

# 中华人民共和国国家计量技术规范

JJF XXXX-XXXX

## 医用口罩合成血液穿透测试仪校准规范

Calibration Specification for Medical Mask

Synthetic Blood Penetration Testers

(征求意见稿)

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

国家市场监督管理总局 发布

# 医用口罩合成血液 穿透测试仪校准规范

JJF XXXX-XXXX

Calibration Specification for Medical Mask

Synthetic Blood Penetration Testers

归口单位：全国医学计量技术委员会

主要起草单位：中国计量科学研究院

杭州职业技术学院

广电计量检测集团股份有限公司

参加起草单位：中国计量大学

金华市计量质量科学研究院

衢州市计量质量检验研究院

杭州市质量计量科学研究院

本规范委托全国医学计量技术委员会负责解释

**本规范主要起草人：**

段亮成（中国计量科学研究院）

许照乾（杭州职业技术学院）

郭鑫鑫（广电计量检测集团股份有限公司）

**参加起草人：**

黄震威（中国计量大学）

李俊杰（金华市计量质量科学研究院）

单剑（衢州市计量质量检验研究院）

钟浩（杭州市质量计量科学研究院）

# 目 录

引 言.....	II
1 范围.....	1
2 引用文件.....	1
3 术语和定义.....	1
4 概述.....	1
5 计量特性.....	2
5.1 喷射距离.....	2
5.2 喷射头内径.....	2
5.3 喷液量.....	2
5.4 喷射速度.....	2
5.5 压力.....	2
6 校准条件.....	2
6.1 环境条件.....	2
6.2 测量标准.....	2
6.3 其他仪器和辅助设备.....	3
7 校准项目和校准方法.....	3
7.1 校准前准备和校准后清洗被校测试仪.....	3
7.2 外观及功能性检查.....	3
7.3 喷射距离.....	4
7.4 喷射头内径.....	4
7.5 喷液量.....	4
7.6 喷射速度.....	5
7.7 压力.....	5
8 校准结果的表达.....	6
8.1 校准原始记录.....	6
8.2 校准结果的处理.....	6
9 复校时间间隔.....	6
附录 A 合成血液配置方法（推荐）.....	7
附录 B 医用口罩合成血液穿透测试仪校准原始记录（推荐）格式.....	10
附录 C 校准证书内页（推荐）格式.....	12
附录 D 医用口罩合成血液穿透试验仪喷液量测量结果不确定度评定示例.....	14
附录 E 医用口罩合成血液穿透试验仪喷射速度测量结果不确定度评定示例.....	17

# 引 言

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》共同构成支撑本规范制定工作的基础性系列规范。

本规范的制定参考了YY/T 0691-2008《传染性病原体防护装备 医用面罩抗合成血穿透性试验方法(固定体积、水平喷射)》。

本规范为首次发布。

# 医用口罩合成血液穿透测试仪校准规范

## 1 范围

本规范适用于医用口罩合成血液穿透测试仪的校准。

## 2 引用文件

本规范引用了下列文件：

YY/T 0691-2008 传染性病原体防护装备 医用面罩抗合成血穿透性试验方法(固定体积、水平喷射)

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 术语和定义

YY/T 0691-2008界定的及以下术语和定义适用于本规范。

### 3.1 合成血液 synthetic blood

苋菜红染料、表面活性剂、增稠剂、无机盐及蒸馏水混合物，其表面张力及粘度类似血液和其他体液。

[来源：YY/T0691-2008，3.9]

## 4 概述

医用口罩合成血液穿透测试仪（以下简称“测试仪”）是用于口罩耐合成血液穿透性能测定，以评估其安全防护性能的专用测试仪器。测试仪通过模拟口罩被穿孔血管血液喷溅的场景，将一定量的合成血液以一定的压力沿水平方向固定距离喷向被测口罩的一面，测试口罩另一面合成血液的穿透情况。其工作原理是依据伯努利方程中压力与喷射速度的关系，通过调节压力大小来调节喷射出的液体射流速度。测试仪的主要组成部分一般包括：试样支架、带收集杯的靶板、加压储液罐、套管、阀门、阀门开关以及阀门定时器等，仪器结构示意图如图 1 所示。

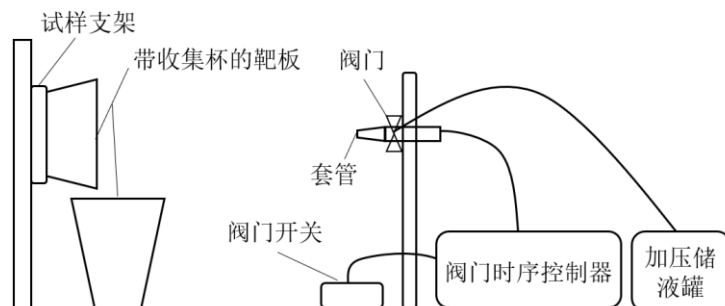


图 1 医用口罩合成血液穿透测试仪结构示意图

## 5 计量特性

### 5.1 喷射距离

喷射距离的标称值为 300 mm；最大允许误差为 $\pm 10$ mm。

### 5.2 喷射头内径

喷射头内径为 0.84 mm；最大允许误差为 $\pm 0.01$ mm。

### 5.3 喷液量

合成血液喷液量设定值为 2 mL；最大允许误差为 $\pm 0.04$ mL。

### 5.4 喷射速度

喷射速度设定值为 4.50m/s、5.50m/s、6.35m/s；最大允许误差为 $\pm 2\%$ 。

### 5.5 压力

压力设定范围应至少满足（10.6~21.3）kPa；最大允许误差为 $\pm 0.5$ kPa。

注：以上所有指标不作为合格性判定依据，仅供参考。

## 6 校准条件

### 6.1 环境条件

6.1.1 环境温度：（20 $\pm$ 5） $^{\circ}$ C，温度相对稳定，液温与室温之差不大于 2 $^{\circ}$ C。

6.1.2 相对湿度： $\leq 85\%$ 。

6.1.3 周围环境无振动及电磁干扰，空气无明显对流。

### 6.2 测量标准

6.2.1 卷尺：测量范围不小于（0~300）mm，最大允许误差为 $\pm 2$  mm。

6.2.2 针规：范围 $\phi 0.83$ mm~ $\phi 0.85$ mm，间隔不大于 0.01mm，最大允许误差为 $\pm 0.001$ mm。

6.2.3 液体密度计：测量范围覆盖（0.9~1.3）g/mL，0.5 级。

6.2.4 电子天平：测量范围不小于 10g，最大允许误差为 $\pm 0.005\text{g}$ 。

6.2.5 数字压力计：测量范围至少满足 $(10.6\sim 21.3)\text{kPa}$ ；最大允许误差为 $\pm 0.1\text{kPa}$ 。

### 6.3 其他仪器和辅助设备

6.3.1 带有刻度的量筒；

6.3.2 压力发生器；

6.3.3 三通管及医用胶管等；

6.3.4 表面张力为 $(0.042\pm 0.002)\text{N/m}$ 的合成血液（可按照附录 A 说明进行配置）。

## 7 校准项目和校准方法

### 7.1 校准前准备和校准后清洗被校测试仪

按下列步骤准备和清洗被校测试仪：

- a) 在压力控制阀前连接一个内径 0.84mm 长 12.7mm 的喷射头。
- b) 使用液体密度计测量合成血液密度，测量三次取平均值，记录合成血液密度  $\rho$ 。
- c) 将约 1L 新的合成血液加入到测试仪中。
- d) 按表 1 中压力对应的时间设置喷射时间。

表 1 标准试验过程的喷射时间

压力/kPa	对应喷射速度/(m/s)	标准装置和液体的阀门开放时 /s
10.6	4.50	0.80
16.0	5.50	0.66
21.3	6.35	0.57

- e) 调整容器压力使得在选定的阀门时间可以喷射出 2mL 液体。
- f) 将试验液体喷入刻度量筒，验证喷射体积为  $2\text{mL} \pm 0.04\text{mL}$ 。
- g) 每做 16 次试验按 7.1e)和 f)操作，确保喷射的液体体积为 2mL。
- h) 如果试验中喷射头在合成血通过后放置超过 1h 未使用，应换一根洁净的导管，并清洗用过的导管。
- i) 清洗喷射头时将喷射头在异丙醇中浸泡 24h，然后用蒸馏水冲洗。
- j) 校准后用蒸馏水清洗系统管路和容器。

### 7.2 外观及功能性检查

测试仪应外观完好，结构完整，功能正常，喷射头部分无影响正常工作的机械损伤。



### 7.3 喷射距离

使用卷尺直接测量样品固定器至喷射口的距离，测量三次取平均值。按照公式（1）计算喷射距离误差。

$$\Delta L = L_0 - \bar{L} \quad (1)$$

式中：

$\Delta L$ ——喷射距离误差，mm；

$L_0$ ——喷射距离标称值，mm；

$\bar{L}$ ——喷射距离三次测量平均值，mm。

### 7.4 喷射头内径

将针规垂直对准被测喷射头，轻轻旋转并缓慢推入，记录能通过的最大针规直径作为喷射头内径实测值，测量三次取平均值。按照公式（2）计算喷射头内径误差。

$$\Delta d = d_0 - \bar{d} \quad (2)$$

式中：

$\Delta d$ ——喷射头内径误差，mm；

$d_0$ ——喷射头内径标称值，mm；

$\bar{d}$ ——喷射头内径三次测量平均值，mm。

### 7.5 喷液量

参考表 1 设定喷射速度和喷射时间，使用电子天平称量喷液量，测量三次取平均值，按照公式（3）计算各设定速度条件下的喷液量误差。

$$\Delta Q_i = Q_{0i} - \frac{\bar{m}_i}{\rho} \quad (3)$$

式中：

$\Delta Q_i$ ——第  $i$  速度校准点喷液量误差，mL；

$Q_{0i}$ ——被校测试仪设定喷液量，mL；

$\bar{m}_i$ ——第  $i$  速度校准点喷液质量三次测量平均值，g；

$\rho$ ——合成血液密度，g/mL。

## 7.6 喷射速度

设定喷射速度，使用电子天平分别测量喷射 0.5s 与 1.5s 穿过定靶板后喷射液体的质量差，测量三次取平均值，按照公式（5）计算各速度校准点喷射速度示值误差。

$$v_i = \frac{4\Delta\bar{m}_i}{\rho\pi d^2} \quad (4)$$

$$\Delta v_i = \left( \frac{v_{i0} - v_i}{v_i} \right) \times 100\% \quad (5)$$

式中：

$v_i$ ——第  $i$  校准点速度测量值，m/s；

$\Delta\bar{m}_i$ ——第  $i$  校准点喷射 0.5s 与 1.5s 喷射液体三次测量质量差的平均值，g；

$\pi$ ——圆周率，取值 3.1416；

$\Delta v_i$ ——第  $i$  校准点速度示值误差，%；

$v_{i0}$ ——第  $i$  校准点速度设定值，m/s。

## 7.7 压力

a) 使用三通管和医用胶管把标准压力计、被校测试仪以及压力发生器相连接(如图 2 所示)。

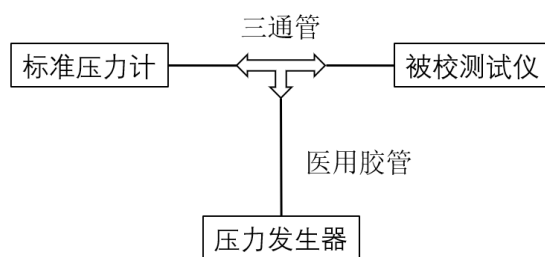


图 2 压力示值误差校准连接示意图

b) 通过压力发生器平稳加压至压力范围上限，进行两次预压试验。

c) 在压力范围内选择 10.6 kPa、16.0 kPa、21.3 kPa 作为校准点，通过压力发生器平稳加压到校准点，读取被校测试仪压力示值，按照公式（6）计算各校准点压力示值误差。

$$\Delta P_i = P_i - P_{0i} \quad (6)$$

式中：

$\Delta P_i$ ——第  $i$  校准点压力示值误差，kPa；

$P_i$ ——第  $i$  校准点被校测试仪示值，kPa；

$P_{0i}$ ——第  $i$  校准点标准压力计示值，kPa。

## 8 校准结果的表达

### 8.1 校准原始记录

校准原始记录（推荐）格式参见附录 B。

### 8.2 校准结果的处理

校准证书由封面和校准数据组成，校准证书内页（推荐）格式见附录 C。证书上的信息至少包括以下内容：

- a) 标题：“校准证书”；
- b) 实验室名称和地址；
- c) 进行校准的地点（如果与实验室地点不同）；
- 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) 被校仪器的描述和明确标识（如型号、产品编号等）；
- g) 进行校准的日期；
- h) 校准所依据的技术规范的标识，包括名称和代号；
- i) 校准所用测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说明；
- l) 校准员及核验员的签名；
- m) 校准证书批准人的签名；
- n) 校准结果仅对被校对象有效的声明；
- o) 未经实验室书面批准，不得部分复制证书的声明。

## 9 复校时间间隔

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所决定的，因此送校单位可按照实际使用情况自主决定复校时间间隔。建议不超过 1 年。

## 附录 A

### 合成血液配置方法（推荐）

#### A.1 成分

按照如下配方制备 1L 合成血液：

——高效液相色谱用蒸馏水 PH  $7.0\pm 0.5$ ，1L；

——增稠剂，25.0g；

——红色染料，包含着色剂，表面活性剂蒸馏水，10.0g。

#### A.2 制备方法

为了减少生物污染，将足够量的蒸馏水煮沸 5min，以提供要求的 1L 体积。在混合之前冷却到室温，测量煮沸后冷却到  $(20\pm 1)^\circ\text{C}$  时的量。

在蒸馏水中加入增稠剂，室温时在磁力搅拌盘上混合 45min。

加入红色染料后再混合 15min。

#### A.3 表面张力，调制、储存和使用

根据 GB/T5549 测量校准后的溶液表面张力。预期表面张力值为  $(0.042\pm 0.002)\text{N/m}$ 。如果表面张力不在此范围内不要使用。

红色染料中过量的油会引起合成血表面张力产生不可接受的变化。通过将 25g 染料和 1L 浓度 90% 的异丙醇混合去除多余的油，将 80% 受污染的酒精倒出，丢弃或用于蒸馏。将染料酒精溶液倒入蒸发皿中，形成一个薄层，然后用滤纸覆盖以使残留酒精完全蒸发。红色染料干了之后就可以使用了。

将混合物放置 24h，去除合成血中多余的油，然后小心的将上面 10% 的混合物倒出。将合成血储存在室温下玻璃器皿中。

为防止分层，使用前晃动合成血。

如果有凝胶状的沉淀物形成，则应丢弃。

## 附录 B

## 医用口罩合成血液穿透测试仪校准原始记录（推荐）格式

送检单位			送检单位地址		
制造厂		型号规格		出厂编号	
校准地点		温度		相对湿度	
校准证书编号		校准日期		校准依据	
校准所用的计量标准器：					
名称	测量范围	最大允许误差/不确定度/准确度等级	检定/校准证书编号	证书有效期至	

## 1.喷射距离：

标称值/ mm	测量值/mm			测量平均值/ mm	示值误差/ mm	测量不确定度 $U(k=2)$
	第一次	第二次	第三次			

## 2.喷射头内径：

标称值/ mm	测量值/mm			测量平均值/ mm	示值误差/ mm	测量不确定度 $U(k=2)$
	第一次	第二次	第三次			

## 3.喷液量：

喷射速度/ (m/s)	设定时间/s	喷液量设定值/mL	合成血液密度/(g/mL)	测量值/g			测量平均值/mL	示值误差/mL	测量不确定度 $U(k=2)$
				第一次	第二次	第三次			

## 4.喷射速度:

喷射速度 / (m/s)	喷射头内径 /mm	合成血液密度 / (g/mL)	测量值 / g						速度测量值 / (m/s)	示值误差 / %	测量不确定度 $U_{rel}$ ( $k=2$ )	
			第一次		第二次		第三次					质量差平均值
			0.5s	1.5s	0.5s	1.5s	0.5s	1.5s				

## 5.压力:

标准压力值/kPa	第一次测量值/kPa	示值误差/kPa	测量不确定度 $U$ ( $k=2$ )

校准员:

核验员:

## 附录 C

## 校准证书内页（推荐）格式

证书编号 XXXXXX-XXXX

校准环境条件及地点：					
温度		°C	地点		
相对湿度		%	其它		
校准所依据的技术文件（代号、名称）：					
校准所使用的主要测量标准：					
名称	测量范围	最大允许误差/不确定度/ 准确度等级		检定/校准证 书编号	证书有效期至
校准结果：					
1. 喷射距离：					
标称值/mm	测量值/mm		示值误差/mm	测量不确定度 $U(k=2)$	
2. 喷射头内径：					
标称值/mm	测量值/mm		示值误差/mm	测量不确定度 $U(k=2)$	
3. 喷液量：					
喷射速度/ (m/s)	喷射时间 /s	理论喷液量/mL	测量值/ mL	示值误差/ mL	测量不确定度 $U(k=2)$

4.喷射速度:			
喷射速度设定值/ (m/s)	喷射速度测量值/ (m/s)	示值误差/%	测量不确定度 $U_{rel}(k=2)$
5. 压力校准:			
标准值/kPa	显示值/kPa	示值误差/kPa	测量不确定度 $U(k=2)$

校准员:

核验员:



## 附录 D

## 医用口罩合成血液穿透试验仪喷液量测量结果不确定度评定示例

## D.1 测量方法

分别使用液体密度计测量合成血液密度，使用电子天平测量喷液质量，合成血液密度和喷液量均测量三次取平均值。标称值与测量结果之差即为喷液量示值误差。

## D.2 测量模型

$$\Delta Q_i = Q_{0i} - \frac{\bar{m}_i}{\rho} \quad (\text{D.1})$$

式中：

式中：

$\Delta Q_i$ ——第  $i$  校准点喷液量误差，mL；

$Q_{0i}$ ——被校测试仪设定喷液量，mL；

$\bar{m}_i$ ——第  $i$  校准点喷液质量三次测量平均值，g；

$\rho$ ——合成血液密度，g/mL。

## D.3 灵敏系数：

对公式 C.1 求偏导数得出各项的灵敏系数：

$$c_1 = \frac{\partial \Delta Q_i}{\partial \bar{m}_i} = -\frac{1}{\rho}$$

$$c_2 = \frac{\partial \Delta L}{\partial \bar{L}} = \frac{\bar{m}_i}{\rho^2}$$

## D.4 标准不确定度分量分析

D.4.1 合成血液密度测量重复性引入的标准不确定  $u_1$ 

使用液体密度计对合成血液密度进行测量，重复测量 10 次，测量结果如表 D.1 所示。

表 D.1 密度测量数据表

测量次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	均值
$\rho/(g/mL)$	1.002	1.007	1.005	1.001	0.998	1.002	1.009	1.003	1.002	1.008	1.0037

测量平均值为 1.0037g/mL，采用 A 类评定方法进行评定，用贝塞尔公式计算单次测

量实验标准偏差 $s(L_i)$ ，自由度 $\nu=9$ ：

$$s(\rho) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10}(\rho_i - \bar{\rho})^2}{n-1}} = 0.0035(\text{g/mL}) \quad (\text{D. 2})$$

实际测量时，是重复测量三次取平均值作为测量结果，则标准测量不确定度为：

$$u_1 = s(\bar{\rho}_i) = \frac{s(\rho_i)}{\sqrt{3}} = 0.002(\text{g/mL}) \quad (\text{D. 3})$$

#### D. 4. 2 液体密度计最大允许误差引入的标准不确定 $u_2$

密度计为 0.5 级，测得液体密度为 1.0037g/mL，最大允许误差为 $\pm 0.005\text{g/mL}$ ，在区间内服从均匀分布，采用 B 类方法进行评定，包含因子 $k=\sqrt{3}$ ，则其引入的标准不确定度分量为：

$$u_2 = \frac{1.0037 * 0.5\%}{\sqrt{3}} = 0.003(\text{g/mL}) \quad (\text{D. 4})$$

#### D. 4. 3 喷液量重复性引入的标准不确定 $u_3$

使用电子天平对喷液量进行测量，重复测量 10 次，测量结果如表 D.2 所示。

表 D. 2 质量测量数据表

测量次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	均值
$m_i/\text{g}$	2.012	2.005	2.015	1.998	2.021	2.013	2.001	2.013	1.995	1.997	2.007

测量平均值为 2.007g，采用 A 类评定方法进行评定，用贝塞尔公式计算单次测量实验标准偏差 $s(m_i)$ ，自由度 $\nu=9$ ：

$$s(m) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10}(m_i - \bar{m})^2}{n-1}} = 0.009(\text{g}) \quad (\text{D. 5})$$

实际测量时，是重复测量三次取平均值作为测量结果，则标准测量不确定度为：

$$u_3 = s(\bar{m}_i) = \frac{s(m_i)}{\sqrt{3}} = 0.005(\text{g}) \quad (\text{D. 6})$$

#### D. 4. 4 电子天平最大允许误差引入的标准不确定 $u_4$

电子天平最大允许误差为 $\pm 0.005\text{g}$ 在区间内服从均匀分布，采用 B 类方法进行评定，包含因子 $k=\sqrt{3}$ ，则其引入的标准不确定度分量为：

$$u_4 = \frac{0.005}{\sqrt{3}} = 0.003(\text{g}) \quad (\text{D.7})$$

表 D.3 标准不确定一览表

序号	输入量估计值的标准不确定度评定			输入量估计值的标准不确定度评定	
	来源	符号	数值	灵敏系数 $C_i$	$ C_i u_i$
1	密度测量重复性	$u_1$	0.002g/mL	$-\frac{1}{\rho}$	0.002mL
2	密度计最大允许误差	$u_2$	0.003g/mL	$-\frac{1}{\rho}$	0.003mL
3	质量测量重复性	$u_3$	0.005g	$\frac{\bar{m}_i}{\rho^2}$	0.003mL
4	电子天平最大允许误差	$u_4$	0.003g	$\frac{\bar{m}_i}{\rho^2}$	0.002mL

## D.5 合成标准不确定度

各输入量间不相关，则被校测试仪合成不确定度为：

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2} = 0.005\text{mL} \quad (\text{D.8})$$

## D.6 扩展不确定度

取  $k=2$ ，则：

$$U = k \cdot u_c = 2 \times 0.005 = 0.01 (\text{mL}) \quad (\text{D.9})$$

## D.7 测量不确定度报告

由上述分析得喷液量为 2.00mL 时，误差的扩展不确定度：

$$U = 0.01\text{mL} (k=2)$$

## 附录 E

## 医用口罩合成血液穿透试验仪喷射速度测量结果不确定度评定示例

## E.1 测量方法

设置喷射速度，使用密度计测量合成血液密度，使用针规测量喷射头内径，使用电子天平测量喷射 0.5s 与 1.5s 穿过定靶板后喷射液体的质量差，测量三次取平均值，按照测量模型计算喷射速度。

## E.2 测量模型

$$v_i = \frac{4\Delta\bar{m}_i}{\rho\pi\bar{d}^2} \quad (\text{E.1})$$

式中：

$v_i$ ——第  $i$  校准点速度测量值，m/s；

$\Delta\bar{m}_i$ ——第  $i$  校准点喷射 0.5s 与 1.5s 的喷射液体三次测量质量差的平均值，g；

$\rho$ ——合成血液密度，g/mL；

$\pi$ ——圆周率，取值 3.1416；

$\bar{d}$ ——喷射头内径三次测量平均值，mm。

## E.3 灵敏系数：

对公式 D.1 求偏导数得出各项的灵敏系数：

$$c_1 = \frac{\partial v_i}{\partial \Delta\bar{m}_i} = \frac{4}{\rho\pi\bar{d}^2}$$

$$c_2 = \frac{\partial v_i}{\partial \rho} = \frac{-4\Delta\bar{m}_i}{\rho^2\pi\bar{d}^2}$$

$$c_3 = \frac{\partial v_i}{\partial \bar{d}} = \frac{-8\Delta\bar{m}_i}{\rho\pi\bar{d}^3}$$

## E.4 标准不确定度分量分析

E.4.1 质量差测量重复性引入的不确定度  $u_1$ 

使用电子天平对喷质量差进行测量，重复测量 10 次，测量结果如表 E.1 所示。

表 E.1 喷液量测量数据表

测量次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	均值
$\Delta m_i/g$	2.485	2.482	2.483	2.521	2.492	2.505	2.512	2.495	2.523	2.511	2.501

平均值为 2.501mL，采用 A 类评定方法进行评定，用贝塞尔公式计算单次测量实验标准偏差 $s(m_i)$ ，自由度 $\nu = 9$ ：

$$s(m_i) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (m_i - \bar{m})^2}{n - 1}} = 0.016(g) \quad (E.2)$$

实际测量时，是重复测量三次取平均值作为测量结果，则标准测量不确定度为：

$$u_1 = s(\bar{m}_i) = \frac{s(m_i)}{\sqrt{3}} = 0.009(g) \quad (E.3)$$

#### E.4.2 电子天平最大允许误差引入的不确定度 $u_2$

电子天平最大允许误差引入的不确定度详见附录 D4.4,  $u_2 = 0.003g$ 。

#### E.4.3 合成血液密度测量重复性引入的不确定度 $u_3$

液体密度计最大允许误差引入的不确定度详见附录 D4.1,  $u_3 = 0.002g/mL$ 。

#### E.4.3 液体密度计最大允许误差引入的不确定度 $u_4$

液体密度计最大允许误差引入的不确定度详见附录 D4.2,  $u_3 = 0.003g/mL$ 。

#### E.4.5 喷头内径测量重复性引入的标准不确定 $u_5$

使用电子天平对喷液量进行测量，重复测量 10 次，测量结果如表 E.1 所示。

表 E.2 喷液量测量数据表

测量次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	均值
$d_i/mm$	0.842	0.842	0.843	0.842	0.842	0.843	0.843	0.842	0.842	0.842	0.842

平均值为 0.842mm，采用 A 类评定方法进行评定，用贝塞尔公式计算单次测量实验标准偏差 $s(d_i)$ ，自由度 $\nu = 9$ ：

$$s(d_i) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (d_i - \bar{d})^2}{n - 1}} = 0.001(mm) \quad (E.4)$$

实际测量时，是重复测量三次取平均值作为测量结果，则标准测量不确定度为：

$$u_5 = s(\bar{d}_i) = \frac{s(d_i)}{\sqrt{3}} = 0.0004(\text{mm}) \quad (\text{E. 5})$$

#### E. 4. 4 针规最大允许误差引入的不确定度 $u_6$

针规最大允许误差为 $\pm 0.001\text{mm}$ ，在区间内服从均匀分布，采用 B 类方法进行评定，包含因子 $k=\sqrt{3}$ ，则其引入的标准不确定度分量为：

$$u_6 = \frac{0.001}{\sqrt{3}} = 0.0006 (\text{mm}) \quad (\text{E. 6})$$

表 E. 3 标准不确定一览表

序号	输入量估计值的标准不确定度评定			输入量估计值的标准不确定度评定	
	来源	符号	数值	灵敏系数 $C_i$	$ C_i u_i$
1	质量差测量重复性引入的不确定度	$u_1$	0.009g	$\frac{4}{\rho\pi\bar{d}^2}$	0.0161m/s
2	电子天平最大允许误差引入的不确定度	$u_2$	0.003g	$\frac{4}{\rho\pi\bar{d}^2}$	0.0054m/s
3	合成血液测量重复性引入的不确定度	$u_3$	0.002g/mL	$\frac{-4\Delta\bar{m}_i}{\rho^2\pi\bar{d}^2}$	0.0089m/s
4	液体密度计最大允许误差引入的不确定度	$u_4$	0.003g/mL	$\frac{-4\Delta\bar{m}_i}{\rho^2\pi\bar{d}^2}$	0.0122m/s
5	喷头内径测量重复性引入的标准不确定	$u_5$	0.0004mm	$\frac{-8\Delta\bar{V}_i}{\rho\pi\bar{d}^3}$	0.0042m/s
6	针规最大允许误差引入的不确定度	$u_6$	0.0006 mm	$\frac{-8\Delta\bar{V}_i}{\rho\pi\bar{d}^3}$	0.0064m/s

#### E. 5 合成标准不确定度

各输入量间不相关，则被校测试仪合成不确定度为：

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2 + u_5^2 + u_6^2} = 0.0246 (\text{m/s}) \quad (\text{E. 7})$$

#### E. 6 扩展不确定度

取  $k = 2$ ，则：

---

$$U = k \cdot u_c = 2 \times 0.0246 \approx 0.049 \text{ (m/s)} \quad (\text{E. 8})$$

合成血液密度为 1.0037g/mL，喷射速度为 4.5m/s，喷头内径为 0.842mm，0.5s 和 1.5s 喷射质量差为 2.501g 时，测量结果误差的扩展不确定度：

$$U_{\text{rel}} = \frac{U}{v} = \frac{0.049}{4.5} \times 100\% = 1.1\% \quad (\text{E. 9})$$

#### E.7 测量不确定度报告

由上述分析得合成血液密度为 1.0037g/ mL，喷射速度为 4.50m/s，喷头内径为 0.842mm，0.5s 和 1.5s 喷射质量差为 2.501g 时，测量结果误差的扩展不确定度：

$$U_{\text{rel}} = 1.1\%$$

---