

熱傳導



單元學習內容

- 熱的形式
- 比熱、熱容量
- 熱傳導
- 日常生活中熱傳導的例子



熱的形式

- 顯熱(sensible heat)
- 潛熱(latent heat)



潛熱(latent heat)

- 熱量增減僅改變物質形態，並不產生溫度改變，這種對物質所吸收或釋放的熱。



顯熱(sensible heat)

- 熱量的增減僅改變物質的形態，並不產生溫度的升降反應，這種對物質所增加或吸取的熱。



比熱

- 使1克的物質上升 1°C 所需的熱量。



莫耳熱容量

- 恆壓莫耳熱容量：恆壓下，每莫耳物質每升高或降低 1°C 時，所吸收或放出的熱量。
- 恆容莫耳熱容量：恆容下，每莫耳物質每升高或降低 1°C 時，所吸收或放出的熱量。



熱傳導

- 熱量藉由分子的振動或自由電子的傳遞，由高溫的地方傳到低溫的地方。

傅立葉傳導定律的定義

(Fourier's law of conduction)

- 穩定狀態下，熱傳導所造成的熱傳導量與垂直於熱傳方向切面的面積及物體的溫度差成正比，而與熱傳送的距離成反比。

傅立葉傳導定律的 表示法

$$q = -KA \frac{\Delta T}{\Delta x} = \frac{-\Delta T}{\frac{\Delta x}{KA}} = \frac{-\Delta T}{R_H}$$

K : 熱傳導係數

$\frac{\Delta x}{KA}$: 熱阻



熱傳導係數 (Thermal conductivity)

物理意義：

穩定狀態下，熱傳導所造成的熱傳導量與溫度梯度比值。



熱傳導係數的表示法

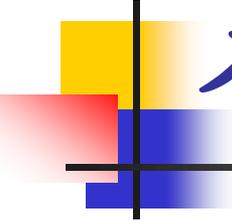
- 表示法：

$$K = -\frac{\frac{q}{A}}{\frac{\Delta T}{\Delta x}}$$



熱傳導係數的意義

- K值大小因物質種類而異，亦受溫度及壓力的影響。
- K值大代表傳熱愈快；一般而言：
金屬固體 > 非金屬固體 > 液體 > 氣體



在1atm, 273k狀態下K值

- $K(\text{air})=0.242 \text{ W/m}\cdot\text{K}$
- $K(\text{water})=0.569 \text{ W/m}\cdot\text{K}$
- $K(\text{耐火磚})=1.00 \text{ W/m}\cdot\text{K}$



熱傳導係數的單位

- $\text{W/m}\cdot\text{K}$ (SI制)
- $\text{Kcal/h}\cdot\text{m}\cdot\text{K}$
- $\text{Btu/h}\cdot\text{ft}\cdot^{\circ}\text{F}$ (英制)



平板熱傳導

- 穩定狀態下
$$q = KA \frac{(T_h - T_c)}{B}$$

- 平板的熱阻
$$R = \frac{B}{KA}$$

- 平板熱阻的單位

- SI制：°C/W；°C-s/J；°C-hr/Kcal
- 英制：°F-hr/Btu



平板熱傳送的計算

- 有一高溫爐的爐壁是**0.2m**的耐火磚，此磚的熱傳導係數為 **1.0W/m-K** ，爐內壁的溫度維持 **800°C** ，外壁的溫度為 **30°C** ，求每單位面積的爐壁熱損失為多少**W**？



平板熱傳送的計算解

$$q = KA \frac{\Delta T}{\Delta x} = 1 \times 1 \times \frac{800 - 300}{0.2} = 3850W$$



圓管熱傳導

■ 穩定狀態下

$$q = \frac{K \overline{A}_{\ln} \Delta T}{\Delta r} = \frac{2\pi KL \Delta T}{\ln \frac{r_o}{r_i}} = \frac{\pi KL \Delta T}{\ln \frac{D_o}{D_i}}$$

■ 中空圓柱體的熱阻

$$R = \frac{\Delta r}{K \overline{A}_{\ln}} = \frac{\ln \frac{r_o}{r_i}}{2\pi KL}$$



對數平均面積

- 對數平均半徑

$$\overline{r}_{\ln} = \frac{r_0 - r_i}{\ln \frac{r_0}{r_i}}$$

- 對數平均直徑

$$\overline{D}_{\ln} = \frac{D_0 - D_i}{\ln \frac{D_0}{D_i}}$$

- 對數平均面積

$$\overline{A}_{\ln} = \frac{A_0 - A_i}{\ln \frac{A_0}{A_i}} = \pi \overline{D}_{\ln} L = 2\pi \overline{r}_{\ln} L$$



圓管熱傳導的計算

- 一熱水管的外直徑為 0.16m ，為防止熱損失，在它的外層鋪上一厚度為 0.04m 的軟木塞($k=0.05\text{W/m-K}$)，軟木塞的表面為 30°C ，熱損失為 29.1W/m 時，求熱水管與軟木塞界面的溫度為多少 $^\circ\text{C}$ ？



圓管熱傳導的計算解

$$\frac{q}{L} = \pi K \frac{T_o - T_i}{\ln \frac{D_o}{D_i}}$$

$$29.1 = \pi \times 0.05 \times \frac{30 - T}{\ln \frac{0.16 + 0.02}{0.16}}$$

$$T = 67.5^\circ C$$



圓球熱傳導

- 穩定狀態下，熱損失

$$q = K \overline{A_m} \frac{\Delta T}{\Delta r} = \frac{4\pi r_i r_o K (T_o - T_i)}{r_o - r_i}$$

- 幾何平均面積

$$A_m = \sqrt{A_i A_o} = \sqrt{4\pi r_o^2 4\pi r_i^2} = 4\pi r_i r_o$$



圓球熱傳導的計算

- 一球形容器外徑為10m，溶液，容器外包覆一厚度為20cm的隔熱材料，其K為4.5W/m-K，若隔熱材料內外側溫度分別為 -40°C 及 25°C ，求其熱損失為多少W？



圓球熱傳導的計算解

$$q = \frac{4\pi \left(\frac{10}{2}\right) \left(\frac{10}{2} + \frac{20}{100}\right) \times 4.5 \times (25 - (-45))}{\frac{20}{100}}$$
$$= 1.06 \times 10^5 W$$

串聯熱傳導

■ 總熱阻與各層熱阻間的關係

➤ 總熱傳送量=各層平板熱傳送量

$$q=q_1=q_2=q_3$$

➤ 總熱阻=各層熱阻之和

$$R = \sum_{i=1}^N R_i = R_1 + R_2 + R_3$$

■ 各層間的溫度

$$\Delta T = \Delta T_1 + \Delta T_2 + \Delta T_3$$

串聯熱傳導的計算

- 一高溫爐裡面襯一0.114m厚的耐火磚($K=0.318\text{W/m-K}$)，外面鋪一層0.229m的普通磚($K=1.38\text{W/m-K}$)，爐內壁溫度為 760°C ，爐外壁溫度為 76.6°C ，求每平方公尺爐壁的熱損失為多少 W/m^2 ？



串聯熱傳導的計算解

$$\frac{q}{A} = \frac{T_1 - T_3}{\frac{\Delta X_1}{K_1} + \frac{\Delta X_2}{K_2}}$$

$$\frac{q}{A} = \frac{760 - 76.6}{\frac{0.114}{0.138} + \frac{0.229}{1.38}}$$

$$= 689 \text{ W} / \text{m}^2$$

串聯熱傳導的計算

- 有一金屬管($K=45\text{W}/\text{m}\cdot^{\circ}\text{C}$)的內徑為**51mm**，外徑為**56mm**，其外表面包
覆厚度**40mm**的絕緣材料**A**
($K=0.21\text{W}/\text{m}\cdot^{\circ}\text{C}$)，再以厚度**30mm**
的絕緣材料**B** ($K=0.05\text{W}/\text{m}\cdot^{\circ}\text{C}$)包
覆在外層，若管子內側表面溫度為 **150°C** ，
材料**B**的外表面溫度為 **30°C** ，求每單位
長度管子的熱損失為何？

串聯熱傳導的計算解

$$q = \frac{T_1 - T_4}{R_1 + R_2 + R_3} = \frac{T_1 - T_2}{R_1} = \frac{T_2 - T_3}{R_2} = \frac{T_3 - T_4}{R_3}$$

$$R_1 = \frac{r_2 - r_1}{K_1 A_{lm_1}} = \frac{\ln \frac{r_2}{r_1}}{K_1 \cdot 2\pi L} = \frac{\ln \frac{28}{25.5}}{45 \times 2\pi L} = \frac{3.308 \times 10^{-4}}{L}$$

$$R_2 = \frac{\ln \frac{68}{28}}{0.21 \times 2\pi L} = \frac{0.672}{L}$$

$$R_3 = \frac{\ln \frac{98}{68}}{0.05 \times 2\pi L} = \frac{1.163}{L}$$

$$\frac{q}{L} = \frac{150 - 30}{3.308 \times 10^{-4} + 0.672 + 1.163} = 65.37 \text{ W/m}$$

串聯熱傳導的計算

- 有一金屬管($K=45\text{W/m}^\circ\text{C}$)的內徑為**51mm**，外徑為**56mm**，其外表面包
覆厚度**40mm**的絕緣材料**A**
($K=0.21\text{W/m}^\circ\text{C}$)，再以厚度**30mm**
的絕緣材料**B** ($K=0.05\text{W/m}^\circ\text{C}$)包
覆在外層，若管子內側表面溫度為 **150°C** ，
材料**B**的外表面溫度為 **30°C** ，求材料**A**
內外表面的溫度為何？



串聯熱傳導的計算解

$$q = \frac{T_1 - T_2}{R_1} = \frac{T_2 - T_3}{R_2}$$

$$65.37 = \frac{150 - T_2}{3.308 \times 10^{-4}} \quad \therefore T_2 = 149.98^\circ\text{C}$$

$$65.37 = \frac{149.98 - T_3}{0.672} \quad \therefore T_3 = 106.05^\circ\text{C}$$



日常生活中熱傳導的例子

- 手握加熱過的鐵棒及木棒
- 金屬製的炒菜鏟子把手用木頭或塑膠