

2.3 数学模型

根据技术文件要求和数学分析，对物料试验可建立如下的数学模型：

$$se = \sum_{i=1}^n F/n - F_p = \bar{F} - F_p \quad (1)$$

式中：

se—自动称量的预设值误差， kg、g 或 mg；

$\bar{F} = \sum_{i=1}^n F/n$ —所有装料的平均值， kg、g 或 mg；

F_p —装料预设值， kg、g 或 mg。

3. 测量不确定度的分析与评定

3.1 影响物料试验的测量不确定度来源有：

- a. 重复性条件下装料衡器的重复性；
- b. 控制衡器的示值不准；
- c. 装料衡器的数字示值的分辨力；
- d. 控制衡器的数字示值的分辨力；
- e. 测量方法与规定的测量方法和程序的不一致性；
- f. 人员误差的存在；
- g. 环境（如振动、干扰）对测量结果的影响；
- h. 物料损失。

在参考条件下，由于试验时间较短，环境是相对稳定的，使用的是准确度较高的控制衡器，其分度值较小，可不必考虑上述不确定度来源中影响较小的 d、e、f、h 条，g 条属高阶小量可以忽约不计，a 条装料衡器的重复性、b 条控制衡器的示值不准、c 条装料衡器示值的分辨力是分析的重点。

3.2 方差和灵敏系数

由（1）式得方差传播公式：

$$u^2 (se) = c_1^2 u^2 (\bar{F}) + c_2^2 u^2 (F_p) \quad (2)$$

式中：

$u (se)$ —预设值误差的测量不确定度；

$u (\bar{F})$ —由对装料的称量带来的不确定度分量；

$u (F_p)$ —由装料衡器带来的不确定度分量；

$c_1 = \partial se / \partial \bar{F} = 1$ ， $c_2 = \partial E / \partial F_p = -1$ 。

所以（2）式可简化为

$$u^2 (se) = u^2 (\bar{F}) + u^2 (F_p) \quad (3)$$

3.3 标准不确定度分量

3.3.1 由对装料的称量带来的不确定度分量 $u(\bar{F})$

(1) 装料的测量重复性引入的不确定度分量 $u_1(\bar{F})$

按规程规定,物料试验测量 60 次。在重复性测量条件,重复称量 60 次,采用贝塞尔公式计算 $u_1(\bar{F})$ 。

根据试验报告中的数据,60 次测量结果分别为(单位为 g):

1000.1; 999.9; 1000.4; 1000.1; 1000.1; 999.6; 1000.2; 1000.4; 999.8; 1000.5; 1000.4;
1000.0; 999.9; 999.8; 999.8; 1000.3; 1000.0; 1000.3; 1000.1; 1000.1; 1000.4; 1000.5; 1000.2;
1000.0; 1000.0; 999.9; 1000.2; 1000.1; 1000.0; 1000.2; 1000.4; 1000.0; 1000.2; 999.8; 1000.1;
999.9; 999.9; 1000.1; 1000.1; 1000.3; 1000.0; 999.9; 999.9; 1000.0; 1000.2; 1000.2; 1000.4;
1000.1; 999.8; 1000.0; 999.9; 999.8; 999.8; 1000.1; 1000.1; 999.6; 999.4; 999.2; 999.4; 999.9。

$$u_1(\bar{F}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (F_i - \bar{F})^2}{n(n-1)}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{60} (F_i - \bar{F})^2}{60 \times 59}} = 0.03\text{g}$$

(2) 控制衡器引入的不确定度分量 $u_2(\bar{F})$

本次使用的是分离式控制衡器,选用一台质量比较仪,分度值 $d=0.1\text{g}$,重复性 0.75g ,无需使用“闪变点”法,且控制衡器分辨力引入的不确定度可以忽略,只考虑控制衡器示值不准引入的不确定度。

在 1000g 称量点最大允许误差为 $\pm 0.1\text{g}$,按均匀分布,取 $k=\sqrt{3}$

$$u_2(\bar{F}) = 0.1/\sqrt{3} = 0.06\text{g}$$

(3) 由对装料的称量带来的不确定度分量 $u(\bar{F})$

$$u(\bar{F}) = \sqrt{u_1^2(\bar{F}) + u_2^2(\bar{F})} = 0.07\text{g}$$

3.3.2 由装料衡器示值分辨力引入的测量不确定度分量 $u(F_p)$

由于在进行物料试验时,通常无法采用“闪变点”确定装料衡器化整前的示值误差。所以由于分辨力引起的不确定度为:

$$u(F_p) = 0.29 d = 0.29 \times 0.5 = 0.15\text{g}$$

3.4 测量结果的不确定度汇总

不确定度来源	标准不确定度 $u(x_i)$	灵敏系数 c_i	$ c_i u(x_i)$
由对装料的称量带来的不确定度分量	$u(\bar{F}) = 0.07\text{g}$	$c_1 = 1$	0.07g
由装料衡器带来的不确定度分量	$u(F_p) = 0.15\text{g}$	$c_2 = -1$	0.15g

3.5 合成标准不确定度

$$u_c(E_s) = \sqrt{c_1^2 u^2(\bar{F}) + c_2^2 u^2(F_p)} = 0.2g$$

3.6 扩展不确定度

取 $k=2$ ，则扩展不确定度：

$$U = k u_c(E_s) = 0.4g$$

3.6 测量结果不确定度的报告与表示

被检装料衡器在 1000g 秤量点的测量结果及其不确定度表示为：

$$F_p = 1000g, U = 0.4g; k = 2。$$

4. 结束语

本文从重力式自动装料衡器相关计量要求和工作实际着手，对重力式自动装料衡器测量结果的不确定度进行分析和评定，旨在抛砖引玉，期望对装料衡器不确定度的评定起到促进作用。文中对不确定度的分析与评定，可能有很多不同的看法和建议，敬请指正。

【参考文献】

[1] ISO/IEC GUIDE 98-3:2008, “Uncertainty in Measurement —Part3: Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement(GUM2008)” .

[2] ISO/IEC GUIDE 99:2007, “International vocabulary of metrology -- Basic and general concepts and associated terms (VIM)” ,BIPM, IEC, IFCC, ISO, IUPAC, IUPAP, OIML, 2007.

[3] JJG564-2002 重力式自动装料衡器 [S].

[4] 鲁新光，史莉，陈效泉. 动态公路车辆自动衡器测量结果不确定度分析 [J]. 计量技术. 2005, 8: 55-58.

作者简介：李冰莹（1984-），女，安徽六安人，江苏省计量科学研究院，高级工程师，研究方向为动态测量技术、计量技术，lby_8441@sina.com

作者通讯地址：江苏省南京市栖霞区文澜路 95 号 邮编：210023