井沙三段处于晚期成岩 B 阶段,主要依

据有:

①该区地层水以  $\text{NaHCO}_3$  为主, 显示处于水文地质环境相对活跃的地区。②现有泥岩的  $R_v$  值较低, 热演化程度不高, 歧南 2 井镜煤反射率介于 0.46% ~ 1.0% 之间, 表明研究区砂岩进入晚期成岩 A 阶段。③岩石古地温在 90 ~ 122°C 之间, 歧南 2 井在沙三段达到 153°C, 歧南 2 井沙三段处于晚期成岩 B 阶段; ④沙一段砂岩埋藏深: 1800 ~ 3000 m; ⑤早期成岩阶段产物常见: 庄 47 沙三段的铸体薄片中有粘土边、泥晶方解石胶结、长石淋漓与高岭石充填; ⑥晚期成岩 A 期产物—石英加大局部发育。⑦研究区砂岩中长石与灰岩岩屑溶解、高岭石沉淀常见, 晚期成岩 B 期产物呈星点状分布, 主要包括亮晶方解石胶结、铁白云石、铁方解石沉淀、绿泥石。

综合上述资料分析得出, 成岩演化序列为: 长石淋滤→粘土膜→泥晶方解石胶结→石英加大→灰岩岩屑与长石溶解、淀晶高岭石充填→亮晶方解石、铁方解石沉淀、绿泥石、铁方解石、铁白云石沉淀。

## 8 孔隙演化模式

重力流主水道砂体在早期成岩作用阶段, 由于受压实作用的破坏和早期自生碳酸盐胶结对孔隙的堵塞, 使得砂岩的孔隙度迅速降低; 进入晚成岩 A 期, 由于泥岩的压实形成的有机酸, 使长石和灰岩岩屑大量溶解; 产生大量的粒间溶蚀孔隙和粒内溶孔, 储层孔隙度增加 3% ~ 8%, 达到 20% 左右。进入晚期成岩作用阶段, 埋藏深度大于 3500 m, 该期处于弱超压体系内, 是储层中次生孔隙的有利发育阶段 (图 6)。重力流水道侧翼、水道末梢砂体, 在早成岩阶段压实作用和自生碳酸盐胶结作用均较强烈, 致使储层物性大大降低。在晚成岩 A 期末期至晚期成岩 B 期, 虽然由于有机酸及碳酸的溶解作用, 对储层物性有所改善, 孔隙度只增加了 1% ~ 2% 左右, 但是由于自生碳酸盐胶结强烈, 且处于主导地位, 此时储层孔隙度仅 10% 左右 (图 7)。

## 9 结论

(1) 通过对取芯井的 42 块样品的分析, 认为研究区域沙河街组成岩作用类型多样, 经历了压实作用、胶结作用、溶蚀作用, 多处于晚成岩 A 期, 少量进入晚期成岩 B 期。

(2) 重力流水道砂体作为本区有利的勘探开发目标, 重力流主水道砂体侧向连通性较好, 孔隙流体

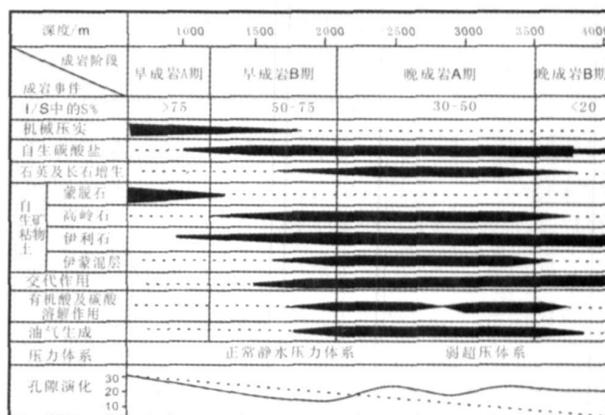


图 6 重力流主水道型成岩—孔隙演化模式图

Fig 6 Diagenesis pore evolution model of gravity flow channel

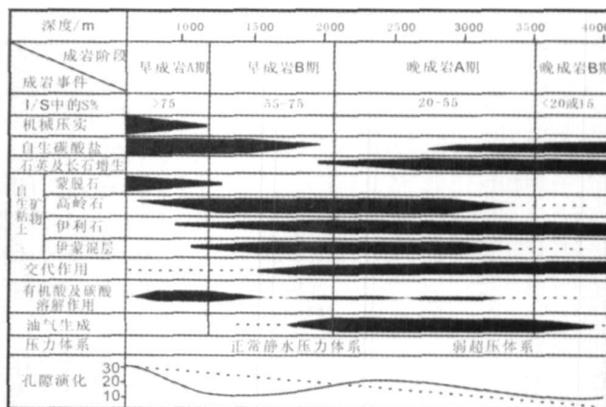


图 7 水道侧翼、末梢型成岩—孔隙演化模式图

Fig 7 Diagenesis pore evolution model of flank distal of gravity flow channel

顺砂体走向活动, 溶蚀现象较普遍, 次生孔隙较发育; 水道侧翼、水道末梢砂体侧向连通性不好, 孔隙流体活动弱, 碳酸盐岩胶结与高岭石沉淀普遍, 交代现象普遍, 次生孔隙不发育, 储层性能不好。从而也解释了早期勘探的歧南 2、6、7、8 井储层物性较差的原因。故对重力流水道砂体进行勘探部署时, 应选择主水道中心部位进行钻探。

(3) 打破了勘探早期认为歧南地区碳酸盐岩岩屑是导致部分水道砂体物性较差的主要原因的观点; 提出了碳酸盐岩由于在沉积相带分布部位不同, 导致胶结强度和溶解强度不同, 对储层物性影响不同; 对于透镜状水道砂体来说, 水道侧翼往往钙质胶结强烈, 物性较差。

## 参考文献 (References)

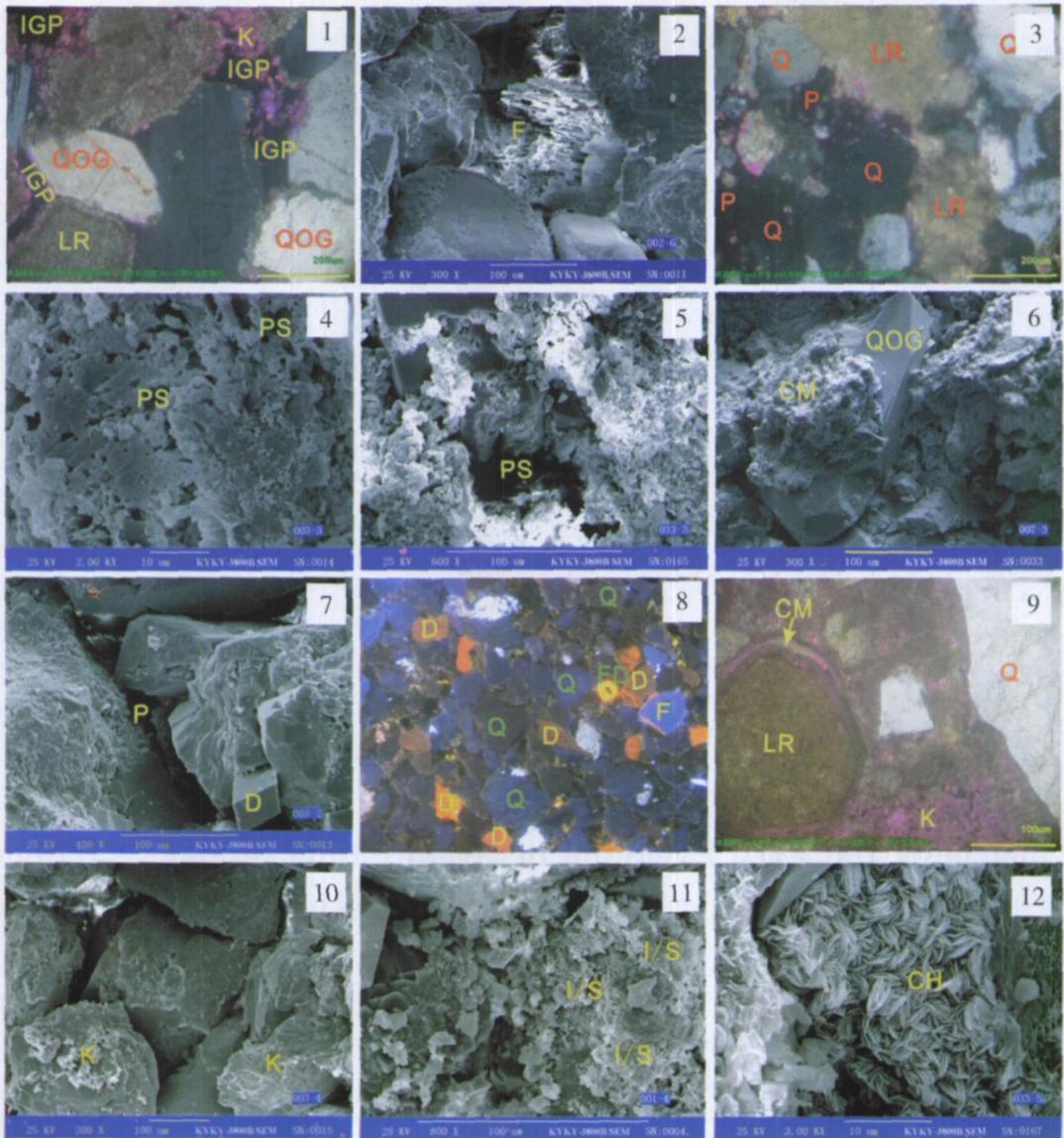
- 1 于兴河. 碎屑岩系油气储层沉积学. 北京: 石油工业出版社, 2002 [Yu Xinghe. Hydrocarbon Reservoir Sedimentology of Clastic Rock. Beijing: Petroleum Industry Press, 2002]
- 2 余素玉, 何镜宇. 沉积岩石学. 武汉: 中国地质大学出版社, 1989 [Yu Suyu, He Jingyu. Sedimentary Petrology. Wuhan: China Geological University Publishing House, 1989]
- 3 Ehrenberg S N. Preservation of anomalously high porosity in deeply buried sandstones by grain coating chlorite: examples from the Norwegian continental shelf. *AAFG Bulletin* 1993 77(7): 1260-1286
- 4 吴富强, 汪东波. 胜利油区渤南洼陷沙四段上亚段成岩演化序列研究. 华南地质与矿产, 2005 1: 54-59 [Wu Fuqiang, Wang Dongbo. Diagenetic sequence of the upper Shasi Member in Bonan subsag Shengli oilfield. *Geology and Mineral Resources of South China* 2005 1: 54-59]
- 5 Alkham, Salem JM, Keizer S, Morad Raafat R, Rizk IS, Al-Aasm. Diagenesis and reservoir quality evolution of incised valley sandstones: evidence from the Abu Madi Gas Reservoirs (Upper Miocene), the Nile Delta Basin, Egypt. *Journal of Sedimentary Research* 2005 4(4): 572-584
- 6 吴胜和, 熊琦华. 油气储层地质学. 北京: 石油工业出版社, 1998 [Wu Shenghe, Xiong Qihua. Hydrocarbon Reservoir Geology. Beijing: Petroleum Industry Press, 1998]
- 7 姚光庆. 油气储层地质学. 中国地质大学(武汉)油藏工程教研室, 1998 [Yao Guangqing. Hydrocarbon Reservoir Geology. Petroleum Reservoir Engineering Staff Room of China Geological University (Wuhan), 1998]
- 8 裘祚楠, 薛叔浩, 应凤祥. 中国陆相油气储集层. 北京: 石油工业出版社, 1997 149-217 [Qiu Yan, Xue Shuhao, Ying Fengxiang. China Continental Hydrocarbon Reservoirs. Beijing: Petroleum Industry Press, 1997 149-217]
- 9 裘祚楠, 薛叔浩. 油气评价储层评价技术. 北京: 石油工业出版社, 1994 59-64 [Qiu Yan, Xue Shuhao. Hydrocarbon Evaluation and Reservoir Evaluation Technique. Beijing: Petroleum Industry Press, 1994 59-64]
- 10 Alkham, Salem SM, Morad Raafat R, Rizk IS, Al-Aasm. Diagenesis and reservoir quality evolution of fluvial sandstones during progressive burial and uplift: evidence from the Upper Jurassic Boipeba Member, Reconcavo Basin, Northeastern Brazil. *AAFG Bulletin* 2000, 84(7): 1015-1040

## Diagenesis and Pore Evolution of Gravity-flow Channel Sandbody in Shahejie Formation Qinan Depression

LIU Zheng-hua YANG Xiang-hua WANG Gui-feng HUANG Hai-long ZHANG Fan  
(Department of Petroleum, China University of Geosciences, Wuhan 430074)

**Abstract** Sedimentary facies controls plane distribution of reservoir and diagenesis controls its vertical zonation. Establishing detailed diagenesis pattern according to distinctive geology background and microfacies types is crucial for reservoir evaluation. In this paper, according to the analyses of sedimentary facies distribution and vertical sequence by using rock thin sections, scanning electron microscope (SEM), cathodoluminescence, X-diffraction, paleogeotemperature for the 42 sandstone samples of Shahejie Formation, it is summarized that there are 2 types of diagenesis pore evolutions model, i.e. main gravity-flow channel sandbodies and flank-distal sandbodies of gravity-flow channel, which indicating that the center part of the main gravity-flow channel sandbodies is potential exploration targets.

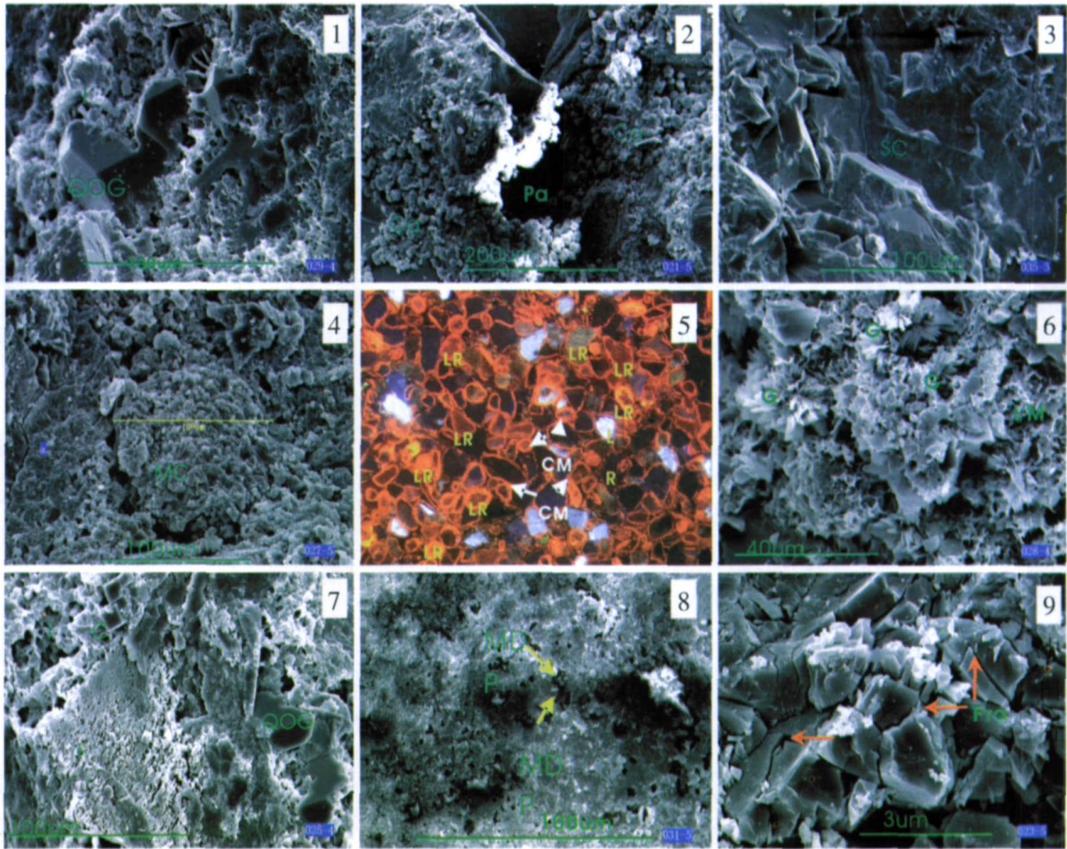
**Key words** gravity-flow channel sandbody, diagenesis, pore evolution pattern



图版 I 重力流水道铸体薄片照相、阴极发光照相、电镜扫描照相

1. 粒间孔发育,发育灰岩岩屑,粒间见长石溶解产物高岭石,庄47井铸体薄片正交偏光照相,放大倍数:×200;深度:3009.8m;层位:沙三;样品号:QN-8;
2. 长石溶解成蜂窝状粒内溶孔,庄90井电镜照相,放大倍数:×300;深度:2826.51;层位:沙一中;样品号:QN-2;
3. 灰岩岩屑局部溶解,庄65井铸体薄片照相,放大倍数:20×10;深度:3002.88m;层位:沙一下;样品号:QN-4;
4. 灰岩岩屑溶解形成粒内溶孔,庄90井电镜照相,放大倍数:×2000;深度:2830.46m;层位:沙一中;样品号:QN-3;
5. 石英颗粒边缘被溶蚀,形成溶蚀孔;粒间充填自生高岭石及碳酸盐自形晶等,庄41井电镜照片,放大倍数:×600;深度:2524m,层位:沙一上,样品号:QN-33;
6. 石英略具次生加大,表面附着粘土膜,庄47井电镜照片,放大倍数:×300;深度:3009.56~3009.61m,层位:沙三段,样品号:QN-7;
7. 粒间空被石英次生加大挤压,见少量白云石菱形晶,庄90电镜照相,放大倍数:×400;深度:2830.46m,层位:沙一中,样品号:QN-3;
8. 粒间孔隙较发育,庄90井阴极发光照相,放大倍数:×27;深度:2830.46m;层位:沙一中;样品号:QN-3;
9. 灰岩岩屑表面附着粘土膜,庄47井铸体薄片正交偏光照相,深度:3008.55m,层位沙三段;放大倍数:20×10;样品号:QN-6;
10. 颗粒表面少量高岭石粘土膜,庄90井电镜照相,放大倍数:×100;深度:2830.46m;层位:沙一中;样品号:QN-3;
11. 粒间充填伊蒙混层,庄90电镜照相,放大倍数:×800;深度:2821.46m;层位:沙一中;样品号:QN-1;
12. 粒间充填绿泥石,庄41井电镜照相,放大倍数:×3000;深度:2524m;层位:沙一中;样品号:QN-33;

说明:石英(Q)、孔隙(P)、溶蚀孔(PS)、粒内溶孔(IGP)、灰岩岩屑(LR)、泥晶方解石(MC)、亮晶方解石(SC)、高岭石(K)、石英加大变(QOG)、绿泥石(CH)、长石(F)、伊利石(I)、伊蒙混层(I/S)、白云石(D)、铁白云石(FD)、粘土膜(CM)、石膏晶体(G)方解石自形晶(C)、微裂缝(Fra)、钙质球粒(Ca)



图版 II 重力流水道侧翼、末梢沉积的铸体薄片照相、阴极发光照相、电镜扫描照相

1. 石英具次生加大, 表面及边缘被溶蚀生成弯曲状伊利石, 歧南 6 井电镜照片, 放大倍数:  $\times 650$ ; 深度: 3401.91 m, 层位: 沙一中, 样品号: QN-29; 2. 粒间溶孔偶见; 孔隙及粒间充填部分球粒状钙质颗粒, 歧南, 歧南 6 井电镜照片, 放大倍数:  $\times 250$ ; 深度: 3202.12 m, 层位: 沙一中, 样品号: QN-21; 3. 亮晶方解石具晶粒结构, 晶粒间结合紧密, 晶间微孔隙少量, 歧南 8 井电镜照片, 放大倍数:  $\times 500$ ; 深度: 3143.85 ~ 3144.03 m, 层位: 沙一中, 样品号: QN-35; 4. 成分为泥晶方解石呈板块状充填于颗粒间, 歧南 6 井电镜照片, 放大倍数:  $\times 500$ ; 深度: 3302.79 m, 层位: 沙一中, 样品号: QN-27; 5. 颗粒间点状接触, 泥晶方解石呈薄膜式胶结 (CM), 歧南 8 井阴极发光照相, 放大倍数:  $\times 27$ ; 深度: 3143.85 ~ 3144.03 m; 层位: 沙一中; 样品号: QN-35; 6. 粒间的蜂窝状伊蒙混层、泥晶碳酸盐质及花朵状石膏结晶体混杂, 歧南 6 井电镜照片, 放大倍数:  $\times 1200$ ; 深度: 3398.85 m, 层位: 沙一中, 样品号: QN-28; 7. 长石溶解, 石英略具次生加大, 粒间充填碳酸盐自行晶及伊利石, 歧南 6 井电镜照片, 放大倍数:  $\times 600$ ; 深度: 3298.99 m, 层位: 沙一中, 样品号: QN-25; 8. 局部溶蚀微孔隙较发育, 歧南 7 井电镜照片, 放大倍数:  $\times 800$ ; 深度: 3072.31 m, 层位: 沙一上, 样品号: QN-31; 9. 粒间孔及粒间微孔隙, 歧南 6 井电镜照片, 放大倍数:  $\times 1500$ ; 深度: 3294.45 m, 层位: 沙一中, 样品号: QN-23;

说明: 石英(Q)、孔隙(P)、灰岩岩屑(LR)、泥晶方解石(MC)、亮晶方解石(SC)、高岭石(K)、石英加大变(QOG)、绿泥石(CH)、长石(F)、伊利石(I)、伊蒙混层(L/S)、铁白云石(FD)、溶蚀孔(PS)、粒内溶孔(IGP)、粘土膜(CM)、石膏晶体(G)方解石自形晶(C)、微裂缝(Fra)