



中华人民共和国国家计量技术规范

JJF × × × × - × × × ×

悬吊式集装箱称重装置 校准规范

Calibration Specification of Suspended Type Container Weighing Device

(征求意见稿)

× × × × - × × - × × 发布

× × × × - × × - × × 实施

国家市场监督管理总局 发布

悬吊式集装箱称重装置
校准规范

JJF××××-××××

Calibration Specification of Suspended Type Container Weighing Device

归口单位：全国衡器计量技术委员会

主要起草单位：广州计量检测技术研究院

广东省计量科学研究院

河北省计量检测技术中心

参加起草单位：哈尔滨市计量检定测试院

宁波市计量测试研究院

中储恒科物联网系统有限公司

北京东方威特称重系统有限公司

北京市计量检测科学研究院

本规范由全国衡器计量技术委员会负责解释。

本规范主要起草人：XXX（广州计量检测技术研究院）

XXX（广东省计量科学研究院）

XXX（河北省计量检测技术中心）

本规范参加起草人：XXX（哈尔滨市计量检定测试院）

XXX（宁波市计量测试研究院）

XXX（中储恒科物联网系统有限公司）

XXX（北京东方威特称重设备系统有限公司）

XXX（北京市计量检测科学研究院）

引 言	I
1 范围	1
2 引用文件	1
3 术语和计量单位	1
3.1 术语	1
3.2 计量单位	2
4 概述	2
4.1 结构	2
4.2 原理	2
4.3 用途	3
5 计量特性	3
5.1 称量示值误差	3
5.2 称量重复性	3
5.3 重心坐标示值误差	4
5.4 重心测量重复性	4
6 校准条件	4
6.1 环境条件	4
6.2 校准所用设备	4
7 校准项目和校准方法	5
7.1 校准项目	5
7.2 校准方法	5
8 校准结果	7
9 复校时间间隔	8
附录 A 质心标准器位置测量方法	9
附录 B 校准原始记录推荐格式	11
附录 C 校准证书内页推荐格式	13
附录 D 测量不确定度评定示例	14

引 言

JJF1071《国家计量校准规范编写规则》、JJF1001《通用计量术语及定义》和 JJF 1059.1《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。

本规范的校准项目和校准方法主要参考了 JJG 539-2016《数字指示秤》国家计量检定规程、JJG 1124-2016《门座（桥架）起重机动态电子秤》国家计量检定规程的相关内容，并结合悬吊式集装箱称重装置的计量特性进行制定。

本规范为首次发布。

悬吊式集装箱称重装置校准规范

1 范围

本规范适用于最大秤量不超过50t的悬吊式集装箱称重装置（以下简称称重装置）的校准。

2 引用文件

本规范引用了下列文件：

JJG 99 砝码

JJF 1181 衡器计量名词术语及定义

GB/T 6974.1 起重机 术语 第1部分：通用术语

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

3.1 术语

JJF 1181《衡器计量名词术语及定义》和GB/T 6974.1《起重机 术语 第1部分：通用术语》界定的及以下术语和定义适用于本规范。

3.1.1 悬吊式集装箱称重装置 suspended type container weighing device

通过安装于集装箱吊具的称重传感器对集装箱质量(重量)和重心坐标进行测量的装置。

3.1.2 集装箱的平面中心 plane center of the container

集装箱在水平方向上四个底角件对角线的交叉点。

3.1.3 集装箱重心的平面坐标 plane coordinates of the container barycentric

在水平方向上以集装箱平面中心为原点的重心二维坐标，简称重心坐标。

3.1.4 质心标准器 standard of mass center

在自身定义坐标系下质心位置已知，具有一定质量，用于校准称重装置重心坐标的实物量具。

3.1.5 称量分度值 (d_1) weighing interval

以质量单位表示称量值的相邻两个示值之差。

3.1.6 重心坐标分度值 center of plane gravity position interval

以长度单位表示重心坐标的相邻两个示值之差。

3.2 计量单位

称重装置使用的计量单位应为法定计量单位，质量计量单位为千克（kg）和吨（t），长度计量单位为米（m）和毫米（mm）。

4 概述

4.1 结构

悬吊式集装箱称重装置主要由集装箱吊具、称重传感器、变送器、控制仪表等组成，图 1 为其中一种结构方式。

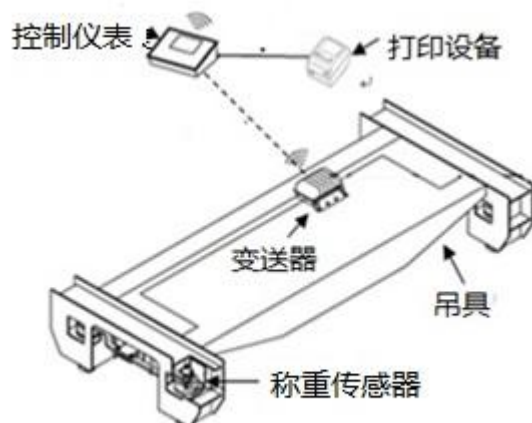


图 1 称重装置结构示意图

4.2 原理

如图 2 所示，悬吊式集装箱称重装置采用力矩平衡原理的工作原理，通过作用于集装箱四个吊点的重量值来确定集装箱总重量值和重心坐标，计算如下：

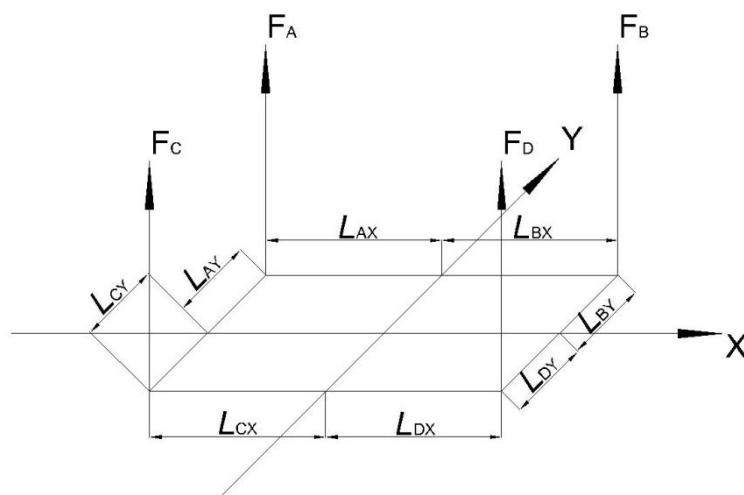


图 2 力矩平衡原理图

$$L_{GX} = \frac{F_A \times L_{AX} + F_B \times L_{BX} + F_C \times L_{CX} + F_D \times L_{DX}}{F_A + F_B + F_C + F_D} \quad (1)$$

式中：

L_{GX} ---重心在 X 轴方向的力臂，m 或 mm；

L_{AX} ---吊点 A 在 X 轴方向的力臂，m 或 mm；

L_{BX} ---吊点 B 在 X 轴方向的力臂，m 或 mm；

L_{CX} ---吊点 C 在 X 轴方向的力臂，m 或 mm；

L_{DX} ---吊点 D 在 X 轴方向的力臂，m 或 mm；

F_A ---吊点 A 的重量值，t 或 kg；

F_B ---吊点 B 的重量值，t 或 kg；

F_C ---吊点 C 的重量值，t 或 kg；

F_D ---吊点 D 的重量值，t 或 kg。

$$L_{GY} = \frac{F_A \times L_{AY} + F_B \times L_{BY} + F_C \times L_{CY} + F_D \times L_{DY}}{F_A + F_B + F_C + F_D} \quad (2)$$

式中：

L_{GY} ---重心在 Y 轴方向的力臂，m 或 mm；

L_{AY} ---吊点 A 在 Y 轴方向的力臂，m 或 mm；

L_{BY} ---吊点 B 在 Y 轴方向的力臂，m 或 mm；

L_{CY} ---吊点 C 在 Y 轴方向的力臂，m 或 mm；

L_{DY} ---吊点 D 在 Y 轴方向的力臂，m 或 mm；

F_A ---吊点 A 的重量值，t 或 kg；

F_B ---吊点 B 的重量值，t 或 kg；

F_C ---吊点 C 的重量值，t 或 kg；

F_D ---吊点 D 的重量值，t 或 kg。

4.3 用途

称重装置测量的集装箱总重量值及重心坐标，主要用于防止运载集装箱的公路车辆、铁路火车以及海上货轮等运输工具的超载或偏载问题，保障运输安全。

5 计量特性

5.1 称量示值误差

称重装置的称量示值与相应载荷质量标准值之差。

5.2 称量重复性

同一载荷多次称量结果的差值。

5.3 重心坐标示值误差

称重装置的重心坐标示值与质心标准器重心坐标约定真值之差。

5.4 重心测量重复性

同一质心标准器多次测量结果的差值。

6 校准条件

6.1 环境条件

6.1.1 环境温度：(-10~40) °C，温度变化应不超过 5 °C。

6.1.2 相对湿度：≤85%。

6.1.3 工作电源的电压波动不超过正常额定电压的-15%~+10%。

6.1.4 校准时不得有影响校准结果的干扰源。

注：当设备制造单位对校准的环境条件有要求时，按设备制造单位规定的使用条件执行。

6.2 校准所用设备

6.2.1 试验载荷

试验载荷的误差应不超过 JJG 99 中相应 M_{12} 等级砝码的最大允许误差。

6.2.2 长度计量器具

用于长度测量的计量器具其示值误差应不大于 ± 5 mm。

6.2.3 质心标准器

质心标准器的质心平面坐标的扩展不确定度应不大于 5mm ($k=2$)，且质量值不小于被校称重装置的最小称量，形状样式可参考图 3 所示。

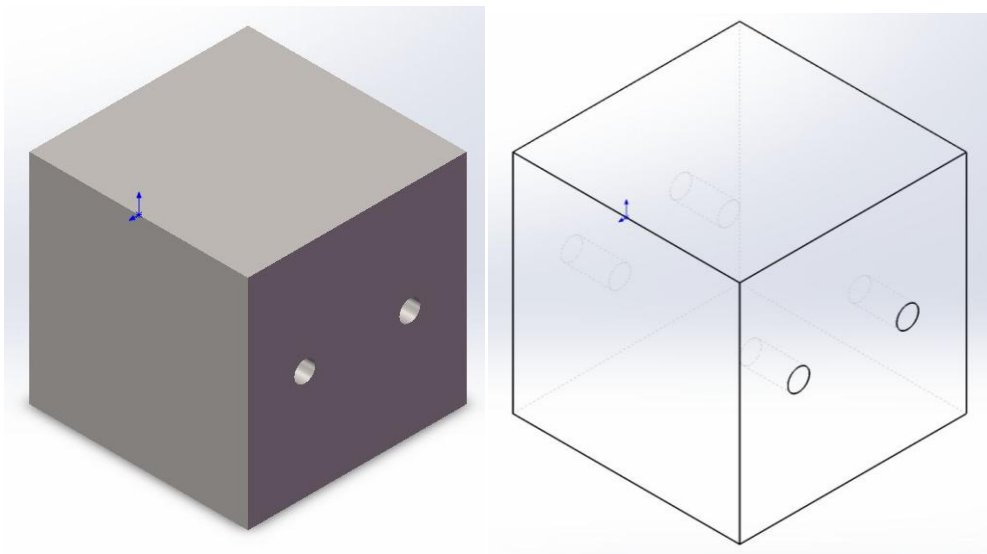


图 3 质心标准器示意图

7 校准项目和校准方法

7.1 校准项目

称量示值误差、重心坐标示值误差。

7.2 校准方法

7.2.1 校准前准备

开机预热，预热时间等于或大于设备制造单位规定的预热时间，一般不超过30 min。预加载一次到接近最大称量或确定的安全最大载荷，卸除全部载荷。检查称重装置的各受力部件、仪表指示装置是否正常工作。

7.2.2 称量示值误差

7.2.2.1 称量点的选择

按照用户的要求选取称量点。如用户无特殊要求、可以根据称重装置的计量特性，推荐选取以下称量点进行校准：

表1 称量分度数与称量点的关系

称量分度数 n	称量点
$1000 < n \leq 10000$	最小称量、 $500d_t$ 、 $2000d_t$ 、接近最大称量
$100 \leq n \leq 1000$	最小称量、 $50d_t$ 、 $200d_t$ 、接近最大称量

7.2.2.2 校准步骤

将试验载荷从零点顺序增加至接近最大称量，在每个称量点进行3次测量，并且测量过程中的每一步都可以卸载载荷，但卸载后需要检查零点，如果零点示值不为零，应将示值置零，各称量点的示值误差 M_E 按照公式（3）进行计算：

$$M_E = \bar{M} - M_s \quad (3)$$

式中：

M_E ——称量示值误差，kg 或 t；

\bar{M} ——称重装置的3次测量结果的平均值，kg 或 t；

M_s ——试验载荷标准值，kg 或 t。

7.2.2.3 称量重复性

各称量点的称量重复性为3次称量测量中最大值与最小值之差的绝对值。

重复性 M_R 按照公式（4）进行计算：

$$M_R = |M_{\max} - M_{\min}| \quad (4)$$

式中：

M_R ——称量重复性误差, kg 或 t;

M_{\max} ——3 次测量示值的最大值, kg 或 t;

M_{\min} ——3 次测量示值的最小值, kg 或 t。

7.2.3 重心坐标示值误差

7.2.3.1 重心坐标约定真值的确定

采用长度计量器具测量质心标准器的位置, 并根据其位置计算得出质心标准器的重心坐标 X_G 、 Y_G 。

7.2.3.2 校准步骤

a) 将载具 (集装箱) 与称重装置相连接;

b) 如图 4 所示, 在 A 区域内根据称重装置的使用情况, 至少选择一个位置放置质心标准器;

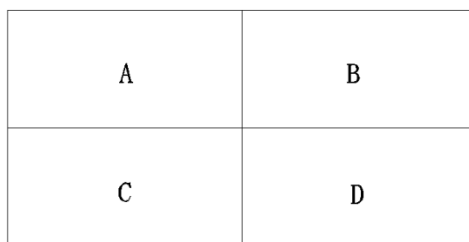


图 4 质心标准器放置区域图

c) 启动称重装置置零后将质心标准器放置在选定位置上进行三次测量;

d) 分别在区域 B、C、D 内重复 (b) 至 (c) 步骤;

e) 按照公式 (5)、(6) 计算重心坐标误差 X_E 、 Y_E 。

$$X_E = \bar{X} - X_G \quad (5)$$

式中:

X_E ——各重心坐标 x 轴方向示值误差, m 或 mm;

\bar{X} ——称重装置 x 轴方向 3 次测量结果的平均值, m 或 mm;

X_G ——质心标准器 x 轴方向约定真值, m 或 mm。

$$Y_E = \bar{Y} - Y_G \quad (6)$$

式中:

Y_E ——各重心坐标 y 轴方向示值误差, m 或 mm;

\bar{Y} ——称重装置 y 轴方向 3 次测量结果的平均值, m 或 mm;

Y_G ——质心标准器 y 轴方向重心约定真值, m 或 mm。

7.2.3.3 重心测量重复性

按照公式 (7)、(8) 分别计算 x 轴、y 轴三次测量结果最大值与最小值之差的绝对值。

$$X_R = |X_{\max} - X_{\min}| \quad (7)$$

式中：

X_R --- 各区域重心坐标 x 轴方向重复性误差，mm 或 m；

X_{\max} --- 三次测量示值的最大值，mm 或 m；

X_{\min} --- 三次测量示值的最小值，mm 或 m。

$$Y_R = |Y_{\max} - Y_{\min}| \quad (8)$$

式中：

Y_R --- 各域重心坐标 y 轴方向重复性误差，mm 或 m；

Y_{\max} --- 三次测量示值的最大值，mm 或 m；

Y_{\min} --- 三次测量示值的最小值，mm 或 m。

8 校准结果

校准结果应在校准证书上反映。校准证书或报告应至少包括如下信息：

- 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) 证书或报告的唯一性标识（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，若与校准结果的有效性及应用有关时，应说明被校对象的接收日期；
- h) 对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) 校准结果仅是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

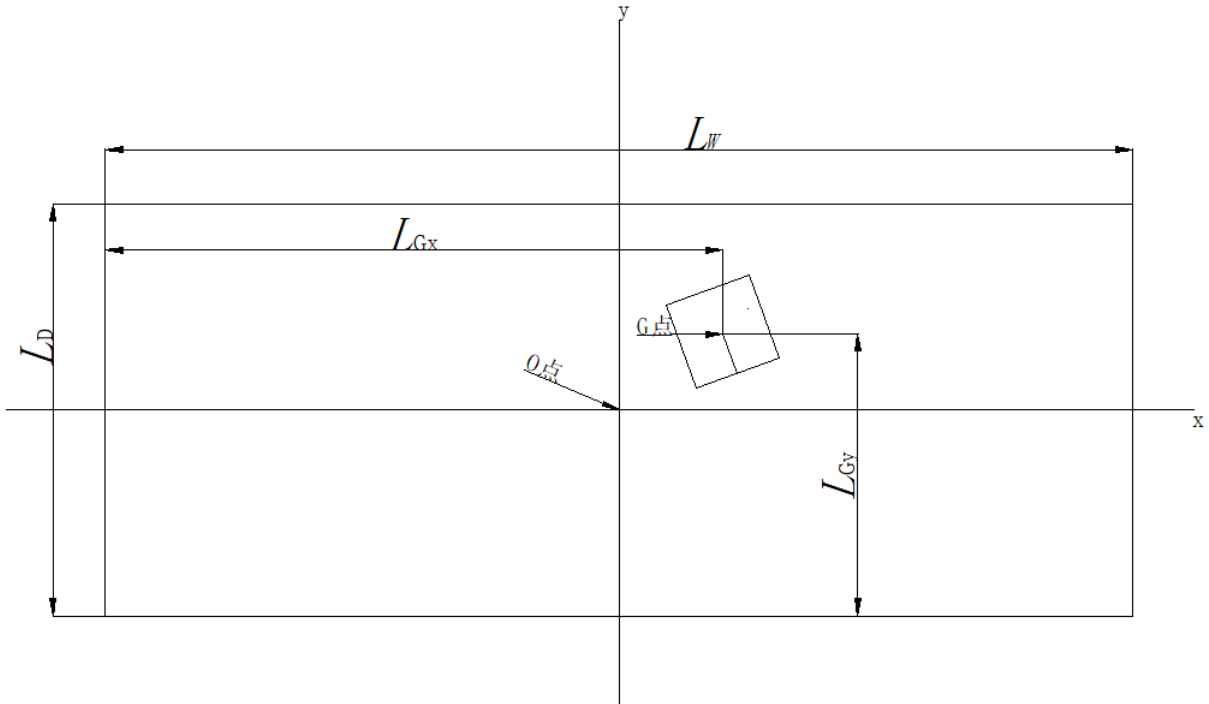
由于复校时间间隔的长短是由称重装置的使用情况、使用者以及称量装置本身质量等诸多因素所决定的，因此，送校的单位可根据实际使用情况自主决定复校时间间隔。

附录 A

质心标准器位置测量方法

A.1 以形状为正方体的质心标准器举例说明

质心标准器放置如图A.1所示。



图A.1 质心标准器位置图

A.2 测量步骤

测量 L_{Gx} 、 L_{Gy} 、 L_W 、 L_D 。

A.4 计算方法

质心标准器质心G点相对0点x轴方向坐标按照公式 (A.1) 计算：

$$X_G = L_{Gx} - \frac{L_W}{2} \quad (\text{A.1})$$

式中：

X_G --- 质心 G 与原点 0 在 x 轴方向的相对坐标值，m 或 mm；

L_{Gx} --- 质心 G 点在 x 轴方向与载具（集装箱）左边距离，m 或 mm；

L_W --- 载具（集装箱）长度，m 或 mm；。

质心标准器 y 轴方向坐标按照公式 (A.2) 计算：

$$Y_G = L_{Gy} - \frac{L_D}{2} \quad (\text{A.2})$$

式中：

Y_G ---质心 G 与原点 O 在 y 轴方向的相对坐标值，m 或 mm；；

L_{Gy} ---质心 G 点在 y 轴方向与载具（集装箱）下边距离，m 或 mm；；

L_D ---载具（集装箱）宽度，m 或 mm；。

附录 B

校准原始记录推荐格式

B.1 基本信息

受检单位		校准依据	
器具名称		校准日期	
型号规格		温度	
制造厂家		相对湿度	
出厂编号		记录编号	
称量分度值		证书编号	
重心坐标分度值		校准员	
最大称量		核验员	

B.2 校准用设备信息

型号	编号	准确度等级	证书号	有效期

B.3 称量示值误差及称量重复性

载荷值 M_S	示值 M			平均值 \bar{M}	误差 M_E	重复性 M_R	测量不确定度 U_M
	1	2	3				

B.4 重心坐标示值误差及重心测量重复性

区域	L_{Gx}	L_{Gy}	L_W	L_D	标准值 X_G	标准值 Y_G
A						
B						
C						
D						

区域	标准值 X_G	示值 X			平均值 \bar{X}	误差 X_E	重复性误差 X_R	测量不确定 度 U_X
		1	2	3				
A								
B								
C								
D								

区域	标准值 Y_G	示值 Y			平均值 \bar{Y}	误差 Y_E	重复性误差 Y_R	测量不确定 度 U_Y
		1	2	3				
A								
B								
C								
D								

附录 C

校准证书内页推荐格式
校准结果

C.1 称量示值误差及称量重复性

载荷值 M_S ()	平均值 \bar{M} ()	误差 M_E ()	重复性 M_R ()	测量不确定度 U_M ()

C.2 重心坐标示值误差及重心坐标重复性

区域	标准值 X_G ()	平均值 \bar{X} ()	误差 X_E ()	重复性误差 X_R ()	测量不确定度 U_X ()
A					
B					
C					
D					

区域	标准值 Y_G ()	平均值 \bar{Y} ()	误差 Y_E ()	重复性误差 Y_R ()	测量不确定度 U_Y ()
A					
B					
C					
D					

附录 D

测量不确定度评定示例

D.1 概述

D.1.1 测量对象：悬吊式集装箱称重装置；

D.1.2 测量标准：标准砝码、手持式激光测距仪、质心标准器；

D.1.3 测量依据：JJF XXXX-202X《悬吊式集装箱称重装置校准规范》；

D.1.4 环境条件：30℃，60%RH。

D.2 称量示值误差校准结果的不确定度评定

评定称量点 20 t 时校准结果的不确定度。

D.2.1 测量模型

$$M_E = \bar{M} - M_s \quad (\text{D.1})$$

式中：

 M_E ——称量示值误差； \bar{M} ——称重装置称量示值的平均值； M_s ——试验载荷标准值。

D.2.2 方差传递公式

$$u_c^2(M_E) = c_1^2 u^2(\bar{M}) + c_2^2 u^2(M_s) \quad (\text{D.2})$$

D.2.3 灵敏系数

$$c_1 = \frac{\partial M_E}{\partial \bar{M}} = 1, c_2 = \frac{\partial M_E}{\partial M_s} = 1 \quad (\text{D.3})$$

因此

$$u_c^2(M_E) = u^2(\bar{M}) + u^2(M_s) \quad (\text{D.4})$$

D.2.4 各输入量的标准不确定度

D.2.4.1 由称重装置称量示值引入的标准不确定度分量 $u(\bar{M})$ 标准不确定度 $u(\bar{M})$ 主要源于称重装置测量重复性、分辨力。D.2.4.1.1 由测量重复性引入的标准不确定度分量 $u_1(\bar{M})$

重复性校准时，在 20 t 载荷下，重复测量 3 次得到实测值如表 D.1 所示：

表 D.1 称量示值测量重复性实测数据

载荷值	示值			重复性误差
	1	2	3	
20t	20.13t	20.09t	20.11t	40kg

$$u_1(\bar{M}) = \frac{M_R}{\sqrt{n}C} = \frac{40}{1.73 \times 1.69} \approx 13.6\text{kg} \quad (\text{D. 5})$$

式中:

M_R --- 称量重复性误差;

n --- 测量次数;

C --- 极差系数。

D. 2. 4. 1. 2 由分辨力引入的标准不确定度 $u_2(\bar{M})$

称量装置称重分度值 d_M 为 10kg, 其区间半宽度为 $\pm d_M/2$, 服从矩形分布, 则其标准不确定度 $u_2(\bar{M})$ 为:

$$u_2(\bar{M}) = \frac{d_M}{2\sqrt{3}} = \frac{10}{3.46} \approx 2.9\text{kg} \quad (\text{D. 6})$$

D. 2. 4. 2 由标准砝码引入的标准不确定度 $u(M_s)$

在校准过程中使用砝码标称值, 且服从矩形分布, 其标准不确定度为:

$$u(M_s) = \frac{|\text{MPE}|}{\sqrt{3}} = \frac{20 \times 0.05}{1.73} \approx 0.6\text{kg} \quad (\text{D. 7})$$

D. 2. 5 标准不确定度汇总

标准不确定度汇总见表 D.2

表 D. 2 标准不确定度分量汇总表

不确定度分量	不确定度来源	评定方法	标准不确定度
$u_1(\bar{M})$	测量重复性	A	$\frac{M_R}{\sqrt{n}C}$
$u_2(\bar{M})$	称量装置分辨率	B	$\frac{d_M}{2\sqrt{3}}$
$u(M_s)$	试验载荷不确定度	B	$ \text{MPE} /\sqrt{3}$

D. 2. 6 合成标准不确定度

将各分量不确定度代入方差传递公式, 得:

$$u(M_E) = \sqrt{u_1^2(\bar{M}) + u_2^2(\bar{M}) + u^2(M_s)} \approx 14\text{kg} \quad (\text{D. 8})$$

D. 2. 7 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$, 则扩展不确定度

$$U_M = 2 \times u(M_E) = 28\text{kg} \quad (\text{D. 9})$$

D.3 重心坐标示值误差校准结果测量不确定度评定

由于 x 轴和 y 轴方向坐标的测量不确定度来源相同，故只需分析一个方向即可。

D.3.1 测量模型

$$X_E = \bar{X} - X_G \quad (D.10)$$

式中：

X_E —各重心坐标 x 轴方向示值误差；

\bar{X} —称重装置 x 轴方向 3 次测量结果的平均值；

X_G —质心标准器 x 轴方向约定真值。

$$X_G = L_{Gx} - \frac{L_W}{2} \quad (D.11)$$

式中：

X_G --- 质心 G 与原点 0 在 x 轴方向的相对坐标值，m 或 mm；

L_{Gx} --- 质心 G 点在 x 轴方向与载具（集装箱）左边距离，m 或 mm；

L_W --- 载具（集装箱）长度，m 或 mm；。

D.3.2 方差传递公式

$$u_c^2(X_E) = c_1^2 u^2(\bar{X}) + c_2^2 u^2(L_{Gx}) + c_3^2 u^2(L_W) \quad (D.12)$$

D.3.3 灵敏系数

$$c_1 = \frac{\partial X_E}{\partial \bar{X}} = 1, c_2 = \frac{\partial X_E}{\partial L_{Gx}} = 1, c_3 = \frac{\partial X_E}{\partial L_W} = \frac{1}{2} \quad (D.13)$$

由于 L_{Gx} 和 L_W 的测量不确定度来源相同 $u^2(L) = u^2(L_{Gx}) = u^2(L_W)$

$$\text{因此： } u_c^2(X_E) = u^2(\bar{X}) + \frac{5}{4} u^2(L) \quad (D.14)$$

D.3.4 各输入量的标准不确定度

D.3.4.1 由称重装置重心坐标示值引入的标准不确定度分量 $u(\bar{X})$

标准不确定度 $u(\bar{X})$ 主要源于称重装置测量重复性、分辨力。

D.3.4.1.1 由测量重复性引入的标准不确定度分量 $u_1(\bar{X})$

重复性校准时，集装箱与悬吊式集装箱称重装置相连接，去皮后将质心标准器放置在集装箱内进行校准，得到的重心坐标重复性测试数据如表 D.3 所示。

表 D.3 重心坐标重复性实测数据

标准值	示值			重复性误差
	1	2	3	
-144mm	-158mm	-146 mm	-156 mm	12mm

$$u_1(\bar{X}) = \frac{X_R}{\sqrt{n}C} = \frac{12}{1.73 \times 1.69} \approx 4\text{mm} \quad (\text{D. 15})$$

式中:

X_R --- 重心坐标重复性误差;

n --- 测量次数;

C --- 极差系数。

D. 3. 4. 1. 2 由分辨力引入的标准不确定度 $u_2(\bar{X})$

称量装置重心坐标分度值 d_L 为 1mm, 其区间半宽度为 $\pm d_L/2$, 服从矩形分布, 则其标准不确定度为:

$$u_2(\bar{X}) = \frac{d_L}{2\sqrt{3}} = \frac{1}{3.46} \approx 0.3\text{mm} \quad (\text{D. 16})$$

D. 3. 4. 2 由质心标准器测量引入的标准不确定度 $u(L)$

标准不确定度 $u(L)$ 主要源于质心标准器测量重复性、手持式激光测距仪示值误差和环境温度偏离等因素。

D. 3. 4. 2. 1 由测量重复性引入的标准不确定度分量 $u_1(L)$

用 0 级手持式激光测距仪测量质心 G 点 x 轴方向与集装箱边缘的距离、重复测量 3 次取平均值作为测量结果, 得到的重复性测试数据如表 D.4 所示:

表 D. 4 测量重复性数据

测量结果			重复性
1	2	3	
2939mm	2943mm	2940mm	4mm

$$u_1(L) = \frac{L_R}{\sqrt{3}C} \approx 1.4\text{mm} \quad (\text{D. 17})$$

式中:

L_R - 测量重复性误差;

n --- 测量次数;

C --- 极差系数。

D. 3. 4. 2. 2 质心标准器引入的不确定度分量 $u_2(L)$

质心标准器的质心坐标标准不确定度 u_G 由校准证书获得为 1.3mm, 按均匀分布, 其不确定度为:

$$u_2(L) = u_G \quad (\text{D. 18})$$

D.3.4.2.3 手持式激光测距仪示值误差引入的不确定度分量 $u_3(L)$

0 级手持式激光测距仪最大示值允许误差为 e_1 为 $(1.5 \text{ mm} + 5 \times 10^{-5}D)$ ， D 为被测距离 2740mm，服从均匀分布，其不确定度为：

$$u_3(L) = \frac{e_1}{\sqrt{3}} \approx 0.9\text{mm} \quad (\text{D. 19})$$

D.3.4.2.4 环境温度偏离 20℃ 引入的不确定度分量 $u_4(L)$

环境温度变化对长度测量结果会有影响，集装箱长度 L_w 为 6043mm，材质线膨胀系数 $\alpha = 11.4 \times 10^{-6}/\text{℃}$ ，现场测量时温度为 25.4℃，其环境温度偏离 20℃ 引入的不确定度分量 $u_{12}(x)$ 为：

$$u_4(L) = \frac{\alpha \cdot (t-20) \cdot L_w}{\sqrt{3}} \approx 0.21\text{mm} \quad (\text{D. 20})$$

式中：

t ---环境温度

α ---集装箱材质的线膨胀系数

L_w ---集装箱长度

D.3.5 标准不确定度汇总

标准不确定度汇总见表 D.5

表 D.5 标准不确定度分量汇总表

不确定度分量	不确定度来源	评定方法	标准不确定度
$u_1(\bar{X})$	称量装置测量重复性	A	$\frac{X_R}{\sqrt{n}C}$
$u_2(\bar{X})$	称量装置分辨力	B	$\frac{d_L}{2\sqrt{3}}$
$u_1(L)$	质心标准器测量重复性	A	$\frac{L_R}{\sqrt{3}C}$
$u_2(L)$	质心标准器不确定度	B	u_G
$u_3(L)$	手持式激光测距仪示值误差	B	$\frac{e_1}{\sqrt{3}}$
$u_4(L)$	环境温度偏离 20℃	B	$\frac{\alpha \cdot (t-20) \cdot L_w}{\sqrt{3}}$

D.3.6 合成标准不确定度

将各分量不确定度代入方差传递公式，得：

$$u(M_E) = \sqrt{u_1^2(\bar{X}) + u_2^2(\bar{X}) + \frac{5}{4}(u_1^2(L) + u_2^2(L) + u_3^2(L) + u_4^2(L))} \approx 4.6\text{mm}$$

D.3.7 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，则扩展不确定度

$$U_X = 2 \times u(M_E) \approx 9\text{mm} \quad (\text{D. 22})$$