

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. 熟悉基准、最小条件、公差原则、几何误差检测及评定知识。
4. 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

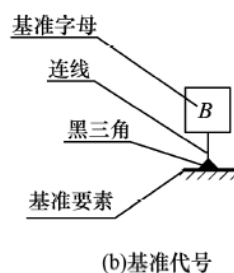
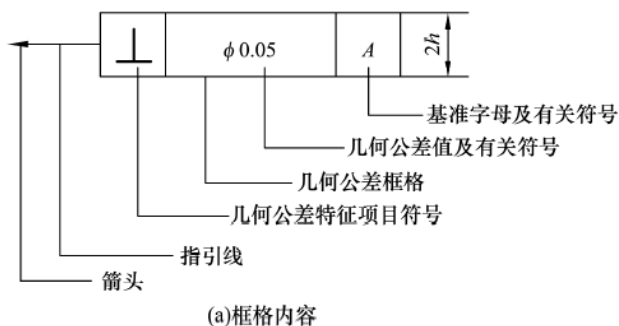
2.3.1 形位公差的特征项目、符号

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

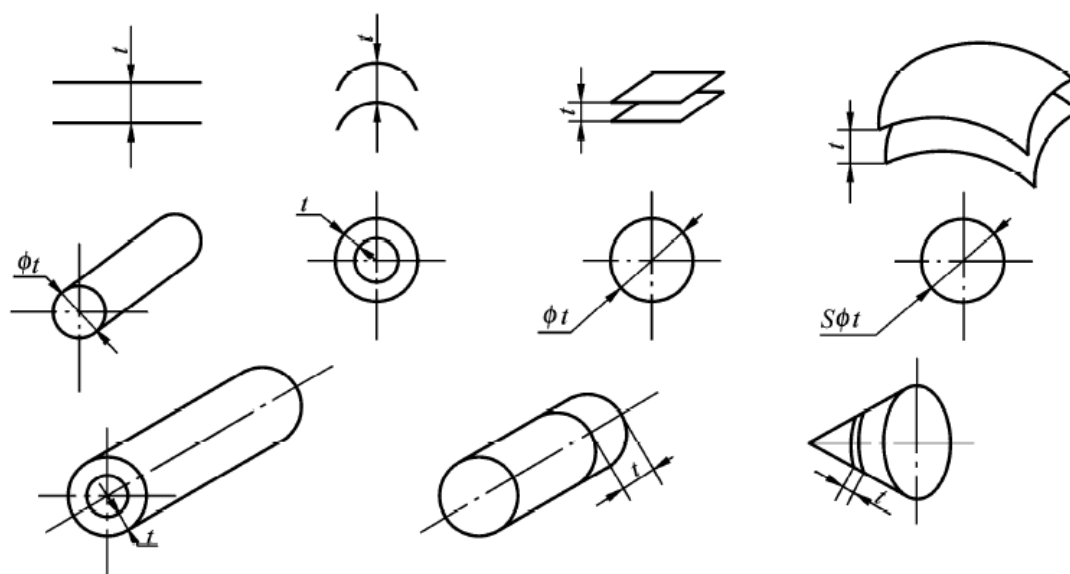
本次课以几何公差代号和基准符号的标注方法为主引入几何公差带

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 — 1 4

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

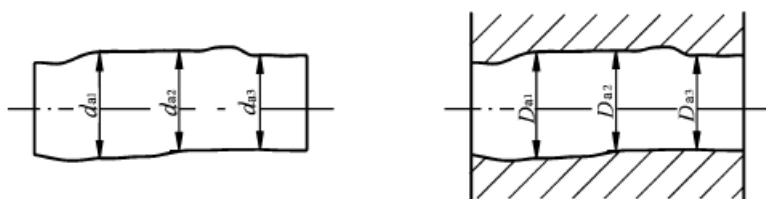
1. 提取组成要素的局部尺寸

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 $da1$ 、 $Da1$ 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 $D_{fe} = D_a - f_{\text{形位}}$

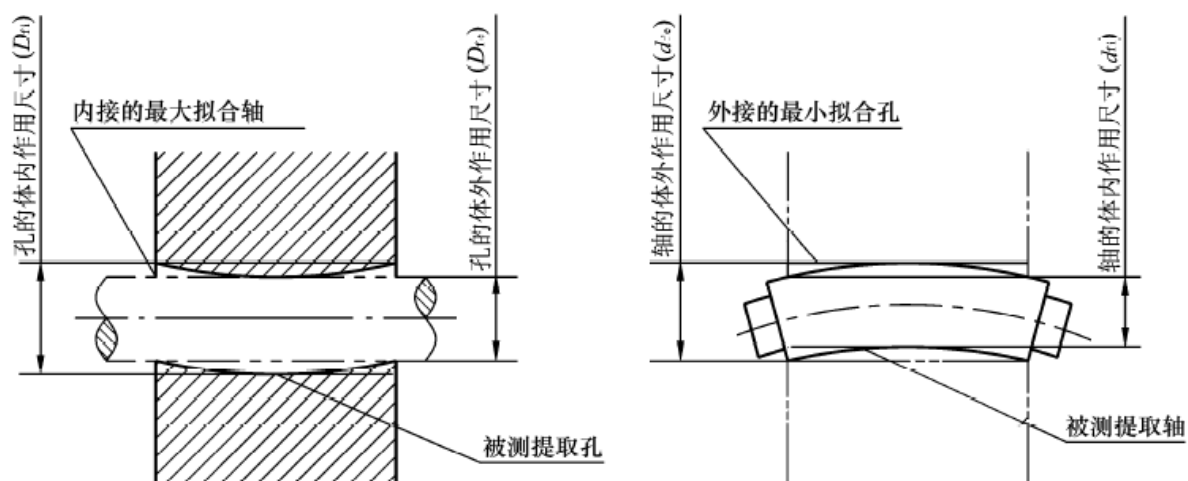
轴的体外作用尺寸为 $d_{fe} = d_a + f_{\text{形位}}$

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。

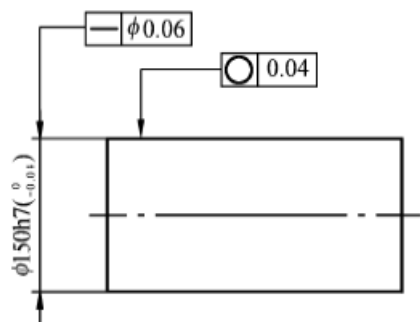
2. 标注

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。



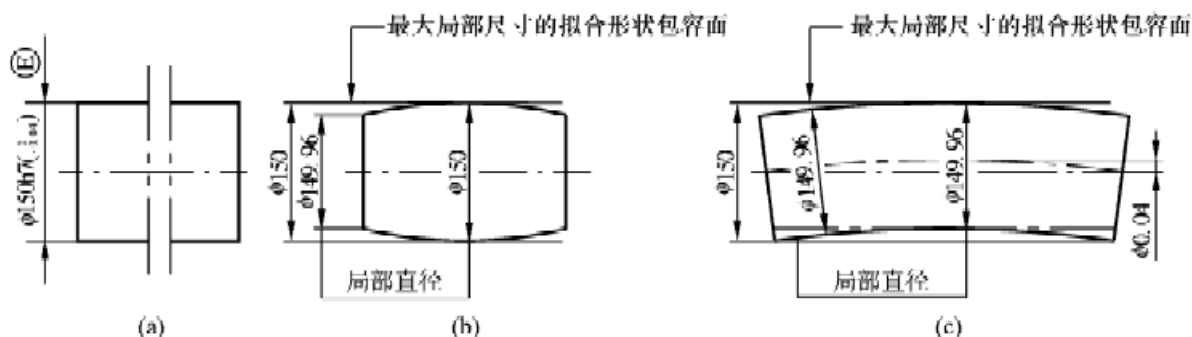
2.5.3 相关要求

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 $\textcircled{E}$ 时，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})

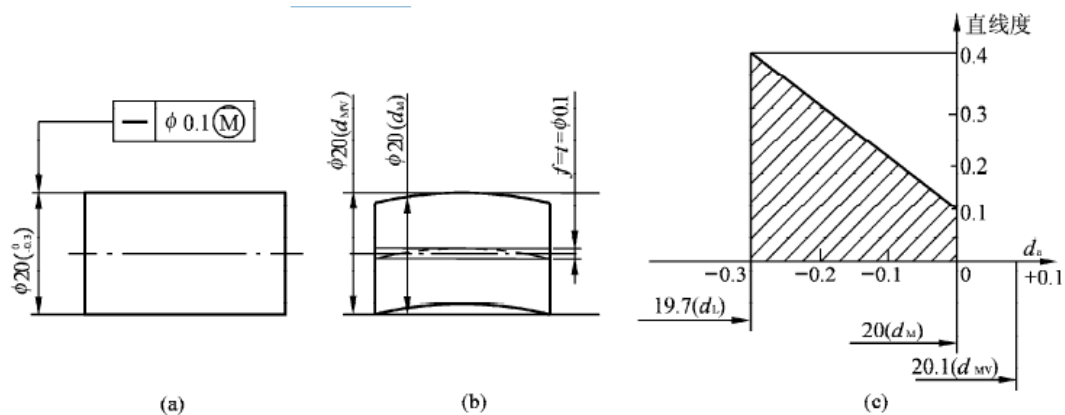
对于内表面: $D_{fe} \geq D_M$ (D_{min})

$D_a \leq D_L$ (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

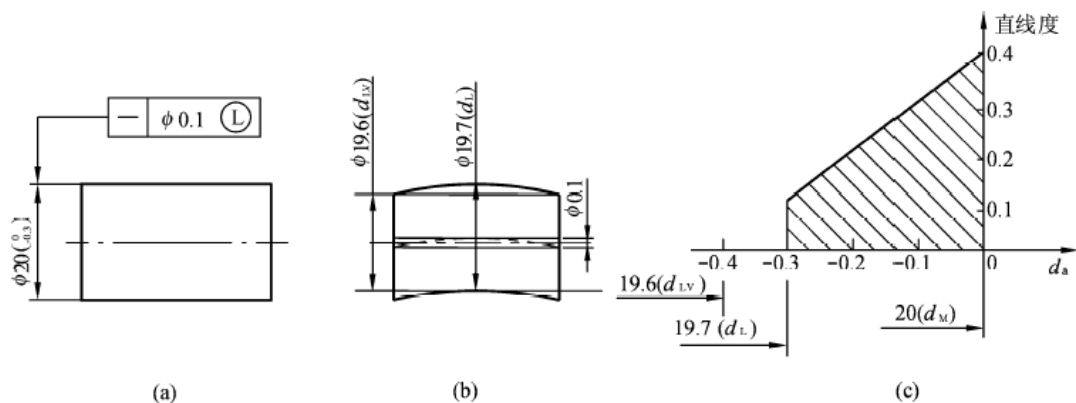
即： 对于外表面： $d_{fe} \leq d_{MV} = d_{max} + t$ $d_{max} \geq d_a \geq d_{min}$

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

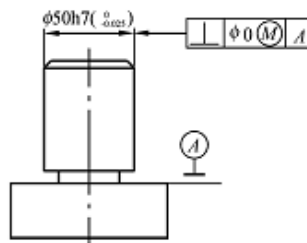
4. 可逆要求 (RR)

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

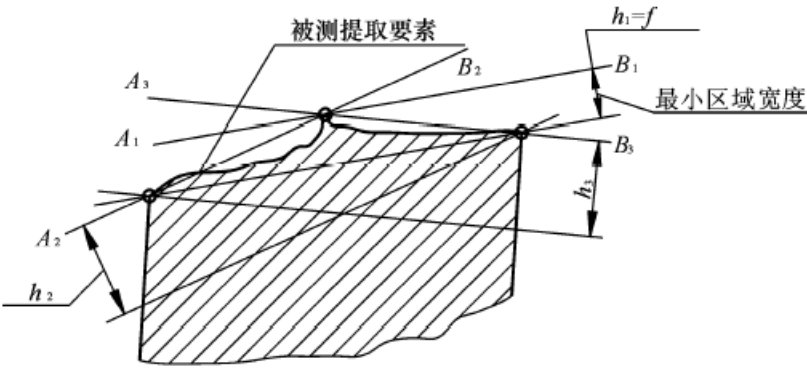
1. 形状误差的评定

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。

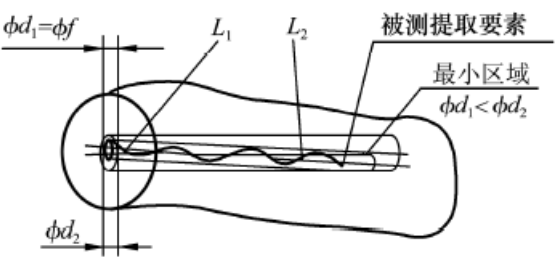
(1) 最小条件

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。



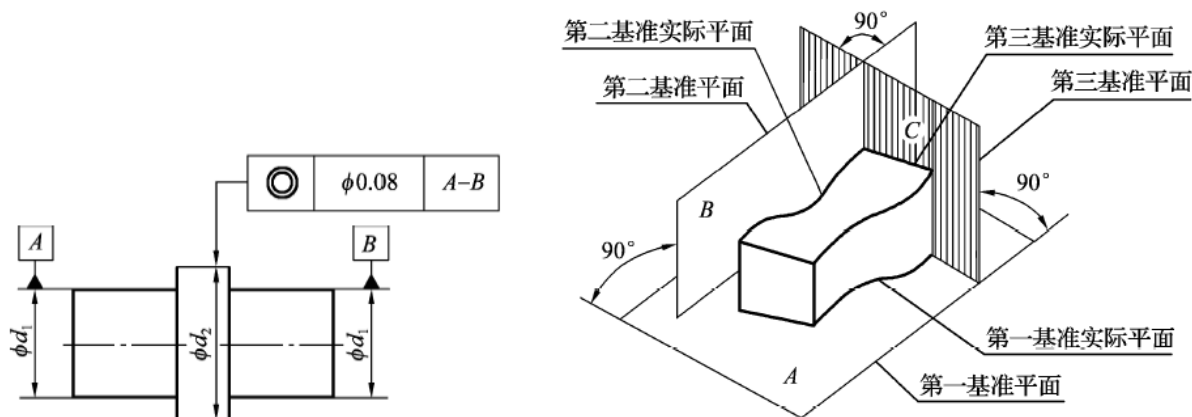
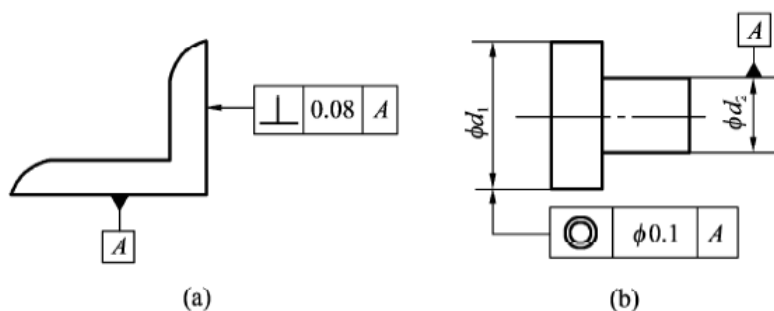
(2) 形状误差的评定方法—最小区域法

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

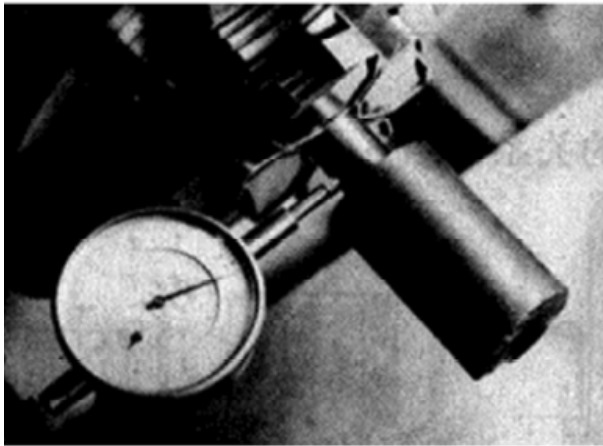
指示表是利用机械传动系统，将测量杆的直线位移转变为指针在圆度盘上的角位移，并由圆度盘进行读数的测量器具。

（1）百分表的组成及原理

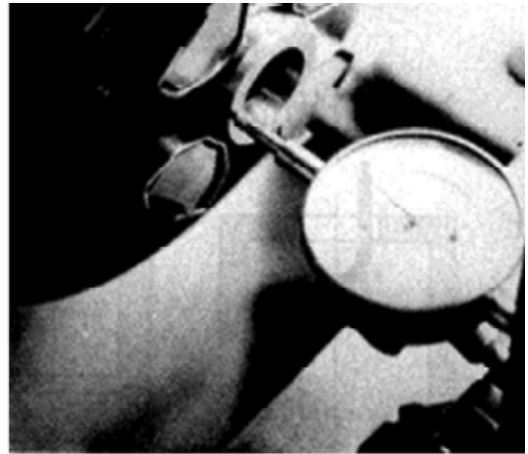
百分表是将测量杆的直线移动，经过齿轮齿条传动放大，转变为指针的转动，并在刻度盘上指示出相应的示值。

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—33）

- （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

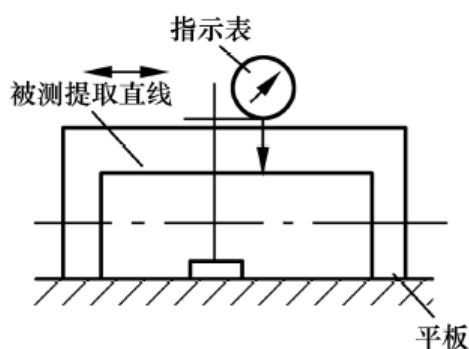
1. 指示表法测量素线的直线度

（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



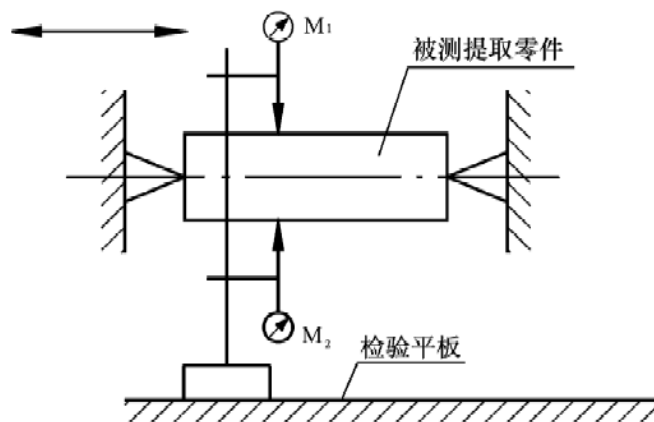
(b)测量过程

2. 轴截面法检测轴线的直线度误差（如图 2—35）

- （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。

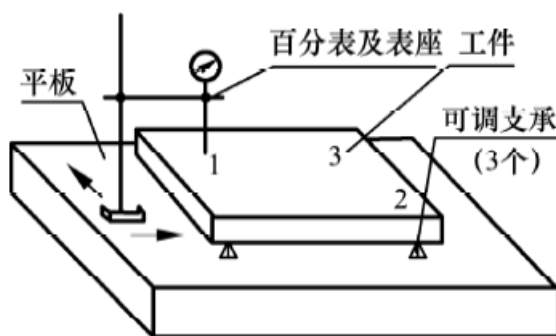
(3) 将零件转位，按上述方法测量若干截面，取其中最大误差值作为被测提取零件轴线的直线度误差。



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。

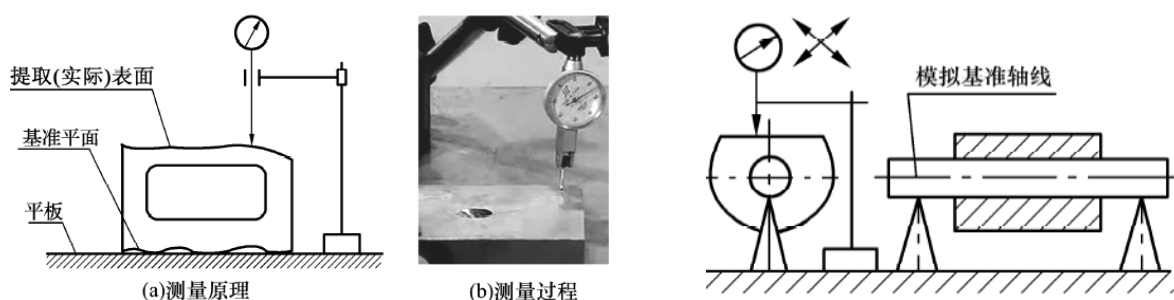
(3) 圆度测量仪测量圆度的测量方法

- 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线同轴，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。

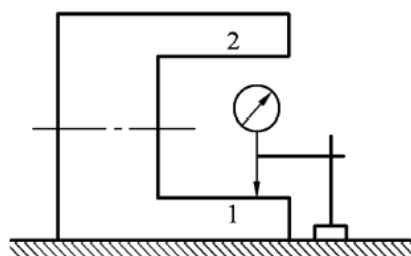


2. 测量面对线平行度

- (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，记录百分表的最大读数与最小读数。
- (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。

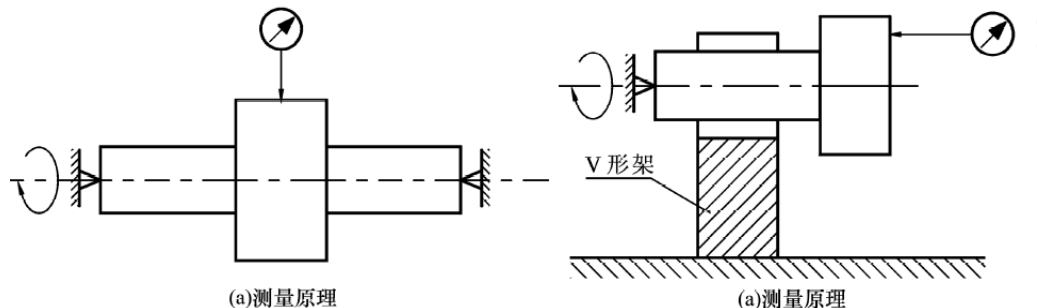
2. 测量端面圆跳动

- (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

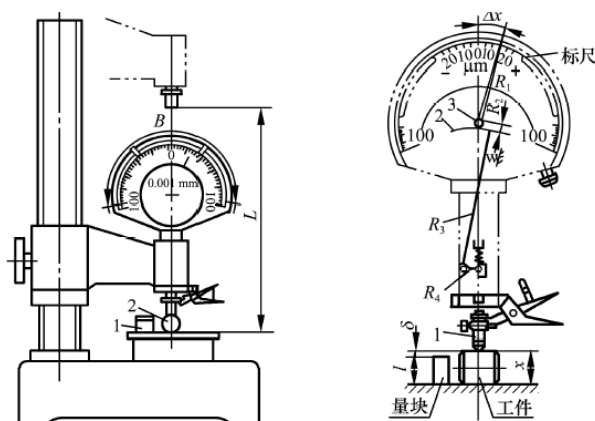
杠杆齿轮比较仪通过测量杆的上下变化带动杠杆齿轮转动，从而转换为指针的角位移。其结构主要由比较仪和比较仪座组成，如图所示。

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。

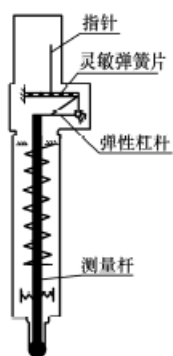


3. 扭簧比较仪的组成及原理

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