

天平使用与维修

庄冠发 黎淑萍 吴元勋编著

中山大学出版社

天平使用与维修

庄冠发 黎淑萍 吴元勋等编著

中山大学出版社

内 容 提 要

全书共分五章，分别介绍天平基本知识，天平的构造、安装、检定和使用，天平的修理，单盘天平，电子天平及其它天平等内容。还有天平调修工具、砝码检修和天平检定规程等三个附录。可供科研单位、高等院校、中专、各类工厂的中心试验室等从事分析工作人员的参考。

天平使用与维修

庄冠发等编著

中山大学出版社出版

广东省新华书店发行

韶关新华印刷厂印装

787×1092毫米 32开本 4.5印张 94千字

1986年3月第一版 1986年3月第一次印刷

印数1—3000册

统一书号 15339·1 定价 0.60元

前 言

天平是一种精密的质量计量器具，它被广泛地应用于工农业生产和科学实验的各个部门。天平的正确使用、检定和维修，这对于进行科学实验和生产实践有着十分重要的意义。

随着生产和科学技术的发展，天平的种类和数量日益增加。现代天平不仅起着衡量的作用，而且起着监督作用，是自动控制工艺设备中的组成部分。但是经过长期使用的天平，其性能必然会发生变化，即使是新购置的天平也会由于运输、震动、受热和受潮等外界因素的影响，使计量失准。古语云：“失之毫厘，差以千里”。由于天平的失准，往往给生产和科研工作带来极大的损失。因此，对于一个从事科学研究或生产工作者来说，了解天平的原理和构造，掌握天平的使用和维修知识是非常必要的，也是保证计量精密和准确的有效措施。

为了普及天平的使用、检定和维修知识。我们把二十多年来从事这方面工作的经验和体会，加以总结，并参阅了有关资料，编写成这本通俗易懂的小册子，供有关人员参考使用。

全书共分五章，内容包括：天平基础知识，天平的构造、安装、检定和使用，双盘和单盘天平的修理，电子天平。其中对天平室设置的要求作了比较详细的叙述，以及当代的电子天平原理也作了简单的介绍。为了便于学习有关理

论和修理技术，书后还有三个附录，供查阅之用。

由于编者的水平所限，加之时间仓促，错误和不当之处在所难免，请读者予以批评指正。

庄冠发 黎淑萍 吴元勋

目 录

前言

第一章 天平的基础知识	(1)
第一节 天平的制造原理	(1)
一、杠杆原理	(1)
二、弹性元件变形原理	(2)
三、液压原理	(3)
第二节 天平的种类	(3)
一、按天平结构分类	(4)
二、按用途分类	(4)
三、按天平精度分类	(4)
第三节 天平的计量性能	(5)
一、灵敏性	(5)
二、正确性	(7)
三、稳定性	(7)
四、示值不变性或示值变动性	(8)
第二章 天平的构造、安装、检定和使用	(10)
第一节 天平的构造	(10)
一、摆幅天平	(10)
二、阻尼天平	(12)
三、电光天平	(12)
四、微量天平	(13)

第二节 天平的安装	(14)
一、天平室的要求	(14)
二、天平的安装	(18)
第三节 天平的检定	(22)
一、标牌分度值的测定	(22)
二、不等臂性误差的测定	(23)
三、示值变动性的测定	(23)
第四节 天平的使用和保养	(24)
第三章 天平的修理	(26)
第一节 天平修理程序	(26)
第二节 横梁 刀口	(27)
一、横梁的检查与调整	(27)
二、刀的检查与调整	(29)
三、感量砣的调整	(35)
四、平衡砣的调整	(36)
五、骑码标尺的调整	(37)
第三节 悬挂系统	(38)
一、吊耳	(38)
二、阻尼器	(43)
三、秤盘	(44)
第四节 制动系统	(45)
一、隔离器和制动器	(45)
二、制动系统的调修	(47)
三、盘托的调修	(52)
第五节 读数装置	(53)
一、指针	(53)
二、读数标牌	(54)

第六节 机械加码装置	(57)
第七节 立柱部分	(60)
一、立柱	(60)
二、水准器	(61)
第八节 框罩部分	(62)
一、底座	(62)
二、外罩	(63)
第九节 天平计量性能的调修	(64)
一、天平灵敏度的调整	(64)
二、不等臂误差的调整	(69)
三、天平变动性的调整	(73)
四、关于天平灵敏度、变动性和臂差的综合调整	(77)
第四章 单盘天平	(80)
一、不等臂单盘天平的结构	(80)
二、不等臂单盘天平的特性	(83)
三、安装、使用与检定	(85)
四、常见故障及调修方法	(88)
第五章 电子及其它天平简介	(93)
一、原理	(93)
二、分类	(93)
三、上皿式电子天平	(94)
四、下皿式电子天平	(97)
五、电子天平的使用	(99)
六、其他类型天平	(100)
附录一、天平调修工具	(103)
附录二、砝码检修介绍	(107)
附录三、天平检定规程	(124)

第一章 天平的基础知识

第一节 天平的制造原理

我们要知道物体质量的多少，就必须对它进行测量。凡是用来测量质量以及利用质量计量原理来检查和控制生产过程的测量仪器叫做秤。通常把称量范围较小、灵敏度较高（相对精度在万分之一或万分之一以上）的秤，叫做天平。天平的制造原理有下列几种：

一、杠杆原理

凡在外力作用下，能绕着一个固定点转动的物体，称为杠杆。固定点称为支点，力的作用点称为力点，被力作用的点称为重点。力点到支点的距离叫力臂，从重点到支点的距离叫做重臂。力与力臂（或重臂）的乘积叫做力矩。

当杠杆平衡时有如下关系：

$$\text{力} \times \text{力臂} = \text{重} \times \text{重臂}$$

对于一般机械式杠杆天平就是利用这种杠杆平衡原理制造的。

假设有一台等臂天平，如图 1-1 所示。

l_1, l_2 ——天平的臂长

m_q ——被测物体的质量

m_p ——砝码的质量

q ——被测物体的重量

p ——砝码的重量

g_a , g_b ——天平左、右盘的重力加速度

把被称物体和砝码分别放在天平左、右盘上,当天平达到平衡时,则

$$q \times l_1 = p \times l_2$$

因为 $q = m_q g_a$,

$p = m_p g_b$, 代入上式得:

$$m_q g_a \times l_1 = m_p g_b \times l_2$$

因等臂天平的 $l_1 = l_2$, 又因在地球上同一位置重力加速度相同 ($g_a = g_b = g$), 所以

$$m_q = m_p$$

图 1-1

从推导结果可知,在杠杆天平上称量时,测出的是物体的质量。

二、弹性元件变形原理

弹簧秤和扭力天平就是利用弹性元件受外力(重力)作用时产生相应变形的原理制造的。

根据胡克定律,物体的伸长与施加的外力成正比:

$$L = kF$$

L —— 弹簧伸长的长度

k —— 比例常数,其值

因弹性元件的材料

和形状不同而异

F —— 造成形变的外力

在称量时,造成弹簧伸长的外力就是物体的重量。所以, $L = kq$ q —物体的重量

若 $k = 1$, 则 $L = q$

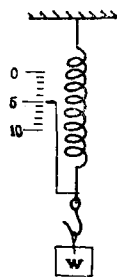
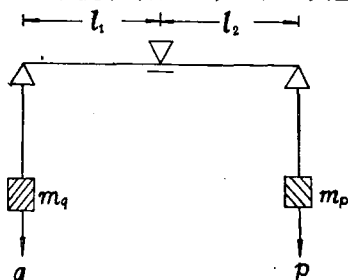


图 1-2

可见，根据弹簧伸长的长度，就可以测量物体的重量。

三、液压原理

根据帕斯卡定律：加在密闭容器内的液体或气体上的压强，按照它原来的大小，向液体或气体的各个部分、各个方向传递。

各种形式的液压秤就是选择两个大小不同的活塞，利用液体传递压强的性质，放在面积较大的活塞 A_1 上的重物，可由放在面积较小的活塞 A_2 上的砝码所平衡，如图1-3所示。

根据平衡时压强相等的原理得：

$$\frac{q}{A_1} = \frac{p}{A_2}$$

q ——重物

p ——砝码的重量

A_1 、 A_2 ——两个活塞的面积

若以 m_q 、 m_p 分别表示物体和砝码的质量，代入上式得：

$$\frac{m_q g}{A_1} = \frac{m_p g}{A_2}$$

$$\text{所以 } m_q = m_p \frac{A_1}{A_2}$$

由上式可知，在液压秤上称量时，测出的也是物体质量。

四、电磁原理（详见第五章电子天平）

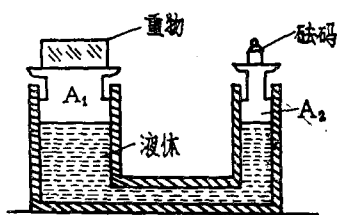


图 1-3

第二节 天平的种类

天平的种类繁多，归纳起来可分为机械式和机、电结合式（电子天平）两大类。而机械式天平又分为刀口式的杠杆天

平、弹簧式的扭力天平和各类专用天平等。目前国内普遍使用的多数是刀口式的杠杆天平。

一、按天平结构分类

根据天平结构的特点，可分为等臂天平和不等臂天平。在等臂天平中又分为单盘天平和双盘天平，不等臂天平多数是单盘天平。双盘天平中又有普通标牌和微分标牌、有机械加码和无机械加码、有阻尼器和无阻尼器之分。

在普通标牌的天平中把无阻尼器的天平称为摆幅（或摆动）天平，有阻尼器的天平称为阻尼天平。具有光学放大微分标牌的天平，称为电光天平或光学读数天平，它一般也附有阻尼器和机械加码装置。

二、按用途分类

根据用途给天平命名的有，用在计量部门作检定砝码之用的叫标准天平，用于化学分析方面的叫分析天平，用在工业分析的叫工业天平。此外，还有物理天平、矿山天平和采样天平等等。

三、按天平精度分类

根据天平的分度值分类（分度值是以克为单位）。通常所说的“万分之一”、“万分之四”的天平，就是指天平的分度值为“万分之一克”、“万分之四克”。

我们知道分度值与称量大小有密切关系，因此就出现了把这两个参数联系起来考虑、按照相对精度分类的方法，它以天平的分度值与最大负载之比值划分精度级别。我国目前也采用这种方法分类，按检定规程规定天平划为10级（详见附录三：天平检定规程表）。

以上几种分类法，各有优、缺点，例如：一台最大称量为2,000克、分度值为1毫克的摆幅天平和另一台最大称量为

200克、分度值为0.1毫克的电光天平。按相对精度分类都是三级天平，但绝对精度却相差10倍。因此按此分类法就反映不出天平的真正精度。如若按结构来分类，前者叫摆幅天平，后者叫电光天平，同样反映不出天平的精度；若按用途分类，前者叫标准天平，后者叫分析天平，也反映不出称量范围和结构特征。

总而言之，目前尚缺一套完善准确的命名和分类方法，有待于今后有关部门进一步研究解决。

第三节 天平的计量性能

天平的计量性能是指天平必须具备的灵敏性、正确性、稳定性和示值不变性。

一、灵敏性

天平的灵敏性是指天平能察觉出放在两个称盘中物体质量之差的能力。天平所能觉察的质量差越小，其灵敏性就越高，这种特性的具体量值为灵敏度。

天平的灵敏度是指针尖端沿标牌的位移(分度数)与引起这一位移的某一盘中所添加的质量之比，即：

$$E = \frac{n}{r} (\text{分度/毫克})$$

式中： E ——天平的灵敏度， n ——指针沿标牌位移的分度数(格数)， r ——在天平某一盘中所添加的微小质量(毫克)。

为了换算方便，通常又用分度值(使指针沿标牌移动一个最小分度所需要的质量值)来表示。分度值也称感量。对于同一台天平，分度值与灵敏度互为倒数的关系，即：

$$S = \frac{1}{E} = \frac{r}{n} \text{ (毫克/分度)}$$

由此可知，天平灵敏度越高，其分度值就愈小。

天平的灵敏度要受各种因素的影响，它们之间的关系还可用下式表示

$$E = \frac{al}{(p_0 + p + q_0 + q)m + wh}$$

式中： a ——支点到力点的距离

l ——指针长度

p_0, q_0 ——空盘时两力点分别载荷之重量（即吊耳、阻尼器、秤盘等悬挂系统的重量）

p, q ——称量时，两盘分别所加之负荷

m ——中刀刃至两边刀刃所在平面的距离，称为透光度（正透光取“+”，负透光取“-”）。

w ——横梁的重量

h ——重心到支点的距离

由上式可知：横梁重量愈轻，天平愈灵敏；臂或指针愈长，天平愈灵敏；重心到支点距离愈近，天平愈灵敏； m 值愈小，天平愈灵敏。

上述因素在设计 and 制作方面要考虑许多相互制约关系。如臂过长，横梁重量就增加。重心到支点太近，天平摆动起来就不易停止。指针过长，容易产生颤动。

为了兼顾上述情况，实际上横梁常用坚硬而质轻的合金制作，横梁比较短，而且作成漏空的房梁状。刀口和刀垫采用宝石、玛瑙或淬火钢制作。刀口的曲率半径力求越小越好，以减少刀刃与刀垫的滚动摩擦。同时使三刀刃尽量在同

一水平面上。

二、正确性

天平的正确性是指天平横梁左、右臂是否具有正确的固定比值。对于不等臂天平的正确性，就是一臂应为另一臂的正确固定倍数。

对于等臂天平，其两臂必须相等，此时天平称量的结果与砝码所表示的质量相等。如果两臂不相等，就要造成误差，叫做不等臂性误差。因此常用天平的不等臂性误差的大小来表示天平正确性的量度。正确性又叫不等臂性。

等臂天平的特征是天平空盘时和左、右盘加有相当于最大称量的等质量砝码时其平衡位置相同。

实际上绝对等臂是很困难的，只能尽量接近，而又不超出规定的允许误差就可以了。

由于横梁的不等臂所引起的衡量结果的误差，是与被测量物体的重量成正比，可用下式表示：

$$y = \frac{\alpha}{b} p$$

式中： y ——臂差 α ——两臂长之差
 b ——天平一臂长 p ——相应盘中重物的重量。

从上式看出，称量越大，由于臂差引起的误差就越大。如果天平臂差过大，在直接衡量法中，则会引起很大的误差。不过若采用替代衡量法，则可消除臂差的影响。

对于臂长的改变，除了制造不正确外，温度的变化也是一个重要的原因。

三、稳定性

天平的稳定性是指天平的平衡状态被扰动后，仍能自动回复原位的能力。

稳定性的好坏取决于杠杆的平衡状态，而平衡状态的稳定与否又取决于重心对支点的位置。

横梁的重心 c 在支点 o 的下方(图1-4)，当横梁的平衡状态被扰动后，它在两个方向相反，作用相等的力(重力 W 和反作用力 R)所形成的力偶的作用之下，总是力图回到原来的位置，此种平衡称稳定平衡。

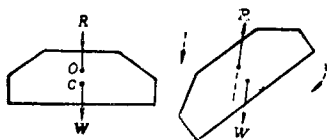


图1-4

显然，为使天平稳定性好，天平横梁重心必须在支点的下方并通过支点的垂直线上。重心离支点越远，天平就越稳定。但为保持天平应有的灵敏度，重心离支点又不能太远。所以重心的调整必须保证天平既稳定又灵敏。

四、示值不变性或示值变动性

示值不变性系指多次衡量同一物体，其平衡位置的重现性。例如：称量同一物体多次，结果一致，说明天平的示值不变性很好。

示值不变性是鉴定天平好坏的重要标志之一。但实际上绝对不变的天平是不存在的。所以习惯上用每次平衡位置之间的差异即不重合度(又称示值变动性)来表示示值不变性。对于同一精度的天平，不重合度愈小，其示值不变性就愈好。但是，不同精度的天平其不重合度的大小要求不同，精度越高的天平，不重合度也就要求越小。不重合度超出规程规定允许误差范围的天平，作不合格论。天平示值不变性实际上就表示了衡量结果的可靠程度。因此对它必须给予极大的重视。

不重合度或变动性的大小，除与天平结构和调整状态有

关外，还与温度、气流、震动等环境因素有关。

天平的上述特性既存在着有机的联系，又受到一定因素的制约。因此，不能片面地追求某个性能的提高，而不考虑其它性能，否则会影响到衡量结果的精确度。例如，在提高灵敏度时，必须考虑天平不稳定性也随着增大。对于任何一台天平来说，其灵敏度与稳定性的乘积为一常数，即：

$$S \times E = K$$

式中： S —天平的稳定性

E —天平的灵敏度

K —常数

因此，在不能保证天平稳定性不超出一定范围的条件下，单纯提高灵敏度是没有意义的。

稳定性与示值变动性密切相关，既有共同点，也有不同之处。稳定性只与横梁的重心位置有关，重心越高，天平就越不稳定，此时变动性也就越大。但变动性的大小除与横梁的重心位置有关外，还与横梁的调整状态以及外界环境等因素有关。因此，可以说稳定性是天平示值不变性的前提条件之一。

同样，灵敏度与正确性亦相关。正确性差，即是两臂不等，引起两盘灵敏度不等。

综上所述，天平的几个特性是既是相互联系而又互相影响。因此，我们在调修天平计量性能的过程中，就要不断地解决它们之间的矛盾，使之得到统一，达到我们需要的参数值。