

高等学校教材

石油工程实验

赵明国 党庆功 主编
曹广胜 主审



石油工业出版社
Petroleum Industry Press

高等学校教材

石油工程实验

赵明国 党庆功 主编
曹广胜 主审

石油工业出版社

内 容 提 要

本书主要阐述石油工程中储层岩石、流体的基本物性参数,钻井液、完井液等基本性能的测定,渗流力学和工程流体力学实验的基本原理、实验方法,并对自喷、气举及有杆泵抽油三大采油方法的室内模拟实验进行了介绍。同时,本书还对钻井工艺技术、水力压裂电模拟实验、钻井液污染与处理方法、驱替过程中流体特征参数测定等综合、设计型实验以及渗流力学实验的原理、方法进行较详细的介绍。

本书论述的实验内容基本涵盖了石油工程涉及的实验项目,可为石油工程、储运等专业本科生的实验教材,也可作为矿场工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

石油工程实验/赵明国,党庆功主编.

北京:石油工业出版社,2014.2

(高等学校教材)

ISBN 978-7-5021-9962-3

I. 石…

II. ①赵… ②党…

III. 石油工程—实验—高等学校—教材

IV. TE-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 013409 号

出版发行:石油工业出版社

(北京安定门外安华里 2 区 1 号 100011)

网 址: <http://pip.cnpc.com.cn>

编辑部:(010) 64523574 发行部:(010) 64523620

经 销:全国新华书店

印 刷:北京中石油彩色印刷有限责任公司

2014 年 2 月第 1 版 2014 年 2 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本:1/16 印张:12.5

字数:316 千字

定价:25.00 元

(如出现印装质量问题,我社发行部负责调换)

版权所有,翻印必究

前 言

本书是严格按照石油工程本科实验教学大纲要求的内容编写的。书中所设置的实验内容是本专业培养高级工程技术人才不可缺少的。这些实验对培养石油工程专业学生的工程技术实践能力有着十分重要的意义。学习掌握这些实验是每个石油工程专业学生的重要任务,也是完成本专业培养目标实际训练的重要环节之一。

众所周知,实验课是一个重要的实践环节,提供的常常是书本中学不到的知识。它在理论联系实际,提高理论认识,增强分析能力,促进理论发展等方面都起着重要作用。作为培养德、智、体、美全面发展的高级工程技术人才的高等院校,不仅使学生具备较深厚的理论知识,还要使学生具有较强的从事科学实验的能力,这样才能适应科学技术不断进步和国家现代化建设的需要。一项高水平的实验不仅为生产科研提供可靠的理论依据,同时对学生学习专业的兴趣与专业技能的培养以及学科建设都有着极为重要的意义。

本教材是根据石油工程专业本科生培养方案,并结合实验室的具体情况编写的,包括原钻井工程、采油工程、油藏工程、油层物理及渗流力学、工程流体力学实验,这些实验是石油工程专业本科生必做的实验。

本教材注意内容的先进性、实用性、启发性,贯彻理论与实践相结合的原则,有利于培养学生的基本技能和创新能力,反映了现代石油工程实验技术。

教材共分六章三十三节。

第一章岩石基本参数测定,重点介绍了石油工程中有关岩石重要工程技术参数的基本概念、测定原理与方法,如岩石硬度、塑性系数、比面、孔隙度及渗透率等参数的测试方法与所需设备、仪器、仪表等的使用与性能特点。

第二章流体基本参数测定,重点介绍了石油工程中有关流体的重要物性参数及性能的测定原理与方法,如钻井液、完井液的流变性、固相含量、地层油高压物性等的测定。

第三章工程技术基础实验,主要对三大采油方法——自喷、气举和有杆泵抽油室内模拟井实验的原理、装置与过程进行介绍,学生可通过模拟井实测某些曲线并加以分析,得到一些重要结论。

第四章综合设计实验,本章所设置的实验力求使学生得到进一步培养并提高其综合实验与科研的能力,不仅要使学生掌握实验的原理、技术、方法与设备的使用,更主要的是要使学生大胆地动手、动脑,设计与提出一种新的实验方法。一个有前途、善于动脑的学生不会也决不应该就实验而实验,而应创造性地学习,这才是本章所设实验的内涵与宗旨。

第五章渗流力学实验,重点介绍不可压缩流体单向稳定、不稳定渗流时的压力分布规律以及不可压缩液体按线性定律做平面径向稳定渗流时的压力分布规律、产量与

压降的关系,应用微波测岩心模型含水饱和度分布等内容。学生在掌握实验原理、装置及过程的基础上,通过实测某些数据、曲线,可确定油田生产中压力、饱和度分布规律并加以分析。

第六章工程流体力学实验,重点介绍了流体静力学基本方程式、流体能量转换与守恒原理、雷诺数、动量定律、毕托管测速、沿程水头损失和局部阻力损失测量等实验教学内容。学生通过实验可掌握流体压力、流量、流速、动量修正系数、摩阻系数、流量修正系数等水力参数的测量原理与测定方法,识别不同流动状态并学习掌握不同流动状态下流体的流动特性。

本书由东北石油大学石油工程实验中心全体教师编写。其中,第一章第二、三、七节,第四章第四节由赵明国编写;第二章第一、二节,第四章第三节由党庆功编写;第一章第四、五、六节,第二章第三、四、五节由胡绍彬编写;第一章第一节由张立刚编写;第四章第一节由罗云、张立刚编写;第三章第三节、第四章第二节由曹广胜编写;第三章第一、二节由赵仁宝编写;第五章由卓兴家编写;第六章由刘银庆编写。曹广胜担任了本书的主审工作。

由于作者水平有限,定有不妥之处,恳请广大读者批评指正。

编者

2013年10月

目 录

第一章 岩石基本参数测定	1
第一节 岩石硬度与塑性系数的测定	1
第二节 岩石比面的测定	5
第三节 岩石中碳酸盐含量的测定	7
第四节 岩石有效孔隙度的测定	9
第五节 岩石绝对渗透率的测定	11
第六节 流体饱和度的测定	13
第七节 岩石孔隙大小分布及毛管压力曲线的测定	15
第二章 流体基本参数测定	19
第一节 钻井液基本技术参数的测定	19
第二节 油井水泥应用性能	26
第三节 地层油饱和压力的测定	74
第四节 地层油黏度的测定	78
第五节 地层油单次脱气实验	82
第三章 工程技术基础实验	86
第一节 有杆泵及其抽油原理	86
第二节 自喷、气举实验	89
第三节 有杆泵抽油动态曲线的测定	92
第四章 综合设计实验	96
第一节 钻井工艺技术实验	96
第二节 水力压裂电模拟	114
第三节 钻井液污染与处理方法	128
第四节 驱替过程中流体特征参数测定	143
第五章 渗流力学实验	148
第一节 不可压缩液体的单向稳定渗流	148
第二节 不可压缩液体的平面径向稳定渗流	149
第三节 单相液体不稳定渗流的压力分布	151

第四节 应用微波测岩心模型含水饱和度分布 154

第六章 工程流体力学实验 158

第一节 流体静力学实验 158

第二节 不可压缩流体恒定流能量方程（伯努利方程）实验 161

第三节 不可压缩流体恒定流动量定律实验 164

第四节 毕托管测速实验 168

第五节 雷诺实验 170

第六节 流量计校正实验 172

第七节 沿程水头损失实验 175

第八节 局部阻力损失实验 178

第九节 孔口与管嘴出流实验 182

第十节 泵特性曲线实验 185

参考文献 190

第一章 岩石基本参数测定

第一节 岩石硬度与塑性系数的测定

一、实验的目的

- (1) 使学生了解岩石的物理机械性质及破碎特点。
- (2) 学习、掌握测定岩石硬度与塑性系数的方法。

二、实验原理

钻井时岩石的破碎过程是异常复杂的，钻头破碎工具的形状是多种多样的，破碎载荷不是静载而是动载，并且破碎载荷的大小及方向都随时间而改变。对这样复杂的问题，要完全从纯理论上进行分析几乎是不可能的。因此，人们设法对实际井底的情况进行模拟，在室内研究岩石的破碎作用与影响因素，从而提出对钻井实践有意义的合理建议，以改善或提高钻井效率。用圆柱压入法测定岩石的硬度与塑性系数时，由于压头压入时岩石的破碎特点对钻井时岩石破碎过程具有一定的代表性，所以用压入法所测得的岩石力学特性在一定程度上能反映钻井时岩石抗破碎的能力。

实验时，手摇油泵手轮将液压油送给硬度仪，推动活塞上升，使岩样与压模和测头同时接触。随着压力的增大，压模逐渐压入岩样，压入的深度与测头的位移相等。电感测微仪将测头位移转变成电压信号输给 X-Y 函数记录仪。X-Y 函数记录仪自动记录下岩石的载荷—吃深曲线。

所有岩石的压入试验曲线可以分 3 种典型的形态，如图 1-1 所示。

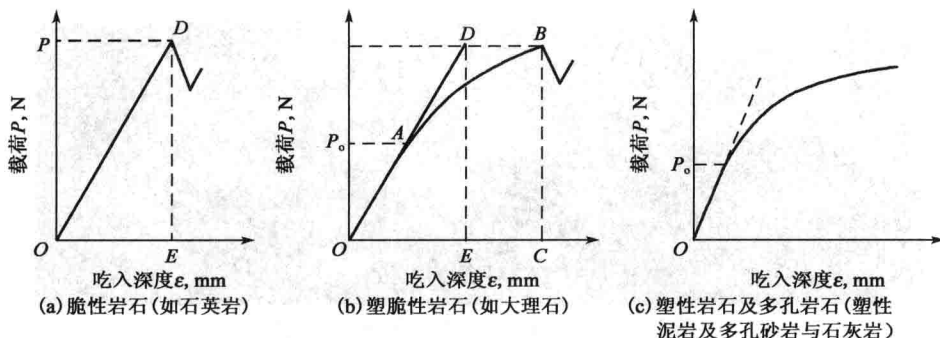


图 1-1 平底圆柱压头压入岩石时的变形曲线

变形曲线的纵坐标为压头所加的载荷 P (N)，横坐标为吃深（压入深度） ϵ (mm)。根据变形曲线的形态，可以把岩石分为三大类，即脆性岩石、塑性岩石与塑脆性岩石。图 1-1 (a) 是脆性岩石的典型曲线形态，直到发生脆性破碎时，载荷与吃深成直线关系变化。岩石的硬度 P_y 定义为产生脆性破碎时接触面上单位面积的载荷。

$$P_y = \frac{P}{S} \quad \text{N/mm}^2 (10\text{bar}) \quad (1-1)$$

式中 P ——产生脆性破碎时压头的载荷, N;

S ——压头的底面积, mm^2 。

图 1-1 (b) 是塑脆性岩石的典型变形曲线, 它包含了弹性变形和塑性变形两个变形区, 在塑性变形之后也产生了脆性的破碎, 因此可以按式 (1-1) 计算出该岩石的压入硬度值。

脆性岩石开始屈服时便达到了脆性的破碎, 而塑脆性岩石的屈服极限则出现于破碎发生之前。载荷 P_Q 则相当于岩石从弹性到塑性的转变点, 即相应的屈服点。屈服极限 P_Q 可按式 (1-2) 求得:

$$P_Q = \frac{P_o}{S} \quad \text{N/mm}^2 (10\text{bar}) \quad (1-2)$$

衡量岩石塑性的大小可以用破碎前耗费的总功 A_F [相当于图 1-1 (b) 中的 $OABC$ 面积] 与弹性变形功 A_E (相当于 ODE 面积) 的比值, 这个比值称为岩石的塑性系数 (应注意, 这里的弹性变形功不仅包括了纯弹性变形功, 因为在塑性段, 由于弹性能的积聚而出现了硬化现象)。塑性系数 K 公式为:

$$K = \frac{A_F}{A_E} = \frac{\text{面积 } OABC}{\text{面积 } ODE} \quad (1-3)$$

当压头压入塑性的或多孔的岩石时, 压头下的岩石并不发生脆性破坏, 这时候的典型变形曲线如图 1-1 (c) 所示。从图中无法求得硬度及塑性系数值 (因为不存在脆性破坏点), 因此可以用屈服极限来衡量岩石的抗压入强度, 并认为这类岩石的塑性系数为无限大。

实验表明, 致密的非多孔岩石的塑性系数一般都不超过 6, 可以认为 $K > 6$ 的岩石属于塑性岩石。但这一类岩石中包括了多孔的岩石。对于多孔岩石, 压头压入深度的变化已不是单纯的塑性变形的结果, 而且包括了孔隙的压实过程。对于其中的一部分岩石, 当压实程度达到一定极限时, 也能产生脆性的破坏。

三、实验装置及设备

岩石硬度、塑性系数测定装置如图 1-2 所示。

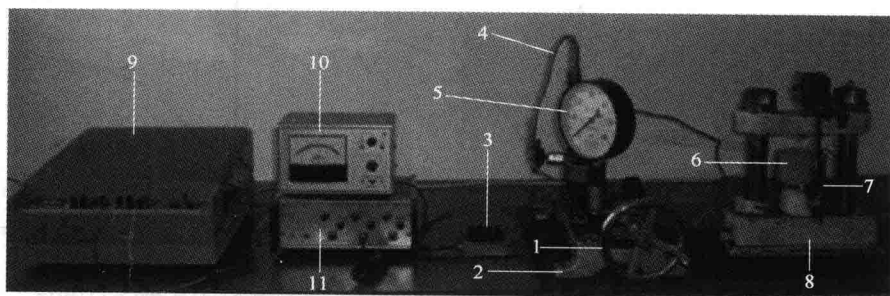


图 1-2 岩石硬度、塑性系数测试装置图

1—手轮; 2—压力表校验泵; 3—电桥盒; 4—压力传感器; 5—压力表; 6—岩样;
7—测头; 8—硬度仪; 9—函数记录仪; 10—电感测微仪; 11—压变放大器

四、实验方法及步骤

1. 岩样制备

(1) 岩样条件。试样用石油钻井取心无明显裂缝的岩块。在岩样制备过程中不允许人为

裂缝的出现。试验前将岩样置放于干燥箱内，以 $105\sim 110^{\circ}\text{C}$ 烘 24h。

(2) 岩样规格。石油钻井取心的圆柱形岩样高为 $40\sim 60\text{mm}$ ，方形岩样的长、宽、高分别为 100mm 、 100mm 与 50mm 。

(3) 岩样制备精度。岩样两端面的不平行度应小于 0.2mm ，端面的不平整度应小于 0.1mm 。

2. 实验操作

(1) 将压力传感器的 3 根传输线按半桥测量方法接在电桥上，将电桥盒的四孔插头插入放大器的电桥输入端（参见放大器的使用）。

(2) 将测头的四孔插头插入电感测微仪背面 A 插头插座（参见电感测微仪的使用）。

(3) 将 X-Y 函数记录仪、电感测微仪、放大器电源插头插入电源，分别开启电源开关，预热 15min 。

(4) 标定压力传感器。加载使岩样与压模压紧，预压 $5\sim 10\text{kgf}$ 压力，调节放大器调零旋钮，使其输出电压为零。加压达到压力传感器额定载荷，调节放大器增益旋钮，使放大器输出电压满足所要求的电压（对于满量程为 $50\text{kgf}/\text{cm}^2$ 、 $70\text{kgf}/\text{cm}^2$ 的压力传感器，放大器输出电压分别为 5V 、 7V ）。卸载荷至预压力时看放大器电压是否为零，如不为零，重复上述步骤，直到满足要求为止。

(5) 将电感测微仪电压输出导线接到 X-Y 函数记录仪的 X 轴输入端，放大器的电压输出导线连接在函数记录仪的 Y 轴输入端。

(6) 根据电感测微仪、放大器输出电压的大小，分别选择 X-Y 函数记录仪 X 轴、Y 轴的量程。电感测微仪输出电压线性范围为 $-150\sim 150\text{mV}$ ，X 轴量程选在 $0.05\text{mV}/\text{cm}^2$ 挡。放大器输出电压为 $5\sim 10\text{V}$ ，Y 轴量程应选 $0.1\text{V}/\text{cm}^2$ 挡。将 X-T 开关置于 X，测量开关置于“测量”，记录开关置于“记录”后待用。

(7) 选择压模。根据岩样的性质、软硬及致密程度，按表 1-1 选择圆柱形平顶压模。

表 1-1 压模类型与应用范围

序 号	压 模 类 型	应 用 范 围
1	直径 $d=2\text{mm}$ 硬质合金压模	致密高硬度岩石
2	直径 $d=2\text{mm}$ 合金钢压模	致密中硬度岩石
3	直径 $d=3\text{mm}$ 合金钢压模	胶结疏松的低硬度岩石

(8) 检查液压管路、阀门、仪表是否完好，仪表连线接触是否良好，排除管路中的空气，记录所使用的压模直径后，将岩样置于压模下的合适位置。

(9) 将油杯单向阀打开，逆时针方向转动手轮将液压油吸入压力表校验泵，然后关闭单向阀，顺时针方向转动手轮开始加载。当压力表指示在 $2\text{kgf}/\text{cm}^2$ 处时停止加载，调整电感测头位置，使电感测微仪的指示表指针处在左端 3 的位置左右，调节 X-Y 函数记录仪 X、Y 轴调零旋钮，使记录笔处在适当位置。以每秒 10kgf 以下的加载荷速度加载，直到岩样产生体积破碎或吃入深度增加而载荷不变为止，则该点测试完毕，将记录仪的测量记录开关关闭后，调 X 轴调零旋钮，使记录笔架处于右端卸载。

(10) 打开油杯单向阀卸载，移动岩样选择其他测试点。每块岩样测试 10 个点，测试点之间及测试点与岩样边缘的距离不得小于 10mm 。

(11) 重复 (9) ~ (10) 操作方法，做出第 N 点曲线。

五、实验数据处理

1. 计算岩样硬度

根据载荷—吃深曲线形态，选择计算岩石硬度的公式。

在坐标纸的载荷—吃深曲线上找到破碎点的纵坐标为 Y (cm)，它相当于放大器输出电压 X (V/cm)：

$$X = 0.1Y(V)$$

压力传感器承受压力与放大器输出电压关系为 $50\text{kgf} \cdot \text{V}/\text{cm}^2$ ，于是有：

$$\begin{aligned} W &= 50X \\ &= 50 \times 0.1Y \\ &= 5Y(\text{kgf}/\text{cm}^2) \end{aligned}$$

破碎载荷 P 为：

$$\begin{aligned} P &= \frac{\pi}{4} D^2 W \\ P &= \frac{5}{4} \pi D^2 Y \quad (\text{kg}) \\ P &= \frac{49}{4} \pi D^2 Y \quad (\text{N}) \end{aligned} \tag{1-4}$$

式中 D ——活塞直径，cm。

于是，硬度：

$$P_y = \frac{P}{S} = \left(\frac{5}{4} \pi D^2 Y \right) / \left(\frac{1}{4} \pi d^2 \right) = \frac{D^2}{d^2} 5Y \tag{1-5}$$

式中 d ——压模直径，mm。

岩石按硬度分类见表 1-2。

表 1-2 岩石按硬度分类

类别	软		中软		中硬		硬		坚硬		极硬	
级别	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
硬度, kbar	≤1	1~2.5	2.5~5.0	5~10	10~15	15~20	20~30	30~40	40~50	50~60	60~70	>70

- 注：(1) 对于塑性岩石及多孔岩石，最大破碎载荷取值为岩石从弹性到塑性转变点的载荷 P_0 ，如图 1-1 (b) 所示。
(2) 每块岩样的硬度为 10 个点的几何平均值。
(3) 岩石按硬度大小分为 6 类 12 级。
(4) 求破碎时载荷 P 。

2. 计算岩石塑性系数

根据载荷—吃深曲线形态，确定岩石塑性系数的计算公式。

岩石按塑性系数 K 分类见表 1-3。

表 1-3 岩石按塑性系数 K 分类

类 别	脆 性	塑 脆 性				塑 性
级别	1	2	3	4	5	6
K	1	1~2	2~3	3~4	4~6	6~∞

- 注：(1) 对于塑性或多孔岩石，压模下的岩石并不发生体积破碎，认为这类岩石的塑性系数为无限大。
(2) 每块岩样的塑性系数为 10 个点的几何平均值，计算值取整数位（四舍五入）。
(3) 岩石按塑性系数 K 大小分别为 3 类 6 级。

六、实验要求

(1) 实验前必须充分预习,掌握岩石硬度与塑性系数的基本概念以及测试原理与方法,并写好预习报告。预习报告在实验前须经老师检查。

(2) 实验过程中严格按实验操作规程进行,记录数据要求完全、准确、整齐、清楚。实验数据不合格者须重作。实验完毕,整理好仪器与实验台。

第二节 岩石比面的测定

一、实验目的

(1) 掌握岩石比面的测定方法及原理。

(2) 掌握比面测定仪的结构并能正确使用。

二、实验原理

岩石的比面是指单位体积岩石中颗粒的总表面积或孔隙的内表面积。比面有 3 种表示方法,即以岩石外表体积为基础的比面、以岩石骨架体积为基础的比面与以岩石孔隙体积为基础的比面,它们的表达式分别为:

$$S = \frac{A}{V_f} \quad S_v = \frac{A}{V_s} \quad S_p = \frac{A}{V_p} \quad (1-6)$$

式中 S 、 S_v 、 S_p ——以岩石外表体积、岩石骨架体积、岩石孔隙体积为基础的比面, cm^2/cm^3 ;

A ——岩石颗粒的总表面积或岩石孔隙的内表面积, cm^2 ;

V_f 、 V_s 、 V_p ——岩石外表体积、岩石骨架体积与岩石孔隙体积, cm^3 ;

S 、 S_v 、 S_p 之间的关系为:

$$S = S_v(1 - \phi) = S_p\phi \quad (1-7)$$

式中 ϕ ——岩石的孔隙度。

根据高才尼方程:

$$K = \frac{\phi^3}{kS_v^2(1 - \phi)^2} \quad (1-8)$$

以及气体达西定律,可得:

$$S = 14\sqrt{\frac{\phi^3 AH}{(1 - \phi)^2 Q\mu L}} \quad (1-9)$$

式中 A ——岩心截面积, cm^2 ;

L ——岩心长度, cm ;

μ ——室温下空气的黏度, $\text{mPa} \cdot \text{s}$, 可从图 1-3 中查得;

H ——空气通过岩心稳定后的压差, cm (水柱);

Q ——通过岩心的空气量, cm^3/s 。

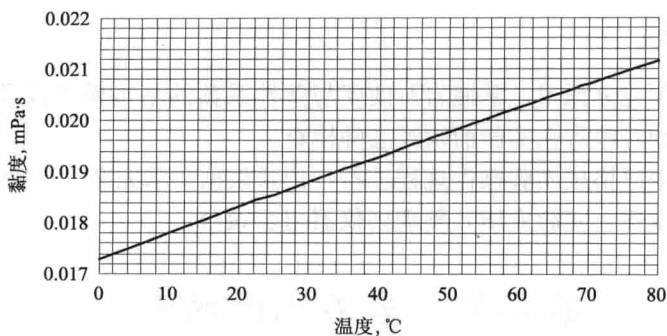


图 1-3 空气黏度—温度曲线

从式 (1-9) 可以看出, 当孔隙度 ϕ 已知, A 和 L 可直接测量, μ 由图 1-3 得到。因此, 只要测出通过岩心的空气流量与对应的压差, 即可计算出岩石的比面。目前的比面测定仪都是根据这个原理设计的。

三、实验装置及设备

比面测定仪结构如图 1-4 所示。它主要由显示环压的压力表、放空阀、进气阀、岩心夹持器、压差计以及马略特瓶等组成。马略特瓶上部具有进水开关与放空开关, 底部有一个放水开关。

该实验还需要空压机, 用于提供气源。

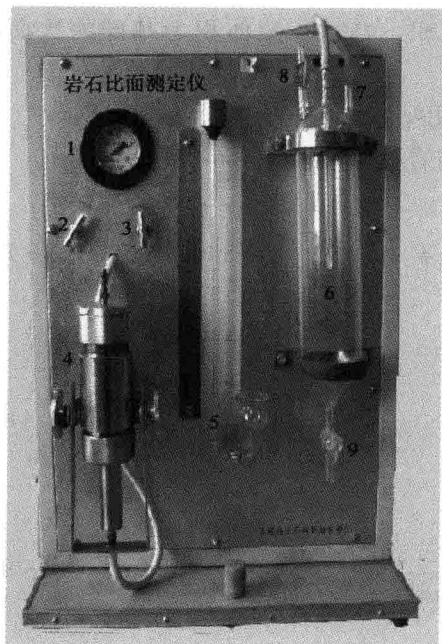


图 1-4 比面测定仪

1—压力表; 2—放空阀; 3—进气阀; 4—岩心夹持器; 5—压差计; 6—马略特瓶; 7—进水开关; 8—放空开关; 9—放水开关

该仪器的比面测定范围为 $30 \sim 2250 \text{ cm}^2 / \text{cm}^3$ 。

四、实验方法及步骤

(1) 测量岩样的长度、直径, 计算出岩样的截面积。

(2) 将岩样放在夹持器内, 并打开气源将岩样加上环压, 以保证气体不能在岩样与夹持器之间窜流。

(3) 打开马略特瓶上的放空开关, 由进水开关漏斗向瓶内灌水, 大约灌至 $2/3$ 便停止, 关上进水开关与放空开关。

(4) 准备好秒表, 打开放水开关并控制流出的水量, 待压差计的压差稳定在一定值后, 用量筒接流出的水量, 并用秒表记录相应的时间。改变水的流量, 用同样的方法测定 3 次。

(5) 关上放水开关, 计算水的流量, 并将它与对应的压差代入公式计算岩石的比面, 3 次结果的平均值即为岩样的比面。

五、实验数据处理

岩石比面实验数据记录表见表 1-4。

表 1-4 岩石比面实验数据记录表

岩心长度_____ cm; 岩心直径_____ cm; 孔隙度_____ %; 室温_____ °C; 空气黏度_____ mPa · s

序 号	时间 s	水体积 cm ³ /s	压差 cm (水柱)	流量 cm ³ /s	比面 cm ² /cm ³
1					
2					
3					
平均					

六、实验要求

- (1) 实验前要掌握油层物理方面的知识。
- (2) 实验时动作要轻, 防止马略特瓶及压差计损坏。
- (3) 实验结束后, 一定要先关闭进气开关, 然后再关闭放空开关。

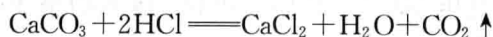
第三节 岩石中碳酸盐含量的测定

一、实验目的

- (1) 明确岩石中碳酸盐含量在油田生产的作用。
- (2) 掌握岩石中碳酸盐含量的测定方法及原理。
- (3) 掌握碳酸盐含量测定仪的正确使用方法。

二、实验原理

碳酸盐与盐酸接触后发生反应:



$$100 \qquad \qquad \qquad 44$$

$$w \qquad \qquad \qquad G$$

$$w = \frac{100G}{44}$$

产生的 CO₂ 气体使压力升高, 由压力及气体状态方程:

$$pV = nRT (n = G/M, M = 44) \qquad (1-10)$$

$$G = pVM/RT \qquad (1-11)$$

因此有:

$$N = w/a = 100pV/aRT \times 100\% \qquad (1-12)$$

式中 N ——碳酸盐含量, %;

R ——气体常数, $R=8.21\text{MPa} \cdot \text{cm}^3/(\text{mol} \cdot \text{K})$;

T ——实验温度, K;

a ——岩样质量, g;

V ——反应室体积, cm³;

G —— CO_2 的质量, g;

w —— CaCO_3 的质量, g;

p ——反应后的平衡压力, MPa。

只要测出反应后的压力, 即可计算出碳酸盐的含量。

三、实验装置及设备

图 1-5 为实验装置, 它主要由磁铁、盛样器、反应杯、压力传感器以及放空阀等组成。



图 1-5 碳酸盐含量测定仪

1—磁铁; 2—盛样器; 3—反应杯; 4—压力传感器; 5—放空阀

样品反应杯: 为带有螺纹的有机玻璃筒, 筒盖与控制阀连接, 盖与筒之间由 O 形密封圈密封。

盛样器: 用来盛装所测岩心样品。

数字压力计: 该压力计由压力传感器和显示仪表组合而成, 用于测定反应室内 CO_2 气体的压力值。

主要技术指标: 电源电压 $220\text{V} \pm 22\text{V}$, 50Hz; 输入功率 100W; 工作条件温度 $5 \sim 40^\circ\text{C}$; 测量范围总含量 $0 \sim 100\%$ 。

四、实验方法及步骤

(1) 用电子天平称取一定量的样品, 放入盛样器中。为防止盛样器下落时样品溅到外面, 应用 1~2 滴丙酮溶剂润湿样品。

(2) 将盛样器插入杯盖中插孔, 并用磁铁吸牢。

(3) 用量筒量取 10mL 10% 盐酸倒入反应杯内, 并拧紧玻璃筒。

(4) 调零, 使压力传感器显示值为零。调好后, 关闭放空阀, 取掉磁铁, 使盐酸与样品反应。

(5) 当压力稳定后, 记录压力与温度。

(6) 打开放空阀, 使压力指示为零, 取出反应杯, 用清水冲洗玻璃筒和盛样器。

(7) 实验结束。

五、实验数据处理

岩样质量 a ____ g; 室温 ____ $^\circ\text{C}$; 反应室体积 V ____ cm^3 ; 反应后压力 p ____ MPa。