

# SY

中华人民共和国石油天然气行业标准

SY/T 5815—93

---

## 岩石孔隙体积压缩系数测试方法

1993-09-09发布

1994-03-01实施

---

中国石油天然气总公司 发布

## 岩石孔隙体积压缩系数测试方法

## 1 主题内容与适用范围

本标准规定了测试岩石孔隙体积压缩系数的岩样制备、测试方法、计算和报告格式。

本标准适用于胶结砂岩（空气渗透率  $K_a > 1 \times 10^{-8} \mu\text{m}^2$ ）样品孔隙体积压缩系数的测定，对碳酸盐岩也可参照执行。

## 2 术语

## 2.1 覆盖压力（overburden pressure）

上部覆盖岩石层加在下部岩石单元上的压力叫覆盖压力。

## 2.2 孔隙压力（pore pressure）

地层孔隙所承受的流体压力称之为孔隙压力，也叫地层压力。

## 2.3 净有效覆盖压力（net overburden pressure）

覆盖压力与孔隙压力之差叫净有效覆盖压力。

## 3 测试原理及方法提要

在实验过程中，首先，建立模拟压力；其次，逐点降低地层压力，使净有效覆盖压力增加，造成岩石孔隙体积减小；第三，记录压力及排出的液体量；第四，根据公式进行计算。

改变单位压力时，单位孔隙体积的变化值被定义为岩石孔隙体积压缩系数。用下式表示：

$$C_p = - \frac{1}{V_p} \times \frac{dV_p}{dp} \dots\dots\dots (1)$$

式中： $C_p$ ——岩石孔隙体积压缩系数， $\text{MPa}^{-1}$ ；

$dV_p/dp$ ——单位压力变化时的孔隙体积变化， $\text{cm}^3/\text{MPa}$ ；

$V_p$ ——岩石原始孔隙体积， $\text{cm}^3$ 。

## 4 仪器

a. 岩石孔隙体积压缩系数仪：推荐采用A、B两种型号，其流程见图1和图2。可测量直径2.5cm、长5.0cm，或直径3.8cm、长5.0cm的圆柱样品。最高测试压力可达70MPa，计量管最小分辨率0.01mm。

b. 氮孔隙计：绝对误差在 $\pm 0.5\%$ 以内。

c. 真空泵：真空度为1.33Pa。

d. 天平：感量0.001g。

e. 精密标准压力表：70MPa，0.1级。

f. 电热烘箱： $\pm 1^\circ\text{C}$ 。

g. 电热吹风机等。

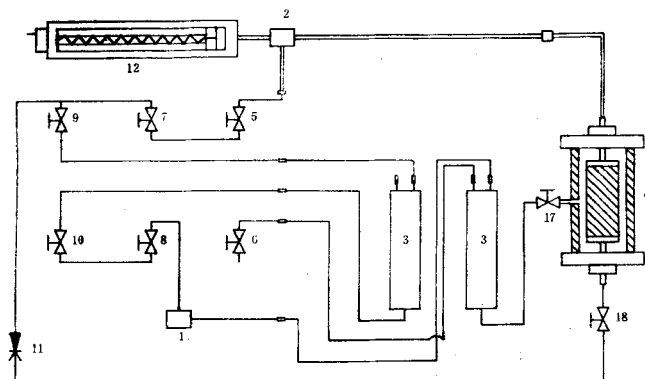


图1 岩石孔隙体积压缩系数测试仪流程示意图

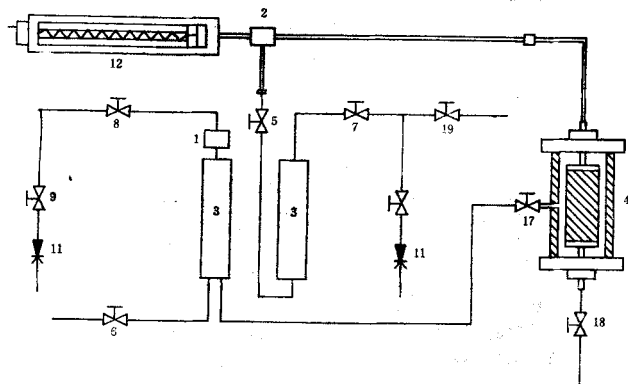


图2 岩石孔隙体积压缩系数测试仪流程示意图

## 5 岩石孔隙体积压缩系数的测试

### 5.1 实验准备

#### 5.1.1 岩心的制备

5.1.1.1 沿岩层水平方向钻直径2.5cm (或3.8cm), 长5cm的岩石柱, 柱的两端面要平行且垂直于岩心轴线。

5.1.1.2 用酒精—苯或甲苯等溶剂, 抽提岩心中的油, 要求洗到荧光3级以下。

5.1.1.3 烘样温度不要超过105°C, (如含石膏或较多粘土的岩心, 应在80~85°C, 45%相对湿度下烘干) 烘到岩心恒重为止。

5.1.1.4 称出岩心质量, 用氮孔隙计测出其颗粒体积, 用渗透率仪测出空气渗透率。

5.1.1.5 用热塑性胶带包在岩心周围, 胶带外用热缩性塑料管封包。要求用热缩性塑料把岩心包紧, 包密封塑料时, 一定要注意把塑料与岩心接触处的空气全部除尽, 岩心上有洞或缺角, 一定要用热塑性塑料或其它不污染岩心的物质填充。以防加压 (最大70MPa) 时破坏密封塑料或影响测试结果

的准确性。

### 5.1.2 盐水的配制

按地层水总矿化度配制。

### 5.1.3 模拟压力（即外压）的确定

5.1.3.1 有地层压力资料时，用地层压力作内压。

5.1.3.2 没有地层压力资料时，可采用岩心所在深度压力（0.02264 MPa/m）的一半作内压。（压力异常地层慎用）

5.1.3.3 模拟压力即内压与密封压力（1.38MPa）之和。

### 5.1.4 仪器常数的标定

5.1.4.1 计量杆直径的标定：用精度为0.02mm的游标卡尺测量杆工作段的两端及中间三处，每处测三个方向的直径值，取其平均值，算出截面积 $A$ 。

5.1.4.2 仪器空白体积的标定：仪器每用过500h（或流程空白体积改变时）用氮孔隙计测量十次以上，取其平均值。

5.1.4.3 仪器压变系数的标定：用已知压缩系数的液体进行测量，并绘出压力与体积收缩量曲线。

5.1.4.4 仪器压力显示器的校正：仪器每用500h就用标准压力表校正一次。标准压力表每半年校一次。

### 5.1.5 盐水体积系数确定

0~200000mg/L NaCl在30°C时体积系数近似公式见式（2）：

$$k = \frac{0.99985 + k_1 c + k_2 p_1 + k_3 c p_1}{1 + k_4 c + k_5 p_1 + k_6 c p_1} \dots\dots\dots (2)$$

式中：

$$k_1 = 0.351104 \times 10^{-6}$$

$$k_4 = 0.350709 \times 10^{-6}$$

$$k_2 = 0.687323 \times 10^{-6}$$

$$k_5 = 0.993080 \times 10^{-6}$$

$$k_3 = 0.555917 \times 10^{-11}$$

$$k_6 = 0.166979 \times 10^{-11}$$

$$p_1 = 145.038 p$$

$c$ ——NaCl, mg/L;

$p$ ——孔隙压力, MPa。

### 5.1.6 实验室温度要求

实验室应恒温，25±1°C。

## 5.2 测试步骤

### 5.2.1 测岩心室空白体积

5.2.1.1 将岩心室内上下堵头装入胶皮套内并使之对正贴紧，加1.38MPa外压。

5.2.1.2 用蒸馏水冲洗仪器计量管线内部。冲洗量以超过计量管线内部体积30倍为宜，然后用高压氮气（或空气）吹去管线内的蒸馏水，再用无水乙醇冲洗，冲洗量以5倍管线体积为宜，最后再用高压氮气（或空气）吹干。

5.2.1.3 用氮孔隙计测出校正系数 $R$ 后，测量氮孔隙计到内压截断阀（图中序号5）间管线空白体积 $V_0$ 。再测氮孔隙计到岩心室阀门（图中序号18）间管线路体积 $V_1$ 。

### 5.2.2 测样品孔隙体积

5.2.2.1 装待测样品：测完空白体积之后，卸掉岩心室内、外压。拆下连接氮孔隙计管线及岩心室到计量管间的接口，再打开岩心室盖，取出橡皮套，用高压氮气吹上下堵头管线后，装入待测样品再盖好岩心室盖，加1.38MPa外压。接好氮孔隙计。

5.2.2.2 测量样品孔隙体积：首先测 $V_1$ ，如果与测空白体积时的 $V_1$ 一样，就打开岩心室阀门18（打

开量与测空白体积时一样), 测岩心同内压截断阀5前管线的总体积 $V_2$ 。

样品的孔隙体积为:

$$V_p = (V_2 - V_0)R \quad (3)$$

### 5.2.3 饱和盐水

5.2.3.1 抽真空: 给岩心及内压系统抽真空, 当真空度达到要求后, 干抽4h以上(根据岩心渗透性不同, 抽真空时间可以适当调整), 同时用另一台泵对盐水抽真空, 使之脱气。

5.2.3.2 饱和盐水: 打开岩心室阀门18, 将液体抽到岩心与管线中, 待吸滤瓶见水后, 再抽空2~3h。

5.2.3.3 停泵后让盐水靠液位重力继续渗入岩心, 放置12h以上, 第二天检查岩心与透明管线中无气泡。如无气泡, 就可以按设计压力给岩心加压。

### 5.2.4 加模拟压力

在外压始终高于内压1.38MPa的前提下, 内、外连续加压, 一直加到设计压力为止。

### 5.2.5 测试

5.2.5.1 每隔10min记录一次内、外压力值。并持续观察, 当内、外压力值变化每5min不超过6893 Pa时, 就认为达到稳定状态, 可以进行测试。

5.2.5.2 首先记录计量杆读数, 然后记录内、外压力值。同时记录时间。

5.2.5.3 按退出方向旋转计量杆手轮, 使内压下降到设计压力, 停止旋转计量杆。当压力变化每5min小于6893 Pa即认为达到稳定状态。在表1上记录时间、内、外压力值、计量杆读数。按设计要求, 测出其它压力点的内、外压力值和计量杆读数, 直到内压降到约0.69MPa时, 就可结束试验。

5.2.5.4 测试过程中, 必须等压力稳定之后, 才能记录。

5.2.5.5 泄掉外压, 拆开岩心室与计量管接头, 打开岩心室盖, 取出岩心, 恢复仪器初始状态。清洗管线。

## 6 岩石孔隙体积压缩系数的计算

6.1 进行岩石孔隙体积压缩系数数据表(见表1)中基础数据的计算。

6.1.1 最大内压时盐水的体积 $V_A$ 为仪器内部体积、样品孔隙体积、仪器最大收缩量之和。

6.1.2 仪器内部体积 $V_1$ 按式(4)计算, 取多次测量平均值。

$$V_1 = (V_0 - V_1)R \quad (4)$$

6.1.3 岩心孔隙体积 $V_p$ 为外压为1.38MPa时的测得值。

6.1.4 岩心颗粒体积 $V_G$ 为用氮孔隙计在常压下的测得值。

6.1.5 岩心总体积 $V_R$ 按式(5)计算。

$$V_R = V_p + V_G \quad (5)$$

6.1.6 试验开始时, 盐水膨胀到大气压力时的盐水体积 $V_E$ 按式(6)计算。

$$V_E = V_A/B \quad (6)$$

式中:  $B$ ——最大内压下盐水的体积系数。

6.1.7 计量杆截面积 $A$ 按5.1.4.1条进行测量计算。

6.1.8 仪器最大收缩量及仪器各压力点上的收缩量均从仪器压变系数曲线上查得。

6.1.9 净有效覆盖压力为内、外压力值之差。

6.1.10 内压下盐水体积系数应按公式(2)计算。

6.2 按表1各栏的要求, 算出在各净有效覆盖压力点上的样品的孔隙体积。

6.3 根据净有效覆盖压力与样品孔隙体积作出关系曲线, 经平滑后取所要求的净有效覆盖压力与其相对应的孔隙体积, 填入表2。

表1 岩石孔隙体积压缩系数数据表

$V_A$ ——最大内压盐水体积=仪器内体积及最大收缩量+样品孔隙体积, \_\_\_\_\_  $\text{cm}^3$  油田: \_\_\_\_\_ 分析人: \_\_\_\_\_  
 $V_i$ ——仪器内部体积, \_\_\_\_\_  $\text{cm}^3$  井号: \_\_\_\_\_ 计算人: \_\_\_\_\_  
 $V_p$ ——1.38MPa净有效覆盖压力下的孔隙体积, \_\_\_\_\_  $\text{cm}^3$  样号: \_\_\_\_\_ 复算人: \_\_\_\_\_  
 $V_b$ ——1.38MPa净有效覆盖压力下样品外表体积=颗粒体积+1.38MPa时孔隙体积, \_\_\_\_\_  $\text{cm}^3$   
 $V_s$ ——实验开始时, 盐水膨胀到大气压力时的盐水体积, \_\_\_\_\_  $\text{cm}^3$   
 $V_G$ ——岩石颗粒体积, \_\_\_\_\_  $\text{cm}^3$   
 $A$ ——计量杆的截面积, \_\_\_\_\_  $\text{cm}^2$  室温: \_\_\_\_\_  $^{\circ}\text{C}$  当天大气压: \_\_\_\_\_ Pa 日期: \_\_\_\_\_

| 序号 | 压力/MPa |    | 净有效覆盖压力 | 计量杆读数<br>cm | 计量杆体积<br>$\text{cm}^3$ | 内压下盐水体积系数 | 内压下盐水体积 | 累积盐水体积<br>$\text{cm}^3$ | 仪器收缩量<br>$\text{cm}^3$ | 孔隙体积<br>$\text{cm}^3$ | 样品总体积<br>$\text{cm}^3$ | 孔隙度<br>% |
|----|--------|----|---------|-------------|------------------------|-----------|---------|-------------------------|------------------------|-----------------------|------------------------|----------|
|    | 设计     | 实际 |         |             |                        |           |         |                         |                        |                       |                        |          |
| 号  | 外      | 内  | 内       | (1)         | (2)                    | (3)       | (4)     | (5)                     | (6)                    | (7)                   | (8)                    | (9)      |
| 1  |        |    |         | 0.000       | 0.000                  |           |         | 0.0000                  | 0.0000                 |                       |                        |          |
| 2  |        |    |         |             |                        |           |         |                         |                        |                       |                        |          |
| 3  |        |    |         |             |                        |           |         |                         |                        |                       |                        |          |
| 4  |        |    |         |             |                        |           |         |                         |                        |                       |                        |          |
| 5  |        |    |         |             |                        |           |         |                         |                        |                       |                        |          |
| 6  |        |    |         |             |                        |           |         |                         |                        |                       |                        |          |



表3 岩石孔隙体积压缩系数报告表

油田: \_\_\_\_\_ 深度: \_\_\_\_\_ m 日期: \_\_\_\_\_ 分析人: \_\_\_\_\_  
井号: \_\_\_\_\_ 孔隙度: \_\_\_\_\_ % 复算人: \_\_\_\_\_  
样号: \_\_\_\_\_ 渗透率: \_\_\_\_\_  $\times 10^{-8} \mu\text{m}^2$  审核人: \_\_\_\_\_

[illegible]

注:

(1) 为在实验室外压条件下的测量值。

(2) 为把外压条件下的测量值转换成单相负载条件下的数据,

**附加说明:**

本标准由油气田开发专业标准化委员会提出。

本标准由油气田开发专业标准化委员会归口。

本标准由石油勘探开发科学研究院采收率所负责起草。参加单位有胜利石油管理局地质科学研究所和四川石油管理局地质勘探开发研究院。

本标准起草人：任义宽。参加人：刘宝桦、洪颖、王惠荣。