

# 几何量公差

The background of the cover features a technical drawing on a light-colored surface, possibly a piece of paper or a drawing board. A large circle is drawn, with a vertical line passing through its center. A compass is shown in the process of drawing a smaller circle inside the larger one. The drawing is overlaid on a dark blue background that has a white circular border. The overall design is clean and professional, reflecting the technical nature of the book's subject matter.

刘巽尔 主编

北京理工大学出版社

# 几何量公差

刘巽尔 主编

北京理工大学出版社

(京) 新登字149号

### 内 容 简 介

本书介绍几何量的公差与测量技术的基本概念。内容包括：公差与配合、表面粗糙度、形状和位置公差、螺纹的公差与配合、圆柱齿轮公差等最新标准，以及测量技术基础和尺寸链计算的基本方法等。本书结合实例，深入浅出进行阐述，书后还附有较多习题和公差设计的有关资料，可供教学者选用及参考。

与本书配套的有《几何量测量实验指导书》。

本书为高等学校机械类专业的基础教材，亦可供广大工程技术人员参考，还适用于函授和自学。

### 几 何 量 公 差

刘冀尔 主编

\*

北京理工大学出版社出版发行

各地新华书店经售

北京密云华都印刷厂印刷

\*

787×1092毫米 16开本 11.75印张 293千字

1992年8月第一版 1992年8月第一次印刷

ISBN 7-81013-575-9/TH·57

印数：1—3500册 定价：3.5元

## 前 言

在我国高等工科院校机械类各专业开设《公差》课，已经有40年的历史了。近半个世纪来，随着我国社会主义经济建设的发展和科学技术水平的提高，以及教育的不断深化，在经历了多次曲折和变迁以后，人们对《公差》课的认识和实践都有了很大的提高，积累了较为丰富的经验。

本课程是高等学校机械类和仪器、仪表类各专业的一门重要的技术基础课。主要研究几何量公差的基本理论、基础公差标准的构成原理及其应用，以及几何量测量的基本知识。它是在综合应用数学、物理、力学，以及机械原理和金属工艺学实习的有关知识的基础上，为机器零件或仪器零件及其课程设计，以及此后的设计与工艺系统的专业课程和各实践性教学环节，提供有关公差的基本知识和进行公差设计的能力。

零件的公差设计是产品使用性能要求的体现，同时，它也是产品制造的依据。长期以来，人们较为普遍地认识到本课程对机械制造工艺与设备专业的重要性，因为不了解由公差所体现的对零件的设计要求，并分析制造过程中各种因素引起的误差对满足零件图样要求的影响，是不能生产出合格的产品。但是，随着我国经济实力的增长，工业生产已由仿制、引进向独立进行设计转化，公差设计的基本理论和方法，已经成为主要从事产品设计工作的技术人员的必备知识。因此，本课程已经不仅是机械制造工艺与设备专业的重要技术基础课，而且对于机械类学科的各种设计专业也是或更是一门重要的技术基础课。

本书是在北京理工大学（原北京工业学院）公差教研室多年教学经验积累的基础上，由编者执笔写成的。在编写中着重于建立有关几何量公差的科学合理的基本概念。取材以最新国家标准和行业标准为基础，但又不完全受标准的制约。因为各标准间还有若干不相协调和统一的问题，所以编者力求以科学性为原则，对全书的有关概念进行了协调和统一。

考虑到当前各校教学计划中，本课程多为40~50学时，编者根据少而精的原则对本书的内容进行了精选，使全书篇幅较为适当，以便于教学。

从理论上讲，在设计工作中，应该对机械零件的各种性能指标都规定相应的公差，以全面满足各方面的使用要求。但本课程所讨论的只限于机械零件几何量的公差。由于无论何种生产类型、无论何种使用要求的机械零件，都应该规定其几何量公差，才能满足性能要求，因此规定公差是无条件的，差别在于公差的大小应与零件的精度要求相适应。目前，相当多的同类教材取名为《互换性与技术测量》。编者以为，互换性是在特定的生产、使用条件下的要求，它是与标准化密切相关的。广义地说，相同的零件就可以互换。要求互换就是要求“相同”。技术性能要求不同，“相同”的要求也各异，公差大小也不同。标准化的对象是重复性的事物，只有重复生产的零件才有互换的要求。而无论是否要求互换，公差都是必须规定的。为此，本书取名为《几何量公差》。

与本书配套的《几何量测量实验指导书》是本课程的实验教材，其中较为详尽地介绍了主要几何量的测量原理、器具和数据处理方法等。

本书第一、五、七章由刘巽尔执笔，第二、四章由郭振英执笔，第三章由梅虹执笔，第六、八章由庞瑞华执笔。全书由刘巽尔统稿，北京印刷学院何镜民教授审阅。  
编者诚挚地希望得到读者的批评与指正。

刘巽尔

1992年3月

# 目 录

<b>第一章 绪论</b> .....	( 1 )
1.1 几何量公差 .....	( 1 )
1.2 互换性 .....	( 2 )
1.3 优先数和优先数系 .....	( 2 )
<b>第二章 测量技术基础</b> .....	( 4 )
2.1 概述 .....	( 4 )
2.2 计量单位及其传递 .....	( 4 )
2.3 测量方法种类和测量原则 .....	( 7 )
2.4 计量器具(测量器具)分类及其技术性能指标 .....	( 9 )
2.5 测量误差的基本知识 .....	( 11 )
2.6 测量误差的来源及其减少措施 .....	( 16 )
2.7 测量结果的处理和表示方法 .....	( 20 )
<b>第三章 公差与配合</b> .....	( 24 )
3.1 概述 .....	( 24 )
3.2 基本术语及定义 .....	( 24 )
3.3 公差与配合国家标准的构成 .....	( 34 )
3.4 公差与配合的选用 .....	( 42 )
3.5 光滑工件尺寸的检验 .....	( 51 )
3.6 光滑极限量规 .....	( 53 )
3.7 滚动轴承的公差与配合 .....	( 57 )
<b>第四章 表面粗糙度</b> .....	( 62 )
4.1 概述 .....	( 62 )
4.2 表面粗糙度国家标准 .....	( 63 )
4.3 表面光洁度国家标准简介 .....	( 68 )
4.4 表面粗糙度的选择 .....	( 68 )
4.5 表面粗糙度的检测 .....	( 70 )
<b>第五章 形状和位置公差</b> .....	( 73 )
5.1 概述 .....	( 73 )
5.2 形状公差 .....	( 78 )
5.3 位置公差之一——定向公差 .....	( 85 )
5.4 位置公差之二——定位公差 .....	( 87 )
5.5 位置公差之三——跳动公差 .....	( 90 )
5.6 基准的建立和体现 .....	( 91 )
5.7 公差原则 .....	( 93 )
5.8 形位误差的检测 .....	( 98 )
<b>第六章 螺纹的公差与配合</b> .....	(101)
6.1 概述 .....	(101)

6.2	保证螺纹几何精度的条件 .....	(103)
6.3	普通螺纹的公差与配合标准及其应用 .....	(106)
6.4	普通螺纹的检测 .....	(109)
6.5	梯形螺纹公差 .....	(110)
6.6	机床梯形螺纹丝杠、螺母精度 .....	(114)
<b>第七章</b>	<b>圆柱齿轮公差</b> .....	<b>(117)</b>
7.1	概述 .....	(117)
7.2	齿轮副的公差及误差 .....	(118)
7.3	齿轮的公差及误差 .....	(120)
7.4	齿轮公差标准及其应用 .....	(128)
<b>第八章</b>	<b>尺寸链</b> .....	<b>(141)</b>
8.1	概述 .....	(141)
8.2	完全互换法 .....	(143)
8.3	大数互换法 .....	(147)
<b>习 题</b>	.....	<b>(150)</b>
<b>附 表</b>	.....	<b>(158)</b>

# 第一章 绪 论

## 1.1 几何量公差

机器或仪器的设计过程，通常可以分为三个阶段，即系统设计、参数设计和精度设计。

系统设计亦称一次设计，是确定机器或仪器的基本工作原理和总体布局，以保证总体方案的合理性。对于机械系统来说，主要应确定其传动系统，保证实现预定的运动学方面的要求，如位移、速度、加速度等。

参数设计亦称二次设计，是确定机器或仪器各零、部件及元、器件的各种特性参数的标称值。机械系统的参数设计是根据强度、刚度、寿命、结构以至外观的设计计算，确定零件几何参数的基本尺寸，选用适当的材料及相应的热处理工艺。

精度设计亦称三次设计，是根据对机器或仪器的使用精度的要求，确定零、部件或元、器件各特性参数值的允许误差，对于机械零件，也就是确定其各几何参数的允许误差——公差。所以，精度设计也就是公差设计。显然，要全面满足机器或仪器使用性能的精度要求，应该对零件的物理、化学、机械等各种性能的参数规定公差，而其中最重要的是零件几何参数的公差。

在实际工作中，对于机械零件的特性参数规定其允许误差不仅是必要的，而且也是可能的。因为在零件的制造过程中，误差是不可避免的。在任何情况下，都不可能把零件制造得绝对准确。而且要求零件的制造误差越小，其生产成本就越高。当然，零件几何参数的误差必然会影响到其工作性能，从而影响到整个产品的精度要求。产品的使用要求不同，体现其使用性能要求的技术指标也不会是相同的，因而应根据产品要求的不同而允许在不同的范围内变动。因此，组成产品的各个零件的几何参数也可以有相应的允许变动范围，即允许有误差。公差设计的目标就是根据经济地满足使用要求的原则，正确合理地规定零件几何参数的公差——几何量公差。

近年来，机械产品的可靠性设计是在概率统计理论上建立起来的较为先进的设计理论和方法。它不仅要求确定各种几何量的允许变动范围，而且要根据实际制造过程中这些几何量的分布规律，估算机器或仪器达到一定性能指标的可靠程度，即在规定的条件下和规定的时间内维持正常工作状态的概率。

但是，迄今为止，公差设计仍处于以经验设计为主的阶段。只在某些特定的条件下，才采用比较可靠的精确计算的方法来确定几何量公差，如滑动轴承的最小间隙、过盈连接的最小过盈、精确传动链中齿轮的运动误差等。因为各种几何量的误差与机器或仪器的使用性能指标之间的关系极为复杂，需要在大量实践及实验的基础上，进行科学的分析与综合，才能建立完备的精度设计与计算的理论。

计算机科学的兴起与发展为设计提供了更为先进的工具。在计算机辅助设计（CAD）的研究领域中，计算机辅助公差设计（CAT）的研究还刚刚开始。随着精度设计与计算的理论的逐步完善，将有可能使计算机辅助公差设计进入实用化阶段，并逐步实现智能化。



正确合理的公差设计仅仅为实现产品的使用性能要求提供了可能性。在设计工作完成以后，还需要采取适当的设备、工具和工艺方法进行制造和装配，以实现设计要求。确认完工零件是否满足设计要求的手段是测量。在生产实践中，必须根据零件的设计要求，选择适当的测量器具和方法，并将测量结果与设计要求相比较，判断被测几何量的合格性。只有经检验合格的零件才能装配成满足设计要求的產品。

## 1.2 互换性

不同生产力的水平，要求采用与之相应的生产方式。随着生产力的发展和提高，其必然结果是导致社会分工，即按照专业化协作的原则进行生产。这已经是现代化大生产的条件下，提高产品质量，降低生产成本，提高经济效益的必由之路。

例如在汽车制造业中，汽车上的成千上万个零件是分别由上百家工厂生产的。汽车制造工厂只负责生产若干主要的零、部件，但在装配线上却要将这些由不同工厂生产的零、部件顺利地装成符合规定技术性能要求的汽车，这就要求各工厂生产的零、部件符合相应的、统一的技术性能指标。这种在不同工厂、不同车间，由不同工人生产的相同规格的一批零、部件，可以不经选择、修配或调整，就能装配成满足预定使用性能要求的机器或仪器，则零件或部件所具有的这种性能就称为互换性。能够保证产品具有互换性的生产，就称为遵循互换原则的生产。

由此可见，互换性表现为对产品零、部件在生产、使用、维修过程中三个不同阶段的要求：装配前不需选择，装配时不需修配和调整，装配后能满足预定的使用性能要求。

互换的要求首先是从使用上提出来的。在19世纪，为了在战争中争取时间赢得胜利，要求能迅速更换发热的枪管，以保证连续进行射击，这就产生了互换的萌芽。随着生产的发展，各类产品的互换要求也日趋广泛。具有高度互换性的产品可以在使用过程中迅速更换易损的零、部件，从而保证其连续可靠地工作，给使用者带来极大的方便，获得更高的经济效益。

互换性生产的发展随即提出了标准化的要求。标准化就是对重复性的事物进行科学的简化、选优、协调和统一。各种技术标准都是在一定条件下，使用要求与经济性的暂时的相对的统一。它们可以在一定时期内，以最少的规定，满足尽可能多的不同需要。因此，标准化程度的提高可以提高设计速度和质量，改善制造过程，降低生产成本，保证产品质量，从而促进科学技术水平的进一步提高。

产品的特点不同，对互换性的要求也不同。例如滚动轴承的外圈外径和内圈内径分别与外壳孔和轴相配，应该具有完全互换性，以保证其专业化的大量生产和便于选用。但其外圈内径、内圈外径和滚体直径等尺寸，由于精度极高，又不与其它零件发生装配关系，可以只有不完全的互换性。即采用分组装配的方法，将尺寸变动较大的零件经过挑选，装配成精度较高的产品，以取得较好的经济效益。

## 1.3 优先数和优先数系

各种技术参数数值的简化和统一，是标准化的基础。因为任一产品的技术参数都会以各种不同的形式和规律向有关产品传播。例如，胶卷的尺寸会影响相机、冲扩设备的设计，录

音、录象磁带的规格又与录音机、录象机有关。优先数和优先数系就是对技术参数的数值进行简化和统一的科学的数值制度。

国家标准GB321-80规定的优先数系是由公比为 $\sqrt[5]{10}$ 、 $\sqrt[10]{10}$ 、 $\sqrt[20]{10}$ 、 $\sqrt[40]{10}$ 或 $\sqrt[80]{10}$ ，且项值中含有10的整数幂的等比数列导出的一组近似等比的数列。根据公比的不同，各数列分别用R5、R10、R20、R40和R80表示，并称为R5系列、R10系列、R20系列、R40系列和R80系列。优先数系中的任一个项值均为优先数。五种系列中，R80为补充系列，其余4种为基本系列。各系列的公比 $q$ 如下：

$$R5: q_5 = \sqrt[5]{10} \approx 1.60$$

$$R10: q_{10} = \sqrt[10]{10} \approx 1.25$$

$$R20: q_{20} = \sqrt[20]{10} \approx 1.12$$

$$R40: q_{40} = \sqrt[40]{10} \approx 1.06$$

$$R80: q_{80} = \sqrt[80]{10} \approx 1.03$$

各基本系列中优先数的常用值列于表1-1。

表1-1 基本系列（常用值）

R5	1.00				1.60			
R10	1.00		1.25		1.60		2.00	
R20	1.00	1.12	1.25	1.40	1.60	1.80	2.00	2.24
R40	1.00; 1.06; 1.12; 1.18; 1.25; 1.32; 1.40; 1.50; 1.60; 1.70; 1.80; 1.90; 2.00; 2.12; 2.24; 2.36;							
R5	2.50				4.00			
R10	2.50		3.15		4.00		5.00	
R20	2.50	2.80	3.15	3.55	4.00	4.50	5.00	5.60
R40	2.50; 2.65; 2.80; 3.00; 3.15; 3.35; 3.55; 3.75; 4.00; 4.25; 4.50; 4.75; 5.00; 5.30; 5.60; 6.00							
R5	6.30				10.00			
R10	6.30		8.00		10.00			
R20	6.30	7.10	8.00	9.00	10.00			
R40	6.30; 6.70; 7.10; 7.50; 8.00; 8.50; 9.00; 9.50; 10.00							

采用等比数列作为优先数系可以使相邻两优先数的相对差相同，且运算方便，简单易记。在同一系列中，优先数的积、商、整数幂仍为优先数。因此，这种优先数系已成为国际统一的标准数值制。

## 第二章 测量技术基础

### 2.1 概 述

为满足零件几何精度的要求，除了正确合理的设计和加工以外，还必须进行严格的检验。由于相配零件往往是在不同机床、不同地点、不同时间制造的，因此，检验过程中计量单位的统一和量值的准确性就是两个十分重要的问题。为保证计量单位统一和量值准确所进行的工作称为计量工作。计量工作是实现互换性生产的重要保证，也是进行质量管理的基本手段。

测量——将被测对象与单位量（或标准量）进行比较，从而确定其比值的实验过程。

测试——具有试验性质的测量。

计量——在我国，习惯上是指以保证量值统一和传递为目的之测量。有时也和测量通用。

检验——判断被测对象是否合格的过程。

检定——为评定计量器具的技术性能及其是否合格所进行的工作。

任何测量过程均包含以下四个要素：

被测对象——在几何量测量中，被测对象基本上是长度量和角度量两种。但是被测对象的形式却是多种多样的，被测对象的性能特征参数也可能是相当复杂的。因此，在测量过程中，分析被测对象的特性，研究被测对象的含义是非常重要的。

计量单位——用以量度同类物理量量值的标准量称为计量单位。我国实行法定计量单位制。法定计量单位是由国家以法令形式规定允许使用的计量单位。国务院于1984年2月发布了《关于在我国统一实行法定计量单位的命令》。我国的法定计量单位是以国际单位制为基础的。其长度基本单位是米（m）。

测量方法——它是指测量原理、计量器具（测量器具）和测量条件的总和。在测量过程中，应根据被测对象的特点（如材料硬度、外形尺寸、批量大小、精度要求等）和被测参数的定义来拟定测量方案，选择测量器具和规定测量条件。

测量误差——测得值与被测量真值之差叫做测量误差。在测量过程中，由于种种因素的影响不可避免地会出现测量误差。只有测量误差足够小，才可以认为测量结果是可靠的。未知其测量误差界限的测量结果是没有意义的。因此，分析误差产生的原因，估算测量误差的界限是十分重要的。

### 2.2 计量单位及其传递

#### 2.2.1 长度单位

长度的基本单位是米。那么，多长才算一米呢？这就需要科学的规定。长度单位不仅需

要有明确的定义，并且还需要具有稳定不变和易于复现等特点。

人类对于长度单位的定义有一个随着科学技术进步而发展和完善的过程。起初，各国多以人体的一部分（如脚长、手掌长）作为长度单位。1889年，第一届国际计量大会决定以地球子午线的四千万分之一定义为米，并制成了基准米尺——国际米原尺。1960年国际计量大会决定将米的定义改为“一米的长度等于 $Kr^{86}$ 原子的 $2p_{10}$ 和 $5d_5$ 能级之间跃迁时所对应的辐射在真空中波长的1,650,763.73倍”。1983年第十七届国际计量大会通过米的新定义为“光在真空中在 $1/299,792,458$ 秒时间间隔内行程的长度”，并推荐用二氧化碳、碘等五种稳频激光器来复现。由于光波波长在真空中稳定不变，并且激光的复现精度很高（达 $2 \times 10^{-12}$ ），所以米的新定义更为科学。

### 2.2.2 量值传递系统

在工程上，一般不能用光波直接测量零件长度，而需要采用各种测量器具。为使量值统一和准确，需要建立量值传递系统，即由国家建立“长度基准”（用光波测量），并检定以传递为目的的“标准器具”；然后，再用标准器具检定测量工件所用的“工作器具”（或低一级的标准器具）。

为实现量值传递，既要有技术手段，也要有组织措施。依据《中华人民共和国计量法》，各级计量行政部门（计量局）负责监督量值传递工作的实施。目前，我国量值传递的主要标准器具是量块和线纹尺，其传递系统如图2-1所示。

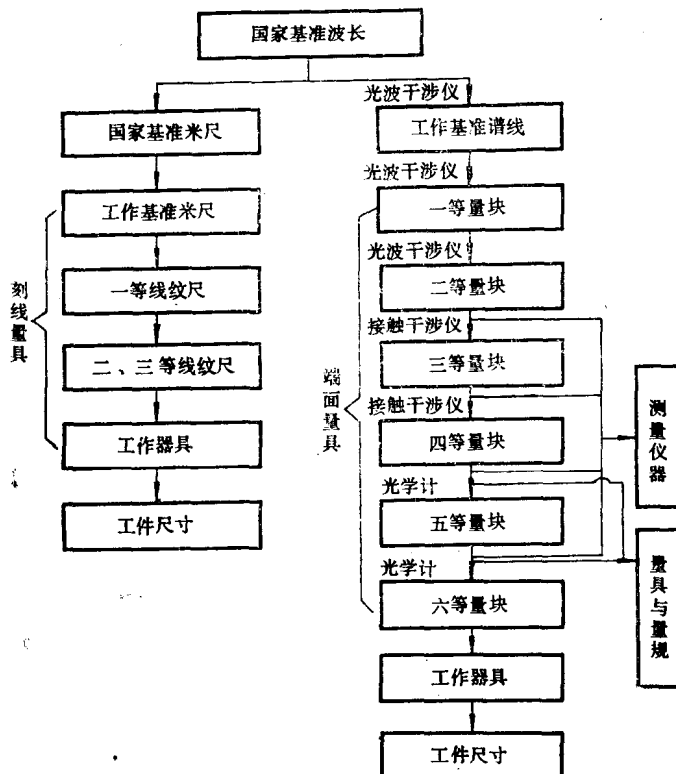


图 2-1

### 2.2.3 量块

量块又称块规。它是平面平行端面量具。量块除作为标准器具进行长度的量值传递之外，还可作为工作器具来调整仪器和机床，或直接检查零件，在机器或仪器制造中应用极广。

量块多用铬锰钢制成并经复杂的热处理工艺，具有尺寸稳定、硬度高和耐磨性好等特点。量块的线膨胀系数与普通钢材相近，即为  $(11.5 \pm 1) \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 。

绝大多数量块制成长方体形，如图2-2所示。无论何种形状的量块都有两个非常光洁且平面度精度很高的平行平面，称为测量面或工作面。

量块长度是指一个测量面上的一点至与此量块另一测量面相研合的辅助体（材质与量块相同）表面之间的距离。量块的工作尺寸是指其中心长度，即一个测量面的中点处的量块长度（图2-3）。

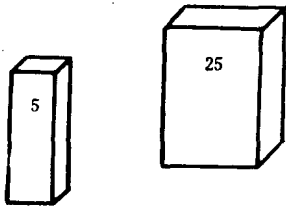


图 2-2

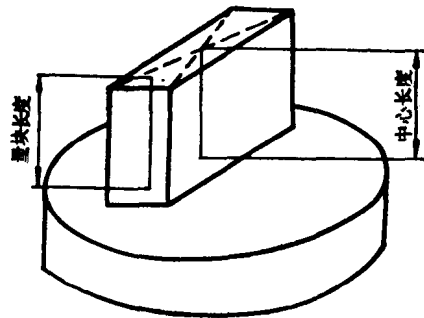


图 2-3

量块按其制造精度分为五“级”：00, 0, 1, 2, 3级。其中00级精度最高，3级精度最低。各级量块的长度极限偏差和长度变动量允许值见附表2-1所列。

量块按其长度的测量的总不确定度和变动量的允许值分为6“等”：1, 2, 3, 4, 5和6等。其中1等精度最高，6等精度最低。3~6等量块的测量的总不确定度允许值和长度变动量允许值见附表2-2所列。

量块制造厂大都按“级”供应量块。若将量块进行检定以确定量块长度的实际偏差（即修正量值），并按实际尺寸使用，则可提高其使用精度。例如，某标称尺寸为30mm的2级量块，由附表2-1可知其量块长度的极限偏差为 $\pm 0.8\mu\text{m}$ 。若将量块检定为4等，并测得其实际偏差为 $+0.4\mu\text{m}$ 。则由附表2-2可知，按30.0004mm使用时，该尺寸的测量总不确定度为 $\pm 0.3\mu\text{m}$ 。显然，按30.0004mm（4等）使用比按30mm（2级）使用其误差减少一半以上。按等使用量块除会增加检定费用外，以实际尺寸作为工作尺寸也有不便之处。此外，由于受测量面长度变动量的限制，并不是任何“级”的量块都可以检定成任何“等”的。

量块的基本特性除上述稳定性、耐磨性和准确性外，还有一个重要的特性——研合性。所谓研合性是指两个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就能贴附在一起的性质。利用这一特性，我们便可以提供各种成套的量块并从中选择若干适当的量块在一定范围内组成所需要的各种尺寸。我国生产的成套量块的标称尺寸见附表2-3所列。

为了减少量块组的误差，应以最小数目的量块组成所需要的尺寸。实际组合时应根据所需尺寸的最后一位数字选择量块，每选一块至少减少所需尺寸的一位小数。通常，总块数不应超过四块。例如从附表2-3的第1和第3套中选择量块组成尺寸89.764mm，方法如下：

$$\begin{array}{r}
 89.764 \dots\dots\dots \text{量块尺寸} \\
 -) 1.004 \dots\dots\dots \text{第一块} \\
 \hline
 88.760 \\
 -) 1.26 \dots\dots\dots \text{第二块} \\
 \hline
 87.5 \\
 -) 7.5 \dots\dots\dots \text{第三块} \\
 \hline
 80 \\
 \dots\dots\dots \text{第四块} \\
 \hline
 89.764 = 1.004 + 1.26 + 7.5 + 80
 \end{array}$$

## 2.3 测量方法种类和测量原则

### 2.3.1 测量方法的种类及其特点

广义的测量方法是指测量方式、测量器具和测量条件的总和。按照不同特征可以有不同的分类。

#### 1. 绝对测量和相对测量

绝对测量——仪器示值直接表示被测尺寸的全值。例如，用游标卡尺、千分尺、测长仪等测量轴的直径。

相对测量（比较测量）——仪器示值表示被测尺寸对已知标准量的偏差，而测量结果为已知标准量与测量示值的代数和。例如，用各种比较仪测量轴的直径（图2-4），需根据被测轴的基本尺寸用量块先将比较仪调零，然后换上被测轴进行测量，轴的尺寸就等于量块尺寸与仪器示值的代数和。

一般说来，比较测量的精度较高，所以在精密测量中得到了广泛的应用。

#### 2. 直接测量和间接测量

直接测量——无需对被测量与其它实测量进行函数关系的辅助计算，而直接得到被测量值的测量方法。测量器具上的示值；可以是被测量的全值，也可以是被测量对标准尺寸的偏差。例如，用线纹尺或量块测量长度。直接测量比较简便，无需进行繁琐的计算。

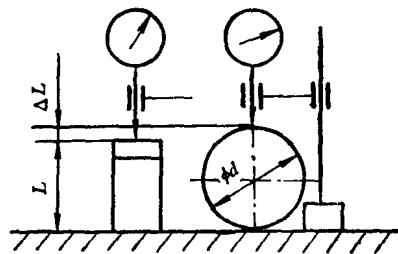


图 2-4

间接测量——测量与被测量有确定的函数关系的其它量，通过计算得到被测量值的测量方法。

间接测量比较麻烦。当被测量不易直接测量或因直接测量达不到精度要求时，常常采用间接测量。间接测量广泛用于角度、锥度、孔心距、圆弧半径和交点尺寸的测量。

例如图2-5所示，欲测两孔的孔心距 $L$ ，可先测出 $A$ 和 $B$ ，然后算出孔心距 $L = (A + B) / 2$ 。

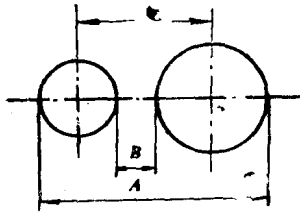


图 2-5

### 3. 接触测量与非接触测量

**接触测量**——测量器具的敏感元件与零件的被测表面直接接触的测量方法。例如，用游标卡尺测量直径。接触测量的特点是有测量力，它可以使接触可靠，但也使测量器具和被测零件产生变形，引起测量误差。

**非接触测量**——测量器具的敏感元件与零件的被测表面不直接接触的测量方法。例如，用投影法及光波干涉法测量零件等。

非接触测量可以避免损伤被测表面，而且不会造成因变形引起的误差，但是，它不适合测量有油污和切削液的零件。

### 4. 综合测量与单项测量

**单项测量**——分别测量零件的各个参数的方法。例如，分别测量螺纹的中径、螺距和牙型半角等。一般地说，单项测量效率较低。对于高精度零件或为了进行工艺分析时，宜用单项测量。

**综合测量**——测量被测零件上与几个参数有关联的综合参数，从而综合地判定零件合格性的测量方法。例如，测量齿轮的综合误差等。综合测量的效率高，适用于大批量生产。

### 5. 被动测量与主动测量

**被动测量**——对完工零件进行测量的方法。被动测量的作用仅在于发现并剔除废品。

**主动测量**——在零件加工过程中进行测量，同时按测量结果直接控制加工过程，以决定是否继续加工或需要调整机床。因此，它能防止废品的出现并缩短生产周期。

### 6. 静态测量与动态测量

**静态测量**——量值不随时间变化的测量。测量时，被测表面与测量头相对静止。

**动态测量**——为确定瞬时量值及其随时间的变化所进行的测量，被测表面与测量头有相对运动。用圆度仪测量圆度误差，用轮廓仪测量表面粗糙度等都属于动态测量。

## 2.3.2 测量原则

在实际测量中，对于同一被测量往往可以采用多种多样的测量方法，为使测量方法简便或使测量误差最小，应注意以下几个重要原则：

### 1. 基准统一原则

对工序测量应以工序基准为测量基准，对终检测量应以设计基准为测量基准。在图2-6(a)所示零件中，A为设计基准。若以B为测量基准则测量基准与设计基准不统一。必须提

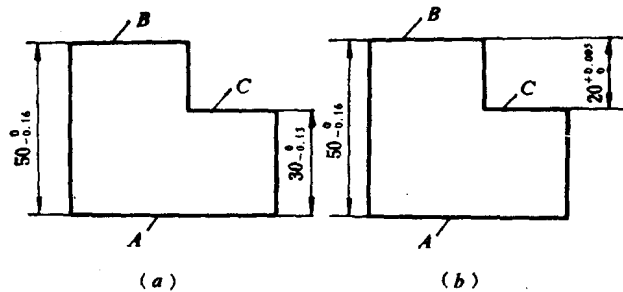


图 2-6

高 $B$ 、 $C$ 之间尺寸的精度才能满足 $A$ 、 $C$ 之间的设计要求。

### 2. 最小变形原则

量仪或被测零件都会由于受热或受力（测力和重力）而发生尺寸变化。为减少测量误差，应使被测零件和测量器具之间的相对变形最小。

### 3. 阿贝原则

阿贝原则是指在设计测长仪器或测量尺寸时，应使标准量与被测量安置在同一直线上。

### 4. 最短测量链原则

测量过程中各个有关的环组成测量链。各环节的误差都会影响最终的测量误差。因此在拟定测量方案时应尽量减少测量链的组成环节，并减少各环节的误差。例如，在用量块组合尺寸时，应使量块数目尽可能少。

## 2.4 计量器具（测量器具）分类及其技术性能指标

计量器具是量具、量仪和其它用于测量目的的技术装置的总称。

### 2.4.1 计量器具的分类

1. 量具——以固定形式复现量值的计量器具。例如刀口尺、角尺、量块和曲线样板等。

2. 极限量规——分别按被测尺寸的两个极限尺寸制造的专用检验工具。按被测尺寸的最大实体尺寸制造的称为“通规”，按最小实体尺寸制造的称为“止规”。能被通规通过，又不被止规通过的被测尺寸才是合格的。由于它没有刻度，所以不能获得被测尺寸的具体数值，只能判断被测尺寸合格与否。

3. 计量仪器（简称量仪）——将被测量转换成可直接观测的示值或等效信息的计量器具。它的特点是仪器包含可运动的测量元件，并能指示被测量的具体数值。

### 2.4.2 计量器具的技术性能指标

1. 分度值 $i$  (Value of A Scale Division)——计量器具的刻尺或度盘上相邻两条刻线所代表的量值之差。例如，千分尺的微分套筒上相邻两刻线所代表的量值之差为 $0.01\text{mm}$ ，故其分度值 $i=0.01\text{mm}$ 。

长度量仪中常见的分度值有 $0.1$ 、 $0.05$ 、 $0.01$ 、 $0.005$ 、 $0.002$ 、 $0.001$ 和 $0.0005\text{mm}$ 等。通常，量仪的最小分度值均以不同形式标明在刻尺或度盘上。

分度值表示量仪所能读出的被测尺寸的最小单位。一般地说，分度值越小，量仪的精度越高。

2. 刻度间距 $a$  (Scale Spacing)——刻尺或度盘上相邻两刻线中心的距离。为了便于目力估计 $1/10$ 分度值，一般量仪的刻度间距在 $1\sim 2.5\text{mm}$ 之间。

3. 示值范围 $b$  (Indication Range)——计量器具所能显示（或指示）的最低值到最高值的范围。示值范围的“最低值”、“最高值”也称为“起始值”、“终止值”。比较式量仪的示值范围 $b$ 常以 $\pm b/2$ 来表示。例如，机械比较仪的示值范围 $b=\pm 0.1\text{mm}$ 。



4. 测量范围 $B$  (Measuring Range)——在允许的误差限内, 计量器具所能测量尺寸的下限值(最低值)到上限值(最高值)的范围。量仪的测量范围通常以从 $\times\times$ 至 $\times\times$ 来表示。示值范围和测量范围是有差别的, 例如立式光学计的测量范围 $B=0\sim 180\text{mm}$ 。而其示值范围 $b=\pm 0.1\text{mm}$ 。

5. 灵敏度 $K$  (Sensitivity)——量仪(指针)对被测量变化的反应能力。

对一般长度量仪, 灵敏度又称放大比(放大倍数), 它等于刻度间距 $a$ 与分度值 $i$ 之比:

$$K = a/i$$

6. 测量力 $P$  (Measuring Force)——测量过程中计量器具与被测表面之间的接触力。测量力可以保证接触可靠, 但同时会引起量仪和被测零件的变形与磨损。所以, 对测量力大小应有一定的限制。特别是测量力的变动, 将使测量结果发生随机变化。因此, 多数量仪都有测量力稳定机构, 以减少测量力变动对测量精度的影响。

7. 计量仪器的精度特性指标

(1) 示值误差 (Error of Indication)——量具标称值或计量仪器的示值与被测量的真值之间的差值。

(2) 示值变动 (Variation of Indication)——在测量条件不变的情况下, 对同一被测量进行多次重复测量(一般5~10次)时, 其结果的最大差异。

(3) 回程误差 (Hysteresis Error)——对同一被测尺寸进行往、返两个方向测量时, 量仪示值的变化范围。回程误差是由量仪中测量系统的间隙、变形和摩擦等原因引起的。测量时, 为了减少它的影响, 应使运动部件沿同一方向运动, 即所谓“单向测量”。当要求往返测量或连续测量时(如测量径向跳动), 应选回程误差较小的仪器。

(4) 灵敏阈(灵敏限) (Sensitivity Threshold)——引起量仪示值可察觉变化的被测量的最小变化值。它表示量仪反映被测尺寸微小变化的能力, 是由测量系统中存在摩擦或其它阻尼因素造成的。对于高精度的连续动态测量(如用圆度仪测量圆度误差), 除要求回程误差小以外, 还要求它的灵敏限小。

(5) 量仪不确定度 (Uncertainty of an Instrument)——是指由于量仪内在误差的影响而使测量结果不能肯定的程度。目前, 国内外对其含义的理解尚不统一, 一般可理解为仪器示值误差。

8. 修正值 (Correction)——为了消除系统误差, 用代数法加到测量结果上的数值。修正值等于示值误差的负值。如示值误差为 $-0.005\text{mm}$ , 则修正值便为 $+0.005\text{mm}$ 。

### 2.4.3 常用计量仪器的主要技术特性

千分尺和游标卡尺的不确定度见附表2-4所列。

比较仪的不确定度见附录表2-5所列。

指示表的不确定度见附录表2-6所列。

万能测长仪的主要技术指标见附录表2-7所列。

工具显微镜的主要技术指标见附录表2-8所列。