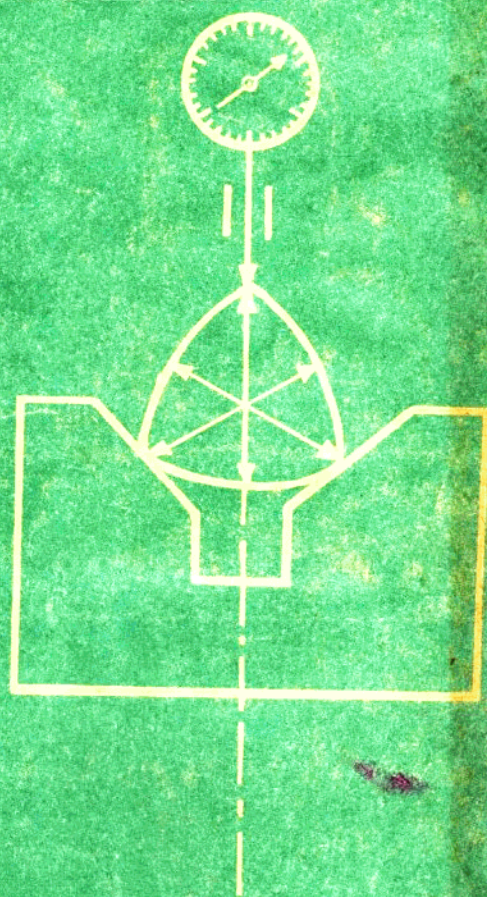


形位公差及误差测量



前 言

“形状和位置公差”是机械工业中重要的基础性技术知识，它是评定机械零件和产品质量的重要指标。从事机械加工的工人和检验计量人员，只有学好这部分基本知识，才能看懂图纸，保证产品质量，为实现四个现代化贡献自己的力量。

“形状和位置公差”是国家标准计量局于1976年元月颁布的试行标准。这项标准的概念较新，标注方法变更很大，使用面又广，又缺乏系统的学习资料。为此，山西省标准计量局和山西省机械局为了解决广大机械工人和机械工程技术人员的材料，组织山西省“形位公差”宣贯组成员进行编写。在大家的努力下，完成了编写任务。

编写中，我们参考了兄弟单位的交流资料，结合在全省宣贯“形位公差”标准过程中的实践，力求简明扼要，通俗易懂，既能反映先进技术，又切合当前多数机械加工工厂的实际需要。但由于我们的水平有限，时间仓促，实有不足之处，恳请读者批评指正。

参加编写工作的有袁长良、丁志华、庞怀玉、刘惠标、金绍健、朱树琛、张文宇、车兆国、方景明、韩守荣、武文堂、王华钧等同志；最后由丁志华、车兆国两同志进行审定。在编写过程中，得到太原市标准计量处和太原重型机器设计研究所描图组等单位的大力支持和帮助，谨向他们表示感谢。

山西省“形位公差”宣贯组编写组

1978年5月

绪 论

机器和仪表产品的质量决定于零件质量的好坏。影响零件质量的因素很多，有材料质量、热处理质量及其机械加工精度等等。单就机械加工精度，一般又可从三个方面加以评定：

1. 尺寸精度 是指零件加工后尺寸的准确程度；
2. 表面几何形状精度 是指零件加工后表面几何形状的准确程度，其中包括有：
 - (1) 形状精度，如不圆度、不直度等，又称宏观几何表面形状误差；
 - (2) 表面光洁度，又称微观几何表面形状误差；
 - (3) 表面波度；

3. 相互位置精度 是指零件加工后各表面间，或表面与轴心线间，以及轴心线与轴心线间的相互位置的准确程度，如平面与平面的不平行度，平面与平面的不垂直度等等。

上述三类加工精度，一般情况，尺寸精度是主要的，其次是形状精度和位置精度，表面光洁度。但是，它们都是评定产品质量的重要技术指标。本书主要介绍表面形状精度和位置精度（以下简称形位精度）以及常用的技术测量。

表面形状精度和位置精度共分12级，1级为最高级，12级为最低级。其精度高低是以公差值大小表示。如果形位精度越高，规定公差值越小，即允许误差值越小；规定公差值越大，即允许误差值越大，其形位精度越低。

零件表面形状误差，如刨削一个零件平面或车削加工一个零件的圆柱面，由于机床加工精度，零件装夹不正确，零件变形以及机床振动等因素的影响，会产生刨削后平面不平，车削后圆柱面不圆的现象。根据国家标准规定，前者叫不平行度误差，后者叫不圆度误差。按照国家标准规定的形状误差共有六项指标，见表1—1。

零件表面的相互位置误差，如刨削箱体的上下平面，或车削套筒零件的内外圆柱面，由于机床加工精度，装夹不正确，机床振动等因素的影响，会产生刨削箱体的上下两平面不平行，车削套筒的内外圆柱面的轴心线不同轴的现象。根据国家标准规定，前者叫不平行度误差，后者叫不同轴度误差。按照国家标准规定的位置误差共有七项指标，见表1—1。

如果零件加工后的形状和位置误差，都在规定的公差值范围内变化，即为合格。该零件就能保证正常装配和使用。因此，根据设计要求，需要分别给出合理经济的表面形状和位置公差，以限制过大的加工误差，保证产品的质量。

零件的形位误差对机器、仪表，以及量具、刀具等产品的工作精度、连接强度、密封性、运动平稳性、耐磨性、噪音以及使用寿命等都能产生影响，尤其对高速、高温、高压、重载荷条件下工作的精密机器和仪表更为重要。

随着现代工业的发展，对零件的形位精度要求越来越高，使用也越来越广泛。例如机床精度标准，大部分是形位公差的检定项目，由此可见，形位公差是现代机械工业中不可缺少的基础性技术指标。

表面形位公差在我国尚是一项较新的技术指标。在国际上也是在五十年代以后才逐步形成的，直到七十年代才具有完整性、系统性和科学的严密性的一项基础性指标。

形位公差共分三部分，分别由国家标准规定为：

国标GB1182—74——机械制图、表面形状和位置公差代号及其标注；

国标GB1183—75——表面形状和位置公差、术语及定义；

国标GB1184—75——表面形状和位置公差、公差值。

“GB”表示国家标准（汉语拼音字的第一个字母），“1182”是标准编号，“74”表示标准颁布的年代。

为了便于学习和理解形位公差的基本知识，本书先介绍形位公差的代号、标注和有关形位公差的共性问题，然后，再按各个项目内容逐一进行介绍。

目 录

绪 论

第一章 表面形状和位置公差代号及其标注

- 一、概 述 (1)
- 二、公差框格 (2)
- 三、指示箭头 (2)
- 四、基准代号 (3)
- 五、公差数值及附加说明 (5)
- 六、形位公差用代号标注的优点 (10)
- 七、形位公差代号标注示例 (12)

第二章 形位公差的基本知识

- 一、实际表面与被测表面 (22)
- 二、零件的点、线、面 (22)
- 三、理想形状与实际形状, 理想位置与实际位置 (23)
- 四、基准、基准表面与基准平面 (23)
- 五、形状误差与形状公差 (24)
- 六、位置误差与位置公差 (24)
- 七、最小条件 (25)
- 八、公差带 (26)
- 九、独立公差与相关公差 (27)
- 十、形位公差与尺寸公差的关系 (27)

第三章 不直度、不平度

- 一、不直度 (30)
- 二、不平度 (31)
- 三、正确处理检测中的数值折算问题 (32)
- 四、不直度的测量方法 (33)
- 五、不直度的数据处理 (39)
- 六、不平度的测量方法 (54)
- 七、评定不平度误差的方法 (58)
- 八、实现基面转换的简便作图法 (59)
- 九、几种不平度数据处理方法的比较 (72)

第四章 不圆度、椭圆度

- 一、不圆度 (75)
- 二、不圆度的测量 (75)
- 三、椭圆度 (86)
- 四、椭圆度的测量 (87)

第五章 不柱度、不圆柱度

一、不柱度	(88)
二、不圆柱度	(88)
三、不柱度的测量	(90)
四、不圆柱度的测量	(91)
第六章 不平行度、不垂直度	
一、不平行度	(93)
二、不平行度的测量	(95)
三、不垂直度	(101)
四、不垂直度的测量	(103)
第七章 不同轴度、不对称度	
一、不同轴度	(110)
二、不同轴度的测量	(112)
三、不对称度	(115)
四、不对称度的测量	(116)
第八章 位移度	
一、位移度误差与位移度公差	(121)
二、位移度公差带	(122)
三、位移度基准	(123)
四、位移度标注与尺寸公差标注的比较	(124)
五、位移度标注示例	(125)
六、位移度误差的检测	(127)
第九章 径向跳动、端面跳动	
一、概 述	(133)
二、径向跳动	(133)
三、端面跳动	(136)
四、关于跳动的一点说明	(137)
第十章 相关公差及其检验	
一、独立公差与相关公差的基本知识	(138)
二、相关公差的组成	(140)
三、相关公差与独立公差的比较及使用条件和实例	(141)
四、形位公差项目中相关公差的应用及检验举例	(145)
第十一章 公差值及其选用	
一、确定公差值的依据	(158)
二、公差表的内容	(159)
三、公差值及其选用	(165)

第一章 表面形状和位置公差代号及其标注

一、概 述

表面形状和位置公差代号及其标注，在国家标准 GB1182—74 作了具体规定。现把它归纳为几个问题介绍如下：

形状公差为六项：即：不直度，不平度，不圆度（包括棱圆度），椭圆度，不柱度，不圆柱度。

位置公差为七项：即：不平行度，不垂直度，不同轴度，不对称度，位移度，径向跳动，端面跳动。

形位公差符号有十二种。见表 1-1。

国家标准中规定：“表面形状和位置公差在图样上应用代号标注，也可在技术要求中用文字说明。”这就是说，在一般情况下应尽量采用代号的标注方法，只有在用代号还无法满足设计和生产需要时，或其他原因暂时不能用代号标注时，可在技术条件中用文字说明。

形位公差符号 (GB1182-74)

表1-1

类别	名 称	符号	类别	名 称	符号	
形 状 公 差	不直度	—	位 置 公 差	不平行度	//	
	不平度			不垂直度		
	不圆度			不同轴度		
	椭圆度			不对称度		
	不柱度			位移度		
	不圆柱度			跳动	径向跳动	
					端面跳动	

形位公差符号除跳动符号“/”按普通的画法外，其余符号均应用粗实线绘制。符号的大小应与框格中数字和字母的高度一致，一般高度为 5 毫米。

形位公差代号在图纸上标注是用带指示箭头的指引线和框格表示的(图1-1、图1-2)。

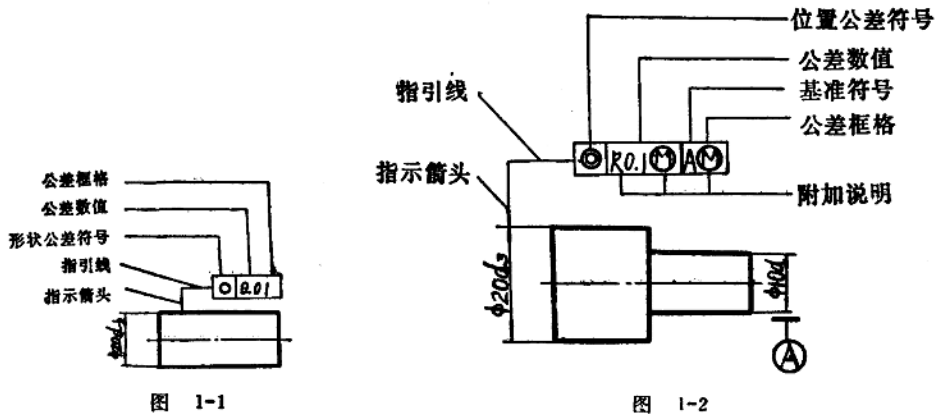


图 1-1

图 1-2

图 1-1 表示形状公差的标注方法。图 1-2 表示位置公差的标注方法。下面分别介绍公差框格，指示箭头，基准代号，公差数值及附加说明。

二、公差框格

标注形位公差的框格，我们称为公差框格。框格是用细实线画出的，框格可以分成两格或多格，可以水平画出，也可以垂直画出，但是水平画出书写方便，看图也习惯，因此一般采用水平画出。框格高度一般为字体高度的两倍，在特殊情况下还可以适当增高，框格长度根据需要而确定。框格中数字和字母的高度一般应与图纸中字体的高度相同。图 1-3 是框格的几种画法，究竟应该采用哪种画法，要根据实际需要而选取。

公差框格内填写以下内容：

第一格：形位公差符号。

第二格：形位公差数值和有关符号。

第三格及三格以后：基准符号（如A、B、C等）。

三、指示箭头

指示箭头通过指引线和框格相连。指引线用细实线画出，而指示箭头与尺寸线箭头画法相同。

指引线和指示箭头的画法有下列四种情况：

(1) 指引线可从框格左端或右端引出来。图 1-4-a 是从左端引出的，图 1-4-b 是从右端引出的。

(2) 指示箭头指向被测表面，并且垂直于被测表面的可见轮廓线或其延长线。箭头所指的方向就是公差带的宽度方向。图 1-5-a 是箭头指向被测表面的可见轮廓线，并

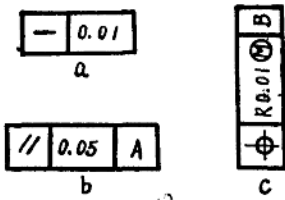


图 1-3

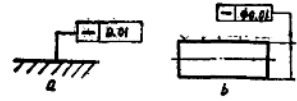


图 1-4

且垂直于该表面的可见轮廓线。图 1-5b 箭头指向被测表面轮廓线的延长线上，并且垂直于该轮廓线的延长线。不圆度在圆锥表面上的标注例外，指示箭头应垂直于轴心线，而不是被测的圆锥表面。

(3) 当地方比较小，指示箭头可代替一个尺寸箭头，如图 1-6。

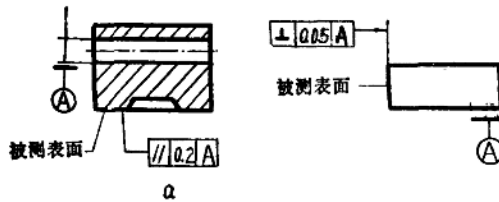


图 1-5

(4) 被测部位或基准部位是指轴心线或对称中心平面时，指示箭头应和尺寸线相连。图 1-7 是在零件上方有一个缺口，被测部位是对称平面，要求此缺口对基准 A 的不对称度不能大于 0.08；图 1-6 的键槽也是指示箭头和尺寸线相连的一个实例。

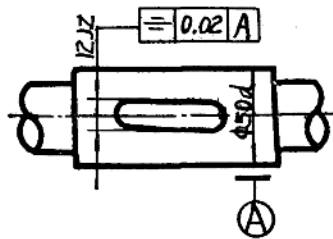


图 1-6

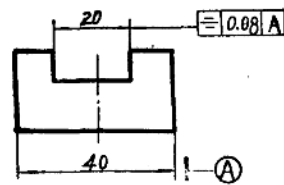


图 1-7

四、基准代号

零件基准部位应用粗的短划来表示，短划应靠近基准部位的轮廓线或其延长线，短划通过指引线与框格的另一端相连（图 1-8）。

短划的尺寸大小如图 1-9 所示，长度 5~10 毫米，宽度 $\approx 2b$ 。b 为机械制图中粗实线的宽度，一般取 0.4~1.2 毫米。

基准代号在图纸上标注有下面几种情况：

(1) 被测部位和基准部位在图纸上距离较远时，短划与框格相连不方便，这时需标出基准代号——短划、圆圈和基准符号（图 1-10）。

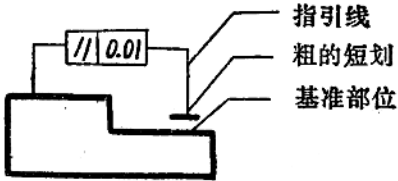


图 1-8

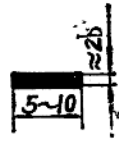


图 1-9

圆圈用细实线绘制，圆圈的直径和框格的高度相同。圆圈内填写基准符号。

基准代号在图纸上的方向无论是向上，向下，向左，向右，还是斜的，而圆圈中的基准符号都应该是水平书写（图 1-11）。

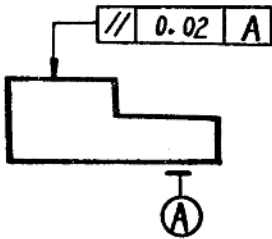


图 1-10

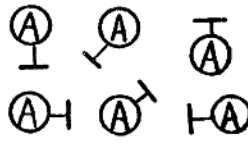


图 1-11

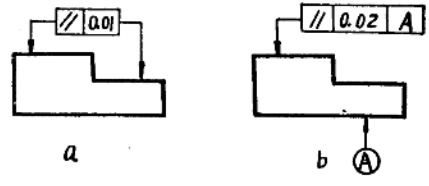


图 1-12

(2) 当形位公差所示被测部位和基准部位为任选基准时，那么在两个部位上都不再画出短划，而在两个部位上都用指示箭头来表示（图 1-12）。

(3) 基准部位是指轴线或对称中心平面时，短划的标注位置应该在相应尺寸线的延长线位置处（图 1-7、图 1-13）。

(4) 当短划与尺寸线的箭头重叠时，可省略尺寸线箭头，而用短划来代替一个尺寸线箭头（图 1-5-a）。

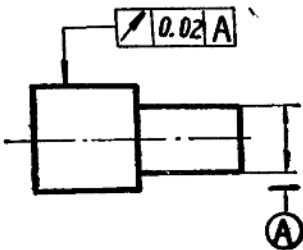


图 1-13

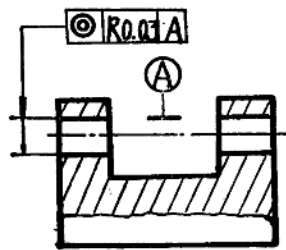


图 1-14

(5) 当基准部位是指公共轴线时, 则短划应靠近公共轴线 (图1-14)。

五、公差数值及附加说明

在图纸上的公差框格中, 第二格填写公差数值, 公差数值的大小是由设计者根据实际情况, 按照需要而确定的。但是, 有些数值有各种不同的要求, 在公差数值前面或后面还要加注一些符号。

(一) 形位公差是指某一范围的标注

通常在图纸上所标注形位公差的数值, 是适合于指示箭头所指的整个表面。如果不是指的整个表面, 而是有特殊要求时, 则应该用其他专用标注方法。常见有下面几种:

(1) 如果形位公差的数值, 只是对表面上某一部分提出要求, 而对其他部分并不提出要求, 那么就用细实线将提出要求的这一部分画出来, 作为被测量范围 (图1-15、图1-16)。

图1-15表示这个表面不直度要求不大于0.02, 并不是对整个表面的要求, 而是对用细实线画出来的那一部分表面, 即100毫米范围内的要求。图1-16表示 $\phi 40d_3$ 对 $\phi 20d_1$ 轴线的径向跳动不大于0.03, 但不是对 $\phi 40d_3$ 全部长度上的要求, 而是对轴上用细实线画出来的那一部分, 即20毫米范围内的要求。

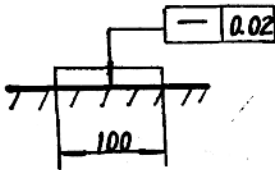


图 1-15

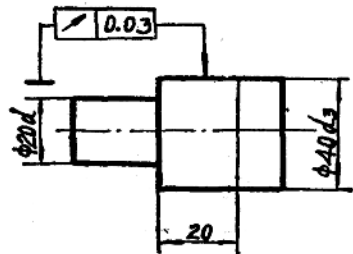


图 1-16

(2) 如果一个零件被测部位需要给出任意一段长度 (范围) 的公差数值而不是全长的公差数值, 那么就应该在框格内公差数值前面标出任意一段长度的数量, 而中间用记号“:”与公差数值隔开。

图1-17表示被测部位要求任意一个100毫米长度上, 对A面的不平行度误差不能大于0.02毫米。

(3) 如果一个零件被测部位需要给出任意一个正方形范围内的公差数值而不是全部表面上的公差数值。那么就应该在框格内公差数值前面加一个符号“□”, 并在它的后面标出正方形边长量。在边长量后面再加符号“:”与公差数值隔开 (图1-18)。

图1-18所示为在零件被测表面上任意一个边长为1000毫米的正方形范围内不平度不大于0.04毫米, 测量时最大不平度不超过0.04毫米即为合格。

(4) 如果一个零件不但给出任意一段长度 (范围) 的公差数值而且还给出全部被

测长度（范围）的公差数值，就应该在框格内用分式的方法表示，分子表示全长范围内的公差数值，分母表示任意一段长度（范围）的公差数值（图1-19）。

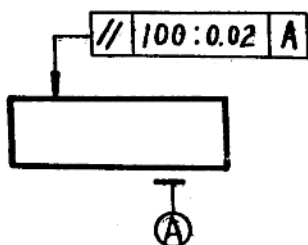


图 1-17

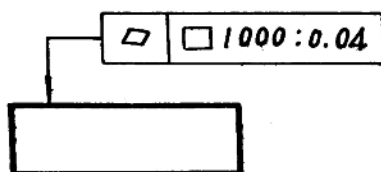


图 1-18

图 1-19 表示两个面不平行度在全长范围内误差数值不能大于 0.1 毫米，而在每 100 毫米长度内误差数值不能大于 0.02 毫米。

（二）形位公差用角度值标注

形位公差用角度值标注时，是用分式的方法表示。分母表示单位长度而分子表示单位长度上的倾斜量。例如 $\frac{0.02}{1000}$ ，分母表示单位长度为 1000 毫米，而分子表示在单位长度为 1000 毫米时的倾斜量为 0.02 毫米。它的几何意义如图 1-20 所示。

在生产实践中经常碰到用水平仪来测量形位公差的大小，水平仪的读数就是一个角度值。

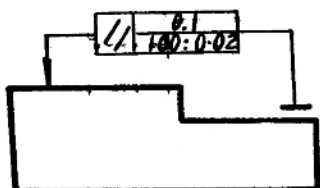


图 1-19

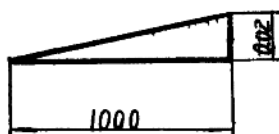


图 1-20

我们常见的角度值标注方法有两种：

1. 当零件被测部位任意一段长度（范围）给出角度值时的标注方法。图1-21所示在被测部位任意一段为 1000 毫米长度上，其角度误差不能大于 $\frac{0.02}{1000}$ ，而 $\frac{0.02}{1000}$ 是一个角度值代替了通常的线性值；

2. 零件不仅输出任意一段长度（范围）的角度值而且还给出零件全部长度（范围）的角度值。图 1-22 是用一个繁分式表示的，分子表示在零件全部长度上的角度误差值不能大于 $\frac{0.04}{1000}$ ，而分母表示在任意一段 2000 毫米长度上的角度误差值不能大于 $\frac{0.02}{1000}$ 。

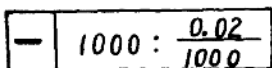


图 1-21

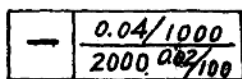


图 1-22

(三) 形位公差为相关公差的标注

当零件表面有相关公差要求时，应在公差框格内加注符号 M ，它表示此形位公差为相关公差。

相关公差常见的有三种情况。

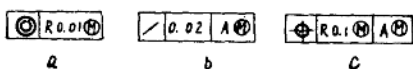


图 1-23

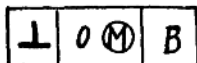


图 1-24

图 1-23-a 表示相关公差用于被测部位，应在公差数值后面加注符号“ M ”。

图 1-23-b 表示相关公差用于基准部位，应在基准符号后面加注符号“ M ”。

图 1-23-c 表示相关公差两者都适用时，则在公差数值和基准符号后面同时加注符号“ M ”。

相关公差还有一种情况，叫相关公差中的正确形状。图 1-24 在公差框格的数值栏内标注“ $\text{O} \text{M}$ ”，表示相关公差中的正确形状。（详见第十章）

(四) 位置公差为位移度的标注

位移度是位置公差的一项，它与其他位置公差的标注方法基本相同（图 1-25）。只是在标注位移度公差时要有一个正确位置尺寸，这个尺寸用加方框的数字表示，如图中尺寸 $\boxed{20}$ 、 $\boxed{15}$ 。带方框的正确位置尺寸是没有公差的最佳尺寸，不是非配合尺寸，也不是参考尺寸。它的实际尺寸由位移度公差来限制。

(五) 形位公差在公差数值前面加符号“ ϕ ”和“ R ”的意义

我们在图纸上经常看到公差框格中，公差数值前面有时加“ ϕ ”（图 1-4(b)）有时加“ R ”（图 1-2），这是什么意思呢？凡是公差带为圆形或圆柱形，就应该在公差数值前面加注直径符号“ ϕ ”或半径符号“ R ”（详见各章说明）。

符号“ ϕ ”用于：

- 轴心线的不直度（图 1-4-b）；
- 轴心线对平面的不垂直度（图 1-26）；
- 轴心线对轴心线的不平行度（图 1-27）。

符号“ R ”一般用于不同轴度（图 1-2）和轴心线的位移度（图 1-28）。

(六) 形位公差有附加要求的标注

如果形位公差有特殊的附加要求时，应在公差框格内公差数值的后面加注有关符号，国家标准规定有关符号见表 1-2。

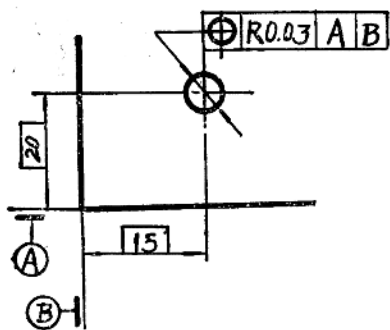


图 1-25

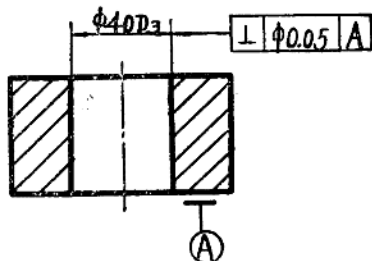


图 1-26

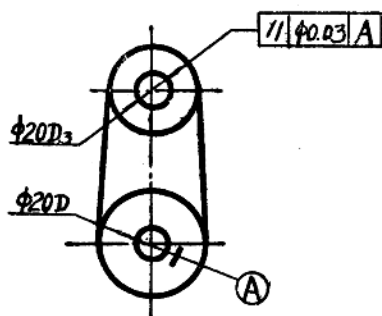


图 1-27

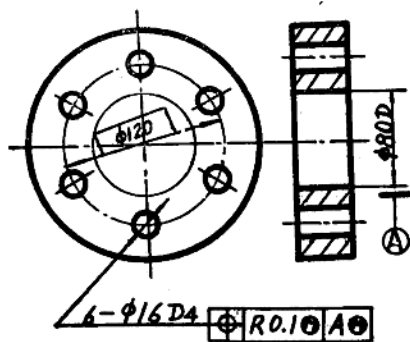


图 1-28

附 加 符 号

表1-2

要 求	符 号	标注示例
只许凸起	(+)	$\boxed{-0.01(+)}$
只许凹下	(-)	$\boxed{0.02(-)}$
只许向左减小	(◁)	$\boxed{0.05(◁)}$
只许向右减小	(▷)	$\boxed{0.05(▷)}$

实际应用时，对于不直度，不平度，不垂直度，不平行度等，如果要求只许凸起或只许凹下，那么在公差数值后面加注 (+) 号或者 (-) 号就行了。对于不柱度，没有

什么特殊要求就不标注符号；允许有鼓形度时可在公差数值后面加注 (+) 号；允许有鞍形度时可在公差数值后面加注 (-) 号；允许有锥形度时可在公差数值后面加注 (\triangleright) 或 (\triangleleft) 号，并表示锥形度的方向。

附加符号应用举例见表1-3。

附加符号应用举例

表1-3

序号	图 例	说 明	还可用符号	序号	图 例	说 明	还可用符号
1. 母线不直度		表示母线最好是直的，若有误差只许中间向材料外凸起。	(-)	4. 面对面不平行度		表示被测表面与基准面B的距离最好是各处相等的，若有误差只能向右减小。	(\triangleleft)
2. 不平度		表示被测表面最好是平的，若有误差只许中间向材料内凹下	(+)	5. 面对面不垂直度		表示被测表面在给定公差带范围内只许向材料内凹下。	(+)
3. 不柱度		表示被测圆柱面最好是柱形，若有误差只许中间凸起成鼓形状	(-) (\triangleleft) (\triangleright)	6. 轴线对轴线的平行度		表示被测轴线与基准轴线的距离最好是各处相等，若有误差只许向左减小。	(\triangleright)

(七) 在形位公差框格外用文字作附加说明

为了说明框格中所标注的形位公差的附加要求，为了减少框格的数量，可在形位公差框格外（一般是上方或下方）附加文字作简短的说明。在作附加说明时，对于管辖对象和数量的说明应写在框格的上方，对解释性的说明应写在框格的下方。

1. 说明框格所管辖的对象和数量

图 1-29 所示是在框格上方加注“两处”二字，表示此框格指示箭头所指的 $\phi 45g_6$ 的左右两处轴颈表面，都有相同的要求。图 1-30 是在框格上方加注“6槽”二字，表示这个内花键的六个键槽都具有同样的要求。

2. 说明测量的部位

图1-31 所示是在锥孔跳动公差框格上方加注“在轴端处”字样，在锥孔跳动公差框格的下方加注“在离轴端300处”字样。这是说明在测量锥孔跳动误差时，先将标准锥体插入孔内，而后在轴端面处测量锥体的跳动误差不大于0.005；在离开轴端300处测量锥孔的跳动误差不大于0.01。

为了使两框格连在一起，“在轴端处”字样可以写在框格的上方。

3. 其他解释性说明

图1-32 表示一个平导轨不直度有长向的形位公差数值，但是没有画出导轨的长向视图，可借用导轨的横剖面图来标注长向的不直度。此时在框格下方加注“长向”二字来说明。

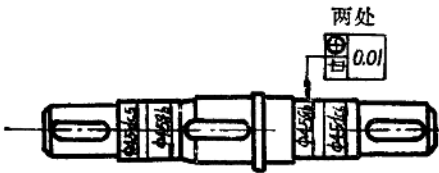


图 1-29

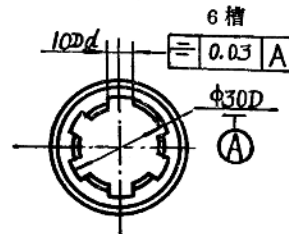


图 1-30

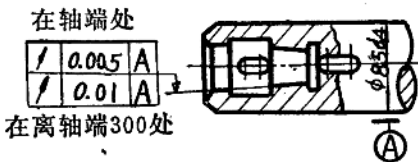


图 1-31

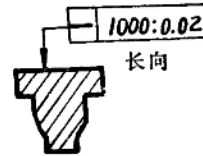


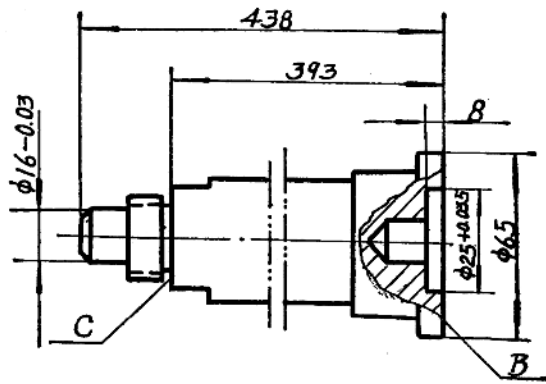
图 1-32

六、形位公差用代号标注的优点

在我国未颁布形位公差新标准以前，对零件形状和位置的要求多是在技术条件中用文字说明（图1-33）。这样用文字说明很繁琐，不清楚，往往造成设计、工艺、检验各种人员理解不统一，给生产带来很大困难。

我国在1974年制定了国家标准“GB1182-74 表面形状和位置公差代号及其标注”。按照新标准标注形位公差可将图1-33按图1-34标注。这两种标注方法对比起来不难看出，形位公差用代号标注有如下优点：

用框格的办法引出在图形外面，将形位公差符号、公差数值、基准代号以及附加说明都集中在框格中，这样既不影响图形的清晰性又比较醒目，容易找到，减少加工和检验的差错。



技 术 条 件

1. 端面 c 对端面 B 的不平行度允差不大于 0.01
2. $\phi 16-0.03$ 对 $\phi 25+0.025$ 的不同心度允差不大于 0.02
3. $\phi 16-0.03$ 轴线对端面 B 的不垂直度允差不大于 0.025

图 1-33

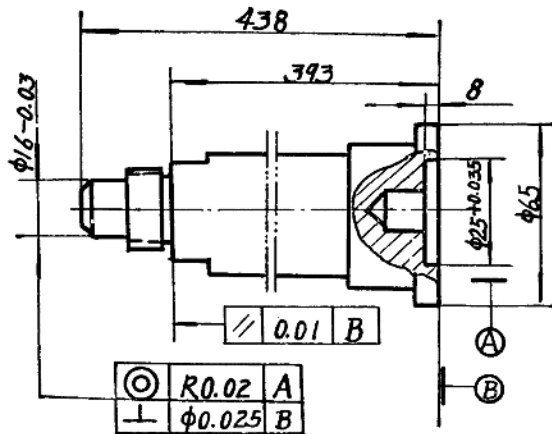


图 1-34

基准部位和被测部位都用了专用符号表示，两者分得很清楚，使设计、工艺、生产、检验人员理解一致，有利于生产，提高产品质量。

可以解决位移度的正确位置尺寸的标注，以及相关公差标注，这是用旧的标注方法无法解决的问题。

采用新标准标注以后，与国际标准取得了统一，有利于国际技术交流，对引进先进技术和援外等都带来了方便。