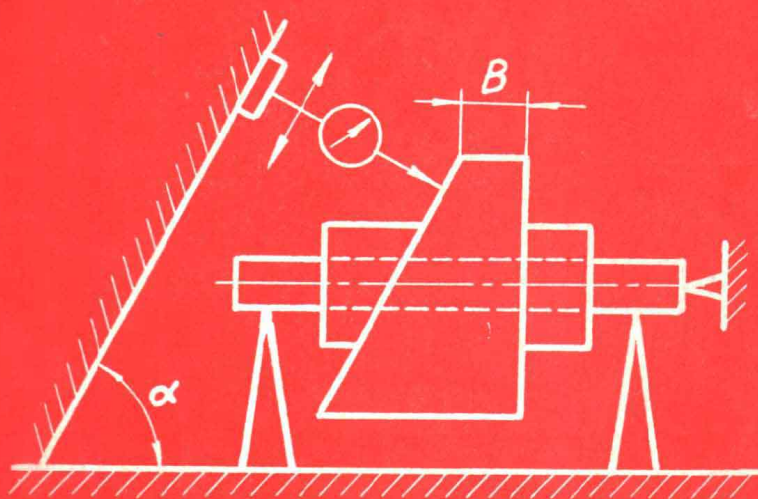
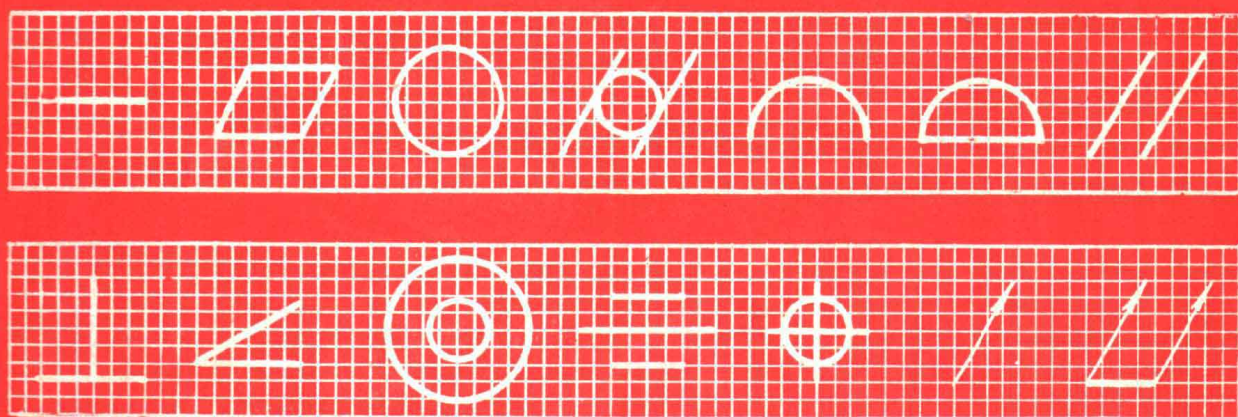


形位公差与 技术测量

杨恩烈 余锴坚 编著



辽宁科学技术出版社

形位公差与技术测量

杨恩烈 余锺坚 编著

辽宁科学技术出版社

一九八四年·沈阳

形位公差与技术测量

(修 订 本)

杨恩烈 余锴坚 编著

辽宁科学技术出版社出版 (沈阳市南京街6段1里2号)

辽宁省新华书店发行 沈阳市第一印刷厂印刷

开本: 787×1092 1/16 印张: 18¹/₄ 字数: 380,000

1981年11月第1版

1984年11月第2版

1984年11月第2次印刷

责任编辑: 马骏

封面设计: 秀中

印数: 30,001—49,000

统一书号: 15288·123

定价: 2.45元

再版前言

“形状和位置公差”是一项重要的技术基础标准，它在先进、合理的基础上，对形状和位置公差的术语、概念、标注、数值和计量等都作了统一的规定，且清楚易懂，有利于产品的设计、工艺、检测人员统一认识，有利于提高产品质量，对促进工业的发展和加速实现“四化”有着极其重要的意义。

当前，全国各地的工厂、企业、研究所、设计院以及有关院校都正在深入、广泛、积极地贯彻“形状和位置公差”国家标准。在学习和贯彻的过程中，大家一致感到这方面的参考资料不足，认为需要有一本完整而系统的参考书。为此，在辽宁省标准局和省标准化协会的建议下，特搜集了有关“形状和位置公差”的国内外一些较新的资料，根据一九八〇年九月全国“公差配合、形位公差宣贯会议”的精神，特编写了《形位公差与技术测量》一书，可供工程技术人员和大专院校师生选用。

本书是按照人们对事物的认识规律进行阐述和编写的。强调了系统性和科学性的原则。

本书的主要内容是误差、公差的定义、概念、标注和检测等，内容力求由浅入深。书中列举的检测方法主要是为了更好地加深对概念的理解。

本书出版，迄今三年，在实践中发现其中存在一些不足之处，今作了一些修改。三年来承广大读者关心和支持，在此表示谢意。限于编者水平，加之实践经验不足，错误和不当之处，仍在所难免，望读者不吝指教。

本书初版时，承蒙天津大学精密仪器工程系蔡其恕教授和李敬杰讲师审阅，特别是蔡教授年逾古稀，热情为本书审稿，并提出许多宝贵意见，在此深表谢意。

杨恩烈同志已经与世长辞，未能见到本书再版。值此再版之际，我以沉痛的心情，怀念他为本书所做的贡献。

余锺坚

1984.3.于沈阳机电学院

目 录

概 述	(1)
第一章 形位公差基础知识	(2)
第一节 基本概念	(2)
一、尺寸公差	(2)
二、尺寸偏差	(2)
三、理想尺寸	(2)
四、几何要素	(3)
第二节 形位公差的概念	(4)
一、形状公差	(4)
二、位置公差	(4)
第三节 形位误差的概念	(4)
一、检测形位误差的五项原则	(5)
二、形状误差及其评定	(6)
三、位置误差及其评定	(8)
四、形位误差评定的仲裁	(18)
第四节 公差带的概念	(19)
一、公差带的大小	(19)
二、公差带的形状	(19)
三、公差带的方向	(21)
四、公差带的位置	(21)
第五节 公差带概念与贴切概念的区别	(22)
第六节 有关几个概念	(23)
一、几何图框的概念	(23)
二、延伸公差带的概念	(24)
三、有关尺寸概念	(25)
四、独立原则和相关原则的概念	(26)
第二章 形位公差代号及其标注	(31)
第一节 形位公差代号	(31)

一、形位公差项目符号.....	(31)
二、其它有关符号.....	(31)
三、被测代号.....	(32)
四、基准代号.....	(32)
五、公差框格.....	(33)
六、基准目标代号.....	(34)
第二节 形位公差的标注.....	(34)
一、标注的一般规定.....	(34)
二、被测要素的标注方法.....	(36)
三、基准要素的标注方法.....	(40)
四、公差数值和有关符号的标注方法.....	(45)
第三节 形位公差标注示例.....	(49)
第三章 形位公差术语、定义及误差测定.....	(53)
第一节 形状公差.....	(53)
一、直线度.....	(54)
二、平面度.....	(71)
三、圆度.....	(80)
四、圆柱度.....	(88)
第二节 位置公差.....	(94)
一、定向公差.....	(95)
二、定位公差.....	(124)
三、跳动公差.....	(147)
第三节 轮廓度公差.....	(159)
一、轮廓度误差与形状误差、位置误差的关系.....	(160)
二、轮廓度表面的构成.....	(161)
第四节 关于形位公差术语、定义和误差测定的综合小结.....	(177)
第四章 形位公差数值.....	(185)
第一节 公差数值规律及计算.....	(185)
一、误差规律的形成.....	(186)
二、误差数据的处理方法.....	(187)
三、按项目分类计算误差.....	(191)
第二节 公差数值表的制订.....	(192)
一、尺寸范围及分段.....	(192)
二、形位公差等级.....	(194)

三、公差数值计算及选用	(199)
第三节 形位公差的选择	(210)
一、形状公差、位置公差和尺寸公差的相互关系	(210)
二、形位公差的选用方法	(210)
三、形位公差选择的应用	(210)
第五章 独立原则、最大实体原则和包容原则的应用	(214)
第一节 独立原则	(214)
一、未注形位公差	(214)
二、注有形位公差	(214)
第二节 最大实体原则 (MMP)	(215)
一、最大实体原则概述	(215)
二、最大实体原则对公差的解释	(216)
三、最大实体原则用于形状公差	(220)
四、最大实体原则用于位置公差	(221)
五、最大实体原则用于尺寸公差	(226)
六、应用最大实体原则的主要条件	(227)
第三节 包容原则 (EP)	(227)
一、用于单一要素	(227)
二、用于关联要素	(228)
第四节 独立原则与最大实体原则的使用对照和应用示例	(234)
一、独立原则和最大实体原则对照	(234)
二、两种原则的应用示例	(235)
第六章 位置度的应用	(239)
第一节 基准	(239)
一、位置度基准的含义	(239)
二、位置度基准标注的使用	(240)
三、基准表面与基准平面	(242)
四、三基面体系	(242)
第二节 关于位置度公差带与尺寸公差带联合控制的理解	(244)
一、尺寸公差带的作用和画法	(245)
二、位置度公差带的作用	(245)
第三节 位置度的检验	(246)
一、计算法	(246)
二、图解法	(247)

第四节 位置度应用于其它位置公差	(248)
一、位置度控制同轴度	(248)
二、位置度控制对称度	(250)
三、位置度控制平面度	(250)
四、位置度控制不相交的程度	(250)
第五节 位置度公差标注方法的应用	(252)
一、同一定位要素的各孔组有不同要求的标注方法	(252)
二、非平行要素孔的孔组标注方法	(252)
三、沉孔的孔组标注方法	(252)
四、长孔两端分别给定不同的位置度公差的标注方法	(254)
五、非圆形要素组位置度公差的标注方法	(254)
六、复合位置度公差标注方法	(256)
附 录	(260)
一、形位公差符号的规格和比例	(260)
二、形位公差标注方法及综合示例	(260)
三、形位误差检测有关规定	(264)
四、形位公差数值表	(277)
五、加工方法与形位公差等级关系表	(281)
参考文献	(284)

概 述

零件形状和位置公差简称为“形位公差”。本书所介绍的形位公差主要适用于平面、圆柱面（圆锥面）和球面的形状和位置公差。

任何机械产品都是由零件按一定技术要求装配而成的。因此，产品的质量如何，主要取决于零件的加工精度和机械的装配精度。而零件的加工精度是由以下三方面来评定的：

- (1) 确定形体大小的尺寸精度；
- (2) 确定形状的表面几何精度（包括表面光洁度、表面波度和形状精度）；
- (3) 确定相互关系的位置精度。

上述三项精度对机器的质量起着决定性的作用。随着“四个现代化”的发展，产品的功能要求越来越复杂，而要求零件的各项精度也越来越高了。同时，随着生产的不断发展，产品批量增加，仅有尺寸公差已经远远满足不了产品装备的互换性要求，必须有形状和位置公差来保证。例如，一个轴（或阶梯轴）和基准孔配合，轴加工在尺寸公差范围内，似乎是合格了，但由于严重地存在着形状和位置的误差，使轴和孔无法进行装配（如图0—1（a）、（b））。这就说明仅仅给出了尺寸公差是不能满足产品精度和互换性要求的，还必须由形位公差给以补充保证。

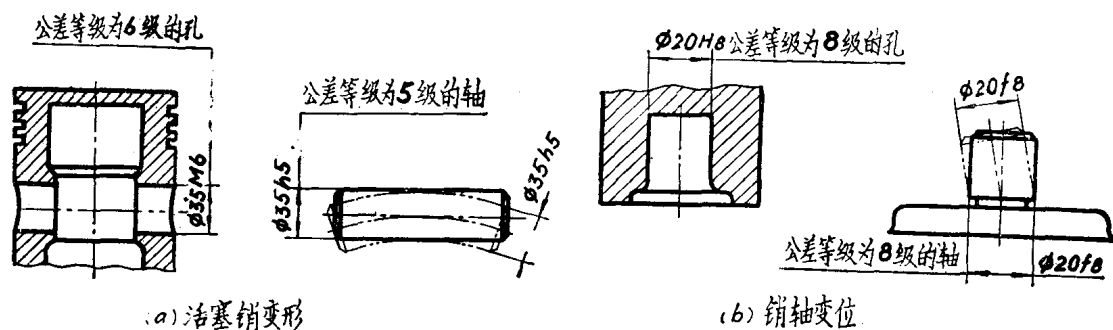


图0—1 形位公差示例

形位公差是评定产品质量的一项重要技术指标，它直接影响机器、仪表和工、夹、量具的精度、强度、密封性等。由此可见，“形位公差”是提高产品质量的一项重要技术要求。但在实际生产中，各工厂、企业有的还沿用苏联陈旧标准；有的还自行制订标准。这就造成“形位公差”的术语、定义以及图纸上的标注很不统一，概念混乱，有的甚至不合理。例如：在某夹具标准中，平面度规定为100:0.02，而平行度规定为100:0.01，这显然是极不合理的。这些情况造成了设计、工艺、检验、计量人员理解不一致，严重地影响机器产品的质量。

第一章 形位公差基础知识

加工完毕的零件，其实际要素的形状和位置应接近理想形状和理想位置。这种接近的程度称为零件要素的形状和位置精度（即形位公差等级）。零件要素的形状和位置公差等级是以形状误差和位置误差来表示，用形状公差和位置公差来控制。

第一节 基本概念

首先从相对比较容易理解的尺寸公差、偏差、理想尺寸和几何要素的基本概念入手来探讨形位公差的基本概念。

一、尺寸公差

尺寸公差是图纸上规定的允许实际尺寸的变动范围。因此，公差永为正值。

公差是相对理想尺寸而言的，例如图纸上标注为： $\phi 20_{-0.04}^{-0.08}$ 时，其尺寸公差为： $\delta = -0.04 - (-0.08) = 0.04$

二、尺寸偏差

尺寸偏差是最大或最小极限尺寸与基本尺寸之差。

又可分为：极限偏差（上偏差、下偏差）和实际偏差。如前例中：

$$\text{上偏差} = 19.96 - 20 = -0.04$$

$$\text{下偏差} = 19.92 - 20 = -0.08$$

如已加工完的工件，测得的实际尺寸为20.02，则：

$$\text{实际偏差} = 20.02 - 20 = 0.02$$

可见偏差值是有正负之分的。

三、理想尺寸

理想尺寸是根据正态分布曲线（高斯定理）而确定的。如图1—1所示。

（1） $\phi 20 \pm 0.007$ （如零件完工后尺寸为 $\phi 20$ ，正好是理想尺寸）；

（2） $\phi 20_{-0.04}^{-0.08}$ （如零件完工后尺寸仍为 $\phi 20$ ，

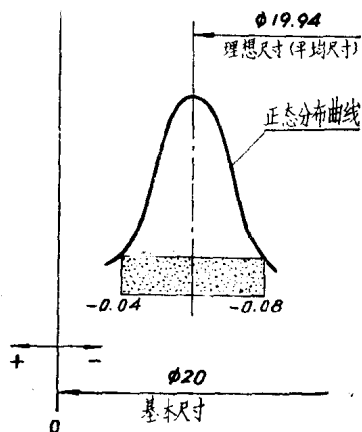


图1—1 正态分布曲线

那就不是理想尺寸，而是废品)；

$$(3) \text{ 理想尺寸} = \frac{\text{最大极限尺寸} + \text{最小极限尺寸}}{2} = \frac{\phi 19.96 + \phi 19.92}{2} = \phi 19.94$$

对加工完的大批量零件的实际尺寸进行统计和分析，发现大部分的实际尺寸都分布在平均尺寸的附近（平均尺寸两侧的数量大致相等）。原因是工人在加工零件时，都是以平均尺寸为目标来进行加工的，这样合格率就高。如果按最大或最小极限尺寸加工，就容易出废品。从公差带来看，平均尺寸正好处在公差带的中部。这个平均尺寸称为理想尺寸。

对于形状和位置的要求也是相对于理想形状和理想位置而言的，理想形状和理想位置是相对于公差而存在的，而不是相对于偏差而存在的，所以过去称为“形位偏差”是不合适的。这就是我们称为形状和位置公差由来的。

误差是实际测得的值，它是实际值，对形状来说是形状误差，对位置来说就是位置误差。

四、几何要素

为了便于研究形位公差对零件上各个部位的要求，统一以“要素”这一术语来说明、概括，我们认为更合适些。

要素——构成零件几何特征的点、线、面(GB1183-80)。

1. 理想要素

具有几何学意义的要素，如图1—2所示。

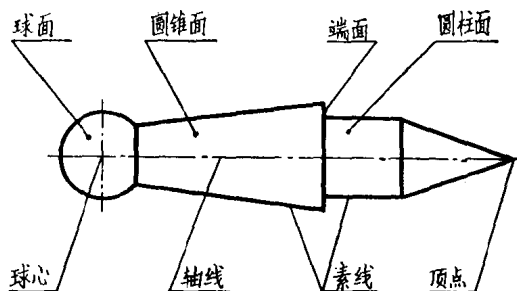


图1—2 各理想要素示例

2. 实际要素

零件上实际存在的要素。测量时由测得要素来代替，它并非该要素的真实状况。

3. 被测要素

给出了形状或（和）位置公差的要素。被测要素可分为两种：

(1) 单一要素：即一个点、一个圆柱面、一个球面、一个平面、一个曲面、两平行平面、轴线和中心平面等。

(2) 关联要素: 具有功能关系的两个或多个要素。

4. 中心要素

与要素有对称关系的点、线、面, 如轴线、中心线、中心平面、中心点等。

5. 轮廓要素

组成零件轮廓的点、线、面。如平面、圆柱表面和曲表面等。

第二节 形位公差的概念

根据零件的功能, 往往对形体各要素有着形状和位置的要求。因此, 必须分别给出形状和位置公差(GB1183-80)。

一、形状公差

形状公差的定义: 单一实际要素的形状所允许的变动全量。

形状公差是图样上给定的, 如测得零件实际形状误差值小于形状公差值, 则零件的形状合格。

二、位置公差

根据零件的功能, 往往在形体各部位上有着相互位置的要求, 因此, 必须给出位置的公差。

位置公差的定义: 关联实际要素的位置对基准所允许的变动全量。

位置公差是图样上给定的, 如测得零件实际位置误差小于位置公差, 则零件的位置合格。

位置公差根据零件的功能, 又分为定向、定位、跳动等三种位置公差。

1. 定向公差

关联实际要素对基准在方向上允许的变动全量。

2. 定位公差

关联实际要素对基准在位置上允许的变动全量。

3. 跳动公差

关联实际要素绕基准轴线回转一周或连续回转时所允许的最大跳动量。

第三节 形位误差的概念

形位公差的检测对象是形状和位置误差。形位误差是指被测实际要素对其理想要素的变动量。测量形位误差时, 对表面光洁度、划痕、擦伤以及塌边等其它外观缺陷应排除在外。测量形位误差时的标准条件如下:

(1) 标准温度为 20°C ;

(2) 标准测量力为零。

当偏离标准条件而引起的较大测量误差时, 应进行测量误差估算。测量误差是三方面误差的综合结果:

(1) 评定形位误差时, 以测得要素代替实际要素所引起的误差 (如布点引起的误差等);

(2) 测量设备、温度、测量力等因素引起的误差;

(3) 采用近似方法评定时的评定误差。

一、检测形位误差的五项原则

1. 第一种检测原则 (与理想要素比较)

将被测实际要素与其理想要素相比较, 量值可用直接法或间接法获得。理想要素用模拟方法获得。如图 1—3 所示。

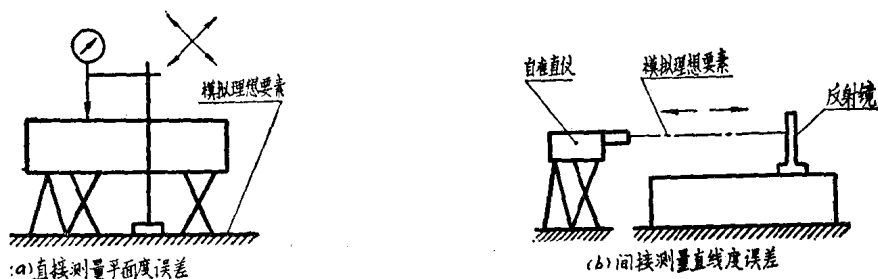


图1—3 与理想要素比较

2. 第二种检测原则 (测量座标值)

测量被测实际要素的座标值 (如直角座标值、极座标值、圆柱面座标值), 并经过数据处理获得的形位误差值。如图 1—4 所示。

3. 第三种检测原则 (测量特征参数)

测量实际要素上具有代表性的参数 (即特征参数), 以此来表示形位误差。如图 1—5 所示。

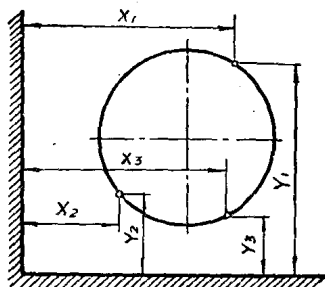


图1—4 测量直角座标值

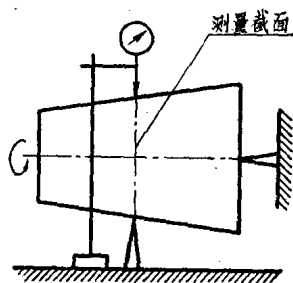


图1—5 两点法测量圆度特征参数

4. 第四种检测原则（测量跳动）

被测实际要素绕基准轴线回转过程中，沿给定方向测量它对某参考点或参考线的变动量（变动量是指指示计最大与最小读数之差）。如图 1—6 所示。

5. 第五种检测原则（控制实效边界）

检测被测实际要素是否超过实效边界，以此判断是否合格。如图 1—7 所示。

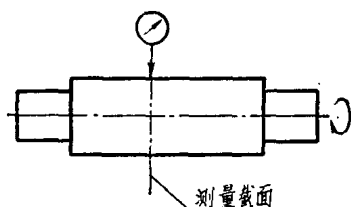


图1—6 测量径向跳动

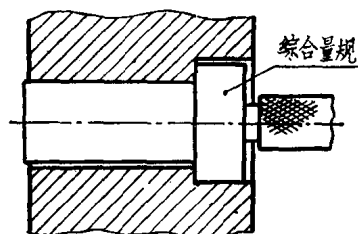


图1—7 用综合量规检验同轴度

二、形状误差及其评定

1. 形状误差的定义

被测单一实际要素对其理想要素的变动量。该理想要素的位置应符合最小条件。

2. 最小条件的定义

被测实际要素对其理想要素的最大变动量为最小。或对被测实际要素评定的误差值为最小。如图 1—8 所示。

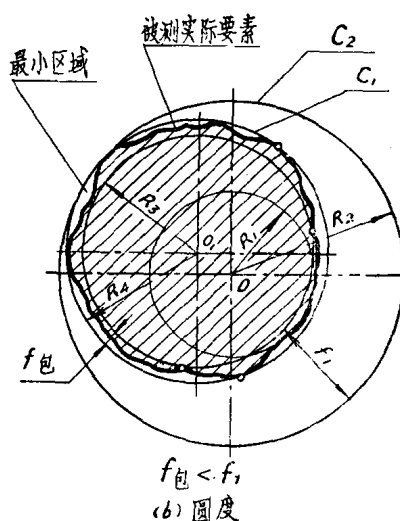
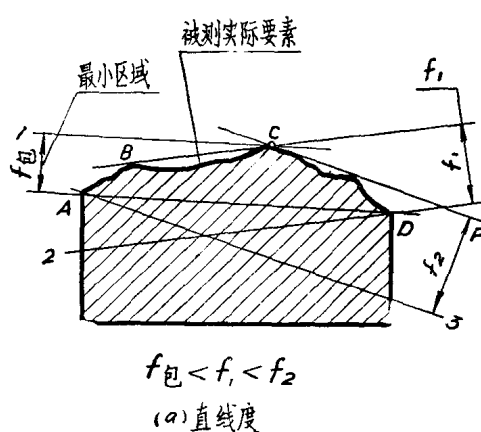


图1—8 最小条件

(1) 最小条件的确定必须满足如下三个要求:

- ①使理想要素的形状必须和实际形状相接触。
- ②找出每个理想形状与实际形状的最大变动量。
- ③取其中最大变动量为最小值的一个。

(2) 符合最小条件的形状误差值用最小包容区域的宽度或直径来表示。

3. 最小包容区域

包容被测实际要素时, 具有最小宽度“ f ”或最小直径“ ϕf ”的包容区域, 称为最小包容区域, 简称“最小区域”。而误差值 f 或 ϕf 就是最小包容区域的宽度或直径, 如图1—9所示。

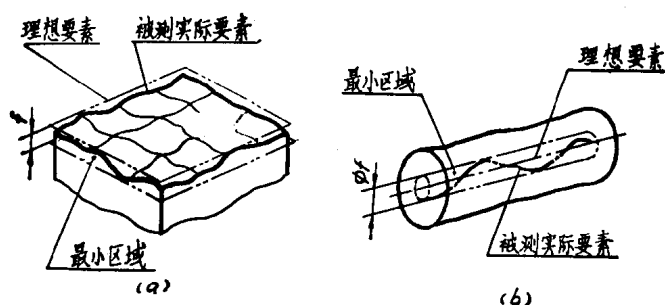


图1—9 最小包容区域

(1) 对于轮廓要素(线、面轮廓度除外), 其理想要素处于材料之外且与被测实际要素相接触, 如图1—8所示的理想直线1—C和理想圆 C_1 。

(2) 应用最小条件确定(检测)形状误差。

例1: 检查给定方向的零件直线度误差

如图1—8(a), 实际要素的形状为给定方向的平面曲线 $ABCD$, 要评定这条直线的直线度误差究竟是多少, 首先要找出它的理想要素形状的位置, 根据最小条件的第一个要求, 使理想要素形状直线与实际形状曲线相接触, 可以作许许多多的理想直线, 如 IC 、 CF 、 CB 。其次, 按最小条件的第二个要求, 则包容实际要素形状的 $f_{\text{包}}$ 、 f_1 、 f_2 , 都是理想要素形状与实际要素形状间的最大变动量。其中符合最小条件第三个要求的显然是“ $f_{\text{包}}$ ”, 因为在这几组理想要素形状与实际要素形状间的最大变动量中只有“ $f_{\text{包}}$ ”为最小。 $f_{\text{包}}$ 误差所决定的理想要素形状的位置 AD 直线是唯一的, 也只有 AD 与 IC 两平行直线是最小包容实际要素形状的, 因此, $f_{\text{包}}$ 就是理想要素形状与实际要素形状间的最大变动量为最小的误差, 即为检查这个零件的直线度误差。

例2: 检测零件的圆度误差

如图1—8(b)按确定最小条件的前两个要求可以作无数组与实际圆相接触的内接圆和外接圆。比较同心圆的半径差 $f_{\text{包}}$ 、 f_1 ……, 显然 $f_{\text{包}}$ 符合最小条件。3、4这组同心

圆是紧紧包容实际圆的，因此 $f_{\text{包}}$ 就是理想要素形状与实际要素形状间最大变动量为最小的误差，即为检查这个零件圆度误差。

从以上两图中，可以清楚地看到符合最小条件的误差，以 $f_{\text{包}}$ 表示。只有在这一位置量出的直线度或圆度误差值，才是评定该零件“直线度”或“圆度”误差唯一正确的、反映客观实际的数值。如果评定形状误差时，不按最小条件的规定，评定基准选择不合理、不正确，测试结果将得到偏大的误差值，得出错误的结论。

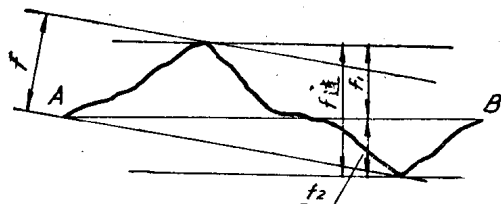


图1—10 两端点连线法

以前有的工厂常采用两端点连线法来确定理想直线的位置，如图1—10所示：将被测实际轮廓线的两端点 A 、 B 连起来，此时的 AB 直线即认为是理想直线，实际轮廓的直线度误差为最大正负绝对值 $|f_1|$ 和 $|f_2|$ 之和。即：

$$f_{\text{连}} = |f_1| + |f_2|$$

这种方法是不符合国家标准所规定的最小条件的，往往得到偏大的误差值，由图中可以看出，当采用最小条件来评定该轮廓线的直线度误差时，则其直线度误差为 f 。显然 $f < f_{\text{连}}$ ，因此采用最小条件确定理想要素的位置所测得的误差值 f ，比采用两端点连线作为理想要素的位置所测得的误差值 $f_{\text{连}}$ 小而且正确。

根据 GB1183-80 规定：“理想形状相对于实际形状的位置，应按最小条件来确定”。因此，进行数据处理时，应该采用包容区域。

最小条件是评定形状误差的基本原则。实践中在满足零件功能要求的前提下，从经济性、方便性出发，允许采用近似方法来评定形状误差。

三、位置误差及其评定

1. 位置误差的定义

被测实际要素的位置对其理想要素位置的变动量。

位置误差是指二个或二个以上的几何要素（点、线、面）间的相互位置关系，即被测要素和基准要素的相互关系。被测要素的理想位置是相对于基准理想形状的位置来确定。

2. 位置误差测量

确定基准的理想形状的位置应符合最小条件。

(1) 定向误差：被测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。

①定向误差值用定向最小包容区域的宽度或直径来表示。

②定向最小包容区域（简称定向最小区域）：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 或直径 ϕf 的包容区域，如图 1—11 所示。

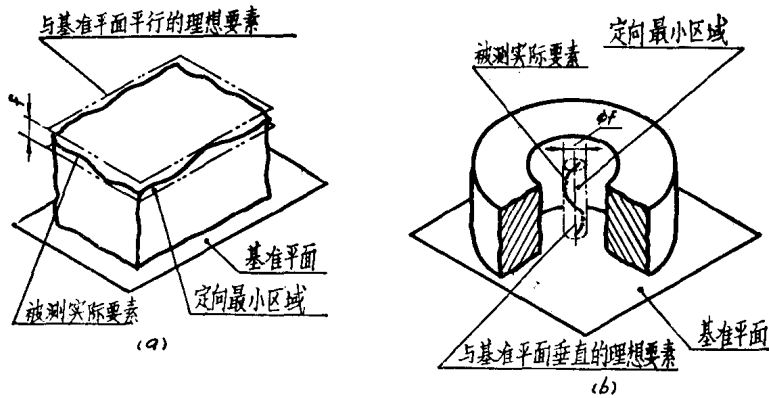


图1—11 最小包容区域

③各误差项目定向最小包容区域的形状分别和各自的公差带形状一致，但宽度（或直径）由被测实际要素本身决定。

（2）定位误差：被测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（对于同轴度和对称度，理论正确尺寸为零）。

①定位误差值用定位最小包容区域的宽度或直径来表示。

②定位最小包容区域（简称定位最小区域）：按理想要素定位来包容被测实际要素时，具有最小宽度 f 或 ϕf 的包容区域，如图 1—12 所示。

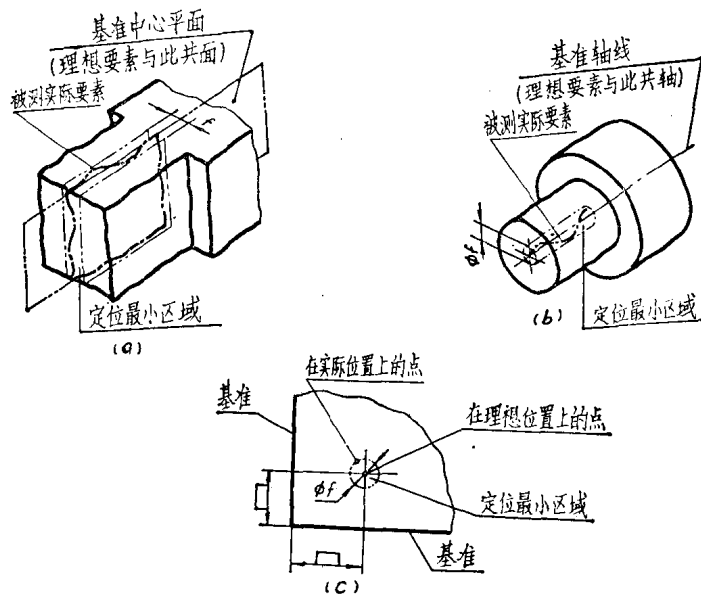


图1—12 定位最小包容区域