

## 中华人民共和国石油天然气行业标准

SY/T 6540—2021

代替 SY/T 6540—2002

---

### 钻井液完井液损害油层室内评价方法

Lab testing method of drilling and completion fluid damaging oil formation

2021 — 11 — 16 发布

2022 — 02 — 16 实施

---

国家能源局 发布

## 目 次

前言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 符号	2
5 实验流体准备	3
5.1 模拟地层水	3
5.2 煤油	3
6 常规砂岩岩心准备	3
6.1 岩心钻取与切割	3
6.2 岩心清洗	3
6.3 岩心烘干	3
6.4 岩心气体渗透率测定	3
6.5 岩心抽空与饱和	3
6.6 岩心孔隙体积 $V_p$ 测定	3
7 致密油、页岩油岩心准备	4
7.1 岩心钻取与切割	4
7.2 岩心清洗	4
7.3 岩心烘干	4
7.4 岩心气体渗透率测定	4
7.5 岩心抽空与饱和	4
7.6 岩心孔隙体积 $V_p$ 测定	4
8 常规砂岩油层钻井液损害动态模拟评价实验	4
8.1 仪器与材料	4
8.2 实验参数	4
8.3 常规岩心原始煤油渗透率 $K_0$ 测定	5
8.4 动态损害模拟实验程序	5
8.5 测定钻井液损害岩心后岩心对煤油的正向渗透率	6
8.6 计算实验结果	6
9 常规砂岩油层钻井液、射孔液、压井液损害静态评价实验	6
9.1 仪器与材料	6
9.2 实验参数	7

9.3	原始煤油渗透率 $K_0$ 测定	7
9.4	模拟储层温度静态损害实验程序	7
9.5	室温操作方法	8
9.6	测定评价流体损害岩心后岩心对煤油的正向渗透率 $K_{os}$	8
9.7	计算实验结果	8
10	致密油、页岩油层钻井液损害动态模拟评价实验	8
10.1	概述	8
10.2	实验装置	8
10.3	实验参数	8
10.4	测定钻井液损害岩心前正向压力衰减半衰期	9
10.5	动态损害模拟实验程序	9
10.6	测定钻井液损害岩心后正向压力衰减半衰期	9
10.7	计算实验结果	9
11	致密油、页岩油层钻井液、无固相完井液、射孔液、压井液损害静态评价实验	10
11.1	实验装置	10
11.2	实验参数	10
11.3	测定钻井液损害前压力衰减半衰期	10
11.4	静态损害实验程序	10
11.5	测定钻井液损害后岩心压力衰减半衰期	10
11.6	计算实验结果	10
12	常规油层无固相完井液损害油层静态评价实验	10
12.1	仪器与材料	10
12.2	实验参数	10
12.3	模拟储层温度实验程序	10
12.4	室温操作方法	11
12.5	测定评价流体侵入岩心后的煤油渗透率 $K_{os}$	11
12.6	计算实验结果	11
13	评价要求	11
14	实验记录表格和实验报告格式	11
14.1	实验记录表格格式	11
14.2	实验报告格式	11
附录 A (规范性)	钻井液完井液损害油层室内模拟评价实验记录	12
附录 B (规范性)	钻井液完井液损害油层室内模拟实验报告	16

## 前 言

本文件依据 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则》给出的规则起草。

本文件代替 SY/T 6540—2002《钻井液完井液损害油层室内评价方法》，与 SY/T 6540—2002 相比，主要技术变化如下：

- a) 将“本文件适用于模拟钻井液完井液动态、静态损害前后油层液相渗透能力变化程度。”修改为“本文件适用于模拟钻井液完井液动态、静态损害常规砂岩储层、致密油及页岩油储层的评价。”（见第 1 章，2002 年版的第 1 章）；
- b) 修改了 1 个规范性引用文件：SY/T 5358—2010；删除了 1 个规范性引用文件：SY/T 5336—1996；增加了以下 4 个规范性引用文件：GB/T 29170—2012、GB/T 29172—2012、NB/T 10030—2016、SY/T 7311—2016（见第 2 章，2002 年版的第 2 章）；
- c) 修改了以下 2 个术语：临界流速（见 3.1，2002 年版的 3.1）、静态模拟（见 3.3，2002 年版的 3.3）；增加了 1 个术语：压力半衰期（见 3.8）；
- d) 修改了 2 个符号：临界流速、岩心的有效孔隙体积倍数；增加了 4 个符号：损害前岩心压力半衰期、损害后岩心压力半衰期、岩心气体渗透率、岩心绝对渗透率（见第 4 章，2002 年版的第 4 章）；
- e) 修改了“模拟地层水”，增加了“5.1.1 如有地层水，可以用除去杂质的地层水。”将“用 G4 砂芯漏斗抽滤配制的模拟地层水，除去其中的机械杂质。”修改为“用 G4 砂芯漏斗抽滤配制的模拟地层水，除去其中的机械杂质，对过滤后的地层水抽真空 30min，除去地层水中的溶解气体。”（见 5.1，2002 年版的 5.1）；
- f) 修改了“煤油”，将“a) 用活性白土或膨润土脱至煤油为无色。”修改为“5.2.1 用活性白土或膨润土脱至溶剂用煤油为无色”。将“b) 先用快速滤纸过滤，再用 G3 砂芯漏斗抽滤。”修改为“5.2.2 先用快速滤纸过滤，再用 G3 砂芯漏斗抽滤，对过滤后的煤油抽真空 30min，除去煤油中的溶解气体。”（见 5.2，2002 年版的 5.2）；
- g) 修改了“常规砂岩岩心准备”，将“岩心准备”修改为“常规砂岩岩心准备”（见第 6 章）；
- h) 增加了“致密油、页岩油岩心准备”（见第 7 章）；
- i) 修改了“仪器与材料”，更符合我国目前的实际情况，可操作性更强，便于执行（见 8.1，2002 年版的 7.1）；
- j) 增加了“按照 SY/T 5358—2010 中第 6 章的要求，测定岩心的临界流速  $Q_c$ 。”（见 8.3.2）；
- k) 修改了“动态损害模拟实验程序”，更符合我国目前的实际情况，可操作性更强，便于执行（见 8.4，2002 年版的 7.3）；
- l) 修改了“仪器与材料”，更符合我国目前的实际情况，可操作性更强，便于执行（见 9.1，2002 年版的 8.1）；
- m) 增加了“致密油、页岩油层钻井液损害动态模拟评价实验”（见第 10 章）；
- n) 增加了“致密油、页岩油层钻井液、无固相完井液、射孔液、压井液损害静态评价实验”（见第 11 章）；
- o) 增加了“钻井液完井液损害致密油、页岩油层室内模拟评价压力半衰期测定实验记录”（见附录 A）；

p)增加了“钻井液完井液损害致密油、页岩油层储层室内模拟评价实验报告”(见附录B)。

本文件由石油工业标准化技术委员会石油钻井工程专业标准化委员会提出并归口。

本文件起草单位：中国石油集团工程技术研究院有限公司、中石化胜利石油工程有限公司钻井工艺研究院、中国石油新疆油田分公司、西南石油大学、西南油气田分公司。

本文件主要起草人：张洁、王双威、张天怡、冯杰、李公让、于雷、戎克生、邬国栋、姚旭洋、赵志良、游利军、许成元、王茜、郭建华、张军、曹权、王锐。

本文件及其所代替文件的历次版本发布情况为：

——本文件于2002年首次发布；

——本次为第一次修订。



# 钻井液完井液损害油层室内评价方法

## 1 范围

本文件规定了钻井液完井液损害油层的室内模拟评价实验方法。

本文件适用于模拟钻井液完井液动态、静态损害常规砂岩储层、致密油及页岩油储层的评价。

## 2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 29170—2012 石油天然气工业 钻井液 实验室测试

GB/T 29172—2012 岩心分析方法

NB/T 10030—2016 钻井液完井液对煤层气储层损害室内评价方法

SY/T 5358—2010 储层敏感性流动实验评价方法

SY/T 7311—2016 致密油气及页岩油气地质实验规程

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**临界流速** **critical velocity**

岩心的渗透率随着注入流体流速的增加而开始较大幅度下降（下降幅度大于 20%）时的流速，其值可通过 SY/T 5358—2010 规定的实验方法确定。

### 3.2

**动态模拟** **dynamic simulation**

在模拟井眼条件 [作业压差、储层温度和钻井液环空循环流速梯度（以下简称“速梯”）] 下，钻井液在岩心端面有切向剪切时，进行的钻井液损害储层岩心渗透率情况评价实验。

### 3.3

**静态模拟** **static simulation**

在模拟作业压差和储层温度条件下，评价工作液在岩心端面无切向剪切时，对储层岩心渗透率的损害情况。

### 3.4

**滤失速率** **filtration rate**

单位时间内通过岩心单位横截面积上的滤失量，分别用  $F_d$  表示动态滤失速率， $F_s$  表示静态滤失速率。

### 3.5

**稳定压力** **stabilization pressure**

**稳定流量 stabilization flow**

流动状态趋于稳定后，每 10min 测量压力和流量一次，连续测量三次，相对误差小于 1% 时的压力和流量。

**3.6****平衡渗透率 equilibrium permeability**

流量和压力趋于稳定后，每 10min 测量一次流量与压力，并计算渗透率，连续测量三次，相对误差小于 1% 时的渗透率。

**3.7****渗透率恢复值 permeability recovery**

评价流体损害岩心后岩心对煤油的平衡渗透率与损害前岩心对煤油的平衡渗透率的百分比。

**3.8****压力半衰期 pressure half-time**

岩心上游端压力衰减为初始实验压力的一半时所经历的时间。

**4 符号**

本文件中使用的符号及其表达的意义和单位情况见表 1。

表 1 符号说明

符号	说明	单位
$\Delta t$	测定滤失量时间间隔	min
$\Delta V$	$\Delta t$ 时间内的滤失量	$\text{cm}^3$
$A$	岩心的横截面积	$\text{cm}^2$
$F_d$	动态滤失速率	$\text{cm}^3/(\text{cm}^2 \cdot \text{h})$
$F_s$	静态滤失速率	$\text{cm}^3/(\text{cm}^2 \cdot \text{h})$
$K_0$	评价流体损害岩心前岩心对煤油的平衡渗透率	$10^{-3} \mu\text{m}^2$
$K_{od}$	评价流体动态损害岩心后岩心对煤油的平衡渗透率	$10^{-3} \mu\text{m}^2$
$K_{os}$	评价流体静态损害岩心后岩心对煤油的平衡渗透率	$10^{-3} \mu\text{m}^2$
$p_{\max}$	最大返排压力	MPa
$p_0$	测 $K_0$ 时的平衡压力	MPa
$Q_c$	岩心的临界流量	$\text{cm}^3/\text{min}$
$R_d$	动态损害模拟评价的渗透率恢复值	%
$R_s$	静态损害模拟评价的渗透率恢复值	%
$V_p$	岩心的有效孔隙体积	$\text{cm}^3$
$V_s$	静滤失体积	$\text{cm}^3$
$V_d$	125min 内的动失水体积	$\text{cm}^3$
$T_b$	损害前岩心压力半衰期	min
$T_a$	损害后岩心压力半衰期	min
$K_g$	岩心气体渗透率	$10^{-3} \mu\text{m}^2$
$K_{\infty}$	岩心绝对渗透率	$10^{-3} \mu\text{m}^2$

## 5 实验流体准备

### 5.1 模拟地层水

5.1.1 如有地层水，可以用除去杂质的地层水。

5.1.2 无地层水资料时，可采用标准盐水配方，配方与 SY/T 5358—2010 中 3.12 的要求相同。

5.1.3 有地层水资料时，应按地层水组成配制模拟地层水。

5.1.4 用 G4 砂芯漏斗抽滤配制的模拟地层水，除去其中的机械杂质，对过滤后的地层水抽真空 30min，除去地层水中的溶解气体。

5.1.5 过滤后的模拟地层水储存在洗净的磨口玻璃瓶中备用。若储存时间超过 1 个月，应重新过滤再使用。

### 5.2 煤油

5.2.1 用活性白土或膨润土脱至溶剂用煤油为无色。

5.2.2 先用快速滤纸过滤，再用 G3 砂芯漏斗抽滤，对过滤后的煤油抽真空 30min，除去煤油中的溶解气体。

5.2.3 过滤后的脱水脱色煤油储存在洗净和烘干的磨口玻璃瓶中备用。若储存时间超过 1 个月，应重新过滤再使用。

## 6 常规砂岩岩心准备

### 6.1 岩心钻取与切割

6.1.1 岩心钻取按 SY/T 5358—2010 中 5.1.1 的要求进行，岩心长度为 4cm ~ 6cm（最好约 5cm）。若无天然岩心，可采用模拟天然岩心物性的人造岩心或天然露头岩心。

6.1.2 岩心的切割可参考 GB/T 29172—2012 中 4.5.2 的要求。岩心制备过程应保证岩心矿物成分及孔隙结构不发生改变。

### 6.2 岩心清洗

按 GB/T 29172—2012 中 4.6 的要求进行。

### 6.3 岩心烘干

按 GB/T 29172—2012 中 4.7 的要求进行。

### 6.4 岩心气体渗透率测定

按 GB/T 29172—2012 中 7.3.1.1 的要求测定和计算气体渗透率。

### 6.5 岩心抽空与饱和

操作方法按 SY/T 5358—2010 中 5.1.5.1 的要求进行。实验要求按 SY/T 5358—2010 中 5.1.5.2 和 5.1.5.3 的要求进行。

### 6.6 岩心孔隙体积 $V_p$ 测定

按 SY/T 5358—2010 中 5.1.6 的要求进行。



## **7 致密油、页岩油岩心准备**

### **7.1 岩心钻取与切割**

7.1.1 致密油层岩心按照 SY/T 7311—2016 中 3.2.2 规定的 0° 柱塞样品的要求进行，直径为 2.54cm，长度为 5cm。

7.1.2 页岩油岩心按照 SY/T 7311—2016 中 4.2.2 规定的 0° 柱塞样品的要求进行，直径为 2.54cm，长度为 5cm。对于易碎的页岩岩心处理可参考 GB/T 29172—2012 中 3.4.10 的要求。

7.1.3 岩心的切割可参考 GB/T 29172—2012 中 4.5.2 的要求。岩心制备过程应保证岩心矿物成分及孔隙结构不发生改变。

### **7.2 岩心清洗**

按 GB/T 29172—2012 中 4.6 的要求进行。

### **7.3 岩心烘干**

按 GB/T 29172—2012 中 4.7 的要求进行。

### **7.4 岩心气体渗透率测定**

按 GB/T 29172—2012 中 7.4.1.1 和 7.7.2 的要求测定和计算气体渗透率。

### **7.5 岩心抽空与饱和**

操作方法按 NB/T 10030—2016 中 4.2.3 的要求进行。实验要求按 NB/T 10030—2016 中 4.2.3 的要求进行。

### **7.6 岩心孔隙体积 $V_p$ 测定**

按 GB/T 29172—2012 中 6.3.2.2 的要求进行。

## **8 常规砂岩油层钻井液损害动态模拟评价实验**

### **8.1 仪器与材料**

常规砂岩油层钻井液损害动态模拟评价实验所用仪器和材料应满足以下要求：

- a) 高压动态损害系统：JHDS-II 型或性能相当的仪器；
- b) 氮气及氮气瓶；
- c) 量筒：分度值 0.1mL；
- d) 温度计：200℃，精确度为 0.1℃；
- e) 计时器：精确度为 0.1s；
- f) 游标卡尺：精确度为 0.02mm；
- g) 金属环：长 20mm ~ 30mm，外径 25.4mm，壁厚 1mm ~ 2mm。

### **8.2 实验参数**

实验参数如下：

- a) 速梯：300s<sup>-1</sup>，或根据现场的实际使用情况计算；

- b) 压差：3.5MPa，或根据现场实际使用的钻井液液柱压力与孔隙压力差确定；
- c) 温度：使用对应的储层温度；
- d) 动滤失实验时间：125min。

### 8.3 常规岩心原始煤油渗透率 $K_0$ 测定

8.3.1 实验装置：将 SY/T 5358—2010 中 5.3.1 要求流程中的流体 2 和酸或碱流体中间容器去掉，将流体 1 中间容器改装脱水脱色过滤煤油，其余与该条款相同。

8.3.2 建立含水饱和度及测定钻井液完井液循环前岩心对煤油的初始正向渗透率  $K_0$ 。

- a) 按照 SY/T 5358—2010 中第 6 章的要求，测定岩心的临界流速  $Q_c$ 。
- b) 用煤油先在 0.4 倍临界流量  $Q_c$  下驱替到不出水和稳定压力，然后再提高流量到 0.8 倍  $Q_c$  下驱替到不出水和稳定压力。用 0.5 倍  $Q_c$  下的流量驱替到稳定流量和稳定压力，测定损害前岩心对煤油的渗透率，实验过程中按表 A.2 的格式进行记录，用达西公式计算损害前岩心对煤油的平衡渗透率  $K_0$ 。

## 8.4 动态损害模拟实验程序

### 8.4.1 仪器准备

按仪器操作说明书检查和清洗仪器。

### 8.4.2 安装岩心

以测定岩心对煤油的初始正向渗透率时的流体驱替方向为正向，安装岩心或调整阀门，使得钻井液可在岩心端面实现反向污染。将岩心的围压加到 2MPa ~ 3MPa 后（注意观察围压加到所需值后，压力能否稳定，若不能稳定，说明围压漏，检查是胶套破损还是岩心直径太小；若是胶套破损，则更换胶套；若是岩心太小或安装不当，可以在岩心外缠一层聚四氟乙烯膜后重新安装，直到围压稳定），用吸满煤油的吸耳球排除出口端的空气，并立即在滤液出口处接上已排除空气的冷却接收器。

### 8.4.3 灌注钻井液及加压

灌注钻井液，要求钻井液必须充满仪器的实验液腔、管线和中间容器（标志是放空管线有钻井液流出），以便排净空气。关好放空阀与放水阀后，给实验液腔加 0.5MPa ~ 1MPa 的压力。

### 8.4.4 加热与调节实验温度

加热钻井液至设定温度，并在稍低于实验速梯下循环或搅拌钻井液，以便均匀加热。为了防止岩心内部液相蒸发，可在岩心夹持器的岩心入口端施加回压，并相应提高驱替压力，保持净压差不变。具体回压的选择参考 GB/T 29170—2012 中 27.4.3 的要求。

### 8.4.5 压力调节

压力调节分两步进行，先将岩心的围压加到 3MPa，将实验液腔内压力提高到 2.5MPa（或低于所需实验压力 0.5MPa），再提高围压至 4.5MPa ~ 5MPa（或高于实验压力 1.5MPa ~ 2MPa），再将实验液腔内压力提高到 3.5MPa（或所需实验压力）。

### 8.4.6 速梯调节

通过循环、搅拌等方式，使岩心端面的钻井液的速梯达到实验要求。

#### 8.4.7 动滤失测定

当温度、围压、实验液腔压力和速梯达到实验值后，在岩心出口处放好量筒，打开滤液出口阀，开始计时、计量，记下初始滤失体积（即瞬时滤失）。动滤失测定实验过程中按表 A.4 的格式进行记录。动滤失实验时间为 125min。

#### 8.4.8 结束污染

动滤失实验结束后，立即关闭滤液出口阀，停止加温，并开大冷却水进行冷却，同时进行慢速搅动。当温度降至 50℃ 时，则可卸压。打开排空阀卸压，卸压不宜太快，以防高温实验钻井液飞溅。污染结束后清洗岩心端面虚厚滤饼，防止堵塞管线和堵头。实验结束及时清洗实验仪器釜体和管线。

### 8.5 测定钻井液损害岩心后岩心对煤油的正向渗透率

8.5.1 安装岩心或调整阀门，将实验流程恢复至测定煤油正向渗透率的流程，开始钻井液损害岩心后岩心对煤油的正向渗透率测量。

8.5.2 采用与 8.3.2 测定岩心  $K_0$  相同的流量，正向驱替煤油 20 倍  $V_p$  以上，达到稳定压力和稳定流量后，测定钻井液损害岩心后岩心对油相的渗透率，实验过程中按表 A.2 的格式进行记录，用达西公式计算损害后岩心对煤油的平衡渗透率  $K_{od}$ 。同时，注意观察记录驱替过程中的最高返排压差。

### 8.6 计算实验结果

#### 8.6.1 动滤失速率 $F_d$ ：

$$F_d = \frac{60\Delta V}{A\Delta t} \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中：

$F_d$ ——动滤失速率，单位为立方厘米每平方厘米小时 [ $\text{cm}^3/(\text{cm}^2 \cdot \text{h})$ ]；

$\Delta V$ ——计量时间内钻井液滤失量，单位为立方厘米 ( $\text{cm}^3$ )；

$A$ ——岩心横截面积，单位平方厘米 ( $\text{cm}^2$ )；

$\Delta t$ ——钻井液滤失量计量时间，单位为分 (min)。

#### 8.6.2 动态渗透率恢复值 $R_d$ ：

$$R_d = \frac{K_{od}}{K_0} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中：

$R_d$ ——动态渗透率恢复值，用百分数表示；

$K_{od}$ ——钻井液损害岩心后岩心对煤油的正向渗透率，单位为十的负三次方平方微米 ( $10^{-3} \mu\text{m}^2$ )；

$K_0$ ——岩心原始煤油渗透率，单位为十的负三次方平方微米 ( $10^{-3} \mu\text{m}^2$ )。

## 9 常规砂岩油层钻井液、射孔液、压井液损害静态评价实验

### 9.1 仪器与材料

仪器与材料如下：

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/105043304342011100>