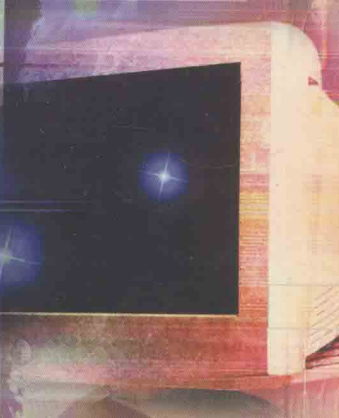


KE XUE WEN CONG

科学文丛

# 长度与时间

er



广州出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

科学文丛. 何静华  
形继祖 主编. 广州出版社. 2003.

书号 ISBN7-83638-837-5

I. 科学... II. .... III. 文丛

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 082275 号

## 科学文丛

主 编: 何静华  
形继祖

广州出版社

广东省新宜市人民印刷厂

开本: 787×1092 1/32 印张: 482.725

版次: 2003 年 8 月第 1 版第 1 次印刷

印数: 1-5000 套

书号 ISBN 7-83638-873-5

定价: (全套 104 本) 968.80 元

# 目 录

一、长度测量单位的统一 .....	( 1 )
形形色色的长度单位 .....	( 2 )
第二代米尺和第一个“米”定义 .....	( 5 )
米制家族 .....	( 7 )
二、长度的测量 .....	( 10 )
古代的尺子 .....	( 10 )
线纹尺和端面尺 .....	( 14 )
卡尺和千分尺 .....	( 16 )
长度测量与温度 .....	( 21 )
三、时间与天体运行 .....	( 25 )
时间与时刻 .....	( 25 )
地心说与日心说 .....	( 29 )
平太阳日和回归年 .....	( 36 )

回归年和四季 .....	(39)
月与月相 .....	(47)
天文观测与测时 .....	(49)
日历——公历和农历 .....	(53)
<b>四、人造钟表的发展 .....</b>	<b>(60)</b>
圭表和日晷 .....	(60)
火钟和水钟 .....	(62)
机械钟表 .....	(63)
电子钟表和石英钟表 .....	(66)
人们对于周期性运动的认识 .....	(67)
原子钟 .....	(69)
<b>五、时间计量的新问题 .....</b>	<b>(73)</b>
世界时和地方时 .....	(73)
“秒”的定义的变迁 .....	(77)
世界协调时和闰秒 .....	(81)
<b>六、激光与长度测量 .....</b>	<b>(84)</b>
光的干涉现象 .....	(84)
自然光和激光 .....	(88)
迈克尔逊干涉仪和激光比长仪 .....	(92)
光速及其测量 .....	(98)
光波尺和最新“米”定义 .....	(102)

## 一、长度测量单位的统一

长度是两点之间的距离,人类的生产和生活都离不开长度的测量。体检时要测量身高,做衣服时要量身长、胸围等;田径比赛时要测量运动员投掷标枪、铁饼的距离;修建桥梁时要测量河的宽度;海洋勘探时要测量海底的深度,钢铁厂生产出来的金属板材要测量它的厚度,机械加工时要测量所加工孔的直径,等等。测量这些量的量值大小都离不开单位,南京长江大桥公路桥长 4500 米,珠穆朗玛峰的高度是 8848.13 米,这里使用的单位都是米。选用的单位不同,量值也不同,如果选用“市尺”为单位,南京长江大桥的公路桥长就是 13500 尺。什么是长度单位呢?当人们进行长度测量时,总是把被测的长度与选定的标准长度进行比较,这个选定的标准长度就叫做长度单位。在人类发展的历史上,不同的国家和地区,在不同的时期,曾经建立和使用过不同的长度单位,随着科学技术的发展和国际交往的频繁进行,包括长度单位在内的各种量的单位都逐渐走向统一。

## 形形色色的长度单位

自从有了人类社会以来,人们就有了测量长度的概念和实践了。人类最初使用的测量长度的单位很多都与人体的某一部分相联系着,如我国古代把拇指与食指张开的距离定为一尺,即“布手知尺”,汉字的“尺”字就是根据手测物体长度时的形象创造出的象形字演变而来的。商遗址中出土的骨尺和牙尺长度约合现代 16 厘米,与中等身高人的拇指和食指伸开的指端距离相当。又如埃及把人的胳膊至指尖的距离称为一个“腕尺”(即库比特);九世纪的英国规定以国王亨利一世的鼻尖到手臂向前平伸后的指尖的距离为一“码”;英语中英尺“foot”是脚的意思,这是源于用英王查理曼大帝的脚长定为一英尺,而英寸则是英王埃德加的大拇指关节长度;法国的尺是按国王脚掌六倍长度确定的,称为脱瓦斯。

与人体相关的长度基准在历史上发挥了巨大的作用,古埃及建造金字塔时就是用腕尺作为测量工具的。在现代生活中,人们在进行粗略测量时也常常使用这些古老的办法。估测古代建筑物中的巨形立柱的周长时,我们常常伸开双臂来量,得出立柱有几“抱”;估测两墙之间的间隔时,迈步而量,得出两墙相隔有几“步”。

与人体相关的长度基准有明显的缺点,比如说,按照英王查理大帝的脚长确定的长度基准——英尺,制作出一把标准尺子,如果这把标准尺子坏了,查理大帝也不在人世了,那么就不

能再复制出一支完全相同的标准尺。为了保证长度基准的稳定性,人们逐渐放弃了与人体相关的长度标准,而开始寻找其他基准。在十四世纪初,英国选择了大麦粒作实物基准,改变了英尺的定义,1305年英国《法令汇编》中将英尺定义为“自穗之中部,取大麦36粒,头尾相接排列之长度”。我国早在汉代就正式选用黍子作为长度的实物基准。当时我国黄河流域种植着耐旱能力很强的黍子,是主要的农作物,它的壳子坚硬且不宜损坏,形状大小及重量都差不多,而且年年种植,什么时候都能找到。因此规定“以子谷黍(即一种黑黍)中者”为准,一粒黍的宽度为一分,十分为一寸,一百分为一尺。把一百粒中等大小的黑黍排列起来,然后测量出一百粒黍子的长度,便得到汉代一尺的长度。明清两代非常重视度量衡的统一,清代第二代皇帝——康熙大帝,亲自累定黍尺。纵累百黍为营造尺一尺(主要用于建筑工程方面的尺);横累百黍为乐律尺一尺(主要用于乐律方面的尺)。清代康熙皇帝钦定的营造尺和乐律尺标准,一直沿用了百余年。

选择麦粒或黍子作为长度基准虽然具有容易复现的优点,但是由于产地、品种等因素,所有颗粒的大小不可能相同,而且颗粒的大小也不可能是固定不变的。随着科学技术的进步,人们继续探索着新的长度基准。

1708—1718年清代进行了大规模的大地测量,以营造尺为标准,定1800尺为一里,200里合地球经度一度的弧长,这是一项了不起的世界创举。它的创新之处,就在于将长度单位与

地球经度一度的弧长联系起来,地球经度一度的弧长成了长度的自然基准。可惜的是清代没有将它继续深入研究下去。1790年法国科学与艺术研究院的一个委员会受到国民议会的委托研究什么适合于作长度的标准。当时的科学家们认为,地球的子午线的长度是恒定不变的。因此委员会提出以通过巴黎的地球子午线长的四千万分之一为长度的基本单位,1791年法国国民大会采纳了委员会的意见。这是人类首次选择了长度的自然基准,单位的名称定为“meter”(米突)。“meter”的语源是希腊语,意思是测量,法国科学家希望欧洲各个国家和民族都乐于接受这个单位,因此不使用法语,而选择了欧洲人的古语——希腊语。现在我国将这个单位称为“米”。

为了按这个定义制造出一支准确的尺,法国科学家们历时六年精确地测量了从法国的敦克尔到西班牙的巴塞罗纳之间的那一段地球子午线的长度(约为整个地球子午线长度的 $1/4$ )。根据这一测量结果,制造了一根铂制的尺子,尺宽25.3毫米,厚4毫米。两端面之间的距离是1米,用以体现米的长度(这种尺也叫端面尺)。由于该尺保存在巴黎科学院档案馆内,又称“档案馆米尺”。这把尺子制成后不久,发现它比所测的地球子午线的长度的四千万分之一短了0.2毫米。由于子午线的长度不容易测量,因此就直接用档案馆内的米尺做米的标准,并在法国使用了近八十年。使用档案馆米尺作为长度“米”的标准,实际上的长度单位仍然采用了实物基准。



## 第二代米尺和第一个“米”定义

“档案馆米尺”是端面尺，因此易于磨损而丧失精确度；同时决定两端之间的距离又没有明确的标志，难于拿其他的尺与之相互进行比较，这些都是“档案馆米尺”的明显缺点。随着科学技术的发展，测量地球的大小、形状的精度方面也提供了更多的新资料，1872年在法国召开的第二次讨论米制的国际会议上，决定放弃以“通过巴黎的地球子午线的四千万分之一为1米”的定义，而是以“档案馆米尺”为基础，用含铱10%的铂铱合金复制一批新的尺。这种新的米尺是由法国工程师特兰斯卡设计，瑞士日内瓦物理仪器公司制造的，一共制造了三十一把，并且按顺序编了号，其中第六号米尺的长度最接近于“档案馆米尺”。在1889年第一届国际计量大会上批准了以第六号米尺作为国际基准米尺，或称“米原器”，由设在巴黎的国际计量局保存，其余的尺都作为副尺，分发给参加米制公约的各个国家，作为各国的基准米尺。

这种新米尺截面形状如英文大写字母“X”，其横截面的外接正方形每边长200毫米，横截面中间的那个面称为中性面，中性面宽40毫米，在它的两端各有一个8毫米长的抛光部分，上面刻有如图中所示的刻线，其中有两组平行于尺的方向的刻线相距0.2毫米，这两组刻线中间的假想联线称为“测量轴线”；另外还刻有三条与测量轴线垂直的刻线，彼此相距0.5毫米，三条刻线中间的那条刻线称为中央刻线，中央刻线距端面

10毫米。国际计量大会规定：“在 $0^{\circ}\text{C}$ 时，米尺两端两条中央横刻线之间沿米尺测量轴线的距离为1米”，“米原器”用的是两条中央刻线间的距离，而不是尺子的两个端面之间的距离，因此它是一种线纹尺。“米原器”比“档案馆米尺”具有明显的优点。第一，铂铱合金材料性能稳定，因而它的长度稳定。第二，“X”型的截面是结构最坚固、用料最节省的形状，即使整个尺子有一些弯曲变形，但对于在中性面上决定1米长的两中央刻线间的距离的影响也很微小，而且尺的温度容易平衡。第三，由于该尺是采用两端中央刻线之间的距离来确定米的长度，且中央刻线距离面各有10毫米的距离，因此可以避免因端面磨损而使“米”的长度发生变化。第四，线纹尺之间的比对较端面尺的比对要容易进行。

尽管采取了以上合理的设计，但是温度、大气压……等环境因素及尺的自重引起的弯曲仍对“米原器”的长度产生影响，因此1927年第七届国际计量大会做了以下规定：“长度的单位是米，规定为国际计量局所保存的铂铱尺上所刻有两条中央刻线沿测量轴线在 $0^{\circ}\text{C}$ 时的距离。这根铂铱尺已被国际计量大会宣布为米原器，保存在标准大气压下，对称地放置在同一水平面上并相距671毫米的两个直径至少为1厘米的圆柱上。”采用以上规定是为了消除上述各种影响，至此测量长度的计量单位就有了比较稳定可靠的基准尺了。

米原器用线与线之间的间隔来定义“米”，比用尺的端面间的距离决定米的长度的“档案馆米尺”是先进了，但是刻线本身

总是有一定宽度的,所以“米原器的精度大约是 0.2 微米左右,再精确就很困难了。另外经过多年的考察,发现米原器尽管保存得很好,它的长度还是受到温度等各种环境因素的影响,多少有些变化。如果一旦遇到天灾人祸,“米原器”还有毁灭的危险,而要重新再做一支完全一样的尺子几乎是不可能的。虽然还有 30 支副尺,但是各个尺之间总是有些微小的区别,这种人工制造的由实物组成的长度基准的缺点就是显而易见的了,尽管如此,这个基准还是一直沿用到 1960 年。

## 米制家族

最初由法国制定的以“米”为长度基本单位的计量制度,其要点为:一个物理量只能有一个主单位;每一个主单位还可以有其倍数单位和分数单位,主单位和分数单位、倍数单位之间的关系完全是十进制的。由于这一计量制度是以“米”为基础的,所以称为“米制”。

我们先看看米的倍数单位:米的一千倍,即  $10^3$  米称为千米,符号表示为 km,一般还称为公里,用幂指数表示为  $1\text{km} = 10^3\text{m}$ ,米的一百万位称为兆米,符号表示为 Mm,用幂指数表示为  $1\text{Mm} = 10^6\text{m}$ ,量度长的距离,使用比米大的单位是比较方便的,比如两个城市间的距离我们用 200 千米(公里)来表示,就很简单明确,又如地球的半径大约是 6400000 米,若用“千米”为单位就可以缩写为 6400 千米,非常方便,再如月球和地球之间的距离是 384000000 米,用“千米”为单位可以简写为 384000 千

米,用“兆米”为单位就更简单了,可以缩写为 384 兆米。在日常生活中我们用的最多米的倍数单位是千米;长江全长 6300km,地球赤道全长 40076km,地球同步卫星在赤道上空的高度为 35900km 等等。

我们再来看看米的分数单位,米的十分之一叫做分米,符号为 dm,米的百分之一叫做厘米,符号为 cm,米的千分之一叫做毫米,符号为 mm,米的百万分之一叫做微米,符号为  $\mu\text{m}$ ,用幂指数表示它们之间的关系可以写为: $1\text{dm} = 10^{-1}\text{m}$ , $1\text{cm} = 10^{-2}\text{m}$ , $1\text{mm} = 10^{-3}\text{m}$ , $1\mu\text{m} = 10^{-6}\text{m}$ ,再小的米的分数单位还有纳米( $1\text{nm} = 10^{-9}\text{m}$ ),皮米( $1\text{pm} = 10^{-12}\text{m}$ )等等。常用的米的分数单位是厘米,毫米和微米。一般钢笔的直径,手指甲的宽度都在一厘米左右,铅笔芯的直径在 1 毫米左右,通常人的头发丝粗约 60—70 微米左右,灯泡里的钨丝直径只有十几微米,细菌的大小为 1 微米左右,而病毒的大小则在 1 纳米左右。

氢原子的半径为 7 纳米,也可表示为  $0.7 \times 10^{-10}$  米,其他原子的半径大约都在  $1 \times 10^{-10}$  米,氧原子半径为  $0.6 \times 10^{-10}$  米,铁原子的半径为  $1.26 \times 10^{-10}$  米,金原子的半径为  $1.44 \times 10^{-10}$  米,钙原子的半径为  $1.96 \times 10^{-10}$  米。从上述米的分数单位可以看到毫米单位以下,是每 1000 等分才给一个单位名称。 $10^{-10}$  米只是纳米的十分之一,不应单设一个单位名称,但是,这个数值标志着人们对客观事物的认识,已从宏观世界走向了微观世界,因此把  $1 \times 10^{-10}$  米作为一个特写的单位称作“埃”,用符号“ $\text{\AA}$ ”表示。用“埃”作单位,上述各种原子的半径就可以简单地

表示为 0.7 埃, 0.6 埃, 1.25 埃, 1.44 埃, 1.96 埃等等, 光波的波长也常以埃作为单位, 例如在真空中红光的波长为 7700—6400 埃, 绿光的波长为 5800—4950 埃, 紫光的真空中红光的波长为 4400—4000 埃等。

米制具有简单易行、逻辑结构合理、通用性广等优点, 很快为世界各国所采用, 1875 年十七个国家在巴黎签定了“米制公约”, 成立了国际计量委员会, 设立了国际计量局(以前曾译为“国际权度局”)确定国际计量局的基本任务为主要的两点是建立基本量的基准和保存国际基准(包括国际基准米尺和其他物理量的基准); 检定各国的国家基准和组织各种基准的国际比对, 以使世界各个国家和地区的量值测量有统一的标准。

此后参加米制公约的国家陆续增加, 现在已有 45 个, 我国于 1977 年正式参加米制公约, 实际上用“米”作为本国法定长度计量的基本单位的已有 80 多个国家。

## 二、长度的测量

测量长度除了要有统一的单位,还要有测量的工具——尺子,尺子的制造已经有三千年以上的历史。随着经济的发展和科学技术的进步,长度的测量越来越普遍,对测量的精度要求也越来越高,因而制造出不同形式,不同规格,不同精度的尺子,供人们根据测量需要来选择使用。古代的尺子是什么样子?怎样使用现代的尺子?影响长度测量精度的主要环境因素是什么?这些都是大家非常感兴趣的问题。

### 古代的尺子

在我国各地的众多博物馆中,都收藏着历代出土的古代尺子,从这些古代的尺子的长度、刻度、质地以及制造工艺上,可以看出我国历代的长度单位和发展变化,我国古代的经济的发展,工艺水平的提高过程。

目前出土的最古老的尺子是商代的象牙尺,一支尺长 15.78 厘米,另一支长 15.80 厘米,分别收藏在北京中国历史博物

馆和上海博物馆,这两支象牙尺面上将一尺分为十寸,一寸分为十分,刻线十分精致,这表明远在商代以前,我国就已经有了尺子,经过长期的发展,到了商代才有可能制造出如此精致的尺子。在南京大学收藏着一把战国时期的铜尺,长度为 23.1 厘米,两面无刻度,一侧刻 10 寸,第一寸处刻有 11 个分度。出土汉朝的尺子比较多,在甘肃博物馆收藏有长 23.6 厘米的西汉竹尺子;在山东博物馆收藏有西汉铜尺,原物残存二寸,一寸内刻十分;在湖南博物馆内藏有东汉时期菱形纹铜尺,尺长 23.46 厘米,尺面分为十寸;在安徽亳县博物馆收藏有东汉雕绘象牙尺;在广西梧州博物馆收藏有东汉花纹铜尺;在北京中国历史博物馆内还收藏有西汉的骨尺与人物鸟兽纹铜尺。制作最精美的汉尺,当数东汉时期的鎏金铜尺,尺长 23.6 厘米,全尺分为两段,其中一段分为两格,另一段分为五寸,每寸一格,每格均有鸟兽花纹。在江西博物馆收藏有三国时期银乳钉竹尺,尺长 24.2 厘米,尺面上嵌以银乳钉,其中一段等分为五寸。唐代的尺制作异常精美,在新疆维吾尔自治区博物馆收藏有唐雕花木尺,长 29 厘米,一尺分十寸,尺面上刻有花卉纹饰;在上海博物馆收藏有唐镂象牙尺,上面刻有花卉鸟兽及亭宇等纹饰,长 30.23 厘米,分十寸;北京博物院内存有隋至唐初时期的人物花卉铜尺,长 29.67 厘米。

唐代中日文化经济交往十分频繁,做为贵重的礼物,唐朝先后赠送给日本很多象牙尺,使日本的度量衡受到中国的影响。日本尺一尺的长度就是取自我国唐代尺的长度。在日本

奈良东大寺正仓院里,收藏着我国唐代六支象牙尺,它们是公元756年(唐肃宗至德二年)日本皇太后送给东大寺的,其中有两把红象牙尺,长度分别是29.76厘米,这些尺的平均长度与日本尺一尺的长度30.3厘米相差无几。

福建省博物馆收藏的宋代黑漆雕花尺,是木制的,表面涂黑漆,上刻有牡丹及铜钱纹饰,长28.3厘米,尺面分两段,其中一段刻有五个寸格。南京大学收藏的宋代碧玉尺长28.09厘米,尺正面刻九寸,每寸刻十分。苏州市博物馆收藏的北宋时期的五子花卉尺,长31.7厘米,尺面分两段,其中一段分为五寸。

明、清时期的尺子与近代所使用的市制尺子就很相近,在北京故宫博物院收藏的明代嘉靖牙尺长32厘米,尺面刻有十寸,每寸刻十分。北京中国历史博物馆收藏的清代康熙牙尺长32厘米(实际残存五寸),每寸分十分。北京故宫博物院收藏的清乾隆尺与中国计量科学院收藏的清宣统尺均为32厘米。

我国历代出土的度器绝大多数是尺子,唯有1927年在甘肃定西称钩驿出土了一支西汉后期王莽建立新朝时的有铜丈,称这为新莽铜丈,与史书《汉书·律历志》所载:“其法用铜,高一寸,广二寸,长一丈,而分寸尺丈存焉”完全相同。这支铜丈长22.92厘米,现保存在台湾省。

乐律尺和天文尺是我国历史上用于乐器制作和天文测量的专用尺。由于各个朝代尺的长度总有变化,每当乐律大师和



天文学家在造律管,测晷影,制浑仪时,都要进行复杂的对比考证。西晋初年中书监荀勖,根据新莽时期所制“新嘉量”的尺寸,制作了一支专门用于调律的尺,历史上称它为“荀勖律尺”或“晋前尺”。隋朝时的史书《隋书·律历志》对“晋前尺”有详尽的记载。现存于台湾省的“新嘉量”是将斛、斗、升、合、龠五个量集于一身的量器。它的器身正面不仅刻有 81 字总铭文,而且五个量器的器身上都刻有表示直径、深度和容积的铭文。经历史学家测量与推算,得知新莽时的一尺是 23.08 厘米。“新嘉量”不是古尺,但是却由它可考证出古尺“晋前尺”的长度约为 23.1 厘米。“晋前尺”的历史地位非常重要,晋以后各代制作乐器时,都以它为准,而不受当朝尺度的影响。

南朝时太史令钱乐之更铸张衡浑天仪时依照的当朝的尺子,尺长为 24.578 厘米,隋文帝统一南北朝后,下令统一度量衡,用南朝的小尺测日影,用北朝大尺(长 30 厘米)作为官民常用尺。从此以后,天文尺的长度就以南朝小尺(24.576 厘米)为准,历代相承,沿用了一千三百多年。1975 年我国天文学家从明代制造的铜圭残件中发现了当时量天尺的刻度,并考定了尺值,为 24.525 厘米,历史承传误差仅为 0.5 毫米。量天尺值的恒定不变,保证了天文测量的连续性和稳定性,对于我国古代测量日影,定历法起了重要的作用。

秦始皇统一度量衡,有着重大的历史作用,目前已经出土了大量的秦权(砝码)和秦量,但是秦尺却极为少见,不过我们可以根据出土的商鞅铜方升推算出秦尺的长度。公元前 344