

角度和锥度的检验

本章介绍常用角度和锥度的测量方法,包括直角、斜面、V形槽、工件内外槽角、工件内外锥角、小角度的测量等,使读者对机械加工过程中的各种角度和锥度的测量方法有宏观的认识和了解。

3.1 概 述

角度和锥度的检验方法有很多种,根据零件特点以及角度测量结果获取方式的不同,角度测量分为直接测量和间接测量。

直接测量一般使用角度测量仪对被测角度进行绝对测量和相对测量,角度测量仪包括万能角度尺、测角仪、角度规、经纬仪、万能工具显微镜、分度头等。间接测量主要是针对一些难以直接测量的特殊角度而采用的测量方法,企业中常用的间接测量方法有正弦规法、钢球圆柱法。

3.2 常用角度和锥度测量方法及分析

3.2.1

用直角尺对被测角的测量

直角尺可用于检验角度和划垂直线。直角尺的规格如表 2-22 所示,有 0、1、2、3 四种精

度等级。其中0级精度最高,用于检验精密量具;1级精度用于工具制造;2~3级用于一般工作。

直角尺检验角度时用光隙法进行偏差判定,其间隙的大小用塞尺来测量。塞尺是用于检验间隙的测量器具之一,又称测微片或厚薄规,其横截面为直角三角形,在斜边上有刻度,利用锐角正弦直接将短边的长度表示在斜边上,这样就可以直接读出缝的大小。

塞尺使用前必须先清除塞尺和工件上的污垢与灰尘。使用时可用一片或数片重叠插入间隙,以稍感拖滞为宜。测量时动作要轻,不允许硬插,也不允许测量温度较高的零件。

将塞尺插入被测间隙中,来回拉动塞尺,感到稍有阻力,说明该间隙值接近塞尺上所标出的数值;如果拉动时阻力过大或过小,则说明该间隙值小于或大于塞尺上所标出的数值。

进行间隙的测量和调整时,先选择符合间隙规定的塞尺插入被测间隙中,然后一边调整,一边拉动塞尺,直到感觉稍有阻力时拧紧锁紧螺母,此时塞尺所标出的数值即为被测间隙值。

如图3-1(a)所示,用标准90°角尺对被测角度直接测量,将标准90°角尺与被检90°角尺放在同一平板上,用光隙法或塞尺测出两者之间的缝隙 δ ,则

$$\alpha = \arctan \frac{\delta}{H} \quad (3-1)$$

如图3-1(b)所示,将标准圆柱直尺与被检90°角尺放在同一平板上,在180°两个位置上相比较,用光隙法或塞尺测出 δ_1 和 δ_2 ,则

$$\delta_a = \frac{\delta_1 + \delta_2}{2} \text{ (线值)} \quad (3-2)$$

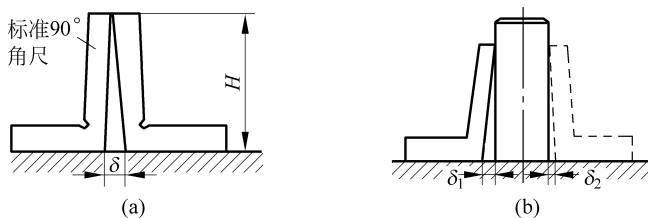


图 3-1 90°直角尺的测量

3.2.2

斜面角度的测量

斜面角度的测量通常应用圆柱法测量,用圆柱测量斜面角的示意图如图3-2所示,把两个直径相同的圆柱放在被测角内,并使两圆柱和被测角 α 的两斜面紧紧相靠,测量出 M 值,即测出 α 值。

由图可知: $\angle \alpha = \angle BO_1O_2$

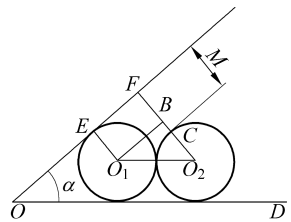


图 3-2 圆柱法测量斜面角度

$$\sin \alpha = \frac{BO_2}{O_1O_2} = \frac{FC}{O_1O_2} = \frac{M}{2R} \quad (3-3)$$

3.2.3

V形槽角的测量

应用圆柱法测量,图 3-3 所示为用两个圆柱测量 V 形槽角度的示意图,把零件放平板上,再把两个直径分别为 D_1 和 D_2 的圆柱依次放入 V 形槽中,测量出尺寸 H_1 和 H_2 。

$$\sin \frac{\alpha}{2} = \frac{R_1 - R_2}{(H_1 - R_1) - (H_2 - R_2)} \quad (3-4)$$

当 α 角较大时,通常用三个直径为 D 的圆柱来测量,用量尺测量出尺寸 M 值,如图 3-4 所示。

$$\sin \frac{\alpha}{2} = \frac{D - M}{2D} \quad (3-5)$$

当要确定 α 角的平分线是否垂直于底面时,可把零件放在平板上,测出尺寸 H_1 、 H_2 和 H_3 。

$$\cos \angle AO_1O_2 = \frac{H_2 - H_1}{D}$$

$$\cos \angle AO_1O_3 = \frac{H_3 - H_1}{D}$$

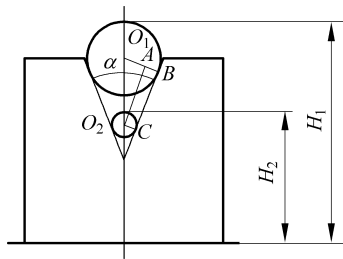


图 3-3 两个圆柱测量 V 形槽角度

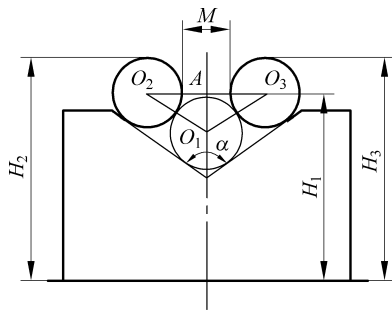


图 3-4 三个圆柱测量 V 形槽角度

$\angle AO_1O_2$ 与 $\angle AO_1O_3$ 之差的一半即为平分线与底面的垂直偏差。

3.2.4

工件内外槽角的测量

万能角度尺是用来测量工件内外角度的量具,可测 $0^\circ \sim 320^\circ$ 外角及 $40^\circ \sim 130^\circ$ 内角。

1. 燕尾槽角度的测量

(1) 根据被测角度选择并装好测量尺,调整万能角度尺的角度稍大于被测角度,燕尾槽



角度粗略估计在 55° 左右,故选用 $50^\circ\sim 140^\circ$ 范围内,装上直尺,如图 3-5 所示。

- (2) 将工件放在基尺与测量尺的测量面之间,使工件的一个被测面与基尺测量面接触。
- (3) 利用微动装置,使测量尺与工件另一被测面充分接触好。
- (4) 紧固制动器之后即可进行读数。

2. 圆锥面锥角的测量

(1) 目测锥角的大小,在 $0^\circ\sim 50^\circ$ 之间,故选用直尺和直角尺一起装上,调整角度规的角度略大于锥角,如图 3-6 所示。

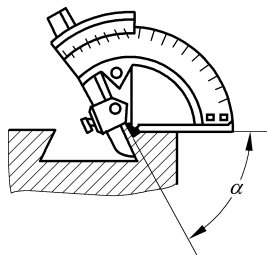


图 3-5 燕尾槽角度测量

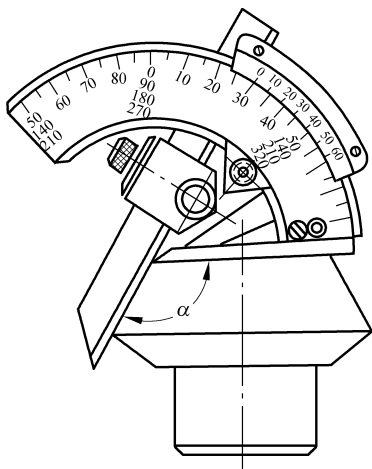


图 3-6 圆锥面锥角的测量

- (2) 将工件放在基尺与测量尺的测量面之间,使工件的一个被测面与基尺测量面接触。
- (3) 利用微动装置,使测量尺与工件另一被测面充分接触好。
- (4) 紧固制动器之后即可进行读数。

3.2.5

工件内锥角的测量

圆锥体分为内圆锥体和外圆锥体,外圆锥体的锥角测量通常在万能工具显微镜上用影响法测量,或在平台上用正弦规测量;内圆锥体锥角测量一般采用正弦规法、圆球法或圆锥量规法测量。

1. 圆锥量规法

圆锥量规是用于检验孔和圆锥工作锥角及基面距偏差的量具。使用时通常在被测圆锥面上用涂料(红印油或红丹)划 3 条等分圆周的直线,然后把塞规放在零件内锥体中,使其紧密接触,来回转动几次,转动角度不大于 30° ,取出塞规观察其接触情况,塞规接触面积不得少于转动展开面的 80% 方判定为合格。

对圆锥体的检验,是检验圆锥角、圆锥直径、圆锥表面形状要求的合格性。圆锥量规分为外径锥度规和内径锥度规。

外径锥度规主要用于检验产品的外径锥度和接触率,属于专用综合检具。外径锥度环规由工作环规和校对塞规组成,校对塞规用于校准工作环规。由于涂色锥度环规的设计和检验都比较简单,故在工件测量中得到普遍使用。

内径锥度规主要用于检验内锥孔的精度,检验产品的大径、锥度和接触率,属于专用综合检具,锥度塞规可分为尺寸塞规和涂色塞规两种,由于涂色锥度塞规的设计和检验都比较简单,故在工件测量中得到普遍使用。根据泰勒极大极小原则,在锥度塞规大端设计一个止口,根据最大尺寸和止口下端尺寸这两个尺寸换算止口的高度尺寸。产品的锥度由塞规锥度来保证。通过正确控制塞规长度,也能在一定程度上控制产品小径尺寸。用锥度塞规检验产品时,通过千分表读数来判断产品大径是否合格。锥度塞规大端不应低于被检产品大端,锥度塞规止口下端不应高于被检产品大端,否则被检产品大径不合格。

锥规的大端或小端有两条刻线,距离为 Z ,该距离值 Z 代表被检圆锥的直径公差 T 在轴向的量。被检件,若直径合格,其端面应在距离为 Z 的两条刻线之间。

2. 圆球法

图3-7是利用两个钢球测量内锥角的方法,已知大钢球半径为 R ,小钢球半径为 r ,将被测零件小端的端面放在平板上,将小钢球轻轻放在锥孔内,测出尺寸 M ,取出小钢球,将大钢球放在锥孔内,测出尺寸 H 。

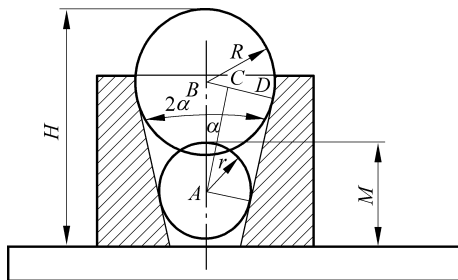


图3-7 圆球法测量内锥角

$$\sin \alpha = \frac{R-r}{(H-R)-(M-r)}$$

函数误差:

$$\delta_{\alpha} = \pm \frac{\sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial H} \delta_H\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial M} \delta_M\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial R} \delta_R\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial r} \delta_r\right)^2}}{\cos \alpha} \quad (3-6)$$

式中, $\frac{\partial f}{\partial H} = \frac{R-r}{H^2}$; $\frac{\partial f}{\partial M} = \frac{R-r}{M^2}$; $\frac{\partial f}{\partial R} = \frac{R-r}{R^2}$; $\frac{\partial f}{\partial r} = \frac{R-r}{r^2}$ 。

通过对函数误差分析, $R-r$ 越大, $H-M$ 越大,则误差越小,所以用钢球法测量圆锥孔锥角时,应尽量使圆球放在圆锥孔的两端进行测量。

3.2.6

工件外锥角的测量

1. 在平台上用正弦规测量外锥角

正弦规是利用三角法测量角度的一种精密量具。一般用来测量带有锥度或角度的零件。因其测量结果是通过直角三角形的正弦关系来计算的,所以称为正弦规。



图 3-8 为利用正弦规测量圆锥量规的情况。在直角三角形中, $\sin\alpha = h/L$, 式中 h 为量块组尺寸, 按被测角度的公称角度算得。根据测微仪在两端的示值之差可求得被测角度的误差。

例 3-1 用中心距 $L = 100\text{mm}$ 的正弦规测量莫氏 2 号锥度塞规, 其基本圆锥角 $2^\circ 51' 40.8'' (2.861332^\circ)$ 。按图 3-8 的方法进行测量, 试确定量块的尺寸。若测量时千分表两测量点 a 、 b 相距为 $l = 60\text{mm}$, 两点处的读数差 $h = 0.010\text{mm}$, 且 a 点比 b 高 (即 a 点的读数比 b 点大), 试确定该锥度塞规的锥度误差, 并确定实际锥角的大小。

解:

$$h = L \sin\alpha = 100\text{mm} \times \sin 2.861332^\circ \approx 4.992\text{mm}$$

$$\Delta c = \frac{n}{l} = \frac{0.010}{60} \approx 0.0001667$$

锥度误差:

$$\Delta = 2\Delta c \times 10^5 = 2 \times 0.0001667 \times 10^5 \approx 33.3''$$

由于 a 点比 b 高, 因而实际圆锥角比基本圆锥角大, 所以:

$$\alpha_{\text{实}} = \alpha + \Delta\alpha = 2^\circ 51' 40.8'' + 33.3'' = 2^\circ 52' 14.1''$$

2. 两相同直径圆柱的量块在平台上测外锥角

应用两相同直径圆柱量块测量外锥角时, 如图 3-9 所示, 先测出尺寸 l_1 , 然后将量块升高 h , 再测出尺寸 l_2 , 在 $\text{Rt}\triangle A'AC$ 中, 由下面的公式计算出外锥角。

计算公式:

$$\alpha = \arctan\left(\frac{l_2 - l_1}{2h}\right) \quad (3-7)$$

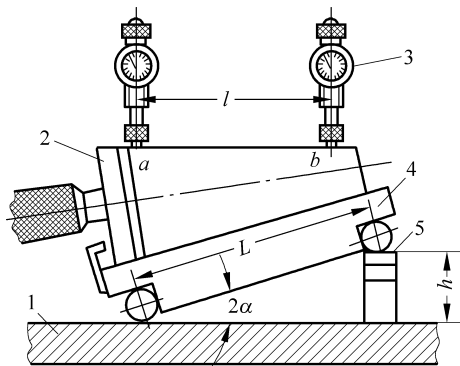


图 3-8 正弦规测量外锥角

1—平板; 2—工件; 3—指示表; 4—正弦尺; 5—量块

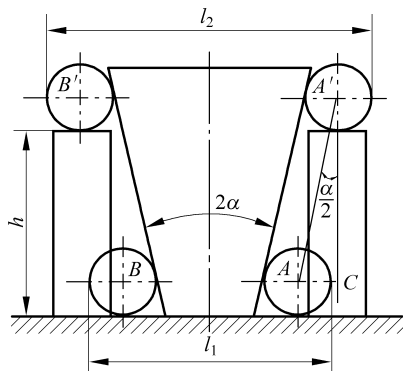


图 3-9 圆柱量块测量外锥角

3.2.7

小角度的测量

1. 反射法

光学自准直法就是在光学上使物体和像分别位于共轭平面上。当物体发生转动时, 物

体在像面上所成的像点也随之发生移动,以光束投射到被测物体上,通过测量像点的移动量便可以求出物体转动的角度。

如图 3-10 所示,以准直激光作为入射光,经扩散后照射到被测物体 1 上,光束被反射后经分束器由透镜 2 汇聚到位置探测光电二极管上,测出物体转动前后反射到位置探测二极管上的光斑位移,根据位移与探测器到被测物间的距离之比,便可得到物体的转动角度。

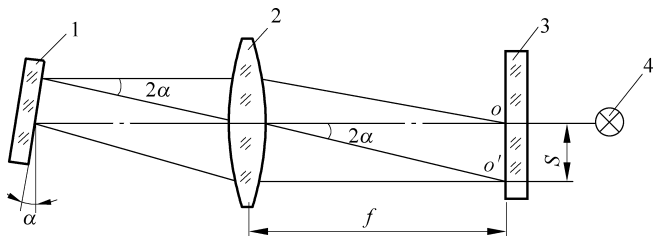


图 3-10 反射法测量小角度

1—被测物体; 2—透镜; 3—分束器; 4—光源

自准直法原理简单,操作方便、易行。测量分辨率与透镜 2 焦距有关,焦距越长分辨率越高,但透镜焦距过长就会产生仪器笨重和所占空间增大的问题;若对场地没有限制或精确度要求不是特别高,应用较为方便,可用于粗调激光谐振腔的平行等。

基于光学自准直法测角仪的测量范围一般都很小,通常在几分至几十分之间,测量可靠性和测量精度也不是很理想。

$$s = f \tan 2\alpha \quad (3-8)$$

当 α 很小时,则

$$\alpha = \frac{s}{2f} \quad (3-9)$$

2. 水准法

水准法测量小角度是利用水平仪对水平或垂直的被测件,实现相对水平面或铅垂面倾斜角的测量。水平仪是一种用来测量被测平面相对水平面的微小角度的计量器具,主要用于检验机床设备导轨的直线度,机件工作面的平行度、垂直度,以及调整设备安装的水平位置,也可以用来测量工件的微小倾角。水平仪有电子水平仪和水准式水平仪,常用的水准式水平仪又有条式水平仪、框式水平仪和合像水平仪 3 种结构形式,其中以框式水平仪应用最多。

水准仪的玻璃管上有刻度,管内装有乙醚或乙醇,不装满而留有一个气泡。气泡的位置随被测表面相对水平面的倾斜程度而变化,它总是向高的方向移动,若气泡在中间,说明被测表面水平。如图 3-11 所示,气泡向右移动了一格,说明右边高。图中,水准仪的分度值为 $0.02\text{mm}/1000\text{mm}(4'')$,表示被测表面倾斜了 $4''$,在 1000mm 长度上两端高度差为 0.02mm 。

若设被测表面长度为 l ,测量时气泡移动了 n 格,则相对倾角为

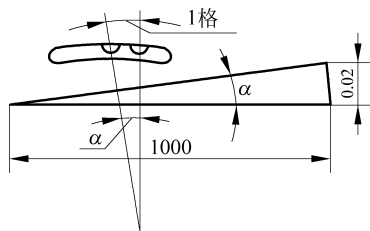


图 3-11 水准仪原理

$$\alpha = 4'' \times n \quad (3-10)$$

两端高度差为

$$H = \frac{0.02}{1000} \times l \times n \quad (3-11)$$

例 3-2 用一分度值为 0.02mm/1000mm(4'')的水准仪测量仪长度为 600mm 的导轨工作面的倾斜程度,测量时水准仪的气泡移动了 3 格,问该导轨工作面相对水平倾斜了多少?

解: 由题意可知

$$\alpha = 4'' \times n = 4'' \times 3 = 12''$$

两端高度差为

$$H = \frac{0.02}{1000} \times l \times n = \frac{0.02}{1000} \times 600\text{mm} \times 3 = 0.036\text{mm}$$

3. 正弦法

正弦法测量小角度是利用正弦原理,如图 3-12 所示。在正弦臂为一定长度的情况下,其一端转过的小角度与其另一端的位移量成正比,利用精密测长的方法测出此位移量即可求得小角度。这些仪器常用于高精度的角度测量,如检定自准直仪和水平仪等的示值误差。

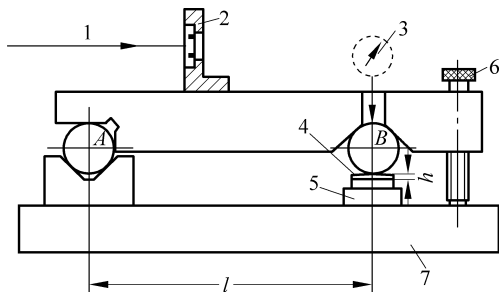


图 3-12 正弦法测量小角度

1—被测自准直仪; 2—反射镜; 3—测微计; 4—量块; 5—小平台; 6—旋钮; 7—底座

4. 干涉法

1) 仪器测量原理

测量光路如图 3-13(a)、(b)所示。测量时,先将被测的小角度试件研合在平面上,并将平面置于干涉仪工作台上。如图 3-13(c)、(d)所示,图中 I、II 为被测角度的两个工作面,III 为参考平面的像。参考平面的像 III 与平面 I、II 之间的夹角分别为 α_1 、 α_2 ,若从仪器目镜中读出 h_1 、 h_2 、 l_1 和 l_2 ,则

$$\alpha_1 = \frac{h_1}{l_1} \times \frac{\lambda}{2} \quad (3-12)$$

$$\alpha_2 = \frac{h_2}{l_2} \times \frac{\lambda}{2} \quad (3-13)$$

对图 3-13(c)所示情况,被测试件的角度为 $\alpha_1 + \alpha_2$;

对图 3-13(d)所示情况,被测试件的角度为 $\alpha_1 - \alpha_2$ 。

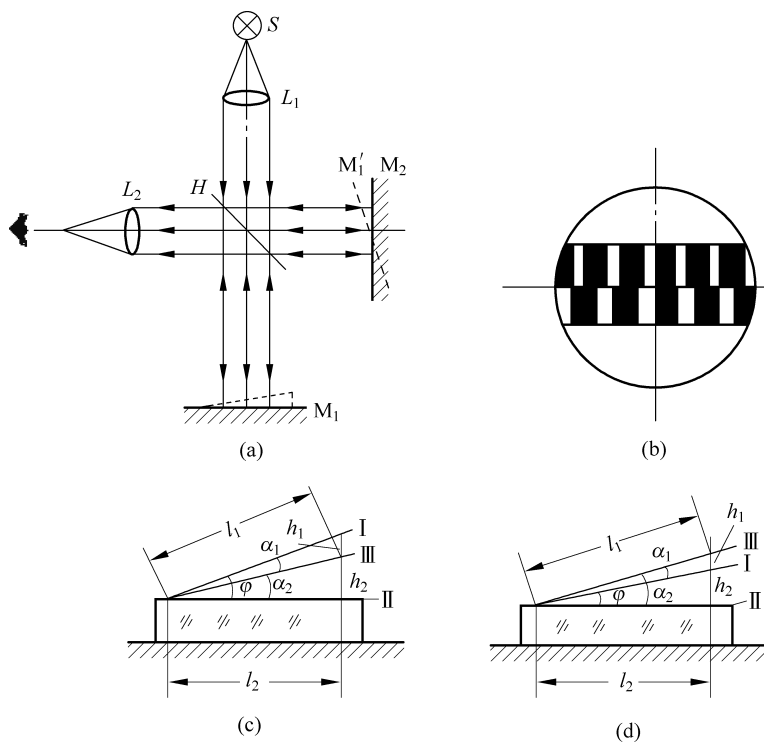


图 3-13 干涉法测量原理

2) 参考平面像Ⅲ的位置判断

测量时可用手轻按镜筒,使参考镜有微小角度变化。对于图 3-13(c)将使角 α_1 、 α_2 一个增大,一个减小,因而干涉条纹一组变密,一组变疏,两组条纹向相反方向移动。对于图 3-13(d)将使角 α_1 、 α_2 同时增大或减小,两组干涉条纹同时变密或变疏,两组条纹同向移动。

3) 测量精度

当被测角度不大于 $2'$ 时,其测量误差不超过 $0.3''$ 。

4) 干涉法测量小角度的原理

如图 3-14 所示。

角度 α 可通过高度 h 与边长 l 确定。用光波干涉法测量时, h 可用光波波长为单位测量。若在长度 l 上有 n 条等距干涉条纹,则

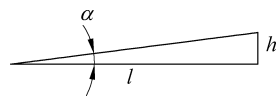


图 3-14 干涉法测量小角度

$$h = \frac{n\lambda}{2} \quad (3-14)$$

因为

$$\tan\alpha = \frac{h}{l} = \frac{n\lambda}{2l} \quad (3-15)$$

当 α 很小时,有

$$\alpha = \arctan \frac{n\lambda}{2l} \quad (3-16)$$

第 4 章

形位误差的检验

本章主要介绍各种形位误差评定方法及常用的检验方法,包括直线度、平面度、圆度、圆柱度、线轮廓度、面轮廓度、平行度、垂直度、倾斜度、对称度、位置度、同轴度等,使读者能对形位误差检验项目和方法有所认识和掌握。

4.1 概 述

形状和位置(简称形位)误差是指机械加工后零件的实际形状、位置相对于理想形状、位置的实际差值。形位公差是指机械加工后的零件实际形状或相互位置与理想形状或相互位置误差的允许值。由于形位公差标准中采用了公差带体系和最小条件评定形位误差等一系列新的概念,所以在生产中就经常涉及如何正确检验和评定形位误差的问题。

我国制定的《形状和位置公差检验规定》(GB/T 1958—2004 产品几何量技术规范(GPS))中,明确规定了形位误差的检验原则、检验条件、评定方法及检验方案,它有利于正确评定形位精度,取得准确性与经济性相统一的效果,使形位公差标准得到更好的贯彻。

检验规定是一项基础性的技术标准。由于检验方法是随被测对象的结构特点、精度要求以及设备等因素所决定。因此检验标准的内容是偏重于原则的规定和基础原则的阐明,对具体的检验方法、所用检验装置和有关条件等都未做过多的限制,这将有利于形位误差检验的发展。

国家标准《形状和位置公差检验规定》中,规定了形位误差五种检验原则及应用五种原则的 107 种检验方法。检验形位误差时,根据被测对象的特点和客观条件,可以依据五种原则,在 107 种检验方法中,选择一种合理的方法。也可以根据实际生产条件,采用标准以外的检验方法和检验装置。但要保证能获得正确的测量结果。