

熱傳遞學問題詳解

上 冊

曉 園 出 版 社

世界圖書出版公司

熱傳遞學問題詳解

下 冊

曉 園 出 版 社
世界图书出版公司

ISBN 7-5062-1624-0/Z · 80

W_B9303/16 定价：10.50 元

热传递学问题详解上册

J. P. 霍尔曼 原著
姚维信 陈宏模 译著

*

晓园出版社出版

世界图书出版公司北京公司 重印

北京朝阳门内大街 137 号

北京新燕印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1993 年 6 月 第 一 版 开本: 850×1168 1/32

1993 年 6 月 第一次印刷 印张: 13

印数: 0001-1100 字数: 31 万字

ISBN: 7-5062-1624-0/Z·80

定价: 10.50 元 (W_{9303/16})

世界图书出版公司通过中华版权代理公司向台湾晓园出版社购得重印权
限国内发行

热传递学问题详解下册

J. P. 霍尔曼 原著

姚维信 陈宏模 译著

*

晓园出版社出版

世界图书出版公司北京公司重印

北京朝阳门内大街 137 号

北京通州印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经营

*

1993 年 6 月第 一 版 开本: 850×1168 1/32

1993 年 6 月第一次印刷 印张: 12.25

印数: 0001—1100 字数: 32 万字

ISBN: 7-5062-1615-9/Z·80

定价: 10.20 元 (W_{9303/17})

世界图书出版公司通过中华版权代理公司向台湾晓园出版社购得重印权
限国内发行

前 言

研習理工的同學，都有一種認識，那就是：一本書的習題往往是該書的精華所在，藉着習題的印證，才能對書中的原理原則澈底的吸收與瞭解。

有鑒於此，晚園出版社特地聘請了許多在本科上具有相當研究與成就的人士，精心出版了一系列的題解叢書，為各該科目的研習，作一番介紹與鋪路的工作。

一個問題的解答方法，常因思惟的角度而異。晚園題解叢書，毫無疑問的都是經過一番精微的思考與分析而得。其目的在提供對各該科目研讀時的參考與比較；而對於一般的自修者，則有啓發與提示的作用。希望讀者能藉着這一系列題解叢書的幫助，而在本身的學問進程上有更上層樓的成就。

HOLMAN 熱傳遞學問題詳解

(上 冊 目 錄)

第一章	緒論	1
	習題 1 / 復習題 19	
第二章	穩定態熱傳遞——一維	21
	習題 21 / 復習題 96	
第三章	穩定態熱傳遞——多維	99
	習題 99 / 復習題 147	
第四章	非穩定態熱傳遞	149
	習題 149 / 復習題 249	
第五章	對流原理	253
	習題 253 / 復習題 321	
第六章	強逼對流熱傳導的經驗和實用關係式	325
	習題 325 / 復習題 415	

第一章 緒 論

習 題

- 1-1 如果流過截面積 1.0 m^2 厚 2.5 cm 之絕緣體 ($K=0.2\text{ W/m}^\circ\text{C}$) 的熱流為 3 KW ，求絕緣體兩端之溫度差。

答 由 $q = -KA \frac{\partial T}{\partial X} \Rightarrow q = KA \frac{\Delta T}{\Delta X}$

$$\begin{aligned}\Delta T &= \frac{q}{K} \frac{\Delta X}{A} \\ &= \frac{3 \times 10^3}{0.2} \times \frac{2.5 \times 10^{-2}}{1.0} \\ &= 375^\circ\text{C}\end{aligned}$$

- 1-2 13 cm 厚的玻璃纖維 ($K = 0.035\text{ W/m}^\circ\text{C}$) 兩面之溫度差為 85°C ，求每小時每單位面積流過之熱量。

答 $\frac{q}{A} = -K \frac{\Delta T}{\Delta X} = K \frac{(-\Delta T)}{\Delta X}$

$$= 0.035 \times \frac{85}{0.13} \text{ W/m}^2$$

$$= 22.88 \text{ W/m}^2 \times \frac{\text{J}}{\text{W} \cdot \text{sec}} \times \frac{3600 \text{ sec}}{\text{hr}}$$

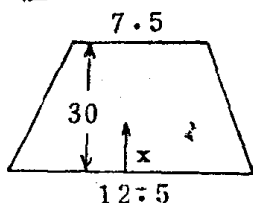
$$= 82.4 \times 10^3 \text{ J/m}^2 \text{ hr}$$

- 1-3 有一截去頂角之鋁質圓錐，高 30 cm ，上下截面之直徑分別為 7.5 cm 及 12.5 cm 。且上下截面溫度分別保持在 540°C 及 93°C ，其餘各面均絕緣，假設一度空間熱流，求熱流之

2 熱傳遞學問題詳解

watts 值。

圖



$$d = 12.5 - \frac{x}{6}$$

$$A = \frac{\pi}{4} d^2 = \frac{\pi}{4} \left(12.5 - \frac{x}{6} \right)^2$$

$$q = -KA \frac{dT}{dx} \quad (\text{假設一度空間熱流})$$

$$\int_{93}^{540} K dT = \int_0^{30} \frac{-q}{A} dx$$

$$\begin{aligned} K(540 - 93) &= \int_0^{30} -\frac{q}{\pi} \frac{dx}{\left(12.5 - \frac{x}{6} \right)^2} \\ &= \frac{4q}{\pi} 6 \cdot \left. \frac{+1}{12.5 - \frac{x}{6}} \right|_0^{30} \\ &= 0.4074 q \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \therefore q &= \frac{K(540 - 93)}{0.4074} = \frac{228(540 - 93)}{0.4074} \\ &= 250200 \text{ W} \end{aligned}$$

- 1-4 一 15 cm 厚之平板牆，上下表面之溫度分別為 370°C 及 93°C，此牆是由 $K = 0.78 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ ， $\rho = 2700 \text{ Kg/m}^3$ ， $C_p = 0.84 \text{ KJ/Kg}^\circ\text{C}$ 之特殊玻璃製成，求穩定狀態時通過該牆之熱流。

圖

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

$$\begin{aligned}
 &= 0.78 \times \frac{370 - 93}{0.15} \\
 &= 1440 \text{ W/m}^2
 \end{aligned}$$

- 1-5 以 1.0 in 之超絕緣體 ($K = 2 \times 10^{-4} \text{ W/m}^\circ\text{C}$) 製成內徑為 2 ft 之球形容器，此容器內裝一 320°F 之液態氮，而氮的汽化熱為 85.8 Btu/lb ，假設絕緣體外表面溫度為 70°F ，求每天汽化的氮有幾磅。

- 答 1 忽略 insulation - air 及 nitrogen-insulation 間的 convection resistance ($\because$ Super insulation 之 resistance 很大)
- 2 由於 insulation 之厚度較內徑小甚多，故可將之視為平板

$$\begin{aligned}
 q &= KA \frac{-\Delta T}{\Delta x} \\
 &= 2 \times 10^{-4} \times \pi \left[\left(2 + \frac{1}{12} \right) \times 0.3048 \right]^2 \cdot \frac{(70 + 320) / 1.8}{1 \times 2.54 \times 10^{-2}} = 2.162 \text{ W}
 \end{aligned}$$

蒸發之液態氮量 (amount of nitrogen vaporized)

$$\begin{aligned}
 &= q \cdot t / \lambda \\
 &= 2.162 \times 60 \times 60 \times 24 / (85.8 \times 1055) \\
 &= 2.064 \text{ lb}
 \end{aligned}$$

- 1-6 將下列物質按(a)暫態反應(b)穩定狀態熱傳之順序排列。將最高者定為 100%，其餘的物質以此之百分比表示：鋁、銅、銀、鐵、鉛、鉻、鋼 (18% Cr, 8% Ni)、錳，由這個排列你得到什麼結論？

答 由 (1-3a) 式

$$\nabla^2 T + \frac{q}{K} = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial \tau}$$

4 熱傳遞學問題詳解

在同樣的溫度分布 (temperature profile) 且沒有熱源 (

source) 情況下, 左邊為常數, $\therefore \alpha$ 越大 $\frac{\partial T}{\partial \tau}$ 越大,

即 T 隨時間之變化大, 亦即暫態反應 (transient response) 較快

而穩態傳導速率 (steady state conduction rate)

$$q = KA \nabla T \propto K$$

$\therefore$ 比較暫態反應即比較 α 之大小

比較穩態熱傳導即比較 K 之大小

- 1-7 一直徑 50 cm 之管子, 裏面油溫為 30°C , 外界溫度為 -20°C , 管子外面加有 5 cm 厚之粉狀絕緣 ($K = 7 \text{ mW/m}^\circ\text{C}$), 且外面之 $h = 12 \text{ W/m}^2\text{C}$, 試估計每公尺管子之能量損失。

圖 較詳細的計算要利用到第二章及第四章之方程式, 在此我們只作大略估計

1. 假設油管壁之熱阻可忽略 (一般比值較空氣固體之熱阻為小)
2. 管之熱阻可忽略 (管子之 K 一般在 $100 \sim 300$ 之間較絕緣之 $K = 7$ 大很多)

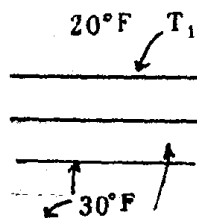
$$q = KA \frac{30 - T_1}{\Delta x}$$

$$q = hA (T_1 - 20)$$

由此二式消去下得

$$q = \frac{A (30 - (-20))}{\frac{\Delta x}{k} + \frac{1}{h}}$$

$$= \frac{\pi (0.5 + 0.05) \times 50}{\frac{0.05}{7} + \frac{1}{12}} = 0.96 \text{ KW/m}$$



1-8 在 100°C 及 200°C 之兩板中加入 5 cm 鬆散之石棉板 (loosely packed asbestos) 計算通過該層之熱流。

答 由表 A-3 查得鬆散之石棉板之 $K = 0.165$

$$\begin{aligned}\text{由 } \frac{q}{A} &= K \frac{-\Delta T}{\Delta x} \\ &= 0.165 \times \frac{200 - 100}{0.05} \\ &= 330 \text{ W/m}^2\end{aligned}$$

1-9 某一絕緣材料 $K = 10 \text{ mW/m}^{\circ}\text{C}$ ，試求保持兩端溫差為 500°C 所需之厚度，及當時之熱流量？

$$\text{答 } q = -KA \frac{\partial T}{\partial x} \Rightarrow q = KA \frac{\Delta T}{\Delta x}$$

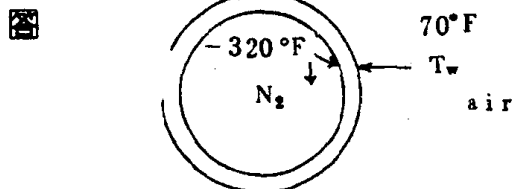
$$\frac{\Delta T}{\Delta x} = \frac{q}{KA}$$

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

$$= 10 \times 10^{-3} \times 500 \frac{A}{q}$$

$$= 5 \frac{A}{q}$$

1-10 若問題 1-5 的表面曝露於 70°F 之大氣且 $h = 2.7 \text{ W/m}^2\text{C}$ 求絕緣外層與大氣之溫差。



1 忽略內部之熱阻

2 $\Delta x \ll$ 內徑，假設為平板

$$q = hA(70 - T_w) \Rightarrow 70 - T_w = \frac{q}{hA} \quad (1)$$

$$q = KA \frac{T_w + 320}{\Delta x} \Rightarrow T_w + 320 = \frac{q \Delta x}{KA} \quad (2)$$

$$(1) + (2) \quad 390 = \frac{q}{hA} + \frac{q \Delta x}{KA} \quad (3)$$

$$(1) / (3) \quad \frac{70 - T_w}{390} = \frac{1/h}{1/h + \frac{\Delta x}{K}}$$

$$70 - T_w = \frac{\frac{1}{2.7}}{\frac{1}{2.7} + \frac{2.54 \times 10^{-2}}{2 \times 10^{-4}}} \cdot 390$$

$$= 1.134^\circ \text{F}$$

1-11 兩黑體表面構造能使離開 800°C 表面之輻射均能到達另一 250°C 之表面，計算 800°C 表面每小時每單位時間之熱傳。

圖 由 (1-9) 式

$$\begin{aligned} \frac{q}{A} &= \sigma (T_1^4 - T_2^4) \\ &= 5.669 \times 10^{-8} ((273 + 800)^4 - (273 + 250)^4) \\ &= 70904 \text{ W/m}^2 \end{aligned}$$

1-12 兩大平行板表面之溫度分別為 1100°C ，及 425°C ，且表面均可視為黑體。計算兩平面間經由輻射單位時間，單位面積之熱傳。

圖 由 (1-9) 式

$$\begin{aligned} \frac{q}{A} &= \sigma (T_1^4 - T_2^4) \\ &= 5.669 \times 10^{-8} ((273 + 1100)^4 - (273 + 425)^4) \\ &= 1.88 \times 10^5 \text{ W/m}^2 \end{aligned}$$

1-13 兩黑體表面溫度分別為 -320°F 及 70°F ，其面積等於直徑 2 ft 之球的面積，求熱流，與問題 1-5 比較此數值表示什麼意思。

$$\begin{aligned}\text{答 } q &= \sigma A (T_1^4 - T_2^4) \\ &= 5.669 \times 10^{-8} \times \pi (2 \times 0.3048)^2 \\ &\quad \left[\left(\frac{70 + 460}{1.8} \right)^4 - \left(\frac{-320 + 460}{1.8} \right)^4 \right] \\ &= 494.4 \text{ W} \\ &= 4.271 \times 10^7 \text{ J/day}\end{aligned}$$

此值遠比問題 1-5 計算出來之值大，亦即表示絕熱效果較差

1-14 兩塊無窮大的黑色平板 (500°C , 100°C) 以輻射來交換熱，計算每單位面積的熱傳率，假若另一塊完全相同的黑色平板置於此兩塊板之間，試求傳熱率降低多少？中央平板的溫度為何？

$$\begin{aligned}\text{答 情況 1 : } \frac{q}{A} &= \sigma [(500 + 273)^4 - (100 + 273)^4] \\ &= 5.669 \times 10^{-8} [(773)^4 - (373)^4] \\ &= 1.9143 \times 10^4 \text{ W/m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{情況 2 : } \frac{q}{A} &= \sigma [(500 + 273)^4 - (T_m + 273)^4] \\ &= \sigma [(T_m + 273)^4 - (100 + 273)^4] \\ \text{解得 } T_m &= 385.65^{\circ}\text{C}\end{aligned}$$

$$\frac{q}{A} = 9.572 \times 10^3 \text{ W/m}^2$$

熱傳率降低 $9.572 \times 10^3 \text{ W/m}^2$ 約情況 1 之一半而已。

1-15 管中之水流量為 0.5 kg/s ，其內徑為 2.5 cm ，長度為 3 m ，某一穩定之熱量傳入導致水溫和管壁之溫差為 40°C ，試求此一熱傳量，及所造成之水溫差。（水因加壓而暫時不會沸騰。）

圖 由表 1-2 得知 $h = 3500 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$

$$\frac{q}{A} = h (T_w - T_\infty)$$

$$= 3500 \cdot 40$$

$$= 1.4 \times 10^5 (\text{W/m}^2)$$

$$\frac{dQ}{dt} = \frac{q}{A} \cdot A = \frac{dQ_w}{dt} \cdot C_p \cdot \Delta T$$

$$\Delta T = \frac{\frac{q}{A} \cdot A}{C_p \cdot \frac{dQ_w}{dt}}$$

$$= \frac{1.4 \times 10^5 \times \pi \times (2.5 \times 10^{-2} \times 2) \times 3}{4.2 \times 10^3 \times 0.5}$$

$$= 15.71 (^\circ\text{C})$$

1-16 在 1 atm ($T_\infty = 100^\circ\text{C}$) 之蒸汽由一 $30 \times 30 \text{ cm}$ 之垂直平板以 3.78 kg/hr 之速率凝結，試求平板之溫度。

[參考蒸氣表 (steam table) 之資料。]

圖 參考資料中得知水的凝結熱為 539 kcal/kg

而由表 1-2 中得知垂直板之 $h = 11300 \text{ W/m}^2$

$$q = h \cdot A (T_w - T_\infty)$$

$$= \frac{3.78 \times 539 \times 10^3 \times 4.1855}{3600}$$

$$= 11300 \cdot (30 \times 10^{-2})^2 \cdot (T - 100)$$

$$\therefore T = 97.67 (^\circ\text{C})$$

1-17 在 1 atm 下煮沸水所需之熱量為 $3 \times 10^4 \text{ Btu/h} \cdot \text{ft}^2$ ，所需之加熱板溫度為 232°F ，求熱傳係數需為多少？

圖 已知在 1 atm 下水之沸點 212°F

$$q = h \cdot A (T_w - T_{\infty})$$

$$h = \frac{q}{A} \cdot \frac{1}{T_w - T_{\infty}}$$

$$= 3 \times 10^4 \times \frac{1}{232 - 212}$$

$$= 1.5 \times 10^3 \text{ (Btu/h} \cdot \text{ft}^2 \cdot ^\circ\text{F)}$$

1-18 一輻射加熱器中之發熱金屬全長 3 m，寬 6 mm，其表面發射率 (surface emissivity) 為 0.85，其溫度需達多少度才能將 1600 W 之熱量在 25°C 之室內發散。

圖 已知： $\epsilon_1 = 0.85$, $A_1 = 3 \times 6 \times 10^{-3} \text{ m}^2$
 $q = 1600 \text{ W}$, $T_2 = 25 + 273 = 298 \text{ K}$
 $\sigma = 5.669 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$

求 T_1

代入公式 $q = \epsilon_1 \sigma A_1 (T_1^4 - T_2^4)$

$$1600 = 0.85 \times 5.669 \times 10^{-8} \times 3 \times 6 \times 10^{-3} [T_1^4 - (298)^4]$$

$$\therefore T_1 = 2072.65 \text{ (K)}$$

1-19 計算在 1000°C 之黑體所放射之能量？

圖 $q = \sigma \cdot A \cdot T^4$ ($\sigma = 5.669 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$)

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

$$= 5.669 \times 10^{-8} (1000 + 273)^4$$

$$= 1.489 \times 10^5 \text{ (W/m}^2 \text{)}$$

1-20 若太陽輻射之熱量為 1350 W/m²，求相當於此之黑體輻射的溫度。

$$\text{答 } q = A \cdot \sigma \cdot T^4 \quad (\sigma = 5.669 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K})$$

$$\begin{aligned} T &= \left(\frac{q}{A\sigma} \right)^{1/4} \\ &= \left(\frac{1350}{5.669 \times 10^{-8}} \right)^{1/4} \\ &= 392.83 \text{ (K)} \end{aligned}$$

1-21 一個直徑為 4 cm 之圓球被加熱至 150 °C 後置於一間溫度為 20 °C 之大屋子內，如果此球表面之發射率為 0.65，試求經輻射而損失之熱量。

$$\begin{aligned} \text{答 } q &= \epsilon_1 \cdot \sigma \cdot A_1 (T_1^4 - T_2^4) \\ &= 0.65 \cdot 5.669 \times 10^{-8} \times 4\pi \times (4 \times 10^{-2})^2 \\ &\quad \times [(150 + 273)^4 - (20 + 273)^4] \\ &= 18.26 \text{ (W)} \end{aligned}$$

1-22 一面平坦的牆表面以一傳導係數為 1.4 W/m · °C，厚 2.5 cm 之絕緣材料覆蓋，外界溫度為 38 °C，而絕緣內面之溫度為 315 °C，其所傳出之熱量以對流方式散於外界中。試問對流之熱傳係數需為若干才能使得表面溫度不會超過 41 °C。

答 假設 $T_w = 41^\circ\text{C}$

$$\begin{aligned} \text{已知 } K &= 1.4 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C} \\ \Delta x &= 2.5 \times 10^{-2} \text{ m} \\ \Delta T &= 315 - 41 = 274 \\ T_\infty &= 38^\circ\text{C} \end{aligned}$$

$$\frac{q}{A} = K \cdot \frac{\Delta T}{\Delta x} = h (T_w - T_\infty)$$

$$1.4 \times \frac{274}{2.5 \times 10^{-2}} = h (41 - 38)$$

$$\therefore h = 5114.67 \text{ (W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C)}$$