

MECHANICAL
ENGINEERING
MECHANICAL
ENGINEERING
MECHANICAL
ENGINEERING

機械設計

徐仁輝 編著

 正文書局

七十二年九月十日出版

機械設計

上 冊

每冊定價一八〇元

版權所有・翻印必究

出版者：正 文 書 局

台北市重慶南路一段五十九號

編著者：徐 仁 輝

發行人：黃 開 禮

印刷所：正 文 書 局

發行所：正 文 書 局

台北市和平東路二段三五號

電話：〈02〉7081406

門市部：正 文 書 局

台北市重慶南路一段五十九號

電話：〈02〉3813712

〈02〉3813713

〈02〉3813714

郵局劃撥帳號：5 9 6 1

分銷處：各 地 各 大 書 局

出版登記證：局版台業字六一八號

編輯大意

- 1 本書的目的是為促使讀者在瞭解組成各種機械之基本機件的原理、構造、性能之後，進而計算及預測機件間互相組合時之應力、應變的情況，選用適當材質與最佳的搭配，設計出符合經濟耐用、性能優越之真善美的現代化機械產品。
- 2 本書為了配合工業界的實際設計現況，以及國際標準化的要求，有關的分析、計算、設計皆採用公制單位，但在螺絲、潤滑的部分，國際上絕大部分仍以英制為單位的情況下，同時採用了公制、英制兩種單位，可使讀者，尤其是在校的同學，過去在校所學的各種設計單位皆採用英制，而進入工廠則又全為公制，使之有無所適從的缺點不再出現，使每位讀者皆能學以致用，因此，本書亦特別適合於現場設計人員的自修、參考之用。
- 3 本書共分十四章，可供一般大專工程科系、二專、三專、五專之機械設計課程每週授課四小時之用，亦為工程設計人員自修及參考的資料。
- 4 本書所有名詞都依教育部公布之機械工程名詞一書為準。
- 5 本書各章都附有練習題，作為讀者練習及複習之用，如嫌不足，授課教師可斟酌補充。
- 6 本書之編撰、校對、皆在公餘課畢之隙，雖對編撰、校對力求嚴謹，但疏漏誤謬之處，恐仍在所難免，尚祈讀者先進惠予指正，俾於再版時加以訂正。

編著者 徐仁輝謹識

1982.8.

於台北逸士華園

目 錄

第一章 機械設計概論

1-1 機械設計	1
1-2 機械元件設計	1
1-3 機械設計基本條件	2
1-4 工程製圖	4
1-5 標準化	6
1-5-1 公差	6
1-5-2 配合	9
1-5-3 標準數	9
1-5-4 各國工業標準符號	13
1-6 材料的選用	13
1-7 工程應力設計	19
1-7-1 符號	31
1-7-2 負荷	32
1-7-3 應力與應變	33
1-7-4 應力集中	36
1-7-5 疲勞限度	41
1-7-6 延性材料之設計應力	48
1-7-7 容許應力及安全因數	51
練習問題	54

第二章 機械設計的基礎

2-1 常用的計算符號	57
2-2 力及其單位	59
2-2-1 靜力平衡	59
2-2-2 拉力與壓力	60
2-2-3 力的單位	61
2-2-4 力與質量的關係	62
2-2-5 拉伸與壓縮之靜力不定問題	64
2-3 樑的問題	65
2-3-1 樑的彎曲	65
2-3-2 慣性力矩	68
2-3-3 樑的撓曲	69
2-4 剪應力	72
2-5 樑之橫向剪應力	73
2-6 剪力與彎曲力矩圖	77
2-7 兩方向之應力與變形	80
練習問題	81

第三章 螺旋

3-1 螺旋的定義與用途	88
3-2 螺旋術語	89
3-3 螺旋形式	90
3-4 螺旋摩擦及效率計算	92
3-4-1 符號	92
3-4-2 螺旋的摩擦及效率	107

3-5 螺旋的強度計算.....	110
3-5-1 受軸方向的負荷.....	111
3-5-2 同時受軸方向之負荷及扭轉力作用.....	112
3-5-3 受到剪斷負荷的作用.....	113
3-5-4 螺旋鎖緊時所受之負荷.....	114
3-6 螺帽的強度計算.....	115
3-7 螺帽防鬆裝置.....	118
練習問題	119

第四章 熔接與鉚接

4-1 熔接法.....	123
4-2 熔接符號.....	124
4-3 熔接強度計算.....	133
4-3-1 符號.....	133
4-3-2 對接之熔接強度.....	133
4-3-3 搭接之熔接強度.....	134
4-3-4 T型接之熔接強度.....	137
4-3-5 熔接效率.....	138
4-4 熔接之強度計算式.....	141
4-5 鉚釘.....	141
4-6 鉚接形式.....	143
4-7 鉚接強度的計算.....	147
4-7-1 符號.....	147
4-7-2 鉚釘的長度及直徑標準尺寸.....	147
4-7-3 鉚接強度.....	148
4-8 壓力容器的鉚接強度計算.....	152

4 機械設計

4-8-1 薄板圓筒之強度·····	152
4-8-2 厚板圓筒容器之強度·····	157
練習問題·····	158

第五章 管路零件

5-1 管子的形式·····	162
5-2 管接頭·····	163
5-3 管子設計與流量·····	164
5-3-1 符號·····	164
5-3-2 管徑設計·····	164
5-3-3 管壁厚度·····	173
5-3-4 管的膨脹·····	173
5-4 法蘭與密合墊·····	176
5-4-1 法蘭的形式·····	177
5-4-2 密合墊·····	179
5-5 法蘭強度設計·····	180
5-5-1 符號·····	180
5-5-2 強度設計式·····	181
5-6 閥、襯墊、填料函·····	186
5-6-1 閥的形式·····	186
5-6-2 襯墊、填料函·····	193
5-7 儀錶·····	194
5-7-1 儀錶的形式與用途·····	194
5-7-2 儀錶記號·····	195
練習問題·····	197

第六章 傳動結合作件

6-1 栓	200
6-1-1 栓接頭之形狀及尺寸	200
6-1-2 栓的強度設計	201
6-2 鍵 (Key)	204
6-2-1 鍵的形式	204
6-2-2 鍵的強度設計	207
6-3 銷 (pin)	209
6-3-1 銷的形式	212
6-3-2 銷的強度設計	212
6-4 聯軸器 (coupling)	214
6-4-1 聯軸器的形式	214
6-4-2 聯軸器的強度設計	217
6-5 離合器 (clutch)	220
6-5-1 離合器的設計	220
6-5-2 離合器的強度設計	222
練習問題	229

第七章 摩擦與潤滑

7-1 摩擦	232
7-1-1 庫倫定律 (coulomb's Law)	233
7-1-2 摩擦係數	233
7-2 潤滑	235
7-2-1 牛頓定律 (Newton's Law)	236
7-2-2 佩特羅夫的軸承方程式	236

6 機械設計

7-2-3 粘度	239
7-3 頸軸承之負荷與摩擦曲線	245
7-3-1 油膜壓力	245
7-3-2 軸頸負荷與摩擦曲線	246
7-4 軸承之熱平衡	254
7-5 強制潤滑軸承	257
練習問題	260

第一章 機械設計概論

1-1 機械設計

機械設計是爲了要增進人類生活福祉，而應用科學與技術來改良或發明新產品的一種專門學問。大家都知道，自從工業革命以來，人類生活所需的每一樣物品都是經由各種不同的機械製造生產或加工而得者；如何才能獲得品質好、價格又低廉的產品呢？這就必須要有性能優異的生產設備——機械了；這就是我們常說“機械爲工業之母”的道理。我們中國古諺有云“工欲善其事，必先利其器”，以今天的工業社會生產形態來說；工所欲善之事乃今日商場上的各式各樣產品，而所須利之器者乃指製造各種產品之生產用機械是也。

機械是由許多的機構組成，而機構是由各種基本元件所組成；雖然爲了要製造各種不同的產品，須設計各種不同形式的機械，但是構成各種機構的基本元件都是大同小異的，並且許多常用的零件都已經有它一定的標準規格；因此，機械設計的基本就是機械的元件設計，機械元件設計除了考慮各別元件的特性外，還須考慮元件與元件之間如何配合才能達到設計的理想，同時也要注意經濟、美觀、實用等特性。因此目前的機械設計往往是由各種的標準零件中選取最佳的組合與應用，而獲致理想的設計形式。

1-2 機械元件設計

任何一項工業產品，無論是儀器、器具、工具或裝備，甚至於一

2 機械設計

組構件的設計，都需考慮它的創造性和完美性，並且要應用當前的技術可以完成者所應具備之資料與圖面。機械的種類繁多，形式各異，因此一部完整機器的設計範圍非常廣泛，只能在各專業機械製造廠商，才有可能對它獨有的專業機械設計出一套完整的資料與圖表。在此，我們是以對組成機器的各元件，作正確的設計所需的基本原理加以說明。

設計的原理是一定的，同樣的理論或方程式，可以應用在儀器內的一個極小的元件，也可應用在重設備內一個較大之相似零件。因此，設計的第一步是由過去已有的原則、方法或資料，選擇一種滿足構想或欲求的解決方法；第二步驟便是完成產品的最終形狀與實際完成所需的資料，包括設計圖樣及表格等等。

機械設計的途徑有許多；一般俱有豐富的設計經驗與熟練技術的設計師，比較偏愛直覺設計；而較為生手的機械設計，則往往經由構想、原理、研判、分析、試製或以模型試驗、所耗費時費力，同時必須經過多次的修正改進，才能獲得可行的依據。雖然如此，但每一位有經驗的設計師仍然是由無數的生手設計所累積的經驗而成，尤其是初學者，以上的設計途徑是不可或缺的；這也是我們學習機械設計所必須具備的基本知識。

無論是對產品的改良設計或創新，首先都須由過去所有該項領域的資料加以研判分析，配合自己的構想，技術情況，利用他人之經驗，作最適切的組合或搭配，才能設計出完美的產品；但在決定各項條件之前，必須針對市場的經濟性，實用性，詳加考慮，因此對於材料的選擇，加工方法、程序、設備的選用、美觀、耐用等因素，在作最後決定前，都必須作合理的分析，以便達到真正物美價廉之真善美的設計產品。

1-3 機械設計基本條件

要想達到真善美的機械設計，最主要的是在每一種產品的設計具有安全、經濟、美觀的條件；因此一位機械設計師，他必須具有下列基本的知識與技能：

- (A) **製圖的能力**：大家都知道，工程圖是一種工程語言，設計者要把自己的構想表達出來，最基本的表達方式，便是透過各種圖面與表格。因此，一位傑出的設計師，必須要有優異的製圖能力；各種的製造資料，除了可供生產工廠使用者外，亦可供估價、銷售，以及場所的裝置與運轉的依據。作為生產製造之設計圖上，必須包含所有的構件、精確的形狀、尺寸、動作、功能、及其製造加工與處理的方法。
- (B) **標準化的知識與應用**：許許多多經常使用的各種機械元件，都有它一定的標準，尤其是最近在 ISO 的大力推行下，已有相當多的元件，可透過標準規格的選用而省去許多不必要的作圖、說明等手續。
- (C) **應用力學**：包括傳統力學，一方面涉及力的理論與作用、靜力學定律、摩擦、運動學以及力作用下之運動過程；另一方面包含了機件受力後之動作或作用的傳遞與改變。
- (D) **材料力學**：機械元件中受外力的作用，可能產生的變形，即應力應變的關係、形狀、力矩、斷面形狀的決定等都需經由材料力學有關理論的分析研判。
- (E) **機動學**：機械設計的動作、功能，除了須由應用力學分析力的作用外，機構組成時，受力與出力動作的改變，是否能達到預期的目標，往往都是經由機動學的分析與組合；目前更配合電子、光學、液壓與空壓，使得機構的動作更臻理想。
- (F) **工程材料**：如何選用最合適的材料來製造機械元件，必先對各種材料的特性、組成、加工、處理等知識有所瞭解，尤其是充分保證安全的極限值。最主要的是動力負荷或於極端溫度時材料性質。材料強度的計算可獲得機件的形狀，而經濟材料的應用可得較優的結構。

4 機械設計

- (G)製造程序與加工方法：不同材料、不同形狀的機件，各有互異的加工步驟與製造方法，如何配合工廠的設備與技術，安排出最佳的製造程序與加工方法，也是機械設計者的主要任務之一。
- (H)外觀：設計的產品不但要有好的品質，同時也要有美好的外觀，尤其是市場競爭劇烈的今天，外觀對於產品的銷路有相當大的影響，對於外觀的設計，以不影響元件的品質、強度的情況下，儘可能配合優美的線條；而設計者本身需要具備有相當的藝術造詣方可勝任。
- (I)經濟性：工業產品只要是到市場上銷售，它必須考慮經濟性，因此，任何影響成本的因素，在設計時都必須加以考慮，以期得到真正物美價廉的產品，在銷路好高價格時可獲取更高的利潤，就是在銷路較差市場競爭壓力較大時，仍然有利可圖而立於不敗之地。

1-4 工程製圖

工程製圖(Engineering drawing)，在於從模型、設計或指令下，運用適當的標準形式，把整組的機器、機械結構、工具，及其零件，繪成圖，以便使正確的組件可以在工廠製造生產，使設計者的構想赴之實現，工程製圖也包括徒手實物測畫、展開、剖面、交線、曲線等繪製。

(A)製圖的知識與能力

一位機械設計師的工程製圖知識和能力，包括範圍很廣，但最基本者有下列幾項：

- (1)能從事構想、計劃到作圖，用鉛筆繪圖、寫字。於製圖桌上，使用製圖儀器，直接從一個模型，或構想，把它用圖面表現出來的能力。
- (2)須具有對工程圖的看圖能力，繪製標準圖及標準尺寸的知識。對於公差、配合及其符號、習用方法等知識，並須具有能做基本幾何結構、投影、展開和交線的能力，以及對於材料和其機械性質、熱處理等知識都應熟識。

- (3)須具有各種計算、研判、分析的能力，基本的算學，幾何、代數、三角等數學計算的知識；一般力學、機動、以及材料及其機械性質等知識；乃至於對於材料強度的理論係數及查閱設計便覽的能力。

(B)製圖用品

對於作圖時所用之基本材料，諸如白報紙、方格紙、製圖紙、描圖紙、感光紙、墨水、橡皮、鉛筆、針筆、各種作圖用規儀、器材等都須瞭解其規格、性質、及使用法。

(C)度量儀器

對於度量上所用之三角尺、捲尺、曲線規、深度規、厚薄規、線規、游標尺、分度規、測微器、螺紋規、斜度規、半徑規、乃至於測量機械的規格、性能、及其正確的使用方法都必須瞭解。

(D)工具、器材與設備的使用

對於鉛筆、筆心、筆尖、直尺、折尺、比例尺、曲線板、伸長圓規、小圓規、標規、工程字規、刀片、橡皮擦、消字板、製圖桌台、製圖儀等，都需瞭解其規格、特性及正確的使用方法。

(E)工程製圖的繪製準則

工程圖的繪製包括有下列四個部分：

- (1)分解圖：又稱之為零件圖或詳圖；從描繪一部機器、一組機構或儀器的完整組件圖中，使用測度方式，在一個大的比例下，把一件或多件之個別機件，按照一定的比例，分解繪製成工作圖；這種圖必須表示出必要的視圖、剖面及尺寸、標註公差、配合及各種加工符號、尺寸數字，每一細節都須標註清楚。
- (2)徒手測繪：又名鉛筆畫或徒手畫；由一個小的零件，甚至於一個構想或模型，用標準的方式測繪草圖，依其標準的方式表示必要的視圖、剖面、尺寸和符號等。
- (3)繪製展開或結構曲線圖：可從一個整體件描述各種視點，展開各側表面，也可從數個整體組件，描述相貫交線，求出零件表面的遺留視圖之交線法。

(4)繪製整體組立圖或把一個小比例的整體圖繪製成大比例的整體圖。

(F)工程製圖的查驗

工程圖作完成之後，必須加以詳細的查驗，諸如形狀、尺寸、位置、材料、數量、標準零件之規格、公差與配合，乃至於零件表欄之記事等都須一一查驗。

1-5 標準化

機械元件在設計與製造的過程中，必須考慮其尺寸的精度，以便控制其品質。雖然今日產品製造均採用大量生產的方式，可是在製造時，因為受到機器性能、操作方法、材料變異、刀具磨損、工作環境溫度變化及人的情緒或視力等因素之影響，要想製作出同一式樣，而且尺寸絕對精確，能達到某一種尺寸而絲毫不差；如此，工件尺寸的界限範圍極小，產品精度越高其造價必越昂貴，同時生產速度較慢。因此為求工作製造上的方便，並配合大量生產的要求，應使產品尺寸標準化，具有互換性（Interchangeability），常允許工件之尺寸有一定的變化量，此種許可的偏差量稱為公差（Tolerance）。

1-5-1 公差

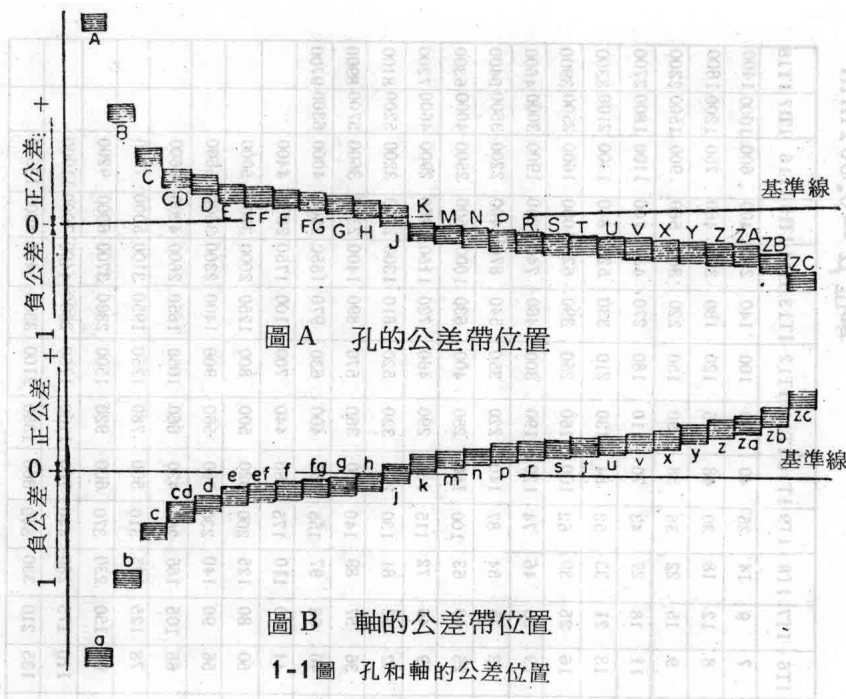
按照國際標準組織（International Standard of organization），簡稱 ISO，對於工件尺寸、螺紋、錐度及角度等均訂有公差標準，所以工作圖上除了註有公稱尺寸外，另外為了表示其精確度，須加註公差；通常在圖面上除標註基準尺寸外，還訂定一容許差異的限度——公差；使工件製造完成後的尺寸，能介在規定之大小兩尺寸間，當工件尺寸位於容許之大小兩尺寸之最大者稱為上限，反之最小者叫下限。

基本公差經由 ISO 訂定，每一級分別以 IT 01、IT 0、IT 1，IT 2，IT 3，……IT 18 順序編號，共分為 20 級，如

I-1 表 基本公差

單位 $\mu = 0.001\text{mm}$

基本 尺寸/mm	IT0	IT1	IT2	IT3	IT4	IT5	IT6	IT7	IT8	IT9	IT10	IT11	IT12	IT13	IT14	IT15	IT16	IT17	IT18	
3	0.3	0.5	0.8	1.2	2	3	5	7	9	14	25	40	60	100	140	250	400	600	1000	1400
3-6	0.4	0.6	1	1.5	2.5	4	5	8	12	18	30	48	75	120	180	300	480	750	1200	1800
6-10	0.4	0.6	1	1.5	2.5	4	6	9	15	22	36	58	90	150	220	360	580	900	1500	2200
10-18	0.5	0.8	1.2	2	3	5	8	11	18	27	43	70	110	180	270	430	700	1100	1800	2700
18-30	0.6	1	1.5	2.5	4	6	9	13	21	33	52	84	130	210	330	520	840	1300	2100	3300
30-50	0.6	1	1.5	2.5	4	7	11	16	25	39	62	100	160	250	390	620	1000	1600	2500	3900
50-80	0.8	1.2	2	3	5	8	13	19	30	46	74	120	190	300	460	740	1200	1900	3000	4600
80-120	1	1.5	2.5	4	6	10	15	22	35	54	87	140	220	350	540	870	1400	2200	3500	5400
120-180	1.2	2	3.5	5	8	12	18	25	40	63	100	160	250	400	630	1000	1600	2500	4000	6300
180-250	2	3	4.5	7	10	14	20	29	46	72	115	185	290	460	720	1150	1850	2900	4600	7200
250-315	2.5	4	6	8	12	16	23	32	52	81	130	210	320	520	810	1300	2100	3200	5200	8100
315-400	3	5	7	9	13	18	25	36	57	89	140	230	360	570	890	1400	2300	3600	5700	8900
400-500	4	6	8	10	15	20	27	40	63	97	155	250	400	630	970	1550	2500	4000	6300	9700
500-630								44	70	110	175	280	440	700	1100	1750	2800	4400		
630-800								50	80	125	200	320	500	800	1250	2000	3200	5000		
800-1000								56	90	140	230	360	560	900	1400	2300	3600	5600		
1000-1250								66	105	165	260	420	660	1050	1650	2600	4200	6600		
1250-1600								78	125	195	310	500	780	1250	1950	3100	5000	7800		
1600-2000								92	150	230	370	600	920	1500	2300	3700	6000	9200		
2000-2500								110	175	280	440	700	1100	1750	2800	4400	7000	11000		
2500-3150								135	210	330	540	860	1350	2100	3300	5400	8600	13500		



1-1表所示。其中 IT 18 級的公差數最大，則表示該工件精度愈低，500 公厘以下分為 20 等級，500 公厘至 3150 公厘者則從 IT 6 至 IT 16 分為 11 級。

公差的表示有單向公差與雙向公差之分，單向公差又稱同側公差，它是以基準尺寸為準，只容許向單一方向的差異，ISO 的標準公差制及 DIN 標準公差皆採用此種公差。雙向公差又稱雙側公差，它是由基準尺寸兩側同時加減而得，容許雙方向的差異。

ISO 的公差符號規則如下：

- (1) 以數字與英文字母並列。
- (2) 數字代表公差等級。
- (3) 英文字表示公差帶與基準線間的位置關係。
- (4) 孔或外件以大寫英文字母表示。