

科学技术的 测量基础和常数

[美] F · D · 罗希理
皮家荆 欧阳鑫 译

计量出版社

科学技术的测量基础和常数

[美] F·D·罗希理 著

皮家荆 欧阳鑫 译

计量出版社

1984·北京

内 容 提 要

本书简明易懂地叙述了科学技术的测量基础和常数的发展历史和现状。它着重于阐述概念而不是罗列数据。它对测量的基本单位, 米制发展史和国际单位制(SI), 温标基础, 压力标度, 原子量基准, 热功当量和现代能量单位, 基本物理常数, 科学与技术数据以及科学研究者和文献查阅者的责任等作了阐述。

本书可供理工科大学学生、研究生、教师, 科技工作者, 测量和计量人员, 科技图书报刊的编辑和著译审校者, 科技情报文献资料及科技管理等方面的工作者作为手册性参考书。

Frederick D. Rossini

FUNDAMENTAL MEASURES AND CONSTANTS FOR SCIENCE AND TECHNOLOGY

CRC Press Inc.; 1974

科学技术的测量基础和常数

[美] F·D·罗希理 著

皮家荆 欧阳鑫 译

武全德 校

责任编辑 汤永厚

计量出版社出版

(北京和平里11区7号)

河南第一新华印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

开本850×1168毫米1/32 印张7 1/8

字数178千字

印数1—15 000(精)

1984年12月第一版

1984年12月第一次印刷

统一书号, 15210·398

定价: 2.10元

前 言

论述科学的测量基础和常数的这本书，是根据我近50年致力于化学物质、特别是碳氢化合物和有关化合物的热力学性质和物理性质的精确测量，以及科学与技术数据问题的研究和著述的经验写成的。我一直享有与一些测量的基本单位、温标、压力标度、原子质量基准以及基本物理常数方面的世界性专家直接接触的特殊待遇。然而，要把实验测量的结果以最实用的方式提供给科学家和工程师，对我来说是一种持续的挑战，因为这需要对上述课题具有足够的知识，而且要十分熟悉。这些问题一般在常规学习课程中只是被偶然而肤浅地提到，因而只能期望由自己来发展这些知识。

1972年和1973年，我在赖斯大学，以及1973年在鲍德温-华莱士学院作为斯特罗萨克(Strosacker)科学客座教授时，曾就上述课题作过详细讲授。在这之后，为那些对此有兴趣而我又不能面授的人着想，把这些讲稿里的现成材料以书面形式写出来就合乎需要了。每个课题都将以简明易懂的方式介绍其历史演变和现状。

我希望科学的测量基础和常数资料的汇集，能对在职科学家和工程师，以及理工科在校生和毕业生确实有用。我尤其希望本书以简明的形式，能在测量领域为他们提供信息，以确保其工作的可靠性与最大的有效性。

至于许多课题中公开文献以外的最新资料，我要特别感谢各个领域的朋友们，他们的名字已列举在文中相应章节。书中由于水平或疏忽而造成的错误，若蒙惠教，我深表欢迎。

弗雷德里克·D·罗希理

1974年4月

目 录

第一章 绪论	(1)
第二章 测量的基本单位	(3)
一、引言	(3)
二、长度单位	(3)
三、质量单位	(11)
四、时间单位	(13)
五、结语	(16)
参考文献	(20)
第三章 国际米制	(22)
一、引言	(22)
二、米制在法国的发展	(22)
三、其他国家采用米制的情况	(23)
四、日本向米制的转换	(24)
五、英国向米制的转换	(25)
六、美国米制史	(27)
七、美国向米制实际转换的现状	(30)
八、国际单位制(SI)	(31)
九、结语	(36)
参考文献	(36)
第四章 温标基础	(38)
一、引言	(38)
二、热现象	(38)
三、温度的概念	(38)
四、温度的定量测量	(39)
五、早期温度计及其温标	(39)
六、“零压”气体温标	(42)
七、实用温标或工作温标	(47)

八、1948年与1927年国际实用温标	(48)
九、热力学温标	(50)
十、结语	(51)
参考文献	(51)
第五章 1968年国际实用温标	(53)
一、引言	(53)
二、1968年国际实用温标的基础	(53)
三、定义点: 水三相点	(54)
四、水三相点与水凝固点间的温差	(55)
五、第一类固定点	(56)
六、第二类固定点	(57)
七、测温系统	(58)
八、从13.810至903.89 K范围温标的实现	(59)
九、从903.89至1337.58 K范围温标的实现	(62)
十、1337.58 K以上温标的实现	(62)
十一、关于装置、方法与程序的推荐	(63)
十二、1968年国际实用温标与1948年国际实用温标的差值	(63)
十三、以1968年国际实用温标为基础换算原有量热法测定数据的问题	(67)
十四、以1968年国际实用温标为基础换算压力-体积-温度 (P - V - T)数据	(68)
十五、统计计算的热力学性质	(69)
十六、结语	(69)
参考文献	(72)
第六章 压力标度	(74)
一、引言	(74)
二、压力单位	(74)
三、低于大气压的压力的基本测量	(75)
四、可用于超过大气压的压力的基本测量装置	(76)
五、水银压力计	(76)
六、自由活塞压力计	(77)
七、活塞缸体压力计	(78)
八、压力标度固定点所要求的特性	(78)

九、鉴定固定点的相变检测	(79)
十、压力标度固定点概述	(80)
十一、用于测量压力的伽伐尼电池装置	(82)
十二、结语	(83)
参考文献	(84)
第七章 原子量基准	(87)
一、引言	(87)
二、有关原子量的术语	(88)
三、直到1920年的原子量基准的历史概述	(89)
四、用化学法测定原子量	(91)
五、用气体密度法测定原子量	(92)
六、用质谱仪测定原子质量和原子量	(93)
七、由核反应的能量测定核素质量	(94)
八、氧同位素的发现	(95)
九、两种原子量基准：化学基准与物理基准	(96)
十、原子量的化学基准与物理基准的统一	(97)
十一、原子量的碳-12基准	(99)
十二、结语	(100)
参考文献	(101)
第八章 1973年国际原子量	(103)
一、引言	(103)
二、关于原子量数值的一般性重要注释	(104)
三、1973年国际原子量表	(105)
四、1973年国际原子量表的注释	(110)
五、1973年国际选择核素的相对原子质量表	(112)
六、结语	(116)
参考文献	(116)
第九章 热功当量：“温”卡	(118)
一、引言	(118)
二、早期能量单位	(119)
三、各种卡	(119)
四、热功当量	(120)
五、结语	(121)

参考文献	(121)
第十章 现代能量单位: “千”卡, 焦耳	(122)
一、引言	(122)
二、国际电学单位的发展	(122)
三、用电能的量热测量	(127)
四、焦耳对卡的比值	(129)
五、“千”蒸汽卡	(130)
六、“千”热化学卡	(130)
七、结语	(131)
参考文献	(132)
第十一章 基本物理常数	(134)
一、引言	(134)
二、基本物理常数的编纂史概述	(135)
三、物理常数的实验测量	(140)
四、基本物理常数的分类	(144)
五、结语	(146)
参考文献	(147)
第十二章 1973年国际物理常数	(150)
一、引言	(150)
二、1973年国际物理常数	(150)
三、一些换算因数	(163)
四、结语	(163)
参考文献	(163)
第十三章 科学与技术数据	(165)
一、引言	(165)
二、标准参考数据评定表	(166)
三、一些早期的数据编纂	(167)
四、化学热力学数据的编纂	(169)
五、其它数据的编纂	(172)
六、数据手册	(173)
七、科学与技术数据在美国的发展	(177)
八、科学与技术数据的国际发展	(179)
九、结语	(182)

参考文献	(184)
第十四章 科学文献中的数据表达与分析	(187)
一、引言	(187)
二、研究者的责任	(187)
三、查阅者与评定者的责任	(192)
四、结语	(193)
参考文献	(193)
作者索引	(196)
索 引	(202)

第一章 绪 论

科学以观察和测量为基础。测量能力是人类所具有的最重要的能力之一。人们观察和测量得越精确，就越能精确地描述自然现象，发展解释物质自然状态的理论，从而指导我们进行更加有效的观察和测量。科学的发展是同我们对物体的大小，现象的发生率，使实体结合的力，以及伴随天然或人为过程的能量转化的定量知识的掌握程度相称的。随着知识的增长，我们就能对迄今似乎互不相关的观测，提出它们之间相互关系的理论。而理论一旦成立，堆积如山的观测数据就可以用几个简单公式来替代了。

在科学萌芽时期，简单的词汇、简单的测量就够了。后来科学发展了，要求以比较高的精密度和准确度记录观测数据和交流结果，这就需要更加精确的词汇和测量了。现在，科学观测的交流已成为非常复杂而又十分重要的工作。今天科学界的一个大问题，就是要以科学家们所充分理解的方式交流观察和测量的结果。

常常有这种情况，由于首席研究人员没有充分认识到他的测量与其他人的类似测量之间的关系，以及这些测量和其它相关量的联系，因而没能发现某种特定研究中测量的全部价值。这样写成的研究报告或出版物，就会使同学科的其他人无法充分理解。人们难以理解的交流将会引起误解，并造成不必要的重复测量和浪费。所以，每个研究人员都有责任把自己的观察和测量建立在坚实的基础上，这就要求把测量所涉及的基本单位及其合理数值的正确运用适当地联系起来。在这一方面，科学技术文献中有许多研究报告不适当得令人惋惜，而另外一些报告则是极好的典范。

我们有着先和本国科学家尔后和外国科学家交流的问题。无

论是和本国同学科科学家的交流，还是和本国不同学科科学家的交流；无论是和外国同学科科学家的交流，还是和外国不同学科科学家的交流，所使用的词汇、术语和符号，对于交流的双方都应该有相同的涵义。这一点非常重要。这就是说，一个国家的国家团体要和国际团体在这些方面进行适当的合作。

在过去 150 年内，世界上通信的速度增加了数百万倍，旅行的速度增加了数千倍。这就使世界各国人民，包括科学家与工程师相互更加接近了。这种通信和旅行在时间上的接近，需要用充分理解的方式进行国际间的交流。

依据仔细的观察，使用具有适当精密度和准确度的专门仪器进行测量，进而用科学与工程界某学科国际上承认的术语、单位和符号交流结果，那么我们每个人就都能为科学技术尽一份力量。

普及科学的测量基础和常数知识的另一个重要理由是，为人类服务的科学技术的进步要依靠测量精密度和准确度的不断提高，依靠对长度、质量、时间、温度、压力及其组合变量的控制。而制造业要能在国际市场上成功地进行竞争，就要求对生产过程作更有效、更精巧的控制。同样，很多工业现在控制了一些新的变量，这些变量代表许多基本度量的复杂组合，从而使现在还梦想不到的新产品有了生产的可能。

开尔文(Kelvin)在上世纪写过下面一段话：

“我经常说，如果你对所论及的事物能够测量并且可以用量值表示的话，那么你就对它有了一些了解；如果不能测量，不能用量值表示的话，那你的知识就贫乏得不能令人满意了，这种状况最多只能算是知识的萌芽，不论怎么说，你还是没有登上科学的阶梯。”

第二章 测量的基本单位

一、引言

我们要在本章讨论长度、质量和时间的单位，叙述历史概况，描述目前标准，说明国际标准及国家标准怎样保存，并指出怎样把它们传递到工作标准及日常生活标准。这些标准是和用于实验室、工业、贸易、商业、体育、娱乐及家庭的测量器具有关的。

码尺、米尺、天平和衡器以及我们的表和钟，无不通过或长或短的“链”，与国际协议所规定的长度、质量和时间的基本单位相联系。这些测量的基本单位，不仅在科学、工程、工业与商业活动中，而且在人们的日常活动中，在市场与家庭中，都和我们每个人有着利害关系，即使是家庭主妇也不能例外。

二、长度单位

世界各国关于长度单位的早期记载极其有趣，并且带有地方习俗。

腕尺(cubit)是古代经常使用的长度单位的名称，其大小各地稍有不同。腕尺与从手的中指尖到肘的长度有密切关系。在埃及，腕尺(52.4厘米)最先使用于前王朝时期的贵族墓葬。腕尺的演变尺曾在巴比伦(53.1厘米)、小亚细亚(52.2至53.2厘米)、耶路撒冷(52.2厘米)、早期不列颠(52.2厘米)以及现在美国的新墨西哥州(52.5厘米)的古代石砌建筑中发现。

另一早期的长度单位约为1腕尺的 $\frac{3}{5}$ 。发现于雅典(31.6厘米)、埃伊纳(31.5厘米)、米利都(31.8厘米)、奥林匹亚(32.1厘米)、伊达拉里亚(31.6厘米)以及中期不列颠(31.7

厘米)。还有一种单位约为1腕尺的 $\frac{2}{3}$ ，用于珀加蒙(35.1厘米)。短腕尺(约为普通腕尺的 $\frac{6}{7}$)也在埃及(45.0厘米)和耶路撒冷(44.7厘米)使用过。希腊的腕尺有其特殊值(46.3厘米)。

指幅(digit)是边长为1腕尺(52.4厘米)的正方形对角线的 $\frac{1}{40}$ ，其长为1.85厘米。

希腊尺(30.9厘米)为希腊腕尺(46.3厘米)的 $\frac{2}{3}$ ，而常用的希腊尺较此为短(29.5厘米)。类似的长度单位也用于意大利(29.6厘米)、罗马(29.5至30.0厘米)、伊达拉斯卡(29.4厘米)、斯通汉吉(29.7厘米)，以及其它地方的石砌建筑和岩画中(29.5厘米)。

另外，发现一些广泛流传的量具有不同的单位：在古埃及(33.8厘米)，在小亚细亚(33.9厘米)，在希腊(33.9厘米)，在莱基什(公元前900年，33.5厘米)，在叙利亚(公元620年，33.6厘米)，在中期不列颠(最通用的建筑单位，33.5厘米)，以及在某些早期法兰克的建筑物中(33.1厘米)。

还有一些单位用在波斯波利斯(48.8厘米)、巴比伦之塔(49.5厘米)、小亚细亚(49.0厘米)、古亚述(50.7厘米)、霍尔沙巴德(54.9厘米)、弗里吉亚(55.4厘米)、意大利的卢卡尼亚(55.5厘米)、后期埃及(53.6至54.2厘米)以及波斯(54.4厘米)。其它一些重要单位在腓尼基(56.4厘米)、迦太基及撒丁尼亚(56.3至56.7厘米)也使用过。

在古代制度中，体积的测量是独立于长度单位发展的。例如，埃及“罐(hen)”(447厘米³)、叙利亚“可太勒(kotyle)”(341至354厘米³)、叙利亚“洛格(log)”(544厘米³)、腓尼基“洛格”(508厘米³)、巴比伦“洛格”(541厘米³)、犹太“洛格”(544厘米³)、埃及的雅典“可太勒”(285厘米³)、波斯的“卡比第斯(kapetis)”(1221厘米³)以及罗马的“罐(amphora)”(25.7至29.9×10³厘米³)等。

在英国，英寸(incb)来源于三粒圆而干的大麦粒一个接一个

排成的长度；英寻(fathom)是伸开手和手臂时两手指尖之间的长度；码为英寻的一半。

在德国，有记载表明，十六世纪时德国“杆(rute或rod)”的确定，是选一个礼拜天早上走出教堂排成一行的16个男人从脚趾到脚跟的长度。

美国早期的测量单位自然是承袭英制，它在全美洲13个殖民地中都曾使用过。

下面是英国一些有关早期长度和容量单位的记载。1439年废除了“码与把(yard and handful)”或“40英寸尺(40-inch ell)”。 “亨利七世码(yard of Henry VII)” (35.963英寸)在1527年废除。“码与英寸(yard and inch)”或“37英寸尺(37-inch ell)”在1553年废除。“布尺(cloth ell)”(45英寸)一直使用到1600年。早期的容量测量，包括亨利七世的“温切斯特蒲式耳(Winchester bushel)”、亨利七世的“啤酒加仑(ale gallon)”以及后来成为美国加仑的1707年的老安娜女王“酒加仑(wine gallon)” (231英寸³)等。

英国在各个时期使用过的长度单位有以下各种(名称后的数字是英寸的标称对应值)：密尔(mil), 0.001; 磅因(point), 1/72; 线(line), 1/12; 麦粒(barley-corn), 1/3; 掌(palm), 3; 手(hand), 4; 拃(span), 9; 腕尺, 18; 步(pace), 30。类似的还有以下较长的单位(数字是英尺的标称对应值)：英寻, 6; 杆, 16.5; 绳(rope), 20; 链(chain), 66; 绞(skein), 360; 浪(furlong), 660; 索(cable), 720; 英里(mile), 5280; 湮(knot), 6080; 里格(league), 15 840 (3英里)。这些单位的大多数也在美洲殖民地、以后还在美国使用过。

1758~60年间，根据国会上下两院的指示，在伦敦建造了一种新的英国标准码。根据1878年国会“计量法案”规定帝国码为：保存在伦敦英国贸易局标准处，刻于嵌在青铜棒金塞上的两刻线轴线间在62 °F时的距离。此长度的法定对应值那时确定为0.914 399 2米。然而，根据英国物理研究所后来的测量，上述

定义的码实际为0.914 398 7米。英尺和英寸各自取帝国码的1/3及1/36。

1790年，美国华盛顿总统向国会建议，美国应当建立自己的计量制度。国会接受了国务卿杰斐逊的一个报告，他推荐一种长度的基本单位，并以此可导出面积、体积等单位。但是，不管华盛顿总统怎样推动，这个报告从未付诸实行。

直到1816年，在麦迪逊总统提请国会注意建立统一的计量制度的重要性之前，并未做过任何有意义的工作。次年，美国参议院有了响应，通过了请国务卿对这一问题再进行调查的决议。四年后的1821年，国务卿亚当斯提出了“关于计量的报告”，其中包含下述咨文：

计量在人类社会人们的生活必需中占有一定的地位。它们进入每个家庭的经济安排与日常事务，它们对人类工业的每个行业；对各种类型财产的分配与安全；对贸易及商业的每一宗交易；对农夫的劳动；对技工的创造；对哲学家的研究；对考古人员的探索；对海员的航海及士兵的行军；对所有的和平交换和战争行动，全都是必需的。

亚当斯在报告中还提出了下述可行的作法：（1）采用当时新的法国制（米制），包括其一切基础部分；（2）恢复并完善旧英制；（3）通过采用各种制度的一些部分，设计并建立一种新的混合制度；（4）坚持现行制度，不作任何改革而仅只确定标准。

亚当斯建议分两步走：首先，把惯用的英制单位标准化并予以批准；接着，与法国、英国、西班牙协商，建立统一的国际计量制度。

然而，国会对亚当斯的报告没有采取行动。

1832年，美国财政部采用了英制长度和质量标准以适应海关需要。

1863年，林肯总统批准建立美国科学院，作为政府所有技术事务的咨询机构。财政部长指定一个由著名物理学家亨利（Joseph Henry）任主席的委员会，负责重新考虑有关计量与铸币等事

务。该委员会在两年后公布了它的报告，赞成采用法国米制。

1866年，一个新指定的、由国会议员卡森(Kasson)主持的美国众议院铸币与计量委员会，以赞同的态度报告了关于米制的三个议案。这些议案最后被国会通过。法案之一确定了用于美国的英制单位的米制对应值，并且使米制计量的使用合法化，虽然还不是强制性的。另一法案指令邮政局长在所有投递外国邮件的邮局中分发米制邮政标度。第三个法案指令财政部长为每个州准备一套米制标准。下面是第一个法案的部分摘录：

在整个美利坚合众国采用米制计量应是合法的；在契约、交易或法庭上的诉讼中，如果所表示或涉及的计量是米制计量，就不应被认为无效或遭到异议。

1875年，17国在巴黎签署了米制公约。米制公约达到了以下几个目的：(1) 米制的描述被澄清并重新作了规定，从而使米制标准更加精确；(2) 为建立新的计量标准作了规定；(3) 就把这些标准器的精确复制品分配给与会各国作了规定；(4) 在法国捐赠的巴黎近郊塞夫勒(Sevres)的国际领地上创建“国际计量局”，作为国际标准的保存室与实验室；(5) 就继续召开国际计量会议及进行计量活动作了规定。

目前采取以下方式安排国际计量合作：国际计量局通过保存国际标准、不断进行国家标准与国际标准的比对，以保证世界范围内计量的一致性。国际计量局受国际计量委员会管辖，后者可向国际计量事务的最高组织形式——国际计量大会提出推荐。大会由签署米制公约的所有成员国的代表组成，至少每六年集会一次。国际计量委员会由属于不同国家的18名成员组成，至少每两年集会一次。这个国际委员会设有电学、光度、温度、米定义、秒定义、电离辐射计量基准，以及单位等“咨询委员会”。

1889年，国际标准米尺和国际标准千克原器复制品制成，美国获得其复制品。1893年，美国财政部长发布行政命令，宣布这些新的米制标准器为美国长度和质量的基准器。这就是说，美国惯用的长度单位英寸(in.)、英尺(ft)、码(yd)等和质量单位磅

(1b), 必须以米制单位给以定义, 其米制对应值如下:

$$1 \text{ 码} = 3600/3937 \text{ 米} \approx 0.914 \ 401 \ 83 \text{ 米}$$

$$1 \text{ 英尺} = 1/3 \text{ 码} = 30.480 \ 061 \text{ 厘米}$$

$$1 \text{ 英寸} = 1/36 \text{ 码} = 2.540 \ 050 \ 8 \text{ 厘米}$$

尽管当时还未就人们的日常活动向米制单位的实际转换作出努力, 但这样也就把美国的计量置于米制的基础上了。

1959年, 美国与英国、澳大利亚、新西兰、南非协商, 一致同意码和磅的米制对应值的精确一致的定义。在美国, 经商务部长批准, 由美国标准局及美国海岸与大地测量局的联合公告加以宣布: 长度单位的对应值给定为:

$$1 \text{ 码} = 0.9144 \text{ (精确) 米, 从而有}$$

$$1 \text{ 英寸} = 2.54 \text{ (精确) 厘米,}$$

$$1 \text{ 英尺} = 30.48 \text{ (精确) 厘米.}$$

这样就把1893年的对应值变更了百万分之二^①。

1889年前, 国际米尺是用铂做成的“端度标准”。所谓“端度标准”, 就是由尺的两个平行端面间的距离所确定的特定长度。(必须指出, 最初所选定的米的大小是取地球表面通过两极和赤道相交的地球子午线四分之一周长的一千万分之一。)

1890年, 当美国获得国际标准米原器时, 国际米尺已改为“线纹标准”。它由按重量含有10%铱的铂合金制成。所谓“线纹标准”, 就是由横刻在尺上的两条平行细刻线中点间的距离所确定的特定长度。这根金属杆具有变体的X形(“Tresca”)横截面, 以抗挠曲, 外形尺寸为2×2厘米(如图2.1所示)。

1927年, 第七届国际计量大会对国际标准米尺作了下述更加明确的技术规定:

长度单位是米, 规定为国际计量局保存的铂铱尺上所刻两条中间刻线的轴线在融冰温度时的距离。这根铂铱尺已由第一届国

^①必须说明, 美国海岸与大地测量局用1893年的对应值所保存的大地测量记录, 在将基本大地测量网相应地重新调整至新制度之前, 都不作这种变更。