



“工学结合、校企合作”课程改革成果系列教材
数控技术应用专业教学用书

机械测量技术

赵贤民 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



“工学结合、校企合作”课程改革成果系列教材
数控技术应用专业教学用书

机械测量技术

主 编 赵贤民
副主编 冯正平
参 编 刘美华 孙秀梅 尹有根
主 审 朱仁盛



NLIC 2970735463



机械工业出版社

本书是根据中职机械类、近机械类专业使用各种工量具进行产品检测的基本要求编写而成的。本书共有测量技术基础知识、常用测量器具、尺寸公差及其检测、几何公差及其检测、表面粗糙度及其检测、角度和圆锥精度及其检测、普通螺纹精度及其检测、直齿圆柱齿轮精度及其检测 8 个课题,内容涵盖了测量技术的基本原理、方式及方法,常用工量具的测量原理、使用及保养的方法,各几何精度检测的典型方案等方面。

本书作为产品质量检验方面的理论与实训一体化教材,可以供中职机械类、近机械类专业使用,也可供相关职业的工程技术人员及计量、检验人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

机械测量技术/赵贤民主编. —北京:机械工业出版社, 2010. 10

“工学结合、校企合作”课程改革成果系列教材. 数控技术应用专业教学用书

ISBN 978-7-111-32201-6

I. ①机… II. ①赵… III. ①技术测量—高等学校:技术学校—教材
IV. ①TG801

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 197734 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:汪光灿 责任编辑:章承林

版式设计:霍永明 责任校对:李秋荣

封面设计:路恩中 责任印制:乔宇

北京机工印刷厂印刷 (三河市南杨庄国丰装订厂装订)

2011 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

184mm × 260mm · 13.25 印张 · 321 千字

0 001—3 000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-32201-6

定价:25.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010) 88361066

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售一部:(010) 68326294

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售二部:(010) 88379649

读者服务部:(010) 68993821

封面无防伪标均为盗版

前 言

机械测量技术是中职机械类及近机械类各专业的一门重要的技术基础课程，主要包括几何量的公差和误差检测两方面内容，是学习机械设计与机械制造知识的基础，是机械工程技术人员必备的基础知识和技能。

本书是按照中职教育的培养目标，吸收了部分兄弟学校的教学经验，由从事中职教育教学工作多年、具有丰富教学经验的教师编写而成。在编写过程中，采用了最新国家标准，力求做到基本概念和术语准确、清楚、易懂，叙述详略得当，并着重突出各种公差标准的实际应用和动手能力的培养；比较全面地介绍了尺寸公差、几何误差、表面粗糙度、角度和圆锥精度、普通螺纹精度、直齿圆柱齿轮精度的检测原理和方法。本书突出了内容的实用性和实践性，主要特点如下：

1. 因本书对象是中等职业学校的学生，故在内容安排上强调知识和技能以应用为先，够用为度，没有系统介绍标准的基本术语和技术测量的基本概念，而是根据生产实践过程和需要，将相关知识和技能进行重新构建，体现了学习领域课程的教学理念。

2. 本书所介绍的知识和技能按照技术工人在岗位上的工作需求展开，其内容贴近生产实践，与生产岗位中知识和技能的需求相符，体现了与就业岗位对接的教学理念。

本书共分8个课题，内容包括测量技术基础知识、常用测量器具、尺寸公差及其检测、几何公差及其检测、表面粗糙度及其检测、角度和圆锥精度及其检测、普通螺纹精度及其检测、直齿圆柱齿轮精度及其检测。

本书由江苏省句容中等专业学校赵贤民担任主编。参与本书编写的有：赵贤民（课题2）、冯正平（课题4）、刘美华（课题1和课题7）、孙秀梅（课题3和课题6）、尹有根（课题5和课题8）。本书由朱仁盛担任主审。

由于编者水平有限，书中难免存在缺点和错误，敬请广大读者批评指正。

编 者

目 录

前言	1	4.4 几何误差的检测	93
绪论	1	操作技能	97
课题1 测量技术基础知识	2	知识拓展	111
学习目标	2	习题与思考	115
相关知识	2	课题5 表面粗糙度及其检测	118
1.1 机械测量技术概述	2	学习目标	118
1.2 互换性与标准化	4	相关知识	118
1.3 测量方法	6	5.1 概述	118
1.4 测量误差	11	5.2 表面粗糙度评定参数和国家标准	119
知识拓展	16	5.3 表面粗糙度的符号和标注	125
习题与思考	17	5.4 表面粗糙度的选用	130
课题2 常用测量器具	19	5.5 表面粗糙度的测量	132
学习目标	19	操作技能	134
相关知识	19	知识拓展	140
2.1 量块	19	习题与思考	141
2.2 游标类量具	21	课题6 角度和圆锥精度及检测	142
2.3 千分尺类量具	24	学习目标	142
2.4 机械式量仪	29	相关知识	142
2.5 其他常用计量仪器简介	31	6.1 概述	142
操作技能	39	6.2 圆锥公差与配合	146
知识拓展	42	6.3 角度和锥度的检测	150
习题与思考	45	操作技能	151
课题3 尺寸公差及其检测	47	知识拓展	152
学习目标	47	习题与思考	153
相关知识	47	课题7 螺纹精度及其检测	154
3.1 基本术语及定义	47	学习目标	154
3.2 尺寸公差带标准化	53	相关知识	154
3.3 尺寸公差与配合的选用	63	7.1 概述	154
操作技能	70	7.2 普通螺纹的公差与配合	157
知识拓展	72	7.3 螺纹的检测	163
习题与思考	73	操作技能	164
课题4 几何公差及其检测	74	知识拓展	170
学习目标	74	习题与思考	171
相关知识	74	课题8 直齿圆柱齿轮精度及其检测	172
4.1 零件的几何要素及分类	74	学习目标	172
4.2 几何公差项目及符号	76	相关知识	172
4.3 几何公差带	79	8.1 齿轮传动的基本要求	172

8.2 齿轮误差分析	173	知识拓展	201
8.3 齿轮精度	184	习题与思考	202
8.4 渐开线圆柱齿轮副的精度	193	参考文献	203
操作技能	194		

绪 论

1. 本课程的研究对象

机械测量技术是机械工程学科各专业的一门主要技术基础课。本课程的主要研究对象是如何通过有关的国家标准,合理解决产品使用要求与制造工艺之间的矛盾,以及如何运用质量控制方法和测量技术手段,保证有关国家标准的贯彻执行,以确保产品质量。运用机械测量技术知识进行精度的设计与检测是从事产品制造、测量等工作的工程技术人员所必须具备的能力。本课程主要研究几何量测量技术的基本原理、测量方法、测量误差及数据处理。

2. 本课程的任务

零件加工后是否符合精度要求,只有通过检测才能知道,所以检测是精度要求的技术保证。本课程旨在培养学生掌握产品质量保证的基本理论、知识和技能,为进一步应用国家标准和控制产品质量奠定基础,其基本要求如下:

- 1) 建立几何参数互换性与标准化和测量的基本概念。
- 2) 掌握几何精度的基本理论和知识。
- 3) 能读图,并能掌握典型几何量的检测方法。
- 4) 会正确选择、使用生产现场的常用量具和仪器,能对一般几何量进行综合检测和数据处理。

总之,本课程的任务是使学生掌握机械精度检测方面的基本知识及实际操作技能。

3. 测量技术的发展概况

要进行测量,首先需要有计量单位和计量器具。长度计量在我国具有悠久的历史,早在我国商朝时期(至今3100~3600年)已有象牙制成的尺,到秦朝,我国已统一了度量衡制度。公元9年(即西汉末王莽始建国元年)已制成了铜质的卡尺,可测量车轮轴径、板厚和槽深,其最小读数值为1分($1\text{分} = \frac{1}{300}\text{m} = 0.003\text{m}$)。

随着科学技术的发展,计量单位和计量器具都不断改进。在1983年第十七届国际计量大会上通过了以光速定义米的新定义,即米是光在真空中于 $1/299792458\text{s}$ 时间间隔内的行程长度。现在,我国在计量、测试科学的研究工作中也取得了很大的成绩。自1962~1964年建立了 Kr^{86} 长度基准(即1m是 Kr^{86} 原子所辐射的谱线在真空中波长的1650763.73倍)以来,又先后制成了激光光电光波比长仪、激光二坐标测量仪、激光量块干涉仪,从而使我国的线纹尺和量块测量技术达到了世界先进水平。此外,我国研制成功并进行小批生产的激光丝杆动态检查仪、光栅式齿轮全误差测量仪等均进入了世界先进行列。近年来,我国又相继开发了隧道显微镜和原子力显微镜,在纳米测量技术方面也紧跟世界先进水平。

课题 1

测量技术基础知识

【学习目标】

1. 了解机械测量技术的概念。
2. 熟悉互换性与标准化的相关知识。
3. 了解测量原则，掌握阿贝测长原则。
4. 理解测量器具的分类和常用的度量指标。
5. 了解测量方法的分类。
6. 了解测量误差的概念及处理方法。

【相关知识】

1.1 机械测量技术概述

测量技术是一门具有自身专业体系、涵盖多种学科、理论性和实践性都非常强的前沿科学。而熟知测量技术方面的基础知识，则是掌握测量技能，独立完成对机械产品几何参数测量的基础。

测量就是把被测的量与有测量单位的标准量进行比较，从而确定被测量的量值的过程。因为测量工作是实现互换性的重要保证，所以在实际生产中测量技术被广泛地应用。同时为保证测量的正确性，对测量技术还提出了一些基本要求：合理地选用测量器具与计量方法；具有高的测量效率。

一件制造完成后的产品是否满足设计的几何精度要求，通常有以下几种判断方式：

1. 测量

测量就是为确定量值而进行的实验过程。在测量中假设 L 为被测量值， E 为所采用的计量单位，那么它们的比值为

$$q = \frac{L}{E}$$

这个公式的物理意义说明，在被测量值 L 一定的情况下，比值 q 的大小完全决定于所采用的计量单位 E ，而且是成反比关系。同时它也说明计量单位的选择决定于被测量值所要求

的精确程度，这样经比较而得的被测量值为

$$L = qE$$

任何一个测量过程必须有被测量的对象，也就是被测量和所采用的测量单位，以及两者如何进行比较和比较后它的精确程度如何的问题，即测量的方法和测量的精确度问题。例如，用游标卡尺对一轴径的测量，就是将被测的对象（轴的直径）用特定测量方法（用游标卡尺测量）与长度的单位（mm）相比较。若其测量值为30.52，准确度为 $\pm 0.03\text{mm}$ ，即测量结果可表达为 $(30.52 \pm 0.03)\text{mm}$ 。

这样，一个完整的测量过程就包括测量对象、计量单位、测量方法和测量精度4个要素。

(1) 测量对象 在技术测量中，测量对象主要指几何量，包括长度、角度、表面粗糙度及形位公差等。由于几何量种类繁多，并且形状各异，因此对于它们的特性、被测参数的定义以及标准等都必须加以研究和掌握，以便能够顺利进行相关测量。

(2) 计量单位（测量单位） 为了保证测量的正确性，必须在测量过程中保证单位的统一。为此，我国以国际单位制为基础制定了法定计量单位。根据规定，在几何量的测量中，长度单位是米（m），平面角的角度测量单位为弧度（rad）及度（°）、分（′）、秒（″）。其中，在机械制造中常用的计量单位为毫米（mm）， $1\text{mm} = 10^{-3}\text{m}$ 。在精密测量中，长度计量单位采用微米（ μm ）， $1\mu\text{m} = 10^{-3}\text{mm}$ 。在机械制造中常用的角度计量单位为弧度（rad）、微弧度（ μrad ）和度（°）、分（′）、秒（″）。 $1\mu\text{rad} = 10^{-6}\text{rad}$ ， $1^\circ = 0.0174533\text{rad}$ 。度、分、秒的关系采用60进制，即 $1^\circ = 60'$ ， $1' = 60''$ 。

(3) 测量方法 测量方法是指进行测量时所采用的测量原理、测量器具和测量条件的总和，根据被测对象的特点，如精度、形状、质量、材质和数量等来确定需用的测量器具，分析研究被测参数的特点及与其他参数的关系，确定最合适的测量方法以及测量的主客观条件。

(4) 测量精度 测量精度是指测量结果与真值的一致程度。任何测量过程总是不可避免地出现测量误差。误差大，说明测量结果与真值远，精度低；反之，误差小，精度高。因此，对于每一个测量过程的结果都应该给出一定的测量精度。测量精度和测量误差是两个相对的概念。由于存在测量误差，任何测量结果是以一近似值来表示，或者说测量结果的可靠有效值是由测量误差确定的。

2. 测试

测试是指具有试验性质的测量，也可理解为试验和测量的全过程。

3. 检验

检验是判断被测物理量在规定范围内是否合格的过程。一般来说就是确定产品是否满足设计要求的过程，即判断产品合格性的过程，通常不一定要测出具体值。几何量的检验即是确定零件的实际几何参数是否在规定的极限范围内，以作出合格与否的判断。因此，检验也可理解为不要求知道具体值的测量。

4. 计量

为实现测量单位的统一和量值准确可靠的测量。

1.2 互换性与标准化

1.2.1 互换性

1. 互换性的概念

在社会化大生产中,企业提高效益(效益=效率/成本)的重要途径之一是实现产品的互换性。自动生产线为什么效率高?如几分钟就装配出一辆汽车,就是因为具有在不同地方生产的同一规格的汽车零部件,不经过挑选、调整和修配就可直接装配到汽车上去的这种特点,使得生产率大大地提高了,同时降低了成本。

汽车生产是社会化大生产的典型例子,称之为“分散制造、集中装配”,就是由于有互换性作为基础才得以保障。在日常生活中,互换性的例子也非常普遍,如自行车、手表、电视机、计算机等上面的零件坏了,只要换上一个相同规格的新的即可。零件具有的这种可以互相替换的性能,给人们的生产和生活都带来了极大的方便。

因此,互换性是指同一规格的零部件,不经过挑选、调整和修配,就能装到机器上去,并能够满足使用要求的特性。

2. 互换性的分类

按照互换性程度分为完全互换和不完全互换。

完全互换是指零部件具有在装配时不需要经过挑选、分组、调整和修配,装配后就能达到预定要求的特性。

不完全互换是指零部件在装配时需要挑选、分组,或者需要调整、修配。比如分组互换,是指一批零件完工后由于某些原因造成误差过大,致使一定数量的孔轴会因超差而成为废品,但是若按照实际尺寸大小进行分组装配,遵循“大孔配大轴、小孔配小轴”的原则对各组提出不同的精度要求,装配后仍能够满足不同精度的使用要求。在企业内部的生产中,常采用这种不完全互换的方式,可达到既保证不同等级的装配精度要求,又不致增加生产成本的经济生产效果。

3. 互换性的作用

在产品设计中,互换性可以最大限度地使用标准件,以简化绘图和计算工作量,并有利于计算机辅助设计技术的应用,有效缩短设计周期。

在制造过程中,互换性作为组织专业化协作生产的重要基础,有利于组织自动生产线、使用现代化工艺装备等先进生产手段,并便于应用计算机辅助制造技术于生产中,极大地提高了产品质量和生产率。同时在装配过程中由于不需要附加修配,可直接采用自动化装配线等先进生产方式,从而产生大大缩短生产周期、大幅度地降低生产成本的极好效果。

在使用维修过程中,利用互换性可以在最短时间内及时更换损坏的零部件,减少维修时间和费用,降低生产成本,并提高设备的利用率和使用价值。

综上所述,互换性是进行社会化大生产的重要基础,是企业提高经济效益的重要途径,已成为现代制造业普遍遵守的技术经济原则。

互换性是由公差来保证的,公差的制定依据是标准化,故标准化是实现互换性的基本保证。

1.2.2 标准和标准化

1. 标准

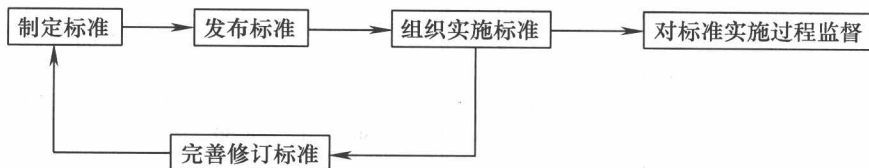
在现代化生产中,一个机械产品的制造过程往往涉及许多行业和企业,有的还需要国际间的合作。为了满足相互间在技术上的协调要求,必须有一个共同遵守的规范的统一技术要求。

标准是规范技术要求的法规,是在一定范围内共同遵守的技术依据。标准按不同级别颁发,在世界范围,企业共同遵守的是国际标准(ISO)。我国标准分为国家标准(GB)、行业标准(如机械标准(JB))、地方标准(DB)及企业标准。地方标准和企业标准是在没有国家标准及行业标准可依、而在某个范围内又需要统一技术要求的情况下制定的技术规范。

标准的范围很广,涉及人们生活的各个方面。按照针对的对象,可以分为基础标准、产品标准、方法标准和安全与环境保护标准等。本书讨论的制造精度属于基础标准。

2. 标准化

标准化是指制定、贯彻标准的过程。标准化的工作过程如下所示:



标准化是组织社会生产的重要手段,是管理科学化的主要依据。标准化水平的高低反映出一个国家现代化水平的程度,所以各个国家对标准化工作都非常重视。

3. 优先数系标准

在机械设计与制造中,常需要确定诸多技术参数,而这些参数又会向与它相关的一系列参数传递下去。如加工螺栓,其直径尺寸的确定必然会影响到与之相配合的螺母,以及丝锥、板牙、钻头加工工具及相应的装夹具,还有螺纹量规等测量工具的一系列直径尺寸。规格数值的繁多必然给生产的组织和管理带来困难,并增加生产成本。

为了尽量减少各环节的生产成本,必须对各种技术参数作出统一规定,将参数选择纳入标准化轨道。国家标准 GB/T 321—2005《优先数和优先数系》就是其中一项重要标准,由于其应用的方便性,在生产中得到广泛推广。

优先数系 R_n 是一种十进制几何级数,公比是 10 的 n 次方根,其数值传递规律为:每经 n 项,数值扩大 10 倍。

例如 R_5 系列,第一项是 1.00,经过 5 项,第 6 项是 10.00,依此类推。

GB/T 321—2005 推荐了 4 个常用系列和 1 个补充系列及派生系列,各系列公比如下所示:

$$R_5 \text{ 系列: } q_5 = \sqrt[5]{10} \approx 1.60$$

$$R_{10} \text{ 系列: } q_{10} = \sqrt[10]{10} \approx 1.25$$

$$R_{20} \text{ 系列: } q_{20} = \sqrt[20]{10} \approx 1.12$$

$$R_{40} \text{ 系列: } q_{40} = \sqrt[40]{10} \approx 1.06$$

补充系列 R80: $q_{80} = \sqrt[80]{10} \approx 1.03$, 仅在参数分级很细或基本系列中的优先数不能适应实际情况时, 才可考虑采用。

表 1-1 列出了优先数的基本系列。如将表中所列优先数值乘以 10, 100, …, 或乘以 0.1, 0.01, 0.001, …, 即可得到所有大于 10 或小于 1 的优先数。

表 1-1 优先数基本系列 (摘自 GB/T 321—2005)

R5	R10	R20	R40	R5	R10	R20	R40				
1.00	1.00	1.00	1.00	2.50	3.15	3.15	3.15				
			1.06				3.35				
			1.12				3.55				
			1.18				3.75				
		1.25	1.25	1.25	4.00	4.00	4.00	4.00			
				1.32				4.25			
				1.40				4.50			
				1.50				5.00			
	1.60		1.60	1.60			1.60		5.00	5.00	5.00
							1.70		5.60	5.60	
		1.80			6.30	6.30					
		1.90			6.30	6.30					
		2.00		2.00	2.00	6.30	6.30				
				2.12		7.10	7.10				
	2.00	2.00	2.00	6.30	6.30	6.30	6.30				
			2.12				6.70				
			2.24				7.10				
			2.36				7.50				
2.50	2.50	2.50	2.50		8.00	8.00	8.00				
			2.65		8.00	8.00					
			2.80		9.00	9.00					
			3.00		9.00	9.00					
					10.00	10.00					
					10.00	10.00					

从基本系列中还可按一定规律取值组成派生系列, 如常用的倍数系列, 就是从基本系列中隔双项取值组成的。其传递规律是: 每经 3 项, 数值倍增。如表面粗糙度 (R_a) 的数值排列, 其基本系列就是由倍增规律派生而来, 在实际应用中非常方便。

实践证明, 优先数系是一种科学的数值系列, 不仅对技术参数的简化和传递起到重要作用, 而且是制定一些相关标准的重要依据。

1.3 测量方法

1.3.1 测量原则

在实际生产中, 同一被测量往往可以采用多种方法测量, 为保证测得结果的一致性, 应遵守以下测量原则:

1. 阿贝测长原则

阿贝测长原则是指测量长度时,应使被测长度量与量仪中的标准长度量排列在一条直线上。

当测量器具设计不符合阿贝测长原则时,产生的测量误差就较大。例如,用游标卡尺测量轴径时,作为标准长度量的刻度尺与被测直径不在同一条直线上,引起的较大误差,如图1-1所示。

从图中可知,由活动量爪倾斜所产生的误差 Δ ,称为阿贝误差,即违反“阿贝测长原则”而产生的测量误差。

$$\Delta = L - L' = S \tan \varphi = S \varphi$$

式中 S ——测量线与被测线之间的距离(即标准长度量与被测长度量的偏移量);

φ ——活动量爪倾斜角,由于 φ 值很小,故 $\tan \varphi \approx \varphi$ 。

由式中看出,偏移量 S 越大,则产生误差越大。若设 $S = 20\text{mm}$, $\varphi = 0.0003\text{rad}$,则 $\Delta = 6\mu\text{m}$,此结果不能忽略不计。

而千分尺的测微螺杆轴线与被测直径在同一条直线上,符合阿贝测长原则,因此测量精度高于游标卡尺。

2. 基准统一原则

测量基准要与加工基准和使用基准统一,即工序测量应以工艺基准作为测量基准,终检测量应以设计基准作为测量基准。

3. 最短链原则

在间接测量中,与被测量具有函数关系的其他量与被测量形成测量链。形成测量链的环节越多,被测量的不确定度越大。因此,应尽可能减少测量链的环节数,以保证测量精度,称之为最短链原则。而以最少数量的量块组成所需尺寸的量块组,就是最短链原则的一种实际应用。

当然,按此原则最好不采用间接测量,而采用直接测量。所以,只有在不可能采用直接测量或直接测量的精度不能保证时,才采用间接测量。

4. 最小变形原则

测量器具与被测零件都会因实际温度偏离标准温度和受力(重力和测量力)而产生变形,形成测量误差。

在测量过程中,控制测量温度及其变动,保证测量器具与被测零件有足够的等温时间,选用与被测零件线胀系数相近的测量器具,选用适当的测量力并保持其稳定,以及选择适当的支承点等,都是实现最小变形原则的有效措施。

1.3.2 测量器具

测量器具是测量仪器与测量工具的总称。

1. 量具与量仪的分类

通常把没有传动放大系统的测量工具称为量具,如量块、量规、游标卡尺、直角尺等;

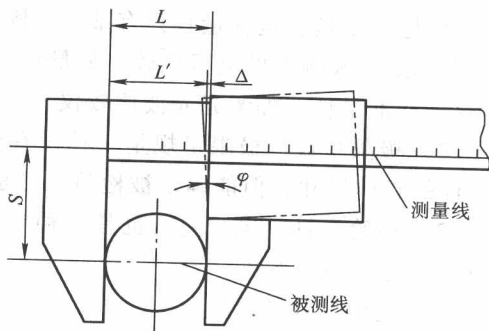


图1-1 游标卡尺不符合阿贝测长原则

把具有传动放大系统的测量器具称为量仪，如比较仪、测长仪和投影仪等。

量具、量仪可以按计量学的观点进行分类，也可以按器具本身的结构、用途和特点进行分类。

按用途、特点，量具、量仪一般可分为：

(1) 标准量具与量仪

1) 标准量具。这种量具只有某一个固定尺寸，通常用来校对和调整其他计量器具或作为标准用来与被测工件进行比较，如量块、直角尺、各种曲线样板及标准量规等。

2) 标准量仪，如激光光波比较仪、光波干涉比较仪、立式光学计等。

(2) 极限量规 极限量规是一种没有刻度的专用检验工具。用这种工具不能得出被检验工件的具体尺寸，但能确定被检验工件是否合格。

(3) 检验夹具 检验夹具也是一种专用的检验工具。当配合各种比较仪时，能用来检查更多和更复杂的参数。

(4) 通用量具与量仪

1) 通用量具，如卡规、塞规、环规、塞尺、钢直尺、游标卡尺、千分尺、杠杆千分尺、半径样板、深度尺、高度尺等。

2) 通用量仪，如百分表、杠杆百分表、测微仪、测长仪、大型工具显微镜、万能工具显微镜、投影仪、光学比较仪等。

通用量仪按其工作原理还可以分为如下5类：

① 机械量仪。机械量仪是利用杠杆、齿轮、弹簧等作为传动放大结构，通过读数装置表现出来的一种测量仪器，例如百分表、千分表、扭簧测微仪、杠杆齿轮式测微仪等。

② 光学量仪。此类仪器的工作原理是利用光学透镜将被测零件放大投影在投影屏上，再通过投影屏上的指标线瞄准被测零件的轮廓像，由坐标读数系统读出各被测点的坐标值，例如光学比较仪、测长仪、工具显微镜、投影仪等。卧式测长仪是长度计量中应用广泛的光学计量仪器之一，因其设计符合阿贝测长原则，又称阿贝测量仪。卧式测长仪不仅能测量外尺寸，还能进行各种内尺寸的测量，如内孔、内螺纹中径等。由于该仪器测量精度高，因而在精密测量中应用广泛。

③ 气动量仪。气动量仪是利用压缩空气流过零件表面时压力或空气流量变化的原理所构成的测量仪器，例如水柱式气动量仪、水银式气动量仪、浮标式气动量仪、膜片式气动量仪和波纹管式气动量仪等。

④ 电动量仪。电动量仪是将被测尺寸转变为电信号来实现长度尺寸测量的仪器。电动量仪一般由测量装置（或传感装置）、电器装置和显示装置三部分组成。常用有电动测微仪、电动轮廓仪及圆度仪等。

⑤ 光栅式量仪，如光栅测量仪、光栅式分度头等。

(5) 测角量具与量仪

1) 测角量具，如角尺、正弦规、游标万能角度尺、圆锥量规、正切尺、角度量块和锥度样板等。

2) 测角量仪，如水平仪、光学分度头（盘）、光学测角仪、光学倾斜仪和光学合像水平仪等。

(6) 检测集合形状与相互位置的量具与量仪

- 1) 检测集合形状与相互位置的量具, 如平晶、平台、样板平尺等。
- 2) 检测集合形状与相互位置的量仪, 如偏摆检查仪、圆度仪和平直度测量仪等。

(7) 检测表面粗糙度的量具与量仪

- 1) 检测表面粗糙度的量具, 如表面粗糙度样板。
- 2) 检测表面粗糙度的量仪, 如干涉显微镜、轮廓仪(电感式、压电式)和光切显微镜等。

(8) 检测螺纹的量具与量仪

- 1) 检测螺纹的量具, 如螺纹千分尺和螺纹量规(螺纹塞规、螺纹环规)等。
- 2) 检测螺纹的量仪, 如螺距测量仪、丝杠测量仪等。

(9) 检测齿轮的量具与量仪

- 1) 检测齿轮的量具, 如公法线千分尺、齿厚游标卡尺等。
- 2) 检测齿轮的量仪, 如渐开线齿形检查仪、周节检查仪、基节仪、单面啮合检查仪、双面啮合检查仪、滚刀检查仪、导程检查仪和齿向检查仪等。

各种形式的量具、量仪都具有一个共同点, 即它们必须具有: 检测、比较、显示标准值和被测值之间的差别这三个基本功能, 其他的一些功能可以满足多样化的需要。

2. 测量器具的技术指标(也称度量指标)

测量器具的度量指标既反应了测量器具的性能, 又是选择和使用测量器具的依据, 故只有充分理解其含义, 才能在实验中熟练应用。

(1) 标尺间距与分度值

1) 标尺间距: 测量器具的刻度标尺或刻度盘上相邻两刻线间的距离, 考虑到人的视觉特点一般为 $1 \sim 2.5\text{mm}$ 。

2) 分度值(刻度值): 测量器具的刻度尺或刻度盘上每一刻度间距所代表的量值。一般来说, 分度值越小, 测量器具的精度越高。如图 1-2 所示, 表盘上的分度值是 0.001mm , 即 $1\mu\text{m}$ 。

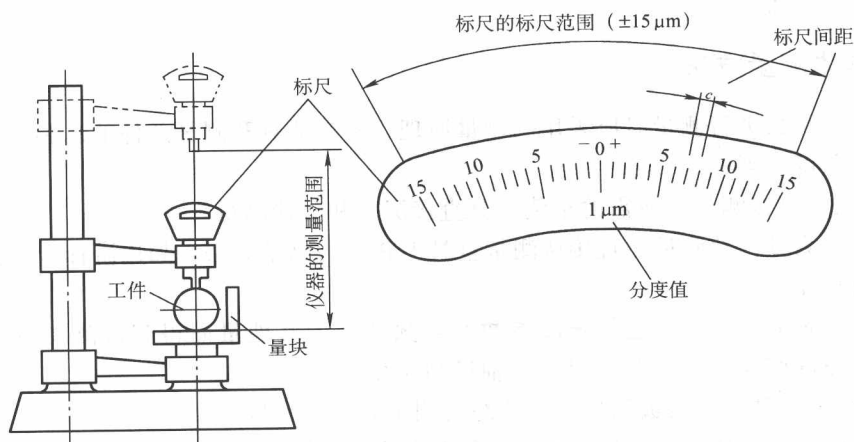


图 1-2 标尺间距、分度值、标尺范围、测量范围的比较

(2) 标尺范围与测量范围

- 1) 标尺范围: 测量器具全部刻度所能显示或指示的初始值到终止值的范围。

2) 测量范围: 测量器具所允许测量尺寸的最小值到最大值的范围。如千分尺的测量范围就有 0 ~ 25mm、25 ~ 50mm、50 ~ 75mm、75 ~ 100mm 等多种。

图 1-2 以机械式比较仪为例说明了以上参数。该量仪的标尺间距是图中两条相邻刻线间的距离 c , 分度值为 $1\mu\text{m}$, 即 0.001mm , 标尺的标尺范围为 $\pm 15\mu\text{m}$, 测量范围如图中标注所示, 其数值一般为 0 ~ 180mm。

(3) 灵敏度 (也称放大比)

1) 灵敏度: 是指测量器具对被测量微小变化的反应能力。若被测量变化为 ΔL , 测量器具上相应变化为 ΔX , 则灵敏度 S 为

$$S = \Delta X / \Delta L$$

2) 放大比: 当 ΔL 与 ΔX 为同一量类时, 灵敏度又称放大比 K 。对于一般长度测量器具等于标尺间距 c 与分度值 i 之比, 即

$$K = c / i$$

一般来说, 分度值越小, 则测量器具的灵敏度就越高, 即放大比越高。

(4) 示值误差、修正值、回程误差

1) 示值误差: 测量仪器的示值与被测量真值的代数差。主要由仪器制造误差和仪器调整误差引起。一般来说, 示值误差越小, 测量器具精度越高。

2) 修正值: 是指为消除示值误差, 加到测量结果上的代数值。其大小与示值误差绝对值相等, 而符号相反。例如, 示值误差为 -0.004mm , 则修正值为 $+0.004\text{mm}$ 。

3) 回程误差: 是指在相同测量条件下被测量值不变, 测量器具行程方向不同时, 两示值之差的绝对值。主要由测量器具中零件的间隙、变形和摩擦等引起的。

(5) 关于测量器具的不确定度 不确定度是指由于测量误差的存在而对被测量值不能肯定的程度。这是一个综合指标, 包括示值误差、回程误差等。

(6) 测量力 测量力是指接触测量过程中测头与被测物体之间的接触压力。过大的测量力会引起测头和被测物体的变形, 从而引起较大的测量误差, 较好的测量器具一般均设置有测量力控制装置。

1.3.3 具体测量方法

测量方法是指进行测量时所采用的测量原理、测量器具和测量条件的总和。测量方法可以从不同的角度分类。

1) 按是否直接测量出所需的量值, 分直接测量和间接测量。

① 直接测量: 被测量能直接从测量量具上获得的测量方法。如用游标卡尺或比较仪直接测量轴的直径。

② 间接测量: 通过测量与被测参数有函数关系的其他量而得到被测参数值的测量方法。如用“弓高弦长法”测量大尺寸的轴径和孔径。

2) 按指示值是否就是被测量值, 分绝对测量和相对测量。

① 绝对测量: 是指测量时从测量器具上直接读取被测量值的测量方法。例如, 用游标卡尺测量轴径尺寸。

② 相对测量: 是指从测量器具上读出的是被测量对于标准量的偏差值, 从而间接得出被测量值的测量方法。如用机械式测微比较仪测量轴径, 读数值为被测轴径相对于量块的偏

差,轴径等于测得偏差与量块尺寸的代数和。

3) 按被测参数的多少,分综合测量和单项测量。

① 综合测量:同时测量工件上几个相关参数,综合判断工件是否合格。如用螺纹量规检验螺纹的作用中径是否合格。

② 单项测量:测量工件的单项参数,各参数间没有直接联系。如用工具显微镜分别测量螺纹的大径、小径、螺距和牙型半角等。

单项测量便于进行工艺分析,找出误差产生的原因,而综合测量只能判断零件合格与否,但综合测量的效率比单项测量高。

4) 按被测零件的表面与测头是否有机械接触,分接触测量和非接触测量。

① 接触测量:被测零件与测量头有机械接触,并有机械作用的测量力存在。如用机械式比较仪测量轴径,用千分尺测量轴径。

② 非接触测量:被测零件表面与测量头没有机械接触。如光学投影测量、激光测量等。接触测量会引起被测表面和测量器具的有关部分产生弹性变形,因而影响测量精度,非接触测量则无此影响。如用光切显微镜测量表面粗糙度。

5) 按测量技术在制造工艺中起的作用,分主动测量和被动测量。

① 主动测量:零件在加工过程中进行的测量。这种测量方法可以直接控制零件的加工过程,能及时防止零件报废。

② 被动测量:零件加工完毕后所进行的测量。这种测量方法仅能发现和剔除废品。

主动测量常应用在生产线上,使测量与加工过程紧密结合,根据测量结果随时调整机床,以最大限度地提高生产率和产品合格率,因而是检验技术发展的方向。

6) 根据测量时工件是否运动,分静态测量和动态测量。

① 静态测量:在测量过程中,工件的被测表面与测量器具的测量元件处于相对静止状态,被测量的量值是固定的。例如,用游标卡尺测量轴径。

② 动态测量:在测量过程中,工件被测表面与测量器具的测量元件处于相对运动状态,被测量的量值是变动的。例如,用圆度仪测量圆度误差和用偏摆仪测量跳动误差等。

动态测量可测出工件某些参数连续变化的情况,经常用于测量工件的运动精度参数。

1.3.4 测量条件

测量条件是指测量器具、测量环境、测量人员的总称,主要指测量时零件和测量器具所处的环境条件,如温度、湿度、振动和灰尘等。

测量时标准温度为 20°C 。一般测量室的温度控制在 $20^{\circ}\text{C} \pm (0.5 \sim 2)^{\circ}\text{C}$,精密测量室的温度控制在 $20^{\circ}\text{C} \pm (0.05 \sim 0.03)^{\circ}\text{C}$ 。测量室的相对湿度应以 $50\% \sim 60\%$ 为适宜,还应远离振动源,清洁度要高等。

1.4 测量误差

在测量中不可避免产生误差,所以任何测量都不可能绝对精确,只能在某种程度上近似于它的真值。要想获得能满足要求的正确的测量结果,必须对测量数据作科学的整理和分析。分析研究测量误差产生的原因及其规律,找出相应的措施,并对测量误差进行定性分析