

哈尔滨船舶工程学院出版社

公差配合与技术测量

吕帆 主编

目 录

第一章 互换性与公差制概述	1
一、互换性概念	1
二、加工误差和测量误差对互换性的影响	2
三、公差制概述	3
四、本课程的内容、性质和要求	4
第二章 几何量测量基础	5
一、概述	5
二、长度基准与尺寸传递	5
三、测量方法的分类及其特点	8
四、测量器具的分类与性能指标	10
五、常用测量器具的结构与工作原理	11
六、测量误差的基本知识	20
七、测量器具的选择原则	28
第三章 尺寸公差与孔、轴配合	30
一、基本术语及其定义	30
二、尺寸公差与孔、轴配合的基本规定	35
三、尺寸公差与孔、轴配合的选用	44
第四章 形状和位置公差与检测	55
一、概述	55
二、形状和位置公差带	59
三、公差原则	66
四、形位公差等级、公差值及其选用	71
五、形位误差的检测	77
第五章 表面粗糙度	86
一、表面粗糙度基本概念及有关术语和定义	86
二、表面粗糙度评定参数、数值及注法	89
三、表面粗糙度的选用	90
四、表面粗糙度的检测	94
第六章 光滑工件的检验	98
一、用光滑极限量规检验	98
二、用通用计量器具检验	103

第七章 角度、圆锥的公差与检测	106
一、概述.....	106
二、圆锥公差.....	108
三、角度公差.....	110
四、锥度和角度的检测.....	110
第八章 滚动轴承的公差与配合	114
一、滚动轴承的类型和公差等级.....	114
二、滚动轴承内、外径公差带.....	114
三、与滚动轴承配合的轴颈和外壳孔的精度要求.....	115
第九章 键和花键的公差与检测	119
一、平键联结的公差与检测.....	119
二、矩形花键联结的公差与检测.....	122
第十章 螺纹的公差与检测	128
一、螺纹的主要几何参数.....	128
二、普通螺纹的公差与配合.....	129
三、普通螺纹的互换性条件.....	132
四、机床丝杠和螺母的公差.....	135
五、螺纹的检测.....	137
第十一章 圆柱齿轮公差与检测	141
一、概述.....	141
二、齿轮误差与公差项目及其测量.....	142
三、齿轮副误差与公差项目.....	152
四、齿轮公差标准及其应用.....	155
第十二章 尺寸链	164
一、概述.....	164
二、极值法计算尺寸链.....	166
三、统计法计算尺寸链.....	172
附表	178

第一章 互换性与公差制概述

一、互换性概念

现代工业生产的特点是品种多、产量大和以专业化协作的方式进行。在汽车、飞机、船舶、仪表、日用工业中用到的大量零部件，是由国内及至国外许多不同的专业生产厂，由不同的工人，在不同的时间内制造出来，而后汇集到装配厂进行总装。这些零部件在装配前不需挑选，装配时不需修配，而装配后具有相同的使用性能，我们称这样的生产为遵循互换性原则的生产。把零部件具有的这种性质称为互换性。

例如，同一种型号、规格的自行车，几乎全部零部件都是可以互换的。装配时一般无须挑选，零件损坏了只须从商店里买来就可以很方便地更换。又如减速器中的许多零部件，如齿轮、键、螺栓、垫圈、轴承、油杯等等也都是可以互换的。由于减速器在机械工业中的应用如此广泛，还制订了减速器标准。在没有特殊使用要求的情况下，不必专门设计，只须从有关标准中选用型号、规格合适的标准减速器。因此整个减速器都是可以互换的。

互换性是社会进步与生产发展的产物。资本主义初期，生产是以“作坊、单件、配作”的方式进行的。随着社会与生产的发展，逐渐以“工厂、成批大量、互换”的方式取而代之。

生产决定互换性的产生和发展，互换性给生产以巨大的促进。在产品设计方面，由于零部件具有互换性，使得在设计各种不同性能的产品时有可能选用经过标准化的通用零部件。从而，大大简化计算和绘图工作，缩短设计周期；在产品制造方面，互换性有利于组织专业化生产。而专业化生产为采用高效率的专用设备乃至计算机辅助制造；为工艺过程机械化、自动化、最优化，实现优质、高产、低消耗提供了广阔前景；在设备维修方面，由于零部件具有互换性，就能够很容易地更换已经磨损或损坏了的零部件，设备维修的时间和费用得以减少。总之，互换性原则已成为现代机器制造业普遍遵循的技术经济原则。

互换性的含义包括两个方面：装配性和使用性。装配性主要与零部件的几何参数有关，仅保证装配性要求的互换性称狭义互换性，即通常所指的几何参数互换性，是本课程的研究对象；保证使用性能要求的互换性称为功能互换性，它与零部件的几何参数、机械性能参数、理化性能参数有关，属于广义互换性，它不是本课程所研究的内容。

根据零部件互换的形式和程度的不同，互换性又可分为完全互换与不完全互换。

完全互换是指装配或更换时完全不须挑选或修配而能达到使用要求，它是现代工业生产的主要形式。汽车、飞机、船舶、机床以及仪器、仪表中的不少零部件都是完全互换的。其中用得最多的螺栓、螺母、垫圈、销等零件是完全互换的最典型的例子，称为标准件。

不完全互换是指装配或更换时必须辅以必要的选择或调整。通常以分组装配法和调整、修配法来实现。

分组装配方法用于配合精度要求很高的部位。如果按图纸要求加工，工艺难度很大，效率很低，经济性很差。为此，将两相配合零件或其中之一的图纸要求降低进行加工。然后通过测量一批相配合零件的实际尺寸，将两种零件按实际尺寸大小适当分组进行装配，仍能满足原设计要求，在不降低功能的前提下取得较好的经济效果。例如，为了保证滚动轴承的旋转精度，滚动轴承外圈内径、内圈外径与滚动体直径的配合多采用分组选配的装配方法。

调整、修配法用于某一装配尺寸受多个零件尺寸影响的场合，由于各零件尺寸误差的累积，无法保证该装配尺寸的精度要求。为此，将其中某一次要零件的尺寸设计为可调整或可修配的，以达到装配精度要求。例如：为了控制减速器中滚动轴承的轴向间隙而设计一组调整垫片；为保证车床前后顶针等高精度而修配尾架底板等。

应该指出，尺寸较大、公差等级较高，单件小批生产以及产品试制中的配合零件，生产中允许实行“配作”，它是指以一个完工零件的实际尺寸为基数来配制另一零件的配制配合。实行配制配合的零件虽然没有互换性，但这种生产方式在保证配合要求的前提下，降低了制造工艺难度，可以认为是互换性生产中的一种特殊工艺措施。例如：船舶柴油机机座与船体基座之间用紧配螺栓联结处的配合即实行配作。

二、加工误差和测量误差对互换性的影响

具有互换性的零件理论上应该有完全一致的几何参数，即完全一致的尺寸、形状、位置、表面粗糙度等。但是，由于加工误差和测量误差的不可避免，绝对准确是办不到的。即使技术最熟练的工人使用最精密的机床和量具，也不可能制造出一个与事先规定的几何参数毫无偏差的零件；同一个工人用同一台机床、按同一张图纸，一次加工出来的一批零件的几何参数也总会存在着细微的差别。

零件加工过程的各个环节都会产生误差。有些误差因素在加工之前就已经存在。例如，加工原理误差，机床、夹具、刀具的制造、安装和磨损误差。而加工过程中的误差主要来自切削力和切削热所产生的振动、变形以及刀具磨损。即便在加工完后也仍然可能产生误差，主要是内应力所引起的工件变形以及测量本身的不确定度。而测量误差不仅来源于测量器具，还与环境条件、人员因素有关。

因此，靠零件几何参数绝对准确来实现互换的方法是行不通的。事实上，从机器使用和互换性生产的要求来看，只要将零件的实际尺寸、形状与位置、表面粗糙度以及零件之间的配合关系限制在一定范围内变动，就可实现互换。人们总是能够通过一定的工艺过程和检测措施，将误差限制在上述变动范围内。

问题在于如何根据不同的使用要求对零件几何参数允许的变动范围（即“公差”）作合理的规定和对检测方案与检测精确度提出合理要求。即如何规定合理的公差制度，以便设计者选用、加工者遵循、检验者控制。使得既满足互换性要求、又要有合理的工艺性和经济性。

三、公差制概述

为使现代大工业生产得以顺利进行，必须建立符合互换性规律的公差制。随着生产发展与技术进步，本世纪公差制在一些先进工业国家得到迅速发展并日臻完善，在总结大量生产实践经验的基础上，经简化、优选和协调、统一，形成了为世界各国公认

的国际公差制（简称ISO制，见图1-1）。国际公差制包括公差与配合制和测量与检验制。公差与配合制是对零件加工后实际尺寸、形状与位置、表面粗糙度以及相互结合零件之间配合关系的允许变动范围所作出的统一规定。它协调机器零件的使用要求与制造条件之间的矛盾，以及组成机器的零件之间的装配性矛盾。测量与检验制是对检验完工零件实际几何要素是否合格的原则、测量方法以及测量不确定度所作的统一规定。

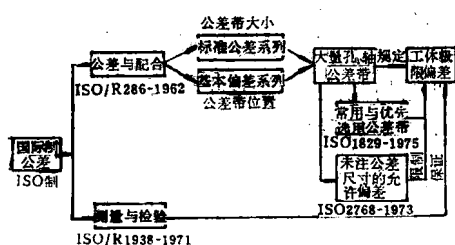


图1-1 国际公差制

定。它协调设计要求与测量检验之间的矛盾。

解放后我国沿用苏联公差制。1979年以来逐步采纳国际公差制，并积极参加“国际标准化组织”（英文简称ISO）的活动。本教材所涉及的主要技术标准，如《公差与配合》、《形状与位置公差》、《公差原则》、《表面粗糙度》、《光滑极限量规》、《光滑工件尺寸的检验》以及轴承、齿轮、键、螺纹等国家标准，都是近年来按照与国际标准等效的原则，在总结生产经验和科学试验的基础上，结合我国发展远景，由有关方面协调制订，经主管部门批准而颁布实施的。这些国家标准(GB)作为统一的技术法规应为机械制造业的各方面遵循。

我国的计量技术在解放后有了很大发展。1959年统一了计量制度，规定以米制作为长度计量单位。在全国建立了统一的尺寸传递系统和相应的国家、省市、企业三级管理体制。1986年7月1日国家主席令实行《中华人民共和国法定计量单位》，在采用国际单位制的基础上，进一步统一我国的计量单位。国家十分重视研究测试理论，制订有关计量与检测的规范和标准以及研制精密测试仪器的工作。当代新的物理原理和最新技术迅速地在检测技术中得到应用，而新的检测技术又促进当代科学技术突飞猛进地发展。现在测量技术中已经不仅限于应用机械原理和几何光学原理而开始普遍采用光[波干涉、无线电、数字显示、光电摄像和计算机技术。计算机进入测量仪器不仅用于测量数据处理，还用于控制测量程序以及实现加工过程的动态检测与自动化检测。

总之，互换性原则乃是现代大工业生产的基本原则，公差制是互换性生产的产物。其中，公差与配合制是对加工误差的限制性措施；测量与检验制则是贯彻公差与配合制的技术保证。从而使互换性生产得以顺利实施和不断发展。

四、本课程的内容、性质和要求

本课程主要研究几何参数的互换性及其公差制，研究如何根据使用要求与制造条件规定合理的公差与配合，以及根据公差与配合的规定，检测零件几何参数的基础知识和基本技术。

“公差与配合”属标准化范畴，标准化在当今世界，尤其在我国仍然是一门新的学科。“检测技术”属计量学范畴。本课程根据互换性原理将二者有机地结合在一起。内容涉及机械设计、制造工艺、质量控制、生产管理等许多方面，成为机械类专业一门重要的技术基础课。在课程设置中，它是联系设计类课程与制造工艺类课程的纽带，在教学计划中，它是从基础课、技术基础课教学过渡到专业课教学的桥梁。

通过本课程的学习，应能：

掌握机械制造的互换性原理和有关机械零件的公差配合与测量检验的基础知识；

掌握有关公差标准的主要内容和规定；

掌握选用公差与配合的基本原则与方法，会查用有关公差标准表格并能在图样上正确标注；

掌握常用计量器具的基本结构、工作原理和使用这些器具的基本技能；

能设计量规。

习 题

1. 说明互换性的含义以及互换性与可装配性，完全互换与不完全互换的区别。
2. 分析互换性原则对生产的技术和经济意义。
3. 论述加工误差和测量误差与互换性的关系。
4. 试述国际公差制的结构及各部分的功能。

第二章 几何量测量基础

一、概 述

机械零件的几何量主要指长度、角度、几何形状、相对位置和表面粗糙度等。为了保证产品质量和互换性，零件尺寸加工好后必须进行正确的测量。这是各企业进行质量管理的工作之一。本章主要讨论上述几何量的测量技术和测量器具等。通常也称长度计量技术。

所谓测量是指将被测量与一个作为测量单位的标准量进行比较的实验过程。检验是与测量相近的一个概念，但它与测量有不同的特点。测量要求获得被测量的具体数值，而检验仅是确定被测量是否在规定的验收极限范围内，一般不要求得出具体的数值。如用极限量规检验零件尺寸。

一个完整的测量过程应包括被测对象、测量单位和测量方法三要素。

被测对象——主要指长度和角度等几何量中的轴和孔的直径、坐标尺寸、螺距、齿厚、形位公差和表面粗糙度等。

测量单位——采用法定计量单位。长度计量单位与国际单位制是一致的。基本单位是米(m)。在机械制造中常用单位是毫米(mm)， $1\text{mm} = 0.001\text{m}$ 。在技术测量中常用单位是微米(μm)， $1\mu\text{m} = 0.001\text{mm}$ 。角度单位采用度、分、秒。

测量方法——是指使用测量器具的方式、步骤和测量条件的总称。测量方法主要决定于测量器具。本章仅介绍常用测量器具的结构特点与工作原理，测量方式和步骤见实验指导书。

测量的目的是希望获得被测量的真值。但由于各种因素的影响，测得值中必定存在着测量误差，我们只能得到接近于真值的某个约定值。本章将重点讨论测量误差的性质、来源以及发现和减小测量误差的基本方法，使测量结果在允许的范围之内。

二、长度基准与尺寸传递

为了保证零件的互换性，首先要有统一标准的长度单位，并且要有严格的传递关系。

1. 长度基准

国际上和我国法定的长度基本单位是“米”。一米的长度必须严格定义。对于符合定义并便于复现和保存的长度单位的物体，叫做长度基准。

人类对长度基准的认识和建立有一个随着科技进步而发展的过程。早在1790年，法国将一米定义为通过巴黎的地球子午线的四千万分之一，以后又用铂铱合金制成基准米

尺。1889年在国际会议上被批准为国际基准米尺，其复现不确定度为 $\pm 1.1 \times 10^{-7}$ 。到1960年将米的定义改为“一米的长度等于 Kr^{86} 原子的 $2p_{10}$ 和 $5d_5$ 能级之间跃迁所对应的辐射在真空中波长的1650763.73倍”。其复现不确定度为 $\pm 4 \times 10^{-9}$ 。1983年将米新定义为“一米是光在真空中在 $1/299792458$ 秒时间间隔内所经过的距离。”用激光复现它，其不确定度为 $\pm 1 \times 10^{-9}$ 。

2. 尺寸传递

光波基准由国际计量组织或国家掌握，又不便于直接应用，要传递到被测工件，必须建立严格的尺寸传递系统。在实际工作中常使用量块和线纹尺进行尺寸传递。如图2-1。由国家计量科学研究院、区域计算站、省（市）计量所和各企业的计量室所构成的计量网来负责实施。

3. 量块

量块亦称块规或标准块。它除用于尺寸传递外，还可以作为标准尺寸对工件进行比较测量或调整精密机床和夹具等。

(1) 量块的形状和工作尺寸 常用量块制成长方形的正六面体，如图2-2。它具有非常光洁和平行度极高的两测量面。工作尺寸 L 规定为两测量面之间的中心长度，即上测量面的中心到下测量面相粘合的平晶表面的垂直距离。

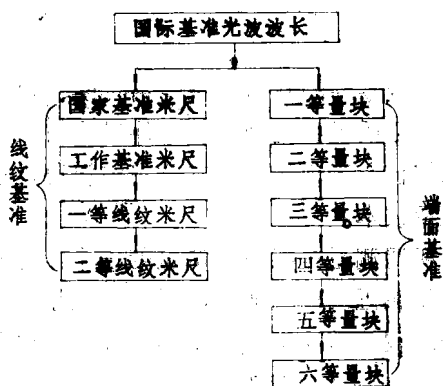


图2-1 长度尺寸传递系统

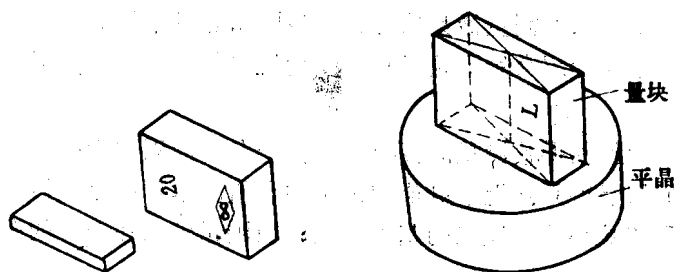


图2-2 量块

(2) 量块的精度

量块按制造精度（即根据其中心长度的允许偏差和两测量面之间的平行度允许偏差）可分为0、1、2、3、4共五级。0级最高，4级最低，如表2-1。

量块按检查精度可分为1、2、3、4、5、6共六等。1等最高，6等最低，如表2-2。

量块的级与等有一定的关系。等可以从相应的级中，按检定其中心长度时的极限测量误差获得。从上面两表中可知，从0级中可检出1、2等；从1、2级中可检出3、4等；从3、4级中可检出5、6等。

表2-1 各级量块的精度指标 (摘自JJG100-81)

名义尺寸 (mm)	0级		1级		2级		3级		4级	
	①	②	①	②	①	②	①	②	①	②
	(μm)									
~10	0.10	0.10	0.20	0.20	0.5	0.20	1.0	0.4	2.0	0.4
>10~18	0.15	0.10	0.25	0.20	0.6	0.20	1.0	0.4	2.0	0.4
>18~30	0.15	0.10	0.30	0.20	0.6	0.20	1.0	0.4	2.0	0.4
>30~50	0.20	0.12	0.35	0.25	0.7	0.25	1.5	0.5	3.0	0.5
>50~80	0.25	0.12	0.45	0.25	0.8	0.25	1.5	0.5	3.0	0.5

注: ①中心长度允许偏差(±); ②平面平行性允许偏差。

表2-2 各等量块的精度指标 (摘自JJG100-81)

名义尺寸 (mm)	1等		2等		3等		4等		5等		6等	
	①	②	①	②	①	②	①	②	①	②	①	②
	(μm)											
~10	0.05	0.10	0.07	0.10	0.10	0.20	0.20	0.20	0.5	0.4	1.0	0.4
>10~18	0.06	0.10	0.08	0.10	0.15	0.20	0.25	0.20	0.6	0.4	1.0	0.4
>18~35	0.06	0.10	0.09	0.10	0.15	0.20	0.30	0.20	0.6	0.4	1.0	0.4
>30~50	0.07	0.12	0.10	0.12	0.20	0.25	0.35	0.25	0.7	0.5	1.5	0.5
>50~80	0.08	0.12	0.12	0.12	0.25	0.25	0.45	0.25	0.8	0.6	1.5	0.5

注: ①中心长度测量的极限误差(±); ②平面平行性允许偏差。

表2-3 成套量块尺寸表 (摘自JB1078-67)

套别	总块数	级 别	公称尺寸(mm)	间隔 (mm)	块 数
1	83	0, 1, 2, 3	0.5	—	1
			1	—	1
			1.005	—	1
			1.01, 1.02, ..., 1.49	0.01	49
			1.5, 1.6, ..., 1.9	0.1	5
			2.0, 2.5, ..., 9.5	0.5	16
2	46	0.1	10, 20, ..., 100	10	10
			1	—	1
			1.001, 1.002, ..., 1.009	0.001	9
			1.01, 1.02, ..., 1.09	0.01	9
			1.1, 1.2, ..., 1.9	0.1	9
			2, 3, ..., 9	1	8
3	38	1, 2, 3	10, 20, ..., 100	10	10
			1	—	1
			1.005	—	1
			1.01, 1.02, ..., 1.09	0.01	9
			1.1, 1.2, ..., 1.9	0.1	9
			2, 3, ..., 9	1	8

(3) 量块的特性与应用

量块的基本特性：尺寸稳定性好，其精度可以保持长期基本不变。测量面粘附性好，即将两块量块的测量面互相接触，并在不大的压力下作一些切向相对滑动时就能贴附在一起的特性。

量块在实际应用中，按级使用时，量块的尺寸为公称尺寸，忽略其制造误差；按等使用时，量块的尺寸为实际尺寸，仅忽略了检定时测量误差。显然，按等使用较按级使用要精确。

量块可以单块使用，也可组合使用。为了能组成一定范围内的尺寸，量块是成套制造和供应的，如表2-3。

使用量块组时，为了减少量块组尺寸的误差，应尽量减少量块组的量块数目，一般不得多于4~5块。组合量块组的规则是，从所组尺寸的最后一位数字开始考虑，每选一块应使尺寸的位数至少减少一位。

例如 要组成38.935尺寸，若采用83块一套的量块，其选取方法为：

38.935	
- 1.005	第一块量块尺寸为1.005mm
37.930	
- 1.43	第二块量块尺寸为1.43mm
36.50	
- 6.5	第三块量块尺寸为6.5mm
30.0	第四块量块尺寸为30mm

4. 多面棱体

角度也是机器和仪器制造中常见的几何参数之一。由于一个圆周角的定义为 360° ，因此角度不需要建立自然基准。以前用角度块作为角度传递的媒介，由于精度低，已被多面棱体取代。目前生产的多面棱体有4、6、8、14、24、36、72面等几种，制造的极限偏差一般为 $\pm 1'' \sim 5''$ 。图2-3为八面棱体。

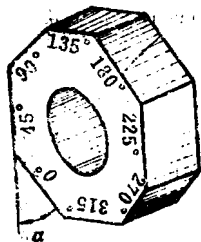


图2-3 多面棱体

多面棱体主要用于检定角度量仪和精密圆周刻度盘等。

国内已制造出精密端齿分度盘，分度精度能稳定地达到 $\pm 0.2''$ ，可作为角度基准使用。

三、测量方法的分类及其特点

测量方法可从不同的角度进行分类，常见的分类方法有以下几种。

1. 根据测量时是否与标准量进行比较分，有绝对测量与相对测量

绝对测量——是指从测量器具上直接读得被测尺寸的全值的测量方法。如用游标卡尺或千分尺测量轴的直径等。

相对测量——是指从测量器具上读得被测尺寸相对于已知标准量的偏差的测量方法。被测尺寸的全值为已知标准量与偏差值的代数和。如图2-4用比较仪测量轴的直径。测量时，首先根据被测轴径的基本尺寸选用量块，并用量块将比较仪调零，然后换上被

测轴进行比较。在比较仪上读出轴径相对于量块的偏差值。轴的测量结果为量块尺寸与该偏差的代数和。

一般来说，相对测量的测量精确度较高，所以在精密测量中被广泛应用。

2. 根据测量结果的获取方式不同分，有直接测量与间接测量

直接测量——是指直接测量被测尺寸，并从测量器具上直接获得测量结果的测量方法。如用游标卡尺、千分尺或比较仪测量轴径等。

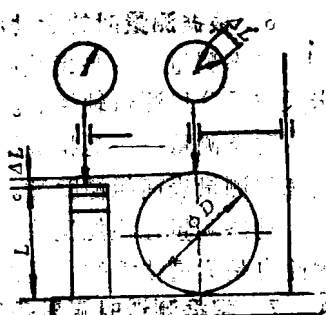


图2-4 相对测量

间接测量——是指通过对与被测的量成函数关系的其它量的测量，再通过函数计算方能得到被测量值的测量方法。如图2-5，对孔心距的测量，先用游标卡尺测出A和B值，然后计算L值：

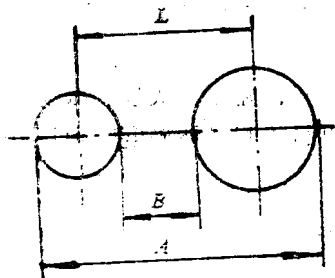


图2-5 间接测量

$$L = \frac{A + B}{2}$$

3. 根据被测表面与测量器具的测头是否接触分，有接触测量与不接触测量

接触测量——是指工件的被测表面与测头（敏感元件）

直接接触的测量方法。如用游标卡尺和千分尺测量轴径等。

不接触测量——是指工件的被测表面与测头（敏感元件）不直接接触的测量方法。如用光切显微镜测量零件的表面粗糙度等。

接触测量具有接触可靠、测量值稳定的优点，但由于有测量力存在，使测量器具和被测表面产生变形，或划伤被测表面。不接触测量不宜用于有油污和切削液的零件测量。

4. 根据同时测量的几何参数的多少分，有单项测量与综合测量

单项测量——是指对被测工件的每一个几何参数分别进行测量的测量方法。如用工具显微镜分别测量螺纹的中径、螺距和牙型半角等。

综合测量——是指对被测工件的几个相关参数，一次同时测量它们的综合状态的测量方法。如用单面啮合综合检查仪测量齿轮的切向综合误差等。

单项测量效率低，但容易发现误差的根源，便于进行工艺分析，通常用于单件小批生产中。综合测量有相反的特点，大多用于成批生产中。

5. 根据在机械加工过程中所起的作用分，有被动测量与主动测量

被动测量——是指被测尺寸在加工好后所进行的测量方法。测量结果仅限于发现并剔除废品。

主动测量——是指被测尺寸在加工的同时所进行的测量方法。测量结果可直接用以控制加工过程，及时地防止废品的发生。

主动测量常用在生产线上与加工过程紧密地结合在一起，使测量技术发挥积极的作用。是测量技术的发展方向。

6. 根据测量时的运动状态分, 有静态测量与动态测量

静态测量——是指被测表面与测量头在相对静止状态下进行的测量方法。如用游标卡尺或千分尺测量轴径等。

动态测量——是指被测表面与测量头在相对运动状态下进行的测量方法。如用电动轮廓仪测量表面粗糙度等。

动态测量往往能反映零件接近使用状态下的情况, 测量效率和测量精确度又较高, 因此也是测量技术的发展方向。

7. 根据测量时测量条件是否改变分, 有等精度测量与不等精度测量

等精度测量——是指在测量条件不变的情况下对某一量进行多次重复测量的测量方法。

不等精度测量——是指在不同的测量条件下对某一量进行多次重复测量的测量方法。

所谓测量条件是指测量器具、测量方法、测量人员以及温度、湿度、灰尘、振动等因素。本章仅讨论等精度测量。不等精度测量仅在为了得到更高的测量精确度时使用。

四、测量器具的分类与性能指标

1. 测量器具的分类

测量器具主要指量具和计量仪器(简称量仪)。量具是指那些能直接表示出长度单位和界限的简单测量器具; 量仪是指利用机械、光学、气动和电动等原理, 将长度单位放大或细分的测量器具。

(1) 量具

按照它们的结构特点和功能分:

① **标准量具** 只有某一个固定尺寸的量具。通常用于尺寸传递和校对、调整其他测量器具、或作为标准量与被测尺寸进行比较测量等。如量块和多面棱体等。

② **通用量具** 有刻度、能直接指示一定范围内的任意值的测量器具。它又可分为:

a. **固定刻线量具** 如钢尺、线纹尺等。

b. **游标量具** 如游标卡尺、游标深度尺和游标高度尺等。

c. **螺旋测微量具** 如外径千分尺、内径千分尺和深度千分尺等。

③ **专用量具** 是指没有刻度的专用检验量具。它只能判断工件合格与否, 不能测出具体数值。如光滑极限量规等。

(2) 量仪

按它们的结构特点可分为:

① **机械量仪** 如百分表、千分表、杠杆齿轮比较仪和扭簧比较仪等。

② **光学量仪** 如光学计、测长仪和工具显微镜等。

③ **气动量仪** 如水压式气动量仪和浮标式气动量仪等。

④ **电动量仪** 如电感式量仪和电容式量仪等。

2. 测量器具的基本性能指标

性能指标是用来说明测量器具的技术性能。它是选择和正确使用测量器具的依据。基本的性能指标如下(参考图2-6)。

(1) 刻度间隔 a ——标尺或度盘上相邻两刻线中心线间的距离。

(2) 分度值 i ——标尺或度盘上相邻两条刻线间的距离所代表的量值。

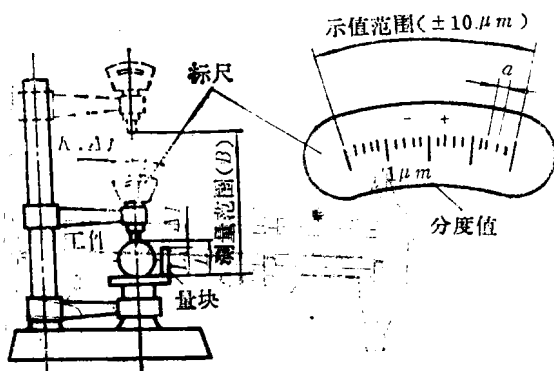


图2-6 测量器具的基本性能指标

(3) 示值范围 b ——标尺或度盘上全部刻线范围所代表的量值。比较仪的示值范围常以 $b = \pm \frac{b}{2}$ 来表示。如图2-6为机械式比较仪的示值范围为 $b = \pm 0.01\text{mm}$ 。

(4) 测量范围 B ——指测量器具所能测量的最大值与最小值间的范围。测量范围与示值范围是有区别的。如图2-6的比较仪的测量范围是悬臂的调节范围 $B = 0 \sim 180\text{mm}$ 。

(5) 灵敏度——指引起量仪的示值可见变化的被测量的最小变化量。它表示量仪对被测量的微小变化的敏感程度。

(6) 示值误差——指测量器具的示值与被测量的真值之差。它是测量器具本身的误差。

(7) 示值稳定性——在测量条件不变的情况下,对同一量多次重复测量时,其示值的最大读数与最小读数之差。

(8) 不确定度——在规定的测量条件下,由于存在示值误差和示值稳定性等内在误差,使被测量不能肯定的程度。

(9) 校正值——为了消除系统误差,用代数法加到测量结果上去的值。校正值与示值误差的绝对值相等而符号相反。

(10) 放大比 K ——量仪指针的直线位移或角位移与被测量的变化量之比。它也等于标尺的刻度间隔与分度值之比,即 $K = \frac{a}{i}$ 。

(11) 测量力——测头与被测表面之间的接触力。

五、常用测量器具的结构与工作原理

1. 游标量具

游标量具是利用游标读数原理制成的一种通用量具。它具有结构简单,使用方便,测量范围大等特点。常用有游标卡尺、游标深度尺和游标高度尺等,如图2-7。

它们的结构主要由主尺1和游标2等组成。主尺上的刻度可读出整数,小于1的数在游标上读得,读数原理如图2-8。

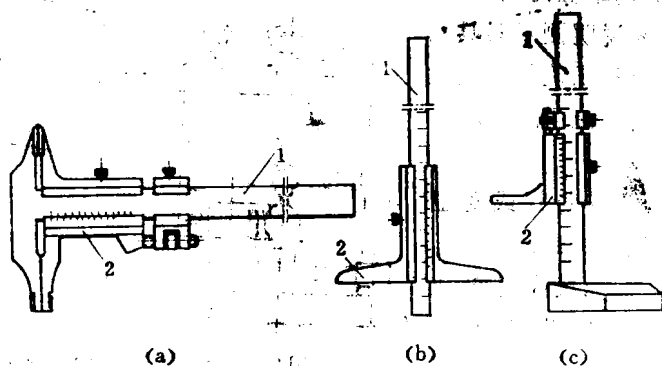


图2-7 游标量具

首先从游标零线左边主尺上的最近一条刻线读得整数值，然后观察游标刻线与主尺刻线对准的格数，用游标刻线序号乘以分度值 i ，即读得小于1毫米的小数值。如图2-8(b)的读数值为0.5mm。

游标量具的常用分度值有0.02mm和0.05mm。现在游标量具已发展成数显读数，使测量精确度和效率大为提高。

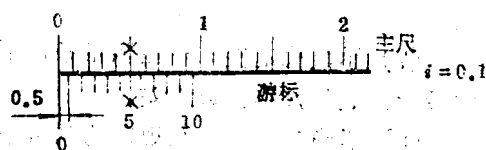
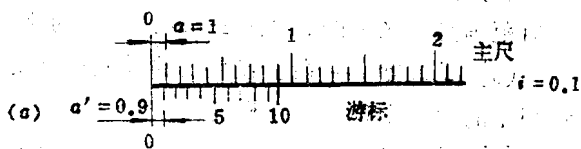


图2-8 游标读数原理

2. 螺旋测微量具

螺旋测微量具是利用精密螺旋副运动原理，将角位移转换为微小的直线位移的通用量具。常用有外径千分尺、内径千分尺和深度千分尺等，如图2-9。

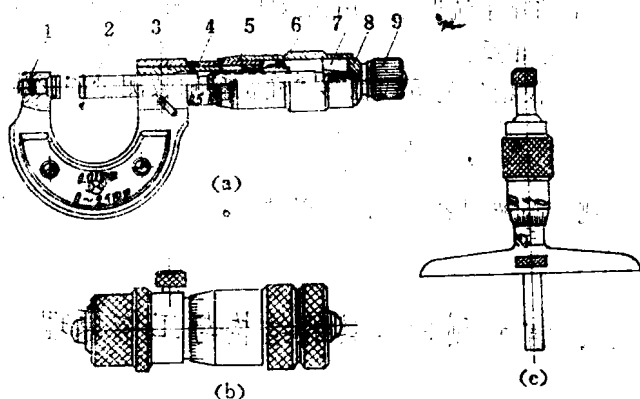


图2-9 螺旋测微量具

(1) 外径千分尺的结构与工作原理

外径千分尺是由尺架与螺旋测微头两大部分组成，如图2-9(a)。测微头是实现其工作的核心部件。螺纹轴套3压入尺架1中，固定套筒4用螺钉固定在件3上。测微螺杆2与

件3组成螺旋副。件3左端与件2光孔配合，保证件2轴向移动的准确性。件3右端有外锥螺纹，并有开口槽，用锥螺母6调整螺旋副松紧。件2右端与接头7锥面配合，接头上有开口槽，当它向左移动时，使微分筒5与测微螺杆结成一体并与接头同步运动。

外径千分尺应用螺旋副传动原理，将角位移转变为直线位移，从固定套筒和微分筒所组成的读数机构获得所测尺寸。如图2-10，直线位移与角位移间的关系为：

$$L = \frac{\phi}{2\pi} P \quad (2-1)$$

式中 L ——测微螺杆的轴向位移 (mm)；

ϕ ——测微螺杆的旋转角度 (rad)；

P ——测微螺杆的螺距 (mm)。

通常 $P = 0.5\text{mm}$ ，固定套筒上的刻线间隔也是 0.5mm ，微分筒圆锥面上有 50 条等分刻线。当微分筒转过一圈 (50 格) 时， $L = P = 0.5\text{mm}$ ，即测微螺杆带动微分筒相对于固定套筒轴向移动一格；当微分筒转过一格时， $L = \frac{1}{50} \times 0.5 = 0.01\text{mm}$ ，即微分筒的格值为 0.01mm 。

例如图2-10的读数为 (a) 为 7.35mm (b) 为 13.68mm 。

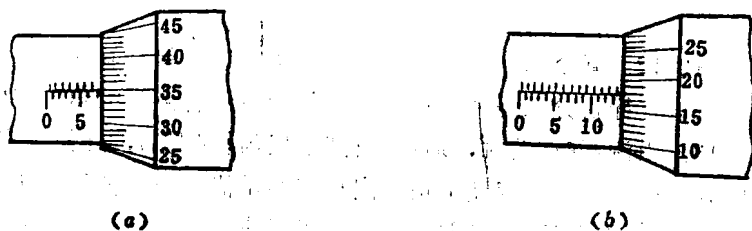


图2-10 千分尺的读数原理

千分尺的分度值为 0.01mm ，测量范围有不同规格。如外径千分尺常用有 $0 \sim 25\text{mm}$ 、 $25 \sim 50\text{mm}$ 、 $50 \sim 75\text{mm}$ 等。但示值范围均为 25mm 。

(2) 杠杆千分尺 它是在外径千分尺的基础上，附加了实现灵敏示值的杠杆齿轮传动机构，如图2-11。分度值常有 0.001mm 和 0.002mm 两种，主要用于较高精度的外尺寸的比较测量。

3. 机械式量仪

机械式量仪是利用齿轮传动或杠杆齿轮传动原理，将测头的线位移或角位移转换为指针的回转运动的通用量仪。它们的传动比就是放大比。常用有百分表、千分表、杠杆百分表、杠杆千分表、杠杆齿轮比较仪和扭簧比较仪等。

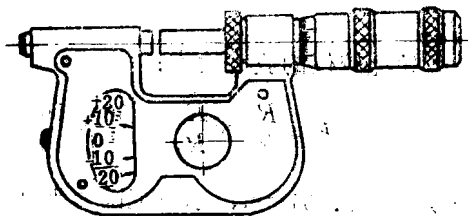


图2-11 杠杆千分尺

(1) 百分表 百分表是利用齿轮传动将测头的线位移转换为指针的角位移，如图2-12。当切有齿条的测杆5作上下移动时，带动小齿轮1和与它同轴的大齿轮2转动，大

齿轮2就带动小齿轮3和与它同轴的指针6回转，在度盘上指示出相应的示值。为了消除齿轮传动中的齿侧间隙的影响，固有游丝8的大齿轮7与小齿轮3啮合，靠游丝产生的扭矩使齿轮传动链始终单面啮合。弹簧4用来控制百分表的测量力。

千分表的结构与它类似。

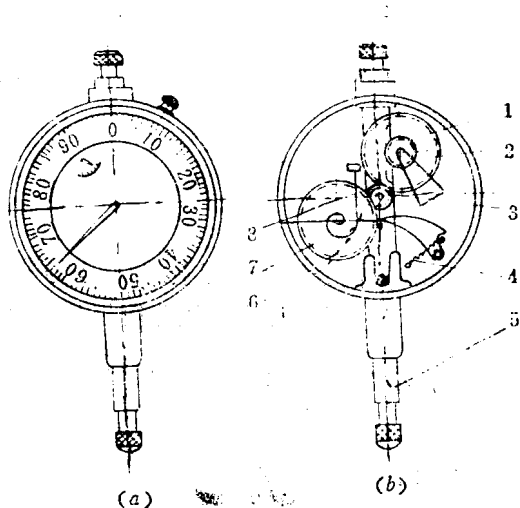


图2-12 百分表

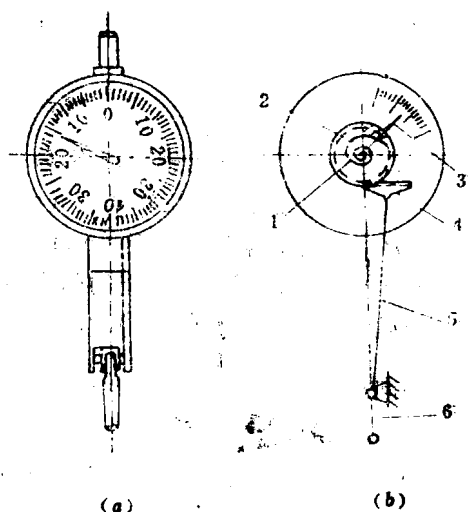


图2-13 杠杆百分表

(2) 杠杆百分表 杠杆百分表是利用杠杆齿轮传动原理将测头的角位移转换成指针的角位移，如图2-13。当测杆6摆动时，通过杠杆5使扇齿轮4摆动，并使与它啮合的小齿轮2及与之同轴的指针3回转，在度盘上指示出相应的示值。为了消除齿轮侧隙的影响，在齿轮2与其轴之间连有游丝1，靠游丝产生的扭矩使齿轮副始终单面啮合。

杠杆百分表的体积小，测杆方向可变，使用方便，广泛应用于对工件和机床的校正等。

杠杆千分表的结构与它类似。

各种百分表的分度值为0.01mm，千分表的分度值有0.001mm和0.002mm。

(3) 杠杆齿轮比较仪 杠杆齿轮比较仪也是利用杠杆齿轮传动原理制成的精度较高的量仪。它是将测头的线位移转换为指针的角位移，在度盘上指示出相应的示值，如图2-14。

杠杆齿轮比较仪的放大比为：

$$K = \frac{R_1}{R_2} \times \frac{R_3}{R_4} = \frac{50}{1} \times \frac{100}{5} = 1000 \quad (2-2)$$

其分度值为0.001mm，示值范围为±0.1mm。主要用于外尺寸的比较测量，因此称为杠杆齿轮比较仪。

(4) 扭簧比较仪 扭簧比较仪是利用扭簧作为传动放大机构，将测头的线位移转换为指针的角位移，如图2-15。扭簧2是剖面为长方形的扭曲金属带，由中间起，一半向