

# 储聚期孔隙类型及其预测中的有关问题

胡惟元 刘树辉

(地质矿产部45项目工程处)

在储层研究中,最关键的环节是采用集层期孔隙评价储层。只有抓住这一环节,方能作出符合实际的评价和预测。

本文将集层期孔隙分为五类:(1)埋藏期原生孔隙;(2)埋藏期次生孔隙;(3)早成岩期近地表次生孔隙;(4)晚成岩期近地表次生孔隙;(5)白云石化孔隙。

预测埋藏期孔隙,必须恢复孔隙演化史和根据有机质成熟度决定其脱胶阶段及油气储集时期,探索二者演化间的关系,寻求烃类储层的空间分布和经济潜能。

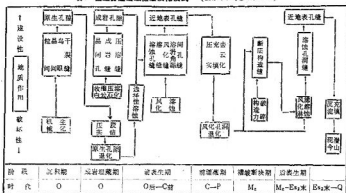
长期以来,对储集层的评价都是采用沉积相和岩石物性测定的方法,但成岩作用研究的结果告诉我们,由沉积相圈定的只是原始储层质量,而不一定就是地下储层的储集层;同样,由地面岩样或油气藏外的岩心样所测得的储层物性参数,并不一定就是储集层的那个阶段的物性参数。因此,无论是原始孔隙度,还是现今孔隙度,与真实储集层的孔隙度往往相去甚远,只有储集期孔隙才是评价储集层的真实数据<sup>[1]</sup>。

人们对储集期孔隙的演化作过许多尝试<sup>[2,3,4,5]</sup>,这些探索都是以成岩研究为首要的,并且获得了可喜的进展。实践证明,烃类储集层的质量最终是由成岩环境、成岩作用所控制的。

## 一、储集层储聚期孔隙的类型

尽管情况复杂多变,但仍可大致把储集期孔隙归纳成以下几类:原生孔隙,次生孔隙,白云石化

表1 任丘露山组储层演化模式 (胡家仁等修改,1984)



孔隙等等。这里仅讨论前两类孔隙。

### (一) 埋藏期原生孔隙

以原生孔隙为主的经典储层, 是胶结作用、压实作用对孔隙减少甚为缓慢, 或是颗粒包壳、超压等妨碍了压实或胶结作用, 使埋藏前储集层仍得以保留相当数量的原生孔隙。

贵州麻江古油藏志留系香炉营页岩砂岩就是一个典型例子。研究表明, 石油是在压实—石英加大之后, 碳酸盐化之前进入的, 其时砂岩原生孔隙为 5—10%<sup>[4]</sup>。石油来自下伏下寒武统页岩<sup>[5]</sup>及其东侧盆地相志留系的泥岩<sup>[1]</sup>。生、储层的空间配置为“古生新储”、“埋生储”, 它们不在同一埋藏成岩环境系列中演化。古油藏的储集层是隆起上的砂体, 它较东部坳陷沉降缓慢, 或者作用前进也较缓慢, 所以原生孔隙保留时间也较长, 隆起东侧坳陷区或下伏下寒武统则成岩演化较快或较早, 当坳陷或下寒武统中的烃类向成纵向运移到隆起上砂体时, 仍保留大量原生孔隙为储集石油的空间。

大庆油田是另一个典型例子。砂岩储层原生孔隙随埋深而逐渐减少, 石油是在石英加大的过程中进入的, 但仍保留大量原生孔隙, 如: 埋深 < 700m, 原生孔隙度 30—35% (黑帝庙油层); 700—1000m, 原生孔隙度 24—32% (萨尔图及葡萄花油层); 1000—1500m, 原生孔隙度 25—30% (高台子油层); 1500—2000m, 原生孔隙度 10—20% (扶余油层及杨大城子油层); 2000—2500m, 原生孔隙度 5—10% (泉头组二段以下)<sup>[6]</sup>。大庆油田是高地温区, 有机质成熟时间较短, 所以油能在原生孔隙逐渐减少的过程中进入储层聚集。

### (二) 埋藏期次生孔隙

这里仅讨论与有机质成熟作用密切相关的次生孔隙。一种见于砂岩中, 一种见于碳酸盐岩中, 它们的次生孔隙均产生于埋藏成岩环境中。

#### 1. 砂岩中次生孔隙

松辽南部的红岗油田是最好例子<sup>[1]</sup>。(1) 姚家组砂岩储层孔隙纵向分布, < 1100m 以原生孔隙为主, 随埋深加大, 原生孔隙迅速减少, 由 30%—10—15%, 1100—1300m 产生次生孔隙, 由 10—15%—20—30%; > 1300m 时孔隙度又降低, 到 2000m 时为 5—10%。(2) 姚家组砂岩储集层上覆为嫩江组一段的巨厚生油岩, 地温梯度为 4.6℃/100m, 1300—1500m 埋深正是生油岩成熟阶段, 正对应于次生孔隙形成的阶段。(3) 由图 1 可知, 孔隙度值自东向西逐渐降低, 因东翼邻近砂体入源首端, 有机质丰于西翼, 凹陷又较深, 由有机质成熟产生的溶蚀性流体, 自东向西迁移, 溶蚀能力减低, 次生孔隙也随之减少。同时储层中含 10—30% 的碳酸盐胶结物, 次生孔隙主要是由碳酸盐溶解产生的。

山东东营凹陷下第三系砂岩、北海油田、加拿大东部海岸陆相、苏松陆相都有类似例子。

V. 施密特 (1979) 曾总结了砂岩次生孔隙与生油层成熟度之间的密切关系 (图 2)。当镜质反射率 0.6—0.8% 之间, 正是与储层互层的生油有机质成熟脱羧形成 CO<sub>2</sub>, 使碳酸盐溶解产生次生孔隙。随后, 当反射率 0.8—1.2% 时为石油形成阶段。前者正好为后者适时地提供了储集空间。

除了碳酸盐溶解产生次生孔隙之外, 铝硅酸盐的溶解亦可产生次生孔隙, 比如贵州西部上二叠统玄武岩层砂岩中的局部次生孔隙是以绿泥化岩屑和胶结物被溶为特征。

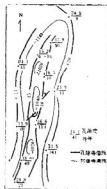


图 1 红岗油田孔隙度特征 (据黄炳香, 1983)

1) 刘树坤等, 1985, 贵州海相地层成岩研究。



图2 石英砂岩埋藏后的成岩作用  
(据V.施密特, 1979)

## 2. 碳酸盐岩次生孔隙

(1) 贵州六枝下三叠统永宁镇组颗粒灰岩深埋次生孔隙。永宁镇组由泥晶灰岩、砂岩及生物屑亮晶灰岩组成。其下部主要是泥晶灰岩为生油层，颗粒灰岩的粒内孔、胶结物的晶间孔及裂隙中有原油和沥青充填。成油研究表明，颗粒灰岩经海底→大气氧化→埋深环境，孔隙经减少→扩大→减少。至异形白云石化时只有<5%的孔隙度，但随着有机质成熟，发生了深部溶蚀，沿缝合线两侧溶孔最发育，异形白云石等受到溶蚀，于是进油前孔隙度>5%，孔径1—10 $\mu$ m，渗透率<0.3mD。

(2) 美国阿肯色州与路易斯安那州上侏罗统斯马科弗组碳酸盐岩埋藏次生孔隙储集岩是又一个

典型例子<sup>[4]</sup>。如图3所示，分为北带、过渡带、南带。南带邻北路易斯安那盐盆，且生油岩——波西尔组页岩与该组中段呈指状交叉。压实前成岩早期，自北而南为大气淡水—淡水、海水混合带—海水系统。因而，北带形成发育的鲕状孔，最高达28%，但渗透率很低<0.01 mD，同时胶间孔为方解



图3 穿过阿肯色陆棚进入路易斯安那盐盆的地层横剖面图 (据莫尔, 1981)

石胶结，从而终止了埋藏期的压实作用，保护了鲕状孔的破坏。南带则以胶结和压实作用为主，原生孔隙多数被破坏，但硬胶结组成的灰岩比软质颗粒组成者孔隙保存时间较长，这为其后的次生孔隙形成创造了有利条件。当斯马科弗组下段埋深>1000m，同层位的盆地相有机质开始成熟，富含CO<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>S和脱水的氢体，由盆地同层相运移，自南向北带性扩大形成次生孔隙、溶孔，且溶解能力也逐渐减弱，至北带而消失。最后造成南带2—28%的孔隙度，<0.01—几百mD的渗透率，过渡带2—15%的孔隙度，渗透率变化极大。由成岩环境、成岩作用控制的陆相分带特征，也控制着油田的分布。南带油田最多，过渡带较少，北带仅一个。

## (三) 近地表次生孔隙、洞、缝隙

沉积物或岩石在近地表成岩环境，遭受大气淡水淋滤，甚至受地表风化作用，形成发育的孔、洞、缝隙层。

### 1. 早成岩期近地表环境的次生孔隙

川南泸州古隆起一带的主要产气层是渐新—渐间沉积的嘉陵江组绿—细粒灰岩。据赵翼飞 (1983)

研究, 其储气空间主要是早期成岩近地表环境中产生的<sup>[1]</sup>。纵向上显示了溶孔-充填-再溶的过渡情况, 两个溶孔层间距为 5—6 m, 其间为微晶灰岩充填期透镜体。

这类孔隙常与成岩早期大气淡水环境密切相关, 常在相间的滞相环境或海退序列中遇到。

### 2. 晚成岩期近地表环境的次生孔、洞、缝

储集层经过中期成岩作用, 随后抬升到近地表环境形成次生孔、洞、缝, 为后期再埋藏时进入的烃类提供储集空间。我国东部第三系含油气盆地中的古潜山油藏就有不少这种例子。比如任丘油田的震旦界雾迷山组储集层就是典型实例。如表 1 所示, 储层经历了漫长而复杂的地史变迁, 相应的孔隙经历了: 沉积成岩期—海水、混合水环境(原生孔隙由大变小)—前表生期大气淡水环境(孔隙增加)—埋藏期混合水环境(孔隙减少)—潜断期大气淡水和后表生期(孔、缝增大)—潜山埋藏期(孔、缝减少)。因此, 原生孔隙早已消失, 前表生期的次生孔隙, 恐怕幸存者也不多, 就是后表生期的孔隙也会变化。比如山东济阳坳陷中, 许多钻穿古风化壳的探井往往孔隙很差, 已发现的所有基岩(潜山)油藏的分布, 都受到与生油层连通的基岩断层所控制。这种潜山储集层是与有机质成熟造成的次生孔隙密切相关的<sup>[1]</sup>。

江河凹陷由花冈片麻岩组成的潜山是物性差的小油藏, 而震旦界白云质灰岩是理想的古潜山储集层, 如曙光油田<sup>[2]</sup>。

渤海湾含油气盆地中, 40 余个潜山油藏大都邻近生油凹陷, 远离者充满意度低, 甚至为含水潜山<sup>[1,4]</sup>。

上述事实表明, 潜山储集层含烃潜能主要取决于后表生期是否形成发育的孔、洞、缝, 潜山埋藏期是保存、扩大这些孔、洞、缝, 还是充填这些孔、洞、缝。储集层岩类、构造断裂, 潜山埋藏环境与生油岩的空间关系都直接制约着潜山油藏的经济潜能。

贵州麻江古油藏下奥陶统红花园组碳酸盐岩储集层, 也是晚期成岩近地表大气淡水淋滤的结果。红花园组粉—中品白云岩晶洞、溶孔、溶洞、暗河发育, 它们中常充填石膏。古岩溶是鄂西、广西两运动的抬升暴露期间发生的。

上述类型和事例, 虽然不能概括所有情况, 但它们却有广泛的代表性, 因而很有实际意义。

## 二、储集期孔隙的预测

通过具有代表性的储集期孔隙的分析, 认识它们形成的特定地质环境, 并与研究层段的地质环境进行类比, 推断其可能存在的储集期孔隙类型及其经济潜能。

### (一) 晚成岩期近地表环境的次生孔隙

这类孔隙主要是由近地表环境大气淡水溶蚀所造成的。虽然, 它们的发育情况与沉积和早期成岩作用有关。但是, 更为重要的是从储层的断上降到剥蚀、淋滤, 再到再埋藏阶段埋藏深化的因素所控制。比如任丘古潜山油田雾迷山组白云岩储集层是在中生代褶皱、断裂, 形成发育的构造裂隙, 上陷后又遭受长期的大陆淡水淋滤和风化作用, 形成了发育的孔、洞、缝。缝, 直到早第三纪沙二系末潜山埋藏期, 孔、洞、缝发生部分充填, 但可能产生与有机质成熟有关的次生孔隙。由此典型事例和前述有关事实, 其储集期孔隙的经济潜能与下述因素密切相关。

(1) 储集层曾处于近地表, 甚至暴露地表, 并遭受长期的大陆淡水淋滤。褶皱、断裂时形成了发育的裂隙, 为其后的淋滤提供通道;

(2) 储集岩利于大气淡水淋滤, 如白云岩、灰岩、膏盐岩等;

(3) 潜山埋藏期地下水有利于孔、洞、缝的保存, 即再充填的胶结作用较弱;

(4) 储集层在进油前有过明显的形成次生孔隙的溶蚀作用;

1) 周自立, 1993, 山东济阳坳陷基岩(潜山)油藏次生孔隙研究。

(5) 储集层位于生油凹陷或紧邻生油凹陷。

## (二) 埋藏期次生孔隙

有机质的热成熟作用形成次生孔隙的机理, 不仅为实验所证明, 而且也为油气田勘探的实践所不断证实<sup>[1, 11]</sup>。预测这类孔隙需综合分析有关因素, 寻找其最佳的时空组合关系方能达到预测的目的。

影响次生孔隙发育的主要因素, 初步归纳为: (1) 有机质是否丰富; (2) 有机质是否正处于或经历过热成熟的脱胶阶段; (3) 脱胶时间间距是长还是短; (4) 岩石组份; (5) 溶蚀前原岩的孔、渗性是缺乏, 还是有一定孔、渗性; (6) 粘土岩的脱水作用(压实及粘土矿物脱水)是早, 还是晚。若溶蚀性流体距储层较远, 还有一个运移通道问题, 如断裂或间断面是否存在。

上述因素直接受控于沉积、成岩作用, 基本上受控于盆地性质和构造运动。如快速下沉、高地温梯度者, 较缓慢下沉、低地温梯度者差。贫石英砂岩较富石英砂岩差。

在含有丰富的有机质, 并正在经历或已经历过脱胶作用的基本前提下, 最佳组合为脱胶时间较长, 粘土岩脱水与脱胶同时或在脱胶之后, 岩石组份利于溶蚀, 原岩有一定渗透性。

依据储层与生油岩(溶蚀流体供给者)的时空关系, 有下述三种可能: (1) 生、储层互层, 两者紧邻时, 应着重研究生油岩有机质丰度、成熟度、粘土岩脱水时间、储层的原有孔、渗性等之间的关系; (2) 储层与生油岩为同层位的横向关系, 应着重研究侧向生油凹陷中有有机质丰度、成熟度, 隔层或斜坡上储层距凹陷的远近; (3) 储层较新, 生油岩下伏较老, 除应注意有机质丰度、成熟度外, 特别强调是否有早期或同生断裂的存在。

## (三) 埋藏期原生孔隙

沉积物随埋深增加, 一般原生孔隙逐渐减少, 随后产生次生孔隙, 再后是次生孔隙减少的趋势。前人探索过孔隙度与埋深的关系<sup>[12, 13]</sup>, 表明用统计学方法是可以找出一个地区原生孔隙随埋深变化的经验公式。这样就可以粗略地预测原生孔隙存在的深度区间和平面上的分布。但是, 对某一储层而言, 应在上述基础上, 再作进一步工作。因为, 影响原生孔隙降低的压实作用、胶结作用受控于更为复杂的原因。比如, R. L. 史密斯 (Smith, 1984) 研究路易斯安那州南部中加泥砂岩的机械压实作用和孔隙度降低的关系时, 最大埋深相同(4800m)的R<sub>1</sub>砂岩和S砂岩, 其孔隙度却分别为16.0%和11.5%, 原因是钙质胶结阻止压实作用的深度不同而引起的<sup>[14]</sup>。R. E. Larese (1984)发现路易斯安那州特卡萨斯砂岩(Cr<sub>1</sub>), 因颗粒的砾石包壳阻止了石英成岩作用, 在埋深达6400m, 仍有29%的高孔隙度, 其中70%为原生孔隙<sup>[15]</sup>。P. K. 米克南德奇 (1984)对西高加索砂岩、粉砂岩研究, 当埋深、地温、地压压力等相同时, 砂岩孔隙度下降主要取决于粘土含量, 粘土含量越高, 孔隙度随埋深递减越快, 保留原生孔隙的深度就越浅。对碳酸盐岩成岩研究可知, 原生孔隙可以在早期成岩的近地表环境被胶结而消亡。由此可见, 复杂多变的实际, 需要针对具体情况, 具体分析。

基于上述情况, 我们应在总孔隙变化的背景下, 寻找储层与成岩作用成熟阶段相对应的原生孔隙的时空展布。

## (四) 早成岩期近地夹次生孔隙

这类孔隙是指碳酸盐岩在成岩早期与大气渗透带及大气潜流不饱和带的成岩环境中产生的孔隙。这些环境常常在大陷边缘沿上倾方向有大气水的渗入, 或潮上带、潮间带、滩体上升等均可造成大气淡水淋溶, 而使颗粒溶解, 如鲕状孔就是典型代表。这类孔隙形成后不久就为油气占据, 或保留到进油之时, 如前述的斯马科弗组北带。

预测这类孔隙, 应注重从沉积、成岩环境及保留这种孔隙条件的分析入手。

1) V. 施密特, 1985, 砂岩成岩作用。

## 结 语

1. 储集岩孔隙类型为: 埋藏期原生孔隙, 埋藏期次生孔隙, 早成岩期近地表次生孔隙, 晚成岩期近地表次生孔隙, 白云化孔隙等。

2. 作大区域评价时, 应从盆地分析入手, 应用构造、岩相、成岩、有机地化等方面综合分析, 作出可能存在的储集岩孔隙类型的预测。

3. 通过成岩研究, 恢复孔隙演化历史; 通过有机质热成熟度研究, 寻找有机质热脱羧作用和生物降解相对应的孔隙数量 and 空间展布, 这就是储集岩孔隙经济潜能和空间位置。

## 参 考 文 献

- [1] 叶得胜, 刘树群等, 1980, 石油与天然气地质, 第7卷, 第3期。
- [2] 余圣仁等, 1984, 石油勘探与开发, 第6期。
- [3] Moore, C.H., and Drackman, Y., 1981, AAPG Bull., Vol.65, No.4, P.597-627.
- [4] Schmoker, J.W.等, 1982, 油气地质译丛, 1982, 第6卷。
- [5] Schmoker, J.W., 1984, AAPG Bull., Vol.68, No.11, P.1697-1703.
- [6] 刘树群等, 1980, 石油与天然气地质, 第6卷, 第2期。
- [7] 韩世庆等, 1983, 石油与天然气地质, 第3卷, 第4期。
- [8] 杜博民等, 1984, 石油与天然气地质, 第5卷, 第2期。
- [9] 刘树群, 1982, 石油勘探与开发, 第6期。
- [10] 高震飞, 1984, 石油与天然气地质, 第5卷, 第3期。
- [11] 董晓光, 1984, 石油学报, 第6卷, 第1期。
- [12] 周敏安等, 1983, 石油学报, 第1卷, 第2期。
- [13] Johan D.H., Thomas, M. and Paul, P.E., 1984, AAPG Bull., Vol.68, No.6, P.763-784.
- [14] Smith, R.L., and Thomas, T.T., 1984, AAPG Bull., Vol.68, No.4, P.529.
- [15] McBride, F.F., 1984, AAPG Bull., Vol.68, No.4, P.505.
- [16] Larese, R.E., Edward, D.P. and Milton, T.H., 1984, AAPG Bull., Vol.68, No.4, P.499.

## POROSITY TYPES IN RESERVOIR - ACCUMULATION STAGE AND SOME PROBLEMS ON ESTIMATION

Hu Weiyuan Liu Shuhui

(95 Project Administration, Ministry of Geology and Mineral Resources)

### Abstract

The most key link is to evaluate reservoir by porosity of reservoir-accumulation stage in the reservoir research. As long as we grasp this key link, we can make appropriate evaluation and estimation.

Porosity types of reservoir-accumulation stage may be divided into five types, 1. Primary porosity of burial stage; 2. Secondary porosity of burial stage; 3. Nearsurface secondary porosity of early diagenesis; 4. Nearsurface secondary porosity of late diagenesis; 5. Dolomitization porosity.

To estimate the porosity of reservoir-accumulation stage, we must recover the history of porosity evolution through the medium of diagenesis research, and determine the stages of decarboxylation and reservoir-accumulation based on maturity of organic matter. Through the agency of the relations between the evolution of porosity and organic matter, we may be able to find the space distribution of hydrocarbon reservoirs and the commercial potential,