



2.1.1 功、熱與能簡介

- 功與熱

功的概念

熱的概念

2.1.1 功、熱與能簡介

- 功、熱與能量的單位

- SI制：功、熱與能量皆以J (焦耳) 為單位
- USCS制 (英制)：
 - 功： $\text{ft}\cdot\text{lb}_m$ (呎·磅)
 - 熱：BTU (英制熱量單位)
 - 能量： $\text{ft}\cdot\text{lb}_m$ (呎·磅) 或 BTU (英制熱量單位)

◆BTU定義：1 lb_m 水上升1°F所需熱量

2.1.1 功、熱與能簡介

- 功、熱與能量的單位

- MKS制：
 - 功： Nm (牛頓米) 或 J (焦耳)
 - 熱： cal (卡)
 - 能量： Nm (牛頓米) 或 J (焦耳)

◆cal定義：1 kg水上升1°C所需熱量

2.1.1 功、熱與能簡介

- 功、熱與能量的單位換算

- $1 \text{ Nm} = 1 \text{ J} = 0.24 \text{ cal}$
- $1 \text{ cal} = 4.18 \text{ J}$
- $1 \text{ BTU} = 778.16 \text{ ft}\cdot\text{lb}_m$
- $1 \text{ ft}\cdot\text{lb}_m = 0.001285 \text{ BTU}$

2.1.1 功、熱與能簡介

- 能量守恆與熱力學第一定律
- 能量守恆：
 - 能量可以由某一種形式轉變成另一種形式，能量不會自行創出或毀滅，一定是形式的一種改變
 - 能量形式轉換時，必定會有損失
 - 能量形式的轉換有很多種，如：熱與功的轉換、動能與重力位能的轉換、機械能與電能的轉換

2.1.1 功、熱與能簡介

- 能量守恆與熱力學第一定律
- 熱力學第一定律：
 - 熱力學第一定律主要敘述系統總能量的關係
 - 封閉系統在某一過程中，總能量(E)的變化量可以表示為內能(U)、動能(KE)及位能(PE)的總和
 - 由於封閉系統能量僅能藉由功(W)與熱(Q)傳遞，故其總能量(E)的變化量可以表示為淨熱(Q_{net})與淨功(W_{net})的總和

2.1.1 功、熱與能簡介

- 能量守恆與熱力學第一定律
- 熱力學第一定律：

$Q_{net} + W_{net} = \Delta E = E_2 - E_1$

$Q_{net} = \Sigma Q_{in} - \Sigma Q_{out}$

$W_{net} = \Sigma W_{in} - \Sigma W_{out}$

$\Delta E = \Delta U + \Delta KE + \Delta PE$

2.1.2 能量的轉換

- 機械能、動能、位能與電能
- 機械能
 - 機械能即是機械功
 - 在力學中，功(W)是力(F)作用於一物體上，並將其沿作用力方向推動的距離(s)

$W = F \times s \quad [kJ]$

2.1.2 能量的轉換

- 機械能(功)

$\delta W_{mech} = \vec{F}_{ext} \cdot d\vec{s} = F_{ext} ds \cos \theta$

2.1.2 能量的轉換

- 機械能、動能、位能與電能
- 動能
 - 物體運動時所得到的能量
- 位能
 - 物體因位置之不同而儲存之能量
 - 一般是受重力影響，則產生重力位能
 - 受到力場影響，皆會產生位能函數

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

$\Delta PE = mg(h_2 - h_1)$

2.1.2 能量的轉換

- 機械能、動能、位能與電能
- 電能
 - 電能即是電位能，是電荷受電力作用產生的能量，其概念類似於物質受重力作用產生的能量
 - 廣義而言，電能是電以各種形式作功的能力
 - 日常生活中，電能廣泛運用在各種器具上，如：照明燈具、風扇、冷氣機...等

2.1.2 能量的轉換

- 功與能的轉換
- 功與動能轉換
- 公式轉換

$W = F \cdot s = (m \cdot a) \cdot s = (m \cdot a) \cdot \frac{at^2}{2} = \frac{m \cdot (at)^2}{2} = \frac{mV^2}{2}$

$s = \frac{1}{2} at^2 \quad a = \frac{V}{t}$

- 單位轉換

$J = N \cdot m = kg \cdot \frac{m}{s^2} \cdot m = kg \cdot \left(\frac{m}{s}\right)^2$

教育部能源國家型科技人才培育計畫
MOE Energy Education Program

2.1.2 能量的轉換

- 功與能的轉換
- 功與位能轉換
- 公式轉換

$$W = F \cdot s = F_g \cdot h = (m \cdot g) \cdot h = m \cdot g \cdot h$$

F_g : 重力 h : 高度

- 單位轉換

$$J = N \cdot m = kg \cdot \frac{m}{s^2} \cdot m = kg \cdot (\frac{m}{s})^2$$

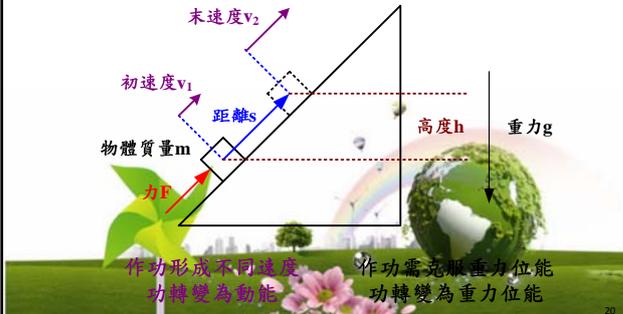
◆ 功、動能、重力位能三者可以互相轉換

19

教育部能源國家型科技人才培育計畫
MOE Energy Education Program

2.1.2 能量的轉換

- 功、動能、重力位能的轉換



20

教育部能源國家型科技人才培育計畫
MOE Energy Education Program

2.1.2 能量的轉換

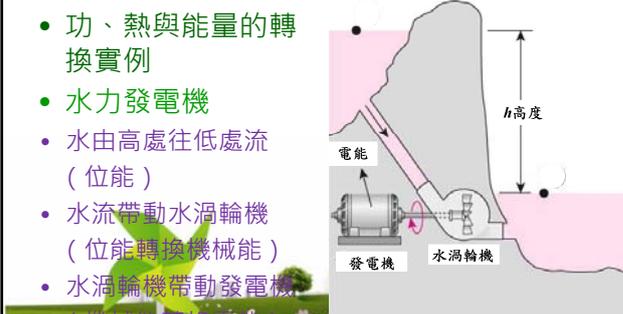
- 熱與功的轉換
 - 熱是藉由溫度不同時所產生的流動現象
 - 加熱水，當水沸騰時所產生的蒸汽，可以推動許多機械裝置，即是熱轉換機械功的裝置（詳細介紹於2.2.1熱機原理與應用）
 - 我們熟知的冷氣機，一般人以為是產生冷的裝置，其實它是利用機械功轉換熱的裝置（詳細介紹於2.2.2冷洩機原理與應用）

21

教育部能源國家型科技人才培育計畫
MOE Energy Education Program

2.1.2 能量的轉換

- 功、熱與能量的轉換實例
- 水力發電機



- 水由高處往低處流（位能）
- 水流帶動水渦輪機（位能轉換機械能）
- 水渦輪機帶動發電機（機械能轉換電能）

22

教育部能源國家型科技人才培育計畫
MOE Energy Education Program

2.1.2 能量的轉換

- 功、熱與能量的轉換實例
- 火力發電機

- 燃料產生熱（熱）
- 加熱液態水產生高壓高溫蒸汽（熱轉換動能）
- 蒸汽帶動渦輪機（動能轉換機械能）
- 渦輪機帶動發電機（機械能轉換電能）

23

教育部能源國家型科技人才培育計畫
MOE Energy Education Program

2.1.3 轉換效率與能源效率

- 轉換效率的定義
- 轉換效率（能量轉換效率）
 - 係指能量轉換裝置的效率值，即輸出能量(E_{out})與輸入能量(E_{in})的比值
 - 能量轉換效率其值介於0~1
 - 即能量轉換效率不會超過100%

$$\eta = \frac{E_{out}}{E_{in}}$$

24

教育部能源國家型科技人才培育計畫
MOE Energy Education Program

2.1.3 轉換效率與能源效率

- 轉換效率的定義
- 轉換效率 (能量轉換效率) 種類
 - 電效率：輸出電功與消耗電能的比值
 - 機械效率：輸入機械能與輸出機械能的比值
 - 熱效率：輸入淨熱與輸出淨功的比值

$$\eta_{\text{elec}} = \frac{W_{\text{elec, out}}}{W_{\text{elec, in}}}$$

$$\eta_{\text{mech}} = \frac{W_{\text{mech, out}}}{W_{\text{mech, in}}}$$

$$\eta_{\text{thermal}} = \frac{W_{\text{net}}}{Q_{\text{net}}}$$

25

教育部能源國家型科技人才培育計畫
MOE Energy Education Program

2.1.3 轉換效率與能源效率

- 能源效率的定義
- 能源效率 (能源使用效率) 指標
 - 能源生產力：生產過程有效產出與生產過程能源投入的比值
 - 能源密集度：為能源生產力的倒數
 - 能源密集度下降，代表能源效率提高

26

教育部能源國家型科技人才培育計畫
MOE Energy Education Program

2.1.3 轉換效率與能源效率

- 能源效率的定義：依照投入與產出衡量單位之不同，有四種定義
 - 熱力能源效率指標：能源投入與產出皆以熱力學單位衡量
 - 物理熱力能源效率指標：能源投入以熱力學單位衡量，產出以物理單位衡量
 - 經濟熱力能源效率指標：產出以市場價格衡量製程價值，能源投入以熱力或物理熱力單位表示
 - 經濟能源效率指標：能源投入與產出皆以貨幣單位表示

27

教育部能源國家型科技人才培育計畫
MOE Energy Education Program

2.1.3 轉換效率與能源效率

- 能源效率的定義
- 衡量國家 (或部門) 能源效率，有四種定義
 - 整體國家：GDP/能源消費量
 - 工業部門：產量或附加價值/能源消費量
 - 運輸部門：延人公里/能源消費量
 - 住商部門：樓地板面積/能源消費量

28

教育部能源國家型科技人才培育計畫
MOE Energy Education Program

2.1.3 轉換效率與能源效率

- 能源效率的定義
- 我國經濟部能源局，訂定出產業、建築用戶、主要耗能電器的能源效率標準，並建立能源效率分級標示
- 參考網頁
http://www.moeaboe.gov.tw/TopicSite/Energy_conservation/item_3.htm

29

教育部能源國家型科技人才培育計畫
MOE Energy Education Program

2.1.3 轉換效率與能源效率

- 轉換效率計算實例

30

2.1.3 轉換效率與能源效率

- 能源效率實例
- 窗型冷氣機能源效率比值(EER)標準對照表
- 資料來源：經濟部能源局網頁

類別	額定冷卻能力(額定電功率:1kW以下)		型式	額定冷卻能力 (EER) Kw/h·W (EFL/W·h)	能源效率比 (EER)	實施日期
	適用範圍 CNS3415	適用範圍 CNS3415及 CNS3444				
單體式	低於 2,000Cal/h	低於2.3kW	一般型式- 變頻式 (60Hz)	2.33(2.3)	2.71	民國九十一年一月一日
	2,000Cal/h 以上、 3,550Cal/h 以下	2.3kW以上 4.1kW以下	一般型式- 變頻式 (60Hz)	2.38(2.44)	2.77	
	高於 3,550Cal/h 以下	高於4.1kW	一般型式- 變頻式 (60Hz)	2.28(2.89)	2.60	
分離式	低於 3,550Cal/h 以下	4.1kW以下	一般型式 (60Hz)	2.52(2.12)	2.87	民國九十二年一月一日
	高於 3,550Cal/h 以下	4.1kW以下	一般型式- 變頻式 (60Hz)	2.38(2.44)	2.77	
	高於 3,550Cal/h 以下	高於4.1kW	一般型式- 變頻式 (60Hz)	2.59(3.2)	2.73	

2.1.3 轉換效率與能源效率

- 能源效率實例
- 冷氣機能源效率分級標示
- 資料來源：經濟部能源局網頁

機種	冷氣能力分類 (kW)	能源效率比 (W/W)				
		5級	4級	3級	2級	1級
單體式	各等級基準	5級	4級	3級	2級	1級
	2.2以下	低於 2.95	2.95以上，低於 3.10	3.10以上，低於 3.25	3.25以上，低於 3.40	3.40以上
分離式	4.0以下	低於 3.45	3.45以上，低於 3.69	3.69以上，低於 3.93	3.93以上，低於 4.17	4.17以上
	高於 4.0 - 7.1 以下	低於 3.20	3.20以上，低於 3.42	3.42以上，低於 3.65	3.65以上，低於 3.87	3.87以上
分離式	高於 7.1 - 10.0 以下	低於 3.15	3.15以上，低於 3.37	3.37以上，低於 3.59	3.59以上，低於 3.81	3.81以上
	高於 7.1	低於 3.15	3.15以上，低於 3.37	3.37以上，低於 3.59	3.59以上，低於 3.81	3.81以上

2.1.3 轉換效率與能源效率

- 能源效率實例
- 電冰箱能源因數值(EF)標準
- 資料來源：經濟部能源局網頁

實施階段	型式	能源因數值 (E.F.) 公升/千瓦小時/日	實施日期
第一階段	風扇式冷凍冷藏電冰箱	E.F.=V/(0.061V+40.0)	民國89年7月1日起
	直立式冷凍冷藏電冰箱	E.F.=V/(0.033V+30.9)	
	冷藏式電冰箱	E.F.=V/(0.033V+24.7)	
第二階段	低於400公升風扇式冷凍冷藏電冰箱	E.F.=V/(0.058V+38.2)	民國92年1月1日起
	400公升以上風扇式冷凍冷藏電冰箱	E.F.=V/(0.054V+35.2)	
	低於400公升直立式冷凍冷藏電冰箱	E.F.=V/(0.050V+29.6)	
	400公升以上直立式冷凍冷藏電冰箱	E.F.=V/(0.046V+27.2)	
	冷藏式電冰箱	E.F.=V/(0.050V+23.7)	

2.1.3 轉換效率與能源效率

- 能源效率實例
- 電冰箱能源效率分級標示
- 資料來源：經濟部能源局網頁

型式	5級	4級	3級	2級	1級
等級內容：低於 400 公升風扇式冷凍冷藏電冰箱	E.F.=V/(0.033V+24.3)	中華民國一百零一年一月一日實施	中華民國一百零一年一月一日實施	中華民國一百零一年一月一日實施	中華民國一百零一年一月一日實施
等級內容：100 公升以上風扇式冷凍冷藏電冰箱	E.F.=V/(0.031V+21.0)	低於中華民國一百零一年一月一日實施	中華民國一百零一年一月一日實施	中華民國一百零一年一月一日實施	中華民國一百零一年一月一日實施
等級內容：低於 400 公升直立式冷凍冷藏電冰箱	E.F.=V/(0.033V+19.7)	日實施	中華民國一百零一年一月一日實施	中華民國一百零一年一月一日實施	中華民國一百零一年一月一日實施
等級內容：100 公升以上直立式冷凍冷藏電冰箱	E.F.=V/(0.029V+17.0)	日實施	中華民國一百零一年一月一日實施	中華民國一百零一年一月一日實施	中華民國一百零一年一月一日實施
冷藏式電冰箱	E.F.=V/(0.033V+15.8)	日實施	中華民國一百零一年一月一日實施	中華民國一百零一年一月一日實施	中華民國一百零一年一月一日實施

2.1.3 轉換效率與能源效率

- 能源效率實例
- 除濕機能源效率基準
- 資料來源：經濟部能源局網頁

額定除濕能力 (公升/日)	能源因數值基準 (公升/千瓦小時)
六以下	1.10
高於六，十二以下	1.20
高於十二	1.40

2.1.3 轉換效率與能源效率

- 能源效率實例
- 除濕機能源效率分級標示
- 資料來源：經濟部能源局網頁

等級基準	能源因數值·E.F.(公升/千瓦小時)				
	5級	4級	3級	2級	1級
額定除濕能力(公升/日)					
六以下	低於 1.21	1.21 以上，低於 1.32	1.32 以上，低於 1.43	1.43 以上，低於 1.54	1.54 以上
高於六，十二以下	低於 1.32	1.32 以上，低於 1.44	1.44 以上，低於 1.56	1.56 以上，低於 1.68	1.68 以上
高於十二	低於 1.54	1.54 以上，低於 1.68	1.68 以上，低於 1.82	1.82 以上，低於 1.96	1.96 以上

101年大專資源中心K-12能源科技教育種子教師培訓教材

B2 能源轉換與能源技術 I

2.2 能源應用技術

2.2 能源應用技術

- 2.2.1 熱機原理與應用
- 2.2.2 冷凍機原理與應用
- 2.2.3 發電原理與應用

2.2.1 熱機原理與應用

- 熱機原理
 - 熱機是熱轉變為功的機械裝置，主要原理是利用可以循環的工作流體（水或空氣），由加熱裝置（鍋爐）加熱成高壓高溫的蒸汽，藉以轉動渦輪機，並輸出動力
 - 熱機僅能將一部分熱轉換成機械功，其餘需對外排熱

2.2.1 熱機原理與應用

- 熱機原理
 - 簡單熱機循環概念
 - 重覆(1)~(5)動作，即可將熱轉成機械功

2.2.1 熱機原理與應用

- 熱機原理
 - 蒸汽動力循環

2.2.1 熱機原理與應用

- 熱機原理
- 熱機之熱效率
 - 熱效率是熱機性能的量度，定義為輸入熱量轉換成淨輸出功的比例

$$\eta_{th} = \frac{W_{net, out}}{Q_H} = \frac{Q_H - Q_L}{Q_H} = 1 - \frac{Q_L}{Q_H}$$

$$\eta_{th} \leq 1$$

2.2.1 熱機原理與應用

- 熱機原理
- 卡諾熱機與卡諾熱機之熱效率
- 以可逆卡諾循環之假想熱機稱為卡諾熱機（可逆熱機）
- 任何熱機不論是可逆或不可逆，其熱效率皆為

$$\eta_{th} = 1 - \frac{Q_L}{Q_H}$$

$$\left(\frac{Q_L}{Q_H}\right)_{rev} = \frac{T_L}{T_H}$$

- 對於可逆過程
- 設 $\eta_{th, rev} = \eta_{th, carnot} = 1 - \frac{T_L}{T_H}$

2.2.1 熱機原理與應用

- 熱機應用
- 內燃機
 - 燃燒過程是在汽缸內部進行，利用燃燒產生的氣體膨脹，推動熱機產生機械能
 - 由於設計方式不同（或使用燃料不同），其動作原理及構造有所不同
 - 日常生活主要使用往復式內燃機，包括汽油引擎（四行程及二行程）與柴油引擎

2.2.1 熱機原理與應用

- 熱機應用
- 往復運動學術用語
 - TDC：上死點(top dead center)· 活塞移至使汽缸留有最小容積(V_{min})的位置
 - BDC：下死點(Bottom dead center)· 活塞移至使汽缸留有最大容積(V_{max})的位置
 - clearance volume：餘隙容積· 活塞移至使汽缸留有最小容積(V_{min})
 - displacement volume：移動容積· 活塞移動容積· 即 $V_{max} - V_{min}$

2.2.1 熱機原理與應用

- 熱機應用
- 往復運動學術用語示意圖

2.2.1 熱機原理與應用

- 熱機應用
- 往復式內燃機 ~ 汽油引擎 ~ 四行程引擎
 - 進氣行程：活塞往下，進氣閥打開，將空氣與燃料的混合氣吸入汽缸中
 - 壓縮行程：進氣閥關閉，活塞往上，壓縮混合氣使其體積變小
 - 膨脹行程：點火壓縮混合氣，使氣體燃燒爆炸膨脹，推動活塞往下
 - 排氣行程：排氣閥打開，活塞再度往上，將燃燒後的廢氣排出汽缸

2.2.1 熱機原理與應用

- 熱機應用
- 四行程引擎原理圖

教育部能源國家型科技人才培育計畫
MOE Energy Education Program

2.2.1 熱機原理與應用

- 熱機應用
- 往復式內燃機 ~ 汽油引擎 ~ 二行程引擎
 - 第一行程 (進氣 + 壓縮) : 吸入空氣與燃料的混合氣, 同時活塞上升壓縮混合氣
 - 第二行程 (膨脹 + 排氣) : 混合氣點火爆炸膨脹, 推動活塞往下, 同時排出燃燒後的廢氣
 - 二行程引擎需要的活動零件比四行程引擎少, 構造較輕巧
 - 二行程引擎容易將未燃的氣體排出, 造成燃料的浪費和空氣的污染

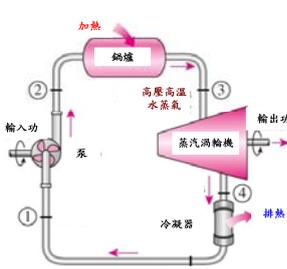


49

教育部能源國家型科技人才培育計畫
MOE Energy Education Program

2.2.1 熱機原理與應用

- 熱機應用
- 外燃機
 - 燃燒 (加熱) 過程是在外部進行, 利用燃燒 (加熱) 產生的熱能, 推動熱機產生機械能
 - 如蒸汽機引擎, 燃料在熱機外部燃燒, 將水變為蒸汽後, 再將蒸汽導入熱機內以推動熱機



50

教育部能源國家型科技人才培育計畫
MOE Energy Education Program

2.2.2 冷凍機原理與應用

- 冷凍機與熱泵原理
 - 熱傳遞的方向為「高溫至低溫」, 此過程不需任何裝置運作 (自然發生)
 - 若要把熱傳遞方向改變為「低溫至高溫」, 則需特殊裝置, 即使用「冷凍機」
 - 冷凍機形成的冷凍循環, 其工作流體為「冷媒」, 最常使用的循環為蒸汽壓縮冷凍循環

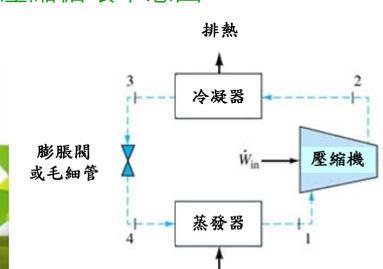


51

教育部能源國家型科技人才培育計畫
MOE Energy Education Program

2.2.2 冷凍機原理與應用

- 冷凍機與熱泵原理
- 蒸汽壓縮循環示意圖

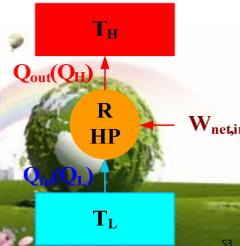


52

教育部能源國家型科技人才培育計畫
MOE Energy Education Program

2.2.2 冷凍機原理與應用

- 冷凍機與熱泵原理
- 熱泵亦是一種由低溫至高溫傳遞熱量的裝置。事實上, 冷凍機與熱泵係以相同循環操作, 不同的是目的
 - 冷凍機: 將熱在 T_H 移走, 使 T_L 保持低溫
 - 熱泵: 將熱在 T_L 移入, 使 T_H 保持高溫



53

教育部能源國家型科技人才培育計畫
MOE Energy Education Program

2.2.2 冷凍機原理與應用

- 冷凍機與熱泵原理
 - 冷凍機與冷氣機是相同的動作原理。冷凍機是保持冷凍 (藏) 庫內低溫, 冷氣機是保持房間內低溫, 兩者的差異是所控制的溫度不同
 - 熱泵其實就是暖氣機, 是保持房間內高溫
 - 一般所謂空調機, 應是同時具備冷氣機與暖氣機功能, 可以因應季節作室內溫度控制



54

2.2.2 冷凍機原理與應用

- 冷凍機與熱泵原理
- 冷凍機之COP
 - 冷凍機之效率以性能係數(Coefficient of performance)表示之，即COP_R

$$COP_R = \frac{Q_{in}}{W_{net, in}} = \frac{Q_{in}}{Q_{out} - Q_{in}} = \frac{1}{\frac{Q_{out}}{Q_{in}} - 1}$$

55

2.2.2 冷凍機原理與應用

- 冷凍機與熱泵原理
- 熱泵之COP
 - 熱泵之效率亦以性能係數表之，COP_{HP}

$$COP_{HP} = \frac{Q_{out}}{W_{net, in}} = \frac{Q_{out}}{Q_{out} - Q_{in}} = \frac{1}{1 - \frac{Q_{in}}{Q_{out}}}$$

56

2.2.2 冷凍機原理與應用

- 冷凍機與熱泵原理
- 冷凍機之應用實例 ~ 電冰箱系統圖

57

2.2.2 冷凍機原理與應用

- 冷凍機與熱泵原理
- 冷氣機之應用實例 ~ 冷氣機系統圖

58

2.2.3 發電機原理與應用

- 電磁效應
 - 法拉第發現一導線與磁場作相對運動時，導線兩端將產生電動勢，此現象稱為電磁感應
 - 法拉第磁感應定律：當磁鐵與線圈有一相對運動時，或線圈周圍之磁場發生變化時，均會在線圈的兩端產生電壓，此感應電動勢與磁通的變化率及線圈的匝數成正比

$$e = N \frac{\Delta\phi}{\Delta t} \quad \text{感應電勢} = \text{匝數} \times \frac{\Delta\text{磁通}}{\Delta\text{時間}}$$

59

2.2.3 發電機原理與應用

- 電磁效應
- 楞次定律：電磁感應中，感應電動勢所產生之感應電流方向，係反抗磁通變化方向

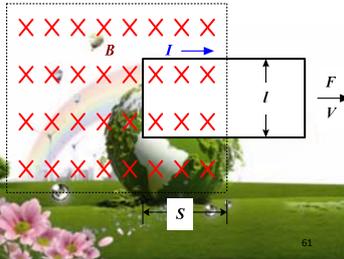
$$e = N \frac{\Delta\phi}{\Delta t} \quad \text{感應電勢} = \text{匝數} \times \frac{\Delta\text{磁通}}{\Delta\text{時間}}$$

- 式中，負號代表感應電動勢產生之感應電流，具有反對感應作用之產生，亦即反對原有磁通變化之方向

60

2.2.3 發電機原理與應用

- 發電機原理
- 佛來銘右手定律
- 若有1匝長方形導體，以 V 的速度於磁場中運動，此時：
- 磁通量 $\phi = BA$
- 又 $A = l \times S$
- 故 $\phi = B \times l \times S$



2.2.3 發電機原理與應用

- 發電機原理
- 佛來銘右手定律
- 由楞次定律得知 $e = -N \frac{\Delta\phi}{\Delta t} = -N \frac{\Delta(B \cdot l \cdot S)}{\Delta t}$
- 因 B, l 為常數，且 $N=1$
- 故 $e = -B \cdot l \cdot \frac{\Delta S}{\Delta t} = -B \cdot l \cdot V$
- 其中 B, l, V 三者互相垂直
- B, V 兩者為向量
- 若 B, V 兩者並非垂直，則 $e = -B \cdot l \cdot V \sin \theta$



2.2.3 發電機原理與應用

- 水力發電原理
 - 利用位於高處的水往低處流動時，位能轉換為動能，此時裝置在水道低處的水渦輪機，因水流的動能推動葉片而轉動轉換成機械能，如果將水渦輪機連接發電機，就能帶動發電機的轉動，產生電力



2.2.3 發電機原理與應用

- 水力發電原理
- 理論水力 $P = 9.8 \times Q \times H$
 - P ：理論水力，單位為 kW 或 kJ/s
 - Q ：流量，單位為 m^3/s
 - H ：高低差或落差，單位為 m
- 發電出力 (電廠裝置容量)
 - 單位為 kW 或 kJ/s
- 發電量
 - 單位為 kWh



2.2.3 發電機原理與應用

- 水力發電效率
 - 水渦輪機效率：視水渦輪機型式不同而各有差異，一般介於0.79~0.95
 - 發電機效率：視發電機型式不同而各有差異，一般介於0.90~0.97
 - 實際發電出力 = 理論水力 \times 水輪機效率 \times 發電機效率



2.2.3 發電機原理與應用

- 水力發電應用實例
- 慣常水力發電
 - 於河流上游攔水引至下游發電廠發電後，發電水量經水輪機後，直接放流至下游，稱為慣常水力發電



2.2.3 發電機原理與應用

- 水力發電應用實例

慣常水力發電流程圖

資料來源：台灣電力公司

2.2.3 發電機原理與應用

- 水力發電應用實例
- 抽蓄水力發電
 - 抽蓄機組利用離峰時剩餘之電能，抽取下池之水貯存於上池，而在尖峰時利用上池放水發電，以補充系統尖峰發電量之不足。

2.2.3 發電機原理與應用

- 水力發電應用實例

抽蓄水力發電流程圖

資料來源：台灣電力公司

2.2.3 發電機原理與應用

- 水力發電應用實例
- 水路式發電
 - 因地質因素不適合興建高壩之溪流，興建於較低之攔水堰以攔蓄溪流量，由取水口取水經沉砂池與引水路至前池（平水池）後，再銜接壓力鋼管進入電廠水輪機後，由尾水路排回下游溪流。
 - 因攔水堰上游形成的容積不大，無法蓄存尖峰時間之發電水量，須配合河川當日流量以24小時持續發電，又稱為川流式電廠。

2.2.3 發電機原理與應用

- 水力發電應用實例
- 水路式發電

資料來源：台灣電力公司

2.2.3 發電機原理與應用

- 水力發電應用實例
- 水庫式發電
 - 可調節每日之水流量者稱為調整池
 - 可調節四季之水流量者稱為水庫
 - 由壩上游側設發電進水口引水經埋設於壩身內的壓力鋼管至設於壩下游側（或直接設在水壩內）發電廠發電後排回下游溪流
 - 較水路式有較大水庫容量，可將每日離峰時間（離峰電價較低）河川水量蓄存集中至尖峰時間（尖峰電價較高）發電，增加發電效益

2.2.3 發電機原理與應用

- 水力發電應用實例
- 水庫式發電

資料來源：台灣電力公司

2.2.3 發電機原理與應用

- 水力發電應用實例
- 水庫水路式發電
 - 為前二式之混合型
 - 利用高壩蓄水後在接近水壩上游山壁設一發電進水口經引水道及平壓塔，銜接壓力鋼管進入電廠水輪機後，由尾水路排回下游溪流
 - 此種型式之電廠可設於距壩趾高程更低之下游，較水庫式發電獲得更高水位差（落差），增加出力及發電量

2.2.3 發電機原理與應用

- 水力發電應用實例
- 水庫水路式發電

資料來源：台灣電力公司

2.2.3 發電機原理與應用

- 火力發電原理
 - 利用燃燒煤炭、石油、液化天然瓦斯等燃料所產生的熱能，讓水受熱而形成蒸汽，在不斷受熱下使水變成高壓高溫的蒸汽，然後運用此高溫高壓蒸汽的能量，推動汽渦輪機運轉帶動發電機發電

2.2.3 發電機原理與應用

- 火力發電原理
- 火力發電效率參數
- 廠熱效率 η_{gen} ，單位：%

$$\eta_{gen} = \frac{P_g}{mF \times Q_{grpas}} \times 100\%$$

- P_g ：毛發電量，單位：MWh
- mF ：燃料燃燒速率，單位：kg/s
- Q_{grpas} ：燃料在壓力燃燒時總發熱量，單位：MJ/kg 或 kcal/kg

2.2.3 發電機原理與應用

- 火力發電原理
- 火力發電效率參數
- 淨廠熱效率 η_{so} ，單位：%

$$\eta_{so} = \frac{P_n}{mF \times Q_{grpas}} \times 100\%$$

- P_n ：淨發電量，單位：MWh
- P_a ：外售電量，MWh
- $P_n = P_g - P_a$

2.2.3 發電機原理與應用

- 火力發電原理
- 火力發電效率參數
- 廠熱耗率GHR · 單位：kcal/kWh

$$GHR = \frac{mF \times Q_{grpas}}{P_g}$$

- 淨廠熱耗率SHR · 單位：kcal/kWh

$$SHR = \frac{mF \times Q_{grpas}}{P_n}$$

2.2.3 發電機原理與應用

- 火力發電應用實例
 - 汽力機組發電：以煤及重油為燃料
 - 複循環機組發電：以天然氣為燃料
 - 柴油機組發電：以重油之柴油為燃料

2.2.3 發電機原理與應用

- 火力發電應用實例

汽力機組發電流程

資料來源：台灣電力公司

2.2.3 發電機原理與應用

- 火力發電應用實例

複循環發電流程

資料來源：台灣電力公司

2.2.3 發電機原理與應用

- 火力發電應用實例

柴油機組發電流程

資料來源：台灣電力公司

2.2.3 發電機原理與應用

- 核能發電原理
 - 核能發電的原理與火力發電相似
 - 核能發電是利用鈾燃料進行核分裂連鎖反應時所產生的熱，將水加熱成高溫高壓的蒸汽，用以推動汽輪機，再帶動發電機發電

教育部能源專業科技人才培育計畫
MOE Energy Education Program

2.2.3 發電機原理與應用

- 核能發電應用實例
- 沸水式核能發電系統
- 壓水式核能發電系統



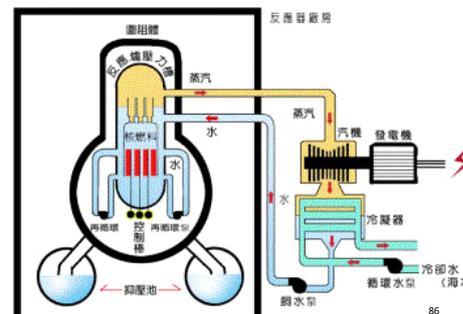
85

教育部能源專業科技人才培育計畫
MOE Energy Education Program

2.2.3 發電機原理與應用

- 核能發電應用實例

沸水式電廠流程



資料來源：台灣電力公司

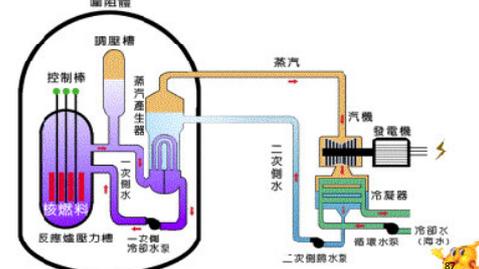
86

教育部能源專業科技人才培育計畫
MOE Energy Education Program

2.2.3 發電機原理與應用

- 核能發電應用實例

壓水式電廠流程



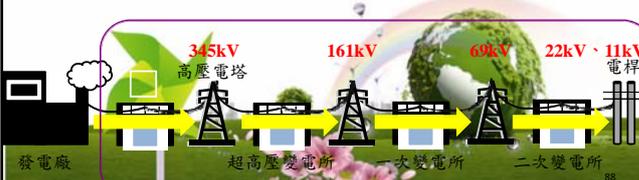
資料來源：台灣電力公司

87

教育部能源專業科技人才培育計畫
MOE Energy Education Program

2.2.3 發電機原理與應用

- 電力系統與輸配電設備
- 電力系統：分為發電系統、供電系統以及配電系統
- 電力輸配線系統：由供電系統與配電系統組成



88

教育部能源專業科技人才培育計畫
MOE Energy Education Program

2.2.3 發電機原理與應用

- 電力系統與輸配電設備
- 輸配線路
 - 電塔：係指高壓電塔，供長途傳送電力用
 - 電纜：傳輸和分配大功率電能的線路，可分為架空線路與地下電纜
 - 礙子：隔開電線的絕緣體，以避免電線交叉導電，確保輸電線通暢



89

教育部能源專業科技人才培育計畫
MOE Energy Education Program

2.2.3 發電機原理與應用

- 電力系統與輸配電設備
- 變電所
 - 利用變壓器將發電廠產出電力的電壓逐次調降，並搭配其他設備
 - 為電力系統及輸配線系統核心所在，故其內部設備之作業可靠度對電力供應品質影響重大



90

教育部能源國家型科技人才培育計畫
MOE Energy Education Program

2.2.3 發電機原理與應用

- 電力系統與輸配電設備
- 變電所主要設備
 - 變壓器：降低電壓以供應需求
 - 斷路器：電力系統中最重要之保護設備，用作短路保護和防止嚴重超載
 - 電容器：儲存並改善電壓，以減少線路損失
 - 氣體絕緣開關：開啟或關閉高壓輸電線負載電流，當輸電線發生故障，能迅速斷電

91

教育部能源國家型科技人才培育計畫
MOE Energy Education Program

2.2.3 發電機原理與應用

- 電力系統與輸配電設備
- 台灣電力公司電力系統
 - 台灣電廠發電機電壓為11~30KV，為增加輸電能力，將電壓昇壓後輸入161kV之一次輸電線路，南北縱貫長途輸送電壓為345kV

92

教育部能源國家型科技人才培育計畫
MOE Energy Education Program

2.2.3 發電機原理與應用

- 電力系統與輸配電設備
- 台灣電力公司輸配電系統圖

資料來源：台灣電力公司

93

教育部能源國家型科技人才培育計畫
MOE Energy Education Program

2.2.3 發電機原理與應用

- 電力系統與輸配電設備
- 台灣電力公司電力系統圖

資料來源：台灣電力公司

94

教育部能源國家型科技人才培育計畫
MOE Energy Education Program

101年大專資源中心K-12能源科技教育種子教師培訓教材

B2 能源轉換與能源技術 I

2.3 燃料與現代社會

95

教育部能源國家型科技人才培育計畫
MOE Energy Education Program

2.3 燃料與現代社會

- 2.3.1 燃料與能量
- 2.3.2 燃料的開採與生產
- 2.3.3 核燃料與現代社會
- 2.3.4 化石燃料與現代社會

96

2.3.1 燃料與能量

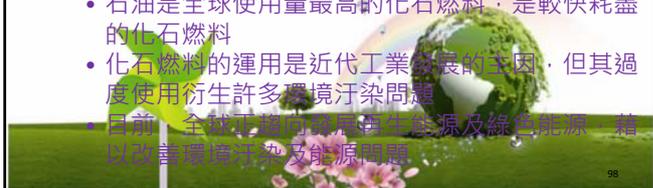
- 燃料
- 燃料是一種透過化學反應或核反應，釋放本身內能以供使用的物質
- 燃料可分成天然燃料與人工燃料
- 天然燃料由自然界獲得並可以直接使用，如木柴、煤等
- 人工燃料是經加工後獲得的燃料，如煤氣、燃油等



97

2.3.1 燃料與能量

- 天然燃料
- 化石燃料
 - 化石燃料是一種碳氫化合物或其衍生物，包括煤炭、石油和天然氣等
 - 石油是全球使用量最高的化石燃料，是較快耗盡的化石燃料
 - 化石燃料的運用是近代工業發展的主因，但其過度使用衍生許多環境汙染問題
 - 目前，全球正趨向發展再生能源及綠色能源，藉以改善環境汙染及能源問題



98

2.3.1 燃料與能量

- 天然燃料
- 生質燃料
 - 泛指由生物質組成或萃取固體、液體或氣體。所謂的生物質係指有機活體或者有機活體新陳代謝的產物，例如牛糞
 - 主要來源：美國的玉米和黃豆；歐洲的亞麻籽和油菜籽；巴西的甘蔗；東南亞的椰子油
 - 工業、農業、林業、一般家庭製造出可生物分解的產物都可以作為原料，例如：稻草、麥稈、稻糠、木材、糞便、廢水和廚餘...等



99

2.3.1 燃料與能量

- 核燃料
- 核分裂
 - 以重元素（原子序較大者，例如鈾、鈾）吸收中子分裂成為較輕元素（原子序較小者）及數個中子，並釋出大量能量
 - 核能發電所使用的核燃料為鈾235，其含量通常很低，約在3-5%
 - 由核分裂產生之電力，目前約佔全世界總電力供應量之13%
 - 1公噸鈾進行核分裂，其所釋放出之總能量約等於250萬公噸煤之燃燒熱



100

2.3.1 燃料與能量

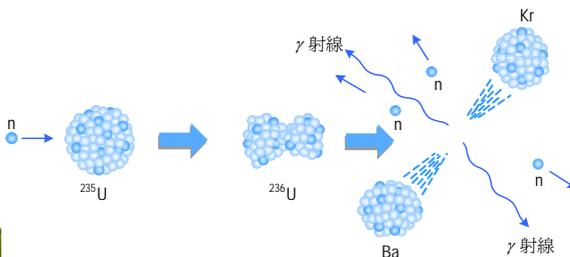
- 核燃料
- 核分裂
 - 核能發電的理論基礎為愛因斯坦的質能互換公式，而如欲產生核分裂，其首要條件就是產生連鎖反應。連鎖反應係以慢中子撞擊鈾235使其產生核分裂而生成鋇(Ba)及氪(Kr)，典型的核分裂反應(反應式有多種可能)如下：



101

2.3.1 燃料與能量

- 核燃料
- 核分裂-連鎖反應



102

MOE Energy Education Program

2.3.1 燃料與能量

- 核燃料
- 核融合
 - 以兩輕元素（如氘及氚）融合產生新元素（氦及1個中子），並釋放出大量能量之反應
 - 核融合反應是星球發光發熱的主要能量來源，以太陽為例，核融合主要發生於太陽核心，而其溫度即高達 2×10^7 K
 - 核融合技術目前仍無法商業化，一旦融合反應發展成功，將造成一源新的能源革命

103

MOE Energy Education Program

2.3.1 燃料與能量

- 核燃料
- 核融合
 - 氘與氚的反應，稱為D-T反應，反應式為：
 ${}^2_1\text{H} + {}^3_1\text{H} \rightarrow {}^4_2\text{He} + n + 17.6 \text{ MeV}$
 - 氘與氘的反應，稱為D-D反應，反應式為：
 ${}^2_1\text{H} + {}^2_1\text{H} \rightarrow {}^3_1\text{H} + {}^1_1\text{H} + 4.0 \text{ MeV}$
 ${}^2_1\text{H} + {}^2_1\text{H} \rightarrow {}^3_2\text{He} + n + 3.2 \text{ MeV}$

104

MOE Energy Education Program

2.3.1 燃料與能量

- 核燃料
- 「核融合」視為未來能源的原因
 - 氘在水中含量甚豐，每6,500氘原子就含有1個
 - 每1克氘融合所釋放的能量相當於燃燒2,400加侖的汽油
 - 從水中分離出氘的技術並不特別困難或昂貴
 - 核融合最終的產物是氦、氘及中子，所以不需要擔心核廢料的問題

105

MOE Energy Education Program

燃料的熱值表

能源產品	單位 Unit	熱值 (千卡) Heating Value (kcal)	公升油當量LOE (9,000千卡 / 公升) (9,000kcal / liter)	Energy Product
煤	公升(kg)	6,200	0.6889	Bituminous Coal-Coking Coal
煤	公升(kg)	7,200(至90年止)	0.8000	Indigenous Imported
煤	公升(kg)	7,360(自91年起)	0.8200	Steel (since 1991)
煤	公升(kg)	6,800	0.7556	Others
煤	公升(kg)	6,200	0.6889	Bituminous Coal-Steam Coal
煤	公升(kg)	7,190	0.7989	Indigenous Imported
煤	公升(kg)	6,400	0.7111	Steel
煤	公升(kg)	7,100	0.7889	Others
煤	公升(kg)	5,900	0.6556	Anthracite
煤	公升(kg)	7,000	0.7778	Sub-bituminous Coal
煤	公升(kg)	3,800	0.4222	Coke Oven Coke
煤	公升(kg)	4,200	0.4667	Patent Fuel
煤	公升(kg)	777	0.0863	Coke Oven Gas
煤	公升(kg)	1,859	0.2077	Steel Furnace Gas
煤	公升(kg)	9,000	1.0000	Crude Oil
煤	公升(kg)	9,000	1.0000	Additives
煤	公升(kg)	8,900	0.9889	Liquid Oil
煤	公升(kg)	9,000	1.0000	Refinery Gas
煤	公升(kg)	6,000(至79年止)	0.6667	Liquefied Petroleum Gas (LPG) (since 1990)
煤	公升(kg)	6,635(自80年起)	0.7372	LPG (since 1991)
煤	公升(kg)	6,520	0.7244	Propane Air (PA)
煤	公升(kg)	6,700	0.7444	Natural Gasoline
煤	公升(kg)	7,800	0.8667	Naphtha
煤	公升(kg)	7,800	0.8667	Motor Gasoline
煤	公升(kg)	7,500	0.8333	Aviation Gasoline
煤	公升(kg)	8,000	0.8889	Jet Fuel

資料來源：經濟部（2010），能源統計手冊

106

MOE Energy Education Program

燃料的熱值表

能源產品	單位 Unit	熱值 (千卡) Heating Value (kcal)	公升油當量LOE (9,000千卡 / 公升) (9,000kcal / liter)	Energy Product
煤油	公升(liter)	8,500	0.9444	Kerosene
柴油	公升(liter)	8,800 (至87年止)	0.9778	Diesel Oil (since 1998)
柴油	公升(liter)	8,400 (自88年起)	0.9333	Diesel Oil(since 1999)
燃料油	公升(liter)	9,200 (至87年止)	1.0222	Fuel Oil (since 1995)
燃料油	公升(liter)	9,600 (自88年起)	1.0667	Fuel Oil(since 1999)
白蘭油	公升(liter)	9,000	1.0000	White Spirit
潤滑油	公升(liter)	9,000	1.0000	Lubricants
柏油	公升(liter)	10,000	1.1111	Asphalts
溶劑油	公升(liter)	8,300	0.9222	Solvents
石蠟	公升(liter)	9,000	1.0000	Paraffin Wax
石油	公升(liter)	8,200	0.9111	Petroleum Coke
其他石油產品	公升(liter)	9,000	1.0000	Other Petroleum Products
(進口)液化天然氣	立方公尺(m ³)	8,100(至79年止)	0.9000	(Indigenous) Natural Gas (since 1990)
(進口)液化天然氣	立方公尺(m ³)	8,000(自80年起)	0.8889	(Indigenous) Natural Gas (since 1991)
(進口)液化天然氣	立方公尺(m ³)	9,000	1.0000	(Imported) Liquefied Natural Gas
水力發電	度(kWh)	860	0.0956	Hydro Power
核能發電	度(kWh)	2,006	0.2296	Nuclear Power
火力發電	度(kWh)	火力發電廠平均熱效率	average efficiency	Thermal Power
地熱發電	度(kWh)	8,000	0.8889	Geothermal Power
太陽能發電	度(kWh)	860	0.0956	Solar Photovoltaic
風力發電	度(kWh)	860	0.0956	Wind Power
電力消費量	度(kWh)	火力發電廠平均熱效率	Thermal	Electricity Consumption
太陽熱能	平方公尺·月 m ² ·month	39,760	4.4200	Solar Thermal

註：液化石油氣：1公升 = 1.786公升（至82年止）
 液化天然氣：1公升(液態) = 1.320立方公尺(氣態) = 2.207公升(液態)
 = 1.818公升（一般）
 = 1.867公升（標準）
 丙烷混合氣：1公升 = 1.095立方公尺 = 1.786公升（自83年起）

資料來源：經濟部（2010），能源統計手冊

107

MOE Energy Education Program

2.3.2 燃料的開採與生產

- 燃料開採與生產相關名詞
 - 蘊藏量：係指已被發現且可利用當今技術開採而獲利的物質或資源之總量
 - 生產量：係指已被開採的物質或資源之產出量
 - 開採年限：即蘊藏量/產量

108

教育部能源國家型科技人才培育計畫
MOE Energy Education Program

2.3.2 燃料的開採與生產

- 世界石油蘊藏量、產量及開採年限

地區	蘊藏量 (十億桶)	生產量 (百萬桶/日)	開採年限
北美洲	73.3	13.4	15.0
中南美洲	198.9	6.8	80.6
歐洲及歐亞	136.9	17.7	21.2
中東	754.2	24.4	84.8
非洲	127.7	9.7	36.0
亞太地區	42.2	8.0	14.4

資料來源: BP (2010) - Statistic Review of World Energy

教育部能源國家型科技人才培育計畫
MOE Energy Education Program

2.3.2 燃料的開採與生產

- 世界煤炭蘊藏量、產量及開採年限

地區	蘊藏量 (十億噸)	生產量 (億公噸油當量/年)	開採年限
北美洲	246.1	5.78	235
中南美洲	15.0	0.53	181
歐洲及歐亞	272.2	4.20	236
中東與非洲	33.4	1.44	131
亞太地區	259.3	22.13	59

資料來源: BP (2010) - Statistic Review of World Energy

教育部能源國家型科技人才培育計畫
MOE Energy Education Program

2.3.2 燃料的開採與生產

- 世界天然氣蘊藏量、產量及開採年限

地區	蘊藏量 (兆m ³)	生產量 (千億m ³ /年)	開採年限
北美洲	9.2	8.1	11.3
中南美洲	8.1	1.5	53.2
歐洲及歐亞	63.1	9.7	64.8
中東	76.2	4.1	>100
非洲	14.8	2.0	72.4
亞太地區	16.2	4.4	37.0

資料來源: BP (2010) - Statistic Review of World Energy

教育部能源國家型科技人才培育計畫
MOE Energy Education Program

2.3.2 燃料的開採與生產

- 世界鈾蘊藏量、產量及開採年限

地區	蘊藏量 (萬公噸)	生產量 (千公噸/年)	開採年限
北美洲	69.2	11.6	59.5
中南美洲	27.9	0.35	>200
歐洲及歐亞	134.7	21.2	63.6
非洲	85.1	8.4	100.9
亞太地區	197.3	9.1	217.5

資料來源: BP (2010) - Statistic Review of World Energy

教育部能源國家型科技人才培育計畫
MOE Energy Education Program

2.3.2 燃料的開採與生產

- 世界燃料(初級能源)整體概況
- 根據英國石油公司 (BP) 於2010年之統計報告中指出至2009年底年世界初級能源推估：全球石油蘊藏量約可維持42年使用量，天然氣約60年，煤約133年，鈾約106年

	蘊藏量	產量	開採年限
石油	13,331 億桶	7,995 萬桶/日	42
天然氣	187.49 兆m ³	2.987 兆m ³ /年	60
煤炭	8260.01 億公噸	34,086 萬公噸/年	133
鈾	540.4 萬公噸	5.08 萬公噸/年	106

資料來源: BP (2010) - Statistic Review of World Energy

教育部能源國家型科技人才培育計畫
MOE Energy Education Program

2.3.3 核燃料與現代社會

- 核能使用與現代社會
- 相較於化石燃料，核能儲存空間甚小，不會排放空氣污染物至大氣中
- 核能發電CO₂排放量少
- 鈾的開採年限尚久且價格合理
- 至2010年10月，全球共有441座核反應爐運轉，提供了374,692 MW的電力容量 (electrical capacity)

114

教育部能源國家科技人才培育計畫
MOE Energy Education Program

2.3.3 核燃料與現代社會

- 核能使用與現代社會
- 全球核反應爐座數

Number of Reactors in Operation Worldwide

Country	Number of Reactors
UNITED STATES OF AMERICA	104
FRANCE	58
JAPAN	54
RUSSIAN FEDERATION	42
KOREA, REPUBLIC OF	25
INDIA	22
UNITED KINGDOM	21
CHINA	20
GERMANY	19
NETHERLANDS	18
CHINA, PEOPLES REPUBLIC OF	17
SWEDEN	16
BELGIUM	15
CHINA, TAIWAN	14
CZECH REPUBLIC	13
FINLAND	12
HUNGARY	11
SLOVAK REPUBLIC	10
ARGENTINA	9
SPAIN	8
BULGARIA	7
MEXICO	6
PROTESTANT	5
ROMANIA	4
SOUTH AFRICA	3
ATLANTA	2
NETHERLANDS	1
SLOVENIA	1

World Total: 441 reactor units

資料來源: <http://www.euronuclear.org/info/encyclopedia/n/nuclear-power-plant-world-wide.htm>

115

教育部能源國家科技人才培育計畫
MOE Energy Education Program

2.3.3 核燃料與現代社會

- 核能使用與現代社會
- 目前全球共有60座核反應爐在16個國家興建中未來將加入運轉並產生58.6 GW的電力容量(electrical capacity)
- 台灣目前有3座核電廠 (6座核反應爐) 運轉中，第4座核電廠 (2座核反應爐) 正興建中
- 核能的應用因目的的不同，而形成和平 (核電) 及戰爭 (核武) 重要的工具

116

教育部能源國家科技人才培育計畫
MOE Energy Education Program

2.3.3 核燃料與現代社會

- 核能使用與現代社會
- 全球興建中核反應爐座數

Number of Reactors under Construction Worldwide

Country	Number of Reactors
CHINA, Mainland	23
RUSSIAN FEDERATION	11
KOREA, REPUBLIC OF	5
INDIA	4
BULGARIA	2
CHINA, Taiwan	2
JAPAN	2
SLOVAK REPUBLIC	2
UKRAINE	2
ARGENTINA	1
BRAZIL	1
FINLAND	1
FRANCE	1
IRAN, ISLAMIC REPUBLIC OF	1
PAKISTAN	1
UNITED STATES OF AMERICA	1

60 reactors
electrical capacity 58.6 GWs

資料來源: <http://www.euronuclear.org/info/encyclopedia/n/nuclear-power-plant-world-wide.htm>

117

教育部能源國家科技人才培育計畫
MOE Energy Education Program

2.3.3 核燃料與現代社會

- 核能使用與現代社會
 - 核能發電排放的大量廢熱可能引起熱污染，造成海洋生態浩劫
 - 核能發電之放射性核廢料的儲存及去處，目前已是極為棘手之問題
 - 由於環保意識的抬頭，曾被認為有效解決能源問題的核能，如今已成為極為爭議的議題

118

教育部能源國家科技人才培育計畫
MOE Energy Education Program

2.3.3 核燃料與現代社會

年 代	事 件
1905年	狹義相對論提出
1916年	廣義相對論提出
1938年	首次的核分裂實驗展示
1942年	第一座核子反應爐於芝加哥大學產生
1945年7月	核彈於新墨西哥州進行試爆
1945年8月6日	核彈投於日本廣島
1945年8月9日	核彈投於日本長崎
1951年	第一座產生電力的核子反應爐建立
1954年	第一艘核子潛艇誕生
1957年	第一座商業核電廠開始運轉
1979年3月28日	三哩島事件
1986年4月26日	車諾比爾事件
2011年3月11日	日本福島核災

重大物理及核能事件

119

教育部能源國家科技人才培育計畫
MOE Energy Education Program

2.3.3 核燃料與現代社會

- 核能電廠與核能安全
- 核能電廠安全問題
 - 核能電廠運轉時，反應器內不斷進行著核分裂反應，產生巨大熱能及放射性分裂產物
 - 放射性物質釋放到外界環境，會污染環境，傷害民眾 (輻射外洩事故)
 - 輕水式反應器，最有可能發生的事故為安全系統發生故障，無法將反應器內熱能排出降溫，造成爐心燃料溫度升高，甚至於溶解 (熱移除事故)

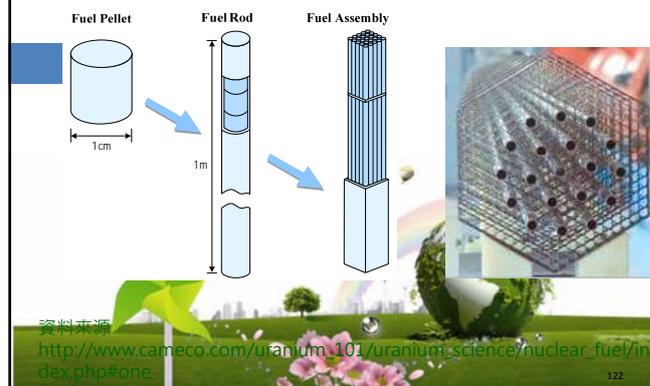
120

2.3.3 核燃料與現代社會

- 核能電廠與核能安全
- 核能電廠安全防護措施
 - 燃料丸(fuel pellet)：是高溫燒結的陶瓷固體，可以承受2,000°C以上的高溫。核分裂就發生在燃料丸（二氧化鈾）內，大部份放射性物質滯留於燃料丸內
 - 燃料棒(fuel rod)：燃料丸裝入鋳合金燃料護套成為燃料棒，可以承受高溫高壓環境，通常護套破損的機率都小於百萬分之一。

121

燃料丸、燃料棒及燃料組



122

2.3.3 核燃料與現代社會

- 核能電廠與核能安全
- 核能電廠安全防護措施
 - 反應度穩定設計：反應器必須設計成負反應度，當系統溫度、壓力升高時，會自動抑制反應進行
 - 反應器控制系統：為保護反應器是維護電廠安全最重要的手段，一旦反應器狀況超過設定，控制棒組抽離，系統立刻自動停機（跳機）；另有備用硼液控制系統，必要時，數千ppm濃度硼液會自動注入反應器，立即終止反應。

123

2.3.3 核燃料與現代社會

- 核能電廠與核能安全
- 核能電廠安全防護措施
 - 厚實反應器壓力槽：核反應器厚達30公分、重達1,000噸的高強度金屬容器。放射性物質從燃料棒洩漏出來，也被侷限在密閉的反應器內
 - 緊急爐心冷卻系統：在嚴重事故時，保持反應器水位，可防止反應器燒毀。我國核電廠都有3套9迴路的緊急爐心冷卻系統，這些系統與反應器壓力啟動，只要有1迴路把水注入反應器，系統就安全無虞。

124

2.3.3 核燃料與現代社會

- 核廢料處理
- 核廢料
 - 核廢料：核能發電後產生的廢棄物，包括運轉廢料、拆廠廢料及用過核廢料
 - 核廢料可分為高幅射性和低幅射性的廢料
 - 低幅射性廢料：是佔所有核廢料的大多數，也是一般大眾所關心的
 - 處理低幅射性廢料的基本原則，就是利用人工建築或天然地層做屏障，使它與人類永遠隔絕

125

2.3.3 核燃料與現代社會

- 核廢料處理
- 低幅射性核廢料處理
 - 減容：低放射性核廢料會採取不同的措施以適當的縮小廢料的體積，以降低處理的成本
 - 固化及桶裝：為防止廢料的輻射外洩，必須加以固化及桶裝，以方便放射性廢料的運輸與貯存
 - 運輸：目前國內低放射性廢料主要是將固化廢料桶運送至蘭嶼貯存場貯存暫存
 - 最終處理：最終處置場可藉多重障壁之設計來阻滯放射性核種的遷移，確保長期存放的過程中，不致對環境品質與人類生活安全造成不良之影響

126

2.3.3 核燃料與現代社會

- 核廢料處理
- 高輻射性核廢料處理
 - 我國目前高放射性廢料，皆為核設施反應器所產生的用過核燃料
 - 採(1)廠內燃料池內冷卻貯存(一年以上)；(2)再處理或中期貯存(40-70年)；(3)深地層最終處置等三個階段管理



127

2.3.3 核燃料與現代社會

- 核能電廠除役
- 核能電廠除役方式
 - 立即拆除：指在核電廠屆滿使用年限終止運轉後，將含放射性物質的機組設備除污、拆除，移出廠內用過的核燃料移出至儲存場
 - 延遲拆除：核電廠終止營運後，不立刻進行拆除作業，將機組在控制下存放約40到60年的時間，讓廠內使用過的核燃料等放射物質自然衰變，較無危害之後，再進行除污、拆除



128

2.3.3 核燃料與現代社會

- 核能電廠除役
- 核能電廠除役方式
 - 固封除役：將使用過的核燃料與核廢料移出廠外後，直接以混凝土把終止營運的核電廠封起來，把殘留放射物質的機組與廠房原地封存在



129

2.3.3 核燃料與現代社會

- 核能發電與環境問題爭議
- 核能發電是否符合環保且永續？
 - 核能發電減低CO₂排放量
 - 熱汙染疑慮
 - 輻射外洩疑慮
 - 核廢料處理疑慮
 - 後端處理疑慮



130

2.3.4 化石燃料與現代社會

- 煤燃料的使用與現代社會
- 煤燃料的分類
 - 褐煤：水分約30%，含碳量（固定碳）達30%，熱值介於5,000到7,000 Btu/lb之間。揮發物含量高及反應性佳則是其優點
 - 亞煙煤：水分為15~30%，含碳量約40%，熱值則為8,000到10,000 Btu/lb之間。亞煙煤易自燃、揮發性高、具結塊性、且硫份及灰份少



131

2.3.4 化石燃料與現代社會

- 煤燃料的使用與現代社會
- 煤燃料的分類
 - 煙煤：是最豐富的煤種，碳含量則約50~70%。煙煤的熱值介於11,000-15,000 But/lb
 - 無煙煤：碳含量約90%，最高可達95%，而水分則僅約3%，且硫份及灰份也低。無煙煤為最硬之煤，熱值約14,000 Btu/lb



132

分類	名稱	分級標準(區分)		
無煙煤 (Anthracite)	無煙煤 (Anthracite)	固定碳(92-98%) 揮發物(2-8%)	高級煤	
	亞無煙煤 (Meta-Anthracite)	固定碳(95%) 揮發物(2%)		
	半無煙煤 (Semi-Anthracite)	固定碳(86-92%) 揮發物(8-14%)		
煙煤 (Bituminous)	低揮發煙煤 (Low volatile bituminous)	固定碳(78-86%) 揮發物(14-22%)		
	中揮發煙煤 (Medium volatile bituminous)	固定碳(69-78%) 揮發物(22-31%)		
	高揮發煙煤A (High volatile bituminous A)	固定碳少於69 揮發物高於31 熱值(Btu/lb)14000以上		
	高揮發煙煤B (High volatile bituminous B)	熱值(Btu/lb) 13000-14000		
	高揮發煙煤C (High volatile bituminous C)	熱值(Btu/lb) 11000-13000		
亞煙煤 (Subbituminous)	亞煙煤A (Subbituminous A)	熱值(Btu/lb) 10000-11000		低級煤
	亞煙煤B (Subbituminous B)	熱值(Btu/lb) 9500-11000		
	亞煙煤C (Subbituminous C)	熱值(Btu/lb) 8000-9500		
褐煤 (Lignite)	褐煤 (Lignite)	熱值(Btu/lb) 8300(有聚合性)		
	棕煤 (Brown Coal)	熱值(Btu/lb) 8300(無聚合性)		

美國ASTM分類表

2.3.4 化石燃料與現代社會

- 煤燃料的使用與現代社會
- 煤燃料主要用途
 - 燃料：煤炭蘊藏量豐富且熱量高，是一種很有用的燃料。但燃燒時所產生的CO₂及SO₂，造成空氣汙染及溫室效應
 - 生產電力：煤炭於能源應用上，主要應用於發電
 - 原料：煤炭是許多產品的原料，焦炭用以煉鐵製鋼，經過加工後，除可製造煤氣外，還能製造藥物、塑膠和染料

2.3.4 化石燃料與現代社會

- 煤燃料的使用與現代社會
- 煤炭等級與用途

Class	C (%)	H (%)	Uses
Anthracite無煙煤	93-95	3.80-2.80	工業燃料
Semi anthracite半無煙煤	91-93	4.25-3.80	
Sub bituminous亞煙煤	80-91	5.60-4.25	電力工業 鋼鐵業
Bituminous煙煤	75-80	5.60-5.10	
Lignite褐煤	60-75	5.70-5.00	電力

2.3.4 化石燃料與現代社會

- 石油燃料的使用與現代社會
- 石油產品分類
 - 石油經過加工處理(分餾)後，可以產生各種不同用途的石油產品
 - 石油產品可分為石油燃料、石油溶劑與化工原料、潤滑劑、石蠟、石油瀝青、石油焦等6類
 - 石油燃料產量最大，約佔總產量的90%；各種潤滑劑品種最多，產量約佔5%

2.3.4 化石燃料與現代社會

- 石油燃料的使用與現代社會
- 石油主要產品與用途
 - 潤滑油：除潤滑性能外，還具有冷卻、密封、防腐、絕緣、清洗、傳遞能量的作用
 - 油脂：俗稱黃油，潤滑劑加稠化劑製成的固體或半流體，用於潤滑的軸承、齒輪
 - 石蠟：石蠟主要做包裝材料、化妝品原料及蠟製品，也可做為化工原料產脂
 - 瀝青：主要供道路及建築使用

石油分餾後之產物與用途

分餾物	分子大小	沸點(°C)	用途
瓦斯	C ₁ ~C ₅	-165°C~30°C	氣體燃料
石油醚	C ₅ ~C ₇	30°C~90°C	溶劑
汽油	C ₅ ~C ₁₂	30°C~200°C	汽車用油
煤油	C ₁₂ ~C ₁₆	175°C~275°C	煤油引擎、噴射機用油
燃料油	C ₁₅ ~C ₁₈	高至375°C	工業爐用油
潤滑油	C ₁₆ ~C ₂₀	350°C以上	機件潤滑
油脂(Grease)	C ₁₈ 以上	半固體	機件潤滑
石蠟	C ₂₀ 以上	52°C~57°C之間融化	蠟燭
瀝青	甚高	鍋爐殘餘物	屋頂及道路鋪面

2.3.4 化石燃料與現代社會

- 天然氣燃料的使用與現代社會
- 液化天然氣 (LNG) 與液化石油氣 (LPG)
 - 俗稱的瓦斯有兩種，即桶裝瓦斯和天然瓦斯
 - 桶裝瓦斯也就是液化石油氣 (LPG)，是石油煉製的產品
 - 天然瓦斯 (或稱都市瓦斯) 即天然氣 (NG)，由於經低溫冷凍製成液體狀，以便利儲存及輸送，故稱液化天然氣 (LNG)



139

2.3.4 化石燃料與現代社會

- 天然氣燃料的使用與現代社會
- 液化天然氣之用途
 - 都是用來燃燒生熱，目前除作為家庭燃料外，已被廣泛利用於各行業
 - 加熱：玻璃、磁器工廠作窯的加熱
 - 乾燥：印刷油墨、食品及藥品等的乾燥
 - 食品加工：麵包烘焙、各式麵點的烹煮、烘烤
 - 車輛動能：瓦斯汽車引擎的燃料
 - 蒸汽利用：各式鍋爐以瓦斯為燃料燒水產生蒸汽，甚至可作為發電機之用



140

2.3.4 化石燃料與現代社會

- 天然氣燃料的使用與現代社會
- 液化天然氣之用途
 - 熔解：玻璃、金屬的熔解
 - 熱處理：各式金屬熱處理爐的應用
 - 石化原料：製造尿素、氨、甲醇及含氮的肥料
 - 發電：利用燃燒時產生的熱氣，推動渦輪機發電



141

2.3.4 化石燃料與現代社會

- 天然燃料
- 化石燃料
 - 化石燃料是一種碳氫化合物或其衍生物，包括煤炭、石油和天然氣等
 - 石油是全球使用量最高的化石燃料，是較快耗盡的化石燃料
 - 化石燃料的運用是近代工業發展的主因，但其過度使用衍生許多環境汙染問題
 - 目前，全球正趨向發展再生能源及綠色能源，藉以改善環境汙染及能源問題



142

- B2延伸閱讀



143