



形状和位置公差的应用与检测

陆振涛 编

中国铁道出版社

内 容 提 要

本书系统地阐述了形位公差术语、定义、公差原则、公差值、图样上标注的方法,以及形位误差的检测方法等。内容联系实际,着重于应用,对从事机械工业生产的工程技术人员,在设计检测工作中应用形位公差和检测形位误差有一定参考价值。

本书可供从事机械工业生产的技术人员及理工院校学员阅读,也可供技术工人自学及作为技术工人培训的教材。

形状和位置公差的应用与检测

陆 振 涛 编

中国铁道出版社出版

责任编辑 苏国镇 封面设计 翟 达

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

中国铁道出版社印刷厂印

开本: 787×1092 $\frac{1}{16}$ 印张: 13.25 字数: 323 千

1984年12月 第1版 第1次印刷

印数: 0001—20,100册 定价: 2.50元



前 言

“形状和位置公差”（简称形位公差）是评定机械零件加工精度的重要技术指标之一，对保证与提高机械产品质量和提高劳动生产率，具有重要作用。

为了便于有关技术人员熟悉与掌握形位公差的基本知识和在生产中实际应用，以及满足机械工人的培训与自学形位公差知识的需要，我们编写了这本《形状和位置公差的应用与检测》。书中除了系统地阐述了形位公差的术语、定义、公差原则、公差值、图样上标注方法以及形位误差检测等基本知识和方法外，还着眼于生产实际，着重地介绍了形位公差各项目与公差原则的选择和应用。

本书经高中保同志作了补充和修改，最后经杨振祥同志审查定稿。书中插图由王玉仙、孙淑敏同志描绘。本书在编写过程中，受到铁道部科技局标准处的关注、大连铁道学院制图教研室的支持，以及黄本伦、滕璩、孙德有、鞠振业等同志的帮助。铁路系统有关工厂、研究所、大专院校为本书提供了资料，还参加了初稿的评审，提出了许多宝贵意见，在此一并表示谢意。

由于作者水平有限，书中难免还有错误，希广大读者批评指正。

编 者

一九八三年十一月

目 录

绪 言	1
第一章 基本概念	4
第一节 要 素	4
第二节 形位误差与形位公差	5
第三节 形位公差带	7
第四节 最小条件	10
第五节 基 准	11
第六节 理论正确尺寸和几何图框	17
第七节 产生形位误差的因素	18
第二章 形状公差	19
第一节 直 线 度	19
第二节 平 面 度	21
第三节 圆 度	21
第四节 圆 柱 度	22
第五节 线、面轮廓度	22
第三章 位置公差	28
第一节 定向公差	28
第二节 定位公差	36
第三节 跳动公差	51
第四节 旧标准中一些形位公差项目被取消后的处理	54
第四章 形位公差原则	57
第一节 有关术语的基本概念	57
第二节 相关原则	60
一、最大实体原则	60
二、包容原则	68
第三节 独立原则	72
第五章 形状和位置公差的标注方法	74
第一节 形位公差标注方法的一般规则	74
第二节 形位公差代号	76
第三节 被测要素与基准要素的标注方法	78
第四节 公差数值和有关符号的标注方法	87
第五节 表格标注法	92
第六章 形状和位置公差的应用与公差值的确定	94
第一节 尺寸公差与形位公差之间的关系	94

第二节	形位公差各项目之间的关系	99
第三节	形位公差项目的选择	102
第四节	最大实体原则、包容原则和独立原则的应用	109
第五节	形位公差值的确定	112
第六节	未注形位公差的规定	120
第七节	位置度公差值的计算	121
第七章	形状和位置公差的应用与标注示例	123
第一节	轴套类零件	123
第二节	轮盘类零件	126
第三节	叉杆类零件	129
第四节	箱体类零件	130
第五节	组合件	132
第八章	形状和位置误差检测基本知识	133
第一节	检测工作中注意事项	133
第二节	形位误差及其评定	135
第三节	基准的建立和体现	138
第四节	五种检测原则	145
第九章	形状误差的检测	149
第一节	直线度误差的检测	149
第二节	平面度误差的测量	160
第三节	圆度误差的测量	168
第四节	圆柱度误差的测量	172
第五节	轮廓度误差的测量	173
第十章	位置误差的检测	175
第一节	平行度误差的检测	175
第二节	垂直度误差的检测	182
第三节	倾斜度误差的测量	187
第四节	同轴度误差的检测	190
第五节	对称度误差的检测	194
第六节	位置度误差的检测	197
第七节	跳动误差的测量	202

绪 言

众所周知，在零件加工中，由于各种因素的影响，要求零件各部分要素的尺寸、形状和要素间的相对位置，都制造得绝对精确，是既不经济也是不可能的。因此，在设计零件时，应根据零件的功用，事先对零件要素的尺寸、形状和要素间的相对位置，给出允许的变动范围。允许尺寸变动的范围，称为尺寸公差；允许要素的形状和要素间的相对位置变动的范围，称为形状和位置公差（简称形位公差）。

过去在零件加工质量要求方面，对尺寸公差与表面光洁度是比较重视的。但是，随着生产与科学技术的不断发展，如果对加工零件仅给出尺寸公差与表面光洁度要求，往往不能满足产品的使用要求。

如图 0—1 (a)、(b) 所示，两个零件上孔与轴的基本尺寸均为 $\phi 20$ ，尺寸极限偏差分别为 $^{+0.021}_0$ 、 $^{+0.007}_{-0.020}$ ，表面光洁度均为 $\nabla 7$ 。如果加工完了的轴，经检测实际尺寸为 $\phi 19.987$ ，光洁度为 $\nabla 7$ ，按图纸要求应为合格件。但是在实际使用时，有些零件却不能达到预期的间隙配合要求，甚至个别轴装不进孔中去。分析其原因，是因轴的轴线弯曲（图 0—1 (c)）。例如，直线度误差为 $\phi 0.036$ 时，轴的作用尺寸 = 实际尺寸 + 直线度误差 = $\phi 19.987 + 0.036 = \phi 20.023$ 。这时，即使与其相配合孔的实际尺寸为给定的最大极限尺寸 $\phi 20.021$ ，轴也装不进孔中去。这就是零件加工后形状误差所造成的结果。

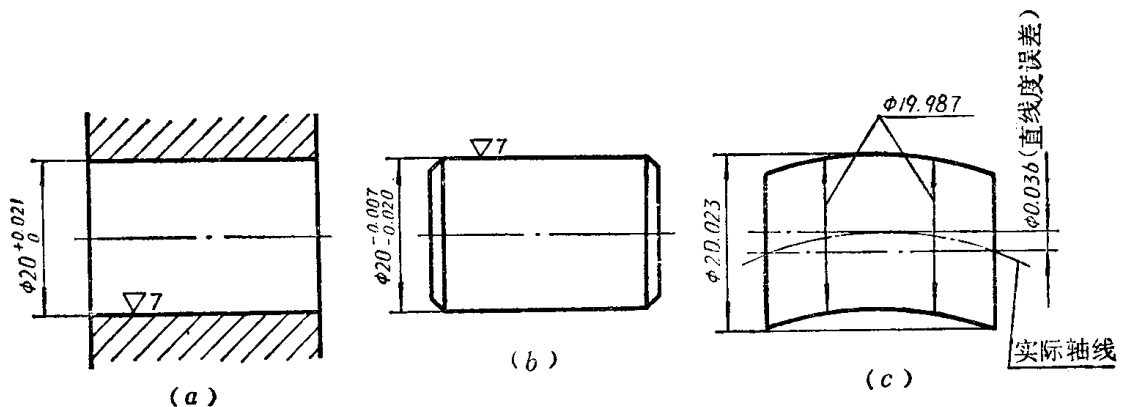


图 0—1

又如图 0—2 所示，箱体中装有一对传动齿轮。由于箱体上两个齿轮轴孔的轴线之间平行度误差太大，结果轴颈与衬套之间配合不好，两者之间磨损增大，缩短了使用寿命。而且会使一对齿轮之间，不能保证其正常的啮合传动性能。这也是加工后零件上要素之间的位置误差所造成的结果。

图 0—3 所示为内燃机车柴油机的气缸套，其形位公差要求达 10 项之多。这些都是根据气缸套的结构特点、工作条件和使用性能提出来的。例如，缸套内孔轴线须与活塞运动方向一致，否则在工作中会出现别劲和偏磨。所以在图中注出了气缸套轴线的直线度（符号—）、凸缘端面对轴线的垂直度（符号⊥）和各圆柱轴线间的同轴度（符号◎）公差要求。为了保证

在高温、高压下的气密性，又注出了气缸套内孔的圆度（符号○），以及凸缘端面的平面度（符号□）等公差要求。

由此可见，形位误差对机器、仪器和设备等的工作精度、连接强度、运动平稳性、互换性、耐磨性、密封性以及寿命、噪音等都有影响。形位公差正是用来控制机件的形位误差，不让其误差太大，从而保证机件的互换性与使用性能等方面均符合要求。这对于精密机器、仪器以及在高温、高速、高压载荷条件下工作的机件，显得更为重要。所以，形位公差与尺寸公差、表面光洁度一样，是评定机械零件加工精度的重要指标之一。

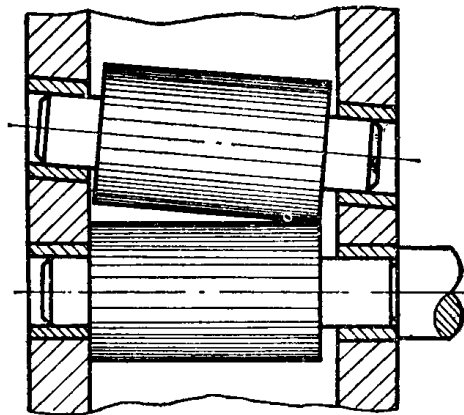


图 0-2

当然，从尺寸公差与形位公差之间的关系上分析，某些形位误差（如圆度、平行度）也同时反映在实际尺寸中，所以它可能被尺寸公差所控制（或局部控制）。但是，如果为了控制形位误差而提高尺寸公差的精度要求，这是不合算的。因为形位公差的精度，多数决定于机床设备的精度，而尺寸公差的精度一般决定于操作工人的技术水平。应用形位公差直接控制形位误差，比用提高尺寸公差精度的方法来控制形位误差，是既经济又有效。

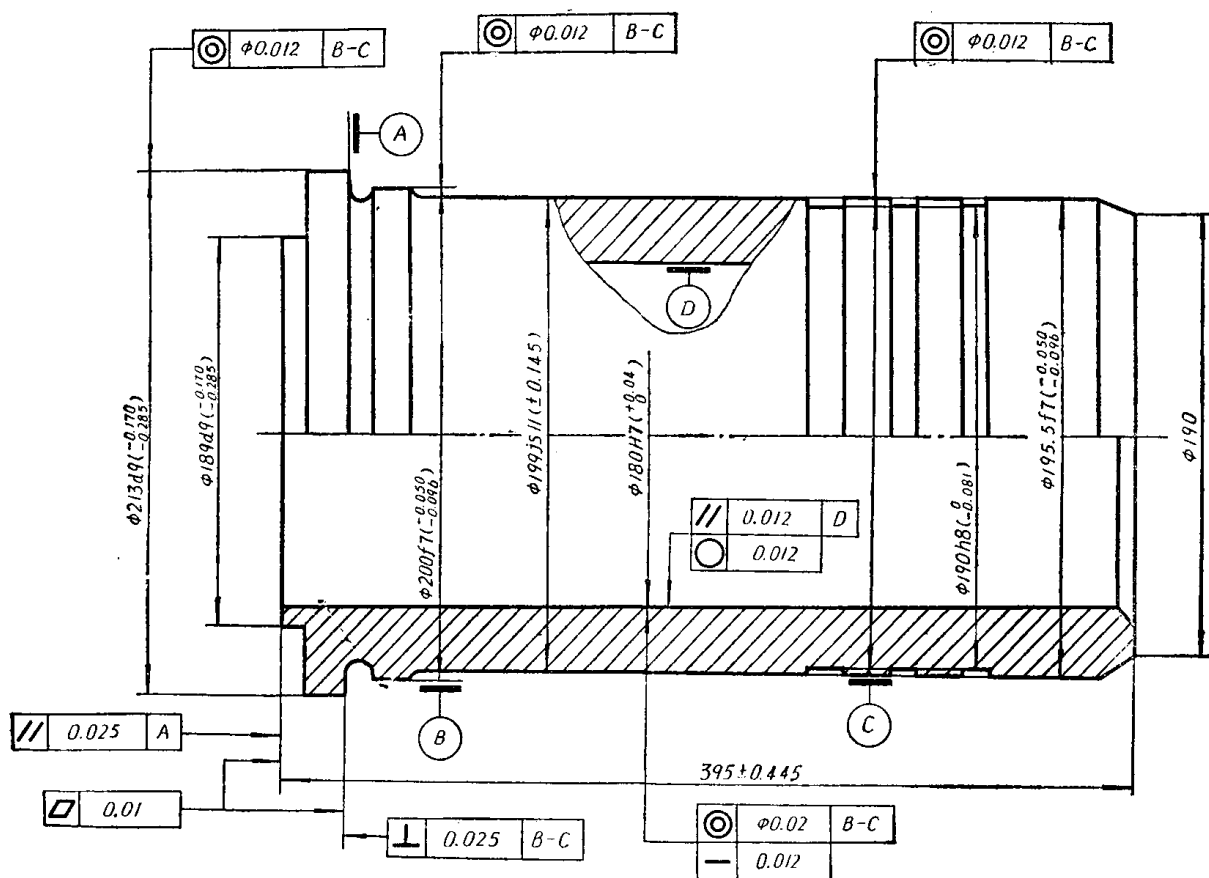


图 0-3 气缸套

因此，正确地选用形位公差，能保证产品质量，满足机器工作性能和使用等方面的要求，同时便于合理选用加工方法，以提高劳动生产率和降低成本，从而使产品的使用价值与制造成本的综合经济效果更好。

国家标准是一种特殊的信息，它在国家、制造单位和使用者的之间，构成了一个链环。这个信息是国家进行技术统一的依据；也是制造产品、选购产品的技术依据。形位公差既然是评定零件加工质量的重要指标之一，所以必须要有一套完整而先进的标准，以实现在技术上的统一与保证。

旧国家标准GB130—59《机械制图 偏差代号及其注法》中，除规定了尺寸偏差的标注外，还规定了表面形状偏差的注法，它是我国第一个有关形位公差的国家标准（以下简称旧标准）。但是，这个标准缺陷较多，如：

1. 形位公差项目与内容不全，术语与定义不明确。各单位在应用形位公差以保证产品质量时，由于形位公差项目不全，而由各单位（甚至设计者本人）自行规定一些项目和技术术语，因而出现了一些令人难以理解的形位公差的名词，如不齐度、多面度等，以及振幅、振摆、跳动等一个项目多个名词的现象；

2. 标注不醒目。旧标准虽然规定形位公差可用代号标注或文字说明。但是旧标准中所规定的代号不易记忆与分辨，且注在图形内部不醒目，生产过程中容易遗漏。若用文字说明，也因各地区、行业、单位及设计者措词不同，结果产生不同理解。如有的图样在技术要求中，有 A 与 B （或 A 和 B ）不平行度不大于0.05的要求，就难以分清 A 、 B 两个要素，哪个是被测要素，哪个是基准要素；

3. 没有统一的公差值，设计者无所依据。影响产品的互换性与工艺装备、测量器具等系列化；

4. 没有检测规定，无法正确评定完工后零件上的形位误差，是否满足图样上给定的形位公差要求。

由此可见，没有一个完整的、先进的、统一的供大家共同遵循的形位公差国家标准，在设计、工艺、检验和制造人员之间就没有共同语言。往往由于对形位公差要求理解不一，而影响产品质量，导致不应有的返工或报废。从而阻碍了形位公差这一能保证与提高产品质量的重要技术措施，在生产中广泛使用和发挥应有的作用。

随着我国生产技术的不断发展，对产品质量要求也越来越高，形位公差在保证与提高产品质量方面的作用，也越来越为广大科技人员所重视。为了适应生产发展需要，国家标准总局从1970年开始组织制订形位公差国家标准工作；1974年、1975年先后发布了GB1182—74《表面形状和位置公差 代号及其注法》、GB1183—74《表面形状和位置公差 术语及定义》、GB1184—74《表面形状和位置公差 公差值》三个试行标准。1982年又完成了这三个标准的修改和补充工作，将试行标准转为正式的国家标准，即：

1. GB1182—80《形状和位置公差 代号及其注法》（代替GB1182—74）
2. GB1183—80《形状和位置公差 术语及定义》（代替GB1183—75）
3. GB1184—80《形状和位置公差 未注公差的规定》（代替GB1184—75）

同时还制订了GB1958—80《形状和位置公差 检测规定》。

从三个试行标准发布后的实践中证明，标准内容比较全，基本概念与标注方法比较先进合理。它在生产中准确地沟通了设计、工艺、检测和制造人员之间的技术对话，在国家、制造单位和使用者的之间，起到了统一的媒介和凭证作用。试行标准经过修改与补充，又加上检测标准的制订与颁布，使我国在形位公差方面的国家标准更系统更完善。因此，认真执行这项重要的技术基础标准，充分发挥形位公差在生产中的技术作用，对促进我国的工业发展和提高科学技术水平，都将起到深远的影响与作用。

第一章 基本概念

第一节 要素

图 1—1 所示零件，它是由球面、圆锥面、圆柱面等所组成。这些面又是由球心(点)、顶点、素线、轴线、平面与曲面等构成。这些构成零件几何特征的点、线、面统称为要素。形位公差就是用来控制零件上要素的形状和要素相互间方向或位置的误差，以满足零件的功能要求。

根据要素的状态、作用及对其研究目的不同，在形位公差中对要素又有不同的概念：

一、理想要素

理想要素是具有几何学意义的要素，即理想要素须具有按几何学定义所规定的理想形状。通常说直线绝对直、平面绝对平，圆绝对圆，就是指要素的理想形状。在实际零件上是不存在理想要素的，理想要素仅是理论上的，它是设计者在设计工作中，对机构进行研究与计算时设定的要素状态。

二、实际要素

实际要素是零件上实际存在的要素。实际要素与理想要素之间，有一定的误差。

实际要素虽然在零件上是客观存在的，但是要完全认识实际要素的真实状态，是既不可能也是不必要的。因为实际要素的形状与位置要通过检测去认识，而在检测过程中又会受到计量器具精度与操作者技术水平等的影响。在生产实际中并不需要知道实际要素的真实形状与精确位置，只需要按照检测规定获得实际要素的近似形状与位置，以判断其是否达到设计规定的（形位公差）要求。所以，实际要素可由测量时测得的要素来代替，但是它并非该要素的真实状况。

三、被测要素

一个零件是由许多要素所构成的，但不是所有的要素都要给出形位公差要求。零件上给出了形状或（和）位置公差的要素称为被测要素。也就是形位公差所要控制的对象，如图 1—2（a）中的上表面与（b）中的轴线。

四、基准要素

若零件上两个或两个以上要素之间有一定的位置（包括方向）要求，其中有一个或几个要素确定了另个要素（被测要素）的位置（或方向），前者要素称为基准要素，即：基准要素是用来确定被测要素的方向或（和）位置的要素。如图 1—3 中底面 A 是确定右侧面垂直度的基准要素。

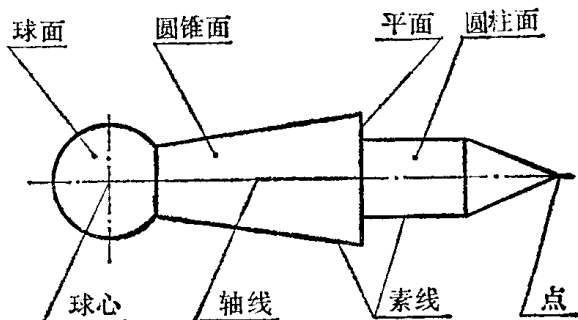


图 1—1

五、中心要素

中心要素是指要素中的轴线、中心线与对称中心面等。

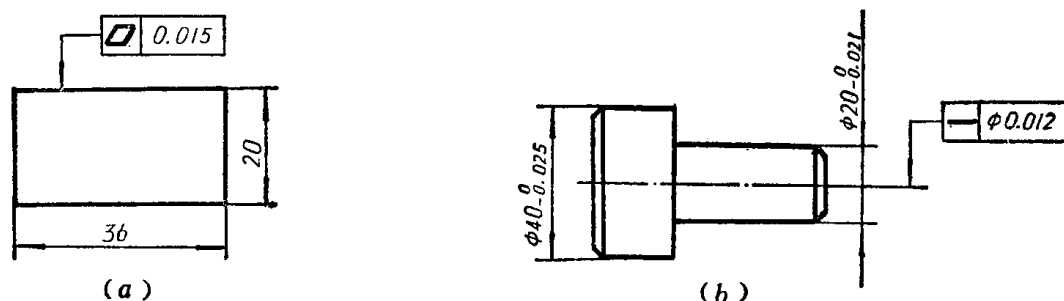


图 1—2

六、轮廓要素

轮廓要素是指零件上圆柱、圆锥、球等表面，以及表面上的棱线、素线、曲线、平面、曲面等。

七、单一要素

零件上的要素如仅对其本身给出形状公差要求，则该要素称为单一要素。图 1—2 (a) 所示零件的上表面仅注有平面度公差要求，该表面即为单一要素。

单一要素可为零件上的一个要素，有时是由零件上两个或两个以上要素组成的。图 1—2 (b) 中注有直线度公差要求的轴线，是由 $\phi 20_{-0.021}^0$ 与 $\phi 40_{-0.025}^0$ 两轴线组成的公共轴线，因为仅注有形状公差要求，所以该公共轴线也为单一要素。

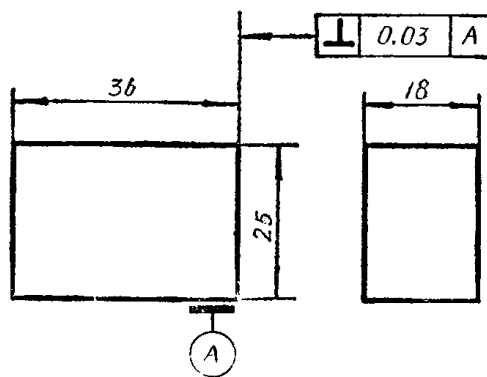


图 1—3

八、关联要素

关联要素是指对其它要素有功能关系的要素。图 1—3 中零件的右侧面对底面注有垂直度公差要求，右侧面为被测要素，底面为基准要素。按垂直度公差要求，如果没有底面作为基准，右侧面的方向无法确定。反之，如果没有右侧面为被测要素，指定底面作为基准也无意义。所以右侧面与底面之间具有功能关系，均称为关联要素。在实际使用与叙述中，图 1—3 中仅右侧面被称为关联要素。或者说零件中注有位置公差要求的被测要素，称为关联要素。显然，同一要素有时既为单一要素又为关联要素，如绪言的图 0—3 中气缸套凸缘端面上注有平面度和平行度公差要求，所以该端面既为单一要素又为关联要素。

第二节 形位误差与形位公差

一、形状误差与形状公差

零件上实际要素的形状与其理想要素的形状不一样时，它们之间的误差称为形状误差。即：形状误差是指被测实际要素对其理想要素的变动量。对被测实际要素形状所允许的变动量称为形状公差。形状公差就是用以控制单一要素形状误差的。

二、位置误差与位置公差

同样,零件上实际要素的位置与其理想要素的位置不一样时,它们之间的误差即为位置误差。因为被测要素的理想位置是由基准确定的,所以位置误差是被测实际要素的位置对其基准所确定的理想位置的变动量。位置公差是被测实际要素的位置对其基准所确定的理想位置所允许的变动量。

三、形位公差的项目及其符号

根据GB1182—80规定,形位公差各项目及其符号如表1—1所示。

形位公差各项目及其符号

表1—1

分 类	项 目	符 号	分 类		项 目	符 号
形 状 公 差	直线度	—	位 置 公 差	定 向	平行度	//
	平面度	▱			垂直度	⊥
	圆 度	○			倾斜度	∠
	圆柱度	⊘		定 位	同轴度	◎
	线轮廓度	⌒			对称度	≡
	面轮廓度	⌒			位置度	⊕
				跳 动	圆跳动	↗
		全跳动	↗↗			

四、形位公差在图样上的基本标注方法

形位公差在图样上的标注方法,在第五章中将作比较全面地介绍。为了讨论方便,这里先介绍一些基本标注方法。

(一) 公差框格

如图1—2、1—3所示,形位公差要求在图样上用框格形式注出。框格也称为公差框格。它分为两格(图1—2)或多格(图1—3中为三格)。框格内从左到右填写:

第一格填形位公差项目的符号;

第二格填形位公差值和有关符号;

第三格和以后各格填基准代号的字母和有关符号。

(二) 被测要素的标注

被测要素标注时,用带箭头的指引线将被测要素与公差框格的一端相连。指引线的箭头应指向公差带的宽度方向或直径。当被测要素为轮廓要素(线或表面)时,指引线的箭头应指在该要素的轮廓线或其引出线上,并应明显地与尺寸线错开〔图1—2(a)、1—3〕。当被测要素为中心要素(轴线、球心或中心平面)时,指引线的箭头应与该要素的尺寸线对齐〔图1—6(a)、1—7(a)、1—8(a)〕。

(三) 基准要素的注法

基准要素通常用基准代号注出。基准代号由基准符号（一）、圆圈、连线和斜体大写的拉丁字母组成（图 1—4）。

当基准要素为轮廓要素时，基准代号应靠近该要素的轮廓线或其引出线标注，并应明显地与尺寸线错开（图 1—3）。当基准要素为中心要素（轴线、球心或中心平面）时，基准代号与该要素的尺寸线对齐〔图 1—6（a）、1—7（a）、1—8（a）〕。



图 1—4

第三节 形位公差带

对被测要素虽然给出了形状或（和）位置公差数值，还不能完全控制实际要素的形状与位置。例如，图样上给某一棱线的直线度公差为 0.01，它仅表示该实际线与理想线之间的误差不得大于 0.01 毫米。但是实际线可能在空间各个方向上呈现弯曲不直，那末设计时需要限制的实际直线是在哪一个方向上或哪几个方向上的误差不得大于 0.01 毫米呢？这说明要控制实际要素的形状与位置，还须明确限制实际要素变动的区域。限制实际要素的形状与位置变动的区域称为形位公差带。

根据形位公差带的性质，它具有以下四个特征：

一、公差带的形状

公差带是一个区域，它具有一定的形状。图 1—5（a）标尺的 8 条刻线上给出直线度公差为 0.015。为此，每条实际刻线必须位于该表面上距离为公差值 0.015 的两平行直线之间〔图 1—5（b）〕，即：它的公差带形状为两平行直线。图 1—5（c）所示刀口尺的刀刃上根据刀口尺的功用给出了与刀刃垂直方向的直线度公差为 0.008。因为刀口尺实际刀刃的形状是一条空间曲线，显然不能用两平行线之间区域限制它，必须要用两个互相平行平面才能限制它。所以这时公差带形状是距离为给定公差值 0.008 且垂直于箭头指示方向的两平行平面〔图 1—5（d）〕。实际刀刃必须位于这个区域内才合格。

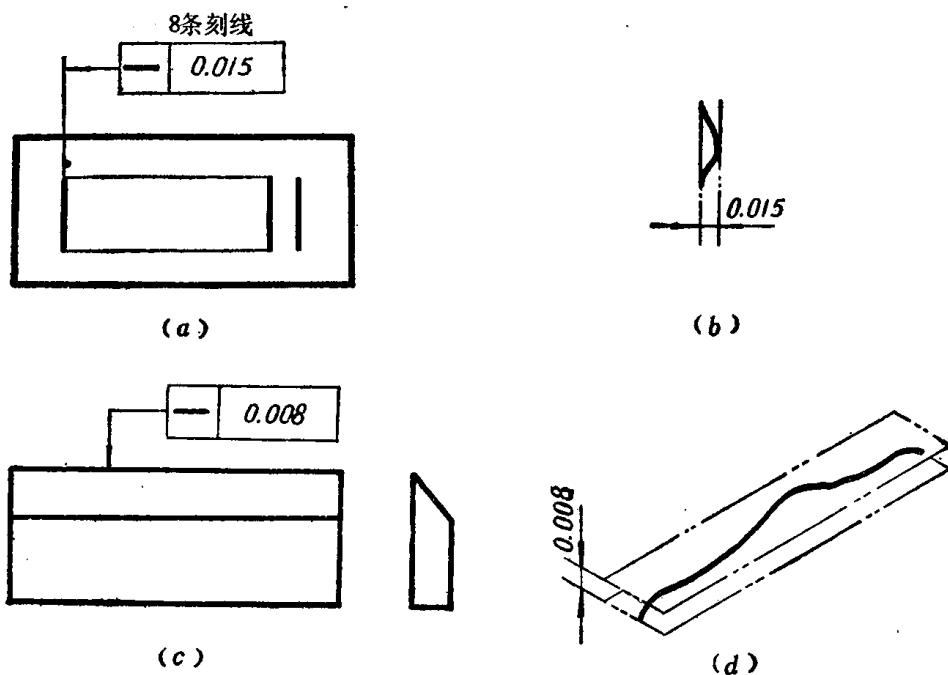


图 1—5

公差带的形状决定于被测要素的特征和功能要求，主要有下列10种形式：

1. 两平行直线；
2. 两平行平面；
3. 两同心圆；
4. 两同轴圆柱面；
5. 一个圆柱面；
6. 一个四棱柱；
7. 一个圆；
8. 一个球；
9. 两等距曲线；
10. 两等距曲面。

形位公差各个项目的公差带形状，将在第二、三章中分别介绍。

二、公差带的宽度或直径

公差带的宽度或直径的数值称为公差值，它决定了公差带区域的大小，也反映了形位公差的精度要求。设计者根据零件的功能要求，给出要素的公差值，注在图样上（标注在形位公差框格第二栏内）。

三、公差带的方向

图1—5（c）中刀口尺刀刃的实际形状是一条空间曲线，但是根据刀口尺的用途，提出了对刀刃在垂直方向（框格上箭头所指方向）的直线度要求，而对其它方向上没有提出要求，所以该直线度公差带的方向是垂直于指示方向的两平行平面。根据零件的功能要求不同，其公差带的方向有时处于水平方向上（图1—6），有时在两个方向上（图1—7）或任意方向上（图2—5）。

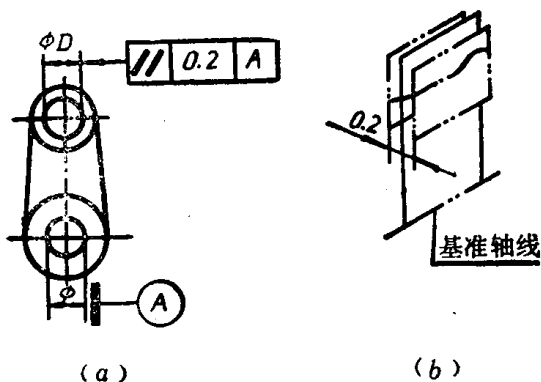


图 1—6

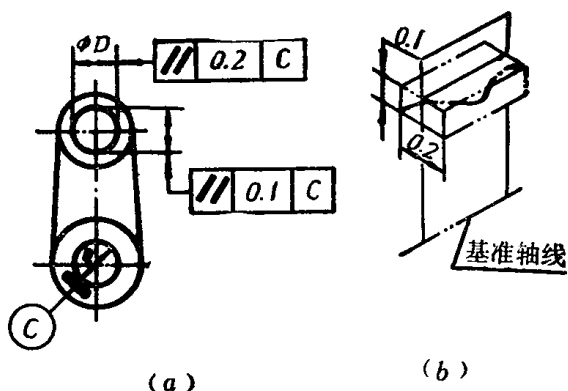


图 1—7

必须指出，这里所说公差带方向是对标注来说的，或者说是从宏观角度讲的。通过下一节介绍可以看到，形状公差带的方向是由要素的理想形状位置确定的，而要素的理想形状位置则是由最小条件法则确定的。从第三章中可以看到位置公差带的方向是由位置公差各项目的特征（平行、垂直、倾斜、同轴与对称等）和图样上给定的方向确定的。

四、公差带的位置

形位公差带的位置有固定和浮动两种情形。

(一) 位置固定的公差带

在形位公差各项目中，同轴度、对称度、部分的线、面轮廓度及大部分位置度的公差带位置是固定的。图 1—8 (a) 所示被测要素 $\phi 20_{-0.021}^0$ 对基准要素 $\phi 40_{-0.025}^0$ 的同轴度公差为 $\phi 0.025$ 。 $\phi 20_{-0.021}^0$ 的实际轴线必须位于与以基准要素 $\phi 40_{-0.025}^0$ 的轴线为轴，以公差值 0.025 为直径的圆柱面内。因为圆柱面的轴线要与基准轴线同轴 [图 1—8 (b)]，所以其公差带的位置是固定的，它不因实际要素的尺寸、形状与位置的变化而变化。

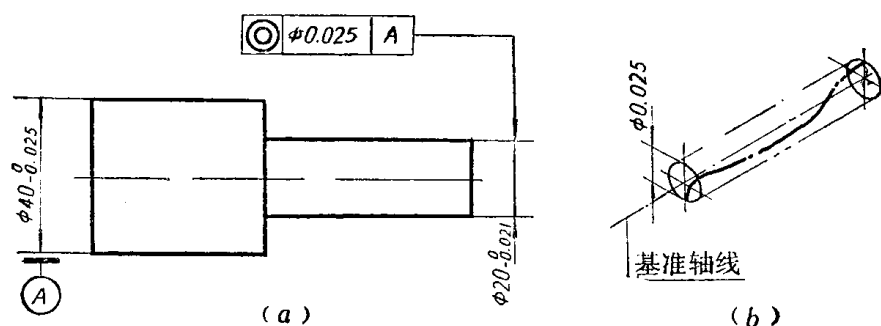


图 1—8

(二) 位置浮动的公差带

在形位公差各项目中，多数项目的公差带位置是浮动的，它随着实际要素的尺寸、形状与位置的变化而变化。图 1—9 (a) 所示上表面对下表面的平行度公差为 0.05，上表面必须位于距离为公差值 0.05，且与基准面平行的两平行平面之间 [图 1—9 (b)]。从图 1—9 (c) 中看到，被测实际面须在尺寸公差 0.21 毫米内。当实际面为图中①时，相应平行度公

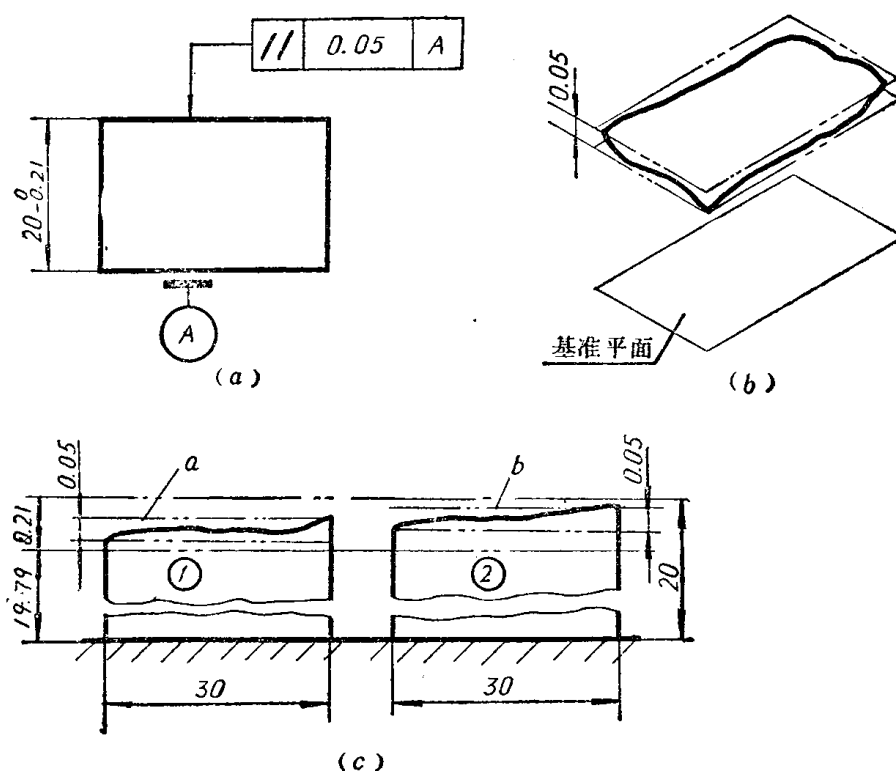


图 1—9

差带位置在 a 处；如实际面为图中②时，相应平行度公差带位置在 b 处。所以平行度公差带是随着实际面的尺寸、形状与位置在尺寸公差带内浮动。

对于公差带的形状、宽度或直径、方向与位置的确定，是取决于零件的功能要求。在设计时，从零件的功能作用出发，分析零件上要素的形位误差对零件功能的影响，以及在制造中可能产生的形位误差，从而确定需要控制的要素及其形位公差要求的项目。进一步决定公差值的大小、公差带的形状与方向等有关要求。有关公差带的大小（公差值），在标注形位公差要求的框格第二格内注出；公差带宽度的方向，由框格上指引线的箭头所注方向与形位公差项目的性质确定；公差带的形状除为圆、圆球或圆柱面时须在公差值前加注符号“ ϕ ”外，都不须注出，因为各项目的公差带形状根据其性质和要求，就能确定其形状。如图 1—7 (a) 所示连杆，按要求被测轴线在垂直方向的平行度误差不得大于 0.1，在水平方向上的平行度误差不得大于 0.2，所以该轴线的平行度公差带的形状是一个正截面为公差值 0.1×0.2 ，且棱线平行于基准轴线的四棱柱。公差带的位置已由形位公差项目的性质所确定，所以在图样上也不需注明。

第四节 最小条件

因为被测实际要素的形状误差是相对其理想要素而言的。实际要素的形状可以通过测量所得的形状代替，理想要素的形状从几何学定义获知（直线绝对直、平面绝对平等）。但是理想要素的位置如何确定呢？如果理想要素的位置不是唯一的，则形状误差也不是唯一的，这样产品合格与否将无法评定。为了统一确定理想要素的位置，GB1958—80《形状和位置公差 检测规定》中规定：理想要素的位置应符合“最小条件”。并规定：

1. 对于轮廓要素（线、面轮廓度除外），其理想要素位于实体之外，且与被测要素相接触。图 1—10 (a) 所示 A_1-B_1 是被测实际要素（棱线）的理想要素所在位置。它处于被测实际要素之外，且与实际要素相接触。

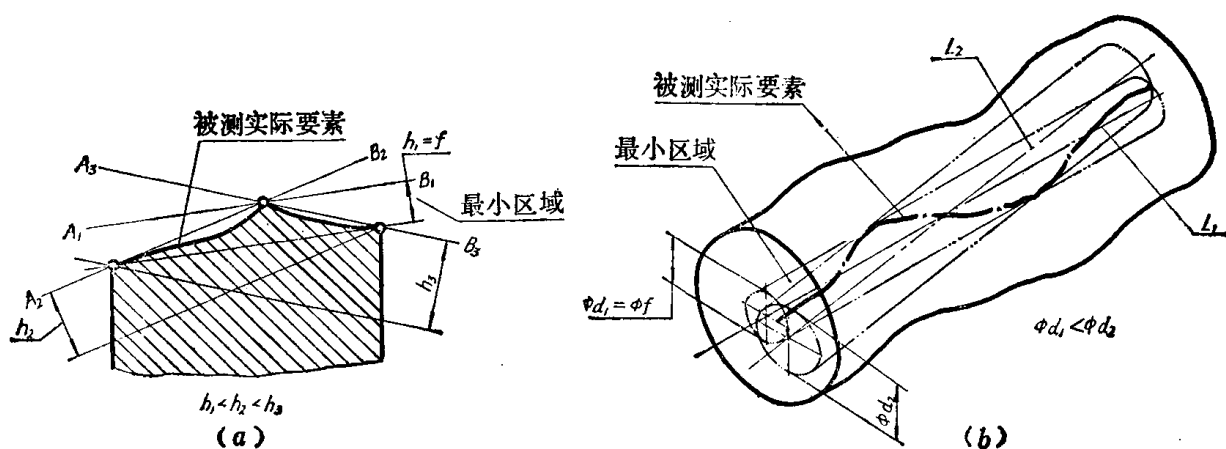


图 1—10

2. 对于中心要素（轴线、对称中心面等），其理想要素位于被测要素之中。图 1—10 (b) 中 L_1 为被测实际要素（轴线）的理想轴线的位置，它处于被测实际要素之中。

图 1—10 (a) 中 A_1-B_1 、 A_2-B_2 、 A_3-B_3 均处于要素实体之外，且与实际要素相接

触,为什么仅 A_1-B_1 为棱线的理想位置呢?同样,图1—10(b)中 L_1 、 L_2 均位于被测要素之中,为什么仅 L_1 为理想轴线的位置呢?事实上,图1—10(a)中还可作出许多线,如 A_4-B_4 、 A_5-B_5 ……处于要素实体之外,且与实际要素相接触;图1—10(b)中还可作出轴线 L_3 、 L_4 ……均位于被测要素之中,而确定 A_1-B_1 、 L_1 分别为被测实际棱线与轴线的理想棱线与理想轴线的位置,是因为它们符合“最小条件”。

什么是“最小条件”?最小条件是指被测实际要素对其理想要素的最大变动量为最小。

按照最小条件法则,确定被测轮廓要素的理想要素位置时[图1—10(a)],除了要求理想要素位于实体的外面,且与被测要素相接触外,还须确定被测实际要素对所假定理想要素的最大变动量,最后比较各个最大变动量,取其中最小者为其误差值,其位置才是理想要素的位置。

最大变动量是用最小包容区域来计量的。如图1—10(a)中,分别作 A_1-B_1 、 A_2-B_2 、 A_3-B_3 的平行线,平行线之间的区域为最小包容区域,两平行线之间的宽度 h_1 、 h_2 、 h_3 分别为被测实际要素对各假定理想要素的最大变动量。因为 $h_1 < h_2 < h_3$,如果不能再作出宽度比 h_1 更小的包容区域,则 h_1 为被测实际要素对各假定理想要素的最大变动量中的最小值,所以 A_1-B_1 的位置便是被测棱线的理想棱线位置。 h_1 即为直线度误差值(f)。同理,图1—10(b)中,用圆柱面包容实际轴线,圆柱面直径 ϕd_1 、 ϕd_2 、……分别为被测实际要素对所假定理想要素的最大变动量。因为 $\phi d_1 < \phi d_2$ ……,如果不能再作出直径比 ϕd_1 更小的包容区域,则 ϕd_1 为被测实际轴线对各假定理想轴线的最大变动量中的最小值,于是 ϕd_1 的轴线位置被确定为被测轴线的理想轴线位置, ϕd_1 为该被测轴线的直线度误差(ϕf)。

图1—11所示为圆柱体正截面上的实际形状,为确定该截面理想形状(圆)的位置与圆度误差,可用几组同心圆为包容区域来包容实际截面(图中只作出了两组同心圆)。同心圆的半径差分别为 Δr_1 、 Δr_2 ,且 $\Delta r_1 < \Delta r_2$,如果不能再作出比半径差 Δr_1 更小的另一组同心圆包容区域,则半径差为 Δr_1 的同心圆 C_1 位置,即为该实际要素(圆)的理想要素位置, Δr_1 值为该正截面上的圆度误差(f)。

由此可见,根据“最小条件”,被测要素的理想要素位置及其误差值,是由被测实际要素本身决定的,形状公差带的方向也是由被测实际要素所确定的。

最小条件在形位公差检测规定中是一个重要的法则。

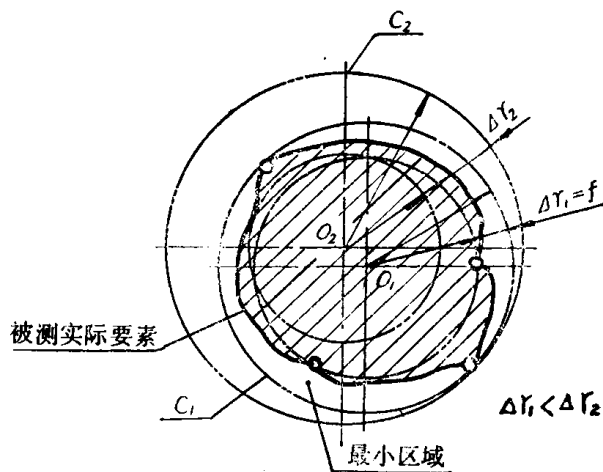


图 1—11

第五节 基 准

一、基准要素

本章第一节中曾讲到:基准要素是用来确定被测要素的方向或(和)位置的要素。基准要素可为零件上某一点、线、面。例如图1—12(a)所示调整垫上外圆中心(点)是以内孔中心(点)为基准,有同轴度公差要求;图1—12(b)所示连杆一端轴孔的轴线的平行度公差,是以连杆上另一端轴孔的轴线为基准;图1—12(c)所示销轴的轴线是以底面(A)为基

准，在任意方向上有垂直度公差要求。

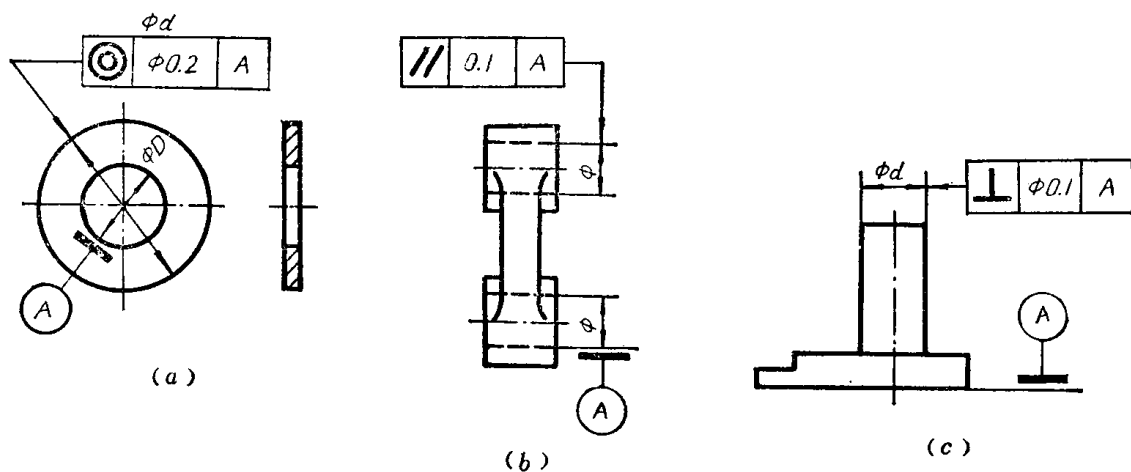


图 1-12

基准要素根据其构成情况分为：

(一) 单一基准要素

作为单一基准使用的单个要素，称为单一基准要素。图 1-12 中的基准（点、线、面）都为单一基准要素。

(二) 组合基准要素

作为单一基准使用的一组要素，称为组合基准要素。也即组合基准要素是由两个或两个以上的要素构成，而作为单一基准使用的一组要素。图 1-13 中被测要素—— ϕD 孔的轴线上注有对称度公差要求，基准是由零件上左、右两槽的对称中心面组合成的一个公共平面。这个公共平面是作为单一基准使用的，所以它是一个组合基准要素。

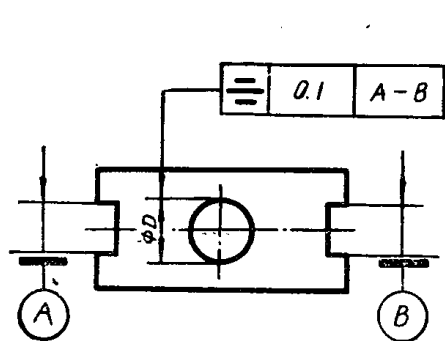


图 1-13

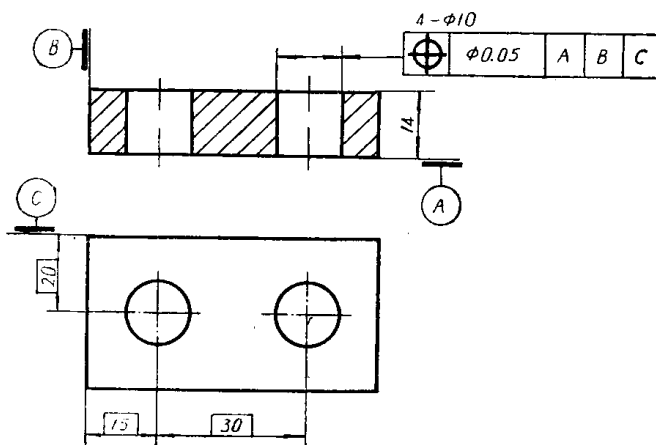


图 1-14

二、基准

图样上注出确定被测要素的位置公差的基准要素是理想基准要素，简称基准。它确定了关联要素之间的方向或位置的几何关系，但是实际基准要素本身是有形状误差的，不能用它直接确定关联要素之间的方向或位置的几何关系。关于基准如何体现，将在第八章中作详细地介绍。