

## 中华人民共和国石油天然气行业标准

**SY/T 6302—2019**

代替 SY/T 6302—2009

---

### 压裂支撑剂导流能力测试方法

Procedures for measuring the conductivity of proppants

2019—11—04 发布

2020—05—01 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 实验流体及材料	1
4.1 实验流体	1
4.2 金属板	2
4.3 岩板	2
4.4 硫化硅酮胶	2
5 实验设备	2
5.1 导流室	2
5.2 液压压机	2
5.3 充填宽度测量设备	3
5.4 实验流体驱替系统	3
5.5 压差传感器	3
5.6 回压调节器	3
5.7 天平	3
5.8 除氧系统	3
5.9 温度控制系统	3
5.10 硅饱和及监测	4
6 设备校正	4
6.1 压力显示器和流速校正	4
6.2 初始充填宽度测量	4
6.3 确定导流室宽度	5
6.4 液压压机	5
7 渗漏测试	5
7.1 液压压机	5
7.2 流体系统测试	5
8 设备安装方法	5
8.1 短期导流测试设备安装	5
8.2 长期导流室准备	6
8.3 长期导流测试设备安装	6

9	导流室闭合压力加载 .....	7
10	数据采集 .....	8
10.1	短期导流测试 .....	8
10.2	长期导流测试 .....	8
11	渗透率及导流能力计算 .....	9
12	数据报告 .....	10
13	健康、安全、环境控制要求 .....	10
附录 A (资料性附录)	实验设备示意图 .....	11
附录 B (规范性附录)	硅饱和容器的装配 .....	23
附录 C (资料性附录)	单位换算 .....	24
附录 D (资料性附录)	导流能力测试实验数据表 .....	25

## 前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009《标准化工作导则 第1部分：标准的结构和编写》给出的规则起草。

本标准代替 SY/T 6302—2009《压裂支撑剂充填层短期导流能力评价推荐方法》。本标准与 SY/T 6302—2009 相比，除编辑性修改外，主要技术差异如下：

- 增加了规范性引用文件 GB/T 3098.6（见第2章）；
- 增加了术语和定义（见第3章）；
- 增加了长期导流能力测试用导流室（见5.1.2）；
- 增加了除氧系统、硅饱和及监测（见5.8和5.10）；
- 修改了短期导流能力测试支撑剂铺置浓度为  $9.76\text{kg/m}^2$  ( $2.00\text{lb/ft}^2$ )（见8.1.4）；
- 增加了长期导流室准备和长期导流测试设备安装内容（见8.2和8.3）；
- 增加了长期导流测试数据采集（见10.2）；
- 增加了健康、安全、环境控制要求（见第13章）；
- 增加了图A.6、图A.7、图A.8、图A.9、图A.10和图A.11，保留原标准短期导流能力测试部分，与长期导流区分开（见附录A）。

本标准使用重新起草法修改采用 ISO 13503-5：2006《支撑剂长期导流能力测试方法》（英文版）。本标准与 ISO 13503-5：2006 相比，除编辑性修改外，主要技术差异如下：

- 删除缩略语部分；
- 删除了支撑剂充填层长期导流能力测试方法的概述；
- 增加了长6砂岩为长期导流能力标准岩板，也可以采用指定区块钻井取心或露头岩样制成实验所需岩板（见4.3）；
- 修改了长期导流能力测试取样时间间隔，应每隔10h测试一次并记录，在第5个点至少取值三次计算平均导流能力，并作为该压力条件下的长期导流值（见10.2.3）；
- 删除了部分公式推导过程（见第11章）。

为了便于使用，本标准还对 ISO 13503-5：2006 做了下列编辑性修改：

- 用小数点“.”代替作为小数点的逗号“，”；
- 增加了导流能力测试实验数据表，规范导流能力测试实验报告内容（见附录D）；
- 删除了参考文献。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本标准由采油采气专业标准化委员会提出并归口。

本标准起草单位：中国石油勘探开发研究院压裂酸化技术服务中心、中国石油化工股份有限公司胜利油田分公司石油工程技术研究院、中国海洋石油能源发展股份有限公司工程技术分公司非常规技术研究院、大庆油田有限责任公司采油工程研究院、中国石油天然气股份有限公司长庆油田分公司油气工艺研究院、中国石油天然气股份有限公司新疆油田分公司实验检测研究院。

本标准主要起草人：管保山、朱文、崔付义、李建阁、梁天成、李春、宋时权、尹晓宏、杨生文、谢建利、卜向前、严玉忠、李继勇、蒙传幼。

本标准代替了 SY/T 6302—2009。

SY/T 6302—2009 的历次版本发布情况为：

- SY/T 6302—1997。

# 压裂支撑剂导流能力测试方法

## 1 范围

本标准规定了水力压裂和砾石充填作业用支撑剂导流能力测定推荐方法的材料与设备、实验步骤、渗透率及导流能力计算和数据报告。

本标准适用于水力压裂和砾石充填作业用支撑剂充填层导流能力的测定。

本标准目的是为水力压裂和砾石充填作业用支撑剂导流能力测定提供一致的方法，而不是用来获得支撑剂在油藏条件下实际导流能力。

## 2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期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 3098.6 紧固件机械性能 不锈钢螺栓、螺钉和螺柱（GB/T 3098.6—2014，ISO 3506-1：2009，MOD）

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

#### 导流能力 conductivity

裂缝宽度与支撑剂充填层渗透率的乘积。

### 3.2

#### 短期导流能力 short-term conductivity

支撑剂充填层各级压力点受压时间不大于 1.5h 条件下获取的导流能力实验值。

### 3.3

#### 长期导流能力 long-term conductivity

在指定地层岩板、水矿化度条件下，支撑剂充填层各级压力点连续受压时间为  $50\text{h} \pm 2\text{h}$  时获取的导流能力实验值。

## 4 实验流体及材料

### 4.1 实验流体

短期导流能力测试采用去离子水或蒸馏水作为实验流体。

长期导流能力测试实验流体为去离子水或蒸馏水配制质量浓度为 2% 的氯化钾溶液，实验流体需经过过滤处理，除去尺寸在  $7\mu\text{m}$  及其以上的物质。氯化钾为化学纯试剂。

## 4.2 金属板

金属板为 4Cr13 不锈钢材料，厚度为 2.54mm。

## 4.3 岩板

长期导流能力测试标准岩板为鄂尔多斯盆地长 6 砂岩露头，产地为铜川和延安附近，灰色中细粒砂岩，富含石英和长石，不应为风化岩石，密度介于  $2.1\text{g/cm}^3 \sim 2.4\text{g/cm}^3$ 。

为更有针对性地了解特定区块支撑剂充填层长期导流能力，也可以采用指定区块钻井取心或露头岩样制成实验所需岩板。

岩板长度为 17.70cm ~ 17.78cm (6.96in ~ 7.00in)，宽为 3.71cm ~ 3.81cm (1.46in ~ 1.50in)，厚度大于 0.90cm (0.35in)。岩板两端应磨成圆形与实验装置相配，平行度应保持在  $\pm 0.008\text{cm}$  ( $\pm 0.003\text{in}$ ) 内。

## 4.4 硫化硅酮胶

硫化硅酮胶性能需满足耐温 200℃ 以上，常温固化时间不超过 24h。

# 5 实验设备

## 5.1 导流室

### 5.1.1 短期导流能力测试

短期导流室的图解详见图 A.1、图 A.2、图 A.3 和图 A.5，图 A.4 是液体流经导流室的流程示意图。导流室应为线性流设计，支撑剂铺置面积为  $64.5\text{cm}^2$  ( $10\text{in}^2$ )。活塞及导流室材料为 316 不锈钢材质（如 GB/T 3098.6, A4 级）、蒙奈尔铜镍合金或哈氏合金材质<sup>1)</sup>。导流室的滤网采用蒙奈尔铜镍合金金属丝网，孔眼尺寸为  $150\mu\text{m}$  (100US 目)。金属网可拦截尺寸大于  $114\mu\text{m}$  以上的颗粒物。

### 5.1.2 长期导流能力测试

长期导流室的图解详见图 A.6、图 A.7、图 A.8、图 A.9 和图 A.10，支撑剂铺置面积为  $64.5\text{cm}^2$  ( $10\text{in}^2$ )。活塞、导流室材料和导流室滤网同上。

## 5.2 液压压机

液压压机提供的力应大于 667kN (150000lbf)，压机压头应保持相互平行。建议液压压机采用四柱设计以尽量减少测试室的扭曲或变形。每根柱子的直径应大于 6.35cm (2.5in)。

液压压机应具有保持所需闭合应力 [ $\pm 1.0\%$  或  $345\text{kPa}$  (50psi)，以较高者为准] 达 50h 的能力。在  $64.5\text{cm}^2$  ( $10\text{in}^2$ ) 导流室上，短期导流的加载速率为  $22.24\text{kN/min}$  ( $5000\text{lbf/min}$ ) 或  $3500\text{kPa/min}$  ( $500\text{psi/min}$ )，长期导流的加载速率为  $4448\text{N/min}$  ( $1000\text{lbf/min}$ ) 或  $690\text{kPa/min}$  ( $100\text{psi/min}$ )。用校准过的电子测力传感器校验液压油缸与液压压机正面压板之间的应力。

1) 蒙奈尔铜镍合金和哈氏合金材质是可以使用的众多商业化产品之一。该信息仅供使用者使用本标准时参考，但本标准不局限使用以上产品。

### 5.3 充填宽度测量设备

用游标卡尺测量支撑剂充填宽度。通过测量导流室两宽板（图 A.9）之间的距离来确定长期导流能力测试支撑剂充填宽度。测量装置的精确度应为 0.0025cm (0.001in) 或更高。

### 5.4 实验流体驱替系统

采用恒流泵，流量为 1mL/min ~ 10mL/min，误差不超过 1%。在测量压差和流量（用于计算导流能力）时，压力波动应不大于 0.1%。为了使排量输出稳定，有些恒流泵还需要配置脉冲压力阻尼器，利用活塞、气囊式蓄能器或其他有效方法完成试验液体的驱替。

### 5.5 压差传感器

量程为 0kPa ~ 7kPa (0psi ~ 1.0psi)，精确度为满量程的  $\pm 0.1\%$ 。

### 5.6 回压调节器

回压调压器调节压力范围为 2.07MPa ~ 3.45MPa (300psi ~ 500psi)。加载到导流室上的压力应将回压计算在内。

示例：

回压为 3.45MPa (500psi)，考虑到活塞向外施加的压力，施于导流室上的压力应大于 3.45MPa (500psi)。

### 5.7 天平

天平量程大于 100g，感量为 0.1g。

### 5.8 除氧系统

短期导流能力测试不需该设备。

长期导流能力测试中，实验流体应除氧以模拟油藏流体，并降低流体对设备的腐蚀。流体除氧通过两个贮液罐来完成：第一个贮液罐用于储存待除氧的液体，第二个贮液罐存放无氧流体，提供给泵系统。除氧有两种办法：一是在低于 103kPa (15psi) 的低压下持续向液体中通入氮气，氮气通过液体时冒出气泡。氮气源要先通过一个氧气收集器把氧气含量降到 15 $\mu$ g/L 以下，比如 Agilent Model OT3-4<sup>2)</sup>。二是可以使氮气通过温度达 370 $^{\circ}$ C (698 $^{\circ}$ F) 的铜屑，将气体中微量的氧气与铜反应生成氧化铜。除氧后用氧含量检测仪 (Chrom Tech, Inc. part# OT1-4-HP<sup>3)</sup>) 确认流体脱氧处理完成，在收集器氧气饱和后应定期更换以保证氧气去除效率。贮液罐中流体应密封保存，并充入惰性气体防止氧气污染。

### 5.9 温度控制系统

导流室及支撑剂充填层应维持在设定温度，误差在  $\pm 1^{\circ}$ C ( $\pm 3^{\circ}$ F) 范围内，温度可通过导流室上的测温孔获得，如图 A.6 所示，根据这个温度可在表 A.1 中确定流体的黏度。热电偶分别与控温设

2) 安捷伦公司型号 OT3-4 是可以使用的众多商业化产品之一。该信息仅供使用者使用本标准时参考，但本标准不仅限使用以上产品。

3) Chrom Tech, Inc. part# OT1-4-HP 是可以使用的众多商业化产品之一。该信息仅供使用者使用本标准时参考，但本标准不仅限使用以上产品。

备及数据采集系统连接，控温设备应具有程序化控制及在不同温度、流量条件下自动调节的功能。

陶粒及树脂覆膜支撑剂测试温度为 121℃ (250 ℉)，石英砂为 66℃ (150 ℉)。对于石英砂，二氧化硅饱和容器（见附录 B）的温度相对测试温度 66℃ (150 ℉) 高出 11℃ (52 ℉)；对于陶粒及树脂覆膜支撑剂，二氧化硅饱和容器的温度相对测试温度 121℃ (250 ℉) 高出 20℃ (68 ℉)，保证流体在适当温度下到达导流室。

## 5.10 硅饱和及监测

短期导流能力测试不需该设备。

长期导流能力测试中，为了防止砂岩及支撑剂的溶解，实验流体需达到硅饱和。硅饱和设备为最小容积为 300mL 的耐压容器，容器耐压不小于 5MPa，最大流量为 10mL/min（例如 Whitey sample cylinder 316L-HDF4<sup>4)</sup>），或带有 0.64cm (0.25in) 内螺纹的类似容器，硅饱和设备安装及监测应符合附录 B 的规定。

## 6 设备校正

### 6.1 压力显示器和流速校正

压力计在每次实验前需要校正，每次测量前高压、低压传感器显示应归零，应使用重复性和线性关系好的传感器。恒流泵使用前应在有回压的条件下进行不同流速的校正，可以由合适的流量计或高精度天平、容器和计时器（秒表）等进行校正。

### 6.2 初始充填宽度测量

**6.2.1** 用游标卡尺测量并记录岩板和金属板的厚度，并用铅笔在岩板的表面上做标记。将两块岩板放入导流室中，每块岩板两端的厚度相差应小于 0.008cm (0.003in)。底部岩板两端厚度差异，应用上部岩板进行补偿，以保持上下岩板两端的整体厚度相同。

**6.2.2** 在导流室内加入支撑剂样品前，应测量导流室在相应闭合压力、测试温度、岩板和密封圈等实验条件下的宽度校正系数。在每次计算支撑剂的充填厚度时，应先测量没有添加支撑剂的导流室初始厚度，以加入支撑剂后的导流室厚度减去该初始厚度后则为支撑剂的实际充填厚度。

**6.2.3** 导流室的活塞应按照安装顺序做上标记。将两块相匹配的岩板放入导流室中，按图 A.6 组装导流室。

**6.2.4** 将导流室加热至实验温度。长期导流闭合压力加载速率为 689kPa/min (100psi/min)。分别在 13.8MPa、27.6MPa、41.4MPa、55.2MPa、69MPa、82.7MPa、96.5MPa (2kpsi、4kpsi、6kpsi、8kpsi、10kpsi、12kpsi、14kpsi) 条件下测定充填宽度。

**6.2.5** 利用精度 0.02mm 的游标卡尺等工具测量活塞上的宽板到导流室下表面的距离，以及宽板到活塞上表面的距离或活塞上两个宽板之间的距离。所有的测量应该进行两次，两次测量值误差应在 0.05mm 以内。30min 后进行第二次测量，直到相邻两次测量结果相差在 1% 以内，表明系统到达稳定状态。测量应最少进行三次，并记录最后一次的测量结果。

4) Whitey sample cylinder 316L-HDF4 是可以使用的众多商业化产品之一。该信息仅供使用者使用本标准时参考，但本标准不仅限使用以上产品。



### 6.3 确定导流室宽度

用游标卡尺在导流室的三个端口处，两处位于上、下压力孔旁边，另一处位于中间孔旁边测量导流室的内部尺寸，取三处测量结果的平均值。用下列方法计算实验所需支撑剂的质量，导流室平均宽度乘以需要的支撑剂质量除以 38.1mm，下面以支撑剂充填浓度为  $9.76\text{kg/m}^2$  ( $2.00\text{lb/ft}^2$ ) 为例（见 8.1.4）。

示例：

$(38.35\text{mm}+38.40\text{mm}+38.37\text{mm}) / 3=38.37\text{mm}$

铺置浓度为  $9.76\text{kg/m}^2$  时需要的支撑剂质量： $(63.00\text{g}/38.10) \times 38.37=63.5\text{g}$ 。

### 6.4 液压压机

液压压机至少每年校正一次或长期导流能力实验结果有问题时要进行校正。

## 7 渗漏测试

### 7.1 液压压机

液压压机包括管线、接头、泵等，初次使用时应仔细检查，以后定期检查，保证无渗漏。液压压机施加最大载荷后压力或载荷在 30min 内变化幅度应不超过最大读数的  $\pm 2\%$ 。

### 7.2 流体系统测试

每次实验前流体系统均需进行渗漏测试。完整的测试流体系统包括泵、管线、配件和导流室。测试时导流室内至少应该铺置浓度不小于  $5\text{kg/m}^2$  的支撑剂。

在导流室上施加大于  $3.45\text{MPa}$  ( $500\text{psi}$ ) 的闭合压力，流体回压  $2.07\text{MPa} \sim 3.45\text{MPa}$  ( $300\text{psi} \sim 500\text{psi}$ )。在关闭系统后 5min 内，压力变化应不超过  $0.1\text{kPa}$  ( $0.01\text{psi}$ )。

## 8 设备安装方法

### 8.1 短期导流测试设备安装

**8.1.1** 短期导流室的液体进口和出口（图 A.4 中 1 号孔、5 号孔）及每一个测压孔放入一个  $150\mu\text{m}$  ( $100\text{US}$  目) 蒙乃尔铜镍合金材质或其他材料的滤网。固定螺丝应做调整，以免滤网与导流室表面贴在一起。每次试验后应更换滤网。

**8.1.2** 将带有方形密封圈的底部活塞放入导流室内。

**8.1.3** 将一片金属板放在底部活塞的上面，金属板应很平以便支撑剂铺层有一个均匀的截面。为保证均匀，需沿金属板的长度选三点，用游标卡尺测量从金属板到导流室顶部的深度。金属板板面到导流室顶部间测量的深度之差不应大于  $0.0254\text{cm}$  ( $0.01\text{in}$ )。

**8.1.4** 支撑剂用量计算：短期导流能力测试支撑剂铺置浓度为  $9.76\text{kg/m}^2$  ( $2.00\text{lb/ft}^2$ )，支撑剂实验用量可用下述方法计算：

a) 按等铺置浓度方法计算所需支撑剂重量。

已知支撑剂铺置浓度，可按公式 (1) 计算：

$$M_p=6.452C \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中：

$M_p$ ——支撑剂的质量，单位为克 (g)；

$C$ ——支撑剂的铺置浓度，单位为千克每平方米 ( $\text{kg}/\text{m}^2$ )。

注： $6.452=0.006452\text{m}^2 \times 1000\text{g}/\text{kg}$ ， $0.006452\text{m}^2$  是导流室的底表面积，支撑剂的用量取决于导流室的宽度（见 6.3）。未加载闭合应力的支撑剂充填宽度可以通过公式（2）计算：

$$W_r=0.100C/\rho \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中：

$W_r$ ——支撑剂充填宽度，单位为厘米 (cm)；

$C$ ——支撑剂的铺置浓度，单位为千克每平方米 ( $\text{kg}/\text{m}^2$ )；

$\rho$ ——支撑剂体积密度，单位为克每立方厘米 ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )。

b) 按等体积方法计算所需支撑剂重量。

未加载应力时的支撑剂充填宽度为 6.35mm (0.25in) 的情况：在导流室中加入  $41.0\text{cm}^3 \pm 0.1\text{cm}^3$  的支撑剂，通过公式（3）计算支撑剂的质量：

$$M_p=41.0\rho \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中：

$M_p$ ——支撑剂质量，单位为克 (g)；

$\rho$ ——支撑剂体积密度，单位为克每立方厘米 ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )。

注： $41.0=64.52\text{cm}^2 \times 0.635\text{cm}$ ，支撑剂的用量取决于导流室的宽度（见 6.3）。

**8.1.5** 将测试所需的支撑剂量均匀倒入导流室，使用图 A.11 所示工具铺平。

**8.1.6** 放入另一片金属板后，再放入带方形密封圈的顶部活塞。

## 8.2 长期导流室准备

### 8.2.1 岩板选择

长期导流岩板选择见 4.3。

### 8.2.2 岩板预处理

**8.2.2.1** 用透明胶带保护岩板的上下表面，防止密封剂粘连，用刮刀去除多余的胶带。用透明胶带覆盖导流室内所有端口和底部活塞的上表面。记录岩板的平均厚度。将岩板四周涂一薄层硫化硅酮胶黏合剂，让黏合剂自然固化，需 24h 左右。

**8.2.2.2** 岩板预处理的另一种办法是将岩板放入导流室中，放入岩板前应在导流室内喷涂硅油润滑剂。调平底部活塞，两端高度相差小于 0.13mm (0.005in)，固定螺丝。最多可以一次性在导流室内堆叠四块岩板。再安装顶部活塞，将导流室放入压力试验机内，施加闭合压力 0.3MPa ~ 1MPa (50psi ~ 150psi)，安装加热条，加热至 66℃ (150 °F) 一小时。取出芯板，去除岩板表面多余的硫化硅酮胶，确定岩心没有碎片或裂缝。

## 8.3 长期导流测试设备安装

### 8.3.1 底部活塞安装

导流测试设备按顺序进行组装（参考 6.2）。调整底部活塞使岩板固定在导流室内测压端口以下 0.02mm (0.0008in) 处。可以将一个金属板和没有涂硫化硅酮胶的岩板放入导流室中，调整活塞到合适位置，拧紧螺丝固定导流测试设备的位置，再去除金属板和岩板。安装密封圈，并确认无破损。

### 8.3.2 底部岩板安装

将金属板放入导流室底部，测量金属板厚度并做记录。在底部岩板侧壁上均匀涂抹硫化硅酮胶，用抹刀处理光滑，保持岩心上下表面干净。去除岩板下表面胶带，将岩板放入导流室金属片上，在岩板和导流室界面的缝隙内涂抹硫化硅酮胶，用棉签将黏合剂挤入缝隙，确保岩板和导流室之间无缝隙。清除过量的室温硫化黏合剂及岩心顶部的胶带。

### 8.3.3 放置滤网

放置滤网是为了防止支撑剂颗粒物流出支撑剂充填层或堵塞导流室端口。在导流室的液体进出端口，压力测量端口等所有端口处放置 150 $\mu\text{m}$  (100US 目) 蒙乃尔铜镍合金材质或其他材料的滤网。滤网每次实验后都应更换滤网。

### 8.3.4 支撑剂用量计算

长期导流能力测试支撑剂铺置浓度也为 9.76kg/m<sup>2</sup> (2.00lb/ft<sup>2</sup>)，支撑剂用量计算同短期导流能力测试 (见 8.1.4)。

### 8.3.5 导流室内加载支撑剂

8.3.5.1 依据 8.3.4 计算结果称取支撑剂样品。

8.3.5.2 将支撑剂样品逐步均匀添加到导流室中。

8.3.5.3 利用找平器 (图 A.11) 让支撑剂在导流室内铺平，不能振动或敲击。

### 8.3.6 顶部岩板安装

8.3.6.1 将金属板放入导流室中，测量金属板厚度并做记录。

8.3.6.2 在预处理的岩板侧壁涂抹少量的硫化硅酮胶，将岩板表面处理光滑，避免黏合剂污染。

8.3.6.3 去除顶部岩板下表面的胶带，将岩板装入导流室中，用硫化硅酮胶填充岩板与导流室侧壁的空隙。

8.3.6.4 用游标卡尺测量岩板四个角的深度，适当调整，确保深度相差小于 0.1mm (0.004in)。去除岩板上表面的胶带。

8.3.6.5 安装上部活塞，调整活塞到合适位置。

### 8.3.7 导流室安装

一台液压压机可以放置多个导流室 (图 A.6)，用盖帽和板调节导流室的高度，误差小于 0.1mm (0.004in)，按照 8.3.5 所示步骤安装各导流室，并拧紧固定螺丝。

## 9 导流室闭合压力加载

9.1 将安装好的导流室放在液压压机的两个压头之间。

9.2 对导流室施加 345kPa (50psi) 压力，适当调整，确保导流室与压头垂直。再以大约 690kPa/min (100psi/min) 的速率使压力由 345kPa (50psi) 增至 3.45MPa (500psi)。

9.3 注入实验流体到导流室，确认活塞及接头周围无漏失。测量导流室两端宽板间距离相差不应超过 5%。

9.4 通过冲洗导流室及管线，排出实验设备中的空气，没有可见气泡后至少再冲洗 1min，直到无流量条件下，压力传感器可以归零。

## 10 数据采集

## 10.1 短期导流测试

使用标准给出的短期导流室按表 1 和表 2 列出的闭合压力、流量、石英砂和高强度支撑剂在闭合压力下达到半稳态承压的时间。以 3500kPa/min 的速率增加闭合压力。

表 1 石英砂支撑剂短期导流试验参数

闭合压力 kPa (psi)	流量 mL/min			各种砂粒径在一规定压力所需的承压时间 h				
				1700 $\mu$ m ~ 850 $\mu$ m	850 $\mu$ m ~ 425 $\mu$ m	600 $\mu$ m ~ 300 $\mu$ m	425 $\mu$ m ~ 212 $\mu$ m	212 $\mu$ m ~ 106 $\mu$ m
6900 (1000)	2.5	5.0	10.0	1.0	0.25	0.25	0.25	0.25
13800 (2000)	2.5	5.0	10.0	1.5	0.25	0.25	0.25	0.25
27600 (4000)	2.5	5.0	10.0	1.5	1.00	0.25	0.25	0.25
41400 (6000)	1.25	2.5	5.0	1.5	1.00	0.25	0.25	0.25
55200 (8000)	1.0	2.0	4.0	1.5	1.00	0.75	0.75	0.75
69000 (10000)	1.0	2.0	4.0	1.5	1.00	1.00	1.00	1.00

注：用 3500kPa/min 的加载速率达到所需压力，闭合压力等于施加在导流室上的压力减去试验液体压力。

表 2 高强度支撑剂短期导流试验参数

闭合压力 kPa (psi)	流量 mL/min			承压时间 h
6900 (1000)	2.5	5.0	10.0	0.25
13800 (2000)	2.5	5.0	10.0	0.25
27600 (4000)	2.5	5.0	10.0	0.25
41400 (6000)	2.5	5.0	10.0	0.25
55200 (8000)	2.5	5.0	10.0	0.25
69000 (10000)	2.5	5.0	10.0	0.25
82700 (12000)	2.5	5.0	10.0	0.25
96500 (14000)	2.5	5.5	10.0	0.25

注：用 3500kPa/min 的加载速率达到所需压力，闭合压力等于施加在导流室上的压力减去试验液体压力。

## 10.2 长期导流测试

**10.2.1** 在设定的温度（见 5.9）下施加 6.9MPa (1kpsi) 的初始压力，加载时间为 12h ~ 24h。回压保持在 2.07MPa ~ 3.45MPa (300psi ~ 500psi)，计算压力时应考虑回压。初始压力维持在 6.9MPa (1kpsi) 足够时间后升到 13.8MPa (2kpsi)，维持 50h  $\pm$  2h，任何测试时间少于 48h 都不应认为是长期导流实验。压力增加到 13.8MPa (2kpsi) 的过程中，所有的压力增加速度应保持在 689kPa/min  $\pm$  34kPa/min (100psi/min  $\pm$  5kpsi/min)。

**10.2.2** 分别在 13.8MPa、27.6MPa、41.4MPa、55.2MPa、69MPa (2kpsi、4kpsi、6kpsi、8kpsi、10kpsi) 条件下测定石英砂的导流能力。陶粒及涂覆树脂类支撑剂，应在 13.8MPa、27.6MPa、41.4MPa、55.2MPa、69MPa、82.7MPa、96.5MPa (2kpsi、4kpsi、6kpsi、8kpsi、10kpsi、12kpsi、14kpsi) 条件下测定，可以增加压力测量点。

**10.2.3** 根据压力端口之间的压差确定实验排量，初始排量应为 2mL/min 或最小压力 0.01kPa (0.002kpsi)。为保证数据准确，在流速 2mL/min ~ 4mL/min 或最小压力为 0.01kPa ~ 0.03kPa (0.002kpsi ~ 0.004kpsi) 应每隔 10h 测试一次并记录，在第 5 个点至少取值三次计算平均导流能力，并作为该压力条件下的长期导流值。

**10.2.4** 每个压力条件下测量支撑剂充填宽度，应除去岩心压缩和金属膨胀的影响（见 6.2）。每次实验前压差传感器应调零。

## 11 渗透率及导流能力计算

**11.1** 利用公式 (4)、公式 (5) 计算达西流条件下支撑剂充填层的渗透率：

$$k = \mu Q L / (99.998 A \Delta p) \quad (\text{SI 单位}) \quad \dots\dots\dots (4)$$

$$k = \mu Q L / (A \Delta p) \quad (\text{US 单位}) \quad \dots\dots\dots (5)$$

式中：

$k$ ——支撑剂充填层渗透率，单位为平方微米 ( $\mu\text{m}^2$ )；

$\mu$ ——测试温度条件下流体黏度，单位为毫帕秒 ( $\text{mPa} \cdot \text{s}$ )；

$Q$ ——排量，单位为立方厘米每秒 ( $\text{cm}^3/\text{s}$ )；

$L$ ——压力端口间长度，单位为厘米 (cm)；

$A$ ——导流室支撑截面积，单位为平方厘米 ( $\text{cm}^2$ )；

$\Delta p$ ——压力差值（上游压力减去下游压力），单位为千帕 (kPa) [US 单位：大气压 (atm)]。

注：单位换算关系参见附录 C。

当支撑剂填充层在线性导流室铺置时，截面积由公式 (6) 计算：

$$A = w \cdot W_f \quad \dots\dots\dots (6)$$

式中：

$A$ ——导流室支撑截面积，单位为平方厘米 ( $\text{cm}^2$ )；

$w$ ——导流室宽度，单位为厘米 (cm)；

$W_f$ ——支撑剂充填宽度，单位为厘米 (cm)。

将面积  $A$  带入公式 (4) 和公式 (5)，可计算支撑剂充填层的渗透率或导流能力。

支撑剂充填层渗透率利用公式 (7)、公式 (8) 计算：

$$k = \mu Q L / (99.998 w \Delta p W_f) \quad (\text{SI 单位}) \quad \dots\dots\dots (7)$$

$$k = \mu Q L / (w \Delta p W_f) \quad (\text{US 单位}) \quad \dots\dots\dots (8)$$

支撑剂充填层导流能力为支撑剂充填层裂缝宽度与渗透率的乘积。

**11.2** 当使用常量时，简化后的支撑剂充填层渗透率及导流能力计算见公式 (9) 和公式 (10)：

$$k W_f = 5.555 \mu Q / \Delta p \quad (\text{SI 单位}) \quad \dots\dots\dots (9)$$

$$k W_f = 26.78 \mu Q / \Delta p \quad (\text{US 单位}) \quad \dots\dots\dots (10)$$

式中：

$k W_f$ ——支撑剂充填层导流能力，单位为平方微米厘米 ( $\mu\text{m}^2 \cdot \text{cm}$ ) [US 单位：毫达西英尺 ( $\text{mD} \cdot \text{ft}$ )]；

- $k$ ——支撑剂充填层渗透率，单位为平方微米 ( $\mu\text{m}^2$ )；  
 $W_r$ ——支撑剂充填宽度，单位为厘米 (cm) [US 单位：英寸 (in)]；  
 $\mu$ ——测试温度下流体黏度，单位为厘泊 (cP) (见表 C.1)；  
 $Q$ ——排量，单位为立方厘米每分钟 ( $\text{cm}^3/\text{min}$ )；  
 $\Delta p$ ——压力差值 (上游压力减去下游压力)，单位为千帕 (kPa) [US 单位：磅力每平方英寸 ( $\text{lbf}/\text{in}^2$ )]。

注：以下数据用于公式 (9) 和公式 (10) 的计算：

- 导流室的宽度  $W$ ：3.81cm (1.5in)；
- 实际导流室宽度依据 6.3 获取；
- 压力端口间距  $L$ ：12.70cm (5.000in)。

## 12 数据报告

数据报告将列出所有实验参数，如砂岩类型、温度、时间，测试液，每一级压力条件下的导流能力和渗透率，体积密度，筛析分布、视密度及支撑剂铺置浓度，导流能力测试实验数据表参见附录 D 的规定。

## 13 健康、安全、环境控制要求

**13.1** 实验室内任何用电设备、电源和管线不准任意摸弄，以防触电和高压危险。

**13.2** 利用压力试验机进行导流能力测试时，操作人员不准正对压力设备，如果遇到有焦味、打火现象等，要立即切断电源，并检查电路排除故障。

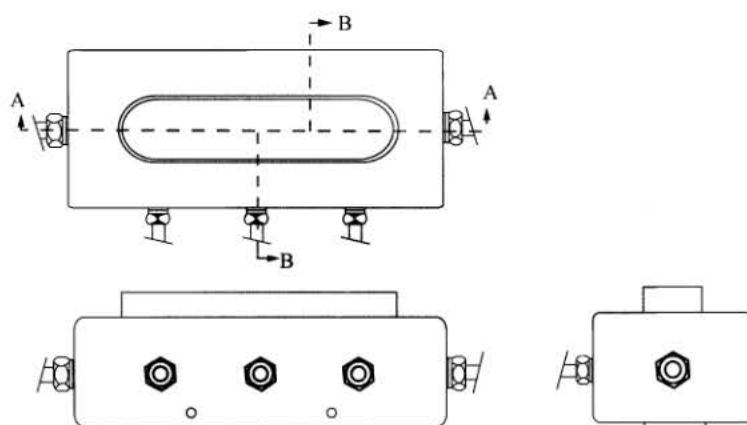
**13.3** 高温实验时，应佩戴耐高温防护手套及防护面罩，采取必要的防护措施，严格按照操作规程进行操作。

**13.4** 使用加热设备时，人员不准离岗 (至少 10min ~ 15min 观察 1 次)；使用完毕，应立即断开电源，使其自然降温，以免炉膛突然受冷碎裂。加热设备应放置在阻燃的、稳固的实验台或地面上，不准在周围堆放易燃易爆物或杂物。

**13.5** 各种实验液体和支撑剂样品用后应收集处理，不准随意丢弃。

**附录 A**  
**(资料性附录)**  
**实验设备示意图**

短期导流室的图解详见图 A.1、图 A.2、图 A.3 和图 A.5，图 A.4 是液体流经导流室的流程示意图。长期导流室的图解详见图 A.6、图 A.7、图 A.8、图 A.9 和图 A.10，表 A.1 为 2%KCl 溶液不同温度时的黏度。铺平设备详见图 A.11。



说明：

支撑剂填充层厚度 0.25cm ~ 1.27cm。

测试面积 64.5cm<sup>2</sup>。

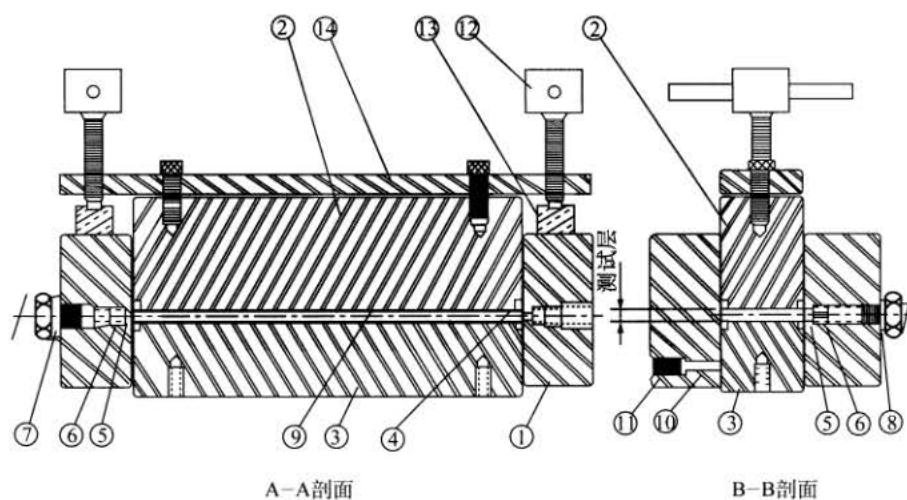
最大载荷力 667200N。

最高温度 204℃。

内部最大压力 3500kPa。

注：剖面 A-A 和 B-B 如图 A.2 所示。

**图 A.1 短期导流线性导流室示意图**



支撑剂层厚度范围为 0.25cm ~ 1.27cm。底活塞位置要适当，以使各测试口与测试层连通。

注：标号说明对应图 A.3。

**图 A.2 短期导流线性导流室卸具剖面图**

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/285201044230011100>