

衡器的检定与调修

石沉平 编著



5.1

轻工业出版社

内 容 简 介

本书介绍了杆秤、案秤、台秤、地秤和度盘秤等通用衡器的构造、原理和计量性能,对衡器检定与调修的技术问题,也作了全面系统的叙述。

本书思路清晰别致,叙述深入浅出,内容结合我国衡器检定与修理的实际,适于衡器检定、修理和使用人员阅读,也可供从事衡器设计、制造和研究者参考。

衡器的检定与调修

石沉平 编著

轻工业出版社出版

(北京广安门南滨河路25号)

北七家印刷厂印刷

新华书店北京市发行所发行

各地新华书店经售

787×1092毫米^{1/32} 印张: 6^{24/32} 字数: 146千字

1988年5月 第一版第一次印刷

印数: 1—3,100 定价: 2.20元

ISBN7-5019-0292-5/TS·0189

前 言

关于衡器检定和调修的书籍，目前出版较少。作者多次培训衡器检修人员，不得不自己编写讲义。本书就是在这些讲义的基础上修订而成的。

杠杆式衡器计量性能的基本理论，是衡器检修工作的基础。本书在介绍这些理论时，尽可能地避免复杂的数学推导，而着重于物理直观，使广大衡器检修人员易于接受。它从平行力系的合力观点出发，利用不多的数学工具，系统地介绍了杠杆和杠杆系的基本理论，思路清晰，推导简明。

衡器的检定与调修，是大量、繁重而又困难的工作。多年来，广大衡器检修人员在自己的工作中摸索、积累了丰富的经验。本书后四章关于衡器检定与调修技术的叙述，是作者总结这些经验的初步尝试。其中既有全面系统的论述（第五、七章），也有对某些问题的深入研究（第六、八章）。

作者从事衡器检定与调修研究工作近二十年，现将自己的点滴学习心得奉献在同行们面前。其中有些内容是第一次公开发表，恳请批评指正。本书如能够对从事衡器检定与调修的同事们有一定的帮助，作者将深感荣幸之至。

作者于1986年7月

目 录

第一章 衡器原理	1
一、基本概念.....	1
二、衡器的基本原理.....	4
三、误差概要.....	7
四、衡器的计量性能.....	13
第二章 衡器中常用的杠杆和杠杆系	17
一、衡器中常用的杠杆及其分类.....	17
二、平行力的合力.....	20
三、杠杆的稳定度.....	25
四、杠杆的灵敏度.....	28
五、杠杆系.....	30
六、并联杠杆系的灵敏度和稳定度.....	33
七、串联杠杆系的灵敏度和稳定度.....	36
第三章 杠杆式衡器的结构	42
一、杆秤和天平.....	42
二、案秤的结构及衡量原理.....	46
三、台秤的结构.....	51
四、地秤的结构.....	57
五、轨道衡.....	64
六、度盘秤原理.....	65
第四章 杠杆式衡器的计量性能	70
一、衡器的准确度关系.....	70
二、准确度研究.....	77

三、衡器的稳定度	79
四、衡器的灵敏度	86
五、衡器的变动性	89
六、衡器的动态性	91
第五章 衡器的检定	95
一、检定总论	95
二、技术要求检定	98
三、衡器的允差	103
四、空秤变动性检定	111
五、示值准确度检定	116
六、衡器灵敏度的检定	120
七、其它检定项目	122
八、检定结果的处理	125
九、度盘秤的检定	128
第六章 衡器检定中若干问题的研究	133
一、衡器检定中的替代方法	133
二、替代法的误差分析	137
三、关于衡器的精度等级和允差	141
四、关于数字显示式衡器的检定	145
第七章 衡器调修总论	148
一、衡器调修概论	148
二、衡器稳定度的调修	152
三、衡器灵敏度的调修	158
四、衡器变动性的调修	168
五、衡器角差的调修	171
六、衡器准确度的调整	175
七、衡器计量性能一般调修总结	179

第八章 衡器调修分析	183
一、杆秤的调修.....	183
二、案秤的调修.....	185
三、台秤的调修.....	189
四、地秤的调修.....	197
五、度盘秤的调整.....	202

第一章 衡器原理

一、基本概念

(一) 质重和重量

质量 如果在物体上作用着一个力 F ，物体将产生一个加速度 a ，力越大，加速度也越大。实验证明，对于同一个物体，它所受的力和产生的加速度的比，是不变的。这个不变的比值就是物体的质量，记作 m ，可用公式表示出来：

$$m = \frac{F}{a} \quad (1-1)$$

或者

$$F = m a \quad (1-2)$$

这就是著名的牛顿第二定律。

由公式(1-2)可知，质量大的物体和质量小的物体在受到同样大小的力作用时，所获得的加速度是不同的，质量大的物体加速度小，反之，质量小的物体加速度大。质量代表物体惯性的大小。

可见，质量是物体的固有属性，它是物体惯性大小的量度。

我国法定的质量计量的基本单位是千克(公斤)，它等于国际千克原器的质量，符号是kg。由于客观存在的各种物体质量相差很大，只使用一个基本单位就会很不方便。因此，

又规定了适当质量计量的倍数单位和分数单位，它们同样作为质量计量的法定单位使用。常用的法定质量倍数单位和分数单位见表 1-1。

表 1-1 常用的法定质量倍数单位和分数单位

单 位 名 称	代 号	与 千 克 的 关 系
吨	t	10^3
千克 (公斤)	kg	1
克	g	10^{-3}
毫克	mg	10^{-6}

目前，我国人民生活中采用的市制质量单位是市斤，它和法定质量单位的关系是一千克等于二市斤。根据国务院《关于在我国统一实行法定计量单位的命令》，市制计量单位，可以延续使用到1990年，1990年底以前要完成向国家法定计量单位的过渡。

重量 所谓重量，更确切地说是重力，指的是由于地球对物体的吸引而形成的作用于物体上的指向地心的力。设在地球某处，物体在真空中自由下落的加速度，即重力加速度为 g ，而物体的质量为 m ，根据公式 (1-2)，物体受到的重力 P 为：

$$P = m g \qquad (1-3)$$

加速度的法定单位是 m/s^2 。因此力的单位是 $kg \cdot m/s^2$ ，以牛 顿(N)表示。重力作为力，其单位也是 N。

物体的质量和重量是本质上不同的两个物理量。质量是物体的固有属性，是个标量，它与物体所处的地理位置无关，在我们研究的范围内，它是个常数。而重量则是地球对物体

的吸引力，它是个矢量，具有着力点（重心）和方向（指向地心），其大小和方向随物体所处的地理位置不同而变化。同一个物体的质量和重量的关系由公式（1—3）所描述。

（二）衡量

确定物体质量的过程叫衡量。衡量时使用的工具（仪器）称为衡器，俗称为秤。

由于地球上同一地点的重力加速度相等，如果两个物体在地球同一地点受到的重力相同，则由公式（1—3）可知，它们的质量也相等。若这两个物体中的一个质量是已知的，则另一物体的质量也可以求得。这样通过比较物体的重量便可以确定其质量。这就是衡量的基本原理。

衡量一般在空气中进行，这时物体除了受到重力作用之外，还受到空气浮力的影响。根据阿基米德原理，物体受到的空气浮力等于它排开的空气的重量。

如果有一个质量已知为 m_2 的物体，和另一个物体在空气中相平衡（即在空气中托着它们的力相等），设另一物体质量为 m_1 ，那么， m_1 和 m_2 的关系是：

$$m_1 = m_2 \frac{1 - \frac{\rho_0}{\rho_2}}{1 - \frac{\rho_0}{\rho_1}} \quad (1-4)$$

其中 ρ_0 —空气的密度， kg/m^3

ρ_1 —质量为 m_1 的物体密度， kg/m^3

ρ_2 —质量为 m_2 的物体密度， kg/m^3

公式（1—4）是考虑空气浮力修正时的衡量公式。

空气的密度大约为 1.2kg/m^3 ，衡量时物体的密度 ρ_1 、 ρ_2 相对来说都比较大，通常有：

$$\rho_0 \ll \rho_1, \rho_0 \ll \rho_2$$

这样，可以忽略空气浮力的影响，将（1—4）化简为：

$$m_1 \approx m_2 \quad (1-5)$$

在一般衡量中，人们用（1—5）式代替（1—4）式，即不考虑空气浮力修正。只有在某些特殊要求的情况下才使用（1—4）式进行空气浮力修正。

二、衡器的基本原理

现在使用的通用衡器有许多种类，可以按照不同的特征分类。就衡器的基本原理而论，衡器可以分为弹簧秤、杠杆秤、液压秤和电子秤四类。

前三类为机械秤。

（一）弹簧秤

弹性体受外力作用后会发生形变，在弹性范围内，其形变和它受的外力成正比。这就是虎克定律。

根据虎克定律制造出弹簧秤，图 1-1 是它的原理示意图。当物体 3 的重力 P 作用于弹簧 1 上之后，弹簧的形变量 x 通过指针 2 在刻度 4 上指出。按照虎克定律，形变量 x 和重力 P 之间的关系是：

$$P = kx \quad (1-6)$$

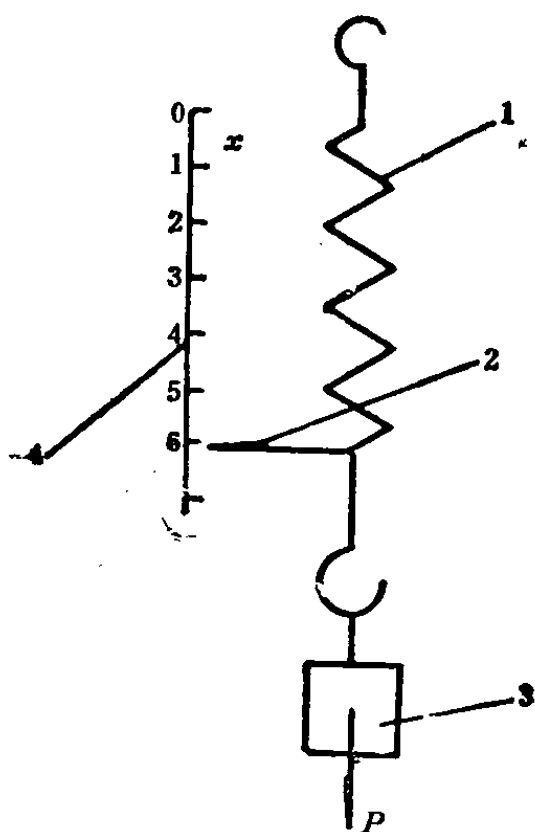


图 1-1 弹簧秤原理图

1—弹簧 2—指针 3—被衡量物体
4—刻度

式中 k 是弹簧常数。这样通过弹簧的形变量 x 读出了被衡量物体的重力值 P 。由（1—6）可知，使用弹簧秤测定的是物体的重力。但弹簧秤在制造时是用标准砝码定度的，当使用地点与定度点重力加速度相等时，其衡量结果是物体的质量。若两地重力加速度不等时，会使衡量结果产生一个差值。

弹簧秤的弹簧有螺旋形、平卷形等不同种类，其形变量 x 可以是线位移，也可以是角位移，具体结构形式很多。目前弹簧秤的精密度和重复性都不高，满足不了商品交换的需要。国家计量局已经规定、弹簧秤不能在市场上作为计量器具使用，而只能在工业上和物理学作为测力计使用。

（二）杠杆秤

利用杠杆原理制成的衡器叫杠杆秤，或杠杆式衡器。这是目前我国使用得最多的通用衡器，常见的如杆秤、案秤、台秤、地秤和度盘秤等。杠杆式衡器具有精度较高，价格低廉，操作简便等特点。本书将主要介绍这类衡器的结构、原理、计量性能和检定与调修技术。

（三）液压秤

液压秤是利用流体静力学的帕斯卡原理制成的衡器。帕斯卡原理指出：静止流体的压力可以相等地传播到各个方向。这样如果在连通的容器上有两个不同面积的活塞，设它们的面积分别为 A_1 和 A_2 （图1-2）。每个活塞上分别放置质量为 m_1

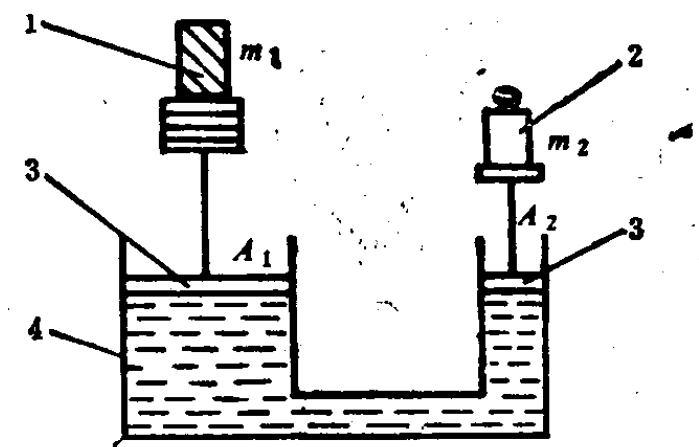


图 1-2 液压秤原理图
1—被称重物 2—标准砝码 3—活塞 4—连通容器

和 m_2 的物体，根据帕斯卡原理：

$$\frac{m_1 g}{A_1} = \frac{m_2 g}{A_2}$$
$$m_1 = \frac{A_1}{A_2} m_2 \quad (1-7)$$

因此，当知道其中一个重物的质量 m_2 后， m_1 的质量就可以被确定出来了。

液压秤较为复杂，它需要有克服活塞与活塞壁之间静摩擦、补偿其介质渗漏的各种辅助装置。这些装置提高了液压秤的造价，一般不常见。

(四) 电子秤

利用电子技术进行衡量，是60年代发展起来的新技术。电子秤利用所谓传感器将重量信号转化为电信号，然后将电信号放大、整形、运算和比较，进行反馈、补偿等，最后用数字显示出被称物的质量值。带有打字系统和远传系统的电子秤还可以将结果自动打印、输送到主控制室或中心计量室。

电子秤由承重传力装置、传感器(一次元件)、测量仪表(二次仪表)和电源等部分组成。测量原理方框图如图 1-3 所示。有些电子秤还采用微处理器或计算机等来完成更复杂的功能。

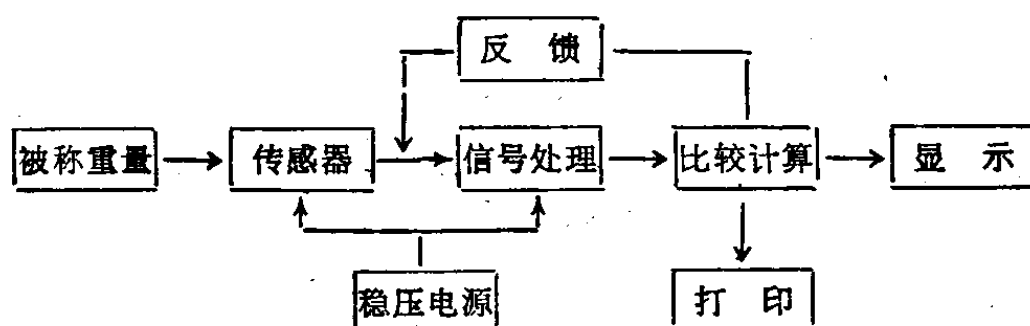


图 1-3 电子秤原理方框图

传感器是电子秤的关键部件。目前广泛使用的传感器是

电子应变式传感器。它是在一弹性良好的弹性体上贴有应变片组，受外力作用后，弹性体的应变由各应变片转化为电阻的变化传出，经二次仪表处理后输出的电压或频率信号代表弹性体受的外力的大小。

当振动系统上作用一个质量后，改变了原振动系统的惯性，使振动频率发生变化。利用这种原理可以制造出频率式传感器进行质量计量。这种类型的电子秤目前国内还不多见。

电子秤很容易实现衡量过程的自动化、高速化，这对于现代化的生产、控制有重要意义。现代技术也可以使电子秤达到较高的计量精度，这是衡器技术的一个很好的发展方向。但是我国目前的电子秤还处在发展阶段，对电子秤的计量性能和检定方法的研究也不成熟。电子秤的价格昂贵、维修困难。因此，它的推广和应用还受到一定的限制，目前使用得并不普遍。电子秤不是本书所研究的课题。因此，在本书中只有个别章节里才简单地讲到它的检定与调修的一些问题。

三、误差概要

(一) 误差

任何物理量的测量总伴随着一定的误差。每次测量所得到的被测的量的值称为测值，测值是对被测的量的估计值。如果消除了一切测量误差，那么这个测值便是被测量的真值。真值是被测量的理想值，它是客观存在的。人们希望自己的测值和真值非常接近，这是测量的根本目的。描述测值和真值接近程度的指标就是误差。测量误差是测值和真值之差，又称为绝对误差。误差和真值之比，常用百分比表示，称为

相对误差。相对误差的倒数称为测量精度。相对误差近似地等于误差和测值之比，有时又用后者代表相对误差。

检定衡器使用四等标准砝码，它们的相对误差在 $\pm 0.005\%$ 以内。通用衡器的允许相对误差在 $\pm 0.1\% \sim \pm 0.05\%$ 之间。相比之下，标准砝码的误差是可以忽略的。因此，标准砝码的标称值可以认为是它的真值。用衡器衡量标准砝码所得到的测值和标准砝码的标称值之差，就是衡量误差。

误差可分为粗差、随机误差和系统误差三类。

（二）粗差

诸如人为失误或仪器失常而引起的使测量失效的误差称为粗差。比如看错了示值或衡量时被衡量物体和地面接触等引起的误差。这种误差是任何统计理论都无法解释的，该测值必须作废。

因此，在检定和使用衡器时，务必注意衡器的使用条件和各种人为因素，避免出现粗差。如果发现某个测值明显不合理，应仔细分析那次衡量的人为、仪器的各个程序，看是否有仪器失常或人为失误，以判定该测值是不是粗差。有充分理由判定它是粗差时，该测值必须舍去。但在没有理由肯定该测值是粗差的情况下，任何测值均不能无根据地舍去。粗差的舍去应遵循统计学的某些原则进行。

（三）随机误差

当我们用一台衡器对同一个标准砝码进行多次衡量时，每次所得到的测值并不一定是砝码的真值，就是说有衡量误差。各次衡量的误差也许有所不同，有时大些，有时小些。引起这种现象的原因非常多，但每种原因对测值的影响却又是微小的。这种大量的但却又很微小的因素所产生的影响使测值误差有一定的分布规律，误差有正也有负，正、负

出现的几率相当；绝对值大的误差和绝对值小的误差相比，出现的几率较小。测量次数越多，这种分布规律越加明显。这就是所谓正态分布规律。衡量中出现的这种误差称为随机误差，它的定义是：由于大量的、微小的原因引起的使测量同一个物理量时得到的测值误差不同，随着测值数目的增加而趋近于正态分布的误差，称为随机误差。

如果我们用一台衡器对质量为 m 的砝码进行 $n(n \geq 10)$ 次衡量，得到的 n 个测值是 $m_1, m_2, \dots, m_n$ 。则每个测值的误差为：

$$r_i = m_i - m \quad (1-8)$$

$$i = 1, 2, \dots, n$$

我们假定 r_i 中不包括粗差，因为粗差应该按照（二）中的方法舍去。如果 r_i 中正、负个数大体相当，而且 $|r_i|$ 中大的个数较少，小的个数相对地多，则可以断定它们是一组随机误差。

随机误差是任何衡器都不能避免的。我们应该如何判定它们的大小呢？在衡器检定业务中使用所谓“最大示值误差法”给出测值的随机不确定度。误差理论中的不确定度是一个区间，真值以95%的几率位于其内。这里95%称为置信率，即可靠程度。

用“最大示值误差法”确定不确定度的方法是：求出测值误差 r_i 中绝对值最大的，即

$$\delta = |r_i|_{\max} \quad (1-9)$$

随机不确定度的大小由量 e_R 表示：

$$e_R = \frac{2\delta}{k_\alpha} \quad (1-10)$$

其中 $\frac{1}{k_n}$ 是和测量次数 n 有关的数，它可以由表1—2查得。

那么，每个测值 m_i 都有一个相应的区间：

$$m_i \pm e_R$$

在这个区间内，将有95%的几率包括真值 m 。我们也说，每个测值 m_i 的随机不确定度是 $\pm e_R$ 。

表 1-2

$\frac{1}{k_n}$ 数值表

n	$\frac{1}{k_n}$	n	$\frac{1}{k_n}$	n	$\frac{1}{k_n}$	n	$\frac{1}{k_n}$
1	1.25	5	0.64	9	0.55	13	0.50
2	0.88	6	0.61	10	0.53	14	0.50
3	0.75	7	0.58	11	0.52	15	0.49
4	0.68	8	0.56	12	0.51	16	0.48

由表 1-2 和公式 (1—10) 可知，当测量次数 $n > 10$ 时， $|r_i|$ 中最大的即 δ ，为每个测值不确定度区间之半，因为这时 $\frac{1}{k_n} \approx 0.5$ ， $e_R \approx \delta = |r_i|_{\max}$ 。

我们进行了 n 次测量， n 个测值中哪一个更接近真值呢？数学上证明了， n 个测值的算术平均值 $\bar{m}$ ，即

$$\bar{m} = \frac{1}{n}(m_1 + m_2 + \cdots m_n) \tag{1-11}$$

和真值 m 最接近。 $\bar{m}$ 称为 n 次测值的最佳估计值。它的不确定度区间为：

$$\bar{m} \pm \frac{1}{\sqrt{n}} e_R \tag{1-12}$$

最佳估计值的不确定度区间随测值次数 n 的增加而减小。

这使得我们可以利用增加测量次数的办法来减小最佳估计值的随机不确定度，从而提高测量精度。

(四) 系统误差

当我们用一台衡器衡量标准砝码时，如果得到的测值总大于（或小于）砝码的真值，这时我们说该衡器有系统误差。不改变衡量的工具（衡器）和条件，测量次数的增加不能使之减小的误差，称为系统误差。系统误差是由某些确定因素引起的，测量条件或衡器的变更，使该因素消失，才能使系统误差消失。系统误差又可分为常系统误差和变系统误差两类。

常系统误差使得相同条件下所有的测值误差是常数，不随时间变化。例如由于杠杆比的误差而引起的衡量误差。常系统误差在不同秤量上可能有所不同，但在同一秤量上是不变的。

变系统误差指的是其大小或正、负可能变化的系统误差。比如重物放在台板不同位置而产生的误差，由于位置不同，误差便不同，它们是由确定因素引起的，表现为系统误差。变系统误差可以是由于衡器的调整状态不佳或衡量中不适当的控制所产生。

一旦发现衡量中存在系统误差，可以对使用的衡器进行检查，调整不适当的使用条件，使系统误差消除。常系统误差也可以在测量结果中予以修正，当然这应当为衡器进行检定以确定其系统误差的大小和正、负。在修正了系统误差和舍去粗差之后，公式（1—10）所表示的随机不确定度便可以认为是衡量结果的不确定度了。

为了便于理解，图 1-4 给出了各种误差的解释说明。图中横坐标 t 是测量时间，纵坐标 x 是测值大小。