

文章编号 :1000-0550(2002)01-0075-05

# 激光扫描共聚焦显微镜研究储层孔隙结构

应凤祥 杨式升 张 敏 李豫喜 周宏燕

(中国石油勘探开发研究院 CNPC 油气储层重点实验室 北京 100083)

**摘 要** 这是一项首次应用激光扫描共聚焦显微镜(LSCM)的激光荧光技术于油气储层的孔隙结构研究。供 LSCM 用的样品,用环氧树脂加入荧光剂后,经加压灌注,磨制成岩石薄片,在 LSCM 显微镜下观察孔喉的分布,可以测量面孔率,并可标出需要测量的每个孔喉的大小以及观察孔喉形状及分布状况。该法的优点:1.可直接测量和观察到  $2\mu\text{m}$  左右大小的孔喉。2.在 LSCM 显微镜下可区分孔隙空间中的充填粘土杂基等,因此面孔率的测定较一般镜下统计和图像分析更为精确,因粘土矿物由于吸附染色剂后在颜色或灰度上有的不易区分。3.岩石薄片中的微裂缝,在 LSCM 显微镜下可以更清楚地观察到。

**关键词** 激光扫描共聚焦显微镜 孔隙结构 荧光剂

**第一作者简介** 应凤祥 男 1929 年出生 教授级高级工程师 石油地质

中图分类号 TE122.2+3 文献标识码 A

## 1 激光扫描共聚焦显微镜激光荧光技术的优点

激光扫描共聚焦显微镜是国外二十世纪八十年代后期开发的新测试仪器,它集显微技术、高速激光扫描和计算机图像处理技术于一体,包括激光光源和共聚焦扫描探测器、偏光显微镜和 Z 轴聚焦步进马达以及计算机数据和图像处理系统。该显微镜的放大倍数可达 10 000 倍,分辨率比一般显微镜高 1.4 倍,并可分层扫描,光切片最薄为  $0.1\mu\text{m}$ ,本仪器最大穿透深度为  $100\mu\text{m}$  左右,将每层扫描图像存入计算机,然后可重建三维立体图像。该仪器过去主要应用于生物学、医学和材料科学等研究领域,我们于 1992 年 5 月引进后曾在地学应用上作了一些尝试。本次我们主要应用于油气储层孔隙结构研究。

自 1996 年以来我们曾选用多种荧光剂分别在激光下观察发光效果,但从岩石薄片制作要求来看,以玫瑰红色荧光剂最为理想,它能溶于环氧树脂,既可制成铸体薄片,也能同时应用于激光荧光观察,这一激光荧光剂是我们首次在多种荧光剂中择优选用的,具有较好效果。激光荧光技术的优点在于:

(1) 可以抽真空和加压灌注  $2\mu\text{m}$  左右大小的孔喉也能灌注进去(图版 I-1),从而能直观的观察孔隙结构,图像清晰并可任意选择测量和标出每个孔喉的大小。

(2) 在激光荧光下可以区分薄片孔隙空间内的孔隙和粘土杂基等(图版 I-2),使面孔率的统计更

为精确,而这在一般偏光镜下或用图像分析,由于粘土矿物吸附染色剂使其颜色或灰度有的不易与孔隙区分开,从而造成面孔率的统计误差。

(3) 在偏光显微镜下有的未能显示或显示不清的微裂缝而在激光荧光下则清晰可见(图版 I-3、4)。

## 2 激光荧光技术测量储层孔隙结构

我们将这一技术应用于冀东油田和辽河油田储层的孔隙结构研究,现以冀东老爷庙油田为例,共测定 11 口井 55 块样品的孔喉大小及面孔率(表 1),由表说

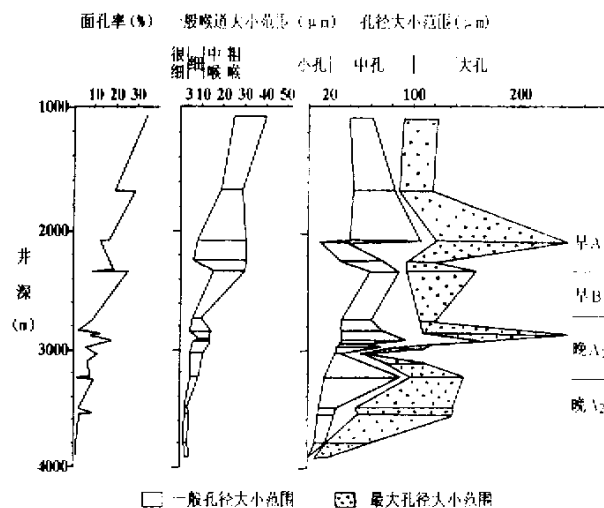


图 1 老爷庙油田储层面孔率、喉道及孔径大小分布图

Fig. 1 The distribution of the visual porosity and the size of pore and throat of reservoirs in Laoyemiao oil field



(2) 2 755~2 952 m 层位为下第三系东营组二段—东三段上,成岩阶段属晚成岩 A<sub>1</sub>,面孔率主要为 10%~20%,孔径一般为 30~70 μm,大孔可达 107~246 μm,喉道一般为 5~14 μm,属中孔中细喉。

(3) 2 983~3 248 m 层位为东营组二段—东三段上,成岩阶段属晚成岩 A<sub>1</sub>,储层的面孔率为 2%~11.6%,孔径大小一般为 25~80 μm,最大孔径 110~145 μm,属大孔,喉道大小一般为 3~8 μm,最大 10 μm,属中孔细喉(图版 II-1、2)。

(4) 3 237~3 935.7 m 层位属下第三系东营组三段—沙河街组一段,成岩阶段属晚成岩 A<sub>2</sub>,面孔率为 0.34%~9.28%,孔径一般在 2~27 μm,喉道大小一般<3 μm,属中小孔很细喉(图版 II-3、4、5、6)。

由上说明,随埋深增加和成岩作用增强,在 1 692

~3 935 m 的储层,其成岩阶段由早成岩阶段演变为晚成岩 A<sub>2</sub> 阶段,其面孔率由 10%~33%降为 0.34%~9.28%,孔径大小由 30~70 μm 降为 2~27 μm,喉道大小由 10~40 μm 降为<3 μm,由中孔中粗喉变为中小孔很细喉,说明孔隙结构由好变差,这与储层的物性变化规律相一致(表 2)。

#### 参 考 文 献

- 1 张敏,应凤祥,王光盈. 运用 MRC-600 型激光共聚焦扫描显微镜分析研究碳酸盐岩、煤岩的显微特征[A]. 见:中国石油天然气总公司石油勘探开发科学研究院科技论文集. 油气地质与勘探[C]. 北京:石油工业出版社,1996. 182~184
- 2 应凤祥,王衍琦,王克玉. 中国油气储层研究图集(卷 1)碎屑岩[M]. 北京:石油工业出版社,1994
- 3 应凤祥. 碎屑岩成岩阶段划分规范[M]. 北京:石油工业出版社,1993

## Application of Laser Scanning Confocal Microscope to the Measurement of Pore Texture in Reservoirs

YING Feng-xiang YANG Shi-sheng ZHANG Min LI Yu-xi ZHOU Hong-yan  
(CNPC Key Laboratory for Oil and Gas Reservoirs, Beijing 100083)

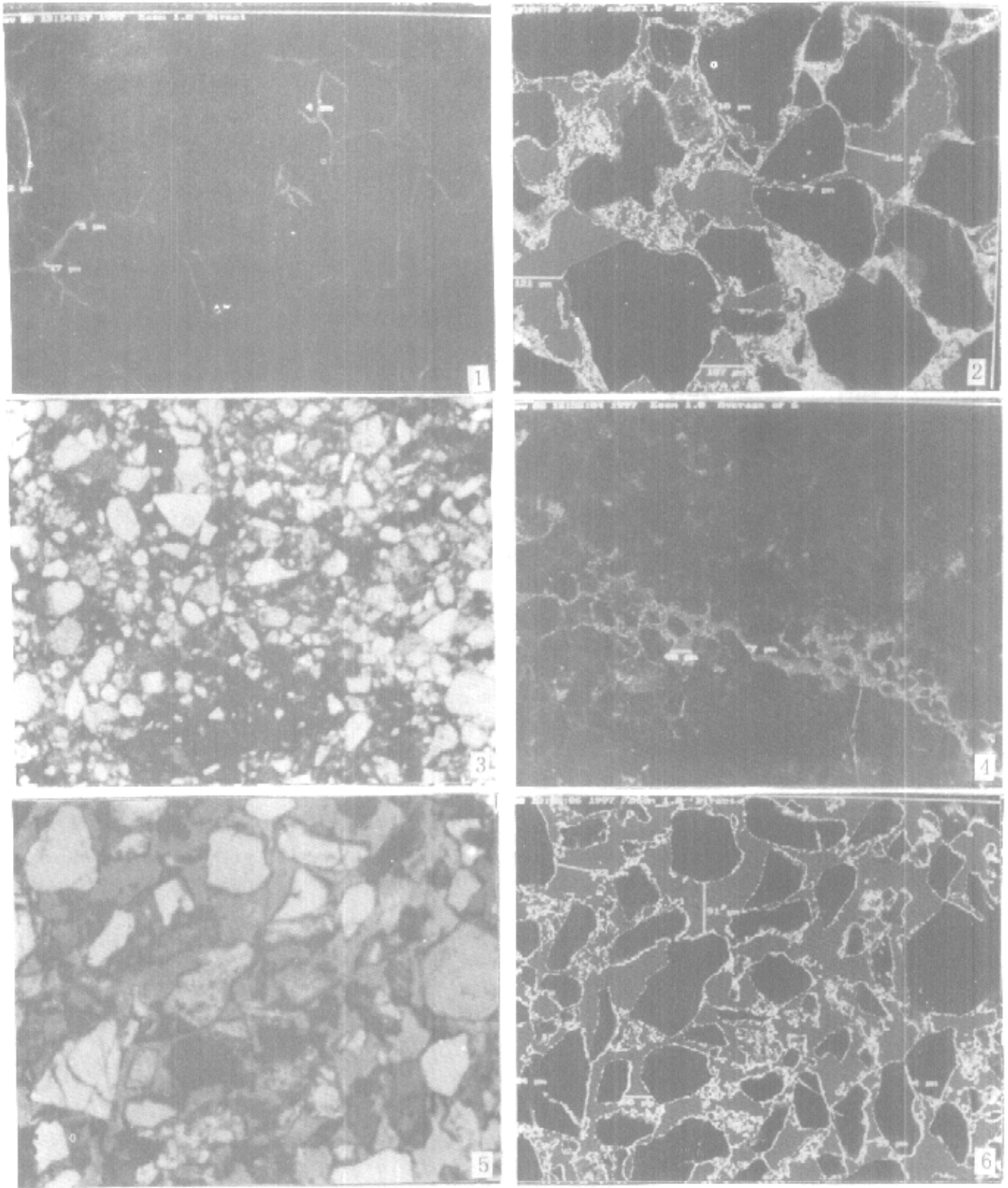
**Abstract** Samples are pressure-impregnated with epoxy mixed with a fluorescent dye. So the Laser-induced fluorescence can be observed in thin section with LSCM (Laser scanning confocal microscope).

This technique provides a rapid method for directly obtaining measurement of visual porosity and the size of pores and throats from thin section.

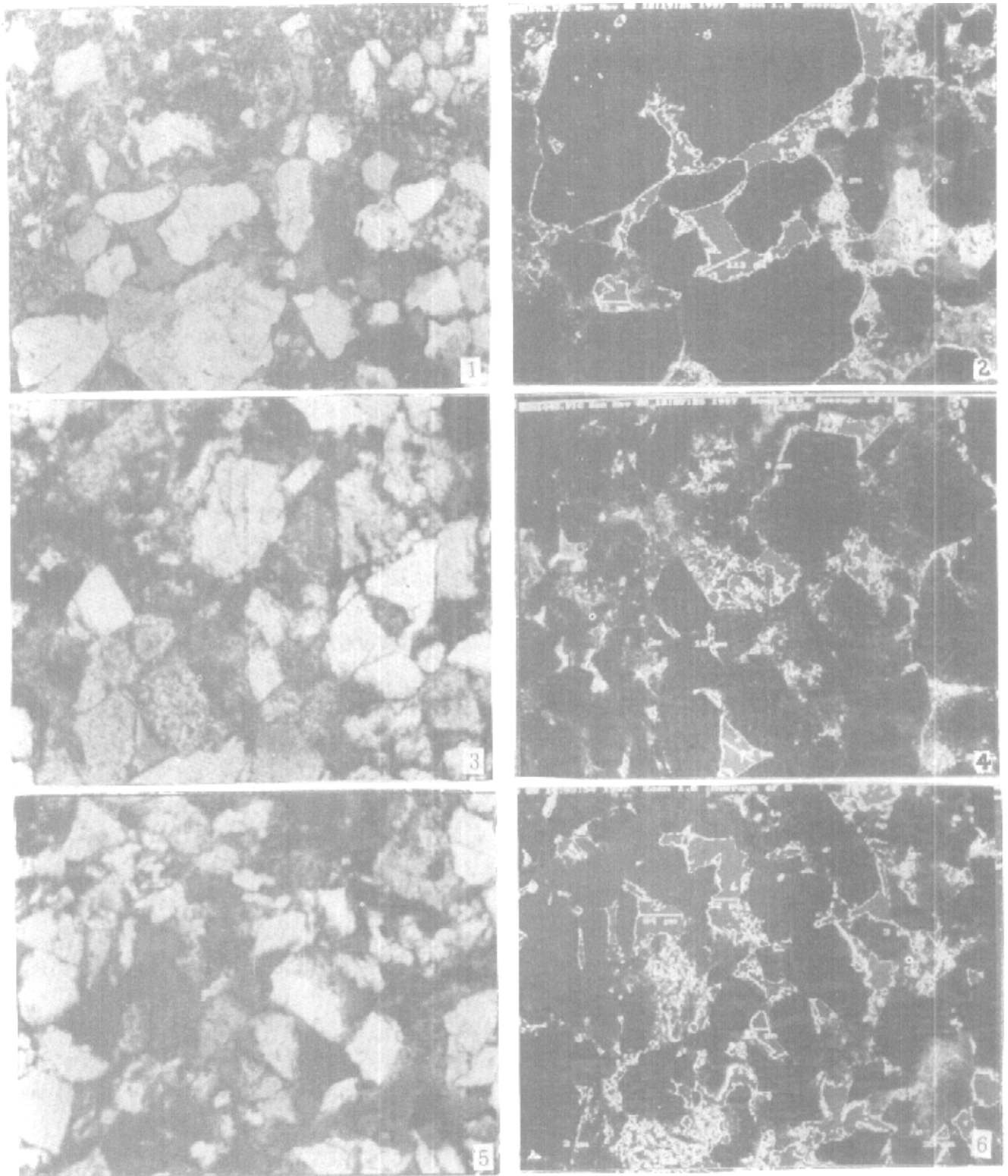
The advantages of this method are as follows:

1. The pore size larger than 2 μm can be observed
2. The clay matrix in pore space can be differentiated with LSCM but it could not be distinguished with polarized microscope or image analysis during the clay minerals are absorbed with rose fluorescent dyes, so the measurement of visual porosity with LSCM would be more accurate
3. Some fissures in thin section can clearly be observed

**Key words** laser scanning confocal microscope, pore texture, fluorescent dye



图版 I 说明 1. 加玫瑰红荧光剂铸体灌注到  $2\mu\text{m}$  的喉道内, 激光荧光照片中, 黑色为砂岩的碎屑颗粒, 灰色为喉道及孔隙。M28 井, 井深 3 935.74 m, 层位  $\text{Ed}_3^{\text{下}}$ 。2. 激光荧光照片中黑色为碎屑颗粒, 红色为孔隙, 灰白色为粘土等填隙物(下同)。M9 井, 井深 2 082.72 m, 层位  $\text{Ng}$ 。3、4. 照片 3 为单偏光下未显示有微裂缝的存在, 而照片 4 与照片 3 为同一视域, 在激光荧光下清晰地显示出有微裂缝的存在。M28×1 井, 井深 3 551.90 m, 层位  $\text{Ed}_3$ 。5、6. 照片 5 为单偏光, 照片 6 与照片 5 为同一视域, 在激光荧光下显示出颗粒(黑色)、孔隙(灰色)和粘土等填隙物(灰白色), 面孔率 33.62%, 孔喉大, 连通好, 为中孔中粗喉。M25 井, 井深 1 692.24 m, 层位  $\text{Nm}$ 。



图版 II 说明 1、2. 照片 1 为单偏光, 照片 2 与照片 1 为同视域的激光荧光照片, 显示出有较多粘土填隙物, 面孔率 6.03%, 孔径大喉道细, 为中孔细喉, M28×1 井, 井深 3 112.23 m, 层位  $Ed_3^+$ ; 3、4. 照片 3 为单偏光, 照片 4 与照片 3 为同视域的激光荧光照片, 面孔率 2.59%, 为中小孔很细喉, 孔隙连通差, M28×1 井, 井深 3 501.72 m, 层位  $Ed_3^-$ ; 5、6. 照片 5 为单偏光, 照片 6 与照片 5 为同视域的激光荧光照片, 面孔率 8.37%, 为中小孔中细喉, M1 井, 井深 3 430.26 m, 层位  $Ed_2$ 。