

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 $K_a > 1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ）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少；第三，记录压力及排出的液体量；第四，根据公式进行计算。

孔隙单位压力时，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， MPa^{-1} ；

dV_p/dp ——单位压力变化时的孔隙体积变化， cm^3/MPa ；

V_p ——岩石原始孔隙体积， cm^3 。

4 仪器

a. 岩石孔隙体积压缩系数仪：推荐采用 A、B 型两种型号，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，计算管最小分辨率 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。

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 的岩心柱，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 烘烤温度不要超过 105℃，（如含石膏或较多粘土的岩心，应在 60~65℃，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，用氦孔隙计测出其颗粒体积，用渗透率仪测空气渗透率。

5.1.1.5 用热熔性胶带包在岩心周围，胶带外再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，一定要用热溶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（0.02264MPa/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度压力（1.38MP）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）用氦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℃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：

$$k_1 = 0.351104 \times 10^{-6} \qquad K_4 0.3550709 \times 10^{-6}$$

$$k_2 = 0.687323 \times 10^{-5} \qquad K_5 0.9930809 \times 10^{-5}$$

$$k_3 = 0.555917 \times 10^{-11} \qquad K_6 0.166979 \times 10^{-11}$$

$$P_1 = 1.145.038p$$

c——NaCl，mg/L；
p——孔隙压力，MPa。

5.1.6 实验室温度，25±1℃。

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 用氦孔隙计测出校正系数 R 后，测量氦孔隙计到内压截断阀（图中序号 5）间管线线空白体积 V₀。再测氦孔隙计到岩心室阀门（图中序号 18）间管线体积 V₁。

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、拆下连接氦孔隙计管线及岩心

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后，装入待测样品再盖好岩心室盖，加 1.38MPa 外压。接好氦孔隙计。

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：

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

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是否有气泡。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 6893Pa 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棒，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 6893Pa 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，直到内压降约 0.6MPa 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 岩心孔隙体积压缩系数的计算

6.1 进行岩心孔隙体积压缩系统数据表（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_i 按式（4）计算，取多次测量平均值。

$$V_i = (V_o - V_1)R \dots\dots\dots (4)$$

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 为用氦孔隙计在常压下的测得值。

6.1.5 岩心总体积 V_B 按式（5）计算。

$$V_B = V_p + V_G \dots\dots\dots (5)$$

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

$$V_B = V_A / B \dots\dots\dots (6)$$

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 岩心孔隙体积压缩系数数据表

VA——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：_____cm³ 油田：_____分析人：_____
 Vi——仪器内部体积：_____cm³
 Vp——1.38MPa 净有效覆盖压力下的孔隙体积：_____cm³ 井号：_____计算人：_____
 VB——1.38MPa 净有效覆盖压力样品外表体积=颗粒体积+1.38MPa 时孔隙体积：_____cm³
 VE——实验开始时，盐水膨胀到大气压力时的盐水体积：_____cm³ 样号：_____计算人：_____
 VG——岩石颗粒体积：_____cm³
 A——计量杆的截面积：_____cm² 室温：_____℃ 当天大气压：_____Pa 日期：_____

[illegible]

- $$C_p = tg\theta \times n \times 1/V_p \dots\dots\dots (7)$$

n——纵、横坐标比例。

- $$C_n \times 0.61 \dots\dots\dots (8)$$

- 表 2 岩石孔隙体积压缩系数表

油田: _____ 比例 (n): _____ 分析人: _____
井号: _____ 当天大气压: _____ Pa 计算人: _____
样号: _____ 室温: _____ °C 日期: _____ 复算人: _____

[illegible]

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：_____%

计算人：_____

样号：_____

渗透率：_____×10⁻³ μm²

审核人：_____

净有效覆盖压力 MPa	孔隙体积 cm ³	总体积 cm ³	孔隙度 %		压缩系数×10 ⁻⁴ MPs ⁻¹	
			(1)	(2)	(1)	(2)

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院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。