

长度计量测试丛书

小尺寸测量

杨自本 安国振 蔡敦和 编著



中国计量出版社

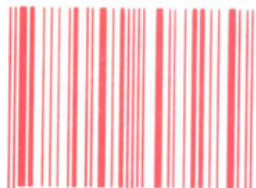
封面设计:齐洪海

内 容 提 要

小尺寸测量的对象是细小窄薄件的长度量。包括细丝或线轴的直径,小孔或微孔的孔径,狭窄的刻线间距或狭缝宽度,薄膜及涂层的厚度,微小位移量等等。本书收集了大量有关小尺寸测量的实用资料,对各类小尺寸的测量方法做了系统的介绍。

全书共分9章,主要内容包括:小尺寸测量与公差概况;细丝直径测量;小孔直径测量;薄膜厚度测量;镀层与涂层厚度测量;小宽度测量;小位移测量;小尺寸测量技术的发展及小尺寸量仪的检定。本书着重阐述小尺寸的测量方法,对从事几何量测试的工程技术人员和大专院校师生具有较好的参考价值。本书还可作为计量测试短训班的教材。

ISBN 7-5026-0728-5



9 787502 607289 >

ISBN7-5026-0728-5/TB·452

定 价: 19.50 元

长度计量测试丛书

第九分册

小 尺 寸 测 量

杨自本 安国振 蔡敦和 编著

长度计量测试丛书编委会审订

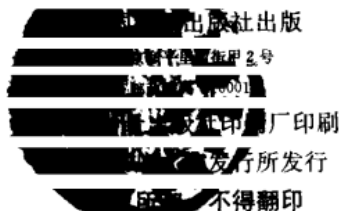
中国计量出版社

图书在版编目(CIP)数据

小尺寸测量/杨自本编著. —北京:中国计量出版社,
1997. 1(长度计量测试丛书/梁晋文主编)
ISBN 7-5026-0728-5/TB·452

I. 小… II. 杨… III. 技术测量—尺寸测量 IV. TG81

中国版本图书馆 CIP 数据核字(94)第 12854 号



*

787×1092 毫米 32 开本 印张 13.625 字数 312 千字
1997 年 1 月第 1 版 1997 年 1 月第 1 次印刷

*

印数 1—3000 定价 19.50 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，应当适当超前。而标准化和计量测试仪器与技术则是机械工业发展的基础和先决条件，因此必须更超前于机械工业。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及其科研成果与经验，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，必须依靠科学技术进步。科学技术需要大量学有专长的专业人才去掌握。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，当然也可以作为计量测试短训班的教材或参

EAC 50/04

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，还得到各计量部门、有关大专院校、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辑委员会

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）

王轼铮 许金钊 朱桂兰

刘瑞清 何 贡 陈林才

李继桢 李隆铸 庚以深

林洪桦 费业泰 徐孝恩

黄生耀 黄福芸 梁晋文

目 录

第一章 小尺寸测量与公差概况	(1)
一 小尺寸概念	(1)
二 小尺寸零件的种类	(2)
三 小尺寸测量的特点	(21)
四 小尺寸的公差与配合	(23)
第二章 细丝直径测量	(48)
一 概述	(48)
二 斜照明干涉法	(49)
三 激光衍射法	(53)
四 激光散射法	(73)
五 放大测量法	(82)
六 扫描测量法	(85)
第三章 小孔直径测量	(106)
一 概述	(106)
二 小孔直径的接触测量	(108)
三 小孔直径的非接触测量	(140)
第四章 薄膜厚度测量	(157)
一 概述	(157)
二 形状膜厚的测量	(166)
三 质量膜厚的测量	(181)
四 物质膜厚的测量	(194)
第五章 镀层与涂层厚度测量	(215)

一	概述	(215)
二	镀层厚度的测量	(216)
三	涂层厚度的测量	(252)
四	涡流测量法及其在测厚中的应用	(265)
第六章	小宽度测量	(277)
一	概述	(277)
二	薄带宽度的测量	(280)
三	狭缝宽度的测量	(283)
四	刻线宽度的测量	(300)
第七章	小位移测量	(328)
一	概述	(328)
二	小位移机械法测量	(329)
三	小位移光学法测量	(329)
四	小位移电学法测量	(344)
五	小位移气动法测量	(349)
第八章	小尺寸测量技术的发展	(357)
一	概述	(357)
二	电视、电子显微镜	(358)
三	超声波显微术	(381)
四	CCD 测量	(385)
五	全息干涉测量与全息显微术	(398)
第九章	小尺寸量仪的检定	(405)
一	概述	(405)
二	示值误差的检定	(407)
三	灵敏度与线性误差的估计	(423)
四	示值稳定度的检定	(425)

第一章 小尺寸测量 与公差概况

一、小尺寸概念

小尺寸测量的对象是细小窄薄件的长度量。例如，细丝或线轴的直径、小孔或微孔的孔径、狭窄的刻线间距或狭缝宽度、薄膜及涂层的厚度、微小位移量等等。

从定量上讲，根据现行国家标准划分，基本尺寸大于500mm的称为大尺寸，基本尺寸小于（包括等于）500mm的习惯上称为常用尺寸。而其中基本尺寸小于（包括等于）18mm的称为小尺寸。

尺寸段的划分与尺寸的公差配合、加工、测量等有着密切关系。就测量方法而言，同样是一根轴，小尺寸轴与大尺寸轴则截然不同。因此测量人员对尺寸段的划分不能忽视。严格地说，小尺寸的界限，至今没有统一而又明确的规定。在旧国家标准和某些外国标准中，规定了尺寸自0.1至1mm的公差与配合。因此过去习惯上就将 $<1\text{mm}$ 的零件尺寸称为小尺寸。但从公差与配合的要求以及加工、测量等方面考虑， $\leq 10\text{mm}$ 的尺寸，尤其是 $\leq 3\text{mm}$ 的尺寸有一些共同的特点。因此在国外，也就将 $\leq 10\text{mm}$ 或 $\leq 3\text{mm}$ 的尺寸称为小尺寸。而现行国标也只是针对我国仪器仪表和钟表工业的特点和需要，经过大量的实测和统计分析以后，才单独

地规定了 $\leq 18\text{mm}$ 的公差标准。实际上，小尺寸的概念不仅局限于仪器仪表和钟表零件，也适用于其它器件，如微电子器件。为了便于统一，不论对什么零件，在目前可以认为小尺寸的范围是 $\leq 18\text{mm}$ 。

随着科学技术的发展，零件尺寸的下界越来越小。例如，最新研制出的超导电线的大小仅与头发丝相当。又如为了高容量的信息储存和通讯，要求工作系统或装置小型化，致使元件尺寸也随之变小。集成电路的出现便是其中一个典型，目前集成电路的集成度已经由64兆位向256兆位发展，点阵单元大小已小于 $1\mu\text{m}$ 。同时还出现了具有多层结构的微电子器件，各层的厚度，以及电极尺寸都只有亚微米级，甚至是亚纳米级（ $1\text{nm} = 10^{-3}\mu\text{m}$ ）。再如，光盘上各细纹的宽度都在数微米以下，深度约 0.1mm 左右。因此小尺寸正在向微尺寸、超微尺寸延伸。

由于零件尺寸变小，精度要求越来越高，新的测量原理和方法得到了开发。近年来，X线光学技术、红外干涉技术、超声波技术等已相继引入，使得超精密测量技术得到了新的发展。从这个意义上说，小尺寸测量乃是体现精密测量、超精密测量的一个主要方面。

二、小尺寸零件的种类

小尺寸零件的范围很广，不仅包括仪器仪表零件，精密机械零件，也包括微电子器件、光导纤维、带有光学薄膜、衬垫涂料等的其它元件。加之它们的用途、性能、形状、材料等不同，故它们的种类也十分繁多。考虑到加工和测量的特点，小尺寸零件可按几何形状分为小直径、小厚度、小宽度等，也可按零件的性质分为细轴、细丝、细孔、薄膜、涂层、狭缝和刻线等。

(一) 细 轴

细轴类零件主要有仪器仪表和钟表中的各种细轴和圆柱销等。例如，钟表的摆轴、与宝石孔相配的圆柱轴颈和齿轴等，录音机中的支承轴，微型打印机中机针及螺纹参数测量所用的三针等。下面分别说明。

1. 摆 轴

摆轴是摆轮游丝部件中的重要零件。如图 1—1 所示，摆轴尺寸很小，而两端直径更细，只有 0.085mm 。从其工作情况看，为保证摆动灵活而又正确，两端轴颈应有较高的精度要求，故规定公差为 $5\mu\text{m}$ 。

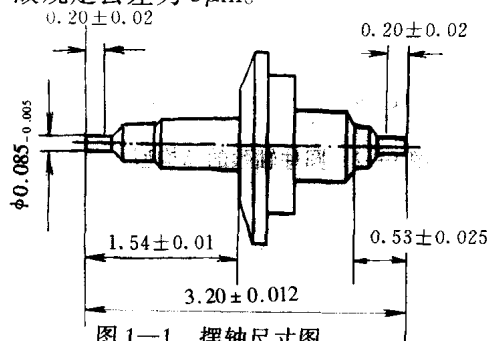


图 1—1 摆轴尺寸图

2. 圆柱轴颈

圆柱轴颈也是仪器仪表中常用的细轴件。图 1—2 为宝石支承中圆柱轴颈的几种结构型式。表 1—1 为这类轴颈的尺寸系列。由表可见，圆柱轴颈的直径都不大，多数都小于 1mm 。当轴颈直径小到 0.15 至 0.5mm 时，常直接用合金钢丝截成一定长度而压合在一转动件上（图 1—2f）。如图中所示，各轴颈的形状和结构，与受力情况等有关。为了减小根部应力集中，提高负荷能力，轴颈根部采用圆弧过渡（图 a）。当轴颈长度较大时，为提高抗振性能，非工作部分可采

用抛物线形结构（图 c）。

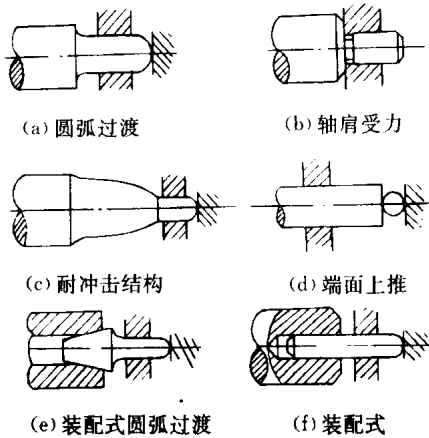


图 1—2 圆柱轴颈的结构型式

表 1—1 圆柱轴颈的尺寸系列 (mm)

直径	球面半径	允许工作长度	直径	球面半径	允许工作长度
0.10	0.05	0.30	0.70	0.35	1.80
0.12	0.06	0.35	0.80	0.40	1.90
0.16	0.08	0.45	0.90	0.45	2.00
0.20	0.10	0.50	1.00	0.50	2.10
0.25	0.13	0.75	1.10	0.55	2.20
0.32	0.16	0.95	1.20	0.60	2.40
0.36	0.18	1.05	1.40	0.70	2.80
0.40	0.20	1.20	1.60	0.80	3.00
0.45	0.23	1.45	1.80	0.90	3.20
0.50	0.25	1.50	2.00	1.00	3.50
0.55	0.28	1.60	2.50	1.25	4.00
0.60	0.30	1.70			

为了减少摩擦力矩，保证旋转灵活，对轴颈的尺寸等几何参数应有一定的精度要求。

根据日本资料统计，钟表中配合用的与非配合用的轴、孔公差等级，如图 1—3 所示。

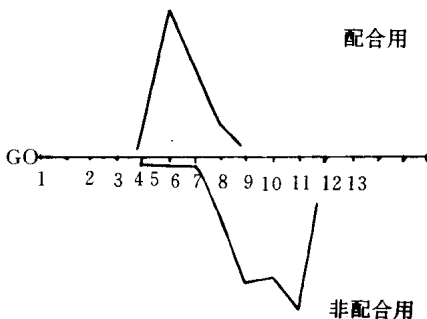


图 1—3 钟表中轴、孔公差等级

(二) 细 丝

细丝类零件主要有细小的金属导线（细铝丝、细铜丝、钨丝、钼丝等），钟表游丝，以及纺织纤维，光导纤维等。其中光导纤维是透明的细丝，其它多为非透明的细丝。

1. 导 线

用作导线的细丝有细铜丝、细铝丝等。根据其线外有无绝缘层，导线又可分为裸电线、漆包线等。导线的直径及其偏差对其工作性能有影响。表 1—2 和表 1—3 为圆铝线和圆铜线的各种规格，其直径范围为 0.02~6mm，直径公差在 0.002~0.05mm 之间。漆包线也有各种规格，其直径为 0.03~2.47mm，直径公差在 0.002~0.030mm 之间，漆层厚度（单侧）为 0.001~0.035mm。

表 1-2 圆铝线规格范围 (mm)

单线直径	允许偏差	单线直径	允许偏差
0.06~0.100	±0.003	1.01~2.50	±0.02
0.110~0.250	±0.005	2.51~3.50	±0.03
0.260~0.700	±0.010	3.51~4.50	±0.04
0.710~1.000	±0.015	4.51~6.00	±0.05

注：圆铝线具体规格，参阅 JB 648—77 中的规定。

表 1-3 圆铜线规格范围 (mm)

单线直径	允许偏差	单线直径	允许偏差
0.020~0.025	±0.002	1.01~2.50	±0.02
0.030~0.100	±0.003	2.51~3.50	±0.03
0.110~0.250	±0.005	3.51~4.50	±0.04
0.260~0.700	±0.010	4.51~6.00	±0.05
0.710~1.000	±0.015		

注：圆铜线具体规格，参阅 JB 647—77 中的规定。

2. 电极丝

用作电极丝的细丝有钨丝、钼丝等，尤以钨丝为常用。纯钨丝用作电光源和电子管的电极、引出线及加热元件。合金钨丝掺杂有其它金属或非金属元素，它可用作灯丝、发射阴极、热电偶等，也可用作发射管弹簧或航空仪表零件等。卤钨灯可用作高光效的光源。超细钨丝（直径小于 $10\mu\text{m}$ ）用作电子手表微型灯丝、数码管灯丝等。

钨丝的直径偏差以及钨丝全长内的尺寸变动量会引起光电参数的变动，使寿命降低。据原苏联资料，钨丝直径减少 1%，电功率就降低 1.8%，光通量降低 2.8%，光效率降低 1%，为此应对尺寸提出精度要求。

同一线轴的首尾尺寸变动量不得超过允许变动量的二分之一，即

$$|Q_1 - Q_2| \leq \frac{1}{2} \Delta Q \quad (1-1)$$

式中： Q_1 ——丝轴标签上的第一个称量数字；

Q_2 ——丝轴标签上第二个称量数字；

ΔQ ——部标规定的重量公差范围。

Q_1 、 Q_2 和 ΔQ 的单位均为 mg/200mm。

超细钨丝的直径公差如表 1—4 所列

表 1—4 超细钨丝极限偏差

直径 (μm)	极限偏差 (相对直径的百分比 $\times 100$)
>2.5~3	± 9
>3 到 4	± 7
>4 到 5	± 6
>5	± 4

3. 纤维

纤维的种类很多，通常分为天然纤维和化学纤维两大类。天然纤维包括石棉等矿物纤维，棉花、麻类等植物纤维和蚕丝，羊毛等动物纤维。化学纤维包括玻璃纤维等无机纤维、粘胶、醋酸等人造纤维和聚酯、聚酰胺等合成纤维。由于纤维的品种不同，因而在性能和用途方面也不尽相同。

纤维的主要技术指标之一是细度。细度是指纤维或纱、线的粗细程度。若用一定重量的长度表示，称为定重制。数值越大，则越细。若用一定长度的重量表示，则称为定长制，数值越大，则越粗。纤维的细度介于 2~150 μm 之间。

较细的有蚕丝、石棉和化学纤维；较粗的有木棉、兽毛等。
常用的纺织纤维的细度为 $20 \sim 30 \mu\text{m}$

(三) 细孔

拉丝模与喷丝头是典型的细孔零件。

1. 拉丝模

拉丝模是指拉丝时所使用的模具（简称拉模）。拉丝模的材质、形状及尺寸的正确选择决定着丝材的质量、成品率、生产率和成品的高低；特别是决定着模具的使用寿命。

由于拉伸工序是控制丝材最终质量指标的关键过程，因此拉模应具有较高的强度、硬度和特别高的耐磨性。常用的拉丝模材料主要有硬质合金和金刚石两种。

典型的拉模形状如图 1—4 所示。它主要由入口圆锥区、入口润滑锥变形区和其它部分等所组成。这种形状能使金属沿模孔长度方向的变形均匀，保证产品质量，延长拉模本身的使用寿命。常用的拉模入口圆锥尺寸见表 1—5。

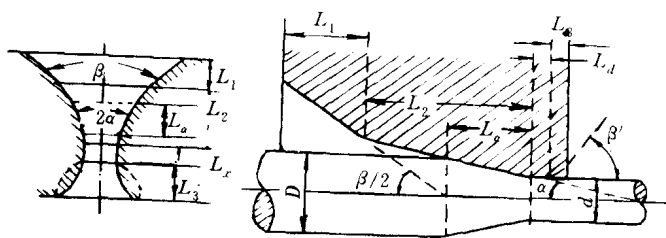


图 1—4 拉模的结构