

长度计量测试丛书

长度计量测试基础

蔡其恕 陈林才 等编著



计 量 出 版 社

长度计量测试丛书

第一分册

长度计量测试基础

蔡其恕 陈林才 等编著

长度计量测试丛书编委会审订

计量出版社

1986·北京

内 容 提 要

本书是《长度计量测试丛书》的第一分册。主要介绍长度计量与测试的基本原理；计量与测试的范围，国内外发展概况与趋势；长度的基准和标准及其传递系统；角度和圆分度标准；精密测试中测量系统的设计；对精密测试室的基本要求等。同时还介绍了国际上几个权威计量单位的情况。

本书可供中专以上文化程度的计量测试人员及中专以上院校师生、有关专业的工程技术人员和计量管理干部阅读，同时还可作为计量短训班的教材。

长度计量测试丛书第一分册

长度计量测试基础

蔡其恕 陈林才 等编著

长度计量测试丛书编委会审订

责任编辑 朱桂兰

—

计量出版社出版

(北京和平里11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 9

字数 208千字 印数 1—15000

1986年9月第一版 1986年9月第一次印刷

统一书号 15210·603

定价 1.95 元

前 言

长度计量测试丛书是根据计量出版社关于按学科分类组编丛书的总体计划，由中国计量测试学会几何量专业委员会配合计量出版社组织编写的。

党的十二大提出：到本世纪末力争使全国工农业总产值翻两番。为实现此宏伟目标，必须首先发展机械工业，因为机械工业是国民经济的装备部，应该适当超前。而标准化和计量测试仪器与技术测量是机械工业发展的基础和先决条件，因此必须超前于机械工业。在计量测试学科领域中，长度的计量测试是重要的一个方面。随着机械产品愈益向精密方向发展，介绍长度计量测试方面的知识，科研成果及经验，以便为机械工业未来的发展打好基础、积蓄力量、创造条件，实为当务之急。这就是组织这套丛书的目的。

翻两番，振兴经济，必须依靠科学技术的进步。科学技术需要大量学有专长的专业人材去掌握。目前我国计量测试领域内很多职工缺乏必要的科学知识和操作技能，熟练工人和科学技术人员严重不足。为适应未来经济发展的需要，现在必须立即着手培养计量专业的人才，提高现有计量测试人员的科学技术水平。近年来更有大批青年新同志参加工作，他们是发展计量测试科学技术的重要力量，迫切需要系统地学习一些计量基础知识，以便结合工作实践更快地提高技术水平，促进计量科学技术的进步。这套丛书主要是针对这部分人员编写的。当然也可作为计量测试短训班的教材或参考资料，并可供大专院校师生及有关工程技术人员和科研工作

者参考。

丛书比较全面地将长度计量测试领域中所涉及的基础理论、基本知识和实用技术等进行了深入浅出的阐述，重点放在计量测试技术的实际运用方面，同时也简要地对有关技术的发展动向作些介绍。

整套丛书共有二十个分册，每一分册独立论述一个专题。为照顾系统性和便于读者学习，有些内容在不同的分册中有些重复，但侧重点各不相同，这样就把丛书的系统性和分册的独立性统一起来，读者可根据自己的需要选择学习。

本丛书在组编过程中，得到计量出版社的全面支持，还得到有关计量部门，大专院校、科研机构、工矿企业和广大计量工作者的支持和关心，我们在此深表谢意。

限于我们的经验和水平，这套丛书可能存在不少缺点和错误，我们衷心欢迎广大读者给予批评指正。

长度计量测试丛书编委会

一九八三年元月十六日

长度计量测试丛书编委会

主 编： 梁晋文

副主编： 许金钊 徐孝恩

编 委： (按姓氏笔划排列)

王钺铮 许金钊 朱桂兰

刘瑞清 何 贡 陈林才

李继楨 李隆铸 庚以滦

林洪桦 费业泰 徐孝恩

黄生耀 黄福芸 梁晋文

目 录

第一章 绪论	(1)
一、机械制造互换性概论	(2)
二、长度计量测试的范围和作用	(6)
三、长度计量测试技术发展史	(9)
四、我国及几个主要国家计量机构中的长度计量工作	(15)
(一) 中国计量科学研究院	(15)
(二) 美国国家标准局 (NBS)	(17)
(三) 德意志联邦共和国物理技术研究院 (PTB)	(20)
五、计量测试技术与“四化”的关系和任务	(22)
六、长度计量测试技术国内外发展概况与趋势	(25)
第二章 长度计量测试的基本原理	(28)
一、基本知识	(28)
(一) 微分在精密测量中的应用	(28)
(二) 梁的受力变形	(37)
(三) 光的干涉	(41)
二、长度测量的基本概念	(50)
(一) 被测对象	(50)
(二) 测量单位	(51)
(三) 测量方法	(52)
(四) 测量准确度	(55)
三、测量误差	(56)
(一) 测量误差的分类	(57)
(二) 测量误差的综合	(61)
四、测量误差的来源和防止	(64)
(一) 测量误差的来源	(64)

(二) 测量误差的防止	(71)
五、精密测量误差分析举例	(82)
(一) 调整误差对测量精度的影响	(82)
(二) 间接测量中误差的正计算	(84)
(三) 间接测量中的误差分配	(86)
(四) 立式光学计测量误差分析	(88)
六、量仪量具的选择原则	(97)
第三章 长度基准与工作标准	(103)
一、长度基准	(103)
(一) 用迈克尔逊干涉仪测量光波波长	(104)
(二) 用法布里-珀罗干涉仪测量光波波长	(107)
二、长度线纹标准量具	(111)
(一) 基本概念	(111)
(二) 线纹标准量具的检定	(116)
(三) 线纹量值传递系统	(137)
三、端面标准量具——量块	(139)
(一) 基本概念	(139)
(二) 量块的检定	(146)
(三) 环境状态对测量结果的影响及其修正	(171)
(四) 量块的量值传递系统	(173)
第四章 角度和圆分度标准	(174)
一、基本概念	(174)
(一) 测量角度的两种方法	(174)
(二) 角度单位制	(174)
(三) 圆分度的自检原理	(175)
(四) 正弦原理	(177)
二、圆分度标准	(179)
(一) 度盘	(179)
(二) 圆光栅盘	(180)
(三) 多齿分度台	(185)
(四) 多面棱体	(187)

(五) 角数字编码器	(189)
(六) 圆感应同步器	(192)
(七) 环形激光器	(196)
第五章 精密测试中测量系统设计	(203)
一、基本概念	(203)
(一) 测量系统	(203)
(二) 测量系统的基本组成	(203)
(三) 测量系统设计的依据	(205)
二、标准测量装置	(206)
三、瞄准装置	(206)
(一) 接触式瞄准	(206)
(二) 非接触式瞄准	(212)
四、读数装置	(214)
(一) 机械式读数装置	(215)
(二) 光学式读数装置	(215)
(三) 电学式读数装置	(216)
五、计算与控制装置	(222)
(一) 自动采集测量数据	(222)
(二) 自动处理测量数据	(224)
(三) 自动控制测量动作	(224)
六、被测件的定位	(225)
(一) 测量基准	(226)
(二) 定位方法	(226)
七、微型计算机在测量系统中应用简介	(229)
(一) 概述	(229)
(二) 微型机的一般知识	(231)
(三) 微型机在测量系统中的应用	(239)
八、测量系统设计举例	(242)
第六章 对精密测试室的要求	(259)
一、对精密测试室的基本要求	(259)
(一) 对温度的要求	(259)

(二) 对湿度的要求.....	(261)
(三) 对防振的要求.....	(263)
(四) 对防尘的要求.....	(265)
二、空气调节装置.....	(266)
(一) 温度规范确定.....	(266)
(二) 空调机容量的确定	(268)
三、机械制造厂精密测试室的平面布置举例.....	(268)
四、计量器具的检定周期.....	(271)
五、计量器具的维护.....	(272)

第一章 绪 论

本书名为“长度计量测试基础”，本丛书名为“长度计量测试丛书”，因此需要首先说明“计量测试”的概念。“计量测试”的含义各人有不同的理解。有人说“计量测试”是指有关计量的测试工作。因为测试工作的范围很广，除计量外还有涉及各种自然科学和生产技术的测试工作。“计量测试”是把测试工作局限在计量的范围之内，所以只指一种工作。但也有人“在全国计量工作会议”上说：测量工作或测试工作是一门技术，计量工作是为测试技术服务的，但它不是测试技术。测试工作和计量工作不完全是一码事，还要有一点区别。我们同意后一个说法，所以想把“计量”、“测量”和“测试”三个名词的概念略加说明。

“计量”一词是从“计量学”导来的，“计量学”亦称“度量学”，是研究计量单位及其基准和标准的科学。计量工作主要是建立基准、标准及其传递系统以保证计量单位的统一和量值的准确一致。计量工作是具有法制性的。中国计量科学研究院就是专门研究计量学的，国家计量局和各省市计量机构是具体执行计量工作的。“测量”是指一个实验过程，通过它以求出某个被测量对一个已知单位量的倍数作为测定值。这里的已知单位量必须以计量单位为基础，亦即必须从基准量、各级标准量逐步传递下来的。当然，计量的具体工作也是一个测量的实验过程，不过“计量工作”的对象只限于计量单位的传递，而“测量工作”的对象则非常广泛，可包括一切自然界和生产中需要测定的未知量。“测试”一词

的意义与“测量”几乎相同，不过我们想把“测试”理解为一种试验研究性的测量，专门指一种在尚未有固定成熟的测量手段和测量方法情况下所进行的探索性实验过程。中国计量科学研究院和各省市计量机构除用准确可靠的测量手段和成熟的测量方法进行计量工作外，还必须用创新的测量手段和测量方法从事测试工作，这样才能促使计量科学不断发展。

虽然说计量工作的对象是有限的，但其内容仍很丰富。中国计量科学研究院把计量工作分成九个部分，即长度、温度、力学、电磁、光学、声学、无线电、时间频率和电离辐射计量。本书所讲的内容即为上列九部分计量中的长度计量部分。所谓“长度”实际上是包括全部几何量，例如长度、角度、几何形状、几何位置、表面粗糙度等。由于习惯上的名称把这些几何量统称为“长度”。这些几何量对不同的被测对象有不同的测量手段和测量方法。本丛书的整个内容是为机械制造业服务的，故被测对象主要针对机械零件、部件和成品的几何参数。若仅从几何量的意义来说，则在天文学、大地测量、电子工业以及其他自然科学中都有需要测量的几何量。关于这些方面的测试方法和测量装置一般不列入本丛书范围之内。

一、机械制造互换性概论

由于本丛书主要是为机械制造服务的，所以有必要谈谈机械制造中的互换性。现代机械制造业在成批生产和大量生产的情况下，已实现高度的专业化和互相协作的生产方式。因此对产品互换性的要求愈来愈迫切。所谓互换性是指机器中的零部件都按规定的尺寸形式制造，在装配时可不经选择就能装成机器，并完全符合规定的使用性能。在机器使

用中，当有些零件损坏时，在备换零件中也不需选择就能换上并满足原来的使用要求。互换性是在生产的历史过程中逐步形成的。最初是为了使用中的需要，例如灯泡与灯头、螺钉与螺母、步枪与枪弹等，没有互换性就无法使用。后来对零部件的互换性要求愈来愈广泛，不仅由于使用上的需要而且还由于经济上的需要。如果互换性原则运用得合适，就能使生产收到多、快、好、省的效果。因此一方面要求能互换的零部件种类和形式愈来愈多，另一方面要求互换性零部件的使用范围愈来愈广。不仅一个工厂所制造的零部件能互换，不同工厂的零部件都能互换。不仅一国所生产的零部件能互换，世界各国的零部件也都能互换。为了要达到这个目的，必须对一种零件的形式、尺寸、精度、材料性能等规定一个统一的标准。同类产品还需要按尺寸大小合理分档，以减少产品的系列，这就是产品标准化。对标准化零件必须规定标准公差制度。我国的许多机械零件已制订国家标准或部标准，并且正在尽量采用国际标准。零件标准化的目的是为了要统一零件的尺寸，而要统一零件的尺寸，必须首先统一量具量仪的指示值。前者是各工厂的检验工作而后者则是计量局的检定工作。对产品而言，不仅对零部件的尺寸误差要检验，而且对整部机器的尺寸误差也要检验，这样才能保证机器的质量，对于量具量仪尤其如此。在工厂中检验零件时，必须要求在同一种量具或量仪中任取一个量具或量仪所得出的测量结果，其差别不超出规定的范围，这实际上就是量具量仪本身的互换性。所以对计量工作而言，量具量仪的检定工作是一项非常重要的任务。

机械制造中的互换性主要应用于相互配合的零件，例如轴和孔、螺钉和螺母等等。当一大批配合零件在装配时任取一对装配起来就能保证满足使用性能的，就称为具有完全互

换性的零件。例如现代汽车工厂大都采用流水线生产。在一辆汽车上有上万个零件，由成百家工厂分别生产，最后集中到汽车工厂进行装配。如果这些零件不具有完全互换性，那就无法进行流水线生产。那么如何使一对配合零件具有完全互换性呢？这就须说明公差与配合的关系。为了简单起见，仅举轴与孔的公差和配合为例。现在先说明几个最重要的术语及其定义。

1. 基本尺寸：设计时给定的尺寸，它是确定偏差起始的尺寸。两个互相配合的零件，其结合部分的基本尺寸相同。

2. 实际尺寸：从实际零件上测得的尺寸。例如从一批轴上测得的实际尺寸，一般与基本尺寸不符。而且由于加工误差的影响，在一批轴中各个轴的实际尺寸也不相同。

3. 极限尺寸：是零件实际尺寸允许变化的两个界限，即最大极限尺寸和最小极限尺寸。

4. 尺寸偏差：实际尺寸与基本尺寸的代数差。最大极限尺寸与基本尺寸的代数差称为上偏差，最小极限尺寸与基本尺寸的代数差称为下偏差。

5. 尺寸公差：零件尺寸的允许变动量，等于最大极限尺寸与最小极限尺寸的差值。

6. 配合：当轴与孔配合后，由于它们的实际尺寸不同可出现各种不同情况：当轴径小于孔径时将有间隙，称为间隙配合；轴径大于孔径时将有过盈，称为过盈配合。过盈配合装配时须用压力推入，故亦称压入配合。由于一批轴和一批孔的实际尺寸各不相同，故任意装配时，可出现一部分有间隙而另一部分则有过盈，这种情况称为过渡配合。间隙的大小和过盈的大小表现不同的松紧程度，而在轴孔配合的各种使用条件中正需要不同的松紧程度，故在规定零件尺寸

公差时必须适应各种配合情况。

7. 配合公差：上述三种配合中，间隙或过盈都有变动量，其变动范围的大小称为配合公差。配合公差等于轴与孔的尺寸公差之和。

8. 公差等级：为了使公差数值标准化，国家标准 GB1800—79 规定有 01, 0, 1, 2, ……17, 18 等 20 个公差等级，用 “IT” 表示。例如 IT5 表示 5 级公差。在 20 个等级中，IT01 精度最高，IT 18 精度最低。

9. 尺寸范围和尺寸分段：国家标准中规定 $\leq 500\text{mm}$ 的基本尺寸为中等尺寸范围，分成 13 个尺寸分段。 $> 500 \sim 3150\text{mm}$ 的基本尺寸为大尺寸范围，分成 8 个尺寸分段。在国家标准的附录中还有 $> 3150 \sim 10000\text{mm}$ 的尺寸范围，分成 5 个尺寸分段。按不同的公差等级和尺寸分段可按规定的计算方法算出各级各段的标准公差值。

除了上述孔和轴的标准公差外，还有其他各种零件的标准公差，如螺纹公差、齿轮公差、花键公差等等，其目的都是为了达到零件的功能及互换性的要求。对于装配工作的生产效率和使用中的去旧换新来说，完全互换性是最合乎理想的。对使用要求来说，在不同的使用条件下需要一个最合适的松紧程度，即需要一个大小适当的间隙或过盈，而这个间隙或过盈的变动范围则愈小愈好，也就是说配合公差愈小愈好。但要配合公差小，则零件公差必须随着减小，因此对零件的加工精度要求高，这往往是不经济的，有时甚至是困难的。这时就需要考虑采用不完全互换性的办法。例如把孔和轴的公差范围各分成几组，将一批孔和轴的零件逐个测出其实际尺寸按其尺寸偏差的大小分别归入各组。譬如说把孔和轴各分成大中小三组，装配时以大孔配大轴、中孔配中轴、小孔配小轴。这种分组装配的办法可使配合公差减小而零件

公差并不减小。不完全互换性可使加工精度的要求降低，但对测量准确度的要求并不降低。因为测量准确度必须适应分组的公差范围，不能按整个公差范围选择量具或量仪。

以上所述是对配合零件说的，有些零件没有配合件。这种零件的尺寸称为自由尺寸。自由尺寸的精度要求一般较低，尺寸公差一般很大，有的甚至不规定公差。对这种尺寸的测量准确度当然也不需要高。

必须指出，有些配合零件的尺寸准确度要求非常高，因此不能再要求互换而只能逐件选择装配或经修配后装配，有的甚至需要配对加工。对这种非互换性的配合零件尺寸，其测量准确度的要求也就非常高，这往往是很困难的测试工作。

二、长度计量测试的范围和作用

由于本丛书是为机械制造业服务的，故其内容将包括在下列范围：

1. 从几何量的各种参数来分，可分为长度、角度、几何形状、几何位置和表面粗糙度等。其中长度可包括两点间距离、两平行直线间距离、两平行平面的距离、轴径和孔径等等。角度可包括平面角、立体角、锥度和圆周分度等。几何形状可包括直线度、平面度、圆度、圆柱度、线轮廓度和面轮廓度。几何位置可包括平行度、垂直度、倾斜度、同轴度、对称度、位置度、圆跳动和全跳动。此外，还有表面粗糙度。对以上各种参数的测量，一般已有切实可行的测量方案和适用的量具量仪。但在精度要求高和尺寸特大或特小的情况下，往往还有困难，尚需创造新的测试技术和测试设备。

2. 从各种被测的具体对象来说，则可分为机械零部件、

完整机器和仪器以及大型机件的安装。

机械零部件的种类繁多，尺寸大小差别很大，精度要求也各不相同，因此涉及的测量方法和测量装置多不胜数。最常见的零部件有轴和轴承、螺钉螺母、圆柱齿轮、圆锥齿轮、蜗杆蜗轮、花键、丝杠、链和链轮、曲轴、连杆、联轴器等。有些刀具如丝锥、螺丝滚刀、滚齿刀、插齿刀等对刀具生产厂来说亦可算是零件。在这些零部件上的被测几何参数几乎可包括上述全部内容。这些测量工作正是零部件加工工厂中的日常检验工作。但有些特殊零件的检验工作，又往往是复杂而困难的。例如光学仪器中用的精密玻璃线纹尺，机床中用的精密丝杠，长光栅尺，圆光栅盘，单啮仪中的标准蜗杆，双啮仪中的标准齿轮等。这些零件的精度要求非常高，故有些检验工作尚在测试阶段中。

为了保证机器和仪器的质量，对完整的机器和仪器亦必须进行检测。因为即使零部件都完全合格，在装成整机时还可产生安装误差，因而影响整个机器或仪器的质量。这种检测对精密机床和测量仪器来说尤其重要。

一般机器和仪器在装配时都需要进行测量工作，这是很明显的。为什么要特别提出大型机件的安装呢？这是因为在安装大型机件时，其测量方法往往与一般常用的方法不同。例如大型涡轮机中几个轴承的同轴度，在飞机的机身、机翼与机尾安装中的方向和位置的准确度，在火箭、导弹的弹体与内部机构安装中的位置准确度等要求都很高，而这些机件的尺寸又都很大，故一般只能采用光学仪器或光电仪器等特殊装置。

3. 前面提到在精度要求高和尺寸特大或特小的情况下，长度测量的方法和设备都有一定的限度。现在让我们先看看在一般机械制造中需要制造怎样特大或特小的工件？对这些