

機械設計及 機械設計製圖

國立台灣大學教授

工學博士

劉鼎嶽 編著



文京圖書有限公司

機械設計及 機械設計製圖

國立台灣大學教授

工學博士

劉鼎嶽 編著

文京圖書有限公司

序

要設計一部完整之機械時，我們首先把機械分解為軸，軸承，鍵，螺栓，齒輪，彈簧，皮帶輪……等之機械零件，然後對於各種零件由產生之應力，撓度等之條件設計所需之尺寸。一般機械零件之設計我們稱為機械設計。由計算決定之尺寸市面上不一定可以買到，所以一定需要參考各種規格決定各零件之尺寸。零件尺寸決定之後我們需要在圖上決定各零件之相對關係及位置——即做機械設計製圖。

本書之第一編為機械零件之設計，第二編為機械設計製圖，第三編為設計資料。本書為本人在台灣大學機械系多年所教之資料為基礎所編著的。本書不但可當大學、專科學校之教科書之外還可以當工程師、機械設計人員、意志投考高等考試、機械技師的青年之參考書。

本書內之機械工程名詞採用民國七十一年四月教育部公佈（第三版）其內容與五十一年十一月公佈者有相當之修改。例如負荷改為負載，許用應力改變為容許應力，磨擦改為摩擦，坐曲改為屈曲，狄塞爾機改為狄則耳機等。

本書雖極審慎但疏漏之處仍恐難免，尚祈海內賢達，不吝賜教是幸。

劉 鼎 嶽 謹識

民國七十三年二月一日於台灣大學

目 錄

第一編 機械設計

第 1 章	總 論	1
	1.1 機 件	1
	1.2 單位之換算	1
	1.3 式之數值計算	3
第 2 章	材 料 力 學	5
	2.1 材料力學	5
	2.2 習 題	30
第 3 章	連結用機械零件	35
	3.1 螺紋，螺栓及螺帽	35
	3.2 鍵，銷，栓	53
	3.3 鉚釘接合	60
	3.4 熔接接合	73
	3.5 習 題	82
第 4 章	軸 及 軸 受	87
	4.1 祇受彎曲力矩之軸	87
	4.2 祇承受扭矩之軸	96
	4.3 承受合成負載之軸	100
	4.4 傳 動 軸	114
	4.5 軸聯結器	124
	4.6 軸 承	135
	4.7 習 題	163
第 5 章	傳 動 裝 置	170
	5.1 摩 擦 輪	170
	5.2 齒 輪	177
	5.3 皮帶傳動，三角皮帶傳動	227
	5.4 鏈條驅動	248
	5.5 凸輪，轉	253
	5.6 軋（煞車，制動器）與棘輪	257
	5.7 習 題	271

第 6 章	彈 簧	283
6.1	螺旋彈簧	283
6.2	疊板彈簧	289
6.3	習 題	296
第 7 章	圓筒（氣缸）及管	298
7.1	壓力容器	298
7.2	管	315
7.3	習 題	321

第 二 編 機 械 設 計 製 圖

第 1 章	凸緣聯結器	323
1.1	聯結器之設計步驟	323
1.2	軸之設計	323
1.3	凸緣聯結器尺寸表	327
1.4	鋼鐵之容許應力及安全因數	330
1.5	設 計 例	331
1.6	習 題	333
第 2 章	安 全 閥	335
2.1	安全閥之使用目的及種類	335
2.2	安全閥之構造	335
2.3	蒸汽噴出量（安全閥能量）	337
2.4	彈簧安全閥設計公式	338
2.5	設 計 例	340
2.6	設 計 圖	342
2.7	習 題	342
第 3 章	齒 輪 泵	345
3.1	齒輪泵之構造與其特徵	345
3.2	齒輪泵之特性與其設計	346
3.3	設 計 例	350
3.4	習 題	352
第 4 章	千 斤 頂	354
4.1	序 論	354

4.2	千斤頂設計順序	355
4.3	設計例題	365
4.4	設計資料	374
4.5	設計圖	387
4.6	習題	387
第 5 章	蝸輪減速機	394
5.1	序論	394
5.2	設計順序	395
5.3	設計例	432
5.4	設計圖	449
5.5	習題	449
第 6 章	手絞車	454
6.1	構造	454
6.2	鋼絲索	454
6.3	絞盤筒	454
6.4	搖手柄	455
6.5	齒數比	455
6.6	齒輪	456
6.7	剎車	458
6.8	棘輪	460
6.9	軸	462
6.10	軸承	462
6.11	機架	462
6.12	設計例	462
6.13	習題	471
第 7 章	風扇	477
7.1	風扇之種類	477
7.2	構造	478
7.3	理論全壓	479
7.4	運轉性能	479
7.5	相似律	481
7.6	Radial plate fan 之設計	482
7.7	設計例	485
7.8	習題	488

第 8 章	單吸渦卷泵	489
8.1	泵口徑之決定	489
8.2	泵全揚程之決定	490
8.3	原動機之回轉數，所需馬力數之決定	494
8.4	泵軸徑之決定	498
8.5	葉輪之設計	498
8.6	渦卷室之設計	503
8.7	軸承之設計	504
8.8	軸封裝置之設計	504
8.9	其 他	504
8.10	習 題	505
第 9 章	狄則耳機（柴油發動機）	512
9.1	設計引擎之主要因次	512
9.2	活塞之設計	522
9.3	活塞銷之設計	525
9.4	連桿之設計	526
9.5	曲柄軸之設計	531

第三編 設計資料

1.	材 料	543
1-1	JIS 材 料	543
1-2	各種材料之容許應力	554
1-3	形鋼之尺寸	557
1-4	管之尺寸	565
2.	螺紋、螺栓、螺樁	568
2-1	公制螺紋	568
2-2	美英統一制螺紋	573
2-3	管用螺紋	574
2-4	梯形螺紋	576
2-5	螺旋端形狀及尺寸	577
2-6	螺 旋	578
2-7	螺 樁	582
2-8	環首螺栓	583
2-9	固定螺釘	584

2-10	螺 帽	586
2-11	有槽機器螺釘	592
2-12	有槽固定螺釘	593
2-13	螺栓孔徑及魚眼徑	595
2-14	螺絲毛孔徑	596
3.	鍵、銷、墊圈、鉚釘、扣環	598
3-1	鍵及鍵槽	598
3-2	銷	605
3-3	墊 圈	607
3-4	鉚 釘	609
3-5	扣 環	610
4.	軸 承	615
4-1	頸 軸 承	615
4-2	滾珠軸承	618
4-3	滾動軸承用墊圈及滾動軸承用鎖緊墊圈	620
4-4	滾動軸承用防鬆螺帽	621
4-5	軸 台	622
5.	皮帶輪、鏈輪	625
5-1	皮 帶 輪	625
5-2	鏈 條	636
5-3	鏈 輪	640
6.	油封、○環、油杯、皮填襯	642
6-1	油 封	642
6-2	○ 環	643
6-3	油杯、油脂杯	645
6-4	填 料	647

第一編 機械設計

第 1 章 總 論

1.1 機 件

構成機械之零件叫做機件。將機件由其使用目的分類則變成如下。

- (1) 鎖緊及固定用機件（螺紋，螺栓，螺帽，鉚釘，鍵等）。
- (2) 關於軸之機件（軸，聯結器，軸承等）。
- (3) 傳動裝置（摩擦輪，齒輪，皮帶輪，凸輪，剎車等）。
- (4) 彈 簧。
- (5) 壓力容器及關於管之機件（壓力容器，鍋爐，管接合，閥等）。
- (6) 其 他。

1.2 單 位 之 換 算

因機械設計為最實際的科目，所使用之單位選用實用而方便者，又計算式不但使用與由理論導出之相同次元者，偶而亦使用不相同次元者。單位主要地使用工學單位但有時混用如粘度之 C.G.S. 絕對單位 poise（泊）（ p ）或者其 100 分之 1 之 centi-poise（百分泊）（ cp ）等，由著者使用種種之單位。

故由不相同書籍之資料計算時，特別注意其單位之換算，免得產生錯誤之結果。下表，表示各種被採用之主要單位。

表 1.1 單位之換算（粗體字為本書所採用之單位）

物 理 量	
長 度	$0.001 \text{ m} = 0.1 \text{ cm} = 1 \text{ mm}$
速 度	$1 \text{ m/s} = 100 \text{ cm/s}$

重力之加速度	$9.8 \text{ m/s}^2 = 980 \text{ cm/s}^2$
重量，力	$1 \text{ kg} = 1000 \text{ g}$
壓力	$10^4 \text{ kg/m}^2 = 1 \text{ kg/cm}^2 = 0.01 \text{ kg/mm}^2$
應 力	$100 \text{ kg/cm}^2 = 1 \text{ kg/mm}^2$
單位體積重量	$10^3 \text{ kg/m}^3 = 1 \text{ g/cm}^3 = 1 \text{ kg/l} = 1 \text{ t/m}^3$
力 矩	$0.001 \text{ m} \cdot \text{kg} = 0.1 \text{ cm} \cdot \text{kg} = 1 \text{ mm} \cdot \text{kg}$
慣性力矩 (I)	$10^{-4} \text{ cm}^4 = 1 \text{ mm}^4$
截面係數 (Z)	$10^{-3} \text{ cm}^3 = 1 \text{ mm}^3$
流 量	$10^{-6} \text{ m}^3/\text{s} = 10^{-3} \text{ l/s} = 1 \text{ cm}^3/\text{s}$
粘 度 (η)	$1 \text{ p (C.G.S. 絕對)} = 100 \text{ cp} = 1/98 \text{ kgs/m}^2$ (工學單位) $1 \text{ cp} = (1/9800) \text{ kgs/m}^2$
動粘度 (ν)	$1 \text{ st (C.G.S. 絕對)} = 100 \text{ cst} = 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ (工學單位)
軸承 p v 值	$100 \text{ kg/cm}^2 \cdot \text{m/s} = 1 \text{ kg/mm}^2 \cdot \text{m/s}$
軸承 $\eta N/p$ 值	$1 \text{ cp} \cdot \text{rpm} / (\text{kg/cm}^2) = (1/9800) (\text{kg} \cdot \text{s/m}^2) \cdot \text{rpm} / (\text{kg/cm}^2) = 1.07 \times 10^{-9} \text{ p} \cdot (\text{rad/s}) / (\text{dyne/cm}^2) = 100 \text{ cp} \cdot \text{rpm} / (\text{kg/mm}^2)$
對於單位時間，單位面積之摩擦功	$100 \text{ kg/cm}^2 \cdot \text{m/s} = 1 \text{ kg/mm}^2 \cdot \text{m/s}$

例題 1.1 1 大氣壓 (760 mm 水銀柱) 相當於多少 kg/cm^2 ，又以 kg/mm^2 表示則多少？

【解】 1 大氣壓 = $760 \times 13.6 \text{ mm}$ (水柱) = $10340 \text{ mm} = 10.34 \text{ m}$ (水柱) = $1.034 \text{ kg/cm}^2 = 0.01034 \text{ kg/mm}^2$ 。

例題 1.2 水之單位體積之重量為 1 g/cm^3 。試以 kg/l 及 kg/mm^3 表之。

【解】 $1 \text{ g/cm}^3 = 1000 \text{ g/l} = 1 \text{ kg/l} = 1000 \text{ kg/m}^3$ 。

例題 1.3 比重 13.6 之水銀 1 l 有多少 kg 重。

【解】 $1 \text{ cm}^3 \rightarrow 13.6 \text{ g}$ 之故 $1 \text{ l} \rightarrow 13.6 \times 1000 \text{ g} = 13600 \text{ g} = 13.6 \text{ kg}$

例題 1.4 20°C 之水之粘度為大略 1 cp (centi poise)。試將此單位換算

$$t = \frac{D p x}{200 \sigma \eta} + c' \quad (\text{cm}) \quad (\text{cm})$$

則其計算值得錯誤之結果出來。在此公式因 σ 之單位由 kg/mm^2 變成 kg/cm^2 之故原式應改為

$$t = \frac{D p x}{2 \sigma \eta} + c' \quad (\text{cm})$$

(2) 由表內選用容許值代入公式時，特別注意公式內之單位與表內容許值之單位是否相同。

【例 3】 求皮帶每 1 m 重量之公式 $w \text{ kg}$ (第 228 頁)

$$w = 0.1 b t \quad \text{kg/m}$$

b : 皮帶寬度 cm , t : 皮帶厚度 cm

如將 b 及 t 以 mm 單位表示則應變成下式

$$w = 0.001 b t \quad \text{kg/m}$$

【例 4】 軸承 $\eta N/p$ 之設計值 (137 頁) 為 $0.050 (\text{kg} \cdot \text{s}/\text{m}^2) \cdot \text{rpm}/(\text{kg}/\text{cm}^2)$ 時以 $\text{cp} \cdot \text{rpm}/(\text{kg}/\text{cm}^2)$ 系統之式設計時由 $1 \text{ kg} \cdot \text{s}/\text{m}^2 = 9800 \text{ cp}$ 之關係換算為 $\eta N/p = 9800 \times 0.050 = 490 \text{ cp} \cdot \text{rpm}/(\text{kg}/\text{cm}^2)$ 又如以 $\text{cp} \cdot \text{rpm}/(\text{kg}/\text{mm}^2)$ 系統之式表示則由 $1 \text{ kg}/\text{cm}^2 = 1/100 \text{ kg}/\text{mm}^2$ 之關係改為 $\eta N/p = 9800 \times 0.050 = 49000 \text{ cp} \cdot \text{rpm}/(\text{kg}/\text{mm}^2)$ 即可。

(3) 以計算尺或者計算機計算都求到有效數值 3 位數為原則。

(4) 參考測定之精度，需要性，材料之規格及其他之條件，一般地需要將計算值少許修正為原則。

第2章 材料力學

2.1 材料力學

< 符號說明 >

W：負載 kg， A：剖面積 mm^2 ， σ ：正交應力（垂直應力） kg/mm^2 ， σ_b ：彎曲應力 kg/mm^2 ， τ ：剪應力或扭應力 kg/mm^2 ， ϵ ：垂直方向應變， γ ：剪應變， λ ：伸長或收縮量 mm， λ_s ：變形量 mm， l ：長度 mm， E：彈性係數 kg/mm^2 ， G：剛性模數 kg/mm^2 ， R：反力 kg， F：剪力 kg， M：彎曲力矩 $\text{mm}\cdot\text{kg}$ ， w ：分佈負載 kg/mm ， I：剖面之慣性矩 mm^4 ， Z：剖面模數 mm^3 ， δ ：撓度 mm， T：扭轉力矩 $\text{mm}\cdot\text{kg}$ ， I_p ：剖面之極慣性矩 mm^4 ， Z_p ：極剖面模數 mm^3 ， $\bar{\theta}$ ：扭角 rad， θ ：單位長度之扭角 rad/mm ， d：直徑 mm， W_k ：屈曲負載 kg， σ_k ：屈曲應力 kg/mm^2 ， k：（最小）回轉半徑 mm。

1. 負 載

作用於機械上面之外力

(a) 由分佈情況之分類

集中負載……負載所作用之面積可認為點程度之小之情形

分佈負載……負載作用於機械零件之表面上之情形。

均佈負載……負載之分佈為均勻之時。

非均佈負載……負載之分佈為不均勻之情形。

(b) 由負載之速度之分類

靜負載……停止而不動之負載，慢慢地作用而不反覆之負載，或者變動非常少之負載（dead load）。

動負載……以動態所作用之負載（dynamic load）。

變動負載……複雜地變動之負載 (Fluctuated load) 。

覆變負載……以一定大小之力，反覆作用之負載 (Repeated load) 。

(單向) 覆變負載……由 0 到某一定大小反覆作用之負載。
交番負載 (雙向覆變負載) ……力之大小及方向反覆變動之負載 (Alternate load) 。

衝擊負載……突然衝擊性地作用之負載 (Impact load) 。

(c) 由負載方向分類

軸向負載……軸向方向所作用之負載，由作用方向可分為張負載及壓負載。

剪負載……沿着零件之某一平面平行地作用之負載。

彎曲負載……作用於軸使之發生彎曲作用之負載。

扭負載……將軸扭斷作用之負載。

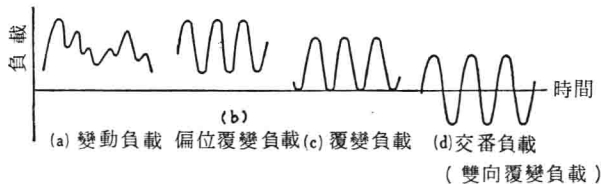


圖 2·1·1 動 負 載

2. 應 力 與 應 變

(a) 應力……由負載產生於零件內部每單位面積之阻力。

$$\text{正交 (垂直) 應力} \begin{cases} \text{張應力} \\ \text{壓應力} \end{cases} \quad \sigma = \frac{W}{A} \quad (2.1.1)$$

$$\text{剪應力} \quad \tau = \frac{W}{A} \quad (2.1.2)$$

(b) 應變……由負載零件內單位長度所產生之變形量。

$$\text{縱向應變} \begin{cases} \text{張應變} \\ \text{壓應變} \end{cases} \quad \epsilon = \frac{\lambda}{\ell} \quad (2.1.3)$$

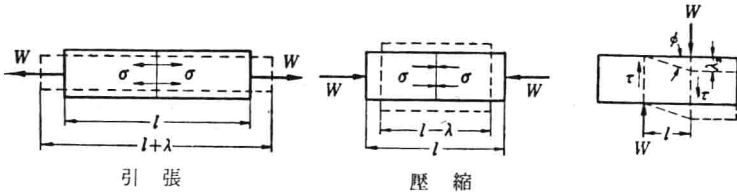


圖 2.1.2 負載、應力與變壓

$$\text{剪應變} \quad \gamma = \frac{\lambda_s}{\ell} \doteq \phi \quad (2.1.4)$$

3. 虎克定律 (Hook's law)

應力不超過某一定值 (比例限度) 內, 應力與應變成正比。此比例定數叫做彈性係 (模) 數 (Modulus of Elasticity), 而其單位與應力相同。

(a) 縱向彈性模數 (Modulus of direct elasticity) E

$$\sigma = \epsilon E \quad (2.1.5)$$

(b) 橫向彈性模數 (Modulus of transverse elasticity) G

$$\tau = \gamma G \quad (2.1.6)$$

表 2.1.1 彈性係數之值

材 料		E kg/mm ²	G kg/mm ²
碳	鋼	2.1×10^4	0.81×10^4
鑄	鋼	2.15×10^4	0.83×10^4
鑄	鐵	1.0×10^4	0.38×10^4
鎳	鋼 (2~3% Ni)	2.09×10^4	0.84×10^4
黃	銅	0.63×10^4	0.24×10^4
砲	銅	0.82×10^4	0.29×10^4

4. 材料之機械性值

比例限度……應力與應變成正比之界限之應力。

彈性限度……將應力慢慢地除去時應變會完全地消失時之界限應力。

降伏點……雖不增加應力，應變會突然增加時之應力，如降伏點不明瞭之材料，以產生 0.2% 之永久應變時之應力當做降伏點。

極限強度……材料能承受之最大應力，對於強度稱為抗張極限強度，而對於剪力稱為抗剪極限強度。

疲勞限度……材料受反覆負載時，以比受靜負載時之極限強度較小之負載破壞之。此現象叫做材料之疲勞，但反覆應力在某一限度以下則不產生由疲勞之破壞。此無限次數反覆作用而不破壞之最大應力叫做疲勞限度 (endurance limit)。

潛變限度……金屬在高溫度下受一定負載時，其應變隨着時間之增加，漸漸地增加比受負載之當初增加的非常多。此現象叫做潛變 (creep)。在某一溫度下，產生某一潛變之應力叫做潛變限度 (creep limit)。

5. 樑

承受彎曲負載之桿稱為樑 (圖 2.1.3)



圖 2.1.3 樑 之 種 類

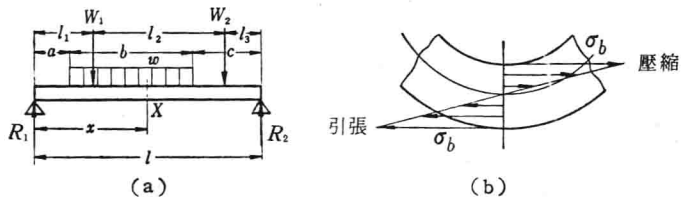


圖 2.1.4 兩端支持樑

(a) 反力 (圖 2.1.4(a))