

水银的数量的。

压汞法有几种形式(图7)

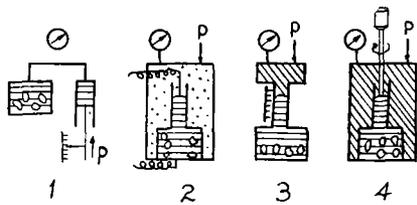


图7

在第1种情况下,水银是由活塞压入孔隙的。施加的压力和活塞的移动指示了压入的数量与压力之间的关系。在第2、3、4的情况下,压力是由另外的物质递送给水银的。这一物质可以是气体也可以是液体。在第2种情况下是通过导线的电阻在膨胀计中测量水银面的;在第3种情况下是用肉眼观察的;在第4种情况下是用了一个电键盘。

我们的仪器是相当自动化的,可以直接测出压力与孔隙半径之间的关系。测量的孔隙半径范围是75到75,000埃,若抽真空,则测定范围可扩伸到100微米。

仪器的示意图见图8

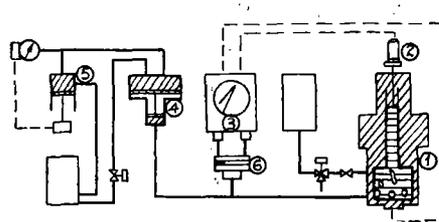


图8

①是压力容器,可达1000 kg/cm<sup>2</sup>。其中有一个玻璃膨胀计装着样品和水银。③是压力记录器,有二个量程,可由自动阀门⑥选择。压力是由在低压下工作的油泵⑤施加的,通过压力倍增器④升高。这一压力最终压在膨胀计的水银面上。由马达②推进一根杆子,杆子通过电子系统接至记录器。压入样品的水银数量就可以直接读出。

(张义纲译)

### 文 献

- [1] Brunauer S.; Emment P. H., and Teller E. J. J. Amer. Chem. Soc. 60,309 (1938)
- [2] Barret E. P., Joyner L. G., and Halendor P. P., J. Amer Chem. Soc.73,373 (1951)

## 气 体 法 测 定 有 效 孔 隙 率

中心实验室 物性组

### 一、方法提要

本法依据玻意耳—马略特定律,当温度不变时,一定质量的气体体积和压强的乘积是一个恒量,即  $P_0V_0 = P_1V_1$ , 从气态方程式表示

为  $\frac{P_0V_0}{T_0} = \frac{P_1V_1}{T_1}$ , 也就是说,一定质量的气体,

无论它的状态如何变化,它的压强和体积的乘积与它的绝对温度之比始终不变。在测定孔隙率时,我们可以认为是在温度不变下进行的,即  $T_0 = T_1$ , 所以  $P_0V_0 = P_1V_1$ 。

本法需预先测定仪器的总体积,然后在一

定压力下让气体渗入孔隙孔穴,求出不可压缩的岩样颗粒体积和封闭孔隙体积。而后用封腊法或水银排开法测定岩样总体积,二者之间的差数,即为有效孔隙体积。除以岩样总体积,即为该岩样的有效孔隙率。

由于气体分子的活动能力大于液体分子,故测得有效孔隙率一般都大于油浸法孔隙率。

### 二、公式的推导

计算公式

$$V_{\text{岩}} = V_{\text{总}} - (V_{\text{液}} - V_{\text{Hg}}) \left( 1 + \frac{P\delta}{\Delta P} \right)$$

式中  $V_{岩}$  岩样颗粒体积和封闭孔隙体积  $cm^3$   
 $V_{总}$  仪器空白总体积  $cm^3$   
 $V_{液}$  气体压缩时液体上升体积  $cm^3$   
 $V_{Hg}$  气体压缩时U形计下降的水银  
 体积  $cm^3$   
 $P\delta$  实验时大气压 mm

$$\Delta P \text{ U形压力计压差}$$

$$P\delta(V_{总} - V_{岩}) = (P\delta + \Delta P)(V_{总} - V_{液} - V_{岩} + V_{Hg})$$

化简  $0 = \Delta P V_{总} + \Delta P V_{Hg} - \Delta P V_{液} - P\delta V_{液} + P\delta V_{Hg} - \Delta P V_{岩}$

$$P\delta V_{液} - P\delta V_{Hg} = \Delta P V_{总} - \Delta P V_{液} - \Delta P V_{岩} + \Delta P V_{Hg}$$

$$P\delta(V_{液} - V_{Hg}) = \Delta P(V_{总} - V_{岩} - V_{液} + V_{Hg})$$

$$\frac{P\delta}{\Delta P}(V_{液} - V_{Hg}) = V_{总} - V_{液} - V_{岩} + V_{Hg}$$

$$V_{总} = \frac{P\delta}{\Delta P}(V_{液} - V_{Hg}) + (V_{液} + V_{岩} - V_{Hg})$$

$$V_{总} = \frac{P\delta}{\Delta P}(V_{液} - V_{Hg}) + (V_{液} - V_{Hg}) + V_{岩}$$

$$V_{总} = V_{岩} + (V_{液} - V_{Hg})\left(1 + \frac{P\delta}{\Delta P}\right)$$

$$V_{岩} = V_{总} - (V_{液} - V_{Hg})\left(1 + \frac{P\delta}{\Delta P}\right)$$

当  $V_{岩} = 0$  时即没有放入岩样时, 仪器总空

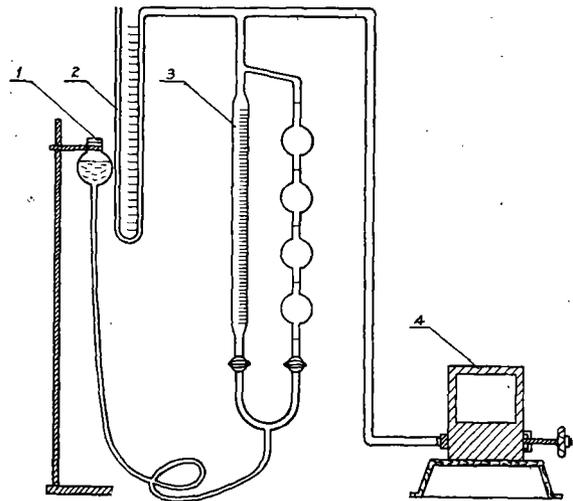
白体积  $V_{总} = (V_{液} - V_{Hg})\left(1 + \frac{P\delta}{\Delta P}\right)$ 。

### 三、仪器设备和描述

#### (一) 仪器设备

1. 气量管(亦可用滴定管代替)
2. U形压力计
3. 岩心室(亦可用岩心夹持器改装)
4. 水银提升瓶
5. 其他、水银、塑料管、铜丝等。

(二) 仪器装置如图 1。



气体有效孔隙率测定仪(压气法)

- |              |        |
|--------------|--------|
| 1. 水银提升瓶     | 3. 气量管 |
| 2. U形压力计和刻度尺 | 4. 岩心室 |

#### (三) 仪器描述

1. 气量管。为量度液体体积的刻度管, 由长形刻度管和 4 只球形管构成。长形刻度管容积为 20 ml, 级差 0.05 ml, 球形管每只容积各为 20 ml, 计 80 ml, 有刻度线标定体积。

2. 岩心室。由岩心筒和圆盖板组成, 岩心筒和盖板由螺纹旋紧, 必须紧密不漏气, 岩心筒上有针蕊阀以通大气。亦可用渗透率仪的岩心夹持器代替, 将岩心筒倒转用火漆密封, 凭借岩心筒底板放入岩样并不使漏气。

3. 水银提升瓶。内放水银, 通过上下移动产生压力, 目前我们采用水银, 亦可采用水银压水的办法, 但效果没有水银好。

### 四、操作規程

1. 将仪器各部分洗净, 在烘箱中烘干后冷却。

2. 如图 1 所示装置, 接头处用塑料管连接, 上绕铜线, 并用石腊封好。

3. 把气量管内液体调整到零点, 旋上圆盖板和关闭针蕊阀, 和大气隔开。

4. 检验仪器是否漏气, 方法是加压至  $\Delta P = 200mm$  以上, 保持 10 分钟, 无水银下降。

现象,证明仪器不漏气。

5. 恢复零点提高水银瓶高度,依靠水银压力压缩气体,待液体液面和压力平稳后,分别读取液体上升体积  $V_{液}$  和压差  $\Delta P$  按  $V_{总} = (V_{液} - V_{Hg}) \left( 1 + \frac{P\delta}{\Delta P} \right)$  计算仪器空白体积。

6. 打开针蕊阀通大气,并使液面恢复到零点。

7. 放入岩样,重复上述(5)、(6)操作,读取  $V_{液}$  和  $\Delta P$

8. 旋开圆板,取出岩样,采用封腊法,测定岩样总体积。

### 五、计算公式

$$V_{岩} = V_{总} - (V_{液} - V_{Hg}) \left( 1 + \frac{P\delta}{\Delta P} \right)$$

$$m_{有} \% = \frac{V_{孔+孔} - V_{岩}}{V_{孔+孔}} = \frac{V_{孔}}{V_{孔+孔}} \times 100$$

式中  $V_{孔+孔}$  = 岩样总体积

$m_{有}$  = 气体有效孔隙率(%)

### 六、气体法和油浸法有效孔隙率比较

气体法和油浸法说明了用不同流体所测定的岩样孔隙情况,在地质上各有其特点和意义,现兹将二方法对比如下

方法类别	气体法孔隙率测定仪	油浸法孔隙率测定仪
仪器重量	数公斤	1百公斤以上
仪器成本	200元	1500元
仪器部件	4小件	5件
饱和时间	5分钟	4小时
测定次数	多次取平均值	1次
单次测定精度	低	高
岩样情况	测定后保存或作其它分析	不能
地质意义	可和气体渗透率配合应用	接近原油渗流情况
出野外	方便	不便

如上所述,本法之优点在于不用真空泵和电,有利于野外测定,但因采用水银作压力后,由于水银有毒,移带不便,这是本法不足之处,今后可改用其它压力加以克服。

气体法和油浸法有效孔隙率测定数据的比较

编号	岩性	有效孔隙率油浸法	气体法有效孔隙率			备注
			最小值	平均值	最大值	
1	棕红色细砂岩	27.6	30.10	32.34	34.46	
2	浅灰棕色粉砂岩	6.2	10.14	11.40	12.06	
3	棕红色粗砂岩	30.8	33.27	36.41	38.89	
4	棕色含细砾粗砂岩	25.4	33.49	35.07	37.80	
5	棕红色粉细砂岩	25.7	26.83	28.05	28.68	
6	棕黄色泥质细砂岩	13.1	14.40	15.73	17.29	
7	灰棕色细粉砂岩	22.0	26.02	27.18	27.88	
8	浅灰棕色中一细砂岩	20.8	24.68	26.40	28.52	
9	泥质粉砂岩	27.7	24.03	27.50	31.61	
10	泥质粉砂岩	27.8	28.46	30.23	33.59	
11	泥质砂岩	22.3	23.87	27.74	30.75	
12	含砾中一细砂岩	24.2	27.10	28.58	30.18	
13	含砾中细砂岩	23.0	19.53	22.86	26.72	
14	中砂岩	20.3	21.80	22.66	23.80	
15	中砂岩	20.3	26.24	27.60	29.60	
16	花岗岩	0		0		油浸法孔隙率为肉眼观察。
17	花岗岩	0		1.3		

### 七、注意事项

1. 该仪器要求各接头处绝对没有漏气和膨胀现象。
2. 仪器总体积不需每次都测定,但必须随时经常测定。
3. 刻度管部分必须洗净,以免水银附在壁上,影响体积读数。
4. 测定中严防水银溢出。
5. 圆盖板和岩心筒螺纹要紧密,并尽可能旋到同样位置,防止内部体积改变。
6. 仪器总体积应尽可能缩小,减少无用的仪器空间。
7. 本法试验时,为了使岩心分析系统化,宜先作孔隙率测定,而后作渗透率等其他分析。所以这次岩心室设计只适宜于大块岩心,对小块试样,灵敏度差,误差大,但可加入没有孔隙的物质,如金属和花岗岩等,以缩小空间体积,提高精度。

### 八、存在问题和今后改进方向

考虑气体多变和仪器精度对测定的影响,

今后必须作如下改进

1. 理想气体实际上是不存在的,目前用空气测定,其特点是方便,但在按理想气体计算时,有一定误差。为了提高精度,可将空气改作如氦(He)氮(N<sub>2</sub>)等气体,但这将增加测定困难和涉及到仪器设备的进一步改进。

2. 提高气量管精度从现有级差 0.05ml 提高到 0.03, 精确度将会提高。

3. 增加压力, 现有试验最大压差为 250mm 不到  $\frac{1}{3}$  个大气压, 显然, 压力太小。理论和实践证明, 其测定精度与压力成正比。

4. 可开展真空法气体孔隙率测定试验, 并行比较, 以验证其分析精度。在真空法中尤以

氮汞法和等体积法为主, 氮汞法精度较高但成本亦较高。

## 九、結 論

本法尚在试验之中, 有待进一步提高和改进, 与油浸法比较, 具有一定的优越性, 尤其是该仪器快速轻便, 适宜于在野外分析。但是值得指出的是在地质上的应用和解释, 还未经地质上验证, 今后应选择一个井段作系统的资料整理工作, 才能对本方法作出进一步的评价。

诚然, 本法尚在试验之中, 但可以作为今后的一个方向, 加于推广和提高。

# 不变压力气体孔隙率仪

(美) A. H. 哈姆

## 緒 論

在岩心分析中, 测定岩石的孔隙率是一件很重要的工作, 到目前为止, 有很多各种类型的测定方法, 其中有一种叫做所谓“气体孔隙率法”。比较老的和有名的例子是华斯本—布丁法。美国矿务局设计和后来改进的仪器是现在我们广泛应用的方法, 一般称做波义耳定律法。

本文根据华斯本—布丁法, 在大气压力下岩石样品孔隙中的气体被抽出, 然后收集在大气压力下的刻度玻璃量筒中, 直接读出的气体体积便相当于样品的孔隙体积。气体收集体积读数的绝对误差和总体积无关系, 所以对于孔隙度低的岩石来说, 当体积小时, 相对误差比较大。另外, 用水银测量后的样品还能做其他分析。

矿务局的方法(或波义耳法), 用一个单独的样品直接测定决定于孔隙体积和孔隙度的颗粒体积。在压力下, 气体被引进容纳岩石样品已知体积的样品室中, 正确地测定压力。随后

气体膨胀到一个大气压力下玻璃量筒中, 直接读出气体体积。根据起初压力  $P_1$  和最终压力  $P_2$  及体积  $V_2$ , 起初的气体体积  $V_1$  用波义耳定律计算出来, 即  $P_1V_1 = P_2V_2$ 。体积  $V_1$  减去空样品室的体积便是样品颗粒体积。该方法的精度是有限的。

本文的目的是叙述测定岩石气体孔隙度的一种方法。该法可以避免许多上述困难。气体体积是直接测定出来的, 其测定精度与样品体积的测定精度相同。所用压力比前述方法用的大, 这保证了气体快速地渗入样品。该法采取了特殊装置。这一仪器我们叫它为不变压力气体孔隙度仪。

## 方 法

图 1 粗略地表明不变压力孔隙度仪的装置。

测定方法由下面三个步骤组成:

1. 测定系统(一个沙囊室, 一个集合管, 两个压力计和它们的连接部分)的容积被抽空后, 样品室用高压 ( $\sim 70 \text{ kg/cm}^2$ ) 气体填满,