

工程力學

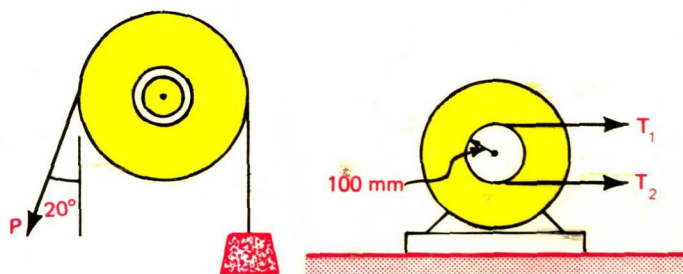
ENGINEERING MECHANICS

上 冊 靜 力 篇

原著者：Anand / Cunniff

譯述者：吳 志 文

Statics



乾泰圖書有限公司

工 程 力 學

ENGINEERING MECHANICS

上 冊 靜 力 篇

原著者：Anand / Cunniff

譯述者：吳 志 文

乾 泰 圖 書 有 限 公 司

特價新台幣 200 元

版權所有

翻印必究

出版者：乾泰圖書有限公司

總經銷：科技圖書股份有限公司

台北市重慶南路一段49號四樓之一

電話：3118308・3118794

郵政劃撥帳號 0015697-3

七十六年五月初版

序

本書分靜力學與動力學兩種的第一種。在本書中將所有靜力學題材涵蓋着。每章的內容也合於讀者自修之用。理論的定理，均細心推導，並佐以實例使讀者更能嫻熟解題。為幫忙學習，每章都對本章內的重要觀念與公式作成總結。

在每一主題後，皆列數十個習題，逐漸增加難度。教師可指定雙數題目練習。題解答案分列本書最後幾頁以資參證。本書同時採用國際制(SI)與英制單位。因此，每個例題與習題皆合於兩種單位。

第一章複習向量與若干在靜力學常用到的定理。第二章說明力與力偶觀念，並考慮質點的平衡狀態。剛體的平衡在第三章說明。二維與三維的平衡雖皆討論過，但重點放在二維上，以免計算複雜。結構與框架的平衡列在第四章，其中為適應電腦繪圖發展，也說明圖解法。

第五章說明形心與分佈力，也說明纜索的分析。由一次矩觀念在第六章說明面積慣性矩與質量慣性矩。在此避免冗長的三維積分計算討論。面積與質量慣性矩在本書提前說明，是使在學習動力學前先熟習慣性觀念。

第七章全部討論樑的分析。摩擦力則在第八章說明。但並不提到流體摩擦力，依經驗，這個題材應在其他課程內說明才是適合。虛功原理將在第九章中說明。含有兩個原因：第一，此法提供得到平衡方程式的另一方法，第二，在機械中的高深問題，要用到此觀念。

要有效學習本書的觀念，讀者至少學過些微積分。因在本書中用到些極限、連續、微分、定積分、不定積分，等的微積分觀念。

本書的內容適於一學期修習用。若時間不夠，可跳過第七章與若干特殊討論，如4.5節的空間構架，5.8節的纜索，6.4節的主軸，及9.4節與9.5節的位能平衡的穩定性等這些問題。

2 工程力學（靜力篇）

本書曾在 Maryland 大學試教多年。我們十分感謝 T.J. Zilka 及 John T. Tielking 教授對本版所作的校對。並感謝許多學生及教師對早先版本所想提供之建議及幫助。

D.K. Anand

P.F. Cuniff

代表符號整理

A	面積
A	具 A 大小的向量
A_x, A_y, A_z	在 X, Y 與 Z 方向的 A 分量
a	常數或長度
B	具 B 大小的向量
B_x, B_y, B_z	在 X, Y 與 Z 方向的 B 分量
b	常數或長度
b	分佈載重
C	設定一壓力
C	與 C 大小的向量
c	常數或長度
C_x, C_y, C_z	C 的 X, Y 與 Z 方向分量
D	具 D 大小的向量
D	常數或長度
D_x, D_y, D_z	D 的 X, Y 與 Z 方向分量
d	距離或長度
$\bar{d}$	形心距離
e	單位向量
e_A	沿向量 A 的單位向量
E	具 E 大小的向量
E_x, E_y, E_z	E 的 X, Y 與 Z 方向分量
F	具 F 大小的力向量
F_x, F_y, F_z	沿 X, Y 與 Z 方向的力分量
F_{AB}	沿構架模件 AB 上的力
f_k	動摩擦力

2 工程力學 (靜力篇)

f_m	靜摩擦力
G	萬有引力常數
g	地心引力加速度
h	距離或常數
I_x	面積或質量對 X 軸慣性矩
I_{xy}	面積或質量對 X 與 Y 軸慣性矩積
$\bar{I}_x$	形心面積或質量對 X 軸慣性矩
$\bar{I}_{xy}$	形心面積或質量對 X, Y 軸慣性矩
i	沿 X 軸單位向量
J	極慣性矩
$\bar{J}$	極形心慣性矩
j	沿 Y 軸單位向量
k	旋徑
k	常數
$\mathbf{k}$	沿 Z 軸單位向量
k	彈簧模數
L	長度
ℓ	長度
M	彎矩
$\mathbf{M}$	具大小 M 的力矩向量
$\mathbf{M}_o$	對 o 點的力矩向量
m	質量
N	正向反力
p	壓力
P	載重或力量
p_a	絕對壓力
p_o	大氣壓力
Q	剪力或力量
$\mathbf{R}$	具 R 大小的合力向量
R_x, R_y, R_z	向量 $\mathbf{R}$ 的 X, Y 與 Z 方向分量

r	半徑或距離
$\mathbf{r}$	正向量
s	距離或長度
T_0	在懸索上原點處算得的拉力
$\mathbf{T}$	大小為 T 的拉力向量
t	Plate 厚度
u	y 對 x 的微分
V	容積
V	位能
W	功
W	瓦特
w	重量
w	載重或重量的分佈
$\mathbf{w}$	重量向量
X, Y, Z	垂直座標軸
$\bar{x}, \bar{y}, \bar{z}$	形心距離
α	螺絲半徑與節距間夾角
δ	虛功的指示位移
ω	角速度
θ	角
ϕ	角
ϕ_0	靜止角
μ	動摩擦係數
μ_0	靜摩擦係數
π	常數

縮寫整理

cos	正弦
cosh	雙曲正弦
da	變數 a 的微分
ft	呎
J	joule 或 $N \cdot m$
kg	kilogram
kip	kilopound
kN	kilonewton
lb	pound
ln	自然對數
m	meter
N	newton
Pa	pascal 或 N/m^2
PW	螺紋的節距
rad	radian
s, sec	second
sin	正弦
sinh	雙曲正弦
t	1000 kg
tan	正切
tanh	雙曲正切

工程力學(靜力篇)

目 錄

序

代表符號整理

縮寫整理

第一章 基本概念

1.1 基礎概念	2
1.2 次元及單位	3
1.3 向 量	6
1.4 向量的內積	13
1.5 向量之外積	21
1.6 解題法	26
1.7 摘 要	28

第二章 力與力矩

2.1 力的解析	29
2.2 三維空間力	43
2.3 質點之平衡	51
2.4 力的力矩	64
2.5 力偶之力矩	79
2.6 力與力矩之結合	83
2.7 摘 要	98

第三章 剛體平衡

3.1 分離體圖	100
----------------	-----

2 工程力學(靜力篇)

3.2 二維空間的平衡	102
3.3 三維空間的平衡	123
3.4 摘 要	135

第四章 結 構

4.1 平面構架的平衡	136
4.2 接點法	141
4.3 圖解法	154
4.4 截面法	158
4.5 空間構架的平衡	165
4.6 框架及機械	173
4.7 摘 要	187

第五章 分佈力

5.1 重力中心(重心)	189
5.2 形 心	191
5.3 組合體	203
5.4 帕帕斯及加地尼斯定理	214
5.5 分佈力	223
5.6 液 壓	231
5.7 浮 力	237
5.8 纜 索	242
5.9 摘 要	257

第六章 慣性矩

6.1 面積積性矩	259
6.2 平行軸原理	274
6.3 面積積矩	285
6.4 主 軸	291
6.5 質量慣性矩	297

6.6 摘 要.....	311
--------------	-----

第七章 樑之分析

7.1 樑之種類.....	313
7.2 樑之集中力.....	315
7.3 樑之力偶.....	323
7.4 樑之分佈力.....	329
7.5 外力、剪力及彎矩之關係.....	335
7.6 摘 要.....	350

第八章 摩擦力

8.1 庫倫摩擦力.....	352
8.2 楔.....	363
8.3 螺 旋.....	368
8.4 皮帶摩擦.....	373
8.5 軸 承.....	381
8.6 摘 要.....	387

第九章 虛功及能量

9.1 功的觀念.....	389
9.2 虛功的觀念.....	396
9.3 連合系統.....	401
9.4 位 能.....	406
9.5 平衡的穩定性.....	414
9.6 摘 要.....	421

習題答案

第一章 基本概念

力學為研究在外力作用下之靜態或動態物體之科學。其中理論力學為物理學家及應用數學家所研究；工程力學則為工程師所感興趣者。力學可分為流體力學、變形力學及剛體力學三個範疇。在本書中我們將研究剛體的力學。

剛體力學可以分為兩部分：靜力學及動力學。一般而言，靜力學乃在研究在不同情況外力下物體之平衡狀態。在本冊我們著重在平衡靜態物體之平衡狀態。至於物體之運動及外力引起之運動我們在另一冊“動力學”再研究之。

力學是古老科學之一。早在亞里斯多德時代 (384 ~ 322 B.C.) 人類已經對力學問題感興趣了。阿基米德 (287 ~ 212 B.C.) 早已清楚地解釋了槓桿原理及浮力原理。再此以後便進步很少，直到十五世紀達文西更深一層地探討阿基米德的研究並將力矩的觀念帶入了平衡物體研究中。而後 Stevinus (1548 ~ 1620) 發展出平衡理論及平行四邊形定律。Varignon (1654 ~ 1722) 並研究了力矩及其構成的關係。虛功原理的概念在高深力學中十分重要亦為 Descartes (1596 ~ 1650) 所提出。虛位移觀念亦為 Pascal (1623 ~ 1662) 用在建立應力傳遞方向的解析上。

牛頓 (1642 ~ 1727) 雖然在其之前已有人對力學有過十分大的貢獻，但牛頓有名的三大定律及萬有引力定律卻是在力學發展上最重要的貢獻。但牛頓僅對質點的研究，Euler (1707 ~ 1783) 將其擴充到剛體。其乃用微積分之方法得到。差不多在同一時候 Lagrang (1736 ~ 1813) 利用能量的觀點重新解析了許多力學的問題。而後 D'Alembert, Hamilton, Routh 及其他人將前述的研究結合起來建立了現在吾人所知的工程力學——靜力學及動力學。

在我們開始靜力學之前我們先複習一些概念。即牛頓力學、單位

2 工程力學(靜力篇)

、次元及向量。

1.1 基礎概念

學習力學的基本概念為：空間、時間、質量及力。下面為對這些量之簡論及其他一些重要概念：

空間：空間即指物理現象發生的一幾何區域。它可以是一維、二維、三維空間。雖然多於三維的空間是可想像的。但在此，我們最多只考慮三維空間。位置的建立須相對於空間之某一參考系統。在牛頓力學中參考座標皆定於空間^{*}，凡一切以此系統之量測皆稱為“絕對系統”。

時間：量測在空間中事件發生的順序，時間被視為一種絕對的量。時間的單位為秒，這是根據地球自轉速度而得的。今天，標準的時間單位係用 Ce (鈷) 原子之振盪頻率定義之。

慣性：物體抵抗運動之能力稱之。

質量：物體的質量為物體慣性大小之一種度量。

力：力為一物對另一物之作用。其存在的原因是由於物體間的接觸而發生拉 - 推效應而產生的。或是因為物體之分開，即力場之效應而產生。

剛體：剛體即物體上任兩點間之距離任何時候皆不變者。

質點：假如物體之大小可略，此物稱為質點。質點之質量皆視為集中在一點之上。

力學的研究皆來自一些基本定律，其中最重要的是牛頓於 1687 所提出的。

^{*} 在動力學中我們 show that a nonaccelerating reference frame is also an acceptable reference frame for newtonian mechanics.

牛頓定律

- (1) 在無外力作用下，每一質點將靜止或沿直線作等速運動。
- (2) 質點線動量之變化率正比於作用其上之不平衡力，且其方向與作用力方向相同。可證明到當質量一定時，線動量的變化率等於其質量與加速度之積。因此，我們常用一個式子，即力等於質量乘加速度來說明。
- (3) 任一作用力定有一大小相等方向相反之反作用力。此二互相作用於不同物體之力並且同在一直線上。

除了上面這三個基本定律外，牛頓並得到“萬有引力定律”，表示出兩物體間的相互吸力。此定律以數學表示為

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

其中 F = 兩物體間吸力的大小

G = 萬有引力常數

m_1, m_2 = 物體之質量

r = 兩物體之中心距

此兩物體間之相互吸力依牛頓第三定律可知其為大小相等，方向相反，並在兩物中心之接線方向上。

這些定律早已經過實驗證明成立了。須了解的是前面兩個定律只在非加速座標系統中才成立。我們在靜力學問題中先考慮第一及第三定律。至於第三定律在動力學中考慮之。萬有引力定律則為天體運體及衛星運行中十分重要將在動力學中討論之。

1.2 次元及單位

當我們量測一彈簧長度時，我們用公分、英吋或英呎記錄之。此種長度的觀念稱為“次元”，而公分、英吋及英呎稱叫“單位”。同

表 1.1 公制單位

量	SI 單位	縮寫
長度	meters	m
時間	second	s
質量	kilogram	kg
力	newton	N
重量	newton	N
密度	kilogram/meter ³	kg/m ³
噸	1000 kilograms	t
功	newton-meter = joule	N·m = J
能量	newton-meter = joule	N·m = J
功率	newton-meter/second = watt	N·m/s = W
壓力	newton/meter ² = pascal	N/m ² = Pa
力矩	meter-newton	m·N
面積慣性矩	meter ⁴	m ⁴
質量慣性矩	kilogram-meter ²	kg·m ²
平面角度	radian	rad

樣地，時間的觀念亦為一種“次元”而記錄之單位為秒、分、小時等等。

在牛頓力學中有三次元，時間及長度已為所有系統所通用，而質量或力則視方便而選用其中之一。本書我們將使用公制(SI)及英制。在 SI 系統質量單位為公斤(kg)，長度單位為公尺(m)，時間單位為秒(s)。為求出在 SI 系統之力單位，考慮牛頓第二定律之數學式，即

$$\text{力} = \text{質量} \times \text{加速度}$$

在 SI 系統我們定力之單位為牛頓(N)，其中一牛頓使 1 公斤之質量加速度為 1 每秒每秒米(m/s²)。在表 1.1 列出幾種我們將靜力學用到的一些 SI 的量，列出如下。

有一點須注意的是關於物體重量的單位。物體的重量為力的一種，故須以牛頓來表示。然而須了解在公制使用單位中重量與質量皆以

kg 來表示。質量與重量間的正確關係如下

$$\text{重量} = \text{質量} \times g \quad (1.1)$$

其中 $g = 9.81 \text{ m/s}^2$ 為地球表面之重力加速度。例如：一質量 10 kg 之物重量為 98.1 N。為了強調此觀念，重力有時可視為物體之重量。

在重力系統中，基本的次元為：力、長度、時間。力的單位為磅 (lb)，長度單位為英尺 (ft)，時間單位為秒 (sec)。而為了得到質量的單位，我們用牛頓第二定律

$$\text{力} = \text{質量} \times \text{加速度}$$

假如力用 lb 而加速度用 ft/sec^2 ，則由牛頓第二運動定律可得到質量之單位為 $\text{lb} \cdot \text{sec}^2 / \text{ft}$ 。此種質量單位稱之為 slug。關於一些物理量在重力系統的單位及次元可見表 1.2。表 1.3 也列出一些由質量系統

表 1.2 英制重力單位

量	重力單位	縮寫
長度	foot	ft
時間	second	sec
力	pound	lb
質量	pound-second ² /foot = slug	lb·sec ² /ft
重量	pound	lb
密度	pound-second ² /foot ⁴ = slug/foot ³	(lb·sec ²)/ft ⁴
功	pound-foot	lb·ft
能量	pound-foot	lb·ft
功率	pound-foot/second	lb·ft/sec
壓力	pound/foot ²	lb/ft ²
動量	foot-pound	ft·lb
面積慣性矩	foot ⁴	ft ⁴
質量慣性矩	pound-second ² -foot = slug-foot ²	lb·sec ² ·ft
平面角度	radian	rad