

機 械 零 件

(上 冊)

張 錫 聖 編 譯
郭 可 謙



首 都 出 版 社 出 版

機 械 零 件

• (上 册)

張錫聖 編譯
郭可謙

江苏工业学院图书馆
藏 书 章



首都出版社出版

機 械 零 件 (上冊)

25 開 252 面 177 千字 定價 16,500 元

編 譯 者	張 錫 聖 郭 可 謙
出 版 者	首 都 出 版 社
印 刷 者	北 京 市 印 刷 二 廠
發 行 者	首 都 出 版 社
	北 京 石 駱 馬 後 宅 甲 36 號
	電 話 (二) 〇 二 一 八 號

1954 年 3 月 初 版 印 數 3,000 冊
北 京 市 書 刊 出 版 業 營 業 許 可 證 出 字 第 〇 三 三 號

序

機械零件(舊名機械設計)在高等工業學校中為設計與施工專業必修的重要課程,在工業上為一切機械製造業的基本業務。因此凡學工程者都必須研究這門學科,俾便改善其業務以為祖國建設節省更多的財富。但是我國目前所出有關機械零件的書籍,屬於蘇聯材料者還不多見。為了學習蘇聯並推廣蘇聯先進的科學技術起見,特於課餘之暇根據年來採用蘇聯教材的經驗,並結合我國實際情況編譯而成此書。

本書根據:(1)機械製造百科全書第二冊(Энциклопедический Справочник-“Машиностроения”—2), (2)В.А. Добровольский所著的機械零件“Детали Машин”, (3)А.Т. Батурин所著的“Детали Машин”,與(4)В.З. Васильев等合著的“Детали Машин”等,四本書籍編譯而成,共分五篇廿一章。第一篇為總論,第二篇為連接件,第三篇為傳動件,第四篇為轉動件,第五篇為彈簧。全書分上下兩冊,共約卅萬言,可作工業大學與專科學校的教材,也可作中等技術學校與各廠礦技術人員設計的參考資料。

本書取材以上述第(1)(2)兩本書籍為主,第(3)本其次,第(4)本較少。編譯原則是想盡量結合我國實際情況,內容力求精簡;原書中凡重要公式多附加證明或註出其有關參考書的頁數;重要章

節多附加例題以便於了解。此外爲了結合教學與廠礦實際的需要，在緒論一章中特根據劉仙洲先生所著的“中國機械工程史料”一書介紹了一些我國科學家在機械零件方面的成就；在滾動軸承一章中加入了我國工人牌軸承的選擇法；在附錄中根據蘇聯資料附上了機械零件課程設計的方法提要，與本書各章的習題集。

書中所用度量衡單位，是採用中國科學院所規定的標準。

本書編譯與付印都比較倉促，錯誤的地方在所難免。希望讀者同志多提意見，以便今後再版時改正，並在此預先表示謝意。

張錫聖 一九五三年十月於北京航空學院

第一篇 總 論

第一章 緒 論

1—1 機械零件學發展簡史

機械零件雖然在很早以前就已經有人開始研究，例如古代的數學家兼力學家巴普（Папп 公元前三世紀）與革倫（Герон 公元前一世紀）就已經知道了槓桿，絞車，螺旋，尖劈與差動齒輪等；又如中世紀意大利的科學家列奧納爾德·達·芬奇（Леонардо да Винчи）對於滑輪，槓桿，滑車，螺旋及齒輪齒形都曾研究過，他並且指出了三角形與矩形螺紋間的區別；但是直到 1881 年以前，“機械零件”始終沒有成為一門獨立的科學。在這以前它一直附屬在“實用力學”，“機械構造學”或簡稱“力學”的一些書中，直到 1881 年俄國的基爾彼切夫教授（В. П. Кирпичев）才寫了第一本有系統的“機械零件”。這本書在 1882—1883 年度出版，它的章節和現在的“機械零件”內容非常接近。在他這本書出版以後，俄國很多科學家先後著作了很多有關機械零件的專門文獻，如彼得洛夫（Н. П. Петров）——液體摩擦理論之父——先後在 1883 年和 1886 年著的“摩擦新理論”，與“摩擦及潤滑對於機器的影響”，胡伊斯羅夫（Войслов）1885 年著的“機械零

件及傳動機構的設計”，以及茹柯夫斯基（Н. Е. Жуковский）1898年著的關於“皮帶在帶輪上的滑動”，和他在1902年所著關於“螺帽與螺紋中載荷的分佈”等等，都具有很重要的價值。但當時這門科學和其他科學一樣，都受着舊俄反動統治階級制度的束縛，它的發展始終受到限制。在偉大的蘇聯十月革命成功以後，這門科學隨着社會主義的發展也就帶來了新的成就。在以後的年代裏，“機械零件”與有關的書籍，在蘇聯大量地出版；其中如賀加可夫（П. К. Худяков）與習德洛夫（А. И. Сидоров）教授都完成了很多有關機械零件的巨著，因此他們也光榮地成為了蘇聯的“勞動英雄”和“功勳科學技術工作者”。目前蘇聯對於機械零件的理論與實驗的研究，都具有很多最大的研究機關，因此它在這方面的發展將始終佔着世界上的領導地位。

中國科學家在“機械零件”方面的成就，也是很早而且很多的。例如遠在公元前3219—2599年左右⁽¹⁾，就有“黃帝采首山之銅作刀”，“神農作斧斤”，“軒轅臣雍父作礪”，“黃帝使伶倫取竹於崑崙之嶺谷，而製權衡度量……則秤之始也”，以及“黃帝之妃西陵氏始教民育蠶，並制車以繰絲，名曰繰車”。這些都是我國古代利用尖劈，槓桿，曲柄，及滑車等作工的簡單機械。到公元前86年左右有“霍光妻遺淳于衍散花綾廿五匹，綾出鉅鹿陳寶光家，寶光妻傳其法”，這個發明稱為“花機”。根據農政全書上所繪的圖，可以看出這個花機與我國現在農村中所用的織布機就很類似。此後到三國時代（公元231年左右）有“蜀相諸葛亮之出征，始造木牛流馬以運餉……木牛為小車之

註（1）參考劉仙洲先生所著 1935 年 4 月出版的“中國機械工程史科”。

有前轆者，流馬爲獨推之小車”。較此稍早有“漢靈帝(公元168—189年)使畢嵐作翻車”(即水車)，也有的說翻車爲馬鈞所作(蜀漢時人，與諸葛亮約在同時——見魏略)。根據河工器具圖說與天工開物上所畫的圖，可以看出當時的獨輪小車與現在成都鄉間常用的鷄公車一樣，而翻車則與我國現時農村中常用的腳踏水車極相似。這些都是應用了轉軸，車輪，鍊輪及鍊條的一些原理所製成的人力機械。到公元500—600年左右，水力機械出現較多，如農政全書所載的：水輶(崔亮發明，約在公元500年以前)，連二水磨，水轉連磨，流水筒車等，這些都進一步地利用了轉軸，豎軸，齒輪，齒輪系，以及水輪，凸輪等比較稍爲複雜的水力傳動機械。可惜發明者的姓名有些都無法查考。到了公元1100年以後則有輶輻(約在公元1115年左右)，水輪三事(王禎發明，約在公元1300年)，颺車(約在公元1300年以前)，軋車(約在公元1400年左右)以及水轉翻車(約在公元1726年以前)等的發明。這些也都是利用輪軸，曲柄，水輪，槓桿，飛輪，齒輪及齒輪系等原理製造的人力或水力傳動機械。

由以上的一些極不完全的敘述，可以看出我國自上古時代起就有人開始研究機械的一些零件，並利用它們作成簡單的工具或機械。但因為我國幾千年以來一直受着封建帝王的統治，近百年來又受着封建殘餘，買辦階級與帝國主義的束縛，所以凡有關工程上的一些發明一直被輕視或遺棄，故很多可寶貴的發明多被湮沒。幸而有些沒有被湮沒並流傳至今的一些東西，也因統治者的輕視而不記載於歷史，僅僅偶見於筆記或雜記等著作當中，故發明人與發明年月也就流傳不真，或者根本就無從查考。因此我國科學家們在機械零件方面的成就，雖然很早很多，但始終是受反動階級制度的束縛，一直停留在

個人創造，而沒有繼續發展。這就說明了為什麼我國農村中所常用的一些工具或機械還是幾百年或幾千年以前的產物。解放後推翻了這些束縛與限制，時間雖僅幾年，而各廠礦的合理化建議與發明已經層出不窮。今後我國在機械零件學方面的發展，和祖國其他事業一樣，前途當必無可限量。

1—2 機械零件與組合併

一部機械（或機器）所包含的那些單純個體，稱為機件或零件。例如：活塞、連桿、十字頭、楔與銷等。具有同一使命的幾個零件的組合體，稱為結節或組合併。例如：十字頭與活塞桿的楔接合，連桿與十字頭的銷接合都是。機械零件與組合併必須具備下列的條件。

I. 機械零件必須具備的條件：

- (1) 最輕的重量與足夠的強度；
- (2) 必要的剛度；
- (3) 足夠的抗磨性；
- (4) 製造成本經濟，構造式樣簡單；
- (5) 使用方便而且安全；
- (6) 適合國家規定的標準。

II. 機械組合併必須具備的條件：

- (1) 所有上述機械零件應具備的條件；
- (2) 容易裝拆；
- (3) 各組合併易於更換。

1—3 零件設計與機械設計

機械既然由各種不同的一些零件或組合併所組成，那麼這些零

件間的相互關係，它們所用的材料，以及它們的式樣和大小當然都應該與這部機械的要求相適合。凡是決定機構的組合，選擇零件的材料，以及計算零件尺寸的大小以便達到這部機械作工的要求的，就稱之為機械設計。至於零件設計只是機械設計中的一部份過程，當然凡是所設計出來的零件或組零件都必須適合於上節所述的那些條件。

機械設計為一門綜合性的學科，它必須具有數學，理論力學，材料力學，工程畫，機械原理，金屬工學，金屬切削及機床，以及公差與技術測量等各方面的知識。至於特種機械的設計，則更須具備有關專業課程方面的知識。

零件設計或機械設計由於根據的不同，一般大致可以分為理論設計與經驗設計兩種。

1. 理論設計——根據理論公式，或理論公式中加以實驗係數修正過的半理論公式來計算零件的尺寸。

2. 經驗設計——根據試驗結果或實際使用結果所歸納出的一些經驗公式、圖表、或法規來計算零件的尺寸。

機械設計的次序一般大致可以分為下列幾個主要的步驟：

- (1) 機構組合的決定；
- (2) 材料的選擇；
- (3) 零件受力的分析；
- (4) 零件尺寸的決定；
- (5) 設計的修正；
- (6) 零件圖與總圖的繪製。

在某些情況下，上述步驟中的一步或幾步，或因其過於簡單與其

他步驟合併，但它們的次序仍大致不變。現在將上述步驟略敘述如次。

(1) **機構組合的決定**——凡設計一部機械必須首先明瞭它的動力來源、工作性質與工作目的等等，然後再根據機械原理的知識來決定採用何種機構的組合，並由此組合來計算其運動關係，以便達到預期工作的目的。在做此項工作的時候，常畫一機構略圖，以便於計算。

(2) **材料的選擇**——材料的選擇為機械設計中的一項很重要的工作，選擇時必須根據零件的式樣及其載荷情況與施工方法各方面來考慮。此外對於成本方面也必須加以注意。設兩種材料作某種用途同樣都很好，那麼自然應該採用其價值較低的，以便為祖國節省財富。但產品的成本為材料價格與人工價格兩者之和，有時較高價格的材料反而易於加工，它所省的工價足以抵償其料價，結果高價材料成本並不一定較高，故選擇材料必須從全面來進行考慮。

(3) **零件受力的分析**——根據上述機構略圖用力學的原理分析各部零件上所受的作用力（包括內力與外力），分析結果應該用清晰的草圖表示出來，圖上還須註明所有的力，力矩，與反作用力的大小，方向及作用點。

(4) **零件尺寸的決定**——零件上受力的大小與方向既經決定，零件的材料又已選擇，那麼就可根據材料力學的知識由材料的許用應力來初步決定零件的尺寸，決定尺寸時應儘可能照顧到1—2節所述的各項條件。有時零件的受力情形不能十分明確，那麼就可根據由試驗得來的經驗公式或規範來決定零件的尺寸（經驗設計）。

(5) **設計的修正**——在正式作圖之前應根據上項初步設計所作

的草圖詳細修正。對於整個機械而言，它的各部零件尺寸的最後決定除根據 1—2 節所述各項條件而外，尚須根據（一）工廠的設備情況，（二）所製造機械數量的多少，（三）潤滑及散熱的情況，（四）製造、使用與維護的經濟，（五）使用的方便與安全等各方面來進一步考慮。此外在畫裝配草圖時，有時可能發現某些零件的安裝或運轉彼此干涉，如此則零件的形狀與尺寸或甚至一部份設計都須加以修正。

（6）零件圖與總圖的繪製——這是設計的最後工作，注意在零件圖（或工作圖）上應該註有足夠的尺寸。此外如公差、加工符號、以及必要的技術條件都應該清楚地註明。

以上所述為零件設計與機械設計的一般步驟。本書主要內容將着重於研究各種零件設計的基本原理，至於各種機械的專門設計如前所述必須具備有關的專業知識，它們的敘述將隸屬於各有關專業的課程範圍之內。

第二章 機械零件中的應力與影響零件 強度的因素

2—1 載荷與應力

到目前為止對於作用在機械零件或結構上的載荷還沒有一種統一的分類法。

載荷可以分為基本載荷與附加載荷兩類。基本載荷是由於零件或結構本身的重量或它們所支持物的重量而產生的載荷。附加載荷是由於異常原因（例如由於建築物上的颶風）而產生的偶然載荷。

最普通的分類法是把載荷分為靜載荷與動載荷兩種。不隨時間而變或變化極慢極小的載荷稱靜載荷。如零件本身的重量與鍋爐中的蒸汽壓力等都是靜載荷。隨時間而變的載荷稱為動載荷或變載荷。此種載荷又可分為週期性的與非週期性的兩種。如機械上不平衡質量在穩定運轉情況下的慣性力便屬於週期性的變載荷，又如汽車行走時它的機件上所受的載荷則屬於非週期性的變載荷。此外在極短時間內所驟加的載荷稱為衝擊載荷。如碎石機中零件所受的載荷便是。衝擊載荷為動載荷的一種特例。

物體由於外力作用而產生的應力可按材料力學的公式來計算。此種應力的分類與載荷的分類相同。如基本應力、附加應力、靜應

力、變應力及衝擊應力等等。

物體內不因外力作用而存在的應力稱為內應力。如鑄件中由於冷卻不均勻而引起的應力便是內應力。內應力可達最大的值，它常使機件形成裂痕甚至於損壞。

2—2 循環應力

循環應力就是上節所述的變應力中的一種，所以它也可以稱為週期性的變應力。在零件中任一點的應力究竟屬於靜應力或變應力應隨所加載荷的性質及零件的運動情況而定。例如大小與方向都不變的靜載荷作用於旋轉的軸上，就使軸內產生變應力。應力由一個極限值變到另一個極限值（如由正變到負），然後又回到原來極限值的變化，就稱為應力循環，此種應力就稱為循環應力。

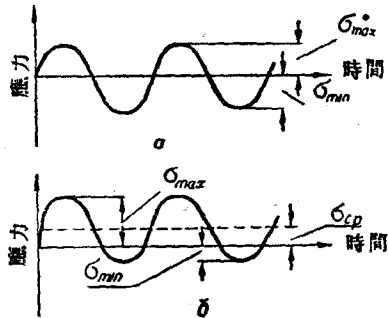


圖 2—1

“應力——時間”曲線的形狀很多，其中最簡單的如圖 2—1 (A) 所示稱為對稱循環，它的特點是 $\sigma_{max} = -\sigma_{min}$ ；至於如圖 2—1 (B) 所示，其中 $\sigma_{max} \neq -\sigma_{min}$ 則稱為不對稱循環。

為了便於研究循環應力的特性，一般都採用下列的幾個符號：

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2} \dots\dots\dots (2-1)$$

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2} \dots\dots\dots (2-2)$$

$$\gamma = \frac{\sigma_{min}}{\sigma_{max}} \dots \dots \dots (2-3)$$

其中 σ_{max} 表示最大應力, σ_{min} 表示最小應力, σ_m 表示平均應力, σ_a 稱為應力幅, γ 稱為循環特徵值。此值可由 $\gamma = +1$ (即靜應力狀態, 此時 $\sigma_{max} = \sigma_{min}$) 變到 $\gamma = -1$ (即對稱循環狀態, 此時 $\sigma_{max} = -\sigma_{min}$),

為了便於區別循環應力的狀態, 常將“ γ ”值附註於常用應力符號的右下角。例如 σ_0 表示脈變循環時 ($\gamma = \frac{0}{\sigma_{max}} = 0$) 的持久應力, $\sigma_{-0.75}$ 表示非對稱循環時 ($\gamma = \frac{\sigma_{min}}{\sigma_{max}} = -0.75$) 的持久應力, σ_{-1} 表示對稱循環時 ($\gamma = -\frac{\sigma_{min}}{\sigma_{max}} = -1$) 的持久應力等等。

2—3 衝擊應力

零件受衝擊載荷所產生的應力稱為衝擊應力。衝擊載荷的特點是作用的時間極短 (僅 0.001 秒或甚至更短) 而且它還傳遞一定量的動能。當零件受到衝擊時, 它的表面極薄層中的材料可能有彈性模數 E 與其他機械性質的變化。由於解決此類問題現在還存在着很大的困難, 所以直到現在為止對於衝擊應力的計算尚沒有統一的方法。下面介紹兩種計算的方法:

(一) 衝擊試驗法——此法就是預先將材料作各種不同的衝擊試驗, 然後再根據這種試驗的基礎依照該情況下應採用的安全係數來選擇許用應力。此法比較可靠, 但因為要作種種試驗, 所以應用還是受到一定的限制。

(二) 相當靜應力的計算法——此法是根據用假想的靜載荷來計算的方法。例如：假設一垂直的鋼桿長度為“ l ”，橫斷面積為“ F ”，受了一個重量為“ Q ”的落體作軸向的衝擊。並假定落體在衝擊前曾作高度“ h ”的下落，鋼桿受衝擊後被壓縮的長度為“ Σ ”，則 Q 物所作的外功即等於 $Q(h + \Sigma)$ 。又設鋼桿在與 Q 物接觸之瞬間應力為零，當桿被壓縮後應力為“ σ ”，若在彈性限度之內則此鋼桿被壓縮力所作的內功（即彈能）就等於 $\frac{1}{2} F \sigma \Sigma$ 。令外功等於內功則得：

$$\sigma = 2Q \frac{(h + \Sigma)}{F \Sigma} \dots\dots\dots (2-4)$$

令 $\frac{Q}{F} = \sigma' =$ 靜應力， $\Sigma' =$ 相當的靜變形，則在彈性變形情況下：

$$\Sigma' = \Sigma \frac{\sigma'}{\sigma} \dots\dots\dots (2-5)$$

由以上二式合併可求得：

$$\sigma = \sigma' \left[1 + \sqrt{1 + \frac{2h}{\Sigma'}} \right] \dots\dots\dots (2-6)$$

上式中“ σ ”就是在重量“ Q ”的衝擊下鋼桿上所受的衝擊應力，其中 $\Sigma' = \frac{\sigma' l}{E} = \frac{Ql}{FE}$ 。若係驟加載荷，也就是說 Q 在與鋼桿接觸之前沒有高度（ $h = 0$ ），那麼（2—6）式就會變為： $\sigma = 2 \sigma'$ 。這就說明了由驟加載荷所產生的應力，相當於同樣靜載荷所產生靜應力的兩倍。

2—4 影響零件強度的因素

機械零件的形狀都是比較複雜，而且它們的工作情況也都彼此

不同，但我們一般所用的材料強度却是根據尺寸細小而形狀簡單的材料試樣來測定的；因此材料的強度與零件的強度之間就顯然有着差別。現在將影響零件強度的一些主要因素列舉如下。

(1) 應力集中

當機械零件尺寸在某處有突然的變化，或在零件上有孔、凹口、與圓角等的存在，那麼當承受載荷時，鄰近這些地方的應力就比較很大。此種現象稱為應力集中。在應力集中的地方，其最大應力與該零件名義應力的比值，稱為理論應力集中係數或形狀係數。若用 σ, τ 分別表示名義正應力與剪應力，那麼它們的理論應力集中係數可表示如下：

$$K'_\sigma = \frac{\sigma_{max}}{\sigma}, \quad K'_\tau = \frac{\tau_{max}}{\tau}$$

若用 σ'_f 與 σ_f 分別表示無應力集中及有應力集中時零件材料的持久極限，那麼當零件受變載荷時，它的有效應力集中係數可表示如下：

$$K_\sigma = \frac{\sigma'_f}{\sigma_f}, \quad K_\tau = \frac{\tau'_f}{\tau_f}$$

有效應力集中係數常小於理論應力集中係數，它們之間的關係隨材料和工作的情況而不同。

在變載荷作用下，零件材料對於應力集中實際所呈現的影響，可用材料對應力集中的敏性係數 q 來決定：

$$q = \frac{K_\sigma - 1}{K'_\sigma - 1} \dots \dots \dots (2-7)$$

因此有效應力集中係數可用下列二式計算：