

ICS 75.020

E 12

备案号: 14059—2004

**SY**

# 中华人民共和国石油天然气行业标准

**SY/T 6103—2004**

代替 SY/T 6103—94, SY/T 6312—1997

---

## 岩石孔隙结构特征的测定 图像分析法

Measurement of rock pore structure

Method of image analysis

2004—07—03 发布

2004—11—01 实施

---

国家发展和改革委员会 发布

## 目 次

前言 .....	II
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 原理 .....	1
4 术语和定义 .....	1
5 主要仪器设备及材料 .....	2
6 样品制备 .....	2
7 岩石孔隙结构特征的测定 .....	3
8 测定报告内容 .....	5
参考文献 .....	6

## 前 言

本标准对 SY/T 6103—94《岩石孔隙环氧树脂铸体实验方法》和 SY/T 6312—1997《砂岩粒度和孔隙特征的测定 图像分析方法》进行了合并修订。主要合并修订内容包括：

- 将岩石孔隙环氧树脂铸体实验方法作为本标准的一部分，形成一个用图像分析方法测定孔隙结构特征的完整标准；
- 删除砂岩粒度图像分析测定方法部分；
- 用等效面积圆的直径表征孔隙大小；
- 将报告格式部分改为测定报告内容；
- 将标准名称改为《岩石孔隙结构特征的测定 图像分析法》。

本标准自实施之日起，同时代替 SY/T 6103—94 和 SY/T 6312—1997。

本标准由油气田开发专业标准化委员会提出并归口。

本标准起草单位：中国石化胜利油田有限公司地质科学研究院。

本标准起草人：吕成远、曲岩涛、陈晓军、陈霆、滕奇志。

本标准所代替标准的历次版本发布情况为：

- SY/T 6103—94；
- SY/T 6312—1997。

## 岩石孔隙结构特征的测定 图像分析法

### 1 范围

本标准规定了岩石孔隙结构特征测定的图像分析法。

本标准适用于岩石孔隙结构特征的测定。

### 2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

SY/T 5913 岩石制片方法

SY/T 6437 开发实验用岩样的取样方法及质量要求

### 3 原理

#### 3.1 铸体

在一定温度和压力下，注入岩石孔隙中的环氧树脂或有机玻璃与固化剂发生化学固化反应，孔隙被坚硬的反应物填充，形成岩石铸体，将岩石铸体研磨薄片——获得二维截面。

#### 3.2 体视学

三维空间内特征点的特征可以用二维截面内特征点的特征值来表征，图像分析方法对二维图像进行扫描，并对特征点的像素群进行检测和编辑处理，得到二维图像的特征值。

### 4 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

#### 4.1

**孔隙 pore**

由三个或三个以上岩石颗粒所包围的空间称为孔隙，相邻两孔隙之间的连接部分（两颗岩石颗粒之间的空间）称为喉道，孔隙和连接它的部分喉道的总体称为孔隙。

#### 4.2

**喉道宽度 throat width**

连接相邻两孔隙的喉道最窄处的宽度。

#### 4.3

**孔隙直径 pore diameter**

用等效面积圆直径表征的孔隙直径。

等效面积圆直径：将孔隙的面积等效于某一圆的面积，该圆的直径称为等效面积圆直径，记为  $D_p$ 。

#### 4.4

**面积频率 area frequency**

所测图形（孔隙）中某一径长范围的图形面积  $A_i$  占有被测图形面积  $\sum A_i$  的百分数。

#### 4.5

**孔喉比 throat to pore ratio**

孔隙直径与连接该孔隙的喉道宽度的平均值之比。

#### 4.6

**配位数 coordination number**

与一个孔隙连接的喉道个数。

### 5 主要仪器设备及材料

#### 5.1 主要仪器设备

5.1.1 图像分析仪：图像采集帧存板的分辨率不少于  $512 \times 512$  像素点，彩色摄像头照度不低于 3lux，分辨率不少于 430 线。

5.1.2 显微镜：偏光显微镜；实体显微镜，放大倍数根据岩性要求选择，无级变焦。

5.1.3 孔隙铸体仪。

#### 5.2 化学试剂

5.2.1 注入剂：环氧树脂加稀释剂或有机玻璃。

5.2.2 固化剂：三乙醇胺或偶氮二异丁腈，分析纯。

5.2.3 油性染料。

5.2.4 粘合剂。

#### 5.3 主要材料

碳化硅金刚砂：130 号、300 号、400 号、600 号、800 号、1000 号。

### 6 样品制备

#### 6.1 孔隙铸模

##### 6.1.1 岩样准备

6.1.1.1 取样按 SY/T 6437 执行。

6.1.1.2 将待测样品按样品序号装入玻璃管内，块与块之间用云母片隔开，装至距离玻璃管口 30mm 即可。

##### 6.1.2 配制注入液

按环氧树脂加稀释剂：三乙醇胺：染料为 100：15：2 的比例配置或按有机玻璃：偶氮二异丁腈：染料为 100mL：0.2g：0.5g 的比例配制。

##### 6.1.3 真空灌注

6.1.3.1 将装好的样品在  $100^{\circ}\text{C}$  下烘 1h~2h。

6.1.3.2 将注入液和装好的样品置入仪器的抽真空系统中。

6.1.3.3 注入液抽空 15min。

6.1.3.4 根据样品的不同岩性，抽真空 1h~4h。要求系统内真空度与当天大气压相比，相差不大于 400Pa。

6.1.3.5 灌注注入液，当液面超过岩样最高端时，关死进口闸门，继续抽空 15min。真空灌注完毕。

##### 6.1.4 高温高压灌注

6.1.4.1 将真空灌注好的样品放入高压岩心室。

6.1.4.2 设定温度  $65^{\circ}\text{C}$ ，待压力（45MPa）和温度稳定后，运行 4h。若用第二配方的注入液，则设定温度  $100^{\circ}\text{C}$ ，在压力 8MPa 的条件下，恒温 1h。

6.1.4.3 设定温度  $95^{\circ}\text{C}$ ，待压力和温度稳定后，运行 8h。若用第二配方的注入液，则设定温度  $140^{\circ}\text{C}$ ，在压力 15MPa~20MPa 条件下，恒温 5h。

6.1.4.4 待冷却后打开高压岩心室取出样品，将其分切，对号装袋，备用。

## 6.2 铸体薄片制片

按 SY/T 5913 执行。

## 7 岩石孔隙结构特征的测定

### 7.1 视域和放大倍数的选择

7.1.1 选择有代表性的视域，但不重复。

7.1.2 在同一张铸体薄片里，一般一个视域内孔隙数 30 个~50 个为宜。

### 7.2 分割孔隙

在连接两孔隙的喉道最窄处，将喉道分割成两部分，分别归于其连接的孔隙，构成独立的单个孔隙。

### 7.3 测定孔隙基本特征值

7.3.1 对孔隙逐个进行特征测定。

7.3.2 孔隙基本特征值：

- 孔隙面积；
- 孔隙周边长；
- 与孔隙连通的喉道个数；
- 喉道宽度。

### 7.4 计算孔隙结构特征参数

7.4.1 面孔率按式 (1) 计算：

$$\phi = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \left( \sum_{i=1}^N A_{pij} / A_{pj} \right) \times 100\% \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中：

$\phi$ ——面孔率，以百分数表示；

$A_{pij}$ ——第  $j$  个视域中第  $i$  个孔隙的面积， $\mu\text{m}^2$ ；

$A_{pj}$ ——第  $j$  个视域的面积， $\mu\text{m}^2$ ；

$N$ ——第  $j$  个视域的面积中的孔隙个数；

$n$ ——视域个数。

7.4.2 孔隙直径按式 (2) 计算：

$$D_p = 2 \sqrt{A_p / \pi} \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中：

$D_p$ ——等效面积圆直径， $\mu\text{m}$ ；

$A_p$ ——孔隙面积， $\mu\text{m}^2$ 。

7.4.3 平均孔隙直径按式 (3) 计算：

$$\bar{D}_p = \sum_{i=1}^N D_{pi} f_i / 100 \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中：

$\bar{D}_p$ ——平均孔隙直径， $\mu\text{m}$ ；

$D_{pi}$ ——第  $i$  个孔隙的直径， $\mu\text{m}$ ；

$f_i$ ——面积频率，%；

$N$ ——孔隙个数。

7.4.4 视孔隙比表面按式 (4) 计算：

$$S_o = 4L_p / \pi A_p \quad \dots\dots\dots (4)$$

式中：

$S_o$ ——视孔隙比表面,  $\mu\text{m}^{-1}$ ;  
 $A_p$ ——孔隙面积,  $\mu\text{m}^2$ ;  
 $L_p$ ——孔隙周边长,  $\mu\text{m}$ 。

7.4.5 平均视孔隙比表面按式 (5) 计算:

$$\overline{S_o} = \sum_{i=1}^N S_{oi} / N \dots\dots\dots(5)$$

式中:  
 $\overline{S_o}$ ——平均视孔隙比表面,  $\mu\text{m}^{-1}$ ;  
 $S_{oi}$ ——第  $i$  个孔隙的视孔隙比表面,  $\mu\text{m}^{-1}$ ;  
 $N$ ——孔隙个数。

7.4.6 孔隙形状因子按式 (6) 计算:

$$F = 4\pi A_p / L_p^2 \dots\dots\dots(6)$$

式中:  
 $F$ ——孔隙形状因子;  
 $A_p$ ——孔隙面积,  $\mu\text{m}^2$ ;  
 $L_p$ ——孔隙周边长,  $\mu\text{m}$ 。

7.4.7 平均孔隙形状因子按式 (7) 计算:

$$\overline{F} = 4\pi \sum_{i=1}^N F_i / N \dots\dots\dots(7)$$

式中:  
 $\overline{F}$ ——平均孔隙形状因子;  
 $F_i$ ——第  $i$  个孔隙的形状因子;  
 $N$ ——孔隙个数。

7.4.8 孔喉比按式 (8) 计算:

$$R_{pt} = D_p / (\sum_{i=1}^N H_i / N) \dots\dots\dots(8)$$

式中:  
 $R_{pt}$ ——孔喉比;  
 $D_p$ ——孔隙直径,  $\mu\text{m}$ ;  
 $H_i$ ——与一个孔隙连通的第  $i$  个喉道的宽度,  $\mu\text{m}$ ;  
 $N$ ——与一个孔隙连通的喉道个数。

7.4.9 平均孔喉比按式 (9) 计算:

$$\overline{R_{pt}} = \sum_{i=1}^N R_{pti} / N \dots\dots\dots(9)$$

式中:  
 $\overline{R_{pt}}$ ——平均孔喉比;  
 $R_{pti}$ ——第  $i$  个孔隙的孔喉比;  
 $N$ ——孔隙个数。

7.4.10 孔隙均质系数按式 (10) 计算:

$$\alpha = \overline{D_p} / D_{pmax} \dots\dots\dots(10)$$

式中:  
 $\alpha$ ——均质系数;  
 $\overline{D_p}$ ——平均孔隙直径,  $\mu\text{m}$ ;

$D_{\text{max}}$ ——最大孔隙直径,  $\mu\text{m}$ 。

7.4.11 孔隙直径分选系数按式 (11) 计算:

$$S_p = \left[ \sum_{i=1}^N (D_{pi} - \bar{D}_p)^2 f_i / 100 \right]^{1/2} \quad \dots\dots\dots(11)$$

式中:

$S_p$ ——孔隙直径分选系数;

$D_{pi}$ ——第  $i$  个孔隙直径,  $\mu\text{m}$ ;

$\bar{D}_p$ ——平均孔隙直径,  $\mu\text{m}$ ;

$f_i$ ——面积频率, %;

$N$ ——孔隙个数。

7.4.12 平均孔隙配位数按式 (12) 计算:

$$\overline{CN} = \sum_{i=1}^N CN_i / N \quad \dots\dots\dots(12)$$

式中:

$\overline{CN}$ ——平均孔隙配位数;

$CN_i$ ——第  $i$  个孔隙的配位数;

$N$ ——孔隙个数。

## 7.5 孔隙结构基本特征测定质量要求

7.5.1 任一放大倍数下, 孔隙直径小于像素点径长三倍的孔隙, 不予统计。

7.5.2 视域数不少于 6 个, 总孔隙数大于 200 个。

## 7.6 数据修约

7.6.1 长度取小数点后一位, 单位微米 ( $\mu\text{m}$ )。

7.6.2 面积取小数点后一位, 单位平方微米 ( $\mu\text{m}^2$ )。

7.6.3 量纲为一的数据取有效数字两位。

## 8 测定报告内容

### 8.1 基础数据

至少包含井号、样品编号和取样深度。

### 8.2 孔隙结构特征参数

至少包含由 7.4 所规定的特征参数。

### 8.3 图表

至少包含孔隙直径大小分布图和表。



参 考 文 献

- [1] K. Ruzyla Characterization of Pore Space by Quantitative Image Analysis, SPE 13133
  - [2] 涂富华,于少文,黄卫.胜利油田开发研究与实践,东营:石油大学出版社,1993. 5.  
476~483
-