



教育部高职高专规划教材

计量仪器与检测

上册

◎ 何 频 郭连湘 主编



化学工业出版社
教材出版中心

教育部高职高专规划教材

计量仪器与检测

上册

何 频 郭连湘 主编



化学工业出版社
教材出版中心

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

计量仪器与检测. 上册/何频, 郭连湘主编. —北京:
化学工业出版社, 2005. 12

教育部高职高专规划教材

ISBN 7-5025-8065-4

I. 计… II. ①何…②郭… III. 计量仪器-检测-高等
学校: 技术学院-教材 IV. TH710.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 152843 号

教育部高职高专规划教材

计量仪器与检测

上册

何频 郭连湘 主编

责任编辑: 高钰 韩庆利

责任校对: 陈静

封面设计: 潘峰

*

化学工业出版社
教材出版中心 出版发行

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

购书咨询: (010)64982530

(010)64918013

购书传真: (010)64982630

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

化学工业出版社印刷厂印装

开本 787mm×1092mm 1/16 印张 10½ 字数 253 千字

2006 年 1 月第 1 版 2006 年 1 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-8065-4

定价: 18.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

出版说明

高职高专教材建设工作是整个高职高专教学工作中的重要组成部分。改革开放以来,在各级教育行政部门、有关学校和出版社的共同努力下,各地先后出版了一些高职高专教育教材。但从整体上看,具有高职高专教育特色的教材极其匮乏,不少院校尚在借用本科或中专教材,教材建设落后于高职高专教育的发展需要。为此,1999年教育部组织制定了《高职高专教育专门课课程基本要求》(以下简称《基本要求》)和《高职高专教育专业人才培养目标及规格》(以下简称《培养规格》),通过推荐、招标及遴选,组织了一批学术水平高、教学经验丰富、实践能力强的教师,成立了“教育部高职高专规划教材”编写队伍,并在有关出版社的积极配合下,推出一批“教育部高职高专规划教材”。

“教育部高职高专规划教材”计划出版500种,用5年左右时间完成。这500种教材中,专门课(专业基础课、专业理论与专业能力课)教材将占很高的比例。专门课教材建设在很大程度上影响着高职高专教学质量。专门课教材是按照《培养规格》的要求,在对有关专业的人才培养模式和教学内容体系改革进行充分调查研究和论证的基础上,充分汲取高职、高专和成人高等学校在探索培养技术应用型专门人才方面取得的成功经验和教学成果编写而成的。这套教材充分体现了高等职业教育的应用特色和能力本位,调整了新世纪人才必须具备的文化基础和技术基础,突出了人才的创新素质和创新能力的培养。在有关课程开发委员会组织下,专门课教材建设得到了举办高职高专教育的广大院校的积极支持。我们计划先用2~3年的时间,在继承原有高职高专和成人高等学校教材建设成果的基础上,充分汲取近几年来各类学校在探索培养技术应用型专门人才方面取得的成功经验,解决新形势下高职高专教育教材的有无问题;然后再用2~3年的时间,在《新世纪高职高专教育人才培养模式和教学内容体系改革与建设项目计划》立项研究的基础上,通过研究、改革和建设,推出一大批教育部高职高专规划教材,从而形成优化配套的高职高专教育教材体系。

本套教材适用于各级各类举办高职高专教育的院校使用。希望各用书学校积极选用这批经过系统论证、严格审查、正式出版的规划教材,并组织本校教师以对事业的责任感对教材教学开展研究工作,不断推动规划教材建设工作的发展与提高。

教育部高等教育司

2001年4月3日

前 言

产品质量决定着当今市场竞争的成败和企业的兴衰。产品质量的管理离不开计量检测技术,特别是在生产第一线,急需一批既具有一定理论知识又具有实际检测能力的计量检测人员。在各种物理量的测量中,尤其是在机械制造、仪器仪表等产业部门,几何量计量检测占有十分重要的位置。

计量仪器与检测是“计量测试”、“检测技术”、“质量管理”等专业的一门主干专业课。目前,可供选择的该类专业课教材甚少,尤其是适合高职高专教学的类似教材更为缺乏。为适应新形势下国家对高职高专人才培养目标,培养和造就适应生产、建设、管理、服务一线需要的高等技术应用型人才,本教材的编写力求做到突出高职特色,本着强调基础、注重能力、突出应用、力求创新的总体思路,优化整合相关课程内容,突出了生产、科研中常用几何量计量仪器和检测技术的论述;加强了实际应用及工程实例的介绍,做到理论联系实际,学以致用;同时增加了新技术、新方法在计量仪器与检测中的应用知识。

全书分上、下两册,上册自第一章至第十一章,主要介绍常用几何量计量仪器的结构特征、工作原理、技术指标、调整使用与维护保养及典型仪器的精度分析等内容;下册自第十二章至第二十章,就如何运用计量仪器,对几何量各基本测量项目和重要参数的测量方法以及测量误差和数据处理进行了较详细的论述。

本书由何频、郭连湘主编,季国定研究员主审。其中上册:绪论、第一章、第二章、第三章、第五章由何频编写;第四章、第六章、第七章由郭连湘编写;第八章由张贵洲编写;第九章、第十章由黄经元编写;第十一章由刘兆平编写。下册:第十二章、第十三章、第二十章由何频编写;第十四章、第十七章、第十八章由郭连湘编写;第十五章、第十六章由李党索编写;第十九章由邹九贵编写。在编写过程中,得到了张学能高级工程师及陈闽鄂、张惠蓉等老师的大力支持,在此一并表示感谢!

由于本教材涉及的内容和范围比较广泛,加上编者的水平有限,编写时间仓促,书中不妥之处在所难免,恳请读者批评指正。

编 者

2005 年 11 月

目 录

绪论	1
思考题与习题	5
第一章 计量仪器的基本知识	6
第一节 量仪的定义及其测量对象	6
第二节 量仪的主要技术指标	6
第三节 量仪的分类	7
第四节 光学量仪的基本组成部分及其常用光学元件	10
思考题与习题	17
第二章 自准直仪	18
第一节 自准直测量原理	18
第二节 自准直仪的三种基本光学系统	19
第三节 HYQ-03 型自准直仪	20
第四节 光电自准直仪与激光准直仪	25
思考题与习题	26
第三章 光学计	27
第一节 概述	27
第二节 光学计管的工作原理	27
第三节 光学计的光学系统	28
第四节 立式光学计的结构	30
第五节 仪器的使用	31
第六节 影屏式和数显式立式光学计简介	32
思考题与习题	34
第四章 测长仪	35
第一节 概述	35
第二节 仪器工作原理	35
第三节 仪器的主要结构及附件	36
第四节 典型测量方法举例	41
第五节 立式测长仪简介	43
思考题与习题	44
第五章 工具显微镜	45
第一节 概述	45
第二节 仪器的光学系统和测量原理	46
第三节 仪器的结构	47

第四节	仪器的主要附件	49
第五节	仪器的操作与使用	53
第六节	仪器的主要技术参数	58
第七节	19J 型万能工具显微镜	60
第八节	数字式万能工具显微镜	62
	思考题与习题	64
第六章	投影仪	65
第一节	概述	65
第二节	投影仪的光学原理	65
第三节	JTT560 型立式投影仪	66
第四节	台式投影仪	72
第五节	T600B ₁ 型卧式投影仪简介	76
	思考题与习题	77
第七章	光学分度头	78
第一节	概述	78
第二节	光学分度头的结构	78
第三节	光学分度头的使用	82
	思考题与习题	85
第八章	光切显微镜与干涉显微镜	86
第一节	概述	86
第二节	光切显微镜的原理	86
第三节	光切显微镜的光学系统	88
第四节	光切显微镜的结构与使用	89
第五节	光波的干涉现象与干涉显微镜的光学系统	93
第六节	干涉显微镜的结构与使用	95
	思考题与习题	98
第九章	接触式干涉仪	99
第一节	仪器工作原理	99
第二节	仪器结构	100
第三节	仪器的使用调整与操作	103
第四节	激光比长仪简介	105
	思考题与习题	106
第十章	光学量仪的维护、检定和精度分析	107
第一节	光学量仪维护的基本知识	107
第二节	光学量仪的检定	109
第三节	光学量仪的精度分析	113
	思考题与习题	117
第十一章	电动量仪	118

第一节 概述.....	118
第二节 电感式测微仪.....	120
第三节 电动轮廓仪.....	131
第四节 圆度仪简介.....	145
第五节 三坐标测量机简介.....	149
思考题与习题.....	157
主要参考文献	158

绪 论

学习目标

通过绪论学习，熟悉有关计量仪器的基本要求；初步了解计量仪器的发展史及几何量计量仪器的发展与近况；提高对计量仪器与检测技术在工业化生产和科学技术等领域的重要作用的认识；明确本课程的学习任务。

一、计量仪器概述

一般说来，所有的仪器都是用来扩展人类感官领域，对客观现象进行探测、度量、计算、记录直至控制生产过程的工具。而计量仪器则主要是将被测的物理量转换成人们可以直接进行观测的指示值或等效信息的一种装置。对计量仪器的首要要求是灵敏度和准确度，即要求计量仪器比人类感官具有更高的分辨能力和准确性，能够观察或记录人们所不易直接感受的变化和效应。其次要求计量仪器使用方便，具有一定适应性等。由于科学技术的发展，计量仪器的原理、结构及显示方法逐步更新并日臻完善，计量仪器已由指针式向数字显示、自动打印或记录等方向发展，随着激光、光栅、磁栅和感应同步器等新技术的应用，一些分辨力高，测量范围大的计量仪器相继出现，它可以把测量信息送入计算机自动处理，测量结果以数字或图像形式显示。从被动测量到主动控制或自动调整生产过程。计量仪器的结构也逐渐向标准化、规格化和系列化过渡，从而达到降低生产成本、提高加工精度、便于大规模专业化生产的目的。

到目前为止，各种计量仪器所涉及的测量领域基本如下：测量物体长度、角度及表面几何形状的几何量计量；测量硬度、质量、压力、流量、真空度和重力加速度的力学计量；测量温度、湿度的热工计量；测量电动势、电流、电压、电阻和磁场强度的电磁计量；此外，还有光学参数计量、声学计量、化学计量、时间频率计量、电子计量和放射性计量等。

二、计量仪器的发展史

远古古代，我国就出现了许多计量仪器。例如，计算仪器有算盘、计吴鼓车；指示方向的仪器有指南针；力学仪器有地动仪等。最近发现的我国古代卡尺（见图 0-1），从测量原理到结构已经很接近现代卡尺。它是西汉王莽始建国元年制成的，所以当时称为“莽尺”，比国外出现卡尺的时间早 1800 多年。但由于几千年的封建统治，使社会生产力始终停留在较低的水平上，我们祖先的一些发明创造没有得到进一步的发展。

在国外，计量仪器的发展始于欧洲封建统治开始解体的中世纪。当时以伽利略为代

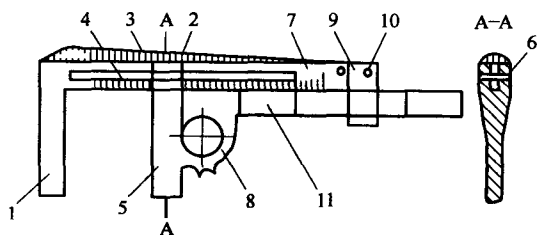


图 0-1 我国古代卡尺

- 1—固定量爪；2—鱼状装饰件；3—鳞纹；4—导槽；
5—活动量爪；6—导销；7—固定尺；8—环；
9—套；10—铆钉；11—活动尺

表的科学家们开始采用观察和实验技术研究自然现象,这就必然要求有足够精确的使用性能较好的仪器为之服务。

一般说来,公元1600年前后的计量仪器首先是从长度和计时仪器开始发展的。这是由于许多物理量可以通过观测其几何量的变化而定标。例如温度的测量,可在规定温度变化范围内,通过测量某种已知膨胀系数的材料的长度变化来实现;压力的测量也可以通过测量水银柱的高低而求得;甚至像磁场强度一类的参数,也可在有电流通过时测量悬浮在磁场中的位移而测出。所以,几何量计量仪器在所有计量仪器中一直占有基础地位和统治地位,也是它最先发展起来的原因之一。

1950年之前,由于我国不断遭到帝国主义的掠夺和反动统治阶级的压迫,根本谈不上有计量仪器制造业,充其量只有一些生产规模很小,设备和技术都非常落后的厂家,且多数集中在沿海几个城市之中,产品也只限于一些最简单的量具,如刻线尺、卡尺等。

新中国成立后,我国的仪器制造业才有了飞速的发展,建设了一批大规模的、技术比较先进的工厂。如哈尔滨量具刀具厂、成都量具刀具厂、上海光学仪器厂等,为我国的仪器制造业打下了良好的基础。此外,还扩建和改建了一批原有的小厂。同时也开始了仪器设计的技术培训和科研工作,成立了中国计量科学研究院,并先后在一些高等院校中开设了仪器方面的专业。在1970年前后,我国又建设了不少的量仪生产厂,如北京量具刀具厂、中原量仪厂、新天光学仪器厂等。同时各省市都建立了计量测试研究机构,计量工作人员的素质不断提高,队伍逐步扩大。计量教育事业也有明显的发展,1978年成立了中国计量学院。当然也应当看到,目前我国的仪器设计和制造水平与世界相比,还有不少的差距。今后必须进一步努力,加快步伐,赶上或超过世界水平。

三、几何量计量仪器的发展及近况

随着机械加工精度的不断提高,几何量计量仪器也得到了相应发展。从18世纪后期到19世纪中叶,加工精度从1mm提高到0.1mm,那时的测量问题用钢板尺和游标量具即可解决。

20世纪初,加工精度已提高到0.01mm,原有的刻线式量具已不能满足要求,主要原因是进一步细分基准量的加工技术和提高分辨能力问题得不到解决。这时,开始有人运用机械放大的办法——把基准量用机械原理放大后再进行细分,设计制造出百分表及千分尺等计量器具。百分表是用齿轮传动对基准量进行放大,千分尺是通过螺旋传动,将直线位移变成圆周角位移进行放大。

从20世纪开始,机械加工技术发展很快,加工精度的提高也很快。20世纪30年代达到0.001mm;20世纪50年代达到0.0001mm;20世纪60年代达到0.00001mm,即0.01 μ m。甚至出现了这种情况,即机械加工很精细,但缺少有效的测量方法和手段,致使产品质量得不到显著提高。因此,对高准确度测量仪器的要求日益迫切,仪器的设计和制造任务日益繁重,计量仪器在技术发展中的重要地位日益突出和被更多的人所理解。由此可见,最初作为科学仪器问世的几何量计量仪器,随着机械制造业的形成和发展,逐渐成为机械制造业中工艺装备的重要组成部分。

为解决高精度零件的测量问题,单靠机械“放大”或“细分”已不能满足要求。主要原因是这种方法对高倍数的放大和细分将使测端造成的接触变形明显增大。拿齿轮传动的百分表来说,其传动系统所做的功是靠测端与工件的接触压力产生的,在测端与指针之间无法找到一个有效的办法输入能量,以减小测端的压力。要提高百分表的放大比(传动比),要么

增加传动链, 要么增大结构尺寸, 结果都会导致传动能量消耗的增加, 测端受到的接触压力就会更大, 致使接触变形达到不能允许的程度。同时, 百分表的传动误差也将随着传动链的增加而增加。由于上述原因, 百分表不能通过提高放大的途径提高测量准确度。所以一般机械式量仪的准确度只能达到 0.01mm 以内, 只有极少数可以达微米级, 如扭簧比较仪、杠杆齿轮测微仪。

光学原理放大基本上克服了机械原理放大的一些缺点。人们利用光线的直线性、无重量、便于放大以及放大过程中不需要输入能量的特点, 先后设计制造出光学计、工具显微镜、投影仪等。接着又应用光的干涉原理设计制造出接触式干涉仪和非接触式干涉仪, 逐步形成了量仪的一个重要分支——光学量仪。光学量仪在 20 世纪中期后占领了几何量计量技术的历史舞台。一般光学量仪的准确度可达 $0.2\mu\text{m}$, 单色光干涉量仪的准确度可达 $0.01\mu\text{m}$ 。

后来由于无线电技术的发展, 给电动量仪的出现和发展奠定了理论和技术基础。在光学量仪之后, 各式各样的电子测微仪相继问世, 这些仪器充分发挥了电学参数便于传递、运算和转换的优势。确切地说, 电动量仪是在 20 世纪 30 年代以后发展起来的。在这一时期出现并得到发展的还有气动量仪。

电动量仪和气动量仪的出现, 使加工过程中的主要检验和测量自动化成为现实。

不难看出, 近代量仪的特点是机、电、光一体化。因为任何计量仪器都离不开精密传动部件、定位部件与支撑部件。光学部件和电子部件多数要依附在机械部件上, 以实现定位和调整。光学部件在非接触测量中应用较多, 它和光电转换元件相配合, 可以使量仪的准确度或分辨能力成倍增长, 并且由于电信号便于输入计算机或计算装置, 从而大大提高了仪器的效率和功能。

科学技术的发展必然会向几何量计量仪器提出新的更高的要求。特别是近期发展起来的航天技术、微电子技术等领域中的精密加工技术, 正在向纳米 (nm , 即 10^{-9}m) 进军, 预计在不久的将来, 测量技术肯定会有新的突破。

几何量计量仪器除向高准确度、高分辨率发展以外, 同时还力争解决大范围长距离的精密测量问题。这种大范围的测量装置除光栅外, 还有感应同步器以及利用激光干涉原理设计制造的仪器。

由于微电子技术的发展, 目前许多新型仪器中都配有复杂的计算装置或微处理机。这不仅进一步推动和完善了测量过程的自动化, 而且将人们从紧张、重复、大量的计算工作中解放出来, 从而使仪器具有人类的某种逻辑思维判断能力, 称为仪器的“智能化”。

仪器的“智能化”应该包括以下四方面的能力指标。

- ① 记忆能力。指仪器应具备存储信息的功能, 可以代替人的记忆。
- ② 判断能力。根据存储信息, 对被测零件合格与否发出信号或进行分组的能力。
- ③ 控制能力。在加工过程中实现对被加工零件的监视检查, 并将检查结果转换成加工的控制信号, 以控制加工过程。从而大大提高生产率, 降低成本, 缓解工人的劳动紧张情绪和操作失误。

④ 优选能力。除对生产过程进行控制外, 还可对测量方法进行优选, 多见于由大型计算机控制的连续生产过程中。这种情况下的“仪器”和“测量”的原始概念和传统形象已不再保留, 实际上已由具体的仪器测量发展为整个加工系统的信息处理和控制在。

计量仪器发展的另一个新趋势是将测量结果图像化。

此外, 光导纤维及新材料的应用也是值得注目的新动向。

四、几何量计量检测技术的作用

几何量计量检测是一项历史悠久、基础性强、应用面广的计量检测类别。几何形状是客观世界中最广泛的物质形态, 而绝大部分物理量都是以几何量的信息形式来进行定量描述的。因此, 几何量计量检测技术与国民经济的各部门, 科学技术的各个领域都有着十分密切的联系。随着科技的进步、生产力的发展, 几何量计量检测技术的作用及其重要性也日趋明显。

众所周知, 科学技术是人类生存和发展的一个重要基础。没有科学技术就不可能有人类的今天, 而许多科学研究与实验, 又往往是通过观测几何量的变化来获得实验结果的。例如, 哥白尼关于天体运动的学说, 只是在伽利略发明了望远镜, 进行了实际观测之后才得以确立。科学技术的进步, 也使得几何量计量检测技术得到了进一步的发展。为了测量地球运动的相对速度, 迈克尔逊等人利用物理学的成就, 研制出了迈克尔逊干涉仪, 从而为几何量计量检测技术提供了一个重要的计量检测方法。1892年迈克尔逊用镉光(单色红光)作为干涉仪的光源, 测量了保存于巴黎的铂铱合金标准米尺的长度, 获得了相当精确的结果(等于1553163.5个红光波长), 直到百年后的今天, 利用各种干涉仪精密测量长度, 仍是几何量计量检测技术的一个重要方法。

在工业生产中, 机械产品的质量, 与零件的加工精度和装配精度有关, 而精度的保证只有通过几何量计量检测才能得以实现。特别是现在, 社会化的大生产, 各种零部件在异地加工, 然后再到一起进行装配, 因此所有的零件都要具有高度的互换性及功能的一致性。例如, 一辆载重汽车有9000多个零件, 由上百家工厂生产, 如果没有统一的几何量计量检测技术作保证, 要想顺利装配成功, 那简直是无法想象的。在新兴的高科技产品计算机的生产研制中, 大量的使用大规模集成电路和超大规模集成电路。这些集成电路的生产精度已达到纳米级, 这就需要相应精度的计量仪器进行检测。

五、本课程的任务

《计量仪器与检测》分为上、下册。

上册的主要任务是讲授常用几何量计量仪器的结构特征、工作原理及使用与维护, 并对部分重点计量仪器进行误差分析及检定知识的讲解, 使学生在实践中正确掌握计量仪器的调整与使用, 同时也为开展精密测量工作提供有关量仪方面的必不可缺的理论知识 and 操作技能, 并为学生今后开展量仪检定与维修打下基础。

通过讲课、实验、观摩和实习, 使学生达到下列要求:

- ① 牢固掌握计量仪器的基础知识;
- ② 熟悉常用光学计量仪器的工作原理、基本结构和主要技术指标;
- ③ 掌握光学计量仪器的正确调整与使用;
- ④ 基本掌握电动计量仪器的工作原理和使用方法。

下册的主要任务是讲授如何正确选择和使用计量仪器对各种几何量参数进行精密测量以及对测量误差、测量数据的分析处理。通过讲课、实验和实训, 使学生达到以下要求:

- ① 掌握法定计量单位在几何量计量中的应用, 了解量值传递系统及检定方法, 以保证量值准确一致;
- ② 熟悉和掌握各种几何量参数的基本测量方法, 在此基础上, 可进而探索新的测量方法和应用新的技术;

③ 分析与计算测量数据，进行测量误差分析，研究减小测量误差的途径，以提高测量精度。

本课程是理论联系实际，实践性很强的一门课程。要学习和掌握计量仪器与几何量计量检测技术，对于初学者来说，首先要从感性入手，在工业企业的计量室或学校精测实验室进行参观学习；在讲授课程时，除了课堂教学还应安排现场教学以及相应的实验和实训。

思考题与习题

- 0-1 对计量仪器的基本要求是什么？
- 0-2 计量仪器的发展趋势有什么特点？何谓仪器的智能化？
- 0-3 计量仪器的发展规律及内在原因是什么？
- 0-4 几何量计量检测技术在现代工业化生产中的作用有哪些？

第一章 计量仪器的基本知识

学习目标

通过本章的学习，明确量仪的定义及其测量对象；熟悉量仪的主要技术指标和分类；了解光学量仪的基本组成和常用光学元件。从而为本课程的学习奠定基础。

第一节 量仪的定义及其测量对象

一、量仪的定义

我国常用计量名词术语中将量具定义为：“以固定形式复现量值的计量器具”；而将计量仪器定义为：“将被测的量转换成可直接观测的指示值或等效信息的计量器具”。因此，量仪和量具又统称为计量器具。

量具可分为单值量具（如砝码、量块、量规、标准电池、固定电容器等）；多值量具（如线纹尺、分度盘等）和成套量具（如砝码组、量块组等）。

一般来说，量具的结构比较简单，没有指示器，没有可以运动的测量元件，没有放大功能，细分程度也很有限，或干脆没有细分。操作简单，测量参数单一。而仪器的结构比较复杂，一般都有传感、转换放大、显示等几个主要环节。仪器所适用的测量对象较多，操作过程比较复杂。

二、量仪的测量对象

量仪的测量对象从广义讲应该包括一切物理量，本书所介绍的几何量计量仪器的测量对象主要包括长度、位移、角度、粗糙度等几何量及其复合量。

第二节 量仪的主要技术指标

仪器的技术指标是仪器工作性能的标志，是使用者选择和应用仪器的依据。计量仪器的主要技术指标如下。

1. 分度间隔

分度间隔是刻尺或度盘上相邻两刻线中心之间的距离。对于刻尺为相邻两刻线中心间的距离；对于度盘为相邻刻线中心间的弧线长度。为使观察读数方便，分度间隔一般应在 $1 \sim 2.5\text{mm}$ 范围内。

2. 分度值

分度值是对应于一个分度间隔的被测量值，它是一台仪器可能读出的最小读数（不包括估读值）。对于指示式仪器，分度值是指刻尺或度盘上相邻两刻线所代表的量值之差。如光学计的分度值为 0.001mm 。对于数字式仪器来说，一般不称为分度值，而将仪器所能测得的被测量的最小增量称为分辨力。

3. 测量范围和示值范围

测量范围是指在允许误差极限内仪器所能测出的被测量值的范围。示值范围是指仪器所显示或指示的最低值到最高值的范围。例如，立式光学计的示值范围为 $\pm 0.1\text{mm}$ ，而测量范围还包括横臂沿立柱的调节范围，应为 $0\sim 180\text{mm}$ 。

4. 示值误差

示值误差是指仪器示值与被测量的真值之差。由于真值一般无法知道，通常是以高一级精度的计量器具测得的量值来近似地代表真值。示值误差的大小可通过对仪器的检定来得到。

5. 示值稳定性

示值稳定性是指在测量条件不变的情况下，对同一量连续多次重复测量时仪器示值的最大变化范围。

6. 回程误差

回程误差是在相同条件下，仪器正反行程在同一点被测量示值之差的绝对值。产生回程误差的主要原因是仪器有关零件之间存在间隙和摩擦。

7. 修正值

为消除系统误差用代数法加到测量结果上的值，称为修正值。修正值的大小等于未修正测量结果的绝对误差，但正负号相反。

8. 灵敏度和放大比

灵敏度是指仪器对被测量变化的反应能力，即被观测到的变量的增量与其相应的被测量的增量之比。

$$S = \frac{\Delta l}{\Delta x}$$

式中 S ——灵敏度；

Δl ——被观测到的变量的增量；

Δx ——被测量的增量。

在分子分母是同一类量的情况下，灵敏度也称放大比或放大倍数。

9. 灵敏阈

引起仪器示值可察觉变化的被测量的最小变化值，称为灵敏阈，也称灵敏限。

10. 测量力

在接触测量过程中发生在仪器测头和被测工件表面间的接触力。测量力过大时，会引起被测件或测头的弹性变形，造成测量误差；但测量力过小，测量时不能可靠接触，会造成示值不稳定。

11. 仪器误差和测量误差

仪器误差是指仪器本身固有的误差，通常是用仪器精度分析的方法求得其理论值，或通过实测检定取得其实值。测量误差是指测量结果和被测量值之间的差异，它包括仪器误差、测量方法误差、外界环境条件偏离标准状态和测量人员主客观因素等原因造成的误差。

第三节 量仪的分类

目前对量仪的分类方法，一是按其对原始信号的转换原理进行分类，二是按量仪的用途

进行分类。

一、按原始信号转换原理分类

不同信号转换原理在测量仪器中的实际运用，促成了仪器的更新换代。所以按原始信号转换原理分类的仪器，其时代感很鲜明，工作原理的概念比较突出。

(一) 机械式量仪

用机械方法实现原始信号转换的量仪称为机械式量仪。包括千分尺、百分表、杠杆比较仪、扭簧比较仪等。按传动原理不同，又把机械式量仪分为以下几种。

1. 纯杠杆传动测微仪

这类量仪的典型代表是刀口式测微计。因其缺点较多，故目前国内外已很少生产。

2. 齿轮传动测微仪

属于这类的有百分表。其示值范围最大为 10mm，分度值为 0.01mm。

3. 杠杆齿轮传动测微仪

这类量仪兼有杠杆和齿轮传动的优点，准确度较高，示值范围一般从 0.1mm 到几毫米之间，分度值为 0.001mm，如杠杆测微表。

4. 弹性元件传动测微仪

这类量仪的典型代表是扭簧比较仪。其特点是示值范围小，回程误差小，准确度高，分度值可达 0.1 μ m。

机械式量仪的优点是结构简单、成本低、使用维护方便、性能稳定。缺点是准确度不高（扭簧比较仪除外），不能实现自动测量。多数机械式测微仪都不能单独使用，常常需要将它们固定到专用的支座上或专用仪器上之后才能用于测量。

(二) 光学式量仪

这类仪器用光学的方法实现对原始信号的转换和放大，根据光学系统的不同，又将光学式量仪分为以下几种。

1. 望远系统的光学式量仪

如平行光管、准直仪和以准直系统为主的光学计等。

2. 显微系统的光学式量仪

属于这类的有工具显微镜、测长机、测长仪、光学分度头等。

3. 投影系统的光学式量仪

所有型号和规格的投影仪都属于这一类。

4. 干涉原理的光学式量仪

这类仪器中有复现长度基准光波的绝对光波干涉仪，还有作为其他用途的干涉仪。如接触式干涉仪、干涉显微镜、干涉小孔测量仪等。由于这类量仪以光波作为测长的基准，所以它们的准确度在光学式量仪中最高。

5. 光栅、激光原理的数显式光学量仪

这类量仪依靠近期发展起来的光栅、激光新技术，与现代的光、机、电综合应用技术相结合，实现了测量的数字化和自动化。如光栅式三坐标测量机、光栅式光学分度头、光电光波比长仪、激光量块干涉仪等。

光学式量仪的优点是准确度高，性能稳定，测量方式灵活，加上仪器的配套附件比较齐全，所以适应的测量对象比较广泛。在整个量仪体系中，光学式量仪一直占有十分重要的地位，缺点是制造成本高，要求环境条件（如湿度、温度、防尘防震）较严，因此在生产车间

里很少采用，多用在计量部门的精密测量和量值传递上。

(三) 电动式量仪

将原始信号的变化转换成电信号的变化量称为电动量仪。按其传感原理的不同又分为以下几种。

1. 电接触式比较仪

这类量仪在电动量仪中出现最早，它是以电触点的接触或离开产生测量信号。测得的是界限尺寸，准确度较低。但其结构简单，使用维护都很方便。所以直到目前，在一些分组分选机中仍有应用。

2. 电感式比较仪

用电感原理作为传感原理的仪器称为电感式比较仪。特点是抗干扰性能强，准确度高，国产数显电感测微仪的分辨率可达 $0.1 \sim 0.01 \mu\text{m}$ 。

3. 电容式比较仪

用电容原理作为传感原理的测微仪称为电容式比较仪。其特点是输入能量低、准确度高、动态响应快、自热效应小，并可实现非接触测量，而它所存在的易受外界干扰等缺点又不断得到克服。可以预言，在未来的测量技术中，电容式量仪的应用必将获得新的进展和突破。

此外，还有用感应同步器、磁栅、压电材料等作为传感器的电动量仪。

电动量仪总的优点是准确度高，放大倍数大，可改变量程，体积小，并能自动进行参数运算，易于实现自动测量、自动记录、自动显示等。

(四) 气动式量仪

气动式量仪是以压缩空气为介质，靠气动系统状态的变化（压力或流量）实现对原始信号的转换。气动式量仪基本上可分为压力式气动量仪和流量式气动量仪两大类。

1. 压力式气动量仪

压力式气动量仪是将几何量的变化转换成流体压力的变化而实现测量的，按工作压力的大小可分为以下两类。

(1) 低压式 指工作压力低于 $3\text{N}/\text{cm}^2$ 。如水柱式气动量仪。由于比较笨重，现已基本淘汰。

(2) 高压式 指工作压力高于 $3\text{N}/\text{cm}^2$ 。如波纹管式气动量仪、膜片式气动量仪、膜盒式气动量仪等。其中以膜片式的应用最多。

2. 流量式气动量仪

将几何量的变化转换成流量的变化而实现测量的目的。如浮标式气动量仪。这类量仪的应用较为普遍。

气动量仪的分度值可达 $0.1 \sim 0.05 \mu\text{m}$ ，传动比可达 $20000 \sim 50000$ 。可以实现多参数测量、非接触测量、远距离测量。易于和电动量仪、电子控制系统组合，实现自动化测量。并具有结构简单，制造容易，使用维护方便，能对某些其他仪器难于测量的部位进行测量（如深孔参数的测量等）。

气动量仪的缺点是示值范围小，示值稳定时间长。另外不同参数和不同测量范围需要不同形式和规格的测量头。故气动量仪最适于大批生产的测量，如汽车、航空、轴承等行业。

另外，还可利用诸如放射线、超声波技术等来实现测量目的。