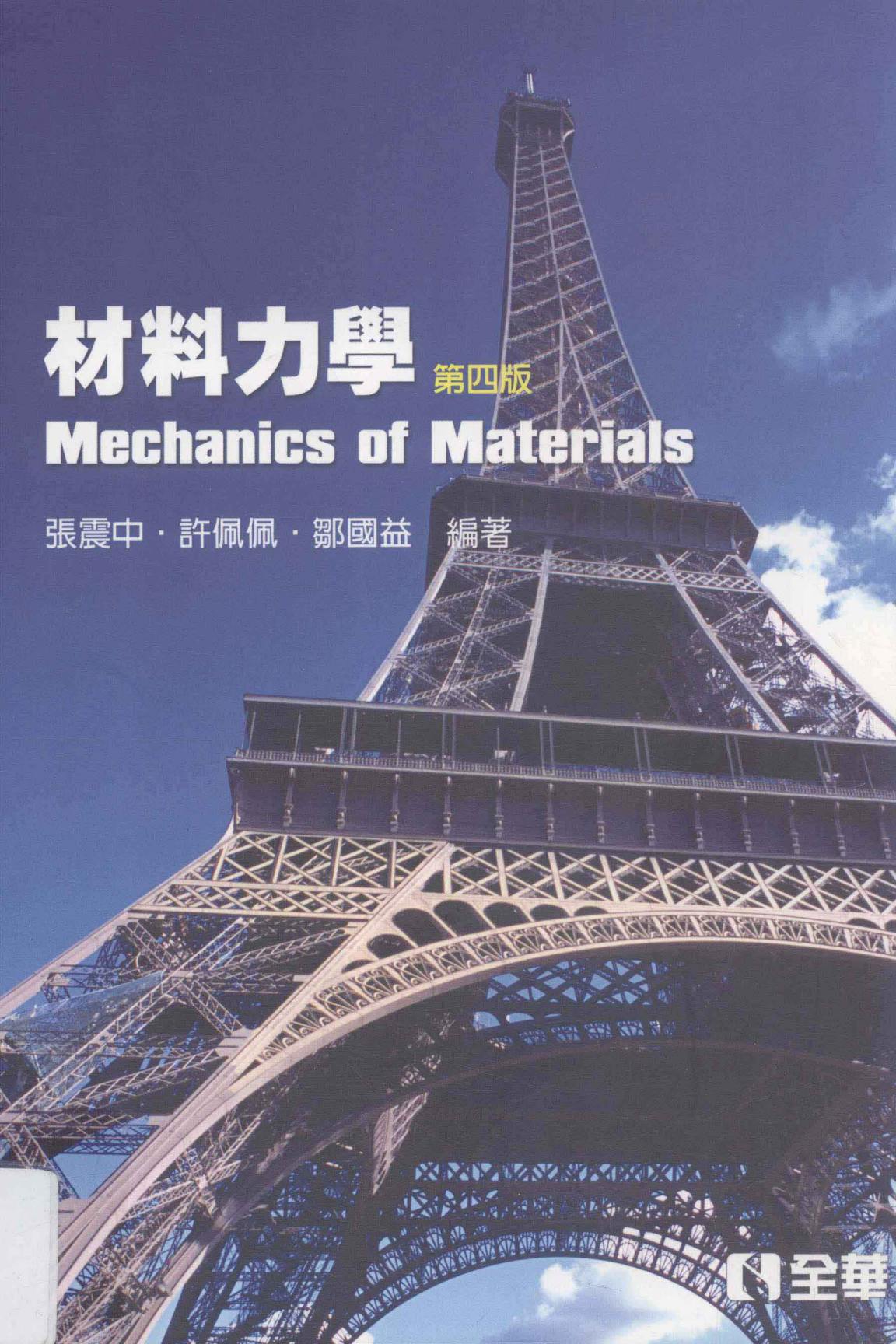




# 材料力學

第四版

## Mechanics of Materials

張震中 · 許佩佩 · 鄒國益 編著

# 材料力學

---

張震中・許佩佩・鄒國益 編著

 全華圖書股份有限公司

## 國家圖書館出版品預行編目資料

材料力學 / 張震中, 許佩佩, 鄒國益編著.

— 四版. — 臺北縣土城市: 全華圖書,

2010.12

面 ; 公分

參考書目: 面

ISBN 978-957-21-7936-9(平裝)

1. 材料力學

440.21

99025497

## 材料力學

作者 / 張震中 · 許佩佩 · 鄒國益

執行編輯 / 陳姍姍

發行人 / 陳本源

出版者 / 全華圖書股份有限公司

郵政帳號 / 0100836-1 號

印刷者 / 宏懋打字印刷股份有限公司

圖書編號 / 0287603

四版一刷 / 2010 年 2 月

定價 / 新台幣 380 元

ISBN / 978-957-21-7936-9 (平裝)

全華圖書 / [www.chwa.com.tw](http://www.chwa.com.tw)

全華網路書店 Open Tech / [www.opentech.com.tw](http://www.opentech.com.tw)

若您對書籍內容、排版印刷有任何問題，歡迎來信指導 [book@chwa.com.tw](mailto:book@chwa.com.tw)

---

### 臺北總公司(北區營業處)

地址: 23671 新北市土城區忠義路 21 號

電話: (02) 2262-5666

傳真: (02) 6637-3695、6637-3696

### 中區營業處

地址: 40256 臺中市南區樹義一巷 26 號

電話: (04) 2261-8485

傳真: (04) 3600-9806

### 南區營業處

地址: 80769 高雄市三民區應安街 12 號

電話: (07) 862-9123

傳真: (07) 862-5562

全省訂書專線 / 0800021551

有著作權 · 侵害必究

# 序 言

CONTENTS

材料力學乃是學習機械設計、塑性加工之基礎課程，而本書依據教育部制定的課程標準，並針對目前大專院校多元入學管道，集結了高中職不同領域之學子，能銜接物理、工程力學，且延伸工程設計所需力學分析之實務課程，做出最好的教育訓練編排，可以稱為材料力學入門最適合的書籍。

筆者對材料力學與機械設計有多年的教學經驗，深感初學者在不明瞭學習材料力學的目的下，常常無法對力的解析有一具體且深入的瞭解，因此編寫本書的內容深入淺出，不但適合大專院校、高職等機械、土木相關科系作為教科書使用，亦可作為其他領域之專家欲自修學習工程力學分析的教材。部分打星號的內容較深入實務應用，教師可視實際需要的情況作取捨。

本書每一章節前列有學習目標，章節後皆有自我學習評量之習題，對學生的學習有很大的幫助。例題之設計更是理論與實用並重，精細的圖表都讓初學者感到很容易、很簡單，最後亦附有習題解答，以供教學與學生學習之參考。

近幾年來，筆者參與太多的產學合作計劃，深深地感受到業界在機械設計方面太重視經驗，缺乏工程力學分析之驗證能力，因此降低了國際競爭力，未來唯有提昇力學分析的能力，才有創新設計建立品牌，堅立於永遠領先的地位。

編者 謹識  
於高苑科技大學

「系統編輯」是我們的編輯方針，我們所提供給您的，絕不是一本書，而是關於這門學問的所有知識，它們由淺入深，循序漸進。

本書作者對材料力學與機械設計有多年的教學經驗，覺得市面上有關材料力學入門的書籍，非常的缺乏，有鑑於此，特別針對專科學生實際程度編寫這本適合初學者的書，希望能讓讀者在學習上更得心應手。而此書的特色在於每一章節前都有明確的學習目標，每章節後亦有重點公式整理，再配合例題和習題的應用練習等。適合各大專院校機械科「材料力學」課程使用，對於在短時間複習的考試者而言，更是一本不可多得的好書。

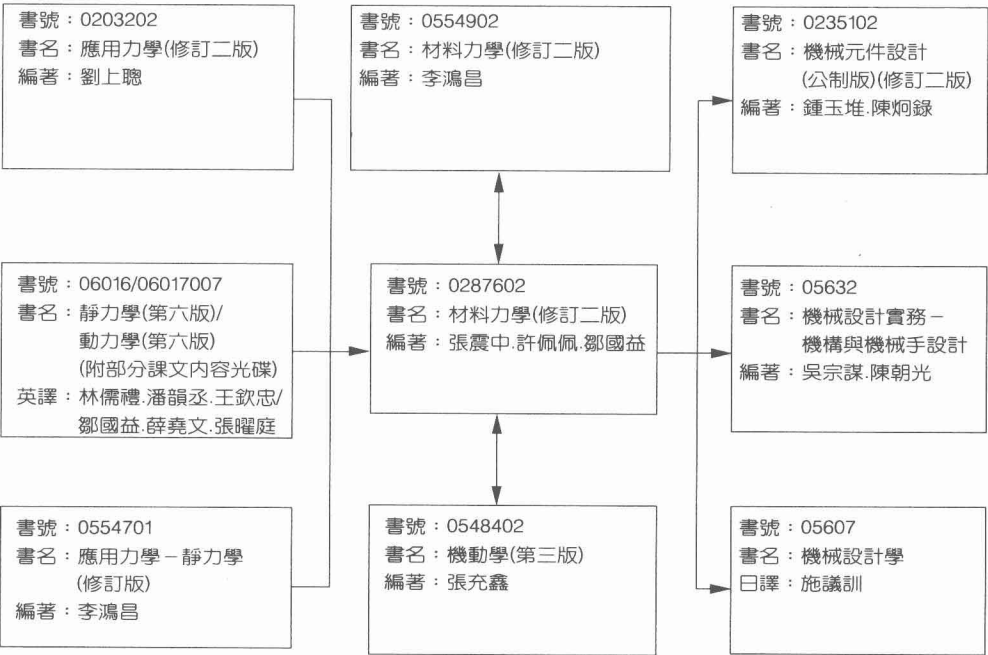
同時，爲了使您能有系統且循序漸進研習相關方面的叢書，我們列出各有關圖書的閱讀順序，以減少您研習此門學問的摸索時間，並能對這門學問有完整的知識。若您在這方面有任何問題，歡迎來函詢問，我們將竭誠爲您服務。

# 相關叢書介紹

|                                                                 |                                                           |
|-----------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| 書號：0554902<br>書名：材料力學(修訂二版)<br>編著：李鴻昌<br>20K/832 頁/650 元        | 書號：01025<br>書名：實用機構設計圖集<br>日譯：陳清玉<br>20K/184 頁/160 元      |
| 書號：0554801<br>書名：材料力學詳解(修訂版)<br>編著：李鴻昌<br>20K/480 頁/380 元       | 書號：0273401<br>書名：產品機構設計(修訂版)<br>編著：顏智偉<br>20K/256 頁/300 元 |
| 書號：0548002<br>書名：機械製造(修訂二版)<br>編著：簡文通<br>16K/464 頁/470 元        | 書號：01138<br>書名：圖解機構辭典<br>日譯：唐文聰<br>20K/256 頁/180 元        |
| 書號：0522802<br>書名：微機械加工概論(修訂二版)<br>編著：楊錫杭,黃廷合<br>16K/352 頁/400 元 |                                                           |

◎上列書價若有變動，請以最新定價為準。

## 流程圖



# 目錄

CONTENTS

## 第 1 章 緒論

|                                 |      |
|---------------------------------|------|
| 1-1 何謂材料力學？ .....               | 1-2  |
| 1-2 應力(stress) .....            | 1-3  |
| 1-2.1 正應力(normal stress) .....  | 1-3  |
| 1-2.2 承應力(bearing stress) ..... | 1-9  |
| 1-2.3 剪應力(shear stress) .....   | 1-10 |
| 1-3 應變(strain) .....            | 1-13 |
| 學後總評量 .....                     | 1-20 |

## 第 2 章 軸向負荷

|                                          |      |
|------------------------------------------|------|
| 2-1 材料拉伸時的機械性質 .....                     | 2-2  |
| 2-2 允許應力與安全係數 .....                      | 2-11 |
| 2-3 軸向負荷下桿件之變形量 .....                    | 2-16 |
| 2-4 靜不定結構 .....                          | 2-22 |
| 2-5 應變能(strain energy) .....             | 2-29 |
| 2-6 軸向拉伸下： $E$ 、 $G$ 及 $\nu$ 之間的關係 ..... | 2-31 |
| 學後總評量 .....                              | 2-36 |

## 第 3 章 扭矩

|                         |     |
|-------------------------|-----|
| 3-1 何謂扭矩(torsion) ..... | 3-2 |
| 3-2 扭矩對圓桿造成之應力與變形 ..... | 3-7 |

|     |               |      |
|-----|---------------|------|
| 3-3 | 靜不定扭轉構件 ..... | 3-22 |
| 3-4 | 薄壁中空軸 .....   | 3-29 |
| 3-5 | 扭轉之應變能 .....  | 3-33 |
|     | 學後總評量 .....   | 3-34 |

## **第 4 章 剪力與彎矩**

|     |                   |      |
|-----|-------------------|------|
| 4-1 | 樑的形式 .....        | 4-2  |
| 4-2 | 剪力與彎矩 .....       | 4-9  |
| 4-3 | 載荷、剪力與彎矩之關係 ..... | 4-16 |
| 4-4 | 剪力與彎矩圖 .....      | 4-23 |
|     | 學後總評量 .....       | 4-36 |

## **第 5 章 樑之應力**

|     |                 |      |
|-----|-----------------|------|
| 5-1 | 樑之正向應變與應力 ..... | 5-2  |
| 5-2 | 樑之剪應力 .....     | 5-13 |
| 5-3 | 寬翼樑之剪應力 .....   | 5-23 |
| 5-4 | 組合樑與複合樑 .....   | 5-26 |
|     | 學後總評量 .....     | 5-35 |

## **第 6 章 應力與應變分析**

|     |                 |      |
|-----|-----------------|------|
| 6-1 | 平面應力 .....      | 6-2  |
| 6-2 | 主應力與最大剪應力 ..... | 6-7  |
| 6-3 | 平面應力之莫耳圓 .....  | 6-12 |
| 6-4 | 平面應變 .....      | 6-22 |
| 6-5 | 主應變與最大剪應變 ..... | 6-26 |
| 6-6 | 平面應變之莫耳圓 .....  | 6-28 |
| 6-7 | 平面應力之虎克定律 ..... | 6-37 |



|                              |      |
|------------------------------|------|
| 6-8 球形與圓柱形容器之應力(雙軸向應力) ..... | 6-43 |
| 6-9 三軸向應力 .....              | 6-47 |
| 學後總評量 .....                  | 6-52 |

## **第 7 章 樑之撓度**

|                        |      |
|------------------------|------|
| 7-1 撓度曲線之微分方程式 .....   | 7-2  |
| 7-2 積分法求撓度 .....       | 7-6  |
| 7-3 彎矩—面積法求撓度 .....    | 7-17 |
| 7-4 重疊法 .....          | 7-28 |
| 7-5 彎曲之應變能 .....       | 7-35 |
| 7-6 剪力變形效應 .....       | 7-40 |
| 7-7 利用不連續函數求樑的撓度 ..... | 7-44 |
| 學後總評量 .....            | 7-50 |

## **第 8 章 靜不定樑**

|                        |      |
|------------------------|------|
| 8-1 撓度曲線微分方程式之分析 ..... | 8-2  |
| 8-2 力矩—面積法 .....       | 8-7  |
| 8-3 重疊法 .....          | 8-9  |
| 8-4 連續樑 .....          | 8-17 |
| 8-5 樑端之水平位移 .....      | 8-23 |
| 學後總評量 .....            | 8-25 |

## **第 9 章 能量法**

|                        |      |
|------------------------|------|
| 9-1 緒論 .....           | 9-2  |
| 9-2 各種載重下所產生之應變能 ..... | 9-6  |
| 9-3 結構體之應變能計算 .....    | 9-7  |
| 9-4 卡氏定理 .....         | 9-17 |

|                   |      |
|-------------------|------|
| 9-4.1 卡氏第一定理..... | 9-17 |
| 9-4.2 卡氏第二定理..... | 9-18 |
| 9-5 結論.....       | 9-31 |
| 學後總評量.....        | 9-31 |

## 第 10 章 柱

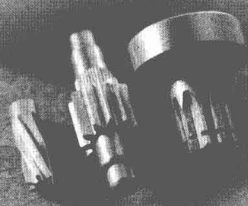
|                             |       |
|-----------------------------|-------|
| 10-1 挫屈與構件之穩定性.....         | 10-2  |
| 10-1.1 挫屈 (BUCKLING).....   | 10-2  |
| 10-1.2 臨界負荷.....            | 10-4  |
| 10-2 其他各種不同支承情況之柱的臨界負荷..... | 10-13 |
| 10-2.1 一端固定一端為自由端之柱體.....   | 10-14 |
| 10-2.2 兩端固定之柱體.....         | 10-16 |
| 10-3 承受偏心軸向負荷之柱.....        | 10-20 |
| 學後總評量.....                  | 10-25 |

## 附 錄

|                       |      |
|-----------------------|------|
| 附錄 A 英制單位與公制單位換算..... | 附-2  |
| 附錄 B 金屬材料之機械性質.....   | 附-4  |
| 附錄 C 簡單截面之面積性質.....   | 附-6  |
| 附錄 D 型鋼之截面性質.....     | 附-11 |
| D-1 公制型鋼.....         | 附-11 |
| D-2 英制型鋼.....         | 附-23 |
| 附錄 E 樑之撓度與斜度.....     | 附-35 |

## 參考書目

# 1



## 緒論

### 學習目標

1. 瞭解何謂材料力學。
2. 瞭解材料應力的意義。
3. 瞭解材料應變的意義。

**1-1****何謂材料力學？**

一位機械或土木工程師，必須對機械或工程結構中各個構件因負荷所產生的現象，具有預測的能力。例如：車床切削時，主軸受到齒輪嚙合力、切削力等載荷下，它的安全性如何？主軸是否會承受不了而斷裂？一座橋樑的橋墩，上面承受車輛的行駛，下面又有河水衝擊，它的製造尺寸夠不夠支撐？甚至它能承受幾級地震而不致垮毀。這些在我們設計結構建築時，又是否能事先預測？事實上，我們可以根據下述三方面來衡量材料承受負荷的能力，進而加以事先預測：

1. 構件必須有足夠的強度：此處的強度是指不會產生破壞的程度，如建築物承受幾級地震而不致垮毀，氧氣瓶在多大的壓力下不致爆破。
2. 構件必須有足夠的剛性：對於大部分的機械構件，如車床中的主軸，我們當然不希望它受到負荷後產生巨大的變形，因為這樣會嚴重影響工件的精度，又如齒輪軸變形太大會使得齒輪嚙合不良，損害機件。故抵抗變形的能力便是構件的剛性。
3. 構件必須有足夠的穩定度：試著想像，若你對一根竹竿施以壓力，它會有什麼情形出現？對了！它不會保持原先的直線型式，它會有“蛇形”狀的彎曲，當你力量再加大時，它終究會斷裂！故這裡的穩定度便是指細長構件承受壓力時，保持原有平衡狀態的能力！

而上述的能力，則與構件選用的材料、形狀與截面積大小有密切的關係，如柱子裡加鋼筋能增加強度，截面積大者剛性較高，粗短的形狀要比細長型穩定性好，但鋼筋要加幾條？構件尺寸要多大？在材料合於強度、剛性與穩定性的要求下，材料力學提供了必要的理論基礎與計算

方法，以最經濟的代價，為構件確定合理的形狀與尺寸，選擇適宜的材料。

當然，強度、剛性與穩定度與材料的機械性質有關，而這些性質往往需要藉由實驗來求得(參看(2-1)節)，故實驗分析亦是材料力學的一部分。

## 1-2 應力(stress)

### 1-2.1 正應力(normal stress)

在圖(1-1)中，我們考慮桿BC受到軸向負荷 $P$ 的作用下，此桿材料是否能承受，顯然這與桿的材質與截面積有關，故我們定義出：單位面積上的力，或分佈在所給截面上的力量強度，稱為該斷面上之正應力(normal stress)，並以希臘字母 $\sigma$ (sigma)表示之，即

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (1-1)$$

此項公式必須注意下述事項：

1. 此應力值是截面上的平均應力值而非特定點的應力。
2. 作用的力量要與截面垂直，若不垂直，則把力量分解到垂直方向代入。
3. 此值為正時，表示拉伸應力，桿件承受拉伸(tension)。
4. 此值為負時，表示壓縮應力，桿件承受壓縮(compression)。

在 SI 單位系統中，應力的單位為巴斯卡(pascal)(Pa,  $1\text{Pa} = 1\text{N}/\text{m}^2$ )，而一般此一單位值非常小，故通常我們皆以仟倍(KPa)，百萬倍(MPa)，甚至十億倍(GPa)來使用：

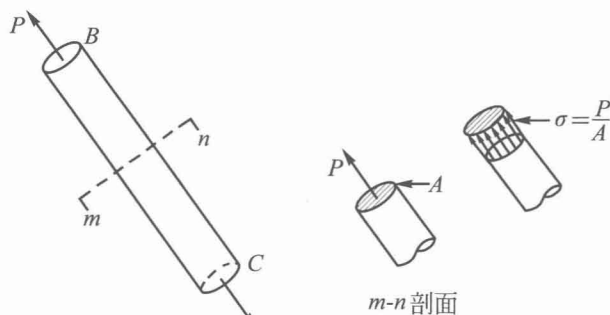


圖 1-1

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

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

$$1\text{GPa} = 10^9\text{Pa} = 10^9\text{N/m}^2 = 10^3\text{N/mm}^2$$

當採用英制時，則為每平方吋之磅數(lb/in<sup>2</sup>，可以Psi表示)，或仟倍(Ksi)來表示，公制與英制則有下述換算公式：

$$1\text{Psi} \approx 7\text{KPa}$$

$$1\text{Ksi} \approx 7\text{MPa}$$

接下來，我們來舉個例子，試試看你瞭解的程度。

**例題 1-1** 如圖(1-2)所示受軸向負荷的桿件

(1)若桿件為結構鋼則材料產生應力 $\sigma = 190\text{MPa}$ ，所需的軸向負荷 $P$ 為何？

假設此桿材為直徑 10mm 的圓截面。

(2)若桿件為鋁 195-T6，且軸向負荷 $P$ 為 15kN 的情況下，其截面直徑 $d$ 要等於多少 mm？使其造成的應力 $\sigma = 50\text{MPa}$ 。

**解** (1)根據式子(1-1)，其中：

$$\sigma = 190 \text{ MPa} = 190 \times 10^6 \text{ N/m}^2$$

$$A = \frac{1}{4} \pi \times (10 \times 10^{-3})^2 \text{ m}^2$$

$$190 \times 10^6 = \frac{P}{\frac{1}{4} \pi \times (10 \times 10^{-3})^2}$$

$$P = 14.9 \text{ kN}$$

故力量大小為 14.9 kN

(2) 桿件換成鋁材並且

$$\sigma = 50 \times 10^6 \text{ N/m}^2, P = 15 \times 10^3 \text{ N}$$

$$50 \times 10^6 = \frac{15 \times 10^3}{\frac{1}{4} \pi \times d^2}, d \doteq 19.52 \text{ mm}$$

故直徑等於 19.52 mm

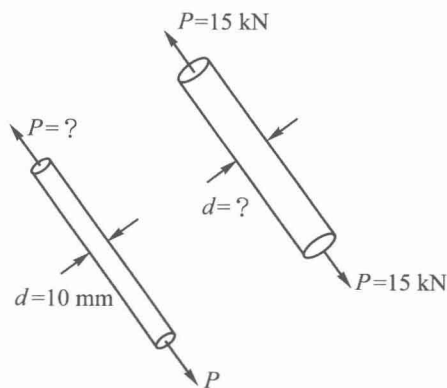


圖 1-2

**例題 1-2** 如圖(1-3)所示，一根圓形截面的組合桿件，它是由三種不同材質所組成，分別為鋼、黃銅、鋁，試求在 A、B、C、D 四點軸向負荷作用下：

(1) 各段應力值為何？

(2) 假設三段材質允許應力分別為鋼：125MPa，黃銅：70MPa，鋁：85MPa，則在此負荷作用下那段桿件不安全？補救的方法是將該桿件直徑增大至多少？

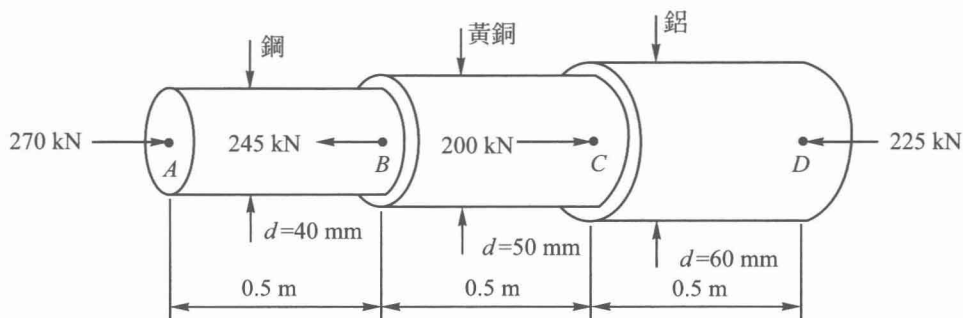


圖 1-3

**解** 首先畫出各段自由體圖求各段之負荷：

參看圖(1-3.1)

$$\Sigma F_x = 0 ; 270 + F_a = 0$$

$$F_a = -270 \text{ kN} = 270 \text{ kN 壓力}$$

$$\Sigma F_x = 0 ; 270 - 245 + F_b = 0$$

$$F_b = -25 \text{ kN} = 25 \text{ kN 壓力}$$

$$\Sigma F_x = 0 ; 270 - 245 + 200 + F_c = 0$$

$$F_c = -225 \text{ kN} = 225 \text{ kN 壓力}$$

(1) 故各段應力：

$$\sigma_{\text{鋼}} = \frac{F_a}{A_{\text{鋼}}} = \frac{-270 \times 10^3}{\frac{1}{4} \pi (40)^2} = -214.86 \text{ N/mm}^2 = 214.86 \text{ MPa 壓應力}$$

$$\sigma_{\text{黃銅}} = \frac{F_b}{A_{\text{黃銅}}} = \frac{-25 \times 10^3}{\frac{1}{4} \pi (50)^2} = -12.73 \text{ N/mm}^2 = 12.73 \text{ MPa 壓應力}$$



$$\sigma_{\text{鋁}} = \frac{F_c}{A_{\text{鋁}}} = \frac{-225 \times 10^3}{\frac{1}{4}\pi (60)^2} = -79.58 \text{ N/mm}^2 = 79.58 \text{ MPa 壓應力}$$

(2) 因為答案(1)中僅有鋼承受的應力值大於其允許應力

$$214.86 \text{ MPa} > 125 \text{ MPa}$$

故三段中鋼材段不安全

解決辦法：加大該段截面直徑，若承受應力值要小於允許應力時之直徑為  $d$ ，則

$$\sigma_{\text{鋼}} = \frac{270 \times 10^3}{\frac{1}{4}\pi d^2} < 125 \text{ MPa}$$

$$\therefore d > 52.44 \text{ mm}$$

故鋼段直徑至少要加大至 52.44mm 方使此段安全。

●註：除非特別提起，否則在本書中各個桿件皆不計其重量。

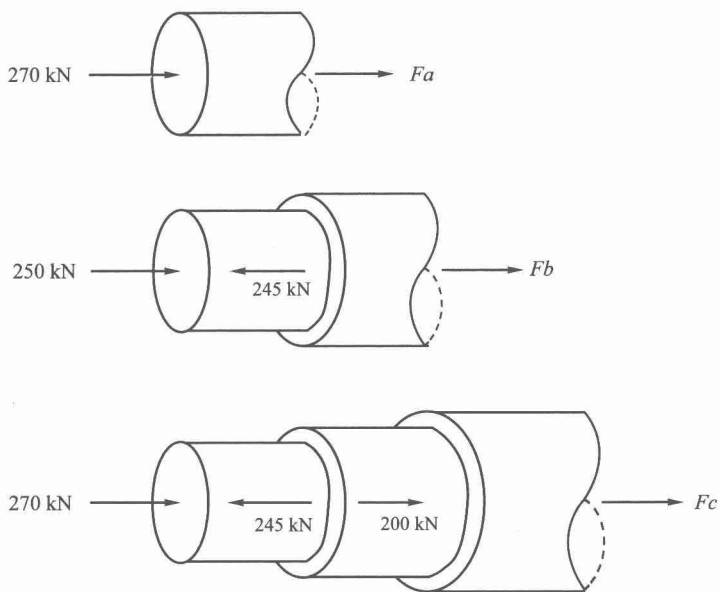


圖 1-3.1