

第一章 力学计量概述

§ 1.1 力学计量在计量学中的地位

力学计量是计量中最基本的计量之一，研究的对象是物质力学量的计量和测试。力学计量与其它计量相比，具有内容丰富、应用广泛、历史悠久等特点。

力学计量又可分为质量、容量、密度、压力、真空、流量、力值、硬度、转速、振动、冲击、粘度、重力等十三个计量项目，每个项目都有很丰富的内容。如硬度计量，一般常用的有布氏、洛氏、维氏、肖氏、显微硬度等。还有橡胶硬度、塑料硬度等计量，而每一种硬度计量都有较宽的计量范围。

从力学计量测试应用情况看，不论与工业生产、国防军工、科学技术、还是交通运输、国内外贸易以及人民生活等方面都有广泛的联系。总之，人们在生产活动和社会活动中，都在自觉或不自觉地从从事力学计量测试工作。

我国是世界四大文明古国之一，我们的祖先很早以前就有了计量，而力学计量和长度计量一样开始的最早。据历史记载，在两千多年以前的春秋战国时期就已经有了较大发展，后来秦始皇统一了全国，也统一了度量衡制度。

国际上，力学计量与长度计量也是最早发展起来的。如1879年，人们制造的质量公斤原器至今还保存在法国巴黎国际权度局里。它一直是作为国际最高质量标准来使用。世界各国的质量基准都要定期进行比对。

§ 1.2 力学计量内容简介

随着生产和科学技术的发展，力学计量至今已比较完善了。目前它包括十三个计量项目，现简略介绍如下：

一、质 量 计 量

质量就是物体所含物质多少的量度。在物理学中我们知道，一个物体的重量和各地的重力加速度的比值是不变的，这个比值就是这个物体的质量。所以质量是个不变的量，它不因地理位置改变而变化。它是物体的重要属性之一，人们要认识自然，就必须认识物体这一基本性质。质量计量就是为达到这个目的的重要手段。

人们在生产活动和社会活动中，经常要进行物质交换。这些交换活动都离不开质量计量工作。

质量计量是力学计量中最基本的计量项目，因为它与密度、力值、容量、压力、流量等力学计量密不可分。

物体质量大小相差很悬殊，象电子质量和太阳质量差别就很大，因此质量计量范围很宽，质量计量的目的就是建立质量标准，测试物体的质量。我国最高质量标准是国家基准砑

码（或叫国家公斤原器），另外还建有一至五等标准及工作砝码，标准质量值就是通过上述各等级砝码直接进行传递的，衡量方法一般有交换法、替代法、连续替代法和直接衡量法等。其中前三种属于精密衡量法。

到目前为止，质量基准仍然是实物基准，如何用自然基准代替实物基准，一直是人们寻求的目标。另外，提高精度，扩大量限，采用新的计量方法也一直是人们注意的问题。由于质量计量所处的重要地位，质量计量发展有着广阔的前途。

二、密度计量

密度是指物体单位体积所含有物质的质量值，或者说密度就是物体质量与体积之比。有的还引入了表面密度和线密度的概念，表面密度是指质量与面积之比；线密度是指质量与长度之比。平常所说的液体的浓度也是指密度而言。浓度是以百分比来表示，百分比大，说明浓度高。反之，说明浓度低。若浓度是以溶质质量与溶液质量的相对百分比来表示，则称为质量百分比浓度；若浓度是以溶质容量与溶液容量相对百分比来表示，则称为容量百分比浓度。

在工农业生产，国防建设、交通运输，医疗卫生以及科学技术各部门，特别是酿造业、制糖业、石油化工及制酒等工业，农业上的土壤分析等应用尤为突出。

本教材所描述的密度计量对象通常是指流体，其目的就是通过仪器和一定的手段来计量这些流体的密度。测量石油密度的器具称为石油密度计，同理还有酒精密度计、海水密度计、糖料密度计等。密度计量还包括标准溶液的配制等内容。

三、容量计量

容量也称容积，它是指容器内部所容纳流体体积的量，也可以说是容积内部所含空间的体积。

容量计量与质量计量一样，有着悠久的历史。我国从古代起一直沿用的斗、升、合等都属容量器具。现代容量计量应用更为广泛，如化学工业中的各种容量罐；医疗卫生、科学试验化学分析等所不能缺少的滴管、吸管、量瓶、量杯、量筒等，还有其它特种量器；人们日常生活中使用的各种瓶、杯、罐等就更多了。这都属于容量量器。

容量计量范围也很宽，小容量可小到千分之几毫升，大容量可达十万立方米以上，为方便起见，容量分为大容量和小容量两个计量范围，大容器一般为金属容器，小容量一般为玻璃容器。根据使用精度的不同，容量计量方法也不同，一般有衡量法、比较法和几何测量法三种。

容量计量器具可分为一、二等标准量器和工作量器，容量计量目的之一就是要保证这些量器的容量准确可靠。

四、压力计量

压力又称压强，它是单位面积上所受到垂直均布的力。随着工程技术上应用的不同，有几种不同的压力概念，如大气压力、绝对压力、表压力和疏空等。

压力计量在现代工业和科学研究中得到广泛应用，凡是利用液体、气体和蒸气等作为动力传递介质，都要反映出压力作用，如常见的锅炉、汽车、拖拉机等内燃机上以及火车蒸气

管道上。凡是工业上的动力系统，液压管道、压力加工及某些科学试验都广泛应用着压力表。压力表显示了管道流体压力大小。

压力还是工业生产自动化及能源测试的重要参数之一。

随着科学技术发展，目前对于极低压、微压、高压和超高压、动态压力，高低温条件下的压力测量等越来越重要。

测量压力的仪表种类繁多，它可以按仪器的作用原理、精度、用途、测量范围等进行分类。若按作用原理它可分为：液柱式、弹簧式、活塞式、电测式、综合式等五种。压力计量的目的就是要保证这些仪表能正确指示和传递压力量值，同时满足工业生产的自动控制，提高产品质量、保证生产安全等。

五、真 空 计 量

地球表面被一层空气包围着，因此才使人类和万物得到生存，空气和一切物体一样，它占有空间和质量，为研究空气的性质，人们引入了一个重要物理量，叫做标准大气压，一个标准大气压等于101325帕。真空是指在给定空间内，低于一个标准大气压的气体状态。为确定真空状态下这个量的概念，人们提出了真空度这一重要概念，真空度表示了在给定的空间内空气稀薄程度，它是以气体压力的高低来表示的，压力高则真空度低，压力低则真空度高。

真空度又可划分为粗、低、高、超高、极高真空度五个范围。

人们得到所要求的稀薄气体状态空间的全部手段称为“真空技术”，其中最重要的是真空的获得和测量。

许多生产和科学研究都必须避免大气干扰，例如电子管、半导体及集成元件等的生产都离不开真空条件，钢水真空脱气，真空热处理，电子束焊、真空冷冻、精馏、灯泡、保温瓶生产等都要应用真空技术。现代化工业生产更要许多真空仪表来监视。因此真空计量有着广泛应用，但同其它力学计量相比，真空计量发展还不够完善，随着工农业生产和科学技术的发展，真空计量也随之迅速发展和提高。

六、流 量 计 量

液体和气体统称为流体，流量就是指单位时间内流过管道或设备某一横截面流体的数量。这个数量有时用质量来表示，有时用体积来表示，用质量表示的流量称为质量流量，用体积表示的流量称为体积流量。流量计量就是要测定流体通过输送管道的数量。现代科学技术的发展，流量计量对象不仅限于流体，还发展了固体（一般是粉状或颗粒状固体）或一种粘稠状固液混合体。

流体计量在工农业生产、国防、科研以及国民经济各部门显得非常重要，如工业生产自动化需要控制流量，石油工业的原油计量以及其它无法用简单称量的物质计量都可以应用流量计量，当今能源及某些地方水源紧张的情况下，流量计量更是不可缺少。

测定管道流量的仪器叫做流量计。由于流体包括范围很广（如：空气、氢气、氮气、煤气、蒸汽和水、汽油、各种轻油及液态金属等）。所测量流体介质也不同，因此流量计种类和规格繁多，仪器种类就有一百多种。

流量计量的基准器和标准器是质量标准或容量标准。流量计量方法有多种，主要有质量

法、容积法和比较法三种。

随着生产和科学技术发展，流量计量有着广阔的发展前途，当前流量仪表向着大型化和高精度发展。由于国际工业发展和物质交流的需要，统一国际计量标准（包括设备、方法等）进展比较快。但也还存在一定问题，比如高压或低压气体流量的测定，高温或低温流体流量测定以及固体流量计量这些方面还不够成熟，还应进一步探索。

七、力 值 计 量

力就是物体之间的相互作用，这种作用使物体产生加速度或变形，因此力也是使物体产生加速度或变形的原因。由于地球表面物体都受重力作用，因此重力对人类切切相关，人们把特制物体（砝码）的重力值作为基、标准机设计基础。力值计量就是要保证这些基、标准设备所显现力值的准确可靠，并进行力的量值传递和测量。

力值计量在工程和科学技术领域中广泛应用着，如各种建筑材料的拉力、压力、交变力等等的测试，轧钢机的轧制力，火箭发动机或喷气式飞机的推力等都要通过力值计量或测试。

测力设备可分为基准测力机，一等标准测力计、二等标准测力机、三等标准测力计，各种材料试验机及工作测力计等，凡是带有“机”字的设备均为固定式设备，不能携带。凡带“计”的设备都是便携式，可以携带。

力值计量范围很广，一般从 1 kgf—500 tf 为最普遍，随着科学技术和生产的发展，1kgf 值以下和 500tf 值以上的力值计量逐步发展，目前世界上已出现了 5000 tf 和 10000 tf 的材料试验机。另外，世界上关于大的力值传感器研制也是一个显著特点之一，从发展趋势看，力的标准将会由力传感器来代替。

八、硬 度 计 量

硬度是表示材料软硬程度的量，它体现了一个物体抵抗另一个物体压入的能力，这个能力与压入体几何形状、尺寸及压入条件有关。

硬度本身不是一个物理量，因为没有一种硬度的测量方法是和某一物理性质有关。硬度值的表示方法与其试验方法有关，即试验方法不同，硬度单位也不同（详见第十章）。

硬度按其测试材料对象可分为金属硬度和非金属硬度两大类。金属硬度常用的有：布氏、洛氏、维氏、肖氏等硬度；非金属硬度有橡胶硬度、塑料硬度、水果硬度等。硬度计量在热处理工艺中广泛应用，许多零部件对硬度都有要求，如工业中常用的轴承，硬度高了易脆裂，硬度低了易磨损和变形，可见硬度计量测试与产品质量有密切关系。另外，硬度是材料的主要机械性能指标之一，由于材料不同，硬度的试验方法也不同。硬度试验方法与其它试验方法相比，具有简单、效率高，且不破坏试件等特点。这对于不能用刀具切割成试样的工件的硬度测试显得更为有效。

目前，金属硬度计量测试发展比较完善，非金属硬度发展较为迟缓。随着生产和科学技术的发展，非金属硬度测试已提到议事日程。

九、转 速 计 量

物体在运动过程中，始终围绕一条静止不动直线在作旋转运动，这种运动可用角速度来表示，转速就是衡量物体旋转快慢的物理量。这个物理量的单位有：转/分、转/秒。

如：某一电动机转速是1500转/分，也就是说这个电动机每分钟旋转1500转。转速计量就是要测试这些转动物体旋转速度和建立这些转速测量的标准装置。

转速计量在航空、航海、交通运输、纺织机械等工业中使用较为普遍，如各种内燃机械及自动化控制系统等都广泛应用。

转速计量设备可分为标准转速装置和各级转速表。标准转速装置可以附加频闪盘这个部件，就可提高精度。转速表按结构可分为机械式、电磁式、电频闪式、机械频闪式及电脉冲式等几种。

十、振 动 计 量

在日常生活中，振动现象很常见，所谓振动，就是物体在某一个位置作往复运动的物理现象。物体振动可用振幅、振动速度、振动加速度、振动频率等所谓振动参数来描述，振动计量的目的就是要建立这些振动参数的计量标准及提供这些振动参数的测试手段。

振动测量往往是把振动的机械量（振幅、振动速度、加速度等）转换为电量来测量。振动计量测试设备可分为各级振动台和测振仪两大类。

振动计量在机械制造、土木建筑、交通运输、仪表工业、地质勘探、地震工程、地球物理学、国防军工等部门应用的广泛。振动现象到处可见，它对人类有益也有害，我们应该充分利用其有益的一面，避免其有害的一面。为此必须对振动参数进行精密计量和测试。

我们所使用的振动测量仪器设备都是根据被称为简谐振动规律设计制造的，实际上振动要复杂的多，一般随机振动测试较复杂，而且又普遍存在，许多国家正在进行研究。

振动计量在我国发展还比较年轻，但已初具规模，其标准设备和传递网已初步建立和形成，随着科学技术和国民经济发展，振动计量愈来愈显得重要。

十一、冲 击 计 量

韧性是材料的重要机械性能之一，它表示材料内在能量储存量的一个指标，冲击是对材料的一种动荷试验，目的是考查材料的内部结构，工艺质量，特别是材料性能随温度变化的情况，它在冶金、机械、塑料、电工绝缘器材、造船等工业部门大量应用。

冲击过程是一种时间很短，力很大的物理现象，对于材料冲击韧性的测量通常是以冲击前后能量的变化来衡量的。冲击计量就是把标准能量通过一定设备和方法对材料进行冲击测量。根据被试验的材料来分类，冲击试验可以分为金属与非金属材料冲击试验两种。若按试件受力状态可分为弯曲、拉伸、扭转等等冲击试验。

为了适应不同材料及材料在不同环境下的冲击韧性试验，人们设计制造了高低温冲击机，高速冲击机，多次冲击机等。

十二、粘 度 计 量

流体在管道中流动时，其内部各部位的速度是不同的，越接近管壁流速越慢，在管的中心轴处流速最快，这是因为流体在流动时，流体内部发生内摩擦力的缘故，粘度就是流体内部摩擦力的量度，它是用产生单位切向速度所需要的切应力大小来衡量。

测量流体粘度的仪器叫粘度计，为适应不同流体粘度测定，目前粘度计发展已有200多种，但一般多采用毛细管粘度计，随着科学技术的发展，近年来，旋转粘度计也越来越多，另外，还有落球粘度计，振动粘度计及超声波粘度计等。

粘度测量方法可分为绝对法和相对法两种。

粘度计在石油、化工、煤炭、轻工、机械、国防、交通、冶金等工业及科学技术中应用广泛。

由于水同人类各方面关系密切，目前，人们对水，特别是纯水的粘度测试十分重视，另外提高粘度标准精度，扩大量限，改进粘度传递方法，统一国际粘度量值也是目前粘度计量发展的动向。

十三、重 力 测 量

根据牛顿万有引力定律可知，任何两个物体之间都有引力作用，地球表面的任何物体都受地球引力作用。另外，地球除绕太阳公转外，它本身还绕其自身地轴自转，当然在它上面的任何一个物体也跟着围绕地轴旋转，从而这个物体产生一个离心力。平时所说的重力就是指地球引力和这种离心力的合力。

这里所说的重力通常是用单位质量所受到的地球引力大小，即用重力加速度来表示，由于地球地理位置和内部结构不同，地球各点的重力加速度值也不同，重力测量的目的就是对地球各点重力加速度按精度要求进行测定，测定的方法通常有绝对法和相对法两种。

国际上设有基准重力原点，每个国家有自己的基准重力原点，根据需要还设有一至三级不同精度的重力点，这些重力点组成了重力网。由此可知，与其它力学计量相比，重力这个物理量不需要建立各级标准设备进行量值传递，而是直接测定各地重力值，所以叫重力测量较为合适。

重力测量对于空间技术、地球物理、采矿、气象等研究关系较密切。

从我国研制的重力仪与国际进行比对情况来看，我国的重力测量技术已达到世界水平。地球上的任何物体都逃脱不了地球这种重力作用。因此，重力测量对人类各方面活动是十分重要的。

§ 1.3 力 学 计 量 单 位

在国际单位制中，计量单位可分为基本单位和导出单位两种。所谓基本单位（或叫基本物理量）就是在物理学中能独立存在的物理量计量单位。在国际单位中七个基本单位是：米（长度）、秒（时间）、千克（质量）、安培（电流）、开尔文（温度）、坎德拉（光强）、摩尔（物质的量）。它们都是从基本物理概念出发而定的物理量单位。而不是通过别的物理量推导出来的。相反，有些物理量象容量、压力、速度等是由基本单位推导出来的物理量单位。所以把它们叫做导出单位。

物理量的大小称为量值，计量工作者的主要任务之一就是要进行量值传递，以便统一各物理量的量值。在力学计量中，涉及到上述七个基本单位中的长度、时间和质量三个基本单位。质量是力学计量中唯一的基本单位。其它力学计量单位均为导出单位。如：容量单位是由长度基本单位推导出来的；密度单位是由质量和长度两个基本单位推导出来的；速度或加速度单位是由长度和时间两个基本单位推导出来的等等。其它如流量、力值、压力、真空计量单位都是通过上述两种或三种基本单位推导出来的。这方面内容将在各章中较为详细介绍。

应指出：力学计量单位中转速的单位是用转/分或转/秒等。实际就是物体转动角速度量单位。转速单位用到时间基本量。另外还用到弧度这个单位（国际单位制中称为辅助单位）。如果上述三个基本单位加上角度单位弧度，那么所有力学量单位都可以描述了。

为使读者使用或阅读方便，这里按力学计量项目列出力学计量中最常用的计量单位，如表1.1所示。供参考。

表1.1 常用力学计量单位表

计量项目	计量单位名称	符号	定义及其单位换算	备注
质量 (m)	千克 (公斤)	kg	千克是质量单位。等于国际千克原器的质量	质量的SI单位
	吨	t	千克质量的1000倍。即：1t = 1000kg	英文中也称米制吨
	克	g	千克质量的千分之一，即：1g = 10 ⁻³ kg	
	毫克	mg	1mg = 10 ⁻³ g = 10 ⁻⁶ kg	
	原子质量单位	u	1u = 1.660 565 5 × 10 ⁻²⁷ kg	与千克并用的质量单位
密度 (ρ, d, ρ _l , ρ _A)	千克每立方米	kg/m ³	质量除以体积	密度的SI单位
	吨每立方米	t/m ³	1 t/m ³ = 1000 kg/m ³	一般固体密度多采用
	千克每升	kg/l	1 kg/l = 1000 kg/m ³	
	克每立方厘米	g/cm ³	1 g/cm ³ = 1000 kg/m ³	
	相对密度	d	在共同特定条件下，某一物质的密度与另一参考物质的密度之比	由定义可知此量无量纲
	千克每米 (线密度)	kg/m	质量除于长度	均匀线材多采用
	千克每平方米 (表面密度)	kg/m ²	质量除于面积	均匀板材多采用
	质量百分比浓度	度	溶质质量与溶液质量的相对百分比	用于溶液密度的计量测试
	容量百分比浓度	度	溶质容量与溶液容量的相对百分比	
容量 (V)	立方米	m ³	1 m ³ = 10000 dm ³ (l)	容量的SI单位
	立方分米	dm ³	1 dm ³ = 1000 cm ³ (ml)	与升(l)通用
	立方厘米	cm ³		与毫升(ml)通用
压力与真空	帕斯卡	Pa	1 Pa = 1 N/m ²	压力的SI单位
	巴	bar	1 bar = 10 ⁵ Pa	
	标准大气压	atm	1 atm = 101 325 Pa	
	工程大气压	kgf/cm ²	1 kgf/cm ² = 9.80665 × 10 ⁴ Pa	
	千克力每平方米	kgf/m ²		
	托	torr	1 torr = $\frac{1}{760}$ atm	
	毫米汞柱	mmHg	1 mmHg = 133.322 Pa	
	毫米水柱	mmH ₂ O	1 mmH ₂ O = 9.806 65 Pa	
流量	体 积			
	流 量	立方米每小时	m ³ /h	流体流动时，单位时间通过横截面的流体体积
		升每秒	l/s	
	质 量	吨每小时	t/h	
	流 量	千克每秒	kg/s	

续表 1.1

计量项目	计量单位名称		符 号	定义及其单位换算	备 注
力 值 (P、F)	牛 顿		N	加在质量为 1 kg 的物体上,使之产生 1 m/s ² 的加速度的力为 1 N	力的 SI 单位
	达 因		dyn	加在质量为 1g 的物体上,使之产生 1 cm/s ² 加速度的力为 1 dyn	
	公斤力		kgf	加在质量为 1 kg 的物体上使之产生 9.806 65 m/s ² 的加速度力为 1 kgf	
	吨 力		tf	1 N = 10 ⁵ dyn 1 kgf = 9.806 65 N	
	克 力		gf	1 tf = 1000 kgf, 1 gf = 10 ⁻³ kgf	
转 速	角速度 (ω)	弧度/秒	rad/s	物体转动角度与转动时间之比	
		转/分	r/min		
		转/秒	r/s		
	线速度 (v)	公里/小时	km/h	作圆周运动质点所行过的弧长与时间之比	
		米/分	m/min		
		米/秒	m/s		
振 动	振 幅 (A)	厘 米	cm	物体振动时,振动物体偏离平衡位置的最大距离	
		毫 米	mm		
		微 米	μm		
	振 动 速 度 (v)	米/秒	m/s	物体振动时,振动物体的位移随时间的变化率	
		厘米/秒	cm/s		
		毫米/秒	mm/s		
	振 动 加 速 度 (a)	米/秒 ²	m/s ²	物体振动时,振动物体的振动速度随时间的变化率	
		厘米/秒 ²	cm/s ²		
		毫米/秒 ²	mm/s ²		
	振 动 频 率 (f)	赫 兹	Hz	单位时间内,完成周期振动的次数	
	振 动 周 期 (T)	秒	s	物体完成一个全振幅所经过的时间	
		毫 秒	ms		
		微 秒	μs		
冲 击 (Ak)	焦 耳		J	1 N力作用在质点上,使其沿力方向移动 1 m 距离所做的功 1 J = 1 N·m 1 kgf·m = 9.806 65 J	J 是功的 SI 单位
	千克力·米		kgf·m		
粘 度 (η、ν)	动力粘度 (η)	帕斯卡·秒	Pa·s	1 Pa·s系流体中,当切应力为1Pa,垂直于切应变平面的速度梯度为 1m/s 每米时的粘度 1 Pa·s = 1 N·s/m ²	
		泊	P		
		厘 泊	cP		

续表 1.1

计量项目	计量单位名称		符 号	定义及其单位换算	备 注
粘 度 (η ν)	运 动 粘 度 (ν)	米平方每秒	m^2/s	$1 \text{ m}^2/\text{s}$ 系流体动力粘度为 $1 \text{ Pa}\cdot\text{s}$, 而密度为 $1 \text{ kg}/\text{m}^3$ 时的运动粘度 $1 \text{ Pa}\cdot\text{s} = 10 \text{ P} = 10^3 \text{ cP}$ $1 \text{ m}^2/\text{s} = 10^4 \text{ St} = 10^6 \text{ cSt}$	
		斯	St		
		厘 斯	cSt		
重 力 (g)	伽		cm/s^2	$1 \text{ 伽} = 1 \text{ cm}/\text{s}^2$ (定义式)	
	毫 伽		/	$1 \text{ 伽} = 1000 \text{ 毫伽}$	
	微 伽		/	$1 \text{ 毫伽} = 1000 \text{ 微伽}$	

说明。由于硬度只是材料机械性能的一个参考，故本表未列硬度计量单位。

第二章 质 量 计 量

质量计量是力学计量中最基本的计量工作。本章介绍质量计量的基本概念和衡量的基本原理, 以及对砝码检定方法等。

天平是较精密的衡器, 由于它与标准砝码的检定关系密切, 因此, 本章也将简略论述。其它衡器放在第三章中专门介绍。

§ 2.1 基 本 概 念

一、质量计量在国民经济各部门中的应用

在我国质量计量历史最悠久, 远在春秋战国时期就发展到一定水平。公元前 770 年就能制造精度较高的天平和砝码了。在秦始皇统一中国后, 统一了文字, 也统一了度量衡制度。以后各封建王朝都建立了这方面标准器。“衡”是指衡器, 就是通常所说的秤。我们的祖先早就会应用杠杆原理制造秤了。

质量计量发展到今天已较完善, 应用非常广泛。它与我国国民经济各部门都有密切联系, 不论是工业生产、国内外贸易、交通运输、医疗卫生, 还是科学技术发展以及人民生活等各方面都离不开质量计量。

在工业生产中: 如炼钢炉前, 钢的成份化验, 如果称量不准, 就可能把好钢错划为不合格品, 或把不合格钢当好钢; 在地质探矿中, 如果对矿质成份分析不准, 就会把贫矿当富矿, 这样会给国家的经济建设带来不应有的损失; 从对外贸易来说如果质量测试不准, 不仅带来经济损失, 还有损国家声誉; 农业中的土壤分析, 一年的收成好坏等都是通过大量质量计量才能得出正确的结论; 在医疗卫生中, 如果把药品成份化验错了, 就会造成医疗事故, 甚至造成生命危险; 在科学技术中, 质量计量越来越成为主要手段之一。如许多元素或同位素的发现, 就是通过精密的质量计量发现的; 在人民生活中质量计量更是广泛应用。因此, 质量计量在人类生产活动和社会活动中得到广泛应用。随着生产发展和科学技术的进步, 其应用更普遍、更深刻。它本身也必将得到更大发展和完善。

质量计量在计量学中, 特别是在力学计量中的地位是很重要的。如力值计量、压力计量、容量计量、密度计量、流量计量等均离不开质量计量。因此, 质量计量是力学计量中最基础的计量项目之一。

质量计量的基本任务是: 保证各级质量标准准确可靠, 确保质量计量精度; 分析质量计量中的各种影响因素, 研究和改进衡量方法, 提高工作效率; 简化质量传递系统, 便于质量传递, 保证全国质量量值的统一。

二、质量的物理概念

人类是生活在物质世界中, 所谓质量就是指物体所含物质多少的量度, 如 10 吨煤就比 5 吨

煤质量多，1两茶叶要比6两茶叶质量少，这都是指煤或茶叶这些具体物质的质量来说的，这种说法固然是对的，但它没有揭示“质量”这个基本概念的物理本质。进一步来说，质量是物体的一种重要属性，它表示了物体惯性和引力大小的量度。人类要认识自然和改造自然，就必须认识物体的这一重要属性。为此，我们只有通过质量计量这个手段才能达到目的，以下简单介绍质量的物理概念。

1. 质量是表示物体惯性大小的量度

所谓惯性就是指物体保持原来运动状态的能力。物体在力作用下，如果这个物体原来运动状态改变大，说明这个物体惯性小，反之，说明这个物体惯性大。物体的惯性可以用牛顿第二定律来描述。牛顿第二定律的数学表达式是： $F=ma$ ，此式也可写成如下形式：

$$a = \frac{F}{m} \quad (2.1)$$

式中： F ——物体所受到的作用力。

m ——物体质量。

a ——物体在力的作用下所产生的加速度。

物体所受到的力方向与这个物体所产生加速度方向是一致的。

物体运动状态可以用加速度 a 的大小来表示，由式(2.1)可以说明：对于不同质量 m 的物体，在同一个力 F 作用下，质量大的物体，所产生加速度小，即物体保持原来运动状态的能力大，也就是物体的惯性大；质量小的物体所产生的加速度大，同理说明物体的惯性小。由此可见，质量是表示一个物体惯性大小的量度。即：质量大，惯性大；质量小，惯性小。质量表示了物体的惯性，这种由牛顿第二定律引出来的质量概念称为惯性质量。

2. 质量是表示一个物体引力大小的量度

根据牛顿万有引力定律可知：自然界中，任何两个物体之间都会产生引力场，并为引力场所作用。

牛顿万有引力的数学表达式是：

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2} \quad (2.2)$$

式中： F ——万有引力。

m_1 、 m_2 ——分别为任意两个物体的质量。

r ——两个物体质量中心的距离。

G ——引力场系数，是个常数，由试验得出。

由式(2.2)可知：两个物体之间的引力大小与它们的质量乘积成正比，而与它们质心之间的距离平方成反比。由此可见，物体的质量是物体之间引力大小的量度。通常称物体的这一质量为引力质量。

综上所述，质量是物体惯性及引力大小的量度。这就揭示了物体质量最本质的概念。

研究结果表明：任一物体的引力质量和它的惯性质量成正比，因此对两种质量值若以同一物体来体现单位量时，对任何物体它的两种质量值是同样的，因此，通常把引力质量和惯性质量看作是一个统一的物理量——质量。

三、质量与重量

质量与重量是两个完全不同的物理量。首先是物理概念不同。重量是物体所受地球重力大小的量度。它是地球引力与因地球自转而作用在物体上惯性离心力的合力。质量不是力，它是物体所含物质多少的量度，是物体惯性和引力大小的量度。

重量是质量与重力加速度的乘积，在国际单位制中是个导出物理量，而质量是基本物理量；此外，重量是变量，它是随地理位置和海拔高度不同而改变。但质量是不变的量，如果重力加速度用 g 表示，则式 (2.1) 可写成 $m = F/g$ 。由此可见，物体所受到的重力与所产生的重力加速度比值就是这个物体的质量，这个比值是个常数，也就是不变的量。它不随地理位置不同而改变数值，也就是说，同一个物体在地球各地质量都相同。

从以上三方面分析可知：质量与重量是完全不同的两个概念，应该予以区别。

四、质量单位

质量单位是国际单位制中七个基本单位之一，也是力学计量中唯一的基本单位。质量在国际单位制中用符号 kg (公斤) 表示。它等于国际公斤原器的质量。为了使用方便，我国规定，可以用十进倍数与分数单位作为质量单位，这些质量单位与公斤质量单位的换算关系如表 2.1 所示。

还有一种质量单位叫米制克拉：

$$1 \text{ 米制克拉} = 200 \text{ mg} = 2 \times 10^{-4} \text{ kg}.$$

米制克拉也叫国际克拉，它是由第四届国际计量大会所通过，作为珠宝钻石的质量计量单位。

在物理学与化学中，还规定了原子质量单位，其符号是 u ：

$$1 u = 1.660\,565\,5 \times 10^{-27} \text{ kg}$$

表2.1 质量单位换算表

单位名称	代 号	与主单位之比		备 注
毫 克	mg	百万分之一公斤	1×10^{-6}	
厘 克	cg	十万分之一公斤	1×10^{-5}	
分 克	dg	万分之一公斤	1×10^{-4}	
克	g	千分之一公斤	1×10^{-3}	
十 克	dag	百分之一公斤	1×10^{-2}	
百 克	hg	十分之一公斤	1×10^{-1}	
公 斤	kg	1 公 斤	1	主 单 位
公 担	q	百倍公斤	1×10^2	
吨	t	千倍公斤	1×10^3	

五、质量计量范围

在自然界中，物体的质量差异很大，如太阳的质量约为 2×10^{30} 克，小的如电子质量约为 0.9×10^{-27} 克。太阳还不是宇宙中最大的星球，电子还不是物质的最小粒子。所以，质量范围是很宽的。但作为日常计量工作的范围就很窄了，大致在0.01微克到1000吨之间，其中1毫克至2000公斤范围的质量计量用的最多。

六、砝码与衡器

砝码：就是具有一定质量和规定形状的实物量具。由于砝码不能单独测得质量值，它必须与天平或其它衡器相结合才能进行质量计量，所以砝码是一种从属的实物量具。在质量计量中，砝码是作为质量量值传递的标准设备，根据不同要求，按精度，砝码可分为国家公斤基准（也叫国家公斤原器）、公斤副基准（也叫国家副公斤原器）、公斤工作基准以及一等至五等砝码。根据砝码用途，我们把公斤基准、副基准及工作基准器称为基准砝码，一至五等砝码称为标准砝码。

衡器在质量计量中是作为计量器具来使用的。它们在质量计量测试中占有重要地位。如：各级砝码量值传递都是通过不同精度天平实现的，质量测试是通过包括天平在内的各种衡器测得的，衡器种类很多，主要有天平、移动式杠杆秤、地中衡、字盘秤、木杆秤等。

七、质量传递系统

我国质量量值传递系统按图 2.1 进行。各种基准砝码的保存和进行量值传递由中国计量院负责，公斤工作基准和克工作基准砝码也可由大区或个别省级计量部门负责保存和进行量值传递。一等标准以下等级砝码检定由各省市区至基层计量部门或受委托由基层单位负责。

各等砝码的质量允差如下：

基准砝码： $1 \text{ kg} \pm 0.009 \text{ mg}$ 。

副基准砝码： $1 \text{ kg} \pm 0.04 \text{ mg}$ 。

工作基准砝码： $1 \text{ kg} \pm 0.1 \text{ mg}$ 。

其它一等至五等砝码质量允差见表 2.2 所示。

八、衡量原理和衡量方法

衡量就是利用天平或秤，为确定物体质量量值而进行的实验工作。衡量目的就是要求得未知物体的质量值。这里所讲的实验工作是指在衡量中，根据一定原理、规范（如检定规程等）使用一定的计量器具（如天平或其它衡器等）采用一定的比较方法和步骤进行操作和计算的总称。

衡量原理一般有杠杆原理、弹性元件变形原理以及液压原理等。

1. 杠杆原理

各种杠杆式天平和秤都是根据这个原理制造的。图 2.2 所示为一等臂杠杆（ $l_1 = l_2$ ）。A、B 各作用一个力 P_1 和 P_2 ，O 为支点，实际上 P_1 和 P_2 为一等臂天平左右盘的重物。且：

$$P_1 = m_1 g_1$$

$$P_2 = m_2 g_2$$

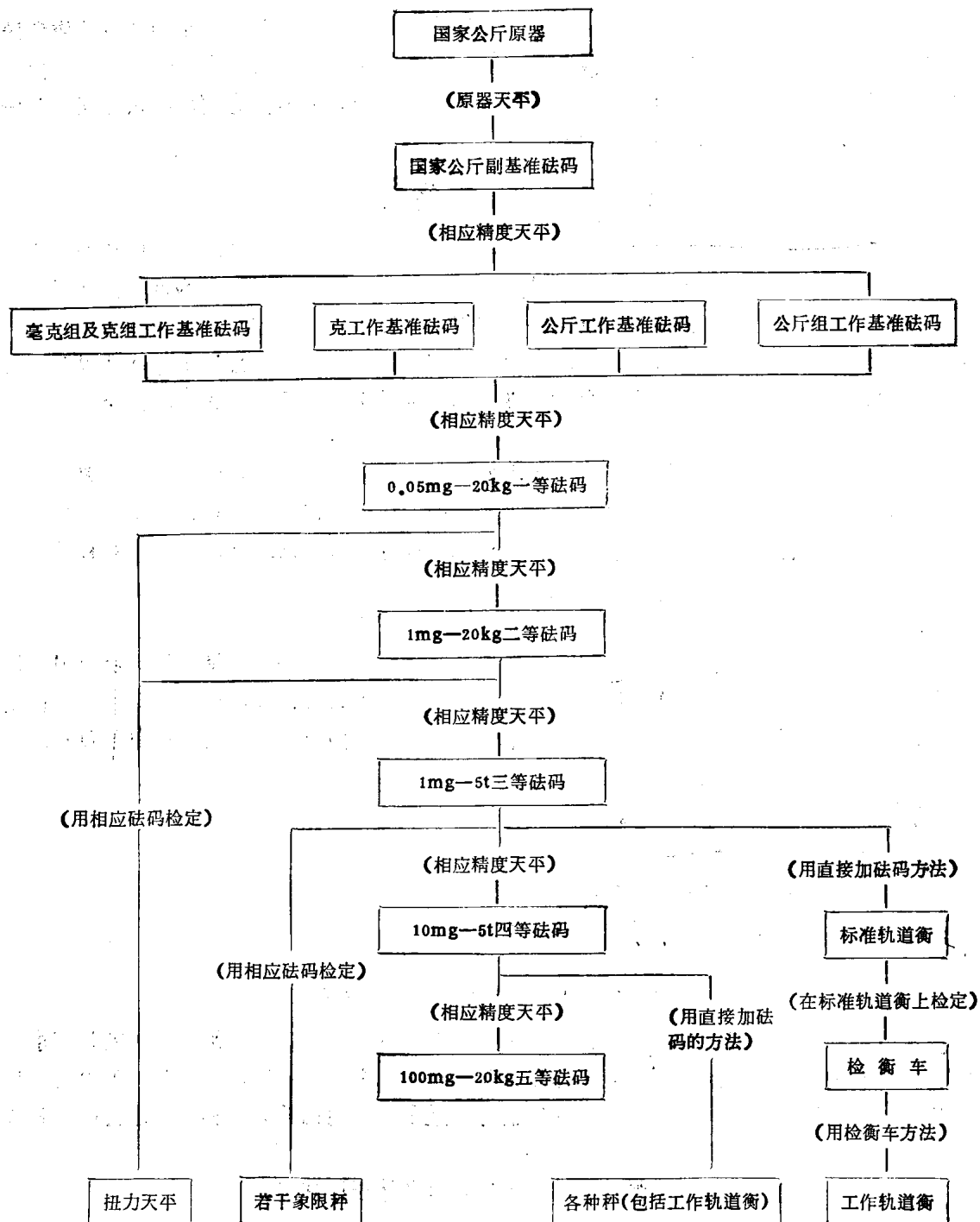


图2.1 质量量值传递系统图

表2.2 各等砝码允差表

等 级	一 等		二 等		三 等		四 等	五 等
	质量允差 (mg)	检定精度 (mg)	质量允差 (mg)	检定精度 (mg)	质量允差 (mg)	检定精度 (mg)	质量允差 (mg)	质量允差 (mg)
标称质量								
5000 kg	—	—	—	—	±100000	±50000	±500000	—
2000 kg	—	—	—	—	±40000	±20000	±200000	—
1000 kg	—	—	—	—	±20000	±10000	±100000	—
500 kg	—	—	—	—	±10000	±5000	±50000	—
200 kg	—	—	—	—	±4000	±2000	±10000	—
100 kg	—	—	—	—	±2000	±1000	±5000	—
50 kg	—	—	—	—	±1000	±500	±2500	—
30 kg	—	—	—	—	±600	±300	±1500	—
25 kg	—	—	—	—	±500	±250	±1250	—
20 kg	±50	±25	±140	±70	±400	±200	±1000	±5000
10 kg	±30	±15	±80	±38	±200	±100	±500	±2500
5 kg	±20	±6	±40	±18	±100	±50	±250	±1200
3 kg	±12	±4	±25	±12	±70	±35	±150	±700
2 kg	±8	±3	±15	±8	±50	±20	±100	±500
1 kg	±4	±0.5	±5	±2	±20	±10	±50	±250
500 g	±2	±0.4	±3	±1	±10	±5	±25	±120
300 g	±1	±0.3	±2	±0.8	±6	±3	±15	±70
200 g	±0.5	±0.2	±1.5	±0.5	±4	±2	±10	±50
100 g	±0.4	±0.1	±1	±0.3	±2	±1	±5	±25
50 g	±0.3	±0.1	±0.6	±0.3	±2	±1	±3	±15
30 g	±0.2	±0.06	±0.4	±0.2	±1.5	±0.6	±2	±10
20 g	±0.15	±0.04	±0.3	±0.12	±1.0	±0.5	±2	±10
10 g	±0.10	±0.02	±0.2	±0.06	±0.8	±0.3	±1	±5

等 级	一 等		二 等		三 等		四 等	五 等
	质量允差 (mg)	检定精度 (mg)	质量允差 (mg)	检定精度 (mg)	质量允差 (mg)	检定精度 (mg)	质量允差 (mg)	质量允差 (mg)
5 g	± 0.05	± 0.01	± 0.15	± 0.03	± 0.4	± 0.2	± 1	± 5
3 g	± 0.05	± 0.007	± 0.15	± 0.03	± 0.4	± 0.2	± 1	± 5
2 g	± 0.05	± 0.005	± 0.10	± 0.03	± 0.4	± 0.2	± 1	± 5
1 g	± 0.05	± 0.005	± 0.10	± 0.03	± 0.4	± 0.2	± 1	± 5
500 mg	± 0.03	± 0.004	± 0.05	± 0.02	± 0.2	± 0.1	± 1	± 5
300 mg	± 0.03	± 0.004	± 0.05	± 0.02	± 0.2	± 0.1	± 1	± 5
200 mg	± 0.03	± 0.004	± 0.05	± 0.02	± 0.2	± 0.1	± 1	± 5
100 mg	± 0.03	± 0.004	± 0.05	± 0.02	± 0.2	± 0.1	± 1	± 5
50 mg	± 0.02	± 0.004	± 0.05	± 0.02	± 0.2	± 0.1	± 1	—
30 mg	± 0.02	± 0.004	± 0.05	± 0.02	± 0.2	± 0.1	± 1	—
20 mg	± 0.02	± 0.004	± 0.05	± 0.02	± 0.2	± 0.1	± 1	—
10 mg	± 0.02	± 0.004	± 0.05	± 0.02	± 0.2	± 0.1	± 1	—
5 mg	± 0.01	± 0.004	± 0.05	± 0.02	± 0.2	± 0.1	—	—
3 mg	± 0.01	± 0.004	± 0.05	± 0.02	± 0.2	± 0.1	—	—
2 mg	± 0.01	± 0.004	± 0.05	± 0.02	± 0.2	± 0.1	—	—
1 mg	± 0.01	± 0.004	± 0.05	± 0.02	± 0.2	± 0.1	—	—
0.5 mg	± 0.01	± 0.003	—	—	—	—	—	—
0.2 mg	± 0.005	± 0.002	—	—	—	—	—	—
0.1 mg	± 0.005	± 0.002	—	—	—	—	—	—
0.05 mg	± 0.005	± 0.002	—	—	—	—	—	—

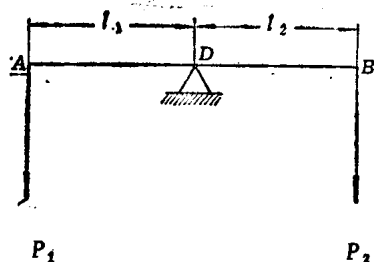


图2.2 杠杆原理示意图

这里 m_1 和 m_2 分别为左右盘重物的质量， g_1 和 g_2 为物体所受到的重力加速度，对同一地点有 $g_1 = g_2$ ，令 $g_1 = g_2 = g$ 。根据杠杆静力平衡原理可得： $P_1 l_1 = P_2 l_2$ 。

即： $m_1 g_1 l_1 = m_2 g_2 l_2$ 。

考虑 $l_1 = l_2$ ， $g_1 = g_2$ 。

最后可得： $m_1 = m_2$ (2.3)

如果 m_2 是已知标准质量，那么被测物体质量值就可以求出。衡量的结果是物体的质量。

2. 弹性元件变形原理

各种扭力天平与弹簧秤就是根据这个原理制造的。图 2.3 所示是一个弹簧秤结构原理示意图。不衡量物体时，弹簧原长为 l_0 ，衡量物体时（设物重为 P ），弹簧长由 l_0 拉长到 l ，根据物体弹性变形虎克定律可知：

$$(l - l_0) = kP.$$

设： $n = l - l_0$ 。

上式可写成：

$$n = kP$$

实际上 n 就是弹簧的变形量。

即：弹簧变形 n 与所称重物 P 成正比，式中 k 为比例常数，它由 P 与 n 所选用的单位来决定。如果 $k = 1$ ，则有：

$$P = n = mg \quad (2.4)$$

由此可知，在弹簧秤上衡量的结果是物体的重量。

3. 液压原理

图 2.4 所示是一液压秤的原理示意图。在一个连通器里有两个活塞，其面积分别为 A_1 和 A_2 ，活塞上面分别放置重物 P_1 和 P_2 ，根据帕斯卡液压平衡原理，在液压平衡时有：

$$\frac{P_1}{A_1} = \frac{P_2}{A_2}$$

即： $P_1 = \frac{A_1}{A_2} \cdot P_2$

式中： $\frac{A_1}{A_2}$ 是两个活塞之间的面积比，也是液压秤的质量传递比，对一特定的秤，其比值是不变的。

由 $P_1 = m_1 g_1$ ， $P_2 = m_2 g_2$ ，并令 $A_1/A_2 = n$ ，则上式又可写成：

$$m_1 = \frac{A_1}{A_2} m_2 = n m_2 \quad (2.5)$$

如果 m_2 是已知标准质量，则被衡量物体质量 m_1 就可求得。由此可见，液压秤衡量的结果是物体的质量。

衡量法有交换法、替代法、连续替代法和组合比较法。统称为精密衡量法。在一般物体

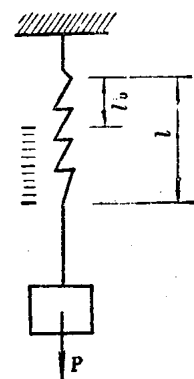


图2.3 弹簧秤结构原理示意图

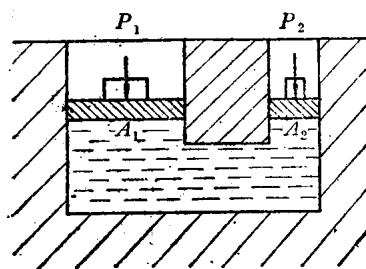


图2.4 液压秤原理示意图