經濟部

2016年
能源產業技術白皮書

經濟部能源局
Bureau of Energy ,
Ministry of Economic Affairs
中華民國105年9月

2016 年

能源產業技術白皮書

經濟部能源局
BUREAU OF ENERGY, MINISTRY OF ECONOMIC AFFAIRS

序

臺灣地區自產能源匱乏，能源供給高度依賴進口，化石能源依存度高，電力系統孤立且欠缺備援，在國際能源價量波動劇烈，全球溫室氣體減量壓力漸增，以及國內能源需求持續成長等情勢下，我國能源發展面臨挑戰相較其他國家更為嚴峻。為減緩對進口能源之依賴，政府積極推廣再生能源利用，並倡導節能生活、推廣節能示範等。

目前推動新能源政策，將積極建構多元、穩定及效率之能源供需系統，並藉由綠能發展，帶動科技創新與綠能就業機會，以實現國內環境永續之能源發展。本部業已啟動能源轉型，以達到能源安全、環境永續及綠色經濟之願景，並積極開發綠色能源，規劃達到2025年能創造綠色產業產值，以及2025年再生能源占總發電量20%目標。

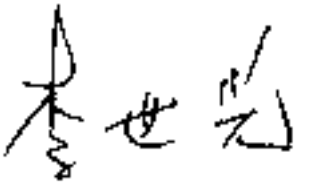
為達到前述綠能發展目標，本部能源局積極投入研發經費，推動能源科技研究發展相關計畫，期望整合國內學界、業界及法人等單位，發揮團隊能量及分工，擴大研發成果，並落實業界生產應用，達到以能源科技研發促進能源轉型目的。

為期使社會大眾瞭解本部推動能源科技研究發展情形，本次所編撰之「2016年能源產業技術白皮書」，內容包括：緒論、國內外能源產業技術發展與政策措施、節能減碳技術、新及再生能源技術、國內傳統能源利用與電力供應現況、能源產業發展重要課題及展望等章節。並針對太陽光電、太陽熱能、風能、生質能、地熱、氫能與燃料電池、電網級儲能、海

洋能、先進照明系統、能源資通訊、冷凍空調、節能技術服務等重點能源產業技術，就我國發展目標與策略、產業技術發展指標與時程、國內發展現況與成果等，進行分析與探討，俾利社會大眾瞭解目前推動能源產業技術發展之現況與成果。

本白皮書編撰過程，結合各相關單位、各編審委員及撰稿人員等，多次反覆討論及修正，同時各研究機構及學者專家亦鼎力協助並貢獻寶貴意見，使本書內容更臻充實完善，謹此致謝。惟囿於編撰時程及能源產業技術範圍廣泛，恐有疏漏之處，期盼各界不吝惠賜寶貴意見，以供未來改進參考。

經濟部部長



謹誌

中華民國105年9月

目　錄

序

第壹章：緒論 1

第貳章：國內外能源產業技術發展與政策措施 9

第一節　國際能源產業技術發展與政策措施 13

第二節　國內能源產業技術發展與政策措施 25

第參章：節能減碳技術 47

第一節　冷凍空調 51

第二節　先進照明系統 71

第三節　能源資通訊 83

第四節　效率標準與指標 101

第五節　工業節能 115

第六節　住商節能 131

第七節　節能技術服務 147

第八節　二氧化碳捕獲封存與再利用 161

目錄

第肆章：新及再生能源技術 179

第一節 太陽光電 183

第二節 太陽熱能 197

第三節 風能 209

第四節 生質能 223

第五節 地熱 239

第六節 氫能源與燃料電池 257

第七節 電網級儲能 271

第八節 海洋能 283

第伍章：國內傳統能源利用與電力供應現況 297

第一節 油氣供需與技術發展 301

第二節 電力供需與技術發展 315

第陸章：能源產業技術發展重要課題與展望 327

第一節 未來節能減碳技術發展趨勢 331

第二節 整合低碳技術推動節能減碳系統應用 339

第三節 能源產業技術之回顧與展望 351

第壹章　緒　論

第壹章　緒論

臺灣地區自產能源相當匱乏，能源供給高度依賴進口，化石能源依存度高，電力系統孤立且欠缺備援，在國際能源價量波動劇烈，全球溫室氣體減量壓力漸增，以及國內能源需求持續成長等情勢下，我國能源發展面臨的挑戰相較其他國家更為嚴峻。有鑑於此，政府全力擴大各類再生能源推廣，包括推動「千架海陸風力機」與「陽光屋頂百萬座」計畫；倡導節能生活、推動節能示範等。

針對我國能源發展願景，確保能源安全、滿足民生基本需求、兼顧環境保護與經濟發展、考量社會正義與跨世代公平原則，行政院亦於2012年10月2日核定「能源發展綱領」，揭示未來國家能源發展方向，期能增加再生能源之供給量，提高能源使用效率，減少對能源之需求，建立國內綠能使用環境。

2015年全國能源會議全體大會於2015年1月26、27日假臺北國際會議中心召開，此次全國能源會議的召開是2014年4月政府宣布核四封存後，為因應國內外嚴峻能源情勢，解決核四封存後臺灣未來電力情勢所面臨的各項挑戰。會議分「需求有效節流」、「供給穩定開源」、「環境低碳永續」三大核心議題討論。

經會議期間各參與人員熱烈討論，三大核心議題所產出因應策略大會總結報告，計有158項共同意見與201項其他意見。其中研提出具體行動計畫共139項，並據為推動各項措施，以建構台灣未來穩定、效率、潔淨、可負擔電力之發展。

2015年全國能源會議之後，電力需求節流已成為共識，行政院於2015年4月推動「智慧節電計畫」，由中央與地方政府共同合作，將節電觀念化為行動，鼓勵全民一起參與節電工作，先以一年為期，並以降低2%的民生與機關用電(相當於整體用電成長降低1%)，作為節電目標。

在擴大推廣再生能源方面，規劃於2025年再生能源發電占比達20%，其中2025年之各類推廣目標裝置容量分別為太陽光電20GW、陸域風力1,200MW、離岸風力3,000MW、地熱能200MW、生質能813MW、水力2,150MW及燃料電池60MW，總共27,423MW。

白皮書之編撰重點及架構內容

「2016年能源產業技術白皮書」以經濟部能源局推動之各項能源技術研發與推廣應用成果為主，闡述我國能源政策目標與推動策略以及能源產業技術發展之重要課題與展望。本白皮書各篇章節重點簡要概述如下：

第壹章「緒論」，簡述全球能源與環境發展趨勢下我國能源發展綱領之政策方針與配套機制、2015年全國能源會議三大核心議題與總結意見、政府推動智慧節電計畫及擴大推展再生能源，接著概述本白皮書編撰之各章節重點及架構內容。

第貳章「國內外能源產業技術發展與政策措施」，旨在論述國際間面臨之能源重大問題、因應策略及能源技術發展方向，進而針對我國未來能源發展所面臨之課題進行剖析，提出因應策略與措施，導引出我國能源技術發展之政策目標與推動策略。本章計分為二節，重點如下：

(一) 國際能源產業技術發展與政策措施，藉由全球能源技術發展現況與策略、主要國家政策目標與落實方案(包括歐盟、美國、中國大陸、日本、韓國等)、及全球整體能源政策與措施展望等重要資訊，在兼顧能源安全、經濟發展及環境保護，帶動永續能源發展與能源產業技術創新，達到國家節能減碳之長遠目標。

(二) 我國能源產業技術發展與政策措施，針對國內能源產業技術發展面臨課題與因應策略，敘述永續能源政策與方案(包括政策目標、規劃策略、重點措施及績效目標)；並就能源科技研發現況、重點研發項目、研發策略(經費投入、研發分工)、及主要績效加以敘述。其中我國現階段能源科技研發之主軸計畫，包括2009年起跨部會署推動之「能源國家型科技計畫」與經濟部推動之「能源科技研發計畫」。經濟部「能源科技研發計畫」分為技術開發與技術推廣兩類型，重點領域為「新及再生能源技術研發」、「再生能源開發與推廣」、「節約能源技術研發」及「能源效率管理與節能技術推廣輔導」等。

第參章及第肆章係針對經濟部能源局推動之各項能源技術研發與推廣應用成果，說明近期推動的重點能源科技，包括節能減碳技術、新及再生能源、各項技術的發展目標與推動策略、發展指標與時程(短程、中長程)、及國內發展現況與推廣應用情形。

第參章「節能減碳技術」，計分為八節，包括：

(一) 冷凍空調，含高效率無油化磁浮離心機組技術開發、多工複合熱泵空調系統開發、高效率風扇技術應用開發等。

(二) 先進照明系統，含LED照明技術(如：智慧LED光引擎、智慧型燈具、智慧照明系統平台)、OLED照明技術(如：照明模組、照明應用)等。

(三) 能源資通訊，含電網管理(如：智慧電表系統、智慧通訊晶片與相關軟體技術開發、電網整合調度)、工業能源管理(如：智慧型能源感測與傳輸技術、工業高階控制技術、工業能源分析與操作決策技術、能源管理系統平台)、住商能源管理(如：住宅用電行為快速診斷工具、服務業空調系統優化控制技術、虛擬電廠調度控制技術)等。

(四) 效率標準與指標，含強制性容許耗用能源基準(MEPS)、自願性節能標章制度、強制性能源效率分級標示、我國與美日兩國產品容許耗用能源基準比較說明等。

(五) 工業節能，含壓縮空氣乾燥設備開發、高效率馬達動力機械關鍵技術開發與推廣、固態熱電發電技術、中低溫廢熱回收發電技術等。

(六) 住商節能，含建築能源模擬與遠端故障檢測診斷技術、建築節能建材(如：隔熱玻璃、隔熱貼膜、隔熱塗料)、空調次系統能源效率法規與群體控制技術等。

(七) 節能技術服務，其核心技術，主要是提供各種系統之節能技術，包括空調系統、電力系統、照明系統、鍋爐與燃燒系統、空壓系統、控制設備與變頻器系統、環境品質控制等。

(八) 二氧化碳捕獲封存與再利用，含燃燒後捕獲系統產業化技術驗證(如：整合蒸汽水合與多階旋風塔捕獲系統、化學吸收法捕獲系統)、先進燃燒前捕獲製程技術開發(如：化學迴路系統技術、產氫技術、氣化技術能源整合應用)、地質封存監測與評估系統技術開發(如：封

存安全監測評估技術、分散式封存技術)、再利用技術開發(如：大型化微藻養殖與生產燃料、高溫轉化CO技術)等。

第肆章「新及再生能源技術」，計分為八節，包括：

(一) 太陽光電，含矽晶太陽電池、太陽光電模組、CIGS薄膜太陽電池、染料敏化太陽電池、太陽光電系統等。

(二) 太陽熱能，含推廣大型太陽熱能系統/工業預熱之應用、太陽熱能產品建物整合技術開發、推動建築整合之太陽熱能產品安裝、太陽能光電及熱能複合系統產品(PVT)技術研究與檢測標準推動等。

(三) 風能，含大型風力機系統與元件技術、風能評估技術(如：風力發電安全評估技術、大氣/波浪/海洋環流數值模擬技術、光達觀測與場址校驗技術)、小型風力機技術、離岸運維整合決策技術(如：運維最佳化與決策管理系統、風場運轉效能提升技術、提升國內運轉維修技術)、離岸海事工程技術、浮動式離岸風力發電等。

(四) 生質能，在生質能料源技術部分含固態廢棄物衍生燃料、農林資材顆粒燃料技術、生質物焙燒技術/生質煤炭、富油脂藻類養殖/採收技術等；在生質物轉換技術部分含木質纖維素/生質醇類技術、厭氧發酵/光合作用產氫技術、生質柴油技術、裂解技術、氣化技術等；在生質能利用技術則含定置型生質燃料熱電應用、運輸用生質燃料應用等。

(五) 地熱，含地熱概念模型建構及專家決策輔助系統、地熱流體監測技術、低成本耐酸蝕材料、地熱儲集層模擬技術、地熱發電與多目標利用技術等。

(六) 氫能源與燃料電池，含分離助效式天然氣重組產氫、氫燃料供應技術、小型熱電共生系統、高功率定置型發電系統、高功率密度電池組/元件、質子交換膜燃料電池等。

(七) 電網級儲能，含儲能電池系統(如：金屬空氣液流電池儲能系統、氧化還原液流電池儲電關鍵組件技術與系統)、儲能系統併聯管理技術(如：電能管理控制技術、出力/負載預測技術、儲能併網轉換技術、電池管理技術)等。

(八) 海洋能，含波浪發電、海洋溫差發電、海流發電、潮汐發電等。

第伍章「國內傳統能源利用與電力供應現況」，計分為二節，包括：

(一) 油氣供需與技術發展，敘述國內油氣供需現況與結構，並介紹油氣與探勘技術發展，如：地質建模技術發展與應用、液裂增產技術發展與應用、生質能源、煉製及節能技術發展等。

(二) 電力供需與技術發展，敘述國內電力供需現況與結構，並介紹電力相關技術發展，如：燃氣發電複循環、超超臨界燃煤發電、減碳技術、既有電廠空污改善計畫等。

第陸章「能源產業技術發展重要課題與展望」，綜合說明未來全球環境與氣候變遷及能源產業技術發展，所衍生出重要能源環境課題與必要之因應作法。本章計分為三節，重點如下：

(一) 從COP 21及溫管法看未來節能減碳技術之發展趨勢，敘述2015年底於法國巴黎召開第21次締約國會議，通過適用於所有締約國且具法律約束力之巴黎協定內容，並說明我國推動溫室氣體管理立法、溫室氣體排放減量策略與管理機制、及因應氣候變遷調適之綠能技術發展。

(二) 從低碳技術之應用看節能減碳系統之整合應用及推動，敘述國際間推動低碳社區、島嶼、城市或相關計畫之執行經驗，並以國內推動澎湖低碳島為案例，探討低碳技術整合應用及智慧電網建議之效益及未來可能之作法。

(三) 能源產業技術之回顧與展望，回顧我國主要能源產業技術之發展及未來規劃，參考國際間溫室氣體排放減量之要求及作法，提出國內未來在能源產業技術之發展策略及方向。

第貳章　國內外能源產業技術發展與政策措施

- 第一節　國際能源產業技術發展與政策措施
- 第二節　國內能源產業技術發展與政策措施

第貳章　國內外能源產業技術發展與政策措施

二十一世紀後全球氣候變遷與溫室效應日益顯著，對人類生活與地球環境造成嚴重威脅，於是思考能源永續發展與綠色科技就變得非常重要。為降低溫室氣體排放以減緩全球氣候改變的速度，2014年在祕魯利馬舉行的第20屆聯合國氣候變遷會議(COP20)大會中，建議各國針對減少碳排放量提出「國家預期自定貢獻」(Intended Nationally Determined Contribution, INDC)之協議承諾書，做為2020年後氣候行動的基礎。在持續進行談判下，已於2015年11月底在法國巴黎舉行COP21會議中達成協議，以有效減少溫室氣體排放，並維繫能源環境永續發展的目標。目前世界主要國家均已提出因應該國國情之能源政策與能源發展科技，致力發展前瞻性的能源技術，以達成節能減碳目標。

我國自產能源不足，98%能源仰賴進口，穩定與安全之能源供應值得重視。面對國際能源與環境之挑戰，國內已制定「永續能源政策綱領」與推動節能減碳計畫，以實現「能源、環保與經濟」三贏之政策目標。另一方面為達成節能減碳目標，政府已整合能源科技相關機構與資源，進行能源科技與產業發展之研發分工，以發揮綜效。近期規劃與推動能源科技研究發展計畫的主軸計畫，主要包括「節能減碳科技研發與推廣計畫」、「能源國家型計畫」。同時為開創能源與綠能產業新領域，經濟部規劃與執行「綠色能源產業旭升方案」。另為因應國際經濟環境的變化，行政院於2014年8月核定推動「綠色能源產業躍升計畫」，作為現階段綠能產業政策之推動主軸，使得整體綠能產業發展快速，產值亦會急速成長。

本篇旨在論述國際上之能源產業技術發展與政策措施，藉由全球最新能源技術發展現況與實施策略、重要國家之政策目標與落實方案，以及參考國際上整體能源策略與措施展望等重要資訊，在兼顧能源安全、經濟發展與環境保護(3E)情況下，帶動永續能源與能源產業技術市場，有效減

少溫室氣體排放，並達到能源環境永續發展的長遠目標。進而在國內能源資源不足，環境承載有限，並考量3E均衡之情況下，探討未來能源產業技術發展與政策措施，在擬定之永續能源政策與方案中，結合最新能源科技研究發展，確保持續「穩定」可負擔之能源供應，並將此有限資源作「效率」之使用，進而開發友善「潔淨」能源。期望藉由能源產業之擴大綠能開發與推行，推動科技及產業製造能力，並藉由節能減碳之推動，以創造跨世代能源、環保與經濟三贏之願景。

第一節　國際能源產業技術發展與政策措施

一、全球能源技術發展現況與策略

二十一世紀以後，全球氣候變遷與溫室效應加劇了對地球環境影響，對人類生活也產生嚴重衝擊。因此，世界各國乃透過國際協議與政策措施，並致力於發展前瞻性能源技術，期許在同時考量能源安全、經濟發展與環境保護原則下，帶動綠能產業發展與擴大國際間能源產業技術市場。進而在有效減少溫室氣體排放情況下，繼續推動能源環境永續發展，並期望本世紀末地球升溫控制在2℃以內目標。

2010年「坎昆協議」(Cancun Accord)新減碳草案中，再次確認地球溫升控制在1.5~2℃內，並且要求已簽署京都議定書已開發國家，於2020年前需依1990年排放量，減碳25%~40%。2013年，第19屆聯合國氣候變遷會議(COP19)於華沙舉行，會中同意共同努力以儘早展開限制碳排放之行動，2014年於祕魯利馬舉行之COP20大會，建議各國清楚提供減少碳排放量聲明，針對氣候變遷改善提出「國家預期自定貢獻」協議承諾書，並成為2020年後氣候行動基礎。新氣候協議在2015年2月德班行動平台(Ad-Hoc Working Group of Durban Platform for Enhanced Action, ADP)下持續進行談判，並在2015年11月30日至12月11日於法國巴黎舉行的COP21會議中達成協議[1]。

根據聯合國環境計畫署(United Nations Environment Programme, UNEP)於2015年3月31日出版之「全球再生能源投資趨勢」年度報告[2]，2014年全球投資於再生能源金額較2013年增加17%，達到2,702億美元，其中發展中國家投資金額增加了36%，達1,313億美元，主要投資國家為中國大陸之833億美元、巴西76億美元、印度74億美元與南非55億美元等，且2014年為全球再生能源裝置容量增幅最多一年，合計增加103GW。而全

球累計之風力、太陽能、生質燃料、小型水電、以及海洋能發電等再生能源總發電量比重，從2013年之8.5%上升至2014年9.1%。由此可知，能源技術產業，尤其是再生能源產業目前是相當活躍且蓬勃發展。

近年來全球永續能源與能源產業之前瞻技術發展，可看出以下趨勢[3]：

(一) 為達成能源安全與能源技術展望(Energy Technology Perspectives, ETP)之本世紀末地球平均升溫較工業革命前限制在2℃以內(2DS)願景，全球各國努力於再生能源推廣及潔淨電力之技術開發，並在技術不斷精進情況下，逐漸量產及達到經濟化階段。例如太陽光電、陸上風力、生質能和水力發電等為較成熟再生能源技術，這些技術都是從能源供應端來降低化石燃料之使用量，協助整個環境朝向本世紀末地球溫升較工業革命前控制在2℃的目標邁進。2014年全球再生能源發電量增加約7%(3,500億度)，且占全球整體發電量22%以上，其中非經濟合作暨發展組織(Non-OECD)占再生能源發電量約55%，中國大陸為全球再生能源發電最大國家，2014年約占全球再生能源發電量23%。

(二) 2014年全球累計再生能源裝置容量進一步增加，新增陸上風機裝置容量超過450億瓦，而中國大陸成長就超過200億瓦、美國50億瓦、德國43億瓦、巴西27億瓦和印度23億瓦。海上風機因電網連接延遲，2013年歐洲地區新增裝機容量略微下降至15億瓦，亞洲地區大型海上風能潛力仍尚未開發。2014年太陽光電(Solar photovoltaic, PV)裝置容量約成長400億瓦，亞洲地區裝置容量增加達50%，特別是中國大陸之100億瓦和日本之90億瓦、美國約提高65億瓦、德國和英國分別增加約20億瓦。2014年水力發電裝置增加量則較2013年減少，主要是中國大陸部份裝置量提早在2013年以前完成。2014年地熱開發僅在印尼、肯亞、土耳其和美國等具有地熱資源地區進行。綜合觀之，全球新興經濟市場與非OECD國家投入再生能源發展，對於全球潔淨電力技術及產業發展有加速效果，但要達到ETP 2℃之願景，仍需要全球各個國家強化自身之再生能源技術發展，配合投資策略與擴大各項獎勵措施等增加再生能源比例方能達成。

(三) 儘管國際間努力推廣再生能源應用，而化石燃料仍是全球能源供給主要來源。雖然許多國家已經減少煤炭需求，但2012年煤炭仍為成長最快之化石燃料，煤炭消耗達全球初級能源消費的30%，以及發電

量40%以上，2012年中國大陸占全球煤炭能源需求同比增長50%以上。2013年相對於其他化石能源較低之煤價，導致全球煤炭發電量增加，煤炭仍是增長最快速之化石燃料，中國大陸仍為全球最大煤炭消費國(煤炭消費較2012年增加9%)，其次是美國和印度，這些國家之煤炭需求就占全球70%以上；2014年與2015年因為中國大陸經濟成長減慢，電力需求成長減緩以及環保法規對高污染行業嚴格要求，煤炭之生產和消費量均呈下降趨勢，2014年中國大陸煤炭生產量下降2.6%、消費量僅增加0.1%，但仍占全球煤炭總消費量47.4%。印度由於經濟發展需求，2014年及2015年除了增加煤炭進口，且亦積極提升其國內煤炭產量及消費量[4]。

(四) 2013年全球天然氣平均成長幅度僅達0.8%，比2012年的1.8%低，歐洲地區因為相對較低煤價與再生能源技術推廣，導致使用天然氣發電增速減緩，燃氣發電占比連續第三年下降到約30%，美國地區由於頁岩氣開採技術進步，造成天然氣價格持續下降，促使天然氣應用大幅增加，2015年美國天然氣消費比2014年增加約3%(發電業天然氣消費增加18.6%)[5]。未來全球在減少碳排情況下，燃氣發電比例將逐漸成長，並部分取代燃煤發電，所以擴大天然氣應用是可期的。CO_2捕獲與封存技術(Carbon Capture and Storage, CCS)已逐漸成熟，國際能源總署(IEA)亦指出：2050年全球溫室氣體排放量欲達降低到2009年一半之目標，CCS技術所貢獻減量效果將占14%[6]。截至2015年初，國際上共有21個大型碳捕集與封存整合計畫正在規劃執行或運轉中，每年約捕獲近4千萬公噸的CO_2。目前國際上投資此設備資金仍然缺乏，加上CO_2儲存在地底的安全疑慮，因此仍沒有廣泛佈署於世界各大電廠與產業界，這需要政府強力政策來推動大規模示範計畫，更需要在技術層面上加速研發腳步，以獲得更大突破。

(五) 自2000年以來，全球運輸能源消費每年成長2%，2012年整體能源消費達105EJ(整體占比之28%)，同時交通運輸排放的CO_2約達到8.7億噸，為符合2DS需求，2050年交通能源須減少到100EJ，運輸用CO_2排放量也需要下降到5.7億噸。在有效減緩全球運輸能源消耗上，潔淨能源車輛在運輸系統上之推廣應用，已逐漸具備經濟市場規模，例如油電混合車(Hybrid-Electric Vehicles, HEV)和電動車(Eelectric Vehicles, EV)之市場擴張；至於小客車及輕量汽車(Light-duty Vehicles, LDV)也透過各國政府之獎勵政策，將燃油效率標準提升之科技推向市場化。

(六) 工業、住商與系統之整合必須付出更多努力，以達到應有之潛力與效果。2012年工業部門能源使用與碳排，分別為143EJ與83.89億噸。為達到本世紀末地球升溫控制在2℃目標，到2025年工業部門能源使用與CO_2直接排放量，每年必須減少0.9%與1.3%。因此除了製程節能改善外，各國紛紛將重點放在廢熱回收及再利用技術上，期望透過區域能源系統概念來強化熱整合應用，並配合鼓勵淘汰落後和低效產能行業、熱電聯產、以及區域供熱和製冷(District Heating and Cooling, DHC)…等應用技術，結合能源系統最佳化管理之模擬分析，及提升整體初級能源之有效利用率等，期望到2025年能較2012年達到降低13%能源使用與減少18%之CO_2直接排放量目標。

(七) 2012年住商部門之建築耗能占全球整體耗能32%(118.6 EJ)及全球電力消耗的53%，故為節能減碳重點，各國均將零耗能建築(Zero Energy Building, ZEB)列為重要政策。歐盟部分國家施行零能耗建築達10年以上，因為能源價格持續走低及技術研發未達低成本要求，所以進展一直非常緩慢。但是透過建築物本身之節能設計，加上導入高效率設備及控制技術到內部空調及照明兩大耗能系統中，並結合能源消耗之動態模擬分析和能源供應端相互搭配，可讓全建築能源系統統一調度，達到最低能耗及最大需量反應功能。目前這項措施仍需各國政策制定節能建築，並採取措施改善進度，在節能減碳之前提下，發揮建築物應有之功能，以滿足最佳化節能所需之生活環境。

(八) 2014年全球大規模之儲能裝置容量超過1,450億瓦，其中抽水蓄能比例超過97%。雖然亦包含約24億瓦之併網儲能，但是愈來愈多再生能源或分散式系統導入整體能源供需系統中，所以未來電力系統需要配合能源資通訊技術，藉由廣泛智慧電網建置與普及化來因應此趨勢。為使電力系統能夠靈活化，以減少電力浪費，中長期方面需要投入電網儲能 (Energy storage)技術開發，利用虛擬電廠之概念來進行能源供需之調整和平衡，目前高儲能技術仍有待突破，且高成本仍然是投資障礙。另外氫能源發展將能夠提供多種能源服務能力，在2008年至2013年中，燃料電池(Fuel Cells, FCs)於全球市場增長了近4倍，其中超過80%固定應用在FC微型熱電聯產(FC micro co-generation)、備份和遠程電源系統上。隨著儲能技術提升，未來在運輸方面亦能夠推出燃料電池電動汽車(FCEVs)，所以儲能裝置發展前景將是可期的。

二、主要國家的政策目標與落實方案

(一) 歐盟

歐盟之能源政策內容涵蓋經濟競爭、供應安全與環境永續等三個面向。國際能源總署於2008年及2014年出版歐盟之能源政策研究報告[7]。2008年能源政策報告強調環境永續性，特別是氣候變遷減緩議題主導歐盟能源政策。2014年報告認為能源安全及產業競爭力成為歐盟當前愈來愈迫切之能源政策議題。

歐盟設定2020年達成的氣候及能源之包裹式目標包括三項：(1)2020年溫室氣體(GHG)排放降至1990年水準以下的20%；(2)提高再生能源占總最終能源消費之20%，其中運輸部門需占10%；(3)降低總初級能源消費之20%(相對於2020年能源消費量)。達成上述三大目標之主要策略是增加再生能源發電、降低能源需求，以及歐盟排放交易(European Union Emissions Trading System, EU-ETS)。EU-ETS系統自2008年以來呈現價格崩盤趨勢，由2008年30歐元/噸CO_2跌到2014年6歐元/噸CO_2，使得EU-ETS無法刺激低碳發電投資，對GHG減排貢獻不如預期。反觀，能源效率及再生能源在國家政策支援及補助下，成功地驅動低碳化。

解決產業競爭性及能源安全性問題，未來歐盟能源政策面臨之挑戰與執行方向包括：

1. 歐盟完全跨境整合之氣、電能源網絡及能源市場，特別是當日及平衡市場，加速基礎設施投資可帶來實質之規模經濟，以及由能源部門市場驅動之投資誘因。
2. 可變動再生能源占比提高之能源系統轉型。
3. 定期提升有效之能源效率標準。
4. 強化EU-ETS對經濟條件及其他政策變動之價格反應彈性，使EU-ETS與政策互相搭配，促成重要關鍵之低碳技術投資，例如再生能源、碳捕獲封存與再利用等。
5. 確保適當地R&D研發基金，以達成能源政策目標[7]。

(二) 美國

歐巴馬政府除了於2013年提出乾淨且穩固之能源未來藍圖，以及擴大潔淨能源發展等氣候行動計畫，並於2014年11月中美高峰會提出2025年較2005年減量26%~28%之減量目標。在2016年財政預算中[8]，歐巴馬總統提出保障美國國防安全、促進經濟提升與增加人民福祉之相關社會福利經費，針對確保美國未來能源，並保護下一代免受氣候變化影響，提出增加投資清潔能源預算與鼓勵各州政府推動減碳計畫誘因機制，以提高美國能源安全，提升防範和抵禦氣候變化。

為有更為安全與潔淨之能源未來，美國致力於關鍵技術研發，例如提升頁岩油、氣開採技術與增加單位產能效益，希望2017年前可成為天然氣淨出口國，2030年前美國之總能源淨進出口可達到平衡，並大力推展再生能源應用，來提升潔淨能源使用比例。未來更將逐漸減少煤炭使用占比，並擴大再生能源與天然氣使用，以減少溫室氣體排放。尤其是美國運輸部門會提升天然氣、電力或是自產燃料使用，而車用汽油使用將會下降，以搭配各種潔淨能源車輛之發展。

2016年預算中，歐巴馬總統提出無限期展延再生能源投資稅額減免，以鼓勵再生能源發展，特別是風力、太陽光電與地熱，並希望在2040年前，非水電之再生能源發電較2014年增加一倍，同時也比水電發電量多出一倍。美國國會已於2015年12月通過新裝置之風能和太陽能發電聯邦稅收抵免(Tax credit eligibility)修改法案，對於風力發電之稅收抵免資格延長至2019年年底前開始裝設之工廠，而信貸金額(Value of the credit)從風機裝設前10年之2.4美分/度下降到1.0美分/度。另2019年年底前開始建設之太陽能發電裝置，投資稅收抵免仍維持在30%，但2020年以後新裝置之設備到2022年間，將會逐年下降到10%[9]。

2040年前美國能源總消耗量緩慢成長，而天然氣與再生能源使用持續增加，煤炭使用緩慢減少，特別是電力結構上將逐步轉為低碳選項，包括再生能源發電與燃氣發電成長，另外美國境內終端耗能產業的轉變及更多碳密集型燃料效率提升，將有助於穩定與能源相關CO_2排放。

（三）中國大陸

中國大陸已成為國際上主要之能源生產國和消費國。在減碳及能源安全要求下，逐步進行能源供需多元化之結構調整，包含擴大天然氣、核電、水力發電、以及其他再生能源應用，並逐漸減少煤炭使用比例，以努力減少嚴重之空氣污染。中國大陸設定目標為到2020年能源結構中，提高非化石燃料能源消耗占比為15%，2030年提升為20%，以紓緩對煤炭的依賴[10]。

中國大陸為目前世界上最大發展中國家，在維護資源穩定供給、高效、清潔以及永續利用將是重要任務。在未來能源規劃中，提高能源產量、節能減碳、優化能源結構、發展再生能源、國際合作、能源技術和創新、能源監管等，均為重要之發展方針。在前瞻能源技術發展上，可以分為下列幾個主要內涵：

1. 積極發展水力發電：2015年水力發電裝置容量為300GW，希望2020年達到350GW的裝置目標，且規劃2020年高比例再生能源發電達到29%之目標中，水力發電占比可占再生能源之一半[11]。
2. 安全高效發展核電：2014年中國大陸核能發電量1,306億度，僅占當年度總發電量之2.4%[12]，遠遠低於11%的世界平均水平。預估到2020年，中國大陸運轉之核電裝置容量將達到58GW，2030年更規劃達到200GW目標。
3. 大力發展風力發電：除水力發電外，風力發電為現階段最具規模之再生能源，目前在中國大陸之西北、華北、東北風力資源豐富地區已加速開發風力資源。預估到2020年，風力發電裝置容量將突破200GW。
4. 積極利用太陽能：中國大陸目前在青海、新疆、甘肅、內蒙古等太陽能資源豐富，具有荒漠和閒置土地資源地區，進行大型太陽能發電及熱能應用等建設，以增加當地電力供應。預估到2020年，中國大陸之集中與分散式太陽能發電容量可達100GW。

2014年中國大陸之石油消費成長，約占世界石油消費成長之43%，2015年之年中起，更超越美國成為世界最大原油進口國。中國大陸之石油消費成長在過去幾年轉為較緩慢，但2015年中國大陸石油消費成長仍超過全球四分之一[13]。中國大陸亦正在提高天然氣使用，以取代煤和石

油等化石燃料應用，並計畫到2020年，天然氣使用占比達到總能源消耗之10%。因應天然氣使用增加，中國大陸未來將更積極獲取與開發天然氣資源，包括多元化擴大管線天然氣之進口，以及頁岩氣開發技術提升等。

為有效減少溫室氣體排放，未來煤炭之初級能源消費比重將下降到60%以內，並希望2030年時下降到50%。中國大陸在2015年6月30日向聯合國氣候變化框架公約秘書處提交『強化應對氣候變化行動-中國國家國家預期自定貢獻』中，提出到2030年，單位生產總值CO_2排放比2005年下降60%-65%目標，包含2030年左右達到CO_2排放高峰，並爭取儘早達到高峰，非化石能源占一次能源消費比重20%，森林蓄積量比2005年增加45億立方米左右之目標。

(四) 日本

日本於2011年福島核能事故後，能源政策做很大轉變，於2012年9月提出「革新能源環境戰略」，揭示2030年代零核電的主張。但自民黨政府於2012年12月上台後，面臨許多國內外能源供需結構嚴峻挑戰，特別是在核電機組陸續停機下，擴大化石燃料進口，導致2011年起連續4年之貿易赤字，2013年達11.5兆日元，2014年更達歷史新高之12.8兆日元，對於日本經濟造成嚴重負擔，於是對零核電政策進行修正[14]。

日本政府於2014年4月11日公布新的「能源基本計畫」，提出中長期能源計畫推動方針，旨在建構「多層化與多樣化之彈性能源供需結構」，內容包括核能重建、再生能源加速導入、提升火力發電效率、推動電力及天然氣供應結構改革、創建綜合能源服務公司等[15]。此外，為明確未來之能源結構，於2015年4月提出2030年能源供需結構與溫室氣體減量的目標方案。對於2030年的電源組成，在擴大再生能源發展、維持核電比率及提高火力發電效率下，再生能源將占22~24%、核能22~20%、LNG 27%、煤炭26%及石油3%[16]。相較於福島核能事故前核電比率達3成左右，自2013年10月至2015年7月間則處於零核電狀態，目前(2016年2月)使用中之43部核電機組亦只有3部機組重啟運轉，日本希望未來能維持2成之核電，以提高能源自給率、降低電力成本及減少溫室氣體排放。至於溫室氣體減量，提出2030年較2013年減量26%的目標方案[17]。

日本能源政策係基於3E+S之方針，即在安全前提上，確保能源穩定供應、提升經濟效率實現低成本之能源供應，同時提高環保要求[15]。由於核能安全之議題仍未能消弭民眾之疑慮，推動核電廠重啟運轉仍有諸多變數，未來核能政策或能源政策是否會再次調整、2030年能源供需結構與溫室氣體減量目標是否可達成等，仍有賴後續之觀察。

（五）韓國

韓國經濟以出口為導向，自產能源缺乏，境內能源大多依賴進口，為兼顧經濟、能源與永續發展，致力推行低碳綠色政策。其中溫室氣體減量目標及相關推動措施如下：

1. 2009年公布「綠色成長國家策略」暨第一個五年計畫，訂定中期溫室氣體減量目標，於2020年達到30%減量（2020年之基準情境(Business As Usual, BAU)為813百萬噸CO_2當量)[18]。
2. 2010年頒布「低碳綠色成長基本法」，即基於2020年達到30%減量目標，提出相關因應氣候變遷和能源目標管理制度、設定溫室氣體中長期減量目標、建構溫室氣體綜合資訊管理體制、建構低碳交通體系等四面向措施。
3. 2015年1月12日開始實施排放交易制度，包括碳權分配、國內及國際抵換權、罰則與市場穩定等措施。
4. 2015年6月30日公布溫室氣體減量目標，設定2030年較BAU減量37%目標。除了原先規劃之增加核電占比、導入CCS技術、運輸部門增加生質燃料比率、強化建築部門隔熱技術等之外，將依照相關規定和標準，藉由國際碳市場機制來協助完成2030年之減量目標[19]。

為確保未來電力穩定供應和改善能源使用行為，韓國政府於2014年1月提出「第二期國家能源基本計畫」，規劃以需求管理為中心轉換政策方向，並推動能源價格結構合理化，提出季節別與時段別費用結構、擴大選擇型費用制度、客製化費用制度與能源稅率調整方案，希望以改善能源價格誘導節電[20]。

再生能源方面，於2014年9月公布「第四次再生能源總體規劃」，主要目標為至2035年，再生能源於初級能源供給比率，維持第二期國家能源基本計畫目標之11%，整體發電量占比達13.4%[21]。

核能發展方面，為滿足民生需求及維持產業競爭力，近年來韓國政府大力擴展核能發電，以確保供電穩定。但因2013年核能電廠使用不合法零件及事故頻傳，遂於第二期國家能源基本計畫中，將核能裝置容量由原先規劃之2035年占41%下修至29%。截至2016年2月運轉中核電機組共24部，總裝置容量達21,716MW，占總電力裝置容量22%；預計2016年5月再增加1部機組(新古里3號組)1,400MW。此外，規劃2017~2022年將另有3部機組共4,200MW，正式投入商轉。

三、全球整體能源策略與措施展望

IEA於2015年出版之能源技術展望(ETP2015)報告，強調能源技術創新對滿足溫室氣體減排、支援經濟及能源安全等目標，佔有重要之角色及功能。能源系統轉型是目前全球整體能源策略優先思考方向，成本有效之創新技術可以促成能源系統轉型，但需要加速建立能源技術創新系統與機制，包括：政策支援與新的能源市場架構。能源系統創新及轉型策略的全球發展趨勢分述如下：

(一) 能源使用與國內生產毛額(GDP)及人口成長脫勾

IEA設定2DS策略情境目標，以GDP衡量之能源密集度及以初級能源衡量之碳密集度，全球必須在2050年下降至目前水準之60%。即全球能源密集度每年下降幅度需要從現在之1.1%提高至2.6%。但目前進步速度仍然不足以達成2DS目標。主要原因是電動車及再生能源發電技術(除了太陽光電外)發展仍面臨考驗。

(二) 化石燃料價格對低碳能源系統的挑戰與衝擊

短期化石燃料價格下滑，不會影響長期能源系統轉型。清潔能源及有效率之能源生產與消費，可提供未來能源市場不確定性之能源安全避險機制。開發國內清潔能源創新技術佈局，可降低國家能源安全暴露在市場價格波動衝擊。當去除化石燃料補貼及引進碳價機制時，反應能源生產之真實成本，可以促進低碳技術市場可行性及相關的研發及佈局投資。

(三) 終端能源使用的低碳潛力

住商部門的暖氣及冷氣系統占最終能源消費之40%，高於運輸部門之27%，故有很大低碳化潛力空間待開發。使用低碳之再生能源電力將有助於降低2050年CO_2排放降低貢獻度達1/3，由於需求端用電選擇，也提供

可變動再生能源更高之市場滲透機會。另外，改善用電效率也可提供12%之CO_2排放降低貢獻度[22]，如此，也可使得電力部門減少發電容量之投資成本。工業部門主要執行減碳策略包括最佳可取得技術(Best available technology, BAT)、能源效率措施、低碳燃料組合、材料回收使用，同時未來CCS技術之成熟應用，將扮演重要角色。

(四) 低碳電力供給取代化石燃料電廠

2014年開啟了第一個商業化規模之碳捕集燃煤電廠，為CCS技術開創里程碑，透過碳價制定或排放標準設定等市場導向政策工具，使投資人可以管控CCS投資風險，導正缺乏環境外部性考量而產生之資源配置市場失靈現象，並且提供了化石燃料電廠也可以成為永續能源系統一部分。在2DS情境下，風力及太陽光電在2050年具有降低每年電力部門CO_2排放22%潛力[22]。然而，低碳電力真正挑戰為隨著技術進步，沿著擴散曲線(Diffusion curve)建立一個良好設計之政策及市場管制架構，包括降低風力及太陽光電可變動性或提升電力系統彈性。未來對於需求端之能源儲存及智慧電網併網基礎設施之整合也是重點之一。

(五) 創新支援系統建立

政府在各創新階段的角色，從基礎及應用研發到示範佈局，需根據不同階段技術成熟度，提供長期及穩定之支援政策與架構，將有助於技術創新成功。引導創新技術大規模佈局政策包括：最低能效標準設定(包括建築物或車輛)或電力市場規則或產業生產價值鏈之跨部門架構。另外，政府提供必要資訊傳播活動，主要目的為克服使用者對新技術之風險厭惡感及推動使用行為改變，並創造新技術多重效益價值感。

新興國家由於經濟成長起飛，能源需求大幅成長，對於能源基礎設施也相對增加。因此，新興國家更有機會佈局低碳技術來降低CO_2排放，特別是工業部門低碳佈局，將有助於長期對全球工業部門的低碳化貢獻。新興工業國家低碳化潛力有二個重要條件，(1)國際合作提供技術支援及知識移轉，並建立國內技術創新能力；(2)建立創新能源技術的商業化市場環境。不管是OECD或非OECD國家，都需要改變能源系統、走向創新路徑、建立必要支援政策與執行架構、開放透明的利害關係人溝通及多邊國際合作。

第二節　國內能源產業技術發展與政策措施

一、永續能源政策與方案

(一) 面臨課題

近年來，國際間政經情勢變化導致能源價格大幅波動，而能源供給易受國際地緣政治、戰爭、天災等衝擊。我國98%能源依賴進口，且為獨立能源供應體系，欠缺有效備援系統，限縮能源發展。所以確保能源結構安全、穩定佈局將極具挑戰。

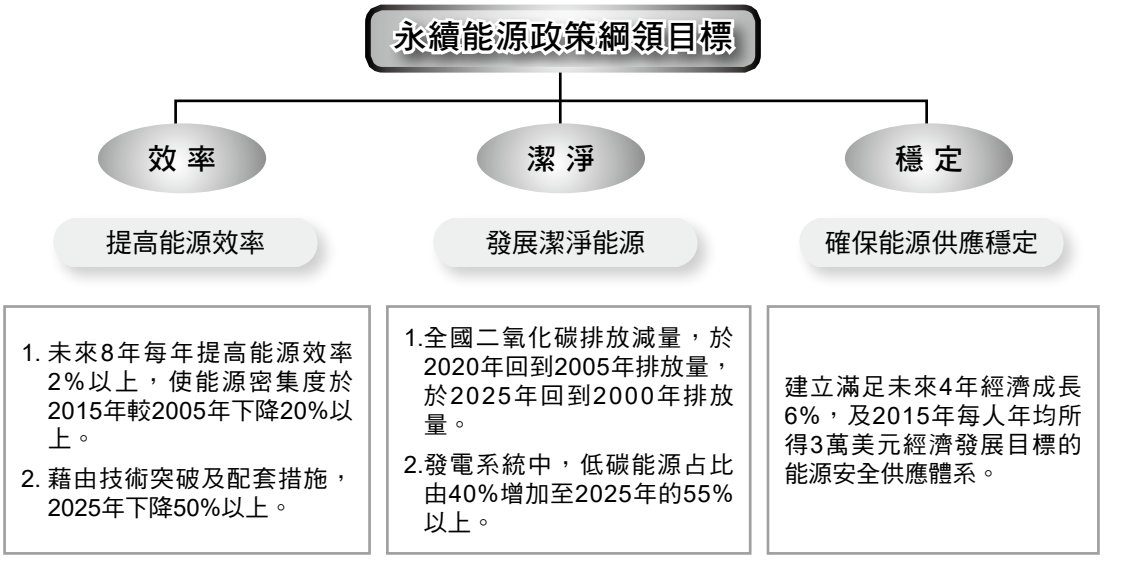
我國能源進口值占GDP的比率，自2004年之6.25%提高至2014年之12.06%；平均每人負擔進口能源值由2004年之新臺幣32,265元增加至2014年之新臺幣83,376元，10年來增加2.6倍以上，嚴重影響產業國際競爭力及增加民眾負擔[23]。為因應全球氣候暖化與異常，大力倡議溫室氣體排放管理與國家自定減量貢獻等相關策略之際，若無妥適規劃，將造成國內產業龐大減量壓力。因此能源政策之重點，一直著重如何提升能源使用效率與加強各界節約能源，並兼顧國際減量承諾與環境永續，持續發展穩定供應、可獲得、可負擔之自產與潔淨能源，在供給面與需求面打造綠能低碳環境，以規劃整體節能減碳社會。

2011年3月日本福島核能事件後，國際間高度關注核能安全，政府亦積極加強核能安全，並檢討核能發展政策，其中，核四商轉與否問題一直是國內電力政策面臨之重大挑戰，在支持與反對意見拉扯之下，行政院於2014年4月28日宣布「核四1號機安檢後封存，2號機全面停工」，使核四爭議暫延，並於2015年7月1日起封存3年，確保所有設備維持在最佳可用狀態，未來將由公投決定是否啟封，替下一代保留選擇空間。

(二) 政策目標

現行能源政策係以追求永續發展為目標，兼顧「能源、環保與經濟」三贏之核心理念。行政院於2008年宣布「永續能源政策綱領」，定位我國能源政策應將有限資源作有「效率」使用，開發對環境友善之「潔淨」能源，與確保持續「穩定」能源供應。其政策目標如圖2-2-1所示[24]：

為因應氣候變遷，降低與管理溫室氣體排放，善盡共同保護地球環境之責任，並確保國家永續發展，國內在2015年7月年公布「溫室氣體減量及管理法」，將聯合國氣候變化綱要公約(UNFCCC)及京都議定書(Kyoto Protocol)規範之七大類溫室氣體一併納管以展現減量決心。「溫室氣體減量及管理法」為首部明確授權政府因應氣候變遷的法律，明定2050年溫室氣體排放量降為2005年溫室氣體排放量50%以下之長期目標，以及5年一期之管制目標；並以強制盤查登錄、效能標準獎勵、總量管制及排放交易等三階段管理策略，以逐步達成上述目標。「溫室氣體減量及管理法」基本內容如圖2-2-2所示。



資料來源：經濟部[24]，2008年6月

圖2-2-1 永續能源政策綱領目標

精神	• 對外宣示我國減碳決心，爭取國際社會認同 • 對內設定階段努力目標，推動低碳綠色成長 • 以氣候變遷減緩、調適及綠色成長為三大主軸
時程	2015年7月1日「溫室氣體減量及管理法」公布施行
目標	2050年溫室氣體排放量降為2005年溫室氣體排放量50%以下
權責	• 中央主管機關：行政院環境保護署 • 中央目的事業主管機關：能源、製造、運輸、住商、農業等 • 地方主管機關：直轄市為直轄市政府；在縣(市)為縣(市)政府

資料來源：溫室氣體減量與管理法，2015年12月

圖2-2-2 「溫室氣體減量與管理法」基本內容

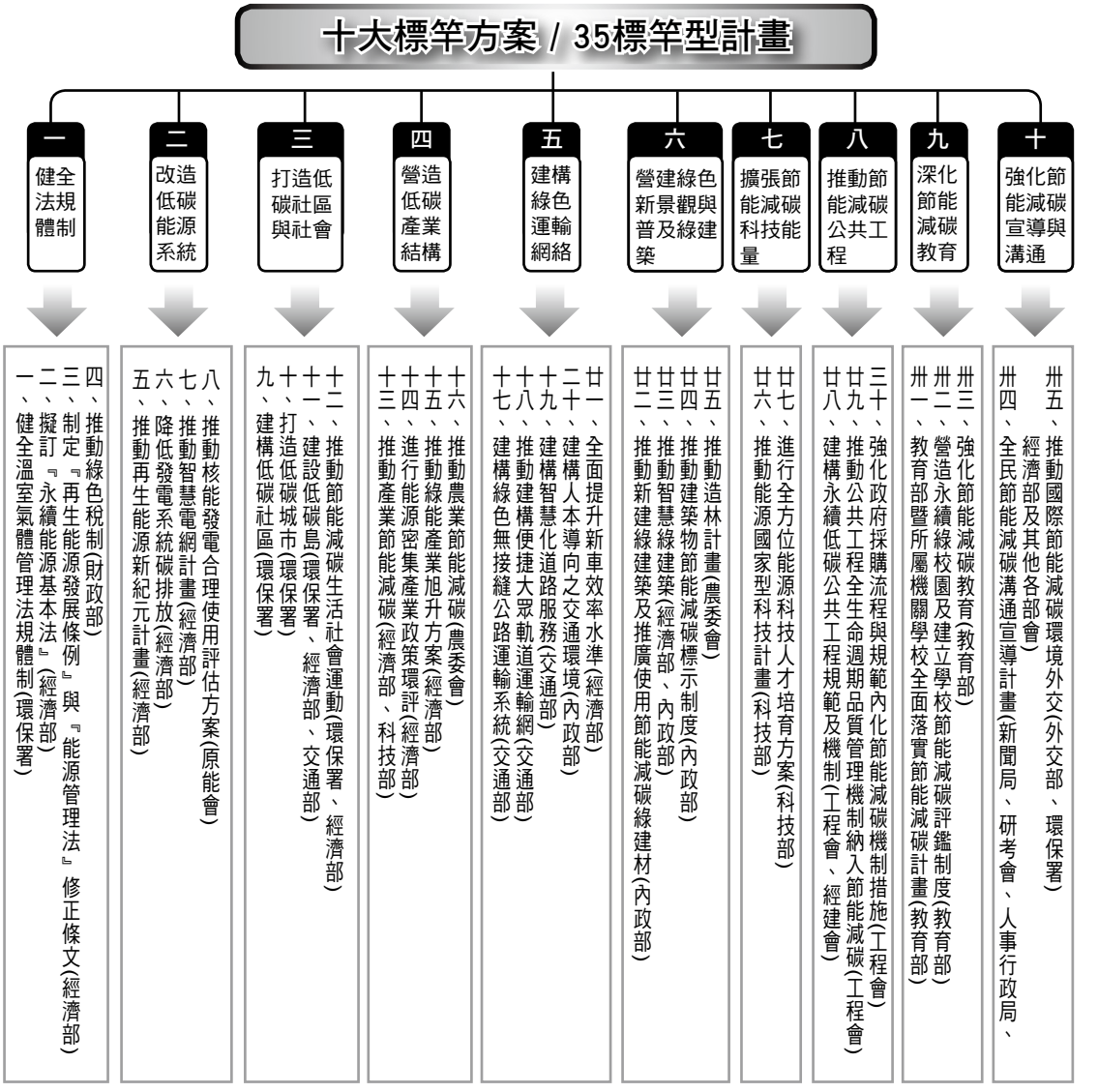
（三）重點措施

1. 2010年5月核定「國家節能減碳總計畫」- 規劃十大標竿方案

為達成國內節能減碳目標，推動之相關計畫可歸納為十大方案、35個標竿型計畫。行政院於2010年5月核定推動「國家節能減碳總計畫」，並於2010年9月將計畫名稱修正為「國家節能減碳總行動方案」，而後配合2014年5月「行政院節能減碳推動會」更名為「行政院綠能低碳推動會」，將「國家節能減碳總行動方案」更名為「國家綠能低碳總行動方案」[26]。整體行動方案內容與權責機構，如圖2-2-3所示，由能源供應面之「淨源」與能源需求面之「節流」做起。在淨源方面，推動能源結構改造與效率提升。在節流方面，推動各部門實質節能減碳措施，並強化節能減碳宣導、教育與溝通[27]。

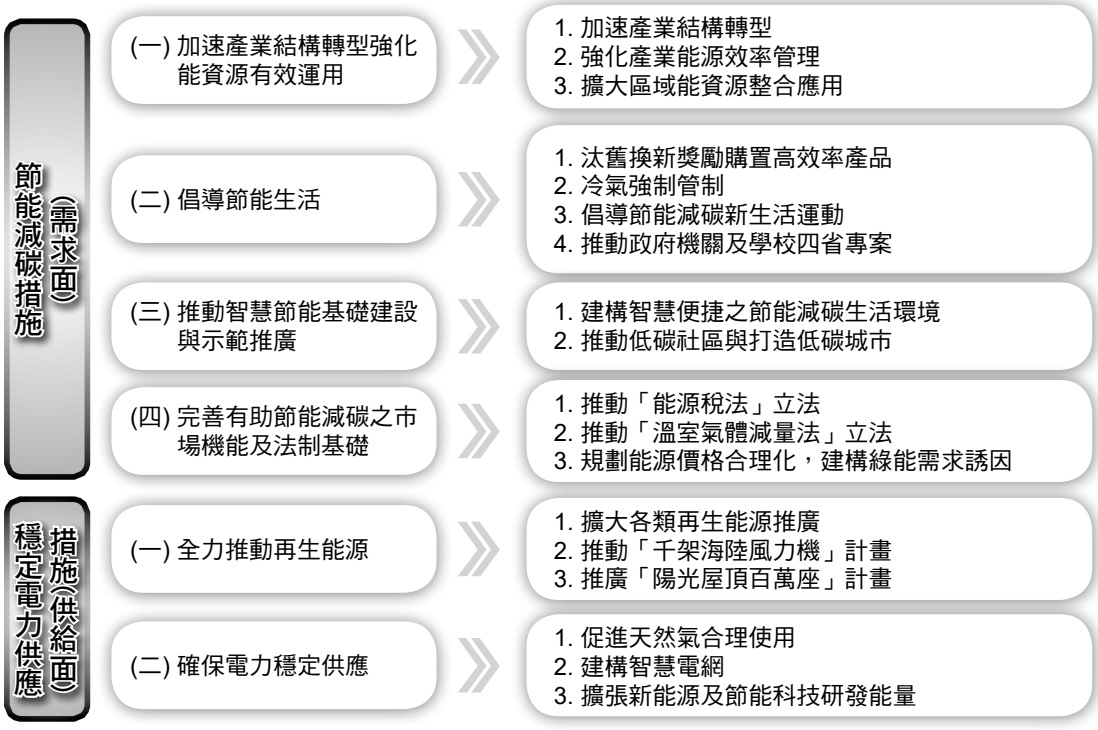
2. 2011年11月3日發布「新能源政策」

2011年3月年日本福島發生核災事件，世界各國紛紛檢討現有能源政策及電力供需計畫。國內則頒行「新能源政策」與各項措施，其推動原則為「確保不限電，維持合理電價，並達成國際減碳承諾」，打造綠能低碳環境之整體措施規劃包括：需求面之節能減碳措施，及供給面之穩定電力供應措施，以「積極實踐各項節能減碳與穩定電力供應」做為標的，主要配套措施如圖2-2-4所示。



資料來源：行政院[27]，2010年5月

圖2-2-3　十大標竿方案、35項標竿型計畫示意圖



資料來源：經濟部[25]，2011年11月

圖2-2-4　建立綠能低碳環境之整體措施規劃

經濟部能源局為落實與推動本項政策措施，於2012年3月成立「陽光屋頂百萬座」及「千架海陸風力機」計畫推動辦公室，整合相關資源，針對設置障礙提供專業協助，提供國內業者、縣市政府、承裝者完整解決方案，以加速推廣設置成效。

3. 2012年10月2日核定「能源發展綱領」

為確保國內短中長期能源供需之平衡與穩定，並促進能源永續發展，行政院於2012年10月2日核定「能源發展綱領」，以規範能源政策原則與方針，作為規劃國家總體能源發展之準據[28]。「能源發展綱領」除作為國家能源相關政策計畫、準則及行動方案訂定之政策方針，並據以訂定「能源開發及使用評估準則」及「能源開發政策」，以落實能源先期管理及規劃國家未來分期之能源供給總量與各類能源發展定位及其配比。

資料來源：經濟部[28]，2012年10月

圖2-2-5 能源發展綱領政策方針

本綱領之發展願景，在於建構安全穩定、效率運用、潔淨環境之能源供需系統，營造有助節能減碳之發展環境，達成國家節能減碳目標。本綱領以促進能源體系之安全、效率、潔淨作為能源發展之核心思維，分別從需求端、供給端與系統端等3個面向，研提6項政策方針(如圖2-2-5所述)，並指出能源政策之訂定應考量應變機制、風險管理、低碳施政與法治配套等面向，以逐步達成能源供應穩定、維持合理能源價格，打造低碳綠能家園，實現臺灣永續能源發展。

4. 2014年8月核定「綠色能源產業躍升計畫」

行政院於2009年4月核定「綠色能源產業旭升計畫」，自2009年執行至2011年期間，整體綠能產業發展快速，產值逾數倍成長。但受全球經濟情勢與歐債危機影響，我國以外銷為導向之經濟亦受威脅，綠能產業發展因而減緩。

因應此經濟環境變化，行政院於2014年8月核定推動「綠色能源產業躍升計畫」，作為現階段綠能產業政策之推動主軸，匯集相關部會之資源及能量，聚焦推動太陽光電、LED照明光電、風力發電與能源資通訊等4大主軸產業，期延續旭升方案推動之成果與基礎，以製造業服務化之思維，朝下游拓展系統服務業發展，並擴大海外輸出能量，藉以提升綠色能源產業整體價值。躍升計畫目標於2020年時，使綠能產業總產值達新臺幣1兆元，並提供10萬人就業機會。在發電及節電效益部分，相關國內裝置量將提供年發電量65.9億度及達成節電43.9億度之貢獻。

我國綠能產業政策進程如圖2-2-6，綠色能源產業躍升計畫架構如圖2-2-7所示。

資料來源：經濟部能源局[29]，2014年8月

圖2-2-6　綠能產業政策進程

綠能產業範疇		發展方向	109年目標與願景
再生能源	太陽光電	強化太陽電池技術競爭優勢拓展模組及系統服務能量	目標： • 產值：新台幣1兆元 • 就業：10 萬人 • 發電：65.9億度電 • 節電：43.9億度電 願景： • 扶植PV系統產業成為全球主要供應商之一 • 促進風力發電產業自主施工及運維在地化 • 全球LED元件及模組主要供應國，建立照明產品全球通路 • 智慧電表系統與能源管理方案輸出國
	風力發電	政策引導創造離岸風電市場以區塊開發帶動產業發展	
節約能源	LED照明光電	強化LED照明元件製造與系統優勢，以內需市場提升產業能力	
	能源資通訊	聚焦AMI系統與能源管理方案，開拓海外利基市場	

資料來源：經濟部能源局[29]，2014年8月

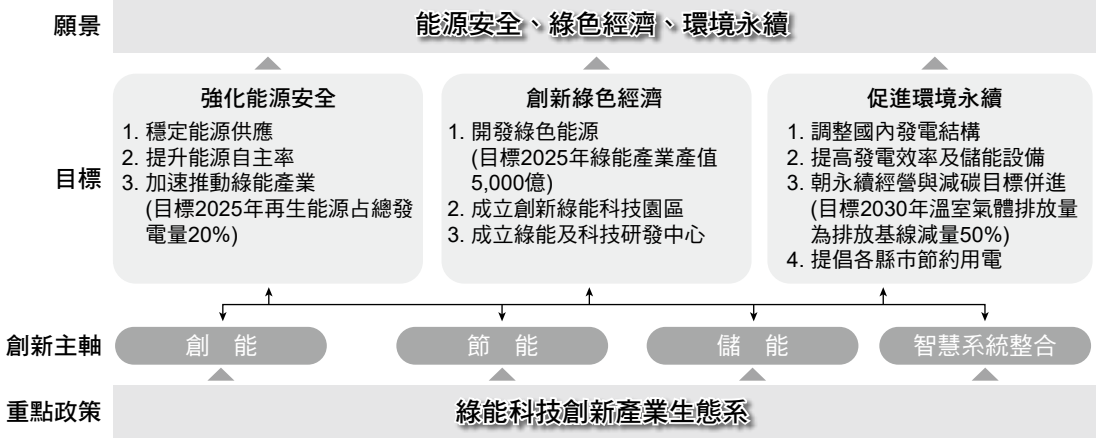
圖2-2-7　綠色能源產業躍升計畫架構圖

5. 政府能源政策之目標與願景

為提升能源自主率來強化我國的能源安全，政府從2016年5月開始加速推動綠能產業，將全力發展綠色智慧電網及建立可循環的能源系統；訂定再生能源發電占比目標將由2015年4%提升到2025年20%，同時提倡節約用電，期望結合全國各縣市一起發動「省一座核電廠」運動之願景。

政府開發綠色能源將以循環經濟理念建立完整的經濟創新生態體系，除可促進國內綠能產業發展，同時結合國內綠色科技產業的研發，冀望到2025年能創造綠色產業產值5千億目標。此綠能產業的推動，將配合調整國內燃煤、燃氣發電比例，並透過設備更新來提高發電效率、發展儲能設備，且鼓勵民眾多使用離峰電力來達到調節尖峰用電目標；綠能發展同時與國際協議接軌，朝永續經營與減碳目標邁進，進而在2030年溫室氣體排放為排放基線減量50%，即達到降為2.14億噸CO_2當量目標。

推動綠能政策目標，政府將成立創新綠能科技園區，加強結合再生能源及智慧節能系統，打造「新能源城市」風貌；並成立「綠色能源及科技研發中心」，以整合國內外再生能源研發及產業能量，積極國際招商、引進人才與技術，以推升在地產業及服務業的發展；且鼓勵國內如綠能前瞻科技研發與能源服務業之育成新創事業，連結在地城市、大學與相關綠能科技創新產業能量，進軍國際綠能市場。政府推動綠能政策目標與願景如圖2-2-8。



資料來源：資策會(MIC)，2016年4月

圖2-2-8　政府推動綠能政策目標與願景

（四）績效目標

2013年至2016年施政計畫之策略績效目標及年度目標值如表2-2-1所示。

二、能源科技研究發展

（一）國內能源科技推動背景

現行能源科技發展與推動方向可溯自2006年「國家永續發展會議」，之後隨著2007年「行政院產業科技策略會議」召開，以及2008年「永續能源政策綱領行動方案」等相關會議結論，作為能源科技發展規劃與推動之依據，研發範疇以再生能源、新能源、節約能源等領域為主。為因應全球氣候及能環情勢變化、綠能發展之競爭與抗暖化之碳排放管理加嚴等趨勢，自2009年「第三次全國能源會議」後，能源科技發展方向已有所調整，配合其後續之政策與計畫(圖2-2-9)，將研發領域擴大到包括開發再生能源、推動節能減碳及發展綠能產業等主軸領域。此外，並推動能源國家型科技計畫，進行跨部會資源整合，擴大能源科技研發資源投入。

現階段能源科技發展之主軸計畫主要包括：

1. 2009年起推動「能源國家型科技計畫」
2. 經濟部推動「節能減碳科技研發與推廣計畫」

此2計畫之執行現況將分別說明如後。

表2-2-1　策略績效關鍵衡量指標及年度目標值

策略績效目標	關鍵衡量指標		目標值 衡量標準	年度目標值			
				2013	2014	2015	2016
穩定供給	1	推動再生能源	累計裝置容量 (萬瓩)	380	393	424	448
	2	推動節約能源	節約量 (千公秉油當量)	303	319	327	335
	3	供電可靠度	系統平均停電時間 (分/每戶每年)	19	18.25	17.75	17.25
推動產業	4	綠色能源產業	產值目標 (新臺幣億元)	3,855	4,410	5,040	5,848

資料來源：經濟部能源局[30]，2015年12月

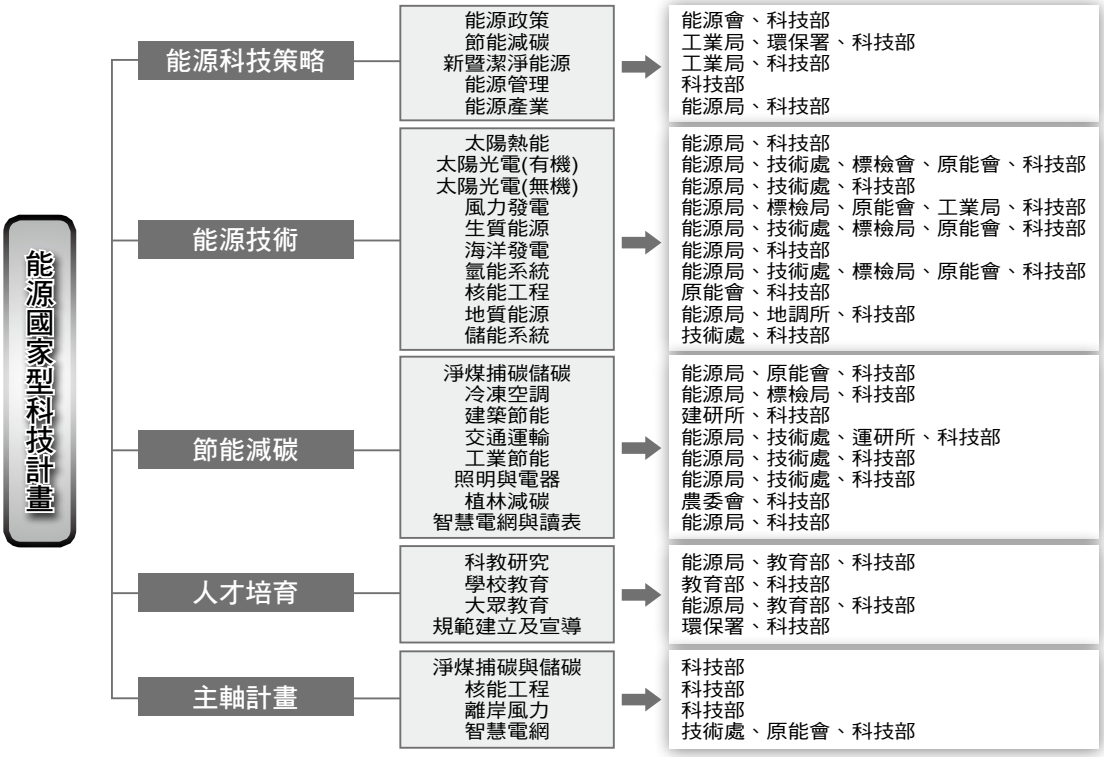
資料來源：經濟部能源局[31]，2015年12月

圖2-2-9　國內能源政策動向暨科技發展重要里程碑

（二）「能源國家型科技計畫」情形

「能源國家型科技計畫」係整合國家資源，推動跨部會署合作之國家型科技計畫。由科技部(原行政院國家科學委員會，2014年3月3日改制為科技部)規劃提出3＋1主軸等項目，計畫分為「能源科技政策」、「能源技術」、「節能減碳」以及「人才培育」四分項，以及「淨煤」、「智慧電網」、「離岸風力」、「天然氨水化合物」、「地熱發電」等5項主軸計畫。第一期能源國家型科技計畫(NEP-I)之架構請參見圖2-2-10，計畫成果統計請見表2-2-2。

「第二期能源國家型科技計畫(National Energy Program Phase II, NEP-II)」之整體規劃，一方面參考「第一期能源國家型科技計畫」執行經驗，一方面重新審視自NEP-I規劃與執行以來之國際政經形勢變化，希冀分析



資料來源：科技部[32]，2011年6月

圖2-2-10　第一期能源國家型科技計畫之執行架構

表2-2-2　第一期能源國家型科技計畫成果統計表

績效指標		2009年	2010年	2011年	2012年	2013年 (第三季)	2009-2012 合計
投入經費		34.4億	47.0億	53.4億	49.3億	49.5億	233.6億
論文		692篇	2,754篇	3,450篇	3,664篇	1,517篇	12,077篇
專利獲得		146件	186件	274件	401件	290件	1,297件
技術移轉	件數	142 件	264 件	315件	348 件	164件	1,233 件
	簽約金	1.3億	3.2億	4.8億	3.4億	2.6億	15.3億
促進投資		23億	134.6億	112億	103億	119.7億	492.3億

整理自：能源國家型科技計畫第一期程總成果手冊，2013年11月

這些重大變化所造成我國在能源取得和使用之評估與抉擇，且將更進一步將產業經營環境所面臨之基礎性典範轉移列入評估，考量國家型科技計畫之執行需求，規劃過程亦重新與各部會協調其執行單位於「第二期能源國家型科技計畫」之定位與分工。

第二期能源國家型科技計畫之規劃執行架構如圖2-2-11所示[33]。為確保「第二期能源國家型科技計畫」總體規劃之後續推動，兼顧國內外之形勢變遷、社會需求與全球資源之鏈結，進而於有限資源下發揮最高成效，故設立「成果追蹤委員會」之運作機制，另設立「能源科技策略小組」、「能源政策之橋接與溝通(含媒體公關)小組」與「國際合作小組」等三個「連結小組」作為幕僚，以協助政策推動；在「主軸中心」部分，除審視「第一期能源國家型科技計畫」之成果、與當前國內外局勢並進

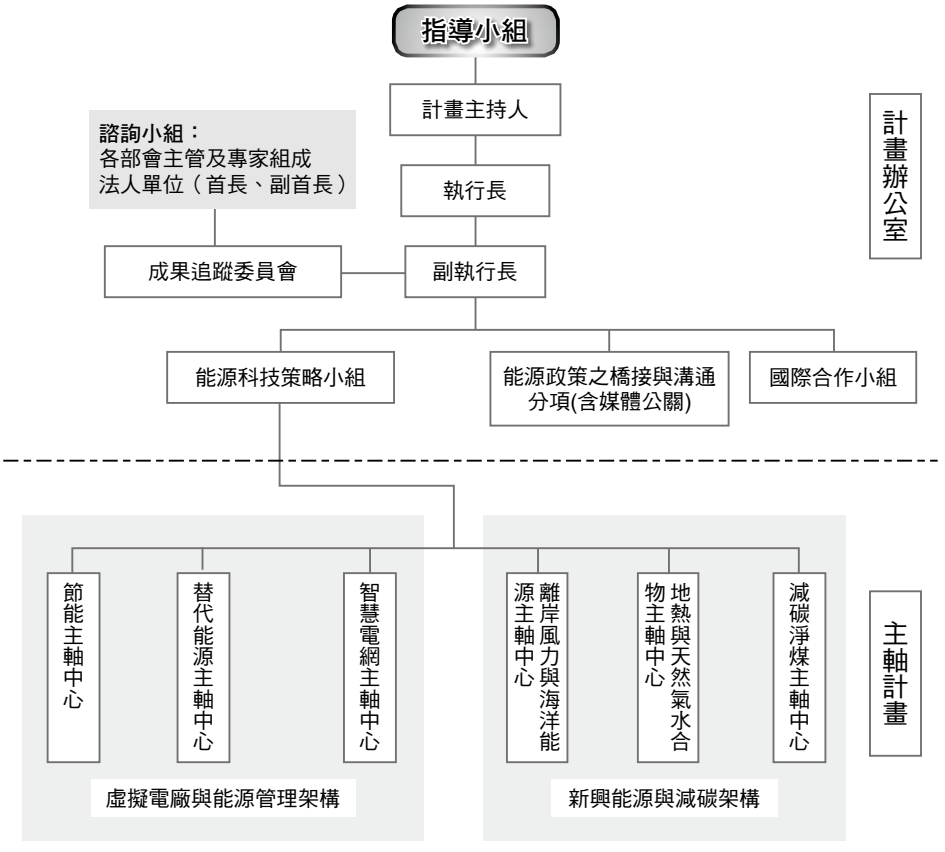


圖2-2-11　第二期能源國家型科技計畫之執行架構

外，並依循「由上而下」及「需求帶動」之原則，促使各界齊心協力以國內能源產業向上精進為里程碑邁進目標。在此前提下，設置六大主軸計畫如下：(1)節能主軸中心、(2)替代能源主軸中心、(3)智慧電網主軸中心、(4)離岸風力及海洋能源主軸中心、(5)地熱與天然氣水合物主軸中心、(6)減碳淨煤主軸中心。(1)－(3)主軸構成「虛擬電廠與能源管理架構」，以符合全球發展之趨勢與由(4)－(6)所組成「新興能源與減碳架構」，其定位為對國內能源長程發展有潛能之新興能源與降低溫室氣體排放之能源標的，第二期能源國家型計畫主軸中心經費初步配置請參見表2-2-3。

表2-2-3　2015年經濟部能源局能源科技研發計畫之重點項目

領域 / 計畫 / 項次	石油基金		能源基金	
	新及再生能源技術研發	再生能源開發與推廣	節約能源技術研發	能源效率管理與節能技術推廣輔導
1	次世代高發電量太陽電池電漿製程系統開發與應用	綠能產業發展策略與推動	固態照明與系統節能技術研發	工業部門能源查核管理與技術服務
2	高性能太陽光電系統技術研發	能源科技計畫推動與管理	二氧化碳捕獲及封存技術研發與示範	住商公部門能源查核管理與技術服務
3	離岸風場開發作業安全評估技術開發	太陽熱能利用與補助作業	潔淨低碳多元應用暨氣體處理技術發展	使用能源設備及器具效率管理與基準
4	陸海域風力發電設置推動及技術研發	太陽光電建構推動環境與推廣	高效能離心機與磁浮軸承驅控技術開發	工業動力設備能源效率驗證與推廣
5	永續生質燃料關鍵技術研發	低碳能源環境建構與整合	吸附乾燥多功能應用與推廣	節能環境建構及知識服務應用研究
6	波浪發電精進改良與海上長期測試	能源科技專案形成機制與績效精進推動	ORC低溫熱能發電技術開發與應用	車輛能源管理及節能應用技術推廣
7	氫能技術研發與示範	太陽光電發電設備驗證平台建置與推廣服務	固態熱電發電系統整合與應用	耗能產業能源效率指標之建立與輔導
8	燃料電池技術	能源產業小型企業創新研發	射出成型產業節能發展	節約能源與效率提升整體策略研究
9	高效能地熱發電技術	太陽能熱水系統推廣	低耗能住商節能減碳技術整合與示範應用	推動能源技術服務業
10	生質柴油車輛應用研究	生質能示範補助	機能型節能衫材料及服飾研發與推廣	節約能源技術發展整合研究
11	電網級儲能系統及併網控制技術		智慧電網之節能控制與整合技術開發	縣市節能推廣示範
12			需求面總量管理與稽核技術開發	溫室氣體減量管理及策略規劃

資料來源： 經濟部能源局[35]，2015年12月

第二期能源國家型科技計畫規劃整體研究架構與跨部會合作模式，整合各部會資源，專注NEP-I中較有成效之研究項目，進一步訂定出各計畫里程碑，同時規劃產官學研充分合作之平台與互動模式、訂出「第二期能源國家型科技計畫」總體目標與執行大綱，作為「第二期能源國家型科技計畫」執行時之參考準則，希能朝向達成(1)安全：穩定能源供給來源與管道，確保能源供需均衡與系統正常運作，完善系統風險管理；(2)效率：強化能源使用管理，提高能源轉換、輸配及使用效率，增加能源運用之附加價值；(3)潔淨：發展低碳能源及運用低碳技術，降低能源之開發及使用對環境衝擊等三個基本目標需執行之各種策略、方案與計畫。

奠基於第一期之研究基礎，並在全力落實「能源政策綱領」的前提下，第二期能源國家型科技計畫之主要發展目標初步設定如下：

(1) 提升能源使用效率，降低對進口能源之依賴度(節能主軸)。
(2) 提升替代能源相關產業國際競爭力(替代能源主軸)。
(3) 發展智慧電網技術產業，協助建立智慧電力網路系統(智慧電網主軸)。
(4) 發展離岸風力與海洋能源技術產業，強化離岸風海能開發，2020年達成自產電力21億度，減碳1.3百萬噸(離岸風力與海洋能源主軸)。
(5) 發展潔淨地熱能源與天然氣水合物調查探勘(地熱與天然氣水合物主軸)。
(6) 建立CCSU及新燃燒系統產業(減碳淨煤主軸)。

(三) 經濟部能源局能源科技研發計畫

經濟部能源局能源科技研發計畫以落實「永續能源政策綱領」與「國家節能減碳總計畫」，配合推動目標導向之科技研發，能源局所職掌之任務與目標主要包括下列4項任務[34]：

- 改善低碳能源系統
- 打造低碳社區與社會
- 推動產業節能減碳
- 推動綠能產業(旭升方案及躍升方案)

1. 重點研發項目

經濟部能源局之能源科技研發計畫包括技術開發與技術推廣兩類型計畫，重點領域包括：「新及再生能源技術研發」、「再生能源開發與推

廣」、「節約能源技術研發」與「能源效率管理與節能技術推廣輔導」等領域。表2-2-4為2015年經濟部能源局能源科技研發計畫之重點項目。

(1) 新及再生能源科技(再生能源開發與推廣及能源新利用技術開發)：包括風能、太陽光電、太陽熱能、生質能(固態廢棄物衍生燃料、酒精汽油、生質柴油等)、地熱能及海洋能等。

(2) 能源新利用技術：係指運用創新的科技，轉換能源以達成高效率、低污染且經濟可行之前瞻開發技術，包括氫能源(氫氣生產、氫氣儲存、氫能利用)、燃料電池、以及儲能電池(儲能電池技術、材料技術開發)。

(3) 節約能源科技(節約能源與減碳技術開發、能源效率提升及節能技術服務)：包括冷凍空調(高效率製冷、變頻控制與天然冷媒、產業與住商冷凍)、電能照明(高效率家用電熱、智慧型節能網路、LED照明系統與先進照明節能技術)及產業省能(新馬達之改造、製程節能、燃燒效率、熱能轉化效率新製程技術)。

2. 研發策略

經濟部推動政策包括：改善低碳能源系統、打造低碳社區與社會、推動產業節能減碳、推動綠能產業等，研發計畫規劃與推動聚焦於上述政策目標所需技術之開發、創新、加值與優化、擴散等為發展重點方向，推動策略說明如下：

(1) 市場導向之研發，突顯出適合國內發展且可做到之技術項目

A. 研究範疇從潔淨能源與能源效率研究，延伸到環境營造、溫室氣體管理、能源部門因應氣候變遷調適策略、穩定電力供應等國內課題所需之技術創新。

B. 慎選技術項目聚焦開發，應突顯出適合國內發展且可做到之技術項目，採取滾動式規劃與檢討，刪除成效不佳之項目，有效運用研發資源。

C. 依研發、工程及商業化等階段來規劃資源投入。以「對外」(全球市場)與「對內」(國內自主與產業需求)不同領域與目標，分配國內之研發資源。

(2) 包含廣義能源產業技術之研發範疇、技術創新與擴散落實並重

A. 廣義之能源產業技術範疇，包含「未商業化技術之商業化」、「已商業化技術之產業化」、「已產業化技術之優質化」等技術發展階段，分別規劃含前瞻先導型研究、應用型研究、量產技術改良、示範驗證研究等不同屬性計畫與目標。

B. 加強技術擴散執行面功能，標準驗證、技術服務、策略研究等研究，包括推動部會之節能減碳、補貼、能源科技研發與策略等。

C. 科技政策、能源政策，以及其他相關政策間之協調與配套，強化此方面功能，並整合產官學研之各項資源，投入先進能源科技與科技政策之研究。

(3) 建立能源產業科技永續發展驅動力

A. 分為2階段實施，第1階段藉由獎勵政策施行以引導關鍵投資、塑造良好產業環境及尋求關鍵技術突圍，以提升國內產品價值與產能，培植產業競爭力；第2階段則藉由擴大內需市場、出口轉進，形成國內市場後再拓展全球市場商機。

B. 增加節能研發獎助比例並提高耗能產業研發比重：提高產業單位能源的生產力有效降低國內能耗；獎勵產業產品流程節能研發與資源循環利用。

C. 擴大推動示範計畫，經由推動綠能社區、社會、生態化產業等永續能源系統，整合綠能與相關跨領域技術，進行應用與系統之驗證。

(4) 將綠能科技成為帶動臺灣製造業的主要動力之一

A. 結合國內具優勢產業，著眼於領先全球之科技項目，強化研發策略規劃之深度及廣度，從消費面與供給面進行技術需求評估及技術地圖探討與佈局，以掌握關鍵技術與成功策略。

B. 善用國內產業之優勢，透過綠能科技帶動高值與永續產業之發展，兼顧工業面臨挑戰，包括製造業附加價值大幅下滑、科技創新能量仍待加強、綠色生產要求日漸嚴苛、品牌形象不足、調整能源及產業成低碳結構等。

C. 善用發展綠色能源產業優勢：

- 綠能產業與技術已有基礎(LED與PV產量分占全球第1與第4位)。
- IT產業基礎厚實，製程及管理經驗豐富。
- 機電、金屬、複合材料、電子控制等傳統產業具製造能量與人力豐沛。
- IC產業獨步全球，國內半導體、薄膜平面顯示器人才基礎佳，此領域優勢技術較易移轉至綠能產業。
- 產業群聚發展，提供經濟發展及供給資本市場發展動能。
- 具備創新能力之優勢、具備優秀人力資源及技術能力。

(5) 培育產業科技人才

A. 為強化學術界產業人才之培育，對於「產業人力」規劃部份聚焦於「整合人力供需資訊，適時調整學界人力資源策略」、整合產學研之各項資源，並投入先進能源科技與科技政策之研究。

B. 透過學界能專計畫有效整合國內學術界質優與充沛學術研究人力，共同進行產業界需求導向之技術研發，藉由長期資源投入及任務導向等相關研發，使培育機制能符合產業變動之需求，並確保綠能產業科技可結合相關高技術及高知識產業發展，培育所需人力資源能達到「量足」、「質精」，及「彈性流通運用」的目標。

3. 主要績效

運用於各項能源技術研發與推廣應用，對穩定能源供應、協助產業升級與提升生活品質等各方面具有重大助益。另外，在廠商技術授權、帶動產業投資、創造就業機會等方面，亦有可觀之實質成果，彰顯出政府推動能源科技發展之正面價值。

(1) 再生能源推廣已具成效

截至2015年5月底，再生能源總發電裝置容量達4,104MW，其中水力發電2,081.4MW、生質能發電840.4MW、風力發電637.2MW、太陽光電644.9MW，估計一年發電量約98.6億度電，約可提供235萬戶年用電量，每年可減少約535萬噸之二氧化碳排放，其減碳效果約相當於1.37萬座臺北市大安森林公園(26公頃)一年之吸收量(389公噸/年)。

(2) 投入產出效益

2016年能源科技計畫投入研發經費共新臺幣16.619億元，石油基金7.615億元投入新及再生能源技術研發，能源研究發展基金9.004億元投入節約能源技術研發，重點施政目標及投入產出主要績效指標(KPI)為：

A. 新及再生能源技術研發重點施政目標為：

- 推廣再生能源為2030年達成設置13,750MW目標規劃2020年前設置量。
- 帶動綠色能源產業躍升：
  (a) 太陽光電：A.業界研發：矽晶電池效率≧22%；B.模組產能達2 GW；C.電池產量9GW(國際市占率18%)。
  (b) 風力發電：A.完成4架(>15MW)離岸示範機組；B.完成1座離岸風電施工專用碼頭。
  (c) 完成3GW離岸區塊開發規劃。
  (d) 建立離岸風力機系統檢測保養與維修技術；E.培育1家離岸風電運維商。

B. 節約能源技術研發重點施政目標為：

- 冷凍空調：確保我國產業技術領先及節能推動利基，持續減少空調用電，降低尖峰負載；
- 固態照明：配合綠能產業躍升計畫，由高效率固態照明光源與節能照明系統雙管齊下，協助我國固態照明產業發展；並促成國內固態照明普及化，達到照明節能目的。
- 工業節能：逐年降低工業部門能源密集度，塑造產業有利發展條件。
- 住商節能：健全住商部門低耗能法規，推動系統化節能技術成為設計規範指引，提升住商能源效率，加速開創節能新產業。
- 智慧電網：發展能源資通訊技術，支援綠能產業躍升計畫，促成能源用戶節能減碳，並推動能源資通訊產業發展。
- 碳捕獲與封存：建立二氧化碳捕獲與封存之技術能量，協助政府達成減碳目標，並藉此發展新興產業。

行政院於2012年8月啟動「財經議題研商會議」，研議具體對策以提振經濟，在「能源政策」議題中，提報規劃「綠色能源產業躍升計畫」，

期延續旭升方案推動之成果，結合國內資通訊、半導體、機電及材料等相關產業厚實基礎及優勢，以製造業服務化的思維，朝下游拓展系統服務業發展，並擴大海外系統輸出能量，快速嵌入全球分工布局，希冀創造綠能產業成長新動力。

經濟部於2012年11月02日「行政院新能源發展推動會101年度第2次委員會議」中，提報「綠色能源產業旭升方案」整體執行檢討及下階段「綠色能源產業躍升計畫」發展規劃，達成集中資源聚焦推動4項主軸產業之共識，其中包括具全球市場競爭力之太陽光電與LED照明光電產業，及具產業發展潛力之風力發電及能源資通訊產業，透過計畫各產業策略與措施之推動，期望於2020年時，綠能產業總產值能達新臺幣1兆元，並提供約10萬人就業機會，發電及節電效益部分，相關國內裝置量將提供年發電65.9億度及達成節電43.9億度之貢獻。

（四）能源科技研發機構與分工

能源科技發展事涉範疇甚廣，包括科技部、經濟部、交通部、內政部、教育部、原能會等，因此，特別強調整合相關機構之功能與建立分工機制，以發揮綜效。政府機關分工方面，各權責機關推動之能源科技計畫依各機關之任務與功能分別就能源政策、低碳施政與推廣、能源科技與產業發展之研發進行分工。以科技部「能源國家型科技計畫」及經濟部「綠色能源產業旭升方案」為例，相關的整合與分工[36]：

1. 「綠色能源產業躍升方案」之科技研發係由經濟部規劃，並納入「能源國家型科技計畫」範疇，其相關再生能源及節約能源之推廣、示範、補助，由經濟部及相關部會執行。科技部「能源國家型科技計畫」則積極投入綠色能源相關基礎科技與應用科技之研發工作，同時培育菁英人力。

2. 前瞻科技研發與人才培育則納入「能源國家型科技計畫」規劃。

3. 創建能源新產業之技術研發，由經濟部與科技部共同協商進行。

關於國內能源科技研究機構之執行面分工，包括學術界、行政法人研究機構、財團法人研究機構、產業界(包括國營企業、公會、協會等)，目前所採行之分工機制，係依計畫性質與組織功能等面向予以分工，分別由相關專業機構執行。

參考文獻

[1] ADOPTION OF THE PARIS AGREEMENT, Conference of the Parties Twenty-first session Paris, 30 November to 11 December 2015.

[2] GLOBAL TRENDS IN RENEWABLE ENERGY INVESTMENT 2015, http：//fs-unep-centre.org/publications/global-trends-renewable-energy-investment-2015

[3] Tracking Clean Energy Progress 2015, Finds Slowing Rate of Clean Energy Technology Deployment, 2015, IEA.

[4] China and India drive recent changes in world coal trade, Nov. 2015, EIA.

[5] SHORT-TERM ENERGY OUTLOOK (STEO), February, 2016, EIA.

[6] Technology Roadmap - Carbon Capture and Storage, 2013, IEA.

[7] Energy Policies of IEA Countries-European Union, 2014 review, IEA.

[8] The President's Budget： Fact Sheets on Key Issues.

[9] SHORT-TERM ENERGY OUTLOOK (STEO), January, 2016, EIA.

[10] China Oil & Gas Monthly, January 2015, Facts Global Energy (FGE).

[11] 中國2050高比例可再生能源發展情景暨途徑研究-宣傳冊.pdf.

[12] 中國統計年鑑2014

[13] China_International energy data and analysis, May, 2015, EIA.

[14] 日本財務省，貿易統計，2014。

[15] 日本經濟產業省，2014年エネルギー基本計画，2014。

[16] 日本經濟產業省，長期エネルギー需給見通し 骨子(案)，2015。

[17] 日本環境省，日本の約束草案要綱(案)，2015。

[18] 韓國綠色成長委員會，녹색성장 5개년계획(2009~2013)，2009。

[19] 韓國產業通商資源部，Post-2020 온실가스 감축목표 설정 추진계획，2015。

[20] 韓國產業通商資源部，제2차 에너지기본계획，2014。

[21] 韓國產業通商資源部，제4차 신・재생에너지 기본계획，2014。

[22] Energy Technology Perspectives, 2015 edition, IEA.

[23] 經濟部能源局，能源安全指標，2015/06。

[24] 經濟部，「永續能源政策綱領」(核定本)，2008/06。

[25] 經濟部，「穩健減核，逐步邁向非核家園」簡報，2011/11。

[26] 行政院，「國家綠能低碳總行動方案103年度工作計畫」(核定本)，2014/07。

[27] 行政院，「國家節能減碳總計畫」(核定本)，2010/05。
[28] 經濟部，「能源發展綱領」(核定本)，2012/10。
[29] 經濟部，「綠色能源產業躍升計畫」(核定本)，2014/08。
[30] 經濟部能源局，「經濟部能源局 104 年度施政計畫」，2015/07
[31] 能源國家型科技計畫辦公室，國立臺灣大學能源研究中心，能源國家型科技計畫第一期程，總成果手冊，2013年11月。
[32] 科技部，「能源國家型科技計畫」，2011年6月22日。
[33] 科技部，第二期能源國家型科技計畫總體規劃報告書(核定本)，2013年11月。
[34] 經濟部能源局，「100年經濟部能源局年報」，2012年6月。
[35] 經濟部能源局，「能源局104年度能源科技綱要計畫架構」，2015年6月。
[36] 總統府科技論壇幕僚小組，「經緯科技縱橫產業--總統府科技論壇紀要(2010,4~2012,3)，2012年5月。

第參章　節能減碳技術

- 第一節　冷凍空調
- 第二節　先進照明系統
- 第三節　能源資通訊
- 第四節　效率標準與指標
- 第五節　工業節能
- 第六節　住商節能
- 第七節　節能技術服務
- 第八節　CO_2捕獲封存與再利用

第參章　節能減碳技術

在因應全球氣候變遷下，節能減碳益趨重要，國內由於自主性能源之缺乏，再加上孤島式電網，因此節約能源就成為我國在因應全球溫室氣體減量壓力下，不得不作之選項。至於國際間在因應氣候變遷方面，已有多項國際協議，由《京都議定書》到「哥本哈根協定」(Copenhagen Accord)，代表了全球對抗地球暖化努力；乃至2014年底利馬會議所達成減碳承諾及2015年底在法國巴黎簽署之「國家自定貢獻」(Nationally Determined Contributions, NDCs)等均在在顯示降低溫室氣體是全球共同努力之目標。此項協議要求各國加強因應氣候變化的全球性威脅，將全球增溫控制在2℃之內，並以升溫控制在1.5℃內作為努力目標，儘快實現全球溫室氣體排放達到峰值，本世紀下半葉則實現溫室氣體淨零排放之目標。

我國雖非締約國，但政府亦宣示減量目標與期程。於2008年發布永續能源政策綱領，國家節能減碳總目標為：

一、節能目標：未來8年(自2008年起)每年提高能源效率2%以上，使能源密度於2015年較2005年下降20%以上；藉由技術突破及配套措施，2025年較2005年下降50%以上。

二、減碳目標：CO_2減量，於2020年全國二氧化碳排放量回到2005年排放量，於2025年全國二氧化碳排放量回到2000年排放量。

行政院奉指示訂定10大標竿方案及35標竿計畫，藉由政策全面引導低碳之經濟發展，並形塑節能減碳社會，經濟部於2010年4月彙整完成國家節能減碳總計畫，在確保不限電、維持合理電價、達成國際減碳承諾等3大原則下，積極實踐各項節能減碳與穩定電力供應配套措施。

目前通過之「溫室氣體減量及管理法」中，更明白規定國內2050年溫室氣體排放量要降為2005年之50%以下。這在在顯示政府對節能減碳之重視及努力。為達國家政策所訂定相關節能減碳目標，必須進行各產業高效率節能技術研發與推廣應用。整體而言，目前在推動節能科技發展

上，係積極從應用情境規劃及投入未來在能源領域之重大研究，同時也鼓勵各法人研究單位逐步將各項突破性技術以新創公司模式投入量產；一方面落實技術研發之成果，另一方面在全球節能減碳下，開創國內綠能產業之新契機。

政府在過去即先後於2009年推動「綠色能源產業旭昇方案」，透過採取技術精進、關鍵投資、環境塑造、內需擴大、出口擴張等五大策略，帶動我國綠能產業第一波發展。2014年更進一步核定「綠色能源產業躍升計畫」，希望以製造業服務化思維，拓展下游系統服務業，並擴大系統業務輸出海外能量，希冀創造綠能產業成長新動力。前者在七項產業中即有LED照明光電、能源資通訊與電動車輛等三項和節約能源相關之產業；至於後者之四項重點產業中則有LED照明光電及能源資通訊等2項節能產業。

目前國內對節約能源技術之研發係以研究單位之技術開發為主，同時以業界合作、先期參與及技術授權等方式結合國內產業界，將各項研發成果授權業界生產各項高效率設備與器具；最後則透過能源查核、能源效率標準之管制、節能標章等政策手段來促進各項高效率產品之製造及應用。

國內發展節能減碳科技肩負著強化節能減碳成效，以及扶植相關產業發展之雙重任務，因此一方面持續發展科技之外，也需要相關之推廣政策配套，相輔相成。在產業技術研發方面，主要領域包括冷凍空調技術、先進照明技術、能源資通訊技術、效率標準與指標、工業節能技術、住商節能技術、節能技術服務、二氧化碳捕獲封存與再利用技術等。在各領域均參考國外發展趨勢及依據國內產業基礎，透過節能減碳效果篩選優先發展科技項目。

在配套推廣政策方面，主要藉由耗能設備效率標準與指標、工業耗能查核、耗能產業設備效率指標、節能技術服務等措施等，來推廣各項節能減碳科技，擴大內需市場，建立節能減碳產業發展基礎。本章將就上述各領域說明目前國內節能減碳技術研發方向、技術推動與發展時程，以及配合技術發展所必須推廣應用政策工具與作法。

第一節　冷凍空調

良好之冷、熱、除濕環境供應與管控，為工、商業產品製程與住商生活等之品質提升不可或缺方法。隨著工商業發達與人民生活品質提升，相對地促成設備器具節能化需求，帶動冷凍空調產業的技術提升及相關器具性能訂定了能效管制基準。

由於冷凍空調器具所涉及之產業與應用範圍相當廣泛，從零組件製造業、空調主機與系統設計施工、工廠及建築物之通風與消防、高科技製程環境之無塵無菌室、醫療場所之特殊空調、產業製程之冷凍與製熱技術、住商環境的溫濕度與氣流調控、賣場與便利連鎖店食飲品貯存及保鮮等，均為冷凍空調產業涉入之範疇。相對所涵蓋之技術領域包括：關鍵零組件開發(如馬達、壓縮機、熱交換器、控制器、閥、泵等)、設備製造、系統設計、工程設計施工、測試分析及診斷調整、操作運轉與維護管理等。在節能環保之國家政策要求下，如何提供健康舒適之生活環境及營造產業製程與管理所需之各項環境條件下，又能達成節能減碳國家目標，是推動冷凍空調節能技術產業化之重要里程碑。

一、國內發展目標與策略

(一)發展環境分析

國內電力系統之需求，隨著工商業發達與人民生活水準提升而屢創新高。根據能源統計手冊資料顯示[1]，近廿年來，除了2008~2009年全球金融風暴期間外，歷年來全國總耗電量皆是穩定持續成長。1996年全國總耗電約為1,343億度，至2014年之總耗電已增長至2,511億度，年均複合增長率(CAGR)為3.54%。對應著住商部門總耗電量也是穩定成長，1996年住商部門總耗電約為546億度，至2014年之住商部門總耗電已增長至928億度，CAGR為2.99%。

在住商部門耗電模型中，空調與照明耗電約各占一半。整體而言，空調型之建築物中，以空調用電占建築用電最大比例，空調尖峰用電量在夏

季則將占達40~50%，而冬季也占了20~30%。因此，2000年國家節能減碳總計畫之結論，也要求擴張節能減碳科技能量，推動能源科技導入冷凍空調技術提升。2008年全國能源會議訂定需優先推動空調節能及提升能源效率之結論，2009年全國能源會議能源科技與產業發展之結論也訂定冷凍空調發展方向為提升冷凍空調系統節能及創新技術研發。2015年的全國能源會議之結論，明示住商和工業部門應持續更新與制定產業新購或汰換能源設備或器具容許耗用能源之強制性標準。

2014年全國空調機組全年總耗電約為250億度[2]，其中住商用中小型空調機裝置量(至2011年)為1,600萬台，約1,200萬冷凍噸，尖峰耗電量為650萬瓩，全年用電量80億度；容積式冰水機裝置量(至2011年)為22.6萬台，約5百萬冷凍噸，尖峰耗電量為280萬瓩，全年用電量80億度；離心式冰水機裝置量(至2011年)為8,400台，約5百萬冷凍噸，尖峰耗電量為250萬瓩，全年用電量90億度。

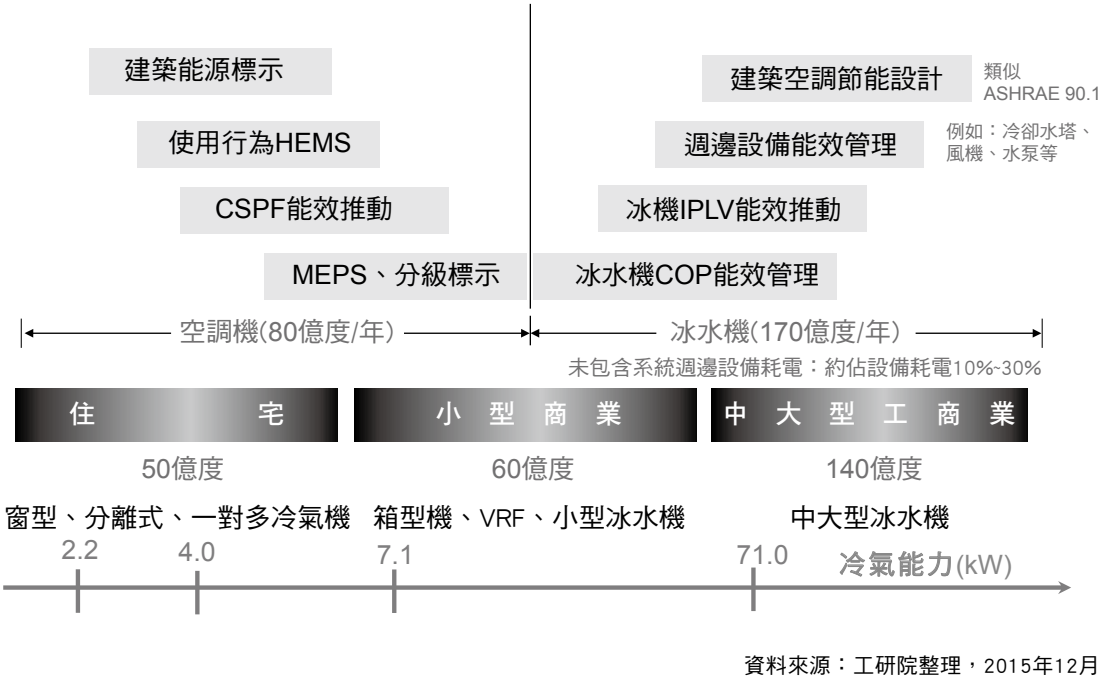
目前國內逐步進行各種空調設備效率提升之技術開發與落實產業界方案，並同步訂定相關設備器具之能效檢測標準與管制規範，並持續向著達成永續能源政策綱領訂定之全國CO_2排放量於2025年回到2000年排放水準之目標而努力。

為推動冷凍空調設備能效提升，則由實施系統效率管理及補助創新技術研發兩大方向來進行。政府投入冷凍空調產業節能技術開發已逾24年，引導多項產業導入具國際競爭力之冷凍空調關鍵零組件與高性能的系統設備商品技術。在推動關鍵零組件商品化部份包括：新冷媒(HFC-410A、HFC-134a、R-600a、CO_2等)壓縮機及熱交換器、永磁無刷馬達與無感測驅控器、DC變頻化風扇、磁浮軸承與控制器、相關變頻化系統控制器等高性能技術與創新產品。

近十年來，政府協助產業界建構符合國際環保要求且具國際競爭力之高性價比的各型式空調與冷凍冷藏設備等多項系統商品，包含：HFC-410A窗型冷氣與分離式冷氣、DC變頻分離式冷氣、HFC-134a螺旋式冰水機(滿溢式與噴淋式)、R600a之DC變頻冰箱、HFC-404A冷凍冷藏櫃、HFC-134a廣域離心式冰水機、CO_2商用熱泵與冷藏櫃、無油化之磁浮冰水機組等。積極推動冷凍空調節能環保技術開發與落實，亦帶動了相關精密機械技術的提升，其中包含精密鑄造、微米級加工製造與組裝、精密量測和性能檢測技術等。

經由這近十年之技術深根與產業落實，大多數之空調設備與關鍵零組件製造廠，皆已具有成熟技術與產品之國際競爭能力，也提供國內外市場優質商品與節能實績。政府也實際參考國際最新之設備器具效率最低門檻值，並召開產學研公聽會及討論，而制訂相關能效管制規範及對應之節能設備與系統設置補助政策，作為全國普及化推動基礎，同步也促進冷凍空調節能化產業發展。如圖3-1-2所示為國內推動空調節能化之策略與架構。

另外，由於空調系統週邊設備耗電約占空調系統總耗電10~30%，其中包含送/排風扇、風機濾網機組、冰水泵、冷卻水泵、冷卻水塔、流量調節閥、熱回收系統等，以及輔助空調多功能應用之熱泵與除濕系統、協助空氣循環之立/桌/壁扇、吊扇、吸頂扇、空氣清靜機等，此方面技術研究，則有待結合系統智慧節能化之創新改造，將可大幅再降低空調系統耗電。這些以往較少涉獵之創新節能技術，將整合產學研界資源，並透過合作研究和示範計畫，共同進行節能產品之創新與推廣，同時以促成開創新產業為目標。



資料來源：工研院整理，2015年12月

圖3-1-2　國內空調設備節能化策略與架構

(二)發展目標與策略

國內空調產業長期以來，皆以空調額定負載需求而訂定能效管制值，惟在不同之氣候環境及人因需求下，實際空調設備皆常運轉於部份負載條件。因此，全球市場在訴求空調系統整體節能方案推動趨勢下，已紛紛訂定季節能源率比(Seasonal energy efficiency ratio, SEER)、全年性能因數(Annual performance factor, APF)、整合式部份負載效率值(Integrated part load value, IPLV)等整合空調系統部份負載性能之標準規範，而促使產業界對應開發部份負載性能較佳之空調設備。

國內在中小型空調設備部份，於前期研發計畫推動下，已協助業界建立相關中小型空調機部份負載性能檢測規範研擬，以及對應設備產品技術開發[3]。於2013年12月，政府公佈新版的CNS-3615空氣調節機標準，內容已包含適用國內氣候環境之「冷氣季節性能因數」(Cooling seasonal performance factor, CSPF)的檢測方法，作為評估中小型空調設備運轉效率之新指標。

CNS 3615所訂定CSPF測試標準，係經過分析國內1999年至2006年間之氣候資料(區分外氣溫度為14個區段)，並調和國際測試與計算方法，將各外氣溫度發生時間與其相對之冷氣負載及消耗電量加權計算後之比值，定義為「冷氣季節性能因數(CSPF)」。藉由分析空調機在全年運轉所能滿足之冷氣負載需求總量與運轉所需消耗之電量，計算空調機在冷氣季節運轉之效率，反映出空調機在長期運轉之特性，比起以往以固定條件所計算之「能源效率比」(Energy efficiency ratio, EER)，在效率評估方面將更為精準。

2015年8月11日經濟部已正式公告中小型空調機CSPF能效管制標準－「無風管空氣調節機容許耗用能源基準與能源效率分級標示事項、方法及檢查方式」，並自2016年1月1日生效，能源效率分級標示也同時轉軌成CSPF之標示。國內產業界也配合此標準之訂定，對應開發系列化的空調節能設備產品，其中包含DC變頻化之窗型、分離式、可變冷媒流量(Variable refrigerant flow, VRF)等空調系統。

空調耗電占比較大之中央空調冰水機組方面，於1995年便已訂定能源效率管制標準，於2007年2月亦進一步修訂CNS 12575 “蒸氣壓縮式冰水機組” 之測試標準，內容包含全載、部份負載及熱回收等測試標準，惟尚未進行強制性申報或登錄之管理措施，只採自願性管制方式推動。

因冰水機真正節省運轉電費關鍵在部份負載效率之高低，導入變頻化與冷媒系統無油化，將可使系統之部份負載效率更提升。因此，離心式冰水機之變頻化與系統無油化為未來之產品路線，將可促成國內離心式冰水機產品功能更完整與提升國際商品競爭力，特別是整合磁浮軸承、永磁同步馬達、無段變速控制、冷媒流量控制(進氣導葉)和熱氣旁通等多重容量調節機制之離心式冰水機的創新設計，將可滿足亞熱帶氣候之定冷媒壓差卸載或變冷凝溫度卸載等不同之廣域操作工況條件，使其於不同場所之用途更加有彈性，並發展出具有區域性特色之產品機組，將是促成產業創新重要方向[4]。

另外，由於空調設備在製冷時，同時亦在排熱，因此空調設備本身便是熱泵系統，可同時產熱與製冷，如何將此兩種能量同時應用，也是全球推動空調節能新趨勢[5]。於2011年5月，國內公佈CNS 15466-空氣源式熱泵熱水器之性能試驗法標準， 2012年12月。也公告空氣源式熱泵熱水器節能標章能源效率基準與標示方法，促成國內熱泵性能檢測具標準化，同時也推動開創多項的熱泵新產業呈現，其中包含HFC冷媒之直熱式熱泵與循環式熱泵、CO_2冷媒商用高溫熱泵、冷熱多功型空調熱泵系統等。持續推動熱泵與冷氣複合式應用及性能提升，將為後續推動空調產品節能之另一亟機，也是產業可以領先國際技術之新指標。

有鑑於空調設備各次系統中進行輸送流體之器具(風扇、泵)關鍵元件-馬達，進行高效率化改善方案皆採用永磁無刷馬達替代傳統感應馬達，目前大部份皆使用稀土磁石為馬達轉子磁力之供應源，由於供應源受控於中國大陸及日本影響，常面臨價格大幅波動，國內必須有一完整配套來因應市場變動。如何發展低成本、高性能且具自有材料來源的鐵氧磁石而替代稀土磁石馬達，將是帶動空調產業具國際競爭力之另一重要發展策略。

因此，延續過去之研發成果，更進一步協助國內相關產業，運用已建立之技術，進行技術深根，提升冷凍空調產業技術與市場競力，並促成落實節能政策與效益呈現，正是國內產、政、學、研界所共同期盼。

國內空調產品與技術提升發展，可分為兩大技術主軸而推動：

1. 傳統空調的技術提升

綜觀國際在空調機技術之發展現況和未來，國內在傳統中小型空調技術發展方向是與國際技術趨勢一致。因國內已於2016年1月1日啟動了中小型空調機CSPF能效管制標準，結合HFC-410A冷媒搭配DC變頻也成為目前國內的市場主流商品，利用永磁無刷馬達及驅控器之變頻技術，達到寬廣變速與可變負載之高效率運轉，皆已應用於國內市場。在應用機型方面，則包括窗型、分離式及VRF等空調系統。國內市場需求量每年約為100萬台，DC變頻空調機之市占率已達60%以上，分離式的機種有75%市占率[6]。另外，依據業界銷售資料得知，DC變頻化的普及亦帶動具冷/暖氣功能機種大幅成長，冷暖變頻機種占有率從早期之個位數百分比，2015年已成長到約45%的比重。由此可知，小型空調暖房的技術，在國內已逐漸受重視。

此外，由於國內有許多老舊建築之牆壁依然留有窗型冷氣的安裝孔位，因此，窗型冷氣的需求依然有20%市占率(約20萬台/年)。因此，為了因應CSPF能效管制的推動，製造窗型冷氣的家電商，也將導入DC變頻技術來提升性能以符合管制需求，依此趨勢發展，國內近幾年的DC變頻空調系統之市佔率，將會再持續提升之。

在中央空調系統方面，各種空調設備能源效率也趨向於採用定頻和變頻的雙軌能源效率規定(例如ASHRAE 90.1 2010)。以冰水機而言，分別採用COP和IPLV來表示冰水機設備的全載和部分負載效率水準，定頻機種以空調基載負荷為設計目標而強調高COP效率，變頻機種則考量全年變動負載下而以高IPLV效率運轉標示，已逐漸為國內市場之供需端所自動推動，主要也是因為不論是政府或民間，空調的節能知識及法規要求皆已建立，在合理的成本回收年限要求下，供需端皆能相互得到應有的效益。

由以上可知，因著先期研究成果的深根與擴展，同時，在國家的節效管制規範持續提升下，傳統空調的技術提升方面，國內業界皆已具技術能量與市場競爭力而主動推動落實。

2. 創新空調技術開發

由於國際技術持續追求更佳之節能技術與推動開創新產業，有三項創新技術為國內產、政、學、研界所共同合作展開發中，分別為：(1)全年用電量大離心式空調冰水主機磁浮化、(2)整合冷、熱、除濕多功應用之高性能複合式空調熱泵系統，(3)具低成本且高性能空調次系統等。

(1) 高效率無油化之磁浮離心機組技術開發

本項目發展重點項目計有：(A)高IPLV離心式冰水機；(B)磁浮軸承與智慧控制系統；(C)高速馬達與變頻控制關鍵技術。部分負載運轉效率提升是冰水機組節能化之重要關鍵，導入可變轉速而對應實際負載需求無段調控、結合主動式磁浮軸承控制實現冷媒無油化，定冷媒壓差卸載或變冷凝溫度卸載等智能操控、整合無段調控之冷媒流量控制運用，同時整合進氣導葉(Inlet guide vanes, IGV)和熱氣旁通等多重容量調節機制等之無油化磁浮離心式冰水機系統設計與模組化，將可因地域環境不同而配適發展特色商品，更能夠在多元場域被彈性使用，進一步達成實現空調系統具高IPLV之商品普及化的目標。

(2) 多工複合熱泵空調系統開發

A. 在住商應用方面，以高性能之熱泵空調複合機來替換原有分離式空調及瓦斯熱水器為方向，其儲水桶小於200公升，在空間需求相同下，此小型多工複合熱泵可成為提供冷、暖、除濕與熱水供應之環控中心，而且性能皆以達國內冷氣機與熱水器之節能標章為目標，製熱性能符合CNS15466節能標章要求COP≧4.0，製冷能力符合國家2016年能效法規管制值。

B. 在中央空調方面，將整合可同時產生熱水與冰水之熱泵系統，整合中央空調冰水與熱回收，製熱性能符合CNS15466節能標章要求COP≧4.0，製冷能力則應符合中央空調主機之能效管制值，同時進行智慧化之能源流管理。一則可減少產業製程或商辦大樓常用之外氣空調箱及冰水主機耗電，同時可大幅提升全年四季之區域環控的能源使用效率30%以上，作為推動區域型能源調度中心之規範基礎。同步推動多功複合式熱泵空調系統性能檢測標準與 MEPS，進而推動創新產業化為宗旨。

C. 發展適用產業製程需求之乾濕分離空調系統與冷熱共生熱泵系統模組化技術，提升傳統空調低溫除溼系統之能源使用效率，同時整合高性價比多功熱泵與乾溼分離空調系統，整合冰水、熱水主機、除濕及送風系統，以大幅降低耗能，進而建立冷熱多功熱泵新興應用示範場域，包括農林產品烘乾、生醫食品消毒、工業熱水/熱風製程等節能減碳實例，以加速高性能熱泵多功應用技術之推廣。

(3) 高效率風扇技術應用開發

A. 以鐵氧磁石為基礎，開發高效率且性價比優越之外轉子式永磁無刷馬達與驅控器等技術方案。

B. 發展適用於不同功率等級規格之廣域泛用無感測驅控器模組化框架，縮短電力電子或半導體產業進入驅控器產品開發之時程。

C. 結合變頻電機在不同場域應用，針對終端風扇產品，進行輕、薄的各種風扇創新，並整合舒適化、智慧化、健康化等情境應用。

D. 結合具量產與品管能量之馬達上下游產業，實現完整可靠的產業供應鏈。

二、產業技術發展指標與時程

(一)國內外技術發展指標

1. 傳統空調的技術提升

在中小型空調方面，未來須密切關注係有關新冷媒應用的市場方向。由於HFC冷媒ODP指數(臭氧層破壞指數)雖然為零，但是GWP(地球暖化效應)指數仍高，對地球環境的破壞仍然很大。因此，國際間已有愈來愈多國家在尋找「低溫室效應係數(low-GWP)」冷媒，作為中期替代冷媒。目前空調機比較多試驗應用冷媒計有R-32、HFO-1234yf和HFO-1234ze等。

R-32雖屬於HFC冷媒，但是其GWP值已調降至為675，約為HFC-410A(GWP值2100)之1/3。HFO-1234yf和HFO-1234ze的GWP值分別只有4和6。另外一個冷媒選項是R-290(丙烷)，為屬於碳氫化合物，其臭氧層破壞指數為0 (ODP=0)，溫室效應係數很低(GWP=3)，物性與R22冷媒接近，然而其具可燃性，無法充填太多冷媒量而限制了大容量空調機領域發展。

目前日本空調製造廠都已推出R-32機種，並積極向歐洲、澳洲、印度和東南亞地區來推展。中國大陸則已開發出使用R-290變頻空調機，由於有可燃性之安全上疑慮，中國大陸目前以獎勵而不強制方式來推展R-290空調機。展望未來，隨著國際地球環境保護需求擴大，以低溫室效應係數冷媒來替代目前HFC-410A冷媒，將會逐漸的更加明朗化。

在中央空調方面，發展整個空調系統節能技術，包括強化建築物在部分負載(IPLV)的系統效率、善用混合式的系統(如冷卻和除溼分離設計)、次系統能源效率量測(metrics)和最佳化運轉(如規定冰水系統機房全年kW/RT效率基準)、整體建築設計方法(如綠建築指標)，以及落實建築空調系統在設計/施工/運轉和調整等各階段的查驗(commissionings)工作、強化設備和系統整合式智慧診斷FDD(integrated fault detection)等，皆為國內產、學、研界將持續努力開發與落實的方向。

2. 創新空調技術開發

無論國際或國內，對於空調創新技術發展與技術指標，則如下列示：

(1) 高效率無油化之磁浮離心機組技術

美、日冰水機大廠皆已投入磁浮離心機開發，除最早供應磁浮離心壓縮機之Danfoss Turbocor公司之外，還有美國之McQuay與York，以及2013年底公開之三菱重工，由此可見磁浮離心機已成為下一世代冰水機之必要機種。表3-1-1為國內外磁浮離心機技術指標比較。

(2) 多工複合熱泵空調系統

美、日、歐、中針對空氣源熱泵設備皆有明訂性能檢測標準及最低能效管制值(Minimum energy performance standards, MEPS)，但測試條件皆不太相同。因此，對應產品技術也相異。主要係因各國之氣候環境及使用文化不同，導致熱水供應的需求條件也迥異。相關比較如3-1-2所示。

至於複合式熱泵空調則是尚屬於各自研發的階段，各國皆尚未訂定相關之性能檢測標準，應用面也持續在創意與實驗驗證階段。相關之技術研究包含：(1)除濕、熱水與冷房三者同步供應、(2)熱水、熱風與除濕三者同步供應、(3)熱水與冷房性能並重等。

表3-1-1 國內外磁浮離心機技術指標比較

技術項目/年		2009~2012	2013~2018	2019~2025
廠牌	國內	無	ITRI/國內產業鏈	國內自創品牌
	國際	Smartd(使用Turbocor壓縮機)、McQuay(使用Synchrony AMB / motor)、York(使用SKF AMB / motor)、MHI		同左，預測400RT以上單壓系統將出現中國品牌
製冷能力	國內	90 RT	90~400RT	90~800RT
	國際	90~ 550RT	90~750RT	90~1000RT
效率	國內	COP 5.5, IPLV 8.5	200RT： COP 5.6, IPLV 10	300RT： COP 6.1, IPLV 11
	國際	COP 5.2, IPLV 8.5	200RT： COP 5.5, IPLV 10	300RT： COP 5.9, IPLV 11
高效馬達	國內	日本安川馬達	歐盟IEC 60034-30 IE3 (2012)，平均效率0.96	PM、IM (IE4)
	國際	PM、IM (IEC 60034-30 IE2)	PM、IM (IE3-2012)	PM、IM (IE4)
變頻驅控	國內	弦波無感測驅控 (安川變頻器與馬達)	感知器回授控制，平均效率0.98	弦波驅控、無感測技術、Soft Switching
	國際	弦波無感測技術	弦波無感測技術	Soft Switching
壓縮流力元件	國內	R134a、二級壓縮、等熵效率0.81	R134a、一/二級壓縮、效率0.83	R134a、一/二級壓縮、效率0.85
	國際	R134a 二級壓縮等熵效率0.80 單級壓縮等熵效率0.77	R134a、R1234 yz： 400RT單級壓縮等熵效率0.78	R1234yz、DR12： 750RT單級壓縮等熵效率0.79
磁浮軸承	國內	Mecos / Mutecs	Mecos / Mutecs / e+a ITRI (85%)	ITRI
	國際	供應商Turbocor、Synchrony、SKF	同左	同左
智慧系統	國內	整合壓縮機冷卻技術	內流場失速檢知、喘震檢知與控制技術	多冰機系統整合水側與氣側之智慧雲端網控和自我診斷之維管技術
	國際	壓縮機與冰水機整合控制	以壓力流量曲面控制	- -

資料來源：工研院整理，2013年12月

表3-1-2　國內外空氣熱泵檢測標準與能效管制比較

	日本	歐洲	美國	中國大陸	臺灣
測試標準	JRA4050	EN14511	ASHRAE 118.2	GBT21362 GBT23137	CNS15466
範圍	製熱量 CO2<11.5kW HFC<19.3kW	最大消耗電力 <6kW	最大消耗電力 <6kW	製熱量 >3kW	最大消耗電力 <12kW
用途	住商用	商用(水對水式)	住商用	住商用 工業用	住商用
性能測試方法	水測熱量計法	水側熱量計法	First hour rate 24hr simulated use test	水測熱量計法 半穩態測試法 靜態測試法	水測熱量計法 半穩態測試法 靜態測試法
性能指標	COP	COP	EF	COP	COP
MEPS	COP≧3.0	COP≧2.8	EF≧2.0 First hour rate ≧50gal/hr	一次加熱式≧3.7 循環加熱式 ≧3.6(含水泵) ≧3.7(不含水泵) 靜態加熱式≧3.4	訂定節能標章性能基準 COP≧4.0

資料來源：工研院整理，2015年12月

複合式熱泵空調技術與空氣源熱泵，配適各環境實際需求而進行模組化設計，將可具相當良好節能環保效益。以中國大陸市場為例，2013年中國大陸加大力度進行霧霾治理，其中北京市實施「2013-2017年清潔空氣行動計畫」，鼓勵居民採用清潔能源供暖，大力推行熱泵新能源產業。以複合式熱泵針對北方地區冬季供暖時，一天24小時均可提供60℃熱水，夏天並可達到製冷除濕之功效，同時還可以改善由燃煤與燃氣所造成之惡劣環境，滿足治理霧霾需求，未來複合式熱泵將可能成為中國大陸採暖之主流產品，但在商品設計上，將需求具有低環境溫度下(如零下溫度)，具可靠運轉技術。反觀國內環境，在許多製程領域，則需求高出水溫(可達90℃)商用複合式熱泵，以取代製程中部份鍋爐使用或降低鍋爐加溫級距而減少燃煤或燃氣使用，同時又可提供製程環境中冷能需求。因此，針對實際國內產業環境、住商生活及國際之商品推動，複合式多功熱泵技術指標，將持續發展與訂定。

(3) 高效率風扇技術應用開發

隨著各國對電器設備之MEPS持續提升，以及電機機械及電力電子技術逐漸普及化後，結合永磁電機與數位控制(一般稱DC變頻)而達成可變速與可變負載之高智能電機產品，已逐步成為全球市場新節能技術趨勢。目前以「壓縮機、風機、泵、傳動機」等4項為DC變頻節能化之主要產品，其中市場需求量最大為風機類產品(如吊扇、排風扇、送風機等)。日本、歐、美等國際家電大廠，藉由變頻電機高效率所帶來的優勢，開始思考使用成本較低之高性能非稀土磁石，進行永磁無刷馬達產品開發，同步結合環境之無線感測資訊而進行相關器具群控智能化技術，創新開發產品以活化市場需求，以及建構能源物聯網管理平台。

以國內住商用風扇而言，目前係針對現行住商用風扇設備測試方法(包括CNS 547、597、2061、2450、9578測試方法)，制定節能標章做為規範。以電風扇而言，目前共計有電扇(桌上型及掛壁型)、吊電扇、立地電扇、自動旋轉吊電扇、箱型電扇等5類。國內在2013年，已推動工業級產品-離心式、軸流式風機能效標章制度。由於此結合永磁無刷馬達及驅控技術而應用於風扇產品之佔有率，卻仍然遠遠落後於變頻空調機之發展。主要因為此相關產品之耗功及單價皆較低，卻要跨許多技術領域(機械、電機、電力電子、IC設計、無線感測、資訊處理等)，方能完成此完整技術商品。除非能促成建造百萬台/年之國際級產能供應鏈，方才能具產業投資效益，此也是國內電力電子及IC設計業最期望產業模型。因此，整合相關跨領域產業，共同推動空調應用之外轉子DC變頻風扇產品商業化，將可促成節能率大於50%之風扇普及與國際級節能風扇產業的開創。

(二) 國內技術近期發展重點

1. 高效率無油化之磁浮離心機組技術

(1) 開發100~400RT間兩型不同能力之磁浮離心機關鍵元件自製技術，並利用磁浮軸承數位控制資訊，與冰水機控制系統相結合，完成冰水機智慧化控制技術，以提高系統的穩定性及操作性能，同時建立與國際現有冰水機控制技術區隔技術。

(2) 建立磁浮控制自主技術，包括高精度非接觸式位置感測器、磁浮系統DSP控制器、高速磁浮轉子偏心力排除控制技術、磁浮控制系統線上監測軟體等，奠定本土化磁浮控制技術基盤，提高磁浮自主設計與開發能力。

(3) 完成高IPLV離心式冰水機用高速馬達與驅動器，完成100~400RT等不同能力之變頻式離心機所需高速馬達，馬達效率≧96%，變頻器效率≧98%。

(4) 完成100~400RT間不同能力之磁浮離心壓縮機，採用R-134a冷媒，搭配磁浮軸承技術與高效率馬達與驅動控制，目標效率為200RT級：其COP≧5.6、IPLV≧10.0；300RT級：COP≧6.1、IPLV≧11.0；最低負載比例可至15%。並建立磁浮離心式壓縮機之性能測試平台。

2. 多工複合熱泵空調系統

(1) 完成中央空調以空調箱進行氣側供風之場域環境，以熱泵系統取代傳統之電加熱器對空氣的除濕，環境溫濕度控制維持在24℃±1℃和RH=50%±5%條件下，降低冰水泵浦耗電達10%，同時場域環境減少30%空調耗電。

(2) 完成變頻4~10 kW複合式熱泵機：製熱性能符合CNS 15466標準條件，COP≧4.0(節能標章基準值)。製冷能力符合氣冷分離式冷氣機2016年能效管制值(冷房能力4.0~7.1kW，COP≧3.55)，複合時系統效率COP≧6.0。

3. 高效率風扇技術應用開發

(1) 完成52吋與60吋吊扇用外轉子BLDC馬達與弦波無感測驅控模組商品化開發，於230rpm與1.4Nm額定條件下，馬達效率>78%、驅控器效率>85%。

(2) 完成14~18吋軸流通風扇用外轉子BLDC馬達與與弦波無感測驅控模組，於900rpm與0.14Nm之額定條件下，馬達效率>75%、驅控器效率>78%。

(3) 整合外轉子BLDC馬達、電流弦波驅控技術，完成DC變頻吊扇性能提升。將52吋吊扇性能提升至7.0CMM/W，60吋吊扇性能提升至6.8CMM/W（較2016年之節能標章基準值提升25~40%以上）。

(4) 完成30W級14~18吋之外轉子BLDC軸流通風扇之扇葉優化設計技術，性能目標提升至3.0CMM/W(達2016年之節能標章基準值）。

(三)技術發展時程

1. 短程(~2018)：

開發90~400RT磁浮壓縮機與冰水機系列產品、磁浮關鍵零組件，4~10kW複合式熱泵機與整合冰水機組之複合式熱泵系統，50W以下之外轉子馬達與弦波驅控器，以及DC變頻化吊扇及軸流扇為主。

2. 中長程(~2025)：

開發高速磁浮控制鼓風機、離心式空壓機、離心式液體泵等系列產品及建構完整磁浮控制應用之產業供應鏈，整合固態或液態吸附材料之乾濕分離系統及建構空調乾濕分離系統控制技術，低速排風扇與正排量液體泵外轉子DC變頻化商品，以及促成所開發之各商品模組化與國際化為主。

相關的技術內容及發展時程訂定如表3-1-3所列示。

三、國內技術發展現況與成果

(一)技術發展現況

1. 高效率無油化之磁浮離心機組技術

國產離心式壓縮機技術目前已完成500~1,250RT之高效率定頻與變頻二級離心式壓縮機與冰水機開發。另外亦研發30~100RT磁浮離心式冰水機系統，主機效率已超越國外主要品牌。

持續深化磁浮軸承、高速高功率馬達與驅控器、壓縮機以及冰水機製造廠之設計與製造技術，以使製造成本低於進口產品，可望能在國際品牌環伺局勢下，開創出優質高效率離心機產業。磁浮軸承及其相關技術已成為創造空調產業能力關鍵技術之一，預計以三個階段共約10至15年時程發展完成(如圖3-1-3)。

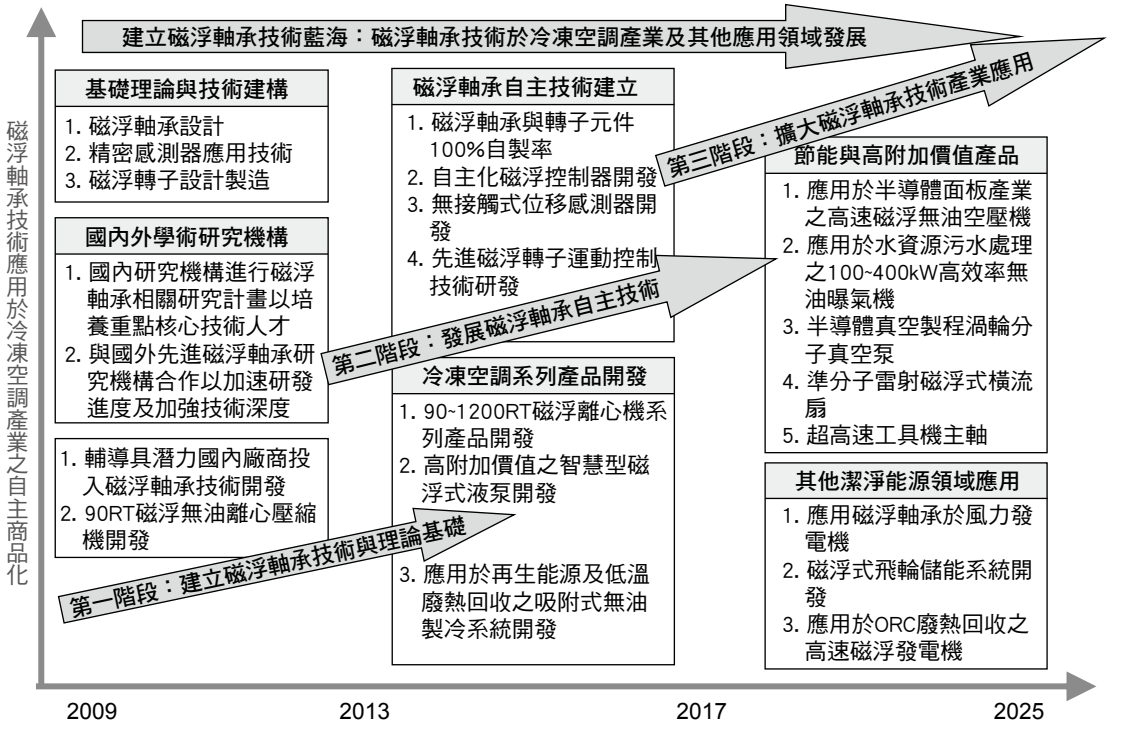
2. 多工複合熱泵空調系統

在熱泵熱水器技術發展方面，係以開發熱泵壓縮機的應用為基礎，而以熱泵系統與及其相關衍生應用技術，提升國內空調產業創新能量與商品推廣加值技術，預計以三個階段共約10至15年時程發展完成。

表3-1-3　冷凍空調技術內容與發展時程

技術項目	短 程(~2018)	中長程(~2025)
高效率無油化之磁浮離心機組技術	• 開發高效率磁浮無油離心式冰水機其目標效率為300RT級：COP≧6.1、IPLV≧11.5；400RT級：COP≧6.2、IPLV≧12.0。 • 開發300RT與400RT級磁浮無油離心式壓縮機用軸承軟硬體自主技術。 • 開發300RT與400RT磁浮無油離心式壓縮機直結之高速高功率馬達與液冷卻變頻器，總合效率95%。 • 磁浮冰機導入HFO-1234yz之低GWP冷媒。	• 開發高速磁浮渦輪機其目標為200kW級、風量≧150CMM;250kW級：風量≧200CMM。 • 開發200kW與250kW級高速主動式磁浮渦輪機用軸承軟硬體自主技術。 • 開發200kW與250kW級高速主動式磁浮渦輪機用之高速高功率馬達與變頻器，總合效率95%以上。 • 整合再生能源供電與磁浮冰機系統建立虛擬電場示範。
多工複合熱泵空調系統	• 整合冰水機組開發熱泵系統而建立中央空調冷熱源之能源中心示範，以降低冰水泵浦耗電達30%，同時示範場域減少50%耗電。 • 開發變頻 4~10 kW 複合式多功熱泵系統商品機，製熱及製冷性能皆比節能標章提升30%，冷熱複合時COP≧6.5。 • 開發500RT以下高效率冷熱多功熱泵，製冷COP≧4.9，製熱COP≧3.7(於冰水入/出水為12/7℃、熱水入/出水為45/50℃條件)。 • 建立適用國內氣候環境之複合式多功熱泵性能檢測標準。	• 開發乾濕分離外氣系統與冷熱共生熱泵系統，除濕能源效率>3.4。 • 開發固體吸附或吸收溶液等高熱質傳性質的材料研究。 • 高性能之吸附床熱交換器創新設計開發與驗證。 • 開發調溼空調系統與冷熱多功熱泵應用技術，供應建築物不同能階之冷熱水循環，使得冰水、熱水主機、除濕及及送風系統大幅降低耗能，能源使用效率提升40%以上。 • 建立乾濕分離系統的性能檢測標準。 • 高性價比熱泵與區域冷暖房應用技術推廣。
高效率風扇技術應用開發	• 10W~300W級風扇用鐵氧磁石外轉子BLDC馬達創新設計，效率>75~85%。 • 10W~300W級外轉子BLDC馬達弦波無感測驅控軟硬體，效率>78~85%。 • 吊扇與軸流扇性能較2016年之節能標章基準提升20~40%。 • 外轉子BLDC馬達與驅控模組之小批試量產關鍵製程與品檢技術建立，同步建立國內技術自主的供應鏈。	• 開發1kW以下之排風扇與液體泵用外轉子BLDCM與驅控模組，整合效率>80%。 • 開發1kW以下排風扇與液體泵DC變頻化，性能較節能標章基準提升30~50%。 • 整合國內業者建構量產200萬台/年以上之外轉子BLDC馬達與驅控模組國際級量產技術。 • 推動國內風扇與液體泵全面DC變頻化與普及化。 • 整合再生能源與DC變頻家電建構區域DC直接供電應用示範。

資料來源：工研院綠能所整理，2015年12月



資料來源：工研院整理 2015年12月

圖3-1-3 國內空調磁浮化技術全程發展藍圖規劃

(1) 第一階段(2009~2012年)為工程技術發展階段

進行環保冷媒熱泵系統先期性技術研究，發展相關應用的熱泵壓縮機、熱泵系統設計、驗證和開發技術與工具，建立環保冷媒壓縮機機構設計、應力分析、轉子動力分析、電機與控制等學理與工程基礎，並就環保冷媒熱泵系統應用領域，進行專利分析、市場調查與關鍵技術專利佈局。同時，結合國際研發資源，例如挪威工研院(SINTEF)等國際上具自然冷媒CO_2研究領先地位的學術單位合作，建立國內相對較缺乏之理論基礎與熱交器設計，並透過國際技術合作方式，共同進行熱泵熱水器的產品開發，以縮短從研發至產品上市所需時程。在技術發展方面，也與熱泵系統之產業應用的潛力廠商合作，同時整合國內由上游之基礎設計與專利布局、中游之關鍵零組件供應、下游加值應用等相關產、學、研單位而進行合作，建立完整之產業發展技術基盤。

(2) 第二階段(2013~2016年)為第一階段之技術應用與商品化

以第一階段所開發之熱泵為主軸，逐步開發具商品化效益且高性能之住商用途熱泵系統技術，包括：

A. 熱交換器及熱泵系統設計軟體。
B. 熱泵壓縮機、水泵及風扇DC變頻控制化。
C. 熱泵系統控制邏輯與最佳化策略。
D. 提升熱泵冬季(低環境溫度條件)之加熱能力與效率。
E. 建立可評估各種運轉條件下的熱泵性能檢測技術與平台。
F. 完成高效率複合式熱泵空調機與熱泵冰水機設計開發。
G. 區域冷暖房之冷熱多功應用熱泵空調系統工程技術等，具有競爭力之成本結構，以及開發更高效率、更低成本熱泵系統應用技術。

(3) 第三階段(2017年~)為熱泵技術擴大應用

預計發展時程為4至7年，以可應用熱泵系統技術之產業為目標，持續進行高性價比熱泵與區域冷暖房應用技術推廣，其中以開發調溼空調系統與冷熱多功熱泵應用技術為主軸，提供應用場域不同能階之冷熱水循環，使冰水、熱水機組、除濕及及送風系統大幅降低耗能，例如應用於無塵室環境溫溼度控制工程、農林產品熱泵乾燥、生醫及食品高溫蒸汽消毒滅菌、工業製程熱水或熱風烘乾工程等，進而提升能源使用效率，取代傳統耗能設備，降低碳排放，並創造更高附加價值的節能熱泵產品，同時開拓節能產業新契機。

3. 高效率風扇技術應用開發

空調應用領域之風扇高效率化，主要因為國內在永磁無刷電機、驅控IC、智慧控制等技術，在國內已具自主化與低成本化之產業環境條件下，於2014年才開啟之風扇節能技術與商業模式。由於以永磁無刷馬達為基礎風扇產品，將可具有低速大扭力且高效率的特色，因此，匹配所開發的風扇產品，不但可達成比傳統感應馬達的風扇產品之體積小20%、效率高50%外，又可具無段變速操控。如果將風扇配適低速而修整扇形，將可使風扇具低速靜音、低速大風量、模擬大自然風場的混速運轉等各項創新模型呈現。因此，推動以外轉子式永磁無刷馬達應用於風扇則是重要創新。因為此型馬達的特點為：

(1) 轉子半徑較內轉子馬達大，可達成低速大扭力、高效率、運轉平穩，同時可使產品朝向扁薄化設計(以工程經驗做初步估計，相同能力之外轉子永磁無刷馬達相較於內轉子約可減少10%的尺寸)。

(2) 定子線繞可以外繞達成，使繞線製程更簡易、占槽率提升，磁極配的彈性更勝內轉子，且扭力鏈波與頓轉轉矩皆可降低。

(3) 轉子在外，可整合風扇之葉輪進行一體化設計，而成為扁薄的風扇型態。目前將先以國際市場量較大的吊扇及國內自主創新吸頂扇之產品為開發標的，同步將與國內業界合作開發商業化商品為目標。

推動發展主要內容包含：

(1) 發展10 W~1 kW高效率且高性價比之外轉子永磁無刷馬達與對應之無感測無段變速控制器。

(2) 導入高效率外轉子永磁無刷馬達技術方案，提升風扇器具產品性能，使其超越2016年國內能效基準值達20~40%以上。並協助推動現行節能標章產品或MEPS性能提升之方案研擬，以加速高效節能變頻電機產品之推廣普及。

(3) 開發住商用吊扇、吸頂扇、通風扇與相關風機設備之模組化技術，以國際間風機商品之能效規範為基礎，藉場域測試平台驗證各項產品節能效益。並配合市場商情資訊，評估各類推動方案之節能效益與經濟效益，以協助推動各項風機產品能效指標提升、能效分級制度建立及終端高效產品之普及化。

後續將廣泛推動而應用使用在各類型風機類產品，例如各種中大型各種通排風機(冷卻風扇、離心扇、鼓風機、橫流扇等)，冷風機盤管組、風機濾網機組、空氣清靜機與全熱換氣機等。

(二) 推廣應用成果

1. 高效率無油化之磁浮離心機組技術

(1) 依「冰水機能源效率標示及檢查管理辦法」草案，設立效率管理網路平台，成立抽查小組，發出冰水機效率合格標章。

(2) 首台國產全自製之商用型800RT級變頻離心式冰水機，提供無塵室空調使用，可操作負載範圍10~100%，效率COP值6.15、IPLV值9.7，與定頻離心機比較，節能量25%以上。

(3) 首台國產研發之180RT雙壓磁浮離心式冰水機進行商業試運轉測試，滿載運轉效率COP值5.56、部分負載效率IPLV值8.59，估計節電量可達25%。

(4) 首台國產研發200RT單壓磁浮離心式冰水機進行商業試運轉測試，滿載運轉效率COP值6.0、部分負載效率IPLV值11.0，估計節電量可達30%。

(5) 首台國產研發400RT雙壓磁浮離心式冰水機進行商業試運轉測試，滿載運轉效率COP值6.1、部分負載效率IPLV值IPLV=10.7，估計節電量可達30%。

2. 多工複合熱泵空調系統

(1) 於2010年整合上中游領導廠商共同成立「壓縮機聯合實驗室」，研發國際級熱泵壓縮機商品，並落實量產投產與行銷國際。

(2) 於2010年完成國內第一座通過TAF認證之熱泵熱水器性能測試實驗室，同時主導與協助訂定CNS15466「空氣源式熱泵熱水器性能測試方法」國家熱泵檢測標準，於2011年5月完成正式公告。

(3) 於2011年建立熱泵熱水器節能標章草案，進行市場分析與採樣、測試與基準草案建立、召開廠商說明會及專家諮詢會，進入節能標章審議委員會進行討論。於2012年10月通過專家審議會，以「CNS15466-空氣源式熱泵熱水器性能測試方法」進行性能申請標準，並於2012年12月13日公佈「空氣熱源式熱泵熱水器節能標章基準與標示方法」，同時要求符合安規CNS3765-40之相關規定。

(4) 於2013~2014年間，協助國內多家廠商完成家用熱泵熱水器商品之信賴性安規測試，符合EMI-EMC抗雜訊及CNS3765及IEC60335-2-40等安規測試，並通過EMI-EMC檢測及CNS3765防電擊之保護、消耗功率與電流、溫升、操作溫度下耐電壓及漏電流、耐濕性等測試程序，使國內熱泵商品建立通過獲得熱泵熱水器節能標章的流程與示範案例，實質協助市場進行產品品質管理與正向發展，提升對產業界之技術與商業影響力。

(5) 於2015年完成變頻4~10 kW複合式熱泵機組商品開發，於CNS 15466標準測試條件下，熱水製熱能力為7.5kW，COP≧4.2，優於節能標章性能基準(COP≧4.0)；製冷能力為6.36kW，COP≧3.76，優於2016年國家能效管制標準(COP≧3.55)，冷熱能同時供應時之系統複合效率COP≧6.2。[7]

3. 高效率風扇技術應用開發

(1) 提供國內馬達產業10W~1kW、高性價比之永磁無刷外轉子馬達與無感測之無段驅動技術方案，提升應用產品如吊扇、排風扇等風機類產品性能，使其超越2016年節能標章能效基準值20~40%。

(2) 推動提升現行節能標章性能基準值而加速國內各種變頻風扇之推廣與普及。不但落實節能減碳實質效益，同時為國內風扇、IC、馬達、驅控器等產業開創國際市場機會。

(3) 以國際通路為市場方向，協助建構跨電力電子、IC設計、無線通訊、智能電機等之產業鏈，實質推動DC變頻風機(通風扇、吊扇、吸頂扇)等產品量產化。

參考文獻

[1] 經濟部能源局，能源統計手冊，2015年5月。
[2] 工研院，減量成本曲線(Marginal Abatement Cost Curve, MACC)分析之2025年節電潛力，2012年5月。
[3] 經濟部能源科技研究發展計畫全程執行總報告，「高效率小型空調設備技術開發及應用推廣計畫」，計畫編號-97-D0232，2009年2月。
[4] 研究機構能源科技專案104年度執行報告，「高效率離心機與磁浮軸承驅控技術開發計畫」， 計畫編號-104-E0204， 2016年2月。
[5] 經濟部能源科技研究發展計畫全程執行總報告，「變頻控制與天然冷媒應用關鍵技術開發計畫」，計畫編號-101D0302，2013年2月。
[6] 工研院綠能所「能源分級標示推動小組」之2015年產品登錄資料。
[7] 研究機構能源科技專案104年度執行報告，「低耗能住商節能減碳技術整合與示範應用計畫」，計畫編號-104-E0210，2016年2月。

第二節　先進照明系統

照明與空調為住商領域兩大耗電設備，隨固態照明(LED與OLED)技術發展迅速，LED燈具發光效率已經大幅超越現有產品，節能市場商機龐大。國內LED照明產業雖擁有堅強實力，目前LED元件居全球第3大，背光模組全球第2；但近年來中國以內需市場壯大LED照明產業，反觀國內LED產業欠缺出海口，照明燈具業亦無通路品牌，危機浮現。研發符合節能環保、智慧人性、健康安全之先進固態照明技術，有益於減輕能源需求壓力，同時肩負扶植產業永續發展重要任務。

一、國內發展目標與策略

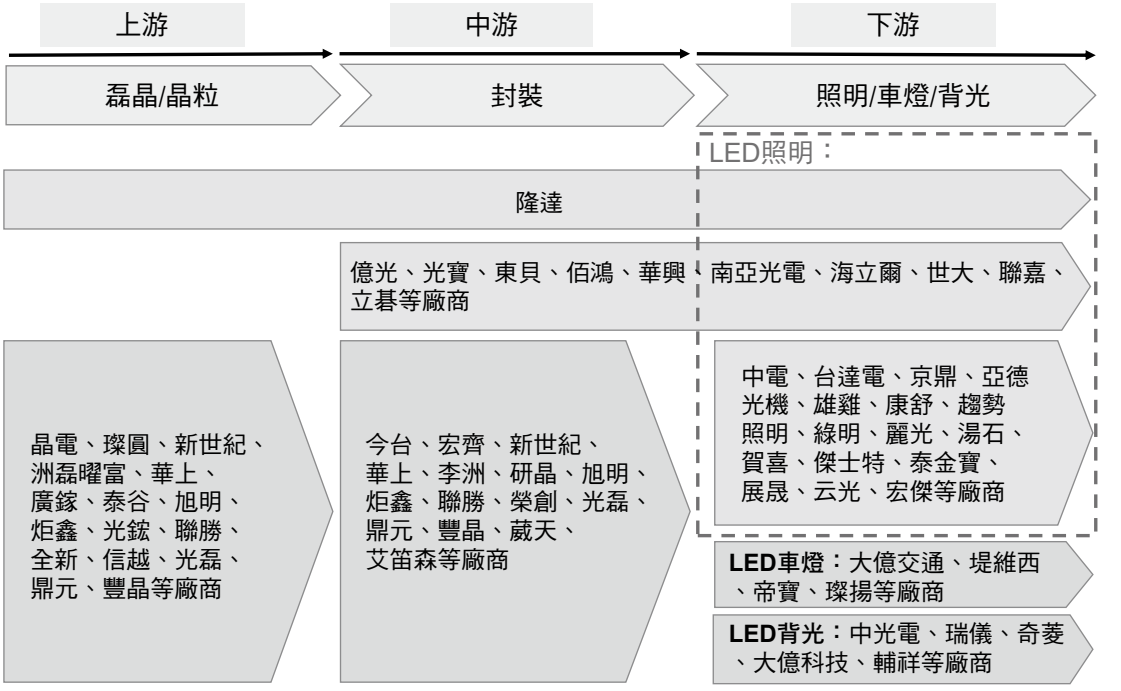
(一) 發展環境分析

固態照明被譽為21世紀之光，具有節能、環保、輕巧及控制性佳等特點，為全球積極發展之綠能科技，已將LED照明光電列為照明節能與新興綠色能源產業之重點項目。

全球LED照明市場發展得利於各國政府推動節能減碳之帶動而成長，在LED照明市場成長帶動下，2014年全球LED照明光電市場整體市場規模達641.7億美元，較2013年成長14 %，預估2018年可突破1千億美元[1]。

國內LED元件產值位居全球前3大，背光模組為全球第2，產值集中於元件及背光模組此兩大次產業。工研院IEK統計2014年LED照明光電產值為2,379億元，2015年上半年全球景氣成長有限，使得LED照明光電應用市場需求疲弱，再加上LED元件單價持續下滑，初步預估國內LED照明光電產值約為新臺幣2,153億元，較2014年衰退9.5%。LED照明光電各次產業發展趨勢分述如下：

1. LED元件：2014年國內LED元件產值達1,114億元，較2013年成長14%，為全球前三大供應國。LED元件產業受到中國大陸產業競爭威脅，預估2015年產值為新臺幣1,038億元，較2014年衰退6.8%。



資料來源：工研院整理，2015年12月

圖3-2-1 國內LED照明光電產業範疇與代表廠商

2. LED背光模組：2014年LED背光模組產值僅982億元，較2013年衰退3.7%，因市場開始萎縮，預估2015年產值衰退至新臺幣830億元。

3. LED照明：2014年LED照明產值為219.5億元，較2013年成長19%。政府公共工程持續推動LED照明，配合廠商發展高附加價值LED燈具，但因價格快速滑落，預估2015年產值將微幅成長或持平。但過去7年在政策大力推動LED路燈設置，帶動產業發展，LED路燈已建立國際品牌，Leotek(光寶)北美市場佔有率超過3成。

4. LED車燈產業：2014年LED車燈市場產值約為63億元，全球市場占有率7%，預估2015年LED車燈產值成長2.5%，達到新臺幣65億元，國內廠商耕耘具技術門檻的LED車燈市場，已逐漸顯現成果。

2014年國內LED照明光電產值成長率低於全球，且元件與中大尺寸背光模組合計占總產值88%，但LED背光模組市場飽和，產值開始呈現衰

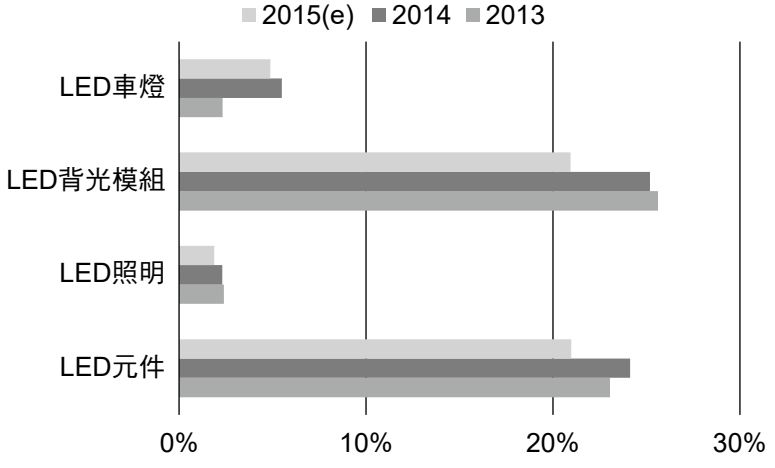
退，故全球市場佔有率由13%下滑至12.4%；預估2015年在全球大環境不利情形下，國內LED照明光電產中之4大次產業之全球市佔率均呈現衰退情形，其中LED背光模組幅度較大（如圖3-2-2所示）。

依據產業現況及競爭力分析可知，國內LED照明光電產業技術研發能力強，惟專利受制國際大廠，缺乏品牌通路與應用實績，且無法主導國際標準與規格。為爭取LED照明龐大商機，需研發前瞻技術，如智慧型照明管理系統與OLED照明等，推動內需應用建立實績，以強化既有製造優勢，提升國際競爭力，進而建立先進照明品牌與通路。

（二）發展目標與策略

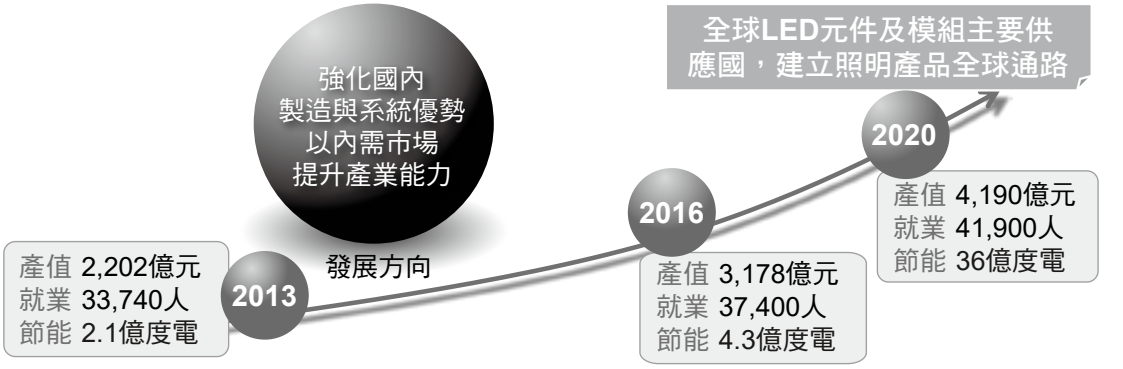
行政院已於2014年8月核定「綠色能源產業躍升計畫」，透過計畫各產業策略與措施之推動，提升綠能產業總產值[2]。其中LED光電照明產業發展願景，定位為全球LED元件及模組主要供應國，建立照明產品全球通路。考量LED照明光電發展趨勢及分析產業發展現況，強化製造與系統優勢，以內需市場提升產業能力，達到2020年產值4,190億元，節電36億度，預期目標如圖3-2-3所示。

國內LED照明研發與生產技術相當成熟，但面對中國大陸產品低價競爭壓力，導致市場產品品質良莠不齊；藉由標準、規格統一及技術規範訂定，將有助於國內LED照明產品技術升級與整合，解決方案如以下說明。



資料來源：工研院IEK，2015年12月

圖3-2-2　國內LED照明光電產業全球市佔率[1]



2013年	2016年	2020年
• 90 Lm/W LED光源模組 • 100 Lm/W白光OLED元件	• 160 Lm/W LED光源模組專利技術 • 150 Lm/W白光OLED元件	• 智慧化LED光源模組照明應用 • 無藍光白光OLED照明模組量產
• LED燈泡能效基準制定 • 全台LED路燈設置計畫推動與執行，LED路燈占比達14% • LED室內外照明系統產品標準檢測驗證計畫	• 制定產品能效或標章3項以上 • 補助地方政府設置LED路燈，預估汰換20萬盞水銀燈，LED路燈占比達28% • 推動LED照明產品自願性驗證	• 提高產品能效或標章3項以上 • 持續補助地方政府設置LED路燈，全臺水銀路燈及螢光路燈全數汰換共82萬盞，LED路燈占比達45% • 持續推行LED照明產品自願性驗證服務
• 推動LED照明節能計畫 • 貿易推廣相關活動執行	• 建置典範應用示範場域 • 貿易推廣相關活動執行促成後續商機1.9億美元	• LED在室內照明占比30%以上 • 貿易推廣相關活動執行促成後續商機2.2億美元
• 廠牌眾多，替代性光源為市場主力 • 缺乏海外通路市場	• 建置2個以上LED照明創新應用示範場域 • 推動具指標性企業至少3家成功進軍海外通路市場	• 推動具指標性企業至少至少5家成功進軍海外通路市場

資料來源：綠能產業躍升計畫

圖3-2-3　綠色能源產業躍升計畫LED照明光電產業發展目標[2]

1. 推動水銀路燈落日計畫

（1）補助地方政府全面汰換水銀路燈為LED路燈。

（2）統一LED路燈光通量、色溫與電源供應器介面規格，降低燈具成本。

2. 訂定產品標準與規範

（1）訂定LED照明產品MEPS基準，並推動自願性節能標章認證。

（2）參與國際組織標準活動，協助廠商獲取國際標準資訊。

（3）建置LED商品檢測設備及LED光源校正能量。

3. 推廣LED照明應用

加速推廣辦公室及停車場等室內場域LED照明應用。

國內內需市場小，需藉由應用示範建立典範實績，並結合貿易推廣活動，提升國內能見度，有助於業者在全球競爭激烈市場中占一席之地。以下為可行對策：

1. 建置智慧節能照明示範場域，建立設置實績，協助行銷臺灣經驗，提升產業形象。
2. 建立海外市場及合作平台。
3. 輔導具國際競爭力之LED照明企業。
4. 建立LED燈具品牌通路。

二、產業技術發展指標與時程

(一) 國內外技術發展指標

依據美國能源部2015年發表之技術藍圖[3]，LED元件效率與性價比關係圖來看，2014年暖白光發光效率為146Lm/W，2015年則達到162Lm/W，2020年則預估達到220Lm/W。除發光效率持續提高之外，LED元件價格也將持續下滑，預估至2020年價格將下滑至每千流明0.36美元。未來在LED性價比(CP)值持續提高之下，勢必會更進一步擴大LED照明應用領域，對於LED照明市場將有很大助益。

(二) 國內技術近期發展重點

根據IHS最新調查資料顯示，2020年全球LED照明商機約8百億美元，LED燈泡與燈管等取代型產品價格快速下滑，LED燈具成為維繫市場成長來源。隨LED智慧照明市場快速崛起，因此亟待突破LED照明燈具與智慧系統之競爭力，並穩定LED元件的全球市場佔有率。光引擎為LED光源技術潮流，透過系統級封裝整合智慧化電控IC與光型之控制為國外尚未發展領域。搭配人因照明研究，開發具有技術門檻、差異化燈具，如高功率特殊應用LED燈具、解決藍光問題的健康燈具、醫療照護照明燈具等，提升燈具競爭優勢。先進智慧照明系統將人因照明資料導入照明決策系統，搭配LED照明燈具，構成智慧型LED照明系統，能因人、因時而提供舒適、健康、節能之照光環境。

國內OLED相關產業發展相對落後，在技術發展策略上須找到獨特且創新之切入點。除高效率與長壽命基本要求外，亦需發展大面積化模組製程作為技術整合平台，藉此降低成本，加速市場發展。目前國內OLED產業發展近況如下：

1. 缺乏上游材料與設備廠商，開發自主專利材料量能不足，競爭力弱。
2. 積極研發OLED照明產品，著重開發高效率可調光軟性OLED光源。
3. 跨入高附加價值情境照明及醫療用照明市場，布局OLED健康照明。

現階段OLED照明成本仍高，在2020年前初期市場應用將以高單價利基市場為主，例如透過結合文化、創意與藝術等空間美學設計之裝飾照明或健康舒適之醫療用照明產品，以滿足顧客需求。市場行銷以增加顧客價值感為OLED照明產業出發點，打造康健、美學及具經濟效益之光環境，建立自有品牌，開拓新藍海市場。

(三)國內技術發展時程

先進照明技術發展主要依循行政院綠能產業躍升計畫，積極爭取在國際技術領先大廠及專利佈局中獲得空間，此有賴半導體、資通訊以及設計等產業實力來提高附加價值。持續開發上位專利光源技術，加強利基應用開發，發揮創意設計人才以及製造優勢，在全球市場突破困境。整體照明先進技術方向說明如下：

1. 強化LED 元件及模組封裝技術
   (1) 開發UVC LED磊晶元件、智慧照明應用整合ICT技術等高階應用技術，拓展殺菌利基市場，UVC LED殺菌模組與Optical Link等技術之新興高值化應用領域。
   (2) 發展系統級模組封裝技術，提高性價比及競爭力，智慧化LED光源模組封裝專利技術建立應用，為國內LED照明產業爭取交互授權。
2. 研發OLED白光元件與模組
   (1) 開發高效率磷光發光材料及白光OLED元件結構，建立自主專利。
   (2) 研發全球首創無藍光白光OLED模組。
   (3) 大面積模組製造、長壽命薄膜封裝等低成本製程技術。
3. 開發智慧化照明燈具
   因應利基市場需求，發展結合自動控制、感測通訊以及記憶功能之燈具，

提高系統附加價值。

LED照明技術發展短程以智慧、高效率技術為主，中長程佈局具備優勢的健康、人性化與智慧聯網照明系統，技術發展時程如表3-2-1。

OLED照明發展較LED晚，歸納國內OLED照明重點技術包括自有材料、表面電漿光取出結構、元件結構設計等，發展高演色性、全頻譜與創新應用之照明技術，並透過照明標準制定與認證制度推動來帶動產業發展，並在市場發展中建立領先的契機。發展時程如表3-2-2。

表3-2-1　LED照明技術發展時程 [4-5]

技術項目	短程（~2018）	中長程（~2025）
智慧LED光引擎	• CRI>90色溫可調 • 智慧光引擎光效180 Lm/W • 超高功率1,000W燈具重量15kg,發光效率130Lm/W	• 高可靠度、高性價比光引擎照明技術 • 智慧化泛用型光引擎設計平台 • 固態照明半導體製程整合
智能型燈具	• 健康照明光源同色溫藍光中心波長能量調變範圍 30% • 照護場域照明系統視覺與光譜演算	• 開發智慧型光環境調控技術 • 3D調控燈具：調光、調色溫與調光譜 • 智慧型人性化健康照明系統示範應用
智慧照明系統平台	• 智慧型受控單元與感測裝置技術 • 自主網路連結可支援系統運算 • 發展節能照明管理系統	• 人性化LED照明系統 • 環境機動式光環境設計 • 發展人因照明管理系統 • 人因互動式光環境設計技術

資料來源：工研院，2015年12月

表3-2-2　OLED照明技術發展時程[6]

技術項目	短 程(~2018)	中長程(~2025)
OLED照明模組	• 無藍光白光OLED 模組10×10公分，光效70Lm/W • 照明標準與應用目標：推動OLED照明產品標準驗證機制	• 創新白光架構之大面積低成本照明模組：發光效率150Lm/W@1,000nits；發光面積225cm^2；壽命>50,000小時
OLED照明應用	• 利基市場應用目標：彩色灰階動態發光圖案照明技術	一般照明

資料來源：工研院，2015年7月

三、國內發展現況與成果

(一) 技術發展現況

1. LED光源封裝技術開發

LED光引擎為一種光源模組，整合光、電、散熱等，技術內涵主要電控IC、螢光粉塗佈、光學設計與高導熱元件等，利用積體化封裝降低模組組裝成本，藉以提高性價比，LED光引擎封裝相關技術發展現況如下：

(1) 積體化LED光引擎技術

藉由半導體製程技術，研發整合通訊介面之智慧型10W電控IC，提高整體系統之整合度及降低上件與維護成本。封裝上使用高性價比一次光學封裝微結構射出，及螢光粉塗佈技術，取代傳統二次光學設計，進而發展更高發光效率的LED光源。目前AC市電輸入110V下，LED光引擎發光效率達142.1Lm/W，另使用RT8458晶片設計完成智慧型光引擎電源電路，效率可達88%。

(2) 高導熱元件技術

積體化LED光引擎熱源集中，必須發展高導熱元件方可有效解決高功率LED照明模組局部高溫問題，降低LED接面溫度以達長壽命，開拓更大應用市場。已開發矽基微均熱板、脈衝式熱管及高性能薄型化熱管解決高功率LED模組熱集中問題。

(3) LED軟性面光源技術

藉由R2R(Roll to Roll)製程整合技術及具導光及色彩轉換薄膜技術，發展軟性面光源技術提高LED面光源之技術層次與擴大應用情境。採用R2R技術降低製造成本，透過微結構擴散膜片技術達到高均勻度、低眩光之平面光源。開發之軟性面光源於市電110V下發光效率為97Lm/W，搭配可撓微結構光學膜片，均勻度可達0.9。

2. 智慧型固態照明燈具與系統開發

現代照明系統以提供使用者安全、健康和舒適光環境為訴求，同時必須考量光與人健康關係，發展以人為中心之照明(Human-centric lighting)，特別是光在人類晝夜節律的生物效應與成本，應用感測技術與智慧化照明控制，搭配演算及系統管理平台，發揮最大工作績效，並提高生活品質。智慧照明發展包括如下技術整合：

(1) 智慧型節能照明決策系統

透過雲端服務降低照明控制系統平台之功能需求與成本。以手持裝置作為人機介面，配合圖形化、互動式的操作介面，提高系統友善度，增加消費者使用意願。開發照明系統決策運算功能，結合人因資料庫，建立管理系統之智慧調光能力。從降低系統設置成本、增加消費者使用意願與提升系統技術能量多管齊下，促進智慧照明管理系統之產業形成與市場發酵。

(2) 高值化固態照明燈具與系統應用開發

引進國際設計資源，發展人性化LED節能照明系統，建立如醫療院所、商業展示等利基市場示範場域，引導產業切入高利潤LED照明藍海，以差異化設計創立品牌通路。建置之醫療場域示範系統，支援無線編程控制情境模式，具備低電磁干擾。

(3) 人性化照明技術

發展新型LED品質評價系統，有助於LED元件商改善盲目追求高演色性現象，以視覺滿意度為LED光色品質度量標準，以期大幅降低LED製造成本；並針對資訊電腦作業環境下，研究最舒適照明光環境，滿足使用者工作及生理的需求，提供LED照明業者設計產品嶄新的思維，進而提升競爭力。

3. 高效率白光OLED照明技術

OLED照明技術發展以建立自主化的OLED照明技術為主要目標，希望提高OLED照明產業之材料自給率，同時藉由提升效率與壽命，降低照明使用成本，並以創新應用產品技術，提高產品性價比，作為OLED照明發展初期產品出口。相關技術發展可分為以下項目：

(1) 高效率白光OLED元件技術：完成黃色磷光材料-POT系列開發，應用於自有專利之雙波段白光OLED，配合低色偏光取光結構，在亮度1,000cd/m^2的情況下，可使白光OLED元件達到與世界同步130Lm/W。

(2) 表面電漿增益技術：利用表面電漿耦合增益可增加約1.7倍效率，同時產生綠光藍位移效應，將壽命為藍光材料10倍以上之綠光材料轉為藍光，可克服藍光材料壽命過短瓶頸，本技術獲得2015年美國百大科技獎(RD100)。

(3) 大面積模組製程：發展高良率且穩定大面積元件鍍膜製程，藉此降低生產成本。演色性指標已大於92，同時發光面積達 10cm×10cm。除高演色性的發展外，也因應健康市場需求，發展與自然光類似連續光譜OLED光源，可望成為領先國際創新指標。

(4) 長壽命封裝技術：由於OLED有機材料有水氧侵蝕的議題，因此在有機元件上需兼顧阻水氣封裝功能。已發展利用原子層沉積系統(Atomic Layer Deposition, ALD)技術蒸鍍Al2O3/ZnO奈米堆疊封裝薄膜，對於提高壽命將有極大之助益，同時阻氣膜可蒸鍍於軟板上並應用於可撓式照明元件。

(5) 創新應用產品技術：發展利基型照明應用產品與其搭配技術，例如可裁切面型光源、可撓式光源結構、灰階圖案化照明等。待未來OLED照明面板的製程技術成熟後，便可搭配成熟量產面板技術提高產品附加價值。

(二) 推廣應用成果

推廣LED照明原則為「先戶外、後室內」，自2008年開始推動LED路燈汰換水銀路燈進行道路照明節能示範，之後推廣LED室內照明應用，包含2013年採購50萬顆LED燈泡協助弱勢族群節能減碳，以及2014年7月LED燈泡強制檢驗，增加民眾信心；其次，透過LED室內燈具節能標章加速公部門LED辦公燈具滲透率。

1. 水銀路燈落日計畫

經濟部能源局自2012年度啟動大型LED路燈設置計畫，由縣市統一採購，並以最有利標決標結合節能績效保證模式推動，協助縣市政府以LED路燈汰換水銀路燈。其目標為換裝28.4萬盞，已完成26.4萬盞，每年省節省2.2億度電，LED路燈國產化程度達94%，大幅改善道路照明品質，民眾滿意度達80%。

依2014年9月統計資料，全臺路燈總數約224.9萬盞，其中尚有約69.6萬盞(其中地方政府69.2萬盞，中央單位0.4萬盞)為低效率及高污染水銀路燈。為落實2014年行政院頒布綠能產業躍升計畫，推動道路照明節能，帶動LED照明光電產業發展，行政院核定於2014年11月核定「水銀路燈落日計畫」，目標2017年國內成為全球第一個水銀路燈落日之國家。

表3-2-3　臺灣地區現行路燈設置情形

光源類型	水銀燈	高壓鈉燈	複金屬燈	LED燈	螢光燈	小計
中央單位所轄路燈數量[註1]	3,483	118,665	5,289	9,198	14,967	151,602
水銀路燈已全數汰換縣市所轄路燈數量[註2]	-	85,057	3,373	362,220	14,863	465,513
水銀路燈尚未全數汰換縣市所轄路燈數量	692,162	557,563	15,231	200,573	166,130	1,631,659
合計	695,645	761,285	23,893	571,991	195,960	2,248,774
占比	31%	33.8%	1.1%	25.4%	8.7%	100%

註：1. 中央單位包含交通部高公局、公路總局、經濟部各工業區及科技部科學園區，將請其配合自行編列預算汰換。

2. 包含臺北市、新北市、金門縣、連江縣、基隆市、新竹市及嘉義市，均將於全臺設置LED路燈措施或自籌經費將水銀路燈換裝為LED路燈。

資料來源：工研院綠能所 2014年9月

2. LED室內照明示範計畫

2013年能源局完成補助1,410家社福機構及368個鄉鎮市區公所低收入戶、中低收入戶及社區推廣46萬6,160顆，替換15W省電燈泡每年省電601.71萬度電。2014年7月LED燈泡施行MEPS管制，2015年3月公告辦公室用LED平板燈節能標章，以加速LED照明室內應用滲透率。

因應智慧照明趨勢，選定大專院校圖書館進行研究示範，整合學校專長提出創新照明系統智慧節能，建立智慧照明應用並培育人才，作為推廣及觀摩典範案例。大專院校圖書館為為一室內照明多元應用之綜合體，在此場域內包含多種照明功能需求，須兼顧一般照明(走道、大廳)、立面照明(圖書櫃、書報架)與重點照明(閱覽區、自習室)，此場域可展現智慧化照明極大效益。104年「大學校院圖書館智慧照明研究示範計畫」評選出11所大學圖書館進行智慧照明示範，共8所學校完成設置，在學校師生的配合下，展現包含高效率LED燈具、人及晝光感測自動調控、情境智慧控制、人因照明及手機APP查書照明導引等技術內涵，根據統計省電率30-60%，平均照明用電密度8W/m^2，較美國ASHRA國際能效標準13W/m^2 低35%，成效值得後續推廣。

參考文獻

[1] 李麗玲等，104年度經濟部研究機構能源科技專案，“LED照明與系統節能研發計畫期末報告”，2015。

[2] 經濟部，“綠能產業躍升計畫計畫書核定版”，2014。

[3] DOE, “Solid-State Lighting Research and Development Multi-Year Program Plan”, 2015.

[4] 李麗玲等，105年度經濟部研究機構能源科技專案，“LED照明與系統節能研發計畫執行細部計畫書”，2015。

[5] 經濟部能源局，“能源產業技術白皮書”，2014。

[6] 陳世溥等，105年度經濟部研究機構能源科技專案，“高效率有機固態照明關鍵技術開發計畫細部計畫書”，2015。

第三節　能源資通訊

整體能源供需涵蓋能源產生、傳輸及耗用，除了設備效率之外，各階段之運作決策，以及供需之整體調度都也與效率息息相關。能源資通訊技術(Energy Information and Communication Technology, EICT)即運用資通訊科技於能源系統之管理與調度，以提升其整體效率。例如監測併聯運轉之馬達或空調設備，建立其運轉模型，並以最佳化方法調控其個別負載，以較低之能耗達成相同功效。

以能源系統之資訊分析決策為核心，能源資通訊技術包括能源感測、資訊分析及操作優化等，可應用於智慧建築、智慧社區、智慧城市及智慧電網等領域。智慧建築、智慧社區及智慧城市由內政部主導之「智慧綠建築推動方案」進行整體規劃，而智慧電網依行政院「智慧電網總體規劃方案」進行跨部會整合，進行技術開發、環境建構、應用建置與產業推動，建立所需關鍵技術、示範驗證及標準法規等，再由權責單位分工執行。

全球各國推動能源資通訊應用以智慧電網為主軸，涵蓋智慧電表系統、輸配電自動化與用戶能源管理等項目。根據2013年GTM Research全球智慧電網市場報告[1]，2014年全球產值約440億美元；觀察各國政策推動，目前全球市場中美國與西歐需求穩定成長，法、英、德為歐洲投資金額前三大國；而中國大陸與日本成長幅度較大。

節能減碳需求帶動能源資通訊產業的發展，國內在資通訊產業具備競爭利基，感測裝置、通訊元件、嵌入式控制器與客製化軟體系統等領域皆有機會爭取國際商機。為推動產業發展，經濟部亦擬定「綠能產業躍升計畫」，以技術開發與示範應用帶動產業成長。2015年國內能源資通訊產值約為新臺幣260億，預估2020年可達到新臺幣600億規模。

在能源資通訊主要應用領域中，智慧電表的佈建已是全球趨勢，義大利、丹麥已全面換裝智慧電表。歐盟多數國家將於2020年前後完成大規模建置，美國約已佈建5,000具智慧電表，近年來中國大陸國家電網陸續採購約3億具智慧電表，日本在2024年將完成全面佈建，而韓國亦有全面

佈建規劃。國內高壓智慧電表系統已建置完成，低壓智慧電表則完成示範系統建置，目前持續檢討成效及未來佈署計畫。智慧電表除了協助用戶掌握自身用電資訊，促成更有效率節能行動之外，也有助於推廣時間電價，以及用戶參與需量管理方案。節約能源成效與電價及教育宣導有關，國外應用案例顯示，透過揭露適當能源資訊分析結果，可望促成住宅用戶節能1~2%，而結合即時電表資訊與用戶端能源管理，前一日及當日調度的需量反應措施對於抑低尖峰潛力可達3%以上。

輸配電自動化為電力穩定供應關鍵，由於發電不穩定再生能源大量導入，未來電網將面臨電力品質與可靠度新挑戰。除了電力設備更新之外，資通訊系統之強化也是系統穩定運作的關鍵。透過即時資訊蒐集與系統分析，再生能源發電變動可由儲能系統或傳統電源進行補償，而電力品質與輸配線負載亦可透過適當調度維持在合理範圍，以便建構穩定運作的低碳電力系統。

能源管理系統涵蓋提供能源資訊、分析報表與最佳化運轉控制等不同層面方法，依應用場域而有不同選擇。一般而言，整合各類資訊進行最佳化運轉控制可望節能5~10%，成本效益為其主要應用考量，商辦建築之空調運作改善與照明控制較具成本效益，也是現階段主要之產業應用。工業用戶節能潛力高，雖然種類繁多而製程複雜，產業界仍持續投入其能源管理系統開發。近年物聯網技術興起，能夠快速整合大量感測資料，並進行資訊融合分析，對於能源管理系統將是一大助益。

一、國內發展目標與策略

（一）發展環境分析

國內電網屬於島嶼型獨立電網，相較於大陸型電網系統，電力供需平衡之挑戰更為嚴峻。於供應面，燃煤電廠之環保抗爭，核能電廠上線與除役爭論，老舊電廠又面臨除役，形成電力供應短缺壓力。另一方面，都市化造成用電(人口)集中，卻難以在城市中增設變電站，亦形成穩定供電之障礙。至於需求面，國內工業用電占比將近六成且相對穩定，然而，住商用電占比逐漸成長，其起伏變化大且不易預測，不利於負載平衡控制。因此，全球都有以能源資通訊技術帶動電網智慧化之趨勢，藉以突破發電不足或供電瓶頸之困難，並提升電網系統之效率。

國內能源資通訊產值規模由2008年新臺幣80億元成長到2014年新臺幣224億元，年平均成長率19%。2015年預估產值為新臺幣260億元(較2014年成長16%)，預計2020年達新臺幣6百億元。EMS為國內廠商主要投入領域，且是目前產值最高之次領域，AMI產品預計於2015年開始出口，外銷產值貢獻比重將超過內需，而輸配電自動化產業將依國內輸配電系統升級之需求，維持穩定之市場規模。有關之產業現況說明如下：

AMI產業鏈佈局已趨向完整，業界著手發展MDMS，以建立自主化全系統方案。EMS業者在產業鏈環節各有所長，且逐步整合，並開發多種住商及工業利基型節能應用方案系統解決方案，已於實場完成效益驗證與技術應用實績。輸配電自動化之配電、變電及饋線自動化已有部分應用實績。

(二) 發展目標與策略

分析產業現況及競爭力，國內能源資通訊產品之品質與價格具備國際競爭力，部分廠商已建立節能應用之成功經驗。惟國內缺乏大型軟體系統廠商，系統整合經驗不足，且較缺乏應用實績。為爭取成長中智慧電表與電網商機，能源資通訊產業宜強化技術研發，並建立系統服務能力，並訂定通訊介面標準與能源效率規範，提高建置效益；透過國內系統設置建立應用實績，協助廠商拓銷或與國際大廠合作，以擴展海外市場。能源資通訊技術應用發展策略規劃如下：

1. 以技術發展支持重點政策項目，並突破供電瓶頸

近年來針對能源系統基礎建設，陸續通過「智慧型電表基礎建設推動方案」及「智慧電網總體規劃方案」，並完成全國高壓AMI系統建置、低壓1萬戶AMI系統示範及澎湖智慧電網示範系統之推動，帶動產業投入智慧電表、能源管理、輸配電自動化與智慧應用等項目之產品開發。

2. 建立全系統整合服務能量，帶動市場應用

依據產業現況，針對產業鏈缺口，投入關鍵應用與產品開發，以建構自主化系統方案。發展電表資料管理系統(MDMS)、電力資訊網路佈建及維護等資通訊應用以建構完整AMI全系統建置方案。針對住商及工業利基應用開發節能關鍵技術與應用方案，提升產業之系統服務能量，並引發市場應用風潮。

3. 發展共通介面標準，提升建置效益

電力系統規模龐大，且橫跨發電、輸電、配電及用電等領域，而各領域亦有其標準協定，如變電站自動化系統相關IEC-61850、智慧電表相關IEC-62056, ANSI C12.22、需量反應相關OpenADR, SEP2.0等，因此電力資訊系統間需有適當的介面與通訊標準進行整合，達到效率提升之目標。

國際間能源管理主要由設備或系統大廠所掌握，其關鍵能力之一為系統整合能量，而系統整合之關鍵在設備通訊界面與通訊標準的統一。而國內目前缺乏可與國際大廠競爭之能源服務大廠，其原因除節能效益尚未滿足所有使用者期望外，另一個主要原因則是設備介面缺乏一致標準，導致系統整合困難，成本居高不下。因此，推動符合產業需求之標準並接軌國際為推動之重點。此外，未來能源管理普及後，能源管理系統彼此介接所需共通資料模型、電力設備整合之裝置與資訊介面、智慧電表系統之軟硬體介面等標準也須及早確立，以利各界投入技術發展與實務應用。

4. 推動示範應用，累積經驗與實績

能源系統為國家推動民生與工業發展之基礎，因此可靠度與應用實績是系統選擇的重要依據。為協助產業跨入智慧電表系統、配電自動化系統、分散式能源調度管理等相關產品服務，政府應訂定相關導入法規，以示範場域，培養業界實證經驗與業績，作為進入國際市場基礎，並在國際市場與其他產品競爭，而能源管理應用示範亦可由公部門帶頭導入。

二、產業技術發展指標與時程

能源資通訊為整合應用技術，其技術突破多由資通訊技術之應用引發系統設計與運作操作之變革。在電網管理領域，國外重電大廠已累積數十年經驗，在電力設備與系統模型建構、系統操作分析、故障診斷、自動化調度決策等領域皆有解決方案，尚未完全解決者為大量再生能源導入所面臨問題。

基於資通訊技術基礎，業界目前由智慧電表系統著手，並逐步提升重電技術，未來嘗試由微電網系統切入電網管理領域。在使用者能源管理領域，國內外技術水準差距有限，以負載預測為例，大區域預測誤差約為3%，小區域預測誤差約為5%。而對單一用戶，若無適當感測器配合，則難以達成一般性之準確預測。在節能實務上，目前國外大多數應用案例仍

以電力監測與避免超約為主，通用性之軟體難以發揮節能成效。軟體發展趨勢為模組化，依據不同場域特性，結合適當模組，進行簡單調校即可應用。

基於能源資通訊應用領域差異，以下概分電網管理、工業能源管理、住商能源管理3個項目進行說明：

(一) 國內外技術發展指標

能源資通訊應用為技術與系統整合之成果，技術發展重點在於導入資通訊於能源領域，並協助系統達成效率提升與節能之目標。在AMI發展，國際大廠已完成全系統之產品與建置方案，國內主要依循國際主流規範如IEC 62056及ANSI C12.22等進行發展，廠商之智慧電表產品已取得認證，電表資料管理系統已完成雛型系統發展，並整合智慧電表完成自主化全系統建置方案之應用示範。

在工業節能部分，國際上系統與設備大廠已有全廠能源管理方案，國內是由通用性較高之公用系統進行切入，發展大型冰水與馬達動力系統之多機並聯優化操作技術，冰水系統可達3%，馬達動力可達10~15%之效益提升。對於燃燒加熱系統亦有優化操作技術，可節省燃煤0.6~2%。另外亦就國內目前仍缺乏之製程優化操作技術進行開發，以期能完成自主化工業全廠資訊系統，提升產業導入能源管理應用之效益。

國內住商領域已有大量導入能源管理應用之案例，並達到平均6%之節能效益，另外研究單位亦完成多類利基型場域之能源管理應用與效益驗證，在家庭能源管理部分，完成家電設備之通訊介面與互通協議之研議，未來可大幅降低家庭能源管理系統與設備整合之成本。另在建築能源管理應用，亦針對冰水空調系統發展優化操作技術，可有效降低冰水系統之能源需求，單位能耗(kW/RT)可由1.3~1降至1.0~0.75。

(二) 國內技術近期發展重點

1. 電網管理

智慧電表系統建構了電力系統中供應端與需求端雙向資訊鏈結，往往被視為智慧電網建置之第一步。其關鍵為安全可靠通訊系統，不涉及重電技術，且市場成長快速，適合國內產業急起直追。另外電網整合調度則需逐步建立關鍵技術。

(1) 智慧通訊晶片與相關軟體技術開發

不論有線或無線，國內通訊晶片商目前都無法提供智慧電表架構(AMI)所需通訊晶片，為求提供集中器與電表整合解決方案完整性，亟需技術研發投入，發展網路佈建與通訊品質分析工具及電表網路攻擊分析與追蹤工具，此工具亦可大量應用於民間大場域通訊網架構，如路燈管理系統、社區能源管理系統，甚至工廠、校園通訊網建立。

(2) 電網整合調度

電網管理涵蓋終端用戶、輸電層級、配電層級，以至發電廠。愈向上游，調度之電量愈大，調度失誤造成之損害愈嚴重，技術與品牌門檻也就愈高。就國內產業生態與技術能力而言，短期內應由小區域或離島型區域能源調度管理著手，結合負載預測、再生能源發電預測、需量反應系統等技術，整合分散式能源，驗證區域性高占比再生能源整合技術，並於小型示範系統建立經驗，於落後國家或城鄉差距較大國家中，缺電區域即有應用機會。中長期則應提升微電網系統控制能力與規模，並強化重電技術或結合國際先進技術，經營輸配電自動化市場。

2. 工業能源管理

世界各國之工業部門耗能占比普遍高達50%以上，相較於其他部門，工業部門有兩個主要的能源使用特性：

一為生產製造系統相當複雜，節能手段為不能影響生產，使其受到相當大之導入限制，而各個次系統又彼此關聯，若未能徹底釐清系統特性，便無法達到最大節能效益。

二為工業部門除了使用電力之外，也大量使用煤、氣、油之燃燒以產生蒸汽或加熱材料，因此，除了節約用電之外，鍋爐、加熱爐等公用系統的能源使用亦須同時考量，甚至應整合廠區或工業區所有能源供應，以達到最大之整體能源效率。

國內半導體、面板、石化、鋼鐵等產業為重要業界，耗能也相當大，以國內資通訊技術人才，投入相關領域節能技術研發，一方面易結合其領域知識，並取得實證場域，另一方面可望對節能減碳產生重要貢獻。在研發策略上，短程為確保公用系統次系統(空調、泵浦、空壓、燃燒爐)輸出維持不變，以智慧型能源感測、能源分析、高階控制、操作決策等軟技

術，完成單機或多機併聯系統運轉最佳化，使業主不需更換任何設備、不需調整製程即可導入節能技術，提升其應用意願，累積節能量與成功案例。而中長程則是逐步跨入製程之節能領域，並導入新資通訊技術與研發跨系統模組化節能技術，搭配政策實施來推動節能產業化與落實節能目標。

因近期各國政府陸續研提產業結構轉型對策，逐步朝向以數位化、虛擬化、網路化之智慧生產系統為發展趨勢，例如德國之工業4.0、美國之AMP計畫、韓國之下世代智慧型工廠、以及國內生產力4.0，這些智慧生產系統帶動了物聯網和大數據分析實質進展，雖其初衷非以能源節約為主要目標，然而其快速發展物聯網感測網路和雲端化技術，已經逐漸對能源資通訊節能應用技術發展產生助益，預期未來結合生產力提升和能源節約技術平台將是技術發展之終極目標。

3. 住商能源管理

住宅與服務部門總耗電占比約為40%，住宅與服務業能源管理因性質不同，解決對策與技術發展也不一樣，分述如下。住宅中一般民眾需求以舒適、安全、便利為主，再來才是節電，在國內電價不高而家庭用電量又低情況下，節電之驅動力明顯不足，故重點在於家電設備本身具有高效率、智慧控制、節省待機電力等，透過家電本身達到節電效果。在此方面，政府已訂定主要耗電家電設備之效率等級與測試標準，推動智慧家電設備標準化介面，以及輔導家電業者降低其待機電力。另一方面，改變家電使用行為，亦可更增加家庭節電效益，發展用電行為快速診斷網路工具，免費提供民眾使用，可更進一步達到家庭節電之效果。

服務業耗能依其營業內容而有差異，校園、賣場、百貨公司、辦公室…等皆有不同用電模式，但所有服務業仍以空調與照明用電為主，故服務業導入能源管理系統主要利用智慧控制降低空調與照明用電，但不可犧牲原環境舒適程度，以免影響其正常營運。照明控制由於對使用者產生不適影響，故實際不易施行，加上若是更換高效率燈具如LED，已可將照明用電減少30%以上。反觀空調用電，目前仍是主要耗電占整體用電約35%以上，加上中央空調控制複雜因此普遍效率不佳，系統平均效率大多在1.0kW/RT以上，若是能導入系統最佳化控制技術，估計至少有30%節電空間，是住商中最具節能潛力項目。

此外，也可將整體最佳化控制技術分割成數個模組化單獨控制之節電控制器，雖其節電效率沒整體最佳化控制高，但減少導入成本且安裝更為方便，降低導入門檻，以漸進方式達到整體最佳化，讓技術推廣能更快速普及。除住商節電技術研發外，發展虛擬電廠調度控制技術協助台電公司在供電瓶頸區降低負載率，也是未來電力調度重點。虛擬電廠調度控制在住宅中以智慧家電控制為主，相關技術業已成熟，而在服務業中以空調水系統卸載、發電機、再生能源與電池等整合為重點。其中空調水系統冰機與水泵因耗電量高且具普遍性，是卸載主要對象，且系統種類多且變化性大，又卸載時對服務業最重視環境舒適有極大影響，是故空調系統卸載之調度管理，有其發展之重要性與必要性。

(三) 技術發展時程

聚焦於電網管理、工業能源管理、住商能源管理等三個面向，展開能源資通訊技術之發展規劃：電網管理之發展時程如表3-3-1所示，工業能源管理之發展時程如表3-3-2所示、住商能源管理之發展時程如表3-3-3所示，分別說明如下：

1. 電網管理

(1)智慧電表系統

智慧電表系統需提供穩定、可靠之雙向通訊，關鍵在於運作相容性、通訊穩定性，以及資訊安全性。就相容性而言，國際上已有智慧電表應用層標準通訊協定，歐規為IEC-62056，美規為ANSI C12.22，產品需符合其協定方能進入國際市場。

就穩定性而言，智慧電表不論採行有線或無線通訊，傳輸訊號之品質都容易因環境變化而降低，實用之網路層協定必須能夠克服環境變化，達到99.9%以上之資料擷取成功率。就安全性而言，未來電表通訊網路將密佈電網供電區域，勢必無法建構實體之網路隔絕，因此加密驗證技術與金鑰交換機制必須妥善，以確保資料與電力系統運作安全。

短期發展策略為建立主站、集中器至智慧電網通訊系統解決方案，並配合國外電表資料管理系統或簡易版的電表資訊系統，儘快取得示範機會或建置實績，切入東歐、中東、東南亞等新興國家市場。中長期則需建立自有電表資料管理系統，並強化網路安全機制與資訊

應用系統，以擴大市場版圖。

(2) 智慧通訊晶片與相關軟體技術開發

智慧電表系統之通訊可用性為系統建置成效之關鍵之一，牽涉通訊技術與電表網路規劃，國內業者已發展可用電表網路通訊軟體，目前缺乏電表大規模佈署之經驗及網路佈建先期分析工具。除了集中器與電表整合解決方案外，電表網路資訊安全亦是技術發展重點。為能評估建置場域所需之合宜通訊方案，國內須發展電表網路攻擊分析與追蹤工具，並建立網路規劃及通訊品質分析工具，進而以案場實績提升產業之競爭優勢。中長期發展重點則為技術可靠度之提升。

(3) 電網整合調度

國內電力系統產業之規模不若國際大廠，因此電力系統整合調度應由小系統或小區域著手，發展負載預測、再生能源發電預測、需量競價調度等技術，並整合分散式能源，驗證區域性高占比再生能源整合技術、虛擬電廠調度技術等，藉國內離島及供電瓶頸區電網系統改善之機會建立應用實績，並於電力基礎建設落後國家或區域尋求外銷應用機會。中長期則應提升微電網系統控制能力與規模，並強化重電技術或結合國際先進技術，切入輸配電自動化市場。

表3-3-1　能源資通訊應用於「電網管理」之發展時程

技術項目	短 程(~2018)	中長程(~2025)
智慧電表系統	1. 電表資訊系統 2. 資料分析應用模組	1. 電表資料加值應用 2. 智慧電表佈建解決 3. 能源管理系統之應用
智慧通訊晶片與相關軟體技術開發	1. 電表網路攻擊分析工具 2. 網路佈建與通訊品質分析工具	
電網整合調度	1. 儲能整合運作決策 2. 離島微電網系統	動態整合之微電網系統

資料來源：工研院整理，2015年12月

2. 工業能源管理

(1) 智慧型能源感測與傳輸技術

工業製程必然應用感測器以進行產線調控，多數感測器已有成熟產品。惟部分感測系統仍有大幅改善空間，如加熱爐溫度分佈量測若倚賴紅外線攝影機，則成本極為高昂；若採熱電耦或紅外線測溫槍，則量測資訊不足，難以進行即時調控。因此，利基型感測系統開發仍有其需求與商機。感測與控制資訊傳輸亦為重要議題，由於工業控制對於資訊傳輸可靠性要求高，而感測器數目龐大，工業環境可能充斥干擾雜訊，使通訊系統傳輸能力備受考驗。在既設工廠裝設新感測器時，為減少佈線成本與空間需求，無線傳輸可能取代傳統有線傳輸，無線感測網路之各類技術問題在工業應用上亦需解決，其中包含通訊上之資訊安全議題。

(2) 工業高階控制技術

工業次系統之動態行為複雜，典型之控制方法不易維持系統在

表3-3-2 能源資通訊應用於「工業能源管理」之發展時程

技術項目	短 程(~2018)	中長程(~2025)
智慧型能源感測與傳輸技術	感測系統軟硬體開發 工業環境無線傳輸技術開發 近端初級資料處理技術	資訊安全技術 低/零耗能傳感技術
工業高階控制技術	廠務公用系統之分析與控制技術 汙水廠之分析與控制技術 化工製程之分析與控制技術	其他重要產業的製程分析與控制技術 模組化公用系統分析與控制技術 模組化製程分析與控制技術
工業能源分析與操作決策技術	全廠電力管理技術 動力設備節能操作技術 汽電共生產銷優化技術 中小企業最適能源生產力技術	跨系統節能整合技術 智能化能源供需動態平衡技術 區域能源整合
能源管理系統平台	通訊協定整合應用技術 開放式使用介面技術 大數據儲存 能源可視化技術	工業能源雲端管理平台 大數據分析引擎整合應用 工業能源分析與操作決策軟體雲端化

資料來源：工研院整理，2015年12月

所設定之操作條件，如大型燃燒爐之尾氣濃度控制、汙水廠之曝氣控制，化工批次製程之品質控制等。引進工業高階控制可有效達到專案目標，而專案目標通常能提升品質議題外，亦能同時減少能源耗用，有了高階控制技術支持，才能有效導入下一階段系統操作決策。因此類技術與市場長期掌握在國際系統商大廠上，為確保技術自主性與節能產業化，開發相關之數據前處理、建模技術，控制邏輯設計等技術項目，並以模組化公用系統/製程控制技術為目標。

(3) 工業能源分析與操作決策技術

針對能耗與節能空間大之工業單一系統，進行最適化操作決策技術開發，將系統運行在最適當的節能操作條件下，如冰水機併聯最適化操作、空壓機併聯最適化操作等。但工業環境下，系統間能源供給與需求有著交互作用因素，導入跨系統與全廠能源節能技術，將可使整廠達到更有效節約能源，如汽電共生廠之產銷優化操作，甚至一工業區域間能源之有效運用亦會使整體區域能耗再降低。在能源分析方面，推動能源供給與需量平衡技術，建立廠內能源流與損失分析技術，可有效評估廠內系統能源使用效率或計算碳足跡，並減少能源損失，供應合理之能源予系統或製程，另開發能源使用與負載預測技術，可使能源管理員充分獲得能源使用狀態，可有效進行能源與設備運用與提升用電效率。

(4) 能源管理系統平台

分短中長期推動開發小中大型能源監控管理平台，逐步進入市場，與國際大廠競爭。為對能源資料收集、儲存、管理、控制操作、顯示與報表之平台，推動資料與方法功能交換開放式使用介面，可提高整合性與擴充性，突破國內市場由國外產品壟斷之局面與提升產品自主性。資料管理與控制操作可結合節能技術應用獲得節能成效，能源資料之可視化顯示與報表可誘發非能源管理員之主動性節能，並可降低人為管理失當導致耗能因素，而工業能源雲端管理平台技術建置，更可降低企業管理平台建置與維護成本。

3. 住商能源管理

(1) 住宅用電行為快速診斷工具

建構用電行為診斷工具網站，免費提供一般民眾上網參與，民眾上網後僅需輸入少量參數如家中人數、坪數大小、使用何種電器與使用習慣等資訊，藉由網站後台智慧分析統計功能，可提供用戶其家電用電分布統計預測與異常用電行為診斷，再讓民眾自發性達到行為改變而產生節電效果。短程目標為達成家電用電分布預測正確率>70%，異常用電行為診斷正確率>70%，工具網站參與用戶>1萬戶；中長程目標，則為用電分布預測正確率>80%，異常用電行為診斷正確率>90%，工具網站參與用戶>50萬戶。

(2) 服務業空調系統優化控制技術

中央空調水系統若是能導入系統最佳化控制技術，估計至少有30%節電空間，是住商中最具節能潛力項目。最佳化控制是由在於建

表3-3-3 能源資通訊應用於「住商能源管理」之發展時程

技術項目	短 程(~2018)	中長程(~2025)
住宅用電行為快速診斷工具	用電行為診斷工具 • 家電用電分布預測，正確率>70% • 異常用電行為診斷，正確率>70% • 工具網站參與用戶>1萬戶	用電行為診斷工具 • 家電用電分布預測，正確率>80% • 異常用電行為診斷，正確率>90% • 工具網站參與用戶>50萬戶
服務業空調系統優化控制技術	空調系統全域最佳化 可適用所有空調水系統 • 在PLR 50-80%間，系統能耗<0.8 kW/RT(採定頻冰機)或<0.6 kW/RT(採變頻冰機) • 整體最佳化導入成本<4,000元/RT	模組化設備優化控制器 可適用90%空調水系統 • 在PLR 50-80%間，系統能耗<0.9 kW/RT(採定頻冰機)或<0.7 kW/RT(採變頻冰機) • 單一設備導入成本<800元/RT
虛擬電廠調度控制技術	虛擬電廠調度管理 • 建立最適卸載量時間與卸載功率估算模型，誤差<5%，饋線用電預測月誤差率<3% • 前一日卸載調度，卸載量控制準確度達90% • 訂定空調卸載控制介面規範	虛擬電廠調度管理 • 前1小時緊急卸載調度，卸載量預測準確度達95% • 完成需量競價平台與代理人最佳調度技術開發

物冷凍噸需求預測、設備耗電模型建立以及系統最佳化計算與輸出控制，並以物件導向方法建構其圖控，減少建置之客製化工作。短程目標為最佳化技術適用於所有種類之空調水系統，在系統負載率PLR 50-80%時系統效率<0.8kW/RT(採定頻冰機)或<0.6kW/RT(採變頻冰機)，整體最佳化導入成本<4,000元/RT。中長程目標，係將整體最佳化控制技術分割成數個模組化單獨控制，雖其節電效率可能略低於整體最佳化，但減少導入成本且安裝更為方便，可大幅降低導入門檻，加快技術之普及應用，此模組化設備優化控制技術可適用90%不同的空調水系統，在PLR 50-80%時系統效率<0.9kW/RT(採定頻冰機)或<0.7kW/RT(採變頻冰機)，單一設備導入成本<800元/RT。

(3) 虛擬電廠調度控制技術

虛擬電廠調度控制技術以服務業為其重點，整合空調水系統卸載、發電機、再生能源與電池，其中空調水系統冰機與水泵因耗電量高且具普遍性，是主要卸載對象。且系統種類多且變化性大，又卸載時對服務業最重視環境舒適有極大影響，是故空調系統卸載之調度管理，有其發展之重要性與必要性。短期目標，必須建立空調系統最適卸載量時間與卸載功率估算模型，誤差<5%，饋線用電預測月誤差率<3%，針對前一日卸載調度之卸載量控制準確度必須達90%以上；中長期目標，是針對前1小時緊急卸載調度的卸載量預測準確度達到95%以上。

三、國內發展現況與成果

國內研究機構與產業界陸續投入能源資通訊技術研發與應用，政府部門除以科技專案進行技術研發之外，並於2009年核定「綠色能源產業旭升方案」，將能源資通訊列為7項重點產業之一，制定整體之產業發展構想，並於2014通過「綠能產業躍升方案」延續產業之推動。2010年核定「智慧型電表基礎建設推動方案」，展開智慧電表佈建，帶動市場商機，2011年又核定「智慧電網總體規劃方案」，訂定智慧電網建置時程與產業發展方向。在各界努力下，已有初步成果，以下就3個應用領域分別說明，並略述未來規劃。

(一) 技術發展現況

1. 電網管理

在電網管理領域，智慧電表系統技術為研究機構及產業界近年投入重點，國內已於2013年完成全國全數24,000戶高壓AMI建置，及10,000戶低壓智慧電表示範系統建置。台電公司針對高低壓用戶不同之需求，分別推動高壓用戶電表資料分析及低壓用戶時間電價等測試方案，期能提升AMI系統之建置效益。

著眼於國際市場之快速成長，政府以科技專案計畫先期投入電表網路技術開發，完成歐規(IEC-62056)及美規(ANSI C12.22)等國際主流智慧電表標準通訊協定、電表網路通訊、網路安全系統，電表集中器與主站軟體、智慧電表資料管理系統雛型等國內自主化解決方案開發。國內業者並已透過技術授權方式建立AMI全系統建置方案之能量，圖3-3-1為廠商開發符合歐規之智慧電表產品。

2. 工業能源管理

工業耗能可區分製程耗能與非製程耗能(公用系統)兩大部分，惟其次系統種類眾多，各次系統之耗能型態與特性又因業別差異會有所不同。依據美國能源署ITP(Industrial Technologies Program)計畫統計，工業能源使用之生產製程耗能約占35%，而公用系統(Utility System)則占約65%。而國內亦就通用性較高之公用系統包括冰水空調、馬達動力及燃燒加熱系統完成最適化控制應用方案，並於高科技廠、汙水廠及石化與鋼鐵廠進行推廣應用。在完成公用系統之優化控制發展後，技術發展之焦點轉向製程系統與利基型全廠能源管理應用。

圖3-3-1　產業完成之歐規智慧型電表

(1) 汙水處理廠之馬達動力系統最適化運轉

已陸續完成馬達動力系統之最適化控制技術，帶動馬達動力系統整體運轉效率提升，應用標的包括泵浦系統、排氣系統與空壓系統。汙水處理廠之主要能耗發生在濕井與生物處理單元，而其主要之運轉設備為水泵與風機。因此，汙水廠可作為綜整馬達系統優化操作之利基發展平台，並達到提升系統操作效能之目標。由於不同之處理廠之設計、系統配置、操作策略及現階段污水處理容量均有所差異，因此先以進流抽水站之水泵系統操作優化為目標，包括液位上升預測演算法，及水泵併聯系統之優化操作，導入竹科及工研院之汙水處理廠進行測試，可分別降低3.4%及11-20%之進流抽水站耗能，並可減少設備啟停次數，降低損壞機率(目前一天約60次啟停)。後續將持續開發水處理系統生物處理單元最適化運轉技術及水處理系統全流程最適化運轉技術。

(2) 汽電爐產銷優化操作

燃燒爐操作目標為提升效率，減少NOx排放量，並保持其熱能輸出或產品品質。不過由於燃燒為複雜物理問題，直接描述燃燒狀態相當困難，而空燃比、蒸汽量、產品溫度等資訊雖可表達部分特徵，對於最佳化控制往往力有未逮。傳統控制方法往往倚賴少數感測資訊，以試誤方式進行調校，然後由資深操作人員觀察火焰或感測器，憑經驗持續調控。能源資通訊技術應用可解決此一最佳化問題，目前已完成燃燒爐溫度場量測、推論式感測器及循序最佳化演算模組技術，根據操作數據之持續更新，最佳化操作策略亦可循序更新，並帶動汽電共生系統之產銷優化應用。

(3) 化工製程優化操作

批次製程之系統反應在一段操作時間內將原料轉換成所需產品，與連續製程相較，整個程序屬於較為複雜之動態行為，並且常有多個不同反應階段，可能會遭遇不同批次間量測資料偏移、無法即時手動操作，又系統動態行為造成的複雜控制決策、以及非單一設定點控制設計等狀況。因此就批次製程操作所需之高等控制策略核心工具及生產現況所遭遇的問題進行發展系統識別模組與底層PID控制迴路調諧模組。

國內完成之第一套自主化系統識別建模軟體，並以石化廠裂解爐之實廠資料進行模型訓練，可透過模式預測控制(MPC)，藉由設計批次製程最佳軌跡，並以模式預測控制方法來達到最佳軌跡的操作曲線，其與商用軟體之成效比較請見表3-3-4。另PID控制器參數協調，藉由優化底層環路控制器，改善環路性能，降低製程變異，功能與國際大廠之控制器相當。

3. 住商能源管理

2012年完成全球首創扣合式電力感測器，目前可量測之電流範圍為1~100安培，最高電壓為600V。此創新之感測器稱為電表便利貼。元件架構與應用方式如圖3-3-2所示，其安裝為非侵入式，與傳統電表之安裝方式截然不同，可避免電流過載時電表燒毀風險，並且在安裝過程，設備不需停電，亦不需剝離設備之多股電源線，安裝極為簡便。電表便利貼之發展除有適合一般使用者於家庭及服務業場域使用之二線式扣合式電表，並針對工業應用發展三線式應用。電表便利貼體積與成本均優於傳統插座電表，未來可與能源管理系統整合，達成自動化節能減碳。

表3-3-4　自主化系統識別建模軟體與商用軟體之成效比較

	預測誤差(average RMS) / 計算時間(sec)
國內自主化系統識別建模軟體	0.17/ 7.66 (狀態空間模型);0.13/5.92 (自迴歸具輸入模型)
商業軟體	0.20/16.34 (狀態空間模型);0.12/5.57 (自迴歸具輸入模型)

資料來源：工研院整理，2015年12月

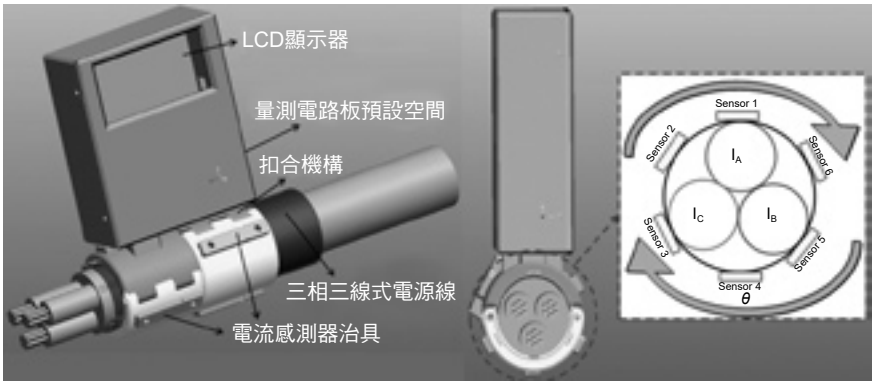


圖3-3-2 三線式便利貼架構示意圖

空調需求為建築耗能升高之主要原因，而傳統之建築能源管理透過電力盤表量測設備耗能之方式，分析其耗電量、累積用電、運轉效率，以調整其操作方式或維護保養排程，以提高系統之運轉效率。為進一步發揮冰水系統之操作效益，針對空調冰水系統之特性，發展優化操作技術，建立空調整體能耗模型，以室內影響能耗之關鍵因素進行參數分析，並持續進行模型之自適應修正。依據現場需求，優化平台將自動調整空調設備運轉狀態，在維持室內舒適度之條件下，降低中央空調系統之運轉能耗，單位能耗(kW／RT)可由1.3~1降至1.0~0.75。

(二) 推廣應用成果

1. 電網管理

國內廠商已具備爭取國際智慧電表標案之基本能力，已獲得英國建置標案之通訊集線器訂單，及日本標案之智慧電表訂單，而廠商並積極接洽東南亞、中東等地標案，以期擴大國際市場之出海口，而就產業推動來看，應強化電表資料管理系統之開發，並建立自有整體解決方案開發，以提升產業競爭力。

至於電網整合調度應用，國內所發展之區域能源負載預測、分散式能源整合已具有一定能力，可作為區域性能源調度之基礎，並可偵測市電故障，於併網及孤島運轉模式之間順利轉換。另為針對北部供電瓶頸區，發展虛擬電廠應用示範，以整合能源管理、分散式電源及儲能系統，進行區域尖峰抑制之效益驗證，預期可達2%之尖峰抑制目標，未來將擴大用戶參與，並提升抑制之成效。

2. 工業能源管理

完成之燃燒系統最佳化操作技術，已於汽電共生爐(60MW)完成技術驗證，燃料節約平均可達0.5%，並衍生汽電共生系統之產銷優化應用。由於汽電廠生產之電量與蒸汽除了供給廠內使用之外，蒸汽亦可外售給附近廠域製造業者，而電則是可販賣給台電公司，其中販賣電力收入佔總收入百分之五十以上。汽電產銷優化應用可兼顧產線蒸汽使用與汽機操作限制並維持燃燒效率，提升系統操作效益，本技術已導入化工廠之汽電系統(60MW單燃燒爐單汽機之系統)進行測試，收入可提升800萬元/年。

3. 住商能源管理

連鎖產業導入能源管理應用，累計至2015年底共完成便利商店能源管理系統建置2,375座，相關技術並推廣至國道休息站、小型商場等場域進行應用，帶動產業導入之風潮。

目前以電力管理插座進行家庭能源管理之示範，而廠商也推出多種具備雲端服務之電力管理插座產品於市場推廣，其瓶頸在於僅能提供設備開與關之服務。為擴大其應用，2014年共同成立臺灣智慧能源產業協會，研擬家電互通協議草案，並完成15類家電，包括冷氣、除濕機、冰箱、洗衣機、烘衣機、熱泵熱水器、電視等之制定。臺灣智慧能源產業協會於2014年1月30日發佈「智慧家庭物聯網通訊標準」(TaiSEIA 101)，而國內家電廠商依循此一標準，已陸續推出產品。

參考文獻

[1] Global Smart Grid Technologies And Growth Markets 2013-2020, GTM Research, July 2013.

第四節　效率標準與指標

先進國家推動使用能源設備及器具能源效率管理之主要政策有三，包括：訂定產品容許耗用能源基準(Minimum Energy Performance Standards, MEPS)、實施自願性節能標章、以及推動強制性能源效率標示。目前國內已公告20項產品之容許耗用能源基準；開放47項自願性節能標章產品項目。推動無風管冷氣機(含窗型、箱型冷氣機)、電冰箱、汽車、機車、除濕機、安定器內藏式螢光燈泡(俗稱省電燈泡)、燃氣台爐、即熱式燃氣熱水器、電熱水瓶、貯備型電熱水器、冰溫熱型開飲機、溫熱型開飲機等12項產品之強制性能源效率分級標示，引導消費者選購高能源效率產品。

以上三項國內能源效率管理制度各有其特性及作法，整理如表3-4-1，其中MEPS之管理，係為禁止未達MEPS規定之產品進口或在國內銷售，以「全面性」降低所管制能源設備或器具(如：冷氣機)之整體耗能。而能源效率標示制度主要是透過提供消費者充分能源效率資訊(如：產品年耗電量、產品能源效率等級)，引導消費者選用耗能較低或能源效率較高之節能產品。)。至於自願性節能標章制度，其認證產品主要代表其能源效率約為市場前20~30%之產品，同時透過產品上張貼簡單易懂之高能源效率辨識圖案，鼓勵消費者於汰舊換新時，優先選用高能源效率產品。藉由健全法制面之規範，使國內指定使用能源設備或器具之能源效率管理制度更臻完備，達成提升器具設備能源效率之目的，達成節約能源與抑低二氧化碳排放目標。

透過前述三項政策之推動，可健全國內使用能源設備及器具能源效率管理體系，落實節能減碳政策目標，在使用能源設備及器具能源效率管理上，邁入新里程碑。各項政策現況及其推動成果說明如后，本文並將研析國內與美日兩國在產品容許耗用能源基準(MEPS)之差異，以作為未來檢討與提升相關產品基準時程之規劃參考。

表3-4-1 國內能源效率管理制度

制度名稱	容許耗用能源基準 (MEPS)	能源效率標示 (Labeling)	節能標章制度
性質	強制性	強制性	自願性
主要目的及功能	禁止低能源效率、高耗能產品之進口或國內販售。	提供消費者產品耗能量、能源效率等級資訊，以利消費者選用產品時之參考。	引導廠商研發生產高能源效率產品，並藉由簡易圖案之辨識，鼓勵消費者優先選用高效率產品。
目前國內執行方式	能源局制定MEPS基準，標檢局納入商品檢驗法，代為執行MEPS管制。	於國家標準(CNS)標示規範中，規定產品之能源耗用量或能源效率，目前納入商檢法管制，由標檢局代為執行。	節能標章基準約為國家標準或MEPS之1.1~1.50倍。或為同類型產品前20~30%之高能源效率產品。由廠商自發性申請認證。
目前國內管制項目	目前已公告20項產品強制性管制。	目前已公告12項產品管制。	目前開放47項產品供廠商申請認證。
產品特性或基準訂定/修訂原則	新修訂之基準約可淘汰當時能源效率後15~30%產品為原則。	依據市售產品能源效率分佈情形，並配合MEPS之制定/修訂，劃分產品能效等級。	基準制定/修訂，約採當時市售產品能源效率前20~30%為原則。
圖樣	僅訂定基準 無圖樣。		

資料來源：工研院整理，2015年12月

一、強制性容許耗用能源基準

目前已公告20項產品容許耗用能源基準(MEPS)，除汽機車外，詳如下表3-4-2，其中14項(無風管冷氣機、電冰箱、安定器內藏式螢光燈泡、緊密型螢光燈管、單相感應電動機、三相感應電動機、螢光燈管、螢光燈管用安定器、除濕機、LED燈泡、電熱水瓶、貯備型電熱水器、冰溫熱型開飲機、溫熱型開飲機)已納入標檢局應施檢驗品項中。而低壓單相感應電動機及低壓三相鼠籠型感應電動機雖已納入應施檢驗品項中，但由於部

表3-4-2　產品容許耗能基準管制品項一覽表

類別	MEPS 實施時間	用電器具類別
住商	2000/07/01 2003/01/01 2011/01/01	電冰箱能源因數值標準(第一階段) 電冰箱能源因數值標準(第二階段) 電冰箱能源因數值基準
照明	2001/01/01	螢光燈管能源效率標準
住商	2002/01/01	窗型冷氣機能源效率比值標準對照表
住商	2002/01/01	箱型冷氣機能源效率比值標準對照表
工業	2002/01/01	低壓單相感應電動機能源效率標準
工業	2002/07/01	低壓三相鼠籠型感應電動機能源效率標準
住商	2003/07/01 2005/01/01	空調系統冰水主機能源效率標準(第一階段) 空調系統冰水主機能源效率標準(第二階段)
工業	2003/07/01	鍋爐效率標準
照明	2009/03/01	螢光燈管用安定器光效因素基準
照明	2010/01/01	緊密型螢光燈管能源效率基準
住商	2011/01/01 2016/01/01	無風管冷氣機能源效率比基準(第一階段) 無風管冷氣機能源效率比基準(第二階段)
住商	2011/03/01	除濕機
住商	2012/01/01	白熾燈泡耗用能源效率標準
住商	2014/07/01	安定器內藏式發光二極體(LED)燈泡能源效率基準
住商	2015/01/01	電熱水瓶耗用能源效率基準
住商	2015/10/01	貯備型電熱水器耗用能源效率基準
住商	2016/12/01	冰溫熱型開飲機容許耗用能源基準
住商	2016/12/01	溫熱型開飲機容許耗用能源基準

資料來源：工研院整理，2015年12月

份電動機產品性能測試實驗室不足，加之其大部份產品附屬於設備系統內進口，造成邊境管制困難。故目前能源效率部分無邊境管制，且經濟部標檢局在進行系列型式認證時，以安規為主要考量，並未納入MEPS管制。另外白熾燈泡、空調系統冰水主機及鍋爐等三項產品，目前並未被納入應施檢驗項目管制項目內，冰溫熱型開飲機、溫熱型開飲機將於2016年12月1日納入應施檢驗項目。

目前已納入MEPS管制之冷氣機(占夏季住宅用電43.2%)、電冰箱(占8.3%)、照明(含螢光燈管、安定器內藏式螢光燈泡、螢光燈管用安定器、緊密型螢光燈管及LED燈泡，占7.4%)、除濕機(占0.6%)、電熱水瓶(占2.1%)、貯備型電熱水器(占6.8%)，其產品用電量已占夏季家庭總用電之68.4%。另外低壓單相感應電動機及低壓三相鼠籠型感應電動機之用電量，約占全國用電量之40%(以韓國數據推估)。因此，以用電器具MEPS管制而言，已涵蓋大部分耗電量大的產品項目，推動MEPS每年約可節約5億度電。

二、自願性節能標章制度

(一) 推動歷程與項目

經濟部能源局基於對能源設備及器具能源效率提升之重視，並為落實全國能源會議結論之具體行動方案，自2001年起，正式啟動產品「節能標章」認證機制，為節能產品建立驗證標示，引導廠商生產高能源效率產品，並鼓勵消費者選購節能產品。

經過15年的努力，節能標章開放認證之產品類別，已由耗能量大、普及率高之民生家電產品，逐步擴展至交通運輸工具、燃氣器具及辦公室設備，共計開放47項產品類別供廠商申請認證。各年度開放認證之產品項目，詳如表3-4-3，未來將持續擴大辦公室設備及納入工業產品節能標章之認證。

節能標章能源效率基準公告後，因應產品技術進步、市場占有率提升及國際節能減碳之趨勢，每2~3年將檢討提升已公告之基準。引導廠商逐步研發及提升耗能器具能源效率，確保節能標章產品為高能源效率產品之代表。近年節能標章產品能源效率提升之品項及幅度，詳如表3-4-4。

(二) 節能標章推動成效

截至2015年12月31日為止，節能標章累積獲證有效廠商共320家，有效產品款數7,473款，使用枚數已突破2.07億枚。未來將持續推動節能標章各類電器產品認證，今年已新增開放LED平板燈具及在線式不斷電式電源供應器產品供廠商申請認證，本年度亦已檢討提升已公告之電扇、影印機、印表機節能標章能源效率，近年推動成效如下表3-4-5所示。

表3-4-3　國內節能標章歷年開放之產品項目

時間	產品項目
2001年	冷氣機、電冰箱、除濕機、乾衣機
2002年	電視機、洗衣機、電風扇、螢光燈管(> 32 W)
2003年	螢光燈管(＜32W)、吹風機、烘手機
2004年	溫熱型開飲機、冰溫熱型開飲機
2005年	冰溫熱型飲水機、汽車()(小客車、小客貨兩用車)、機器腳踏車、安定器內藏式螢光燈泡
2006年	薄膜電晶體液晶顯示器、燃氣台爐、即熱式燃氣熱水器、電鍋
2007年	電熱水瓶、出口標示燈及避難方向指示燈、DVD錄放影機
2008年	貯備型電熱水器、溫熱型飲水機、室內照明燈具、組合音響
2009年	緊密型螢光燈管
2010年	影印機
2011年	印表機、空氣清淨機、道路照明燈具 浴室排風扇、壁式通風扇
2012年	筆記型電腦、桌上型電腦
2013年	微波爐、軸流式風機、離心式風機、螢光燈管用安定器、電烤箱、貯(儲)備型電開水器、LED燈泡
2015年	LED平板燈具、在線式不斷電式電源供應器

資料來源：工研院整理，2015年12月

三、強制性能源效率分級標示

(一) 推動歷程及項目

為強化政府節能減碳政策之推動，於2009年7月8日通過「能源管理法」增修條文，其中第14條及第15條授權推動使用能源設備及器具及汽(機)車能源效率分級標示等相關措施。

國內已於2010年3月及5月分別依能源管理法授權公告「電冰箱能源耗用量與其能源效率分級標示事項、方法及檢查方式」、「窗(壁)型及箱型冷氣機能源耗用量與其能源效率分級標示事項、方法及檢查方式」、「汽車、機器腳踏車能源耗用量及其效率標示格式」等相關規定，並修正「車輛容許耗用能源標準及檢查管理辦法」，2010年7月1日起，凡在國

表3-4-4 近年節能標效率章基準提升項目及幅度

年度	能效檢討產品項目	效率提升%
2008年	溫熱型飲水機	36%
	汽車	15%
	機車	36%
2009年	安定器內藏式螢光燈泡	16%
	冷氣機	3~13%
	顯示器(電腦用及電視用)	待機電力降1.5~2W
	電視機	待機電力降1.5~2W
	電鍋	5%
	洗衣機	10~30%
2010年	溫熱型開飲機	15%
	電冰箱	14%
	除濕機	20%
2011年	電風扇	50~100%
	電熱水瓶	10%
2012年	顯示器(電腦用及電視用)	待機電力降至0.5W
	電視機	50%
	吹風機	10%
2013年	溫熱型飲水機	20%
	冰溫熱型開飲機	20%
	出口標示燈及避難方向指示燈	40%~76%
	室內照明燈具	6%~30%
2014年	螢光燈管	• 搭配CNS691試驗要求試驗用安定器(預熱起動型)測試之燈管，其能效基準調高 0~4Lm/W • 搭配CNS13755驗證登錄合格電子式安定器(高頻型)測試之燈管，其能源效率基準調高 4~8Lm/W
	電視機	55%~75%
	顯示器(電腦用及電視用)	55%~75%
	冰溫熱型飲水機	12.5%
2015年	電風扇	20%~100%
	影印機	30%~50%
		30%~50%；噴墨式及撞擊式印表機操作模式較美國能源之星基準高20%

資料來源：工研院整理，2015年12月

表3-4-5　節能標章近年推動成效

年度	產業貢獻度	民眾參與度	節能政策效益
	累計有效家數及款數	節能標章累計上網瀏覽人次	年度新增節能量
2004年	30家337款	4.2萬	1.4萬公秉油當量
2005年	42家475款	7.2萬	2.3萬公秉油當量
2006年	81家975款	43.0萬	4.8萬公秉油當量
2007年	106家1,353款	122萬	6.8萬公秉油當量
2008年	166家2,590款	395萬	8.6萬公秉油當量
2009年	233家3,622款	935萬	12.3萬公秉油當量
2010年	287家4,646款	1,520萬	13.9萬公秉油當量
2011年	321家5,340款	2,160萬	14.4萬公秉油當量
2012年	376家6,363款	3,235萬	12.5萬公秉油當量
2013年	369家7,674款	4,200萬	15萬公秉油當量
2014年	334家7,106款	5,000萬	15.6萬公秉油當量
2015年	320家7,473款	6,220萬	18.3萬公秉油當量

資料來源：工研院整理，2015年12月

內展售之冷氣機、電冰箱、汽車及機車，均強制每個產品張貼或懸掛能源效率分級標示，供消費者於選購產品時之參考，以提升高能源效率產品之市場滲透率。

2011年3月1日起推動「除濕機能源耗用量與其能源效率分級標示事項、方法及檢查方式」及7月1日起推動「安定器內藏式螢光燈泡能源耗用量與其能源效率分級標示事項、方法及檢查方式」。2012年12月31日起推動「即熱式燃氣熱水器能源耗用量與其能源效率分級標示事項、方法及檢查方式」及「燃氣台爐能源耗用量與其能源效率分級標示事項、方法及檢查方式」。2015年1月1日起推動「電熱水瓶容許耗用能源基準與能源效率分級標示事項、方法及檢查方式」並將於同年10月1日起推動「貯備型電熱水器容許耗用能源基準與能源效率分級標示事項、方法及檢查方式」。2016年12月1日起推動「溫熱型開飲機容許耗用能源基準與能源效率分級標示事項、方法及檢查方式」及「冰溫熱型開飲機容許耗用能源基準與能源效率分級標示事項、方法及檢查方式」。有關產品能源效率分級標示之項目及其推動時間如表3-4-6。

表3-4-6 產品能源效率分級標示之項目及其推動時間

產品項目	推動時間
窗(壁)型冷氣機能源效率比值標準	2010/07
箱型冷氣機能源效率比值標準	2010/07
電冰箱能源因數值基準	2010/07
車輛(汽車及機車)	2010/07
除濕機	2011/03
安定器內藏式螢光燈泡	2011/07
即熱式燃氣熱水器	2012/12
燃氣台爐	2012/12
電熱水瓶	2015/01
貯備型電熱水器	2015/10
溫熱型開飲機	2016/12/1
冰溫熱型開飲機	2016/12/1

資料來源：工研院整理，2015年12月

（二）能源效率分級標示推動成效

截至2015年12月底止，能源效率分級標示產品總共核准登錄9,138款冷氣機、1,478款電冰箱、409款除濕機、2,005款安定器內藏式螢光燈泡、6,346款燃氣台爐、4,116款即熱式燃氣熱水器、136款電熱水瓶及448款貯備型電熱水器，合計24,076款型號。窗(壁)型及箱型冷氣機能源效率分級於2010年7月1日開始實施，窗型(分離式與單體式)冷氣機自2010年底至2015年12月止，各年度能源效率分級1、2級款數佔比逐年上升，5級款數佔比逐年下降，比較2010年與2015年，窗型冷氣機1~2級款數佔比由6.2%提升至51.5%，提升幅度達45.3個百分比，顯示能源效率分級標示制度已成功帶動冷氣機廠商逐步淘汰低能效等級機種。

觀察2011年至2012年，窗型冷氣機1~2級款數佔比提升了18.1個百分比(15%提升至33.1%)，優於2010年~2011年之提升幅度(8.8個百分比)：顯示在2012年度兩波節能產品補助措施帶動下，激勵廠商積極生產高能源效率等級之機種。在政府未持續提供補助誘因情形下，2012~2013年度窗型冷氣機1~2級款數佔比亦提升8.9個百分比， 2013~2014年仍提升5.2個百分比，顯示無論是否實施補助措施，分級標示政策已對冷氣機產業之節能

機種生產策略有明顯影響。2015年度政府為提振景氣推出短期促進經濟措施，其中包含節能家電冷氣機補助，是否又可進一步推升1~2及款數占比將值得密切觀察。

電冰箱能源效率分級於2010年7月1日開始實施，自2010年底至2015年12月止電冰箱1~2級款數佔比由12.7%提升至49.2%，提升幅度達36.5個百分比，其中2011年12月底至2012年12月底，電冰箱1~2級款數佔比提升了10.7個百分比，優於2010年底~2011年底之提升幅度(4.9個百分比)。顯示能源效率分級標示制度已帶動廠商逐步淘汰低能效等級機種，並在2012年度第一波節能產品補助措施帶動下，激勵廠商積極生產高能源效率等級之機種。2012~2013年度政府未持續提供補助誘因電冰箱1~2級款數佔比亦提升了8.9個百分比，2013~2014年提升4.8個百分比，顯示無論是否實施補助誘因，分級標示政策對電冰箱產業之節能機種生產策略有明顯之影響。2015年度政府為提振景氣推出短期促進經濟措施，其中包含節能家電電冰箱補助，是否又可進一步推升1~2及款數占比將值得密切觀察。

除濕機能源效率分級於2011年3月1日開始實施，2011年6月底至2015年12月底除濕機能源效率分級1~2級款數佔比由33.2%提升至66.1%，提升幅度達32.9個百分比，顯示能源效率分級標示制度已成功帶動廠商逐步淘汰低能效等級機種。2011年至2012年，除濕機1~2級款數佔比僅提升了8個百分比，但2012年~2013年之提升幅度卻達12.4個百分比，顯示2012年度二波節能產品補助措施並無除濕機補助誘因，卻仍激勵廠商積極生產高能源效率等級機種。除濕機1~3級佔比已超過80%，除濕機能力高於六、十二公升者1~3級更達84.7%，顯示除濕機分級門檻較不嚴苛，廠商將3級產品提升至1~2級提升並不困難，未來可考慮輔以誘因，將可加速提升1~2級產品之佔比。

安定器內藏式螢光燈泡能源效率分級於2011年7月1日開始實施，2011年7月至2015年11月底安定器內藏式螢光燈泡能源效率分級款數集中於3~4級(佔84.6%)，顯示安定器內藏式螢光燈泡能源效率基準較高，廠商技術水準提升較具挑戰性，且因應世界潮流朝向LED照明應用發展，安定器內藏式螢光燈泡市場已達飽和，甚至逐漸萎縮。

即熱式燃氣熱水器能源效率分級於2012年7月5日開始實施，2012年12月底至2015年11月底，即熱式燃氣熱水器能源效率分級款數集中於能

源效率2~3級，2級款佔比由28.1%大幅提升至67.1%。燃氣台爐能源效率分級於2012年8月16日開始實施，2012年12月底至2015年11月底燃氣台爐能源效率分級款數集中於能源效率3~4級，由於瓦斯爐1級能源效率基準較高，技術門檻與成本相對較高，廠商傾向於生產2級產品。2013年由於辦理補助節能瓦斯熱水器與瓦斯爐，大幅帶動即熱式燃氣熱水器及燃氣台爐2級產品之款數佔比，由於1~2級之補助誘因相同，廠商傾向於生產2級產品，而不願將效率提升至1級水準，1級款數佔比不增反減。2015年度政府為提振景氣推出短期促進經濟措施，其中包含節能家電即熱式燃氣熱水器及燃氣台爐補助，是否又可進一步推升1~2及款數占比將值得密切觀察。

電熱水瓶能源效率分級於2015年1月1日開始實施出，目前產品仍集中於能源效率4~5級(佔57.3%)，未來各等級產品款數佔比變化將持續觀察。貯備型電熱水器能源效率分級於2015年10月1日開始實施，產品集中於能源效率3~4級(佔65%)，未來各等級產品款數佔比變化將持續觀察。

四、國內與美日兩國產品容許耗用能源基準(MEPS)比較說明

茲列舉家庭耗能量較大之用電器具及照明產品：冷氣機、電冰箱、除濕機之最低容許能源效率基準(MEPS)，與美日等先進國家能源效率基準進行相關比較分析。

(一) 冷氣機

1. 單體式(即俗稱之窗型)冷氣機：

以2011年實施之無風管冷氣機最低容許耗用能源標準(MEPS)，單體式冷氣機之MEPS已較美國基準高出約18%~25%，較日本則高出約10%~20%，而2016年國內MEPS將再提升7~8%。

2. 分離式冷氣機：

(1) 冷氣能力4kW以下之機種：分離式冷氣機之MEPS冷氣能力4kW以下之機種較美國高約20%，較日本則低5%(冷氣能力3.2kW以下機種)，2016年MEPS將再提升12%。

(2) 冷氣能力4至7.1kW之分離式機種：國內MEPS較美國高約12%，較日本高約10%，2016年MEPS將再提升11%。

(3) 冷氣能力7.1kW以上之分離式機種：國內之MEPS則較美國高約27%，較日本則高約12%，2016年MEPS將再提升8%。

顯見國內冷氣機能源效率基準已趨於領先地位，冷氣機能源效率基準資料請參考表3-4-7。近年來國際間持續推動季節性能源效率SEER的概念，包括冷房季節性能因數(CSPF)與年間性能因數(APF，冷氣+暖氣)，比EER更能反應冷氣機真實之運轉情形，因我國位亞熱帶僅考量CSPF，在2015年8月11日完成CSPF轉軌修訂公告，並自2016年1月1日實施，原有EER機型適用至2016年12月31日止。

(二) 電冰箱

國內2011年電冰箱MEPS已提升至與美國標準相當，帶動相關業者努力投入新技術及產品開發，包括採用變頻技術，真空保溫技術及R600a新冷媒使用等。美國將在2014年7月調升冰箱MEPS約17%，將略高於國內基準。

表3-4-7　國內與美、日無風管冷氣機能源效率EER基準值

機種		冷氣能力分類(kW)	臺灣MEPS		日本 (2007目標基準)	美國MEPS	
			2011 (EER)	2016 (CSPF)		Oct 1, 2000~	Jun 1, 2014~
氣冷式	單體式	2.2以下	3.15	3.40	2.64	(<2.34kW)2.64	(<2.34kW)2.93
		高於2.2，4.0以下	3.20	3.45		(2.34~3.5kW)2.49	(2.34~3.5kW)2.81 (3.5~4.1kW)2.78 (4.1~5.86kW)2.72 (≧5.86kW)2.75
		高於4.0，7.1以下	3.00	3.25			
		高於7.1，10.0以下	2.95	3.15			
	分離式	2.2~3.2 (僅日本適用) 4.0以下	3.45	3.90	3.64 3.08	(<2.34kW)2.84 (2.34~4.0kW)2.87	(<2.34kW)3.22 (2.34~4.0kW)3.19
		高於4.0，7.1以下	3.20	3.60	2.91	(4.0~5.86kW)2.84 (5.86~7.33kW)2.49	(4.0~5.86kW)3.14 (5.86~7.33kW)2.75
		高於7.1	3.15	3.45	2.81	(≧7.33kW) —	(≧7.33kW)2.64
		高於10.0，71.0以下	3.15	3.40			

註：僅針對國際家用空調(room air conditioner)比較EER(kW/kW)基準，最大管制之冷氣能力日本為28kW，美國為18.4kW，國內目前已擴大到71kW。依據CNS 15712-1測算，相同定頻機型CSPF為EER之1.046倍，變頻機型CSPF約為EER之1.2~1.3倍。

資料來源：工研院整理，2015年12月

1. 小容量(400公升以下)：美國小容量之電冰箱MEPS較國內MEPS高約8~10%；日本小容量電冰箱之MEPS接近國內MEPS。

2. 大容量(大於400公升)：美國大容量之電冰箱機種MEPS略低於國內MEPS約3~5%；日本大容量電冰箱低於國內MEPS約20%。

由此可見國內電冰箱能源效率基準已與國際接軌。電冰箱能源效率基準資料請參考表3-4-8、表3-4-9及表3-4-10。

表3-4-8　國內電冰箱MEPS(2011年)

電冰箱型式		能源因數值基準(公升/旺小時/月)
風扇式冷凍冷藏電冰箱	低於400公升	E.F.=V/(0.037V+24.3)
	400公升以上	E.F.=V/(0.031V+21.0)
直冷式冷凍冷藏電冰箱	低於400公升	E.F.=V/(0.033V+19.7)
	400公升以上	E.F.=V/(0.029V+17.0)
冷藏式電冰箱		E.F.=V/(0.033V+15.8)

註：1. 實施日期2011年1月1日，上表所列皆以等效內容積計算之。

2. 表中等效內容積V(公升)=V_R+K×V_F

3. V_R：冷藏室有效內容積(公升)　V_F：冷凍室有效內容積(公升)
K值：冷凍室等效內容積換算係數，二星級為1.56；超二星級者為1.67；三星級及四星級為1.78。

4. 年耗電量(kWh/年)＝(等效內容積÷能源因數值)×12個月

資料來源：工研院整理，2015年12月

表3-4-9　美國電冰箱MEPS之基準(摘錄)

Product Class	July 1, 2001～	Sep. 15, 2014～
上冷凍自動除霜無自動製冰裝置之冷凍冷藏電冰箱	0.350V+276	0.285V+233.7
全冷藏式電冰箱	0.350V+276	0.240V+193.6

註：摘錄自e-CFR Data (Electronic Code of Federal Regulations, USA), July 29, 2013.

表內基準值之單位為年耗電量kWh/年；V=等效內容積(公升)；美國冷凍冷藏電冰箱冷凍室取5F(-15℃)、容積係數K=1.63，V=V_R+1.63×VF

資料來源：工研院整理，2015年12月

表3-4-10　日本電冰箱MEPS(2010年)基準

分類	冷卻方式	定格內容積	冷藏室之門個數	目標基準公式
A	冷氣自然對流式	－	－	E＝0.844Vadj＋155
B	冷氣強制循環式	300公升以下	－	E＝0.774Vadj＋220
C		大於300公升	1個	E＝0.302Vadj＋343
D			2個以上	E＝0.296Vadj＋374

E＝能源效耗率(kWh/年)；Vadj=類似國內之等效內容積(公升)

資料來源：工研院整理，2015年12月

(三) 除濕機

目前美國與國內皆有實施除濕機MEPS，日本則沒有。美國以兩階段分別於2007年10月及2012年10月調整MEPS管制，國內則於2011年3月1日起實施MEPS管制。國內除濕機以小容量為主(22公升以下)，以額定除濕能力高於6(公升/日)、12(公升/日)以下者分析，國內MEPS能源因數值基準為1.20(公升/瓩小時)，美國新舊基準分別為1.00及1.35，12公升至17公升產品，國內MEPS為1.40，美國新基準為1.35。整體而言，國內之基準與美國相當。除濕機能源效率基準資料請參考表3-4-11及表3-4-12。

表3-4-11　國內除濕機MEPS(2010年)基準

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

資料來源：工研院整理，2015年12月

表3-4-12 美國除濕機MEPS基準

額定除濕能力		能源因數值基準(L/kWh)	
(L/day)	(pints/day)	Oct.01-2007 ~	Oct. 01-2012 ~
≤ 12	≤ 25	1.00	1.35
> 12 to ≤ 17	> 25 to ≤ 35	1.20	1.35
> 17 to ≤ 21	> 35 to ≤ 45	1.30	1.50
>21 to ≤ 26	> 45 to ≤ 54	1.30	1.60
> 26 to < 35	> 54 to < 75	1.50	1.70
≥ 35	≥ 75	2.25	2.50

資料來源：摘錄自e-CFR Data (Electronic Code of Federal Regulations, USA), July 29, 2013.

參考文獻

[1] 節能標章推廣計畫執行報告，經濟部能源科技研究發展計畫，2004~2010

[2] 使用能源設備及器具效率管理與基準提升研究計畫執行報告，經濟部能源科技研究發展計畫，2011~2013

[3] 使用能源設備及器具效率管理政策執行與基準訂定研究計畫執行報告，經濟部能源科技研究發展計畫，2014~2015

[4] 美國能源標章網站：http://www.eere.energy.gov/上網時間：2015/12

[5] 加拿大能源標章網站：http://oee.nrcan.gc.ca/energuide/index.cfm，上網時間：2015/12

[6] 日本能源標章網站：http://www.eccj.or.jp/labeling/index.html，上網時間：2015/12

[7] 歐盟能源標章網站：http://ec.europa.eu/energy/index_en.html，上網時間：2015/12

[8] 澳大利亞能源標章網站：http://www.energyrating.gov.au/上網時間：2015/12

第五節　工業節能

工業部門(含能源部門自用)2014年消費約5,125萬公秉油當量(公秉油當量=9百萬千卡)，數量在全國各部門中名列第一。占最終消費(能源消費與非能源消費之和)47.64%，占能源消費61.77%。由於能源消費占比高，工業部門近年來一直為節約能源議題中各方關注與檢討重點。工業耗能中有相當比例為製程耗能，此部分各產業與各廠商特性不同，要研究改善會牽涉甚多製程細節與領域知識，政府能源科技研究發展計畫不易著力。因此在工業節能領域，技術研發著眼於具共通性耗能設備。本章第三節能源資通訊針對工業能源管理部分已有說明，本節著重於壓縮空氣乾燥設備、高效率馬達動力機械關鍵技術開發與推廣、固態熱電發電技術以及中低溫廢熱回收發電技術之論述。

壓縮空氣乾燥設備係應用於壓縮空氣系統中將多餘潮溼或凝結水氣由壓縮空氣中排出，形成極低露點壓縮空氣以供後段工廠設備與製程使用，故壓縮空氣乾燥設備又可分成冷凍式與吸附式乾燥機，其中吸附式乾燥機可達露點-40℃以下乾燥程度，因此為國內外各大半導體與電子廠房中所必備共通性設備，目前技術競爭重點在於吸附劑再生過程之耗能過大，仍具相當大節能潛力。

國內外商品種類很多，包括無熱式、熱風加熱式以及廢熱回收式，其中熱風加熱式又依熱風來源與冷卻方式有所區別。國際級廠商約10家以上；國內則有10多家相關廠商，主要是中小企業從事設備代理，但缺乏長期技術研發計畫。全球壓縮空氣乾燥設備年產值約新臺幣 1,700億，國內市場約新臺幣 100億。國內使用之壓縮空氣乾燥設備以無熱式為主，占80%以上。本節介紹之壓縮空氣通電直熱吸附乾燥設備是替代傳統無熱式雙塔吸附乾燥設備，節能效果估計可達47.7%；由於無熱式壓縮空氣乾燥設備用電約占全國2.0~3.4%，節電潛力相當可觀。

馬達及動力機械設備(Motor-driven equipment)耗電占總量約46%，提升高效率馬達使用率與開發更高效率馬達機械設備，為各國推動節能減碳的主要標的。馬達於國際能源效率指標為(International Efficiency, IE)

IE1~IE5，現行美國、加拿大、日本、歐盟等已訂定馬達效率最低標準達需達IE3始得銷售與進口，國內與國際將同步於2016年7月實施IE3 MEPS，本次能效標準提高預估可節電3.4億度。歐洲、日本等先進馬達製造公司已陸續發表IE5馬達，包含採用磁阻馬達及非結晶金屬鐵芯材料，可提高比IE3馬達約4~6%的效率，IE5馬達雖成本較高，但透過節省的電費約2年可回收，已具備生產效益。近年來全球工業馬達市場規模，除2009年受到全球金融風暴影響出現負成長外，大多以4%~6%的成長率穩定成長；全球工業馬達市場規模約250億美元。我國各類馬達產業合計總銷售值為新臺幣210億，總銷售量約620萬台，其中以家電與電子產品用之馬達占最大宗。國內工廠使用之泵浦、空壓機及風機等馬達動力設備一年約消耗500億度電力，是推動工業節能關鍵課題之一。

國內每年能源消耗100~120百萬公秉油當量，工業部門占40%~50%，其中約30%~50%以中低溫廢熱形式排放，有巨大之回收應用潛力。固態熱電技術是以無動件方式回收低溫廢熱發電，具有體積小、安靜、無震動、高穩定性與可靠度、可任意擴充規模等優點。因能源效率及回收議題漸受矚目，各國對於固態熱電技術投入已逐漸提升，但國內廠商涉入微乎其微，主要原因在於目前熱電技術潛在需求尚未放大而導致成本仍偏高、發電效率相對偏低之故。

有機朗肯循環(Organic Rankine Cycle, ORC)是將熱能轉換為電力輸出之低溫發電系統，機組具備發電效率高、穩定度佳和壽期長等產品特性。國際大型ORC廠商具備完整的系統工程服務、研發能量和商品口碑，1980年代起陸續有MW至數十MW ORC機組在地熱發電、生質能汽電共生系統、工業餘熱發電等領域完成商業運轉。2005年起，歐美日各國投入數十瓩至數百瓩小型ORC機組研發，產品已陸續上市。國內採用螺桿膨脹機之微型ORC產品(≦0.2MW)已在國內商轉，採用渦輪機之ORC產品(＞0.2MW)則仍在開發中。

一、國內發展目標與策略

（一）壓縮空氣乾燥設備開發

〈國內發展環境分析〉

壓縮空氣為工業部門基本動力源之一，目前壓縮空氣系統之耗電量約占全國總用電量6.75%。隨著工業升級之需要，壓縮空氣含水率愈趨嚴格，需要品質極佳之高壓乾燥空氣，其乾燥程度通常需低於露點-40℃以下，甚至到達露點-70℃，因此吸附式乾燥機已於工業製程上扮演極重要角色。吸附式乾燥機之能耗主要來自於吸附劑再生，約占運轉成本40%。傳統吸附式乾燥設備可分成無熱式吸附乾燥機與加熱式吸附乾燥機。無熱式吸附乾燥機係利用壓縮空氣洩壓後的乾燥空氣進行吹淨再生，需消耗約30~50%以上具高經濟價值之乾燥空氣來再生吸附劑，因此極為耗能。另外，傳統加熱式吸附乾燥機則利用電熱器將空氣加熱後，再利用熱空氣將吸附劑內的水氣脫附完成再生，但此種再生方式其加熱再生時間長、溫度分佈不均，熱能易散失於管件及桶槽上，仍有技術改善空間。

〈發展目標與策略〉

針對上述壓縮空氣乾燥設備之耗能問題，解決方法為開發複合吸附劑金屬基材除溼元件，利用金屬基材通電後可直接產生熱量，藉由固態熱傳方式，傳遞給吸附劑孔洞內水氣進行脫附，不僅可快速升溫達再生溫度，解決傳統熱風升溫速率緩慢與溫度分佈不均問題，也沒有因熱對流所導致的管件熱傳損失，故可縮短再生時程與能耗。此創新前瞻技術有效提升節能優勢，可望在將來為壓縮空氣乾燥設備帶來革命性新產品。

（二）高效率馬達動力機械關鍵技術開發與推廣

馬達又稱電動機，為各項機械設備的主要核心元件，其透過電能轉換以驅動機械軸承的作動，應用在泵浦、送風機、壓縮機、工具機等工業設備上。馬達用電占約工業用電65~70%，因此各國均加速推動高效率馬達政策，也成為近年牽動工業馬達成長主要動能。國際上推動馬達能源效率以IEC(International Electrotechnical Commission)之60034標準最為被各國接受，其定義馬達能源效率為IE1、IE2、IE3、IE4以及IE5(IE5目前為草案)，依不同馬力、不同型式區別馬達效率，以IE1能源效率為最低，IE5最高，若以IE1和IE2與IE3比較，依不同馬力數，馬達效率提升約2~4%。

近年來，各國逐步提高馬達能源效率管制標準，國內亦於2015年起提升馬達效率達IE2以上，2016年7月1日為IE3以上，除了提升國家能源使用效率，同時促使標準與國際同步，減少產品輸出障礙，提升產業國際競爭力。表3-5-1為各國馬達最低容許耗用能源基準(Minimum Energy Performance Standards, MEPS)實施年份。

〈發展目標與策略〉

1. 技術開發面

依據馬達效率等級之逐步提昇，從馬達材料、設計、製造均有其技術需求，馬達材料已有中鋼開發如50CS470、50CS290與35H210等高性能電磁鋼片可供使用，而馬達的設計與製造，在大型廠商已具備生產規模建置相關製造設備生產上市，並已開始佈局IE4及IE5馬達研發工作。國內小型廠商較缺乏量產能力，其製造設備及模具的資金投資為主要關鍵，在IE3標準實施將面臨轉型，生產不在管制範圍內之利基型客制化馬達。建構開放式馬達設計驗證平台，可協助廠商具備利基型高效率馬達設計能力，並針對馬達製造開發標準化IE3公模(0.75kw~22kW)，擴大高效率馬達供給市場。

表3-5-1　各先進國家馬達最低容許耗用能源基準實施年份與功率範圍

國際能效標準 IEC 60034	中華民國	日本	中國大陸	韓國	美國	歐盟
IE1	(2002.7.1) 0.37~200kW		(2007.7.1) 0.55~315kW			
IE2	(2015.1.1) 0.37~200kW		(2011.7.1) 0.55~315kW	(2008.1.1) 37~200kW (2010.1.1) 0.75~37kW	(1997.10.24) 0.75~150kW	(2011.6.16) 0.75~375kW
IE3	(2016.7.1) 0.37~200kW	(2015.4.1) 0.75~375kW	(2016.9.1) 7.5~375kW (2017.9.1) 7.5kW以下	(2015.1.1) 37~200kW (2016.1.1) 15~37kW (2017.1.1) 0.37~15kW	(2010.12.19) 0.75~150kW	(2015.1.1) 7.5~375kW (2017.1.1) 0.75~375kW

2. 產業推廣面

技術開發面解決產業供給問題，創造各產業對高效率馬達需求，策略可分為下列幾項：

(1) 發展馬達動力系統效率分析診斷工具，以往馬達動力系統使用者，面對廠內眾多馬達動力設備，缺乏相關工具可以量化節能改善成效，應提供廠商如馬達、泵浦、空壓等效率分析工具，提升高效率馬達汰舊換新市場需求。

(2) 馬達使用者普遍缺乏馬達動力系統佔總用電比例之認知，透過持續教育訓練與工廠馬達動力系統節能案例示範，提高高效率馬達市占比率。

(3) 擬訂相關CNS標準，廣徵產業意見，推動馬達及動力機械能源效率管理制度，建置第三方國際認證馬達效率檢測實驗室，以協助馬達產業跨越國際標準，進入全球競爭市場。

(三) 固態熱電發電技術

〈國內發展環境分析〉

一般熱能利用皆係藉由溫度差驅使熱能移動到所欲驅動物件上，使用後熱能溫度降低，成為相對低溫熱能。以熱能發電而言，傳統例如渦輪發電機等裝置，係利用例如300℃以上介質使其運作，使用後介質溫度降低至例如200℃以下時，便無法有效地再驅動裝置而被排放。惟此介質在最終降到室溫之前，仍會釋放一定能量。這種一般設備難以利用低溫熱能，是工業廢熱當中占比最大者，因此若能設法再從該「熱能礦藏」當中轉換出有效能源，則相當於提升整體能源效率，可減少總能源使用量。

固態熱電裝置是目前少數能針對低溫廢熱在轉換出有效電力技術，其係透過熱電材料自身特性，在材料本體出現溫度差的情況下，利用材料當中受溫度差驅動載子來傳輸熱量與形成電位差，於外接負載下即可輸出有效電能。此技術不需要機械轉動元件而直接靜態地進行熱轉電，與傳統發電技術有相當大差別；也由於溫差存在即可發電，因此作為熱能利用，特別是低溫熱能利用，具有其獨特競爭優勢。

1. 技術應用環境

廢熱發電產業發展來自於大量既存廢熱，其中工業是各部門當中具有最大廢熱源規模者。國內各類高耗能產業如鋼鐵、熱處理、金屬加工製造、玻纖等數量龐大，衍生的廢熱規模相當可觀，因此從取得熱源觀點，先天上即具有相當好基礎。另一方面，國內電力產業發展近年來亦有諸多爭議，導致電價變動風險逐步提升。因此提高能源效率並給予廢熱更有效利用，為產業發展必要策略。尤其是潛力高之低溫廢熱發電，必然有其發展價值與利基。

2. 產業發展條件

固態熱電技術內涵包括：熱電材料製作、熱電模組封裝、熱電系統設計組裝以及電力控制技術。以上各技術涉及包括粉末冶金、燒結、陶瓷、電鍍/無電鍍、熱交換器、電控等產業。只要製程確定，很容易找到對應技術開發之民間企業；加上國內產業加工品質高、成本較先進國家低等優點，國內具有熱電產業發展條件。

〈發展目標與策略〉

1. 技術研發面

降低系統成本與驗證穩定性和試用性為現階段熱電技術發展最重要工作。系統成本降低必須從性能提升、穩定性提高、簡化系統結構來達成，並透過產業合作進行長期運轉可靠度及產業適用性驗證，以提高應用端廠商信心。

(1) 性能提升

熱電材料為技術核心，目前材料性能雖已能符合商業化需求，但不論在成本或效能方面，仍與理想有一段差距。因此材料開發是必須持續投入之重要項目，也是國內掌握本產業競爭力的重要工作。其次，熱電技術性能受限於過多介面阻抗，若能減少介面阻抗便能提升熱電性能。因此另一重點在於從系統端到模組端詳細探討改良結構可行性，嘗試尋找具有更低阻抗之熱電轉換方法建構模式。

(2) 穩定性提高

熱電技術目前之產業實績仍少，因此穩定性驗證至為重要。開發工作需導入長期測試概念，包括材料與模組長期高溫環境行為模式分析、熱電發電系統現場長期驗證等，從中找出各種可能影響系統穩定性變數，最重要是瞭解實務上可能遭遇問題，以回饋到系統設計。

(3) 簡化系統結構

在採用商業化熱電模組、一定規模量產、以及適當操作條件之下，熱電發電系統成本有機會控制在5~10萬元/kW，其中取散熱之熱交換器成本占比超過40%以上，與熱電模組相近。因此若能對其提出創新改良或簡化作法，將能大幅縮減熱電發電系統成本。有效系統簡化策略，將有機會提升整體發電量而縮短熱電模系統回收年限，或提高系統功率密度而增加安裝規模彈性，可提高廠商安裝之意願。

2. 產業推廣面

(1) 以示範驗證提高參與意願

依據接觸經驗，在不涉及投入資金或投入資金很低之情況下，廠商通常願意嘗試新技術，尤其在目前能源價格逐步升高風險下，甚至有越來越多廠商可接受破壞性改裝。因此現階段應該有充分環境條件，進行各類型技術驗證工作。透過更多更廣技術驗證實績，提高廠商對於熱電技術信賴，進而導引出更多驗證參與，逐步拉抬熱電技術產業價值。

(2) 與其他節能技術整合推廣

一般中小企業在新技術資訊來源有限與接觸層面較少情況下，未必能獲得有效技術和製程改善支援，因此仍存在極大節能改善空間。此時若熱電發電新型技術能搭配其他低成本熱回收技術並行推廣，在整體效益提升之下，有機會吸引廠商採用新技術。例如作為鍋爐煙氣回收節煤器，通常在數個月或1~2年內應可回收成本，若廠商同時有電力的需求，則可搭配熱電系統一起推廣。

(四) 中低溫廢熱回收發電技術

能源以熱能(thermal energy)形式使用占能源消耗量90%以上，但僅有40~50%熱能能有效地轉換為製程熱能、機械功、電力或化學能，其餘則以廢熱形式排放於環境中，造成能源浪費、熱汙染和溫室氣體排放。一般而言，工業廢熱排放穩定且持續，然而低溫廢熱之能量密度低、可用能低，回收再利用時，設備建置成本高。此外，國內尚未開發具備價格和技術競爭力之低溫熱能發電設備，必須仰賴進口。但是進口機組普遍昂貴，且國內無維修服務能力，必須仰賴國外原廠維修，需時長且費用高。因此，用戶端仍持觀望態度，目前低溫廢熱大多仍直接排放。

有機朗肯循環(ORC)係利用合適之有機工作流體，即能在兼顧效率與經濟效益下，將中低溫熱能轉換為電力輸出。ORC屬於密閉式熱機循環系統，主要元件為泵、蒸發器、膨脹器、發電機組及冷凝器。由於工作流體僅與冷熱源透過熱交換器進行能量交換，系統具備可靠度高、維修少和壽命長等優點。因此，必須積極建立本土化技術，並且提供ORC低溫餘熱回收發電解決方案，在關鍵技術上將朝向：

1. 系統整合與性能優化：

(1) 當冷熱源溫差較大時，可用能高、發電效率高、發電量大。

(2) 在固定冷熱源條件下，則需視熱源取熱條件，決定系統最大發電量或最大發電效率。進一步依據現場條件，優化系統配置，制定ORC機組和系統介面規格。

(3) 依據冷熱源條件，選用適合之工作流體，設計開發最佳發電容量之ORC機組。

(4) 介面整合與ORC機組建造：整合冷熱源供應次系統、機電/控制次系統、數據擷取與機組運轉監控次系統，完成ORC機組建造工程。

2. ORC關鍵元件開發：

(1) 膨脹器等熵效率：影響ORC機組熱效率權重占70%以上，為ORC機組主要核心技術。當發電量低於200kW時，利用螺桿膨脹機作為熱功轉換核心，並直接驅動發電機產生電力，其等熵效率為65%~75%。當發電量大於200kW時，則以高速渦輪機為熱功轉換核心[1]，以減少體積和重量，且其等熵效率可達75%~85%，但需配置減速機構以耦合發電機組(或採用高速發電機)。

(2) 熱交換器效能：建立熱傳增益之熱交換器技術，降低熱傳面積需求、減少體積、降低熱交換器製造成本，並有效地提升系統熱效率。

(3) 系統大型化：能源大用戶相對排放餘熱量也相當可觀，以渦輪膨脹機技術為核心，增加ORC系統之發電容量，建構大型化餘熱回收發電系統，可顯著降低系統的單位發電成本。

3. 熱能回收發電示範推動：推廣ORC機組於工業餘熱/廢熱用戶端，以實機建造、整合和現地示範運轉，展現技術可靠度和實用性，吸引用戶端、製造端、系統端投注資金和人力進入低階熱能發電之工業節能新興產業。

二、技術發展指標與時程

(一) 壓縮空氣乾燥設備開發

1. 國內外技術發展指標：如表3-5-2所示。

表3-5-2　國內外壓縮空氣乾燥設備技術發展指標比較

技術名稱	無熱式乾燥技術	加熱式乾燥技術	通電直熱乾燥技術
吸附劑再生法	壓縮乾空氣	熱風乾燥	通電直熱
再生空氣比例	40%	8%	0%
出口露點溫度	-40℃	-70℃	-70℃
單位耗能 (kW/CMM)	1.53	1.20	0.8
節能效益	參考點	21.6%	47.7%

2. 國內近兩年技術發展重點

目前市場上壓縮空氣乾燥系統仍以無熱式再生系統占最大比例，約80%以上。但由於無熱式乾燥設備需消耗約30~50%以上壓縮空氣來再生吸附劑，因此也是最耗電產品。目前技術研發由無熱式朝向加熱式乾燥設備開發，尤其是大型空壓馬力(>250HP)設備，如何降低高壓空氣再生耗氣量，甚至朝零耗氣發展為目前技術發展重點。另外提升吸附劑性能、複合吸附劑配比組成降低再生能耗，同時降低加熱式乾燥機冷卻耗能，簡化管件設計降低壓損。因為越複雜乾燥機管路壓損越大耗能越多，同時控制閥件越多，潛在故障機率增加，高壓閥件初設成本也較昂貴。

表3-5-3 國內推動壓縮空氣乾燥設備技術發展指標與時程

短程(~2018)	中長程(~2025)
• 開發高效率通電直熱式壓縮空氣吸附乾燥設備。 • 低耗能再生吸附劑開發，再生溫度降低至80℃，水汽吸附率≥0.3 gH_2O/g(@25℃、80%RH)。	• 高壓通電直熱除濕元件量試技術及通電直熱乾燥設備商業化技術輔導。 • 吸附式除濕空調設備技術開發，與壓縮式空調系統相較節能達14%。

3. 技術發展時程

國內推動壓縮空氣乾燥設備技術發展指標與時程如表3-5-3所示。

（二）高效率馬達動力機械關鍵技術開發與推廣

全球主要國家持續提高馬達MEPS管制標準，牽動市場對高效率馬達產品需求變化，對馬達廠商產品佈局產生直接影響。目前國際上馬達領導廠商大多已具備IE3與IE4效率等級產品量產能力，亦有少數廠商推出IE5馬達指標性產品。國際市占率最高廠商德國公司，其IE4技術採用鋁轉子感應馬達及永磁馬達為主要產品線，國外業界宣稱已完成IE5馬達開發技術，其採用技術分別為磁阻馬達及非結晶金屬永磁材料技術，顯示更高效率的馬達其與傳統三相鋁轉子感應馬達結構已有很大區別，並可能透過材料創新來提高效率。另外，國際廠商所推出IE4以上效率等級馬達產品，永磁類馬達占有60%以上，然而在稀土價格逐年高昂情況下，高效率馬達類型逐漸將走向多元化，廠商開始轉向開發不需使用稀土之馬達類型。因此磁阻馬達過去受限於控制困難，故沒有得到發展和應用，然而近年，隨電控技術突破，使磁阻馬達逐漸受到重視，成為效率可達到IE4以上的高效率馬達技術選項。

推動國內高效率馬達，除解決馬達製造業面臨國際高能效馬達之技術競爭，對於使用者之使用認知，亦需透過各項推廣方案與制度，來促成高效率馬達市場機會。表3-5-4為推動技術發展指標與時程。

（三）固態熱電發電技術

目前商業化熱電模組主要以BiTe系列材料為主，有關材料、模組發電系統以及系統規模等國內外指標列示如表3-5-5。

國內近期與中長期發展重點與時程如圖3-5-1所示：

表3-5-4　國內推動高效率馬達動力機械關鍵技術發展指標與時程

短 程(~2018)	中長程(~2025)
• 高效率馬達技術開發，經由建立2D/3D馬達快速設計平台與MiT(Made in Taiwan)馬達材料資料庫系統，有效整合國內供應鏈資源，促成IE3馬達供應鏈全自制，提升開發技術能量，縮短馬達開發時程15%以上。 • 進行IE5高效率馬達設計研究與開發，發展馬達各部分之能量損失分析技術，發展IE5馬達最低成本及最有利創新轉子結構、整機設計與量產技術。 • 發展搭配馬達所需高效率驅控器，能損降低率目標20%以上，驅動器效率目標98%以上。	• 建置國家馬達設計材料資料庫與環境，建立產品國產自主性，提升產業鏈國際競爭力。 • 推動國內馬達動力機械，包含泵浦、空壓機、送風機等產品效率標準、能效指標，制訂馬達相關設備能源效率管理政策。 • 工廠智慧節能，發展低成本高穩定度之馬達變頻驅動技術，連結製造系統，創造最低能源使用製造綠色工廠技術。

表3-5-5　國內推動固態熱電發電技術發展指標與時程

技術指標項目	國際水準	國內技術現況	國際長期目標
BiTe熱電材料性能	p-type ZT=1.56 @300K n-type ZT=1.18 @315K	p-type ZT=1.57 @323K n-type ZT=1.0 @323K	ZT≧2
熱電發電模組發電效率	7.2% @ dT=250K (低溫模組)	5.7%@dT=200K (低溫模組)	>15~20% (日本，中／高溫模組)
非接觸式熱電發電系統 • 紅外光選擇性集熱膜 • 非接觸式發電效率	太陽光熱電發電模組，單一對理論發電效率~4.6%	• 吸收率≧70% (1,500~300nm) • 非接觸式熱電發電雛型系統	• 國際尚未開發工業輻射廢熱發電系統
接觸式熱電發電系統規模	• 美國Alphabet Energy柴油發電機廢熱發電系統最大發電量15~20kW • 日本JEF公司8kW發電系統，系統壽命>20,000小時	5kW流體式熱電系統	系統發電規模>100kW

(一) 推動策略
以系統設計優化與示範驗證，提升效能與技術能見度，促進產生經濟規模。

(二) 發展時程
1. 短期(~2018)發展策略
   系統開發為主，輔以利基產品，藉示範驗證強化商業化基礎，材料效能持續提升。
2. 中長期(~2025)發展策略
   以地殼高含量元素熱電材料為發展重點，實現低成本高效率，強化大型工商業應用與系統整合。

短程(~2018)	中長程(~2025)
(1)系統優化與示範 (2)利基產品 (3)技術整合輸出	(1)高效率高豐度元素熱電材料 (2)大型工商業應用與系統整合

技術項目	短程(~2018)	中長程(~2025)
A 熱電系統	1. 系統簡化與取散熱效率提升 2. 10~50kW示範系統 3. 多場域示範驗證	1. 大型工業系統 2. 多類型熱源系統整合 3. 交通載具廢熱回收系統設計
B 熱電材料	1. BiTe材料穩定性提升 2. 材料構型與切割效率 3. 高豐度元素熱電材料開發	1. 高豐度元素熱電材料開發 2. 大發電功率材料結構設計
C 應用產品	1. 商用利基產品 2. 工業附屬應用產品 3. 新型工業系統整合式產品	1. 大型工商業應用與系統整合 2. 民生利基產品 3. 交通載具應用產品

資料來源：工研院整理，2015年12月

圖3-5-1 國內短期與中長期發展固態熱電發電技術重點與時程

由以上說明，目前熱電產業仍處於初期發展階段，但透過量產預估後，可發現單位發電成本已有一定市場競爭力，特別在電價較高的國家裡，預期可於3~5年內回收。因此目前研發策略，應鎖定在主要的成本關鍵處，以儘速克服商業化限制，進而激發市場需求而帶動產業起飛。

（四）中低溫廢熱回收發電技術

1. 短程目標(~2018)：設計與開發300kW渦輪餘熱回收發電系統，建構滿足大型工業餘熱回收發電系統，並完成系統示範運轉。由於餘熱來源大部分為工廠煙道廢氣，當ORC技術逐漸成熟下，可將ORC系統應用於煙道熱能回收發電系統。

2. 中長程目標(~2025)：整合渦輪膨脹機與穿臨界ORC技術，實現更高之系統取熱率及發電效率，藉此提高機組性價比並與國際大廠競爭，創造國際級產品優勢。

三、國內發展現況與成果

(一) 壓縮空氣乾燥設備開發

關於壓縮空氣乾燥設備中核心元件，低耗能吸附除溼元件開發，目前已完成緊緻型平行通道式通電直熱高壓除濕元件，提升單位容積接觸表面積>900m^2/m^3。另外，為加速產業化，針對吸附劑負載於金屬基材上這道製程，也已建立自動化金屬基材覆載與捲繞製程設備。另外亦將持續開發智慧型電控整合技術，建立定功率多模態除濕再生電控模組，完成溫升速率15℃/min模組設計整合。

利用通電直熱脫附再生技術來替代傳統無熱式雙塔吸附乾燥設備耗電解決方案，使得節電潛力可達約47.7%。若再配合相關能能源政策管理措施來持續推動，最大潛力約可節約全國耗電0.9~1.5%以上。

(二) 高效率馬達動力機械關鍵技術開發與推廣

國際能源總署(IEA)提出馬達能源政策建議，主要包括制定馬達動力機械之最低能源效率標準(MEPS)及能源標示管理方法、發展其他馬達及馬達動力機械系統元件之國際測試程序、大規模宣傳推動與獎勵措施等內容，有系統地制定一套實施計畫，推動各項工作。國內馬達動力機械技術開發與能源效率管理政策亦參照國際能源總署建議之內容制定，並逐年推動。

1. 提升高效率馬達產業技術，透過馬達產業鏈可加速推動成效，目前已結合140家馬達製造商、中下游零組件供應商組成「高效率馬達聯盟」，推動IE3馬達於國內使用普及率，並協助業者將其高效能產品推廣到國內、外市場。透過聯盟建置與運作，組織產、官、學、研間有效溝通及相互整合支援平台，協助馬達動力機械業者加速技術提昇、產品量產、上市認證及市場推廣，以創造國內業者之市場競爭力。

2. 馬達系統節能運作方式，係利用智慧化之高效率節能評估與運轉控制策略，來改善傳統系統所帶來效率低落之狀況，可有效改善工業生產力、增進產品品質。以國外推動10年以上經驗得知，依工廠原有節能技術措施差異，系統節能空間約在5~30%。藉由馬達智慧診斷技術及系統節能技術，縮短工廠對馬達系統節能投資年限，從目前之大於5~10年降低至3年以內，大幅提高運作中工廠投資意願。

3. 發展其他馬達及馬達動力機械系統元件之國際測試程序，包含已制訂之三相感應馬達標準，以及未來將制訂之永磁馬達、泵浦、空氣壓縮機、風機等新效率測試程序與能效指標，依據IEC、ISO等國際標準進行國家標準更新與修訂，與國際接軌。

4. 國際上除推動MEPS直接作法外，亦輔以獎勵補助誘因，促使消費者端使用，激勵業者生產及進口高效率產品，達到加速提升高效率產品研製能力及汰舊換新目的。國內自2013年7月起推動「高效率馬達推廣補助計畫」，鼓勵業者生產及進口IE2、IE3以上等級馬達，同時考量製造商生產能力及技術配合，補助方案分兩階段實施，目前已完成第一階段補助，第二階段於104年實施，係補助IE3(含)以上等級馬達，補助期程亦配合國內IE3 MEPS啟用時程為止。

(三) 固態熱電發電技術

國內熱電技術研發主要由經濟部和科技部支持，從熱電材料、模組至系統端皆有學研機構投入。在熱電材料部分，BiTe系統材料中p-type最高ZT值達1.57 @323K，n-type則在1.0上下。在熱電模組方面，目前最高效率達5.7%@ dT=200K，採用BiTe材料。在發電系統方面，目前最高為1.07kW@dT=120 K。而由於從技術研發歷程，系統工程是短期內技術發展重要項目和關卡，因此後續研發資源將會進一步鎖定在系統整合領域，透過工程改良來提升熱電技術性能，並加速成本降低。依目前研發機構發展規劃，未來兩年內將朝10kW系統、即目前主要國際領先機構成果進行，以使熱電技術能迅速在國際上展現實力。

在產業推廣方面，目前國內投入熱電技術研發或應用的產業仍少，但在政府節能政策鼓勵下，已有越來越多廠商開始關注此技術。目前主要投入廠商為中鋼公司，係基於其產業特性而展開熱電技術研發工作。該公司與經濟部技術處合作，預計在2016年完成5~10kW熱電發電系統，而現階

段亦規劃小批量生產熱電模組。另亦有業者完成1kW級熱電發電系統，並在2015年完成5kW系統，為目前國內工業應用的領先案例。

國內熱電技術在政府與產業協力投入之下，已縮小與國際主要投入機構技術水準差異。後續從研發策略轉變，更聚焦於關鍵系統工程開發，並透過更密切的產業合作，將能加速熱電技術水準提升與國際能見度。

(四) 中低溫廢熱回收發電技術

1. 奠定國內低溫熱能(餘熱回收)發電技術：透過技術開發與推廣，使產業瞭解並認識ORC技術，讓具有工業餘熱業者思考裝設ORC機組可能性，創造餘熱回收新應用。藉由示範機組建置，增加ORC機組之曝光度，提升使用者信心，吸引相關製造業者投入，整合ORC上中下游之產業鏈。
2. 建立首座低溫廢熱發電示範電廠：應用所開發之螺桿ORC技術，協助工業界進行低溫廢熱發電之應用，2014年已完成機械業20kW焠火油廢熱回收及化工業200kW熱水型廢熱回收發電示範電廠建置。藉由示範電廠的運轉展示，驗證自主技術之成熟度，期能開創全新廢熱發電產業[2]。
3. 協助業者提升大型空壓機效率：與空壓機製造商共同合作開發大型空壓機ORC餘熱回收發電系統，其主要目的是進行大型空壓機系統中壓縮空氣及潤滑油之餘熱回收，藉由改善大型空壓機之整體效率。

參考文獻

[1] B.R. Fu, Y.R. Lee, J.C. Hsieh, Design, construction, and preliminary results of a 250kW organic Rankine cycle system, Applied Thermal Engineering 80 (2015) 339-346.

[2] 李毓仁、劉力維、謝瑞青、張家銘, 200瓩有機朗肯循環(ORC)發電系統於化工製程節能應用，第二十五屆燃燒學會年會暨燃燒與能源學術研討會，(2015)。

第六節　住商節能

住商部門之能源消耗絕大部分在建築耗能，住商節能也可視作建築節能，本節因此由建築節能的角度切入分析相關技術發展。全球節能減碳趨勢下，政府間氣候變遷專門委員會(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)提出全球在能源供給、交通運輸、建築業、工業、農業、林業、廢棄物等7個分類領域中，以建築業對於全球溫室氣體減緩之經濟潛力最大[1]。依據歷年國內能源消費結構，住宅與商業（或稱服務業)部門長期佔有約21~23%之比例，而若以用電總量計算，則占比接近40%，其中絕大部分是建築用電，因此建築節能必然會是未來推動節能減碳重點領域。

建築節能中與設備效率相關技術已另有章節說明，本節重點在於建築系統節能與建材等技術，包含應用於新建建築設計階段與舊建築改善設計階段建築能耗模擬技術，且利用雲端服務概念提供業主和施工單位可以更簡易且精準數據處理平台（建築能原地圖平台，Building Energy Map, BEMAP)執行事前能源數據評比和能源模擬作業，找出建築物真正可以改善的節能潛力與預計成本效益，除可確保建築物符合法令規範，更可降低施工錯誤風險與提高設計效率品質。此外，本節也會針對國內氣候區經常採用高效率外殼改善方案，以及針對單一高效率設備控制邏輯以外的群體控制技術加以介紹。

而隨著近期全國能源會議的結束，建築能源管理系統(Building Energy Management System, BEMS)市場潛力看好，透過ICT技術的結合，現行的BEMS可以加值執行前述相關設計、控制技術，另外也可透過維護營運階段的遠端設備故障檢測診斷分析(Fault Detection and Diagnosis, FDD)，共同提升BEMS市場價值。

一、國內發展目標與策略

（一）發展環境分析

建築節能為全球節能減碳重點項目，國內近年來亦積極推動，各種強制性、鼓勵性、獎勵措施不斷推行，造成明確的內需市場需求，產業也因此積極投入。配合研發機構與學界技術精進，整體環境趨向正面發展，對促進國內建築節能技術與產業發展相當有利。以下分別就法規面、產業面、技術面分析說明國內發展環境。

國內推行綠建築與智慧建築標章已有多年，在標章中明訂節能指標，一般建築師與從業人員對建築節能也有基本概念。惟目前綠建築與智慧建築之推行為自願性原則，除特訂面積之公有建築強制要求申請之外，一般民間建築申請比例仍低。近年來經濟部與內政部積極研議新建建築物節約能源設計準則並公告施行，顯示國內在建築節能強制性法規方面已邁出重要一步，法規環境亦逐漸健全，未來在此基礎上可持續強化並研擬適合本土環境的建築節能法規，對建築節能將有極大助益。配合法規的要求，國內產業與專業技師也開始加強建築節能專業設計能力的改善。

在產業方面，建築節能產業範圍廣泛，除建築工程產業之外，也包含空調設備、機電設備、用水設備、建材、再生能源等，此外也牽涉諸多服務產業，例如協助舊建物改建節能技術服務業、能源管理產業、金融仲介等，可謂民生領域火車頭產業。且建築具有地域性，不論是新建建物或是舊建物節能改造，國外產業在本土市場影響力有限，因此內需市場是該產業發展重要支撐。

建築工程產業進軍國外市場，大都必須在地化發展，並利用當地建材與設備，與本土產業聯結程度有限。目前在全球市場較為成功者為部分設備與關鍵零組件，例如流體機械產品(空調壓縮機)、空調冰水機、水五金零件等。此外資通訊產業為國內強項產業，未來伴隨物聯網技術發展，對建築節能將有重大影響，國內可發展結合資通訊物聯網、設備產業、服務產業之新型態服務業，加強建築產業與設備產業的聯結，積極拓展國外市場，讓建築節能成為設備產業新通路。

（二）發展目標與策略

國內發展建築節能技術包括彌補國內推動建築節能減碳本土技術缺口，以及帶動相關產業發展並促使產業具有行銷國際能力。依照上述目的，篩選適合發展技術項目分別為：建築能耗模擬與遠端設備故障診斷、本土節能建材、以及空調設備群控技術。

1. 建築能耗模擬與遠端設備故障檢測診斷技術

此項目目標為將建築能耗模擬技術本土化，建置本土料庫，同時簡化建築能耗模擬之複雜度與難度，改善使用者操作界面，促使建築能耗模擬大規模使用，擴大建築節能成效。藉由本土資料庫也可促使建築產業與國內設備、建材產業聯結，使建築節能成為設備與建材產業新通路，開創新的商業模式與商機。

建築能耗模擬在美國發展多年，由早期DOE2至近年EnergyPlus，運算核心相當成熟且已有廣大應用基礎，與國外鏈結，引入國外技術再加值本土化資料庫與使用界面，可加速技術進展。同時應該發展建築能耗模擬之加值應用，例如將線上模擬結果與建築能源管理系統之監測資料比對，可以進行遠端設備診斷，提供設備故障預警等功能。

2. 建築節能建材

建材發展目標為開發適合本土高溫高濕且落塵量大環境下，具有良好節能效果汁塗料與貼膜等建材。藉由本土化需求導引發展國內特色建材，未來可協助產業開發類似氣候區域，例如東南亞、中東等地市場。

整體策略包含建立國內建材標準與檢測能量，同時必須配合上述建築能耗模擬技術之廣泛應用，讓使用者清楚了解各種節能建材使用後的回收年限，並有助於內需市場的拓展。

3. 空調次系統能源效率法規與群體控制技術

建築中空調次系統為國內建築能耗大宗，也是造成尖峰用電負載主因。發展目標是透過群體控制達到系統最佳化，以大幅降低耗電。

技術發展策略首先應針對水側與空氣側分別建立最佳化運轉控制邏輯，再整合進行全系統最佳化。此外各設備之通訊介面必須互通，此部分除參考國際發展趨勢之外，也必須聯合國內設備產業，解決相容問題。最後必須投入低成本技術之開發，降低聯網控制成本，才有機會讓空調全系統控制大量普及化。

二、產業技術發展指標與時程

(一) 國內外技術發展指標

1. 建築能耗模擬與遠端設備故障檢測診斷技術

近年來由於世界各國法規管制漸嚴，因此外殼與設備之效率逐步提升，不但市場上選擇越來越多，也逐漸收到其良好之節能效果。但是汰換外殼與設備僅是節能減碳第一步，其他許多相當繁雜參數亦有相同舉足輕重影響性，例如包括地理位置、建築座向、使用時數、與主要設備排程…等，均會影響後續設備控制邏輯以及節能成效展現。因此單純採用高效率外殼與設備並無法等同設計階段預期成效，尤其考量到新建建築設計施工與既有建築修繕節能工程時，其費用往往十分龐大。因此更不能僅用外殼與設備效率提升比例直接換算為未來之節能比例，以免錯估其成效，並且造成不必要建材以及設備投資浪費。然過去因為模擬運算成本過高的限制使然，政府與產業界均未普遍依循該觀念採用較適合數據分析運算技術。

為使施工廠商或是業主能在施工前完整考量眾多變數，確保設計改善前有效評估建築能源使用效率，目前市面上最常使用技術仍為使用建築能耗模擬分析軟體。使用者透過一連串繁複建築物理模型及操作條件設定，可模擬分析建築物在不同氣候、設備、系統、與排程等運轉情形下，其逐時、逐日、逐月與全年度整體能耗情形。建築模擬誤差一般可接受範圍，在建築沒有空調系統情況下，可接受月誤差約為5%，全年誤差約<10%；而在建築有空調系統情況下，可接受月誤差約為15-25%，全年誤差則約<10%[2]。

目前國際上常用模擬軟體，依據研究方向不同，包括了建築外殼能耗計算軟體、窗戶性能模擬軟體、空調負荷計算軟體、照度分布模擬軟體、再生能源發電量模擬軟體、日照陰影熱負載模擬軟體、建築流場模擬軟體、法規符合性驗證軟體以及全方位的建築性能設計輔助模擬軟體…等近4百種，其中有已有20餘種已運用在各國綠建築評估系統之中，例如美國能源部長期開發建築節能性能評析工具軟體－EnergyPlus就包含在其中。

EnergyPlus為一個全方位建築性能設計輔助模擬軟體，也是該領域中開發時間最久、功能最為完備。因此許多國家研究機構與私人企業皆直接採用此軟體做各種應用，例如在商業面上，業者可以逕行模擬各種設計配

置後再做施工，以節省大量人力物力成本。應用在政策面上，美國加州也已在網站上提供使用者採用EnergyPlus作為建築能源消耗與節約量估算工具。國內綠建築評估(EEWH)則是於2012年起納入EnergyPlus做為建物性能評估之主要軟體之一，然並未強制業界使用。

雖經過美國能源部近30年努力開發，EnergyPlus仍未大量普及，分析其原因在於：

(1) 不友善之使用者介面：由於EnergyPlus開發年代甚早，雖然屢經改版，但是其介面仍維持繁雜畫面分配和程式結構，因此雖然功能最為完整，卻不利於推廣。

(2) 語言老舊：EnergyPlus係採用Fortran撰寫，而非近代較為流行程式語言，例如C語言，因此歷經數載以後維護效率較低。

(3) 開放性不足：雖然屬於開源軟體，其原始碼卻僅免費開放給非營利性質單位，長久以來皆為學研單位進行原始碼改善工作居多，其商品化效率程度略遜於民間廠商。

(4) 單機版：目前相關模擬軟體多數皆為單機版軟體，其缺點在於必須下載安裝執行使用，無法應付日漸成為主流的雲端服務。

(5) 法令不強制：目前國內並未強制執行建築能耗模擬，因此在學習人力時間成本高昂前提之下，業界多半仍採用其他較為簡易軟體估算，或甚至回到傳統經驗估算方式，因而無法順利分析多種變數交互作用對於節能減碳成效影響。

(6) 經費受限：目前建築師業界行情價為總工程款之3.5%，甚至更低，相較於國際上5~12%費用而言相對低廉，因此在法令不強制、軟體不易使用前提下，只要業主不提出要求，建築師鮮少使用這種類型軟體工具進行設計，因此節能減碳成效不易於事前充分掌握。

有鑑於改善其易用性及呼應當前雲端服務模式的需求快速崛起，近年來美國勞倫斯柏克萊國家實驗室(Lawrence Berkeley National Laboratory, LBNL)應用EnergyPlus逐步開發住宅建築專用與商業建築專用雲端模擬平台，分別稱為住宅節能成效估算平台(Home Energy Saver, HES)與商業建築節能成效估算平台(Commercial Building Energy Saver, CBES)。

目前以CBES平台為例，LBNL先以加州為主，歸類出加州7種類型商業建築、16類氣候區，然後從多種營運階段與設計階段之改善策略排列組合裡面，利用模擬技術提出約一百種針對不同商業建築之節能方法建議列表，讓能源用戶透過平台了解該建物之能耗排序後，依據自己之地理位置、建築座向、使用時數、主要設備排程…等，便可初步找出較為適合的改善方法，加以提升其建築能源使用效率。

2. 建築節能建材

目前世界各國對於建築外殼法規種類可分為三種，

第一種是針對建物外殼各部位熱性能進行規範，例如屋頂、牆、窗、門之U值與窗玻璃SC值或SHGC值，包括有中國大陸、美國。以國內使用優點為簡單易懂，容易規管，其缺點為缺乏設計彈性。

第二種是綜合指標式規範，推行國家有香港、新加坡、日本，例如香港OTTV (Overall Thermal Transfer Value) [3]、新加坡ETTV (Envelope Thermal Transfer Value)、RETV (Residential Envelope Transmittance Value) [4]、日本PAL (Perimeter Annual Load) [5]等。優點為富設計彈性，缺點為計算複雜，且無法透過跨國比較來自我改善法規管制值。另外國內目前採用為第一與第二類方法二擇一方式在管理。

第三類則是建築能耗模擬評估，也就是透過建築節能模擬綜合考量外殼性能與設備綜合效率，目前美國與中國大陸將其列作替代性方法，而國內尚無此類規範。其優點在於完整考量物理特性，也讓設計人員擁有更多設計彈性，但其軟體專業程度較高，尚未大量普及。

以上雖然規範方法不同，但相同目的為減少建物耗能量。另外建材技術開發趨勢除建材之隔熱性能之外，尚有結構輕量化、合理的節能結構設計、低耗能製程材料、強化耐候性…等，均需一併到位，方能加速節能材料商業化與普及率。

臺灣屬於亞熱帶區域，屬溫熱潮濕環境，加上建築多為鋼筋混凝土建築，其吸熱和蓄熱特性更是造成空調耗電居高不下一大主因。若欲降低空調耗電，技術上主要分為提升設備效率、良好控制、與外殼節能。

在外殼節能部分，國內目前之技術開發以隔熱玻璃、隔熱貼膜、隔熱塗料為主要重點領域，分別簡述如下：

(1) 隔熱玻璃：

隔熱玻璃種類繁多，然隨著不同氣候區、生活習慣，有不同選擇與售價，並無統一適用標準。國外常見高性能Low-E玻璃屬於金屬銀氧化材料，受制於造價偏高和濕熱氣候下耐候不良問題，只能使用在複層玻璃。國內因為位處亞熱帶，在部分春秋氣候宜人季節，若室內發熱量偏高，反而會因為室內保溫良好，導致增加空調使用時間，因此並不完全適合溫帶和寒帶常見之複層Low-E玻璃。以國內氣候特色，隔熱玻璃技術發展重點應為隔絕紅外光、維持可見光進入室內比例、並且降低玻璃之放射率(Emissivity, ε)，以兼顧節能且舒適使用需求。

(2) 隔熱貼膜：

實務上約90%以上建築物在落成以後，更換玻璃就會面臨不易施工或是不具經濟效益問題，此時隔熱貼膜便常被採用作為替代方案，其原理與隔熱玻璃相同均為隔絕紅外光與增加可見光進入室內。市面已有許多成熟商品在販售，但是市場滲透率受限於產品阻絕紅外光效能、透光率、單位面積價格、和紫外線耐久性等因素而偏低。近年來節能減碳之風潮興起，建物外殼隔熱產品在市場上也漸為民眾熟悉，因此若技術上能突破上述瓶頸，相信有相當大市場潛力。

(3) 隔熱塗料：

無論國內外，市面上已有相當多隔熱塗料在販售，但是目前國內對於隔熱塗料性能並沒有相關國家標準，因此大多參考美國Energy Star和LEED(Leadership in Energy and Environmental Design)之太陽反射率(Solar Reflectance Index, SRI)做為隔熱性能規格。國內技術已可達到SRI>110，與國外最佳技術相近，但國內氣候因具有濕熱與落塵量大特點，容易造成塗層表面污染，連帶紅外線反射率也會因此下降，故隔熱效果會隨著使用時間增加而快速降低。

因此防汙功能為其開發重點，例如透過材料選擇或是改質提高水接觸角，以利雨水接觸表面時得以快速沖刷帶離表面落塵。另外在耐久特性上也是當前重要開發重點，由於大多數隔熱塗料普遍採用高分子有機材，因此紫外線耐受度不佳，導致表面脆化與剝落，進而減損其節能效果，因此常見開發重點包括採用合適無機材料以避免上述問題。

至於提高建築外觀設計彈性需求上，深色隔熱塗料改善亦為另外一個開發重點，由於深色塗料本身更容易吸收太陽光能量，隔熱效果較差，因此提升深色塗料隔熱性能有其市場和技術需求。

為有效落實外殼節能之成效，國內自2004年起便在「建築技術規則」中增列第十七章「綠建築基準」專章，該章詳細規範各類建築外殼節能設計之準則，並逐年提升外殼隔熱性能標準。近年來並積極檢討建築物使用階段是否確實符合外殼管制法令，以期減少使用執照取得以後之二次施工品質不良，造成法規面與實際執行面之差距產生。

3. 空調次系統能源效率法規與群體控制技術

空調系統為建築能源設備中最為複雜系統，其耗能亦為全球許多國家最大宗系統，依建築個案特性不同，約佔整棟建築全年耗能(不限於電力)3~6成之譜。

目前國際間針對空調次系統節能技術上研發，仍然以提升設備效率為主軸，但是隨著設備效率提升，各國也逐漸注意到高效率設備並不等同高效率建築。因除設備節能受到諸多變數影響之外，更重要是系統匹配、平衡、以及事後智慧控制和營運維護品質是否良好均有極大關係。早期為推廣高效率設備而制定之各項設備效率指標，已逐漸無法配合未來系統逐漸複雜所需。隨著設備效率提高到逐漸接近物理極限，未來若未能產生突破性研發路徑和成果，則持續提高效率研發工作將會遇到投資經濟效益瓶頸。

有鑑於此，美國ASHRAE Standard 90.1 2004年版針對空調冰水主機訂定全載效率(Coefficient of Performance, COP)與部分負載效率(Integrated Part-Load Values, IPLV)，2010年版更加以分為著重全載效率的Path A與著重IPLV部分負載效率的Path B等兩種指標規範。另外，針對空氣側系統與水側系統等空調次系統，2013年版也有明確定義在不同操作條件下的指標規範[6]。由此可知ASHRAE Standard 90.1歷年版本的演進，其目的除了設備性能提升之外，同時也朝系統能效提升方向前進。

目前國內「空調系統冰水主機能源效率標準」已針對空調主機出廠全載效率嚴格規定；部份負載效率於國內雖尚無嚴謹規範。而針對空調次系統也已推出耗能規範，包括強制性「新建建築物節約能源設計標準」與自願性的「綠建築EEWH評估系統-日常節能指標」。但是上述標準皆在於限

制空調系統設計容量，而非規範系統能效，即便在「綠建築EEWH評估系統-日常節能指標」中，已針對空調主機、風側、水側等設備節能控制技術給予優惠評分，卻為兼顧推動便利性，也稍作簡化。相對新加坡綠建築評估系統－綠色標籤(BCA Green Mark)[7]之最新3.0版已明定非住宿類既有建築空調次系統須達一定效率標準方能獲得標章認證看來，國內在法規面上仍有其努力之空間。

技術面上，隨著國內自產磁浮軸承冰水機與高效率馬達設備即將進入市場，未來空調系統耗能將快速接近0.70kW/RT或甚至更低，因此空調控制技術成熟度已可支持訂定空調次系統能效規範。惟訂定能效規範時，仍需以空調業者普遍能以合理成本達到規範要求為基本考量，並逐年依技術發展及成本變化強化規範，方能與法規面相輔相成，並提升業界競爭力。

(二) 國內技術近期發展重點

1. 建築能耗模擬與遠端設備故障檢測診斷技術

建築模擬軟體在國內已有許多使用實績，例如e-Quest與Energy Plus等模擬軟體，專業人員均能操作使用。但是國外模擬軟體欠缺本土資料庫，此外操作界面不友善與建模時間過長，均影響建築模擬軟體大規模使用。國內這兩年研發重點即在於縮短建模時間，透過參考建築模型與資料庫，可以大幅加速建模，同時改善使用者介面，使非專業人員透過簡單步驟亦能操作使用，讓建築模擬可以廣泛推展，進而快速評估各項節能方案成效與投資回收年限。國內近年發展另一個重點在於擴充建築模擬加值應用，例如藉由模擬進行設備診斷。

2. 建築節能建材

節能建材部分，國內近年技術開發以隔熱玻璃、隔熱貼膜、隔熱塗料為重點。各項目簡述如下：

(1) 隔熱玻璃：發展重點為隔絕紅外光、維持可見光進入室內比例、並且降低玻璃之放射率(Emissivity, ε)。

(2) 隔熱貼膜：可隔絕紅外光與增加可見光進入室內，發展性質穩定低成本產品。

(3) 隔熱塗料：國內氣候因具有濕熱與落塵量大的特色，容易造成塗層表面污染，連帶紅外線反射率也會因此下降，因此防汙功能為其開發重

點。而國內氣候條件下材料受紫外光照射退化，影響材料長期表現，也影響投資效益，因此可耐久的材料為研發重點。另一個研發重點是深色塗料，在提升隔熱性能同時，可兼顧建築美觀與彈性應用。

3. 空調次系統能源效率法規與群體控制技術

國內近年來高效率設備研發逐漸展現成效，例如磁浮軸承離心式冰水機，替代螺旋機具有極佳節能效果。藉由技術研發國產化之後，成本大幅下降，具備廣泛應用潛力。因此由技術面來說，未來研發空調設備效率提升技術對建築節能效果將逐漸降低，取而代之將是系統整合最佳化技術。近年來國內能源管理產業逐漸踏入空調控制領域，重點在於水側(空調機房)整合，包括冰水機與水泵整合運轉與控制，研發機構也配合發展相關控制理論與方法。至於氣側控制，在設備面已逐漸有可變速送風機應用，替未來發展氣側控制建立基礎。

(三) 技術發展時程

1. 建築能耗模擬與遠端設備故障檢測診斷技術

(1) 推動策略：

研議推動建置建築能源管理系統，並透過研發計畫驗證系統導入設備故障檢測診斷與建築能耗模擬預測技術之成效，促使能源管理系統達到即時化能源使用管理、能源使用預測與設備故障預警診斷，提升建物能源使用效率與設備使用壽命，擴大建築節能成效。

(2) 短程目標(~2018)：

A. 建築能耗模擬：開發國內5類商業建築、3類氣候區，10種營運階段與設計階段之改善策略和回收年限分析線上計算功能。整合建築能源管理系統與遠端設備故障檢測診斷演算法，進行設備最佳化控制，目標提升系統效率10%。

B. 遠端設備故障檢測診斷技術：開發遠端設備故障檢測診斷演算法，目標提升冷凍冷藏設備檢測正確率>90%。

(3) 中長程目標(~2025)：

A. 建築能耗模擬：開發5類住宅建築、3類氣候區，10種使用階段之改善策略和回收年限分析線上計算功能。整合家庭能源管理系統與遠

端設備故障檢測診斷演算法，進行設備最佳化控制，目標維持使用者舒適度，並提升系統效率10%。

B. 遠端設備故障檢測診斷技術：開發遠端設備故障檢測診斷演算法，目標提升中央空調設備檢測正確率>90%。

2. 建築節能建材

(1) 推動策略：

A. 強化與新增建築節能設計規範：研議強化與新增建築節能設計規範，並定期修改與提升其規範內容。

B. 落實執行新建建築物節約能源設計與建造。

C. 強化新建建築物節約能源設計標準審查機制。

D. 研議節能建材分類制度與訂定相關國家檢測標準。

(2) 短程目標(~2018)：

A. 隔熱玻璃：可見光透光率≧60%、放射率 ε ≦0.15、遮陽係數<0.65。

B. 隔熱貼膜：紫外線阻隔率>99%、可見光穿透率>70%、紅外線阻隔率>90%、使用年限>3年。

C. 隔熱塗料：SRI>115、熱傳導係數<0.2W/m・K、使用年限>5年、水接觸角>100度。

(3) 中長程目標(~2025)：

A. 隔熱玻璃：可見光透光率≧70%、放射率 ε ≦0.15、遮陽係數<0.6。

B. 隔熱貼膜：紫外線阻隔率>99%、可見光穿透率>80%、紅外線阻隔率>95%、使用年限>5年。

C. 隔熱塗料：SRI>120、熱傳導係數<0.1W/m・K、使用年限>10年、水接觸角>120度。

3. 空調次系統能源效率法規與群體控制技術

(1) 推動策略：

A. 空調次系統能源效率法規：研析先進國家空調次系統能效技術成熟度及法規管理方式之發展趨勢，並檢視國內空調成熟技術可達成之能效與需求成本，綜合考量技術、成本、國際趨勢、管理方式與可行性並逐年依上述原則進行強化檢討。

B. 群體控制技術：針對水側與空氣側分別建立最佳化運轉控制邏輯，並整合各部件通訊介面，解決設備間控制不相容之問題。

(2) 短程目標(~2018)：

A. 空調次系統能源效率法規：建立空調次系統機房定義範圍，建立並推動空調設備元件與系統搭配之相關能效法規。

B. 群體控制技術：建立空調水側能效基線，導入變頻技術並建立空調水側系統智慧節能控制演算法，以水側次系統能效提升15%為目標。建立空調空氣側空調箱、小型送風機和可變風量系統之節能控制邏輯，以空氣側系統效率提升10%為目標。整合空調主機、空氣側、水側控制邏輯技術，以空調整體效率小於0.70kW／RT為目標。

(3) 中長程目標(~2025)：

A. 空調次系統能源效率法規：完成空調次系統設備元件與系統搭配運轉之能效管理規範，並推動空調次系統效率規範入法。

B. 群體控制技術：以Modbus及TCP／IP為標準，建構空調系統控制整合通訊界面，與開發空調系統整合控制器，解決系統自動控制無法整合與升級等問題；提升空調主機、空氣側、水側控制邏輯技術，達最佳化控制，以空調整體效率小於0.55kW／RT為目標。

三、國內發展現況與成果

（一）建築能耗模擬與遠端設備故障檢測診斷技術

國內近年來與國際趨勢同步發展，推出國內版本之住商能源資訊平台，除提供國內外相關政策資訊，也將各項資訊搭配縣市數據加以呈現，亦稱為建築能源地圖平台(Building Energy Map, BEMAP)。

BEMAP針對簡易建築構型提供了線上能耗模擬試算功能，可讓使用者在5個步驟以內設定各項參數進行模擬，可作為簡易估算節能成效與民眾教育推廣新工具。簡易建築構型並無複雜空間與設備，可提供全年準確度>95%。未來將持續提升BEMAP功能，讓業主與專業施工廠商可以不需安裝與學習，快速準確事前評估各項改善措施之成本與回收效益，並且評比各項效益是否符合節能規範。

住商建築能源地圖平台除了提供資訊與簡易線上試算之餘，其後台所採用之能耗模擬技術應用層面日廣，例如隨著資通訊科技蓬勃發展，建築能源管理系統市場占有率正穩步提升，功能也從過去單一設備端管理逐步邁向結合能耗模擬進行雲端計算分析、管理、與服務時代。未來建築能源管理系統除傳統能源使用資訊紀錄顯示和簡易設備控制外，亦將結合建築資訊模型與電網相互溝通後做最佳化系統控制，以及透過資訊進行分析之遠端設備故障檢測診斷等功能。

以耗能最大且系統複雜度最高空調系統為例，當設備異常造成空調系統無法處於高效率運轉狀態，或甚至產生故障前，常會事先表現出多種不同症狀，若系統管理者僅依據過往經驗進行故障診斷及預防，在管理上會花費較多非必要巡檢成本，若能有效利用能耗模擬技術搭配資訊分析技術來進行空調系統故障檢測診斷，建築物能源使用效率將可提升5~15%。未來建築能源管理系統導入遠端設備故障檢測診斷後，可協助業主或是專業建築能源管理系統託管廠商逐時監控與診斷建築物設備運轉特性，事前預警或是即時判定異常發生時間與判定可能之原因，提供相關人員事前預防和即時改善之依據。

2015年之全國能源會議共同意見之一，為研議針對特定面積建築或能源大用戶，要求強制建立建築能源管理系統。目前相關研究已開始布局，對於未來以空調耗能為主大面積用戶(例如連鎖體系)和尚未裝設建築能源管理系統能源大用戶而言，將會有更多新型態之服務產生。

(二) 建築節能建材

鑑於國外常見高性能之Low-E玻璃，因為金屬銀氧化問題只能使用在複層玻璃，衍生造價偏高和濕熱氣候下耐候不良問題。目前國內正積極開發低成本可在大氣環境下之鍍膜技術及透明隔熱塗料，以及可使用數種氧化物薄膜組合，讓單片玻璃節能效果可媲美傳統Low-E玻璃之低放射率及遮陽係數之技術。

而在非透明節能塗料方面，目前市面上多種隔熱塗料多為淺色系列，因此推廣成效有限。使用其他顏色(例如深色)塗料雖可增加設計彈性，但隔熱效果不佳。因此國外大廠例如BASF、Huntsman、AkzoNobel、Shepherd等均積極開發深色反射隔熱材料，不僅掌握關鍵技術，市場產業鏈亦有完整佈局，惟性價比仍待提升(現有產品太陽反射率多小於25%)。在國內市售隔熱塗料隔熱性上，淺色塗料已可達到美國LEED之冷屋頂之規範，且SRI>110，惟耐久性和防汙能力仍有不足，因此國內研發上主要利用樹脂和奈米粒子加以改良。對於深色反射隔熱材料，國內廠商目前多利用二維無機材料結構設計與奈米尺寸控制、有機/無機分子界面混合分散技術、精密混練與排列型態操控技術、和操控熱反射無機材於樹脂/塑膠中之分散性與排列方向性等，使其效益能與淺色塗料相比。未來國內產業發展將建立節能隔熱材料研製與應用驗證能力，掌握關鍵之隔熱技術，以帶動新一波高性能隔熱產業與產品發展。

(三) 空調次系統能源效率法規與群體控制技術

國內中大型空調系統最常用之系統架構為一次定頻/二次變頻冰水管路系統，而近幾年冰水主機運用變頻技術作容量控制則逐漸普及，亦即管路系統設計上使用一次側冰水泵直接變頻控制流量，減少二次泵設置並改善一次泵運轉效率，進一步提升冰水側運轉效能。

既有空調系統之控制技術往往偏重於提升個別設備運轉效率，但是依據現有工程經驗，如果導入變頻節能系統運轉策略，系統效率可從1.2kW/RT以上下降到0.85 kW/RT或甚至更低，未來若進一步導入磁浮冰水機、高效率外轉子馬達等及附屬變頻設備，搭配最低耗電動態演算法及設備運轉模型，將可使系統運轉效率更進一步提升。有鑑於單一設備效率提升已逐漸達到瓶頸，國際間重要組織例如ASHRAE，未來也將朝系統能效方向邁進，因此系統整合技術將會是未來發展重點。

目前自動化系統控制方式多將控制邏輯寫入控制器，主要透過可程式邏輯控制器(Programmable Logic Controller, PLC)或直接數位控制器(Direct Digital Controller, DDC)來達成達成空調主機、空氣側、水側之間最佳化變頻調配控制，能自動依環境條件，如室內、外溫度，或是空調系統內部資訊，如管路壓差、進出水溫等而調整運作。

國內空調系統控制應用採多點分散DDC居多，大多無空調系統節能演算法，整合控制能力仍有提升空間。而國外則是PLC和DDC並存，中央監控系統以集中管理式架構之PLC控制器居多，並搭配系統節能演算法，較具整合控制能力。

在群體控制技術方面已開始朝向系統整合控制來發展，透過建立各設備之運轉分析模型（包括冰水主機、泵浦、冷卻水塔和風機)，並且整合成最佳化節能演算法程式軟體，來控制系統運轉時效能最高的最佳運轉模式(COP最高、耗電最低)。為了可以適用於既有舊系統的節能改善，此運轉控制策略需配合新型控制器開發，來溝通連接系統之PLC控制器。

國內空調機市場產業鏈完整，除提供壓縮機製造外，相關設備製造能力成熟，使主機與附屬設備性能均達一定水準。只要國內感測器及控制器製造廠商與空調製造商擴大技術合作，將可建立自主且有整合性之空調系統運轉控制技術，並藉此提升產業整競爭力，拓展國際市場。

參考文獻

[1] Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007.

[2] M.M. Rahman, M.G. Rasul, M.M.K. Khan, Energy Conservation Measures in an Institutional Building in Sub-Tropical Climate in Australia, Applied Energy, Vol. 87, Issue 10, 2010, pp.2994-3004.

[3] Building Authority Hong Kong, Code of Practice for Overall Thermal Transfer Value in Buildings 1995, Government Printer, Hong Kong, April 1995.

[4] Code on Envelope Thermal Performance for Buildings, Building and Construction Authority, 2008.

[5] Criteria for Clients on the Rationalization of Energy Use for Buildings, Ministry of International Trade and Industry, Ministry of Construction,

1999.

[6] ASHRAE Standard 90.1-2013.

[7] BCA Green Mark for Existing Non-Residential Buildings (Version 3.0), Singapore Building & Construction Authority, 2012.

[8] http://www.bemap.org.tw (2016.02.14)

第七節　節能技術服務

國內參考美日經驗，引進能源技術服務產業(Energy Service Company, ESCO)，期能透過ESCO主要的商業模式-節能績效保證合約(Energy Savings Performance Contracts, ESPC)，由節省之能源費用分期攤提專案經費，專案期滿後設備歸屬能源用戶所有，能源用戶無需初期投資即可落實節約能源改善(如圖3-7-1所示)，藉以解決能源用戶投入節約能源改善時，人力、技術及經費不足等問題。經濟部能源局為促進能源技術服務產業發展，先後於2005及2008年輔導成立臺灣能源技術服務產業發展協會，以及中華民國能源技術服務商業同業公會等法人組織協助產業發展。另外2006年成立產業專責推動機構-能源技術服務產業推動辦公室，推動商業模式推廣，建立量測驗證機制並協助ESCO業者取得融資等工作，強化ESCO環境建置與產業輔導。

能源技術服務業依經濟部商業司定義，係指從事新及淨潔能源、節約能源、提升能源使用效率或抑制移轉尖峰用電負載之設備、系統及工程之規劃、可行性研究、設計、安裝、施工、維護、檢測、代操作、相關軟硬體構建及其相關技術服務之行業(營業項目代碼IG03010)。

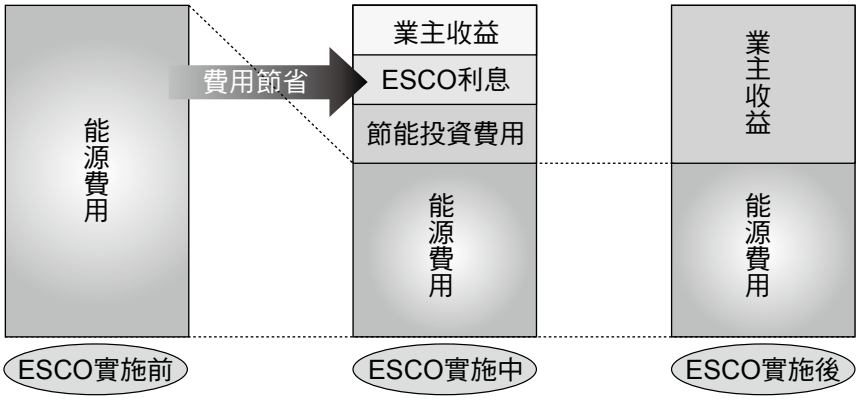


圖3-7-1　能源技術服務節能績效保證方案節能之收益示意圖

一、國內發展目標與策略

(一) 發展環境分析

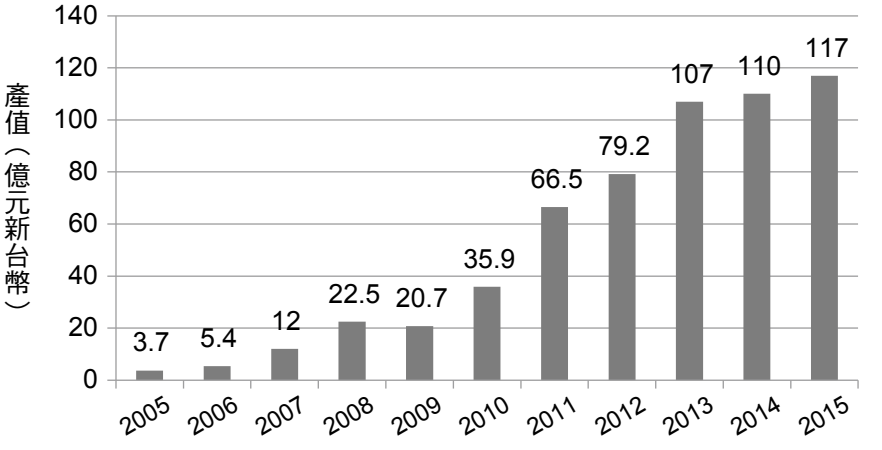
由於過去國內能源價格相對偏低，因此能源用戶對於節能技術之採用率仍有進步空間，而隨著國際能源價格上漲，及國際間追求節能減碳之趨勢，我國陸續於2008年通過「永續能源政策綱領」，規劃全國CO_2排放減量將於2016年至2020年間回到2008年排放水準，於2025年回到2000年排放水準。另行政院「節能減碳推動會」2010年通過「節能減碳總計畫」，其節能目標：未來8年每年提高能源效率2%以上，使能源密集度於2015年較2005年下降20%以上，並藉由技術突破及配套措施，2025年下降50%以上。因政府訂定明確之目標，ESCO產業也因而得以蓬勃發展。

1. 產業產值

依經濟部能源科技研究發展計畫進行ESCO產業產值調查結果如圖3-7-2所示，ESCO產業於發展初期(2005年)之產值為新臺幣3.7億元，產值每年均大幅度成長，至2015年產值高達新臺幣117億元，顯示能源技術服務產業在無大環境因素衝擊下，每年皆穩定成長30～50%。

2. 產業結構

統計至2015年止，我國ESCO公、協會廠商共計251家，廠商結構大



資料來源：能源技術服務產業推廣輔導計畫統計，2015年12月

圖3-7-2 國內ESCO產業產值調查結果

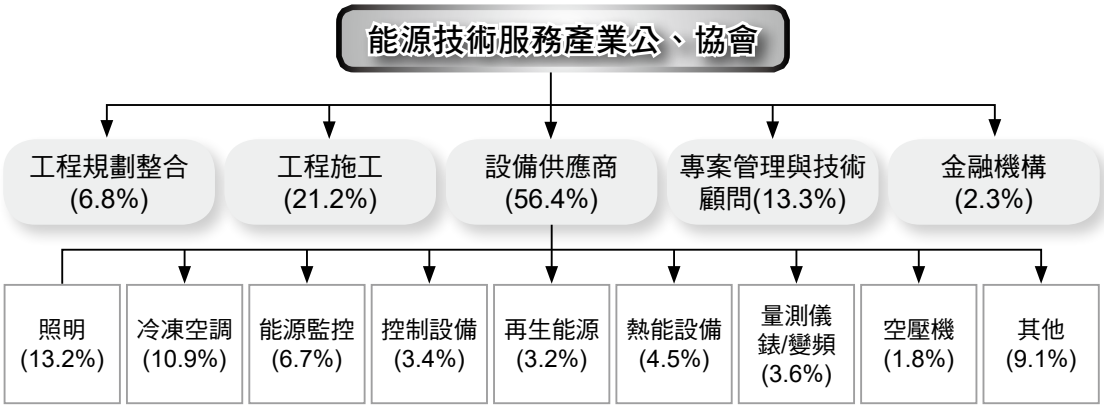
致分為設備供應商、工程施工廠商、工程規劃整合與專案管理機構及金融機構等5大類(如圖3-7-3所示)，以設備供應商占最大宗約56.4%，設備供應商中主要組成以空調、照明與能源監控等經銷及設備製造廠商為最大宗(占32.1%)，而工程施工廠商及專案管理與技術顧問等2類型合計占34.5%，主要由傳統之工程公司或工程顧問公司轉型而成。另外近年來由於產業蓬勃發展，部份投入產業多年之設備商或工程施工廠商，已逐漸轉型成為工程規劃整合廠商，以統包方式承接專案後分包予其他設備供應商，工程規劃整合廠商主要負責履約管理、財務提供及節能成效管理等(如中華電信、星崴)。

3. 近期產業發展重點

近年來隨著政府積極推動ESCO產業發展及能源價格合理化，造就ESCO產業大幅成長，推動ESCO相關業務，並透過與其他中小型ESCO公司合作共同承攬專案，提升產業競爭力，統計近年產業發展概要分別如下所述：

(1) 能源用戶改善需求增加：國內能源價格逐漸合理化，用戶對於節能需求增加，帶動多家知名企業或大型能源用戶導入ESCO模式進行節能改善。

(2) 大型企業投入產業：多家大型企業成立節能公司或子公司，投入ESCO產業並承接改善專案，產業資本額超過1億元之企業占比由2013年



資料來源：能源技術服務產業推廣輔導計畫統計，2015年12月

圖3-7-3　能源技術服務產業結構分布圖

的30%提升至2015年達38%，其中資本額超出10億元之企業已高達12.4%。

(3) 民間資金持續引入：租賃公司亦投入成為專案出資方，降低ESCO業者資金壓力，另外銀行已建立或規劃ESCO專案融資的方案。

(4) 節能績效保證型模式逐漸普及：近半數業者於2014年度曾採取一次性驗證給付之商業模式，以降低因電價偏低造成高回收年限之衝擊。

4. 產業面臨挑戰

國內能源技術服務產業發展，目前產業具有節能技術成熟及系統整合能力強等優勢，且隨著近年來大型知名企業紛紛投入ESCO產業及中小型ESCO公司以異業結盟方式，使得產業競爭力已逐步提升。惟後續於產業發展上仍面臨能源價格過低、業者自有資金不足、量測驗證技術能量不足及專案易衍生爭議等挑戰，分別如下所述：

(1) 市場面挑戰：國內能源價格較為低廉，專案自償性不足，降低能源用戶導入之意願。

(2) 資金面挑戰：ESCO產業多屬中小企業自有資金不足，向金融機構辦理融資時，常因擔保品不足及融資利率偏高等因素，難以取得專案營運所需資金，造成專案承接量有限。

(3) 技術面挑戰：節能技術缺乏量測驗證標準以及量測驗證專業人才不足，專案引入節能範疇有限。

(4) 環境面挑戰：能源用戶對專案運作機制不瞭解，於節能績效量測與驗證較難與ESCO業者取得共識，於專案執行上易衍生爭議。

(二) 發展目標與策略

能源技術服務產業推動於「提升能源技術服務產業技術能量，強化節能工作深度與廣度，成為亞太地區節能標竿國家」發展願景下，以產業產值由2014年110億元提升至2016年158億元，並於2020年突破300億元等積極目標。就市場面、資金、技術及環境面等研擬推動策略，以期達成節能減碳目標，建立政府與產業雙贏及節能、經濟與環保共榮之產業發展願景，相關推動策略分別如下所述：

1. 提升能源產業規範的法制層級，創造優質的能源服務，建立能源管理發展制度，訂定ESCO產業管理辦法或配套措施。

2. 建立M&V第三公正單位機制，解決ESCO資金缺口及技術糾紛。

3. 深化及推動ESCO節能技術、財務規劃等標準化指導及管考評估機制，加速ESCO產業以及能源循環基金的推動。

二、產業技術發展指標與時程

(一) 國內外技術發展指標

目前主要發展國家中，由於各國ESCO產業定義範疇不一，因此以2012年節能績效保證合約(ESPC)產值進行國際發展分析，以各國每單位能源消費量之節能績效保證合約的產值觀察，結果如表3-7-1所示，透過能源密集度指標觀察ESCO市場發展潛力，數值越大代表具有高節能潛力。電價也是影響節能市場重要因素，電價越高可使回收期縮短，有效驅動ESCO市場。由分析結果顯示，中、美由於能源密集度高，即使電價不高，於政策推動下，ESC市場快速發展。德國能源密集度不高但電價高，ESCO市場緩步成長。日本能源密集度及電價與德國相近，但政策推動力道減緩，ESCO市場相對較小且波動較大。由上述研析結果，雖電價最直接影響產業經濟效益，但政府推動政策更可直接有效帶動產業發展。

(二) 產業技術近期發展重點

由於ESCO專案主要以電力、空調及照明等成熟之節能技術應用為主，目前國內ESCO產業之核心設備與產品如表3-7-2所示，可概分為空調系統、電力系統、照明系統、鍋爐及燃燒系統、空壓系統、控制設備與變頻系統、環境品質控制等7大類。

近年來隨著資訊與通信科技(ICT)技術逐漸成熟，為解決目前遭遇如收款不易、節能績效難以維持及廠商與客戶間信任感難以建立等問題，部份業者以雲端能源管理服務平台為核心技術[8]，提供雲端ESCO能源管理服務，從過去以節能技術技術導向，透過雲端能源服務平台系統整合，轉型為節能技術及能源管理整合的ESCO服務導向，如圖3-7-4所示。

雲端能源管理服務商業模式特色主要是協助能源用戶導入雲端能源服務平台，包含導入智慧電錶、環境感測、能源管理及ESCO節能技術等。導入智慧電錶及環境感測器之目的為改善前耗能設備基準線之數據收集與訂定，即時收集能源用戶現場端用電資訊及環境因子，且為長期數據收集

表3-7-1 ESCO主要發展國家發展比較表

國別	產業產值「能效合約產值」(億元新臺幣)	2012年最終能源總消費量(百萬公噸油當量，Mtoe)[2][3]	單位能源消費量之ESCO節能能效合約產值(億元新臺幣/百萬公噸油當量)	2012年能源密集度(2005年美元幣值經購買力平價指數計算)(公噸油當量/新臺幣)[1]	2012年平均電價(新臺幣/度)		ESCO產業發展狀況	ESCO產業變化
					住宅用電	工業用電		
中國大陸	6,250[4] 「2,060」	1,711	1.20	5,100	2.22 (2010)	2.89 (2010)	能源密集度高，ESCO發展潛力高；政府政策積極推動，ESCO發展以製造業為主(82%)	快速發展
美國	1,590[5] 「1,103」	1,433	0.77	8,100	3.52	1.98	能源密集度高，ESCO發展潛力高；政府政策積極推動，ESCO發展以公部門為主(84%)	持續成長
德國	1,170~1,560[6] 「94~125」	221	0.43~0.57	3,300	10.03	4.40	能源密集度低，但因電價高，政府政策推動，因此ESCO節能市場仍具不小發展空間，並以服務業為主	緩步成長
日本	90[7] 「45」	309	0.15	3,600	8.20	5.75	能源密集度低，雖電價偏高，但政策推動力道較小，ESCO節能市場也較小，ESCO發展以服務業佔為主(85%)	波動
臺灣	107 「21」	65	0.32	4,200	2.72	2.52	能源密集度略高於日、德，但電價偏低，影響ESCO發展空間	持續成長

資料來源：中華經濟研究院彙整，2014年12月

(即IPMVP的選項B)，相關技術引入可有效解決過去ESCO基準線建立不易等問題。另外於能源管理上用電資訊收集涵蓋製程用電、空調用電、空壓用電、照明用電等主要電力流向，並透過雲端技術將收集之用電資訊傳輸至雲端伺服器，再利用網頁瀏覽方式，提供能源用戶可隨時查閱並下載各項即時與歷史用電資訊，並由專人協助分析用電合理性，針對不當用電行為提出改善建議，進而達到用電節約之目的，可有效減少人力、物力等資源的浪費。

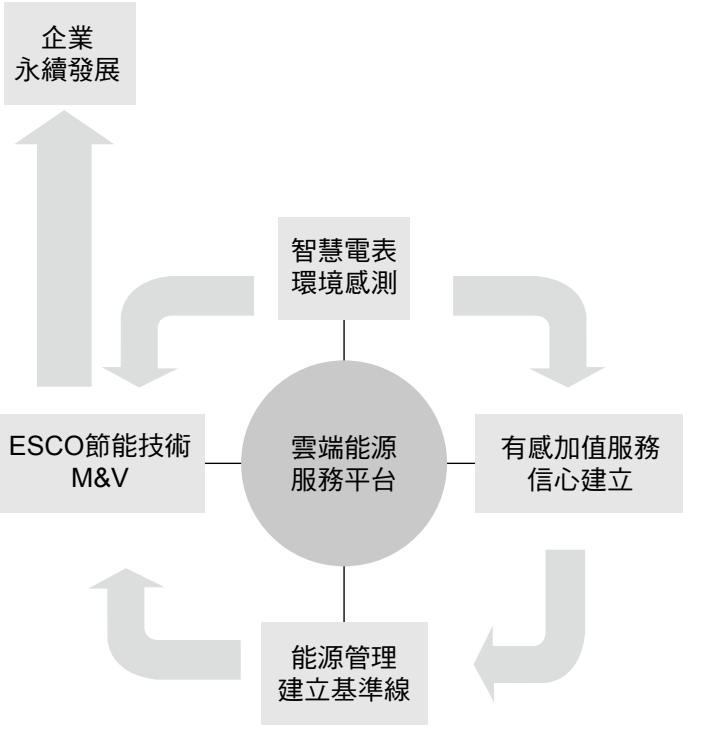
表3-7-2　各系統核心技術節能手法

<table>
<tr><th>空調系統</th><th>電力系統</th><th>照明系統</th></tr>
<tr><td rowspan="2">• 汰換老舊主機
• 冰水側運轉最佳化
• 冷卻水側運轉最佳化
• 群組開機最佳化
• 提高冰水出水溫度
• 冷凝器除垢與增加沙濾器
• 冷卻水塔放流水回收
• 採用熱回收外氣空調箱
• 外氣冷能回收
• 充分利用備份空調箱
• 風機及水泵採用變頻控制
• 採用熱回收冰水主機
• 採用儲冰空調系統</td><td>• 需量控制
• 契約容量最佳化
• 降低變壓器電能損失
• 改善功率因數
• 變壓器合併
• 利用時間電價節省電費</td><td>• 採用高效率節能燈具
• 安裝電子式安定器
• 區域燈具啟停控制及自然採光
• 拆除不必要的燈具
• 更新或保養燈管
• 照明環境改善
• 採光隔熱技術
• 採用太陽能路燈</td></tr>
<tr><th>鍋爐與燃燒系統</th><th>空壓系統</th></tr>
<tr><td>• 採用高效率節能燈具
• 安裝電子式安定器
• 區域燈具啟停控制及自然採光
• 拆除不必要的燈具
• 更新或保養燈管
• 照明環境改善
• 採光隔熱技術
• 採用太陽能路燈</td><td>• 採用高效率空壓機
• 提高空壓機運轉效率
• 降低輸出壓力
• 採用變頻式空壓機
• 空壓機群組開機控制
• 空壓機負載控制
• 降低空氣管路洩漏
• 清潔濾網與過濾器
• 新增並聯設置之過濾器
• 管徑、管件、閥件及接頭之檢討</td></tr>
<tr><th>控制設備與變頻器系統</th><th>環境品質控制</th><th>其他</th></tr>
<tr><td>• 能源管理與系統控制
• 電機變頻控制
• 智慧電錶及雲端系統監控</td><td>• 室內空氣品質設備
• 調濕機
• 自動空氣過濾器
• 送風機濾網機組
• 空氣洗滌式空調設備</td><td>• 建築物能源管理系統
• 綠建築</td></tr>
</table>

資料來源：能源技術服務產業推廣輔導計畫統計，2015年12月

（三）產業發展時程

產業發展規劃如表3-7-3所示，於短程發展上以產業產值至2018年突破2百億元為目標，旨在健全國內產業發展環境，拓展國內市場，中長程則以至2025年市場產值達新臺幣340億元為目標。旨在以建立產業先期診斷、人才證照等各項機制，完備市場制度，並逐步引導ESCO產業進行國際輸出。由短中長期等各項策略，逐步提升ESCO產業產值、創造國內就業人數。



資料來源：TQV，2013年12月

圖3-7-4 ISO 50001能源管理標準

1. 短期發展策略(~2018)

(1) 擴大產業應用市場：擴大節能績效保證示範專案補助範疇至製造業，鼓勵能源用戶整合自身或所屬單位多棟建築物，進行集團式ESPC專案採購，運用規模經濟降低專案採購成本，並將成功案例推廣予同產業類型之能源用戶參採，藉以擴大產業應用市場。

(2) 推動辦理雲端節能先期診斷：建立公部門導入先期診斷作業機制，發掘公部門節能潛力，並透過雲端儀錶建立電力、空調等動態基準線，解決能源用戶量測驗證基準線建立不易之問題。

(3) 擴大運用信保制度：運用信保基金制度，適度提高信用保證成數(至固定9成)，降低銀行機構融資風險。

(4) 推動綠色融資方案：推動租賃業以節能融資第三方角色，提供節能所需之資金，並促成銀行業融資予能源技術服務產業(ESCO)，推動金融

綠色融資方案。

(5) 推動第三方量測驗證機制：提供第三方節能績效確認服務，協助能源用戶、金融機構及ESCO業者專案計畫書評估及節能績效確認，解決用戶對於節能成效之疑慮，加速ESCO專案成案。

(6) 建立產業人才證照：依據「經濟部核發產業人才能力鑑定證明實施辦法」，研析產業職能基準，辦理教育訓練及發照，建立專業人員證照制度。

(7) 持續建立量測驗證範本文件：依據產業市場需求，建立各項節能技術量測驗證文件範本，供ESCO業者參採。

(8) 辦理產業量測驗證人才培訓：參考國際量測驗證協議及產業發展現況，針對各項節能技術及量測驗證等，持續辦理專業人才教育訓練。

2. 中長期發展策略(~2025)

(1) 訂定能源用戶節能目標創造產業利基市場：訂定能源用戶長程之能源效率(含減碳)管理目標及強制性管理規定，塑造節約能源市場需求。

(2) 打造先期診斷制度：結合產業人才證照，打造國內先期診斷補助機制，鼓勵服務業及製造業能源用戶進行先期診斷，協助能源用戶發掘節能潛力並擴大ESCO產業市場。

(3) 拓展產業海外市場：建立ESCO產業海外商機資訊平台，協助業者掌握國外市場資訊，並辦理國際產業交流會議及海外臺商媒合會議，解決海外通路建置不易及缺乏海外專案實績等問題。

(4) 建立利息補貼或循環基金等資金工具：配合能源稅開徵，提供產業利息補貼，協助業者取得低利之融資，同時成立循環基金專案小組，研議建立產業循環基金，降低ESCO財務風險。

(5) 打造高值化商業模式：結合雲端技術服務能量，協助能源用戶進行能源管理，由前端之節能改善及後端能源管理，擴大用戶節約能源成效，加值ESCO服務效益。

(6) 建立第三方量測驗證制度：引入民間查證機構擔位第三方查證機構，協助能源用戶或ESCO業者確認專案之節能效益，並建立第三方節能成效確證單位認證制度，建立完善之第三方節能成效驗證機制。

(7) 建立產業管理機制：依產業發展需求，依資本額、儀錶、實績及數量等數據建立產業管理制度，並訂定ESCO產業管理配套措施。

三、國內發展現況與成果

(一) 技術發展現況

國內ESCO產業推動至2014年整體產業產值達110億元，ESCO廠商家數為208家，目前節能績效分享型合約主要客戶以公部門及服務業為主。其原因為公部門及服務業節能改善範疇多以照明及空調為主，專案施工容易且量測驗證方法成熟，而製造業常因節能改善較為複雜且具停工影響產能等問題，不易運用節能績效保證合約進行節能改善。針對國內ESCO產業現況調查結果[9]，節能績效保證合約約占ESCO總產值22.2%，平均每案件節省1百萬元電費，目前契約之存續期間多在5年以下，但仍有6.46%企業之平均企業存續期間超過7年。另統計相關調查成果，目前每家ESCO業者承攬之有效合約或再建工程數量約為5件(中位數)，累積工程數量為20件，平均計價頻率約為152天收款一次。

1. 節能績效保證合約經費分析

針對2005-2014年節能績效保證示範專案的113件案例分析，專案改善經費中以設備費用及材料設備費為最大宗占76%，其中因節能分享專

表3-7-3 國內ESCO產業發展時程

措施項目	短 程(~2018)	中長程(~2025)
市場面	• 擴大產業應用市場 • 推動辦理雲端節能先期診斷	• 訂定能源用戶節能目標創造產業利基市場 • 打造先期診斷制度 • 拓展產業海外市場
資金面	• 推廣產業信保制度 • 推動綠色融資方案	• 建立利息補貼或循環基金等資金工具
技術面	• 建立量測驗證技術範本 • 辦理量測驗證人才培訓	• 打造高值化商業模式
環境面	• 建立第三方節能成效量測驗證機制 • 建立產業人才證照制度	• 建立第三方量測驗證機制 • 建立產業管理機制

資料來源：能源技術服務產業推廣輔導計畫統計，2015年12月

案而衍生之費用包含量測驗證費用、設備維護費用及管理業務費(含利息)等，合計約占專案總經費15%。以專案平均回收年限為4.6年而言，每年約增加3%之費用。

根據統計結果顯示，量測驗證費約占專案成本6.4%，其需視專案改善範疇而定，通常屬照明一般約為2-5%，空調及熱泵因量測成本較高通常為4~9%，而維修保養費用約佔專案成本5.6%，其成本則需視ESCO廠商所提供之承諾或能源用戶需求，前項之統計維修保養費用中，多數不包含耗材更換之費用，通常於後續更換時，ESCO業者會以市價60~80%收取費用。

2. 專案應用技術分析

統計節能績效保證示範專案各項節約能源改善措施，最廣泛被運用之措施為照明設備節能改善，其節能率中位數為50.7%，其中汰換LED燈具之節能率則高達50%以上，其次為採用熱泵系統及中央空調冰水主機改善，節能率中位數為56.2及33%，另外路燈系統(非包燈電力)之中位數節能率則高達66.9%。

(二) 推廣應用成果

為完善ESCO產業發展環境及擴大產業產值，於2005年起針對市場面、資金面、技術面及環境面等推動各項產業輔導措施，創造產業成長動能，產業由發展初期產值新臺幣3.7億成長至2015年產值已突破百億元，相關措施分別如下所述：

1. 市場面推動措施及成果

(1) 辦理節能績效保證示範推廣補助專案：2006~2014年補助公部門及服務業導入節能績效保證專案，補助以專案經費1/3最高上限新臺幣500萬元，另對整合自身及所屬之集團式ESCO採購提高補助上限為新臺幣1,500萬元。其中2015年度擴大補助至製造業，並調專案補助上限經費為1/5，2004-2015年完成131案成功案例，補助款總額新臺幣5.63億元，創造產值為新臺幣20.17億元，預估節能效益達2.89萬公秉油當量，平均節能率達54.1%，每年減少CO_2排放7.05萬公噸，如表3-7-3所示。

(2) 推動大專院校ESPC先期診斷：2013-2014年經濟部與教育部共同推動「協助大專院校導入ESCO先期評估規劃作業」，提供總經費新臺幣

3千萬元，輔導102所大專院校，預估若全面改善每年可節電5,492萬度，節省新臺幣1.9億元能源費用，創造產值約新臺幣12億元。

(3) LED-ESCO：LED路燈示範計畫導入ESCO機制，由縣(市)政府統一採購以降低購置成本，超出預算部分則與ESCO公司簽訂分期合約，以節省電費逐年支付。目前累計有宜蘭縣、新竹縣、彰化縣、苗栗縣、屏東縣及臺南市等6縣市導入，設置量達6.05萬盞，每年節電0.4億度，創造產值新臺幣8億元。

(4) PV-ESCO：PV太陽光電導入ESCO模式，由太陽光電業者向建築物或土地業主取得空間使用權，將生產電能售予台電公司，分享躉售利益。累計設置容量達180MW，生產4.4億度電力。

2. 資金面推動措施及成果

(1) 建立信用保證推薦審核機制：建立專案審查制度，經審核專案計畫書可行性後，推薦予中小企業信保基金，協助ESCO業者取得信用保證函(保證額度最高8成)俾利向銀行申請融資，2009年推動迄今計成案6案次，核貸額度3.05億元。

表3-7-4　節能績效保證專案示範推廣成效

業別	家數	專案金額(億元)	補助金額(億元)	節能成效(萬公秉油當量)	總節能率(%)
批發零售業	9	3.14	0.91	0.612	49.3
運輸倉儲業	3	0.48	0.12	0.074	55.6
住宿餐飲業	10	2.08	0.59	0.439	57.5
金融保險業	2	0.50	0.17	0.008	43.1
公共行政業	24	2.27	0.67	0.280	54.1
教育服務業	46	7.40	2.01	0.718	55.9
醫療保健業	21	3.00	0.85	0.498	54.2
社區	8	0.09	0.04	0.025	62.7
製造業	8	1.22	0.25	0.238	37.6
合計/平均	131	20.17	5.63	2.89	54.1

資料來源：能源技術服務產業推廣輔導計畫統計，2015年12月

(2) 購置節約能源設備優惠貸款：第二期購置節約能源設備優惠貸款：總額度為1百億元，每筆貸款由行政院開發基金出資25%，承貸銀行出資75%，利率最高為2年期郵政儲金利率加2.45%(現為3.825%)，累計貸放金額為25.9億元。

(3) 引入民間資金：第一銀行提供「節能產業第一推手融資計畫」，總融資額度200億元，其他租賃公司成為專案第三出資方，有效解決ESCO資金壓力。

3. 技術面推動措施及成果

(1) 制定本土化量測驗證文件：2006~2015年完成建置節能績效量測與驗證文件23項，項目包含空調冰水主機、熱泵、照明、水泵、水塔、空壓機、箱型冷氣、玻璃隔熱膜及電子廠外氣空調箱等。

(2) 引入國際量測驗證標準：引入美國國際能效評估組織((Efficiency Valuation Organization, EVO)之國際量測驗證證照(Certified Measurement and Verification Professional, CMVP)，2006-2015年累計培育3位國際級專家講師(IPMVP Level 4)及161位量測驗證國際證照(IPMVP Level 3)

(3) 辦理能源技術服務量測與驗證人員訓練班；2006~2015年累計辦理量測驗證訓練班22班次，計培育2,082位專業人才。

4. 環境面推動措施及成果

(1) 提供第三方節能績效確認服務：協助能源用戶、金融機構及ESCO業者專案計畫書評估及節能績效確認，解決能源用戶對於節能成效之疑慮，加速ESCO專案成案。

(2) 建立服務能量登錄制度：建立產業資訊平台，提供能源技術服務業者登錄，登綠內容包含服務區域範圍、專業技術能力（如電力、空調、照明、熱能…等）、業務種類範圍（如節能績效專案模式、系統效率檢測、代操作管理、工程規劃等項目）、人才證照、量測儀器及改善實績等，協助能源用戶媒合所需求之ESCO業者。

(3) 建立ESCO認證表揚制度：建立績優能源技術服務產業評選辦法，辦理績優廠商表揚活動，鼓勵能源技術服務業者專精節能技術和管理本業。2011~2013年度辦理完成2屆ESCO績優廠商表揚大會，共計決選出中華電信等7家績優廠商。

參考文獻

[1] 台灣電力公司，2013，各國電價比較。

[2] IEA.2014. Energy Balances of OECD Countries 2014.
http：//www.iea.org/statistics/topics/energybalances/

[3] IEA.2014. Energy Balances of non-OECD Countries 2014. Available at:
http：//www.iea.org/statistics/topics/energybalances/

[4] IFC，2011，中國節能服務(ESCO)市場研究。
http：//www.ifc.org/wps/wcm/connect/df8a8280401df94d8992ff23ff966f85/IFC+final+ESCO+report-CHN.pdf?MOD=AJPERES

[5] LBNL.2013. Current Size and Remaining Market Potential of the U.S. Energy Service Company Industry.

[6] JRC.ESCO Market Report 2013. Available at：
http：//iet.jrc.ec.europa.eu/energyefficiency/publication/european-esco-market-report-2013

[7] 一般社団法人ESCO推進協議会，2013，ESCO事業の市場規模(受注金額　件数)、対象施設Available at：
http：//www.jaesco.or.jp/news/docs/2011%20shijokibo.pdf

[8] 能源技術服務產業推廣輔導計畫期末報告

[9] 陳宗逸，國內節能分享型合約發展現況分析，臺灣ESCO會訊40，46-49頁，2015/06

第八節　CO_2捕獲封存與再利用

全球2015年共有15個正在運轉大型碳捕獲封存(Carbon Capture and Storage, CCS)計畫，比2010年數量高出一倍，至2017年將有22個運轉之大型CCS計畫，年捕獲CO_2量可達4千萬噸，顯示CCS技術已經從試驗性質提升到大規模應用階段，尤其針對CCS技術應用於化石燃料電廠之前景已逐漸成形。我國在碳捕獲封存與再利用技術發展上，在鈣迴路捕獲技術、化學吸收與吸附法、化學迴路新燃燒技術、封存潛能評估與安全監測技術，以及CO_2利用於微藻培養與萃取技術等，多已經由產業之合作積極參與，獲得顯著成效。並已開啟新興產業之契機，將為二氧化碳排放減量做出具體貢獻。

依據國際能源總署(IEA)於2015年統計報告[1]指出，國內2013年能源使用二氧化碳排放總量為2.49億公噸，占全球總排放量0.77%，全球排名第22位，每人平均排放量10.63公噸，全球排名第20位。另依據統計2014年火力電廠二氧化碳排放量約占國內總排放量的66.0%，其中以燃煤電廠為首要排放源；另工業部門二氧化碳總排放量約占全國總排放量16.06%，以水泥、石化與鋼鐵業等排放源為主[2]。

2015年6月15日立法院通過「溫室氣體減量及管理法」(簡稱溫管法)，明訂國內需在2050年，將溫室氣體排放量降至2005年(約2.45億公噸)之一半。依國際能源總署2015年對能源技術之減碳貢獻分析[3]，CCS將佔13%貢獻度，為未來最具減碳潛力之技術。在再生能源容量有其限度情境下，持續使用化石能源仍有其必要性，為能持續使用低價之煤炭，同時降低電力排放係數，CCS技術為永續化石能源潔淨使用之最佳解決方案。經濟部能源局自2006年開始透過能源科技專案投入CCS技術研發工作，並針對CCS技術研發與示範訂定推動策略，在捕獲技術部分主要以處理大型固定排放源之二氧化碳排放為標的，包括發電廠、水泥廠、鋼鐵廠及石化廠等產業。在封存部分則以發展相對成熟之地質封存為主要推動方向，且同時考慮深地下鹽水層及油氣構造進行技術研發與示範推動。

為確保研發資源有效利用，經濟部能源局於2010年1月報部成立經濟部CCS研發聯盟，主要目的在於透過團隊合作及技術整合力量，加速國內CCS技術之研發與示範，同時推動相關國際合作，以便讓國內之技術與國際接軌。聯盟成員包括能源局、礦務局、國營會、台電公司、中油公司、中鋼公司及工業技術研究院。為擴大產業參與，於2015年加入相關業者共同參加聯盟的相關活動。

2014年能源國家型科技計畫進入第二期，成立減碳淨煤專案主軸計畫，基於第一期計畫所建立之基礎，將減碳淨煤主軸計畫聚焦幾個較具產業效益的方向，目標以開發國內CO_2捕獲、封存及再利用(Carbon Capture, Storage and Utilization, CCSU)技術為主，於CO_2排放源建立示範工廠，並開發新燃燒系統以提升發電之效率及降低二氧化碳捕獲成本，期能建立及推動CCSU與新燃燒產業並達成產學研間之合作。

為積極推動國內業界碳捕存技術研發及政策規畫，2014年12月成立臺灣碳捕存再利用協會，其宗旨為推動碳捕存再利用技術發展、提升適法能力、協助產業減碳、擴展國際合作、及加強民眾溝通，達成溫室氣體減量及減緩溫室效應。

CCSU技術基本上涵蓋捕獲、輸送與封存或再利用，其中捕獲成本占整體CCS成本70%左右，為全球研究發展的主要方向，而封存為CCS是否能大規模實施關鍵因素，再利用則為CO_2最終處置的理想境界。國內近年來在政府、研究單位、學界與產業界的共同努力下，已有很好的發展與成效。

以下就CO_2捕獲、封存及再利用技術之發展目標與策略、發展時程、以及發展現況與成果進行說明。

一、國內發展目標與策略

(一) 發展環境分析

國內在CCS相關產業計有工程設計顧問業、化工機械業、污染防治設備與工程業、水泥業、鋼鐵業、高壓氣體製造業、鍋爐業、工業爐業、電氣機械業、鑽探與採礦業等，皆有相當之基礎與能量，具有建立CCS產業之潛力。其中尤以CO_2捕獲產業，與地域環境的關聯性相對較低，而與燃

燒廢氣之產業特性較有關。因此可拓展至海外廣大市場，特別是在中國大陸與東南亞，將是最大的機會。基本上CO_2捕獲廠之建構，包含基本設計規劃、整廠設計與控制、主要捕獲與再生設備製造、淨化系統與空氣分離、熱回收與整合利用等技術。目前國內廠商已具備了整廠設計、設備製造能力。惟較缺乏基本設計規劃與核心關鍵技術能力，應加速技術研發並藉由業界合作參與，以及經濟部CCS研發聯盟架構，將技術授權給業者，以建立其基本設計規劃能量。

（二）發展目標與策略

1. 發展目標

經濟部能源局於2005年完成國內CO_2減量技術因應作法計畫規劃，整合產官學研各界投入減量技術研發，以達成CO_2零成長產業發展環境目標。減量技術的近、中程發展方向，分別為：

(1) 以捕獲、燃燒改善及二氧化碳再利用技術為研發方向，實際協助業界減低排放量。

(2) 進行國內地質封存潛能調查與評估，取得後續封存地點及潛能規劃重要資訊。長程發展方向則以將捕獲技術所獲得之CO_2，藉由地質封存方式大量封存，落實低碳能源供給以提高產業競爭力。

國內CO_2捕獲之實施對象以大型固定排放源為主(如電廠、鋼鐵廠、石化廠、水泥廠)，中小型固定排放源為輔。考量國內能源結構及消費型態，捕獲技術發展則以燃燒後捕獲之固體吸附/吸收技術、化學吸收法為優先，如鈣迴路捕獲技術、中孔徑矽基吸附材及胺基吸收液，前瞻捕獲技術則以之化學迴路法為目標。

2030年前預計完成設置4座800MWe新電廠之CCS商轉廠，可共捕獲2千萬噸CO_2。另於水泥、鋼鐵與石化等產業，共捕獲1千萬噸CO_2，合計每年CCS可減少3千萬噸CO_2排放。2020年建立二氧化碳捕獲與地質封存商業化規模之能量，捕獲成本降至USD20/tCO_2以下，CCS總成本降至USD30/tCO_2以下。並鏈結以「燃燒後捕獲」與「地質封存」為主的新興產業。

2. 發展策略

(1) CO_2捕獲

整合上下游技術投入二氧化碳捕獲關鍵技術之研發及驗證，並建立每小時捕獲1公噸CO_2之捕獲先導試驗廠，同時透過CCS研發聯盟之推動，整合產官學研各界之研發成果與能量及國際合作。發展策略如下：

A. 推動捕獲與封存示範計畫，完成1.9MWt鈣迴路捕獲先導試驗系統與技術建立，規劃於2016~2018年建立30MWt鈣迴路捕獲示範系統。

B. 籌組產業聯盟，目標市場以發電與水泥業為首要，而石化與鋼鐵業為次要。

C. 進行國際合作，進軍國際市場。以中國大陸與東南亞為主要市場，透過臺商與當地產業鏈結。

(2) CO_2封存

地質封存技術是目前最接近實用與產業化之封存技術，現階段策略著重於封存監測驗證和安全評估技術之發展，並以千噸至萬噸規模等級為目標，推動國內地質封存先導試驗，以具體科學數據實證國內地質封存可行性及其潛能，作為相關規範制定之依據。

在中期發展策略部分，主要配合捕獲示範系統之時程，預期在2018年以前推行十萬噸級封存試驗計畫，以便於2020年達成百萬噸級地質封存示範目標。搭配長期監測驗證、查核認證與場址關閉後相關配套技術發展，協助建立國內地質封存相關產業及相關技術與法規框架。

(3) CO_2再利用

開發CO_2再利用技術需考量國內現有環境發展及產業需求，以不會對環境造成額外衝擊，且具有附加價值之技術為首選，目前可發展之方向包含：

(A) 微藻培養與萃取技術，產製生質柴油或高附加價值產品。

(B) 加速溶解技術，係透過觸媒將煙道氣中之CO_2溶解為碳酸氫鹽溶液，可作為藻類養殖碳源，亦可形成固體碳酸鹽類礦物。

(C) 再利用CO_2之轉化技術：轉化成化學與能源產品為主，關鍵為低成本觸媒與製程開發。

二、產業技術發展指標與時程

(一) 國內外技術發展指標

根據澳洲之全球碳捕獲與封存研究院(Global CCS Institute, GCCSI)資料顯示[4]，全球2015年共有15個正在運轉的大型CCS計畫，比2010年初數量高出一倍，至2017年將有22個運轉之大型CCS計畫，年捕獲CO_2量可達4千萬噸，顯示CCS技術已經從試驗性質提升到大規模應用階段，尤其針對CCS技術應用於化石燃料電廠之前景已逐漸成形。加拿大SaskPower的Boundary Dam之CCS計畫已在2014年4月開始運轉，成為第一個應用於燃煤電廠大型CCS計畫。

1. CO_2捕獲技術

CO_2捕獲技術能去除90%以上CO_2，為最有效減量技術。表3-8-1為GCCSI整理全世界捕獲技術發展之程度[5]，以國際慣用之TRL(Technology Readiness Level)來定義。屬技術概念階段TRL值為1到2，在實驗室(Lab/Bench)規模之測試階段TRL值範圍為2到5，若達試驗廠規模之實廠測試階段TRL值範圍為5到7，而達到示範廠和商業化規模之TRL值範圍為7到9。國內在捕獲技術發展上，在鈣迴路與化學迴路技術之TRL值在5-7範圍，先進胺基溶劑之TRL值目前在2-5，即將進入5-7的範圍；固體吸附劑之TRL值則約在2-5的範圍。

2. CO_2封存技術

地質封存技術涵蓋範圍廣泛，與封存場址直接相關者可概分為兩大主軸，其一為封存容量，其二則為封存完整性。美國能源部推動封存計畫之主要技術指標，即在於建立±30%精度範圍之封存量評估與模擬技術，以及發展封存監測與驗證技術，用以確保99%封存永久性[6]。歐盟CCS指令也要求地質封存設施需符合永久封阻及環境面安全儲存等條件。

為達成前述目標，國際間封存技術發展重點在於能夠較準確地估算封存潛能，以及可掌握注儲於地下之二氧化碳團塊。除了精進注儲工程技術外，近期國外技術發展聚焦於監測驗證查核與模擬與風險評估等核心技術，期能兼顧改善儲集層注儲效率，同時又能確保封存有效性與安全性。

表3-8-1 捕獲技術之TRL評估

技術	測試階段	TRL
燃燒後捕獲		
胺基溶劑(Amine-based solvents)	示範廠	7-9
先進胺基溶劑(Advanced amine-based solvents)	試驗廠	5-7
胺基酸鹽溶劑(Amino-Acid salt solvent)	試驗廠	5-7
氨水溶劑(Aqueous Ammonia solvent)	示範廠	7-9
離子液體(Ionic liquids)	實驗室	2-5
固體吸附劑之變溫/變壓吸附(TSA/PSA)	試驗廠	5-7
鈣迴路(Calcium Looping (CaL)	試驗廠	5-7
薄膜(Membranes)	試驗廠	5-7
低溫分餾(Cryogenic CO_2 separation)	實驗室	2-5
燃燒前捕獲		
物理溶劑Physical solvents	示範廠	7-9
吸收增強水氣轉化(Sorption Enhanced Water Gas Shift (SEWGS))	試驗廠	5-7
吸收增強重組(Sorption Enhanced Reforming, SER)	試驗廠	5-7
水氣轉化薄膜反應器(Water Gas Shift Reactor (WGSR) membranes)	實驗室	2-5
離子液體(Ionic liquids)	實驗室	2-5
固體吸附劑之變溫/變壓吸附(TSA/PSA)	試驗廠	5-7
薄膜(Membranes) (亦適用於燃燒前捕獲)	試驗廠	5-7
低溫分餾(Cryogenic CO_2 separation)	技術概念	1-2
純氧燃燒		
常壓純氧燃燒(Atmospheric pressure oxy-combustion)	示範廠	7-9
離子傳輸薄膜(Ion Transport Membranes, ITM)	試驗廠	5-7
氧傳輸薄膜(Oxygen Transport Membranes, OTM)	實驗室	2-5
壓力式純氧燃燒Pressurized oxy-combustion	試驗廠	5-7
化學迴路燃燒Chemical Looping Combustion, CLC)	試驗廠	5-7

資料來源：工研院，2015年12月

(二) 國內技術近期發展重點

1. CO_2捕獲技術

(1) 鈣迴路捕獲CO_2技術

與業界合作研院建立1.9MWt捕獲系統，持續進行技術驗證與系統可靠度外。亦於2014年積極開發多階旋風塔整合蒸汽水合程序之新世代鈣迴路捕獲技術。

2013年建立一座30kWt之化學迴路新燃燒系統，除持續進行系統主要元件測試與操控技術研究，在以甲烷為燃料之條件下，進行系統連續運轉測試，二氧化碳濃度可達99%；除此之外，同時進行低成本、高反應性及低磨耗率之載氧體開發。

(2) 流體化床技術開發

建立kW級雙流體化床循環系統與控制技術。流體化床技術採用為內通式循環流體化床設計，將數個床體連接在一起。應用於直接產生合成氣和低成本H_2等效益。

(3) 能源國家型計畫之淨煤減碳主軸計畫

針對二氧化碳捕獲化學吸收法進行技術發展及放大實廠測試，捕獲量達1噸CO_2/天，亦針對富氧燃燒、燃燒前捕獲及微藻固碳進行相關技術研究。

2. CO_2封存技術

配合國際技術發展趨勢，近期經濟部能源局補助計畫之封存技術研發重心聚焦於監測驗證與風險評估技術，透過國際合作管道與美國能源部國家能源技術實驗室合作建立示蹤劑監測技術，於本土地質環境建立技術驗證平台，建立相關檢測與驗證程序，透過實作累積技術經驗。另亦與美國國家風險評估夥伴聯盟進行技術合作，引進量化風險評估技術框架，進行本土化技術開發與案例。

能源國家型科技計畫減碳淨煤主軸則同步進行國內封存場址調查與潛能評估，解析地下應力與地震安全性關連性，並針對潛在封存場址進行注儲工程技術發展，建立地球物理與地球化學基線資料，發展適合本土地質環境之三維震測技術與熱水化力學耦合模擬模式。

3. CO_2再利用技術

主要以培育高光合作用效率之微藻，並開發微藻生產生質柴油及高價產品如蝦紅素等。另進行捕獲之CO_2直接利用，包括超臨界CO_2萃取及作為溶劑之製程，溫室栽培等。成功大學在能源國家型計畫減碳淨煤主軸支持下，建立200噸大型戶外固碳微藻培養系統。

(三) 技術發展時程

1. 推動策略

根據經濟部能源局規劃之發展進程，將於2012~2014年間建立小規模CCS先導示範試驗、2016~2018年建立中尺度CCS示範試驗場、2020~2021年建立大尺度CCS示範試驗場，並於2025年逐步達成CCS商轉目標，此與先進國家之技術發展規劃相似，惟時程上更具挑戰性。經濟部CCS研發聯盟的推動策略，在於推動建構第1座二氧化碳捕獲與封存先導型示範試驗設施，以作為研發以及國際合作交流之技術平台，並據以研究放大與CCS商轉之可行性及適切的作法。至2015年在捕獲技術進展，在封存部分則由於民眾接受度尚未能解決，致使在CO_2注儲工作暫時無法進展。短期發展時程將聚焦於鈣迴路捕獲系統產業化技術驗證、先進燃燒前捕獲製程技術開發、地質封存監測與系統技術開發與再利用等工作。CCSU技術發展時程及里程碑如表3-8-2所示，說明如後。

2. 發展時程

(1) 短期發展策略(~2018)

A. 燃燒後捕獲系統產業化技術驗證：

(a) 驗證1.9MWt鈣迴路系統，累積技術經驗，使系統可靠度達80%以上。

(b) 開發低於USD30/tCO_2之新世代鈣迴路捕獲系統商品化放大技術。

(c) 30MW級示範系統設計規劃、建置與新創產業推動。

(d) 捕獲1噸CO_2/天化學吸收法技術示範與驗證。

B. 先進燃燒前捕獲製程技術開發：

(a) 開發先進燃燒與兼具捕獲及產氫之化學迴路系統。

(b) 開發高效鐵系載氧體及低成本天然鐵礦石載氧體。

(c) 新燃燒系統工業區能源整合示範。

表3-8-2　CCSU技術發展時程及里程碑

項目	核心技術	短程(~2018)	中長程(~2025)
燃燒後捕獲系統產業化技術驗證	1. 整合蒸汽水合與多階旋風塔捕獲系統 2. 化學吸收法捕獲系統	1. 試驗廠長時間運轉測試與技術驗證研究 2. 新世代鈣迴路技術驗證 3. 30MW級示範廠設計與興建 4. 捕獲1噸CO_2/天化學吸收法技術示範與驗證	1. 30MW級示範廠建立與試運轉 2. 建立本土大型產業鏈CO_2減量百萬噸
先進燃燒前捕獲製程技術開發	1. 化學迴路系統技術 2. 產氫技術 3. 氣化技術能源整合應用	1. 30 kWt固態燃料化學迴路系統技術建立 2. 化學迴路產氫放大系統技術驗證 3. 載氧體量產技術開發 4. 新燃燒系統工業區能源整合示範	1. 高壓化學迴路發電系統技術開發 2. 結合燃料電池開發分散式電力系統 3. 結合分散式封存建立中小型排放源捕獲封存示範系統
地質封存監測與評估系統技術開發	1. 封存安全監測評估技術 2. 分散式封存技術	1. 建立與國際接軌之封存安全監測及風險評估技術能力與規範 2. 本土光纖監測系統建立及技術驗證/封存監測評估技術國際合作 3. 分散式封存核心快速溶解技術開發與實場驗證	1. 區域型自給自足分散封存萬噸減碳示範 2. 百萬噸級地質封存示範
再利用技術開發	1. 大型化微藻養殖與生產燃料 2. 高溫轉化CO技術 3. 轉化能源及化學品	1. 大型化微藻場建置 2. CO_2利用產製高純度輕質碳酸鈣技術驗證 3. 高溫轉化CO技術開發 4.觸媒與製程技術	1. 轉化能源及化學品製成技術驗證與示範 2. 每年CO_2利用達10萬噸以上

C. 地質封存監測與系統技術開發：

(a) 本土化監測技術驗證及建立地質封存風險評估案例。

(b) 建立分散式封存技術，處理中小型排放源，整合微氣泡及生物觸媒達成CO_2快速溶解，回注地層下陷或海水入侵區。

D. 再利用技術開發：

(a) 大型化微藻場建置。

(b) CO_2利用產製高純度輕質碳酸鈣技術驗證。

(c) 高溫轉化CO技術開發。

(d) 觸媒與製程技術。

(2) 中長期發展策略(~2025)

A. 燃燒後捕獲系統產業化技術驗證：

(a) 30MW級示範廠建立與試運轉。

(b) 建立本土大型產業鏈CO_2減量百萬噸。

B. 先進燃燒前捕獲製程技術開發：

(a) 高壓化學迴路發電系統技術開發。

(b) 結合燃料電池開發分散式電力系統。

(c) 結合分散式封存建立中小型排放源捕獲封存示範系統。

C. 地質封存監測與系統技術開發：

(a) 區域型自給自足分散封存萬噸減碳示範。

(b) 百萬噸級地質封存示範。

D. 再利用技術開發：

(a) 轉化能源及化學品製成技術驗證與示範。

(b) 每年CO_2利用達10萬噸以上。

三、國內發展現況與成果

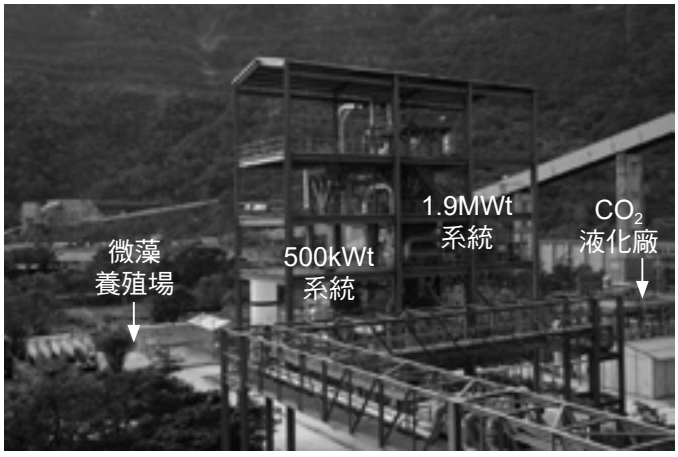
(一) 技術發展現況

1. 捕獲技術

目前已進行各類二氧化碳捕獲技術評估。經過技術篩選後，選取具有產業發展潛力之固體吸附劑作為技術發展主軸，包括高溫型鈣迴路捕獲技術以及低溫型中孔徑矽基吸附材捕獲技術，主要可應用於燃燒後捕獲技術。另外，針對燃燒前捕獲及富氧燃燒技術，則選擇化學迴路技術作為發展方向。目前主要研發成果說明如下：

(1) 鈣迴路捕獲技術

目前與業界合作於水泥廠區內建立1.9MWt先導試驗廠，歷經基本設計、細部設計、建造及試運轉等階段，已於2013年6月完工。此先導試驗廠為全世界最具規模之鈣迴路捕獲二氧化碳試驗廠，並結合CO_2液化與微藻養殖，如圖3-8-1所示。可充分達到CO_2回收與再利用整體效益，目前正持續進行長時間連續運轉與相關技術驗證測試實驗。



資料來源：工研院，2015年12月

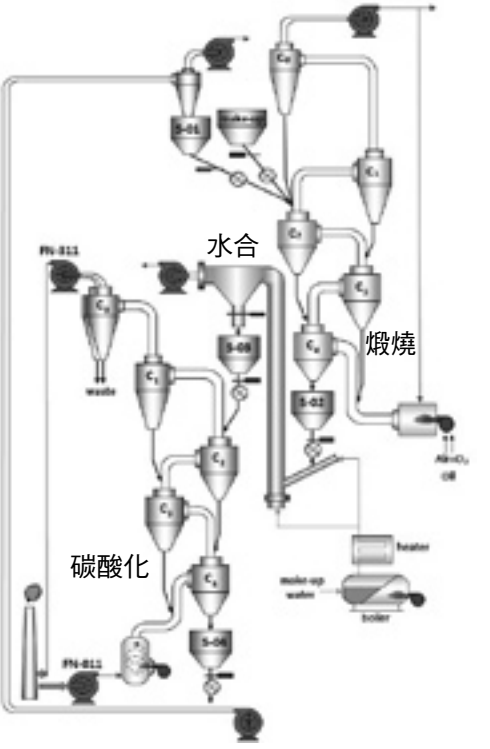
圖3-8-1　鈣迴路先導試驗廠

鈣迴路技術基本上為由碳酸化反應捕獲CO_2與碳酸鈣煅燒再生為氧化鈣，如此碳酸化與煅燒反覆循環迴路，將廢氣中之CO_2捕獲並濃縮成85%之CO_2，可將以安全封存或再利用。本技術之優勢為石灰石價廉而蘊藏量豐富、煅燒後之石灰吸附劑(CaO)有非常高的吸附容量(786mg CO_2/g)，高溫廢熱能有效回收做高價值應用，使能耗較傳統化學吸收法來得低，失去活性之廢棄物亦能完全作為水泥原料或排煙脫硫吸收劑，可達零廢棄物排放。

已開發多階旋風塔整合蒸汽水合程序之新世代鈣迴路捕獲技術，流程示意圖如圖3-8-2所示。蒸汽水合程序可以將石灰轉化為氫氧化鈣($CaO+H_2O\rightarrow Ca(OH)_2$)，使其活性再生多階旋風塔立式結構，可以讓吸附劑粉體和煙氣充分接觸與餘熱利用，2014年已建立20kWt實驗系統，2015年放大設計於業界建置500kWt試驗廠，如圖3-8-1所示。預期可以使額外能源耗用小於20%，捕獲率可以高達90%以上，且設備成本低與佔地面積小，使每噸CO_2捕獲成本可低於30美元。

(2) 中孔徑矽基吸附材捕獲技術

中孔徑矽基吸附材捕獲技術主要應用於捕獲低溫尾氣之二氧化碳。自2008年起至今工研院已建立1kg/hr中孔徑矽基吸附材量產系統，並完成配方研究以降低製備成本至800元/kg及改質研究以提升吸



資料來源：工研院，2015年12月

圖3-8-2 新世代鈣迴路系統示意圖

附效率，2014年建立3kWt Bench Scale吸脫附系統及進行玻璃熔爐實廠測試。

(3) 化學迴路技術

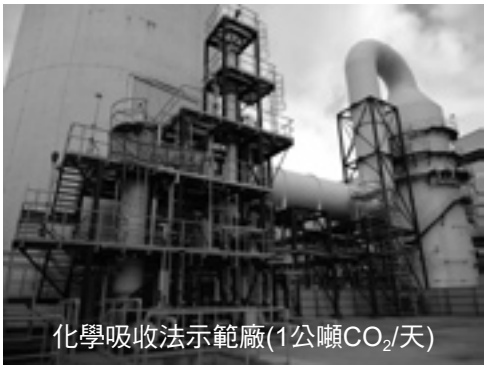
已分別各建立一座30kWt之化學迴路燃氣與燃煤新燃燒系統，本系統為移動床設計，並以氧化鐵為載氧體，主要由還原器、氧化器與燃燒器三部分組成。在以甲烷為燃料之條件下，進行系統連續運轉測試，二氧化碳濃度可達99%。而在以合成氣(CO=45%, H_2=35%, CO_2=20%)進料之情形下，CO_2濃度快速上升94%維持穩定。除此之外，同時進行低成本、高反應性及低磨耗率之載氧體開發。由於煤炭儲量豐富、價格低廉，因此以煤炭作為化學迴路新燃燒系統之燃料，可以增加化學迴路技術之競爭力。

中鋼公司參與經濟部CCS研發聯盟工作，並與學界合作分別進行化學吸收(清大)與廢渣(台大)捕獲CO_2研究，建立100kgCO_2/天化學吸收法捕獲實驗系統，CO_2捕獲效率>90%，CO_2濃度可達99%。此外，由於氨水碳捕獲具有低反應熱、低再生溫度、不易劣化、無新健康顧慮且中鋼有潛力自產氨水等優點，最近已將重點放在氨水吸收液捕捉CO_2特性相關測試與研究。台電公司參與經濟部CCS研發聯盟工作，除掌握評估全球具商業規模CO_2捕捉技術外，亦自行開發聚苯胺固態吸收劑。

能源國家型計畫之淨煤減碳主軸計畫，則針對二氧化碳捕獲化學吸收法進行技術發展及放大實廠測試，與台塑公司合作於麥寮廠區完成捕獲量1噸CO_2/天之示範工廠建置，如圖3-8-3。除此之外，亦針對富氧燃燒、燃燒前捕獲及微藻固碳進行相關技術研究。學界亦積極建立與產業合作關係，如清華大學與臺灣大學與中鋼公司，分別針對化學吸收及廢渣捕獲CO_2技術進行合作，建立化學吸收法捕獲系統，以及超重力製程之捕獲系統，如圖3-8-4。中央大學工業區氣化多元應用計畫團隊，亦與中鋼公司就燃燒前捕獲之氣化技術工業應用，進行相關合作研究。

2. CO_2封存技術

已擴大為研發與先導試驗兩個發展主軸，第一部份包括「地質封存潛能評估與CO_2傳輸與反應模擬技術發展」以及「CO_2注儲與封存監測技術發展」，著重於自有技術建立。2014年起搭配國際合作，強化本土化監測驗證技術之發展，以及模擬與風險評估技術之研發與案例建立；第二部份



資料來源：工研院，2015年12月

圖3-8-3　與台塑合作建立之示範廠

資料來源：工研院，2015年12月

圖3-8-4　與中鋼合作建立之實驗系統

為「CO_2注儲與地質封存先導試驗」，由台電公司及中油公司負責推動先導試驗。能源國家型計畫減碳淨煤主軸計畫則聚焦於場址特性調查、地質資料彙整與模型建構、數值模擬技術發展與CO_2封存示範試驗場所建立等重點項目。

(1) 監測驗證技術發展

已與美國能源部國家能源技術實驗室之國際合作，建立示蹤劑監測技術，並於國內技術驗證平台進行實地技術演練。現階段示蹤劑技術以全氟化物(PFTs)為主，穩定碳同位素為輔。PFTs易溶於CO_2、性質穩定，自然界中濃度極低，相當適合用於CO_2封存之監測。若於CO_2注儲時混入PFTs，可於地層中或地表監測PFTs濃度，可用來研判地層中CO_2之移棲行為，或作為地表外釋偵測之有利工具。穩定碳同位素則可辨認CO_2之可能來源，可用來區分天然與人工捕獲CO_2。

PFTs可大幅縮短監測反應時間與提升精度，2014~2015年已透過模擬現地環境之實驗室管柱試驗與現地淺地層技術驗證平台，建立PFTs佈放、採樣及檢測技術能量，並研擬作業程序。初步研究成果顯示PFTs適用於本土地質環境，可作為追蹤CO_2之有效工具。研發重點在於檢測效率之改善、成本降低與其他示蹤劑技術之整合運用，朝即時與定量化監測技術目標努力。

(2) 模擬與風險評估技術發展

配合與美國能源部能源科技研究實驗室的國際合作，引進量化CO_2地質封存風險評估框架CO_2PENS。與傳統風險評估流程之差異在於CO_2PENS針對CO_2封存建立專屬資料庫與分析流程，以模組化概念將CO_2封存系統區分為五大子系統，各子系統以簡化模式取代傳統耗時費工之模擬程序，並以機率式分析串接各模組，完成CO_2封存之全系統風險評估。

2014~2015年已取得CO_2PENS程式進行技術本土化研究與案例建立工作，主要針對儲集層模式與資料庫進行本土化工作，同時亦將既有數值模擬模式之案例成果進行重新運跑，以利與CO_2PENS分析模式進行整合。除此之外，搭配PFTs技術研發工作，亦基於既有數值模擬技術基礎，投入淺地層數值模擬技術之研發，初步採用TOUGH2-EOS7CA數值模擬技術，建立CO_2與示蹤劑共同移棲行為及近地表外釋情境模擬案例。

現階段數值模擬與風險評估工作已積極與國際接軌，建立國內量化風險評估技術之整體框架，後續將推動風險評估模式與監測技術之整合，朝全方位策略式監測技術及長期風險評估模式持續本土化研發項目，為未來場址營運及長期運轉做好準備。

(3) 分散式封存技術

考量國內地質條件與產業特性，除針對電廠、水泥廠、鋼鐵廠及石化廠進行大規模捕獲與封存外，亦需考量規模較小之中小型企業提供減碳方案。鄰近國家中，與國內地質環境相似之日本已提出溶解CO_2進行封存處理之概念，可作為國內開發方案之參考。現階段分散式封存技術主要著重於CO_2快速溶解技術之開發，投入先進觸媒之研發，提升溶解速率與觸媒可用性，可將煙道中CO_2快速轉製為碳酸氫鹽溶液，提供藻類養殖進行再利用。在核心技術建立後，亦將尋求合適場域進行技術驗證，例如地層下陷或海水入侵區域，以建立區域型分散式封存示範系統作為推動目標。

(4) 減碳淨煤主軸計畫

近期減碳淨煤主軸計畫主要針對國內中北部地區之潛在封存場址進行特性調查評估與技術發展工作，重點項目包括地質調查與模型建立、井測與取樣、三維震測、地物及地化基線監測，並針對注儲工程設計、潛能評估與耦合數值模擬技術進行發展，同時搭配橋接與溝通小組進行潛在封存場址民眾溝通。未來則朝實際場址尺度之特性調查、地質模型建構參數之量測、封存安全風險評估、建立CO_2封存示範試驗場所及與國外封存技術標準接軌等目標努力。

3. CO_2再利用技術

國內進展以微藻最具成效，包括：台電公司於大林電廠建立20噸之微藻養殖光生物反應器，並進行微藻多目標利用研究。中鋼公司已建立1.2噸的光生物反應器。成功大學已建立2百噸大型戶外固碳微藻培養系統，如圖3-8-5所示，現正放大至3百噸規模。業界與工研院合作，結合碳捕獲先導試驗廠，建立3噸微藻養殖場，如圖3-8-6所示。

資料來源：工研院，2015年12月

圖3-8-5 成功大學安南校區微藻培養工廠

資料來源：工研院，2015年12月

圖3-8-6 工研院與業界合作微藻養殖場

（二）推廣應用成果

國內在碳捕獲封存與再利用技術發展上已有很好的進展。特別在二氧化碳捕獲技術方面，目前發展較具成效者，主要有：(1)鈣迴路捕獲技術，首先與水泥產業結合，建立1.9MWt先導試驗廠，並籌組產業聯盟，將攜手促成下一世代30MW級鈣迴路捕獲示範系統之建置；(2)化學吸收與吸附法，除已建立小型試驗廠，正朝放大產業示範行進；(3)化學迴路技術，兼具高效率能源與低成本CO_2捕獲之特性，已建立試驗廠，正朝固態燃料與產氫製程，以及放大產業示範行進。並經由產業之業界合作積極參與，已開啟新興產業之契機，將為二氧化碳排放減量做出具體貢獻。預期推廣應用成果如下：

1. 鈣迴路捕獲二氧化碳技術，建立之1.9MWt鈣迴路捕獲二氧化碳技術，每年減少1千至2千噸CO_2排放，將於2018年建立30MW級鈣迴路捕獲二氧化碳示範廠，每年CO_2減少貢獻達6萬噸。預期2020年放大應用至水泥廠，每年CO_2捕獲量達3百萬噸。2025年起水泥廠、鋼鐵廠及石化廠每年可減量1千萬噸CO_2。工研院以1.9MWt先導試驗廠與新一代之鈣迴路技術，榮獲2014年全球百大科技研發獎（R&D 100 Awards）。

2. 化學吸收法及吸附法，已分別建立每日捕獲0.27噸、0.1噸CO_2化學吸收法及0.17噸CO_2化學吸附法；並完成每日可捕獲1噸CO_2之化學吸收法示範工廠之興建。預期每年減碳量可達2百噸以上。

3. 建立30kW直接煤炭化學迴路示範測試系統，並建立領先國際之測試操作平台，供國內持續投入技術改良與系統商業化放大之研發。

4. 建立封存監測驗證核心技術，扶植本土監測產業。建立與推廣地質模擬與風險評估技術框架及本土分析案例，提供與國際接軌之標準與技術規範制定依據，發展分散式封存技術，建立區域型減碳示範系統。

參考文獻

[1] International Energy Agency (IEA), 2015, 2015 Key World Energy Statistics. p.48~57

[2] 經濟部能源局，2015，國內燃料燃燒二氧化碳排放統計

[3] International Energy Agency (IEA), 2015, Energy Technology Perspectives.

[4] Global CCS Institute，2015, The Global Status of CCS, Oct. 2015.

[5] Global CCS Institute，2014, The Global Status of CCS, Feb. 2014.

[6] NETL, 2014, Carbon Storage Technology Program Plan

第肆章　新及再生能源技術

- 第一節　太陽光電
- 第二節　太陽熱能
- 第三節　風能
- 第四節　生質能
- 第五節　地熱
- 第六節　氫能源與燃料電池
- 第七節　電網級儲能
- 第八節　海洋能

第肆章　新及再生能源技術

自上世紀70年代以來，由多次石油危機開始，各國紛紛發展替代能源，後來因全球暖化議題，減碳需求成為永續發展之重要推力，歐美各國政府都以再生能源為能源戰略的重要組成部位。

目前多國已提出明確發展目標與相關法規，2014年全球再生能源裝置量達1701GW，預計至2016年可成長至2009GW，成長主要為各國政策支持，同時能源技術精進而使發電成本持續下降。其中之太陽光電在未來幾年維持微幅成長；風力發電裝置容量則以每年6~10%成長；地熱開發在近15年也成長了50%。目前我國使用進口化石燃料佔能源來源90%以上，作為能源輸入依賴國，發展再生能源實有其必要性，同時，在發展替代能源時，亦可以國內市場做為技術研發試練基地，以成為下世代之能源技術輸出國。

新及再生能源種類繁多，而國內由自然條件及能源需求面考慮，較具潛力技術包括：風能、太陽能(熱能及光電)、生質能、地熱、海洋能、氫能與燃料電池，在產、官、學、研多年合作發展下，已取得相當成績。以陸域風場為例，至2013年12月已設置近311架風力機，裝置容量614.2MW；離案風場方面，預計於2016年完成2支4MW風機之布建，至2030年則達4GW。在太陽光電產業，已建構完整產業供應鏈，2013年總產值達新臺幣1,572億元，太陽電池生產量逾7GWp，為全球第2大製造國。

在2014年8月通過之綠能產業躍升計畫中，其中之太陽光電產業以發展系統開發能力及實績拓展全球市場、建構完善金融環境以提供系統開發資金需求、技術開發保持產業優勢以降低系統成本等三個策略來推動。風力產業方面則以透過政策引導創造國內市場、完善基礎設施建構應用環境、開發先進科技以有效降低成本等策略來推動此一產業。

為加強國內投資，提升經濟動能，經濟部於2015年8月20日行政院院會報告生能源投資法。經濟部擴大再生能源推廣目標，總目標自

13,750MW擴大至17,250MW，其中兩大主力來自太陽光電至2030年將增加2,500MW達8,700MW，離岸風力則增加1,000MW，達4,000MW。於離岸風力方面，目前有進行3座示範風場；為加速離岸風力開發，2015年6月以公告離岸風場潛力場址劃設，北起富貴角、南至貓鼻頭，涵蓋臺灣西部海岸線，以水深50公尺以內為界，共劃定36個區域場址，開放業者申設投資。預估可增加2,300萬瓩裝置容量，並預期2018年開始會有大幅成長。至2020年預估3年間可促投880億元，裝置容量達100MW，至2030年裝置容量將衝刺4,000MW，促投資6,700億元。同時，太陽光電每年以500MW的數量成長，每年促投資可達350億元，104年也有230MW擴大增購，可促投資180億元，至2030年太陽光電裝置容量將達8,700MW，可促投4,800億元。

國內具備豐沛的地熱資源，依潛能概估結果來看，淺層發電潛能約有700MW；增強性方面則達30GW，實不可忽視。再者，地熱可做為基載電力，所以其穩定又可調配發電特性使其價值更比其他再生能源為高。近年來，為再加速地熱開發方面，亦有許多不錯的進展。

本章以各節就太陽光電、太陽熱能、風能、生質能、地熱、氫能與燃料電池、電網級儲能、海洋能等技術，說明國內近年來研究發展成果，並說明政府推動各項技術應用策略及推廣應用現況。

第一節　太陽光電

近年來因溫室效應所引發全球氣候異常現象，各國積極發展再生能源。國內有良好之日照條件，同時兼具優良之半導體技術基礎，實具備發展太陽光電之良好立基。太陽光電之利用對於舒緩尖峰用電、環境保護等都有極大助益。政府為加速太陽光電推廣應用，將104年太陽光電推廣目標，由270MW進一步提高至50MW，原規劃於2030年達成6,200MW目標，可望於2025年提前達成，2030年目標則提高至8,700MW。

太陽光電係利用太陽電池直接將太陽光能轉換成電能方式，目前已發展出多種類太陽電池，包括單晶矽太陽電池、多晶矽太陽電池、非晶矽太陽電池、CdTe薄膜電池、CIGS薄膜電池、染料敏化薄膜電池、有機材料電池等。太陽光電產業鏈包括太陽光發電裝置及其相關專用零組件、材料、晶圓、電池、模組、設備及其發電系統領域所涉及之製造、安裝及運維相關產業。太陽光電系統主要可分為3種，分別為獨立發電系統、混合系統與市電併聯系統。

一、國內發展目標與策略

（一）發展環境分析

國內太陽光電產業鏈完備，從事太陽光電產業廠商數超過250家，其中180家為系統相關業者，整體太陽光電產業從業人員達2.3萬人，產業供應鏈包含上游材料晶片、中游元件/組件及下游系統廠商。2015年總產值達新臺幣2,005億元，2015年太陽電池產量達9.46GW，為全球第2大製造地區，全球占比達16.7%。

2012年政府開始執行陽光屋頂百萬座政策，推動縣市公有屋頂出租設置，提升民眾認知與承裝意願，2015年累積設置842MW，藉由擴大內需增進國內系統商設置能力與實績，協助業者建立系統設置實績與安裝量，以利拓展海外市場。在太陽光電產品大幅跌價，刺激全球太陽光電市場需求持續成長背景下，太陽光電產業技術將持續朝向高效率低成本、高

附加價值與能源技術服務等方向發展。國內太陽光電產業目前仍以專業製造代工為主，專精於矽晶片與太陽電池，但隨著大陸低價競爭，成本下降壓力大。在國際太陽光電產業進行上下游整合以及掌握系統端市場之際，國內企業經營唯有透過品牌建立，延伸到系統整合商角色，加強國際佈局以及鞏固既有技術優勢，以持續在國際市場競爭。

（二）發展目標與策略

由於太陽能發電成本大降，考量太陽光電發電與夏季為用電高峰，加上發電成本大降，每度躉售價格約為4.6至6元間。因此經濟部能源局宣告原訂2030年完成之「陽光百萬屋頂計畫」6,200MW設置目標，提前於2025年達成。此外，將每年之太陽光電發電設備推廣目標量訂定為500MW。

國內產業經由多年發展，高效率、低成本、與彈性化已成為產業核心競爭優勢。在高度競爭產業環境中脫穎而出，應持續提升矽晶圓、太陽電池/模組與系統業者技術能量，整合上、中、下游業者合作進行研發，透過國際交流合作，開發前瞻關鍵技術及利基型產品，協助產業技術升級。同時彈性運用海外行銷策略與營運模式，佈海外系統端合作通路，拓展海外市場。

1. 矽晶太陽電池與模組

由於太陽電池價格驟降，產業面臨嚴重成本降低壓力，而矽晶太陽電池中所占成本最大者為晶片(約60%)，其次為金屬電極(約15%)，故降低成本之重點為矽晶片薄化與銀電極之取代。另外，高效率太陽電池在市場上逐漸占有優勢，低規格產品無法獲得利潤，故透過高效率太陽電池開發，以取得差異性優勢。而在高效率新結構太陽電池開發上，表面鈍化技術(PERC)及n型矽太陽電池將成為未來主流。因此，發展目標與策略為：以薄晶片與非銀電極降低成本維持優勢，以PERC太陽電池效率推升維持現有優勢，並及早佈局下世代n型矽高效率新結構太陽電池，提升品質，創造競爭力，因應未來趨勢。

由於太陽電池係以每單位發電量之價格為衡量指標，因此在考量效率提升同時，亦需留意提升效率所需投入之成本，是否符合經濟效益，短期將著重與現有製程較易整合、具成本效益低成本高效率技術開發。太陽光電模組主要發展的3大重點目標：高效率模組技術、低成本模組技術、高可靠度模組技術。新型高效率電池快速發展帶領模組技術提升，如太陽電池及表面鈍化(Passivated emitter and rear cell, PERC)、雙面電池(Bi-facial cell)、異質接面太陽電池(Heterojunction cell, HJT)、N-Type、背電極與多電極(Multi busbar)等太陽電池技術。需同時帶動相關模組新封裝技術、自主性材料開發、整線設備自動化、產品驗證測試，讓產業持續保有高效率優勢，並將模組產品開發導向系統發電量提升，發電增益技術，如廣角抗反射技術、模組遮蔭改善、降低模組工作溫度等，增進太陽光電系統效益，提升模組產品之國際競爭力。

模組技術開發分為兩部分，其一是降低高效率電池封裝成模組之功率損失，光學部分可從模組三維光學結構最佳化設計著手，配合如利用UV pass之高穿透封裝材料及高反射背板材料，達到模組光學增益設計。電性改善方案，新結構封裝技術，如利用半電池模組(Half-cut PV module)封裝技術及4電極、5電極與多電極電池封裝技術開發，提高填充因子增加模組輸出功率。多晶模組預計在2016年開始達到零封裝損失，單晶模組預計在2019年開始達到零封裝損失。

其二是高可靠度模組技術，因應大型電廠開發需求，模組抗1,500V PID (Potential induced degradation, 減少電位誘發衰減)設計，將是高可靠度模組開發重點。同時為了解決傳統封裝材料超塑烯膜EVA(Ethylene vinyl acetate)醋酸釋出造成金屬電極腐蝕可靠度問題，開發聚烯烴或以矽膠為根基封裝材料取代EVA材料及採用兩面太陽能玻璃之雙玻模組技術，提升模組抗水氣、抗腐蝕及防風砂磨損等性能皆為模組可靠度開發項目。

發展策略將推動模組聯誼會，保持國際上最新技術與資訊暢通，建立模組產業共通材料測試規格，以降低國產材料及新材料導入障礙，並建立模組產業量測基準與產線校驗能力，持續提升模組品質與可靠度。

2. CIGS薄膜太陽電池

銅銦鎵硒(Copper Indium Gallium Diselenide, CIGS)化合物薄膜太陽電池，目前世界最高光電轉換效率已可達21.7%[1]，膜厚僅需1-3微米，具有高光電轉換效率和低成本等優勢。近年來，太陽電池對於效率與售價兩

者同樣重視之情況下，縱使CIGS太陽模組效率可達16.5%，國內外產業面臨問題為成本考量，市場分食與競合終究受限於模組售價，反應在製造成本與發電能力是否具備產業優勢，由於傳統CIGS製程採用真空法(如濺鍍、共蒸鍍法)，其製程之製造成本和硬體設備費用仍高。

目前國內CIGS產業策略，現有模組廠大多以降低各項成本為進攻市場主要手段。另有跳脫現有真空技術瓶頸，以非真空製程發展低成本、可撓式、印刷式技術為搶攻未來太陽電池市場之新思維，作為下世代低成本太陽電池之接軌技術。印刷式CIGS太陽電池可於大氣環境下，將濕式金屬氧化物之前驅物塗布於剛性或軟性基板，再以反應式硒化熱處理使其於高溫下結晶，形成黃銅礦結構之CIGS薄膜。以此方式所製作CIGS太陽電池具有低毒性、大面積化、高速量產、產品多樣化、輔助性發電裝置等特色，企圖開發有別於主流真空技術之其他生產方法，該技術也漸漸進入成熟階段，以整合國內材料、設備、製程等自有技術能力，開發低成本CIGS太陽電池為主要目標。

短期目標為開發可撓式輕量CIGS太陽電池，未來可應用於民生用穿戴式裝置、3C電子產品輔助性電源、屋頂及建築一體型太陽光電系統等。兼具輕量、美觀、環境優化等優勢，明顯分劃出有別與矽晶電池之市場，成本約0.4瓦/美元，轉換效率可達14%，符合下世代低成本與高效率之產業需求。

3. 染料敏化太陽電池(DSSC, Dye Sensitized Solar Cell)

相較於第一代與第二代太陽電池技術，第三代太陽電池技術且有許多優點，包括能在弱光環境下發電、適合室內與攜帶式消費型太陽光電產品應用，以及可迎合時尚之太陽光電產品需求加入色彩元素。

DSSC初期產品應以行動能源與室內使用概念為出發點，適合應用在消費型電子產品，如遙控器、無線鍵盤等有需要便利性及在室內弱光使用下的民生消費電子產品(電子標籤、室內指示燈、生物感測器、室內裝飾、電子書、電子禮品、卡片…)。由於DSSC技術應用廣泛，亦更需要跨領域技術結合(化工、材料、機械、電子、汽車、建築與生物科技等)，才易有優勢終端商品問世與有效帶動DSSC的產業發展機會，另外制定染料敏化太陽電池適用之產品測試標準與測試平台。

整體而言DSSC，短期目標將定位在弱光發電領域應用，主要範圍為前述物聯網中感測器的延伸電源，由於使用情境非一般太陽光照條件，必須重新調整模組所有結構，目標為弱光發電效率>15%以上(@3,000Lux，10w/m^2)；中長期為BIPV的開發，目標鎖定在0.5-0.1sun下效率>6%，且壽命必須>10年，由居家與工業窗戶導入小型電力系統，提供部分空調或是監測使用，長期漸漸步入玻璃帷幕的取代，將建築綠能化做到更節省能源。

4. 太陽光電系統

國內太陽光電系統隨著電力躉售(Feed-in Tariff, FIT)政策之推動，系統設置量不斷增加，系統設置成本亦快速降低；然而部分廠商為追求更高之獲利及快速成本回收，常在工、料上設法追求更低成本，可能導致系統品質瑕疵、支撐構架不穩固或可靠度、耐久性不佳等情形。因此太陽光電系統在配合政府分年設置推動目標下，執行的策略必須考量系統之安全性、可靠度，以及整體系統穩定性。

在系統安全性、可靠度方面，除了系統零組件需要滿足單一元件測試標準外，太陽光電系統的安全性、可靠度、耐久性及品質可透過系統完工驗收及營運中檢測、驗證、維護等相關技術投入，以延長系統整體運轉壽命。包括電氣安全、消防安全及結構安全等皆需要配合相關法規之檢討修正，以及在設計、施工方面之技術提升與施工查核、運轉檢查之執行配合等，才有可能確實落實成效，避免系統受到天然災害或火災而影響系統安全及相關人員安全。

在電網穩定性方面，發展策略應著重於先進國家在併網政策與對應技術之發展為主，探討各國太陽光電系統併網時之保護協調與控制、調度技術，並針對國內電網強度及系統運轉環境之影響，發展適合國內太陽光電系統併網之保護協調與控制、調度技術。另外也應針對智慧變流器的控制技術及運作機制進行探討與研究。

因國內太陽光電系統設置目標將逐年大幅成長，未來在低窪地區、地層下陷區、垃圾掩埋場或汙染地等，都是可作為太陽光電系統設置場域，而在這些地區設置系統之相關注意事項、適合設置技術又不過度增加成本等，亦為未來可發展方向與重點。

隨著電能躉售費率逐年之調降，而市電價格可能調漲之影響，為因應此種後FIT時代來臨，相關太陽光電應用技術亦應進行研究發展。例如，佈局開發具可市電併聯、儲能、智慧電能管理之整合控制技術，以及與電網解聯後，仍可自力運轉之多功能太陽光電系統，以提升太陽光電系統多元應用價值，同時提供太陽光電系統市電平價後可供差異電價運轉用電之方式，充分發揮太陽光電系統在尖峰電價之優勢與效益。

二、產業技術發展指標與時程

(一) 國內外技術發展指標

1. 矽晶太陽電池與模組

矽晶太陽電池未來5年之技術走向，將以PERC結構電池將逐漸取代目前主流之BSF全背電極電池，目前單晶PERC電池量產效率已達20.5%以上，而異質接面薄本質層(HIT)及Rear Contact Cells(包含Interdigitated Back Contact等結構)也將快速發展，為中期高效率矽晶電池技術重要選項，未來效率可在22%以上。此外，n型晶片導入，將成為高效率電池未來發展之關鍵。

在模組技術部分：

(1) 新模組封裝技術，隨著新型電池技術開發，降低模組封裝損失，提升模組關鍵材料性能，並通過國際驗證為主要發展方向。模組未來趨勢導向系統發電量提升開發，如光學增益模組封裝材料開發、低溫度係數封裝材開發、雙面發電模組封裝技術。

(2) 材料自主化開發更朝向高質化、高性能封裝材料開發，如紫外光增益EVA材料開發、減少電位誘發衰減(PID)、高使用壽命之耐黃變與絕緣材料開發，並致力於避免EVA長期醋酸腐蝕新材料技術，及降低生產成本非氟系配方背板材料研發等。

(3) 在模組設備開發朝整線自動化封裝設備，包括焊接機、大型封裝壓合機、組框機、EL檢測設備、輸送線等。隨著高效率太陽電池快速發展，進一步提升模組設備性能，如開發擴展模組量測範圍波長與脈衝時間之太陽光模擬器，搭配新型多電極焊接機、多層式模組封裝壓合機開發等。

(4) 模組驗證測試能量，國內目前已有多家驗證測試實驗室，因應新電池與新封裝材料變更設計需求，可進行模組測試項目已包括IEC 61215、IEC 61646品質測試及IEC 61730、UL 1703之安全測試、防火測試等。可有效縮短業界新產品驗證時間，並且已建立電位誘發衰減測試(IEC 62804 Ed 1.0)、鹽霧測試(IEC 61701 ed.2)等驗證測試能力，增加業界進入歐、美、日市場與新興市場之競爭力。另有如矽晶模組內電池蝸牛紋目視缺陷之可靠度議題，亦需尋求預防之道。

2. CIGS薄膜太陽電池

CIGS現有之真空製程技術可分成共蒸鍍、濺鍍，而非真空製程技術可分為塗布法、電鍍法、化學噴灑熱解法等。CIGS化合物薄膜太陽電池結構，基板可為剛性(如玻璃)及軟性(如不銹鋼、鋁箔、鈦箔、塑膠等)。基板上依序為鉬(Mo)金屬層為背電極，p型CIGS光吸收層、n型CdS半導體緩衝層、i-ZnO層、AZnO透明導電層、金屬導線。

3. 染料敏化太陽電池

染敏電池目前分為軟性基板與玻璃基板模組技術，兩者所發展之策略方向略有不同，軟性著重於消費型、穿戴式或是曲面應用，而玻璃基板則是偏向於較大型之建材一體型太陽光電(BIPV)方向努力。近期一些物聯網之應用，需要在弱光下環境監測，恰好為該技術最佳之實用範圍，可以成為國內產業初期發展關鍵契機，因此染敏電池除國內外皆還在發展材料外，目前較為重視為使用壽命提升，除此之外對於效率提升也是非常重要議題，尤其在光強度較弱時，還必須能有>10%以上轉換效率，對於使用者而言才能體會到太陽能帶來之便利性，長期則以BIPV為目標市場。

太陽光電國內外技術發展指標詳見表4-1-1。

(二) 國內技術近期發展重點

1. 矽晶太陽電池

近幾年來由於太陽電池之供需不平衡，導致電池價格持續下滑，因此主要生產廠商從原本由國外統包設備引進技術(Turnkey)紛紛轉向高效率製程開發，期望能與其他廠商產生差異化技術，如選擇性射極、N-type太陽電池及表面鈍化(PERC)等結構，許多公司已發表相關技術，且已開始量產，但其效率尚有提升空間。而未來幾個重點為：

表4-1-1 太陽光電國內外技術發展指標

技術項目	國外發展指標	國內發展指標
矽晶太陽電池	• P-type傳統單晶(PERC)：21% • P-type傳統多晶(PERC)：19.5% • N-type硼射極結構：21% • N-type IBC結構：25% • N-type HIT結構：24.7%	• P-type傳統單晶(PERC)：21% • P-type傳統多晶(PERC)：19.5% • N-type硼射極結構：21% • N-type IBC結構：22.5% • N-type HIT結構：23%
CIGS薄膜太陽電池	• 共蒸鍍CIGS太陽電池效率：21.7% • 真空濺鍍製程模組效率：16.0% • 非真空CIGS模組效率14.3% • 無鎘緩衝層：InS、ZnS(O,OH) • 輕量化模組(1m×1.3m×1.5mm)，重量6kg	• 真空濺鍍製程模組效率：16.5% • 非真空CIGS太陽電池效率：13.98% • 無鎘緩衝層：InS、ZnS(O,OH)
DSSC模組效率與壽命	• 9.9% @1 sun, 17.11cm^2	• 9.1% @ 1 sun, 11×11 cm^2, ITRI • 12-13% @ 1,000- 10,000lux，11×11 cm^2, ITRI • 使用壽命室內>7年

(1) 薄晶片高效率電池整合結構，需開發高品質長晶技術，並以鑽石線切割技術降低晶片厚度至約150μm，同時增加晶片強度、降低破片率、並提升現有PERC表面鈍化太陽電池之效率，以及對應多晶之PERC技術，預計2016年單晶效率達21%，多晶效率達19%。

(2) 非銀電極太陽電池，亦可整合於薄晶片高效率電池整合結構之中，需解決相關模組封裝問題及信賴性問題，並進行量產驗證。

(3) n型晶片太陽電池結構，在硼擴散雙面太陽電池上，需持續提升效率並降低成本，預計2017年效率提升達22%。

(4) 在異質接面太陽電池結構上，將結構調整至最佳化，效率提升至23%，並需解決量產設備及製程技術，低成本透明導電膜及電極技術為重點，以利後續加速商品化。

(5) 先期投入無切割損晶片、電池等前瞻技術，以佈局未來。

2. 太陽電池模組

太陽電池模組之發展重點分別為高效率模組技術、低成本模組技術及高可靠度模組技術3大面向，分別說明如下：

(1) 高效率模組技術發展方面：主要為應用PERC電池封裝成太陽光電模組，在不改變現有模組封裝與產線技術，即可達到提升輸出功率目的。雙面發電模組主要應用雙面電池封裝成為透光型太陽光電模組，提升模組發電效率。

(2) 低成本模組技術發展方面：背板材料發展以非氟系封裝材開發為主，由於EVA長期會有老化裂解釋出醋酸與黃化，造成導電條腐蝕及發電量降低等問題，替代性封裝材料研發將為主要課題，如聚烯烴及矽基等材料。同時，減少封裝材料厚度達到材料減量以降低成本。

(3) 高可靠度模組技術發展方面：長期可靠度仍為太陽能模組製造商、安裝商及系統商在投資時最重視關鍵，對於使用者需要確保太陽光電系統發電量與安全性。因應模組新產品開發除了現有IEC 61215、IEC 61646品質測試及IEC 61730、UL 1703安全測試等；近年來依太陽光電系統使用經驗，新衍生模組問題如PID、鹽霧腐蝕、蝸牛紋等現象，亦調整新增產品測試驗證，包含電位誘發衰減測試(IEC 62804 Ed 1.0)、鹽霧測試(IEC 61701 ed.2)，以符合國際趨勢，增加國內廠商進入歐、美、日市場之競爭力。

3. CIGS薄膜太陽電池

目前國內CIGS廠商之太陽電池量產技術，多仿效國外CIGS大廠，皆為真空濺鍍金屬前驅物及硒化熱處理技術，對於製程及產品極為相似。國內近年來CIGS太陽電池與模組之發展重點分別為高效率模組技術、高輸出功率模組技術，茲就概況分述如下：

(1) 高效率模組技術：國內太陽能業界之濺鍍型CIGS太陽電池模組，於2015年4月創下16.5%模組轉換效率，以現有廠房製造設備與材料，開發商用規格面積為1.09平方公尺之CIGS模組，模組發電功率約150~165W。

(2) 高輸出功率模組技術：近期業界開發三合一(3in1)模組，發電功率達325W，為目前全球發電瓦數最高CIGS模組，開發自有模組結構三合一方式之獨特設計，突破傳統薄膜太陽能模組大型化之技術瓶頸。2015

年更強調三合一型模組可隨鋪設地形摺疊，單一模組最高發電量可高達500W，轉換效率達近14%，若加上薄膜模組本身低溫度係數等優勢，發電量等同於16~18%之矽晶模組。

預期未來CIGS產品即將面臨性能及成本競爭，國內也開始積極佈局下世代CIGS技術，因應未來產品多樣化與製程簡易需求，擬定可撓式CIGS太陽電池非真空試量產線開發，做為未來下世代的關鍵技術，其試量產線開發包括：高產速上下電極濺鍍技術及設備開發、量產型漿料合成及塗布平台建置、高效硒化後硫化技術及設備開發、無鎘緩衝層技術及設備開發等。產品設計也將異於以往之硬板型模組，著重於輕量型、可彎曲、多樣性之CIGS可撓式次模組產品開發，全面性考量CIGS太陽電池之技術優化、設備本土化、產品多樣化，可為CIGS太陽電池產業開拓出兼具品質與特色之差異化產品。

4. 染料敏化太陽電池

短期內國內染料敏化廠商主要朝兩面向發展，一為應用方面，期望在室內或是弱光下與染料敏化太陽電池應用結合能真正商品化；二為模組製作方面，越來越多之應用需求提出，因此業者積極往模組試量產開發，其中最被大家所關注為DSSC模組使用壽命議題。由於現今之應用走向民生，其使用的環境光源與戶外光源有所不同，因此重點針對在弱光時之效率提升至20%，及其使用壽命需要超過5年驗證與評估方法建立(>業界要求3年的使用期限)。此外，因應模組需求，批次穩定與效率的一致性，及相關量產設備的開發，都是目前國內積極發展重心。

5. 太陽光電系統

近幾年政府積極推動太陽光電系統設置，國內設置量不斷快速成長，如何提升系統品質、安全性、可靠度實為相當重要。此外在有限設置面積限制下，開發多元、多功能性之應用及BIPV與建築整合之技術亦是歐、美、日等國家之發展趨勢，如何有效運用既有系統技術，並考量市電平價後的系統應用情境，未來技術發展之重點說明如下：

(1) 系統品質、可靠度及安全性提升技術

國內太陽光電發電系統設置大量成長，系統品質、安全與可靠度愈來愈被重視，且國內大型系統業者金融貸款、保險之需求下，對系統驗證與鑑價技術逐漸重視，因此該技術為近年技術發展之重點。本技術之發展依據IEC62446、IEC61829建立多項太陽光電系統檢測技

術，包含現地模組瑕疵或缺陷檢查技術、系統目視檢查技術、設備接地連續性測試、串列開路電壓與極性測試、串列運轉電流測試、組列絕緣電阻測試及組列I-V特性量測等，並建立系統性能診斷分析與評估技術，以協助國內業者提升系統品質、確保系統維運安全與可靠度。

(2) 系統多元化應用技術

持續擴展太陽光電的應用領域，開發新型多功能太陽光電建築整合模組建材，以符合屋頂建材防火規定及良好之隔熱性。另外，因應PV發電與市電同價時代來臨，研發後FIT時代太陽光電系統應用，滿足未來太陽光電自發自用需求，且降低太陽光電併網對電網衝擊，配合儲能系統與電能管理技術，並提升系統設置品質與功能及降低成本上要求，增加民眾設置意願及需求。

(三) 技術發展時程

國內太陽電池元件製造產業，為全球第二製造國，具有國際競爭優勢，未來規劃將以系統服務為導向，帶動關鍵材料、引導整體產業發展，並持續深耕元件製造業，表4-1-2列出國內短中長期太陽光電技術發展時程。

三、國內發展現況與成果

(一) 技術發展現況

1. 結晶矽太陽電池技術發展

國內單晶矽生產技術與國外不相上下，而多晶矽生產技術近年已經領先國外，開發高規格多晶矽具有更良好晶片品質，晶片之缺陷較傳統多晶片來得低，其太陽電池具有更高能量轉換效率，已受到國際肯定。而在晶片切割技術方面，鑽石線切割、水切割等新切割技術持續發展，未來將朝向低成本之薄晶片生產技術發展，晶片厚度將由目前主流180微米降低到150微米。

結晶矽太陽電池技術，目前國內許多大廠已經將背面鈍化結構導入量產化，平均效率可達到20.5%以上，而多晶亦可達到19%以上效率。近期開始量產的前硼射極N型太陽電池效率亦可達到21%。

表4-1-2 國內太陽光電技術發展時程

項目	短程(~2018)	中長程(~2025)
矽晶太陽電池	• 背面鈍化太陽電池、背電極太陽電池、異質接面太陽電池、N型矽太陽電池等新結構太陽電池之量產化效率≧22%。	• 薄型高效率矽晶太陽電池技術開發。效率≧25%，厚度≦100μm • 矽晶太陽電池與其他寬能帶太陽電池之堆疊結構，堆疊效率≧30%
太陽光電模組	• 單晶矽模組：18.5% • 多晶矽模組：17.5% • 模組使用壽命≧30年	• 單晶矽模組：21% • 多晶矽模組：19% • 模組使用壽命≧35年
CIGS薄膜太陽電池	• 2MW試量產線前驅物成膜技術開發 – 高產速上下電極連續鍍膜技術及設備 – 公升級前驅物漿料合成技術及塗布平台開發 – 大面積硫化後硒化設備開發 • 產業共同關鍵量產設備開發 – ZnS無鎘緩衝層技術及設備開發 – 10公分x20公分次模組效率達14%	• 本土自主化20MW量產線設備及技術能力 • 成立非真空CIGS技術新創公司 • 可撓式CIGS產品開發 • 太陽電池及其他功效結合式產品開發 • 30%高效率堆疊型太陽電池技術開發
染料敏化太陽電池	• 模組>100cm^{2}效率>7%且 室內使用壽命>10年 • 低照度效率>18%@<10000lux	• 效率>10%@1 sun，模組>100cm^2 • 低照度效率>20%@<10000lux，且使用壽命>10年 • 製程設備整合為整線製程輸出 • 應用商品結合開發 • BIPV產品開發
太陽光電系統	• 效率> 10%@1 sun，模組>100cm^2 • 低照度效率>20%@<10000lux，且使用壽命>10年 • 製程設備整合為整線製程輸出 • 應用商品結合開發 • BIPV產品開發	• 系統符合性評鑑技術 • 系統分級評估制度 • 第三方檢測驗證機制 • 系統認證制度 • 電廠與區域發電量預測技術 • 結合太陽光電與儲能之智慧型電網應用技術 • DIY系統

資料來源：工研院整理，2015年12月

其他技術方面，如電鍍電極技術、背電極結構技術、異質接面結構技術等，均已具備基本技術能量，但尚未達到真正量產化，未來將整合目前之高效率技術，尋找效益最大之高效率低成本解決方案。

2. CIGS薄膜太陽電池技術發展

國內開發非真空製程技術之研發成果以10cm公分x20公分不銹鋼基板，製作兩個5公分×20公分(100平方公分)非真空可撓式CIGS次模組，效率最高可達13.98%，搭配高穿透度及低電阻透明導電膜(TCO)，穿透度>80%，導電度<35歐姆/見方，600~1,100奈米波長範圍之無鎘緩衝層穿透度>80%，其中穿透度最高90%，開發國內自有非真空可撓式CIGS太陽電池模組的技術，並自2015年預定3年間完成2MW試量產型製程驗證平台，為佈局高效率、低成本、可撓式、輕量化、多樣性之非真空CIGS產業。

3. 染料敏化太陽電池技術發展

染料敏化電池技術為少有之從材料、設備、製程和應用，皆可於國內現有產業中完成技術，其中玻璃基板11×11cm^2次模組效率達9.12%，Jsc 18.92mA/cm^2，Voc 0.71V，FF 0.68，Pmax 647mW。長效型10×10cm^2軟性太陽電池模組效率達5.76%，經變溫老化測試模組壽命相當於室內6.9年。目前實際的應用展品主要為辦公室系列，如染敏時鐘(不用電池)、染敏信箱(利用大樓公共信箱空間，嵌入DSSC圖案發電，提供開信箱時光源電力)、廣告看板、個性化窗戶、溫溼度感測器(不用換電池)、與燈具結合的電力回收系統(多餘的電可以用於感測器、室內定位、空調等)，以及DSSC芳香除臭噴霧器。

4. 太陽光電系統技術發展

(1) 系統雲端營運管理技術：開發系統監測資料加值分析功能，以達成PV系統即時異常診斷之目的，並搭配可支援多種資料源之監測資料擷取裝置，強化營運管理技術與平台功能性，使系統可提早發現狀況並快速解決系統故障或異常問題，降低發電損失。

(2) 太陽光電系統電性檢測技術：可應用於戶外系統性能評估，並依據IEC61829與IEC62446建構系統診斷查核SOP與相關檢測技術，提供太陽光電系統建置及營運過程中的系統性能診斷能力。

(3) BIPV與低能耗建築整合設置技術：推動太陽光電模組納入綠建材標章，擬定綠建材評定基準。

(4) 太陽光電光熱一體化系統(PVT)技術：開發以矩形不銹鋼管及高效率單晶矽背電極PV模組組成之PVT模組，發電效率達17.44%、熱效率為42.12%，系統最佳總效率(電+熱)為59.56%。並完成國內兩處住宅之推

廣設置，以強化太陽光電系統多元應用之成效。

參考文獻

[1] http://www.zsw-bw.de/uploads/media/pr12-2014-ZSW-WorldrecordCIGS.pdf，上網日期：2014-9-23

[2] International Technology Roadmap for Photovoltaic (ITRPV.net) Results 2014, Rev.1, SEMI PV, July 2015.

[3] International Technology Roadmap for Photovoltaic (ITRPV.net) Results 2013, Rev.1, SEMI PV, March 2014.

[4] https://www.ise.fraunhofer.de/de/downloads/pdf-files/aktuelles/photovoltaics-report-in-englischer-sprache.pdf，上網日期：2015-11-20

第二節　太陽熱能

臺灣屬於亞熱帶地區，日照量相當豐沛，非常適合推廣高效率(效率可達40%以上)之太陽熱能系統。目前國內太陽熱能技術及產業主要應用於太陽能熱水系統，「再生能源發展條例」中訂立中央主管機關得考量太陽熱能利用之合理成本及利潤，依其能源貢獻度效益，訂定獎勵補助辦法。經濟部依據本條規定訂定發布「再生能源熱利用獎勵補助辦法」，推動國內太陽熱能產業補助作業，以達到國家能源政策所訂定之太陽熱能利用目標，並同時帶動國內太陽熱能之產業發展，累計至2015年底，國內太陽能熱水系統總累積裝置32.2萬套系統，折合有效集熱面積約已達162萬平方公尺，每年可省下約11萬公秉油當量之替代能量，約減少30.7萬噸二氧化碳排放。

一、國內發展目標與策略

(一) 發展環境分析

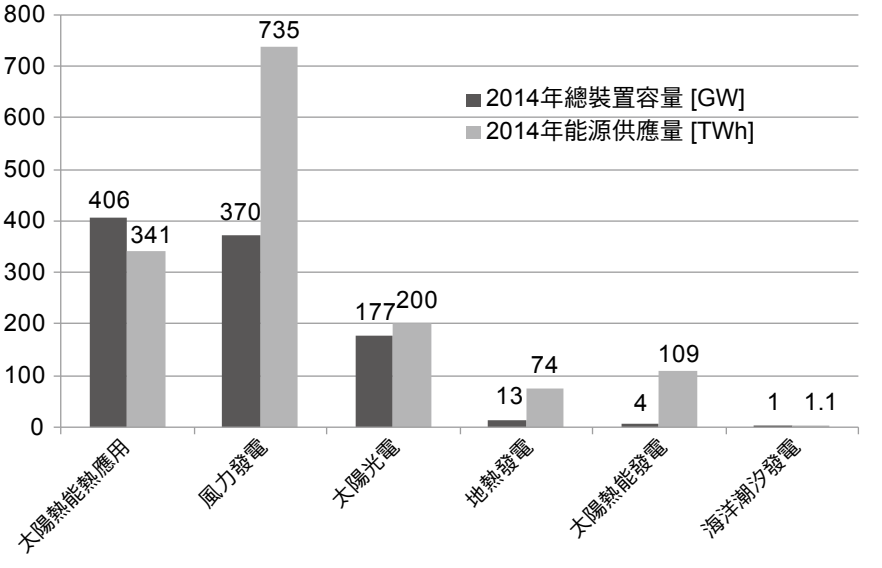
目前太陽熱能應用大多集中在低溫太陽熱能技術之應用(註：太陽熱能低溫技術係指不聚光、不追日、集熱溫度小於100℃之技術應用)，其技術至今發展已趨成熟並有許多商品化之產品，目前最為廣泛應用之低溫太陽熱能商品中有93%集中在家庭盥洗用小型太陽能熱水器。對於目前市占率約7%之大型太陽能熱水系統，如醫療院所、旅宿業及工商業等熱能需求較高之產業，太陽能熱水系統仍具可觀之成長空間。

雖然高溫系統之應用範疇較為廣泛，惟高溫太陽熱能技術多需利用聚光設計及大範圍集熱面積以達高溫效果。臺灣地區地狹人稠，土地成本高。此外，臺灣地區屬於海洋性氣候，空氣濕度較高，而空氣中之高水氣成份使得太陽光漫射率偏高，這對於聚光型太陽熱能高溫系統之應用造成一大挑戰。為能有效地拓展太陽熱能之應用廣度，應積極開拓家庭盥洗使用以外之市場，尤其應針對熱能需求較高之產業進行推廣，使太陽熱能系統在應用上能部份取代其目前使用之傳統能源，並降低排碳量。

(二) 發展目標與策略

由IEA統計資料可知，2014年全球太陽熱能之運轉容量為406GW，產出能源341TWh，在節能減碳方面(如圖4-2-1所示)，相當於節省3,670萬噸燃油的使用以及11,800萬噸之CO_2排放，數字甚為可觀。

目前國內太陽能熱水系統安裝之集熱面積每年約為11~12萬平方公尺，其中93%用於家用熱水，為達到政府所宣示之長期減碳目標，國內仍應積極推廣如何直接利用太陽熱能技術以及開拓其應用市場。發展方向應由目前家用太陽能熱水器小型系統，推展到工商業應用(如旅宿盥洗、溫水游泳池及工業製程等)大量熱能需求之大型系統，提升太陽熱能使用範圍。另外，對於原有之小型太陽能熱水器家用系統市場，鑑於傳統太陽能熱水器型式可裝設地點受限於透天式建築，不利於大樓密集之都會地區安裝，因此為持續拓展此部分市場，應朝向太陽熱能產品與建物整合之產品(Building Integrated Solar Thermal, BIST)建材化等方向著手。



資料來源：IEA report 2015

圖4-2-1 2014年全球太陽熱能/發電市場

根據目前市面上已知產品，國際間已有多家廠商(如以色列Millennium Electric公司、荷蘭PVTWIS公司及德國WIOSUN公司等)推出多款太陽能光電/熱複合模組(Photovoltaic Thermal, PVT)產品。其中PVT模組產品結合太陽能光電及熱吸收材料技術具有極高發電效率與熱效率(德國WIOSUN公司生產PVT-200P產品模組，發電效率可達15.26%及熱效率可高達71.5%)，藉此提供推廣太陽熱能另一種選擇。目前全球PVT模組市場仍很小，2010年市占率約占新裝太陽能熱水器容量之0.02%。若能研發整合建築設計太陽能光電/熱複合模組(Building Integrated Photovoltaic Thermal, BIPVT)，則整體效率達到50%以上，且熱水應用最高可達50℃。

長期而言PVT系統具有廣大之市場成長機會，根據ESTIF (European Solar Thermal Industry Federation)之「歐洲太陽熱能策略」報告指出，太陽能光電/熱水複合系統(PVT)之最大市場潛力在住宅領域，約佔90%市場，目前該市場主要在於獨棟家庭日常生活熱水系統，未來市場將不斷增長，最大潛力被認為是在多戶大樓之生活熱水系統及室內游泳池加熱等。因此PVT為極具市場潛力之綠色環保產品，可提供投入高效率太陽能光電及熱能複合系統產品(Photovoltaic thermal hybrid system, PVT)技術研發，並建立PVT系統標準檢測實驗室推動PVT國家檢測標準。

預期透過上述方法進一步拓展太陽熱能應用範圍，逐步達到節能減碳之國家能源政策為目的。有關發展策略詳述如下：

1. 推廣大型太陽熱能系統/工業預熱之應用

(1) 一般民眾對太陽能熱水器之認識，多限於家庭盥洗使用。依據ECOHEATCOOL報告，在歐洲工業熱需求中有30%熱需求溫度在100℃以下；57%在400℃以下。若針對不同工業領域，例如食品業、釀酒及飲料業、運輸設備、機械、紡織業、紙漿和造紙業，各領域在生產時所需中低溫範圍(小於250℃)之熱能佔了整體所需熱能之60%，若大型太陽熱能系統搭配儲熱系統，將可提供中低溫範圍之工業生產時所需熱源。惟需注意某些產業已具原有供熱設備或熱回收系統，因此如何將太陽熱能系統融入既有系統，為需關注課題。

(2) 開發熱量量測技術：目前之太陽熱能產品性能係依照CNS 12556-B7275及CNS 12558-B7277等規範執行太陽能集熱器及熱水器之熱效率，惟方式無法確保安裝後太陽熱能系統之運作表現，由於太陽熱能系統除熱水器或集熱器產品熱效率外，相關日照量、安裝角度、系統設計與熱水使用量等因素，皆會影響系統裝設後之熱能輸出情況。因此開發熱量計量測熱輸出技術，除可測量太陽熱能系統整體產能效果，進而可促使太陽熱能廠商善加規劃系統及注意施工品質，以提升其產出量。

2. 太陽熱能產品建物整合技術開發及推動建築整合之太陽熱能產品安裝

(1) 開發建材化之太陽熱能系統(Building Integrated Solar Thermal, BIST)：

為使得都市地區密集之大樓能安裝太陽熱能產品，應跨領域整合建築業美學設計、營建施工與太陽熱能系統研製技術，開發適合於建物整合安裝，並兼具建築美觀之建材化、規格化與模組化之太陽熱能產品，經由案例測試及示範後，再推廣導入市場，以強化太陽熱能產品於住商區塊之應用深度。

(2) 推動建築整合之太陽熱能產品安裝：

強制新建物需配有一定比例之再生能源面積為一國際發展趨勢，美國2007年能源獨立及安全法案(EISA 2007)要求2030年前之商業新建築需達到淨零耗能及自2009年起，對於購買已獲得SRCC認證之太陽能熱水器消費者，提供至少30%之補貼。歐盟建築物能源效能指令EPBD規定，歐盟所有的新建物皆需進行能源計算，依據不同國家與區域日照量，至少需達到建物總熱水消耗量一定比例。

安裝使用貼有SOLAR KEYMARK標誌之太陽能集熱器，可獲得各國政府10%~50%之補助。德國2009年1月正式生效之再生能源加熱法案中，業主有使用太陽能來滿足建物熱能需求義務，所安裝之太陽熱能系統，至少必須滿足15%之熱能需求。西班牙2006年修訂建築技術法規(CTE)，規定所有建物之太陽能分數最低限度為60%，以室內游泳池為例，至少30%熱能需求必須由太陽熱能系統提供；而室外游泳池，則僅能使用太陽熱能系統，不允許其他類型之加熱系統。而低於60℃工業熱水需求，則至少20%熱能需求必須由太陽熱能系統提供。

資料來源：成大研究發展基金會，2015年12月

圖4-2-2　太陽能熱水器建築整合實例：(a)雨遮(b)斜屋頂(c)屋凸一體化建築工法

3. 太陽能光電及熱能複合系統產品(PVT)技術研究與檢測標準推動

(1)太陽能光電/熱水複合系統(PVT)技術研究及檢測標準推動

太陽能光電/熱水複合系統(PVT)技術研究與產業推動工作包括高效能PVT技術研發，並蒐集國內外PVT產品測試標準資料，納入國內測試標準推動，檢討現有市售PVT產品測試評估方法，研擬測試評估方法。建立PVT產品測試設備與能力，提供產品開發測試與驗證服務。調查國內PVT產品應用領域需求，擬訂應用導入推動策略建議(如廠房節能節電應用鼓勵措施、FIT及熱量補助搭配等)。辦理太陽熱能/光電產業座談，蒐集業界需求，研擬產業輔導推動作法。辦理應用宣導說明會，推展不同需求領域使用PVT產品，建立PVT系統設計、安裝與驗收規範，系統安裝產業技術培訓與輔導。協助國內產業進行產品示範設置與性能評估。

(2) 開發建物整合太陽光電/熱能建材產品(BIPVT)檢測技術

BIPVT係使用PVT產品結合建築物本身成為一個太陽能量吸收來源，所以總體效率和成本比值最佳，天窗和外牆是通常最大接光面，太陽光電部分可為一棟綠建築供應建築用電，太陽熱能部分經熱吸收材料提供建築內部熱水使用，現有建築如能改裝成為BIPVT建材，最大好處是太陽光電/熱能建材價格可以攤進被它取代之原始建築材料，安裝成本也可以算進建築工事中，從而降低使用太陽光電/熱能成本。而且在建物設計階段就納入太陽光電/熱能，可以使接光率提高並且兼具美觀因素，這些因素可使BIPVT成為成長最快太陽熱能產業應用。

二、產業技術發展指標與時程

(一) 國內外技術發展指標

國內外太陽熱能技術發展指標，綜整於下表4-2-1。

表4-2-1 國內外太陽熱能技術發展指標

技術項目	國外發展指標	國內發展指標
推廣大型太陽熱能系統/工業預熱之應用	• 歐洲各主要國家,其工業所需求熱源,約有3~4%是直接由太陽熱能所供應。 • 目前全世界有151座正在運轉工業製程用太陽熱能系統，總裝置量為100MWth(143,226m^2)。 • 目前全世界最大工業製程用太陽熱能系統位於智利Gaby銅礦場。系統最大裝置量為27.5MW，裝置面積為39,300m^2，連結4,000m^{3}熱儲存系統。系統可提供精煉銅礦所需熱能85%。 • 中國大陸最大的工業製程用太陽熱能系統位於浙江省之染布及紡織工廠，系統最大裝置量為9.1MWth(13,000m²)。	• 累計國內工業製程預熱所安裝之集熱面積,截至2013年止，約僅占全國總安裝面積0.33%。 • 已有許多游泳池公司安裝之大型太陽熱能系統用於溫水游泳池加熱，集熱面積達1515.53m^{2}以上。 • 已有許多醫療機構安裝之大型太陽熱能系統集熱面積達1639.68m^2，用於病房熱水供應之用。
太陽熱能產品建物整合應用技術開發	• 歐洲部分國家已廣泛採用斜屋頂式建築整合技術。 • 中國大陸於2006年公開展示推廣陽台與遮陽棚之建築整合案例。 • 中國大陸部分城市(濟南市等)已強制推廣建築一體化，預定於2015年新建物之建築一體化面積將達40%以上。	• 2010年業界首次外銷集熱器至南非整合應用於斜屋頂造型。 • 2011年已有實際應用於連棟透天別墅遮陽棚之建築整合案例。 • 2013年廠商已開發適合安裝於女兒牆及陽台之儲置式集熱器(效率0.58),逐步朝建材化、規格化建物整合方向發展。
太陽能光電及熱能複合系統產品(PVT)技術研究及檢測標準推動	• 以色列Millennium Electric公司開發MSS(Mutti solar system)panel具有極高15.1%發電效率與70%熱效率。 • 德國WIOSUN公司生產PVT產品，模組發電效率15.2%與熱效率宣稱可高於71.5%。	• 國內2家太陽能熱水器廠商及1家太陽CIGS太陽能模組廠商投入PVT產品開發。 • 建立PVT檢測標準、售電或熱輸出補助作法。

資料整理：成大研究發展基金會，2015年12月

(二) 國內技術近期發展重點

國內太陽熱能產業技術著重在低溫應用上，目前就市場而言，仍有93%為家庭盥洗使用小型太陽能熱水器。針對未來推動方面，除應持續鼓勵一般民眾家用系統之安裝，亦應著重於應用面轉型。針對非家用系統市場的拓展，應深入各產業界進行調查了解，針對有大量熱能需求且適合設置太陽熱能系統之產業進行統計，另亦持續發展熱量量測技術，以修正補助方式鼓勵業主之安裝。而針對原有家用系統之市場，則應開發適用於都會地區大樓使用之建築整合太陽熱能產品。

在太陽熱能應用技術提升方面，國內近期發展重點包括：

1. 推廣非家用之大型太陽熱能系統應用及其系統效率提升。
2. 熱量輸出量測系統技術開發與示範系統及推廣。
3. 太陽熱能系統與建物整合技術開發與產品導向研究及展示。
4. 建築整合之太陽熱能產品建材化效能分析。
5. 太陽能光電及熱能複合系統（PVT)技術研究、產品推廣及建立PVT產品檢測規範。

(三) 國內技術發展時程

國內在太陽能熱水器推動上已有相當時日及具顯著之成效，相信依此途徑並加速科技研發以及專業人才培養，循序漸進提升太陽熱能產業技術能量，假以時日太陽熱能產業必能蓬勃發展。太陽熱能應用依技術領域分為短、中及長期目標，發展時程如表4-2-2所示。

三、國內發展現況與成果

(一) 技術發展現況

1. 推廣大型太陽熱能系統/工業預熱之應用

國內太陽能熱水器技術發展，多半集中在集熱器開發與小型家用系統的設計，非家用之較大型系統所占全部安裝面積之比例甚小。配合排碳減量政策，宜積極推廣非家用系統安裝使用，如工廠、學校、旅宿業、溫水游泳池等單位，若能善加利用，相信可節省相當能源，可有效降低排碳量。

表4-2-2 太陽熱能技術發展時程

技術項目	短 程(~2018)	中長程(~2025)
推廣大型太陽熱能系統/工業預熱之應用	• 調查分析大型太陽熱能系統應用於工業預熱之市場規模及其可能應用範圍 • 開發太陽能熱能系統結合鍋爐/熱泵於工業預熱系統設計 • 推廣大型太陽熱能工業預熱應用	• 建立大型太陽熱能結合鍋爐/熱泵(heat pump)於工業預熱系統 • 工業預熱應用之太陽熱能儲熱技術開發、展示及推廣
太陽熱能產品建物整合應用技術開發	• 太陽熱能產品建材化、規格化設計、研製技術開發 • 太陽熱能產品建築整合概念宣導與教育訓練 • 適用於斜屋頂、立面牆、遮陽罩和女兒牆等之太陽熱能組件開發 • 太陽熱能組件與建築結構體整合如嵌入式、架構式等技術開發 • 建材化之太陽熱能組件效能評估及測試 • 太陽能熱水系統與建築整合技術展示	• 建材化標準規範與建築整合獎勵機制 • 研訂太陽熱能產品模組化機構設計、研製太陽熱能產品與建築整合設計展示與推廣 • 整合式親太陽熱能建築造型設計及營建技術開發 • 多功能太陽熱能系統應用技術開發多功能建物整合系統展示與推廣 • 推動修訂建築法規，以納入親太陽熱能建物要求 • 太陽能建築通風技術開發、展示及推廣
太陽能光電及熱能複合系統產品(PVT)技術研究及檢測標準推動	• 開發高效能PVT模組，熱效率≧40%、發電效率≧10% • 蒐集並分析國內外PVT產品測試標準資料，納入國內測試標準推動 • 建立PVT產品測試設備與能力 • 推動PVT系統示範設置於不同產業應用領域（如食品、紡織、製紙及工業熱水預熱）	• 建立PVT產品檢測標準 • 建立太陽能光電及熱能複合系統熱輸出量測系統及其補助方法 • 建材化BIPVT示範產品技術開發、展示及推廣

資料整理：成大研究發展基金會，2015年12月

雖然非家用太陽熱能系統於國內尚不普及，亦也有部份產業已利用太陽熱能，如目前已有肉品市場以太陽能熱水系統進行預熱，供應屠宰時燙毛以及後續清潔使用。亦有製作熱交換器鰭片廠商以太陽能熱水系統預熱，其應用在鰭片酸洗。以及飲料製程、烤漆烘烤加熱等應用。另外，雖然國內一般並無暖房需求，但亦有蘭花栽培業者運用太陽能熱水系統，在溫室內佈熱水管線以達到終年恆溫(28℃)栽培環境的效果。可見太陽熱能在現階段之應用發展上，尚有甚多可能發展空間。

此外由於非家用太陽能熱水系統大多用於熱量需求較高之處，因此近年來也有許多業者將太陽熱能系統與其他節能產品結合使用，例如熱泵熱

水器與太陽能熱水系統結合使用。目前熱泵產品之件製熱性能係數(COP,製熱量與輸入功率之比值)大多已可超過3以上，因此在日落後及陰雨天時，較純利用瓦斯熱水器以及電熱水器更具有節能效益。

2. 太陽熱能產品建物整合應用技術開發

國內目前每年安裝太陽熱能產品產值約新臺幣14億元，每年新建物比例約佔總建物3%，經調查研究新建物中約有30%比例適合安裝太陽熱能產品，換算每年產值約為新臺幣40億元。為達到此產值之條件，包括產品品質、民眾可接受售價外，是否可被建築業、營建業採納而成為建材化整合應用，將成為主要關鍵因素。太陽能集熱器與建築整合之考量重點，除了美觀及集熱效率外，尚包括系統抗風結構設計與安裝介面之防水、排水、防漏工程等。

目前太陽能熱水系統大多仍採傳統支架式安裝，為達最佳集熱效果，其安裝角度約在15~30度之間，此條件使得系統必須承受環境風力。因國內颱風較多，若系統未能有足夠耐風能力，極易造成損毀甚或吹落地面。有鑑於此，已針對既有安裝型式之熱水系統完成抗風性能改良及延長熱水系統壽命研究，以確保安裝之安全性。

傳統支架式安裝，往往影響建築物外觀，較不利於推廣。因此，藉由太陽能集熱器與建築物間介面整合化設計、如標準扣件、標準尺寸以及標準接合方式等，在不影響集熱效果下，可改善對建築物外觀的影響。目前已有少數架構式、嵌入式整合化太陽能集熱器案例建置，可整合於建築物斜屋頂、女兒牆、欄杆及雨庇等用途，未來可進一步推廣建材化(建築一體化)太陽能集熱器技術，建構完 整技術發展體系。

建物整合另一個重點項目為建築整合化集熱器開發，在建材化集熱器之研製方面，已完成適合安裝於女兒牆與遮陽棚之新型集熱器設計開發，未來將持續精進設計，並進行示範與推廣，擴大建築整合式集熱器開發技術之應用層面，並整合前述太陽熱能空調、通風及熱水系統等技術，發展多功能「零碳建築」屋之理想。

3. 太陽能光電及熱能複合系統產品(PVT)技術研究與檢測標準推動

國內PVT產品技術研究方面，目前僅有2家太陽能熱水器廠商及1家太陽CIGS太陽能模組廠商投入PVT產品開發。未來PVT產品開發需建立一體化PVT模組電腦輔助熱流模擬分析及結構設計技術，開發高導熱、耐高

電壓、耐候性之PVT產品封裝材料，並建立PVT系統設計、安裝與驗收規範，系統安裝產業技術培訓與輔導。協助業界進行產品示範設置與性能評估，達到實際使用狀況下，熱效率≧40%、發電效率≧10%之一體化高效能PVT產品模組。

目前國內PVT產品製造及市場導入方面仍處於萌芽階段，尚待政府積極投入輔助；例如，PVT測試標準制定，建立PVT產品測試設備與能力，提供產品開發測試與驗證服務。並協助PVT產品應用領域需求調查，針對應用需求條件(如住宅、養老院、預熱需求工廠等條件)，於不同應用領域(如食品、紡織、製紙及工業熱水預熱之產業應用)，推動不同規模PVT系統示範設置。並結合電腦監測進行系統實證研究，探討系統實際運轉性能與使用經濟效益，作為應用推廣參考。

(二)推廣應用成果

近年來在政府大力補助推廣下，太陽能熱水熱集熱器安裝面積趨向穩定成長，根據國際能源總署(IEA)在2015年5月最新發佈之全球太陽熱能市場分析報告，統計至2013年為止，全球太陽能集熱器總裝置容量為374,651MW(總安裝面積為535,215,971m^2)。全球前3大之太陽能集熱器市場，依序為中國大陸(262,262MW，占全球總裝置容量的70%)、美國(16,782MW，占4.48%)、德國(12,281MW，占3.28%)。

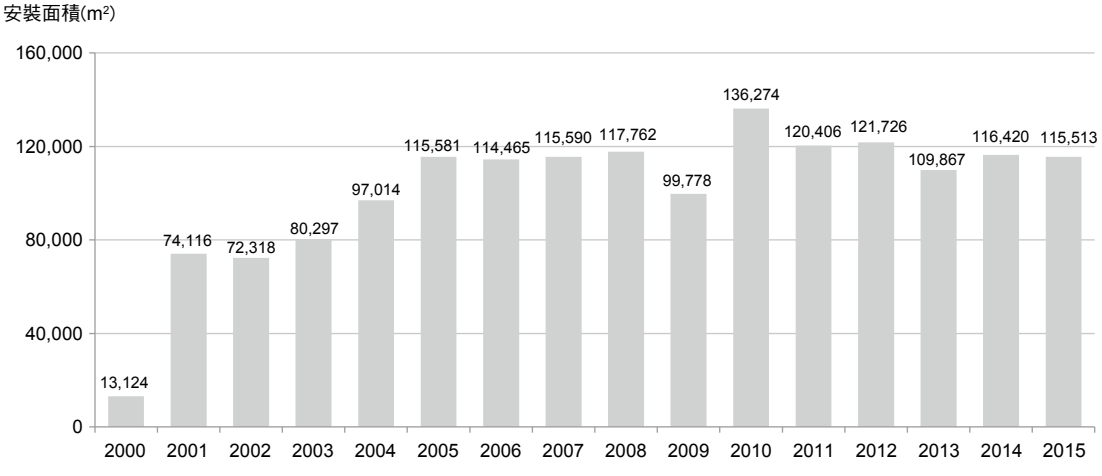
國內在太陽能熱水系統推廣用成果自民國94年來，目前太陽能熱水系統市場規模約為新臺幣12億元/年，安裝之集熱面積每年約為11~12萬平方公尺。分別用於家用熱水(93%)以及提供旅宿盥洗、溫水游泳池及工業製程等系統之熱水需求(7%)。

累計至2015年底，國內太陽能熱水系統累積裝置32.2萬套系統，折合全國有效集熱面積約已達到162萬平方公尺，每年可省下約11萬公秉油當量之替代能量，約減少30.7萬噸二氧化碳排放，如表4-2-3及圖4-2-3所示。

表4-2-3　太陽能熱水系統2015年國內推廣應用成果

累積安裝案件	32.2萬件
累積安裝太陽能集熱板面積	162萬平方公尺
環境貢獻度(減碳排量)	30.7萬公噸
能源貢獻度(節省油耗)	11萬公秉
產業規模	製造商35家，安裝商418家，認證產品177件
累積創造產值	新臺幣210億元

資料來源：成大研究發展基金會，2015年12月



資料來源：成大研究發展基金會，2015年12月

圖4-2-3　全國歷年太陽能集熱板安裝面積統計表

參考文獻

[1] Franz Mauthner and Werner Weiss, “Solar Heat Worldwide: Markets and Contribution to the Energy Supply 2013”, IEA report, 2015.

[2] 黃文良、黃昭睿，2002，能源應用，東華書局，民國91年。

[3] 工研院能資所，太陽能熱水系統專業技術人員講習，2001。

[4] 張克勤、李聰盛及鍾光民，2005，陽光普照創造臺灣太陽能熱水系統發展契機，工程雙月刊第 78 卷第1期，第74-81頁。

[5] Soteris Kalogirou, “The Potential of Solar Industrial Process Heat Applications”, Applied Energy 76, 337 – 361,2003。

[6] 張俊民、巫奕呈、古瀚騰、黃鈺閔， “漫射率對聚光集熱器之性能影響” ，中國機械工程學會第二十八屆全國學術研討會論文, No. A10-014, 2011/12/10。

[7] 林佑星，2007，建築整合式太陽能熱水器研製，碩士論文，國立臺 灣大學工學院機械工程學研究所。

[8] Claudia Vannoni, Riccardo Battisti, Serena Drigo, “Potential for Solar Heat in Industrial Processes”, IEA Solar Heating and Cooling Programme Task 33 and IEA SolarPACES Programme Task IV, 2007

[9] The European Heat Market, Work Package 1, Final Report, ECOHEATCOOL (IEE ALTENER Project), 2006.

[10] 經濟部能源局，2011年06月能源報導－封面故事 淺談我國再生能源電能躉購制度，經濟部能源局網址: http://energymonthly.tier.org.tw/outdatecontent.asp?ReportIssue=201106&Page=5

[11] 李涵茵， “國內ESCO經營模式之探討” ，能源報導-能源話題，2007年2月

[12] 馬公勉、吳靜宜，2011，國際再生能源躉購制度。能源報導，6，11-13。

[13] Domestic Renewable Heat Incentive https://www.ofgem.gov.uk/environmental-programmes/domestic-renewable-heat-incentive

[14] 臺灣經濟研究院，2012，再生能源躉購及基金費率研析計畫(第二年度)，經濟部能源局委託計畫。

[15] Pascal Affolter, Wolfgang Eisenmann and Hubert Fechner, “A European guide for the development and market introduction of PV-Thermal technology”, The 6th Framework Programme report.

第三節　風能

全球風力發電技術大規模商業化已超過20年，產品技術趨於成熟，近年來市場皆維持穩定成長；截至2015年底，全球風力發電總裝置容量達432.4GW，2015年全球風電新增安裝量為63GW，較2014年底369.7GW成長17%。

一、發展環境與目標

（一）發展環境分析

國內風力發電產業起源於1980年代初期能源危機時期，國內陸續開發4kW、15kW與150kW風力發電機。2000年，政府公布「風力發電示範系統設置補助辦法」，分別在澎湖、雲林和新竹設置3座風力發電系統，總容量為8.64MW。2004年開放民營電廠，由民間業界在2006年於苗栗設立50MW風力發電廠。國內於2013年1月完成「風力發電離岸系統示範獎勵辦法」之廠商評選。選出3家示範廠商，預計2016年完成首座離岸風力機，開啟離岸風電產業發展新紀元。隨著全球風力發電市場快速成長，目前業界開始切入風力發電零組件產業，包括葉片、鑄件、變壓器等。

2015年全球風電新增安裝量為63GW，較2014年51.7GW成長21.8%。在2013年因美國風電政策轉變導致全球市場短暫下滑之後，2014及2015兩年全球風電新增裝置量均呈現成長形勢。2015年全球主要市場包括中國大陸、美國、德國均有顯著成長：中國大陸由2014年23.4GW增加至2015年30.5GW；美國由2014年4.9GW增加至2015年8.6GW；德國由2014年5.3GW增加至2015年6GW。在主要市場新增裝置量持續增加下，帶動2015年全球新增裝置量較2014年成長兩成以上。

截至2015年底，全球離岸風電累計裝置量已突破12GW，市場快速成長。2015年全球前五大設置國依序為英國5,061MW排名首位、德國3,295MW排名第二、丹麥1,271MW排名第三、中國大陸1,018MW排名第四、比利時712 MW排名第五，前五大國家合計裝置量為11,357MW，占全

球總裝置量93.8%。相對於陸域風電，全球離岸風電市場更加集中於少數技術先進國家。

現階段離岸風電發展以歐洲為主，主要因為英國、德國、丹麥、荷蘭、比利時等國陸域風場資源已逐漸開發完畢，加上電價較高，與離岸風電成本較接近，爰成為目前離岸風電市場與產業發展較快地區。

(二) 發展目標與策略

1. 發展目標

國內風場開發規劃原則為先陸域後海域，陸域風電部分則先開發優良風場再開發次級風場。離岸風電部分則考量技術與財務風險，先從淺海區域(20公尺水深以內)推動業者設置示範風場，待建立相關技術及經驗後，再朝深海區域(20公尺水深以上)，採用區塊開發方式以帶動大規模開發。

臺灣西部海域具極佳風力潛能，近年來在各界共同努力下，陸域風力發電發展蓬勃，成果豐碩。截至2016年3月為止，陸域風場共設置近330架風力機，累計商轉裝置容量約646.7MW，離岸風場則尚未開始設置。但隨著陸域可供開發優良風場越來越少，已規劃將風能開發重心由陸域逐步延伸至離岸。

基於上述對於風電開發規劃，進一步強化風能開發利用，經濟部決定大力發展海上風能產業，於2012年7月公告啟動「風力發電離岸系統示範獎勵辦法」，帶動風能開發重心由陸域逐步推向離岸，並已於2013年1月完成候選廠商之評選。政府提供經費獎勵，協助業者完成風場建置之前置作業，並協助排除法規上障礙，降低離岸風電開發風險，加速首座離岸風場開發。

離岸風電示範獎勵辦法將獎勵開發示範機組共4座，預計在2016年完成設置，並提供每案風場示範作業獎勵費用約新臺幣2.5億元。同時依示範機組容量大小，將提供最多50 %設置獎勵費用。整個示範風場將於2020年完成約350MW淺海風場開發。待國內建立相關技術及經驗後，將採區塊開發方式(如彰化、雲林、澎湖等外海海域)，帶動大規模開發，並逐步擴展至深海區域，以逐步達到裝置容量4,000MW目標，合計設置800架風力機。

陸域風電部分，陸域優良風場已趨飽和，將在2020年以前開發完成，最多可設置約450架風力機，約相當於1,200MW裝置容量。亦即在2030年前，國內在陸域與離岸總共要設置超過1,250架風力機(表4-3-1)，總裝置容量將達5,200MW，創造新臺幣7,800億元風力發電產值。

在小型風力發電機產業部分，依據世界風能協會報告(2015)分析，截至2013年底，全世界小型風力機累積安裝總數和裝置容量，分別達到至少87萬部和755MW以上，和前一年(2012)相比，安裝總數和裝置容量達到8%和12%成長。其中，中國大陸2013年裝置了5.5萬部小型風力機，累積數量達到65萬部，占全世界總量72%以上。目前全球主要市場依序為中國大陸、美國、英國，其中2013年中國大陸總裝置容量已達全球市場41%，美國和英國分別各占30%和15%，剩下的14%分散於其他國家。

國內小型風力機在5kW以下之整體產業鏈已發展成熟，產品100%自製，產業仍以水平軸風力機出貨量為大宗，但垂直軸風力機產品成長快速。考量優先推動小型風力發電之市場，國內小型風力機以產業發展兼具分散式能源佈建功能為發展方向，以2020年國產產品全球市場占有率達全球第2，每年創造至少新臺幣150億元產值為目標，並於2020年達30MW和2025年達100MW國內小型風力機裝置量。

表4-3-1　國內2030年風力發電裝置容量發展目標

單位：MW

年度	2012	2015	2020	2025	2030
陸域風力	621 (314架)	737	1,200 (450架)	1,200 (450架)	1,200 (450架)
海域風力	0	0	520	2,000	4,000 (800架)
小計	621 (314架)	737	1,720	3,200	5,200 (1,250架)

註：(　)為實際或預定達成風機架數。

資料來源：工研院整理，2015年12月

2. 發展策略

風力發電之整體推動策略，將透過政府獎勵補助與推廣政策，逐步建立基礎技術能量與發展環境，支援後續風場設置開發時可能面臨技術與行政上問題。進而加速風場開發、建立具經濟效益市場規模，帶動相關產業發展。目前政府規劃之大型風力發電產業發展策略與具體措施如下：

(1) 陸域風電推動策略：

國內陸域風電歷經多年推動，已發展穩定市場機制。惟由於可用之優良風場漸漸開發完成，未來發展速度將趨緩。整體推動策略說明如下。

A. 優惠電價，提供合理躉購費率，協助業者就籌設或規劃中之風場，於2016年前能順利完成，累計裝置容量約可達837MW。

B. 潛在風場開發：研擬提高經濟誘因，鼓勵業者開發次級風場，至2020年累計共達1,200MW。

C. 社區風場開發：仿效德國與丹麥推動經驗，鼓勵當地居民以個人或合作社身分入股投資風場開發，俾有效擴增設置量，同時降低民眾對風場開發敵意與抗爭，提升民眾對綠色電力認同。

(2) 離岸風電推動策略：

離岸風電在國內尚屬起步階段，發展環境尚未完備，需要從多方面同時進行推動，以期順利達成千架海陸風力機之發展目標。

A. 市場面：透過政策引導創造國內市場

- 推動千架海陸風力機計畫，建立推廣目標。
- 啟動離岸示範計畫，建立設置實績。
- 推動離岸區塊開發，帶動規模經濟。

B. 技術面：開發先進技術有效降低成本

- 建立離岸風電施工專用碼頭。
- 建立風電資訊服務平台。
- 健全法規制度。
- 規劃離岸風場最適區塊方案。
- 專案融資支援風場開發。

C. 推廣面：完善基礎建設建構應用環境

- 發展離岸風力自主技術。
- 建立離岸風場開發運維技術。
- 引進離岸風場開發運維技術。

D. 產業面：推動國際合作建立產業自主

- 建立離岸風場運維產業。
- 建立國內海事工程產業。
- 帶動國內企業投入開發、運維及製造。

二、產業技術發展指標與時程

(一) 國內外技術發展指標

全球各國發展風力發電，除了提供綠色電力，調整電力供應結構之外，風力發電產業發展重要方向為降低發電均化成本，最終目標為不需要依賴政府政策補貼，完全以自由市場機制與其他發電技術競爭，如此風力發電才能更具競爭力、應用更為普及。影響風力發電之發電均化成本關鍵因素，包括期初投入的設備成本、維運成本以及年售電量(與風場風況有關)3個關鍵因素。影響三個關鍵因素可行方式，如圖4-3-1所示。

風力發電技術大致上可區分為3個領域，分別為風能評估與風場規劃、風力發電產品設計與製造、風場施工與維運。風力發電技術進入21世紀以後快速發展，現階段陸域風電技術已趨於成熟，離岸風電則持續快速發展中。由於海上施工與維護相對困難度高，發電成本相對比陸域風電要高出許多，在技術上還有許多必須改善項目，目前全球風電技術發展指標項目整理於表4-3-2中。

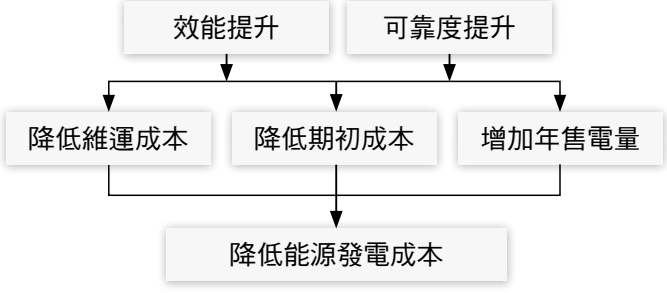


圖4-3-1　影響發電均化成本關鍵因素

4-3-2 全球風電技術發展指標項目

大類別	次類別	技術項目
風能評估與風場規劃	風能資源評估	• 長期觀測技術（傳統觀測、遙測與LIDAR測風技術） • 數值模擬技術（中尺度氣象模式、小尺度CFD模式） • 特定場址評估方法與國際標準（區域風能分布與風況條件）
	風場規劃	• 設計方法與國際標準（評估IEC風力機適用性） • 發電量評估工具與專業軟體研發 • 投資效益經濟模型技術 • 複雜地形風場紊流模擬技術 • 大型離岸風場尾流分析技術
	環境影響評估	• 動植物生態/地質/水文/人類經濟活動等衝擊分析
風力發電產品設計與製造	風力機系統設計概念	• 大型化系統(單一機組發電容量>5MW) • 增加設計壽命至25年(例：減少元件之直驅式設計) • 創新系統架構(例：直驅式/混合式/定速型系統、機艙輕量化、永磁式發電機、高溫超導發電機等) • 模組化設計與設計驗證、檢測技術
	葉輪轉子	• 高效率輕量化高強度：智慧型葉片、量子葉片(厚盾尾緣)、兩段式葉片、高速型、下風式設計和柔性轉子等
	支撐結構	• 新式支撐結構設計(如Jacket、Tripod、群樁式結構等) • 深海用之浮式結構
	控制系統	• 智慧型控制(降低傳動鏈或葉片負載，例如獨立葉片控制、兩段式葉片控制、具場址適應能力控制等)
	電力系統	• 高壓直流輸電系統(HVDC) • 電力轉換、併網與大型儲能系統之整合
風場施工與維運	海事工程	• 符合在地需求之客製化施工船隻與船機設備 • 新型安裝、維修技術 • 符合在地需求之海事工程規範與認證
	施工與運維支援分析	• 即時氣象/海象預報 • 智慧維護系統(即時監控、故障診斷) • 離岸風電施工決策支援技術 • 最佳化運維策略分析

資料來源：工研院整理，2015年12月

(二) 國內技術近期發展重點

國內風電技術發展，已累積了許多研發經驗與成果，以下針對近期發展重點做說明：

1. 離岸運維整合決策技術研究

已經展開離岸風電示範獎勵計畫，後續將面對風場運維之議題，為確保廠商也可同步培植技術能量，離岸運維技術目前發展方向如下：

(1) 運維最佳化及決策管理系統：

配合離岸風電發展，後續需面對風場運維議題，就運維角度需求，操作員必須能夠掌握即時資訊，包括掌握風場狀態，以及預測元件使用狀況，即可在運轉中、待機中、故障時，皆能夠根據最新資訊來執行指派相對應的運維工作，並且具備彙整能力，能夠統整風場中每一部風力機之運轉情形、健康狀況、外界環境風況、海氣象狀態等，並根據預測或統計之天候狀態下來取得最佳化結果，可使離岸風場之運維達到最佳成本效益與發電效能。

(2) 風場運轉效能提升技術：

為達成風場運轉效能之提升，需在安全條件且風力機設備保全首要前提下，依據外部風況變動之情況，提高風場量測精度進而控制風力機面向，方可使風場獲得效能提升。現有風力機迎風角設定來自機艙上設置之風向計，但是旋轉葉片與機艙風力結構會在艙頂產生亂流，因此須研發更準確之量測技術，以提高風場發電量。

(3) 提升國內運轉維修技術：

依據國際風力機故障停機狀況統計，主要大型零組件故障所佔比例最大為葉片34%，其次依序為發電機32%；齒輪箱21%。由此可見未來離岸運維市場可朝此三大方向培養維修能力，甚至檢測與監測此三大元件之能力，將有效降低風力機停機時間並增加可用率，並降低運維商對國外依賴與提升維修效率。

2. 風能評估技術

風力發電開發首重風能條件評估，為瞭解場址開發條件，無論是設置風速塔進行長期風速觀測或是進行數值模擬分析，均有其必要性。為建立精準評估與預測能量，並應用於風場開發與運維，故規劃未來之重點推動策略包括：

(1) 風力發電安全評估技術：

建立離岸風力機安全評估技術，透過風能與海象環境資料調查分析與驗證，提高風力發電場址評估準確度，提供風場海氣象條件作為風場規劃設計參考，並降低離岸開發風險為主要目標。

(2) 大氣/波浪/海洋環流數值模擬技術：

整合海域氣候窗研究，進行短期施工作業風險指標預報，提供風險指標了解海氣象作業環境，以降低施工成本。並可應用於離岸風電場開發前、開發中與開發後各階段施工運維工作，以及大型風力電場發電量預報，提供電力併聯品質掌控性。

(3) 光達觀測與場址校驗技術：

研發光達觀測系統，可移動性的觀測特色補足傳統觀測之不足，可應用於風力發電性能測試場址校驗與風能特性分析等。

3. 離岸海事工程技術

目前國內海事工程之技術能力，大多集中於港灣工程及水深較淺之海域工程，現階段能力尚不足以支援離岸風場開發之海事工程技術。由於關鍵技術門檻有相當大比例取決於資金調度能力，故業者對示範獎勵辦法所引發商機充滿期待，已陸續開始組織團隊、研擬船隻設計藍圖、並規劃投資興建風場開發所需之安裝船。

以目前市場現況而言，分擔技術開發風險是較受注目之重要課題，故透過成立產業聯盟方式，不僅在資金方面可採用共同投資方式進行研發，在技術方面更可以聯盟名義進行技術引進，以利於關鍵技術分工及整合。未來技術推動重點在於成立以技術提升為導向之產業策略聯盟，藉由此一聯盟整合國內海事工程資源，並透過技術引進及合作關係，共同推動及建立離岸風電建置及運維之自主能量。

(三) 技術發展時程

依據前述重點策略推動方向，配合國內政策研擬及產業需求，規劃技術發展時程如表4-3-3所示

表4-3-3　國內風電技術發展時程

技術項目	短程(~2018)	中長程(~2025)
風能評估技術	風力發電安全評估技術	
	大氣/波浪/海洋環流數值模擬技術	海域施工環境分析暨自動預報系統
	光達觀測系統研發	場址校驗與特性評估技術
離岸運維整合決策技術	建立離岸風場運維決策管理系統平台	整合實際氣象短期預測
	建立風場運轉效能提升技術標準	
	提升國內風力機重要元件檢修技術	
離岸海事工程技術	推動海事工程技術聯盟及輔導國內施工船隊	
	國內風場最適化基礎設計研究	
	台灣海域風場最適化施工技術	
	O&M維運策略及執行技術	

資料來源：工研院整理，2015年12月

三、國內發展現況與成果

(一) 技術發展現況

依據技術推動重點之分類，依序說明國內在技術研發上之發展現況如下：

1. 離岸運維整合決策技術研究

根據BTM研究報告，全球風電市場於1995年起步，隨著風力機系統商原廠維護年限及產品生命週期之影響，且近年再生能源之使用逐漸受到重視。統計於2013年全球陸域風電已達314GW，但其中僅有少於160GW屬於原系統廠之履約維護，其餘則為O&M市場。顯示運維市場於全球皆需要專業運維團隊進行管理，亦是風場管理策略趨勢。

國內風場運維在陸域風場發展幾十年，近幾年已培養出獨立於原廠風力機製造商之外服務商，可提供相當於原廠之運維技術服務。同時本土陸域運維廠商也漸漸建立並具備定檢、保養維護、以及排除大部分故障能力。由於颱風為歐美機組設計時較少考量部分，因此未來有必要對於此極端風況下之風力機組操控、運維與監測技術進行開發。離岸風電在國內發展屬於剛起步之發展期，未來期望能與國外風力機廠商接軌。

2. 風能評估技術

透過長期之風能觀測及分析，目前風能評估技術之部分已累積豐富之實際經驗，主要分為風能觀測與性能測試、風能評估與數值預測、以及風場規劃與安全評估等三個項目。

(1) 具有設計規劃符合IEC61400-12-1規範，進行陸域風能觀測與性能測試之經驗，透過長期資料分析可以作為評估風場條件依據，以擇定適合風場之風力機型。目前國內也已具備光達(LIDAR)觀測技術，未來可朝多方應用彌補傳統觀測之不足，除提供高準確度風速資料外亦可降低觀測費用。俟2015年離岸示範風速塔完成後，將可以收集更多海氣象觀測資料作為風場設計條件依據與驗證。

(2) 具有高解析度風況模擬技術，已完成建置天氣預報模式(The Weather Research and Forecasting, WRF)高解析度數值模擬臺灣地區之風能資料庫。透過地理資訊系統應用，將臺灣地區各地之風能資料建立為資料庫，可幫助開發業者與一般民眾快速瞭解臺灣各地風能分布情況。並將相關資訊整合編纂為「臺灣風能評估手冊」，供外界查詢參考。

(3) 整合氣象模式、波浪模式及海流模式，已建構海域施工環境分析暨自動預報系統，因應離岸示範獎勵風場施工時程，可提供風速塔或風場施工、風力機運輸、吊裝期間所有海域施工環境預測以及天氣預警資訊。透過與施工單位合作及中央氣象局整合天氣觀測、預測以及預警資料，將可提供更準確之在地化資訊，並提升競爭力。

(4) 由IEC 61400-1與IEC 61400-3設計規範可知，特定場址風況條件分析相當重要，透過風場規劃與安全評估分析，可評估特定場址風況條件及整體發電量。因地制宜規劃各個場址風力機組設置位置，透過尾流效應分析等可得最佳化風場投資效益。

3. 大型風力機系統與元件技術

目前國內所安裝之MW級陸域風力機，除電纜埋設、基礎、塔架外，其他設備皆由國外整機進口。為加速風電關鍵零組件開發，國內研究/學術單位，如工業技術研究院、金屬工業發展中心、船舶暨海洋產業研發中心、核能研究所、臺灣大學、成功大學等，近幾年已陸續投入風力機相關技術研發。國內廠商透過產學研合作，已陸續建立大型風力機關鍵元件研製能量，已具有產業技術能力。

評估切入風力機設備產業業者以及其已發展技術列舉說明如下：

(1) 風力機系統：業界自2003年開始投入風力發電機研發，在設計、生產及應用方面已累積相當豐富經驗，目前已成為GE wind之750kW與1.5MW之DFIG合格供應商，2012年10月取得GL認証。2013年6月更通過低電壓穿越測試。

(2) 塔架：國內業界自2004年起投入風力機之塔架製作，已配合台電大潭電廠、桃園大園、桃園觀音、核三廠、新竹香山、麥寮I期、四湖林口、澎湖中屯等風場。以及竹南大鵬、彰濱工業區、彰濱崙尾區、鹿港區、臺中大甲等風場，超過200座以上塔架製作實績。

(3) 風電齒輪箱：業界2009年底引進4米內齒輪研磨機，突破風力機增速齒輪箱之製造瓶頸，同時於2010年完成2MW增速齒輪箱製造，並通過國際認證單位GL測試認證，成為國內通過GL認證之風電齒輪箱製造廠。

(4) 葉片：業界於2010年完成長達42公尺之2MW風力機葉片製作，已具備大型風力機葉片能量。

(5) 大型鑄件：業界所製造之風力機輪轂累計出貨已達17GW規模，具備5MW之承製能量，產品以切入國際大廠供應鏈中，主要客戶包括GE、Vestas、Nordex、Repower以及中國大陸業者等。

4. 離岸海事工程技術

有關離岸風力發電相關海事工程方面，依據開發時程前後可以概分為施工安裝與運轉維護兩個階段，二者需要之技術能力並不相同，前者需要大型化機具來進行吊掛、運輸、打樁、佈纜等，例如大型自立平台、起重船或是同等級駁船、佈纜船、打樁船等;而後者運轉與維護階段，大部分只需要維護人員運送船隻及風機維護事宜，一般而言需要簡單運輸船隊

搭配直升機作業，以便維護人員進行機動性巡邏。若欲進行大型定檢維修時，則需要前階段所述之施工團隊或另行雇用吊車或起重機，以便進行變速箱或葉片更換等作業。

國外在此方面之技術能力發展較早，主要因為這些國家都有石油鑽探之開發經驗，且配合新安裝施工方法持續進行船隻設計興建計畫。反觀國內海事工程能力，早期雖有大型海洋工程計畫，但因經驗及設備不足，往往多仰賴國外單位協助。近年來，國內海事工程業界，包括主管單位、顧問單位與施工及設備供應單位等，均已有長足之進步及經驗之累積，惟因最近數年鮮有大規模海事工程推出，海事工程產業已有漸趨萎縮情形。而海事工程之技術能力，大多集中於港灣工程及水深較淺之海域工程，且使用之作業船隻（包括拖船、平台船、錨船、吊桿船、打樁船等）係配合港灣建設所需而購置，其深水作業條件及作業能量相對受限。

就技術人力而言，對於拋放石料工作、船隻拖曳、淺水打樁、海上吊放、潛水與電銲、防蝕等工作項目均具有相當技術人力，此外在電纜鋪設方面，許多離島電纜鋪設及淺海的連接部分均具有許多施工經驗。就設備而言，由於過去海事工程多集中在經濟及交通建設計畫，諸如港埠擴建、電廠設置、中油海域油氣探勘開發及電訊、電力管線佈設等，其中較大型之設施，則多仰賴國外支援。現有產業界及相關機構所擁有工作船分為：挖泥船、受泥船、打樁船、拋石船、拖船、起重船及吊桿船、錨船、浮船塢、平台船、潛水工作船、油駁、水駁、研究船、整平船、推船及小艇等。主要係配合港灣建設所需，如港區挖泥工作，沉箱之拖放、拋石及整平等所需之工作船，尤其是挖泥船占了相當大比例。

整體而言，由於過去海事工程經歷侷限於港灣及海底電纜之鋪設工程，但近年來由於離岸風力電場的推動，仍需國內海事工程業之投入，近年來許多廠商均醞釀藉由不同專業組成聯盟方式或自行集資籌組公司方式，以應付未來離岸風力發電施工與維運方面需求。例如，2015年在示範獎勵辦法規定需完成海上風速塔之施工，已有廠商由國外購進船隻加以改裝以因應需求，亦有引進適合的工法及利用適當船隻來滿足現有施工需求。針對離岸風電碼頭之需求，政府單位亦開始從經濟面、工程技術面、財務面及風險分析管理等角度，進行相關可行性分析。同時對各階段（短、中、長期）碼頭、後線空間需求及配置、開發時程、經費及經營模式等進行規劃。

5. 浮動式離岸風力發電

浮動式離岸風力發電為離岸風電一種分類，與現階段主流技術，將風力機固定於海床上固定式離岸風力發電不同。浮動式離岸風力發電採用浮式平台漂浮於海面上，風力機置於平台之上，另以纜繩繫於海床上。浮動式離岸風力發電主要應用於水深50~200公尺之海域，水下基樁不易施工之處。截至2015年8月，全球已有4支試運轉機組運行中，分別是位於挪威之Hywind、位於葡萄牙之Windfloat，以及位於日本福島與長崎兩支機組。4支機組除了Hywind採用2.3MW風力機，其餘三支機組均為2MW風力機。日本於2015年6月起，於福島開始進行7MW浮動式離岸風力機安裝作業，2015年底完工後，將成為全球發電容量最大之浮動式離岸風力機。

浮動式風力發電技術發展重點在於浮式平台之設計與開發，目前浮式平台技術種類繁多，較有名技術類型包括BlueH、Spar Buoy、Tri-column Platform、Four-column Platform、V-Shape Platform等。現階段浮動式風力發電處於技術開發與驗證階段，離商用化運轉尚需一段時間，屬於前瞻技術領域。現階段以歐盟與日本技術實力較為領先，經濟部能源局與科技部亦已展開浮動式風力發電相關前瞻研究計畫。

參考文獻

[1] IEC 61400-1:2005, Wind turbines-Part 1: Design requirements.

[2] IEC 61400-3:2009, Wind turbines-Part 3: Design requirements for offshore wind turbines.

[3] MAKE Consulting, “Q4 2013 Global Wind Power Market Outlook Update”, Dec 2013

[4] UpWind, “Design Limits and Solutions for Very Large Wind Turbines”, Mar., 2011

[5] ReliaWind, “Optimizing Design, Operation and Maintenance for New Generation Wind Energy Systems”, Brussels March 15th, 2009.

[6] Gerard.J.W. van Bussel, “Technology Challenges for Offshore Wind Power”, Delft University of Technology, The Netherlands, Oct., 2010.

[7] RenewableUK, “Offshore Wind: Forecasts of Future Costs and Benefits”, June 2011.

[8] Tim Camp, “The Challenges of Large Offshore Wind Turbine Design”, Presentation Slides, Oct., 2010.

[9] SuperGen Wind, “How Are We Going to Make Offshore Wind Farms More Reliable”, Mar., 2011.

[10] Roland Berger, “Wind Energy Manufacturers' Challenges”, Presentation Slides, Hamburg, 2009.

[11] US DOE, “A National Offshore Wind Strategy: Creating an Offshore Wind Energy Industry in the United States.”, US DOE, Feb., 2011.

[12] EWEA, “Conference proceedings of EWEA Offshore Conference 2011”,Nov., 2011.

第四節　生質能

生質能利用為提供永續能源及減緩二氧化碳排放重要方式之一，國際間努力開發各式生質燃料技術，期透過合理、有效應用，持續提供維持人類生活品質所需能源。

國內生質能利用涵蓋「定置型生質燃料熱電應用」及「運輸用生質燃料應用」兩大部分，本節主要介紹生質能源發展策略與技術發展規劃。在生質能產業發展策略上，短期將朝向創新關鍵技術研發、妥適利用利基料源(如：生活(或都市)廢棄物、農林剩餘資材)，並推廣生質能發電技術及結合企業減碳或廢棄物減量需求，創造廢棄物能源化應用及分散式電力系統等，以達到提高自產能源及穩定電力供應之目的。中長期將結合能源與減碳需求，開發本土料源(如微藻、能源作物)及提升生質能有效利用，以持續提升自產能源，兼顧二氧化碳減量排放，估計2030年生質能發電(定置型生質燃料熱電應用)裝置容量目標為950MW，減碳效益估計每年約可達298萬公噸。在生質能技術發展則涵蓋：生質物造粒、生質能發電、生質煤炭、生質燃料油、生質柴油、纖維素醇(含乙醇、丁醇)及生物產氫等介紹。展望未來，期透過生質能技術研發與產業發展，能達成能源、經濟與環保兼顧之願景目標。

一、國內發展目標與策略

(一) 發展環境分析

目前生質能源發展主要以結合生活(或都市)廢棄物、農林資材等自主料源，進行能源化利用，此包括以都市垃圾發電、事業廢棄物與農林資材熱電應用及以廢食用油轉製之生質柴油/生質燃油等較具規模之應用。隨著國際生質能源利用發展趨勢，國內亦積極推動生質能產業與技術發展。生質能產業可分為「定置型生質燃料熱電應用」及「運輸用生質燃料應用」兩大部分。

定置型生質燃料熱電應用方面，生質能發電(包括廢棄物發電與生質物發電) 2015年底裝置容量為740MW，每年約產生33~35億度電。為因應國內外政經能源情勢及核四封存後，可能面臨電力供需問題，經濟部於2015年1月26日~27日舉辦「全國能源會議」，以「未來電力哪裡來」做為主軸，尋求國內電力政策共識，其中再生能源在供給穩定開源議題中扮演重要角色，而生質能源發電又為再生能源發電中重要一環。

經濟部2015年5月規劃2030年再生能源推廣目標量17,250MW中，生質發電將由2015年底740MW提高到2030年之950MW。針對前述目標未來尚需增加210MW，此對於生質電力發展上為重要挑戰及機會。

生質燃料除應用於發電外，餘熱應用上亦為推動之重點(如生質燃料於汽電共生、蒸汽鍋爐及沼氣熱應用)。實務應用上，生質熱電發展情境之料源端，容易受限於料源類別與供應，因此生質熱電利用將以國內料源優先，其次為進口。在技術應用端方面，生質熱電主要成長則以先進燃料轉換技術(顆粒燃料、生質煤炭、裂解燃油或氣化合成氣)及混燒為主要達成手段。

在運輸用生質燃料應用上，包括生質醇類(酒精/丁醇)及生質柴油利用。在生質醇類技術發展方面，基於現階段國內無生質醇類製造廠，因而於臺北市、高雄市兩市14座加油站，進行生質酒精E3(添加3%乙醇於95無鉛汽油中)示範運行工作。除將部分公務車量納入強制使用酒精汽油外，亦提供鼓勵民眾自願性選用，以循序漸進方式逐步建構生質醇類使用環境。

在生質柴油應用上，依循國內料源優先利用及自主供應系統建立等原則，目前推動車隊或公務車輛自願性使用車用生質柴油。另一方面，考量生質柴油亦具熱利用之潛力，目前規劃鼓勵企業自願性於工業燃油中添加使用生質柴油或生質燃油，以維持生質柴油相關產業。

鑑於上述生質能源針對定置型生質燃料及運輸用生質燃料的規劃、發展與應用需求，新一代生質燃料為產學研界積極研發方向，包括生質煤炭、生質燃料油、生質航油、先進生質柴油、纖維素醇(含乙醇、丁醇)及生物產氫與沼氣應用等。

(二) 發展目標與策略

依據國際能源總署(International Energy Agency, IEA)統計，1973年初級能源供應(Total Primary Energy Supply, TPES)約6,100 Mtoe(Million ton of oil equivalent，百萬噸油當量)，生質燃料或廢棄物能約占10.5%，至2013年初級能源供應已提升至13,541Mtoe，生質能比例仍維持在10.2%，生質燃料或廢棄物能源供應約成長約1倍以上，約占世界所有再生能源初級能源供應之74%左右[1]。

生質能應用於發電方面，全球2014年裝置容量約93GW，估計至2050年裝置容量將成長至560GW，生質燃料產生電力將由發電量433TWh(2014年)提升至3,100TWh（2050年），生質電力占總發電量將由1.8%提升至7.5%[2, 3]。在生質運輸用油方面，將由2010年2.5EJ(2%)成長至2050年之32EJ(27%)[4]，且2014年已有超過31個國家層級設有運輸用生質燃料混摻推動政策[3]。

鑑於世界各國積極推動生質能源，國內亦設有相關發展目標，以達成能源自主利用及減碳目標。依據「再生能源發展條例」，生質能係指農林植物、沼氣及有機廢棄物直接利用或經處理所產生之能源」[5]，在第三條第一項中，「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」亦屬再生能源。因此生質物可泛指由生物產生有機物質，如木材、能源作物或農業資材(如稻殼、蔗渣)、畜牧業廢棄物、生物沼氣(如禽畜糞、有機廢水、下水道污泥、垃圾掩埋場等產生之沼氣)及工業有機廢棄物(如有機污泥、黑液)等。

表4-4-1為現階段國內生質能源發展現況及目標規劃表，2015年底生質能源利用發電裝置容量約740MW[6]，要達到2030年生質能發電950MW目標，需預估現有可規劃之生質物(廢棄物、農林資材、廢污水或污泥)潛力。依據2011年環保署委託中原大學與工業技術研究院統計資料顯示，國內可利用能源化利用之生質料源(考慮料源收集率及扣除已利用者)除都市垃圾及工業有機廢棄物外，尚有農林資材(廢棄物)計達268萬噸/年[7]。

在運輸用生質燃料產業發展方面，經濟部於2009年4月23日行政院院會中提報「綠色能源產業旭升方案」，同年11月5日核定「綠色能源產業旭升方案」行動計畫，在此計畫中生質燃料產業，係以建立國內生質燃料自主供應系統為願景。策略主軸為開發低成本新料源、開發利基技術(如藻類、裂解等)及建立第二代生質燃料示範生產系統，並輔導產業設置示

表4-4-1 國內生質能源發展現況及目標規劃表

項目		2010	2015[註1]	2020	2030
生質能發電(MW)	廢棄物發電	649.7	629.13	768	950
	生質能發電	175.8	111.33		
	合計	825.5	740.46		
生質柴油		B2	(生質燃油)[註2]	-	-
生質酒精		北高E3示範(120kL)	北高E3示範(175kL)	-	-

註1：2013年7月份調整生質發電統計，裝置容量由822MW修正至740MW；註2：2008年7月車輛全面實施B1，2010年6月全面份實施全面B2，2014年5月暫緩義務添加；2015年以廢油甲酯摻入燃料油做為鍋爐燃料使用。

資料來源：工研院整理 2016年2月

範工廠，以達到建立國家標準，並逐步提高添加比例，擴大使用量之目的。在第一期能源國家型科技計畫中，生質能技術研發項目包括：生質酒精、生質柴油(作物)、生質柴油(藻類)、沼氣、生質裂解油、生質丁醇、生質氫氣及生質電力等8項。2013年規劃第二期能源國家型科技計畫方面，則以生質航油、氫化植物油(Hydrotreated Vegetable Oil, HVO)、先進生質燃料(Biomass to Liquid, BTL)、微藻能源、纖維素酒精、纖維素丁醇及生物產氫/沼氣等項目，做為國內未來能源科技研發重點領域，並整合國內產學研資源，帶動各項生質能示範廠及量產廠產出，進而堅實生質能源普遍利用環境建構。

國內生質能源發展，接軌於國際再生能源及節能減碳潮流，尤其是溫室氣體減量及管理法通過後，國家、企業對於減碳更賦予需達成之義務。在生質能發電發展政策目標上，2030年生質能發電裝置容量預計達到950MW，除提升自產再生能源電力外，亦可穩定電力供應，估計2030年生質電力之燃料產值(內需市場)將達新臺幣110億元以上[8]。

在運輸用生質燃料推動與環境建構方面，將持續生質醇區域示範與應用與公務車試行，以強化政府對於再生能源、節能減碳推動之決心，透過城市示範，驗證供油體系使用生質燃料無虞，以備未來生質燃料全面實施情境。在生質柴油/生質燃油應用上，規劃朝向生質柴油運輸用燃料，以及生質燃油熱電燃料自主性添加使用，以維持生質燃料供應自主性、持續達成二氧化碳減量及有效應用廢棄物能源等目標。

展望未來，短期內生質能源技術與應用發展，將朝向創新關鍵技術研發、妥適利用利基料源(如：都市垃圾、廢棄物、農林剩餘資材、休耕地栽種能源作物)，結合企業減碳及事業體零廢棄需求，創造廢棄物能源化應用、分散式電力系統等，以達到提高自產能源，強化能源供應安全與貫徹資源永續利用等多重效益為目標。中長期將結合固碳需求，開發本土料源，以持續提升自產能源。

二、產業技術發展指標與時程

(一) 國內外技術發展指標

技術項目	國外發展指標	國內發展指標
固態廢棄物衍生燃料(RDF-5, solid refuse derived fuel)技術 **農林資材顆粒燃料技術(pellet)**	1. 日本發展RDF-5技術至2005年已達62座，以處理都市廢棄物為主。以一般事業廢棄物製成廢棄物衍生燃料(RPF, Refuse Paper & Plastic Fuel)，亦在日本持續地蓬勃發展，至2018年，對RPF燃料需求量，估計達2佰萬噸/年[9]。 2. 歐美積極發展木質顆粒燃燒應用。木質顆粒已商業化生產，以歐洲、北美為主，2014年全球產量已超過2,410萬噸[3]。	1. 已開發以廢棄物為原料RDF-5技術，並已商業化。以工業廢棄物製造RDF-5之商轉廠共有5座，總產能達14萬噸/年。 2. 在農林資材造粒應用技術已完成初步驗證。
生質物焙燒技術/生質煤炭(Torrefaction, bio-coal)	1. 歐美投入系統研發，包括旋轉窯式、螺旋式、多層床式、微波式、移動床式及帶式，其中採旋轉窯反應器作為焙燒爐者居多。 2. 國際規劃或建置中焙燒廠產能約5,000~60,000公噸/年，然尚未有商轉系統實際運轉[10]。	1. 已建立45kg/hr乾燥、焙燒系統，並完成農林資材焙燒研究[11]。 2. 臺灣大學建置30kg/hr低溫裂解產製固體替代燃料先導設施，並完成木本類低溫裂解測試[12]。 3. 中研院開發超級焙燒系統，產品可做為替代燃料或土壤固碳用途[13]。
富油脂藻類養殖/採收技術	1. 美國投入於藻種篩選、反應器開發、養殖系統、採收/萃油製程技術設備之開發，並同步補助產業研發聯盟有關商業化技術發展。 2. 大型化及量產化發展公司包括Cellana、Saphire Energy、Algae Tech、Solazyme及Solix等。	1. 已完成噸級微藻戶外模組化袋式培養雛型系統建置，微藻尖峰生產力41.6g/m^2/day；結合創新濾材及省能機具設計多層帶濾式微藻採收技術，採收濃度達150g/L，能耗0.34kWh/m^3。 2. 開發微藻能源技術及副產品加值技術。業界已建構600m^2戶外養殖示範場，總養殖規模達15噸。

技術項目	國外發展指標	國內發展指標
	3. 中國大陸「十二五生物技術發展規劃」中提出開發微藻生物固碳核心關鍵技術，並將作為生物能源使用，且規劃在2013-2014年建置微藻固碳產業化示範基地。 4. Algenol Biofuels Inc.開發以微藻直接產製乙醇與油脂，宣稱其在無政府補貼、原油價格$50/barrel的情況下，仍可獲利，現已進入集資、準商轉之階段。	3. 第二期能源國家型科技計畫支持開發微藻生物固碳，並轉化微藻細胞產製各類有價產物之技術，產品包含油脂、醇類、氫能、琥珀酸、葉黃素等。
木質纖維素生質醇類技術(乙醇/丁醇)	1. 2014年全球運輸用生質酒精約940億升[3]。 2. 美國國家再生能源實驗室(NREL)為酵素水解技術之領先指標，葡萄糖產率為78%，木糖產率為80%。 3. 化學水解技術分為濃硫酸水解技術與濃鹽酸水解技術為主，領導公司分別以Arkenol Inc.與Virdia為代表。濃硫酸水解技術之葡萄糖產率為70-80%，木糖產率為60-70%；而濃鹽酸水解技術之葡萄糖產率大於50%，木糖產率為90%。 4. NREL利用玉米秸稈為料源產製纖維酒精，生產成本2.15$/gal；Cobalt Technologies生質丁醇醱酵技術，其產率為261L/Ton-穀物，363L/Ton-葡萄糖，182L/Ton-甘蔗汁。 5. DuPont、Abengoa、POET-DSM及Quad County Corn Processors等公司於2014年在美國完成4座纖維酒精商轉廠建置並開始運轉，總年產量約3.1億公升。	1. 核能研究所已完成噸級纖維素酒精先導廠之建立，酵素水解醣產率為75%，酒精醱酵產率90%。以稻稈、蔗渣/甘蔗汁及木片為生質料源，搭配副產品加值，纖維酒精生產成本分別為30、24與20NT$/L。 2. 已建立木質纖維素離子溶液化學水解技術，水解醣產率達90%，產醣成本預計可與傳統製程之糖蜜價格相當(11.11元/乾基公斤)。以蔗渣為生質料源，產製醣類結合後續近無碳損丁醇醱酵技術，丁醇產率預計可達376L/Ton-蔗渣。 3. 中國鋼鐵公司投入以生物技術方式利用煉鋼過程中產生煙道氣產製乙醇，並規劃於2016年動工建置年產量5萬公噸乙醇量產廠。
厭氧醱酵/光合作用產氫技術	1. 中國大陸建造63.5m^{3}生物醱酵槽，以糖蜜為料源之產氫速率達5.26m^3/m^3/d。 2. NREL開發木質纖維素技術，生物質轉化為富含糖的原料，可直接醱酵產生氫、乙醇和高價化學品。利用梭狀芽孢桿菌直接醱酵木質纖維素為氫，產氫速率最高達1.1L/L/d。	1. 逢甲大學開發顆粒污泥/固定化細胞系統醱酵產氫技術，簡單分子(蔗糖)醱酵產氫速率高達360L/L/d，大分子(澱粉)醱酵產氫速率48L/L/d，居領先地位。 2. 能源國家型科技計畫利用生物產氫技術結合微藻技術，將固碳後生成藻體轉換產出有價產物，利用殘餘物，將其轉化為氫能。

技術項目	國外發展指標	國內發展指標
生質柴油技術	1. 2014年全球運輸用生質柴油約297億升，其中歐洲為主要生產區域(116億升)。 2. 全球HVO產量約40億升，以歐洲18億升為最大宗，主要以油棕櫚油或經認證的植物油為原料[3]。	1. 已開發鹼製程生質柴油技術，並授權廠商，推動建立完整上、中、下游產業鏈，2010年6月-2014年5月全面實施B2，生質柴油年使用量約10萬公秉。 2. 目前進行生質柴油或生質燃油規劃摻入工業用油使用評估。
裂解技術	1. 加拿大Ensyn公司的Ontario廠每年生產300萬加侖的生質裂解燃油(RFO)，作為美國市區加熱的鍋爐燃料。此RFO已通USEPA認可並符合美國RFS2標準的商業化鍋爐燃料。	1. 已建立快速裂解技術，包括廢塑膠裂解與生質物裂解技術。生質物裂解產油技術方面，林業資材產油率大於65wt.%。
氣化技術	1. IEA Bioenergy Task 33生質物氣化設備資料庫中實際運轉商用生質物氣化爐共計有49家(2015)。其中汽電共生系統混燒共36家[14]。 2. 生質物氣化商業化公司包括芬蘭Bioneer及Foster Wheeler、德國Lurgi，以及紐西蘭Fluidyne，生質物氣化爐規模約10MWth，最大規模達100MWth。	1. 已完成900kWth生質物先導型循環式流體化床氣化爐。 2. 已完成2噸煤炭/日壓力式挾帶床氣化系統建置。

資料來源：工研院整理，2015年12月

(二) 國內技術近期發展重點

1. 生質熱電燃料應用技術

(1) 固體生質燃料

在農林資材熱電利用方面，依據各項生質資材之種類及供應情況，進行造粒、焙燒及裂解等生質物熱化學轉換技術之研究開發[15]。在固態燃料工業實務應用上，造紙產業產製RDF-5商轉技術及其後端之生質熱電應用技術，已日趨成熟穩定，為生質能源利用的成功案例。另外，部分廠商以國內廢木材或進口棕櫚資材為燃料，產生蒸汽並供應附近工業區廠商，亦為生質燃料工業化應用實際案例。

(2) 氣體生質燃料

氣體生質燃料應用主要為沼氣為主，使用沼氣引擎區分為兩大類，一種為沼氣引擎，另一種為微型渦輪機。市面已有成熟化沼氣引

擎商品，發電效率約25%~40%；另具有熱電聯產功能，將引擎廢熱作為厭氧發酵槽之供熱來源，或產生熱水供熱，使整體能源利用效率可達80%。沼氣發電技術可分為同步併聯發電技術與感應發電技術，同步併聯發電技術多運用於大規模沼氣量之場所，例如都會區之垃圾掩埋場，發電規模可達百萬瓦(MW)以上；感應發電技術多運用於小規模沼氣量之場所，如養豬場、中小型工廠。

2. 運輸用生質燃料應用技術

運輸用生質燃料技術開發，包括生質柴油與生質醇類技術開發，其中生質醇類之近期發展重點可參考下一小節「木質纖維素解聚技術」說明。生質柴油或生質燃油研發量能，除微藻產油技術外(請參考下一小節「富油脂藻類養殖/採收」之說明)，已由甲醇之鹼觸媒低溫常壓轉脂化技術，轉至多元生質料源之轉酯製程建立，其中包括固態觸媒床與超臨界流體轉酯化製程技術開發，期可達到生質柴油產率＞95%，回收甘油純度＞95%及新型觸媒耐久性＞6,000小時等前瞻效益。

3. 木質纖維素解聚/生質醇類技術

近年來技術發展重點包括開發高效率、低成本之創新化學水解(離子溶液)及醣分離純化技術，與建立前處理酵素水解等兩方面為主，水解後產物可應用於下游醇類醱酵以產製生質醇。醣醱酵產製醇類技術發展方面，以開發具競爭力之纖維素酒精/丁醇技術為主，研發著重於提升醣類醱酵效率、增進微生物/酵母菌在醱酵環境之耐受度、提高醇類分離純化效率、整合水解與醱酵製程，以及提升整廠能源效率與製程資源再利用技術等，並根據先導廠研究結果，進行商轉廠評估及推動廠商設廠。另外，利用厭氧菌醱酵將生質物轉化為酒精技術也是發展方向之一，國內鋼鐵公司規劃利用煉鋼產生之轉爐氣轉製生產酒精，並規劃設置年產量5萬公噸乙醇示範廠。

4. 富油脂藻類養殖/採收

微藻生長速率快速、可吸收CO_2、無毒性及不與糧爭地等特性與優點，適合做為生質燃料資源作物(如生質柴油或生質燃油)。目前微藻產製生質燃料成本仍太高，商業化量產應用困難，為能於短期內達經濟效益，微藻能源技術可與固碳、廢水處理等系統整合，提高週邊效益，並依據藻種特性與成分，同步開發如DHA、蝦紅素等高價微藻產品，以分攤微藻產製生質燃料成本，使其能於短期內發展出可行之微藻能源及產業應用模式。

依據經濟評估結果，投資成本以微藻養殖設施所占比例最高，約整體所需投入成本60%，而微藻破壁/萃油則為能源投入最多程序，約占總能耗70-80%。有鑑於此，未來國內技術近期發展重點包括低成本模組化袋式微藻養殖系統及大規模養殖、低能耗微藻生物破壁/藻油萃取與藻體殘渣高值化技術等，結合業界進行微藻生質燃料規模化量產示範等。

（三）國內技術發展時程

表4-4-2及表4-4-3為國內定置型生質能發電及熱利用技術與運輸用生質燃料技術及未來之發展時程。未來在擴大生質物料源方面，若建立生質物應用技術，將可創造並扶植相關產業，包括機械設備、能源工程、環保工程與廢棄物資源回收業者，另一方面，配合政府現有政策，如提高再生能源比例、開發自產能源、廢棄物處理及降低二氧化碳排放，可引導開創國內生質能技術之研發與產業。

表4-4-2　國內定置型生質能發電及熱利用技術發展時程

技術項目	短程(~2018)	中長程(~2025)
集中式生質燃料熱電利用	• 生質燃料造粒與料源均質化技術 • 生質物焙燒技術，生質煤品質提升技術，熱值＞4,500kcal/kg • 生質燃料混燒技術驗證(混燒比1~5%) • 鍋爐防高溫腐蝕技術 • 不同爐型生質燃料燃燒最適化技術 • 國際合作技術交流與引進	• 生質燃料汽電鍋爐應用技術 • 發電系統＞20MWe混燒生質燃料混燒技術 • 生質燃料混燒(生質煤或合成氣)驗證技術，混燒比5~15% • 生質能氣化發電，整廠發電效率＞30%
分散式生質燃料熱電利用	• 2-20噸蒸汽鍋爐，熱效率＞80% • 多元料源生質顆粒燃料技術，熱值＞4,000 kcal/kg，建立鍋爐熱利用示範 • 生質裂解油改質平台技術，能源產出/投入＞3，熱值＞35MJ/kg，含氧量＜10% • 小型發電技術(0.5~5MWe)，發電效率＞25% • 先進醱酵技術及沼氣發電示範技術推動，發電效率＞25%	• 改質油(20%)混摻重油鍋爐燃燒技術 • 推廣分散型生質燃料技術(裂解、焙燒等) • 發展區域性生質氫供應中心 • 生質燃料熱電示範技術，熱能利用＞60% • 開發產業廢水/廢棄物生產沼氣發電，累計裝置容量達26MW(2030年)

資料來源：工研院整理，2015年12月

表4-4-3 國內運輸用生質燃料技術發展時程

技術項目	短程(~2018)	中長程(~2025)
生質柴油技術開發與推動	• 推動自願性於車用柴油中摻配1~5%生質柴油 • 新製程(固態觸媒)生質柴油廠建立與運轉，生質柴油產率＞96.5%，成本NT$40元/L • HVO(氫化油)綠色柴油技術開發及示範廠建立，綠色柴油產率＞75%，生質航油產率＞50% • 甘油(微生物)加值化先導生產廠，總脂質含量＞70 wt.%	• 擴大推動生質物柴油使用(含生質柴油及氫化油)，2025年達15萬公秉/年 • 推動生質柴油副產物-甘油(微生物)加值化生產廠建立與運轉 • 微藻產油程序及生物精煉整合技術開發 • 示範場建立、長期運轉及系統改善 • 微藻藻體綜合利用，藻油生產成本＜NT$50元/L
生質醇類(乙醇、丁醇)技術開發與推動	• 北高都會區E3酒精汽油推動計畫 • 設立噸級木質纖維素解聚先導廠，產醣及醱酵產製醇類驗證 • 設置煙道氣轉製酒精商轉廠與生產驗證	• 2025年推動生質醇(乙醇或丁醇)量產廠，供應6萬公秉/年 • 2030年供應醇類汽油，推動量達100萬公秉
生質物氣化合成氣製備生質燃料技術	• 不同生質料源氣化技術，氣化效率＞75% • 合成燃氣脫膠油技術，焦油含量＜1ppmV • 尾氣能源利用/再回收技術 • 氣-液轉化生質燃料技術，F-T燃料轉化率85%	• 生質物Fischer-Tropsch合成燃料程序整合技術開發 • F-T燃料轉化率＞90% • 示範廠建立、運轉及系統改善

資料來源：工研院整理，2015年12月

三、國內發展現況與成果

(一) 生質能源料源技術

1. 固態廢棄物衍生燃料(RDF-5)技術

現階段以工業廢棄物為原料之RDF-5技術已有產業化應用[16]，目前

共有5座生產廠，估計總產能為8萬噸/年，每年約可減緩二氧化碳排放約15萬公噸/年，產值約新臺幣1.2億元/年。在農林資材造粒技術發展上，完成移動式生質資材造粒設備，有利於生質燃料運輸與儲放及推動分散式生質料源體系運作。未來，此技術亦可整合應用於區域性生質燃料製造與應用網絡，帶動生質能產業投資商機，提升社會經濟，扶植本土再生能源生質能應用產業發展。

2. 生質物焙燒技術

生質物焙燒技術已完成實驗室規模試驗，並建立焙燒系統先導廠。2012年建立45kg/hr旋轉窯乾燥、焙燒系統，完成農林資材(柳杉木、混合顆粒燃料)及都市垃圾焙燒研究。在混合料源顆粒燃料焙燒研究結果中，產品熱值可達4,800kcal/kg[11, 17]。臺灣大學完成建置30kg/hr連續式低溫裂解產製固體替代燃料先導設施，驗證焙燒技術於國內發展可行性[12]。中研院開發與建置超級焙燒系統，以熔鹽或溶劑加熱生質物，將生質物裂解及碳化，可做為替代燃料或土壤固碳之用途[13]。

3. 富油脂藻類養殖/採收

臺灣水域中普遍存在綠藻Botryococcus braunii 及矽藻Nitzschia palea，其油脂含量在40wt.%以上，極具潛力成為生產生質柴油之料源[18]。已開發微藻生質能源上、下游技術，並與多家公司合作戶外養殖，尖峰產率可達41.6g/m^2/day、產率可達20g/m^2/day以上及含油量達70wt.%之基改微藻技術開發。下游採收及萃油技術方面，完成採收濃度達150g/L、能耗0.34kWh/m^3多層帶濾採收系統與油脂萃取率＞90%之高壓二氧化碳濕藻泥連續萃取技術開發。此項研發計畫與水試所東港生技中心合作共同開發微藻生質能技術，對將來微藻生質能源量產奠定重要基礎[19]。

2012年起，國內研究單位與業界已就排放煙道氣進行微藻固碳與利用技術研究，建立模組化袋式光合反應系統作為微藻培養系統，並進行戶外的微藻固碳培養、採收探討與能源應用評估。同時，為提升其經濟效益與競爭力，將以類植物工坊方式培養含高單價物質微藻，規劃其整體產業應用模式，吸引有興趣廠商投入相關研究與投資，作為微藻能源於短期間內可資應用及推動模式。目前已建置占地面積600m^2、總養殖體積約15m^3戶外微藻養殖示範場，利用水泥廠排放二氧化碳進行微藻生物固碳技術示範與開發微藻高單價產品。成果獲得業界肯定，預計2016年擴增到1公頃的養殖規模，並進入準商業化生產階段。

近年來，國內學研機構針對微藻能源利用關鍵技術積極研發，短期若可研發高效率低成本光合反應系統、低能耗(降至微藻熱含量20%以下)與成本之下游採收萃油技術，將可應用於適合微藻生長區域，以獲得低成本藻體(小於新臺幣35元/公斤)。若於沿海電廠附近設置養殖場，更可利用藻類光合作用，每公頃每年可減少二氧化碳排放40-80公噸；若建立可行微藻生物精煉模式與產業發展效益，更可形成巨大微藻固碳及產業利用模式，且可擴展至國際應用[20]。

(二) 生質物轉換技術

1. 木質纖維素生質醇類燃料技術

國內對木質纖維素衍生醇類燃料技術處於研發與驗證階段。核能研究所已完成噸級纖維酒精測試廠之設置，研發重點為噸級測試纖維酒精量產技術與製程技術開發，以同步水解與醱酵程序為噸級廠測試方向，以提升單位纖維原料之酒精產量與降低製程成本，並規劃日處理量300噸生質料源之纖維酒精商轉廠設計，未來計畫以廢木片為原料於海外建立纖維酒精商轉廠。

國內所開發之「近無碳損丁醇技術」與「木質纖維素離子溶液化學解聚產醣技術」，已進行生質丁醇「近無碳損丁醇醱酵技術」生產製程研發，因其創新技術、高轉化效率、低成本等優勢，極具全球競爭力，並獲2013年全球百大科技研發獎外(2013 R&D 100 Award)。未來透過先導噸級木質纖維素離子溶液解聚產醣系統，結合業界能量，推動國內纖維素丁醇準商業化廠設置，以驗證本項創新技術之效益。

2. 厭氧醱酵／光合作用產氫

國內學界進行本土產氫菌種篩選、產氫生物反應器設計及菌叢生態分析等厭氧生物技術，已獲致傑出成果。所開發之顆粒污泥/固定化細胞系統之醱酵產氫技術，使用蔗糖醱酵產氫速率高達360L/L/d，而澱粉醱酵產氫速率達48L/L/d，居領先地位。2005年進行厭氧生物氫能技術產業化應用研究，建置1座0.4噸規模生物產氫模場，並開發「高速率厭氧生物產氫模場技術」，且完成0.4噸產氫槽、2.5噸甲烷槽與0.2噸微藻固碳槽先導工場，在2011年將其升級為綠色氫加氫站，提供氫燃料電池車加氫示範之用[21]。目前已將技術推廣至業界興建生物產氫示範廠，進行飲料廢水生物產氫轉化收回生質能源技術評估工作。第二期能源國家型科技計畫，

利用生物產氫技術結合微藻技術，將固碳後生成藻體，經由各種分離轉換技術產出有價產物後，將殘餘之藻體(有機物)透過各種生物轉換產生有價化學品或能源，包含利用生物產氫技術產製生質氫能，提升其能源效益[22]。

3. 生質柴油製造技術

生質柴油(bio-diesel)係指以動植物油或廢食用油脂，經轉化技術後所產生之酯類，直接使用或混合市售柴油使用作為燃料者。目前國內商業化製程以均相觸媒鹼製程為主，近來則有朝向非均相觸媒催化轉酯化技術發展，惟非均相觸媒催化目前因活性低且容易受毒害而失活，國內尚無以非均相觸媒產製生質柴油之商轉廠。

生質柴油推廣應用方面，於2008年7月實施全國全面供應B1生質柴油計畫，使國內成為亞洲第一個無須補助而全面使用生質柴油國家。2010年7月~2014年5月將生質柴油摻配比例提高為2%(B2)，生質柴油年總使用量約10萬公秉。2014年5月以後，生質柴油推動上，採車隊或公務車於車用柴油中自願性添加使用，同時，亦規劃評估生質柴油/生質燃油於工業鍋爐熱電利用之可行性，期透過生質柴油/生質燃油多元化應用測試與驗證，持續達成國內能源自主性及二氧化碳減量效益。

4. 厭氧醱酵產製甲烷

為鼓勵沼氣發電利用，經濟部於2013年1月公告「經濟部沼氣發電系統推廣計畫補助作業要點」，藉由中央與地方政府共同合作，推動多元料源集運機制及沼氣發電系統設置與運行，解決產源分散問題，並提高沼氣裝置容量達到經濟規模，以推廣沼氣應用。

在沼氣系統補助推動成效上，2013年通過補助屏東縣及彰化縣政府，沼氣發電機組裝置容量合計390kW；2014年通過補助屏東縣政府，發電機組裝置容量65kW；2015年通過補助雲林縣政府，發電機組裝置容量495kW。完成設置後，預估每年發電約6百萬度。未來將持續鼓勵妥善利用現有農牧廢棄物、廢(污)水處理廠產出之沼氣，預計2030年完成開發沼氣發電總裝置容量達26MW [23]。

5. 熱裂解技術

在廢棄物熱裂解產油技術開發，包括廢輪胎裂解產油及產碳黑(裂解固態產物)技術、廢塑膠裂解產油技術、生質物裂解產油及產碳技術等。

在廢輪胎裂解產油及產碳黑技術方面，已有廠商以整顆廢輪胎為進料生產裂解油及碳黑，年處理量可達3萬噸廢輪胎。在廢塑膠裂解產油技術方面，已建立廢塑膠處理量20kg/hr連續式裂解產油示範系統，並獲多項專利。

在生質物裂解產油及產碳技術方面，以農林資材為料源，完成處理量1.44噸/日快速裂解先導系統設置與測試，林業資材產油率大於65wt.%、農業資材產油率大於50wt.%[24]。為推動生質裂解油於工業應用，已進行生質裂解產油可行性研究，油公司已建立生質物5kg/hr生質物產油快篩平台，篩選國內外適合作為生質物產油的料源，做為未來生質物裂解產油廠之料源參考。業界則建立生質物處量30kg/hr裂解產油設備，未來規劃建置商業化裂解系統，生產裂解油將取代該業者之化石燃油，以降低鋼鐵廠所產生二氧化碳。

6. 氣化技術

在廢棄物氣化利用技術發展上，已完成進行稻殼氣化回收熱能之研究，開發10kWe下吸式稻殼氣化反應爐，以及一900kWth先導型循環式流體化床氣化爐，同時亦開發完成300kWth農業氣化利用示範系統。另外亦已建立進料每日2噸煤炭之壓力式挾帶床氣化系統，並進行生質物與煤炭混合氣化之技術開發，預期可逐步擴大至產業利用[25]。此外，核能研究所已建立日處理量2噸生質物之先導型電漿生質物氣化發電研發系統(發電裝置容量120kVA)。台灣電力公司綜合研究所則建立30kWth循環式流體化床氣化爐試驗場，將用於燃煤電廠混燒或氣化發電，以提供台電公司燃料來源及二氧化碳減量。

參考文獻

[1] International Energy Agency, 2015, Key World Energy Statistics, IEA.

[2] IEA, 2012, Technology Roadmap - Bioenergy for Heat and Power.

[3] REN21, 2015. RENEWABLES 2015 GLOBAL STATUS REPORT

[4] IEA, 2012, Technology Roadmap – Biofuels for Transport.

[5] 行政院，再生能源發展條例，2009。

[6] 經濟部能源局網站：能源統計月報，http://web3.moeaboe.gov.tw/ECW/populace/content/SubMenu.aspx?menu_id=141，(最近查詢2016.02.18)。

[7] 中原大學/工業技術研究院，2011，分散式生質能源料源資訊評估與焙燒前處理造粒設備建置計畫，行政院環境保護署，桃園。

[8] 經濟部能源局，2012，生質燃料產業發展策略與措施，台北。
[9] http://www.jrpf.gr.jp/rpf-6(最近查詢日期：2016.02.18)
[10] IEA, 2012, Status Overview of Torrefaction Technologies，IEA Bioenergy Task32 Final Report.
[11] 工業技術研究院，2013，先導型焙燒與造粒系統技術應用與測試發展計畫，行政院環境保護署，桃園。
[12] 國立臺灣大學，2011，生質物低溫裂解產製固體替代燃料試驗設施建置計畫期末報告，行政院環境保護署，桃園。
[13] 徐遐生等，2015，Enery and Materials on a Biocarbon Future. 2015年科技部「超導烘培:邁向成品之路」計畫成果展示暨產學媒合會議簡報。
[14] IEA Task 33 Thermal Gasification of Biomass，http://www.ieatask33.org/，(最近查詢2015.07.31)。
[15] 萬皓鵬，2014，生質物—後化石世代的重要能源與工業原料，科學發展月刊(497), pp.52-59.
[16] 萬皓鵬、李宏台，2010，「廢棄物衍生燃料的使用」，科學發展(450), pp.34-43.
[17] 工業技術研究院，2011，生質物焙燒處理技術先導設施建置計畫，行政院環境保護署，桃園。
[18] 蔡佳儒，2011，碩士論文，微藻焙燒物性質分析，國立中興大學森林學系，台中。
[19] 工業技術研究院，2013，多元料源液態生質燃料技術開發與推廣計畫(第四年度)期末報告，經濟部能源局，台北。
[20] 盧文章、楊淑梅、陳漢炯、陳仁宗，2004，國內擴大料源作為生物燃料料源的可行性分析，No. 06-3-93-0768-01，工業技術研究院，新竹。
[21] 逢甲大學，2012，生質能科技研究中心推動計畫-生質能科技研究中心，101年度執行報告，經濟部能源局。
[22] 行政院環保署推動碳補存技術資訊網，http://ccs.gov2.tw/node/1900，(最近查詢2016.02.18)
[23] 經濟部能源局，2013，經濟部積極結合地方政府共同推廣沼氣發電應用，網址：http://web3.moeaboe.gov.tw/ECW/populace/news/News.aspx?kind=1&menu_id=41&news_id=3043，上網日期：2013-07-16

[24] 萬皓鵬、張志強、李宏台，2010，「生質物快速裂解產油技術」，化工技術，Vol.208, pp. 120-1310

[25] 工業技術研究院，2010，淨煤技術及二氧化碳補獲封存技術發展計畫，期末報告，經濟部能源局，台北。

第五節　地熱

地熱能應用係指擷取地表下之熱能進行發電、暖房、溫室植栽、養殖或冷房等應用，國內地處亞熱帶，暖房與溫室栽培需求不高，地熱能應用乃以溫泉泡湯為主，部分地區溫度高達150℃以上，可開發進行地熱能發電，(目前100℃左右即可發電)。一般而言，地熱主要發生在板塊碰撞區及岩漿湧出地表之火山區(如中央山脈)，由於板塊運動的關係，使得部分深埋於地下深處之高溫岩層擠壓到地殼淺部，形成地熱潛能區，著名之宜蘭清水、土場、南投廬山、臺東知本及金崙等地，即屬於此類地熱區。地下水經高溫岩石加熱後，沿著斷層和裂縫處上升至地表，即形成溫泉。高溫地下水儲存在岩層之孔隙及裂隙中，即為所謂「地熱儲集層」(Geothermal reservoir)。

一、國內發展目標與策略

依據Bertani(2015)在2015年世界地熱研討會(World Geothermal Congress, 2015)發表之資料顯示[1]，全世界已有27個國家設有地熱發電廠，總裝置容量合計約12,635MW(表4-5-1)。其中發電量前5大之國家為美國、菲律賓、印尼、墨西哥、紐西蘭。在2010至2015年5年間，裝置容量增加超過100MW之國家則有肯亞、美國、紐西蘭、土耳其及印尼等國。成長比例超過50%之國家有土耳其、德國、肯亞及尼加拉瓜。該報告並預測至2020年世界總裝置容量可達約21,443MW，成長幅度達70%。

地熱能源為一種獨特之發電資源，不僅可降低對傳統燃料(如煤、石油、天然氣)之使用且可供基載發電使用；同時也因具有與風力、太陽能相同之潔淨、再生特性，因此地熱發電正持續受到全世界關注。國內位處太平洋火環帶上，溫泉資源豐富，如何將蘊藏豐富地熱資源開發利用，以提昇能源安全及達到節能減碳目的為未來努力目標。

表4-5-1 全球地熱發電裝置容量

單位：MW

國家	2000	2005	2010	2015
澳大利亞	0.2	0.2	1.1	1
奧地利	0	1.0	1.4	1.4
中國大陸	29.2	28	24	27
哥斯大黎加	142.5	163	166	207.1
薩爾瓦多	161	151	204	204.4
衣索匹亞	8.5	7.0	7.3	8
法國	4.2	15	16	17
德國	0	0.2	6.6	27
瓜地馬拉	33.4	33	52	52
冰島	170	322	575	665
印尼	589.5	797	1,197	1,341
義大利	785	790	843	916
日本	546.9	535	536	519
肯亞	45	127	167	594
墨西哥	755	953	958	1,017.4
紐西蘭	437	435	628	1,005
尼加拉瓜	70	77	88	159
巴布亞新幾內亞	0	39	56	50
菲律賓	1,909	1,931	1,904	1,870
葡萄牙	16	16	29	29
羅馬尼亞	0	0	0	0.1
俄羅斯	23	79	82	82
中華民國	0	0	0	0.1
泰國	0.3	0.3	0.3	0.3
土耳其	20.4	20.4	82	397
美國	2,228	2,544	3,093	3,450
合計	7,974.1	9,064.1	10,716.7	12,635

資料來源：WGC 2015 Report.

（一）發展環境分析

現行對地熱發電開發方式可概分為傳統型地熱系統與非傳統型地熱系統；其中傳統地熱之開發需運用各種專業技術(如：地質、地球物理、地球化學、水文地質、鑽井…等)調查地熱儲集層位置，若地熱儲集層條件符合時，則進行鑽生產井工作(一般深度約1,500~3,000公尺)，以驗證可開發潛能。

非傳統型地熱係以工程方法萃取地下高溫岩體中之熱能至地表再加以應用，因為地層溫度隨深度增加而升高，蘊含熱能亦隨之增加，在缺乏傳統地熱區域可以鑽鑿深度較大井，獲得足以開採溫度，非傳統地熱因深度較深故也稱為深層地熱系統(深度約3,000~6,000公尺)。根據美國麻省理工學院研究，地下3~10公里範圍內深層地熱發電潛能約為地球石化燃料發電潛能之1,300倍(MIT,2006)[2]。

深層地熱又稱為增強型地熱系統(Enhanced geothermal system, EGS)，其主要利用水力破裂方式在地下深處高溫岩層製造裂隙，形成人工熱儲集層(Engineered Artificial Reservoir)，再經由地表將冷水或超臨界二氧化碳注入地下熱儲集層，經加熱後之熱液或蒸氣由另一生產井取出到地表，作為發電使用。此項技術仍在開發驗證中，全世界尚未有大規模之商業化EGS電廠，但許多先進國家如美國、歐盟、澳洲、日本、俄羅斯等均已陸續啟動相關計畫或設置試驗場址，未來之發展潛力相當雄厚。

國內主要傳統淺層地熱區包括北部大屯火山、宜蘭清水與土場、南投廬山、臺東知本與金崙等地區，總發電潛能約730MW(表4-5-2)。傳統地熱可區分為火山型及非火山型兩種地熱資源，其中火山型地熱區僅有北部大屯山地熱區及宜蘭外海之龜山島兩處；其他則皆屬非火山型熱水型地熱區。另外，臺東外海之綠島屬呂宋島弧的一部份，島上溫泉資源豐富，過去曾進行淺層之溫泉開發調查，在鑽井深度150公尺左右，其井內溫度最高可達94℃(工研院，1999)，顯示地下熱能相當豐沛。目前綠島發電廠正常供電裝置容量為7,500kW(柴油)，發電成本約達10.65元/度，台電公司希望於2016年進行綠島地熱發電開發。

在非傳統型地熱方面，根據臺灣區域性熱流分布之地溫梯度數據，使用美國、紐西蘭、日本等國際地熱先進國家常用之蘊藏熱能法(Stored Heat Method)來估算，並以150℃為最低開發溫度，推估3~6公里深度之增強型地熱系統(EGS)之發電潛能，其結果顯示，臺灣本島之九大增強型地熱系

統潛能區之總分布面積約4,532km^2，約佔全島面積之12.5%，平均溫度約208℃，總儲藏熱能3,307x10^{18}J，總儲藏發電潛能約31.8GWe(表4-5-3)。

(二)發展目標與策略

國內之地熱產業發展，雖然起始時間相當早， 1981年於宜蘭縣清水地熱區建構1座3MW先驅試驗發電廠，並由台電公司負責運轉試驗。後來因地熱產量逐年衰減以致發電量亦隨之遞減，於1993年11月停止發電試

表4-5-2 國內主要地熱潛能區之發電潛能概估

地區	溫度(℃)	蘊藏體積(km^3)	儲集熱能(×10^{18}J)	發電潛能(MWe)
大屯火山	245	40.0	24.3	514
清水	200	6.0	2.9	61
土場	170	3.0	1.2	25
廬山	180	4.5	1.9	41
知本	170	3.0	1.2	25
金崙	160	6.0	2.3	48
瑞穗	160	2.0	0.8	16

資料來源：工研院整理，2015年12月

表4-5-3 國內增強型地熱系統之發電潛能評估

地區	平均面積(km^2)	平均溫度(°C)	蘊藏熱能(10^{18}J)	發電潛能(GWe)
大屯山	278	236	252	2.7
清水、土場	909	223	760	7.8
廬山	279	210	209	2.0
瑞穗、安通	467	195	297	2.6
霧鹿、紅葉	571	196	366	3.3
知本、金崙	701	214	545	5.4
寶來	476	205	336	3.1
關仔嶺	510	197	334	3.0
新竹、苗栗	343	192	209	1.8
合計	4532	208	3307	31.8

資料來源：工研院整理，2015年12月

驗，累計運轉時間約12年，而後長達十餘年國內地熱發電產業處於停頓狀態。

經濟部在2003年9月公告實施「地熱資源探勘補助要點」，計有宜蘭縣與臺東縣政府獲得補助款進行地熱資源探勘工作，宜蘭縣於2006年11月於清水地熱區完成初步探勘工作及一口深500m(IC-20)地熱探勘井，臺東縣則在2008年10月完成金崙地熱區探勘及一口深1,000m地熱探勘井，同時也以地熱多目標利用BOT開發。

2009年前行政院國家科學委員會(現為科技部)整合研發資源與配合節能減碳政策，推動跨部會署合作之「能源國家型科技計畫」。其中「地熱發電」主軸計畫第1期程(2009~2013年)計畫目標除前述能源局推動之計畫外，國科會亦委託臺灣大學地質科學系暨研究所執行「宜蘭清水地熱能源研究－探勘技術平台的建立與深層地熱」，此為國內第一次結合野外地質學、岩石學、構造地質學、水文地質學、地球化學和地球物理學等，應用於臺灣地區地熱探勘。此外，引進國外相關地熱探勘技術等，以建立自有地熱區從探勘、鑽探、地熱儲集層的建立，和發電等整套地熱能源之探勘和開發技術等，並將進一步推廣應用於其他地熱區探勘與開發，期望能達成國家能源規劃目標。

2014年科技部推動之第二期「能源國家型科技計畫」程(2014~2016年)展開，歸屬自然司之「地熱及天然氣水合物」主軸中心根據國際近年所發展之「加強型地熱系統」(EGS)概念，重新評估全島深層地熱，認識臺灣地區有可觀地熱資源量，展開地熱發電之規劃與推動(資料來源：第二期能源國家型科技計畫網站，2016)。短期目標希望能於2016年完成4MW傳統地熱發電廠與1MW深層地熱先導發電場規劃，逐步引進深層地熱發電技術並發展地熱發電產業，其研究主題包括地質資源特性探勘、地熱鑽井、地熱儲集層工程、地熱發電和利用、地熱發電成本分析與其相關法律研究等。

1. 推動策略

以國內地熱蘊藏及技術條件，開發策略應由淺入深，短期以開發淺層傳統地熱為主，中長期則應發展深層地熱發電技術。

對傳統地熱而言，主要開發重點在地表熱能徵兆明顯之幾個地熱區，其中大屯山馬槽區雖然地熱蘊藏量最高，但因該區之地熱具有酸性腐蝕問

題，且位於國家公園內，就土地或技術而言，短期內難以克服。因此，若以較短時程要達成地熱電廠設置目標，則應以宜蘭清水地熱區作為首要開發地區，主要原因是清水地熱區之土地取得問題已解決，且經過近年來調查、研究與發電示範後，對清水地熱區之地熱電廠開發已達成熟階段，目前由宜蘭縣政府BOT招商中。2015年開始，新北市金山區四磺子坪地熱潛能區考量其區位及土地優勢，委由工研院與新北市政府合作開發新北市金山區10MWe(百萬瓦)地熱發電廠，預計兩年內啟動商轉建廠裝置計畫。

對於其他地熱溫泉徵兆地區，溫度或產量可能略為不足，如臺東金崙及知本地區、南投廬山地區或其他知名溫泉區，則投入資源進行資源調查及驗證工作，待調查成熟後循清水地熱模式，由地方政府進行BOT招商工作。

2. 發展時程

綜合國內現況條件與國際趨勢，地熱整體發展策略可分為短、中長程，各個階段之推動目標與發展策略說明如下：

(1) 短程目標與策略(2013~2018)

A. 以宜蘭清水地熱區為基地，發展及建立地熱能源永續利用之本土關鍵技術，包括地熱田探勘、發電潛能評估、結垢原因探討和預防潛能評估、生產井與地層結垢處理、尾水回注、以及數值模擬等技術。

B. 進行大屯火山區與其他地熱潛能區資源調查與驗證工作，持續進行潛能區地熱商業電廠開發推動工作。

C. 協助地方政府推動示範地熱電廠之建置，重建國人對地熱發電信心。

D. 依據「再生能源發展條例」，提供地熱發電設置者具經濟誘因之電能躉購費率，期帶動地熱發電相關產業發展，2016年發電裝置容量推動目標訂為4MW。

(2) 中長程目標與策略(2019-2025)

A. 擴大地熱示範發電計畫，進行宣導與技術授權，擴大民間參與。

B. 逐步開發大屯火山與其他地熱區，至2020年發電裝置容量推動目標定為100MW。

C. 擴大深層地熱潛能區之調查範圍，配合能源國家型計畫進程，完成深層地熱潛能區初步評估工作，並進行深層地熱發電示範。

D. 發展EGS技術，擴大地熱能源擷取與利用之範圍，以利於增加地熱發電容量。

E. 持續擴大淺層地熱區之發電裝置容量，至2025年發電裝置容量推動目標定為150MW。

二、產業技術發展指標與時程

地熱發電關聯產業主要包括技術顧問服務業(資源調查、探勘與評估、熱儲集層工程)、鑽鑿工程業、管線材料業、發電機製造業、土木建築業及電廠經營業等。

(一) 國內外技術發展指標

國際間前3大地熱發電國家分別美國、菲律賓及印尼，2010年此三國地熱發電裝置容量均已超過1GW以上，國內自1993年舊清水地熱電停止營運後，相關產業技術之發展即落後於國際地熱先進國家。2006年以清水地熱區為基地，開發傳統地熱發電所需之關鍵技術，包括資源評估驗證技術、舊生產井整修技術、生產井結垢清除技術、發電尾水回注技術、熱儲集層生產模擬技術、井下熱交換技術、雙循環有機朗肯循環(ORC)發電技術等，相關技術之開發在2012年已陸續完成，並於清水地熱區建置完成一座50kW之小型地熱示範電廠。2014年該50kW ORC地熱發電機組進行為期一年之運轉測試，累計發電量超過70,000kWh，並提供宜蘭清水地熱公園全區供電。

以傳統型地熱發電而言，國際上之開發技術已相當成熟，因此整體而言技術發展指標可表現於地熱發電裝置容量之規模，國內目前尚無商轉之地熱電廠，短期內因為宜蘭清水地熱電廠ROT案之開發因故受挫，原先可望產生MW級之商轉電廠略微延宕，在推動時程之規劃上，2016年之裝置容量目標定為4MW，2025年則為150MW。

有關前瞻性增強型地熱(EGS)開發，先進國家累計至今已投入研發近40年，惟迄今仍無具商業運轉規模之電廠，顯見EGS技術仍有須待克服之瓶頸，其關鍵技術包括深層導向鑽井技術(深度超過5公里)、水力破裂技術及高溫(300℃)高壓之量測技術，該技術相當複雜先進且均仍在驗證階段，因此在技術指標上不易定義。但美國能源部自2015年起開始具體推動開發前瞻性增強型地熱發電技術，規劃並執行FORGE計畫(Frontier Observatory for Research in Geothermal Energy)，該計畫分成三階段進行為

期8~10年的技術開發與驗證，若計畫成功將可成為商業開發深層加強型地熱發電之基礎。

(二) 國內技術近期發展重點

國內欲於短時間內開發地熱發電資源，應儘速加強資源探勘技術並推廣傳統淺層地熱電廠之設置。相關之基礎量測與材料技術研發宜於現階段導入，期望可縮短未來深層地熱能之開發時程。以下為近期研發技術概述：

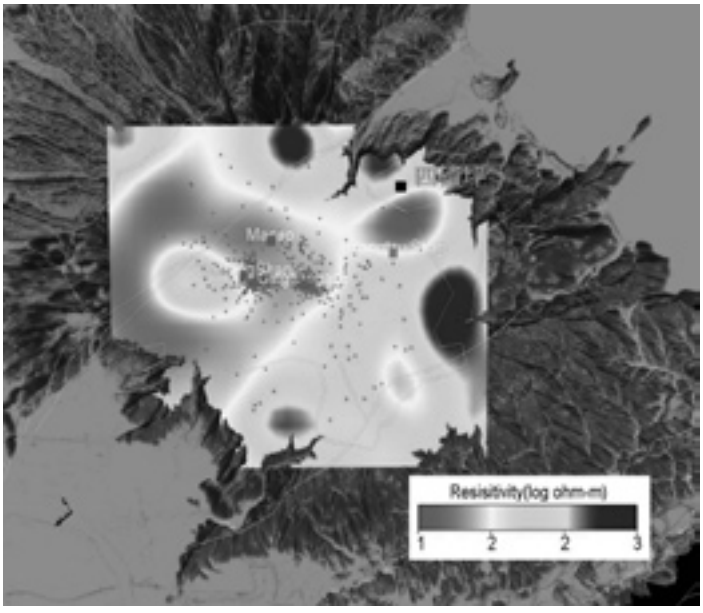
1. 異向性三維層析成像技術

地質、地球物理和地球化學等探測為用來瞭解地下地熱地質構造之重要方法，國際上，利用地球物理技術，進行地熱區的地質構造與特性調查，評估地熱潛能儲集與開發區域為一種趨勢。微地震監測技術在地熱開發扮演的角色包括: 背景震動及裂隙位置監測、大地應力分布等，為地熱電廠開發重要工具之一。

由過去觀測經驗顯示，大屯火山背景噪音較為複雜困難，地熱活動引發之微弱地震易受雜訊掩蓋。近年增加新的觀測站及利用TVO(Taiwan Volcano Observatory – Tatun)已建置之井下觀測站提高觀測密度，完整觀測微震活動之位置及特性，並進行空間異向性指數分析。

2. 剪力波分離技術

本技術乃利用剪力波通過受不均勻應力或裂隙岩層時，因地層震波速度方向性傳遞差異使剪力波產生極化現象，透過三向量震波記錄器，接收來自地下之剪力波訊號，分析快慢波到達時間差與快慢波振動方向，瞭解地層之主要裂隙方向及各向異向性程度，分析結果可據以了解地下裂隙之位態與密度，提供地熱開發參考。由大屯火山微地震監測資料之剪力波快軸極化分析結果顯示，剪力波除了主要具備平行西北-東南最大水平應力方向之極化特性外，大多數測站也反應出區域裂隙所造成之東北-西南向分佈，推測可能與地熱水深循環岩層破碎帶相關。與大地電磁探測(Magnetotellurics, MT)成果比對可發現，微震之震源發生在低電阻區，由深度對MT探測之結果可觀測到微震隨低電阻在深度上的變化遷移，且多發生在低電阻區域。三維MT逆推結果之低電阻趨勢與主要構造走向一致，微震群多集中在低電阻異常之邊界(圖4-5-1)。



資料來源：工研院，2015年2月

圖4-5-1　深度1,500電阻/微震震央分布與四磺子坪相對位置示意圖

微震活動區為地熱高度活動位置，未來進行熱源及生產層的評估時應該以此為參考資訊，參考地球化學分析結果、地質構造模式等進行綜合評估，研選最佳位置，進行探勘井位置及深度規劃。

3. 低成本耐酸蝕材料研發

大屯火山之地熱水處於極酸(pH值小於3)狀態，為過去放棄大屯火山地熱開發之主要原因。為解決大屯火山地熱開發的瓶頸，需開發低成本、耐高溫之耐酸腐蝕材料。在已知之金屬材料中，鈦合金、鉻鎳鐵合金或是哈氏合金雖具極佳抗蝕能力及機械強度，但成本極高。開發在pH<3、高壓且含高濃度硫酸根及氯離子環境下，並具備高機械強度、耐酸蝕材料，以解決酸性環境之地熱發電開發問題。

低成本耐酸蝕材料研發主要內容包括:鍍層材料及合金材料，以解決大屯山酸性地熱流體腐蝕問題。目前國內已開發之耐高溫、耐強酸之鍍層材料，於實驗室中以塔伏(Tafel)曲線分析評估其腐蝕電流與鈦金屬相當後，進入實地測試。目前已評估了epoxy電著試片、六價鉻及三價鉻鍍層及鎳-鉻合金鍍膜，尚未獲得適合之鍍層，未來將以陶瓷-合金鍍膜為主要

評估開發對象。在進行鎳鉻合金表面電鍍，鎘含量提升至30%以上時，分析其抗蝕效果，經Tafel曲線分析，確認其鉻金屬在混酸環境中，連續10天以上，腐蝕電流值維持小於10-7A/cm^2。裂紋數也明顯減少。

4. 生物工程結垢抑制技術

地熱區結垢生成問題嚴重影響熱液產能，酸處理及化學抑制為近年來國際間常用之防垢技術，然施作工程後產生廢液對生態環境有相當大衝擊性。隨著環保意識抬頭，減少污染、改善生態環境之高效能綠色技術開發，逐漸受到專家學者重視。碳酸鈣($CaCO_3$)結垢生成主要是由鈣離子(Ca^{2+})與碳酸氫根離子(HCO^{3-})反應產生$CaCO_3$之固體沉澱物，若能使熱液中鈣離子呈穩定狀態，不與碳酸氫根離子反應，或降低熱液中碳酸氫根離子濃度，即可抑制碳酸鈣結垢產生。

2012年自國內代表性地熱區水樣中，篩選出本土性嗜熱菌株分泌之胞外蛋白，對Ca^{2+}鍵結效能顯著優於胞內蛋白。同時，針對嗜熱菌株所代謝胞外蛋白，做更精進功能性試驗，並結合微生物工程以及化工醱酵工程技術手段，突破微生物自體代謝蛋白速率屏障，朝目標蛋白優化量產技術邁進，降低目標蛋白生產成本。

2013年已由實驗室搖瓶試驗，找出目標菌株之最適培養條件及培養基配方，完成量產技術前導試驗醱酵策略建立。2014年度進行量產測試，達到生物製劑量產、降低生產成本之目的。此外，更進一步開發快速濃縮與長期保存生物製劑方法，降低運輸成本與提升生物製劑長期保存之穩定性，方便未來以產品形式進行生物製劑行銷或使用。

5. 地熱儲集層監控管理技術

地熱流體監測在地熱田長期營運上佔有舉足輕重地位，本項技術為研究並發展出結合自動地電阻監測系統之流體運動層析成像技術，以應用在地熱資源的開發與監測管理上。四維地熱流體成像技術解析技術，規劃技術開發時程為三年，第一年目標為建立理論與數值模擬工具，同時設計儀器量測系統；第二年除加強發展之理論與數值工具外，將建造量測系統並進行系統可靠度測試，同時開發相關操作介面軟體，亦將進行室內砂箱槽體實驗；第三年將應用前兩年之工作成果，並進行野外現地施作測試。

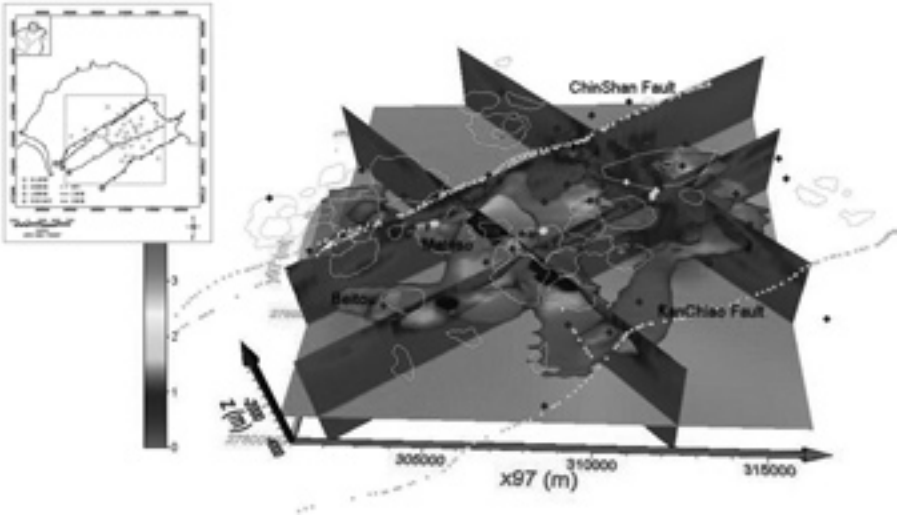
由於地球內部電效應會受到壓力、溫度和化學勢能影響，均勻介質中的不可逆熱力學理論逐漸受到重視，並被應用在自然電位異常研究上。自

然電位之暫態現象，可藉由流體和電流相互耦合方程式予以模擬並解釋。在地熱資源開發上，最常見為介質中裂隙流體衍生之地球物理問題。以電場為例，在非均向性且具裂隙之數值模型中，電位之最大正值位置與最小負值位置，即表明了目標體之相對邊界。因此，利用三維數值逆推獲致不同時間切片圖，精確估計裂隙分布位置變化，達到地熱流體在三度空間及隨時間變化情形，達到監測與控制目標。

6. 地熱資源調查與評估

大屯火山區為國內最具傳統地熱開發潛能之地區，過去雖有許多地熱調查研究資料，但大部分集中在國家公園範圍內。且本區地熱流體酸性高，開發困難。為加速地熱資源發展，自2012年起進行空中磁力探測並進行資料判釋，選擇其中一處研判之高地熱潛能區，展開更精細地熱資源探勘以進行相關產能評估，以獲得大屯火山區之地熱發電潛能，作為地熱電廠開發參考依據。

依據大屯火山區大地電磁探測三維逆推結果(圖4-5-2)，低電阻構造大致呈現東北-西南方向分布，主要分布於在金山(山腳)斷層之東南側，此低電阻帶並可區分為兩組條帶狀構造，兩組低電阻帶在大油坑至北五指山一帶具有西北-東南方向連接，並形成一涵蓋範圍較大之火山地熱系統。



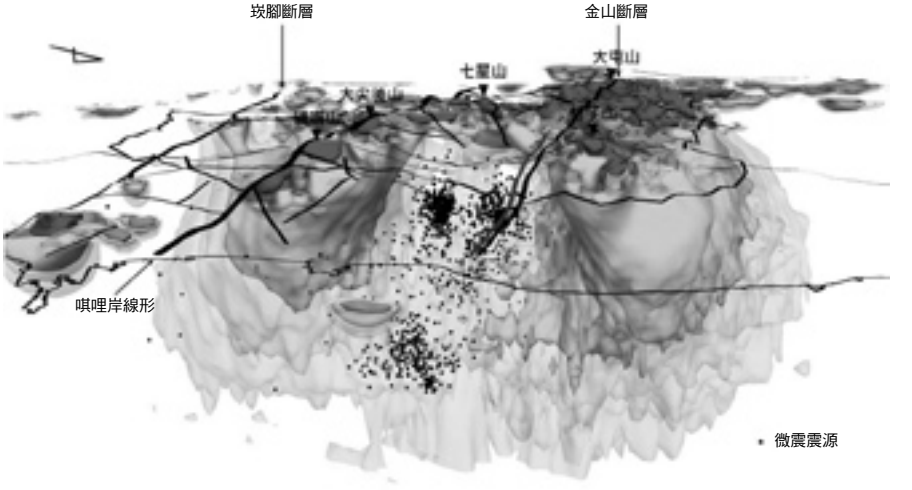
資料來源：工研院，2015年12月

圖4-5-2　大屯火山區三維地層電阻模型(白色虛線為主要斷層位置)

根據大屯山地區溫泉與溪水之穩定同位素分析結果，可以七股與冷水坑之間做為分水嶺劃分為南坡、北坡兩區，二區域之水體(包括溪水與溫泉水)約以δ^2H值之-25‰為分界。根據採集火山噴氣之^{3}He/^{4}He約在4.9-6.2倍之大氣比值((Ra)c)之間，呈現出明顯之地函來源訊號，區域中最高值仍出現於噴氣口溫度最高(101.2℃)之大油坑((Ra)c=6.21)。利用火山噴氣氣體成分進行氣體地體溫度計評選與計算，推測大屯山地區地下氣體平衡溫度約在200-300℃範圍。

透過磁力三維逆推技術呈現地下深部磁力特性，顯示山腳斷層與金山斷層兩側基盤磁力強度差異延伸到中、下部地殼。彙整既有相關地質與地球物理等資訊後，顯示自第三紀以來本區反覆受張裂陷落－擠壓－張裂構造影響，造成深部岩層破裂。更新世以來，張裂環境形成之深層破碎帶，成為岩漿上湧管道，造成火山噴發，也是深層熱水上湧重要通道。張裂活動持續至現今，導致火山體受到山腳斷層活動破壞並產生許多近南北方向之次生斷層構造。該斷層系統形成網絡般結構，並與下方之深部破碎帶連通，使高山天水得以向下入滲後加熱，而深層熱水也能向上湧，形成七星山東北側廣大帶狀低電阻蓋層，阻隔了天水與地熱水，蘊育出良好的地熱田結構，故蓋層下方岩層為潛在良好地熱儲集層。

高磁性岩體與本區微震震源分布套疊圖(圖4-5-3)，顯示微震震央主



資料來源：工研院，2015年12月

圖4-5-3　磁力等值曲面套疊震源分布三維展示圖

要分布在哄哩岸線形與山腳斷層之間，與磁力的低磁區位置一致，為長期熱水活動造成換質帶，已知噴氣孔及高溫井大多分布在此區間，證實此低磁、低電阻與高地震活動帶與地熱徵兆有關。

7. 資料庫及專家輔助決策系統

地熱資源之探勘與評估，牽涉地下地質、地球物理、地球化學等多重空間資訊，探勘初期資料較零散，且其空間分布特性亦難以傳統內插方法推估，因此需要專家輔助系統進行評估。地熱專家系統主要結合二維之地理資訊系統與三維展示分析單元，整合地熱資源探勘初期成果資料，建構三維化概念模型，以輔助專家進行地熱資源評估，並規劃未來可串接相關數值模擬評估分析及視覺化展示模組，提供電廠開發商、地熱田維護管理公司、政府能源規劃專家等使用者，地熱資源評估所需空間及參數特性查詢，輔助地質專家進行地熱探勘調查規劃及資源評估之決策支援。

8. 三維數值視覺化分析技術

三維數值視覺化分析技術主要架構於資源探勘所開發之技術成果之上，該系統目前已完成開發二、三維基礎展示功能，可於電子地圖上圈選研究區域，選取欲展示分析的資料類型後，便可即時展示三維立體模型，此區域內資料可同步運算並展示，亦可套疊各種地理空間資訊，如地表數位高程地圖(Digital Elevation Map, DEM)於模型表層。模型中，每種不同的資料類型均可各別調整三維格點化間距大小、繪製三軸剖面圖、可調式透明度、多組等值曲面展示等功能。亦提供三維調整工具列，可以拉動滑軸調整、呈現不同距離、深度之剖面。

三維模型建置過程中，經常面臨到不同之地球物理參數於量測或分析使用格點間距不同，且資料點分佈非等間距，因此所有資料，將重新建立並轉換至相同的空間框架上，方能進行比對及後續運算。本系統規劃將增加合適之非等距三維數值格點演算法，供使用者依資料特性進行選用。提供三維空間展示功能，可將既有之二維地質解釋圖，進行三維座標定位，定義二維地質解釋圖四個端角的相素的空間座標，並匯入系統，提供專家使用者評估可能鑽遇之岩層目標，以達到異質維度資料鏈結與綜合分析之目的。

9. 地熱概念模型建立

概念模型係指設計者利用各種實體或抽象之物件或方式，來帶領使用者了解此模型想要表達概念。地熱開發儲集層概念模型亦藉由概念模型設

計成果，讓參與開發規劃使用者了解開發區域各種詳細背景資料，進一步在開發規劃過程中協助各種決策之擬訂。

國際地熱開發主要綜合地質、地球物理技術、地球化學分析和水文地質學等資料，進行地熱區地質構造與特性調查，其調查結果可提供地熱潛能計算與開發區域劃定參考。所有調查資料，將以數值資料庫形式保存，並廣納不同性質之資料(包含地球物理、地球化學、地質、水文、鑽探資料…等)間彼此交互驗證，以提高儲集層概念模型可靠度。

10. 分散式地熱發電系統推廣

中大型地熱電廠之開發需耗費大量時間與金錢，且開發初期之高投資與高風險，讓業者裹足不前。為建立民眾及縣市政府對地熱發電信心，持續與地方政府合作，針對國內主要地熱潛能區，採行小型地熱發電結合溫泉多目標利用方式。除可提供電力供電廠附近居民使用外，分散式小型地熱發電亦可達到地熱發電裝置量短期目標，亦可做為宣導展示用，提升業者投入中、大型地熱電廠信心。

（三）技術發展時程

為達成地熱發電開發之政策目標，應投入相關的技術以扶植地熱發電產業。本計畫規劃短期以傳統地熱開發迫切需要之技術為主，中長期則以EGS開發所需技術為目標，相關內容說明如表4-5-4：

表4-5-4　地熱能技術發展時程

技術名稱	短程(~2018)	中長程(~2025)
概念模型建構及專家決策輔助系統	• 資料庫內容建置 • 資料查詢與展示 • 三維空間分析與展示 • 調查資料GIS化及整合分析展示	• EGS場址概念模式建置 • 商轉電廠儲集層工程管理
地熱流體監測技術	• 理論與數值計算分析 • 量測系統開發與驗證 • 現地時測驗證	• EGS場址生產井位選取 • 商轉電廠地熱田流體監測
低成本耐酸蝕材料	• 耐高溫(>200℃)、耐強酸(pH<3) • 目標價格：鈦合金1/5	• 大屯火山區商業電廠應用 • 地熱電廠、管材製造業、化工業推廣
地熱儲集層模擬技術	• 自然狀態溫度模擬 • 不同生產狀態溫度模擬	• EGS場址評選 • 商轉電廠地熱田監測與管理

資料來源：工研院，2015年12月

三、國內發展現況與成果

(一) 技術發展現況

1. 蘭陽平原深層地熱調查、資源探勘及加強型地熱系統的評估

完成蘭陽平原區磁力與大地電磁探測野外工作，內容包括:大地電磁探測剖面38組以及磁力探測2,000組，並進行5條大地電磁剖面及全磁力異常分析。初步研判，蘭陽平原主要地熱區位於蘭陽溪以南，主要熱液通道包括:濁水斷層與古魯斷層，相關調查分析成果提供科技部能源國家型計畫在蘭陽平原區鑽井場址選取參考。

此外，科技部以三年時間進行宜蘭地區從地表地質、地體構造、現地應力量測和水力破裂試驗、溫度隨深度變化(地溫梯度)、裂隙分布、水文地質到地球化學、地球物理探勘和鑽井等方法，建立深層地熱能源探勘和開發加強型地熱系統(EGS)技術，並引進國外相關技術等，進行宜蘭地區深層地熱探勘和潛能評估、加強型地熱系統場址選擇和統合研究，以及結合其他相關地熱計畫並輔助建造一座最少1MW之地熱試驗發電廠，建立國內自有地熱區地質探勘、鑽探、地熱儲集層模式和發電等整套地熱能源的探勘和開發技術。未來進一步推廣應用於其他地熱區之探勘與開發，期望能達成國家能源規劃目標(第一期能源國家型科技計畫，2014)。

計畫第一年工作重點放在宜蘭三星地區，從紅柴林1,500鑽井岩芯顯示本區域的地溫梯度可高達50-60℃/KM，利用震源機制、ASR岩芯量測、野外露頭古應力分析、實驗室岩石力學量測和水破實驗等工作，獲得三星地區現地應力方向為北北西擠壓走滑斷層應力場，最小應力約為14.13MPa。熱來源與菲律賓海板塊隱沒入歐亞板塊所生成之熱流體(可能是岩漿)上湧侵入宜蘭平原底下有關，而合併大地電磁和空中磁測資料，顯示三星地區的熱來源可能是位於本地區西北深部往東南上湧。

2. 大屯火山深層地熱調查

根據大屯火山地質、地球物理探測研究、地球化學分析、地溫量測等資料，完成大屯火山區地質、鑽探、地球物理探測、地熱等資料蒐集與評估。標訂出地熱高潛能區範圍，進行高溫岩體範圍調查之規劃，做為後續進行大屯火山地熱潛能調查執行參考。

2014年已完成大屯火山區空中磁力探測面積約2,000平方公里，產出

全磁力網格供後續處理解析。由全磁力異常圖上顯示大屯火山區地下火山岩呈東北－西南分布，後期構造切穿火山岩，有可能是本區尋找地熱儲集層之關鍵。此外，完成大地電磁探測34組，綜合電性地層二維構造解析之結果顯示，大屯火山區具有地下地熱蘊藏潛能之區域，主要分布於金山斷層與崁腳斷層之間帶狀區域，此區域之地下深度500~2,000公尺不等區間，普遍具有受火山熱液蝕變換質作用，而形成黏土化蓋層構造，蓋層下方地層為潛在地熱儲集層。

3. 完成大屯火山地熱概念模型建立

國際地熱開發主要利用地球物理技術進行地熱區地質構造與特性調查，其調查結果可提供地熱潛能計算與開發區域劃定參考。所有調查資料，均以數值資料庫形式保存，並廣納不同性質之資料(包含地球物理、地球化學、地質、地形、鑽探資料…等)間彼此交互驗證，以提高儲集層概念模型之可靠度。

透過與美國勞倫斯實驗室(LBNL)合作，期借助美國在地熱資源評估與開發經驗，以國內地熱潛能區大屯火山為對象，經由實際資料蒐集分析、概念模式建置與井位選取等工作會議，汲取國外經驗，提升並加速國內地熱資源評估技術能量。

4. 地熱探勘井鑽鑿

與美國勞倫斯研究室合作，利用地質、地球物理、地球化學、鑽探及岩心薄片等資訊，初步建立大屯山地熱概念模式，研判在四磺子坪地區具備高溫、不酸之中性地熱儲集層可能性。為驗證大屯火山區地熱開發之潛能，選擇以四磺子坪-煉子坪附近、但屬國家公園外圍為目標區域，並考量土地取得可行性、坡度及交通等因素，選取鑽鑿探勘井位。

由過去地溫梯度井資料估算四磺子坪地區之地熱條件，要鑽至200℃之地熱儲集層，鑽井深度需達1,000公尺以上，另根據大地電磁探測資料推估地底下之低電阻帶的厚度約300~400公尺，因此透過專家決策輔助系統之資料整合及與國內專家學者共同討論後，選定新北市金山區頂中股硫磺子坪小段148號為探勘井鑽鑿地點，規劃鑽井深度1,300公尺。2015年已完成淺部600公尺鑽鑿，孔底溫度約為120℃，淺部160~600公尺之間鑽遇熱液換質帶，與大地電磁探測結果相符，2016年將持續鑽鑿完成深度1300公尺探勘井，並進行產能試驗及可發電潛能評估，充分掌握四磺子坪地區之地熱資源，做為後續地熱電廠開發的參考依據。

5. 宜蘭地熱鑽井計畫-紅柴林一號井鑽井工程

臺灣北部地區具備豐沛地熱資源，除大屯火山區屬於火山型地熱外，宜蘭地區也是地熱潛能區，宜蘭地熱區位於沖繩海槽弧後擴張火成活動影響的範圍，具優異地熱潛能。科技部計畫提出「臺灣北部地熱深層鑽井計畫」，進行2口深井鑽探，推動地熱資源開發，將於三星紅柴林地區，進行地下2,500公尺~3,000公尺之深層地熱探井(二井共深5,000公尺)，鑽進中隨地層岩性之變化採取岩心，以研究儲集層各種參數，並進行井測(含電測及FMI)，量取井下地層特性(第一期能源國家型科技計畫，2014)。

本計畫鑽鑿完成後，進行產能測試及流體採樣分析，確定地熱產能及特性，做為設置發電廠設計之依據。取出岩心並進行詳細分析，瞭解儲集層的岩性、溫度、現地應力、流體成分和結垢礦物等，提供建置1MW 地熱電廠和後續運轉的各種參數。利用蘭陽平原地熱地質特性，開發接近深層地熱之鑽井及相關研究，2016年2月鑽井深度已超過2,000公尺，相關成果尚待完井後進行詳細評估。

6. 北投地熱區進行小型耐酸蝕示範電廠

國內具地熱潛能區域為橫跨臺北市與新北市之大屯火山地熱區。雖然在區域性資源探勘上已獲得潛能驗證，但在酸性流體、開發目標區內資源特性及合適的發電系統上，仍需逐步克服其技術瓶頸。臺北市政府已針對陽明山國家公園外之復興公園、泉源公園與行義路溫泉區等，進行地熱發電機組試驗性計畫之前置分析作業。今年度持續與臺北市政府合作，針對北投地熱區進行小型耐酸蝕示範電廠，惟酸性泉質之腐蝕性仍需持續進行取熱系統之驗證與取得測試參數後，作為未來推動酸性地熱發電之參考。

(二) 推廣應用成果

1. 地熱發電與多目標利用推廣

國內地熱開發已逐漸展開，從宜蘭清水地熱區荒蕪轉變成技術開發平台，規劃開發成休閒遊憩公園，已初步達到活化清水地熱區之功效。近兩年能源局協助地熱開發以擴及臺北市新北投、新北市金山區及臺東縣綠島、金崙及紅葉溫泉區，相關合作及開發工作已逐漸展開。

2. 開發地熱ORC發電機組

有機朗肯熱機循環(Organic Rankine Cycle, ORC)發電機組為國內自行開發組裝之發電機設備，乃利用有機工作流體物理特性、化學性質和熱力

行為於蒸發器內汲取低焓熱源(低階或中階)熱能，並利用做功元件將此熱能轉換為機械旋轉能，再利用發電機將此旋轉動能轉換為電力輸出，發電機組壽期長(>20年)、機組穩定性佳、可靠度高、維修週期長。另外，發電效率高於一般低階熱能發電設備，適合應用於宜蘭清水等非火山地熱發電用途，可望達成清水地熱發電目標重要里程碑，未來國內ORC發電機組商業應用上將帶來無限商機，使地熱綠能產業更蓬勃發展。

參考文獻

[1] Ruggero Bertani,2015,Geothermal Power Generation in the World 2010-2014 Update Report, World Geothermal Congress 2015

[2] Massachusetts Institute of Technology, 2006 “The Future of Geothermal Energy

[3] 工業技術研究院，1999，綠島朝日溫泉生產井鑽探報告書，綠島朝日溫泉生產井鑽探工程計畫，共38頁。

[4] 工業技術研究院，2014，經濟部能源科技研究發展計畫-102年度執行報告，深層地熱發電技術研發計畫。經濟部能源局，共587頁。

[5] 工業技術研究院，2015，經濟部能源科技研究發展計畫-103年度執行報告內文，高效能地熱發電技術研究計畫。經濟部能源局，共319頁。

[6] 工業技術研究院，2016，經濟部能源科技研究發展計畫-104年度執行報告內文，高效能地熱發電技術研發計畫。經濟部能源局，共249頁。

[7] 能源國家型科技計畫，2014，地熱暨天然氣水合物第一期程總成果摘要報告。科技部，共152頁。

[8] USDOE網站，2016. 網址：http://energy.gov/eere/forge/forge-home

[9] 第二期能源國家型計畫網站，2016. 網址：http://www.nepii.tw/about/intro/

第六節　氫能源與燃料電池

目前國際市場之燃料電池應用狀況大致可分為定置型、運輸動力(含電動堆高機)及可攜式等三類，以全球燃料電池市場化發展趨勢，目前發電系統供電機組仍是燃料電池產品最大市場。依據Fuel cell industry review 2014年產業報告[1]評估，國際燃料電池市場規模持續成長，2014年度裝置容量達到約176MW，其中以定置型發電應用市場最大，年度出貨量達4.5萬套，裝置容量為147MW。運輸動力型燃料電池雖然出貨量較少(2,900套)，但每套功率數較大，總裝置容量達到28MW。可攜式應用出貨量也超過兩萬套，總裝置容量亦達0.5MW。若以應用市場地區來看，亞洲與北美地區是兩個最大市場，而質子交換膜燃料電池(PEMFC)則是所有燃料電池類型中市場最大者，無論出貨量或是裝置容量都占將近七成。

一、國內發展目標與策略

(一) 發展環境分析

為提升能源使用效率、減少溫室氣體排放及降低空氣污染，氫能具來源多元化(尤其是再生能源)的特性，可提升國家長期能源安全，所以氫能與燃料電池成為新能源技術開發重點項目之一。隨著國際燃料電池應用市場逐漸展開，為落實技術產業化以爭取綠色經濟商機，發展國內綠色能源產業，自2009年起針對國內設置「燃料電池發電系統」示範運轉給予補助，以期加速產品商品化開發，成為國際燃料電池市場供應鏈重要一環。

國內燃料電池系統裝置容量累計至2015年底已達0.755MW，以電信基地台備用電力與二輪代步車應用為主，也涵蓋分散式發電系統、電動堆高機、城市觀光遊艇、移動式電源、共構共站等應用，增進實際使用驗證並提升產品可靠度，未來目標至2020年裝置容量可超過2MW。

(二) 發展目標與策略

1. 電信基地台備用電力應用為產業首要發展重點

有關目前三大類燃料電池應用類別(定置型、運輸動力及可攜式燃料電池)差異，應朝向先定置型而後運輸動力順序發展，主要著眼於定置型燃料電池系統具備以下特性：

(1) 無載具問題：定置型系統產品直接以電力做為產出，供應其他設備使用，體積、重量規格相對較寬，也較無與其他設備整合問題。

(2) 易掌握燃料後勤規劃：雖然現階段各種氫燃料供應基礎建設皆在萌芽階段，但對於定置型系統產品而言，定點燃料補給方式、可利用現有燃料基礎設施，有助於降低後勤困難度。

(3) 與替代產品之競爭優勢：定置型系統產品之兩項主要傳統技術為發電機(以柴油發電機為主)與二次電池(以鉛酸電池為主)，雖然目前與這兩種成熟產品相較下仍有相當價差，但由於燃料電池低噪音、容易維護、供電時間長及低生命週期成本，使得燃料電池的維運成本具競爭優勢，應用上仍可找到獨特之燃料電池早期利基市場。

目前經濟部能源局透過其「燃料電池示範運轉驗證補助作業」計畫之運作，已促成業者在零組件與系統組裝上發展出技術供應鏈雛型，特別在電信用備用電力市場應用上取得使用者高度好評，目前國內電信基地台已建置燃料電池為備用電力的情形如表4-6-1所示。未來可搭配國家通訊傳播委會的需求，推動建置防救災共構共站行動通訊平台，以達成提高電信網路使用可靠度、確保偏鄉對外通訊暢通及提升防救災效率等社會安全效益。目標2018年系統成本可低於新臺幣十萬元/kW，至2020年期望能達到新臺幣八萬元/kW。

表4-6-1　2009~2015年燃料電池示範系統建置情形

電信業者	中華電信	遠傳	台哥大	全球一動	威寶	其他	共構共站	合計
台數	22	4	2	3	1	6	2	40台
發電量 (kW)	121	30	12	4	5	28	46	246 kW

註：其他係指電視台、政府單位或公司行號等通訊備用電力。

資料來源：燃料電池示範運轉與推動辦公室統計，2015年12月。

2. 交通載具應用具市場潛力

運輸動力系統產品也是國內值得關注項目，主要有以下的應用：

(1) 以日本豐田為首各大車廠，從2014年起已陸續將燃料電池混合動力車商業化，雖然後續仍需有加氫站等基礎設施之配合，但已踏出市場化第一步。日本豐田汽車在2014年12月推出首部量產型燃料電池汽，巡航里程約5百公里，燃料補充時間僅需約3分鐘，售價約為新臺幣196萬元；日本本田汽車也預計於2016年3月上市，巡航里程可達到7百公里以上，而燃料補滿也僅需3分鐘左右。

(2) 以燃料電池為動力倉儲搬運設備(含堆高機)具有廣泛運用範圍，充氫所需時間跟空間利用都更為經濟，亦不會因為電量下滑導致操作電壓不足，對環境影響又小於傳統鉛酸電池，更不會在密閉廠房內排放廢氣及噪音。如能配合政府提供早期誘因，燃料電池堆高機市場可望能迅速成長，美國已有業者配合政府補助採購一批燃料電池堆高機後，願意在無後續補助下追加訂單案例。

(3) 相對於汽車產業，國內業者已經將燃料電池應用於輕型機車及進行測試，並完成在不同地區之燃料電池電動機車示範運轉。

3. 燃料電池可攜式3C應用產品須突破市場發展障礙

相較於定置型與運輸動力燃料電池系統已正式導入商業市場，可攜式產品前景則有較多變數。可攜式產品相較於既有替代產品(傳統電池或鋰電池)，雖然具有供電時數較長優勢，但是在成本與操作便利上仍待突破(車載APU、軍規應用除外)。儘管不乏家電或3C業者持續關注搭配燃料電池可行性，但仍需儘快與量產商品完成整合，突顯產品性能優異處。

4. 標準檢驗與國際接軌為商品化必備條件

燃料電池產業為一新興之能源產業，對一般消費者而言，對於新產品接受度，除了價格，不外乎考量性能與使用上便利安全。對燃料電池業者而言，瞭解自己產品所適用規範，符合相關產品標準，才能讓燃料電池商品上市，獲得消費者信任，進而打開國際市場。

國內目前在工研院和大電力中心都設有燃料電池測試實驗室，前者已於2015年12月接受UL頒證正式成為合作實驗室，後者則是與Intertek全國公證檢驗公司合作，都積極與國際接軌，建置國際標準測試實驗室，提供國內業者測試服務。

二、產業技術發展指標與時程

(一) 國內外技術發展指標

有關國內外氫能與燃料電池技術發展指標，詳見表4-6-2。

(二) 國內技術近期發展重點

1. 氫能源生產技術

目前主要發展天然氣(NG)、液化石油氣(LPG)、甲醇等重組產氫系統技術，包含有傳統蒸氣甲烷與濾氫薄膜(鈀膜)等兩種重組技術，後者也可稱為分離助效式重組產氫技術。傳統重組系統研發重點在提高能源效率、簡化系統設計及降低成本，而分離助效式重組產氫技術操作溫度，已較傳統技術降低至少200℃，研發重點為開發低成本鈀與非鈀透氫薄膜，提高系統可靠度，其中鈀膜自動化生產技術為現階段產業化之最要項。2012年已完成搭配氫能示範站之實驗型天然氣重組供氫設備，2013年開始發展LPG重組技術，以擴大應用層面，2015年開發完成1kW之LPG鈀膜重組

表4-6-2 國內外氫能與燃料電池技術發展指標

技術項目	國外發展指標	國內發展指標
分離助效式天然氣重組產氫	轉化率：80% 能源效率：76%	轉化率：90% 能源效率：80%
氫燃料供應技術	壓縮儲氫系統壓力≥700 bar 吸附型儲氫系統≥20gH_2/L sys, 室溫儲放	壓縮儲氫系統壓力≥350bar 吸附型儲氫系統≥14gH_2/L sys, 室溫儲放
小型熱電共生系統	系統發電效率45% 熱電共生總效率85% 耐久驗證60,000小時[2]	系統發電效率 > 32% 熱電共生總效率78% 耐久驗證>10,000小時 (Current status)
高功率定置型發電系統	系統發電效率48% 耐久驗證65,000小時[3]	系統發電效率40% 耐久驗證>500小時 (Current status)
高功率密度電池組/元件	金屬板電池組： 體積功率密度：3,100 W/L[4] 耐久驗證：5,000小時[5]	金屬板電池組： 體積功率密度：1,900W/L 耐久驗證：1,000小時 (Current status)

資料來源：工研院整理，2015年12月

商品雛形系統，2017到2018年間將推出商業化系統。

在分散式水電解產氫技術部分，2015年起將建立小型示範系統，2020年完成高效率電解系統開發，長程目標則可結合高溫熱化學產氫。生質能產氫方面，包括生質燃料電漿重組技術及生質物廢水微生物產氫，2015年完成多元物料電漿產氫驗證，並投入商業型系統開發。在太陽光電化學直接產氫方面，現階段到2015年投入太陽能產氫之基礎研究，重點在可見光觸媒保護層開發。氫氣生產技術發展時程如表4-6-3所示。

2. 氫燃料供應技術

氫氣之儲存、運輸與供應攸關氫能經濟發展，供氫基礎設施對於氫能之普及應用不可或缺，風力與太陽光電等再生能源普及化穩定產出或離峰輸出，皆可藉轉化為氫能儲存而獲得解決(儲電為另一可行方案)，後端應用於支援電力調度或供應各式載具動力，其中氫氣壓縮與儲存是關鍵技術。短程可以壓縮氫氣提供大容量儲氫與氫動力載具供氫，逐步建立由350bar提升至700bar標準規格技術，預計於2018年完成示範場域建置，可供輕型載具示範運轉使用。中程則可開發創新氫氣壓縮設備技術，其中熱驅動式升壓裝置可提高壓縮過程能源效率，除氫氣壓縮外也可不同氣體搭配達到壓縮目的。預估在2025年提供國內氫能燃料電池載具應用市場所需主要氫能基礎設施技術。

吸附型固態儲氫系統因安全性而使用者接受度較高，在相對低壓下而有較高之儲氫量，因此一直受到重視與發展。國內在這方面技術開發，除相對成熟鑭鎳系金屬儲氫技術外，目前則利用碳基材料取得資源不受限優勢，開發碳基吸附儲氫系統，以進一步提升儲存密度及可靠性，具取代現

表4-6-3　氫氣生產技術發展時程

技術項目	短程(~2018年)	中長程(~2025年)
分離助效式重組產氫	鈀膜自動化生產製程及重組系統性能優化	重組系統商品量產與推廣/非鈀濾氫膜開發
分散式水電解產氫	高效率低壓電解系統開發與驗證	與高溫熱化學結合之先進電解技術

資料來源：工研院整理，2015年12月

有150bar氣體鋼瓶應用潛力，另規劃藉與業界合作推動應用場域方式，取得系統性能與長期耐久性驗證後，預估在2025年之後，可作為備用電力與家用系統。氫燃料供應技術發展時程如表4-6-4所示。

3. 質子交換膜燃料電池技術

表4-6-5為質子交換膜燃料電池發展時程規劃，短程(~2018年)輔導業者投入燃料電池市場，借重其既有專精工藝，針對電池組與低成本關鍵元件技術，建立可自主開發並量產之能力，強化在燃料電池應用市場電池組及元件國際競爭力。在發電系統產品部份，協助系統商投入高功率發電系統之安全串並聯技術開發與驗證，擴大燃料電池應用領域及社會實證，以提升系統產品可靠度與民眾接受度，作為燃料電池系統大規模社會應用及產品普及化之準備，中長程(~2025年)預估備用電力與家用系統將可進入普及推廣應用階段。同時，由於燃料電池供應鏈的普及與技術成熟，將可適度導入特定交通載具應用與長備式發電系統應用，國內裝置容量預估可達百MW等級，中長程可更有效降低碳排放。因此持續開發適用於國內產業關鍵組件/模組技術，同時強化大功率發電系統社會實證規模，將是未來燃料電池大規模導入應用首要工作。

表4-6-4 氫燃料供應技術發展時程

技術項目	短程(~2018年)	中長程(~2025年)
高氫氣儲存及供應技術	玨級高壓儲氫及供氫技術整合	健全氫能基礎設施技術與應用落實
吸附儲氫系統	儲氫系統設計優化技術	儲氫系統整合與應用落實作為備用電力與家用系統的氫燃料供應技術

資料來源：工研院整理，2015年12月

表4-6-5　質子交換膜燃料電池發展時程

技術項目	短程(~2018年)	中長程(~2025年)
質子交換膜燃料電池系統	高功率系統技術開發及驗證；擴大燃料電池應用領域及社會實證。	燃料電池系統商品普及階段
	(1) 定置型電力系統成本<NT100,000/kW，國內產品輸出國際市場。 (2) 應用於高抗災通訊基地台備用電力之實證。 (3) 應用於堆高車、船舶及巴士等移動載具實證。 (4) 2018年建立高功率多模組串並聯發電系統技術。	(1) 燃料電池國內裝置容量達200MW。 (2) 燃料電池應用於交通載具與定置型發電系統。
質子交換膜燃料電池組暨關鍵元件	國內產業全自主量產燃料電池關鍵元件/BOP能力培植。	低成本高功率密度(金屬雙極板)燃料電池產業建立。

資料來源：工研院整理，2015年12月

三、國內發展現況與成果

(一) 技術發展現況

1. 氫能源生產技術

由於自然界無氫氣穩定存在，因此需要倚賴生產技術獲得氫氣，目前氫氣生產主要包含下列幾類：化石燃料重組、煤炭氣化、工業副產物及水電解等四項，另外較新產氫方式還包括光觸媒水分解、生質物裂解、微生物發酵、高溫水裂解等。由於先進產氫技術欲達到大型商業化規模應用仍需要一段時間，因此在未來20~30年內，氫氣生產預期仍將由化石燃料重組(主要是天然氣)、煤炭氣化及水電解等技術為主流。由於國內屬初級能源進口國，在化石燃料取得非完全自主之下，提升現有產氫技術生產效率(或能源效率)，同時發展多樣化再生能源產氫技術，利用離峰將多餘再生能源轉為氫氣儲存，為最具經濟、節能及環保效益作法。

以下分別說明目前國內幾項發展中的氫氣生產技術：

(1) 分離助效式重組產氫：

所謂分離助效乃是指將反應特定產物，自反應進行過程中收取移

除，使該反應化學平衡遭破壞而強化朝特定產物生產方向進行，因而提升反應轉化率，簡化後端純化製程。目前工業上以天然氣為主要傳統化石燃料重組產氫技術，操作溫度多在750℃以上始能獲得較高轉化率，重組反應後氣氛再經二階段水移轉化、優先氧化反應將一氧化碳轉化為二氧化碳，同時產生更多氫氣，最後進入變壓吸附塔內將各成份氣體分離而可獲得高純度氫氣(99%以上)。

傳統重組技術已相當成熟，然由於製程中牽涉到氫氣濃度提升與純化，因此氫氣分離膜在當中有很好之應用發展機會。將純鈀或鈀合金膜為氫氣分離膜結合蒸氣重組，可迅速將氫氣自重組反應中收取移除，能在相對低溫(<600℃)之下即獲得接近100%轉化率，也因鈀膜對氫氣具專一過濾特性，故能即時獲得高純度氫氣，可節省傳統重組系統後段濃度提升與純化程序。

薄膜重組技術在實際應用上，有幾個層面需改善：

A. 濾氫薄膜在400℃以上易有性能逐漸衰退現象，與重組反應所需溫度有很大落差，因此重組系統必須納入適當之溫控機制，以維護鈀膜和重組端個別性能與壽命。

B. 鈀金屬成本高，雖在鈀膜過濾元件成品中成本不是最高，但仍期待可進一步減少用量。惟降低薄膜厚度以減少鈀用量時，必須考慮其過濾性能與機械強度可能會較差，不利長期使用，故必須提升薄膜與基材間貼附性。

C. 薄膜分離必須在有壓力之條件下才能發揮性能，然而壓力來自需耗能加壓，因此應設法提升氫氣通量以相對減少壓力需求，然此同時也必須兼顧氫氣濃度要求。

D. 工程問題：鈀膜雖可用傳統電鍍或無電電鍍法製備，但由於其特殊結構，程序較為複雜，因此必須開發專屬之自動化製作程序，以加速製作速度、提升穩定度與可靠度，才能有利推廣。

(2) 水電解產氫技術：

電解水產氫目前商業化技術瓶頸在電力來源與電解效率，由於近年來各國再生能源導入大幅提升，太陽能與風力發電產氫示範運轉案例有逐年上升趨勢。另電解技術仍有許多效益提升空間，目前大部分

研究主要針對系統電解效率提升、降低電極材料成本及強化耐久性，如使用較便宜非貴重金屬電極材料開發，觸媒催化以降低系統所需花費電力，提高電解溫度或壓力，或採用中性電解質、配對電解質等，以改善傳統所使用鹼性/酸性電解質造成設備腐蝕、效率不高問題。

目前商業化5~6吋矽基太陽光電轉換效率可達18~24%(實驗室中電池光電轉換效率可達24%以上)，太陽光電模組效率可達15%以上。在電解技術方面，目前傳統鹼性電解器其效率可達47~60%LHV，產生1立方米氫氣需5.34度電，使用PEM薄膜電解方式，電解效率可達48~65%LHV，生成1立方米氫氣則需要6.23度電。如使用改良後之電極及隔膜材料，鹼性電解器效率有機會可提升到80~85%。依此推算，商業水準太陽光電搭配電解水技術可達到效率為13%左右。

(3) 太陽光觸媒產氫：

太陽能產氫技術大致上可粗分成兩種形式：

A. 光電化學產氫技術：此類產氫方式是以光觸媒製備成產氫還原電極材料，搭配產氧端之電極材料，以隔離膜分開二端所產生之氫與氧，優點在於可藉由提供光電偏壓增加水分解量，目前仍屬實驗室研究之技術。

B. 光催化反應產氫技術：光催化反應則為水分解過程之氧化還原反應均發生於光觸媒材料表面上，目前已發展光觸媒材料中，大部分為紫外光光觸媒材料。在日光光譜中，大部分能量偏屬可見光、長波長範圍，因此開發此範圍內光觸媒材料為現階段此一產氫技術研發重點，但實務上效率仍遠低於太陽光電加上電解產氫之總效率。

2. 氫燃料供應技術

氫燃料供應系統是在氫氣生產、運送和氫能應用環結中的關鍵，亦為建立穩定氫氣供應源重要技術。技術內容包含壓力、溫度調整/控制、氫氣純化、儲存，主要是作為承接產氫系統到應用端間的基礎設施技術。

(1) 高壓供氫：

主要係建立氫氣供應設備，做為銜接產氫端與應用端關鍵系統。除可供燃料電池使用外，同時可發展供氫設備技術，促進氫能產業發展。衡量產業需求提出加氫站技術建立規劃，強化氫能環境基礎設施的建構，主要技術為對於來源氫氣進行前置純化、升壓儲存與穩定供

氫，同時奠定國內設施安全標準基礎。目前已建置廷級可重覆充放氫之300bar高壓儲存供氫測試系統，同時量測高壓氫氣充填時系統內部之溫度、壓力與流量變化，包含可程式控制系統，調整不同操作條件並即時擷取量測數據，提供加氫與放氫過程之物理特性資訊。

在供氫基礎設施方面，目前已綜整各國加氫站與供氫設備之防火與安全相關法規與技術標準，並比較國內法規現況，評估可投入且有產業效益之供氫技術發展重點。加氫站整體設計建造除了參考國際標準，還須符合國內法規，而加氫機須配合不同應用載具需求而特別設計其系統與界面，是國內發展氫能基礎設施技術時，必需建立之自主技術能力。目前有業者導入國外技術建立應用於輕型載具示範驗證。

(2) 常溫吸附儲氫技術：

開發可逆式常溫低壓儲氫系統，主要在於提升儲氫技術之實用價值，藉由吸附型儲氫材料具可逆吸放氫特性，開發能在常溫、低壓下穩定放氫之碳基吸附材料，使用取得資源不受限、材料成本低本地資源，更有利於發展利基產品。目前以多孔碳基材料，結合非貴重金屬奈米Ni觸媒氫溢出效應，將儲氫溫度由-196℃提升至25℃，在常溫下的儲氫量由0.65wt.%提升至2.0wt.%以上，吸氫壓力為50bar。實際應用情境除要求高重量儲氫密度外，高體積儲氫密度亦重要，因此提高儲氫材料密度並簡化儲氫材料製程，設計開發高密度儲氫錠材，使單位體積室溫儲氫量達15gH_2/L以上，可結合輕量化儲氫容器開發以實現應用價值。

3. 質子交換膜燃料電池

國內在燃料電池示範運行補助計畫帶動下，正積極全力開發燃料電池利基產品(電信基地台備用電源、定置型發電機、兩輪機車、四輪運具、物流中心堆高機、車用輔助電源與船舶動力等各種新應用)與核心關鍵元件自主技術，促成氫能與燃料電池產業由研發階段進展至系統產品應用驗證，同時活絡產業對氫能與燃料電池生產投資與策略聯盟，不但陸續衍生出許多大型企業新創事業或新創公司，而且在氫能燃料電池上中下游產業鏈之水平分工與垂直整合，亦已獲致良好成效。

燃料電池技術研發成果簡要說明如下：

(1) 膜電極組：

2014年度提升可量產規格，搭配膜電極組結構設計、觸媒改質開發、奈米分散、電極漿料配方優化與精密塗佈等技術，可提高觸媒混合及分散之穩定性。同時強化國內膜電極組之自製量產能力，可提供不同之主/被動式燃料電池電源商品使用，產品與製程可靠度通過驗證，產品尺寸1~300cm^2，規格可全客製化。

(2) 高功率密度燃料電池組：

電池組採用沖壓製程成形之超薄金屬雙極板，反應面積達16cm×16cm，電池功率密度達到1,904W/L，搭配碳沉積表面改質技術，導電度達到150S/cm以上，同時導入高精度金屬雙極板雷射密封技術，可提升1/3電池組裝精度。

(3) 高功率燃料電池系統及串並聯安全技術：

在系統內以電池組作為一個單元進行多單元串並聯設計，相較於多系統之並聯設計，可得到體積減少、功率密度增加與成本降低等優點。安全併接技術則是藉由多電池組串/並聯測試及機制探討，完成多電池組串並聯最佳化運轉策略制定，將運轉策略及控制參數整合入自行開發之串/並聯併接控制模組，使該模組具備安全供電警示與防護之功能，可提升發電系統運轉效益及運轉安全。

(4) 燃料電池檢測驗證平台：

目前工研院與大電力中心均設有燃料電池測試實驗室，同時都已通過全國認證基金會(TAF)的實驗室認證。在定置型燃料電池發電系統方面，可為業界提供測試項目有：電功率、燃料消耗量、電功率反應特性、啟動和停機之特性、吹淨氣體消耗量、洩漏試驗、強度試驗、電力過載、氣體排放、CO_2和CO濃度、堵塞冷凝試驗、凝結水排放試驗、COD試驗、BOD試驗、排放氣體溫度試驗、表面與元件溫度、排氣系統洩漏試驗、可聽聞噪音位準、正常操作型式試驗、停機參數、電氣安全試驗、介電強度試驗、淋雨試驗。

(二) 燃料電池示範驗證

燃料電池屬較前瞻能源技術，但為少數在國際市場萌芽階段，即有國內廠商積極投入之綠能產業。為協助業界將實驗室技術導入市場，掌握燃料電池市場商機，經濟部能源局自2009年開始推動「燃料電池示範運轉補助」作業，目的係輔導業界進行燃料電池產品之示範運轉及驗證測試，帶動上、中、下游產業鏈整合，導引生產及應用廠商建立合作關係，建立應用產品之商業模式，加速商品化時程。

自經濟部啟動「燃料電池示範運轉補助」作業至2013年止，總共與22家業者簽約進行47件示範運轉建置案，計畫經費總計超過新臺幣7.9億元，其中補助預算約新臺幣3.4億元。示範運轉計畫內容包括電信用備用電力、輕型運輸載具動力、再生能源整合系統、分散式大功率發電設備等各種應用類別，讓業者投入氫能與燃料電池產業，有一實際將研發成果在國內應用測試機會，進而驗證國內業者之技術能力。

統計歷年示範運轉燃料電池系統建置情形，主要應用分為三類，包括：定置發電、可移動設備及運輸動力等(如表4-6-6所述)，而示範運轉區域遍佈於北、中、南等地。進一步分析各年度所有廠商示範計畫執行成果，如表4-6-7所示。

表4-6-6 燃料電池示範系統建置情形

應用種類	台數/kW數	應用方式/台數	
定置發電	72/423	備用電源	34
		通訊機房備用發電	38
運輸動力	152/265	機車	118
		四輪車	13
		堆高車/拖板車	11
		船舶	10
移動式設備	4/21	輔助電源	
總計	228台(0.709 MW)		

註1：定置發電：備用電力(電信機房，取代柴油發電機)、住宅。

2：運輸動力：機車、堆高機、四輪電動車(代步車)。

3：移動設備：附掛在車上(如：空污檢驗車、冷凍宅配車)非車子動力來源。

資料來源：燃料電池示範運轉與推動辦公室，2014年6月

表4-6-7　所有廠商示範計畫執行成效

	全部廠商加總	定置型	移動載具型
累積kW數	709	443	266
累積發電量(kWh)或累計運轉里程(km)	—	142,866.80	399,013.61
運轉累積時數(hrs)或累積耗氫量(g)	—	693,331.95	789,688.26
減碳量(kg)	481,794.61	463,797.75	17,996.86

註1：數據統計2010年11月5日~2015年5月底。

2：根據經濟部能源局，2013年國內電力排放係數為0.522公斤CO_2e/度，表示目前國內採用的發電技術，每發電1度排放的溫室氣體等同於0.522公斤的二氧化碳。

資料來源：燃料電池示範運轉與推動辦公室，2015年12月

就現階段補助作業成果及示範系統運轉成效而論，國內係國際間少數對燃料電池提供具體協助措施與進行示範運轉實證，已獲使用端對定置型發電應用產品功能肯定，確證產品系統效率逐年提升且趨穩定，同時燃料電池產業已出現值得推廣應用市場(如基地台備用電源)及完成相關性能與安規標準制定。目前新技術、新產品之價格仍高於傳統技術產品(如鉛酸電池、柴油發電機等)，但生命週期成本已具競爭力，只要有可行之商業化模式加上適當政策支持，即可促使燃料電池市場啟動成長。

未來如欲促使燃料電池產業及早市場化與產品更具國際競爭力，需要進一步訂定市場化過程相關產業輔導配套措施，輔導廠商全力加速產品商品化，以市場拉力帶動產品價格下降，促成此項新能源產品市場化建立，讓燃料電池產業成為下一波帶動國內經濟發展的基礎產業。

(三) 產業化應用推動

1. 燃料電池作為高抗災通信平臺電力備援設施

近年因全球氣候變遷，極端氣候現象頻傳，尤其2009年莫拉克颱風更是帶來百年罕見超大豪雨，所引發之洪水與土石流重創南臺灣，導致多處鄉鎮村落通訊傳播基礎設施嚴重損壞。國家通訊傳播委員會(NCC)於災後檢討重災區通信服務中斷，主要原因為「市電供應中斷」、「電信中繼傳輸設施毀損」，因此希望建置高抗災通信平台，為偏鄉或高災害潛勢區提供穩定可靠之緊急聯外網路，使未來災害防救工作更有效率與完備，推動「加強電力備援系統」即是其中一項重要工作。

由於國內三大電信業者2009~2013年間陸續參與「燃料電池示範運轉」備用電力應用驗證，不但累積使用經驗，同時促使燃料電池產品改善符合現場使用要求。NCC北區在2014年於多處現場勘驗後，正式將燃料電池納入綠色備援電力補助項目，於2015年在臺北市體育局完成20kW燃料電池備用電力系統建置，在斷電緊急狀況發生時，可以提供附近緊急避難場所15小時不中斷電力，充分將燃料電池啟動快、可長時間供電特性。未來將持續配合NCC推動燃料電池作為高抗災通信平臺電力備援設施，逐步擴及中、南及東部地區，以提高行動通信基地台防救災能力，為偏鄉或高災害潛勢區提供穩定可靠之緊急聯外通訊網路、救災必需不中斷電力，使災害防救工作更有效率及完備。

2. 高功率密度燃料電池組/關鍵元件專利組合布局與授權

為使燃料電池能夠更為緊緻與輕量化，以提高功率密度並利於各種產品的應用，使用超薄不銹鋼板製造高功率密度金屬板電池組特別適合用於可攜式與運輸用電力等產品，也可使定置型發電系統更小、更容易應用。日本已於2015年推出燃料電池量產車型(FCHEV)，其所搭載的燃料電池動力系統即為金屬板燃料電池組，隨著商用車款推出，高功率金屬板燃料電池市場需求將逐漸增加。

製造金屬雙極板的技術困難點在於加工金屬薄板流場的製程中保持成形精度，同時還需要解決後續變形和表面防蝕問題。目前國內業者技術已突破超薄不銹鋼板(<0.08mm)加工技術，取得自主關鍵金屬板表面抗蝕專利組合，已具備金屬雙極板生產能力，除了可成為國際金屬雙極板電池組供應鏈之一員外，對發展運輸型燃料電池組技術及強化發電系統國際競爭力，已邁出重要關鍵一步。

參考文獻

[1] E4tech, Fuel Cell Industry Review 2014,2014/11

[2] D. Papageorgopoulos, “Fuel Cells Program Review”, 2015 Annual Merit Review and Peer Evaluation Meeting, June 10, 2015.

[3] J. Alkire, J. Marcinkoski, “Technology Validation Program Review”, 2015 Annual Merit Review and Peer Evaluation Meeting, June 10, 2015.

[4] Inside EVs. 2014. Toyota Mirai Fuel Cell Sedan Priced At $57,500 - Specs, Videos. Available at: http://insideevs.com/. Accessed 16 July 2015.

[5] Department of Energy, Technical Plan- Fuel Cells, 2014.

第七節　電網級儲能

為因應未來能源安全、溫室氣體排放減量等挑戰，世界各國積極投入再生能源開發與運用。由於受天候影響而無法穩定供應之再生能源如太陽光電或風力發電佔比快速成長，電力供應與需求之間之搭配亦愈趨不易，未來亟需儲能系統提供穩定之再生能源電網，以滿足未來再生能源極大化需求。電網級儲能技術為各先進國家積極投入之重要科技。目前國內所投入電網級儲能技術開發，包含長壽命、低成本之電化學電池儲能系統(鋅空氣液流二次電池、釩液流電池、鋁離子電池等)，以及儲能系統併聯管理技術等，藉由核心技術之開發及創新，有助國內產業在電極材料與元件設計上具有自主性與創新性。未來更可藉由推動儲能相關新興產業之建立，成為上中下游整合之產業鏈，開創具國際競爭之儲能產業。

一、國內發展目標與策略

(一)發展環境分析

基於臺灣地理環境與電網需求條件等相關因素，現有發展或商業化大型儲能技術中，已有水力儲能方式為主之儲能方式。以明潭抽蓄發電廠(1,600MW)及大觀二廠(1,000MW)為例，以離峰電力將水由下池抽蓄存於上池中，於尖峰用電時提供電力來補充發電量之不足。由於水力儲能需要之土地面積廣大、建置時間長、初期建置成本高等缺點外，加上土地開發所牽涉環保問題，故額外之抽蓄水力儲能可行性必須先期進行，以確保時程上能配合需求。

依據美國能源部經驗，欲消除電網因風力及太陽能上網之瞬間變化，需高反應速率儲能裝置，容量為電網上再生能源裝置容量之8~15%。另外，為消除每日作息活動造成之尖、離峰用電差異，需安裝電網上再生能源裝置容量約20%之儲能裝置。

以規劃中之再生能源裝置容量而言，太陽光電產生於用電高峰，不需削峰填谷，僅風力發電需此項儲能設備，即使以2030年風力裝置容量

5.2GW來衡量，電網儲能之需求僅大於1,040MW，目前既有明潭及大觀抽蓄已可滿足。但若為穩定再生能源電力之瞬間起伏，以2030年之5.2GW風電及8.7GW太陽光電衡量，國內需要之儲電設備約在1,112MW至2,085MW之間，目前尚無解決之方式與對應技術。

目前抽蓄水力儲電佔全球儲電設施容量99%，除此系統外，現今世界各國儲能系統發展方向仍在試驗階段，不論是機械能、電能、化學能等儲能種類均被視為具有發展潛能之選項。但從再生能源建置方式與地點分佈及經濟發展與既有產業優勢，目前較適合發展高技術層面儲能元件及電力管理系統，如預測技術、電化學儲能元件、控制技術以及負載管理技術等。

其中，適當之整合再生能源與儲能技術可協助再生能源發展，增加再生能源市場佔有率。另一方面，分散型微電網可獨立運轉或與電網相連接，如何進行微電網之頻率調節、電壓控制、功率分配、孤島運轉檢出及電力品質保持等運轉與控制技術，將是一大挑戰。國內已著手進行研究如何整合區域分散式電源之有效利用，除市電斷電時可利用這些分散式電源形成孤島供電以提高供電可靠度外，另結合儲能或電力電子相關技術，利用區域之分散式電源來提高電力品質，以及減少對電網之衝擊影響，以有效排除大量使用再生能源發電系統所面臨技術問題。

(二) 發展目標與策略

建立國內電網級儲能系統控制之關鍵技術，未來再生能源裝置量提升後，可發揮整合協調控制績效，進行有效管理運用。藉由儲能控制系統設計與開發，提升國內儲能產業與建立新型營運模式。儲能成本之整體發展目標於短程(2018年之前)達到儲存一度電為美金0.1元之可商業化水準，中長程(2025年)達到美金0.025元目標，使國內儲能元件與併聯電子產品具備國際競爭力。有關整體技術研發策略規劃著重於以下兩項技術研發：(1)長壽命、低成本的電化學電池儲能系統；(2)儲能系統併聯管理技術。

其中，電化學電池儲能系統包含幾十甚至幾百個MW裝置容量，首重電池之高安全性，應該使用安全性高金屬材料、高穩定性電解質材料、完善設計之整體散熱及電路系統，以確保電池能具備十年以上工作壽命。其次則重視電池成本低廉且材料供應不虞匱乏，應該使用地殼內蘊藏量充足之金屬(譬如鋅、鋁、鈉等)作為電池材料，不僅造價低廉，亦確保儲能電

池在普遍應用之後，不至於產生材料供應不足之問題。適用於電網之電化學電池的技術門檻很高，而且國內投入電網級儲能元件之時日未長，應該及早推動產學研界與世界領先國家建立合作關係，逐步建立關鍵專利並推動國內傳統電池產業升級。

國內電力電子元件及併聯轉換器產業相對成熟，然而電力網路對於整合再生能源之智慧化儲能系統併聯技術十分陌生，亦缺乏規劃良善之大型示範場域以驗證儲能系統功效，應該首先建立MW等級之再生能源與智慧化儲能示範電網，驗證儲能解決再生能源大量導入之技術可行性，其次以離島作為儲能示範場域，將既有天然氣或柴油發電機組及再生能源得到最適化之配置，以提昇燃料使用效率。透過併聯技術提升與示範驗證系統，可進一步找出儲能系統切入市場的利基點，以前瞻之電化學儲能系統及微電網技術提升電力系統運轉效率、供電品質及電網可靠度，不僅可以帶動智慧電網產業發展，更重要的是協助達成再生能源推廣目標。

二、產業技術發展指標與時程

（一）國內外技術發展指標

目前國際中已經成熟或是發展中之儲能技術包括抽蓄水力電廠、壓縮空氣儲能、鋰電池、鉛酸電池、鎳鎘電池、鈉硫電池、液流電池、氫燃料電池、飛輪、超級電容等。未來儲能技術發展研發主要分為兩個大方向，即智慧電網橋接穩定電力之需求以及低成本長時間儲存，其中飛輪系統、超級電容、超導磁能儲存系統均可應用於穩定電力需求，而抽蓄水力電廠、空氣壓縮儲能、各種化學電池則可做為低成本以及長時間儲存技術應用。各種儲能方式觀察重點有能量密度、充放電效率、循環效率、儲能成本等。

目前各技術中抽蓄水力在於地形限制與環境保護問題需解決；壓縮空氣儲能也是在於其地形限制及效率上提升；鉛酸電池雖為成熟產品，但具重金屬污染及僅能數百次充放電之壽命問題，亦無法深度放電；鋰電池具有高能量密度等優點，但是安全性與高價格是其主要問題，目前研究著重在材料改善安全性及評估淘汰電動車市場使用電池進行二次使用，以降低成本[1]。

鈉硫電池具有高能量密度及材料便宜等特點，但是鈉硫電池使用高溫操作條件，使用材料反應性相當高，相對在熱能管理及安全性上需要特別設計。2011年鈉硫電池因事故造成火災，導致安全性問題重新面臨檢驗，且全球僅有日本NGK公司具有儲能系統供應能力，技術門檻及智財問題相對不利新投入廠商技術發展。

液流電池具有壽命長、穩定性高、相對安全環保等、功率及能量可獨立設計增加規劃彈性等特性，目前包含全釩液流電池(Vanadium Redox Flow Battery, VRFB)、金屬空氣液流二次電池、鋅溴液流電池、鐵鉻液流電池等陸續進行示範應用，以驗證其效能及長期穩定性等，為極具發展潛力及具備產業規模的儲能技術；其中又以金屬空氣電池被視為具較佳之發展潛力，可望成為下一世代之新綠色能源。各種儲能方式均有其優缺點，但低成本、高能量密度以及長循環壽命需求，則是能否運用於電網級儲能技術之共通性關鍵影響因素。

金屬空氣電池若與市售電池相比，與鎳鎘電池相較之下，金屬空氣電池可提供高10倍左右之電力並無環境汙染隱憂，與鋰離子電池比較，鋰元

表4-7-1 各種儲電技術指標與成本比較

電池種類	鈉硫	a.鋰電池 b.汰役鋰電池	釩液流	金屬空氣	CAES	PHS	美國能源部長期發展目標
比重量能量密度(Wh/kg)	150-240	a.190 b.175	18-28	250	---	---	1,000
充、放電效率(%)	75-85	a.85-95 b.<60	80-85	75	70-80	70-85	80
電池壽命(次數)	5,000	a.3,000 b.1,000	10,000	3,000	30,000	50,000	5,000
設備成本(USD/kWh)	500	a.300 b.60	800	150	225	125	100
平均每度儲能成本(USD/kWh/cycle)	0.12	a.0.11 b.0.1	0.1	短期達到0.1，中長期改善性能達到0.025	0.02	0.01	0.025
技術現況	已商業化	示範中	示範中	研發中	已商業化	已商業化	

資料來源：工研院整理，2015年12月

素蘊含量有限，價格日益攀升，而金屬空氣電池具有價格低廉、安全性等優勢，且不論於在大型元件或小型元件上皆能應用。國內自100年起即致力於電網級儲能關鍵技術開發，發展技術包含低成本之鋅空氣二次電池及鋁離子電池、液流電池儲電關鍵組件、智慧型儲能系統技術、儲能系統電能管理技術與儲能示範規劃，目前所研發之高能量密度、具安全性與低成本之鋅空氣二次電池充放電之電壓效率大於70%、電池重複充放壽命也達千次以上，未來可藉由導入流動與儲存能量方式，視不同儲能運用情境調整電池系統之輸出功率與能量，以降低儲能成本發揮最大效益。

國內亦投入儲能系統併聯管理技術，包含智慧型儲能系統技術開發與儲能系統電能管理技術開發，透過整合分散式能源、資通訊技術、電能管理平台及電力品質控制等技術，有效地運轉控制區域分散式能源，並藉由澎湖智慧電網示範場域之建置，搭配智慧電表系統(AMI)、再生能源管理系統、中央電能管理系統、先進配電管理系統、以及需量反應管理系統進行智慧電網整體效能測試。特別針對再生能源發電高佔比下，透過儲能系統驗證測試其對於電網穩定之功能，已於澎湖地區完成一座kW等級儲能站，並於本島地區規劃建立一座MW等級之儲能示範電網，短期將完成再生能源系統與儲能系統整合場域建置與測試，並於系統應用上測試驗證電壓變動抑制、頻率變動調節、再生能源輸出功率平滑化、以及削峰填谷等相關功能。

(二)國內技術近期發展重點

1. 長壽命、低成本的電化學電池儲能系統

目前國內投入儲能電池系統研發領域，主要投入電網級金屬空氣液流電池與氧化還原液流電池技術開發，以下所示為儲能電池技術上的發展情形：

(1) 金屬空氣液流電池儲能系統：

A. 高循環壽命空氣電極及觸媒技術

金屬空氣電池發展重點在於提昇循環壽命，其中影響電池循環壽命最關鍵部分為空氣電極，空氣電極主要發展重點在於增進反應速率、減少電極厚度、發展更好觸媒、長時間電極結構穩定、以及降低電極製作成本。觸媒可以影響放電以及充電效率，放電效能主要衡量指標是氧氣還原反應效率，而充電效率觀察指標在於氧氣產

生反應效率，此技術發展之主要目標在於發展複合式雙效電極，以因應可再充金屬空氣電池之需求。

B. 高能量金屬電極與電解質開發技術

金屬電極因安全性與成本考量常會使用水溶液電解質，但因其在鹼性電解質中發生之自腐蝕現象易導致電流耗損，因此抑制金屬電極在水溶液中自腐蝕為提升金屬電極能量密度重點研究。此外，金屬在水溶液電解質溶液中進行充電與放電反應時會容易產生樹枝狀金屬生成物，樹枝狀鋅金屬生成亦為限制電池壽命主要原因，因此開發多孔微型之金屬集電網，其優勢為提供更多沉積反應面積，可使電極表面減少樹枝狀結構生成。

C. 金屬空氣液流電池組設計及建立測試平台

為改進傳統金屬空氣電池僅能用於一次式操作系統，以及其所採取之平面式串聯設計所導致低能量密度，此金屬空氣液流電池系統將採取多工作流體同時流通於電池組之創新設計，以同時解決金屬空氣液流電池系統中，陰極空氣端進氣與維持金屬端之流場分布，以達成電池可充放電操作。並同時針對液流電池系統之特性，開發充放電機制完整測試平台，藉由測試與驗證平台建立，逐步瞭解各關鍵組件開發與在電池中實際應用狀況，以及電池的最適化操作參數，以利後續電網併網管理與電能管理平台之研發。

(2) 氧化還原液流電池儲電關鍵組件技術與系統：

A. 高耐用性電池模組設計及測試技術

設計電池模組組裝與封裝測試流程及電池模組組件與材料壽命評估測試程序，用以建立電池模組品質管理策略，提升材料或組件製造品質減少缺陷，模組部分採用射出成型技術開發一體化雙極板以減少雙極板之零件數目、製作及組裝成本，而於測試技術則進行恆電流電池模組循環測試，評估電池模組之充放電效率、儲電量、開環電壓、兩極電解液價態等參數之變動，評估電池模組使用壽命。

B. 原型儲能系統穩定運轉及整合應用

利用全釩液流電池原型系統進行長期運轉測試，以確認其特性及穩定性，並於過程中進行不同操作策略及控制參數對電池性能影響，以建立最佳控制策略及邏輯，提升整體運轉效能。

2. 儲能系統併聯管理技術

目前國內投入儲能系統併網管理研發主要著重於電能管理相關控制技術，並進行儲能示範規劃及政策研析，有關其發展說明如下：

(1) 智慧型儲能系統技術開發

A. 多元混合型能源管理控制器開發

進行多元混合型能源管理平台建置與驗證，含網路通訊功能，監控人機介面整合，以及離/併網決策機制等功能。開發適用於住宅之單相5kVA能源管理控制器，同時具備再生能源輸出平滑化、離併網無縫式電力轉換控制，並與能源管理平台及儲能系統完成整合測試。另外，並完成儲能電池充電技術評估，進行能源管理系統整合測試，結合獨立併網雙功能型直交流換流器、雙向儲能直直流轉換器以及再生能源儲能轉換器進行多元混合型能源管理控制器系統決策功能驗證與調校。

B. 儲能電池管理與狀態估測技術

儲能電池之充電電流及充電時間、放電電流及放電時間會隨著電池電量狀態、電池老化狀態及溫度而變化，並非為定值。開發及評估即時偵測方法，偵測電池目前狀態之相關參數，經由適當之運算後轉換為不同充放電電流下之運作時間，提出一估測方式，估測儲能電池在不同狀態下電池之充放電電流及時間，並驗證其準確性。

(2) 微電網電能管理技術開發

A. 開發微電網系統分析軟體。

包含再生能源之經濟分析、儲能系統之運轉規劃、最佳運轉等三種模型軟體架構，主要目標以減少二氧化碳排放或成本最低為規劃，考量購電、發電與存儲設備等功能，以滿足測試點之負載需求。

B. 微電網系統運轉模式策略規劃與最佳化調度控制開發。

進行微電網系統電能管理平台運轉模式策略規劃與最佳化調度控制開發，整合目前測試場域之監測系統，並進行負載用電行為多樣性分析。

(3) 儲能示範規劃及政策研析

A. 進行國際上先進儲能系統及儲能示範案例之現況、研發趨勢、各國政府策略資料蒐集分析及國外儲能系統併網相關制度與規範探討。持續關注日、德兩國儲能補助及加州三大電場電網儲能之成效，瞭解執行困難點，並觀察領導廠商在此困難下所採取發展策略。

B. 於澎湖科技大學儲能示範場域實測驗證及整合再生能源與儲能系統進行電力調峰功能。微電網中之再生能源選擇使用風力發電與太陽能兩種電力來源，並搭配海洋科技大樓為負載進行規劃。於電能管理部分，初步將蒐集天氣資訊並進行負載與發電預測，再根據微電網中之分散式電源條件與特性進行最佳化規劃，進而控制負載與能源。根據以上經驗規劃建立一座MW等級儲能示範電網，持續完成再生能源系統與儲能系統整合場域驗證。

(三) 技術發展時程

為讓再生能源導入後電網穩定、減緩電網更新投資成本以及電網發電成本最佳化，再生能源大幅推廣與應用與幾項重要技術息息相關，分別是預測技術、儲能技術、控制技術、發電技術以及負載管理技術等，其中尤以開發長壽命、低成本電化學電池儲能系統是電網級儲能技術未來研發之關鍵重點，初期將以建立關鍵核心研發為基礎，達到電池能量密度400Wh/kg，循環壽命3千次，充放電效率>75%。系統建置成本150USD/

表4-7-2 國內電網級儲能發展時程

技術項目	短期(~2018)	中長期(~2025)
長壽命、低成本的電化學電池儲能系統	充放電效率75% 能量密度400Wh/Kg 循環壽命3,000次 儲能成本150USD/kWh	充放電效率90% 能量密度1,000Wh/Kg 循環壽命5,000次 儲能成本100USD/kWh
儲能系統併網管理技術	即時功率調度誤差：±3% 經濟調度控制：3min 100kW混合式雙向電能轉換模組效率：＞96% 電池組電壓管理策略，增加電池組壽命10%	即時功率調度誤差：±2% 1MW混合式雙向電能轉 換模組效率：＞98% 電池組電壓管理策略，增加電池組壽命20%

資料來源：工研院整理，2015年12月

kWh，儲能成本0.1USD/kWh/cycle之可商業化目標，未來長期則致力於提升電池壽命達5千次，而系統成本則隨著產業之量產與技術之精進，最後達到美國能源部所設定之0.025USD/kWh/cycle成本目標。

三、國內發展現況與成果

(一) 技術發展現況

1. 金屬空氣二次液流電池

(1) 高效能觸媒空氣電極：

A. 完成複合式高比表面積之空氣觸媒製程之開發，並進行相關電化學性質分析；鋅空氣全電池在20mA/cm^{2}電流密度下進行放電，充放電循環電壓效率高於72%。

B. 進行集電網、觸媒層、氣體擴散層與防水透氣層結構設計並完成電極面積為100cm^{2}之空氣電極製作；於10mA/cm^{2}電流密度下進行充放電循環，經過1,500次，充放電庫倫效率仍高於80%。

(2) 合金電極開發與金屬空氣液流二次電池組：

A. 完成3D多孔鋅錫金屬電極材料製程開發及製作；其3D結構孔隙度可達98%，經1,600次重複充放氧化還原循環後，3D電極表面結構並無明顯變化，其庫倫效率仍維持約84.9%。

B. 完成金屬空氣二次液流電池之流場、密封與電極堆疊設計與零組件材料評估與製作短電池組進行評估驗證，所製作之10cell短電池組經實際測試後，其最佳性能可達10.65V/106.5W@10A。

2. 氧化還原液流電池關鍵材料及技術開發

(1) 高耐用性電池模組設計及測試技術

進行1kW電池模組設計及組裝，研發成果配合關鍵材料選用測試、流場設計模擬、密封設計等完成不同短電堆組裝測試。

(2) 原型儲能系統穩定運轉及整合應用

A. 進行1kW/5kWh原型儲能系統電解液循環下之自放電測試。以不同充電與放電條件進行液流電池系統初步性能測試。並完成正負極電解

液在過量混合後之充放電性能回復測試，於60mA/cm^{2}下300次循環測試之平均能量效率為70%。

B. 進行行動式儲能示範場區電能管理試驗，測試在無市電狀態下可連續獨立運轉170小時，白天使用太陽光電發電提供液流電池泵浦與監控系統運作電源，以及充電後持續提供無太陽光時(包括夜間)系統運轉電源。

(3) 低成本關鍵技術材料評估及測試

A. 建立單電池測試平台以及單電池充放電效率操作條件最適化參數，並進行隔離膜改質以減少正負電解液滲透現象。

B. 進行釩鐵複合式電解液液流電池液流電池技術發展趨勢及評估，以作為未來低成本之液流電池系統及技術發展基礎。

3. 儲能系統併網控制

(1) 智慧型儲能系統技術開發：

A. 多元混合型能源管理控制器電路、系統通訊以及能源管理控制功能之規劃與設計；單相5kVA獨立併網雙功能型直交流換流器及靜態轉供系統之功率級電路、介面電路板與控制電路板的設計與製作，以及控制軟體規劃與撰寫。

B. 開發5kVA具再生能源輸出功率平滑功能之雙向儲能併網轉換器，轉換效率達96%。

(2) 微電網與儲能系統電能管理技術開發：

A. 微電網系統運轉模式策略規劃與最佳化調度控制開發，整合目前測試場域之監測系統，進行用電行為多樣性分析與測試。並進行商辦大樓及澎湖科大儲能系統驗證測試，儲能系統及電能管理整合控制，建立一套結合再生能源設備、電動車、負載之微電網電能管理平台。

B. 蒐集並整理儲能系統結構模型，內容包含儲能系統應用於交流電網系統結構模型、配電網結構模型以及因應不同資源類型的儲能系統應用情境。另外，亦進行儲能電能管理平台系統軟體架構規劃及演算法程式。

4. 儲能示範規劃及政策研析

A. 完成澎湖科技大學再生能源、負載、天氣等相關歷史數據之整理與分析，並根據澎科大現有之再生能源與負載特性，完成儲能最佳容量與裝置地點之設計以及一座kW等級儲能示範場域，並根據以上經驗規劃建立MW等級儲能示範電網，持續完成再生能源系統與儲能系統整合場域驗證。

B. 完成國際上先進儲能系統及儲能示範案例之現況、研發趨勢、美德日中等政府策略等資料蒐集並整理，作為制定國內未來儲能系統申請併網之相關技術規範與政府政策推廣之參考依據。此外，亦完成電池儲能系統最佳容量搭配設計之相關資料收集與分析，可協助分析較佳之儲能設置量，以提升大型風場出力預測精準度，以及降低太陽光電系統所帶來之衝擊影響。

（二）推廣應用成果

1. 鋁離子技術：與美國史丹福大學共同合作研發「可高速充放電鋁離子電池」技術，充放電效率高且可於一分鐘內完成充電，研究成果於104年4月份登上全球知名Nature(自然)期刊。

2. 電網級儲能元件及併聯技術：建立瓩級金屬空氣液流二次電池的關鍵設計能力與專利佈局，利用新型複合共沉積製程開發與多孔性空氣結構設計等，可解決鋅空氣電池的觸媒剝落之問題，目前液流電池技術與材料供應商及電池系統公司合作，協助業界進行技術升級，未來可作為創新儲能電池平台及業界材料開發測試之研究中心。所開發之電網級儲能系統雙向電源轉換器已具有市電併網、電壓補償、以及平滑再生能源輸出曲線等功能，將著重於整合儲能雙向轉換器應用於既有發電場域。

3. 儲能示範電網：繼協助澎湖智慧電網示範場域建置之後，搭配智慧電表系統(AMI)、再生能源管理系統、中央電能管理系統、先進配電管理系統、以及需量反應管理系統之整體智慧電網操作能力，目前完成澎湖科技大學kW級再生能源與儲能示範站，並根據以上經驗於本島地區規劃建立MW等級儲能示範電網，預計2016年第3季開始測試運轉，未來以此座再生能源系統與儲能系統整合場域，驗證儲能解決再生能源大量導入之技術可行性。

參考文獻

[1] "Energy Storage for Wind and Solar Integration: Market Issues, Business Case Analysis, Technology Issues, and Forecasts for Energy Storage Systems for Wind and Solar Applications," Navigant Research, June, 2013.

[2] "Electric Energy Storage Technology Options: A White Paper Primer on Applications, Costs, and Benefits," EPRI, Palo Alto, CA, 2010.

[3] F. Katiraei and M.R. Iravani, "Power management strategies for a microgrid with multiple distributed generation units," IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 21, No. 4, Nov. 2006, pp. 1821-1831.

[4] Y. Kojima, M. Koshio, S. Nakamura, H. Maejima, Y. Fujioka and T. Goda: "A Demonstration Project in Hachinohe: Microgrid with Private Distribution Line", IEEE International Conference on System of Systems Engineering (SoSE), 2007.

[5] F. Katiraei, R. Iravani, N. Hatziargyriou and A. Dimeas, "Microgrids Management", IEEE Power and Energy Magazine, vol. 6, pp. 54-65, May 2008.

[6] William Glassley, Jan Kleissl, C.P. "Case" van Dam, Henry Shiu, Junhui Huang, Gerry Braun, Ronnie Holland, "California Renewable Energy Forecasting, Resource Data and Mapping", California Institute for Energy and Environment Report, 2010.

[7] "Benefit Analysis of Energy Storage: Case Study with Sacramento Municipal Utility District," EPRI, Palo Alto, CA, 2011.

[8] N.M.L Tan, T. Abe, and H. Akagi, "Design and Performance of a Bidirectional Isolated DC – DC Converter for a Battery Energy Storage System," IEEE Trans. on Power Electronics, Vol. 27, Iss. 3, Mar. 2012, pp. 1237-1248.

[9] K. Yamashita, O. Sakamoto, Y. Kitauchi, T. Nanahara, T. Inoue, T. Arakaki, and H. Fukuda, "A Frequency-stabilizing Scheme for Integrating Photovoltaics into a Small Island Grid," 2nd IEEE PES International Conference and Exhibitions on Innovative Smart Grid Technology (ISGT Europe), Dec. 2011, pp. 1-7.

第八節　海洋能

再生能源發展已成為主要替代能源之選項，隨著目標量逐年提高也將面臨更多挑戰，因此如何開闢新興再生能源將是重要課題。國際能源總署-海洋能源系統(IEA-OES)指出全球海洋能理論年發電量分別為：海洋溫差發電10,000TWh、波浪發電8,000~80,000TWh、海流(包括潮流和洋流發)電800TWh、潮汐發電300TWh、鹽差發電2,000TWh，而國內四面環海，蘊藏之海洋能量不容忽視。

海洋擁有龐大潛能，惟目前除潮汐發電已成熟商業化外，海洋能中之溫差、波浪、海流等發電設備，在國際上尚無成熟可商業化機組。現階段測試機組中波浪發電已達百瓩級，潮流發電及溫差發電達千瓩級，估計數年之間可望有商轉電場之開發。在國內產業發展上，由於國際上尚無成熟之商業化機組可引進，加上過去研究發現國外機組應用於國內海域之效率普遍不佳，且又有颱風帶來之巨大波能所引起之安全問題，故國內需要自行研發適合國內海域之海洋能發電系統，在提昇效率及安全性後，開發海洋能源才會有前景。

一、國內發展目標與策略

(一)發展環境分析

1. 海洋能潛能

國內波浪能、海洋溫差能與海流能均具有數GW以上之開發潛力，而潮汐能僅有數十MW之規模，較不具產業規模，說明如下：

(1) 波浪發電：篩選能量大於10kW/m、水深小於50m及地形坡度小於10%，初步排除限制區域後有8處潛力場址，主要場址分布在東北角與雲彰隆起海域，其中以三貂角海域約15.93kW/m為最大，雲彰隆起約13.60kW/m次之。在考量場址開發條件後，初步估計波浪發電可開發量為2.4GW。

(2) 溫差發電：經篩選水深小於1,000m、溫度差大於20度之場址，獲得東部9大OTEC潛力場址。初步估計溫差發電可開發量達2.8GW。

(3) 海流發電：臺灣之海流發電可分為潮流發電與黑潮發電，篩選潛能大於1kW/m^2之潮流發電潛在場址，主要分布於澎湖海域與北臺灣海域，估計可開發量近200MW。於東部黑潮能量方面，篩選流速大於1.2m/s，將獲得4處潛力場址，每個場址可開發量可達1GW，但以綠島離本島最近且水深小於500m，開發海流發電成本會較低。

2. 國內海洋能競爭力

(1) 波浪發電：臺灣海況及場址條件特殊，國外機組因設計條件不同並不適用於國內海域，國內應重點投入動力轉換、控制技術及關鍵零組件開發，以產品差異化優勢發展獨特最適產品才有機會形成產業。國內目前已投入數十瓩級波浪發電系統開發與海上長期測試，經驗証與改良精進後，將可朝向開發大型化產品努力。

(2) 海洋溫差發電：海洋溫差發電可全日24小時穩定發電，適合作為基載電力，且國內東部具多處優良廠址。國際上日本、美國、印度已具有100kW~MW先導型機組建置與運轉經驗，國內目前僅投入溫差發電機組研發，雖已具小型OTEC機組開發經驗，惟尚無大管徑冷水管與浮台技術。

(3) 海流發電：黑潮流經臺灣東部，帶來豐沛之水流提供海流發電契機。但由於合適開發之場址水深均大於300m，且離岸距離在20km以上，將為一大威脅與挑戰。國際上尚無商轉海流電廠，測試與示範之機組均屬淺水地區，不適用於黑潮發電。

(4) 潮汐發電：離島地區有較佳之潮差條件，但缺乏優良之天然峽灣。臺灣本島之平均潮差小且海岸地形不適合開發，國內整體可開發之潮汐潛能僅在數10MW之規模，尚不具產業規模。

3. 國內海洋能開發分析

雖然國內具海洋能開發潛力，但於開發環境上仍有多項關鍵問題有待克服，除特殊地理環境所面臨之颱風與地震威脅外，仍有以下挑戰：

(1) 波浪發電：需提高機組可用率與安全性並降低發電成本，且國內海事工程能量仍不足。

(2) 溫差發電：大型化需要佈放至少2km長且直徑大於2m之冷水管，工程難度極高。

(3) 海流發電：臺灣黑潮場址大都位於坡度陡且水深大於300m處，開發之安全性與經濟性則有待克服。

因國際上尚無成熟之商業化機組可進行引進，且國內欠缺大型海事工程機具與相關工程經驗，於短期內開發電廠甚為不易。加上又有颱風巨浪所引起之安全問題，故需投入合適國內海域之海洋能系統研發，逐步放大比尺開發，期透過長期的海上測試與驗證，精進改良出最佳性能之機組，並藉此評估分析出海洋能設備之經濟性，來作為下階段大型化開發之重要依據。

因溫差發電屬共通技術，國內於2010年已在花蓮完成建置第1套瓩級海洋溫差發電示範系統，因冷水管技術尚未突破，且海洋溫差發電需達數十MW級以上才具經濟效益，故先將技術擴展至工業餘熱與地熱應用。另黑潮發電所在之場址位於3百至1千公尺水深處，國外亦仍在發展該項技術，目前國內仍於民間業界測試相關機組中。

為能加速發展國內海洋能技技術，期望於最短時間為再生能源之發展提供貢獻，在考量海域開發條件與技術能量後，近程將先發展波浪發電技術，主要考量為1.國內之海域狀況、機組之後續維護、國內之技術能力；2.波浪之能量密度高，為風能之16.6倍、太陽能之50倍，亦遠高於黑潮能及潮流能。目前已有浮體製造與安裝能力，且波浪發電場址水深淺且坡度緩，機組發展前期可利用國內既有海事能量來進行，並測試相關技術。

(二) 國內發展目標與策略

1. 海洋能發展目標與策略

為積極開發國內海洋能，規劃海洋能發展藍圖，將由「概念驗證階段」發展至「中小型系統開發階段」至「大型系統開發階段」，最後進展到「商業化電廠階段」，大規模開發海洋能。

海洋能技術推動規劃如下：

(1) 2025年：完成第一座1MW先導示範電廠。

(2) 2030年：邁向小型商業型電廠開發(>30MW)。

(3) 2035年：加速商業型電廠開發。

為加速達成此規劃目標，開發策略如下：

(1) 波浪發電：由於其場址位於20至50m間，水深較淺可優先開發，開發可由近而遠。並在雲彰隆起與離岸風電複合以求降低大量開發之佈放成本，同時減低環境影響。

(2) 溫差發電：階段性先朝中小型裝置容量之工業餘熱及溫泉/地熱發電發展，先行建立國內溫差發電產業，待大型化技術建立後再向海洋溫差發展。

(3) 海流發電：建立海流發電共通技術，先行開發高潛能區之潮流發電，由淺海而深海，逐步發展黑潮發電。

2. 國內波浪發電發展規劃

國內東北角與西部海域場址具波浪發電開發潛力，包括富貴角海域、龍洞海域、三貂角海域、龜山島海域、花嶼海域、澎湖海域、雲彰隆起等場址。由於波浪發電之研發與測試業界所要承擔之風險較高，故波浪發電發展初期，結合產官學共同投入波浪發電機組研發，以小機組逐步放大比尺開發，由概念驗證、模型驗證進行至海上測試，建立國內自有開發技術，再藉由技術授權建立業界技術能力。同時，於技術成熟之際，政策面上配合推出獎勵措施，公告示範獎勵辦法與躉售電價，以加速推動首座示範電廠之建置。

國內持續投入波浪發電系統研發，於波浪發電發展藍圖上，2016年將進行波浪發電機組供電展示，具體呈現技術成果亮點，也藉由長期測試驗証修正機組設計，逐步朝向商業型機組開發。期望於2025年前完成國內MW級首座波浪發電示範電廠，2030年朝向商業級電廠開發，全面開發為再生能源作出貢獻。

未來波浪發電電廠之開發也建議可採用以下兩種型式，分別為：

(1) 獨立型波浪發電廠，東北角海域包括富貴角海域、龍洞海域與三貂角海域都具極佳之波浪能量且離岸相當近，同時，東北角海域非離岸風電區塊開發場址，可優先發展獨立型波浪發電廠。

(2) 複合型波浪發電廠，於雲彰隆起及澎湖海域亦為優良之離岸風電場

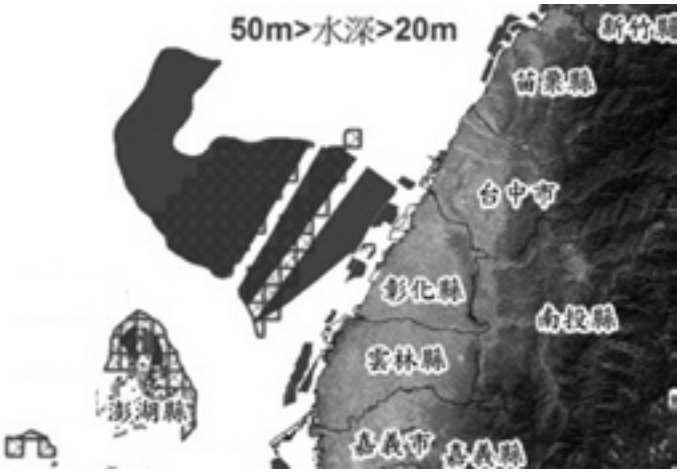
址，波浪發電可與離岸風電複合開發，共用海域、海底纜線與海上變電站，可達海域能源開發最大效益。經初步分析，複合開發可提高海域每平方公里之裝置量2.1倍。圖4-8-1為可複合開發的區域。

二、產業技術發展指標與時程

(一) 國內外技術發展指標

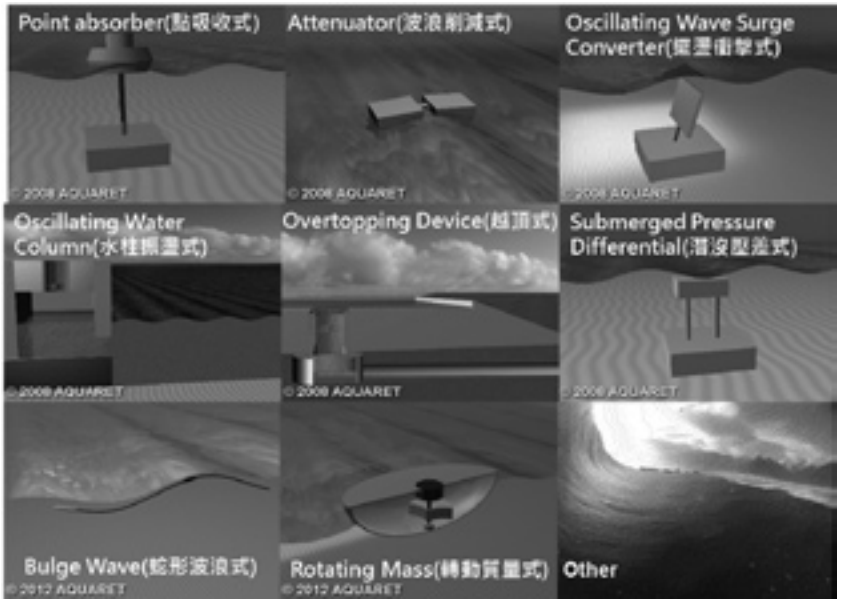
海洋能開發潛力龐大，根據國際能源總署報告[1]指出海洋能理論年發電量分別為：海洋溫差發電10,000TWh、波浪發電8,000~80,000TWh、海流發電(包括潮流和洋流)800TWh、潮汐發電300TWh、鹽差發電2,000TWh，其中以波能潛能最大。然因海洋能起步較晚且開發難度高，目前僅潮汐發電較為成熟，法國、韓國已有百MW級之潮汐商業電廠，其餘海洋發電大多屬海上測試階段或示範發電階段。

全球波浪發電已提出數百種多種構想。雖然種類繁多，但主要之設計概念仍屬於歐洲海洋能源中心(European Marine Energy Center)所分辨出如下的主要8種與其它型態(EMEC，2012)(圖4-8-2)，分別為(1)波浪削減式(Attenuator)；(2)點吸收式(Point absorber)；(3)波濤擺盪衝擊式(Oscillating Wave Surge Converter)；(4)水柱振盪式(Oscillating water column)；(5)越頂



資料來源：工研院，2015年12月

圖4-8-1　可與離岸風電複合開發之區域



資料來源：http://www.emec.org.uk/

圖4-8-2　各種波浪發電方式說明

式(Overtopping device)；(6)沉浸壓差式(Submerged pressure differential)；(7)蛇形波浪式(Bulge Wave)；(8)轉動質量式 (Rotating Mass)；(9)其它。

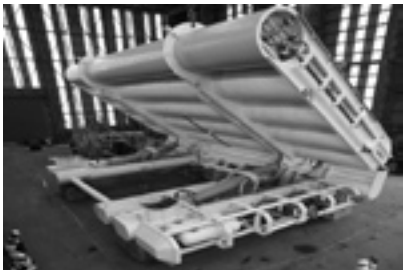
在波浪發電技術上，至2014年底機組已於海上進行測試或示範的安裝量為5,972kW[3]，並以英國居冠，安裝量3,730kW，主要都是在歐洲海洋能源中心(European Marine Energy Center, EMEC)進行長期測試，分別為：

(1) Pelamis Wave Power公司之750kW P2-001(蛇形波浪式)。
(2) Scottish Power Renewables公司之750kW P2-002(蛇形波浪式)。
(3) Aquamarine Power Ltd之800kW Oyster 800(擺盪衝擊式)。
(4) Wello Oy_之500kW Penguin(轉動質量式)。
(5) Seatricity公司之800kW Oceanus(點吸收式)，詳圖4-8-3所示。

上述機組均已發電，待通過長期之海上測試後，將朝大型化之商業化機組發展。此外，瑞典也啟動10MW Sotenas波浪發電示範電廠計畫(詳圖4-8-4)，將佈放420組波浪發電機(seabased)，發電機組採用點吸收式，並採線性發電機進行發電。2013年5月開始部署，2016將完成第一階段1MW

Pelamis Wave Powe_P2-001

Scottish Power Renewables_P2-002



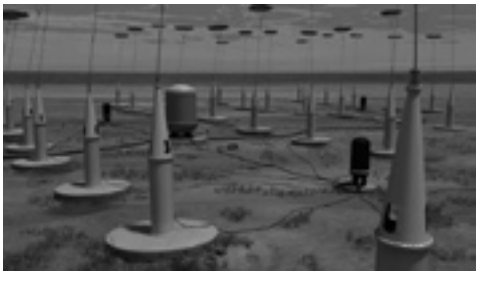
Aquamarine Power Ltd_ Oyster 800

Wello Oy_Penguin

Seatricity_Oceanus

資料來源： EMEC網頁，2015年06月

圖4-8-3　英國EMEC之測試機組



資料來源： Seabased網頁，2015年12月

圖4-8-4　瑞典10MW Sotenas波浪發電示範電廠

電廠之建置，接續進行其餘9MW之裝置量，若順利完成將是全球第一個波浪發電廠。

而國內海洋能技術現階段發展至中小比尺機組開發測試階段，並以波浪發電技術發展較快，正進行20kW波浪發電機組海上測試，於能量擷取系統(Power take off, PTO)技術、浮體開發技術、海事工程能量、發電效率上均達國際技術水準(詳表4-8-1)，且自製率達90%以上。

(二) 國內技術近期發展重點

近兩年能源局投入發展波浪發電技術，研發合適國內海域之波浪發電機組，發展重點如下：

1. 高自製率波浪發電系統之研發

(1) 應用自有專利技術，開發製造波浪發電機組。現已完成首座20kW波浪發電測試機組開發，並進行海測修正設計以提升機組性能與可靠度。2015年度全新一代之機組已於基隆外海展開長期測試，未來之測試機組需面臨海上嚴苛環境之挑戰，以考驗系統可靠度。亦藉由長期海測掌握機組關鍵技術與重要控制參數，朝大型化系統邁進。

(2) 由於國內尚無大型起重船，機組之佈放是一大挑戰，近年來運用國內海事工程能量，建立波浪發電系統佈放工程能量，發展安全之佈放回收技術。

表4-8-1　國內自有機組與國際機組之分析比較

比較指標	技術指標現況及研發後進展			
		2016年	2018年	2020年
• 機組規模 • TRL*1 • 效率	國內	• 20kW • TRL4 • 22%	• 20KW • TRL 5 • 30%	• 150kW • TRL 7 • 32%
	國際	• 瑞典Seabased 25~50KW • TRL 7 • 20%	• 10MW示範電廠 • TRL 8 • 20%	• 商業級電廠 • TRL 9 • 20%

註*1：TRL4：元件整合驗証；TRL5：準系統於相似環境測試；TRL6：原型於相似環境測試；TRL7：全尺度模型於相似環境測試；TRL8：真實系統展示；TRL9：系統商業化

資料來源：工研院整理，2015年12月

(3) 結合業界與學界，整合多領域技術進行機組開發，開啟波浪發電產業之契機。持續展開業界合作，以技術之合作與技術授權，共同合作開發適合國內之海洋能波浪發電系統，開發海洋能波浪發電產業，進而提升整體海洋能開發產業效益。而波浪發電技術涉及之產業包含了發電機、液壓系統、機械製造、電力轉換系統、電纜與連接器、監控系統、結構製造、錨碇系統、海事工程、組裝整合等行業，亦結合相關業者進行合作，推動波浪發電產業聯盟，催生海洋能產業。

(4) 研發創新之海洋能源關鍵技術，提升發電效率、安全性及經濟性。現階段在控制技術、抗颱技術與水下傳輸技術上均投入創新技術，也申請多項專利。

2. 推動示範電廠開發以加速海洋能發展

(1) 於技術成熟之際，政策面上政府更需制定合理躉購電價與優惠政策，推出示範獎勵辦法以加速推動首座示範電廠之建置，吸引電業者投入開發。

(2) 利用模擬與場址調查，整體規劃國內海域能源開發區域，為推動示範電場之開發預做準備。

此外，科技部也藉由產學合作計畫發展黑潮發電技術，已於第一期能源國家型計畫完成台灣黑潮發電潛能評估，第二期能源國家型計畫繼續藉由產學合作計畫發展黑潮發電技術。國內業界所開發之海流發電機組已於2015年02月在小琉球海域完成50瓩機組之船拖試驗，此海流發電試驗機組測試由國內產學研界共同完成。

(三) 技術發展時程

波浪發電型式包羅萬象，在考量國內海域條件與施工能量後，優先選定發展浮動點吸收式波浪發電系統(FPA，Floating Point Absorber)，主要優點為(1)浮動式適用在20~50米水深、(2)圓型浮筒設計不需對波、(3)錨碇系統佈放工程較簡單。目前已由kW級發展至20kW及測試機組，逐步放大尺度開發，再朝向大型化機組發展。其開發因應之對策如下：

1. 高發電效率策略：研發系統動態最佳化控制技術，提升發電效率。

2. 抗颱策略：發展應力降減之安全技術，以提高颱風極端受力之存活度並兼顧其經濟性。

3. 成本降低策略：藉由最適化大型化商業型波浪發電機組開發，來降低發電成本。

因應此對策，規劃出國內波浪發電技術短中長程發展時程，詳圖4-8-5。短程目標將完成海上測試以驗證機組性能，中長程目標為發展大型原型機組並推動示範電廠建立，藉由示範電廠成功經驗，推動商業化電廠，積極開發波浪發電。同時，因應波浪發電發展之短、中長程目標，提出各階段技術發展策略，說明如下：

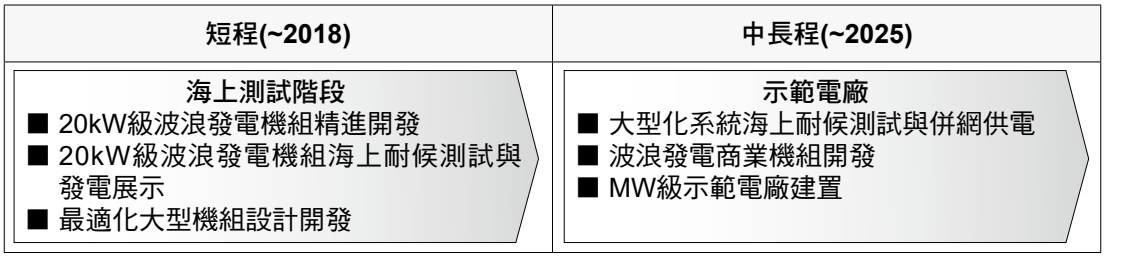
1. 短程發展策略

本階段重點技術在於機組性能提升與機組抗颱測試，將以創新前瞻技術提升機組效能，並強化安全系統開發，確保機組與人員的安全，同時發展水下傳輸共通技術，設計開發動態纜線，並通過海上長期測試驗證，建立佈放、安裝與電力傳輸等技術。

2. 中長程發展策略

本階段重點技術在於研發合適國內海域之大型化機組(浮動式或岸基式)，並以低成本策略發展商業化商品，完成國產機組認證，並推動示範計畫，建置首座波浪發電示範電廠，政策引導克服障礙並給予獎勵措施，建立實績創造國內市場，以成功經驗吸引電業者投入開發。

此外，為推動海洋能相關產業，在技術研發方面，將結合產、官、學研與國際合作進行整合，加速浮體結構業、液壓設備業、監控系統業、電力電纜業之產業聯盟，進而推動海洋能電廠之先導示範。



資料來源：工研院，2015年06月

圖4-8-5　海洋能－波浪發電開發時程

三、國內發展現況與成果

（一）技術發展現況

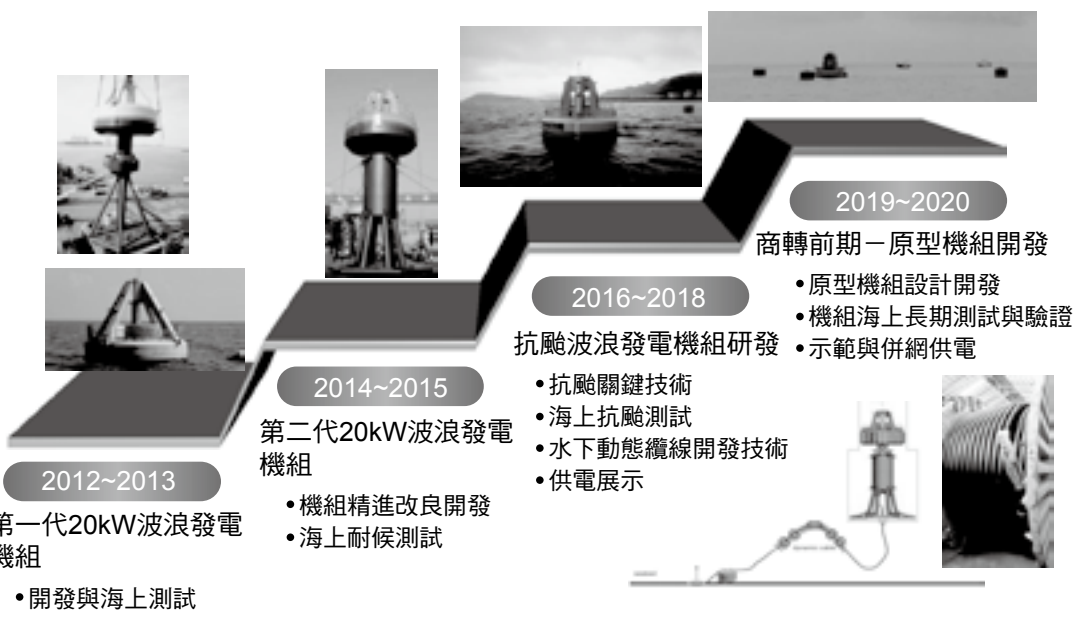
近程以波浪發電技術作為重點研發項目，已發展中小比尺機組海上測試階段，正進行長期測試驗證中，重要成果如下：

1. 研發進程

國內在開發海洋波浪技術方面，由工研院進行波浪發電機組研發，已逐步進行放大尺度開發並進行海上測試驗證，其發展歷程詳圖4-8-6所示，將朝向開發高自製率抗颱波浪發電系統，進行先導示範，以國產設備帶動海洋能產業發展。

2. 首座20kW點吸收式波浪發電系統

工研院所研發之波浪發電機組乃採模組化設計，包括浮筒模組、運動模組、延伸模組與穩波模組(詳圖4-8-7)，並搭配錨碇系統限制機組運動範圍。外型設計概念為包含一具有相對運動端直徑6m圓柱形上浮體，與具有相對穩定作用之下浮體；下浮體底端設計為對角寬度7.8m六角形平板，

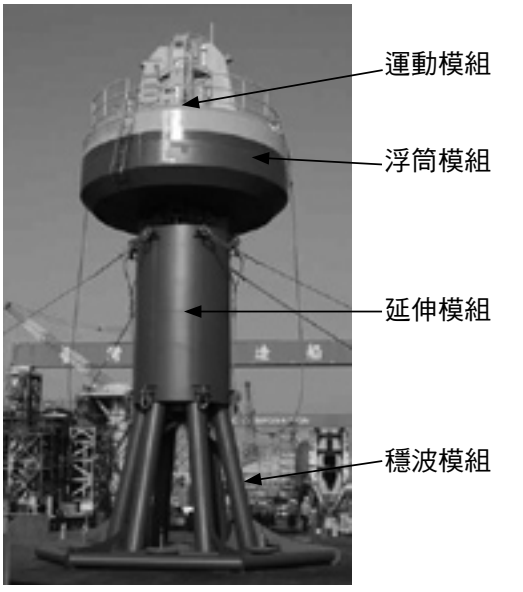


資料來源：工研院，2015年12月

圖4-8-6　波浪發電機機組發展歷程

可產生較大之流阻力，以抑制下浮體運動振幅，提升上、下浮體之相對運動量。機組之核心為銜接上下兩浮體之能量擷取系統(PTO)，其功能為將浮體所傳遞進入之能量轉換為可用電能。

2013年完成第一代機組開發與基隆外海測試，於東北季風作用下進行測試，可以滿載發電，最大瞬時發電量高達30.69kW，小時最佳平均效率34.73%，初步達到設計目標。藉由該次測試，重新檢視機組性能與安全性，進行第二代機組精進改良。



資料來源：工研院，2015年12月

圖4-8-7 第二代20kW波浪發電機

第二代20瓩波浪發電機組改良重點為提升機組性能、製程維護便利性與佈放安全性，整座機組總長度16公尺、上浮體直徑6公尺、總重量71.8公噸，浮體最大吃水深度由13.5m降低至11.5m，在結構上進行弱點強化後抗浪強度提升29.7%。機組更應用智慧型控制來提高浮體擷能效率，經模擬推估滿載發電時數可達2,900小時以上。2014年底機組下水啟用後，佈放於高雄外海，進行海上功能測試與結構強度測試，經10天之測試，顯示機組結構安全無虞。

2015年度持續進行20瓩波浪發電機組改良，加入系統動態最佳化控制技術以提升系統效率，可降低長週期颱風波浪的結構應力。並進行海上長期測試機組性能與安全性，優化提高運動模組零組件材質，提高結構強度與可靠度後，再完成組裝與整合測試後，改良機組完成開發。於2015年8月佈放於基隆海洋大學海洋能源測試場(圖4-8-8)，進行海上測試，驗證機組性能。

圖4-8-8　第二代20kW波浪發電機組基隆外海測試(2015年度)

(二) 推廣應用成果

海洋能產業發展初期需政府扶植，為避免業界投入龐大研發經費及失敗風險，可透過本計畫展開業界合作，以技術之合作與授權，共同合作開發適合國內之海洋能源系統，開啟海洋能產業契機，進而提升整體海洋能開發產業效益。近年來波浪發電之推廣應用成果說明如下：

1. 波浪發電機組設計開發技術

業界自2012年參與業界合作，共同開發首座20瓩級波浪發電機組。透過共同開發20瓩波浪發電機組，建立其工程實績，並達到政府促進再生能源產業發展具體成效與廣宣效果。藉由技術授權，建立該業界之波浪發電技術能量。

2. 水下動態纜線設計開發技術

水下動態纜線技術為波浪發電電力傳輸上岸之重要環節，國內已具陸纜開發技術，更應加速擴展水下電力傳輸產業。2015年度藉由波浪發電系統研發與業界合作研究，協助建立水下動態纜線設計開發技術，發展海上能源電力系統傳輸共通技術。現階段已建立動態纜線分析技術及3.3kV動態電纜設計與規格制訂，並於工廠內完成100米以上之雛型纜線製造，在進行動態電纜廠內相關測試後，下階段將展開水下電力傳輸測試。

參考文獻

[1] International Energy Agency, Implementing Agreement on Ocean Energy Systems (IEA-OES), Annual Report 2007. (http：//www.ieaoceans.org)

[2] International Energy Agency, Implementing Agreement on Ocean Energy Systems (IEA-OES), Annual Report 2013. (http：//www.ieaoceans.org)

[3] International Energy Agency, Implementing Agreement on Ocean Energy Systems (IEA-OES), Annual Report 2014. (http：//www.ieaoceans.org)

[4] EMEC網頁，http：//www.emec.org.uk/

[5] Seabased網頁，http：//www.seabased.com/en

[6] 財團法人工業技術研究院，2013。海洋能發電系統研發計畫，經濟部能源科技研究發展計畫102年度執行報告。

[7] 財團法人工業技術研究院，2014。波浪發電系統研發與測試統計畫，經濟部能源科技研究發展計畫103年度執行報告。

[8] 財團法人工業技術研究院，2015。波浪發電系統精進與測試計畫，經濟部能源科技研究發展計畫104年度執行報告。

第伍章　國內傳統能源利用與電力供應現況

- 第一節　油氣供需與技術發展
- 第二節　電力供需與技術發展

第五章　國內傳統能源利用與電力供應現況

我國能源供給98%依賴進口，能源發展所面臨的挑戰相較其它國家更為嚴峻。因此，政府以確保能源安全及滿足民生基本需求，兼顧環境保護經濟發展，並考量社會正義與跨世代公平原則建構安全穩定、效率運用、潔淨環境之能源供需系統，營造有助於節能減碳之發展環境，達成國家節能減碳目標，實現臺灣永續能源發展為願景。

在目前國內能源總供給中，約有50%為原油及石油產品，而天然氣供應比率則有逐年增加趨勢，近年已超過10%。而國內能源最終消費型態，油氣消費比率分別為40%與5%，其中天然氣消費約有79%用於發電及汽電共生。雖然傳統能源之運用趨於成熟，然為提高使用效率及降低環境影響，近年國內仍持續致力技術研發，並已有相當成果。

本章將分別說明國內油氣與電力等傳統能源供需現況與技術發展兩大部分。首先於第一節油氣供需與技術發展中，介紹國內石油與天然氣供需現況及結構，並說明近年油氣與探勘技術發展成果，如應用大地電磁法探測技術於國內石油探勘；除此之外，為減輕傳統石油產品所帶來的環境負擔，亦說明油氣領域發展潔淨能源之成果，如擴大生質燃料應用範圍等，以建構友善能源環境。第二節則介紹電力供需與技術發展，包含國內電力供需現況與結構，並介紹電力相關技術發展，如燃氣發電複循環、超超臨界燃煤發電、減碳技術、既有電廠空污改善計畫等。

第一節　油氣供需與技術發展

現階段石油及天然氣仍為國內能源消費主力，與社會大眾生活密切相關。由於原油及天然氣供給高度依賴進口，故掌握國內需求變動、確保與提升供給數量，將有助於國內能源市場之穩定。受惠於油氣探勘技術不斷進步，國內持續強化地質建模及液裂增產等探勘技術，以降低探勘成本，並提高探採準確度及探勘成功率。未來期能透過地質研究與鑽井設計等實務經驗，深化專業知識與能力，以新觀念與新技術持續進行陸上及海域探勘，增加油氣資源量發現之契機；另一方面，長期耕耘探勘產生之廢氣回收、冷能利用、廢油泥加工利用等領域，亦在近年有長足進步。

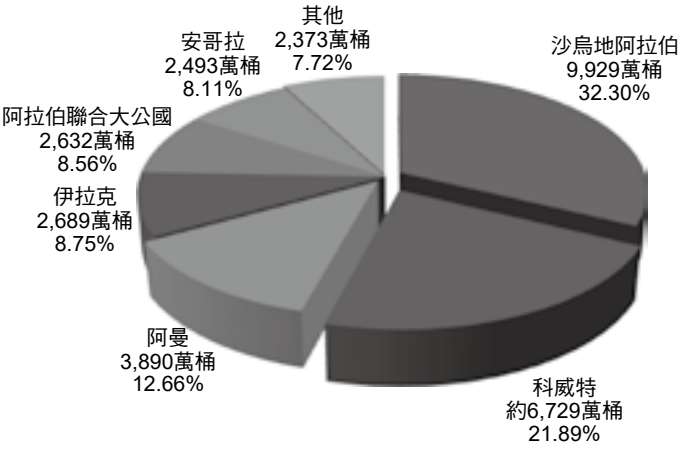
一、油氣供需現況及結構

(一) 石油

我國原油高度仰賴進口，自2011年起原油進口依存度均維持99.98%，2015年1至12月原油總進口量為3億735萬桶，主要自於沙烏地阿拉伯、科威特、阿曼、伊拉克與阿拉伯聯合大公國等國，我國原油進口來源分布詳見圖5-1-1。

近年來國內煉製量受煉製設備汰換與油品消費結構轉變等因素影響而略有減少，2015年原油煉製量為4,862萬公秉，與2014年相比下降1.38%；煉製產能亦因台灣中油公司高雄煉油廠關廠而縮減，2016年開始，國內總煉製產能將縮減至104萬桶/日，分屬於三大廠區，分別為台灣中油公司設計產能30萬桶/日之大林煉油廠、設計產能20萬桶/日之桃園煉油廠，以及台塑石化公司設計產能54萬桶/日之麥寮煉油廠。

經原油煉製加工之汽油、柴油、航空燃油、液化石油氣(LPG)、燃料油、輕油等石油產品為國內重要能源供應來源，其中又以汽、柴油之煉成量最大，2015年國內各油品煉成量分別為汽油1,559萬公秉、柴油1,674萬公秉、航空燃油479萬公秉、燃料油628萬公秉、LPG 206萬公秉與輕油1,019萬公秉。



資料來源：最新能源進口來源，經濟部能源局，2016年3月

圖5-1-1　2015年我國原油進口來源分布

消費面而言，近年來國內各成品油消費量亦因產業與運輸需求結構轉型而漸趨穩定。然2015年因國際原油價格大跌，帶動國內成品油需求增長，除LPG因與輕油之相對價格優勢消退，導致LPG石化原料投入需求下降外，其餘油品消費量皆有所增長，2015年國內各油品消費量分別為汽油1,016萬公秉、柴油580萬公秉、航空燃油34萬公秉、燃料油480萬公秉、LPG 407萬公秉與輕油2,341萬公秉(表5-1-1)。

整體而言，目前國內之汽油、柴油、航空燃油與燃料油尚有出口餘裕，但部分煉成油品因產率分布限制或品質不符合國內所需，仍需進口以供應國內市場需求；另外，輕油與LPG亦因國內需求量高於煉成量而需仰賴進口。

(二) 天然氣

國內天然氣高度依賴進口，自2010年起天然氣進口依存度均維持在98%，2015年液化天然氣約進口天然氣為 189.5億立方公尺，較2014年增加7.12%，主要供應者有卡達(46.5%)、馬來西亞(16.5%)、印尼(16.2%)，以及現貨購買約20%，未來還有澳洲及美國的加入(圖5-1-3)。

表5-1-1　2015年我國主要油品供、需概況

單位：萬公秉

	供給			國內消費*	出口**
	煉成量	進口	合計		
汽油	1,559	20	1,579	1,016	551
柴油	1,674	9	1,683	580	1,086
航空燃油	479	0	479	34	448
燃料油	628	107	735	480	205
液化石油氣	206	246	452	407	1
輕油	1,019	1,789	2,808	2,341	6

註：*國內消費含最終消費、轉變投入與能源部門自用；**出口含輸出、國際海運與國際航空。

資料來源：2015年能源平衡表，經濟部能源局，2016年3月

消費而言，國內天然氣需求有將近80%左右來自發電，若未來核能電廠除役後，如發電大量使用天然氣時將影響天然氣供需極大。統計2015年天然氣國內消費量為177億立方公尺，較2014年增加8.10%。其中發電及汽電共生占79.15%，工業占10.38%，能源部門自用占1.95%以及民生占8.52%。與2014年相比，民生部門、發電及汽電共生、工業部門及能源部門自用分別增加8.8%、8.3%、8.2%及1.4%(圖5-1-4)。

未來在非核家園與溫室氣體減量兩大政策的推動下，除電力部門需求將大幅成長外，預期未來天然氣應用多元化，非電力部門的成長率亦有明顯的增加，可見未來屬於低排碳的天然氣進口比例將會愈來愈高。

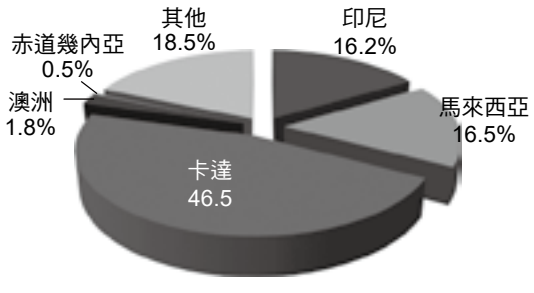


圖5-1-3　2015年我國液化天然氣進口來源分布

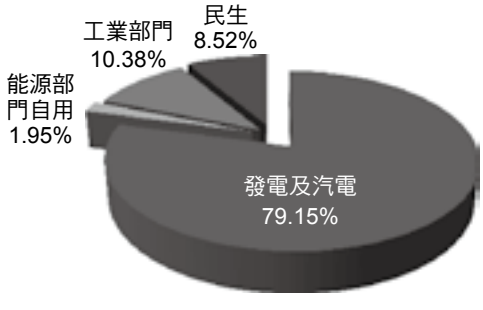


圖5-1-4　2015年我國天然氣消費圖(部門別)

二、油氣探勘與能源技術發展

油氣探勘一直是台灣中油公司於國內外開拓自有能源資產重要目標，主要科技集中於沉積盆地與石油系統分析，其中的科技包括井下地質、生油岩、儲集岩、蓋岩分析等，在方法上又分為石油地質、地球物理、地球化學等，各項傳統方法，每年均有進展，在此領域介紹三個代表性且新穎技術。另外在煉製方面，無論是製程，石油生技、節能減碳等，每年亦均有研發性進展。

(一) 大地電磁波測勘技術

MT技術發展首先開始於1950年由蘇聯學者Tikhonov提出，隨後於1953年法國學者Cagniard發展進一步闡述電磁波之擴展原理，利用電磁波呈現指數衰減，趨進於垂直入射地球表面的平面波，擴散傳播進入地球內部對導體解析能力。目前此方法已被廣泛應用於陸上石油探勘、深海油氣探勘、地熱資源探勘、地下水文探勘、以及金屬礦場探勘等。

1. 方法

大地電磁法訊號來源為天然電磁訊號，當電磁場穿入地下後，在地下產生次生感應電磁場，地表以兩組成對且正交電極量測感應電場，另以一組正交且具高靈敏度磁力儀量測感應磁場，共有4個電極(Ex0、Ex1、Ey0、Ey1)和二個互相垂直磁極(Hx、Hy)。測勘時必需同時記錄互相垂直之電磁場分量，經過處理可以得到張量阻抗及計算電阻率，用來解釋二維和三維構造。

2 大地電磁法探測原理

大地電磁法(Cagniard L., 1953)場源為垂直入射地面之平面電磁波，引用阻抗觀念，可提供研究地下介質的電阻率與量測電磁場間關係。

在最近幾年MT技術應用於國內的研究有1999集集地震來源區之大地電磁測勘研究，用以分析地震斷層構造(Chen et al, 2000)、車籠埔斷層斷層帶電阻率結構研究(Chiang et al,2007)及深部地下水層電磁測勘檢驗，用以偵測地下水水面位置(陳光宏,2008)。藉由前人之研究，MT之技術已發展成熟，並引用作為油氣探勘研究。

MT不僅可以研究地殼上地幔之電性結構，亦可用於石油、天然氣、金屬礦及水資源等地下資源深度範圍內電性構造之研究。MT利用電離層場源激發之電磁波作為探地之入射信號，不需要龐大發射源設備，只需採

用比較輕便之接收設備，就可以在任何能夠到達之陸地地表進行野外觀測資料採集。當電離層激發之電磁波傳到地面時，電磁波信號已近似為平面波，因此MT之資料採集、處理解釋技術相對比較方便。其弱點為入射信號之強度比較弱，亦受工業干擾和天體干擾的影響，其可靠性受到限制。因為信號的強度比較弱，採集信號時需要比較多疊加次數，特別是當探測深度較深時，需要採用較低頻率，為了取得可以分辨之信號，需要疊加的時間很長，限制了在地面上密集陣列式採集之可能性。

3. 野外施測儀器佈置

以MTU-5U 系統作為野外採集資料用儀器，主要分成主機、電場感測器(電極)、磁場感應器(磁棒)三部份。經由磁棒量測磁場兩個分量Hx、Hy的訊號，及電極量測水平分量Ex、Ey的訊號，經由MTU-5U主機接收Hx、Hy、Ex、Ey訊號後，經過濾波、增益放大及數位訊號轉換後，存在主機記憶體中，而主機可以利用GPS來定位及定時。

4. MT在石油探勘上的應用

(1) 於2014年，執行「運用重力與大地電磁法研究泰安附近地區細道邦背斜構造」初步成果如下：由重力順、逆推成果顯示，細道邦、羅山背斜東翼之木山層，可能有孔隙率或裂隙較高，造成地層密度稍低。大地電磁法測勘成果顯示，出火之東北側淺層有局部高電阻出現，此可能為淺部油氣來源。象鼻部落北側約5百公尺地下之局部高電阻區仍待進一步研究。司馬限山南側附近於海平面下1千公尺有一稍高電阻帶出現，評估具油氣潛能。細道邦一號井東南側約一公里地下有高電阻率帶出現(海平面下2,000~3,000公尺及4,250公尺以下)，推測具油氣潛能。

(2) 於2014年，利用大地電磁波法偵測番婆坑竹東地區深部裂縫儲集層：與三維地質構造配合，發現番婆坑深部背斜、下大湖深部背斜、竹東深部背斜，均具有高電阻特性，顯示具有豐富之油氣潛能。

(3) 於2015年，利用於高屏地區鳳山構造之油氣測勘。

(4) 於2016年，擬利用此技術於竹苗地區獅頭山構造與竹湖斷層分析。

(二) 地質建模技術發展與應用

隨著油田開發技術更新，構造建模逐漸成為評估並模擬油田資源量重要工具。傳統油氣資源量評估僅利用構造解釋人員揀選出之地層層面及斷層位置，假設可能之油氣水交界面深度、固定之孔隙率及水飽和度(Sw)後，以簡單之體積法計算地下可能蘊藏油氣資源量。由於地下地層並非均值，以傳統體積法假設上述地層參數計算出之結果往往不能得出較具可靠性之油氣含量，且在鑽井資料更新後，亦無法透過取得之井測資料動態更新模擬結果，也因此石油公司們逐漸發展出地質構造建模技術，以獲得更穩定之資源評估結果。

建模技術之首要工作為地質構造建模，主要資料來源仍為解釋人員揀選出之地層及斷層。在確認解釋資料之合理性及可靠性後，以上述資料為框架，確定斷層間截切關係及與地層交截情形(圖5-1-4a)，便可以建立目標區域的地質架構。

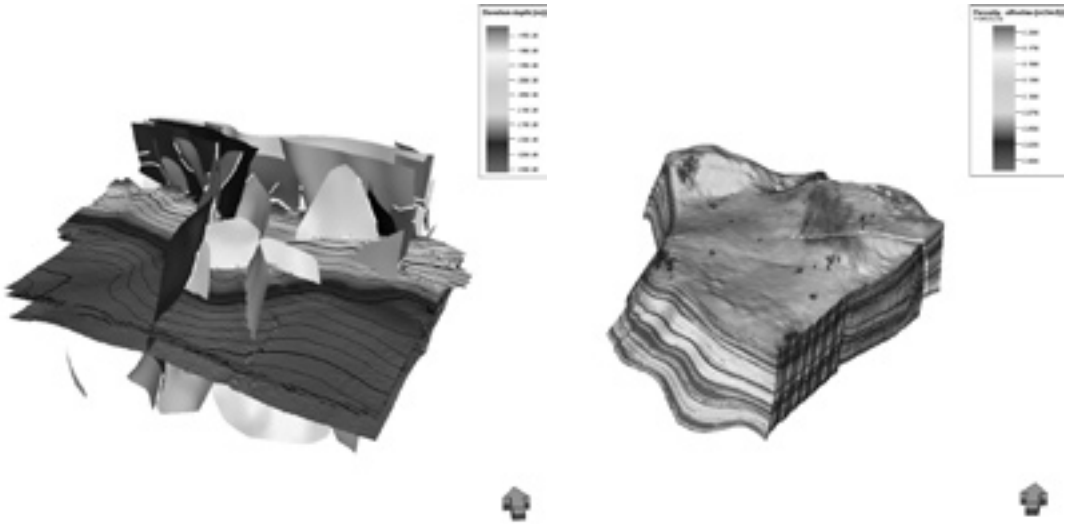
地質模型為未來一切模型起點，因此需再三確認模型正確性及穩定性。

由於井測資料太過於密集(通常間距約為15公分)，若以如此大量資料套疊至模型運算，電腦往往無法負荷，也因此會對模型內目標儲集區域做進一步之網格化及分層；密度愈高之網格通常能獲得更精確結果，但也需要花費更多時間及更好硬體設備進行模擬。

模型網格化之後，便需透過演算法將井測資料做粗化。亦即在通過井路徑上之每個網格內都有許多井測資料值，因硬體計算能力不足，需在單一網格內以平均或其他演算法僅賦與此網格1個數值(但此值需能代表此段井測資料區間的趨勢或特徵)，以減少硬體計算。常用於井測粗化及模擬之資料有岩性、孔隙率及滲透率等，視模擬需要可增加或減少。

首先模擬岩性資料建立模型。岩性建模為所有地層物理特性建模起點，對於其他模型之控制舉足輕重。岩性分析及模擬有多種不同做法，常見方式為透過半變異數分析尋找岩性資料關聯性，輔以屬性資料(例如聲波阻抗)做成之趨勢模型，進而透過地質統計法進行演算模擬地層岩性。

建立完岩性模型後，再以岩性資料為控制基礎，分析岩性與孔隙率等物理井測之相關性，同樣透過半變異數分析及地質演算法模擬各種物理屬性在目標區域之分布情形(圖5-1-4b)。



資料來源：台灣中油公司，2015年12月

圖5-1-4　(a)地質構造建模與檢查圖　(b)完成建模之儲集層物理模型

一般模擬通常會同時產製多組模型，再以多個模型衍伸出更多之模型，層層交疊，進而計算出該目標區域之P90、P50及P10資源量。

滲透率模型建立對於開發計畫建立亦十分重要，透過正確模型，油層工程師可設計最佳化開採計畫，對於未來開發井之設置及開採時程規劃能有更佳控制。

因此，儲集層建模技術絕對是在邁向開發前必須要跨入之技術，至目前為止，此技術已應用於國外查德礦區生產開發及國內錦水氣田激產計畫。

(三) 液裂增產技術發展與應用

1. 液裂工法簡介

所謂液裂，又稱水力破裂法，乃透過運用流體 (包含氣體與液體)為驅動力媒介，結合流體力學及機械力學原理將流體泵入目標地層中，產生人工裂縫以增加油氣層流通效益。

因施加之單向應力造成岩石本體周圍之應力場關係改變，欲破裂岩體之條件須使外加之應力突破三維力學場(地底三向大地應力值)中最大主應

力(壓應力)及最小主應力(張應力)之機械門檻後，產生人工裂隙因而形成岩體之流場通道及壓力釋放通道。此技術常用於油氣田開發過程中，用於增產油氣以及提高油氣田採收率之技術。

液裂工法於實際施作時，需利用大型泵壓設備，注入大量之流體或清水，迫使目標地層岩體受高壓產生裂縫。再者新形成裂縫會因大地力場之應力抵抗會再度閉合，因此新裂縫形成後，需泵入適當之支撐劑如硬砂或陶粒以支撐新裂隙，避免造成裂隙再密合而影響成效。

2. 液裂工法程序

一般液裂工法程序，簡易分以下階段：

(1) 第一階段－於油氣井井孔內目標油氣層之套管處穿孔(或目標層裸露)，再注入液裂液加壓擠注，待壓力超過液裂方向之最大主應力門檻值(稱之為岩石破裂應力)，造成岩體產生岩石開裂現象。

(2) 第二階段－控制開裂後裂隙繁衍壓力，控制裂隙之發展長度與高度。此繁衍應力之控制，可決定前期規劃設定之液裂範圍。通常裂隙繁衍壓力值略小於岩石之最大主應力，但大於岩石之最小主應力。

(3) 第三階段－為壓裂後裂隙之處理，主要透過前沖液進行破裂面之清洗與處理，再由支撐劑均勻混和後，以高壓幫浦注入生產層中，形成裂縫支撐作用，以避免因大地應力作用而造成裂隙再閉合。最後再由後送液之泵入，以進行支撐劑清洗及廢液之循環回收，即完成單程之液裂程序。

3. 液裂技術應用

以下針對液裂工法較常於油氣田開發之應用介紹。通常液裂工法施作之條件，大多因油氣田地層滲透性差，抑或處於生產末期階段為增產而進行施作。近年來大多施作於非傳統油氣田。例如在緻密地層或頁岩油氣構造進行開發時，因地層滲透性極差，通常採用液裂地層方式以改善地層之滲透特性，提高油氣開採效率。或者因於地層之岩石特性差異(砂岩較硬，頁岩較軟)，或因地層具較多之油氣分層需進行開發而採用，並利用不同液裂工法進行施作。

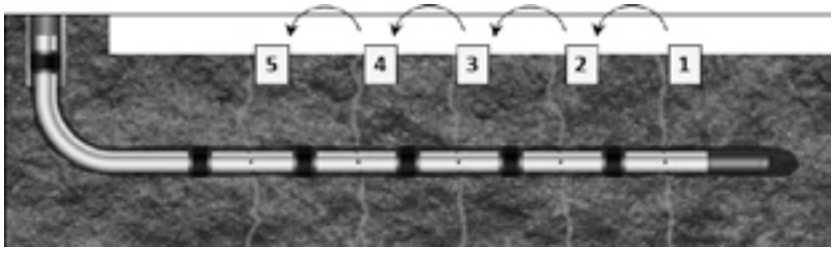
由於希望提高油氣開發效益，因此水平井開發案例很多，使目標地層之水平段油氣層非常長，通常透過近年較熱門之液裂完井技術，稱之為多階段液裂法，以下簡單介紹常見之液裂完井方法：

(1) 套管完井法

多階段液裂法中套管完井法(如圖5-1-5)，乃透過於穿孔區間進行連續噴砂射孔(或利用聚能炸藥、高壓水注穿孔)，進行個目標區間之套管環孔分段液裂，其優點為下井工具簡單、單日可進行多層施作、可運作高度之循環排屑、泵壓過程中可透過連續油管監測井底壓力、可適時進行沖砂作業、無須利用火藥穿孔、可利用砂橋塞法進行分段隔離，施作之速率快、區段多且效率佳。

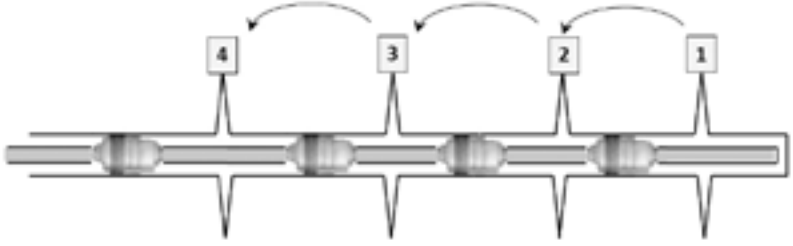
(2) 裸孔完井法

當鑽至目標地層後，在不下套管保護情況下進行裸孔液裂施作，優點為透過一次鑽進，完成多個分段液裂施作(如圖5-1-6)。不同施作區間則用機械喬塞器進行隔絕封塞。此工法較適用於岩石硬度較高之油氣目標層。系統工具於井下施作靈活(可旋轉與循環)，並利用投球式驅動穿孔器進行液裂，節省作業時間。



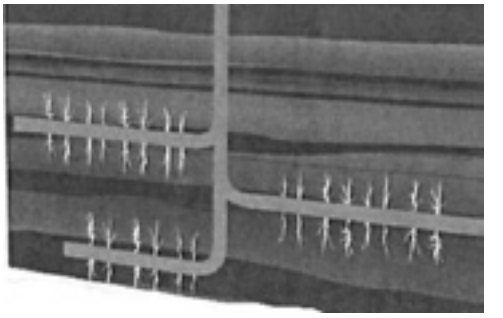
資料來源：台灣中油公司，2015年12月

圖5-1-5　套管完井與多階段液裂



資料來源：台灣中油公司，2015年12月

圖5-1-6　裸孔分段液裂完井系統



資料來源：台灣中油公司，2015年12月

圖5-1-7 多分支鑽井系統

(3) 多分支井完井法

應用於較複雜且多層次之油氣地層，以增加油氣層接觸面、減少建井費用與地面設施，較新之技術稱之為多分支鑽井。其主要技術利用井底馬達驅動鑽頭轉向進行不同深度之側鑽，以達到單井多分支井共串生產之目的。至於其他完井方式如前套管或裸孔方式均可，其特點為一口分支單井，產量可達約兩至三個單一井之規模(如圖5-1-7)。

(四) 生質能源、煉製及節能技術發展

1. 發展潔淨能源

配合國家能源政策之「綠色城鄉計畫」，擴大生質燃料產製技術之應用範圍。自2010年起供應國內生質柴油添加比例提高為2%，每年使用約8.5萬噸生質柴油(B100)，可減少24萬噸之CO_2排放。另外並配合擴大推動酒精汽油，於北高兩市共14座加油站供應推廣E3酒精汽油。惟配合經濟部於2014年5月5日公告修正「石油煉製業與輸入業銷售國內車用柴油摻配酯類之比率實施期程範圍及方式」，中油公司加油站及供油中心油槽將逐步換儲為不含酯類，供油中心已於2014年6月1日起全面供應不含酯類之車用柴油，各加油站則預計2014年8月1日可全面換儲完畢。車用柴油，各加油站則預計三個月內(即2014年8月1日)可全面換儲完畢。

2. 油氣未來發展

(1) 廢氣全回收

為達節能減碳之目的，中油公司分別於桃園廠及大林廠興建燃燒塔廢氣回收系統(FGRS)，預計於2016年完工。規劃於廢氣進入燃燒塔

前，設置廢氣回收壓縮設備進行管末回收，並將回收之尾氣經脫硫處理後，導入廠內燃料氣系統供製程使用。工程完工後需達成不得使用廢氣燃燒塔之法令規定，以及回收燃氣中硫化氫濃度不得高於80vppm以符合煙囪二氧化硫排放管制要求。

(2) 冷能利用

超低溫之液化天然氣(沸點-162℃)，若氣化至常溫時，每公斤LNG約需除去200千卡之冷能，如不加以利用殊為可惜，目前冷能利用包括：空氣液化分離、冷能發電、重烴液化分離、冷能冰水空調、低溫海水養殖、BOG再液化等。LNG冷能應用以空氣液化分離最具競爭力及實際經濟效益，因無汙染排放，可達節能減碳、節省能源費用及冷能資源回再利用之綜效。目前永安廠與業界合作，設計LNG冷能使用量為40噸/時；臺中廠與業界合作，設計LNG冷能使用量為75噸/時。冷能發電系統以丙烷作為工作流體及以海水作為蒸發器熱源，丙烷在系統中經由增壓、吸收熱能、膨脹作用及冷凝作用而完成低溫熱動力系統之密閉循環過程，其中冷凝器之冷媒為超低溫液化天然氣，充分利用LNG冷能，目前永安廠冷能發電系統為一座兼具發電，製造冰水及氣化LNG功能設備，可氣化LNG 90噸/時，發電量1,800度。永安廠製造大量冰水，設有冷能利用之冷氣空調系統，利用冷能與空調循環冰水熱交換，提供廠區空調(冷氣)及空壓機冷卻水等使用，可節省傳統冷凍冰水機產生冰水之巨額電力消耗，間接節省冷氣空調設備方面的用電，是既環保又省錢的設備。

(3) 廢油泥加工利用

近幾年來，儘管全球原油產量增加，以滿足不斷增長的需求，但由於輕質低硫原油價高量少，造成在總供給量中，重質高硫原油比例逐漸增加。煉油廠一方面為將殘渣油轉化為輕質運輸燃料以增加其附加價值，一方面為提升煉廠製程靈活性或為延長現有煉製設備大修週期，殘渣油改質加工技術便因運而生。

(4) 煤化工/煤製氣

隨頁岩氣開採技術突破，美國釋出大量頁岩氣，以頁岩氣為原料石化廠將於2017年開始量產，屆時可釋出低價乙烯產品。由於持有低價乙烯各大石油集團，仍會讓原有輕油裂解廠持續操作，故不會直接低價販賣乙烯。依工研院產業經濟與經濟研究中心資料顯示，美國將

利用較低成本油頁岩氣進料，中國大陸則打算利用蘊藏豐富之煤礦及煤製烯烴技術生產乙烯、丙烯等基本原料，未來將對乙烯、丙烯及相關下游石化原料(如聚乙烯、乙二醇)之價格形成向下壓力。在我國輕油進料成本無法轉嫁情況下，將不利我國石化業之長期發展。

煤化工是指以煤為原料，經過化學方式將煤轉換為氣體、液體和固體燃料或化學品的過程。煤化工可分為傳統煤化工和新型煤化工，傳統煤化工為利用煉焦方式製備煤焦油、電石、或合成氨，再進一步加工製備炭黑、聚氯乙烯、或尿素等。新型煤化工指煤經氣化為合成氣製造化學品或液化為油品，主要包括煤製油、煤製氣、煤製烯烴、煤製乙二醇、或煤製二甲醚等；其中，煤製烯烴為將煤氣化為合成氣，再將合成氣轉化為甲醇，利用甲醇轉化為烯烴(Methanol to Olefins，MTO)或丙烯(Methanol to Propylene，MTP)。面對中國大陸煤化工衝擊及挑戰，因應措施包括提升國內乙烯輸儲能力、關注煤化工及甲醇製烯烴發展、及乙烯及丙烯之利用應往高值化發展等。

(5) 第三座液化天然氣接收站

國內為推動節能減碳工作，政府於2005年全國能源會議呼應京都議定書降低溫室氣體排放之要求，訂定擴大天然氣使用之目標。2006年12月5日，經濟永續發展會議中為推動能源多元化，將擴大潔淨能源天然氣之使用列為辦理事項，並決議實施擴大國內天然氣使用方案，具體規劃國內天然氣供需目標為「2010年達1,050萬公噸，2020年達1,600萬公噸，2025年達2,000萬公噸」。另有關新能源政策規劃未來國內天然氣供應量目標及時程，預計2030年將達2,000萬公噸。

「第三座液化天然氣接收站投資計畫」係台灣中油公司配合台電公司因應政府「確保核安、穩健減核、打造綠能低碳環境、逐步邁向非核家園」之新能源政策及電力需求成長之電力缺口，辦理「大潭電廠增建燃氣複循環機組發電計畫」，計畫於大潭電廠增建3~4部燃氣複循環發電機組新增用氣需求；及政府持續推動節能減碳政策，臺灣中油公司評估未來北部民生、工業用及交通運輸載具之天然氣市場亦將持續成長而進行規劃。本計畫完成後，北中南三座接收站分區供氣，可降低輸氣成本及風險，藉由海陸輸氣幹線系統並可相互調度及備援，提升國內整體供氣穩定及安全。

第三座液化天然氣接收站第一階段(2024年)規劃營運量為3百萬公

噸/年；未來視北部市場成長趨勢，可再擴充3百萬公噸/年，合計6百萬公噸/年。

參考文獻

[1] Chen, C.S. and Chen, C.C., 2000, Magnetotelluric sounding of the source area of the 1999 Chi-Chi earthquake in Taiwan: Evidence of fluids at the hypocenter: Terr. Atom. Ocean. Sci., 11, 679-688.

[2] Chiang, C.W., Unsworth, M.J., Chen, C.S., Chen, C.C., Lin, T.S. and Hsu, H.L., 2008, Fault zone resistivity structure and monitoring at the Taiwan Chelungpu drilling project (TCDP): Terr. Atom. Ocean. Sci., 19, 473-479.

[3] Cagniard L., 1953, Basic theory of the magnetotelluric method of geophysical prospecting: Geophysics., 18, 605-635.

第二節　電力供需與技術發展

國內電力系統主要分為台電公司、民營電廠及汽電共生等三大來源，台電公司電力系統包括燃煤、燃油、燃氣及核能、再生能源(風力、太陽能及水力)等類別，民營電廠包括燃煤、燃氣及再生能源等類別，而汽電共生系統為同時利用發電廠產生電力及蒸汽之一種系統。

一、電力供需現況及結構

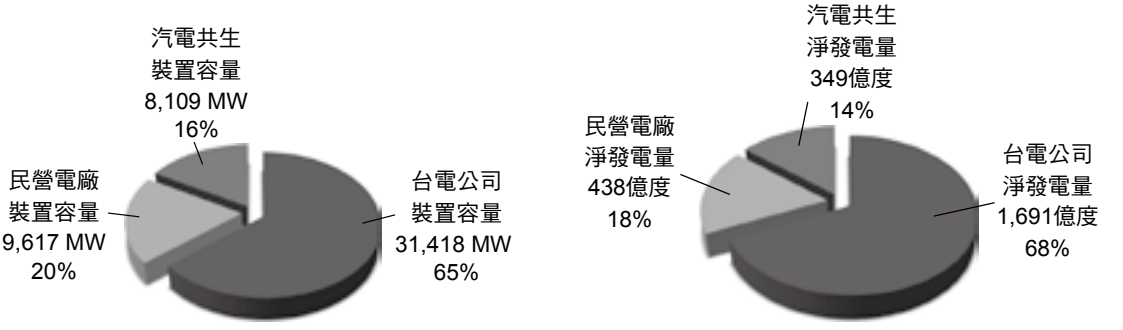
截至2015年12月底止，台電公司總裝置容量約31.4GW，占全國電力系統約65%、民營電廠總裝置容量約9.6GW，占全國電力系統約20%、而汽電共生系統總裝置容量約8.1GW，占全國電力系統約16%。台電公司淨發電量約1,691億度占全國發電量68%，民營電廠淨發電量約438億度占全國發電量18%。

以2015年各燃料別之裝置容量來看，燃氣機組15,245MW占31.0%為大宗，其次為燃煤機組10,697MW占21.8%，再者則為汽電共生系統8,109MW占16.5%、核能機組5,144MW占10.5%、再生能源4,022MW占8.2%、燃油機組3,325MW占6.8%、抽蓄水力2,602MW占5.3%。

若以發電結構來看，2015年以燃氣及燃煤發電為主要供電大宗，淨發電量約769~782億度，占全國發電量約31.1~31.6%，其次為汽電共生系統及核能發電，其淨發電量約349~351億度，占全國淨發電量約14.1~14.2%，再者為燃油發電，因其為尖載電源且受到環保因素影響，無法大幅提高發電量，故其淨發電量103億度占全國僅4.1%，而抽蓄水力及再生能源受到氣候變化影響，發電並不穩定，故全年淨發電量約30~92億度，約占全國1.2~3.7%。

其中，汽電共生系統係為產業業者自設發電設備，且此設備符合汽電共生實施辦法總熱效率標準52%下，取得合格證明文件後，才能將產業製程餘電售予台電公司進行電力供給調配，故汽電共生系統淨發電量348億度中，自發自用電量約為261億度，占全國淨發電量約10.5%；

未來，受到環保署公告「國家自定預期貢獻(INDC)」之影響及規劃下，台電公司部分機型老舊之火力機組，受系統調度下無法在最佳效率滿載情況中運轉，且加上逐年老化等因素，實際運轉效率已漸低於機組設計效率，因此，台電公司除了定期進行大修、維護程序，以保持機組效率與可用率外，亦積極進行設備改善工程以減緩設備老化，儘可能維持最佳效率以應付各種負載調度。



A.裝置容量圖　　B.淨發電量圖

資料來源：經濟部能源局，2016年2月

圖5-2-1　2015年臺灣地區電力系統裝置容量、淨發電量圖

表5-2-1　2015年臺灣地區電力系統結構彙整表

	裝置容量		發電量	
	千瓩(MW)	比重(%)	億度	比重(%)
抽蓄水力	2,602	5.3	30	1.2
再生能源	4,022	8.2	92	3.7
核能	5,144	10.5	351	14.2
燃油	3,325	6.8	103	4.1
燃煤	10,697	21.8	782	31.6
燃氣	15,245	31.0	769	31.1
汽電共生系統	8,109	16.5	349	14.1
合計	49,144	100.0	2,477	100.0

資料來源：經濟部能源局，2016年2月

除此之外，台電公司亦陸續執行林口電廠、大林電廠等更新改建計畫，將淘汰老舊燃煤汽力機組，以更新改善為具高效率之超超臨界發電機組，並再規劃通霄電廠進行更新改建計畫，預計將老舊的燃氣複循環機組予以淘汰，更新改建為更高效率之燃氣複循環機組。

二、電力技術發展

由於化石燃料有限，電力先進技術莫不以提升效率、降低燃料使用量為發展重點，其中高效率火力發電又以燃氣複循環及超超臨界燃煤發電為主，茲說明如下：

(一) 燃氣發電複循環

1. 最新技術發展狀況

(1) 效率

複循環機組之主要設備包括氣渦輪機、汽輪機、廢熱鍋爐、冷凝器及發電機等，其中氣渦輪機之性能目前仍持續發展及進步中。鑑於提高機組容量有降低成本及提高效率效益，氣渦輪機均朝向大型化發展，目前主要生產大型氣渦輪機廠家包括美國奇異公司與德國西門子公司及日本三菱重工公司。

複循環機組具有效率高之優點，依目前各種機型及配比方式不同，複循環機組之發電效率約介於56.7%~59.4% (LHV, Gross)，而新發展之H型及J型氣渦輪機搭配複循環發電方式運轉，發電效率更可提升至60%(LHV, Gross)以上。

由德國西門子設計和建造之Irsching4 H級複循環電廠，於2011年5月6日試運轉期間達到輸出功率578MW、發電效率61.76%(LHV, Gross)表現，至於三菱重工J型是日本國家計畫專案(Japanese National Project, JNP)中間階段成果代表，JNP專案希望將氣渦輪機進氣溫度(TIT)提升到1,700℃，複循環發電效率可至62~65%(LHV,Gross)。

(2) 減污技術

複循環機組是以天然氣為主要燃料，天然氣為潔淨燃料，其排放煙氣中硫氧化物及粒狀物極微，主要污染物排放為氮氧化物，目前氮氧化物控制方法以燃料控制、燃燒控制及煙氣控制。燃料控制為控

制燃料含氧量，而燃料中天然氣之含氮量最低，為最佳之燃料控制方式；燃燒控制有水或蒸氣噴射法、低氮氧化物燃燒器等，一般燃氣電廠多以低氮氧化物燃燒器控制氮氧化物排放；在煙氣控制上，目前多採用SCR(選擇性觸媒還原法)降低氮氧化物排放。

2. 與國際分析比較

(1) 效率

為因應國內未來電力系統整體需求，改善中電北送能力，並配合政府提高能源使用效率、增加低碳天然氣使用政策。目前台電公司通霄電廠興建中之新#1~#3號機為具有較高效率之複循環機組，其採用機組為日本三菱重工(MHI)公司M501J型號之氣渦輪機，機組發電效率約有62.07%(LHV, Gross)，相較於老舊機組效率提升，未來將有助於減少燃料成本、降低CO2及空污排放量。

(2) 減污技術

通霄電廠更新改建計畫規劃之機組採用乾式低氮氧化物燃燒器來控制氮氧物濃度，並裝設選擇性觸媒還原法(SCR)，作為氮氧化物控制上之因應設施。故產生之氮氧化物(NO_x)除意外狀況及機組起、停機、異常等特殊情況外，在負載超過70%時，其排放濃度將低於8ppm(dry, 15% O_2)，符合「固定污染源最佳可行控制技術(BACT)」中採用低污染性燃料及最佳化條件之控制技術，與國外法規比較結果，已接近美國排放標準，且較其他先進國家(日本及南韓)嚴格。

(二) 超超臨界燃煤發電

1. 最新技術發展狀況

(1) 效率

隨著科技之進步，不斷研發出較耐高溫之鋼材，因此蒸汽條件也能隨之提高，今日超超臨界(Ultra Supercritical, USC)機組已逐漸取代超臨界(Supercritical, SC)成為主流機型，一般超超臨界級機組運轉條件通常定義於壓力22.1 MPa以上、溫度高於600℃，發電效率約45%（LHV, Gross）。整體而言，將USC機組與SC機組相比，除設備材質強度、蒸汽特性條件及機組效率有所增進外，其單位發電量之燃料消耗量與污染物排放量亦有相對較低優勢。

美國第一個USC燃煤電廠於2012年12月於阿肯色州西南電力公司的John W. Turk, Jr.電廠商轉，且目前在中國大陸、日本、韓國、歐洲等國家，USC電廠亦已順利商業化營運。

(2) 減污技術

A. 粒狀污染物：

有關超超臨界燃煤機組粒狀污染物之控制系統，目前市面上已有多種成熟且具高除塵效率之技術與設備，如傳統乾式靜電集塵器(ESP)、濕式靜電集塵器(WESP)、低低溫靜電集塵器(LLESP)、移動電極型靜電集塵器(MEEP)及袋式集塵器(FF)。WESP設備設置於脫硫設備之下游端，主要去除重金屬及微小顆粒($PM_{2.5}$)，且可讓粒狀污染物排放值更低；而MEEP一般安裝於ESP或LLESP最後端之集塵區，用來解決固定電極型ESP集塵面積不足、廠區空間限制及高灰電阻等問題所研發而成。

B. 硫氧化物：

有關超超臨界燃煤機組之SO_x控制方法，一般均採排煙脫硫(Flue Gas Desulfurization, FGD)法，其中較適用於電廠為濕式石灰石-石膏法及海水法。除了前述這兩種方法外，尚有一種專利除硫技術，即結合乾式脫硫、脫硝與除汞功能之ReACT(活性焦炭乾式吸附法)專利技術。

濕式石灰石-石膏法為發展最早且應用時機最廣泛之FGD技術，目前台電已運轉之燃煤電廠皆使用該技術作為脫硫設備，其SO_2去除效率一般皆可達98%。海水法為近年逐漸發展成熟之技術，國外新建或擴建大型電廠已陸續採用海水法進行排煙脫硫，適合在沿海擴散條件較佳、水資源不足地區、燃用低硫煤及以海水作為冷卻水之電廠應用。

ReACT(Regenerative activated coke technology)為一種多污染物控制技術，結合乾式脫硫、脫硝與除汞功能，主要係透過活性焦碳(activated coke)對污染物吸附達到污染物去除目的，其主要優點為用水量低、空間需求少、可同時去除SO_x、NO_x及Hg，電廠商業運轉首先應用在日本竹原電廠之流體化床鍋爐，在超臨界機組方面則已使用在日本磯子電廠兩部600MW超臨界機組。

表5-2-2 海水法、濕式石灰石石膏法及活性焦炭乾式吸附法比較

	海水法FGD	濕式石灰石石膏法FGD	活性焦炭乾式吸附法 ReACT
特色	利用海水去吸收SO_2使用海水處理	在吸收塔中噴灑循環石灰石漿液利用通風曝氣和脫水處理	透過活性焦炭吸附SO_2
吸收(附)劑	海水	石灰石粉	活性焦碳
處理過程	海水從冷凝器中流出，引入吸收塔。	石灰石粉運送 石灰石漿液製備 噴灑的過程	1. 吸附塔利用活性焦炭吸附SO_2。 2. 吸附之活性碳再生脫附 3. 再生塔之酸氣送往硫酸工廠回收。
吸收塔	噴灑塔	噴灑塔	吸附塔
脫硫效率	最高96.2%	最高98%	最高98%
出口SO_x濃度23ppm下進口最高SO_x濃度	600ppm	1,150ppm	1,150ppm
吸收(附)劑是否回收	吸收劑沒有回收利用	吸收劑沒有回收利用	吸附劑回收利用
副產品	無	石膏	硫酸

資料來源：台灣電力公司，2015年12月

C. 氮氧化物：

氮氧化物控制可分為燃燒前處理(前段脫硝)及燃燒後處理(後段脫硝)，在前段脫硝系統上，以改善燃燒過程或改良燃燒器為較經濟方式，可從降低供應空氣量及降低火焰溫度著手，後段脫硝是在氮氧化物產生後，在廢氣尚未排放至大氣前加以處理，以降低氮氧化物之排放量。目前前段脫硝採用低氮氧化物燃燒器，後段脫硝對NO_x去除最有效的方法仍是SCR(選擇性觸媒還原法)，系統基本上係由觸媒反應器、還原劑貯槽及還原劑注入系統所組成。

2. 與國際分析比較

(1) 效率

鑑於先進超超臨界發電技術(A-USC)技術至今尚未成熟，其耐高溫且具經濟效益之材料尚處於研發階段，因此台電公司規劃中之各項燃煤機組計畫仍以超超臨界(Ultra Supercritical, USC)機組為目標，目前興

建中之超超臨界機組，包括林口更新改建#1~#3號機及大林更新改建燃煤#1~#2號機等，機組發電效率約44.93~45.6%(LHV, Gross)。

(2)減污技術

A. 粒狀污染物：

為因應日趨加嚴之環保法規，台電公司興建中之林口及大林電廠新設燃煤機組皆採袋式集塵器作為除塵設備，袋式集塵器因具較高之除塵效率，能去除細小微粒及可靠度高等優點，電廠採用之意願亦相對提高，目前為多數國外電廠為因應環保標準加嚴所採取之除塵設備，且應用電廠規模日趨增大，美國、馬來西亞及日本等國家皆有實績，可顯示目前國際上興建或規劃中之燃煤機組，採用袋式集塵器作為除塵設備已漸成趨勢。

B. 硫氧化物：

近年來海水法FGD已大型化並非常成熟，國外新建或擴建大型電廠也已陸續採用海水法方式進行排煙脫硫，台電公司目前興建中之林口與大林電廠更新改建計畫，亦採用海水法規劃排煙脫硫設備。

C. 氮氧化物：

至今商業運轉上對NO_x去除最有效之後端脫硝方法仍為SCR，為目前世界上採行最廣之設備，林口、大林電廠更新改建計畫亦規劃此環保設備。

(3) 減碳技術說明

就火力發電而言，無論是複循環或超超臨界燃煤汽力機組，碳

表5-2-3　更新後各廠之發電機組碳排放強度

單位	通霄	林口	大林
廠效率 (LHV, Gross)	62.07%	44.93%	45.59%
碳排放強度 (克CO_2e/度)	326	758	747

註：上述效率為設計值，機組運轉後將因負載調度或燃煤品質等因素而使實際碳排放強度較表中估算值為高。

資料來源：台灣電力公司，2015年12月

排放來自於燃料燃燒之製程，因此減碳之重點在於減少每發一度電之碳排放量，亦即以較少燃料量使機組發出相同電量。至於要如何減少機組碳排放，可由兩方面著手，一為提高機組發電效率或使用生質燃料，另一方面則是採用管末處理技術，於發電機組後段裝設碳捕捉與封存設備；相關減碳技術分別說明如下：

A. 提高機組發電效率或使用生質燃料混燒

a. 提高機組發電效率：

以通霄、林口及大林發電廠更新改建之機組碳排放強度為例，依據各更新改建計畫之發電效率如表5-2-3。

b. 生質燃料混燒：

由於生質燃料燃燒產生之CO_2，屬於自然界循環反應之一部分，故不會額外增加CO_2，因此燃煤發電之製程中，若以生質燃料替代部分煤炭進行混燒，可達到減碳效果。國際上已有使用生質燃料燃燒發電之案例，惟若國內之燃煤機組欲摻拌生質燃料混燒發電，除須克服環境(氣候潮濕)及貨源(穩定供應及採購價格)等問題；對於混燒後之煤灰再利用，亦須修改相關法令及國家標準，方可避免混燒對發電機組運轉之衝擊。

B. 裝設碳捕捉與封存設備：

效率提升只能降低火力機組之碳排放強度，仍無法避免CO_2產生，因此若需大幅削減火力發電之碳排放量，則需仰賴管末處理技術-碳捕捉與封存(Carbon Capture & Storage, CCS)。

CCS技術包含「碳捕捉」、「輸送」及「碳封存」等3個主要步驟，「碳捕捉」是利用氣體分離技術將火力機組產生之CO_2從成分複雜煙氣中分離出來；「輸送」係以管線、車輛或船舶將分離出來之CO_2傳送至封存場址；「碳封存」為高壓方式將送至封存場址CO_2壓縮為超臨界流體並灌注到地底下超過1,000公尺之貯集地層永久封存。

由於CCS之氣體分離能耗、成本及封存安全性等問題尚未完全克服，至今國際上尚無商業化可行之成熟技術；雖然國際能源總署已將其列為電力業未來深具減量潛力之重點技術。對國內而言，能否應用CCS減少CO_2排放，首要為尋求合適之封存場址，並驗證其封存

安全性。此外，建立完整的法令配套機制，以及民眾接受度等，亦為後續發展相關重要議題。

三、既有電廠空污改善計畫

(一) 現況

電力供應乃經濟發展與民生需求重要基石，火力發電是國內主要發電方式之一，台電公司各火力電廠為有效降低空氣污染物排放，各機組皆採高效率之空氣污染防制設備，機組並裝設煙氣排放連續自動監測儀器(CEMS)，可具體掌握煙氣中污染物之濃度，確保防制設備效能維持在最佳狀態，以符合環保法規之規定。

為維護大氣環境品質及有效減少大氣中細懸浮微粒(PM2.5)之生成，行政院環保署及地方政府於近年間陸續加嚴各行業別之排放標準，如環保署於2014年12月1日公告加嚴電力業之「電力設施空氣污染物排放標準」，將燃煤機組之空污排放標準值加嚴。

為符合上述排放標準，台電公司除加強既有火力機組空污防制設備運轉維護外，並以專案計畫辦理臺中發電廠1-4號機空氣污染物防制設備性能提升改善工作，預計於2016年~2020年間進行4部機組空污防制設備改善工程，預期本改善工程完成後，可全面提升各項污染防制設備之效率，以符合中央及地方法令暨進一步降低污染排放量。

(二) 引進之技術

空氣品質控制系統(Air Quality Control System, AQCS)為燃煤火力發電機組不可或缺之污染防制設備，主要包含脫硝、除塵及除硫等相關製程，台中發電廠1-4號機空污改善內容包含粒狀污染物、硫氧化物及氮氧化物防制設備改善工作，可全面提升臺中發電廠1~4號機組空氣品質控制系統性能。

在粒狀污染物防制設備改善方面，受限既有廠區配置及空間大小，在不考慮影響既有配置情形下，選擇之改善技術包含將既有靜電集塵器之最末端集塵區更換為移動式極板靜電集塵器，或將前3區集塵區改裝為高頻率電壓整流器，並更新極板、極線。

在硫氧化物防制設備改善方面，臺中發電廠1~4號機組採用濕式石灰石石膏法排煙脫硫系統(Flue Gas Desulfurization System, FGD)，提升FGD脫硫效率之主要方法為增加脫硫吸收塔內煙氣與吸收液之接觸。故改善重點為吸收塔噴灑系統更新，在規劃吸收塔脫硫效率提升至96.5%之需求下，由各廠家依據工藝與經驗重新設計噴灑系統，包含設計噴嘴之總數量，再考慮搭配修改噴嘴排列幾何，更新噴灑幹管、支管，並要求廠家於細部設計前執行CDF(Computational Fluid Dynamics)模擬，包含煙氣均勻度與進出口煙道之煙氣分配、吸收塔內SO_2濃度分佈、壓力分佈與溫度分佈等分析項目，以期能就最適改善方案下之細部設計內容進行確認。

吸收塔除霧器更新亦為本次脫硫系統改善項目，除霧器之功能在於去除脫硫後煙氣中之霧滴與細微顆粒，降低煙氣騰帶量，有助於改善煙氣不透光率。

氮氧化物防制設備改善部分，著重源頭減量，於鍋爐燃燒階段，即以先進之低氮氧化物燃燒控制技術將氮氧化物產生量抑制到最低。規劃改善內容包含更新鍋爐燃燒系統之低氮氧化物燃燒器(Low NOx Burner, LNB)及火上空氣口(Over-Fire Air, OFA)，以降低氮氧化物生成量，並以鍋爐出口氮氧化物濃度低於140ppm為改善目標。另冀藉由LNB之較低火燄溫度，降

表5-2-4 台中發電廠空污排放改善暨法規加嚴前後對照一覽表

空氣污染物	現行標準	加嚴標準	排放情形	
			改善前	改善後
粒狀物PM	粒狀污染物每日不透光率6分鐘超過20%之累積時間為3小時** 濃度限值為23.6mg/Nm^3***	粒狀污染物每日不透光率6分鐘超過20%之累積時間起為2小時** 濃度限值為20mg/Nm^3*	不透光率偏高，濃度約23.6mg/Nm^3(靜電集塵器出口處)	不透光率可符合加嚴法規值之規定，濃度15mg/Nm^3以下(靜電集塵器出口處)
硫氧化物SO_x	100 ppm**	60 ppm*	96ppm	<50ppm
氮氧化物NO_x	85 ppm**	70 ppm*	80ppm	<56ppm

註：* 行政院環境保護署公告電力設施空氣污染物標準。

** 臺中市電力設施空氣污染物排放標準。

*** 台中發電廠環評承諾值。

資料來源：台灣電力公司，2015年12月

低過熱器及再熱器因過熱所需之噴水量。此外並對於每部機組之粉煤機進行改善，提升粉煤機之磨煤容量與粉煤細度，以利與全新燃燒器匹配，可在氮氧化物排放、燃燒效率、灰渣積聚、過熱器噴水問題等方面均有所助益。

（三）改善後之效果

本項改善目標為符合環保署及臺中市政府分期加嚴之電力設施空氣污染物排放標準，並藉整體規劃改善，以徹底發揮各設備之功能，提升發電品質預期本改善工程完成後，可進一步提升污染防制設備之效率，以符合中央及地方法令暨更進一步改善當地空氣品質，其空污排放改善與相關法規對照如表5-2-4所示。

（四）與國外比較

台電公司空污改善規劃係依照國內環保法規之要求進行改善，而國外業遵照其國家法規規定規劃其空污防制設備，經比較環保署近年公告之加嚴排放標準與國際間之標準顯示(詳表5-2-5)，國內排放標準實屬極嚴格之標準。基此，預期未來火力電廠空污排放於符合該標準下，對外界環境衝擊將可再進一步減少，對空氣品質改善極具正面效益。

表5-2-5　我國與歐、美、日、韓燃煤汽力機組排放標準比較[註1]

污染物	排放源	歐盟[註2]	美國[註2]	日本[註2]	韓國[註2]	我國[註3]
硫氧化物 (mg/Nm^3)	**既存**	**70**	**139**	**K值[註4]**	**100**	**60**
	新設	52	65	K值[註4]	80	30
氮氧化物 (ppm)	**既存**	**98**	**91**	**200**	**150**	**70**
	新設	73	65	200	80	30
粒狀物 (ppm)	**既存**	**20**	**37**	**50**	**30**	**20**
	新設	10	18	50	20	10

註1：部分國家依發電容量、輸入熱值、排氣量分級管制排放標準，表中標準值取最嚴格級別標準。

註2：資料來源－環保署2012.01.02電力設施空氣污染物排放標準修正草案專家學者諮詢會議簡報。

註3：資料來源－我國電力設施空氣污染物排放標準

註4：日本硫氧化物標準(K值)為排放管道高度函數，非定值。

資料來源：台灣電力公司，2015年12月

第陸章　能源產業技術發展重要課題及展望

- 第一節　未來節能減碳技術發展趨勢
- 第二節　整合低碳技術推動節能減碳系統應用
- 第三節　能源產業技術之回顧與展望

第陸章　能源產業技術發展重要課題及展望

隨著地球暖化現象，減少溫室氣體排放就成為各國重要課題，亦為全球共同追逐之目標。根據2014年利馬會議所作出的結論，要求氣候變化綱要公約之締約國均需提出「國家氣候貢獻」，內容應包括減碳承諾、時程、執行方式等；此項新的氣候協議已在德班行動平台(Ad-Hoc Working Group of Durban Platform for Enhanced Action, ADP)下持續進行談判，並在2015年底於法國巴黎舉行的COP 21通過一項適用於所有締約國且具法律約束力之巴黎協定。而全球溫室氣體排放中，係以化石能源燃燒所產生之CO_2為主，故面對全球氣候劇烈變遷下，如何減緩地球環境的持續惡化，能源議題就是其關鍵。

在探討能源議題及規劃未來之發展方向時時，勢必要對整個全球環境及氣候變遷做深入之剖析，並進而分析在維持地球環境變遷仍在人類所能承受之範圍內，以及溫室氣體減量需求。因此其探討方向需從推動溫室氣體管理立法、溫室氣體排放減量策略與管理機制，以及因應氣候變遷調適之綠能技術發展等角度切入，檢視溫室氣體減量之管理策略及因應手法。

在建立機制及必要綠能技術後，則要從綠能技術整合應用角度來探討如何建構低碳之生活環境。而以當前之發展趨勢及需求來看，為因應未來逐漸增加之再生能源或其它分散式電力系統之建置，再加上消費端之節約能源需求，這就衍生出電力調度之必要性，因此需靠智慧電網之配置再搭配上能源管理系統之應用，才有機會達成最佳化之電力網絡。在遏止環境持續惡化及需求端之節約能源，有賴低碳社區之建置，以在不增加環境負荷及溫室氣體排放下提供一個生態化之優質生活環境，因此本章以國內推動澎湖低碳島為案例，探討低碳技術整合應用及智慧電網建議之效益及未來可能之作法。

最後則回顧我國主要能源產業技術之發展及未來規劃，然後參考國際間溫室氣體排放減量之要求及作法，提出國內未來在能源產業技術之發展策略及方向，冀望透過這樣之發展形成另一波經濟發展之動力。

第一節　未來節能減碳技術發展趨勢

因應氣候變遷調適及溫室氣體減量問題備受國際間關注，2014年聯合國氣候變化綱要公約(United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC)於秘魯利馬召開第二十次締約國會議(COP 20)，通過利馬氣候行動呼籲(Lima Call for Climate Action)協議文[1]，並促成在2015年底於巴黎召開第二十一次締約國會議(COP 21)，通過一項適用於所有締約國且具法律約束力之巴黎協定[2]。

在巴黎協定中，締約國將以後2020年(post-2020)國家自定貢獻(Nationally Determined Contribution, NDC)作為各國推動溫室氣體減緩基礎，在依據「共同承擔但責任差異」原則及考量自身能力及國情不同，規劃削減溫室氣體排放量；並透過融資機制與正在成形且具約束力的巴黎協定支持下，以確保2100年全球氣溫上升不超過工業化時代攝氏2度為目標。觀察目前締約國提交狀況，主要國家延續前2020年(pre-2020)自願減緩行動，持續降低溫室氣體排放，而各國能源部門仍為中長期溫室氣體減量主要部門。

我國雖非UNFCCC締約國，但一向致力於因應氣候變遷，並遵循UNFCCC相關作法。在溫室氣體減量方面，國內於2009年底成立「行政院節能減碳推動會」(2014年5月20日奉院核定新推動會名稱修正為「行政院綠能低碳推動會」)[3]，統籌規劃「國家節能減碳總計畫」，推動降低溫室氣體排放之「國家節能減碳總行動方案」，推展包含能源、產業、運輸、建築及生活等多面向之具體減量行動。

在調適方面，行政院於2012年核定「國家氣候變遷調適政策綱領」[4]，就災害、維生基礎設施、水資源、土地使用、海岸、能源供給及產業、農業生產及生物多樣性與健康等八項領域，由各相關部會機關通力合作提出2013年至2017年分項領域行動方案及行動計畫，並由國家發展委員會落實執行推動與管考機制。

除上述外，國內亦致力於法制建置工作，2015年國內在推動溫室氣體管理立法工作方面，有重大進展。以下分別就溫室氣體排放管制目標及作法與國際間節能減碳技術發展或應用趨勢，說明國內在能源發展相關之氣候變遷事務進展。

一、溫室氣體排放管制目標及作法

(一) 巴黎協定

巴黎COP 21通過的巴黎協定全文29條，為一個架構在UNFCCC下、具有締約國會議之協定，巴黎協定於2016年4月22日~2017年4月21日開放各國簽署，隨後由UNFCCC締約方向聯合國秘書處遞交其批准、接受、核准或加入文書，達至少於55個UNFCCC締約方，且其合計溫室氣體排放量達全球溫室氣體總排放量的至少55%之日後第三十天起，巴黎協定方始生效；根據UNFCCC規劃，巴黎協定最遲於2020年正式生效。

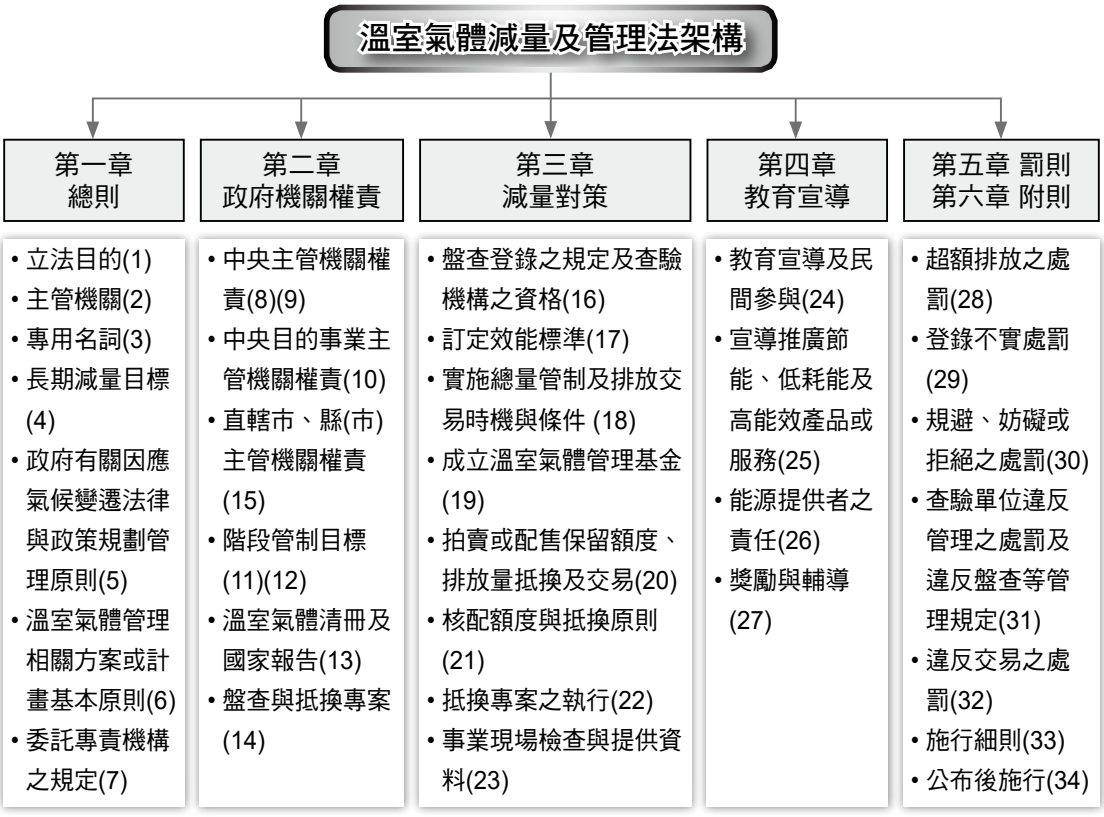
巴黎協定內容涵蓋各種因應氣候變遷之機制與行動，包括減緩、調適、損失與損害、減少毀林及森林退化所致之排放與保育(Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation, REDD+)、資金、能力建構、技術發展與移轉、教育宣傳與公眾意識等，搭配上述機制與行動執行時之透明度、全球盤點與遵約等監督性質之條文，是一項全面性因應氣候變遷的國際條約。COP 21決議將成立巴黎協定特設工作組(APA)，作為後續討論各條文的運作細則，包括上述機制與行動規範、程序及指南。

有關溫室氣體減緩方面，巴黎協定以國家自定貢獻這項機制為主軸，考慮國情與共同但有區別之責任和各自能力，將設計成促進溫室氣體排放的減緩，支持永續發展機制；國家自定貢獻之國內減緩措施及具調整彈性，可進行國際合作，在締約國自願基礎上，採取合作方法並使用國際轉移減緩成果，來實現國家自定貢獻。自2023年起，每5年通報一次國家自定貢獻，至於其共同時間框架及核算方法指南，則留待APA中繼續協商。

(二) 溫管法

行政院環境保護署於2009年提出溫室氣體減量法(草案)，同年9月通過行政院審查後，送請立法院審議；至2015年6月15日立法院三讀通過，更名為「溫室氣體減量及管理法」(簡稱溫管法)[5]，同年7月1日總統公布生效；溫管法全文六章34條，包括總則、政府機關權責、減量對策、罰則及附則等，溫管法架構如圖6-1-1所示。

依據溫管法規範及架構，各級主管機關未來將以循序漸進且階段管理方式推動溫室氣體減量及管理工作，不論是盤查登錄、查驗管理、效能標準及總量管制與交易制度，均為國際間現行配套作法，預期溫管法將可創造綠色就業機會、提升國家競爭力、避免企業遭受國際貿易壁壘衝擊及確



說明：各項目後面括號數字為溫管法條文編號。

資料來源：工研院彙整；2015年12月

圖6-1-1　溫室氣體減量及管理法架構

保國家永續發展。另外，溫管法第四條訂定國內長期減量目標；「國家溫室氣體長期減量目標為2050年溫室氣體排放量降為2005年溫室氣體排放量百分之五十以下。」，揭示對溫室氣體減量決心。

根據溫管法條文、行政院環境保護署於立法院第8屆第7會期社會福利及衛生環境委員會行政院環境保護署專案相關報告資料、溫室氣體減量及管理法總說明顯示[5,6,7]，溫管法為預警法，且為一跨部會法案，涉及政府各機關之業務職掌，強化政府推動溫室氣體減量合作機制，啟動全民參與機制；溫管法賦予政府推動溫室氣體減量與管理之法源，相關減量對策已有法源依據，後續政府所推動的相關政策。溫管法立法重點在制度建立，分成三個階段執行：

1. 第一階段：盤查及登錄業者之實際溫室氣體排放量。
2. 第二階段：訂出不同產業之免費容許排放量，並公告總量管制限制措施，在一定期間內減少溫室氣體排放。
3. 第三階段：業者可彼此交易碳額度，以獲取交易利潤之經濟誘因鼓勵業者減量，最終達成減量目標。

上述機制與目標每5年檢討與調整，逐步建立從免費核配到有價配售之總量管制與交易制度，以兼顧因應氣候變遷減緩與調適作為。在未來溫室氣體不再是只能被管制空污，而是變成有經濟誘因、可交易之公有財。另外，溫管法給予業者優惠獎勵，也賦予強制減量義務；後續溫管法實行細則與子法將陸續於生效一年後提出，相關制度與執行細節亟需由中央主管機關規劃，並與中央目的事業主管機關、業者及民間學研各界研商。

(三) 我國國家自定預期貢獻

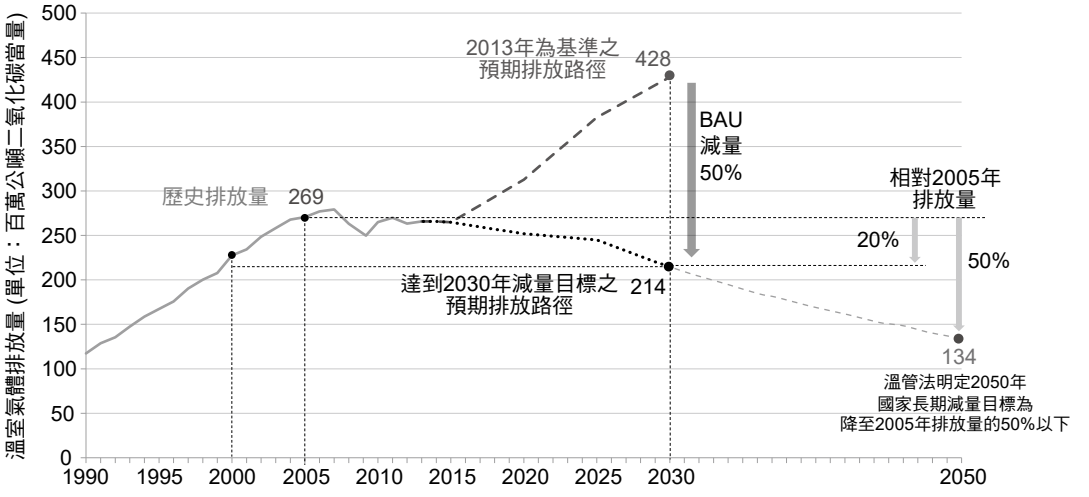
國家自定預期貢獻(Intended Nationally Determined Contribution, INDC)是COP 20所決議，要求締約國在2015年第一季開始提交之2030年的減緩貢獻規劃；締約國所遞交之INDC，將在巴黎協定生效後，除非該締約國加強其減緩之企圖心而做修改，INDC將成為締約國第一次遞交NDC。

為支持在2015年12月法國巴黎舉行的UNFCCC COP 21，能成就一份強而有效且涵蓋所有國家之最新全球氣候變遷協議，並回應利馬氣候行動呼籲，我國亦就國情、現況與自身條件，提出INDC，以致力承擔減量責任，且將努力實踐以落實UNFCCC第二條所揭示目標：亦即將大氣中溫室

氣體的含量，維持在防止氣候系統受到危險人為干擾水準。

行政院環境保護署於2015年9月17日在行政院院會提報我國INDC報告書[8]，報告書架構包括：國情現況、撰擬過程與預期貢獻、政策作為及願景，揭示我國INDC設定2030年溫室氣體排放量為依現況發展趨勢推估情境(Business as Usual, BAU)減量50%，該目標相當於2005年排放量再減20%；而且，配合「溫室氣體減量及管理法」於7月頒布施行，此INDC設定的 2030年排放量恰可作為此法在2050年將排放量降至2005年50%以下的階段性目標。我國INDC減量目標如圖6-1-2所示。

就能源領域INDC配套措施而言，在能源需求面，主要推動產業、交通及住商朝結構優化調整，各部門推動節能極大化；在能源供給面，以不限電為前提，朝低碳燃料替代與低碳發電燃料組合，並繼續強化能資源(熱汽電)整合、地熱發電、碳捕存等相關綠能低碳前瞻技術應用等。



資料來源：行政院環境保護署，2015年

圖6-1-2　我國INDC減量目標示意圖

(四)「能源供給及產業」領域調適輔導

為因應全球氣候變遷所造成之衝擊，由行政院經建會主導並召集各部會與專家學者研擬之「國家氣候變遷調適政策綱領」與「氣候變遷調適行動計畫」，已建立各部門調適政策之溝通與工作平台。能源局為「能源供給及產業」領域調適策略與行動計畫之推動與總彙整單位，自2011年至2015年陸續推動民營發電廠與台電公司之各類型火力發電廠，再生能源之水力、風力發電廠，離島發電廠，以及輸電系統、配電系統、液化天然氣廠、煉油廠、供油中心、供氣中心、加油站等廠家之氣候變遷風險評估程序、調適能力強化及簡易調適自評等輔導計畫。同時利用調適資訊與管理平台之建置，將全臺油、氣、電之基礎能源系統、地理圖資及災害潛勢圖資等資訊建置於地理資訊系統(Geographic Information System, GIS)中，經由逐步蒐集能源產業主要設施之災害潛勢圖資、脆弱度及危害度盤查訊息。前述各項工具並應用於各類型能源產業輔導工作，以掌握現有個別能源設施及整體系統運作，面對氣候變遷衝擊之影響與脆弱度，並加強能源設施調適能力，期能降低能源產業遭受氣候變遷衝擊風險與損害程度，從而提高能源供給之安全與穩定[14]。

二、國際間節能減碳技術發展或應用趨勢

技術發展與轉移一直是UNFCCC協商議題之一，隨著溫室氣體減量日益受到重視，UNFCCC自2011年起陸續成立技術執行委員會及氣候技術中心網絡(Climate Technology Centre and Network, CTCN)，負責加速轉移對環境友好的氣候技術，協助發展中國家執行減碳工作，而且巴黎協定亦將技術發展與轉移列入第10條條文。根據UNFCCC於2015年巴黎會議中討論之技術文件[15]，以加速再生能源供給及促進能源效率為重點，納入國際再生能源總署的評估[16]，在2030年前，相較於「一切如常」情境，全球推動再生能源每年可衍生86億噸二氧化碳當量之減量，而促進能源效率則每年可衍生73億噸二氧化碳當量之減量；另外，該文件更引述2015新氣候經濟報告[17]指出，2030年以前，如果擴大採用再生能源及能源效率技術，每年可產生55~75億噸二氧化碳當量溫室氣體減量，估計每年需要1兆美金投資。UNFCCC技術文件指出，許多再生能源及能源效率技術與措施，已經變得更具成本有效性，而且準備好能具體之擴大規模應用[15]；因此，國際間強調再生能源及能源效率技術發展與應用趨勢相當明確。

表6-1-1　國際間節能減碳技術發展方向

	能源供應端	能源使用端
節約能源及提高能源使用效率	• 高效率燃氣複循環發電技術 • 超超臨界發電技術及先進超超臨界發電技術(A-USC) • 超臨界二氧化碳布萊頓循環(Brayton Cycle)發電技術 • 先進燃燒技術 • 智慧電網及電網整合 • 燃料電池發電 • 高效儲放電技術 • 高壓直流輸電技術	• 製程強化 • 汽電共生/熱冷電三生 • 區域能資源整合 • Roll to Roll製程 • 增量製造(Additive Manufacturing)(3D列印) • 餘熱回收再利用及餘熱發電 • 高效率馬達 • 住商能源使用預測技術 • 能源管理系統(EMS)
轉換低碳無碳燃料	• 燃油/燃煤轉燃氣/生質能 • 生質能發電廠(含生質能氣化複循環)	• 燃油/燃煤轉燃氣/生質能 • 氨/氫等無碳燃料之使用
使用再生能源	• 先進風力發電技術(大型風力機、風場預測、先進葉片設計、併電網整合) • 太陽能發電(設備降低成本及併電網整合) • 海洋能及地熱發電	• 智慧電動車(純電動車)
碳捕獲封存及再利用技術	• 既存或新設的化石燃料/生質燃料發電廠安裝碳捕存設備	• 二氧化碳再利用

資料來源：彙整自[18]

綜合而言，節能減碳技術主要方向為(1)節約能源及提高能源使用效率；(2)轉換低碳無碳燃料；及(3)使用再生能源；(4)碳捕獲封存及再利用技術，且可依技術適用對象，可分成能源供應端及能源使用端分別表列。國際間目前及未來擬發展、較值得注意之節能減碳項目如表6-1-1所示。

參考文獻

[1] UNFCCC (2014). Decision 1/CP.20, Lima Call for Climate Action, FCCC/CP/2014/10/Add.1.

[2] UNFCCC (2015). Decision 1/CP.21, Adoption of Paris Agreement, FCCC/CP/2015/10/Add.1.

[3] 經濟部能源局(2015)，行政院綠能低碳推動會介紹，網址：http：

//web3.moeaboe.gov.tw/ECW/reduceco21/content/Content.aspx?menu_id=2467。

[4] 行政院經濟建設委員會(2012)，國家氣候變遷調適政策綱領。

[5] 中華民國總統府(2015)，「溫室氣體減量及管理法」，華總一義字第10400077011號，總統府公報第7200號(2015年7月1日)。

[6] 行政院環境保護署(2015)，「溫室氣體減量法(草案)」相關簡報資料，立法院第8屆第7會期社會福利及衛生環境委員會行政院環境保護署專案報告。

[7] 行政院環境保護署(2015)，溫室氣體減量及管理法總說明，2015/06。

[8] 行政院環境保護署(2015)，中華民國(台灣)INDC報告書，2015/09。

[9] 經濟部能源局(2013)，能源產業溫室氣體確證及查證補助作業要點，2013/04。

[10] 經濟部能源局(2011)，能源類別溫室氣體抵換專案審議作業要點，2011/07。

[11] 經濟部能源局(2011)，能源類別溫室氣體審議會設置要點，2011/07。

[12] 經濟部能源局(2015)，經濟部能源局103年年報，2015/06。

[13] 經濟部能源局(2016)，能源產業溫室氣體減量資訊網，經濟部能源局，網址：http：//verity.erl.itri.org.tw/EIGIC/，上網日期：2016/01。

[14] 經濟部能源局(2014)，「能源產業因應氣候變遷調適輔導計畫」期末報告，經濟部能源局計畫編號103-A0205。

[15] UNFCCC (2015). Updated compilation of information on mitigation benefits of actions, initiatives and options to enhance mitigation ambition, FCCC/TP/2015/4.

[16] IRENA (2014). REmap 2030： A Renewable Energy Roadmap.

[17] Global Commission on the Economy and Climate (2015). The New Climate Economy. Seizing the Global Opportunity： Partnerships for Better Growth and Better Climate.

[18] US. Department of Energy (2015). Quadrennial Energy Technology Review, An Assessment of Energy Technologies and Research Opportunities.

第二節　整合低碳技術推動節能減碳系統應用

節能減碳，非單從能源供應端或使用端著手即能有效達成，需整合供應端及使用端之各項措施，並結合各界的資源，落實到社區、深植在一般民眾生活之中。近年，能源永續社區(Energy Sustainable Communities)之概念已在國際社會中散布，其概念係指再生能源與能源合理化兩者相結合之社區。國內外紛紛提出低碳、零碳及碳中和社會之概念，希望能在滿足經濟活動情形下，藉由乾淨之能源供給，有效率之能源使用行為，使生活圈中的碳排放降至最低，落實低碳生活。本節茲就國內外整合型低碳能源社區、島嶼、城市或相關計畫之執行經驗，探討未來發展展望。

一、國際間推動經驗及案例

綜觀國際間推展低碳社會之進程，多由小規模之低碳社區先行示範，展示低碳技術整合之可行性與社會效益，獲取廣泛大眾認同與支持後，再逐步擴大至低碳城市(或智慧城市)、低碳社會，最終目標為形塑低碳文明。除了生活面與商業活動面，在生產製造端亦需開發低耗能、低廢棄之製程技術，以提高資源利用率，並提升產品之能源及資源使用效率，朝向生態化產業之方向發展。

本節將從國際間低碳社區推動實例，學習極具參考價值之國外發展經驗與推動成果，探討低碳生活可行之模式，俾利後續研擬推動低碳生活圈參考。

(一) 美國德州奧斯丁市胡桃街社區改造計畫

2010年胡桃街計畫(The Pecan Street Project, PSP)在美國德州奧斯丁市附近穆勒鎮進行實證實驗，已於2015年2月結束，計畫目標以智慧電網技術建構能源自給自足之微型電網。該計畫由數個不同組織合作進行推動，

如表6-2-1所示。計畫內容特別之處，在於係以民眾消費者為中心，將能源可視化服務或是需量反應等，透過消費者角度進行成果檢視。

在美國政府補助之下，建構微型電網之參與用戶達1千家戶與75個商業設施，計畫內容包括在各用戶家中裝設電力、自來水、天然瓦斯智慧儀表，讓能源使用量可視化。在用電尖峰時段，電力公司會實施不同計價單位之動態定價。PSP希望透過此計畫為居民建構最合適系統，並且研析民眾所回饋之行為資訊。

計畫最終目標希冀轉換成零碳社區，同時創造綠領工作機會、納入具經濟效益之清潔能源設備，並且帶給使用者更自由使用能源之環境。同時，針對新技術與電力系統創建開放性平台，增進系統可複製性與延展性。此外，也計畫降低尖峰負載、電力傳輸與佈建費用、供電不穩等額外費用。

根據2015年2月的Pecan Street Smart Grid Demonstration Project - Technology Performance Report研究報告指出，目前穆勒鎮之用電方式已朝向低碳、高效之路邁進，相較於傳統房屋，依綠建築標章興建之房屋，單空調就可減少38%能源用量。此外，住戶所安裝太陽能板除可發電使用外，也可充儲電能於電動車中，將電動車融入成為家庭住宅用電基礎設施之一。胡桃街計畫現已擴大至全美17個州超過1,300多位居民參與，持續收集之數據將有助於改進國家清潔能源政策。

表6-2-1　胡桃街計畫參與組織表

組織名稱	中譯名稱	類 型
Mueller Community	穆勒鎮社區	當地居民
University of Texas at Austin	德州大學奧斯丁分校	學術單位
Austin Technology Incubator	德州大學奧斯丁分校新創科技中心	學術單位
Austin Energy	奧斯丁能源	公共事業
City of Austin	奧斯丁市政府	地區政府
National Renewable Energy Laboratory	美國國家再生能源實驗室	研究機構
Environmental Defense Fund	美國環保協會	非營利組織

資料來源：U.S. Department of Energy (2010年)

（二）英國貝丁頓零碳排放社區（Bed ZED）

Beddington Zero Energy Development(Bed ZED)於2002年建立完成，是英國第一個大規模具多功能利用永續社區，亦成為英國與世界上零碳生態社區及綠色建築之典範，呈現創新、零能耗、永續、碳中和等特色。

該社區位於倫敦近郊，包括公寓、複合式住宅與獨棟房屋在內，計有1百間住宅。居民整體生活方式可以減少近50%之碳排放量，包括在家庭、運輸、食物及消費性產品等。以家庭能源使用之總量分析，比當地家庭平均減少60%，太陽光電提供20%左右電力；在熱能部分減少81%，在用電量部分減少45%，而用水量減少58%。並有60%之廢棄物回收再利用，汽車擁有率較低，每年行駛里程數也較全國平均水準減少64%。

該社區環保標準要求極高，且高度重視屋頂花園、陽光、減少能源消耗及水資源回收。屋頂上之風帽(wind cowls)為社區象徵標誌，利用風能提供建築物循環新鮮空氣，而無需使用任何電力。建築設計裝置太陽能光電板、房屋朝南座落、設置屋頂花園、採落地窗設計，充分利用陽光提供之光能與熱能；另設置雨水收集與廢水回收系統，將水資源循環再利用到各種生活需求上。住家室內電器設備皆使用低耗能產品，照明全部採用節能燈具，廚房設置廚餘儲藏櫃以利循環使用，同時也鼓勵使用低碳或公共交通工具。建築材料來自自然、回收或再生材料，所有使用木材則是經森林管理委員會或類似之國際公認環保組織所核可過。

BedZED成功實踐具低碳效益、能源效益及經濟效益之永續社區，在不犧牲居民生活品質情況下，為許多能源、環保及生態議題提供最佳解決方案，也為政府或企業推動低碳社區、低碳城市奠定示範基礎，更進一步有規模地將此模式複製或發展到其他地區，擴大低碳發展之影響範圍。

（三）韓國松島國際商業特區與智慧家庭發展願景規劃

韓國松島新都U-City是南韓史上最大之民間造城計畫，也是全球首座以數位城市概念改造之都市，並受仁川市自由經濟區管理局(Incheon Free Economic Zone Authority)管轄。計畫藉由「智慧+聯網社區服務計畫」(Smart + Connected Communities program)，同時著眼於硬體建置與軟體服務，提供企業和個人智慧互聯城市之受控服務，包括綜合建設與設備管理服務、緊急安全與安全服務、本地網路服務和門禁服務等，涵蓋能源、健康、交通、辦公、休閒娛樂與住宅各層面。

松島新都已於2009年8月7日正式啟用，目前約有1百棟完工與施工中的建築物，已入住約1,600個家庭；預計2016年時將有6萬5千民居民入住、提供30萬個就業機會，且將有超過4百棟新建案，包含打造南韓最高之摩天大樓。

(四) 日本宮古島市離島獨立型能源實證計畫

日本宮古島市長期仰賴柴油發電機發電供應島上電力需求，該市為降低整體碳排放而增加使用再生能源發電設備。然而，為解決潛在供電不穩問題，需導入蓄電池與能源管理系統，建構離島微型電網與全島能源管理系統實證計畫。該實證計畫始於2010年，並於2014年完成。

為達成能源穩定供給之智慧型能源技術，將宮古島上既有之柴油發電廠與風力發電系統，有計畫地導入之太陽能發電系統與蓄電池安定化裝置，沖繩電力公司透過(1)驗證控制輸出變動、頻率變動的效果；(2)驗證太陽能發電的排程運轉方案；(3)驗證在模擬配電線路中最佳化控制方式等三階段實證計畫，驗證能源穩定供給之智慧型能源系統可行性。

除了上述能源穩定供給之微型電網實證計畫，另一方面與民間合作開發能源管理系統，以加強管理智慧電網之用電狀況，提供當地用戶可視化及需量反應之節能服務。同時，亦與具大量能源需求之用戶端(如電動車輛充電站)作連結，雲端處理各區域用電狀況，搭配蓄電池之運轉避開用電高峰以達成用電效率最佳化終極目標。沖繩電力公司則透過此實證計畫確立此離島型微型電網技術，並推廣至海外離島，甚至是商業化輸出至其他國家。

(五) 泰國蘇美低碳島

蘇美島低碳島策略包含九大措施：城鎮結構規劃、運輸規劃、區域能源規劃、再生能源、未利用能源規劃、低碳建築、低碳生活方式、環境規劃。低碳生活方式推動SAMUI Eco - Point Program，當蘇美島上居民、遊客、商家參與或消費低碳行為(委員會認證)時，可獲得Eco - Point，累積之店數可兑換獎勵，藉以鼓勵大眾參與低碳行為，使低碳意識落實於日常生活中。

預期2020年計畫完成後，可減碳35.9%(與BAU 2020年相比)、2030年減碳49.6%(與BAU 2030年相比)；另預期2020年人均碳排放量3.8噸/人-

年、2030年人均碳排放量3.1噸/人-年(基準年2010年5.6噸/人-年；計算方式：總碳排/戶籍人口+平均每日遊客數)。

(六) 丹麥珊索低碳島

珊索島轉換新能源的計畫，包括了五項主要課題：

1. 以風能為電力基礎和分散能源政策。
2. 地區熱能以生質能、太陽能和其他熱能為主。
3. 荒野地區1,200位住民和800間夏季度假小木屋，以太陽能、生質能以及熱能供應站提供。
4. 運輸工具需要新技術突破-海上風場將提供運輸工具之短、中期電力使用。長期來看，離岸風電亦為確保永續發展之電力供給者。
5. 努力降低未來能源的消耗。

目前珊索島電力供應100%來自風力發電，11座陸域風力發電機提供全島的電力需求，島上住家熱能是利用生質燃料或太陽能。汽車之碳排放，則透過設置10座離岸風力發電機，來達成「碳中和」。此外，生產超過島上所需之電力則回售給丹麥本土使用。

經過8年努力，珊索島已成為全球第一個碳中和島嶼，珊索島能源研究院在2013年9月所舉辦研討會中，思索珊索島下一步規劃，在會後提出了「Samsø 2.0」(珊索島2.0)計畫。

「珊索島2.0」計畫乃說明改造珊索島成為一個永續發展社區之下一步。新措施包括個人意識覺醒、結合珊索能源研究院提供知識，與透過國家與國際合作進行經驗收集。珊索能源研究院與合作夥伴共同著重發展三個領域：無化石燃料島、綠色教育、衛星島嶼和城市。「珊索島2.0」不是一個短期目標，而是持續規劃新策略並執行。

綜觀上述各案例，技術之涵蓋規模皆相當廣泛，並橫跨多組織共同合作參與推動，歸納在技術面上的主要共通點如下：

1. 廣佈資通訊基礎硬體建設。例如，美國胡桃街計畫安裝電力、自來水、天然瓦斯智慧儀表；韓國智慧家庭發展願景第一階段，需開發各種電器間之資通訊連接；宮古島實證計畫導入太陽能發電與儲電設備，並建構

25座商業型150 kW之太陽光電板及住宅型4 kW之太陽光電板混合型模擬電路，以測試系統有效度；蘇美島預期未來電網將併聯更多間歇性電力，規劃導入智慧電網系統進行管理。

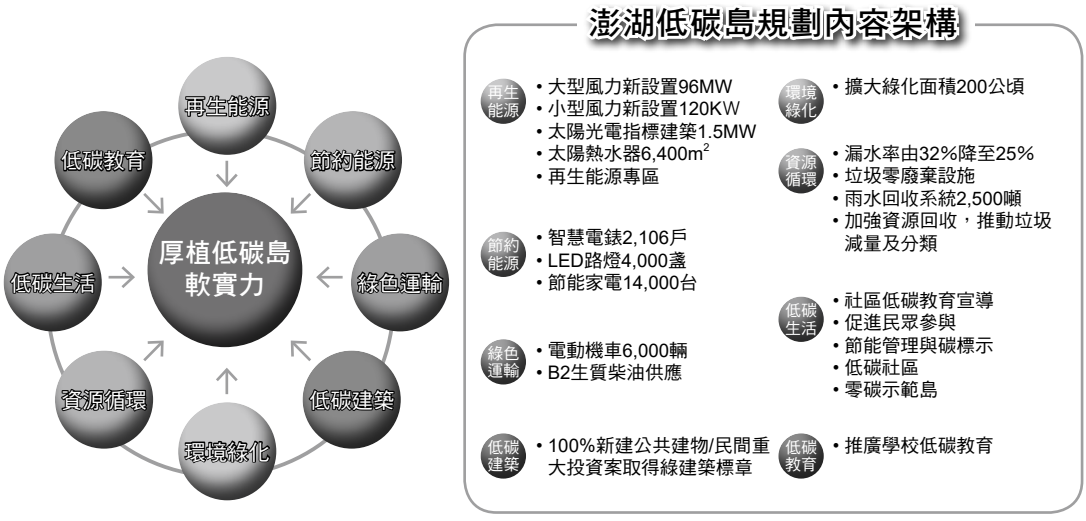
2. 民眾能源使用行為之資訊回饋與分析，對於整體推動低碳社區而言至為重要。胡桃街社區改造計畫針對鄰居之間用電行為互相影響之研究，其營運模式與英國推動低碳社區之引用文獻中提及「社區居民參與者可激勵鄰居改變使用能源行為」研究，多有相同之處；又如丹麥珊索島則以當地居民共同參與運作以建立良好之合作夥伴關係，促進產生共同意識，並以鄰居和社區分享之解決方案優先。相關訊息分析與檢視，可進一步提供資訊予政策制定單位，以即時修正整體計畫之執行方向。

二、澎湖低碳島暨智慧電網示範推動現況及檢討

對照各國相關計畫，我國「建置澎湖低碳島專案計畫」已於2015年達成階段性任務、需進行成果檢討或目標調整之時機，或可參考國外案例，找出低碳島後續最佳解決方案，以兼顧能源、經濟、生活、觀光等多面向發展，並進一步將具參考價值之推動經驗或發展模式，複製至其他地區，有助於未來推動低碳家園實現。

自2011年行政院核定通過「建置澎湖低碳島專案計畫」(2011~2015年)後，經濟部考量澎湖環境特性規劃8大推動面向(如圖6-2-1)，包括再生能源、節約能源、低碳建築、綠色運輸、環境綠化、資源循環、低碳生活及低碳教育，澎湖逐漸轉型為低碳島嶼，過去被視為阻礙觀光產業發展之東北季風，現在成為帶動觀光產業和提升當地經濟新寵兒。該計畫規劃利用澎湖風力優勢設置風力發電場，可做為澎湖主要電力來源之一，預計完成後50%以上之能源供應將來自再生能源，並藉著風場之特殊地標帶動綠色能源觀光，同時推動澎湖為世界級低碳島嶼之標竿[1]。

此外，行政院在2012年9月3日核定「智慧電網總體規劃方案」[2,3]，期能達成確保穩定供電、促進節能減碳、提高綠能使用與引領低碳產業4項目標。該方案為了進一步促進國內智慧電網產業與技術發展，併同澎湖低碳島推動，亦選擇於澎湖建置「智慧電網示範場域」。



資料來源：建置澎湖低碳島專案計畫(核定本)，行政院，2011年

圖 6-2-1　澎湖低碳島規劃內容架構圖

(一) 澎湖低碳島推動現況及檢討

1. 澎湖低碳島執行成效

綜觀目前推動「建置澎湖低碳島專案計畫」成果，統計至2015年底業已達初期目標，包含：太陽光電裝置量1.56 MW、太陽能熱水器安裝面積為2,232平方公尺、LED路燈5,309盞、節能家電(節能冰箱與空調)12,028台、智慧電表1,105戶(高壓用戶105戶及低壓用戶1,000戶)、造林206公頃、電動機車3,768輛及充電柱612座等，為低碳島建置目標之達成奠定良好基礎。

例如，透過1.56 MW太陽光電指標建築建置，已有效帶動廠商與民眾設置意願。統計2013年澎湖地區太陽光電共計設置52案、裝置容量420 kW；2014年則大幅提升至設置175案、裝置容量3.59 MW，當中澎湖縣政府於2014年推出「澎湖縣政府經管縣有房舍設置太陽光電發電系統標租作業」，整合澎湖38所學校與38所機關建置太陽光電系統。總計2013至2014年帶動建置太陽光電系統4.01 MW，與低碳島計畫1.56 MW相比大幅提升2.5倍以上，同時帶動當地太陽光電相關產業之發展。

2. 澎湖低碳島計畫技術課題與因應策略

「建置澎湖低碳島專案計畫」於推動初期(2011~2012年)，發生因澎湖地區水質氯鹽過高易造成熱水器管線腐蝕、縮短澎湖地區太陽能熱水器使用壽命，嚴重影響居民安裝信心與意願之問題；此外，當地民眾對於電動機車之電池續航性仍有疑慮，因此購買意願不高。

為解決澎湖水質造成太陽能熱水器管線腐蝕問題，協助業者開發適合當地環境之不繡鋼材，同時澎湖縣政府並要求澎湖地區售出相關產品之保固期由原1年延長為3年，再透過當地業者將使用不繡鋼材之太陽能熱水器系統贈與公家機關及學校，進行技術可行性推廣，藉以帶動民眾設置意願，統計2014年度澎湖地區太陽能熱水器補助面積為844.28平方公尺，相較2011年度僅40.33平方公尺，成長超過21倍，改善成效顯著。

另為提高澎湖當地民眾對於電動機車購買意願，特廣為設置電動機車充電站(計612座)以提升充電方便性，除了馬公本島外，並延伸至望安、吉貝、七美、虎井等離島，且皆設置於住宅區、辦公區以及重要觀光景點，提升充電便利性，其中27處、330座充電站為「智慧型能源補充設施」，結合雲端科技與RFID(無線射頻辨識)系統技術，採用悠遊卡感應充電扣款；為進一步提供民眾與遊客更多元充電方式，與澎湖地區7-11門市(共23間)、中油加油站(共5站)合作，建構電池交換服務體系，減少民眾等待充電的時間，提升騎乘意願。目前澎湖地區平均每3輛新購機車即有1輛為電動機車，比例全國最高。

(二) 澎湖智慧電網示範推動現況

澎湖智慧智慧電網示範場域之示範項目，分別在智慧發電與調度構面建置一處智慧變流器測試場及一套智慧調度系統；智慧輸電構面針對既有69kV輸電線及其相連之2所變電所(馬公及湖西變電所)進行智慧電子裝置(Intelligent Electronic Device, IED)設備更新；智慧配電構面選擇2條饋線及分歧線進行自動化系統強化; 智慧用戶構面進行2千戶低壓智慧電表布建，並於其中1百個家庭導入家庭能源管理系統(Home Energy Management System, HEMS)；最後建構一處智慧電網展示平台做為向一般大眾宣傳智慧電網普遍知識給的媒介。

智慧電網主要示範項目位於馬公市區，其中，配電自動化位於西衛饋線和司法饋線，而智慧電表與家庭能源管理系統(HEMS)分布於崇光里和西

衛里；智慧變流器測試、儲能系統位於澎湖科技大學；展示平台位於澎湖營業區處。

1. 智慧變流器測試場域：隨著再生能源併入電網之占比日益增加，產生電網安全與品質之衝擊影響，也將阻礙再生能源發展。再生能源可運用透過實、虛功率控制，改善併接造成之電壓變動與頻率飄移等問題，降低併網衝擊，以便提升再生能源併網容量。本示範為太陽光電智慧變流器測試場域，其利用澎湖科技大學體育館既有48.3kW太陽能板作為基礎，建置一套智慧變流器監控系統，可提供不同廠牌太陽光電變流器之通訊整合和功能測試，包括遠端監控、實虛功率控制等。

2. 智慧調度系統：隨著能源資訊多元化，除了傳統電網資訊外，更可監控分散式再生能源、用戶電表資料等，區域能源管理系統透過資訊整合平台可彼此進行資料交換與運用，如圖6-2-2所示，本示範介接系統包括電表資料管理系統、智慧變電所、再生能源管理系統、需量反應管理系統以及氣象資訊等。區域能源管理系統負責運用與控制，進行饋線負載預測、太陽光電發電預測、自動電壓調整、需求端管理等功能。

3. 變電所智慧化：變電所具有變壓器、開關、匯流排、保護電驛等設施，透過智慧電子裝置(IED)可自動化保護、量測、控制及通訊，提升維護與管理效率。本項工作台電分別於2013年和2014年完成馬公和湖西變電之傳統電驛汰換成智慧電子裝置。

資料來源：經濟部能源局(2014)，智慧電網環境構面2014年第3次分組會議

圖6-2-2　系統架構與整合平台

4. 饋線自動化：饋線開關分布範圍廣泛，當饋線或分歧線發生故障時，自動化系統可協助進行故障偵測隔離與復電(Fault Detection, Isolation and Restoration, FDIR)，如此可快速定位故障區域，進而縮短停電時間和縮小停電範圍，確保穩定供電。在科技部計畫支持下，已完成2條饋線(司法和西衛)與其分歧線建置自動化開關建置，並導入先進配電自動化系統(ADAS)，驗證縮短停電範圍功能。

5. 智慧電表2千戶：智慧電表系統可定時透過通訊系統回傳用電資料，取代人工抄表作業，並提供民眾查詢逐時用電資訊，進一步作為時間電價和需量反應節電措施之效益計算依據。目前台電公司已於2014年於馬公市西衛饋線(西衛里等)及司法饋線(五福路等)完成500戶建置，另外配合招標驗收作業時程，預計應可於2016年完成全數建置。

6. 家庭能源管理系統(HEMS)100戶：完成於智慧電表2千戶中篩選建置100戶家庭能源管理系統示範戶，每戶包含1個家庭能源閘道器、5個可通訊控制家電與專用網路，家庭能源閘道器與智慧家電通訊之協定採用臺灣智慧能源產業協會訂定之智慧家電通訊標準(TaiSEA 101)。此100戶接受聯合需量代理平台之需量反應事件控制，採用開放式自動需量反應通訊規範(Open Automated Demand Response Communication Standards, OpenADR 2.0b)格式，可執行尖峰時間回饋等需量反應方案，自動依據用戶設定於事件時間進行節電措施。

7. 智慧電網展示平台：本示範完成於台電澎湖區處建置一處兼具技術展示和教育宣導之展示平台(如圖6-2-3)，內容包括宣導服務台、智慧電網互動模型、具備智慧家庭情境展示、政策與知識文宣、時間電價遊戲之互動遊戲區。

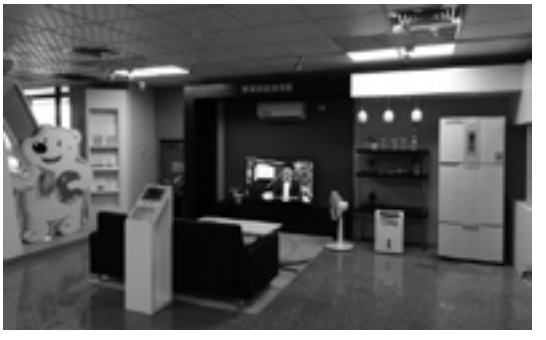


圖6-2-3　智慧電網展示平台

(三) 澎湖低碳島及智慧電網示範未來展望

1. 推動成效檢討

「建置澎湖低碳島專案計畫」至2015年底已完成多項任務，惟為瞭解該計畫之成效，於2015年曾就澎湖民眾進行施政滿意度之問卷調查[4]，民眾對於各面向之推動工作多表高度滿意(滿意度達九成)，惟對於推動電動機車與太陽能熱水器之滿意度較低，介於73%至79%之間。民眾對於上述二項施政主要不滿意原因，在技術面向上，電動機車主要為續航力不佳、電池壽命太短、東北季風強勁騎不動、爬坡效果不佳等；至於太陽能熱水器部分，主要為太陽能熱水器易鏽蝕、在夏天水太熱但冬天熱水又不足等。

此外，參考國外案例，多廣佈資通訊基礎硬體建設，除可因應擴大利用再生能源所造成之電力供應不穩定性、提升電網安全，並可整合民眾所回饋之能源使用行為資訊，進行各項需量反應措施之成效分析，作為後續推動之檢討改進依據。惟「建置澎湖低碳島專案計畫」第一階段規劃時，對於擴大再生能源供電系統後所需之智慧電力調度軟硬體設施之規劃，僅及於智慧電表之建置，尚未廣泛考量電表與用戶端能源管理系統之整合，故未能在起始即實驗於一般用電戶間施行時間電價等需量反應措施之可行性。

2. 未來展望

上述之分析，可由澎湖智慧電網示範計畫補足。澎湖智慧電網示範場域甫於2015年完成第一期程之軟硬建置，未來將持續進行功能應用與性能優化調整，並針對再生能源管理和需求端管理進行長期性之功能測試和評估，例如饋線負載和太陽光電預測的成效評估，以及智慧家庭推動自動需量反應的最佳電價方案研析等。除了持續進行示範系統運維與研究外，後續將會參考日本橫濱智慧型城市、日本宮古島微電網、韓國濟州島、澳洲智慧城市以及美國夏威夷州茂伊島(Maui)等經驗[3,4]，進行下一階段規劃與推動。

下階段佈建初步構想為，可以結合未來澎湖大量再生能源的推動，逐步將澎湖建置低碳島及綠色電能島(Green Power Island)，此綠色電能島藉由智慧電網相關技術，除了可以容納較高之不穩定再生能源，還可以透過海纜做為臺灣本島可以調度之電廠。另外，亦可於目前發電成本相對較高

之三級離島(例如七美、望安、東吉島等)輔導國內廠商導入再生能源與智慧電網技術，除了可以節省相關發電成本外，還可以扶植國內產業，未來將有機會切入國際島嶼型之智慧電網市場。

參考文獻

[1] 行政院，「建置澎湖低碳島專案計畫」(核定本)，2011年1月。

[2] 經濟部能源局，「智慧電網總體規劃方案」，2012年9月。

[3] 梁佩芳、何無忌、李東璟、陳翔雄、陳俊宇，「我國智慧電網之推動現況」，鑛冶，第55期，第1卷，第17-34頁，2011年3月。

[4] 工業技術研究院，「低碳能源環境建構與整合計畫」執行報告，經濟部能源科技研究發展計畫104年度執行報告，2016年1月。

第三節　能源產業技術之回顧與展望

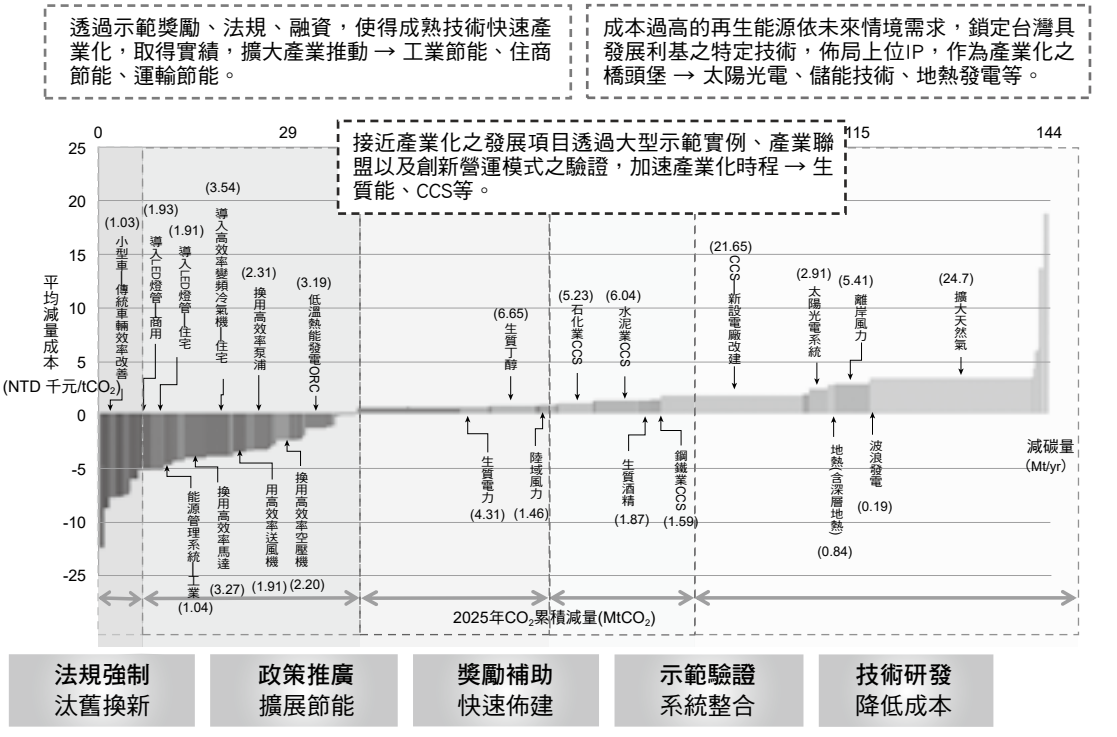
一、能源產業技術之回顧

提升能源效率、開發再生能源及積極潔淨能源技術發展，皆為達到節能減碳，降低溫室氣體排放目標，依國際能源總署(IEA)能源科技展望報告(2015)指出，全球2050年溫室氣體排放水準由6℃情境(6DS) 排放量減量至2℃情境(2DS)目標量，在供給端之減碳關鍵技術包括再生能源、碳捕獲與封存(CCS)、核能發電(含第四代)及發電機組效率提升等技術。若以部門別分析，電力部門去碳化需肩負最高之減量責任，約為39%，其次為工業部門以及運輸部門，分別占21%與20%。因此可以了解提升能源使用效率及提高再生能源的比例，將是溫室氣體減量目標能否成功之兩大技術關鍵[1]。

依據國內目前之能源技術資料庫，評估各技術的減量潛力與成本，應用MARKAL(MARket ALLocation)能源模型，評估2025節能減碳成本曲線(如圖6-3-1)，歸納出三個不同階段技術發展重點：

1. 透過示範獎勵、法規、融資，使得成熟技術快速產業化，取得實績，擴大產業推動，如工業節能、住商節能、運輸節能。
2. 接近產業化之發展項目透過大型示範實例、產業聯盟以及創新營運模式之驗證，加速產業化時程，如生質能、CCS等。
3. 成本過高之再生能源依未來情境需求，鎖定具發展利基之特定技術，佈局上位IP，作為產業化之橋頭堡→太陽光電、儲能技術、地熱發電等。

國內能源產業技術發展規劃，分為節能減碳技術(含能源管理技術)與新及再生能源技術兩大領域，重點技術內涵及策略則摘要彙整如表6-3-1(詳細內容請見第三及四章)。



資料來源：工研院整理，2013年8月

圖6-3-1　臺灣溫室氣體減量成本曲線

（一）節能減碳技術

發展節能減碳科技肩負著強化節能減碳成效，以及扶植相關產業發展之雙重任務，因此一方面持續發展科技之外，也需要相關之推廣政策配套，相輔相成。在產業技術研發方面，主要領域包括冷凍空調技術、先進照明技術、能源資通訊技術、效率標準與指標、工業節能技術、住商節能技術、節能技術服務、二氧化碳捕獲封存與再利用技術等。在各領域均依據國內產業基礎，以及節能減碳效果篩選優先發展科技項目。在配套推廣政策方面，主要藉由耗能設備效率標準與指標、工業耗能查核、耗能產業設備效率指標、節能技術服務等措施等，來推廣各項節能減碳科技，擴大應用內需市場，建立節能減碳產業發展基礎。本章將就上述各領域說明目前國內節能減碳技術研發方向、技術推動與發展時程，以及配合技術發展所必須推廣應用政策工具與做法。各項重點技術之目標與重點技術及策略則整理如表6-3-1所示。

表6-3-1　我國能源產業技術發展重點

技術領域	預期目標	重點技術及策略
冷凍空調技術	1. 降低整體空調系統耗能。 2. 建立國內具全球競爭力之關鍵元件產業。	1. 高效率無油化磁浮離心機組技術開發，實現空調系統具高IPLV之商品普及化的目標。 2. 多工複合熱泵空調系統開發，加速高性能熱泵多功應用技術之推廣。 3. 高效率風扇技術應用開發，開發高效率外轉子式永磁無刷馬達與驅控器，結合變頻電機針對終端風扇進行不同場域應用。
先進照明系統	1. 強化製造與系統優勢。 2. 以內需市場提升產業能力 3. 2020年達到產值4190億元，節電36億度目標。	1. LED光源封裝技術開發：積體化光引擎技術、高導熱元件技術、LED軟性面光源技術。 2. 安全健康和舒適光環境照明技術：智慧型節能照明決策系統、高值化固態照明燈具與系統應用開發、人性化照明技術。 3. 高效率白光OLED照明技術，建立自主化OLED照明及創新應用產品技術。
能源資通訊	1. 建立系統服務能力，建置應用實績。 2. 訂定通訊介面標準及能源效率規範，提高建置效益。 3. 提升電網效率及穩定性。 4. 整合工業部門能源供應。	1. 電網管理：智慧電表系統、智慧通訊晶片及軟體技術、電網整合調度 2. 工業能源管理：智慧型能源感測及傳輸技術、工業高階控制技術、工業能源分析與操作決策技術、能源管理系統平台 3. 住商能源管理：住宅用電行為快速診斷工具、服務業空調系統優化控制技術、虛擬電廠調度控制技術。
效率標準與指標	1. 提供消費者充分能源效率資訊。 2. 透過產品上張貼簡單易懂之高能源效率辨識圖案，鼓勵消費者於汰舊換新時，優先選用高能源效率產品。 3. 健全能源效率管理制度，達成提升器具設備能源效率之目的。	1. 訂定產品容許耗用能源基準(MEPS)。 2. 實施自願性節能標章。 3. 推動強制性能源效率標示。
工業節能	短期：提升共通性耗能設備效率及廢熱回收應用 長期：開發能源管理技術，提升能源使用效率，並逐步提升製程效率，最佳化能源整合應用	1. 開發標準化IE3馬達公模(0.75kw~22kW)，提升中小型馬達廠商設計能力，擴大高效率馬達供給市場。 2. 優化壓縮空氣乾燥設備效率，並積極推廣應用。 3. 提升熱電發電系統效率及穩定性，ORC系統整合及優化，以示範驗證推廣工廠廢熱回收應用。

技術領域	預期目標	重點技術及策略
住商節能	1. 彌補國內推動建築節能減碳的本土技術缺口 2. 帶動相關產業發展並促使產業具有行銷國際的能力	1. 建築能耗模擬與遠端設備故障診斷，建置本土料庫，促使建築產業與國內設備、建材產業聯結，使建築節能成為設備與建材產業新通路，開創新的商業模式與商機。 2. 本土節能建材開發，含建立國內建材標準與檢測能量。 3. 空調設備群控技術，以大幅降低耗電。
節能技術服務	1. 提升能源技術服務產業技術能量，強化節能工作深度與廣度，成為亞太地區節能標竿國家 2. 產業產值由2014年110億元提升至2016年158億元及2020年300億元	1. 提升能源產業規範之法制層級，創造優質能源服務，建立能源管理發展制度，訂定ESCO產業管理辦法或配套措施。 2. 建立M&V第三公正單位機制，解決ESCO資金缺口及技術糾紛。 3. 深化及推動ESCO節能技術、財務規劃等標準化指導及管考評估機制，加速ESCO產業以及能源循環基金推動。
CCSU	1. 降低CO_2捕獲成本，發展CO_2地質封存及再利用技術。 2. 設置新電廠之CCS商轉廠，加速CCS技術研發與示範，建立「燃燒後捕獲」與「地質封存」為主的新興產業。	1. CO_2捕獲：建立CO_2捕獲能力1ton/hr鈣迴路先導試驗廠，進行國際合作，開發中國及東南亞市場應用。 2. CO_2封存：建立萬噸規模等級封存監測驗證及安全評估技術，作為規範制定及封存場域可行性評估之依據。 3. CO_2再利用：開發低環境衝擊之再利用技術，包含微藻養殖及產油、CO_2轉換技術開發。
太陽光電	1.「陽光百萬屋頂計畫」預定於2025年達到6,200MW設置目標。 2. 太陽光電發電設備推廣目標量為500MW/年。	1. 矽晶太陽電池與模組：開發高效率、低成本、高可靠度封裝模組技術，並建立模組驗證測試能量。 2. CIGS薄膜太陽電池：可撓式CIGS太陽電池非真空試量產線開發以及高輸出功率模組技術。 3. 太陽光電系統：開發在設置面積限制下多元、多功能性應用及BIPV與建築整合之技術，提升系統品質、可靠度及安全性。
太陽熱能	1. 由家用小型系統擴展至工業用大型系統。 2. 小型系統逐步導向與建築物整合之系統。 3. 發展PVT(Photovoltaic Thermal)系統：	1. 推廣大型太陽熱能系統/工業燠熱之應用。 2. 太陽熱能產品建物整合技術開發及推動建築物整合之太陽熱能產品安裝技術 3. 太陽能光電及熱能復合系統產品(PVT)技術研究與檢測標準推動。

技術領域	預期目標	重點技術及策略
風 能	1. 風能開發策略為先陸域後海域，離岸風電先從淺海區域設置示範風場，建立技術及經驗，再朝深海區域(20公尺水深以上)開發，達到裝置容量4,000MW目標。	1. 陸域風電發展主要以推廣為重點，包含提供合理躉購費率，鼓勵次級風場及社區開發。 2. 離岸風電技術發展包含：建立風電資訊服務平台及封場最適區塊規劃，有效降低成本。建立離岸風場開發運維技術及建構基礎建設，帶動國內相關產業。
生質能	1. 提高生質能源發電容量，於2030年達到950MW裝置量。 2. 推廣生質燃料應用，包含：建構生質醇類使用環境，推動於工業燃油中添加使用生質柴油或生質燃油。	1. 生質熱電燃料應用技術，進行固體及氣體生質燃料技術應用及系統開發技術。 2. 木質纖維素解聚/生質醇類技術：建立高效率水解/轉化技術、低耗能分離技術以及提升整廠能源效率與製程資源再利用。 3. 富油脂藻類養殖/採收：將微藻能源技術與固碳、廢水處理等系統整合應用，降低藻油萃取耗能，結合業界進行微藻生質燃料規模化量產示範。
地熱	短期：2016年完成4MW傳統地熱發電廠及1MW深層地熱先導發電場規劃，引進深層地熱發電技術，並發展地熱發電產業 長期： 1. 逐步開發大屯火山與其他地熱區，2020年發電裝置容量目標為100MW。 2. 發展EGS技術，擴大地熱能源利用，增加地熱發電容量。	1. 加強資源探勘技術並推廣傳統淺層地熱電廠設置。 2. 建立基礎量測及分析技術，包含：異向性三維層析成像技術、剪力波分離技術、低成本耐酸蝕材料研發、生物工程結垢抑制技術及地熱資源的評估、監測和管理技術。
氫能源與燃料電池	1. 產業應用開發：包含電信電信基地台備用電力、交通載具應用及可攜式3C應用。 2. 建立與國際接軌的檢驗標準。	1. 氫能源生產技術：包含分離助效式重組產氫及分散式水電解產氫。 2. 氫燃料供應技術：包含高氫氣儲存及供應技術、吸附儲氫系統開發。 3. 質子交換膜燃料電池系統及關鍵元件技術開發，協助系統商投入高功率發電系統之安全串並聯技術開發與驗證。
電網級儲能	1. 儲能技術主要應用於穩定再生能源電力之瞬間起伏，估算國內需求儲電設備約864MW~1,620MW。 2. 開發整合再生能源與儲能系統的併聯技術，進行協調管理，提升電力品質。	1. 金屬空氣液流電池儲能系統：開發複合式雙效電極提升電池循環壽命及充放電效率，提升電池能量密度並建立電池模組技術。 2. 儲能系統併聯管理技術，包含智慧型儲能系統技術、儲能系統電能管理技術與儲能示範規劃。

技術領域	預期目標	重點技術及策略
海洋能	1. 2025年，完成第一座1MW先導示範電廠。 2. 2030年，邁向小型商業型電廠開發(>30MW)。 3. 2035年，加速商業型電廠開發。	1. 波浪發電：優先開發水深較淺區域，採由近而遠；雲彰地區與離岸風店複合開發，降低成本及環境衝擊。 2. 溫差發電：先由小型廢熱/地熱發電建立國內產業再朝大型化之海洋溫差發展。 3. 海流發電：建立海流發電共通技術，先行開發高潛能區之潮流發電，由淺海而深海，逐步投入發展黑潮發電。

資料來源：工研院整理自本書第參及肆章，2015年12月

二、長期能源產業技術發展策略

國內每年用於進口能源經費超過2兆美元，若能有效提高再生能源發電比例，不僅有利於維持安全能源配置，也可以將進口能源成本轉作扶植綠能產業發展。惟在大力開發再生能源，亦需認知在先天地理環境限制及穩定電力供應條件，再生能源比例需以逐步漸進方式來推動。因此以長期規劃，提升再生能源發電比例是積極努力目標。但以技術成熟度及實施應用條件，並無法立即解決降低溫室氣體排放之迫切目標，因此在短期作法上需有效降低能源密集度及能源消耗，提升能源的使用效率來達成減碳之目標。

節能減碳技術與新及再生能源技術未來長程規劃及發展，在政策上需以穩健推動方式來達到減碳及環境永續目標。此外在技術面上可以人才能量、技術能力、製造技術及產業鏈完整性，藉由提升能源使用效率及擴大再生能源發電量，建立具有國際競爭力之綠能產業。但由於內需市場有限，綠能產業仍需以進入國外市場為目標，因此策略上可藉由示範場域建置，建立與國際同步之標準及驗證機制，協助廠商獲得國際認證，同時可以在示範場域中驗證關鍵技術成熟度及建構低碳技術系統整合之能力，提升綠能產業之國際競爭力。最後在推廣策略上，則在投入低碳能源技術整合應用推廣，可以形塑以技術能量取代價格競爭之良性循環，建立高性能產品驗證機制及標準。因此為了達到能源產業技術發展及節能減碳之目標，必須由政策面、技術面及推廣面，三個方向分別進行：

（一）政策面

1. 建立「排碳有價」之產業規範：將碳稅納入企業之經營成本，才能引導市場具有邁向綠色經濟之動力，推升綠色產業成長。逐步建立國內工業碳足跡的查核與減碳誘因，加強再生能源、環境保護產品、綠色材料、智慧能源管理系統之技術研發與產業推廣等，並且嚴格執行能源效率標準，才能使投入高效率產品開發技術廠商，具有公平良性之產業競爭環境。

2. 以綠色標章建立國際競爭力：開發與國際接軌之綠色認證或綠色標章制度，協助廠商獲得國際認可及接軌國際市場之標章及證書，突破國際貿易障礙。落實要求國內外企業需證明其為綠色產品或為清潔生產組織，符合標準、展現綠色價值，並名列綠色合格清單

3. 檢討能源補貼政策：政府須重新檢討以化石燃料為主之油、水、電價補貼政策，讓能源供給恢復正常機制，才能達到強化再生能源使用目標。

4. 將減碳壓力轉化為減碳商機：努力參與綠色氣候基金投入計畫，增加與碳經濟相關技術發展，以進軍國際市場為發展目標。

（二）技術面

1. 節能減碳技術：整合高效率元件開發及智慧能源管理技術，達到最佳化能源使用效率的目標。

在住商節能方面，從冷凍空調、高效率照明、綠建築技術等住商節能技術開發上，具有相當之成熟技術，再加上節能政策推廣，不論是廠商或是消費者，皆已建立開發及使用高效率產品共識。未來則需強化系統整合技術之開發，亦即如何使各獨立之高效率產品在住商環境中，搭配使用環境及條件，達到最佳之能源效率。所以有賴建築能源管理技術(BEMS)開發及應用，以系統介面整合及智慧控制，在兼顧舒適度及能源使用條件下，達到能源效率最優化。

在工業節能方面，以目前工業節能技術大多著重於周邊設備能源效率改善，例如高效率冰水機、熱泵及高壓空氣乾燥技術，或是廢熱回收利用技術開發，例如熱電技術及ORC技術。但是分析工業耗能，製程耗能佔據極大比例，因此結合工業4.0發展，建立綠色製程技術，監控及分

析製程耗能，並進行製程效率改善，將會是工業節能未來可積極投入之方向及目標。

在潔淨能源方面，提升火力發電效率，嚴格管制火力發電之排放標準，降低PM2.5濃度，同時推廣CCSU於火力電廠應用，降低二氧化碳排放。

2. 新及再生能源：應依國內環境，並以高效率、分散式及智慧化之發展策略，規劃新及再生能源技術之發展佈局。

以產業特性，國內具有完整且具競爭力之太陽能產業技術，但目前大多以屋頂型太陽光電系統做為推廣應用標的，後續可培養國內廠商在系統及智慧電網整合應用實力，做為拓展國際市場測試場。並逐步投入PVT系統技術之開發及應用

開發區域型MW級再生能源系統，做為基載電力。其中，生質能及地熱發電具有穩定及可以長時間供電特性，有利於應用於基載電力。目前淺層地熱應用已具有成熟商業化技術，可以示範場域進行應用；但具有較大發電規模之深層地熱技術，則尚處於發展階段，因此可藉由完整之機電產業投入後端高效率發電系統之整合技術之開發，並積極導入國外具有應用經驗相關技術，加速國內深層地熱發電系統開發。

以能源多元化為目標，增加再生能源裝置量及輸出容量，例如發展離岸風電、燃料電池、小型燃氣渦輪機，以區域型能源分散風險。

（三）推廣面

能源議題與國內經濟展及產業競爭力有相關，在合理條件下制定能兼顧產業需求及經濟發展的能源政策，才能達到以綠能需求帶動產業發展目標。因此在各類能源產業技術推廣上應可以從不同層面來探討。

建構能源議題溝通平台：由於整體能源供需系統複雜，節能減碳措施眾多，如何有效整合各方多元意見，並客觀分析未來整體能源系統衝擊，以及對環境和經濟影響，持續發展及推廣能源情境供需模擬器，將可做為整合各項能源技術之資料庫且具公信力溝通之重要平台。

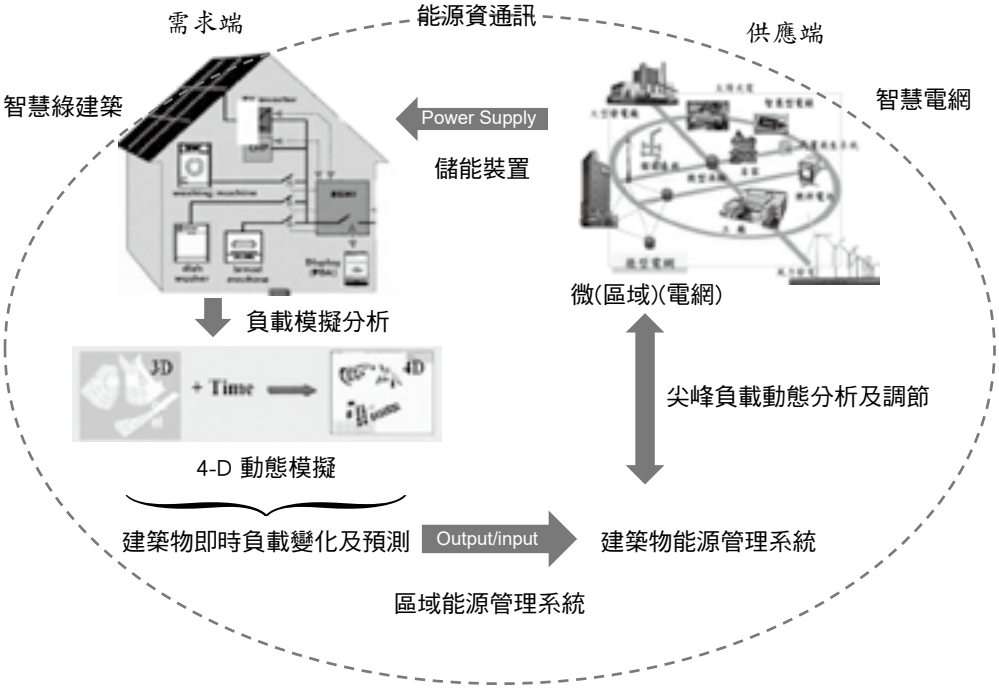
擴大節電計畫涵蓋面：在永續能源政策中訂定節能目標，自2008年起，每年皆達到降低能源密集度2%以上目標，至2015年已比2005年節電20%以上。為達到在2025年達到降低能源密集度50%總體目標，在現有工

業、住宅、商業部門節電計畫外，必須擴大計畫涵蓋面，例如加入家電耗能降低、節能建材管理、智慧節電技術等之應用，才能達到繼續提升節電效益成果。

針對耗能產業進行重點改革：訂定大用戶節能標準、導入智慧能源管理系統、擴大節能服務成果進行製程節能改善，有效降低耗能。

三、能源產業技術未來展望

全球在環境變遷影響下，減少溫室氣體排放已成為各國無法避免之責任，國內過去雖在需求端之提高能源效率上已有重大成效，然在供應端之新及再生能源推動上卻因技術、經濟、環境、土地等因素之侷限而未能有較快速進展。展望未來，國內能源產業技術之發展，勢必要在經濟發展及兼顧環境維護下來推動，並整合應用低碳技術，如果以建築來代表供應端(電力)的需求為範例來看，可以用圖6-3-2來說明。



資料來源：工研院整理，2015年12月

圖6-3-2　低碳技術整合應用示意圖

其中包括在需求端導入各項節能技術以降低建築物之負載，至於在供應端除提高傳統電廠之能源效率外，更要積極導入各項再生能源技術。在需求端需導入模擬分析技術以預測即時及未來之電力需求，而在供應端除了導入智慧電網以進行傳統電廠或各類分散式電力之即時調整外，更可結合熱電整合系統架構微(區域)電網，以對電力網路做最佳之調配。而在兩者之間，則需導入負載之動態分析以進行尖峰負載之動態調節，並透過專家系統分析來進行即時之電力調配。

此外，為因應未來再生能源或其它分散式電力能源逐漸擴大在電力網之佔比，因此在考量這些電力來源常會受到外界環境之變動而有較大之變化性，而電力供應之穩定性是電力網不可避免之要求，所以有必要導入儲能(電)系統以在整個電力網路上扮演一個緩衝之角色，以使電力調度更具彈性及滿足電力用戶之需求。

在此條件下，能源產業技術之展望，乃是透過各項技術之研發或推廣應用，以協助政府3E（能源、經濟、環境)平衡發展政策再加上能源安全(3E+S)目標之達成，所以未來能源產業技術展望可整理如下之方向：

1. 效率帶動產業，產業創造經濟發展及確保優質生活環境：逐步檢討各項設備或系統之能源效率，以效率標準來引導能源產業技術之發展，並建構國內推動各項智慧節能所需之技術，再以能源產業來帶動國內另一波之經濟發展；如此可以在持續經濟發展下，一方面減少能源之消耗，另一方面維繫優質生態環境。

2. 擴大再生能源來建構新綠能產業：善用完整之太陽光電產業及優良海上風場，快速建構再生能源發電系統，並以國內場域之應用來強化太陽光電系統之設計運維能力及扶植離岸風力發電產業，建立自主施工技術能力及運維在地化；未來則逐步發展成為太陽光電及風力發電系統或元件主要供應國。

3. 拓展能源系統服務能量，開創產業成長新動力：善用國內製造業優勢，逐步結合高科技產業和資通訊技術，建置再生能源發電系統示範場域模式，厚植國內再生能源發電系統之整合能力。長期則以系統業來帶動國內製造業促成大型發電系統從設計、施工、運維及融資等之整體外銷能力，促成從製造王國提升至以服務為導向之能源產業，成國產業成長及經濟發展之新動力。

4. 低碳技術整合邁向永續環境：結合智慧電網及能源管理系統之建置，擴大低碳社區之推動，落實低碳技術之整合應用及強化區域能源系統之建置，以逐步邁向永續發展，一方面滿足COP21之規範及溫管法所定之減碳目標。

參考文獻

[1] International Energy Agency (IEA). Energy Technology Perspectives 2015; IEA： Paris, France, 2015

國家圖書出版品預行編目資料

2016年能源產業技術白皮書　2016年 / 何無忌等撰稿；

第一版 -- 臺北市：經濟部能源局出版：經濟部發行，2016.09

368面；18.5×25.8公分

ISBN　978-986-05-0174-2（平裝）

1.能源技術　　2.產業發展

400.15　　105018835

2016 年能源產業技術白皮書

發　　行：經濟部
發 行 人：李世光
出　　版：經濟部能源局
地　　址：104臺北市復興北路2號13樓
電　　話：(02)2772-1370
網　　址：http：//www.moeaboe.gov.tw
執 行 單 位：經濟部能源局
召 集 人：林全能
編 審 委 員：林全能、林公元、林大惠、林慶源、胡耀祖、洪傳獻、陳玲慧、陳咸亨、陳志臣、陳昭義、陳俊勳、陳輝俊、黃鎮江、馮展華、傅偉祥、楊金石、葉勝年、潘晴財、蔡朝陽、顏溪成、蘇金勝（以上依姓氏筆劃排列）

審 稿 委 員：江青瓚、宋聖榮、余淑美、林大惠、柯明村、陳在相、陳希立、陳家榮、陳輝俊、劉如熹、劉志放、蔡政翰、潘晴財、蕭弘清、顏溪成（以上依姓氏筆劃排列）

撰 稿 委 員：何無忌、李欣哲、李麗玲、呂威賢、林福銘、周雅文、胡耀祖、柳志錫、徐恆文、陳宗逸、張克勤、張鈺炯、曹芳海、梁佩芳、黃一德、黃正忠、黃怡碩、楊昌中、楊秉純、劉子衙、蔡振球、鄭名山、顏志偉、羅新衡、萬皓鵬（以上依姓氏筆劃排列）
台灣中油公司、台灣電力公司
出 版 日 期：2016年9月
版　　次：第一版
定　　價：新臺幣500元整

版權所有・翻印必究

GPN:1010501980　　ISBN:978-986-05-0174-2

廉潔 | 效能 | 便民

經濟部能源局
Bureau of Energy, Ministry of Economic Affairs

地址：臺北市104復興北路2號13樓
13F,NO.2 Fu-Hsing North Road, Taipei 104,
Taiwan, Rebulic of China
Tel：(02)2772-1370
Fax：(02)2711-5891
http://www.moeaboe.gov.tw

ISBN 978-986-05-0174-2
GPN：1010501980
定價：新臺幣500元整