



中华人民共和国工业和信息化部 兵工民品计量技术规范

JJF（兵工民品） 0027—2023

自动滤料分析仪校准规范

Calibration Specification for automatic filter material analyzer

（报批稿）

20XX—XX—XX 发布

20XX—XX—XX 实施

中华人民共和国工业和信息化部 发布

自动滤料分析仪校准规范

Calibration Specification for
automatic filter material analyzer

JJF（兵工民品） 0027—2023

归口单位：中国兵器工业标准化研究所

主要起草单位：山西新华防化装备研究院有限公司

参与起草单位：国防科技工业防化一级计量站

本规范技术条文委托起草单位负责解释

本规范主要起草人：

徐 玲（山西新华防化装备研究院有限公司）

刘 力（山西新华防化装备研究院有限公司）

王泽心（山西新华防化装备研究院有限公司）

参加起草人：

乔锦瑞（国防科技工业防化一级计量站）

温维丽（国防科技工业防化一级计量站）

胡玉良（国防科技工业防化一级计量站）

王 娜（国防科技工业防化一级计量站）

目 录

引言	(II)
1 范围	(1)
2 引用文件	(1)
3 术语和计量单位	(1)
4 概述	(1)
4.1 原理	(1)
4.2 结构	(1)
4.3 用途	(2)
5 计量特性	(2)
6 校准条件	(3)
6.1 环境条件	(3)
6.2 测量标准及其他设备	(3)
7 校准项目和校准方法	(4)
7.1 校准项目	(4)
7.2 校准方法	(4)
8 校准结果表达	(7)
9 复校时间间隔	(8)
附录 A 自动滤料分析仪校准记录格式	(9)
附录 B 校准证书内页格式	(12)
附录 C 参考校准样板结构示意图	(13)
附录 D 流量测量不确定度评定示例	(14)
附录 E 阻力测量不确定度评定示例	(17)
附录 F 透过率测量不确定度评定示例	(19)

引 言

本规范依据 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》编写。

本规范为首次发布。

自动滤料分析仪校准规范

1 范围

本规范适用于自动滤料分析仪的校准。

2 引用文件

本规范引用了下列文件：

JJF 1001-2011 通用计量术语及定义

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 术语和计量单位

JJF 1001-2011界定的及以下术语和定义适用于本规范。

3.1

过滤效率 filtering efficiency

在规定条件下，过滤元件对空气中的颗粒物滤除的百分数。

注：过滤效率 = $(1 - \text{下游气溶胶浓度} / \text{上游气溶胶浓度}) \times 100\%$ 。

3.2

穿透率 penetration

在规定条件下，颗粒物穿透过滤元件的百分数。

注：穿透率 = $100\% - \text{过滤效率}$ 。

4 概述

4.1 原理

自动滤料分析仪是基于光散射原理和差压测试原理设计而成的一种计量器具。穿透率测试时利用光度计对气溶胶粒子的光散射原理，使光度计的光接收器将光信号转变为电流信号，通过上下游两台光度计的电流信号比得到穿透率。差压测试原理是指阻力测试时利用差压传感器测量过滤元件进出口压力差而得到。

4.2 结构

自动滤料分析仪由光度计、气溶胶发生器、压力传感器、流量计、加热器、真空泵等部分组成，其结构见图 1。气溶胶发生器发生的气溶胶由洁净空气带出，盐气溶胶发生器发生盐雾时，需要对进入混合室的气流通过加热器进行加热，在混合室与洁净空气混合稀释后产生一定浓度的气溶胶，调节流量控制阀使气溶胶以一定的流量、压力在真

空泵产生的压力下经过夹具进而通过被测过滤元件，多余气溶胶通过排气口排出。夹具上下游连接光度计和压力传感器，分别对过滤元件进行穿透性测试和阻力测试。

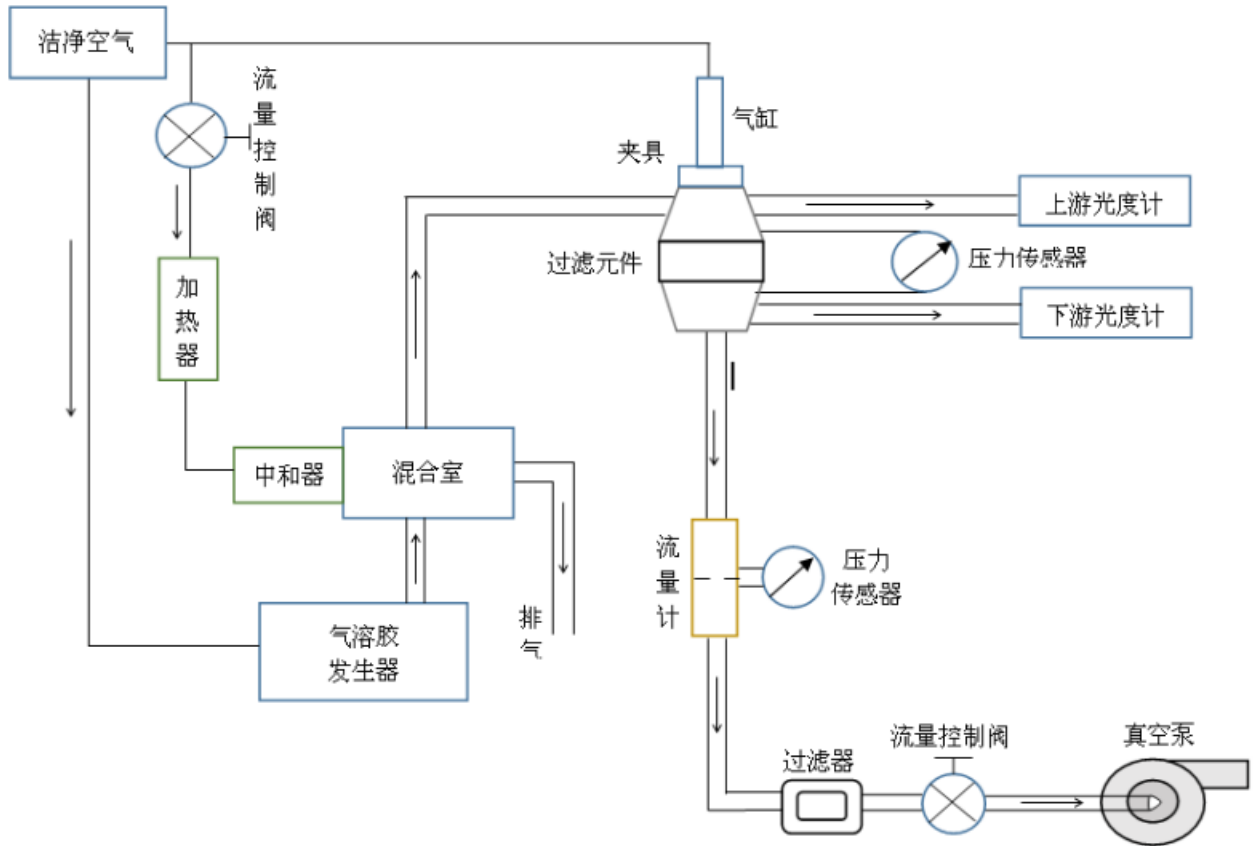


图1 自动滤料分析仪结构

4.3 用途

自动滤料分析仪用于对各种过滤元件（包括口罩、过滤件、防护服等）进行穿透率/过滤效率和阻力的测试。

5 计量特性

5.1 流量示值误差

不超过 $\pm 2\%$ 。

5.2 阻力示值误差

不超过 $\pm 2\%$ 。

5.3 阻力重复性

阻力重复性不大于 0.5% 。

5.4 穿透率示值误差

穿透率示值误差见表 1。

表 1 穿透率示值误差

穿透率	示值误差
$\geq 10\%$	不超过 $\pm 20\%$
$0.1\% \sim 10\%$	不超过 $\pm 25\%$
$0.001\% \sim 0.1\%$	不超过 $\pm 30\%$

5.5 穿透率重复性

穿透率重复性不大于 5%。

5.6 盐性气溶胶粒径分布及浓度

计数中位粒径 (CMD) 为 $(0.075 \pm 0.020) \mu\text{m}$, 粒径分布的几何标准偏差 (Geo. St. Dev.) 不大于 1.86; 浓度不超过 200 mg/m^3 。

5.7 油性气溶胶粒径分布及浓度

计数中位粒径 (CMD) 为 $(0.185 \pm 0.020) \mu\text{m}$, 粒径分布的几何标准偏差 (Geo. St. Dev.) 不大于 1.60; 浓度范围为 $(50 \sim 200) \text{ mg/m}^3$ 。

注: 以上技术指标仅供参考, 不用于合格性判断。

6 校准条件

6.1 环境条件

6.1.1 环境温度: $(20 \pm 5) ^\circ\text{C}$ 。

6.1.2 相对湿度: 不大于 80%。

6.2 测量标准及其它设备

测量标准及其他设备, 应经过计量技术机构检定或校准, 满足校准使用要求, 并在有效期内使用。测量标准及其他设备技术要求见表 2。

表 2 测量标准及其他设备技术要求

序号	测量标准及其他设备	技术要求
1	标准气体流量计	测量范围: $(0 \sim 100) \text{ L/min}$, 准确度等级不低于 1.0 级
2	数字差压计	测量范围: $(-1000 \sim 1000) \text{ Pa}$, 准确度等级: 0.05 级
3	光电光度计	浓度测量范围: $(0.001 \sim 2500) \text{ mg/m}^3$, MPE: $\pm 6\%$
4	扫描电迁移率粒径谱仪	粒径测量范围: $(10 \sim 1000) \text{ nm}$, MPE: $\pm 15\%$
5	电子天平	测量范围: $220 \text{ g}/0.01 \text{ mg}$, 准确度等级: ①级
6	校准样板	15 L/min: 不小于 20 Pa 42.5 L/min: 不小于 100 Pa 85 L/min: 不小于 400 Pa
7	过滤纸	穿透率: $0.001\% \sim 0.1\%$ 、 $0.1\% \sim 10\%$ 、大于 10%

7 校准项目和校准方法

7.1 校准项目

自动滤料分析仪校准项目见表3。

表3 自动滤料分析仪校准项目

序号	校准项目
1	外观检查
2	通电、通气检查
3	流量示值误差
4	阻力示值误差
5	阻力重复性
6	穿透率示值误差
7	穿透率重复性
8	盐性气溶胶粒径分布及浓度
9	油性气溶胶粒径分布及浓度

7.2 校准方法

7.2.1 外观

用目测的方法检查。自动滤料分析仪应有铭牌，标明产品名称、型号、规格、制造厂名称或商标、出厂编号等。仪器的各个紧固件和电缆连接插件均应紧固、插接良好，各功能应完好，工作正常。

7.2.2 通电、通气检查

按操作说明书给自动滤料分析仪正常通电、通气，自动滤料分析仪应能够正常工作，夹具能够上下启动、闭合。

7.2.3 流量示值误差

将标准气体流量计连接于自动滤料分析仪中，与被校流量计串联，选取流量点 15 L/min、42.5 L/min、85 L/min 为校准点，分别读取被校流量计示值与标准气体流量计测得流量值，重复测量三次，记录在附录 A 中。按公式（1）计算流量各校准点示值误差。

$$\Delta q = \frac{\overline{q_{\text{流}}} - \overline{q_{\text{标}}}}{\overline{q_{\text{标}}}} \times 100\% \quad (1)$$

式中：

Δq ——流量示值误差；

$\overline{q_{\text{流}}}$ ——流量计示值的算术平均值，L/min；

$\overline{q_{\text{标}}}$ ——标准气体流量计测得流量的算术平均值，L/min。

7.2.4 阻力示值误差

7.2.4.1 将校准样板和数字差压计接入自动滤料分析仪上下夹具之间，如图 2 所示。通过流量控制器分别控制流量在 15 L/min、42.5 L/min、85 L/min，用数字差压计测量该流量下校准样板上下的压力差，同时读取自动滤料分析仪的阻力测试值，每个流量点下重复测量三次，记录在附录 A 中。按公式（2）计算各流量点下阻力的示值误差。

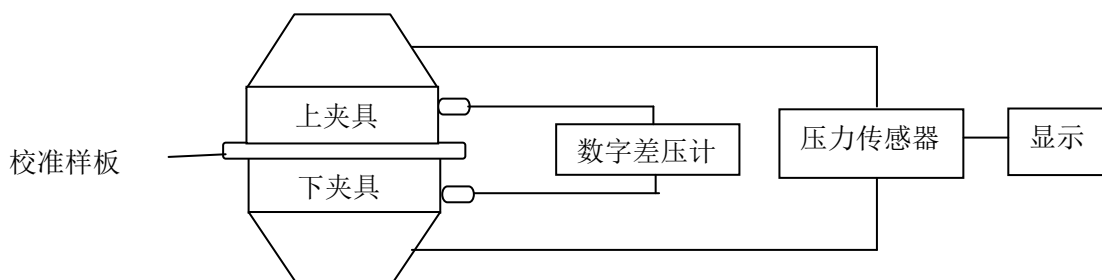


图 1 校准样板和数字差压计连接图

$$\Delta F = \frac{\overline{F} - \overline{F_0}}{\overline{F_0}} \times 100\% \quad (2)$$

式中：

ΔF ——阻力示值误差，Pa；

\overline{F} ——自动滤料分析仪三次阻力读取值的算术平均值，Pa；

$\overline{F_0}$ ——数字差压计三次测量值的算术平均值，Pa。

7.2.5 阻力重复性

按 7.2.4 分别在三个流量点下重复读取自动滤料分析仪三次阻力值，按公式（3）依据极差法计算阻力重复性。

$$s = \frac{F_{\max} - F_{\min}}{C_n \cdot \overline{F}} \times 100\% \quad (3)$$

式中：

s ——自动滤料分析仪的阻力重复性；

C_n ——极差系数，1.693；

\overline{F} ——自动滤料分析仪三次阻力读取值的算术平均值，Pa；

F_{\max} 、 F_{\min} ——自动滤料分析仪阻力读取最大值和最小值，Pa。

7.2.6 穿透率示值误差

7.2.6.1 选择三种不同穿透率的过滤纸，在自动滤料分析仪上下夹具中连接过滤纸夹具（包含过滤纸）和光电光度计，如图 3 所示。调节流量在 85 L/min 的条件下，用光电光度计测试过滤纸上下游的浓度值，按公式（4）通过比值计算得出穿透率。同时读取自动滤料分析仪的穿透率测得值，重复测量三次，记录在附录 A 中。

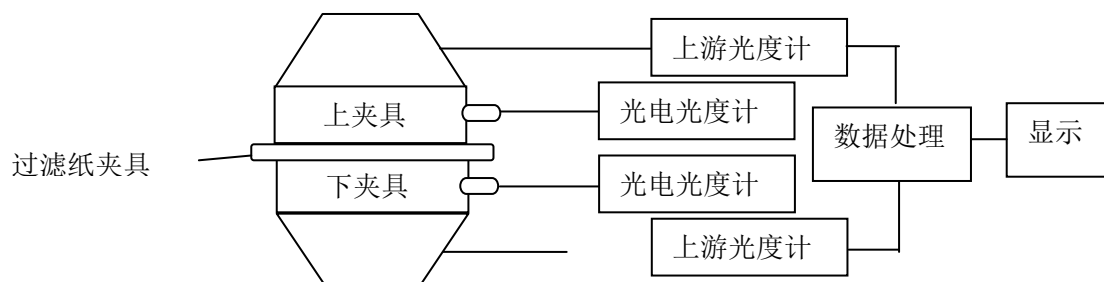


图3 过滤纸夹具和光电光度计连接图

$$\eta_0 = \frac{c_{\text{下游}}}{c_{\text{上游}}} \quad (4)$$

式中：

$c_{\text{下游}}$ 、 $c_{\text{上游}}$ ——光电光度计测得过滤纸下游和上游浓度值， μA ；

η_0 ——光电光度计测得穿透率值，%。

7.2.6.2 各校准点示值误差以该过滤纸下自动滤料分析仪的穿透率测量值与光电光度计测得值之差来确定，按公式（5）计算穿透率示值误差。

$$e = \frac{\bar{\eta} - \bar{\eta}_0}{\bar{\eta}_0} \times 100\% \quad (5)$$

式中：

e ——穿透率示值误差；

$\bar{\eta}$ ——自动滤料分析仪三次穿透率的算术平均值，%；

$\bar{\eta}_0$ ——光电光度计三次测得穿透率的算术平均值，%。

7.2.7 穿透率重复性

按7.2.6分别在三种穿透率不同的过滤纸条件下，重复测量自动滤料分析仪的三次穿透率值，按公式（6）依据极差法计算穿透率重复性。

$$s' = \frac{\eta_{\max} - \eta_{\min}}{C_n \cdot \bar{\eta}} \times 100\% \quad (6)$$

式中：

s' ——自动滤料分析仪穿透率的重复性；

C_n ——极差系数，1.693；

η_{\max} 、 η_{\min} ——自动滤料分析仪测得穿透率最大值和最小值，%。

7.2.8 盐性气溶胶粒径分布及浓度

7.2.8.1 将扫描电迁移粒径谱仪通过夹具连接于自动滤料分析仪系统中，如图4所示。启动自动滤料分析仪的气溶胶发生器，使其发生的气溶胶与空气充分混合后进入扫描电迁移粒径谱仪，通过数据采集与数据管理单元统计出计数中位粒径与几何标准偏差并记录在附录A中。

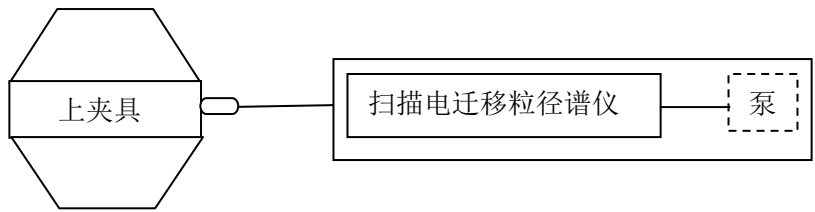


图4 气溶胶粒径分布测量连接图

7.2.8.2 用电子天平称取过滤纸质量 m_1 ，启动自动滤料分析仪，调节好流量并记录 q ，发生气溶胶粒子，然后将滤纸放置于夹具间，测试 10 分钟后取下滤纸置于电子天平称取其质量 m_2 ，通过公式（6）计算得到浓度值。

$$c = \frac{1000(m_2 - m_1)}{10q} \quad (7)$$

式中：

- c ——自动滤料分析仪发生的浓度值， mg/m^3 ；
- m_1 ——测试前称得过滤纸的质量， mg ；
- m_2 ——测试后称得过滤纸的质量， mg ；
- q ——自动滤料分析仪流量值， L/min 。

7.2.9 油性气溶胶粒径分布及浓度

按 7.2.8，测量油性气溶胶粒径分布和浓度。

8 校准结果表达

校准过程中数据应真实客观的填写在原始记录中，见附录A，并出具校准证书。推荐校准证书内页格式见附录B。校准结果用校准数据的形式给出，并给出测量不确定度，不确定度评定示例见附录D、附录E、附录F。校准证书至少包含以下信息：

- a) 标题，如“校准证书”或“校准报告”；
- b) 实验室名称和地址；
- c) 进行校准的地点（如果不在实验室内进行校准）；
- 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，如果与校准结果的有效性和应用有关时，应说明被校对象的接收日期；
- h) 如果与校准结果的有效性和应用有关时，应对抽样程序进行说明；
- i) 对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) 校准证书签发人的签名, 以及签发日期;
- o) 校准结果仅对被校对象有效的声明;
- p) 未经实验室书面批准, 不得部分复制证书或报告的声明。

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、仪器本身质量等因素所决定, 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, 建议不超过一年。

附录 A

自动滤料分析仪校准记录格式

流转号：_____ 证书编号：_____

校准地点：_____ 环境温度：_____ 相对湿度：_____

校准依据：_____ 校准员：_____ 核验员：_____

被校仪器信息			
送校单位		校准日期	
名 称		出厂编号	
型号/规格		制 造 商	
主要标准器信息			
名 称	测量范围	准确度等级/ 最大允许误差	证书编号及有效期

自动滤料分析仪校准结果

序号	校准项目		校准结果				
1	外观检查						
2	通电、通气检查						
3	流量 示值 误差	校准流量点		标准器 测得值 (L/min)	自动滤料 分析仪流量 值 (L/min)	示值误差	扩展不确 定度 U ($k=2$)
		15 (L/min)	1				
			2				
			3				
			平均				

		42.5 L/min	1				
			2				
			3				
			平均				
		85 L/min	1				
			2				
			3				
			平均				

4	阻力 示值 误差	流量		标准器 测得值 (Pa)	自动滤料 分析仪值 (Pa)	示值误差	扩展不确 定度 U ($k=2$)
		15 L/m in	1				
			2				
			3				
			平均				
		42.5 L/m in	1				
			2				
			3				
			平均				
		85 L/m in	1				
			2				
			3				
			平均				

5	阻力 重复 性	流量		自动滤料分析仪值 (Pa)			平均 (Pa)	重复性	扩展不确 定度 U ($k=2$)
				1	2	3			
		15 L/min							
		42.5 L/min							
		85 L/min							

6	穿透率 示值误 差	次数	标准器测得值 (%)			自动滤料 分析仪值 (%)	示值误差	扩展不确 定度 U ($k=2$)
		1						
		2						

		3						
		平均						
7	穿透率重复性	自动滤料分析仪值 (%)			平均 (%)	重复性	扩展不确 定度 U ($k=2$)	
		1	2	3				
8	盐性气溶胶粒径分布及浓度	发生介质						
		计数中值粒径						
		粒径分布的几何标准 偏差						
		m_1						
		m_2						
		q						
		浓度			mg/m^3			
9	油性气溶胶粒径分布及浓度	发生介质						
		计数中值粒径						
		粒径分布的几何标准 偏差						
		m_1						
		m_2						
		q						
		浓度			mg/m^3			

附录 B

校准证书内页格式

校准项目及校准结果：

序号	校 准 项 目	校 准 结 果
1	外观检查	
2	通气、通电检查	
3	流量示值误差	
4	阻力示值误差	
5	阻力重复性	
6	穿透率示值误差	
7	穿透率重复性	
8	盐性气溶胶粒径分布及浓度	
9	油性气溶胶粒径分布及浓度	

附录 C

参考校准样板结构示意图

参考校准样板结构示意图见图 C.1。

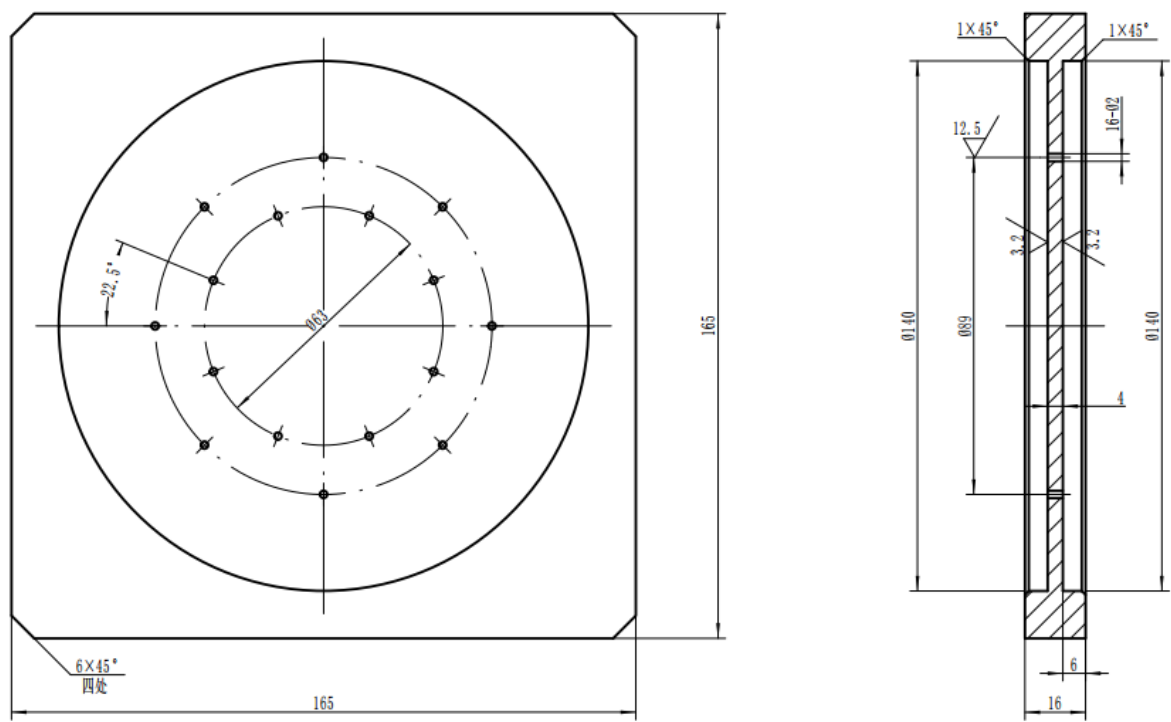


图 C.1 参考校准样板结构示意图

附录 D

流量测量不确定度评定示例

D.1 测量方法

依据 7.2.3 对自动滤料分析仪流量进行测量。

D.2 测量模型

数学模型见公式 (D.1)。

$$\Delta q = \overline{q_{\text{流}}} - \overline{q_{\text{标}}} \quad (\text{D.1})$$

式中：

$\overline{q_{\text{流}}}$ ——流量计示值的算术平均值，L/min；

$\overline{q_{\text{标}}}$ ——标准气体流量计测得流量的算术平均值，L/min。

D.3 测量不确定度来源

D.3.1 标准气体流量计误差引入的不确定度

D.3.2 重复性引入的标准不确定度

D.4 标准不确定度评定

D.4.1 标准气体流量计误差引入的不确定度 u_1

使用标准气体流量计作为标准，其最大允许误差为 1.0%，取均匀分布 $k = \sqrt{3}$ ，则其引入的标准不确定度 $u_{q_{\text{标}}}$ 为：

$$u_{q_{\text{标}}} = \frac{1.0\%}{k} = 0.58\%$$

D.4.2 重复性引入的标准不确定度 u_2

在重复性条件下，使用钟罩式气体流量标准装置对流量计分别在 15 L/min、42.5 L/min、85 L/min 下重复测量 10 次，测量结果见表 D.1。

表 D.1 流量重复性测量数据

L/min

流量	1	2	4	5	6	7	9	10
15	15.1	15.1	15.0	15.1	14.9	15.0	15.1	15.1
42.5	42.3	42.2	42.1	42.6	42.6	42.7	42.5	42.7
85	84.8	84.6	85.2	85.1	85.2	85.1	85.3	85.0

用贝塞尔公式计算：

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (q_i - \bar{q})^2}{n-1}}$$

实际测量以三次测量值的算术平均值为测量结果，则有

$$u_{q_{\text{流}}} = \frac{s}{\sqrt{3}}$$

表 D.2 流量重复性引入的标准不确定度

流量	15 L/min	42.5 L/min	85 L/min
$u_{q_{\text{流}}} \text{ (L/min)}$	0.127	0.210	0.241
$u_{q_{\text{流}}} \text{ (%)}$	0.37	0.29	0.16

D.5 标准不确定度汇总

D.5.1 灵敏系数

由数学模型知各变量之间不相关，由公式 $u_c^2 = \left(\frac{\partial f}{\partial x_i}\right)^2 \times u^2(x_i)$ 得：

$$u_c^2 = c_1^2 u_{q_{\text{标}}}^2 + c_2^2 u_{q_{\text{流}}}^2$$

式中 $c_1=-1$ ， $c_2=1$ 。

D.5.2 标准不确定度汇总见表D.3。

表 D.3 标准不确定度汇总表

不确定度分量	不确定度来源	$u(x_i)$			灵敏系数 c_i	$u_i = c_i u(x_i)$		
		15 L/min	42.5 L/min	85 L/min		15 L/min	42.5 L/min	85 L/min
u_1	标准气体流量计误差引入	0.58%			-1	0.58%		
u_2	测量重复性引入	0.37	0.29	0.16	1	0.37	0.29	0.16
u_c	合成标准不确定度	/	/	/	/	0.69	0.65	0.60

D.6 合成不确定度

$$u_c = \sqrt{c_1^2 u_{q_{\text{标}}}^2 + c_2^2 u_{q_{\text{流}}}^2}$$

15 L/min: $u_c=0.69\%$

42.5 L/min: $u_c=0.65\%$

85 L/min: $u_c=0.60\%$

D.7 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，则 $U=k \cdot u_c$ ，扩展不确定度见表 D.4。

表 D.4 扩展不确定度

流量	15 L/min	42.5 L/min	85 L/min
U (%)	1.4	1.3	1.2

附录 E

阻力测量不确定度评定示例

E.1 测量方法

依据 7.2.4 对自动滤料分析仪阻力示值误差进行校准。

E.2 测量模型

数学模型见公式 (E.1)。

$$\Delta F = \bar{F} - \bar{F}_0 \quad (\text{E.1})$$

式中：

ΔF ——阻力示值误差，Pa；

\bar{F} ——自动滤料分析仪三次阻力读取值的算术平均值，Pa；

\bar{F}_0 ——数字差压计三次测得差压的算术平均值，Pa。

E.3 测量不确定度来源

E.3.1 输入量 F 引入的标准不确定度E.3.2 输入量 F_0 (数字差压计) 引入的标准不确定度

E.4 标准不确定度评定

E.4.1 输入量 F 的标准不确定度分量 $u(F)$

在重复性条件下，使用数字差压计对自动滤料分析仪阻力分别在 15 L/min、42.5 L/min、85 L/min 下重复测量 6 次，测量结果见表 E.1。

表 E.1 阻力重复性测量数据

Pa

流量	1	2	3	4	5	6
15 L/min	31	31	31	31	31	31
42.5 L/min	196	196	197	196	196	196
85 L/min	723	722	722	722	722	722

用贝塞尔公式计算：

$$s = \sqrt{\frac{\sum_i^n (F_i - \bar{F})^2}{n-1}}$$

实际测量以三次测量值的算术平均值为测量结果，则有

$$u_2 = \frac{s}{\sqrt{3}}$$

表 E.2 阻力重复性引入的标准不确定度

流量	15 L/min	42.5 L/min	85 L/min
$u(F)$ (Pa)	0	0.41	0.41
$u(F)$ (%)	0	0.12	0.03

E.4.2 输入量 F_0 的标准不确定度分量 $u(F_0)$

依据数字差压计检定规程知, 0.05级数字压力计最大允许误差为 $\pm 0.05\%$, 假设其服从均匀分布, 取 $k=\sqrt{3}$, 则数字差压计引入的标准不确定度为:

$$u(F_0) = \frac{0.05\%}{\sqrt{3}} = 0.03\%$$

E.5 标准不确定度汇总

E.5.1 灵敏系数

由数学模型知各变量之间不相关, 由公式 $u_c^2 = \left(\frac{\partial f}{\partial x_i}\right)^2 \times u^2(x_i)$ 得:

$$u_c^2 = c_1^2 u_F^2 + c_2^2 u_{F_0}^2$$

因此, $c_1=1$ $c_2=-1$

E.5.2 标准不确定度汇总表见表E.3。

表 E.3 标准不确定度汇总表

不确定度分量	不确定度来源	$u(x_i)$			灵敏系数 c_i	$u_i = c_i u(x_i)$		
		15 L/min	42.5 L/min	85 L/min		15 L/min	42.5 L/min	85 L/min
$u(F)$	输入量 F 引入	0 %	0.12 %	0.04 %	1	0 %	0.12 %	0.04 %
$u(F_0)$	输入量 F_0 引入	0.03 %			-1	0.03 %		
u_c	合成标准不确定度	/	/	/	/	0.03%	0.13 %	0.05 %

E.6 合成不确定度

$$u_c = \sqrt{c_1^2 u_F^2 + c_2^2 u_{F_0}^2}$$

15 L/min: $u_c=0.03\%$

42.5 L/min: $u_c=0.13\%$

85 L/min: $u_c=0.05\%$

E.7 扩展不确定度

取 $k=2$, 则 $U=k \cdot u_c$, 综上, 最大 $U=0.3\%$ ($k=2$)。

附录 F

穿透率测量不确定度评定示例

F.1 测量方法

依据 7.2.6 对自动滤料分析仪阻力示值误差进行校准。

F.2 测量模型

数学模型见公式 (F.1)。

$$e = \bar{\eta} - \bar{\eta}_0 \quad (\text{F.1})$$

式中：

e ——穿透率示值误差；

$\bar{\eta}$ ——自动滤料分析仪三次穿透率的算术平均值，%；

$\bar{\eta}_0$ ——光电光度计三次测得穿透率的算术平均值，%。

F.3 测量不确定度来源

F.3.1 输入量 η 引入的标准不确定度F.3.2 输入量 η_0 （光电光度计）引入的标准不确定度

F.4 标准不确定度评定

F.4.1 输入量 η 的标准不确定度分量 $u(\eta)$ F.4.1.1 流量控制引入的不确定度 u_1

依据流量计控制波动最大为 1%，取均匀分布， $k = \sqrt{3}$ ，则流量控制引入的标准不确定度为：

$$u_1 = \frac{1\%}{\sqrt{3}} = 0.58\%$$

F.4.1.2 重复性引入的标准不确定度 u_2

在流量 85 L/min，气溶胶浓度为 80 mg/m³ 时进行 6 次重复测量，数据见表 F.1。

表 F.1 穿透率重复性测量数据

%

流量	1	2	3	4	5	6
85 L/min	15.40832	15.40859	15.43761	15.42831	15.45523	15.39715
	4.77426	4.74512	4.76455	4.75612	4.75744	4.71365
	0.02861	0.02632	0.02645	0.02713	0.02698	0.02811

用贝塞尔公式计算：

$$s = \sqrt{\frac{\sum_i^n (\eta_i - \bar{\eta})^2}{n-1}}$$

实际测量以三次测量值的算术平均值为测量结果，则有

$$u_2 = \frac{s}{\sqrt{3}}$$

表 F.2 穿透率重复性引入的标准不确定度

穿透率	$\geq 10\%$	$\geq 0.1\% \sim 10\%$	$0.001\% \sim 0.1\%$
u_2 (%)	0.08	0.026	1.94

F.4.1.4 输入量 η 的标准不确定度分量 $u(\eta)$

综上，输入量 η 的标准不确定度分量 $u(\eta)$ 为：

$$u(\eta) = \sqrt{u_1^2 + u_2^2} = \sqrt{(0.58\%)^2 + (1.94\%)^2} = 2.0\%$$

F.4.2 输入量 η_0 的标准不确定度分量 $u(\eta_0)$

依据光电光度计检定证书知，光电光度计浓度最大允许误差为 $\pm 6\%$ ，假设其服从均匀分布，取 $k = \sqrt{3}$ ，则其引入的标准不确定度为：

$$u(\eta_0) = \frac{6\%}{\sqrt{3}} = 3.5\%$$

F.5 标准不确定度汇总

F.5.1 灵敏系数

由数学模型知各变量之间不相关，由公式 $u_c^2 = (\frac{\partial f}{\partial x_i})^2 \times u^2(x_i)$ 得：

$$u_c^2 = c_1^2 u_\eta^2 + c_2^2 u_{\eta_0}^2$$

因此， $c_1=1$ $c_2=-1$

F.5.2 标准不确定度汇总表见表F.3。

表 F.3 标准不确定度汇总表

不确定度分量	不确定度来源	$u(x_i)$	灵敏系数 c_i	$u_i = c_i \times u(x_i)$
$u(\eta)$	输入量 η 引入	2.0 %	1	2.0 %
$u(\eta_0)$	输入量 η_0 引入	3.5 %	-1	3.5 %
u_c	——	——	——	4.0 %

F.6 合成不确定度

$$u_c = 4.0\%$$

F.7 扩展不确定度

取 $k=2$ ，则 $U=2\times 4.0\%=8\%$

中华人民共和国工业和信息化部
兵工民品计量技术规范
自动滤料分析仪校准规范

JJF（兵工民品）0027—2023

版权所有 不得翻印