

對流及輻射

單元學習內容

- 熱對流
- 熱輻射
- 溫室效應



對流的定義

- 由於流體流動而將熱量由流體的某區傳到另一區的熱傳送方式

對流的種類

- 自然對流
- 強制對流

對流的介質

- 流體（即液體及氣體）

對流的熱傳方向

- 由高溫 — 低溫



牛頓冷卻定律 的物理意義

(Newton's law of cooling)

- 單位時間內，單位面積時由器壁流向流體的熱量與器壁與流體間的溫差成正比

牛頓冷卻定律的表示法

$$q = hA\Delta T = \frac{\Delta T}{R}$$

薄膜熱阻： $R = \frac{1}{hA}$

牛頓冷卻定律的說明

- ◆ h ：熱傳送係數，其值不是一個常數，是流體的物理性質、流動型態（層流或亂流）、固體表面的幾何形狀與粗糙度的函數。
- ◆ h 可由 Nu 值求出

熱對流的無因次群-1

■ 各無因次群的定義

$$Nu = \frac{hD}{K}$$

$$Re = \frac{D\bar{U}\rho}{\mu} = \frac{D\bar{U}}{\nu}$$

$$Pr = \frac{C_p\mu}{k} = \frac{\nu}{\alpha}$$

熱對流的無因次群-2

- 強制對流

$$Nu=f(Re, Pr)$$

- 自然對流

$$Nu=f(Pr, Gr)$$

薄膜熱傳係數-1

■ 流體以強制對流流過圓管

➤ 層流 $Re < 2100$, $Pr > 0.6$

$$Nu = \frac{hD}{K} = 1.86 Re^{\frac{1}{3}} Pr^{\frac{1}{3}} \left(\frac{L}{D}\right)^{\frac{1}{3}}$$

➤ $10^4 < Re < 10^5$, $Pr > 0.6$, $L/D > 60$

$$Nu = 0.023 Re^{\frac{4}{5}} Pr^{\frac{1}{3}}$$

薄膜熱傳係數-2

■ 流體流經平板

➤ 層流

$$Nu = 0.664 Re_L^{\frac{1}{2}} Pr^{\frac{1}{3}}$$

➤ 亂流

$$Nu = Pr^{\frac{1}{3}} \left(0.035 Re_L^{\frac{4}{5}} - 836 \right)$$

■ 流體流經單一圓球

$$Nu = 2.0 + 0.6 Re^{\frac{1}{3}} Pr^{\frac{1}{3}}$$

➤ 若球體與流體皆靜止

$$Nu = \frac{hD_p}{k} = 2$$

兩流體間的對流熱傳送-1

■ 總包熱傳係數

- 定義：兩流體因對流熱傳送所產生的熱流通量與兩流體溫度差的比值。
- 表示法：

$$U = \frac{q / A}{\Delta T} = \frac{q / A}{T_h - T_c}$$

$$\text{總熱阻} = \frac{1}{U_i A_i} = \frac{1}{U_o A_o}$$

兩流體間的對流熱傳送-2

♣ 總包熱傳係數與薄膜熱傳係數的關係

$$\text{總熱阻} = \frac{1}{U_i A_i} = \frac{1}{U_0 A_0}$$

$$\frac{1}{U_i A_i} = \frac{1}{U_0 A_0} = \frac{1}{h_i A_i} + \frac{\Delta x}{k A_L} + \frac{1}{h_0 A_0}$$

熱對流的計算

- 溫度 30°C 的空氣吹過一面積為 5m^2 的加熱板，加熱板的溫度為 130°C ，已知空氣與板間的熱傳送係數為 $20\text{W}/\text{m}^2\text{-K}$ ，求加熱板對空氣的傳熱速率為多少？

解：

$$\begin{aligned}q &= hA(T_s - T_f) \\ &= 20 \times 5 \times (130 - 30) \\ &= 10000\text{W}\end{aligned}$$

輻射熱量流動方式

- 輻射：任何物體以電磁波的形式向四周發射能量。
- 輻射傳遞的過程不需任何介質即可傳遞，且傳送的過程不會損失熱量。

熱輻射的各種輻射量-1

■ 反射率 ρ

$$\rho = \frac{\text{被物體反射的輻射量}}{\text{照射到物體的輻射量}}$$

熱輻射的各種輻射量-2

■ 吸收率 α

$$\alpha = \frac{\text{被物體吸收的輻射量}}{\text{照射到物體的輻射量}}$$

熱輻射的各種輻射量-3

■ 穿透率 τ

$$\tau = \frac{\text{被物體透射的輻射量}}{\text{照射到物體的輻射量}}$$

熱輻射的各種輻射量-4

■ 發射率 ε

$$\varepsilon = \frac{\text{物體的輻射強度}}{\text{同溫度時黑體的輻射強度}}$$

吸收率、反射率及 穿透率的關係

■ 吸收率 + 反射率 + 穿透率 = 1

$$\alpha + \rho + \tau = 1$$

黑體

■ 定義：完全吸收照射到物體的輻射量。

➤ 吸收率等於1

即 $\alpha=1$

➤ $\varepsilon=1$

灰體(非黑體)

- 定義：吸收率 = 反射率且為定值，不隨溫度而變的物體。

$$\alpha = \rho$$

$$0 < \alpha < 1$$

透明體

- 定義：照射到物體的輻射量完全通過。

$$\tau=1$$

一般物體的吸收率

材料面	溫度(k)	吸收率
磨光鋁面	295	0.040
磨光銅面	390	0.023
磨光鐵面	700-1255	0.144-0.377
新鑄之鑄鐵	295	0.435
氧化鐵	373	0.736
石棉板	296	0.96
紅磚	295	0.93
水	273-373	0.95-0.963

史蒂芬-波茲曼輻射定律

(Stefan-Boltzmann law)

輻射體的輻射強度為各波長強度的和。

■ 黑體

$$\frac{q}{A} = \sigma T^4$$

■ 非黑體

$$\frac{q}{A} = \varepsilon \sigma T^4$$

浦郎克定律 (Planck law)

- 敘述黑體的輻射濃度與波長的關係。

比恩位移定律

(Wien Displacement law)

- 輻射體的最大輻射濃度的波長與輻射體的絕對溫度成反比。

克希荷夫定律

(Kirchhoff law)

- 兩物體達平衡時，物體的輻射強度與吸收率的比值為定值，且吸收率 = 放射率。

熱輻射的計算一

- 一平面物體上的全部太陽能為 $2000\text{W}/\text{m}^2$ ，其中 $400\text{W}/\text{m}^2$ 反射， $800\text{W}/\text{m}^2$ 被吸收，求太陽能的穿透率為多少？

解：

$$\begin{aligned}\tau &= 1 - \alpha - \rho \\ &= 1 - (800/2000) - (400/2000) \\ &= 0.4\end{aligned}$$

熱輻射的計算二

- 求一紅磚在 200°C 時的輻射強度為多少 W/m^2 ?

解：

$$\frac{q}{A} = \varepsilon\sigma T^4$$
$$= 0.93 \times 5.67 \times 10^{-8} \times (200 + 273)^4$$
$$= 2.64 \times 10^3 \text{ W} / \text{m}^2$$

溫室效應-1

(greenhouse effect)

- 太陽輻射進入地球時，大氣層幾乎可以讓它穿透過去；同時地球也放出長波輻射，但地球的長波輻射卻會遭到大氣層中某些微量氣體的選擇吸收。

溫室效應-2

- 這些微量氣體選擇吸收了地球的輻射能，而使得大氣保存了部分輻射能，於是造成地球溫度比它因地射輻射平衡時的溫度高，大氣中因這些微量氣體選擇吸收了部分長波輻射，並能夠保存部分輻射能，因而可以使得地球的溫度升高，稱這種作用為大氣的溫室效應。

環境中會造成 溫室效應的氣體

- 二氧化碳(CO_2): 在溫室效應中佔55%。
- 氟氯碳化物(CFCs): 在溫室效應中佔24%。
- 甲烷(CH_4): 在溫室效應中佔15%。
- 臭氧(O_3): 來自地面污染的氮氧化合物經光化學作用變成臭氧。
- 氧化亞氮(N_2O): 在溫室效應中佔6%。

溫室效應造成的影響

- 氣候轉變：全球暖化
- 海平面上升

日常生活中 熱量傳送的例子

■ 對流

- 口吹氣冷卻熱麵
- 夏天吹冷氣

■ 輻射

- 烤燒餅
- 冬天室內的電熱器