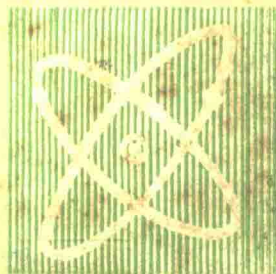
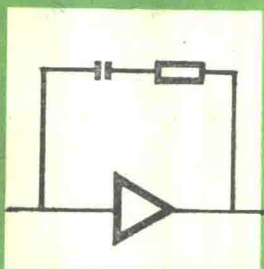
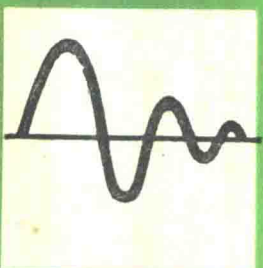
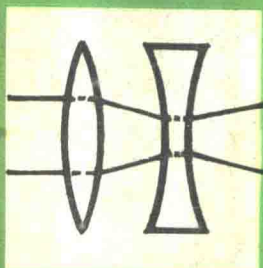


高等学校试用教材



量 仪 设 计

天津大学孙祖宝 主编



机 械 工 业 出 版 社

高等学校试用教材

量 仪 设 计

天津大学孙祖宝 主编



机械工业出版社

量 仪 设 计

天津大学孙祖宝 主编

*

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{16}$ · 印张 $24 \frac{1}{4}$ · 字数 599 千字

1982 年 7 月北京第一版 · 1982 年 7 月北京第一次印刷

印数 0,001—8,000 · 定价 2.50 元

*

统一书号: 15033 · 5123

前 言

本书是根据 1978 年 7 月在天津讨论通过的《量仪设计》教材编写大纲编写的。该大纲由合肥工业大学、成都科技大学、陕西机械学院、哈尔滨工业大学、上海机械学院、河北工学院以及天津大学等七所院校共同拟定，其内容符合 1978 年 4 月在天津召开的一机部对口专业座谈会上所提出的教学计划的要求。

量仪设计课是精密仪器专业的一门专业课。其任务是使学生能够掌握一些有关精密仪器及其部件设计的基础理论知识，使学生有设计或选择精密仪器中常用部件、对仪器总体结构有初步的概括和估算其精度的能力。由于精密仪器包括的内容甚广，就以几何量计量仪器而言，也要包括机械、电子学、光学等学科的知识，而这些内容大都分置于本专业其它课程之内。因而要进行概括和保持本课程的系统性就不可避免地会有某些重复。因此，各校可视专业的具体情况，适当地删减其中部分内容。

全书共分七章。第一章对本书所涉及的一些名词术语进行定义，并介绍了计量仪器（量仪）设计的基本原则与步骤。第二章讲述了在量仪具体设计进行以前所必不可少的一项工作——总体设计（或称总体规划）。我们知道：对计量仪器来说，必须要保证一定的精度，所以在第三章中列入了有关仪器误差分析的实用方法。而大部分量仪均可由基准部件（包括显示系统）、瞄准部件（包括感受转换部件，亦即测微系统）以及机械结构部件等三大部分组成。这些内容分别把它列入在第四、五、六三章中。最后一章，以线纹比较仪为例，阐述了一种仪器设计的具体方法。

本书为仪器系精密仪器专业试用教科书。亦可供仪器系其它专业参考。对于计量仪器，特别是有关的几何量计量仪器的设计单位、研究所和工厂内的工程技术人员来说都有一定的参考价值。

本书各章编者如下：第一、二章哈尔滨工业大学张善钟副教授，第三章天津大学杨玉琛，第四章天津大学张国雄，第五章天津大学陆伯印，第六章上海机械学院黎永明，第七章河北工学院翟绪圣，附录张国雄。全书由天津大学孙祖宝副教授担任主编。

全书由合肥工业大学郭巨峰担任主审，胡生清、聂恒敬担任协审。本书经 1980 年 12 月在合肥召开的量仪设计教材审稿会审阅通过。参加审稿会的除参加编写大纲的七院校代表外，还有上海交通大学、华中工学院和哈尔滨科技大学的代表。在审稿过程中，主审、协审和兄弟院校的代表，都提出了许多宝贵意见和修改建议，对进一步完善书稿帮助甚大。同时，在编写过程中，不少工厂和科研、设计单位及兄弟院校提供了许多丰富的资料，有力地支持了我们的工作。在此，表示深切的谢意。该书由贡克勤同志担任责任编辑。

由于本书涉及的内容和范围较为广泛，编者水平有限，加之编写时间仓促，书中错误与不妥之处，恳请读者随时指正。

编者 1981 年 3 月

目 录

绪论	1	§ 2-4 总体设计中其它问题的考虑	71
一、计量仪器概述	1	第三章 量仪的误差分析	73
二、计量仪器的历史	1	§ 3-1 误差的类型和性质	73
三、我国计量仪器业的发展	2	一、系统误差	73
四、几何量计量仪器目前的概况	2	二、偶然误差	75
五、计量仪器发展展望	3	§ 3-2 原理误差及其减小的方法	84
六、有关本课程的一些说明	4	§ 3-3 误差传递的分析方法	92
第一章 量仪设计的基本知识	5	一、原始误差与作用件	92
§ 1-1 量仪的定义及其测量对象	5	二、微分法	93
§ 1-2 量仪的技术指标	5	三、图解法	98
§ 1-3 量仪的分类及其特点	8	四、作用线与瞬时臂法	100
一、按原始信号转换原理分	8	五、矢量代数法	109
二、按量仪的用途分	11	§ 3-4 仪器误差的综合方法	114
三、按量仪的其它特征分	11	一、仪器的示值误差与示值的稳定性	114
§ 1-4 量仪的基本组成	12	二、仪器总误差的组成	116
一、按量仪中各部件的用途(功能)		三、仪器总误差的综合方法	116
来区分	12	四、仪器误差的合成举例	120
二、按量仪中各环节对仪器精度的影		第四章 基准与读数显示系统	128
响程度来区分	15	§ 4-1 基准部件的功用与类型	128
§ 1-5 量仪设计的基本原则	15	§ 4-2 端面与线纹式基准量部件	132
一、阿贝原则	16	一、端面式基准量部件	132
二、测量链最短原则	17	二、线纹式基准量部件	135
三、变形最小原则	17	§ 4-3 光栅与编码器式基准量部件	138
四、精度匹配原则	18	一、光栅式基准量部件	138
五、基面统一原则	18	二、编码器式基准量部件	142
六、经济原则	19	§ 4-4 感应同步器与磁栅式基准量部件	146
§ 1-6 量仪设计的一般步骤	19	一、感应同步器式基准量部件	146
第二章 量仪的总体设计	22	二、磁栅式基准量部件	152
§ 2-1 设计任务分析	22	§ 4-5 光干涉式基准量部件	156
§ 2-2 系统设计	23	一、基本原理	156
一、信号转换原理的选择	23	二、单色光在干涉测长中的应用	157
二、设计原理讨论	25	三、激光干涉基准量的特点	159
三、设计原则考虑	35	四、激光干涉仪的误差分析与设计要点	160
四、总体原理方案的确定	47	五、激光频率与工作的稳定	162
五、造型设计	51	§ 4-6 基准量的细分方法	164
§ 2-3 主要参数的确定	51	一、基准量的光学机械细分方法	165
一、根据仪器的测量范围来确定主要参数	52	二、基准量的电气细分方法	173
二、根据仪器的精度要求来确定		§ 4-7 计算装置	181
主要参数	54	一、功用与类型	181

二、模拟式计算装置	183	三、滑动摩擦轴系	303
三、以逻辑代数为基础的数字计算电路	185	四、主轴设计	317
四、计数式数字计算电路	187	§ 6-4 其它部件	318
五、通用计算机在量仪中的应用	189	一、水平导轨的卸荷和垂直运动部件 的平衡	318
§ 4-8 显示部件	192	二、限位和保护装置	320
一、指示式显示部件	192	三、夹持器设计	321
二、记录式显示部件	193	第七章 线纹比长仪设计举例	324
三、数字式显示部件	195	§ 7-1 总体方案选择	324
四、打印式显示部件	195	一、被测对象的分析	324
五、其它显示部件	196	二、线纹尺的检定方法	325
第五章 瞄准与测微系统	197	三、GGB 型光电光波比长仪的总体 设计	327
§ 5-1 瞄准部件	197	四、零点漂移误差与干涉仪的布局	329
一、机械测头的设计	198	五、GGB 型光电光波比长仪的基本 组成	332
二、光学瞄准器的设计	202	§ 7-2 光电光波比长仪的机械结构	332
三、光电瞄准器	208	一、对机械结构的主要技术要求	332
四、电学瞄准器	216	二、仪器的机械结构	333
五、瞄准部件的设计原则	217	§ 7-3 主干涉仪的设计	335
§ 5-2 测微装置	218	一、光学系统原理概述	335
一、机械式测微装置	218	二、光学退耦问题	335
二、光学测微装置	221	三、干涉系统设计	336
三、电学测微装置	224	§ 7-4 折射率干涉仪的设计	339
四、气动式测微装置	232	一、空气折射率的测量方法	340
五、机、光、电、气测微装置的综合比较	246	二、折射率干涉仪的设计	343
§ 5-3 接触式测端的设计	247	§ 7-5 光电显微镜	346
一、测端的设计	247	一、方案选择	346
二、测力机构	252	二、电路逻辑原理	348
第六章 机械结构部件	256	§ 7-6 电路逻辑	351
§ 6-1 基座与支架	256	一、细分判向电路	351
一、基座与支架的作用及其特点	256	二、脉冲当量变换电路	353
二、基座与支架的基本要求	257	三、专用计算机数据处理逻辑	355
三、基座与支架的结构设计	264	§ 7-7 仪器的精度分析	357
§ 6-2 导轨与工作台	268	附录 量仪的动态特性	361
一、导轨设计的基本要求	268	一、量仪动态分析的任务	361
二、导向与定位	273	二、量仪动态分析的一般方法	362
三、滑动摩擦导轨	274	三、一阶环节的动态特性	367
四、滚动导轨	277	四、二阶环节的动态特性	369
五、液体静压导轨	282	五、高阶环节的动态特性	375
六、空气静压导轨	286	六、接触部件的动态特性	377
七、工作台及调准机构	289	七、数字式量仪的动态特性	382
§ 6-3 主轴系统	291		
一、主轴系统设计的基本要求	291		
二、滚动摩擦轴系	296		

绪 论

一、计量仪器概述

仪器——自从人类掌握文化以后，单凭人类的感官已不足以了解自然界无数的客观现象。在人类与自然界的长期斗争中，曾经创造过不少仪器。到目前为止，仪器已经是探测、度量、计算、记录以至于控制生产过程中各项参数的不可缺少的工具。近百年来，由于科学技术的发展，对仪器的要求也日益提高，种类也更繁多，估计有万种以上。仪器的发展常常用一个“灵”字来概括。因为仪器既然是弥补人类感官功能的不足，当然作为仪器来说首先需要足够的灵敏度，或者说比人类感官有更强的分辨能力，能够察觉或记录我们所不易直接感受的变化或效应。此外，还要求尺寸要小，功效要大和便于运用等等。目前仪器仪表正在由指示式向数字显示或自动打印、记录等方向发展，从被动的测量到主动的控制或自动调整生产过程。仪器本身也要求逐渐过渡到标准化、规格化和系列化，可以单元组合，以便于大量生产和制造，同时达到不断降低成本和维护费用的目的。这些都是我们设计仪器时应注意的问题。

计量仪器——要和自然界作斗争并改造自然，就要用各种计量仪器来测量各种事物的物理量。例如测量物体长度、角度以及表面几何形状的几何量计量；测量硬度、质量、压力、真空度和重力加速度等参数的机械量计量；测量温度、流量、湿度等等参数的热工计量；测量电动势、电流、电阻和磁场强度等的电磁计量；此外，还有光学参数计量、声学计量、化学计量、时间频率计量、无线电参数计量和放射性计量等等。计量仪器要特别重视一个“准”字，要保证计量仪器本身的准确一致。也就是说，计量仪器必须要能够保证一定的精度，否则这种仪器在实际运用中往往是没有意义或者达不到预期效果的。这一点我们在设计计量仪器时，千万不能忽视。

二、计量仪器的历史

我们的祖先是勤劳勇敢而有智慧的。中国人民在很早以前就对仪器的发明创造作出了许多重要贡献。例如算盘、指南针、记里鼓车和地动仪等都是我国古代的著名创造。但是几千年来，由于长期处于封建统治之下，社会生产力始终停留在较低的水平上。这些光辉的成就没有能够发挥它应有的作用。

自从欧洲中世纪封建统治开始崩溃，伟大的科学家伽利略改变了仅用普通语言来笼统地描述自然现象以后，观测和实验技术就逐渐成为研究自然科学必不可少的一部分。根据观测和实验的结果，并经推理，找出其基本原则。这样就建立了近代意义的自然科学。伽利略当时还提出过所谓“精确测量”的一些基本技术。可以认为从那时起，已经开创某些现代计量仪器的设计工作。

不难理解，在公元 1600 年前后的计量仪器是从长度和计时仪器开始的。当时甚至还有人建议利用摆的节拍作为可以复原的长度自然基准。但当人们认识到重力常数在各地并非一致时，这种想法才被抛弃。

正因为这样：几何量计量仪器长期以来在计量仪器中占有统治地位。许多物理量往往是通过观测其几何量的变化而定标的。例如温度的测量，可以用某一已知膨胀系数的材料，在

规定的温度变化范围内，由其长度变化而测得。测量压力也可以是测量水银柱的高低。甚至象磁场强度这一类参数的测量，也是通过有电流通过的悬浮体在磁场内的位移量来测定的。

三、我国计量仪器业的发展

解放以前，由于我国不断遭受帝国主义的掠夺和反动派的残酷统治，根本说不上有仪器制造业。仅仅有一些规模狭小，设备陈旧，技术落后的工厂，集中在沿海几个城市之中。解放以后，社会主义制度为仪器制造业带来了新的生命。在党的正确领导下，仪器制造业有了飞跃的发展，新建了一批规模较大的工厂，这些工厂都装备有在当时来说比较新颖的设备，采用了某些先进技术，为我国仪器制造业打下了牢固的基础。此外，还扩建和改建了不少原有的工厂，将许多小厂合并为大厂，许多修理厂改造为制造厂。与此同时，也相应地开始了仪器设计方面的技术干部培养工作和科学研究工作。先后在一些高等学校中创立了仪器方面的专业，在科学院和其它有关部门中成立有关仪器设计或制造方面的研究机构，在50年代中还建立了我国计量科学研究院。但是，我们也应该看到：目前我国在仪器设计或仪器制造方面与先进工业国家相比，还有不小的差距，必须积极努力，才能在一个不太长的时期内迎头赶上。如果掉以轻心，很可能要影响整个国民经济的发展。

四、几何量计量仪器目前的概况

在18世纪后期，机械加工精度不过1毫米，到19世纪中叶也不过0.1毫米左右。那时只要用钢板尺，或者配以游标刻线就能顺利地解决机械加工中的测量问题。到本世纪初，机械加工的精度已达到0.01毫米，原有的钢板尺已不再够用，人们就开始运用机械放大的办法来提高测量中的分辨能力，这时就设计了齿轮传动的百分表以及千分螺丝等工具。这是“细分”基准量的初步尝试。

进入20世纪以后，加工精度的提高加快了。30年代达到了0.001毫米，即1微米级。50年代达到0.1微米级。60年代后，由于人造金刚石和立方氮化硼等高级刀具磨具材料的大量应用，特别是激光干涉仪出现以后，最高加工精度达到0.01微米已经不再是罕见的了。

所以，进入20世纪以后，几何量计量仪器的设计任务也就越来越重，越来越显得重要了。因为有不少情况是：加工手段可以做得更精细些，但因为缺乏有效的测量方法和手段，致使加工出来的产品仍维持在原有的水平上。

几何量计量仪器，如前所述，开始是作为科学仪器出现的。但自从近代化的金属切削机床问世以来，尤其是机械制造业形成以后的一二百年间，就逐渐变成一个专为机械制造业服务的专业部门。随着科学技术水平的提高，各种机器的精确度也愈来愈高，为了使产品能达到设计时所拟定的各项技术指标，例如互换性的要求等，就应当首先保证产品中各零件均符合一定的质量标准。而产品零件质量的一个重要指标是零件几何形状的正确性和尺寸的一致性。因为，在许多场合下，只有当机器中所有的零件都具有它所要求的几何精度时，整个机器或仪器才能顺利地完成它的使命。最近一个时期以来，在某些工业先进国家（例如西德），即使小批甚至单件生产的重型机器零件，其配合面也采取预定公差措施，以减少装配时所遇到的困难，从而缩短生产周期加速资金周转，因为此时所有的配合件都可同时进行加工，不必单配。同时这样作以后，往后如需进行修理、改装也方便得多。当然，这样改进以后，就给几何量测试带来了更严峻的任务。

大家知道：运用机械方法“放大”或“细分”，由于测端与指示针之间，直到现在为止，还没有一个有效的办法来输入能量，所以指针位移所作的功都要靠向测端施加压力而输

入, 因此, 测端受压过大。受压后要变形这是免不了的; 而且, 机械部件的加工精度也很难无限地提高, 这就影响了测量精度。迄今为止, 一般机械式测微仪表的细分精度大都在0.01毫米以内, 只有少数才能达到微米的数量级。

看来, 单用传统的机械办法是不行了。早在 30 年代人们就首先运用光学杠杆原理进行设计几何量测试仪器, 以后又应用了光学显微镜、光学投影仪等技术。光学的几何量测试仪器在本世纪中期前后, 曾经牢固地统治过几何量计量技术的历史舞台。

但是, 运用可见光的光学显微镜的分辨极限约为 0.2 微米。即使运用单色光干涉法, 其极限也难超过 0.01 微米。

比光学仪器稍晚一些, 由于无线电电子技术的蓬勃发展, 而且电学参数便于输入能量和进行放大, 所以它逐步取代了机械式仪器, 出现了各式各样的电学测微仪。这种仪器还可以充分发挥电学参数便于传递、运算等特点, 这样, 就构成了近代量仪的雏形。

与电动仪器同时得到发展的还有气动仪器。

不过几何量计量仪器并不仅仅着眼于细分, 还希望有能在大范围内作精密测量的手段。早在 50 年代初就有人利用几何光栅在机床上直接测量工件。如果没有这一步, 要在小批单件的重型机械零件上实行预定的公差配合就困难得多。但也显而易见, 这种要求必然要给计量仪器带来新的变革。这时, 测量装置要么作为加工机床的一个附件; 要么设计得和加工机床几乎同样大小。

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进行光干涉等方式。

总的来说, 近代量仪几乎没有例外的都是一个由机、电、光等各种零部件构成的结合体。因为几何量本身也是一种机械量, 在对它进行观测时, 支承与定位是必不可缺少的, 所以任何量仪都少不了精密机械结构。目前光学部件在非接触测量中仍是一种最常用的主要方法, 当我们采用光电元件把原始讯息加以转换以后, 它的精确度或分辨能力可以成倍地增长。而电讯息也便于直接输入计算机或计算装置, 这就大大地提高了仪器的效率和功能。

一般来讲: 量仪的瞄准或定位精度应该与测量系统或基准部件的精度相适应。但是目前测量系统及基准部件都已能达到较高的水平, 而瞄准或定位精度相比之下要低得多。所以几何量量仪的瞄准方法是值得研究的课题之一。

这门课程, 讲解的主要内容是以如何综合运用上述这些新技术为主。

五、计量仪器发展展望

科学技术的发展永远不会停步不前, 现代科学技术已向几何量计量仪器提出了新的要求。譬如航天技术中所必需采用的陀螺仪表的轴承、电子工业所需的超大规模集成电路和光学工业的集成光学元件等。这些都希望加工精度能达到纳米级(Nano-meter, 即 10^{-9} 米), 以便减小产品体积、提高产品功效或降低能耗。目前不少工业先进国家都不约而同地提出《向纳米前进》的口号, 可以预计, 几何量的测试在不久的将来必然会有新的进展, 否则那些先进的工艺方法(如软磨粒机械化学抛光、高能射束光刻加工等等)仍然发挥不了它应有的功用。

至于计量仪器的其它发展动向(当然也包括几何量量仪), 看来下列方面是值得注意的: 首先是仪器的“智能化”问题。

目前许多仪器, 由它来获得必要的讯息并不费事。但处理这些讯息或数据却往往需要比获取这些讯息要费几倍、几十倍甚至千倍以上的劳动或时间。因此这些仪器常配有相当复杂的计算装置。

由于计算装置近年来日益发展,且其价格也逐渐下降,所以到目前为止,在许多新型仪器中,计算装置或者微处理机,已成为仪器中必不可少的一部分,甚至有的已经喧宾夺主,成为仪器的主要部分了。

仪器探测的内容越复杂,也就越需要它具有高度智能化的功能,使人们可以从某些紧张或重复的疲劳测试过程中解放出来,这是很容易理解的。我们可以把智能化的功能划分成四个阶段,即:①有存储讯息的能力;②能根据存储的讯息作出判断;③能根据前阶段的判断作出下一步所应采取的行动;④可以根据以前的测量过程,“总结”经验教训,在以后的测量过程中会自动地选用更合理的测量方案。

其实上述①,许多仪器都可以办到,一般的仪器都必需在取出测量数据之前保留“读数”。而第②点则是许多近代自动量仪都能做到的。例如,滚针自动分选机就是按照所测得的直径尺寸按数据自动地把工件分成若干组。但第③种仪器,至少在几何量测量方面还不太多。滚针自动磨床的自动进给部分可以看成这方面的例子。它能根据先前磨削过的若干个滚子的尺寸大小,自动地决定是否给加工砂轮若干进给,保证以后该产品仍然合格。至于第④种仪器,目前仅用于配有大型专用计算机的连续生产过程中,在几何量测量中还属少见。

当然这样一来,原有的“仪器”或“测量”概念就不能再保持下去,必需突破才能符合近代科学的客观事实了。所以有人说,近代科学的发展已逼使“测量学”成为讯息科学和系统工程(指生产系统或其它广义的过程)边缘科学的一部分。这就使得设计量仪的人,除去必须具备测量及仪器学方面的知识外,还必须具备讯息处理和系统工程方面的知识。所幸的是:各校本专业的教学计划中大都列入了计算机、自动量仪等课程。为了避免重复,我们就不再过多地将上述内容编入此书,而只是对计算装置在量仪中的应用问题作一简单介绍。

其次,是仪器显示部分的“图象化”问题。

我们知道,近年来由于彩色电视的普及,在仪器仪表上采用这种装置的也日益增多。一般认为每一对彩色电视频道所包含的讯息容量往往是普通传感器的万倍以上,而且彩色图象比简单的数字或指示针包含更多讯息,用通俗的话来讲,也更直观些。但是目前几何量计量仪器中采用这类装置还不多,为了节约篇幅,在本教材中我们没有涉及这一问题,但是在今后的仪器设计中希望不要忽视它。

此外,还有仪器仪表新材料的应用以及仪器内部采用光导(即光纤)通讯,都是值得注意的问题。

六、有关本课程的一些说明

《量仪设计》这门课程,确切地说应是“几何量计量仪器的设计”。因为我们在这本教材中所涉及的内容并不包括各种各样的计量仪器,而绝大部分章节仅仅谈了如何设计几何量的仪器。也就是说:仅叙述了设计有关测量长度、角度和位移等几何参数,以及广义的某些几何量参数(如表面粗糙度、螺纹、齿轮形状等)的仪器的一些设计方法而已。

在编写本书的过程中,如前所述,我们就发现即使有关几何量计量仪器所需的基础知识也十分丰富,不可能一一列入。而且我专业还设有其它许多专业课程,为了避免与其它教材重复,有不少地方只好删繁就简,本书也只能根据各校所通过的编写大纲编写,所以虽则内容比较全面,几乎所有牵涉到量仪设计方面的基础知识,都列入了一些;但也暴露了它的某些缺点,即内容过于庞杂,而且缺乏有机联系。建议任课教师,可以根据本专业课程的安排与学生的实际情况,有选择地选用若干内容讲授,其它部分可作为学生的自学材料。

第一章 量仪设计的基本知识

§ 1-1 量仪的定义及其测量对象

量仪是测量器具的简称，它包括量具和测量仪器两类。按照国际法制计量组织的定义，量具是指：“在使用时，以固定形式复现一给定量的一个或多个已知值的一种测量器具”。而测量仪器的定义则为：“将被测的或有关的量转换成指示值或等效信息的一种测量器具”。此外，苏联国家标准对测量仪器的定义，表达为：“用以产生可使观测者直接接受测量信息（信号）的测量器具”。所以，两种定义都说明，测量仪器是指实现测量基本任务，对被测量进行感受、转换、处理、显示的一种装置。广义量仪的测量对象，包括一切物理量。但本课程讨论的量仪，它的测量对象，仅指长度、位移、分度、角位移等几何量及其复合量。在本课程中，除非有特殊说明，本书所指量仪，均为长度计量仪器这一领域。即量具是指量块、线纹尺等这样一些器具，而测量仪器是指百分表、立式光学计、电感测微仪、座标测量机等测量器具。同样，本课程所讨论的设计，也都是指长度计量仪器的设计。这样，本课程所讨论的有关量仪设计的内容，对于其它被测参量的测量仪器来说，有些可能是合适的，有些则不一定适用。

§ 1-2 量仪的技术指标

量仪的技术指标是用来说明一台仪器的性能和功用的。设计一台仪器，总是要根据测量任务的要求，规定出这台仪器的若干主要技术指标，作为设计的依据；并且，最后又用这些指标来考核所设计的仪器是否成功。所以，它既是仪器设计的出发点，又是仪器设计的归结点。此外，技术指标又是选用仪器时的依据，即一定的测量任务，应当选用具有一定技术指标的仪器。

虽然国际法制计量组织及某些国家对名词术语已有所定义，但我国目前还没有正式制定出计量名词及术语定义的国家标准。因此，在实际工作中，名词术语很不统一。往往一个含义有多个不同的名词，或一个名词又有几个不同的含意。而各地区各行业又有自己的习惯用语。所以，学习这一节时，应注意在概念和意义上的理解。现选择与量仪有关的国内资料上比较通用的名词术语作一介绍。

1. 分度

分度指任意两相邻刻度标记间的间距。线纹尺中的分度为两相邻线纹轴线间的间距。数码度标中的分度为两连续数码间之差值。

2. 刻度间隔（刻度间距、分度的长度）

在两连续刻度标记的轴线间，沿刻度基线测得的直线或曲线的长度称刻度间隔。刻度间隔大小选择应适当。太小影响估读精度，以用肉眼估读出刻度间隔的十分之一为限；太大则

加大了轮廓尺寸。故一般可在 0.75~2.5 毫米内选用, 实用的是 1 毫米左右, 个别的可允许更大些。如遇刻度间隔过小的情况, 则可用光学放大的办法, 使视见间隔达到利于观察并读数的程度。

一般情况下, 为便于度盘加工及仪器示值和零位的调整, 量仪度盘的刻度间隔都做成是均匀的。做成不均匀的是少数个别情形。

3. 分度值 (刻度值、分辨率)

分度值为对应于分度的被测量值。分度值是指一台仪器所能读出的最小读数值 (不包括估读的值)。对于指示式仪器, 分度值是指刻度尺上或度盘上每个刻度间隔所代表的被测量值。如百分表的分度值为 0.01 毫米; 光学计的分度值为 0.001 毫米。对于数字式量仪, 因为没有度盘, 故一般不称作分度值, 而称作分辨率。分辨率是指仪器显示的最末一位数字间隔所代表的被测量值。例如: 莱兹 (Leitz) 光栅分度头的分辨率为 1 角秒; 奥普登 (OPTON) 光栅测长仪的分辨率为 0.2 微米。

许多量仪的分度值通过换档是可变的。量仪分度值通常均取 1、2、5 的倍数。如: 0.0001、0.0002、0.0005、0.001、0.002、0.005、0.01、0.02、0.05 毫米等, 这是为了习惯上读数方便。

分度值是量仪的一项重要技术指标。设计时, 一定的分度值必须由相应的仪器精度所保证。分度值和仪器精度在数值上是互相适应的。一般来说, 分度值小说明仪器的精度高, 反之则低。精度很低的仪器而把分度值做得很小是没有意义的。

4. 示值范围

示值范围系指刻度尺 (或度盘) 上全部刻度范围所代表的被测量值。例如千分尺的示值范围一般为 25 毫米, 光学计的示值范围为 ± 0.1 毫米。

示值范围又称为量程。量程大则仪器使用比较方便, 表明仪器使用性能较好。但对一台仪器来说, 大量程高分辨率往往不能兼得。所以, 寻找某种能实现大量程高分辨率的信号转换原理是量仪设计者经常关心的问题之一。目前, 激光、光栅原理是兼有这两者的两种较好的原理, 因而这两种原理目前在高精量的量仪中应用非常广泛。此外, 感应同步器、磁栅原理虽也具有大量程的特点, 但精度却低于激光和光栅。

5. 测量范围

仪器所能测出的被测量值的范围。测量范围和示值范围不能混淆。测量范围不仅包括示值范围, 而且还包括仪器的悬臂或尾座等的调节范围。如光学计由于悬臂可沿立柱调节, 故测量范围为 180 毫米; 又如千分尺的测量范围有 0~25、25~50、50~75 毫米等许多规格, 但它们的示值范围均为 25 毫米。

6. 示值误差

示值误差即量仪的示值 V_i 和被测量的真值 V_0 之间的差值。 $\Delta = V_i - V_0$ 。真值通常是不能知道的, 实际上用实际值或测量结果的算术平均值来代替。

示值误差越小, 表示仪器越准确。前已提到, 仪器的示值误差和仪器的分度值这两个数值之间要相适应。虽然一般要求示值误差为仪器分度值的 0.5 倍左右, 但对高精度仪器, 示值误差往往大于分度值数倍。例如: 分度值为 1 角秒的分度头, 其示值误差可达 4~5 角秒; 分度值为 0.2 微米的测长仪, 其示值误差可接近 1 微米, 等等。所以这样考虑, 是因为分度值小一般有利于提高仪器的读数精度和瞄准精度, 因而对提高测量精度有一定价值。当然分

度值和示值误差两者不能相差过分悬殊。

7. 示值重复性（示值分散度、示值变差）

示值重复性系指在外界条件不变的情况下，对同一个量重复测量时，量仪指示数值的最大变化范围。重复测量次数一般为 10~15 次，变动范围一般允许为分度值的 $1/3 \sim 1/5$ 。

量仪的示值误差和示值重复性是量仪的两项重要的技术指标，它们分别说明了仪器的准确程度和精密程度。

8. 修正值（修正量、校正值）

修正值为需要用代数法加到未修正测量结果上以得到修正结果的值。修正值在数值上等于尚未修正的测量结果的绝对误差，但符号相反。引入修正值的目的是为了消除系统误差。例如：对仪器示值引入修正值后，便减小了仪器的示值误差；对线纹尺的刻线间距值引入修正值后便提高了该线纹尺在使用时的正确度。修正值的数值一般通过鉴定的方法获得。

9. 放大比（传动比、灵敏度）

仪器输出量的变动量 dW 与引起该变动量的输入量的变动量 dS 之比即为放大比。放大比 $i = dW/dS$ ，它们的关系可用图 1-1 表示。此关系曲线称为刻度特性曲线。如果在整个示值范围内，放大比处处相等而为一常数，则称该刻度特性为线性的，否则称为非线性的。在量仪中，我们力求获得线性的刻度特性，或者选择非线性刻度特性中某一段接近线性的区间作为线性刻度来处理，并且，在允许的误差范围内，力求扩大线性段的范围。放大比大意味着可得到较小的分度值；线性段长意味着仪器的示值范围大。但是，高放大比和大线性范围这两者对许多信号转换原理来说也往往是矛盾的，不可兼得。

在现代量仪中，从被测量值到仪器输出量之间往往经过多种原理的转换，这时，仪器的放大比就等于各组成部分的传动比的乘积。

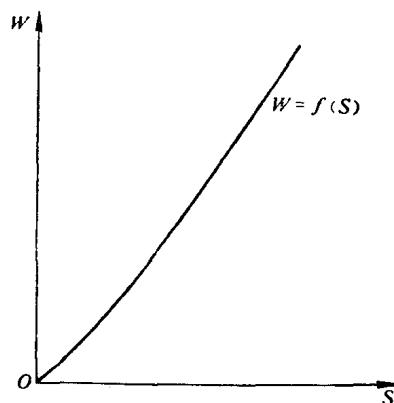


图1-1 刻度特性曲线

10. 灵敏限（敏感限）

引起仪器示值可见变化的被测量的最小变化量称灵敏度。它表示仪器感受微小量的敏感程度。

11. 回程误差

在对同一被测量值的测量中，当测杆（或工作台）正、反方向移动，或转轴正反向回转时，所得到的仪器示值的变动量称回程误差。产生回程误差的主要原因是仪器机械零件间存在间隙或摩擦，或啮合面的变动，或电子线路特性的不对称。减小回程误差除在仪器设计时注意外，在使用时，如果许可，可使仪器运动件作单向行程的移动或转动。

12. 测量力（测力）

测量力即测量过程中发生在仪器测头和被测工件表面之间的接触力。对于非接触测量如气动测量，则存在气流对工件表面的压力，虽然这种压力也是获得正确测量结果所必须的，但通常不把它称做测力。测力大小的选择，既要使测头与被测件表面得到可靠的接触，又不致使两者发生过大的变形，或使测头划伤工件表面。因此，接触测力的大小可根据测头和被

测件的材料、形状、接触情况以及公差要求等因素而定。对测力除要求有一定的大小外，还要求在整个示值范围内保持恒定。为此，在一些仪器中，就专门为此而设计了一套测力恒定机构。

13. 长时间工作稳定性（零点漂移）

零点漂移指仪器经过规定时间的连续工作或经过一定动作次数前后的仪器零点及仪器误差的变动情况。规定时间例如八小时，动作次数例如二万五千次。

14. 量仪的频响特性

量仪的输出量随着同一输入量的不同频率而变的特性即为频响特性。频响特性是动态测量的重要特性。

15. 量仪示值的稳定时间

从信号输入到仪器示值稳定所需的时间称稳定时间。

16. 仪器误差

仪器误差是仪器本身所固有的误差。通过对仪器的精度分析，可以从理论上获得由于仪器结构原理和结构参数偏差本身所造成的仪器误差的数值。若想得到误差的具体数值，则除了对仪器进行检定之外，别无他法。故仪器误差也可理解为是检定条件下的测量误差。但不能把测量误差和仪器误差混为一谈。

17. 测量误差

测量结果和被测量值间的差异称测量误差。它包括仪器误差、采用的测量方法所固有的误差、测量方法使用不当而带来的误差以及由于外界环境条件偏离标准状态和测量人员的主观因素等许多原因所造成的误差。

最后，需要说明，由于近代量仪的飞速发展，因此，除了以上列举的量仪的技术指标之外，反映表征新仪器特征的新的技术指标，也应有所考虑，但这方面似乎还缺乏系统的工作。

§ 1-3 量仪的分类及其特点

量仪种类异常繁多，现根据其不同特征，分类如下。

一、按原始信号转换原理分

随着测量任务的不同和科学技术的发展，在量仪中应用了许多种的信号转换原理，这样在生产中就形成了以原始信号转换原理的不同而命名不同仪器的分类方法。按此特征来区分，量仪可分为以下几类。

（一）机械量仪

用机械方法实现原始信号转换的量仪称为机械量仪。习惯上所谓机械量仪通常是指百分表、杠杆比较仪、扭簧仪等这样一些通用的机械测微仪，而不是指那些虽然也是机械的原理，但却是专门用途的专用量仪（这些量仪一般都是以它们的测量参数的名称而命名）。根据机械转换传动原理的不同，机械量仪又分为

1. 纯杠杆传动原理测微仪

典型的如米尼表，但由于这类量仪有许多缺点，目前国内外均已不再生产。

2. 齿轮传动原理测微仪

百分表属于这一类。示值范围最大可达 10 毫米。由于受小模数齿轮加工精度的限制,进一步提高精度存在一定困难,故分度值一般均做成 0.01 毫米的。

3. 杠杆齿轮传动原理测微仪

如奥氏比较仪等,这类仪器兼有杠杆传动和齿轮传动的优点,精度较高,分度值为 0.001 毫米,示值范围一般在 0.1 到几毫米之间。

4. 弹性元件传动原理测微仪

其中最有价值的是扭簧测微仪。示值范围较小但精度高,分度值有做到 0.1 微米以下的。扭簧仪的主要特点是回程误差小,特别适合于对跳动量等参数的测量。

机械测微仪的特点是:结构简单,成本低,使用维护方便,性能稳定。缺点是精度不高(扭簧仪除外),示值范围小,不能实现自动测量。根据以上特点,机械测微仪一般在车间条件下和仪器座或表架等联在一起用作相对法测量,或在一些专用仪器上作测微仪使用。

(二) 光学量仪

光学量仪是用光学的方法,实现对原始信号的转换放大。根据仪器中光学系统的不同,光学量仪分为

1. 望远系统的光学量仪

如平行光管和以望远光学系统为主的光学计等。

2. 显微系统的光学量仪

这一类量仪品种很多,如工具显微镜、测长机、测长仪、光学分度头等。

3. 投影系统的光学量仪

属于这一类的是各种用途的大小投影仪。

4. 光干涉原理的光学量仪

在这类仪器中,有复现长度基准光波的干涉仪,如绝对光波干涉仪;有各种用途的干涉仪,如立式接触干涉仪,干涉显微镜,干涉小孔仪等。由于这些量仪用光波作基准,所以目前是光学量仪中精度最高的一类量仪。

由于光学量仪具有精度高,性能稳定,允许实现接触测量和非接触测量,相对测量和绝对测量等特点。加上整个光学量仪品种规格比较配套,结构设计及仪器附件考虑周全,能适应相当广泛的测量对象及范围。所以,它在整个量仪中,一直占有十分重要的地位。但光学量仪制造成本高;技术较机械量仪为复杂;要求环境条件较严,如要求恒温、防尘、防潮、防震等。因此,它在车间条件下较少使用,而一直是作为计量部门传递尺寸的基准量仪和测量各种参数的精密量仪来使用的。

5. 光栅、激光原理的数显式光学量仪

上面四类光学量仪是属于以光学系统的不同而区分的传统的光学量仪。最近一二十年来,随着光栅激光原理及电子技术的发展,上述传统光学量仪有逐渐被光栅激光原理并配以数字显示的各种用途的数字式高精密度量仪替代的趋势。国外许多生产传统光学量仪的厂商,都在向生产数字式光学量仪方面转变。这类仪器综合了机、电、光的技术,在光学方面则应用了光的衍射及干涉原理。其中典型的仪器有:光栅式三坐标测量机,光栅式光学分度头,光电光波比长仪以及激光量块干涉仪等。

(三) 电动量仪

电动量仪的原理是,将原始信号的变化变为电路参数的变化。按变化的电路参数的不同,

电动量仪分为

1. 电接触式比较仪

这类比较仪结构简单, 使用维护方便, 但精度稍低。

2. 电感式比较仪

抗干扰能力较好, 精度高。据报导, 用这种原理的传感器, 其分辨率极高, 甚至可达 $5 \sim 10$ 埃。但在这样高分辨率的状况下, 精度可达多少, 目前还缺乏有效的研究和有权威的鉴定。此外, 很多厂家目前还生产数字式电感测微仪。

3. 电容式比较仪

从原理上讲也可获得很高的分辨率, 但易受外界干扰, 最近虽然有些进展, 但实际上应用还不广泛。

以上三类, 除了可做比较仪使用外, 还都可做成电动传感器用。

除上之外, 还有感应同步器传感器、磁栅传感器、压电传感器等多种原理的电动传感器及电动量仪。

电动量仪的特点是精度高, 易于实现自动测量、数字显示、对被测参数进行运算等。目前在我国的的主要问题是, 元器件质量不过关, 性能不够稳定, 抗干扰能力较差。

(四) 气动量仪

气动量仪是以压缩空气为介质, 用气动系统状态的变化 (流量或压力的变化) 来实现对原始信号的转换。按其工作原理的不同, 气动量仪分为

1. 压力式气动量仪

根据工作压力的大小, 又分为两类:

(1) 低压式气动量仪。它的工作压力低于 0.3 公斤力/平方厘米。典型的为水柱式气动量仪。低压水柱式气动量仪由于仪器笨重, 反应速度慢等一系列缺点, 现除差压水柱之外, 大部已被浮标式气动量仪所替代。

(2) 高压式气动量仪。它的工作压力高于 0.3 公斤力/平方厘米。根据压力位移转换元件的不同, 它又分为以下几类:

1) 水银柱式。因水银有毒, 现很少用。

2) 波纹管式。

3) 膜片式。

4) 膜盒式。

上述几种中以膜片式的应用为最多。它们都既可做成指示表式量仪, 又可做成气电传感器, 便于发出信号实现自动控制和自动测量。

2. 流量式气动量仪

典型的有浮标式气动量仪。在气动量仪中, 它应用比较普遍。现在也有研究配以光电转换以便实现自动测量的。

气动量仪的特点是能够对采用某些其它原理的量仪难于测量的部位进行测量 (如处于深孔部位的参数等); 可实现多参数测量和获得参数的和、差、平均值和积分值的指示; 结构简单; 制造、使用、维护方便; 可实现非接触测量、远距离测量和测量自动化。但气动量仪的缺点是示值范围小; 示值稳定时间长; 不同参数, 不同测量范围需要不同的测量头。因此, 气动量仪一般适用于大批生产的行业范围, 如汽车、航空、轴承等行业。

由上,根据信号转换原理的不同,基本上将量仪区分为机、光、电、气四大类。此外,还有利用放射线同位素、超声波技术测量几何量的,但这些原理应用较少,应用行业范围也较窄。

总之,自从本世纪初出现机械量仪之后,每一种有价值的信号转换原理的发现和不断改进,总是改进了整个量仪的性能,促进了计量技术的发展。量仪设计者的任务是:一方面,对已有的各种信号转换原理,要在深入掌握它们内在规律的基础上,不断在精度、可靠性、稳定性、抗干扰能力、温度稳定性、使用维护性能、工艺性等方面改善它们的性能;另一方面,则要注意发现新的信号转换原理,特别要注意将物理学方面的成果引进长度计量仪器领域的可能性,在这方面,一旦有所突破,将会使量仪大大向前发展一步。激光技术在量仪中的应用是一个明显的例子。

二、按量仪的用途分

按量仪的用途分,可分为以下几类

(一) 测微仪类

如各种机械测微仪、电动测微仪等。这些测微仪也叫表头,一般制做得都比较轻巧,本身是一个信号转换放大器。它们可以安置在各种用途的量仪上作测微仪用,以指示出被测量的数值,如果把它们安装在仪器座或表架上,也可单独作比较仪使用。

(二) 通用量仪

主要指那些通用性较大的量仪,如工具显微镜、光学分度头、三坐标测量机等。设计这类仪器时,都是考虑为某一定范围的被测对象服务的,具有较大的通用性,一般均备有较多的附件,可以达到一仪多用的目的。若附件不齐,仪器的效能就不能充分发挥。

(三) 专用量仪

专用量仪是专门为测量某个或某种特定参数而设计的量仪,它不能作其它用途。根据被测参数的不同,专用量仪有

- (1) 表面光洁度测量仪。
- (2) 各种齿轮参数测量仪。
- (3) 丝杠检查仪。
- (4) 圆度仪。
- (5) 线纹比长仪。
- (6) 螺纹参数测量仪。
- (7) 其它。

在上面这些通用量仪和专用量仪中,由于被测参数特点的不同,所用原始信号转换原理的不同,各个厂家传统结构形式以及工艺方法的不同,所以每一种仪器中又有许多不同的型号、不同的规格,但就它们所用的原始信号转换原理来看,也不外是机、光、电、气几大类。目前,就高精度的量仪发展趋势来看,在它们的数据处理、误差分离技术、测量结果显示等方面,大量地应用了电子技术和计算技术的成果。而且,作为一台高精度的量仪,几乎无一例外地都综合了机、电、光各个领域的技术成果。这说明现代量仪的面貌和内容已有了巨大的变化,改变了过去基本上以机械部件为主的状况。这种状况,应当引起每一个量仪设计工作者的注意。

三、按量仪的其它特征分

例如: