

物流动态包裹计重系统测量不确定度评定

□常州检验检测标准认证研究院 杨宇华 吴佳猛

【摘要】本文结合实际工作，对动态包裹计重系统的质量测量模块和体积测量模块分别建立数学模型，并对它们进行测量结果不确定度分析，给予对应的扩展不确定度，为动态包裹计重系统的校准提供技术参考。

【关键词】动态包裹计重系统；质量测量模块；体积测量模块；不确定度评定

文献标识码：A

文章编号：1003-1870（2024）08-0024-04

引言

近年来，物流行业发展迅速，2024年我国全年快递业务量到达千亿件。物流行业按货物实际质量和体积质量（由货物外廓体积换算得出）的大小来区分包裹是重货还是泡货，并作为收取费用的结算依据。

动态包裹计重系统（见下图）随着物流行业的快速发展运营而生，它能准确、高效地自动测量货物的实际质量和体积质量。其结构主要由承载器、称

重单元、体积单元、扫码单元、指示装置、终端和主显示器等组成。由于动态包裹计重系统是由质量测量单元和体积测量单元两部分测量装置组成，所以在对其进行校准过程中，需要对质量测量单元和体积测量单元同时进行校准。在对动态包裹计重系统不确定度评定时，也需要将两项指标分别评定，分别为质量参数示值测量结果不确定度和体积参数示值测量结果不确定度，并将其两项指标的扩展不确定度分别给出。

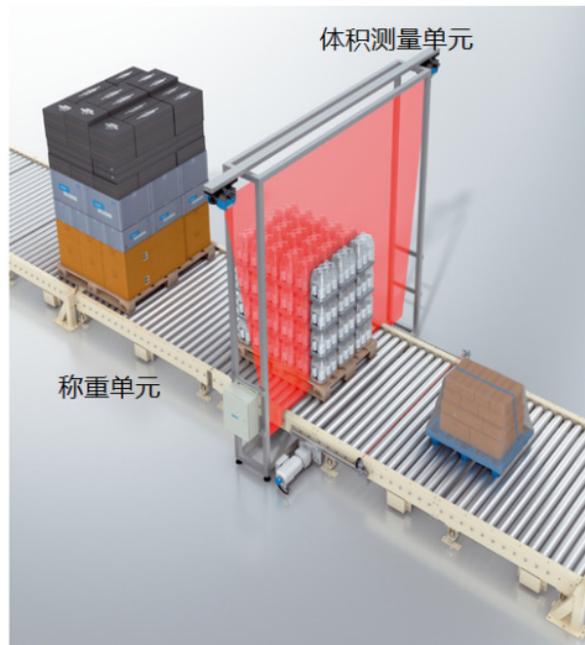


图 动态包裹计重系统示意图

1 校准相关信息

表1 校准相关信息

项目	说明
被校准动态包裹计重系统	与室内同温
最大称量 (<i>Max</i>)	60kg
称重指示装置分辨力 (d_m)	20g
最大测量尺寸 ($L \times W \times H$)	1000mm × 700mm × 700mm
几何量参数测量分辨力 ($d_L \times d_W \times d_H$)	5mm × 5mm × 5mm
皮带速度	10m/min
承载器盘尺寸	100cm × 60cm
试验测量块	木质, 与室内同温
试验测量块参考尺寸 ($L \times W \times H$)	500mm × 400mm × 300mm
试验测量块质量参考值	5kg
控制衡器	经检定合格的Ⅲ级电子台秤
最大称量 (<i>Max</i>)	60kg
实际分度值	10g
测长仪	有校准证书的游标卡尺
测量范围	(0~1000) mm
分辨力	0.1mm

2 质量参数示值不确定度评定

2.1 被校准动态包裹计重系统质量参数示值产生的标准不确定度 $u(m)$

2.1.1 动态包裹计重系统测量重复性引入的不确定度分量 $u_1(m)$

10次测量的质量参数数据分别为5.02kg、4.98kg、5.04kg、4.98kg、5.02kg、4.98kg、4.96kg、5.00kg、5.04kg、4.98kg。重复性引入的标准不确定度分量计算如下：

$$u_1(m) = s_m(\bar{I}) = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (I_{mi} - \bar{I}_m)^2} \approx 9g \quad (1)$$

2.1.2 动态包裹计重系统称重指示装置分辨力引入的不确定度分量 $u_2(m)$

称重指示装置分辨力引入的标准不确定度分量符合均匀分布, 取 $k = \sqrt{3}$, 因此

$$u_2(m) = \frac{d_m}{2\sqrt{3}} \approx 0.29d_m \approx 6g \quad (2)$$

2.1.3 试验测量块在不同位置测量引入的不确定度分量 $u_3(m)$

试验测量块在不同位置质量参数示值见表2

表2 试验测量块在皮带输送段1、输送段2位置质量

参数示值

序号	皮带输送段偏左 (kg)	皮带输送段偏右 (kg)
1	4.98	5.00
2	5.00	5.02
3	4.98	5.00
4	5.02	5.02
5	4.98	5.00
6	5.04	5.02
平均值	5.00	5.01

所以 $u_3(m)$ 为:

$$u_3(m) = \frac{|\Delta I_{\text{mel}}|_{\text{max}}}{2\sqrt{3}} \approx 3\text{g} \quad (3)$$

2.1.4 被校准动态包裹计重系统质量参数示值引起的标准不确定度 $u(m)$

$$u(m) = \sqrt{u_1^2(m) + u_3^2(m)} = \sqrt{9^2 + 3^2} \approx 10\text{g} \quad (4)$$

注： $u_1(m)$ 和 $u_2(m)$ 之间取大者。

2.2 试验测量块质量参考值引起的标准不确定度 $u(m_{\text{ref}})$

2.2.1 控制衡器测量误差引入的不确定度分量 $u_1(m_{\text{ref}})$

Max=60kg, e=10g的电子台秤在5kg测量点上最大允许误差为5g, 得 $u_1(m_{\text{ref}})$ 为:

$$u_1(m_{\text{ref}}) = \frac{|\text{MPE}|}{\sqrt{3}} \approx 3\text{g} \quad (5)$$

2.2.2 控制衡器分辨力引入的不确定度分量 $u_2(m_{\text{ref}})$

控制衡器分辨力引入的标准不确定度分量符合均匀分布, 取 $k = \sqrt{3}$, 采用闪变点法测量, 因此 $u_2(m_{\text{ref}})$ 为:

$$u_2(m_{\text{ref}}) = \frac{0.1e}{2\sqrt{3}} \approx 0.029e \approx 0.3\text{g} \quad (6)$$

2.2.3 试验测量块在控制衡器上重复三次测量引入的不确定度分量 $u_3(m_{\text{ref}})$

试验测量块在控制衡器上三次测量值为5.004kg、5.004kg、5.004kg。

$$u_3(m_{\text{ref}}) = s_m(m_{\text{ref}}) = \frac{(m_{\text{ref,max}} - m_{\text{ref,min}})}{1.6} = 0\text{g} \quad (7)$$

2.2.4 试验测量块质量参考值引起的标准不确定度 $u(m_{\text{ref}})$

$$u(m_{\text{ref}}) = \sqrt{u_1^2(m_{\text{ref}}) + u_2^2(m_{\text{ref}})} = \sqrt{3^2 + 0.3^2} \approx 3\text{g} \quad (8)$$

注： $u_2(m_{\text{ref}})$ 和 $u_3(m_{\text{ref}})$ 之间取大者。

2.3 合成标准不确定度

$$u_c(m) = \sqrt{u^2(m) + u^2(m_{\text{ref}})} = \sqrt{10^2 + 3^2} \approx 11\text{g} \quad (9)$$

2.4 扩展不确定度

扩展不确定度取 $k = 2$, 动态包裹计重系统在5kg这个点的质量参数示值扩展不确定度为:

$$U_c(m) = 2u_c(m) = 22\text{g} \approx 0.03\text{kg} \quad (10)$$

3 体积参数示值不确定度评定

3.1 被校准动态包裹计重系统体积参数示值产生的标准不确定度 $u(V)$

3.1.1 体积测量重复性引入的不确定度分量 $u_1(V)$

10次测量的长、宽、高示值、体积示值见表3。

表3 试验测量块10次测量的几何量参数示值

序号	L (mm)	W (mm)	H (mm)	V(mm ³)
1	500	400	300	60000000
2	495	405	300	60142500
3	500	405	300	60750000
4	495	400	295	58410000
5	495	405	300	60142500
6	500	405	300	60750000
7	495	400	300	59400000
8	500	400	295	59000000
9	495	400	300	59400000
10	495	400	295	58410000

体积参数示值重复性引入的标准不确定度分量计算如下:

$$u_1(V) = s(\bar{V}) = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (V_i - \bar{V})^2} \approx 2.7 \times 10^5 \text{mm}^3 \quad (11)$$

3.1.2 体积参数示值分辨力引入的标准不确定度 $u_2(V)$

标准测量块体积参数示值 V 是由三个量乘积得出, 所以 $u_2(V)$ 可以直接写成相对标准不确定度的形式。长、宽、高测量分辨力($L \times W \times H$)为 $5\text{mm} \times 5\text{mm} \times 5\text{mm}$, 取 $k = \sqrt{3}$, 因此:

$$u_2(V) = V \sqrt{\left[\frac{d_L}{2\sqrt{3}L} \right]^2 + \left[\frac{d_W}{2\sqrt{3}W} \right]^2 + \left[\frac{d_H}{2\sqrt{3}H} \right]^2} \approx 4 \times 10^4 \text{mm}^3 \quad (12)$$

3.1.3 试验测量块在不同位置测量引入的不确定度分量 $u_3(V)$

试验测量块在不同位置长、宽、高示值、体积示值见表4。

表4 试验测量块在不同位置几何量参数示值及

标准不确定度

位置	L (mm)	W (mm)	H (mm)	V(mm ³)
参考值	500	400	300	60000000
皮带输送段偏左示值	505	405	300	61357500
	495	395	300	58657500
	505	395	305	60839875
	500	400	300	60000000
	495	395	300	58657500
	500	400	300	60000000
平均值	500	398.3	300.9	59918729
偏差	0	-1.7	0.9	81271
皮带输送段偏右示值	500	395	295	58262500
	500	405	300	60750000
	505	400	305	61610000
	495	405	305	61144875
	505	400	305	61610000
	505	405	300	61357500
平均值	501	401	302	60789146
偏差	789146			

得出不确定度分量 $u_3(V)$

$$u_3(V) = \frac{|\Delta V_c|_{\max}}{2\sqrt{3}} \approx 789146 \times 0.29 \approx 2.3 \times 10^5 \text{ mm}^3 \quad (13)$$

3.1.4 合成体积参数示值引起的标准不确定度

$u(V)$

$$u(V) = \sqrt{u_1^2(V) + u_3^2(V)} \approx 3.6 \times 10^5 \text{ mm}^3 \quad (14)$$

注： $u_1(V)$ 和 $u_2(V)$ 之间取大者。

3.2 试验测量块体积参考值 V_{ref} 引入的标准不确定度 $u(V_{\text{ref}})$

3.2.1 试验测量块给出的长、宽、高参考值标准不确定度 $u_s(L_{\text{ref}})$ 、 $u_s(W_{\text{ref}})$ 、 $u_s(H_{\text{ref}})$

a) 用于测量试验测量块长、宽、高的游标卡尺校准证书中给出的扩展不确定度为0.02mm ($k=2$)

$$u_{s1}(L_{\text{ref}}) = u_{s1}(W_{\text{ref}}) = u_{s1}(H_{\text{ref}}) = \frac{0.02 \text{ mm}}{2} = 0.01 \text{ mm} \quad (15)$$

b) 测长仪分辨力引入的不确定度分量 $u_{s2}(L_{\text{ref}})$ 、 $u_{s2}(W_{\text{ref}})$ 、 $u_{s2}(H_{\text{ref}})$

游标卡尺分辨力为0.1mm, 引入的标准不确定度

分量符合均匀分布, 取 $k = \sqrt{3}$

$$u_{s2}(L_{\text{ref}}) = u_{s2}(W_{\text{ref}}) = u_{s2}(H_{\text{ref}}) = 0.29 d_{L_{\text{ref}}} \approx 0.029 \text{ mm} \quad (16)$$

c) 测长仪在试验测量块上重复三次测量引入的不确定度分量 $u_{s3}(L_{\text{ref}})$ 、 $u_{s3}(W_{\text{ref}})$ 、 $u_{s3}(H_{\text{ref}})$

游标卡尺三次测得试验测量块长、宽、高见表5。

表5 游标卡尺测得试验测量块长、宽、高示值及算术平均值

	L (mm)	W (mm)	H (mm)
1	500.0	400.0	300.0
2	500.0	400.0	300.0
3	500.0	400.0	300.0
平均值	500.0	400.0	300.0

$$u_{s3}(L_{\text{ref}}) = u_{s3}(W_{\text{ref}}) = u_{s3}(H_{\text{ref}}) = 0 \quad (17)$$

d) 合成标准不确定度 $u_s(L_{\text{ref}})$ 、 $u_s(W_{\text{ref}})$ 、 $u_s(H_{\text{ref}})$

$$u_s(L_{\text{ref}}) = \sqrt{u_{s1}(L_{\text{ref}})^2 + u_{s2}(L_{\text{ref}})^2} \approx 0.04 \text{ mm} \quad (18)$$

$$u_s(W_{\text{ref}}) = \sqrt{u_{s1}(W_{\text{ref}})^2 + u_{s2}(W_{\text{ref}})^2} \approx 0.04 \text{ mm} \quad (19)$$

$$u_s(H_{\text{ref}}) = \sqrt{u_{s1}(H_{\text{ref}})^2 + u_{s2}(H_{\text{ref}})^2} \approx 0.04 \text{ mm} \quad (20)$$

3.2.2 现场环境下温度梯度变化引起的试验测量块几何量尺寸变化引入的标准不确定度 $u_{s\Delta t}(L_{\text{ref}})$ 、 $u_{s\Delta t}(W_{\text{ref}})$ 、 $u_{s\Delta t}(H_{\text{ref}})$

在对动态包裹计重系统测量过程中, 试验测量块几何量参数 ($L \times W \times H$) 为500mm(0.5m) × 400mm(0.5m) × 300mm(0.3m), 其环境温度变化 Δt 一般不会超过2℃/小时, 测量时间按1小时计算, 试验测量块是由木质组成, 线膨胀系数 α 为 $8 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, 按均匀分布处理, 取 $k = \sqrt{3}$, 由公式计算得:

$$u_{s\Delta t}(L_{\text{ref}}) = \frac{\Delta t \alpha L_{\text{ref}}}{\sqrt{3}} = \frac{2 \times 8 \times 10^{-6} \times 0.5}{\sqrt{3}} \approx 4.6 \times 10^{-6} \text{ m} \approx 0.01 \text{ mm} \quad (21)$$

$$u_{s\Delta t}(W_{\text{ref}}) = \frac{\Delta t \alpha W_{\text{ref}}}{\sqrt{3}} = \frac{2 \times 8 \times 10^{-6} \times 0.4}{\sqrt{3}} \approx 3.7 \times 10^{-6} \text{ m} \approx 0.01 \text{ mm} \quad (22)$$

$$u_{s\Delta t}(H_{\text{ref}}) = \frac{\Delta t \alpha H_{\text{ref}}}{\sqrt{3}} = \frac{2 \times 8 \times 10^{-6} \times 0.3}{\sqrt{3}} \approx 2.8 \times 10^{-6} \text{ m} \approx 0.01 \text{ mm} \quad (23)$$

3.2.3 现场环境温度偏离实验室温度, 线膨胀系数引起的试验测量块几何量尺寸变化引入的标准不确定度 $u_{sa}(L_{\text{ref}})$ 、 $u_{sa}(W_{\text{ref}})$ 、 $u_{sa}(H_{\text{ref}})$

试验测量块线膨胀系数 α 为 $8 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, 实验室环境温度为 $(20 \pm 5) \text{ } ^\circ\text{C}$, 现场校准时温度为25℃,

最大偏离 $\delta t = 10^\circ\text{C}$ ，按均匀分布处理：

$$u_{\text{su}}(L_{\text{ref}}) = \frac{\delta t \alpha L_{\text{ref}}}{\sqrt{3}} = \frac{10 \times 8 \times 10^{-6} \times 0.5}{\sqrt{3}} \approx 2.3 \times 10^{-5} \text{ m} \approx 0.03 \text{ mm} \quad (24)$$

$$u_{\text{su}}(W_{\text{ref}}) = \frac{\delta t \alpha W_{\text{ref}}}{\sqrt{3}} = \frac{10 \times 8 \times 10^{-6} \times 0.4}{\sqrt{3}} \approx 1.9 \times 10^{-5} \text{ m} \approx 0.02 \text{ mm} \quad (25)$$

$$u_{\text{su}}(H_{\text{ref}}) = \frac{\delta t \alpha H_{\text{ref}}}{\sqrt{3}} = \frac{10 \times 8 \times 10^{-6} \times 0.3}{\sqrt{3}} \approx 1.4 \times 10^{-5} \text{ m} \approx 0.02 \text{ mm} \quad (26)$$

3.2.4 合成标准不确定度 $u(L_{\text{ref}})$ 、 $u(W_{\text{ref}})$ 、 $u(H_{\text{ref}})$

$$u(L_{\text{ref}}) = \sqrt{0.04^2 + 0.01^2 + 0.03^2} \approx 0.06 \text{ mm} \quad (27)$$

$$u(W_{\text{ref}}) = \sqrt{0.04^2 + 0.01^2 + 0.02^2} \approx 0.05 \text{ mm} \quad (28)$$

$$u(H_{\text{ref}}) = \sqrt{0.04^2 + 0.01^2 + 0.02^2} \approx 0.05 \text{ mm} \quad (29)$$

3.2.5 合成标准不确定度 $u(V_{\text{ref}})$

$$V_{\text{ref}} = L_{\text{ref}} \times W_{\text{ref}} \times H_{\text{ref}} = 500 \times 400 \times 300 = 6 \times 10^7 \text{ mm}^3 \quad (30)$$

$$\frac{u(L_{\text{ref}})}{L_{\text{ref}}} = \frac{0.06}{500} = 1.2 \times 10^{-4} \quad (31)$$

$$\frac{u(W_{\text{ref}})}{W_{\text{ref}}} = \frac{0.05}{400} \approx 1.3 \times 10^{-4} \quad (32)$$

$$\frac{u(H_{\text{ref}})}{H_{\text{ref}}} = \frac{0.05}{300} \approx 1.7 \times 10^{-4} \quad (33)$$

$$u(V_{\text{ref}}) = 6 \times 10^7 \times \sqrt{(1.2 \times 10^{-4})^2 + (1.3 \times 10^{-4})^2 + (1.7 \times 10^{-4})^2} \approx 1.5 \times 10^4 \text{ mm}^3 \quad (34)$$

3.3 合成标准不确定度

$$\begin{aligned} u_c(V) &= \sqrt{u(V)^2 + u(V_{\text{ref}})^2} \\ &= \sqrt{(3.6 \times 10^5)^2 + (1.5 \times 10^4)^2} \\ &\approx 3.6 \times 10^5 \text{ mm}^3 \end{aligned} \quad (35)$$

3.4 取 $k=2$ ，动态包裹计重系统体积参数示值扩展不确定度

$$U_c(V) = 2u_c(V) = 7.2 \times 10^5 \text{ mm}^3 \quad (36)$$

4 结语

本文以动态包裹计重系统为例，分别对动态包裹计重系统的质量参数和体积参数测量结果不确定度进行了分析，并给出了他们测量结果扩展不确定度。希望本文能给专业技术人员在实际工作中对动态包裹计重系统进行校准时有些许帮助。

参考文献

- [1] GB/T 27739-2011 自动分检衡器.
- [2] JJF 2005-2022 多维尺寸测量仪校准规范.
- [3] JJF 1059.1-2012 测量不确定度评定与表示.

作者简介

杨宇华，男，高级工程师。常州检验检测标准认证研究院。