

机械加工 量具量仪基础



北京科学技术出版社

内 容 提 要

本书共分十六章，主要介绍常用量具量仪的类型、结构、功能、规格、精度、维护保养和选用方法。同时，附有必要的图形、数据、计算公式和实例。

第一章着重阐明量具量仪的分类、常用术语、测量误差和基本概念；第二章至第十四章系统地介绍各类量具量仪的结构和用途；第十五章专门为操作者提示量具量仪的选用与维护规则；第十六章举例说明若干测量与计算方法。

本书可作为系统地培训机械加工技术工人的专业教材，也可作为技工的自学用书。

机械加工量具量仪基础

陈敦然 编

*

北京科学技术出版社出版

(北京西直门外南路19号)

北京市新华书店发行 各地新华书店经售

北京通县马驹桥印刷厂印刷

787×1092毫米 32开本 12印张 266,000字

1986年2月第一版 1986年2月第一次印刷

印数 1—2,500册

统一书号15274.021 定价2.20元

前 言

量具量仪是机械工人进行生产劳动必不可少的器具。编写此书是为了使工人能正确掌握量具量仪的使用方法，发挥量具量仪的作用，尽可能减少测量误差，从而提高产品质量，取得更好的经济效益。

编者在工厂从事技术工作期间，曾有许多工人建议为他们编写一本较为实用的量具量仪读物，便于在生产过程中使用查考。当时，虽收集了一些资料，但由于缺乏时间整理，未能如愿。去年，因企业培训技工需找一本适用的教材，因而就下决心自己动手编写，用后效果不错。因此，编者进一步作了补充和加工，以饯读者。

量具量仪的种类繁多，不可能全部收入本书，现仅选择机械加工中常用的一些量具量仪作为重点介绍。内容尽可能密切联系生产实际，并同时能满足生产工人和计量工人的学习需要。

本书较详尽地阐述了有关量具量仪的结构、原理、功能、特点、规格、精度、维护保养和选用方法，兼附必要的图形、数据、计算公式和实例。

本书可用作培训技术工人的专业教材，也可作为技工自学用书或工作手册；此外，对工程技术人员和工具管理人员也有参考价值。

由于本书专业性较强，涉及面较广，时间又很仓促，编者水平不高，错误缺点在所难免，恳请读者批评指正。

编 者

目 录

第一章 量具的基本概念	1
第一节 长度单位的由来	2
第二节 量值的传递	4
第三节 计量单位	7
第四节 量具与量仪的分类	13
第五节 常用术语	15
第六节 测量方法	17
第七节 测量误差	21
第二章 游标读数量具	34
第一节 游标量具的结构、测量范围与精度	35
一、游标卡尺	35
二、深度游标卡尺	38
三、高度游标卡尺	39
四、角度游标卡尺	40
五、齿厚游标卡尺	43
第二节 游标量具读数的原理与方法	44
一、游标卡尺的刻度	45
二、游标刻度的计算	47
三、角度尺的游标刻度	48
第三节 游标量具的使用与维护	48
第三章 螺旋副量具	53
第一节 螺旋副量具的结构与用途	53
一、外径百分尺	53
二、内径百分尺	59
三、深度百分尺	62
四、螺纹百分尺	63
五、公法线千分尺	65
六、指示千分尺	67
七、其它类型百分尺	68
第二节 螺旋副量具的刻线原理与精度	72
一、螺旋副量具的刻线原理	72

二、螺旋测量具的精度	74
第三节 螺旋测量具的使用与维护	76
第四章 指示式量具	78
第一节 百分表	78
一、百分表的结构与刻线原理	79
二、百分表的技术数据	84
三、百分表的使用与维护	84
第二节 杠杆表	86
一、杠杆表的结构原理	86
二、杠杆表的技术数据	89
第三节 内径百分表	89
一、内径百分表的结构原理	90
二、内径百分表的技术数据	91
第四节 测微仪	92
一、杠杆齿轮式测微仪	92
二、扭簧比较仪	96
第五章 界限量规	98
第一节 光面塞规、卡规与环规	99
一、光面塞规	99
二、卡规	103
三、光面环规	105
第二节 圆锥量规	105
一、着色圆锥量规	106
二、非着色圆锥量规	109
第三节 螺纹塞规与螺纹环规	110
一、螺纹的基本知识	110
二、螺纹塞规	115
三、螺纹环规	118
第四节 直线尺寸量规	124
一、整体式直线尺寸量规	124
二、台阶式直线尺寸量规	129
三、带表式直线尺寸量规	130
第五节 量规的技术要求与正确使用	180
第六章 特形量规	132
第一节 型面样板的分类	132
一、板状样板	132
二、立体样板	134

三、间隙式样板	134
四、迭合式样板	135
第二节 样板的典型结构与精度	137
一、样板的典型结构	137
二、样板的公差	139
第三节 通用样板介绍	144
一、中心规	144
二、螺纹样板	144
三、半径样板	144
第七章 平直量具	147
第一节 平尺	147
一、样板平尺	147
二、宽工作面平尺	151
三、角度平尺	154
第二节 平板、方箱、V形铁与圆柱角尺	155
一、平板	155
二、方箱与弯板	161
三、V形铁	162
四、圆柱角尺	163
五、垫铁	163
第三节 水平仪	164
一、普通水平仪	164
二、光学合象水平仪	167
三、电子水平仪	169
第四节 直角尺	171
第五节 平晶	173
一、平面平晶	175
二、平行平晶	177
第六节 方角尺	179
第七节 其它平直量具	180
一、平面度检查仪	181
二、光学倾斜仪	182
第八章 基准量具	185
第一节 线纹尺	185
第二节 量块	187
一、量块的用途	187
二、量块的形状、结构和特性	188
三、量块的选料	189

四、量块的技术要求	192
五、量块的等与级	194
六、量块的选用	195
七、使用量块的注意事项	196
八、量块附件	197
第九章 测角量具	199
第一节 多面棱体	199
第二节 角度量块	200
第三节 正弦规	205
第四节 分度台与分度头	213
一、光学分度台	213
二、机械式分度台	215
三、光学分度头	215
第十章 表面光洁度及其测定仪器	220
第一节 表面光洁度的基本概念	220
第二节 表面光洁度的评定	221
第三节 表面光洁度的分级	225
第四节 测定光洁度的量仪种类与使用方法	226
一、光洁度样板	227
二、光切显微镜	228
三、干涉显微镜	231
四、电动轮廓仪	237
五、印模测量	242
第十一章 显微镜式光学计量仪器	245
第一节 测长仪	246
一、立式测长仪	246
二、卧式测长仪	249
第二节 读数显微镜	252
第三节 万能工具显微镜	254
一、结构原理	254
二、万能工具显微镜的目镜组	258
三、万能工具显微镜的技术数据	260
四、万能工具显微镜的基本测量方法	263
第十二章 气动量仪	266
第一节 浮标式气动量仪	269
第二节 低压水柱式气动量仪	280
第三节 差压式气动量仪	282

第十三章 齿轮检查仪	287
第一节 齿轮的基本概念	288
一、齿形曲线	288
二、齿轮的基本要素	289
三、齿轮的精度	291
四、齿轮检测项目与所用仪器	292
第二节 单面啮合检查仪	295
第三节 双面啮合检查仪	303
第四节 渐开线检查仪	307
第五节 其它类型齿轮检查仪	310
一、周节误差检查仪	310
二、基节仪	312
三、切线测齿仪	313
四、万能测齿仪	314
第十四章 其它量具与量仪	317
第一节 检验棒	317
一、莫氏锥度检验棒	317
二、圆柱体检验棒	317
三、7:24锥度检验棒	319
第二节 内外卡钳与钢直尺	320
第三节 塞尺	324
第四节 量针	326
第五节 光学计	336
第六节 投影仪	341
第十五章 量具量仪的选用与维护	345
第一节 量具量仪的选用	345
第二节 量具量仪的维护	353
第十六章 若干测量与计算方法实例	361
第一节 简单几何尺寸的测量与计算	361
第二节 V形槽、燕尾槽尺寸的测量与计算	365
第三节 圆弧面的测量与计算	369
第四节 斜孔和交叉孔的测量与计算	374

第一章 量具的基本概念

机械零件都有一定的形状与尺寸，在加工过程中必须加以测量，^①以确定其是否符合图纸要求。用什么量具来测量零件的形状与尺寸呢？这就是本书要介绍的内容。

在机械制造工厂中，主要的技术测量工作是长度与角度测量。测量的目的是为了使零件具有互换性或达到规定的精度和配合要求。所以技术测量的基本要求是：保证零件的精度，防止废品出厂。

长度计量是指被测零件的轮廓尺寸同一标准量相比较的过程，以确定它是在所预定的公差范围内，还是超过了公差。

长度计量的内容包括长度、角度、几何形状、表面相互位置及表面光洁度等的计量。

除长度计量外，为满足经济建设的要求，尚有热学计量（温度、热量等）；力学计量（质量、容量、密度、压力、真空、测力、硬度、转速、流量、粘度、振动等）；电磁计量（电流、电阻、电容、电动势、电感、磁场强度、磁通、磁矩等）；无线电计量（高频电压、高频电流、高频功率、高频电感、高频电容、阻抗、介质损耗、衰减、相位、失真、脉冲、频谱、干扰、噪声等）；时间频率计量（时间、频率）；放射性计量（镭当量、放射性强度、放射性剂量、中子通量等）；光学计量（光强度、光通量、亮度、照度、色度、感光度等）；声学计量（声压、声功率、声强度等）；物理化

学计量（酸碱度、纯度、气体成分等）等。

上述几种计量技术，相互之间有密切的关系，当其一种计量技术需要提高精度时，有赖于其它类计量技术作为基础。

第一节 长度单位的由来

随着科学技术的发展，对机械零件的互换性要求越来越高，统一长度单位成为各国工业发展的当务之急。最早建立公制长度实物基准的是法国。1790年法国科学院制定了以通过巴黎子午线的四千万分之一作为基本长度单位，叫做一米，即“米”制。1875年有17个国家在巴黎签署了“米制公约”，成立了国际计量委员会，并设立了“国际计量局”。由于国际贸易发展的需要，各个国家要求建立世界统一的长度标准。1889年召开第一次国际计量大会，决定用瑞士 SIP 厂制造的31支横截面为 X 型的米尺作为实物基准，叫做“米原器”。这种“米原器”是由90%铂和10%铱的合金制成，最标准的一支保存于巴黎，其余30支副尺发给与会各国。

由国际原器确定的“米”定义：长度单位是米，规定为国际计量局保存的铂铱尺上所刻两条线在 0°C 时这两条刻线间的距离。

1896年瑞典发明了量块，并于1906年开始大量生产，作为传递量值的工具。由于“米原器”在测量精度和稳定性方面都不能满足要求，各国科学家就着手研究用自然基准来代替实物基准。1927年第七次国际计量会议，决定用镭红光在一定条件下（温度 15°C 、压力为760毫米汞柱、含0.3%二氧化碳的干燥空气中）的波长 $\lambda_R = 0.64384696$ 微米作为“米”的基准，即

$$1\text{米} = 1553164.13\lambda_{\text{R}}$$

其后，发现了氪-86 同位素所产生谱线的性能比镉红光好，1960 年第十一次国际计量会议决定改用氪-86 原子光波波长作为长度基准，以取代“米原器”。“米”的定义改为：“氪-86原子在真空中 $2p_{10}$ 和 $5d_5$ 能级之间跃迁所产生的辐射谱线，它的 1650763.73 个波长的长度为一米”。这种自然基准的准确度可达 $\pm 1 \times 10^{-8} \sim 5 \times 10^{-9}$ 。1982年6月国际计量局召开了第七次“米”定义咨询委员会，提出了新的“米”定义：“米是光在真空中在 $1/299792458$ 秒的时间间隔内所行进的路程的长度”。这个定义的依据是认为真空光速为常值，即真空光速值等于 299792458 米/秒。

国际上还打算建立时间、频率和长度的统一基准。这是因为时间的单位是用铯原子钟的频率来定义“秒”，而“米”是光在真空中一定时间间隔内所行进的路程的长度。已知光

速(c) = 波长(λ) $\times$ 频率(f)，故 $\lambda = \frac{c}{f}$ 。 c 值是物理常量，长度即可用时间和光速来表示，但目前尚存在技术上的困难。

“米原器”的缺点颇多：1. 精度低，只有 0.1 微米；2. 尺身不稳定，不能避免变形；3. 一旦毁坏，不易复制；4. 它与米原器的标准器核对时，运输过程比较麻烦。

用氪-86原子在真空中辐射的光波波长作为长度基准，显示了比“米原器”有更多的优越性：1. 精度较高，可达 0.001 微米；2. 性能稳定，无变形问题，不怕毁坏；3. 氪-86原子各国都有，不需长途运输，可在本国计量局装置设备，核对标准器，减少了传递层次。

六十年代初出现了“激光”。激光是受激辐射光的简称，它与普通的自发辐射光不一样。现在，人们正在研究用激光

代替氪-86 原子光波 作基准。这是因为激光具有许多其它光源无法比拟的性能，其优点为：

1. 方向性好 方向性是指光束发散角的大小。气体激光的发散角可以小到 10^{-3} 弧度，只有几秒，几乎是一束平行光束，其能量密度特别大，能传播很远。

2. 单色性好（谱线纯） 单色性是指波长范围很小的一段辐射，通常用谱线宽度或其一半宽度来衡量。激光的谱线宽度仅 3×10^{-17} 。光的单色性越好，则用干涉法可测的最大长度就越长。

3. 相干性强 包括时间相干 和空间相干。时间 相干用相干长度来衡量；空间相干用相干面积来衡量。由于激光的谱线宽度很窄，理论相干长度可达几百公里，在几百米中可获得干涉条纹。

利用激光的这些特点，用作长度基准是很有前途的。用甲烷稳定的氦氖激光谱线的重复精度可达 10^{-14} 以上。

目前，激光在精密测试方面已应用于一些仪器。例如，用于检定高精度线纹尺的激光干涉测长仪；用于检定平晶的激光平面干涉仪；用于检查丝杠螺距误差的激光丝杠检查仪等等。

第二节 量值的传递

量值传递是指把国家的长度基准，利用标准仪器和各级标准器逐级传递到工作量具和零件的过程。长度标准器有下列几种：

1. 光波波长标准 氪-86光波波长是长度基准波长，通常它不直接用于检定实物，而是通过波长标准器来传递量值。

波长标准器是由各种标准灯组成,如氪灯、氦灯、镭-114灯、汞-198灯和氦氛气体激光管等。这种灯管发出的光波波长,可以用来检定量块、线纹尺和平晶等实物标准器。

2. 端度标准 常用的端度实物标准是量块。检定量块的标准仪器为:量块激光干涉仪、绝对光波干涉仪,可用于检定1等量块;立式接触式干涉仪,常用于检定2、3、4等量块;立式光学计、测长机,一般用于检定4、5等量块。

3. 线纹标准 目前采用的线纹标准有1000毫米的H型金属线纹米尺和200毫米以下标准玻璃线纹尺。检定线纹尺的标准仪器为:激光比长仪(精度 ± 0.2 微米),用于检定1000毫米以下的线纹尺;光电比长仪(精度 ± 1 微米)和阿贝比较仪(精度 ± 1.5 微米),用于检定200毫米以下的线纹尺。

4. 角度标准 角度实物标准通常采用正多面棱体,精度为 ± 0.5 秒。检定角度标准的仪器为:多面棱体检定装置、精密测角仪、光栅数字式分度头。

5. 平度标准 平度实物标准器为石英玻璃平晶。平度要求一般在1/10干涉条纹左右。检定平晶的标准仪器为:激光平面干涉仪和等倾干涉仪。

6. 表面光洁度标准 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,二者均由1~14级的标准样板组成。

我国在六十年代已建立了氪-86的长度基准,用其光波波长通过量块和线纹尺进行长度量值的传递。量值的传递,由国家计量局、省市计量局、工厂计量室逐级传递到工作计量具。长度量值传递如图1-1所示。

从图1-1可知,国家基准是由国家计量局统一掌握的,

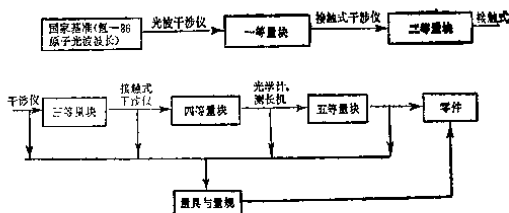


图 1-1 量值传递系统

利用氪-86 原子光波波长，通过光波干涉仪检定一等量块，省计量局以一等量块为基准，为所属地区、厂矿核定基准，通过接触式干涉仪等量仪检定二等量块，工厂以二、三等量块为基准，通过测长机、接触式干涉仪、光学计等检定四、五等量块，再用四、五等量块去检定工作量具和量规。这种量值的传递，保证了全国范围内长度量值的一致性。不管是国内哪一家工厂生产的零件，同一尺寸，其大小都应在规定的公差范围内。

长度量值的传递，是通过低级精度量具与高级精度量具相比较来实现的。这种比较的过程，通常叫做检定。

“测量”与“检定”在意义上有一定的区别。当被测量的对象是量具时，叫做“检定”；当被测量的对象是零件时，叫做“测量”。量具的检定，国家业已规定了检定规程，用以正确评价被检量具的技术特性。

为了保证量值的统一，消除使用过程中因磨损所产生的误差，各厂都规定了量具定期检定的制度。例如，根据量具的使用情况，可分别规定每隔一个季度、半年或一年作为检

定周期，以核对其示值误差的大小。超期未经检定的量具要停止使用；超差的量具，待修复以后再用。

第三节 计量单位

计量单位是计量工作中的原始标准，各国都作了具体规定。例如，我国习惯沿用的长度单位为：丈、尺、寸、分、厘，叫做“市制”。英国及英联邦国家采用的长度单位为：码、英尺、英寸、英分，叫做“英制”。大多数国家使用“米制”，以米为基本单位，因此“米制”后来被国际上公认，定为国际标准。

1. 米制长度计量单位的名称及其代号

1959年，国务院颁布了以“米制”为我国的基本计量制度，并把单位名称、代号作了统一规定，如表1-1所示。

表 1-1 米制长度计量单位的名称、代号

单 位 名 称	代 号	对基本单位(米)的比例
米	m	1
千 米	km	1000
百 米	hm	100
十 米	dam	10
分 米	dm	1/10
厘 米	cm	1/100
毫 米	mm	1/1000
丝 米	dmm	1/10000
忽 米	cmm	1/100000
微 米	μ	1/1000000
埃	Å	10^{-10}

注：本表采用统一公制计量单位。按国际单位制，有的应作修改，如 μ 作 μm ，dmm、cmm已不用。

虽然米制以“米”为基本单位，但用基本单位作基准进行计量时，往往有很多不便，如计量一般机械零件时，嫌米太大，而计量路程远近时，又嫌米太小，故按需要分别用“米”、“千米”、“毫米”、“微米”为单位。这样使用起来方便，适应了近代科学技术发展的要求。例如，在长度计量中或设计工作中使用最多的是毫米（mm）、忽米（cmm）和微米（ μ ）。人们习惯地把忽米叫“道”，把微米叫做“密歇”。

角度的单位是度。若将整个圆周分为360等分，则每一等分弧所对的圆心角叫做一度。用度作单位来测量角的制度叫做角度制。

圆周一周所对之圆心角 = 360° (度)； $1^\circ = 60'$ (分)； $1' = 60''$ (秒)。

度为什么不用十进位而用60进位呢？这是由于小数的课题与整数不同。小数是从等分产生的，它要求有这样的性质，就是使 $\frac{1}{2}$ 、 $\frac{1}{3}$ 、 $\frac{1}{4}$ 、 $\frac{1}{5}$ 、 $\frac{1}{6}$ 都能成为它的整倍数。以 $\frac{1}{60}$ 作为

单位，正好具有此种性质。例如 $\frac{1}{2} = \frac{30}{60}$ ，就是30个 $\frac{1}{60}$ ；

$\frac{1}{3} = \frac{20}{60}$ ，即20个 $\frac{1}{60}$ ； $\frac{1}{4} = \frac{15}{60}$ ，即15个 $\frac{1}{60}$ ； $\frac{1}{5} = \frac{12}{60}$ ，即12

个 $\frac{1}{60}$ 等。因此，它比起十进位制来，有其方便之处。

用弧度做单位来量角的制度叫做弧度制。弧度是一圆内两条半径之间的平面角，与半径等长的弧所对的圆心角 ϕ 叫做1弧度。

圆周所对的圆心角 = 2π 弧度 = 6.2832弧度。

$$\phi = \frac{S}{R}$$

式中 ϕ ——弧度； S ——弧长； R ——圆的半径。

2. 单位的换算

(1) 米制、英制和市制长度单位的换算

在生产中，我们常会遇到以英制为单位的零件，例如管子直径多采用英寸为单位。为方便起见，可以把它换算成米制。

$$1\text{英寸} = 0.0254\text{米} = 25.4\text{毫米}$$

$$\text{反之} \quad 1\text{米} = 39.3701\text{英寸}$$

〔例1〕 若某钢管直径为 $1\frac{9}{16}$ 英寸，换算成米制为：

$$\frac{25}{16} \times 25.4 = 39.7\text{毫米}$$

$$\text{或} \quad 25.4 + \frac{9}{16} \times 25.4 = 39.7\text{毫米}$$

〔例2〕 若某钢管直径为12毫米，换算成英制为：

$$12 \div 25.4 = 0.472\text{英寸}$$

$$\text{或} \quad 12 \times 0.03937 = 0.472\text{英寸}$$

英制非十进制，其进制规定见表1-2。

在机械工程中，也经常用英寸的分数，如其 $\frac{1}{16}$ 叫做半

英分， $\frac{1}{8}$ 叫做1英分。密耳(mil)习惯叫英丝。表1-3为英寸的分数、小数、习惯称呼与毫米对照表。

我国的市制长度计量单位是〔市〕里、丈、尺、寸、〔市〕分。