

绪 论

【学习目标】

1. 掌握互换性概念、分类及互换性在设计、制造、使用 and 维修等方面的重要作用。
2. 掌握互换性与公差、检测的关系。

0.1 概 述

0.1.1 互换性及其意义

1. 互换性

(1) 定义：是指在制成的同一规格的一批零部件中任取其一，无须进行任何挑选和修配就能装在机器（或部件）上，并能满足其使用性能要求的特性。

举例：组成现代技术装置和日用机电产品的各种零件，如一批规格为 $M20 \times 2-5H6H$ 的螺母与 $M20 \times 2-5g69$ 螺栓的能自由旋合。在现代化生产中，一般应遵守互换性原则。

2. 意义（表现在以下三个方面）

(1) 在设计方面 (2) 在制造方面 (3) 在使用和维修方面

总之，互换性对保证产品品质和可靠性，提高生产率和增加经济效益具有重要意义。

0.1.2 互换性的分类

1. 互换性的分类

(1) 完全互换性（绝对互换） 若一批零部件在装配时，不需要挑选、调整或修配，装配后即能满足产品的使用要求，则这些零部件属于完全互换。

(2) 不完全互换性（也称有限互换） 仅同一组内零件有互换性、组与组之间不能互换，以满足其使用要求的互换性，称为不完全互换。简言之，不完全互换就是因特殊原因，只允许零件在一定范围内互换。

2. 标准部件或机构的互换性分类

(1) 内互换 是指部件或机构内部组成零件间的互换性，例如，滚动轴承的外圈内滚道、内圈外滚道与滚动体的装配。

(2) 外互换 是指部件或机构与其装配件间的互换性，例如，滚动轴承内圈内径与轴的配合、外圈外径与轴承孔的配合。

0.1.3 机械零件的加工误差、公差及其检测

1. 公差 允许零件尺寸和几何参数的变动范围称为“公差”。

2. 测量 是指将被测量与作为计量单位的标准量比较，确定被测量的大小的过程。

3. 检验 是指验证零件几何参数是否合格，而不必得出具体数值的过程。

0.2 标准化

0.2.1 标准化与国家标准

1. 标准 标准一般是指技术标准,它是指对产品和工程的技术品质、规格及检验方法等方面所作的技术规定,是从事生产、建设工作的共同技术依据。

2. 标准分类

(1) 按范围分类 基础标准、产品标准、方法标准、安全与环境保护标准。

(2) 按级别分类 国际标准、区域标准、国家标准(G B)、部门标准(专业标准,如J B)及行业标准、地方标准、企业标准。

国家标准和行业标准又分为强制性标准和推荐性标准,80%以上的标准属于推荐性标准。我国的技术标准分为三级:国家标准(G B)、行业标准、企业标准。

3. 标准化 标准化是指在经济、技术、科学及管理等社会实践中,对重复性事物和概念通过制定、发布和实施标准达到统一,以获得最佳秩序和社会效益的全部活动过程。

0.3 优先数和优先数系

0.3.1 优先数系

优先数系是一种十进制的几何级数。我国标准(GB/T 321-2005/ISO3:1973)推荐系列符号R5、R10、R20、R40、R80系列,前四项为基本系列,R80为补充系列。其公比为:

R5 系列	$q_5 \approx 1.6$	R10 系列	$q_{10} \approx 1.25$
R20 系列	$q_{20} \approx 1.12$	R40 系列	$q_{40} \approx 1.06$
R80 系列	$q_{80} \approx 1.03$		

0.3.2 优先数系的特点

- (1)任意相邻两项间的相对差近似不变(按理论值则相对差为恒定值)。
- (2)任意两项理论值经计算后仍为一个优先数的理论值。
- (3)优先数系具有相关性。

0.4 本课程的任务

- (1)掌握与标准化和互换性相关的基本概念、基本理论和原则。
- (2)基本掌握本课程中几何量公差标准的主要内容、特点和应用原则。
- (3)初步学会根据机器和零件的功能要求,选用几何量公差与配合。
- (4)学会查阅工具书,如手册、标准等,能够熟练查、用本课程介绍的公差表格,并能正确选用及标注。
- (5)熟悉各种典型几何量的检测方法,初步学会常用计量器具的读数原理及使用方法。
- (6)初步具有公差设计及精度检测的基本能力。

第1章 极限与配合及检测

【学习及技能目标】

1. 理解有关公差、极限偏差等术语的定义及有关计算，并会查表标注尺寸的极限偏差值。
2. 掌握零件检测（测量方法、测量误差、测量精度等）的基础知识。
3. 能正确使用游标卡尺、外径千分尺等测量工具对典型零件进行测量。

第1讲

课 题：1. 极限与配合的基本术语及定义
2. 极限与配合标准的主要内容

授课形式：讲授

教学目的：1. 掌握极限与配合的基本术语及定义
2. 熟练计算极限尺寸、会绘制公差带图
3. 掌握间隙、过渡、过盈配合的特点及极限盈、隙的计算。

教学重点：有关极限尺寸、极限偏差、尺寸公差、基本偏差的概念

教学难点：1. 计算、绘制公差带图
2. 间隙、过渡、过盈配合的特点及极限盈、隙的计算。

教 具：挂图、多媒体课件

教学方法：精讲：重点讲清有关极限尺寸、极限偏差、尺寸公差、基本偏差的概念

多练：在讲授后，通过练习、讨论和分析归纳帮助学生自我消化、自我提高，从而培养学生的计算能力。

教学过程：

一、引入新课题

本章是本门课程的核心内容，是学习以后各章的基础。要求对各公差配合的基本概念要明确，本次课开始学习有关内容。

二、教学内容

1.1 极限与配合的基本知识

1.1.1 极限与配合的基本术语及定义

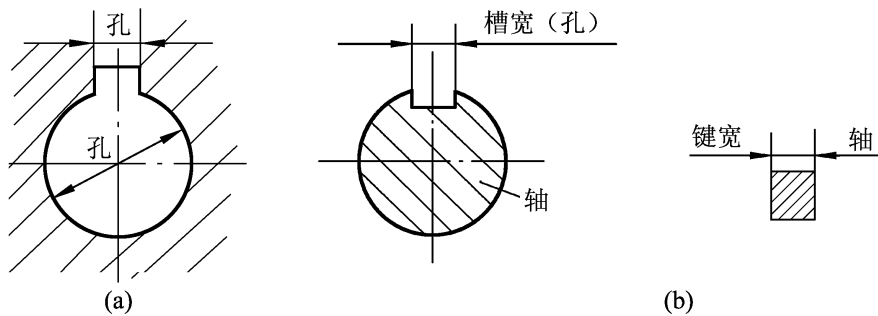
1. 孔

孔是指工件的圆柱形内表面，也包括非圆柱形内表面（由二平行平面或切面形成的包容面）。孔的直径尺寸用 D 表示。

2. 轴

轴是指工件的圆柱形外表面，也包括非圆柱形外表面（由二平行平面或切面形成的被包容面）。轴的直径尺寸用 d 表示。

孔与轴的区别：从装配关系讲，孔是包容面，轴是被包容面。从加工过程看，随着余量的切除，孔的尺寸由小变大，轴的尺寸由大变小，如图所示。



1.1.2 有关要素的术语定义

1. 要素

即构成零件几何特征的点、线、面。

2. 尺寸要素

是指由一定大小的线性尺寸或角度尺寸确定的几何形状。

3. 尺寸

是指用特定单位表示线性尺寸值的数值。

4. 公称尺寸（原称基本尺寸）

是由设计给定的，通过强度、刚度等方面的计算或结构需要，并考虑工艺方面要求后确定的，孔用 D 表示，轴用 d 表示。

5. 实际（组成）要素（原称实际尺寸）

由接近实际（组成）要素所限定的工件实际表面的组成要素部分。

6. 极限尺寸

指尺寸要素允许的两个极端尺寸。提取组成要素的局部尺寸应位于其中，也可达到极限尺寸。

尺寸要素允许的最大尺寸称为上极限尺寸；尺寸要素允许的最小尺寸称为下极限尺寸。分别用 $D_{\max}$ ， $d_{\max}$ 和 $D_{\min}$ ， $d_{\min}$ 表示，如图1-2所示。

1.1.3 有关尺寸偏差、公差的术语及定义

1. 尺寸偏差

某一尺寸减去其公称尺寸所得的代数差称为尺寸偏差（简称偏差）。偏差可能为正或负，也可为零。

2. 实际偏差

实际尺寸减去其公称尺寸所得的代数差称为实际偏差。

3. 极限偏差

极限尺寸减去其公称尺寸所得的代数差，称为极限偏差。

(1) **上偏差**: 上极限尺寸减去其公称尺寸所得的代数差称为上偏差。孔的上偏差用 ES 表示;轴的上偏差用 es 表示。

(2) **下偏差**: 最小极限尺寸减去其公称尺寸所得的代数差称为下偏差。孔的下偏差用 EI 表示;轴的下偏差用 ei 表示。

极限偏差计算公式:

$$ES = D_{\max} - D \qquad es = d_{\max} - d$$

$$EI = D_{\min} - D \qquad ei = d_{\min} - d$$

4. 尺寸公差 (T_h , T_s)

允许尺寸的变动量称为公差。孔公差用 T_h 表示;轴公差用 T_s 表示。

公差计算公式:

$$\text{孔公差 } T_h = D_{\max} - D_{\min} = ES - EI$$

$$\text{轴公差 } T_s = d_{\max} - d_{\min} = es - ei$$

5. 尺寸公差带

(1) 公差带: 由代表上偏差和下偏差或上极限尺寸和下极限尺寸的两条直线所限定的一个区域，称为尺寸公差带。

(2) 为确定极限偏差的一条基准线，是偏差的起始线，零线上方表示正偏差；零线下方表示负偏差。

6. 标准公差

国家标准规定的公差数值表中所列的,用以确定公差带大小的任一公差称为标准公差。

7. 基本偏差

用以确定公差带相对于零线位置的上偏差或下偏差称为基本偏差。

1.1.4 有关配合的术语定义

1. 配合

配合是指基本尺寸相同的,相互结合的孔和轴公差带之间的关系。

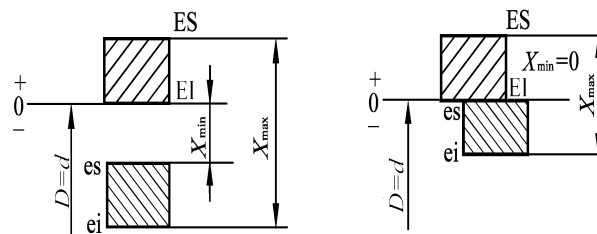
2. 间隙 (X) 或过盈 (Y)

在轴与孔的配合中,孔的尺寸减去轴的尺寸所得的代数差,当差值为正时称为间隙,用 X 表示;当差值为负时称为过盈,用 Y 表示。

标准规定: 配合分为间隙配合、过盈配合和过渡配合。

3. 间隙配合

具有间隙(包括最小间隙等于零)的配合称为间隙配合。在间隙配合中,孔的公差带在轴的公差带之上,如图所示。



计算公式:

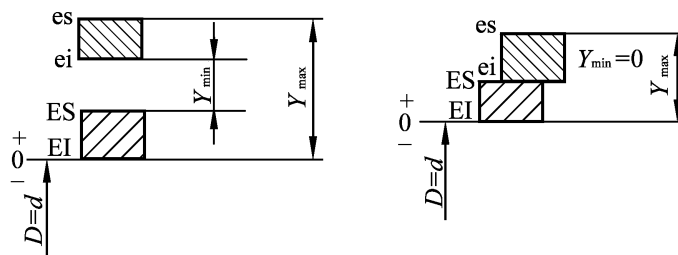
$$\text{最大间隙 } X_{\max} = D_{\max} - d_{\min} = ES - ei$$

$$\text{最小间隙 } X_{\min} = D_{\min} - d_{\max} = EI - es$$

$$\text{平均间隙 } X_{av} = 1/2 (X_{\max} + X_{\min})$$

4. 过盈配合

具有过盈(包括最小过盈等于零)的配合称为过盈配合。在过盈配合中,孔的公差带在轴的公差带之下,如图所示。



计算公式:

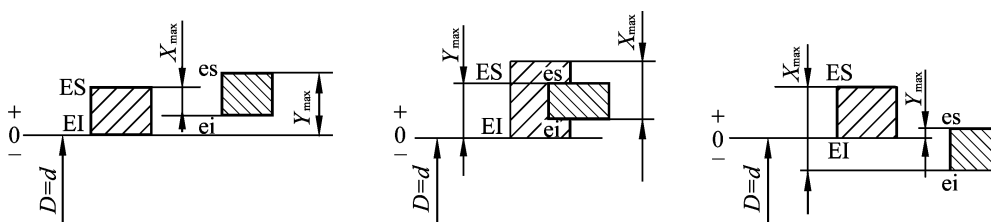
$$\text{最大过盈 } Y_{\max} = D_{\min} - d_{\max} = EI - es$$

$$\text{最小过盈 } Y_{\min} = D_{\max} - d_{\min} = ES - ei$$

$$\text{平均过盈 } Y_{\text{av}} = 1/2 (Y_{\max} + Y_{\min})$$

5. 过渡配合

可能具有间隙或过盈的配合，此时孔的公差带与轴的公差带相互交叠，如图所示。



计算公式:

$$\text{最大间隙 } X_{\max} = D_{\max} - d_{\min} = ES - ei$$

$$\text{最大过盈 } Y_{\max} = D_{\min} - d_{\max} = EI - es$$

$$X_{\text{av}} (Y_{\text{av}}) = 1/2 (X_{\max} + Y_{\max}) + (-)$$

在过渡配合中，平均间隙或平均过盈为最大间隙与最大过盈的平均值，所得值为正，则为平均间隙；为负则为平均过盈。

6. 配合公差

允许间隙或过盈的变动量称为配合公差。它表明配合松紧程度的变化范围。

配合公差用 T_f 表示，是一个没有符号的绝对值。

计算公式:

$$\text{对间隙配合 } T_f = X_{\max} - X_{\min}$$

$$\text{对过盈配合 } T_f = Y_{\min} - Y_{\max}$$

$$\text{对过渡配合 } T_f = X_{\max} - Y_{\max}$$

三种配合的配合公差也可为:

$$T_f = T_h + T_s$$

第 2 讲

- 课 题:** 1. 配合制
2. 标准公差系列
3. 基本偏差系列
4. 极限与配合在图样上的标注
5. 常用和优先的公差带与配合
6. 一般公差——线性尺寸的未注公差

授课形式: 讲授

- 教学目的:** 1. 掌握基孔制和基轴制的特点
2. 熟悉标准公差系列和基本偏差系列的构成
3. 掌握标准公差数值表和孔与轴的基本偏差数值表的查用, 并会在图样上正确标注公差配合。
4. 掌握一般公差的表示方法。

教学重点: 标准公差数值表和孔与轴的基本偏差数值表的查用

教学难点: 会在图样上正确标注公差配合。

教 具: 挂图、多媒体课件

教学方法: 本节主要讲述极限与配合标准, 在此基础上引导学生查用标准公差数值表和孔与轴的基本偏差数值表, 会在图样上正确标注公差配合。从而培养学生的应用能力。

教学过程:

一、引入新课题

复习有关极限尺寸、极限偏差、尺寸公差、基本偏差的概念,。要求对基孔制和基轴制的特点明确, 本次课开始学习有关极限与配合标准的主要内容。

二、教学内容

1.2 极限与配合标准的主要内容

1.2.1 配合制及标准公差等级

配合制是以两个相配合的零件中的一个零件为基准件, 并对其选定标准公差

带，将其公差带位置固定，而改变另一个零件的公差带位置，从而形成各种配合的一种制度。

1. 基孔制

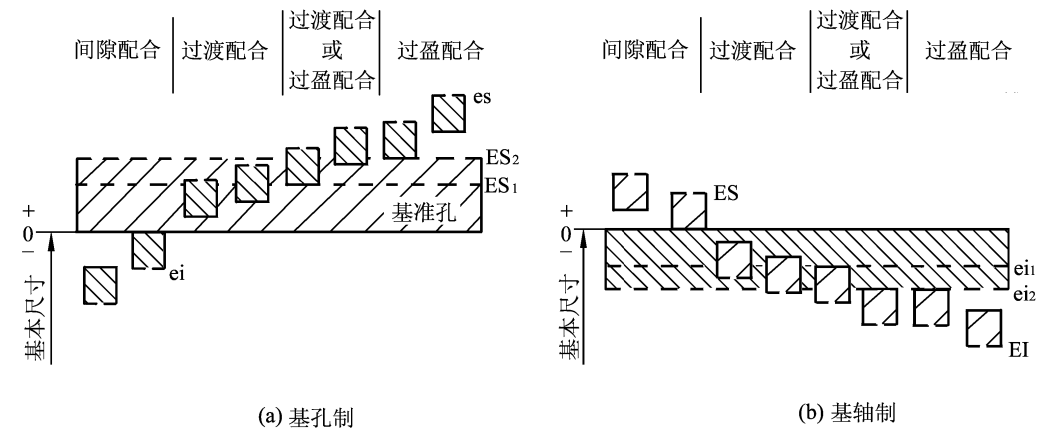
基本偏差为一定的孔的公差带，与不同基本偏差的轴的公差带形成各种配合的一种制度。基孔制配合中的孔为基准孔，是配合的基准件。如图（a）所示。

标准规定：基准孔的基本偏差为下偏差 EI，数值为零，即 $EI=0$ ，上偏差为正值，其公差带偏置在零线上侧。基准孔的代号为 H。

2. 基轴制

基本偏差为一定的轴的公差带，与不同基本偏差的孔的公差带形成各种配合的一种制度。基轴制配合中的轴为基准轴，是配合的基准件。如图（b）所示。

标准规定：基准轴的基本偏差为上偏差 es，数值为零，即 $es=0$ ，下偏差为负值，其公差带偏置在零线下侧。基准轴的代号为 h。



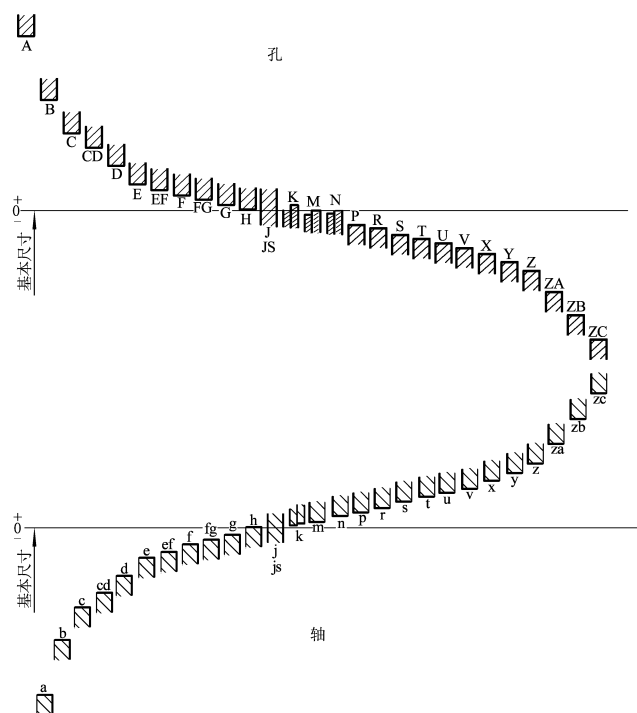
3. 公差等级

确定尺寸精确程度的等级称为公差等级。

国家标准设置了 20 个公差等级，各级标准公差代号为 IT01、IT0、IT1、IT2、…、IT18。IT01 精度最高，其余依次降低，标准公差值依次增大。

1.2.2 基本偏差系列

基本偏差系列：是对公差带位置的标准化。国家标准对孔和轴分别规定了 28 个公差带位置，分别由 28 个基本偏差来确定。如图 1-7 所示。



1. 代号

基本偏差代号用拉丁字母表示，孔用大写字母表示，轴用小写字母表示。

2. 基本偏差系列图及其特征

如图所示

3. 基本偏差数值

(1) 轴的基本偏差数值:

A: 轴的基本偏差计算公式见书中表 1-3。

B: 为了方便使用，国家标准按上述轴的基本偏差计算公式计算列出了轴的基本偏差数值表，见书中表 1-4。

C: 轴的基本偏差可查表确定，另一个极限偏差可根据轴的基本偏差数值和标准公差值按下列关系式计算：

$$ei = es - IT \quad (\text{公差带在零线之下})$$

$$es = ei + IT \quad (\text{公差带在零线之上})$$

(2) 孔的基本偏差数值:

孔的基本偏差数值是由同名的轴的基本偏差换算得到的。

换算原则为: 同名配合的配合性质不变，即基孔制的配合（如 30H9/f9、40H7/g6）变成同名基轴制的配合（如 30F9/h9、40G7/h6）时，其配合性质（极限间隙或极限过盈）不变。

①通用规则 用同一字母表示的孔、轴的基本偏差的绝对值相等，符号相反。

孔的基本偏差是轴的基本偏差相对于零线的倒影。

即 $EI = -es$ (适用于 A~H)

$ES = -ei$ (适用于同级配合的 K~ZC)

②特殊规则 用同一字母表示的孔、轴的基本偏差的符号相反，而绝对值相差一个 Δ 值。

即 $ES = -ei + \Delta$

$\Delta = IT_n - IT_{n-1} = IT_h - IT_s$

孔的另一个极限偏差可根据孔的基本偏差数值和标准公差值按下列关系式计算

$EI = ES - IT$ (公差带在零线之下)

$ES = EI + IT$ (公差带在零线之上)

1.2.3 极限与配合在图样上的标注

1. 公差带代号与配合代号

A. 公差代号: 孔、轴的公差带代号由基本偏差代号和公差等级数字组成，

举例: 孔的公差带代号——H7、F7、K7、P6

轴的公差带代号——h7、g6、m6、r7

B. 配合代号: 当孔和轴组成配合时，写成分数形式，分子为孔的公差带代号，分母为轴的公差带代号。

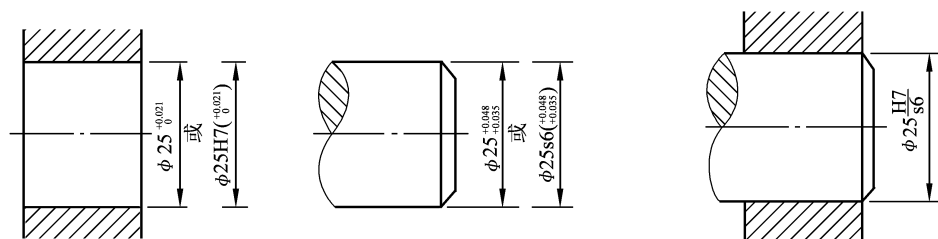
举例: H7/g6

如指某公称尺寸的配合，则公称尺寸标在配合代号之前，如 30H7/g6。

2. 图样中尺寸公差的标注形式

A. 零件图标注: 尺寸公差的两种标注形式如图所示，孔、轴公差在零件图上主要标注基本尺寸和极限偏差数值，也可标注基本尺寸、公差带代号和极限偏差值。

B. 在装配图标注: 主要标注配合代号，即标注孔、轴的基本偏差代号及公差等级，如图所示。



1.2.4 常用和优先的公差带与配合

1. 常用和优先公差带

A. 轴用公差带：国标规定了一般、常用和优先轴用公差带共 116 种。

B. 孔用公差带：国标规定了一般、常用和优先孔用公差带共 105 种。

2. 选用原则

应按优先、常用、一般公差带的顺序选取。若一般公差带中也没有满足要求的公差带，则按国标规定的标准公差和基本偏差组成的公差带来选取，还可考虑用延伸和插入的方法来确定新的公差带。

3. 配合

国标规定基孔制常用配合 59 种，优先配合 13 种。基轴制常用配合 47 种，优先配合 13 种。

1.2.5 一般公差—线性尺寸的未注公差（GB/T 1804—2000）

1. 未注公差

在车间普通工艺条件下，机床设备一般加工能力可保证的公差称为一般公差。在正常维护和操作情况下，它代表车间的一般的经济加工精度。

2. 未注公差级别

国家标准 GB/T 1804—2000 对线性尺寸的一般公差规定了 4 个公差等级，它们分别是精密级 f、中等级 m、粗糙级 c、最粗级 v。

对适用尺寸也采用了较大的分段。f、m、c、v 四个等级分别相当于 IT12、IT14、IT16、IT17。

3. 举例

采用 GB/T 1804—2000 规定的一般公差，在图样、技术文件或标准中用该标准号和公差等级符号表示。例如，当选用中等级 m 时，表示为 GB/T 1804—2000—m。

一般公差的线性尺寸是在车间加工精度保证的情况下加工出来的，一般可以不用检验。

第 3 讲

课 题：1. 测量技术的概念

2. 长度基准与尺寸传递

3. 量块的基本知识

4. 计量器具的基本度量指标
5. 测量方法的分类

授课形式: 讲授

教学目的:

1. 了解测量技术的基本概念及尺寸传递
2. 了解计量器具及其基本度量指标
3. 重点掌握量块的使用方法。
4. 重点掌握测量方法的分类

教学重点:

1. 量块的使用方法。
2. 计量器具及其基本度量指标
3. 测量方法的分类

教学方法: 精讲量块的用法，多练：在讲授后，通过练习、讨论和分析归纳帮助学生掌握本节课内容。

教学过程:

一、引入新课题

由提问学生长度单位的意义引入新课。

二、教学内容

1.3 测量技术基础

1.3.1 技术测量与检测的基本知识

1. 测量

是指为确定被测量值而进行的一组操作过程。其实质是将被测的量 L 与具有计量单位的标准量 E 进行比较，从而确定比值 q 的过程，即 $q = L/E$

测量过程包括以下四个要素:

(1) **测量对象** 主要指几何量，包括长度、角度、表面形状和位置误差、表面粗糙度以及螺纹、齿轮的各种参数等。

(2) **计量单位** 长度单位为米 (m)，在机械制造中常用单位为毫米 (mm)、微米 (μm)；角度单位是弧度 (rad)，实用中常以度 ($^\circ$)、分 ($'$)、秒 ($''$) 为单位。

(3) **测量方法** 是指在进行测量时所采用的测量器具、测量原理和测量条件的总和。

(4) **测量精度** 是指测量结果与真值的一致程度。

2. 检验

是指为确定被测量是否达到预期要求所进行的测量，从而判断是否合格，不一定得出具体的量值。

3. 长度尺寸基准和传递系统

世界各国所使用的长度单位有米制和英制两种，长度的量值传递是指“将国家计量基准所复现的计量值，通过检定（或其他方法）传递给下一等级的计量标准（器）并依次逐级传递到工作计量器具上，以保证被测量对象的量值准确一致的方式”。

1 m 是在 $1/299\,792\,458\text{ s}$ 时间间隔内光在真空中所行程的长度。这是经 1983 年第 17 届国际计量大会审议并批准的“米”的新定义

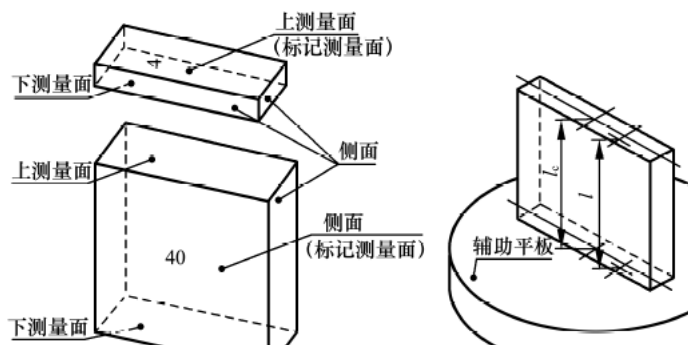
4. 角度的量值传递

使用高精度的测角仪和多面棱体

1.3.2 量块

1. 量块及其特点

量块是指用耐磨材料制造，横截面为矩形，并具有一对相互平行测量面的量具，量块的测量面可以和另一个量块的测量面相研合而组合使用，也可以和具有类似表面品质的辅助表面相研合而用于量块长度的测量。



2. 量块规格

(1) 量块长度

是指量块一个测量面上的任意点到与相对的另一测量面相研合的辅助体表面之间的垂直距离，且辅助体的材料和表面品质与量块相同。

(2) 量块中心长度

是指对应于量块未研合测量中心点的量块长度。

(3) 量块标称长度

是指标记在量块上，用以表明其与主单位（m）之间关系的量值，也称为量块长度的示值。

3. 量块的精度

(1) 量块的制造精度分为 00,0,1,2,(3) 级五个级别，其中 00 级的精度最高，各级精度依次降低，(3) 级的精度最低。此外，还有一个校准级—K 级。

(2) 量块的检定精度(根据量块中心长度的极限偏差和测量面的平面度公差等精度指标)分为 1、2、3、4、5、6 六个等别，其中 1 等的精度最高，各等别精度依次降低，6 等的精度最低。

4. 量块的使用

为了能用较少的块数组合成所需要的尺寸，量块应按一定的尺寸系列成套生产供应。

5. 量块的研合以致及研合方法

(1) 研合性

量块的研合性是指量块的一个测量面与另一量块的测量面或另一经精加工的类似量块的测量面的表面，通过分子力作用而相互研合的性能。

(2) 量块的研合

研合量块组时，首先用优质汽油将选用的各量块清洗干净，用洁布擦干，然后以大尺寸量块为基础，顺次将小尺寸量块研合上去。

1. 3. 3 计量器具的基本度量指标

度量指标是用来说明计量器具的性能和功用的。基本度量指标如下：

1. 刻度间距

指刻度尺或分度盘上相邻两刻线中心之间的距离。一般刻度间距为 1~2.5 mm 。

2. 分度值（刻度值）

是指标尺或分度盘上相邻两刻线间所代表被测量的量值。

3. 示值范围

是指计量器具所显示的最低值到最高值的范围。

4. 测量范围

指在允许的误差限内，计量器具所能测量的下限值(最小值)到上限值(最大值)的范围 。

5. 灵敏度

是指计量器具对被测量变化的反应能力。

6. 测量力

是指计量器具的测头与被测表面之间的接触压力。

7. 示值误差

是指计量器具上的示值与被测量真值的代数差。

8. 示值变动

是指在测量条件不变的情况下，用计量器具对同一被测量进行多次测量（一般 5~10 次）所得示值中的最大差值。

9. 回程误差（滞后误差）

是指在相同条件下，对同一被测量进行往返两个方向测量时，计量器具示值的最大变动量。

10. 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。

1.3.4 测量方法的分类

1. 按所获得被测结果的方法不同，分为：

A: 直接测量：是指直接从计量器具上获得被测量的量值的测量方法。

B: 间接测量：是指测量与被测量有一定函数关系的量，然后通过函数关系算出被测量的测量方法。

2. 按读数值是否为被测量的整个量值，分为：

A: 绝对测量：是指被测量的全值从计量器具的读数装置直接读出。

B: 相对测量：是指从计量器具上仅读出被测量对已知标准量的偏差值，而被测量的量值为计量器具的示值与标准量的代数和。

3. 按被测表面与计量器具的测量头是否有机接触，分为：

A: 接触测量：是指计量器具在测量时，其测头与被测表面直接接触的测量。

B: 非接触测量：是指计量器具的测头与被测表面不接触的测量。

4. 按同时测量参数的多少，分为：

A: 单项测量：是指分别测量工件的各个参数的测量。

B: 综合测量：是指同时测量工件上某些相关的几何量的综合结果，以判断综合结果是否合格。

5. 按测量在加工过程中所起的作用，分为：

A: 主动测量：是指在加工过程中对零件的测量，其测量结果用来控制零件的加工过程，从而及时防止废品的产生。

B: 被动测量：是指在加工后对零件进行的测量。其测量结果只能判断是否合格，仅限于发现并剔除废品。

6. 按被测量在测量过程中所处状态，分为：

静态测量：是指在测量时被测表面与计量器具的测量头处于静止状态。

动态测量：是指测量时被测表面与计量器具的测量头之间处于相对运动状态的测量方法。

第 4 讲

- 课 题:** 1. 测量误差的概念
2. 测量误差的来源
3. 测量误差的种类和特性
4. 关于测量精度的几个概念

授课形式: 讲授

- 教学目的:** 1. 了解测量误差的概念和产生测量误差的因素
2. 掌握测量误差的种类特性以及测量结果的数据处理方法

教学重点: 测量误差的种类特性

教学难点: 测量误差测量结果的数据处理方法

教 具: 多媒体课件

教学方法: 精选例题和习题目帮助学生掌握测量误差的种类和特性。

教学过程:

一、引入新课题

通过提问测量过程中所发现的问题引入新课.

二、教学内容

1.4 测量误差及数据处理

1.4.1 测量误差的概念

测量误差: 在测量过程中, 由于计量器具本身的误差以及测量方法和测量条件的限制, 任何一次测量的测得值都不可能是被测几何量的真值, 两者存在着差异。

测量误差有下列两种形式:

1. 绝对误差

绝对误差 δ 是指测量的量值 x 与其真值 x_0 之差的绝对值,

$$\text{即} \quad \delta = |x - x_0|$$

因此, 测量误差可能是正值, 也可能是负值。

这样, 真值可以用下列公式表示 $x_0 = x \pm \delta$

2. 相对误差

相对误差 f 是指绝对误差 δ (取绝对值) 与真值 x_0 之比。

$$\text{即} \quad f = \delta / x_0 \approx \delta / x$$

1.4.2 测量误差的来源

1. 计量器具的误差

计量器具的误差是指计量器具本身所具有的误差，包括计量器具的设计、制造和使用过程中的各项误差，这些误差的综合反映可用计量器具的示值精度或确定度来表示。

2. 测量方法误差

测量方法误差是指测量方法不完善所引起的误差。

3. 测量环境误差

测量环境误差是指测量时的环境条件不符合标准条件所引起的误差。

4. 人员误差

人员误差是指测量人员的主观因素所引起的误差。例如，测量人员技术不熟练、视觉偏差、估读判断错误等引起的误差。

1.4.3 测量误差的种类和特性

1. 随机误差

随机误差是指在一定测量条件下，多次测量同一量值时，其数值大小和符号以不可预定的方式变化的误差。

(1) 随机误差的分布规律及其特性

随机误差可用试验方法来确定。实践表明，大多数情况下，随机误差符合正态分布。

随机误差具有以下 4 个分布特性：

①**对称性**：绝对值相等、符号相反的随机误差出现的概率相等。

②**单峰性**：绝对值小的随机误差出现的概率比绝对值大的随机误差出现的概率大。

③**抵偿性**：在一定的测量条件下，多次重复进行测量，各次随机误差的代数和趋近于零。

④**有界性**：在一定的测量条件下，随机误差的绝对值不会超出一定的界限。

因此，可以用概率论和数理统计的一些方法来掌握随机误差的分布特性估算误差范围，对测量结果进行处理。

(2) 随机误差的极限值

由随机误差的有界性可知，随机误差不会超过某一范围。随机误差的极限值是指测量极限误差，也就是测量误差可能出现的极限值。

$$\delta_{\text{lim}} = \pm 3\sigma = \pm 3\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \delta_i^2}{n}}$$

2. 系统误差

系统误差是指在一定测量条件下，多次测量同一量时，误差的大小和符号均保持不变或按一定规律变化的误差。

3. 粗大误差

粗大误差是指明显超出规定条件下预期的误差。

1.4.4 测量精度的相关概念

测量精度是指被测量的测得值与其真值的接近程度。测量精度和测量误差从两个不同角度说明了同一个概念。

1. 精密度

表示测量结果受随机误差影响的程度。它是指在规定的测量条件下连续多次测量时，所有测得值彼此之间接近的程度。若随机误差小，则精密度高。

2. 正确度

表示测量结果受系统误差影响的程度。它是衡量所有测得值对真值的偏离的程度。若系统误差小，则正确度高。

3. 准确度

是指连续多次测量时，所有测得值彼此之间接近程度对真值的一致程度。若系统误差和随机误差都小，则准确度高。

通常精密度高的，正确度不一定高；正确度高的，精密度不一定高；但准确度高时，精密度和正确度必定都高。

1.4.5 测量结果的数据处理

1. 测量列中随机误差的处理

随机误差的出现是不可避免和无法消除的。数据处理的步骤如下：

- (1) 计算算术平均值
- (2) 计算残差
- (3) 计算标准偏差
- (4) 计算测量列算术平均值的标准偏差
- (5) 测量列的极限误差

2. 系统误差的发现和消除

系统误差一般通过标定的方法获得，发现系统误差后需采取措施加以消除。

3. 粗大误差的剔除

粗大误差的特点是数值比较大，对测量结果产生明显的歪曲，应从测量数据中将其剔除。剔除粗大误差不能凭主观臆断，应根据判断粗大误差的准则予以确定。

第 5 讲

课 题：1. 配合制的选择
2. 公差等级的选择
3. 配合的选择

授课形式：讲授

教学目的：1. 熟悉极限与配合的选择，在此基础上，达到会初步选用极限与配合的能力。
2 掌握配合制的选择、公差等级的选择、配合的选择的基本原则和一般方法。

教学重点：极限与配合的选择

教学难点：配合制的选择、公差等级的选择、配合的选择的基本原则和一般方法

教 具：挂图、多媒体课件

教学方法：合理选用极限与配合是机械设计与制造中的一项重要工作，它对提高产品的性能、质量以及降低成本都有重要影响。教学中重点讲述如何正确地选择极限与配合，让学生明白要想深入地掌握极限与配合国家标准，就要对产品的技术要求、工作条件以及生产制造条件进行全面分析，同时还要通过生产实践和科学试验不断积累经验，这样才能逐步提高这方面的工作能力。

教学过程：

一、引入新课题

复习有基孔制和基轴制的特点及标准公差系列和基本偏差系列的构成。

二、教学内容

1.5 极限与配合的选用

1.5.1 配合制的选择

1. 一般情况下优先选用基孔制

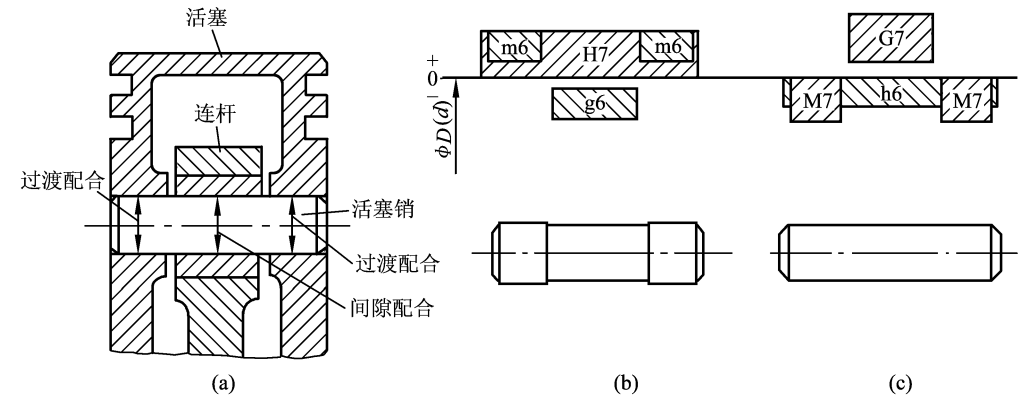
为了减少定值刀具、量具的规格和数量，利于生产，提高经济性，应优先选

用基孔制。

2. 在下列情况下，应选用基轴制

(1) 当在机械制造中采用具有一定公差等级的冷拉钢材，其外径不经切削加工即能满足使用要求，此时就应选择基轴制。

(2) 由于结构上的特点，宜采用基轴制。如图 (a) 所示根据工作要求，活塞销轴与活塞孔应为过渡配合，而活塞销与连杆之间由于有相对运动应为间隙配合。若采用基孔制配合，如图 (b) 所示

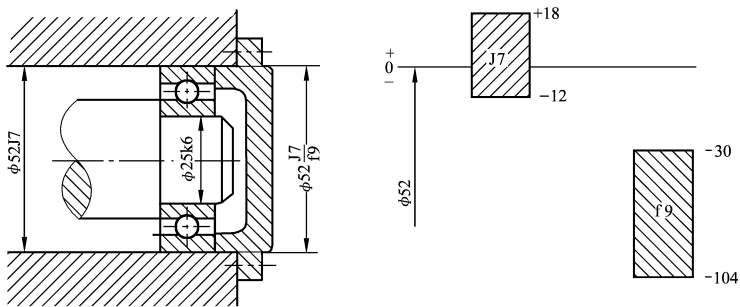


3. 与标准件配合时，应以标准件为基准件来确定配合制

标准件通常由专业工厂大量生产，在制造时其配合部位的配合制已确定。所以与其配合的轴和孔一定要服从标准件既定的配合制。

4. 在特殊需要时可采用非配合制配合

非配合制配合是指由不包含基本偏差 H 和 h 的任一孔、轴公差带组成的配合。如图所示为轴承座孔同时与滚动轴承外径和端盖的配合。



1.5.2 公差等级的选择

在满足零件使用要求的前提下，尽量选取较低的公差等级。

1. 联系工艺

A: 在按使用要求确定了配合公差 T_f 后，由于 $T_f = T_h + T_s$ ，这里 T_h 与 T_s 的公差分配可按工艺等价性考虑。孔和轴的工艺等价性是指孔和轴加工难易程度应相同。

B:为了使组成配合的孔、轴工艺等价，轴、孔的公差等级应相差一级选用。

2. 联系配合

对过渡配合或过盈配合，一般不允许其间隙或过盈的变动太大，因此公差等级不能太低，孔可选标准公差 $\leq IT8$ ，轴可选标准公差 $\leq IT7$ 。间隙配合可不受此限制。

3. 联系零部件的相关精度要求

在用类比法选择公差等级时，应熟悉各个公差等级的应用范围和各种加工方法所能达到的公差等级。

1.5.3 配合的选择

1. 计算法 是根据一定的理论和公式，计算出所需的间隙或过盈，根据计算结果，对照国标选择合适的配合。

2. 试验法 是对选定的配合进行多次试验，根据试验结果，找到最合理的间隙或过盈，从而确定配合的一种方法。

3. 类比法 是参考现有同类机器或类似结构中经生产实践验证过的配合情况，与所设计零件的使用要求相比较，经修正后确定配合的一种方法。

4. 各种配合的特征及应用举例

5. 选择配合种类时应考虑的主要因素

- | | |
|--------------|------------|
| (1) 孔和轴的定心精度 | (2) 受载荷情况 |
| (3) 拆装情况 | (4) 配合件的材料 |
| (5) 装配变形 | (6) 工作温度 |
| (7) 生产类型 | |

第 6 讲

课 题: 实训 1 游标卡尺测量零件 实训 2 用外径千分尺测量零件
实训 3 用内径千分尺测量零件

授课方式: 边讲边练（现场测量）

教学目的: 1. 了解尺寸误差所涉及到的 3 种量具的组成及原理
2. 掌握上述各种量具的使用方法
3. 熟悉上述各种量具测量尺寸误差大小的方法。

教学重点: 测量尺寸误差所涉及到的 3 种量具和使用方法。

教学难点: 会正确运用各种量具测量尺寸误差大小的方法。

教 具：实训用量具

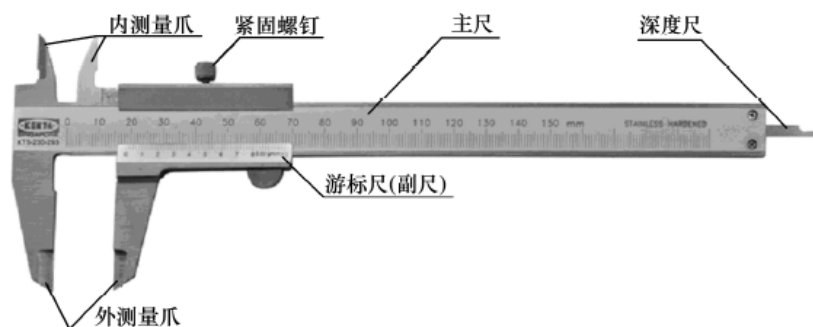
教学方法：引导学生理解尺寸误差所涉及到的 3 种量具的组成及原理，在尺寸误差的检测中，初步掌握其量具的使用方法，并基本掌握准确测量尺寸误差大小的技能。

教学过程：

实训 1 游标卡尺测量零件

游标卡尺是利用游标原理对两同名测量面相对移动分隔的距离进行读数的测量器具，具有结构简单、使用方便、精度中等和测量范围大等特点，可用于测量零件的外径、内径、长度、宽度、厚度、深度和孔距等，应用范围很广。

1. 游标卡尺的组成

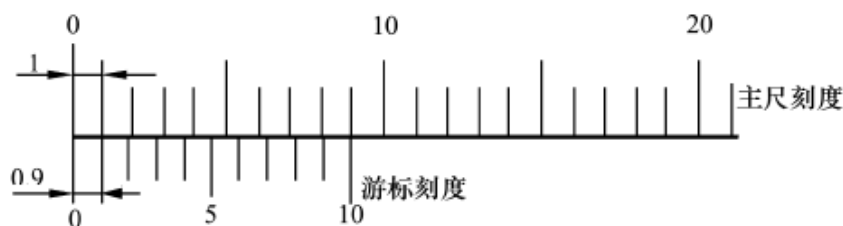


2. 游标卡尺的类型

游标卡尺的种类较多，最常用的三种见表 1-21

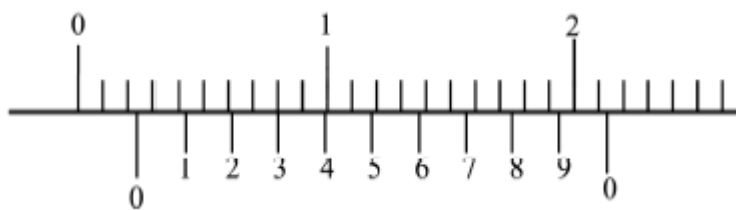
3. 普通游标卡尺的读数原理和读数方法

(1) 读数原理



主尺刻线间距（每格）为 1 mm，当游标零线与主尺零线对准（两爪合并）时，游标上的第 10 条刻线正好指向主尺上的 9 mm，而游标上的其他刻线都不会与主尺上任何一条刻线对准。因此，游标每格间距为 $9 \div 10 = 0.9$ mm，主尺每格间距与游标每格间距相差 $1 - 0.9 = 0.1$ mm，0.1 mm 即此种游标卡尺的最小读数值。

读数示例



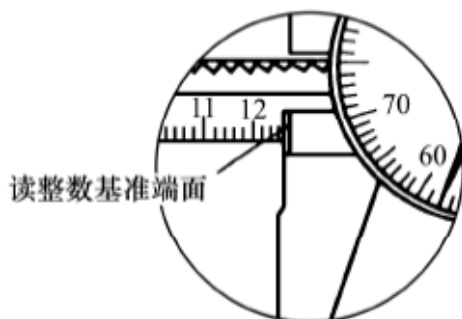
被测尺寸的整数部分是 2 mm，再观察游标刻线，这时游标上的第 3 条刻线与主尺刻线对准。因此，被测尺寸的小数部分为 $3 \times 0.1 = 0.3$ mm，被测尺寸为 $2 + 0.3 = 2.3$ mm。

4. 带表游标卡尺及读数原理

带表游标卡尺可测量轴径、宽度、厚度等外尺寸，既可绝对测量也可相对测量。测量精度一般为 0.02 mm，测量范围为 0 ~ 125 mm 或 0 ~ 150 mm 或 0 ~ 200 mm。

读数原理：运用齿条传动齿轮带动指针显示数值，测量准确、迅速，其使用方法与普通游标卡尺基本相同。

读数示例：分度值为 0.01 mm，读数为 $123 + 0.5 + (3 \times 0.02) = 123.56$ mm。



5. 测量方法

右手拇指推动游标，使两测量爪的测量面与被测工件表面接触，并进行少量滑移，目光正视，读出工件尺寸数值。

实训 2 用外径千分尺测量零件

外径千分尺是利用螺旋副原理，对尺架上两测量面间分隔的距离进行测量的外尺寸测量器具。

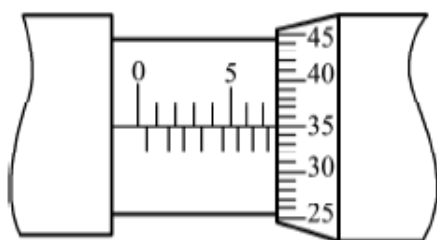
1. 外径千分尺的组成

常用外径千分尺的测量范围有 0 ~ 25 mm、25 ~ 50 mm、50 ~ 75 mm、甚至可达数米。

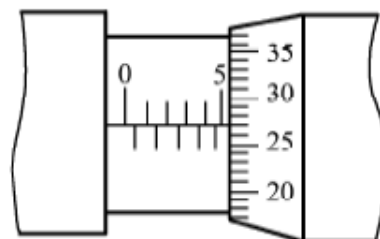
2. 外径千分尺的读数原理及读数方法

(1) **读数原理** 将微分筒旋转一周时，测微螺杆轴向位移 0.5 mm ，当微分筒转过一格时，测微螺杆轴向位移 $0.5 \times 1 / 50 = 0.01\text{ mm}$ 。这样，可由微分筒上的刻度精确地读出测微螺杆轴向位移的小数部分。由此可见，千分尺的分度值为 0.01 mm 。

(2) 读数示例



(a) $7 + 0.5 + 0.01 \times 35 = 7.85$



(b) $5 + 0.01 \times 27 = 5.27$

3. 测量方法

(1) 根据图纸要求尺寸，选择相应规格的千分尺（校对零位），左手握住绝热板装置，右手握住测力装置。

(2) 测砧面固定不动，转动测力装置（棘轮），使千分尺测量螺杆面和被测提取工件表面接近。

(3) 拧动端部棘轮，直至发出 2 ~ 3 声的“咔咔”声为止，读出尺寸数值。

实训 3 用内径千分尺测量零件内径

千分尺是具有两个圆弧测量面，适用于测量内尺寸的千分尺。其示值误差为刻度指示值与两圆弧测量面实际分隔的距离之差。

1. 内径千分尺的组成及原理

内径千分尺测量方法与游标卡尺的内测量爪测量方法相同。与外径千分尺不同的是，内径千分尺的内测量爪是边分开边测量，所以标尺数值是向右变小。

2. 测量方法

(1) 将固定测量爪接触孔的一侧内壁不动，然后转动测力装置（棘轮），调节活动测量爪，使其张开距离略小于内孔尺寸。

(2) 当活动测量爪接触到孔的另一侧内壁时，转动棘轮，使测量爪在径向的最大位置和轴向的最小距离处与工件相接触，目光正视，寻找测量的最佳值，读出内孔尺寸数值。

第2章 几何公差及检测

【学习及技能目标】

1. 分析图纸上的零件几何精度的要求，读懂零件的几何公差要求，解释几何公差的含义。
2. 掌握几何公差项目代号及标注知识。
3. 熟悉百分表、内径百分表、扭簧比较仪、圆度仪等仪器的结构与使用方法，会测量零件的几何公差。

第1讲

课 题: 1. 几何公差的研究对象

2. 几何公差的几何要素的定义

授课方式: 讲授

教学目的: 1. 了解几何公差在机械制造中的作用
2. 熟悉与几何公差有关的几何要素的分类方法及各种几何要素的定义及其特点

教学重点: 与几何公差有关的几何要素的分类方法

教学难点: 几何公差及各种几何要素的定义及其特点

教 具: 挂图、多媒体课件

教学过程:

一、引入新课题

本次课是学习以后各章节的基础, 要求掌握几何公差项目的分类以及各特征项目的名称和对应的符号, 本次课开始学习有关内容。

二、教学内容

2.1 概述

零件加工后, 其表面、轴线、中心对称平面等的实际形状和位置相对于所要求的理想形状和位置, 不可避免地存在着误差, 这种误差称为形状和位置误差, 简称几何误差。

2.2 几何公差的研究对象

1. 组成要素

原称为轮廓要素, 是指构成零件外形的面或面上的线。

(1) 公称组成要素 又称公称尺寸, 是指由技术制图或其他方法确定的理论正确的

组成要素。

(2) 实际（组成）要素 由加工得到的、实际存在并将整个工件与周围介质分隔的要素。

(3) 提取组成要素 按规定的方法、由实际（组成）要素提取有限的点所形成的实际（组成）要素的近似替代。

2. 导出要素

原称为中心要素，是指由一个或几个组成要素得到的中心点、中心线或中心面。

(1) 公称导出要素 由一个或几个公称组成要素导出的中心点、中心线或中心面。

(2) 提取导出要素 由一个或几个提取组成要素导出的中心点、中心线或中心面。

3. 拟合要素

原称为理想要素，是指不存在任何误差的纯几何的点、线、面，它在检测中是评定实际（组成）要素几何误差的依据。

(1) 拟合组成要素 按规定的方法，由提取组成要素形成的并具有理想形状的组成要素。

(2) 拟合导出要素 由一个或几个拟合组成要素导出的中心点、中心线或中心面。

4. 单一要素

单一要素仅对要素本身提出几何公差要求的要素。

5. 关联要素

关联要素是指与零件上其他要素有功能关系的要素。

6. 基准要素

基准要素是指用来确定提取组成要素的理想方向或（和）位置的要素。

第 2 讲

课 题：1. 被测提取要素的标注方法

2. 基准要素的标注方法

3. 几何公差标注中的有关问题

4. 几何公差值及有关规定

授课方式：讲授

教学目的：1. 掌握几何公差项目的分类以及各特征项目的名称和对应的符号

2. 了解国家标准中对几何公差的注出公差值和未注公差值的标注方法

3. 理解图样上所标注的几何公差代号的含义

4. 掌握几何公差代号和基准符号的标注方法

教学重点：图样上所标注的几何公差代号的含义

教学难点：几何公差代号和基准符号的标注方法

教 具：挂图、多媒体课件

教学方法：利用多媒体精讲被测提取要素的标注方法，基准要素的标注方法。重点讲清几何公差标注中的有关问题。多练：在讲授后，通过练习、讨论和分析归纳帮助学生掌握几何公差代号和基准符号的标注方法。

教学过程：

一、引入新课题

通过几何公差研究对象引入新课。

二、教学内容

2.3 几何公差的标注

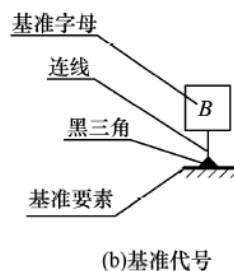
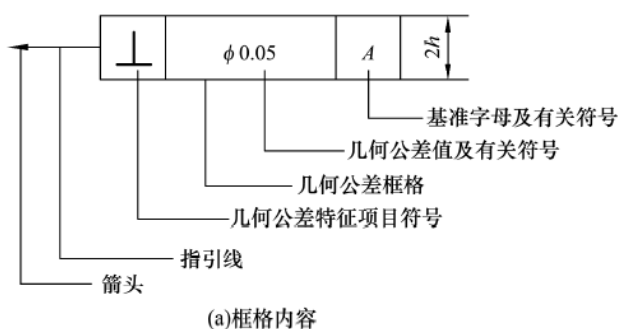
2.3.1 形位公差的特征项目、符号

国家标准规定，形状和位置两大类公差共计 14 个项目，其中形状公差 4 个，因它是对单一要素提出的要求，因此无基准要求；位置公差 8 个，形状或位置（轮廓）公差有 2 个，若无基准要求，则为形状公差；若有基准要求，则为位置公差。

2.3.2 形位公差标注

1. 几何公差代号

标准规定，在技术图样中几何公差采用符号标注。基准代号如图所示。



2. 几何公差标注示例

几何公差代号标注示例见书中表 2-3。

2.3.3 几何公差值及有关规定

1. 图样上注出公差值的规定

对于几何公差有较高要求的零件，均应在图样上按规定的标注方法注出公差值。

2. 几何公差的未注公差值的规定

未注公差值符合工厂的常用精度等级，不需在图样上注出。

(1) **直线度、平面度的未注公差值** 共分 H、K、L 三个公差等级。

(2) **圆度的未注公差值** 规定采用相应的直径公差值，但不能大于径向圆跳动值。

(3) **圆柱度** 由圆度、轴线直线度、素线直线度和素线平行度组成。

(4) **线轮廓度、面轮廓度** 未作规定，受线轮廓、面轮廓的线性尺寸或角度公差控制。

(5) **平行度** 等于相应的尺寸公差值。

(6) **垂直度** 分为 H、K、L 三个公差等级。

(7) **对称度** 分为 H、K、L 三个公差等级。

(8) **位置度** 未作规定，因为属于综合性误差，由分项公差值控制。

(9) **圆跳动** 分为 H、K、L 三个公差等级。

(10) **全跳动** 未作规定，因为综合项目，故可通过圆跳动公差值、素线直线度公差值或其他注出或未注出的尺寸公差值控制。

3. 未注公差的标注

在图样上采用未注公差值时，应在图样的标题栏附近或在技术要求中标出未注公差的等级及标准编号，如 GB.T1184—K、GB.T1184—H 等，也可在企业标准中作统一规定。

第 3 讲 几何公差带及几何公差

课 题：1. 几何公差带

2. 几何公差

授课方式：讲授

教学目的：1. 了解各种几何公差带的特点及其应用范围
2. 理解各几何公差项目的定义及其基本内容
3. 重点掌握各种几何公差的作用及其应用说明

教学重点：各种几何公差的作用及其应用说明

教学难点：各几何公差项目的定义及其基本内容

教 具：挂图、多媒体课件

教学方法：利用多媒体课件精讲各种几何公差的应用：重点练习各几何公差项目的其基本内容

教学过程：

一、引入新课题

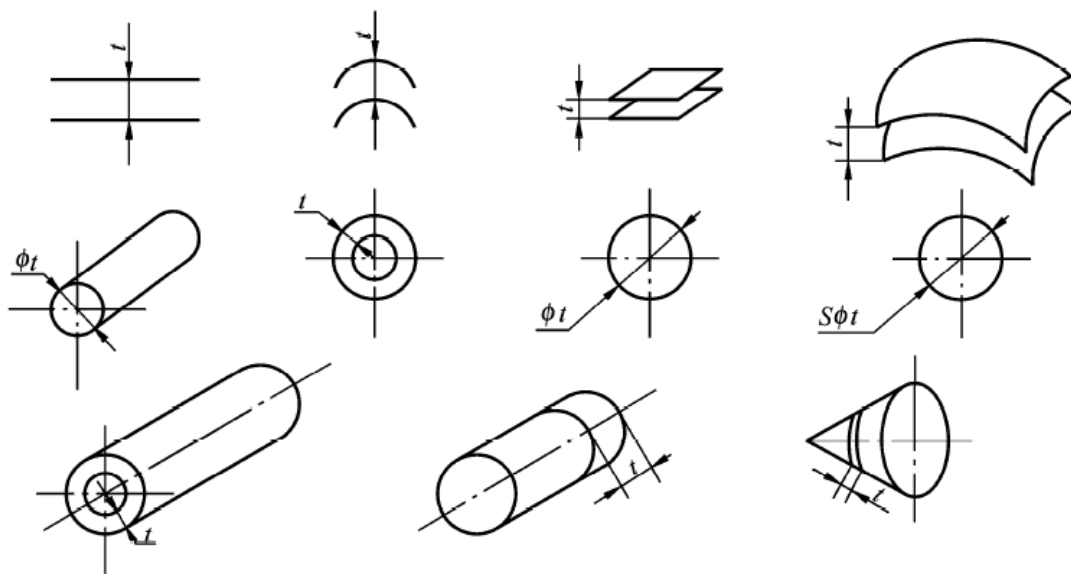
本次课以几何公差代号和基准符号的标注方法为主引入几何公差带

二、教学内容

2.4 几何公差带及几何公差

2.4.1 几何公差带

几何公差带是用来限制被测实际要素变动的区域。几何公差带由形状、大小、方向和位置四个因素确定。如图所示。



2.4.2 形状公差

形状公差是为了限制形状误差而设置的。除有基准要求的轮廓度外，形状公差用于单一要素，具体表述为单一实际（组成）要素的形状所允许变动的全量。形状公差用形状公差带来表达，用以限制实际（组成）要素变动的区域。显然，实际（组成）要素若在该区域内，则为合格；反之，则为不合格。

形状公差带的定义、标注、解释及应用说明见书中表 2—14

2.4.3 方向公差

方向公差是关联实际（组成）要素对基准要素在方向上允许的变动全量，用于控制定向误差，以保证被测提取要素相对于基准要素的方向精度，它包括平行度、垂直度和倾斜度。当要求被测提取要素对基准要素为 0° （要求提取要素对基准等距）时，方向公差为平行度；当要求被测提取要素对基准要素呈 90° 时，方向公差为垂直度；当要求被测提取要素对基准要素呈其他任意角度时，方向公差为倾斜度。

方向公差带的定义、标注、解释及应用说明见书中表 2—15。位置公差是指关

联实际要素的方向、位置对基准要素所允许的变动全量。

2.4.4 位置公差

位置公差是关联实际（组成）要素对基准要素在位置上允许的变动全量。位置公差分为同轴度、对称度和位置度三个项目。当被测提取要素和基准要素都是导出要素，要求重合或共面时，可用同轴度或对称度。

位置公差带的定义、标注、解释及应用说明见书中表 2—16。

2.4.5 跳动公差

跳动公差是关联实际（组成）要素对基准轴线旋转一周或若干次旋转时所允许的最大跳动量。按被测提取要素旋转情况，分为圆跳动和全跳动两项。

跳动公差带的定义、标注、解释及应用说明见表 2—17。

第 4 讲 公差原则与公差要求

课 题：1. 有关的术语及定义

2. 独立原则

3 相关要求

授课方式：讲授

教学目的：1. 掌握与公差原则有关的术语及其定义

2. 弄清各术语间的主要区别以及各术语之间的关系

3. 理解独立原则的基本内容、标注形式以及独立原则的应用场合

教学重点：相关要求的主要内容及图样标注特点

教学难点：相关要求中被测提取要素应遵守的边界，各相关要求中几何公差得到补偿值的确定方法

教 具：挂图、多媒体课件

教学方法：教学过程中, 重点讲解对同一零件往往既规定尺寸公差，又同时规定几何公差，要求学生从零件的功能考虑，给出的尺寸公差与几何公差既可能相互有关系，也可能相互无关系。而公差原则与公差要求就是处理尺寸公差和几何公差的规定，使学生掌握图样上标注的尺寸公差和几何公差是如何控制被测提取要素的尺寸误差和几何误差的

教学过程：

一、引入新课题

本次课以各几何公差项目的定义及其基本内容引入

二、教学内容

2.5 公差原则与公差要求

2.5.1 有关的术语及定义

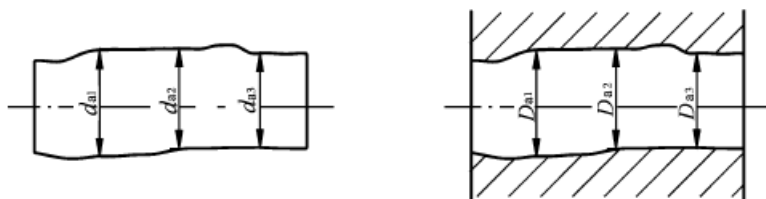
1. 提取组成要素的局部尺寸

提取组成要素的局部尺寸原称局部实际尺寸，是一切提取组成要素上两对应点之间距离的统称，如图中的 d_{a1} 、 D_{a1} 均为提取组成要素的局部尺寸。内表面的提取组成要素的局部尺寸用 D_a 表示，外表面的提取组成要素的局部尺寸用 d_a 表示。

2. 局部实际尺寸（简称实际尺寸 D_a 、 d_a ）

在实际要素的任意正截面上，两对应点之间测得的距离，如图的 d_{a1} 、 D_{a1} 均为局部实际尺寸。

内表面的局部实际尺寸用 D_a 表示，外表面的局部实际尺寸用 d_a 表示。



3. 体外作用尺寸（ D_{fe} 、 d_{fe} ）

体外作用尺寸是指在被测提取要素的给定长度上，与实际内表面体外相接的最大拟合面或与实际外表面体外相接的最小拟合面的直径或宽度，如图所示，其内表面和外表面的体外作用尺寸分别用 D_{fe} 和 d_{fe} 表示。

可得：孔的体外作用尺寸为 $D_{fe} = D_a - f_{\text{形位}}$

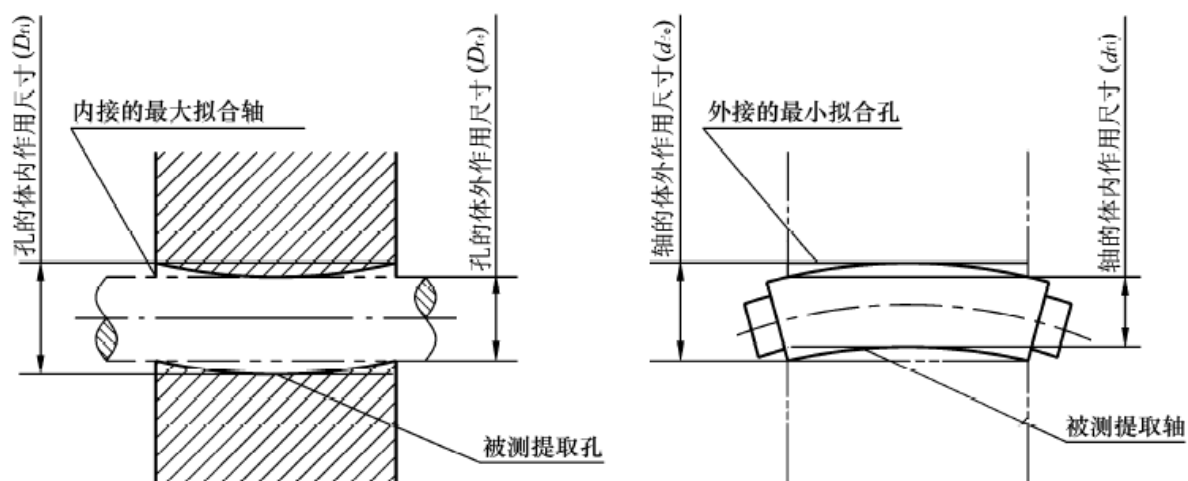
轴的体外作用尺寸为 $d_{fe} = d_a + f_{\text{形位}}$

4. 体内作用尺寸（ D_{fi} 、 d_{fi} ）

体内作用尺寸是指在被测提取要素的给定长度上，与实际内表面体内相接的最小拟合面或与实际外表面体内相接的最大拟合面的直径或宽度。如图所示，其内表面和外表面的体内作用尺寸分别用 D_{fi} 和 d_{fi} 表示。

可得：孔的体内作用尺寸为 $D_{fi} = D_a + f_{\text{形位}}$

轴的体内作用尺寸为 $d_{fi} = d_a - f_{\text{形位}}$



5. 实体状态、实体尺寸、边界

(1) **最大实体状态 (MMC)** 是指假定提取组成要素的局部尺寸处处位于尺寸极限之内并具有实体最大时的状态。

(2) **最大实体尺寸 (MMS)** 是指确定要素在最大实体状态下的极限尺寸。对于外表面，为上极限尺寸；其代号分别用 d_M 和 D_M 表示

$$\text{即: } d_M = d_{\max}$$

$$D_M = D_{\min}$$

(3) 最大实体边界 (MMB)

尺寸为最大实体尺寸的边界称为最大实体边界。显然边界的尺寸为最大实体尺寸。

(4) 最小实体状态 (LMC)

是指假定提取组成要素的局部尺寸处处位于尺寸极限之内并具有实体最小时的状态。

(5) 最小实体尺寸 (LMS)

最小实体尺寸是指实际要素在最小实体状态下的极限尺寸：对于外表面为最小极限尺寸，对于内表面为最大极限尺寸。其代号分别用 d_L 和 D_L 表示。

$$\text{即: } d_L = d_{\min}$$

$$D_L = D_{\max}$$

(6) 最小实体边界 (LMB)

尺寸为最小实体尺寸的边界称为最小实体边界。显然，边界的尺寸为最小实体尺寸。

6. 实效状态、实效尺寸、实效边界

(1) 最大实体实效状态 (MMVC)

是指拟合组成要素的尺寸为其最大实体实效尺寸 (MMVS) 时的状态。

(2) 最大实体实效尺寸 (MMVS)

是指尺寸要素在最大实体尺寸与其导出要素的几何公差（形状、方向和位置）共同作用产生的尺寸，分别用 D_{MV} 和 d_{MV} 表示

对于内表面（即孔）为最大实体尺寸减去几何公差值

用公式表示为 $D_{MV} = D_M - t$

对于外表面（即轴）为最大实体尺寸加上几何公差值

用公式表示为 $d_{MV} = d_M + t$

(3) 最大实体实效边界 (MMVB)

是指拟合组成要素的尺寸为其最小实体实效尺寸（LMVS）时的状态。

(4) 最小实体实效状态 (LMVC)

是指在给定长度上，实际（组成）要素处于最小实体状态，且其导出要素的形状或位置误差等于给出公差值时的综合极限状态。

(5) 最小实体实效尺寸 (LMVS)

是指要素在最小实体尺寸与其导出要素的几何公差（形状、方向和位置）共同作用产生的尺寸，分别用 D_{LV} 和 d_{LV} 表示。

对于内表面（即孔）为最小实体尺寸加上形位公差值

用公式表示为 $D_{LV} = D_L + t$

对于外表面（即轴）为最小实体尺寸减去形位公差值

用公式表示为 $d_{LV} = d_L - t$

(6) 最小实体实效边界

最小实体实效边界是指要素处于最小实体实效状态时的边界。显然，边界的尺寸为最小实体实效尺寸。

2.5.2 独立原则 (IP)

1. 概念

独立原则是指图样上给定的每一个尺寸和几何（形状、方向、位置）公差要求均是独立的，应分别满足要求。独立原则确定是几何公差和尺寸公差相互关系时应遵循的基本公差原则。

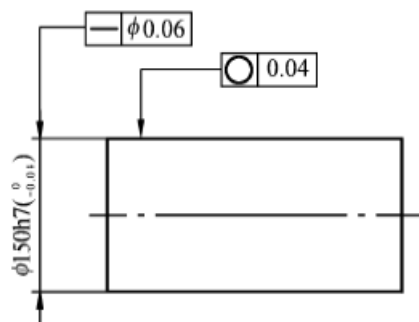
2. 标注

如果尺寸和几何（形状、方向、位置）公差要求之间的互相关系有特定要求，应在图样上规定。如图所示为独立原则示例

3. 用途

独立原则一般用于非配合零件或对形状和位置要求严格而对尺寸精度要求相对较

低的场合。



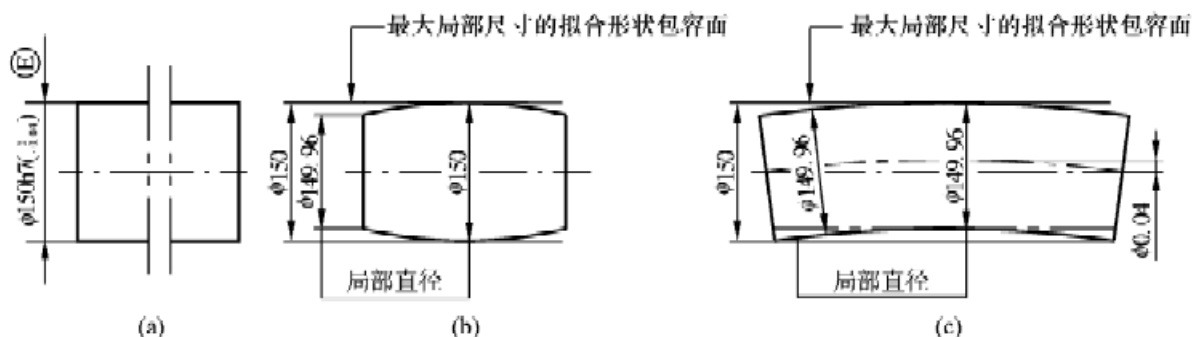
2.5.3 相关要求

相关要求是指图样上给定的尺寸公差与几何公差相互有关的公差要求。

1. 包容要求 (ER)

(1) 含义 包容要求是指尺寸要素的非拟合要素不得违反其最大实体边界 (MMB) 的一种要素要求。即提取组成要素不得超越其最大实体边界 (MMB)，其局部尺寸不得超出最小实体尺寸 (LMS)。

(2) 标注及解释 在图样上，单一要素的尺寸极限偏差或公差带代号之后注有符号 $\textcircled{E}$ ，则表示该单一要素采用包容要求，如图所示。



采用包容要求时，被测提取要素应遵守最大实体边界，

即:对于外表面: $d_{fe} \leq d_M$ (d_{max})

$d_a \geq d_L$ (d_{min})

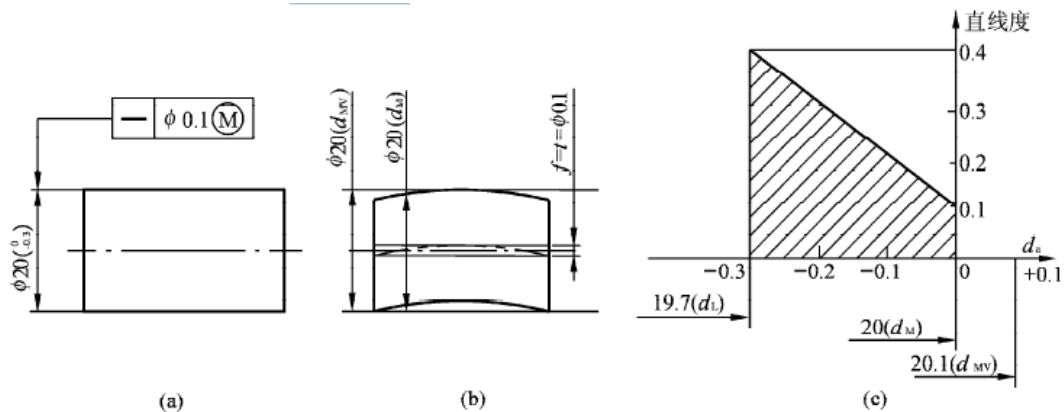
对于内表面: $D_{fe} \geq D_M$ (D_{min})

$D_a \leq D_L$ (D_{max})

2. 最大实体要求 (MMR)

(1) 含义 是指尺寸要素的非拟合要素不得违反其最大实体实效状态 (MMVC) 的一种要求，当其提取组成要素的实际轮廓偏离最大实体尺寸时，允许其几何误差超出在最大实体状态下给出的公差值。

(2) 标注及解释 图样上几何公差框格内公差值后标注符号时，表示最大实体要求用于被测提取要素，如图所示。



最大实体要求用于提取组成要素时

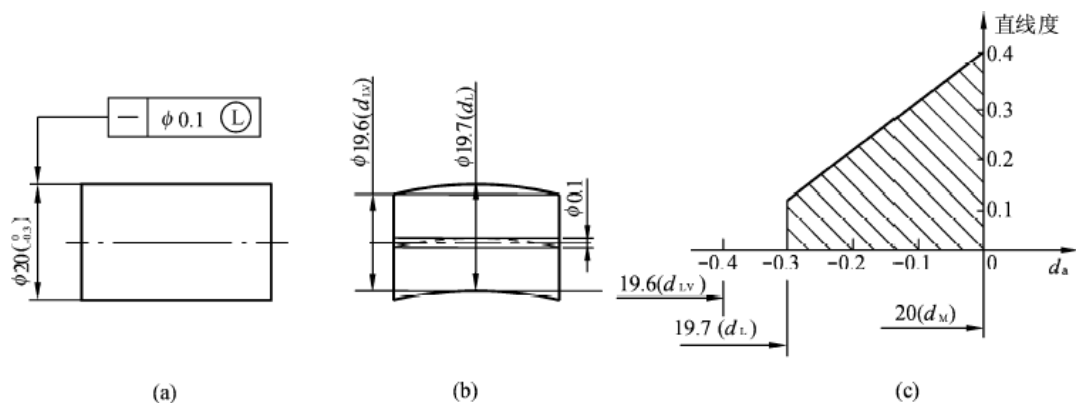
即： 对于外表面： $d_{fe} \leq d_{MV} = d_{max} + t$ $d_{max} \geq d_a \geq d_{min}$

对于内表面： $D_{fe} \geq D_{MV} = D_{min} - t$ $D_{max} \geq D_a \geq D_{min}$

3. 最小实体要求 (LMR)

(1) 含义 是指尺寸要素的非拟合要素不得违反其最小实体实效状态 (LMVC) 的一种尺寸要求。当其提取组成要素偏离最小实体尺寸时，允许其几何误差超出在最小实体状态下给出的公差值。

(2) 标注 图样上几何公差框格内公差值后面标注符号时，表示最小实体要求用于提取组成要素，如图所示。



最小实体要求用于提取组成要素时

即： 对于外表面： $d_{fi} \geq d_{LV} = d_{min} - t$ $d_{max} \geq d_a \geq d_{min}$

对于内表面： $D_{fi} \leq D_{LV} = D_{max} + t$ $D_{max} \geq D_a \geq D_{min}$

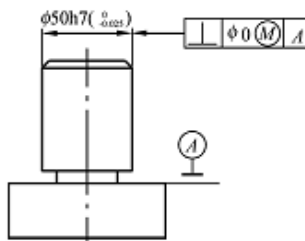
4. 可逆要求 (RR)

是指最大实体要求或最小实体要求的附加要求，表示尺寸公差可以在实际几何误差小于几何公差之间的差值范围内增大的一种要求。可逆要求只应用于提取组成要素，

而不应用于基准要素。

5. 零形位公差

当关联要素采用最大（最小）实体要求且形位公差为零时，则称为零形位公差，如图所示。



第 5 讲 几何公差的选择

课 题: 1. 几何公差项目的选择

2. 几何公差值(或公差等级)的选择

3. 公差原则与公差要求的选择

授课方式: 讲授

教学目的: 1. 了解几何公差各项目选择需要考虑的因素以及公差等级、数值、公差原则的选择方法

2. 掌握选用公差原则与公差要求的总的原则。

3. 正确地选用几何公差项目，合理地确定几何公差值

教学重点: 选用公差原则与公差要求的总的原则

教学难点: 正确地选用几何公差项目，合理地确定几何公差值。

教 具: 挂图、多媒体课件

教学方法: 采用多举实例的方式帮助学生掌握如何合理地先用公差原则与公差要求。

教学过程:

一、引入新课题

由复习公差原则与公差要求引入本次课

二、教学内容

2.6.1 形位公差项目的选择

1. 零件的几何特征

例如:回转类（轴类、套类）零件中的阶梯轴，它的组成要素是圆柱面、端面，导出要素是轴线。

从项目特征看，同轴度主要用于轴线，是为了限制轴线的偏离。跳动能综合限制要

素的形状和跳动公差。

2. 零件的功能要求

机器对零件不同功能的要求，决定零件需选用不同的形位公差项目。若阶梯轴两轴承位置明确要求限制轴线间的偏差，应采用同轴度。但如果阶梯轴对形位精度有要求，而无需区分轴线的位置误差与圆柱面的形状误差，则可选择跳动项目。

3. 方便检测

在满足功能要求的前提下，为了方便检测，应该选用测量简便的项目代替难于测量的项目，有时可将所需的公差项目用控制效果相同或相近的公差项目来代替。

2.6.2 几何公差值（或公差等级）的选择

几何公差值的确定是根据零件的功能要求，并考虑加工的经济性和零件的结构、刚性等情况，几何公差值的大小又决定于几何公差等级（结合主参数），因此，确定几何公差值实际上就是确定几何公差等级。见书中表 2-4、表 2-5～表 2-13 及表 2-18～表 2-21

1. 几何公差与位置公差的关系

同一要素上给定的形状公差值应小于位置公差值。如：同一平面，平面度公差值应小于该平面对基准的平行度公差值。即应满足下列关系：

$$\text{形状公差} < \text{定向公差} < \text{定位公差}$$

2. 几何公差与尺寸公差的关系

圆柱形零件的几何公差（轴线直线度除外）应小于其尺寸公差值，平行度公差值应小于其相应的距离尺寸的公差值。

2.6.3 公差原则与公差要求的选择

在何种情况下应选择用何种公差原则与公差要求，应综合考虑下面几个因素：

1. 功能性要求

采用何种公差原则，主要应从零件的使用功能要求考虑。

如滚筒类零件的尺寸精度要求很低，圆柱度要求较高；平板的平面精度要求较高，尺寸精度要求不高；冲模架的下模座尺寸精度要求不高，平行度要求较高；导轨的形状精度要求严格，尺寸精度要求次之。以上情况均应采用**独立原则**。

对零件有配合要求的表面，特别是涉及和影响到零件的定位精度、运动精度等重要性能而配合性质要求较严格的表面，一般采用**包容要求**。

尺寸精度和形位精度要求不高，但要求能保证自由装配的零件，对其中心要素应采用**最大实体要求**。

2. 设备状况

如果机床加工精度较高，零件的形位误差较小，这时可采用包容要求或最大实体要求的零形位公差。

如果机床设备状况较差，加工零件的形位误差较大，此时应采用独立原则或最大实体要求。

3. 生产批量

一般情况下，大批量生产时采用相关要求较为经济。当零件的生产批量小到一定程度时，采用通用检具检测形位误差反而比制造量规经济，这时若从经济性原则出发，宜采用独立原则。

4. 操作技能

操作技能的高低，在很大程度上决定了尺寸误差的大小。补偿量较大时可采用包容要求或最大实体的零形位公差，补偿量较小时宜采用独立原则或最大实体要求。

第 6 讲 几何误差检测及评定原则

课 题：1. 几何误差的检测原则

2. 几何误差的评定准则

3. 几何误差的检测

授课方式：讲授

教学目的：1. 了解标准中所规定的评定几何误差的五种检测原则

2. 了解最小条件的含义以及如何利用最小重要条件来确定理想要素的位置

3. 掌握运用最小区域法确定形位误差大小的方法

教学重点：是与拟合要素比较原则、测量特征参数原则和测量跳动原则

教学难点：运用最小区域法确定几何误差大小的方法

教 具：挂图、多媒体课件

教学方法：引导学生理解几何误差是指被测提取要素对其拟合要素的变动量。在几何误差的检测中，是以测得的要素作为实际要素，从而使学生掌握根据被测提取要素来评定几何误差值。根据几何误差值是否在几何公差的范围內，得出零件合格与否的结论。

教学过程：

一、引入新课题

由复习如何选择公差原则与公差要求引入本次课

2.7 几何误差的检测及评定原则

2.7.1 几何误差的检测原则

几何公差的项目较多，为了便于准确选用，国家标准根据各种检测方法整理概括出五条检测原则，见书中表。

2.7.2 形位误差的评定准则

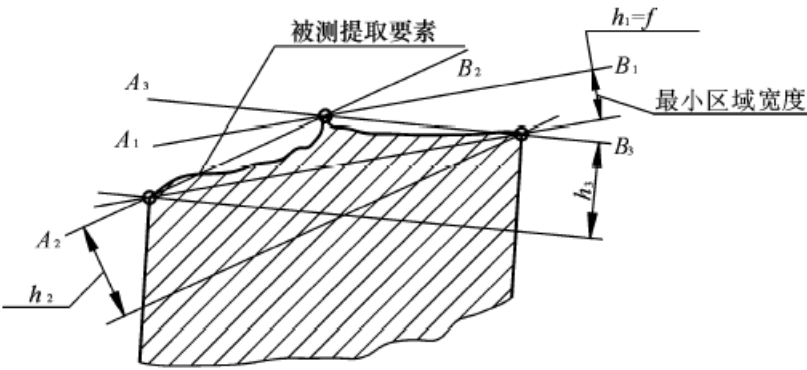
1. 形状误差的评定

评定形状误差必须在被测提取要素上找出拟合要素的位置，即要求遵循一条原则：使拟合要素的位置符合最小条件。

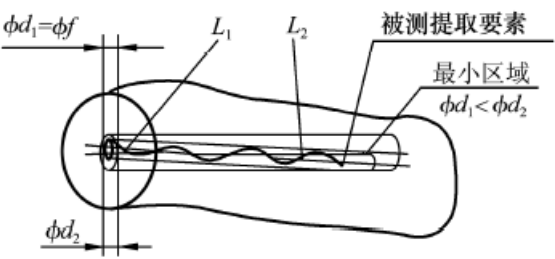
(1) 最小条件

是指被测提取要素相对于拟合要素的最大变动量为最小。

①对于组成要素如图所示为评定给定平面内的直线度误差的情况。



②对于导出要素，其拟合要素应位于被测提取要素之中，使被测提取要素对其拟合要素的最大变动量为最小。如图所示。



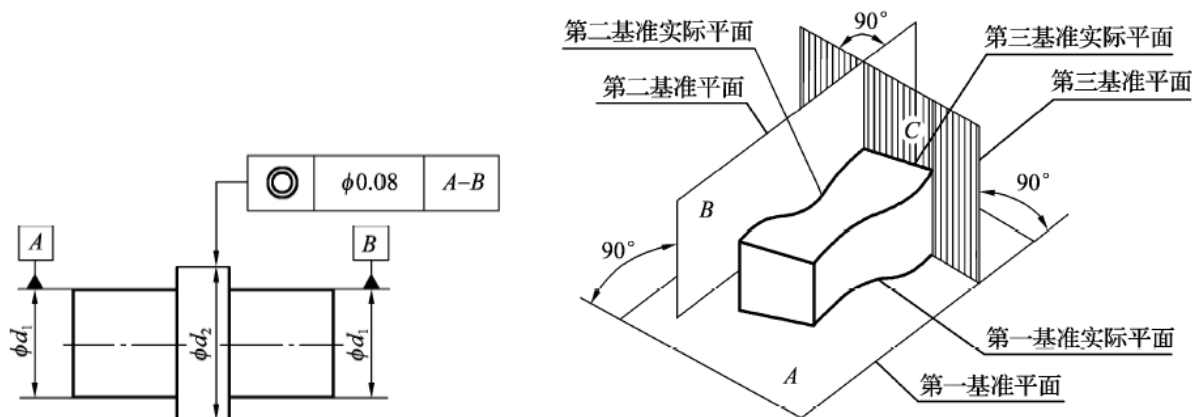
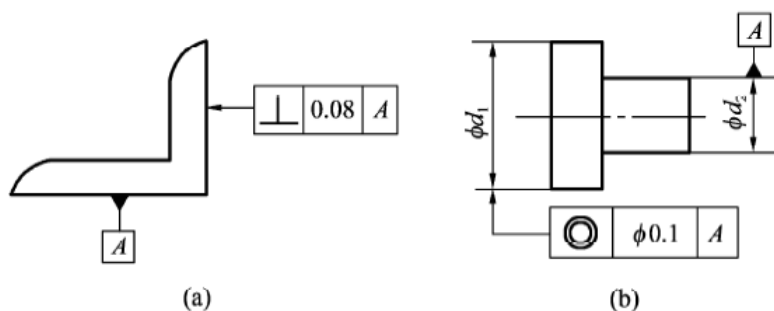
(2) 形状误差的评定方法—最小区域法

用符合最小条件的包容区域（简称最小区域）的宽度 f 或直径 f 表示。

2. 方向误差的评定

(1) 基准及分类

基准是指具有正确形状的拟合要素，是确定被测提取要素方向和位置的依据。在实际应用时，则由基准实际（组成）要素来确定。通常分为以下三种：如图所示。



(2) 常用的基准体现方法

①**模拟法** 采用形状精度足够高的精密表面来体现基准的方法。例如用精密平板的工作面模拟基准平面。

②**直接法** 当基准实际(组成)要素具有足够高的精度时,直接以基准实际(组成)要素为基准的方法。

(3) **方向误差的评定** 是指被测提取要素对一具有确定方向的拟合要素的变动量,拟合要素的方向由基准确定。如图 2-2 6 所示。

3. 位置误差及的评定

是指提取组成要素对一具有确定位置的拟合要素的变动量,拟合要素的位置由基准和理论正确尺寸确定。对于同轴度和对称度,理论正确尺寸为零。

4. 跳动误差的评定

圆跳动误差是指提取组成要素绕基准轴线无轴向移动回转一周时,由位置固定的指定定位最小区域示器在给定方向上测得的最大与最小读数之差。

第 7 讲 技能训练

课 题: 实训 1 用内径百分表测量孔径

实训 2 测量直线度

实训 3 三点法测量平面度

实训 4 测量圆度

实训 5 指示表法测量平行度

实训 6 指示表法测量对称度

实训 7 指示表法测量跳动

实训 8 齿轮比较仪测量圆跳动

课堂类型：边讲边练（现场测量）

教学目的：1. 了解几何误差所涉及到的各种量具的组成及原理

2. 掌握上述各种量具的使用方法

3. 熟悉上述各种量具测量几何误差大小的方法。

教学重点：掌握测量几何误差所涉及到的各种量具和使用方法。

教学难点：会正确运用各种量具测量几何误差大小的方法。

教 具：实训用量具

教学方法：引导学生理解几何误差所涉及到的各种量具的组成及原理，在几何误差的检测中，初步掌握其量具的使用方法，并基本掌握准确测量几何误差大小的技能。

教学过程：

技能训练

实训 1 用内径百分表测量孔径

1. 指示表的组成及原理

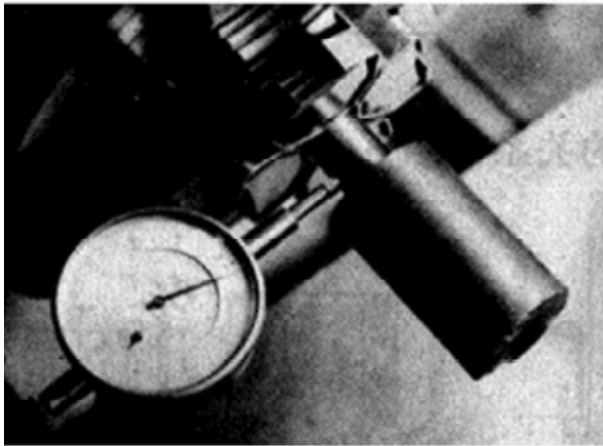
指示表是利用机械传动系统，将测量杆的直线位移转变为指针在圆度盘上的角位移，并由圆度盘进行读数的测量器具。

（1）百分表的组成及原理

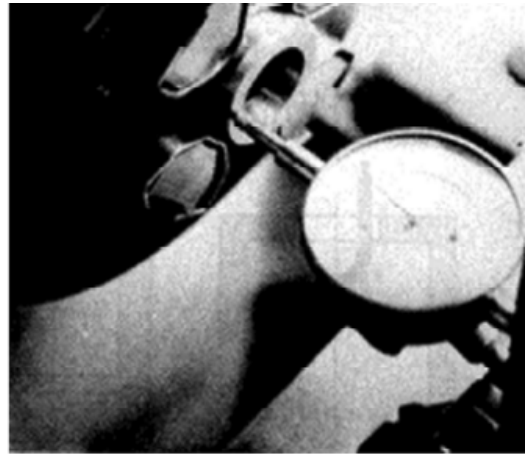
百分表是将测量杆的直线移动，经过齿轮齿条传动放大，转变为指针的转动，并在刻度盘上指示出相应的示值。

用来测量圆柱度、同轴度、径向跳动、平面度、平行度、对称度等，还可用于车床上找正。





(a)加工时的定位



(b)检查被加工表面的变化

(2) 杠杆百分表的组成及原理

杠杆百分表又称为靠表，其分度值为 0.01 mm ，示值范围一般为 $\pm 0.4\text{ mm}$ ，如图所示。



(3) 内径百分表的组成及原理

内径百分表如图所示，它是一种以指示表为读数机构，配备杠杆传动系统的组合比较量具，它是将测头的直线位移转变为指针的角位移，用比较测量法完成测量，可以准确测量出孔径的尺寸及其形状误差。



2. 测量方法（图 2 - 3 3）

- （1）把百分表插入内径量表直管轴孔中，压缩百分表一周紧固。
- （2）根据被测提取零件尺寸选取并安装可换测头，紧固。
- （3）一手拿住内径量表直管上的隔热手柄，另一手握住工件。
- （4）将已经调整好的内径量表的可调测头和活动测头分别与内孔接触，调好零位，在径向和轴向分别找到正确位置，内径百分表测量的是孔的实际尺寸对基本尺寸的差值，即实际偏差。
- （5）观察百分表指针指向的数值与“0”位偏差值，读出相对数值。

实训 2 测量直线度

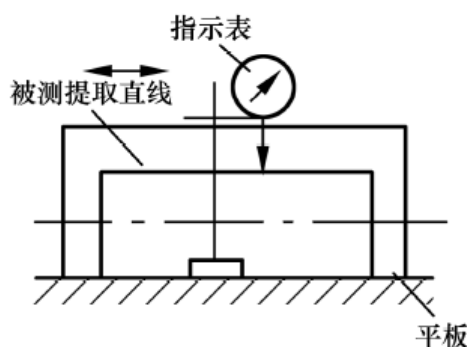
1. 指示表法测量素线的直线度

（1）测量原理

如图所示，用平板模拟拟合要素，借助于指示表（如百分表）与被测提取要素作比较，记录指示表在被测提取要素全程范围内的测量读数，再经相应的数据处理评定该素线的直线度误差。

（2）测量方法

- ①将零件放在平板上，并使零件一侧紧靠直角铁或V形架。
- ②在被测提取零件素线的全长范围内用指示表测量并记录读数，根据读数值，利用计算法（或图解法）按最小条件（也可按两端点连线法）即可求出该素线的直线度误差。
- ③将零件间断旋转，重复上述步骤，在不同的轴截面内测量若干条素线，取其中最大的误差值作为该被测提取零件素线的直线度误差。



(a)测量原理



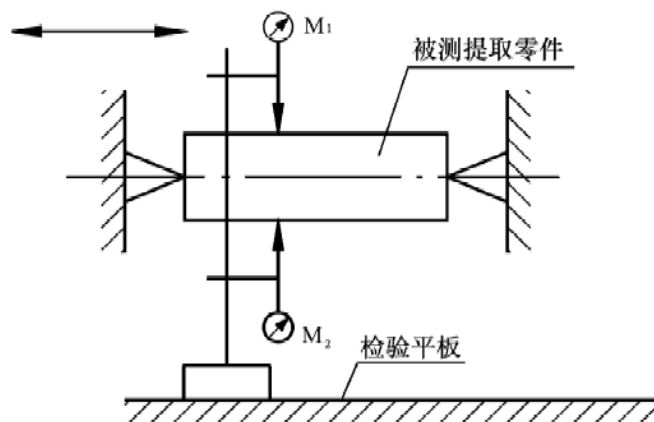
(b)测量过程

2. 轴截面法检测轴线的直线度误差（如图 2 - 3 5）

- （1）将零件安装在与平板平行的两顶尖之间。
- （2）用带有两只指示表的表架沿铅垂截面两条素线测量，记录各对应测量点的读

数，计算各点 1 / 2 读数差的最大值作为该截面上轴线的直线度误差。

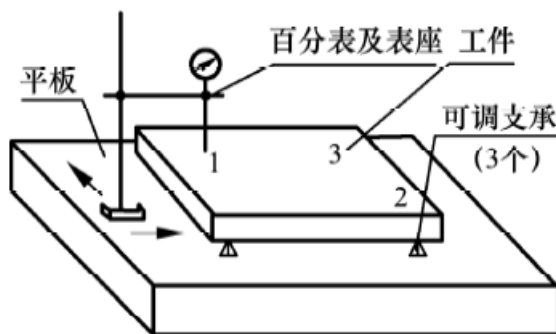
(3) 将零件转位，按上述方法测量若干截面，取其中最大误差值作为被测提取零件轴线的直线度误差。



实训 3 三点法测量平面度

三点法测量平面度的方法

- (1) 将被测提取零件支承到平板上，调整被测提取表面下面的三个支承点，使其与平板等高。
- (2) 将百分表校正零位，并轻轻用手推动测头，观察测量杆和表指针动作是否灵敏。
- (3) 将百分表安装在表架上，使百分表测量杆与被测提取平面保持垂直。
- (4) 通过百分表读数调整平面上最远的三个测点，使其处于同一水平面。
- (5) 依次等距测量被测提取表面上的若干点，被测提取表面上最大值与最小值之差即该平面的平面度。



实训 4 测量圆度

1. 二点法测量圆度误差

- (1) 将被测提取零件放在支承上，并固定其轴向位置，使被测提取轴线垂直于测量截面。

(2) 旋转被测提取零件，将指示表读数最大值的 $1/2$ 作为单个截面的圆度误差，沿轴线方向间断移动指示表，用上述方法测量若干截面，取其中误差的最大值作为该零件的圆度误差。

2. 三点法测量圆度误差

- (1) 将工件放置在 V 形架上，装上指示表，转动工件一周，测量零件多个截面。
- (2) 取指示表读数的最大值的一半作为零件的圆度误差。

3. 圆度测量仪测量圆度

(1) 转轴式圆度测量仪 被测提取零件固定于工作台上，传感器随主轴旋转的圆度测量仪，又称为传感器旋转式圆度测量仪。

(2) 转台式圆度测量仪 传感器固定于立柱上，被测提取零件安置在旋转工作台上并随其转动的圆度仪，又称为工作台旋转式圆度测量仪。

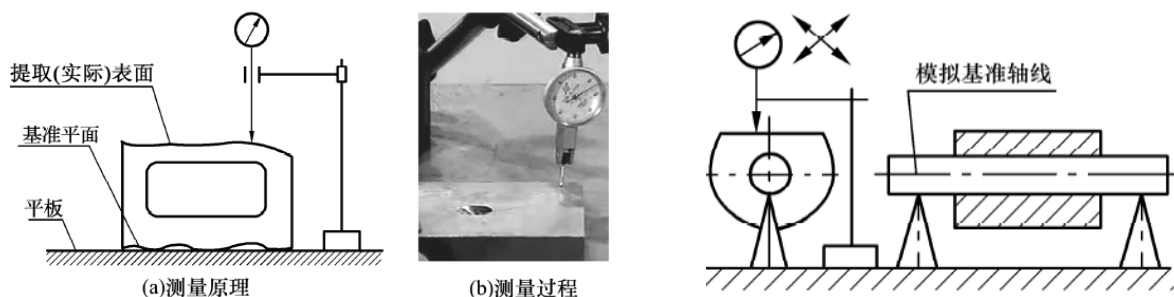
(3) 圆度测量仪测量圆度的测量方法

- ① 将被测提取零件装入并夹紧在圆度仪上；
- ② 调整被测提取零件的轴线，使它与圆度仪的回转轴同轴，将测头接触零件；
- ③ 记录下被测提取零件在回转一周过程中测量截面上各点的半径差，计算该截面的圆度误差；
- ④ 测头间断移动，测量若干截面，取各截面圆度误差中最大误差值作为该零件的圆度误差；
- ⑤ 评定检测结果：如果计算出的最大误差值小于给定公差值，则该圆柱面的圆度符合要求，否则超差。

实训 5 指示表法测量平行度

1. 测量面对面平行度

- (1) 将被测提取零件放置在平板上，用平板模拟拟合要素。
- (2) 在整个被测提取表面上多方向移动指示表支架进行测量。
- (3) 取最大值与最小值之差作为该零件的平行度误差。
- (4) 根据给定的公差值，判断零件平行度误差的合格性。

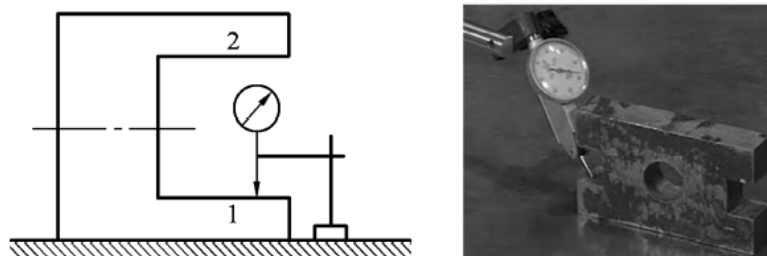


2. 测量面对线平行度

- (1) 将V形架放在平板上，心轴插入基孔中，然后将零件放在等高V形架上。
- (2) 将千分表装在磁力表架上，并将千分表调零。
- (3) 转动零件，用指示表测量整个被测提取上表面，取指示表上最大、最小读数差作为平行度误差。

实训 6 指示表法测量对称度

- (1) 将被测提取零件一侧面放在平板上，以平板模拟似合要素，用指示表测量槽侧面上各测点到平板的距离。
- (2) 将零件翻转，再测量另一被测提取表面上相对应各测点到平板的距离，取两被测量表面相对应测点的最大差值作为该零件的对称度误差。



实训 7 指示表法测量跳动误差

1. 测量径向圆跳动

- (1) 把被测提取零件放在V形架上装夹定位，基准轴线由V形架模拟。
- (2) 使测头与工件外表面接触并保持垂直，并将指针调零，且有一定的压缩量。
- (3) 缓慢而均匀地转动工件一周，记录百分表的读数与最小读数。
- (4) 按上述方法，测若干横截面，取各横截面测得的最大读数与最小读数差值的最大值作为该零件的径向圆跳动误差。

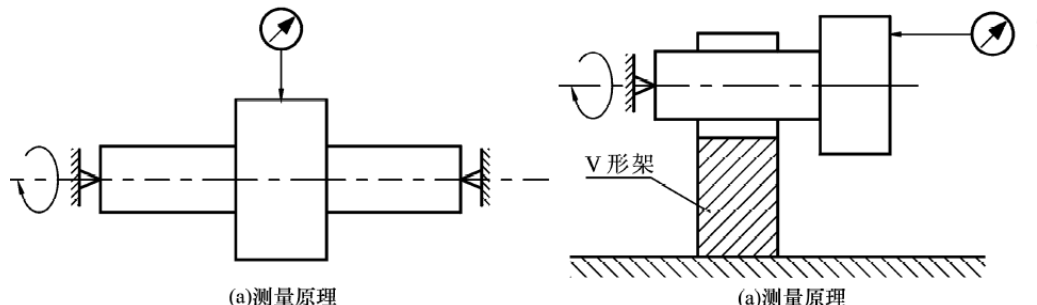
2. 测量端面圆跳动

- (1) 将指示表测头与被测提取表面接触，注意指示表指针示值不得超过指示表量程

的 $1/3$ ，指示表读数调零。

(2) 转动工件一周，指示表读数最大差值即单个测量圆柱面上的端面圆跳动。

(3) 按上述方法，在任意半径处测量若干圆柱面，取各测量圆柱面上测得的跳动中的最大值作为该零件的端面圆跳动。



3. 测量径向全跳动

(1) 按径向圆跳动的测量方法，在被测提取零件连续转动的同时，指示表沿基准轴线方向做直线移动。

(2) 在整个测量过程中，指示表读数最大差值即该零件的径向全跳动

实训 8 齿轮比较仪测量圆跳动

1. 杠杆齿轮比较仪的组成及原理

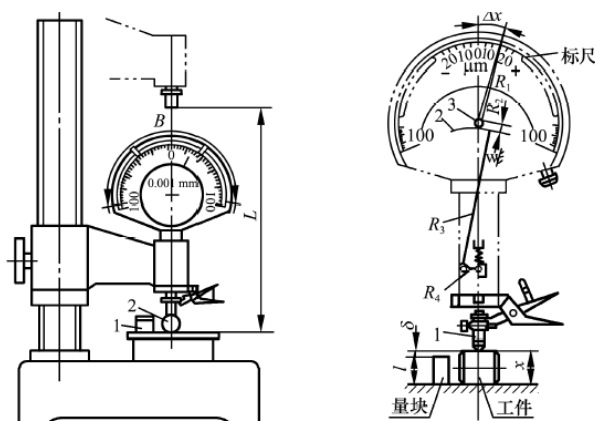
杠杆齿轮比较仪通过测量杆的上下变化带动杠杆齿轮转动，从而转换为指针的角位移。其结构主要由比较仪和比较仪座组成，如图所示。

2. 杠杆齿轮比较仪的测量方法

(1) 选择与被测提取工件具有相等公称尺寸的量块。

(2) 用该量块调整量具的示值零位，抬起测头，将量块放在测头正下方并对准量块中心，转动粗调螺母和微调旋钮，使其指针对正零位。

(3) 取出量块，将工件推过测头，此时指针偏转，记下量具表盘上指针转折点处的示值。将工件旋转 90° ，重复上述过程，所检测的读数即被测尺寸的偏差值。

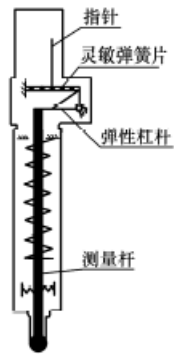


3. 扭簧比较仪的组成及原理

扭簧比较仪利用扭簧作为传动放大机构，将测量杆的直线位移转变为指针的角位移，其外形、测量原理及应用如图所示。



(a)外形



(b)测量原理

第3章 表面粗糙度及测量

【学习与技能目标】

1. 掌握表面粗糙度的的有关术语和参数、标注方法和选用原则。
2. 掌握运用比较法评定及测量表面粗糙度的方法。

第1讲 概述

课 题: 1. 表面粗糙度概述

2. 表面粗糙度的国家标准
3. 表面粗糙度的选用及标注
4. 技能训练

授课方式: 讲授

教学目的: 1. 了解其对零件使用性能的影响
2. 掌握表面粗糙度概念
3. 掌握表面粗糙度的基本术语
4. 理解具体评定参数的含义和国标中规定的相应参数值的本质

教学重点: 1. 表面粗糙度概念
2. 表面粗糙度的基本术语

教学难点: 具体评定参数的含义和国标中规定的相应参数值的本质

教 具: 挂图、多媒体课件

教学方法: 重点讲清表面粗糙度的基本术语，从而帮助学生深刻理解。

教学过程:

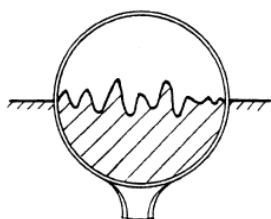
一、引入新课题

本次课是学习以后各节的基础, 要求掌握表面粗糙度概念。

二、教学内容

3.1.1 表面粗糙度的概念

是表述这些峰谷高低程度和间距状况的微观几何形状特性的指标。如图所示。



表面粗糙度反映的是实际表面几何形状误差的微观特性,一般而言,波距小于 1mm 的属于表面粗糙度(表面微观形状误差);波距在 1~10 mm 的属于表面波纹度;波距大于 10 mm 的属于表面宏观形状误差。

3.1.2 表面粗糙度对零件使用性能的影响

1. 摩擦和磨损方面

表面越粗糙,摩擦系数就越大,摩擦阻力也越大,零件配合表面的磨损就越快。

2. 配合性质方面

对于间隙配合,粗糙的表面会因峰顶很快磨损而使间隙逐渐加大;对于过盈配合,因装配表面的峰顶被挤平,使实际有效过盈减少,降低连接强度。

3. 疲劳强度方面

表面越粗糙,一般表面微观不平的凹痕就越深,交变应力作用下的应力集中就会越严重,越易造成零件抗疲劳强度的降低而导致失效。

4. 耐腐蚀性方面

表面越粗糙,腐蚀性气体或液体越易在谷底处聚集,并通过表面微观凹谷渗入到金属内层,造成表面锈蚀。

5. 接触刚度方面

表面越粗糙,表面间接触面积就越小,致使单位面积受力就增大,造成峰顶处的局部塑性变形加剧,接触刚度下降,影响机器工作精度和平稳性。

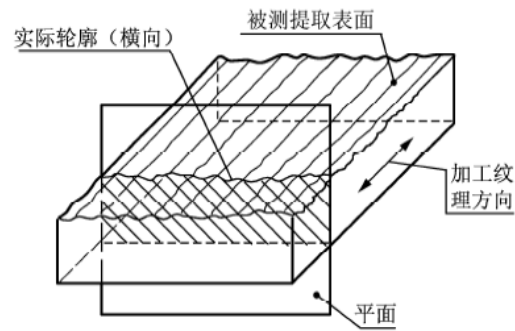
3.2 表面粗糙度国家标准

现行国家标准有:GB/T 3505—2009《产品几何技术规范(GPS) 表面结构 轮廓法 术语、定义及表面结构参数》;GB/T 1031—2009《产品几何技术规范(GPS) 表面结构 轮廓法 表面粗糙度参数及其数值》;GB/T 131—2006《产品几何技术规范(GPS) 技术产品文件中表面结构的表示法》等。

3.2.1 基本术语

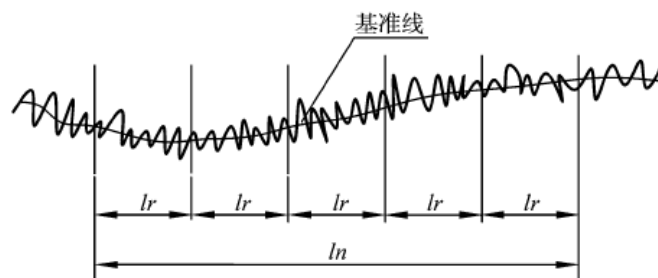
1. 实际轮廓(表面轮廓)

实际轮廓是指平面与被测提取表面相交所得的轮廓线。



2. 取样长度 l_r

取样长度是指用于判别具有表面粗糙度特征的一段基准线长度，标准规定取样长度按表面粗糙程度合理取值，通常应包含至少 5 个轮廓峰和轮廓谷。



3. 评定长度 l_n

评定长度是指评定轮廓表面粗糙度所必需的一段长度。

一般情况下，标准推荐 $l_n = 5l_r$ ，测量时可选用小于 $5l_r$ 的评定长度值，均匀性较差的表面可选用大于 $5l_r$ 的评定长度值。

4. 基准线（中线 m ）

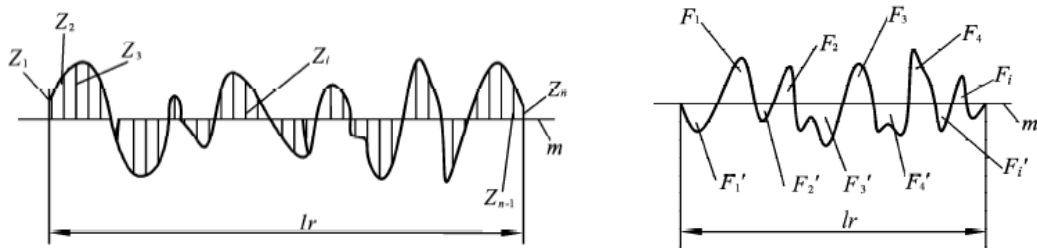
基准线是用以评定表面粗糙度参数大小所规定的一条参考线，据此来作为评定表面粗糙度参数大小的基准。

（1）轮廓的最小二乘中线

在取样长度内，使轮廓上各点至一条假想线距离的平方和为最小，这条假想线就是最小二乘中线。

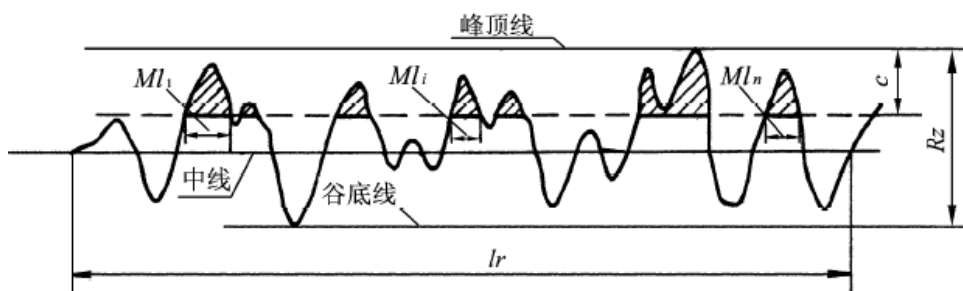
（2）轮廓算术平均中线

在取样长度内，由一条假想线将实际轮廓分为上下两部分，而且使上部分面积之和等于下部分面积之和。这条假想线就是轮廓算术平均中线。



5. 在水平位置 c 上轮廓的实体材料长度 $Ml(c)$

即在一个给定水平位置 c 上用一条平行于中线的线与轮廓单元相截所获得的各段截线长度之和。



6. 高度和间距辨别力

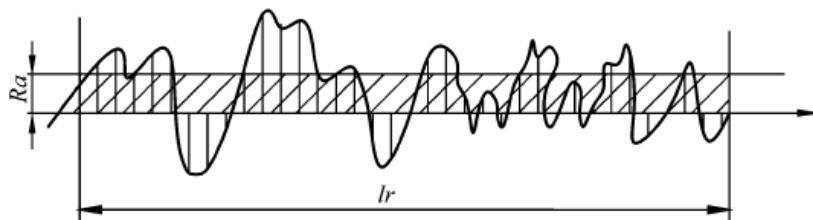
即应计入被评定轮廓的轮廓峰和轮廓谷的最小高度和最小间距。

3.2.2 表面粗糙度的评定参数

1. 与高度特性有关的参数（幅度参数）

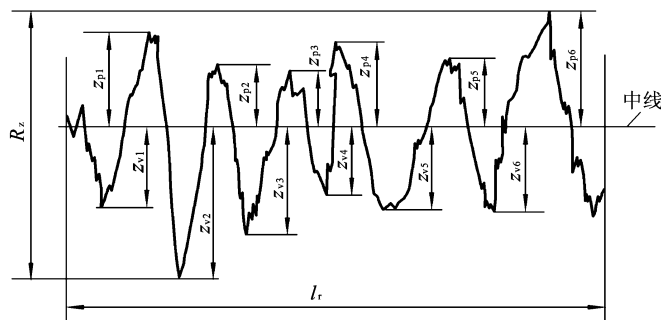
(1) 评定轮廓的算术平均偏差 R_a

即在一个取样长度 lr 内，轮廓上各点至基准线的距离的绝对值的算术平均值。。



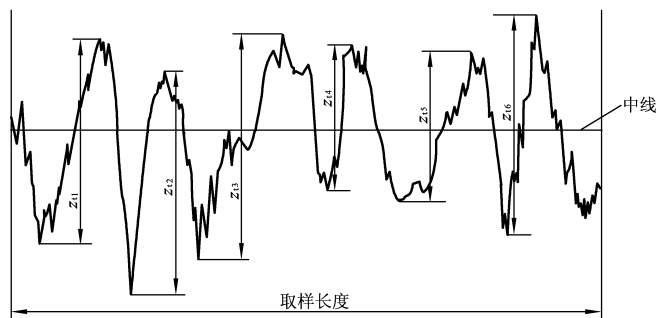
(2) 轮廓的最大高度 R_z

即在一个取样长度 lr 内，最大轮廓峰高 z_p 和最大轮廓谷深 z_v 之和的高度。。



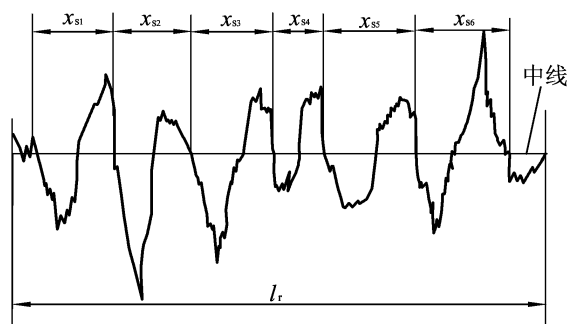
(3) 轮廓单元的平均线高度 R_c

即在一个取样长度 l_r 内，轮廓单元高度 z_t 的平均值。



2. 与间距特性有关的参数（间距参数）轮廓单元的平均宽度 R_{Sm}

即在一个取样长度 l_r 内，轮廓单元宽度 x_s 的平均值。



3. 与形状特性有关的参数（曲线参数）轮廓的支承长度率 $R_{mr}(c)$

即在给定水平位置 c 上，轮廓的实体材料长度 $Ml(c)$ 与评定长度 l_n 的比率。

3.2.3 表面粗糙度的参数值

表面粗糙度的参数值已经标准化，设计时应按国家标准 GB/T1031—1995《表面粗糙度参数及其数值》规定的参数值系列选取。

在一般情况下，测量 R_a 和 R_z 时，推荐按书中表选用对应的取样长度及评定长度值，对于轮廓单元宽度较大的端铣、滚铣及其他大进给走刀量的加工表面，应在标准规定的取样长度系列中选取较大的取样长度值。

第2讲 表面粗糙度的选用及标注

课 题：1. 表面粗糙度的标注

2. 表面粗糙度评定参数的选用

3. 表面粗糙度主要参数的选用

授课方式：讲授

教学目的：1. 明确国家标准关于表面粗糙度标注的规定

2. 掌握表面粗糙度评定参数和参数值的选择原则

3. 会在图样上正确标注表面粗糙度要求

教学重点：国家标准关于表面粗糙度标注的规定

教学难点：在图样上正确标注表面粗糙度要求

教 具：多媒体课件

教学方法：授课中多举实例讲解表面粗糙度的标注，便于学生掌握。

教学过程：

一、引入新课题

出示表面粗糙度代号，由此引入新课。

二、教学内容

3.3 表面粗糙度的选用及标注

3.3.1 表面粗糙度的标注

1. 符号

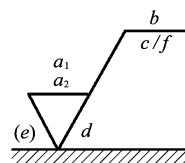
按 GB/T 131—2006/ISO 1302: 2002 的规定，把表面粗糙度要求正确地标注在零件图上。

2. 表面粗糙度完整图形符号的组成

(1) 概述

为了明确表面粗糙度要求，除了标注表面粗糙度参数代号和数值外，必要时应标注补充要求，补充要求包括单一要求——传输带/取样长度、加工工艺、表面纹理及方向、加工余量等。

(2) 表面粗糙度单一要求和补充要求的注写位置

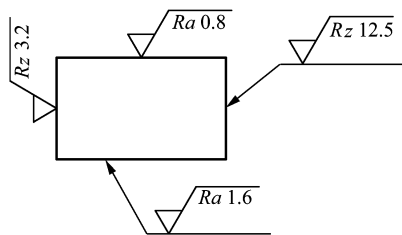


表面粗糙度代号的具体标注示例

3. 表面粗糙度符号、代号的标注位置与方向

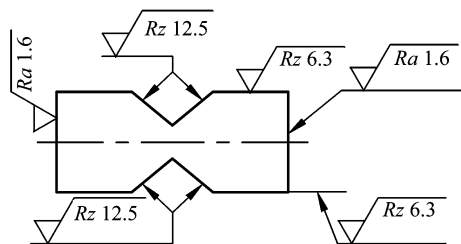
(1) 概述

总的原则是根据 GB/T 4458.4 的规定，使表面粗糙度的注写和读取方向与尺寸的注写和读取方向一致。



(2) 标注在轮廓线上或指引线上

表面粗糙度要求可标注在轮廓线上，其符号应从材料外指向并接触表面。

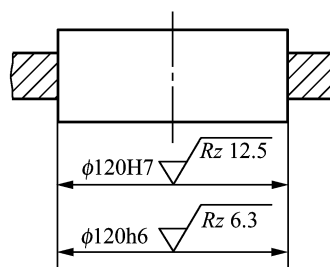


(3) 标注在特征尺寸的尺寸线上

在不致引起误解时，表面粗糙度要求可以标注在给定的尺寸线上。

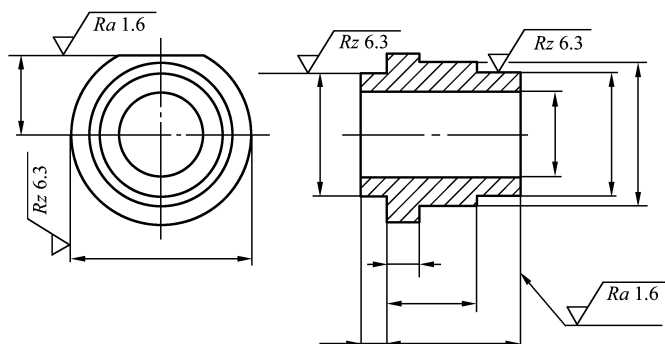
(4) 标注在形位公差框格上

表面粗糙度要求可标注在形位公差框格的上方。



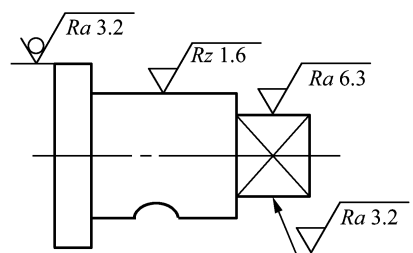
(5) 标注在延长线上

表面粗糙度要求可以直接标注在延长线上，或用带箭头的指引线引出标注。



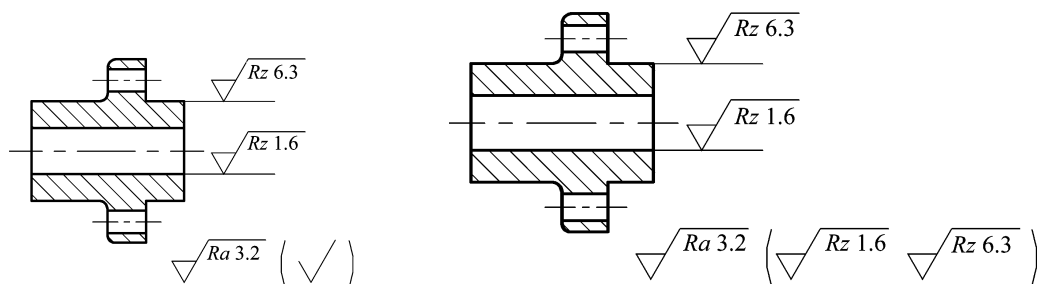
(6) 标注在圆柱和棱柱表面上

如果每个棱柱表面有不同的表面粗糙度要求，则应分别单独标注。

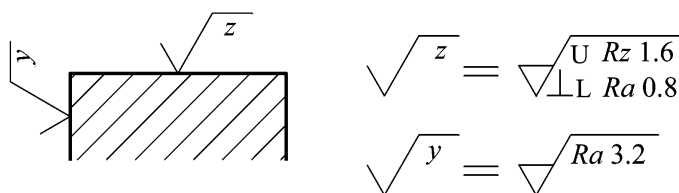


4. 表面粗糙度要求的简化注法

(1) 有相同表面粗糙度要求的简化注法

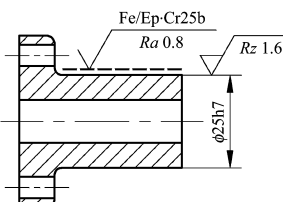


(2) 多个表面有共同要求的注法



(3) 只用表面粗糙度符号的简化注法

5. 两种或多种工艺获得的同一表面的注法



3.3.2 表面粗糙度评定参数的选用

GB/T 1031—1995 规定，表面粗糙度参数应从高度特性参数中选取。

1. **Ra** 参数最能充分反映表面微观几何形状高度方面的特性，**Ra** 值用触针式电动轮廓仪测量也比较简便，所以对于光滑表面和半光滑表面，普遍采用 **Ra** 作为评定参数。

2. **Rz** 参数虽不如 **Ra** 参数反映的几何特性准确、全面，但 **Rz** 的概念简单，测量也很简便。**Rz** 与 **Ra** 联用，可以评定某些不允许出现较大加工痕迹和受交变应力作用的表面，尤其当被测表面面积很小，不宜采用 **Ra** 评定时，常采用 **Rz** 参数。

3. 附加评定参数 **RSm** 和 **Rmr (c)** 只有在高度特征参数不能满足表面功能要求时，才附加选用。

3.3.3 表面粗糙度主参数值的选用

- (1) 同一零件上，工作表面的粗糙度值应比非工作表面小。
- (2) 摩擦表面的粗糙度值应比非摩擦表面小;滚动摩擦表面的粗糙度值应比滑动摩擦表面小。
- (3) 运动速度高、单位面积压力大的表面，受交变应力作用的重要零件的圆角、沟槽表面的粗糙度值都应该小。
- (4) 配合性质要求越稳定，其配合表面的粗糙度值应越小;配合性质相同时，小尺寸结合面的粗糙度值应比大尺寸结合面小;同一公差等级时，轴的粗糙度值应比孔的小。
- (5) 表面粗糙度参数值应与尺寸公差及形状公差相协调。
- (6) 防腐性、密封性要求高，外表美观等表面的粗糙度值应较小。
- (7) 凡有关标准已对表面粗糙度要求做出规定，则应按标准规定的表面粗糙度参数值选用。

第3讲 实训 用比较法检测表面粗糙度

课 题: 实训1 用比较法检测表面粗糙度

实训2 用手持便携式表面粗糙度测量仪检测表面粗糙度

授课方式: 现场测量

教学目的: 1. 了解表面粗糙度的检测原理、方法及适用场合。

2. 熟悉用手持便携式表面粗糙度测量仪检测表面粗糙度。

教学重点: 表面粗糙度的检测原理、方法

教学难点: 手持便携式表面粗糙度测量仪使用方法

教 具: 手持便携式表面粗糙度测量仪

教学方法: 利用手持便携式表面粗糙度测量仪着重讲清其原理及检测方法。

教学过程:

一、引入新课题

由提问表面粗糙度概念引入新课。

二、教学内容

技能训练

实训1 用比较法检测表面粗糙度

1. 表面粗糙度比较样块

采用特定合金和加工方法，具有不同的表面粗糙度参数值，通过触觉和视觉与其所表征的材质和加工方法相同的被测提取零件表面作比较，以确定被测提取零件表面粗糙

度的实物量具。

2. 检测原理

使用表面粗糙度比较样块进行比较时，比较样块和被测提取零件表面的材质、加工工艺（如车、镗、刨、端铣、平磨、研磨等）应尽可能一致，这样可以减小检测误差，提高判断准确性。

3. 检测方法

比较样块与零件靠近在一起，当用目视无法确定时，可以结合手的触摸或者使用放大镜来观察，以比较样块工作面上的表面粗糙度为标准，观察、比较被测提取表面是否达到相应比较样块的表面粗糙度，从而判定被测提取零件表面粗糙度是否符合规定。

实训 2 用手持便携式表面粗糙度测量仪检测表面粗糙度

1. TR200 表面粗糙度测量仪的组成及特点

它是适用于生产现场环境、能满足移动测量需要的一种小型手持式仪器。它操作简便，功能全面，测量快捷，精度稳定，携带方便，能测量现行国际标准的主要参数，全面、严格地执行了国际标准。

2. TR200 表面粗糙度测量仪的测量原理

先将传感器搭放在被测提取零件的表面上，然后启动仪器进行测量，由仪器内部的精密驱动机构带动传感器沿被测提取零件表面做等速直线滑行，传感器通过内置的锐利触针感受被测提取零件的表面粗糙度。

3. 测量方法

（1）开机 按下电源键后仪器开机，液晶显示屏自动显示缺省的设定参数、测量单位、滤波器、量程、取样长度等。

（2）示值校准 仪器在测量前，通常需用标准样板进行校准。

（3）启动测量 在主界面状态下，按启动键开始测量。

（4）开始测量 传感器采集并处理数据。

①采样完毕 开始对采样数据进行数字滤波。

②计算参数 滤波完毕，进行全部参数计算。

（5）结果显示 测量完毕后，可以通过如下方式观察全部测量结果：

①参数 在主界面状态下，按上（下）滚动键进入全部参数结果显示界面。

②轮廓图形 在主界面状态下，按左滚动键进入轮廓图形显示界面。

（6）存储 / 读取测量结果 该仪器可以存储 15 组测量结果。

（7）打印测量结果 在主界面状态下，按右滚动键将测量参数和轮廓图形输出到打印机。

第4章 光滑极限量规

【学习及技能目标】

1. 掌握计量器具的选择和验收极限的确定。
2. 理解光滑极限量规的特点、作用和种类，掌握工作量规的公差带的分布及工作量规的使用方法。

第1讲

课 题: 1. 误收与误废

2. 验收极限与安全裕度
3. 计量器具的选择原则

授课形式: 讲授

教学目的: 1. 理解误收与误废的含义
2. 明确验收极限与安全裕度的概念
3. 掌握计量器具的选择原则

教学重点: 计量器具的选择原则

教 具: 多媒体课件

教学方法: 利用误收与误废的实例讲解其含义，从而引出验收极限及安全裕度的概念，达到正确掌握计量器具的选择的目的。

教学过程:

一、引入新课题

利用多媒体课件引入新课。

二、教学内容

4.1 概 述

4.1.1 误收与误废

在进行检测时，把超出公差界限的废品误判为合格品而接收称为误收；将接近公差界限的合格品误判为废品而给予报废称为误废。

为了保证产品品质，GB / T 3 1 7 7—2 0 0 9《产品几何技术规范（GPS）光滑工件尺寸的检验》对验收原则、验收极限和计量器具的选择等作了规定。

4.1.2 验收极限与安全裕度A

国家标准规定的验收原则是：所用验收方法应只接收位于规定的极限尺寸之内的工件。即允许有误废而不允许有误收。

验收极限是指检验工件尺寸时判断其合格与否的尺寸界限。国家标准规定，验收极限可以按照下列两种方法之一确定。

方法1 验收极限是从图样上标定的上极限尺寸和下极限尺寸分别向工件公差带内移动一个安全裕度 A 来确定的。

所计算出的两极限值为验收极限（上验收极限和下验收极限），为了保证验收时合格，在生产时工件不能按原有的极限尺寸加工，应按由验收极限所确定的范围生产，这个范围称为生产公差。

方法2 验收极限等于图样上标定的上极限尺寸和下极限尺寸，即 A 值等于零。

（1）对要求符合包容要求的尺寸、公差等级高的尺寸，其验收极限按方法1确定。

（2）当工艺能力指数 $C_p \geq 1$ 时，其验收极限可以按方法2确定。

（3）对偏态分布的尺寸，其验收极限可以仅对尺寸偏向的一边按方法1确定，而另一边按方法2确定。

（4）对非配合和一般的尺寸，其验收极限按方法2确定。

4.1.3 计量器具的选择原则

（1）选择计量器具应与被测工件的外形、位置、尺寸的大小及被测参数特性相适应，使所选计量器具的测量范围能满足工件的要求。

（2）选择计量器具应考虑工件的尺寸公差，使所选计量器具的不确定度既能保证测量精度要求，又符合经济性要求。

第2讲 光滑极限量规

课 题：1. 光滑极限量规的相关知识
2. 光滑极限量规的用途及分类

授课形式：讲授

教学目的：1. 理解量规的概念，明确量规的应用条件、使用特点及用途分类
2. 掌握光滑极限量规国标 GB/T1957—1981 的内容

教学重点：准确理解量规的概念，明确量规的应用条件、使用特点及用途分类

教 具：光滑极限量规

教学方法：利用光滑极限量规的模型讲清量规的概念，使学生掌握各种量规的应用条件，从而达到正确使用量规的目的。

教学过程：

一、引入新课题

出示量规模型引入新课.

二、教学内容

4.2 光滑极限量规

4.2.1 相关知识

1. 概述

光滑极限量规是一种没有刻度的专用计量器具。能确定零件的提取组成要素的局部尺寸是否在规定的两个极限尺寸范围内。

2. 测量

当零件图样上提取组成要素的尺寸公差和几何公差遵守独立原则时，该零件加工后的提取组成要素的局部尺寸和几何误差采用通用计量器具来测量。

3. 检验

当零件图样上提取组成要素的尺寸公差和几何公差遵守相关原则（包容要求）时，应采用光滑极限量规来检验。

4. 制造

光滑极限量规都是成对地使用。其中一是通规（或通端），另一是止规（或止端）。

5. 名称及使用

检验孔的量规称为塞规，检验轴的量规称为环规（或卡规）。

检验零件时如果通规能通过被测提取零件，止规不能通过，表明该零件的作用尺寸和提取组成要素的局部尺寸在规定的极限尺寸范围之内，则该零件合格；反之，若通规不能通过被测提取零件，或者止规能够通过被测提取零件，则判定该零件不合格。

4.2.2 用途及分类

用途

用光滑极限量规检测只能判断孔、轴的提取组成要素的局部尺寸是否在允许的极限尺寸范围之内，从而判断孔、轴尺寸是否合格。

分类

1. 工作量规

工作量规是工人在零件制造过程中，用来检验工件时使用的量规。它的通规和止规分别用代号“T”和“Z”表示。

2. 验收量规

验收量规是检验部门或用户代表验收产品时使用的量规。验收量规也有通规和止规。

3. 校对量规

校对量规是检验、校对轴用量规（环规或卡规）的量规。

校对量规有三种：

校通——一通，代号 TT

该量规是制造轴用通规时使用的量规，其作用是检验通规尺寸是否小于最小极限尺寸。检验时应通过。

校止——一通，代号 ZT

该量规是制造轴用止规时使用的量规，其作用是检验止规尺寸是否小于最小极限尺寸，检验时也应通过。

校通——一损，代号 TS

该量规是校对轴用通规的量规，其作用是校对轴用通规是否已磨损到磨损极限。校对时不应通过。如通过，则表明轴用通规已磨损到磨损极限，不能再用，应予废弃。

第 3 讲 量规设计的原则

课 题：1. 泰勒原则

2. 量规公差带

授课方式：讲授

教学目的：1. 了解光滑极限量规的设计原理

2. 掌握量规公差标准知识

教学重点：量规公差标准知识

教学难点：量规公差标准知识

教 具：多媒体课件

教学过程：

一、引入新课题

由提问量规的应用条件、使用特点引入新课

二、教学内容

4.3 量规设计的原则

4.3.1 泰勒原则

1. 泰勒原则

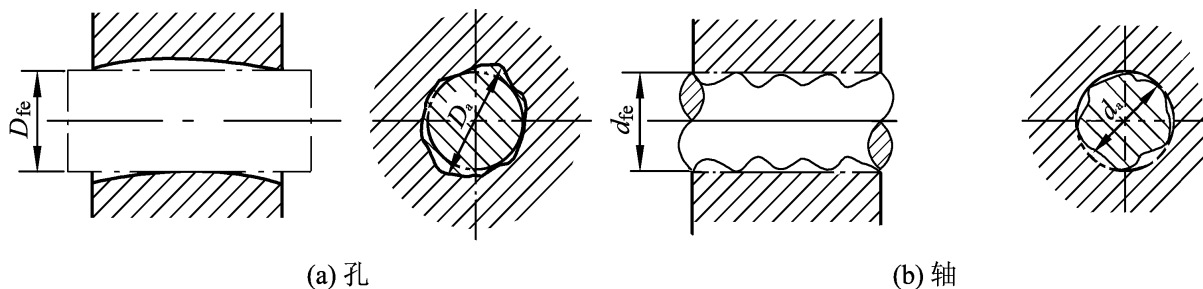
是指孔或轴的实际尺寸和形状误差综合形成的体外作用尺寸不允许超出最大实体

尺寸，在孔或轴任何位置上的实际尺寸不允许超出最小实体尺寸。

即：

对于孔 $D_{fe} \geq D_{min}$ 且 $D_a \leq D_{max}$

对于轴 $d_{fe} \leq d_{max}$ 且 $d_a \geq d_{min}$



2. 作用

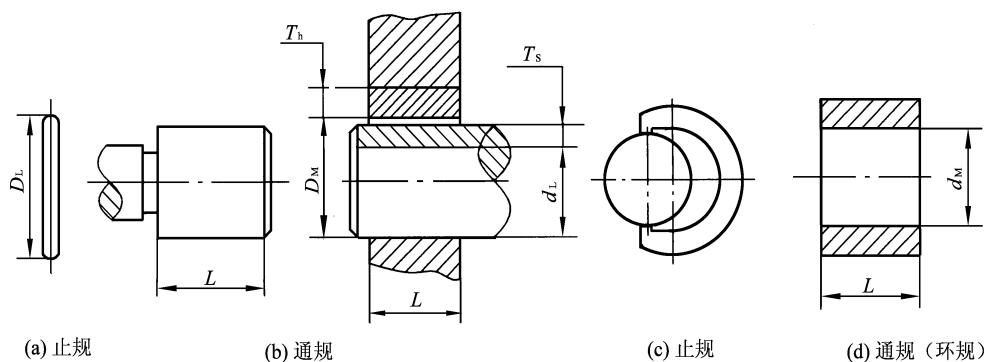
包容要求从设计的角度出发，反映对孔、轴的设计要求。泰勒原则从验收的角度出发，反映对孔、轴的验收要求。从保证孔与轴的配合性质的要求来看，两者是一致的。

3. 要求

用光滑极限量规检验工件时，对符合泰勒原则的量规要求如下：

A: 通规 用于控制工件的体外作用尺寸，它的测量面理论上应具有与孔或轴相对应的完整表面，其定形尺寸（基本尺寸）等于孔或轴的最大实体尺寸，即通规工作面为最大实体边界，因而与被测孔或轴成面接触。且量规长度等于配合长度。因此，通规常称为全形量规。

B: 止规 用于控制工件的实际尺寸，它的测量面理论上应是两点状的，这两点状测量面之间的定形尺寸（基本尺寸）等于孔或轴的最小实体尺寸。止规称为不全形量规。



合格条件: 用符合泰勒原则的量规检验孔或轴时

A: 若通规能够自由通过，且止规不能通过，则表示被测孔或轴合格

B: 若通规不能通过, 或者止规能够通过, 则表示被测孔或轴不合格。

具体说明

A: 孔的实际轮廓已超出了尺寸公差带, 用量规检验应判定该孔不合格。该孔用全形通规检验时, 不能通过; 用两点式止规检验, 虽然沿 X 方向不能通过, 但沿 Y 方向却能通过, 于是, 该孔被正确地判定为不合格品。

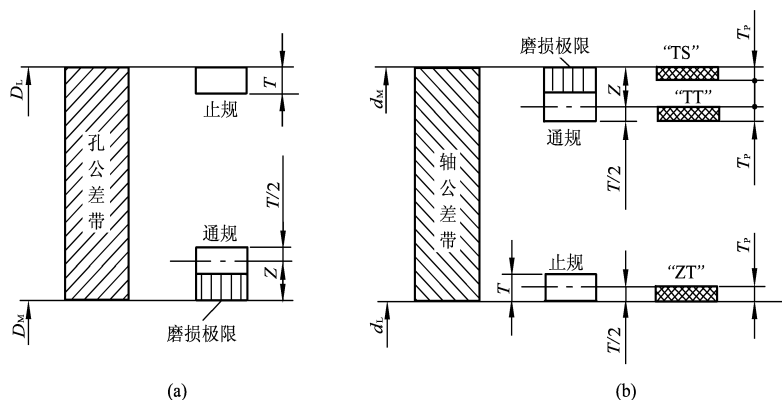
B: 反之, 该孔若用两点式通规检验, 则可能沿 Y 方向通过; 若用全形止规检验, 则不能通过, 这样一来, 由于所使用量规的形状不正确就把该孔误判为合格品。

4. 规定

通规对泰勒原则的允许偏离如下:

- (1) 长度偏离: 允许通规长度小于工件配合长度。
- (2) 形状偏离: 大尺寸的孔和轴允许用非全形的通端塞规 (或球端杆规) 和卡规检验, 以代替笨重的全形通规。曲轴的轴颈只能用卡规检验, 而不能用环规。

止规对泰勒原则的允许偏离如下:



- (1) 对点状测量面, 由于点接触易于磨损, 止规往往改用小平面对、圆柱面或球面代替。
- (2) 检验尺寸较小的孔时, 为了增加刚度和便于制造, 常改用全形塞规。
- (3) 对于刚性不好的薄壁零件, 若用点状止规检验, 会使工件发生变形, 也改用全形塞规或环规。

4.3.2 量规公差带

1. 工作量规公差带

(1) 工作量规公差带的大小—制造公差、磨损公差

量规: 是一种精密检验工具, 制造量规和工件一样, 不可避免地会产生误差, 故必须规定制造公差。

工作量规通规: 除规定制造公差外, 还需规定磨损极限。磨损公差的大小, 决量规

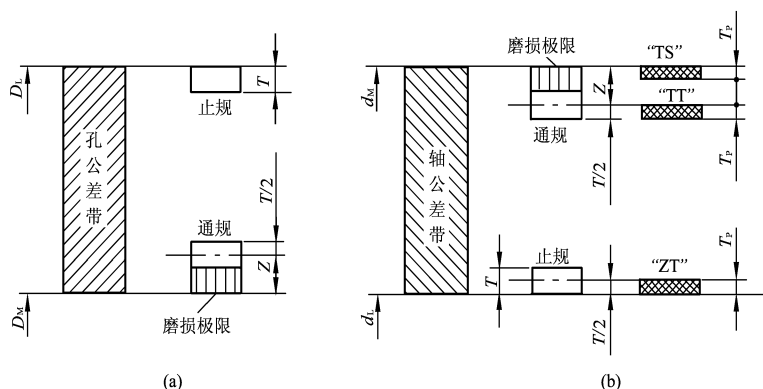
的使用寿命。

工作量规止规: 由于它不应通过工件, 磨损很少, 因此不留磨损储量, 即止规不规定磨损公差。

综上所述, 工作量规通规公差由制造公差 T 和磨损公差两部分组成, 而工作量规止规公差只由制造公差 T 组成。如图 5-5 所示。

(2) 工作量规公差带的位置配置

标准 GB/T 1957—1981 规定: 量规公差带采用“内缩方案”。即将量规的公差带全部限制在被测孔、轴公差带之内, 它能有效地控制误收, 从而保证产品质量与互换性。如图 5-5 所示。



(3) 工作量规的形状、位置公差

量规的形位公差与量规的尺寸公差之间的关系, 应遵守包容原则, 即量规的形位公差应在量规的尺寸公差范围内。并规定量规形位公差为量规尺寸公差的 50%。考虑到制造和测量的困难, 当量规尺寸公差小于 0.002mm 时, 其形位公差取为 0.001mm 。

2. 校对量规公差带

校通-通 (TT): 其公差带是从通规的下偏差起始, 向轴用量规通规的公差带内分布。
校止-通 (ZT), 其公差带是从止规的下偏差起始, 向轴用量规止规的公差带内分布。

校通-损 (TS): 轴用量规的三种校对量规的尺寸公差 T_p 均取为被校对量规尺寸公差 T 的一半, 即 $T_p = T/2$ 。

第 4 讲 工作量规设计

课 题: 工作量规设计举例

授课方式: 讲授

教学目的: 1. 掌握光滑极限量规的结构型式、技术要求等。

2. 熟悉量规的结构型式

3. 掌握量规设计的方法及步骤。

教学重点：量规设计的方法及步骤。

教学难点：量规设计的方法及步骤。

教 具：多媒体课件

教学过程：

一、引入新课题

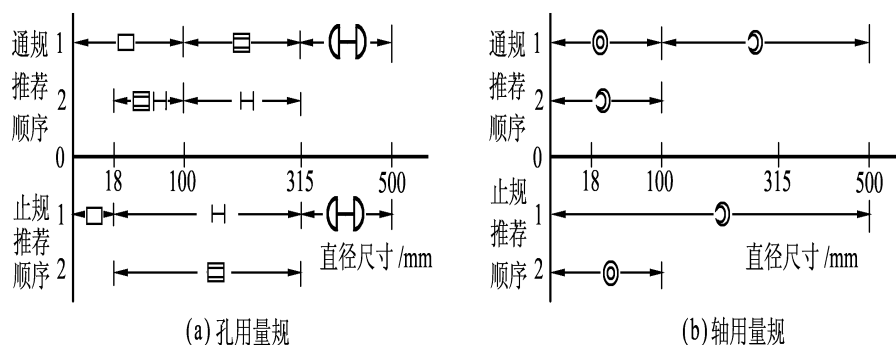
通过量规公差引入新课.

二、教学内容

4.4 工作量规设计

4.4.1 量规的结构型式

检验光滑工件的光滑极限量规，其结构型式很多。



不全形塞规——具有部分外圆柱形的测量面。该塞规是从圆柱体上切掉两个轴向部分而形成的，主要是为了减轻重量。

片形塞规——具有较少部分外圆柱形的测量面。为了避免使用中的变形，片形塞规应具有一定的厚度而做成板形。

球端杆规——具有球形的测量面。每一端测量面与工件的接触半径不得大于工件最小极限尺寸之半。

环规——具有内圆柱面的测量面。为了防止使用中的变形，环规应有一定厚度。

卡规——具有两个平行的测量面（也可改用一个平面与一个球面或圆柱面；也可改用两个与被检工件的轴线平行的圆柱面）。

4.4.2 量规的技术要求

(1) 量规可用合金工具钢、碳素工具钢、渗碳钢及硬质合金等尺寸稳定且耐磨的材料制造，也可用普通低碳钢表面镀铬氮化处理，其厚度应大于磨损量。

(2) 量规工作面的硬度对量规的使用寿命有直接影响。钢制量规测量面的硬度为58~65HRC，并应经过稳定性处理，如回火、时效等，以消除材料中的内应力。

3. 量规工作面不应有锈迹、毛刺、黑斑、划痕等明显影响使用质量的缺陷，非工作表面不应有锈蚀和裂纹。

4.4.3 工作量规简图

略

第5章 键、花键的公差及检测

第1讲

课 题: 1. 平键连接的公差与配合
2. 平键连接的配合及应用
3. 平键连接的几何公差及表面粗糙度

授课形式: 讲授

教学目的: 1. 理解普通型平键的几何参数及其公差配合
2. 掌握平键连接公差配合的选用,
3. 会正确标注图样上平键连接的公差配合及表面粗糙度。

教学重点: 重点掌握平键连接公差配合的选用

教学难点: 正确标注图样上平键连接的公差配合及表面粗糙度。

教 具: 多媒体课件

教学过程:

一、引入新课题

通过键连接实际情况引入新课.

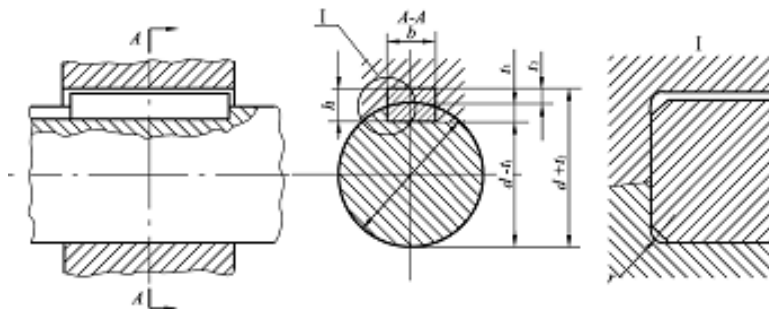
二、教学内容

5.1 概述

键连接和花键连接广泛应用于轴和轴上零件（如齿轮、带轮、联轴器、手轮等）之间的连接，用以传递扭矩和运动，需要时，配合件之间还可以有轴向相对运动。键和花键连接属于可拆卸连接，常用于需要经常拆卸和便于装配之处。

5.1.1 平键连接的公差与配合

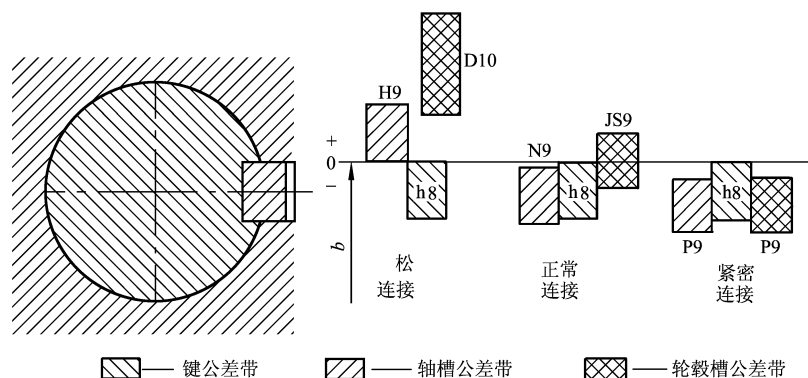
平键连接由键、轴槽和轮毂槽三部分组成，在平键连接中，结合尺寸有键宽与键槽宽（轴槽宽和轮毂槽宽） b 、键高 h 、槽深（轴槽深 t_1 、轮毂槽深 t_2 ）、键和槽长 L 等参数。



5.1.2 平键连接的公差配合

键为标准件。在键宽与键槽宽的配合中，键宽是“轴”，键槽宽是“孔”，所以，键宽和键槽宽的配合采用基轴制。

GB/T 1096—2003 对键宽规定了一种公差带 h8，对轴和轮毂的键槽宽各规定了三种公差带。



在平键连接的中，轴槽深 t_1 和轮毂槽深 t_2 的极限偏差由 GB. T1095—2003 专门规定。轴槽长的极限偏差为 H14。矩形普通平键键高 h 的极限偏差为 h11，方形普通平键键高 h 的极限偏差为 h8，键长 L 的极限偏差为 h14。

5.1.3 平键连接的形位公差及表面粗糙度

当键长 L 与键宽 b 之比大于或等于 8 时 ($L/b \geq 8$)，还应规定键的两工作侧面在长度方向上的平行度要求。

作为主要配合表面，轴槽和轮毂槽的键槽宽度 b 两侧面的表面粗糙度 R_a 值一般取 $1.6 \sim 3.2 \mu\text{m}$ ，轴槽底面和轮毂槽底面的表面粗糙度参数 R_a 取 $6.3 \mu\text{m}$ 。

在键连接工作图中，考虑到测量方便，轴槽深 t_1 用 $(d-t_1)$ 标注，其极限偏差与 t_1 相反;轮毂槽深 t_2 用 $(d+t_2)$ 标注，其极限偏差与 t_2 相同。

第 2 讲

- 课 题:** 1. 概述
2. 矩形花键的公差与配合
3. 矩形花键的形状和位置公差和表面粗糙度
4. 矩形花键连接在图样上的标注

授课形式: 讲授

- 教学目的:** 1. 了解矩形花键连接的公差配合
2. 理解掌握矩形花键连接公差与配合的选用, 几何公差与各表面粗糙度的确定
3. 掌握在矩形花键零件图样上正确标注各项公差要求。

教学重点: 矩形花键连接公差与配合的选用, 几何公差与各表面粗糙度的确定

教学难点: 会在矩形花键零件图样上正确标注各项公差要求

教 具: 多媒体课件

教学方法: 利用多媒体精讲几何公差与各表面粗糙度的确定, 帮助学生在矩形花键零件图样上正确标注各项公差要求, 通过讲解普通平键及矩形花键公差配合的选择, 使学生会在图样上正确标注其相应的尺寸公差、几何公差和表面粗糙度。

教学过程:

一、引入新课题

通过平键连接的公差配合及表面粗糙度引入新课。

二、教学内容

5.2 矩形花键的公差

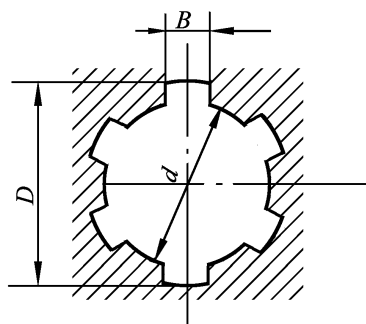
5.2.1 概述

花键分为矩形花键、渐开线花键和三角形花键等几种, 其中以矩形花键的应用最广泛。

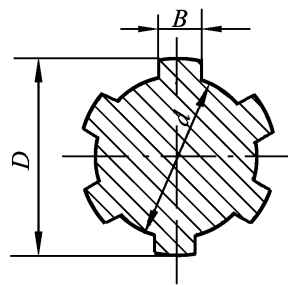
花键连接优点: 定心精度高、导向性好、承载能力强。花键连接可作固定连接, 也可作滑动连接。

1. 矩形花键的主要尺寸

矩形花键的主要尺寸有三个, 即大径 D 、小径 d 、键宽 (键槽宽) B 。



(a)



(b)

2. 矩形花键的定心

国家标准 GB. T1144—2001 《矩形花键尺寸、公差和检验》规定矩形花键用小径定心。

而内花键的大径和键侧则难于进行磨削，标准规定内、外花键在大径处留有较大的间隙。矩形花键是靠键侧传递扭矩的，所以键宽和键槽宽应保证足够的精度。

5.2.2 矩形花键的公差配合

国家标准 GB. T1144—2001 规定，矩形花键的尺寸公差采用基孔制，以减少拉刀的数目。内、外花键小径、大径和键宽（键槽宽）的尺寸公差带分为一般用和精密传动用两类。

花键尺寸公差带选用的一般原则是：定心精度要求高或传递扭矩大时，应选用精密传动用尺寸公差带。反之，可选用一般用的尺寸公差带。

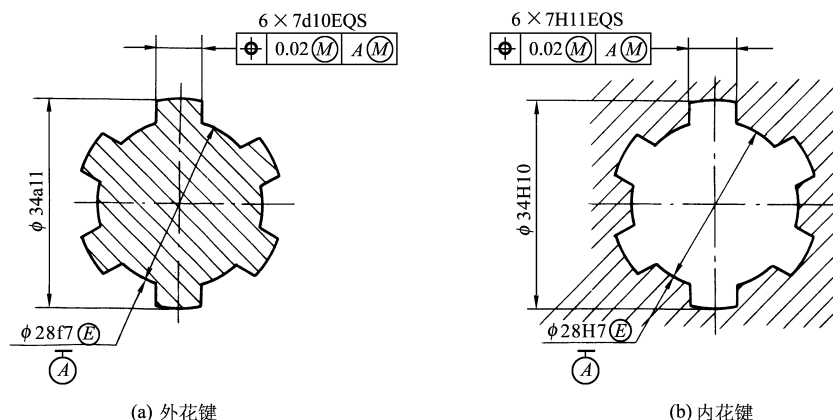
5.2.3 矩形花键的形状和位置公差

1. 形状公差

定心尺寸小径 d 的极限尺寸应遵守包容要求。即当小径 d 的实际尺寸处于最大实体状态时，它必须具有理想形状，只有当小径 d 的实际尺寸偏离最大实体状态时，才允许有形状误差。

2. 位置公差

矩形花键的位置度公差遵守最大实体要求，花键的位置度公差综合控制花键各键之间的角位置、各键对轴线的对称度误差，用综合量规（即位置量规）检验。



当单件小批生产时，采用单项测量，可规定对称度和等分度公差。键和键槽的对称度公差和等分度公差遵守独立原则。

国家标准规定，花键的等分度公差等于花键的对称度公差值。

5.2.4 矩形花键的表面粗糙度

矩形花键各结合表面的表面粗糙度要求见书中表。

5.2.5 矩形花键连接在图样上的标注

矩形花键连接的规格标记为 $N \times d \times D \times B$ ，即键数 $\times$ 小径 $\times$ 大径 $\times$ 键宽。对 $N=6$ 、 $d=23H7/f7$ 、 $D=26H10/a11$ 、 $B=6H11/d10$ 的花键标记如下：

花键规格： $N \times d \times D \times B$ $6 \times 23 \times 26 \times 6$

对花键副，在装配图上标注配合代号： $6 \times 23H7/f7 \times 26H10/a11 \times 6H11/d10$
GB/T1144—2001

对内、外花键，在零件图上标注尺寸公差带代号：

内花键 $6 \times 23H7 \times 26H10 \times 6H11$ GB/T 1144—2001

外花键 $6 \times 23f7 \times 26a11 \times 6d10$ GB/T 1144—2001

第 3 讲 技能训练

课 题：实训 1 的检测

实训 2 矩形花键的检测

授课形式：现场检测

教学目的：1. 平键的检测

2. 掌握在单件小批量生产和成批生产中平键及花键的测量方法

教学重点：单件小批量生产和成批生产中平键及花键的测量方法

教 具：矩形花键及检测工具

教学过程:

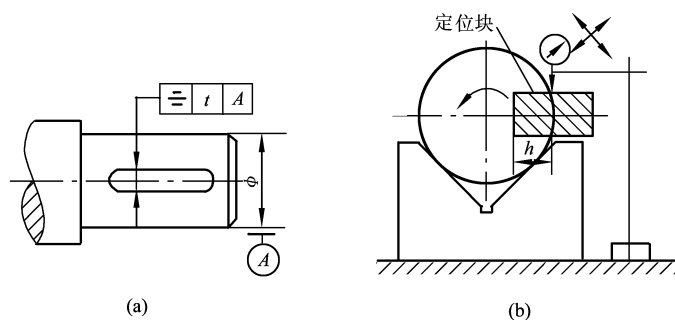
一、引入新课题

通过提问矩形花键的形状和位置公差引入新课.

二、教学内容

实训 1 平键的检测

在单件、小批量生产中，通常采用游标卡尺、千分尺等通用计量器具测量键槽尺寸。键槽对其轴线的对称度误差，可用下图所示方法进行测量。



在成批生产中，键槽尺寸及其对轴线的对称度误差可用塞规检验，见书中图为检验尺寸误差的极限量规，具有通端和止端，检验时通端能通过而止端不能通过为合格和检验形位误差的综合量规，只有通端，通过为合格。

实训 2 矩形花键的检测

在单件小批生产中，用通用量具如千分尺、游标卡尺、指示表等分别对各尺寸（ d 、 D 和 B ）及形位误差进行检测。

在成批生产中，可先用花键位置量规同时检验花键的小径、大径、键宽及大、小径的同轴度误差、各键和键槽的位置度误差等综合结果。

第 6 章 普通螺纹结合的公差及检测

【学习及技能目标】

1. 掌握普通螺纹的几何参数、配合特点、标记代号。
2. 会使用螺纹通、止规，螺纹千分尺及杠杆千分尺测量螺纹参数

第 1 讲

课 题: 1. 普通螺纹的基本牙型

2. 普通螺纹的几何参数

授课形式：讲授

教学目的: 1. 了解螺纹的种类和主要几何参数

2. 会根据表格查普通螺纹的基本尺寸。

教学重点: 重点掌握螺纹几何参数中基本大径、基本中径、基本小径、螺距和牙侧角

教学难点: 查用表 7-1 普通螺纹的基本尺寸。

教具：螺纹零件

教学过程:

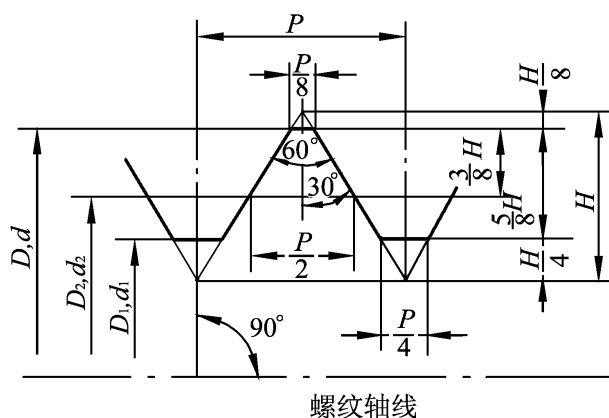
一、引入新课题

利用螺纹零件引入新课.

二、教学内容

6.1 概述

6.1.1 普通螺纹的基本牙型和几何参数



普通螺纹的基本牙型是指在原始的等边三角形基础上, 削去顶部和底部所形成的螺纹牙型。

普通螺纹的主要几何参数如下：

1. 基本大径（ d ， D ）

是指与外螺纹牙顶或内螺纹牙底相切的假想圆柱的直径。国家标准规定，普通螺纹大径的公称尺寸为螺纹的公称直径。

2. 基本小径（ d_1 ， D_1 ）

小径是与外螺纹牙底或内螺纹牙顶相切的假想圆柱的直径。

3. 基本中径（ d_2 ， D_2 ）

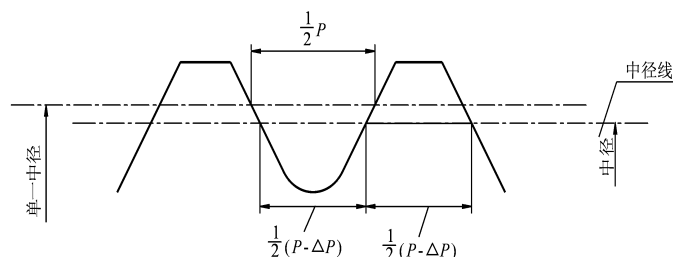
中径是一个假想圆柱的直径，该圆柱的母线通过螺纹牙型上沟槽和凸起宽度相等的地方。

4. 螺距（ P ）

螺距是相邻两牙在中径线对应两点间的轴向距离。

5. 单一中径（ d_a ， D_a ）

单一中径是一个假想圆柱的直径，该圆柱的母线通过牙型上沟槽宽度等于基本螺距一半的地方。



6. 导程（ P_h ）

导程是指同一螺旋线上的相邻两牙在中径线上对应两点间的轴向距离。对单线螺纹，导程与螺距同值；对多线螺纹，导程等于螺距 P 与螺纹线数 n 的乘积，即导程 $P_h = nP$ 。

7. 牙型角（ α ）和牙型半角（ $\alpha/2$ ）

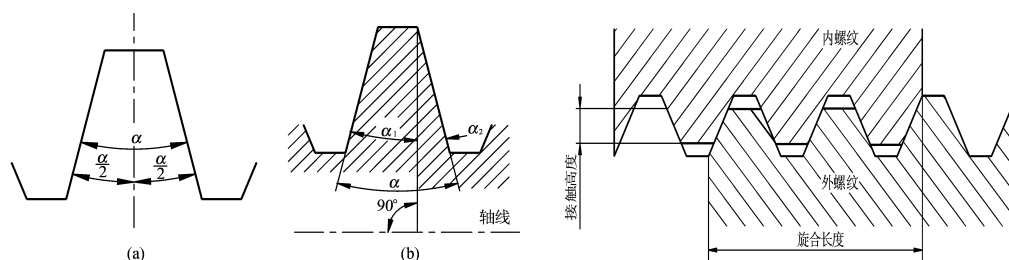
牙型角是螺纹牙型上相邻两牙侧间的夹角。公制普通螺纹的牙型角 $\alpha = 60^\circ$ 。牙型半角是牙型角的一半。公制普通螺纹的牙型半角 $\alpha/2 = 30^\circ$ 。

8. 牙侧角（ α_1 ， α_2 ）

牙侧角是在螺纹牙型上牙侧与螺纹轴线的垂线之间的夹角。对于普通螺纹，在理论上， $\alpha = 60^\circ$ ， $\alpha/2 = 30^\circ$ ， $\alpha_1 = \alpha_2 = 30^\circ$ 。

9. 螺纹旋合长度

两个相互配合的螺纹，沿螺纹轴线方向上相互旋合部分的长度。如图 7-4 所示。



10. 螺纹接触高度

两个相互配合的螺纹牙型上，牙侧重合部分在垂直于螺纹轴线方向上的距离。

第 2 讲

- 课 题：**
1. 普通螺纹中径偏差对螺纹互换性的影响
 2. 普通螺纹中径偏差对螺纹互换性的影响
 3. 牙型半角偏差对螺纹互换性的影响
 4. 螺纹作用中径及中径合格条件

授课形式： 讲授

- 教学目的：**
1. 掌握螺纹中径偏差、螺距偏差及牙型半角偏差对螺纹互换性的影响。
 2. 掌握螺距偏差及牙型半角偏差在中径上的当量

教学重点： 螺距偏差及牙型半角偏差在中径上的当量。

教学难点： 螺距偏差及牙型半角偏差在中径上的当量

教 具： 多媒体课件

教学方法： 主要讲解螺纹中径偏差、螺距偏差及牙型半角偏差对螺纹互换性的影响，重点讲解螺距偏差及牙型半角偏差在中径上的当量。让学生明白螺纹的主要几何参数为基本大径、小径、中径、螺距和牙型半角等五个，在加工过程中，这些参数不可避免地都会产生一定的偏差，这些偏差将影响螺纹的旋合性、接触高度和连接的可靠性，从而影响螺纹结合的互换性。

教学过程：

一、引入新课题

通过复习螺纹主要参引入新课。

二、教学内容

2. 中径的合格条件

对外螺纹:作用中径不大于中径最大极限尺寸;任意位置的实际中径不小于中径最小极限尺寸。

即: $d_{2\text{作用}} \leq d_{2\text{max}}$, $d_{2a} \geq d_{2\text{min}}$

对内螺纹:作用中径不小于中径最小极限尺寸;任意位置的实际中径不大于中径最大极限尺寸。

即 $D_{2\text{作用}} \geq D_{2\text{min}}$, $D_{2a} \leq D_{2\text{max}}$

第 3 讲

课 题: 1. 普通螺纹公差的基本结构

2. 螺纹的公差等级

3. 螺纹的基本偏差

4. 螺纹的旋合长度与精度等级

5. 螺纹的公差带及选用

授课形式: 讲授

教学目的: 1. 了解普通螺纹公差配合国家标准

2. 会根据螺纹代号查表确定内、外螺纹基本大径、中径和小径的极限偏差

3. 掌握内、外螺纹基本大径、中径和小径极限尺寸的计算。

教学重点: 根据螺纹代号查表确定内、外螺纹基本大径、中径和小径的极限偏差

教学难点: 内、外螺纹基本大径、中径和小径极限尺寸的计算

教 具: 多媒体课件

教学方法: 用书中图表引导学生确定内、外螺纹基本大径、中径和小径的极限偏差。

教学过程:

一、引入新课题

通过提问学生螺纹合格条件引入新课.

二、教学内容

6.3 普通螺纹的公差与配合

6.3.1 普通螺纹公差的基本结构

国家标准《普通螺纹公差与配合》GB/T 197—2003 将螺纹公差带标准化，螺纹公差带由构成公差带大小的公差等级和确定公差带位置的基本偏差组成，结合内外螺纹的旋合长度，一起形成不同的螺纹精度。

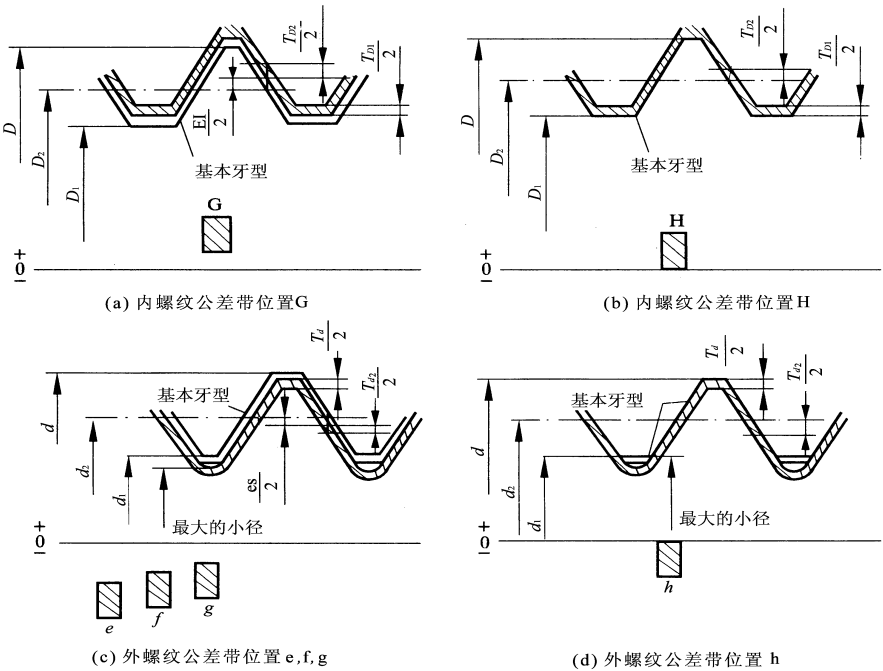
6.3.2 螺纹的公差等级

国家标准对内、外螺纹规定了不同的公差等级，各公差等级中，3 级最高，9 级最低，其中 6 级为基本级。

6.3.3 螺纹的基本偏差

螺纹公差带的位置是由基本偏差确定的。

在普通螺纹标准中，对内螺纹规定了代号为 G、H 的两种基本偏差，对外螺纹规定了代号为 e、f、g、h 的四种基本偏差。



6.3.4 螺纹的旋合长度与精度等级

国家标准按螺纹的直径和螺距将旋合长度分为三组，分别称为短旋合长度组（S）、中旋合长度组（N）和长旋合长度组（L）。

螺纹的旋合长度与螺纹精度有关：

当公差等级一定时，螺纹旋合长度越长，螺距累积偏差越大，加工就越困难。

标准按螺纹公差等级和旋合长度将螺纹精度分为精密、中等和粗糙三级。螺纹精度等级的高低代表着螺纹加工的难易程度。

6.3.5 螺纹的公差带及选用

内、外螺纹的选用公差带可以任意组合，为了保证足够的接触高度，加工好的内、外螺纹最好组成 H.g、H.h 或 G.h 的配合。

一般情况采用最小间隙为零的 H.h 配合，对于经常拆卸或工作温度高的螺纹，通常采用 H.g 或 G.h 的配合

6.3.6 普通螺纹的标记

1. 特征代号

螺纹特征代号用字母“M”表示。

2. 尺寸代号

单线螺纹的尺寸代号为“公称直径×螺距”，公称直径和螺距数值的单位为毫米。对粗牙螺纹，可以省略标注其螺距项。

3. 公差带代号

公差带代号包含中径公差带代号和顶径公差带代号。公差带代号由表示公差等级的数值和表示公差带位置的字母组成。中径公差带代号在前，顶径公差带代号在后。

4. 旋合长度代号

短旋合长度和长旋合长度的螺纹，宜在公差带代号后分别标注“S”和“L”。旋合长度代号与公差带代号间用“—”分开。中等旋合长度螺纹不标注旋合长度代号“N”。

5. 旋向代号

左旋螺纹，应在旋合长度代号之后标注“LH”。旋合长度代号与旋向代号间用“—”分开。右旋螺纹不标注旋向代号。

第 4 讲

课 题：1. 用螺纹量规对普通螺纹进行综合检验 综合检验

2. 用螺纹千分尺对普通外螺纹中径进行单项检验

3. 用杠杆千分尺对螺纹中径进行单项检验

授课形式：现场测量

教学目的：1. 掌握螺纹的检测方法

2. 会用螺纹量规和光滑极限量规综合检测螺纹的合格性

3. 掌握用螺纹千分尺、三针量法测螺纹中径等几种螺纹单项测量的方法

4. 会用杠杆千分尺对螺纹中径进行单项检验

教学重点：用螺纹量规和光滑极限量规综合检测螺纹的合格性

教学难点：螺纹千分尺等几种螺纹单项测量的方法

教 具：螺纹用各种量具

教学过程：

一、引入新课题

通过螺纹标注的各种类型引入新课.

二、教学内容

实训 1 用螺纹量规对普通螺纹进行综合检验

1. 螺纹量规的结构及用途

检验内螺纹的螺纹量规称为螺纹塞规，检验外螺纹用的量规称为螺纹环规，它们都由通规（通端）和止规（止端）组成。

螺纹量规通规主要用于检验内、外螺纹的作用中径及底径的合格性，止规用于检验内、外螺纹单一中径的合格性，均是用来对螺纹进行综合检验的。

2. 内螺纹综合检验合格性判断

(1) 若光滑极限量规的通端能通过内螺纹而止端不能通过，则内螺纹顶径合格。

(2) 若螺纹塞规的通端在旋合长度内与内螺纹旋合，则内螺纹作用中径合格。

(3) 若螺纹塞规的止端不能通过内螺纹或只旋进 2 ~ 3 牙，则内螺纹单一中径合格。

3. 检验方法

(1) 螺纹环规检验方法

①在通规与被测提取螺纹对正后，用大拇指与食指转动通规，使其在自由状态下旋合，若能通过螺纹全部长度，则判定为合格；否则，判定为不合格。

②在止规与被测提取螺纹对正后，用大拇指与食指转动止规，若放入螺纹长度在两个螺距之内，则判定为合格；否则，判定为不合格。

(2) 螺纹塞规检验方法

如果被测提取螺纹能够与螺纹通规旋合通过，且与螺纹止规不完全旋合通过就表明被测提取螺纹的作用中径没有超过其最大实体牙型的中径，且单一中径没有超出其最小实体牙型的中径，那么就可以保证旋合性和连接强度，则判定被测提取螺纹中径合格；否则，判定为不合格。

实训 2 用螺纹千分尺对普通外螺纹中径进行单项检验

1. 螺纹千分尺的组成及原理

螺纹千分尺是应用螺旋副传动原理将回转运动变为直线运动的一种测量器具。主要用来测量普通精度的螺纹中径，还可以用来测量公制、英制及梯形螺纹。

2. 检验方法

- (1) 根据图样中普通螺纹的公称尺寸，选择合适规格的螺纹千分尺。
- (2) 装入螺纹千分尺，并读取零位值。
- (3) 从不同截面、不同方向多次测量螺纹中径。
- (4) 查出被测提取螺纹中径的极限值，并判断其中径的合格性。

实训 3 用杠杆千分尺对螺纹中径进行单项检验

1. 杠杆千分尺的组成及原理

杠杆千分尺是一种带有精密杠杆齿轮传动机构的指示表式测微量具，其用途与外径千分尺相似，但因其能进行相对测量。

2. 三针量法

三针量法是一种间接测量方法，主要用于测量精密螺纹（如丝杠、螺纹塞规）的中径 d_2 。

3. 检验方法

- (1) 根据被测提取螺纹的螺距选择最佳直径或适当直径的三针。
- (2) 校对杠杆千分尺的零位。
- (3) 将三针放入被测提取螺纹的三个牙槽中，旋转杠杆千分尺套筒，使其两侧面与三针接触，然后读出 M 值。
- (4) 测量三个截面，每个截面在相互垂直方向各测量一次，每测量一个位置，重复三次。
- (5) 计算出 M 的平均值，根据公式求出被测提取螺纹中径，判断螺纹中径合格性。

第7章 滚动轴承的公差与配合

【学习及技能目标】

1. 了解滚动轴承内、外径公差带及其特点、精度等级的应用。
2. 掌握滚动轴承与轴和外壳的公差配合、几何公差和表面粗糙度的选择。
3. 熟悉滚动轴承游隙的测量方法。

第1讲

课 题：1. 滚动轴承的组成与特点
2. 滚动轴承精度等级及其应用

授课形式：讲授

教学目的：1. 了解掌握滚动轴承的精度等级
2. 掌握滚动轴承精度等级的应用
3. 掌握滚动轴承内圈内径、外圈外径公差带及其特点

教学重点：滚动轴承精度等级的应用

教学难点：滚动轴承内圈内径、外圈外径公差带及其特点

教 具：滚动轴承实物

教学过程：

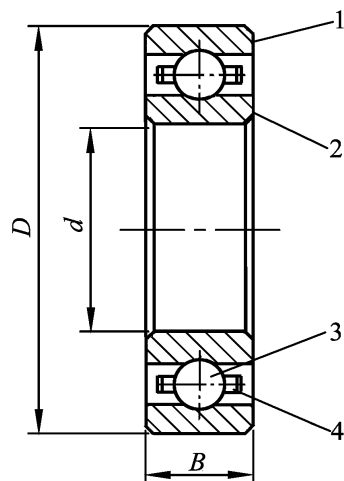
一、引入新课题

通过观察滚动轴承实物引入新课。

二、教学内容

7.1 概述

7.1.1 滚动轴承的组成与特点



基本结构：一般由外圈 1、内圈 2、滚动体 3 和保持架 4 组成。

典型的光滑圆柱连接：公称内径为 d 的轴承内圈与轴颈配合，公称外径为 D 的轴承外圈与外壳孔配合，属于典型的光滑圆柱连接。

对滚动轴承工作时的要求：转动平稳、旋转精度高、噪音小。正确选择轴和外壳孔与轴承的配合、传动轴和外壳孔的尺寸精度、形位精度以及表面粗糙度等。

7.1.2 滚动轴承精度等级及其应用

1. 滚动轴承的精度等级

外形尺寸公差是指成套轴承的内径、外径和宽度尺寸公差

旋转精度主要指轴承内、外圈的径向跳动，端面对滚道的跳动和端面对内孔的跳动等。

国家标准 GB/T 307.3—1996 规定向心轴承（圆锥滚子轴承除外）精度分为 P0 、 P6 、 P5 、 P4 和 P2 五级。其中 P0 级最低，依次升高，P2 级最高；圆锥滚子轴承精度分为 P0 、 P6X 、 P5 、 P4 四级。推力轴承分为 P0 、 P6 、 P5 、 P4 四级。

2. 轴承精度等级的选用

P0 级——通常称为普通级。

用于低、中速及旋转精度要求不高的一般旋转机构，它在机械中应用最广。

例如：用于普通机床变速箱、进给箱的轴承，汽车、拖拉机变速箱的轴承普通电动机、水泵、压缩机等旋转机构中的轴承等。

P6 级——用于转速较高、旋转精度要求较高的旋转机构。

例如：用于普通机床的主轴后轴承、精密机床变速箱的轴承等。

P5、P4 级——用于高速、高旋转精度要求的机构。

例如：用于精密机床的主轴承，精密仪器仪表的主要轴承等。

P 2 级——用于转速很高、旋转精度要求也很高的机构。

例如：用于齿轮磨床、精密坐标镗床的主轴轴承，高精度仪器仪表及其他高精度精密机械的主要轴承。

3. 滚动轴承内径、外径公差带及特点

滚动轴承配合：轴承内圈内径与轴采用基孔制配合，外圈外径与外壳孔采用基轴制配合。

而作为基准孔和基准轴的滚动轴承内、外径公差带，规定了不同于 GB/T 1800.3—1998《极限与配合》中任何等级的基准件（H、h）公差带。

标准中规定：

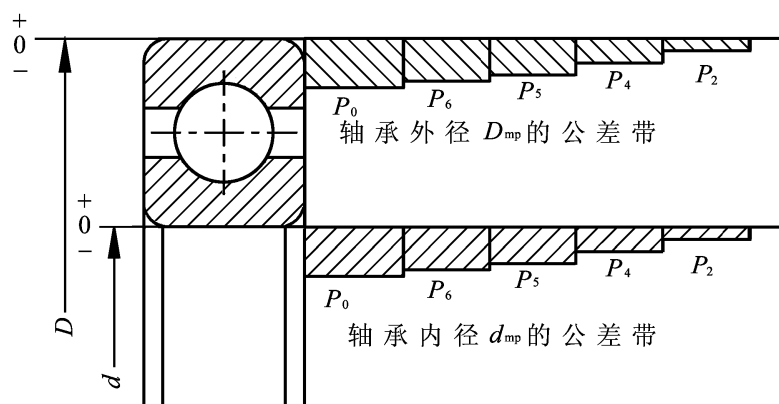
轴承外圈外径：的单一平面平均直径 D_{mp} 的公差带的上极限偏差为零，如图 8-2 所示，与一般的基准轴公差带分布位置相同，数值不同。

轴承内圈内径：单一平面平均直径 d_{mp} 公差带的上极限偏差也为零（如图 8-2 所示），与一般基准孔的公差带分布位置相反，数值也不同。

考虑因素：

(1)因为在多数情况下，轴承内圈随轴一起旋转，二者之间配合必须有一定的过盈，但过盈量又不宜过大。

(2)将轴承内径公差带偏置在零线下侧，即上极限偏差为零，下极限偏差为负值。当其与 GB/T 1800.1—2009《极限与配合》中的任何基本偏差组成配合时，其配合性质将有不同程度的变紧。以满足轴承配合的需要。



第 2 讲

课 题: 1. 轴和外壳孔的公差带
2. 掌握滚动轴承与轴, 滚动轴承与外壳孔的公差配合、几何公差和表面粗糙度的选择。

授课形式: 讲授

教学目的: 1. 了解标准中对滚动轴承与轴和外壳孔公差带的规定
2. 掌握滚动轴承与轴, 滚动轴承与外壳孔的公差配合、几何公差和表面粗糙度的选择。

教学重点: 标准中对滚动轴承与轴和外壳孔公差带的规定

教学难点: 滚动轴承与轴, 滚动轴承与外壳孔的公差配合、几何公差和表面粗糙度的选择。

教 具: 多媒体课件

教学方法: 利用多媒体上的图形帮助学生掌握本节课主要内容

教学过程:

一、引入新课题

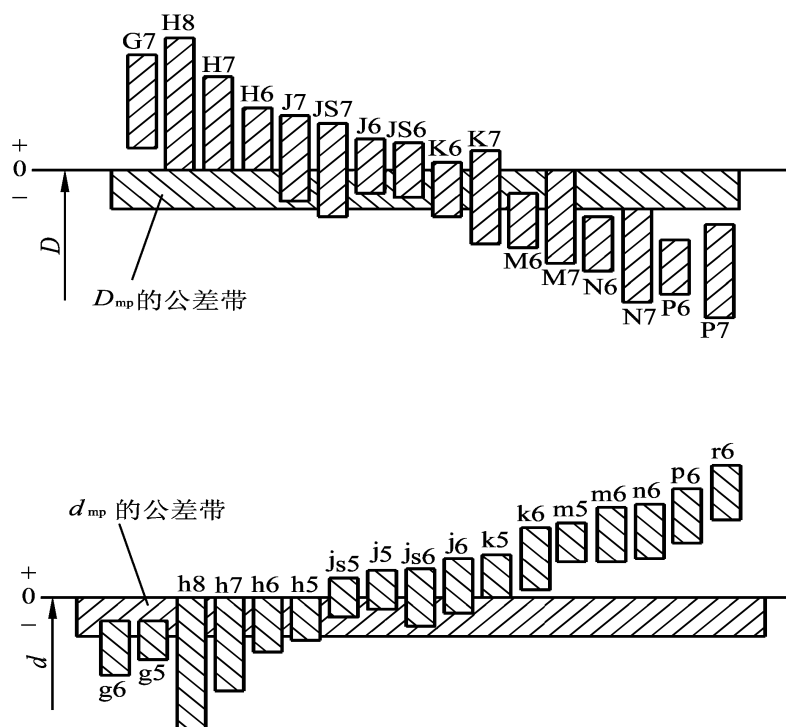
通过复习滚动轴承内径、外径公差带引入新课。

二、教学内容

7.2 滚动轴承与轴和外壳孔的配合

7.2.1 轴和外壳孔的公差带

国家标准 GB/T 275—2015 对与 P0 级和 P6 级轴承配合的轴颈公差带规定了 17 种, 对外壳孔的公差带规定了 16 种。这些公差带分别选自 GB/T 1800.3—1998 中规定的轴公差带和孔公差带。



7.2.2 滚动轴承与轴和外壳孔配合的选择

配合的选择就是如何确定与轴承相配合的轴颈和外壳孔的公差带。

1. 轴承套圈相对于负荷的类型

(1) 套圈相对于负荷方向固定——定向负荷

径向负荷始终作用在套圈滚道的局部区域。

(2) 套圈相对于负荷方向旋转——旋转负荷

作用于轴承上的合成径向负荷与套圈相对旋转，并依次作用在该套圈的整个圆周滚道上。

(3) 套圈相对于负荷方向摆动——摆动负荷

大小和方向按一定规律变化的径向负荷作用在套圈的部分滚道上。

2. 负荷的大小

选择滚动轴承与轴和外壳孔的配合与负荷大小有关。负荷越大，过盈量应选得越大，因为在重负荷作用下，轴承套圈容易变形，使配合面受力不均匀，引起配合松动。

3. 其他因素

工作温度的影响，滚动轴承一般在低于 100℃ 的温度下工作，如在高温下工作，其配合应予以调整。

一般情况下，轴承的旋转精度越高，旋转速度越高，则应选择越紧的配合。

7.2.3 配合表面的形位公差和表面粗糙度要求

为了保证轴承正常工作，除了正确选择配合之外，还应对与轴承配合的轴和外壳孔的形位公差及表面粗糙度提出要求。

GB/T 275—2015 规定了与各种轴承配合的轴颈和外壳孔的几何公差。

第3讲

课 题：测量滚动轴承的游隙

授课形式：现场测量

教学目的：1. 了解滚动轴承游隙的含义、分类

2. 掌握滚动轴承游隙的测量方法

教学重点：滚动轴承游隙的含义及测量方法

教学难点：滚动轴承游隙的测量

教 具：滚动轴承及测量工具

教学过程：

一、引入新课题

通过复习滚动轴承前述教学内容引入新课。

二、教学内容

实训 测量滚动轴承的游隙

1. 滚动轴承的游隙

是指将一个套圈固定，另一个套圈沿径向或轴向的最大活动量。沿径向的最大活动量称为径向游隙，沿轴向的最大活动量称为轴向游隙。

2. 滚动轴承的游隙分类

- (1) 原始游隙 是由制造厂加工、装配所确定的。
- (2) 安装游隙 是指轴承与轴及轴承座安装完毕而尚未工作时的游隙。
- (3) 工作游隙 轴承在工作状态时的游隙。

3. 测量方法

(1) 测量单套轴承的游隙（轴承外圈外径小于 200 mm）时，要将轴承立放于测量平台之上，用手按住轴承外圈，且勿使内、外圈倾斜，并将内圈左右旋转 $1/2 \sim 1$ 周，使滚子稳定下来。

(2)将塞规插进轴承正上方两列滚子与外圈之间，量出轴承内部游隙（ Δr ），然后使左、右两列的任一滚子处于正上方，测量位置与测点随轴承外圈外径的尺寸不同而有差异。

第 8 章 渐开线圆柱齿轮传动精度及检测

【学习及技能目标】

1. 理解国家标准对单个渐开线圆柱齿轮、齿轮副公差项目及精度的规定。
2. 掌握齿轮零件的检测指标及各指标的检测要求和方法。
3. 会用公法线千分尺测量齿轮参数。
4. 会用齿厚游标卡尺、万能测齿仪、径向跳动检查仪进行相关测量。

第 1 讲

- 课 题：**
1. 对齿轮传动的基本要求
 2. 齿轮精度的评定指标及检测
 3. 影响齿轮传动平稳性的偏差及检测
 4. 齿侧间隙及其检验项目

授课形式：讲授

- 教学目的：**
1. 掌握齿轮传动的四项使用要求
 2. 明确不同用途的齿轮应有不同的侧重要求
 3. 掌握影响齿轮传动四项使用要求的各项偏差指标
 4. 明确每项评定指标的代号、定义、作用及检测方法。

教学重点：齿轮传动的四项使用要求

教学难点：每项评定指标的代号、定义、作用及检测方法。

教 具：齿轮传动模型

教学方法：利用多媒体精讲影响齿轮传动四项使用要求的各项偏差指标，使学生明确每项评定指标的代号、定义、作用及检测方法。

一、引入新课题

通过齿轮传动的示例引入新课。

二、教学内容

8.1 对齿轮传动的基本要求

8.1.1 对齿轮传动的基本要求

齿轮传动在机器和仪器仪表中应用极为广泛，是一种重要的机械传动形式，通常用来传递运动或动力。

1. 传递运动的准确性

要求齿轮在一转范围内，实际速比相对于理论速比的变动量应限制在允许的范围内，以保证从动齿轮与主动齿轮的运动准确协调。

2. 传动的平稳性

要求齿轮在一齿范围内，瞬时速比的变动量限制在允许的范围内，以减小齿轮传动中的冲击、振动和噪声，保证传动平稳。

3. 载荷分布的均匀性

要求齿轮啮合时，齿面接触良好，使齿面上的载荷分布均匀，避免载荷集中于局部齿面，使齿面磨损加剧，影响齿轮的使用寿命。

4. 侧隙的合理性

齿轮啮合时，非工作齿面间应有一定的间隙，以便存储润滑油、补偿齿轮受力后的弹性塑性变形、受热变形以及制造和安装中产生的误差，以防止齿轮在传动中出现卡死现象。

8.1.2 齿轮的加工误差来源:

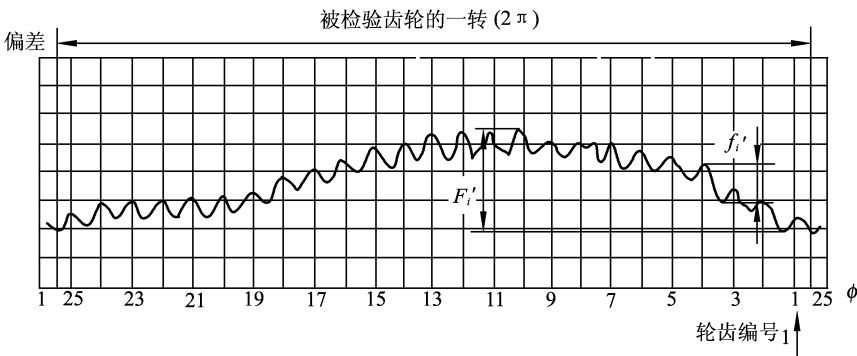
主要是组成工艺系统的机床、夹具、刀具和齿坯本身的误差及安装、调整误差。

8.2 齿轮精度的评定指标及检测

8.2.1 影响齿轮传动准确性的偏差

1. 切向综合总偏差 F_i'

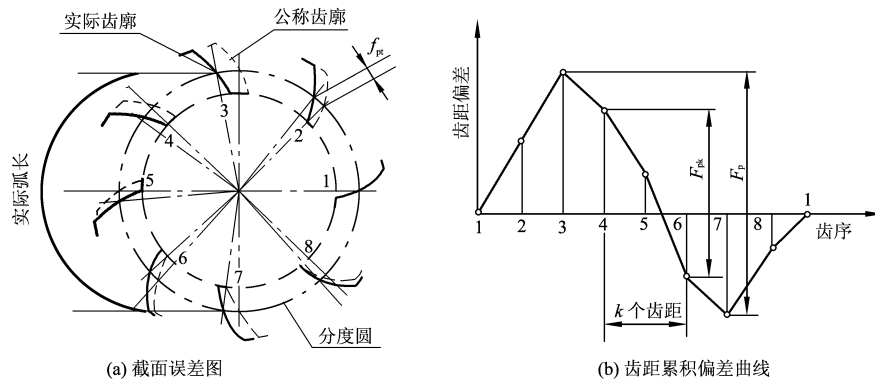
F_i' 是指被测齿轮与理想精确的测量齿轮单面啮合检验时，在被测齿轮一转内，齿轮分度圆上实际圆周位移与理论圆周位移的最大差值。



切向综合偏差

2. k 个齿距累积偏差 $\pm F_{pk}$ 与齿距累积总偏差 F_p

F_{pk} 是指在端平面上, 在接近齿高中部的一个与齿轮轴线同心的圆上, 任意 k 个齿距的实际弧长与理论弧长之差的代数差。



齿距累积偏差主要是在滚切齿形过程中几何偏心和运动偏心造成的, 目前工厂中常用的一种齿轮运动精度的评定指标。

3. 径向跳动 F_r

是指齿轮一转范围内, 测头 (球形、圆柱形、砧形) 相继置于每个齿槽内时, 从它到齿轮轴线的最大和最小径向距离之差。

4. 径向综合总偏差 F_i''

F_i'' 是指在径向 (双面) 综合检验时, 产品齿轮的左右齿面同时与测量齿轮接触, 并转过一整圈时出现的中心距最大值和最小值之差。

F_i'' 只能反映齿轮的径向误差, 而不能反映切向误差, 所以 F_i'' 并不能确切和充分地用来评定齿轮传递运动的准确性。

5. 公法线长度变动量 F_w

F_w 是指在齿轮转一周范围内, 实际公法线长度最大值与最小值之差。

8.2.2 影响齿轮传动平稳性的偏差

1. 一齿切向综合偏差 f_i'

f_i' 是指在一个齿距内的切向综合偏差。

2. 一齿径向综合偏差 f_i''

f_i'' 是指被测齿轮在径向 (双面) 综合检验时, 对应一个齿距角 ($360^\circ / z$) 的径向综合偏差值。

3. 齿廓偏差

(1) 齿廓总偏差 F_α

在计值范围 L_α 内，包容实际齿廓迹线的两条设计齿廓迹线间的距离。

(2) 齿廓形状偏差 $f_{f\alpha}$

在计值范围内，包容实际齿廓迹线的两条与平均齿廓迹线完全相同的曲线间的距离，且两条曲线与平均齿廓迹线的距离为常数。

(3) 齿廓倾斜偏差 $\pm f_{H\alpha}$

在计值范围的两端与平均齿廓迹线相交的两条设计齿廓迹线间的距离。

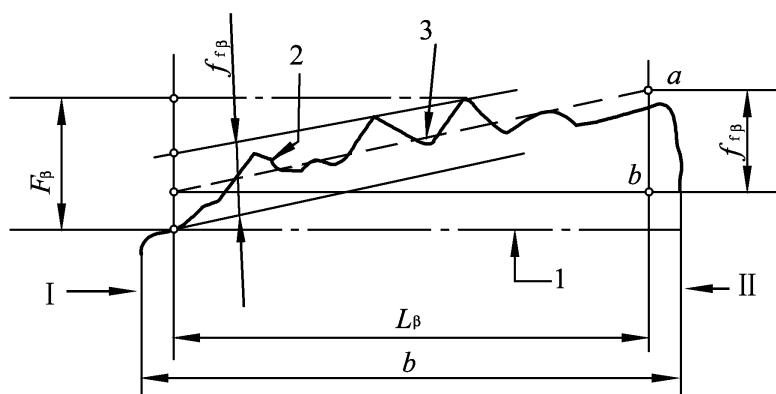
(4) 单个齿距偏差 f_{pt} 与单个齿距极限偏差 $\pm f_{pt}$

f_{pt} 是指在端平面上，在接近齿高中部的一个与齿轮轴线同心的圆上，实际齿距与理论齿距的代数差。

8.2.3 影响齿轮载荷分布均匀性的偏差及检测

1. 螺旋线总偏差 F_β

F_β 是指在计值范围内，包容实际螺旋线迹线的两条设计螺旋线迹线间的距离。



螺旋线偏差展开图

2. 螺旋线形状偏差 $f_{f\beta}$

对于非修形的螺旋线来说， $f_{f\beta}$ 是在计值范围内，包容实际螺旋线迹线的两条与平均螺旋线迹线平行的两条直线间距离。

3. 螺旋线倾斜偏差 $f_{H\beta}$

在计值范围的两端与平均螺旋线迹线相交的设计螺旋线迹线间的距离。

对直齿圆柱齿轮，螺旋角 $\beta = 0$ ，此时 F_β 称为齿向偏差。

8.2.4 齿侧间隙及其检验项目

1. 齿侧间隙

齿侧间隙通常有两种表示方法即圆周侧隙 j_{wt} 和法向侧隙 j_{bn} 。

圆周侧隙 j_{wt} 是指安装好的齿轮副，当其中一个齿轮固定时，另一齿轮圆周的晃动量，以分度圆上弧长计值。

法向侧隙 j_{bn} 是指安装好的齿轮副，当工作齿面接触时，非工作齿面之间的最短距离。

2. 最小侧隙 j_{bnmin} 的确定

齿轮传动时，必须保证有足够的最小侧隙 j_{bnmin} 以保证齿轮机构正常工作。

3. 齿侧间隙的获得和检验项目

齿侧间隙必须通过减薄齿厚来获得，由此还可以派生出通过控制公法线长度等方法来控制齿厚。

(1) 用齿厚极限偏差控制齿厚

如对最大侧隙有要求时，就必须进行计算。齿厚公差的选择要适当，公差过小势必增加齿轮制造成本；公差过大会使侧隙加大，使齿轮正、反转时空行程过大。

(2) 用公法线平均长度极限偏差控制齿厚

齿轮齿厚的变化必然引起公法线长度的变化。测量公法线长度同样可以控制齿侧间隙。

第 2 讲

课 题：1. 齿轮副的精度指标

2. 齿坯精度指标

授课形式：讲授

教学目的：1. 掌握齿轮副中心距极限偏差 $\pm f_a$ 、齿轮副轴线平行度偏差 f_{Σ} 、 δ 、 $f_{\Sigma\beta}$ 和接触斑点。

2. 会查用齿坯尺寸公差、几何公差及表面粗糙度。

教学重点：齿轮副中心距极限偏差 $\pm f_a$ 、齿轮副轴线平行度偏差 f_{Σ} 、 δ 、 $f_{\Sigma\beta}$ 和接触斑点。

教学难点：查齿坯尺寸公差、几何公差及表面粗糙度。

教 具：多媒体课件

教学过程:

一、引入新课题

通过提问上节课主要内容引入新课.

二、教学内容

8.3 齿轮副和齿坯的精度评定指标

8.3.1 齿轮副的精度

1. 中心距极限偏差 $\pm f_a$

$\pm f_a$ 是指在齿轮副的齿宽中间平面内, 实际中心距与公称中心距之差。 $\pm f_a$ 主要影响齿轮副侧隙。

2. 轴线平行度偏差 $f_{\Sigma\delta}$ 、 $f_{\Sigma\beta}$

如果一对啮合的圆柱齿轮的两条轴线不平行, 形成了空间的异面(交叉)直线, 则将影响齿轮的接触精度, 因此必须加以控制。

3. 接触斑点

齿轮副的接触斑点是指安装好的齿轮副, 在轻微制动下, 运转后齿面上分布的接触擦亮痕迹。

8.3.2 齿坯精度指标

齿坯是指轮齿在加工前供制造齿轮的工件, 齿坯的尺寸偏差和形位误差直接影响齿轮的加工和检验, 影响齿轮副的接触和运行, 因此必须加以控制。

第3讲

课 题: 1. 精度等级及其选择

2. 最小侧隙和齿厚偏差的确定

3. 检验项目的选用

4. 齿坯及箱体精度的确定

5. 齿轮在图样上的标注

授课形式: 讲授

教学目的: 1. 掌握齿轮精度等级及其选择

2. 会查用各项齿轮偏差数值

3. 能根据生产情况合理选择齿轮偏差的检验组

4. 会确定齿轮副侧隙的评定指标及齿坯、箱体的精度

教学重点：查用各项齿轮偏差数值

教学难点：确定齿轮副侧隙的评定指标及齿坯、箱体的精度

教 具：多媒体课件

教学方法：讲课以帮助学生会查用各项齿轮偏差数值为主要内容，重点讲清确定
齿轮副侧隙的评定指标及齿坯、箱体的精度

教学过程：

一、引入新课题

通过形位公差研究对象引入新课.

二、教学内容

8.4 渐开线圆柱齿轮精度标准及其应用

8.4.1 精度等级及其选择

标准对单个齿轮规定了 13 个精度等级，分别用阿拉伯数字 0、1、2、3、…、12 表示。其中，0 级精度最高，依次降低，12 级精度最低。

8.4.2 最小侧隙和齿厚偏差的确定

合理地确定最小侧隙及齿厚偏差或公法线长度极限偏差。

8.4.3 检验项目的选用

(1) 齿轮加工方式 不同的加工方式产生不同的齿轮误差。

(2) 齿轮精度 齿轮精度低，机床精度可足够保证，由机床产生的误差可不检验。

(3) 检验目的 终结检验应选用综合性检验项目，工艺检验可选用单项指标以便于分析误差原因。

(4) 齿轮规格 直径 $\leq 400\text{mm}$ 的齿轮可放在固定仪器上进行检验。

(5) 生产规模 大批量应采用综合性检验项目，以提高效率，小批单件生产一般采用单项检验。

(6) 设备条件 选择检验项目时还应考虑工厂仪器设备条件及习惯检验方法。

8.4.4 齿坯及箱体精度的确定

齿坯及箱体的精度应根据齿轮的具体结构形式和工作要求按本章 9.3 讲述的内容确定。

8.4.5 齿轮在图样上的标注

1. 齿轮精度等级的标注方法示例

例: 7GB/T 10095.1

表示齿轮各项偏差项目均应符合 GB. T10095.1 的要求, 精度均为 7 级。

例: 7F p 6 (F α 、 F β) GB/T 10095.1

表示偏差 F_p、F α 、F β 均按 GB. T10095.1 要求, 但是 F_p 为 7 级, F α 与 F β 均为 6 级。

例: 6 (F i'' 、 f i'') GB/T 10095.2

表示偏差 F''_i、f''_i 均按 GB. T10095.2 要求, 精度均为 6 级。

2. 齿厚偏差常用标注方法

① S_n E_{sns} E_{sni} 其中 S_n 为法向公称齿厚, E_{sns} 为齿厚上偏差, E_{sni} 为齿厚下偏差。

② W_k E_{bns} E_{bni} 其中 W_k 为跨 k 个齿的公法线公称长度, E_{bns} 为公法线长度上偏差, E_{bni} 为 公法线长度下偏差。

第 4 讲

- 课 题:**
1. 用公法线千分尺测量齿轮参数
 2. 用齿厚游标卡尺测量齿轮轮齿的齿厚偏差
 3. 用万能测齿仪测量齿轮参数
 4. 用齿轮径向跳动测量仪检测齿轮的径向跳动
 5. 用三坐标测量仪检测零件

授课形式: 现场测量

- 教学目的:**
1. 会使用公法线千分尺测量齿轮参数
 2. 会使用齿厚游标卡尺测量齿轮轮齿的齿厚偏差
 3. 会使用万能测齿仪测量齿轮参数
 4. 会使用齿轮径向跳动测量仪检测齿轮的径向跳动
 5. 理解三坐标测量仪检测零件的原理和方法

教学重点: 会使用各种量具测量齿轮各参数

教学难点: 齿轮用各种量具的测量方法

教 具: 各种量具及被测齿轮

教学方法: 讲清各种齿轮用量具的原理, 能帮助学生掌握其使用方法。

教学过程:

一、引入新课题

通过直观看各种量具的实物引入新课.

二、教学内容

实训 1 用公法线千分尺测量齿轮参数

1. 公法线千分尺的组成及原理

它是利用螺旋副原理,对弧形尺架上两盘形测量面分隔的距离进行读数的齿轮公法线测量器具。主要用于测量齿轮的公法线长度,其读数方法与普通千分尺相同。

2. 测量方法

- (1) 根据被测提取齿轮的齿顶圆直径选择公法线千分尺的规格。
- (2) 确定公法线公称长度理论值和跨齿数。
- (3) 检查和校对公法线千分尺的零位,方法同外径千分尺。
- (4) 沿整个齿圈一周逐个测量公法线长度,取测得值的平均值作为公法线公称长度的测量结果,将平均值减去公称值,即公法线平均长度偏差。
- (5) 测得的最大值与最小值之差即公法线长度变动量。
- (6) 处理数据结果,判断被测齿轮的合格性。

实训 2 用齿厚游标卡尺测量齿轮轮齿的齿厚偏差

1. 齿厚游标卡尺的结构及原理

齿厚游标卡尺是利用游标原理,以齿高尺定位对齿厚尺两测量爪相对移动分隔的距离进行读数的齿厚测量器具。

2. 测量方法

- (1) 用游标卡尺或外径千分尺测量被测提取齿轮的齿顶圆直径。
- (2) 计算公称弦齿厚和实际分度圆弦齿高。
- (3) 按弦齿高值调整齿厚卡尺的垂直游标尺,并锁紧,从水平游标尺上读出分度圆弦齿厚实际值。
- (4) 在齿轮圆周上几个等距离的齿上进行测量,均匀测量几个点;
- (5) 记下读数,计算实际齿厚,实际齿厚与理论齿厚的差值即齿厚偏差。

实训 3 用万能测齿仪测量齿轮参数

1. 万能测齿仪的组成及原理

是以被测提取齿轮轴心线为基准，上、下顶尖定位，采用指示表类器具测量齿轮、蜗轮的齿距误差及偏差、公法线长度、齿圈径向跳动等的测量仪器。

2. 测量方法（图 8-20）

- (1) 将被测提取齿轮套在心轴上，并一起安装在仪器的两顶尖上。
- (2) 调整仪器工作台和测量装置，在分度圆附近与相邻两个同侧齿面接触。
- (3) 在齿轮心轴上挂上重锤，利用重力使齿面紧靠测头。
- (4) 以被测提取齿轮的任一齿距作为基准齿距，以检查指示表的示值稳定性。
- (5) 读取测微表上的读数。（以上是测量齿轮齿距）
- (6) 选用不同的测头可分别测得齿轮的齿厚偏差、公法线长度偏差及齿圈径向跳动。

实训 4 用齿轮径向跳动测量仪检测齿轮的径向跳动

1. 齿轮径向跳动测量仪的结构及原理

本仪器属于纯机械结构，导轨面采用磨削后刮研工艺，读数直观（千分表示值），精度高，操作方便。其测量力及测量方向可调，并配有多种尺寸的测头，以适应不同类型的齿轮。

主要用于齿轮加工现场或车间检查站测量圆柱齿轮或圆锥齿轮的径向跳动，同时也可以用于测量回转类零件的径向跳动误差。

2. 测量方法

- (1) 根据被测提取齿轮的类型，安装好指示表支架的位置，以指示表测头与被测提取齿轮齿槽接触，并且指示表指针大致在零刻度为准。
- (2) 选择相应直径的指示表测头。
- (3) 测量时，使测头与齿面接触，直至测完全部齿槽为止。
- (4) 在记录的全部读数中，取其最大与最小值之差，即被测齿轮的径向跳动。

实训 5 用三坐标测量仪检测零件

1. 仪器简介

是指在一个六面体的空间范围内，能够表现几何形状、长度及圆周分度等测量能力的仪器，又称为三坐标测量机或三坐标量床。

测量功能包括尺寸精度、定位精度、几何精度及轮廓精度等。

2. 仪器基本组成

(1) **测量仪主机** 主要由床身框架结构、标尺系统、导轨、机械运动装置、平衡部件、工作台与附件等组成。

(2) **控制系统** 是三坐标测量仪的重要组成部分之一。

(3) **计算机（测量软件）** 又称上位机，是数据处理中心。

(4) **测头系统** 主要用于检测被测提取零件采集的数据，为便于检测到零件，测头底座部分可自由旋转。

3. 测量原理

三坐标测量仪是测量和获得尺寸数据最有效的方法之一，因为它可以代替多种表面测量工具及昂贵的组合量规，并把复杂的测量任务所需时间从小时级缩短到分钟级，这是其他仪器所达不到的效果。

工作原理：

- (1) 在三坐标空间中，可以用坐标来描述每一个点的位置。
- (2) 多个点可以用数学方法拟合成几何元素，例如面、线、圆、圆柱、圆锥等。
- (3) 利用几何元素的特征，例如圆的直径、圆心点、面的法矢、圆柱的轴线、圆锥顶点等可以计算这些几何元素之间的距离和位置关系、进行几何公差的评价。
- (4) 将复杂的数学公式编写成程序软件，利用软件可以进行特殊零件的检测，轮、叶片、曲线曲面、数据统计等。
- (5) 主要算法采用最小二乘法。

4. 操作方法

(1) 工作前的准备

- ① 检查温度情况，包括测量机房、三坐标测量仪和零件。
- ② 检查气源压力，放出过滤器中的油和水，清洁测量仪导轨及工作台表面。
- ③ 开机运行一段时间，并检查软件、控制系统、测量仪主机各部分工作是否正常。

(2) 检测工作中

- ①查看零件图纸，了解测量要求和方法，规划检测方案或调出检测程序。
- ②在吊装放置被测提取零件过程中，要注意遵守吊车安全的操作规程。
- ③按照测量方案安装探针及探针附件，要注意试验一下测头保护功能是否正常。
- ④实施测量中，操作人员要精力集中，确定编程无误后再使用正常速度。
- ⑤一旦有不正常的情况，应立即按紧急停止按钮，通知维修人员维修。
- ⑥检测完成后，将测量程序和程序运行参数及测头配置等说明存档。
- ⑦拆卸（更换）零件，清洁台面。

(3) 关机及整理工作

- ①将测量仪主机退至原位卸下零件，按顺序关闭测量机及有关电源。
- ②清理工作现场，并为下次工作做好准备。

第9章 尺寸链

【学习及技能目标】

1. 掌握尺寸链的基本概念，熟悉尺寸链的术语、定义及分类。
2. 掌握运用尺寸链求解实际问题的方法。

第1讲

课 题：1. 尺寸链的术语、定义及分类
2. 尺寸链的计算问题
3. 利用极值法（完全互换法）计算尺寸链

授课形式：讲授

教学目的：1. 掌握尺寸链的基本概念
2. 熟悉尺寸链的计算方法及术语和定义，为以后掌握尺寸链计算方法提供理论根据。

教学重点：尺寸链的计算方法及术语和定义

教学难点：尺寸链的各种形式

教 具：挂图、多媒体课件

教学方法：重点讲清尺寸链的基本术语，帮助学理解记忆。

教学过程：

一、引入新课题

本次课是学习以后各节的基础, 要求掌握尺寸链的概念。

二、教学内容

9.1 尺寸链的术语、定义及分类

9.1.1 有关尺寸链术语和定义

1. 尺寸链

尺寸链是指在机器装配或零件加工过程中, 由相互连接的尺寸形成封闭的尺寸组。

2. 环

环是指列入尺寸链中的每一个尺寸。

3. 封闭环

封闭环是指尺寸链中在装配过程或加工过程中最后形成的一环。

4. 组成环

尺寸链中对封闭环有影响的全部环称为组成环。这些环中任一环的变动必然引起封闭环的变动。

5. 增环

增环是尺寸链中的组成环，由于该环的变动引起封闭环同向变动。同向变动指该环增大时封闭环也增大，该环减小时封闭环也减小。

6. 减环

减环是尺寸链中的组成环，由于该环的变动引起封闭环反向变动。反向变动指该环增大时封闭环减小，该环减小时封闭环增大。

7. 补偿环

补偿环是指尺寸链中预先选定的某一组成环，可以通过改变其大小或位置，使封闭环达到规定的要求。

8. 传递系数

传递系数是表示各组成环对封闭环影响大小的系数。用符号“ ξ ”表示。对于增环， ξ 为正值；对于减环， ξ 为负值。

9.1.2 尺寸链形式

1. 长度尺寸链与角度尺寸链

(1) 长度尺寸链

全部环为长度尺寸的尺寸链称为长度尺寸链。

(2) 角度尺寸链

全部环为角度尺寸的尺寸链称为角度尺寸链。

2. 装配尺寸链、零件尺寸链与工艺尺寸链

(1) 装配尺寸链

全部组成环为不同零件设计尺寸所形成的尺寸链称为装配尺寸链。

(2) 零件尺寸链

全部组成环为同一零件设计尺寸所形成的尺寸链称为零件尺寸链。

(3) 工艺尺寸链

全部组成环为同一零件工艺尺寸所形成的尺寸链称为工艺尺寸链。

3. 基本尺寸链与派生尺寸链

(1) 基本尺寸链

基本尺寸链是指全部组成环皆直接影响封闭环的尺寸链。

(2) 派生尺寸链

一个尺寸链的封闭环为另一个尺寸链的组成环的尺寸链称为派生尺寸链。

4. 标量尺寸链与矢量尺寸链

(1) 标量尺寸链

全部组成环为标量尺寸所形成的尺寸链称为标量尺寸链。

(2) 矢量尺寸链

全部组成环为矢量尺寸所形成的尺寸链称为矢量尺寸链。

5. 直线尺寸链、平面尺寸链与空间尺寸链

(1) 直线尺寸链

全部组成环平行于封闭环的尺寸链称为直线尺寸链。

(2) 平面尺寸链

平面尺寸链的全部组成环位于一个或几个平行平面内,但某些组成环不平行于封闭环的尺寸链。

(3) 空间尺寸链

组成环位于几个不平行平面内的尺寸链称为空间尺寸链。

第 2 讲

课 题: 1. 尺寸链的建立方法与步骤

2. 计算尺寸链的方法

授课形式: 讲授

教学目的: 1. 了解尺寸链的建立方法与步骤

2. 掌握尺寸链计算方法

教学重点: 尺寸链计算方法

教学难点: 尺寸链计算方法

教 具: 多媒体课件

教学方法: 重点讲清尺寸链的计算方法。

教学过程:

9.2 尺寸链计算问题

9.2.1 尺寸链的建立方法与步骤

1. 确定封闭环

在装配过程中,要求保证的装配精度就是封闭环。

2. 查明组成环,画装配尺寸链图

3. 判别组成环的性质

(1) 组成环数最少原则。

从工艺角度出发，在结构已经确定的情况下，标注零件尺寸时，应使一个零件仅有一个尺寸进入尺寸链，即组成环数目等于有关零件数目。

(2) 按封闭环的不同位置和方向，分别建立装配尺寸链。

9.2.2 计算尺寸链的方法

1. 正算法

将已知的组成环的基本尺寸及偏差代入公式，求出封闭环的基本尺寸和极限偏差的方法称为正算法。

2. 反算法

根据已知的封闭环的基本尺寸和极限偏差及各组成环的基本尺寸，求出各组成环的公差和极限偏差的方法即反算法。

3. 中间算法

根据已知的封闭环及组成环的基本尺寸及偏差，求出另一组成环的基本尺寸及偏差的方法即中间算法。

第 3 讲

课 题： 1. 基本计算公式

2. 极值法设计计算

授课形式： 讲授

教学目的： 1. 能熟练掌握运用尺寸链求解实际问题的方法。

2. 掌握尺寸链计算方法

教学重点： 尺寸链计算方法

教学难点： 尺寸链计算方法

教 具： 多媒体课件

教学方法： 重点讲清尺寸链的计算方法。

教学过程：

一、 引入新课题

9.3 利用极值法（完全互换法）计算尺寸链

9.3.1 基本计算公式

1. 基本尺寸之间的关系

$$L_0 = \sum_{k=1}^m L_k - \sum_{k=m+1}^{n-1} L_k$$

即封闭环的基本尺寸等于增环的基本尺寸之和减去减环的基本尺寸之和。

2. 中间偏差之间的关系

设封闭环的中间偏差为 Δ_0 ，各组成环的中间偏差为 Δ_1 、 Δ_2 、 $\cdots$ 、 Δ_{n-1} ，则有

$$\Delta_0 = \sum_{k=1}^m \Delta_k - \sum_{k=m+1}^{n-1} \Delta_k$$

即封闭环的中间偏差等于增环的中间偏差之和减去减环的中间偏差之和。

中间偏差为尺寸的上、下偏差的平均值，设上偏差为 ES，下偏差为 EI，则有

$$\Delta = 1/2(|ES| + |EI|)$$

3. 公差之间的关系

设封闭环公差为 T_0 ，各组成环的公差分别为 T_1 、 T_2 、 $\cdots$ 、 T_{n-1} ，则有

$$T_0 = \sum_{k=1}^m T_k + \sum_{k=m+1}^{n-1} T_k = \sum_{k=1}^{n-1} T_k$$

即封闭环的公差等于所有组成环的公差之和。

4. 封闭环的极限偏差

设封闭环的上、下偏差分别为 ES_0 、 EI_0 ，则有

$$ES_0 = \Delta_0 + T_0/2$$

$$EI_0 = \Delta_0 - T_0/2$$

5. 封闭环的极限尺寸

设封闭环的最大、最小极限尺寸分别为 $L_{0\max}$ 、 $L_{0\min}$ ，则有

9.3.2 极值法设计计算

设计计算是指已知封闭环的公差及极限偏差，要求解各组成环的公差及极限偏差（各组成环基本尺寸已知），属于公差分配问题，将一个封闭环的公差分配给多个组成环，可用等公差法。

有

$$T_0 = \sum_{k=1}^{n-1} T_k = (n-1)T$$

或

$$T = T_0 / (n-1)$$

9.3.3 极值法校核计算

校核计算的步骤是:

根据装配要求确定封闭环;寻找组成环;画尺寸链图;判别增环和减环;由各组成环的基本尺寸和极限偏差验算封闭环的基本尺寸和极限偏差。

9.3.4 极值法中间计算

中间计算问题用来确定尺寸链中某个组成环的尺寸及极限偏差。中间计算属于正计算中的一种特殊情况。

9.3.5 工艺尺寸链的应用

- (1) 测量基准与设计基准不重合时的尺寸换算。
- (2) 有表面处理工序的工艺尺寸链。

9.3.6 达到装配尺寸链封闭环公差要求的方法

按产品设计要求、结构特征、公差大小与生产条件,可以采用不同的达到封闭环公差要求的方法。

1. 互换法

(1) 完全互换法

完全互换法即在全部产品中,装配时各组成环不需要挑选或改变其大小或位置,装入后即能达到封闭环的公差要求。该方法采用极值公差公式计算。

(2) 大数互换法

大数互换法即在绝大多数产品中,装配时各组成环不需要挑选或改变其大小或位置,装入后即能达到封闭环的公差要求。该方法采用统计公差公式计算。

2. 分组法

分组法即将各组成环按其实际尺寸大小分为若干组,各对应组进行装配,同组零件具有互换性。该方法通常采用极值公差公式计算。

3. 修配法

修配法即在装配时去除补偿环的部分材料以改变其实际尺寸,使封闭环达到其公差与极限偏差要求。该方法通常采用极值公差公式计算。

4. 调整法

调整法在装配时用调整的方法改变补偿环的实际尺寸或位置,使封闭环达到其公差与极限偏差要求。一般以螺栓、斜面、挡环、垫片或孔轴连接中的间隙等作为补偿环。该方法通常采用极值公差公式计算。