

第 2 章

能量、能量傳遞 和能量分析

學習目標

- 介紹能量的概念，並定義能量的各種形式。
- 討論內能的本質。
- 定義熱的概念和以熱的形式傳遞能量。
- 討論熱傳遞的三種基本方式：傳導、對流和輻射。
- 定義功的概念，包括電功和數種機械功的形式。
- 介紹熱力學第一定律、能量平衡，以及能量傳進或傳出系統的機制。
- 討論在一個開放系統的介面上，能量不僅可以熱或功的形式傳遞，也可以隨著物質的流動而流入和流出系統。
- 定義能量的轉換效率。
- 討論能量轉換對環境的影響。

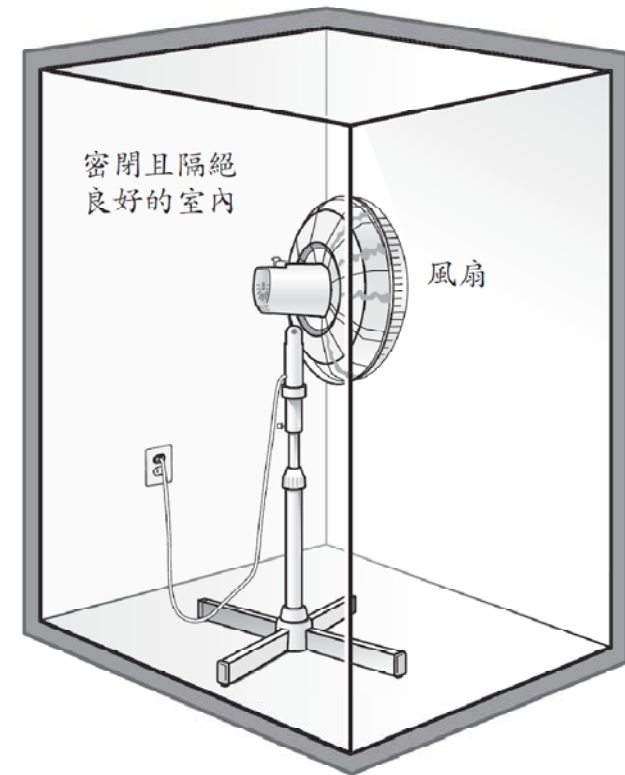
簡介

- 若我們取將整個房間（包括空氣和冰箱）視為一個系統，因為房間是密閉且隔絕良好的，則這個系統是絕熱的系統。唯一能進入這個房間的是驅動冰箱運轉的電能量。
- 由於電能的消耗轉換成熱，導致房間內空氣的溫度升高。



一台開門的冰箱在密閉且隔絕良好的室內運轉。

一支風扇在密閉且隔絕良好的室內運轉將會提高房間內的溫度。



能量的形式

- 能量可以多種形式存在，例如熱能、機械能、動能、位能、電能、磁能、化學能和核能等形式。這些能量的總和組成系統的**總能**， E 。單位質量的總能經常表示成 e 。
- 熱力學僅考慮總能的變化。
- **宏觀形式的能量**：形式的能量通常是指將一個系統視為整體所具有的，例如動能和位能，是相對於某一外在的參考體來計算。
- **微觀形式的能量**：形式的能量通常涉及到組成這個系統的分子的結構和運動，通常與外在的參考體無關。



物體的宏觀能量會隨著速度和高度而產生改變。

能量的形式(續)

- **內能**：所有微觀形式能量的總和通常稱為內能，以 U 表示。
- **動能 (KE)**：是指這個系統相對於某一個參考體運動而具有的能量。
- **位能 (PE)**：一個系統在重力場中由於高度變化而具有的能量。

$$KE = m \frac{V^2}{2} \quad (\text{kJ}) \text{ 動能}$$

$$ke = \frac{V^2}{2} \quad (\text{kJ/kg}) \text{ 單位質量的動能}$$

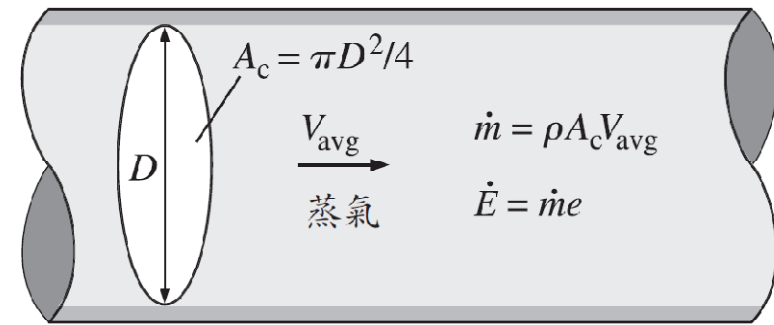
$$PE = mgz \quad (\text{kJ}) \text{ 位能}$$

$$pe = gz \quad (\text{kJ/kg}) \text{ 單位質量的位能}$$

$$E = U + KE + PE = U + m \frac{V^2}{2} + mgz \quad (\text{kJ}) \text{ 系統的總能}$$

$$e = u + ke + pe = u + \frac{V^2}{2} + gz \quad (\text{kJ/kg}) \text{ 系統每單位質量的能量}$$

$$e = \frac{E}{m} \quad (\text{kJ/kg}) \text{ 單位質量的總能}$$



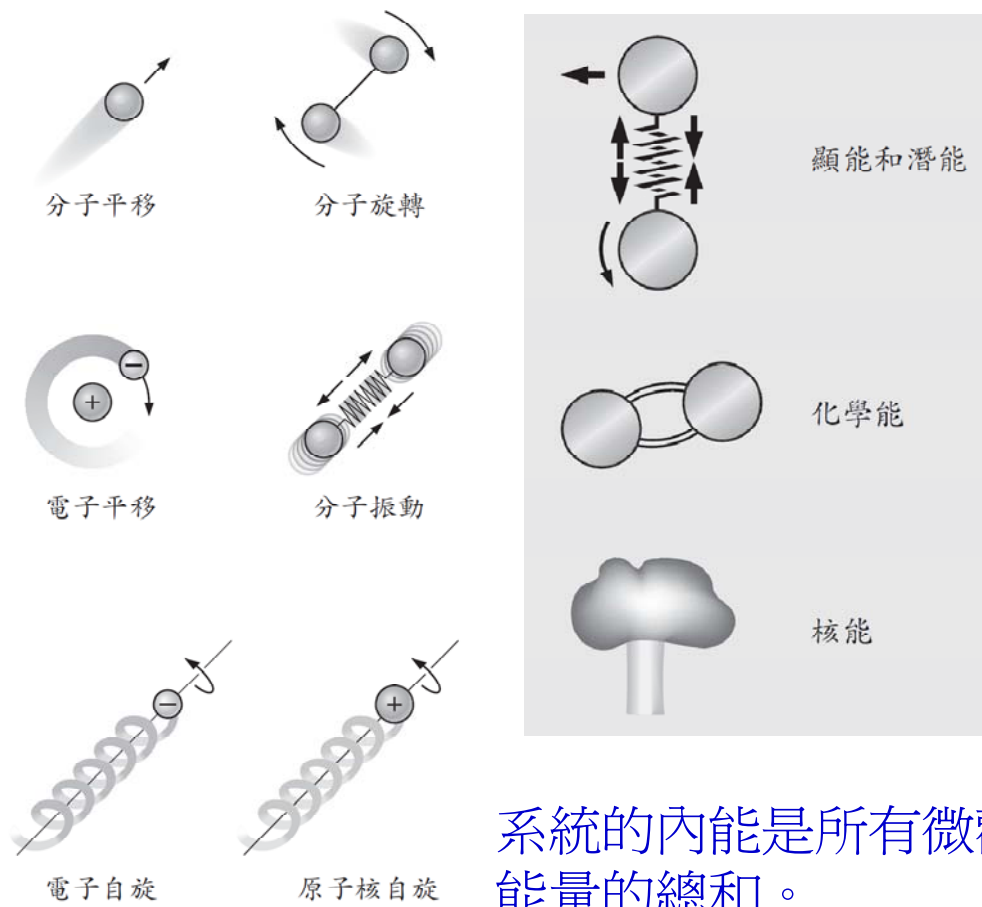
質量流率

$$\dot{m} = \rho \dot{V} = \rho A_c V_{\text{avg}} \quad (\text{kg/s})$$

能量流率

$$\dot{E} = \dot{m}e \quad (\text{kJ/s or kW})$$

內能的基本物理解釋



系統的內能是所有微觀能量的總和。

組成顯能的各種不同微觀形式之能量。

$$\text{熱能} = \text{顯能} + \text{潛能}$$

$$\text{內能} = \text{顯能} + \text{潛能} + \text{化學能} + \text{核能}$$

顯能(sensible energy)：在一個系統的內能中，與分子動能相關的動能。

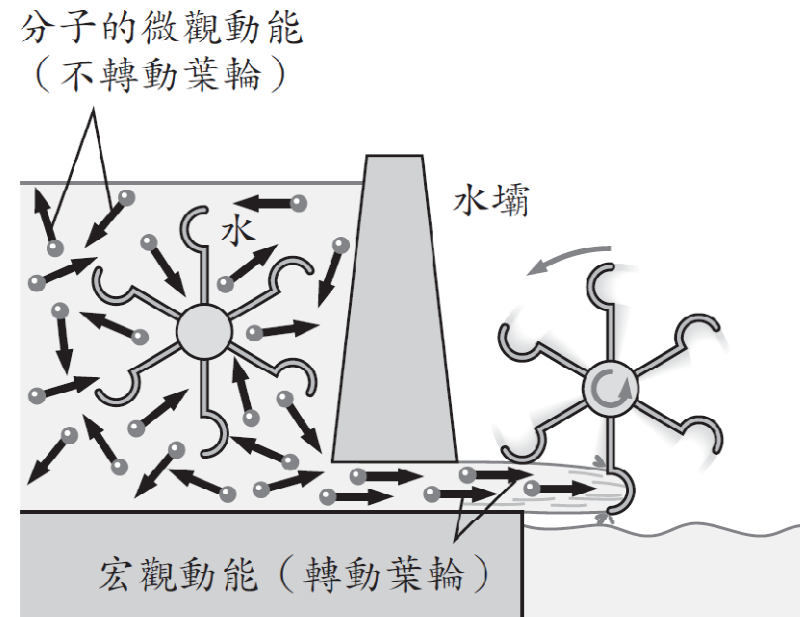
潛能(latent energy)：對同一種物質來說，在氣態存在的內能比液態或固態更高。這種與相態相關的內能。

化學能(chemical energy)：同一個分子中，與原子間結合力（化學鍵）相關的內能。

核能(nuclear energy)：核力比電子和原子核之間的結合力要大很多，蘊涵在原子核中的巨大能量。

內能的基本物理解釋(續)

- 能量存在形式會組成系統的總能。它們被包含（或稱為儲存）在系統中，所以也被視為能量的靜態形式。不能儲存在系統中的能量，被視為能量的動態形式，或稱為能量的相互作用。
- 當動態形式的能量穿過系統的邊界時，我們可以確認在過程中系統得到或失去能量。
- 在一個封閉系統中，能量間的相互作用只存在於兩種形式，分別是熱傳遞和作功。

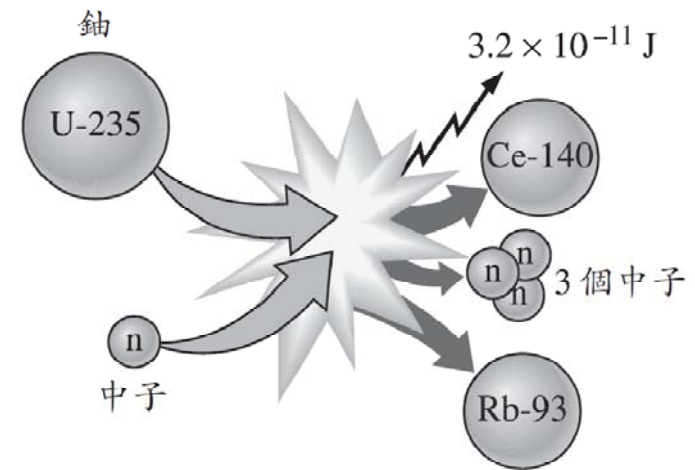


宏觀動能是有組織的能量，比分子無組織的微觀能量更有用。

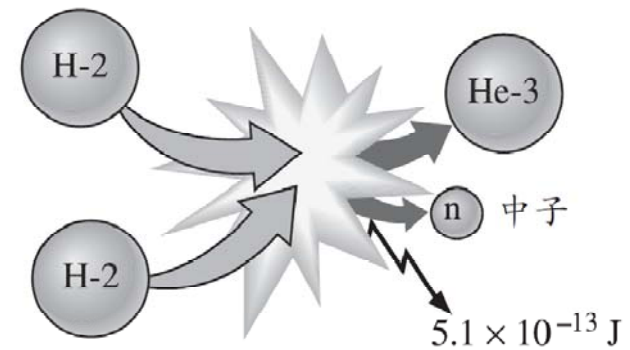
熱傳遞和作功的不同點：如果存在溫差，能量的相互作用就會有熱傳遞，否則會有作功。

核能

- 最著名的核分裂反應是將鈾原子（U-235，一種鈾的同位素）分裂成其他原子。核分裂除了用來製造原子彈之外，也廣泛地用在核電廠以產生電能，並驅動核潛艇、航空母艦，甚至航空飛行器。2004年，全世界共有440座核電廠，產生363,000 MW的電能。
- 核融合是將兩個較小的原子熔合成一個大的原子而放出能量。
- 最早的人工不可控制核融合在1950年代初期實現，從那之後，人們研究使用各種方法來實現可控制的核融合，例如大規模的雷射、高強力的磁場和電流，但都沒有成功。



(a) 鈾分裂



(b) 氫融合

核反應的鈾分裂與氫融合，以及核能的釋放。

例 2-1

核驅動車

一輛汽車的油箱容量大約為 50 L，每天平均消耗 5 L 的汽油，所以大約每 10 天加一次油。汽油的密度為 0.68 至 0.78 kg/L，熱值約為 44,000 kJ/kg（1 公升汽油完全燃燒能產生 44,000 kJ 的熱量）。假設核燃料和廢棄物的問題完全解決，汽車可以利用 U-235 為燃料。如果一部新車配有 0.1 kg 的 U-235 為燃料，試求在一般的開車狀況下，車子是否需要更換燃料（圖 2-9）。

解：一部車子以核能為動力，並配備核子燃料，求車子是否需要更換燃料。

假設：(1) 汽油為不可壓縮物質，平均密度為 0.75 kg/L。(2) 核燃料完全轉換為熱能。

核子燃料



圖 2-9

例 2-1 的示意圖。

分析：車子每天使用的汽油質量為

$$m_{\text{gasoline}} = (\rho V)_{\text{gasoline}} = (0.75 \text{ kg/L})(5 \text{ L/天}) = 3.75 \text{ kg/天}$$

汽油的熱值為 44,000 kJ/kg，所以車子每天需要的能量為

$$\begin{aligned} E &= (m_{\text{gasoline}})(\text{熱值}) \\ &= (3.75 \text{ kg/天})(44,000 \text{ kJ/kg}) = 165,000 \text{ kJ/天} \end{aligned}$$

0.1 kg 的 U-235 完全分裂可以釋放的能量為

$$(6.73 \times 10^{10} \text{ kJ/kg})(0.1 \text{ kg}) = 6.73 \times 10^9 \text{ kJ}$$

可以供應車子能量需求的天數為

$$\text{天數} = \frac{\text{燃料所含的能量}}{\text{每天所使用的能量}} = \frac{6.73 \times 10^9 \text{ kJ}}{165,000 \text{ kJ/天}} = \mathbf{40,790 \text{ 天}}$$

大約為 112 年。然而，沒有車子的使用年限能超過 100 年，所以這部車子不需更換燃料。這個結果顯示，櫻桃大小的核燃料足以提供一部車子在使用期限內的所有動力。

討論：此問題並不完全可行，因為數量太少的燃料無法達成所需要的臨界質量，另外，因為部分轉換後的臨界質量問題，並非所有的鈾都可以進行核分裂。

機械能

機械能(mechanical energy)：是一種能量的形式，它可以被理想機械設備（如理想渦輪機）完全且直接地轉換為機械功。

動能和位能：熟悉的機械能形式。

$$e_{\text{mech}} = \frac{P}{\rho} + \frac{V^2}{2} + gz \quad \text{流體在流動中的機械能（單位質量）}$$

$$\dot{E}_{\text{mech}} = \dot{m}e_{\text{mech}} = \dot{m} \left(\frac{P}{\rho} + \frac{V^2}{2} + gz \right) \quad \text{流體質量流率的機械能}$$

對不可壓縮流體，機械能的變化是

$$\Delta e_{\text{mech}} = \frac{P_2 - P_1}{\rho} + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2} + g(z_2 - z_1) \quad (\text{kJ/kg})$$

與

$$\Delta \dot{E}_{\text{mech}} = \dot{m} \Delta e_{\text{mech}} = \dot{m} \left(\frac{P_2 - P_1}{\rho} + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2} + g(z_2 - z_1) \right) \quad (\text{kW})$$

例 2-2 風能

一個穩定風速 8.5 m/s 的場址欲評估是否可設為風力農場 (圖 2-10)。求出下列的風能：(a) 每單位質量；(b) 10 kg 的質量；(c) 空氣流率為 1154 kg/s。

解：場址的風速已知。求每單位質量、特定質量及已知空氣質量流率的風能。

假設：風速穩定。

分析：唯一可以由大氣空氣獲得的能量形式是動能，其透過風力發電機來獲得能量。

(a) 每單位質量空氣的風能為

$$e = ke = \frac{V^2}{2} = \frac{(8.5 \text{ m/s})^2}{2} \left(\frac{1 \text{ J/kg}}{1 \text{ m}^2/\text{s}^2} \right) = 36.1 \text{ J/kg}$$

(b) 空氣質量 10 kg 的風能為

$$E = me = (10 \text{ kg})(36.1 \text{ J/kg}) = 361 \text{ J}$$

(c) 質量流率 1154 kg/s 的風能為

$$\dot{E} = me = (1154 \text{ kg/s})(36.1 \text{ J/kg}) \left(\frac{1 \text{ kW}}{1000 \text{ J/s}} \right) = 41.7 \text{ kW}$$

討論：當空氣密度為 1.2 kg/m^3 ，直徑 12 m 的截面積可以產生題目指定的質量流率。因此，葉片直徑 12 m 的風力發電機可以發電的能量為 41.7 kW。實際的風力發電機只有三分之一的能量得以轉換為電能。

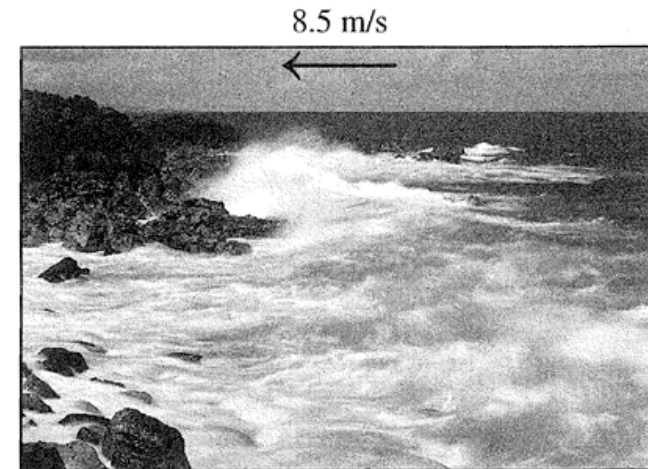


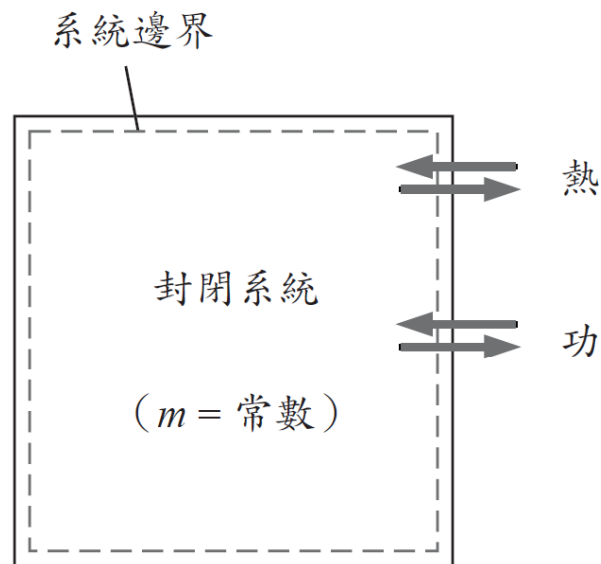
圖 2-10

例 2-2 討論風力農場的可能場址。

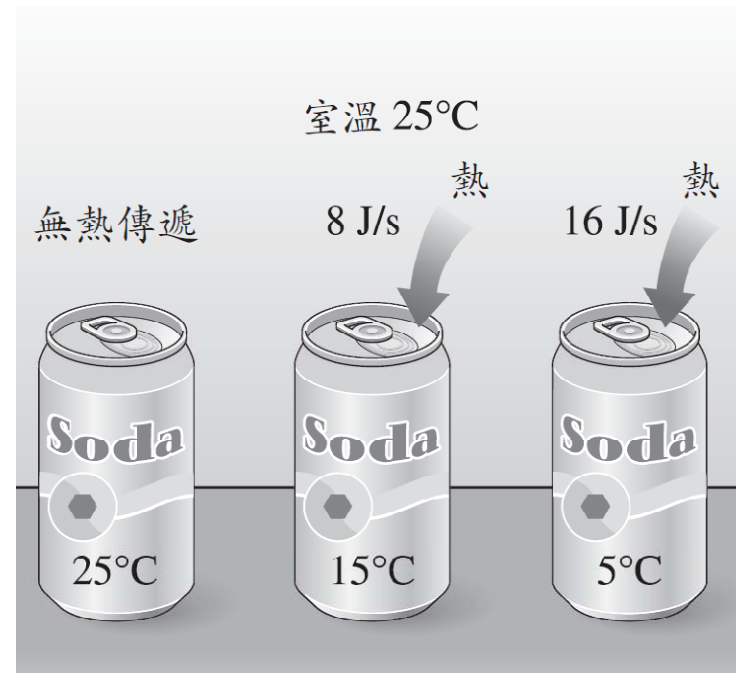
© Vol. 36/PhotoDisc

熱形式的能量傳遞

熱：被定義為一種形式的能量，它是以溫差驅動，並在兩個系統（或系統和環境）之間傳遞。也就是說，熱形式的能量相互作用的必要條件是存在溫差。



能量可以熱和功的形式跨越封閉系統的邊界。

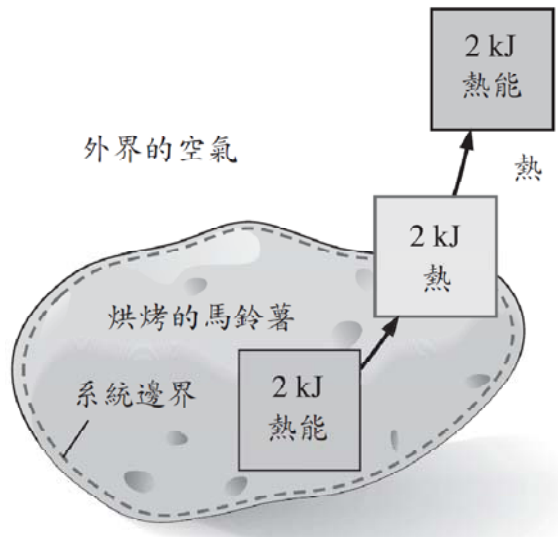
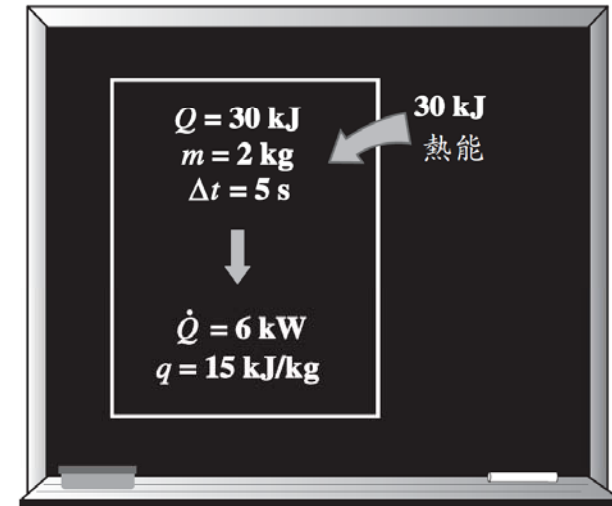


溫差是熱傳遞的驅動力，溫度差愈大，產生的熱傳率也愈大。

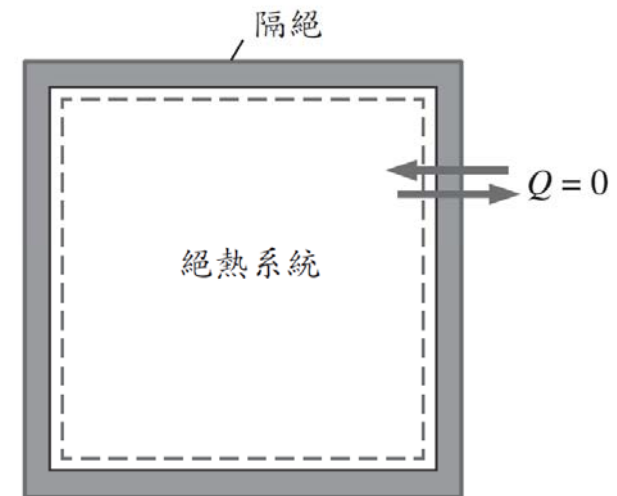
$$q = \frac{Q}{m} \quad (\text{kJ/kg}) \text{ 單位質量的熱傳遞}$$

$$Q = \dot{Q} \Delta t \quad (\text{kJ}) \text{ 熱量傳遞速率在過程中保持恆定}$$

$$Q = \int_{t_1}^{t_2} \dot{Q} dt \quad (\text{kJ}) \text{ 傳遞的總熱量為對熱量傳遞速率的時間積分}$$



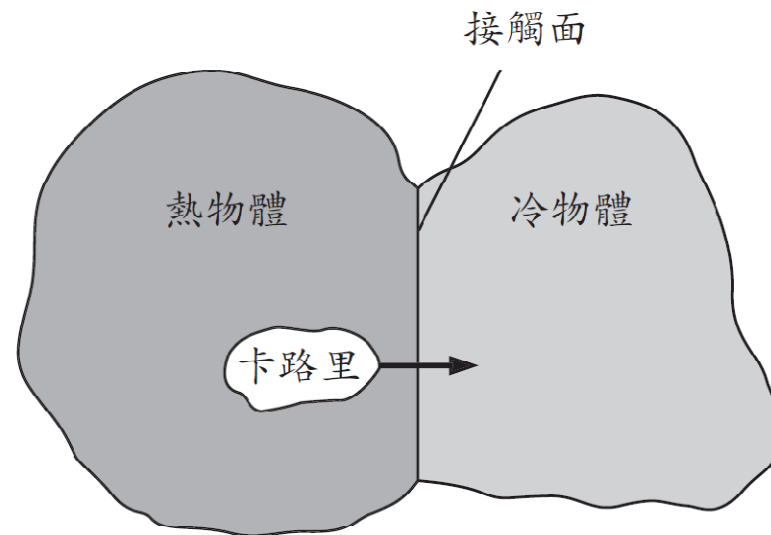
能量以熱傳遞的形式跨越系統邊界。



在絕熱系統中，系統與外界沒有熱交換。

熱的歷史背景

- **動力學**：它將分子或原子視為隨機運動的小球，從而具有動能。
- **熱**：能量相關的分子和原子隨機移動。
- **熱傳遞機制**
 - ✓ **傳導**：能量從高能量分子傳遞到相鄰的分子，是分子之間的相互作用。
 - ✓ **對流**：能量是在固體表面與接觸的流體間傳遞，是傳導和流體運動的綜合結果。
 - ✓ **輻射**：由電磁波來傳遞能量。

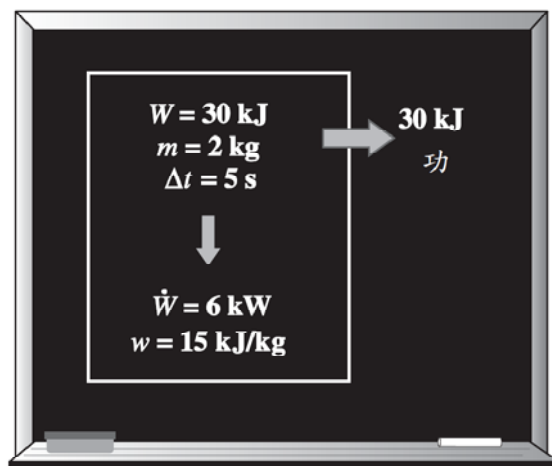


在十九世紀初期，熱量稱為卡路里，是由熱物體流向冷物體的不可視流體。

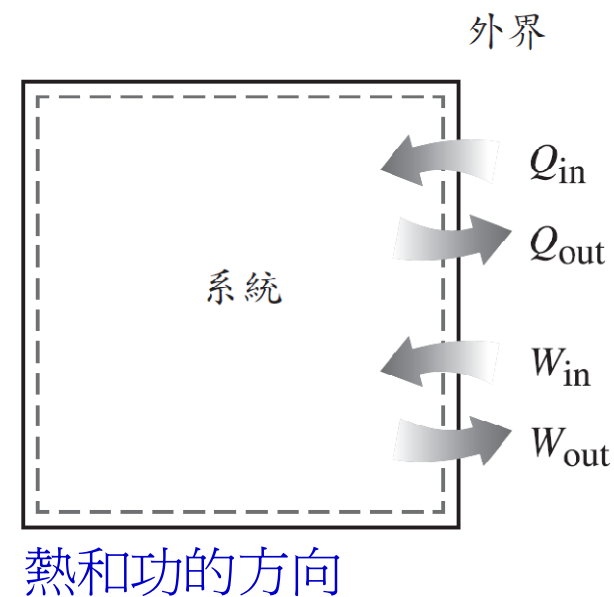
功形式的能量傳遞

- **功**：功是由於力作用在一段距離上所產生的能量傳遞。
 - ✓ 一個升起的活塞、一個轉動的輪軸、一根通過系統邊界的金屬線，都會伴隨著功的相互作用。
- **正式符號約定**：傳進系統的熱和系統對外所作的功是正的；傳出系統的熱和對系統作的功是負的。
- 另一種方法是在下標以in 和out 來表示方向。

$$w = \frac{W}{m} \quad (\text{kJ/kg}) \quad \text{單位質量的功}$$

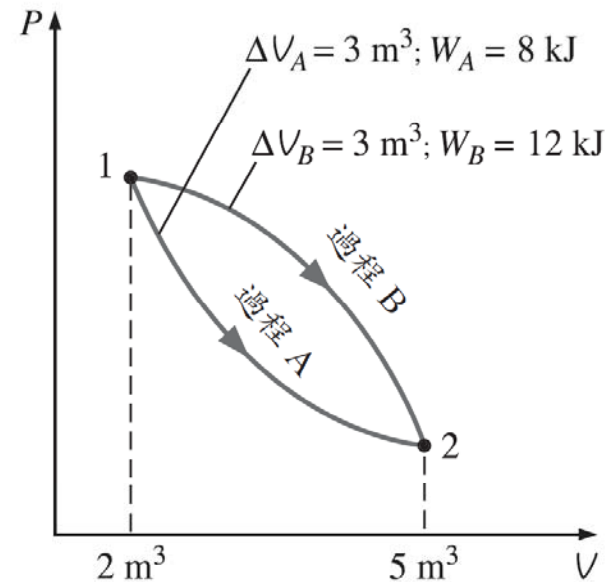


單位時間內作的功稱為功率



熱和功

- 兩者皆可以在越過系統邊界時被辨識，所以熱和功皆屬於邊界現象。
- 系統具有能量，但不具有熱和功。
- 兩者皆與過程相關，而與狀態無關。
- 熱和功不像物體本身具有的性質，在狀態中，熱和功沒有任何意義。
- 兩者都是路徑函數（亦即，它們的大小與過程的初始狀態和最終狀態有關，也與過程的路徑相關）。



性質是點函數，但熱和功是路徑函數（它們的大小依路徑而定）。

點函數為正合微分(d)

$$\int_1^2 dV = V_2 - V_1 = \Delta V$$

路徑函數為非正合微分(δ)

$$\int_1^2 \delta W = W_{12} \quad (\text{not } \Delta W)$$

例 2-3

在絕熱的室內燃燒蠟燭

一支蠟燭在絕熱良好的室內燃燒。以室內（蠟燭與空氣）為系統，試求：(a) 燃燒過程是否有熱傳遞？(b) 系統內能是否會變化？

解：考慮一支蠟燭在絕熱良好的室內燃燒，求出在這個過程中是否有熱傳遞和任何內能的變化。

分析：(a) 在圖 2-20 中，虛線表示室內內表面所形成的系統邊界。由於室內隔絕良好，所以此系統為絕熱系統，而且沒有熱量穿過邊界。因此，在這個過程中， $Q=0$ 。

(b) 內能包含以各種不同形式存在的能量（顯熱、潛熱、化學能、核能）。在這個過程中，部分化學能轉換為顯能。由於系統的總內能沒有增加或減少，所以 $\Delta U=0$ 。

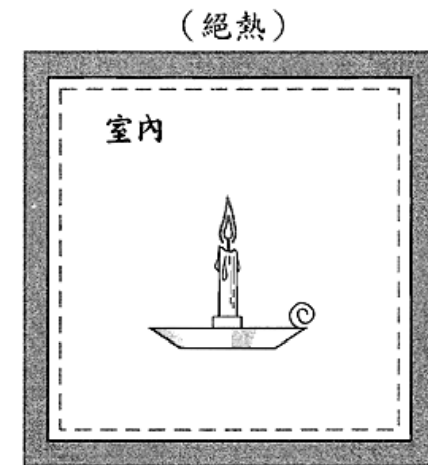


圖 2-20
例 2-3 的示意圖。

例 2-4 在烤箱內加熱馬鈴薯

將溫度與室溫 25°C 相同的馬鈴薯放入烤箱，以 200°C 烘烤，如圖 2-21 所示。在烘烤過程中，是否有熱傳遞發生？

解：馬鈴薯在烤箱內烘烤，求出在這個過程中是否有熱傳遞發生。

分析：假設我們以馬鈴薯當做系統，將馬鈴薯的皮視為系統邊界，烤箱部分的能量將穿越馬鈴薯皮進入馬鈴薯。由於能量傳遞的驅動力是溫度差，所以是熱傳遞過程。

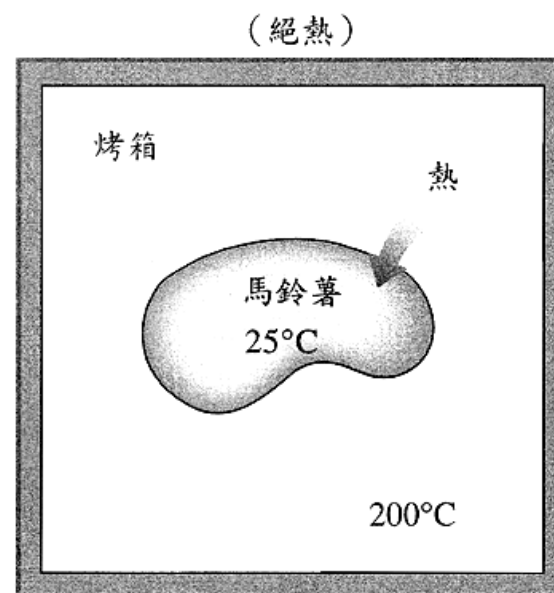


圖 2-21
例 2-4 的示意圖。

例 2-5 經由功轉換對烤箱加熱

一台隔熱良好的電烤箱透過加熱元件加熱，若將整台烤箱和加熱元件視為一個系統，這是否為一個熱或功的交互作用？

解：一台隔熱良好的電烤箱利用加熱元件加熱，討論這是否為一個熱或功的交互作用。

分析：對於這個問題，烤箱的內表面形成系統邊界，如圖 2-22 所示。烤箱在這個過程中所含的能量明顯升高，溫度升高就是證明。烤箱能量的轉移並非由烤箱和外界溫差造成，而是由於電子跨越系統邊界作功，所以這是功的交互作用。

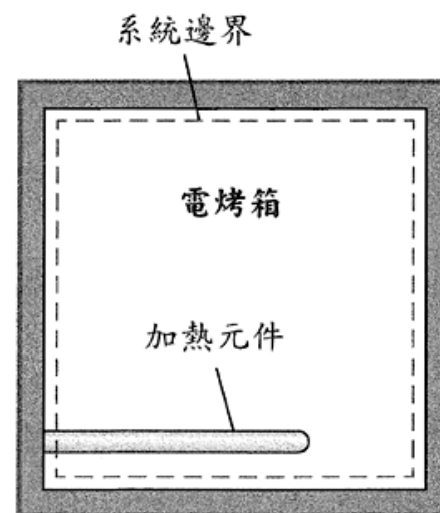


圖 2-22

例 2-5 的示意圖。

例 2-6

經由熱傳遞對烤箱加熱

若系統不包含加熱器，只取烤箱內的空氣，重做例 2-5。

解：重新思考例 2-5，並且只將烤箱內的空氣視為系統。

分析：系統邊界將包含加熱器的外表面，並未切過加熱器，如圖 2-23 所示。因此，沒有電子跨越系統邊界，加熱器所產生的能量將由加熱器與空氣間的溫差產生熱傳遞，所以這是一個熱傳遞過程。

討論：對於這兩個狀況而言，傳遞到空氣中的總能量相同。這兩個例子顯示，根據選擇系統的狀況，能量可以功或熱的形式傳遞。

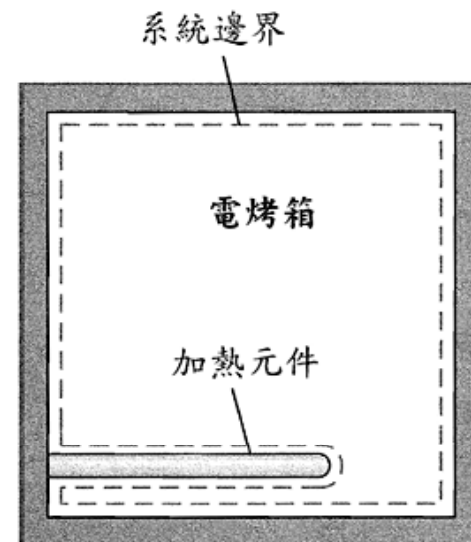


圖 2-23

例 2-6 的示意圖。

電力功

電力功為

$$W_e = \mathbf{VN}$$

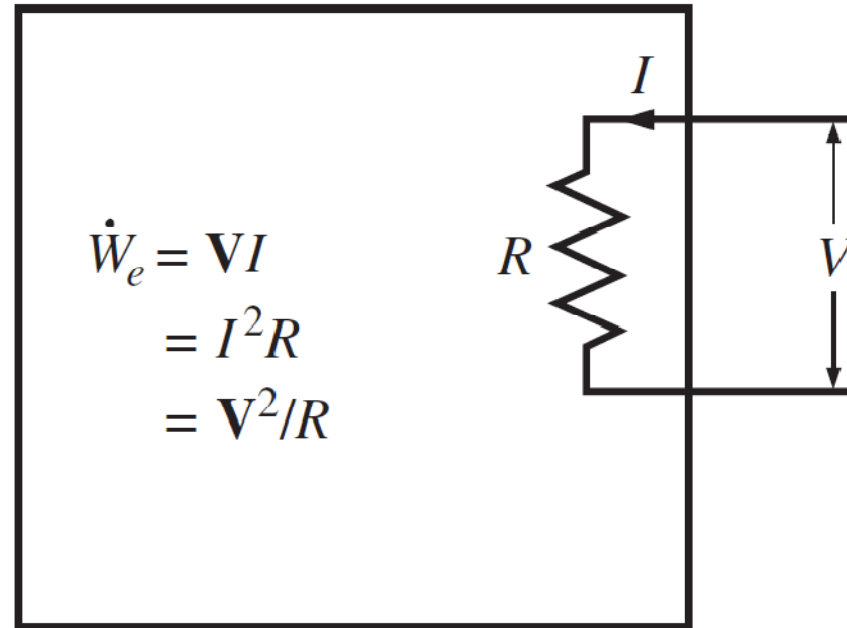
電功率為

$$\dot{W}_e = \mathbf{VI} \quad (\text{W})$$

一般而言， \mathbf{V} 和 I 會隨時間變化，經過一段時間 Δt 的電力功表示為

$$W_e = \int_1^2 \mathbf{VI} dt \quad (\text{kJ})$$

將電功以電阻 R 、電流 I 及電位差 V 表示。



當 \mathbf{V} 和 I 在一段時間 Δt 內保持恆定，則電力功可以簡化為

$$W_e = \mathbf{VI} \Delta t \quad (\text{kJ})$$

機械形式的功

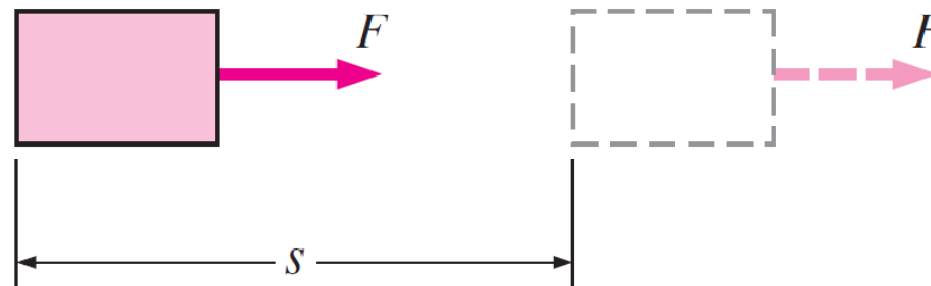
- 一個系統和外界產生功的相互作用需要兩個條件：
 - ✓ 必須有一個力作用在邊界上
 - ✓ 邊界必須移動

功 = 力量 × 距離

$$W = Fs \quad (\text{kJ})$$

這個力不是恆定的。

$$W = \int_1^2 F ds \quad (\text{kJ})$$



功與外加的力 F 及移動距離 s 成正比。

軸功

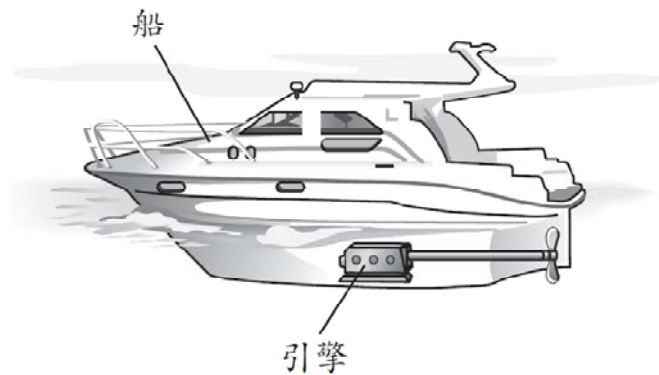
一個力 F 通過一個扭矩臂 r ，
產生一個扭矩 T ：

$$T = Fr \rightarrow F = \frac{T}{r}$$

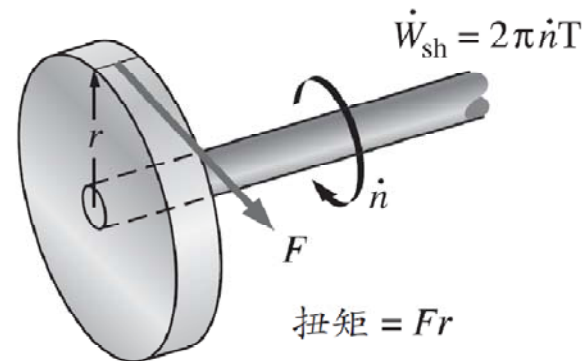
這個力作用的距離 s 與軸的半徑 r 有關：
$$s = (2\pi r)n$$

軸功
$$W_{sh} = Fs = \left(\frac{T}{r}\right)(2\pi rn) = 2\pi nT \quad (\text{kJ})$$

通過軸做功的功率可表示為：
$$\dot{W}_{sh} = 2\pi nT \quad (\text{kW})$$



在實務中，經常見到由旋轉軸來傳遞能量。



軸功與外加的扭矩和旋轉軸的轉速成正比。

例 2-7

汽車傳動軸的動力傳輸

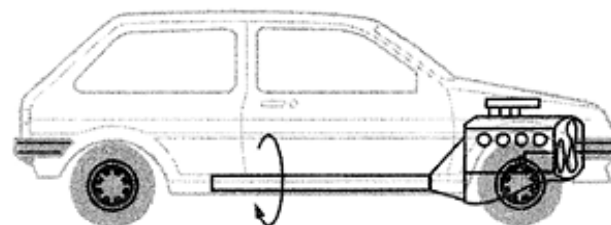
作用在軸上的扭矩為 $200 \text{ N}\cdot\text{m}$ ，軸的轉速為 4000 rpm ，試求車子傳遞的功率。

解：已知車子引擎的轉速與扭矩，試求車子傳遞的功率。

分析：車子的示意圖如圖 2-29 所示，則軸功為

$$\begin{aligned}\dot{W}_{\text{sh}} &= 2\pi nT = (2\pi) \left(4000 \frac{1}{\text{min}} \right) (200 \text{ N}\cdot\text{m}) \left(\frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} \right) \left(\frac{1 \text{ kJ}}{1000 \text{ N}\cdot\text{m}} \right) \\ &= \mathbf{83.8 \text{ kW}} \quad (\text{或 } 112 \text{ hp})\end{aligned}$$

討論：軸傳遞的功率與扭矩、轉速成正比。



$$n = 4000 \text{ rpm}$$

$$T = 200 \text{ N}\cdot\text{m}$$

圖 2-29

例 2-7 的示意圖。

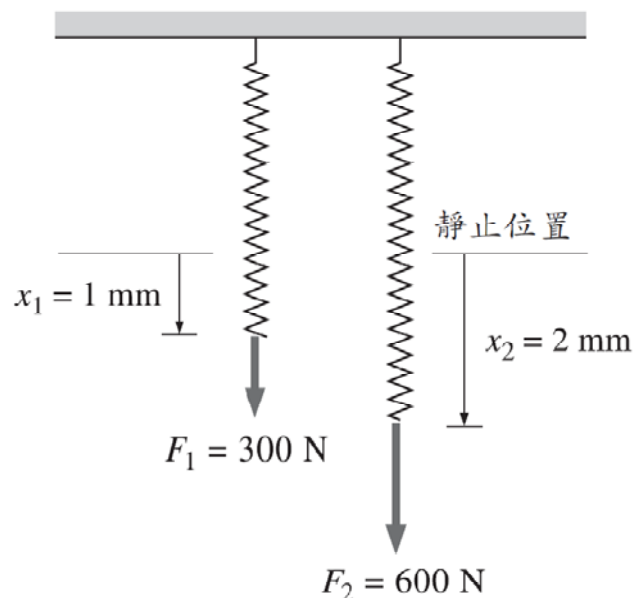
彈簧功

當在一個力 F 的作用下，彈簧的長度變化一個微小的長度 dx 時，所作的功為：

$$\delta W_{\text{spring}} = F dx$$

對於線性彈簧，彈簧的位移量 x 與作用力成正比可表示為：

$$F = kx \quad (\text{kN}) \quad k \text{ 是彈簧的彈簧常數，單位是 kN/m}$$

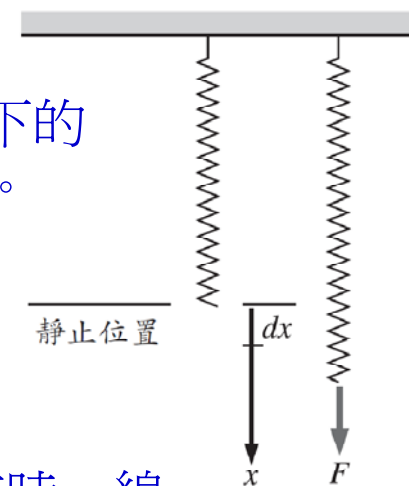


代入公式並積分

$$W_{\text{spring}} = \frac{1}{2}k(x_2^2 - x_1^2) \quad (\text{kJ})$$

x_1 和 x_2 ：分別是彈簧的初始位移和最終位移

在一力作用下的
彈簧伸長量。

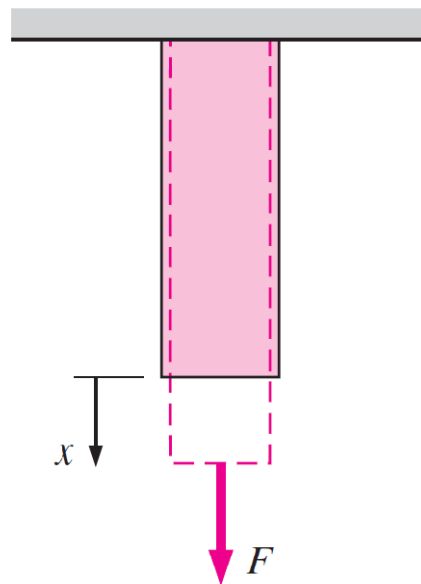


當施加的外力變為兩倍時，線性彈簧的位移也變為兩倍。

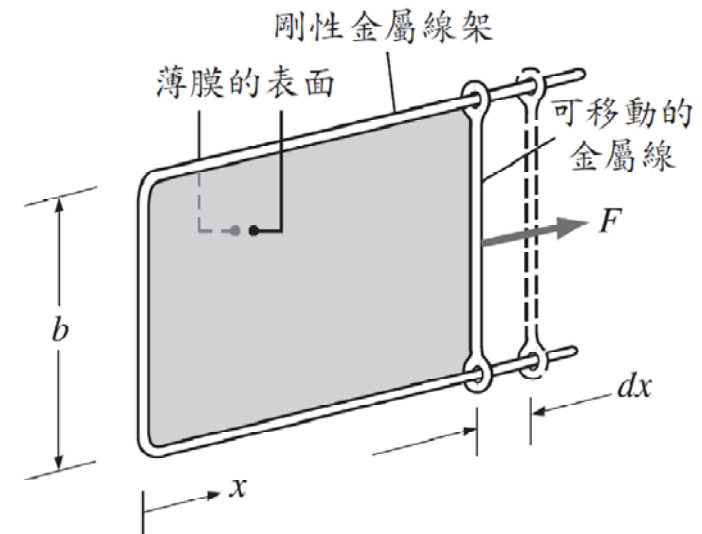
彈性棒上的功

$$W_{\text{elastic}} = \int_1^2 F dx = \int_1^2 \sigma_n A dx \quad (\text{kJ})$$

$$W_{\text{surface}} = \int_1^2 \sigma_s dA \quad (\text{kJ})$$



以可移動的金屬線來伸張液體薄膜



在力的作用下，彈性棒的變形行為與彈簧同。

舉起或加速一個物體時作的功

1. 舉起一個物體所作的功，等於這個物體的位能變化量。
2. 加速一個物體所作的功，等於這個物體的動能變化量。

非機械形式的功

電力功：電力功的廣義力是電壓，廣義位移是電荷。

磁力功：磁力功的廣義力是磁場強度，廣義位移是磁力矩。

電極化功：電極化功的廣義力是電場強度，廣義位移是介質的極化度。



當物體被舉起時，轉移到物體的能量等於物體位能的變化量。

例 2-8

車子爬坡所需的功率

一部 1200 kg 的車子在水平路面以 90 km/h 的速度穩定前進。現在車子開始爬上 30° 的斜坡（如圖 2-35 所示），如果車子在爬坡過程的速度維持不變，試求引擎需要多少功率？

解：一部車子欲維持等速爬坡，求所需的功率。

分析：引擎所需的功率可以簡化為車子在單位時間內爬升高度所需的功，也等於車子在單位時間內的內能變化量。

$$\begin{aligned}\dot{W}_g &= mg \Delta z / \Delta t = mgV_{\text{vertical}} \\ &= (1200 \text{ kg})(9.81 \text{ m/s}^2)(90 \text{ km/h})(\sin 30^\circ) \\ &\quad \left(\frac{1 \text{ m/s}}{3.6 \text{ km/h}} \right) \left(\frac{1 \text{ kJ/kg}}{1000 \text{ m}^2/\text{s}^2} \right) \\ &= 147 \text{ kJ/s} = \mathbf{147 \text{ kW}} \quad (\text{或 } 197 \text{ hp})\end{aligned}$$

討論：若車子欲維持等速爬坡，則引擎需要額外提供大約 200 hp 的功率。

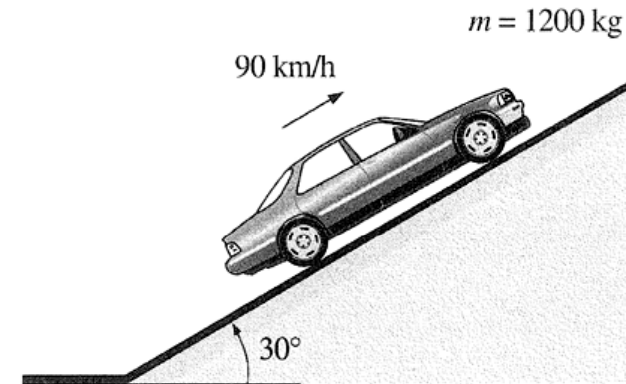


圖 2-35

例 2-8 的示意圖。

例 2-9**車子加速所需的功率**

如圖 2-36 所示，試求一部 900 kg 的車子在 20 s 內由靜止加速到 80 km/h 所需的功率。

解：求出車子加速到指定速度所需的功率。

分析：加速車子所需的功可以簡化為車子的動能變化量。

$$\begin{aligned} W_a &= \frac{1}{2}m(V_2^2 - V_1^2) = \frac{1}{2}(900 \text{ kg}) \left[\left(\frac{80,000 \text{ m}}{3600 \text{ s}} \right)^2 - 0^2 \right] \left(\frac{1 \text{ kJ/kg}}{1000 \text{ m}^2/\text{s}^2} \right) \\ &= 222 \text{ kJ} \end{aligned}$$

平均功率為

$$\dot{W}_a = \frac{W_a}{\Delta t} = \frac{222 \text{ kJ}}{20 \text{ s}} = \mathbf{11.1 \text{ kW}} \quad (\text{或 } 14.9 \text{ hp})$$

討論：這是除了克服摩擦力、滾動阻力等之外所需增加的功率。

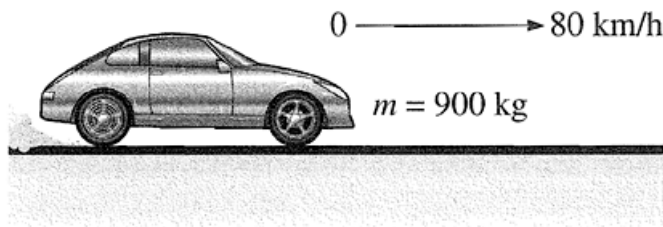
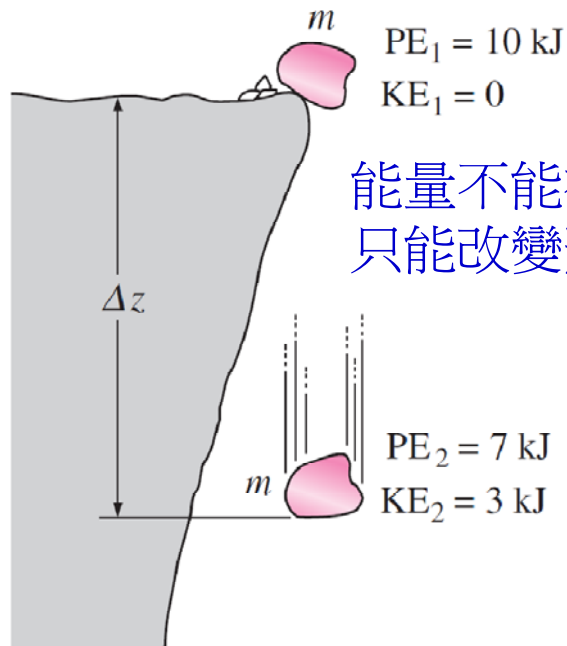


圖 2-36

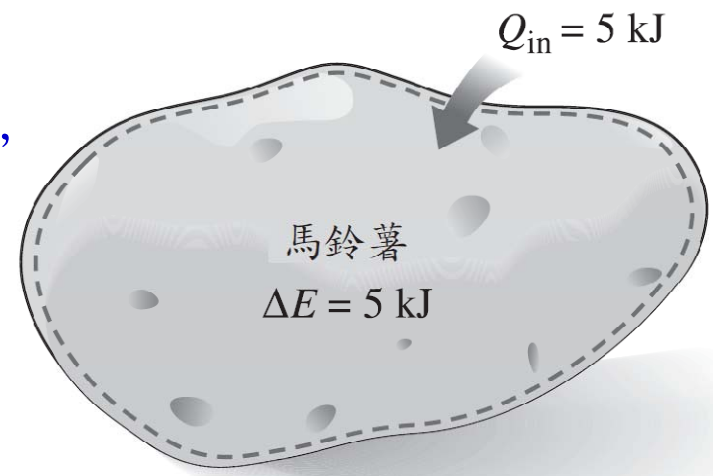
例 2-9 的示意圖。

熱力學的第一定律

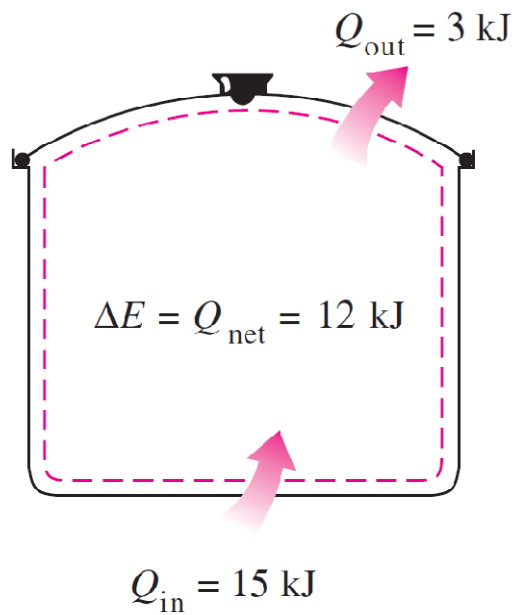
- **熱力學第一定律**：熱力學第一定律，也稱為能量守恆定律，為研究多種形式能量之間的關係和相互作用提供堅實的基礎。
- 熱力學第一定律說明，能量在一個過程中**不能被創造**，**也不能被消滅**，**只能轉換能量的形式**。
- **第一定律(The First Law)**：一個封閉系統經歷絕熱過程，從一個狀態變化到另一個狀態，這個系統作的功只與初始狀態和最終狀態有關，與系統的本質和過程的細節無關。



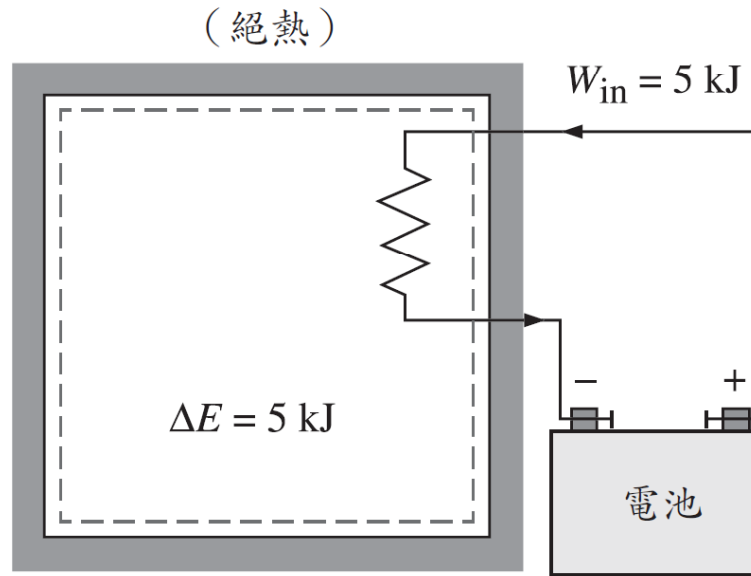
能量不能被創造或消滅，
只能改變形式。



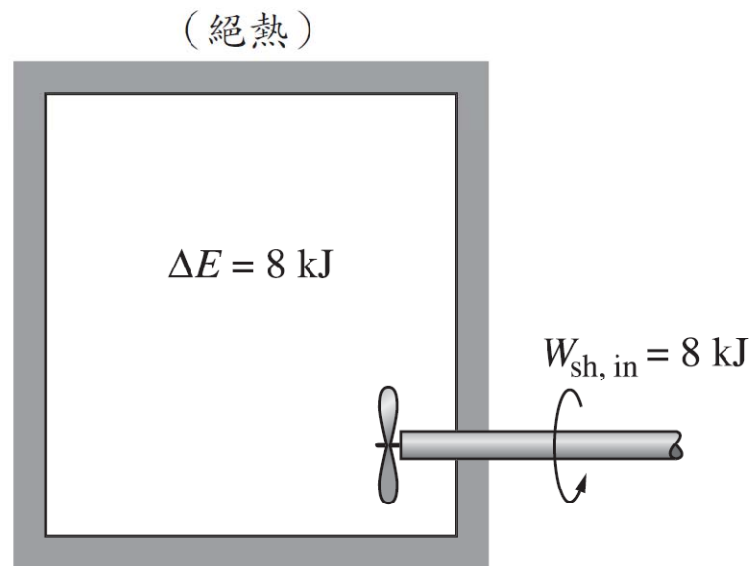
馬鈴薯所增加的能量等於熱傳量。



在沒有任何功的交互作用下，系統能量的變化量等於淨熱傳量。



在絕熱系統中，電所作的功等於系統能量的增加量。



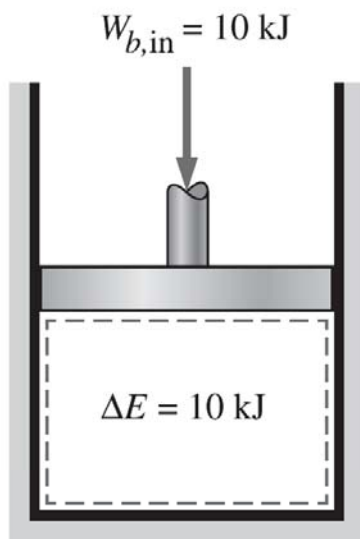
在絕熱系統中，軸所作的功等於系統能量的增加量。

能量平衡

基於以上討論，能量守恆定律可以表示為：在一個過程中，系統總能的淨變化（增加或減少）等於進入系統的能量減去離開系統的能量。

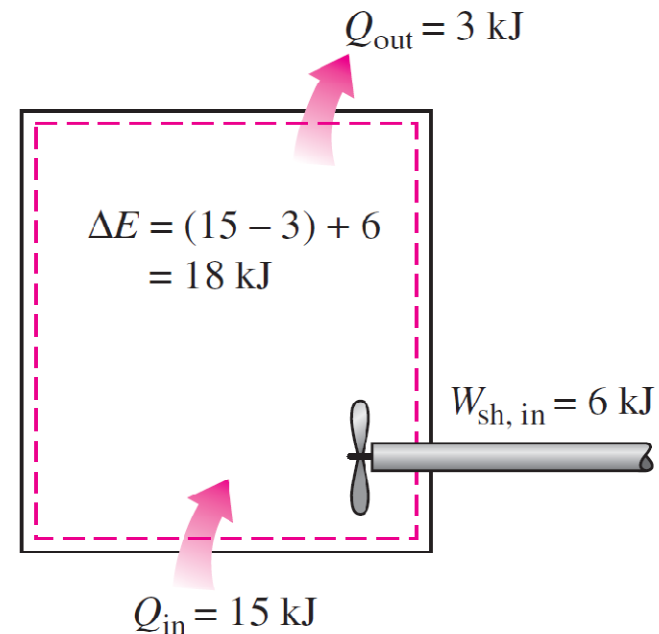
（進入系統的能量）－（離開系統的能量）＝（系統總能的變化）

$$E_{in} - E_{out} = \Delta E_{system}$$



（絕熱）

系統在過程中的能量變化量等於系統與外界之間的淨功和熱傳量。



在絕熱系統中，邊界所作的功等於系統能量的增加量。

系統能量的變化： ΔE_{system}

能量變化 = 過程結束時的能量 - 過程開始時的能量

$$\Delta E_{\text{system}} = E_{\text{final}} - E_{\text{initial}} = E_2 - E_1$$

$$\Delta E = \Delta U + \Delta \text{KE} + \Delta \text{PE}$$

內能、動能和位能變化為：

$$\Delta U = m(u_2 - u_1)$$

$$\Delta \text{KE} = \frac{1}{2} m(V_2^2 - V_1^2)$$

$$\Delta \text{PE} = mg(z_2 - z_1)$$

靜止系統

$$z_1 = z_2 \rightarrow \Delta \text{PE} = 0$$

$$V_1 = V_2 \rightarrow \Delta \text{KE} = 0$$

$$\Delta E = \Delta U$$

機械形式的能量傳遞： E_{in} 和 E_{out}

- 熱傳遞
- 作功
- 質量流

只有兩種形式的能量作用與固定質量（或稱封閉系統）有關：熱傳遞和作功。

$$E_{in} - E_{out} = (Q_{in} - Q_{out}) + (W_{in} - W_{out}) + (E_{mass,in} - E_{mass,out}) = \Delta E_{system}$$

$$\underbrace{E_{in} - E_{out}}_{\text{熱、功和質量的淨能量轉換}} = \underbrace{\Delta E_{system}}_{\text{內能、動能和位能等能量變化}} \quad (\text{kJ})$$

熱、功和質量的淨能量轉換

內能、動能和位能等能量變化

$$Q = \dot{Q} \Delta t \quad (\text{kJ})$$

$$W = \dot{W} \Delta t$$

$$\Delta E = (dE/dt) \Delta t$$

$$\underbrace{\dot{E}_{in} - \dot{E}_{out}}_{\text{熱、功和質量的淨能量轉換率}} = \underbrace{dE_{system}/dt}_{\text{內能、動能和位能等能量的變化率}} \quad (\text{kW})$$

熱、功和質量的淨能量轉換率

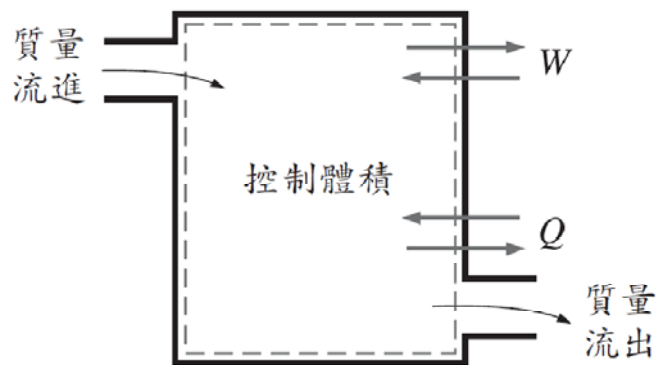
內能、動能和位能等能量的變化率

$$e_{in} - e_{out} = \Delta e_{system} \quad (\text{kJ/kg})$$

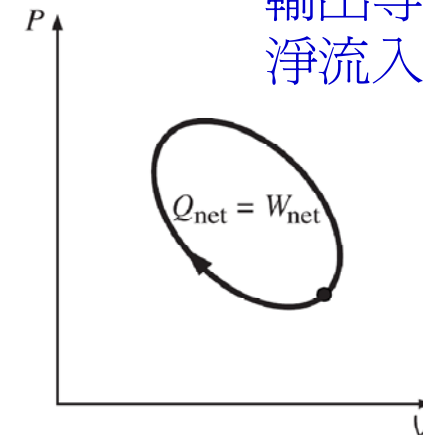
$$\delta E_{in} - \delta E_{out} = dE_{system} \quad \delta e_{in} - \delta e_{out} = de_{system}$$

$$W_{net,out} = Q_{net,in} \quad \text{或} \quad \dot{W}_{net,out} = \dot{Q}_{net,in} \quad (\text{對於一個循環})$$

亦即在一個循環中，功的淨輸出等於熱的淨流入



控制體積所含的能量和熱與功的交互作用一樣，會因為質量流動而變化。



例 2-10 容器中熱流體的冷卻

一個剛性容器中裝有熱流體，並使用葉輪攪拌冷卻。一開始，流體的內能為 800 kJ，在冷卻過程中，流體散失 500 kJ 的熱量，而葉輪對流體作功 100 kJ。若葉輪儲存的能量忽略不計，試求流體最終的內能。

解：剛性容器中的流體在攪拌時損失熱量，試求流體最終的內能。

假設：(1) 容器靜止不動，因此動能和位能的變化量為零， $\Delta KE = \Delta PE = 0$ ，所以 $\Delta E = \Delta U$ ，而且內能是在該過程中系統能量可改變的唯一形式。(2) 葉輪儲存的能量忽略不計。

分析：如圖 2-47 所示，以容器中的流體為系統，由於系統在過程中沒有質量跨越邊界，所以為封閉系統。由觀察得知，剛性容器的體積為定值，所以沒有移動邊界功。另外，軸功作用在系統上，而且熱由系統散發。利用系統的能量平衡，得到

$$\underbrace{E_{\text{in}} - E_{\text{out}}}_{\text{熱、功和質量的淨能量轉換}} = \underbrace{\Delta E_{\text{system}}}_{\text{內能、動能和位能等能量的變化}}$$

$$W_{\text{sh, in}} - Q_{\text{out}} = \Delta U = U_2 - U_1$$

$$100 \text{ kJ} - 500 \text{ kJ} = U_2 - 800 \text{ kJ}$$

$$U_2 = 400 \text{ kJ}$$

因此，系統最終的內能為 400 kJ。

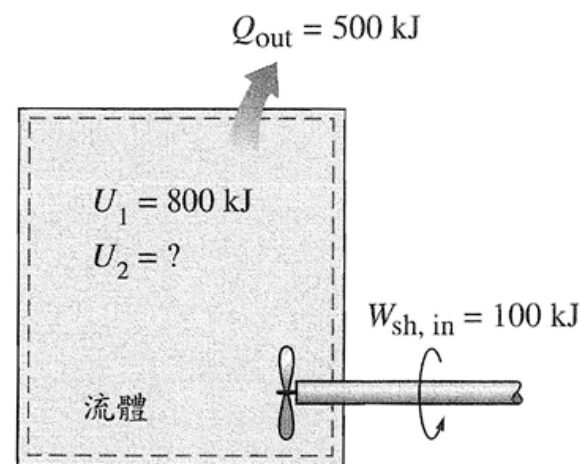


圖 2-47
例 2-10 的示意圖。

例 2-11

風扇空氣的加速度

一台風扇消耗 20 W 的電力，聲稱操作時質量流率為 1.0 kg/s，風速為 8 m/s（圖 2-48）。該聲稱是否合理？

解：一台風扇聲稱在消耗特定的電力下可以將風速增加至某一定值，試探討其正確性。

假設：室內相當平靜，空氣速度忽略不計。

分析：首先檢視能量守恆，包括風扇的馬達轉換部分電力以產生軸功來轉動空氣中的風扇葉片，經由葉片的轉動將大部分的機械功傳給空氣。在穩定運作限制的理想條件之下（沒有電能和機械能轉換成熱能），輸入的電能將等於空氣動能的增加率。因此，對於包含風扇馬達的控制體積之能量平衡方程式為

$$\underbrace{\dot{E}_{in} - \dot{E}_{out}}_{\text{熱、功和質量的淨能量轉換率}} = \underbrace{dE_{system} / dt}_{\text{內能、動能和位能等能量的變化率}} \xrightarrow{0 \text{ (steady)}} = 0 \rightarrow \dot{E}_{in} = \dot{E}_{out}$$

$$\dot{W}_{\text{elect, in}} = \dot{m}_{\text{air}} ke_{\text{out}} = \dot{m}_{\text{air}} \frac{V_{\text{out}}^2}{2}$$

求解 V_{out} ，可以得到最大的空氣速度為

$$V_{\text{out}} = \sqrt{\frac{2\dot{W}_{\text{elect, in}}}{\dot{m}_{\text{air}}}} = \sqrt{\frac{2(20 \text{ J/s})}{1.0 \text{ kg/s}} \left(\frac{1 \text{ m}^2/\text{s}^2}{1 \text{ J/kg}} \right)} = 6.3 \text{ m/s}$$

速度小於 8 m/s，因此這個聲稱是錯誤的。

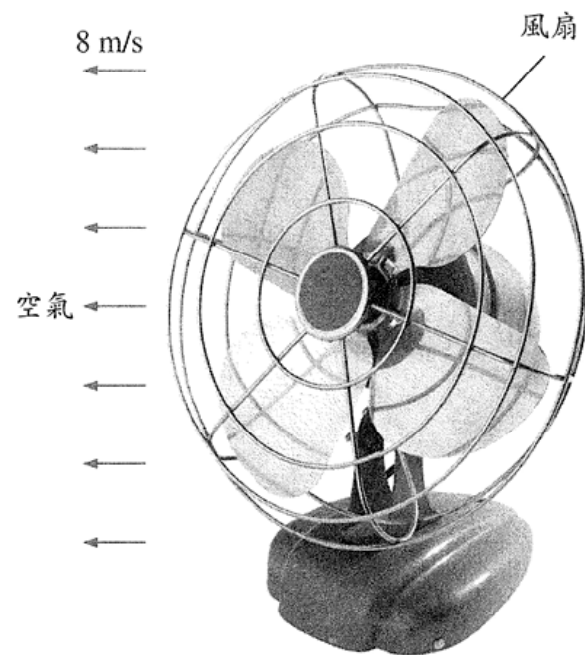


圖 2-48

例 2-11 的示意圖。

© Vol. 0557/PhotoDisc

例 2-12

風扇的加熱效應

一間房間的初始溫度與室外的空氣溫度相同，皆為 25°C 。今運轉一台消耗 200 W 電力的電風扇，如圖 2-49 所示。房間與室外空氣的熱傳率為 $\dot{Q} = UA(T_i - T_o)$ ，其中總熱傳係數 $U = 6\text{ W/m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$ ，房間與室外接觸的面積 $A = 30\text{ m}^2$ ， T_i 與 T_o 分別為室內與室外的空氣溫度，試求達到穩定狀況時室內的空氣溫度。

解：風扇在室內持續運轉並散失熱量至戶外，試求達到穩定狀況時室內的空氣溫度。

假設：(1) 經由地板的熱傳遞忽略不計。(2) 不包含其他熱量的交互作用。

分析：風扇消耗的電力是室內的輸入能量，因此室內能量的取得為 200 W 。由於取得能量，因此室內的空氣溫度會上升。但是當室內的溫度升高，室內的熱損失率會增加，直到熱損失率等於電力消耗為止。此時，空氣的溫度與室內所含的能量將保持定值，室內的能量守恆為

$$\underbrace{\dot{E}_{\text{in}} - \dot{E}_{\text{out}}}_{\text{熱、功和質量的淨能量轉換率}} = \underbrace{dE_{\text{system}} / dt}_{\text{內能、動能和位能等能量的變化率}} \stackrel{0(\text{steady})}{=} 0 \rightarrow \dot{E}_{\text{in}} = \dot{E}_{\text{out}}$$

$$\dot{W}_{\text{elect, in}} = \dot{Q}_{\text{out}} = UA(T_i - T_o)$$

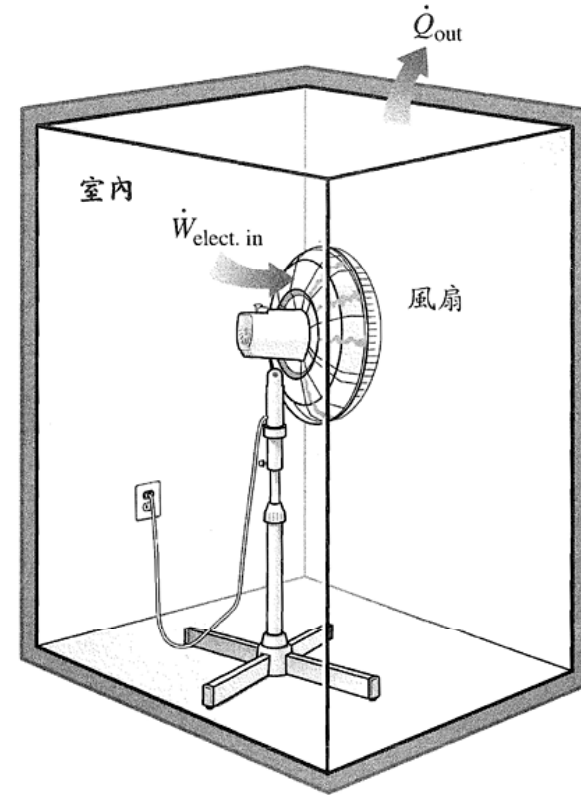


圖 2-49

例 2-12 的示意圖。

代入

$$200 \text{ W} = (6 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C})(30 \text{ m}^2)(T_i - 25^\circ\text{C})$$

得到

$$T_i = 26.1^\circ\text{C}$$

因此，室內的空氣溫度最後將維持在 26.1°C 。

討論：一個 200 W 的風扇對房間加熱就像一個 200 W 的電阻加熱器，對風扇而言，馬達轉換部分電能為軸旋轉的機械能，其餘部分因馬達的效率以熱散失至室內（即使某些大馬達的轉換效率超過 97%，但沒有任何馬達能將得到的電能百分之百轉換成機械能）。部分軸的機械能經由風扇葉片轉換成空氣的動能，並因摩擦使空氣的分子速度減慢轉換成熱能。最後，風扇馬達的全部電能轉換成空氣的熱能，並使空氣溫度上升。

例 2-13 教室每年的電費

教室的照明設備需求為 30 盞日光燈，每盞日光燈消耗 80 W 的電力（圖 2-50）。教室的燈每年使用 250 天，每天開啟 12 小時。電費是每 kWh 為 0.07 美元。試計算教室每年的電費，並討論開燈對教室內加熱及空調需求的影響。

解：試計算教室照明設備一年所需的電費，並討論照明設備對加熱及空調需求的影響。

假設：電壓變動忽略不計，日光燈消耗其標示的電力。

分析：所有照明設備每小時的電力與使用時間為

$$\begin{aligned}\text{照明設備的電力} &= \text{每盞日光燈消耗的電力} \times \text{日光燈的數量} \\ &= (80 \text{ W} / \text{每盞日光燈}) (30 \text{ 盞日光燈}) \\ &= 2400 \text{ W} = 2.4 \text{ kW}\end{aligned}$$

$$\text{使用時間} = (12 \text{ 小時} / \text{天}) (250 \text{ 天} / \text{年}) = 3000 \text{ 小時} / \text{年}$$

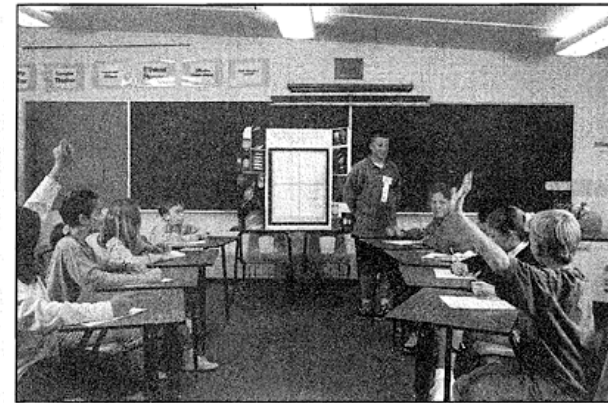


圖 2-50

例 2-13 討論的教室日光燈照明。

© Vol. 24/PhotoDisc

每年的電力與費用為

$$\begin{aligned}\text{照明能量} &= \text{照明功率} \times \text{運轉時數} \\ &= (2.4 \text{ kW}) (3000 \text{ 小時/年}) = 7200 \text{ kWh / 年}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{照明價格} &= \text{照明能量} \times \text{單位價格} \\ &= (7200 \text{ kWh / 年}) (0.07 \text{ 美元 / kWh}) \\ &= 504 \text{ 美元 / 年}\end{aligned}$$

燈光會被表面吸收並轉換為熱量。由窗戶散逸的燈光忽略不計，所消耗的 2.4 kW 電力完全轉換成教室中熱量的一部分。因此，照明系統將降低 2.4 kW 的加熱系統需求，但會增加空調設備 2.4 kW 的需求。

討論：教室每年的照明費用超過 500 美元，顯示能量轉換估算的重要性。若利用燈泡取代日光燈，則照明費用將增加四倍，因為燈泡在產生相同的照明下需使用四倍電力。

例 2-14 擺盪鋼球的能量守恆

一顆鋼球在半徑 h 的半球形碗中運動，如圖 2-51 所示。一開始，鋼球固定在最高點的位置 A ，然後釋放，試求在無摩擦與真實情況下的能量守恆關係式。

解：一顆鋼球在碗中釋放，求出能量平衡關係式。

假設：鋼球運動為無摩擦阻力，鋼球與碗及空氣間的摩擦阻力忽略不計。

分析：當鋼球被釋放，其加速度受重力影響，在碗底 B 點處速度會達到最高，並繼續往上到對面的 C 點。在理想狀態下的無摩擦運動，鋼球將在 A 點與 C 點之間擺盪。然而，真實的運動除了鋼球位能及動能的轉換，也包含克服摩擦所產生的運動阻力。在此過程中，系統的能量守恆為

$$\underbrace{E_{\text{in}} - E_{\text{out}}}_{\substack{\text{熱、功和質量的} \\ \text{淨能量轉換率}}} = \underbrace{\Delta E_{\text{system}}}_{\substack{\text{內能、動能和位能} \\ \text{等能量的變化率}}}$$

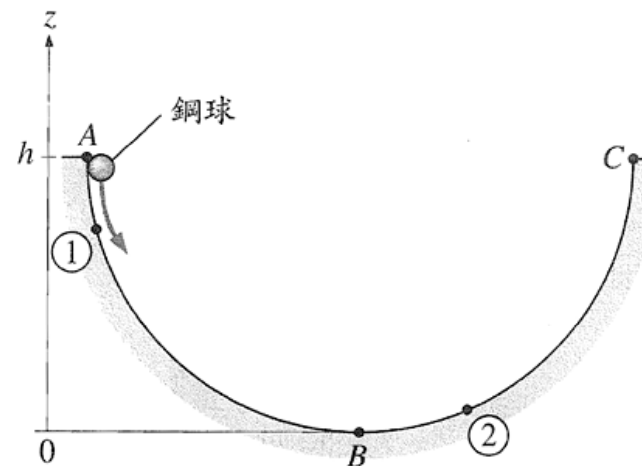


圖 2-51

例 2-14 的示意圖。

鋼球由點 1 至點 2 之過程的能量平衡為

$$-w_{\text{friction}} = (ke_2 + pe_2) - (ke_1 + pe_1)$$

或

$$\frac{V_1^2}{2} + gz_1 = \frac{V_2^2}{2} + gz_2 + w_{\text{friction}}$$

因為鋼球沒有熱或質量能量轉換及內能的改變（摩擦產生的熱散失在空氣中）。摩擦功 w_{friction} 通常表示為 e_{loss} ，以表示機械能轉換為熱能的損失。

對於理想狀態下的無摩擦運動，上面的關係式可以簡化為

$$\frac{V_1^2}{2} + gz_1 = \frac{V_2^2}{2} + gz_2 \quad \text{或} \quad \frac{V^2}{2} + gz = C = \text{常數}$$

其中，常數 $C = gh$ 。也就是說，當摩擦效應忽略不計時，動能和位能的總和等於常數。

討論：此為這個過程及其他類似過程（例如掛鐘擺錘的擺動運動）的能量守恆形式。

能量轉換效率

- **效率**是熱力學中常用的詞彙之一，表示一個過程結束時有多少能量被傳遞或轉換。

$$\text{性能} = \frac{\text{想要的輸出值}}{\text{所需要的輸入值}}$$



熱水器的效率：定義為熱水器提供的能量與提供給熱水器的能量之間的值。

傳統與高效率電熱水器、瓦斯熱水器的效率

形式	效率
傳統瓦斯熱水器	55%
高效率瓦斯熱水器	62%
傳統電熱水器	90%
高效率電熱水器	94%

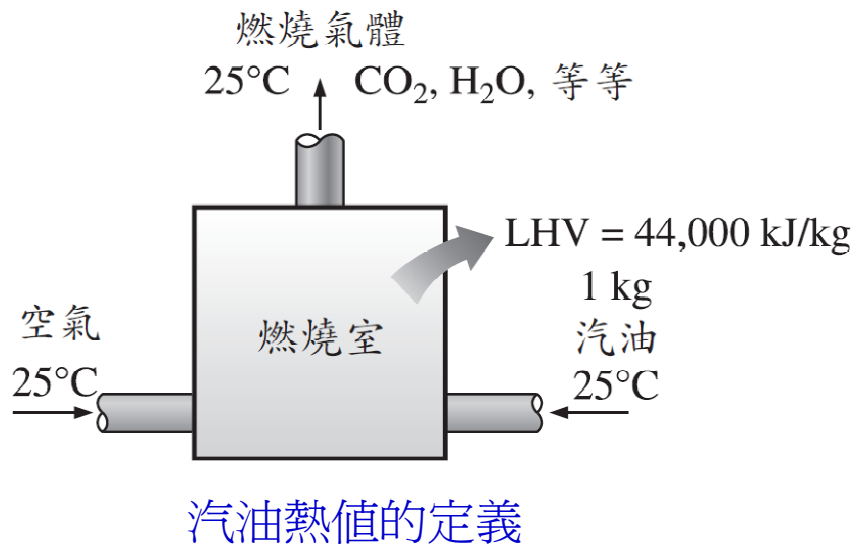
能量轉換效率(續)

$$\eta_{\text{combustion}} = \frac{Q}{\text{HV}} = \frac{\text{燃燒所釋放的熱量}}{\text{燃燒之燃料的熱值}}$$

燃料的加熱量：單位燃料在室溫下完全燃燒，並將燃燒產物冷卻到室溫時釋放的熱量。

低熱值：如果燃燒的產物是水，燃料的熱量稱為低熱值

高熱值：如果燃燒的產物是水蒸氣，燃料的熱量稱為高熱值。兩者之間的差值等於燃燒產生水或水蒸氣之間的焓值差。



住宅用或商用室內加熱系統的效率通常會以**年燃料利用效率**表示，並考慮燃料的燃燒效率、熱損失、未加熱區域、啓動和關閉過程的損失等綜合影響。

能量轉換效率(續)

發電機：發電機是將機械能轉換成電能的設備。

發電機效率：輸出電能與輸入機械能的比值。

動力廠的熱效率：是熱力學感興趣的主要問題之一，通常定義為渦輪機輸出的軸功與工作流體熱輸入的比值。

$$\eta_{\text{overall}} = \eta_{\text{combustion}} \eta_{\text{thermal}} \eta_{\text{generator}} = \frac{\dot{W}_{\text{net,electric}}}{\text{HHV} \times \dot{m}_{\text{net}}} \quad \text{動力廠的總效率}$$

表 2-1 不同照明系統的效率

照明的形式	效率，流明/W
燃燒	
蠟燭	0.2
燈泡	
一般	6-20
鹵素	16-25
日光燈	
一般	40-60
高輸出	70-90
省電	50-80
高強度氣體放電	
水銀蒸氣	50-60
金屬鹵素燈	56-125
高壓鈉氣燈	100-150
低壓鈉氣燈	200 以上

光效率：是指每瓦消耗的電能會輸出多少流明 (lumen) 的光能。

一顆 15 W 的省電日光燈泡可以提供一顆 60 W 燈泡的亮度。



15 W



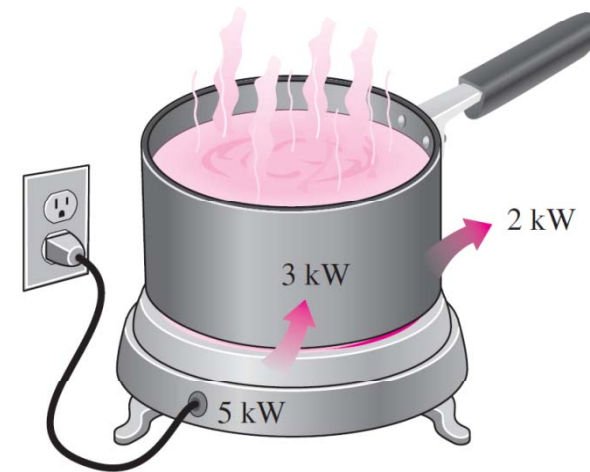
60 W

41

表 2-2 使用不同炊具烹調馬鈴薯泥的費用

烹調炊具	烹調溫度	烹調時間	使用能量	費用
電爐	177°C	1 小時	2.0 kWh	\$0.16
對流式電烤爐	163°C	45 分鐘	1.39 kWh	\$0.11
瓦斯爐	177°C	1 小時	0.112 仟卡	\$0.07
平底鍋	216°C	1 小時	0.9 kWh	\$0.07
烤箱	218°C	50 分鐘	0.95 kWh	\$0.08
電鍋	93°C	7 小時	0.7 kWh	\$0.06
微波爐	「高」	15 分鐘	0.36 kWh	\$0.03

- 使用高效率的炊具和正確的方法可以減少燃料的消耗。
- 降低電費與瓦斯費、保護環境，減少動力廠的環境污染和家庭污染。
- 燃燒天然氣會產生
 - ✓ 二氧化碳：導致全球氣候變暖的元凶。
 - ✓ 氮氧化物和氫化物：會導致煙霧。
 - ✓ 一氧化碳：一種有毒氣體。
 - ✓ 二氧化硫：會導致酸雨。



$$\text{效率} = \frac{\text{使用的能量}}{\text{供給炊具的能量}}$$

$$= \frac{3 \text{ kWh}}{5 \text{ kWh}} = 0.60$$

烹調炊具的效率為供給炊具的能量轉換到食物上的比例。

例 2-15

電爐和瓦斯爐的烹調費用

炊具的效率會影響熱量的取得，因為在烹調相同食物時，沒有效率的炊具需要消耗較多的能量。電爐的效率為 73%，而瓦斯爐的效率為 38%（如圖 2-57 所示）。若使用一台 2 kW 的電爐，而電費及天然氣費用分別是每 kWh 為 0.09 美元及每仟卡 0.55 美元（1 仟卡 = 105,500 kJ）。試求電爐的能量消耗率，以及電爐和瓦斯爐的燃料費。

解：求出電爐的能量消耗率，以及使用每單位電力與天然氣的費用。

分析：電爐的效率為 73%，因此消耗 2 kW 的電能可以提供

$$\dot{Q}_{\text{utilized}} = (\text{輸入的能量}) \times (\text{效率}) = (2 \text{ kW})(0.73) = 1.46 \text{ kW}$$

的有效能量。使用單位能量的費用與效率成反比，因此

$$\text{使用能量的費用} = \frac{\text{輸入能量的價格}}{\text{效率}} = \frac{\$0.09/\text{kWh}}{0.73} = \$0.123/\text{kWh}$$

瓦斯爐的效率為 38%，要提供相同的有效能量（1.46 kW），必須提供

$$\dot{Q}_{\text{input, gas}} = \frac{\dot{Q}_{\text{utilized}}}{\text{效率}} = \frac{1.46 \text{ kW}}{0.38} = 3.84 \text{ kW}$$

的能量給瓦斯爐。因此，瓦斯爐需至少 3.84 kW 才能與電爐產生相同的作用。

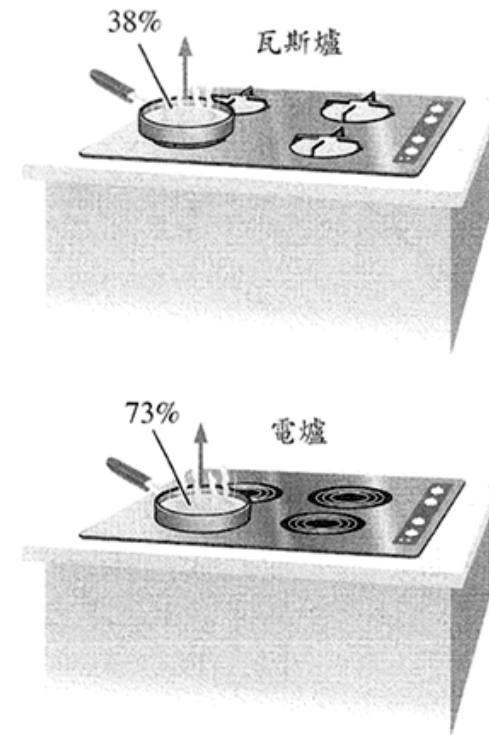


圖 2-57

例 2-15 討論之效率 73% 的電爐與效率 38% 的瓦斯爐示意圖。

由於 1 仟卡 = 29.3 kWh，瓦斯爐使用單位能量的費用為

$$\begin{aligned} \text{使用能量的} \\ \text{費用} &= \frac{\text{輸入能量的價格}}{\text{效率}} = \frac{\$0.55/29.3 \text{ kWh}}{0.38} \\ &= \mathbf{\$0.049/kWh} \end{aligned}$$

討論：使用天然氣的價格比使用電力的價格少一半以上。因此在這個例子中，儘管電爐有較高的效率，烹調的費用仍高出瓦斯爐兩倍以上，這也解釋為何大部分的顧客會選擇瓦斯器具。相較之下，使用電加熱是不明智的選擇。

機械和電力設備的效率

機械效率為：

$$\eta_{\text{mech}} = \frac{\text{機械功輸出}}{\text{機械功輸入}} = \frac{E_{\text{mech,out}}}{E_{\text{mech,in}}} = 1 - \frac{E_{\text{mech,loss}}}{E_{\text{mech,in}}}$$

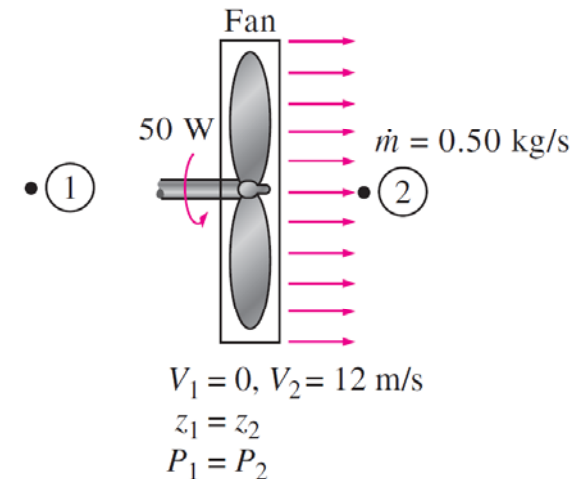
從流體處得到機械功，透過渦輪機將流體中的能量轉換成軸的轉動。這些轉換過程的效率可以表示成**泵效率**或**渦輪機效率**。

$$\eta_{\text{pump}} = \frac{\text{流體機械能的增加}}{\text{機械能的輸入}} = \frac{\Delta \dot{E}_{\text{mech,fluid}}}{\dot{W}_{\text{shaft,in}}} = \frac{\dot{W}_{\text{pump,u}}}{\dot{W}_{\text{pump}}}$$

$$\Delta \dot{E}_{\text{mech,fluid}} = \dot{E}_{\text{mech,out}} - \dot{E}_{\text{mech,in}}$$

$$\eta_{\text{turbine}} = \frac{\text{機械能的輸出}}{\text{流體機械能的降低}} = \frac{\dot{W}_{\text{shaft,out}}}{|\Delta \dot{E}_{\text{mech,fluid}}|} = \frac{\dot{W}_{\text{turbine}}}{\dot{W}_{\text{turbine,e}}}$$

$$|\Delta \dot{E}_{\text{mech,fluid}}| = \dot{E}_{\text{mech,in}} - \dot{E}_{\text{mech,out}}$$



$$\begin{aligned} \eta_{\text{mech, fan}} &= \frac{\Delta \dot{E}_{\text{mech,fluid}}}{\dot{W}_{\text{shaft,in}}} = \frac{\dot{m} V_2^2 / 2}{\dot{W}_{\text{shaft,in}}} \\ &= \frac{(0.50 \text{ kg/s})(12 \text{ m/s})^2 / 2}{50 \text{ W}} \\ &= 0.72 \end{aligned}$$

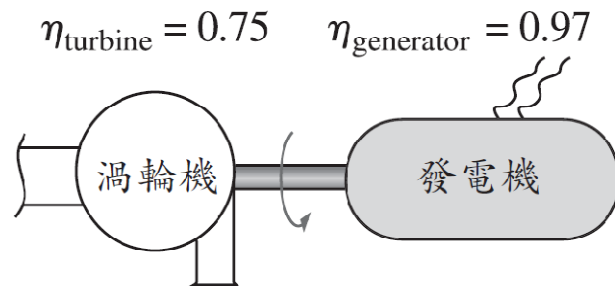
風扇的機械效率為離開風扇之空氣的動能與輸入機械功的比值。

$$\eta_{\text{motor}} = \frac{\text{機械功的輸出}}{\text{電力功的輸入}} = \frac{\dot{W}_{\text{shaft,out}}}{\dot{W}_{\text{elect,in}}} \quad \text{馬達效率}$$

$$\eta_{\text{generator}} = \frac{\text{電力功的輸出}}{\text{機械功的輸入}} = \frac{\dot{W}_{\text{elect,out}}}{\dot{W}_{\text{shaft,in}}} \quad \text{發電機效率}$$

$$\eta_{\text{pump-motor}} = \eta_{\text{pump}}\eta_{\text{motor}} = \frac{\dot{W}_{\text{pump,u}}}{\dot{W}_{\text{elect,in}}} = \frac{\Delta\dot{E}_{\text{mech,fluid}}}{\dot{W}_{\text{elect,in}}} \quad \text{泵-馬達}$$

$$\eta_{\text{turbine-gen}} = \eta_{\text{turbine}}\eta_{\text{generator}} = \frac{\dot{W}_{\text{elect,out}}}{\dot{W}_{\text{turbine,e}}} = \frac{\dot{W}_{\text{elect,out}}}{|\Delta\dot{E}_{\text{mech,fluid}}|} \quad \text{渦輪機-發電機的總效率}$$



渦輪機-發電機的總效率為渦輪機效率與發電機效率的乘積，代表流體的機械能轉變成電能的比例。

$$\begin{aligned} \eta_{\text{turbine-gen}} &= \eta_{\text{turbine}}\eta_{\text{generator}} \\ &= 0.75 \times 0.97 \\ &= 0.73 \end{aligned}$$

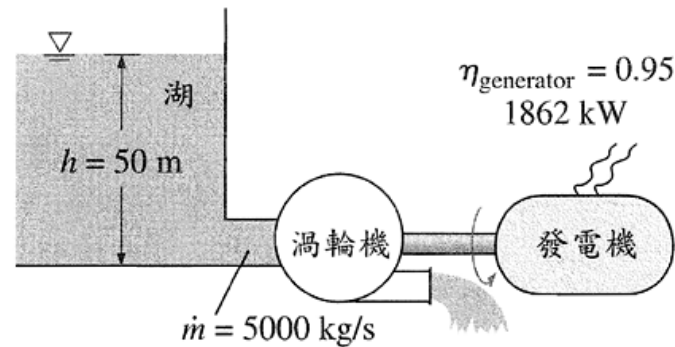


圖 2-60
例 2-16 的示意圖。

例 2-16 水力渦輪機—發電機的性能

在水深 50 m 處的水力渦輪機—發電機利用湖中的水來發電（如圖 2-60 所示）。水的供給率為 5000 kg/s。若發電機的效率為 95%，量測到的發電量為 1862 kW，試求：(a) 渦輪機—發電機的總效率；(b) 渦輪機的機械效率；(c) 渦輪機傳送至發電機的軸功。

解：水力渦輪機—發電機利用湖中的水來發電，求其總效率、渦輪機的效率及渦輪機傳送至發電機的軸功。

假設：(1) 湖中水位高度維持定值；(2) 在渦輪機出口端的機械能忽略不計。

性質：水的密度 $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$ 。

分析：(a) 為方便起見，以湖的底部做為參考高度，水表面的位能為 gh 。水在湖面及渦輪機出口端的動能忽略不計，而且兩個位置的壓力均為大氣壓力。水在湖面及渦輪機出口端的機械能變化為

$$\begin{aligned} e_{\text{mech,in}} - e_{\text{mech,out}} &= gh - 0 = gh = (9.81 \text{ m/s}^2)(50 \text{ m}) \left(\frac{1 \text{ kJ/kg}}{1000 \text{ m}^2/\text{s}^2} \right) \\ &= 0.491 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

流體傳送到渦輪機的機械能與總效率為

$$\begin{aligned} |\Delta \dot{E}_{\text{mech,fluid}}| &= \dot{m}(e_{\text{mech,in}} - e_{\text{mech,out}}) = (5000 \text{ kg/s})(0.491 \text{ kJ/kg}) \\ &= 2455 \text{ kW} \end{aligned}$$

$$\eta_{\text{overall}} = \eta_{\text{turbine-gen}} = \frac{\dot{W}_{\text{elect,out}}}{|\Delta \dot{E}_{\text{mech,fluid}}|} = \frac{1862 \text{ kW}}{2455 \text{ kW}} = \mathbf{0.76}$$

(b) 已知發電機效率及總效率，則渦輪機的機械效率為

$$\eta_{\text{turbine-gen}} = \eta_{\text{turbine}} \eta_{\text{generator}} \rightarrow \eta_{\text{turbine}} = \frac{\eta_{\text{turbine-gen}}}{\eta_{\text{generator}}} = \frac{0.76}{0.95} = \mathbf{0.80}$$

(c) 由機械效率的定義決定軸功：

$$\dot{W}_{\text{shaft,out}} = \eta_{\text{turbine}} |\Delta \dot{E}_{\text{mech,fluid}}| = (0.80)(2455 \text{ kW}) = \mathbf{1964 \text{ kW}}$$

討論：湖水提供渦輪機 2455 kW 的機械能，並轉換 1964 kW 的軸功給發電機，發電機產生 1862 kW 的電力。過程中，每一組件皆有損失。

例 2-17

鐵塊冷卻時導致的不可逆性

一個 60 hp 的電動馬達（馬達在全負載時傳遞 60 hp 的軸功）其效率為 89%，損壞後以效率 93.2% 的高效率馬達取代（圖 2-61），此馬達在全負載下一年操作 3500 小時。電力每單位的價格為 \$0.08/kWh，試求利用高效率馬達取代標準馬達所節省的能量與金額。若購買並求標準馬達與高效率馬達的金額分別為 4,520 美元及 5,160 美元，求資金回收期間。

解：損壞的標準馬達更換為高效率馬達，求其節省的電力、金額及回收期。

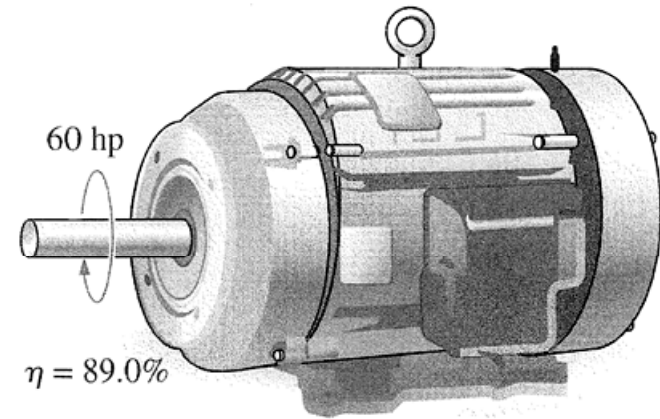
假設：馬達操作時的負載因子為 1（全負載）。

分析：馬達的電力需求及差值可表示為

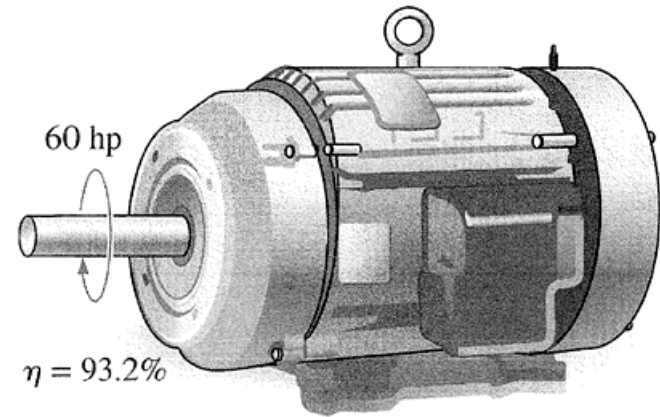
$$\dot{W}_{\text{electric in, standard}} = \dot{W}_{\text{shaft}} / \eta_{\text{st}} = (\text{額定電力})(\text{負載因子}) / \eta_{\text{st}}$$

$$\dot{W}_{\text{electric in, efficient}} = \dot{W}_{\text{shaft}} / \eta_{\text{eff}} = (\text{額定電力})(\text{負載因子}) / \eta_{\text{eff}}$$

$$\begin{aligned} \text{節省的電力} &= \dot{W}_{\text{electric in, standard}} - \dot{W}_{\text{electric in, efficient}} \\ &= (\text{額定電力})(\text{負載因子}) (1/\eta_{\text{st}} - 1/\eta_{\text{eff}}) \end{aligned}$$



標準馬達



高效率馬達

圖 2-61

例 2-17 的示意圖。

其中， η_{st} 為標準馬達的效率， η_{eff} 為高效率馬達的效率。安裝高效率馬達每年節省的能源與金額為

$$\begin{aligned}\text{節省的能源} &= (\text{節省的電力})(\text{運轉的時數}) \\ &= (\text{額定電力})(\text{運轉的時數})(\text{負載因子}) \\ &\quad (1/\eta_{st} - 1/\eta_{eff}) \\ &= (60 \text{ hp})(0.7457 \text{ kW/hp})(3500 \text{ 小時/年})(1)(1/0.89 \\ &\quad - 1/0.932) \\ &= \mathbf{7929 \text{ kWh/年}}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{節省的金額} &= (\text{節省的能源})(\text{能源的單位價格}) \\ &= (7929 \text{ kWh/年})(\$0.08/\text{W}) \\ &= \mathbf{\$634/年}\end{aligned}$$

此外，

$$\text{超出的初始成本} = \text{購買的價差} = \$5160 - \$4520 = \$640$$

$$\text{回收期} = \frac{\text{超出的初始成本}}{\text{每年節省的金額}} = \frac{\$640}{\$634/\text{年}} = \mathbf{1.01 \text{ 年}}$$

討論：購買高效率馬達所支付的價差約是馬達一年節省的電費金額，馬達的使用年限有許多年，在這個例子中，購買高效率馬達是必要的。

能量和環境

- 能量從一種形式轉換成另一種形式，經常對環境和我們呼吸的空氣造成各種影響，所以僅研究能量的轉換並不足夠，還需要研究這些轉換過程對環境的影響。
- 燃燒石化燃料所釋放的產物是造成煙霧、酸雨、全球暖化和氣候變化的元凶。
- 環境污染已非常嚴重，強烈威脅植物、野生動物和人類的健康。

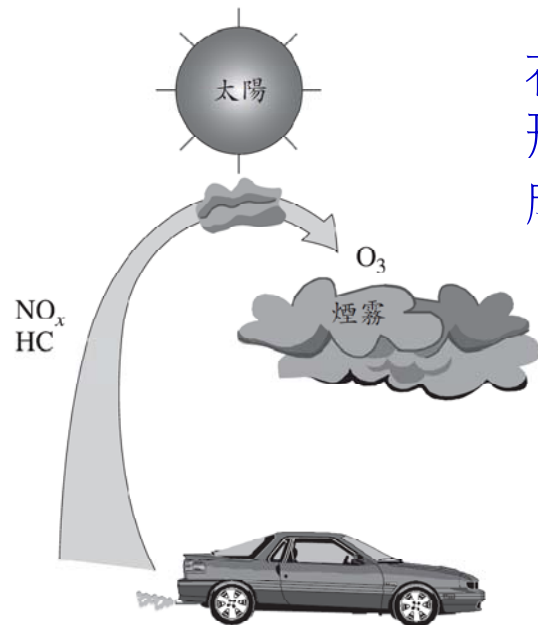


汽車是最大的空氣污染源。

能量轉換過程經常造成環境污染。

臭氧和煙霧

- **煙霧**：主要是由臭氧（ O_3 ）組成，但含有其他化學物質，例如一氧化碳（ CO ）、微粒物質（如煙和微塵）、揮發性有機物（如苯、丁烷和其他碳氫化合物）。
- **碳氫化合物**和**氮氧化物**：最大來源是汽車廢氣，兩者在無風炎熱的日子與陽光相互作用後會形成臭氧。
- **臭氧**：不但會刺激眼睛，也會對肺造成傷害，使二氧化碳和氧氣的交換變得困難。會導致呼吸短促、哮喘、疲勞、頭痛、噁心和嚴重的呼吸性問題。



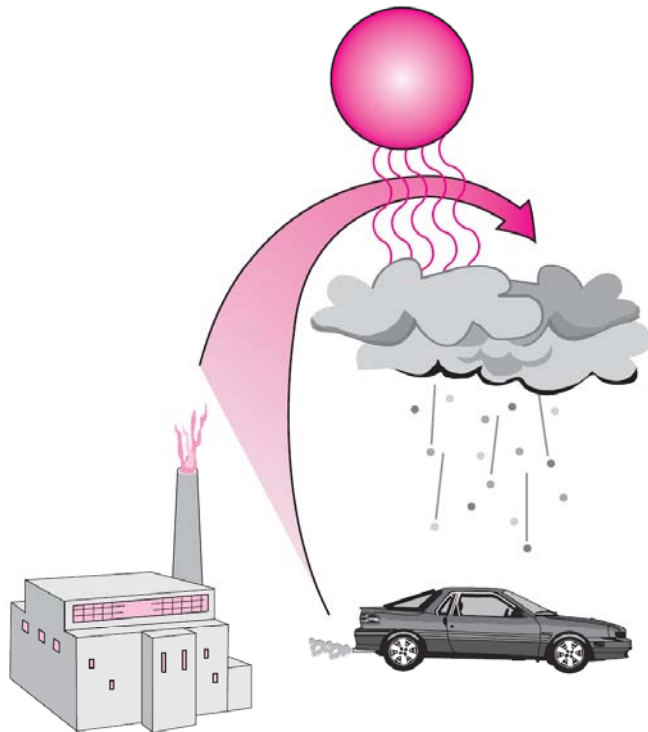
在熾熱的陽光下， HC 和 NO_x 作用所形成地面上的臭氧是產生煙霧的主要成分。

臭氧和煙霧(續)

- 在煙霧中，另一種嚴重的污染物是**一氧化碳**，它是一種無色、無味但有毒的氣體。
- 一氧化碳會從汽車廢氣中排放。
- 若一氧化碳與紅血球結合，將會妨礙體內組織的氧氣供應。
- 有一些死亡事故是由於在封閉的車庫內發動汽車，導致汽車廢氣洩漏到車內導致死亡。

酸雨

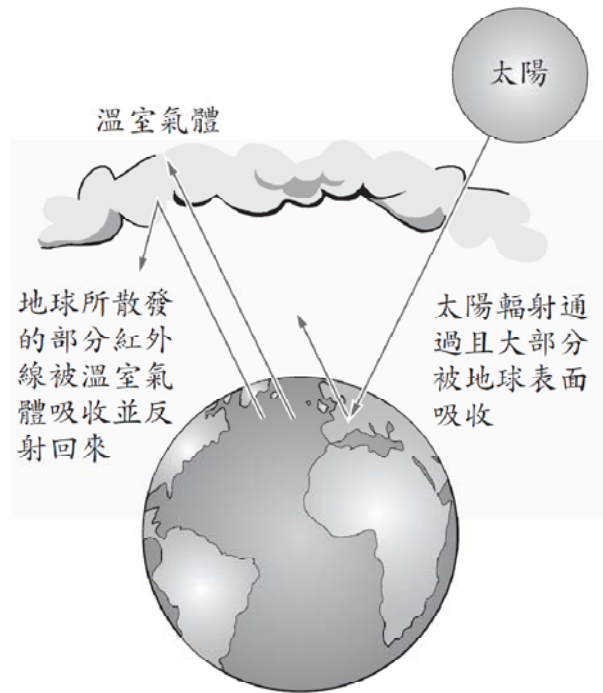
- 燃料中的硫與氧氣作用會形成二氧化硫（ SO_2 ），造成空氣污染。
- 主要的 SO_2 污染來源是大型動力廠，因為它們經常使用硫含量較高的煤。
- 汽車引擎也會排放 SO_2 ，因為汽油和柴油中也含有少量的硫。



- 在陽光作用下，硫氧化物和氮氧化物在高空與水蒸氣會和其他物質發生反應，形成硫酸和硝酸。
- 這些酸經常溶解於雲或霧的水滴中以雨或雪的形式降到地面，即所謂的酸雨。

在陽光作用下，硫氧化物和氮氧化物在高空與水蒸氣會和其他物質發生反應，形成硫酸和硝酸。

溫室效應：全球變暖和氣候變化



地球的溫室效應

- **溫室效應**：玻璃允許太陽光進入車內，但是會阻擋從車內發出的紅外線，導致車內溫度升高，因為這種技術通常使用於溫室。
- 溫室效應也會發生在更大的規模上，例如地球。地球表面在太陽的照射下溫度會升高，到了夜晚，因為一部分能量以紅外線的方式輻射到外太空，所以地表溫度會降低。
- 二氧化碳、水蒸氣和其他微量氣體（例如甲烷和氮氧化物）就像毯子一樣包裹著地球，阻擋地表產生熱輻射，所以被稱為「溫室氣體」。
- 溫室效應能保持地球的溫度，但是過量的溫室氣體已打破地球的熱平衡，導致全球平均氣溫增加以及部分地區的氣候變化。這些溫室效應的不良後果稱為**全球暖化**。
- 二氧化碳燃燒，例如煤、石油和天然氣。

- **1995年 報告顯示**：地球的溫度在上一個世紀上升**0.5°C**，預測在2100年地球溫度將上升**2°C**。
- 溫度上升將導致地域性暴風雨、大雨及洪水、乾旱等氣候型態的改變，極地冰山融化導致水災、海平面上升導致濕地及海岸區域消失及其他的負面效應。
- **改善能源效率、能源管理及利用再生能源**可使地球暖化效應最小化。



一輛汽車平均一年會產生數倍於汽車重量的二氧化碳（一年行駛20,000 km，消耗2,300 L的汽油，每公升汽油會產生2.5kg的二氧化碳）。



像風能之類的再生能源，由於不會排放溫室氣體，因此稱為「綠色源」。

例 2-18**利用地熱加熱降低空氣污染**

在內華達州的地熱動力廠抽取 180°C 的地熱水，並將 85°C 的水再注入地下來發電。利用這個系統提供住宅及商業建築物的加熱用途，計算後發現，這個地熱加熱系統每年可以節省 1800 萬仟卡（1 仟卡 = 105,500 kJ）的天然氣。試求此地熱系統每年所能減少的 NO_x 和 CO₂ 的排放量。天然氣鍋爐的 NO_x 和 CO₂ 平均排放量分別為 0.0047 kg / 仟卡和 6.4 kg / 仟卡。

解：將在某區域的氣體加熱系統換成地熱加熱系統，試計算一年所能減少的 NO_x 和 CO₂ 排放量。

分析：一年廢氣排放減少的量等於 1800 萬仟卡的天然氣在鍋爐中燃燒的廢氣排放量，

$$\begin{aligned}\text{NO}_x &= (\text{每仟卡 NO}_x \text{ 的排放量}) (\text{每年的熱量}) \\ &= (0.0047 \text{ kg / 仟卡}) (18 \times 10^6 \text{ 仟卡 / 年}) \\ &= 8.5 \times 10^4 \text{ kg / 年}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{CO}_2 &= (\text{每仟卡 CO}_2 \text{ 的排放量}) (\text{每年的熱量}) \\ &= (6.4 \text{ kg / 仟卡}) (18 \times 10^6 \text{ 仟卡 / 年}) \\ &= 1.2 \times 10^8 \text{ kg / 年}\end{aligned}$$

討論：一輛汽車每年大約產生 8.5 kg 的 NO_x 和 6000 kg 的 CO₂，利用地熱加熱系統取代天然氣加熱系統，對該地區環境的衝擊等於減少一萬輛汽車的 NO_x 排放量與兩萬輛汽車的 CO₂ 排放量，因此對該地區煙霧的減少將有重大的效益。

摘要

- 熱量的形式
 - ✓ 巨觀 = 動能 + 位能
 - ✓ 微觀 = 內能 (顯能 + 潛能 + 化學能 + 核能)
- 熱形式的能量傳遞
- 功形式的能量傳遞
- 機械形式的功
- 熱力學第一定律
 - ✓ 能量平衡
 - ✓ 系統能量的變化
 - ✓ 機械式的能量傳遞(熱傳遞、作功、質量流)
- 能量轉換效率
 - ✓ 機械和電力設備的效率
- 能量和環境
 - ✓ 臭氧和煙霧
 - ✓ 酸雨
 - ✓ 溫室效應：全球變暖和氣候變化