

一种新的润湿性测定方法

——Wilhelmy 动力板法

马永海

(中国海洋石油南海东部公司, 广州 510240)

Wilhelmy 动力板法是一种新的润湿性测定方法, 本法测得的是粘附力(附着力)。这种力可直接与油层其它力作比较, 使润湿性以力的形式用于油藏评价中。

关键词 润湿性 毛细力 界面张力 接触角 采收率 粘附力

作者简介 马永海 男 58岁 高级工程师 石油地质

储油层润湿性是油藏工程的一个重要参数。它决定毛细力的方向, 影响流体流动的自由度和束缚水含量。润湿性对水驱油采收率的影响已众所周知。在三次采油中, 它是 EOR 工程设计中不可忽略的因素, 直接影响 EOR 方案的选择。

1988年, 美国阿莫科生产公司研究中心研制出一种新的润湿性测定技术——Wilhelmy 动力板法。它与 Amott 法和相对渗透率曲线法并列为三种主要的常规方法, 对岩石润湿性进行综合鉴定, 使得润湿性测定结果更客观、更真实。

1 方法原理

1863年, Wilhelmy 研制了测量表面和界面张力的基本技术。多年来, 该技术一直为表面化学家用以研究蒸气—液体—固体界面。阿莫科生产公司研究中心利用 Wilhelmy 原理, 研制成用计算机控制的仪器, 测量蒸气—液体—固体和液体—液体—固体界面上的粘附力。图1是 Wilhelmy 动力板法测粘附力的流程图。图2是该流程的主体——乏氧容器。

如图2所示, 动力板挂在由计算机监视的微量天平上, 通常有6块备用动力板, 挂在乏氧容器周围的四聚氟乙烯支架上。一支150ml烧杯放置于乏氧容器内中间位置, 杯中盛满盐水。乏氧容器盛被测试的油样和盐水。测试时, 将一个动力板移到容器中心上方位置, 由计算机控制的步进马达将容器向上移动, 当动力板通过油水界面时, 作用在该板上力的变化就与粘附力有关。粘附力为界面张力与接触角余弦的乘积:

$$\text{粘附力} = \gamma \cos(\theta_c) = \Delta F / p \quad \text{①}$$

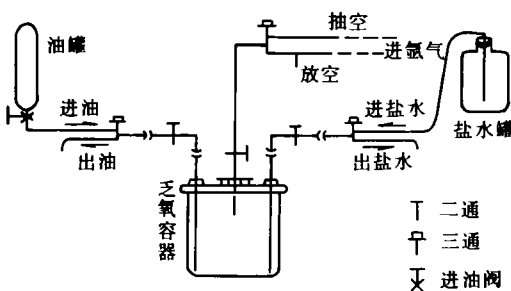


图1 粘附力测量流程图

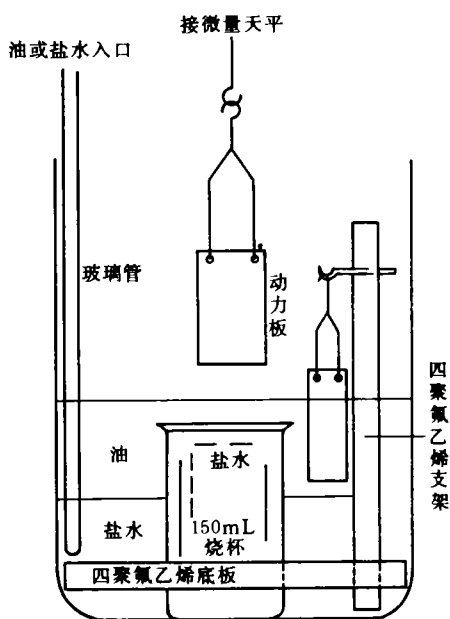


图 2 乏氧容器示意图

动力板通过界面时,形成弯月面,通过这一弯曲界面的压降为:

$$\Delta p = 2\gamma \cos(\theta_c) / r \text{ ②}$$

②式为孔隙半径或孔喉半径与从相联通的毛管中驱替可湿相所需要压力的关系。从②式可获得某一毛管中液体上升的高度:

$$h = \frac{2\gamma \cos(\theta_c)}{\Delta \rho g r} \text{ ③}$$

Leverett J 函数表达了渗透率、孔隙度、润湿性与饱和度的关系:

$$J(S_w) = \frac{p_c}{\gamma_{ow} \cos(\theta_c)} \sqrt{\frac{K}{\phi}} \text{ ④}$$

②式的压力降落、③式的沿毛管上升高度、④式的 J 函数,每种情况都与界面张力和接

式中: γ 为表面或界面张力, θ_c 为接触角, ΔF 为油水界面的粘附力差, p 为动力板周长。

若下面的液体(水)优先润湿动力板,就在板上形成向上的弯月面,粘附力为正值;若动力板优先润湿上面液体(油),则形成下弯月面,粘附力为负值(图 3)。动力板下降通过油水界面测得前进粘附力;动力板上升通过油水界面测得后退粘附力。上升和下降全过程获得润湿回线(图 4、5、6)。图中纵坐标表示粘附力,横坐标为动力板位置。因动力板浮力作用,故润湿回线均呈倾斜状。当动力板退出水相进入油相时,油湿回线出现驼峰(图 5),这峰值认为是边界效应引起的。几乎所有油湿系统都程度不同地出现驼峰。

当水润湿动力板时,前进粘附力与后退粘附力均为正值(图 4)。而油润湿动力板时,前进粘附力和后退粘附力均为负值(图 5)。当粘附力二者符号相反,则系统为混合润湿性(图 6)。

- ① g : 重力加速度;
- h : 沿毛管上升高度;
- K : 渗透率;
- p : 动力板周长;
- p_c : 毛管压力;
- r : 毛管半径;
- S_w : 水饱和度;
- Δp : 界面上力的变化;
- γ : 表面或界面张力;
- γ_{ow} : 油水界面张力;
- θ_c : 接触角;
- $\Delta \rho$: 流体密度差;
- ϕ : 孔隙度;
- ΔF : 油水界面的粘附力差。

接触角有关,所以,测得接触角与界面张力的乘积,即粘附力,用它表示润湿力非常合理,而只用接触角或润湿率(Amott 法测得)就显得欠缺。

测得粘附力及界面张力,可求得接触角。凡前进角和后退角均小于 90°为水湿,前进角和后退角均大于 90°为油湿。混合润湿性的特点是不论哪种与表面接触的液体都趋向于滞留其表面,直到被另一强大的力驱走,对于混合润湿性,水相前进角大于 90°,水相后退角小于 90°

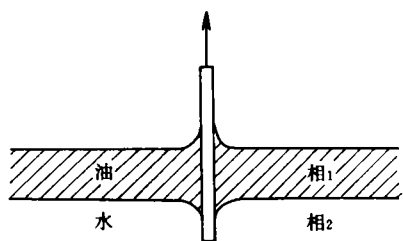


图3 油湿系统弯月面图

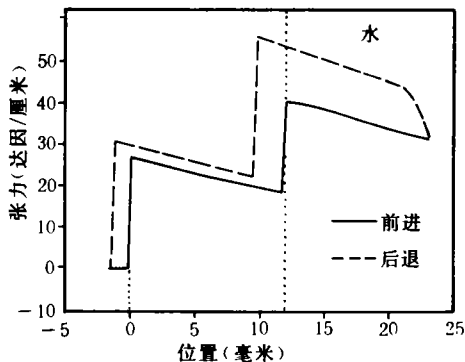


图4 水湿润回线图

注:1 达因 = 1mN/m

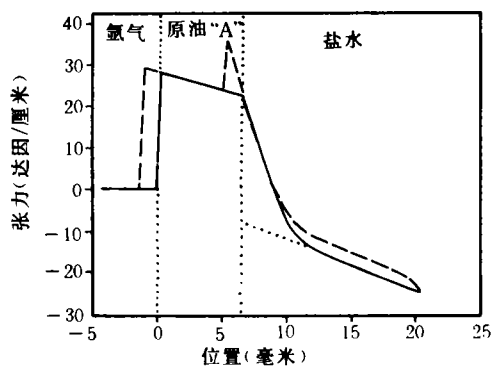


图5 油湿润回线图

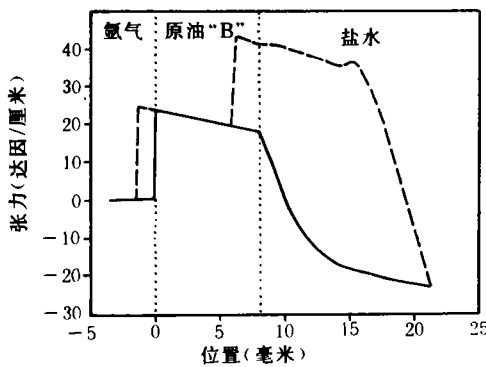


图6 混合润湿系统图

2 测试简介

油用目的层原油,水用 $50000 \times 10^{-6} \text{NaCl}$ 和 $5000 \times 10^{-6} \text{CaCl}_2$ 配制的模拟地层水。测量油—氩气表面张力和油—模拟水界面张力,测量误差要求小于 0.1mN/m 。

动力板用矿物制成。阿莫科生产公司研究中心用大理石片代表碳酸盐岩油藏储层岩石。动力板浸泡在亚铬酸中粗洗,使其亲水,用蒸馏水冲,再用酒精洗,最后放在火焰上烧一下。

实验用的玻璃器皿和四聚氟乙烯部件先浸在亚铬酸中粗洗,然后用蒸馏水冲洗。硅橡胶管用蒸馏水冲洗,每次实验均更换新的。要求盐水仅与玻璃、四聚氟乙烯和硅橡胶管接触。油仅与玻璃、四聚氟乙烯和不锈钢容器接触。

专门设计一个乏氧容器,以避免空气污染(图2)。图1为测试流程图。乏氧容器与真空泵、氩气源、盐水罐、油罐之间用三套管线联接。抽空乏氧容器、油罐、水罐和管线中的空气,充氩气。待盐水通氩气15min后,将盐水罐中的盐水压入乏氧容器和烧杯中,然后再将油罐中的油压入乏氧容器。

乏氧容器中的动力板应先和盐水接触,后与油接触,目的是模拟储层岩石与油水接触的运移过程。动力板浸在油中充分老化,老化时间长者可达6天。

测试过程由计算机控制。一组润湿回线大约10min完成。

(收稿日期:1994年6月27日)

A NEW METHOD FOR DETERMINING HUMIDITY ——WILHELMY DYNAMIC PLATE METHOD

Ma Yonghai

(Nanhai Eastern Company, China Marine Petroleum Co.)

Abstract

Wilhelmy dynamic plate method is a new way to determine humidity. It determines adhesive force (attached power), which can directly be compared with other forces of oil layer. Thus, humidity can be used in oil pool evaluation taking the form of forces.