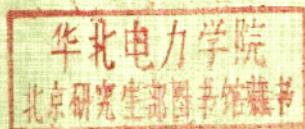


# 應用力學精義

原著者：R M. Russell

譯述者：張 誠



科技圖書股份有限公司

03  
1950

# 應用力學精義

原著者：R M. Russell

譯述者：張 誠

科技圖書股份有限公司

### 編譯經過

吾國高等攷試科目中，有將靜力學、動力學、材料力學及流體力學四門合稱為應用力學，作為參加土木、機械特攷中必攷科目。在大學就讀時，此四門學課的教本的頁數總計在三千頁以上，在讀完以後參加高攷時已經二年以上，要參加一次攷試，只此一門便需重溫一次三千頁的功課，真不知從何着手。在英國對此類攷試，更需加攷熱力學，連同以上四門統稱為“工程科學”(engineering science)，則其困難更甚。故在英國各大書店均聘請教授專家主持編輯各種複習搭記(revision notes)，就各課的內容，擇其重點並舉例說明解題要點，印行問世，藉以減輕投考者的沉重負擔。本書即根據此種複習搭記書編印出版，列為工程複習叢書。原書係由英國Collins 圖書公司出版，書名Revision Programmes in Engineering Science Series，一共五冊，除其中第四冊“熱力學”已由本公司出版，書名為「熱力學精義」。本書則由該叢書的第一、二、三、五等冊合併譯出，計共八十五節，例題二百四十三則，問題七十六則，計二百十頁裝訂成一冊，以供讀者隨時閱讀之用。因其前後啣接，脈絡相通，故合稱為“應用力學精義”。本書雖為方便投考複習之用，但絕不附列歷屆考試試題，作事後先知式的宣傳。本書係由張誠碩士譯出，譯文確切而簡潔。茲將譯印本書原委說明如上。

科技圖書公司編輯部 謹識

# 應用力學精義

## 目 錄

### 第一章 靜力學

|      |             |    |
|------|-------------|----|
| 1.1  | 力和力矩        | 3  |
| 1.2  | 力矩定理        | 4  |
| 1.3  | 合力和平衡力      | 7  |
| 1.4  | 重心          | 8  |
| 1.5  | 均質板之重心      | 9  |
| 1.6  | 數種不同形狀立體之重心 | 12 |
| 1.7  | 三個不平行力之平衡   | 14 |
| 1.8  | 鉗接結構        | 18 |
| 1.9  | 力多邊形        | 20 |
| 1.10 | 力偶          | 24 |
| 1.11 | 兩個不平行力之合成   | 25 |
| 1.12 | 力之分解        | 27 |
| 1.13 | 力系之合成效應     | 28 |
| 1.14 | 平衡之一般條件     | 29 |

### 第二章 動力學

|     |        |    |
|-----|--------|----|
| 2.1 | 直線運動   | 33 |
| 2.2 | 重力下之運動 | 37 |
| 2.3 | 運動定律   | 41 |
| 2.4 | 衝量和能   | 48 |
| 2.5 | 摩擦     | 53 |
| 2.6 | 水平面之摩擦 | 53 |

|      |                |    |
|------|----------------|----|
| 2•7  | 傾斜面之摩擦·····    | 55 |
| 2•8  | 軸承摩擦·····      | 57 |
| 2•9  | 螺旋摩擦——方螺紋····· | 59 |
| 2•10 | 衝環摩擦·····      | 61 |
| 2•11 | 機械·····        | 62 |
| 2•12 | 簡單機械之特性·····   | 62 |
| 2•13 | 簡單機械之反向操作····· | 65 |
| 2•14 | 角運動·····       | 68 |
| 2•15 | 角加速度和扭矩·····   | 70 |
| 2•16 | 旋轉之動能·····     | 73 |
| 2•17 | 徑向力·····       | 77 |
| 2•18 | 圓錐擺·····       | 81 |
| 2•19 | 離心調速器·····     | 82 |
| 2•20 | 靜力和動力平衡·····   | 84 |
| 2•21 | 簡諧運動·····      | 87 |

### 第三章 材料力學

|      |           |     |
|------|-----------|-----|
| 3•1  | 直接應力····· | 93  |
| 3•2  | 張力試驗····· | 95  |
| 3•3  | 安全係數····· | 99  |
| 3•4  | 證驗應力····· | 100 |
| 3•5  | 壓力試驗····· | 103 |
| 3•6  | 震撼荷重····· | 106 |
| 3•7  | 剪應力·····  | 111 |
| 3•8  | 鉚接·····   | 116 |
| 3•9  | 焊接·····   | 120 |
| 3•10 | 合成桿件····· | 121 |
| 3•11 | 溫度應力····· | 127 |

|      |                       |     |
|------|-----------------------|-----|
| 3•12 | 差溫應力.....             | 129 |
| 3•13 | 樑.....                | 134 |
| 3•14 | 荷重強度、剪力及彎曲力矩間之關係..... | 137 |
| 3•15 | 剪力及彎矩力矩方程式.....       | 141 |
| 3•16 | 標準狀況之剪力及彎曲力矩圖.....    | 144 |
| 3•17 | 單純彎曲理論.....           | 145 |
| 3•18 | 斷面之性質.....            | 147 |
| 3•19 | 剪應變.....              | 155 |
| 3•20 | 機軸之扭轉.....            | 156 |
| 3•21 | 中空機軸.....             | 159 |

## 第四章 流體力學

|      |                  |     |
|------|------------------|-----|
| 4•1  | 流體之靜壓力.....      | 167 |
| 4•2  | 流體之壓力水頭.....     | 167 |
| 4•3  | 大氣壓力.....        | 168 |
| 4•4  | 絕對，計示和真空壓力.....  | 169 |
| 4•5  | 壓力計.....         | 169 |
| 4•6  | 測微壓力計.....       | 170 |
| 4•7  | 傾斜U形管.....       | 170 |
| 4•8  | 末端擴大之U形管.....    | 173 |
| 4•9  | 沒水面所受之總推力.....   | 175 |
| 4•10 | 作用於閘門之壓力.....    | 178 |
| 4•11 | 作用於非平面表面之壓力..... | 180 |
| 4•12 | 水之浮力.....        | 181 |
| 4•13 | 浮力中心.....        | 182 |
| 4•14 | 漂浮物體之平衡狀態.....   | 182 |
| 4•15 | 定傾中心.....        | 182 |
| 4•16 | 定傾中心高.....       | 183 |

|      |                   |     |
|------|-------------------|-----|
| 4•17 | 漂浮物之橫向振動.....     | 187 |
| 4•18 | 相對速度與速度改變.....    | 189 |
| 4•19 | 牛頓第二定律在流體之應用..... | 190 |
| 4•20 | 液體之流動.....        | 195 |
| 4•21 | 連續方程式.....        | 195 |
| 4•22 | 克服壓力所作之功.....     | 197 |
| 4•23 | 速度落差.....         | 197 |
| 4•24 | 液體之總壓頭.....       | 198 |
| 4•25 | 柏努利定律.....        | 198 |
| 4•26 | 能量方程式.....        | 199 |
| 4•27 | 文氏管.....          | 201 |
| 4•28 | 噴射流之功率.....       | 205 |
| 4•29 | 皮托管.....          | 207 |

# Statics

## 第一章 靜力學





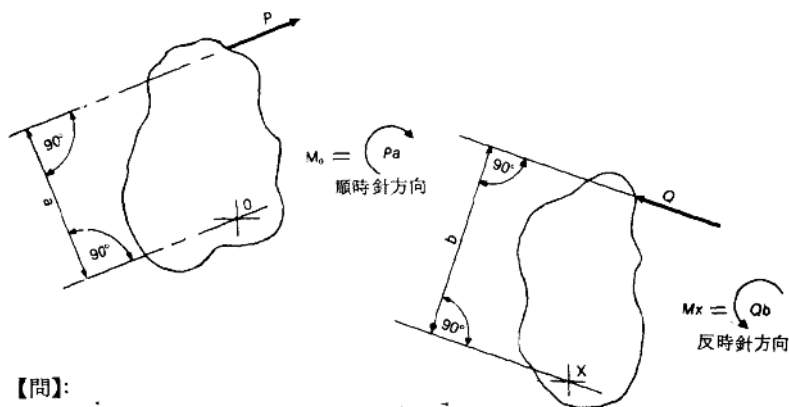
## 1-1 力和力矩

力，是發生或傾向於發生運動。因其具有大小和方向，故力是一種向量。

平衡產生於一當兩個或兩個以上的力，彼此相互制衡時。

靜力學，是探究平衡中的力的一門學問。

力對某軸的力矩，乃為該力的大小與力的作用線至該軸垂直距離的乘積。



【問】:

- (1) 一力對一已知軸的力矩，視什麼因素而定？
- (2) 若力以  $N$  表之，距離測得為  $m$ ，則力矩應如何表示？
- (3) 關於一已知的情况下，力矩的方向必定是如何表示？

【答】:

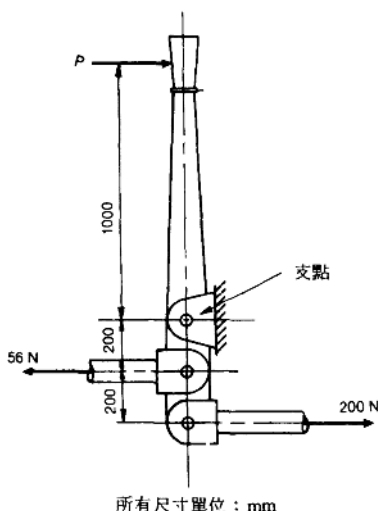
- (1) 一力的力矩視(a)力的大小(b)力的作用線與該已知軸間之垂直距離而定。
- (2)  $Nm$ 。
- (3) 力矩的方向必定是順時針走向或逆時針走向。

## 1-2 力矩定理

當一物體在力系作用下呈平衡狀態時，各力對已知軸諸力矩之代數和必等於零。

### 【例題】1

下圖示一信號控制機構之槓桿。試決定操作槓桿所需之力  $P$ ，及槓桿支點上所承受之力。



例題 1.1 (a)圖

### 【解】

對支點軸取力矩

$$\sum \mathcal{M}_O = 0$$

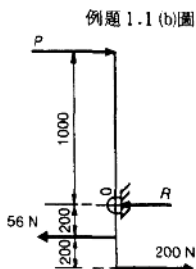
$$\therefore 1000P + 200 \times 56 - 400 \times 200 = 0$$

$$\therefore P = (80000 - 11200) / 1000 \text{ N} = 68.8 \text{ N}$$

所有向右的力      必需制衡      所有向左的力

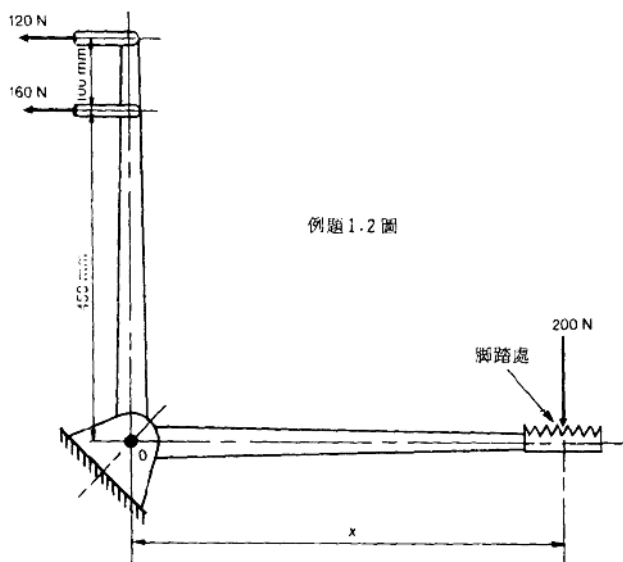
$$\text{由 } 68.8 + 200 = R + 56$$

$$\text{故得作用於支點之力 } R = 268.8 - 56 \text{ N} = 212.8 \text{ N}$$



【例題】2

試求出踏腳處之位置，若圖示槓桿之操作力為 200 N。



【解】

對支點 (O) 取力矩

$$\sum M_o = 0$$

$$200x - 450 \times 160 - 550 \times 120 = 0$$

$$\therefore x = (72000 + 66000) / 200 = 690 \text{ mm}$$

踏腳處中心至樞軸 O 之距離為 690 mm。

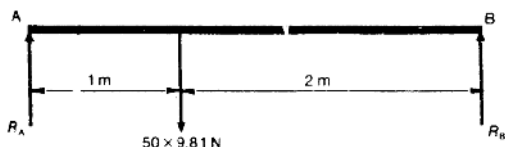
簡支樑：支承反力

力矩定理亦可用來決定簡支樑的反力或支承力。

### 【例題】3

兩個男孩A和B，用一3公尺長之直竿（重量可不計）担負一50公斤重物，直竿係水平，每人各扛一端，若重物掛在距A 1公尺處，試求兩人各担負若干？

【解】



例題 1.3 圖

對A點取力矩： $\odot \sum M_A = 0$

$$1 \times 50 \times 9.81 - 3R_B = 0$$

$$\therefore R_B = 50 \times 9.81 / 3 \text{ N} = 163.5 \text{ N}$$

對B點取力矩： $\odot \sum M_B = 0$

$$3R_A - 2 \times 50 \times 9.81 = 0$$

$$\therefore R_A = 981 / 3 = 327 \text{ N}$$

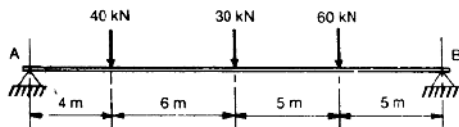
核算：所有向上的力  $\uparrow$  = 所有向下的力  $\downarrow$

$$327 + 163.5 \text{ N} = 490.5 \text{ N}$$

故A担負 **327 N**，B担負 **163.5 N**。

### 【例題】1.4

一水平樑受垂直向力系作用如圖示，若樑重不計，試求兩支承端反力。



例題 1.4 圖

【解】

$$\odot \sum M_A = 0 \quad 4 \times 40 + 10 \times 30 + 15 \times 60 - 20R_B = 0$$

$$R_B = (160 + 300 + 900) / 20 = 68 \text{ kN}$$

$$\odot \sum M_B = 0 \quad \therefore -5 \times 60 - 10 \times 30 - 16 \times 40 + 20R_A = 0$$

$$\therefore R_A = (300 + 300 + 640) / 20 = 62 \text{ N} \uparrow$$

核算：62 + 68 N  $\uparrow$  制衡 40 + 30 + 60 N  $\downarrow$

### 1-3 合力和平衡力

力系的合力乃一單力，其單獨作用之結果與力系全體作用之結果相同。

力系的平衡力乃一單力，為與力系相作用，將維持平衡。

力系的合力與平衡力必大小相等，在同一直線上而方向相反。

平行力系的合力

$$R = P_1 + P_2 + P_3 + P_4 = \sum P$$

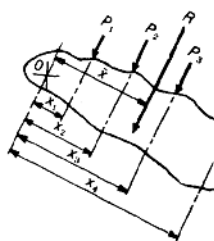
對 0 軸取力矩

$$\sum M_0 = P_1x_1 + P_2x_2 + P_3x_3 + P_4x_4 = \sum Px$$

$$\text{由 } \bar{x}R = \sum Px$$

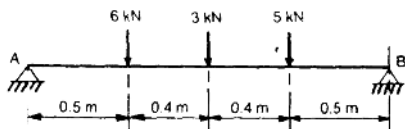
$$\therefore \bar{x} \sum P = \sum Px \quad \therefore \bar{x} = \frac{\sum Px}{\sum P}$$

圖 1.3



#### 【例題】1.5

圖示受多種力作用之簡支樑。試求合力並計算其支承反力，但樑重不計。



例題 1.5 (a)圖

【解】

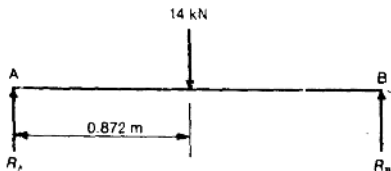
$$\text{合力 } R = 6 + 3 + 5 \text{ kN} = 14 \text{ kN}$$

$$\bar{x}_1 = (6 \times 0.5 + 3 \times 0.9 + 5 \times 1.3) / 14 \text{ m}$$

$$= 0.872 \text{ m}$$

$$R_A = 14(1.8 - 0.872) / 1.8 = 7.22 \text{ kN } \uparrow$$

$$R_B = 14 - 7.22 \text{ kN} = 6.78 \text{ kN } \uparrow$$



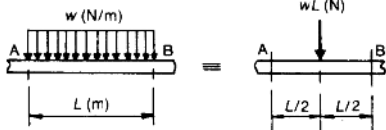
例題 1.5 (b)圖

## 1-4 重心

物體的重心，是通過物體全部重量之作用點。

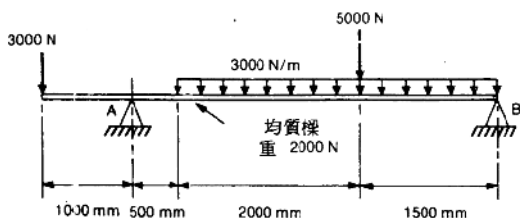
均質桿或均質樑的重心在其長之中點。

對一均佈載重來說：



### 【例題】1.6

求圖示樑之合力及支承反力。



例題 1.6 (a)圖

### 【解】

$$\text{合力} = 3000 + 5000 + 3000 \times 3.5 \text{ N} = 18500 \text{ N}$$

$$18500\bar{x} = -3000 \times 1 + 5000 \times 2.5 + 10500 \times 2.25$$

$$\bar{x} = 33125 / 18500 \text{ m} = 1.79 \text{ m}$$

$$\sum M_A = 0 \quad \therefore 1.79 \times 18500 + 1.5 \times 2000 - 4R_B = 0$$

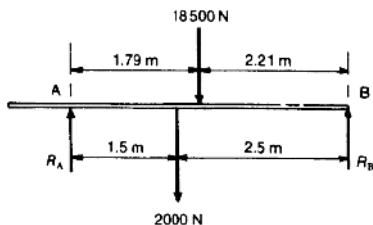
$$\therefore R_B = 9030 \text{ N}$$

$$\sum M_B = 0 \quad \therefore -2.21 \times 18500 - 2.5 \times 2000 + 4R_A = 0$$

$$\therefore R_A = 11470 \text{ N}$$

核算全部向上的力  $\uparrow$  必需制衡全部向下的力  $\downarrow$

$$11470 + 9030 \text{ N} = 18500 + 2000 \text{ N}$$



例題 1.6 (b)圖

## 1-5 均質板的重心

設一均質平板厚  $t$ ，其材料密度以  $\rho$  表之。取單位面積  $\delta A$  分析；

$\delta A$  的重量為  $\rho g t \delta A$ ，該重量對  $OX$  軸之力矩為  $\rho g t y \delta A$ ，對  $OY$  軸為  $\rho g t x \delta A$ 。

對  $OY$  軸之全部力矩和  $= \Sigma \rho g t x \delta A = \rho g t \Sigma x \delta A$

對  $OX$  軸之全部力矩和  $= \Sigma \rho g t y \delta A = \rho g t \Sigma y \delta A$

全部重量  $= \Sigma \rho g t \delta A = \rho g t \Sigma \delta A = \rho g t A$ ，

此處  $A$  = 全部面積。

若重心之坐標值為  $\bar{x}$ 、 $\bar{y}$ ，

$$\text{則 } \bar{x} \cdot \rho g t \Sigma \delta A = \rho g t \Sigma x \delta A \therefore \bar{x} = \frac{\Sigma x \delta A}{\Sigma \delta A}$$

$$\text{及 } \bar{y} \cdot \rho g t \Sigma \delta A = \rho g t \Sigma y \delta A \therefore \bar{y} = \frac{\Sigma y \delta A}{\Sigma \delta A}$$

因比重心的位置，僅依平板表面之性質而定，其中  $\rho$  和  $t$  均無需介入計算。雖然如此，讀者仍需牢記，重心是位於平板厚度的中央。

圖形的形心與均質厚度的平板的重心相符合；由各方面說來，圖形的形心與重心應是同一點。

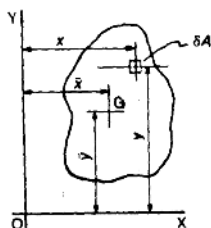


圖 1.5 (a)

數種不同形狀圖形的形心

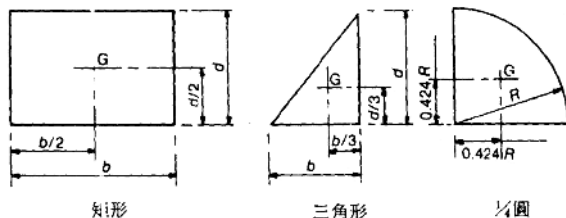


圖 1.5 (b)



- 【問】：1.5.1 (1)圓的形心位置在何處？  
 (2)半圓的形心位置在何處？  
 【答】：(1)很明顯的形心在圓的中心點處。  
 (2)參見右圖。

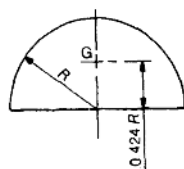
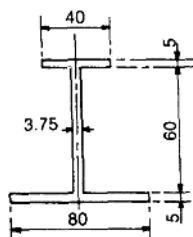


圖 1.5 (c)

【例題】1.7

下圖示一鋼樑剖面圖。若鋼的密度為  $7720 \text{ kg/m}^3$ ，試求此剖面圖之形心位置，並估計此樑每公尺之單位重量。



例題 1.7 圖

所有尺寸單位：mm

【解】

| 各部斷面     | 面積<br>$A(\text{mm}^2)$ | 形心高度<br>$y(\text{mm})$ | 面積矩<br>$Ay(\text{mm}^3)$ |
|----------|------------------------|------------------------|--------------------------|
| 頂翼<br>   | 200                    | 67.5                   | 13 500                   |
| 腹<br>    | 225                    | 35                     | 7875                     |
| 底翼<br>   | 400                    | 2.5                    | 1000                     |
| $\Sigma$ | 825                    |                        | 22 375                   |

$$\bar{y} = \frac{\Sigma Ay}{\Sigma A} = \frac{22375}{825} = 27.1 \text{ mm}$$

故形心在鋼樑剖面中心線上，距底翼外緣 27.1 mm 處。

$$\text{每公尺之重量} = 825 \times 10^{-6} \times 7720 \times 9.81 \text{ N} = 62.5 \text{ N}$$