

第十二篇

機 械 元 件

目 錄

頁

第一章 機械製圖

1-1 一般規範.....	12- 1
1-2 標準數.....	12- 9
1-3 公差與配合.....	12- 11
1-4 幾何公差.....	12- 18
1-5 加工符號.....	12- 35

第二章 容許應力與安全因數

2-1 單軸向拉伸試驗.....	12- 38
2-2 受靜力負荷之安全因數與容許應力.....	12- 42
2-3 延性材料之破壞理論.....	12- 43
2-4 應力集中因數.....	12- 45
2-5 疲 勞.....	12- 49
2-6 凹槽敏感度.....	12- 52
2-7 Soderberg 圖.....	12- 53
2-8 脆性材料.....	12- 54
2-9 容許應力值.....	12- 55

第三章 螺旋與螺釘接合

3-1 螺 紋.....	12- 57
3-2 螺釘接合.....	12- 67

第四章 彈簧設計

4-1	一般概念	12-79
4-2	板狀彈簧	12-79
4-3	螺旋彈簧	12-80
4-4	盤狀彈簧	12-88
4-5	圓狀彈簧	12-95

第五章 正齒輪

5-1	齒輪分類	12-97
5-2	基本概念	12-99
5-3	漸開線齒輪傳動	12-101
5-4	標準齒制	12-102
5-5	漸開線齒輪之製造	12-104
5-6	過切與齒數之最少限度	12-108
5-7	齒廓移位	12-108
5-8	正齒輪工作圖上之尺度資料	12-112
5-9	齒之強度設計	12-118
5-10	螺旋齒輪傳動	12-126

第六章 滾動軸承

6-1	滾動軸承之性質	12-131
6-2	滾動軸承之代號	12-131
6-3	各型軸承之用途	12-140
6-4	軸承之彈性	12-141
6-5	軸承之預力	12-144
6-6	軸承的疲勞壽命與基本動額定負荷 C	12-145
6-7	基本靜額定負荷 C_0	12-149
6-8	確定軸承位置之裝置	12-150
6-9	軸承的公差與間隙	12-151
6-10	軸承之配合	12-152
6-11	軸承之潤滑與封閉	12-154

第十二篇

機 械 元 件

蔣 君 宏

第一章 機械製圖

1.1 一般規範

本節所述，盡量與國際標準組織（International Organization for Standardization，簡作 ISO）標準建議案 ISO / R 128 相符合。

a 製圖用紙 國際標準組織 ISO 之前身為國際標準協會（International Federation of the National Standardizing Associations，簡作 ISA）在 1934 年 8 月之建議案所規定之製圖用紙尺度，為一般採用公制國家作為各國製圖用紙尺度標準。紙張尺度悉採 A 組（台灣標準 CNS 5 稱為甲組），如表 1.1 所列。此類紙張尺度之分段法係令某號紙為其次一號紙大小之兩倍。例如將 A 3 對折裁開即為兩個 A 4，而所有紙張之形狀皆相似。換言之，依照圖 1.1，有

$$x : y = \frac{y}{2} : x$$

因此 $x : y = 1 : \sqrt{2}$ 。即所有紙之形狀，不論大小，其長邊恆為短邊之 $\sqrt{2}$ 倍。在表 1.1 中，係令 A 0 之面積為 1m^2 。遂得其長邊為 1189 mm，短邊為 841 mm。通常以 A 4 為最小製圖紙之大小。平時所有圖皆摺疊成 A 4 大小，以便於歸檔或裝釘，亦便於查閱。

b 製圖用線 無論用鉛筆或上墨，一般製圖用線只需兩種粗度即足。粗線為 0.7 mm，細線為 0.3 mm。表 1.2 所列為各種線的用途。圖 1.2 則為其示例。

c 字體 圖上中文字體須用楷書。字體高度不得小於 2.5 mm。一律由左向右橫書，拉丁字母及阿拉伯數字可寫成直體或斜體，如圖 1.3 所示。

字體之註在尺度線上者最好採橫式，即讀的方向（即由左向右的方向）與尺

表1-1
A組標準紙張尺度

符號	mm
4A0	1682×2378
2A0	1189×1682
A0	841×1189
A1	594×841
A2	420×594
A3	297×420
A4	210×297
A5	148×210

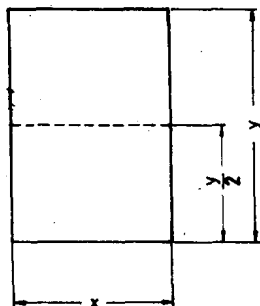


圖 1.1

表1-2 製圖用線型式

例 (看圖 1.2 中拉丁字母)	線之型式	線寬 (mm)	用途
A	連續 (粗)	0.7	寬物邊緣
B	連續 (細)	0.3	尺度線, 引線, 斷面線
C	連續不規則 (細)	0.3	部份截斷之邊緣
D	虛線 (細)	0.3	被遮擋之邊緣
E	鏈線 (細)	0.3	中心線, 節圓節線, 機件之虛位置, 鄰近機件加工前之表面
F	鏈線兩端及轉角處為粗線 其他為細線	0.7 0.3	切斷面

度線的方向平行, 如圖 1.4 (a) 所示。必要時垂直方向尺度也可採直式寫法, 即讀的方向與尺度線方向垂直, 如圖 1.4 (b) 中的 15。惟不論採橫式或直式書法, 同一張圖上的書法必須一致。即不可以橫式與直式混合使用。如取橫式則應如圖 1.4 (a), 即垂直方向尺度須以能自右手側讀為準。切不可寫成自左手側讀。

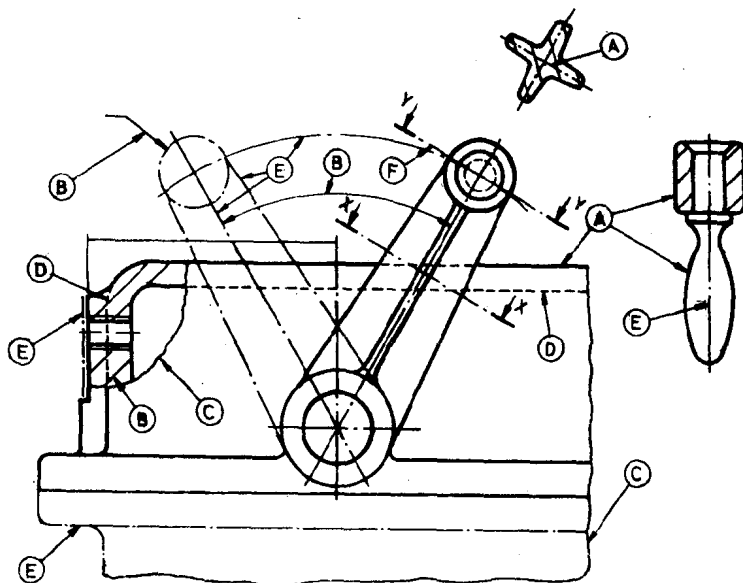


圖 1.2 製圖用線示例

ABCDEFGHIJKLMN	ABCDEFGHIJKLMN
OPQRSTUVWXYZ	OPQRSTUVWXYZ
1234567890	1234567890

圖 1.3 製圖用字體

如圖 1.4 (c) 中之 15 即屬錯誤，為任何國家標準所不許。如遇有傾斜方向的尺度線而採用橫式寫法時，應儘量避免將尺度註在如圖 1.5 (a) 中之 30° 範圍內。其原因是在此範圍內之尺度註法如圖 1.5 (b) 中的 8 與 12，有像似圖 1.4 (c) 的錯誤之嫌。此處既屬不可避免，則惟有照註而已。

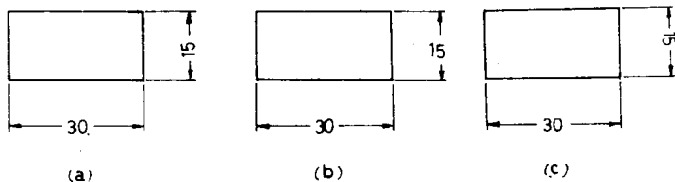


圖 1.4 尺度標註法

d 投影 投影制分第一象限制（歐洲制）與第三象限制（美國制）兩種。若干國家依照 ISO 標準採兩制並存為其國家標準。台灣亦將同時採用兩制並存為台灣標準。惟以何者為優先迄無定論。兩種制度原難以分別其優劣。惟由於各界習慣之不同，有人喜用第一象限畫法，有人喜用第三象限畫法。不論用第一象限或第三象限畫法，重要的是，須在圖上以簡單文字或符號表明，方不致使讀者產生混淆錯誤。圖 1.6 (a) 之符號表示某圖係用第一象限制度，即每個視圖皆係由其相鄰視圖之「遠」側所見。圖 1.6 (b) 之符號為表示某圖係用第三象限制度，即每個視圖皆係由其相鄰視圖之「近」側所見。此種符號簡單明瞭，省去文字，故可以全世界通用。可以預先印在製圖紙上，或製成小印章臨時加蓋在圖之一角。

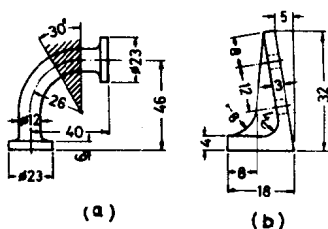


圖 1.5

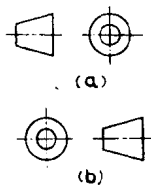


圖 1.6 第一角及第三角符號

e 視圖 原則上一張機械圖以簡單明瞭而完備為主。不必要之視圖能省略則省略之。大凡既無尺度又無註釋之視圖多可省略。例如圖 1.7 係一圓柱體，既已用符號「 ϕ 」表示直徑，則除此一個視圖外不再需要其他視圖。如為表明某一局部所見的視圖，可以作一個輔助視圖如圖 1.8。在用縮小比例尺繪製機件時往往不能清楚表示某一局部詳圖，此時須另作一個較大比例尺的附圖以顯示之如圖 1.9。

f 尺度之標註 標註尺度，以清晰整潔為主。尺度不可以重複，即在第一個視圖上出現過之尺度，不可以又在另一個視圖上出現。尺度又不可以過剩，

如圖 1.10 中四個尺度 32, 3, 26, 3 中有一個為過剩的。其中最不重要者即是多餘的，應該除去。若必欲保留，可以在該尺度外加括弧。例如設 32 為最不重要的尺度，但為表示此機件之全長起見，寫作 (32) 以供參考之用。如為某種原因，圖上所畫長度與所標註之尺度不符，須在尺度數字下加一橫線，如圖 1.10 中之 $\underline{12}$ 。

平行的尺度線以保持等距離為原則。最好將所有內部長度尺度註在一側，而將所有外部長度尺度註在另一側，如圖 1.11 所示。圓之直徑凡標註在該圖之側視圖上者均須在數字前加一個「 ϕ 」符號，如圖 1.7, 1.9, 1.11 所示皆是。

g 斷面 在某一視圖上表示截斷面之線用鏈線，已如表 1.2 及圖 1.2 的 F 所示。其兩端及轉角處用粗線，中間用細線，如圖 1.12 所示。截斷面即是箭頭尖端所指之面。此種標示法較舊的標示法為明確。因而不致令讀者混淆不清。斷面線用傾斜 45° 而等距離之細線，不宜太疏，亦不宜太密。在特殊情形下，例如為區分許多不同機件而又相鄰的截面時，方可使用成其他傾斜角度的斷面線。若截斷面係兩個平行的平面，則將兩部分的斷面線錯開以表示之，如圖 1.13 所示。

h 舊用表示法 表 1.3 所示是一般機械元件之舊用表示法。其目的在節省製圖者的時間與精力。這些舊用表示法已為國際間所通用，故宜一致遵守。

i 常用比例尺 下列之比例尺為一般所常用。製圖時應盡量選用之。例如 2:1 之比例尺即 $2/1$ ，表示圖形為實物之兩倍大。1:2 之比例尺即 $1/2$ ，表示圖形為實物之半大。若需用更大或更小之比例尺，則取乘數或除數為 2, 5 或 10 之整倍數。

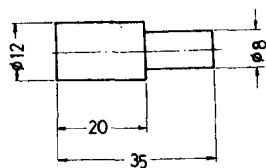


圖 1.7

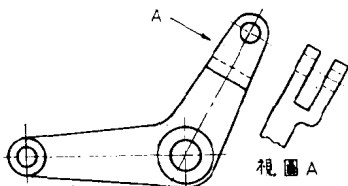


圖 1.8

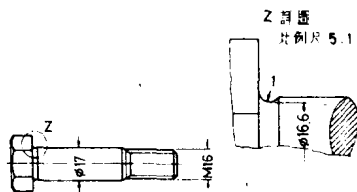


圖 1.9 局部詳圖

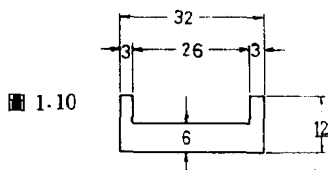


圖 1.10

表1.3 部份機械元件習用表示法

表 1.3.1

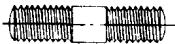
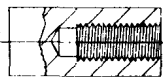
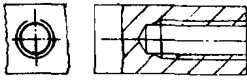
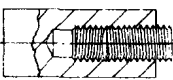
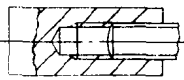
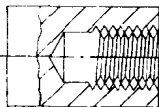
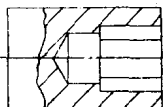
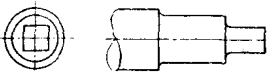
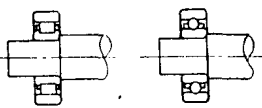
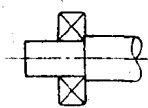
名 稱	機 械 元 件	習 用 表 示 法
螺 桿		
螺 母		
螺 桿 螺 母 組 合		
螺 紋 內 嵌		
方 形 軸 端		
軸 承		

表 1.3.2

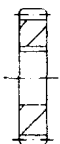
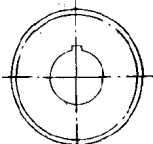
名 稱	習 用 表 示 法
正 齒 輪	 

表 1.3.2 (續)

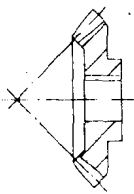
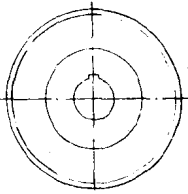
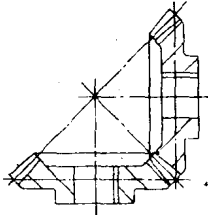
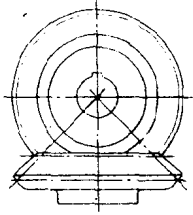
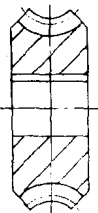
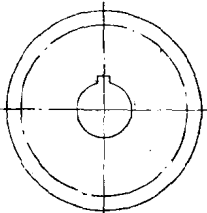
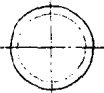
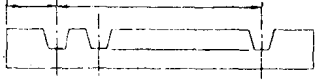
名 稱	習 用 表 示 法	
斜 齒 輪		
斜齒輪組合		
蝸 輪		
蝸 桿		
齒條之齒		
表示齒之方		

表 1.3.3

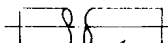
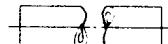
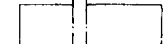
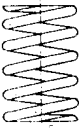
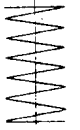
名 稱	機 械 元 件	習 用 表 示 法
截 短		
		
		

表 1.3.4

名 稱	機 械 元 件	習 用 表 示 法	簡 略 表 示 法
柱 形 壓 縮 彈 簧			
柱 形 扭 轉 彈 簧			

10:1 2:1 1:2 1:10

5:1 1:1 1:5 1:20

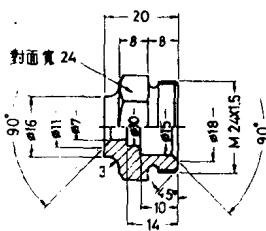


圖 1.11

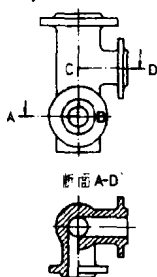


圖 1.12 截斷面表示法

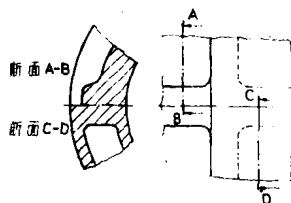


圖 1.13

1.2 標準數(standard numbers)

a 基本數列 各種機件之尺度，直徑，以及機器轉速與功率等之數值雖可以由設計者或製造者自由決定，但其數量將漫無限制。為謀求設計與生產上之經濟及工具及量具等之有效運用，以及標準件之易於採用與互換，應先將數字作成適宜之分段，而將各類數值儘可能納入此標準數的制度中。數字之分段，採取由1至10間的等比級數。若分作5級，公比即為 $\sqrt[5]{10}$ 。各級數字如表1.4中R5行所示。分作10級，20級，40級者，公比各為 $\sqrt[10]{10}$ ， $\sqrt[20]{10}$ ， $\sqrt[40]{10}$ ，各如表1.4中R10、R20、R40各行數字。須注意者，表列數字係取至小數二位之近似值，不一定為四捨五入值。表1.4與國際標準組織（International Organization for Standardization）1954年3月公佈之ISO-Recommendation R3（簡寫作ISO/R3—1954）相符合。

數字之大於10者，將表列數值乘以10，100或1000等。在機械工程應用上，使用公制時，應優先採用R10與R20。

b 標準尺度（直徑）表1.5係從表1.4導引而來，適用於設計時選取mm長度之用。本表大部份與舊國際標準協會（International Federation of the National Standardizing Associations，即ISO前身）ISA Committee 19在1939年1月所提建議相符合。惟若干特殊應用之尺度，例如公制螺紋標準尺度等，並不包括在本表之內。

表1.4
標準數

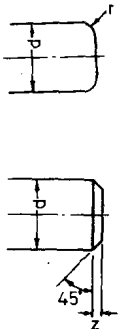
R 5	R 10	R 20	R 40
1.00	1.00	1.00	1.00
			1.06
		1.12	1.12
			1.18
		1.25	1.25
			1.32
1.60	1.60	1.40	1.40
			1.50
		1.60	1.60
			1.70
		1.80	1.80
			1.90
2.50	2.50	2.00	2.00
			2.12
		2.24	2.24
			2.36
		2.50	2.50
			2.65
4.00	4.00	2.80	2.80
			3.00
		3.15	3.15
			3.35
		3.55	3.55
			3.75
6.30	6.30	4.00	4.00
			4.25
		4.50	4.50
			4.75
		5.00	5.00
			5.30
8.00	8.00	5.60	5.60
			6.00
		6.30	6.30
			6.70
		7.10	7.10
			7.50
9.00	9.00	8.00	8.00
			8.50
		9.00	9.00
			9.50

表1.5
標準尺度

1	10	100			370		
1.1	11	105		38	375		
		110			380		
		115			390		
		120			400		
1.2	12	125		4	410		
		130			420		
		135			430		
		140			440		
1.4	14	145			4.5	450	
		150				460	
		155				470	
		160				480	
1.6	16	165				5	490
		170					500
		175					520
		180					530
1.8	18	185		5.5			550
		190					560
		195					580
		200					600
2	20	210			6		62
		220					63
		230					65
		240					67
2.2	22	250				7	68
		260					70
		270					71
		280					72
3	30	290		8			75
		300					78
		310					80
		315					82
3.2	32	320			9		85
		330					88
		340					90
		350					92
3.5	35	355				9	95
		360					98
3.6	36			9			

軸端或孔的邊緣皆須作成圓角或去角 (chamfer)，如表 1.6 所示。r 或 z 之值可以依表選用。其他各種加工圓角或鑄件圓角半徑 r 之值，如圖 1.14 所示者，也以採用表 1.6 之數字為宜。

表1-6 圓角及去角

	軸 徑 d	r 或 z
	20 以下至 20	0.2
	20 至 40	0.4
	40 至 60	0.6
	60 至 80	0.8
	80 至 100	1
	100 至 160	1.6
	160 至 250	2.5
	250 至 400	4
	400 至 600	6
	600 至 1000	10

1.3 公差與配合

(請參閱 台灣 標準 CNS 4 公差與配合)

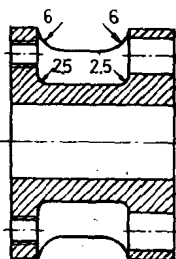


圖 1.14 圓角半徑

a 公差 製造一機件，不可能製成一絕對準確之尺度。例如製一直徑 30 mm 之軸，以現有技術製成之軸的直徑必較 30.0000 mm 為大或小。在應用上只要限定其實際尺度在一個最大與最小尺度範圍之內即可。此一範圍，亦即最大與最小尺度間之差，即稱之為公差 (tolerance)，如圖 1.15 所示。軸與孔均各有一個公差，為方便起見，各件均給予一個標準尺度，如圖 1.15 中之零線所示。將軸或孔之最大與最小尺度用其距離此零線的偏差表示之。在零線以上的偏差為

正；在零線以下的偏差為負。在一般表示公差的圖表上，只將公差範圍及零線表出，而不再將軸或孔之全部繪出，如圖 1.16。

ISO/R 286—1962 制定長度由 1 mm 至 500 mm 標準尺度之基本公差之品級，以由 5 至 18 之數字表之。例如品級為 6 之公差，簡寫作 IT6 (即國際公差第 6

級)。公差之單位以 i 表之。惟 i 並非一定數，而係隨直徑 D 之大小而變化。品級由 5 至 16 以及直徑由 3 mm 至 500 mm 之單位 i 依下式計算之：

$$i = 0.45 \sqrt[3]{D} + 0.001 D$$

..... (1.2)

(1.2) 式中 i 以 μm (即 $1\text{mm} / 1000$) 計。 D 為直徑，以 mm 計，在某一標稱尺度範圍內，取該範圍內最大與最小值之比例中項。例如在表 1.8 中，在標稱尺度範圍由 10 mm 至 18 mm 內， D 之值取為 $\sqrt{180}$ ，即 13.42 mm。基本公差自 IT6 至

表 1.7 基本公差之品級

IT5	IT6	IT7	IT8	IT9	IT10	IT11	IT12	IT13	IT14	IT15	IT16
7 i	10 i	16 i	25 i	40 i	64 i	100 i	160 i	250 i	400 i	640 i	1000 i

IT16 係依標準數以公比 $\sqrt[10]{10} \approx 1.6$ 分級，如表 1.7 所示。

b 公差之標示法 公差本身之大小既如上述以品級數字表之，而此公差對於零線的位置則用一或二個拉丁字母表之。軸之公差採用小寫字母，孔之公差則採用大寫字母，參看圖 1.17。大體言之，軸之公差由 a 至 g 者，其拉丁字母決定上偏差在零線以下之位置，而由 j 至 zc 者，其拉丁字母決定下偏差之位置。其中 j 之下偏差在零線以下，k 之下偏差在零線或其以上，自 m 以後之下偏差則均在零線以上。此等位置亦稱為基本偏差。對於孔

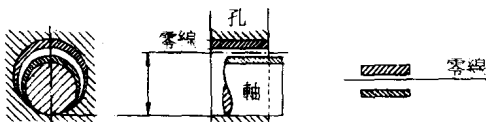


圖 1.15

圖 1.16

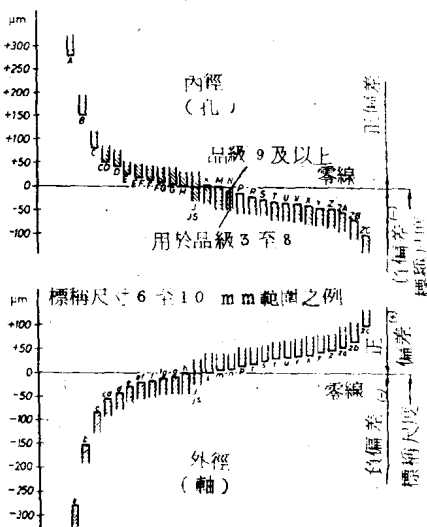


圖 1.17

之公差而言，由 A 至 G 者，其拉丁字母決定下偏差在零線以上之位置，而由 K 至 ZC 者，其拉丁字母決定上偏差之位置。J 之上偏差在零線以上，K 之上偏差在零線或其以上，M 之上偏差在零線或其以下。自 N 以後之上偏差則均在零線以下，js 或 JS 之上下偏差適對於零線為對稱。最主要之公差則為 h 與 H。軸之 h 公差，其上偏差恰在零線。孔之 H 公差，其下偏差亦恰在零線。

註有公差之尺度因此可以用①標稱尺度，②拉丁字母，③公差品級三者完全決定。例如 40H7 之孔之標稱直徑為 40mm。下偏差在零線。公差品級為 IT7，相當於 0.025mm，即上偏差在零線以上 0.025mm，故 40H7 之寫法即等於 $40.025^{+0.025}_{-0.000}$ mm，而 40g6 之軸之標稱直徑為 40mm。上偏差在零線以下 -0.009mm。公差品級為 IT6，相當於 0.016mm，即下偏差在零線以下 -0.025mm，故 40g6 之寫法即等於 $39.991^{+0.000}_{-0.025}$ mm。在備有現成界限量規之工廠，在圖上僅標示 40H7 字樣即可。否則仍以將上下限尺度全部標明為宜。蓋一般工廠均可以用分厘卡尺量度之。習慣上將上限尺度寫在上方，下限尺度寫在下方。

品級 IT01，IT0，IT1，IT2，IT3，IT4 之公差，屬高度精密範圍，為製樣板或量規所使用，一般精密機械製造尚不需使用。品級 IT17 及 IT18 之公差則又太粗，屬於軋、鍛、鑄之範圍，不為一般機械加工使用。

c 配合 凡欲配合之兩機件，或為直徑，或為長度，其標稱尺度當然相同。例如 $\phi 40H7$ 之孔可以與 40g6 之軸相配合。最小的孔恆較最大的軸為大。即間隙 (clearance) 恆為正，等於 $40.000 - 39.991 = 0.009$ mm，亦即最小間隙。最大間隙則等於最大孔徑與最小軸徑之差，即 $40.025 - 39.975 = 0.050$ mm，此種配合稱為間隙配合，如表 1.8 及 1.8 a 所列之 H8/e8，H8/f8，H7/g6，H8/h7，H8/d9，H7/f7，H6/g5 均是。若孔徑較軸徑為小，則間隙為負。若間隙有時為正，有時為負，則稱為過度配合。表 1.8 及 1.8 a 中所列之 H7/k6 與 H8/j7 均是過度配合。若最大之孔恆較最小之軸為小，即間隙恆為負，如表 1.8 及 1.8 a 中之 H7/p6 與 H7/s6，則稱為過盈配合。

為求簡單化起見，在實用上採取兩種制度。一為基孔制 (basic hole system)，即所有孔徑公差均取 H 字母，亦即孔之下限恰在零線。而軸之公差字母則不加以限定，視配合之需要而定。另一為基軸制 (basic shaft system)，即所有軸徑公差均取 h 字母，亦即軸之上限恰在零線，而孔之公差字母則不加以限定。一般工廠多採用基孔制。蓋鑽孔或擴孔多使用標準工具如鑽頭，鉸刀等，而切削軸之外徑則不需特製之標準工具。此外工廠所備量孔用的界限量規，即塞規 (plug gauge) 的數量可以由繁而簡以減至最少。而量軸之外徑則不必一定使用界限量規即卡規 (snag gauge)，通常使用外分厘卡尺即可。

表1·8 公制常用配合

初 選 配 合 單位0.001mm									
大約配合種類									
		鬆 配	平均滑配	精密定位	平均定位	推入配合	壓入配合		
零線 H8 H8 H7 H8 H7 k6 p6 H7 e8 f8 g6 h7 軸									
標稱尺寸範圍 mm		H8 e8	H8 f8	H7 g6	H8 h7	H7 k6	H7 p6		
超 過	以 至								
1	3	+14 -14 0 -28	+14 -6 0 -20	+10 -2 0 -8	+14 0 0 -10	+10 +6 0 0	+13 +12 0 +6		
3	6	+18 -20 0 -35	+18 -10 0 -28	+12 -4 0 -12	+18 0 0 -12	+12 +9 0 +1	+12 +20 0 +12		
6	10	+22 -25 0 -47	+22 -13 0 -35	+15 -5 0 -14	+22 0 0 -15	+15 +10 0 +1	+15 +24 0 +15		
10	18	+27 -32 0 -59	+27 -16 0 -43	+18 -6 0 -17	+27 0 0 -18	+18 +12 0 +2	+18 +29 0 +18		
18	30	+33 -40 0 -73	+33 -20 0 -53	+21 -7 0 -20	+33 0 0 -21	+21 +15 0 +2	+21 +35 0 +22		
30	50	+39 -50 0 -89	+39 -25 0 -64	+25 -9 0 -25	+39 0 0 -25	+25 +18 0 +2	+25 +42 0 +26		
50	80	+46 -60 0 -106	+46 -30 0 -76	+30 -10 0 -29	+46 0 0 -30	+30 +21 0 +2	+30 +51 0 +32		
80	120	+54 -72 0 -126	+54 -36 0 -90	+35 -12 0 -34	+54 0 0 -35	+35 +25 0 +3	+35 +59 0 +37		
120	180	+63 -85 0 -148	+63 -43 0 -106	+40 -14 0 -39	+63 0 0 -40	+40 +28 0 +3	+40 +68 0 +43		
180	250	+72 -100 0 -172	+72 -50 0 -122	+46 -15 0 -44	+72 0 0 -46	+46 +33 0 +4	+46 +79 0 +50		
250	315	+81 -110 0 -191	+81 -56 0 -137	+52 -17 0 -49	+81 0 0 -52	+52 +36 0 +4	+52 +88 0 +56		
315	400	+89 -125 0 -214	+89 -62 0 -151	+57 -18 0 -54	+89 0 0 -57	+57 +40 0 +4	+57 +98 0 +62		
400	500	+97 -135 0 -232	+97 -68 0 -165	+63 -20 0 -60	+97 0 0 -63	+63 +45 0 +5	+63 +108 0 +68		