

國家科學叢書

工程靜力學

(第三版)

Irving H. Shames 著

葉世禎 譯

third edition

**ENGINEERING
MECHANICS**

**VOLUME I
STATICS**

ENGINEERING MECHANICS
(STATICS)

工程靜力學

原著者：Irving H. Shames

譯者：葉世禎

國家書店有限公司印行

有著作權
不准翻印

工程靜力學 (第三版)

定價：新台幣壹佰陸拾元整

原著者：Irving H. Shames

譯者：葉世禎

總策劃：林洋慈

發行人：林大坤

發行者：國家出版社

總經銷：國家書店有限公司

郵撥：一〇四八〇一帳戶

公司：台北市新生南路一段126之8號三樓

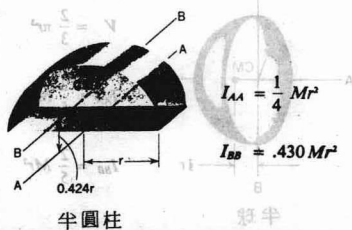
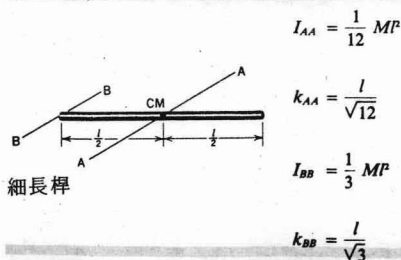
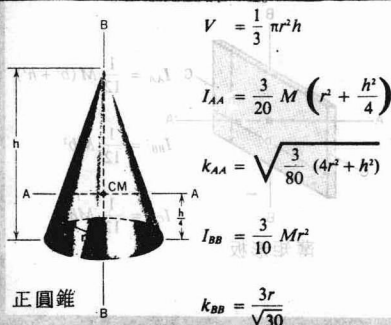
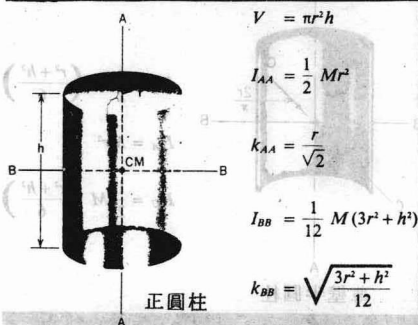
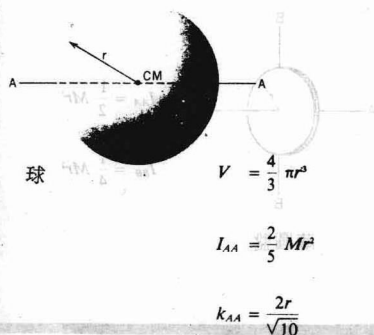
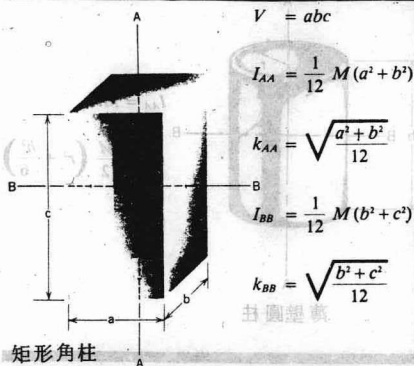
電話：3912425・3926748-9

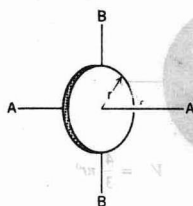
印刷所：東遠印刷廠

1983年12月初版

行政院新聞局局版台業字第零陸叁貳號

各種均勻固體的性質

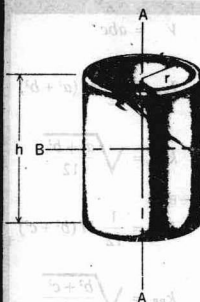




薄圓盤

$$I_{AA} = \frac{1}{2} Mr^2$$

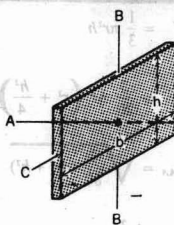
$$I_{BB} = \frac{1}{4} Mr^2$$



薄壁圓柱

$$I_{AA} = Mr^2$$

$$I_{BB} = \frac{M}{2} \left(r^2 + \frac{h^2}{6} \right)$$

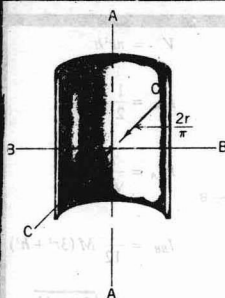


薄矩形板

$$I_{AA} = \frac{1}{12} M(b^2 + h^2)$$

$$I_{BB} = \frac{1}{12} Mb^2$$

$$I_{CC} = \frac{1}{12} Mh^2$$

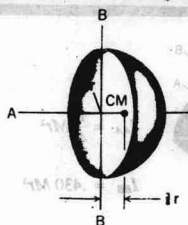


薄壁半圓柱

$$I_{BB} = \frac{1}{2} M \left(\frac{r^2 + h^2}{6} \right)$$

$$I_{AA} = Mr^2$$

$$I_{CC} = \frac{1}{2} M \left(\frac{r^2 + h^2}{6} \right)$$



薄半球

$$V = \frac{2}{3} \pi r^3$$

$$I_{AA} = \frac{2}{5} Mr^2$$

$$I_{BB} = \frac{2}{5} Mr^2$$

各因次間的關係

長度	$1 \text{ m} \equiv 3.281 \text{ ft} \equiv 39.37 \text{ in.}$ $1 \text{ mi} \equiv 5280 \text{ ft} \equiv 1.609 \text{ km}$ $1 \text{ km} \equiv .6214 \text{ mi}$
時間	$1 \text{ hr} \equiv 60 \text{ min} \equiv 3600 \text{ sec}$
質量	$1 \text{ kg} \equiv 2.2046 \text{ lbm} \equiv .068521 \text{ slug}$
力	$1 \text{ N} \equiv .2248 \text{ lbf}$ $1 \text{ dyne} \equiv 1 \mu\text{N}$
速率	$1 \text{ mi/hr} \equiv 1.609 \text{ km/hr} \equiv 1.467 \text{ ft/sec}$ $1 \text{ km/hr} \equiv .6214 \text{ mi/hr}$ $1 \text{ knot} = 1.152 \text{ mi/hr} \equiv 1.853 \text{ km/hr}$ $\equiv 1.689 \text{ ft/sec}$
能量	$1 \text{ J} \equiv 1 \text{ N-m}$ $1 \text{ Btu} \equiv 778.16 \text{ ft-lbf} \equiv 1.055 \text{ kJ}$ $1 \text{ watt-hour} \equiv 2.778 \times 10^{-4} \text{ J}$
體積	$1 \text{ gal} \equiv .16054 \text{ ft}^3 \equiv .0045461 \text{ m}^3$ $1 \text{ liter} \equiv .03531 \text{ ft}^3 \equiv .2642 \text{ gal}$
功率	$1 \text{ w} \equiv 1 \text{ J/S}$ $1 \text{ hp} \equiv 550 \text{ ft-lb/sec} \equiv .7068 \text{ Btu/sec}$ $\equiv 746 \text{ w}$

譯 序

此部工程力學鉅著譯自 I . H . Shames 教授之原著。本人執筆之先即知此書爲無匹之選，待沈浸其字裏行間更時爲其高明而拍案叫

原作者積多年之教學，着述經驗，遣辭平易順暢，內容均顧前後相銜，例題、習題包羅廣大。全書幾無贅言，可謂字字硃磯，讀之非但得親工程力學之全貌，更益增各種工程常識，並奠立後繼各種力學之初步概念。竊以爲不論初學或求溫故知新均可以此書爲工程力學範本。蓋時下坊間版本雖多，而較諸內容、舉例、習題等，實少有出其右者。

本人學識，經驗俱屬有限，譯本錯誤恐難避免，尙祈各先進賢達惠惠予指正爲荷！

原 序

本人撰寫靜力學第三版之主因在使其理論簡化及現代化，並使內容更切實際而深入。此外，也尋求使本書具有不同的範圍與深度以祈適合當今各種工程計劃，這些修改是源於本人近六年來對由 100 到 300 名來自各界的學生所組成的大型編班所傳授的力學教學。

第三版中主要的變更可概述如下：

- 1 新增了多於四成的習題，都是一些有趣、實際而且典型的問題。其餘的也是由第二版的習題中擇其精華而成。並且各章的習題由原來列於章末移到各章中適當的地方。在各章結束處，列入約 10 個問題，都是該章的主要觀念與技巧的代表，稱之為“複習題”。本人籲請各指導教授切勿以這些問題作為教材，而應留予學生作為準備考試之用。所有複習題的解答均列於書底。其他的習題則只列入偶數題的答案。在靜力學與動力學開始的部份，習題中有五成是使用 SI 單位。這比率隨後逐章提高到百分之 65 至 70。
- 2 根據本人經驗，國內學生對多重積分大多不太熟悉，並且在大二上學期也還無法精通。所以，在例題中有關多重積分先以常數界值為之，爾後再漸進於變數界值。這種作法主要是基於實際上的需要；更精深的討論應於數學課為之。
- 3 原來在動力學中有關慣性張量（*inertia tensor*）那一章已移到靜力學中，以銜接第 8 章中有關表面性質的討論（包括面積的二次矩與乘積）。這樣，可更容易掌握慣性張量和面積二次矩與乘積的關係。此外，由薄板的討論，我們可以把在第 8 章中首先提出的主軸觀念擴展到第 9 章的慣性張量。除此之外，本人也清楚地說明一個具有兩個

正交對稱面的物體，其位於對稱面交插處的點的主軸應如何由觀察而得知。這對動力學已足敷使用，所以若是教授先生授課時間不夠，可刪除接下去的慣性分量轉換方程式，以及慣性橢圓體的課程。

4. 首兩章中以短劍符號（ $\dagger$ ）表示在其他課程，如化學、物理學、及數學中已經教過的內容。在各章結束處列有一些針對這些內容的簡單問題，在開學第一週可指定學生閱讀這幾節，再利用上述的簡單問題測驗學生了解的程度。利用這種指定閱讀的方式可使學生以前所使用的不同方法趨於一致，而可由第 3 章（本人及各同事均如此）開始講授仍能使本課程得到合理、完整的發展。若有人願在向量幾何上多花點心思，本人也特別安排了各種習題使學生能迅速熟悉這些運算。
5. 本書曾作最大的彈性安排，以適合各教授先生不同的興趣與重點。因此，本人在這一版中加上星號的章節要比前一版為多，這些章節可以刪去而不失全書連續性。其中若有任何內容為以後授課所需，則均將在適當地方濃縮重述，此外，有些資料是以小型字體印刷，這些雖然無法在課堂上講述，但對讀者而言可能會是一些有趣而實用的內容。
6. 大體說來，我對第三版曾作徹底檢討，並將其中大部份重寫使其更明確、更簡化。本人有幸蒙獲在南衛理公會大學（Southern Methodist University）任教的 Robert M. Jones 博士為我校對，包括各習題在內。逐行核對各種遺詞、用語的明析和通順。

第一章中，首先介紹某些力學的基本概念，如因次及單位的觀念，使我們能接着討論一些力學上所用的一般理想。這階段中也簡短地討論了力學的基本定律。第 2 章是獨立的向量幾何，這是針對以前未學過向量的學生而編的教材，也可作為複習之用。第 3 章中仔細地論述了位置向量、力矩、及力偶。進而在第 4 章中徹底討論剛體力學的等效力系，並特別闡明一般、共面、共點，及平行力系的最簡合成力系。於是在第 5 章中我們才能建立前述各力系平衡所需的方程式。方法是依各種狀況，會最簡合成為零。在該章結束處，我們也解釋為何在靜不定問題中除了考慮變形之外，

也須滿足平衡的剛體方程式。

第 6 章中是接着運用這些方程式於簡單的桁架 (truss)、樑 (beam)、索及鏈 (chain and cable) 第 7 章中進一步地運用這些定律加上庫倫摩擦 (Coulomb friction) 定律。第 8 章則提出面積、質量，及體積的一次矩的觀念，再推進至面積二次矩，在此並仔細提出相對於旋轉軸的轉換性質 (transformation properties)，最後才列出主軸的觀念。第 9 章中，我們首先考慮慣性積及慣性矩的定義。再由薄板的研討中，擴展面積的主軸觀念至體積的主軸觀念。若有充裕的時間可進而研究一般慣性分量的轉換方程式以及慣性橢圓體 (ellipsoid of inertia)。第 10 章中是有關虛功的詳細發展。本人認為這必須詳細研討，否則乾脆不加聞問。“囫圇吞棗”的態度有不如無。而接下去便是變分力學 (Variational mechanics)。

在第三版撰寫過程中幸賴幾位先生鼎力支持。首先我要感謝南衛理公會大學的 Robert M. Jones 博士及其夫人，Donna。本人及 Bob 分別在水牛城 (Buffalo) 寒舍與其座落 Dallas 的家中逐行審核靜力學篇，主要工作在使內容作最大簡化及澄清。Bob 提供我 200 題最佳的靜力問題。同時我也有幸榮獲喬治亞工業技術學院的 David McGill 及 Wilton King 教授的核對。由於他們的先知，使我能改進本書。在此謹對兩位先生致以最深的謝意。海軍學院的 William Lee 教授替我把全書包括習題全部逐行詳細檢查。其建議殊堪採用，本人也願藉此表達謝忱。密西根大學的 I. McIvor 教授及匹茲堡大學的 J. S. Chen 教授，俄亥俄州立大學的 W. E. Clausen 教授亦幫忙代為核稿，也在此一併致謝。另外要感謝在水牛城的謀位同事，P. Culkowski 教授，C. Fogel 教授，R. Mates 教授，S. Prawel 教授，T. Ranov 教授及 H. Reismann 教授。在教導不同的力學課程班級時，他們給我持續的支持以及頗具實價的協助。我也要謝謝我的兒子提供第 6 章的照片。最後感謝 K. Ward 太太及 G. Huck 太太卓越的打字技巧。

目 錄

原序

譯序

第一章 力學概論

§ 1.1	引言·····	1
§ 1.2	力學的基本因次與單位·····	1
§ 1.3	次級因次量·····	5
§ 1.4	因次齊次性定律·····	7
§ 1.5	力與質量之因次關係·····	8
1.6	質量之單位·····	9
1.7	力學的理想化·····	11
§ 1.8	向量與純量·····	14
1.9	向量的對等與等效·····	17
§ 1.10	力學定律·····	19
1.11	結論·····	22

第二章 向量代數原理

§ 2.1	引言·····	25
§ 2.2	向量及純量的大小與倍數·····	25
§ 2.3	向量的加減·····	26

2.4	向量的分解；純量分量	33
† 2.5	單位向量	38
2.6	兩向量之純量積或點積	44
2.7	兩向量之叉積	51
2.8	三連乘純量	54
2.9	向量標示法之記略	59
2.10	結論	62

第三章 重要向量

3.1	位置向量	67
3.2	一力對一點之力矩	69
3.3	一力對一軸之力矩	78
3.4	力偶及偶矩	86
3.5	偶矩為自由向量	88
3.6	力偶的加減	89
3.7	力偶對一綫之力矩	91
3.8	結論	97

第四章 等效力系

4.1	引言	99
4.2	力平移至平行位置	100
4.3	力系之合成	108
4.4	特殊力系之最簡合成	112
4.5	分佈力系	124
4.6	結論	153

第五章 平衡方程式

5.1	引言	157
5.2	自由體圖	158
5.3	含內截面的自由體	161
5.4	平衡方程式	169
5.5	平衡的特例	172
5.6	平衡問題	175
5.7	二力材	211
5.8	靜不定性	214
5.9	結論	222

第六章 結構力學簡介

第一部份：桁架	227
6.1 結構模式	227
6.2 簡單桁架	230
6.3 簡單桁架的解法	231
6.4 接點法	232
6.5 截面法	245
第二部份：樑內截面力	251
6.6 引言	251
6.7 剪力、軸力及彎矩	252
6.8 平衡的微分關係	265
第三部份：鏈與索	273
6.9 引言	273
6.10 共面索	274
6.11 結論	288

第七章 摩擦力

7.1	引言	291
7.2	庫侖摩擦定律	292
7.3	簡單接觸摩擦問題	295
7.4	複雜表面接觸摩擦問題	313
7.5	皮帶摩擦	315
7.6	方螺紋	330
*7.7	滾動摩擦	334
7.8	結論	339

第八章 各種表面之性質

8.1	引言	345
8.2	面積之一次矩及形心	345
8.3	其他的中心	356
*8.4	Pappus - Guldinus 定理	361
8.5	平面面積的二次矩與乘積	370
8.6	移軸定理	371
8.7	面積二次矩與面積乘積的計算	374
8.8	面積二次矩與乘積間之關係	384
8.9	面積之極矩	386
8.10	主軸	387
8.11	結論	393

第九章 慣性矩與慣性積

9.1	引言	397
9.2	慣量的正式定義	397
9.3	質量慣性項與面積慣性項間的關係	405

9.4	座標軸的平移	412
*9.5	慣性項的轉換性質	416
*9.6	慣性橢圓體與主慣性矩	429
9.7	結論	432

第十章 虛功法與固定位能法

10.1	引言	437
第一部份：虛功法		438
10.2	質點的虛功原理	438
10.3	剛體的虛功原理	440
10.4	自由度與題解	444
第二部份：總位能法		459
10.5	保守系統	459
10.6	保守系統的平衡條件	463
10.7	穩定性	471
10.8	結論	478

附錄

I 積分公式

II 主慣性矩之計算

習題解答

中英名詞對照

第一章 力學概論

(FUNDAMENTALS OF MECHANICS)

† 1.1 引言(Introduction)

靜力學是研究物體受到力作用時的動力效應(dynamical behavior)是與熱效應及化學效應相對的物理科學。由於在實際工程狀況中，這種力效應往往令人感到困擾，所以力學可說是各種工程分析的核心。事實上，力學是物理學中最重要也是歷史最久的一環。阿基米德的浮力原理，及槓桿原理的記載都是遠在西元前兩百年即有。我們對重力及運動之觀念也源自牛頓(1642-1727)，其發現之定律構成所謂的牛頓力學，也是本書的重點。

在1905年，愛因斯坦以所發明之相對論對牛頓的方程式作了部份限制，我們因而進入相對論力學的階段。但是這種新理論只有當物體速度接近光速(186,000哩/秒)時所得結果才與牛頓理論相左。這種速度只有巨觀的天文運動及微觀之次原子粒子才可能出現。雖然有這些限制，但在多數工程問題中，牛頓力學仍然有效。

† 1.2 力學之基本因次及單位 (Basic Dimensions and Units of Mechanics)

研究力學前，我們應先建立一套能描述物體特性的概念，這些概念即稱為因次(dimension)。我們選定之因次與其他因次無關稱為原始(primary)或基本(basic)因次。而由這些因次所發展出來的因次稱為次級因次(secondary dimension)。在許多可供使用的基本因次中，

2 工程靜力學

目前我們只定出長度，時間，及質量之因次爲我們所用，其他的也將陸續介紹。

長度——定量描述尺寸之觀念。一物體的尺寸可經由放置一個已知尺寸之物體於其旁而獲知。所以在一張機器圖片上往往有一個人站立在機器旁邊作爲比較，沒有這個人我們無法想像這部陌生的機器到底有多大。但是，雖然這個人可作爲比較大小的參考標準，我們也只能約略估計這部機器的尺寸而已。人類的身高並不一致，而且更糟的是，人的體形太複雜了，所以很難拿人作標準對這部機器各部份尺寸作精確的度量。顯然我們所需要的是——一個形狀固定而明顯的參考物體。因此我們只用一度空間的物體而捨棄三度空間的物體。〔註1〕。然後才可以已知之幾何觀念將一度空間的度量推展到三度空間的度量。（當然一般物體均須以三度空間才能完全描述之）。一條附於一根金屬棒（該金屬棒應保持於穩定之溫度及物理狀態之下，一如保存於法國塞弗爾之公尺棒）之直線即可作爲簡單的一度空間度量標準。現在我們即可沿某方向直接計算一物體之外的一段距離，方法是求出這段距離爲標準參考長度之倍數。我們通常稱這段距離是長度，但是“長度”通常也可表示大小的尺寸。其他的尺寸如體積、面積也能以平面，球體及固體幾何求出。

單位（unit）是我們給因次所定的名稱。世界上所通用的單位制度很多，我們只採用兩種，一種是美國制（American system）及SI制（SI system）。長度單位在前者是呎（foot），在後者是米（meter；亦即公尺）。

時間——一種記錄事件發先後次序的觀念。拿一張機器和人在一起的照片來觀察，有時候可以從人身上所穿衣服的式樣推斷這張照片拍攝的時間。但我們該如何確定呢？我們也許會說“這個人所戴的草帽正是三〇年代所流行的”，換句話說“何時”的關鍵在於一些觀察者所已知的或是經驗過

〔註1〕：此處的一度空間(one-dimensional)與前面的“因次”(dimension)不同。