

ICS 75.020  
E 14  
备案号：68869—2019

**NB**

# 中华人民共和国能源行业标准

NB/T 10120—2018

---

## 页岩气自支撑裂缝导流能力测定推荐方法

Recommended methods for measuring the conductivity  
of unpropped fracture in shale gas reservoir

2018 — 12 — 25 发布

2019 — 05 — 01 实施

---

国家能源局 发布



# 目 次

前言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 试剂和材料	1
5 仪器和设备	1
6 自支撑裂缝岩板制备	9
7 自支撑裂缝导流能力测定	13
8 自支撑裂缝导流能力计算	14
9 数据报告	15
附录 A (资料性附录) 氮气黏度表	16
附录 B (资料性附录) 实验报告数据表	17

## 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。

本标准由能源行业页岩气标准化技术委员会提出并归口。

本标准起草单位：西南石油大学、中国石油天然气股份有限公司西南油气田公司工程技术研究院、中国石油化工股份有限公司西南油气分公司石油工程技术研究院、中国石油天然气股份有限公司勘探开发研究院。

本标准主要起草人：郭建春、卢聪、陈迟、苟兴豪、韩慧芬、王文耀、苟波、赵志红、卢拥军、高新平。

# 页岩气自支撑裂缝导流能力测定推荐方法

## 1 范围

本标准规定了页岩气体积压裂中自支撑裂缝导流能力测定推荐方法的试剂、材料、仪器、设备、实验步骤、导流能力计算方法和数据报告。

本标准适用于页岩气体积压裂中自支撑裂缝导流能力的测定，其他储层水力压裂自支撑裂缝导流能力的测定可参照执行。

## 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。

SY/T 6302—2009 压裂支撑剂充填层短期导流能力评价推荐方法

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**自支撑裂缝 unpropped fracture**

在水力压裂中形成的剪切错位裂缝，裂缝中无支撑剂填充。

## 4 试剂和材料

4.1 岩样：用体积压裂改造层段页岩岩样或同层位露头岩样。

4.2 聚氨酯 PU 胶（双组分）：透明，固化前黏度不高于  $4000\text{mPa}\cdot\text{s}$ ，可操作时间不低于 30min，完全固化时间不长于 24h，线收缩率不大于 0.3，固化后抗拉强度不低于 1.5MPa，抗剪切强度不低于 2MPa。

4.3 背胶纸：长不低于 295mm，宽不低于 210mm，厚度 0.5mm。

4.4 透明胶带：厚度应在  $45\mu\text{m} \sim 55\mu\text{m}$ 。

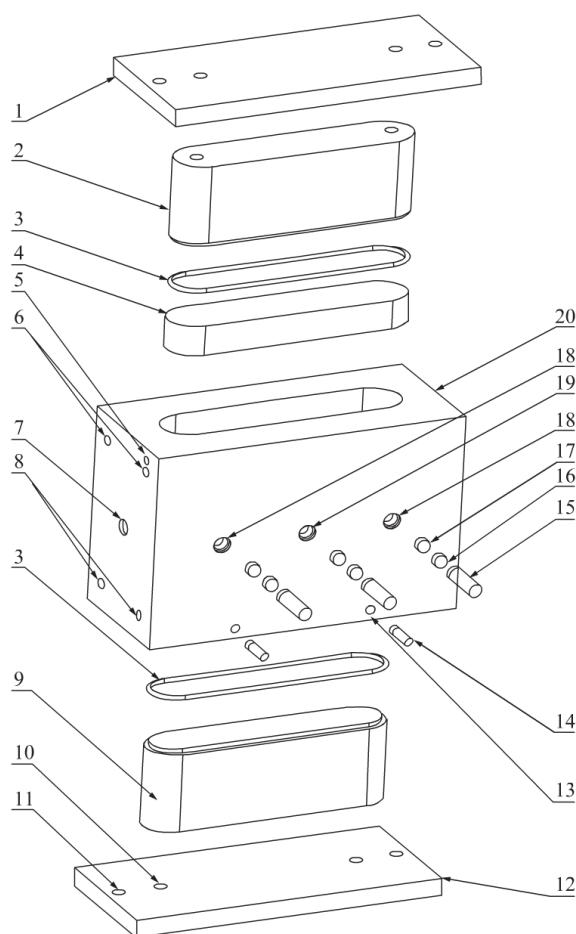
4.5 氮气：工业级。

4.6 凡士林：医用级。

4.7 硅胶垫片：工业级。

## 5 仪器和设备

5.1 导流室：应为线性流设计，结构及组装排列见图 1。上下活塞及导流室材料应为 4Cr13 不锈钢材质，各工件具体尺寸见图 2、图 3 和图 4。图 5 是流体流经导流室示意图。导流室的筛网采用蒙奈尔铜镍合金金属丝网，厚度为  $0.318\text{cm} \pm 0.02\text{cm}$ ，孔眼尺寸为  $300\mu\text{m}$ 。



说明：

- 1——上活塞盖板；
- 2——上活塞；
- 3——活塞胶圈；
- 4——自支撑裂缝岩板；
- 5——测温孔；
- 6, 8——加温孔；
- 7——流体进/出口；
- 9——下活塞；
- 10——盖板/活塞安装螺栓孔；
- 11——活塞拆卸螺栓孔；
- 12——下活塞盖板；
- 13——下活塞固定螺栓孔；
- 14——固定螺栓；
- 15——活动接头；
- 16——调节螺丝；
- 17——过滤筛网；
- 18——导流室压差检测孔；
- 19——导流室中部压力检测孔；
- 20——导流室主体。

注：不按比例尺绘图。

图1 导流室示意图

单位为毫米

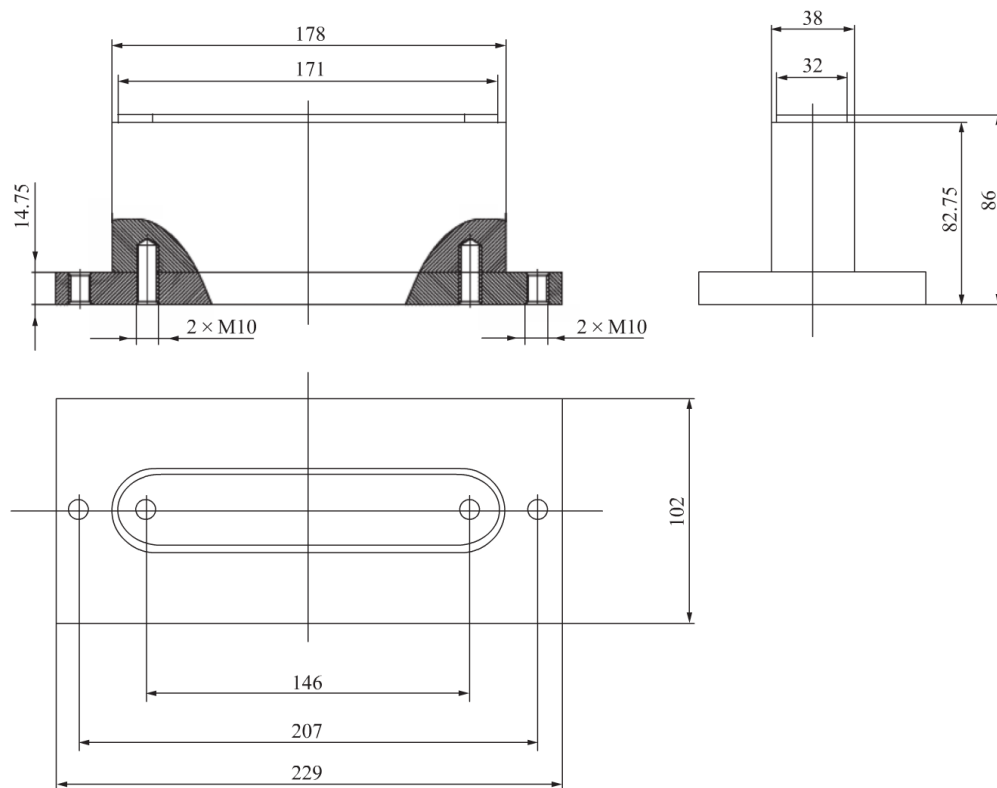


图2 上下活塞及活塞盖板示意图

单位为毫米

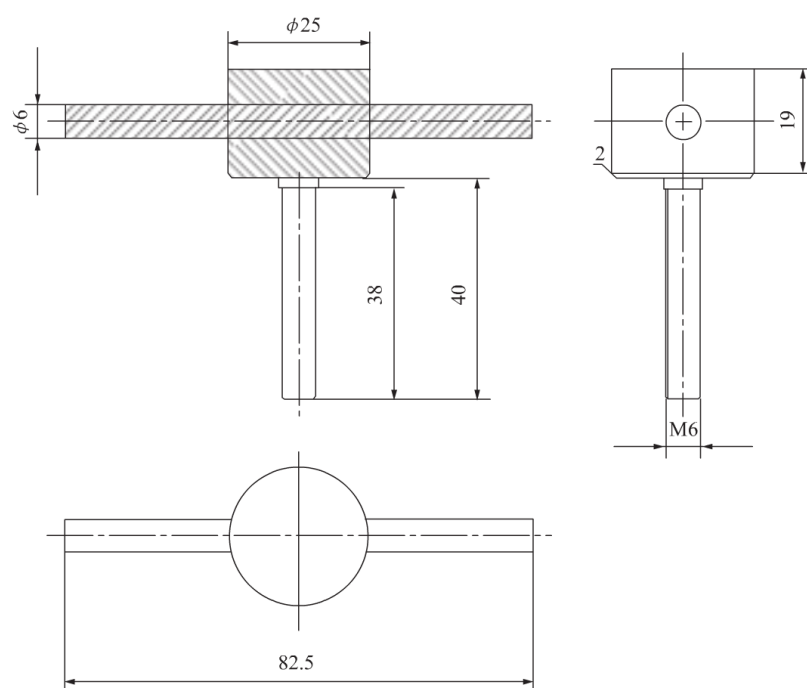


图3 拆卸螺丝示意图

单位为毫米

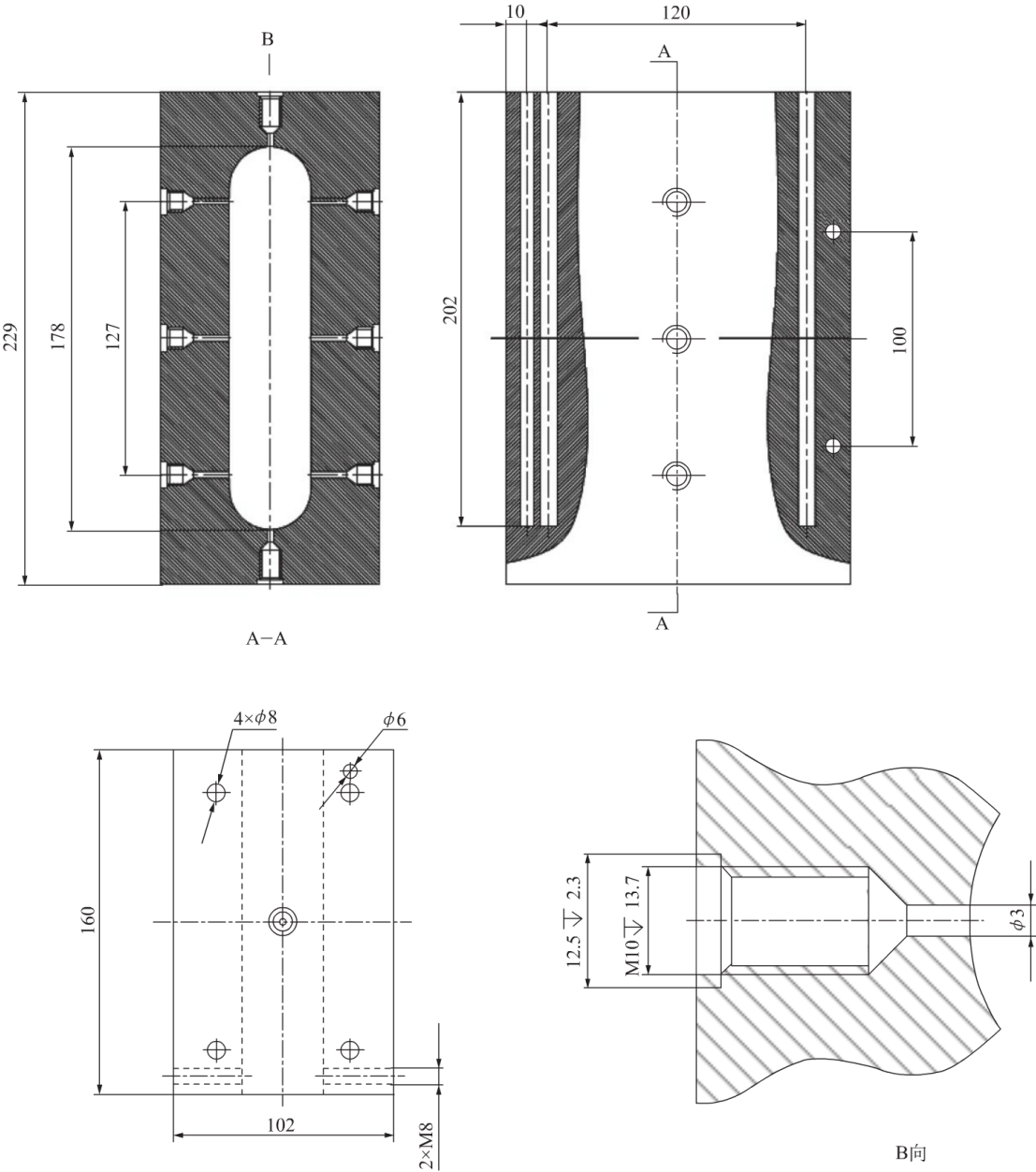
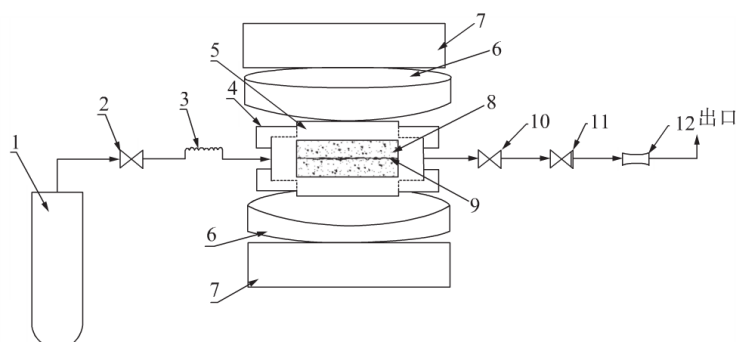


图 4 导流室主体示意图





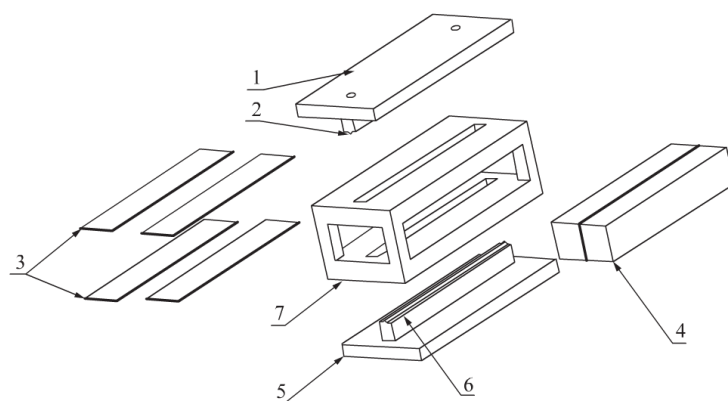
说明：

- 1——氮气瓶；
- 2——进口阀；
- 3——预热器；
- 4——导流室主体；
- 5——导流室活塞；
- 6——活塞盖板；
- 7——压力机；
- 8——自支撑裂缝岩板；
- 9——流体流动区；
- 10——出口阀；
- 11——回压阀；
- 12——流量计。

注：不按比例尺绘图。

图5 自支撑裂缝导流能力实验流程图

**5.2 剖缝器：**结构及组装排列图见图6，具体尺寸见图7、图8和图9。刀头材料应为4Cr13不锈钢材质。垫片采用橡胶或硅胶材质。



说明：

- 1——上刀头盖板；
- 2——上刀头；
- 3——硅胶垫片，厚度为3mm；
- 4——预制划痕岩板；
- 5——下刀头盖板；
- 6——下刀头；
- 7——剖缝器岩板夹持器。

注：不按比例尺绘图。

图6 剖缝器示意图

单位为毫米

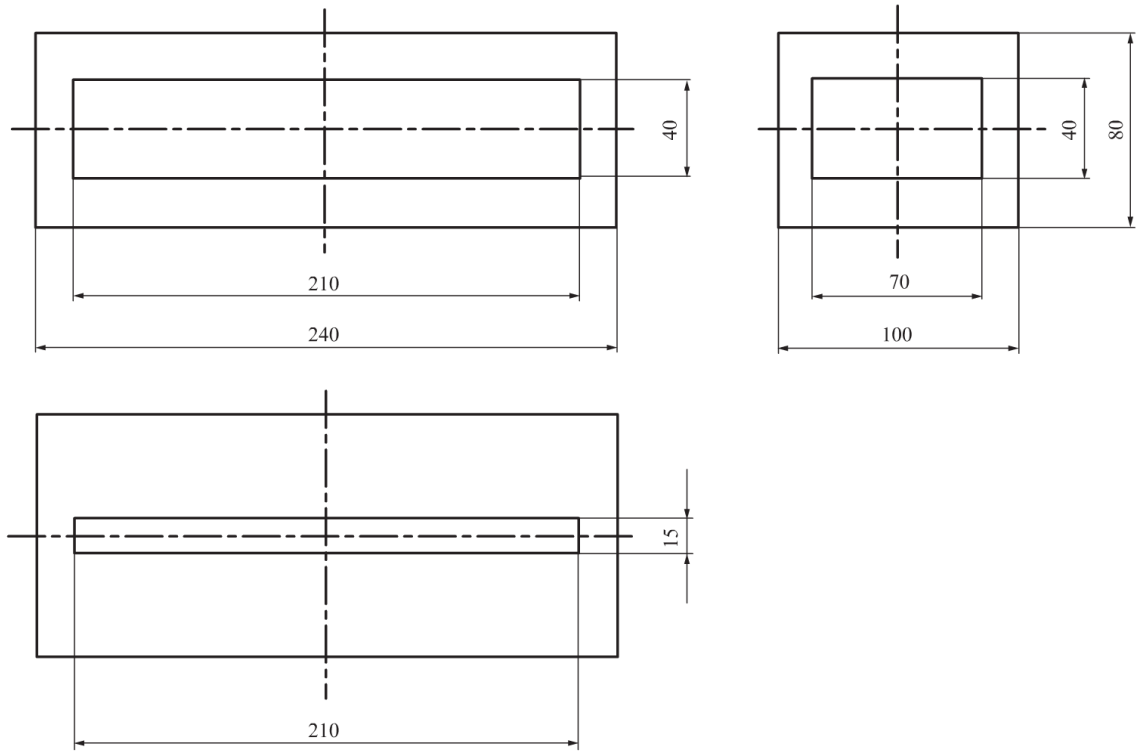


图 7 剖缝器岩板夹持器示意图

单位为毫米

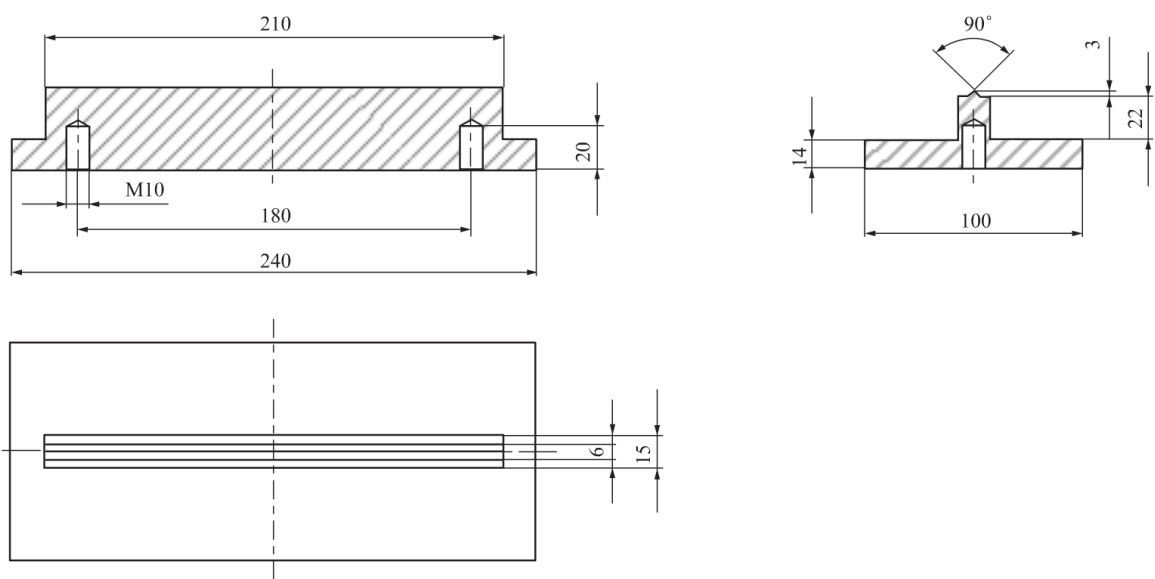


图 8 剖缝器上刀头及盖板示意图

单位为毫米

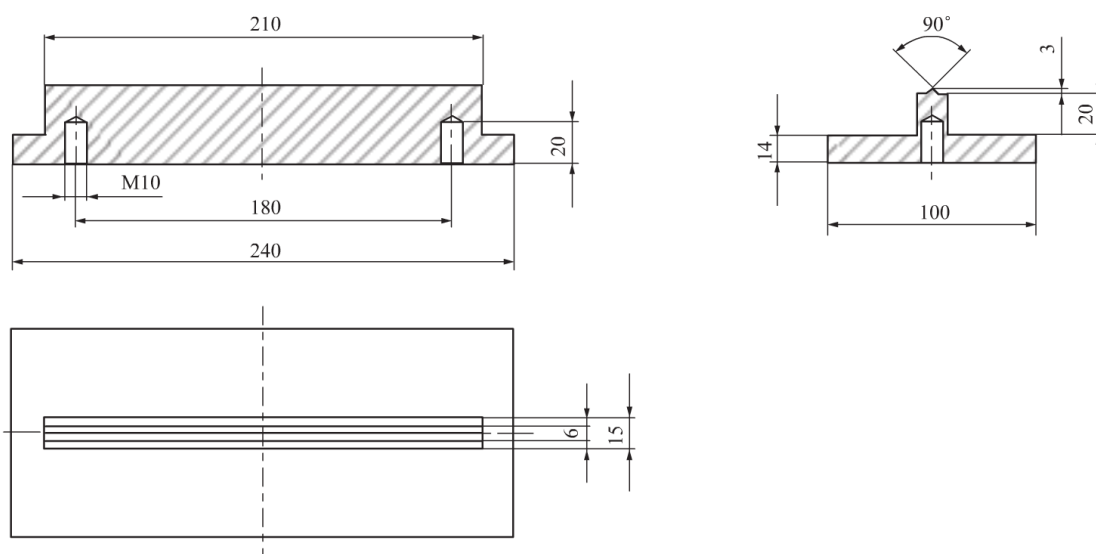
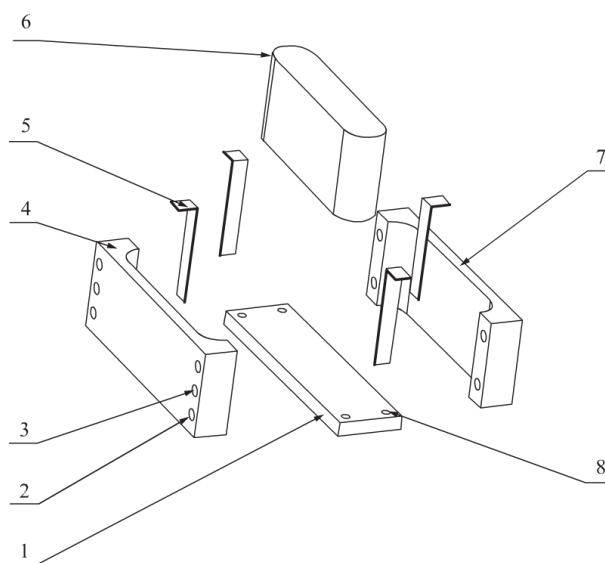


图 9 剖缝器下刀头及盖板示意图

5.3 灌封模具：结构及组装排列图见图 10，具体尺寸见图 11 和图 12。材料应为不锈钢材质。



说明：

- 1——底板；
- 2——紧固螺栓孔；
- 3——拆卸螺栓孔；
- 4——左挡板；
- 5——L 形垫片；
- 6——封装岩板；
- 7——右挡板；
- 8——底板紧固螺栓孔。

注：不按比例尺绘图。

图 10 灌封模具组装示意图

单位为毫米

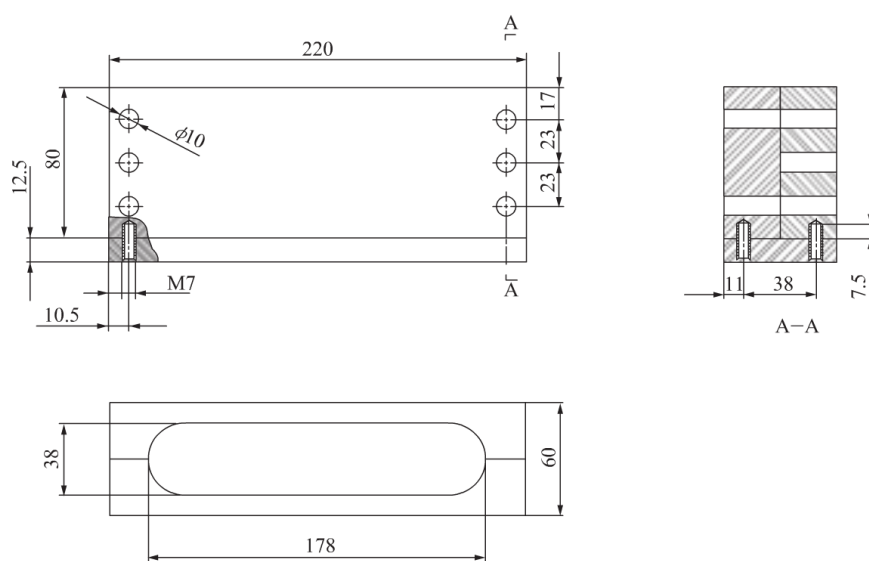
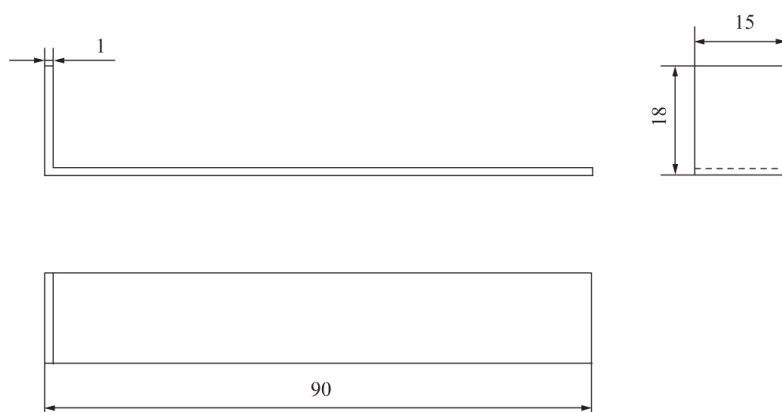


图 11 灌封模具示意图

单位为毫米



注：不按比例尺绘图。

图 12 L形垫片示意图

**5.4** 液压框架：按 SY/T 6302—2009 中 2.2.2 规定的设备要求。

**5.5** 位移计：量程 12mm，精度不低于 0.001mm。

**5.6** 流体驱替系统：包括氮气瓶及流量控制阀，流量范围应在 5mL/min ~ 300mL/min，固定流量下流量变化不大于 1%。

**5.7** 压差传感器：量程 0kPa ~ 10kPa，精度不低于 0.01kPa。

**5.8** 压力传感器：量程 0kPa ~ 6MPa，精度不低于 0.01MPa。

**5.9** 回压调节器：回压调节器调节范围 0MPa ~ 6MPa，精度不低于 0.01MPa。

**5.10** 体积流量计：量程 0mL/min ~ 300mL/min，精度不低于满量程的 0.1%。

**5.11** 温度控制系统：包括加热设备和温度控制设备。预热器及导流室的温度应维持在设定温度的  $\pm 1^\circ\text{C}$  范围内。

**5.12** 载荷测量装置：在液压柱塞和框架平台之间应有一温度补偿的电子式压力传感器，确定施加在导流室上的闭合压力。

**5.13** 数据采集系统：可实时读取并记录位移计、压差传感器、压力传感器、体积流量计、温度控制系统及载荷测量装置的测试参数。最小采样时间不大于 1s，可连续记录时间不低于 120h。

**5.14** 切割机：试样加工尺寸长不少于 200mm，宽不少于 50mm，高不少于 80mm。

**5.15** 岩心端面研磨机：试样加工尺寸长不少于 200mm，宽不少于 50mm，高不少于 80mm，精度不低于 0.02mm。

**5.16** 岩样端面磨圆机（或线切割机）：试样加工尺寸长不少于 200mm，宽不少于 50mm，高不少于 80mm，精度不低于 0.02mm。

**5.17** 天平：量程为 1000g，精度不低于 0.1g。

**5.18** 盒式气压计：精度不低于 2hPa。

**5.19** 游标卡尺：精度不低于 0.02mm。

**5.20** 深度规：精度 0.005mm，量程 12.7mm。

**5.21** 雕刻刀：刀头采用 SK2 模具钢。

**5.22** 烧杯：100mL。

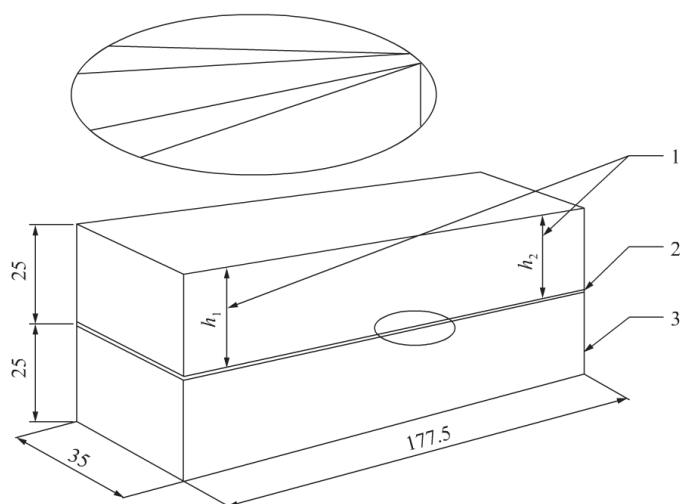
## 6 自支撑裂缝岩板制备

### 6.1 预制划痕岩板的制备

**6.1.1** 使用切割机和岩心端面研磨机将岩样加工为长  $177.5\text{mm} \pm 0.2\text{mm}$ ，宽  $35.0\text{mm} \pm 0.2\text{mm}$ ，厚度  $50\text{mm} \pm 0.2\text{mm}$  的岩板。

**6.1.2** 用雕刻刀在岩板中部沿岩板劈裂方向预制划痕，见图 13。划痕应平直，划痕上沿任意两点距岩板上表面的高度差小于 1mm。用游标卡尺测定划痕宽度，应小于 1mm。用深度规测定划痕深度，应小于 1mm。

单位为毫米



说明：

1——划痕两端距岩板上表面高度；

2——岩板中部预制划痕；

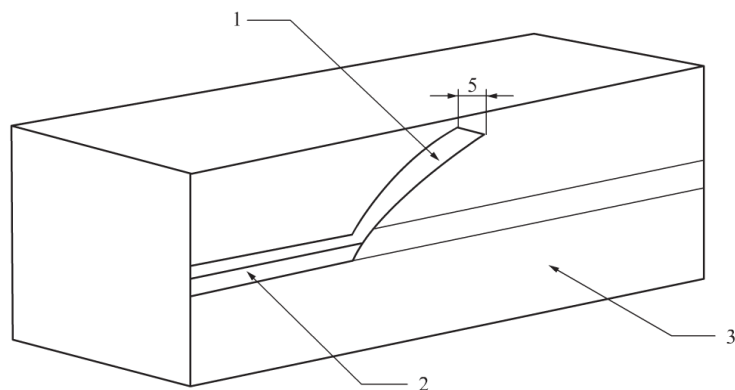
3——岩板。

注：不按比例尺绘图。

图 13 岩板预制划痕示意图

6.1.3 用透明胶带包裹岩板的六个面，胶带层数应为一层。用美工刀沿着预制划痕去除其周围 5mm 宽的透明胶带，见图 14。

单位为毫米



说明：

- 1——去除的透明胶带；
- 2——岩板中部预制划痕；
- 3——透明胶带包裹后的岩板。

注：不按比例尺绘图。

图 14 透明胶密封和部分去除示意图

6.1.4 用天平称量预制划痕岩板质量  $W_0$ 。

## 6.2 岩板人工劈裂

6.2.1 安装剖缝器下刀头及下刀头垫片。

6.2.2 将预制划痕岩板装入剖缝器。

6.2.3 安装剖缝器上刀头及上刀头垫片。将装载有岩板的剖缝器放入液压框架的两平行板之间，剖缝器下刀头应对准岩板中部预制划痕。

6.2.4 调整液压框架上平行板位置，使其与剖缝器的上盖板接触。

6.2.5 启动液压机缓慢加压直至岩样破裂，液压机加载速率为 10kN/min。

注：劈裂时如发现液压机压力突然下降但岩样并未完全劈裂时，应继续加压直至岩样完全劈裂。

6.2.6 用天平称量劈裂后岩板的质量  $W_1$ 。

6.2.7 劈裂后岩板与预制划痕岩板质量差 ( $W_0 - W_1$ ) 应小于 5g，否则应重新制样。

## 6.3 上下岩板错位固定

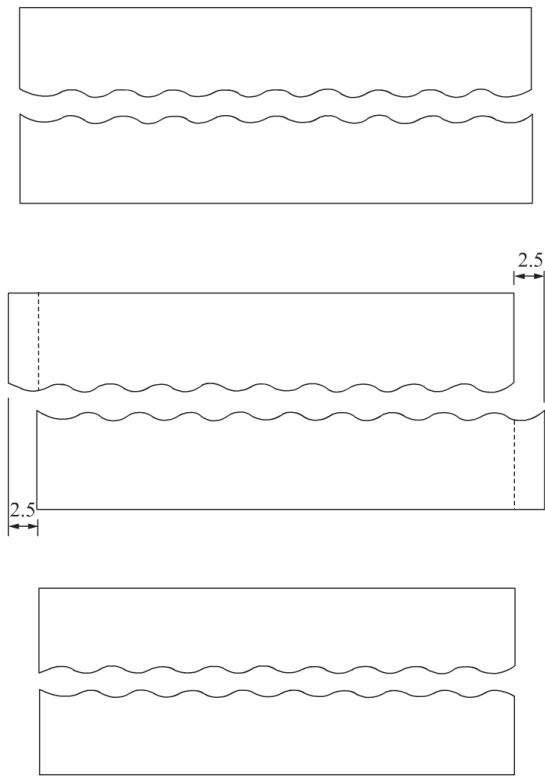
6.3.1 将人工劈裂后的岩板沿劈裂面进行错位，错位量  $2.5\text{mm} \pm 0.2\text{mm}$ ，见图 15。

6.3.2 利用研磨机打磨掉剪切滑移后上岩板左侧和下岩板右侧各  $2.5\text{mm} \pm 0.2\text{mm}$  长度的岩样，上下岩板加工后尺寸均为：长  $175.0\text{mm} \pm 0.2\text{mm}$ ，宽  $35.0\text{mm} \pm 0.2\text{mm}$  的方形岩板，见图 15。

6.3.3 用端面磨圆机将上下岩板长度方向两端打磨为直径  $35.0\text{mm} \pm 0.5\text{mm}$  的圆弧，见图 16。

6.3.4 测试岩板尺寸，包括岩板宽度  $W$ ，岩板总长度  $L$ ，岩板圆弧段半径  $r$ ，岩板厚度  $h$ （见图 16），并计算错位后岩板的承压面积  $S$ 。

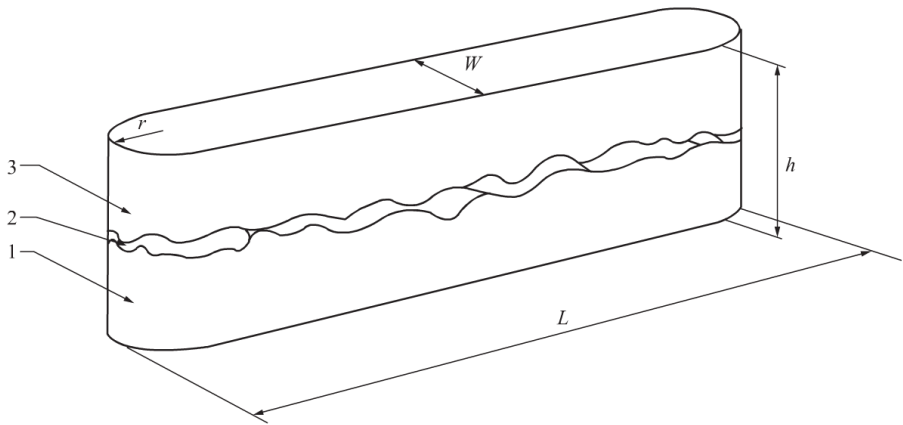
单位为毫米



注：不按比例尺绘图。

图 15 岩样剪切滑移示意图

单位为毫米

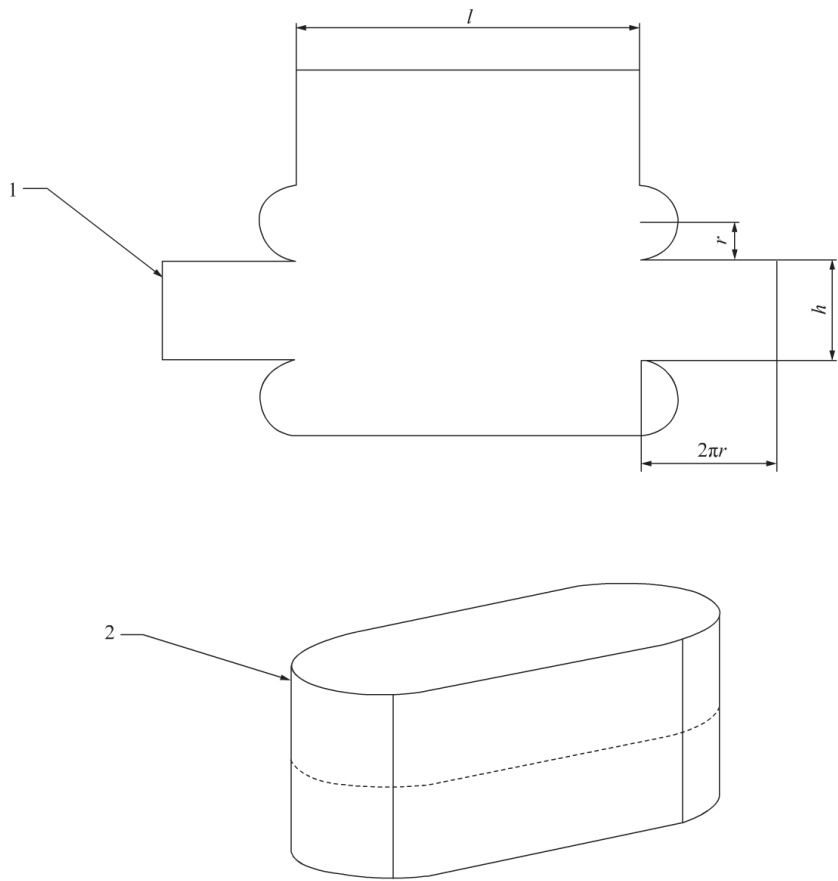


说明：  
1——端面磨圆后的下岩板；  
2——自支撑裂缝；  
3——端面磨圆后的上岩板。  
注：不按比例尺绘图。

图 16 上下岩板端面打磨圆弧示意图

6.3.5 根据 6.3.4 中测量的错位后岩板尺寸，将背胶纸剪成图 17 所示的形状和大小，然后用背胶纸包裹固定剪切错位后的上下岩板，见图 17。

单位为毫米



说明：  
1——背胶纸；  
2——固定密封后岩板。  
注：不按比例尺绘图。

图 17 背胶固定密封岩样示意图

6.3.6 用游标卡尺测量固定密封后岩板三个不同位置的厚度，每个位置之间相距至少 5cm。三个不同位置的岩板厚度的最大值与最小值之差应不大于 0.2mm。

6.4 岩板灌封

6.4.1 在灌封模具的底板和挡板内表面覆盖一层透明胶带。在胶带表面均匀涂抹凡士林，使用量 2g ~ 3g。组装灌封磨具。

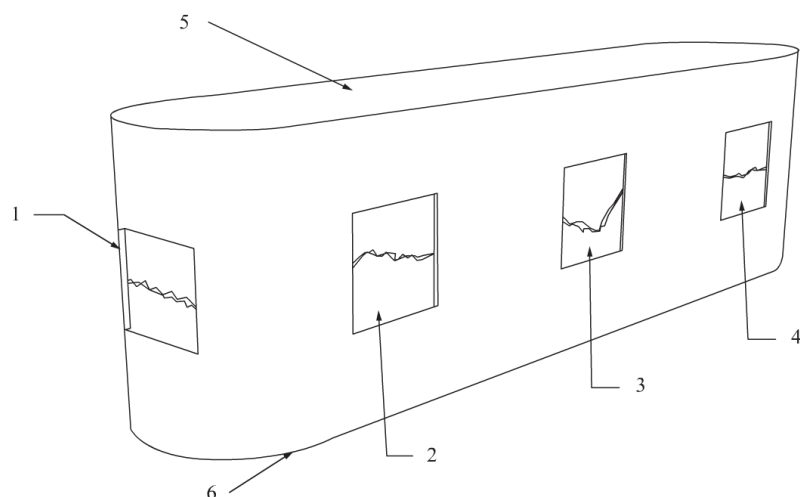
6.4.2 将灌封胶 A 组分和 B 组分按质量比 1 : 1 倒入烧杯中混合，用玻璃棒搅拌 15min 后倒入组装好的灌封模具内，灌封胶总使用量 50g ~ 70g。

注：手工混合时动作一定要轻，并保证匀速均匀搅拌以免带入更多气泡。灌封胶在没有混合好的情况下不会固化或固化不良。灌封胶操作时间为 40min，室温下完全固化一般为 24h 左右（不含混合时间）。

6.4.3 将固定密封后的岩板放入灌封模具内，并用玻璃棒将岩板压到灌封模具底部。



- 6.4.4 紧贴灌装模具内壁的四个侧面，插入 L 形垫片使岩板居中，20min 后取出垫片。
- 6.4.5 待灌封胶自然凝固后，拆卸灌封模具，取出覆胶岩板。
- 6.4.6 观察覆胶岩板表面，如存在直径大于 3mm 的气泡则需用刀刮除灌封胶，重复 6.4.1 至 6.4.5。
- 6.4.7 用美工刀去除覆胶岩板测压口及流体进出口位置的灌封胶，开启流体进出口和测压口。流体进出口和测压口形状应为边长  $2\text{cm} \pm 1\text{mm}$  的正方形，见图 18。
- 6.4.8 用美工刀去除覆胶岩板上下表面的灌封胶，见图 18。



说明：

1——流体进 / 出口；

2, 3, 4——测压口；

5——覆胶岩板上表面；

6——覆胶岩板下表面。

注：不按比例尺绘图。

图 18 流体进出口和测压口开启示意图

## 7 自支撑裂缝导流能力测定

### 7.1 导流室准备

#### 7.1.1 安装导流室筛网

在导流室的流体进出口、压力测量端口等所有端口处放置筛网。筛网面应与导流室接头及导流室内表面平齐。每次实验后应更换筛网。

#### 7.1.2 装载自支撑裂缝岩板及底部活塞

7.1.2.1 在自支撑裂缝岩板周围均匀涂抹凡士林（用量  $2\text{g} \sim 3\text{g}$ ）后，将其装入导流室中。

7.1.2.2 装载底部活塞，其安装位置需使自支撑裂缝岩板上的流体进出口和测压口与导流室流体进出口及测压口对齐。调平底部活塞，使自支撑岩板两端高度相差小于  $0.02\text{mm}$ ，紧固下部活塞固定螺栓孔。

#### 7.1.3 装载顶部活塞

7.1.3.1 将顶部活塞装入导流室中。

7.1.3.2 调整顶部活塞位置，使其与自支撑裂缝岩板接触。

#### 7.1.4 安装导流室接头

将导流室流体进出口和测压口接头安装在导流室主体上。

### 7.2 导流室安装

7.2.1 将安装好的导流室放在液压载荷系统的两个平板之间，启动液压载荷系统，将导流室闭合压力加载至 3.225kN。

7.2.2 连接导流室流体注入管线及测压管线。

### 7.3 渗漏测试

#### 7.3.1 液压载荷框架

按 SY/T 6302—2009 中 2.4.1 规定的测试要求。

#### 7.3.2 实验流体系统

每次实验前均需进行渗漏检验。完整的实验流体系统包括氮气瓶、减压阀、管线、接头和导流室设备。设置系统回压为 1MPa，关闭系统进出口，5min 内压力变化应不超过 0.01MPa。

### 7.4 自支撑裂缝导流能力实验装置加热

7.4.1 根据目标层位温度，设定实验温度。

7.4.2 在温度加载至设定温度后，用温度传感器每隔 30s 测量温度值。当相邻两次测试结果相差在  $\pm 1^\circ\text{C}$  以内，说明系统温度达到稳定状态。

### 7.5 导流室闭合压力加载

7.5.1 根据目标层位闭合应力及 6.3.4 中测量的自支撑裂缝岩板受力面积  $S$ ，设定实验测试的闭合压力值。

7.5.2 将位移计归零。将导流室加载至设定压力，加载速率为 3500kPa/min。

7.5.3 每 2min 用位移计测量压力框架上活塞盖板与下活塞盖板之间的宽度变化值。当相邻 3 次测量结果相差在 1.0% 以内，表明系统达到稳定状态。只有闭合压力达到稳定状态才能开始测试。

### 7.6 氮气注入

7.6.1 流速范围设定在 50mL/min ~ 300mL/min。

7.6.2 向导流室内缓慢注入氮气，流速达到设定流速后，通过流量传感器每隔 5s 测量流量值 ( $Q$ )。连续 4 次测试结果相差在  $\pm 1\%$  以内，说明系统流量达到稳定状态。开始记录实验数据。

## 8 自支撑裂缝导流能力计算

达西流动条件下，自支撑裂缝导流能力的计算见公式 (1)：

$$F_{\text{CD}} = \frac{5 \times 10^3}{3} \times \frac{Qp\mu L}{w\Delta p p} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

$F_{CD}$ ——导流能力，单位为达西厘米（D·cm）；  
 $w$ ——岩板宽度，单位为厘米（cm）；  
 $Q$ ——流体流速，单位为立方厘米每分钟（cm<sup>3</sup>/min）；  
 $p$ ——盒式气压计压力值，单位为兆帕（MPa）；  
 $\mu$ ——测试温度条件下流体黏度，单位为毫帕秒（mPa·s），该黏度值见表 A.1；  
 $L$ ——导流室压差检测孔之间的长度，单位为厘米（cm）；  
 $\Delta p$ ——导流室进出口端压差，单位为千帕（kPa）；  
 $\bar{p}$ ——导流室中部绝对压力，单位为兆帕（MPa）。

## 9 数据报告

报告应列举所有的实验参数，如样品编号、实验流体、初始缝宽、测试时间和测试压力参数下测试流体的黏度、导流能力等。实验数据报告见表 B.1。

附 录 A  
(资料性附录)  
氮气黏度表

氮气在不同温度及压力下的黏度见表 A.1。

表 A.1 氮气黏度表

温度 ℃	黏度, $10^{-2}\text{mPa} \cdot \text{s}$											
	压力, MPa											
	0.1	2	5	10	15	20	30	40	50	60	70	80
0	1.665	1.695	1.755	1.900	2.085	2.310	2.755	3.185	3.625	4.050	—	—
25	1.765	1.800	1.860	1.990	2.140	2.305	2.680	3.075	3.460	3.850	4.225	4.580
50	1.880	1.905	1.955	2.055	2.175	2.315	2.640	2.995	3.335	3.670	3.995	4.325
75	1.985	2.010	2.050	2.145	2.245	2.360	2.655	2.965	3.270	3.570	3.865	4.165
100	2.090	2.115	2.155	2.230	2.325	2.430	2.685	2.960	3.235	3.505	3.775	4.030
150	2.280	2.300	2.335	2.395	2.470	2.560	2.750	2.960	3.175	3.385	3.590	3.790
200	2.460	2.480	2.505	2.565	2.625	2.695	2.845	3.000	3.155	3.310	3.460	3.610
250	2.635	2.650	2.670	2.720	2.775	2.825	2.940	—	—	—	—	—

附 录 B  
(资料性附录)  
实验报告数据表

页岩气自支撑裂缝导流能力测试实验数据按表 B.1 记录。

表 B.1 实验报告数据表

样品编号：_____ 实验流体：_____ 初始缝宽：_____ mm								
序号	温度 ℃	闭合压力 MPa	氮气黏度 mPa·s	回压 MPa	流量 mL/min	中值压力 MPa	压差 kPa	导流能力 μm <sup>2</sup> ·cm
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								
11								
12								
13								
14								
15								
16								
17								
...								





中华人民共和国  
能源行业标准  
页岩气自支撑裂缝导流能力测定推荐方法  
NB/T 10120—2018

\*

石油工业出版社出版  
(北京安定门外安华里二区一号楼)  
北京中石油彩色印刷有限责任公司排版印刷  
新华书店北京发行所发行

\*

880×1230 毫米 16 开本 1.5 印张 40 千字 印 1—500  
2019 年 5 月北京第 1 版 2019 年 5 月北京第 1 次印刷  
书号：155021·7948 定价：30.00 元  
版权专有 不得翻印