

工程力學

(靜力篇)

原著者 J. L. MERIAM

譯著者 林 國 基

曉園出版社

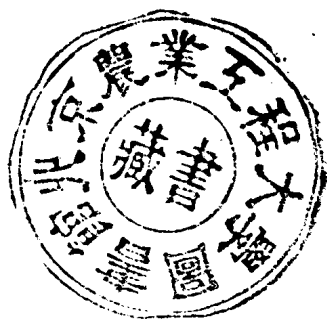
世界圖書出版公司

工 程 力 學

(靜 力 篇)

原著者 J. L. MERIAM

譯著者 林 國 基



曉 園 出 版 社
世 界 圖 書 出 版 公 司

北京 · 廣州 · 上海 · 西安

工程力学《静力篇》

J. L. 梅里安 著

林国基 译

•
晓园出版社出版

世界图书出版公司北京公司重印

北京朝阳门内大街 137 号

新燕印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

•
1993 年 6 月第 一 版 开本: 850×1168 1/32

1993 年 6 月第一次印刷 印张: 17

印数: 0001-1100 字数: 43 万字

ISBN: 7-5062-1610-8/Z·78

定价: 13.50 元 (W_{9303/12})

世界图书出版公司通过中华版权代理有限公司向台湾晓园出版社购得重印权
限国内发行

2008/26

本書於七十二年九月出版
以來，承蒙各大專院校紛紛採
用，經徵集各校教師之意見，
由熊京國、張瑞宏二位先生主
筆修訂，謹此致謝。

美國慣用單位至SI單位的轉換

由	轉換至	乘以
(加速度)		
呎/秒 ² (ft/sec ²)	米/秒 ² (m/s ²)	$3.048 \times 10^{-1} *$
吋/秒 ² (in/sec ²)	米/秒 ² (m/s ²)	$2.54 \times 10^{-2} *$
(面積)		
呎 ² (ft ²)	米 ² (m ²)	9.2903×10^{-2}
吋 ² (in ²)	米 ² (m ²)	$6.4516 \times 10^{-4} *$
(密度)		
磅質量/吋 ³ (lbm/in ³)	公斤/米 ³ (kg/m ³)	2.7680×10^4
磅質量/呎 ³ (lbm/ft ³)	公斤/米 ³ (kg/m ³)	1.6018×10
(力)		
千磅 (1000 lb)	牛頓 (N)	4.4482×10^3
磅力 (lb)	牛頓 (N)	4.4482
(長度)		
呎 (ft)	米 (m)	$3.048 \times 10^{-1} *$
吋 (in)	米 (m)	$2.54 \times 10^{-2} *$
哩 (mi) (美國制)	米 (m)	1.6093×10^3
浬 (mi) (國際航海)	米 (m)	$1.852 \times 10^3 *$
(質量)		
磅質量 (lbm)	公斤 (kg)	4.5359×10^{-1}
史拉格 (lb-sec ² /ft)	公斤 (kg)	1.4594×10
噸 (2000 lbm)	公斤 (kg)	9.0718×10^3
(力矩)		
磅 - 呎 (lb-ft)	牛頓 - 米 (N·m)	1.3558
磅 - 吋 (lb-in)	牛頓 - 米 (N·m)	0.11298

• 正確值

(慣性矩, 面積)

吋 ⁴	米 ⁴ (m ⁴)	41.623 × 10 ⁻⁸
----------------	----------------------------------	---------------------------

(慣性矩, 質量)

磅-呎-秒 ² (lb-ft-sec ²)	公斤-米 ² (kg·m ²)	1.3558
--	--	--------

(動量, 綫性)

磅-秒 (lb-sec)	公斤-米/秒 (kg·m/s)	4.4482
--------------	-----------------	--------

(動量, 角)

磅-呎-秒 (lb-ft-sec)	牛頓-米-秒 (kg·m ² /s)	1.3558
-------------------	-------------------------------	--------

(功率)

呎-磅/分 (ft-lb/min)	瓦 (W)	2.2597 × 10 ⁻²
-------------------	-------	---------------------------

馬力 (550 ft-lb/sec)	瓦 (W)	7.4570 × 10 ²
--------------------	-------	--------------------------

(壓力, 應力)

大氣壓 (標準) (14.7 lb/in ²)	牛頓/米 ² (N/m ² 或 Pa)	1.0133 × 10 ⁵
-------------------------------------	---	--------------------------

磅/呎 ² (lb/ft ²)	牛頓/米 ² (N/m ² 或 Pa)	4.7880 × 10
--	---	-------------

磅/吋 ² (lb/in ² 或 psi)	牛頓/米 ² (N/m ² 或 Pa)	6.8948 × 10 ⁵
---	---	--------------------------

(彈簧常數)

磅/吋 (lb/in)	牛頓/米 (N/m)	1.7513 × 10 ²
-------------	------------	--------------------------

(速度)

呎/秒 (ft/sec)	米/秒 (m/s)	3.048 × 10 ⁻¹ *
--------------	-----------	----------------------------

節 (nautical mi/hr)	米/秒 (m/s)	5.1444 × 10 ⁻¹
--------------------	-----------	---------------------------

哩/小時 (mi/hr)	米/秒 (m/s)	4.4704 × 10 ⁻¹ *
--------------	-----------	-----------------------------

哩/小時 (mi/hr)	公里/小時 (km/h)	1.6093
--------------	--------------	--------

(體積)

呎 ³ (ft ³)	米 ³ (m ³)	2.8317 × 10 ⁻²
-----------------------------------	----------------------------------	---------------------------

吋 ³ (in ³)	米 ³ (m ³)	1.6387 × 10 ⁻⁵
-----------------------------------	----------------------------------	---------------------------

(功, 能)

英國熱量單位 (BTU)	焦耳 (J)	1.0551 × 10 ³
--------------	--------	--------------------------

呎-磅力 (ft-lb)	焦耳 (J)	1.3558
--------------	--------	--------

瓩-小時 (kw-h)	焦耳 (J)	3.60 × 10 ⁶ *
-------------	--------	--------------------------

•正確值

力學中使用的SI單位

量	單位	SI 符號
(基本單位)		
長度	米 *	m
質量	公斤	kg
時間	秒	s
(導出單位)		
加速度, 綫	米/秒 ²	m/s ²
加速度, 角	徑度/秒 ²	rad/s ²
面積	米 ²	m ²
密度	公斤/米 ³	kg/m ³
力	牛頓	N (=kg·m/s ²)
頻率	赫	Hz (=1/s)
衝量, 綫	牛頓·秒	N·s
衝量, 角	牛頓·米·秒	N·m·s
力矩	牛頓·米	N·m
慣性矩, 面積	米 ⁴	m ⁴
慣性矩, 質量	公斤·米 ²	kg·m ²
動量, 綫	公斤·米/秒	kg·m/s (=N·s)
動量, 角	公斤·米 ² /秒	kg·m ² /s (=N·m·s)
功率	瓦	W (=J/s =N·m/s)
壓力, 應力	巴 (巴斯噶)	Pa (=N/m ²)
慣性積, 面積	米 ⁴	m ⁴
慣性積, 質量	公斤·米 ²	kg·m ²
彈簧常數	牛頓/米	N/m
速度, 綫	米/秒	m/s
速度, 角	徑度/秒	rad/s
體積	米 ³	m ³
功, 能	焦耳	J (=N·m)
(補充及其他可接受單位)		
距離 (航海)	浬 (海浬)	(=1.852 km)
質量	公噸	t (=1000 kg)
相位角	度	°
相位角	徑度	—
速率	節 (浬/小時)	(1.852 km/h)
時間	日	d
時間	小時	h
時間	分	min

• 亦可拼為 metre

SI單位字首

乘因數	字首	符號
1 000 000 000 000 = 10^{12}	terra	T
1 000 000 000 = 10^9	giga	G
1 000 000 = 10^6	mega	M
1 000 = 10^3	kilo	k
100 = 10^2	hecto	h
10 = 10^1	deka	da
0.1 = 10^{-1}	deci	d
0.01 = 10^{-2}	centi	c
0.001 = 10^{-3}	milli	m
0.000 001 = 10^{-6}	micro	μ
0.000 000 001 = 10^{-9}	nano	n
0.000 000 000 001 = 10^{-12}	pico	p

寫公制量的重要法則

1. (a) 通常使用字首以使後面的數值在 0.1 與 1000 之間。
- (b) 通常避免使用 hecto, deca, deci 及 centi 等字首，除了某些面積或體積之外，在這些例子中，不用反而不便。
- (c) 在結合單位中，字首只用在分子部分，只有一個例外，就是基本單位公斤。（例：寫成 kN/m 而非 N/mm ； J/kg 而非 mJ/g ）
- (d) 避免雙字首。（例：寫成 GN 而非 kMN）

2. 單位的設定

- (a) 使用點號代表單位相乘。（例：寫成 $\text{N}\cdot\text{m}$ 而非 Nm ）
- (b) 避免易混淆的雙斜綫。（例：寫成 N/m^2 而非 N/m/m ）
- (c) 指數是對整個單位。（例： mm^3 意思是 $(\text{mm})^3$ ）

3. 數字組

由小數點算起，向兩個方向，以空位而非逗號，將數字分為三個一組。
 （例：4 607 321.048 72）對四位數字，空位或省略。（例：4296 或 0.0476）

序 言

詹姆斯·馬林博士對工程力學界的革新與貢獻，絕不會被誇大。無疑地，在最近四分之一世紀中，他對力學教育的影響，勝過其他任何人。

在 1950 年以後開始著手研究工程力學的人，沒有一個能充分了解，一般工程師在面對力學問題時，一度曾體驗到的恐懼與缺乏了解。馬林教授作了許多努力，終於為這個課題帶來了清晰與了解。他在 1951 年的第一本書，確實地重建了大學的力學課程，而在接下來的十年中，成為有決定性的教科書。他的文章有邏輯組織、易讀、指導一般學工程的大學生，並有附極佳解說的實際工程問題的例子。這些書成為 1950 至 1960 年代其他工程力學教科書的模範。

馬林博士於耶魯大學開始他機械工程的學業，在那兒他獲得學士、工程碩士、及哲學博士學位。他有早期的工業經驗，在 Pratt and Whitney 飛機公司及通用電子公司服務，激發他第一次力學發表，內容是數學及實驗應力分析方面的。第二次世界大戰期間，他服務於美國海岸防衛隊。這些早期的經驗在兩方面影響了馬林教授。第一、他發現他在力學實際應用上深厚的興趣；第二、他發展出對船及海洋的終身興趣。

馬林博士在加州大學柏克萊分校任教廿一年，先後擔任工程力學教授，研究院助理院長以及力學與設計部主席。1963 年，他擔任杜克大學工學院院長，將所有的精力都投入工學院的發展中。1972 年，馬林教授順從自己從事專任教學的意願，接受加州工技州立大學的聘書，擔任機械系教授。馬林博士總是非常重視教學，只要是他教過的學生，都能感受到他的特質。例如，1963 年在柏克萊，他首次獲頒 Tau Beta Pi 傑出教授獎，此獎的目的是表揚優越教授。

最近，馬林博士獲得卓越教育家獎，是由美國工程教育會為工程力學教

育的傑出服務而頒贈。

自由物體圖是力學的基礎。這不是馬林博士提出的新觀念，但他在力學中發展自由物體圖，不斷地強調且堅持，却是創新而且高度成功。它們在他的著作及教學中，他是第一個作者清楚地顯示，虛功法如何應用來解靜力學中某一類問題，這是以前的作者所忽略的。在動力學中，平面運動變得可了解，而在他最近的一版，三維運動學和動力學獲得同樣的處理。變質量動力學理論的原始發展，應歸功於他，這個理論包括在他的動力學、第二版中。最近，馬林教授成為推廣使用SI 單位的領導者，而他在1975 年出版的靜力學及動力學、SI 版本，為美國第一本力學教科書用SI 單位的。

馬林教授的新書，保證符合，甚至超越他以前設定的高標準。毫無疑問，它包含了曾經有過的最佳問題集合。這本新教科書，特別設計來協助學生渡過一個新主題的初階，然後領導他們到更具挑戰性的工程應用上。這本新書將吸引廣大的讀者，包括學生、教師以及工程師，而且將使作者對力學的貢獻更加擴大。

Robert F. Steidel

加州大學柏克萊分校
機械系教授

前 言

致 學 生

當你依照靜力學到動力學的順序，開始研讀工程力學的時候，你將建立解決許多不同工程問題的分析能力的基礎。現代工程的應用，要求高水準的分析能力。而你將發現，對力學的研讀，將立即協助你發展這個能力。

在工程力學中，我們學習如何建立及解數學模式，這個模式描述力及運動對各種工程師所關切的結構及機器所產生的效應。應用我們的力學原理，我們將這些模式配合適當的物理假設及數學估計，化成公式。在列公式及解力學問題時，你常有機會利用有關平面及立體幾何，純量及向量代數、三角、解析幾何、以及微積分方面的知識。的確，當你用這些數學工具在力學問題上時，可能會發現它們的新含義。

你在力學（及整個工程）上的成功，將高度取決於發展一套熟練的方法，以由假設導至結論，在其中嚴格地應用可利用的原理。由多年從事數學以及身為工程師的經驗，我明白發展一種將自己的工作以清晰、合邏輯以及完備的方式表現出來的能力的重要性。力學是一個絕佳的機會，用來發展邏輯思考，以及有效表達的這些習慣。

工程力學包含大量的例題，其解答很詳細地列出。同時，在這些例子中，它包含很有幫助的評論，以提醒避免常見的錯誤和陷阱。此外，書中還包含大量簡單和簡介性的習題以及中等難度的習題，來協助你獲得初步的信心和對每一個新主題的了解。同時，也包括許多說明有意義的當代工程情況的習題，以激起你的興趣，幫助你發展對力學在工程上許多應用的了解。

我很高興地對你們身為力學的學生，致勉勵之意。我希望當你發現你在工程方面的知識時，本書能提供協助以及激勵。

詹姆士·馬林

加州，聖塔巴巴拉
一九八〇 元月

前言

致教師

學習工程力學的基本目的，是發展在執行工程創新設計功能的過程中，預測力及運動效應的能力。成功的預估，不僅需要力學的物理及數學原理上的知識。而且需要洞察物理情況的能力，包括材料、實際的拘束、以及統制機械和結構行為的實際限制等。我們在力學教學上的基本目標之一，就是協助學生發展這一種洞察能力，它對問題的解析是最重要的。的確，建立有意義的數學模式，通常是比它的解更重要的經驗。最大的進展是在工程應用上，學習到這些原理以及它們的限制。

力學課程常被學生認為是一困難的要求，和無趣的學術障礙。困難的產生是由於需要從基礎開始推理，而與機械式的學習不同。常感覺無興趣，基本上是由於力學表現出一種缺乏工程目標及挑戰的學術訓練。這個態度的發生，可追溯至一種常見的傾向，即力學講解時，以問題作為說明理論的工具；而不是為解決問題的目的來發展理論。當採用前面的觀點時，問題趨向於變得太理想化，而與工程無關，其結果是在練習時變得枯燥、學術化且無趣。這個方式，剝奪學生在將問題公式化時許多寶貴的經驗，這些經驗可使學生發現理論的需要及意義。後者的觀點，提供了學習理論很強烈的動機，而導至一個理論與應用較佳的平衡。興趣及目標在提供學習最強烈動機方法，所扮演角色的重要性，絕不會被過度強調。更進一步，我們應強調這個觀點，理論最多只能作為力學在真實世界中的近似；而不是真實世界近似理論的觀點。這個在哲學上差異的確是很基本的，而且區別了工程力學與科學力學。

在過去廿年中，工程教育上有很強烈的趨勢，要增加在工程科學方面過程的理論範圍和水準，力學課程的這種趨勢，沒有其他任何學門趕得上。對於學生必須準備應付加速學習而言，這個趨勢是有利的。然而，有證據及可證實的關切顯示，在範圍和理解之間，最近出現了相當的不一致。在造成的因素上，我們應注意三個趨勢。第一、對應用的數學，其幾何

及物理意義的強調，顯示出已經減少了；第二、對圖形的講解已大量減少，甚至於取消，而這是在過去用來增進對力學問題觀察及代表的方式；第三、爲了增進我們處理力學問題時的數學水準，有一趨勢是利用向量運算的符號操作以減少或取代幾何上的觀察。力學先天上是一個依賴幾何及物理理解的課程，我們應該增加我們的努力以發展這個能力。

作爲力學的教師，我們的責任之一是使用對手邊門嘔最合適的數學。對一維的問題向量符號通常無意義；對二維問題通常可考慮；但對三維問題，則很基本。當我們在二維中介紹向量運算時，強調它們的幾何意義是特別重要的。向量方程式由畫出對應的向量多邊形賦與生命，經由幾何，常能發覺求解最短的途徑。當然，有許多力學問題，其變數互相關聯的複雜性，超過觀察和物理理解的正常能力，而對分析的依賴是很正常的。雖然如此，當學生的感覺、觀察及表示能力發展到極致時，他將會成爲更好的工程師。

作爲力學的教師，我們對工程專業有最強烈的義務，以建立一些行爲的合理標準，並保持它們。此外，我們有嚴肅的責任，要鼓勵學生自行思考。對於學生由已知的課題中應該可以自行處理的細節，提供太多的協助，可和不協助一樣糟；而且容易造成它們太過依靠別人，而不自己練習以發展主動及能力。同時，力學被分成許多小部分，每一部分都詳細而反覆的講解，使得學生很可能“只見樹，不見林”，結果不能了解力學整體以及它幾個少數的基本原理及方法，所能作的廣泛應用。

工程力學是將前面提到的哲學記在心裏而寫成的。它基本上用來作爲第一個力學的工程課程，一般在第二學年教授。書中省略了許多更高深的主題，它們包含在作者的另一本書：靜力學與動力學（第二版），及 SI 版中，它是特別設計作自修用的。爲了這個目的，本書的一個主要特點是，對例題的特別處理，它們都是單頁形式，以更便於研讀。除了將解詳細地表示之外，在每一例題中，還有評論及警告，指出解的特殊要點。這些評論使學生警覺到常見的陷阱，對他們自修上，提供了有價值的協助。

第 1 冊，靜力學，含有 66 個例題及 740 個未解的習題，可由其中作廣泛的選擇指定作業。這些習題之中，百分之五十是全新的，其餘的選自作者的靜力學，第二版及 SI 版。所有的問題都使用 SI 單位。每一組習

題，都以相當簡單、不複雜的題目開始，以幫助學生對新主題獲得信心。習題的集合中表現出許多有趣工程情況的實際問題及例子，是由廣泛的應用中挑出的。然而，全部都使用簡單的數據，以免求解時太繁雜而分散了對原理的注意。習題安排的順序是難度漸增，而它們之中，大部分都有答案。較困難的題目以►標出，可由教師解答，以提供課堂理解的經驗，所有的數值答案都已算出，而且以計算機驗算過，沒有繞過中間值。因此，最後的答案應該在有效數字範圍內正確，作者有信心，本書沒有錯誤。

工程力學是以簡明而親切的型態寫成的。主要重點集中在基本原理及方法，而非在衆多的特例上。花了很大的努力來顯示相當少的基本觀念的強固性，以及這些少數觀念所能解的大量種類的問題。

在第2章中，推導出力、力矩、力偶、及合力的性質，故學生可直接進行第3章中非共點力系的均衡，而不必花時間在作用於質點共點力系的均衡，這種簡單的問題上。在第2章及第3章中，二維問題的分析都在三維問題處理之前。大部分的學生，可由首先建立二維分析的信心，獲得力學的物理觀察力及了解，然後再對付三維的問題。

將均衡原理應用到簡單桁架以及構架與機械上，在第4章中，基本上只注意二維的系統。然而，也包括足夠數目的三維例題，能讓學生練習用作分析的更一般性的向量工具。

在第5章開始的部分介紹了分布力的概念及種類，而剩下的部分成兩個主要段落。A段中處理形心及質心，其中有詳細的例題，幫助學生熟習將微積分應用到物理及幾何問題上。B段包括梁、軟索、以及流體力等特殊主題，它們可被略去而不致損失基本觀念的連續性。

第6章討論摩擦，分為兩段，A段為乾摩擦現象；B段為機械應用選粹。雖然若時間有限，B段可省略，但這些內容確實能提供學生處理分布力很有價值的經驗。

第7章對虛功，應用限於單自由度系統，作了很詳盡的介紹。特別強調虛功法及能量法的好處在於分析相連系統和穩定性的決定。虛功法提供了一個好機會來讓學生信服數學分析在力學上的威力。

附錄A中介紹了面積慣性矩及慣性積。這個主題可協助靜力學及固體力學之間的連貫。附錄B包含對基本數學選擇性主題的摘要複習，這些都

是學生應準備用在力學上的。

在此我要再度感謝貝爾電話實驗室的 A.L. Hale 博士，他不斷地提供寶貴的建議，並對原稿作仔細的核對。賓州州立大學的 Andrew Pytel 教授及加州工技州立大學的 John Biddle 教授對本書的審閱，提供了很大的幫助，在此深致謝忱。此外，要感謝加州大學戴維斯分校的 J.M. Henderson 教授所提供的評論以及選擇習題的建議。John Wiley & Sons 圖書公司的職員，在策畫及編書期間的貢獻，反映出高度的專業能力，應予致謝。加州工技州立大學的支持，允許我休假以準備這本書，同樣致謝。最後，我要感謝在這段準備稿件的期間，內人 Julia 的耐心與寬容。

詹姆士·馬林

加州，聖塔巴巴拉

一九八〇 元月

目 錄

第一章 靜力學簡介

1 力學 1 / 2 基本概念 2 / 3 純量與向量 3 / 4 牛頓定律 6 / 5 單位 7 / 6 萬有引力定律 9 / 7 準確度、極限和近似值 10 / 8 靜力問題的敘述 12

第二章 力 系

1 簡介 15 / 2 力 15 / 3 直角分力 18 / 4 力矩 29 / 5 力偶 38 / 6 合力 47 / 7 直角分力 57 / 8 力矩及力偶 66 / 9 合力 82

第三章 平 衡

1 簡介 93 / 2 機械系統的隔離 93 / 3 平衡條件 103 / 4 平衡條件 131 / 5 問題的整理與複習 155

第四章 結 構

1 簡介 163 / 2 平面桁架 163 / 3 結點法 166 / 4 剖面法 181 / 5 空間桁架 193 / 6 構架及機械 201 / 7 問題的整理與複習 224

第五章 分 布 力

1 簡介 233 / 2 質心 235 / 3 線、面、體的形心 237 / 4 複合體及圖；近似法 258 / 5 巴勃定理 270 / 6 梁 277 / 7 軟索 296 / 8 流體靜力學 311 / 9 問題的整理及複習 336

第六章 摩 擦

1 簡介 345 / 2 摩擦的形式 345 / 3 乾摩擦 346 / 4 楔 372 / 5 螺旋 373 / 6 頸軸承 384 / 7 推力軸承；圓盤摩擦 384 / 8 軟性皮帶 394 / 9 滾動阻力 396 / 10 問題的整理及複習 404

第七章 虛 功

1 簡介 415 / 2 功 415 / 3 平衡 418 / 4 位能與穩定性 437 / 5 問題的整理及複習 459

附錄 A 面積慣性矩

1 簡介 465 / 2 定義 466 / 3 複合面積 481 / 4 慣性積以及軸的轉動 487

附錄 B 數學課題選粹

1 簡介 501 / 2 平面幾何 501 / 3 立體幾何 502 / 4 代數 502 / 5 解析幾何 503 / 6 三角 503 / 7 向量運算 504 / 8 級數 507 / 9 導數 508 / 10 積分 508

附錄 C 表 511

索 引 519