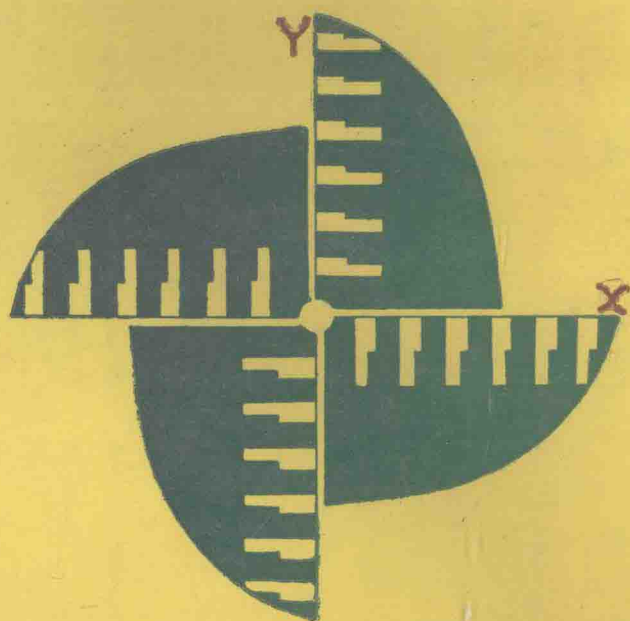


长度计量检测技术

主编 顾坤明



机械工业部第十七计量测试中心站

长度计量检测技术

顾坤明 周富臣 编著
林 敏 张秋阳

机械工业部第十七计量测试中心站

长度计量检测技术

机械工业部第十七计量中心站组编

河南省荥阳市教育印刷厂印刷

开本 787×1092毫米 1/32 印张15.75 字数40万

1996年6月第1次印刷

工本费 35.00元

内 容 提 要

本书介绍了机械制造精密测量技术。主要内容包括:长度计量检测基础、误差理论、轴孔类零件测量、样板及型面尺寸测量、角度及锥度测量、螺纹测量、形位误差测量、表面粗糙度测量、齿轮及齿轮刀具测量等。书中还在附表中列出长度计量检测常用公式。

本书由机械工业部第十七计量测试中心站组织编写。可作为机械加工检验、计量人员的技术培训教材,也可供工科院校机械类专业和企业工程技术人员学习参考。

编写说明

为适应“科技兴企”的需要,促进计量科技进步,满足企业广大计量检测人员提高专业理论水平和实际操作技能的要求,我们组织编写了这本书。

本书力求科学性、先进性和实用性为一体,既反映了目前国内长度计量技术的现状和发展趋势,又结合企业实际,凝聚了编者多年学术研究和技术改造的成果和经验,是一本检阅和总结一拖公司四十年来长度计量技术发展的有较高的实用价值的文献。对规范公司长度计量检测技术,提高计量检测水平将具有积极的作用。

本书由顾坤明主编和主审,周富臣编写第一章、第二章、第四章、第五章、第六章、第七章和附录,林敏编写第三章,张秋阳编写第八章,顾坤明编写第九章。

本书编写过程中,得到了一拖公司技术标准化办公室邵国顺高级工程师宝贵支持,得到了计量处诸多同志积极配合,谨此表示感谢。

限于经验和水平,本书不可避免存在不少缺点和错误,恳请广大读者批评指正。

编 者

一九九六年三月

目 录

第一章 长度计量概述	(1)
第一节 长度的单位与基准.....	(2)
第二节 长度计量器具与测量方法的分类.....	(4)
第三节 长度计量常用术语.....	(6)
第四节 计量器具的选择.....	(11)
第二章 误差理论及其应用	(18)
第一节 误差的定义来源和种类.....	(18)
第二节 精密度 正确度 精确度.....	(21)
第三节 随机误差的特性.....	(22)
第四节 正态分布.....	(24)
第五节 算术平均值原理.....	(28)
第六节 标准偏差的计算.....	(29)
第七节 粗大误差的发现及剔除.....	(35)
第八节 系统误差的发现及消除.....	(38)
第九节 误差分析.....	(40)
第十节 有效数字的确定及运算法则.....	(43)
第三章 轴孔类零件的检测	(48)
第一节 光滑极限量规.....	(48)
第二节 轴类零件的测量.....	(58)
第三节 用通用量仪测量孔径.....	(68)
第四节 用孔径仪测量孔径.....	(75)
第五节 大直径孔轴测量.....	(82)
第六节 微小直径的测量.....	(98)
第七节 轴孔加工自动检测.....	(103)
第四章 样板和型面的测量	(115)
第一节 样板尺寸的几种简易测法.....	(115)
第二节 样板空间交点尺寸的测量.....	(116)

第三节	样板圆弧半径的测量·····	(119)
第四节	大尺寸样板的测量·····	(137)
第五节	几种型面尺寸的平台测量·····	(138)
第五章	角度和锥体的测量·····	(156)
第一节	角度的测量·····	(156)
第二节	锥体的测量·····	(175)
第三节	锥体大小端直径的测量·····	(193)
第四节	正弦尺测量的误差分析·····	(212)
第六章	螺纹测量·····	(219)
第一节	普通螺纹的基本牙型及几何要素·····	(219)
第二节	普通螺纹公差·····	(222)
第三节	螺纹的综合检测·····	(224)
第四节	螺纹的单一中径的测量·····	(228)
第五节	螺距和牙型角的测量·····	(255)
第六节	内螺纹中径的测量·····	(260)
第七节	奇数槽丝锥中径的测量·····	(271)
第八节	锥螺纹测量·····	(277)
第九节	大尺寸锥度螺纹量规的测量·····	(281)
第七章	形状和位置误差的测量·····	(290)
第一节	概述·····	(290)
第二节	直线度评定·····	(296)
第三节	平面度及其检测·····	(308)
第四节	其它形状误差的检测·····	(331)
第五节	位置误差的检测·····	(337)
第八章	表面粗糙度测量·····	(368)
第一节	基本概念·····	(368)
第二节	触针法测量·····	(373)
第三节	光切法测量·····	(389)
第四节	显微干涉测量法·····	(393)
第五节	其它测量方法·····	(397)

第九章 齿轮和齿轮刀具的测量	(401)
第一节 GB 10095—88《渐开线圆柱齿轮精度》简介 ...	
.....	(401)
第二节 基节偏差的测量.....	(404)
第三节 齿距累积误差的测量.....	(406)
第四节 渐开线齿形的测量.....	(410)
第五节 齿厚的测量.....	(417)
第六节 齿向误差与螺旋角测量.....	(425)
第七节 公法线平均长度及公法线变动量的测量	
.....	(427)
第八节 齿圈径向跳动的测量.....	(430)
第九节 综合测量.....	(430)
第十节 蜗轮蜗杆的测量.....	(436)
第十一节 齿轮刀具测量.....	(446)
附 录 长度计量常用数学公式	(467)
第一节 初等代数.....	(467)
第二节 平面几何.....	(472)
第三节 平面三角.....	(476)
第四节 平面解析几何.....	(485)
第五节 导数和微分.....	(494)

第一章 长度计量概述

计量是科学研究的技术基础。门捷列夫说过,“没有计量,就没有科学。”什么是计量,计量就是从数量上和质量上正确反映周围物质世界的真实情况,揭示自然界物质的运动规律以达到认识世界改造世界的一门科学。它是研究计量制度和计量单位、名称、定义以及建立基准、标准进行量值传递的一门科学。

计量工作深深扎根于国民经济的各个领域,是一项重要的技术基础。现代生产和科学技术发展、不断地给计量工作以新的技术装备,它在某种意义上也标志着一个国家的现代化水平和科学技术发展程度。

目前计量科学已发展成包括长度、温度、力学、电磁、无线电、光学、声学、放射性、化学和时间频率等十大类计量。

长度计量是计是科学技术的重要组成部分,是计量科学技术发展最早应用、最普遍的一个专业,是企业生产和管理活动的一个组成部分。搞好长度计量对保证产品质量,提高经济效益具有重要作用。

长度计量的内容包括长度、角度、表面粗糙度、几何形状误差和相互位置误差等。

长度计量的实质就是将被测长度与作为基准的长度单位相比较而得出其比值的认识过程,即

$$L=KU$$

式中 L —被测长度;

U —长度单位;

K —比值。

例如在检定量块时,就是将量块与某一已知光波波长进行比较。检定三针时,就是将三针与作为基准的量块或量具上的刻测量工件时,又经常将它与量仪或量具上刻线尺进行比较。

显然,任何测量过程,都是两个同质的量的比较。这一认识过

程的正确与否作为基准的长度单位量,所采用的比较方法(即测量方法),所采用的测量器具(量仪和量具),周围环境条件(温度、湿度、灰尘、振动、电压波动等)和测量人员素质(技术水平、精神状态、劳动态度)以及被测对象等有关。

上述因素既受历史条件和生产与科研技术发展条件的制约,又随着人类生产实践和科学研究的不断发展而日趋完善。

第一节 长度的单位与基准

目前世界上通用的长度单位有公制(即米制)和英制两种。公制长度单位是十进制的,使用方便,已为世界上绝大多数国家采用。

我国国务院于一九五九年六月二十五日颁布了《统一计量制度的命令》,确定公制为我国基本计量制度。一九八五年九月六日正式颁布计量法并于八六年七月一日正式施行。计量法规定国家采用国际单位制,国际单位制计量单位和国家选定的其它计量单位为我国法定计量单位。

国际单位制是米制基础上发展起来的单位制。其国际简称SI。它包括SI单位、SI词头和SI单位的十进倍数与分数单位三部分。SI单位包括SI基本单位,SI辅助单位和SI导出单位。SI基本单位有七个,它们是:长度——米(m),质量——千克(公斤)(kg),时间——秒(s),电流——安[培](A),热力学温度——开[尔文](K),物质的量——摩[尔](mol),发光强度——坎[德拉](cd)。

国际单位制和我国法定计量单位都规定长度的基本单位为“米”,在机械制造中常用毫米作单位,在长度计量中的误差常用微米作单位。

长度计量单位的名称及代号见表1—1。

长度基本单位“米”的量值由“米”的定义来确定。自从“米”出现以来,随着科学技术的进步它的定义进行了一次又一次的变更。

“米”定义最早起源于法国。第一个“米”定义是由法国科学院向法国国民议会推荐并采纳的。当时的“米”定义为:“米等于地球

子午线四分之一弧长的一千万分之一。”后来又定义国际米原器上两条规定刻线间的距离为一米。

表 1—1 长度计量单位名称及代号

单 位 名 称	代 号	对主单位的比
微 米	μm	10^{-6}
毫 米	mm	10^{-3}
厘 米	cm	10^{-2}
分 米	dm	10^{-1}
米	m	10^1
十 米	dam	10^2
百 米	hm	10^3
公 里(千米)	km	

国际米原器是用铂铱合金制成,截面呈 X 型,具有高的恒定性和刚性。尺身两端各刻有三条细线(图 1—1),在 0°C 时中间两条刻线间的距离为一米。

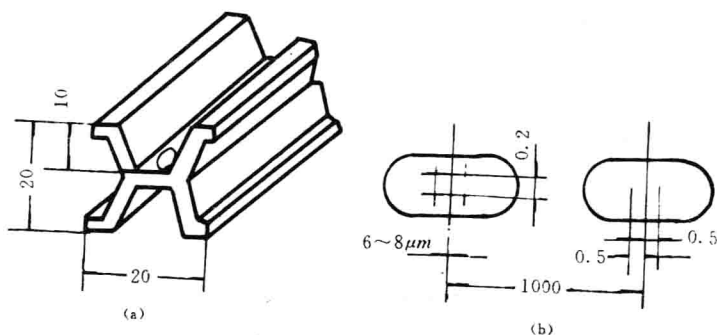


图 1—1

后来采用光波代替米原器,克服了米原器受温度影响大,精度低,又难于复制的缺点。测量精度可达 $0.001\mu\text{m}$ 。

一九八三年第十七届国际计量大会通过的米定义为：“米是光在真空中在 $1/299792458$ 秒时间间隔内所经过的距离。”

第二节 长度计量器具与测量方法的分类

一、计量器具的分类

按用途特点计量器具可分为

1. 标准量具

如量块、直角尺、圆柱角尺、粗糙度样块等均属此类。这种量具只有一个固定尺寸,通常用来校对和调整其它计量器具或作为标准用来与被测工件进行比较测量。

2. 通用量具(万能量具)和量仪

游标卡尺、千分尺、推式水平仪、平板等属于通用量具。

百分表、千分表、光学量仪等属于通用量仪。量具量仪的区别在于前者没有传动放大机构。

3. 极限量具 如卡板、光滑极限量规、螺纹量规等为极限量具。这种量具没有刻度,不能得出被测工件的具体尺寸,只能确定被测工件合格与不合格。

4. 专用量仪

1) 端度量仪 主要用来测量(检定)量块、校对量杆等端面长度、测量球体和圆柱直径、板形工件的厚度、平行度等。这类仪器包括各类测微计、立(卧)式光学计、测长仪、测长机、接触式干涉仪等。

2) 线纹量仪 主要用来测量刻线之间的距离,如阿贝线纹比较仪。

3) 角度量仪 主要用来测量角度和对圆周进行分度。这类仪器有测角仪、分度头、分度台及小角度仪器等。

4) 平直量仪 主要用于测量平板的平面度和导轨的直线度等。这类仪器有各类平面干涉仪、平直仪、自准直仪等。

5) 齿轮仪器 主要用来测量齿轮及齿轮刀具的各参数。这类仪器有双面啮合检查仪、单面啮合检查仪、周节仪、基节仪、渐开线

检查仪、滚刀检查仪等。

6) 表面粗糙度量仪 专门用来检查 R_a 、 R_z 、 R_y 、 S 、 S_m 、和 t_p 等粗糙度参数。这类仪器有双管显微镜、干涉显微镜和电动轮廓仪等。

按结构特点计量器具可分为：

1. 游标量具 如游标卡尺、游标量角器等。
2. 螺旋副量具(测微量具) 如各种千分尺。
3. 机械量仪 如百分表、测微计等。
4. 光学量仪 如光学计、工具显微镜、光学分度头、测长仪等。
5. 气动量仪 如浮标气动量仪、薄膜式气动量仪等。
6. 电动量仪 如电感测微仪等。

还有近年来发展起来的采用光栅、激光为标准的新技术。将光、机、电结合起来并配备微机，以实现测量的数字化与自动化。如 828NES 万能测量机、带微机的刀能工具显微镜、激光比长仪、三坐标测量机等。

二、测量方法的分类

按获得测量结果的不同方式可为：

1. 直接测量和间接测量

从测量器具的读数装置上直接得到被测量的数值叫直接测量。如用千分尺测得的尺寸为直接测量。通过测量与被测量有一定函数关系的量，根据一定的函数关系求得被测量的测量叫间接测量。如在万能工具显微镜上通过测出弓高和弓高所对应的弦长来计算圆弧半径的测量为间接测量。

2. 绝对测量和相对测量

量具量仪示值直接反映被测量量值的测量叫绝对测量。用卡尺测轴径，既是直接测量又是绝对测量。将被测量与一个标准量值进行比较得到被测量的差值的测量叫相对测量。在立式光学计或接触式干涉仪上检定量块的测量就是相对测量。

3. 接触测量和非接触测量

量具量仪的测头与被测件表面直接接触并有机机械作用的测力存在的测量为接触测量。反之为非接触测量。气动量仪的测量和干涉显微镜的测量为非接触测量。

4. 单项测量和综合测量

个别地彼此没有联系地测量被测件的单项参数叫单项测量。如分别测量螺纹的单一中径、螺距、螺纹半角等为对螺纹的单项测量。同时测量工件上的几个有关参数,从而综合判断被测量工件合格与否的测量叫综合测量。如用螺纹量规对螺纹制件的测量,齿轮双面啮合对齿轮的测量均为综合测量。

5. 被动测量和主动测量

工件加工一道工序或全部工序后的测量叫被动测量,仅用于发现排出废品。工件在加工过程中进行测量为主动测量,测量结果直接用来控制工件的加工过程,及时防止和消灭废品。如有些磨床上就装有主动测量装置。

6. 静态测量和动态测量

测量时,被测的量不随时间变化的测量叫静态测量。反之,在测量过程中被测的量随时间变化的测量称为动态测量。

第三节 长度计量常用术语

1. 分度值(刻度值) 相邻两刻线所代表的量值之差叫分度值。如百分度值为 0.01mm ,立式光学计的分度值为 0.001mm 。

2. 刻度间距(刻线间距) 测量器具标尺或圆分度盘上相邻两刻线中心或中心线之间的距离或圆弧长度叫刻度间距。如游标卡尺主尺的刻度间距为 1mm 。

3. 示值范围(指示范围) 量具或量仪显示或指示的起始值到终止值的范围,即直接读数的范围。千分尺的示值范围为 25mm ,立式光学计的示值范围为 $\pm 0.1\text{mm}$,杠杆千分尺的示值范围为 $\pm 0.02\text{mm}$ 。

4. 测量范围 在允许的误差限内,计量器具能测量的被测量值的范围。立式光学计的测量范围为 $0\sim 180\text{mm}$, $25\sim 50\text{mm}$ 的杠

杆千分尺的测量范围为 25~50mm。

5. 传动放大比(灵敏度、传动比) 仪器(仪表)的指针(或指标)沿直线或弧线的位移,与引起此位移的被测量之比叫传动放大比。

6. 灵敏限 引起量仪示值可察觉变化的被测量的最小变动量叫灵敏限。

7. 示值误差 器具的指示值与被测量的真值之间的差值叫示值误差。

8. 示值稳定性(示值变化 重复性) 在相同的条件下对同一被测的量值进行多次重复测量时其指示值的变化范围。

9. 修正值 它是为消除系统误差加到器具示值上的一个值,用以修正示值误差。它的绝对值与示值误差相等但符号相反。

10. 回程误差 对同一被测量的测量中,测杆正反行程时引起的示值变化。

11. 测量力 测量过程中,器具测量头作用在被测工件接触处的力。测力以 N(牛)计。

12. 测量误差 由器具示值误差、测量方法、外界条件及操作人员的素质所组成的综合误差叫测量误差。一般说来,它的主要内容示为示值误差。

13. 不确定度 由于测量误差的存在而对被测量值不能肯定的程度。或者说它是表征测量结果分散特性的误差限。

14. 计量器具的不确定度 用以表征由于计量器具内在误差的存在测量结果分散程度的一个误差限。

15. 测量不确定度 用以表征测量过程中各项误差综合影响测量结果分散程度的一个误差限。或者说它是各项误差综合影响测量结果对其真值可能偏离的一个区间。也就是说测量不确定度不仅包括器具的不确定度也包括环境条件及操作人员等因素引起的不确定度。

16. 阿贝原则 阿贝原则是设计计量器具应遵守的四个原则之一。被测件和基准件必须以一个是另一个的延续方式安装在测

量设备上。或者说被测件应在基准线的延长线上。外径千分尺是符合阿贝原则的,它在测量轴径时,测量线(轴径)和作为基准件的千分螺丝是在一条直线上的。立式和卧式测长仪也是符合阿贝原则的。而游标卡尺,测长机是不符合阿贝原则的。如图 1—2 示。

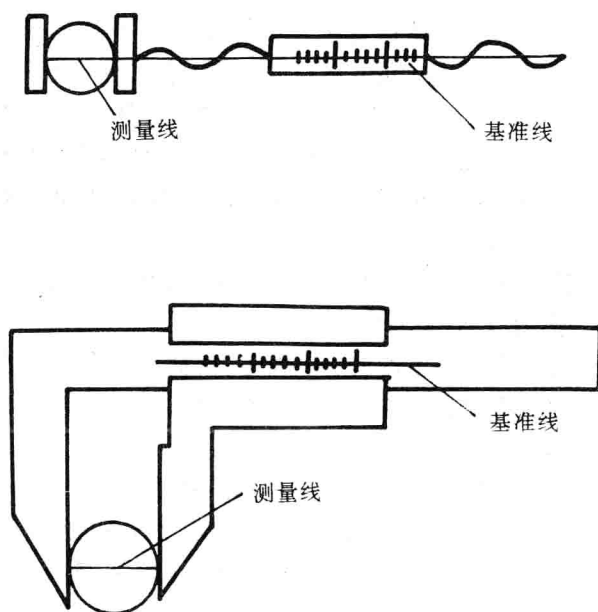
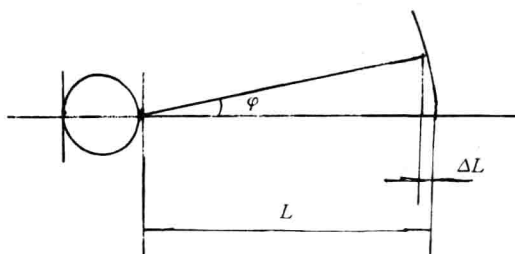


图 1—2

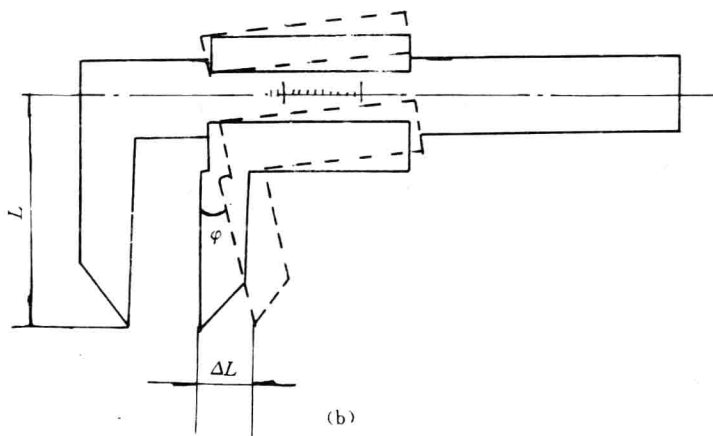
当符合阿贝原则时,若基准线与测量轴线有倾斜,会产生二次方误差,如图 1—3a 示。当不符合阿贝原则时,若基准轴线与测量轴线有倾斜,会产生一次方程误差,如图 1—3b 示。

$$\Delta L = L - L \cos \varphi = L(1 - \cos \varphi) \left[1 - \left(1 - \frac{\varphi^2}{2} + \dots \right) \right] \approx \frac{L}{2} \varphi^2$$

$$\Delta L = L \tan \varphi \approx L \cdot \varphi$$



(a)



(b)

图 1—3

17. 温度误差 由于标准件与被测件线胀系数不等,对标准温度 20°C 的偏差不同而引起的误差叫温度误差。温度误差按下式计算。

$$\Delta L = L_1 \alpha_1 (t_1 - 20^{\circ}) - L_2 \alpha_2 (t_2 - 20^{\circ})$$