

ICS 75.020

E 12

备案号：22012—2007

SY

中华人民共和国石油天然气行业标准

SY/T 5153—2007

代替 SY/T 5153—1999

油藏岩石润湿性测定方法

Test method of reservoir rock wettability

2007—10—08 发布

2008—03—01 实施

国家发展和改革委员会 发布

目 次

前言 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 自吸法 1

3 1 原理 1

3 2 主要仪器设备 1

3 3 实验准备 1

3 4 实验温度 2

3 5 实验步骤 2

3 6 数据计算、修约和岩样润湿性判别 3

4 离心法 3

4 1 原理 3

4 2 离心毛管压力曲线的测定 3

4 3 润湿指数计算及润湿性判别 3

5 接触角法 4

5 1 原理 4

5 2 实验仪器 4

5 3 实验准备 4

5 4 岩样处理 4

5 5 实验步骤 5

5 6 技术要求 5

5 7 润湿性判别 5

6 报告格式 5

附录 A（资料性附录） 报告封面格式 6

附录 B（资料性附录） 报告首页格式 7

附录 C（资料性附录） 自吸法测定报告格式 8

附录 D（资料性附录） 离心法测定报告格式 9

附录 E（资料性附录） 接触角法测定报告格式 10

前 言

本标准修订并替代 SY/T 5153—1999 《油藏岩石润湿性测定》。

本标准与 SY/T 5153—1999 相比，主要变化如下：

- 标准名称由《油藏岩石润湿性测定》改为《油藏岩石润湿性测定方法》；
- 增加了弱胶结或未胶结油藏岩石类型的样品制备及保存方式；
- 将自吸流动驱替法和自吸离心驱替法合并为自吸法；
- 将 SY/T 5153—1999 中有关自吸离心驱替法和自吸流动驱替法的报告格式进行了合并；
- 所有附录改为资料性附录；
- 删除 SY/T 5153—1999 中对井场取心部分的要求；
- 对 SY/T 5153—1999 中的文字表述进行了必要的修正。

本标准的附录 A、附录 B、附录 C、附录 D、附录 E 均为资料性附录。

本标准由油气田开发专业标准化委员会提出并归口。

本标准主要起草单位：中国石化股份胜利油田分公司地质科学研究院。

本标准主要起草人：曲岩涛、王建、李奋、张红欣、姚凤英。

本标准所代替标准的历次版本发布情况为：

- SY 5153 1—87；
- SY 5153 2—87；
- SY/T 5153 3—95；
- SY/T 5153—1999。

油藏岩石润湿性测定方法

1 范围

本标准规定了自吸法、离心法、接触角法测定油藏岩石润湿性的测试方法及技术要求。

本标准的自吸法和离心法适用于油藏岩石润湿性的测定；本标准的接触角法适用于在典型矿片上模拟测定油藏岩石的润湿性。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用标准，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

SY/T 5336 岩心分析方法

SY/T 5346 岩石毛管压力曲线的测定

3 自吸法

3.1 原理

在毛管压力作用下，润湿流体具有自发吸入岩石孔隙中并排驱其中非润湿流体的特性。通过测量并比较油藏岩石在残余油状态（或束缚水状态）下，毛细管自吸油（或自吸水）的数量和水驱替排油量（或油驱替排水量），可以判别油藏岩石对油（水）的润湿性。

3.2 主要仪器设备

3.2.1 岩样油（水）驱替系统。

3.2.2 岩样抽空饱和装置。

3.2.3 恒温箱：最高工作温度不小于 100℃，精度 $\pm 1^\circ\text{C}$ 。

3.2.4 离心机：离心产生的油水驱替压力不小于 0.1MPa。

3.2.5 天平：分度值 0.1g。

3.2.6 吸油（水）仪：分度值 0.05mL。

3.2.7 油水分离计量管：分度值 0.05mL。

3.3 实验准备

3.3.1 岩样要求。

3.3.1.1 用于润湿性测定的新鲜岩心，必须不受钻井液污染。

3.3.1.2 用于润湿性测定的非新鲜岩心，先采用老化的方法，恢复初始润湿状态后再进行测定。

3.3.2 岩样制备。

3.3.2.1 新鲜岩样的制备按如下要求进行：

- 胶结成型的新鲜岩样从储样容器或保护包装中取出后，浸没在标准盐水中，用盐水或中性煤油做循环冷却液准备钻取；弱胶结（或未胶结）新鲜岩样用干冰进行预冷冻，用液态氮做循环冷却液准备钻取；
- 在岩样中心部位用钻床低速（小于 400r/min）、水平钻取直径为 2.50cm 或 3.80cm、长度不小于直径 1.5 倍的圆柱形实验岩样，并用锡套或热缩套加以保护；
- 制备的岩样及时浸泡在实验用油中，在实验温度下至少恒温 6h；

d) 将实验岩样移至抽空饱和流程，真空度达当日测量地点大气压后，再抽空 1h。

3.3.2.2 非新鲜岩样的制备按如下要求进行：

- a) 选择有代表性的岩心，岩样钻取位置及尺寸要求同 3.3.2.1 b)；
- b) 岩样用酒精苯混合溶剂（酒精 苯 = 1 3）抽提干净，按照 SY/T 5336 的要求烘干至恒重；
- c) 岩样抽空饱和实验用水。

3.3.3 实验用油和实验用水。

3.3.3.1 实验用油为中性煤油，或为岩样同层原油与中性煤油配制的模拟油。

3.3.3.2 实验用水为岩样同层地层水，或按地层水分析资料配制的模拟地层水，或等矿化度的标准盐水（标准盐水配方为 $\text{NaCl} : \text{CaCl}_2 : \text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O} = 7 : 0.6 : 0.4$ ）。

3.4 实验温度

3.4.1 实验温度接近或等于地层温度。如果地层温度高于 70℃，实验温度可选择 70℃。

3.4.2 离心驱替过程在常温下进行。

3.5 实验步骤

3.5.1 油驱。

3.5.1.1 自吸流动驱替法按如下要求进行：

- a) 将准备好的新鲜岩样装入夹持器中，并连接驱替流程，恒温时间不少于 4h，驱替岩样至束缚水状态；
- b) 非新鲜岩样用老化用油驱替至束缚水状态，在地层温度下老化，时间不少于 10d；
- c) 将老化后的岩样用实验用油替换岩样中的老化用油。

3.5.1.2 自吸离心驱替法按如下要求进行：

- a) 在离心驱替盒内灌满实验用油，将装有实验岩样的多孔样盒置入其中，加盖密封，保证离心驱替盒内无气体；
- b) 各离心驱替盒在天平上称重，并将离心机转盘对角的离心驱替盒两两配重，保持平衡后，装入离心机转盘；
- c) 选定离心转速和时间，进行驱替。

3.5.2 自吸水排油。

3.5.2.1 实验用水在实验温度下至少恒温 4h。

3.5.2.2 从完成油驱的夹持器（或离心驱替盒）中取出岩样，除去表面浮油，迅速移入装有实验用水的吸水仪底瓶。

3.5.2.3 安装吸水仪，吸水仪中充满实验用水至某一刻度。

3.5.2.4 进行自吸水排油，当吸水排油量连续 24h 稳定不变时，自吸水排油结束。记录岩样自吸水排油量 V_{o1} 。

3.5.3 水驱。

3.5.3.1 从吸水仪中取出岩样，移入夹持器（或离心驱替盒）中，夹持器出口接油水分离计量管。

3.5.3.2 用水驱替岩样至残余油状态，记录岩样水驱排油量 V_{w2} 。

3.5.4 自吸油排水。

3.5.4.1 实验用油在实验温度下至少恒温 4h。

3.5.4.2 吸油仪中加入实验用油，记录初始油水界面刻度。

3.5.4.3 从完成水驱的夹持器（或离心驱替盒）中取出岩样，除去表面浮水，迅速移入吸油仪中，保证岩样完全浸没于实验用油中。

3.5.4.4 进行自吸油排水，当吸油排水量连续 24h 稳定不变时，自吸油排水结束。记录岩样自吸油排水量 V_{w1} 。

3.5.5 二次油驱。

- 3.5.5.1 从吸水仪中取出岩样，移入夹持器（或离心驱替盒）中，夹持器出口接油水分离计量管。
- 3.5.5.2 用油驱替岩样至束缚水状态，并记录岩样油驱排水量 V_{w2} 。

3.6 数据计算、修约和岩样润湿性判别

3.6.1 润湿指数计算及数据修约见式（1）～式（3）：

$$W_w = \frac{V_{o1}}{V_{o1} + V_{o2}} \dots\dots\dots (1)$$

$$W_o = \frac{V_{w1}}{V_{w1} + V_{w2}} \dots\dots\dots (2)$$

$$I = W_w - W_o \dots\dots\dots (3)$$

式中：

- W_w ——水润湿指数（修约到两位小数）；
- W_o ——油润湿指数（修约到两位小数）；
- V_{o1} ——岩样自吸水排油量（修约到两位小数），单位为毫升（mL）；
- V_{w1} ——岩样自吸油排水量（修约到两位小数），单位为毫升（mL）；
- V_{o2} ——岩样水驱排油量（修约到两位小数），单位为毫升（mL）；
- V_{w2} ——岩样油驱排水量（修约到两位小数），单位为毫升（mL）；
- I ——相对润湿指数（修约到两位小数）。

3.6.2 自吸法润湿性判别见表 1。

表 1 自吸法润湿性判别表

岩样 润湿性	强亲油	亲油	中间润湿			亲水	强亲水
			弱亲油	中性	弱亲水		
I	$-1.0 \leq I < -0.70$	$-0.70 \leq I < -0.30$	$-0.30 \leq I < -0.10$	$-0.10 \leq I \leq 0.10$	$0.10 < I \leq 0.30$	$0.30 < I \leq 0.70$	$0.70 < I \leq 1.0$

4 离心法

4.1 原理

当油藏岩石内部的润湿相和周围的非润湿相在离心力作用下发生驱替置换的时候，润湿相驱替置换非润湿相所作的功要比相反情况小。而驱替所作的功是与相应过程离心毛管压力曲线同饱和度坐标轴所围的面积相对应。比较同一块油藏岩石油驱水和水驱油两个过程所得到的离心毛管压力曲线所围面积的大小，就可以判别该油藏岩石的润湿性。

4.2 离心毛管压力曲线的测定

离心毛管压力曲线的测定按 SY/T 5346 的规定执行。

4.3 润湿指数计算及润湿性判别

4.3.1 润湿指数计算

- 4.3.1.1 用离心毛管压力测量数据在直角坐标上绘制二次油驱水和水驱油两过程的毛管压力曲线。
- 4.3.1.2 计算二次油驱水和水驱油两过程毛管压力曲线同饱和度坐标轴所围的面积 A_1 、 A_2 ，并按式（4）计算润湿指数：

$$W = \lg \frac{A_1}{A_2} \dots\dots\dots (4)$$

式中：

- A_1 ——二次油驱水毛管压力曲线所围面积（修约到两位小数）；

A_2 ——水驱油毛管压力曲线所围面积（修约到两位小数）；
 W ——润湿指数（修约到两位小数）。

4.3.2 润湿性判别

离心法润湿性判别见表 2。

表 2 离心法润湿性判别表

润湿指数 W	$W < 0$	$W = 0$	$W > 0$
润湿性	亲油	中间润湿性	亲水

5 接触角法

5.1 原理

水—油—固体系统中的三相交接处，其表面能的平衡关系符合杨—裘比原理，见式（5）。

$$\cos\theta_c = \frac{\sigma_{os} - \sigma_{ws}}{\sigma_{ow}} \dots\dots\dots (5)$$

式中：

- σ_{os} ——油和固体间的界面张力，单位为毫牛每米（mN/m）；
- σ_{ws} ——水和固体间的界面张力，单位为毫牛每米（mN/m）；
- σ_{ow} ——油和水之间的界面张力，单位为毫牛每米（mN/m）；
- θ_c ——接触角，单位为度（°）。

接触角大小与油水对固体的润湿程度有关。因此测量油—水—油藏岩石系统的接触角，可以了解油、水对油藏岩石的润湿性。

考虑到油藏岩石的复杂性和矿物组成的基本属性及接触角测量的要求，选用典型的石英矿片模拟砂岩油藏岩石，选用典型的方解石矿片模拟碳酸盐岩油藏岩石。

5.2 实验仪器

5.2.1 液—液—固型接触角计。

5.2.2 实验在一个特制的聚四氟乙烯矩形小室内进行。它的一个对边由两块平行透明玻璃组成，小室内装有可移动的支架以支撑磨光的矿片，并具备保温和抽空的条件。

5.3 实验准备

5.3.1 实验岩样制备。

- 5.3.1.1 使用磨光石英矿片模拟砂岩油藏岩石。
- 5.3.1.2 使用磨光方解石矿片模拟碳酸盐岩油藏岩石。
- 5.3.1.3 实验所采用的矿片，要求垂直晶轴切片，磨平抛光后用显微光度计观察。放大 1000 倍时应无条迹。

5.3.2 实验用水和实验用油。

- 5.3.2.1 实验用水使用标准盐水或岩样对应层位的地层水。
- 5.3.2.2 实验用油使用岩样对应层位未被污染的原油。

5.4 岩样处理

5.4.1 接触角小室、石英矿片处理。

- 5.4.1.1 四氯化碳溶剂清洗。
- 5.4.1.2 苯 酒精 丙酮 = 0.7 0.15 0.15 的溶剂清洗。
- 5.4.1.3 蒸馏水冲洗。

- 5.4.1.4 稀盐酸（1：10）溶液清洗后再用清水冲洗干净。
- 5.4.1.5 热铬酸浸泡 3h～4h，去掉热铬酸后再用非导电性水（大于 0.05MΩ·cm）冲洗。清洗干净后，用纯度为 99.99% 的氮气通过，使测量系统脱氧。
- 5.4.2 方解石、透明石英矿片处理。
- 5.4.2.1 同 5.4.1.1。
- 5.4.2.2 同 5.4.1.2。
- 5.4.2.3 同 5.4.1.3。
- 5.4.2.4 用活性白土吸附 6h～8h，去掉白土后用非导电性水冲洗。清洗干净后，用纯度为 99.99% 的氮气通过，使测量系统脱氧。

5.5 实验步骤

- 5.5.1 彻底清洗小室和矿片后，把实验矿片安装在两根支架上，上紧小室封盖，抽空试漏，充填氮气。
- 5.5.2 用抽空过的实验用水充满小室（抽空饱和法），使磨光矿片完全浸没在缺氧水中，让矿片在实验温度（地层温度）下浸泡 36h 以上。
- 5.5.3 在缺氧条件下，用专用微量注射器在矿片下注入一恒温的油滴，通过小室的透明玻璃能清楚地观察到油滴的外形。若实验中使用的是透明油，则小室首先用油充满，然后在磨光矿片上注一个水滴进行测定。
- 5.5.4 待原油和水之间在恒温条件下平衡一段时间，接触角慢慢地发生变化。通过仪器的光学镜头，对液滴采用标尺读角或照相测量直至接触角保持不变；用水相测角仪测量固体表面与油—水接触面形成的接触角。

5.6 技术要求

- 5.6.1 接触角系统对污染非常灵敏，因此系统应防止氧化及金属离子的影响。
- 5.6.2 测量的体系必须处于平衡状态，即温度恒定且所测量的接触角在平衡过程中严防任何微小振动。
- 5.6.3 实验开始前，首先测定中性油、硬脂酸、异奎啉标准液的标准角，确定仪器操作的定性精度。

5.7 润湿性判别

接触角法润湿性判别见表 3。

表 3 接触角法润湿性判别表

接触角 θ_c	$0^\circ \leq \theta_c < 75^\circ$	$75^\circ \leq \theta_c \leq 105^\circ$	$105^\circ < \theta_c \leq 180^\circ$
润湿性	亲水	中间润湿	亲油

6 报告格式

- 报告封面格式参见附录 A。
- 报告首页格式参见附录 B。
- 自吸法测定报告格式参见附录 C。
- 离心法测定报告格式参见附录 D。
- 接触角法测定报告格式参见附录 E。

附 录 A
(资料性附录)
报告封面格式

报告封面格式见图 A. 1。

No. × × × ×

油藏岩石润湿性测定 × × × × 法

报告

油田：

井号：

井段：

岩样数量：

送样单位：

检测依据：

技术负责人：

报告日期：

(测定单位全称)

图 A. 1 报告封面格式

附 录 B
(资料性附录)
报告首页格式

报告首页格式见图 B. 1。

本报告共	页
检测原理：	
检测主要设备及编号：	
说明：	
测定人：	
审核人：	

图 B.1 报告首页格式

附 录 C
(资料性附录)
自吸法测定报告格式

自吸法测定报告格式见图 C. 1。

油藏岩石润湿性测定

自吸法

报告

共 页 第 页

一、基础资料

油田：

井号：

层位：

钻井液类型：

取心方式：

保存方式：

保存时间：

测定日期：

测定温度：

℃

二、测定结果

岩心号	井深 m	岩性描述	润湿指数		相对润湿指数	润湿类型
			油润湿指数	水润湿指数		

图 C.1 自吸法测定报告格式

附录 D
(资料性附录)
离心法测定报告格式

离心法测定报告格式见图 D. 1。

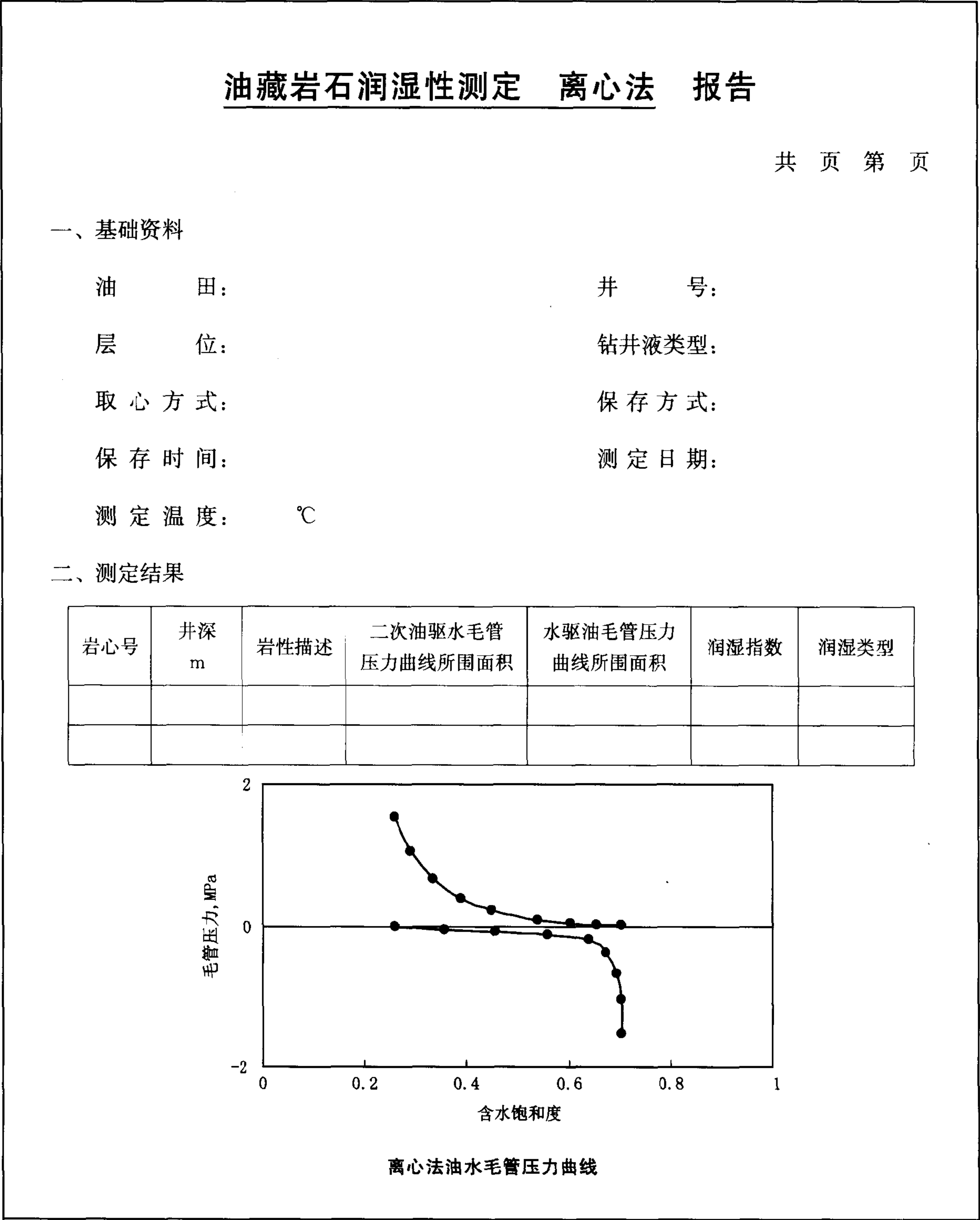


图 D.1 离心法测定报告格式

附 录 E
(资料性附录)
接触角法测定报告格式

接触角法测定报告格式见图 E. 1。

油藏岩石润湿性测定 接触角法 报告

共 页 第 页

一、基础资料

油 田：井 号：层 位：

二、测定结果

岩心号	矿片名称	试验用油	试验用水	试验温度 ℃	稳定时间 h	接触角 (°)	润湿类型

图 E. 1 接触角法测定报告格式

中华人民共和国
石油天然气行业标准
油藏岩石润湿性测定方法
SY/T 5153—2007

*

石油工业出版社出版
(北京安定门外安华里二区一号楼)
石油工业出版社印刷厂排版印刷
新华书店北京发行所发行

*

880×1230 毫米 16 开本 1 印张 26 千字 印 1—1200
2008 年 3 月北京第 1 版 2008 年 3 月北京第 1 次印刷
书号·155021·6107 定价 8.00 元
版权专有 不得翻印