

形状和位置误差检测

甘永立 主编



国防工业出版社

形状和位置误差检测

甘永立 主编

甘永立 宋 芸 方亚彬 何改云 施云鹤
刘世华 吕林森 刘奕德 张依群 编著

国防工业出版社

(京)新登字 106 号

图书在版编目(CIP)数据

形状和位置误差检测/甘永立主编. —北京:国防工业出版社, 1995

ISBN 7-118-01304-8

I. 形… I. 甘… II. 形位公差-形位偏差测量-基本知识 IV. TG83

中国版本图书馆 CIP 数据核字(94)第 05014 号

形状和位置误差检测

甘永立 主编

责任编辑 周润芬

*

国防工业出版社 出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号)

(邮政编码 100044)

新华书店经售

北京怀柔新华印刷厂印刷

*

开本 787×1092 1/16 印张 17¼ 396 千字

1995 年 2 月第 1 版 1995 年 2 月北京第 1 次印刷 印数 1—3000 册

ISBN 7-118-01304-8/TH·91

定价:20.30 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

序

互换性与检测技术是现代机械工业发展的基础。产品和零件的设计、制造和检测都是互换性生产中的重要环节。随着机械工业基础互换性标准《形位公差》的深入贯彻,社会上迫切需要解决形位误差的检测问题。为此,全国形位公差标准化技术委员会特委托吉林工业大学教授甘永立主编《形状和位置误差检测》一书,以满足社会的需要。

机械零件几何要素的形位精度是零件的主要质量指标之一,它在一定程度上影响着整台机器或仪器的质量。对机械零件规定合理的形位公差,若不采取适当的检测措施,那么,规定的这些公差形同虚设。因此,按照零件图样上规定的技术要求和形位公差进行检测,这是组织互换性生产必不可少的重要措施。

近年来,我国在形位误差检测技术的科学研究方面取得了不少成果。全国形位公差标准化技术委员会的成员在这方面做了许多工作,并取得一定的成果。本书作者是在对这些科研成果加以总结的基础上,并参考有关文献,整理成本书的。本书具有以下特点:

(1)既重视形位误差评定和检测的基本理论,也重视形位误差检测方法的具体应用和分析,理论密切联系实际。

(2)根据零件图样标注和零件图样上规定的技术要求叙述零件的检测方法,使读者对检测目的和手段一目了然,有良好的实用性。

(3)各章之间保持联系,各章内容又保持其独立性和系统性,纲目分明,前后连贯。

(4)取材广泛,内容丰富,具有较高的学术水平。

我相信,本书的出版标志着我国形位误差检测技术达到了一个新水平。对于工矿企业的工程技术人员、科研机构的科研工作者和工科院校的师生,本书不失为一本较好的具有实用价值的参考书。本书对我国互换性生产的发展以及科研和教学水平的提高都会有重要的意义,对我国社会主义建设必将起到积极的作用。值此本书由国防工业出版社出版之际,谨作此序。

张作梅

前 言

机械零件几何要素的形状和位置精度在很大的程度上影响着整个零件的质量,也影响整台机器的质量。因此,正确地检测形状和位置误差对保证零件和产品的质量 and 互换性具有重大的意义。但近年来,国内出版形状和位置误差检测的专著甚少,尤其缺乏位置误差检测的专著。为此,本技术委员会特委托吉林工业大学教授甘永立委员主持编著《形状和位置误差检测》一书,以满足社会上对这方面书籍的需要。

本书比较深入而系统地论述各项形状和位置误差的评定方法、检测原理、检测方法及相应的数据处理方法,定向、定位误差三坐标测量中的数学分析,位置量规的设计原理及其应用。希望本书的出版能有助于正确运用形状和位置误差的检测原理和检测方法,正确评定零件几何要素的形状和位置精度,有助于形状和位置公差原理的研究工作和应用。

本书各章节的编著者如下:第一章甘永立,第二章宋芸,第三章第一、二两节方亚彬,第三节何改云,第四、六两章和第五章第一节施云鹄,第五章第二节刘世华,第七章吕林森、何改云,第八章第一节张依群,第二节刘奕德,第九章吕林森。

承蒙中国科学院院士张作梅先生对本书提供宝贵意见,并为本书作序,谨表示衷心的感谢。

由于我们的水平所限,书中难免存在缺点和错误,欢迎广大读者批评指正。

**全国形状和位置公差
标准化技术委员会**

目 录

外文字母基本符号表	(1)
常用测量符号表	(2)
第一章 概论	(3)
一、零件几何要素、形位公差带和公差原则	(3)
(一)零件几何要素	(3)
(二)形位公差带	(4)
(三)公差原则	(5)
二、形位误差及其评定	(7)
(一)形状误差及其评定	(7)
(二)定向误差及其评定	(9)
(三)定位误差及其评定	(10)
(四)跳动及其评定	(11)
三、基准的建立和体现	(12)
(一)基准和三基面体系	(12)
(二)基准的建立	(14)
(三)基准的体现	(17)
四、形位误差检测基础	(20)
(一)检测对象	(21)
(二)检测条件	(22)
(三)检测方法	(23)
(四)测量基准	(24)
(五)检测精度	(25)
第二章 直线度和平面度误差的测量	(27)
一、直线度误差测量	(27)
(一)直线度公差带和直线度误差的概念	(27)
(二)直线度误差的评定方法	(28)
(三)给定平面内和给定方向的直线度误差测量	(31)
(四)消差法测量直线度误差	(42)
(五)给定平面内和给定方向的直线度误差测量数据处理	(45)
(六)任意方向的直线度误差测量	(47)
(七)任意方向的直线度误差测量数据处理	(49)
二、平面度误差测量	(52)
(一)平面度公差带和平面度误差的概念	(52)
(二)平面度误差的评定方法	(53)

(三)测量平面度误差时的布点形式	(55)
(四)平面度误差的测量方法	(58)
(五)平面度误差测量数据处理	(63)
第三章 圆度、圆柱度和球度误差的测量	(73)
一、圆度误差测量	(73)
(一)圆度公差带和圆度误差的概念	(73)
(二)圆度误差的评定方法	(73)
(三)圆度误差的半径变化量测量法	(77)
(四)圆度误差的两点、三点测量法	(86)
(五)圆度误差的直角坐标测量法	(93)
(六)圆度误差的影像测量法	(94)
二、圆柱度误差测量	(95)
(一)圆柱度公差带和圆柱度误差的概念	(95)
(二)圆柱度误差的评定方法	(95)
(三)圆柱度误差的半径变化量测量法	(97)
(四)圆柱度误差的三点测量法	(101)
(五)圆柱度误差的分解测量法	(101)
三、球度误差测量	(102)
(一)球度公差带和球度误差的概念	(102)
(二)球度误差的评定方法	(103)
(三)球度误差的测量方法	(106)
第四章 定向误差的测量	(109)
一、定向公差带和定向误差的概念	(109)
二、定向误差的评定方法	(109)
(一)平行度定向最小区域判别法	(110)
(二)垂直度定向最小区域判别法	(110)
(三)倾斜度定向最小区域判别法	(112)
三、平行度误差测量	(113)
(一)面对面平行度误差测量	(113)
(二)线对面平行度误差测量	(119)
(三)面对线平行度误差测量	(121)
(四)线对线平行度误差测量	(123)
四、垂直度误差测量	(127)
(一)面对面垂直度误差测量	(127)
(二)线对面垂直度误差测量	(131)
(三)面对线垂直度误差测量	(133)
(四)线对线垂直度误差测量	(133)
五、倾斜度误差测量	(134)
(一)面对面倾斜度误差测量	(135)
(二)线对面倾斜度误差测量	(136)
(三)面对线倾斜度误差测量	(137)
(四)线对线倾斜度误差测量	(138)

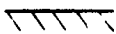
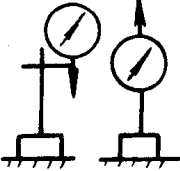
第五章 同轴度误差和跳动的测量	(141)
一、同轴度误差测量	(141)
(一)同轴度公差带和同轴度误差的概念	(141)
(二)同轴度误差的评定方法	(141)
(三)坐标法测量同轴度误差	(142)
(四)简易坐标测量法测量同轴度误差	(146)
(五)对径双测头测量法测量同轴度误差	(148)
(六)影像法测量同轴度误差	(149)
(七)光轴法测量同轴度误差	(150)
(八)壁厚差法测量同轴度误差	(152)
二、跳动测量	(153)
(一)跳动测量的特点和分类	(153)
(二)跳动测量中的轴向定位	(154)
(三)径向跳动测量	(155)
(四)端面跳动测量	(157)
(五)斜向圆跳动测量	(158)
(六)跳动测量的应用	(159)
第六章 对称度误差的测量	(162)
一、对称度公差带和对称度误差的概念	(162)
二、对称度误差的评定方法	(163)
(一)面对面和线对面的对称度定位最小区域判别法	(163)
(二)面对线和线对线的对称度定位最小区域判别法	(164)
三、面对面的对称度误差测量	(165)
(一)在坐标测量仪器上测量	(165)
(二)在工具显微镜上测量	(170)
(三)打表法测量	(173)
四、线对面的对称度误差测量	(175)
五、面对线的对称度误差测量	(177)
六、线对线的对称度误差测量	(180)
第七章 位置度误差的测量	(182)
一、位置度公差带的概念和位置度误差的评定	(182)
(一)位置度公差带的概念	(182)
(二)位置度误差的评定	(186)
二、单个要素位置度误差的测量	(188)
(一)点的位置度误差测量	(188)
(二)线的位置度误差测量	(189)
(三)面的位置度误差测量	(189)
三、矩形布置孔组位置度误差的测量	(190)
(一)采用重叠位置度公差注法时的测量	(190)
(二)采用位置度公差与定位尺寸公差组合注法时的测量	(192)
(三)采用复合位置度公差注法时的测量	(203)
四、圆周布置孔组位置度误差的测量	(203)

(一)采用重叠位置度公差注法时的测量	(204)
(二)采用位置度公差与定位尺寸公差组合注法时的测量	(207)
(三)采用复合位置度公差注法时的测量	(208)
第八章 定向、定位误差三坐标测量中的数学分析与轮廓度误差的测量	(209)
一、定向、定位误差三坐标测量中的数学分析	(209)
(一)几何要素的三坐标测量	(209)
(二)三坐标测量中工件坐标系的建立	(210)
(三)定向误差三坐标测量中的数学分析	(214)
(四)定位误差三坐标测量中的数学分析	(221)
二、轮廓度误差测量	(225)
(一)轮廓度公差带和轮廓度误差的概念	(225)
(二)轮廓度误差的评定方法	(227)
(三)线轮廓度误差测量	(229)
(四)面轮廓度误差测量	(237)
第九章 位置量规及其应用	(242)
一、位置量规的作用和分类	(242)
二、位置量规的设计原理	(242)
(一)位置量规工作部分的组成	(242)
(二)位置量规测量部分的形状和定形尺寸的确定	(243)
(三)位置量规定位部分的形状和定形尺寸的确定	(243)
(四)位置量规测量部分相对于定位部分的位置	(245)
(五)位置量规导向部分的形状和定形尺寸的确定	(246)
三、位置量规公差和工作部分极限尺寸的确定	(247)
(一)位置量规测量部分定形尺寸公差带和极限尺寸的确定	(247)
(二)位置量规定位部分定形尺寸公差带和极限尺寸的确定	(248)
(三)位置量规导向部分定形尺寸公差带和极限尺寸的确定	(249)
(四)位置量规工作部分磨损极限尺寸的计算	(251)
(五)位置量规公差的数值	(252)
四、位置量规设计计算示例	(254)
(一)平行度量规	(254)
(二)垂直度量规	(256)
(三)倾斜度量规	(258)
(四)同轴度量规	(259)
(五)对称度量规	(260)
(六)位置度量规	(261)
(七)复合位置度量规	(263)
参考文献	(267)

外文字母基本符号表

S	被测要素
D	孔或内表面的尺寸
d	轴或外表面的尺寸
s	实际尺寸
T	尺寸公差
t	形状和位置公差(简称形位公差)
Z	形状和位置公差带(简称形位公差带)
U	最小包容区域,定向最小包容区域,定位最小包容区域
f	形状和位置误差(简称形位误差)
h_i	实际被测要素上各个点对其理想要素的变动量,实际被测要素上各个点对评定基准的偏离值
$h_{\max}$	实际被测要素对其理想要素的最大变动量,实际被测要素对评定基准的最大偏离值、最大偏离量
$h_{\min}$	实际被测要素对评定基准的最小偏离值
下角字 MZ	最小包容区域
下角字 LS	最小二乘直线、平面、圆、圆柱、球
下角字 BE	两端点连线
下角字 DL	对角线平面
下角字 TP	三远点平面
下角字 MC	最小外接圆、圆柱、球
下角字 MI	最大内接圆、圆柱、球
下角字 u	定向最小包容区域、定位最小包容区域
MMC	最大实体状态
LMC	最小实体状态
VC	实效状态
B	理想边界
T_i	综合公差
F_M, F_P	位置量规测量部分、定位部分的基本偏差
T_M, T_P, T_G	位置量规测量部分、定位部分、导向部分定形尺寸的制造公差
W_M, W_P, W_G	位置量规测量部分、定位部分、导向部分定形尺寸的允许磨损量
t_M, t_P, t_G	位置量规测量部分、定位部分、导向部分的位置公差
t'_G	位置量规台阶式导向销的测量部位(或定位部位)对导向部位的(或者后者对前者的)同轴度公差或对称度公差

常用测量符号表

序号	符 号	说 明	序号	符 号	说 明
1		平板、平台(或 测量平面)	7		连续转动(不超 过一周)
2		固定支承	8		间断转动(不超 过一周)
3		可调支承	9		旋转
4		连续直线移动	10		指示器
5		间断直线移动	11		带有指示器的 测量架
6		沿几个方向直 线移动			

第一章 概 论

一、零件几何要素、形位公差带和公差原则

(一) 零件几何要素

机器或仪器零件是由构成其几何特征的点、线、面组成的,这些点、线、面统称为几何要素(简称要素)。例如图 1-1(a) 所示的零件上,点要素有圆锥顶点 5 和球心 8;线要素有素线 6 和轴线 7;面要素有球面 1、圆锥面 2、端平面 3 和圆柱面 4。形状和位置公差的研究对象就是构成零件几何特征的要素。

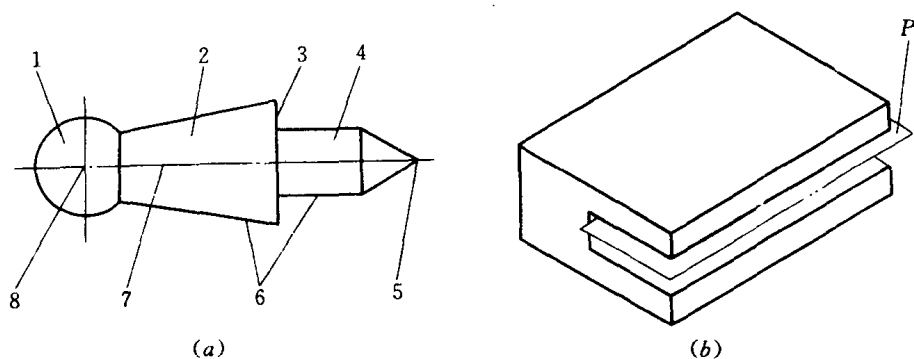


图 1-1 零件几何要素
(a) 点、线、面; (b) 中心要素。

为了研究形状和位置公差与误差,有必要从下列不同的角度把要素加以分类。

1. 按结构特征分

轮廓要素:构成零件外形的点、线、面各要素,如图 1-1(a) 中的球面、圆锥面、圆柱面、端平面以及圆锥面和圆柱面的素线。

中心要素:轮廓要素对称中心所表示的点、线、面各要素,如图 1-1(a) 中圆柱面的轴线、球面的球心和图 1-1(b) 中两平行平面的中心平面 P 。应当指出,中心要素是设计上假想的要素,它依存于对应的轮廓要素。离开了对应的轮廓要素,便不存在中心要素,例如没有球面就不存在球心,没有圆柱面就不存在轴线。因此,中心要素的形状和位置误差通常要通过对应的轮廓要素来检测。

2. 按存在状态分

理想要素:具有几何学意义的要素,即几何的点、线、面。它们不存在任何误差。机械零件图样投影图表示的要素均为理想要素。

实际要素:零件上实际存在的要素。由于任何一个检测过程都不可避免地会产生测量误差,零件要素的真实状况几乎是不可能测得的,因此,在评定形状和位置误差时,通常都以测得要素代替实际要素。

3. 按所处地位分

被测要素:在图样上给出了形状或(和)位置公差的要素,是检测的对象。其中,按本身功能要求而给出形状公差的要素叫做单一要素,对零件上其他要素有功能关系而给出位置公差的要素叫做关联要素。在零件图样上应该用规定的方法标明被测要素。

基准要素:即上面所说的那种与关联要素有功能关系的“其他要素”。它是据以确定关联要素位置的要素,即确定关联要素位置的参考对象的基础。在零件图样上应该用规定的方法标明基准要素。必须指出,在零件使用上基准要素还有本身的功能要求,而给出形状或(和)位置公差,因此它也是被测要素。

(二) 形位公差带

1. 形位公差带的概念

《形状和位置公差》国家标准规定的形状和位置公差项目有14个。形状和位置公差简称形位公差,是指实际被测要素对图样上给定的理想形状、理想位置的允许变动量。形状公差是指实际单一要素的形状对理想形状的允许变动量(见图1-2),位置公差是指实际关联要素的位置对理想位置的允许变动量(见图1-3和图1-4)。

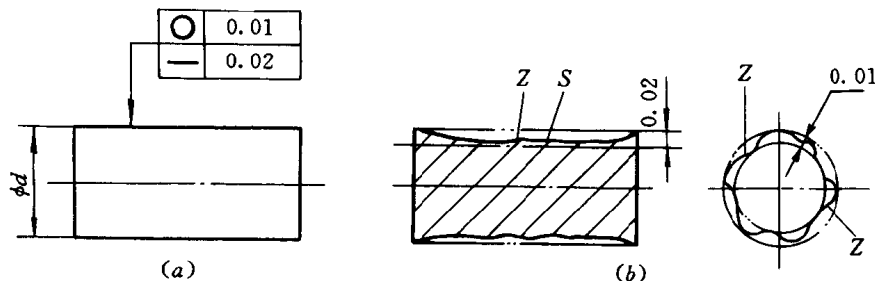


图 1-2 形状公差带

(a) 零件图样标注;(b) 平面区域的公差带。

S— 实际被测要素;Z— 公差带。

形状和位置公差带简称形位公差带,是指限制实际被测要素变动的一个区域。这个区域可以是平面区域或空间区域。只要实际被测要素能全部落在给定的公差带内,就表明该实际被测要素符合设计要求。

2. 形位公差带的特性

形位公差带具有形状、大小和方位等特性。其形状取决于被测要素的理想形状、给定的形位公差项目和标注形式,其大小(宽度或直径)用给定的公差值表示,其方位则由给定的形位公差项目和标注形式确定。

形状公差带只有形状和大小的要求,其方位可以随实际被测要素方位的变动而变动,如图1-2(b)所示在给定平面内的素线直线度公差带(在轴向截面内)和圆度公差带(在横截面内)。定向公差带既有形状和大小的要求,又有方向的要求,其方向可以随被测要素实

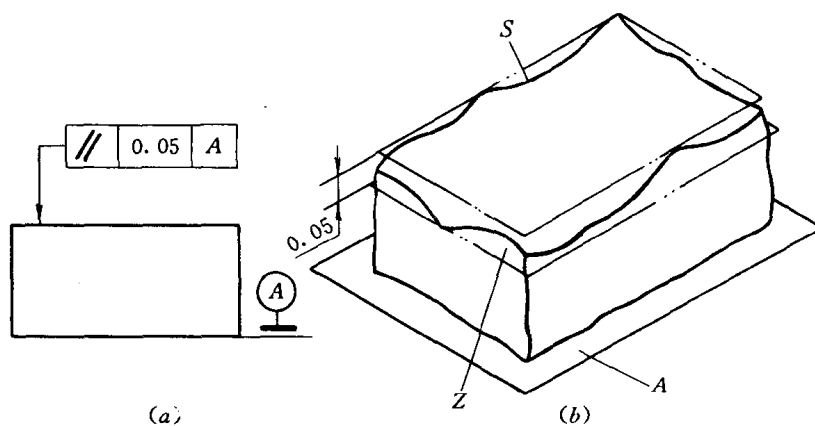


图 1-3 定向公差带

(a) 零件图样标注; (b) 空间区域的公差带。

S—实际被测表面; A—基准平面; Z—公差带。

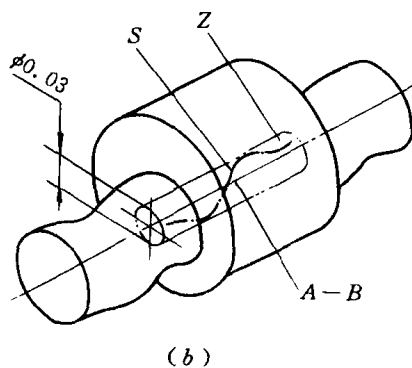


图 1-4 定位公差带

(a) 零件图样标注; (b) 空间区域的公差带。

S—实际被测轴线; A-B—公共基准轴线; Z—公差带。

际尺寸的变动而相对于其他要素(基准)保持正确方向而移动,如图 1-3(b) 所示被测平面对基准平面的平行度公差带。定位公差带既有形状和大小的要求,又有方向和位置的要求,其位置是固定的(但个别的定位公差带除外),如图 1-4(b) 所示的同轴度公差带,被测轴线与基准轴线应重合,被测轴线的理想位置就是基准轴线的位置。形位公差带的方位特性对形状和位置误差(简称形位误差)检测的实施是极为重要的。

形位公差项目中,形状、定向和定位公差带都由几何概念确定,所以测量形状、定向和定位误差时不限定测量方法。而跳动公差虽有公差带,但跳动是按测量方法定义的,因此测量跳动的方法是特定的。

(三) 公差原则

零件的各个要素既有尺寸公差要求,又有形位公差要求。对同一个要素的尺寸公差与

形位公差之间的关系,必须明确规定。因此,在零件图样上应该用公差原则来明确规定要素的尺寸公差与形位公差之间的关系。公差原则分为独立原则和相关原则。

1. 独立原则

独立原则是指图样上给出的要素尺寸公差与形位公差各自独立,彼此无关,分别满足各自要求的公差原则。凡是对要素给出的尺寸公差和形位公差未用特定的关系符号或文字说明它们有联系者,就表示它们遵守独立原则。

对于按独立原则标注尺寸公差和形位公差的要素,其实际尺寸和形位误差都合格,该要素才算合格。如果其中有一项不合格,则该要素不合格。

采用独立原则时,尺寸公差仅控制要素实际尺寸的变动量,把实际尺寸控制在给定的极限尺寸范围内,而不控制要素本身的形状误差;形位公差控制实际被测要素对其理想形状或理想位置的变动量,而与该要素的实际尺寸无关,因此,不论要素的实际尺寸大小如何,该要素的形位误差均不得大于图样上给出的形位公差。在这种情况下,形位误差应该使用通用测量器具来测量。

2. 相关原则

相关原则是指图样上给出的要素尺寸公差与形位公差相互有关的公差原则。

相关原则有最大实体原则和包容原则。它们的理想边界不同。最大实体原则的理想边界是实效边界,边界尺寸为实效尺寸;包容原则的理想边界是最大实体边界,边界尺寸为最大实体尺寸。

(1) 最大实体原则

当被测要素采用最大实体原则时,则在公差框格中形位公差值后面加注符号 $\textcircled{M}$,这表示图样上注出的该形位公差值是在被测要素处于最大实体状态时给定的,并给出实效边界来控制被测要素实际尺寸和形位误差的综合结果。当被测要素的实际尺寸偏离最大实体尺寸时,允许增大形位公差值,条件是被测要素实际尺寸和形位误差综合形成的实体不得超越实效边界,实际尺寸不得超越极限尺寸。

本节前面业已说明,基准要素既是确定关联要素位置的参考对象的基础,其本身也是被测要素。因此,基准要素同被测要素一样,可以采用独立原则、最大实体原则或包容原则。此外,基准要素的尺寸与被测要素的定向、定位公差可以应用最大实体原则来相关,这时在被测要素公差框格中基准代号的字母后面加注符号 $\textcircled{M}$ 。这表示:当基准要素的作用尺寸偏离理想边界尺寸时,允许增大被测要素的定向、定位公差值,条件是实际基准要素和实际被测要素分别遵守各自的理想边界和极限尺寸。

(2) 包容原则

当被测要素采用包容原则时,则用最大实体边界来控制被测要素实际尺寸和形位误差的综合结果,要求其实体不得超越该理想边界,实际尺寸不得超越最小实体尺寸。这时在最大实体边界内实际尺寸和形位误差相互依赖,因此包容原则所允许的形位公差值完全取决于实际尺寸的大小。

单一要素采用包容原则时,在其尺寸极限偏差或尺寸公差带代号后面加注符号 $\textcircled{L}$ 。关联要素采用包容原则时,在公差框格的第二格中,把位置公差值用“ $0\textcircled{M}$ ”的形式注出。

为了体现相关原则的要求,对遵守最大实体原则和包容原则的关联要素应该使用位置量规检验;对遵守包容原则的单一要素应该使用光滑极限量规检验。而遵守最大实体原

则的单一要素所用的量规(直线度量规)也应用位置量规的设计原理来进行设计计算。

二、形位误差及其评定

形状和位置误差(简称形位误差)是指实际被测要素对其理想要素的变动量。形位误差是形位公差的控制对象。因此,与形位公差项目相对应,国家标准 GB1958—80《形状和位置公差 检测规定》所规定的形位误差项目有 14 个。形状误差分直线度误差、平面度误差、圆度误差、圆柱度误差和线、面轮廓度误差(含球度误差)。位置误差分定向误差、定位误差和跳动。

形状误差涉及的要素是线和面。定向误差(平行度、垂直度和倾斜度误差)涉及的要素也是线和面。而定位误差中,同轴度误差涉及的要素只有轴线,对称度误差涉及的要素是中心要素(中心平面、轴线和中心线等),位置误差涉及的要素包括点、线、面。跳动涉及的要素则是轴线和轮廓表面。

形位误差是把实际被测要素对其理想要素进行比较的结果。这理想要素称为评定基准。根据不同的检测对象,评定基准可以是一条直线、一个平面、一个圆或其他的几何要素。如果实际被测要素与理想要素在比较中能够处处重合,则形位误差为零;倘若它们比较中不能处处重合,则表示实际被测要素存在形位误差。实际被测要素对其理想要素的变动量的大小如何确定呢?这首先要确定理想要素的位置。所选定理想要素的位置不同,则获得的形位误差值也不同。

(一) 形状误差及其评定

形状误差是指实际被测要素对其理想要素的变动量,理想要素的位置应符合最小条件。什么叫最小条件呢?就是理想要素处于符合最小条件的位置时,则实际被测要素对理想要素的最大变动量为最小。参看图 1-5(a) 的示例,位于实际线 S 中有许多条或无穷多条直线 $L_1, L_2, L_3 \dots$, 其中必有一条(也只有一条)理想直线能使该实际线对它的最大变动量 $h_{\max}$ 为最小,这条理想直线所处的位置就符合最小条件。

为了评定误差方便起见,对于中心要素(包括线、面轮廓度),其理想要素位于实际被测要素之中,如图 1-5(b) 所示的理想轴线 L_1 。对于轮廓要素(但线、面轮廓度除外),其理想要素位于实体之外且与实际被测要素相接触,如图 1-6 所示的理想直线 L_1 和图 1-7 所示的理想圆 C_1 。

将实际被测要素与其理想要素相比较时,实际被测要素各点对理想要素的变动量的大小不一定相等,而理想要素所处的位置应使实际被测要素对它的最大变动量为最小。因此,采用包容区域的方法来表示整个实际被测要素的形状误差值是直观而方便的。对于中心要素,以其理想要素为中心来确定包容区域(见图 1-5b)。对于轮廓要素,以其理想要素作为包容区域的某个边缘(见图 1-6 和图 1-7)。

GB1958—80 规定,形状误差值用最小包容区域(简称最小区域)的宽度(含半径差)或直径表示,而最小区域是指包容实际被测要素时具有最小宽度 f (见图 1-6 和图 1-7) 或最小直径 ϕf (见图 1-5b) 的包容区域,即按最小条件构成的包容区域。应当指出:对于轮廓要素,误差值等于最大变动量(见图 1-6 中 $f = h_1$, 图 1-7 中 $f = \Delta r_1$);对于中心要素,误差

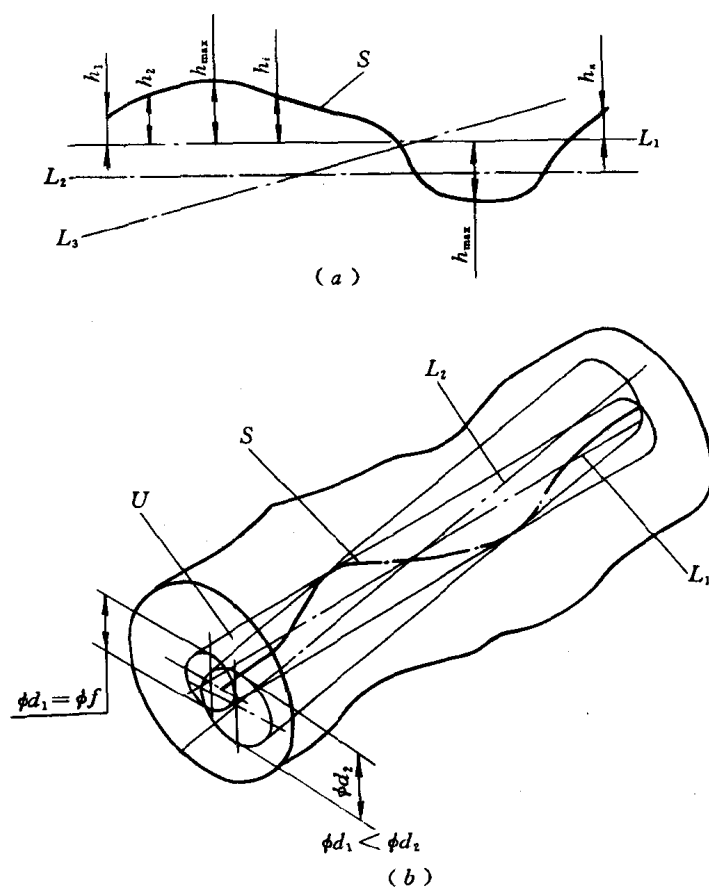


图 1-5 轴线直线度误差的评定

(a) 符合最小条件的位置; (b) 最小包容区域。

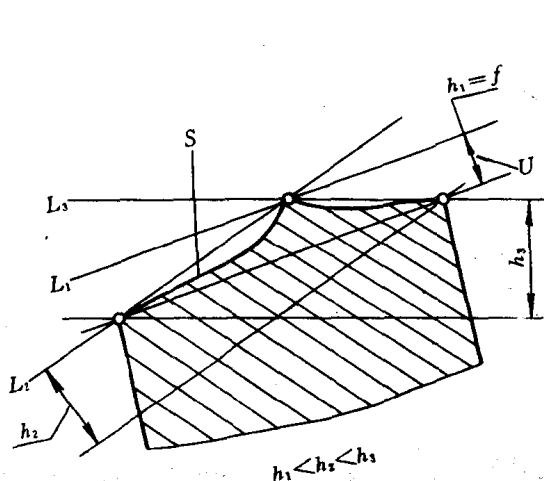
 h_i ——实际线对理想直线的变动量($i = 1, 2, \dots, n$)。

图 1-6 素线直线度误差的评定

S—实际被测素线; U—最小包容区域。

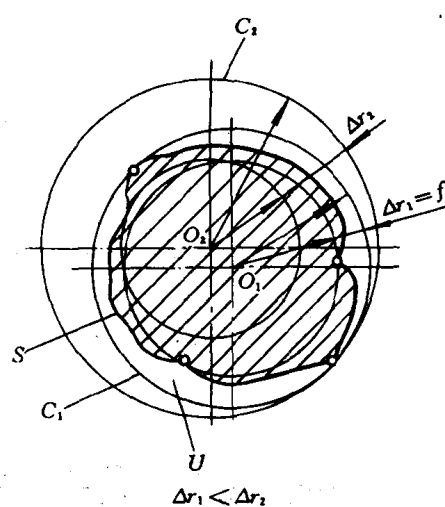


图 1-7 圆度误差的评定

S—实际被测圆; U—最小包容区域。