



中华人民共和国工业和信息化部建材计量技术规范

JJF(建材)263—20XX

油井水泥增压稠化仪校准规范

Calibration Specification for Pressured Consistometers of Oil Well Cement

(报批稿)

××××-××-××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 Pressured
Consistometers of Oil Well Cement

JJF(建材) 263—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：四川展泰金科技有限公司

米脂冀东水泥有限公司

嘉华特种水泥股份有限公司嘉华水泥总厂

北京国建联信认证中心有限公司

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：

杨君健 (中国国检测试控股集团股份有限公司)

殷祥男 (中国国检测试控股集团股份有限公司)

参加起草人：

杨晓军 (四川展泰金科技有限公司)

张卫民 (米脂冀东水泥有限公司)

郝进秀 (北京国建联信认证中心有限公司)

周志容 (嘉华特种水泥股份有限公司嘉华水泥总厂)

目 录

引言.....	(Ⅱ)
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.....	(3)
6.1 校准项目.....	(3)
6.2 校准前准备.....	(3)
6.3 温度偏差.....	(3)
6.4 压力示值误差.....	(4)
6.5 传动轴转速偏差.....	(4)
6.6 时间示值误差.....	(5)
6.7 稠化时间误差.....	(5)
7 校准结果表达.....	(6)
8 复校时间间隔.....	(6)
附录 A 校准证书内页格式.....	(7)
附录 B 校准记录参考格式.....	(8)
附录 C 温度示值误差校准结果不确定评定示例.....	(10)
附录 D 压力示值误差校准结果不确定评定示例.....	(13)
附录 E 传动轴转速偏差校准结果不确定度评定示例.....	(16)
附录 F 时间示值误差校准结果不确定度评定示例.....	(18)
附录 G 稠化时间示值误差校准结果不确定度评定示例.....	(20)

引言

本规范是以依据 JJF 1071-2010《国家计量校准规范编写规则》、JJF 1001-2011《通用计量术语及定义》和 JJF 1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》为基础性系列规范进行起草的。

本规范参考了 GB/T 10238-2015《油井水泥》中油井水泥增压稠化仪的内容编写。

本规范为首次发布。

油井水泥增压稠化仪校准规范

1 范围

本规范适用于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 油井水泥

GSB 08-3910 油井水泥稠化时间检验标准样品

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 GB/T 10238 中油井水泥浆稠化时间和 15min~30min 内最大稠度的专用仪器。

该仪器是由温度和压力可控的釜体、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。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，见图 1。

4 计量特性

增压稠化仪计量特性见表 1。

表 1 增压稠化仪计量特性

序号	校准项目	测量范围	技术要求
1	温度示值误差	温度 23℃~95℃	±2℃
2	压力示值误差	压力 0MPa~69MPa	±0.5MPa
3	传动轴转速偏差	转速 150r/min	±5r/min
4	时间示值误差	时间 0s~3600s	±5s/h
5	稠化时间示值误差	稠化时间 80min~120min	±5min
注：以上指标不用于合格性判定，仅供参考。			

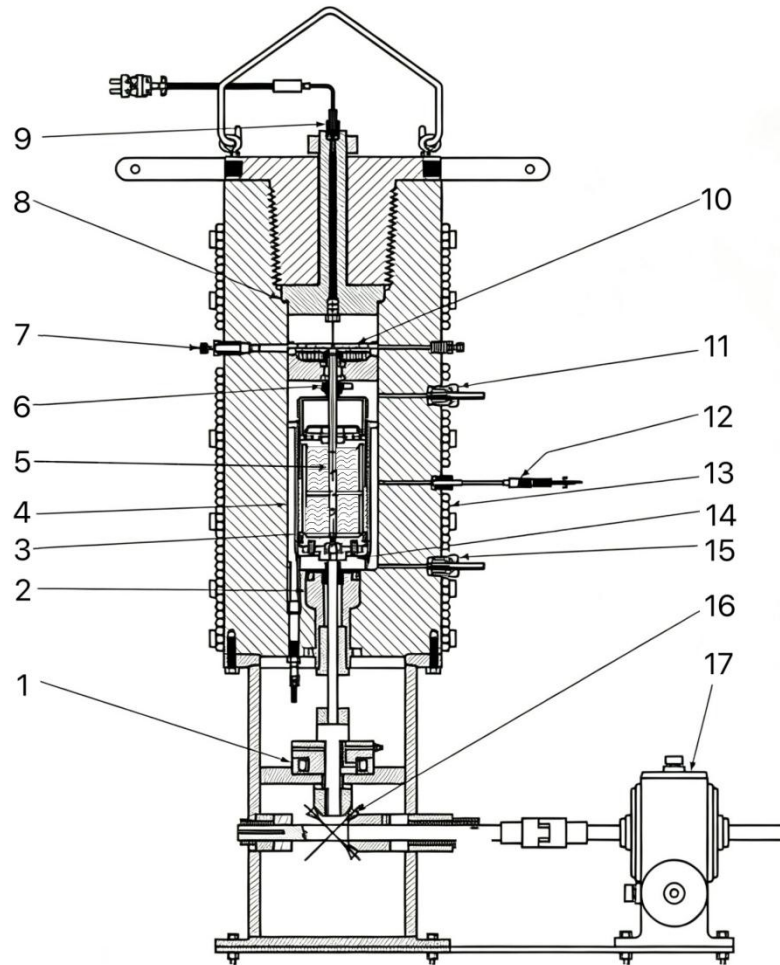


图 1 油井水泥增压稠化仪结构示意图

1—止推轴承；2—可拆卸浆杯隔板；3—浆杯；4—加热器；5—样品；6—驱动档；7—接触销；8—密封环；9—浆杯热电偶；10—电位计装置；11—压力接头；12—壁热电偶；13—冷却旋管；14—浆杯驱动盘；15—压力接头；16—齿轮减速器；17—伞齿轮；

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，无腐蚀性气体。

5.2 校准用标准器

校准用标准器见表 2。

表 2 校准用标准器

序号	设备名称	主要技术指标	用途
1	标准温度测量仪	量程 0℃~100℃, 分辨力不低于 0.1℃, 最大允许误差±1℃	用于温度示值误差的校准。
2	标准压力表	量程 0MPa~100MPa, 精确度 0.1 级, 最大允许误差±0.1MPa。	用于压力示值误差的校准。
3	秒表	量程 0.1s~9999.9s, 分辨力不低于 0.1s, 最大允许误差±1s	用于时间示值误差的校准。
4	转速表	量程 0r/min~10000r/min, 分度值不大于 1r/min, 最大允许误差±1r/min	用于传动轴转速偏差的校准。
5	油井水泥稠化时间检验标准样品	稠化时间校准应采用国家有证标准样品, 推荐使用 GSB 08-3910	用于稠化时间示值误差的校准

6 校准项目和校准方法

6.1 校准项目

校准项目包括温度示值误差、压力示值误差、传动轴转速偏差、时间示值误差、稠化时间示值误差。

6.2 校准前准备

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。外观不应带有影响正常工作的机械损伤。

6.2.2 仪器应置于平稳的地面上, 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。

6.2.3 仪器显示屏显示清晰完整。

6.3 温度示值误差

打开增压稠化仪的电源开关, 将养护油送入釜体, 高度超过加热器至少 20mm, 将标准温度测量仪电偶探头与设备温度感应点平齐捆绑到一起, 放至釜体油浴中部位置, 依次给控制仪表编制升温程序, 设定温度为 45.0℃、52.0℃、62.0℃, 目标温度稳定 20min (或使用标准水浴箱设定温度检测), 打开加热器及电机进行升温, 温度应由低至高间断地升温 and 恒温。注意在每次改变温度之后, 应使温度稳定 20min, 然后读取恒温时的标准温度测量仪和被测增压稠化仪显示的温度值, 每个温度点应测量两次, 取平均值。通过被测仪器显示的温度值减去标准温度测量仪测得的温度值, 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，得到增压稠化仪温度示值误差。

$$\Delta_t = \frac{(t_0 - t_1) + (t'_0 - t_2)}{2} \quad (1)$$

式中：

Δ_t —温度示值误差，℃；

t_0 —增压稠化仪第一次测量显示温度，℃；

t'_0 —增压稠化仪第二次测量显示温度，℃；

t_1 —标准温度测定仪第一次测量温度，℃；

t_2 —标准温度测定仪第二次测量温度，℃。

6.4 压力示值误差

测试时，上紧釜盖，将标准压力表连接专用外螺纹转接接头，然后拧入增压稠化仪釜盖的热电偶螺孔中，预留半圈螺纹不拧紧，打开供气阀，当釜体内充满油后拧紧转接接头，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设定值，依次在 (17.0 ± 1.7) MPa、 (34.0 ± 1.7) MPa、 (52.0 ± 1.7) MPa 三个点进行测量。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仪器显示的压力数值并记录，测定的两次数据取平均值。通过增压稠化仪显示压力值减去标准压力表测得压力值，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。

$$\Delta_h = \frac{(h_0 - h_1) + (h'_0 - h_2)}{2} \quad (2)$$

式中：

Δ_h —压力示值误差，MPa；

h_0 —增压稠化仪第一次测量显示压力，MPa；

h'_0 —增压稠化仪第二次测量显示压力，MPa；

h_1 —标准压力表第一次测量压力，MPa；

h_2 —标准压力表第二次测量压力，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传动轴上，设定设备转速为 150r/min，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，待转速稳定后记录转速，测量两次，取平均值。通过增压稠化仪设定转速数值减去转速表测得数值，得到传动轴

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，得到增压稠化仪传动轴转速误差。

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

式中：

Δ_R —传动轴转速误差，r/min；

R_S —增压稠化仪设定转速， $R_S=150\text{r/min}$ ；

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

启动增压稠化仪计时装置，同时按下秒表，计时装置至 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，得到增压稠化仪时间示值误差。

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

式中：

Δ_T —时间示值误差，s；

T_S —增压稠化仪设定时间， $T_S=3600\text{s}$ ；

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 稠化时间示值误差

使用 GSB 08-3910 油井水泥稠化时间检验标准样品，按照标准样品证书中的使用方法测量稠化时间。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，按照 GB/T 10238 中规定的稠化时间试验方法，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。

计算稠化时间测量值与标准样品标准值 q_0 的稠化时间示值误差 Δ_X ，见公式 (5)

$$\Delta_X = \frac{(X_1 + X_2)}{2} - q_0 \quad (5)$$

式中：

Δ_X ——稠化时间示值误差，min；

X_1 ——第一次稠化时间测量值，min；

X_2 ——第二次稠化时间测量值, min;

q_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性的声明;
- 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

表 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	油井水泥增压稠化仪校准规范			
环境条件	温度 (°C)		是否有腐蚀性气体	
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)			$U=$, $k=2$	
压力示值误差 (MPa)			$U=$, $k=2$	
传动轴转速偏差 (r/min)			$U=$, $k=2$	
时间示值误差 (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

表 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	
环境条件和设施							
序号	项目	要求				现场	
1	温度	23℃±3℃					
2	环境条件	实验室应清洁，周围无腐蚀性气体。					
3	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	温度示值误差(℃)	技术要求	±2℃				
		测定点/℃	t ₀ /℃	t ₁ /℃	t ₂ /℃	△ _t /℃	
		45					
		52					
		62					
2	压力示值误差(MPa)	技术要求	±0.5MPa				
		测定点/MPa	h ₀ /MPa	h ₁ /MPa	h ₂ /MPa	△ _h /MPa	
		17					

		34				
		52				
3	时间示值 误差 (s/h)	技术要求	$\pm 5\text{s/h}$			
		3600s	T_s	T_1	T_2	Δ_T
4	传动轴转 速偏差 (r/min)	技术要求	$\pm 5\text{ r/min}$			
		150r/min	R_s	R_1	R_2	Δ_R
5	稠化时间 示值误差 (min)	技术要求	$\pm 5\text{min}$			
		测定点	q_0	X_1	X_2	Δ_X
		数据				

附录 C

温度示值误差校准结果不确定度评定示例

C.1 概述

C.1.1 校准方法：按照 6.3 温度示值误差校准方法。

C.1.2 环境条件：22.0℃，周围无腐蚀性气体。

C.1.3 被测对象：油井水泥增压稠化仪（型号：OWC-9380GB）

C.1.4 校准标准器：标准温度测量仪，量程 0℃~100℃，分度值不大于 0.1℃。

C.1.5 校准点：52℃。

C.2 数学模型

校准的数学模型如公式（C.1）所示

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

式中：

Δt —温度示值误差，℃

t —增压稠化仪温度显示平均值，℃

t_s —标准温度测定仪显示平均值，℃。

灵敏系数：

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

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）标准温度测定仪引入的不确定度 $u(t_s)$ ，包含标准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 52.0℃，稳定 20min 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 3 测定仪温度显示值数据

显示值/°C										平均值 t /°C
52.1	52.0	52.0	52.0	52.1	51.9	52.1	52.0	51.9	52.2	52.0

用贝塞尔公式标准偏差： $s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (s_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 0.095^\circ\text{C}$

实际测量 2 次，以 2 次测量的平均值为准，则： $u_1(t) = s/\sqrt{2} = 0.067^\circ\text{C}$

b、被校设备温度分辨力引入的不确定度 $c_2 = \partial e / \partial L_b = -1$

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：

$$u(t) = u(t) = \sqrt{u_1(t)^2 + u_2(t)^2} = \sqrt{0.067^2 + 0.029^2} = 0.073^\circ\text{C}$$

C.4.2 温度测定仪引入的不确定度 $u(t_s)$

a、标准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 52°C ，稳定 20min 后，记录标准温度测定仪测量值，重复进行上述操作 10 次，测得数据如下：

表 4 温度测定仪测量值数据

测量值/°C										平均值 t_s /°C
52.15	52.25	52.28	52.13	51.82	51.95	52.03	51.88	52.26	51.94	52.07

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、标准温度测定仪分辨力引入的不确定度 $u_2(t_s)$

标准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、标准温度测定仪溯源校准修正值引入的不确定度 $u_3(t_s)$

根据标准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：

$$u_3(t_s) = \frac{0.10}{2} = 0.05^\circ\text{C}$$

则标准温度测定仪引入的不确定度：

$$u(H_s) = \sqrt{u_1^2(t_s) + u_2^2(t_s) + u_3^2(t_s)} = \sqrt{0.12^2 + 0.03^2 + 0.05^2} = 0.13^\circ\text{C}$$

C.5 标准不确定度汇总

表 5 温度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
被校设备测量重复性引入的不确定度 $u_1(t)$	0.073℃
被校设备温度分辨力引入的不确定度 $u_2(t)$	0.029℃
标准温度测定仪测量重复性引入的不确定度 $u_1(t_s)$	0.12℃
标准温度测定仪分辨力引入的不确定度 $u_2(t_s)$	0.03℃
标准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℃

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（C.2）计算，可得：

$$u_c(\Delta t) = \sqrt{0.073^2 + 0.13^2} = 0.15^\circ\text{C}$$

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：

$$U=0.15 \times 2 = 0.30^\circ\text{C}$$

附录 D

压力示值误差校准结果不确定度评定示例

D.1 概述

D.1.1 校准方法：按照 6.4 压力示值误差校准方法。

D.1.2 环境条件：22.0℃，周围无腐蚀性气体。

D.1.3 被测对象：油井水泥增压稠化仪（型号：OWC-9380GB）。

D.1.4 校准标准器：标准压力表，量程 0MPa~250MPa，精确度 0.1 级。

D.1.5 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：

ΔH —压力偏差，MPa；

H —增压稠化仪压力显示平均值，MPa；

H_s —标准压力表测量压力平均值，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，所以压力示值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) 标准压力表引入的不确定度 $u(H_s)$ ，包含标准压力表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 6 测定仪压力显示值数据

显示值/MPa										平均值/MPa
34.1	33.8	33.9	33.7	34.2	34.1	34.3	34.0	34.1	33.9	34.0

用贝塞尔公式标准偏差： $s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (s_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 0.19\text{MPa}$

实际测量 2 次，以 2 次测量的平均值为准，则： $u_1(H) = s/\sqrt{2} = 0.13\text{MPa}$

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： $u_2(H) = \frac{0.1}{2\sqrt{3}} = 0.03\text{MPa}$

则增压稠化仪压力测量显示引入的不确定度

$$u(H) = \sqrt{u_1(H)^2 + u_2(t)^2} = \sqrt{0.13^2 + 0.03^2} = 0.13\text{MPa}$$

D. 4. 2 压力测量标准引入的不确定度 $u(H_s)$

a、标准压力表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 7 压力测定仪测量值数据

测量值/MPa										平均值/MPa
34.1	34.3	34.3	34.0	34.1	33.8	34.2	33.9	34.2	33.8	34.1

通过贝塞尔公式计算标准偏差： $s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 0.19\text{MPa}$

实际测量 2 次，以 2 次测量的平均值为准，则： $u_1(H_s) = s/\sqrt{2} = 0.13\text{MPa}$

b、标准压力表分辨力引入的不确定度 $u_2(H_s)$

标准压力表压力分辨力为 0.1，按均匀分布，取包含因子 $k=\sqrt{3}$ ，则：

$$u_2(H_s) = \frac{0.1}{2\sqrt{3}} = 0.03\text{MPa}$$

c、标准压力表溯源校准修正值引入的不确定度 $u_3(H_s)$

根据标准压力表的溯源证书，证书给出的不确定度为 $U=0.1\text{MPa}$ ， $k=2$ 按正态分布，则：

$$u_3(H_s) = \frac{0.1}{2} = 0.05\text{MPa}$$

则压力测量标准引入的不确定度：

$$u(H_s) = \sqrt{u_1^2(H_s) + u_2^2(H_s) + u_3^2(H_s)} = \sqrt{0.13^2 + 0.035^2 + 0.05^2} = 0.14\text{MPa}$$

C. 5 标准不确定度汇总

表 8 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 $u_1(H)$	0.13MPa
被校设备压力分辨力引入的不不确定度 $u_2(H)$	0.03MPa
标准压力表测量重复性引入的不确定度 $u_1(H_s)$	0.13MPa
标准压力表分辨力引入的不确定度 $u_2(H_s)$	0.03MPa
标准压力表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（D.2）计算，可得

$$u_c(\Delta H) = \sqrt{u(H)^2 + u(H_s)^2} = \sqrt{0.13^2 + 0.14^2} = 0.19\text{MPa}$$

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：

$$U = 0.19 \times 2 \approx 0.4\text{MPa}$$

附录 E

传动轴转速偏差校准结果不确定度评定示例

E.1 概述

E.1.1 校准方法：按照 6.5 传动轴转速偏差校准方法。

E.1.2 环境条件：22.0℃，周围无腐蚀性气体。

E.1.3 被测对象：油井水泥增压稠化仪（型号：OWC-9380GB）

E.1.4 校准标准器：转速表，分度值不大于 1r/min

E.1.5 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： ΔR —传动轴转速偏差，r/min；

R —增压稠化仪转速显示值，r/min；

R_s —转速表转速显示值，r/min。

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，所以传动轴转速校准过程合成标准不确定度如公式

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

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，增压稠化仪转速显示分辨力为 1 r/min，按均匀分布，取包含因子 $k=\sqrt{3}$ ，则： $u(R) = \frac{1}{\sqrt{3}} = 0.29 \text{ r/min}$

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:

$$u_2(R_s) = \frac{0.1}{2\sqrt{3}} = 0.03\text{r/min}$$

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

$$u(R_s) = \sqrt{u_1^2(R_s) + u_2^2(R_s) + u_3^2(R_s)} = \sqrt{0.54^2 + 0.03^2 + 0.58^2} = 0.79\text{r/min}$$

E.5 标准不确定度汇总

表 9 电机转速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 $u_2(R_s)$	0.03 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 (E.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

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

附录 F

时间示值误差校准结果不确定度评定示例

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 被测对象：油井水泥增压稠化仪（型号：OWC-9380GB）

F.1.4 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.1.5 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： ΔT —时间偏差，s；

T —增压稠化仪时间显示值，s；

T_s —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) 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 $u_2(T_s)$ ，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： $u(T) = \frac{1}{\sqrt{3}} = 0.29\text{s}$

F.4.2 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

$$u_1(T_s) = \frac{s}{\sqrt{2}} = 0.38s$$

b) 秒表分辨力引入的不确定度 $u_2(T_s)$

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

$$u_2(T_s) = \frac{0.1}{2\sqrt{3}} = 0.03s$$

c) 秒表准确度引入的不确定度 $u_3(T_s)$

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

$$u_3(T_s) = \frac{1}{\sqrt{3}} = 0.29s$$

则秒表引入的不确定度

$$u(T_s) = \sqrt{u_1^2(T_s) + u_2^2(T_s) + u_3^2(T_s)} = \sqrt{0.38^2 + 0.03^2 + 0.29^2} = 0.48s$$

F.5 标准不确定度汇总

表 10 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
秒表分辨力引入的不确定度 $u_2(T_s)$	0.03s
秒表准确度引入的不确定度 $u_3(T_s)$	0.29s

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 (F.2) 计算, 可得

$$u_c(\Delta T) = \sqrt{u(T)^2 + u(T_s)^2} = \sqrt{0.29^2 + 0.48^2} = 0.56s$$

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

$$U = 0.56 \times 2 \approx 1.2s$$

附录 G

稠化时间示值误差校准结果不确定度评定示例

G.1 概述

G.1.1 校准方法：按照 6.7 稠化时间示值误差校准方法。

G.1.2 环境条件：22.0℃，周围无腐蚀性气体。

G.1.3 被测对象：油井水泥增压稠化仪（型号：OWC-9380GB）

G.1.4 校准标准器：GSB 08-3910 油井水泥稠化时间检验标准样品。

G.1.5 校准点：稠化时间示值。

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： Δ —稠化时间示值误差，min；

X_i —第 i 次稠化时间的测定值，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

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、107min，用极差法($C=1.13, n=2$)计算标准偏差为：

$$s = R/C = \frac{107-105}{1.13} = 1.8 \text{min}$$

实际以两次测量平均值为准，因此计算得：

$$u_1 = \frac{s}{\sqrt{2}} = 1.3\text{min}$$

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：

$$u_2 = \frac{u}{2} = \frac{3}{2} = 1.5\text{min}$$

G.5 标准不确定度汇总

表 11 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	1.3min
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（G.2）计算，可得

$$u_c(\Delta) = \sqrt{u_1^2 + u_2^2} = \sqrt{1.3^2 + 1.5^2} = 2.0\text{min}$$

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：

$$U=2.0 \times 2=4.0\text{min}$$