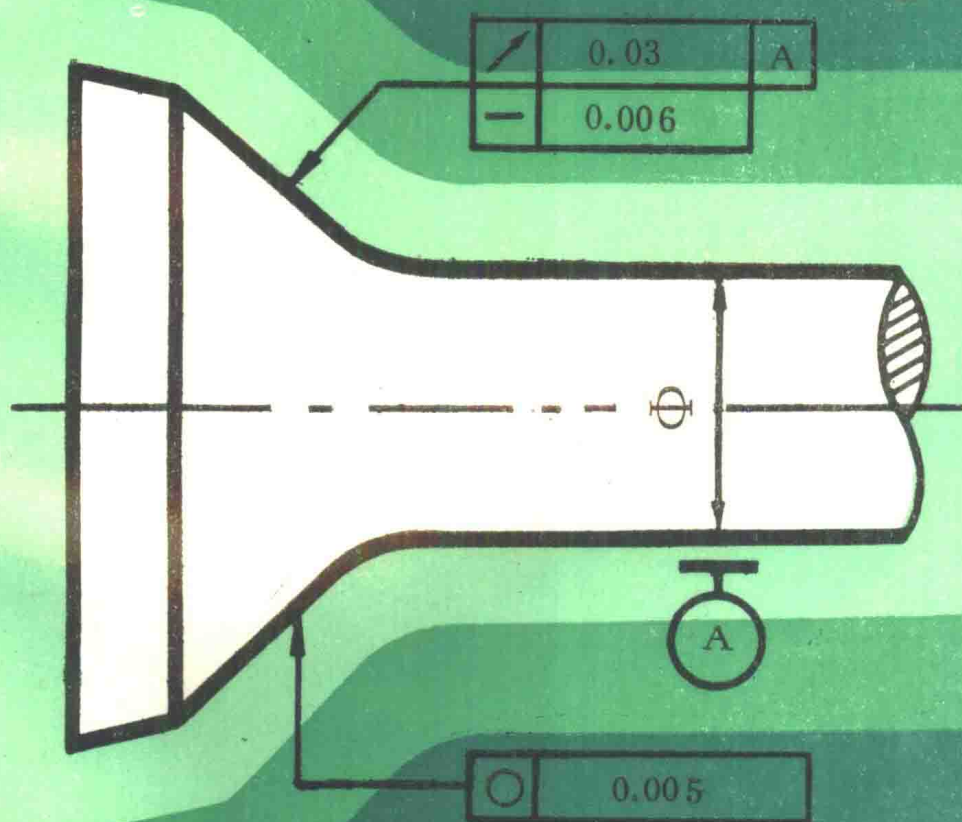


形位误差检测

● 刘巽尔 编

● 北京理工大学出版社



形位误差检测

刘 巽 尔 编

北京理工大学出版社

内 容 简 介

本书以形状和位置公差的国家标准为依据,系统地阐述形状和位置公差的基本原理,包括标注方法、形状和位置公差带、形状和位置误差及最小包容区域、基准的建立和体现、公差原则——独立原则和相关原则,并在此基础上介绍形状和位置误差的检测原则和常用检测方法的基本原理以及测量结果的处理方法。

本书从形状和位置公差的基本概念出发,系统且严密地论述形状和位置公差的理论体系,并从实际情况出发讨论形状和位置误差的检测原理和方法,具有实用价值,主要供高等工科院校机械类专业本科生和研究生以及工程技术人员学习和贯彻形状和位置公差的国家标准时参考。

形位误差检测

刘巽尔 编

•

北京理工大学出版社出版

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

北京密云华都印刷厂印装

•

787×1092毫米 16开本 8.25印张 202千字

1988年12月第一版 1988年12月第一次印刷

ISBN 7-81013-138-9/TH·21

印数: 1— 7000册 定价: 2.10元

前 言

各种机器或仪器都是由大小不同、形状各异的若干零部件组合而成的。在现代化大生产的条件下,为了经济地满足使用性能的要求,不仅应对零件的机械、物理、化学性能提出适当的要求,最重要的是要对零件的几何特性规定合理的精度,也就是要求几何要素的互换性。在几何要素互换性方面,除了必须规定适当的公差与配合以外,还需要对零件各几何要素(点、线、面)的形状和位置规定合理的公差,以限制各几何要素的形状和位置误差,从而满足零件的装配要求和保证产品的工作性能。

例如,圆柱表面的形状误差会使配合性质不均匀,导轨的形状误差将使运动部件的运动精度受到影响,孔的位置误差会影响装配的方便性和可能性,轴颈或轴瓦的形状误差会使轴线在运转过程中产生跳动,等等。

按图样规定的形状和位置公差,选择适当的工艺方法加工制成的零件,还需要采用相应合理的检测方法,检查其各几何要素的形状和位置误差是否满足图样规定的要求,以评定其形状和位置的合格性。因此,形状和位置误差的检测是保证产品质量的一项重要工作。

我国在1974—1975年间先后颁布了三项形状和位置公差的国家标准(试行)。此后,经过几年的实践考验和理论探讨,于1980年正式发布了四项形状和位置公差国家标准,即GB1182—80(代号及其注法)、GB1183—80(术语及定义)、GB1184—80(未注公差的规定)和GB1958—80(检测规定)。此后又相继公布了GB4249—84(公差原则)、GB4380—84(确定圆度误差的方法——两点、三点法)和GB8069—87(位置量规)。所有这些国家标准的贯彻和实施,都将对振兴我国机械工业、提高生产技术和生产过程的经济性发挥良好的促进作用。

国际上,关于形状和位置公差的理论和应用研究工作,是在近一、二十年才陆续开展起来的一项新的学科领域。对此,还有相当一部份问题需要进行深入的探索和开拓,特别是关于形状和位置误差的检测,更有大量的问题需要逐步加以解决。我国各项形位公差标准的制订和颁布,标志着我国机械工业互换性基础标准的理论研究和推广应用,已经发展到了一个新的阶段,在相当广泛的范围内达到了国际先进水平。

本书从形状和位置公差的基本理论和概念出发,讨论形状和位置误差检测的基本原则以及测量结果的处理和误差值的评定,兼及形状和位置公差的有关术语和定义,以及基本的标注方法。对于检测工具和仪器,将不作详细介绍。

由于《形状和位置公差 检测规定》国家标准(GB1958—80)的制订,着眼于建立标准的理论的严密性,而对于体现这些理论的实际方法,只在一定范围内和一定程度上有所解决,所以,要首先着重于对形状和位置公差的基本理论和基本概念的理解和掌握,并在此基础上熟悉各项形状和位置误差的测量结果的处理方法。具体的检测方法和检测器具,应根据检测对象进行选择 and 确定。特别是实际检测技术,更需要从具体检测器具出发,在实际工作中逐步提高。

只有在科学的理论基础上建立起来的技术标准,才能具有指导生产实践的强大生命

力。然而，标准在理论上的严密和科学，并不一定相应地要求在生产实践中贯彻标准时，不能对理论有丝毫的偏离。因为任何实践都不可避免地会产生或大或小的误差。要求完全符合理论的实践，实际是否定了实践，从而实质上否定了理论本身。但是，实践对理论的必然偏离，并不能否定理论对实践的指导意义和作用。因为只有在正确理论指导下的科学的实践，才能不断提高实践的水平，并为理论的更新和发展提供新的信息。这也就是，理论和实际必须在科学的实践过程中获得统一。

刘巽尔

1988年元月

目 录

第一章 基本概念

1.1 几何要素及其分类.....	(1)
1.2 形状和位置公差的项目及其标注方法.....	(2)
1.3 形位公差及其公差带.....	(10)
1.3.1 形状公差	(10)
1.3.2 位置公差之一——定向公差.....	(14)
1.3.3 位置公差之二——定位公差.....	(19)
1.3.4 位置公差之三——跳动公差.....	(22)
1.4 形位误差及其误差值.....	(25)
1.4.1 形状误差.....	(25)
1.4.2 位置误差之一——定向误差.....	(27)
1.4.3 位置误差之二——定位误差.....	(28)
1.4.4 位置误差之三——跳动.....	(29)
1.5 基准的建立及体现.....	(31)
1.5.1 基准的概念.....	(31)
1.5.2 基准的建立.....	(33)
1.5.3 基准体系的建立.....	(35)
1.5.4 基准和基准体系的体现.....	(38)
1.6 形位误差检测的基本规定.....	(42)
1.6.1 检测对象.....	(42)
1.6.2 检测方法.....	(42)
1.6.3 检测条件.....	(44)
1.6.4 检测精度.....	(45)
1.7 形位公差与尺寸公差的关系.....	(46)
1.7.1 尺寸、状态和边界.....	(46)
1.7.2 独立原则和相关原则.....	(50)

第二章 形状误差的检测

2.1 直线度	(62)
2.1.1 最小包容区域判别法	(62)
2.1.2 检测方法	(62)
2.1.3 误差值的评定	(73)
2.2 平面度	(77)
2.2.1 最小包容区域判别法	(77)
2.2.2 检测方法	(78)
2.2.3 误差值的评定	(81)
2.3 圆度	(86)
2.3.1 最小包容区域判别法	(86)
2.3.2 检测方法 及误差值的评定	(86)

2.4 圆柱度	(94)
2.5 轮廓度	(96)

第三章 位置误差的检测

3.1 定向误差	(100)
3.2 定位误差	(104)
3.2.1 同轴度误差	(104)
3.2.2 对称度误差	(106)
3.2.3 位置度误差	(108)
3.3 跳动	(116)
3.4 位置量规	(116)
参考书目	(125)

第一章 基本概念

1.1 几何要素及其分类

形状和位置公差的研究对象是零件的几何要素，它是构成零件几何特征的点、线、面的统称。几何要素简称为“要素”。例如图1-1所示零件上的要素有：球心、锥顶是点；圆柱面和圆锥面的素线、轴线是线；球面、圆锥面、端平面、圆柱面等都是面。这些构成该零件几何特征的点、线、面都称为几何要素。

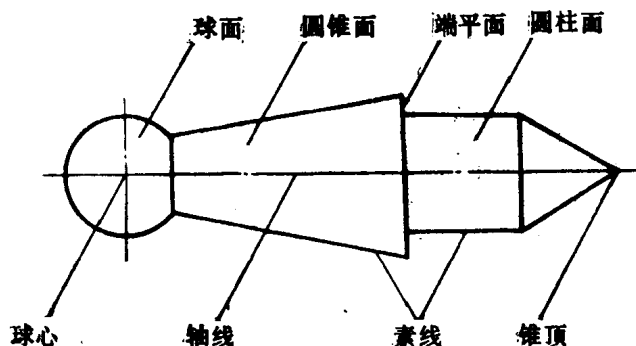


图1-1

几何要素可以按不同方面进行分类：

1. 理想要素和实际要素 具有几何学意义的要素称为理想要素。例如几何学上的直线、平面、圆、圆柱面、圆锥面、球面等。它们都是没有误差的理想几何图形。

零件上实际存在的要素称为实际要素。实际要素是零件各要素的真实状况，它是一种客观存在。由于任何一种检测过程都不可避免地会产生误差，零件各要素的真实状况是不可能测得的，因此，在测量和评定时，通常都以测得要素代替实际要素。

2. 被测要素和基准要素 在零件设计图样上给出了形状或（和）位置公差的要素，也就是需要研究确定其形状或（和）位置误差的要素，称为被测要素。显然，在零件设计图样上体现的是理想被测要素，而在实际零件上的则是实际被测要素。

对于给出了位置公差的可测要素，其理想要素应具有确定的方向或位置。用来确定理想被测要素的方向或（和）位置的要素，称为基准要素。同样，在零件设计图样上体现的是理想基准要素，而在实际零件上的则是实际基准要素。理想基准要素简称为“基准”。通常，基准要素由设计者在图样上用规定的方法标明。

3. 单一要素和关联要素 给出了形状公差的要素，也就是要研究确定其形状误差的要素，称为单一要素。给出了位置公差的要素，也就是要研究确定其位置误差的要素，称为关联要素。由此可见，对于既给出了形状公差，又给出了位置公差的可测要素，既可以作为单一要素研究确定其形状误差，也可以作为关联要素研究确定其位置误差。此后可见，不仅被测要素有单一和关联之分，而且基准要素也有单一和关联之分。当只由一个要素来

确定理想被测要素的方向或(和)位置时,称为单一基准要素;当由一个以上要素来确定理想被测要素的方向或(和)位置时,还需给出各基准要素间的位置公差,那么,对其它基准要素有位置公差要求的基准要素,就称为关联基准要素。

4. 轮廓要素和中心要素 由一个或几个表面形成的要素,称为轮廓要素。例如图1-1中的圆柱表面(轮廓面)、圆柱表面与端平面的交线(轮廓线)、圆锥锥顶(轮廓点)等等,都是轮廓要素。

对称轮廓要素的中心点、中心线、中心面或回转表面的轴线,称为中心要素。例如图1-1中的圆柱表面的轴线、球面的球心等等,都是中心要素。

轮廓要素是在零件上实际存在的;中心要素是假想的。通常,中心要素是依存于相应的轮廓要素的。例如图1-1中的轴线是依存于圆柱表面或圆锥表面的中心要素,球心是依存于球面的中心要素。

在实际工作中,既要注意中心要素与相应的轮廓要素的区别,因为对中心要素的形位公差要求和对轮廓要素的形位公差要求是有原则区别的;同时,也要注意中心要素与相应的轮廓要素的联系,这不仅是由于中心要素往往是由相应的轮廓要素所形成,离开了相应的轮廓要素便不存在中心要素(例如没有球面就无所谓球心,没有圆柱面就无所谓轴线),而且是因为中心要素的形位误差常常要通过相应的轮廓要素来测量和控制。

1.2 形状和位置公差的项目及其标注方法

国家标准规定的形状和位置公差项目共有14项。各项形状和位置公差的名称和符号如表1-1所列。

表 1-1 形状公差的项目及其符号

分类	项目	符号	分类	项目	符号
形状公差	直线度		位置公差	平行度	
	平面度			垂直度	
	圆度			倾斜度	
	圆柱度			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	

图 1-2

对零件几何要素的形位公差有特殊要求（包括高精度和低精度）时，应按规定的方法在图样上注出。国家标准规定，在图样上，形位公差应采用代号标注。当无法用代号标注时，也允许在技术条件中用文字说明。

形位公差代号包括：形位公差有关项目的符号、形位公差框格和指引线、形位公差数值和其它有关符号、基准符号。

形位公差框格分成两格或多格。它可以在图样上水平绘制，也可以垂直绘制。水平绘制时，框格内自左至右（垂直绘制时，自下至上）依次填写以下内容（图1-2）：

第一格——形位公差项目的符号。

第二格——形位公差数值和有关符号。例如表示公差值为圆形、圆柱形或球形公差带直径的符号“ ϕ ”或“ $S\phi$ ”；表示公差值为被

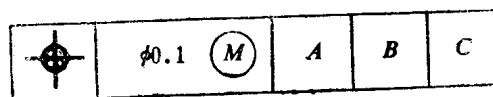


图1-2

测要素处于最大实体状态（*MMC*）下形位误差的最大允许值的符号 $\textcircled{M}$ ；表示延伸公差带的符号 $\textcircled{D}$ ；以及被测要素有误差时只许中间向材料外凸起的符号（+）、只许中间向材料内凹下的符号（-）和只许按小端方向逐渐减小的符号（ $\triangleleft$ ）等。

第三格和以后各格——基准代号的字母和有关符号。如表示位置公差与基准中心要素相应的轮廓要素的尺寸公差相关的符号 $\textcircled{L}$ 。

形位公差框格的一端用带箭头的指引线与被测要素相连。指引线的箭头应指向公差带的宽度或直径方向。当被测要素为轮廓要素时，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，如图1-3所示。当被测要素为中心要素时，指引线的箭头应与形成此中心要素的轮廓要素的尺寸线对齐，如图1-4所示。原则上，指引线应该从框格一端的中间位置引出（如图1-3和图1-4所示）。为了制图方便，也允许采用图1-5所示的方法。

当同一被测要素具有多项形位公差要求，且各项形位公差要求的标注原则又相一致时，可以在同一根指引线的末端绘制多个形位公差框格。如图1-6中圆锥表面的斜向圆跳动和素线直线度公差，可以合用一根指引线，它垂直于圆锥面的素线。但其圆度公差的指引线箭头应与轴线垂直，而不是与素线垂直，因此不能与圆跳动和直线度公差合用一根指引线。

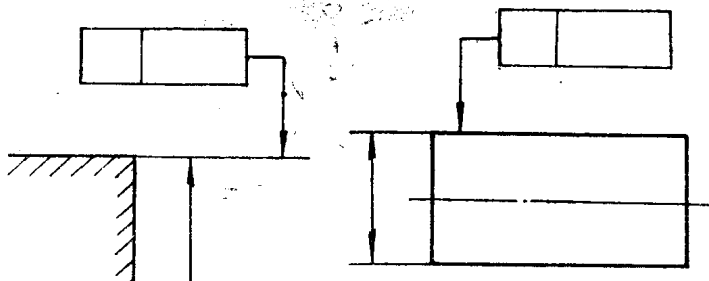


图1-3

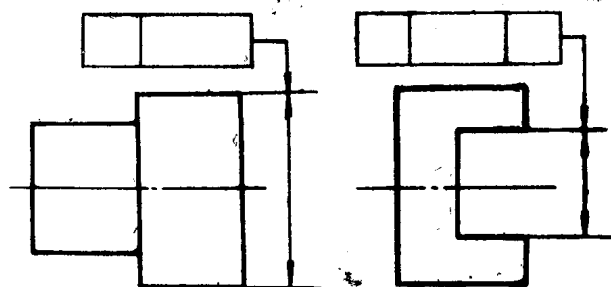


图1-4

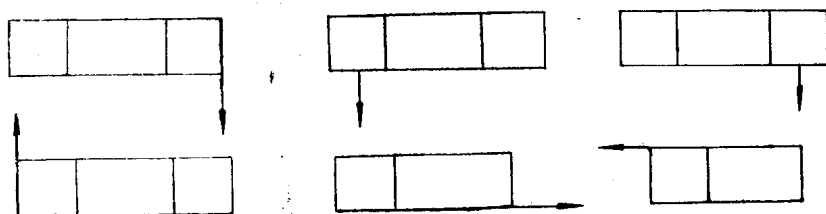


图1-5

对于由单一基准要素确定的位置公差，形位公差框格的另一端用带基准符号的连线与基准要素相连。基准符号用加粗的短划表示。基准符号的连线必须与基准要素垂直。与被测要素相同，当基准要素为轮廓要素时，基准符号

应靠近该要素的轮廓线或其引出线标注，其连线应明显地与尺寸线错开，如图1-7所示。当基准要素为中心要素时，基准符号应靠近形成该中心要素的轮廓要素的轮廓线或其引出线标注，并使其连线与此轮廓要素的尺寸线对齐，如图1-8所示。

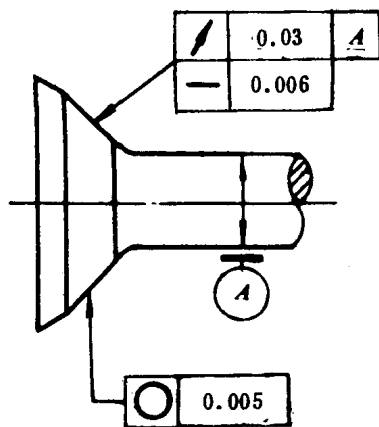


图1-6

当基准符号直接与形位公差框格相连，而被测要素的位置公差又与形成基准中心要素的轮廓要素的尺寸公差相关时，可将符号Ⓜ直接单独标注在形位公差框格的第三格内，如图1-8所示。

当基准符号不便于直接与形位公差框格相连，或采用多个基准要素来确定理想被测要素的方向或（和）位置时，可采用基准代号标注。基准代号由基准符号（加粗的短划）、圆圈、连线和字母组成（图1-9）。无论基准代号在图样上的方向如何，圆圈内的字母都应水平书写，如图1-10所示。基准代号的标注方法与基准符号相同。

采用基准代号标注时，在形位公差框格的第三格及以后各格内填写与基准代号相同的字母。图1-11a表示单基准A；b表示单基准A-B（组合要素）；c表示由第一基准A、第二

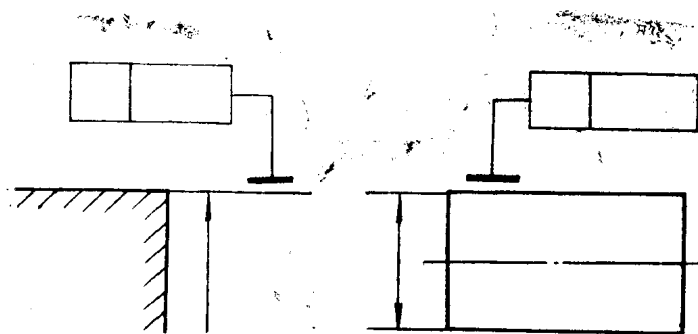


图1-7

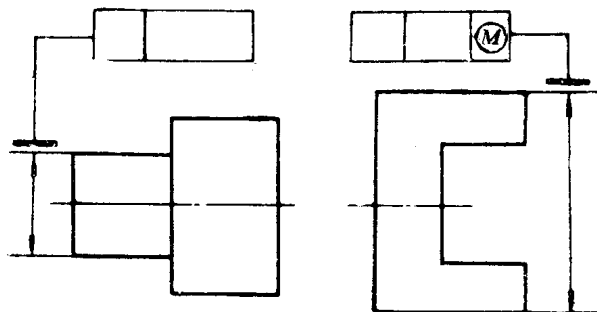


图1-8

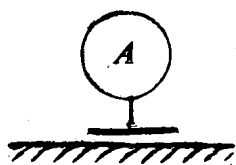


图1-9

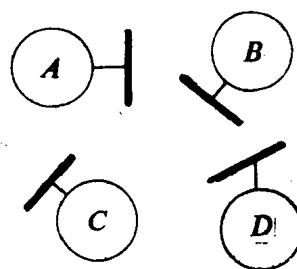


图1-10

基准B和第三基准C组成的多基准体系。为避免混淆，基准代号的字母不得采用E、I、J、M、O和P。

当图样上位置不够时，也可以将基准代号标注在基准要素的尺寸引出线或其形位公差框格的下方，如图1-12所示。

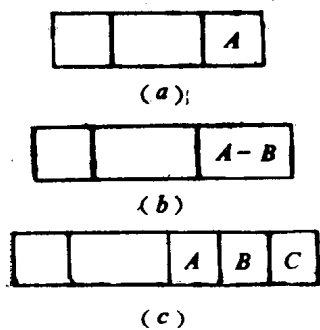


图1-11

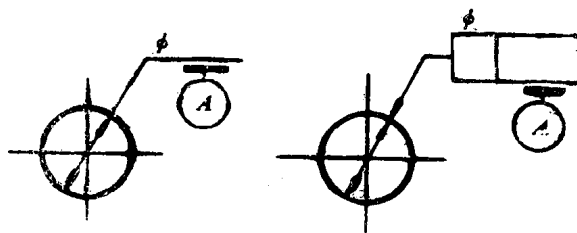


图1-12

当被测要素或基准要素为某一要素的轴线或若干要素的公共轴线时，在不致发生误会的情况下，指引线的箭头或基准符号可直接指向或靠近轴线标注，如图1-13所示。

当被测要素或基准要素为圆锥面的轴线，如直径尺寸不能明显地区别圆锥面与圆柱面时，应在圆锥面内画出空白的尺寸线，并将指引线的箭头或基准符号的连线与该空白尺寸线对齐，如图1-14所示。

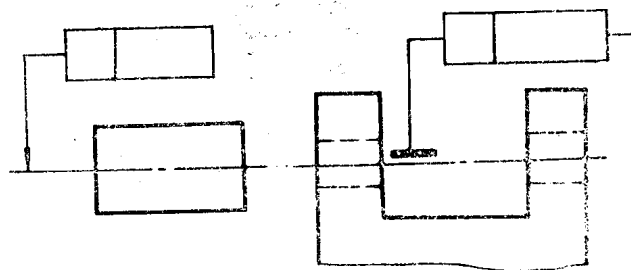


图1-13

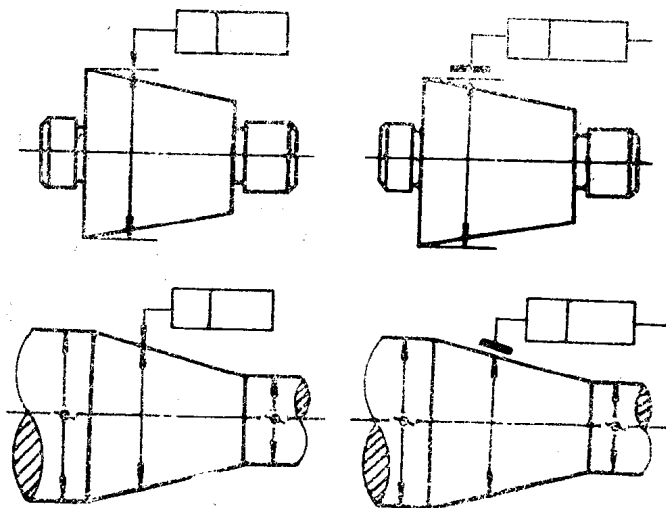


图1-14

必要时，可以在形位公差框格的上方或下方附加文字说明。属于被测要素数量的说明应写在框格的上方；属于解释性的说明（包括对检测方法的要求），应写在框格的下方，如图1-15所示。

若图样上标注的形位公差无附加说明，则它所控制的范围是箭头所指的整个被测要素。若控制范围仅为被测要素的一部分，则应用细实线画出该范围，并标注相应的尺寸，如图1-16所示。如需给出被测要素任一给定范围内的形位公差值，则应采用比例的形式标注。图1-17a表示在任一边长为500mm的正方形内，平面度公差为0.04mm；图1-17b表示在任意100mm长度内，直线度公差为0.02mm。如果还需同时给出整个被测要素范围内的形位公差值，则用分数形式标注，分子表示整个被测要素范围内的形位公差值，分母表示给定范围内的形位公差值，如图1-18所示。

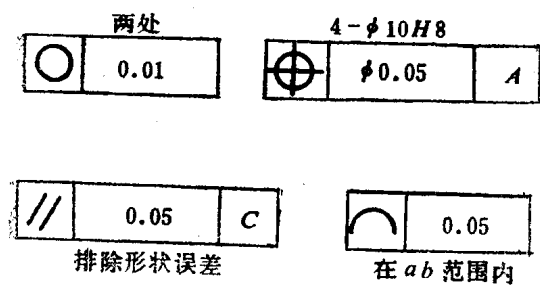


图1-15

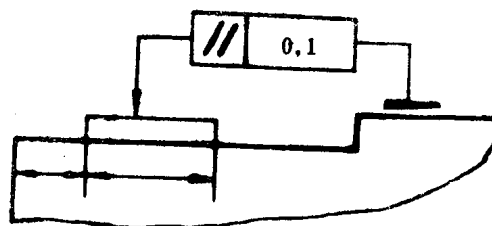


图1-16

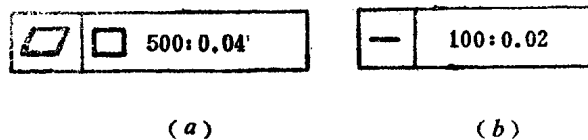


图1-17

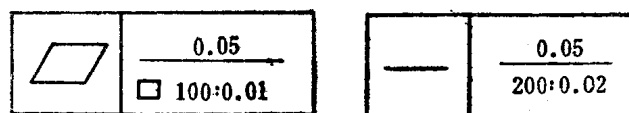


图1-18

标注示例1 齿轮毛坯 (图1-19)

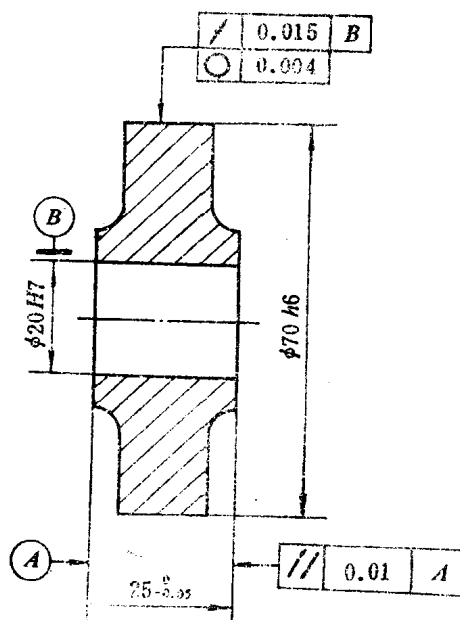


图1-19

序号	代 号	解 释	公 差 带
1	$\bigcirc$ 0.004	$\phi 70h6$ 外圆柱面的圆度公差0.004mm	在同一正截面上, 半径差为0.004mm的两同心圆之间的区域
2	$\nearrow$ 0.015 B	$\phi 70h6$ 外圆柱面对基准轴线B ($\phi 20H7$ 孔的轴线)的径向圆跳动公差0.015mm	在垂直于基准轴线B的任一测量平面内, 半径差为0.015mm、圆心在基准轴线B上的两同心圆之间的区域
3	// 0.01 A	左(右)端面对右(左)端面的平行度公差0.01mm (任选基准)	距离为0.01mm、平行于基准平面(左端面或右端面)的两平行平面之间的区域

标注示例2 滚锥轴承内圈 (图1-20)

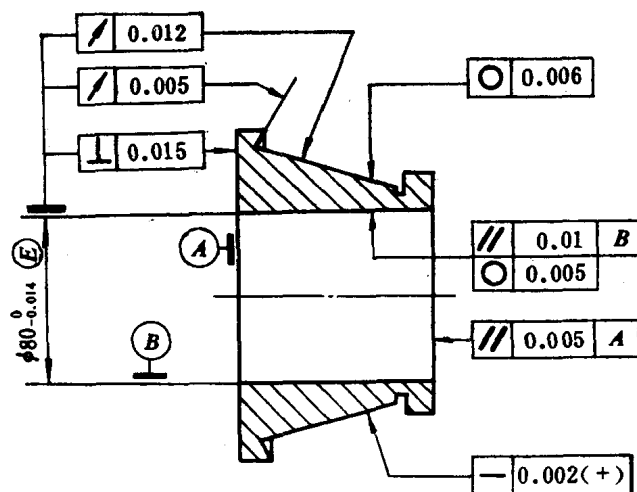
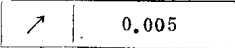
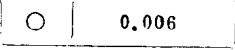
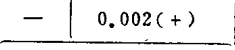
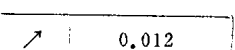


图1-20

序号	代 号	解 释	公 差 带
1	// 0.005 A	右端面对基准平面A (左端面)的平行度公差0.005mm	距离为0.005mm、且平行于基准平面A的两平行平面之间的区域
2	$\bigcirc$ 0.005	$\phi 80-0.014$ ⑥内圆柱面的圆度公差0.005mm	在同一正截面上, 半径差为0.005mm的两同心圆之间的区域
3	// 0.01 B	$\phi 80-0.014$ ⑥内圆柱面上, 处于对径位置的素线间的平行度公差0.01mm	在轴向截面内, 距离为0.01mm、且平行于某素线的两平行直线之间的区域
4	$\perp$ 0.015	左端面对基准轴线 ($\phi 80-0.014$ ⑥轴线)的垂直度公差0.015mm	距离为0.015mm、且垂直于基准轴线的两平行平面之间的区域

续

序号	代 号	解 释	公 差 带
5		圆锥表面对基准轴线 ($\Phi 80_{-0}^{+0.014}$ ②轴线)的斜向 圆跳动公差0.005mm	在与基准轴线同轴、且母线垂 直于被测圆锥面母线的测量圆锥 面上、沿母线方向宽度为0.005mm 的圆锥面区域
6		滚道圆锥表面的圆度公差 0.006mm	在同一正截面上、半径差为 0.006mm的两同心圆之间的区域
7		滚道素线的直线度公差0.002 mm (只许中间向材料外凸起)	距离为0.002mm的两平行直线 之间的区域
8		滚道圆锥表面对基准轴线 ($\Phi 80_{-0}^{+0.014}$ ②轴线)的斜向 圆跳动公差0.012mm	在与基准轴线同轴、且母线垂直 于被测圆锥面母线的测量圆锥面 上、沿母线方向宽度为0.012mm 的圆锥面区域

标注示例3 法兰盘 (图1-21)

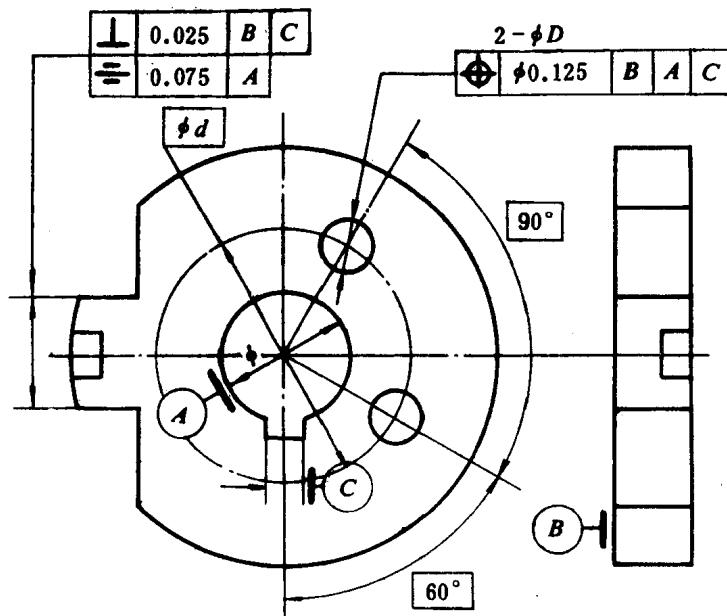
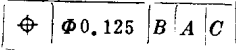
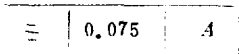
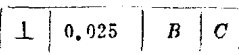


图1-21

序号	代 号	解 释	公 差 带
1		ΦD 两孔轴线对由第一基准 B、 第二基准 A、第三基准 C 和理论正 确尺寸 ϕd 、60°、90° 确定的理想 位置的位置度公差 $\phi 0.125$ mm	以两孔轴线的理想位置为轴线、 直径等于位置度公差值 $\phi 0.125$ mm 的两圆柱面区域

序号	代 号	解 释	公 差 带
2		凸起的对称中心面对基准轴线A的对称度公差0.075mm	对称于通过基准轴线A的平面、宽度为公差值0.075mm的两平行平面区域
3		凸起的对称中心面对第一基准B、第二基准C的垂直度公差0.025mm	垂直于第一基准B和第二基准C的宽度为公差值0.025mm的两平行平面区域

1.3 形位公差及其公差带

形状和位置公差（简称形位公差）是实际被测要素对其理想要素的允许变动。形位公差带是实际被测要素允许变动的区域。它体现了对被测要素的设计要求，也是加工和检验的根据。形位公差带有四项特性：形状、大小、方向和位置。

形位公差带的形状主要有以下10种：两平行直线、两等距曲线、两同心圆、一个圆、一个球、一个圆柱、一个四棱柱、两同轴圆柱、两平行平面和两等距曲面。形位公差带的形状可以通过对被测要素的形状、形位公差的项目和形位公差值前的符号等进行分析后确定。有些形位公差项目的公差带形状具有唯一性，有些项目却可以根据设计要求的不同而具有不同形状的公差带。因此，正确判断形位公差带的形状是非常重要的。

各形位公差项目的公差带大小均以公差带的宽度或直径表示。形位公差带的宽度或直径等于图样上给出的形位公差值。

形位公差带的方向和位置可以是固定的，也可以是浮动的。如果理想被测要素相对于另一个或几个要素（基准）的方向或位置关系是以理论正确尺寸（不注公差的带框长度或角度尺寸）标注的，则由它确定的形位公差带的方向或位置是固定的，否则就是浮动的。所谓浮动公差带是指其方向或位置可以随实际被测要素的方向或位置的变动而变动，没有对其它要素保持正确几何关系的要求。形位公差带的方向和位置特性，对于形位误差的检测是特别重要的。

1.3.1 形状公差

形状公差是单一实际被测要素对其理想要素的允许变动；形状公差带是单一实际被测要素允许变动的区域。形状公差带的方向和位置一般都是浮动的。

形状公差的项目共有六种：直线度、平面度、圆度、圆柱度、线轮廓度和面轮廓度。

1. 直线度 直线度公差是实际被测要素对理想直线的允许变动。根据不同情况，直线度公差可以有几种不同形状的公差带。

在给定平面内的直线度公差带是距离为公差值 t 的两平行直线之间的区域。例如，图1-22a表示轴向平面与圆柱面的交线必须位于该平面内、距离为公差值0.02mm的两平行直线公差带内，如图1-22b所示。