



计量三级工技术补课教材

长度计量

辽宁省计量局科教处 编

计 量 出 版 社

内 容 提 要

本书是计量三级工技术补课教材的长度计量部分。书中除了介绍长度计量所必备的初级基础知识外，重点介绍了常用量具、量仪的原理、使用、检定以及典型几何量的测量方法。本书联系实际，深入浅出，是为具有初中文化程度进行技术补课用的教材。可供厂矿计量人员和机械工人学习参考。

计量三级工技术补课教材

长 度 计 量

辽宁省计量局科教处编

责任编辑 栾桂芬

—*—

计量出版社出版

(北京和平里山区7号)

北京计量印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

—*—

开本 787×1092 1/32 印张 10 7/8

字数 248千字 印数 1—20 000

1984年10月第一版 1984年10月第一次印刷

统一书号 15210·367

定价 2.00 元

前 言

计量测试技术是发展国民经济的一项重要技术基础。它涉及到自然科学基础理论、工程技术、法制和科学管理等方面。它与工农业生产、交通运输、国防科研、商业贸易、医疗卫生、环境保护、以及人民日常生活等方面都有密切的关系，并在提高经济效益和产品质量方面都有着重要的作用。

为贯彻党的十二大提出的，在本世纪末实现工农业总产值翻两番的战略目标，计量测试技术工作必须发挥技术基础的作用。为此，调动和充分发挥计量战线青壮年职工的聪明才智，是做好这一工作的重要保证。

中共中央、国务院作出了《关于加强职工教育工作的决定》，中央五委、局发出了《联合通知》，要求在“六五”计划期间完成青壮年职工的文化技术补课的特定历史任务，使他们成为合格的生产技术业务骨干。为了解决辽宁省计量系统青壮年职工技术补课的需要，我们编写了计量三级工技术补课教材，并聘请了东北工学院有关专业的教授、讲师和省內计量专业的有关工程技术人员组成了计量三级工补课教材编审委员会（详见于后）。

计量三级工的标准（即应知应会的内容），是参照原一机部技术工人等级标准和上海市计量技术工人等级标准编写而成的。

此次出版的教材有：长度计量、温度计量、电学计量和误差理论入门四种。内容以文化补课合格为起点，从基础知识入手，循序渐进，内容主要包括计量技术初级理论、量值

传递、标准量具和仪器、检定规程、测试方法的选择，以及检定中的有关技术问题的处理等。力求体系完整文字简洁、联系实际、深入浅出，以适应具有初中文化程度补课对象的需要。本系列教材：长度计量由史伟萍同志执笔；温度计量由邢书田同志执笔；电学计量由朱祯学、潘铁义、张树波、王吉祥同志执笔；误差理论入门由杜汉玉同志执笔。

为了更好地提高补课效果，在不同的计量专业补课中，还要结合必修的基础课，如初级电工原理、机械原理、机械零件、制图等等。

我们在编写过程中，承蒙计量出版社及有关同志的热情帮助和支持。对此，我们深表谢意。

此教材涉及的内容较广，更由于时间的紧迫和水平所限，书中不妥之处和错误力难避免，希望读者给予指正。

编 者

一九八三年四月

编 审 委 员 会

主 任:	王志中		
副主任:	王 楨	赵国权	
委 员:	沈庆堦	李纯甫	王魁汉
	张育功	史伟萍	王兴文
	邢书田	宋德华	朱祯学
	张树波	潘铁义	王吉祥
	杜汉玉	马伟达	

目 录

前 言	(I)
第一章 概论	(1)
1.1 长度计量的任务和内容	(1)
1.2 长度计量的基准与标准	(4)
1.3 长度计量的量值传递系统	(9)
1.4 长度计量的单位及符号	(11)
1.5 长度计量的工作条件	(11)
1.6 长度计量器具的维护和保养	(15)
第二章 测量	(18)
2.1 测量的基本概念	(18)
2.2 测量方法的分类	(19)
2.3 长度计量器具的分类	(23)
2.4 计量器具基本度量学指标	(24)
2.5 计量器具的选择原则	(28)
2.6 阿贝原则	(31)
2.7 正确选择测量基面的原则及定位方法	(35)
2.8 常见测量误差及计算	(41)
第三章 光学基础知识	(48)
3.1 几何光学的基本定律	(48)
3.2 平面镜成象及平面光学元件	(50)
3.3 球面透镜及成象原理	(54)
3.4 光波干涉原理	(59)
第四章 量块计量	(65)
4.1 量块的用途和构造	(65)
4.2 量块的名词术语及定义	(67)

4.3 量块的正确使用与维护保养	(71)
4.4 量块的检定	(73)
第五章 线纹与角度计量	(100)
5.1 线纹尺的用途	(100)
5.2 线纹尺的结构与材料	(100)
5.3 线纹尺的检定	(101)
5.4 角度单位制	(114)
5.5 多面棱体和度盘	(115)
5.6 角度量块的检定	(120)
5.7 角度测量仪器	(123)
5.8 角度测量方法	(139)
第六章 表面光洁度测量	(146)
6.1 表面光洁度对零件性能的影响	(147)
6.2 表面光洁度的评定参数、分级和代号	(149)
6.3 评定表面光洁度的基本原则	(155)
6.4 表面光洁度测量及仪器	(156)
第七章 形位公差及其测量	(170)
7.1 形位公差的种类、评定准则	(170)
7.2 形状误差及其测量	(173)
7.3 位置公差及其测量	(199)
第八章 平面样板及坐标尺寸测量	(214)
8.1 平面样板坐标尺寸的测量	(214)
8.2 轮廓形状样板尺寸的测量	(227)
8.3 非整形圆弧样板半径测量	(233)
第九章 轴孔类零件的测量	(238)
9.1 圆柱体的综合测量——量规法	(238)
9.2 轴径的测量及仪器	(241)
9.3 孔径的测量及仪器	(249)
第十章 螺纹测量	(253)
10.1 圆柱螺纹的形成、参数及种类	(253)
10.2 螺纹的综合测量	(260)

10.3 螺纹的单项测量	(263)
第十一章 通用机械式量具	(280)
11.1 通用机械式量具的分类及基本原理	(280)
11.2 游标量具	(282)
11.3 测微量具	(293)
11.4 指示量具	(307)
11.5 平直度量具	(322)
第十二章 新技术在长度计量中的应用	(332)
12.1 电动测量	(332)
12.2 气动测量	(334)
12.3 计量光栅测长	(336)
12.4 激光测长	(337)
编 后	(340)

第一章 概 论

1.1 长度计量的任务和内容

长度计量和人们生活与生产活动紧密相关。做衣服要用尺量体裁衣；盖房子要丈量土地；为加工出合格零件。工人要用卡尺测量零件尺寸。为保证长度量值的统一与准确，要建立长度的基准、标准，检定员要用精密仪器检定标准量具等。所有这些工作，都是长度计量工作的内容。一般说来，长度计量就是对物体几何量的测量。

长度计量的主要任务是：确定长度单位和以具体的基准形式复制单位；建立标准传递系统和传递方法；正确使用计量器具，合理选择测量方法和确定测量精度。

在现代大生产中，为了提高劳动生产率，保证产品质量，降低成本，就需要进行高度专业化协作性生产。而要实现高度专业化协作性生产，就必须采用互换性原则。

所谓互换性原则，就是机器中的零部件按规定的精度分别制造，不经钳工修配或其他任何辅助加工及调整，就能装成机器，并完全符合规定的使用性能要求。按照这种原则生产的零部件或机器，就称为具有互换性。在使用机器过程中，当有些易损件需要更换时，要求备件不需任何钳工修配即能装上机器，并能完全满足规定的使用性能，这样的备件也称为具有互换性。

比如电灯泡的灯头和插座，必须具有互换性，才能使灯泡装到相同规格的插座上。长度计量工作为保证互换性，组

织专业化生产，提高产品质量和劳动生产率，提供了可靠的技术保证。

为实现互换性原则，必须对产品零件进行准确测量。例如，一只手表有一百三十多个零件，每个零件都有严格的尺寸和形状要求，必须进行准确的测量。如擒纵轮片，齿轮外圆和冲面尺寸要求不能差 0.01 mm 。由于是成批生产，一般都用光学投影仪放大，并与标准图样比较。合格的零件，装配时不用挑选，装配后即能保证技术要求。

一辆汽车有上万个零件，成百家工厂进行专业化生产，最后集中进行部装和总装。如果各工厂制造的零部件和安装尺寸不符合统一的规格要求，装配时就会装不上，即使装上了，配合性能也不符合要求。比如汽缸里的活塞和活塞销，配合公差为 0.003 mm ，如果活塞销小了，就敲缸，时间久了，容易断裂，使连杆失去控制，打破缸体，出现事故。

对使用机器来讲，互换性也很重要。农村中大量使用的拖拉机、柴油机、水泵等，使用一个时期以后，往往需要更换易损件。这些易损件如果没有互换性，在使用现场就无法很快把备件换上，影响了生产。

同时，为了实现互换性生产，必须提供足够精确的加工设备（如车床等）、夹具（如夹盘等）、刀具（如车刀、滚丝模等）和量具（如千分尺、卡尺等），所有这些，都需要依靠长度计量来使之达到精度要求。

现代科学技术研究中，更离不开长度计量。研究宏观世界，测量天体间距离；研究微观世界，测量分子结构；电子工业中需要精密测量集成电路的刻划定位等等。

为了测量准确，必须保证测量工具、仪器准确。因此，利用先进的科学技术，建立长度的基准器、标准器，并把基准量值传递到计量器具直至工件上去，也就是我们所说的量

值传递，使计量器具达到准确一致、正确使用，研究正确的测量方法，这就是长度计量工作者的主要任务。

在机械制造业中，所需测量的工件和测量项目是多种多样的。根据被测量的几何量的特点，可分为：

长度——矩形的长、宽、高；厚度；圆柱形工件的直径和轴向尺寸等。

角度——平面角度（斜率等）；锥度；空间角度（如两轴交错的夹角）等。

坐标尺寸——包括平面坐标尺寸及空间坐标尺寸（三坐标的），如箱体工件、凸轮及一个机器中各零部件的装配尺寸等。

表面形状误差——如工件的平面度、直线度、圆度等。

相互位置误差——如两平面（或两直线）间的垂直度、平行度等。

表面光洁度——表面的微观不平度。

波度——表面的中间不平度。

长度计量包括了以下内容，并设置了相应的量值传递标准器：

光波——标准器为氪86光波波长；

端度——标准器为标准量块；

线纹——标准器为标准刻线尺；

平面度——标准器为标准平晶；

角度——标准器为标准多面棱体；

光洁度——标准器为标准光洁度样板。

随着工农业生产发展的需要和科学技术的不断发展，长度计量所包含的内容将越来越广泛，各种新技术（如激光、光栅等）在长度计量工作中将得到越来越广泛的应用，长度计量

工作也必将显示出越来越重要的技术基础作用。

复 习 题

1. 长度计量的任务是什么？它对国民经济发展有哪些重要作用？
举例说明。
2. 长度计量包括哪些内容？

1.2 长度计量的基准与标准

(一) 长度计量的单位——米

要测量一个物体的长度，实际上就是将被测量的物体与作为能够复现长度单位的标准量具或仪器进行比较，从而确定被测物体的尺寸。那末作为标准量具的尺寸是如何确定的呢？这就涉及到长度计量的单位——米。1米究竟有多长？它是如何确定的？

1790年左右，法国人经过多年艰苦的测量和计算，把1米定为经过巴黎气象台的地球子午线的四千万分之一。这一长度单位是通过一根横截面为 $25 \times 4.05 \text{ mm}$ 的铂杆来具体体现的，它被命名为“阿希夫尺”，又因它一直保存在巴黎档案馆内，故又称为“档案馆米尺”。但这种米尺在比较时困难、端面易磨损以及端点的标志本身不明确、尺子测量轴的概念不明确，因此在1875年的国际米尺会议上要求制造具有刻线的基准米尺。

1888年国际权度局接受了三十一支米尺，通过与阿希夫尺比较，No.6尺的长度最接近，特定为国际长度基准，存放在巴黎国际计量局，其余由抽签方法分发给当时国际计量局各成员国，作为该国最高基准器。米原器形状如图1-1。

当时长度单位“米”的定义为：“在 0°C 时，米尺左右两端光滑面上，两中间分划线间沿米尺测量轴的距离。”

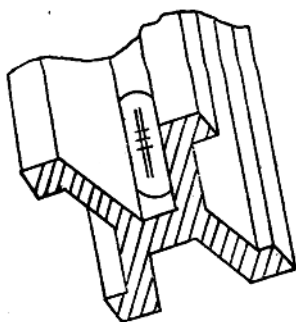


图 1-1

倍波长。

这个定义的修改在计量学中有极为重要的意义：

(1) 提高复现精度几十倍，达 $\pm 3 \times 10^{-9}$ ；

(2) 不存在稳定性问题；

(3) 不怕损坏、复现容易；

(4) 可直接用于传递，一次可测长度达700mm。

目前，氪灯发出的特定波长，仍然作为长度基准。为了符合定义，氪灯必须放在装有液氮的杜瓦瓶中，并处于规定的条件下，其装置见图 1-2。

这种米原器由于变形会引起长度的改变，损坏后难以恢复，在传递精度上不易提高，用自然基准（即光波波长）来代替实物基准就能克服这些缺点。

1960年，国际计量大会对“米”这个长度计量单位给予新的定义：

米的长度等于氪-86原子的 $2p_{1/2}$ 和 $5d_{5/2}$ 能级之间跃迁的辐射在真空中的 $1\,650\,763.73$

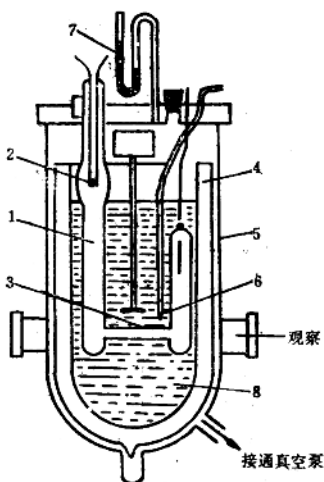


图 1-2

1—灯管外壳；2—灯丝；3—毛细管；
4—杜瓦瓶；5—壳体；6—热电偶；
7—气压计；8—液氮

近几年来,获得稳定的激光辐射比氪86的辐射好用,这些光速辐射的频率和波长的测量结果与现在的米定义准确一致。15届国际计量会议推荐的光速值为299 792 458米/秒。1983年10月第17届国际计量大会正式通过了米的新定义:

“米是光在真空中在 $1/299\,792\,458$ 秒的时间间隔内行程的长度”。这是国际米制公约成立以来,“米”这个计量中最基本的单位第三次更新定义。

(二) 长度计量的基准与标准

国家计量基准是用来复现、保存和统一计量单位量值的、具有现代科学技术所能达到的最高准确度的计量器具,经国家鉴定后,作为全国量值统一的最高依据。从法律上讲,一个国家只能有一个基准。

计量标准是国家根据实际需要和计量技术的水平规定的具有不同精度等级的、用来传递量值的计量器具。

我国现行的长度基准是复现米定义的氪-86的光波波长装置。

同位素氪86要求氪原子纯度在99%以上,同位素灯中,毛细管3的内径为2—4mm,长100—120mm,壁厚1mm,电流密度为 $0.3 \pm 1 \text{ A/cm}^2$ 。光线沿毛细管方向从阴极到阳极,经观测孔射出。容器4与灯管1间充以液氮。当用真空泵抽气后,容器里温度降至63°K,用热电偶6测出(见图1-2)。

为了把长度量值准确地传递下去,除了建立长度基准外,还必须根据实际用途建立各种长度标准器及标准仪器,把量值传递到生产第一线。长度标准器有下列几种。

(1) 光波波长

氪86是长度基准波长,一般不用它直接检定实物标准器,而是通过波长工作标准器来传递量值。波长标准器是由各种标准灯组成。现有的波长标准器有:氪灯、氪灯、镉114、

汞198和氦氖气体激光管等。这些灯管发出的光波波长，就是长度波长标准，可以用来检定量块、线纹尺和平晶等实物标准器。

(2) 端度

端度实物标准器就是量块。量块按使用要求，其精度分为1、2、3、4、5、6等。按制造精度分为0、1、2、3、4级。

直接检定量块中心长度的标准仪器有：

1米量块激光干涉仪——用于检定1000mm以下1等量块。用氦氖激光作为光源，用白光干涉条纹定位和激光干涉条纹计数的方法检定1等量块。

绝对光波干涉仪——用于检定100mm以下1等量块。用氦灯或氦灯作为光源，用不同的波长采用小数重合法检定1等量块。

(3) 线纹

线纹标准有1000mm的工作基准米尺、标准线纹米尺、一等线纹米尺；200mm的工作基准短标尺、标准短标尺；3000mm的标准尺、24m基线尺等。直接检定线纹尺用的标准仪器有：

1米激光比长仪——用于检定1000mm以下各种标准线纹尺，1000mm线纹尺检定精度为 $\pm 0.2\mu\text{m}$ 。仪器用有稳频装置的氦氖激光器作标准光源，用光电显微镜瞄准刻线，用激光干涉条纹计数和环境修正等方法，使线纹尺的全部检定过程自动化。

(4) 角度

① 角度实物标准是正多面棱体，有12面体、24面体、36面体和72面体。精度为 $\pm 0.5''$ 。检定角度的标准仪器有：

多面棱体检定装置——用于检定各种正多面棱体，检定

精度为 $\pm 0.5s$ 。仪器装有标准多齿分度台，一般为360个齿，精度可达 $\pm 0.2s$ ，并用光电准直仪瞄准多面棱体进行读数。

精密测角仪——用于检定低精度多面棱体和角度块，检定精度为 $\pm 2s \sim \pm 3s$ 。

光栅数字式分度头——可用于检定多面棱体和角度块，检定精度为 $\pm 1s$ 。仪器装有高精度光栅分度盘，经电子细分后可显示 $0.1s$ 的数字读数。

(5) 平面度

平面度的实物标准器是石英玻璃平晶，标准平晶的直径尺寸有60 mm、100 mm、150 mm和200 mm几种。标准平晶的平面度一般要求在 $0.03 \mu m$ 左右。检定平晶的标准仪器有激光平面干涉仪和等厚干涉仪。

(6) 光洁度

光洁度的实物标准器是标准单刻线样板和标准多刻线样板，二者都由1到14级的标准样板组成。各种光洁度工艺样板可用双管显微镜（检定9级以下）、干涉显微镜（检定10级以上）和电动轮廓仪（检定5—12级）进行检定。

在实际工作中，还采用了工程计量标准，如渐开线标准样板等。

国家基准是唯一的。但是，标准却可以是多种多样的，它必须经过授权机构的检定，才能确认它的有效性和合法性。基准和标准的本质上差别只有两点：

(1) 准确度不同；

(2) 在计量中所起的作用不同。

虽然基准研究的发展方向是由人工基准（如基准米尺，是由人工制造的）向自然基准（如用氪86光波波长）过渡，但在日常实际工作中，并不可能直接利用光波波长来对一些

工件的几何参数进行测量（例如测量齿轮渐开线的形状误差等）。为了校验仪器和日常测量工作的方便，人们不断研究、设计和改进一些工程计量标准。通过使用这些工程计量标准，人们可以方便地对同类仪器进行定期校验，以使量值统一；也便于对测量结果进行修正，提高测量精度。

复 习 题

1. 长度计量单位“米”是怎样定义的？
2. 为什么要建立长度计量的基准和标准？基准和标准有什么区别？

1.3 长度计量的量值传递系统

计量工作的基本任务之一，就是保证量值的准确一致。为此，必须做好两项工作：一是建立国家基准，这是统一量值的物质基础；二是为了使“标准长度单位”能够准确地传递到生产中去，必须在组织上和技术上建立全国统一的、合理的、科学的量值传递系统。

我国量值传递的最高管理机构是国家计量局，它是主管全国计量工作的职能部门。省、市、自治区及地、市、县计量管理机构，是同级政府的职能部门，根据国家计量局提出的指导方针，负责管理本地区的计量工作。这些计量工作机构的建立，组成了我国的计量网。

在技术上，为了保证量值的统一，建立了从长度基准到生产中使用的各种测量器具（量具、量仪）和工件的尺寸量值传递系统。

长度计量量值传递系统如表1-1。