

## 附件十、能源局蔡志亮科長心得

聯合國氣候公約第十二次締約國會議（COP 12）暨  
京都議定書第二次締約國會議（COP/MOP 2）

### IEA 能源技術展望摘要



匯編撰寫單位：經濟部能源局  
工業技術研究院

中華民國九十五年十一月十七日

# IEA 能源技術展望摘要

## 到 2050 年的能源情景與策略

### 壹、前言

技術在保證充足和承受的起的能源供應以及較低的二氧化碳排放中有多大貢獻?保證會有什麼樣的能源技術呢?

在 2005 年的鷹谷峰會 (Gleneagles Summit) 上,8 國集團領導人共同面臨這些問題,並決定下決心緊急行動。他們要求國際能源署就安全而清潔的能源未來提供情景和策略建議。能源技術展望就是對這一要求的回應。

這一創新性工作顯示了到 2050 年的一系列全球性情景中有多少技術可以改變現狀。詳細評述了在發電、建築、工業和交通領域的關鍵能源技術。評價了世界能夠增加能源安全、遏止二氧化碳排放增長的一系列已有的和正在出現的技術方式。其中考慮的主要策略因素是能源效率、二氧化碳的捕捉與封存、可再生能源、核電。

當未來確實有技術保證,為了能源安全和環境,如果我們需要發揮當前和正在出現的技術潛力並減少對化石燃料的依賴程度,那麼我們現在必須行動。能源技術展望提供了詳細的技術和政策分析,幫助政策制定者構建永續的能源解決方案。

### 貳、主要內容與政策建議

本報告主要為 2005 年 7 月八國集團首腦鷹谷峰會 (Gleneagles Summit) (蘇格蘭葛蘭伊格爾斯) 的各國領導人以及兩個多月前會面的國際能源署各國部長們提供參考。八國集團要求國際能源署研究提出未來替代能源的情景方案和策略,以便構建一個清潔、明智、有競爭力能源世界。

安全、可靠、負擔的起的能源供應是經濟穩定、發展的基石。氣候變化的破壞性威脅、能源安全的問題、發展中國家日漸增長的能源需求,所有這些因素對能源方面的決策者提出了重大挑戰。這些問題只能通過技術創新、採納新的成本有效的技術、更好地使用現有的節

能技術才能解決。《能源技術展望》闡述了關鍵能源技術的現狀和前景，並對其潛力進行評估，預計到 2050 年將呈現完全不同的局面。此外，對於實施這些技術過程中可能遇見的障礙、壁壘進行了大致的概述，並就此提出相應的解決措施。

## 參、2050 年展望及能源技術的作用

世界能源並沒有朝著預期的永續能源方向發展。處於歷史最高價格水準的石油價格使人們不得不關心長期的供需平衡問題。在過去十年間，二氧化碳的排放量已經增長了 20% 多。確實，若將來的情況正如“2005 世界能源展望參考情景”中所提出的那樣，在今後的 25 年裏，二氧化碳的排放量以及石油的需求仍將持續快速增長。這已考慮了現有政策條件下能源節約和可預見的技術進步因素。預計到 2030 年後這些令人擔憂的狀況可能變得更糟。此研究的基準方案是到 2050 年，二氧化碳的排放量幾乎是當前水準的 2.5 倍。日益激增的運輸需求將不斷增強石油供應壓力。由於對煤炭發電的進一步依賴和用於運輸的煤炭液化，世界經濟發展中的碳排放強度將增加，尤其是擁有國內豐富煤炭資源經濟快速發展的發展中國家。

但這種令人擔憂的前景是可以改變的。快速發展的新技術情景—作為本報告的主軸，顯示通過採用已有技術或者發展中的技術可以將世界導向進一步持續發展的能源之路。該研究方案表明：如何使能源相關的二氧化碳排放水準在 2050 年降回目前水準，如何降低石油需求的增長。另外，方案亦提出到 2050 年通過採取能效措施電力需求可以比基準情景減少三分之一。液態燃料的節約量將相當於現今全球石油消耗的一半之多，可以抵銷基準方案所預測的石油需求增長的 56%。

快速發展的新技術情景所描述的重要變化基於如下幾點：

- 交通運輸、工業、建築領域可取得顯著的能效成果。
- 當電源結構向核電、可再生能源、天然氣發電以及碳捕捉和碳封存轉變時，電力供應中的脫碳問題就會日顯重要。
- 生物燃料用於陸路運輸的增長。

然而，即使在快速發展的新技術情景中，到 2050 年，化石燃料在世

界能源的供應中仍占多數份額。2050年對石油、煤炭(除一個方案外)、天然氣的需求大大高於現今對石油、煤炭、天然氣的需求。而對傳統能源的投資將因此依然是必須的。

在所有5個快速發展的新技術情景中，對能源服務的需求假設快速增長，尤其是在發展中國家。這些情景並未表明能源服務需求的增長在發達國家或發展中國家受到抑制。而且，這些情景表明，這樣的需求是如何更加明智地通過更廣泛的低碳政策來得到滿足，其中的政策措施包括加大研發和示範力度(RD&D)、規劃部署，以及可降低二氧化碳排放的經濟刺激手段。五大快速發展的新技術情景都考慮了這些政策，其不同之處在於能效增加的快慢、主要技術（如碳封存和碳儲存技術、可再生能源技術、核能技術）的成本怎樣儘快降低以及這些技術多久可以廣泛應用。第六個情景，即技術附加情景，則對可再生能源、核能發電技術的發展進度給出了更加樂觀的預測，同時對先進的生物燃料和氫燃料電池在交通部門的運用也表示樂觀的預測。

在快速發展的新技術情景中，為達到更永續的能源發展前景的成本並非不均衡，但是他們要求公眾和私人部門相當大的努力和投資。包括發展中國家在內，對於完全商業化的技術，沒有一種碳減排技術可以以超過每減少一噸碳 25 美元的邊際成本來轉讓。相比較而言，該成本比 2006 年前四個月的歐洲貿易計畫中二氧化碳許可排放的平均價格要低。每噸 25 美元的二氧化碳價格加上每千瓦時 0.02 美元後可達到燃煤發電的成本，加上 0.07 美元/升(0.28 美元/加侖)可到達汽油的成本。在所有技術中，二氧化碳減排的平均成本一旦完全商業化，那麼價格將低於 25 美元。然而，在今後數十年間，研發、示範、規劃部署許多商業化技術的附加過渡成本將極其可觀。當需求下降可以使較昂貴的供應壓力減小時，石油進口價格就會更低。成本的降低對於消費者而言並沒有什麼明顯影響，因為主要被增加的低碳技術所平衡。

在今後的 50 年還存在很多的不確定因素。快速發展的新技術情景例舉了一系列以假設為依據而得出的可能結果，至多至少，很樂觀的認定通過技術，例如：發電環節的可再生能源、核能、碳捕捉與碳封存技術的運用，可達到降低成本的目的。但是，儘管所有都是不確定的，分析研究中得出的兩個主要結論看起來卻很有力。一是在未來的 10-50 年確實存在可以改變現狀的技術；二是沒有任何技術本身會發

生徹底的變化。若一個或者更多的技術沒有達到預期的進展,那麼追求技術組合將會極大降低成本風險和潛在費用。

接下去對快速發展的新技術情景中已確認的可對今後永續能源的技術組合起幫助作用的關鍵技術進行總結概括。

## 一、建築業、工業、交通運輸業的能效問題

能效的快速提高是不可或缺的。近期經濟合作與發展組織成員國近期節能下降的局面必須扭轉。這的確是可能的,在建築、工業、交通運輸部門仍有很大的空間採用更有效的節能技術。在非經合組織成員國家(Non OECD)中,快速發展的經濟為能效技術的投資提供極大的機會,其改善的潛能甚至更大。

在許多國家,新建築物較已建建築可節約70%多的效率。除了一些已有新技術還未商業化外,大部分技術已經商業化。現在建築物窗戶材料的絕熱值是其原來的三倍。現代天然氣和石油燃燒裝置已經達到了95%的能源效率。現在節能型空調比十年前的空調能少用30-40%的能量。區域供熱、熱力泵、太陽能都可以節約能源。改善後的照明可以成本有效地節約30-60%的能源。冰箱、熱水器、洗衣機、洗碗機的節能技術得到了極大的改善。在國際能源署的成員國中,備用電力(漏電)占了10%的住宅用電,而現有技術卻可以大幅度的降低該種消耗。新技術,譬如,"SMART"測量、微型熱電聯合發電、燃料電池、太陽能光伏電池等都為能源服務開闢了新道路。

在工業領域存在降低能源需求、減少二氧化碳排放的巨大潛能。這可以通過以下各方面來實現:提高發動機、泵、鍋爐、加熱系統的效率;增加材料的迴圈利用;用新的更加先進的生產工藝和材料;提高材料使用效率。工業領域最大的二氧化碳排放源為鋼鐵工業,占26%;其他礦產品的生產,比如水泥、玻璃、陶瓷製品,占25%,化學製品和石化製品占18%。具有節能和降低二氧化碳排放的巨大潛能的新型尖端工業技術包括:可在一些石化工藝中替代蒸餾的先進薄膜、鋼鐵直接澆鑄、石化工業使用生物原料來替代石油和天然氣。

提高交通運輸部門的能效特別重要,因為該部門消耗了大多數石油製品,並且各種污染物排放增長最快。常規汽油、柴油車效率有也

可大大提高。有前景的技術包括:混合型汽車和先進的柴油發動機車輛。渦輪增壓器、噴油器和先進的電子引擎控制都可消減燃料的消耗。新材料和更加緊湊的發動機將使得汽車更加輕便、更節約燃料。大量能效也可通過汽車設備獲取,尤其是汽車的空調系統。有些實用性措施,比如確保輪胎正確充氣,也可以得到很大的改觀。

未來永續能源的首要問題就是提高能效。在快速發展的新技术情景中,建築業、工業和交通運輸業能效要比基準方案中 2050 年的能效高 17%-33%。依據快速發展的新技术情景,相對於基準方案,2050 年節能占總二氧化碳減排的 45%-53%。在 2050 年前,相對於基準方案,一個情景的全球節能成效只有 20%;同其他快速發展的新技术情景相比,二氧化碳的排放增長超過 20%。

## 二、潔淨煤和二氧化碳的捕捉與封存技術

二氧化碳的捕捉和封存技術(碳捕捉與碳封存)能極大地減少來自發電、工業和綜合性運輸燃料生產所排放的二氧化碳。碳捕捉與碳封存可將煤炭、天然氣環節的二氧化碳排放量降低到接近零。當然,碳捕捉與碳封存的成本是很高的,但到 2030 年其成本將低於 25 美元/噸。當二氧化碳的捕捉技術運用於提高石油回收環節時,其成本會越來越低甚至在某些方面可以忽略。然而,全球長期二氧化碳在石油回收環節的潛力相對於全球發電環節的排放是小的。

所有碳捕捉與碳封存有需求的單個技術都已得到證明,但現迫切需要對這一集成技術進行論證。特別是煤炭發電,提高電廠的效率可以有效限制利用碳捕捉與碳封存技術使煤電廠增加成本。更加高效的煤炭燃燒技術已經成熟或者有的處於發展的高級階段。這些包括高溫硫化床技術和煤炭蒸汽複循環技術。

在快速發展的新技术情景中,利用碳捕捉與碳封存技術減少的二氧化碳排放量占降低的總二氧化碳量的 20%-28%,低於基準方案中到 2050 年前的估計。淨煤技術和碳捕捉與碳封存技術為擁有大量煤礦資源的經濟快速發展中國家提供了非常重要的機遇,譬如中國、印度。在限制二氧化碳排放的全球活動中,碳捕捉與碳封存技術在提供低成本電力方面可以起到不可或缺的作用。這在某一情景中,碳捕捉與碳封存沒有被作為選擇的技術。在該情景中,全球煤炭需求幾乎比包括

碳捕捉與碳封存技術且二氧化碳排放為 10%-14%甚至更高的情景的煤炭需求幾乎低 30%。

### 三、天然氣發電

在所有快速發展的新技術情景中，天然氣在發電中所占的比重仍保持相當強勁勢頭，在 2050 年其所占比重由現在的 23% 上升至 28%。這表明自 2003 年開始天然氣發電將不止增加一倍。充足的天然氣存儲可滿足需求，但是很多因素將影響其實際有效性和價格。天然氣在發電時所排放的二氧化碳只是煤炭發電所排放二氧化碳的一半。提高天然氣發電廠的效率是成功的現代發電技術的範例之一。最新的複循環天然氣電廠可節能大約 60% 左右。該技術更大範圍的推廣使用可極大地降低二氧化碳排放量。為達到更高的效率，需要高度耐高溫的新材料。

### 四、核能發電

核能是一種經過多代研發的零排放技術。在二十世紀九十年代開發了第三代，它在安全性、經濟性，包括“被動安全”特性方面都有很大的進步。11 個國家，包括擁有最大核能的經合組織成員國，共同加入了開發第四代核能發電的行列。現阻礙核能的進一步開發主要有 3 方面因素：巨額資金成本、公眾對放射性核廢物和核事故的反對態度，以及核武器的可能擴散。第四代核反應爐的發展目標就會涉及研究解決這些問題。假定這些關注的問題得到解決，那麼增長的核能利用能夠大大地降低二氧化碳的排放。在快速發展的新技術情景中，2050 年核能占世界發電的 16%-19%，而核電的增長相對於基準方案占降低排放量的 6-10%。在某一對核能持消極預測的情景中，核電在發電中所占的比重降至 6.7%，同基準方案處於同一水準。在更加樂觀的技術附加情景方案中，核能在 2050 年占發電比重的 22.2%。

### 五、再生能源發電

在快速發展的新技術情景中，到 2050 年前，例如水能、風能、太陽能以及生物質能等可再生能源的增長，可以降低發電帶來的二氧化碳排放量的 9%-16%。可再生能源在電源結構中所占的比重從現在的 18% 漲至 2050 年的 34% 之高。在比較不樂觀的情景中認為，可再生能源

技術成本的下降，其在發電中所占比重在 2050 年為 23%。另一方面，在技術附加情景中則對可再生能源和核能技術表現出更加的樂觀，可再生能源所占的比重到 2050 年前超過 35%。

水力已在許多地區被廣泛使用，是最便宜的發電資源。其具有可觀的增加潛力，特別是小規模的水力發電。水電依然是所有快速發展的新技術情景中可再生能源發電的最大資源。

近年來，隨著風能使用更大的翼板以及更先進的控制裝置，陸上風能和海上風能的成本已急劇下降。地點決定成本，最佳的陸上地點，風力發電成本約 0.04 美元/千瓦時，已經可以同其他發電競爭。海上風力發電安裝一般更加昂貴，尤其是深水區，但是有望在 2030 年後商業化。當風能在發電中占一很高比重時，則需更加完備的電網、並有備用電源或者儲能系統以便調節可能的電源中斷(由於風力發電引起的)。在快速發展的新技術情景中，風力發電假設快速增長。在大部分方案中，風能作為最重要的可再生能源僅次於水利發電，位居第二。

以生物質能發電方式被證明是一種很好的技術。在商業方面其可利用、可承受且作為合格燃料而言是頗具吸引力的。用小部分生物質能和燃煤電廠進行混合發電，並不需要對電廠進行重大改造，是非常經濟的也可以降低二氧化碳的排放。

自二十世紀七十年代以來，高溫地熱資源的發電成本得到了極大的降低。地熱的潛力是巨大的，但卻是一種特定地點的資源，它只能在世界的某些地區獲得並用於發電。低溫地熱資源可直接使用，例如區域供暖和地表蒸汽泵都得到廣泛運用。研發和示範可進一步降低成本，增加地熱發電的應用範圍。

在適當位置運用太陽能光伏發電技術，則太陽能光伏發電技術可迅速增長。隨著太陽能光伏發電技術推廣應用和持續的研發，其成本已經下降。聚焦太陽能發電（CSP）具有遠大的發展前景。然而，所有快速發展的新技術情景估計到 2050 年前，太陽能（PV、CSP 技術）發電在全球發電的比重仍將低於 2%。

## 六、生物燃料和氫燃料電池在陸路運輸中的問題

交通運輸部門的無碳技術選擇現已經被證明比在發電部門更具挑戰性。取自植物原料的乙醇具有很好的燃燒品質，是非常有吸引力的燃料。它能同汽油達到最普通的混合比例（10%的乙醇 90%的汽油）。巴西則以較小的車輛改造成功地引入了更高的混合比例。

巴西大量的乙醇取自甘蔗。在當前油價情況下，同汽油相比，它具有很強的競爭力。當今乙醇的生產主要是用澱粉和甘蔗，這在原料的利用方面受到了限制，但是新技術能充分利用木質纖維生物原料。這是當前能源技術研究的一個先鋒領域。

在燃料電池汽車中的使用取自低碳或者無碳資源的氫，從長遠來看，可切實使交通運輸部門脫碳。但是製氫要求巨額的基礎設施建設投資。另外，雖然近幾年氫燃料電池技術有長足的進步，但仍然是非常昂貴的。在所有快速發展的新技術情景中估計交通運輸部門生物燃料的使用可降低 6%左右二氧化碳的排放。氫在其中所起的作用是很小的。而技術附加情景則認為在 2050 年氫的消費將超過 300 萬噸油當量，可以減少約 8 億噸的二氧化碳排放量，而受燃料效率的提高又可以減少約 7 億噸的二氧化碳排放量，技術附加情景提出在 2050 年，氫和生物燃料占交通運輸部門總的終端能源需求的 35%，而快速發展的新技術情景則從大約 13%起，基準方案為 3%。這一情景使得在 2050 年對原油的需求可以回落到當今的水準。

#### **肆、超越 2050 年後**

如快速發展的新技術情景所示，2050 年二氧化碳排放量回至當前水平，這將最終穩定大氣中的二氧化碳含量。若要如此，那麼 2050 年前需呈現的二氧化碳排放逐漸下降趨勢則不得不持續至 21 世紀中葉。大致而言，快速發展的新技術情景展示了到 2050 年，電力生產中的脫碳問題是非常重要的。交通運輸部門的脫碳問題是一個更加棘手的任務，需要在今後的幾十年間來完成。技術附加情景中更具抱負的技術猜想，到 2050 年時，使得二氧化碳的排放降低 16%，低於現有水準，這是可以實現的，但可能有風險。因為這種預測是依賴於技術進程平穩快速發展的基礎上。技術附加情景也可能被認為只是提供一種更加強勁的發展趨勢的想法，或者在世紀下半葉才有更多的把握。

#### **伍、實施快速發展新技術情景的政策涵義**

需要通過巨大的國際努力和國際合作方可達到快速發展的新技術情景所期望的結果。公共和私人部門的支持將是根本的。發展中國家和發達國家之間、政府和工業界之間需要史無前例的合作。任務是緊迫的，它必須在新一代低效以及高碳能源基礎設施建設之前進行。這需要數十年的努力來完成並且需要大量的投資，但回報是巨大的，不僅僅對於環境而言。更低的能源消耗，降低的空氣污染和減少的二氧化碳排放將幫助解除有關能源供應和環境退化的限制從而促進經濟的增長。

快速發展的新技術情景的實施要求變革發電方式,建築房屋、辦公室、工廠的方式,以及交通運輸部門的技術。最後,私人部門必須實行所要求的變化。但是市場自身並不總能達到預期的結果。政府的重要任務是向創新的研發提供支持,幫助新技術跨越障礙。政府、工業界、消費者必須團結一致,共同努力。

## 一、能源效率是最優先考慮的問題

日益提高的能效經常是最便宜、最快捷、最環保的方法來滿足世界的能源需求。改善的能效可降低能源供應方面的投資需求。許多能效措施已經是非常經濟的，它們在其存在期通過降低能源成本為他們自己買單。但仍有重大的障礙需要克服。消費者經常消息不靈通，在購買設備、房屋、汽車時,很少有人關注節能問題。甚至企業在業務經營決策時也是將節能問題列於最後考慮。消費者從來不看是因為電冰箱生產商、電視生產商或者汽車生產商並沒有充分利用已有技術對其產品進一步的節約能源，所以對能效而言還是有發展機會的。可利用大量的政策推廣手段，包括公共資訊活動、無約束力的指南、標籤和目標、贏得公共領導選拔、有約束力的章程、標準以及金融或者其他財政刺激手段。

政府應幫助工業界和消費者採納和需求雖成本較低卻有相同或者更好服務的先進技術。

## 二、關注研發計畫是本質問題

急切需要穩定日漸降低的相關能源的研發預算，接著增加預算。私人部門越來越多的研發項目是很重要的。一些有遠見的公司正漸漸

增加他們的承諾，這種趨勢需持續下去並且擴大。對於已商業化的技術，私人部門是最好的地方去規劃繼續研發來滿足市場的需求。然而，政府資助的研究發展專案仍然是主要的，尤其是對於那些有前途的還未被商業化的技術。國際能源署成員國政府研究發展專案的預算遠低於二十世紀七十年代時石油價格震動時他們對石油價格所作出的反應投入，預算在過去的十年間保持平穩或者逐漸降低。若實施快速發展的新技術情景，則需對能源研究和發展專案的預算及規劃部署進行評價。某些領域有巨大的潛能，包括高級生物燃料、氫和燃料電池、能源存儲和先進的再生能源。一些基礎科學也有很有趣的領域，特別是生物技術、奈米技術和材料，從長遠看，這些技術對能源發展有著深遠的意義。

由研發朝技術應用轉變是關鍵性的應用階段比研發階段需要更多的資源。有些已經在市場上的新技術若要大範圍的推廣則需要依託政府。許多可再生能源技術正處於這種狀態。新技術若要成功走向完全商業化則需要搭建橋樑來跨過途中所遇到的“死亡之穀”。經驗表明，當新技術的推廣增加，那麼它可以通過“技術學習”受益於成本降低。政府推廣專案也可通過私營產業、為新技術創造預期未來市場來激勵研發項目。現在特別迫切需求的是將先進的燃煤發電廠實施二氧化碳的捕捉和封存。假如完成該項任務，那麼煤炭將在能源結構中繼續扮演重要角色直到 2050 年，極大地降低了朝更加永續未來能源發展方向過渡的成本。加速引進碳捕捉與碳封存技術的運用，到 2015 年前，至少在 10 個全方位綜合型燃煤電廠引進碳捕捉與碳封存技術來作為示範。這些電廠每個將花費 5 億-10 億美元。若政府加強其對碳捕捉與碳封存技術發展和推廣的承諾並同私人部門密切合作的話，那麼該專案肯定可以成功。擁有豐富煤炭資源的發展中國家的介入，比如，中國，對該專案是非常重要的。出發點相似，需將第四代核技術商業化。

### 三、政府需創建穩定的政策環境—促進選擇低碳能源

即使完全商業化之後，新能源技術可能比那些要被替代的技術更貴。譬如，如果不是持續經濟來刺激減少二氧化碳排放，那麼碳捕捉與碳封存技術並不會有大的影響。快速發展的新技術情景包括廣泛使用二氧化碳邊際減排成本低於 25 美元/噸的技術；這不但可通過許多

諸如國家或國際的貿易交易途徑，而且可以利用國家的財政和管理行動。發達國家和發展中國家都需要努力。而且這種努力必須對高耗能工業進行全球性協調，以避免這些高耗能工廠重新落戶在管理不嚴格的國家，從而實際上增加全球總的二氧化碳的排放。

#### **四、需注意非經濟型壁壘障礙**

有許多其他非經濟和技術障礙，這會延遲創新和新能源技術的市場推廣。這些障礙可能採取多種形式，包括規劃和許可規則、缺乏資訊和教育、健康和 safety 規則，跨部門缺乏合作。要實現有前景的技術，所有這些都須引起注意。

#### **五、發達國家和發展中國家需攜手合作**

到 2050 年，大多數世界能源將被發展中國家消耗掉。許多發展中國家正經歷所有能源消耗部門的飛速增長。因而發展中國家也需考慮能源安全和降低二氧化碳排放政策。全球能源經濟的重大變革應滿足發展中國家公民對能源服務的合理期望，保證安全供應和永續性。發達國家在幫助發展中國家技術發展過程中的跳躍式發展起重要作用。他們還可幫助發展中國家使用高效率的設備和通過技術轉讓、能力建設和合作研發和示範進行實踐。快速發展的發展中國家為加速技術發展提供了機遇並降低了技術成本，例如節能設備。