

機 械 設 計 學

上 冊

李 酉 山 編

北 京 大 學 出 版 部 印 行

寫 在 卷 首

這本書是根據過去十四年裏，作者在前北平大學和前重慶中央大學，兵工學校，東北大學等學校講授機械設計一科時候所編的筆記，經過了多次的整理刪改而寫出來的。

機械設計一科對於學習機械工程，電機工程，化學工程，紡織工程，和礦冶工程者都是很重要的。在歐美各國這一類的著作很多，日本的學者也很多把歐美的機械設計書籍譯成日文來作教本或參攷書，但是在我國用中文寫出來的仍然很少，因此學習這門課程或者担任機械設計工作的人們必須拿外文的書籍來作教本或參攷材料對於時間對於效率上都受了很大的損失，這本書的寫出是爲了解決這個問題的。

在許多學校裏拿一些原文書籍作爲教本（例如 Kimball and Barr 的 “Elements of Machine Design”，Maleev 的 “Machine Design”，Rötscher 的 “Maschinen-elemente” 等）而這些書的內容雖然各有它自己的長處，但是也各有它的短處。拿一本原文書不折不扣的來給我們的學生當教材，它的內容有些地方是不够的，有些地方是費解的，有些地方是不合的——這樣來教授這樣來學習都嫌不大科學不大經濟不是實事求是的辦法。尤其在實際應用的時候容易犯了教條主義的毛病，不能和實際連繫起來也就是不能妥善的應用。爲了解決這個困難作者把英美各國的機械設計著作多種詳細的讀了幾遍找出每本書的長處和它的短處，同時也把德文日文的機械設計著作約略的看了一下（因爲文字方面的困難未能精讀），然後以 Kimball and Barr 一書的程序作爲排列內容的主要標準，

以 Faires 一書的講述方法作為原理方面緒述的準繩，更從 Unwin, Spooner, Leutwiler, Malcev, Ratscher 等書內選出若干適于實際的資料穿插到每一章裏面以期能供給一些有用和合用的參考資料做為設計工程師們的採用。絕大部份的材料是把人家的材料經過摻和咀嚼後，用自己的話，自己的方法把它寫出來，也有若干地方把自己在過去幾年中的設計經驗參加進去。在實際講授和設計的過程中，曾經遭遇了許多困難和誤差，而這些困難和誤差就使這部書的寫出經過許多次的修改和增刪，而在今天把它付印的時候雖然主觀的努力已經用了很多，但是仍然覺得它是不完善的成熟的作品。希望向讀者請教，希望能得到客觀的批評和建議，隨時的告訴我隨時的指導我，以集體的力量來改善它，使它能充分發生預期的作用——這樣才能真正的充份的為讀者服務，這樣才不至於浪費了印刷這本書的紙張勞力和時間。

還有幾點要說明的，就是（1）為了配合我國採用的工業標準，這部書內的度量單位是以公制（公厘，公斤）為準的，但是有些地方介紹英美的實際設計資料，無法把它用公制表示出來（有些尺寸仍然用吋，但是重量全用公斤）作者感覺這些地方是無法勉強的（2）本書所用的名詞和術語，大部份是根據劉仙洲先生的“機械名詞字典”一書，但是也有一部份是不得已而「杜撰」的，希望讀者在這方面也能多多予以指正。

李 西 山 1950 年 北 京

內 容 目 次

第一章	緒論
第二章	載荷；應力及應變
第三章	配合及公差
第四章	軸
第五章	磨擦及滑潤
第六章	承動機件
第七章	鍵，梢，楔
第八章	磨擦傳動及磨擦制動
第九章	聯軸節及離合節
第十章	齒輪 (I) 正齒輪
第十一章	齒輪 (II) 斜齒輪及螺旋齒輪
第十二章	纏繞傳動機件
第十三章	凸輪
第十四章	聯動桿
第十五章	螺旋
第十六章	鉚接
第十七章	焊接
第十八章	彈簧
第十九章	飛輪；旋轉盤類機件

第 廿 章	筒類機件
第廿一章	平板類機件
第廿二章	機座，機身，機罩
第廿三章	振動
第廿四章	臨界速
第廿五章	均衡

第一章

緒論

1.1 機械設計

在製造一部機械以前，確定了這部機械的使用目的，運動方法，構造形狀，大小尺寸，應用材料，製造手續，以及各件間之相互關係，使它在製成裝好後，得以完成某些指定的任務——這種工作就是機械設計。

因此，學習或研究機械設計之目的，在培養成這種設計的技能，運用這種技能設計出來的機械，應該是在技術上可靠的。

機械設計學科，可分兩部學習之：

- (I) 機械設計原理，亦可稱基本機械設計：學習設計之基本原則，分析方法，機械原件之設計法及製圖。
- (II) 專機設計：研究某種機械之特性，進行全部設計工作，並製圖以備付諸製造。

一部機械，無論它如何複雜，都是由若干機件（機械原件）組合所成，有的爲了傳動，有的爲了聯結，有的爲了其他任務。每一個機件必須經過妥善之設計，纔能使此全部機械，發揮其效能。因此學習機械設計者，必須對於設計的基本部份，作妥善的準備，然後應用於全部機械之設計時，纔能得心應手。

本書內容，只限於機械設計之基本部份之討論。至于實用部份，與各別機械之性質有關，因限於篇幅，暫不討論。

1.2 機械原件

機械原件，可分多種，茲就其主要者及其聯結方法，類別如下：

甲、傳動機件：

- | | | |
|---------|---------|---------|
| 1. 軸 | 2. 承動機件 | 3. 鍵 |
| 4. 梢 | 5. 楔 | 6. 磨擦輪 |
| 7. 帶 | 8. 繩 | 9. 鏈 |
| 10. 齒輪 | 11. 聯軸節 | 12. 離合節 |
| 13. 軛 | 14. 飛輪 | 15. 帶輪 |
| 16. 聯動桿 | 17. 凸輪 | |

乙、聯結用機件；聯結方法：

- | | | |
|--------|---------|---------|
| 18. 螺旋 | 19. 鉚聯結 | 20. 焊聯結 |
| 21. 配合 | | |

丙、其他機件：

- | | | |
|------------|-----------|------------------|
| 22. 彈簧 | 23. 筒 | 24. 板類機件 |
| 25. 旋轉盤類機件 | 26. 機身，機座 | 27. 機械外罩
(機罩) |

任何特殊機械，均由此等機件中之若干個組合而成，此等機件之設計，均適用於任何機械之設計，因而機械原件設計，亦可稱為普通機械設計，或稱為機械設計原理。

1.3 機械的分類

實用機械設計約用於計劃下列四種機械中的某一種：

甲、原動機械：如汽輪機（汽透平），蒸汽機，汽車發動機等。

乙、工作機械：如車床，鑽床，衝床，起重機等。

丙、傳動機械：如帶傳動系，齒輪變速器等。

丁、各種用具：如凝汽器，汽管系，水管系等。

此四種機械，實包括所有機械，或其中之若干單位，而計劃工作，不外 (1) 修理，(2) 修改，(3) 仿造，(4) 創造，等等。欲從事此等工作，除關於某特殊機械，應有充分的認識，經驗，及研究外，首須對於機械原件之設計有充分準備，其理至為明顯。

1.4 機械設計的方法

設計一部機械，或其原件，有下列各方法：

甲、合理設計法：——將根據理論或來自實驗之材料，經過合理之分析後，應用於機械或機件之設計，以求其合用，可靠，而且經濟，這就是合理設計。合理設計不必盡為理論的，主要在將合理之材料，予以合理之運用。近來工程力學，工程材料，分析的一天比一天的深入，因此合理的機械設計，正向更近于理論的分析發展著，這是我們要注意的。

乙、經驗設計法：——此法亦稱經驗計劃，即將實際機械，或機件之尺寸間相互關係，以簡單之公式或圖表列出來，俾再作類似機械或機件之設計時，可以直接採用此簡捷之公式或圖表中之值，此類公式或圖表多半不合乎理論分析，且亦未必合理。

丙、試驗設計法：——在合理設計法及經驗設計法均不能使用時，可將擬製之機械，製成模型，再加以試驗，以發現其有無缺點，再定修改的方法，如此經過若干時之試驗，也可成功。如鍛模之設計，即循此法，在得完滿之結果以前，往往要付出很大的代價。仿現有之機械，改變其若干部份之尺寸或構造，以試其能否達成某特殊需要者，亦可謂之試驗設計。

上述三種方法，以合理設計法，為吾人應儘量採用者；因由此法求得之結果，既適合安全之需要，又無浪費器材之弊。倘運

用得當，在機械外貌及製造方面亦可有良好的表現，故現代在機械設計之發展趨勢，為力謀合理設計法之普遍應用，以代替經驗設計法或試驗設計法。

經驗設計法之優點，在其簡易，且有若干機件所受之載荷，所生之應力及應變，截至現今，合理分析仍無法施用或不便于施用者；故不得不由已製成之機械中，求得相似機件各部尺寸之關係，以比例或類推方法，求吾人所需要機件之大小，按此法求得之結果，多失於過分安全或浪費材料，然而猶不能不暫予使用，以待合理分析之可能實施時，再捨棄此法而不用。

由以上之討論，可知在設計一部機械或若干機件時，對於其重要部份：必須儘量採用合理設計，經過必要之分析，以定應採用之尺寸；至於次要部份，可酌量依照公認的經驗計劃公式或圖表，從而計算，如此則既然保證安全，又可減少浪費，所謂技術上可靠之機械，就包含這個意義。

1.5 合理設計法的基礎

合理機械設計，在於運用下列之基本資料：

甲、理論方面的資料：

1. 數學——包括代數，幾何，三角，微積分；
2. 力學——包括應用靜力學，圖解力學，及應用動力學；
3. 材料力學——包括簡單應力，聯合應力，及柱，樑，彎曲，扭轉等分析；
4. 機械原理——包括轉動機械之理論，及其速度，加速度分析法。（亦稱機動學或機構學）。

乙、實際方面的資料：

1. 材料選擇——對於常用材料之內部組織與特性及其鑄，鍛，熱處理等方法之影響及限制；
2. 機械工藝——機件之製造，鍛製及施工，裝配等方法；

3. 通用法則——機件材料之習慣配合，用法及製造方法；
4. 機械製圖——正投影法製圖，說明，機件製造圖及機械裝配圖。

1.6 機械設計的程序

設計全部機械或其中之一部份時，其應循的程序如次：

甲、研究原定條件及說明；

乙、準備工作——預定機械形狀及各部應用之尺寸：

1. 機構的選定；
2. 材料的選定；
3. 載荷的估計；
4. 任務的分配；
5. 機件尺寸的預定；

丙、審核及必要的修改；

丁、製圖。

以上各項，均極端重要，茲於以下各節中分別討論之。

1.7 原定條件及說明

爲圓滿達到預期之目的起見，指定或分配設計工作之人，應將關於擬製機械必備之條件，加以明確之規定，並附以詳盡之說明，例如：

1. 機械工作量；
2. 動力之供應；
3. 工作環境；
4. 地區之限制；
5. 機械之數量；
6. 製造材料之供應；
7. 製造費用之限制；
8. 運輸工具之限制；

9. 限期；
10. 其他預定之條件。

担任設計工作之人，應對預定條件，逐一檢討，是否能完成指定之工作，滿足原定之需要。

在承擔設計工作者和委託設計者之間，如果能在事先把設計有關的條件，做了明確的說明，這不但對於推進設計工作有很大的便利，而且將來有責任問題之發生時，亦可按照此詳，盡，明，確之規定或說明，以判斷責任是屬於誰的。

1.8 機構之選定

欲得最滿意之機構，必須：

1. 詳察擬製機械應滿足之條件（如上節所述者）
2. 根據機械運動知識，擬出各組可能之機構組合，如：
 - (1) 傳動方法；
 - (2) 開，停方法；
 - (3) 運用情形。
3. 根據機械原理，審查各式組合之優劣，如
 - (1) 效率之高低；
 - (2) 佔空間之大小；
 - (3) 機件之繁簡；
 - (4) 形狀之優劣；
 - (5) 使用之難易，等。
4. 由實際方面，考慮製造之方法，如
 - (1) 能否製造；
 - (2) 製造之難易；
 - (3) 運輸之限制；
 - (4) 裝配之繁簡；
 - (5) 是否便於檢查；

(6) 是否便於修繕。

5. 最後決定：——由於各式機構利弊之比較，即可選出何者最為適宜，同時應儘量與訂製者或發明者隨時交換意見；對於承造者亦應保持密切之接觸，以期將來製造之工作，可順利完成。例如圖(1.1)所示，皆可作衝壓機之機構，然此數種，各有其特殊之點，在選擇時，應根據本節所述，作仔細的研究以後，再行決定用哪一種機構。



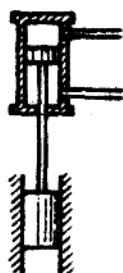
(a)



(b)



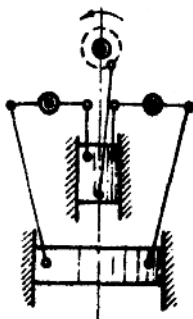
(c)



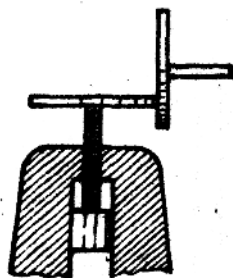
(d)



(e)



(f)



(g)

(1.1)

1.9 材料的選擇

材料選擇之標準，約為：

甲、主要條件：

1. 化學性質；
2. 物理性質；
3. 機械性質；
4. 習慣用法；

乙、應考慮之細則：

1. 供應；（供應地點；供應數量；供應方法）
2. 價格；
3. 強度；（支持高度應力之特性）
4. 挺度；（抵抗變形之特性）
5. 持久性；（抵抗重複載荷之特性）
6. 彈性；（加載荷即生出變形，去載荷即恢復原狀之特性）
7. 韌性；（支持高度應力及高度變形而不至破損之特性）
8. 延性；（可延長而不至斷折之特性）
9. 展性；（可展開而不至碎裂之特性）
10. 硬度；（抵抗磨損及因接觸而生變形之特性）
11. 減磨性；（對滑動阻力之大小）
12. 可範性；（範製各形之難易）
13. 施工性；（施工之難易及方法）
14. 熱處理性；（能否硬化及硬化程度以及回火等特性）
15. 鑄造特性；（能否鑄造及應用鑄造方法）
16. 鍛造特性；（能否鍛造及鍛造溫度等）
17. 防銹性；
18. 表面強度；（指支持接觸應力之強度）
19. 流動性；（指滑潤劑之流動與溫度之關係）

20. 熔點；
21. 磁性；
22. 導電程度；
23. 溫度變化之影響；（如對於油之黏度，鋼之硬度）
24. 其他特性。

1.10 載荷的估計

欲求得機件上最大之載荷，應從機械之功能的收授，及其工作的方法着手；其法如次：

I 有確定功能循環之機械，或具有連續性工作之機械：

甲、 功能循環之分類：

1. 供應之功能不變，工作亦不變之機械：例如電動機聯動之定量定壓力之離心式水泵；
2. 供應之功能不變，工作變動之機械：例如帶系聯動之牛頭鉋床等；
3. 供應之功能變動，工作不變之機械：例如汽機聯動之發電機等；
4. 供應之功能變動，工作亦變動之機械：例如汽機聯動之往復式壓氣機等。

乙、 最大載荷之估計：

在上述之四種機械中，1. 之最大載荷等於其平均載荷；而2, 3, 4 項中之最大載荷，應考慮下列二項：

1. 工作程序中，有無功能調劑之設備（如彈簧，飛輪等）
2. 工作程序中，有無臨時發生之載荷（例如鍋爐壓力因燃料之供給變動而生之意外變化等）。

II 無定功能循環之機械，或具有間歇性工作之機械：

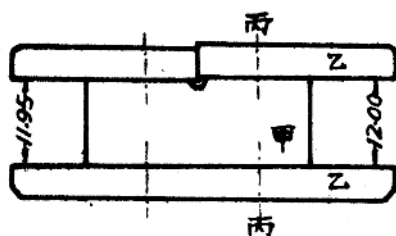
若干機械，並無確定之功能循環；如起重機，衝床，汽鎚等機械，其工作情形，隨時變化；以致不可或不能由其功能之供應

(如電動機之馬力及速度等)求得其最大載荷,在此種情形下,勢須確定在工作過程中之最大阻力,因而估計其最大載荷。

學習這一個問題時,學者最好就實際的例子,作一些分析,來更深入的了解這些理論,因為載荷的估計在設計機械的過程中,是極重要的一個階段。

1.11 任務的分配

同一機械中之若干機件,其任務每各自不同;同一機件上之各部份,也可以自有其任務;例如限規之構造,可分三部,

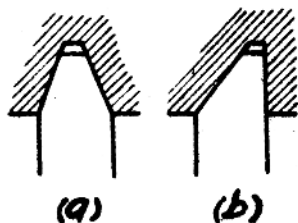


(1.2)

圖(1.2),甲爲限規身,其任務爲支持測量臂及保持精確之尺寸;乙爲測量臂,其任務爲與施工表面接觸以測量其是否符合規定;丙爲螺旋其任務爲聯結測量臂於限規身之上,如是則製

甲之材料應有耐久性,挺度,更須具有不易感受溫度變化之影響者方合理想;製乙之材料以其有挺度及抗磨損性(硬度)爲合宜;製丙之材料以具有抗拉,抗剪的強度之材料即可,故同一機械上之不同部份,可自有其特殊之任務,因而對於材料之選擇,尺寸之計算均有重要之影響。又如齒輪上的齒;齒身抵抗彎曲,故應富有拉、壓強度;齒面抵抗磨損,故應富有表面強度;因而齒之材料,以能硬化之鋼爲適宜,而製造之時,又應在表面

硬化之熱處理時，不使其根部亦受硬化作用，因而失去抗拉之力量。圖(1.3)(a)之承動件兩面皆可磨損，而(b)之磨損多在左側，而右側可維持其準確性，較為長久。在選擇磨損表面時，要仔細考慮的。



(1.3)

1.12 機件的尺寸

已定應用之材料，及應支持之載荷後，機件之尺寸，可依下列方法規定之：

- 甲、根據材料之強度，以計算機件之尺寸；
- 乙、根據機件之挺度條件，以定其尺寸；
- 丙、根據機件之可能磨損，以定其尺寸；或者，
- 丁、根據機件所受之振動，以定其尺寸之大小及重量。

上述甲，乙兩則，為設計時常用之根據，尤以材料之強度最便於應用；因挺度或變形之計算，恆較繁難，有時挺度計算之結果，並不完全可靠，且強度充足之機件，其挺度多已足夠，故機件設計之計算，以強度為根據者過半數。

然挺度的計算，有時是不可缺少的；例如精度工具機中之重要部份，縱已具有充分之強度，或仍感其挺度之不足，因而影響其施工成品之準確；又如高度旋轉之機軸，縱其強度可無問題，然仍可因彎度或扭角之稍大而使其工作速度與其臨界速度相同致起強烈之振動；又如彈簧之主要任務為藉其變形以吸收功能或振動，這都是挺度之不可忽略的實例。

根據磨損以修正機件之尺寸者，多屬於兩機件之相互磨擦之部份，如磨擦輪輪面，齒面，軸頸及軸承磨擦面等，每於計算強

度之後，再加防磨損之準備，以期減少或杜絕因磨損而引起之強度或挺度上之損失或連帶而生之障礙。

至於機件如受有振動，有時或須加以阻尼或想法吸收以免過份的疲損，發出惹厭之音響，或促成相隣機件或建築物之破損；在這些地方，增加受振機件之重量（或質量）也可以減少振動的嚴重性。

1.13 其他應考慮之事項

在設計計算之過程中，或在已測定機件之尺寸後，應注意其他若干事項，俾設計之機械，得以如願實現；茲申論如次：

甲、承造工廠之設備：

1. 金工廠：——車床、銑床等工具機之工作量，準確程度，性能及數量；工具（如銑刀、鑽、絞刀等）之尺寸，制度，數量及精度；測規等之尺寸及數量等。

2. 鍛工廠：——鍛用爐，鍛用機械，起重機械等之工作量及數量。

3. 鑄工廠：——熔爐，煉鋼爐，製模機，起重機等設備之工作量及性能。

4. 熱處理設備。

5. 其他設備。

乙、材料：

1. 原料：——廠中原有原料，種類，價值，品質及數量；本廠，市場或其他供應之來源；

2. 半成品：——如軸料，鋼板等現有之數量及其尺寸；

3. 成品：——如已製就或已購置未經使用之鍵，齒輪，彈簧，螺旋，鉚釘，鍵，繩，等原件，現有之數量，尺寸及其品質。

丙、工人之技能：工人能做及不能做之工作；

丁、使用問題：製成之機械，將由何種工人使用及使用方法；