



中华人民共和国工业和信息化部建材计量技术规范

JJFZ(建材)00X—20XX

## 油井水泥增压稠化仪校准规范

Calibration Specification for Pressurized Consistometer of Well Cement

(征求意见稿)

××××-××-××发布

××××-××-××实施

中华人民共和国工业和信息化部 发布

# 油井水泥增压稠化仪校 准规范

**Calibration Specification for Pressurized  
Consistometer of Well Cement**

JJFZ(建材)00X—20XX

本规范经中华人民共和国工业和信息化部××××年××月××日批准，并自××××年××月××日起实施。

归口单位：中国建筑材料联合会

主要起草单位：中国国检测试控股集团股份有限公司

参与起草单位：

本规范委托全国建材工业计量技术委员会负责解释

本规范主要起草人：

姓名 [中国国检测试控股集团股份有限公司]

姓名 [中国国检测试控股集团股份有限公司]

姓名 [中国国检测试控股集团股份有限公司]

参加起草人：

姓名 [中国国检测试控股集团股份有限公司]

姓名 [单位名称]

# 目 录

1	范围 .....	1
2	引用文件 .....	1
3	概述 .....	1
4	计量特性 .....	1
5	校准条件 .....	2
5.1	环境要求 .....	2
5.2	校准用标准器 .....	2
6	校准项目和校准方法 .....	2
6.1	校准项目 .....	2
6.2	校准前准备 .....	2
6.3	温度偏差 .....	3
6.4	压力偏差 .....	3
6.5	传动轴转速偏差 .....	4
6.6	时间示值误差 .....	4
6.7	稠化时间偏差 .....	5
7	校准结果表达 .....	5
8	复校时间间隔 .....	6
附 录 A	.....	7
附 录 B	.....	8
附 录 C	.....	10
附 录 D	.....	13
附 录 E	.....	16
附 录 F	.....	18
附 录 G	.....	20

## 引言

本规范依据 JJF 1001-2011《通用计量术语及定义》、JJF 1071-2010《国家计量校准规范编写规则》编制，根据 JJF1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》的要求评定不确定度。本规范参考了 GB/T 10238-2015《油井水泥》、GB/T 19139-2012《油井水泥试验方法》中的油井水泥增压稠化仪的技术要求编写。

本规范为首次制定。

# 油井水泥增压稠化仪校准规范

## 1 范围

本规范适用于新制、使用中和检修后油井水泥增压稠化仪的校准。

## 2 引用文件

本规范引用了下列文件：

GB/T 10238-2015 油井水泥

GB/T 19139-2012 油井水泥试验方法

JC/T 2000-2018 油井水泥物理性能检测仪器

凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本规范；凡是不注明日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本规范。

## 3 概述

油井水泥增压稠化仪(以下简称增压稠化仪)是用于测定油井水泥浆在一定的温度和压力试验条件下稠化时间和 15-30min 稠度的专用仪器。

该仪器是由一个能承受一定温度和压力的釜体、一个装有搅拌浆叶的可旋转的圆筒式浆杯和测量稠度的电位计组成。浆杯和压力釜之间的加热介质采用专用矿物油。它的工作系统包括：稠度测量、温度控制和测量、压力表、计时器及传动部分。

## 4 计量特性

增压稠化仪计量特性见表 1。

序号	计量特性		技术要求
1	温度偏差		$\pm 2^{\circ}\text{C}$
	压力偏差		$\pm 1.7\text{MPa}$
	传动轴转速		$150\text{r/min} \pm 15\text{r/min}$
	计时器偏差		$\pm 30\text{s/h}$
2	稠化时间	90~120min	不大于标准样品证书不确定度
注：以上指标不用于合格性判定，仅供参考。			

## 5 校准条件

### 5.1 环境要求

5.1.1 环境温度保持  $23^{\circ}\text{C}\pm 3^{\circ}\text{C}$ 。

5.1.2 实验室应清洁，周围无腐蚀性气体。

### 5.2 校准用标准器

#### 5.2.1 温度测定仪

量程  $0^{\circ}\text{C}\sim 300^{\circ}\text{C}$ ，分度值不大于  $0.1^{\circ}\text{C}$ 。

#### 5.2.2 标准压力表

量程  $0\text{MPa}\sim 250\text{MPa}$ ，精确度 0.1 级。

#### 5.2.3 秒表

分度值不大于  $0.1\text{s}$ 。

#### 5.2.4 转速表

分度值不大于  $1\text{r/min}$ 。

#### 5.2.5 标准样品

稠化时间校准应采用国家有证标准样品，推荐使用 GSB 08-3910。

## 6 校准项目和校准方法

### 6.1 校准项目

校准项目包括温度偏差、压力偏差、传动轴转速偏差、计时器偏差、稠化时间误差。

### 6.2 校准前准备

测试前应对以下内容进行检查

6.2.1 仪器应带有铭牌(铭牌标志上应有仪器名称、型号、出厂编号、出厂日期、制造厂名等)、合格证和说明书。

6.2.2 外观不应带有影响正常工作的机械损伤。电缆线的接插件牢固。

6.2.3 仪器应置于平稳的工作台上，各紧固件均应紧固良好。各调节旋钮、按键和功能开关灵活可靠。电源线满足设备功率需求和安全要求。

6.2.4 仪器显示屏显示清晰完整。

### 6.3 温度偏差

打开增压稠化仪的电源开关，将养护油进入釜体，高度超过加热器至少 20mm，将标准温度电偶探头与设备温度感应点平齐捆绑到一起，放入到釜体油浴中部位置，依次给控制仪表编制升温程序，设定温度为 23℃、27℃、38℃、60℃、77℃和 95℃，目标温度至少稳定 15min（或使用标准水浴箱设定温度检测），打开加热器及电机给油浴加热升温，温度应由低至高间断地升温和恒温。注意在每次改变温度之后，至少应使温度稳定 15min，然后读取恒温时的标准温度测量仪（或标准温度计）和被测设备显示的温度值，每个温度点应测量两次，取平均值。

通过标准温度测量仪（或标准温度计）测得的温度值减去被测设备显示的温度值，计算得到该设定温度下被测仪器的温度误差值。

重复上述操作一次，按公式(1)计算两次差值的平均值，得到测定仪温度偏差。

$$\Delta_t = \frac{(t_1 - t_0) - (t_2 - t_0)}{2} \quad (1)$$

式中：

$\Delta_t$ —温度偏差，℃；

$t_0$ —测定仪设定温度，℃；

$t_1$ —温度测定仪第一次测量经修正后的温度，℃；

$t_2$ —温度测定仪第二次测量经修正后的温度，℃。

### 6.4 压力偏差

检测时，打开增压稠化仪的电源开关，上紧釜盖，将标准压力表拧入增压稠化仪釜盖的热电偶螺孔中，预留半扣，打开供气阀，当釜体内充满油后拧紧标准压力表，使整个系统处于密封状态。然后打开增压泵开关，使釜体内的压力达到所要求的设定值，应依次在(17.0±1.7)MPa、(34.0±1.7)MPa、(52.0±1.7)MPa 三个点进行检测。每个压力点升压测定一次，降压测定一次，每个测量点压力值稳定 1min，读取标准压力表和被测设备显示的压力数值并记录，精确至 0.1MPa。测定的两次数取平均值，精确至 0.1MPa。通过标准压力表测得压力值减去增压稠化仪显示压力值，计算得到该设定压力下仪器的压力误差值。

重复上述操作一次，按公式(2)计算两次差值的平均值，得到增压稠化仪压力偏差。

$$\Delta_h = \frac{(h_1 - h_0) + (h_2 - h_0)}{2} \quad (2)$$

式中：



$\Delta_h$ —压力偏差, MPa;

$h_0$ —增压稠化仪设定压力, MPa;

$h_1$ —压力测定仪第一次测量经修正后的压力, MPa;

$h_2$ —压力测定仪第二次测量经修正后的压力, MPa。

## 6.5 传动轴转速偏差

将反光片贴在增压稠化仪底部旋转轴的黑胶带上, 然后打开电机开关, 将转速表的测量光束垂直照射于反光片上, 按下测量键, 显示其转速, 待转速稳定时记录转速, 精确到 1r/min。测量两次, 取平均值, 修约至 1r/min。通过转速表测得数值减去增压稠化仪显示转速数值, 得到该仪器电机的转速误差值。

重复上述操作一次, 按公式(3)计算两次差值的平均值, 得到测定仪时间示值误差。

$$\Delta_R = \frac{(R_S - R_1) + (R_S - R_2)}{2} \quad (3)$$

式中:

$\Delta_R$ —传动轴转速误差, r/min;

$R_S$ —增压稠化仪设定转速, r/min;

$R_1$ —转速表第一次测量转速, r/min;

$R_2$ —转速表第二次测量转速, r/min。

## 6.6 时间示值误差

按照测定仪使用说明书启动机器, 启动计时装置, 同时按下秒表, 计时装置计时至 3600s 同时停止秒表, 记录设备计时装置显示的时间与秒表显示时间, 并计算差值。

重复上述操作一次, 按公式(4)计算两次差值的平均值, 得到测定仪时间示值误差。

$$\Delta_T = \frac{(T_S - T_1) + (T_S - T_2)}{2} \quad (4)$$

式中:

$\Delta_T$ —时间示值误差, s;

$T_S$ —测定仪设定时间, s;

$T_1$ —秒表第一次测量时间, s;

$T_2$ —秒表第二次测量时间, s。

## 6.7 稠化时间偏差

使用油井水泥稠化时间标准样品按照标准样品证书中的使用方法测定油井水泥的稠化时间。使用此标准样品时，首先检查真空密封状态是否完好，标准样品要在规定温度的实验室恒温放置 24h 以上，然后去掉外包装，打开密封袋，将样品松散全部通过 0.90mm 的方孔筛后搅拌均匀，立即进行稠化时间试验。取 2 次试验的平均值作为稠化时间的最终结果。

计算稠化时间数值与标准样品标准值  $q_0$  的偏差  $\Delta_x$ ，见公式 (5)

$$\Delta_x = \frac{(X_1 + X_2)}{2} - X_0 \quad (5)$$

式中：

$\Delta_x$ ——稠化时间偏差，min；

$X_1$ ——第一次试验稠化时间值，min；

$X_2$ ——第二次试验稠化时间值，min；

$X_0$ ——标准样品稠化时间，min。

## 7 校准结果表达

校准结果应在校准证书（报告）上反映，校准证书（报告）应至少包含以下信息：

- a) 标题：“校准证书”；
- b) 实验室名称和地址；
- c) 进行校准的地点（如果与实验室的地址不同）；
- d) 证书的唯一性标识（如编号），每页及总页数的标识；
- e) 客户的名称和地址；
- f) 被校准对象的描述和明确标识；
- g) 进行校准的日期，如果与校准结果的有效性和应用有关时，应说明被校准对象的接收日期；
- h) 如果与校准结果的有效性和应用有关时，应对被校样品的抽样程序进行说明；
- i) 校准所依据的技术规范的标识，包括名称及代号；
- j) 本次校准所用测量标准的溯源性及有效性说明；
- k) 校准环境的描述；
- l) 校准结果及其测量不确定度的说明；
- m) 对校准规范的偏离的说明；
- n) 校准证书或校准报告签发人的签名、职务或等效标识；

- o) 校准结果仅对被校对象的有效声明；
- p) 未经实验室书面批准，不得部分复制证书或报告的声明。

## 8 复校时间间隔

建议复校时间间隔为一年，在使用过程中经过修理、更换重要器件等的一般需要重新校准。

由于复校时间间隔的长短是由油井水泥增压稠化仪的使用情况、使用方法、仪器本身质量等诸因素所决定的，因此，可根据仪器实际使用情况自行确定复校时间间隔。

## 附录 A

## 校准证书内页格式

设备名称			设备编号	
使用地点			校准日期	
校准依据	水泥凝结时间自动测定仪校准规范			
环境条件	温度 (°C)		压力 (%RH)	
校准地点				
校准所用计量器具				
名称/型号	准确度等级	证书编号		证书有效期
外观功能检查结果				
校准项目	数据		测量不确定度	
温度偏差 (°C)			$U=$ , $k=2$	
压力偏差 (MPa)			$U=$ , $k=2$	
传动轴转速偏差 (r/min)			$U=$ , $k=2$	
计时器偏差 (s/h)			$U=$ , $k=2$	
稠化时间误差 (min)			$U=$ , $k=2$	

## 附录 B

## 校准记录参考格式

校准单位			记录编号			
仪器名称			规格型号			
制造厂名			出厂编号			
技术依据			仪器类别			
校准设备及标准样品						
名称	型号规格	证书编号	技术特征	备注		
环境条件和设施						
序号	项目	要求	现场			
1	温度	$20^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$				
2	相对压力	/				
3	环境条件	仪器置于水平无震动的工作台上。实验室应清洁,周围无腐蚀性介质和无较强电磁场干扰,测试台面应水平。				
4	外观及初步检查	仪器应带有铭牌、合格证和说明书,不应带有影响正常工作的机械损伤。				
计量特性						
1	温度偏差 ( $^{\circ}\text{C}$ )	技术要求	$\pm 2^{\circ}\text{C}$			
		测定点/ $^{\circ}\text{C}$	$t_0/^{\circ}\text{C}$	$t_1/^{\circ}\text{C}$	$t_2/^{\circ}\text{C}$	$\Delta t/^{\circ}\text{C}$
		23				
		27				
		38				
		60				
		77				
		95				
2	压力偏差	技术要求	$\pm 1.7\text{MPa}$			

JJFZ(建材)00X—20XX

		测定点/MPa	$h_0$ /MPa	$h_1$ /MPa	$h_2$ /MPa	$\Delta_h$ /MPa
		17				
		34				
		52				
3	时间示值 误差 (s s/h)	技术要求	$\pm 30\text{s/h}$			
		3600s	$T_s$	$T_1$	$T_2$	$\Delta_T$
4	传动轴转 速偏差 (r/min)	技术要求	$\pm 15\text{ r/min}$			
		150r/min	$R_s$	$R_1$	$R_2$	$\Delta_R$
8	稠化时间 误差 (min)	技术要求	不大于标准样品证书初凝时间不确定度			
		测定点	$X_0$	$X_1$	$X_2$	$\Delta_x$
		数据				

## 附录 C

### 温度偏差校准不确定度评定示例

#### C.1 概述

C.1.1 校准方法：按照 6.3 温度偏差校准方法。

C.1.2 环境条件：22.0℃，周围无腐蚀性气体。

C.1.3 校准标准器：量程 0℃～300℃，分度值不大于 0.1℃。

C.1.4 校准点：23℃。

#### C.2 数学模型

校准的数学模型如公式 (C.1) 所示

$$\Delta t = t_s - t \quad (\text{C.1})$$

式中：

$\Delta t$  — 温度偏差，℃

$t$  — 测定仪温度显示平均值，℃

$t_s$  — 修正后温度测定仪显示平均值，℃。

灵敏系数：

$$c_1 = \frac{\partial \Delta t}{\partial t} = 1, c_2 = \frac{\partial \Delta t}{\partial t_s} = -1$$

各分量不确定度来源彼此独立不相关，所以温度校准过程合成标准不确定度

$$u_c(\Delta t) = \sqrt{c_1^2 u^2(t) + c_2^2 u^2(t_s)} \quad (\text{C.2})$$

#### C.3 不确定度来源分析

由数学模型分析，影响测量的不确定度主要有以下几点：

(1) 被校设备温度测量显示引入的不确定度  $u(t)$ ，包含被校设备测量重复性引入的不确定度  $u_1(t)$  和分辨力引入的不确定度  $u_2(t)$ ；

(2) 温度测定仪引入的不确定度  $u(t_s)$ ，包含温度测定仪测量重复性引入的不确定度  $u_1(t_s)$  和分辨力引入的不确定度  $u_2(t_s)$ 、修正值引入的不确定度  $u_3(t_s)$ 。

#### C.4 各分量的标准不确定度评定

C.4.1 被校设备温度测量显示引入的不确定度  $u(t)$

a、被校设备测量重复性引入的不确定度  $u_1(t)$

设置增压稠化仪的温度为 23℃，稳定 30min 后，记录测定仪温度显示值，重复进行上述操作 10 次，测得数据如下：

表 2 测定仪温度显示值数据

显示值/℃										平均值 $t$ /℃
23.1	23.0	23.0	23.0	23.1	22.9	23.1	23.0	22.9	23.0	23.0

$$\text{用贝塞尔公式标准偏差: } s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (s_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 0.074^\circ\text{C}$$

实际测量 2 次，以 2 次测量的平均值为准，则：  $u_1(t) = s / \sqrt{2} = 0.052^\circ\text{C}$

b、被校设备温度分辨力引入的不确定度  $u_2(t)$

被校设备温度分辨力为 0.1 °C，按均匀分布，取包含因子  $k=\sqrt{3}$ ，则：

$$u_2(t) = \frac{0.1}{2\sqrt{3}} = 0.029^\circ\text{C}。$$

被校设备温度测量显示引入的不确定度：

$$u(t) = u(t) = \sqrt{u_1(t)^2 + u_2(t)^2} = \sqrt{0.052^2 + 0.029^2} = 0.060^\circ\text{C}$$

C. 4. 2 温度测定仪引入的不确定度  $u(t_s)$

a、温度测定仪重复性引入的不确定度  $u_1(t_s)$

设置增压稠化仪的温度为 23℃，稳定 30min 后，记录温度测定仪测量值，重复进行上述操作 10 次，测得数据如下：

表 3 温度测定仪测量值数据

测量值/℃										平均值 $t_s$ /℃
23.15	23.25	23.28	23.13	22.82	22.95	23.03	22.88	23.26	22.94	23.07

$$\text{通过贝塞尔公式计算标准偏差: } s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 0.17^\circ\text{C}$$

实际测量 2 次，以 2 次测量的平均值为准，则：  $u_1(t_s) = s / \sqrt{2} = 0.12^\circ\text{C}$

b、温度测定仪分辨力引入的不确定度  $u_2(t_s)$

温度测定仪分辨力为 0.1 °C，按均匀分布，取包含因子  $k=\sqrt{3}$ ，则：

$$u_2(t_s) = \frac{0.1}{2\sqrt{3}} = 0.03^\circ\text{C}$$

c、温度测定仪溯源校准修正值引入的不确定度  $u_3(t_s)$



根据温度测定仪的溯源证书，证书给的不确定度为  $U=0.10^{\circ}\text{C}$ ， $k=2$  按正态分布，则：

$$u_3(t_s) = \frac{0.1}{2} = 0.05^{\circ}\text{C}$$

### C.5 标准不确定度汇总

表 4 温度偏差标准不确定度汇总表

标准不确定度分量来源	标准不确定度分量值
被校设备测量重复性引入的不确定度 $u_1(t)$	$0.052^{\circ}\text{C}$
被校设备温度分辨力引入的不确定度 $u_2(t)$	$0.029^{\circ}\text{C}$
温度测定仪测量重复性引入的不确定度 $u_1(t_s)$	$0.12^{\circ}\text{C}$
温度测定仪分辨力引入的不确定度 $u_2(t_s)$	$0.03^{\circ}\text{C}$
温度测定仪溯源校准修正值引入的不确定度 $u_3(t_s)$	$0.05^{\circ}\text{C}$

### C.6 合成不确定度、扩展不确定度的计算

#### C.6.1 合成标准不确定度

由于各个分量彼此不相关，则合成不确定度依据公式 (2) 计算，可得

$$u_c(\Delta t) = \sqrt{0.060^2 + 0.12^2 + 0.05^2} = 0.15^{\circ}\text{C}$$

#### C.6.2 扩展不确定度

取包含因子  $k=2$ ，扩展不确定度  $U$  可以按照公式  $U = u_c \cdot k$  进行计算，得到：

$$U = 0.15 \times 2 = 0.30^{\circ}\text{C}, \quad k=2。$$

## 附录 D

## 压力偏差校准不确定度评定示例

## D.1 概述

D.1.1 校准方法：按照 6.4 压力偏差校准方法。

D.1.2 环境条件：22.0℃，周围无腐蚀性气体。

D.1.3 校准标准器：量程 0MPa～250MPa，精确度 0.1 级

D.1.4 校准点：34.0MPa。

## D.2 数学模型

校准的数学模型如公式 (D.1) 所示：

$$\Delta H = H - H_s \quad (\text{D.1})$$

式中：

$\Delta H$ —压力偏差，MPa；

$H$ —增压稠化仪压力显示平均值，MPa；

$H_s$ —修正后压力测量平均值，MPa。

灵敏系数： $c_1 = \frac{\partial \Delta H}{\partial H} = 1, c_2 = \frac{\partial \Delta H}{\partial H_s} = -1$

各分量不确定度来源彼此独立不相关，所以温度校准过程合成标准不确定度

$$u_c(\Delta H) = \sqrt{c_1^2 u^2(H) + c_2^2 u^2(H_s)} \quad (\text{D.2})$$

## D.3 不确定度来源分析

由数学模型分析，影响测量的不确定度主要有以下几点：

(1) 被校设备压力测量显示引入的不确定度  $u(H)$ ，包含被校设备测量重复性引入的不确定度  $u_1(H)$  和分辨力引入的不确定度  $u_2(H)$

(2) 压力测定仪引入的不确定度  $u(H_s)$ ，包含压力测定仪测量重复性引入的不确定度  $u_1(H_s)$ 、分辨力引入的不确定度  $u_2(H_s)$  和修正值引入的不确定度  $u_3(H_s)$ 。

## D.4 各分量的标准不确定度评定

D.4.1 被校设备压力测量显示引入的不确定度  $u(H)$

a、被校设备压力测量重复性引入的不确定度  $u_1(H)$

设置增压稠化仪的压力为 34.0MPa，稳定 1min 后，记录被校设备压力显示值，重复进行

上述操作 10 次，测得数据如下：

表 5 测定仪压力显示值数据

显示值/%										平均值 $H$ /%
34	33	33	33	34	34	34	34	34	34	95

$$\text{用贝塞尔公式标准偏差: } s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (s_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 0.49 \text{MPa}$$

实际测量 2 次，以 2 次测量的平均值为准，则：  $u_1(H) = s / \sqrt{2} = 0.35 \text{MPa}$

b、被校设备压力分辨力引入的不确定度  $u_2(H)$

增压稠化仪压力分辨力为 0.1，按均匀分布，取包含因子  $k = \sqrt{3}$ ，则：  $u_2(H) = \frac{0.1}{\sqrt{3}} = 0.029 \text{MPa}$

则增压稠化仪压力测量显示引入的不确定度

$$u(H) = \sqrt{u_1(H)^2 + u_2(H)^2} = \sqrt{0.35^2 + 0.029^2} = 0.46 \text{MPa}$$

D. 4. 2 压力测量标准引入的不确定度  $u(H_s)$

a、压力测定仪测量重复性引入的不确定度  $u_1(H_s)$

设置增压稠化仪的压力为 34.0MPa，稳定 1min 后，记录被校设备压力显示值，重复进行上述操作 10 次，测得数据如下：

表 6 压力测定仪测量值数据

测量值/%										平均值 $H_s$ /%
35.1	35.3	34.3	34.0	35.1	33.6	35.2	33.9	34.4	33.7	34.6

$$\text{通过贝塞尔公式计算标准偏差: } s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 0.64 \text{MPa}$$

实际测量 2 次，以 2 次测量的平均值为准，则：  $u_1(H_s) = s / \sqrt{2} = 0.45 \text{MPa}$

b、压力测定仪分辨力引入的不确定度  $u_2(H_s)$

压力测定仪温度分辨力为 0.1，按均匀分布，取包含因子  $k = \sqrt{3}$ ，则：

$$u_2(H_s) = \frac{0.1}{\sqrt{3}} = 0.03 \text{MPa}$$

c、压力测定仪溯源校准修正值引入的不确定度  $u_3(H_s)$

根据压力测定仪的溯源证书，证书给出的不确定度为  $U=1.0 \text{MPa}$ ， $k=2$  按正态分布，则：

$$u_3(H_s) = \frac{1}{2} = 0.5 \text{ MPa}$$

则压力测量标准引入的不确定度:

$$u(H_s) = \sqrt{u_1^2(H_s) + u_2^2(H_s) + u_3^2(H_s)} = \sqrt{0.45^2 + 0.03^2 + 0.05^2} = 0.46 \text{ MPa}$$

### C.5 标准不确定度汇总

表7 压力偏差标准不确定度汇总表

标准不确定度分量来源	标准不确定度分量值
被校设备压力测量重复性引入的不确定度 $u_1(H)$	0.35MPa
被校设备压力分辨力引入的不不确定度 $u_2(H)$	0.29MPa
压力测定仪测量重复性引入的不确定度 $u_1(H_s)$	0.45MPa
压力测定仪分辨力引入的不确定度 $u_2(H_s)$	0.03MPa
压力测定仪溯源校准修正值引入的不确定度 $u_3(H_s)$	0.05MPa

### D.6 合成不确定度、扩展不确定度的计算

#### D.6.1 合成标准不确定度

由于各个分量彼此不相关,则合成不确定度依据公式(2)计算,可得

$$u_c(\Delta H) = \sqrt{u(H)^2 + u(H_s)^2} = \sqrt{0.46^2 + 0.46^2} = 0.66 \text{ MPa}$$

#### D.6.2 扩展不确定度

取包含因子  $k=2$ , 扩展不确定度  $U$  可以按照公式  $U = u_c \cdot k$  进行计算, 则:

$$U = 0.66 \times 2 = 1.3 \text{ MPa}$$

## 附录 E

## 时间示值误差校准不确定度评定示例

## E.1 概述

E.1.1 校准方法：按照 6.5 传动轴转速误差校准方法。

E.1.2 环境条件：22.0℃，周围无腐蚀性气体。

E.1.3 校准标准器：分度值不大于 1r/min

E.1.4 校准点：150 r/min。

## E.2 数学模型

E.2 校准的数学模型如公式 (E.1) 所示

$$\Delta R = R - R_s \quad (\text{E.1})$$

式中： $\Delta R$ —时间偏差，s；

$R$ —增压稠化仪转速显示值，s；

$R_s$ —转速表时间显示值，s。

灵敏系数： $c_1 = \frac{\partial \Delta R}{\partial R} = 1, c_2 = \frac{\partial \Delta R}{\partial R_s} = -1$

各分量不确定度来源彼此独立不相关，所以时间校准过程合成标准不确定度如公式 (E.2)  $u_c$

$$(\Delta R) = \sqrt{c_1^2 u^2(R) + c_2^2 u^2(R_s)} \quad (\text{E.2})$$

## E.3 不确定度来源分析

由数学模型及分析，影响测量的不确定度主要有以下几点：

a) 增压稠化仪转速显示引入的不确定度  $u(R)$

b) 转速秒表引入的不确定度  $u(R_s)$ ，包含测量重复性引入的不确定度  $u_1(R_s)$ ，分辨力引入的不确定度  $u_2(R_s)$ ，转速表准确度引入的不确定度  $u_3(R_s)$

## E.4 各分量的标准不确定度评定

E.4.1 增压稠化仪转速显示引入的不确定度  $u(R)$ 

增压稠化仪转速显示引入的不确定度  $u(R)$ ，主要由时间显示分辨力引入，增压稠化仪时间显示分辨力为 1 r/min，按均匀分布，取包含因子  $k=\sqrt{3}$ ，则： $u(R) = \frac{1}{2\sqrt{3}} = 0.29 \text{ r/min}$

E.4.2 转速表引入的不确定度  $u(R_s)$ 

a) 测量重复性引入的不确定度  $u_1(R_s)$

对 150 r/min 转速进行 3 次重复测量, 测量值为: 150.2 r/min, 149.8 r/min, 151.1 r/min, 用极差法( $C=1.69$ ,  $n=3$ )计算标准偏差为:  $s=R/C=\frac{151.1-149.8}{1.69}=0.77\text{r/min}$ ,

实际以 2 次测量的平均值为准, 则:  $u_1(R_s) = s / \sqrt{2} = 0.54\text{r/min}$

b) 转速表分辨力引入的不确定度  $u_2(R_s)$

转速表分辨力为 0.1 r/min, 按均匀分布, 取包含因子  $k=\sqrt{3}$ , 则:

$$u_2(R_s) = \frac{0.1}{2\sqrt{3}} = 0.058\text{ r/min}$$

c) 转速表准确度引入的不确定度  $u_3(R_s)$

转速表 150 r/min 时间测量的最大允许误差为  $\pm 1\text{s}$ , 按均匀分布, 则:

$$u_3(R_s) = \frac{1}{\sqrt{3}} = 0.58\text{ r/min}$$

则电子秒表引入的不确定度

$$u(R_s) = \sqrt{u_1^2(R_s) + u_2^2(R_s) + u_3^2(R_s)} = \sqrt{0.54^2 + 0.058^2 + 0.58^2} = 0.79\text{r/min}$$

## E. 5 标准不确定度汇总

表 8 时间示值误差标准不确定度汇总表

标准不确定度分量来源	标准不确定度分量值
增压稠化仪转速显示引入的不确定度 $u(R)$	0.29 r/min
测量重复性引入的不确定度 $u_1(R_s)$	0.54 r/min
转速表分辨力引入的不确定度 $u_2(R_s)$	0.058 r/min
转速表准确度引入的不确定度 $u_3(R_s)$	0.58 r/min

## E. 6 合成不确定度、扩展不确定度的计算

### E.6.1 合成标准不确定度

由于各个分量彼此不相关, 则合成不确定度依据公式 (2) 计算, 可得

$$u_c(\Delta R) = \sqrt{u(R)^2 + u(R_s)^2} = \sqrt{0.29^2 + 0.79^2} = 0.84\text{ r/min}$$

### E.6.2 扩展不确定度

取包含因子  $k=2$ , 扩展不确定度  $U$  可以按照公式  $U = u_c(\Delta R) \cdot k$  进行计算, 得到

$$U = 0.84 \times 2 = 1.7\text{ r/min} \approx 2\text{ r/min}, k=2$$

## 附录 F

## 时间示值误差校准不确定度评定示例

## F.1 概述

F.1.1 校准方法：按照 6.6 时间示值误差校准方法。

F.1.2 环境条件：22.0℃，周围无腐蚀性气体。

F.1.3 校准标准器：秒表，量程 0s~9999.9s，分辨力不大于 0.1s，最大允许误差±1s。

F.1.4 校准点：3600s。

## F.2 数学模型

F.2 校准的数学模型如公式 (F.1) 所示

$$\Delta T = T - T_s \quad (\text{F.1})$$

式中： $\Delta T$ —时间偏差，s；

$T$ —增压稠化仪时间显示值，s；

$T_s$ —电子秒表时间显示值，s。

灵敏系数： $c_1 = \frac{\partial \Delta T}{\partial T} = 1, c_2 = \frac{\partial \Delta T}{\partial T_s} = -1$

各分量不确定度来源彼此独立不相关，所以时间校准过程合成标准不确定度如公式 (F.2)

$$u_c(\Delta T) = \sqrt{c_1^2 u^2(T) + c_2^2 u^2(T_s)} \quad (\text{F.2})$$

## F.3 不确定度来源分析

由数学模型及分析，影响测量的不确定度主要有以下几点：

a) 增压稠化仪时间显示引入的不确定度  $u(T)$

b) 电子秒表引入的不确定度  $u(T_s)$ ，包含测量重复性引入的不确定度  $u_1(T_s)$ ，分辨力引入的不确定度  $u_2(T_s)$ ，电子秒表准确度引入的不确定度  $u_3(T_s)$

## F.4 各分量的标准不确定度评定

F.4.1 增压稠化仪时间显示引入的不确定度  $u(T)$ 

增压稠化仪时间显示引入的不确定度  $u(T)$ ，主要由时间显示分辨力引入，增压稠化仪时间显示分辨力为 1 s，按均匀分布，取包含因子  $k=\sqrt{3}$ ，则： $u(T) = \frac{1}{2\sqrt{3}} = 0.29 \text{ s}$

F.4.2 电子秒表引入的不确定度  $u(T_s)$

a) 测量重复性引入的不确定度  $u_1(T_s)$ 

对 3600s 时间间隔进行 3 次重复测量, 测量值为: 3601.2s, 3600.9s, 3601.8s, 用极差法 ( $C=1.69$ ,  $n=3$ ) 计算标准偏差为:  $s=R/C=\frac{3601.8-3600.9}{1.69}=0.54s$ , 实际以单次测量为准, 则

$$u_1(T_s)=s=0.54s$$

b) 电子秒表分辨力引入的不确定度  $u_2(T_s)$ 

电子秒表分辨力为 0.1s, 按均匀分布, 取包含因子  $k=\sqrt{3}$ , 则:

$$u_2(T_s) = \frac{0.1}{2\sqrt{3}} = 0.058s$$

c) 电子秒表准确度引入的不确定度  $u_3(T_s)$ 

电子秒表 3600s 时间测量的最大允许误差为  $\pm 1s$ , 按均匀分布, 则:

$$u_3(T_s) = \frac{1}{\sqrt{3}} = 0.58s$$

则电子秒表引入的不确定度

$$u(T_s) = \sqrt{u_1^2(T_s) + u_2^2(T_s) + u_3^2(T_s)} = \sqrt{0.54^2 + 0.058^2 + 0.58^2} = 0.79s$$

## F.5 标准不确定度汇总

表 8 时间示值误差标准不确定度汇总表

标准不确定度分量来源	标准不确定度分量值
增压稠化仪时间显示引入的不确定度 $u(T)$	0.29s
测量重复性引入的不确定度 $u_1(T_s)$	0.54s
电子秒表分辨力引入的不确定度 $u_2(T_s)$	0.058s
电子秒表准确度引入的不确定度 $u_3(T_s)$	0.58s

## F.6 合成不确定度、扩展不确定度的计算

## F.6.1 合成标准不确定度

由于各个分量彼此不相关, 则合成不确定度依据公式 (2) 计算, 可得

$$u_c(\Delta T) = \sqrt{u(T)^2 + u(T_s)^2} = \sqrt{0.29^2 + 0.79^2} = 0.84s$$

## F.6.2 扩展不确定度

取包含因子  $k=2$ , 扩展不确定度  $U$  可以按照公式  $U = u_c(\Delta T) \cdot k$  进行计算, 得到

$$U = 0.84 \times 2 = 1.7s \approx 2s, k=2$$



## 附录 G

### 初凝时间示值误差校准不确定度评定示例

#### G.1 概述

G.1.1 校准方法：按照 6.7 稠化时间误差校准方法。

G.1.2 环境条件：22.0℃，周围无腐蚀性气体。

G.1.3 校准标准器：GSB 08-3910 油井水泥稠化时间标准样品（稠化时间：106±2 min）。

G.1.4 校准点：稠化时间。

#### G.2 数学模型

G.2 校准的数学模型如公式（G.1）所示

$$\Delta = X_I - X_i \quad (\text{G.1})$$

式中： $\Delta$ —稠化时间偏差，min；

$X_i$ —第 i 稠化时间的测定值，min；

$X_I$ —标准样品的标准值，min。

灵敏系数： $c_1 = \frac{\partial \Delta}{\partial X_i} = -1, c_2 = \frac{\partial \Delta}{\partial X_I} = 1$

各分量不确定度来源彼此独立不相关，所以稠化时间校准过程合成标准不确定度如公式（G.2）所示：

$$u_c(\Delta) = \sqrt{c_1^2 u^2(X_i) + c_2^2 u^2(X_I)} \quad (\text{G.2})$$

#### G.3 不确定度来源分析

由数学模型及分析，影响测量的不确定度主要有以下几点：

a) 测量重复性引入的不确定度  $u_1$

b) 由标准样品引入的不确定度  $u_2$

c) 由电子秒表引入的不确定度  $u_3$

#### G.4 各分量的标准不确定度评定

##### G.4.1 测量重复性引入的不确定度 $u_1$

测定仪误差的不确定度主要来源于标准样品测量结果的重复性，此项为 A 类不确定度分量，在重复性条件下，选择已知稠化时间数据的标准样品，用被油井水泥增压稠化仪测量稠化时间，测量值为：105min、108min，用极差法 ( $C=1.69, n=3$ ) 计算标准偏差为：

$$s=R/C=\frac{108-105}{1.69}=1.8\text{min}$$

实际以单次测量为准，计算得：

$$u_1 = s = 3.0 \text{min}$$

#### G.4.2 由标准样品引入的不确定度 $u_2$

选用的标准样品为国家标准样品，证书给出的稠化时间的不确定度为  $U=3\text{min}(k=2)$ ，为正态分布，取包含因子  $k=\sqrt{3}$ ，则：

$$u_2 = \frac{u}{2} = \frac{103}{2} = 1.5 \text{min}$$

#### G.5 标准不确定度汇总

表 5 稠化时间示值误差标准不确定度汇总表

标准不确定度分量来源	标准不确定度分量值
测量重复性引入的不确定度 $u_1$	3.0min
由标准样品引入的不确定度 $u_2$	1.5min

#### G.6 合成不确定度、扩展不确定度的计算

##### G.6.1 合成标准不确定度

由于各个分量彼此不相关，则合成不确定度依据公式（2）计算，可得

$$u_c(\Delta) = \sqrt{u_1^2 + u_2^2} = \sqrt{3^2 + 1.5^2} = 3.4 \text{min}$$

##### G.6.2 扩展不确定度

取包含因子  $k=2$ ，扩展不确定度  $U$  可以按照公式  $U=u_c \cdot k$  进行计算，结果为：

$$U=6.8 \text{min}, k=2$$