

**SY**

# 中华人民共和国石油天然气行业标准

标准分享网  
www.bzfxw.com

SY/T 6315—1997

## 稠油油藏驱油效率的测定

Displacement efficiency measurement  
method for heavy – oil reservoirs

1997 – 12 – 31 发布

1998 – 07 – 01 实施

中国石油天然气总公司 发布

目 次

前言 ..... IV

1 范围 ..... 1

2 引用标准 ..... 1

3 测定原理 ..... 1

4 测试仪器设备及材料 ..... 1

5 测试前准备 ..... 2

6 测试程序 ..... 3

7 测试报告编写 ..... 7

附录 A (标准的附录) 测试取样记录表格式 ..... 8

附录 B (标准的附录) 原油粘度、密度与温度的关系曲线 ..... 9

附录 C (标准的附录) 驱油效率与注入 PV 数的关系曲线 ..... 11

附录 D (标准的附录) 残余油饱和度与注入 PV 数的关系曲线 ..... 12

附录 E (标准的附录) 含水率与含水饱和度的关系曲线 ..... 13

## 前 言

为了提高稠油油藏驱油效率测定结果的可靠性及可对比性特制订本标准。本标准对于纯砂岩油藏，其测试结果是可靠的，对砂砾岩油藏和粘土含量较高的油藏，其结果可以作为重要参考。

本标准的附录 A、附录 B、附录 C、附录 D、附录 E 都是标准的附录。

本标准由油气田开发专业标准化委员会提出并归口。

本标准由石油勘探开发科学研究院热力采油研究所负责起草。

本标准主要起草人 沈德煌 聂凌云

## 稠油油藏驱油效率的测定

Displacement efficiency measurement method for heavy-oil reservoirs

## 1 范围

本标准规定了稠油油藏驱油效率测定方法及技术要求。

本标准适用于稠油油藏热水驱及蒸汽驱条件下的驱油效率测定。

## 2 引用标准

下列标准所包含的条文，通过在本标准中引用而构成为本标准的条文。本标准出版时，所示版本均为有效。所有标准都会被修订，使用本标准的各方应探讨使用下列标准最新版本的可能性。

SY/T 5336—1996 岩心常规分析方法

SY/T 5345—89 油水相对渗透率测定方法 非稳态法

## 3 测定原理

稠油油藏岩心驱油效率室内测定是在管式模型上进行的。测定驱油效率是指在不同驱替条件下，注入的驱替介质所驱替出的原油体积与总含油体积的比值 [见式 (1)]。

$$E_D = \frac{\sum q_{oi} / \rho_o}{S_{oi} \cdot V_p} \times 100\% \quad \dots\dots\dots(1)$$

式中： $E_D$ ——驱油效率；

$\sum q_{oi}$ ——岩心模型驱替的原油质量，g；

$\rho_o$ ——原油 [质量] 密度，g/cm<sup>3</sup>；

$S_{oi}$ ——岩心模型含油饱和度，%；

$V_p$ ——岩心模型孔隙体积，cm<sup>3</sup>。

## 4 测试仪器设备及材料

## 4.1 仪器设备

4.1.1 蒸汽发生器：工作温度 300℃；压力 20.0MPa；流量 200mL/min (CWE)。

4.1.2 恒温烘箱：工作温度 300℃；精度 ±1℃。

4.1.3 注入泵：排量 0.224~50.2mL/min，压力 15.0MPa。

4.1.4 储油罐：容积 1000mL。

4.1.5 真空泵：极限真空度 0.067Pa。

4.1.6 空气压缩机：压力 0.8MPa，气量 0.013m<sup>3</sup>/min。

4.1.7 循环清洗泵：最大排量 150mL/min。

4.1.8 天平：感量 0.01g。

4.1.9 分析天平：感量 0.0001g。

4.1.10 压力传感器：量程分别为：0.1MPa、0.3MPa、3.0MPa。

4.1.11 光电比色计：精度 $\pm 0.001$ 。

## 4.2 材料

4.2.1 二甲苯：分析纯。

4.2.2 环己烷：分析纯。

4.2.3 丙酮：化学纯。

4.2.4 乙醇：分析纯。

## 5 测试前准备

### 5.1 岩心处理技术要求

测定所用的岩心有松散油砂和胶结成型岩心两种。

#### 5.1.1 松散油砂的准备

稠油油藏一般为疏松砂岩，对于非胶结砂岩，将油砂中的原油用环己烷（或二甲苯）洗净，以保持岩心的原始润湿性。然后烘干，用孔径为 0.9~0.074mm 的筛网去掉粘土及大颗粒备用。

#### 5.1.2 成形岩心的准备

对于成形岩心，进行抽提洗油，具体抽提方法按 SY/T 5336 的规定执行。

### 5.2 原油处理技术要求

原油样品应先过滤后脱水。

#### 5.2.1 原油过滤

用孔径为 0.043mm 的滤网过滤，过滤温度应低于 100℃。

#### 5.2.2 原油脱水

样品最终含水小于 0.5% 为合格。

### 5.3 流体和岩心模型参数准备

#### 5.3.1 流体性质按表 1 的要求与格式填写。

表 1 流体性质（格式）

温度 ℃	原 油		驱替介质		
	粘度 $\mu$ mPa·s	[质量] 密度 $\rho$ g/cm <sup>3</sup>	粘度 $\mu$ mPa·s	[质量] 密度 $\rho$ g/cm <sup>3</sup>	粘度比 $\mu_r$

#### 5.3.2 岩心模型参数按表 2 的要求与格式填写。

### 5.4 测试装置建立

#### 5.4.1 松散砂岩岩心模型建立

松散砂岩一般采用钢管模型，岩心砂模型采用干涩结合法，具体操作过程如下：

将模型竖起，扭紧端盖的一端朝下。然后，根据实验方案要求，装入洗净干燥的油层砂，同时加入蒸馏水（或地层水）始终保持水面高于砂面，并用皮锤不断敲击管壁使之振动，装满后，扭紧端盖。

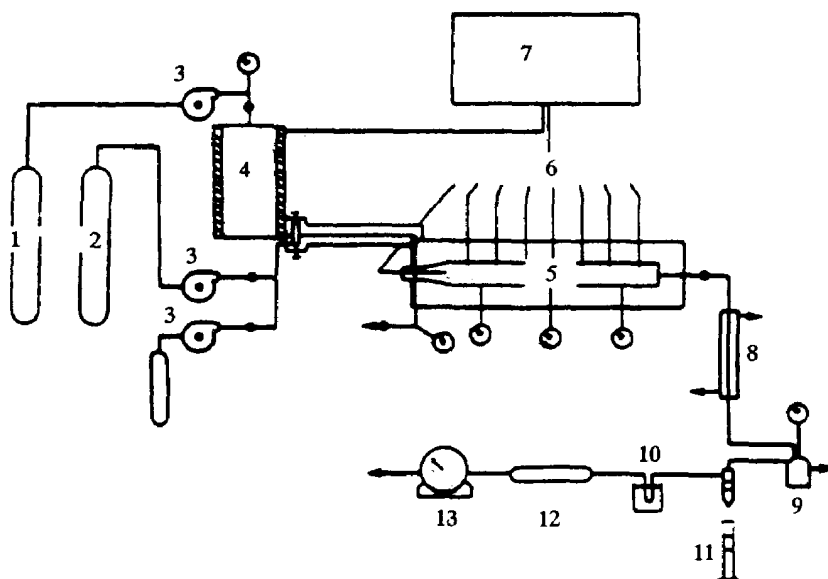
#### 5.4.2 成形岩心模型建立

表2 岩心模型参数 (格式)

岩心号	岩心尺寸		渗透率 $\mu\text{m}^2$		孔隙度 %
	长度 mm	直径 mm	油	水	

成形岩心, 实验温度低于 200℃ 时, 选用橡胶筒外压密封模型, 实验温度高于 200℃ 时, 选用薄壁铜套模型。

**5.4.3 测试装置示意图** 测试装置示意图见图 1。该流程既满足热水驱, 又满足蒸汽驱条件下的驱油效率测定。



1—储水罐; 2—储油罐; 3—泵; 4—蒸汽及热水发生器; 5—岩心夹持器; 6—热电偶; 7—温度记录及加热控制; 8—冷凝器; 9—回压调节器; 10—分离器; 11—液样器; 12—气样器; 13—湿式流量计

图1 驱油效率测定基本流程示意图

## 5.5 系统试压

测试前必须用驱替介质对系统进行试压, 试压大小应为最高工作压力的 1.2 倍。系统试压时, 保证 5h 不漏 (压力降小于 0.05MPa) 为合格。

## 6 测试程序

### 6.1 测试操作步骤

#### 6.1.1 饱和水

用丙酮或无水乙醇替出水, 吹干, 然后抽空 (5h 左右), 最后饱和水 (蒸馏水或地层水), 用感量为 0.01g 的天平称量岩心中饱和水量, 按式 (2)、式 (3) 计算孔隙体积  $V_p$  和孔隙度  $\phi$ :

$$V_p = m_w / \rho_w \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$\phi = \frac{V_p}{V_f} \times 100\% \quad \dots\dots\dots(3)$$

式中:  $V_f$ ——岩心模型的总体积,  $\text{cm}^3$ ;

$V_p$ ——岩心模型的孔隙体积,  $\text{cm}^3$ ;

$m_w$ ——岩心模型饱和水质量,  $\text{g}$ ;

$\rho_w$ ——岩心模型饱和水密度,  $\text{g}/\text{cm}^3$ 。

#### 6.1.2 水相渗透率测定

将蒸馏水(或地层水)恒速泵入岩心,按式(4)(驱动力与毛管力标配系数)确定注入速度。当压差稳定达4h后,记下此时的压差。

$$L \cdot \mu \cdot v \geq 1 \quad \dots\dots\dots(4)$$

式中:  $L$ ——岩心模型长度,  $\text{cm}$ ;

$\mu$ ——注入流体的粘度,  $\text{mPa}\cdot\text{s}$ ;

$v$ ——渗流速度,  $\text{cm}/\text{min}$ 。

根据公式(5),计算岩心水相渗透率。

$$k_w = \frac{q_w \cdot \mu_w \cdot L}{A \cdot \Delta p} \quad \dots\dots\dots(5)$$

式中:  $k_w$ ——水相渗透率,  $\mu\text{m}^2$ ;

$q_w$ ——注入速度,  $\text{cm}^3/\text{s}$ ;

$A$ ——岩心横截面积,  $\text{cm}^2$ ;

$\mu_w$ ——测试温度下水的粘度,  $\text{mPa}\cdot\text{s}$ ;

$\Delta p$ ——岩心两端压力差,  $\text{MPa}$ 。

#### 6.1.3 饱和油

岩心模型测定水相渗透率后,用原油驱替岩心中的水,驱替油量应不少于1.5~2.0PV,使岩心模型含油饱和度与油藏含油饱和度相比,绝对误差小于 $\pm 2.0\%$ ,并记录饱和油压差,按式(6)计算油相渗透率。

$$k_o = \frac{q_o \cdot \mu_o \cdot L}{A \cdot \Delta p} \quad \dots\dots\dots(6)$$

式中:  $k_o$ ——油相渗透率,  $\mu\text{m}^2$ ;

$q_o$ ——饱和油速度,  $\text{cm}^3/\text{s}$ ;

$\mu_o$ ——测试温度下原油粘度,  $\text{mPa}\cdot\text{s}$ 。

#### 6.1.4 驱油效率测定

在驱油过程中,也必须根据  $L\mu v \geq 1$  (驱动力与毛管力标配系数),并使渗流雷诺数  $Re$  不大于临界雷诺数  $Re'$  来确定驱油速度。设置采样时间间隔并记入表A1。收集各个时间间隔产出的油和水。

对于松散油砂,通常用直径为3.0cm、长度为30~50cm的模型,应连续驱替5.0PV,确保达到

残余油状态,方可结束实验。

对于成型岩心,通常用直径为 2.5~3.8cm、长度为 5.0~8.0cm 的模型,应连续驱替 3.0PV,确保达到残余油状态,方可结束实验。

#### 6.1.5 清洗岩心残余油

实验结束后,让模型自然冷却至室温,然后用溶剂(二甲苯或环己烷)洗出模型中的残余油,直至和清洗剂颜色相近为合格,并计量。

### 6.2 驱油效率、残余油饱和度、含水率分析及计算方法

#### 6.2.1 分析方法

稠油岩心驱油效率室内测试分析方法一般采用称重比色分析法(对于成型岩心,亦可采用分离器直接读数分析法,按 SY/T 5345 的规定执行)。

#### 6.2.2 配制标准液

取一具塞三角瓶洗净烘干,用感量为 0.0001g 的分析天平称重  $m_1$  (g)。

取少量测试用油(不含水),置于三角瓶中,称重  $m_2$  (g),然后加入溶剂(二甲苯或环己烷)稀释,再称重  $m_3$  (g),计算标准液中测试用油的质量分数  $w'$  (1),记入附录 A (标准的附录)表 A1 中。

$$w' = \frac{m_2 - m_1}{m_3 - m_1} \dots\dots\dots(7)$$

校好光电比色计的零点和满刻度,在光电比色计上读出标准液的读数  $E$ ,记入表 A1。

#### 6.2.3 计量驱出油水量及岩心残余油量

6.2.3.1 取具塞三角瓶洗净、烘干、编号、称重 ( $A_i$ ),并记入表 A1。

6.2.3.2 按顺序收集产出油水样,并逐个称重 ( $B_i$ ),并记入表 A1。

6.2.3.3 在取完样瓶里加入适量的溶剂(二甲苯或环己烷),待油样完全溶解稀释后,逐个称重 ( $C_i$ ),记入表 A1。

6.2.3.4 取量筒,洗净烘干,编号、然后加入适量的溶剂(二甲苯或环己烷)。

6.2.3.5 用移液管移 0.5mL (移液量根据具体油量而定)已完全溶解稀释过的油样溶液到对应编号的量筒中,颜色应和标准液相近,然后每瓶的移液量  $A'_i$  和二次稀释量  $DF_i$  的读数记入表 A1。

6.2.3.6 将已编号的量筒中的溶液逐一在光电比色计上比色,读数  $CT_i$  记入表 A1。

6.2.3.7 计算每瓶的采油量、采水量及岩心残余油量,记入表 A1 相应的备注中。

某一时间间隔  $\Delta t$  内的采油质量定义为  $q_{oi}$ :

$$q_{oi} = \frac{(R_i + q_{oi}) \cdot DF_i \cdot CT_i \cdot w'}{A'_i \cdot E} \dots\dots\dots(8)$$

用迭代法整理得出:

$$q_{oi} = [(R_i \cdot DF_i \cdot CT_i \cdot M + R_i) \cdot DF_i \cdot CT_i \cdot M + R_i] \cdot DF_i \cdot CT_i \cdot M \dots\dots\dots(9)$$

$$M = w'/A'_i \cdot E \dots\dots\dots(10)$$

式中:  $R_i$ ——一次稀释溶剂量 ( $R_i = C_i - B_i$ ), g;

$DF_i$ ——二次稀释量, mL;



$CT_i$ ——比色计读数；

$w'$ ——标准液中测试油的质量分数，1；

$E$ ——标准液读数；

$A_i'$ ——移液量，mL。

采液量：

$$q_{li} = B_i - A_i \quad \dots\dots\dots(11)$$

采水量：

$$q_{wi} = (B_i - A_i) - q_{oi} \quad \dots\dots\dots(12)$$

岩心残余油质量：

$$m_{or} = \frac{(C_{or} - A_{or}) \cdot DF_{or} \cdot CT_{or} \cdot w'}{E \cdot A'_{or}} \quad \dots\dots\dots(13)$$

式中： $A_{or}$ ——洗岩心残余油空瓶质量，g；

$C_{or}$ ——洗岩心残余油后总质量，g；

$CT_{or}$ ——测残余油比色剂读数；

$DF_{or}$ ——测残余油二次稀释量，mL；

$A'_{or}$ ——测残余油移液量，mL。

#### 6.2.4 计算驱油效率，岩心残余油饱和度及含水率

##### 6.2.4.1 驱油效率按式(14)计算。

$$E_D = \frac{\sum q_{oi} / \rho_o}{S_{oi} \cdot V_p} \times 100\% \quad \dots\dots\dots(14)$$

##### 6.2.4.2 岩心残余油饱和度按式(15)计算。

$$S_{or} = \frac{m_{or} / \rho_o}{V_p} \times 100\% \quad \dots\dots\dots(15)$$

##### 6.2.4.3 含水率按式(16)计算。

$$f_w = \frac{(B_i - A_i) - q_{oi}}{B_i - A_i} \times 100\% \quad \dots\dots\dots(16)$$

式中： $q_{oi}$ ——任一时间间隔的采油量，g；

$E_D$ ——驱油效率；

$S_{oi}$ ——岩心含油饱和度；

$V_p$ ——岩心孔隙体积，mL；

$\rho_o$ ——原油〔质量〕密度，g/cm<sup>3</sup>；

$m_{or}$ ——岩心残余油质量，g；

$S_{or}$ ——岩心残余油饱和度；

$f_w$ ——含水率。

## 7 测试报告编写

测试报告的图表格式见附录 B（标准的附录）、附录 C（标准的附录）、附录 D（标准的附录）和附录 E（标准的附录）。

### 7.1 前置部分

#### 7.1.1 封面。

#### 7.1.2 题名页。

#### 7.1.3 目次。

#### 7.1.4 摘要。

### 7.2 主体部分

#### 7.2.1 引言。

#### 7.2.2 测试装置。

#### 7.2.3 测试方法。

#### 7.2.4 测试结果及分析。

#### 7.2.5 结论或建议。

#### 7.2.6 参考文献。

#### 7.2.7 报告图表。



## 附录 B

(标准的附录)

## 原油粘度、密度与温度的关系曲线

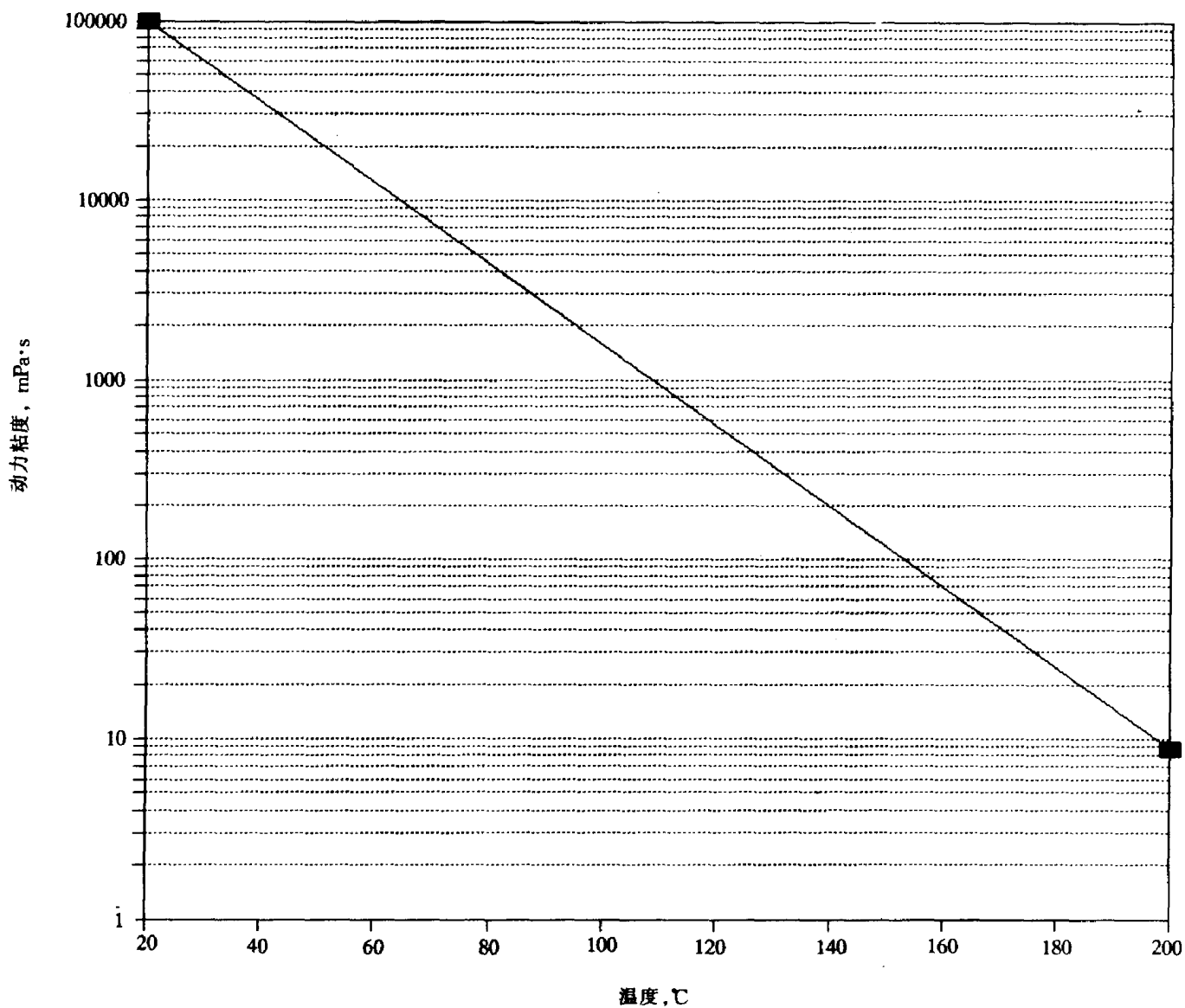


图 B1 原油粘度—温度关系曲线示例

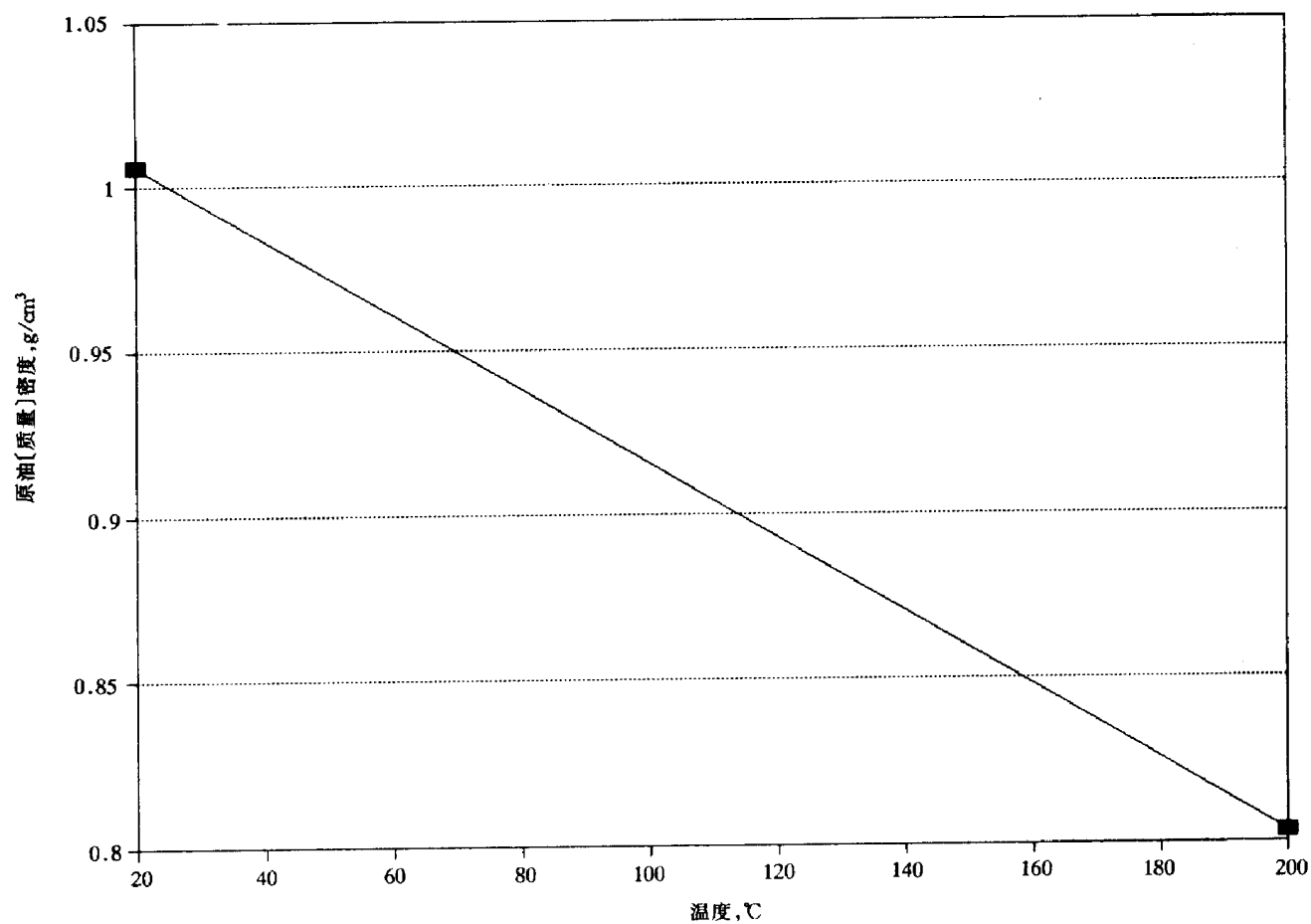


图 B2 原油 [质量] 密度—温度关系曲线示例

## 附录 C

(标准的附录)

## 驱油效率与注入 PV 数的关系曲线

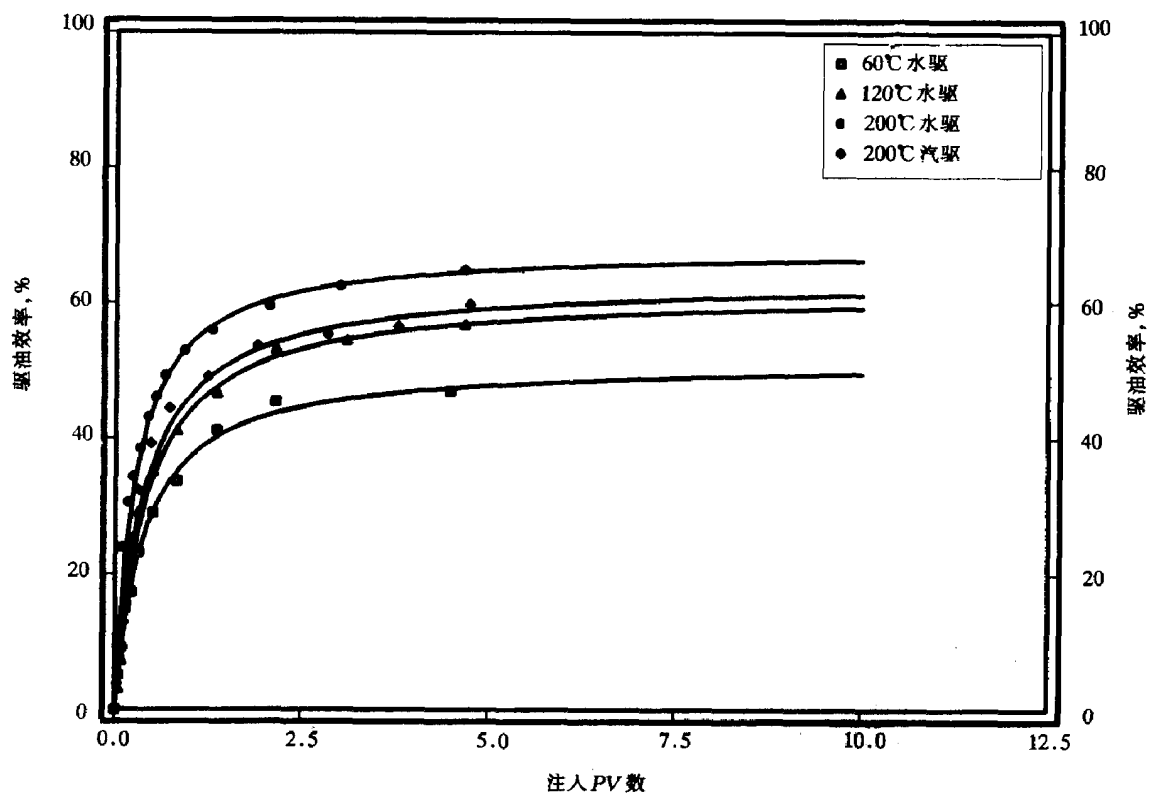


图 C1 不同温度条件驱油效率与注入 PV 数的关系曲线示例

## 附录 D

(标准的附录)

## 残余油饱和度与注入 PV 数的关系曲线

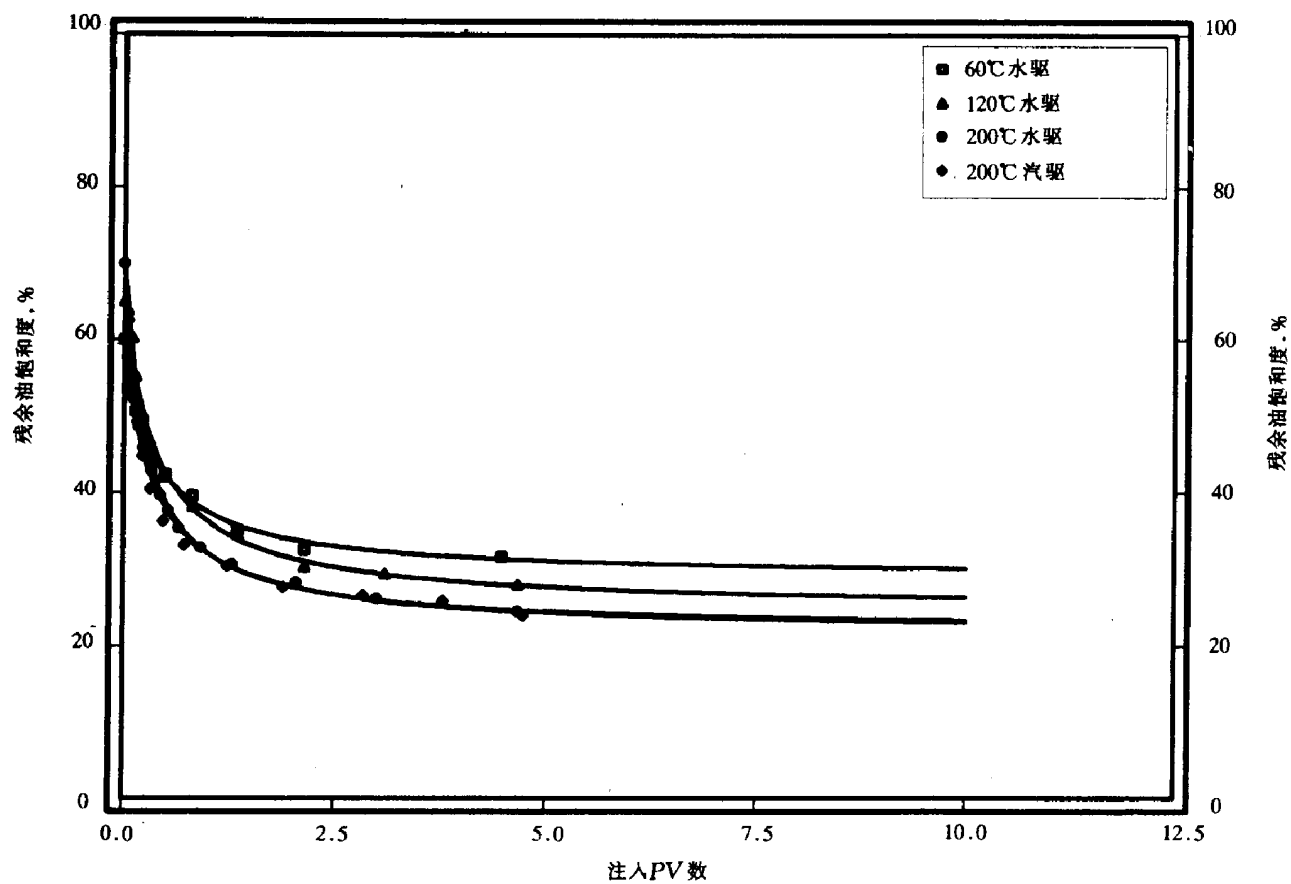


图 D1 不同温度条件残余油饱和度与注入 PV 数的关系曲线示例

附录 E  
(标准的附录)  
含水率与含水饱和度的关系曲线

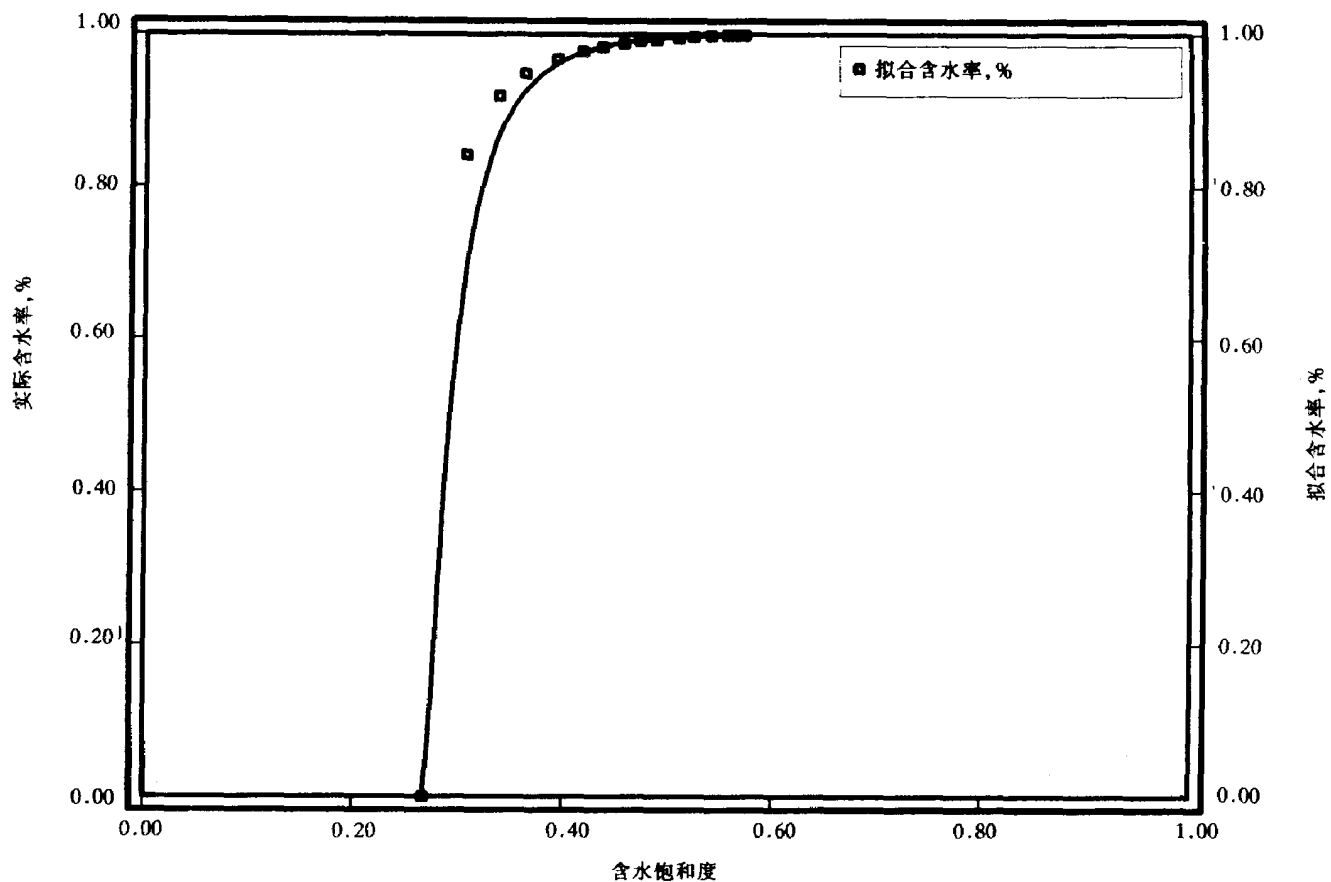


图 E1 含水率与含水饱和度的关系曲线示例