

# 山东东营凹陷下第三系 砂岩次生孔隙研究

吕正谋

(胜利油田地质研究院)

东营凹陷位于黄河口南侧,是渤海湾复式块断盆地内济阳坳陷的一部分。下第三系沉积厚度大,断层复杂,沙三至沙二段主要是河流—三角洲沉积,沙一段至东营组为湖泊—河流相沉积。主要生油层为沙三段大套暗色泥岩,主要储油层为砂岩。砂岩分布广,单层厚度大,成熟度低,多为中细粒及不等粒长石砂岩和岩屑砂岩,胶结物含量低,储油物性好,多含油,是山东油区的主要勘探开发对象。

以往认为该区下第三系砂岩时代新,成岩浅,为原生粒间孔隙储油,对次生孔隙很少注意,重新认识砂岩储层的孔隙性质是本文研究的主要课题。

## 一、研究方法

与原生孔隙比较起来,次生孔隙的大小范围较宽,孔隙形状复杂,均匀程度更差,有的在岩芯上可直接看到,有的需借助于扫描电镜才能观察清楚。然而,多数在薄片显示得很清楚。针对这些特点,笔者把观察岩芯、合理取样作为本专题研究工作的基础,把薄片观察作为工作的重点。用偏光显微镜和扫描电镜等仪器对手标本、岩石薄片、铸体薄片、样品自然断面和磨光面、砂粒表面等进行仔细观察,以确定砂岩次生孔隙的识别标志,进而认识次生孔隙的结构类型、成因、丰度、分布及控制因素、成岩变化顺序及对次生孔隙的影响,探讨在石油勘探开发中的意义,针对本区砂岩比较疏松及含油等特点,在研究次生孔隙时,试用了沥青充填岩样孔隙后制片和松解岩石观察砂粒表面等方法。

### 1. 沥青充填岩样孔隙后制片

要研究孔隙,就应使孔隙表现得真实、突出,目前多采用制片前往岩样中灌注带色环氧树脂或有机玻璃单体的方法来达到目的。但此法设备复杂,工序比较繁琐,成本较高,毒性也大,且对较疏松样品不易确保岩石的原貌。针对以上问题,采用了既经济又方便的沥青充填岩样孔隙制片法。此法制片的优点是省事,经济、孔隙清楚,可代替铸体薄片。由于不必洗油,对较疏松砂岩来说,更能保住其原始面貌。缺点是有些盖片胶缓慢地微溶沥青,故应选择盖片胶或不盖片。另外,还需用反光观察一次,以便把不透明矿物与沥青区别开。

## 2. 松解岩石, 观察砂粒表面

砂粒在母岩区由风化淋滤作用产生的粗糙溶蚀痕迹, 在搬运过程中, 一般要被磨蚀掉。砂粒在地下深处由溶解造成的溶蚀痕迹, 如果一直处于烃类的包围中, 则将完好地保存下来。用实体显微镜能够观察到砂粒有无溶蚀现象, 为保持砂粒表面的原貌, 在处理样品时, 不要酸化, 也不要研磨。将洗过油的砂岩用橡皮塞或手指压碎, 使砂岩松解, 冲洗数次, 风干、过筛, 取其细砾、粗砂、中砂、细砂, 分别置于实体显微镜下观察, 并挑出感兴趣的颗粒(主要是受溶蚀的斜长石)。将每一粒级挑出的颗粒集中起来, 用实体显微镜和扫描电镜深入观察研究。

实践证明, 将较疏松的含油砂岩洗油松解后, 取其较粗粒级, 在实体显微镜下观察砂粒有无局部溶解现象比在薄片更加醒目。

## 二、次生孔隙的识别标志及结构类型

为了识别本区下第三系砂岩的次生孔隙, 首先就要确定次生孔隙的识别标志。通过反复观察, 笔者认为下述十二种现象是识别本区砂岩次生孔隙的有用标志。

### 1. 部分溶解

这是可溶组分铁方解石、铁白云石及斜长石等局部溶解的结果, 溶孔常呈港湾状(图版 I, 1)。这在不洗油样品制成的薄片中很容易观察出来, 沿孔隙边缘分布的沥青质使薄片中的孔隙更加醒目。有时, 部分溶解现象也可以在含油的岩芯上表现出来: 一块非泥质胶结的岩芯, 含油很不规则, 常常是含油、微含油和含油斑混在一起(图版 I, 2)。

### 2. 受溶蚀颗粒和过量孔隙

这是颗粒边缘或局部被溶蚀而使粒间孔隙接近甚至超过40%的一种现象。这可能是碳酸盐先沿颗粒周围或其他部位进行交代, 后因水化学性质改变而溶去碳酸盐, 留下了溶蚀的现象和过量孔隙(图版 I, 3)。

### 3. 溶蚀残骸

这是陆屑、盆屑和交代矿物被溶去大部, 原颗粒仅留残体的现象。计有斜长石、砂屑和交代矿物等残骸(图版 I, 4)。

### 4. 铸模孔隙

这是陆屑、盆屑和交代矿物被完全溶解后而保留了原颗粒形貌的一种孔隙结构, 最常见的是软体动物碎片的铸模(图版 I, 5)。它在薄片中特征突出, 辨认容易。在岩芯上有时用肉眼就可清楚地识别出螺、蚌及其碎片的铸模。

### 5. 贴粒孔隙

这是在碳酸盐胶结的砂岩中紧靠陆屑出现的一种孔隙, 常呈叶片状、透镜状和串珠状分布于颗粒周围(图版 I, 6)。它不可能是碳酸盐沉淀时留下的空间, 而是地下深处酸性水溶液沿砂粒与胶结物间的薄弱环节, 把紧靠砂粒的碳酸盐溶去后形成的。

### 6. 残余胶结物(或基质)

它存在于孔隙比较发育的砂岩中, 是胶结砂粒的碳酸盐矿物被大部溶去而幸存下来

的残余物(图版 I, 7)。残余胶结物常有下列特征:(1)零星分散,(2)临近的几块残晶同时消光,(3)被油浸,(4)有溶蚀边缘,(5)贴粒孔隙的存在。在宏观上有时也可见到由残余胶结物引起的构造现象,如有些疏松油砂中出现的“硬块”往往是由它引起的。

### 7. 伸长型孔隙

它存在于碳酸盐胶结的砂岩中,是跨越多个颗粒的粒间孔隙(图版 I, 8),常与部分溶解、溶蚀残骸、残余胶结物共生。

### 8. 不均匀性填集

指同一薄片中的颗粒排列得极不均匀,有的部位颗粒排列比较紧密,而其相邻部位则比较稀疏,甚至出现“漂浮状”颗粒(图版 II, 1)。这是原生碳酸盐基质或成岩早期形成的胶结物分布不均匀,未胶结的部位随着埋深的增加而被压实;胶结的部位因有碳酸盐的支撑而基本上未压实,后因地下酸性水将粒间碳酸盐溶去,使其恢复了原来的较大粒间孔隙。

### 9. 超粒大孔隙

这是两三倍或更多倍于它周围最大颗粒的那些孔隙,它可能是由选择性溶解可溶组分形成的,边部往往有难溶的“漂浮”颗粒(图版 II, 2)。超粒大孔隙周围的颗粒应是粒状的,若为板柱状颗粒恐非此种成因。

超粒大孔隙在一般薄片容易认出,用沥青充填岩样孔隙制片更为清楚,有时在岩芯上也可直接看到。

### 10. 油浸基质(或胶结物)

这是粒间孔隙内的碳酸盐基质在成岩过程中,受温度、压力的影响发生重结晶(有的又遭溶蚀),晶间孔隙随之变大,具备了储渗能力引起的。一般显微镜下往往看不出孔隙大小,微孔隙是由油浸现象表现出来,通过扫描电镜可以看到发育的微孔隙(图版 II, 3)。油浸胶结物则是地下深处淋滤产生的大量晶内微孔隙,被原油充填,在薄片表现为油浸,借助扫描电镜可以见到大量互相连通的微孔隙(图版 II, 4)。

### 11. 破碎颗粒

这是某些砂粒碎成两块或多块的现象,在多孔砂岩薄片常常见到它(图版 II, 5)。

### 12. 岩石裂缝

在碳酸盐胶结的砂岩中比较清楚,胶结物稀少的较疏松油砂中往往比较模糊。然而,在沥青充填岩样孔隙的薄片显示得很清楚(图版 II, 6)。有时利用含油级别的差异,在手标本上也可以直接看到岩石裂缝。

上述各标志,尤其是溶解形成的那些标志,它们很少单独出现,当在薄片中发现一种标志时(破碎颗粒除外),只要仔细观察,常会找到一系列标志。因而,当在薄片只有一种不太肯定的标志时,就要仔细推敲它的可靠性。但若存在多种标志时,则孔隙的次生性质完全可靠。综合应用这些标志,一般可以把次生孔隙辨认出来。

本区砂岩次生孔隙结构比较复杂。经分析,可划分成七种基本结构类型:

1. 次生粒间孔隙 基本上是陆屑间的孔隙,偶有陆屑与盆屑间孔隙。是最有意义

的次生孔隙，当无碳酸盐残留物时，就不易与原生粒间孔隙区别开。

2. 铸模孔隙

3. 组分内孔隙 包括所有单个组分内的孔隙，见诸长石内孔隙、岩屑内孔隙、砂砾屑内孔隙、螺屑内孔隙、铁方解石内孔隙、交代矿物铁白云石内孔隙等。

4. 超粒大孔隙

5. 贴粒孔隙 即砂粒与胶结物间的孔隙。

6. 粒间晶间孔隙 即砂粒之间的碳酸盐矿物晶粒间的微孔隙。

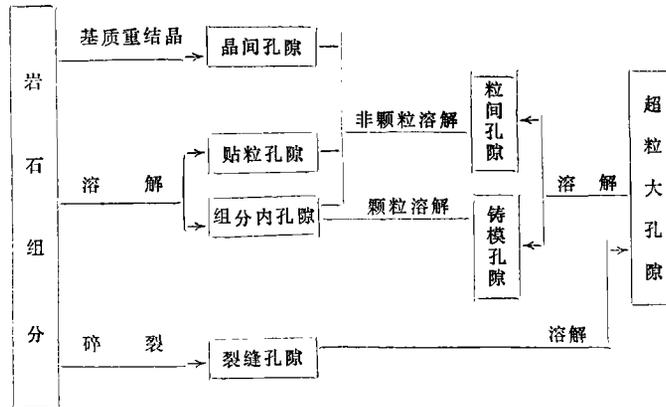
7. 裂缝孔隙 包括颗粒裂缝和岩石裂缝。

前五种孔隙都是岩石或沉积物的某些组分在地下深处受酸性水溶液长期溶蚀形成的次生孔隙，这是数量最多、分布最广、意义最大的次生孔隙；裂缝孔隙是由上覆压力和构造作用引起的，虽也常见，但其数量远不及前五种；粒间晶间孔隙主要是碳酸盐基质重结晶收缩引起的，部分是溶蚀造成的，总容量有限，实际意义较小。

以上七种次生孔隙的基本类型，按其成因和演化趋势示于表1。

表1 东营凹陷下第三系砂岩次生孔隙基本类型成因演化示意图

Table 1 Evolution of the origin of secondary pores in the Lower Tertiary sandstone in Dngying Depression



三、影响次生孔隙发育的因素

本区下第三系砂岩的次生孔隙不如原生孔隙发育，但其分布具有一定的规律。凹陷北部比南部发育，深部比浅部发育。

1. 盆地的构造性质影响次生孔隙的平面分布 东营凹陷是个北断南超的小盆地，它的北部是个深洼子，通过大断层与陈家庄凸起相接，构造活动强烈，同生断层发育；南部是个斜坡，构造活动比较缓和，同生断层不如北部发育。构造活动强烈的地方，不仅会使岩石产生裂缝孔隙，而且大量地下水通过同生断层溢出时，势必长期地影响附近砂岩的组分，使之有机会产生溶蚀的次生孔隙。否则岩石就难产生溶蚀孔隙。北部断层附近的一些井的次生孔隙较发育，南坡一些井的次生孔隙不够发育即缘于此。

2  
4  
2. 沉积相带组合影响溶解成因的次生孔隙在纵向上的分布 东营组和沙二段属水上沉积, 本身缺乏易溶的碳酸盐, 靠近砂岩的上下也缺少能产生大量酸性水溶液的生油岩, 所以次生孔隙不发育; 沙一段和沙三段上部的砂岩属浅湖和三角洲前缘相沉积, 砂岩本身常含较多碳酸盐矿物, 同时又靠近深湖和前三角洲相生油岩, 粘土矿物转化和有机质热成熟产生的大量酸性水溶液直接作用于它, 使它有机会产生溶蚀孔隙, 胜坨油田沙三段上部次生孔隙普遍较发育原因就在于此。

### 3. 砂岩的矿物成分、结构构造等对次生孔隙的发育有一定的影响

(1) 由含铁碳酸盐矿物组成的盆屑、基质和胶结物比由不含铁碳酸盐矿物组成的陆屑易溶解而产生次生孔隙, 如3-5-11井2115.1米含砾砂岩中的含铁白云质砂屑溶蚀明显, 而不含铁的碳酸盐岩屑却完好无损。这可能是因以类质同象存在的 $Fe^{2+}$ 跟其他元素结合得不牢固, 易被电离分解, 使碳酸盐矿物溶解所致。

(2) 占陆屑99%左右的石英、钾长石和斜长石三种矿物中, 石英很少有溶蚀孔隙, 斜长石最易产生溶蚀孔隙, 如3-5-11井2185.3米的含砾砂岩中, 石英未见溶蚀, 大多数斜长石却有溶蚀孔隙(图版I, 7)。薄片观察可以看出, 斜长石既可先被碳酸盐交代后溶去碳酸盐而产生次生孔隙, 又可直接被溶蚀而产生次生孔隙, 并有先碎裂后溶蚀产生的次生孔隙。

(3) 碳酸盐胶结的砂岩比泥质胶结的砂岩易见次生孔隙, 含杂基多的砂岩少见次生孔隙。

(4) 在相同条件下, 块状的较粗粒砂岩比层理发育的较细粒砂岩易有次生孔隙。

## 四、成岩作用与次生孔隙的关系

东营地区下第三系砂岩次生孔隙的发育不仅与构造条件、沉积相带组合、矿物成分和结构构造有关, 而且与成岩作用的关系十分密切。成岩作用是指沉积物沉积下来以后, 直至变质作用发生前的一系列变化。一般来说, 孔隙水的性质和其运动速度是影响砂岩成岩作用的决定性因素, 机械压实和碎裂作用次之。不同埋深的沉积物(岩)所经历的成岩变化不同, 在沙三段上部的砂岩段就有同生白云石化、镶嵌状方解石胶结、方解石和白云石交代、机械压实、碳酸盐基质重结晶、碎裂、粘土矿物转化、深层去白云石化、深层溶解、烃类充填、石英次生加大、铁白云石充填、铁方解石充填、无铁白云石充填、含铁白云石充填、自生高岭石充填等所引起的成岩变化。这些成岩变化的先后顺序有一定的规律, 并与埋深有关(图1)。现以沙三段上部砂岩为例, 概述其成岩史如下。

1. 一个沉积盆地中的水介质性质在时间和空间上不是均一的, 并在不断变化着。沉积物沉积以后, 适合碳酸钙沉积的水体会因钙的不断沉淀和镁的不断聚集而提高镁钙比值, 形成“卤水”, 因其比重大而沉于水底并进入堆积不久的碎屑物中, 促使粒间的方解石泥产生白云石化, 形成同生白云质胶结物。它对形成次生孔隙影响不大。

2. 埋藏后的碎屑物在孔隙水的影响下, 逐渐发生胶结作用。孔隙水和软泥水中含有大量 $Ca^{++}$ 和 $HCO_3^-$ , 随着孔隙水浓缩和pH值增高而缓慢地结晶出方解石。由于这种水溶

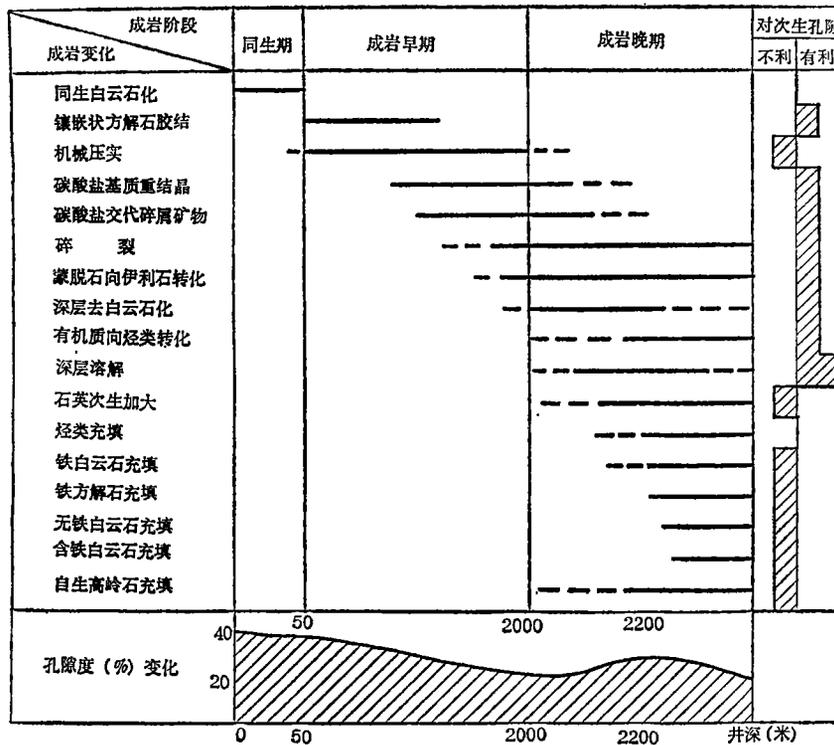


图1 东营凹陷下第三系沙三段上部砂岩成岩变化

Fig. 1 Diagenetic changes of sandstone in the Lower Tertiary  $E_s^u$  in Dongying Depression

液的流动能不断补充消耗掉的  $Ca^{+}$  和  $HCO_3^-$ , 故使方解石晶体越长越大, 直至互嵌。

镶嵌状方解石在成岩早期的前期充填了原生孔隙, 使砂岩失去储集空间, 对储油大大不利。但是, 它影响着后来的成岩作用。由于它的存在, 使碎屑不再被压实, 一旦溶去方解石, 就会使砂岩恢复胶结前的高孔隙度, 为以后形成好的次生孔隙奠定了基础。

3. 碎屑物被埋于一定深度后, 因上覆沉积物的重力作用通过填集方式的改变而产生机械压实, 使原生孔隙度降低, 这对洁净砂层影响较小, 对泥质含量高的砂层影响较大。压实作用主要发生在成岩早期, 晚期已比较微弱。

压实作用将使较早形成的次生孔隙压缩变小。同时, 还会引起颗粒破碎, 形成意义不大的颗粒裂缝孔隙。

4. 随着埋深的增加, 温度和压力增高, 引起了碳酸盐基质重结晶。当极小的晶粒重结晶成较大晶体时, 相应的极小晶间孔隙就会合并成较大的晶间孔隙。由于砂粒的支撑, 重结晶产生的较大晶间孔隙一般不再压实, 使岩石提高了储渗能力。

5. 在构造活动的影响下, 岩石发生碎裂, 产生岩石裂缝和颗粒裂缝。这对多孔砂岩来说, 意义并不大, 但对碳酸盐胶结的砂岩意义重大, 它不仅能提高致密砂岩的储油能力, 而且有利于溶解作用的进行, 更重要的是为原生水和烃类的运移打开了通道。

6. 从碳酸盐胶结物形成以后, 就开始交代碎屑矿物。观察表明, 斜长石易被交代, 钾长石次之, 石英不易被交代。交代作用基本上是同体积进行的, 本身可能不影响储集性, 但交代矿物更易溶解, 有利次生孔隙形成。

7. 原始沉积的泥质物中往往含有大量的蒙脱石和有机质。在成岩过程中, 蒙脱石吸收 $K^+$ 而排出层间水, 这种来自粘土矿物转化而成的“原生水”具有较强的溶解能力, 既是烃类和其他矿物质的良好溶剂, 又是烃类运移聚集的载体。

在原生水大量形成的初期, 孔隙中的水溶液开始淡化, 在其他因素的参与下, 产生了去白云石化。去白云石化标志有二: 一是在薄片巾见有粗大铁方解石晶体巾含有残存的隐晶白云石; 二是在扫描电镜图象巾见粗大铁方解石晶体巾含有自形白云石假晶(图版 I, 8)。由于所研究井段为连续沉积, 沙三段一直深埋地下, 故此处的去白云石化决不是一种地表现象, 而是地下深处发生的交代作用。深层去白云石化本身并不能改善砂岩的储渗性质, 但铁方解石较白云石易溶, 有利于形成次生孔隙。

8. 可能与粘土矿物转化的同期, 有机质在原生水和其他因素的催化影响下, 渐渐向烃类转化。此种转化可产生大量有机酸和 $CO_2$ ,  $CO_2$ 溶于原生水就形成碳酸。含有机酸和碳酸的水溶液有更强的溶解能力, 在地下深处强烈地溶蚀碳酸盐矿物和斜长石等不稳定硅酸盐矿物, 从而产生大量溶蚀的次生孔隙。3-5-11井2173.7米的斜长石是被含铁白云石交代后溶解的, 2185.3米的斜长石没有交代的痕迹, 可能是直接溶解的。前者主要是碳酸的作用, 后者可能是有机酸起了主导作用。

当碳酸盐溶解时, 溶液中的二氧化硅随着pH值的降低以石英晶体增生的形式沉淀下来, 使石英砂粒次生加大, 缩小储油空间。

9. 溶解的次生孔隙形成以后, 由原生水运载来的烃类在孔隙巾逐渐聚集而形成油层。至此, 成岩作用暂告一段落。

值得指出的是, 在烃类还没有完全充满孔隙时, 成岩作用并没有停止, 而在相当强烈地进行着。下述现象证明了这一点: 3-5-11井2126.3米的淋滤铁方解石胶结物和2173.7米的交代矿物含铁白云石残骸都有次生加大现象; 2185.3米的斜长石残骸巾有新生成的铁白云石微晶。这是含烃的酸性水溶液在溶解碳酸盐矿物后, 富集了大量的 $Ca^{++}$ 、 $Mg^{++}$ 、 $Fe^{++}$ 和 $HCO_3^-$ , 当pH值增高时, 又沉淀出含铁的碳酸盐矿物。

10. 未被烃类充填或先被烃类充填后又被水驱走烃类的砂岩, 在地下水的作下, 将继续进行着成岩变化。正如前面所提及的, 含 $CO_2$ 的原生水对碳酸盐有较强的溶解能力, 它在溶解碳酸盐的过程巾的逐渐消耗掉 $H^+$ , 变为富含 $Ca^{++}$ 、 $Mg^{++}$ 、 $Fe^{++}$ 、 $HCO_3^-$ 的水溶液, 由于各离子浓度变化的影响, 先后结晶出铁白云石、铁方解石、无铁白云石和含铁白云石。在碳酸盐的沉淀过程巾, 当pH值大于9时, 硅酸盐矿物却在缓慢地溶解。在pH值降到9以下时, 以 $H_4SiO_4^-$ 、 $H_3SiO_4^-$ 、 $H_2SiO_4^-$ 等形式溶解的氧化硅和以 $AlO_2^-$ 形式溶解的氧化铝化合结晶, 生成高岭石充填于残留的孔隙巾, 营19井2165.0米的次生孔隙依次被铁白云石、铁方解石、无铁白云石、含铁白云石和自生高岭石充填, 就是一个有力的证明。

上述成岩史是一个简化的理想过程, 实际情况要复杂得多。从这个成岩史巾可以看出: 砂岩巾有意义的次生孔隙是在地下深处溶解产生的, 它的产生是与砂岩附近生油岩

内的粘土矿物转化和有机质热成熟有关。

## 五、次生孔隙在石油勘探开发中的意义。

研究本区砂岩的次生孔隙对石油勘探开发有重要意义。

1.许多油层多少都有次生孔隙,其中有些油层以次生孔隙为主,有些油层完全为次生孔隙储油,可见次生孔隙是本区下第三系砂岩储集空间的一个不可忽视的组成部分。

2.从生油研究成果知道,东营凹陷有机质向烃类大规模转化的起始“门限值”定为2200米。次生孔隙正好集中于它的上面,成为烃类向上运移的通道。同时,这也为生油“门限值”的确定提供了一个有用的旁证资料。

3.刚刚沉积的砂层约有40%的孔隙度,随着埋深的增加,在压实作用和胶结作用影响下,原始孔隙度逐渐下降,直至基本消失。由于溶解产生的大量次生孔隙多分布于地层深部,致使孔隙度在纵向上的变化打破了一直下降的规律(图1)。次生孔隙扩大了砂岩有效孔隙的深度范围,在原生孔隙大量消失的深层,有可能找到以次生孔隙为主要储集空间的砂层,这为深层找油提供了理论根据。同时,当下第三系生油岩产生的酸性水溶液通过断层进入老地层时,可使某些岩石产生次生孔隙,形成良好的储集体,所以在进行远景评价时,应考虑对生油岩附近老地层的勘探。

4.有次生孔隙的油层,碳酸盐胶结物相对发育,机械强度较大,一般不会出砂,酸化效果较好,地下酸性水溶液的长期流动改善了孔隙的连通性,有利于油田开发。

工作中得到周自立的帮助指导,并审阅全文,本院电镜组、照相组、岩矿组和姚士玉也予以帮助,在此一并致谢。

(收稿日期1984年1月30日)

### 参 考 文 献

- [1]胜利油田地质研究院,1979,胜利油田勘探开发研究院报告集五分册。  
 [2]V.Schmidt and D.A.Mcdonald 1979.Secondary reservoir porosity in the course of sandstone diagenesis.A continuing education course presented at the 1979 AAPG Annual Meeting in Houston.

## STUDY ON THE SECONDARY PORES OF SANDSTONE OF THE LOWER TERTIARY IN DONGYING DEPRESSION, SHANDONG

Lu Zhengmou

(Geological Research Institute of the Shengli Oil Field)

### Abstract

The reservoirs of sandstones of the Lower Tertiary in Dongying Depression, Shandong were proved to be quite developed. The writer tried to determine the structure

type, genesis, abundance, distribution of secondary pores and their controlling factors so as to distinguish the varying sequence of diagenesis and its effect on secondary pores by the careful observation of hand specimen, thin sections of the rock, cast thin section, the natural plane of fracture, rounded face of the sample and the surface of the sand grain using stereo-microscope, polarizing microscope and scanning electron-microscope.

It is suggested that the marks to identify the secondary pores of sandstone in this area are as follows: partial dissolution, corroded grain, overquantity of pores, leaked skeletons, moldic pores, attaching-granular pores, residual carbonate cements, elongate pores, inhomogeneity of packing, oversized pores, immersion carbonate matrix or cement, crashed grains, gaps of rock etc.

Secondary pores in this area consist of seven types of structures, such as secondary intergranular pores, moldic pores, attaching-granular pores, intra-constituent pores, oversized pores, intergranular intercrystal pores and fracture pores. The first five of them result from the dissolution in deep subground with the largest amount, widest distribution and they are of great significance, while fracture pores brought about by overlying pressure and structure action, and intercrystal pores are caused by constriction of recrystal in carbonate matrix. These two types of pores have less amount and are of little importance.

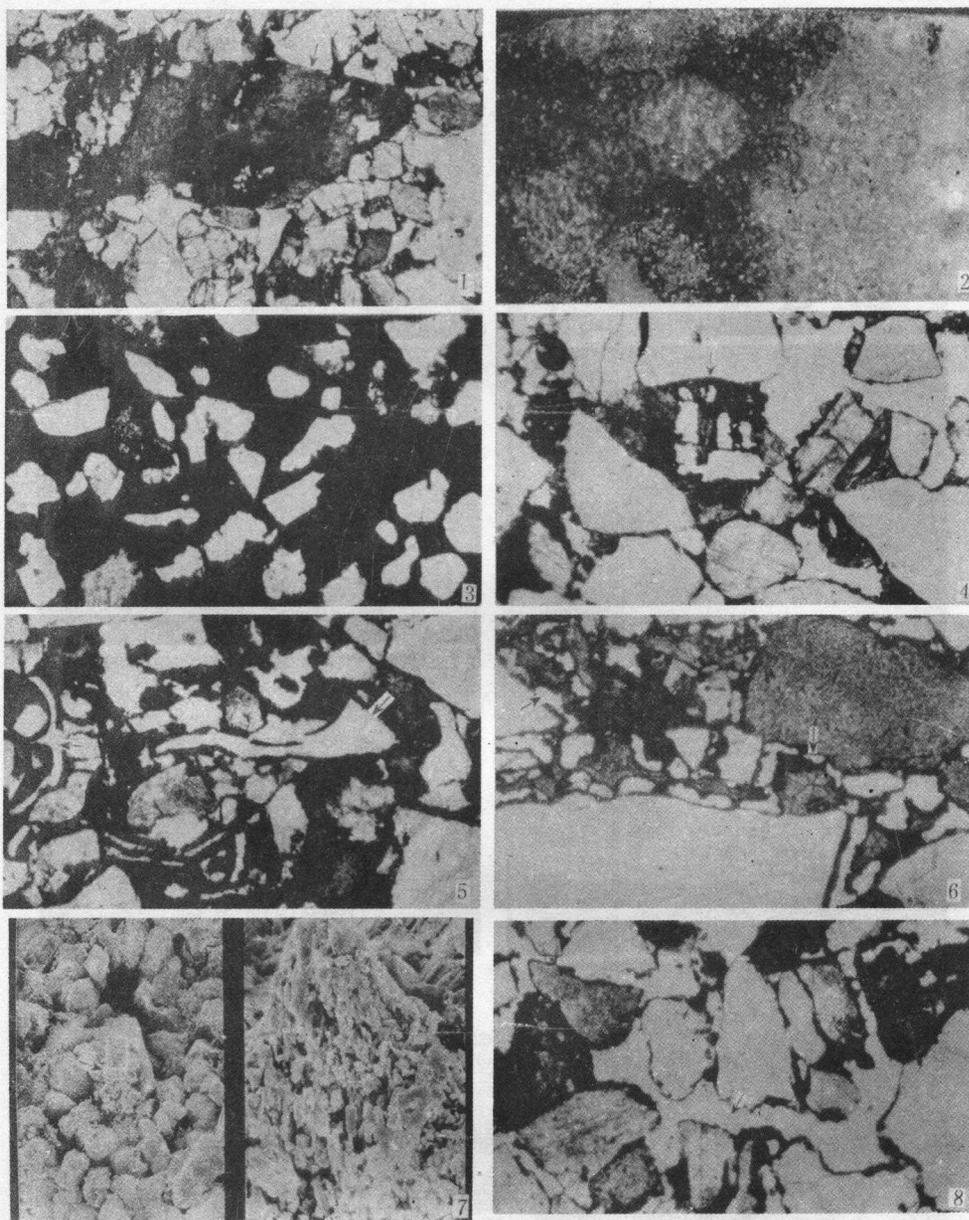
The secondary pores of the lower Tertiary sandstone in this area are not so well developed as the primary ones, but they have a regular distribution they develop better in north than in south, and better in the deeps than in shallows. The lateral distribution of secondary pores is controlled by the structure of the basin while vertical distribution is determined by the combination of sedimentary facies and the mineral composition and texture and structure of sandstone have something to do with the development of secondary pores. In a word, the developed faults and the reservoirs close to the source rocks and the massive coarser sandstone rich in dissoluble compositions provide a suitable condition for the development of secondary pores.

There is a close relationship between secondary pores and diagenesis. The complex diagenetic change of the rocks especially the early cementation of mosaic Fe-calcite, replacement of carbonate and dedolomitization in the depth were indirectly suitable for forming secondary pores. Mechanical compaction could result in little amount of pores and fractures, but it mainly destroyed the pores which were formed before. The transformation of clay minerals and the dissolution of the acid water produced by thermal maturity of organic matter were the main factors of forming secondary pores.

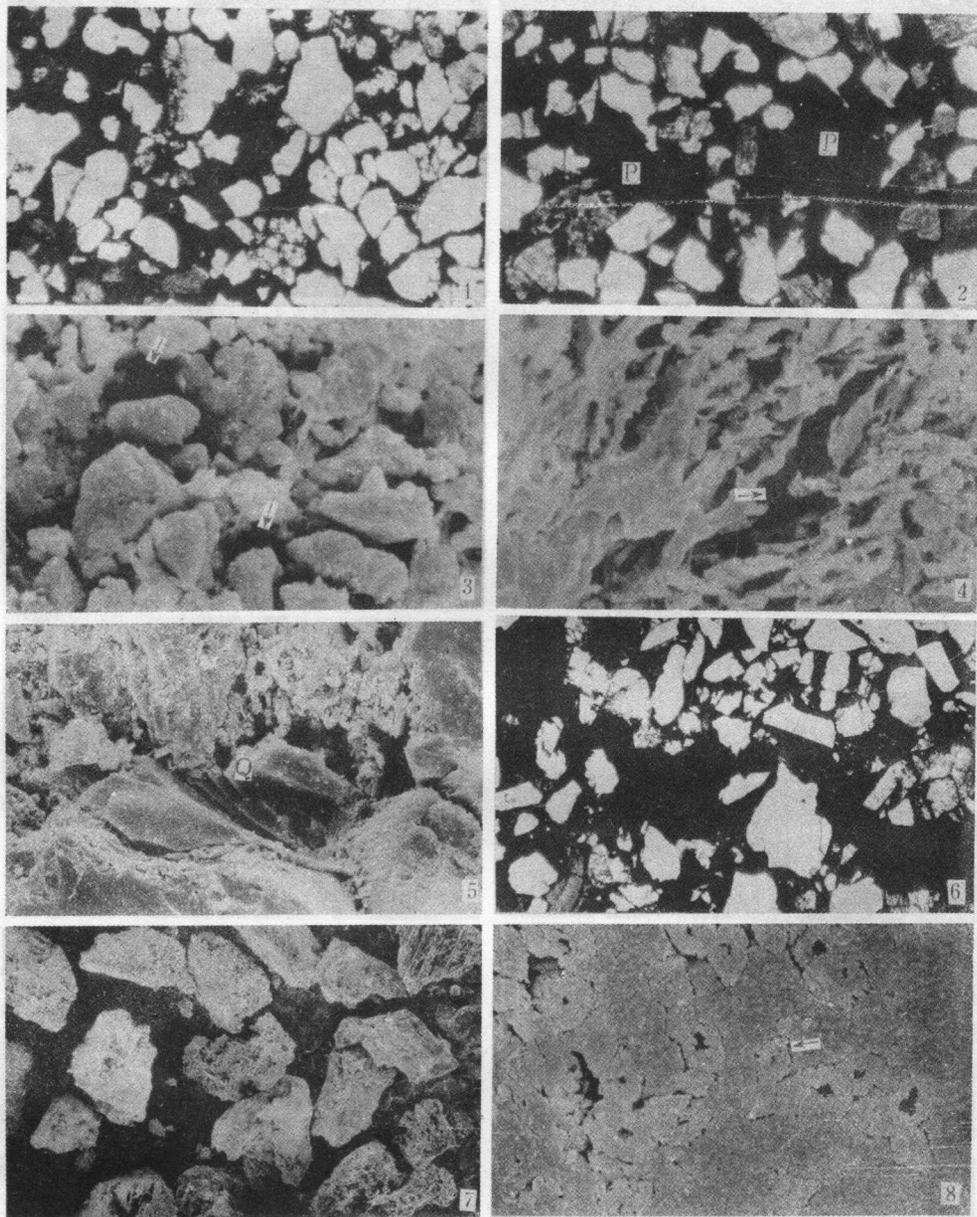
It is concluded that 1), secondary pores occur in many oil reservoirs, of which some are predominant with secondary pores, so secondary pores are the main parts of the sandstone reservoirs in this area; 2), secondary pores concentrated over the threshold value pores become the path along which hydrocarbon

---

migrate upward, this provides a useful information for the determination of threshold value; 3), secondary pores deepen the effective pores of sandstone, based on which the guideline could be given and the exploration of the oil formation near source rocks should be made; 4), the reservoirs with secondary pores have developed carbonate cements, larger mechanical strength, a better results of acidization and the connection of pores caused by long-term flow of acid water are advantageous to the development of the oil field.



1. 部分溶解的斜长石, 单光,  $\times 20$  2. 部分溶解的宏观现象, 岩芯照片, 原大 3. 受溶蚀颗粒和过量孔隙, 铸体薄片, 单光,  $\times 30$  4. 交代矿物的溶蚀残骸, 单光,  $\times 30$  5. 铸模孔隙, 单光,  $\times 30$  6. 贴粒孔隙, 单光  $\times 30$  7. 残余胶结物, 扫描电镜,  $\times 30$  (分屏  $\times 10$ ) 8. 伸长型孔隙, 单光,  $\times 30$



1. 不均匀性填集, 铸体薄片, 单光  $\times 20$  2. 超粒大孔隙, 铸体薄片, 单光,  $\times 30$  3. 油浸基质的晶间微孔隙, 扫描电镜,  $\times 1700$  4. 油浸胶结物中的淋滤微孔隙, 扫描电镜,  $\times 500$  5. 破碎的石英颗粒, 扫描电镜,  $\times 400$  6. 岩石裂缝, 铸体薄片, 单光,  $\times 20$  7. 深层溶蚀的斜长石颗粒, 扫描电镜,  $\times 20$  8. 深层去白云石化标志 —— 铁方解石晶体内的白云石假晶, 扫描电镜,  $\times 1600$