

# 沾化凹陷东北部下第三系近岸浊积扇砂体 储集空间的成因、分布及其意义

杜 榭 华 蔡 进 功

(胜利油田地质科学研究所)

研究区近岸浊积扇储集空间为次生成因, 不随深度的加大而变差, 在深层仍保持良好的储集空间。这种特殊性决定于: (1) 早、中期碳酸盐胶结物及尔后的交代矿物为次生孔隙的形成提供潜在空间; (2) 近封闭的沉积体系提供了极丰富的水溶液; (3) 斜长石、钾长石溶解孔隙的消长交替。近岸浊积扇的辫状沟道相为油气勘探的主要对象。

研究区下第三系近岸浊积扇<sup>1)</sup>位于渤海湾南部、黄河口附近, 济阳拗陷东北部边缘的深洼陷中。面积约 50 km<sup>2</sup>, 埋深 3200—4000 m。砂、砾岩储层包围于巨厚的暗色生油岩之中, 形成大面积自生自储的岩性油藏。储层孔隙性质及其成因与扇体的沉积环境、岩石矿物组成及埋藏条件密切相关。

## 一、扇体概况

孤北地区是济阳拗陷东北部的一个次级边缘断陷, 北、东、南三面均受断层控制, 东深西浅, 东陡西缓。浊流源自东南古陆, 在深水區形成大面积扇体。大量砾石及岩屑的母岩为前震旦系碱长粒变岩、片麻岩, 下古生界碳酸盐岩、上古生界石英砂岩、中生界中酸性火山岩及砂砾岩, 与东、南两侧古陆的基岩相符。从老到新物源有规律的变化。大体上, 早期即沙三段下部沉积时火山岩屑含量较高, 占岩屑总量的 64.1%, 主要来自白垩系露头发育的东南部地区; 沙三段中部沉积时, 变质岩屑含量较高, 可占岩屑的 90%, 平均 81%, 主要来自侏罗系砂、砾岩露头发育的东部地区, 其次来自东南部地区。而侏罗系砂、砾岩又是以古老的变质岩、碳酸盐岩及砂岩为母岩的, 详见表 1。

扇体可以分为内扇、中扇、外扇等三个亚相和沟堤、主沟道、沟间、辫状沟道及末梢等五个微相, 其特征列于表 2。通常中扇相带最宽, 以辫状沟道沉积为骨架, 内扇狭长, 外扇呈镶边状。沙三段下部, 物质来自东南部, 为一单扇体(图 1)。沙三段中部、东部出现新的物源, 扇体具有三向复合叠加的特征(图 2)。扇体呈透镜状, 底凸顶平, 向周围尖灭(图 3)。垂向上, 具六套韵律性微相组合(图 4)。每一组合通常由三个微相构成, 自下而上为末梢相、辫状沟道相及主沟道相, 以辫状沟道相为主。每

本文 1987 年 2 月 2 日收到。

1) 吴崇筠, 1985, 湖盆砂体类型、鉴别标志、分布规律和含油性。

一组合自下而上粒度变粗、不稳定组分增加、厚度加大, 构成进积型沉积韵律。

表 1

| 层 位               | 沙三段下部 |      |      | 沙三段中部 |        |      |      |      |      |
|-------------------|-------|------|------|-------|--------|------|------|------|------|
| 井 号               | Z-59  | Z-74 | 平 均  | Z-4   | Z-52-1 | Z-62 | Z-50 | Z-55 | 平 均  |
| 以侏罗系沉积岩为母岩的岩屑 (%) | 35.9  | 42.8 | 39.4 | 90    | 81.8   | 78.4 | 78.2 | 77.8 | 81.2 |
| 以白垩系火成岩为母岩的岩屑 (%) | 64.1  | 57.2 | 60.6 | 10    | 18.2   | 21.6 | 21.8 | 22.2 | 18.8 |

表 2 近岸浊积扇微相划分及岩性特征简表

| 微相划分   | 岩石类型及沉积构造                                                                      | 岩屑含量 (%) | 单砂层厚度 (m) | 泥质含量 (%)    | 孔隙度 (%) | 渗透率                   | 含油性         |
|--------|--------------------------------------------------------------------------------|----------|-----------|-------------|---------|-----------------------|-------------|
| 内 沟堤   | 细砂岩为主, 夹深灰色泥岩, 含华北介深水化石, 变形、平行层理发育                                             | 17       | <1        | 10—15       | 5       | <1                    | 油斑          |
| 扇 主沟道  | 颗粒支撑及杂基支撑的砾岩, 有均匀层理、递变层理, 含似瘤田螺、隔扇螺、博兴假玻璃介等浅水化石                                | >25      | 2—4       | <5<br>有时>10 | 10      | 1±                    | 油斑          |
| 中 沟间   | 块状长石细砂岩及泥岩互层, 深、浅水化石共存, 砂层顶泥质含量略高                                              |          | <1        |             |         |                       | 差           |
| 扇 辫状沟道 | 含砾不等粒砂岩, 递变层理为主, 次为块状和平行层理, 含表鲕及属种杂的金星介、土星介等异地埋藏的浅水相化石, 顶部泥质含量增加, 常见冲刷, 粗糙平行层理 | 17—25    | 2—8       | 一般<5        | 15—23   | 桩59、74井1—10, 桩50井>100 | 含油好, 往往是产油层 |
| 外 末梢相  | 递变层理砂岩与泥岩互层, 细砂级, 呈正向递变, 富含生物碎片、表鲕, 泥岩中含华北介、单刺华北介等深水化石                         | 15—20    | 一般<1      | >5—<br><10  | <10     | <10                   | 油斑          |

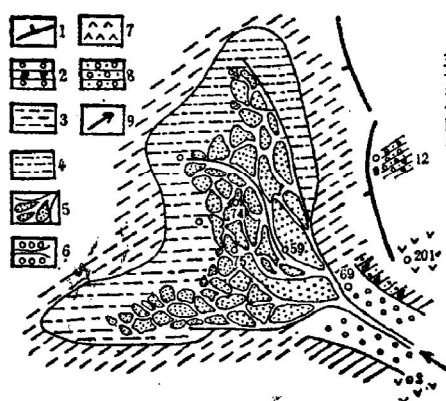


图 1 沙三段下部近岸浊积扇微相分布及物源方向图

1—断层, 2—浅湖相, 3—深湖相, 4—外扇, 5—中扇, 6—内扇, 7—中生界喷发岩, 8—中生界砂岩, 9—物源方向

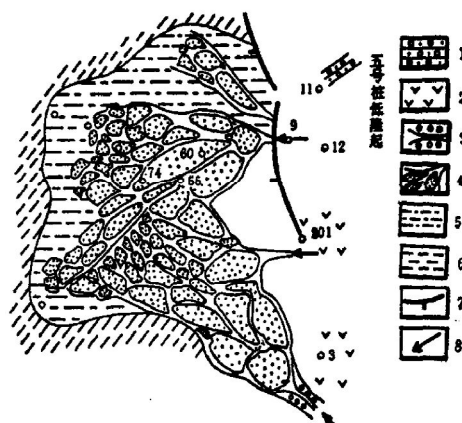


图 2 沙三段中部近岸浊积扇微相分布及物源方向图

1—中生界砂岩, 2—中生界喷发岩, 3—内扇, 4—中扇, 5—外扇, 6—深湖相, 7—断层, 8—物源方向



组成扇体的碎屑岩详细分类如图5, 主要分布在长石砂岩区、长石岩屑砂岩区及岩屑砂岩区。与济阳拗陷河流三角洲相碎屑岩对比, 矿物成熟度低, 石英含量低5—15%, 岩屑高10—20%。砂岩多为含砾结构、不等粒结构或杂基支撑结构(图版I-1—3), 结构成熟度较低。

## 二、储层物性的异常特征

1. 扇体虽然具有低成熟, 深埋藏的特点, 但是却有良好的孔隙空间, 孔隙度6—23%, 一般15—20%, 平均18%。渗透率变化较大由1—1000mD, 一般50—100mD。好的产层孔隙度23%, 渗透率300—1000mD。对于成熟度很低, 埋深3200—4000m的砂岩储层而言, 应该说这些孔、渗数值都是比较高的。

2. 通常情况下, 砂岩孔隙度和分选系数( $S_o$ )的关系受沉积环境的影响, 二者呈负相关。而该区近岸浊积扇砂岩储层孔隙度的变化却不受分选系数( $S_o$ )的影响(图6)。

3. 孤北近岸浊积扇砂岩的渗透率与分选系数( $S_o$ )不呈负相关, 却恰好相反, 相关系数为0.6, 渗透率随分选系数增加而增加(图7)。

3. 在3200m以下相当大的深度范围内, 孔隙度不随深度增加而减少(图8), 变化范围大致在6—20%, 最高达30%。

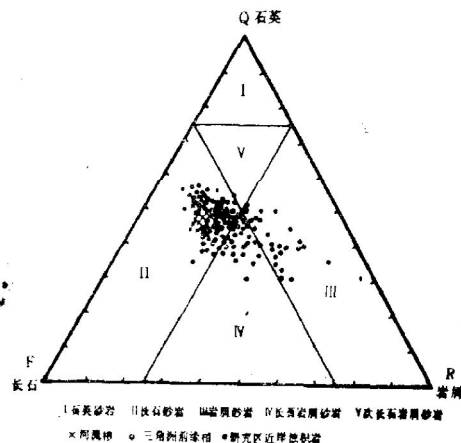


图5 碎屑岩成分分类图  
(根据中、细砂岩)

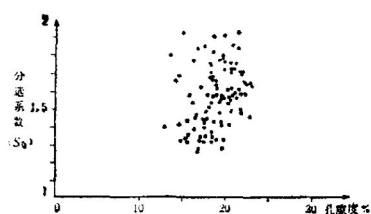


图6 分选系数( $S_o$ )与孔隙度散点图  
(据桩50、74井辫状水道微相, 泥质含量<5%的样品)

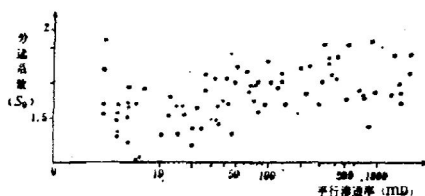


图7 分选系数( $S_o$ )与渗透率的散点图  
(据桩50、74井辫状水道微相, 泥质含量<5%的样品)

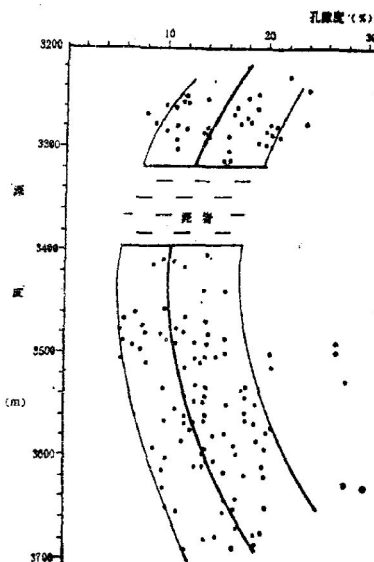


图8 扇体中砂岩储层孔隙度的深度分布

迄今, 人们认识到的深层孔隙大体有三种成因: (1) 由泥质包膜作用防止碎屑矿物次生加大保留下来的原生孔隙; (2) 由孔隙流体异常高压减少了压实作用的影响,

阻碍碎屑矿物次生加大的溶液来源，而保留的原生孔隙；（3）深层溶蚀作用，尤其是溶解钙质胶结物形成的次生孔隙。偏光显微镜、电镜及质谱分析表明，该区深层孔隙的形成，不属于前两种情况，主要为次生溶蚀孔隙。孔隙发育演化的每个阶段都有其自身的特点，正是这些特点，使该区深层孔隙的发育，成为可能并具有实际意义。

### 三、孔隙的次生特征

本区砂岩及早期胶结物受到的溶蚀作用非常普遍，在岩石标本和薄片中有明显的标志，如可溶组份的部分溶解，印模孔隙、颗粒排列不均一性、特大孔隙、伸长孔隙、颗粒的溶蚀边缘等（图版 I-3—6）。这种现象在中带、深带、超深带均可发现。结合 Schmidt 的孔隙成因<sup>[1]</sup>与结构关系分析，该区次生孔隙分为四类：（1）颗粒溶孔，（2）胶结物溶孔，（3）交代矿物溶孔，（4）裂缝溶解孔隙等。

#### 1. 颗粒溶解孔隙

数量最多的是钾长石溶解孔，其次是斜长石溶孔及生物溶孔。研究区钾长石溶蚀孔隙的发育非常突出，为其重要的特点。钾长石清洁，无风化产物，溶解作用沿矿物边缘、解理及裂缝进行，溶孔 50—500  $\mu\text{m}$ ，可见明显的溶蚀边缘，有的呈残骸状或漂浮状（图版 I-5, 6），此时负突起明显，两组解理发育，很少见到具格子双晶者，结合本区母岩性质，认为被溶蚀的是正长石，微斜长石很少被直接溶蚀。电镜观察到正长石的蜂窝状孔隙，孔径 2—30  $\mu\text{m}$ ，放大 1000 倍，见溶蚀作用沿解理方向深入到矿物内部，而且大孔是在微孔的基础上发育的，这些特征是直接溶蚀（图版 I-6、II-1, 3, 4）的证据。能谱分析：K 6.4%，Si 29.5%，Al 10%，O 53.1%，与标准的钾长石相比 K 的含量偏低，这是因为钾长石被溶蚀， $\text{K}^+$ 首先被游离出去的结果。

#### 2. 胶结物溶解孔隙

主要由细晶、中晶及巨晶铁方解石，以及细晶、微晶铁白云石胶结物被溶解所致，表现为胶结物的局部溶蚀、残余胶结物的存在及颗粒的不均匀分布（图版 I-3, 5, 6）。含油砂岩残余胶结物含量 3—10%，高产层中只有 1% 左右，因此胶结物溶孔对储集空间的形成及储层评价起决定性作用。

#### 3. 交代矿物溶解孔隙

上述含铁碳酸盐矿物也交代陆源碎屑（图版 I-2），形成“假基底式”胶结（图版 I-5），局部溶解形成过大孔隙结构（图版 I-3）。

#### 4. 裂缝及裂缝溶孔

部分砂岩有近于平行层面的层内裂缝（图版 II-2），并沿裂缝溶解碎屑颗粒和胶结物等，以提高油层渗透率。

次生孔隙的结构（孔隙大小、形态、孔喉比及分布）变化较大，不仅改变了颗粒的形态、大小，也使原生孔隙面目全非，这是本区油层物性的主要参数——孔隙度、渗透率与分选系数（ $S_o$ ）的相关性复杂化，甚至相关关系完全相反的根本原因。

上述事实反映出研究区砂岩储层的孔隙空间基本都是次生的，就被溶解的矿物而言，主要有三类，（1）碳酸盐类，（2）斜长石类，（3）钾长石类等。

## 四、孔隙发育的影响因素

### 1. 沉积相带的影响

Z-50、59及74三口井的沉积特征和储集性实际资料图(图4)显示孔隙度大,渗透率高的井段,含油性好,其垂向上的分布范围大体和中扇的辫状沟道微相的范围一致。辫状沟道微相砂岩孔隙度15—23%(表2),渗透率变化较大,Z-59、74井1—10 mD, Z-50井>100 mD。由表2可见辫状沟道微相的砂岩孔隙度比主沟道、沟间及末梢微相的高出5—13%,渗透率高出几十、几百倍。

### 2. 砂岩厚度及胶结物性质的影响

泥质胶结物含量低、厚度大(3—13 m)的砂层,孔隙度大,渗透率高,渗透率与粒度中值成正相关(图9)。钙质胶结的砂岩,常有较高的次生孔隙,其孔隙度大小,与残存碳酸盐含量呈负相关(图10),相关系数为-0.85,碳酸盐含量分别为1%、8%、19%时,对应的孔隙度大约为20%、18%及11%。进一步分析还可发现碳酸盐含量又与砂层厚度有密切关系。厚度小于3 m的砂层碳酸盐含量都偏高,多大于15%,甚至高于25%;厚度大于3 m的砂层,顶、底部胶结物也明显偏高,而中部碳酸盐含量较低,一般为10—15%,此时孔隙度较高。若碳酸盐含量再低则孔隙度更高。图4及表2均有显示。砂层厚度对储集性的影响,实际上是受沉积环境的间接控制,因为砂层厚度大,泥质含量低,分选相对较好的砂岩,一般正是辫状沟道微相沉积。

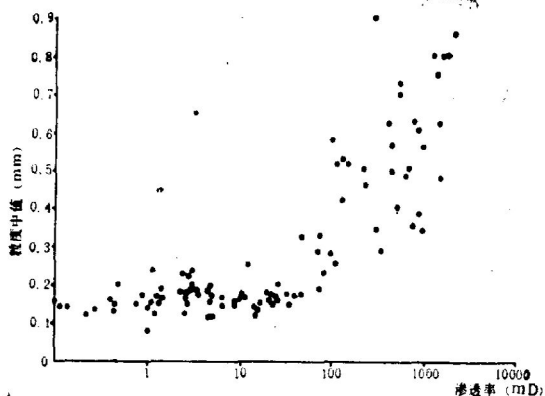


图9 粒度中值与渗透率散点图

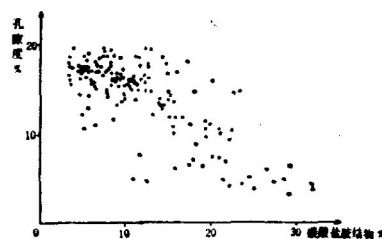


图10 碳酸盐胶结物与孔隙度散点图  
(据桩59、74井辫状水道微相,泥质含量<5%的样品)

### 3. 矿物成分的影响

近岸油积扇砂体是由陆源碎屑及碳酸盐内碎屑组成,前者占95%以上,其中钾长石、斜长石及岩屑总量约占45—55%。钾、斜长石含量近等,部分层段前者含量大于后者,可占18%。在本区埋藏条件下,钾长石溶解量大于斜长石,也就是说,钾长石越多,次生孔隙越发育。钾长石含量高,对研究区,甚至对整个济阳坳陷,直接或间接以碱长变质岩为母岩的碎屑岩次生储集空间的形成十分有利。沙三段中部的砂岩,中生界砂砾岩成分约占85—90%,主要以碱长变质岩为母岩;沙三段下部的母岩成分复杂,中生界砂砾岩成分仅占65—70%,因而前者平均孔隙度比后者高3—5%,可见物质成分的差别,特别是钾长石含量多少,直接影响孔隙度的大小,

## 4. 埋深的影响

本区砂岩埋深 3200—3640 m，自生矿物在纵向上的变化如表 3，2200—3280 m 为深带，3280 m 以下为超深带，两带的自生矿物及溶蚀作用都有明显的区别。

表3 孤北洼陷沙三段中、下部砂岩储层成岩作用分带

| 埋 深 (m)                                    |               | 0 —1800 | 2200 | 3200 | 3640 |
|--------------------------------------------|---------------|---------|------|------|------|
| 成岩作用分带                                     |               | 浅带      | 中带   | 深带   | 超深带  |
| 泥岩释放 $R^+$ , $H_2O$                        |               | ---     | ---  | ---  | ---  |
| 有机质脱羧酸                                     |               | ---     | ---  | ---  | ---  |
| 砂<br><br><br><br><br><br><br><br><br><br>岩 | 粒 缘 粘 土 环 边   | ---     | ---  | ---  | ---  |
|                                            | 栉壳状方解石胶结      | ---     | ---  | ---  | ---  |
|                                            | 粒 状 方 解 石 胶 结 | ---     | ---  | ---  | ---  |
|                                            | 石 英 次 生 加 大   | ---     | ---  | ---  | ---  |
|                                            | 自 生 高 岭 石     | ---     | ---  | ---  | ---  |
|                                            | 方解石向铁方解石转化    | ---     | ---  | ---  | ---  |
|                                            | 方解石向铁白云石转化    | ---     | ---  | ---  | ---  |
|                                            | 含铁碳酸盐交代碎屑     | ---     | ---  | ---  | ---  |
|                                            | 含铁碳酸盐溶解       | ---     | ---  | ---  | ---  |
|                                            | 斜 长 石 溶 解     | ---     | ---  | ---  | ---  |
|                                            | 钾 长 石 溶 解     | ---     | ---  | ---  | ---  |
|                                            | 钠 长 石 化       | ---     | ---  | ---  | ---  |
|                                            | 自 生 伊 利 石     | ---     | ---  | ---  | ---  |

• 参考《碎屑岩中的矿物地热温度计及埋藏成岩作用的分布特征》(周自立等, 1985)

深带成岩矿物有高岭石 2—3%，自生石英 2%，铁方解石 1% 左右。主要溶蚀孔隙有铁方解石溶孔(占次生孔隙的 2/3)，斜长石溶孔(占次生孔隙 1/3 以下)。超深带含铁碳酸盐含量大于 15% (图 4)，据近百块染色薄片鉴定表明，铁白云石数量随埋深增加而增加；高岭石被桥状伊利石代替；斜长石由于被钠长石交代的现像随深度加强而溶解作用降低；而溶蚀孔隙除铁方解石、铁白云石溶孔(约占次生孔隙的 2/3 强)外，还有新的成分——钾长石溶孔(约占 1/3 弱)。

自生矿物的分带现象反映成岩作用的大体进程是：早、中期以压实、胶结及交代作用为主，特别是碳酸盐的充填胶结和交代作用；中后期碳酸盐矿物，铝硅酸盐矿物溶解作用为主；晚期粘土矿物及铁白云石形成为主。各阶段之间有密切关系，比如碳酸盐矿物、钾、斜长石的溶解，游离出  $Ca^{2+}$ 、 $Mg^{2+}$ 、 $K^+$ 、 $Na^+$ 、 $Fe^{2+}$ 、 $Al^{3+}$  及偏硅酸根，为后来的成岩矿物提供物质条件。这些离子随着地层水迁移，在酸性环境下析出高岭石，当  $Al^{3+}$  不足时形成石英，而在碱性环境下则形成钠长石、铁白云石或伊利石，因此自生石英、铁白云石等可以多期形成(表 3)，

## 5. 构造裂隙的影响

渐新世及其以后的多期构造作用,使研究区砂岩产生裂缝,多为接近平行层面的层内张性裂缝,沿微裂缝次生孔隙发育,既是酸性水溶液的通道,也是烃类聚集的通道。

上述事实说明:(1)影响孔隙的直观因素很多,但就本区孔隙发育特点和深层孔隙预测而言,深度及被溶解矿物的成分特征则起着突出的作用,它导致自生矿物的分带和孔隙性质、数量的变化。(2)深度对三大类主要被溶解矿物表现了不同的影响,碳酸盐矿物在不同深度被广泛溶解,在深带、超深带都有碳酸盐类矿物的溶解孔隙,不同的是随深度增加含铁碳酸盐增加,尤以铁白云石增加更为明显;对斜长石及钾长石的影响,则迥然不同,大约在3200 m以上,主要是斜长石溶解孔隙,而3200 m以下,则主要是斜长石溶解孔隙,表现了消长相替的关系。正是由于钾长石和斜长石溶孔的存在,补偿了随深度增加而减少的孔隙。

## 五、孔隙成因

该区孔隙分布的特殊性主要是下列四个原因决定的。

1. 早、中期碳酸盐胶结物及尔后的交代矿物,为次生孔隙的形成提供大量的潜在空间

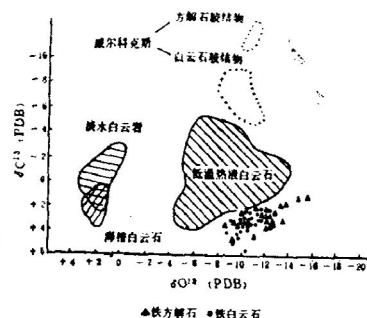


图11 桩74井砂岩胶结物的碳、氧同位素组成

(据粘土矿物和资源地质学,邢顺铨等译,1985)

本区储层中碳酸盐含量10—25%,最高35%,有泥晶、细晶、中晶及巨晶结构,且均含铁,其成分反映碳酸盐矿物埋藏成岩作用的特点,但同位素成分却显示了早期形成的特征。图11显示该区铁方解石和铁白云石中, $\delta^{13}\text{C}$ 高, $\delta^{16}\text{O}$ 较高。 $\delta^{16}\text{O}$ 含量较高并不表明该矿物在深埋期才形成,只能表明它目前已处于深埋时期,而碳同位素组成不然, $\delta^{13}\text{C}$ 组成高,明显为无机成因。由于砂体位于富含有机质的,厚层不渗透泥岩的包围之中,碳酸盐矿物中的 $\text{CO}_3^{2-}$ 不可能来源于后期地下热液,只能是浅带表生作用期的产物,而且是以方解石(不含铁)的组成部分存在的。目前碳酸盐中 $\text{Fe}^{2+}$ 的存在只能说明浅带方

解石在深埋期又经历了新的变化:从泥质围岩中吸收了 $\text{Fe}^{2+}$ ,转变为铁方解石,吸收了泥岩成岩转化时排出的 $\text{Fe}^{2+}$ , $\text{Mg}^{2+}$ ,转变为铁白云石。随埋深增加,遂产生交代作用及重结晶作用,其时含量可增达35%(图版Ⅱ-5)。这样早期充填的方解石便较早地避免了压实作用的过多影响(图版Ⅱ-6),提供了其充填物在随后的地质过程中易于溶去而形成孔隙的大量潜在储集空间。

2. 一个近于封闭的体系,提供了极丰富的酸性水溶液

研究区目的层砂岩单层厚度一般3—30 m,累计厚最大160 m,上下被800余米富含有机质的非渗透性暗色泥岩所包围。质量色谱分析表明,Z-74等三口井的原油、油砂及泥质生油岩中的生物标志化合物有着密切的亲缘关系,表4列出样品的计算数据。可以看出母质类型很接近。图12是 $\text{C}_{27}$ 、 $\text{C}_{23}$ 、 $\text{C}_{29}$ 甾烷三角图,三个端元分别为 $5\alpha$ 、 $14\alpha$ 、 $17\alpha$

表4 泥质生油岩、原油及储集岩中生物标志化合物特征

| 井号   | 样品类别 | 井深<br>(m)           | 层位                | 甾 烷             |                 |                 |                                  |                                  |
|------|------|---------------------|-------------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------------------------|----------------------------------|
|      |      |                     |                   | C <sub>27</sub> | C <sub>28</sub> | C <sub>29</sub> | C <sub>27</sub> /C <sub>28</sub> | C <sub>27</sub> /C <sub>29</sub> |
| 52-1 | 泥岩   | 3184.84—<br>3190.96 | Es <sub>3</sub> 中 | 35.64           | 25.94           | 32.42           | 1.4                              | 0.93                             |
| 74   | 油样   | 3630.6—<br>3638.4   | Es <sub>3</sub> 下 | 34.36           | 26.00           | 39.64           | 1.32                             | 0.87                             |
| 74   | 砂岩   | 3574.3              | Es <sub>3</sub> 下 | 31.93           | 26.95           | 41.12           | 1.18                             | 0.78                             |
| 50   | 砂岩   | 3222.5              | Es <sub>3</sub> 中 | 33.64           | 26.25           | 40.11           | 1.28                             | 0.84                             |
| 50   | 砂岩   | 3244.0              | Es <sub>3</sub> 中 | 32.54           | 26.71           | 40.75           | 1.22                             | 0.80                             |
| 55   | 泥岩   | 3200—3210           |                   |                 |                 |                 |                                  |                                  |
| 50   | 泥岩   | 3263—3264           |                   |                 |                 |                 |                                  |                                  |

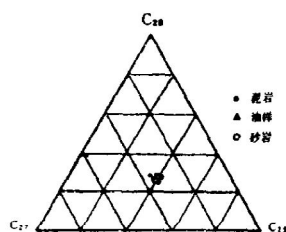


图12 生油岩、原油和油砂亲缘关系图

(20R)甾烷; 5 $\alpha$ , 14 $\alpha$ , 17 $\alpha$ (20R)C<sub>28</sub>甾烷及5 $\alpha$ , 14 $\alpha$ , 17 $\alpha$ (20R)C<sub>29</sub>甾烷。可以看到, 由于所取的生油岩、原油、油砂的有机质类型非常接近, 样点在三角图上聚敛在一起, 说明原油及油砂中的油都来源于周围的泥岩。也就是说沙三段中、下部的泥质生油岩是近岸浊积扇储集层的生油母岩。因此, 本区的砂、砾岩储层自然也受同时沉积的泥质生油岩成岩演化时产生的酸性水溶液的影响。事实上, 生油层研究表明, 该区泥质生油岩所含有有机质在埋深1700—1800 m时, 干酪根即开始降解排出CO<sub>2</sub>, 溶于地层水产生酸性溶剂, 可使碳酸盐胶结物、交代矿物大量溶解, 形成铁方解石、铁白云石溶解孔隙。图10所示孔隙度与碳酸盐含量的负相关性就是很好的说明。干酪根降解时, 还排出羧酸, 其中的双官能团羧酸可使铝的溶解度增加三个数量级<sup>[2]</sup>。斜长石、钾长石正是在这样的情况下被溶解的。需要特别指出的是研究区目的储层砂岩处于巨大的封闭体系中, 泥岩在剖面中占73—89.2%, 体积大约是砂岩体积的3.75—8倍。而且在泥岩中, 原始有机质含量非常丰富, 仅残余有机炭就达0.63—1.94%。实验证明干酪根降解可形成浓度极高的双官能羧酸(从Ⅲ型干酪根析出的炭高达40%, 均构成草酸), 而蒙脱石在转变为伊利石/蒙脱石混合矿物时, 可释放出原体积15%的水(佩更和蒙汉, 1972), 两者在时间上正相配合。

3. 矿物本身产生溶解的物理化学条件决定了斜长石、钾长石溶解孔隙的消长接替

Franks等(1984)据氧同位素资料得出, 成岩过程中钠长石形成温度在100—150℃之间<sup>[2]</sup>; Milliken等(1985)研究墨西哥湾上第三系成岩作用时指出, 钠长石在110—140℃开始形成, 斜长石溶解作用减弱, 而钾长石在3.5 km深处遭到溶解,

4.5 km处全部溶去<sup>[3]</sup>。本区地表平均温度14.5℃,地温梯度3.5℃/100 m,斜长石产生钠长石加大边(图版Ⅲ-6)而减小溶解的深度为3211m,钾长石也刚好在此深度附近开始产生溶解孔隙。据此求出这些变化的地温为126℃,正好与上述两项研究结果一致。并且说明,只要钾长石含量丰富,酸性水溶液来源充足,随深埋钾长石溶解孔隙还要大量增加,以补偿其他孔隙减少造成的损失,因此研究区总孔隙度不随深度变化。其决定性因素是矿物本身生成、溶解的物理化学条件。

#### 4. 丰富的可溶性矿物间搭配关系适宜,保证了总孔隙度的纵向稳定性

同位素资料证明,本区碳酸盐胶结物在压实作用早期,甚至表生作用期,即已开始形成,占据了大量的孔隙,因而提供了丰富的可溶胶结物,而碎屑颗粒中又有大量的斜长石和钾长石,三者为次生孔隙形成奠定了物质基础。特别是当钾长石含量大于斜长石时,随深度增加,钾长石溶孔增加,抵消斜长石溶孔和碳酸盐矿物溶孔减少的影响,从而保证了研究区总孔隙度的纵向稳定性。

孔隙分布的成因解释说明了本区孔隙发育过程,在理论认识和油气勘探开发实践上都有重要的意义。

1. 碳酸盐胶结、交代作用,在成岩作用早、中期,甚至在表生作用期已开始,而不是象通常认识的那样是在机械压实作用以后。因此近岸浊积扇同样具有被方解石充填而在后来易于溶解形成孔隙的大量潜在空间。

2. 导致本区孔隙度不随埋深加大而减少的原因是,当斜长石溶解作用随深度加大而减小时,钾长石刚好开始溶解,并逐渐增强,起了很好的补偿作用。而且由于钾长石含量较高,这种补偿作用,不但可以抵消斜长石溶解性减弱的影响,而且可以弥补其他原因导致的孔隙减少。3640 m以上,已经观察到的事实说明,本区矿物变化的压力、温度条件符合一般规律。墨西哥湾第三系钾长石在4.5 km深处全部溶去,有理由希望本区也应大体如此,这一点在渤海湾地区极为重要。因为渤海湾地区有大量深埋碎屑岩体,是直接、间接地来源于前震旦系碱长变质岩的,因而碎屑颗粒中,钾长石含量丰富,而且常超过斜长石。这就为深层孔隙的发育打下了良好的基础,存在孔隙发育的储层是深层勘探获得成功尤其难得的条件之一。本区情况显示,就储层而言,渤海湾地区深层勘探有着广阔的前景。

3. 该区在3200—3640 m,胶结物有明显的分带现象,在酸化压裂改造油层时,不能一概使用同样的手段,否则反而易被高岭石堵塞。正确的作法是,3280 m以上,如Z-50井,52-1井等,胶结物以高岭石、自生石英为主,含量各占2—3%,在油田开发上,以酸化、压裂手段改造油层时,要用土酸及粘土固定剂。在3280 m以下,如Z-59、74井,为含铁碳酸盐胶结带,粘土矿物小于3%,油田开发时,用压裂及盐酸酸化地层,并用铁离子固定剂,以期获得好的增产效果。

4. 沉积相带间接影响了次生孔隙空间的发育和储层渗透性的好坏,以辫状沟道微相物性最好,就近岸浊积扇而言,应以中扇区辫状沟道微相砂岩为主要勘探对象。

致谢 本文得到吴崇筠教授及周自立高级工程师的审阅;本院化验室有关专业组作了古生物、质谱、色谱样品的分析,副总工程师周光甲对本文色谱资料的应用作了具体指导,在此致以诚挚的感谢。

## 参 考 文 献

- [1] Schmidt, V. and McDonald, D.A., 1979, In: P.A. Scholle and F.R. Schluger (eds), Aspect of diagenesis symposia, Soc. Econ. Paleontologists and Mineralogists Spec. Pub. 26, P. 175.
- [2] Franks, S.G. and Forester, R.W., 1984, AAPG Bull., V. 68-4, P. 478.
- [3] Milliken, K.L., Gold, P.B. and Land, L. S., 1985, AAPG Bull., V. 68-4, P. 288.

# THE DISTRIBUTION AND ORIGIN OF RESERVOIR SPACES ON THE Eocene OFFSHORE TURBIDITE FAN IN THE ZHANHUA DEPRESSION

Du Yunhua    Cai Jingong

( *Geological Research Institute of Shengli Oilfield* )

## Abstract

The sandbodies of offshore turbidite fan in the Zhanhua Depression with a buried depth of 3200-3640m are located in a sealed environment around by argillic source rocks. The reservoir spaces are of secondary origin, and porosity is relatively high and stable within the extent of studied depth. The reasons that porosity does not vary with the buried depth are that, 1. The existence of carbonate cements and the replacing minerals in the early and middle stages of diagenesis provided large amounts of spaces for the formation of the secondary pores; 2. A nearly closed sedimentary system prepared abundant acidic water solution; 3. The minerals themselves produced the condition of physical-chemical solution. At about the buried depth of 3211m, plagioclase dissolution reduced due to albitization while the dissolving pores of potash feldspar increased remarkably. This relationship between growth and extinction constituted the main cause of the relative stability of the porosity. The microfacies of braided channels in the offshore turbidite fans are the major targets for hydrocarbon exploration owing to sandstones with great thickness, lower content of mud and higher isotropy.