

幾何形狀公差

余用仁編

機械工業出版社



几 何 形 状 公 差

余 用 仁 編



机 械 工 業 出 版 社

1 9 5 8

出版者的話

本書內容可分為三大部分。第一部分為一至二章，系統地介紹幾何形狀公差的理論知識。第二部分為三至四章，敘述怎樣選擇幾何形狀精度，並介紹常用零件所要求的精度和各種加工方法所能達到的幾何形狀精度。第三部分為第五章，介紹怎樣測量幾何形狀誤差。必須指出，幾何形狀公差至今還沒有頒布正式的标准，本書中的資料僅供工作時參考，不能當作标准執行。

本書是以初級技術人員為讀者對象的讀物，希望讀者讀過本書之後就能達到實際使用的目的。這本書只是初步的嘗試，希望讀者提出寶貴的意見。

本書也可供工人和技術人員參考。

NO. 1654

1958年6月第一版 1958年6月第一版第一次印刷

787×1092¹/₃₂ 字數54千字 印張2¹/₂ 0,001—1,000冊

機械工業出版社(北京東交民巷27號)出版

機械工業出版社印刷廠印刷 新華書店發行

北京市書刊出版業營業許可証出字第008號 定價(10)0.40元

目 次

第一章 零件的精度	5
1. 尺寸精度	5
2. 形状精度	6
3. 位置精度	6
4. 表面精度	7
第二章 几何形状公差的概念	8
第一节 几何形状误差的基本类型	8
1. 圆柱体的圆度偏差	8
一、椭圆度(8)——二、棱面度(9)	
2. 圆柱体母线平直度偏差	10
一、鼓形度(10)——二、凹陷度(10)——三、弯曲度(10)	
3. 圆柱体母线平行度偏差	11
4. 圆柱体相互位置偏差	11
一、偏心度(11)——二、径向跳动(12)——三、端面跳动(12)——	
四、轴线的不平行度(13)——五、相交轴线的位置偏差(14)	
5. 平面类型偏差	14
一、不直度(15)——二、不平度(15)——三、不平行度(16)——	
四、不垂直度(16)	
6. 对称度偏差	16
7. 角度偏差	17
8. 表面波度	18
第二节 几何形状公差	18
1. 公差单位	19
2. 尺寸区分	20
3. 精度等级	21
第三节 几何形状公差与尺寸公差	21
第四节 几何形状公差在图纸上的标注	23

第三章 几何形状公差的应用	23
第一节 几何形状精度的选择	23
第二节 一般机床零件的几何精度	33
一、主轴(33)——二、床身(39)——三、机箱(39)——四、花键 (40)——五、滚动轴承(40)	
第四章 几何形状的加工误差	46
第一节 产生几何形状误差的原因	46
一、椭圆度(46)——二、棱面度(47)——三、母线平直度(48) ——四、母线平行度偏差(49)——五、径向跳动(50)——六、端 面跳动(50)——七、轴线平行度偏差(50)——八、平面的不平度 (51)——九、平面的不平行度与不垂直度(51)	
第二节 各种加工方法得到的几何精度	51
第五章 几何形状误差的测量	62
1. 椭圆度	62
2. 棱面度	63
3. 母线平直度	64
4. 母线平行度	65
5. 偏心度	65
6. 径向跳动	66
7. 端面跳动	68
8. 轴线平行度	70
9. 相交轴线垂直度	72
10. 平面直线度及平度	73
11. 平面平行度	76
12. 平面垂直度	77
13. 对称度	78
参考文献	79

第一章 零件的精度

每台机器都是由許多零件結合起来的，但不論这些零件是那一个車間或那一个厂的产品，我們都希望在装配时，任意拿到一个零件，不需任何額外的加工或修整就能裝在規定的部位上。并且装配起来的部件或机床，它的質量都能全面地滿足預定的技术要求，对于这样的零件，我們就可称为滿足互換性的零件。

要实现互換性，当然是要求每个零件都具有相等的尺寸、形狀、相互位置等規定的几何参数。但要求每个零件都絕對相等，即使用最精密的加工，也不可能达到，而且事实上也無此必要。因此在保證互換性的要求下，通常就按照零件的技术要求，規定在尺寸、形狀、位置、表面精度各方面，允許和理論要求有一定程度的制造誤差，只要不超过規定的制造誤差，零件就能达到互換。規定制造出来的零件和理論要求相差的程度就是零件的精度。

在实现互換性要求时，最早只注意到控制零件的尺寸精度，但是，随着高速高負荷和精密机器的出現，零件的技术条件日益提高，所以形狀、位置、表面精度等也是組成零件精度的重要因素。如果只注意尺寸精度，就無法保證零件的互換性。

1 尺寸精度 每一零件設計时計算出来的尺寸称为名义尺寸，經過加工后实际測量出来的尺寸称为实际尺寸，实际尺寸和名义尺寸相符合的程度就是尺寸精度，兩者愈接近，則零件的尺寸精度也愈高。

尺寸精度是根据零件在机构中的作用和配合性質来决定，例如：紧密配合的零件就比松动配合的零件精度要高些，高速高負

荷機構中的零件也比一般機構中零件精度要高些。

尺寸精度的規定，在每個國家里都有系統的完整的制度，這就是大家熟知的公差制度。在國際中有 ISA 公差制度，蘇聯有 OCT 全蘇公差制度，德國有 DIN 公差制度等。在我們也已由第一機械工業部頒布了部定公差標準，這些都是專門為尺寸精度而制訂的公差。

零件的某一部位須和另一零件指定部位相配合，則此部位尺寸稱為配合尺寸。配合尺寸的精度，按照公差制度規定選用；對於不起配合作用僅以限制零件外形輪廓或重量用的尺寸，一般稱為自由尺寸。對自由尺寸的精度，凡經過切削加工的在蘇聯機械製造工業中一般規定為 7 級及 8 級精度，在航空及儀器製造工業中常規定為 5 級及 7 級精度，也可按自由尺寸公差分類選用，同時也可不在圖紙上標注。

2 形狀精度 每一零件都是由一些不同的幾何形體組成，由於加工的誤差，往往實際得到的幾何形體與正確的幾何形體有誤差，這就是形狀誤差。要求幾何形體保持正確的程度就稱為形狀精度。

形狀誤差是隨原來零件的幾何形狀而不同，例如一根圓軸，它的橫截面應當是正圓面，但如果形狀有了畸變就會出現橢圓或稜面圓。對於較長的圓軸，則往往因為機床縱向運動的差誤，產生鼓形、凹陷、錐形等形狀誤差。

3 位置精度 組成零件的各種幾何形體，它們在空間所占有的位置，相互間都有一定的規定要求，這就是位置精度，也稱為相互位置精度。凡在相互位置上或對於基準位置上發生的誤差都屬於位置誤差。

位置誤差一般都指與規定的基準綫或基準面在空間位置上的

誤差。例如一根迴轉的多階梯形圓軸，要求每各階梯圓面都共有一個軸心，稱為同心度。由於加工中的誤差，造成各階梯圓面的幾何軸心不能互相重合，也就是對基準軸心綫有了位置誤差，通稱偏心。又如測量用的角尺，如果以基座的底面作為基準面，則另一邊的表面位置必須與底面成 90° ，即保持互相垂直。假使大於或小於 90° 時，實際表面和理論表面就有了位置誤差，這是對基準面的位置誤差，通稱不垂直度。

相互位置誤差是隨組成的幾何形體及這些形體在空間排列的位置不同而互異，圓柱體和平面所形成的位置誤差，通常有偏心度、徑向跳動、端面跳動、不平行度、不垂直度等基本類型。

4 表面精度 組成零件的表面，無論是平面、圓面或其他曲面，總是經過各種加工而獲得。由於加工方法的不同，零件的表面精度也互異。評論表面精度，一般分為表面光潔度和表面波度兩類。

表面光潔度 刀具在切削過程中，從零件表面剝離去一層薄薄金屬，而由於刀具的振動，刀刃和表面的摩擦，以及金屬的塑性變形，因而在加工面上遺留下細微的切削痕迹。表面光潔度就是表示這些痕迹深淺不平的程度。

表面光潔度的等級和標準，在蘇聯是按ГОСТ 2789-51的規定執行，我國目前各工業部門也都是通行蘇聯的標準。

表面波度 表面波度的產生，除了由於刀尖和表面的摩擦外，主要是機床——零件——工具加工系統的剛性不足，引起振動，以及零件坯料質量不均勻等原因。最後在表面上留下周期性的不平波紋，並呈現出顯著的波峰與波谷，不但波峰很高，而且兩波峰之距也比較大，一般在大於1公厘到10公厘的範圍。

表面光潔度和表面波度的區別是前者波峰低，波距小於1公

厘，波紋不显著；后者波峰高，波距大，呈現显著的波紋面。因此也有人把表面光潔度称为表面微观几何精度；表面波度称为表面宏观几何精度。

关于表面波度的分类在后面还要詳談。

对于尺寸精度和表面精度都已有專書論述，故本書以后各章將專門討論形状精度与位置精度。由于是以圓柱、平面等基本几何形体为对象来談，因此以后各节所称‘几何形状精度’或‘几何形状公差’都是指形状精度与位置精度而言，所称公差制度或OCT公差制度，則系指尺寸公差而言。此外，‘几何形状公差’有人称为‘整形公差’或‘型体公差’。

第二章 几何形状公差的概念

第一节 几何形状误差的基本类型

多数机械零件都是由各种几何形体組成，从最簡單的平面、圓柱体、錐体到复杂的不規則几何形体都有。但是根据現代机床所适于加工的几何形体，以及广泛应用在机构中的几何形体，主要还是平面和圓柱体及其联合体。故几何形状公差也只限于平面和圓柱体这些簡單的几何形状。

1 圓柱体的圓度偏差

一、橢圓度 一般圓軸之类的零件，在車削或磨削时，如果裝夾不正或有跳动，則加工出来的軸的橫截面就不是正圓，而是如圖 1 甲所示的橢圓。

橢圓度是以在同一个垂直于軸綫的截面內最大直徑与最小直

徑之差來計算。實際測量時，應該多取幾個截面，並且每一截面內要在兩個或兩個以上方向進行測量，一般這兩個方向要互成 90° 。如以 D_1 代表最大直徑， D_2 代表最小直徑，則橢圓度為 $D_1 - D_2$ 。

對於圓孔來說，也有橢圓度出現，如圖 1 乙。

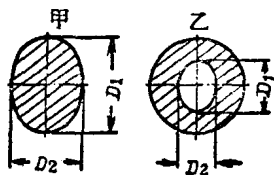


圖 1

二、稜面度 稜面度亦稱為多面度，通常只在無心磨削時出現。有了稜面度的軸，它的橫截面不是正圓，而是由許多不同圓心的圓弧連接而成的稜面圓，在此稜面圓內，任何方向上最大的弦都是彼此相等，如圖 2 所示。由於稜面圓中的 L 值是不變的，所以我們用普通量具和用測量零件對徑的方法，都測不出它的稜面度數值。

稜面度是以把截面輪廓全部包含在內的圓的直徑和切於零件表面的兩平行面間距離之差來計量。如以 D 代表包有截面輪廓的圓的直徑， d 代表切於零件表面兩平行面間距離， A 代表稜面度的值，則

$$A = D - d。$$

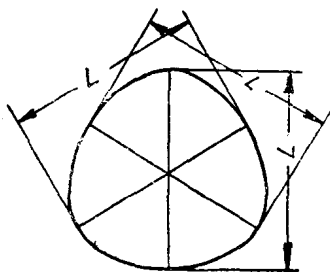


圖 2

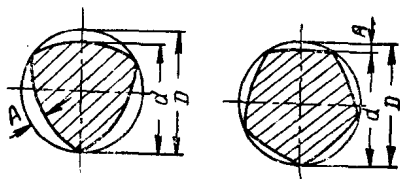


圖 3

产生棱面度的起因，除了用三爪卡盘将零件夹持所引起的变形外，主要是由于无心磨削时轴的迴轉中心位置改变的結果。由于瞬間迴轉中心的数量是可以任意的，因此相連接而成棱面圓的圓弧数也是可以任意的，圖 3 所示就是几个不同圓弧数的棱面圓。

2 圓柱体母綫平直度偏差 所有圓柱体的母綫都应当是平直的直綫，但由于加工差誤，就会出现下列畸形：

一、**鼓形度** 鼓形度也有称为桶形或腰鼓形。一般圓柱体在加工之后，如果有兩端細中間粗的鼓肚情况，則这种誤差称为鼓形度。

鼓形度值的計量，是以在通过軸綫的縱截面上最大直徑 D 和最小直徑 d 之差來計算，如以 a 代表鼓形度，則 $a = D - d$ (參閱圖 4)。

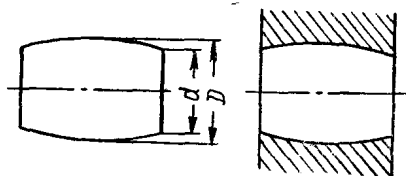


圖 4

二、**凹陷度** 凹陷度剛好和鼓形度相反，它是兩端粗中間細，凹陷情况如圖 5，俗稱凹肚。

凹陷度值的計量也是以在通过軸綫的縱截面上最大直徑 D 和最小直徑 d 之差來計算，如以 a 代表凹陷度則

$$a = D - d。$$

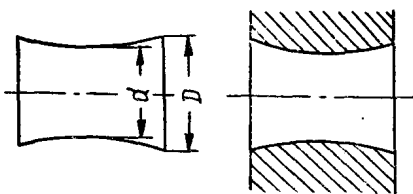


圖 5

三、**彎曲度** 彎曲是指圓柱体在軸心綫上發生了彎曲变形，使原来平直的圓軸變成弓形彎軸。



圖 6

彎曲度是以圓柱体軸綫或其母綫的彎曲撓度來計量。如圖 6

所示，以 a 代表弯曲度， D 代表包含通过軸綫縱截面的表面輪廓的兩條平行綫之間的距離， d 代表實際直徑，則

$$a = D - d。$$

3 圓柱體母綫平行度偏差 上面所述是母綫的平直度偏差，在另外一些情況下，例如車床尾座不正時，加工出的圓軸就會直徑不一樣：一端粗，一端細，成為圓錐體。圓錐體的母綫雖然還是直綫，但不是互相平行的直綫。因此，錐度是母綫平行度有了偏差的結果。

母綫平行度的偏差用錐度來表示，以垂直於軸綫兩個橫截面內直徑之差和兩個截面之間距離

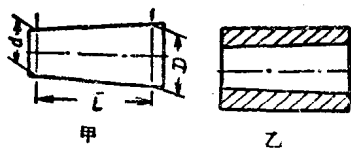


圖 7

和 d 代表兩個橫截面的直徑， L 代表兩截面之間距離，則錐度為 $\frac{D-d}{L}$ 。

4 圓柱體相互位置偏差 對於由兩個或兩個以上圓柱體結合而成的零件，除了徑向和軸向的形狀誤差外，在相互位置方面，還有以下幾種類型的誤差。

一、**偏心率** 偏心率是指共軸綫的圓柱體在軸綫上有了偏移或歪斜，一般也稱為不同心度。例如多階梯的圓軸，內外要求同心的軸套，機箱中的軸承孔等，這許多零件在理論上都要求同心，但實際上絕對同心是不可能的事，只要偏心率不超出允許限度也就認為合格。

偏心率是以軸綫在被檢查長度內的最大平行偏移或歪斜來計量，如圖 8 所示。在實際測量偏心率時，一般應先選定基準軸綫，其餘各孔或各軸段的軸綫偏移或歪斜都是指和基準軸綫的距離誤差，如圖 9 所示的階梯軸，以直徑 D 軸段為基準，其餘 d_1 、 d_2 、 d_3 各

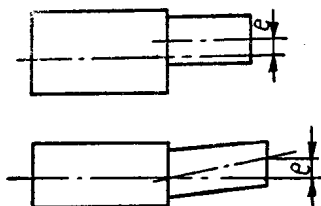


圖 8

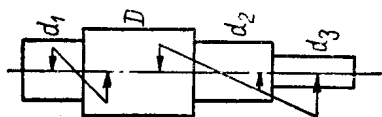


圖 9

軸段的偏心都根據 D 軸段來測量。

二、徑向跳動 徑向跳動常和偏心度相伴而生，有了偏心，也必然有徑向跳動，不過偏心度是以軸綫偏移來計量，而徑向跳動是以被檢驗的圓柱形表面到中心軸綫（基準綫）距離的最大相差數，或者以被檢驗的圓柱形表面到另一同心的圓柱形表面（基準面）距離的最大相差數來計量。

如將圖10的零件夾持在頂尖間測量時，是檢查 A 、 B 、 C 三軸段對中心軸綫的徑向跳動；

如將 B 段放在 V 形座鐵內，則是檢查 A 、 C 兩圓柱形表面對 B 圓柱形表面的徑向跳動。

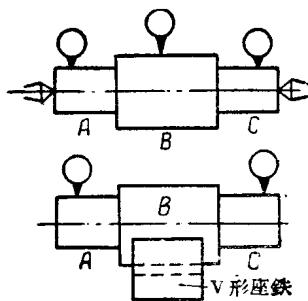


圖 10

徑向跳動是包括軸的橢圓度、稜面度、軸的彎曲度再加上軸的偏心度，可以說是圓柱體的綜合誤差，所以許多零件的偏心度也往往用徑向跳動來限制，而不另外單獨規定零件的偏心度。

三、端面跳動 對於細長軸類零件，端面跳動一般影響很少，而對粗短的圓柱體，特別是像法蘭盤之類零件，端面的位置精度就十分重要。所以車床上用來安裝卡盤的法蘭盤，我們總是先車好螺紋，然後旋到車頭主軸上再車削端面，以減少端面跳動。

端面跳动实际上是端面对轴綫不垂直的結果，測量端面跳动时，以零件的实际端面至垂直于轴綫的基面（在平行于轴心綫方向上）的距离的最大差数来计算。如图11所示， A 面为实际端面， B 面为垂直于轴綫的基面，則 a 为端面跳动。

端面跳动允許的極限值，有时是在被檢查端面的全面內測量，有时規定在端面上距軸心一定距离处測量。如图12甲所示，是指在 A 面上任何处的端面跳动都不能大于0.05公厘；圖12乙所示，是指在 A 面上距軸心 100 公厘处的端面跳动不能大于0.02公厘。



圖 11

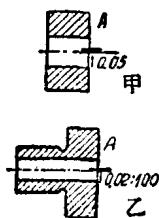


圖 12

測量端面跳动虽然也包含有端面不平度偏差在內，但在車床上加工端面时，如果进刀方向不能和主軸旋轉轴綫保持垂直，則車出的端面就会有凸出或凹下的情况，如图13所示。这些用測量端面跳动的方法，却無法測出。因此对端面的凸出或凹下誤差，可認為系端面的不平度。

四、轴綫的不平行度 轴綫的平行度对許多系列的孔來說是很重要的技术条件，特别是机床机箱中許多系列的軸孔，轴綫必須保持平行，变

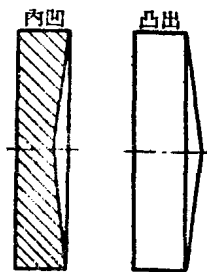


圖 13

速齒輪的交互嚙合才能正確。另外如車床車頭機箱主軸的軸綫，還必須和機箱的基準底面平行，否則安裝到床身上後，也無法和有關導軌保持平行。

軸綫的不平行度是指圓柱體軸綫對基準軸綫或基準面的平行度偏差，它的誤差值是用在軸綫上的兩點分別到基準面或另一軸綫（基準軸綫）的兩個垂直距離之差與此兩點距離之比來表示，如圖 14 所示，

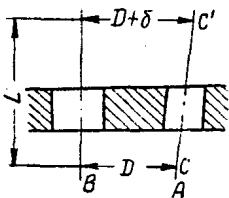


圖 14

A 為一軸綫， B 為另一軸綫， C 及 C' 為 A 上兩點，相距為 L ， C 及 C' 到 B 的垂直距離為 D 與 $D + \delta$ ，則軸綫不平行度為

$$\frac{(D + \delta) - D}{L} = \frac{\delta}{L}$$

如果沒有注明長度，僅規定有偏差值，則此偏差是指被檢查圓柱體的全部長度。

五、相交軸綫的位置偏差 相交軸綫的偏差主要是沒有按規定角度相交，因而引起位置偏移。在一般幾何形狀公差中討論的多限于垂直相交的兩軸綫，所以亦稱相交軸綫垂直度偏差。

相交軸綫的偏差，可以用兩軸綫間夾角的偏差來計量，也可用軸綫間實際交點和理論交點的偏移來表示。圖 15 的 θ 角度表示相交軸綫的角度偏差， δ 則表示交點的位置偏差。

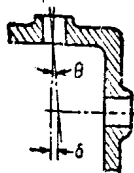


圖 15

5 平面類型偏差 平面類型也是組成零件的基本幾何形體，特別像機床的床身、導軌、基座等機件，都是由平面形體組成。它們的幾何形狀精度對整個機床來講是極其重要的。平面類型的幾何精度通常分不直度、不平度、不平行度、不垂直度等四種，其中不直度和不平度屬於平面平度偏差，不平行度和不垂直度屬於相互位置偏差。

一、不直度 如果用一平面去切割另一平面，則理論的截面是一條直線。在实际工作中，假使用一平面去切割被檢驗表面，表面截面的截形也应当是一直線，如果表面不平，則截形不是直線，而是如圖 16 所示的曲線。平面的不直度，实际上相当于用一垂直平面，在指定方向上去切割被檢驗表面，所得截面截形的直線偏差值。因此也可說平面不直度是指平面在指定方向上的直線偏差值。

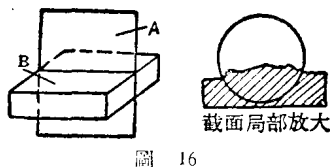


圖 16

平面不直度可以在一定方向上對表面的全長或部分長度計量。

量具中的刀口形直尺，就是利用兩個平面相交成一條直線的原理來工作，它本身的工作面要有極高的直線度，因此也常用它來檢查表面的不直度。

二、不平度 平面不平度是指被檢驗表面在任意方向上直線度的最大偏差，它和不直度有區別：不直度是在指定方向，實際是一條線的直度偏差；不平度則是在任意方向上，實際是全平面的平度偏差。

檢驗不平度通常用染色法來檢查，在標準平板上塗上顯示劑，然後復在被檢驗表面上，根據單位面積上染色的斑點數，來衡量表面的不平度。

在同一表面上，平面的不平度在不同方向上也可不同的，例如圖 17 表示的平面，它在縱向每 1000 公厘允許有 0.03 公厘的不平度，而在橫向每 100 公厘則允許有 0.01 公厘的不平度。此外，還可根據零件的實際要求，規定只

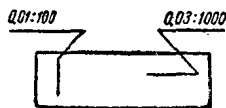


圖 17 平面的不平直限度的標志方法

允許向上凸起或向下凹陷。例如一般平板就只可凹陷，而車床床身導軌，則只允許凸起。

三、不平行度 平面的不平行度是指被檢驗表面對基面的平行偏差，例如量塊的兩測量端面，必須保證平行，才能達到尺寸精密。

平面的不平行度是用被檢驗表面上各點到基面距離之差與一定長度之比來表示。例如A面（圖18）上E點到基面B的距離是 δ ，E'點到基面B的距離是 δ' ，EE'之間的距離是L，則不平行度為 $\frac{\delta - \delta'}{L}$ 。

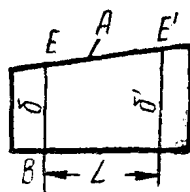


圖 18

在檢驗表面的不平行度時，也包括表面不平度的數值。

四、不垂直度 平面的不垂直度是指兩相交平面所夾角度對直角的偏差，雖然也可用角度偏差來表示，但通常還是用角邊對理論位置的間隙來表示。它是以一平面（夾角的一邊）為基面，測量另一平面（夾角的另一邊）在規定長度上和理論垂直面的偏差。一般以較長平面為基面，即夾角的長邊，短面為被檢驗面。

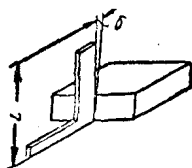


圖 19

圖 19 表示在 L 長度上不垂直度為 δ 。

6 對稱度偏差 對稱度偏差是指某些幾何形體對於軸綫或基準綫的偏移或歪斜，最典型的是鍵軸上的鍵或軸孔中的鍵槽，它們都要求對稱於零件的軸綫，但在加工中會出現下列情況的偏差。

第一種情況是鍵或鍵槽對軸綫有平行偏移，如圖20。所偏移的 δ 就是對稱度偏差值。

第二種情況是鍵或鍵槽對軸綫有歪斜偏移，如圖21，此時鍵或槽本身也已歪斜。歪斜偏差是以在一定長度上對原來軸綫偏移