

# 《公差配合与测量技术》 教 案

2025-2026 学年第一学期

课程名称	公差配合与测量技术
专业班级	机电 251
总学时数	48
任课教师	申利凤

## 课程基本信息

课程名称	公差配合与测量技术			
课程性质	专业课	学分	3.0	
学时	总学时：48 学时      其中：课堂讲授 32 学时；      课内实验 16 学时			
开课部门	机电工程系	任课教师	申利凤	
授课专业、班级	机电 251	开课学期	2025-2026 第一学期	
成绩评定	平时成绩占 40%；期末成绩占 60 %	考核方式	考查	
选用教材	书 名	主 编	出版社	出版日期
	公差配合与测量技术	吴政	郑州大学出版社	2023.2
本课程在本专业人才培养方案中的地位和作用	公差配合与测量技术是机械类专业的主干技术基础课，是联系专业基础课及其他技术基础课的纽带与桥梁，他是一门与机械专业发展紧密联系的基础学科，是机电技术类各岗位人员必备的基础知识和技能，在生产一线具有广泛的实用性。			
本课程教学目标	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 理解公差、配合概念，掌握尺寸公差、形状公差和位置公差等概念及分类，了解技术测量的原理与方法。</li> <li>2. 掌握互换性与公差、检测的关系。</li> </ol>			
素质（思政）教学目标	<ol style="list-style-type: none"> <li>1、激发学生对机械制造的兴趣，培养其严谨的科学态度和工作作风，增强质量意识和工程伦理意识。</li> <li>2、培养创新意识和团队协作精神，增强学生适应未来工作中团队协作的能力及对本职业的敬畏之心。</li> </ol>			
学生用主要参考资料	公差配合与测量技术教材			

# 项目一 极限配合与测量技术基础 (12 学时)

## 任务一 极限配合基础知识

### 一、互换性与标准化

课时：2 课时

教学目的和要求：

本模块作为本课程的开篇,通过对互换性的讲解,引出了全课程的内容,因此教学中要充分利用趣味性来引导学生对本课程特点的理解,提高学生的学习积极性.为此提出如下要求:

1. 了解互换性的含义;
2. 懂得学习《公差配合与技术测量基础》的重要性。

教学重点及难点:

- 1.掌握互换性的概念及其在机械制造业中的应用。
- 2.掌握加工误差与公差之间的关系。
- 3.理解标准化与计量、优先数的概念。

思政元素融入：培养其严谨的科学态度和工作作风，增强质量意识和工程伦理意识。

教学方法及手段：讲授

教学内容：

#### 一、互换性的概述

- 1、互换性的含义
- 2、作用
- 3、分类
- 4、互换性条件

#### 二、几何量的误差

- 1、几何误差：零件在加工过程中由于某种因素的影响，而造成的误差称为几何误差。
- 2、公差：几何误差及其控制范围，称为公差。
- 3、国家标准有缘学习更多关注桃报：奉献教育（店铺）

小结：

掌握互换性的概念及其意义、互换性的条件。了解公差与配合标准与技术测量发展概况，了解优先数和优先数系,明确本课程的性质和特点。

### 二、极限与配合

课时：6 课时

教学目的和要求：

1. 熟悉基本术语和定义，掌握有关尺寸偏差、尺寸公差的概念及其与极限尺寸的关系、配合的概念及其配合的种类、盈隙量的计算；
2. 掌握尺寸公差带的组成要素（标准公差、其本偏差）和正确应用；
3. 掌握极限与配合标准的基本规定；
4. 学会公差配合在图纸上的标注方法和会查阅有关表格。

教学重点及难点:

- 1.尺寸、公差、偏差概念，尺寸公差带图的作法
- 2.了解标准公差系列、基本偏差系列及新标准，学会查表并计算极限偏差值。

思政元素融入：培养增强质量意识和工程伦理意识。

教学方法及手段：讲授、练习

教学内容：

## （一）、基本术语

### 一) 孔和轴

①孔——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）

②轴——指工件的圆柱形外表面，也包括非圆柱形外表面（由二平行面或切面形成的被包容面）

### 二) 尺寸的术语和定义

1、尺寸

2、基本尺寸（D,d）

3、实际尺寸（Da,da）

4、极限尺寸

### 三) 公差与偏差的术语及定义

尺寸偏差（简称偏差）

零线与尺寸公差带图

### 四) 配合的术语及定义

1、配合

2、间隙与过盈

3、配合的类型

## （二）、极限与配合国家规定

### 一) 标准公差

1、标准公差等级

2、基本尺寸分段

### 二) 基本偏差

1、基本偏差及其代号

2、基本偏差系列图及特征

### 三) 公差带

1、公差带代号

2、公差带在图样上的标注

3、公差带的系列

### 四) 孔、轴的基本偏差数值

1、基本偏差的数值

2、另一极限偏差数值的确定

3、极限偏差表

### 五) 配合

1、配合制

2、配合代号

3、常用和优先配合

### 六) 一般公差——线性尺寸的未注公差

## 任务二 测量技术基础知识

**课时：4 课时**

**教学目的和要求：**

让学生了解常用量具的结构和原理，初步掌握其使用方法，能对一般机械零件进行测量，并判断其合格性。掌握测量方法的分类和计量器具的主要度量指标，掌握测量误差与数据的处理。

**教学重点及难点：**

- 1.测量器具的分类。
- 2.掌握测量误差与数据的处理

**教学方法及手段：**讲授，实验

**思政元素融入：**培养其严谨的科学态度和工作作风。

**教学内容：**

技术测量的一般概念

一、计量单位

二、计量器具的分类

三、测量方法的分类

四、计量器具的基本计量参数

1、刻度间距

是指标尺或刻度盘上两相邻刻线中心的距离

2、分度值：

又称刻度值，是指标尺或刻度盘上每一刻度间距所代表的量值。

3、示值范围：

是指计量器具标尺或刻所指示的起始值到终止值的范围。

4、测量范围

5、示值误差

6、校正值

五、测量误差

测量误差产生的原因

1) 计量器具误差

2) 方法误差

3) 环境误差

4) 人员误差

六、量块的使用

## 项目二 零件线性尺寸测量 （10 学时）

### 任务一 零件长度、高度和深度及轴径、孔径的测量

**课时：**6 课时

**教学目的：**

1. 游标卡尺的读数原理及使用
2. 千分尺的读数原理及使用
3. 量块的使用方法

**教学重点及难点：**

各测量器具的读数方法

**教学方法及手段：**讲授、实操

**教学内容：**

一、通用量具

1、游标量具

1、游标卡尺的结构和用途

2、游标卡尺的刻线原理和读法

1、分类

2、刻线原理

3、读法

4、使用游标卡尺的注意事项

## 游标卡尺的使用方法 & 测量精度

### 一 游标卡尺的测量精度

测量或检验零件尺寸时，要按照零件尺寸的精度要求，选用相适应的量具。游标卡尺是一种中等精度的量具，它只适用于中等精度尺寸的测量和检验。用游标卡尺去测量锻铸件毛坯或精度要求很高的尺寸，都是不合理的。前者容易损坏量具，后者测量精度达不到要求，因为量具都有一定的示值误差，游标卡尺的示值误差见表 2-2。

表 2-2 游标卡尺的示值误差 mm

游标读数	示值总误差
0.02	±0.02
0.05	±0.05
0.10	±0.10

游标卡尺的示值误差，就是游标卡尺本身的制造精度，不论你使用得怎样正确，卡尺本身就可能产生这些误差。例如，用游标读数值为 0.02mm 的 0~125mm 的游标卡尺(示值误差为 ±0.02mm)，测量 50mm 的轴时，若游标卡尺上的读数为 50.00mm，实际直径可能是 50.02mm，也可能是 49.98mm。这不是游标尺的使用方法上有什么问题，而是它本身制造精度所允许产生的误差。因此，若该轴的直径尺寸是 IT5 级精度的基准轴，则轴的制造公差为 0.025mm，而游标卡尺本身就有着 ±0.02mm 的示值误差，选用这样的量具去测量，显然是无法保证轴径的精度要求的。

如果受条件限制(如受测量位置限制)，其他精密量具用不上，必须用游标卡尺测量较精密的零件尺寸时，又该怎么办呢?此时，可以用游标卡尺先测量与被测尺寸相当的块规，消除游标卡尺的示值误差(称为用块规校对游标卡尺)。例如，要测量上述 50mm 的轴时，先测量 50mm 的块规，看游标卡尺上的读数是不是正好 50mm。如果不是正好 50mm，则比 50mm 大的或小的数值，就是游标卡尺的实际示值误差，测量零件时，应把此误差作为修正值考虑进去。例如，测量 50mm 块规时，游标卡尺上的读数为 49.98mm，即游标卡尺的读数比实际尺寸小 0.02mm，则测量轴时，应在游标卡尺的读数上加上 0.02mm，才是轴的实际直径尺寸，若测量 50mm 块规时的读数是 50.01mm，则在测量轴时，应在读数上减去 0.01mm，才是轴的实际直径尺寸。另外，游标卡尺测量时的松紧程度(即测量压力的大小)和读数误差(即看准是那一根刻线对准)，对测量精度影响亦很大。所以，当必须用游标卡尺测量精度要求较高的尺寸时，最好采用和测量相等尺寸的块规相比较的办法。

### 二 游标卡尺的使用方法

量具使用得是否合理，不但影响量具本身的精度，且直接影响零件尺寸的测量精度，甚至发生质量事故，对国家造成不必要的损失。所以，我们必须重视量具的正确使用，对测量技术精益求精，务使获得正确的测量结果，确保产品质量。

使用游标卡尺测量零件尺寸时，必须注意下列几点：

- 1 测量前应把卡尺揩干净，检查卡尺的两个测量面和测量刃口是否平直无损，把两个量爪紧密贴合时，应无明显的间隙，同时游标和主尺的零位刻线要相互对准。这个过程称为校对游标卡尺的零位。
- 2 移动尺框时，活动要自如，不应有过松或过紧，更不能有晃动现象。用固定螺钉固定尺框时，卡尺的读数不应有所改变。在移动尺框时，不要忘记松开固定螺钉，亦不宜过松以免掉了。
- 3 当测量零件的外尺寸时：卡尺两测量面的连线应垂直于被测量表面，不能歪斜。测量时，可以轻轻摇动卡尺，放正垂直位置，图 2-6 所示。否则，量爪若在如图 2-6 所示的错误位置上，将使测量结果 a 比实际尺寸 b 要大；先把卡尺的活动量爪张开，使量爪能自由地卡进工件，把零件贴靠在固定量爪上，然后移动尺框，用轻微的压力使活动量爪接触零件。如卡尺带有微动装置，此时可拧紧微动装置上的固定螺钉，再转动调节螺母，使量爪接触零件并读取尺寸。决不可把卡尺的两个量爪调节到接近甚至小于所测尺寸，把卡尺强制的卡到零件上去。这样做会使量爪变形，或使测量面过

早磨损，使卡尺失去应有的精度。

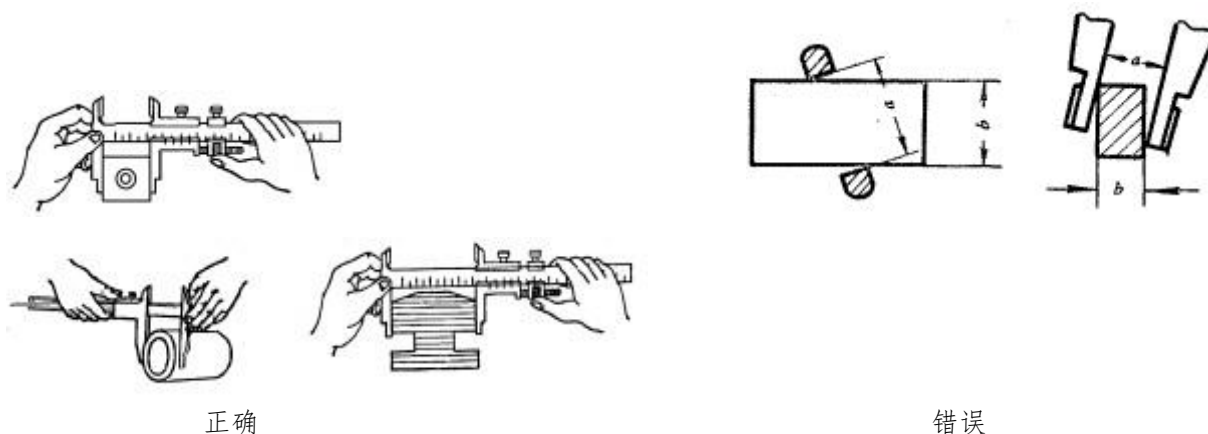


图1 测量外尺寸时正确与错误的位置

测量沟槽时，应当用量爪的平面测量刃进行测量，尽量避免用端部测量刃和刃口形量爪去测量外尺寸。而对于圆弧形沟槽尺寸，则应当用刃口形量爪进行测量，不应当用平面形测量刃进行测量，如2-7所示。

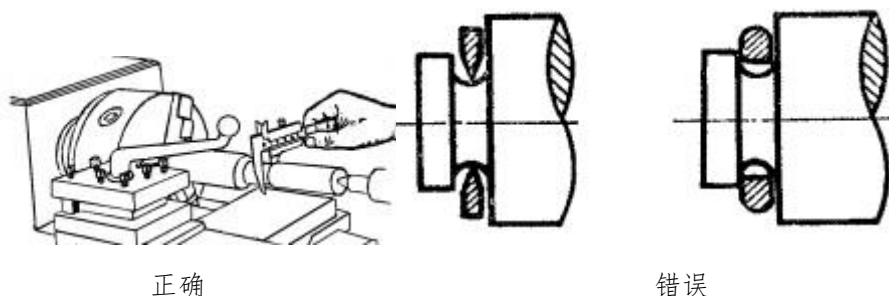


图2 测量沟槽时正确与错误的位置

测量沟槽宽度时，也要放正游标卡尺的位置，应使卡尺两测量刃的连线垂直于沟槽，不能歪斜。否则，量爪若在如图2-8所示的错误的位置上，也将使测量结果不准确（可能大也可能小）。

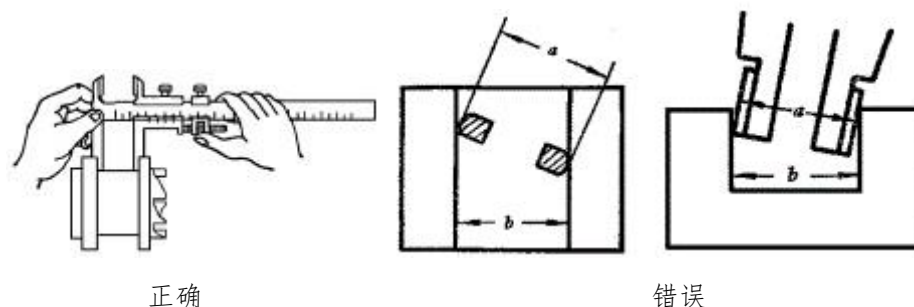


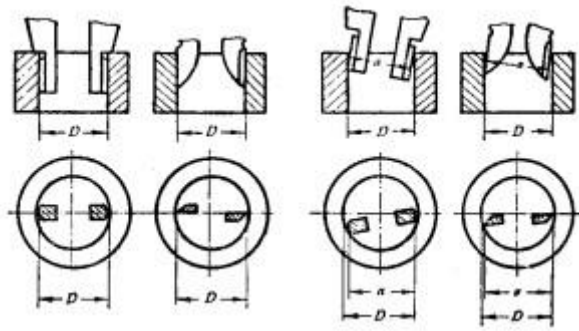
图3 测量沟槽宽度时正确与错误的位置

4 当测量零件的内尺寸时：图2-9所示。要使量爪分开的距离小于所测内尺寸，进入零件内孔后，再慢慢张开并轻轻接触零件内表面，用固定螺钉固定尺框后，轻轻取出卡尺来读数。取出量爪时，用力要均匀，并使卡尺沿着孔的中心线方向滑出，不可歪斜，免使量爪扭伤；变形和受到不必要的磨损，同时会使尺框走动，影响测量精度。



图2-9 内孔的测量方法

卡尺两测量刃应在孔的直径上，不能偏歪。图2-10为带有刃口形量爪和带有圆柱面形量爪的游标卡尺，在测量内孔时正确的和错误的位置。当量爪在错误位置时，其测量结果，将比实际孔径D要小。



正确

错误

图 2-10 测量内孔时正确与错误的位置

5 用下量爪的外测量面测量内尺寸时如用图 2-2 和图 2-3 所示的两种游标卡尺测量内尺寸，在读取测量结果时，一定要把量爪的厚度加上去。即游标卡尺上的读数，加上量爪的厚度，才是被测零件的内尺寸，见图 2-11。测量范围在 500mm 以下的游标卡尺，量爪厚度一般为 10mm。但当量爪磨损和修理后，量爪厚度就要小于 10mm，读数时这个修正值也要考虑进去。

6 用游标卡尺测量零件时，不允许过分地施加压力，所用压力应使两个量爪刚好接触零件表面。如果测量压力过大，不但会使量爪弯曲或磨损，且量爪在压力作用下产生弹性变形，使测量得的尺寸不准确（外尺寸小于实际尺寸，内尺寸大于实际尺寸）。

在游标卡尺上读数时，应把卡尺水平的拿着，朝着亮光的方向，使人的视线尽可能和卡尺的刻线表面垂直，以免由于视线的歪斜造成读数误差。

7 为了获得正确的测量结果，可以多测量几次。即在零件的同一截面上的不同方向进行测量。

对于较长零件，则应当在全长的各个部位进行测量，务使获得一个比较正确的测量结果。

为了使读者便于记忆，更好的掌握游标卡尺的使用方法，把上述提到的几个主要问题，整理成顺口溜，供读者参考。

量爪贴合无间隙，主尺游标两对零。

尺框活动能自如，不松不紧不摇晃。

测力松紧细调整，不当卡规用力卡。

量轴防歪斜，量孔防偏歪，

测量内尺寸，爪厚勿忘加。

面对光亮处，读数垂直看。

### 三 游标卡尺应用举例

#### 1 用游标卡尺测量 T 形槽的宽度

用游标卡尺测量 T 形槽的宽度，如图 2-11 所示。测量时将量爪外缘端面的小平面，贴在零件凹槽的平面上，用固定螺钉把微动装置固定，转动调节螺母，使量爪的外测量面轻轻地与 T 形槽表面接触，并放正两量爪的位置（可以轻轻地摆动一个量爪，找到槽宽的垂直位置），读出游标卡尺的读数图 2-11 中用 A 表示。但由于它是用量爪的外测量面测量内尺寸的，卡尺上所读出的读数 A 是量爪内测量面之间的距离，因此必须加上两个量爪的厚度 b，才是 T 形槽的宽度。所以，T 形槽的宽度  $L=A+b$ 。

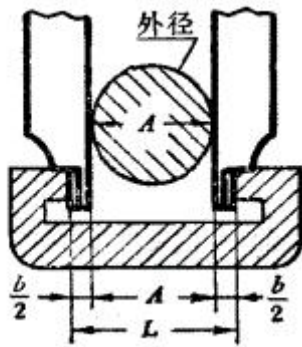


图 2-11 测量 T 形槽的宽度

## 2、用游标卡尺测量孔中心线与侧平面之间的距离

用游标卡尺测量孔中心线与侧平面之间的距离  $L$  时，先要用游标卡尺测量出孔的直径  $D$ ，再用刃口形量爪测量孔的壁面与零件侧面之间的最短距离，如图 2-12 所示。

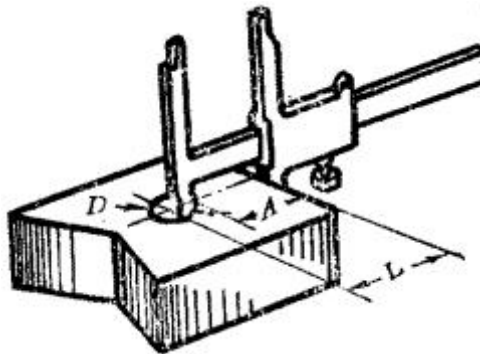


图 2-12 测量孔与测面距离

此时，卡尺应垂直于侧平面，且要找到它的最小尺寸，读出卡尺的读数  $A$ ，则孔中心线与侧平面之间的距离为：
$$L = A + \frac{D}{2}$$

## 3 用游标卡尺测量两孔的中心距

用游标卡尺测量两孔的中心距有两种方法：一种是先用游标卡尺分别量出两孔的内径  $D_1$  和  $D_2$ ，再量

出两孔内表面之间的最大距离  $A$ ，如图 2-13 所示，则两孔的中心距 
$$L = A - \frac{1}{2}(D_1 + D_2)$$

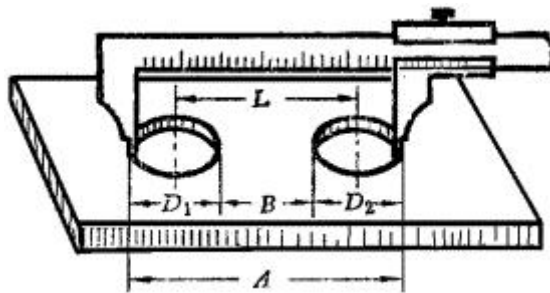


图 2-13 测量两孔的中心距

另一种测量方法，也是先分别量出两孔的内径  $D_1$  和  $D_2$ ，然后用刃口形量爪量出两孔内表面之间的最

小距离  $B$ ，则两孔的中心距 
$$L = B + \frac{1}{2}(D_1 + D_2)$$

## 2、测微螺旋量具

种类：外径千分尺，内径千分尺，深千分尺及专用原螺纹千分尺。

### 1、外径千分尺

- (1) 外径千分尺的结构
- (2) 外径千分尺的读数原理和读数方法。
- (3) 外径千分尺的使用方法
- (4) 外径千分尺的特点

### 2、其它类型千分尺简介

- (1)内径千分尺
- (2)深度千分尺
- (3)螺纹千分尺
- (4)公法线千分尺

## 二、量块

- 1、量块的形状、用途及尺寸系列
- 2、量块的尺寸组合及使用方法

### 小结：

本节介绍了技术测量的基本概念、方法和计量器具的结构、原理主要度量指标及使用方法。

实验:项目 1 游标卡尺的使用

项目 2 螺旋测微量具的使用

项目 3 量块的使用与选择

## 任务二 光滑零件尺寸检测

课时：4 课时

### 教学目的：

角度测量器具的万能角度尺，学会使用方法及读数方法，还有工作原理

### 教学重点及难点：

各测量器具的读数方法及工作原理

### 教学内容：

#### 一、极限尺寸判断原则

单一要素的孔和轴遵守包容要求时，要求其被测要素的实体处处不超过最大实体边界，而实际要素局部实际尺寸不得超过最小实体尺寸。

#### 二、光滑极限量规的检验原则

依照极限尺寸判断原则设计的量规，称为光滑极限量规（简称量规）。检验孔用的量规称为塞规，检验轴用的量规叫环规或卡规。量规由通规（通端）和止规（止端）所组成。通规和止规是成对使用的。检验时，通规通过被检轴、孔则表示工件的作用尺寸没有超出最大实体边界。而止规不通过，则说明该工件实际尺寸也正好没有超越最小实体尺寸。故零件合格。

#### 三、滑极限量规的分类

按用途分：工作量规、验收量规、校对量规

- 1 工作量规——工人在加工中用它来测工件的。通端：T 止端：Z
- 2 验收量规——检验部门或用户来验收零件的。
- 3 校对量规——用来校对轴用量规，以发现卡规是否已磨损或变形。  
TT→校通—通量规（通过被测卡规的通端）防止尺寸过小  
TS→校通—损量规（不通过被测卡规的通端）防止尺寸过大

ZT→校止—通量规（通过被测卡规的通端）防止尺寸过小  
对于孔量规的校对一般用通用量仪来校对。

#### 四、工作量规的设计

##### 1、工作量规的公差带

1) 作量规基本尺寸的确定：各种量规是以被测工件的极限尺寸作为基本尺寸。

$$T=MMS : d_{max}D$$

$$Z=LMS : d_{min}D$$

2) 作量规的公差带

① 制造公差——控制量规制造时产生的误差。

② 磨损公差——规定有一个合理的寿命。

通端：制造、磨损 止端：制造

国标规定两种方案：量规公差带以不超出工件极限尺寸为原则分布在尺寸公差带之内。

通规的制造公差带对称于 Z 值。

Z——制造公差带中心至被测工件 MMS 之间的距离，其允许磨损量以工件的 MMS 为极限。

止规的制造公差带是以工件的 LMS 算起。

量规公差带中：大小要素——T；位置要素——Z。其值见 P93 表 4-15

##### 2、验收量规的公差带

没有列出单独的公差带规定：检验部门应该使用磨损较多的通规；用户使用通规接近 MMS，以及接近 LMS 的止规。

##### 3、校对量规的公差带

TT——从通规的下偏差计算起，向通规公差带内分布。

TS——从磨损极限算起向轴用公差带内分布

ZT——从止规的下偏差算起，向止规内分布。

$T_p=1/2 \times T$ 。校对量规的公差等于工作量规的一半。

##### 4、量规极限偏差的计算

一般步骤如下：

① 定量规的基本尺寸

② 查出工件的基本偏差与标准公差

③ 定量规的公差带大小 T 和位置 Z

④ 计算各种量规的上、下偏差

⑤ 最后画出公差带图

#### 五、量规的主要技术要求

1 外观要求

2 材料要求

3 量规工作部位的形位公差要求

4 量规工作表面的粗糙度要求（见表 6-4）

5 其他要求

#### 六、量规的结构

标准量规结构在 GB6322-86 光滑极限量规型式和尺寸中已作规定。

##### 小结：

本节介绍了检验用的量具。塞规和卡规并且在实际检验中的应用。

## 项目三 形位公差及其检测（20 学时）

**教学目的和要求：**

- 1.理解图样上标注的形位公差的含义。
- 2.掌握形位公差代号及标注方法和检测方法。被测要素的标注方法；基准要素的标注方法；形位公差标注中的有关问题；形位公差值及有关规定。

**思政元素融入：**培养增强质量意识和工程伦理意识。

### 任务一 形位公差概述

**课时：**2 课时

**教学目的和要求：**

- 1、形位公差的研究对象；形位公差的特征项目、符号。
- 2、理解形位公差的特征项目的符号。
- 3、掌握形位公差的基本概念、理解形状公差带各项目的定义及解释。

**教学重点及难点：**

零件要素概念、形状公差各项目的定义及解释

**教学方法及手段：**讲授、举例分析

**教学内容：**

#### 一、零件的几何要素

#### 二、形位公差的项目及符号

##### ①形状公差

- 1) 直线度：限制实际直线的形状误差（即直线度误差）。
- 2) 平面度：限制实际平面的形状误差（即平面度误差）。
- 3) 圆 度：限制实际圆的形状误差（即圆度误差）。
- 4) 圆柱度：限制实际圆柱面的形状误差（即圆柱度误差）。

##### ②形状或位置公差

包括线轮廓度和面轮廓度。

##### ③位置公差

包括定向、定位、跳动三种。

##### (1) 定位公差

- 1) 平行度：限制 A 对 B 的平行度误差。
- 2) 垂直度：限制 A 对 B 的垂直度误差。
- 3) 倾斜度：限制 A 对 B 的倾斜度误差。

##### (2) 定向公差

- 1) 同轴度：限制 A 对 B 的同轴度误差。
- 2) 对称度：限制 A 对 B 的对称度误差。
- 3) 位置度：限制 A 对 B 的位置度误差。

##### (3) 跳动公差

- 1) 圆跳动：限制 A 对 B 的圆跳动误差，分为径向、端面、斜向圆跳动三种。
- 2) 全跳动：限制 A 对 B 的全跳动误差，分为径向、端面全跳动两种。

#### 三、形位公差带形状及其应用范围。

##### 1) 公差带形状

##### ①两平行直线

适用于直线；应用于直线度，平行度，垂直度，倾斜度，对称度，位置度等公差特征项目。

②两同心圆

适用于球面，圆锥面，圆柱面，圆；应用于圆度，径向圆跳动两项公差特征项目。

③一个圆柱

适用于直线；应用于直线度，平行度，垂直度，倾斜度，同轴度，位置度六项公差特征项目。

④两同轴圆柱

适用于平面，直线；应用于圆柱度和径向全跳动两项公差特征项目。

⑤两平行平面

适用于平面，直线；用于直线度，平面度，垂直度，倾斜度，对称度，位置度，端面全跳动八项公差特征项目。

⑥一个圆

适用于点（平面点）；应用于同轴度，位置度两项公差特征项目。

⑦一个球

适用于点（空间点）；应用于位置度一项公差特征项目。

2) 公差带的大小

公差带的大小用以体现形位精度要素的高低，是由图样上给出的形位公差值确定的，一般指形公差带的宽度或直径。

#### 四、形位公差的等级与公差值

小结：

1. 明确有关几何要素的几个术语（理想要素和实际要素、单一要素与关联要素）。
2. 掌握形位公差项目的符号及其标注的方法。

## 任务二 形位公差的标注

课时：2 课时

教学目的和要求：

- 1、形位公差的研究对象；形位公差的特征项目、符号。
- 2、理解形位公差的特征项目的符号。
- 3、掌握形位公差的基本概念、理解形状公差带各项目的定义及解释。

教学重点及难点：

零件要素概念、形状公差各项目的定义及解释

教学方法及手段：讲授、举例分析

教学内容：

### 一、形位公差的代号和基准符号

- 1、形位公差的代号
- 2、基准符号

### 二、被测要素的标注方法

### 三、基准要素的标注方法

### 四、形位公差的其他标注规定

- 1、限定被测要素或基准要素的范围
- 2、对公差数值有附加说明时的标注
- 3、同一被测要素有多项形位公差要求时的标注
- 4、不同的被测要素有相同的形位公差要求时，可以在从框格引出的指引线绘制出多个指示箭

头，分别指向各被测要素。

**小结：**

1. 明确有关几何要素的几个术语（理想要素和实际要素、单一要素与关联要素）。
2. 掌握形位公差项目的符号及其标注的方法。

### 任务三 形位公差及公差带

**课时：6 课时**

**教学目的和要求：**

使学生可独立进行形位公差标注及形位公差标注的识读

**教学重点及难点：**

形位公差标注的基本原则及方法

**教学方法及手段：**讲授、举例分析

**教学内容：**

#### 一、形状公差

- 1、平面度公差
- 2、平面度公差
- 3、圆度公差
- 4、圆柱度公差

#### 二、位置公差

标准指出，位置公差是关联实际要素的位置对基准所允许的变动全量。

位置公差又分为定向公差，定位公差和跳动公差三类。

##### 1、定向公差

- (1)平行度公差
- (2)垂直度公差
- (3)倾斜度公差

##### 2、定位公差

- (1)同轴度公差
- (2)对称度公差
- (3)位置度公差

##### 3、圆跳动公差

跳动公差是关联实际要素绕基准轴线旋转一周或若干次旋转时所允许的最大跳动量。

##### (1)圆跳动公差

##### (2)全跳动公差

**小结：**

形状公差重点讲述形状公差的概念及各种形状公差带的特征。位置公差重点讲述位置公差，同一要素上形状公差与位置公差的关系；各项位置公差带的特征。

### 任务四 形位公差原则及要求

**课时：4 课时**

**教学目的和要求：**

- (1)了解有关术语及定义。
- (2)掌握独立原则和相关要求。

**教学重点及难点：**

形位公差相关要求

**教学方法及手段：**讲授、举例分析

## 教学内容:

### 一 公差原则的有关术语及定义

- (一) 局部实际尺寸
- (二) 作用尺寸
- (三) 实体状态、 实体尺寸和实体边界
- (四) 实体实效状态、 实体实效尺寸和实体实效边界

### 二 独立原则

- (一) 独立原则的含义
- (二) 独立原则的识别
- (三) 独立原则的应用

### 三 相关要求

- (一) 包容要求含义、标注及意义
- (二) 最大实体要求含义、标注及应用
- (三) 最小实体要求含义、标注及应用
- (四) 零形位公差含义
- (五) 可逆要求应用

## 任务五 形位公差的选择

课时: 2 课时

### 教学目的和要求:

- (1)掌握形位公差项目、公差原则和形位公差等级的选择。
- (2)了解基准的选择。

### 教学重点及难点:

形位公差等级的选择

教学方法及手段: 讲授、举例分析

### 教学内容:

选择形位公差项目的基本原则是:在保证零件功能的前提下,尽可能选用最经济的公差值。

形位公差的选择主要:

形位公差项目的选择

基准的选择

公差原则的选择

形位公差等级 (公差值)的选择

## 任务六 形位误差的检测

课时: 4 课时

### 教学目的和要求:

- (1)掌握形位误差的检测原则。
- (2)掌握形位误差及其评定的相关知识。

### 教学重点及难点:

形位误差的检测原则及方法

教学方法及手段: 讲授、实验

### 教学内容:

一 形位误差的检测原则

- (一) 与理想要素比较的原则
- (二) 测量坐标值的原则
- (三) 测量特征参数的原则

- (四) 测量跳动的原则
- (五) 控制实效边界的原则

- 二 形位误差及其评定
  - (一) 形状误差及其评定
  - (二) 位置误差及其评定

- 实验：1、直线度测量  
2、平面度测量  
3、圆跳动测量等

## 实验四 直线度的测量

常用的测量方法有直尺法、准直法、重力法和直线法等；

**直尺法** 常用直尺、平尺等以光隙法和指示表法等进行测量。它以石英直尺、平尺的测量面作为已知平面与被测直线比较，通过电学式长度传感器或测高仪或量表记录被测直线与基准的比较值来测量直线度

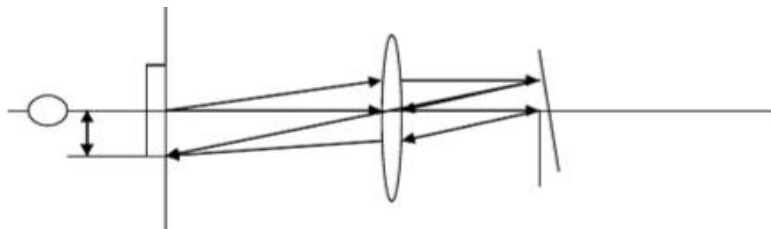
**光学自准直法** 用自准直仪测量。将被测全长分成若干段,测出各段的倾斜角。通过作图或计算求出直线度。

**重力法** 利用液体自动保持水平或重物自动保持铅直的重力现象测量直线度。常用的量仪是水平仪，也有利用液体的水平面作为测量面与被测面比较来测量直线度误差的。

**直线法** 利用钢丝和激光束等测量直线度。

此外，还可以利用平晶、激光干涉仪及其直线度测量附件测量直线度误差，测量精确度很高。

1、自准直原理简介：自准直仪将一个刻线的图像以平行光束（准直光）的形式投射到反射镜上，该反射镜将其光束反射回自准直仪。这就是自准直图像。如果反射镜与光轴垂直，则光束将反射回其自身。如果反射镜倾斜一个角度  $\alpha$ ，则其反射光将以角度  $2\alpha$  反射回来。根据反射光的倾斜程度，自准直图像会以更大或更小的角度发生位移。通过测量自准直图像在 X 轴及 Y 轴上的位移可以测得反射镜的角度变化。



## 2、准直仪的应用



### (1) 使用前的准备

自准直仪放置一定要稳固可靠、位置合适，跟被测物尽量在一直线上；反射镜也应该尽量与被测直线垂直，

反射面应保持清洁；选择合适的桥板，一般选择桥板的长度为 200mm；当被测直线太长时可以增大桥板长度；

反射镜在近距离时，先调整准直仪左右上下找到反射回来的分划板光斑；然后将反射镜往远处缓慢移动，分划板光斑肯定会左右上下移动，调节准直仪，尽量使光斑在中心。当分划板图像模糊、淡化到将要看不清时，停止反射镜的移动，调节反射镜左右上下角度，使光斑清晰后，继续移动，直到到达被测直线最远端光斑清晰为止；

### (2) 直线度的测量

反射镜调整后，开始直线度的测量了。将反射镜移动到离准直仪最近端，读得准直仪的读数，并记录；再移动反射镜桥板的长度后，停下再读数再记录，直到反射镜到达最远端为止；例如记录数据为：15' 30"，15' 36"，15' 40"，15' 27"，15' 24"。设第一个数据为 0 点，数据依次为：0"，6"，10"，-3"，-6"；记录的数据是角度需转化为距离；



$$H = \operatorname{tg} \alpha * L$$

$$\alpha = 1'' \quad L = \text{桥板长度}$$

桥板长度就定为 200mm；

$$H = \operatorname{tg}(1/3600 \times \pi / 180) * 200 = 200\pi / 648000 = 0.001$$

数据依次为：0 $\mu\text{m}$ ，6 $\mu\text{m}$ ，10 $\mu\text{m}$ ，-3 $\mu\text{m}$ ，-6 $\mu\text{m}$

若桥板长度为 400mm；则

$\alpha = 1''$  时  $H = 0.002$  数据依次为：0 $\mu\text{m}$ ，12 $\mu\text{m}$ ，20 $\mu\text{m}$ ，-6 $\mu\text{m}$ ，-12 $\mu\text{m}$

若桥板长度为 100mm；则

$\alpha = 1''$  时  $H = 0.0005$  数据依次为：0 $\mu\text{m}$ ，3 $\mu\text{m}$ ，5 $\mu\text{m}$ ，-1.5 $\mu\text{m}$ ，-3 $\mu\text{m}$

即  $H = \text{桥板长度} / 200 * \alpha$  ( $\alpha$  单位为秒)

### (3) 数据处理

数据处理有 1) 图解法 2) 旋转法 3) 列表计算法 4) 解析法

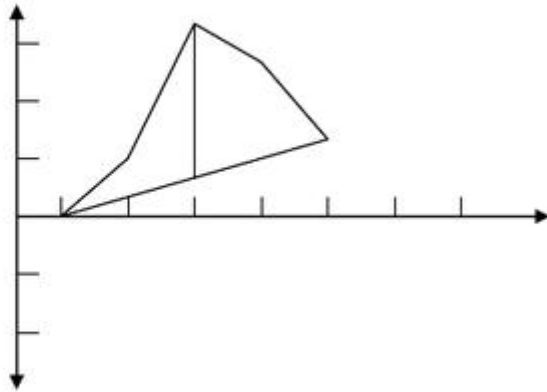
我公司现使用的是图解法，下面讲述图解法的详细运用

以桥板 200 为例，数据为 0 $\mu\text{m}$ ，6 $\mu\text{m}$ ，10 $\mu\text{m}$ ，-3 $\mu\text{m}$ ，-6 $\mu\text{m}$ ；然后累加得：

0 $\mu\text{m}$ ，6 $\mu\text{m}$ ，16 $\mu\text{m}$ ，13 $\mu\text{m}$ ，7 $\mu\text{m}$

以横坐标  $x$  表示测量间距，纵坐标表示量值。将测量间隔和相应测点的量值分别按一定比例标在坐标纸上。然后把各测点用线段连成一条误差折线，然后再作一

一条直线连接折线首尾，在 Y 方向上离直线最远的距离就是直线度误差值。



上面图形的折线就是直线的大致轮廓

## 实验五 平面度误差的测量

### 一、实验目的

1. 了解平面度误差的测量原理及千分表的使用方法。
2. 掌握平面度误差的评定方法及数据处理。

### 二、实验内容

用千分表测量平面度误差。

### 三、测量原理

平面度公差用以限制平面的形状误差。其公差带是距离为公差值的两平行平面之间的区域。并规定，理想形状的位置应符合最小条件，常见的平面度测量方法有用指示表测量、用水平仪测量平面度及用自准仪和反射镜测量平面度误差，用各种不同的方法测得的平面度测值，应进行数据处理，然后按一定的评定准则处理结果。平面度误差的评定方法有：

1. 最小包容区域法，由两平行平面包容实际被测要素时，实现至少四点或三点接触。且具有下列形式之一者，即为最小包容区域，其平面度误差值最小。最小包容区域的判别方法有下列三种形式。

(1) 两平行平面包容被测表面时，被测表面上有 3 个最低点（或 3 个最高点）及 1 个最高点（或 1 个最低点）分别与两包容平面接触，并且最高点（或最低点）能投影到 3 个最低点（或 3 个最高点）之间，则这两个平行平面符合最小包容区原则。见图 1(a) 所示。

(2) 被测表面上有 2 个最高点和 2 个最低点分别与两个平行的包容面相接触，并且 2 个最高点投影于 2 个低点连线之两侧。则两个平行平面符合于平面度最小包容区原则。见图 1(b) 所示。

(3) 被测表面的同一截面内有 2 个最高点及 1 个低点（或相反）分别和两个平行的包容面相接触。则该两平行平面符合于平面度最小包容区原则，如图 1(c) 所示。

图1 平面度误差的最小区域判别法

三角形法是以通过被测表面上相距最远且不在一条直线上的3个点建立一个基准平面，

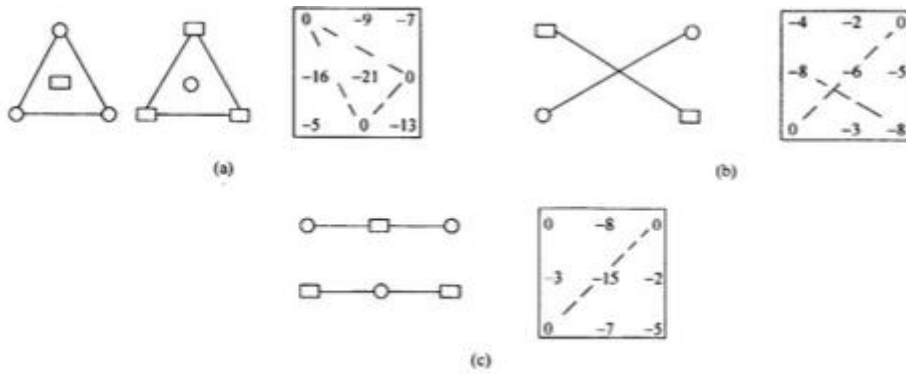


图1 平面度误差的最小区域判别法

三角形法是以通过被测表面上相距最远且不在一条直线上的3个点建立一个基准平面，各测点对此平面的偏差中最大值与最小值的绝对值之和为平面度误差。实测时，可以在被测表面上找到3个等高点，并且调到零。在被测表面上按布点测量，与三角形基准平面相距最远的最高和最低点间的距离为平面度误差值。

2. 对角线法是通过被测表面的一条对角线作另一条对角线的平行平面，该平面即为基准平面。偏离此平面的最大值和最小值的绝对值之和为平面度误差。 检测:工具: 平板、带千分表的测量架等。检测时，将被测零件放在平板上，带千分表的测量架放在平板上，并使千分表测量头垂直地指向被测零件表面，压表并调整表盘，使指针指在零位。然后，按（图2）所示，将被测平板沿纵横方向均布画好网格，四周离边缘10mm，其画线的交点为测量的9个点。同时记录各点的读数。全部被测点的测量值取得后，按对角线法求出平面度误差值。

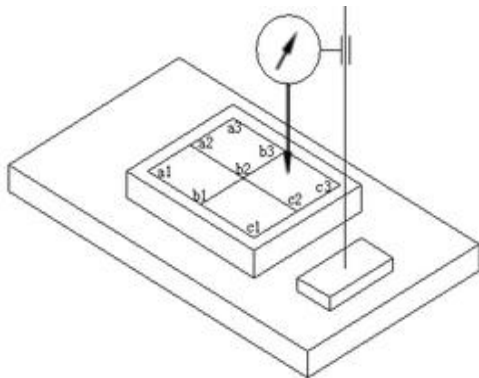


图2

1. 数据处理 数据处理的方法有多种，有算法、作图法等。下面介绍用对角线法求取平面度误差值的方法。



图3

(1)令 图3 中的  $1a-1c$  为旋转轴，旋转量为  $P$ 。则有

$a_1$	$a_2 + P$	$a_3 + 2P$
$b_1$	$b_2 + P$	$b_3 + 2P$
$c_1$	$c_2 + P$	$c_3 + 2P$

图 4

(2) 令图 4 中的  $1a-1a23$  为旋转轴，旋转量为  $Q$ 。则有

$a_1$	$a_2 + P$	$a_3 + 2P$
$b_1$	$b_2 + P + Q$	$b_3 + 2P + Q$
$c_1 + 2Q$	$c_2 + P + 2Q$	$c_3 + 2P + 2Q$

图 5

(3) 按对角线上两个值相等列出下列方程，求旋转量  $P$  和  $Q$

$$a_1 = c_3 + 2P + 2Q$$

$$a_3 + 2P = c_1 + 2Q$$

把求出的  $P$  和  $Q$  代入图 5 中。按最大最小读数值之差来确定被测表面的平面度误差值。

2. 例题 用千分表按图 2 所示的布线方式测得 9 点，其读数如图 6 (a) 所示。用对角线法确定平

0	-6	-16
-7	+3	-7
-10	+12	+4

图 6(a)

0	-5.5	-15
-9.5	+1	-8.5
-15	+7.5	0

图 6(b)

$$0 = 4 + 2P + 2Q$$

$$-16 + 2P = -10 + 2Q$$

$$\text{解得: } P = 0.5$$

$$Q = -2.5$$

将各点的旋转量与图 6(a) 中的对应点的值相加，即得经坐标变换后的各点坐标值。如图

6(b) 所示，由图 6(b) 可见  $a_1$  和  $c_3$  等高(0)； $c_1$  和  $a_3$  等高(-15)，则平面度误差值为：

$$\text{面度误差。 } f' = +7.5 - (-15) = 22.5 (\mu m)$$

用电子水平仪测平面度也是同样原理在平面上测横竖各 3 条数据，只是数据太多、太复杂，我们公司是将其输入雷尼绍的平面度检测软件进行计算。

## 项目四 表面粗糙度及其检测（6学时）

### 教学目的和要求：

介绍表面粗糙度的定义、评定范围与评定基准线和6个评定参数，掌握表面粗糙度标注方法及各种加工方法所能达到的值。

思政元素融入：培养增强质量意识和工程伦理意识。

### 任务一 表面粗糙度概述及评定参数

课时：2课时

### 教学目的和要求：

了解表面粗糙度对零件使用性能的影响，表面粗糙度的评定参数，熟练掌握表面特征代号及标注方法。

### 教学重点及难点：

表面粗糙度的特征符号、标注方法、标注粗糙度的数值选择。

### 教学方法及手段：讲授

#### 一、表面粗糙度的概念

##### 1、表面粗糙度

定义：表述峰谷的高低和间距状况的微观几何形状特性的术语称为表面粗糙度。

表面粗糙度反映的是零件被加工表面上的微观几何形状误差。

起伏间距 $\lambda$ ，幅度 $h$ 。

$\lambda/h < 40$ ：表面粗糙度

$\lambda/h > 1000$ ：形状误差

$40 < \lambda/h < 1000$ ：表面波度

##### 2、表面粗糙度对零件使用性能的影响

###### 1、对配合性质的影响

间隙配合： $R_a$ 过大，间隙增大，引起配合性质的改变。

过盈配合： $R_a$ 过大，实际过盈量减小，降低连接强度。

###### 2、对摩擦，磨损的影响

表面越粗糙，因摩擦而消耗的能量也越大。

某些场合，表面过于光滑，则不利于润滑油的储存。

综上所述，只有选取合适的表面粗糙度，才能有效地减小零件的摩擦和磨损。

###### 3、对抗腐蚀性的影响

###### 4、对零件强度的影响

###### 5、对接触刚度的影响

###### 6、对结合密封性的影响

##### 3、基本术语

###### 1、实际轮廓

实际轮廓是指平面与实际表面相交所得的轮廓线。

分为横向轮廓和纵向轮廓。

###### 2、取样长度（ $l$ ）

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。

在取样长度范围内，一般不少于5个以上的轮廓峰和轮廓谷。

###### 3、评定长度（ $l_n$ ）

评定长度是指评定轮廓所必需的一段长度，它可以包括一个或几个取样长度。

###### 4、基准线

基准线是用以评定表面粗糙度参数的给定的线。

(1)轮廓的最小二乘中线

(2)轮廓的算术平均中线

算术平均中线是指具有几何轮廓形状在取样长度内与轮廓走向一致的基准线，在取样长度内由该线划分轮廓使上、下两边的面积相等。

## 二、表面粗糙度的评定参数

Ra——轮廓算术平均偏差

Rz——微观不平度十点高度

Ry——轮廓最大高度

高度特性参数

(1)轮廓算术平均偏差 (Ra)

轮廓算术平均偏差是指在取样长度内轮廓偏距绝对值的算术平均值。

$$Ra = 1/n (|Y_1| + |Y_2| + \dots + |Y_n|)$$

Ra 参数能充分反映表面微观几何形状高度方面的特性，且测量方便，因而标准推荐优先选用 Ra。

(2)微观不平度二点高度 (Rz)

微观不平度十点高度是指在取样长度内 5 个最大的轮廓峰高的平均值与 5 个最大的轮廓谷深的平均值之和。

Rz 参数由于测量点不多，因而反映微观形状高度方面的特性不如 Ra 充分，但由于 Y 和 Y 值易于在光学仪器上直观地测量，计算公式也较为简单，因而也是应用比较多的参数。

(3)轮廓最大高度 (Ry)

轮廓最大高度是指在取样长度内轮廓峰顶线和轮廓谷底线之间的距离，峰顶线和谷底线分别指在取样长度内，平行于基准线。

$$Ry = Rp + Rm = Y_{pmax} + Y_{vmax}$$

Ry 值不如 Rz 值反映的几何特性准确，一般与 Ra 或 Rz 值联用，控制微观不平度的谷深，从而控制表面微观裂纹的深度，常用于受交变应力作用的工作表面及被测面积很小的表面。

国际还规定，在高度特征参数常用的参数值范围内 (Ra 为 0.025~6.3um; Rz 为 0.1~25um) 优先选用 Ra。

评定长度的选用： 均匀性较好： <5L

一般： =5L

均匀性较差： >5L

小结：

掌握表面粗糙度的概念、基本术语（取样长度 l、评定长度 l<sub>n</sub>、中线制）、主要评定参数 (Ra、Rz、Ry)。理解附加评定参数(S<sub>m</sub>、S、tp)

## 任务二 表面粗糙度参数选择及标注

课时：2 课时

教学目的和要求：

使学生较熟练掌握表面特征代号及标注方法。

教学重点及难点：

表面粗糙度符号、代号含义及标注方法。

教学方法及手段：讲授

教学内容：

## 一、表面粗糙度符号及代号

### 1、表面粗糙度的符号

- : 基本符号，表示表面可用任何方法获得。
- : 基本符号加一短划，表示表面是用去除材料的方法获得。
- : 基本符号加一小圆，表示表面是用不去除材料的方法获得。

### 2、表面粗糙度代号

在表面粗糙度符号的基础上，注出表面粗糙度数值及其有关的规定项目后就形成了表面粗糙度代号。

a1,a2——粗糙度高度参数代号及其数值

b——加工要求，镀覆，涂覆，表面处理或其它。

c——取样长度或波纹度

d——加工纹理方向

e——加工余量

f——粗糙度间距参数值或轮廓支承长度率

### 表面粗糙度高度参数

3.2 用任何方法获得的表面粗糙度,Ra 的上限值为 3.2um。

3.2max 用任何方法获得的表面粗糙度, Ra 的最大值 3.2um

3.2 用去除材料方法获得的表面粗糙度, Ra 的上限值为 3.2um。

3.2max 用去除材料方法获得的表面粗糙度, Ra 的最大值为 3.2um。

3.2 用不去除材料方法获得的表面粗糙度, Ra 的上限值为 3.2um。

3.2max 用不去除材料方法获得的表面粗糙度, Ra 的最大值为 3.2um。

1.6 用去除材料方法获得的表面粗糙度, Ra 的上限值为 3.2um, Ra 的下限值为 1.6um。

用去除材料方法获得的表面粗糙度, Ra 的最大值为 3.2um, Ra 的最小值为 1.6um。

用任何方法获得的表面粗糙度, Ry 的上限值 3.2um。

用去除材料方法获得的表面粗糙度, Ra 的最大值为 3.2um, Ry 的最大值为 12.5um。

用去除材料方法获得的表面粗糙度, Rz 的最大值为 3.2um,最小值为 1.6um。

注意: (1) 高度参数采用 Ra 时, 参数值前可不标注参数符号“Ra”, 而采用参数 Rz 或 Ry 时, 参数值前应标注相应的参数符号“Rz”和“Ry”。

(2) 当图样上标注参数的最大值(max)或(和)最小值时, 表示参数中所有的实测值均不得超过规定值。

(3) 当图样上标注参数的上限值或(和)下限值时, 表示参数中所有的实测值中允许少于总数的 16%的实测值超过规定值。

## 二、表面粗糙度在图样上的标注

1、表面粗糙度符号, 代号在图样上一般注在可见轮廓线, 尺寸界线, 引出线或它们的延长线上; 符号的尖端必须从材料外指向表面, 代号中数字及符号的注写方向必须与尺寸数字方向一致。

2、标准规定在同一图样上, 每一表面一般只标注一次, 并尽可能靠近有关的尺寸线。

3、当零件的大部分表面具有相同的表面粗糙度要求时, 对其中使用最多的一种代号可以统一注在图样的右上角, 并加注“其余”两字。

4、当零件所有表面具有相同的表面粗糙度要求时, 其代号可在图样的右上角统一标注。

## 任务三 表面粗糙度的应用及检测

**课时：**2 课时

**教学目的和要求：**

表面粗糙度参数值的合理选用。

**教学重点及难点：**

表面粗糙度的检测。

**教学方法及手段：**讲授，实操

**教学内容：**

一、表面粗糙度的选用

二、表面粗糙度的检测

1、比较法

2、光切法

3、干涉法

4、感触法

实验：表面粗糙度比较块的应用

**小结：**

- 1、掌握表面粗糙度的基本符号的意义及表面粗糙度的标注。
- 2、掌握表面粗糙度参数值（高度参数）的一般选择原则。