

工作圖中公差的應用

上官百祥

由於機器的震動、刀具的損耗、量具的精度差異及操作者的人為失誤等相關因素，物品（工件）在製作的過程中，常會產生一定程度的誤差。換言之，要完全依照設計的尺度，絕對準確地製作並檢驗工件，誠屬不可能。因此，工件在設計之時，多由設計工程師在原設定的尺度上，加註一個可容許的誤差範圍，以方便工廠的實際生產作業。此一「可容許的誤差範圍」，即是所謂的「公差」。公差大小的設定，常會相對影響工件的品質或製作的成本，此乃設計工程師主要的任務之一。除此，「公差的應用」也是在製造科技領域中探討「標準化」、「大量生產」、「品質管制」時的主要課題之一。本文將以「製圖與識圖」的角度，簡介「公差」及其在工作圖中的應用，期能提供國、高中生活科技教師們，於作品設計及講授「營建與製造」領域時之參考。

壹、公差的基本概念

工件原設定的尺度稱為「基本尺度」，製作時所能容許的最大尺度稱為「最大極限尺度」，所能容許的最小尺度則為「最小極限尺度」。最大極限尺度與基本尺度之差稱為「上偏差」，最小極限尺度與基本尺度之差稱為「下偏差」。而

前述「可容許的誤差範圍」，即最大極限尺度與最小極限尺度之差。以下圖（圖1）為例，該工件的基本尺度為72，允許最大尺度可達72.05，最小尺度則為71.96，則其

最大極限尺度為72.05

最小極限尺度為71.96

上偏差為+0.05

下偏差為-0.04

公差為0.09

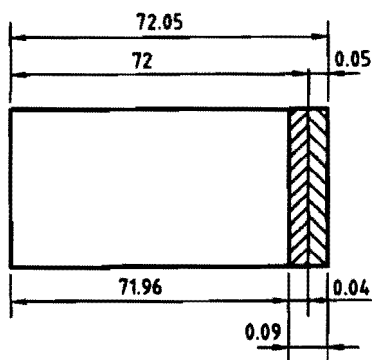


圖1 工件公差示意圖

貳、公差的種類

公差常依其適用範圍或極限尺度的方向性，區分如下：

一、依適用範圍區分

- (一) 通用公差：二或多個相同尺度範圍所共同適用的公差。
- (二) 專用公差：僅適用於某一特定尺度的公差。

二、依極限尺度的方向性區分

- (一) 單向公差：最大與最小極限尺度均大於或均小於基本尺度，適用於需配合部位之尺度。例如：

$$\begin{array}{ll} +0.05 & -0.03 \\ 32+0.02 & 28-0.07 \end{array}$$

- (二) 雙向公差：最大極限尺度大於基本尺度，最小極限尺度小於基本尺度。適用於不需配合部位之尺度或位置尺度。例如：

$$\begin{array}{ll} & +0.04 \\ 56 \pm 0.06 & 37-0.01 \end{array}$$

	日期	姓名	通用公差 $\frac{1}{2} IT12$		
設計					
繪圖					
指圖					
校核					
審定			比例		
(機構名稱)					
(圖名)			(圖號)		

圖 2 標題欄內的通用公差

參、公差的標註

一、通用公差的標註

在工作圖上沒有加註公差的尺度，並不是表示這些尺度沒有公差，而是採用通用公差。通用公差常標註在標題欄內(圖 2)，或另列表格置於標題欄附近(圖 3)，或記載於各作業工場的手冊中。

二、專用公差的標註

(一) 以極限尺度標註

直接標註最大極限尺度於上層、最小極限尺度於下層(圖 4)。

(二) 以上、下偏差標註

於基本尺度外，附註上、下偏差。上偏差列於上層，下偏差則寫在下層。當上、下偏差之絕對值相同時，合為一層書寫。上偏差或下偏差為零時，仍應加註「0」，且「0」之前不加正「+」或負「-」之符號(圖 5)。

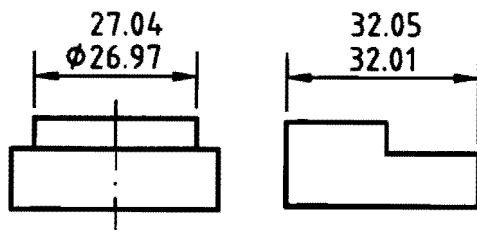


圖 4 以極限尺度標註專用公差

	日期	姓名	通用公差 $\frac{1}{2} IT12$		
設計					
繪圖					
指圖					
校核					
審定			比例		
(機構名稱)					
(圖名)			(圖號)		

基本尺度	1-3	>3-6	>6-3	>50-80	>80-120
公差	0.05	0.06	0.07	0.15	0.2

圖 3 另列表格的通用公差

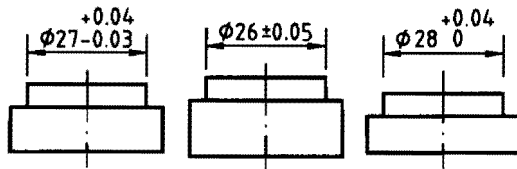


圖 5 以上下偏差標註專用公差

(三) 以公差符號標註

於基本尺度外，另加公差符號(圖6)。

肆、公差與配合

現今多數機器設備或電器用品在損壞維修時，均可隨時抽換相關的零件，這可說是依據公差設定來製作及檢驗標準化工件的結果。由此可知，標註公差的目的，是在控制產製物品應有的精度，以獲得所需的配合，並使機件具有可互換的特性。所謂配合，是指配合件在各配合部位之間應有的鬆緊程度。一般依其鬆緊程度的不同，區分為「餘隙配合」、「干涉配合」和「過渡配合」三類。以一軸桿與一輪孔的配合為例，當軸徑小於孔徑時，其間必有空隙，稱為餘隙，孔徑與軸徑的差恒為正值，如此的配合稱為「餘隙配合」；當軸徑大於孔徑時，其間不但沒有空隙，反而有材料的干擾（擠軋、摩擦等），稱為干涉，孔徑與軸徑的差恒為負值，如此的配合稱為「干涉配合」；而當軸與孔的公差設定有部份重疊的現象時，軸徑與孔徑有時正好相等，也有時孔徑與軸徑的差為正值或負值，即其可能有餘隙，也可能有干涉，如此的配合稱為「過渡配合」。各種配合舉例如表1。

此外，配合在應用上常依以軸或孔為基準的不同，而有「基孔制」與「基軸制」的分別。所謂「基孔制」的配合，就是把孔的偏差位置固定在H，變動軸的偏差位置，以得到所需的配合。所謂「基軸制」的配合，則是把軸的偏差位置固定

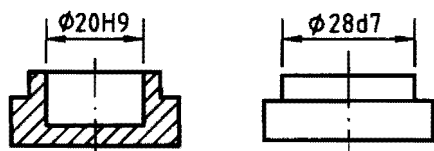


圖6 以公差符號標註專用公差

表1 各種配合

以尺度 28 為例		
餘隙配合(H9/e9)	干涉配合(H7/s6)	過渡配合(H8/m7)
+0.052 H9 28 0	+0.021 H7 28 0	+0.033 H8 28 0
-0.040 e9 28 -0.073	+0.048 S6 28 +0.035	+0.029 s7 28 +0.008
最大餘隙0.125 (28.052-27.927=0.125)	最大干涉-0.048 (28.000-28.048=-0.048)	最大餘隙0.025 (28.033-28.008=0.025)
最小餘隙0.040 (28.000-27.960=0.040)	最小干涉-0.14 (28.021-28.035=-0.014)	最大干涉-0.029 (28.000-28.029=-0.029)

在 h，變動孔的偏差位置，以得到所需的配合。

伍、公差的選用

合宜的公差設計，需要有數學、統計、材料、工程、力學等相關知識的配合，非一般人所能從事，而公差的選用則不是一件難事。首先，我們不應抱持著「公差愈小，產品愈好」的觀念。固然公差減小，可使產品精度提高，但加工難度也會因此而增加，致使成本劇增且產銷不易。其次，即使完全採用高精度的零件，而未配合良好的設計，也無法保證可以組成一部高品質的精密機具；只有讓每一組配合件具備其應有的功能，使機具能確切發揮設定的效用，才是真正高品質的機具。以下所列各項原則，應可提供讀者在選用公差時之參考。

一、生產設備的考量

各種機具的性能不同，能產製物品的精度也受到牽制。故要運用性能差的機具產製高精度的物品，似乎不太可能；而性能強的機具，比較貴重，投資成本較高大，又不一定能產製高精度的物品。所以在選用公差時，應先了解工廠內可以運用的機具，以及這些機具的能力範圍，確定其能夠達到的精度，來選用所需的公差。否則若設定的公差非工廠機具能力所能及，所選公差將形同虛設，而造成人力財力的浪費。表 2 所列即為各種常用工作母機精度之容許差，可供公差設定時之參考。

二、加工方法的考量

各種加工方法所能達到的公差等級範圍不盡相同，專用公差可參考圖 7 所示，而通用公差則可查閱各種不同加工方法一般許可差之國家標準加以選擇。

表 2 常用工作母機精度之容許差

單位：mm

機器種類		容許差		
牛頭刨床		每 300mm 0.02		
銑床		平行度	平面度	垂直度
		每 300mm 0.02		每 300mm 0.03
磨床		每 1000mm 0.01		
車床	心高	真圓度	圓柱度	平面度
	400mm 以下	0.01	每 200mm 0.02	直徑每 300mm 0.02
	400mm 以上	0.02	每 300mm 0.03	
多軸自動車床		真圓度	圓柱度	平面度
		直徑 50mm 以下 0.015	直徑 30mm 以下每 50mm 0.015	直徑每 50mm 0.01
		直徑 50mm 以上 0.02	直徑 30mm 以上每 100mm 0.03	直徑每 100mm 0.015
鑽床	鑽頭直徑	孔徑容許差		
	<1	0.025-0.050		
	>1-3	0.050		
	>3-6	0.075		
	>6-12	0.100-0.125		
	>12-19	0.125-0.175		
	>19-25	0.200-0.250		
>25-50	0.250-0.280			

三、產製者的技能水準

負責產製的技術人員，其技能水準有高低的不同。高精度的工作非一般技能水準者可以達成，目前固然已有精密的自動機器可以代替人工，由此獲得高精度的產品，但操作、維護、保養這些機器的人，仍然需要高水準的技術人員。而且每個技術人員的工作態度與工作習慣也不同，有人粗心大意，有人仔細謹慎，都會影響產品的精度。另，新進人員的經驗不及舊有者，操作的生澀或熟練，不但會影響工作速度，更影響

產品的精度。所以在選用公差時，要注意產製者的技能水準，以一般人能達到者為選用的對象。

四、經濟原則的考量

產製物品的精度愈高，公差愈小，產製愈困難，耗費的時間愈多，需要的設備愈貴重，技術人員的技能水準要求愈高，成本相形提高。所以公差加大，則產製容易，廢品減少，工作效率因而提升，產量增加，成本降低。若將產品的精度分成高精度、一般精度、低精度來分析，由低精度進入一般精度，費用

加工方法	公差等級 IT																	
	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18		
研	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
光	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
磨	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
平	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
磨	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
拉	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
削	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
孔	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
絞	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
車	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
削	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
孔	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
搪	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
孔	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
鑽	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
銑	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
銑	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
鉋	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
鉋	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
砂	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	

圖 7 各種加工方法能達到的公差範圍

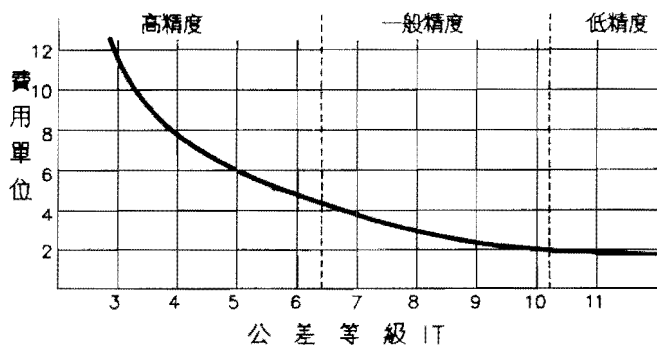


圖 8 公差等級與產製費用的關係

的提升速度緩慢，由一般精度進入高精度，費用的提升極快(圖 8)。因此選用一般精度與高精度交界附近的公差最為經濟，此時精度已不算低，因而支出的費用較能符合經濟原則。

五、運用「選擇裝配」的技巧

運用「選擇裝配」的技巧，可加大公差而獲得高精度。所謂「選擇裝配」，是指二配合件按照訂定之公差大量產製完成後，孔件與軸件分別按其實際大小由大至小分成相同的群數，普通都是三至五群，每群順次編為甲、乙、丙……等

群，然後將孔件之甲群與軸件之甲群套合，孔件之乙群與軸件之乙群套合，其他依此類推，則每一群中孔件或軸件的公差變小，精度提高，而餘隙可保持不變。例如孔件與軸件原先訂定的公差均為0.03mm如圖9所示，屬「餘隙配合」，餘隙為0.16-0.10mm。如果將孔件與軸件的公差均加大至0.09mm(圖10)，則經大量產製完成後，按實際大小各分成三群，則每一群中孔件或軸件的公差均減為0.03mm，餘隙仍為0.16-0.10mm(表3)。所以運用選擇裝配，雖然多加一道

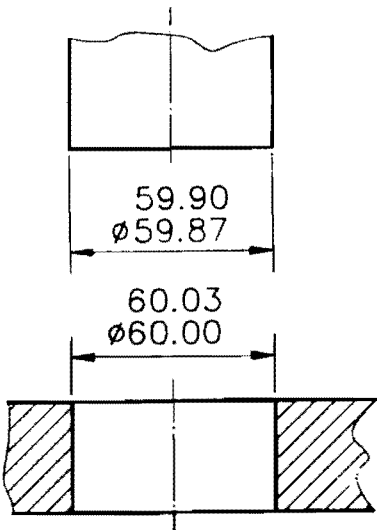


圖 9 原先訂定的公差

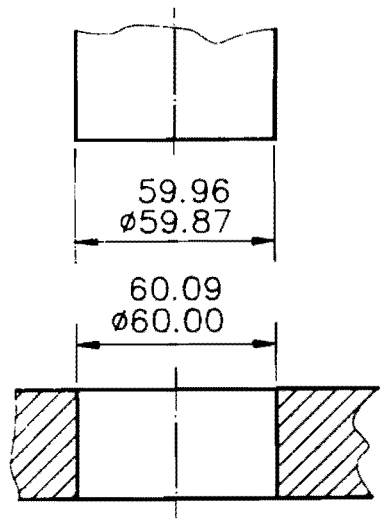


圖 10 加大後之公差

表 3 依圖 10 採用選擇裝配之分群

孔件		軸件		最大餘隙	最小餘隙
甲	60.09~60.06	甲	59.96~59.93	0.16	0.10
乙	60.06~60.03	乙	59.93~59.90	0.16	0.10
丙	60.03~60.00	丙	59.90~59.87	0.16	0.10

分群的手續，而且不同群不得互換，但公差可加大很多，產製費用卻大幅下降，值得考慮採用。

六、充分了解配合件間的功能

「容差」是指二配合件間之最小餘隙或最大干涉，亦即孔的最小極限尺度與軸的最大極限尺度間之差，也有人稱之謂「裕度」。容差的大小主宰配合件之功能，不是精度，所以在選用公差之前，應先了解配合件間之功能，由此決定容差的大小。容差由正值變至負值，配合由餘隙變至干涉。容差為正值時，容差等於最小餘隙；容差為負值時，容差等於最大干涉；容差的絕對值小於軸或孔之公差，則為過渡配合。需要轉動或滑動的配合件，應有正容差，即二配合件間需有餘隙，以供潤滑油或體積熱膨脹等填充之用。需要固定的配合件，應有負容差，即二配合件間需有干涉，負容差愈小，干涉愈大，結合固定愈牢固，但裝卸則愈困難。

在配合制度方面，盡量採用基孔制配合，則孔徑劃一，變動軸之公差，便可得到所需的配合，較為經濟。其原因是孔之加工比軸難，又必須使用特殊刀具加工，尤其遇到較小之孔，無論加工或量測尺度更為困難。如有現成之軸桿，或一軸裝配多個孔件，各孔件配合的種類又不同時，才採用基軸制。

七、重視前人的經驗

經驗需要累積，要得到經驗需花費相當多的時間，尤其在公差的選用上，前人留下的經驗價值非凡，應該重視。

在公差等級的運用上，一般認為 IT12 是目前設備和普通技術人員起碼可以達到的，而一般切削加工都先考慮

IT8，需稍高精度再改用較小公差等級，但建議少採用 IT7 以上者，因為量測 IT7 以上之公差，需要相當精密的量具，量測前更須仔細校正，否則量測費時，量測結果又難於準確。同時普通工場中一般量具的精度都在 IT7 左右。其他各公差等級的適用場合如表 4 所示，配合之孔件與軸件均以採用相同公差等級為原則，而軸件加工較孔件容易，軸件可採較小一級者。

表 4 各公差等級的適用場合

IT	適用場合
01 ~ 4	精密量規
5 ~ 6	一般量規、精密之研磨、搪孔、車削，機件上裝軸承處
7	高級之搪孔、車削、絞孔，機件上轉動配合處
8 ~ 10	一般之車削、鑽孔、銑削鉋削，機件上鬆動配合處
11 ~ 12	粗車削、鉋削、鑽孔
13 ~ 16	衝壓、拉軋、鍛造，機件上不需配合處
17 ~ 18	砂模鑄造

多搜集各種成品的公差資料，極有助於公差的選用，因為這些物品已經生產，對尺度上的公差必已作過研究，不會離譜太遠，所以若能先參考現成資料，必能得到比較合理的結果。各種常用配合及其適用場合如表 5 所示。

參考書目

王輔春等(民87)，工程圖學。台北：師友工業圖書公司。

表 5 各種常用配合

	基孔制	基軸制	適用場合
餘 隙 配 合	H11/d11 H8/d8 H7/d7	D10/h10 D10/h9	餘隙甚大，適用於建築機械、農業機械
	H8/e8 H7/e7	E9/h9	餘隙較大，適用於大型高速重荷軸承
	H8/f8 H7/f7	F8/h8 F8/h7	餘隙小，適用於導槽、滑塊、紡織機械
	H7/g6	G7/h6	餘隙極小，適用於輕荷機器主軸
	H11/h11 H10/h9 H8/h8 H7/h6		餘隙可能為零，配合件裝卸用手力即可，適用於不需轉動之機件
過 渡 配 合	H8/k7 H7/K6	K8/h7	偶有極小之干涉，配合件裝卸需略施力，適用於裝鍵之軸輪
	H8/m7 H8/n7 H7/m6 H7/n6	M8/h7 M8/h7	偶有小干涉，配合件裝卸需施力，適用於油壓活塞、調速器、工具機塔輪
	H8/p7 H7/p6 H7/r6		干涉小，配合件裝卸需施較大力，結合力尚可，適用於各種襯套
	H8/s7 H7/s6 H8/u6		干涉大，配合件裝卸需施很大力，結合力堅固，不易鬆脫，適用於鑄造齒輪、閥座

張甘棠(民86)，機械製造。台北：三文出版社。

魏秋建(民83)，機械製造(上、下)。台北：全華科技圖書股份有限公司。

謝文隆(民76)，機工精密量測學。台北：三文出版社。

(作者為國立台灣師範大學工業科技教育系講師)