

# MECHANICS OF MATERIALS

Ferdinand P. Beer

E. Russell Johnston, Jr.

## 材料力学

朱 紹 銘 譯



# 材料力學

## MECHANICS OF MATERIALS

( 1981 )

原 著 者

**Ferdinand P. Beer**

**E. Russell Johnston, Jr.**

譯 者

朱 紹 鎔

國立臺灣大學教授

東華書局印行



---

**版權所有・翻印必究**

中華民國七十一年十月初版

中華民國七十三年四月三版

**材 料 力 學**

**定價 新臺幣叁佰元整**

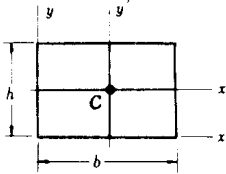
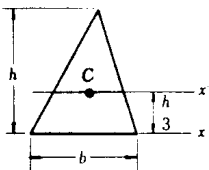
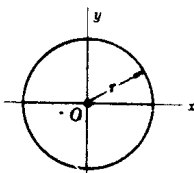
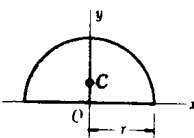
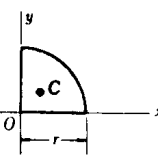
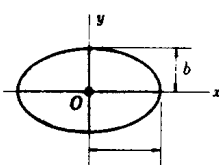
(外埠酌加運費滙費)

|     |                    |   |       |
|-----|--------------------|---|-------|
| 編著者 | 朱                  | 紹 | 鎔     |
| 發行人 | 卓                  | 鑫 | 森     |
| 出版者 | 臺灣東華書局股份有限公司       |   |       |
|     | 臺北市博愛路一〇五號         |   |       |
|     | 電話：3819470 郵撥：6481 |   |       |
| 印刷者 | 合                  | 興 | 印 刷 廠 |

---

行政院新聞局登記證 局版臺業字第零柒貳伍號  
(71065)

常用幾何形狀之慣性矩

|       |                                                                                     |                                                                                                                                             |
|-------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 矩形    |    | $I_{x'} = \frac{1}{12}bh^3$ $I_{y'} = \frac{1}{12}b^3h$ $I_x = \frac{1}{12}bh^3$ $I_y = \frac{1}{12}b^3h$ $J_C = \frac{1}{12}bh(b^2 + h^2)$ |
| 三角形   |    | $I_{x'} = \frac{1}{36}bh^3$ $I_x = \frac{1}{12}bh^3$                                                                                        |
| 圓     |    | $I_x = I_y = \frac{1}{4}\pi r^4$ $J_O = \frac{1}{2}\pi r^4$                                                                                 |
| 半圓    |   | $I_x = I_y = \frac{1}{4}\pi r^4$ $J_O = \frac{1}{4}\pi r^4$                                                                                 |
| 四分之一圓 |  | $I_x = I_y = \frac{1}{4}\pi r^4$ $J_O = \frac{1}{4}\pi r^4$                                                                                 |
| 橢圓    |  | $I_x = \frac{1}{4}\pi ab^3$ $I_y = \frac{1}{4}\pi a^3b$ $J_O = \frac{1}{4}\pi ab(a^2 + b^2)$                                                |

# 原 著 序

基本力學課程之主要目的乃是啓發工科學生使之具有能用簡單及推理方法分析某一問題之能力，且能應用基本及簡明原理求得答案。本書編著之目的乃是提供給大二或大三工科學生材料力學之初等課程。著者希望本書能幫助教師能完成此一課程之目標，學生早先修習過之靜力學及動力學亦會幫助達成上述目標。

著者希望使用本書之學生已先修習過靜力學。不過，第一章之內容將會給予學生有一復習靜力學觀念之機會，至於剪力及彎曲力矩圖係在 7.2 及 7.3 節中作較詳之敘述。面積形心及面積矩之性質則在附錄 A 中復述；利用此等材料可使求梁中正交應力及剪應力之討論更易進行（第四及五章）。

一點之應力觀念係在第一章中介紹，同時亦介紹了一軸向載重可以產生剪應力以及正交應力，視所考慮之斷面而定。此一視表面方位而定之事實，使得應力計算，在第三、四及五章，分別就扭轉，純彎曲及橫向載重等各情況，再予強調及敘述。不過，用來作一點應力轉換計算技巧——如莫爾圓之使用——之討論，却延至第六章方予介紹，其時已在學生正著手解答基本載重組合問題，且以發現需要該等計算技巧之後。因為相似原因，剪力及彎曲力矩圖乃在第七章介紹，該時學生可立即使用該等圖形去作梁及圓軸之設計<sup>†</sup>。

靜不定問題最先在第二章中討論，其後在全書中，對不同載重條件，皆有研析。是以本書在甚早階段，就已對學生介紹變形分析及靜力學所用力傳統分析這二種組合之解題方法。這樣，在學生修畢本課程時，他們就可對此一基本方法有一徹底之了解。此外，此一方法亦可幫助學生認識應力是靜不定者，僅在考慮其相當之應變分佈，方能計算。

---

<sup>†</sup>：不過，希望能提前討論剪力及彎曲力矩圖之教師，不妨將 7.2 及 7.3 節應授之內容，與第一章同授，亦可在第四章前講授，並在該時指定習題 7.1 至 7.16，7.21 至 7.24，7.33 至 7.50 令學生習作。

在第二章，吾人在作構件受軸向載重作用之分析時，亦介紹了塑性變形觀念之應用。涉及圓軸及稜體梁之塑性變形問題，亦分別在第三章及第四章中可選教之各節中考慮。這些教材之取捨，則由教師決定，它的內容乃是幫助學生認識線性應力應變關係假定之限制，且對彈性扭轉及撓曲公式之不正確應用提出警告。

學生一般皆能牢記靜力學及動力學乃兩嚴格及推理之學科，能得到所考究工程問題之準確答案，但他們却趨向於認為材料力學是半經驗且只能提供近似答案之學科。此一反應所根據之主要原因乃是，靜力學及動力學之研習是減縮至作簡單數學模式之分析——如質點及剛體——，只須遵循幾個基本定理，至於材料力學之研習却要倚賴很多公式之應用，且視假定而得之正確用法亦甚少為學生了解及記憶。為了使學生對材料力學有一正確觀念，本書之編排，乃使材料力學之研析，要根據幾個基本觀念之了解而為之，此處基本觀念乃指作用在結構上之力的平衡條件，在某已知材料中，應力及應變間所存在之關係，以及結構支承及載重所具有之條件。此一方式，配合簡化模式之應用，使能以合理及合乎邏輯之方式導出所有必須有之公式，且清晰的指出此等公式，能安全應用於作實際工程結構及機件分析及設計所應具之條件。

本書各章節已廣泛使用了分離體圖去求未知之外或內力。“圖形方程式”之使用亦幫助學生了解載重、最後應力及變形之重疊關係。

應用積分法及矩面法求梁撓度係分章介紹，俾使教師對只教授其中一法或兩法是否順次教授，能作選擇。對奇性函數之應用以及從載重分佈直接求彈性曲線等可選擇講授各節亦在第八章中予以闡述。

可選擇講授之論題，如殘留應力，非圓形及薄壁構件之扭轉，曲梁之彎曲，不對稱構件中之剪應力，以及破壞準則等，皆包含在各有關章中敘述。為了維持題目之整體性，這些論題皆配置在其邏輯所屬題目之適當章節。這些論題即使不在本課程內敘述，如學生在後繼課程或實用工程中感到需要時，學生亦可知其出處，甚易找到其參考資料。為了方便起見，所有可選擇講授之各節，皆用星號示出。

本書已分成很多單元，每一單元包含一個或幾個理論節，其後再用範例闡述，並配置很多可供教師指定供學生習作之習題。每一單元相當於一意義明確之論題，一般可包括在一課之內。理論節中亦舉出很多例題，更進一步解說理論節中有不易明白之處，以促使學生更易了解。範例之編排乃是表出及闡述理論對工程問題解答之應用。因為本書中之範例，係依一定格式書寫，當然學生在作習題亦應使用該等範式，是以範例擔任了雙重目的，一是使本書理論擴大，另一乃是展示整潔有序工作之型式，這是學生在作習題時應培養的。本書提供之習題大多數具有實用特性，工科學生應注意習作。不過，編排習題之主要目的，仍是要闡釋課文內容之材料，幫助學生了解材料力學所用之基本原理。這些習題亦依其應闡釋材料部分而成組編排，且依照由淺入深，由簡至難之方式解說。需要特別注意之習題乃用星號標出。所有偶數習題之解答乃載於本書之後。

因為先修之科學及工程課程，一般多採用 S I 公制單位，而少用美國習用單位，是以在本書之理論節中，幾乎所有例題皆採用 S I 單位敘述。不過，在現階段由一單位系統轉變為另一單位系統之際，學生應具有能力，有效使用此兩種單位系統，乃是一很重要之事，是以本書有一半範例及習題是用 S I 單位，另一半仍採用美國習用單位。因本書準備之習題極多，所以教師可視他教授班上之大多數需要，依照適當比例指定 S I 單位及美國習用單位之習題，指令學生習作。

著作衷心且深忱的感謝對本書提供有價值評論及建設性意見之人仕，尤其要感謝 Drexel 大學之 Leon Y. Bahar 教授。亦要感謝 Lehigh 大學，Connecticut 大學，Worcester Polytechnic 學院，SUNY Maritime 學院之師生們，他們曾用本書初版教與學，提供了極其寶貴之意見。著者亦應深深感謝 Felix Cooper，他的精巧插圖及例題解說，尤使本書生色不少。

Ferdinand P. Beer

E. Russell Johnston, Jr.

# 符 號

|                   |                   |                             |               |
|-------------------|-------------------|-----------------------------|---------------|
| $a$               | 常數；距離             | $Q$                         | 力             |
| $A, B, C, \dots$  | 力；反作用力            | $Q$                         | 面積一次矩         |
| $A, B, C, \dots$  | 點                 | $r$                         | 半徑；迴轉半徑       |
| $A, G$            | 面積                | $R$                         | 力；反作用力        |
| $b$               | 距離；寬度             | $R$                         | 半徑；破壞模數       |
| $c$               | 常數；距離；半徑          | $s$                         | 長度            |
| $C$               | 形心                | $S$                         | 彈性斷面模數        |
| $C_1, C_2, \dots$ | 積分常數              | $t$                         | 厚度；距離；切向偏距    |
| $d$               | 距離；直徑；深度          | $T$                         | 扭矩            |
| $D$               | 直徑                | $T$                         | 溫度            |
| $e$               | 距離；偏心距；膨脹率        | $u, v$                      | 直角坐標          |
| $E$               | 彈性模數              | $u$                         | 應變能密度         |
| $f$               | 頻率；函數             | $U$                         | 應變能；功         |
| $F$               | 力                 | $v$                         | 速度            |
| $F.S.$            | 安全因數              | $V$                         | 剪力            |
| $G$               | 剛性模數；剪力模數         | $V$                         | 體積；剪力         |
| $h$               | 距離；高度             | $w$                         | 寬度；距離；單位長度載重  |
| $H$               | 力                 | $W, W$                      | 重量；載重         |
| $H, J, K$         | 點                 | $x, y, z$                   | 直角坐標；距離；位移；撓度 |
| $I, I_x, \dots$   | 慣性矩               | $\bar{x}, \bar{y}, \bar{z}$ | 形心之坐標         |
| $J$               | 極慣性矩              | $Z$                         | 塑性斷面模數        |
| $k$               | 彈簧常數；形狀因子；體積模數；常數 | $\alpha, \beta, \gamma$     | 角             |
| $K$               | 應力集中因子；扭轉彈簧常數     | $\alpha$                    | 熱膨脹係數；影響係數    |
| $l$               | 長度；跨度             | $\gamma$                    | 剪應變；比重        |
| $L$               | 長度；跨度             | $\delta$                    | 變形；位移         |
| $L_e$             | 有效長度              | $\epsilon$                  | 正交應變          |
| $m$               | 質量                | $\theta$                    | 角；斜度          |
| $M$               | 力偶                | $\lambda$                   | 方向餘弦          |
| $M, M_x, \dots$   | 彎曲力矩              | $\nu$                       | 鮑生比           |
| $n$               | 數目；彈性模數比，正交方向     | $\rho$                      | 曲率半徑；距離；密度    |
| $p$               | 壓力                | $\sigma$                    | 正交應力          |
| $P$               | 力；集中載重            | $\tau$                      | 剪應力           |
| $P_{xy}, \dots$   | 慣性積               | $\phi$                      | 角；扭轉角         |
| $q$               | 單位長度之剪力；剪力流       | $\omega$                    | 角速度           |

# 目 次

|            |                          |          |
|------------|--------------------------|----------|
| <b>第一章</b> | <b>緒論——應力觀念</b> .....    | 1 ~ 41   |
| 1.1        | 概述 .....                 | 1        |
| 1.2        | 軸向載重；正交應力 .....          | 5        |
| 1.3        | 剪應力 .....                | 8        |
| 1.4        | 支承應力 .....               | 10       |
| 1.5        | 應用在簡單結構中之分析 .....        | 11       |
| 1.6        | 斜面受軸向載重作用之應力 .....       | 22       |
| 1.7        | 在廣義載重條件下之應力：應力分量 .....   | 25       |
| 1.8        | 極限及容許應力；安全因數 .....       | 29       |
| <br>       |                          |          |
| <b>第二章</b> | <b>應力及應變——軸向載重</b> ..... | 42 ~ 123 |
| 2.1        | 變形；應變之觀念 .....           | 42       |
| 2.2        | 軸向載重時之正交應變 .....         | 43       |
| 2.3        | 應力 - 應變圖 .....           | 45       |
| * 2.4      | 真應力及真應變 .....            | 50       |
| 2.5        | 虎克定理；彈性模數 .....          | 51       |
| 2.6        | 材料之彈性及塑性行爲 .....         | 52       |
| 2.7        | 重復載重；疲勞 .....            | 55       |
| 2.8        | 構件在軸向載重下之變形 .....        | 56       |
| 2.9        | 靜不定問題 .....              | 64       |
| 2.10       | 含有溫度變化之問題 .....          | 70       |
| 2.11       | 鮑生比 .....                | 83       |
| 2.12       | 多軸向載重；廣義虎克定理 .....       | 85       |

|        |                                              |     |
|--------|----------------------------------------------|-----|
| * 2.13 | 膨脹；體積模數 .....                                | 88  |
| 2.14   | 剪應變 .....                                    | 90  |
| 2.15   | 軸向載重變形之更進一步討論； $E$ ， $\nu$ ，及 $G$ 間之關係 ..... | 95  |
| 2.16   | 軸向載重下之應力及應變分佈；聖衛特原理 .....                    | 103 |
| 2.17   | 應力集中 .....                                   | 106 |
| 2.18   | 塑性變形 .....                                   | 108 |
| * 2.19 | 殘留應力 .....                                   | 112 |

### 第三章 扭轉.....124 ~ 200

|        |                 |     |
|--------|-----------------|-----|
| 3.1    | 概述 .....        | 124 |
| 3.2    | 圓軸應力之初步討論 ..... | 125 |
| 3.3    | 圓軸中之變形 .....    | 127 |
| 3.4    | 在彈性範圍內之應力 ..... | 131 |
| 3.5    | 彈性範圍內之扭轉角 ..... | 143 |
| 3.6    | 靜不定圓軸 .....     | 148 |
| 3.7    | 傳動軸之設計 .....    | 161 |
| 3.8    | 圓軸中之應力集中 .....  | 165 |
| * 3.9  | 圓軸中之塑性變形 .....  | 170 |
| * 3.10 | 彈塑材料製成之圓軸 ..... | 172 |
| * 3.11 | 圓軸中之殘留應力 .....  | 177 |
| * 3.12 | 非圓形構件之扭轉 .....  | 185 |
| * 3.13 | 薄壁中空軸 .....     | 189 |

### 第四章 純彎曲.....201 ~ 300

|     |          |     |
|-----|----------|-----|
| 4.1 | 概述 ..... | 201 |
|-----|----------|-----|

|        |                       |     |
|--------|-----------------------|-----|
| 4.2    | 純彎曲應力之初步討論 .....      | 203 |
| 4.3    | 對稱構件在純彎曲中之變形 .....    | 204 |
| 4.4    | 彈性範圍中之應力及變形 .....     | 208 |
| 4.5    | 橫向斷面之變形 .....         | 213 |
| 4.6    | 數種材料組合所製構件之彎曲 .....   | 223 |
| 4.7    | 應力集中 .....            | 228 |
| * 4.8  | 塑性變形 .....            | 237 |
| * 4.9  | 彈塑材料製成之構件 .....       | 240 |
| * 4.10 | 具有單一對稱平面構件之塑性變形 ..... | 246 |
| * 4.11 | 殘留應力 .....            | 247 |
| 4.12   | 對稱平面中之偏心軸向載重 .....    | 256 |
| 4.13   | 非對稱彎曲 .....           | 266 |
| 4.14   | 偏心軸向載重之廣義情況 .....     | 272 |
| * 4.15 | 曲線構件之彎曲 .....         | 284 |

## 第五章 橫向載重 ..... 301 ~ 368

|        |                              |     |
|--------|------------------------------|-----|
| 5.1    | 概述 .....                     | 301 |
| 5.2    | 正交應力分佈有關之基本假定 .....          | 303 |
| 5.3    | 水平面上剪力之求法 .....              | 304 |
| 5.4    | 梁中剪應力 $\tau_{xy}$ 之求法 .....  | 310 |
| 5.5    | 常用型式梁中之剪應力 $\tau_{xy}$ ..... | 312 |
| * 5.6  | 狹窄矩形梁斷面應力分佈之進一步探討 .....      | 314 |
| 5.7    | 任意縱向切割面上之剪力 .....            | 322 |
| 5.8    | 薄壁構件中之剪應力 .....              | 324 |
| * 5.9  | 塑性變形 .....                   | 327 |
| 5.10   | 組合載重下之應力 .....               | 337 |
| * 5.11 | 薄壁構件之非對稱載重；剪力中心 .....        | 350 |

## 第六章 應力及應變之轉換..... 369 ~ 445

|        |                        |     |
|--------|------------------------|-----|
| 6.1    | 概述 .....               | 369 |
| 6.2    | 平面應力之轉換 .....          | 370 |
| 6.3    | 主應力；極大剪應力 .....        | 373 |
| 6.4    | 平面應力莫爾圓 .....          | 383 |
| 6.5    | 廣義應力態 .....            | 396 |
| 6.6    | 莫爾圓對應力三向分析之應用 .....    | 398 |
| * 6.7  | 延性材料受平面應力作用之降伏準則 ..... | 401 |
| * 6.8  | 脆性材料受平面應力作用之破壞準則 ..... | 405 |
| 6.9    | 薄壁壓力容器中之應力 .....       | 414 |
| 6.10   | 平面應變之轉換 .....          | 423 |
| * 6.11 | 平面應變莫爾圓 .....          | 427 |
| * 6.12 | 應變之三向度分析 .....         | 431 |
| * 6.13 | 應變之量度；應變計菊花型裝置 .....   | 435 |

## 第七章 梁及圓軸之強度設計..... 446 ~ 503

|       |                      |     |
|-------|----------------------|-----|
| 7.1   | 概述 .....             | 446 |
| 7.2   | 剪力及彎曲 - 力矩圖 .....    | 449 |
| 7.3   | 載重，剪力及彎曲力矩間之關係 ..... | 458 |
| 7.4   | 梁中主應力 .....          | 469 |
| 7.5   | 稜體梁之設計 .....         | 473 |
| * 7.6 | 等強度梁 .....           | 485 |
| * 7.7 | 傳動圓軸之設計 .....        | 487 |
| * 7.8 | 作用載重下之應力 .....       | 490 |

## 第八章 積分法永梁撓度..... 504 ~ 559

|       |                    |     |
|-------|--------------------|-----|
| 8.1   | 概述 .....           | 504 |
| 8.2   | 彈性曲線方程式 .....      | 506 |
| 8.3   | 靜不定梁 .....         | 513 |
| * 8.4 | 奇性函數之應用 .....      | 523 |
| * 8.5 | 從載重分佈直接求彈性曲線 ..... | 530 |
| 8.6   | 重疊法 .....          | 545 |
| 8.7   | 重疊法對靜不定梁之應用 .....  | 547 |

## 第九章 矩面法永梁撓度..... 560 ~ 603

|       |                    |     |
|-------|--------------------|-----|
| * 9.1 | 概述 .....           | 560 |
| * 9.2 | 矩面定理 .....         | 560 |
| * 9.3 | 應用於懸臂梁及對稱載重梁 ..... | 564 |
| * 9.4 | 個別彎曲力矩圖 .....      | 566 |
| * 9.5 | 不對稱載重梁 .....       | 577 |
| * 9.6 | 極大撓度 .....         | 580 |
| * 9.7 | 靜不定梁 .....         | 589 |

## 第十章 能量法..... 604 ~ 673

|      |                  |     |
|------|------------------|-----|
| 10.1 | 概述；應變能 .....     | 604 |
| 10.2 | 應變能密度 .....      | 606 |
| 10.3 | 正交應力之彈性應變能 ..... | 609 |
| 10.4 | 剪應力之彈性應變能 .....  | 613 |
| 10.5 | 廣義應力態之應變能 .....  | 616 |
| 10.6 | 衝擊載重 .....       | 630 |

|         |                       |     |
|---------|-----------------------|-----|
| 10.7    | 衝擊載重之設計 .....         | 633 |
| 10.8    | 單一載重下之功及能 .....       | 635 |
| 10.9    | 應用功能法計算單一載重下之撓度 ..... | 638 |
| * 10.10 | 幾個載重下之功及能 .....       | 648 |
| * 10.11 | 卡氏定理 .....            | 652 |
| * 10.12 | 應用卡氏定理求撓度 .....       | 654 |
| * 10.13 | 靜不定結構 .....           | 659 |

## 第十一章 柱 ..... 674 ~ 733

|        |                       |     |
|--------|-----------------------|-----|
| 11.1   | 概述；結構穩定性 .....        | 674 |
| 11.2   | 銷端柱之歐勒公式 .....        | 677 |
| 11.3   | 應用於其他條件端點柱之歐勒公式 ..... | 682 |
| * 11.4 | 偏心載重；正割公式 .....       | 693 |
| 11.5   | 受中心載重作用之柱設計 .....     | 704 |
| 11.6   | 受偏心載重作用之柱設計 .....     | 719 |

## 附 錄 ..... 734 ~ 763

|   |                   |     |
|---|-------------------|-----|
| A | 面積矩 .....         | 735 |
| B | 選用工程材料之標準性質 ..... | 749 |
| C | 軋鋼型式之性質 .....     | 751 |
| D | 梁撓度及斜度表 .....     | 763 |

## 偶數者題之解答 ..... 764 ~ 793

# 第一章

## 緒論—應力觀念

### 1.1 概述

材料力學 (mechanics of material) 研究之主要目的乃是將各種機械及載重結構物之分析及設計方法提供給工程師。

考究圖 1.1 所示，由一撐桿  $AB$  及一吊桿  $BC$  組成之結構物。吾人將要決定者，此一結構物在  $B$  點支持一  $30\text{ kN}$  重量是否安全。

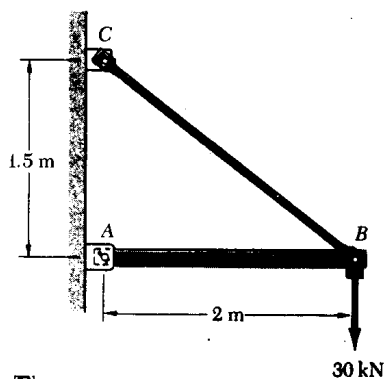


圖 1.1

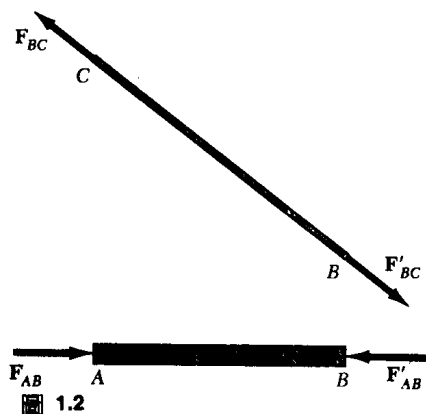


圖 1.2

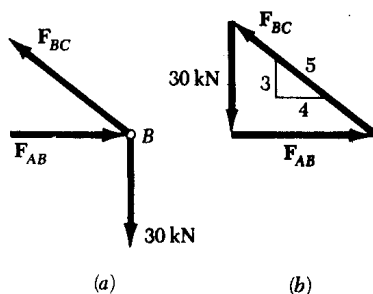


圖 1.3

從吾人熟悉之靜力學 (statics) 可知， $AB$  及  $BC$  皆是在每一端點受大小相等，方向相反軸向力作用之二力構件 (two-force members)：即大小為  $F_{AB}$  之力  $F_{AB}$  及  $F'_{AB}$ ，以及大小為  $F_{BC}$  之力  $F_{BC}$  及  $F'_{BC}$  (圖 1.2)。畫出樞點  $B$  之分離體圖 (Free body diagram) 及其相應之力三

## 2 材料力學

( force triangle ) ( 圖 1.3 )，即可從相似三角形得出下式

$$\frac{F_{AB}}{4\text{ m}} = \frac{F_{BC}}{5\text{ m}} = \frac{30\text{ kN}}{3\text{ m}}$$

從上式得

$$F_{AB} = 40\text{ kN} \quad F_{BC} = 50\text{ kN}$$

在通過  $BC$  桿上任一點  $D$  橫切一斷面，則可得出  $BD$  及  $CD$  兩部分 ( 圖 1.4 )。因要保持此桿件中  $BD$  及  $CD$  成平衡，故在  $D$  點對兩部分作用之力必為  $50\text{ kN}$ ，是以吾人可得結論是，當在  $B$  點有一  $30\text{ kN}$  載重作用時， $BC$  桿中將生一  $50\text{ kN}$  之內力，且  $BC$  桿中之內力應為拉力 ( tension )。同理可得到吊桿  $AB$  中之力是  $40\text{ kN}$ ，且為壓力 ( compression )。

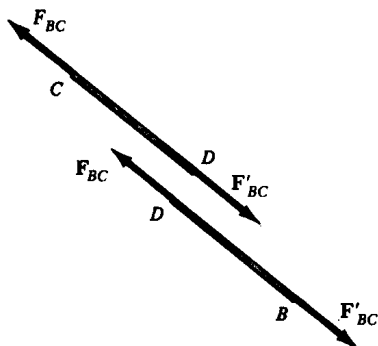


圖 1.4

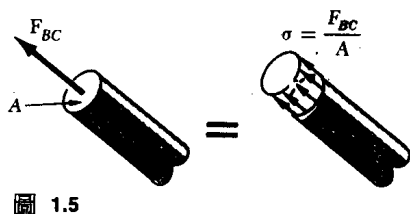


圖 1.5

上一結果表出結構分析中之最先且為必要之一步，但該一結果並未示出該一結構是否能安全支持已知之載重。例如，桿件  $BC$  在承載該一載重時是不是會斷裂，或是能安全承載，此問題不僅是要視求出之內力  $F_{BC}$  大小，同時要視桿件之斷面積以及製造桿件之材料而定。不錯，內力  $F_{BC}$  事實上代表分佈在斷面整個面積  $A$  上各原素力 ( elementary forces ) 之合力 ( 圖 1.5 )，且此等分佈力之強度 ( intensity ) 等於斷面中每單位面積上之力，即  $F_{BC} / A$ 。至於此桿件在一定載重作用下是否會斷裂，亦

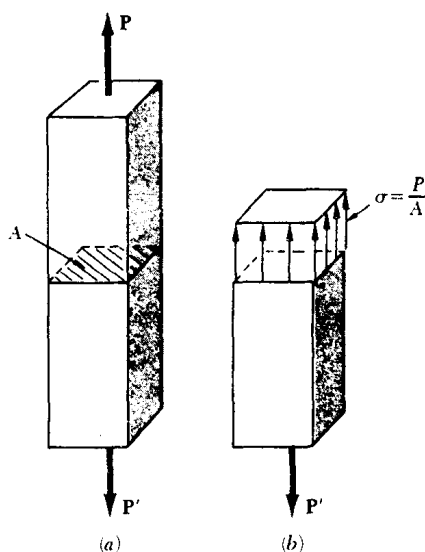


圖 1.6

明白表出要視此材料支持相當於分佈內力強度  $F_{BC}/A$  之大小的能力而定。因之此桿件損壞與否應視力  $F_{BC}$  大小，斷面積  $A$ ，以及桿件材料而定。

每單位面積上之力，或分佈在整個斷面上作用力之強度，稱為作用於該斷面上之應力（stress），並用一希臘字母  $\sigma$ （sigma）表示。是以，一斷面積為  $A$ ，承載一軸向（axial）載重  $P$  之構件中的應力等於載重大小  $P$  被面積  $A$  除：

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (1.1)$$

正號將用來表示拉應力（拉力構件），而負號乃用來表示壓應力（壓力構件）。

如果要使用 SI 公制單位，則  $P$  之單位是牛頓（newton, N）， $A$  之單位是平方公尺（ $m^2$ ），而應力  $\sigma$  之單位則需用  $N/m^2$  表出。此一單位稱為帕斯噶（pascal, Pa）。不過因為帕斯噶表出之量是太小了，所以在實用上是用此一單位之倍數表出，亦即用仟帕斯噶（kPa），百萬帕斯噶（megapascal, MPa），億帕斯噶（gigapascal, GPa）等。此等單位值是

$$1 \text{ kPa} = 10^3 \text{ Pa} = 10^3 \text{ N/m}^2$$

$$1 \text{ MPa} = 10^6 \text{ Pa} = 10^6 \text{ N/m}^2$$

$$1 \text{ GPa} = 10^9 \text{ Pa} = 10^9 \text{ N/m}^2$$