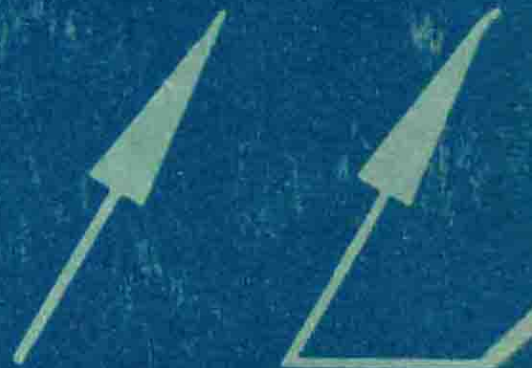
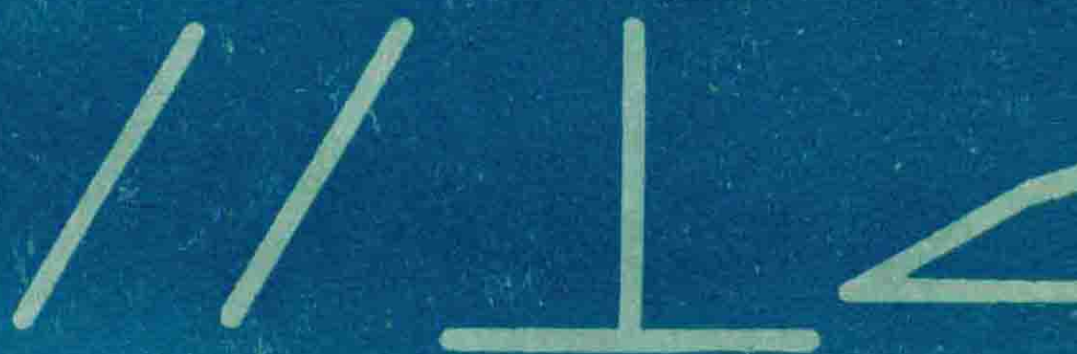


# 位置误差测量

WEI ZHI WU CHA CE LIANG



吉林省标准化协会编  
吉林省两项国标工作办公室

一九八一年九月

# 位置误差测量

吉林省标准化协会 编  
吉林省两项国标工作办公室

一九八一年九月

## 前 言

为配合《形状和位置公差》新国标的宣讲和贯彻,我们曾组织编印了《形状误差测量》专辑。在各方面的鼓励和督促下,为使形位误差测量方面有一套比较完整的参考资料,从今年五月份开始着手筹备《位置误差测量》专辑的编印工作,承蒙《形位公差》国标工作组成员甘永立、江巨源、施云鹄、邢国斌、胡大钊、蔡敦和、孙志山和吕林森等八位同志的大力支持,并由甘永立副教授主持编辑工作,使此专辑得以同读者见面。谨向给我们工作以大力支持的吉林工业大学、上海机械学院、上海广播器材厂、上海市计量技术研究所、太原重型机械学院、上海市机械制造工艺研究所、上海市轻工业局标准计量管理所等单位 and 同志致以谢意。

本专辑共收编了位置误差及其基准,有关平行度、垂直度、倾斜度、同轴度、对称度、位置度、跳动等位置误差的评定方法、测量方法和数据处理方法,以及综合量规设计等九篇专题文章,可供宣讲新国标和进行位置误差测量工作参考。另外还收编了西德标准 *DIN7168* 《形状与位置一般公差(未注公差)》的译文,供读者在学习、理解和应用未注形位公差时参考。

编辑者

一九八一年九月

# 目 录

|                                                       |                |           |
|-------------------------------------------------------|----------------|-----------|
| 位置误差及其基准.....                                         | 吉林工业大学         | 甘永立 (1)   |
| 平行度误差测量.....                                          | 上海机械学院         | 江巨源 (22)  |
| 垂直度误差测量.....                                          | 上海机械学院         | 施云鹄 (37)  |
| 倾斜度误差测量.....                                          | 上海机械学院         | 江巨源 (49)  |
| 同轴度误差测量.....                                          | 上海广播器材厂        | 邢国斌 (57)  |
| 对称度误差测量.....                                          | 上海市计量技术研究所     | 胡大钊 (72)  |
| 位置度误差测量.....                                          | 太原重型机械学院       | 蔡敦和 (89)  |
| 跳动测量 .....                                            | 上海市机械制造工艺研究所   | 孙志山 (128) |
| 综合量规的设计原理及其应用 .....                                   | 上海市轻工业局标准计量管理所 | 吕林森 (135) |
| 西德试行标准 <i>DIN</i> 7168 第二部分 形状与位置一般公差 (未注公差)<br>..... |                | (162)     |



# 位置误差及其基准

吉林工业大学 甘永立

本文以《形状和位置公差 检测规定》国家标准 (GB1958—80)为基础,叙述定向误差、定位误差和跳动的概念以及基准的建立和基准体现方法。

## 1. 位置误差

机械零件是由一些几何要素即点、线、面构成的。几何要素简称要素,可分为轮廓要素和中心要素。如图1所示,圆柱面、圆锥面、平面、球面、素线和圆锥顶点等都是轮廓要素,中心平面、轴线和中心点(球心)等都是中心要素。中心要素是随着对应的轮廓要素而假想存在的,例如由于圆柱面(轮廓要素)的存在,才假想有其轴线的存在;没有圆柱面,也就无所谓轴线。

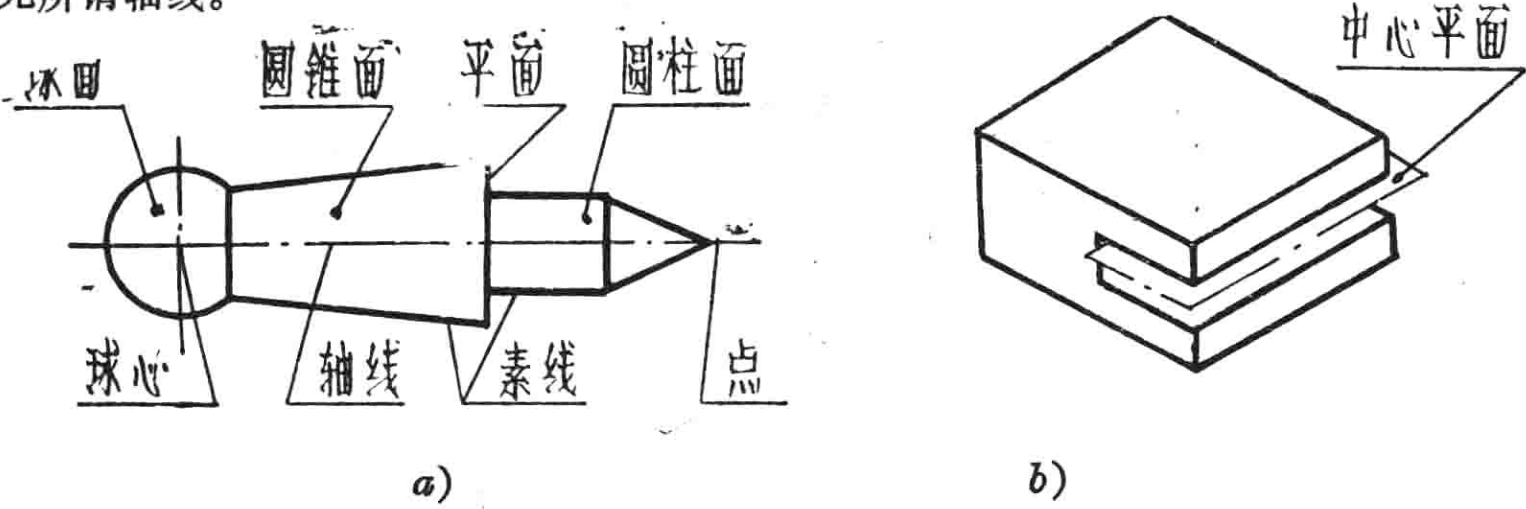


图 1

图样上给出了形状公差或(和)位置公差的要素叫做被测要素。其中,按其本身功能要求而给出形状公差的要素叫做单一要素(如图2中给出直线度公差要求的圆锥素线);对其它要素有功能关系而给出位置公差的要素叫做关联要素(如图2中的端面)。这里所说的其它要素,是据以确定关联要素的方向或位置的要素,所以叫做基准要素。而基准要素应具有理想状态,理想基准要素简称基准。

零件加工后,各实际要素均具有误差。位置误差的研究对象是关联要素。

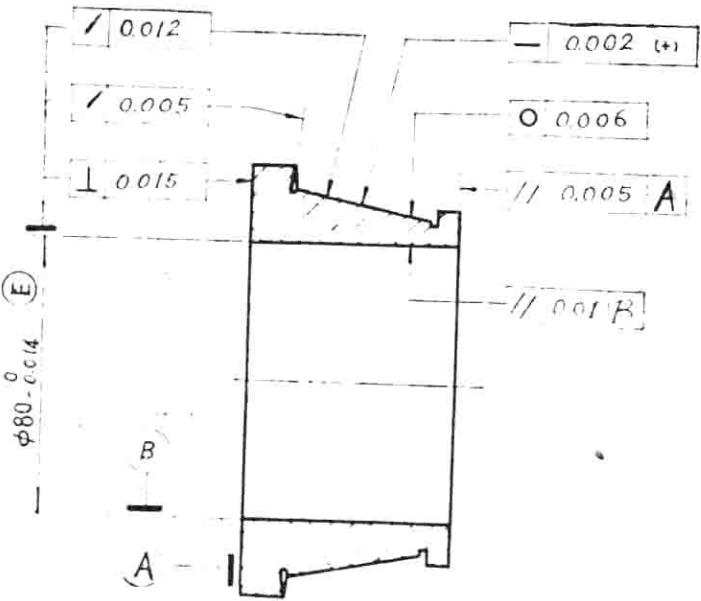


图 2

与位置公差相对应，位置误差按误差的特征分为定向误差、定位误差和跳动三类。

1.1 定向误差及其评定

定向误差是指被测实际要素（关联实际要素）对一具有确定方向的理想要素的变动量，理想要素的方向由基准确定。为了便于评定误差，GB1958—80 规定：对于中心要素，其理想要素位于被测实际要素之中（图 3）。对于轮廓要素，其理想要素位于实体之外且与被测实际要素相接触（图 4、图 5）。

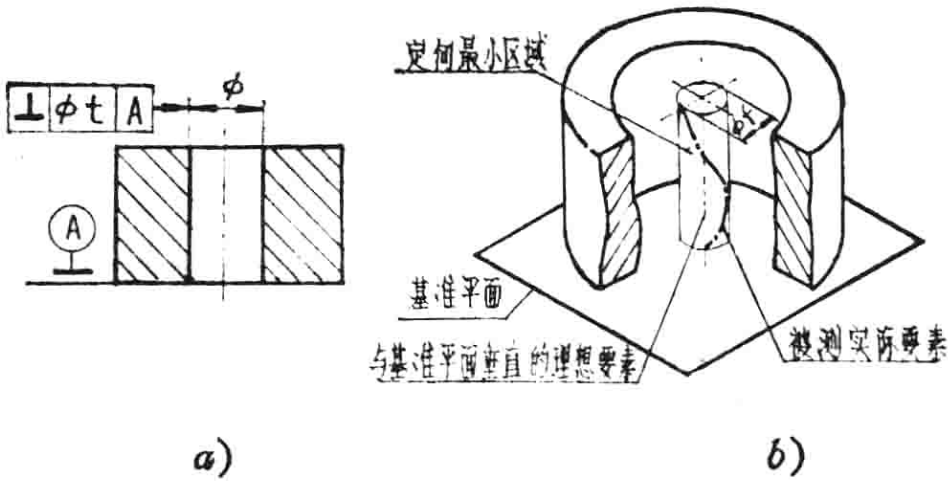


图 3

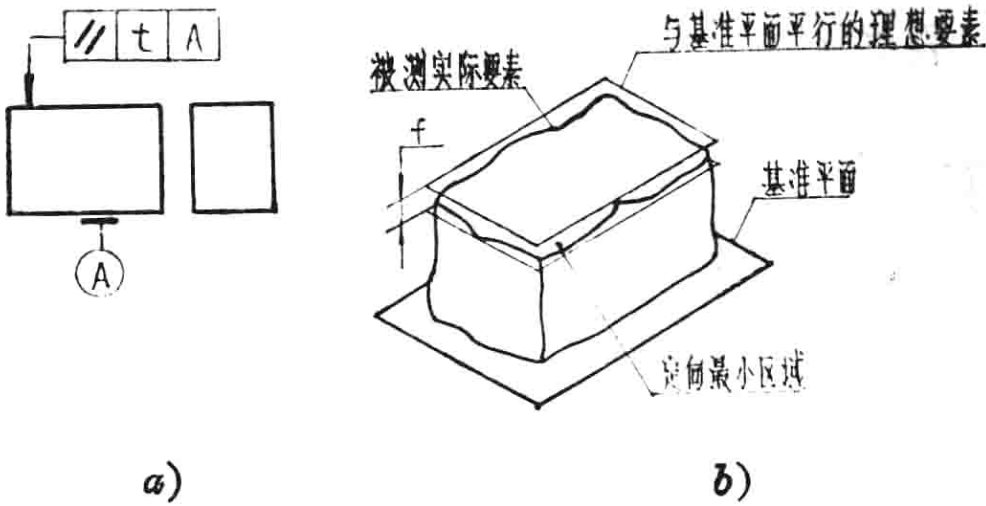


图 4

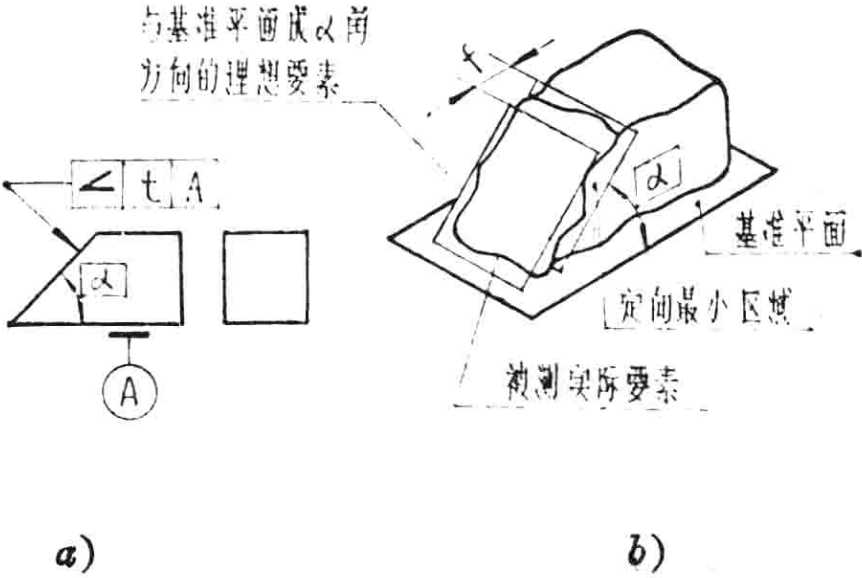


图 5

为评定定向误差，在确定理想要素的位置时，理想要素首先应受到相对于基准的方向约束，在此前提下应使被测实际要素对理想要素的最大变动量为最小。例如图3中，被测轴线相对于基准平面有垂直度要求，因此理想要素（理想轴线）首先须与基准平面垂直，在此前提下该理想轴线应放置于使被测实际轴线对它的最大变动量为最小的位置上。再如图4中，被测表面相对于基准平面有平行度要求，因此理想要素（理想平面）首先须与基准平面平行，在此前提下该理想平面应放置于使被测实际表面对它的最大变动量为最小的位置上。由此可见，定向误差中的最大变动量为最小是以“定向”为前提的，这显然与形状误差中的最小条件是有所区别的。

参看图6，将被测实际要素与其理想要素相比较时，被测实际要素对理想要素的变动量( $h_i$ )的大小各处不一定相等，而理想要素所处的位置应使被测实际要素对它的最大变动量( $h_{max}$ )为最小。因此，采用包容区域的方法来表示整个被测实际要素的定向误差值是直观而方便的。对于中心要素，以其理想要素为中心来确定包容区域（如图3和图6）；对轮廓要素，则以其理想要素作为包容区域的某个边界（如图4和图5）。形位误差采用包容区域来评定，还是由于形位公差应用公差带概念而决定的。



图6

GB1958—80规定，定向误差值用定向最小包容区域（简称定向最小区域）的宽度或直径表示，而定向最小区域是指按理想要素的方向来包容被测实际要素时，具有最小宽度 $f$ （如图4和图5）或最小直径 $\phi f$ （如图3）的包容区域。应当指出：对于中心要素，误差值等于最大变动量的两倍（如图3中 $\phi f = 2h_{max}$ ）；对于轮廓要素，误差值则等于最大变动量（如图4和图5中 $f = h_{max}$ ）。无论 $\phi f$ 或 $f$ ，都是被测实际要素的变动全量。

平行度、垂直度和倾斜度等项目的定向最小区域的形状分别和图样上给定的公差带的形状一致，这是定向最小区域与公差带有联系的方面。但是，定向最小区域的宽度或直径则由被测实际要素本身决定，这是定向最小区域与公差带有区别的方面。显然，应用定向最小区域的宽度或直径表示定向误差值时，误差值可以直接与相应的定向公差值比较，若不大于公差值，则表示被测实际要素落在相应的公差带内，被测实际要素合格。

1.2 定位误差及其评定

定位误差是指被测实际要素（关联实际要素）对一具有确定位置的理想要素的变动量，理想要素的位置由基准和理论正确尺寸确定。

参看图7，理想要素相对于基准的确定位置是由理论正确尺寸来定位的，因此通常只有某个唯一的方位。将被测实际要素与具有某一确定方位的理想要素相比较时，由被测实际要素对理想要素的最大变动量( $h_{max}$ )反映出被测实际要素的定位误差。当理想要素相对于基准有多种方位的可能时（如图11所示面对线的对称度），则应把理想要素放置于使被测实际要素对它的最大变动量为最小的位置上。与用于评定定向误差的理想要素相比较，用于评定定位

误差的理想要素除了受基准约束以外，还要受理论正确尺寸约束。

与评定定向误差值类似，定位误差值也采用包容区域来表示，包容区域的位置以理想要素为中心来确定。GB1958—80 规定，定位误差值用定位最小包容区域（简称定位最小区域）的宽度或直径表示，而定位最小区域是指以理想要素定位来包容来包容被测实际要素时，具有最小宽度 $f$ 或最小直径 $\phi f$ 的包容区域。

具体来说，对于位置度，被测要素的理想要素（点、线、面）应位于给定的理想位置上。因此，评定位置度误差值时，被测要素的理想位置由基准和理论正确尺寸确定（如图 8 所示）或者由几何图框的理想位置确定，定位最小区域以位于理想位置上的理想要素为中心来包容被测实际要素而确定，误差值为定位最小区域的宽度 $f$ 或直径 $\phi f$ ，它等于被测实际要素对理想要素的最大变动量（ $h_{max}$ ）的两倍（变动全量）。

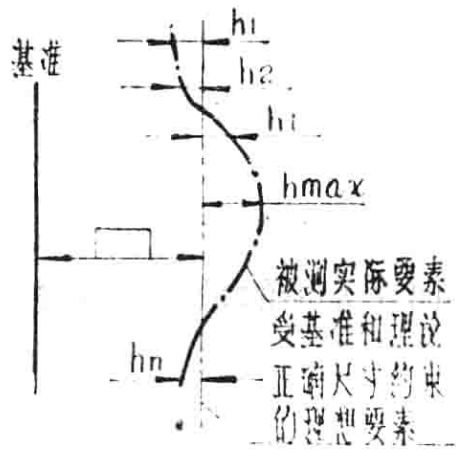


图 7

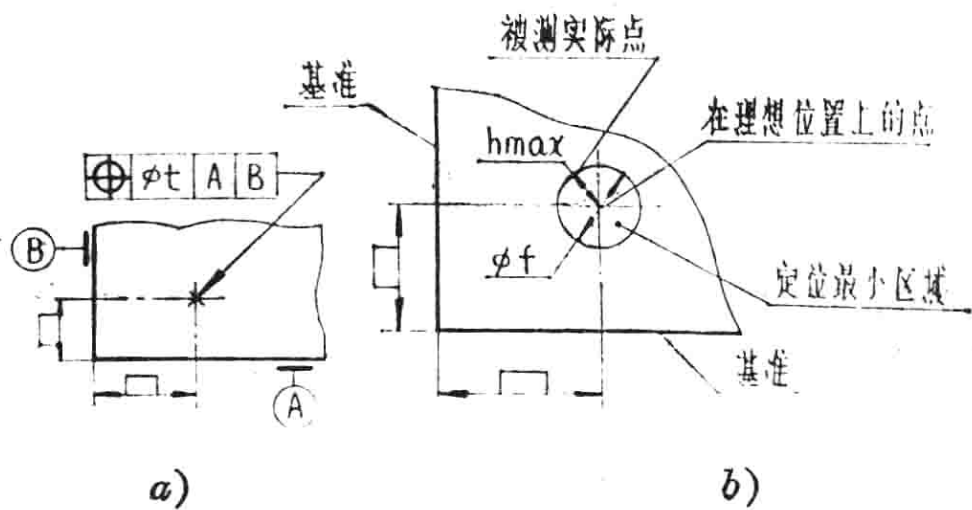


图 8

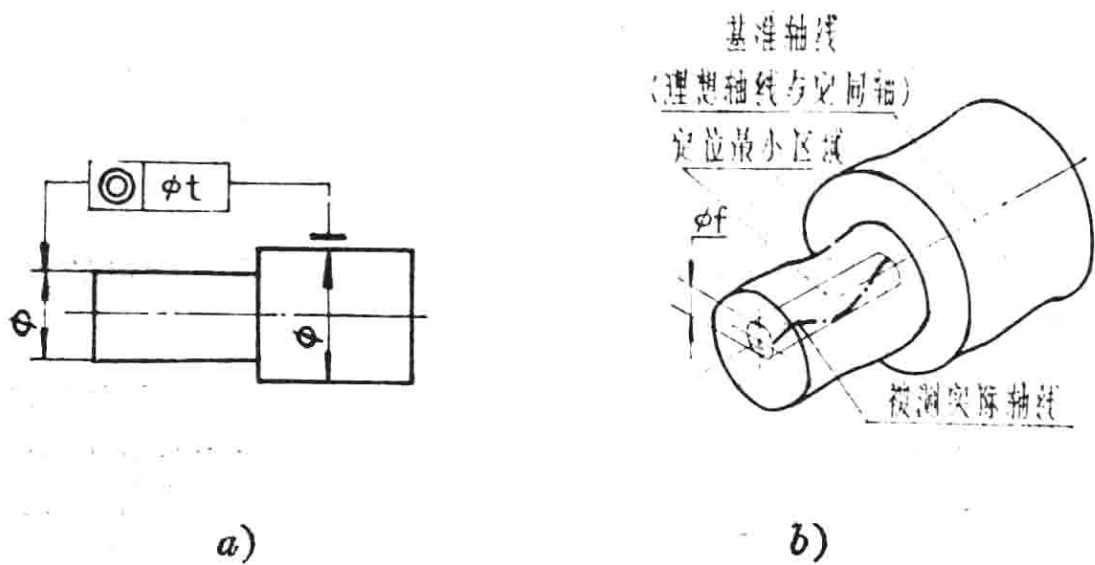
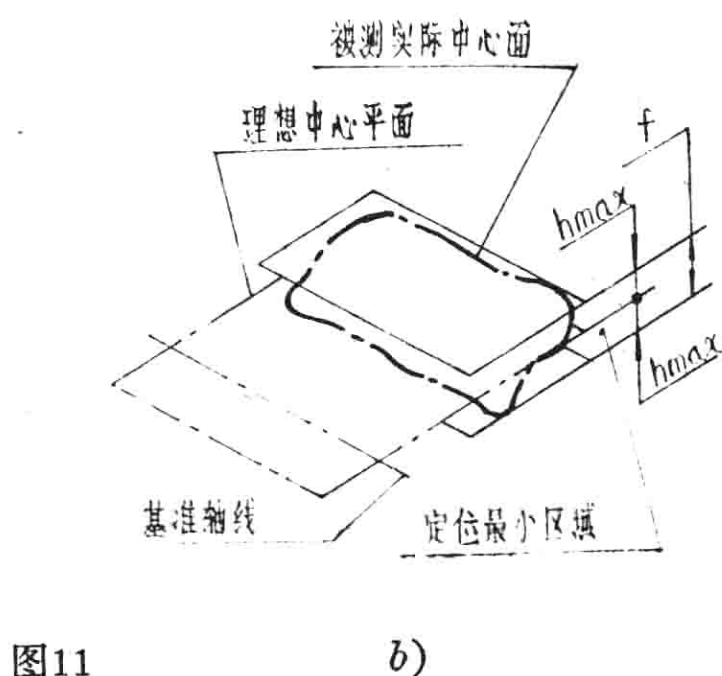


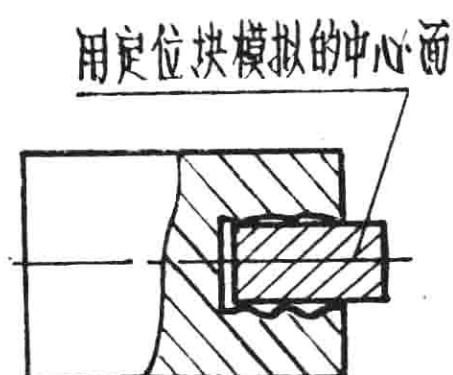
图 9



对于对称度, 被测中心平面 (或轴线) 应与基准中心平面重合 (如图10), 或应通过基准轴线 (如图11); 或者被测中心线应与基准中心线重合。于是理论正确尺寸为零。



用心轴模拟的轴线



总之，同轴度、对称度和位置度等项目的定位最小区域的形状分别和图样上给定的公差带的形状一致，但其宽度或直径则由被测实际要素本身决定。这就是说，定位最小区域与图样上给定的公差带既有联系，又有区别。定位最小区域的宽度或直径所表示的定位误差值可以直接与相应的定位公差值比较，如果前者不大于后者，则表示被测实际要素落在相应的公差带内，被测实际要素合格。

以定向、定位最小区域的宽度或直径评定的定向、定位误差值，包括了被测实际要素的形状误差。因此，为了不排除该形状误差，测量时应在被测实际要素的整个范围内进行，而不应只在极限位置上测量。

但是，在生产中为了测量方便，测量定向、定位误差时，在满足零件功能要求的前提下，对于被测实际中心要素，可以排除形状误差的影响，采用模拟的方法来体现。例如，用可胀式心轴或与孔成无间隙配合的心轴来模拟

被测实际轴线（图12），用定位块来模拟被测实际中心面（图13）。当用模拟方法体现被测实际中心要素进行测量时，就排除了被测实际中心要素的形状误差。因此，在实测范围内和所要求的范围内，两者之间的误差值，可按正比关系折算。参看图14，将被测零件直接放置在平板上，长度为  $L_1$  的被测实际轴线由心轴模拟，用同一指示器在测量距离为  $L_2$  的两个

位置上分别测得读数  $M_1$  和  $M_2$ ，线对面的平行度误差值  $f = \frac{L_1}{L_2} |M_1 - M_2|$ 。

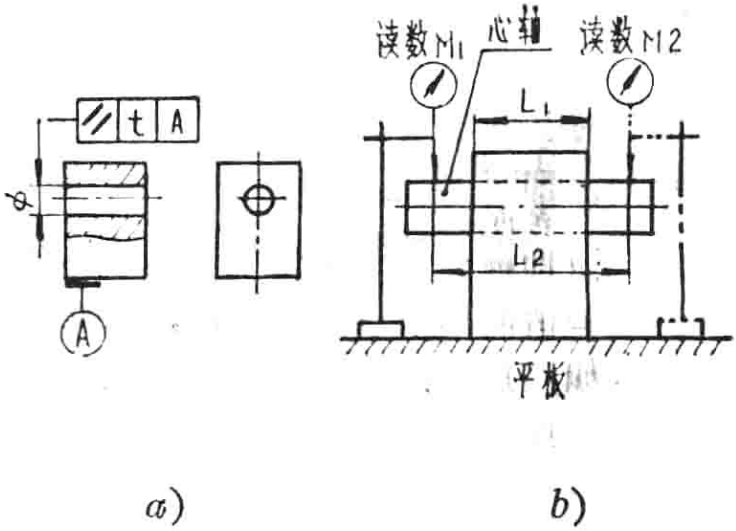


图14

### 1.3 跳动

跳动分为圆跳动和全跳动。

圆跳动是指被测实际要素（关联实际要素）绕基准轴线作无轴向移动回转一周时，由位置固定的指示器在给定方向上测得的最大与最小读数之差（图15）。

全跳动是指被测实际要素绕基准轴线作无轴向移动回转，同时指示器沿理想素线连续移动（或被测实际要素每回转一周，指示器沿理想素线作间断移动），由指示器在给定方向上测得的最大与最小读数之差（图16）。

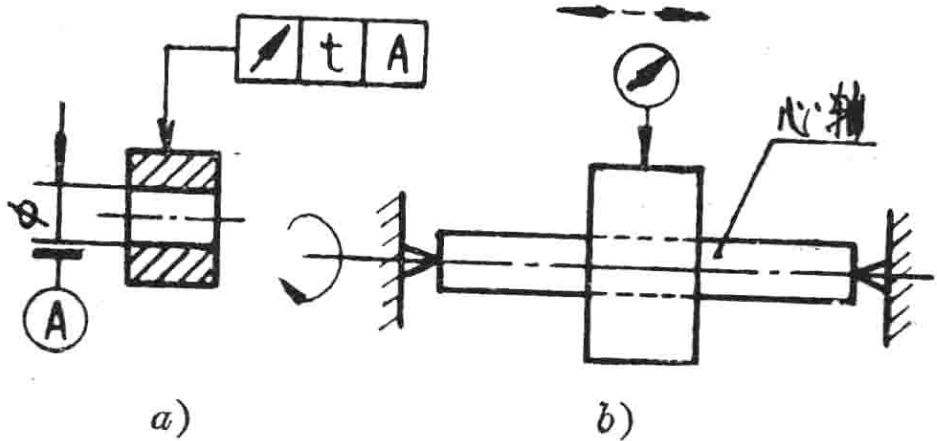


图15

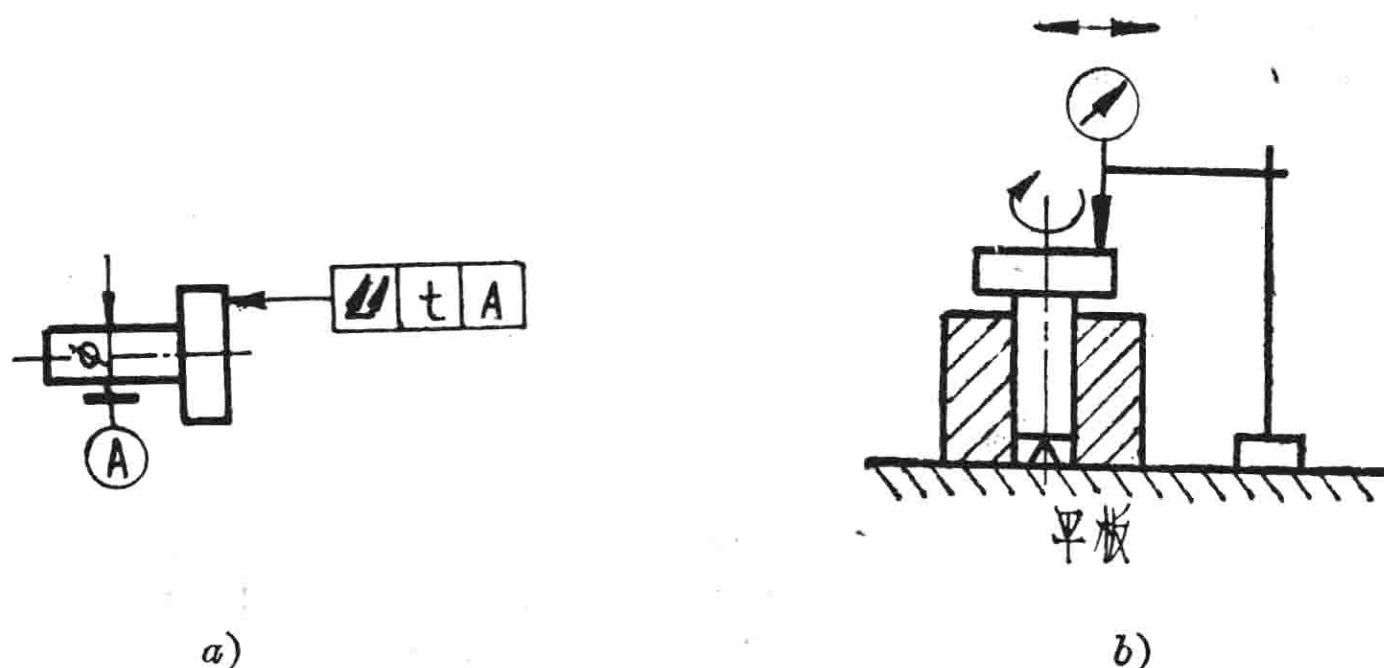


图16

## 2. 基准的建立和体现

### 2.1 基准和三基面体系

基准是确定被测要素（关联要素）方位的依据，有基准点、基准直线（包括基准轴线）和基准平面（包括基准中心平面）三种形式。基准点用得很少，其它形式用得较多。

按需要，被测要素的方位可以根据单一基准、公共基准或多基准来确定。单一基准由单一基准要素（单个要素）构成，如图17中由一个平面构成一个基准平面，被测轴线相对于该基准平面有平行度要求。公共基准由组合基准要素（一组要素）构成，且作为单一基准使用，如图18中两个圆柱面的轴线构成一条公共基准轴线，被测轴线相对于该公共基准轴线有同轴度要求。对某一被测要素，若需要用两个或三个基准来确定其方位时，则为多基准要

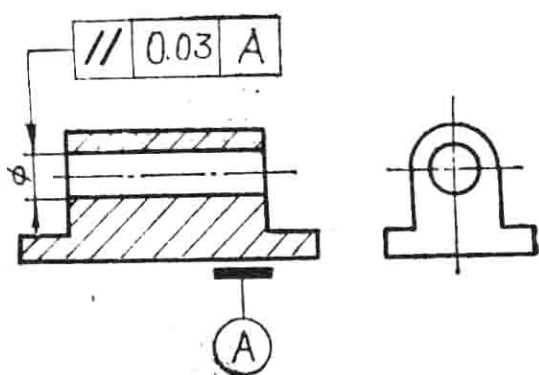


图17

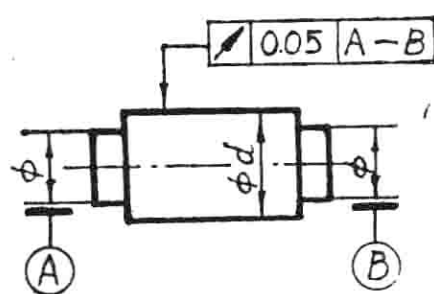


图18

求。参看图19，由三个互相垂直的基准平面  $A$ 、 $B$ 、 $C$  组成了一个三基面体系，被测轴线相对于基准平面  $A$  有垂直度要求，相对于基准平面  $B$  和  $C$  有确定的位置要求。三基面体系中三个基准平面是确定和测量零件上各要素几何关系的起始点，按功能要求有顺序之分。通常选最大或最重要的表面构成第一基准平面(如图19中的基准平面  $A$ )，选次大或次重要的表面构成第二基准平面(如图19中的基准平面  $B$ )，依次则为第三基准平面(如图19中的基准平面  $C$ )。单一基准中的基准平面可以理解为三基面体系中的第一基准平面。

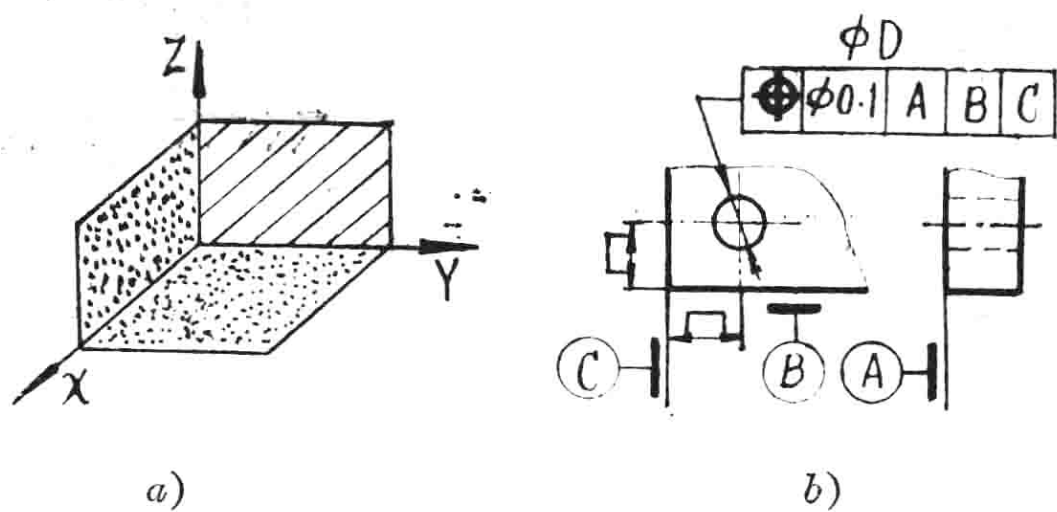


图19

## 2.2 基准的建立

因为基准是确定关联要素方位的依据，所以基准必须是理想要素。但是，基准要素是零件的组成部分，零件加工后基准实际要素不可避免地存在或大或小的形状误差。例如，基准实际表面存在平面度误差(图20)；基准实际轴线存在直线度误差(图21)。由于基准实际要素存

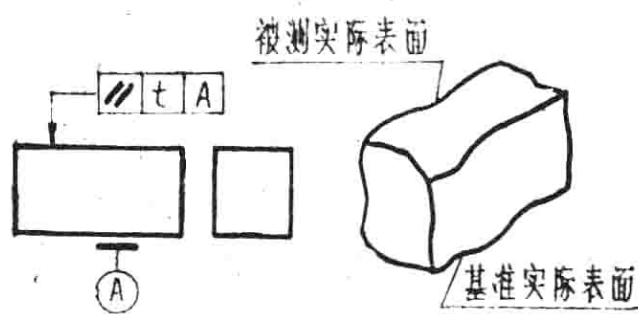


图20

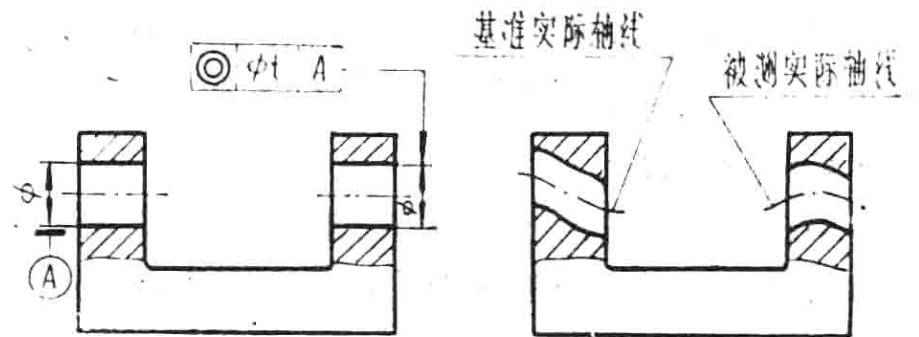


图21

在形状误差，往往无法据以确定被测实际要素的定向、定位误差。参看图20，被测实际表面相对于基准实际表面来说，就无法确定其平行度误差。图21中，被测实际轴线相对于基准实际轴线而言，也无法确定其同轴度误差。在多基准中，基准实际要素除了存在形状误差以外，还有定向误差，如图22所示孔的定位要求，只有在两个基准平面为互相垂直的平面时，才能把孔的位置确定下来。总之，按基准

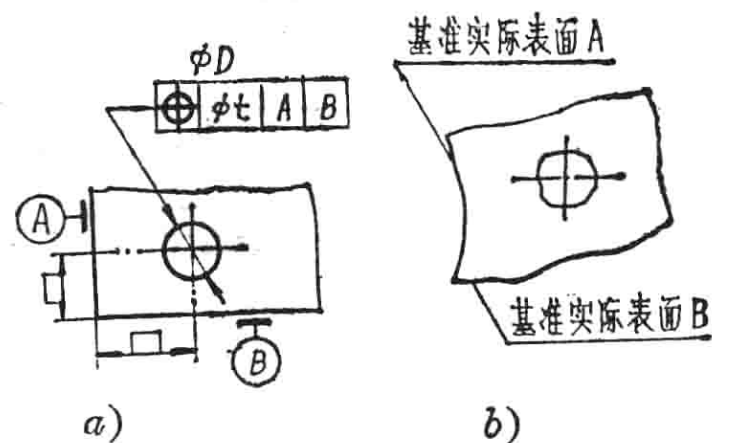


图22



实际要素就无从确定被测实际要素的方位。因此，基准与基准实际要素之间如何建立联系，就成为位置误差测量中的重要问题。

GB1958—80 规定，由基准实际要素建立基准时，基准为该基准实际要素的理想要素，而理想要素的位置应符合最小条件，即基准实际要素对基准的最大变动量为最小。就是说，由基准实际要素建立起来的基准，其位置应当是评定该基准实际要素的形状误差时按最小条件确定的理想要素位置，因而排除了基准实际要素的形状误差的影响。这样，自然地把评定形状误差时的理想要素建立方法与作为基准的理想要素建立方法统一起来了。这就是建立基准时，基准与基准实际要素间的联系应遵循的基本原则，即基准应符合最小条件原则。

因此，由基准实际线或其投影建立的基准直线是位于实体之外且与该实际线接触，又符合最小条件的理想直线，如图23所示。由基准实际轴线建立的基准轴线是穿过该实际轴线且符合最小条件的理想轴线，如图24所示。

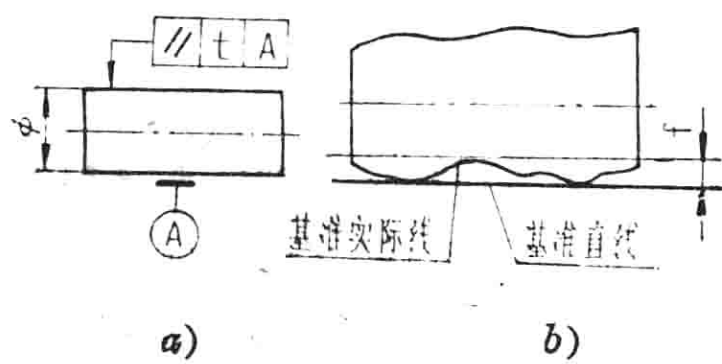


图23

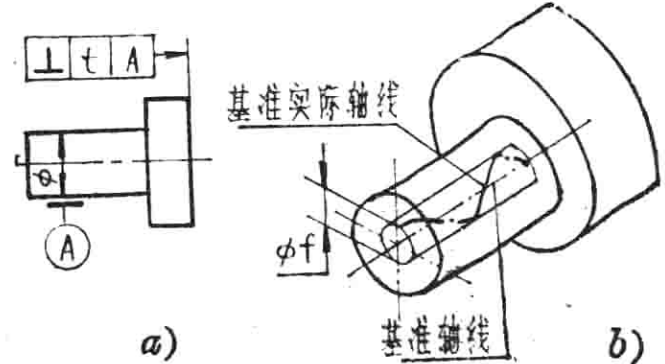


图24

参看图25，由基准实际表面建立的基准平面是位于实体之外且与该实际表面接触，又符合最小条件的理想平面。参看图26，由基准实际中心面建立的基准中心平面是穿过该实际中心面且符合最小条件的理想中心平面。

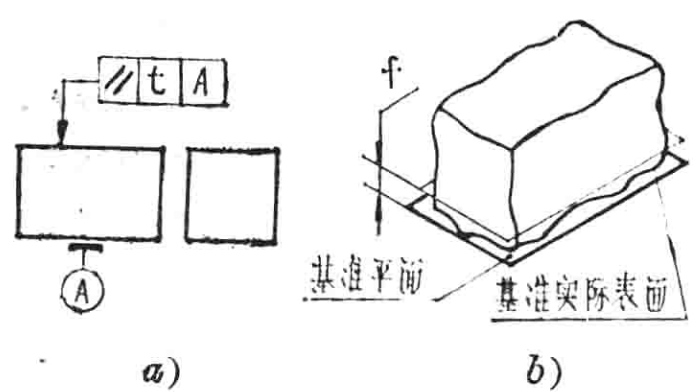


图25

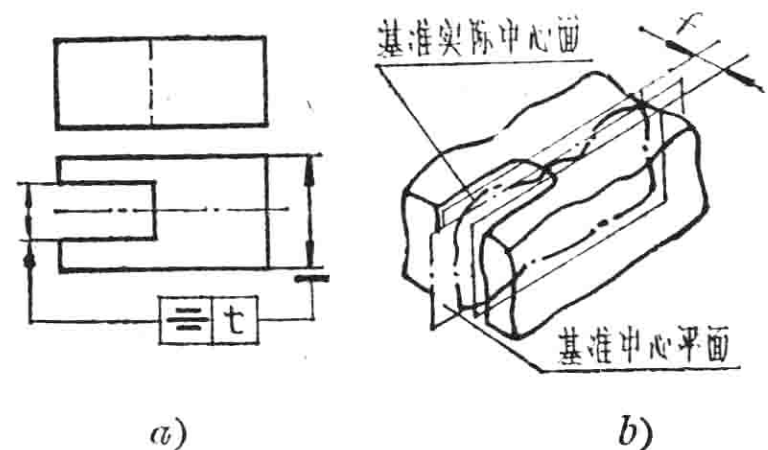


图26

根据上述概念，不难由组合基准实际要素（几个同类的基准实际要素作为一个整体看待）建立公共基准：由两条或两条以上基准实际轴线建立公共基准轴线时，公共基准轴线为这些实际轴线所共有的理想轴线，如图27所示。由两个或两个以上基准实际表面建立公共基准平面时，公共基准平面为这些实际表面所共有的理想平面，如图28所示。由两个或两个以上基准实际中心面建立公共基准中心平面时，

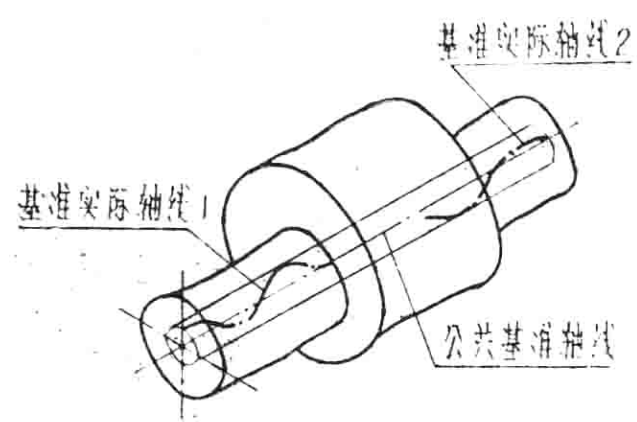


图27

公共基准中心平面为这些实际中心面所共有的理想中心平面，如图29所示。

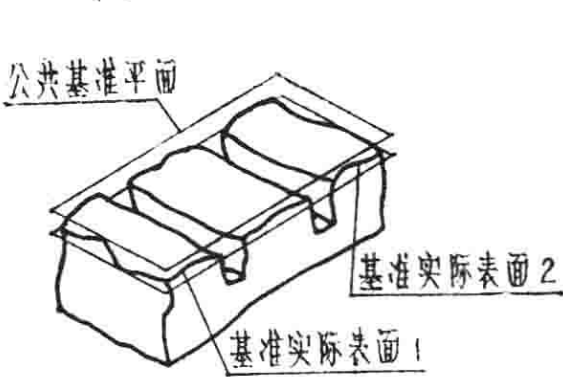


图28

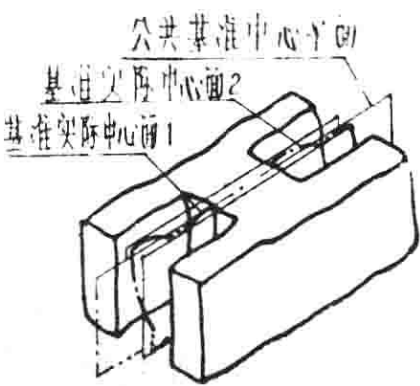


图29

在三基面体系中，三个基准平面具有互相垂直的定向关系。因此，参看图30，基准平面与基准实际表面建立联系时，第一基准平面与相应的基准实际表面间保持最小条件的相对关系，即后者对前者的最大变动量为最小。第二、第三基准平面分别与相应的基准实际表面间则是在定向的前提下保持后者对前者的最大变动量为最小的相对关系，所谓定向的前提是指第二基准平面垂直于第一基准平面，第三基准平面同时垂直于第一和第二基准平面。

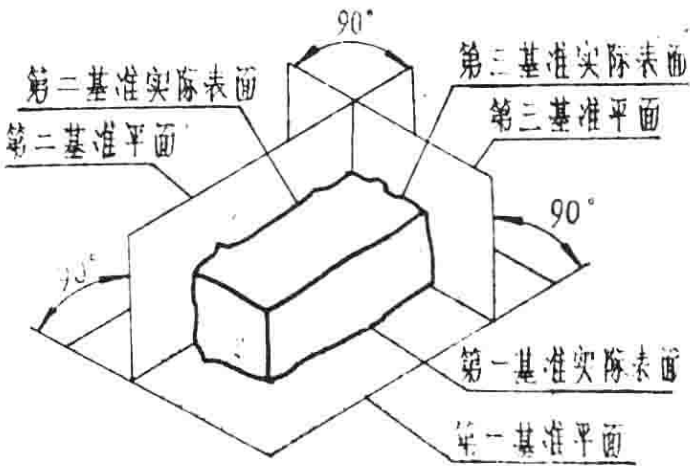


图30

参看图31，由基准实际轴线建立基准体系时，在三基面体系中，该实际轴线建立的基准轴线构成两个基准平面的交线。在实际应用中，这样的基准轴线可以用作第一基准或第二基准。当基准轴线用作第一基准时(图31a)，则基准实际轴线的理想轴线构成三基面体系中第一和第二基准平面的交线，而三基面体系中的第三基准平面为实用中的第二基准（基准平面）。当基准轴线用作第二基准时(图31b)，则三基面体系中的第一基准平面应起到第一基准（基准平面）的作用，此时第一基准平面首先按最小条件由相应的基准实际表面建立，而第二基准轴线应垂直于第一基准平面，构成第二

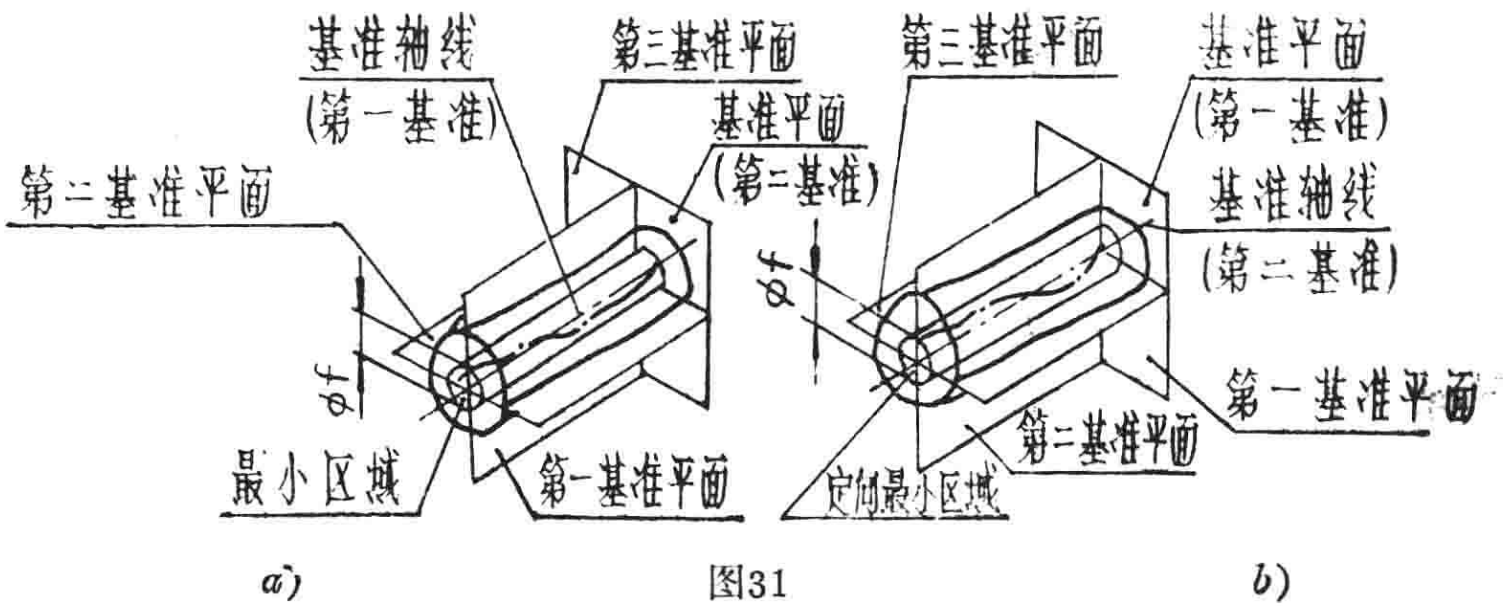


图31

和第三基准平面的交线。。这就是说，作为第二基准的基准轴线与相应的基准实际轴线间在定向的前提下（垂直于第一基准），保持基准实际轴线对基准轴线的最大变动量为最小的相对关系。

### 2.3 基准体现方法

基准应符合最小条件是建立基准的基本原则。但在位置误差测量中基准如何体现，却是个重要的实践问题。基准的体现应当根据基准的建立原则，在满足零件功能要求的前提下，使测量方便，数据处理不复杂。基准体现方法有模拟法、直接法、分析法和目标法。

#### 2.3.1 模拟法

用模拟法体现基准，其应用十分广泛。通常用实物直接模拟，即采用具有足够精确形状的表面与基准实际轮廓接触，来体现基准平面或基准轴线等。这样体现的基准叫做模拟基准（模拟基准平面或轴线）。例如，将基准实际表面直接放在平板的工作面上（图32），这平板的工作面就可代替基准平面，称之为模拟基准平面。再如，将可胀式心轴（或与孔成无间隙配合的心轴）穿入零件的孔中（图33），这心轴的轴线就可代替孔的基准轴线，称之为模拟基准轴线。

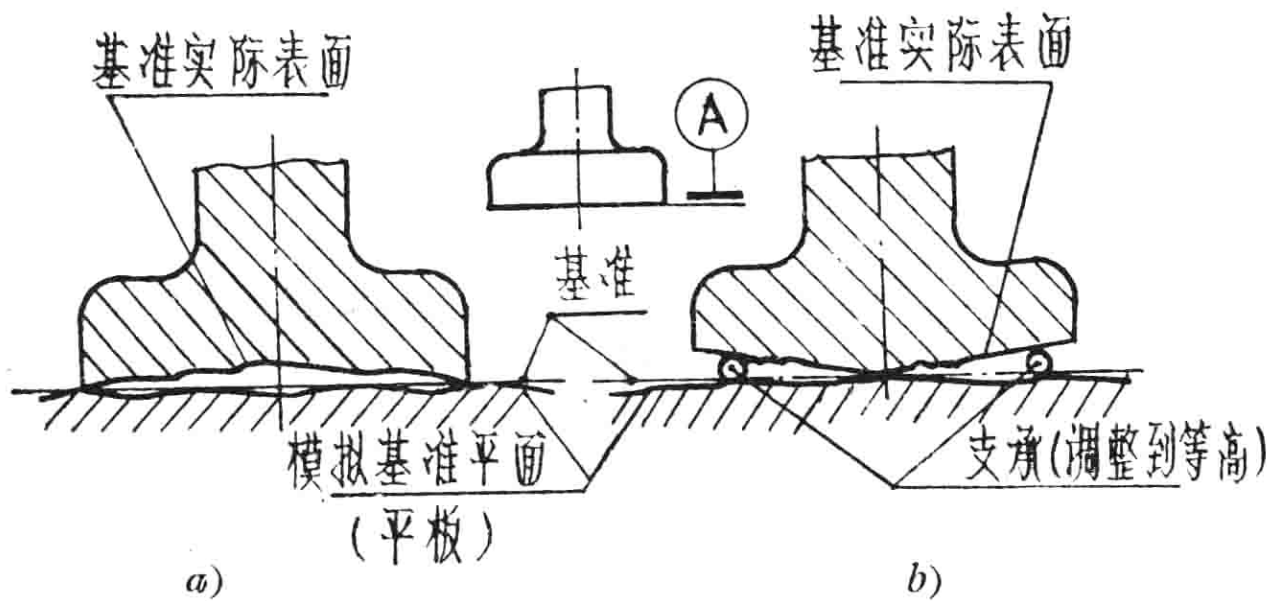


图32

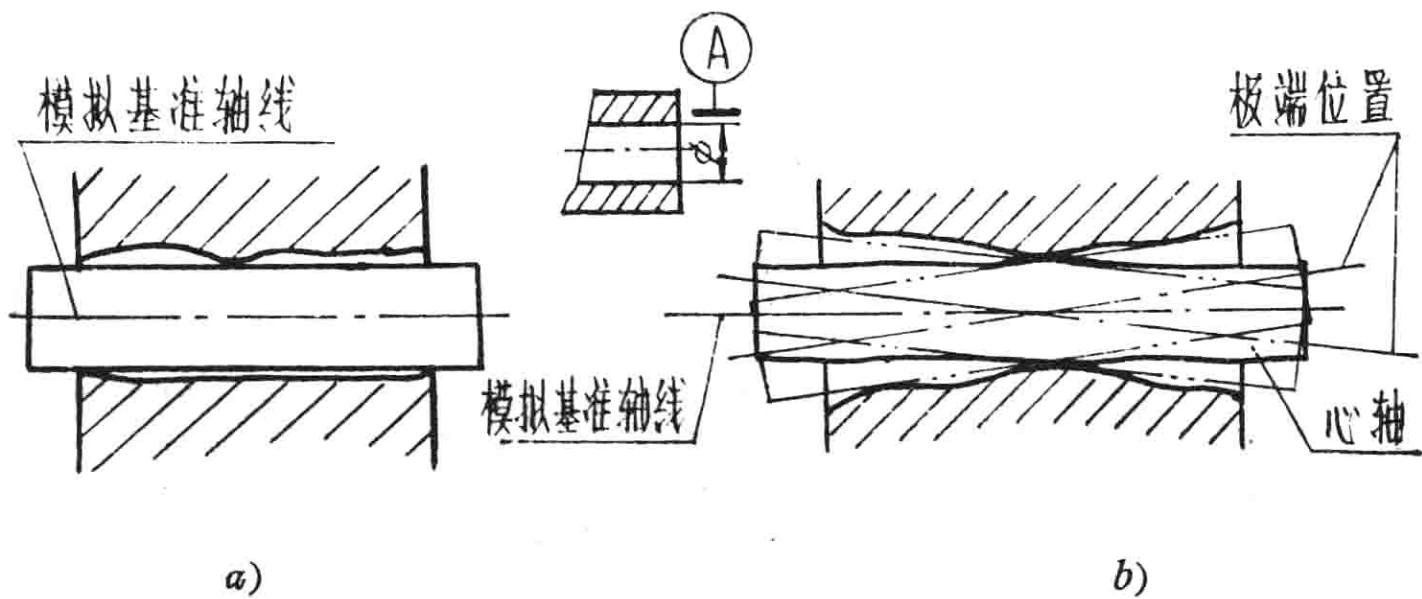


图33

用模拟基准代替基准时，应尽可能符合最小条件这一基本原则，即基准实际要素对模拟基准的最大变动量为最小。参看图 32a，基准实际表面具有中凹的形状，它与模拟基准平面（平板的工作面）接触时，两者之间自然形成符合最小条件的相对位置关系。这种接触叫做稳定接触。参看图 32b，基准实际表面与模拟基准平面接触时，可能有多种位置状态。这种接触叫做非稳定接触。对于非稳定接触，测量时应作调整，使基准实际表面与模拟基准平面之间尽可能达到符合最小条件的相对位置关系。因此，可以在它们之间垫进等高支承，调整它们的相对位置，使之接近最小条件。

孔的轴线是假想存在的，以它作为基准时常常使用心轴来模拟。如图 33a 所示，孔的实际表面与心轴的接触是稳定接触。图 33b 所示，孔的实际表面与心轴接触是非稳定接触，因此应作调整，尽可能达到：使孔的实际表面对心轴表面的最大变动量为最小。

如果基准实际轮廓的形状误差不大，那么，基准实际轮廓与模拟基准接触时，可不考虑非稳定接触的影响。当基准实际轮廓的形状误差较大时，就应考虑基准实际轮廓与模拟基准之间的接触状况，对非稳定接触若不按最小条件进行调整，就会对测量精度产生不同程度的影响。

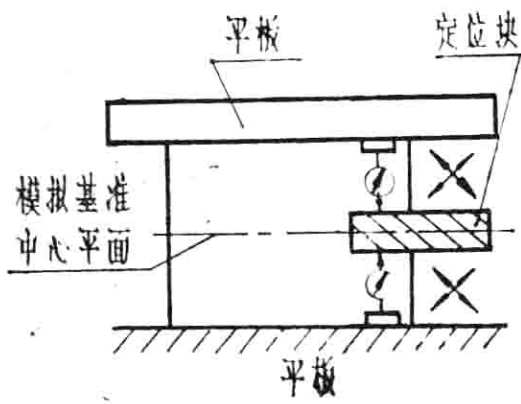
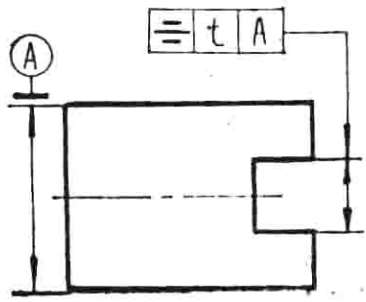
用模拟法体现基准的示例见表 1。

表 1

| 基 准 示 例                                                                                                                                                            | 模 拟 方 法 示 例                                                                                                                                                                      |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <div data-bbox="84 1485 131 1903" data-label="Text"> <p>基<br/>准<br/>平<br/>面</p> </div> <div data-bbox="240 1580 628 1790" data-label="Diagram"> </div>             | <div data-bbox="802 1456 1354 1868" data-label="Diagram"> </div> <div data-bbox="1422 1485 1759 1701" data-label="Text"> <p>与基准实际表<br/>面接触的平板或平<br/>台工作面</p> </div>              |
| <div data-bbox="84 2163 131 2523" data-label="Text"> <p>基<br/>准<br/>中<br/>心<br/>平<br/>面</p> </div> <div data-bbox="253 2163 665 2474" data-label="Diagram"> </div> | <div data-bbox="834 2105 1303 2552" data-label="Diagram"> </div> <div data-bbox="1422 2076 1759 2379" data-label="Text"> <p>与基准实际轮<br/>廓成无间隙配合的<br/>平行平面定位块的<br/>中心平面</p> </div> |

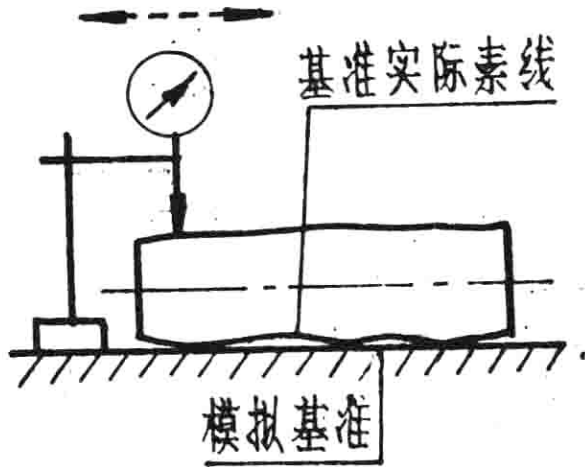
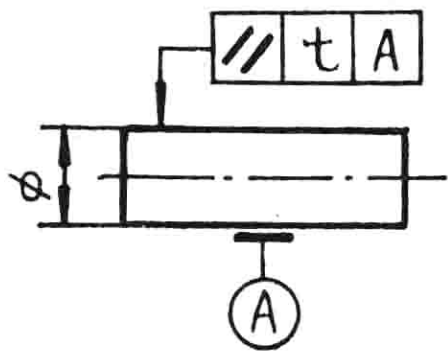


基准  
中心  
平面

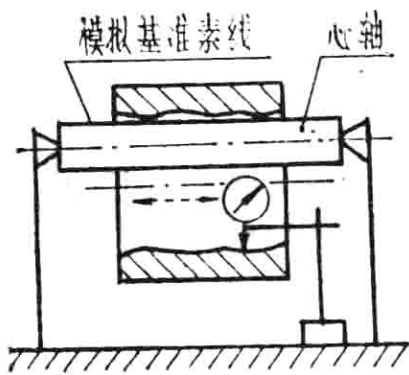
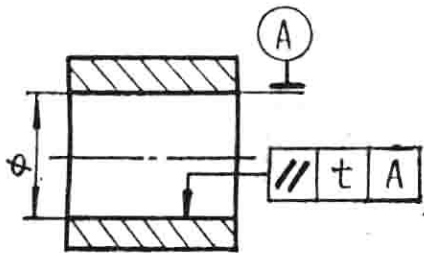


与基准实际轮廓接触的两平行平板工作面体现的中心平面

基准  
直线

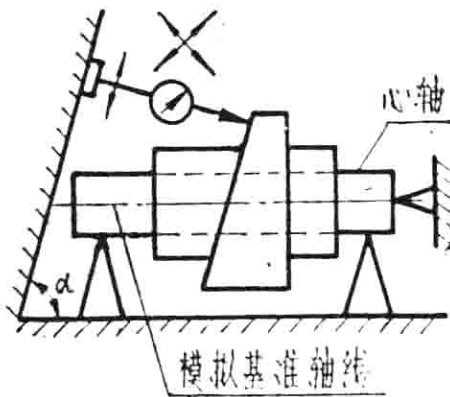
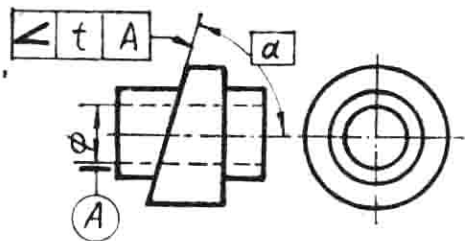


与基准实际素线接触的平板或平台工作面



与孔接触处圆柱形心轴的素线

基准  
轴线



可胀式或与孔成无间隙配合的圆柱形心轴的轴线