

大學用書

機械設計

中國科學圖書
印行

大學用書

機 械 設 計

MACHINE DESIGN

(原本改訂版)

中國科學圖書儀器公司

印 行

大學用書

機械設計

Machine Design

一九五〇年十月初版

一九五一年四月再版

版權所有 翻印必究

原著者 V. L. Maleev

譯述者 馬 明 德

發行者 中國科學圖書儀器公司

發行所 中國科學圖書儀器公司
上海(18)延安中路537號

分發行所 中國科學圖書儀器公司
南京：太平路273號
廣州：永漢北路204號

實價 ¥40,000

ME2 5/3—0.075

著 者 序

機器製造商之競爭日烈，機器之馬力及大小亦日益增加。爲使各部機件不過於重大，以恰合所需之強度及工作上之要求，以最經濟最有效之方法利用材料起見，遂使機械設計之方法漸趨精確化。此種精確化之設計步驟，對增加機器之速率，及減少慣性力而言，極爲重要。

工程材料之性質及特性，以及載荷及其他工作情形，對機件內所產生之應力之影響之研究工作，最近發展甚大。此等研究工作雖常在繼續進行，但關於應力分布，應力集中，材料之持久性及蠕變等現象，均已有了甚重要之結果及數據可供參考。至於此種新數據應如何使用於設計問題上，則爲一般工程刊物內所討論之主題，教科書及參考書內亦略有述及。但此類書內對某些顯著事實之重要性並未特別提出，且對如何應用於設計，亦無足夠之正確報導。著者試將此種材料匯集而編載於本書內，並說明其在設計上之應用法，並試將用爲機械設計之基礎之虎克定律與機件內由工作應力所生之彈性變形加以略去之通常假設間之矛盾，設法予以合理之解釋。

設計計算所根據之各種公式，與其基本概念及定義，分載於各章內。熟悉應用力學原理之讀者可以略去其中之一部。但其一部概念及事實，則係普通大學“材料力學”學程內所不多見者。

著者試於第三章內將各種材料之性質，編爲較完善之表格及圖，以供設計計算之應用，關係各種工程材料之彈性限度及持久限度，尤爲詳盡。此等表格均根據各參考書籍及各廠家所供給之數據編

成，有數種材料之彈性限度及持久限度尙無直接試驗數據可查，其值則係用材料之他種機械性質及已確立之通用關係計算而來。

第四章機械計算法爲全書最重要之一章。本章內所載之安全因數之定義與他書不同。根據一般之歐洲習慣及美國改用之趨勢，安全因數，受靜載荷時應根據彈性限度或萎點，而受反覆動力載荷時則應根據其持久限度。

鑄件設計一章，將普通認爲全係實用上之問題，用較合理化及較科學化之方法講解之。

本書所用符號及縮寫，係根據美國標準協會(A. S. A.)及美國機械工程協會(A.S.M.E.)所薦用者仔細選定。

因受一般學校內機械設計學程一課之時間限制，作者僅將最通用之機件及最重要之問題列入，其他特種細件，如活塞，十字頭，連桿，凸輪，偏心輪等，均未能包括於本書之內。

著者對供給報告，數據，圖樣之各公司表示謝意。對歐克魯荷馬(Oklahoma)大學貝克(E. C. Backer)教授，及麻省理工大學，斯衛德(G. W. Swett)及湯生(A. L. Townsend)等二教授之見議及協助，無任感激。

本書包括現代工程研究之結果，並將其價值與重要性特加申述。著者希望本書能補以前教本之不足之材料。讀者如有批評見議，深所歡迎。

V. L. Maleev

譯 序

設計一套機械，必須具有多方面的基本知識；如同力學，材料力學，機械運動學，熱力學，流體力學，材料學等。怎樣把這些基本知識和實際經驗，簡要的，有步驟，有系統的結合起來，就是一般機械設計課目內容所必須包括的主要知識。這本書原本初版在1938年，並在1946年增訂，內容尙稱完備。關於持久圖的應用和介紹，滾珠螺母，螺旋的講解和計算，一般機械設計教課本，均未提及。應力集中，和軸承設計方面的取材，也比較豐富。並在書後附有習題404則。

在翻譯過程中，有數處發見錯誤，或不合適的地方，均按照譯者的意見，加以修改。並增添附錄 C，簡略補充有關自然振動頻率，和振動方式的講解。

翻譯工作開始於1947年3月，同年9月完成於上海交通大學，最後校對於1949年12月完成於軍政大學。本書雖經過數次校對，譯者仍發現有排版上，和文字上的錯誤，希望讀者隨時指正爲荷。

翻譯工作曾經趙沔先生協助，並由薛鴻達先生修改翻譯名詞，譯者深表謝意。

馬明德補序於南京 1951 年 1 月

縮 寫

A.G.M.A.	美國齒輪製造協會(American Gear Manufacture's Association)
A.S.A.	美國標準協會(American Standard Association)
A.S.M.E.	美國機械工程協會(American Society of Mechanical Engineering)
S.A.E.	美國自動機工程協會(American Society of Automotive Engineering)
b.hp.	軛馬力(Brake horsepower)
B.h.n.	布蘭尼氏硬度數(Brinell hardness number)
B.t.u.	英制熱單位(British thermal unit)
[°F]	度, 華氏(degree, Fahrenheit)
[呎/分]	每分鐘呎數(feet per minute)
[呎/秒]	每秒鐘呎數(feet per second)
[呎]	呎(foot, feet)
[呎·磅]	呎·磅(foot-pound)
hp.	馬力(horsepower)
[吋]	吋(inch)
[吋·磅]	吋·磅(inch-pound)
[磅]	磅(pound)
[磅·呎]	磅·呎(pound-foot)
[磅·吋]	磅·吋(pound-inch)
[分]	分鐘(minutes)
[磅/吋 ²]	每平方吋上之磅數(pound per square inch)
[磅/吋 ²](計算)	每平方吋上之計示壓力磅數(pound per square inch gage)
[轉/分]	每分鐘轉數(revolution per minute)
[秒]	秒鐘(second)
[噸]	噸(ton)
[振數]	振動次數(vibrations)

符 號

(所用之因次,根據 F, L, T 工程系統)

符號	單位	因次	名 稱
a	[呎/秒 ²]	LT ⁻²	直線加速度
A	[吋 ²]	L ²	全面積,或截面面積
b	[吋]	L	寬度
c	[吋]	L	由中和軸至最外纖維之距離
C	—	—	常數,可另附有不同腳號
C	[磅]	F	離心力
d, D	[吋]或[呎]	L	直徑
e	[吋]	L	變形總量
e	[吋]	L	偏心率,或偏心距離
e	1	0	效率,多另加腳號
E	[磅/吋 ²]	FL ⁻²	彈性模數,直接(牽力或壓縮)
f	1	0	滑動摩擦係數
f	[振動/秒]	T ⁻¹	振動頻率
F	[磅]	F	力,集中載荷
g	[呎/秒 ²]	LT ⁻²	重力加速度, 32.2 [呎/秒 ²]
G	[磅/吋 ²]	FL ⁻² (θ) ⁻¹	彈性模數,橫(剪力或扭轉)
h	[吋]	L	高度,深度,或厚度
hp	[馬力]	FLT ⁻¹	馬力
i	1	0	若 n 用以表示(轉/分),則 i 代表原件個數
I	[吋 ⁴]	L ⁴	面積之直角慣性矩
J	[吋 ⁴]	L ⁴	面積之極慣性矩
k, K	—	—	經驗公式中,所用係數多另附腳號
K	1	0	應力集中因數,亦有另附腳號者
k	[吋]	L	直角迴轉半徑
k_0	[吋]	L	極迴轉半徑
l, L	[吋]或[呎]	L	長度,距離

*符號 i 表兩項係成直角者。

符

號

符號	單位	因次	名稱
m	[磅/(呎/秒) ²]	$FL^{-1}T^2$	質量
M	[磅·吋]或[磅·呎]	FL	力偶之力矩
n	1	0	安全因數,設計
n'	1	0	安全因數,實際,或實有
n	1	0	機件或原件之個數
n	[轉/分]	T^{-1}	每分鐘內之轉數
N	[磅]	F	力,法線
p	[吋]	L	間距,節距,螺距
p	[磅/吋 ²]	FL^{-2} *	壓力
P	[呎·磅/分]	FLT^{-1}	動力,功率,每單時間所作之功
Q	[磅]	F	載荷,全
r, R	[吋]	F	半徑,曲率半徑
R	[磅]	F	反力
s	[磅/吋 ²]	FL^{-2} *	應力,直接或正,率或壓縮
s_s	[磅/吋 ²]	FL^{-2} *	應力,壓縮
s_n, s_o	[磅/吋 ²]	FL^{-2} *	應力,正
s_s	[磅/吋 ²]	FL^{-2}	應力,剪或切線
S_d	[磅/吋 ²]	FL^{-2} *	設計應力
S_e	[磅/吋 ²]	或	彈性限度
S_m	[磅/吋 ²]	FL^{-2}	持久限度
t	°F	0	溫度
t	[秒],[分],[時]	T	時間
T	[磅·吋]或[磅·呎]	FL *	轉矩,扭轉力矩
T	[秒]	T	週期(諧和運動)
u	[吋·磅/吋 ²]	FL^{-2} *	彈性能模數
U	[吋·磅]	FL	彈性能
v	[呎/秒]或[呎/分]	LT^{-1}	直線速度
V	[吋 ³]	L^3	體積
w	[磅/吋 ³]	FL^{-3}	單位重量,重度
W	[磅]	F	全重,載荷
W	[吋·磅]或[呎·磅]	FL	功

*符號 i 表兩項係成直角者。

符號	單位	因次	名 稱
y	[吋]	L	變位
Y	1	0	齒輪計算中之劉易氏因數
Z	[吋 ³]	L^3	面積之直角截面模數
Z_0	[吋 ³]	L^3	面積之極截面模數
Z	[厘伯斯]	$FL^{-2}T$	絕對黏度
Z_k	[厘司徒克], (呎 ² /秒)	L^2T^{-1}	動黏度
α	1	0	直線熱膨脹係數
α, β, γ	[度]	0	壓縮角之角
γ	1	0	與水柱比之比重
ϵ	1	0	單位變形
Θ	[彈]	L^2IL^{-1}	角變位
Θ	[徑]	L^2IL^{-1}	角度
λ	[度]	0	螺桿或螺紋之導角
μ	1	0	泊松比
ν_0	[磅 秒/吋 ²]	FLT^{-2}	黏度, 絕對, 羅諾(Reynolds)
π	1	0	圓周與直徑之比, 3.1414
ρ	[磅/(呎/秒 ³)呎 ³]	$FL^{-3}T^3$	密度, 每單位體積內之質量。
φ	[度]	0	摩擦角
ω	[徑/秒]	$(\Theta)T^{-1}$	角速度

*符號 i 表兩項係成直角者。

目次

章	
1. 導言	1
2. 機件上之應力	8
3. 材料之性質	57
4. 機械設計算法	84
5. 螺旋連接件	130
6. 鍵,銷,及栓	163
7. 壓力接合,冷縮接合,與摩擦接合	184
8. 鉚釘接合	196
9. 焊接合	220
10. 鑄件設計	242
11. 鏈與索	252
12. 軛	269
13. 傳遞動力之螺旋	284
14. 圓筒,頭,蓋板	308
15. 填料及封口	320
16. 葉彈簧	330
17. 螺旋彈簧	340
18. 軸	360
19. 聯軸節及確動離合器	380
20. 摩擦離合器	396
21. 滑動接觸軸承	415
22. 滾動接觸軸承	448

23. 曲軸	468
24. 飛輪	492
25. 帶傳動	504
26. 鏈傳動	527
27. 摩擦聯動	544
28. 正齒輪聯動	553
29. 斜齒輪聯動	587
30. 蝸輪聯動	612
31. 螺旋齒輪聯動	630
附錄 A 習題	637
B 肋之合理設計	680
C 自然振動頻率	686
索引	691—7

第一編

應力與材料

第一章

導言

1. 機械設計。機械設計(Machine Design)為啓發對機器構造之新理想,並用計畫與作圖表示出之一種學術。此種理想中之主要者為新發明,或對現有機器之新改進,其他如對於現有機器或機件之大小,載荷,及材料等之變換,亦皆屬於機械設計範圍之內。

一完美之設計,即機器內每一機件之強度,皆足以勝任其所應負之任務,且並不過重,或過大,以免材料過分之浪費,與製造成本不必要之增加。

欲完成一優秀之設計,工程師須具有下列各項基本知識及條件:
(1)關於機器構造之基本知識;(2)分析機件每部上之作用力與反作用力(reaction)之能力;(3)有關於材料方面之報告及數據;(4)機件式樣對於應力之影響;(5)裝配之方法;(6)機器或機件之實際運學科之應用,用及經常保養方法。現代機械設計應包括三種基本即機構學,力學,與材料力學。後者並包括彈性力學,其他如相似機械之實驗,數據,對於設計工作,亦為極有價值之參考。

2. 設計程序。機械設計之正當程序,可以略分為下列各主要步驟:

- (a) 問題之分析;
- (b) 必要之選擇;
- (c) 初步設計;
- (d) 設計之修正;

(e) 最後之作圖。

在某種情況下，上述步驟中之一步或數步，或因其過於簡單而與其他步驟合併。但此項合理之次序仍不變更。

3. 分析。 作用於一機件上之外力與內力之徹底分析最為重要，此種力之可能來源及其原因如下：

(a) 由機件傳遞而來之能量所產生之有用載荷；

(b) 靜重力 (dead weight force)；

(c) 摩擦力；

(d) 由於速度大小之變更，所產生之慣性力；

(e) 由於速度方向之變更，所產生之離心力；

(f) 由於溫度變化所產生之力；

(g) 由於製造程序所產生之力；

(h) 由於機件形狀而產生之力。

作用於機件上之力，力矩，反作用力，皆應算出。其計算精確程度視該件之重要程度而決定之。複雜之載荷，可分解而成為較簡單者。在更較複雜之情況下，力與各力間之關係有變化時，如引擎內活塞運動所產生之力，上述程序或須在二種或數種之變化狀態下重覆計算，始可找出其最大力或力矩，或機件上需要設計之最弱截面。

上述分析之結果，應用清晰之草圖表示之。圖上且須註明，所有加於該機件上之力，力矩，與反力等之方向，大小，及其作用點。如設計者因上述分析所需用之報告，不夠完全，而不能精確計算時，則可根據相似或較簡單之問題，或曾經詳細研究過之問題，作某種假定。作假定時並無一定規則，但可斷言者，為假定愈少，則所得結果愈佳。在設計上，非至萬不得已時，不應作任何假定。

4. 選擇。開始設計一部機械之前，所需要選擇之事有三，即機動系統之安排，需用之材料，及許用應力。

機動系統 所需設計之機件，每件之用途各異，故選擇合適之機動安排時，因其目標不同，而須有不同之考慮，如強度，易蝕性，運動之精確度，效率，與成本等等。

材料之選擇 設計一種機件時，須根據機件之式樣及其載荷條件，由許多可獲得之現代材料中，選一最合用之材料。抗蝕性為其中重要項目之一。因腐蝕對於材料強弱之影響甚大，尤其有反覆載荷(repeated load)時之影響更大。將於討論各種機械細件時，再詳述之。

設計者對成本一項，亦須加以注意。設兩種材料作某種用途皆甚佳良，則其中之價格較低者，即所應選擇者。但成品之價格為材料價格與人工價格之和，有時較高價格之材料反較易於加工，其所節省之工價，足以抵償其高出之料價。因為價高之材料，每即較佳之材料，故有時機件之性能可以改進，同時成本並不必增高。實際工作之經驗對於選擇材料一項，有極大之協助。

設計應力(design stress) 設計一件機件，選擇適當之設計應力時，必先了解材料之工作性質；同時選擇時又須視其工作條件而決定之，其最重要者，如載荷之波動，及在有突然截面變化時所發生之應力分布等。故在計算中，同樣材料之不同機件，其所需用之名義應力(nominal stress)不一定相同。甚至在同一機件不同截面上，亦需用不同之名義應力。

5. 初步設計。初步設計中所需決定者，為機械內所有機件之尺寸大小。決定尺寸時，其最重要之要求，為足夠之強度。但其他兩個要求——剛性與抗磨性，在若干機件上亦須加以考慮。

有時一機件之形狀，須視其工作條件與連接該件上之其他機件之形狀而決定之。如此則設計程序亦有時需要連帶加以改變。先根據工作要求，決定該件之形狀，核算各截面之應力，最後再作必要之尺寸改變。如設計之目標僅在強度，則選擇適當程序之根據為使一機件上之所有截面，一機械內之所有機件之強度皆相等。一不必要之截面加大，不僅浪費材料，且可能使其隣接截面以至整個機件之強度均行減弱。

設計者在計算應力時，應深切明瞭每個載荷之性質及其實際情形。不然則選用公式時，極易發生錯誤。

機件如因橫向或扭轉振動而可能發生共振時，則需核計其臨界轉速。

過度之磨損可利用各種方法以避免之，如：利用特種材料；較大及剛性較強之軸承面；合適之滑潤方法；取消偏心載荷之施加等等。

設剛性為某種設計之主要關鍵，即某機械在運用時不應有過大之扭歪。則主要部分因受力而產生之變位，皆需算出。同時又需選用剛性模數較大之材料。故有時不採用焊接鋼板式之構造，而適於採用鑄鐵者。但據現今對於材料強度，彈性，及應力分布等知識，僅能精確計算截面簡單之物體之變形。物體截面之較複雜者，則需憑經驗以找出合適之尺寸，或需作專門研究及試驗，以求出其作用力，尺寸，及變形之關係。

形狀既經確定，則用草圖將該件之各面之視圖，與截面圖畫出。計算所得之尺寸亦須註於圖上。有時用斜射影圖(oblique projections)更易明白表示設計之形狀。

計算應盡量完全，盡量詳細。所有計算皆應用整潔易讀之方式錄出，以便於覆核之工作。