

北京市地方计量技术规范

JJF (京) XX—XXXX

具备自动加载功能的质量比较仪 校准规范

Calibration Specification for Robotic Mass Comparators

XXXX—X—XX 发布

XXXX—X—XX 实施

北京市市场监督管理局发布 发布

具备自动加载功能的 质量比较仪校准规范

Calibration Specification for

Robotic Mass Comparators

JJF (京) XX—XXXX

归口单位: 北京市市场监督管理局

起草单位:

本规范委托北京市计量检测科学研究院负责解释。

主要规程起草人：

参加起草人：

目 录

引 言	II
1 范围	错误！未定义书签。
2 引用文件	错误！未定义书签。
3 术语和计量单位	错误！未定义书签。
4 概述	3
5 计量特性	5
6 校准条件	6
7 功能性检查	8
8 校准项目和校准方法	9
9 校准结果表达	14
10 复校时间间隔	错误！未定义书签。
附录 A 测量结果的不确定度评定实例	错误！未定义书签。
附录 B 具备自动加载功能的质量比较仪校准记录	错误！未定义书签。
附录 C 具备自动加载功能的质量比较仪校准证书内页格式	22

引 言

本规范以 JJF 1071《国家计量校准规范编写规则》、JJF 1001《通用计量术语及定义》、JJF 1059.1《测量不确定度评定与表示》为基础性系列规范进行制定。

本规范主要参考JJF1326-2011《质量比较仪校准规范》、JJG99-2006《砝码检定规程》编制而成。

本规范为首次发布。

具备自动加载功能的质量比较仪校准规范

1、范围

本规范适用于通过计算机控制自动加载装置完成加载、卸载，并自动采集测量数据的质量比较仪（该质量比较仪可以是具备固定加载装置的质量比较仪，也可以是后期加配自动加载系统的质量比较仪）的校准。

2、引用文件

本规范引用下列文件：

JJG99-2006 砝码

JJF1326-2011 质量比较仪校准规范

3、术语和计量单位

3.1 术语

3.1.1 最大量程 maximum capacity (Max)

为具备自动加载功能的质量比较仪所能够测量的最大砝码质量值。

3.1.2 实际分度值 actual interval (d)

以质量单位表示的，相邻两个示值之差。

3.1.3 单一衡量范围的质量比较仪 single range mass comparator

在整个衡量范围内，只有一个固定实际分度值 d 的质量比较仪。

3.1.4 多衡量范围的质量比较仪 multiple range mass comparator

对于只有一个秤盘的质量比较仪，具有多个从零点到最大承载的测量范围，并且每个测量范围又具有各不相同的实际分度值的质量比较仪。

3.1.5 多分度值的质量比较仪 multiple interval mass comparator

整个衡量范围内分为多个实际分度值不同的局部衡量范围,并且实际分度值可依据施加的载荷自动转换的质量比较仪。

3.1.6 实际分度数 number of actual interval

每个局部衡量范围的最大承载与相应的实际分度值的比, Max/d_i 。其中:
 $i=1, 2, 3\cdots, n$ 。

3.1.7 试验载荷 test load (P_t)

当对比较仪进行重复性和显示误差的测量时,其试验载荷依据比较仪可测量砝码最大标称质量选择如下两个载荷,分别是:

Max —可测量最大砝码的标称质量值;

P_d —二分之一的可测量最大砝码的标称质量值,即: $Max/2$;

P_2 —可测量最大砝码的标称质量值,即: Max 。

注:当具备自动加载功能的质量比较仪是采用部分电子称量范围加配衡砝码的比较仪改造的比较仪时,试验载荷为可测量最大砝码的标称质量值,即: Max 。

3.1.8 局部示值误差 partial indication error

在试验载荷添加的标准小砝码,比较仪由于该标准小砝码引起的示值变化与标准小砝码的折算质量实际值之间的差。

3.1.9 重复性 repeatability

在衡量仪器进行 ABA 或 ABBA 比较测量时,重复测量 10 次的测量结果的单次测量标准偏差。

3.2 符号表

符号及含义对照见表 1。

表 1 符号及含义对照表

符号	含 义
d	实际分度值
i	测量序列中，各独立测量的序号
m_s	测量局部示值误差用标准砝码的质量值
Max	可加载砝码最大标称质量值
MPE	所使用砝码的最大允许误差
n	一组测量中的测量次数
P_t	试验载荷
s	测量序列的标准偏差
t_s	具备环境控制功能的比较仪的温度设定值
h_s	具备环境控制功能的比较仪的湿度设定值

3.3 计量单位

使用的单位：微克（ μg ）、毫克（ mg ）、克（ g ）、公斤或千克（ kg ）和吨（ t ）。

4 概述

4.1 原理

具备自动加载功能的质量比较仪通过计算机控制机械臂，采用齿轮或皮带传动，采用 X、Y、Z 三坐标定位的方式，实现砝码在质量比较仪上的自动加载/卸载，并自动采集测量数据完成砝码检测。

4.2 用途

通过机械臂自动加载的高分辨力全自动电子测量设备，采用 ABA 或 ABBA 循环方式测量砝码质量差值，用于砝码量值传递。

4.3 结构要求

具备自动加载功能的质量比较仪应包括：自动机械臂、质量比较仪、控制装置、测量软件组成。自动机械臂应确保在校准和使用过程中的安全、可靠，不得存在对操作人员及被测仪器造成危害、危险的元器件。

4.3.1 比较仪的说明性标记

a) 制造厂名称或标记（通过改造实现自动加载的比较仪应可同时获取质量比较仪和机械臂的制造厂）；

b) 规格型号（通过改造实现自动加载的比较仪应可获得质量比较仪的规格型号）；

d) 可加载砝码最大标称质量值 **Max**（通过改造实现自动加载的比较仪，当质量比较仪最大承载受到影响的，应可获得实际使用中的加载砝码最大标称质量值）；

e) 实际分度值 d ；

f) 出厂编号；

h) 电源电压：…V，或(…~…)V；

i) 电源频率：…Hz。

上述说明性标记必须是擦不掉的，且应使其大小、形状和清晰度在比较仪的正常使用条件下容易阅读。载有标记的牌子必须能封牢，不易破坏或拆卸。如比较仪是通过改造、加配自动加载系统构成具备自动加载功能的质量比较仪的，还应获取自动加载设备的出厂编号、电源电压、电源频率。并可获取测量软件操作说明。

4.3.2 比较仪的表面镀层和涂层

表面镀层或涂覆层的色泽应均匀(外观不得具有显见的缺陷)。

4.3.3 比较仪外罩

设有外罩的比较仪，其外罩应平稳，不得有明显的歪斜、变形、裂缝、划伤等缺陷。各门窗启闭应轻便灵活，不得过紧、过于晃动或自落。具备自动开、闭功能的外罩在自动开、闭过程中不应出现卡顿，或无法自动开、闭现象。外罩在自动开时应打开到最大位置，自动关闭时应保证完全关闭。

4.3.4 比较仪应通过计算机自动采集衡量结果，具备显示器的比较仪，计算机采集的衡量结果的有效数字应大于或等于显示器显示衡量结果的有效数字位数，计算机采集的衡量结果应与显示器显示衡量结果相等，或经修约后与显示器显示衡量结果相等。

4.3.5 比较仪的示值形式

衡量结果必须含有质量计量单位名称或符号。对于任意一个衡量值得示值，只能使用所选定的一个质量计量单位。可选择的质量计量单位必须包括：“千克”或“千克”的倍量单位。

标尺分度值必须取 1×10^k ， 2×10^k 或 5×10^k 的形式，以此表示衡量结果。此时，式中指数 k 是正整数或是零或负整数。

4.3.6 比较仪的加载机构

比较仪的加载机构包括机械臂、砝码仓及专用秤盘。机械臂运行应平稳，机械臂、砝码仓、专用秤盘的齿状结构或挂钩应无影响加载、卸载明显形变。

4.3.7 防震功能

机械臂运行中比较仪不应产生因震动发生的示值变化。具备环境控制功能的比较仪在环境控制设备运行过程中，不应影响比较仪的正常读数。

4.3.8 软件控制功能

比较仪的控制软件应能自动设定测量循环、自动采集衡量数据、自动进行数据运算，并导出测量结果。

4.3.9 工作台面风速

具备环境控制功能的比较仪，在设定温度 20°C 、设定湿度 $50\%\text{RH}$ 条件下，待温度、湿度达到设定值后，距离工作表面上表面 0.3m 处风速应小于 0.1m/s 。

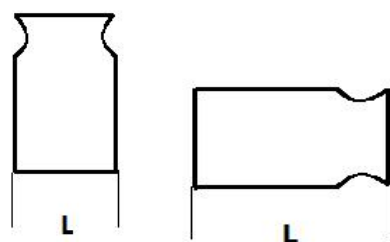
4.3.10 校准数据导出功能

具备环境控制功能的比较仪应能够以检定/校准记录的形式，真实的导出采集到的数据。导出结果应加密处理防止人为修改，或在计算机中储存有可查的、免于人为修改的原始数据。

4.3.11 各检测工位平稳性

机械臂加载部件在加载、卸载过程中不应与砝码仓各工位、比较器秤盘发生刮蹭，机械臂完成在一个加载、卸载循环后，砝码在砝码仓各工位上的位置变化量不应大于砝码投影面积边长或直径长度 L 的 $1/5$ 。各形状砝码投影面积边长或直径长度 L 如下图：

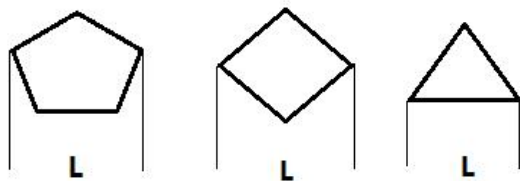
柱状砝码：



立放

卧放

片状砝码：



丝状砝码按其投影形状，依据片状砝码确定 L。

5 计量特性

比较仪在使用和校准过程中，零点跟踪装置须处于关闭状态。

5.1 重复性

基于 A、B、B、A 或 A、B、A 的称量方式，在同一载荷多次衡量结果之间的差值，用测定列的单次测定结果的标准偏差来表示。

5.2 局部示值误差

在某一试验载荷下，添加一测量误差的小砝码，比较仪显示结果与标准小砝码折算质量值之差。

5.3 环境温度控制性能

具备环境控制功能的比较仪所构建的 20℃ 温度环境的温度偏差和每 4 小时的温度最大波动性。

5.4 相对湿度控制性能

具备环境控制功能的比较仪所构建的 50%RH 湿度环境的相对湿度偏差和每 4 小时的相对湿度最大波动性。

6 校准条件

6.1 标准砝码

校准比较仪时，应配备符合 JJG99《砝码》相应等级的标准砝码。在测量和

不确定度评定时，应计算标准砝码的最大允许误差，或者其折算质量修正值以及扩展不确定度($k=2$)。

标准砝码的选择应满足表 2 的要求。

表 2 砝码准确度等级与比较仪实际分度数关系表

砝码准确度等级	比较仪实际分度数(Max_i/d)	
	最小	最大
E ₁	500000	/
E ₂	100000	500000
F ₁	50000	100000
F ₂	10000	50000
M ₁	5000	10000

注：比较仪的 d 值以比较仪铭牌或说明书标称为准。

在校准过程中，应确保标准砝码与被校比较仪之间的温度一致性，砝码质量值由于热传导引起的偏差不得超过 $0.1U^*$ 。表 3 给出了标准砝码与被校比较仪之间达到温度平衡的最小稳定时间。

表中： ΔT 为标准砝码与被校比较仪之间的温度差； U^* 为校准实验室预给被校比较仪最小的相对不确定度。

表 3 标准砝码与被校比较仪恒温时间表

$\Delta T/^\circ\text{K}$	20					10				5		
$U/10^{-6}$	1	2	5	10	20	1	2	5	10	1	2	5
砝码	稳定时间/h											
10kg	16.5	12.75	8	4.25	1.7	12.75	9	4.25	1.7	9	5.5	1.7
5kg	12.25	9.75	6.25	3.75	1.6	9.75	7.25	3.75	1.6	7.25	4.75	1.6
2kg	8	6.5	4.5	3	1.5	6.5	5	3	1.5	5	3.5	1.5

1kg	6	4.75	3.5	2.5	1.35	4.75	3.75	2.5	1.35	3.75	2.75	1.3
500g	4	3.5	2.5	1.85	1.2	3.5	2.75	1.85	1.2	2.75	2	1.2
200	2.5	2.2	1.7	1.25	0.85	2.2	1.75	1.25	0.85	1.75	1.35	0.85
100	1.75	1.5	1.2	0.85	0.7	1.5	1.25	0.85	0.7	1.25	1	0.7
50g	1.2	1	0.75	0.7	0.5	1	0.75	0.7	0.5	0.85	0.7	0.5
20g	0.75	0.7	0.5	0.35	0.35	0.7	0.5	0.35	0.35	0.5	0.5	0.35

6.2 其他有关测量用计量器具

分度值不大于 0.1℃ 温度计;

相对准确度不低于 5%RH 的干湿温度计;

分度值不大于 0.1℃ 的无线温度记录仪;

相对准确度不低于 5%RH 的无线湿度记录仪;

分度值不大于 0.01m/s 的热球式风速仪。

6.3 校准环境条件

比较仪的校准应在稳定的环境状况下,校准用标准砝码的温度接近室温或比较仪所在环境温度。

6.3.1 环境温度、湿度条件

6.3.1.1 不具备环境控制功能的比较仪

对于实际分度值为 5×10^5 以上的比较仪,校准室的温度应在 18℃~23℃,校准时温度变化每 4h 最大变化量 1℃;相对湿度应在 30%~70%,校准时的相对湿度变化每 4h 最大变化 10%。

其他比较仪,校准时的温度变化每 4h 最大变化 2℃;相对湿度应在

30%~70%，校准时的相对湿度变化每 4h 最大变化 15%。

6.3.1.2 具备环境控制功能的比较仪

将温度控制器设定为 20℃，实验室环境温度：15℃~30℃；湿度控制器设定为 50%RH，实验室环境湿度：不大于 85%RH。

6.3.2 校准室不得受震动、气流及其他强磁场的影响。

6.3.3 比较仪工作台平整、稳固，具有良好的刚度，并具有一定的防震、隔震效果。

6.4 校准前比较仪的清洁处理

任何比较仪在校准之前，都应做好清洁工作。清洁范围包括：自动加载部分、比较仪秤盘部分、砝码仓部分。

6.5 比较仪静置时间

如果比较仪一直放在室内，应通电停放 24h 之后，再开机半小时以上方可进行正式校准。

如果比较仪经过移动，应通电停放 48h 之后，在开机半小时以上方可进行正式校准。

具备环境控制功能的比较仪，应在校准环境达到预设值后，停放 8h 之后，方可进行正式校准。

7 功能性检查

7.1 工作台面风速

对具备环境控制功能的质量比较器。启动比较器的温度、湿度控制功能，设

定环境温度：20℃，相对湿度：50%RH。在密闭条件下，待温度、湿度稳定后，使用风速仪测量比较仪工作台面上 0.3m 处风速，风速仪测量位置应尽量靠近比较仪防风罩开门位置。测得的风速应满足 4.3.9 要求。

7.2 各检测工位平稳性

各检测工位平稳性可在比较仪重复性校准时同时进行，但需涵盖所有砝码仓工位。首先记录砝码在砝码仓测量工位的放置位置，通过机械臂自动提取砝码仓内的砝码加载于比较仪秤盘，再通过机械臂自动提取比较仪秤盘上的砝码，放回原砝码仓工位，观察记录此时砝码所在位置，砝码位置的偏移量应满足 4.3.11 要求。各检测工位平稳性各工委应放置比较仪设计时指定规格的砝码，对未指定各规格砝码放置仓位的，应使用比较仪可测量的最小砝码进行。

8 校准项目和校准方法

8.1 校准项目

校准项目见表 4

表 4 校准项目一览表

校准项目	校准内容
重复性的校准	测量及不确定度评定
局部示值误差的校准	测量及不确定度评定
比较仪实际分度值	实际测量值
具备环境控制功能的比较仪还需校准项目	
温度	示值偏差、波动性
相对湿度	示值偏差、波动性

8.2 校准方法

8.2.1 校准前的准备工作

以目力察看和手动检查的方式检查比较仪外观质量是否符合 4.3 的相应规定。

检查比较仪自动加载装置的机械臂、砝码仓、专用秤盘应无影响加载、卸载的明显形变。

比较仪在工作及校准时，应处于水平状态，并且比较仪的自动零位调整装置和零位跟踪装置不得使用。

开始校准前应将校准用的砝码预先放置于砝码仓的指定位置。

8.2.2 操作原则

a) 衡量循环

可采用的测量循环为 ABBA、ABA、ABBABBA、ABABA 根据比较仪自动加载程序选择相应的测量循环，在条件可能的情况下，优先选用 ABBA 或 ABA 测量循环。

衡量值 A 和 B 分别代表两个符合比较仪校准条件的，标称质量相等的标准砝码，A 放置于砝码仓的标准砝码仓位，B 放置于与 A 所在仓位对应的被检砝码仓位。

b) 读数方式

校准过程中通过计算机自动采集比较仪平衡位置读数。

c) 校准时的测量载荷

在进行重复性和局部示值误差的校准时，均在试验载荷点上进行测量。

8.2.3 重复性的校准

8.2.3.1 总则

重复性校准过程中，需通过比较仪的自动加载装置完成砝码的加载/卸载。测量循环可以采用 ABBA、ABA、ABBABBA、ABABA 的循环模式，循环次数为 10 次。当比较仪的测量软件不支持连续循环测量 10 次时，应重复启动比较仪进行自动测量，直至测量循环次数不少于 10 次，并取连续的 10 次循环数据计算校准结果。

用 10 次循环测量结果的单次测量结果的标准偏差表示最终重复性校准结果。

8.2.3.2 试验载荷的选择

对称量部分采用全称量比较仪的，根据实际使用中测量砝码的最大值，选择最大测量点和二分之一最大测量点作为试验载荷点；称量部分采用部分电子称量范围加配衡砝码的比较仪时，试验载荷为可测量最大砝码的标称质量值作为试验载荷点。对具备多个称量部件的比较仪，每个称量部件需分别校准。

8.2.3.3 测量结果的计算

在指定的载荷下，连续 10 次测量结果（ABBA、ABA 为 1 次，ABBABBA、ABABA 为 2 次），单次测量结果的标准偏差计算如下：

采用 ABBA、ABA 测量循环：

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta I_i - \overline{\Delta I})^2}{n-1}} \quad (1)$$

对于 ABBABBA、ABABA 测量循环：

$$s = \sqrt{\frac{3n-1}{2n} \leftrightarrow \frac{\prod_{i=1}^n (\Delta I_i - \overline{\Delta I})^2}{n-1}} \quad (2)$$

8.2.4 局部示值误差和实际分度值的校准

由于比较仪使用时采用比较测量,标准砝码与被测物体之间的质量差值只在一定的范围以内,故在比较仪校准过程中,仅针对一个小的、相对合理的电子显示误差进行校准。

用于测量该项误差而添加砝码的质量值 m_s , 为被校比较仪实际分度值 d 的 1000 倍到 5000 倍之间任意一个单个砝码 (当 $d < 1 \mu g$ 时, 仅可选用 1mg 砝码测量该项误差)。

8.2.4.1 校准过程

在进行局部示值误差校准时,将两只标称值相等的砝码分别放置在砝码仓对应的标准砝码位置 (A) 与被检砝码位置 (B), 启动比较仪, 按照 A、B、B、A 或 A、B、A 循环方式测量 6 次, 计算测量结果 ΔI , 并计算 6 次测量结果的平均值 $\overline{\Delta I}$ 。

在被检砝码位置的标准砝码上叠加示值误差测量的小砝码 m_s , 启动比较仪, 按照 A、(B+ m_s)、(B+ m_s)、A 或 A、(B+ m_s)、A 循环方式测量 6 次, 计算测量结果 ΔI_{ms} , 并计算 6 次测量结果的平均值 $\overline{\Delta I_{ms}}$ 。

8.2.4.2 校准结果计算

a) 局部示值误差

采用 ABBA 测量循环时:

$$\Delta I = \frac{B_1 + B_2}{2} - \frac{A_1 + A_2}{2} \quad (3)$$

$$\Delta I_{ms} = \frac{B_{m1} + B_{m2}}{2} - \frac{A_1 + A_2}{2} \quad (4)$$

采用 ABA 测量循环时：

$$\Delta I = B - \frac{A_1 + A_2}{2} \quad (5)$$

$$\Delta I_{ms} = B_{ms} - \frac{A_1 + A_2}{2} \quad (6)$$

$$\text{局部示值误差的校准结果} = m_s - (\overline{\Delta I_{ms}} - \overline{\Delta I}) \quad (7)$$

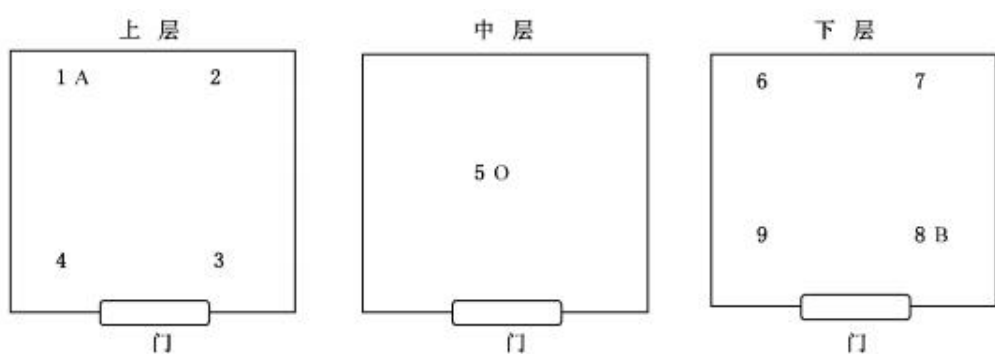
b) 实际分度值 $d(I)$

$$d(I) = \frac{m_s}{\overline{\Delta I_{ms}} - \overline{\Delta I}} \quad (8)$$

8.2.5 温度、湿度的校准

8.2.5.1 温度、湿度的校准过程中测量位置的选择

对具备环境控制功能的比较仪，采用无线温度、湿度记录仪测量比较仪密封环境的温度偏差、温度波动性、相对湿度偏差、湿度波动性。对温度的测量点为 9 个，湿度测量点为 3 个，位置见下图：



序号 (1~9) 为温度测量点，A、B、C 为湿度测量点。

8.2.5.2 温度、湿度的校准数据采集

将比较仪温度控制设定为 20℃，湿度控制设定为 50%RH，启动运行。当比较仪温度、湿度控制仪表显示值达到稳定后开始记录各点温度、湿度，记录时间间隔为 15min，4 小时内共记录 17 组数据。

8.2.5.3 数据处理

8.2.5.3.1 温度数据处理

(1) 温度偏差

$$\Delta t_{\max} = t_{\max} - t_s \quad (9)$$

$$\Delta t_{\min} = t_{\min} - t_s \quad (10)$$

式中：

$\Delta t_{\max}$ —温度上偏差，℃；

$\Delta t_{\min}$ —温度下偏差，℃；

$t_{\max}$ —各测量点规定时间内测量的最高温度，℃；

$t_{\min}$ —各测量点规定时间内测量的最低温度，℃；

t_s —设备设定温度，℃。

(2) 温度的波动性

以 4 小时内实际最高温度与最低温度之差的一般，冠以“±”号，取全部测量点中变化量的最大值作为温度波动性的校准结果。

$$\Delta t_f = \pm \max[t_{j\max} - t_{j\min}]/2 \quad (11)$$

式中：

Δt_f —温度波动性，℃；

$t_{j\max}$ —测量点 j 在 n 次测量中的最高温度，℃；

$t_{j\min}$ —测量点 j 在 n 次测量中的最低温度，℃。

8.2.5.3.2 湿度数据处理

(1) 湿度偏差

$$\Delta h_{\max} = h_{\max} - h_s \quad (12)$$

$$\Delta h_{\min} = h_{\min} - h_s \quad (13)$$

式中：

$\Delta h_{\max}$ —湿度上偏差，%RH；

$\Delta h_{\min}$ —湿度下偏差，%RH；

$h_{\max}$ —各测量点规定时间内测量的最高湿度，%RH；

$h_{\min}$ —各测量点规定时间内测量的最低湿度，%RH；

h_s —设备设定湿度，%RH。

(2) 湿度的波动性

以 4 小时内实际最高湿度与最低湿度之差的一般，冠以“±”号，取全部测量点中变化量的最大值作为湿度波动性的校准结果。

$$\Delta h_f = \pm \max[h_{j\max} - h_{j\min}]/2 \quad (14)$$

式中：

Δh_f —湿度波动性，℃；

$h_{j\max}$ —测量点 j 在 n 次测量中的最高湿度，℃；

$h_{j\min}$ —测量点 j 在 n 次测量中的最低湿度，℃。

9 校准结果表达

经校准的比较仪发给校准证书（内页格式见附录）

10 复校时间间隔

具备自动加载功能的质量比较仪的再校准时间间隔,由使用单位根据实际使用情况自主决定。

附录 A

测量结果的不确定度评定实例

以最小分度值 $d=0.1\mu\text{g}$ 的质量比较器进行测量不确定度评定。

A.1.1 测量局部示值误差用标准砝码的影响

测量局部示值误差用的标准砝码使用砝码的折算质量值进行误差计算,不确

定度 $\alpha_s = \frac{MPE_s}{m_s} \sqrt{\frac{1}{3}}$, 其中 MPE_s 为测量显示误差用标准小砝码的最大允许误差。

该比较仪进行局部示值测量过程中,采用的为标称值为 1mg 的 E_1 等级砝

码,其折算质量值为 $m_s=1.0000013\text{mg}$, $\alpha_s = \frac{MPE_s}{m_s} \sqrt{\frac{1}{3}} = 2.5 \times 10^{-7}$ 。

A1.2 显示分辨力的影响

每个读数 I 都有其相应的实际分度值 $d(I)$, 则由于显示分辨力引起的不确定

度分量为: $u_d = \frac{1}{2\sqrt{3}} d(I)$ 。由于测量过程中采用两个等量砝码进行交替测量,所

以分辨力引起的不确定度分量为 $u_d = \frac{1}{\sqrt{6}} d(I)$ 。

A2 比较仪各项扩展不确定度的评定

A2.1 重复性测量的扩展不确定度 U_R

重复性测量结果的不确定的主要包括自动交换装置加载砝码在质量比较器上产生的偏载误差以及最小分辨力引起的不确定度。比较器上产生的偏载误差引入的不确定度依据 **ABBA** 或 **ABA** 测量循环所得的差值 ΔI 的变化量的半宽，按均匀分布计算：

$$u_{Rs} = \frac{|\Delta I_{\max} - \Delta I_{\min}|}{2\sqrt{3}}$$

$u_R = \sqrt{u_{Rs}^2 + u_d^2}$ ，经实测按 **ABBA** 测量循环进行重复性测量所得标准偏差

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=2}^n (\Delta I_i - \overline{\Delta I})^2}{n-1}} = 0.25 \mu g$$

$$|\Delta I_{\max} - \Delta I_{\min}| = 0.15 \mu g, \quad d(I) = 0.10 \mu g$$

重复性测量的扩展不确定度：

$$U_R = k \wedge u_R = 2 \sqrt{\left(\frac{0.15 \mu g}{2\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{0.10 \mu g}{\sqrt{6}}\right)^2} = 0.12 \mu g$$

A2.2 局部示值误差测量结果的扩展不确定度

此项不确定度来源于被校比较仪的重复性，被校比较仪在被测载荷下的显示分辨力，测量局部示值误差所采用的标准小砝码影响。

$$u_s = \sqrt{s^2 + u_d^2 + \alpha_s m_s^2} = 0.36 \mu g$$

局部示值误差测量结果的扩展不确定度 $U_s = k \wedge u_s = 0.7 \mu g$

A3 温度、相对湿度偏差校准结果的扩展不确定度

A3.1 测量重复性引入的标准不确定度

A3.1.1 温度测量重复性引入的标准不确定度 u_{t1}

以在 20℃ 校准点为例，实际校准过程中共采集 17 个数据，

$$\text{标准偏差 } s_t = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 0.03 \text{ } ^\circ\text{C}, \text{ 则 } u_{t1} = s_t = 0.03 \text{ } ^\circ\text{C}$$

A3.1.2 相对湿度测量重复性引入的标准不确定度 u_{rh1}

以在 50%RH 校准点为例，实际校准过程中共采集 17 个数据，

$$\text{标准偏差 } s_{rh} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n-1}} = 0.17\%, \text{ 则 } u_{rh1} = s_{rh} = 0.17\%$$

A3.2 标准器分辨力引入的标准不确定度分量

A3.2.1 标准器温度分辨力引入的标准不确定度 u_{t2}

使用的温度标准器分辨力为 0.1°C ，按均匀分布，则分辨力引入的标准不确定度分量：

$$u_{t2} = \frac{0.1}{2\sqrt{3}} = 0.03 \text{ } ^\circ\text{C}$$

A3.2.2 标准器相对湿度分辨力引入的标准不确定度 u_{rh2}

使用的相对湿度标准器分辨力为 $0.1\%\text{RH}$ ，按均匀分布，则分辨力引入的标准不确定度分量：

$$u_{rh2} = \frac{0.1}{2\sqrt{3}} = 0.03\%$$

A3.3 标准器修正值引入的不确定度分量：

A3.3.1 标准器温度修正值引入的标准不确定度分量 u_{t3}

标准器温度的修正值的不确定度 $U_t=0.2^\circ\text{C}$ ， $k=2$ ，则标准器温度修正值引入的标准不确定度分量：

$$u_{t3} = \frac{U_t}{k} = \frac{0.2}{2} = 0.1 \text{ } ^\circ\text{C}$$

A3.3.2 标准器相对湿度修正值引入的标准不确定度分量 u_{rh3}

标准器相对湿度的修正值的不确定度 $U_{rh}=1.0\%$, $k=2$,则标准器相对湿度修正值引入的标准不确定度分量:

$$u_{rh3} = \frac{U_{rh}}{k} = \frac{1.0}{2} = 0.5\%$$

A3.4 温度、相对湿度偏差校准结果合成标准不确定度

A3.4.1 温度偏差校准合成标准不确定度 u_{tc}

$$u_{tc} = \sqrt{u_{t1}^2 + u_{t2}^2 + u_{t3}^2} = 0.11^\circ\text{C}$$

A3.4.2 相对湿度偏差校准合成标准不确定度 u_{rhc}

$$u_{rhc} = \sqrt{u_{rh1}^2 + u_{rh2}^2 + u_{rh3}^2} = 0.53\%$$

A3.5 温度、相对湿度偏差校准结果的扩展不确定度

A3.5.1 温度偏差校准结果的扩展不确定度 U_t

$$U_t = k \wedge u_{tc} = 0.2^\circ\text{C}$$

A3.5.2 相对湿度偏差校准结果的扩展不确定度 U_{rh}

$$U_{rh} = k \wedge u_{rh} = 1.0\%$$

附录 B

具备自动加载功能的质量比较仪校准原始记录推荐表格格式

具备自动加载功能的质量比较仪校准原始记录

送检单位:

型号规格: _____

制造厂商: _____

最大承载: _____

标准砝码编号: _____

出厂编号:

实际分度值:

电子衡量范围:

标准砝码准确度等级:

证书编号：_____

校准日期：_____

校准员：_____

标准砝码有效期限：_____

校准条件：_____

核验员：_____

一、外观：

二、重复性

测量 序号	试验载荷 P _{t1}				试验载荷 P _{t2}					
	载荷点 A		载荷点 B		载荷点 A		载荷点 B			
	读数		相差格数	差值	读数		相差格数	差值		
1	A				A					
	B				B					
	B				B					
	A				A					
2	A				A					
	B				B					
	B				B					
	A				A					
3	A				A					
	B				B					
	B				B					
	A				A					
4	A				A					
	B				B					
	B				B					
	A				A					
5	A				A					
	B				B					
	B				B					
	A				A					
6	A				A					
	B				B					
	B				B					
	A				A					

表（续）

7	A				A					
	B				B					
	B				B					
	A				A					
8	A				A					
	B				B					
	B				B					
	A				A					

9	A				A			
	B				B			
	B				B			
	A				A			
10	A				A			
	B				B			
	B				B			
	A				A			

采用 ABBA、ABA 测量循环：

$$s = \sqrt{\frac{\prod_{i=1}^n (\Delta I_i - \overline{\Delta I})^2}{n-1}}$$

对于 ABBABBA、ABABA 测量循环：

$$s = \sqrt{\frac{3n-1}{2n} \leftrightarrow \frac{\prod_{i=1}^n (\Delta I_i - \overline{\Delta I})^2}{n-1}}$$

三、局部示值误差和实际分度值的校准

测量 序号	试验载荷 P _{t1}				试验载荷 P _{t2}			
	砝码 A		砝码 B		砝码 A		小砝码 m _s	
	读数		相差格数	差值	读数		相差格数	差值
1	A				A			
	B				B+m _s			
	B				B+m _s			
	A				A			
2	A				A			
	B				B+m _s			

	B				B+m _s			
	A				A			
3	A				A			
	B				B+m _s			
	B				B+m _s			
	A				A			
4	A				A			
	B				B+m _s			
	B				B+m _s			
	A				A			
5	A				A			
	B				B+m _s			
	B				B+m _s			
	A				A			
6	A				A			
	B				B+m _s			
	B				B+m _s			
	A				A			
平均值	$\overline{\Delta I}_{ms} =$				$\overline{\Delta I} =$			

采用 ABBA 测量循环时：

$$\Delta I = \frac{B_1 + B_2}{2} - \frac{A_1 + A_2}{2}$$

$$\Delta I_{ms} = \frac{B_{m1} + B_{m2}}{2} - \frac{A_1 + A_2}{2}$$

采用 ABA 测量循环时：

$$\Delta I = B - \frac{A_1 + A_2}{2}$$

$$\Delta I_{ms} = B_{ms} - \frac{A_1 + A_2}{2}$$

局部示值误差的校准结果 = $m_s - (\overline{\Delta I}_{ms} - \overline{\Delta I})$

b) 实际分度值 d(I)

$$d(I) = \frac{m_s}{\overline{\Delta I}_{ms} - \overline{\Delta I}}$$

四、温度、湿度的校准数据采集

1. 温度：t_s = °C

单位： °C

实 测 值	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
温 度 偏 差	$\Delta t_{\max} = t_{\max} - t_s$ $\Delta t_{\min} = t_{\min} - t_s$																
温 度 波 动 性	$\Delta t_f = \pm \max(t_{j\max} - t_{j\min})/2]$																

2.湿度：h_s= %RH 单
位： %RH

实 测 值	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
湿 度 偏 差	$\Delta h_{\max} = h_{\max} - h_s$ $\Delta h_{\min} = h_{\min} - h_s$																
湿 度 波 动 性	$\Delta h_f = \pm \max(h_{j\max} - h_{j\min})/2]$																

具备自动加载功能的质量比较仪校准证书内页格式

校准项目		校准结果	不确定度
重复性	P_{11}		
	P_{12}		
局部示值误差			
比较仪实际分度值			
温度	偏差		
	波动性		
相对湿度	偏差		
	波动性		
最大承载： 电子衡量范围： 实际分度值 d： 外观检查：			
校准说明： 试验载荷砝码 $P_{11} =$ g $P_{12} =$ g 校准局部示值误差用砝码 = g			

校准环境条件： 温度： °C； 湿度： %RH