

## 2. 聯合循環燃氣渦輪機組 ( Combined Cycle Gas Turbines, CCGTs )

傳統燃煤電廠主要採用單一蒸汽循環系統，熱效率約介於 33~40%，但是 CCGTs 則結合了燃氣輪機與蒸汽輪機兩種發電機制，將高溫廢熱回收進入蒸汽輪機進行第二階段發電，效率可達 60% 以上，且每度電排放溫室氣體驟減 50~60%，同時具備快速啟動能力。

## 3. 人工智慧：即時需量控制 ( Real-time Demand Control )

AI 在能源管理的角色已由過去單純的「被動監測與視覺化」，演進為具備預測能力的「主動式控制系統」。透過整合物聯網 (IoT) 與高階演算法，在毫秒等級的時間尺度下，針對更大規模的建築、工廠、城市之複雜能耗進行全域最佳化 (Global Optimization)。

### (1) 模型預測控制 ( Model Predictive Control, MPC ) 與強化學習

傳統的 PID 控制或邏輯規則 (Rule-based) 難以應對非線性的負載變化 (如天氣突變或製程波動等)。前瞻技術導入模型預測控制 (MPC)，利用物理模型預測未來時段的系統行為，並結合深度強化學習 (Deep Reinforcement Learning, DRL)，讓 AI 代理 (AI Agent) 在虛擬環境中不斷試誤與學習，最終能在真實場域中，根據當下的氣象預報、電價費率與人員密度，自動計算出「全系統最低能耗」的運轉參數 (例如：同時微調冰水主機出水溫、水泵頻率與冷卻水塔風扇轉速)，實現超越資深操作員經驗的精細控制。

### (2) 邊緣運算 ( Edge AI ) 與低延遲響應

為了應對電網頻率調節 (Regulation) 或即時需量反應的需求，數據處理已從雲端下放到地端設備，即所謂的邊緣運算。透過在閘道器 (Gateway) 或控制器內建輕量化 AI 模型，可免除網路傳輸延遲，使設備能在偵測到電網頻率異常或超約風險的瞬間 (毫秒等級) 卸載非關鍵負載，確保能源韌性與安全性。

## 4. 數位孿生與區塊鏈：城市尺度建模與可追溯治理

數位孿生（Digital Twin）時代備受期待，目前世界各國正積極測試建立全城市尺度的模型，初步已有交通管理的成功案例，但是建築能源模型（Urban Building Energy Modeling, UBEM）的部分則仍待開發。

### (1) 快速低成本建模

結合光達（LiDAR）、GIS 資訊與建築內部設備、人流、稅籍等資料，再利用演算法可快速構建城市級的幾何與能源模型，但是建築內部資訊的建立與整合仍需持續開發。

### (2) 安全數據交換與績效追溯

為解決跨組織能源數據交換的信任問題，導入區塊鏈（Blockchain）或分散式帳本技術（Distributed ledger Technology, DLT）成為關鍵。透過第三方帳本不可竄改的特性，詳實記錄能源數據與節能績效，除可保障數據在安全無虞下進行交換，更為碳權交易或綠色金融提供可追溯（Traceability）且具公信力的驗證基礎。

## 5. 氫能前瞻技術

氫能主要扮演重工業與運輸等難減排部門（Hard-to-abate Sector）的減碳工具。國際能源總署（IEA）2025 年《Global Hydrogen Review》指出，2024 年全球低排放氫（再生能源電解與化石燃料結合 CCUS）產量約 0.8 百萬噸，僅占氫氣總產量不到 1%，但已有超過 1,000 項氫能政策工具及專案上路，後勢看好。

### (1) 低排放製氫技術

傳統的氫氣主要來自化石燃料重組（灰氫），但因為碳排放強度高，所以目前主要研發都集中在以下幾類「低排放製氫」路線：

#### A. 高效率水電解技術

該技術主要鎖定的技術痛點是效率、成本、耐久性，因此鹼性電解法（Alkaline Electrolysis, AEL）、質子交換膜（Proton Exchange Membrane, PEM）與固態氧化物電解（Solid Oxide Electrolysis Cell, SOEC）為目前主流，重點包括：降低貴金屬

用量、提升電極與電解質耐久性、發展高壓直出電解槽以減少後端壓縮能耗；其中，高溫 SOEC 可利用工業餘熱與蒸氣，提升電能轉換效率，被 2025 年 IEA 報告列為創新與投資聚焦領域之一。

### **B. 化石燃料重組結合 CCUS**

由於 2030 前，綠氫產量尚難大幅提升，因此化石燃料重組結合 CCUS 產氫仍被多數碳排放情境視為一個過渡時期的重要氫氣來源。目前前瞻研究重點在於提升碳捕捉率到 98%，並且降低捕捉 CO<sub>2</sub>需要的大量能耗，方法包括整合工業餘熱、再生熱源，並提升天然氣重組效率為主要前瞻技術領域。

### **C. 廢棄物／副產品整合的製氫技術**

以「廢液、廢氣」為電解或轉化原料，例如以碘系廢液取代純水電解，改變傳統電解的反應邏輯，利用較低反應電位同時達成廢液處理與製氫，使得氫的生成過程同時具備較低能耗與資源循環效益。屬於「氫能融合循環經濟」的新興型態，有助於擴大原料來源，使氫製程朝向多元、低排放與零廢棄的方向發展。

### **D. 天然氫（Geologic Hydrogen）探勘**

除了傳統的電解與重組技術路徑外，天然氫正成為近年各國積極投入的新興前瞻技術。透過地質勘探尋找「地下氫」資源，有機會取得成本更低、碳排更小的天然氫。由於氫氣極為活潑，在自然界通常不以游離狀態存在，因此目前仍處於資源存量評估與開採方法驗證階段。

## **(2) 氫儲存與運輸前瞻技術**

氫的體積大、活性高，因此低成本且安全的儲存和運輸是能大量普及的關鍵技術，目前主要可分為三類：

### **A. 物理儲存：壓縮與液化氫**

壓縮氫在燃料電池車（~700 bar）與工業供氣（~350 bar）已廣泛應用，但因高壓容器容易長期產生金屬疲勞、洩漏，亟需克服，例如相關表面塗層、新型結構複合材料，減少重量並抑制氫脆造成的裂解與疲勞。

液化氫（ $-253^{\circ}\text{C}$ ）適合大規模運輸與航太應用，但是液化能耗高與蒸發損失（Boil-Off）大是主要挑戰。目前國際上已有針對高效率氫製冷循環與磁製冷等新型低能耗液化技術進行開發，以降低液化電力需求；另，複合材料低溫儲槽與主動再冷卻系統也是抑制 Boil-Off 的重點技術。

### B. 化學載體：氨、甲醇與液態有機氫載體(Liquid Organic Hydrogen Carrier, LOHC)

氨（ $\text{NH}_3$ ）可在常壓液態儲存，被視為航運與長距離運輸的重要氫基燃料，但其  $\text{NO}_x$  洩漏與毒性問題仍在，因此低  $\text{NO}_x$  氨燃燒器與選擇性觸媒還原（SCR）整合系統尤為關鍵，加上高效率氨裂解（Ammonia Cracking）催化技術，可使氨氣在終端高效轉換為氫。

甲醇與液態有機氫載體（LOHC）則以液態分子儲氫，透過加氫／脫氫反應完成儲放氫，但目前主要瓶頸在於催化效率、反應溫度與循環壽命。相關前瞻技術包括：新一代脫氫催化劑、低溫脫氫反應器、小型化模組化循環系統，以及全流程能量效率最佳化設計；若能降低脫氫能耗並提升循環穩定性，將使 LOHC 與甲醇具備與既有物流體系兼容的長途運輸潛力。

### C. 固體儲氫材料

2025 年諾貝爾化學獎—金屬有機框架（Metal Organic Framework, MOF）與一系列相關的複合材料可在溫和條件下高密度儲氫，具有安全性高、體積能量密度優異等優點，但目前仍受限於成本、重量與脫氫速率。常見前瞻技術包括：快速脫附反應材料的設計、低成本大規模量產技術，以及相關熱管理與智慧控制系統，是改善脫氫速度與系統效率的重點工作。

## 6. 儲能前瞻技術

再生能源占比提高後，電網需要更多彈性資源來平衡供需兩端。儲能是其中最重要的選項之一。至 2024 年底，全球已投入運營之電力儲能總年增長率達 28.6%，累計裝置規模達 372 GW，抽蓄水力 54.3%、熔融鹽儲熱 1.2%、新型儲能 44.5%。其中新型儲能累計裝機量達 165.4 GW，首次破百。

## (1) 電化學電池技術

### A. 鋰離子電池的優化與多元化

磷酸鐵鋰 (LFP) 具備高安全性、長壽命與耐高溫特性，但其能量密度相對偏低，限制其在長續航載具與緊湊型儲能系統廣泛應用，目前多透過摻雜改質與奈米結構化正極顆粒提升比能量，至於低溫環境下則以外部加熱提升續航為常見的工程手法。

三元材料 (NMC) 具備高能量密度與優良低溫性能，但其高鎳配方面臨熱穩定性下降、循環衰減加劇與成本上升等挑戰。目前技術著重於開發高鎳 NMC 的表面塗層、梯度結構與高效晶界穩定化技術，以改善熱穩定性，並透過低鈷或無鈷配方、氟化電解液、高電壓固態電解質等方案提升循環壽命與成本競爭力。

### B. 鈉離子電池

鈉離子電池 (Na-ion) 還不是一個成熟產品，雖具備低成本、不依賴鋰與鈷等稀土的供應鏈優勢，但目前能量密度仍低於鋰電池，且低溫性能與循環壽命仍待提升。這塊領域的前瞻技術多聚焦在突破比能量限制，例如新型高電壓的層狀正極氧化物、自生成硬碳負極材料，加上電解液配方優化 (例如 NaFSI)，商用產品已能將循環壽命 3,000 次提升到 10,000 次，能量密度從 130 Wh/kg 躍升到 175Wh/kg，且從-30°C 容量維持 50%提升到-40°C 容量保持 90%。

鈉離子電池後勢看好，但市場預估 2030 上市關鍵在於能否順利沿用當前鋰電池生產線，才能讓產品快速、便宜、且穩定地進入市場取代鋰電池，因此相關量產技術也是重點研發領域。

### C. 固態電池

相較傳統鋰電池的電解液和隔膜佔據電池體積約 40%，重量約 25%，固態電池則是沒有這些結構，其節省的空間，還不包括更換正負極材料就能提升能量密度，以特斯拉 4680 電池能量密度 622 Wh/升提升到至少 800Wh/升。若進一步採用高鎳正極材料與鋰金屬負極材料，目前已能將能量密度提升到 900 Wh/升，約當讓今天續航里程 600 公里的純電動車提升到 1,000 公里。其潛力受到高度重視，

被各國視為中長期關鍵技術之一。

現階段主要技術瓶頸在於怎樣讓鋰離子在全固態的環境裡在正負極之間快速流動；目前有三種主流技術，分別是：1.聚合物：透過結構設計把聚合物做成像是一條柔軟的繩子，上面掛著很多可以和鋰離子互動的化學結構，讓鋰離子沿著繩子流動，製程相對單純，但目前只能在 $>60^{\circ}\text{C}$  環境下工作，且充電慢、導電率低。2.硫化物：最大的優勢是導電率接近液態電解質鋰電池，但由於電解液跟負極材料都跟傳統離電池不同，加上新的電解液中的硫化物容易與空氣中的水跟氧氣發生反應，甚至遇到明火引起爆炸，因此對於產線管理跟使用環境要求很高。再者，生產電解液的材料價格比起傳統電解液昂貴，讓最終的產品價格每公斤從 10 美元提高到 100 美元，也是未來需要克服的問題，最後是鋰離子進出電解液時，如果沒有進到負極材料，就會往外結晶導致正負極短路，也尚待解決。3.氧化物：由於電解質是固態的，因此不存在前述結晶引發的正負極短路，且相關材料如磷酸鈦鋁鋰（LATP）、鋰鏷鈦氧化物（LLTO）、鋰鏷鋯氧化物（LLZO），不會產生毒氣，因此過程安全。但由於 LLTO 和 LLZO 涉及貴金屬與稀土，因此供應鏈和價格都是隱患。最後就是界面問題，例如一片表面不平整的陶瓷如何正負極做到充分接觸，目前相關的技術是讓接觸面添加 5~10%的液態電解液，稱作半固態電池，但就達不到全固態電池的完整性能。



### 範例考題

1. 目前節能相關前瞻技術的主要關注領域不包含下列何者？  
(A)基礎材料特性的突破；(B)更大規模的數位基礎建設；(C)系統管理技術；  
(D)傳統單一設備的維修與更換
2. 在人工智慧的能源管理應用中，「邊緣運算 (Edge AI)」的主要優勢為何？  
(A)可以利用雲端強大的算力進行長時間的大數據分析；(B)能夠免除網路傳輸延遲，實現毫秒等級的即時需量反應；(C)主要用於建立全城市尺度的幾何模型；(D)可以完全取代人類操作員的所有工作
3. 關於「金屬有機框架 (MOFs)」在節能上的應用，下列敘述何者正確？  
(A)主要用於增強混凝土的結構強度；(B)利用其超高比表面積與孔隙率，應用於除濕與吸附式製冷系統；(C)其導熱係數極高，適合做為散熱鰭片；(D)只能透過傳統壓縮機驅動，無法利用廢熱
4. 關於聯合循環燃氣渦輪機組 (CCGTs) 的效益，下列敘述何者正確？  
(A)熱效率約介於 33~40%；(B)僅使用燃氣輪機進行單一階段發電；(C)每度電排放溫室氣體較燃煤電廠減少 50~60%，且熱效率可達 60%以上；(D)啟動速度慢，不適合需快速反應的場合
5. 針對氫能製程技術，高溫固態氧化物電解 (SOEC) 被列為重點關注領域的主要原因為何？  
(A)它可以利用工業餘熱與蒸氣，提升電能轉換效率；(B)它是目前成本最低且技術最成熟的製氫方式；(C)它完全不需要使用任何電力即可產氫；(D)它主要使用廢液作為電解原料
6. 本章節中提到「廢棄物/副產品整合的製氫技術」，其核心概念為何？  
(A)利用地質勘探尋找地下天然氫；(B)使用碘系廢液等取代純水電解，同時達成廢液處理與低能耗製氫；(C)將氫氣轉化為氨氣以便於運輸；(D)利用燃煤發電的廢氣進行碳捕捉

7. 關於氫氣的儲存與運輸技術，下列關於「氨 (NH<sub>3</sub>)」的挑戰與對策何者正確？  
 (A) 氨無法在常壓液態下儲存，運輸極為困難；(B) 氨完全無毒，是目前最安全的氫載體；(C) 需克服 NO<sub>x</sub> 洩漏與毒性問題，並發展高效率的氨裂解 (Ammonia Cracking) 技術；(D) 氨的主要應用是用於製造鋰電池電解液
8. 在建立全城市尺度的建築能源模型 (UBEM) 時，前瞻技術傾向結合光達 (LiDAR) 與 GIS 資訊，其主要優勢為何？  
 (A) 可以完全取代人工現場抄表；(B) 利用自動化演算法快速構建幾何與能源模型，降低建模成本與時間；(C) 僅能應用於單一棟建築物，無法擴及城市；(D) 需要耗費大量人力進行測量
9. 導入「區塊鏈 (Blockchain)」或分散式帳本技術 (DLT) 於能源數據交換的主要目的為何？  
 (A) 加快數據的傳輸速度；(B) 降低資料庫的儲存空間；(C) 提供不可竄改的特性，建立可追溯且具公信力的績效驗證基礎；(D) 讓所有數據變成公開資訊供大眾隨意下載
10. 關於「鈉離子電池 (Na-ion)」的發展，下列敘述何者符合文中所述？  
 (A) 能量密度已經大幅超越三元鋰電池；(B) 雖然不依賴鋰與鈷，但目前能量密度仍低於鋰電池；(C) 預計 2025 年即可完全取代所有鋰電池市場；(D) 低溫性能極差，在 -30°C 時容量會歸零

## 考題解析

1. **Ans (D)**

目前的節能前瞻技術（Energy-Efficiency Frontier Technologies）早已跳脫「壞了才換」或「單機優化」的傳統思維，轉而追求更具革命性的突破。

2. **Ans (B)**

邊緣運算（Edge AI）是將數據處理下放到地端，在閘道器內建 AI 模型，可「免除網路傳輸延遲」，在毫秒等級瞬間卸載負載。(A)雲端運算通常有延遲問題。

3. **Ans (C)**

MOFs 發展高效率且吸附量大，加上超高比表面積與孔隙率，可應用於吸附式製冷或抓取特定分子（如氫氣、汙染物）。

4. **Ans (C)**

由於天然氣含碳量較低且 CCGT 效率極高，其碳排放量約僅為傳統燃煤電廠的一半左右（50~60%）。

5. **Ans (A)**

高溫 SOEC 的特點在於可利用工業餘熱與蒸氣，提升電能轉換效率，被 IEA 列為創新聚焦領域。

6. **Ans (B)**

「廢棄物/副產品整合的製氫技術」以廢液（如碘系廢液）取代純水電解，利用較低反應電位同時達成廢液處理與製氫。

7. **Ans (C)**

氨可在常壓液態儲存，但面臨 NO<sub>x</sub> 洩漏與毒性問題，關鍵技術在於低 NO<sub>x</sub> 燃燒器與高效率氨裂解催化技術。

8. **Ans (B)**

在數位孿生技術中，結合 LiDAR、GIS 與自動化演算法，目的是為了快速且低成本地構建城市級的幾何與能源模型。

9. **Ans (C)**

區塊鏈與分散式帳本技術的主要價值在於不可竄改與可追溯（Traceability），解決跨組織數據交換的信任問題，適用於碳權交易或綠色金融。

10. **Ans (B)**

區塊鏈或分散式帳本技術（DLT）的導入是為了詳實記錄能源數據，保障數據安全交換，並為碳權交易或綠色金融提供「可追溯（Traceability）」且具公信力的驗證基礎。

The logo for iPaaS features the letters 'iPaaS' in a light purple, sans-serif font. A large, light green checkmark is superimposed over the 'A' and 'S' characters, indicating a successful or verified state.

## 本章節參考文獻

1. 行政院國家發展委員會 (2022)《臺灣 2050 淨零排放路徑與策略總說明》。
2. 行政院國家發展委員會 (2023)《氫能關鍵戰略行動計畫 (核定本)》。
3. 行政院國家發展委員會(2023)《電力系統與儲能關鍵戰略行動計畫(核定本)》。
4. 台灣電力公司《需量反應負載管理措施》
5. 內政部建築研究所 (2022)《111 年智慧化居住空間整合應用人工智慧科技發展推廣計畫協同研究計畫》。
6. 經濟部能源署《能源管理法》及《能源管理法施行細則》。
7. 經濟部能源署《建築能源管理 (BEMS) 節能手冊》。
8. 經濟部能源署《服務業節能技術手冊》及相關節約能源推廣資料。
9. 經濟部能源署《節能績效保證專案示範推廣補助要點宣導手冊》。
10. International Standards & Protocols 10. Efficiency Valuation Organization (EVO). (2016). International Performance Measurement and Verification Protocol (IPMVP): Core Concepts (EVO 10000-1:2016). Washington, DC: EVO.
11. Efficiency Valuation Organization (EVO). IPMVP – International Performance Measurement and Verification Protocol. Retrieved from <https://evo-world.org>
12. International Organization for Standardization. (2018). ISO 50001:2018 Energy management systems—Requirements with guidance for use. Geneva: ISO.IEA & International Reports (2025 Forward-looking)
13. International Energy Agency (IEA). (2025). Breakthrough Agenda Report 2025. Paris: IEA.
14. International Energy Agency (IEA). (2025). Global EV Outlook 2025: Expanding sales in diverse markets. Paris: IEA.
15. International Energy Agency (IEA). (2025). Global Hydrogen Review 2025. Paris: IEA.
16. International Energy Agency (IEA). (2025). The State of Energy Innovation 2025. Paris: IEA.

17. IEA PVPS Task 18. (2025). Li-Ion Battery Systems in Off-Grid Applications (Rep. No. T18-04-2025). IEA PVPS.
18. LDES Council, EPRI, EEI, & DOE. (2025). Long-Duration Energy Storage Use Cases – A Primer on Defining Applications to Aid in Technology Selection.
19. UNIDO. (2025). Low-Emissions Hydrogen Industry Development in Emerging Market and Developing Economies. Vienna: UNIDO.US DOE & National Labs
20. National Renewable Energy Laboratory (NREL). (2021). Autonomous Energy Grids (AEG) (Technical Report). U.S. Department of Energy.
21. U.S. Department of Energy (DOE). (2025). Pathways to Commercial Liftoff: Long Duration Energy Storage Opportunities. Washington, DC: DOE.Academic Journals & Market Reports
22. Amruthalakshmi, P., Aritra, G., (2025). Phase Change Materials for Energy Efficiency in Buildings. ResearchGate.
23. Lydia, F., Magali, F., Laurent, I., (2025). Thermal Characterization of Paraffin-Based Phase Change Materials for Thermal Energy Storage and Improved Thermal Comfort. MDPI.
24. Cornell University Environmental Systems Lab. EnergyAtlas.io - Digital Twin Tool for Urban Energy Insight. Retrieved from <https://energyatlas.io>
25. Precedence Research. (2025). Nanomaterials for Energy Market Size, Report by 2034.
26. Schleifer, A. H., et al. (2025). Exploring the Future Energy Value of Long-Duration Energy Storage. *Energies*, 18(7), 1751.
27. University of Birmingham. Metal-organic framework materials for adsorption heat pumps.
28. Omoike, B.A., Abubakar, M.A., Imoisi, C., Iduma, S.J., Application of Nanotechnology in Building Construction Using Carbon Nanotubes. *Scientific Journal of Scientific Research (SJSR)*.

## 第三章 再生能源與綠電導入



### 重點概要說明

近十年來，全球暖化與極端氣候的風險持續加劇，使「減碳」逐漸從環境問題轉變為經濟生存與國際競爭力議題。2015年《巴黎協定》確立「將升溫控制在1.5°C」的全球共識後，歐盟、美國、日本、韓國等主要國家陸續宣示於2050達成淨零排放，並以政策、稅制、市場機制推動能源轉型，形成「碳治理 × 經濟競爭 × 貿易門檻」的新國際秩序。歐盟於2023年啟動的「碳邊境調整機制（CBAM）」象徵全球碳定價時代全面展開，要求進口產品必須揭露碳排放並支付碳成本，使得企業供應鏈須具備低碳生產能力，綠電供應成為跨國投資地選擇的重要條件。另一方面，國際永續揭露制度（如ESG、TCFD、ISSB等）要求企業說明能源使用結構與綠電採購計畫，使企業不得不加速導入再生能源。全球前500大企業已有超過三分之一加入RE100，目標全面使用再生能源。綜觀全球趨勢，再生能源與綠電採購已不只是環境政策，而是市場進入門檻、金融投資評量及地緣產業布局的戰略資產，各國政府正以史無前例的速度建設潔淨能源，以確保供應鏈安全與國家競爭力。

臺灣作為全球電子、半導體、資通訊與精密製造中心，能源使用高度依賴進口化石燃料，排放結構中超過九成與能源使用相關。因此，綠電供應不僅關乎環保，更直接影響出口競爭力。2021年，臺灣正式宣示2050淨零排放目標；2022年公布《2050淨零路徑圖》及跨部會行動計畫；2023年通過《氣候變遷因應法》，將淨零上升至國家法制層級，宣示全面、長期、跨領域的能源與產業轉型策略。在全球供應鏈壓力下，Apple、Google、Microsoft、Meta、Tesla等企業要求供應商使用再生能源，促使台積電、日月光、聯電、廣達等大型企業積極採購綠電。然而，台灣綠電供給受限於土地取得、電網容量、環社檢核、地方接受度等因素，使企業出現「急需綠電、卻買不到」的結構性困境。此供需落差顯示台灣已進入綠電需求大於供給的新階段，迫切需要提升能源建設、加速開發與建立更成熟的

綠電市場制度。此外，能源轉型也攸關國土安全與社會韌性，漁電共生、微電網、儲能與再生能源自治將成為關鍵韌性基礎建設；對外則具外交策略意義，有助於吸引外資、保障供應鏈地位並提高產業競爭力。

再生能源具有取自自然循環、低碳排與永續性三大特徵，是能源轉型的核心。台灣主要再生能源包括：太陽光電、風力、生質能、地熱、水力與海洋能，各具不同屬性與風險。太陽光電技術成熟、安裝彈性高，但具日照間歇性；風力可補足夜間缺口，但離岸開發涉及海域治理與漁業受益分配；生質能具廢棄物處理與能源雙重效益，但需穩定料源；地熱為基載電力，但開發涉及原住民族諮商與保護區規範；小水力以既有水利設施為主，可減少生態衝擊；海洋能可預測性高，仍在技術驗證階段。

由於不同再生能源具有不同發電時段與間歇性，企業採購綠電時必須考量「逐時用電 × 逐時供電」。台電每 15 分鐘為計費結算單位，因此企業是否真正「使用綠電」不能只看年度採購量，而需確認每個時段是否由綠電供應。此外，綠電憑證（如 T-REC）僅代表使用權，並不等於實際電力，若與實際用電未匹配，可能無法通過國際碳揭露與客戶審查。因此，綠電採購不再是單純購電行為，而是需要將能源策略、供需管理、碳揭露與用電行為等，透過企業能源管理系統思維進行整體性規劃的課題。



## 重點掃瞄

### 3.1 再生能源種類及優缺點比較

#### 1. 國際再生能源認定原則

再生能源普遍被視為「來自自然界持續補充、具有永續循環特性，且不會因使用而耗盡」的能源類型。國際能源總署（IEA）、國際再生能源署（IRENA）、聯合國氣候變遷綱要公約（UNFCCC）等國際組織針對再生能源的分類雖有細部差異，但核心定義高度一致，均強調其能源來源必須能在自然循環中持續再生，例如太陽光、風、海洋潮汐、水循環、地熱等。

聯合國或國際間認定再生能源之原則，主要考量這些能源不依賴化石燃料的地質形成過程，亦不會因短期大量使用而造成永久性枯竭，也能在生命週期中展現較化石燃料更低的碳排放與污染負擔。在實務應用上，再生能源主要包括太陽光電與太陽熱能、風力發電、小水力發電、生質能（含固態、液態與氣態生質燃料）、地熱能以及海洋能等。值得注意的是，國際組織強調再生能源與「零排放」並非全然等號，例如生質能在燃燒過程仍會排放二氧化碳，但由於其原料來自可再生的植物循環，因此仍被納入再生能源範疇。

#### 2. 台灣再生能源定義

依據《再生能源發展條例》第 3 條，我國將再生能源定義為「指太陽能、生質能、地熱能、海洋能、風力、非抽蓄式水力、國內一般廢棄物與一般事業廢棄物等直接利用或經處理所產生之能源，或其他經中央主管機關認定可永續利用之能源」。此定義強調能源本身必須來自自然界的長期循環，而非經過地質年代累積形成、耗損後無法短期再生的化石燃料。條例就再生能源類型明確包括太陽光電、風力能、生質能、地熱能、海洋能、水力能等類型。

我國再生能源定義不僅是概念性的描述，更與其它再生能源推動制度密切相關，包括再生能源憑證（T-REC）、躉購制度（Feed-in Tariff, FiT）、綠電採購（CPPA）、

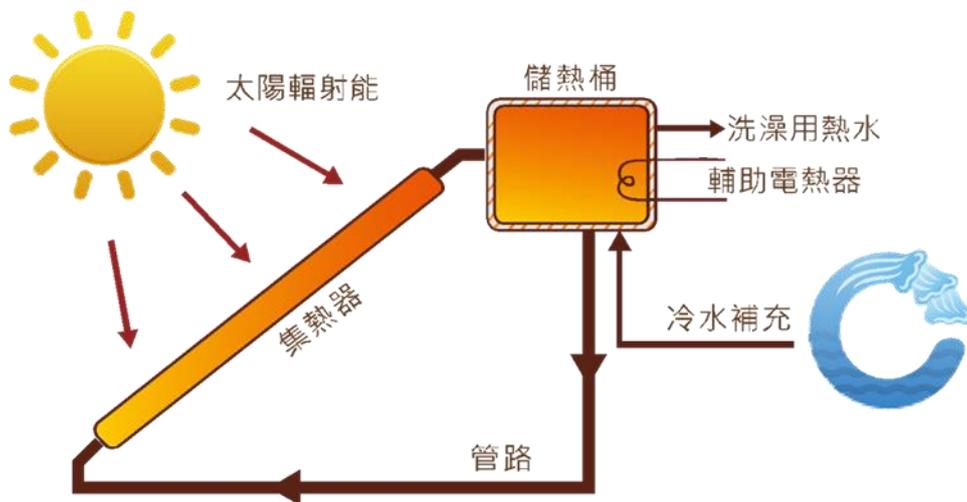
再生能源設備補助等。為確保這些制度能被公平使用，經濟部能源署透過《再生能源發展條例》子法訂定「再生能源發電設備認定辦法」，對各類能源技術的發電設備進行明確分類與審查。其中該辦法明確規範申請人、設備類型、設備必備條件、認定流程與後續查驗方式，使再生能源不再只是概念，而是透過設備登錄與認證程序，成為可量化、可查核的能源類型。其辦法核心精神在於確保各類再生能源設備均具「真實發電能力」「來源可追溯」「數據可查驗」等特性，避免市場出現混淆來源、虛報發電量或無資格設備混入的情況。

本辦法規定所有申請認定的設備皆須完成裝置容量確認、專業技術文件審查、併網（或具備獨立運作能力）之檢視程序，並由經濟部能源署或其委託單位進行查核。透過標準化程序，使再生能源的法定地位得以清楚界定，也確保我國綠電生產及市場運作具備信任基礎，讓企業或投資人能明確了解所購買或參與的再生能源來源是真實、合法且具備永續性。

### 3. 台灣常見再生能源類型說明

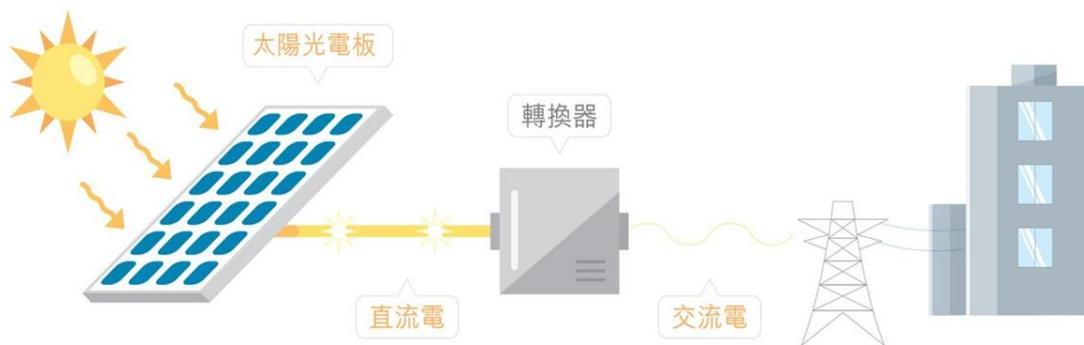
#### (1) 太陽光電與太陽熱能

太陽能應用方式可分為太陽熱能（Solar Thermal）（如圖 1 所示）與太陽光電（Photovoltaics, PV）（如圖 2 所示），兩者同樣利用太陽能量，但轉換原理、用途與設備形式皆不同。如太陽熱能利用可透過太陽能熱水器，以集熱器吸收太陽輻射熱來將水加熱，再由儲熱桶保存；若遇天氣不佳，則搭配輔助電熱器補足熱水溫度。太陽光電則以太陽能板收集光能，轉換成直流電，再透過逆變器（變流器）轉成交流電使用。太陽光電可直接生產電力滿足用電需求，太陽熱水器則生產熱能滿足加熱水之需求，前者對應電力系統、後者屬於熱能利用。



圖片來源：經濟部能源署

圖 1、太陽熱能利用概念（以太陽熱水器為例）



圖片來源：經濟部能源署

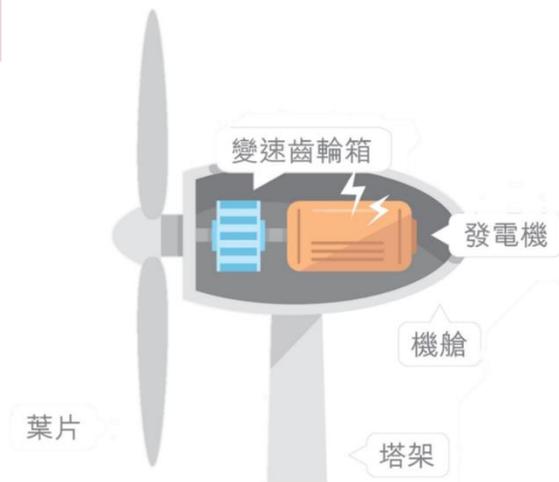
圖 2、太陽光電利用概念（以太陽光電系統為例）

就我國目前發展最積極的太陽光電系統為例，其發電過程無需燃料，也不產生空氣汙染物或噪音，在運轉階段幾乎沒有碳排放。另外，太陽光電屬於高度模組化技術，只需組裝太陽能板、逆變器與基本架構即可形成可運轉的系統，建置時間相對短，便於快速擴大規模。它可以從幾百瓦的小型家用系統，到數百 MW 的大型地面型電廠，都能依據空間與需求彈性配置。其次，太陽光電的運轉過程可靠度高且維護需求低。由於光電系統沒有機械旋轉部件，故障風險較小，只需定期清潔、檢修電氣設備即可確保穩定運作。現行技術已能使太陽能板維持 20 年以上的壽命，而逆變器等關鍵元件也因產業成熟度提升而具備更高穩定性。

## (2) 風力能

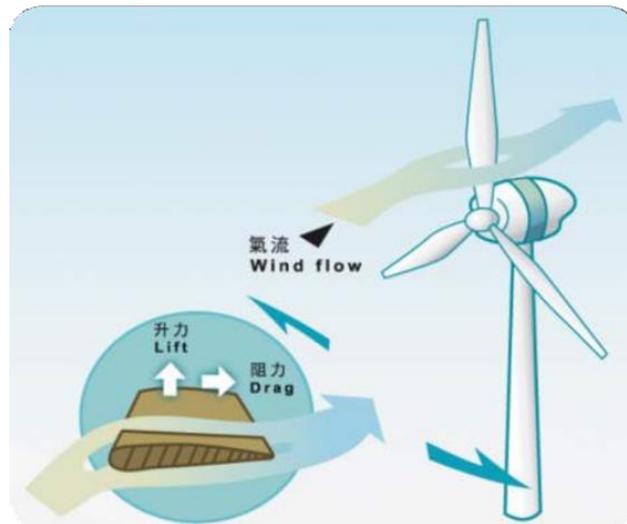
人類對風的利用始終與生活、交通、農業、生產以及能源系統的發展緊密相連。風本質上是一種由氣壓差異所造成的自然流動現象，但在不同文明與時期中，人們透過智慧與技術，把風的力量轉化為可使用的動能與社會功能。最早的用途之一是航海與跨地域交通。到了大航海時代，風向與季風的知識成為全球航海的重要基礎，使歐洲國家能跨越大洋，在世界建立商路、殖民據點與貿易體系，可見風與人類世界擴張密不可分。另外風也被用於推動風車，作為磨穀、抽水、灌溉等動力來源。現今風的使用早已超越過去航海、農業、抽水等用途，已逐步成為驅動各國電力轉型的關鍵自然資源。

風力機的主要組成（如圖 3 所示），包括吸收風能的葉片、連結葉片的轉子，再利用轉子帶動齒輪箱，將慢速的葉片轉子運動變成合適推動發電機的高轉速，最後與發電機連接，使其另外旋轉動能產生電力。在當風吹向風力機時，因風力機的葉片形狀類似飛機機翼，產生帶動風力機葉片轉子旋轉的升力，這個旋轉動作經由主軸傳遞到發電機，使發電機內的磁場與線圈相對運動，產生電流。（如圖 4 所示）



圖片來源：經濟部能源署

圖 3、風力機的基本組成



圖片來源：經濟部能源署

圖 4、風力發電的原理

風力發電本身不需燃料，因此運轉過程幾乎沒有碳排放，也不產生空氣汙染物。在自然條件合適的地區，風的動能可長期穩定取得，使風力發電能持續提供一定程度的發電量，尤其離岸風場風速更穩定，可作為電力系統中較可靠的再生能源來源。風力發電另一項特色，是具備極高的擴建彈性與規模經濟。風機可從小型（數百 kW）到超大型（數十 MW）單機不同配置，既能做為偏鄉、離島或工業區的分散式電源，也能形成大型陸域與離岸風場，成為區域電網的重要供電來源。隨著全球製造鏈成熟，風機成本逐年下降，使風電在許多國家已成為與傳統電力相當具競爭力的選項，而世界多數國家都把風力發電視為達成 2030/2050 淨零目標不可或缺的能源主力。

### (3) 生質能

生質能是指透過動植物來源的有機物質所轉換而成的能量，這些有機物大多來自光合作用所累積的化學能，因此具備自然循環、可再生、資源多元且可長期利用的特性。廣義來說，所有源於生物體或其代謝產物、廢棄物與殘渣所能轉換成熱能、電能或燃料者，都可稱為生質能。這些來源包括農業廢棄物（如稻稈、果樹修剪枝條等）、林業副產物（如枝葉、木屑、間伐木等）、畜牧糞尿、都市廚餘、工業有機廢水、藻類。由於這些物質在自然界本來就會經由分解或燃燒釋放

二氧化碳，因此生質能通常被視為「碳中和能源」。在適當管理下，其生命週期的碳排放可接近中性，是全球推動淨零排放過程中極具戰略地位的能源選項。

生質能的運作原理主要來自於生物質在光合作用中累積的化學能。植物吸收太陽光、水與二氧化碳，透過光合作用製造葡萄糖與纖維素等有機物，這些能量儲存在植物體中。人類透過各種轉換技術，把這些有機物質轉化為電力、熱能、燃料或可替代化石燃料的物質。

依轉換方式可分為四大類：直接燃燒、物理轉換、熱轉換、生物/化學轉換。其中，直接燃燒是最古老、最簡易且技術最成熟的生質能利用方式。生物質在氧氣充足的環境下燃燒，直接產生熱能，可用於溫水、蒸汽或驅動鍋爐發電。例如木屑、稻稈、甘蔗渣或林業間伐材等固態生物質，可經乾燥後投入鍋爐進行燃燒，產生高溫蒸汽驅動渦輪機發電；物理轉換，強調透過物理處理改善生物質的燃燒特性與能量密度。最常見的物理轉換方式包括「破碎」、「壓製」與「乾燥」。透過高壓將木屑、稻殼或竹屑壓縮成密度高、易儲存、便於運輸的顆粒燃料，能使燃燒更穩定、效率更高。物理轉換並不改變生物質的化學結構，而是改善其物理性質，使其能更有效作為燃料；熱轉換，係利用高溫環境，使生物質在不同氧氣條件下分解成可用燃料或化學品。熱轉換包含三種主要方式：氣化、熱裂解與部分氧化。氣化是在低氧環境中以高溫使生物質分解成「合成氣」(如 Carbon monoxide、Hydrogen、Methane 等)，可用於發電、工業燃燒或轉化成液態燃料。熱裂解則是在完全無氧下加熱，使生物質分解成生質油、生質炭與裂解氣，當中生質炭具固碳功能，使熱裂解成為具有氣候效益的技術之一。部分氧化則介於燃燒與氣化之間，用於製造工業燃料或替代性氣體燃料。熱轉換技術能使生物質從固態材料轉變為液態與氣態能源，提高其應用彈性，並為產業提供替代傳統石化原料的可能性；生物/化學轉換是利用微生物或化學反應，將生物質內的碳水化合物、脂質或蛋白質轉化為可利用的燃料與化學品。生物轉換中最典型的是「厭氧消化」，微生物在無氧環境分解有機物，產生沼氣（甲烷 + 二氧化碳），沼氣可用於發電、供熱。此技術廣泛應用於畜牧場、食品工廠、污水處理與垃圾處理系統，是循環經濟代表性技術。另一類是發酵技術，例如利用酵母將澱粉或纖維素轉化為生質

乙醇。化學轉換方面，如「酯交換反應」能把廢食用油或植物油製成生質柴油，是全球替代化石柴油的解方。



圖片來源：經濟部能源署

圖 5、生質能的轉換方式

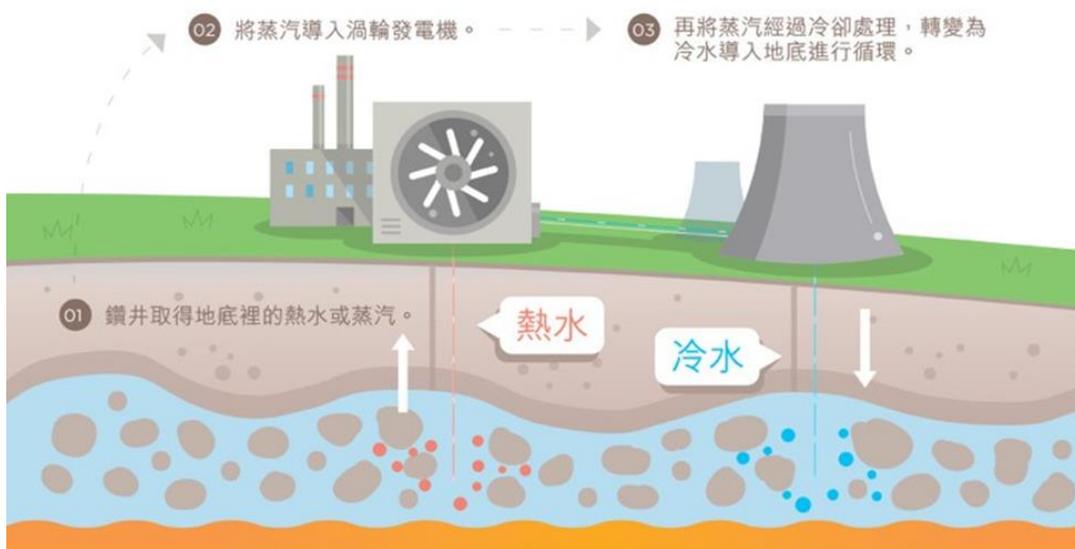
生質能的重要性也體現在其具備「廢棄物處理 × 能源生產」的雙重效果。台灣每年產生大量農業副產物、畜牧廢水、食品廢棄物與工業有機廢水，若未妥善

處理易形成環境負擔，例如臭味逸散、水體污染或溫室氣體排放。透過生質能技術，可把這些廢棄物轉化為沼氣、固體燃料或液體燃料，形成循環經濟模式，同時減少環境衝擊、創造收入並促進農漁村或地方產業的永續發展。

#### (4) 地熱能

地熱能是一種來自地球深處、持續而穩定釋放的自然能量，並透過鑽井、熱水取出、蒸汽抽取或熱交換等方式，把這些地球內部的熱能轉換成電力或熱能。這項能源與太陽能、風能不同，它不受氣候、季節、晝夜影響，具備高穩定性、長期可利用、全天候供能等特色，因此被視為再生能源中最具穩定性的基載電力來源之一。世界各國在推動淨零目標時，地熱能常被視為補上「間歇型再生能源」缺口的重要策略，使電力系統更具有韌性。

地熱能主要運作原理，以鑽井方式擷取地下高溫岩層與含水層形成「熱儲層」的熱資源，並把這份熱能取出用於發電或供熱。以發電為例，利用地熱井抽取熱儲層的過熱蒸汽，作為推動渦輪機旋轉的動能，從而推動發電機運作產生電力。若當地地熱溫度較低或蒸汽產量不足時，則將地表水或工作流體（具備有低溫沸騰的流體，如液氨或冷媒等）與地熱源進行熱交換，獲得汽化的高壓蒸汽，作為推動渦輪機的動力來源，使其帶動發電機產生電力。



圖片來源：經濟部能源署

圖 6、地熱發電的原理

地熱屬於少數可以提供穩定基載電力的再生能源，不像太陽光電會因日夜變化、風力發電會受風況影響，地熱電廠只要熱儲層穩定、設備運轉正常，就能全年 24 小時連續發電。地熱能的另一個特色是高度在地化與多元利用，同一套地熱資源，除了發電以外，尚可串聯溫泉觀光、農業溫室、水產養殖、區域供熱與建築節能等用途，形成「一口井，多種用」的在地能源系統。

### (5) 水力能

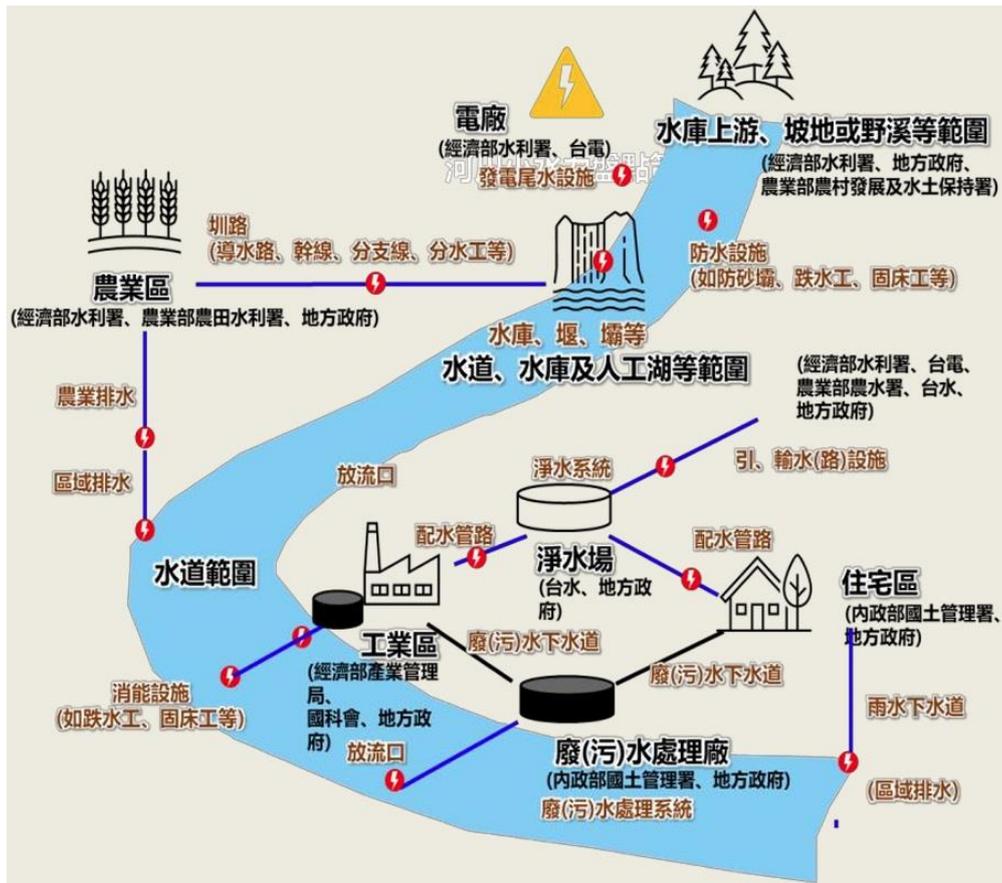
水力能係利用地球水循環現象，當太陽照射海洋與陸地時，水分蒸發、上升、凝結成雲層，再以降雨形式回到地表。雨水匯入河川、湖泊或水庫後，會因重力而向下流動，這個流動過程即蘊含大量位能。水力發電的核心原理，即利用水在高度落差中所產生的位能與動能，推動水輪機旋轉，再帶動發電機產生電力。

在典型的水力發電系統中，水首先被儲存在高處的水庫或天然湖泊，水位高度代表可用的「水能位差」。當電廠需要發電時，水透過取水口進入壓力鋼管，因高度落差形成高壓高速水流。水流衝擊水輪機的葉片，使其產生旋轉力矩。這個旋轉動作經由主軸帶動發電機，使發電機內的磁場與線圈相對運動，根據電磁感應原理產生電流。發電後的水再排回下游河道，持續自然循環，形成完整的水力利用流程。

水力電廠多依據地形條件分為高落差、中落差與低落差型，各自搭配不同的水輪機，包括佩爾頓式 (Pelton)、法蘭西斯式 (Francis)、卡普蘭式 (Kaplan) 等，使其能在不同水況與地形下維持穩定運作。

此外，水力發電開發範圍與樣態包括自然河川、水庫湖泊、自來水系統、污水系統等 (如圖 17 所示)，若依開發樣態可區分為四種類型，第一類是川流式水力發電，直接利用河川自然流量發電，不需大型水庫，環境影響較小，但發電量受季節與水量變動影響較大。第二類是水庫式水力發電，利用水庫儲水調節，使發電可穩定供應，並兼具防洪、灌溉與供水用途，是傳統水力電廠的主流模式。第三類管渠式水力發電，利用現有人工水利設施中的水位落差與壓力差進行發電的方式，例如既有的農業灌溉渠道、自來水系統、工業用水管道或污水處理廠放流水渠道等水位差或壓力差。管渠式水力發電其特點是設置彈性高、環境影響極

小，並善用既有水利與供水基礎設施，讓水資源達到「一水多用」的效果。第四類是抽蓄式水力發電，利用電力系統的離峰時段抽水到上池，尖峰時段再由上池放水發電，是大型儲能系統的重要形式，有助於平衡電網、支援再生能源併網與提高電力供應穩定度。



資料來源：經濟部水利署[10.8]

圖 7、水力發電開發範圍與樣態

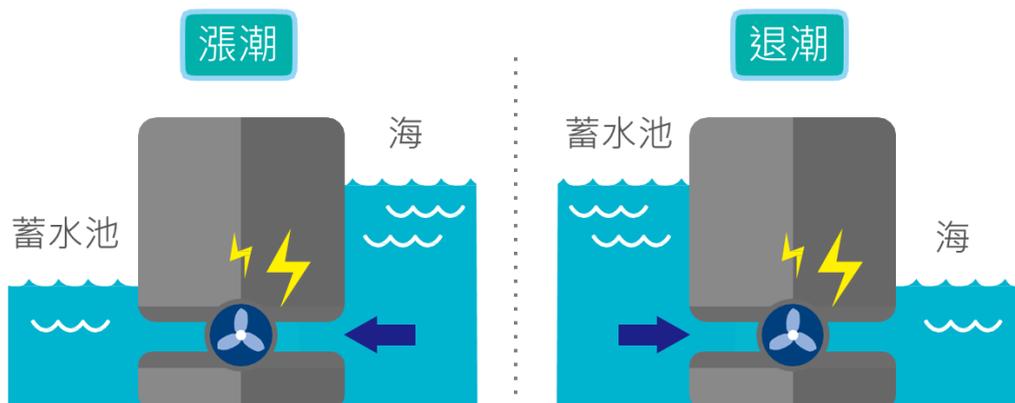
水力發電之所以在全球能源系統中重要，除了效率高、可靠度高之外，也因它能提供「可調度性」。不同於風力與太陽光電受自然條件控制，水力電廠可依需求啟停或調整出力，是支撐電網穩定的關鍵基礎設施。尤其是抽蓄式電廠，更能在太陽光電過剩或風力發電波動時進行能量儲存與釋放，使電力系統更具韌性。

### (6) 海洋能

海洋能是指利用海洋中自然存在的物理能量、化學能量或熱能，透過工程技

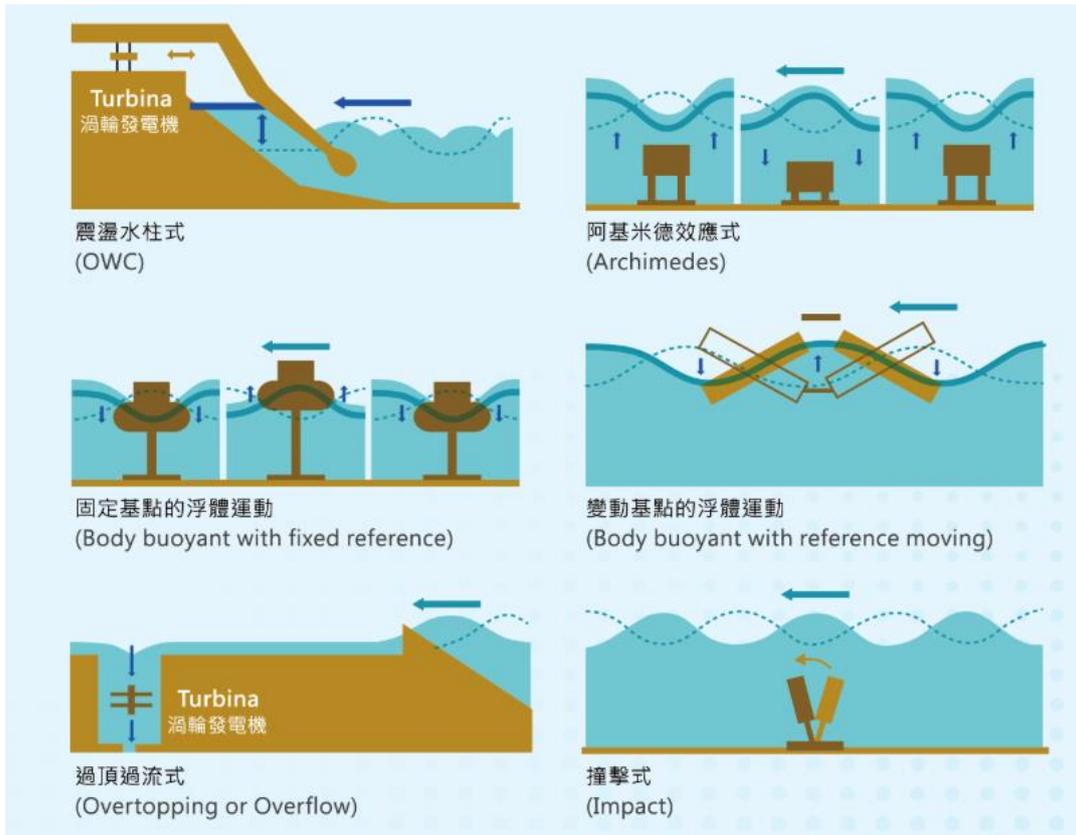
術加以轉換成電能或其他可用能源的總稱。由於地球表面超過七成由海洋覆蓋，太陽輻射、地球自轉、月球與太陽的引潮力、海水密度差異等因素，利用其潮汐的週期性升降、海水隨風形成的波浪、洋流與潮流的流動、海洋表層與深層之間的溫度差、以及海水鹽度差異所帶來的電化學位差，透過能量擷取裝置轉換成可持續生產的再生能源電力。

常見的海洋能發電，包括潮汐發電（如圖 8 所示）、波浪發電（如圖 9 所示）、潮流發電（如圖 10 所示）、溫差發電（如圖 11 所示）及鹽差發電（如圖 12 所示）等，其中潮汐發電的利用原理，是透過潮水在漲潮與退潮之間形成的水位落差與流動能量，驅動水輪機進行發電；波浪發電是透過海水上下起伏的波動，帶動浮體、擺動翼板或壓力室結構，使機械能或壓力能轉換為電力；潮流發電利用海水的水平流動，使水下渦輪機持續受到水流衝擊而旋轉；溫差發電利用海洋表層溫暖海水（約 20–30°C）與深層冷海水（約 4–6°C）之間的溫度差，透過低沸點工作流體（如氨或冷媒等）在熱交換器中蒸發汽化，產生具有壓力能的蒸氣，進而驅動渦輪機及發電機而產生電力；鹽差發電利用河水與海水混合時產生的滲透壓差，透過反滲透膜（PRO）或電化學電池（RED）轉換為電能。



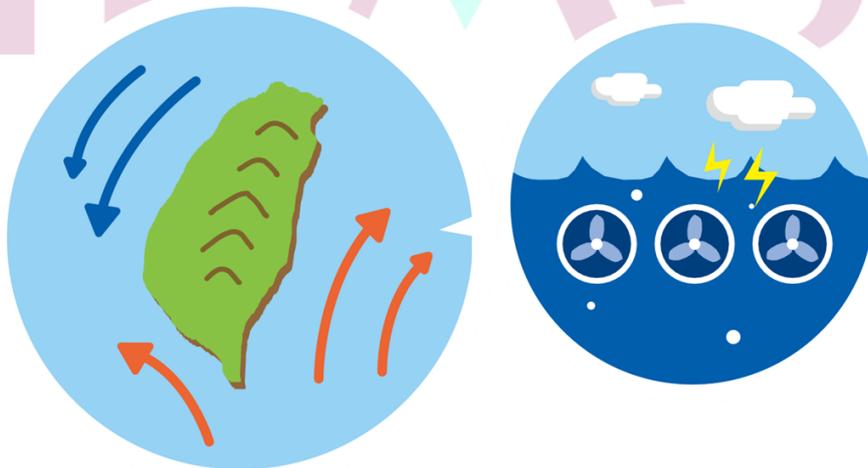
圖片來源：經濟部能源署

圖 8、潮汐發電原理示意圖



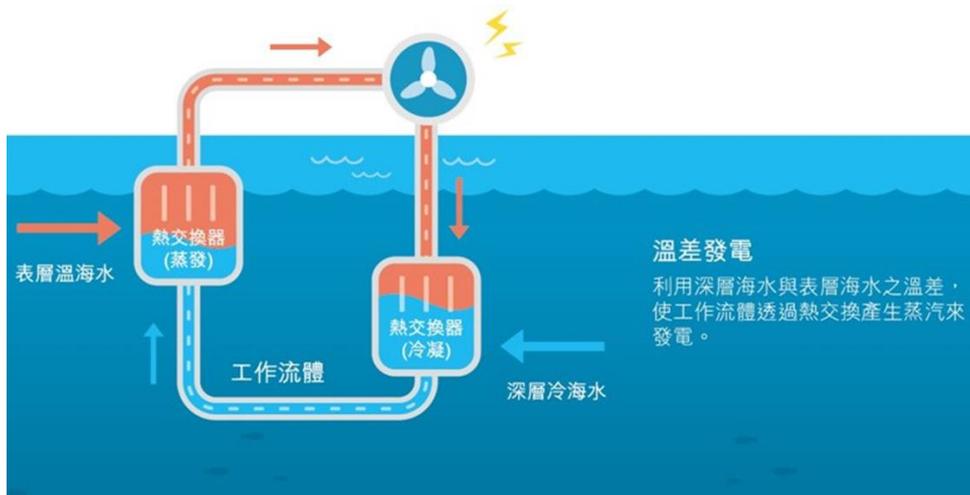
圖片來源：經濟部能源署

圖 9、波浪發電原理示意圖



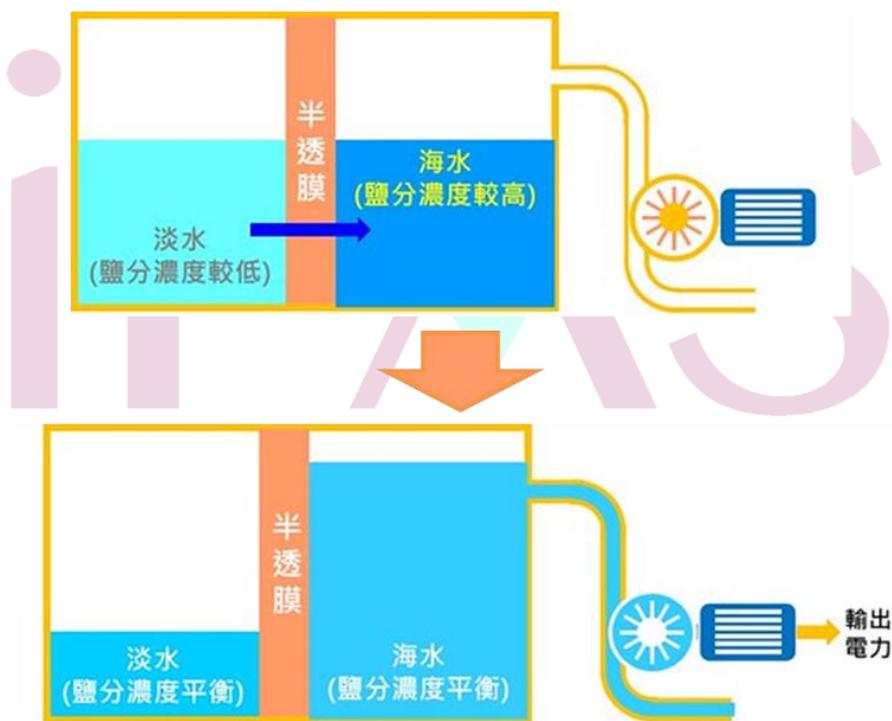
圖片來源：經濟部能源署

圖 10、潮流發電原理示意圖



圖片來源：經濟部能源署

圖 11、溫差發電原理示意圖



圖片來源：海洋能發展協會

圖 12、鹽差發電原理示意圖

海洋能目前在全球再生能源版圖中的角色，介於「技術驗證」與「早期商轉」之間，部分海洋能發電技術雖已投入商業開發（如潮汐發電或波浪發電等已有商業開發之案例），但產業及技術仍處於萌芽階段，現階段仍被全球各國視為再生能源中長期推動藍圖之潛力選項。

#### 4. 各類再生能源優劣比較

在面對淨零排放與能源自主的雙重挑戰時，台灣已逐漸從依賴單一大型電力來源，走向以多元再生能源支撐的分散式體系。不同類型的再生能源，各自擁有獨特的優勢與限制，以下針對各類再生能源進行優劣說明：

- **太陽光電：**太陽能是目前台灣推動再生能源的核心技術之一，主要以屋頂型與地面型太陽光電為主。它的最大優勢在於模組化容易、成本逐漸降低、安裝彈性高，能以分散式方式建置，形成社區層級的能源自主模式。由於太陽能系統發電相對穩定、維運需求較低。太陽光電在開發過程中仍存在土地競合、景觀衝擊與生態風險等爭議。如地面型案場若未妥善規劃，容易與農地利用、魚塢養殖、水產保育或濕地生態造成衝突。近年台灣採取「屋頂優先」、「地面審慎」、「生態檢核」等制度，就是為避免開發過程變成粗放型擴張，也強調在地協商、社會溝通與經濟共享的重要性。另外，太陽能的間歇性與用電尖峰疊合問題，仍需儲能、智慧電網與需量反應搭配才能達成穩定供電。
- **風力能：**台灣擁有豐富的海上風能資源，尤其西部海域具備世界級風場，使海上風力發電成為國家能源轉型的重要推手。在能源供應面，風力發電具有高單一裝置容量、發電效率高、不佔用陸地面積的優勢，對台灣密集土地資源而言具有特殊價值。此外，風力發電比太陽光電更能補足夜間電力缺口，與太陽光電形成時間互補，有助平衡夏季與冬季的供電需求，是規劃電網韌性不可或缺的能源來源。但風力發電的開發也伴隨高度社會爭議，近年風場與漁業活動的衝突，引發「海洋空間治理」的議題。風場開發不僅涉及航道、漁場利用與漁民生計，也牽涉海洋生態監測成本、保育責任與漁獲減少補償等制度安排。其次，離岸風電具有高成本、高技術門檻、施工期長、資本集中的特性，故風力發電開發專案仰賴大型財團參與，但不利於一般民眾投資或在地居民參與，可能形成「大型企業壟斷綠能收益」的現象，與公正轉型理念產生落差。另外，風力發電具高度間歇性，需要配合儲能、備用機組與跨區調度。若未搭配智慧電網與能源管理制度，就可能造成電網壓力。

- **生質能**：生質能的特色在於它是唯一能同時產生固體、液體與氣體燃料的再生能源，其來源包含農業廢棄物、林木資源、畜牧糞尿、廚餘、污泥與廢油等物質，能在能源轉型中扮演「廢棄物循環利用」與「綠色燃料替代」的雙重角色。生質能的優勢在於它不是間歇性能源，而是可儲存、可調度的穩定性電力，能與再生能源互補，同時減少廢棄物處理成本。然而，生質能的發展並非只要有廢棄物就能推動，其關鍵在於資源密度、收集成本與轉換效率。生質能的運作需要穩定且大量的原料供應，才能支撐設備投資與營運，因此需要區域型集中場域與長期物流系統，否則收集、運輸與儲存成本會高於發電收益。
- **地熱能**：地熱能是一種極具潛力但開發門檻高的能源，其特點是供電穩定、無需燃料、極低間歇性，具有可長期運作與低維護特性，若能成功開發，可作為基載電力，對提升電網穩定具有戰略性意義。台灣位於板塊交界，地熱資源豐富，尤其台灣東部地區具高潛力，未來有機會形成區域型自主電力模式。但地熱能最大的挑戰在於探勘風險與開發成本。地熱資源埋深、溫度條件與水文特性需透過地質調查與試鑽驗證，而鑽井成本極高，投資初期就可能面臨失敗風險；因此民間企業投資意願低，必須透過政府政策分擔風險或提供探勘補助。再者，目前具開發潛力之地點多屬於原住民地區、國家公園或自然保護區等，如何確保開發地點不影響當地環境及人文活動，亦是地熱開發過程需特別關注的課題。
- **水力能**：水力能在台灣的能源發展具有歷史性角色，過去大型水力曾是基載電力來源。水力能的最大優勢是穩定、可調度、具有瞬間啟動能力，能支援尖峰負載與緊急供電，是提高電網韌性的重要工具。此外，如灌溉渠道、水庫溢洪道、污水處理廠，甚至自來水管壓差，都能成為水力發電潛力案源。然而，水力發電開發也伴隨生態風險，如大型水壩可能造成攔沙、阻斷生態遷徙、改變河川水文與下游生態，現已不符合目前我國河川治理與生態友善理念。為避免大型水力發電開發對環境的影響，目前我國朝小型水力發電進行推動，因不需截水、不改變河道，對環境衝擊較低，較符合河川保育與低碳目標。

- **海洋能**：海洋能被視為未來長期具潛力的再生能源，包括波浪能、潮汐能、海流能與海洋溫差（OTEC）。台灣四面環海、具複雜海流與強勁潮汐，理論潛能可觀。因此海洋能具有獨特優勢，其能量密度高、穩定性較佳，尤其潮汐與海流具有高度規律性，可作為穩定型再生能源，與間歇性的太陽與風力形成互補。然海洋能技術成熟度不如風電或太陽能，而海洋環境使海洋能發電設備存在有高鹽害、高維護成本與極端海象等開發風險，其設備需承受強浪、鹽分與生物附著，因此耐久設計與維修成本是關鍵挑戰。現階段海洋能仍屬研發階段，其投資回收期長、商業模式皆尚未確立，需政府長期補助與技術示範計畫，否則難以進入市場。

在台灣的能源轉型中，各類再生能源並非彼此競逐，而是在不同條件與限制下扮演互補角色。太陽能具備部署彈性、成本下降與社區可參與等優勢，能快速擴大綠能比例，卻因土地利用衝突與間歇性問題，必須透過電網彈性技術(如快速反應的天然氣發電、抽蓄式水力發電及儲能系統)與生態友善開發來落實；風力發電具單一機組裝置容量高、開發成本低之優點，但也伴隨供電變動性高、漁業及海洋空間競合等問題；生質能可有助去化農林及都市廢棄物，且電力生產可配合用電需求進行調度調節，但須確保生質能發電之料源穩定，料源及運轉過程，也應確保其不產生環境風險之慮；地熱能具備穩定基載供電與多重熱利用價值，但探勘風險高、涉及地質與原民土地議題，必須透過協助降低前期探勘風險，並充分引導開發業者完善在地溝通；大型水庫式水力發電屬於基載電力來源之一，惟水庫式水力發電開發，易造成環境影響及破壞，再者台灣可作為水庫開發之場域已幾乎飽和。後續我國水力發電將朝中小型水力發電進行推動，並鼓勵運用既有水利設施共同設置水力發電機組，達到一設施多利用之價值；海洋能雖尚未商業成熟，但能形成海洋治理、漁業與能源共存的新模式，是潛力型而非速成型的戰略資產。

再生能源的優劣不取決於單一技術本身，而是與土地空間、生態環境、社會接受度密不可分。若忽略地方生計、資源分配與生態保護，即便是再生能源也可能成為新的破壞力量；只有透過共享收益、參與決策、跨域協作與生態友善開發，

才能讓多元能源形成互補系統，而非彼此競爭的替代選項。台灣的綠能未來不只是追求發電量，而是打造一個能反映地方需求、促進公正轉型、提升社會韌性的能源治理模式，使能源成為在地合作的契機，而不是新的衝突來源。



iPaaS



### 範例考題

1. 下列何者不是國際間認定再生能源的主要理由？  
(A)來自自然界可循環利用的能量；(B)使用後會永久枯竭；(C)不依賴地質年代形成；(D) 能源使用之生命周期碳排放量較低
2. 《再生能源發展條例》將下列何項視為再生能源種類？  
(A)天然氣；(B)石油；(C)太陽光電；(D)核能
3. 下列哪些發電類型在台灣較具「在地型自主供電 × 多用途複合使用」潛力？  
(A)太陽光電、水力發電、地熱發電；(B)天然氣發電；(C)核能發電；(D)火力發電
4. 下列何者為太陽光電的主要優勢？  
(A)不受日夜環境影響；(B)發電穩定，不具間歇性；(C)無需電網即可運轉；  
(D)模組化技術成熟且安裝彈性高
5. 台灣推動太陽光電開發策略，強調「屋頂優先」的原因，下列何者正確？  
(A)屋頂安裝成本高；(B)可避免與農漁用地產生衝突；(C)屋頂無需申請認證；  
(D)只適合大型企業使用
6. 目前台灣的水力發電推動策略，強調以下列哪種類型為開發重點？  
(A)與既有水利設施結合的小型水力發電；(B)水壩式水力發電；(C)採圍水築堰易影響生態的水力發電；(D)運用上下池進行抽蓄發電的抽蓄式水力發電
7. 下列何者為地熱能的優點？  
(A)完全不受地質條件影響；(B)不需鑽井即可開發；(C)可做為基載電力，全天候穩定供應；(D)台灣地熱資源極少
8. 下列何者是生質能的特色？  
(A)發電過程不排放二氧化碳；(B)具備廢棄物處理與能源生產雙重效益；(C)無需料源穩定供應；(D)完全不需儲存
9. 下列何者為台灣風力發電開發的重要社會爭議？  
(A)高度空污管理問題；(B)影響地熱資源開發；(C)破壞水庫生態；(D)海洋空間與漁業競合

10. 海洋能現階段在全球發展的定位，下列何者正確？

- (A)高度成熟的主力發電；
- (B)商業化普及階段；
- (C)技術驗證與早期示範階段；
- (D)已停滯無法發展

ipAAS

## 考題解析

1. **Ans (B)**

國際組織（IEA、IRENA、UNFCCC）所認定再生能源，主要強調：來自大自然可循環再生；不依賴地質年代形成；設備發電生命周期之碳排放量低。

2. **Ans (C)**

再生能源發展條例第三條，已明確包括：太陽光電、風力能、生質能、地熱、海洋能、水力。核能、天然氣、煤炭皆不屬於再生能源。

3. **Ans (A)**

題項(A)所列之太陽光電、水力發電、地熱發電，其中太陽光電可與工廠屋頂或養殖活動等相結合、水力發電則可利用既有水利設施共同開發、地熱發電則可於溫泉或旅遊觀光等結合。

4. **Ans (D)**

太陽光電屬「高度模組化技術」，建置快速、維運需求低，可從家用小型系統到大型電廠皆可彈性配置，因此安裝彈性與模組化成熟是其主要優勢。

5. **Ans (B)**

地面型光電開發可能造成農地競合、魚塭養殖、水產保育、濕地生態等衝突，因此政府採「屋頂優先、地面審慎」。

6. **Ans (A)**

水壩或橫向截水設施易造成環境與生態破壞，因此台灣將發展重點朝小型水力與管渠式發電，希望利用自來水、灌溉渠道、污水處理放流水等既有設施來設置水力發電。

7. **Ans (C)**

地熱不受氣候、晝夜、季節影響，可 24 小時供電，被視為再生能源中的穩定基載來源。

8. **Ans (B)**

生質能可將農業廢棄物、廚餘、污泥等轉化為能源，具循環經濟價值。

9. **Ans (D)**

台灣風場與漁場、航道重疊，造成漁民生計與海洋治理衝突。

10. **Ans (C)**

海洋能（潮汐、波浪、海流、溫差等）技術仍成熟度不足，多處於研發與示範階段。

The logo for iPaaS features the letters 'iPaaS' in a light purple, sans-serif font. A large, light teal checkmark is superimposed over the 'A' and 'S' characters, indicating a successful or approved status.

## 3.2 國內再生能源導入及效益評估

### 1. 台灣再生能源推動現況

自 2016 年行政院啟動能源轉型以來，台灣正式確立以「展綠、增氣、減煤、非核」為電力結構調整的方向，並同步推動創能、節能、儲能與智慧系統整合，作為提升能源安全與降低排放的核心策略。隨著國際間陸續提出更積極的淨零承諾，並於 2021 年正式宣示 2050 淨零排放目標，帶動國內能源治理邏輯從單純「擴大再生能源」逐步轉向「系統性減碳 × 社會轉型」的雙軸並行。

行政院於 2022 年公布淨零轉型路徑與十二項關鍵戰略，使再生能源政策從目標倡議進一步轉化為具有路徑、量化目標與跨部會協作架構的完整治理框架。在 2024 年，賴總統更啟動「二次能源轉型」，強化「多元綠能」與「深度節能」兩大主軸，讓國家能源策略從早期的「擴量建置」走向「品質精進、韌性提升與在地共榮」，更明確把再生能源視為支撐產業競爭力、能源自主、安全韌性與淨零轉型的基礎工程。

目前台灣再生能源政策脈絡呈現三大趨勢：其一，從早期的太陽光電與離岸風電雙主力，逐步拓展至地熱、小水力等多元綠能，形成分散式與集中式並行的架構；其二，推動模式由「政府補助推升」轉向「法規精進 × 行政協力 × 在地溝通」，透過制度工具降低行政門檻並提升民間參與意願；其三，重視社會環境共融，使再生能源佈建能同時兼顧生態、土地使用、地方發展與能源安全。整體而言，我國再生能源發展已從早期的技術導入與基礎建設進入成熟化階段，並邁向以系統韌性、治理協調與永續共榮為主軸的深化推動階段。

截至 2025 年 9 月，我國再生能源累積裝置容量已達 22.19 GW，其中太陽光電與離岸風電仍為發展主軸，光電累計已達 15.1 GW，風電則達 3.28 GW 併網量，另加上小水力 181.6 MW 與地熱 7.5 MW 皆呈現穩定成長，顯示我國已從早期的示範型推動邁向實質供電規模的綠能供應系統。

在太陽光電方面，屋頂型累積設置量達 9.63 GW、地面型累積設置量達 5.47 GW，光電成長的速度不僅反映民間投資意願，也與政府自 2017 年起跨部會推動

公共建築、工業區、農業設施等屋頂光電推動計畫有高度關聯。

在離岸風電方面，截至 2025 年已安裝 470 座風機，總裝置容量達 4.38 GW，讓台灣成為全球離岸風電前五大國家之一，顯示我國已成功建立從選址、環評、招商、融資至併網的一條龍制度化能量。

地熱與小水力量體雖不如風光，但依照我國地質、河川、農圳等特性，其貢獻具有「在地分散型 × 穩定供電 × 與地方共榮」等特色，是重要的區域型能源補充來源。

## 2. 台灣再生能源推動政策

在太陽光電領域，我國政策重點採「屋頂優先 × 地面複合使用」雙軸推動。其中屋頂光電在政策力道下快速成長，政府除透過公有建物、工廠、農業建物等推動外，更自 2025 年起編列每年 10 億元推動「家戶屋頂加速計畫」，由地方政府提供獎勵，提升民眾參與綠能自發自用之意願。同時與內政部合作，推動新建物強制裝置太陽光電，預計於 2025 年底公告，使光電成為新建物的標準配備。地面型光電則以複合使用為原則，包括漁電共生專區、工業用地、鹽灘地及污染場址等。

離岸風電則強調「公對公協力 × 融資強化 × 海域空間優化」。其政策內容包括建立跨部會場址審查機制、提升國家融資保證成數至八成、拓展可設置海域空間，以及確保風場開發與海洋活動並存。這些政策為業者降低風險並提高融資可行性，是我國能在短時間內達成全球前五大風電設置國之重要關鍵。

地熱方面則採「多團隊、多點探勘 × 國際合作 × 法規鬆綁」模式推動，包含原住民族地區諮商、國家公園區域規範檢討、擴大地熱鑽探，以及引進國際技術與團隊，以提升深層地熱開發能力。

小水力則以「公對公模式」與「民間自提模式」並行推動，搭配水利署、農水署與台水公司擴大盤點潛力場域，並要求案件同步進行生態評估與社會溝通，以確保在河川、農圳、管渠等場址中兼顧環境友善與地方支持度。

整體而言，各項再生能源類型皆已形成具有行政協力、法規工具、財務誘因與在地治理等多層次的政策體系，使台灣能源轉型能夠在穩健且可預期的制度基礎上持續擴展。我國綠能佈建已從量能成長逐漸邁向質的提升，而二次能源轉型也使再生能源政策從單純追求裝置量，轉為強調環境友善、技術成熟度、系統整合能力以及在地治理架構的穩定性。這些成果充分展現台灣在全球淨零趨勢下的政策韌性與推動決心，並為後續企業綠電需求、電力市場改革以及能源自主奠定基礎。

### 3. 台灣再生能源推動效益

我國積極推動再生能源，不僅是回應全球淨零排放潮流，更是為了鞏固國家能源安全、提升產業競爭力、增強社會韌性與促進地方永續發展的關鍵工程。從長期視角來看，再生能源發展的效益可分為能源安全、經濟與產業升級、社會與地方發展、環境永續及國際競爭力五大面向，這些效益將在未來二十年至三十年間逐步累積，並全面影響我國的經濟結構與社會體質。首先，在能源安全方面，我國高度依賴進口化石燃料，供應鏈暴露在地緣政治、國際燃料價格與運輸風險之下。再生能源屬於本土能源，尤其太陽光電、小水力、地熱等皆可分散設置於全台各地，能有效降低對單一路徑供應的依賴，提高能源自主程度。透過建置分散式與在地化的綠能系統，台灣可在面對天災、地緣衝突、國際燃料波動時，維持較高的供電穩定性，同時減少備援燃料庫存與國際採購成本。此外，再生能源搭配儲能系統與智慧調度，更能提升電網韌性，使台灣逐步從「高度依賴進口」的能源結構，轉型為「以本地綠能打造安全網」的永續能源體系。

再者，在經濟發展與產業升級上，再生能源推動已成為全球供應鏈競爭的核心門票。國際品牌紛紛要求供應商使用綠電，RE100、歐盟 CBAM 等規範使綠電需求成為台灣企業的生存條件。我國若能穩定供應綠電，不僅可協助電子、半導體、金屬、機械等主力產業降低碳足跡，也能吸引國際投資者強化在台布局，使綠能成為招商與產業升級的重要戰略工具。同時，風電、太陽光電、地熱與儲能產業鏈的本地化，將帶動材料、工程、維運、設備製造、人才訓練等跨領域需求，

形成新的綠能產業生態系。這不僅能創造大量綠能就業，更能提升台灣在區域能源經濟中的技術影響力，使「台灣綠能競爭力」成為國家新的成長引擎。

在社會韌性與地方發展層面，再生能源的效益更為深遠。以近年西南沿海養殖區受強颱造成停電的案例為例，若能及早建置再生能源搭配儲能、微電網與自備電源，將能有效降低停電風險，保障農漁業生計，避免因電力中斷造成重大損害。再生能源若以社區共創、地方參與、共享機制推動，亦能帶動地方收益回饋、青年返鄉就業、創生型能源合作社，以及在地企業的投入，讓能源轉型不再是中央主導，而是地方共同營造的永續工程。此外，透過「漁電共生」「屋頂光電」「小水力＋生態評估」等模式，能源設置能與產業、景觀、文化及環境共融，改善地方公共建設與生活品質，使綠能從單純的供電工具轉型為地方治理的重要策略。

環境效益方面，擴大再生能源能有效減少溫室氣體排放，是達成 2050 淨零的重要支柱。再生能源能降低燃煤與燃氣使用，改善空氣品質，減少健康風險與社會成本。同時，再生能源若以複合利用方式推動（如漁電共生、地面型與資源回收用地結合、屋頂光電與節能並行），更能減少土地衝擊，促進土地永續利用。搭配綠電憑證、碳權、電力市場改革，我國也能在未來國際碳定價與減量制度中掌握策略主動性。

最後，在國際競爭力面向，再生能源不僅是台灣的能源政策，更是外交與產業競爭的重要資產。當全球供應鏈逐步要求生產商具備低碳製造及使用淨零電力之能力，透過加速再生能源部署將使台灣維持出口競爭力並強化國家形象。綠能技術輸出也能讓台灣在國際合作中扮演關鍵角色，推動區域能源治理、共享技術、共同研發與人才交流，使台灣由能源需求者轉型為綠能技術的提供者。

我國推動再生能源的未來效益並非單一面向，而是涵蓋能源安全、產業競爭力、社會韌性、地方永續與國際地位的全面性轉型。再生能源將成為支撐台灣下一階段國家發展的重要基礎工程，使台灣在面對全球淨零趨勢、產業變革與極端氣候風險時，能以更強的韌性與更高的自主性持續向前。若能持續深化治理制度、強化地方參與並兼顧環境永續，我國的能源轉型不僅能達標，更將成為塑造台灣未來三十年競爭力的關鍵力量。



### 範例考題

1. 我國於何年正式宣示 2050 淨零排放目標？  
(A) 2018；(B) 2019；(C) 2021；(D) 2023
2. 我國推動能源轉型的方向為「展綠、增氣、減煤、非核」，其中「展綠」指的是下列何者？  
(A)擴大能源儲存；(B)提升再生能源占比；(C)降低電力使用；(D)發展核能電廠
3. 2022 年我國公布之淨零路徑與戰略，使再生能源政策從倡議進入下列何種階段？  
(A)設備研發階段；(B)具量化目標與治理架構；(C)放任市場自行發展；(D)停止補助階段
4. 下列何者為 2024 年所提出的「二次能源轉型」強調的兩大主軸？  
(A)多元綠能與深度節能；(B)核能重啟與擴大火力發電使用；(C)降低碳稅與增加煤電；(D)補貼燃氣與放寬二氧化碳排放標準
5. 截至 2025 年 9 月，台灣再生能源裝置容量主力列何者？  
(A)地熱與海洋能；(B)水力與煤電；(C)生質能發電；(D)太陽光電與離岸風電
6. 太陽光電之推動方向為「屋頂優先 × 地面複合」，其中地面型光電以下列何者為主？  
(A)漁電共生專區、不利耕作或受污染土地、鹽灘地等；(B)森林保護區；(C)工廠與大樓屋頂；(D)優良農地
7. 離岸風電政策強調「公對公協力」，其目的下列何者正確？  
(A)放寬漁業規範限；(B)減少民間投資；(C)僅由政府獨資；(D)提升國際融資與海域審查協作
8. 地熱推動策略除技術外，特別要求重視以下哪個面向？  
(A)僅由企業自行探勘；(B)原住民族諮商與國家公園規範檢討；(C)禁止國際合作；(D)提高業者前期開發風險

9. 我國推動再生能源之能源安全效益主要來自於下列何者？  
(A)增加國際燃料採購；(B)關閉在地能源系統；(C)降低儲能比例；(D)減少對進口燃料的高度依賴
10. 再生能源能強化台灣產業競爭力的原因，下列何者正確？  
(A)綠電只影響住宅用電；(B)國際完全不關心碳排議題；(C)全球供應鏈要求綠電與低碳製造；(D)產業不需用電

The logo for iPaaS features the letters 'iPaaS' in a light purple, sans-serif font. A large, light green checkmark is superimposed over the 'A' and 'S' characters.

## 考題解析

1. **Ans (C)**

我國於 2021 年正式宣示 2050 淨零排放，並因此帶動能源治理由「擴量型」轉為「系統性減碳 × 社會轉型」。

2. **Ans (B)**

行政院自 2016 年起以此方向推動能源轉型，其中「展綠」指擴大再生能源。

3. **Ans (B)**

2022 年公布淨零路徑與十二項戰略，使政策從倡議走向具路徑、量化與跨部會治理架構。

4. **Ans (A)**

本階段不再只強調擴量，而是多元綠能 × 深度節能 × 韌性治理。

5. **Ans (D)**

依據再生能源統計月報之數據，截至 2025 年 9 月之主要再生能源設置量，仍以太陽光電與離岸風電為主。

6. **Ans (A)**

地面型需採複合利用，以 漁電共生專區、工業區、污染地、鹽灘地 為主，避免與良田競合。

7. **Ans (D)**

政府強調跨部會審查、國家融資保證、海域空間治理，以降低風險並提升投資可行性。

8. **Ans (B)**

地熱潛力大多位於東部與原民地區，開發需兼顧 原民諮商、保護區規範、國際合作、風險補助。

9. **Ans (D)**

台灣進口能源佔 9 成以上，地方化綠能、分散式能源能提升自主安全與災害韌性。

10. **Ans (C)**

國際品牌與 RE100 要求低碳及綠電使用，綠電已是供應鏈生存門票。

### 3.3 綠電採購模式與制度

近年來，跨國品牌與大型企業紛紛將永續作為企業競爭力的重要指標，除了設定自身的減碳與綠電目標外，也開始要求其全球供應鏈必須同步降低產品碳足跡，並在製程中逐步導入再生能源。對以出口導向為主的台灣而言，這樣的趨勢不僅是國際環保風潮，更直接影響國內企業的市場存續。許多台灣廠商位居國際供應鏈關鍵零組件製造位置，若無法響應國際品牌的綠電採購要求，恐將面臨被替代或喪失訂單的風險。因此，提升生產過程的綠電使用比例，已不再只是形象宣示，而是進入國際市場的必要門票。

隨著綠電需求快速擴張，企業的角色也逐漸從「電力消費者」轉變為必須主動選擇電力來源的「能源規劃參與者」。企業不僅需要購買電力，更必須理解電力究竟從何而來、是否符合碳中和與再生能源證書要求、能否依照生產時段供應，以及如何在電力轉供機制與結算方式中取得最適合的綠電組合。

換言之，企業必須了解不同再生能源供應模式的特性，包含綠電購售合約、企業自建電廠、與他人合作共享電力設施、或透過電力轉供與證書交易來取得綠電資格。此外，不同發電類型如太陽光電、風力發電或生質能源，其發電時段、穩定性與可調度性均有所差異，企業唯有評估用電曲線與生產排程，才能選擇真正貼近自身營運型態的綠電來源。

因此，企業採用再生能源不再只是單純「購電」行為，而是策略性能源管理的一部分。如何選擇綠電、如何在供應模式與電網結算間做出精準決策，將成為企業競爭力的重要關鍵。掌握能源知識與用電需求匹配，不僅能符合跨國企業採購條件，也能於全球淨零浪潮中取得市場優勢，成為企業永續與商業策略的核心。

#### 1. 企業的綠電使用模式

目前我國企業綠電的使用模式主要有兩種（如圖 13 所示），模式（一）是透過自設的再生能源發電設備進行自發自用，模式（二）是通過台電的電力系統將再生能源電廠的綠電轉供至使用端。兩者之差異為前者電力生產與使用都在同一

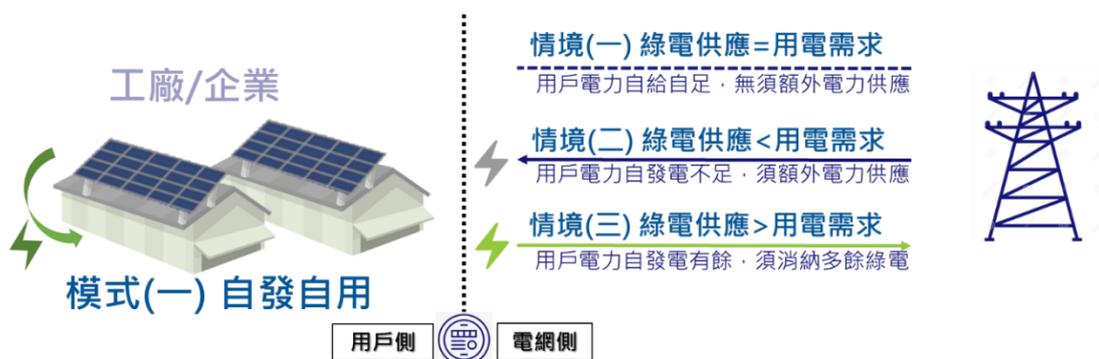
個場所，後者電力生產與電力使用屬於不同場所，電力生產後需透過電網送至電力使用端。



圖片來源：工研院

圖 13、綠電使用模式

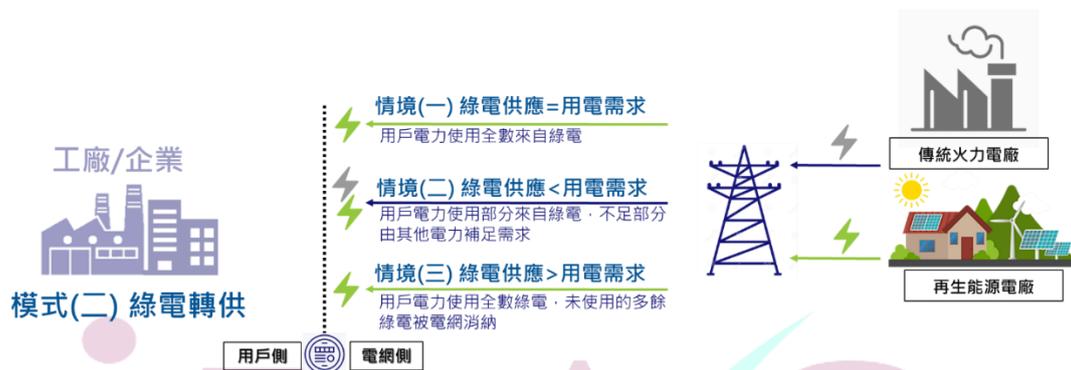
如以模式（一）自發自用為例，企業將同時具備有電力生產者及電力使用者的角色，企業對於電力供給與需求將產生三種情境（如圖 14 所示），（情境一）綠電發電量等同於用電量、（情境二）綠電發電量小於用電量、（情境三）綠電發電量大於用電量。當綠電發電量等同於用電量時，表示每一度綠電都即刻被企業使用；當綠電發電量小於用電量時，企業除了使用綠電外，還需依賴外部的電力供應，才可完全滿足企業用電需求；當綠電發電量大於用電量時，綠電量超過企業用電需求，綠電則必須傳輸到其他地方或運用其他方式儲存起來。依據現行台電的制度下，當發生情境二或情境三時，台電公司就會扮演者電力消納或額外電力供應者的角色。



圖片來源：工研院

圖 14、模式（一）自發自用之綠電供給情境

若企業透過綠電轉供的模式來取得綠電，雖綠電的生產者不在是企業本身，但綠電供給跟需求也將面臨前述三種情境的問題（如圖 15 所示）。在情境（一）與情境（三）的情況下，企業電力使用全數都可被再生能源替代。而在情境（二）的情況下，則企業電力使用將會有兩種以上的來源，而其中包括來自於台電公司的灰電。



圖片來源：工研院

圖 15、模式（二）綠電轉供之綠電供給情境

## 2. 企業外購綠電結算機制

按台電公司電力結算之機制[10.12]，係以每 15 分鐘為一個結算時段，而每小時下之四個結算時段的總和即為用戶的用電度數。若將每月不同時間電價段下之各 15 分鐘時段用電紀錄各自累加後，並乘上該時間電價段之費率，其結果即為當月電費單度數及費用。

如以全年度總時數為 8,760 小時估計，台電公司每年對於電力用戶共計有 35,040 次的電力結算，因此企業如規劃將所有需求端電力使用來源由灰電改為綠電者。依照目前台電電力結算制度，前述所有時段的電力結算時綠電供應量需大於或等於用電量，方可符合全用電時段皆為綠電。

依據台電電力結算制度下，可知當企業透過模式（一）自發自用或模式（二）綠電轉供的任一種模式下，都會產生綠電量等同用電量、綠電過多或綠電過少的情境，而因為電力不易大量儲存，該如何讓企業電力需求都可被綠電滿足，將是企業要走向全面使用綠電時需面臨的課題。

而進一步解析每日太陽光電發電量、用電量及轉供電量之關係，從圖 16 可知在①與③的情況下，為綠電轉供電量大於或等於用電量時，企業用電可全數被綠電滿足，且有多餘綠電會躉售給台電公司。反之，在②的情況下，當用電量大於綠電轉供電量時（如在夜間或太陽光電無法發電的時段下），企業電力需求將分別由太陽光電與台電來滿足。



圖片來源：工研院

圖 16、每日發電與用電需求之關係

### 3. 企業如何規劃綠電採購策略

過去企業在規劃綠電採購策略時，往往以「年度總用電量」作為核心依據，也就是先計算一年整體耗電總量，再推算應採購的綠電比例與數量。這種方式在早期綠電制度尚未成熟時，確實能提供初步估算與政策宣示基礎。然而，企業的用電需求與再生能源的發電供給，皆是隨時間而變動的動態資訊，僅以年度統計數值作為購電依據，無法反映企業實際逐時用電情況。以太陽光電為例，日間發電量較高，夜間則無電力可供應；風力發電不一定在白天發電高峰，其受天氣與季風條件影響而具有高度不確定性；生質能或儲能卻相對具備調度能力，能在缺電時段補足需求。

換言之，若企業採購大量太陽光電，卻沒有對應的白天用電負載或儲能設備，就算名義上買足綠電，實際也可能在夜晚仍仰賴一般電網供電，使綠電使用率與碳減量效益與預期不符。同樣地，倘若企業的生產負載集中於特定時段，而再生能源發電卻無法對應該時段提供電力，即使總量看似足夠，其使用價值仍會大幅折扣。因此，僅以年用電量做決策，等同忽略企業用電的日內變化與再生能源逐時容量因數的差異，使綠電採購失去精準性。

在實務上，企業若要真正提高綠電使用比例，須將關注焦點從「總量採購」轉向「逐時匹配」。逐時用電變化，反映企業在不同時段、不同製程、不同季節的負載差異，而這些差異會直接影響綠電能否被有效使用。例如半導體產業的製程常全天候運行，其用電需求具有較高的穩定性，但也存在週期性負載差；食品加工廠則可能受產線啟停、冷鏈系統運作或夜間作業模式調整而產生不同用電特性。再生能源逐時容量因數也並非固定值，而是依天候、日照角度、風速變動與季節變化而產生差異。因此，企業若希望導入最符合需求的綠電，就必須同時掌握自身逐時用電曲線與各種綠電逐時發電曲線，再將兩者套疊，進行匹配分析，如此才能明確知道哪些再生能源類型適合自身負載，以及最佳化的裝置容量應落在哪個區間。

基於上述需求，本文整理企業綠電導入的評估準則[圖 17]，提出更加具體且可操作的決策流程。首先，企業仍可透過年度用電資料搭配預期導入比例，推算出最大綠電採購量，作為策略願景與長期布局的上限。接著，需求端必須進一步取得自身「逐時用電資料」，這通常需要智慧電錶或能源管理系統（EMS）支援，透過逐時負載分析，建構企業個別的用電曲線。再者，需蒐集再生能源在不同時段的逐時容量因數，例如太陽光電的日照曲線、風力的逐時風速資料、生質能或儲能的可調度能力指標等。最後，透過將「逐時用電」與「逐時綠電供給」兩者進行套疊比較，企業便能清楚掌握綠電在不同時段的使用可能性，判斷是否能滿足需求、是否存在缺口、是否需要搭配儲能系統、以及不同再生能源的最佳裝置容量配置。



圖片來源：工研院

圖 17、綠電導入評估準則

因此，未來綠電導入不再只是追求購買量，更需回歸企業真實的用電需求，透過逐時分析找出最佳化能源組合，並在滿足國際採購要求的同時，真正提升企業能源韌性與碳管理效率。綠電的精準配置將成為企業能源策略的重要核心，不僅關係成本與供電安全，更直接影響企業國際競爭力、永續聲譽與營運模式調整。也就是說，企業不再是單純的綠電購買者，而將成為能源治理的一份子，透過數據分析與電網互動，打造符合自身需求的綠色能源系統，使綠電不只是符號，而是能與生產邏輯同步運作的關鍵資源。

#### 4. 綠電採購契約應注意的關鍵重點[10.11]

企業欲導入綠電，不能僅以年度電力需求作為初步估算，而需進一步建構「用電端逐時需求 × 綠電供給逐時變化」的完整資料架構，才能正確判斷應採購的綠電量與合適的再生能源類型。

綠電供給端必須揭露其「發電量資訊、場址條件、線供應資訊以及調整供電比例能力」等多項資料。供給端需要提供平均年發電量、日/月發電變動情形，以及是否能提供即時發電測試資料，以確認供電穩定度與逐時匹配能力。因此可以透過再生能源發電業或再生能源售電之簡明月報與年報，來了解其供給來源的綠電情況。其中，再生能源發電業者必須定期揭露營運資訊（如圖 18 所示），要求揭露包含設備容量、運轉狀態、供電量、售電量等資訊。另外，發電業月報與

年報也需要提報「營運綜合摘要分析報告」、「業務報告」與「財務報告」，其中「營運綜合摘要」內容要求揭露公司簡要營運狀況、設備現況及重大變動，有助於能判斷該案場之發電能力與穩定性。而再生能源售電業簡明月報（如**錯誤！找不到參照來源**。所示）應揭露項目涵蓋供電量、再生能源轉供量、用戶分類、配售電量等，在年報部分則要求售電業揭露「未來十年供電規劃」、「售電量變化」等。企業可透過這些揭露資料，才能進行供應商評比、風險分析與契約談判。對於追求淨零排放與供應鏈碳中和的產業而言，而透過簡明月報/年報可提供了綠電採購前，幫助了解綠電供應商營運狀況之資訊。

另外，在簽訂 CPPA（綠電採購契約）前，企業必須了解供電義務、供電時程與價格、再生能源憑證處理方式以及履約責任條款。首先，企業應要求合約訂定「最高與最低綠供電量」，包括案場數量、各案場容量及其轉供比例，其次，合約須要求供應商提供「次月供電預測」、「年供電量達成率」以及「供電不足補救措施」，若無補救方案，企業將面臨名義採購綠電卻實際未達標的風險。合約還需明訂設備可用率下限（建議 85%–90%以上），若不強制規範設備可用率，即可能出現設備損壞但不構成違約、導致長期無法供電等情況。

價格條款也是關鍵議題。除約定綠電銷售費率外，簡報指出合約應明訂「餘電差價補貼費率，若案場在特定時段供電量超過企業需求，多餘電量無法使用時，由誰負擔差價與如何補貼，是企業在簽約前必須明確釐清的重點。同時，企業若未能取得再生能源憑證，即無法在國際碳盤查或供應鏈要求中認列減碳效益，因此「憑證移轉方式、費用、服務內容」都必須納入合約條款。最後，履約責任也必須契約化，涵蓋設備故障修復期限、緊急替代供電來源、不可抗力免責、購電終止條款以及履約保證金信託機制。企業若忽略履約與違約條款，就可能面臨設備停擺卻無法索賠、供電不足卻無補救機制，甚至被鎖定長期合約卻無終止權的風險。

綠電採購契約為「風險控管、供需匹配、憑證確保與履約機制」所構成的專業合約服務，企業若未在契約前分析風險與擬定保障條款，不但無法真正採用綠電，甚至可能因履約爭議增加營運成本，而非降低碳風險。因此，綠電合約的本

質不是單純交易，而是長期能源策略與風險治理的結合。真正的企業永續，不是買綠電，而是管理綠電。

報告	編號	表單	傳統能源發電業	再生能源發電業
營運綜合摘要 分析報告	1.	(內容自擬)	V	V
	2.	表 3-1 裝置容量	V	V
	3.	表 3-2 發電量	V	V
	4.	表 3-3 發電設備運作情形	V	V
	5.	表 3-4 燃料耗用量	V	V
	6.	表 3-5 機組停機容量	V	V
	7.	表 3-6 發電機組之空氣污染排放量	V	V
業務報告	8.	表 3-7 未來10年發電機組設置規劃	V	V
	9.	表 4-1 售予公用售電業之售電量	V	V
	10.	表 4-2 售予再生能源售電業之售電量		V
	11.	表 4-3 直供予用戶之售電量		V
	12.	表 4-4 轉供予用戶之售電量		V
	13.	表 4-5 再生能源發電業：未來10年售電計畫		V
財務報告	14.	收支實績比較表	V	V
	15.	調整後之收支實績表	V	V
	16.	年度財務報告	V	V
	17.	最近五年度之資產負債表	V (公開發行之股 份有限公司)	V (公開發行之股 份有限公司)
	18.	最近五年度之綜合損益表	V (公開發行之股 份有限公司)	V (公開發行之股 份有限公司)
	19.	最近五年度之財務分析表	V (公開發行之股 份有限公司)	V (公開發行之股 份有限公司)
	20.	關係企業之關係概況		V

## 發電業簡明月報、年報之表單項目

### 月報

報告	編號	表單	傳統能源發電業	再生能源發電業
營運綜合摘要 分析報告	1.	(內容自擬)	V	V
	2.	表 1-1 裝置容量	V	V
	3.	表 1-2 發電量	V	V
	4.	表 1-3 發電設備運作情形	V	V
	5.	表 1-4 燃料耗用量	V	V
	6.	表 1-5 機組停機容量	V	V
	7.	表 1-6 發電機組淨尖峰供電排放量	V	V
業務報告	8.	表 1-7 發電機組淨尖峰供電能力調整表	V	V
	9.	表 2-1 售予公用售電業之售電量	V	V
	10.	表 2-2 售予再生能源售電業之售電量		V
財務報告	11.	表 2-3 直供予用戶之售電量		V
	12.	表 2-4 轉供予用戶之售電量		V
	13.	收支實績比較表	V	V

圖片來源：工研院

圖 18、發電業簡明月報、年報之表單項目

報告	編號	表單	公用售電業	再生能源售電業
營運綜合摘要 分析報告	1.	(內容自擬)	V	V
	2.	表 2-1 公用售電業：購電裝置容量與購電量	V	
業務報告	3.	表 2-2 公用售電業：售電情形	V	
	4.	表 2-3 再生能源售電業：購電裝置容量與購電量		V
	5.	表 2-4 再生能源售電業：售電情形		V
	6.	表 2-5 公用售電業：未來 10 年售電計畫	V	
	7.	表 2-6 再生能源售電業：未來 10 年售電計畫		V
	8.	表 2-7 公用/再生能源售電業：未來 10 年購電計畫	V	V
	9.	附表 4 公用售電業之售電量明細：電燈營業用戶（依行業別）	V	
	10.	附表 5 公用售電業之用戶數明細：電燈營業用戶（依行業別）	V	
	11.	附表 6 公用售電業之契約容量明細（依行業別）	V	
	12.	收支實績比較表	V	V
財務報告	13.	年度財務報告	V	V
	14.	最近五年度之資產負債表	(公開發行之股份有限公司)	(公開發行之股份有限公司)
	15.	最近五年度之綜合損益表	(公開發行之股份有限公司)	(公開發行之股份有限公司)
	16.	最近五年度之財務分析表	(公開發行之股份有限公司)	(公開發行之股份有限公司)

## 售電業簡明月報、年報之表單項目

### 月報

報告	編號	表單	公用售電業	再生能源售電業
營運綜合摘要 分析報告	1.	(內容自擬)	V	V
	2.	表 1-1 公用售電業：購電裝置容量與購電量	V	
	3.	表 1-2 公用售電業：售電情形	V	
	4.	表 1-3 再生能源售電業：購電裝置容量與購電量		V
	5.	表 1-4 再生能源售電業：售電情形		V
業務報告	6.	附表 1 公用售電業之售電量明細：電燈營業用戶（依行業別）	V	
	7.	附表 2 公用售電業之用戶數明細：電燈營業用戶（依行業別）	V	
	8.	附表 3 公用售電業之契約容量明細（依行業別）	V	
財務報告	9.	收支實績比較表	V	V

圖片來源：工研院

圖 19、再生能源售電業簡明月報、年報之表單項目



### 範例考題

1. 企業在綠電需求加速下，其角色由「電力消費者」逐漸轉變為下列何者？  
(A)傳統電力輸出者；(B)能源規劃參與者；(C)火力發電投資人；(D)用電削減監督者
2. 企業取得綠電，可透過以下哪種方式？  
(A)自設再生能源設備自發自用或向綠電市場採購綠電；(B)自行使用柴油發電；(C)僅能向國外購買；(D)要求台電提供百分之百再生能源電力
3. 自發自用模式下，企業同時扮演以下哪兩種角色？  
(A)用電者與儲能供應者；(B)燃料供應與輸電者；(C)發電者與用電者；(D)電網投資者與審查者
4. 當綠電供應大於企業用電需求時，依現行制度通常會？  
(A)放棄電力不用；(B)按餘躉購合約由公用售電業(台電)買回；(C)企業須自行裝設儲能電池儲存，否則會罰錢；(D)由綠電採購企業自行尋找並販售給其他電力用戶
5. 台電計費制度以每幾分鐘為一個結算時段？  
(A) 5 分鐘；(B) 55 分鐘；(C) 10 分鐘；(D) 15 分鐘
6. 若企業透過轉供模式取得綠電，但夜間供應不足，則電力來源為下列何者？  
(A)全由綠電供應；(B)由其他企業用不完的綠電補足；(C)太陽光電搭配台電供電；(D)無其他電力來源
7. 企業選用太陽光電為來源之綠電時，主要限制在於以下何者？  
(A)太陽光電屬不間歇能源，無特別限制；(B)夜間無法發電，需搭配台電供應；(C)必須與風電綁定購買；(D)台灣太陽光電太少，不易取得
8. 評估企業綠電需求及採購額度時，應同時評估以下哪一項因素？  
(A)台灣電價是否凍漲；(B)公司產品價格；(C)國際燃料價格；(D)企業用電曲線與再生能源發電時段

9. 為使綠電真正符合企業生產排程，企業應採取以下何種策略？  
(A)全年平均綠電即可；(B)可僅依成本選便宜綠電；(C)只需購買更多 T-REC；  
(D)分析生產用電特性與逐時匹配綠電供應
10. 下列企業綠電使用模式最終目的，何者正確？  
(A)使電力來源透明、符合低碳要求並與用電行為相匹配；(B)降低能源知識需求；(C)完全脫離台灣電網；(D)不用再支付電力使用費用



iPaaS

## 考題解析

1. **Ans (B)**

企業不再只是被動購電，而需評估：綠電來源、供電時段、採購模式、成本與碳揭露，因此轉變為能源規劃與管理參與者。

2. **Ans (A)**

常見綠電取得來源包含：自設再生能源發電設備、於第三地自設再生能源發電設備並轉供自用、向再生能源發電業或售電業購買再生能源電力等。

3. **Ans (C)**

企業自設光電或風機，自行發電後自行使用，因此同時是發電者＋用電者。

4. **Ans (B)**

供電過剩無法自用者，可依躉購制度由台電收購，非自行販售，也不強制儲能。

5. **Ans (D)**

每 15 分鐘為計費時段，用電與綠電必須在此時段「逐時匹配」，不是年平均。

6. **Ans (C)**

轉供模式下，若綠電不足（例如夜間無光電），須由台電補足灰電供應。

7. **Ans (B)**

太陽光電具間歇性，只能供應日間，企業須以台電補足。

8. **Ans (D)**

綠電採購須與企業逐時用電相匹配，不能只看年用電量。

9. **Ans (D)**

用電量及發電量需逐時配對，使每個 15 分鐘結算時段均符合綠電要求。

10. **Ans (A)**

綠電採購＝不只是買「證書」或「電力」，而是確保來源合法 × 低碳 × 能與用電行為相符 × 可供查驗。

## 本章節參考文獻

1. International Energy Agency. (n.d.). Renewables – Energy system.  
<https://www.iea.org/energy-system/renewables>.
2. International Renewable Energy Agency (2015). Overview of renewable energy. IRENA. <https://www.irena.org/publications>.
3. Intergovernmental Panel on Climate Change (2011). Renewable energy sources and climate change mitigation: Special report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. <https://www.ipcc.ch/report/renewable-energy-sources-and-climate-change-mitigation/>.
4. United Nations. (n.d.). What is renewable energy? United Nations Climate Information. <https://www.un.org/en/climatechange/what-is-renewable-energy>.
5. 經濟部（2023），《再生能源發展條例》，資料來源：全國法規資料庫，<https://law.moj.gov.tw/LawClass/LawAll.aspx?pcode=J0130032>
6. 經濟部（2022），《再生能源發電設備設置管理辦法》，資料來源：全國法規資料庫，<https://www.law.moj.gov.tw/LawClass/LawAll.aspx?pcode=J0130041>
7. 周承志（2022），開源節流 綠能好學堂 -綠能篇，工業技術研究院綠領減碳推動人才養成班（第五梯）上課講義。
8. 吳明哲（2025），推動河川小水力發電政策及概況，第八屆小水力發電發展論壇會議簡報。
9. 行政院國家發展委員會（2022），臺灣 2050 淨零排放路徑及策略總說明，行政院國家發展委員會。
10. International Renewable Energy Agency (2023). World energy transitions outlook 2023: 1.5°C pathway (Summary report). IRENA.
11. International Renewable Energy Agency (2023). World energy transitions outlook 2023: Volume 2. IRENA.
12. 周承志（2022），企業的綠電需求及如何導入，工研院產業學院淨零永續課程之專題演講，2022年3月23日。

13. 台灣電力股份有限公司電能轉供及併網型直供營運規章，檢自 <https://service.taipower.com.tw/powerwheeling/static/file/1080613%E9%9B%BB%E8%83%BD%E8%BD%89%E4%BE%9B%E5%8F%8A%E4%BD%B5%E7%B6%B2%E5%9E%8B%E7%9B%B4%E4%BE%9B%E7%87%9F%E9%81%8B%E8%A6%8F%E7%AB%A0.pdf>，瀏覽日期：2025 年 11 月 22 日。



▶ 主辦單位  經濟部產業發展署  
Industrial Development Administration, MOEA

▶ 執行單位  工業技術研究院  
Industrial Technology  
Research Institute

115 年版 版權所有 © 經濟部產業發展署

