

职工技术培训读物

天平称量与调修

常秀增 沈晓华 著



四川科学技术出版社

责任编辑 洪荣泽 周 军

天平称量与调修

四川科学技术出版社出版 重庆印制一厂印刷
新华书店重庆发行所发行

开本 850×1168 毫米 $1/32$ 印张 14.25 插页 2 字数 373 千
1985 年 1 月第一版 1985 年 1 月第一次印刷
印数: 1—6,600 册

书号: 15298·51

定价: 3.35 元

内 容 提 要

本书以TG328A型200克电光分析天平为主进行剖析，对天平的理论、结构、修理作了较详细论述和介绍，全书包括两大部分：第一部分是天平和天平称量理论，介绍了质量计量、称量方法与误差；第二部分是天平的调修，介绍了天平机械部件、光学系统及计量性能的调修。本书可供初中以上文化程度的分析化验人员阅读，并作计量人员和有关中专、技校教学参考，兼作短期培训班教材。

前 言

在四化建设中，常常需要对各种物质的质量、化学成分的含量等进行分析测试，而且要求精度高、称量速度快，自动显示结果。这就要使用衡量仪器，精密天平就是广泛使用的计量器具。所以，门捷列夫指出，自然科学的许多新成就，都在等待称量方法的改善。许多化学元素，同位素就是用精密的方法称量，测出其质量微小的差异而发现的。而称量不准确，则造成分析判断的错误。当前，虽然新型的、高精度的电子称量技术在发展中，而我国中等、高等院校、科研、生产单位，天平仍是常用的称量工具。

质量单位是三大物理基本单位之一，是国际单位制的七个基本单位（长度、质量、时间、电流、热力学温度、物质的量、发光强度）之一，质量计量准确与否，影响到与其密切相关的一系列导出单位的准确性。由于科学技术的发展，天平不仅仅执行称量物体质量的职能，而还用作计量同类产品或零件的数量；用于自动定量分配产品；用于快速确定产品是否在规定的质量允差范围之内；用于测定部分产品的含量百分比等等。

目前，广大分析化验人员、质量计量人员、天平检修人员，为了提高分析测试技术水平，准确称量，不致天平出毛病就搁置不用，迫切要求有一本既讲天平理论及其结构，又讲调试修理方法方面的参考书，本书就是为满足广大读者这些要求而编写的。书末附有不同空气密度下质量的换算等九个表格，还可供大气物理、气象、环保等部门工作人员参考。

本书的出版，曾得到多方的支持，曾顺跃同志在描图制图方

面，旷全昌同志在计算机数据处理方面，都作了大量工作。顾永祚、陈新汉副教授、许文沅、郑晓东、黄国忠、陈富林、李怀祖、郑光孝、崔泽全、朱盈权工程师、张文伯、谢增松、邹明国讲师、张忠助理研究员等参加了本书的审阅工作，在此一并致谢。

由于水平有限，错误疏漏在所难免，敬请读者多加批评指正。

四川省计划经济委员会电子计算机中心

一九八四年四月

目 录

第一章 质量的基本概念.....	(1)
第一节 质量.....	(1)
第二节 重量.....	(8)
第三节 质量的计量.....	(22)
第二章 天平的结构.....	(36)
第一节 天平的级别与分类.....	(36)
第二节 天平的结构.....	(38)
第三节 单盘天平.....	(72)
第三章 天平的计量性能.....	(78)
第一节 天平的稳定性.....	(78)
第二节 天平的不等臂性.....	(85)
第三节 天平的灵敏性.....	(89)
第四节 天平示值的不变性.....	(107)
第五节 天平各项性能间的关系.....	(108)
第四章 天平的安装与检定.....	(120)
第一节 安装前的准备.....	(120)
第二节 天平的安装.....	(128)
第三节 天平的检定.....	(132)
第四节 单盘天平的检定.....	(152)

第五章 砝码	(155)
第一节 砝码的分类和统一约定密度.....	(155)
第二节 砝码的检定.....	(168)
第三节 砝码的使用和保养.....	(197)
第六章 称量方法	(199)
第一节 称量须知和注意事项.....	(199)
第二节 称量方法.....	(201)
第三节 称量误差.....	(203)
第七章 天平的调修	(239)
第一节 天平的修理程序和工具.....	(239)
第二节 制动机构的调修.....	(250)
第三节 机械加码系统的调修.....	(258)
第四节 悬挂系统的调修.....	(263)
第五节 横梁部分的调修.....	(273)
第六节 光学系统的调整.....	(294)
第八章 天平计量性能的调修	(303)
第一节 天平稳定性的调修.....	(303)
第二节 天平灵敏度的调修.....	(309)
第三节 天平不等臂的调修.....	(326)
第四节 天平变动性的调修.....	(340)
第五节 天平的综合调修.....	(354)
 附录一 质量单位换算.....	(364)
附录二 不同海拔高度重量计算修正值表.....	(366)
附录三 全国主要城市的重力加速度表.....	(368)
附录四 空气密度表.....	(382)

一 A值表.....	(370)
二 B值表 (附书末)	
三 空气密度 ρ 值表.....	(382)
附录五 折算质量与真空质量互换表.....	(424)
附录六 毫巴(mb)化为毫米(mm)换算表.....	(433)
附录七 毫米(mm)化为毫巴(mb)换算表.....	(436)
附录八 20℃时物体转向真空中的质量换算.....	(439)
附录九 天平产品分类命名及型号编制方法.....	(440)

第一章 质量的基本概念

第一节 质 量

质量，表示物体中所含物质的多少。严格地讲，物体的质量是量度其惯性大小的物理量。

一、惯性质量

物体的动量变化率与作用在其上的力成正比，则有以下式

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

式中： $\vec{F}$ —作用在物体上的合外力，

m —物体的惯性质量；

$\vec{a}$ —物体运动的加速度。

根据牛顿第二定律，若作用在不同物体上的力相同时，则：

$$m_1 \cdot \vec{a}_1 = m_2 \cdot \vec{a}_2$$

$$\frac{\vec{a}_1}{\vec{a}_2} = \frac{m_2}{m_1} \quad (1-2)$$

所谓惯性质量，是从物体的惯性角度来说明质量的。由式(1-2)可以看出，如果相同的力 $\vec{F}$ 作用在两个质量大小不同的物体上，其中一个获得较小的加速度 a_1 ，则这个物体的质量 m 较大，惯性也较大；另一个获得较大的加速度 a_2 ，则这个物体的质量 m 较小，这样就可以说，获得较小加速度的物体，就是质量较大的物体，保持原来运动状态的能力大；而获得较大加速度的物体，是质量较小的物体，保持原来运动状态的能力小。这种受力

物体保持原来运动状态的能力，叫做物体的惯性。物体的质量大，惯性就大；质量小，惯性也较小。所以说，质量是对物体惯性的度量。这就是惯性质量的由来。

惯性质量用式子表示为：

$$m = \frac{f}{a} \quad (1-3)$$

二、引力质量

任何两个物体都是互相吸引的。引力的大小与两个质点的质量乘积成正比，与它们之间距离的平方成反比，这就是万有引力定律：任何物体，不论它们是巨大的星球，或是微小的原子，有生命的或是无生命的都遵守万有引力定律。其数学表达式为：

$$\vec{F}_{21} = -G \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2} \cdot \vec{r}_0 \quad (1-4)$$

式中： $\vec{F}_{21}$ —质点1对质点2的万有引力；

G —万有引力常数，单位为 6.6732×10^{-11} 牛顿米²/千克²；

m_1 、 m_2 —分别表示质点1和质点2的质量；

r —两质点间的距离；

$\vec{r}_0$ —方向为从质点1指向质点2 的单位矢量。

式中负号表示 $\vec{F}_{21}$ 的方向与 $\vec{r}_0$ 的方向相反，指向质点1，并表示质点2受到质点1的引力。用万有引力求引力质量 m_1 、 m_2 。

$$m_1 = \frac{F \cdot r^2}{G \cdot m_2} \quad (1-5)$$

$$m_2 = \frac{F \cdot r^2}{G \cdot m_1} \quad (1-6)$$

所谓引力质量，是从任何两个物体都有相互吸引力的角度来说明质量的。由万有引力定律可看出，两物体的质量 m_1 、 m_2 的大小是决定引力 F 大小的重要因素，因此，可以说质量是用来衡

量物体间相互吸引能力的物理量。这就是引力质量的来源。

在进行引力质量计算时，两个物体必须能被看成质点，即两物体之间的距离远远大于物体的线径。如果两个物体不能看成质点时，可把每个物体分成很多小部分，把每个小部分看成一个质点，计算其引力，然后把所有计算出来的各部分质点引力迭加起来。

由上述可知，质量是衡量物体本身固有的一个物理量，用来量度物体的不同性质；惯性质量用来量度物体的惯性大小，引力质量用来量度物体与其它物体之间相互吸引的性质。故惯性质量与引力质量是有区别的，分别反映物体不同的物理属性。

各类杠杆天平，秤和液压秤等称出的是物体的引力质量，用质谱仪测量出来的是物体的惯性质量。

引力质量与惯性质量存在着严格的正比关系。即物体的惯性质量大，引力质量也必然大；物体的引力质量小，惯性质量也必然小。因此，可以把物体的引力质量作为物体惯性的量度，反之，也可以把物体的惯性质量作为物体相互吸引性质的量度。当选用国际单位制或厘米克秒单位制进行计算时，物体的引力质量值等于它的惯性质量值，即：

$$m_{\text{引}} = m_{\text{惯}} \quad (1-7)$$

无论是引力质量，还是惯性质量，对于同一个参考系，物体质量的量值是相等的。而所谓的惯性质量和引力质量，只不过是质量可以通过物体的惯性和万有引力现象显示出来，而又对质量取了两个不同的名字而已。所以在实际运用中，就不再对引力质量和惯性质量加以区别，统称为物体的质量。

物体的质量具有两重性，即有惯性，同时产生引力，它们的比值恒等于1。现我们定性的证明引力质量和惯性质量之比恒等于1。设地球某一点的物体，只受一个引力场的作用，而忽略其他任何力的作用，这样物体就得到一个唯一的加速度，并且加速度与物体材料和物理状态都无任何关系。惯性质量出现在牛顿第

二定律中:

$$\text{力} = \text{惯性质量} \times \text{加速度} \quad (1-8)$$

引力质量出现在牛顿万有引力定律中是通过引力场来传递, 则:

$$\text{力} = \text{引力质量} \times \text{引力场强度} \quad (1-9)$$

用式 (1-9) 除式 (1-8) 得:

$$\text{加速度} = \frac{\text{引力质量}}{\text{惯性质量}} \times \text{引力场强度} \quad (1-10)$$

设引力质量等于惯性质量, 则:

$$\text{加速度} = \text{引力场强度} \quad (1-11)$$

公式 (1-11) 说明任意点的加速度与该点引力场强度相等, 在均匀引力场中, 各种不同物体的加速度应是相等的。相传伽利略在比萨斜塔上作实验, 将两个不同物体同时从塔顶掉下, 结果同时落地, 这说明加速度与物体的质量无关, 物体的加速度等于引力场强度, 同时也证明了所设的引力质量等于惯性质量是正确的。

另外, 牛顿为了证明物体的引力质量等于惯性质量, 他做了一系列很仔细的摆动实验, 以验证一定长度的摆, 如果用各种不同物体作摆锤, 是否具有相同的周期。为了了解如何做到这一点, 我们用一惯性质量为 m 的物体悬挂在一根线上, 如图 1-1。作用于它的两个力 (略去空气阻力) 是张力 T 和引力 F_g 。在任何时刻, 张力 T 都与摆锤的运动路线垂直, 因而对切线方向的加速度 a_θ 无影响。这切向加速度是由于 F_g 的切向分量。由图 1-1 得:

$$F_\theta = m \cdot a_\theta = -F_g \cdot \sin\theta$$

$$\text{因而 } a_\theta = -(F_g/m) \sin\theta \quad (1-12)$$

对任何角度 θ , 加速度 a_θ 都依赖于比值 F_g/m 。因此对给定的初始条件, 在任何角度 θ 上, 摆锤的速度都由这比值确定。从而这一个

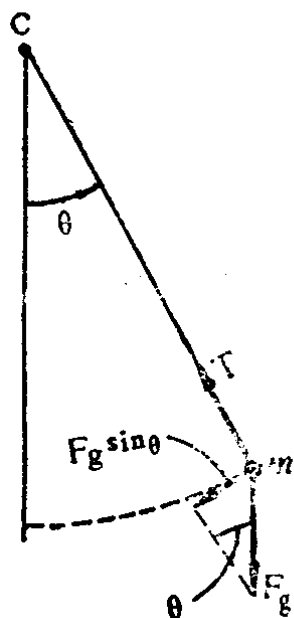


图1-1 作用于单摆摆锤上的力

来回的周期也依赖于这比值。牛顿观测了摆锤不同但摆长相同的各种摆的周期。根据他的观测，所有这种摆的周期在实验误差范围内都相等，他作出结论： F_g 与 m 成正比，证明了物体的惯性质量等于引力质量。

物体的惯性和它产生的引力场成严格的正比关系，物体惯性越大，它产生的引力场也越强，所以作为万有引力的特殊情况而显示出来的物体重量，也与物体的质量成正比（两个被比较的物体在测量时相对于“不动坐标系”具有相同的加速度）。

三、特殊情况下的非恒定质量

在牛顿力学中，物体的惯性质量是个恒量。不管物体如何运动，也不管物体的运动速度有多大，惯性质量总是不变的。不管把一个物体分成几个物体，或几个物体合成一个物体，它总的惯性质量是不变的。那么运动物体的质量是不是真的不变呢？实验证明，不是的。拿电子来讲，当它飞行时，实验测得它的质量变大了，特别是在高速飞行时，它的质量增加得非常显著。电子加速器经加速出来的电子质量是静止电子质量的四万多倍。这说明物体质量不变的观点不适合在运动速度接近于光速的物体上，而相对论告诉我们，物体静止时，质量最小，当这个物体运动时，它的惯性质量会增加，物体的运动速度无限大时，它的惯性质量会趋向于无穷大。这就是相对论中的质量与速度的关系，简称为质速关系，其表达式为：

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{C^2}}} \quad (1-13)$$

式中： m —物体运动时的质量；

m_0 —物体静止时的质量；

v —物体的运动速度；

C—光速(30万公里/秒)。

物理学家曾用电子和质子做过实验，发现电子和质子的惯性质量确实随其运动速度增加而增加，实验结果同相对论中的质量同速度的关系是符合的。

运动物体的速度能达到光速吗？理论与实践证明是办不到的。物体的质量随物体运动速度的增加而增大，当物体的运动速度趋向于光速的时候，物体的质量趋向于无穷大。从而可以看出，对于一个有静止质量的物体，要想通过外力做功，使它们的速度达到光速，就得付出无穷大的能量。但不管以怎样的方式，人们付出的能量总是有限的，无穷大的能量是得不到的。因此，永远不能使物体的运动速度达到光速，更不能超过光速，所以光速是一切物体的最大速度极限。另一方面，如果一个物体以光速运动，那么它的静止质量必定是零。比如光子，中微子的运动速度都是光速，那它们的静止质量必定是零。许多物理学家在这方面做过大量的实验，至今没有发现大于光速的运动存在，同时对光子静止质量的测量结果，与光子静止质量是零的结论也是符合的。

但一般物体的运动速度远远小于光速，其运动速度对其质量的影响也很小。如以每小时1500公里，即每秒417米的超音速飞行的飞机上，一千克静止质量 m_0 会变化到 m_p ，由式(1-13)有：

$$m_p = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{C^2}}} = \frac{1\text{kg}}{\sqrt{1 - \frac{417^2}{300000000^2}}} \approx \frac{1\text{kg}}{\sqrt{0.99999999999807}} \\ \approx 1.00000000000009\text{kg}$$

质量仅增加 $9 \times 10^{-13}\text{kg}$ 。而质量计量的最高测量精度为 10^{-9} 公斤数量级，用相对论计算运动最快的物体，质量所引起的误差不到 10^{-12} 公斤，比国际公斤原器本身的相对精度还小 3 个数量级以上，所以，在本书范围内，可以完全忽略由于采用经典力学的算法而引起的这部分误差，从而可以确切地说，物体运动的质量就等于它静止的质量。即： $m_p = m_0$ (1-14)

四、工程质量

在工程单位制中，质量的单位不是基本单位而是导出单位，是根据牛顿第二定律的变形 $m = \frac{F}{a}$ 导出的。当1kgf的力作用在一物体上，使该物体产生 1m/s^2 的加速度时，那么这个物体的质量即为1个工程质量单位[m]。其单位名称为“工程质量”，没有符号表示这个单位名称。它的单位表达式为：

$$[m] = \frac{1\text{kgf}}{1\text{m/s}^2} = 1\text{kgf} \cdot \text{s}^2/\text{m} \quad (1-15)$$

它与国际单位制中的质量单位千克的换算关系不难推出，1“工程质量” = $1\text{kgf} \cdot \text{s}^2/\text{m}$ ，因 $1\text{kgf} = 9.80665\text{N}$ ， $\text{N} = \text{kg} \cdot \text{m/s}^2$

所以，1“工程质量” = $9.80665\text{N} \cdot \text{s}^2/\text{m}$

即：1“工程质量” = 9.80665kg (1-16)

这就是说，在工程单位制中1“工程质量”相当于国际单位制中 9.80665kg 。

“工程单位”在工交、建筑、设计和生产部门中被广泛的采用。在使用米制（公制）的国家和地区，这种工程单位制被称为“米制工程单位制”。在使用英制的国家和地区，相应力的单位用磅力，长度单位用英尺，时间的单位用秒，这就又形成了“英制工程单位制”。这类单位制不仅在国内被广泛采用，就是国际上大多数国家，在工程技术上也都是采用这类单位制。采用国际单位制的国家，已经或正在逐步废除工程单位制。国际标准化组织（ISO）已宣布禁止使用这类单位制。我们国家规定暂时允许使用工程单位制，但要予以限制，并要求向国际单位制靠拢。

表 1—1 中列出的是四个物理量的单位在两种单位制中的比较。

由表可以明显地看出质量和力在两种单位制中的区别。这个

表1-1

两种单位制的比较

单位类别 \ 单位制	SI	工 程 单 位 制
基 本 单 位	长度: 米 (m) 时间: 秒 (s) 质量: 千克 (kg)	长度: 米 (m) 时间: 秒 (s) 力: 千克力 (kgf)
导 出 单 位	力: 牛顿 (N)	质量: 工程质量 (kgf·s ² /m)

问题是当前推行国际单位制中的一个重要问题。

有关英制的各种单位制与国际单位制的区别, 这里不再作详细的比较, 因为我国无论在物理学界, 还是工程技术界, 英制已很少使用了。

第二节 重 量

物体所受重力的大小叫重量。重力也就是地球对物体的吸引力 (即指向地心的万有引力), 和因地球自转而作用在物体上的惯性离心力的矢量和。重力的表现形式为, 物体对阻止它落下的支持物所施加的压 (或拉) 力。它是作为万有引力的特殊形式显示出来的一个力。

当物体仅受其重力作用时, 它将作自由落体运动。自由落体运动的加速度 $g=9.80665$ 米/秒², 是一个常量。根据牛顿第二定律, 物体所受的重力的大小即其重量, 等于物体的质量与重力加速度的乘积。其数学表达式为:

$$\vec{P} = m \cdot \vec{g} \quad (1-17)$$

式中: $\vec{P}$ —物体的重力;

$\vec{g}$ —重力加速度。

由上式可看出, 重力和力的定义 $F=m \cdot a$ 的性质和形式都是

一样的。重力的单位无疑也是牛顿(N)。这样可看出重力也是一个力，它有大小，有方向，作用点，是一个矢量。

物体所受重力的大小叫物体的“重量”。从定义中可以看出重量是一个标量。物体的重量P就是该物体的质量与重力加速度值的乘积。其数学表达式为：

$$P = m \cdot g \quad (1-18)$$

式中：P——物体的重量；

g——重力加速度值。

在重力单位制中，是将保存在巴黎的国际公斤原器拿到北纬45°海平面处所受的重力值，定义为标准重量，取名为——公斤重（英文代号是kgw）。这样有了标准重量，物体的重量就可以进行量度了。

质量与重量的概念和含义，在上几个世纪一直是混淆不清的，就是到目前为止，世界各国对质量与重量的定义也不一致。我国国家计量局为了统一我国的质量计量，考虑到国际惯例和国内现状，规定如下：物体的质量以“公斤”为单位，它等于国际公斤原器的质量；而物体的重量则等于该物体的质量与重力加速度值的乘积；标准重量就是该物体的质量与标准重力加速度值的乘积。

当m以克(g)为单位，g以每秒每秒厘米(cm/sec²)为单位时，P的单位为达因(dyn)。一达因就是使一克质量的物体产生一米/秒²加速度所需的力。当m以千克(kg)为单位，g以每秒每秒米(m/sec²)为单位时，P的单位为牛顿(N)，一牛顿就是使1千克质量的物体产生一米/秒²加速度所需的力。

$$1 \text{ 牛顿} = 10^3 \text{ 克} \times 100 \text{ 厘米/秒}^2 = 10^5 \text{ 达因} \quad (1-19)$$

一、物体的重量与地球纬度和海拔高度的关系

1. 物体离开海平面升高时重量的计算：在对计算精度影响