

科學圖書大庫

機械設計之允差配合

編著者 嚴 轟

徐氏基金會出版

編著概述

一個尺寸做到一絲不差，是愈大愈難，也是極不經濟的要求，故設計者須慎重考慮其賦予性能而允許給以適當的製造誤差，即最大尺寸與最小尺寸之差，是為允差。同理，公母兩件相配，鬆緊程度，也該有個合理的範圍，而稱其為配差。

在配差上，德制習用最大與最小公緊（Grösstübermass und Kleinstübermass）和最大與最小公隙（Grösstspiel und Kleinstspiel），英國習用配合極限（Extremes of fit），美國則引用最小公隙與最大公緊（合稱Allowance），以控制其配合之鬆緊適度。

今日之國際標準（ISO）與美國標準（USAS）之允差配合實用表，皆以上下偏差表之，祇要將公件與母件之等級選定，其允差與配差即可由四個偏差經同（號）減、異（號）加之方法而迅予算出。允差與配差乃是工程人員在感受上最常直接關心的要項。

儘管各國先後宣佈通用國際標準（ISO），仍因舊圖之存在與積習難改，復以見仁見智，同一國家的各個學會，對同一定義，其措辭就無法統一。譬如偏差在英國有 Deviation 與 the limits of tolerance 兩種說法，在美國有 Deviation、Standard limits 與 Standard tolerance limits 三種說法。偏差（Deviation）之前有置以 Fundamental 或 Basic 者，也有飾以 Standard 者。對允差原始量之計算公式 $T_0 = f(D)$ ，德人稱 T_0 為 Passeinheit，ISA 名其為 Toleranzeinheit，美國則書為 Tolerance Unit。然因 T_0 本身有單位 1/1000 公厘或 1/1000 英寸，基於不希望有「單位的單位」的出現，乃酌名其為允差基量。偏差既然能各國通用，應冠以「標準」為宜。極限與基本尺寸之差，統稱標準偏差。竊思惟其如此，庶能將今昔中外之允差配合相衡對照、冶為一爐，俾習者能於繁中馭簡、觸類旁通而收事半功倍、觀念統一之效。

ISO 中有一般公件標準偏差計算公式表，母件的尚付闕如。茲經細察其偏差實用表之內涵，分析歸納，按其理論與經驗之相輔相成，增製一母件標準偏差計算公式表並經驗算無誤，以利特殊問題之計算或供疑義處所之證實。

諸表名稱以能概括全表內涵而詳實命之，並舉範例說明算法與查法，使查表者顧名思義，迅即領悟用法。

凡欲了解允差配合的來歷者，可自首頁起而瀏覽之。已知公稱尺寸與允差配合等級而僅需懂得查表加註偏差者，尤極易熟悉引用。

允差之經濟觀念與創意定法，具隅反之啓發性，用期統計理論在成本節省上產生應有的實效。性狀允差主要取材於最新國際標準，輔以美國國家標準（ANSI）。ISO 係美、蘇、德、英等三十一個國家的專家學者集會於 1966 年開始研擬 1971 年出版的精心傑作，除就淺見慎定其義外，並以註法與含義方式相映表達其精華所在，冀利讀者加速貫通。關於螺紋、齒輪以及量規等允差配合，亦分別對常見者作實用性之介紹。

機械設計依理論與經驗算出數據之後，如何決定製造尺寸以得預期功能和理想的疲勞壽命，當惟對允差配合能慎謀而斷是賴。

本書雖經年餘之搜集編撰，然以付梓倉促，謬誤難免，尚祈先進不吝珠璣指正。承同仁園課長樂中與吳泰伯、沈平、胡仲孚、須國雄及林伯堯諸工程師提供高見，匡助良多，於此謹誌謝忱。

編著者 嚴 緯 於一九七九年五月

再 版 序

環顧全球各地區開發中的國家，實在不少，我遠東却成為世界經濟成長最快速地區之一，其中尤以大韓民國、日本、香港、新加坡及吾中華民國等五處為本地區之翹楚。我們的經濟成長之所以能超軼群倫，主要是由於能將西方科學與技術大幅引進並及時適切地應用。

但是，在二十世紀的八十年代初頁，整個世界都為經濟萎縮和景氣低迷而困擾。我們的經濟型態是海島型，對國際貿易的倚存性特高。復以國內工資已經上揚，我們已不再有興辦勞力密集工業的條件。今天，衆所週知，吾人應急起直追，力謀經濟復甦。實業家要面對技術密集工業去踴躍投資，工程人員則須肯定智識創造資本的新觀念。在機械領域中，最基本的就是識圖，進而能設計出理想的圖。允（公）差配合是對機械結構必須深思熟慮的一環；先進國家早各有其獨樹之標準，今國際間復有公認的規範，然短期內甚難歸於統一。因此，凡我工程人員，須先熟悉先進國家與國際公認的有關資料，領悟而貫通之，據以研究發展，使科技由生根而茁壯，當大有助於我國工業水準之提升。

茲新增熟處理前應除去之脫碳層至少厚度、ISO對工件表面情況之規定、JIS對表面粗度和似波的規定、ISA與DIN允差配合的常用實例及國際細微螺紋的允差配合等節，用期內容更新而且充實。特別是由於各國學者專家致力於機械工程之精研創新，厥功至偉；其於設計之助益最突出者凡六：

- (一)圓型允差區取代方型者，其允差面積增大57%，且邊界簡明。
- (二)倡用基本和基準尺寸註法，使諸組合輪廓允差區呈均勻狀而具獨立性。
- (三)最多材料狀況（MMC）的雙重引用，俾允差有一而再的放大機會。
- (四)善用用品管紀錄與統計學理，讓允差得以切合實際的放寬。
- (五)恪遵大小允差註法之六大原則，使設計、校審異常便捷。
- (六)零位置允差配上MMC，使具完善位置或接近者之孔或軸徑允差可以放大。

筆者先後忝蒙 中國機械工程學會邀請允差配合兩次，金屬工業發展中心凡七次，獲益良多，謹誌謝忱。惟再版前雖經慎重校修，仍恐謬誤猶存，懇祈 方家有以教我是幸！

嚴 轟 於台北北投

目 錄

編著概述

參考文獻

第一章 概 論

(一) 前言	1
(二) 名詞解釋	1
(三) 允差配合之演進	5

第二章 國際允差配合

(一) 國際允差配合 ISO 與 ISA 之相異性	7
(二) 國際允差配合符號	7
(三) 等別表示允差大概位置圖	7
(四) 公稱尺寸範圍 ($\leq 500\text{MM}$)	7
(五) 標準允差 (公稱尺寸 $\leq 500\text{MM}$)	9
(六) 標準偏差 (公稱尺寸 $\leq 500\text{MM}$)	10
(七) 公稱尺寸範圍 ($> 500\text{MM}$)	16
(八) 標準允差 (公稱尺寸 $> 500\text{MM}$)	17
(九) 標準偏差 (公稱尺寸 $> 500\text{MM}$)	18
(十) 國際允差配合實用表	19

第三章 美國最新允差配合

(一) 美國允差配合等別	50
(二) 美國允差配合與國際允差配合之異同	51
(三) 基孔制與基軸制之選用比較	52
(四) 機械加工與允差級別之關係圖	53

第四章 ISA 與 DIN 允差配合

第五章 表面粗度、痕向、似波與疵病

(一) 表面粗度的求法	66
(二) 表面粗度對機件的影響	67
(三) 均方根值粗度之形成、外觀適用部位與範例	68
(四) 算術平均值表面粗度之形成、外觀、適用	

部位與範例	70
-------	----

(四) 製造方法、尺寸 (重量) 大小和偏差的關係	71
(五) 製造方法、表面粗度與偏差範圍之對照	73
(六) 熱處理前應除去之脫碳層至少厚度	75
(七) ISO 對表面情況的規定	76
(八) JIS 對表面粗度和似波的規定	80

第六章 常用孔軸等級之實用場合

(一) 常用孔 H5 至 H11 之產生	83
(二) 基孔制常用孔等級、相配軸等級、實用場合與範例	84
(三) 允差配合常用等級之實例查註	87
(四) 基孔制與基軸制的相當配合	88
(五) ISA 與 DIN 允差配合常用實例	89

第七章 美國 ASA 允差配合

(一) 基本孔徑制與基本軸徑制	102
(二) 配合種別	102
(三) 允差	103
(四) 配合	103
(五) ASA 八種配合的基本孔徑制公式、圖上註法與範例	103
(六) ASA 八種配合的基本軸徑制公式、圖上註法與範例	105
(七) ASA 基本孔徑制允差配合實用表與範例	107

第八章 允差的經濟觀念與創意定法

(一) 允差和成本	110
(二) 多餘尺寸和參考尺寸	110
(三) 基準面和功用面	113
(四) 圓錐尺寸和組合允差之放大性	114
(五) 未註允差基本錐度之允差求法及其應用分析	115
(六) 程式設計或靠模允差化偏差之切點求法	118

(ㄊ) 小角度誤差或允差的近似求法	126
(ㄊ) 累積允差和非累積允差	128
(ㄊ) 孔心允差常用註法	128
(ㄊ) 孔心允差真位置註法	129
(ㄊ) 偏心度和不圓度	129
(ㄊ) 選擇裝配的允差放大	130
(ㄊ) 綫段方程式決定偏差之範例	131
(ㄊ) 憑極限情況決定偏差之範例	134
(ㄊ) 統計定理的定偏差法	137
(ㄊ) 機件允差和量規允差	138
(ㄊ) 開口厚筒脹縮緊套的允差配合	140
(ㄊ) 由配差、阻力、強度及經濟等觀點考慮設計範例	147
(ㄊ) 特型機件製造尺寸的允差註法	150

第九章 性狀允差

(一) 性狀允差之定義	154
(二) 觀念說明	155
(三) 條件符號與含義	155
(四) 性狀允差與符號	156
(四) 性狀允差註法與含義	156
(六) 美國性狀允差符號畫圖的比例	184
(七) 國際與美、英、加三國符號的對照表	185
(八) ISO與ANSI 尺寸註法之優劣及建議我國註法	186

第十章 螺紋允差

(一) 國際一般用途螺紋之基本輪廓	187
(二) 公稱直徑和螺距的選配	188
(三) 螺紋標示法	191
(四) 國際一般用途螺紋之允差配合	191
(四) 國際一般用途螺紋設計實用表	195
(六) 國際細微螺紋之允差配合	215

第十一章 齒輪允差

(一) 正齒輪、人字齒輪和螺旋齒輪的允差公式	225
(二) 齒輪允差實用表	21

第十二章 量規允差

(一) 量規分類	231
(二) 量規尺寸	231
(三) 我國量規之磨耗、安全量與製造允差	232
(四) 德國量規之磨耗量與製造允差	236
(四) 美國量規之磨耗量與製造允差	236
(六) 螺紋量規之設計	242

第十三章 游標尺

第十四章 最新加工方法之應用與精度

允差配合習題	260
--------	-----

第一章 概論

(一) 前言

機械爲一切工業之基礎。爲改進產品品質，必須考慮周詳而後規劃設計，控制製造精度，保證其合於一定之標準，以期走上品質好成本低生產快與銷路廣之最佳途徑。

現代新型精密工具機與製造技術雖能生產高精度之產品，但欲重製某一尺寸至絕對相等，其能力仍難辦到。例如目視誤差、操作變異、溫度高低工具磨損、機器振動、工件撓曲以及殘留內力等等，均爲影響精度之因素。故目前的機械加工方法，尚無法做到件件全同的程度。事實上每件產品都作到全同，甚不經濟。故對於重要尺寸應允許予以適當的差量，配合部份給以適當的配差，此則不僅可以做到，且裝配成機械之後仍能通用而令人滿意。講究允差、配差，已爲現代機械工程人員所必具之智識與當然之任務。如引用得當，則有許多優點，倘不適當，必然招致缺失。

優點：

1. 可以互換，裝配迅速，修護便利。
2. 零件可以分散各地製造，有利於時效爭取與專利保密。
3. 可以簡化結合方式，如用脹縮緊套，即可省用螺絲和鍵銷。

二筒緊套，由於預壓可提高內壁之耐壓強度。心與套二料不同，可得表硬裏韌之特性，且可節省貴料。

4. 可以利用界限量具，降低工人技術水準之要求。
5. 加速大量生產。降低成本。

缺點：

1. 允差、配差如引註不當，則阻礙順利生產。
2. 要用許多量具或增添校驗儀器。
3. 須僱用檢驗員工，增加開支。
4. 少量生產，添置量具不經濟。

(二) 名詞解釋

1. 尺寸 (Size)：乃標示之大小，機械零件之長寬厚以若干公厘或英寸表明之。
2. 基本尺寸 (Basic size)：由機械設計計算所定的理論尺寸，尚未考慮允許之製造誤差。
3. 公稱尺寸 (Nominal size)：對兩配件統一稱呼的尺寸，亦即填註於圖上公件和 (或) 母件之基本尺寸。
4. 實際尺寸 (Actual size)：由機械零件量得之尺寸。
5. 允差 (Tolerance)：習稱公差。機械零件之製造無法使實際尺寸做到與基本尺寸絕對相符，故對於重要尺寸定出二個界限，即最大尺寸與最小尺寸。產品質量尺寸，必須在此二界限之間。最大尺寸與最小尺寸之差，稱爲允差。允差大小恒爲正值。
6. 允差區 (Tolerance zone)：最大尺寸與最小尺寸間之範圍，稱爲允差區。
7. 允差之級 (Grade of tolerance)：允差有大有小，從小到大，依品質要求分爲若干級，稱爲允差之級。國際制分允差爲 20 級。
8. 允差基量 (Standard tolerance unit)：由基量公式 $i = f(D)$ 或 $I = \phi(D)$ 算出之原始允差量。
9. 標準允差 (Standard tolerance)：允差基量乘以級係數所得之允差，稱爲標準允差。

10. 公稱尺寸範圍 (Size steps) : 公差係依公稱尺寸計算得來的, 如果把所有可訂為公稱尺寸之數值逐一計算其公差, 實屬太煩, 因此將尺寸劃分為若干範圍, 取範圍內最大最小之幾何平均值計算並編成標準公差表, 同一範圍內所有公稱尺寸均適用之。
11. 偏差 (Deviation) : 尺寸與基本尺寸之差。
12. 上偏差 (Upper deviation) : 最大尺寸與基本尺寸之差, 可正可負可為零。
13. 下偏差 (Lower deviation) : 最小尺寸與基本尺寸之差, 可正可負可為零。

範例說明:

$$\begin{array}{l} 5^{+0.00} \quad \text{上偏差} = \text{公差, (正)} \\ \quad \quad \quad \text{下偏差} = 0 \end{array}$$

$$\begin{array}{l} 5^{+0.00} \quad \text{上偏差} = +0.05 \\ \quad \quad \quad \text{下偏差} = +0.01, \text{(正)} \end{array}$$

$$\begin{array}{l} 5^{-0.00} \quad \text{上偏差} = 0 \\ \quad \quad \quad \text{下偏差} = \text{公差, (負)} \end{array}$$

$$\begin{array}{l} 5^{-0.00} \quad \text{上偏差} = -0.01, \text{(負)} \\ \quad \quad \quad \text{下偏差} = -0.05 \end{array}$$

14. 標準偏差 (Standard deviation) : 在公差配合制度中允許之上、下偏差, 稱為標準偏差。
15. 實際偏差 (Actual deviation) : 製品實際尺寸與基本尺寸之差。
16. 界限尺寸 (Limit of size) : 基本尺寸與上偏差或下偏差之代數和稱為界限尺寸。乃製造尺寸之應守界限。
17. 最大尺寸 (Maximum limit of size) : 又稱上限, 即製造尺寸應遵守之上界限, 實際尺寸不得超過它。
18. 最小尺寸 (Minimum limit of size) : 又稱下限, 即製造尺寸應遵守之下界限, 實際尺寸不得小於它。
19. 基線 (Basic line or Zero line) : 以多條垂直線段表示最大、最小、基本及實際諸尺寸, 使諸垂足共一水平線; 取過基本尺寸上端之水平線作為最大、最小, 以及其他實際尺寸之偏差的起線, 稱其為基線。
20. 內尺寸: 泛指孔徑、槽寬——一等。
21. 外尺寸: 指軸徑、鍵寬、板厚, 及一切實心物長度。
22. 配差 (Allowance) : 對兩件配合部位所預定的母件內尺寸與公件外尺寸之差。實用上以母件最大尺寸減公件最小尺寸和母件最小尺寸減公件最大尺寸之二極限差表之。
- 配差又稱裕度。
- 美國狹義說法, 謂配差為公母兩件於最多材料狀況時相配的最小公隙或最大公緊。
23. 公隙 (Clearance) : 又稱餘隙, 當母件內尺寸大於其相配的公件外尺寸時, 大者與小者之差稱為公隙。公隙 = (母件內尺寸) - (公件外尺寸)。
24. 公緊 (Interference) : 又稱緊度, 當公件外尺寸大於與其套合的母件內尺寸時, 大者與小者之差稱為公緊。公緊 = (公件外尺寸) - (母件內尺寸)。(註: 當公隙與公緊同時以配差表示時, 則正號表公隙而負號表公緊。如美國過渡配合偏差表中。
25. 配合 (Fit) : 在一部機器結構中, 各部分零件間, 有的相對移動或轉動, 有的彼此緊配而結為一體。在設計時即應考慮並確定其活動或緊結之程度, 而賦予適當之公隙或公緊, 從最大公隙到最大公緊間, 兩相配零件之鬆動緊結的各種情況, 稱為配合或座。簡言之, 相配零件間於裝配前各對合格尺寸差異之情況, 稱為配合。
26. 公隙配合 (Clearance fit) : 兩相配零件間, 定有公隙, 故可以相對移動或轉動, 抑或靜止。
27. 公緊配合 (Interference fit) : 兩相配零件間, 定有公緊, 必經強迫緊套, 使彼此結為一體。
28. 過渡配合 (Transition fit) : 兩相配之零件依其合格之實際尺寸, 可呈公隙配合或公緊配合, 由公隙跨至公緊, 稱為過渡配合。
29. 基孔制 (Basic hole system) : 在配合中孔徑界限不變, 所擬配合之軸, 可有各種配合或座別而給予不同之界限, 稱為基孔制。H 孔之基本 (或公稱) 尺寸, 為孔之最小尺寸。

30. 基軸制 (Basic shaft system) : 在配合中軸徑界限不變, 所擬配合之孔, 可有各種配合或座別而給予不同之界限, 稱為基軸制。h 軸之基本 (或公稱) 尺寸, 為軸之最大尺寸。
31. 單向偏差 (Unilateral Deviation) : 即同側偏差。即最大尺寸與最小尺寸皆大於或皆小於基本尺寸者。
32. 雙向偏差 (Bilateral Deviation) : 又稱兩側偏差。即最大尺寸大於基本 (或公稱) 尺寸, 而最小尺寸小於基本 (或公稱) 尺寸者。

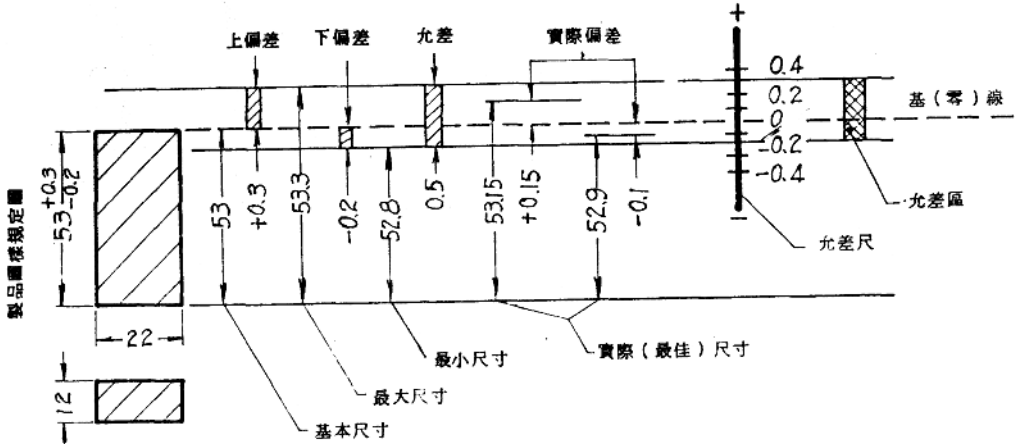


圖 1-1 雙向偏差示例

33. 配差變化 (Variation of fit) : 由於兩相配件各有允差, 相配後其公隙或公緊量有多有少, 是為配差變化。
34. 配差變化總量 = 公母二件允差之和
- 最大公隙 = 孔最大尺寸 - 軸最小尺寸 最小公隙 = 孔最小尺寸 - 軸最大尺寸
- 配差變化總量 = 最大公隙 - 最小公隙 = [孔最大尺寸 - 軸最小尺寸] - [孔最小尺寸 - 軸最大尺寸]
- = [孔最大尺寸 - 孔最小尺寸] + [軸最大尺寸 - 軸最小尺寸] = 孔允差 + 軸允差
- 最大公緊 = 軸最大尺寸 - 孔最小尺寸 最小公緊 = 軸最小尺寸 - 孔最大尺寸
- 配差變化總量 = 最大公緊 - 最小公緊 = 孔允差 + 軸允差

【例 1-1】 設基本 (或公稱) 尺寸 = 30.000 mm, 最小公隙 = 25 μ , 最大公隙 = 66 μ , $\mu = 0.001$ mm
 配差變化總量 = 66 μ - 25 μ = 41 μ = 25 μ + 16 μ , 設孔允差 = 25 μ , 軸允差 = 16 μ , 試依單向偏差法且係基孔制或基軸制, 求出孔與軸之製造尺寸!

【解】 1. 基孔制 (等別 H), 如圖 1-2 (a)

孔下偏差 = 0

孔上偏差 = 孔允差 = 25 μ

則孔之製造尺寸 = 30^{+0.025}

軸上偏差 = -最小公隙 = -25 μ

軸下偏差 = 軸上偏差 - 軸允差

= -25 μ - 16 μ = -41 μ

則軸之製造尺寸 = 30_{-0.041}^{-0.025}

2. 基軸制 (等別 h), 如圖 1-2(b)

軸上偏差 = 0

軸下偏差 = - 軸公差 = -16μ

則軸之製造尺寸 = $30_{-0.016}^{+0.000}$

孔下偏差 = 最小公隙 = 25μ

孔上偏差 = 孔下偏差 + 孔公差

$$= 25 \mu + 25 \mu = 50 \mu$$

則孔之製造尺寸 = $30_{+0.025}^{+0.050}$

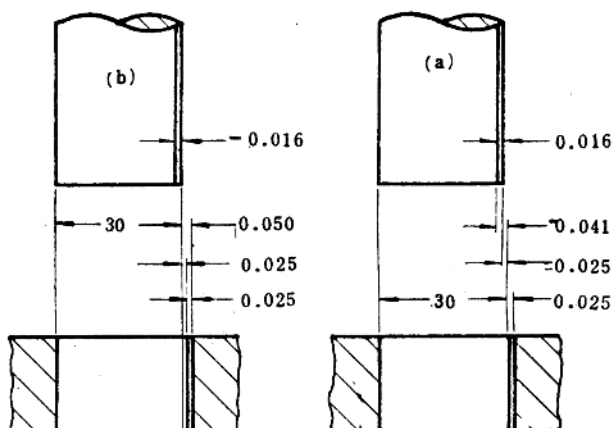


圖 1-2

【例 1-2】 設基本 (或公稱) 尺寸 = 30.000 mm , 最小公緊 = 10μ , 最大公緊 = 37μ , 配差變化總量 = $37 \mu - 10 \mu = 27 \mu = 16 \mu + 11 \mu$, 設孔公差 = 16μ , 軸公差 = 11μ , 試依單向偏差法且係基孔制或基軸制求出孔與軸之製造尺寸!

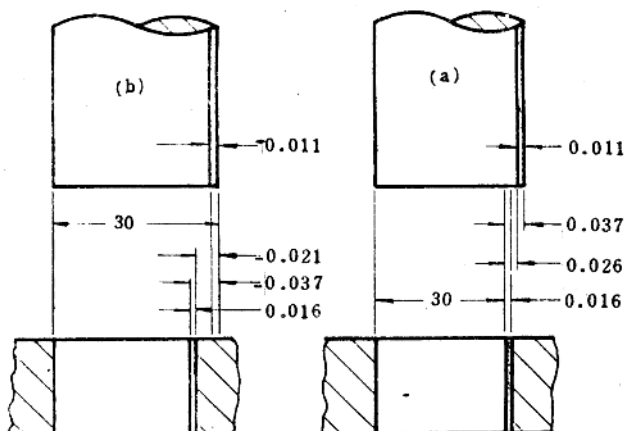


圖 1-3

【解】 1. 基孔制 (等別 H), 如圖 1-3(a)

孔下偏差 = 0

孔上偏差 = 孔公差 = 16μ

則孔之製造尺寸 = $30_{+0.016}^{+0.032}$

軸下偏差 = 孔上偏差 - 最小公緊

$$= 16 \mu + 10 \mu = 26 \mu$$

軸上偏差 = 軸下偏差 + 軸公差

$$= 26 \mu + 11 \mu = 37 \mu$$

則軸之製造尺寸 = $30_{+0.037}^{+0.026}$

2. 基軸制 (等別 h), 如圖 1-3(b)

軸上偏差 = 0

軸下偏差 = - 軸公差 = -11μ

則軸之製造尺寸 = $30_{-0.011}^{+0.000}$

孔上偏差 = 軸下偏差 - 最小公緊

$$= -11 \mu - 10 \mu = -21 \mu$$

孔下偏差 = 孔上偏差 - 孔公差

$$= -21 \mu - 16 \mu = -37 \mu$$

則孔之製造尺寸 = $30_{-0.037}^{-0.026}$

(三) 允差配合之演進

二十世紀從開頭就是戰爭促進工業，工業激厲戰爭，允差配合標準乃是在此一循環下使工業能迅速發展的演進產物。最初藍圖上尺寸後方有加上+ 0.1 或 + 0.2 之允差，進而變為± 0.05 或 ± 0.1 者。隨後美國有允差配合，分為8種。德國更有依精細次粗分成22等之允差配合。為統一各國所用之允差配合，英、美、德、比、捷克、瑞士，及瑞典等七國代表於1926年集合於紐約，成立組織。同年法國與挪威也加入，復會商於倫敦，決定交由德國標準協會主持研究，並定名為 International Federation of the National Standardizing Associations，簡稱 ISA。我國早在1944年頒為國家標準。二次大戰後國際組織更名為 ISO (International Organization for Standardization)，德、日等法制國家陸續引用，現在連英、美、加等英制國家也都通用了。我國工業落後，對這一種世界通行的允差配合標準未能普遍重視，致工業仍然不能急起趕上先進國家。

在制度上美國是富有國家，嚴格的執行允差與配差，絕不容逾越，二次大戰中乃能大規模工業迅速動員，極稱順利。有些人則認為允差是人為的給予量，不必予以過份重視。所以現在全世界對於允差配合標準，雖已宣稱通用 ISO 制度，但是在允差配合制度上，各國間仍多不同。

表 1-1 世界各國、國際允差配合標準與演進年代

國 別	標 準 簡 稱	允 差 配 合 文 號	年 代
美 (舊)	ASA	34 a	1925
德 (舊)	DIN	7150	1936
國 際	ISA	Bulletin 25	1940
中	CNS	B ₂	1944
英	BS	1916	1953
日	JIS	B0401	1960
國 際	ISO	R286	1962
德	DIN	7150	1964
美	USAS	B4.1	1967

今日無論是法制國家或是英制國家，均已通用國際允差配合 (ISO)。雖各國頒為國家標準之年代有先後，對於內容有稍加修訂之處，通行上却無顯著之影響。

一、允差大小

允差大小分20級，以 $IT01$ 、 $IT0$ 、 $IT1$ 至 $IT18$ (IT : ISO series of Tolerances) 表示之。允差基量在公稱尺寸 500 mm 及其以下者用 i 表示之；在公稱尺寸 500 mm 以上者則以 I 表。允差基量以 μ 為單位即 0.001 mm。 D 為公稱尺寸，以公厘 (mm) 為單位。如為英制，則基量與 D 分別以 0.001 吋與吋為單位。各級允差依基量乘以係數計算，即每級允差約為前一級允差之 1.6 (或 $\sqrt[3]{10}$) 倍。

最前六級允差公式係憑經驗擬定如下：

$$T_{0.1} = 0.3 + 0.008D \quad \dots\dots\dots(1)$$

$$T_0 = 0.5 + 0.012D \quad \dots\dots\dots(2)$$

$$T_1 = 0.8 + 0.020D \quad \dots\dots\dots(3)$$

T_2 、 T_3 與 T_4 等三級之允差為 T_1 與 T_2 間之幾何級數近似值。

由第五級至第十八級的允差，係先由允差基量公式求出基量，再按表 2-4、2-8 乘以係數即得。其允差基量公式為：

1. 當公稱尺寸 ≤ 500 mm 時， $IT 5$ 至 $IT 18$ 之允差基量公式

$$i = 0.45 D^{1/3} + 0.001D \quad \dots\dots\dots(4)$$

2. 當公稱尺寸 > 500MM 時, IT 5 至 IT 18 之公差量公式

$I = 0.004 D + 2.1 \dots\dots\dots(5)$

上列諸式中, D 之單位為公厘 (MM), T_{01} 、 T_0 、 T_1 、 i 與 I 之單位為 1 / 1000 公厘 (μ)。

尺寸無窮多, 若公差按其逐一計算, 至為浩繁。國際間將公稱尺寸分成適當的範圍, 取各範圍公稱尺寸二者之幾何平均值為 D , 按式或式與表計算, 即得標準公差。因 D 係由範圍而來, 故又稱範圍公差。

【例 1-3】 設公稱尺寸 = 20mm, 求 IT 01 與 IT 5 兩級之公差!

【解】 查表 2-1 標準公差之公稱尺寸, 僅用粗分的範圍, 故為 18 ~ 30 MM。

$D = \sqrt{18 \times 30} = 23.2379 \text{ MM}$

由上(1)式

$T_{01} = 0.3 + 0.008 (23.2379) \div \boxed{0.5 \mu} \dots\dots\dots \text{IT 01 級的公差}$

次因公稱尺寸 20MM ≤ 500 MM, 故用(4)式

$i = 0.45 (23.2379)^{1/3} + 0.001 (23.2379) = 1.307 \mu$

查表 2-4 知 IT 5 級之公差為 7 i 故

$T_5 = 7 (1.307) \div \boxed{9 \mu} \dots\dots\dots \text{IT 5 級的公差}$

【覆驗】 查表 2-21, 得 IT 01 = 0.6 μ , IT 5 = 9 μ , 前者微有差異。

二、公差位置

參閱國際公差位置, 分為 28 等, 以英文字母 (I 、 L 、 O 、 Q 及 W 等不用) 表示之。大寫字母指孔 (或母件), 小寫的指軸 (或公件)。一般機件用到 25 等, CD 、 EF 、 FG 或 cd 、 ef 、 fg 未用。精密機件用到 26 等, 其中 T 、 Y 或 t 、 y 未用。

三、偏差範式

$e = \text{定值} \times D^n \quad \text{或} \quad \ddot{u} = n \cdot D + \text{定值}$

式中 e 與 $\ddot{u}$ 以忽 (μ) 為單位, D 為範圍公稱尺寸二者之幾何平均值, n 值在 u 等以上者為小於 1 之正數。

第二章 國際允差配合

(一) 國際允差配合 ISO 與 ISA之相異性

1. 增加較 1 級更精密之 01 級與 0 級。
2. 增加當公稱尺寸小於 1mm 時，其由 01 至 13 級之各級允差。
3. 增加軸的位置等別 cd 、 ef 與 fg ，孔的 CD 、 EF 與 FG ，並編列其偏差至公稱尺寸 10mm 為止。適用於精密機械及鐘錶機械。
4. 增加 js 與 JS ，其所有允差位置均以基線為中心線而對稱，即上下偏差數字相同而符號相反。
5. 增加軸 za 、 zb 、 zc 與孔 ZA 、 ZB 、 ZC ，適用於更大之公緊配合。
6. 修正精密配合中一部份的標準偏差，使其與第 3 條一致。精密配合偏差表中之以粗線框出者，其數值均與 ISA 不同。
7. 增加標允差表，如表 2-21 標準偏差表，如表 2-19 與表 2-20。此三表使用時須遵守下列規定：
 - (1) 上第 3、4 與 5 三條所述者。
 - (2) 軸與孔 aA 、 bB 兩者僅適用於公稱尺寸大於 1mm 者。
 - (3) 軸 $j8$ 之公稱尺寸最大至 3mm 為止。
 - (4) K 等孔在 8 級以上者，僅適用於公稱尺寸最大至 3mm 為止。
 - (5) 軸與孔 tT 、 vV 與 yY 各等位置，僅適用於公稱尺寸分別大於 24、14 與 18mm 者。

國際允差配合，不僅適用於圓形之零件，亦可引用於平面體之組合。此後所謂之軸與孔，係包括互相平行之兩平面所形成之尺寸，例如鍵厚與槽寬等皆屬之。

(二) 國際允差配合符號

零件圖或裝配圖，可用符號表示其允差尺寸或配合情況。

1. 允差尺寸

例如 $45g7$ ：最左者表示零件之基本尺寸為 45mm。中間一英文字母（或兩個字母）表示允差位置的等別，即允差帶對基線而言之大概位置，大寫字母代表孔的，小寫字母代表軸的。最右數字（一位數或二位數）乃允差大小之級別。

2. 配合情況

例如 $45H9/g7$ 或 $45H9 - g7$ 或 $45 \frac{H9}{g7}$ ，三種表法，任擇其一，但須諸圖一致。最先寫出公、母兩件共有之基本尺寸（即公稱尺寸）為 45mm，續寫孔之允差位置與大小，最後寫軸之允差位置及其大小。

(三) 等別表示允差大概位置

國際允差位置共分 28 等，以 $A \rightarrow ZC$ 表示母件允差的大概位置， $a \rightarrow zc$ 則表示公件允差的大概位置。如圖 2-1、2-2。

(四) 公稱尺寸範圍（ $\leq 500\text{MM}$ ）

為簡化允差配合，將公母配之公稱尺寸，由小而大分成適當範圍。允差與偏差公式中之 D 採用各範圍中最大值與最小值之幾何平均數。

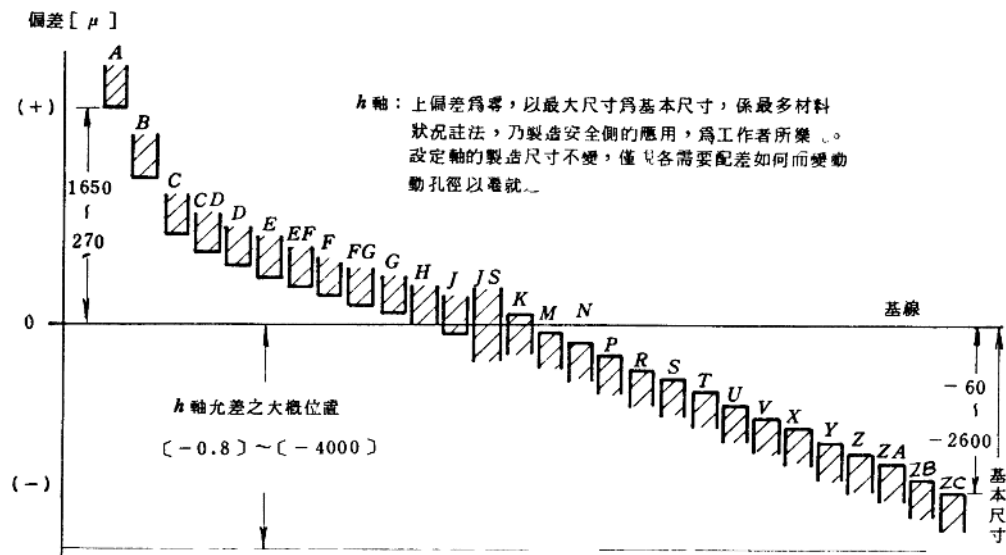


圖 2-1 基軸制之 h 軸及與其相配之各等孔的公差所在之大概位置。

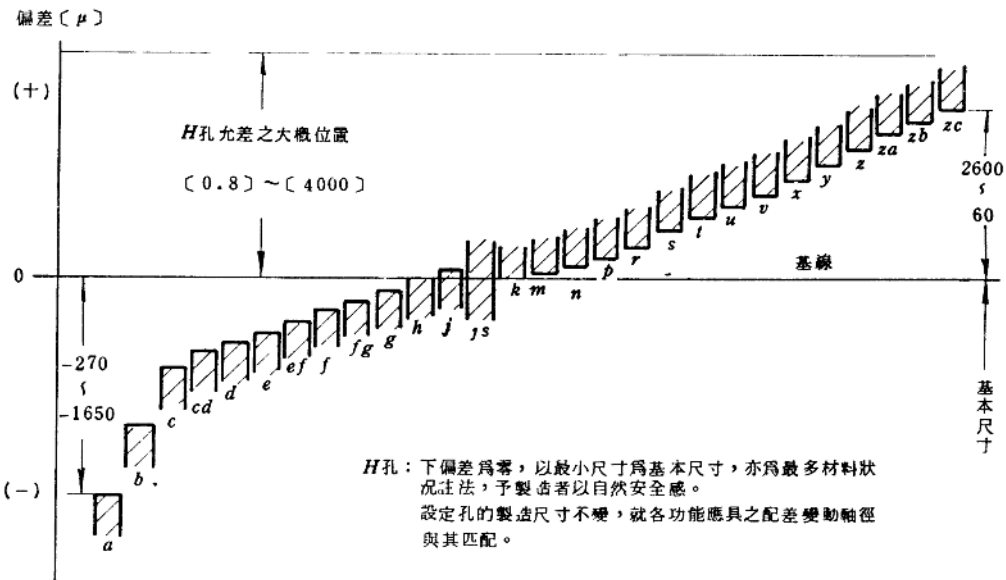


圖 2-2 基孔制之 H 孔及與其相配之各等軸的公差所在之大概位置。

第一範圍為 [至 3mm] 或 [至 0.12"]，用 1mm (或 0.04") 與 3mm (或 0.12") 之幾何平均數。
第二範圍為 [> 3 至 6 mm]，則 $D = \sqrt{3 \times 6}$ MM。

表 2-1 公稱尺寸範圍表 (≤ 500 mm 者)

公 稱 尺 寸							
粗 分 範 圍				細 分 範 圍			
公 厘		英 吋		公 厘		英 吋	
大 於	至	大 於	至	大 於	至	大 於	至
	3		0.12				
3	6	0.12	0.24				
6	10	0.24	0.40				
10	18	0.40	0.71	10	14	0.40	0.56
				14	18	0.56	0.71
18	30	0.71	1.19	18	24	0.71	0.95
				24	30	0.95	1.19
30	50	1.19	1.97	30	40	1.19	1.58
				40	50	1.58	1.97
50	80	1.97	3.15	50	65	1.97	2.56
				65	80	2.56	3.15
80	120	3.15	4.73	80	100	3.15	3.94
				100	120	3.94	4.73
120	180	4.73	7.09	120	140	4.73	5.52
				140	160	5.52	6.30
				160	180	6.30	7.09
180	250	7.09	9.85	180	200	7.09	7.88
				200	225	7.88	8.86
				225	250	8.86	9.85
250	315	9.85	12.41	250	280	9.85	11.03
				280	315	11.03	12.41
315	400	12.41	15.75	315	355	12.41	13.98
				355	400	13.98	15.75
400	500	15.75	19.69	400	450	15.75	17.72
				450	500	17.72	19.69

- 【註】 1. 必要時用細分範圍以計算 a 至 c 與 r 至 zc ，或 A 至 C 與 R 至 ZC 之偏差。
2. 標準允差表之公稱尺寸，僅有粗分之範圍。
3. 標準偏差表之公稱尺寸，有些等級全用粗分範圍或細分範圍，或兩者兼而有之。故遇有問題須核算時應先查閱實用表，以決定公稱尺寸範圍之粗分或細分。否則因取之不當，會使算值與表值之差變大。

(五) 標準允差 (公稱尺寸 ≤ 500 MM)

標準允差共有 20 級，每級各有其允差值，以 $IT\ 01$ 級、 $IT\ 0$ 、 $IT\ 1$ ……至 $IT\ 18$ 表示之。國際前三級之標準允差公式為：

機械設計之公差配合

表 2-2

國際前三級之標準公差公式為：

IT 01 級	$T_{01} = 0.3 + 0.008 D$
IT 0 級	$T_0 = 0.5 + 0.012 D$
IT 1 級	$T_1 = 0.8 + 0.020 D$

D 之單位為公厘。

T_{01} 、 T_0 之單位為 $\frac{1}{1000}$ 公厘。

IT 2 至 IT 4 級之公差為 IT 1 與 IT 5 間之幾何級數近似值。

第 5 至 16 級，係先求出其基量“ i ”，再分別乘以係數（7、10、16……1000）即為各級之標準公差。

國際公差基量公式：

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

$D \leq 500 \text{ mm}$

D 之單位為公厘（mm）， i 之單位為公忽（ $\frac{1}{1000}$ mm）。

第二項 $0.001 D$ 係考慮因溫度之變形。但當 $D < 80 \text{ mm}$ 或 $3.15''$ 時，通常 $0.001 D$ 可以不計。

表 2-3

英制前三級之標準公差公式為：

IT 01 級	$T'_{01} = 0.012 + 0.008 D$
IT 0 級	$T'_0 = 0.020 + 0.012 D$
IT 1 級	$T'_1 = 0.030 + 0.020 D$

D 為公稱尺寸範圍之幾何平均值，單位為英寸。

T'_{01} 、 T'_0 、 T'_1 之單位為 $\frac{1}{1000}$ 吋。

英制公差基量公式：

$$i = 0.052 \sqrt[3]{D} + 0.001 D$$

$D \leq 19.69''$

D 之單位為英寸， i 之單位為 $\frac{1}{1000}$ 吋。

表 2-4 公稱尺寸 $\leq 500 \text{ mm}$ （或 $19.69''$ ）國際（或英制）用基量表示之標準公差

級別	IT 5	IT 6	IT 7	IT 8	IT 9	IT 10	IT 11	IT 12	IT 13	IT 14	IT 15	IT 16
公差	$7 i$	$10 i$	$16 i$	$25 i$	$40 i$	$64 i$	$100 i$	$160 i$	$250 i$	$400 i$	$640 i$	$1000 i$

上表中每高一級，其公差約大 60%。ISO 現有 20 級，其公差 IT 17 為 $1600 i$ ，IT 18 為 $2500 i$ 。

【例 2-1】公稱尺寸 60 mm ，IT 18 級的公差為若干？

【解】由表 2-1 $D = \sqrt{50 \times 80} = 63.2455 \text{ mm}$ $D^{1/3} \div 3.9842$ ， $i = 0.45 (3.9842) \div 1.8 \mu$
因 $60 \text{ mm} < 80 \text{ mm}$ ， $0.001 D$ 可以不計，則 IT 18 級之公差為

$$T_{18} = 2500 i = 2500 (1.8) = 4500 \mu \quad \text{若計入 } 0.001 D = 0.063 \mu, i' = 1.863 \mu$$

$$T'_{18} = 2500 i' = 4660 \mu. \text{ 但直接由表 2-21 查表得 } T'' = 4600 \mu.$$

（六）標準偏差（公稱尺寸 $\leq 500 \text{ mm}$ ）

國際公差配合基於理論與經驗而定出各等之標準偏差公式、軸之上偏差用小寫字母 es 表，下偏差用 ei 表。孔之上偏差以大寫字母 ES 表，下偏差以 EI 表。其偏差範式為：

$$e = \text{定值} \times D^n \quad \text{或} \quad u = \text{定值} + n D$$

e 與 u 均以公忽（ μ ）或 $1/1000''$ 為單位。

D 為公稱尺寸範圍之幾何平均值，單位為公厘或英吋。

n 為 -5 之正數。

由表 2-5 公式求出軸之一標準偏差後，其未知偏差則由已知偏差與 IT_n 求之。

軸下偏差 $ei = es - IT_n$	→ a 至 h 用
軸上偏差 $es = ei + IT_n$	→ k 至 zc 用

IT_n 即第 n 級公差之意，公差大小恒為正值。

【註】1. 表 2-5 中 a 至 zc 各等軸偏差公式所求

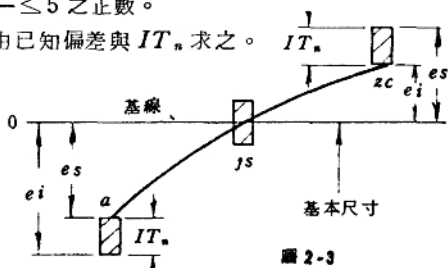


表 2-5 各等軸之標準偏差公式 (公稱尺寸 $\leq 500\text{mm}$)

等 別	軸上偏差 $es =$ 下式		等 級 別	軸下偏差 $ei =$ 下式	
	偏差單位為公忽 (μ) D 之單位為公厘 (mm)	偏差單位為 1/ 1000 吋 D 之單位為英吋		偏差單位為公忽 (μ) D 之單位為公厘 (mm)	偏差單位為 1/1000 吋 D 之單位為英吋
a	$D \leq 120$ $-(265 + 1.3 D)$	$D \leq 4.73$ $-(10.5 + 1.3 D)$	j	無公式，憑經驗	
	$D > 120$ $-3.5 D$	$D > 4.73$ $-3.5 D$	js	$es = \frac{1}{2} IT_n, ei = -\frac{1}{2} IT_n$	
b	$D \leq 160$ $-(140 + 0.85 D)$	$D \leq 6.3$ $-(5.5 + 0.85 D)$	$k4$ 至 $k7$	$0.6 D^{1/4}$	$0.07 D^{1/8}$
	$D > 160$ $-1.8 D$	$D > 6.3$ $-1.8 D$	$k \begin{matrix} \leq 3 \text{ 級} \\ \geq 8 \text{ 級} \end{matrix}$	0	
			m	$IT_r - IT_s$	
c	$D \leq 40$ $-52 D^{0.2}$	$D \leq 1.58$ $-3.9 D^{0.2}$	n	$5 D^{0.84}$	$0.59 D^{0.84}$
	$D > 40$ $-(95 + 0.8 D)$	$D > 1.58$ $-(3.75 + 0.8 D)$	p	$IT_r + 0$ 至 5	$IT_r + 0$ 至 0.3
			r	p 與 s 二下偏差之幾何平均數	
cd	c 與 d 二上偏差之幾何平均數		s	$D \leq 50$ $IT_s + 1$ 至 4	$D \leq 1.97$ $IT_s + 0$ 至 0.2
d	$-16 D^{0.44}$	$-2.62 D^{0.44}$		$D > 50$ $IT_r + 0.4 D$	$D > 1.97$ $IT_r + 0.4 D$
e	$-11 D^{0.41}$	$-1.63 D^{0.41}$			
ef	e 與 f 二上偏差之幾何平均數		t	$IT_r + 0.63 D$	
f	$-5.5 D^{0.41}$	$-0.82 D^{0.41}$	u	$IT_r + D$	
fg	f 與 g 二上偏差之幾何平均數		v	$IT_r + 1.25 D$	
g	$-2.5 D^{0.34}$	$-0.3 D^{0.34}$	x	$IT_r + 1.6 D$	
h	0		y	$IT_r + 2 D$	
			z	$IT_r + 2.5 D$	
			za	$IT_s + 3.15 D$	
			zb	$IT_s + 4 D$	
			zc	$IT_{10} + 5 D$	

出之標準偏差，係用以確定製成後實際尺寸的最接近基線之極限。再計入公差，即得其遠離基線的極限。

- 由表 2-5 中公式計算偏差時，僅考慮到位置等別。繼自已知偏差與 IT_n 計算另一偏差時，即已關連到公差大小。
- 等別為 j ， js 之軸的公差位置，因跨在基線上，不像其他各等的位於基線上方或者下方，故其偏差另立專式計算之。

表 2-6 各等孔之標準偏差公式 ($D \leq 500 \text{ mm}$)

等 別	孔下偏差EI = 下式		等 級 別	孔上偏差ES = 下式或數值		英 制		
	偏差單位為公忽(μ) D之單位為公厘(mm)	偏差單位為 $\frac{1}{1000}$ 吋 D之單位為英吋		偏差單位為公忽〔μ = 0.001mm〕 D之單位為公厘〔mm〕				
A	$D \leq 120$ $265 + 1.3 D$	$D \leq 4.73$ $10.5 + 1.3 D$	J	無 公 式				
	$D > 120$ $3.5 D$	$D > 4.73$ $3.5 D$	JS	$ES = \frac{1}{2} IT_n, EI = -\frac{1}{2} IT_n$				
B	$D \leq 160$ $140 + 0.85 D$	$D \leq 6.3$ $5.5 + 0.85 D$	K	≤ 8 級	0		$-0.6 D^{1/3} + \Delta_n$	可 分 別 由 左 之 公 制 偏 差 公 式 換 算 得 之
	$D > 160$ $3.5 D$	$D > 4.73$ $3.5 D$		> 8 級	0		無	
	$D \leq 160$ $140 + 0.85 D$	$D \leq 6.3$ $5.5 + 0.85 D$	M	≤ 8 級	$D \leq 3\text{mm}$ -2	$D > 3\text{mm}$	$-(IT_7 - IT_8) + \Delta_n$	
				> 8 級	-2	$-(IT_7 - IT_8)$		
$D > 160$ $1.8 D$	$D > 6.3$ $1.8 D$	N	≤ 8 級	-4		$-5 D^{0.34} + \Delta_n$		
			> 8 級	-4		0		
C	$D \leq 40$ $52 D^{0.2}$	$D \leq 1.58$ $3.9 D^{0.2}$	P	右式加 Δ_n			$-(IT_7 + 0 \text{ 至 } 5)$	
	$D > 40$ $95 + 0.8 D$	$D > 1.58$ $3.75 + 0.8 D$	R	同 右			P與S之幾何平均數	
			S				$D \leq 50$ $-(IT_8 + 1 \text{ 至 } 4)$	
CD	C與D二下偏差之幾何平均數					$D > 50$ $-(IT_7 + 0.4 D)$		
D	$16 D^{0.44}$	$2.62 D^{0.44}$		T		$-(IT_7 + 0.63 D)$		
E	$11 D^{0.41}$	$1.63 D^{0.41}$		U		$-(IT_7 + D)$		
EF	E與F二下偏差之幾何平均數		V	≥ 7 級	右式 + Δ_n	> 7 級	$-(IT_7 + 1.25 D)$	
F	$5.5 D^{0.41}$	$0.82 D^{0.41}$	X				$-(IT_7 + 1.6 D)$	
FG	F與G二下偏差之幾何平均數		Y				$-(IT_7 + 2 D)$	
	$D > 40$ $95 + 0.8 D$	$D > 1.58$ $3.75 + 0.8 D$	Z				$-(IT_7 + 2.5 D)$	
ZA						$-(IT_8 + 3.15 D)$		
G	$2.5 D^{0.34}$	$0.3 D^{0.34}$	ZB				$-(IT_8 + 4 D)$	
H	0		ZC				$-(IT_{10} + 5 D)$	

可分別由左之公制偏差公式換算得之

上表中等別 A 至 H 之公式未含公差大小，而 K 至 ZC 的却有部份涉及公差大小，如 Δ_n 是。
由表中公式求出一標準偏差後，其另一未知者則由已知者與 IT_n 求之。

$D \leq 3 \text{ mm}$	$\Delta_n = 0$
$3 < D \leq 500 \text{ mm}$	$\Delta_n = IT_n - IT_{n-1}$

如圖 2-4

A 至 H	孔上偏差 $ES = EI + IT_n$
K 至 ZC	孔下偏差 $EI = ES - IT_n$

IT_n 乃為 n 級公差之意，公差大小恒為正值。

【註】 偏差範式公制和英制型態之互換

偏差範式有三：
$$\begin{cases} CD^n \\ C_o + C_1 D \\ CD^n + \Delta_n, \Delta_n = IT_n - IT_{n-1} = n \text{ 級與前級公差之差} \end{cases}$$

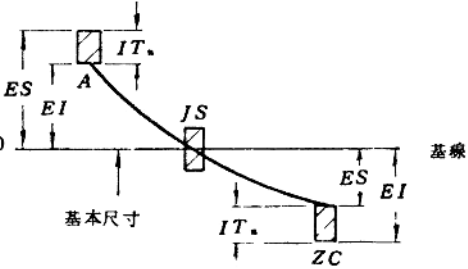


圖 2-4