

工厂几何量计量检验员丛书（第5分册）

形位误差测量

主 编 何 贡

副主编 许国正 庚以滦 刘瑞清

编 著 何赐方 唐家才

中国计量出版社

前 言

产品质量是决定市场竞争成败和企业兴衰的关键因素。产品质量管理离不开计量检测技术，特别是在生产第一线，急需一批既具有一定理论知识又具有实际检测能力的检测人员。

几何量包括长度、角度和两者的综合，由于角度可用长度的比值来表示，故几何量计量人们亦习称长度计量。在各种物理量的测量中，尤其在机械制造等产业部门，几何量计量测试占有重要位置。中国计量出版社最近组编出版了一套《计量测试技术手册》，共 13 卷，字数逾 2000 万，堪称巨著，其中第二卷即为《几何量》卷。在此之前，还组编出版了一套《长度计量测试丛书》，共 20 个分册，属中级读物。本套《工厂几何量计量检验员丛书》为初级读物，主要读者对象是在生产第一线从事几何量计量检测工作的检验人员，特别是参加工作不久的年轻检验人员。丛书亦可供有关专业人员和大中专院校有关专业的师生参考。

本丛书共 9 个分册：即《通用量具与检具》、《常用光学量仪》、《电测技术基础》、《形位误差测量》、《角度测量》、《表面粗糙度测量》、《平台测量》、《螺纹测量》及《齿轮测量》。编写原则是力争全面、系统，又能少而精，突出生产中常用的基本检测技术。考虑到总篇幅的限制，对各种基础理论知识，未作详尽地介绍，对不断涌现的新技术，虽有所涉及但未全面展开叙述。有关这些方面的知识，读者可参阅其他专业书籍。

由于编者水平所限，丛书中不足之处及缺点错误在所难免，尚望广大读者多予批评指正，以便再版时进行修订。

编 者

1998 年 3 月

目 录

第一章 形位误差与公差	(1)
一、形状误差与公差	(1)
(一) 概述	(1)
(二) 形状误差及其评定原则和方法	(2)
(三) 形状公差	(4)
二、位置误差与公差	(10)
(一) 概述	(10)
(二) 位置误差及其评定基准	(10)
(三) 位置公差	(13)
三、形位公差与尺寸公差的关系	(22)
四、形位误差的检测原则	(26)
第二章 直线度误差的测量	(28)
一、直线度误差的评定方法	(28)
二、用分段法间接测量直线度误差	(29)
(一) 具体测量方法和步骤	(29)
(二) 直线度误差值的确定	(33)
三、与模拟理想直线直接比较的方法测量直线度误差	(34)
四、组合法测量直线度误差	(38)
五、直线度的测量误差	(41)
第三章 平面度误差的测量	(44)
一、平面度误差的评定方法	(44)
(一) 平面度误差的具体评定方法	(44)
(二) 平面度误差评定方法的应用	(46)
二、平面度误差的测量方法	(46)
(一) 平面度误差的直接测量法	(46)
(二) 平面度误差的间接测量法	(47)
(三) 平面度测量的布点形式	(47)
三、用对角线布点形式测量平面度的数据处理	(49)
四、用网格布点形式测量平面度的数据处理	(55)
五、最小区域法评定平面度误差的数据处理	(58)
第四章 圆度和圆柱度误差的测量	(61)
一、圆度误差的测量与评定	(61)
(一) 圆度误差的评定方法	(61)

(二) 圆度误差的测量	(64)
二、圆柱度误差的测量与评定	(73)
(一) 圆柱度误差的评定方法	(73)
(二) 圆柱度误差的测量	(74)
第五章 轮廓度误差的测量	(77)
一、概述	(77)
二、线轮廓度误差的测量	(77)
(一) 与理想要素比较	(77)
(二) 测量坐标值	(80)
三、面轮廓度误差的测量	(82)
(一) 与理想要素比较	(82)
(二) 测量直角坐标值	(82)
第六章 定向位置误差的测量	(83)
一、平行度误差的测量	(83)
二、垂直度误差的测量	(88)
三、倾斜度误差的测量	(92)
第七章 定位位置误差的测量	(97)
一、同轴度误差的测量	(97)
二、对称度误差的测量	(101)
三、位置度误差的测量	(104)
(一) 位置度误差及其测量的特点	(104)
(二) 位置度误差的测量	(106)
第八章 跳动误差的测量	(112)
一、跳动误差的测量方法	(112)
二、跳动测量基准的体现方式	(114)
三、测量跳动的注意事项	(115)
参考文献	(116)

第一章 形位误差与公差

一、形状误差与公差

(一) 概 述

构成零件几何特征的点、线、面称为几何要素，简称要素。形状误差涉及的要素是线和面，它们的误差与公差有多种类型项目。对中心线、素线（母线）、棱线及狭长表面（如导轨面），形状误差主要是控制直线度；对平面要求控制平面度；对旋转体要求控制圆度、圆柱度、圆锥度等；对曲线和曲面要求控制线轮廓度和面轮廓度。总的来说，形状误差就是轮廓误差，直线度和圆度实际上是线轮廓度的特例，平面度和圆柱度、圆锥度是面轮廓度的特例。因为在生产中，直线度、平面度、圆度等用得较多，故单另提出项目。

目前世界上许多国家（包括中国）的形位公差国家标准所规定的公差项目和符号，都与 ISO 国际标准趋于一致，我国国家标准中规定的公差项目和符号与 ISO 标准相同，具体如表 1—1 所列。其中以直线度、平面度（人们常合称平直度）和圆度用得较为普遍，圆柱度和线、面轮廓度是国家标准新提出的项目（圆锥另有国家标准）。

表 1—1

形状公差项目及符号

项 目	符 号	项 目	符 号	项 目	符 号
直 线 度	—	圆 度	○	线轮廓度	⌒
平 面 度	□	圆 柱 度	∅	面轮廓度	⌒

零件上的各种要素可区分如下：

(1) 理想要素与实际要素

理想要素是按设计要求在图纸上给出的没有误差的理想状态，它仅具有抽象的几何意义。实际要素是零件加工后实际存在的要素，通常由测得的要素来替代。由于有测量误差存在，所以测得要素并非实际要素的真实情况。

(2) 轮廓要素和中心要素

零件具体表面上的要素称为轮廓要素，如素线、曲线、圆柱面、平面、曲面等。回转体的回转中心、轴线以及某些对称轮廓的对称线、对称面等假想的要素称为中心要素，它也只是抽象存在，具体应用时要进行分析和模拟。

(3) 基准要素和关联要素、单一要素

用以确定被测要素的方向或位置的要素称为基准要素，理想的基准要素简称基准。

因有基准而相互有一定几何关系（如平行、垂直、对称、同轴等）的两个或多个要素，都称关联要素。与其他要素没有功能关系的要素，称为单一要素（如一个点、一个平面或圆柱面、一条轴线等）。

（二）形状误差及其评定原则和方法

按国家标准，形状误差是被测实际要素对其理想要素的变动量，而理想要素的位置应符合最小条件。在说明什么是最小条件之前，我们先看理想要素的位置对评定形状误差的影响，下面以直线度误差的评定为例来说明。图 1—1 所示为理想直线位于三种不同方位来评定同一截面轮廓的直线度误差。理想直线方位不同，直线度的评定结果就不一样。

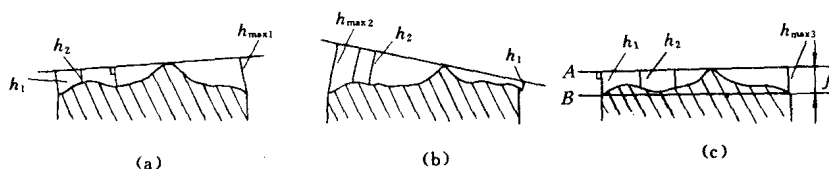


图 1—1

将理想直线从轮廓外侧贴靠实际轮廓，图中三个不同方位直线度的最大误差值分别为 $h_{\max 1}$ 、 $h_{\max 2}$ 和 $h_{\max 3}$ （最大误差值是被测轮廓上各点距理想直线的距离 $h_1, h_2, h_3 \dots$ 中的最大距离 $h_{\max}$ ）。评定的方位有很多，因此，可得出 $h_{\max 1}, h_{\max 2} \dots, h_{\max n}$ （理论上 $n \rightarrow \infty$ ）等许多不同的最大误差值，但其中必有一个值为最小，例如为 $h_{\max 3}$ ，即 $h_{\max 3} < h_{\max i}$ （ i 为 1, 2, 4, ..., n ）。

为了能正确和统一地评定形状误差，必须确定理想要素的位置，也就是要规定形状误差的评定原则。

1. “最小条件”原则

所谓“最小条件”，就是指被测实际要素对其理想要素的最大变动量为最小，并以此作为评定形状误差的依据。如上例，被测轮廓的直线度误差就是 n 个最大变动量中的最小值 $h_{\max 3}$ 。

按最小条件评定的形状误差值，可用最小包容区域的宽度或直径来表示，“最小包容区域”是指包容被测实际要素且具有最小宽度或直径的区域。如图 1—1 (c)，用 A、B 两条符合最小条件的平行线包容被测实际直线，其间的最小宽度 f （等于 $h_{\max 3}$ ）就是直线度误差值。图 1—2 (a) 是平面度的最小包容区域，图 1—2 (b) 是轴线直线度的最小包容直径，都是体现按最小条件评定形状误差 f 和 ϕf 的示例。

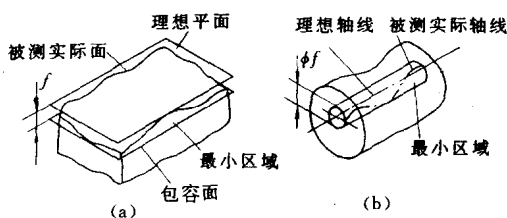


图 1—2

按最小条件原则评定形状误差，最为理想，因为评定的结果是唯一的，符合国家标准规定的形状误差定义，概念统一，且误差值最小，对保证零件上被测要素的合格率有利。但在很多情况下，寻找和判断符合最小条件的理想要素的方位很麻烦，很困难。所以在实际应用中，还可采用一些评定形状误差的近似方法，但在有争议的重要检测中，仍应按最小条件来作仲裁性的测量评定。

2. 最小二乘原则

我们以圆度误差的评定为例来说明最小二乘原则。圆度误差概略地说,就是圆截面不圆的误差。图 1—3 中粗实线为实际圆的轮廓。若从实际圆上各点到某圆的距离的平方和为最小,则此圆即为最小二乘圆,如图 1—3 中的细实线圆。最小二乘的意思是:

$$\sum_{i=1}^n (r_i - R)^2 = \text{“最小”} (i = 1, 2, \dots, n)$$

式中: r_i ——实际圆上第 i 点到最小二乘圆圆心 O 的距离;

R ——最小二乘圆半径。

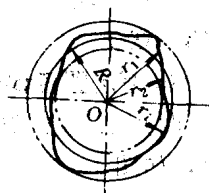


图 1—3

所谓“最小”,就是换一个任何其他半径为 R' 的圆,必有 $\sum_{i=1}^n (r_i - R)^2 < \sum_{i=1}^n (r_i - R')^2$

最小二乘法是统计数学的重要内容之一,是处理误差和数据的一种基本方法,要深入了解可参考有关专著。

在图 1—3 中,以最小二乘圆的圆心为圆心,作包容实际圆的内、外包圆(如图中双点划线圆,不是内接圆、外切圆),此二包容圆的半径差,即为圆度误差值,这就是按最小二乘原则评定圆度误差的方法。对直线度、平面度等误差,也可作最小二乘直线、最小二乘平面来评定。

按最小二乘原则评定圆度误差及其他形状误差,其误差值也是唯一的,但一般要比按最小条件评定的误差值稍大。如圆度误差按最小条件是用包容被测实际圆且半径差为最小的两同心圆来评定,半径差(圆度误差)既是“最小”,当然要小于按最小二乘原则评定的圆度误差值。

3. 评定直线度误差的首尾两点连线法

此法是以被测线段首尾两点的连线作为理想直线,并与被测实际直线比较来确定直线度误差值,如图 1—4 所示 A, B 两点连线(f 为直线度误差)。这种方法评定的误差值也是唯一的,但在很多情况下将大于按最小条件评定的结果。由于按最小条件评定直线度误差并不太困难(见第二章),所以这种方法虽然简单,但使用价值有限。

4. 评定平面度误差的对角线法

此法适于测量平板等矩形平面,它是以通过被测平面上一条对角线 $\overline{AB}$ (图 1—5),且平

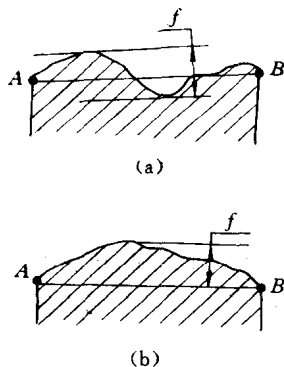


图 1—4

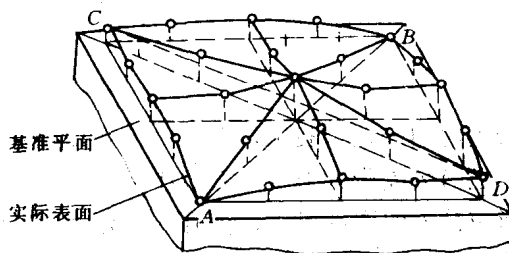


图 1—5

行于另一条对角线 $\overline{CD}$ 的平面作为理想平面，来评定该被测平面的平面度误差值。

这种方法测得的误差值是唯一的，但一般也大于按最小条件的测得结果，具体评定方法见第三章。

5. 评定圆度误差的两点法和三点法

两点法是在被测圆周的不同方位上作对径测量（测量器具和辅具与被测要素成两点接触），如图 1—6 所示。这种方法适用于揭示椭圆形式及圆周由偶数圆弧构成的圆度误差。

三点法测圆度误差如图 1—7 所示， α 角多为 90° 或 120° ， β 角可为 0° ， 30° ， 60° 。不同的 α 和 β 角，测量结果的计算也不同，详见第四章。此法适用于揭示具有多棱轮廓的圆度误差。

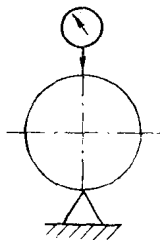


图 1—6

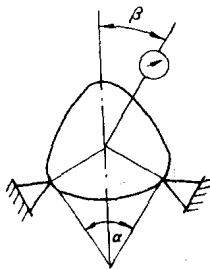


图 1—7

要指出，用非“最小条件”方法评定的形状误差，如能小于公差值，而被测要素为合格的话，用“最小条件”来评定肯定更合格。所以用非“最小条件”评定形状误差，对保证产品质量来讲是有利的。

（三）形状公差

国家标准中规定的形位项目的公差，都是用框格形式（如图 1—8 例）标注在图纸上，不同的标注表示有不同的要求，其测量处理也不一样。因此，测量前一定要正确了解公差标注的要求，否则将造成差错。

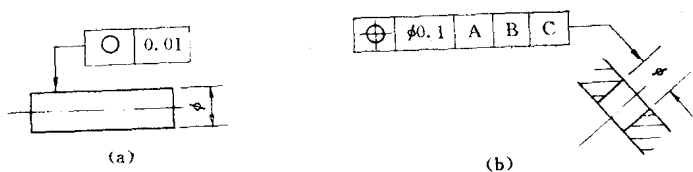


图 1—8

形位公差可用公差带表示，但它比尺寸公差带复杂，除公差值的大小（公差带的宽度或直径）外，还有公差带的形状、方向和位置等因素。

关于形位公差的图纸标注，在国家标准“形状和位置公差 代号及其注法”（GB 1182—80）中有详细规定。为节省篇幅，后面都以列表加说明的方式介绍其主要内容。形位公差都是以框格形式标注在图纸上。

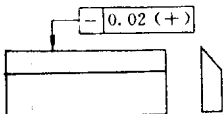
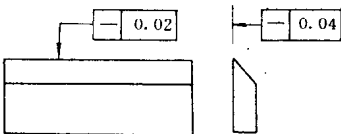
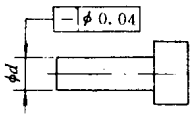
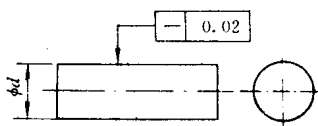
图 1—8 (a) 表示直径为 ϕ 的轴，其垂直于轴线的截面，有圆度要求，公差值为 0.01，框格从左起第一方格标出形位项目符号，第二格标注公差值，方格至少有两格，最多为五格，后

面三格为基准符号（如图 1—8 (b) 的位置度基准）。关于基准，后面还要介绍。框格由带引线的箭头垂直指向被测要素的法向，箭头指向就是公差带的宽度（代表公差值大小）方向，也就是测量形位误差的方向。引线一般由左方引出，有时为了图面标注清晰，也可从右方引出（但框格内的内容不能颠倒），必要时还可由上、下方引出。对中心要素（如孔的轴线），箭头还可作尺寸线使用（如图 1—8 (b)）。当箭头作尺寸线使用或与尺寸线对齐时，说明被测要素是中心要素（图 1—8 (b) 被测要素是孔的轴线），不是中心要素不能这样标注，箭头一定要与尺寸线错开。

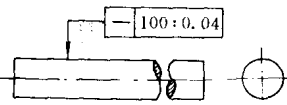
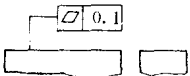
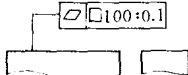
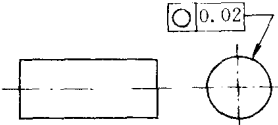
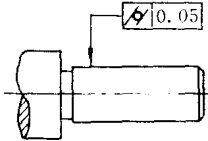
表 1—2 为典型的形状公差示例，要注意不同的图样标注，其公差带的形状也是不同的。

表 1—2

形 状 公 差 示 例

项 目	序 号	图 样 标 注	公 差 带	说 明
直 线 度	1		两 平 行 平 面	实际棱线必须位于箭头所指方向且距离为 0.02 mm 的两平行平面之间（“+”号表示只许中间向材料外凸起）
	2		四 棱 柱	实际棱线必须位于水平方向距离为 0.04 mm，垂直方向距离为 0.02 mm 的四棱柱内
	3		圆 柱	ϕd 实际轴线必须位于以理想轴线为轴线，直径为 $\phi 0.04$ mm 的圆柱体内
	4		两 平 行 直 线	圆柱表面上的任一素线必须位于轴向截面内，且距离为 0.02 mm 的两平行直线之间

续表

项目	序号	图 样 标 注	公 差 带	说 明
直 线 度	5		两 平 行 直 线	该表面长度方向上的任一素线,在任意 100 mm 长度内必须位于轴向截面内距离为 0.04 mm 的两平行直线之间
平 面 度	6		两 平 行 平 面	实际表面必须位于箭头所指方向且距离为 0.1 mm 的两平行平面内
平 面 度	7		两 平 行 平 面	实际表面上任意 100×100 mm 范围,必须位于箭头所指方向且距离为 0.1 mm 的两平行平面之间
圆 度	8		两 同 心 圆	在垂直于轴线的任一正截面内,其截面轮廓必须位于半径差为 0.02 mm 的两同心圆之间
圆 柱 度	9		两 同 轴 圆 柱 面	实际圆柱面必须位于半径差为 0.05 mm 的两同轴圆柱面之间

续表

项目	序号	图 样 标 注	公 差 带	说 明
线 轮 廓 度	10		两 等 距 曲 线 	在平行于正投影面的任一截面上,实际轮廓线必须位于包络一系列直径为0.05 mm、且圆心在理想轮廓线上的圆的两包络线之间 理想轮廓线由图中标注的理论正确尺寸确定 图示只对轮廓线的形状精度有要求
	11		两 等 距 曲 线 	与序号10不同的是被测轮廓线的位置已相对基准A确定,不能移动,轮廓度公差带同时控制实际轮廓线的形状和位置
	12		两 等 距 曲 面 	实际轮廓面必须位于包络一系列球的两包络面之间;诸球的直径为0.02 mm且球心在理想轮廓面上 面轮廓度也可以象序号10、11线轮廓度那样,分为两种情况来要求

在序号1中,如框格中的公差值0.02后面加注符号(—)时,则表示直线度误差只许中间向材料内凹下。一般若无这种特殊要求,就不标(+)或(—)号。序号2表示在两个互相垂直的方向上都有直线度要求,故公差带的形状是一个四棱柱。序号3的框格箭头对准并当作直径尺寸线,所以被测要素是轴心线,而且是在任意方向上都应限制直线度,故其公差带是以理想轴线为轴线,直径为公差值 $\phi 0.04$ mm的圆柱。这里要注意:凡是公差带形状为单一的圆形或圆柱体,则在框格的公差值前面要加“ ϕ ”,公差值前面加“ ϕ ”与不加“ ϕ ”,其公差带形状不同,对测量的要求也不一样。序号1,2和3分别表示在一个方向、两垂直方向和

全方位提出直线度要求。

序号 4 也是标注直线度,和序号 3 不同,箭头与 ϕd 的尺寸线是错开的,所以被测要素是圆柱素线,而不是轴线,公差带形状不是圆柱,故框格内的公差值前面不要加“ ϕ ”。序号 5 和 7 是有特殊要求的标注方式,一般很少用到。

序号 8, 9 的圆度和圆柱度,公差带分别是两同心圆和两同轴圆柱面,其圆心和轴线的位置都不是固定的,而是随实际被测轮廓和所采用的评定原则(如最小条件、最小二乘原则等)而定。由于公差带不是单一的圆和圆柱,所以框格内的公差值前面不要加“ ϕ ”。

序号 10 表示线轮廓度。图中带有方框的三个尺寸叫作理论正确尺寸,这是 ISO 国际形位标准和我国形位国家标准提出的一个新的概念。“理论正确尺寸”主要是在形状公差的轮廓度和位置公差的位置度中,用以确定被测要素理想形状、方向和位置的尺寸,它仅表示对被测要素的理想要求,故不带公差,加方框是为了与未注公差的一般尺寸相区别。用理论正确尺寸标注的被测要素的形状、方向和位置的误差,都由形位公差来控制。

序号 11 与序号 10 不同之处在于将定位尺寸“ 25 ± 0.1 ”的尺寸标注改为理论正确尺寸,另外,图中左下方有一“A”加圆圈的基准符号。序号 10 中被测曲线的线轮廓度公差带可相对零件底面在 $\pm 0.1 \text{ mm}$ 的尺寸公差带内浮动(上下移动或偏转),对被测曲线主要是对形状精度有要求(位置要求较宽松)。而序号 11 则表示被测曲线公差带的方向和位置已相对作为基准的底面确定,即线轮廓度公差带同时控制实际轮廓线的形状、方向和位置,这样标注的要求比序号 10 严格得多,加工也困难得多。A 加圆圈的基准符号,要与尺寸线错开,只有用中心要素(如轴线)作基准时,才要求与尺寸线(如直径尺寸线)对齐,这与形位公差框格的引线箭头标注要求相同。形位公差带的位置有浮动(如序号 10 及序号 1, 2 和 4~9)和固定(如序号 11 和 3)两种,容易区分。

序号 12 面轮廓度也有如序号 10 和 11 那样两种标注方式。面轮廓度是线轮廓度的扩展,平面度是直线度的扩展,圆柱度是圆度的扩展。而平面和圆柱面可视为曲面的特例,直线和圆又是曲线的特例。

国家标准在附录中对直线度、平面度规定了 1~12 个公差等级和公差值(表 1—3),对圆度和圆柱度规定了 0~12 共 13 个公差等级和公差值(表 1—4)。由于线、面轮廓度是新提出的项目,还缺乏实用经验和论证,故暂时还没有提出公差等级和公差值,只能由设计者自行拟定。

要指出,对图纸上未注形位公差的要素,和未注公差的尺寸一样,也有较宽松的形位公差要求。具体规定见国家标准《形状位置公差 未注公差的规定》(GB 1184—80)。

表 1—3 直线度、平面度公差 (摘自 GB 1184—80)

主 参 数 L/mm	公 差 等 级											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	公 差 值 / μm											
≤ 10	0.2	0.4	0.8	1.2	2	3	5	8	12	20	30	60
$> 10 \sim 16$	0.25	0.5	1	1.5	2.5	4	6	10	15	25	40	80
$> 16 \sim 25$	0.3	0.6	1.2	2	3	5	8	12	20	30	50	100

续表

主 参 数 L/mm	公 差 等 级											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	公 差 值 / μm											
$>25\sim40$	0.4	0.8	1.5	2.5	4	6	10	15	25	40	60	120
$>40\sim63$	0.5	1	2	3	5	8	12	20	30	50	80	150
$>63\sim100$	0.6	1.2	2.5	4	6	10	15	25	40	60	100	200
$>100\sim160$	0.8	1.5	3	5	8	12	20	30	50	80	120	250
$>160\sim250$	1	2	4	6	10	15	25	40	60	100	150	300
$>250\sim400$	1.2	2.5	5	8	12	20	30	50	80	120	200	400
$>400\sim630$	1.5	3	6	10	15	25	40	60	100	150	250	500

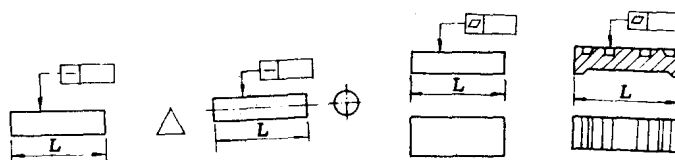
主参数 L 图例

表 1—4

圆度、圆柱度公差 (摘自 GB 1184—80)

主 参 数 $\frac{d(D)}{\text{mm}}$	公 差 等 级												
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	公 差 值 / μm												
$>6\sim10$	0.12	0.25	0.4	0.6	1	1.5	2.5	4	6	9	15	22	36
$>10\sim18$	0.15	0.25	0.5	0.8	1.2	2	3	5	8	11	18	27	43
$>18\sim30$	0.2	0.3	0.6	1	1.5	2.5	4	6	9	13	21	33	52
$>30\sim50$	0.25	0.4	0.6	1	1.5	2.5	4	7	11	16	25	39	62
$>50\sim80$	0.3	0.5	0.8	1.2	2	3	5	8	13	19	30	46	74
$>80\sim120$	0.4	0.6	1	1.5	2.5	4	6	10	15	22	35	54	87

主参数 $d (D)$ 图例

二、位置误差与公差

(一) 概 述

位置误差分定向误差、定位误差和跳动误差三类，每类中又包括几种典型项目，限制这些误差的公差项目及其符号，国家标准中都有规定，且与 ISO 国际标准一致，项目名称及符号如表 1—5 所列。

表 1—5 位置公差项目及符号

定 向 公 差		定 位 公 差		跳 动 公 差	
项 目	符 号	项 目	符 号	项 目	符 号
平行度	//	同轴度		圆跳动	
垂直度		对称度			
倾斜度		位置度		全跳动	

位置公差带的基本概念和形状公差带基本相同，但在形状误差与公差中，只是线、面轮廓度有时用到基准，而位置误差与公差则是以确定基准为前提的。

(二) 位置误差及其评定基准

位置误差是被测实际要素的方向或位置对具有确定方向和位置的理想要素的变动量，而理想要素的方向和位置由基准（或基准与理论正确尺寸）确定。因此，在设计图纸上提出位置公差要求时，一般都要注明基准。由于实际基准要素本身也会有形状误差，故由实际基准要素建立基准时，应以该实际要素的理想要素为基准，而此理想基准的方向和位置，应按最小条件来确定，这样规定，就保证了概念的统一。

对形状误差，最小条件是用于被测要素，而对位置误差，最小条件是用于基准要素，要注意这一重要区别。

图 1—9 (a) 表示被测要素为上平面，其对基准下平面的平行度公差（定向公差）为 0.02mm。因有一个基准，故公差框格有三个方格。图 1—9 (b) 表示被测实际要素和实际基准要素的情况。上平面的平行度误差应在垂直于按最小条件确定的理想基准的方向上量取，用两平行于理想基准的平面包容被测实际要素（即上平面），形成定向最小包容区域，其宽度 f 就是上平面对下平面的平行度误差。

图 1—10 (a) 是同轴度（定位公差）的示例， ϕd 的轴线对 ϕD 轴线（基准）有同轴度要求。因基准要素是中心要素，故基准符号要和 ϕD 的尺寸线对齐，又因被测要素也是中心要素，所以公差框格的引线箭头要与 ϕd 的尺寸线对齐。另外，同轴度公差带是以公差值 t 为直径的圆柱，故框格内的公差值 t 前面要加“ ϕ ”。图 1—10 (b) 表示同轴度误差 ϕf 的情况，被测理

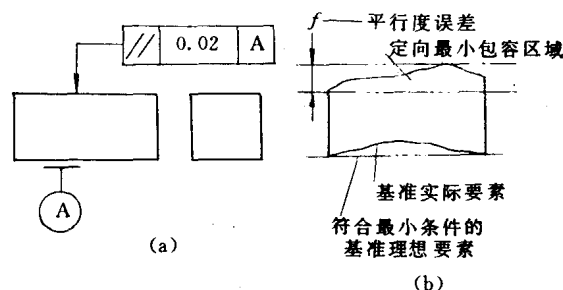


图 1—9

想要素 (ϕd 轴线) 要与基准轴线同轴, 定位最小区域是包容被测实际要素 (ϕd 实际轴线) 的圆柱, 此圆柱的轴线要与基准要素 (ϕD 的理想轴线) 同轴, 其直径 ϕf 为同轴度误差值。

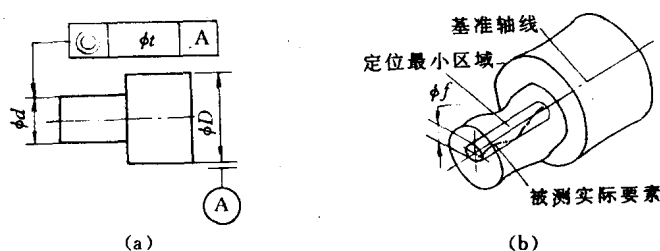


图 1—10

基准应符合最小条件是建立基准的基本原则, 但和形状误差一样, 实际测量和评定位置误差时, 基准要素也常常难于完全按最小条件来确定, 因而允许采用近似的方法来建立基准。另外, 在保证零件功能的前提下, 允许采用模拟方法体现被测实际要素, 如用精密心轴插入被测孔内模拟被测孔等。

测量时, 体现基准的基本方法有以下四种。这些方法有的可符合最小条件, 但大多数只是最小条件的近似。

(1) 直接法

当实际基准要素的形状误差很小, 其对测量结果的影响可忽略时, 可直接作为基准, 如图 1—11 所示, 实际上无论设计基准还是测量基准 (两者应尽可能一致), 都是精度较高的要素。测量时将测微表座 (座底面积越小越好) 直接放在基准面上, 并前后左右移动, 测微表测头也在被测面上随之移动进行测量。

(2) 模拟法

模拟法是采用具有足够精度的表面来体现基准平面和基准轴线等, 用这种方法建立基准, 虽多数情况只是最小条件的近似, 但在生产中用得很多。图 1—12 所示是将被测件的基准平面放在精密的平板上, 以平板表面来体现基准面, 测量时, 测微表座就放在平板上如图所示进行测量。至于基准孔的轴线, 可用可胀式或能与孔成间隙接近于零的配合的精密心轴来模拟 (如图 1—13 (a)); 而对基准轴的轴线, 除可用可胀式或能与轴成间隙接近于零的配合的精密套筒来模拟外 (如图 1—13 (b)), 还可用顶持轴两端顶尖孔的两顶尖的中心连线模拟 (如图 1—13 (c)), 或用一标准的 V 形块或两个等高的 V 形块来模拟 (如图 1—13 (d), (e))。

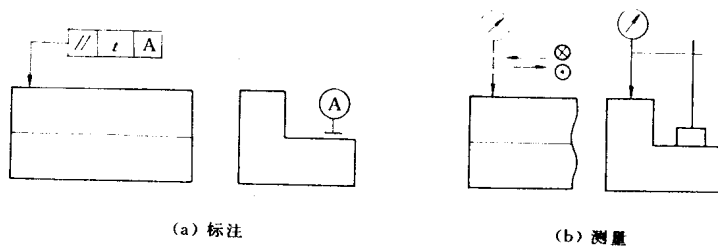


图 1—11

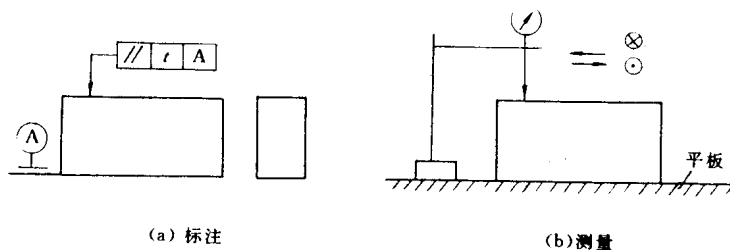


图 1—12

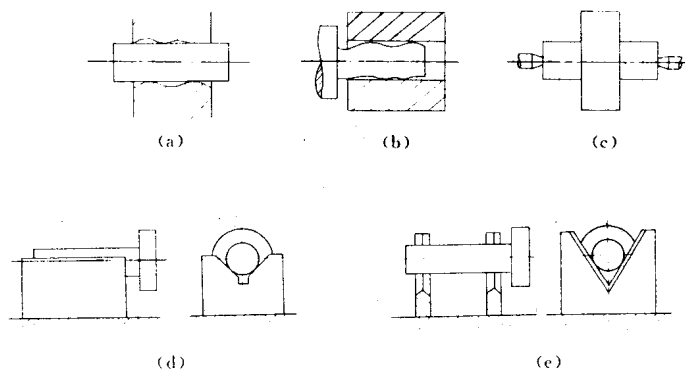


图 1—13

(3) 分析法

分析法是对基准实际要素进行测量后,根据测量数据用图解法或计算法确定基准的位置。按最小条件或最小二乘原则建立基准,一般都是用分析法,在形位误差的精密测量中,这种方法应用很多。后面各章中有许多测法和实例,都是用分析法。

(4) 目标法

目标法主要用于铸、锻、焊等粗糙表面和不规则的曲面。它是在实际基准要素上规定若干个点目标、线目标和面目标构成基准。一般“点目标”用球端支承来体现,“线目标”用刀口支承或圆轴的素线来体现,“面目标”按图样上规定的目标形状和尺寸大小,用相应的平面支承来体现。各支承的位置应按图纸上的标注来安置。点目标在图纸上用“×”表示(图 1—14 (a)),线目标用双点划线表示,并在棱边上加“×”(图 1—14 (b)),面目标用双点划线画出作为目标的局部表面的图形,并画上与水平成 45°的细实线(图 1—14 (c), (d))。基准

目标的代号用圆圈加指向目标的箭头表示（见图 1—14），箭头引线应自圆圈的径向画出。圆圈分上下两半部，上半部填写给定的面目标局部表面的尺寸（“直径”或“边长×边长”，如图 1—14 (c)、(d)），下半部填写基准字母符号（A, B, C…）和基准目标的序号（1, 2, 3…）。

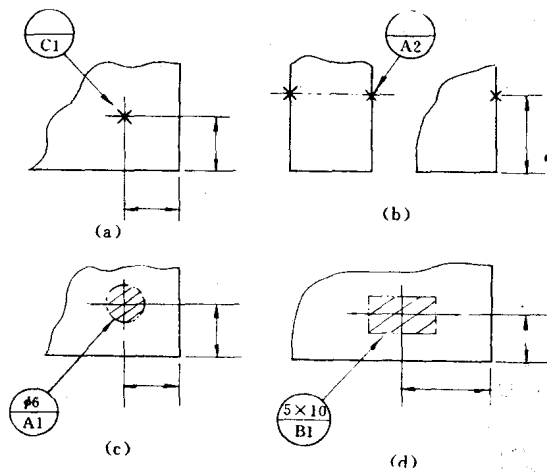


图 1—14

（三）位置公差

位置公差也分定向公差、定位公差和跳动公差三类。定向（定位）公差是被测实际要素对基准在方向上（位置上）允许的变动量，跳动公差与定向、定位公差不同，定向、定位公差是以几何特征来定义的，而跳动公差是以检测方式的特点而规定的项目。

下面分别以列表加说明的方式来介绍三类位置公差。

1. 定向位置公差

表 1—6 所列为定向位置公差的典型示例。

表 1—6 定向位置公差示例				
项目	序号	图 样 标 注	公 差 带	说 明
平 行 度	1		两 平 行 平 面	ϕD 的轴线必须位于距离为 0.1 mm、且在垂直方向平行于基准轴线的两平行平面之间