

# 砂岩储层次生孔隙定量统计的新方法

王恕一

(地矿部石油地质中心实验室, 无锡 214151)

次生孔隙是砂岩储集岩中重要的储集空间类型之一, 利用岩石学方法识别次生孔隙并不困难, 然而由于强烈的溶蚀作用, 常常形成次生孔和原生孔连成一体混合孔隙, 使孔隙类型的定量统计造成困难。本文提出以实测孔隙度与岩石学统计相结合的方法, 把样品集合为“强溶蚀”和“弱溶蚀”两类, 分别统计, 利用岩石学方法准确统计“弱溶类”样品, 强溶蚀作用的影响以实测孔隙度求取, 最终可取得较准确的定量统计资料。

**关键词** 砂岩 次生孔隙 定量统计

**作者简介** 王恕一 男 55 岁 高级工程师 石油地质

70 年代中期, 对砂岩孔隙性质的认识发生了根本性变化。人们发现, 砂岩中除原生孔隙外, 次生孔隙的发育程度有时不亚于碳酸盐岩, 很多沉积盆地中, 次生孔隙型砂岩成为重要的油气储集岩 (V. Schmitt, et al., 1979), 由此对砂岩次生孔隙的研究成为烃类储集岩研究中具有实际意义的重要内容之一。

砂岩次生孔隙主要有溶解孔、开裂缝和收缩孔等类型, 许多研究者已提出了一系列识别标志 (G. Shanmugam, 1985), 一般情况下可以在薄片用简单的岩石学标准来定性识别。但是对次生孔隙的定量统计, 尤其是在溶解作用强烈的砂岩中对次生溶孔的定量统计, 往往非常困难, 如, 一个特大孔隙, 是发生次生溶解的典型标志, 但这个特大孔隙中是否含有残余的原生孔隙? 含有多少原生孔隙? 这些问题在薄片研究中往往很难得到正确的答案。为了解决这个问题, 笔者在对新疆塔里木盆地北部三叠系砂岩储层研究中采用孔隙度实测与薄片统计相结合的方法, 取得了较准确的定量统计资料, 统计方法叙述如下。

## 1 方法

(1) 在一个储层段中系统采样, 作岩石孔隙度实测, 取得每个样品的实测孔隙度值。同时作铸体薄片, 供岩石学研究、孔隙类型识别和面孔率统计使用。

(2) 在铸体薄片统计总面孔率, 并根据岩石学

标准识别孔隙类型, 其中次生孔有两类, 一类可准确判断为次生溶孔, 有明确的边界, 可以准确测量, 如粒内溶孔等 (开裂缝、收缩缝等边界明确的次生孔隙也包括在内, 下同); 另一类孔隙虽有典型的溶蚀标志, 但可能还包含一部份残余原生孔, 即次生孔和原生孔组成的复合孔, 如粒间扩大孔, 超大孔等, 这里也作为次生溶孔统计。根据次生溶孔面孔率在总面孔率中的百分含量将样品集合为两类, 次生溶孔面孔率占总面孔率 50% 以上的称强溶蚀类岩石 (简称“强溶类”, 下同), 不足 50% 的样品称弱溶蚀类岩石 (简称“弱溶类”, 下同)。

(3) 统计“强溶类”和“弱溶类”样品的平均实测孔隙度, 求出两类样品实测平均孔隙度之差, 该值可看作是由于溶蚀作用强度不同造成的, 是次生溶蚀孔隙的一部分, 以  $\bar{\Phi}_A$  表示。

(4) “弱溶类”样品铸体薄片作面孔率统计, 分别统计原生孔、次生孔和总面孔率, 次生孔隙分成两部分统计, 一部分孔隙在薄片外形清晰, 容易识别和统计, 如粒内溶孔、微裂缝和溶蚀扩大不强烈的粒间溶孔, 后者的溶蚀次生孔部分虽然与原生粒间孔相邻, 但仍可根据原始碎屑颗粒外形的恢复、早期薄膜胶结物的范围等岩石学标准判别而准确统计出溶蚀扩大部分的面孔率。这一部分的面孔率以  $\Phi_{Ca}$  表示。另一部分为复合孔隙, 即薄片中有明显的溶蚀次生标志, 而又无法准确统计出次生孔隙和原生孔隙含量, 如溶蚀扩大的粒间孔、超大孔等孔隙, 这一部分孔隙以  $\Phi_{Ba}$  表示, 在“弱溶类”岩石中这一部分孔隙含量较低, 我们可以取中值, 把  $\frac{1}{2} \Phi_{Ba}$  作为统计误差

看待。

(5) 根据岩石实测孔隙度, 把面孔率校正为孔隙度值, 可准确统计的次生孔隙度( $\Phi_c$ )和复合孔孔隙度( $\Phi_B$ )分别为:

$$\Phi_c = \frac{\Phi_{c_a} \cdot \Phi}{\Phi_a} \quad \Phi_B = \frac{\Phi_{B_a} \cdot \Phi}{\Phi_a}$$

式中:  $\Phi_c$  为可准确统计的次生孔隙度;

$\Phi_{c_a}$  为可准确统计的次生孔面孔率;

$\Phi$  为岩石孔隙度;

$\Phi_a$  为岩石面孔率;

$\Phi_B$  为复合孔孔隙度;

$\Phi_{B_a}$  为复合孔面孔率。

(6) 根据上述实测孔隙度和薄片面孔率资料可计算出“弱溶类”可准确统计的次生孔孔隙度的平均值( $\bar{\Phi}_c$ )和复合孔孔隙度的平均值( $\bar{\Phi}_B$ ), 则  $\bar{\Phi}_A + \bar{\Phi}_c + 1/2\bar{\Phi}_B$  之和为“强溶类”岩石次生孔隙平均含量,  $\bar{\Phi}_c + 1/2\bar{\Phi}_B$  为“弱溶类”岩石次生孔隙平均含量, 其误差为  $1/2\bar{\Phi}_B$ 。原生孔隙平均含量为“弱溶类”平均孔隙度与其次生孔含量之差(误差为  $1/2\bar{\Phi}_B$ )。

## 2 实例

新疆塔里木盆地北部三叠系储层分上、中、下 3 层砂岩储层, 相应称为上、中、下 3 个油组, 其孔隙发育, 溶蚀作用强烈, 孔隙类型为次生—原生复合类型。以沙 17 井三叠系下油组砂岩为例统计如下:

(1) 系统取样 30 件, 实测孔隙度 14.03%~28.35%, 平均孔隙度 20.15%。铸体薄片统计, “强溶类”样品 20 件, 实测孔隙度平均为 21.47%, 弱溶类样品 10 件, 实测孔隙度平均为 17.52%, 两类样品平均孔隙度差  $\Phi_A$  为 3.95%(表 1)。

(2) 铸体薄片统计, “弱溶类”10 件样品, 原生孔面孔率平均为 11.85%, 约占面孔 72.7%; 次生孔面孔率平均为 1.35%, 约占面孔 8.28%; 复合孔面孔率平均 3.10%, 约占面孔 19.02%(表 1)。

(3) 计算结果:

“弱溶类”样品复合孔和次生孔面孔率校正为孔隙度值:

$$\text{复合孔孔隙度平均值}(\bar{\Phi}_B) = 17.52\% \times 19.02\% \approx 3.33\%$$

$$\text{次生孔孔隙度平均值}(\bar{\Phi}_c) = 17.52\% \times 8.23\% \approx 1.45\%$$

“强溶类”样品次生孔含量(平均值)为:

$$\bar{\Phi}_A + \bar{\Phi}_c + 1/2\bar{\Phi}_B = 3.95\% + 1.45\% + 1/2 \times 3.33\% \approx 7.07\% (\pm 1.67\%)$$

弱溶类样品次生孔隙含量(平均值)为:

$$\bar{\Phi}_c + \bar{\Phi}_B = 1.45\% + 1.67\% = 3.12\% (\pm 1.67\%)$$

表 1 沙 17 井三叠系下油组砂岩孔隙度和各类孔隙统计表

类别		“强溶类”	“弱溶类”	总计
样品数(件)		20	10	30
孔隙度(%)	范围	16.83~28.35	14.03~20.56	14.03~28.35
	平均	21.47	17.52	20.15
面孔率(%)	范围	16.0~33.0	12.0~20.5	12.0~33.0
	平均	20.85	16.30	19.33
原生孔	面孔率(平均值%)	3.80	11.85	6.48
	占总面孔百分比(平均值%)	18.23	72.70	33.52
	校正后孔隙度(%)	3.91	12.74	6.75
复合孔	面孔率(平均值%)	15.25	3.10	11.20
	占总面孔百分比(平均值%)	73.14	19.02	57.94
	校正后孔隙度(%)	15.71	3.33	11.68
次生孔	面孔率(平均值%)	1.80	1.35	1.65
	占总面孔百分比(平均值%)	8.63	8.28	8.53
	校正后孔隙度(%)	1.85	1.45	1.72

原生孔隙含量(平均值)可由平均孔隙度减次生孔平均孔隙度得到。弱溶类平均孔隙度减平均次生孔隙度:  $17.52\% - 3.12\% = 14.40\% (\pm 1.67\%)$ 。

由上述统计可知, 沙 17 井三叠系下油组储层平均孔隙度为 20.15%, 原生孔平均孔隙度为 14.40% ( $\pm 1.67\%$ ), 占总孔隙的 71.46% ( $\pm 8.3\%$ ), 次生孔平均孔隙度为 5.75% ( $\pm 1.67\%$ ), 占总孔隙的 28.54% ( $\pm 8.3\%$ )。可见该层段储集岩孔隙类型是

以原生孔为主的次生—原生复合类型。

### 3 讨论

(1)上述统计方法是以铸体薄片中的岩石学统计和实测孔隙度相结合为基础的,薄片中孔隙的定量统计,实际上主要在溶蚀较弱的样品中进行,这样就解决了在溶蚀强烈、次生孔极发育的样品中,复合孔难于准确统计的困难,虽然在溶蚀较弱的样品中,也有一些复合孔隙,但数量少,如果我们把这些复合孔隙全部作为次生孔或全部作为原生孔考虑,那么可以得到次生孔隙和原生孔隙含量的上下限,其误差为复合孔隙含量的二分之一。如前述沙 17 井三叠系下油组砂岩孔隙统计中,“弱溶类”样品复合孔隙孔隙度为 3.33%,其次生孔隙含量范围为 1.45%~4.78%,以复合孔含量的二分之一作为统计误差来表示,即次生孔含量为 3.12%(±1.67%),误差值为该储层平均孔隙度值的 8.3%,基本上可以满足我们孔隙分类定量统计的目的。如果我们用所有样品薄片统计资料计算,该储层中原生孔孔隙度为 6.75%,次生孔孔隙度为 1.72%,复合孔孔隙度为 11.68%(见表 1),把复合孔全部作为次生孔或原生孔,可得原生孔和次生孔的含量范围为 6.75%~18.43%和 1.72%~13.40%,以复合孔的二分之一作为统计误差来表示,得原生孔孔隙度为 12.59%±5.84%,次生孔孔隙度为 7.56%±5.84%,误差值为该储层平均孔隙度值的 28.98%,显然统计准确程度远不如新的统计方法,就实例来看,薄片统计结果也很难判断该储层孔隙类型是以原生孔为主,还是以次生孔为主。可见,新的统计方法大大提高了定量统计的精度。

(2)我们的统计方法,实际上有个前提,即“强溶

类”和“弱溶类”岩石的平均原生孔隙度是相同的(或非常接近的),两类岩石平均孔隙度的差异( $\bar{\Phi}_A$ )是次生孔隙发育不均一造成的。因此统计的样品应该具有相似的沉积相和成岩历史,这样才能保证两类岩石有近似(或相同的)的原生孔隙,以避免统计中 $\bar{\Phi}_A$ 值由于沉积相和成岩史的差异而造成误差。

(3)本方法对那些含有大量复活孔(即前期胶结物,后期被溶解形成的次生孔)的岩石和成岩历史较复杂(多期强烈胶结和溶蚀等成岩作用)的岩石一般不适用,因为大量的复活孔隙是由强烈的胶结—溶蚀形成,前期胶结物有多少被溶,一般很难判断,而有复杂多期成岩作用的岩石,也存在类似的问题,因此使用本文的统计方法一般也很难奏效。

(4)“强溶类”和“弱溶类”岩石集合分类的标准主要受两个因素控制:一是“弱溶类”岩石薄片复合孔隙的含量,由于薄片孔隙统计重点是在“弱溶类”中进行,复合孔隙含量越大,统计结果的精度就越低,反之,复合孔隙含量越小,统计结果的精度越高。二是“弱溶类”在样品总数中的数量,数量太少,代表性不够。因此集合分类的标准应根据研究层段的实际情况确定,本文中以次生孔和复合孔占总孔隙 50%为界,并不是一成不变的标准。

### 参 考 文 献

- 1 V. Schmitt & D. A. MacDonald. Aspects of diagenesis. *SEPM*, 1979, 26
- 2 G. Shanmugam. Significance of secondary porosity in interpreting sandstone composition. *AAPG*, 1985, 69(3):378~384.

(收稿日期:1996年6月19日)

## A NEW METHOD OF QUANTITATIVE STATISTICS OF SECONDARY PORES IN SANDSTONE RESERVOIRS

Wang Shuyi

(Central Laboratory of Petroleum Geology, MGMR)

### Abstract

Secondary pore is one of important types of reservoir space in sandstone reservoirs. It is not difficult to identify secondary pores with the petrographic method, however, it is when quantitative statistics of pore types are to be made, because secondary pores and primary pores were often connected to form into mixed pores resulted from intense corrosion. The paper proposed a method that combines the observed porosity and petrographic statistics, and clarified the samples into "intense corrosion" and "weak corrosion" types, so as to make their statistics respectively. The petrographic method was applied to get accurate statistics of the samples of "weak corrosion" type, while the affects of "intense corrosion" were determined on the basis of a observed porosity, and finally to obtain accurate quantitative statistical data.

### 第四届全国油气化探学术会议在黄山召开

由中国新星石油公司和中国地质学会石油地质专业委员会联合举办的“第四届全国油气化探学术会议”于 1997 年 4 月 12~18 日在黄山召开。

会议由中国科学院院士、中国地球物理学会理事长刘光鼎同志主持。来自中国科学院,各大石油公司、地矿部、国家海洋局、冶金、煤炭、核工业以及清华大学、北京大学、中国地质大学、西北大学、成都理工学院、大庆石油学院等单位的 150 余位代表共提交论文 140 余篇,会议交流 55 篇。内容涉及油气化探的基础理论和应用基础研究、探测技术、实验测试技术、数据处理和解释评价技术以及应用效果,复盖了地表化探、井中化探、遥感化探和海上化探等多个领域,展示了我国油气化探的新进展、新成果。大会充分肯定了油气化探在油气勘查中所起的作用,并对油气化探在勘查我国油气资源,尤其是寻找非构造油气藏或隐蔽油气藏的作用充满信心。

本刊编辑部