

ECK-1型渗透率自动测定仪 的研制与试验

黄福堂 吴西湖

(石油工业部大庆石油勘探开发研究院)

本文概述了ECK-1型渗透率自动测定仪的分析原理、气测流程的设计、节流毛细管的标定、压力与流量工作曲线的绘制和测试程序操作及试验研究对比方法。

大量分析数据对比表明,该仪器重复性误差小于5%的样品,占总分析样品数的95%,测量精度可达1.5%左右,同一样品复测三次分析偏差都小于4%,渗透率在 $40-7000 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 范围内的82块岩样,相对误差小于5%的占总分析样品数96.3%,与美国仪器平行测定的5块样品的渗透率值,均在分析误差之内。

一、前 言

渗透率是表示在一定压差下,允许液体或气体在岩心孔隙中通过的能力。近年来国内外对于岩心渗透率测定方法方面的研究,已引起了有关研究人员的重视。据文献资料报道,目前关于岩心渗透率测定的方法主要有正压法、负压法、流量管法和定压流量法等等。近期研究表明,将微机应用于渗透率数据处理上,使渗透率测定技术有了新的发展和提高。

在总结前人经验的基础上,我们根据达西直线渗流定律,综合国内外同类仪器的优点,经过反复试验,设计研制成功了ECK-1型渗透率自动测定仪。该仪器采用了先进智能接口板、标准数字显示器、压力传感器及我们自己设计的岩心夹持器、节流毛细管,组成了测试流程,数据处理采用了微机,装入用BASIC语句编写好了的测试程序,运行该程序可实现测量任务。

二、仪器的基本原理

ECK-1型渗透率自动测定仪的基本原理是,在一定的压力下,使空气流过岩心,由于岩心的渗透能力不同,因此在岩心前端所显示的压力也不同,装上合适的的节流玻璃毛细管(根据节流毛细管前后压差可检测出气体流量),增加了岩心前端的测量的灵敏度与范围,把压力传感器测出岩心前后的压力差值,经接口采样板,从显示器表头取出,再通过智能接口板按照IEEE-488标准发送到MEC488A仪器控制器,在MEC汉化CP/M操作系统下调入测试BASIC文件,然后装入用BASIC语句编写的测试程序。

以上系统只要按照屏幕上的中文提示,输入岩心直径、长度、当天大气压和温度后,控制器接收接口板发来的数据,经运算后打出分析结果。

三、计算公式

根据仪器分析原理,渗透率计算公式推导如下:

按达西直线渗流定律,气体渗透率

$$K = \frac{Q \cdot \mu \cdot L}{A \cdot \Delta P} \times 10^3 \quad (1)$$

式中:

K ——渗透率 ($\times 10^{-3} \mu\text{m}^2$)

Q ——在 ΔP 的压差下,通过岩心的气体流量 (ml/S);

μ ——气体流动的动力粘度,单位为帕·秒 ($\text{Pa} \cdot \text{S}$);

ΔP ——岩心前后的压力差,其单位为标准大气压 (atm);

L ——岩心长度,单位为厘米 (cm);

A ——岩心横截面积,单位为平方厘米 (cm^2);

根据该仪器的分析原理与测试流程及采用的数字压力传感器的使用范围,我们设:

自然大气压力 P

给定压力为 P_0 , $0-0.02\text{MPa}$

岩心前压力为 P_1 , 岩心后压力为 P_2

岩心后面敞开与大气相通,所以岩心后压力 $P_2 = P$, 岩心前后的压力差 $\Delta P = P_1$ 。

根据波义尔定律,通过岩心的平均气体流量:

$$\bar{Q} = \frac{P \cdot Q}{\frac{(P_1 + P) + P}{2}} = \frac{2P \cdot Q}{2P + P_1} \quad (2)$$

将(2)代入(1)

$$K = \frac{\frac{2P \cdot Q}{2P + P_1} \cdot \mu \cdot L}{A \cdot \Delta P} \quad (3)$$

因为 $\Delta P = P_1$

$$\text{所以 } K = \frac{2P \cdot Q \cdot \mu \cdot L}{A \cdot P_1 (2P + P_1)} \quad (4)$$

在实测中,自然大气压 P 是通过气压计的毫米汞柱高测得,为压力统一起见,用标准大气压,

$$1 \text{ 个毫米汞柱高} = 0.001315 \text{ 标准大气压} \quad (5)$$

而显示岩心前压力 (P_1) 值的压力显示器从 0 变化到 100, 压力从 0 变化到 0.02MPa , 每个值统一用标准大气压。

$$1 \text{ 个值} = 0.00193 \text{ 标准大气压} \quad (6)$$

将(5)、(6)代入(4)

$$K = \frac{0.00263P \cdot Q \cdot \mu \cdot L}{0.00193P_1 \cdot (0.00263P + 0.00193P_1) \cdot A} \times 10^3 \quad (7)$$

式中:

P ——气压计汞柱高 (mmHg)

P_1 ——压力显示器显示值

四、节流玻璃毛细管选择与压力流量工作曲线绘制

根据仪器的设计要求, 节流毛细管选择流量为0—9.5ml/S, 在毛细管前端压力为0.02MPa下, 通过压力传感器反映在显示器上100个数, 精确到0.1。为了测得在0—0.02MPa范围内不同压力数相应的气体流量, 我们将显示器所反映的100个数均分成19个点, 并测出每点的气体流量, 同时根据所测出的压力与流量数据绘制出 P_1 - Q 工作曲线, 见图1。然后在已绘制的 P_1 - Q 关系曲线上, 采用内查法求出0.1—100个数的相对应所有流量值, 把不同压力数下的流量值输入程序盘备用。

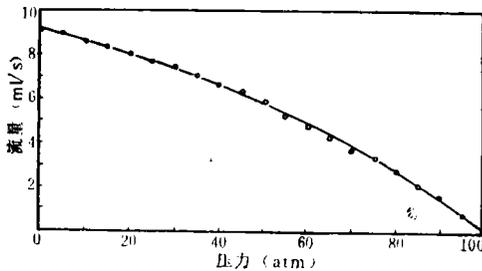


图1 ECK-1型渗透率自动测定仪 P - Q 关系曲线图 表将气源压力定在0.65—0.7MPa的给定压力范围内。当压缩空气经过净化后, 空气中的水份和粉尘被中间容器内的硅胶或SA分子筛吸附掉。

2. 测试压力的控制系统

测试流程压力控制, 主要是采用一级减压二级稳压的流程, 使输出压力稳定在0.02MPa, 测试流程中采用QZY-200型减压阀做为一级减压, 输出0.25MPa的气体做为一级稳压, QGD-200型定值器输入压力, QGD-200型定值器输出压力为0.1MPa, 做为二级稳压的QGD-100型定值器输入压力, 二级稳压后输出0.02MPa做为节流毛细管前端的给定压力。由毛细管进行节流, 提高了岩心前端压力变化的测试精度, 并由DP-15压力传感器, 将测试中变化的压力数, 在CD-23型数字显示器上显示出来。

仪器选用的节流毛细管是根据仪器的测量范围, 用皂沫流量计进行标定的。

岩心夹持器是采用环抱密封方式, 主要由钢套、橡皮套与压缩弹簧构成。橡皮套经气体加压后, 即可密封岩心。

3. 整机程序控制系统

整机系统包括: 控制器(MEC-488A)、打印机及接口采样板。MEC488A控制器包括主机、CRT显示器、软盘驱动器、接口盒。

五、仪器结构

ECK-I型渗透率自动测定仪, 主要由三个部分组成, 见流程图2。

1. 自动供气装置, 由空气净化容器和电接点压力表组成。

用空气压缩机作气源, 由电接点压力

控制器的操作系统系汉字CP/M2、2版，配有测试BASIC语言及本系统专用程序。

主机（MEC488A）CPO采用280A，时钟频率4MHZ，内存64K字节，用户区（P100H—E000H）配有软盘驱动器及接口盒，接KP-910型打印机，主机右上方的插槽中插有汉字卡，其中有国际一、二级字库，约七千余字，由于采用了汉卡技术，大大缩短了调字库时间，从而提高了汉字输出速度。

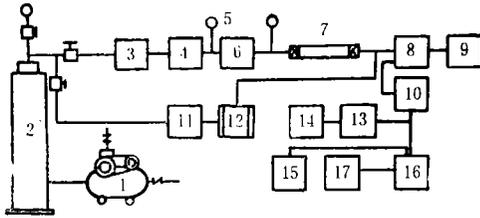


图2 ECK-1型渗透率自动测定仪流程图

- 1.气源 2.中间容器 3.减压阀 4.6.定值器 5.压力表
- 7.节流毛细管 8.压力传感器 9.压力数字显示器 10.CD-2323采样接口 11.电磁阀 12.岩心夹持器 13.接口
- 14.软盘驱动器 15.CRT终端显示器 16.键盘 17.打字机

六、计算机运算过程

测试过程是在MEC汉字CP/M操作系统下调入测试BASIC文件，把用BASIC语言编写的测试程序装入磁盘驱动器，按照CRT屏幕上的中文提示，输入当天大气压力、温度及岩心长度与直径等数据后，即可连续测定100块样品，并能自动打印出岩心渗透率值。

测试BASIC是在BASIC·BO的基础上开发的软件，它除具有BASIC·BO所有的语句外，还有与IEE-488标准相附的测试语句，这些测试语句可用来管理488总线上的各种仪器（CD-23数字面板表就是其中之一）。

七、试验结果对比

为了验证仪器的测量精度、稳定性及测量范围，我们选取了江52井、江60井、杏5-4-3井、升48井和中检6-29井等五口井不同岩性的总计94块样品，进行了以下三个方面的试验：

1. 仪器测量精度试验

在统一的测试条件下，我们选取了中检6-29井79块样品，在同一操作条件下，在ECK-I型渗透率测定仪上复测三次，按不同相对误差，将测定结果进行了数据统计，见表1、表2。

表1 压力读数误差统计表

相对误差 (%)	样品块数	占测定样品数 (%)
<0.5	51	64.6
<1.0	18	22.8
<1.5	6	7.6
>1.5	4	5.0

表2 渗透率误差统计表

相对误差 (%)	样品块数	占测定样品数 (%)
< 1	48	61.5
< 2	24	30.8
< 3	3	3.8
< 4	3	3.8
< 4	0	0

从表1的数据统计中,我们可以看出重复性误差小于1.5%的占样品总数95%,从中可以确定仪器的稳定性,测量精度达 $\pm 1.5\%$ 。

从表2的统计可以看出,在78块样品中,三次测定误差都小于4%,小于规定的误差范围,从而可以认为该仪器的测量精度达到了设计要求。

2. 不同仪器渗透率测定结果对比

为了了解该仪器的测量范围和可靠性,我们所选取的94块样品用ECK-I型和75型渗透率测定仪进行了分别测定,同时把测定结果按不同相对误差范围和渗透率大小进行数据统计,见表3。

从表3的统计中可以看出,渗透率大于 $40-7000 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 样品有82块,其中相对误差5%以内的79块,占总样品数的96.3%,大于5%的样品有3块,占总块数的3.7%。从中可以看出ECK-I型渗透率测定仪测量范围可定为 $40-7000 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。

为了同国外渗透率测定仪进行对比,我们将南海蛇口试验室已测定的五块样品,用ECK-I型仪器进行复测,测定结果见表4,从表中可以看出,相对误差在5%以内的有4块,占总块数的80%,相对误差大于5%的有一块,占总块数的20%。

表3 ECK-1型与75型数据对比误差统计表

样品块数 渗透率 $\times 10^{-3} \mu\text{m}^2$	相对误差 (%)					
	0—1	1—2	2—3	3—4	4—5	>5
<40	2			2		10
40—100	1	1	1	/	1	2
100—500	8	8	8	1	/	/
500—1000	19	4	2	1	1	1
1000—2000	10	3	1	2	1	/
2000—4000	1	/	/	/	2	/
4000—6000	1	/	/	/	/	/
7000	/	1				
合 计	40	17	11	6	5	3
%	<5				96.3%	<3.7%

表4 美国仪器与ECK-1型仪器渗透率数据对比表

样品号	岩心长度 (cm)	岩心直径 (cm)	压力差	美国仪器 渗透率 ($\times 10^{-3} \mu\text{m}^2$)	ECK-1型 渗透率 ($\times 10^{-3} \mu\text{m}^2$)	相对误差 (%)
11	2.25	2.48	29.7	1040	1059	1.70
49	2.31	2.44	20.4	1680	1751	4.05
163	2.34	2.46	8.6	4190	4499	8.87
205	2.37	2.46	42.9	644	651	1.08
244	2.38	2.47	95.3	31	30.7	-0.98

八、主要技术指标

1. 该仪器渗透率测定范围在 $40-7000 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。
2. 仪器选用的DPIS压力传感器, 压力测量范围 $0-0.02\text{MPa}$, 压力测量精度为 $\pm 0.1\%$ 。
3. 仪器选用的节流毛细管的工作压差在 0.02MPa 时, 最大气体流量 9.20ml/S 。
4. 岩心夹持器封压 $0.65-0.7\text{MPa}$ 。
5. 允许环境温度 25.5°C , 相对湿度 85% 以下。
6. 仪器电源为 220V 、 50HZ , 电源应安装稳压设备。
7. 每次输入岩样限额100块, 渗透率大于 $10 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。
8. 岩心加工制备要求:
岩心长度 2.5cm , 直径(\varnothing) 2.5cm , 允许误差 0.5mm , 岩心长度范围 $1.5-2.8\text{cm}$ 。
9. 岩心须热解或溶剂除油, 岩心浸液达荧光三级以下时, 取出烘干并涮去外表浮尘方可进行分析。

九、结论

试验结果对比表明ECK-I型渗透率自动测定仪有以下几个特点:

1. 仪器操作简便, 采用微机处理分析数据, 并能直接打印测定值, 因而提高了分析速度, 该仪器一次可测定岩样100块。
2. 由于仪器采用BASIC语句编写的测试程序和CRT中文显示器, 增加了对各种计算参数的质量检查和控制。
3. 从两种仪器的试验结果对比看, 分析误差均小于 4% , 该仪器测量范围在 $40-7000 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。
4. 因测试程序采用软盘, 所以更换新节流毛细管时只需将新编制的流量压力数据输入程序盘, 克服过去笔写电路缺点。
5. 仪器采用的岩心夹持器设计简单适用, 密封效果好, 不易爆密封套。
6. 仪器上采用压力传感器和数字显示器, 测量的精度与灵敏度高, 显示值速度快, 更换探头模片方便。

DEVELOPING AND TESTING MODEL ECK - 1 AUTOMATIC PERMEABILITY ANALYSER

Huang Futang

(Daqing Research Institute of Petroleum Exploration and
Development, Ministry of Petroleum Industry)

Abstract

This paper outlines the analytic principle of Model ECK - 1 Automatic Permeability Analyser, the design of gas flow program, the calibration of capillary flow rate, the plotting for the curves of pressure and flow, the operation procedure and the correlation of testing analysis.

According to the correlation of many experimental data, it is indicated that the samples with the error of duplication is less than 5% account for 95% of the total samples using such a equipment.

The accuracy for the testings could reach $\pm 1.5\%$ and the deviation for three repeated testings is no more than 4% on the same sample. For 82 rocks with their permeability ranging from 40 to $7000 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 96.3% of them have their error less than 5%.