

福建省地方计量技术规范

JJF (闽) 1115—2020

蠕动泵校准规范

Calibration Specification for Peristaltic Pumps

2020—12—16 发布

2021—3—16 实施

福建省市场监督管理局 发布

蠕动泵校准规范

Calibration Specification for
Peristaltic Pumps

JJF (闽) 1115—2020

本规范经福建省市场监督管理局于2020年12月16日批准，自2021年3月16日起实施。

归口单位：福建省市场监督管理局

主要起草单位：三明市计量所

参加起草单位：保定兰格恒流泵有限公司

厦门市产品质量监督检验院

泉州市计量所

福建省计量科学研究所

本规范委托三明市计量所负责解释

本规范主要起草人:

杨图强 (三明市计量所)

靳建军 (保定兰格恒流泵有限公司)

参加起草人:

李 睿 (保定兰格恒流泵有限公司)

王一峰 (厦门市产品质量监督检验院)

张永东 (三明市计量所)

吴家平 (泉州市计量所)

黄 洪 (福建省计量科学研究院)

目 录

| | |
|-----------------------------------|----|
| 引言..... | II |
| 1 范围..... | 1 |
| 2 引用文件..... | 1 |
| 3 术语..... | 1 |
| 4 概述..... | 1 |
| 5 计量特性..... | 2 |
| 5.1 流量最大允许误差..... | 2 |
| 5.2 流量稳定性..... | 2 |
| 5.3 转速误差..... | 2 |
| 6 校准条件..... | 2 |
| 6.1 环境条件..... | 2 |
| 6.2 测量标准及其他设备..... | 2 |
| 7 校准项目和校准方法..... | 2 |
| 7.1 流量示值误差和流量稳定性..... | 2 |
| 7.2 转速误差..... | 4 |
| 8 校准结果表达..... | 4 |
| 9 复校时间间隔..... | 5 |
| 附录 A 蠕动泵校准记录参考格式..... | 6 |
| 附录 B 蠕动泵校准结果参考格式..... | 7 |
| 附录 C 不同温度下纯水密度..... | 8 |
| 附录 D 蠕动泵流量示值误差测量结果不确定度评定（示例）..... | 9 |
| 附录 E 蠕动泵转速误差测量结果不确定度评定（示例）..... | 13 |

引 言

本规范是以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编写。

本规范采用了QB/T 5000-2016《食品工业用蠕动泵》相关术语定义和技术内容。

本规范为首次发布。

蠕动泵校准规范

1 范围

本规范适用于转速为(20~600) r/min的蠕动泵产品计量性能的校准。

2 引用文件

本规范引用了下列文件：

QB/T 5000-2016 食品工业用蠕动泵

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 术语

下列术语和定义适用于本规范。

3.1 流量脉动 flow fluctuation

流量按一定规律不断变化。

4 概述

蠕动泵具有较高的传输精度和稳定性，广泛应用于制药、化工等行业。蠕动泵由驱动器、泵头和泵管三部分组成（图1），流体被隔离在泵管中，通过滚轮总成对输送泵管交替进行挤压和释放形成流量脉动来泵送流体，可实现正反向输送流体、干运转、全速运行，亦可通过调节泵头的转速，精确控制流量的大小。

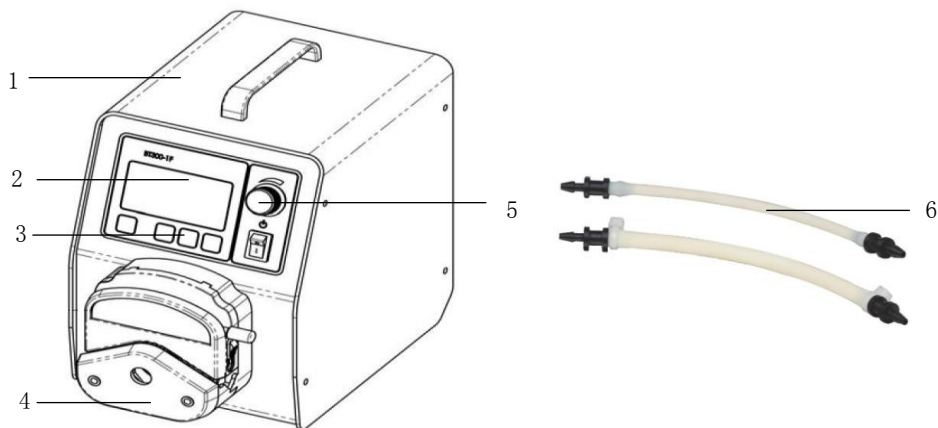


图1 蠕动泵结构示意图

1、驱动器；2、液晶显示；3、控制面板；4、泵头；5、调节旋钮；6、泵管

5 计量特性

5.1 流量最大允许误差

不超过 $\pm 5\%$ 。

5.2 流量稳定性

不超过 3% 。

5.3 转速误差

不超过 $\pm 5\%$ 。

注：以上指标不是用于合规性判断，仅供参考。

6 校准条件

6.1 环境条件

6.1.1 温度： $15\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 35\text{ }^{\circ}\text{C}$ 或满足产品使用说明书要求。

6.1.2 相对湿度：不大于 80% 。

6.1.3 工作台无机械振动。

6.2 测量标准及其他设备

6.2.1 数字式转速表：0.5级，最小分度值 0.1 r/min 。

6.2.2 电子天平：高准确度级，最大称量不小于 100 g ，最小分度值不大于 1 mg （校准流量： $\leq 10\text{ mL/min}$ ）；最大称量不小于 1000 g ，最小分度值不大于 0.01 g （校准流量： $10\text{ mL/min}\sim 500\text{ mL/min}$ ）；最大称量不小于 6 kg ，最小分度值不大于 1 g （校准流量： $> 500\text{ mL/min}$ ）。

6.2.3 电子秒表：分辨力 0.01 s 。

6.2.4 水银温度计：分度值 $0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

6.2.5 烧杯。

6.2.6 流体：纯水。

注：选用其他流体时应说明流体的类型及密度。

7 校准项目和校准方法

校准项目可根据被校仪器的预期用途选择使用。对校准规范的偏离，应在校准证书中说明。校准前，首先对蠕动泵的外观、各部分相互作用进行检查，在确定无影响计量特性的因素后进行校准。

7.1 流量示值误差和流量稳定性

实验开始前仪器和实验用纯水应在实验环境中静置2小时以上。安装并记录

泵头和泵管型号，测量实验用纯水的密度。调节调速旋钮，选择最大流量点的 20%、50% 和 100% 作为测试点，待出口处有稳定流体流出后，用事先称重过的洁净烧杯收集流体，同时用电子秒表计时，流体收集时间一般为 5min（根据流量大小可调节收集时间），在电子天平上称重，每个测试点重复测量三次，取各点三次测量计算出的平均值作为该点的流量测量值。对于转向可逆的蠕动泵应分别进行正转、反转两个方向的校准。

流量测量值按公式（1）计算。

$$F_m = \frac{(W_2 - W_1)}{\rho_t \cdot t} \quad (1)$$

式中：

F_m ——流量测量值，mL/min；

W_2 ——烧杯+流体的质量，g；

W_1 ——烧杯的质量，g；

ρ_t ——实验室温度下纯水密度，g/cm³，（不同温度下纯水密度参见附录 C）；

t ——收集流体的时间，min。

流量示值误差按公式（2）计算。

$$S_s = \frac{F_s - \bar{F}_m}{\bar{F}_m} \times 100\% \quad (2)$$

式中：

S_s ——流量示值误差，%；

\bar{F}_m ——同一设定流量点 3 次测量值的算术平均值，mL/min；

F_s ——流量点设定值，mL/min。

流量稳定性按公式（3）计算。

$$S_R = \frac{F_{imax} - F_{imin}}{\bar{F}_m} \times 100\% \quad (3)$$

式中：

S_R ——流量稳定性，%；

F_{imax} ——同一设定流量点 3 次测量值的最大值, mL/min;

F_{imin} ——同一设定流量点 3 次测量值的最小值, mL/min;

\bar{F}_m ——同一设定流量点 3 次测量值的算术平均值, mL/min。

7.2 转速误差

在泵头上作好明显标记, 安装好转速表。调节调速旋钮, 选择最大转速点的 20%、50% 和 100% 作为测试点, 待转速稳定后, 分别记录蠕动泵转速设定值和转速表测量值。每个测试点重复测量三次, 取各点三次测量计算出的平均值作为该点的转速测量值, 按公式 (4) 计算转速误差。对于转向可逆的蠕动泵应分别进行正转、反转两个方向的校准。

$$\omega = \frac{\bar{n}_0 - \bar{n}_i}{\bar{n}_i} \times 100\% \quad (4)$$

式中:

ω ——转速误差, %;

\bar{n}_i ——转速表三次测量值的平均值, r/min;

n_0 ——转速设定值, r/min。

8 校准结果表达

经校准的蠕动泵出具校准证书, 校准证书至少应包括以下信息:

- 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) 被校对象的描述和明确标识;
- g) 进行校准的日期;
- h) 校准所依据的技术规范的标识, 包括名称及代号;
- i) 本次校准所用计量标准的溯源性及有效性说明;
- j) 校准环境的描述;
- k) 校准结果及其测量不确定度的说明;

- l) 对校准规范的偏离的说明;
- m) 校准证书或校准报告签发人的签名、职务或等效标识;
- n) 校准人和核验人签名;
- o) 校准结果仅对被校对象有效性的声明;
- p) 未经校准实验室书面批准, 不得部分复制校准证书的声明。

校准记录参考格式见附录 A, 校准结果参考格式见附录 B。

9 复校时间间隔

建议蠕动泵复校时间间隔为 1 年。由于复校时间间隔的长短是由仪器的使用情况、使用者、仪器本身质量等诸多因素决定的, 因此, 送校单位可根据实际使用情况自主决定复校时间间隔。

附录 A

蠕动泵校准记录参考格式

| | | | | | | | |
|--------------------------|------|----------------------------|------|------------------|------|----------------|------|
| 送校单位 | | | | 记录编号 | | | |
| 委托者地址 | | | | | | | |
| 样品 | 名称 | | | 型号规格 | | | |
| | 制造厂 | | | 出厂编号 | | | |
| | 最大流量 | | | 最大转速 | | | |
| 标 准 器 | 名称 | 型号/规格 | 仪器编号 | 技术特征 | 证书编号 | 有效期 | 溯源单位 |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| 技术依据 | | JJF (闽) ××××-××××, 蠕动泵校准规范 | | | | | |
| 校准地点 | | | | 温度: ℃ | | 相对湿度: % | |
| 校准日期 | | | | 证书编号 | | | |
| 校准员 | | | | 核验员 | | | |
| 泵头型号 | | 软管型号 | | | | 流向 | |
| 流体 | | 密度ρ | | | | 外观检查 | |
| F_S (mL/min) | | | | | | | |
| W_1 (g) | | | | | | | |
| W_2 (g) | | | | | | | |
| ΔW | | | | | | | |
| t (min) | | | | | | | |
| F_m (mL/min) | | | | | | | |
| \overline{F}_m | | | | | | | |
| 流量示值误差 S_S | | | | | | | |
| 流量稳定性 S_R | | | | | | | |
| 转速设定值 n_0 (r/min) | | | | | | | |
| 转速表实测值 n_i | | | | | | | |
| 转速误差 ω | | | | | | | |
| 流量示值误差 S_S 测量结果扩展不确定度 | | | | | | | |
| 流量示值误差 S_R 测量结果扩展不确定度 | | | | | | | |
| 转速误差 ω 测量结果扩展不确定度 | | | | | | | |
| 备注 | | | | | | | |

附录 B

蠕动泵校准结果参考格式

校准结果

| 序号 | 校准项目 | 校准结果 | | | |
|-------|---------------|-------|-----|------|------------|
| | | 测量点 | 设定值 | 示值误差 | 测量结果扩展不确定度 |
| 1 | 流量示值误差 S_S | 20% | | | |
| | | 50% | | | |
| | | 100% | | | |
| 2 | 流量稳定性 S_R | 20% | | | |
| | | 50% | | | |
| | | 100% | | | |
| 3 | 转速误差 ω | 20% | | | |
| | | 50% | | | |
| | | 100% | | | |
| 最大流量: | | 最大转速: | | | |
| 说明: | | | | | |

附录 C

不同温度下纯水密度

表 C.1 不同温度下纯水的密度表

单位为 g/cm³

| t/°C | 0 | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.4 | 0.5 | 0.6 | 0.7 | 0.8 | 0.9 |
|------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 15 | 0.999 1 | 0.999 1 | 0.999 1 | 0.999 1 | 0.999 0 | 0.999 0 | 0.999 0 | 0.999 0 | 0.999 0 | 0.999 0 |
| 16 | 0.998 9 | 0.998 9 | 0.998 9 | 0.998 9 | 0.998 9 | 0.998 9 | 0.998 8 | 0.998 8 | 0.998 8 | 0.998 8 |
| 17 | 0.998 8 | 0.998 8 | 0.998 7 | 0.998 7 | 0.998 7 | 0.998 7 | 0.998 7 | 0.998 6 | 0.998 6 | 0.998 6 |
| 18 | 0.998 6 | 0.998 6 | 0.998 6 | 0.998 5 | 0.998 5 | 0.998 5 | 0.998 5 | 0.998 5 | 0.998 4 | 0.998 4 |
| 19 | 0.998 4 | 0.998 4 | 0.998 4 | 0.998 3 | 0.998 3 | 0.998 3 | 0.998 3 | 0.998 3 | 0.998 2 | 0.998 2 |
| 20 | 0.998 2 | 0.998 2 | 0.998 2 | 0.998 1 | 0.998 1 | 0.998 1 | 0.998 1 | 0.998 1 | 0.998 0 | 0.998 0 |
| 21 | 0.998 0 | 0.998 0 | 0.997 9 | 0.997 9 | 0.997 9 | 0.997 9 | 0.997 9 | 0.997 8 | 0.997 8 | 0.997 8 |
| 22 | 0.997 8 | 0.997 7 | 0.997 7 | 0.997 7 | 0.997 7 | 0.997 7 | 0.997 6 | 0.997 6 | 0.997 6 | 0.997 6 |
| 23 | 0.997 5 | 0.997 5 | 0.997 5 | 0.997 5 | 0.997 4 | 0.997 4 | 0.997 4 | 0.997 4 | 0.997 3 | 0.997 3 |
| 24 | 0.997 3 | 0.997 3 | 0.997 2 | 0.997 2 | 0.997 2 | 0.997 2 | 0.997 1 | 0.997 1 | 0.997 1 | 0.997 1 |
| 25 | 0.997 0 | 0.997 0 | 0.997 0 | 0.997 0 | 0.996 9 | 0.996 9 | 0.996 9 | 0.996 9 | 0.996 8 | 0.996 8 |
| 26 | 0.996 8 | 0.996 8 | 0.996 7 | 0.996 7 | 0.996 7 | 0.996 6 | 0.996 6 | 0.996 6 | 0.996 6 | 0.996 5 |
| 27 | 0.996 5 | 0.996 5 | 0.996 5 | 0.996 4 | 0.996 4 | 0.996 4 | 0.996 3 | 0.996 3 | 0.996 3 | 0.996 3 |
| 28 | 0.996 2 | 0.996 2 | 0.996 2 | 0.996 1 | 0.996 1 | 0.996 1 | 0.996 1 | 0.996 0 | 0.996 0 | 0.996 0 |
| 29 | 0.995 9 | 0.995 9 | 0.995 9 | 0.995 9 | 0.995 8 | 0.995 8 | 0.995 8 | 0.995 8 | 0.995 7 | 0.995 7 |
| 30 | 0.995 6 | 0.995 6 | 0.995 6 | 0.995 6 | 0.995 5 | 0.995 5 | 0.995 5 | 0.995 4 | 0.995 4 | 0.995 4 |
| 31 | 0.995 3 | 0.995 3 | 0.995 3 | 0.995 2 | 0.995 2 | 0.995 2 | 0.995 2 | 0.995 1 | 0.995 1 | 0.995 1 |
| 32 | 0.995 0 | 0.995 0 | 0.995 0 | 0.994 9 | 0.994 9 | 0.994 9 | 0.994 8 | 0.994 8 | 0.994 8 | 0.994 7 |
| 33 | 0.994 7 | 0.994 7 | 0.994 6 | 0.994 6 | 0.994 6 | 0.994 5 | 0.994 5 | 0.994 5 | 0.994 4 | 0.994 4 |
| 34 | 0.994 4 | 0.994 3 | 0.994 3 | 0.994 3 | 0.994 2 | 0.994 2 | 0.994 2 | 0.994 1 | 0.994 1 | 0.994 1 |

注：该纯水的密度表采用国际温标（ITS-90）的纯水密度表。

附录 D

蠕动泵流量示值误差测量结果不确定度评定 (示例)

D.1 概述

以 BT100-1L-A 型、出厂编号为 18090038 的蠕动泵为例,按照 7.1 所述方法进行测量。评定依据 JJF 1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》、JJF (闽) ××××-××××《蠕动泵校准规范》。

测量标准: 电子天平, PL2002 型, 最大称量 2100 g, 高准确度级; 电子秒表: PC262 型, 分辨力 0.01 s; 转速表, DT2234B 型, 0.5 级。

测量条件: 温度 25.5 °C, 相对湿度 61 %, 蠕动泵配 YZ1515X 型泵头、25 # 软管, 流量设定值 $F_s=100.1$ mL/min, 正向传动, 测量时间为 5 min, 流体为纯水, 经测量实验室条件下流体纯水的温度为 24.5 °C, 密度为 0.9972 g/cm³。

D.2 测量模型

$$S_s = \frac{F_s - \bar{F}_m}{\bar{F}_m} \times 100\% = \frac{\rho_t \cdot t \cdot F_s}{\Delta W} - 1 \quad (\text{D.1})$$

式中:

S_s ——流量示值误差, %;

\bar{F}_m ——同一设定流量点 3 次测量值的算术平均值, mL/min;

F_s ——流量点设定值, mL/min;

ΔW ——流体的质量, g;

ρ_t ——实验室温度下纯水密度, g/cm³, (不同温度下纯水密度参见附录 C);

t ——流体收集时间, min。

对公式 (D.1) 中各分量求偏导, 得各分量灵敏系数:

$$C_1 = \frac{\partial S_s}{\partial \Delta W} = -\frac{\rho_t \cdot t \cdot F_s}{\Delta W^2} = -0.002 \text{ g}^{-1}$$

$$C_2 = \frac{\partial S_s}{\partial \rho_t} = \frac{t \cdot F_s}{\Delta W} = 1.025 \text{ mL/g}$$

$$C_3 = \frac{\partial S_S}{\partial t} = \frac{\rho_t \cdot F_s}{\Delta W} = 0.205 \text{ min}^{-1}$$

$$C_4 = \frac{\partial S_S}{\partial F_s} = \frac{\rho_t \cdot t}{\Delta W} = 0.010 \text{ min/mL}$$

由于分量间互不相关，则蠕动泵流量示值误差合成标准不确定度方差 u_c^2 表示为：

$$u_c^2 = c_1^2 u_{\Delta W}^2 + c_2^2 u_{\rho_t}^2 + c_3^2 u_t^2 + c_4^2 u_{F_s}^2$$

D.3 标准不确定度分量评定

D.3.1 流体质量 ΔW 引入的标准不确定度 $u_{\Delta W}$

D.3.1.1 流体质量重复测量引入的标准不确定度 $u_{\Delta W1}$

进行重复性测量，共计 10 组，记录每组测量的所得的 ΔW_i ，测量结果如表

D.1 所示。

表 D.1 测量结果

| i (次数) | $\Delta W_i / \text{g}$ | i (次数) | $\Delta W_i / \text{g}$ |
|----------|-------------------------|----------|-------------------------|
| 1 | 487.91 | 6 | 488.42 |
| 2 | 488.20 | 7 | 487.84 |
| 3 | 487.99 | 8 | 488.54 |
| 4 | 488.41 | 9 | 487.97 |
| 5 | 487.86 | 10 | 487.94 |

根据公式 (D.2) 计算重复性引入的标准不确定度分量。

$$u_{\Delta W1} = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^{10} (\Delta W_k - \overline{\Delta W})^2}{3 \times (10-1)}} \quad (\text{D.2})$$

式中：

$u_{\Delta W1}$ ——测量重复性引入的标准不确定度，g；

ΔW_i ——第 i 次测量值，g；

$\overline{\Delta W}$ ——测量平均值，g。

测量重复性引入的标准不确定度:

$$u_{\Delta W1}=0.15 \text{ g}$$

天平两次称量, 属强相关, 故测量重复性引入的标准不确定度为 $2u_{\Delta W1}$, 即 0.30 g。

D. 3. 1. 2 测量标准电子天平准确度引入的标准不确定度 $u_{\Delta W2}$

电子天平经上级检定合格, 检定证书给出该称量范围的最大允许误差为 $\pm 0.1 \text{ g}$, 不确定度区间半宽为 0.1 g , 按均匀分布处理, 则测量标准准确度引入的标准不确定度:

$$u_{\Delta W2}=0.1 \text{ g}/\sqrt{3}=0.058 \text{ g}$$

流体质量 ΔW 引入的标准不确定度 $u_{\Delta W}=\sqrt{(u_{\Delta W1})^2+(u_{\Delta W2})^2}=0.306 \text{ g}$

D. 3. 2 流体纯水密度引入的标准不确定度 u_{ρ}

纯水的密度受温度变化而不同, 假设在校准过程中, 温度变化量为 $\pm 0.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 根据密度表可知, 其密度变化量为 $\pm 0.0001 \text{ g/cm}^3$, 不确定度区间半宽为 0.0001 g/cm^3 , 按均匀分布处理, 则流体纯水密度引入的标准不确定度:

$$u_{\rho}=0.0001 \text{ g/cm}^3/\sqrt{3}=0.000058 \text{ g/cm}^3$$

D. 3. 3 流体收集时间引入的标准不确定度 u_t

D. 3. 3. 1 测量标准电子秒表引入的标准不确定度 u_{t1}

电子秒表经检定合格, 检定证书给出该测量间隔的最大允许误差为 $\pm 0.07 \text{ s}$, 不确定度区间半宽为 0.07 s , 按均匀分布处理, 则秒表准确度引入的标准不确定度:

$$u_{t1}=0.07 \text{ s}/\sqrt{3}=0.040 \text{ s}$$

D. 3. 3. 2 操作人员按下计时反应时间引入的标准不确定度 u_{t2}

操作人员的反应时间为 0.2 s , 不确定度区间半宽为 0.1 s , 按均匀分布处理, 则操作人员按下计时反应时间引入的标准不确定度:

$$u_{t2}=0.1 \text{ s}/\sqrt{3}=0.058 \text{ s}$$

流体收集时间引入的标准不确定度 $u_t=\sqrt{u_{t1}^2+u_{t2}^2}=0.070 \text{ s}=0.0012 \text{ min}$

D.3.4 流量点设定值引入的标准不确定度 u_{F_s}

被校准蠕动泵的流量设定值分辨力为 0.1 mL/min，不确定度区间半宽为 0.05 mL/min，按均匀分布处理，则分辨力引入的标准不确定度：

$$u_{n0} = 0.05 / \sqrt{3} = 0.029 \text{ mL/min}$$

当测量重复性引入的不确定度分量大于被校准仪器的分辨力所引入的不确定分量时，不再考虑分辨力所引入不确定度分量。

标准不确定度分量汇总表见表 D.2。

表 D.2 蠕动泵流量示值误差校准结果标准不确定度分量汇总表

| 序号 | 不确定度来源 | 符号 | c_i | u_i | $ c_i u_i$ |
|----|-----------------|----------------|-------------------------|----------------------------|-----------------------|
| 1 | 流体引入的不确定度 | $u_{\Delta w}$ | -0.002 g ⁻¹ | 0.306 g | 6.12×10^{-4} |
| 2 | 流体纯水密度引入的不确定度 | u_{ρ} | 1.025 mL/g | 0.000058 g/cm ³ | 5.95×10^{-5} |
| 3 | 流体收集时间引入的不确定度 | u_t | 0.205 min ⁻¹ | 0.0012 min | 2.46×10^{-4} |
| 4 | 流量点设定值引入的标准不确定度 | u_{F_s} | 0.010min/mL | — | — |

D.4 合成相对标准不确定度的计算

合成标准不确定度 u_c 按下式计算：

$$u_c = \sqrt{c_1^2 u_{\Delta w}^2 + c_2^2 u_{\rho}^2 + c_3^2 u_t^2} = 0.07 \%$$

D.5 扩展不确定度的确定

取包含因子 $k=2$ ，蠕动泵流量示值误差校准结果的扩展不确定度为：

$$U = 2 \times u_c = 0.2 \%$$

D.6 结果及其不确定度报告

蠕动泵流量示值误差为： $s_s = 2.3 \%$ ，蠕动泵流量示值误差校准结果的扩展不确定度： $U = 0.2 \%$ ， $k = 2$ 。

附录 E

蠕动泵转速误差测量结果不确定度评定 (示例)

E.1 概述

以 BT100-1L-A 型、出厂编号为 18090038 的蠕动泵为例,按照 7.2 所述方法进行测量。评定依据 JJF 1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》、JJF (闽) ××××-××××《蠕动泵校准规范》。

测量标准: 数字式转速表, DT2234B 型, 0.5 级。

测量条件: 环境温度 20 °C, 相对湿度 68%, 蠕动泵配 YZ1515X 型泵头, 转速设定值为 100 r/min。

E.2 测量模型

$$\omega = \frac{\overline{n_0 - n_i}}{n_i} \times 100\% = \left(\frac{n_0}{n_i} - 1 \right) \times 100\% \quad (\text{E.1})$$

式中:

ω ——转速误差, %;

$\overline{n_i}$ ——转速表三次测量值的平均值, r/min;

n_0 ——蠕动泵转速设定值, r/min。

对公式 (E.1) 中各分量求偏导, 得各分量灵敏系数:

$$C_1 = \frac{\partial \omega}{\partial n_0} = \frac{1}{n_i} = 0.01 \text{ min/r}$$

$$C_2 = \frac{\partial \omega}{\partial n_i} = -\frac{n_0}{n_i^2} = -0.01 \text{ min/r}$$

由于分量间互不相关, 则蠕动泵流量示值误差合成标准不确定度方差 u_c^2 表示为:

$$u_{cr}^2 = c_1^2 u_0^2 + c_2^2 u_{n_i}^2$$

E.3 标准不确定度分量评定

E.3.1 被校蠕动泵分辨力引入的标准不确定度 u_{n_0}

被校准蠕动泵的转速分辨力为 0.1 r/min, 不确定度区间半宽为 0.05 r/min, 按均匀分布处理, 则分辨力引入的标准不确定度:

$$u_{n_0} = 0.05 / \sqrt{3} = 0.029 \text{ r/min}$$

E.3.2 转速测量 n_i 引入的标准不确定度 u_{n_i}

E.3.2.1 转速测量值重复测量引入的标准不确定度 u_{n_i}

进行重复性测量, 共计 10 组, 记录每组测量的所得的 n_i , 测量结果如表 E.1 所示。

表 E.1 测量结果

| i (次数) | n_i (r/min) | i (次数) | n_i (r/min) |
|----------|---------------|----------|---------------|
| 1 | 100.3 | 6 | 101.1 |
| 2 | 100.5 | 7 | 101.3 |
| 3 | 100.6 | 8 | 100.7 |
| 4 | 100.9 | 9 | 100.9 |
| 5 | 100.4 | 10 | 100.5 |

根据公式 (E.2) 计算重复性引入的标准不确定度分量。

$$u_{n_i} = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^{10} (n_i - \bar{n}_i)^2}{3 \times (10-1)}} \quad (\text{E.2})$$

式中:

u_{n_i} ——测量重复性引入的标准不确定度, r/min;

n_i ——第 i 次测量值, r/min;

\bar{n}_i ——测量平均值, r/min。

测量重复性引入的标准不确定度:

$$u_{n_i} = 0.186 \text{ r/min}$$

当测量重复性引入的不确定度分量大于被校准仪器的分辨力所引入的不确定分量时, 不再考虑分辨力所引入不确定度分量。

E.3.2.2 测量标准转速表分辨力引入的标准不确定度 u_{n_2}

测量标准转速表分辨力为 0.1 r/min，不确定度区间半宽为 0.05 r/min，按均匀分布处理，则分辨力引入的标准不确定度：

$$u_{n_2} = 0.05 / \sqrt{3} = 0.029 \text{ r/min}$$

E.3.2.3 测量标准转速表准确度引入的标准不确定度 u_{n_3}

转速表经上级检定合格，等级为 0.5 级，检定证书给出该转速表转速范围的最大允许误差为 $\pm 0.5\%$ ，不确定度区间半宽为 0.5 r/min，按均匀分布处理，则测量标准准确度引入的标准不确定度：

$$u_{n_3} = 0.5 / \sqrt{3} = 0.289 \text{ r/min}$$

$$\text{转速测量 } n_i \text{ 引入的标准不确定度 } u_n = \sqrt{(u_{n_1})^2 + (u_{n_2})^2 + (u_{n_3})^2} = 0.345 \text{ r/min}$$

标准不确定度分量汇总表见表 E.2。

表 E.2 蠕动泵转速误差校准结果标准不确定度分量汇总表

| 序号 | 不确定度来源 | 符号 | c_i | u_i | $ c_i u_i$ |
|----|---------------|-----------|-------------|-------------|-----------------------|
| 1 | 蠕动泵分辨力引入的不确定度 | u_{n_0} | -0.01 min/r | --- | --- |
| 2 | 转速测量引入的不确定度 | u_{n_i} | 0.01 min/r | 0.345 r/min | 3.45×10^{-3} |

E.4 合成相对标准不确定度的计算

合成标准不确定度 u_c 按下式计算：

$$u_c = \sqrt{c_1^2 u_{n_0}^2 + c_2^2 u_{n_i}^2} = 0.35 \%$$

E.5 扩展不确定度的确定

取包含因子 $k=2$ ，蠕动泵转速误差校准结果的扩展不确定度为：

$$U = 2 \times u_c = 0.7 \%$$

E.6 结果及其不确定度报告

蠕动泵转速误差为： $\omega = -1.1\%$ ，蠕动泵转速误差校准结果的扩展不确定度 $U = 0.7\%$ ， $k = 2$ 。