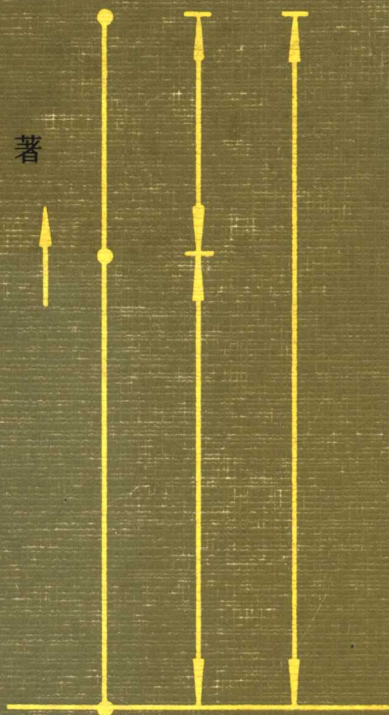


中學物理計算指導

下 冊

陳 既 詒 編 著



商 務 印 書 館

——中學物理計算指導——

下 冊

陳既貽編著

商 務 印 書 館

中學物理計算指導

下 冊

陳既詒編著

出版者 商務印書館香港分館

香港皇后大道中三十五號

印刷者 商務印書館香港印刷廠

香港九龍炮仗街七十五號

* 版權所有 *

1977年7月初版

1978年7月重印

前 言

這本書依照現行中學物理課程標準編輯而成，適合中學教師參考及中學生作為物理科課外複習讀物之用。

全書共分兩冊。各章內容主要包括三部分：（一）定義、定理、定律及公式摘要；（二）公式運用舉例；（三）習題計算。其中側重物理問題之計算。

本書列入的公式，若為一般中學課本缺少者，均附精簡的推導，使讀者能更清楚該公式的來源。本書列舉的例題，常為一般同學最感困惑者。讀者若能深入了解，自能掌握一切有關問題的計算步驟，其困難即可迎刃而解。本書編入的習題，多與現行中學物理課本有連繫，讀者能觸類旁通，得到啟發。例題或習題中，有*符號者，即為歷年會考試題。

陳既詒謹識

一九七五年十月

目 錄

第二十一章	彈 性	1
第二十二章	液體的壓力	20
第二十三章	分子運動和液體性質	57
第二十四章	聲 波	75
第二十五章	弦及氣柱的振動	94
第二十六章	磁 力	118
第二十七章	電力、電位和電容	136
第二十八章	電流熱效應	194
第二十九章	電流的化學效應	293
第三十章	電流的磁效應	319
第三十一章	電磁感應	351
第三十二章	低壓放電、電磁波、原子探測	387

第二十一章 彈 性

I 定義、定律和公式

一、應力

物體在每單位面積上所生的彈力(*Elastic Force*),即彈性體受外力後在單位面積上所產生的回復原狀之力,稱為應力(*Stress*)。因在彈性限度(*Elastic Limit*)內,恢復力等於施力,故

$$\text{應力} = \frac{\text{施力}}{\text{面積}}$$

二、應變

物體在形狀、長度或體積上發生改變的量,與原來的量的比,稱為應變(*Strain*)。

$$\text{應變} = \frac{\text{形狀或體積之改變量}}{\text{原來形狀或體積之量}}$$

三、虎克定律

在彈性限度內,彈力與物體形狀或體積所產生的改變量成正比,稱為虎克定律(*Hooke's Law*)。

$$\text{施力} \propto \text{形狀改變量}$$

四、彈性係數

在彈性限度內,應力與應變成正比,此比例常數,稱為彈性係數(*Modulus of Elasticity*)。

(1) 楊氏係數 彈性物體受外力作用後而得延量 (*Extension*)，此時，應力與應變之比，稱為楊氏係數 (*Young's Modulus*)。設楊氏係數為 E ，施力為 F ，受力面積為 A ，延量* 為 e ，原長為 l ，則

$$E = \frac{F / A}{e / l}$$

(2) 容積係數 設物體原來的體積是 V ，受到總壓力 F 的面積是 A ，因應力 = $\frac{\text{總壓力}}{\text{面積}} = \text{壓強}$ ，設壓強為 p ，物體減少的體積是 v ，則應變 = $\frac{v}{V}$ ，此時，應力與應變之比為一常數，稱為容積係數 (*Bulb Modulus*)。其符號通常以 K 表之，

$$K = \frac{F / A}{v / V} = \frac{p V}{v}$$

(3) 切變係數 彈性物體如銅線等被扭轉時而生的應變，稱

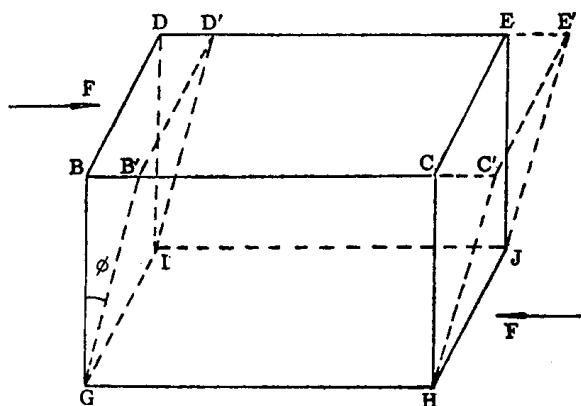


圖 21—1

* 延量等於改變後的量減去原來的量。

爲切應變 (*Shear Strain*), 其應力, 稱爲切應力 (*Shear Stress*)。凡討論切應變時, 得就此物體中任何部分, 取一長方六面體來研究 (圖 21—1)。此長方體受兩個距離很近而方向相反的平行力後變爲斜平行六面體, 設以 A 表受力的面積, 此時,

$$\text{切應力} = \frac{F}{A}$$

因變形 BB' 與高 GB 成比例, 故

$$\text{切應變} = \phi = \frac{BB'}{GB}$$

切應力與切應變之比爲一常數, 稱爲切變係數 (*Shear Modulus* 或 *Modulus of Rigidity*), 其符號爲 G ,

$$G = \frac{F/A}{\phi}$$

II 例 題

1. 一彈簧懸 2.5 千克重的物體時, 彈簧長 55 厘米, 改懸 4 千克重物時, 彈簧長 58 厘米。求未懸掛物體時彈簧的長度。

解 設彈簧未懸掛重物時的原長是 l 厘米,

懸掛 2.5 千克重物時彈簧的延量是 $55-l$ 厘米

懸掛 4 千克重物時彈簧的延量是 $58-l$ 厘米

由虎克定律:

$$\frac{55-l}{58-l} = \frac{2.5}{4}$$

解之 $l = 50$ (厘米)

答：未懸掛物體時彈簧的長度為 50 厘米。

2. 一鋼線截面直徑是 0.1 厘米，應變的限度是 $\frac{1}{1000}$ ，問此鋼線可懸掛最大的重量為多少，才不致折斷？（鋼線的楊氏係數是 2.0×10^{11} 牛頓 / 米²）

$$\begin{aligned} \text{解 鋼線的截面積 } A &= \pi \times \left(\frac{0.1}{2} \times 10^{-2} \right)^2 \text{ 米}^2 \\ &= \pi \times 0.025 \times 10^{-4} \text{ 米}^2 \end{aligned}$$

當鋼線懸物至最大的重量 F 時，其應變達至最大限度

$$\frac{e}{l} = \frac{1}{1000}$$

由楊氏係數定義

$$E = \frac{F / A}{e / l}$$

將各已知量代入

$$2.0 \times 10^{11} = \frac{F / (\pi \times 0.025 \times 10^{-4})}{1 / 1000}$$

$$F = 157 \text{ (牛頓)}$$

答：鋼線可懸掛的最大重量為 157 牛頓。

3. 有截面積為 2 厘米² 的鐵棒，當受熱至 100°C 時，即以外力牽引棒端，以阻止鐵棒的收縮，問溫度降至攝氏 10 度時，施力該是多少？又鐵棒因受熱而貯得的能量是多少？（鐵的線脹係數是 $12 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ ，楊氏係數是 2×10^{11} 牛頓 / 米²，鐵棒在 10°C 時之長度為 2 米）

解 設鐵棒受熱至 100°C 時所得的延量為 e ，而鐵棒在 10°C

時的原長爲 l ，設鐵的線脹係數爲 α ，由線脹公式

$$e = l \alpha \theta$$

故
$$\frac{e}{l} = \alpha \theta$$

由楊氏係數公式
$$E = \frac{F / A}{e / l}$$

$$E = \frac{F}{\alpha A \theta}$$

故施力

$$\begin{aligned} F &= \alpha A E \theta \\ &= 12 \times 10^{-6} \times 2 \times 10^{-4} \times 2 \times 10^{11} \times \\ &\quad (100 - 10) \\ &= 43200 \text{ (牛頓)} \end{aligned}$$

鐵棒在原來溫度 (10°C) 開始受熱時所受的外力 (熱力) 爲零，當溫度升至 100°C 時，所受的外力是 F ，故鐵棒

所受的平均力是
$$\frac{0 + F}{2} = \frac{F}{2}$$

今鐵棒之延量是 e ，故鐵棒因受熱而貯得的能量爲

$$\begin{aligned} W &= \text{平均力} \times \text{延量} \\ &= \frac{1}{2} F e \\ &= \frac{1}{2} F (l \alpha \theta) \\ &= \frac{1}{2} \times 43200 \times (2 \times 12 \times 10^{-6} \times 90) \\ &= 46.66 \text{ (焦耳)} \end{aligned}$$

答：鐵棒因受熱而貯得的能量爲 46.66 焦耳。

4. 設於半徑爲 1 毫米的銅線下端懸掛 20 千克重的物體，今銅線突然折斷，試求銅線溫度的變化。（銅的楊氏係數是 12×10^{10} 牛頓 / 米²，比熱是 0.42 焦耳 / 克 · 度，密度是 9000 千克 / 米³）

解 銅線因下端懸掛重物產生延量後所貯的位能

$$W = \frac{1}{2} F e$$

由楊氏係數 $E = \frac{F / A}{e / l}$

$$\begin{aligned} e &= \frac{F l}{E A} \\ &= \frac{(20 \times 9.8) \times l}{12 \times 10^{10} \times \pi \times (10^{-3})^2} \\ &= 5.2 \times 10^{-4} l (\text{米}) \end{aligned}$$

故
$$\begin{aligned} W &= \frac{1}{2} \times (9.8 \times 20) \times 5.2 \times 10^{-4} l \\ &= 5.1 \times 10^{-2} l (\text{焦耳}) \end{aligned}$$

銅線的質量 $m = \pi \times (10^{-3})^2 \times l \times 9000 (\text{千克})$

銅線的熱容量 $H = mc$

$$\begin{aligned} &= \pi \times (10^{-3})^2 \times l \times 9000 \times \\ &\quad (0.42 \times 10^3) \\ &= 11.9 l (\text{焦耳} / \text{度}) \end{aligned}$$

銅線上升溫度 $\theta = \frac{W}{H}$

$$\begin{aligned} &= \frac{5.1 \times 10^{-2} l}{11.9 l} \\ &= 4.3 \times 10^{-3} ^\circ \text{C} \end{aligned}$$

答：銅線的溫度升高了 $4.3 \times 10^{-3}^{\circ}\text{C}$ 。

5. 一玻璃球受 1.5×10^8 達因 / 厘米² 的壓強時，其體積改變率為多少？（玻璃容積彈性係數 = 3×10^{11} 達因 / 厘米²）

解 由本章公式四（2）

$$K = \frac{pV}{v}$$

$$\begin{aligned}\text{體積改變率 } \frac{v}{V} &= \frac{p}{K} \times 100\% \\ &= \frac{1.5 \times 10^8}{3 \times 10^{11}} \times 100\% \\ &= 0.05\%\end{aligned}$$

答：玻璃球的體積改變率為 0.05%。

III 習 題

1. 長 2 米、直徑 1 毫米的鋼絲與長 1 米、直徑 0.5 毫米的銅絲連接，固定其一端，而於下端懸一重物，使全體伸長 1 毫米，若鋼絲及銅絲的延長彈性係數（楊氏係數）各為 22×10^{11} 及 11×10^{11} 達因 / 厘米²，求兩線各伸長若干？所懸重物為幾達因？

2. 一鋼絲截面半徑 0.1 厘米，長 2 米，若受 10 千克重的力，可延長若干？（鋼的楊氏係數為 21×10^{11} 達因 / 厘米²）

3. 截面 0.2 厘米²、長 1 米的銅線，與截面為 0.1 厘米²，長 3 米的鋼線相連結，設施力 50 千克重拉長之，求伸長後的總長度。（銅及鋼的楊氏係數各為 11×10^{11} 及 22×10^{11} 達因 / 厘米²）

4. 在彈簧秤下懸一 10 厘米^3 的立方形鐵塊，彈簧全長為 40 厘米 ，如鐵塊浸入水中後，彈簧全長只得 39 厘米 ，問彈簧不懸物體時的原長度為若干？（鐵的比重為 $7.8 \text{ 克重} / \text{厘米}^3$ ）

*5. 用銅製的砝碼，將一彈簧伸長。圖 21—2 中，直線 A 代表砝碼質量與彈簧增加的長度之關係：如將彈簧伸長時，砝碼都浸入液體中，則直線 B 代表砝碼質量與彈簧增加長度的關係。設銅的密度是 $8.9 \text{ 克} / \text{厘米}^3$ ，求 100 克重 砝碼在液體中之重量及液體之密度。

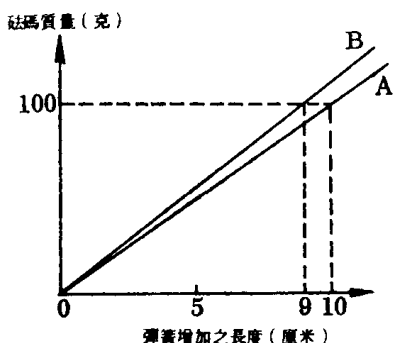


圖 21—2

6. 一座小鐵橋，只由一段鋼板築成，兩端都牢固地固定在混凝土墩上，設築成時溫度為 0°C ，鋼板截面積是 2000 厘米^2 ，若不計及橋墩的膨脹，問溫度升至 20°C 時，橋板對橋墩的作用力為何？（鋼的楊氏係數是 $2 \times 10^4 \text{ 千克重} / \text{毫米}^2$ ，線脹係數是 $0.000012 / ^\circ\text{C}$ ）

7. 設有銅線及鐵線各一條，他們的原長度相等，截面面積也相等，今將鐵線的一端固定在天花板上，其下端掛一 18 千克重 的物體 A，銅線的一端固定在 A 的下端，他端掛一重物 B，設兩線在同一鉛垂線上，且各自重量可畧去不計，試求 B 的重量，使銅線及鐵線可得相等的延量。（鐵及銅的楊氏係數各為 $2000 \text{ 千克重} / \text{毫米}^2$ 及 $11000 \text{ 千克重} / \text{毫米}^2$ ）

8. 鋼絲橫截面 0.03 厘米^2 ，長 1 米 ，其下端懸掛 10 千克重 的

物體仍未超出鋼的彈性限度，求重物對鋼絲所作的功。（鋼的楊氏係數為 2×10^{11} 牛頓 / 米²）

9. 火車輪半徑是 0.4 米，在 $t^{\circ}\text{C}$ 時，輪的鋼胎恰好包輪外，設鋼胎在空氣溫度（ 17°C ）時恰達至其彈性限度，求 t 的極大值。若鋼胎的截面積是 4×0.3 厘米²，求鋼胎在 17°C 時所受的張力，（鋼的楊氏係數是 1.96×10^{11} 牛頓 / 米²，線脹係數是 $1.1 \times 10^{-5} / ^{\circ}\text{C}$ ，彈性限度時的張力強度是 2.75×10^8 牛頓 / 米²），若輪的溫度保持空氣溫度不變。

10. 銅絲長 2 米，截面直徑為 1.22 毫米，兩端繫於同一水平面上相距 200 厘米的二點，今於銅線中央懸一重物，恰使銅線中點降落 2 厘米，設銅的楊氏係數是 1.23×10^{10} 牛頓 / 米²，求該重物的質量。

11. 一黃銅板，2 呎見方，厚 $\frac{1}{4}$ 吋，一邊固定於地板上。設

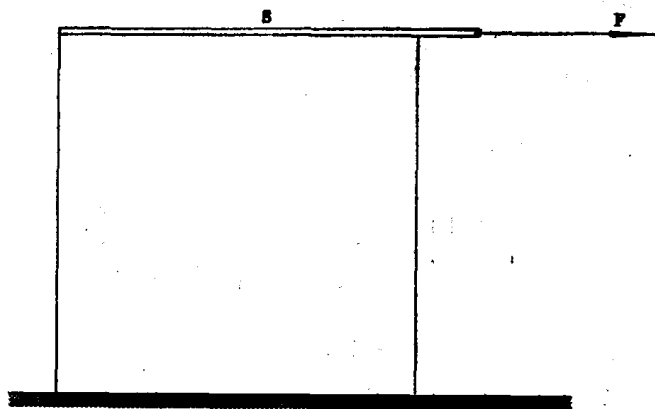


圖 21—3

一扁條 S ，焊在板的頂邊上，欲使頂邊向右產生 0.01 吋的位移，問需拉力若干？（黃銅切變係數是 5×10^6 磅重/吋²）

12. 有鋼製物體，原來體積是 500 厘米³，今施力於其上，使得壓強增量為 2000 磅重/吋²，求物體縮小之量。（鋼的容積係數是 23×10^6 磅重/吋²）

IV 習題計算指導

1. 設所懸重物的重力是 F 達因，

鋼絲的延量為 e_1 ，

銅絲的延量為 e_2 ，

$$\text{由題意} \quad e_1 + e_2 = 1 \text{ 毫米} \quad (1)$$

$$\text{就鋼絲而言} \quad E_1 = \frac{F l_1}{e_1 A_1} \quad (2)$$

$$\text{就銅絲而言} \quad E_2 = \frac{F l_2}{e_2 A_2} \quad (3)$$

$$(2) \div (3) \quad \frac{E_1}{E_2} = \frac{e_2 A_2 l_1}{e_1 A_1 l_2}$$

以所給數據代入

$$\frac{22 \times 10^{11}}{11 \times 10^{11}} = \frac{2 \times \pi \times \left(\frac{0.5}{2}\right)^2 \times e_2}{1 \times \pi \times \left(\frac{1}{2}\right)^2 \times e_1}$$

$$\text{故得} \quad e_2 = 4e_1 \quad (4)$$

再解 (1)、(4)，得

$$\text{鋼絲延量} \quad e_1 = 0.2 \text{ 毫米}$$

銅絲延量 $e_2 = 0.8$ 毫米

$$\begin{aligned}
 \text{又由 (2)} \quad F &= \frac{e_1 A_1 E_1}{l_1} \\
 &= \frac{0.02 \times \pi \times \left(\frac{1}{2} \times 10^{-1}\right)^2 \times 22 \times 10^{11}}{200} \\
 &= 1.73 \times 10^6 \text{ (達因)}
 \end{aligned}$$

答：懸掛的重物為 1.73×10^6 達因。可使鋼絲伸長 0.2 毫米，可使銅絲伸長 0.8 毫米。

2. 鋼絲截面半徑 $r = 0.1$ 厘米

鋼絲的原長度 $l = 2$ 米

鋼絲所受重力 $F = 10$ 千克重
 $= 10 \times 10^3 \times 980$ 達因

鋼絲的延量設為 e ，

因楊氏係數 $E = \frac{F l}{e A}$

$$\begin{aligned}
 \text{故} \quad e &= \frac{F l}{E A} \\
 &= \frac{10 \times 10^3 \times 980 \times 200}{21 \times 10^{11} \times \pi \times (0.1)^2} \\
 &= 0.0297 \text{ (厘米)}
 \end{aligned}$$

答：可使鋼絲延長 0.0297 厘米。

3. 如題 1

$$\text{銅絲延量} \quad e_1 = \frac{F l_1}{E_1 A_1}$$

$$= \frac{50 \times 10^3 \times 980 \times 100}{11 \times 10^{11} \times 0.2}$$

$$= 0.02227 \text{ (厘米)}$$

鋼絲延量 $e_2 = \frac{F l_2}{E_2 A_2}$

$$= \frac{50 \times 10^3 \times 980 \times 300}{22 \times 10^{11} \times 0.1}$$

$$= 0.06681 \text{ (厘米)}$$

故總延長量 $e = e_1 + e_2$

$$= 0.0891 \text{ (厘米)}$$

受力後總長度 $L = l_1 + l_2 + e$

$$= 400.0891 \text{ (厘米)}$$

答：伸長後的總長度為 400.0891 厘米。

4. 鐵塊在空氣中重 $W_1 = 10 \times 7.8$

$$= 78 \text{ (克重)}$$

鐵塊在水中視重 $W_2 = W_1 - (\text{同容積水重})$

$$= 78 - 10 \times 1$$

$$= 68 \text{ (克重)}$$

設鐵塊懸於空氣中時彈簧的延量是 e_1 ,

鐵塊沒入水中時, 彈簧的延量是 e_2 ,

由虎克定律 $\frac{e_1}{e_2} = \frac{W_1}{W_2}$

$$\frac{e_1}{e_2} = \frac{78}{68}$$

$$e_1 = 1.147 e_2 \quad (1)$$