

HE
NAN
BIAO
ZHUN
HUA

3

增 刊

1981

河
南
标
准
化

形 位 公 差

(普 及 教 材)

差

内 容 提 要

本书为适应宣贯《形状和位置公差》新国标的需要而编写的一本普及教材。书中以国标GB1182~1184—80和GB1958—80为依据,对形状公差、位置公差、公差原则及其选择、形位公差的识读、形位公差值的选择和查用等问题,作了比较系统的介绍。本书深入浅出通俗新颖,每章均有小结、思考题和逻辑框格图,可作机械专业技术人员、基层工程技术人员和标准化工作者学习使用。

一九八一年一月

目 录

序言	(1)
第一章 形状公差	(3)
§ 1—1 概述	(3)
一、形状误差	(3)
二、最小条件与最小包容区域	(3)
三、形状公差与公差带	(4)
四、形状公差在图样上的标注	(5)
五、关于检测原则和检测精度	(8)
§ 1—2 形状公差的术语及定义	(10)
一、直线度	(10)
二、平面度	(13)
三、圆度	(16)
四、圆柱度	(17)
五、线轮廓度	(18)
六、面轮廓度	(19)
小结、思考题	(23)
逻辑框格图	(24)
第二章 位置公差	(25)
§ 2—1 概述	(25)
一、位置误差与基准	(25)
二、位置公差与公差带	(26)
三、位置公差的标注方法	(26)
§ 2—2 位置公差的术语及定义	(28)
一、定向公差(平行度、垂直度、倾斜度、小结)	(28)
二、定位公差(同轴度、对称度、位置度、小结)	(39)
三、跳动公差(圆跳动、全跳动)	(49)
§ 2—3 基准	(59)
一、基准的建立(单一基准、组合基准、最小包容原则、三基面体系任选基准)	(59)
二、基准体现方法简介	(67)

三、基准目标.....	(68)
§ 2—4 位置度.....	(70)
一、位置度的特点.....	(70)
二、几何图框.....	(72)
三、位置度标注的主要型式及其公差带的解释.....	(73)
本章小结、思考题.....	(76)
逻辑框格图.....	(77)

第三章 公差原则及其选择..... (79)

§ 3—1 概述.....	(79)
一、公差原则的由来.....	(79)
二、有关的名词与术语.....	(79)
§ 3—2 公差原则与理想边界.....	(82)
一、最大实体原则.....	(82)
二、包容原则.....	(87)
三、独立原则.....	(90)
四、公差原则使用的条件及应用场合.....	(92)
§ 3—3 公差原则的选择.....	(94)
一、形状公差与尺寸公差的关系.....	(94)
二、位置公差与尺寸公差的关系.....	(95)
三、位置公差与形状公差的关系.....	(100)
§ 3—4 实用图例分析.....	(101)
小结、思考题.....	(103)
逻辑框格图.....	(104)

第四章 形位公差的识读..... (105)

§ 4—1 形位公差常见的标注方法.....	(105)
§ 4—2 形位公差的识读.....	(114)
一、形位公差识读的方法步骤.....	(114)
二、形位公差识读练习题.....	(118)
§ 4—3 延伸公差带的识读.....	(123)
逻辑框格图.....	(126)
思考题.....	(127)

第五章 形位公差值的选择和查用..... (128)

§ 5—1 形位公差公差等级的选择.....	(128)
------------------------	-------

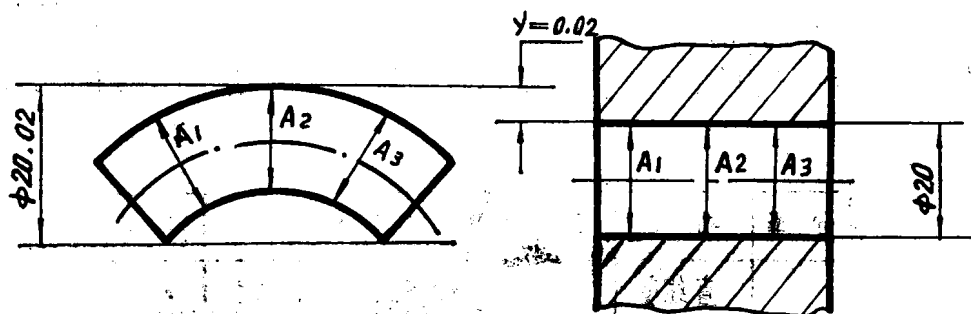
一、选择公差第级与方法	(128)
二、选择公差第级是考虑的因素	(129)
§5—2 公差值的查用	(130)
一、零件主参数的确定	(130)
二、查取公差值	(130)
三、距离	(130)
§5—3 未注形位公差的查用	(132)
附录:	
附录一 形位公差值及公差等级应用示例表	(134)
附录 1—1 直线度、平面度	(134)
附录 1—2 圆度、圆柱度	(137)
附录 1—3 平行度、垂直度、倾斜度	(140)
附录 1—4 同轴度、对称度、圆跳动	(143)
附录 1—5 位置度数系	(133)
附录二 位置度公差计算	(145)
附录三 两点三点法测量圆度误差	(146)
本教材宣讲学时安排参考表	(153)
参考资料	(154)

序 言

机械零件加工的几何误差,一般可分为:尺寸误差,几何形状误差,相互位置误差及表面光洁度等。其中尺寸误差和表面光洁度已有其它资料介绍,本书将集中介绍国家标准形状公差和位置公差。

在生产实践中,有时会遇到这样的情况:按照配合性质 $\phi 20 \frac{H8(+0.033}{0}}{h7(0}{-0.021}}$ 加工完毕的

孔与轴,经检验均符合尺寸公差和光洁度的要求,但在装配时,有的轴可能装不进孔内。如图1所示,对孔和轴在每个局部位置($A_1, A_2, A_3, \dots$)上测量其尺寸(称为局部实际尺寸),若孔的尺寸为最小极限尺寸 $\phi 20$,而轴的尺寸最大极限尺寸 $\phi 20$ 时,由于轴的直线度误差达到 0.02 ,致使轴在装配时实际起作用的尺寸,叫做作用尺寸)达到 $\phi 20.02$,很明显,二者虽然是间隙配合,则因产生过盈($y=0.02$)而难以装配;若孔的尺寸为 $\phi 20$,而轴的尺寸为 $\phi 19.98$,且该轴仍存在有 0.02 的直线度误差,这样的轴是可以装到孔中去的。但是此时孔与轴势必要处于点接触状态,若该配合处有密封性要求时,这肯定是不能保证的,若二者有相对运动时,尤其在力的作用下,则磨损会急剧地发生,使配合性质难以保证。



$$A_1 = A_2 = A_3 = \phi 20$$

图 1

再譬如图2的台阶轴,如果加工完后,各段的轴心线不在同一条直线上,即两段轴心线的位置发生了偏移,装配时不仅影响互换性,而且在设备中转动时,必然会引起径向跳动,影响使用质量。这显然是由于该零件的位置误差所引起的。

综上所述,在机器制造中,只保证零件的尺寸公差和表面光洁度是不够的,还必须对

零件的形状和相互位置所产生的误差予以控制。也就是说必须对零件的形状和位置精度提出一定的技术要求。这就是形位公差的任务。形位公差精度的高低,对机器的工作精度,连接强度,密封性,运动平稳性,耐磨性以及寿命和噪音等都有直接的影响,尤其对高速、高温、高压、重载条件下工作的精密机器更为重要。因此,形位公差是衡量产品质量

的重要标志之一。随着机械工业的发展,形位公差在生产中的作用日益显著,这就需要按照国家标准,来统一理解和使用形位公差的术语、定义、公差原则、检测原则和公差值,以便为提高产品质量,发展机械制造业,加速四化建设,发挥其应有的作用。

自从1975年国家标准总局颁发《表面形状和位置公差》国家标准试行后,对我国形位公差的普及和发展起了很大的促进作用,也为1980年该项国家标准的转正,奠定了良好而又可靠的基础。国家标准《形状和位置公差》(简称形位公差)由下列标准组成:

- GB1182——80形状和位置公差 代号及其注法
- GB1183——80形状和位置公差 术语及定义
- GB1184——80形状和位置公差 未注公差的规定
- GB1958——80形状和位置公差 检测规定

这四个标准,不仅解决了试行中提出来的各种问题,而且吸收了国内和国际上最新的科研成果和公差理论,成为一个比较完整的科学的基础性和技术标准。由于它和国际标准“ISO”制度基本一致,从而为国际间的科学技术的广泛交流创造了条件。因此,不论是设计、制造和检验人员,都需要很好地了解和掌握标准的内容。

形位公差各项的名称和符号见表1,总共分为两类14项。统观起来,该标准具有如下的特点:规定了最小条件和公差原则(包括最大实体原则——M、M、P,包容原则——EP和独立原则);采用了公差带概念和框格标注形式;拟定了检测原则和检测方案等。本书将以如何正确理解和合理应用形位公差为目的,对形位公差的四个标准予以综合介绍。

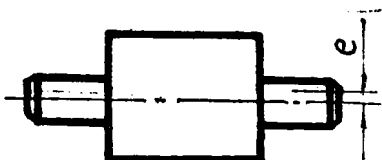


图 2

表 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 ↘

第一章 形状公差

形状公差是研究单个线、面本身误差的控制问题的。形状公差共有六项：直线度、平面度、圆度、圆柱度，线轮廓度和面轮廓度。本章将对诸项目的误差、公差带及其测量等，作一系统的介绍。

§ 1—1 概述

一、形状误差

在机床上加工完成的零件平面，总不能象静止的水面那样平；加工完成的圆柱面，其横剖面，总不能象几何学的圆那样的圆……；这些完工零件的实际要素（所谓要素是指构成零件几何特征的点、线或面）和理想要素间的差异，就叫做误差。而把单个要素本身所存在的误差，统称为形状误差。在GB1958—80《形状和位置公差检测规定》中指出：

形状误差是指被测实际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。这里所指的理想要素，就是具有几何学意义的要素。也就是理论上不存在误差的点、线和面。如一条绝对直的直线；一个绝对平的平面等。在确定形状误差时，实际要素又必须与其进行比较，方可获得误差值；而且它的位置不同，所得误差的大小也不一样。譬如，要测量图1—1.a的直线误差，若理想直线置于I—I的位置（图1—1.b），实际直线到该理想直线的最大变动量（即最大距离）为 f_1 ；对同一被测实际直线，若将理想直线置于II—II处（图1—1.c），实际线对理想直线的最大变动量为 f_2 ；若将理想直线置于III—III处（图1—1.d），则最大变动量为 f_3 ；如此等等，其测量结果各不相同。这就是未规定最小条件时，对同一被测要素而有不同测量结果的主要原因。因此，在形状和位置公差检测规定中，规定的“最小条件”就是为解决这个问题而提出来的。

二、最小条件与最小包容区域

最小条件就是要求被测实际要素对其理想要素的最大变动量为最小。

被测实际要素是已知的，而理想要素的位置在哪里呢？若将理想直线置于0—0线的位置（图1—1.e），其实际线到理想直线的最大变动量为 f ，该变动量和所有其它理想直线得到的最大变动量 $f_1 > f_2 > f_3 > \dots > f$ ，可见 f 为最小值。那么，0—0线的位置就是符合最小条件的理想直线的位置。这时，最大变动量中的最小值 f ，即为该被测直线的直线度误差值。

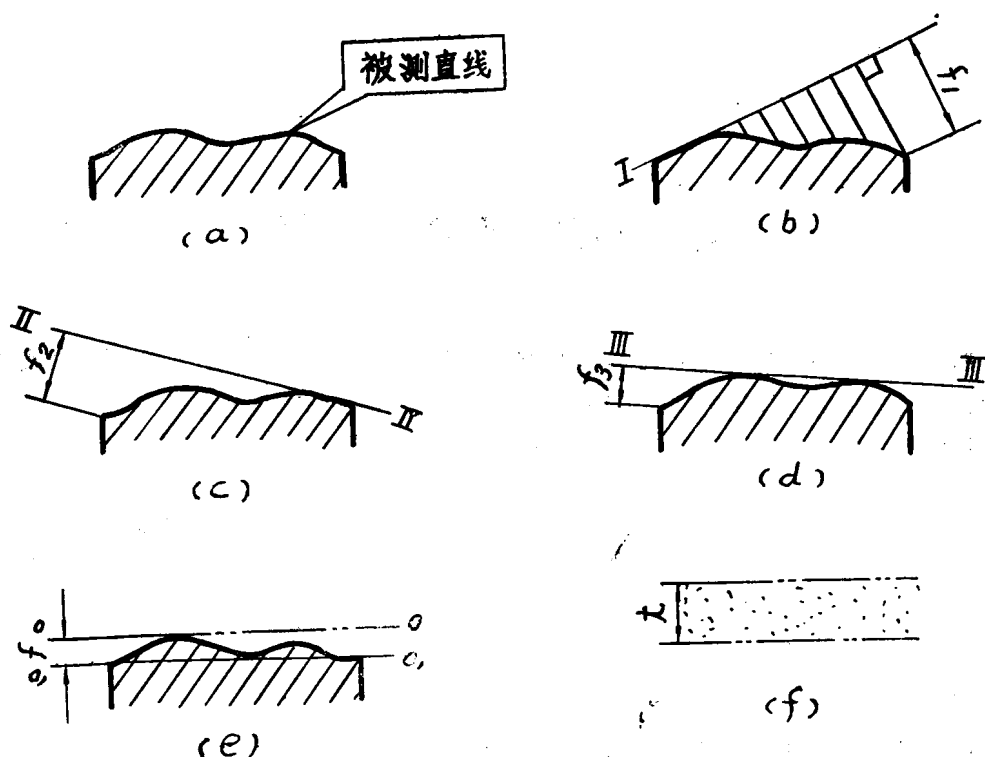


图 1-1

综上所述，只要在测量形状误差时，遵守最小条件，则测出的形状误差值不仅最小，而且唯一。因此，标准中把最小条件规定为形状误差的评定原则。

最小条件从原理上看，确实是科学而又严密的。使用时，如何能够方便地应用于实际呢？最小包容区域就是在满足最小条件的基础上为解决这个问题而引出的一个概念。

现在继续看图1-1.e, f是符合最小条件的误差值，那么，再作一条 o_1-o_1 理想直线，平行于 $0-0$ 线，且使这两条相互平行的理想直线紧紧包容实际轮廓线到不能相割的最小区域，则把 $0-0$ 线与 o_1-o_1 线间的区域称为最小包容区域。该区域的宽度 f 则为被测直线的直线度误差值。所以，在检测规定中指出：最小包容区域是指包容被测实际要素时，具有最小宽度 f 或直径 ϕf 的包容区域。

由此可知，对于轴心线的直线度误差，由于沿圆周 360° 范围内所有半径方向需要控制其误差，所以必须用理想圆柱面来包容实际轴心线到最小包容区域的直径 ϕf 。

当我们在实际测量形状误差时，就可以通俗地用“包容最小”来寻求满足最小条件的误差值了。概括起来，“包容最小”应包括以下三点含义：

- (1) 所谓包容是用被测误差项目的理想形状，组成一个包容区域。
- (2) 所谓最小是用包容区域去包容被测实际要素且包容到最小(即最大距离为最小)。
- (3) 该最小包容区域的宽度 f (或直径 ϕf)，即为所求的形状误差值。

三、形状公差与公差带

通过“包容最小”的原则获得的形状误差值，能不能符合使用要求呢？这就要由设计

人员根据需要给定一个值,对该形状误差加以限制,这个给定的值就叫形状公差。所以,GB1183—80《形状和位置公差术语及定义》中规定:

形状公差是单一要素的形状所允许的变动全量。

所谓单一要素是仅对其本身给出形状公差要求的要素。例如,一条线或一个面。其实际形状所允许的全部量值,就叫形状公差。可见,形状公差是设计给定的允许值,而形状误差是加工后测量得到的实际值,只有形状误差小于或等于形状公差时,才认为合格。

但是,仅有公差值的大小,却不能反映出各个公差项目所具有的空间特征——形状、方向和位置,因此,必须建立公差带概念。

GB 1183—80《形状和位置公差术语及定义》中规定:形状和位置公差带是限制实际要素变动的区域。

公差带既然是一个区域,所以形位公差的公差带就不能像尺寸公差带那样的一个平面区域,而是由其空间特征决定的一个空间区域。分析起来,形位公差带是由下列四因素组成:

(1) 公差带大小

公差带的大小(即公差值),它既可以表示公差带宽度(如图1—1·f),又可以表示为公差带直径。它是由设计人员根据零件的功能和互换性要求,并考虑加工和检验的可能性和经济性而确定的。

(2) 公差带形状

公差带的形状是由各个公差项目的特征来确定的。当建立了最小包容区域的概念之后,就可以由最小包容区域的形状而获得。因为最小包容区域的形状和公差带的形状是完全一致的。如图1—1·e和图1—1·f所示,包容区域的形状是两平行的理想直线,而公差带的形状是公差值等于 t 的两平行直线。归纳起来,形位公差的公差带形状主要有十种,详见表1—1。

(3) 公差带方向

形状公差带的方向是由最小条件决定的,它是和最小包容区域的理想要素之方向一致的。如图1—1·f中,两平行直线间区域的延伸方向,就是公差带的方向,它与框格指引线箭头方向(即测量误差的方向)是垂直的。

(4) 公差带位置

对于形状误差大部分是在尺寸公差带之内,随实际尺寸的不同而浮动的。见图1—2实际尺寸加工在什么位置,形状公差带也就随着出现在相应的位置上。

综上所述,形状公差带的四因素中,其形状和方向均可通过最小包容区域来获得。只要实际误差值 f 或 ϕf ,小于或等于公差值 t 或 ϕt ,即 $f \leq t$ 或 $\phi f \leq \phi t$,把误差控制在给定的公差值之内,则被测要素为合格。因此说,形位公差带是限制实际要素变动的区域。

四、形状公差在图样上的标注

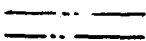
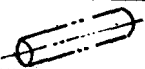
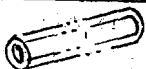
GB 1182—80《形状和位置公差代号及其注法》中规定,形状公差的代号包括形状公差的符号;公差框格及其指引线;公差值和其他附加符号。

(1) 形状公差的符号 见图1—3。

画法说明:

表 1—1

公差带形状

序号	公差带名称	公差带形状	实用示例
1	两平行直线		给定平面内直线度
2	两等距曲线		线轮廓度
3	两同心圆		圆 度
4	一个圆		平面内点的位置度
5	一个球		空间内点的位置度
6	一个圆柱体		任意方向上直线度
7	两平行平面		平 面 度
8	一个四棱柱		给定互相垂直的两个方向的直线度
9	两等距曲面		面轮廓度
10	两同轴圆柱面		圆 柱 度

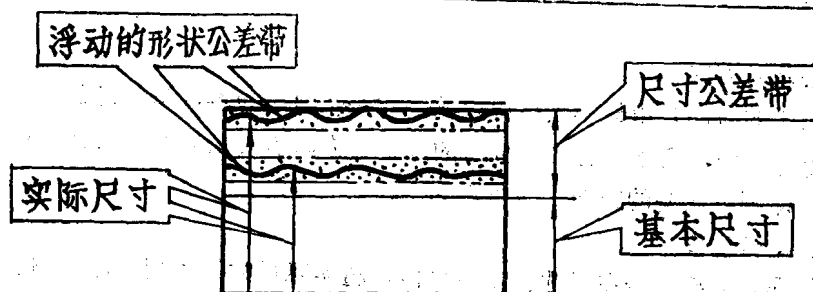


图 1—2

名称	直线度	平面度	圆 度	圆柱度	线轮廓度	面轮廓度
符号						

图 1—3

①符号的大小约 $h \times h$ ， h 为图中尺寸数字高，一般用 3.5 号或 5 号字。

②符号的粗细，可用粗实线，其宽度约为 (b) 的 $\frac{1}{4}$ 。

③符号中的斜线方向，与水平线呈 60° 夹角绘制。

(2) 公差框格及有关符号

标准规定，用带箭头的指引线将被测要素与公差框格的一端相连在图样上表示对形位公差的要求，不但清楚醒目，而且准确无误。

如图 1—4 所示，框格用细实线绘制，高度为 $2h$ ，框格左边引出的细实线叫做指引线，其末端的箭头一般要垂直地指向被测要素的轮廓线或其引出线上，即指引线的箭头应指向公差带的宽度方向或径向，框格内提出的公差项目及公差数值是对该被测轮廓（线或面）要素提出的要求。图 1—4 中框格提出的要求是：被测要素的直线度误差必须控制在宽度为 0.02 的垂直于箭头方向的两平行平面间的公差带之内。括号中的“+”号表示只允许中间向实体之外呈凸起状，不允许向实体之内凹下。当测量该直线度误差时，由于框格下标有“1—4”代号，则要求按第一检测原则（即与理想形状比较原则）第 4 检测方案（详见 GB 1958—80 形状和位置公差检测规定的附录）进行。

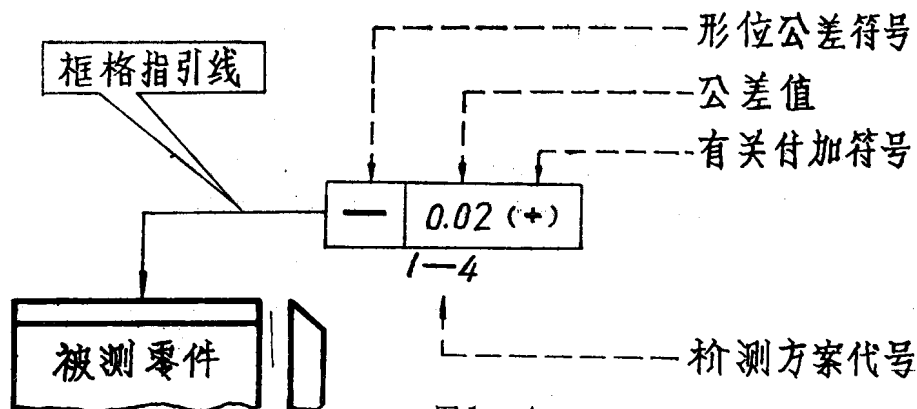


图 1—4

(3) 被测要素的标注方法，先介绍两种情况，其余可见本书第四章

说 明	图 例
1. 被测要素为线或面时，指引线箭头应该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。	

说 明	图 例
2. 当被测要素为轴线、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。	

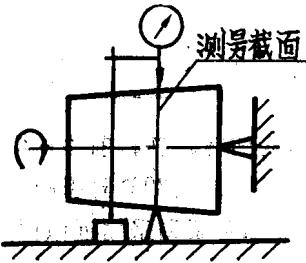
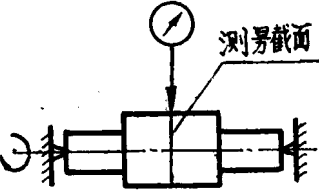
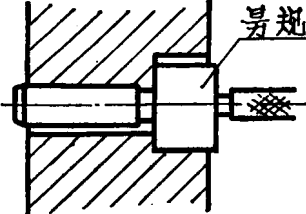
五、关于检测原则和检测精度

GB1958—80《形状和位置公差检测规定》中，规定了检测原则和检测精度，现分述如下：

1. 检测原则

标准规定了五个检测原则，每个公差项目，均可采用不同的检测原则和在该原则下的不同检测方案进行检验，总计有107个检测方案，列入检测规定的附录之中，可供选用和检测时查用。现将五个检测原则简介于下表：

编 号	名 称	图 例	说 明
第一检测原则	与理想要素比较原则	测量平面度 模拟理想要素	将被测实际要素与理想要素相比较，量值由直接法或间接法获得。理想要素用模拟法获得。
第二检测原则	测量坐标值原则	测量直角坐标值 	测量被测实际要素的座标值（如直角座标值、极座标值、圆柱面坐标值），并经数据处理获得形状误差值。

编 号	名 称	图 例	说 明
第三检测原则	测量特征参数原则		测量被测实际要素上具有代表性的参数（即特征参数）来表示形位误差值。
第四检测原则	测量跳动原则		被测实际要素绕基准轴线迴转过度中，沿给定方向测量其对某参考点或线的变动量。变动量是指示器最大与最小读数之差。
第五检测原则	控制实效边界原则		检验被测实际要素是否超过实效边界，以判断合格与否

这里必须说明，当图样上公差框格下方，未注明检测方案的代号时，可以根据生产厂的检测条件选择检测方案，进行测量。当框格下方注有检测方案的代号时，则应按该方案进行仲裁。

2. 检测精度

检测方案选用的不同，测量的误差值也不一样。检测方案选择的是否合理，主要由测量精度决定。而测量精度是用测量误差的大小反映的。

测量误差是判断测量结果准确性和经济性的重要指标。若测量误差较大，则测量结果的可靠性就差，会造成误判情况的发生，直接影响产品质量；如果测量误差过小，则意味着对测量设备、测量条件有较高的要求，经济性不好，有时甚至无法进行测量。正因为如此，测量误差应与给定的公差值之间有一适当的比例关系，在通常情况下，

极限测量总误差 $\leq \frac{1}{3}$ 给定的公差值

测量中，

可随形位公差等级的不同，其极限测量总误差可取给定公差值的10%~33%，具体确定时可参照下表进行：

被测要素形位公差等级	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
极限测量总误差占形位公差的百分比	33			25		20		16		12.5		10	

在形位误差测量中，测量误差的估算，在目前生产中主要考虑的是由于测量条件引起的误差：如测量设备的误差；测量温度偏离20℃时引起的误差；偏离标准测量力为零时引起的误差等。至于由测得要素代替实际要素和采用近似评定方法带来的误差，目前计算均有一定困难，只能尽力设法避免它或减小它。

极限测量总误差，应根据各个误差的性质和大小，可用误差综合的方式而获得。

§ 1~2 形状公差的术语及定义

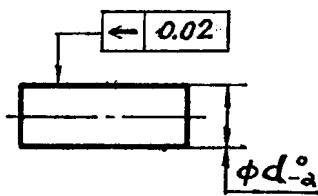
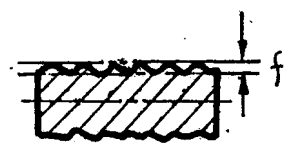
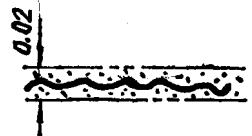
一、直线度

直线度是研究一条直线或轴线本身所出现的误差能否满足设计要求的问题。

1. 公差带及误差评定：

根据实际直线的存在形式，可分为三种情况：

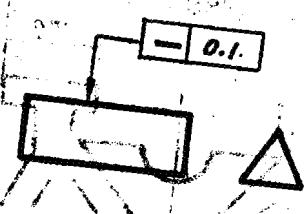
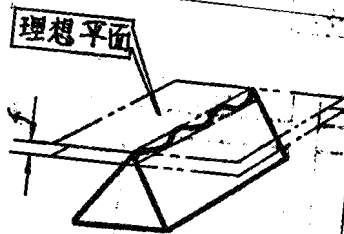
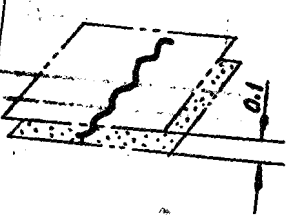
(1) 在给定平面内

图 样 示 例	误 差 平 定	公 差 带
		
要求在任意轴向剖面内，素线的直线度误差不大于0.02	在任意轴向剖面内，用两平行理想直线包容实际素线到最小区域的宽度 f	公差带是距离为公差值0.02的两平行直线之间的区域

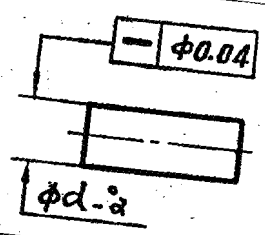
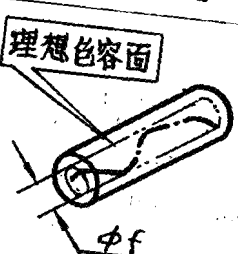
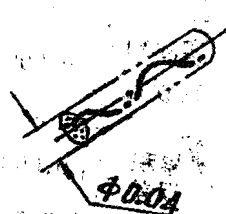
在给定平面之内，就是指被测实际直线存在于指定的那个平面内。对其误差的测量也不能超出该给定的平面，因此，其控制实际直线的公差带即为两条平行的理想直线间的区域。

(2) 在给定方向上

所谓给定方向，是指框格指引线的箭头所指的方向，即该方向是指用来限制误差的方向，亦即测量误差的方向。由于示例中被测实际棱边线可能是一条空间直线，在水平方向上也可能出现误差，因此，只用两条平行理想直线就无法包容了。所以，它的公差带必须为两理想平行平面间的区域。

图 样 示 例	误 差 评 定	公 差 带
		
要求该棱边的直线度误差在给定方向不大于0.1	与给定方向重直的两理想平行平面，包容实际棱边到最小区域的宽度f	当给定一个方向时，公差带是距离为公差值0.1的两平行平面之间的区域。

若要求在给定的两个相互垂直方向测量时，则误差的大小必须用两组相互垂直的平行平面来包容被测实际线，则公差带就成为四棱柱体了。
(3) 在任意方向上

图 样 示 例	误 差 评 定	公 差 带
		
要求轴心线的直线度误差控制在直径为 $\phi 0.04$ 的圆柱面之内。	用理想圆柱面包容实际轴心线到最小区域的直径 ϕf	公差带是直径为公差值 $\phi 0.04$ 的圆柱面内的区域

在图样上，当框格指引线的箭头和被测要素的尺寸线箭头对齐标注时，则框格内的要求是对尺寸所决定的中心要素（轴心线或中分平面）提出来的。
所谓任意方面，一般均指轴心线在圆周360°范围内的任何半径方向上来限判误差的。
理想包容面不可能用平行平面来包容，因此，公差带必须为一圆柱面内的空间区域。

2. 直线度测量

直线度的测量，同我们过去使用的方法基本相同，但在数据处理时，应按照最小条件，获得唯一最小的误差值，现举例说明之。

图1—5为组合机床滑座另件图，由公差框格说明对导轨的直线度误差要求不大于0.03，允许中间向材料外凸起，检测时按检测方案1—6进行，即第一检测原则第6种测量方法规定中得知，是用桥板和水平仪采用节距法进行测量的。

用刻度值为0.02/1000的框式水平仪，桥板长度（跨距） $l=300\text{mm}$ ，导轨全长1800mm，测得六个点数据列于表1—2。

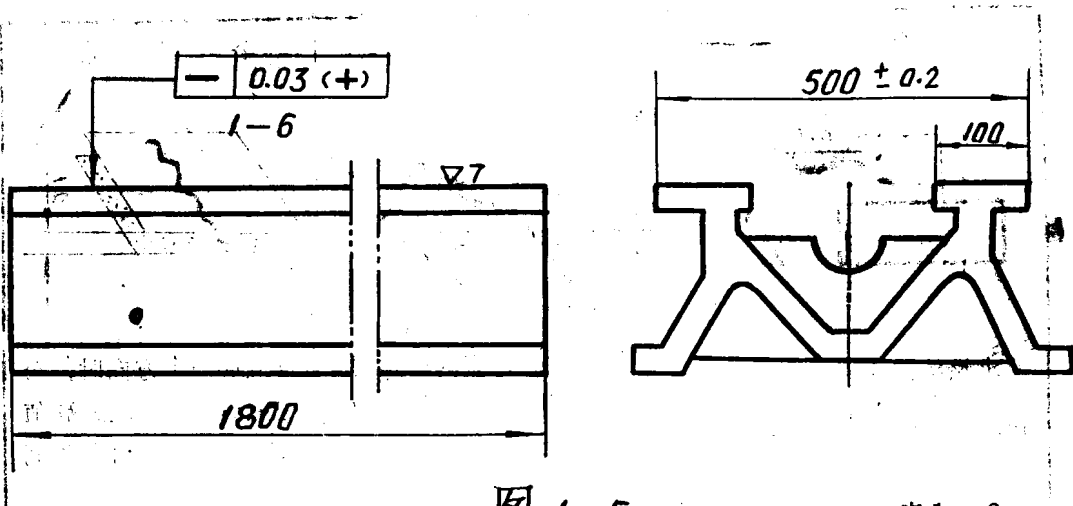


图 1-5

表 1-2

测量段	0~300	300~600	600~900	900~1200	1200~1500	1500~1800
1 气泡相对移动格数	+1.5	+3	-1.5	-0.5	-1.5	+2
2 实际相对误差	+0.009	+0.018	-0.009	-0.003	-0.009	+0.012
3 累积误差	+0.009	+0.027	+0.018	+0.015	+0.006	+0.018

表中第1行是每段以前段末端点为基准，测得的气泡相对移动的格数；第2行为将格数换算成为相对误差，即每一格为 $0.02/1000 \times 300 = 0.006\text{mm}$ ，第3行为各测点相对于起点的累积误差。把该测量数据按一定的放缩比例画在坐标纸上，如图1—6所示。然后进行数据处理：用两理想平行直线包容到最小区域的宽度，满足三点接触且峰谷相间的原则后，则两理想平行直线间的 y 坐标值为直线度误差值， $f = 2406\mu\text{m}$ 且中部较高应为合格。

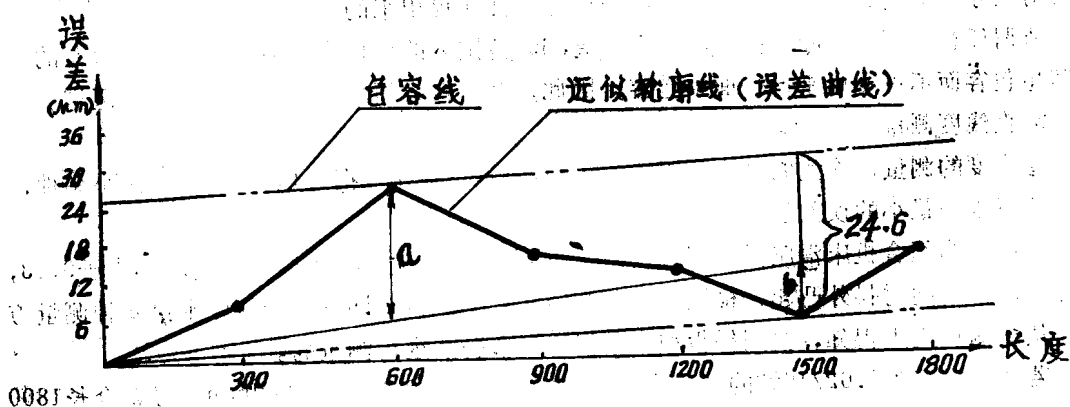


图 1-6