

機 械 設 計

(上 冊)

Mechanical Engineering
Design

Third Edition

原著者：J D Shigley 大萊

譯述者：劉昌明 徐仁勳

薛雅全 楊春欽

科技圖書股份有限公司

本公司經新聞局核准登記
登記證局版台業字第1123號

書名：機械設計（第三版）（上冊）
原著者：J D Shigley
譯述者：劉昌明 徐仁勳 薛雅全 楊春鈞
發行人：趙國華
發行者：科技圖書股份有限公司
台北市博愛路185號二樓
電話：3110953
郵政劃撥帳號15697

六十九年一月初版 特價新台幣90元

原 序

本書是為初習機械工程設計的學生們而編寫的。學生們所需具備的一套工程用工具，主要是數學、電算機語言、英語說寫能力。機械設計，又需包含大量的幾何學，以及另一種有用的工具為描繪各種必需的圖形。學生們又需學習各種基本工程科學（engineering science），內中包括物理學、工程力學、材料學、製造程序以及熱流體科學（thermal-fluid science）。由這些工具與科學所組成的綜合，作為實踐工程的基礎。因之，在大學教育階段，這些都是導向工程職業的適當工作。而各種專業性的研究，在整個工程目標下需用的工具與科學將混成一體。在目前大學課程的壓力下，必需具有有效率的內容。大部分工程教育家皆同意，機械設計所運用的工具與基本科學內容，要較其他各專門職業所需者為多。況且機械設計又成為各專科職業的核心，與機械工程研究的基礎。因而機械設計的研究，成為從事機械工程的最有效而經濟的辦法。

一本書在每次改版的內容成長得愈來愈大。在近年來，任何書籍均受到成長的壓力，如一輛車子，車價愈來愈高。在這一版中，筆者試着將其整修成簡練而有效，書也改薄些，書價也不致高漲。

此次改版的主要目的是為了介紹目前最急需的國際制（SI）單位對機械設計有關的部分，大約有50%的例題與習題寫給學生用的均改用國際制了。對於齒輪等，因為美國尚無SI標準可用，仍使用原制未改。

國際制單位的使用，必需注意一點是，一定要切實按照1974年由國家標準局出版的特刊330所列的規則施行。不然將因使用的單位分歧而形成鉅大的誤解。

袖珍電算器的出現，適與SI單位同時導入，更使用科學符號，可供需要。電算器將使數學運算上與實施設計上，具有更多用途。預料最近將來，對以往所常用的圖表、圖、與圖解法以及表格等，將會逐漸減少。在5-11節中將見到此類實例。如S—N圖將不再增列而改成為8-5及9-2節所示的算式。

在本版中有若干特徵必需舉出。第二章中用奇性函數（singularity function）的導入以求剪力與彎矩，並在第三章中作為撓度分析用。在第三章中加入柱的分析與設計用改良教材。第六章中加入螺栓接頭的疲勞

載荷與剪力載荷的資料。第七章加入焊接、硬焊與貼接的新資料，並用分析方法對接縫的剪力、扭力與彎應力作了分析。第九章中的抗摩軸承內容完全改寫了，其中對軸承的壽命、可靠度，支承量與退拔滾承等加入了新資料。第十三章的軸，亦大部分改寫了，內中又加上 Sines 與 Kececioglu 的設計與分析方法。

將本書以往各版的內容予以調整，其主要目的在於：將有些未能說明完全清楚的，或解釋重複的各節目；例題未能表達正確目標；圖示未能明晰的指出，以及學生用習題未能明白說出要點及其組織內容等，乘改版之便均經分別改寫更換，以補救這些缺失。圖示與內容說明，均極細心校核，必要時亦予重繪重寫，力求相符。多數例題亦已調整或重做。有不少學生用的課外作業亦均換新。但有少數習題，由於具備對學生能容學生自行解釋的優點，仍保持不改，但其次序，則按新的排列。

本書以往各版，曾被各設計工程師作為其職業上所需而予以引用。自極真慰。因此甚多情況，在書中陳述，對實踐工程師與學生應略有分別，亦即工程師所需與學生所學的要有些差別。工程師所用的技巧，常由自己在設計程序中得來。而工程師在下決定解問題時，常用到自己知道的技巧，而這些技巧，常因其來源的不同而有所差別。學生只為求得正確答案，而此種答案則得自其教授所指示者。這兩種目標的獲得並不困難。將整個問題對工程師來說明的是；應考慮解題所受的限制，以及如何作最適的選擇；而對學生來說明的，對相關的課程的運用與指點。如此辦法，將對學生得益更多，因其中僅包含極少數的兩可情況，以及與相關選課間的關聯。且由於提供選擇的範圍，對工程師言，具更大的價值。

我特別希望讀本版的讀者，多多提供寶貴的指教。如能多花一些功夫，將以往各版與本版各章節間所引起的影響告知以供證驗，余將衷心感謝不已也。

J E Shigley 與萊

機械設計

目 錄

原 序

第一篇 機械設計基本

第一章 簡 介

1.1	設計的範圍	4
1.2	確認與認清	4
1.3	數學模式	6
1.4	評估與表達	7
1.5	設計因素	8
1.6	設計因素・強度	9
1.7	經 濟 性	12
1.8	單 位 制	16
1.9	英 制	17
1.10	國際制單位	18
1.11	使用 SI 單位原則	20
1.12	量的精確度與歸整	21
1.13	單位換算	24
	問 題	25

第二章 應力分析

2.1	應 力	27
2.2	摩 爾 圓	27
2.3	三度空間應力的摩爾圓	32
2.4	均佈應力	34

2.5	彈性應變	34
2.6	應力 - 應變的關係	35
2.7	樑之剪力與彎矩	37
2.8	奇性函數	40
2.9	彎曲的正應力	43
2.10	非對稱截面之樑	47
2.11	彎曲時的剪應力	48
2.12	剪 力 流	56
2.13	扭 矩	58
2.14	薄壁圓筒	60
2.15	厚壁圓筒內的應力	60
2.16	壓入與收縮配合	63
2.17	熱應力及應變	67
2.18	曲 樑	69
2.19	赫茲接觸應力	74
	問 題	78

第三章 撓度分析

3.1	彈 簧 率	95
3.2	簡單的伸張、壓縮及扭轉	97
3.3	樑的撓度	97
3.4	使用奇性函數求撓度	99
3.5	疊 置 法	103
3.6	圖解積分法	103
3.7	應 變 能	106
3.8	Castigliano 原理	109
3.9	彎曲構件的撓曲	112
3.10	柱的理論	113
3.11	柱的設計	117
3.12	正割公式	119
	問 題	120

第四章 設計的統計考慮

4.1	排列與組合	130
4.2	或然率	133
4.3	或然率定理	136
4.4	隨機變數	140
4.5	樣本與群數	142
4.6	常態分配	146
4.7	取樣分佈	149
4.8	體群組合	153
4.9	決定尺寸 - 定義與標準	153
4.10	容差定製的統計分析	155
	問題	158

第五章 機械元件的強度

5.1	有關強度的關係	162
5.2	延性與硬度	163
5.3	材料的機械性質	165
5.4	最大法應力理論	167
5.5	最大剪應力理論	169
5.6	畸變能理論	170
5.7	延性材料在靜負荷下的破壞	172
5.8	脆性材料在靜負荷下的破壞	173
5.9	疲勞	177
5.10	疲勞強度與耐久限界	178
5.11	有限 - 壽命的強度	182
5.12	果積的疲勞傷害	185
5.13	耐久限界的修正因數	188
5.14	表面加工	188
5.15	尺寸的影響	189
5.16	可靠性	190
5.17	溫度的影響	193

5.18	應力集中	193
5.19	雜項影響	196
5.20	波狀應力	200
5.21	受波狀應力的疲勞強度	201
5.22	扭轉疲勞強度	206
5.23	合成應力所產生的疲勞損壞	208
5.24	表面強度	211
	問 題	214

第二篇 機械元件設計

第六章 螺絲、扣件與連接合設計

6.1	螺旋的標準與定義	228
6.2	移動螺旋的力學	231
6.3	螺紋應力	237
6.4	螺紋扣件	237
6.5	螺栓的預置負荷	240
6.6	鎖緊轉矩的要求	245
6.7	螺柱強度與預置負荷規格	247
6.8	螺帽的選擇	250
6.9	疲勞荷重	252
6.10	螺栓與鉚釘的剪切負荷	256
6.11	螺栓群的形心	258
6.12	偏心負荷時螺栓與鉚釘的剪切	259
6.13	鍵、銷與扣環	263
	問 題	267

第七章 熔接、銅(硬)焊與貼合

7.1	熔 接	275
7.2	對接與填角焊接	277
7.3	焊接頭之扭力	279
7.4	焊接接頭的彎曲	284

7.5	焊接接頭的強度	286
7.6	電阻焊接法	288
7.7	貼 合	289
	問 題	290

第八章 機械彈簧

8.1	螺旋彈簧中的應力	295
8.2	螺旋彈簧的偏轉	298
8.3	伸張彈簧	301
8.4	壓縮彈簧	301
8.5	彈簧用材料	302
8.6	疲勞負荷	305
8.7	螺旋扭轉彈簧	308
8.8	柏里彈簧	310
8.9	特殊形狀彈簧	311
8.10	螺旋彈簧的臨界頻率	313
8.11	能的儲存能力	313
	問 題	315

第九章 抗磨軸承

9.1	軸承的型式	320
9.2	軸承壽命	323
9.3	軸承負荷	326
9.4	滾珠軸承與平滾軸承的選擇	328
9.5	斜滾軸承的選擇	333
9.6	潤 滑	337
9.7	軸承的密封	338
9.8	軸與軸殼	339
	問 題	341

第一篇

機械設計基本

Fundamentals of
Mechanical Design

INTRODUCTION

第一章

簡 介

本書主要係研習“下決定的程序”(decision-making processes)，使工程師們利用一貫公式，以了解機械、裝置以及系統的物理作用。此種下決定的程序，亦可應用到整個工程上去，不僅限於機械工程的設計。當然為求了解此種程序，將其應用到實際上去，並能獲得效益起見，尚須了解各種特殊的狀況或應用的工具。

機械設計 (mechanical design)，係指有關機械的事項或系統，包括機器、產品、構架、裝置以及儀器等的设计。大多數的機械設計，均需利用數學、材料科學以及工程力學等知識。

機械工程設計 (mechanical engineering design)，包括所有的機械設計，其範圍較為廣泛，需包括所有機械工程知識的訓練，例如熱流體科學 (thermal fluids science) 等。學習機械工程設計，除了需具基本科學知識外，首先必須學習機械設計，因此本書首先討論此一部份。

4 機械設計

本書分為兩部份。第一篇係討論有關基本知識，從事設計時所需的數學與分析工具，以及利用此種工具的實際問題。在此，偶爾亦接觸到一些極熟悉的問題。當你遇到此類問題時，可用本書作檢查。更重要一點，本書建立在作更進一步學習的基礎，以及作為他日所需的參考資料。

在第二篇中，將基本知識應用到許多典型設計中有關機械系統（mechanical system）元件的設計或選擇。在次序上，首先學習的為較基本以及較常見的元件。用此種方式，當你熟悉單獨元件設計後，即能將其組合以完成較複雜的機器或系統。因此，第二篇係用漸進方式，逐漸深入。為達到此項目的起見，第二篇應依次序逐章學習。

1-1 設計的範圍

在本章中，我們所着眼的是全部的設計過程。那麼，設計將如何開始呢？設計工程師們，僅坐在辦公桌上用白紙即可完成其工作嗎？當他有了某些觀念，那麼他的工作應如何去進行呢？何種因素將影響或控制而所下的決定？最後，設計工作又將如何才算結束？

整個設計過程中，從開始到終結的過程，通常如圖1-1所示。首先是需要的確認（recognition of a need），以及與下決定有關的某些事項，然後經過許多反覆的過程，最後將所設計的成果呈現（presentation）在工場以滿足需要。在下面數節中，將詳細討論這些設計的步驟。

1-2 確認與認清

有時，但並不是經常的。設計工作開始，工程師需先確認（recognition）某種需要，並下決定作某些事情。確認需求並用文字敘述，通常是屬於較富創意性的工作。因為需要，可能只是一件模糊而且殘缺不全的觀念。某種不舒適，或對某些事情感到不合適的感覺。確認，通常是由特殊的逆境情形或一系列同時發生的情形所觸發。同時，很明顯的，一個敏感的人，常是一個易受外界所干擾的人，將比較容易確認某種需要，但亦較易作某些反應的事。因此，一個敏感的人，將較富有創造性。

需要，通常並不十分明顯。例如處理一件食物包裝機的需要，可能是其噪音的程度、包裝重量的變化、或極小但却甚明顯的包裝品質的變化等情況的處理。

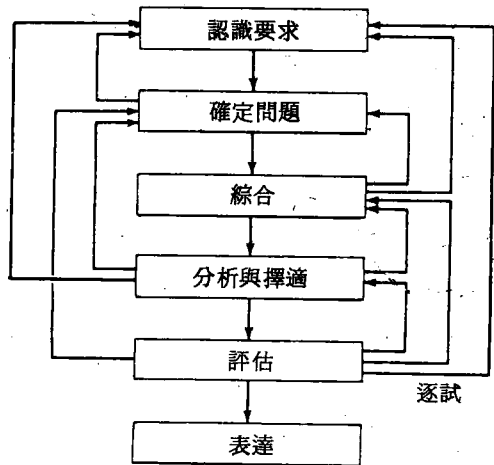


圖 1-1
設計的順序

一種需要，經過某種人的說明，將變為極易了解。例如現代國家的需要，可能是較清潔的空氣與水源，城市中較多的停車設備，較佳的運輸系統，以及較迅速的交通；這些需要均極明顯。

在敘述一個需要，與認清一個問題（identification of the problem）間，通常有極大的區別（圖 1-1），而且問題係較為特殊。例如假設需要的是清潔的空氣，則所牽涉的問題將有減少工廠烟囱的排塵量，或減少汽車排氣的有害毒物質，或迅速撲滅森林火災的方法等等。

確定某種問題時，通常必須包括所欲設計主題中的所有規格（specification）。這些規格為輸入與輸出量，該物件的特性及所佔的空間，以及在數量上的所有限制。我們可將此種所需設計的某事歸納在一個方框中，而在該方框中，必須定出所有的輸入及輸出及其特性與限制。此外，規格中尚需定出其成本、製造數目、希望的壽命、範圍、操作溫度、以及可靠性（reliability）。通常，在規格中的明顯項目，計有速率、饋量（feed）、溫度限制、最大範圍、預期在變化時的變化量，以及尺寸與重量的限制等。

除了列出的規格外，通常尚有許多未列出的規格，這些規格包括設計者本身的特殊環境，或問題本身所包含者。此外可資利用的製造程序，與

6 機械設計

某些工廠的製造方法，亦將使設計者的自由發揮受到限制。因此，這些亦屬於未列出的規格中的一部份。例如，某一小廠，可能尚無冷作機械，知道此種情形後，設計者必須選用其它的加工方法。此外，勞工的技術，以及具有競爭者的情況，亦均包括在未列明的規格中。

任何限制設計者的自由選擇事項，均屬規格。例如，許多材料的種類及尺寸，雖已列在廠商的型錄中，但並非表列的全部，均可容易地購得，同時根據經濟學原理，廠商亦須將其存貨保持達最小量。

當所有的問題，以及所有的規定均已定出，並分別寫出，如圖 1-1 所示。次一步驟，是綜合求出一適當的解決方法。但因所設計的系統，在尚未得知其性能是否符合規定之前，所採用綜合的步驟，若未加分析並加以合理化的情況下，仍無法進行。有時，可能經過多次重複的分析，仍無法獲得一適當的系統。若所設計的結果經試驗有任何失敗，則綜合的過程必須重新進行。

1-3 數學模式

有如前述，設計是一種反覆的過程。通常要經過若干個步驟，才得計算結果，然後又再回到最初的程序。因此，我們可能綜合一個系統中的數個機件，加以分析並求最適化（optimize），然後再綜合觀察對系統中其餘機件有何影響。通常作分析與擇適過程（optimization）均需導出一個理論的模式，以便作數學分析。我們稱此種模式為數學模式（mathematical models）。利用數學模式將有助於瞭解實際的物理系統。

實際的物理系統通常均甚複雜。將此種系統處理成數學模式，亦即將其簡化成為可作分析用。例如所謂“剛體”（rigid body）即為此種理想化的例子。因自然界中並無實際的剛體，又如集中力（concentrated force）亦為另一理想化的例子。當我們採用此種名詞時，表示我們已假設該力所作用的面積為相對的極小。此外，尚可發現極多的理想化例子。

問題的本質，其經濟性、計算的簡便以及工程人員所耗的能力與工作時間等，均為模式的主要因子。某些問題極為重要，而需要一個繁複的模式，需由問題的經濟性來判斷此種模式。若有另一問題的本質及其經濟性顯示不需高級工程人員參加，在此種情況下，工程師可能將其寫成簡單的模式處理，便在短時間內獲得結果。

1-4 評估與表達

如圖 1-1 所示，評估（evaluation），在整個設計過程中亦為一種有意義的工作。評估，係一項成功設計的最終證明。通常包括實驗室中原型（prototype）的試驗，如此即可發現所設計的部份是否確實滿足吾人的要求，以及是否可靠，類似的產品是否得以完成？製造與使用是否經濟？是否易於保養與調整，銷售或使用此種產品，是否有利等等。

設計的結果，供給別人，可說是最後且最重要的設計過程。無疑的，有極多的設計、發明以及創造，因原工作人無法或不打算將完成的過程供給他人，而被人類所遺忘。表達（presentation），係屬於一種銷售的工作。當工程師們提出有關經營或管理，或管理人員的新解決方法時，目的是企圖推銷，或證明他的解決方法為較佳者。除非他們能成功地做到此點，否則他們白白花費頗多時間與努力，可說是極大的浪費。

當一個人推銷其新構想，同時他也在推銷自己。若他所推銷的新構想、設計、新解法、以及其它類似的管理法等不斷地成功，他必然獲得職位的提高與薪津的增加。事實上，這亦是逐漸攀上成功的階梯。基本上，我們僅有三種方式可利用來傳達自己的構想，即寫書、口述以及圖解等三種方式。因此，一個成功的工程師，必須具有高度的技術，以及有效地利用此三種方式以表達自己的構想能力。一個具有高度技術的人，若缺乏此三種方式中的任何一種，即將受到極嚴重的障礙。若完全失去此三種能力，必然不能得到別人的青睞。

此三種表達方式，即書寫、口述與繪圖等技巧（skill）。此處所謂技巧，是指任何具有某程度智慧人們所能發揮或獲得的能力。技巧的獲得，唯一的方法是練習。例如音樂家、運動家、外科醫生，打字員、作家、舞蹈家、空中表演人，以及藝術家等，他們所以具有高度的技巧，主要是經過經年累月的練習而獲得的。人的生命中，若不經過工作，將無法獲得任何具有價值的東西，而且經常是沉悶、黯淡、以及漫長的過程，始能獲得。當然工程亦無例外！

書寫能力，可由寫信、寫報告、記錄、提論文與寫文章等方式而獲得。欲獲得此種能力，並不在乎文章是否對外發表，最重要的事是練習。語言的能力，可由社團、教堂、以及專業性的交誼活動中獲得。這些活動，均可提供磨練語言能力的豐富機會。至於欲獲得繪圖能力，則必須儘可能

8 機械設計

利用鉛筆作草圖以表示任何構想。書寫或語言，通常需經過揣摩領會階段方能理解。但圖畫則一目了然，故必須能自由地運用。

一個勝任的工程師，必須不怕他所表達的構想的失敗可能性。事實上，他反而需希望能偶爾失敗。因失敗或批評，似乎必定隨伴着任何創新的觀念。通常，最大的收穫，必將為冒險嘗試者所獲得。

本節的目的，係使讀者了解設計過程中的最後一道步驟——表達的重要性。因此，不論你計畫是向你的教師，或你的雇主表達，必須做到完整、一貫與清晰。在無數的資料中，必須選取最有用的作為報告寫作、公開演說、或繪圖的資料。

1-5 設計因素

有時在決定機件的形狀與尺寸時，強度（strength）為一極重要的考慮因素。在此種情況下，可說強度是主要的設計因素。

當我們使用設計因素（design factors）這個名詞之前，我們首先參考或考慮某些能影響所設計的元件（element），或為整個系統的事項。通常，在任何設計情況下，均有甚多的因素將影響設計。有時，某一因素亦可能為臨界條件，當其滿足時，則其它因素即可不必再加考慮。例如以下所列的即為常需考慮的設計因素。

- | | | |
|--------|--------|---------|
| 1 強度 | 9 成本 | 17 控制 |
| 2 可靠性 | 10 安全性 | 18 韌性 |
| 3 熱的考慮 | 11 重量 | 19 表面加工 |
| 4 腐蝕 | 12 噪音 | 20 潤滑 |
| 5 磨損 | 13 時尚 | 21 保養 |
| 6 摩擦 | 14 形狀 | 22 容積 |
| 7 製造程序 | 15 尺寸 | |
| 8 效益 | 16 撓性 | |

上述諸因素中，部份直接與尺寸、材料、製造程序、以及系統中各元件的接合方法有關。其它的因素，則與整個系統的規範有關。本書將逐漸涉及這些因素，以及其它因素。

* 在設計文獻中“設計因子”一詞，若干作者所用的定義為元件的強度與由外力加在元件而生的內應力之比。