

行政院原子能委員會
委託研究計畫研究報告

國際能源市場趨勢之我國新及再生能源發展策略評估
Assessment of International Energy Market and Development of
Renewable Energy Strategy in Taiwan

計畫編號：1052001INER021

受委託機關(構)：中原大學應用經濟模型研究中心

計畫主持人：林晉勗

聯絡電話：03-2655226

E-mail address：jxlin@cycu.edu.tw

研究期程：中華民國 105 年 2 月至 105 年 12 月

研究經費：新臺幣 116.9 萬元

核研所聯絡人員：秦安易、洪瑋嶸

報告日期：105 年 11 月

目 錄

目 錄.....	I
中文摘要.....	1
ABSTRACT.....	2
壹、計畫緣起與目的.....	3
貳、研究方法與過程.....	9
(一) 國外能源價格長期假設之特性.....	55
(二) 參數本土化方法-中油公司諮議平台及計量方法.....	58
(三) 初級能源價格假設.....	61
(一) 研究目的.....	65
(二) 研究方法.....	68
(三) 模型參考情境設定.....	76
(四) 模型參考情境模擬結果.....	81
(五) 模型政策情境設定.....	86
(六) 模型政策情境模擬結果.....	89
參、主要發現與結論.....	97
肆、參考文獻.....	102

圖目錄

圖 1 2015 年我國能源供給結構.....	10
圖 2 全球燃煤價格趨勢.....	15
圖 3 1995 年~2015 年台灣煤炭供給	16
圖 4 1995 年~2015 年台灣煤炭消費	17
圖 5 1995-2015 年間國際原油蘊藏量變化	19
圖 6 1965-2015 年各地區原油生產量趨勢	20
圖 7 1965-2015 年各地區原油消費量趨勢	21
圖 8 新政策情境下 OPEC 與非 OPEC 國家原油產量變動預測(2000 年至 2040 年).....	23
圖 9 四種情境下至 2040 年布蘭特原油現貨價格走勢預測	24
圖 10 2005-2015 年間國際天然氣蘊藏量變化	27
圖 11 1970-2015 年各地區天然氣生產量趨勢	28
圖 12 1970-2015 年各地區天然氣消費量趨勢	30
圖 13 各地區天然氣價格走勢 2005-2016Q3	31
圖 14 IEA 預測新政策情境下 2013-2040 年全球各類天然氣產量.	33
圖 15 再生能源占能源消費比例-英國	36
圖 16 發電配比示意圖 (In Lead Scenario, 2020) (TWh).....	37
圖 17 原油進口價格高低案假設.....	63
圖 18 液化天然氣進口價格高低案假設.....	63

圖 19 燃料煤進口價格高低案假設.....	64
圖 20 煉焦煤進口價格高低案假設.....	64
圖 21 模型基本架構.....	70
圖 22 模型內生產巢式結構.....	72
圖 23 模型內能源投入結構.....	73
圖 24 模型內電力投入結構.....	74
圖 25 家庭戶數趨勢.....	78
圖 26 原油價格.....	78
圖 27 天然氣價格.....	79
圖 28 燃煤價格.....	79
圖 29 躉購費率設定.....	80
圖 30 低油價參考情境經濟成長率及比較.....	82
圖 31 低油價參考情境之二氧化碳排放量.....	82
圖 32 低油價參考情境之發電量結構.....	83
圖 33 低油價參考情境之最終能源消費結構.....	83
圖 34 高油價參考情境之經濟成長率.....	84
圖 35 高油價參考情境之二氧化碳排放量.....	85
圖 36 高油價參考情境之發電量結構.....	85
圖 37 高油價參考情境之最終能源消費結構.....	86
圖 38 減碳目標設定.....	87

圖 39 相較於參考情境之實質 GDP 變動率及碳稅(S1 及 S2)	90
圖 40 S1 情境之發電量結構	91
圖 41 S2 情境之發電量結構	91
圖 42 相較於參考情境之實質 GDP 變動率及碳稅(S3 及 S4)	93
圖 43 S3 情境之發電量結構	93
圖 44 S4 情境之發電量結構	94
圖 45 相較於參考情境之實質 GDP 變動率及碳稅(S5 及 S6)	95
圖 46 S5 情境之發電量結構	95
圖 47 S6 情境之發電量結構	96

表目錄

表 1 2013~2014 全球煤炭需求概況(百萬噸).....	12
表 3 2013~2020 全球煤炭需求預估(百萬噸).....	13
表 4 2013~2014 全球煤炭供給概況(百萬噸).....	14
表 5 2013~2020 全球煤炭供給預估(百萬噸).....	14
表 6 英國再生能源占最終能源消費目標.....	36
表 7 Renewable Heat Incentive (RHI) 費率.....	41
表 8 法國再生能源占最終能源消費目標.....	43
表 9 德國能源政策目標 (含 2014 實際值).....	50
表 10 德國再生能源占最終能源消費目標.....	51
表 11 各國發電配比.....	53
表 12 初級能源進口價格假設依據及本土化方法.....	62
表 13 再生能源推廣目標及發展上限.....	88
表 14 情境設計.....	89

中文摘要

近年來美國頁岩油氣出口及國際政經局勢變化皆深切影響國際能源市場，同時全球溫室效應所引發的氣候變遷議題逐漸成為顯學，倡議二氧化碳減排的聲浪居高不下，導致再生能源的推動儼然成為各國能源政策最重要的一環。目前多數國家再生能源之發電成本相對於傳統發電方式仍然偏高，故其在開放市場中並不具競爭力，惟即便如此，再生能源仍可為環境或能源自主帶來許多的助益。然而，究竟再生能源產業的發展，對於能源、環境及經濟到底可以帶來多少效益？如果在投入研發前，或是研發期間沒有經過詳細的評估，將有可能導致資源的浪費，進而損及國家整體經濟的發展。本計畫之目的在於利用過去年度核能研究所持續發展的 3E 評估模型—GEMEET 為基礎，搭配能源價格情境之估計，針對新及再生能源蒐集相關技術資料以更新模型之基準資料，並完成相關評估等，並根據分析結果提出具體的政策建議。

關鍵字：國際能源市場、再生能源、可計算一般均衡模型(GEMEET)

Abstract

In recent years, the production of shale oil in America and the change of global political situation have a great impact to the international energy market. The deterioration of global energy and environmental problems in recent years has forced many countries to accelerate their paces in developing and utilizing alternative energies. However, generation cost using new and renewable energy technologies is still high compared to that of conventional ones. Moreover, although most of the new and renewable energy technologies can bring about significant energy, environmental, and economic benefit to the economy, they are inevitably associated with huge risks and uncertainties. As such, a careful assessment of the renewable technology strategy in facing the potential energy risk is necessary before the decision is made.

The aim of this project is to develop a GEMEET-based framework to analyze the renewable energy development under the uncertainties of traditional energy. Suggestions of how to develop the renewable energy technologies will also be derived based on the analysis results and be provided to the related agencies for formulating suitable policy measures.

Keywords: International energy market; Renewable energy; GEMEET

壹、計畫緣起與目的

一、計畫緣起

近年來美國頁岩油氣出口及國際政經局勢變化皆深切影響國際能源市場，石油輸出國組織(OPEC)為了對抗美國的頁岩油並鞏固全世界市占率，多次表達不輕易減產之立場，同時全世界之經濟成長減緩，導致其他國家之能源需求成長也無法消化此產量，形成供過於求的現象，在半年內布蘭特(Brent)、西德州(WTI)及杜拜等原油價格下跌達 60%。而我國能源 98%皆來自進口，如何因應國際能源市場變化以降低能源供應風險，已成為各界關注的焦點。

雖然能源是經濟發展的驅動力，但能源使用產生大量溫室氣體的排放，造成全球暖化，已危及人類的生存環境與永續發展，故國際間針對全球溫室氣體排放之討論熱烈，國際間已陸續完成簽訂多項具體之溫室氣體減排協議，例如京都議定書(Kyoto Protocol)、國家溫室氣體適當減緩行動(Nationally Appropriate Mitigation Actions, NAMAs)、國家自訂預期貢獻(Intended Nationally Determined Contribution, INDC)等，再再展現各國減緩全球環境持續惡化之決心外，各國同時亦致力於尋求一能同時兼顧經濟發展、環境永續與能源安全之解決方案。在全球能源及環境問題日益惡化的情況下，各國對傳統化石能源早已逐漸產生一

定程度的不確定感及不安全感，而此一不確定及不安全感也誘使各國積極尋求各種替代性的能源，以降低其能源供應的潛在風險，並同時解決其環境不斷惡化的問題。新及再生能源之發展被視為可減緩二氧化碳排放、提升能源自主、降低能源供應風險之重要因應之道，因此如何提出有效之發展策略來擴大新及再生能源的利用日趨重要。

在存在國際能源市場的供應風險，同時又要達到減碳目標下，要再針對新能源技術進行詳細的評估，需要有一套完整而又複雜的架構，惟過於複雜的架構通常需要投入的人力及成本較高，也比較不易操作，而所能夠產生的分析邊際效益也有限，因此，需要衡量所擁有的分析工具，再搭配各種時間及成本的考量，決定所將採行的分析架構。

對任何能源技術進行經濟或環境效益評估前，必須先對技術的特性有充份的了解，因此有必要先對該技術的製程及其特性有充份的瞭解，此外，該技術發展後，與其他技術之間的競爭或互補的可能性也應一併進行評估，以作為最後評估該技術產業化可行性之參考。就技術之間取代的可能性而言，從經濟學的角度，可由技術間或產品間的替代彈性（elasticity of substitution）值的大小來反映，惟此一替代彈性值需要透過計量估計的方式得到，而新技術因為尚在發展中，並無可靠的市場數量及價格資料可用

於估計，因此，可能需要透過其他間接的方法估計其值，而比較可行的方法是取用類似技術或產品的資料，或是借用其他在技術發展上較為先進國家的資料，再估計得到可供參考的數值。

近年來，在原子能委員會核能研究所支持與中原大學應用經濟模型研究中心的合作下，開發了適合於再生能源政策及產業發展效益評估的 3E (Energy, Environment, and Economy) 評估模型—GEMEET (General Equilibrium Model for Energy Economic and Technology Analysis)。此一模型有三個最主要的重點：(1) 符合經濟現況，並納入重要之新及再生能源產業與主要發電技術 (2) 可以用於評估新及再生能源產業發展的成本與效益；及(3)可以將其與能源工程模型做軟連結，以發揮兩類模型的最大效益，提升政策評估的品質。

本計畫研發之 CGE 模型歷經多年的開發已建置完成，其中納入了幾個重要的新及再生能源產業，如太陽光電、風力發電設備、纖維酒精、生質柴油...等，也針對發電業設定了不同的發電技術，如燃油發電、燃煤發電、燃氣發電、核能發電、汽電共生、風力發電、太陽光電發電...等。利用此一模型，研究團隊已進行了一系列政策的模擬，如二氧化碳減量、能源使用效率提升、核電廠延後除役，課徵能源稅及碳稅、學習曲線效果、再生能源學習曲線效果、R&D 投資效益評估、躉費率政策評估、能源安全評估...

等。目前建置的 GEMEET 模型特色可歸納如下：

- (一) 納入特殊之新能源及再生能源部門 (包含纖維酒精製造業、生質柴油製造業、風力發電設備製造業、太陽光電發電設備製造業、纖維酒精設備製造業)
- (二) 發電部門係由不同之發電技術所組成 (包含傳統的火力發電、水力發電、核能發電，以及再生能源發電如太陽光電發電、風力發電)
- (三) 部份新能源或再生能源主要用於發電，部份則以作為一般消費為主，另有一些則屬於以半成品或組件、設備製造為主
- (四) 考量了內生技術變動的機制 (學習曲線效果及 R&D 累積)，並連結了科技政策的影響機制
- (五) 考量了能源政策中的誘因或補貼政策，針對租稅及補貼有特殊的處理
- (六) 考量環境政策的施行，設計了課徵碳稅或能源稅，以及直接進行總量管制之機制
- (七) 事先考量將來與能源工程模型整合的策略，擬定合理的部門分類

基於過去多年的研發成果及經驗，今年度 CGE 模型研發的重點將朝模型本身的合理性檢討與延伸應用，包含評估國際能源市場趨勢之我國新及再生能源發展策略評估。

二、計畫目的

在過去的研究計畫中，我們已針對生質酒精、太陽光電、離岸風力發電、陸域風力發電及燃料電池等相關再生能源進行技術經濟分析，並結合 3E 模型進行能源、經濟、環境效益評估，最後整合研究成果與發現，提出具體之產業化建議。基於此，本團隊將利用過去所累積之研究能量，在今年度(105)針對國際能源市場趨勢之下，評估我國新及再生能源發展策略。研究目的為完成相關模型的資料更新工作後，評估在不同能源價格情境下我國新及再生能源發展策略。以下具體說明本計畫之研究目的：

相關國際能源市場及歐洲新及再生能源發展資料蒐集

蒐集正確且可利用的資料，是任何研究最重要的一個步驟，此外更需參考國內外相關研究文獻，以及國際間對市場潛力之評估等。關於產業面的資料，除了可藉由網際網路尋找國內外參考資料與文獻外，當然更需要實際訪察相關研究機構、廠商、產業聯盟或工會組織等單位，以確認資料的正確性；而關於總體經濟資料則可藉由官方公布出版的統計數據資料庫或紙本資料進行蒐集；國際能源市場評估及相關國家新及再生能源發展趨勢則可參考國內外相關機構或廠商對未來市場的評估，另外也可利用相關計量方法進行推估並比較。這些資料的蒐集與整理需要投入相當的人力與時間，且資料的蒐集並非僅在研究初期進行，而是一個

持續性的工作。

應用模型於議題分析

GEMEET 經過幾年的研發及持續的資料更新，目前已具備了完備的能源政策評估功能，也能夠與能源工程模型 MARKAL 進行整合，因此可以用於評估更多元的能源及再生能源政策。GEMEET 目前已進入第二階段的模型研發，除已配合主計處公佈的最新產業關聯資料大幅度更新模型基準資料外，也重新推估及檢討各種模型參數，更依據最新蒐集之新能源資料調整新能源技術之成本結構資料，並反覆測試求解模型基準資料，再由求解結果產製各種重要觀察指標，不斷檢視這些結果是否符合現況、政策規劃目標及專家預期...等。除了上述外，研究也已納入各種新的分析及政策模擬功能。所以本年度在完成相關模型的資料更新工作後，利用模型評估國際能源市場趨勢對我國新及再生能源發展之影響。

貳、研究方法與過程

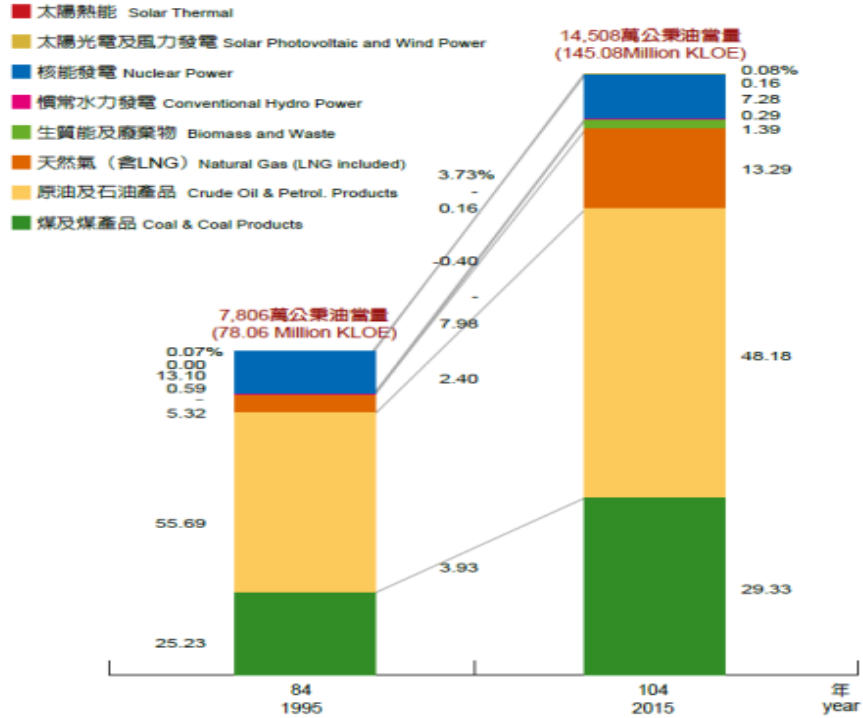
一、國際傳統能源市場現況趨勢

(一) 煤炭

煤炭由於蘊藏量豐富且價格低廉，向來作為初級能源的主要來源之一，依據經濟部能源局「104年度能源統計手冊」資料，2015年我國能源供給按能源別區分，煤及煤產品之供給為42,553.2千公秉油當量(占能源總供給29.33%)，僅次於原油及石油產品之69,899.8千公秉油當量(占能源總供給48.18%)(見圖1)。以實際重量計算，我國煤炭總供給量自1995年2,899萬公噸增至2015年6,476萬公噸，年平均成長率達4.10%，煤炭消費量則自2,586萬公噸增至6,175萬公噸，年平均成長率達4.45%，而自2001年起，我國煤炭已無自產，全部依賴進口，因此，國際煤炭市場的供需趨勢，對我國煤炭市場的有重要影響。本文參考IEA於2015年12月發表之「Medium-Term Coal Market Report 2015」報告，說明該報告對於全球煤炭市場趨勢的重要觀察，並參考能源局「104年度能源統計手冊」，對國際煤炭現況與趨勢簡要說明。

能源供給結構 Structure of Energy Supply

● 我國能源供給快速成長，年平均成長率約3.15%。
Energy supply increases rapidly with annual growth rate of 3.15%.



資料來源：經濟部能源局 (2015)。

圖 1 2015 年我國能源供給結構

1. 全球煤炭市場的供需概況

(1) 全球市場需求情形

全球的煤炭在 2014 年消費量達 7,920Mt，年成長率為-0.9% (減少 71Mt，百萬公噸)，而過去 10 年來，平均每年成長率為 4.2%。全球的煤炭需求在 2014 年面臨本世紀以來首次衰退，中國由於經濟成長趨緩、能源密集度下降及因為環境保護而減少煤炭等因素需求，使得中

國的煤炭消費減少 116Mt；印度仍有 2.4 億人沒有充分電力且印度正努力擴大製造業的規模，煤炭作為成本最低基載能源選擇，電力需求增加使得印度的煤炭消費增加 103Mt。一些主要的東亞國家，如印尼、越南、菲律賓等的處境與印度類似，電力需求及成本因素使得煤炭需求增加。美國的煤炭需求由高峰的 1030Mt 減少至 2014 年的 835Mt，除了使用天然氣取代煤炭之外，美國環境保護署採取一系列的措施以減少環境汙染也使得燃煤的火力發電廠承受很大的壓力。歐洲自 2000 年以來經濟成長率較低，造成煤炭的需求持續下降，歐洲在金融危機後，經濟面臨嚴重衰退，也使得能源消費減少。其次，歐洲鼓勵再生能源的發展，並且制定相關之環境及氣候政策，也造成煤炭需求進一步下降，如歐盟排放交易系統(EU Emission Trading Scheme, EU-ETS)及對碳排權設定價格。表 1 可以看出，2014 年全球煤炭需求量為 7920Mt，較 2013 年減少 71Mt(約 0.9%)，2014 年全球主要消費國(地區)為中國(總需求量 3920 Mt，佔比 49.5%)、印度(總需求量 907 Mt，佔比 11.4%)、美國(總需求量 835 Mt，佔比 10.5%)、歐盟(總需求量 691 Mt，佔比 8.7%)，除了印度之外，其他國家(地區)均呈現下降

趨勢。

表 1 2013~2014 全球煤炭需求概況(百萬噸)

	Total coal demand (Mt) 2013	Total coal demand (Mt) 2014*	Absolute growth (Mt) 2013-14	Relative growth (%) 2013-14	CAGR (% per year) 2004-13	Share (%) 2014
China	4 035	3 920	-116	-2.9%	8.8%	49.5%
India	804	907	103	12.8%	7.4%	11.4%
United States	840	835	-5	-0.5%	-1.5%	10.5%
Germany	245	236	-9	-3.7%	0.0%	3.0%
Russia	210	201	-9	-4.3%	-0.6%	2.5%
European Union	734	691	-43	-5.9%	-1.2%	8.7%
OECD	2 136	2 089	-47	-2.2%	-0.6%	26.4%
Non-OECD	5 855	5 831	-24	-0.4%	6.9%	73.6%
World	7 991	7 920	-71	-0.9%	4.2%	100.0%

* Estimate

Notes: CAGR = compound annual growth rate. Differences in totals are due to rounding.

Source: IEA (2015a), *Coal Information 2015*, www.iea.org/statistics/.

資料來源：IEA (2015)。

整體而言，預估全球煤炭需求將以年複合成長率 1% 成長，需求量由 2014 年的 7920Mt，成長至 2020 年的 8387Mt，共計增加 467Mt。由表 2 可知，需求的增加來自於非 OECD 會員國。非 OECD 會員國的需求量由 2014 年 5831Mt，增加至 2020 年的 6438Mt，共計增加 607Mt，其中的貢獻主要來自於中國(增加 227Mt)、印度(增加 188Mt)及東南亞國協(增加 105Mt)。而 OECD 會員國的需求量則由 2014 年 2089Mt，減少至 2020 年的 1949Mt，減少了 140Mt。

表 2 2013~2020 全球煤炭需求預估(百萬噸)

	2013	2014*	2016	2018	2020	CAGR
OECD	2 136	2 089	2 021	1 992	1 949	-1,1%
<i>OECD Americas</i>	915	912	849	809	785	-2,5%
<i>United States</i>	840	835	784	748	727	-2,3%
<i>OECD Europe</i>	761	727	718	727	713	-0,3%
<i>OECD Asia Oceania</i>	460	450	454	455	451	0,0%
Non-OECD	5 855	5 831	5 978	6 177	6 438	1,7%
<i>China</i>	4 035	3 920	3 966	4 045	4 147	0,9%
<i>India</i>	804	907	962	1030	1095	3,2%
<i>Africa and Middle East</i>	199	200	218	222	232	2,5%
<i>Eastern Europe/Eurasia</i>	502	474	475	482	503	1,0%
<i>ASEAN</i>	170	179	207	240	284	7,9%
<i>Other developing Asia</i>	107	111	108	115	130	2,7%
<i>Latin America</i>	38	41	42	43	48	2,9%
Total	7 991	7 920	7 999	8 169	8 387	1,0%

* Estimate.

Note: projections have been produced in million tonnes of coal-equivalent. For reference, this Annex also includes coal volumes in million tonnes. We have not analysed the calorific value of coal to be produced; therefore, projections in million tonnes should be consulted with caution.

資料來源：IEA (2015)。

(2) 全球市場供給情形

2014 年全球煤炭供給為 7925Mt，較 2013 年減少 55Mt(0.7%)，此為自 1999 年來首次衰退，主要在於中國減少 99Mt(2.6%)及印尼減少 17Mt(3.5%)。在過去 10 年來，中國煤炭供給的年複合成長率為 7.5%，印尼則為 15.3%，2014 年中國及印尼供給減少是一項重大變化。全球煤炭供給情形如表 3。

整體而言，預估全球煤炭供給將以年複合成長率 1% 成長，供給量由 2014 年的 7925Mt，成長至 2020 年的 8395Mt，共計增加 470Mt。由表四可知，供給的增加來

自於非 OECD 會員國。非 OECD 會員國的供給量由 2014 年 5909Mt，增加至 2020 年的 6443Mt，共計增加 534Mt，其中的貢獻主要來自於中國(增加 297Mt)及印度(增加 88Mt)。而 OECD 會員國的供給量則由 2014 年 2016Mt，減少至 2020 年的 1952Mt，減少了 64Mt。

表 3 2013~2014 全球煤炭供給概況(百萬噸)

	Total coal supply (Mt) 2013	Total coal supply (Mt) 2014*	Absolute growth (Mt) 2013-14	Relative growth (%) 2013-14	CAGR (% per year) 2004-13	Share (%) 2014
China	3 749	3 650	-99	-2.6%	7.5%	46.1%
United States	904	916	13	1.4%	-0.7%	11.6%
India	610	668	58	9.6%	4.7%	8.4%
Australia	459	491	32	7.0%	3.0%	6.2%
Indonesia	488	471	-17	-3.5%	15.3%	5.9%
OECD	1 989	2 016	27	1.3%	-0.2%	25.4%
Non-OECD	5 992	5 909	-82	-1.4%	6.4%	74.6%
World	7 980	7 925	-55	-0.7%	4.4%	100.0%

* Estimate.

Note: Differences in totals are due to rounding.

Source: IEA (2015a), *Coal Information 2015*, www.iea.org/statistics/.

資料來源：IEA (2015)。

表 4 2013~2020 全球煤炭供給預估(百萬噸)

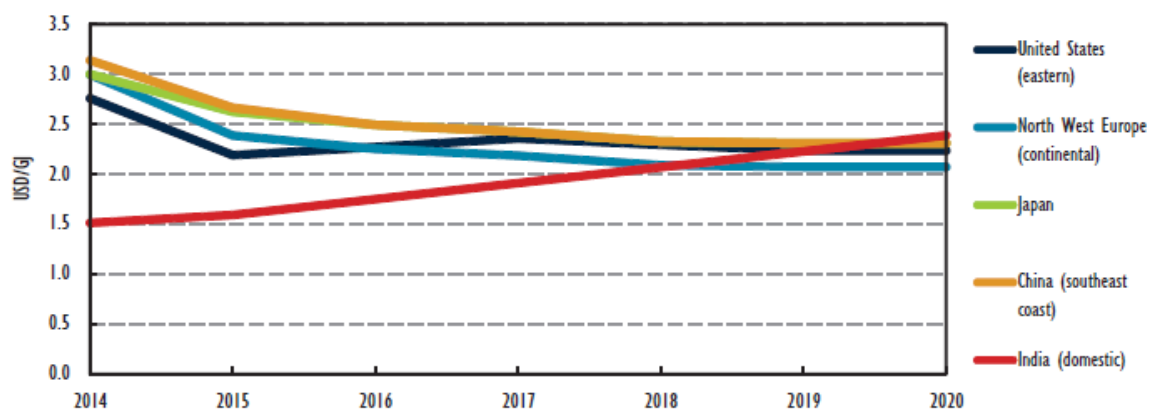
	2013	2014*	2016	2018	2020	CAGR
OECD	1 989	2 016	1 947	1 941	1 952	-0,5%
<i>OECD Americas</i>	991	1 004	930	900	894	-1,9%
<i>United States</i>	904	916	846	819	814	-1,9%
<i>OECD Europe</i>	533	515	508	522	503	-0,4%
<i>OECD Asia Oceania</i>	465	497	510	519	554	1,8%
Non-OECD	5 992	5 909	6 055	6 235	6 443	1,5%
<i>China</i>	3 749	3 650	3 729	3 824	3 947	1,3%
<i>India</i>	610	668	694	750	756	2,1%
<i>Africa and Middle East</i>	269	267	295	297	306	2,3%
<i>Eastern Europe/Eurasia</i>	643	615	614	631	655	1,0%
<i>ASEAN</i>	557	538	533	522	550	0,4%
<i>Other developing Asia</i>	69	72	71	80	88	3,4%
<i>Latin America</i>	95	99	119	130	141	6,1%
Total	7 980	7 925	8 002	8 176	8 395	1,0%

* Estimate.

資料來源：IEA (2015)。

(3) 煤炭價格趨勢

煤炭可依照不同工業標準加以分類，煤炭的價格因其品質及分類的不同而有差異。美國(東岸)、西北歐、日本及中國(東南岸)的煤炭價格在2014年至2020年期間輕微下降或走平。印度的煤炭價格則由2014年的USD 1.5/GJ(約為 1.11/KG)上升至2020年USD 2.4/GJ(約為 1.78/KG)，變化較大。整體而言，煤炭的價格在此觀察期間有收斂的趨勢。2014年至2020年的價格趨勢如圖2。



Note: GJ = gigajoule.

資料來源：IEA(2015)。

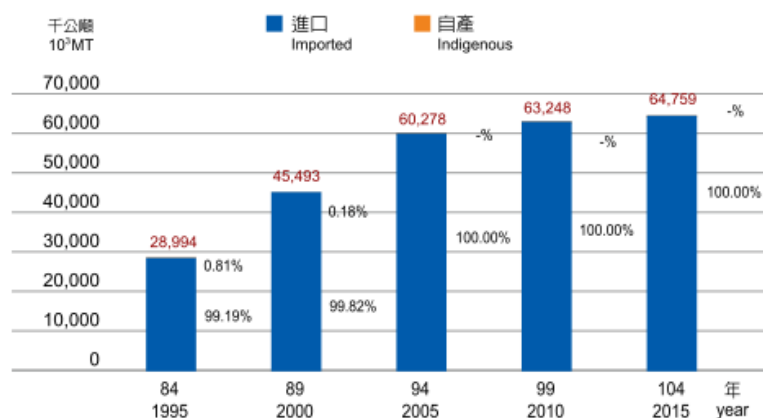
圖 2 全球燃煤價格趨勢

2. 台灣煤炭市場的供需概況

我國自 2001 年起，煤炭即無自產，全部依賴進口，民國 2015 年我國的煤炭供給量為 64.76Mt，主要由澳洲(占進口量 47.2%)、印尼(占進口量 36.3%)、俄羅斯(占進口量

11.3%)等地進口。2015 年煤炭消費量為 61.6Mt，其中 42.5Mt(約 69.15%)用於發電。台電公司目前每年燃煤用量約 27Mt，2015 年燃煤機組發電量占台電公司總發電量約 33%，由於燃煤機組發電為低成本之基載電源，隨著台電林口與大林電廠超超臨界燃煤機組(Ultra-Super Critical, USC)陸續商轉，未來燃煤需求量將逐年增加至約 36Mt。IEA 的估計，台灣燃煤的需求量將由 2014 年的 58Mt 增加到 2020 年的 66Mt(年複合成長率 2.2%)。

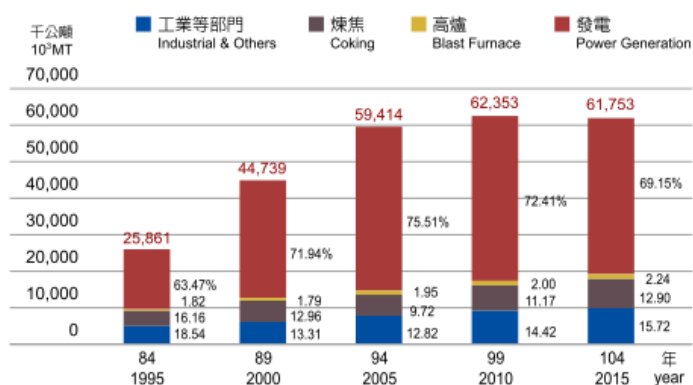
煤炭供給 (按自產與進口別)
Coal Supply (by Indigenous & Imported)



資料來源：能源局(2015)。

圖 3 1995 年~2015 年台灣煤炭供給

煤炭消費 (按用途別)
Coal Consumption (by Use)



資料來源：能源局(2015)

圖 4 1995 年~2015 年台灣煤炭消費

3. 小結

2014 年全球的煤炭市場出現本世紀以來的首度負成長，中國經濟成長趨緩及調整產業結構是主要的原因。油價持續下跌，促使利用天然氣取代燃煤發電，使得煤炭得需求下降。碳排放及空氣污染的議題日益受到各國的重視，在政策上對於燃煤也有愈來愈多的限制。由於煤炭有 66.7% 作為發電使用，未來煤炭的供給及對環境的影響均主要受到電力部門的影響，碳捕捉與封存技術(CCS)及超臨界(SC)/超超臨界(USC)發電技術可降低燃煤對環境的衝擊，可能會提高煤炭的使用。依照 BP 的預估，預計在 2013 年至 2035 年，整體煤炭需求仍將以 0.8% 的速度緩慢成長。

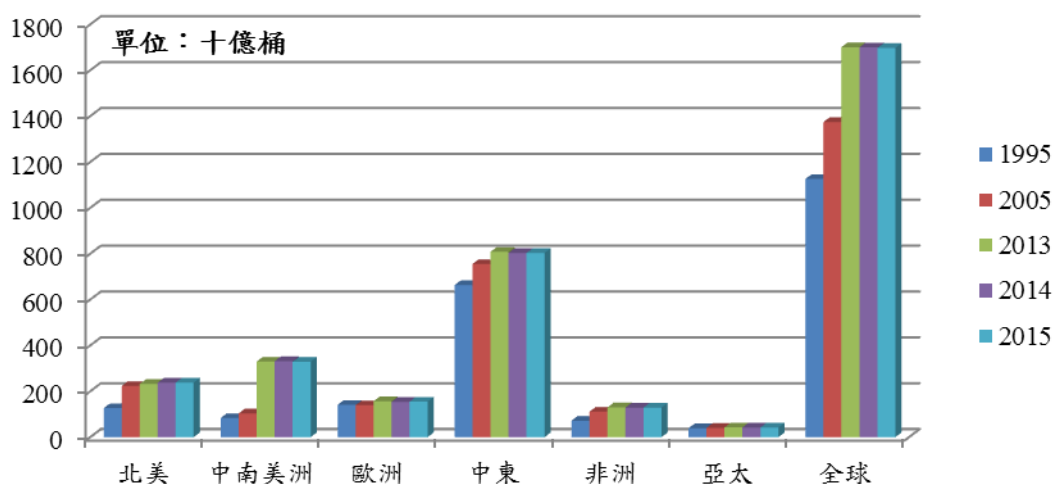
(二) 原油

國際原油價格走勢於 2014 年中起出現戲劇性的轉折，布蘭特(Brent)原油價格自 2014 年 6 月高點 115 美元/桶，一路劇烈走跌逾 75%，甚至於 2016 年 1 月底跌破 30 美元/桶，是自 2008 年金融危機以來的最低點。此波油價的巨幅走貶，主因在於非 OPEC 國家原油的擴大開採，以及世界各國經濟發展減緩所致(BP, 2015)，然後續的原油價格變化亦充滿著許多的不確定性，本文將從國際原油供需現況分析著手，藉由國際知名能源研究機構(如：BP、EIA、IEA)近期公布之研究報告與資訊，嘗試整理出國際原油市場現況與趨勢之脈絡，以供各界參考。

1. 國際原油蘊藏情勢變化

全球原油蘊藏量持續成長，自 1994 年的 1.12 兆桶成長至 2004 年的 1.37 兆桶，於 2013 年達 1.70 兆桶，而近兩年的蘊藏量並未呈明顯增加趨勢，2014 年與 2015 年依舊維持在 1.70 兆桶上下的水準。圖 5 為 1994 年至 2015 年間國際原油蘊藏量變化圖，若以地區劃分，中東地區之原油蘊藏量占比最高，於 2015 年達 47.3%，其次為中南美洲地區，約占 19.4%，而北美地區與歐洲地區則分占 14%與 9.1%。近年的原油蘊藏量成長趨勢，則以中南美洲地區成

長最速，在 2005 年至 2015 年間，其原油蘊藏量之年均複合成長率達 12.6%，其餘地區之蘊藏量成長則相對穩定，年均複合成長率均介於 0.4% 至 1.5% 之間 (BP, 2015；2016)。



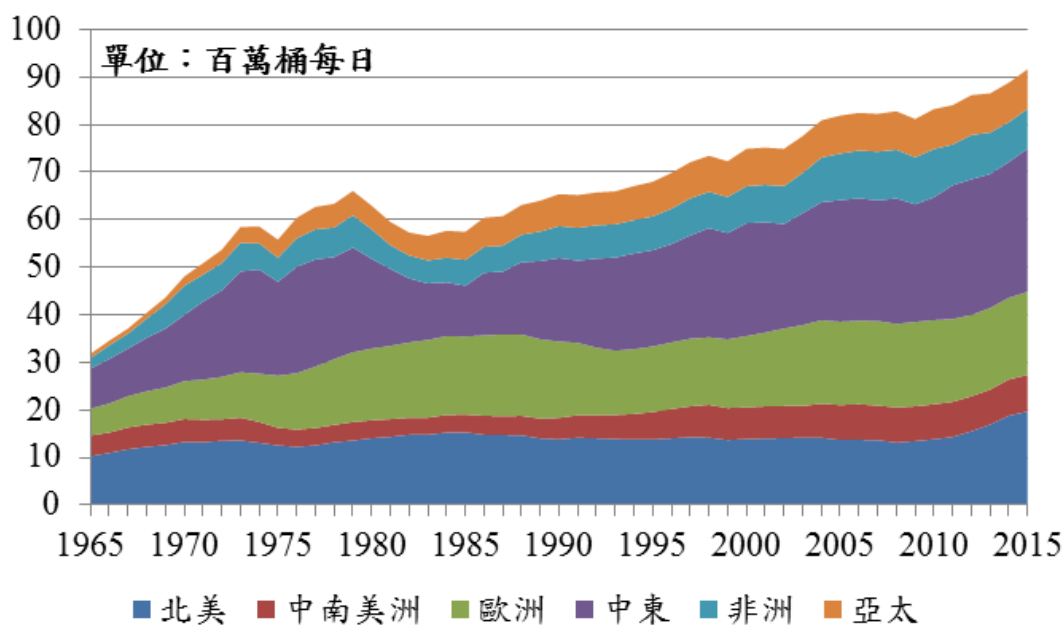
資料來源：BP (2015；2016)。

圖 5 1995-2015 年間國際原油蘊藏量變化

2. 國際原油生產量與消費情勢

國際原油蘊藏量變化趨勢應可視為基礎參考資訊，而真正影響油價波動的是國際原油供需情勢的變化。圖 6 為 1965 年至 2015 年各地區原油產量變化趨勢圖，除了 1974 年與 1978 年因中東情勢不穩引發二次石油危機導致原油產量下降、國際油價飆漲，以及 1997 年與 2008 年因金融危機導致各國經濟衰退、對原油之需求減少外，大抵而言

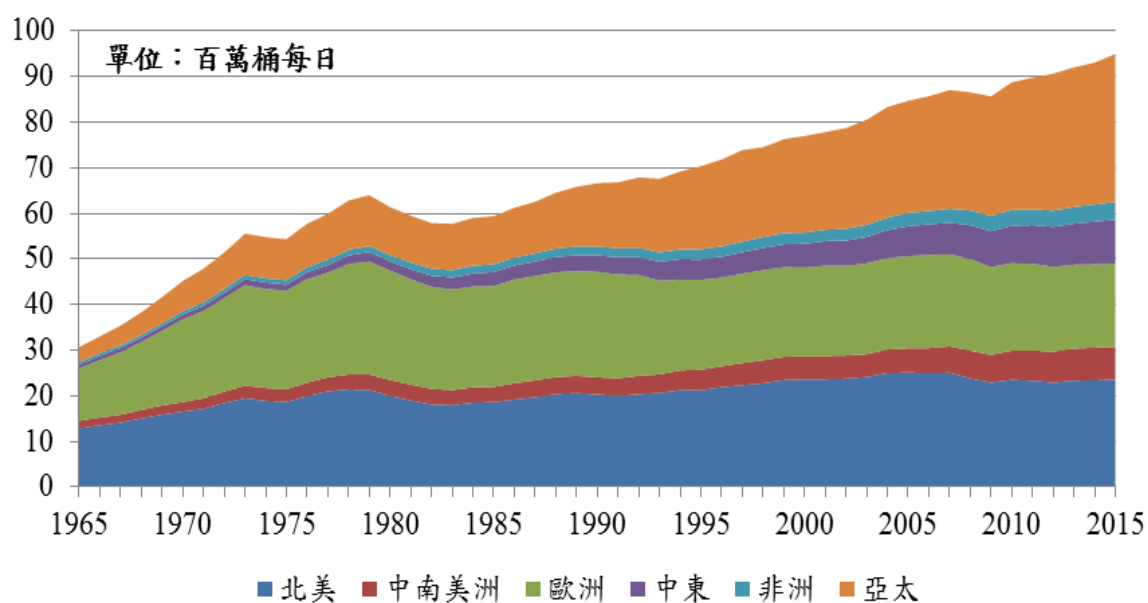
全球原油產量呈現持續成長的趨勢，2014 年全球原油產量成長率為 2.6%，而 2015 年則達 3.2%。由圖 6 亦可發現，北美地區為近年全球原油產量持續成長的重要推手，北美地區於 2011 年起持續擴大開採頁岩油，其 2014 年的原油產量年成長率達 10.9%，2015 年亦有 4.7% 的增幅，遠高於全球年成長率；反觀原油產量最大的中東地區，其近年產量相對較穩定，2011 年至 2014 年間中東地區之每日原油產量均維持在 28 百萬桶，而 2015 年為了在全球石油市場發動油品的價格競爭，中東地區於 2015 年的原油產量亦有 5.4% 的成長。



資料來源：BP (2016)。

圖 6 1965-2015 年各地區原油生產量趨勢

圖 7 為 1965 年至 2015 年各地區原油消費量變化趨勢圖。自消費面的角度切入可知，開發中國家(如亞太地區)經濟的高速發展導致原油需求的提升，在此 40 年間，亞太地區原油消費量之年複合成長率為 5.9%，中國的原油需求更達 10.6% 的高速成長，而已開發國家地區之原油消費需求成長呈逐年趨緩之勢，北美地區原油消費量之年複合成長率為 1.5%，歐洲地區亦僅有 1.2% 的成長，全球之平均年複合成長率則約 2.9%。



資料來源：BP (2016)。

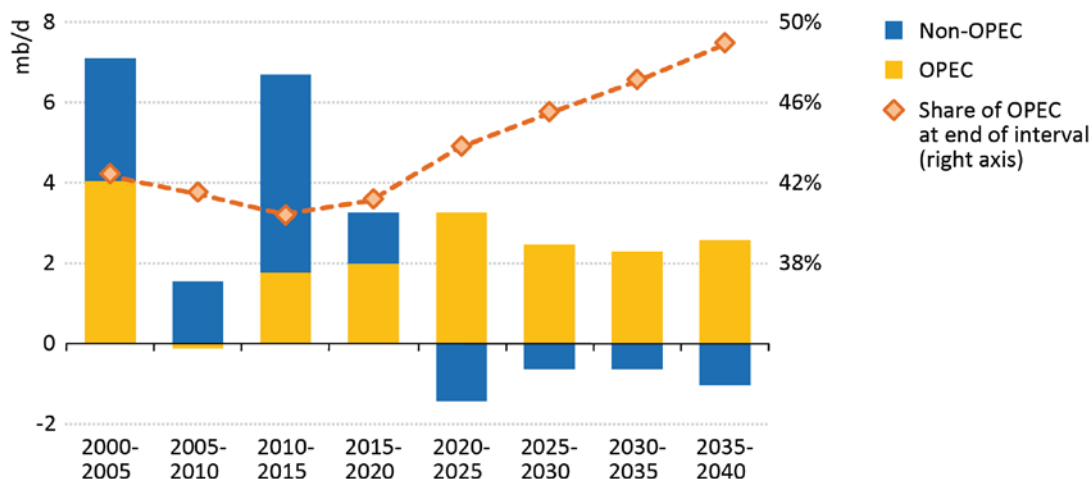
圖 7 1965-2015 年各地區原油消費量趨勢

3. 原油近況與未來趨勢

筆者觀察油價近年波動發現，由於國際原油供給過剩，自2014年中至2016年初國際油價下跌逾75%。然而，自2016年2月起，原油價格止跌並反彈至2016年6月的52美元/桶，漲幅亦高達82%。2016年6月起至8月間，因各產油國龐大庫存壓力顯現，油價先壓抑至40美元/桶的波段低點，而後又因OPEC協商原油凍產有望，油價再度攀升至49美元/桶。近期則因後續局勢尚不明朗，油價持續於43-50美元/桶間徘徊。EIA(2015)指出，未來國際油價走勢充滿著高度的不確定性，將受全球對石油產品的需求、原油產量與其他液體燃料(如：液態天然氣、生質燃料等)之供給等因素影響，而價格之漲跌將與非OECD國家之經濟成長高度連動。

圖 8 為 IEA(2015)新政策情境下 OPEC 與非 OPEC 國家原油產量之變動情勢預測，在新政策情境中，於 2020 年前非 OPEC 國家擴大開採原油仍將持續使全球原油產量增加，並將於 2020 年達到產量高峰；而 2020 年起，IEA 預期非 OPEC 國家(尤其是美國)的原油產量將開始衰退，全球原油產量變化亦將轉向並開始下降；另一方面，OPEC 國家將重新站回全球原油供應市場的主導地位，並維持穩

定之原油供給，而 OPEC 國家之原油供應占比亦將逐年上升。

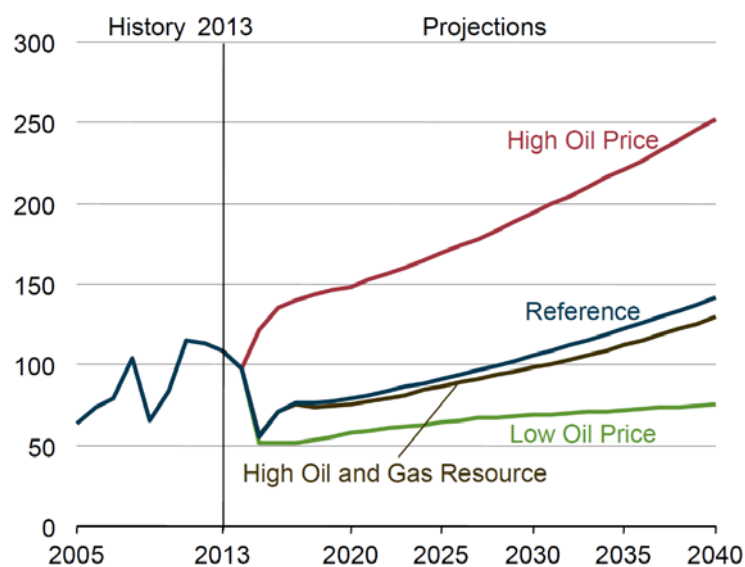


資料來源：IEA (2015)。

圖 8 新政策情境下 OPEC 與非 OPEC 國家原油產量變動預測(2000 年至 2040 年)

在國際油價走勢預測部份，EIA(2015)設定4種情境，並針對至2040年布蘭特原油價格走勢進行預測，如圖9所示。EIA(2015)指出，自2013年以來，美國頁岩油的開採使國際原油價格下降近43%。在參考情境下，由於非OECD國家的經濟成長，增加了對原油的需求，而美國持續開採頁岩油同樣抑制了油價的漲幅，EIA(2015)參考情境預期國際油價將於2015年後逐步緩升，並將於2020年達80美元/桶；而2020年起，因美國原油產量開始下降，OPEC國家重新主導國際原油供應市場，預期油價於2028年將維持在

100美元/桶的水準，而2040年則將達141美元/桶。相較於參考情境，低油價情境假設非OECD國家有較低的經濟成長，且OPEC國家擴大投資上游石油開採設備，將導致國際油品市場持續呈現供過於求的情形，在低油價情境下，EIA預測2040年之國際油價將為76美元/桶，比參考情境之油價低約47%。高油價情境則建立在非OECD國家的高需求與OPEC國家的巨幅減產之假設上，在高油價情境下，EIA預測國際油價將於2040年達252美元/桶，約為參考情境下的1.8倍。



資料來源：EIA (2015)。

圖 9 四種情境下至 2040 年布蘭特原油現貨價格走勢預測

4. 小結

原油蘊藏量目前仍以中東地區蘊藏量最高，占約 47%，其次為中南美洲地區，約占 19%，然而北美地區擴大開採頁岩油才是近年影響國際油價波動劇烈之主因。由 EIA 與 IEA 之研究報告顯示，至 2020 年前原油之供需趨勢與價格變動仍將大比例受北美地區之原油供給影響。而較長期的國際原油供需與價格走勢，除了受北美地區之供給影響之外，非 OECD 國家之經濟成長幅度以及 OPEC 國家之原油供給將是至 2040 年原油供需趨勢與價格變動之主要驅動因素。

基於全球經濟成長速度較緩、中東情勢穩定、OPEC 國家生產策略不變等前提下，低油價的情形或將持續更長時間。低油價對於消費者而言並不全然是個好消息，低油價將使各國對原油的依賴提高，而當 OPEC 國家投資枯竭、或是油價太低使其無法提供必要的供應時，國際油價將迎來猛烈的反彈，並將危及各能源淨進口國的能源安全。此外，IEA 更預測，在低油價的情境下，各國將缺乏積極改善能源使用效率之誘因，全球將會錯失約 15% 的節能潛力，估計將因而累計損失達 8 千億美元。

我國永續能源政策綱領開宗明義指出，我國能源發展應將有限資源作有「效率」的使用，開發對環境友善的「潔淨」能源，與確保持續「穩定」的能源供應，以兼顧「能源安全」、「經濟發展」與「環境保護」，並創能源、環保與經濟三贏之永續發展願景。有鑑於此，即便處於低油價的環境下，我國能源政策目標仍應堅定不移，若政府持續透過各種政策手段刺激再生能源的發展，則低油價對於我國再生能源技術的發展影響或將有限。對於身為能源淨進口國的台灣而言，在面臨當今較低的油價、以及未來國際油價走勢高度不確定性的情況下，我國發展再生能源不應踟躕不前，而是應當趁著此波的油價下跌，適當調整再生能源發展策略，擬定一具體且可行之能源政策，以達綠能低碳環境之願景。

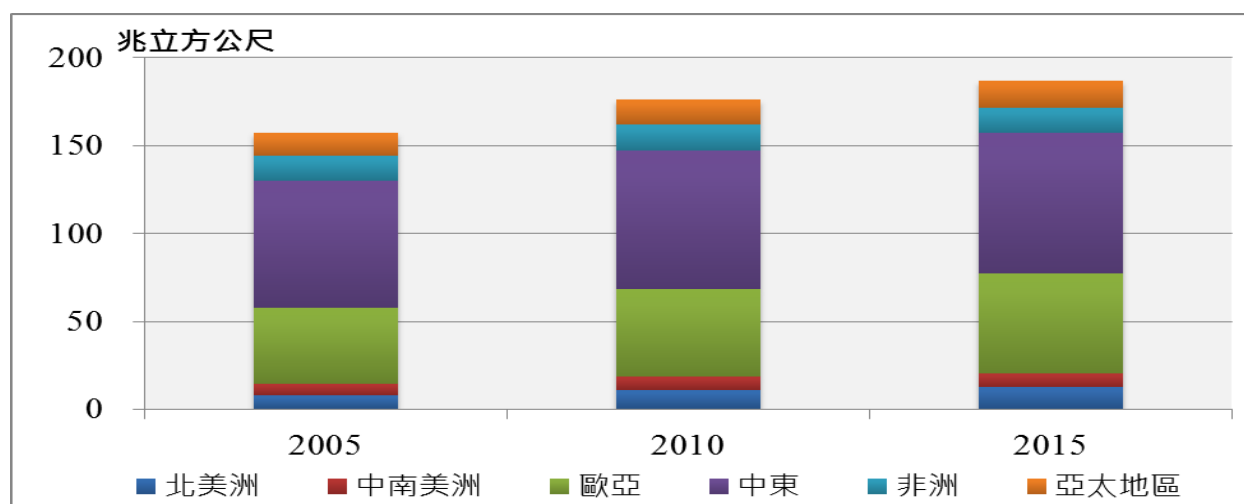
(三) 天然氣

天然氣為化石燃料中較清潔之能源，對於各國目前由傳統能源組合逐步邁向低碳化的能源體系，屬於不可或缺的過渡能源。在全球競相使用天然氣的情形下，已使天然氣成為近年來消費速度成長較快的傳統能源之一。本文彙整英國石油 (BP)、國際能源總署 (International Energy Agency, IEA)

與國際貨幣基金組織 (International Monetary Fund, IMF) 等國際組織報告及統計資料，從國際天然氣蘊藏量、供需情勢、地區價格以及未來發展概況等面向，探討未來天然氣市場趨勢與挑戰。

1. 國際天然氣蘊藏情勢變化

根據 BP (2016) 公布的「2016 年世界能源統計」顯示，儘管近年來全球的天然氣用量大幅上升，但受惠於全球每年仍持續發現新的天然氣蘊藏，因此蘊藏量不但沒減少還從 2005 年的 158 兆立方公尺，成長至 2015 年的 187 兆立方公尺，其中，天然氣蘊藏量主要以中東地區最多，占 43%；其次為歐亞地區，占了 30%，(詳圖 5)。

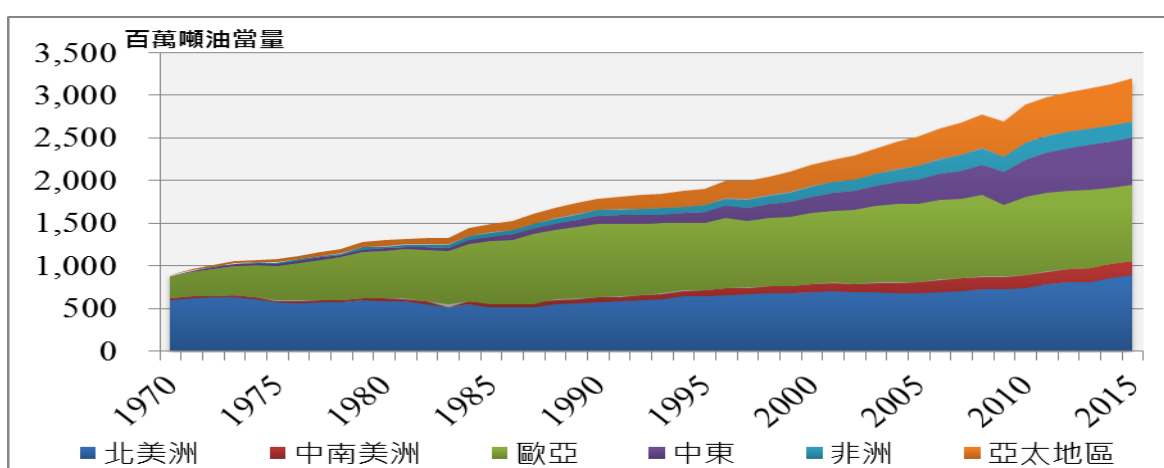


資料來源：BP (2016)。

圖 10 2005-2015 年間國際天然氣蘊藏量變化

2. 國際天然氣生產量與消費情勢

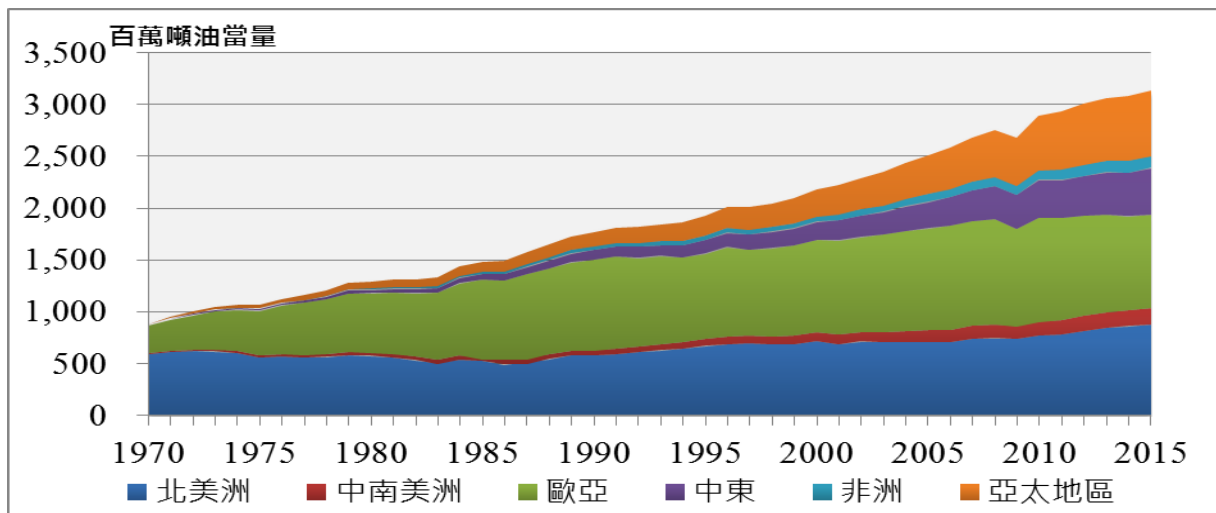
2015 年全球天然氣產量約 3,200 百萬噸油當量，成長率為 2.2% (如圖 6)，略低於近十年平均成長率 2.4%。2015 年北美地區在美國頁岩氣產量大幅增加的帶動下，成為全球生產最多天然氣的地區，美國亦蟬聯全球最大天然氣生產國。全球產量次高的地區為歐亞地區，亦為全球唯一天然氣產量下降的地區，天然氣減產共 6 百萬噸油當量，其中產量下跌最多的歐亞國家為即將耗盡天然氣蘊藏量的荷蘭，共減產 11.4 百萬噸油當量，以及受到 2015 年暖冬的影響，為因應當地取暖需求下滑，減產 7.6 百萬噸油當量天然氣的俄羅斯。而亞太地區則成為天然氣產量成長最快的地區，成長率為 4.1%，以中國及澳洲的產量增加最多，共增加約 11 百萬噸油當量。



資料來源：BP (2016)。

圖 11 1970-2015 年各地區天然氣生產量趨勢

2015 年全球天然氣消費量成長率為 1.7%，與 2014 年 (0.6%) 相比已有顯著的成長，但仍低於近 10 年的平均成長率 2.3% (如圖 12 所示)。歐亞地區仍是全球最大的天然氣消費地區，消費量為 903 百萬噸油當量，占全球總消費量的 28.8%，但也是唯一全球天然氣消費減少的地區，衰退率為 0.3%，已連續第五年消費減少，主要原因係俄羅斯及烏克蘭 (內戰使其工業受創)，兩個國家對於天然氣的需求衰退，共減少消費約 26 百萬噸油當量天然氣。產量次高的地區為北美洲，共消費 881 百萬噸油當量，占全球總消費量的 28.1%，美國仍是全球消費最多天然氣及成長最高的國家。中東地區則是全球天然氣消費成長最高的地區，增加 26 百萬噸油當量的天然氣消費量。儘管亞太地區有天然氣消費量第三大國，中國，共消費約 178 百萬噸油當量天然氣，但亞太地區的天然氣消費量仍僅成長 0.5%，為有記錄以來最低成長率。



資料來源：BP (2016)。

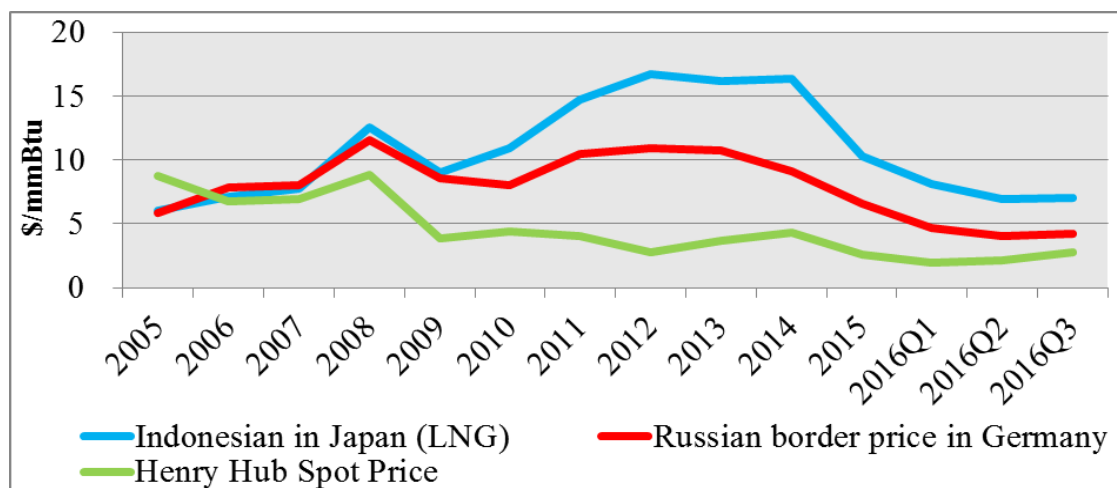
圖 12 1970-2015 年各地區天然氣消費量趨勢

3. 天然氣價格大幅下跌，各地區價差縮小

從 2014 年開始，各地區天然氣市場價格受到天然氣供給寬鬆、需求放緩及油價下跌等綜合因素影響，出現不同程度的下跌情形，使得各地區的價差日漸縮小（如圖 13）。美國 Henry Hub 2016 年第三季均價由於受到夏季高溫的影響，上漲至今年最高價 2.8\$/mmBtu（百萬英熱單位）¹，歐洲天然氣市場目前具有超額供給的情形，使 2016 年第三季德國天然氣進口價格為 4.2\$/mmBtu，與 2015 年（6.6\$/mmBtu）相比下跌 36%。亞洲地區由於 LNG 訂價多與油價掛勾，油價大幅下降連帶天然氣價格走低，再加上中國、日本及韓國等亞洲主要消費國天然氣

¹ 若以 Henry Hub 2016 (Q1-Q3) 的年均價 2.3\$/mmBtu 與 2015 年年均價 2.6\$/mmBtu 相比仍下跌 12%。

需求放緩，使得以日本 LNG 進口均價為代表的亞洲天然氣 2016 年第三季均價為 7.0\$/mmBtu，與 2015 年 (10.3\$/mmBtu) 相比約下降 30%。



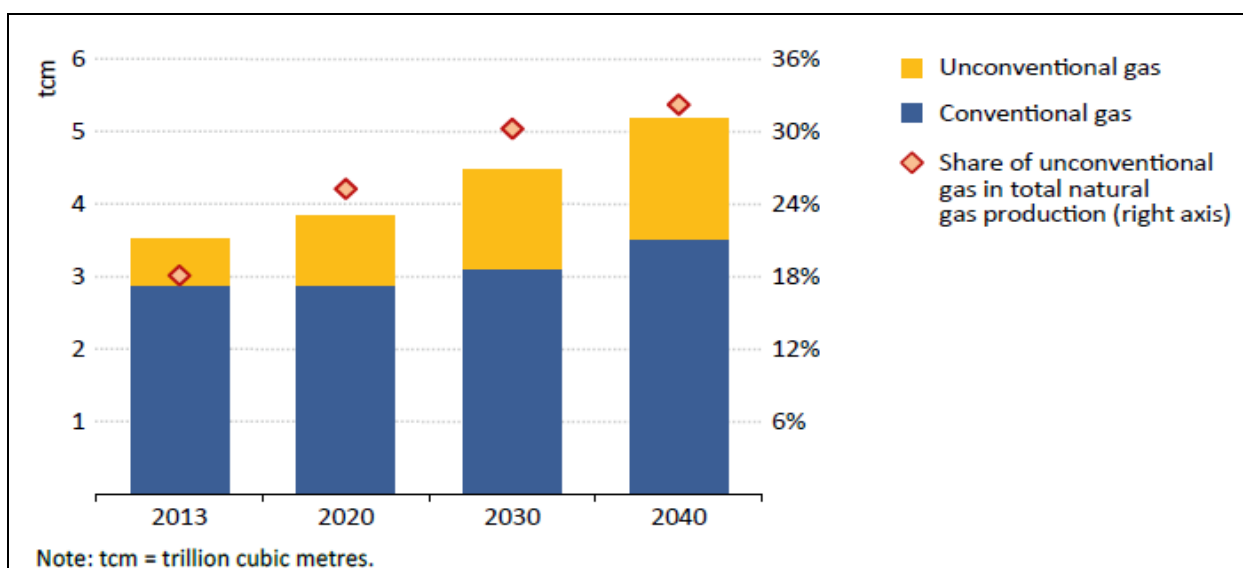
資料來源：BP (2016); IMF (2016)。

圖 13 各地區天然氣價格走勢 2005-2016Q3

根據 BP (2016) 公布的「2016 年世界能源統計」顯示，儘管近年來全球的天然氣用量大幅上升，但受惠於全球每年仍持續發現新的天然氣蘊藏，因此蘊藏量不但沒減少還從 2005 年的 158 兆立方公尺，成長至 2015 年的 187 兆立方公尺，其中，天然氣蘊藏量主要以中東地區最多，占 43%；其次為歐亞地區，占了 30%，(詳圖 5)。

4. 未來趨勢

本文以 IEA 在 2015 年 公布的「世界能源展望報告」的新政策情境為例分析天然氣的未來趨勢，圖 8 顯示頁岩天然氣及煤層氣等非傳統的天然氣資源於預測期間呈現穩定成長的趨勢，從 2013 年約 6300 億立方公尺成長至 2040 年近 1 兆 7000 億立方公尺，約占天然氣總產出的三分之一。未來天然氣供給量的成長以頁岩油氣的產量為主，占比超過 60%。目前全球頁岩油氣產量由北美地區所主導，如 2013 年北美地區的產量即占整體頁岩油氣產量的 90%。IEA 評估未來某些特定的傳統天然氣主要生產國（如阿爾及利亞）在頁岩油氣的開發將取得大幅度的進展，因為這些國家不但具有豐富的頁岩氣資源，並持續推出頁岩氣相關的投資優惠政策吸引外來的資金投入，除了因應自身天然氣消費的需求成長，還可藉此保持甚至是擴大其天然氣的出口收益。



資料來源：IEA (2015)。

圖 14 IEA 預測新政策情境下 2013-2040 年全球各類天然氣產量

5. 小結

2015 年天然氣蘊藏量以中東地區最高，占全球蘊藏量的 43%；其次為歐亞地區，占全球蘊藏量的 30%，歐亞地區同時也是蘊藏量成長速度最快地區。而隨著近年頁岩氣產量大幅增加的趨勢，美國已然成為近期天然氣產量成長速率最快的國家之一，由於天然氣可以取代碳密集度更高的燃料，亦能夠支援可再生能源併網，因此非常適合逐步低碳化的能源體系，也因此成為化石燃料中消費量成長最快的能源之一。其中以中國和中東為天然氣需求增長的主要中心。目前北美天然氣價格已然很低，而其他地區則因為供應充足加上價格與油價合約連結，價格也被拉低。

而國際機構對未來全球經濟成長率持續下修（如：在英國公投退出歐盟後，國際貨幣基金組織 (2016) 即下調 2017 年全球經濟成長率至 3.4%），經濟復甦的乏力已持續影響市場對於天然氣的需求，如去年亞洲經濟成長減速，使目前多數買方訂定長期供應合約的供應量已超過其需求，加上天然氣現貨價格下跌，以致於鎖定價格的長期合約已失去競爭優勢，買方開始尋求中短期及現貨交易，希望藉此規避價格風險。另一方面，天然氣於發電端則面臨煤炭、核能（如日本核電重啟）及再生能源等替代能源的相互競爭。除此之外，雖然 IEA 預期未來全球的天然氣供應量由頁岩油氣占 60% 的份額，然除了北美地區外，其他地區的開發進程仍呈現緩慢且不均衡的態勢，上述種種因素皆對天然氣產量的成長產生不利影響。

二、歐洲國家新及再生能源發展現況與趨勢

（一）英國

英國本土受惠於豐富的天然資源，並依賴煤、原油及天然氣等能源來供給英國的家庭與運輸部門的用電，但展望未來，英國仍需要利用再生能源來維持英國的供電穩定與能源安全。由於未來全球的能源需求增加伴隨著化石能源的存量

日漸消耗，使得英國的能源供給安全暴露在風險之下。因此對於再生能源的規劃將能滿足英國本身的能源需求，同時降低對於化石能源的依賴。

英國對於再生能源的發展並不僅著眼於能源的供給與安全；同時英國政府更積極地透過發展再生能源來投資扶植新產業與新技術，進一步維持英國在再生能源領域的科技與技術優勢。英國政府認為氣候變遷是國家面臨重大的威脅，因此必須採取緊急的行動來與各項措施來建構低碳經濟，除了目前核能機組、CCS技術外，英國亦積極發展各項再生能源來對抗溫室氣體的排放。

由於英國能源消費多仰賴化石能源，相較於其他歐盟國家而言，再生能源占比非常低。英國預計在2020年以前達到再生能源占比15%的目標。該比例在2005年僅為1.3%。從圖15可知，近10年來再生能源占比很低，為了達2020年的目標，在未來幾年必須積極發展再生能源。

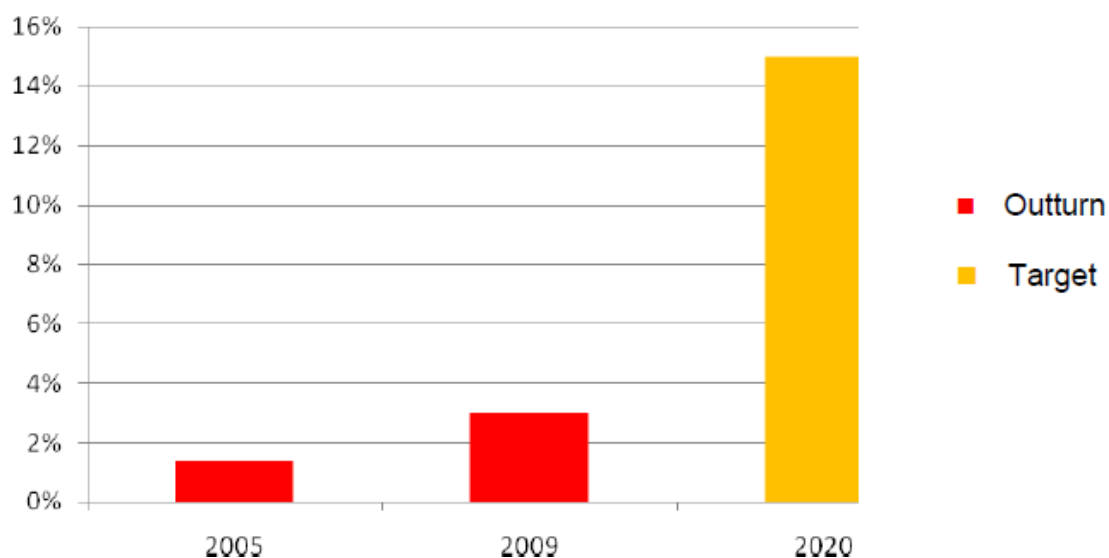


圖 15 再生能源占能源消費比例-英國

1. 各部門發展再生能源策略

根據表 5，英國 2020 年能源消費為 136,700 ktoe，而再生能源占比須達到 15%，也就是來自再生能源的消費達 20,505 ktoe。

表 5 英國再生能源占最終能源消費目標

(A) Share of energy from renewable sources in gross final consumption of energy in 2005 (S2005)	1.3%
(B) Target of energy from renewable sources in gross final consumption of energy in 2020 (S2020)	15%
(C) Expected total adjusted energy consumption in 2020 (ktoe)	136700
(D) Expected amount of energy from renewable sources corresponding to 2020 target (BXC) ktoe	20505

若以 2020 年的各部門來看，電力部門 (Electricity) 的能源消費有 30% 的來自再生能源；而熱能 (Heat) 與運輸 (Transport) 的能源消費則分別有 12% 與 10% 需來自於再生能源。若以再生能源的使用結構來看，49% 的再生能源被使用在電力部門，而有 30% 與 21% 再生能源分別被使用在熱能與運輸部門。

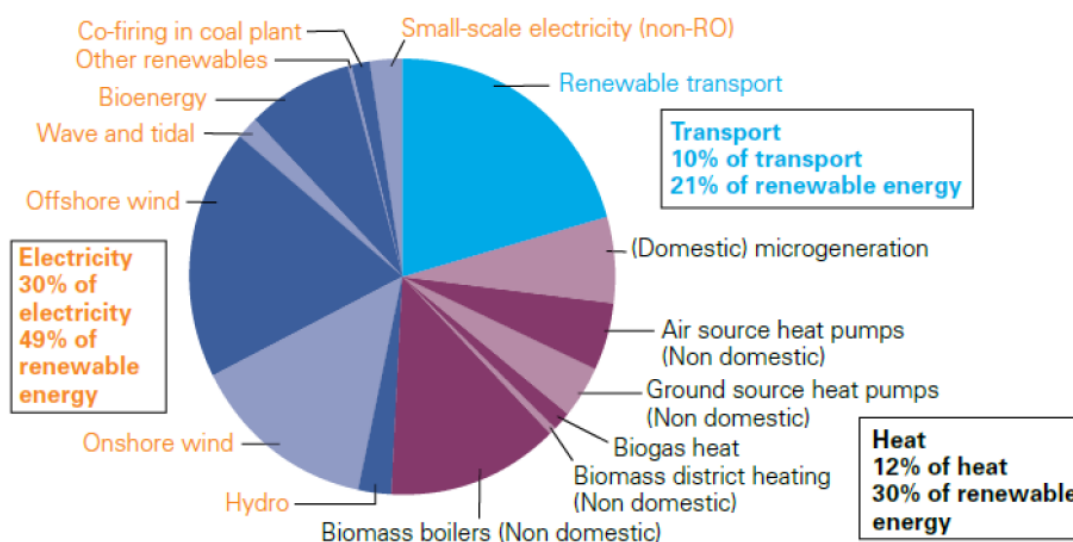


圖 16 發電配比示意圖 (In Lead Scenario, 2020) (TWh)

2. 英國推動再生能源發展之策略

英國為了達到 2020 年的再生能源發展目標，英國政府透過財務、消除障礙及發展新技術等三種方式來推動，以下分別說明之。

(1) 財務上對再生能源的支持

英國積極對再生能源建立長期、全面性的財務補

助。例如躉購費率制度，用以支持綠色能源的發展並確保未來再生能源目標的達成。另外，英國政府也透過綠色投資銀行 (Green Investment Bank) 來促進推廣再生能源的發展，例如由銀行創造新的金融商品來促進一般投資人可以投資發展綠色經濟所需的基礎建設或設備。

(2) 消除障礙並積極推廣再生能源

為了在 2020 年達到再生能源發展目標，包含供應鏈、再生能源併網、生質能的可取得性與使用都必須納入考量。英國特別看重智慧電網的發展，才能有效率的使用電網使用並調度更大量的再生能源，並以產業的角度來思考，積極尋求加速智慧電網與智慧電表普及化的方法。

(3) 發展新興技術

發展離岸風力是英國達成 2020 年在生能源目標的關鍵角色，將風電併入電網並繼續維持英國在離岸風力技術在全球的領先地位；同時，海洋能 (Marine energy) 也是英國優先發展的再生能源技術。英國得天獨厚具有發展海洋能的先天優勢，包含波浪 (Wave) 與潮汐 (Tidal)，並積極推動上述技術的商業化，全球第一座 Full-scale 的波浪、潮汐發電系統就是由英國所製造，代

表英國在該領域的技術優勢與發展該領域的決心，由於不同海域具有其獨特性，目前英國正思考如何連結不同海域的發電網絡，來推動海洋能的技術發展。

除上述方法外，許多推動機制與發展策略必須藉由地方政府的配合，因此英國政府亦積極與威爾斯、蘇格蘭及北愛爾蘭等當地政府密切協商合作，來推動再生能源的發展以達到英國整體的再生能源發展目標，例如蘇格蘭目標為 2020 年達到再生能源占比達 20% 的目標。

此外，英國政府並積極於住宅方面積極推廣 Renewable Heat Incentive (RHI) 方案，該計畫由政府提供財務上的補助來推廣再生能源的供熱，將供熱的系統轉換透過生質能、太陽光電及熱泵來做為供熱，分為住宅與非住宅 (Non-Domestic) 兩種方案，住宅方案是供熱系統只提供自有住宅；單一家庭或自建的房屋；而非住宅指的是商業或工業用途的供熱系統，包含大型企業、醫院、學校等組織。申請 RHI 方案的先決條件是需要 Energy Performance Certificate (EPC)，該裝置可以提供能源使用、提供如何節約能源與省錢的建議，並根據不同的供熱形式 (Types of Heating) 如生質能、太陽能及熱泵等，其費率設定不同，申請人將在申請通過後的

未來七年內每季收到款項，該費率由 Department of Energy and Climate Change (DECC) 所設定，金額則建立在來自供熱系統所產生再生能源熱能的度數來計算；同時，費率在每年四月自動調整一次，其中 2016 年 4 月前的用戶根據零售物價指數 (Retail Prices Index, RPI) 調整；之後的用戶採消費者物價指數 (Consumer Prices Index, CPI) 進行調整。例如，DECC 2016 年 5 月 31 日宣布生質能 (Biomass) 每度 5.20 便士降為 4.68 便士，降幅 10%，6 月 1 日後申請的新用戶將適用新費率，舊用戶的費率則不受影響。同時透過申請人的使用經驗分享、節約能源與帳單費用的節省金額，可做為推廣的一種方式來吸引民眾申請，另外，Green Deal 的 Energy Saving Advice Service 統一針對民眾有關住家的供熱、照明及各項再生能源安裝使用等問題提供電話顧問服務。相關做法可作為我國未來規劃相關節能減碳計畫的工作參考。

表 6 Renewable Heat Incentive (RHI) 費率

Current and future tariffs		Historical tariffs		Other DRHI tariff information
Applications submitted	Biomass boilers and stoves (p/kWh)	Air source heat pumps (p/kWh)	Ground source heat pumps (p/kWh)	Solar thermal (p/kWh)
01/04/2016 - 30/06/2016*	5.20p	7.51p	19.33p	19.74p
01/07/2016 - 30/09/2016*	4.68p	7.51p	19.33p	19.74p
01/10/2016 - 31/12/2016*	If any new tariff changes are to be made due to degression, the next announcement by DECC would be by 1 September 2016.			

* these tariffs will be adjusted in line with CPI

(二) 法國

法國再生能源政策主要建立在2007年所舉辦的環境論壇 (Grenelle Environment Forum)的結論，該論壇舉辦於2007年7月至11月，並得到控制能源消費與提倡再生能源兩個主要目標。2020年要達到再生能源占最終能源消費的23%目標，主要依賴兩個手段。第一，控制能源消費，特別是住宅部門。第二，大量提升再生能源滲透率，相較於2006年，另外增加20 Mtoe的再生能源。為了控制能源消費，住宅與建築將是主要的改革對象，在法國大約40%的初級能源是作為住宅或建築的供熱或照明所使用。並且受到大量金融補助的支持，數

百萬台的供熱裝置與再生能源製造系統 (Heat Pump, Wood-fired Heating, Solar Heating, Photovoltaic)。

此外，法國為了維持再生能源技術的全球領導地位，也致力於中型、大型再生能源設備的製造，並且提供多項的補助計畫來推廣，例如對研發計畫的財務補助、對產業示範計畫的補助、對安裝或購置新設備的補助、貸款等。法國希望可以在風電、太陽光電、海洋能與生質能等領域的科技建立領先地位。

1. 各部門發展再生能源策略

法國為了達到再生能源發展目標，而非透過其他歐盟會員國之間的能源生產移轉的方式或透過非歐盟國家的協助。但是法國仍重申對 Mediterranean Solar Plan (MSP) 的重視，該計畫由法國與地中海國家一起合作發展再生能源，在此基礎下，2020 年前法國的再生能源占最終能源消費比重 23% 的目標將可能提前達成 (詳見表 7)。法國再生能源發電方面，水力發電在 2020 年仍是主力，預計年發電量達 71,703 GWh，其中大部分是被作為日尖峰的調度管理；風力發電為第二，年發電量達 57,900 GWh，上述水力與風力於 2020 年占法國再生能源發電量超過 80% 的比

重，而生質能與太陽能則各占 10%與 5%的比重。

表 7 法國再生能源占最終能源消費目標

(A) Share of energy from renewable resources in the gross final energy consumption in 2005 (S 2005) (%)	9.6%
(B) Share of energy from renewable resources in the gross final energy consumption in 2020 (S2020)(%)	23%
(C) Expected total adjusted energy consumption in 2020 (from Table 1, last cell) (ktoe)	155 268
(D) Expected quantity of energy from renewable resources corresponding to the 2020 target (product B x C) (ktoe)	35 711

資料來源: National action plan for the promotion of renewable energies 2009-2020。

為達到法國 2020 年再生能源占比 23%的目標，Grenelle Environment Forum 認為主要關鍵在於住宅與服務業大樓的熱效率 (Thermal Performances) 的改善，並提出 2020 年以前家計部門能源消費必須大幅降低 38%，才能達到 2020 年前再生能源占比達 23%的目標，相當在 2006 年的基準下，另外增加 20 Mtoe 的再生能源，因此各種再生能源都必須積極發展，以下針對主要能源消費部門做說明。

(1) 供熱與製冷

法國多年期電力投資計劃 (Multi-annual Investment Programming for Electricity) 將提供大量的再生能源來發熱，另外供熱與製冷的能源消費從 2005 年到 2020 年

預計將下降 19% (從 73.8 Mtoe 下降至 60 Mtoe)。住宅部門的製熱主要來自生質能、服務業與工業部門的製熱主要來自熱泵(Heat Pumps)、太陽光電及地熱等再生能源。

(2) 運輸部門

運輸部門使用再生能源主要透過下列兩項。第一，增加生質燃料的使用，生質燃料預計在 2020 年以前達再生能源發電量的 10%。其次，希望於 2020 年推動 200 萬輛的電動汽車為目標，其中部分的用電將來自再生能源。

(3) 電力部門

由於法國擁有核電與水力發電系統，使得法國的發電部門成為全世界溫室氣體排放最低的國家之一，雖然 2009 年已執行多年期電力投資計劃 (Multi-annual Investment Programming for Electricity)，希望在 2020 年以前逐步提升再生能源的發電占比，但根據估計結果，2020 年電力部門能源使用仍因電動車與熱泵的使用而使得能源消費較 2005 年呈現微幅增加 (從 2005 年的 45.3 Mtoe 增加至 2020 年的 46.9 Mtoe)。此外，除了水力發電外，風力與生質能為法國主要推行的再生能源技術。另外，法國也逐漸體認到目前以核電為主的發電配

比無法長久維持，法國核電廠多數建造於 1970 年至 1980 年間，平均運轉期間已超過 30 年，且改造既有反應爐的技術與成本的不確定性高，例如 French Nuclear Safety Agency 指出因反應爐出於同一設計，一旦反應爐出現問題，容易引起連鎖反應，必須緊急關閉其他反應爐的系統風險，且延役每 MWh 的成本介於 70~130 歐元（如以 100 歐元計算，相當於每度成本 3.5 元新台幣）。因此尋求另一穩定的能源配比也是法國重要目標。

2. 法國發展再生能源的挑戰

目前法國正積極規劃 2030 年再生能源占比可以從目前的 14% 提升到 32%，包含占總發電量的 40%，然而目前亦面臨諸多困難，例如

根據 Energy Transition (2015) 的觀點指出，法國風力發電廠需 8 年時間建置，相對於德國僅需 3 年，顯得曠日費時；另外，缺乏政治穩定度，例如 2010 年的太陽光電示範計畫的暫停與風力發電躉購費率制度的爭議與不確定性都讓法國再生能源的發展產生阻礙。除了上述節能與再生能源發電的發展目標外，法國也希望藉由再生能源產業的發展來帶動大量的就業機會，並特別著重在建築創新與再生能源設備（例如風力、海洋能及太陽能等）的生產製造這

兩個領域。若以帶動就業機會來看，隱含法國政府必須面對幾項挑戰，例如支持新貿易活動的興起、支持新能源領域正面臨的改變並將技術勞工引導至新能源產業，透過上述的改變，法國希望可以帶動一波綠色成長 (Green Growth)；另外，從地緣政治的觀點 (Geopolitical Viewpoint)，法國的能源政策除了降低溫室氣體排放外，也將積極尋求化石能源的穩定供應以及降低對化石能源進口的依賴程度視為優先目標。主要有三個政策方向：

第一、增加生質燃料的使用，第二、維持目前核能發電機組，第三、增加再生能源使用，並積極降低對化石能源的依賴。然而法國在積極發展再生能源的同時，亦面臨幾項重大的考驗，首先是土地使用的衝突 (Land Use Conflicts)，例如農地的使用與太陽光電、陸域風機的建置產生衝突。第二，景觀的影響 (Landscape Impact)，例如風機只設立在特定區域或受補貼因素影響而在大樓大量設置太陽光電設備等。上述為法國對於再生能源發展目標及所面臨的困難之處。

3. 小結

根據 Energy Transition for Green Growth Act (2015) 指出，法國目前有 19 座核電廠，58 個核子反應爐，法國

希望 2025 年前將核能發電占比從目前的 75% 降至 50%，其中位於德國與瑞士邊境運轉將近 40 年最舊的 Fessenheim 核電廠將於 2017 年前除役；而關於再生能源的發展方面，風場 (Wind Farms) 的數量要增加兩倍，太陽能發電量要增加三倍。相較於 2012 年，法國要在 2050 年以前降低最終能源消費 50%，而 2012 年法國再生能源占最終能源消費為 14%，2020 年該目標為 23%，2030 年該目標為 32% 並占發電量的 40%，並將上述目標列入法國的 Energy Transition Law 顯示其政策推行的決心。此外，法國也是第一個發行綠色債券 (Green Bonds) 的國家，來對於有助於環境永續的計畫進行融資。由於 2012 年法國的住宅大樓使用了 44% 的能源消費，每年並產生 123 百萬噸的二氧化碳排放，因此住宅與建築能源效率的改善是法國政府的重要目標。在住宅大樓政策推廣方面，主要希望達到透過建築創新 (Building Renovation) 來降低能源使用，減少電費支出及創造就業等三大目標，所謂建築創新是推廣 Positive-Energy Public Buildings，其概念是讓住宅大樓本身所產生的能源超過其所消耗的能源，稱為 High Environmental Performance Buildings，主要是透過屋頂或建築物表面的改善工程來提升建築物本身的能源使用效率；

另外，政府亦提供屋主最高 3 萬歐元的無息貸款 (Interest-Free Eco-Loan) 來進行能源效率改善工程；此外，能源效率改善工程的總費用可以退稅 30% (Energy Transition Tax Credit)，每人可退上限 8 千歐元，夫妻可退 1 萬 6 千歐元，並鼓勵家庭安裝數位能源監控裝置，相關數據可用以改善大樓與設施的能源效率。新建築適用更嚴格的建築法規，以因應再生能源的使用，並簡化都市計劃法規移除相關阻礙，以維持建築主體的保溫效果，並預計創造 75,000 個工作機會。上述透過退稅、補助與修訂法規的作法，可供我國做為發展再生能源的參考。

(三) 德國

德國是發展再生能源的典範。根據 electrek(2016)的報導，在 2016 年 5 月 8 日星期日當天，由於陽光普照且風力強勁，使得全國太陽能發電系統裝置容量的使用量達到 26.11GW，風力則是 20.83GW，再加上生質能的 5.14GW 與水力發電的 2.75GW，再生能源發電量總共 54.83GW，佔當時德國的電力需求量 57.8GW 的 94.8%，這使得德國在 40 年內將其電業由依賴核能和火力發電全面轉向再生能源的計畫有實現的可能。本文介紹德國發展再生能源的現況與相關

政策，供讀者參考。

1. 德國再生能源政策目標

德國政府於2010年發布 Energy Concept for an Environmentally Sound, Reliable and Affordable Energy Supply，作為德國於2050年前能源政策的長期規劃。在此報告中，具體宣示溫室氣體減排及再生能源占最終能源消費比例等目標，對於供熱、運輸及建築最終能源消費等均有規範。在溫室氣體減排方面，2050年減量80-95%(以1990年為基準)。在再生能源占最終能源消費比例上，2050年目標為60%。再生能源發電占比方面，2050年目標為80%，如表8。

表 8 德國能源政策目標 (含 2014 實際值)

Target	2014	2020	2030	2040	2050
Greenhouse gas emissions					
Greenhouse gas emissions (base year 1990)	-27.0%	-40%	-55%	-70%	-80 to -95%
Renewable energy					
Share of gross final energy consumption	13.5%	18%	30%	45%	60%
Share of gross electricity consumption	27.4%	35%	50%	65%	80%
Share of heat consumption	12.0%	14%			
Share in transport sector	5.6%				
Efficiency and consumption					
Primary energy consumption (base year 2008)	-8.7%	-20%			-50%
Final energy productivity (2008–2050)	1.6%/year (2008–2014)	2.1%/year (2008–2050)			
Gross electricity consumption (base year 2008)	-4.6%	-10%			-25%
Primary energy consumption in buildings (base year 2008)	-14.8%				-80%
Heat consumption in buildings (base year 2008)	-12.4%	-20%			
Final energy consumption in transport (base year 2005)	1.7%	-10%			-40%

資料來源：Energiewende in Gemany

2. 再生能源發展法令與政策

德國政府透過法令與政策鼓勵再生能源發展。在 2000 年 4 月開始實施的再生能源法(Erneuerbare-Energien-Gesetz, EEG)是發展再生能源的重要基礎。再生能源法明訂輸配電業者對於最近距離的再生能源發電設備有併網的義務，並建立各類「再生能源饋網電價」(Feed-in Tariff, FIT)制度。由於 FIT 明訂供配電公司需在 20 年內無數量上限的保證價格收購，再生能源發電業者在投資之初即可試算投資報酬率，增加業者投資意願。由於設備成本快速降低，為了避

免業者盲目投資，EEG 在 2004 年、2008 年及 2012 年修法，調整各項再生能源 FIT 價格，原則上太陽能 FIT 持續下降，生質能、地熱及海上風電則提高 FIT 價格。

2010 年 8 月，德國政府通過可再生能源行動計畫(The Nation Renewable Energy Action Plan)，列出現在及未來再生能源的政策及措施。依據歐盟指令 2009/28/EC 附件 I 顯示，再生能源在 2005 年占最終能源消費 5.8%，在此一基礎下，要求德國在 2020 年時，再生能源占最終能源消費至少須達 18%，依比例計算(參見表 9)，再生能源供應量為 35,492 ktoe。

表 9 德國再生能源占最終能源消費目標

A) Share of energy from renewable sources in gross final consumption of energy in 2005 (S2005) (%)	5.8 %
B) Target for the share of energy from renewable sources in gross final consumption of energy in 2005 (S2020) (%)	18.0 %
C) Expected total energy consumption in 2020 after adjustment (from Table 1, last line) (ktoe)	197 178
D) Expected amount of energy from renewable sources in accordance with the target 2020 (calculated as B x C) (ktoe) ¹⁰	35 492

資料來源: National action plan for the promotion of renewable energies 2009-2020.

在電力部門方面，再生能源法案 (Erneuerbare-Energien-Gesetz, EEG)是發展再生能源的重要基礎，汽電共生法案 (Kraft-Wärme-Kopplung-Gesetz , KWKG)及排放交易(Emissions Trade)則為 EEG 的補充，EEG 也規範了有關太陽光電的補償及獎勵、電網的建構及發展與儲能技術等。在供熱與制冷方面則有市場促進方案 (Marktanreizprogramm, MAP)及再生能源供熱法案等相關法令。此外，對於增加再生能源在建築物上的使用以及出租建物節能裝潢等也有行政指令規範。在運輸部門方面，特別對於生質燃料的應用有生質燃料永續性條例(Biofuels Sustainability Ordinance)，在發電方面，則有生質能永續性條例(Biomass Power Sustainability Ordinance)加以規範。

3. 德國發展再生能源的現況

由前述可知德國政府在再生能源政策及法令上的支持與促進，包含對於提高再生能源於建築方面應用的能效及投資的獎勵等，使得德國再生能源獲得很大的成功，除了在能源供應上占有很大的比例外，在能源相關產業上，如儲能、智能電網、新技術等的發展，也提供良好的基礎。目前德國在再生能源的發展上，主要為重點在離岸及陸域風能的開發、生物能的永續使用、在供熱及製冷上更廣泛

的應用、增進再生能源與現有能源供應的整合、電網數量及品質的提升、儲能技術的發展與推廣等。

德國預計在2030年前投入750億歐元以使離岸風力達到25 GW，由於離岸風力是一種新的技術，投資風險很難估計，相對而言，陸域風力在短中期應該是比較經濟的投資。此外，將投入200億歐元，用以新建2,800公里高壓電網及更新2,900公里舊電網，預計至2016年，電網擴增完成進度將達40%。

德國政府也預期生質能(Biogas與Biomass)未來能在供熱、發電及燃料方面扮演重要的角色，以補足風能及太陽能發電波動時的缺口，由於德國國內的生質能的產能有限，因此藉由租稅減免鼓勵進口。由表10可知，在主要國家中，德國的再生能源的發電配比已達24.27%，遠高於台灣的2.21%。

表 10 2014 年各國發電配比

	煤炭	石油	天然氣	核能	水力 ^[1]	其他 再生能源 ^[2]	總計 (GWh)
美國	39.47%	0.92%	26.76%	19.14%	6.49%	7.22%	4,339,258
歐盟	26.37%	1.80%	14.34%	27.46%	12.74%	17.29%	3,190,681
德國	45.38%	0.90%	9.92%	15.47%	4.05%	24.27%	627,795
丹麥	34.38%	0.98%	6.51%	0.00%	0.05%	58.08%	32,183
英國	30.10%	0.49%	29.70%	18.81%	2.59%	18.31%	338,925
中國	72.46%	0.17%	2.02%	2.33%	18.74%	4.28%	5,678,945
日本	33.52%	11.19%	40.44%	0.00%	8.35%	6.50%	1,040,676
韓國	42.02%	3.16%	23.68%	28.39%	1.42%	1.33%	550,933
台灣	48.23%	3.29%	27.11%	16.30%	2.86%	2.21%	260,025

資料來源: IEA 資料庫，<http://www.iea.org/statistics/statisticssearch/>。

4. 德國發展再生能源發展政策的修正

德國再生能源成長快速主要原因都來自於政府政策的鼓勵及財務的激勵，其中以 FIT 扮演最重要的角色。FIT 固定年限及高於市價無上限收購量，業者可以很容易計算投資利得，在保證收益的情況下，造成再生能源裝機量大量增加，除了增加政府財政負擔外，也增加了電網的負擔。在經過多次討論後，德國政府正式通過再生能源法案的修正案，自 2017 年起將不再有 FIT 補貼，而是採取競標的方式透過市場機制決定價格，以減緩再生能源裝機量不正常的增加，並減少政府的財政負擔。依據 RESA 修正案，未來陸域風力發電新增將限制在 2.8GW 以下，之後開放每年 2.9GW 的競標量，太陽能發電方面，則只有 750kW 以下的小型屋頂系統能獲得 FIT 補貼，每年規劃開放 600MW 的競標量。RESA 修訂案也明確訂定德國在 2025 年再生能源占總發電量將達 40-45%，2035 年再生能源占總發電量將達 50-60%，並在 2022 年全面廢核。

5. 小結

德國再生能源高速發展的代價是政府龐大的財務負擔及民眾負擔高昂的電價，FIT 一再修改也影響業者投資的

決策。德國北部環境較南部有利再生能源發展，但南部的用電需求較大，北電南送所需的高壓電纜傳輸系統尚在進行中，太陽能與風能間歇性發電的特性，除了仍然需要以火力發電為基載電源外，也需要積極發展儲能系統以調配間歇性的再生能源電力。從德國的發展經驗來看，台灣在發展再生能源上，除了政策的健全及財務的補貼之外，也需要做好輸配電及儲能的規劃，以利再生能源的發展。

三、國際能源價格推估

我國為小型開放經濟體，國際初級能源價格通常為重要之外生參數之一，國際已有不少具公信力能源研究機構在其出版之展望報告中揭示其對未來能源價格之假設，例如 IEA 出版之 WEO、ETP、或 EIA 出版之 AEO IEO 報告裡，針對裡不同情境皆有不同初級能源價格之假設。以下就國外能源價格長期假設之特性，以及本研究如何基於國際預測推估本土化之參數進行說明。

(一) 國外能源價格長期假設之特性

由於進口能源價格對未來能源使用策略具關鍵影響，且能源價格長期預測與短期預測特性不同，長期預測需對全球能源供需市場資訊充份掌握，才能有效預測，因此國內研究

也通常採用或參考國際具公信力單位之預測結果。國際定期揭露長期價格參考值的單位主要的有 IEA、EIA 二大機構，其報告皆提到長期價格預測和短期預測不同，長期價格預測並不考量短期的波動，因此會較為平緩。

EIA 和 IEA 對價格情境的背景假設不同，概要地說，EIA 出版的 AEO 及 IEO 報告中，驅使價格不同的主要因素為發展中國家的經濟成長、原油之供給條件，致使初級能源的供需改變。而 IEA 出版的 WEO 及 ETP 報告中，驅使價格不同的主要因素則為各國的溫室氣體減量政策施行情況，進而改變初級能源的供需。另外 EIA 和 IEA 的預測標的亦不同，在參考或引用時需注意其區別，以下將詳述其差異，及本研究擬採用的參考原則。

EIA 於其出版的 AEO 及 IEO 皆揭露了其對能源價格的長期預測值。其揭露的國際油價包含北海布蘭特及西德州二種，煤為美國各礦口(minmouth) 平均價格、美國終端消費(end use)價格; 天然氣則為美國 Henry Hub 價格，因此煤氣價格較適合美國本土使用，與台灣價格差距較大。AEO 報告之預測期間為 2015~2040 年 (每 1 年一預測點)，其分析情境共有五種:參考情境、高經濟成長率、低經濟成長率，高油價及低油價情境。AEO 報告裡的高經濟成長率、低經濟成長率

係指美國之經濟成長率設定不同，而高油價及低油價情境則是指國際油價之高低設定不同。

IEA 報告出版的 WEO 2015 的預測期間為 2020~2040 年(每 5 年一預測點)，WEO 提供的油價預測值為 IEA 會員國之平均進口油價，由於 IEA 會員國大多也是 OECD 國家，因此可視為 OECD 國家之平均進口油價；煤價亦為 OECD 國家平均進口價，另外天然氣進口價格則因為歐洲、亞洲及美國差異甚大，而區分為三種價格。WEO 歷年報告提供之價格情境分為三種：現有政策情境(current policy)、新政策情境(new policy) 及 450 情境 (450 ppm)。但 WEO 2015 年報告因應 2014 年底油價大幅下跌且保持低價之趨勢，特別增列低油價情境 (low oil price scenario)，低油價情境除了假設近期經濟成長率較低、各國加速廢除化石燃料補貼、非 OPEC 國家的供給彈性增加，如美國緻密油 (tight oil)，另外也假設 OPEC 國家持續市占率維持策略。

由於本研究擬分析高低油價不同情境下，我國新及再生能源之發展策略，因此以油價較極端之走勢作為分析時之情境假設。在低油價情境方面，前述 WEO 2015 新增之低油價情境是國際認可且可能被廣為引用之參考依據，因此本研究之低油價情境將以此作為低油價情境之設定依據；而高油價情

境，則將參考國內能源機構及國際報告(WEO 2015 現有政策情境) 之推估值。

由於國際價格與我國實際進口價格間仍有差異，本研究發現以每年平均進口歷史資料來看，國際原油價格與我國進口價格差異較小，而煤價和天然氣價格差異便較大，由於亞洲地區進口天然氣 70%~80%是透過長期契約，並採用與油價連動方式交易，故本研究將以計量方法推估我國天然氣進口價格與油價連動關係，以推估所得之係數以及未來油價之假設作為我國未來天然氣價格推估之依據。而煤價之未來預測值，將參考 WEO 預測值作為我國煤價之推估依據。本土化參數之方式詳述如下。

(二) 參數本土化方法-中油公司諮議平台及計量方法

前一小節已探討適合我國模型之國際預測參考報告，本節則進一步說明如何參考國際預測值進行本土化參數之設定。本研究本土化參數之途徑主要有二。一為本研究計畫之委託單位核研所透過專家諮議，與國內在油氣進口有相當經驗、對相關設備建置資訊掌握度高的中油公司合作，取得原油的價格長期預測值。二為考量我國實際進口價格與國際平均價格之差異，以計量方法分析，其分析結果將作為調整國際預測值作為本土參數之依據。

1. 原油價格假設

國內能源機構之價格預測值有相當的參考價值，103 年度本研究計畫之委託單位核研所，與中油公司簽定合作意願書，建立一正式之合作及諮議平台，中油公司在原油進口價格推估方面，主要參考國際機構 DOE/EIA 所發佈之 AEO 報告。考量中油公司進口結構大致為 7 成 Dubai 3 成 Brent (7D3B)，故分別預測 Brent 和 Dubai 價格，預測方法為利用 Brent 與其它原油價格 (WTI 及 Dubai 等) 之歷史價格建構推估函數，並參考專家意見，進而推估未來平均進口原油價格之預測值。因此中油公司提供 2020 至 2040 之原油價格預測值為本研究之主要依據之一。

2. 天然氣

進口液化天然氣 (Liquid Natural Gas, LNG)，進口 LNG 需要複雜的供應鏈調度配合，包含液化設備、特殊的運送船舶、接收站等，皆涉及龐大的投資金額，LNG 供應商為確保其投資效益，大部分偏好以 15~20 年左右的長期契約進行交易。此外，傳統天然氣經常伴隨著原油產出 (非傳統天然氣係指頁岩氣或煤層氣等)，其供應商者通常也是原油的供應商，早期為了避免油氣替代造成價格相互制衡，供應商偏好將 LNG 價格與油價連結，因此當油價上

漲時氣價也同時上漲。為求天然氣穩定供應，我國目前 80% 左右的 LNG 亦透過長期契約進口，長期契約僅約定進口數量，但價格則根據市場狀況浮動，目前仍以油價連結方式為主，故以我國原油價格與進口 LNG 歷史價格推估二者之關係，再依據迴歸係數及未來年之油價預測值推估我國長期之 LNG 進口價格。

$$\hat{P}_{\text{TW LNG},t} = 1.624 + 0.131\hat{P}_{\text{crude oil},t} \quad (1)$$

3. 燃料煤價格推估方式說明

本研究透過國際燃料煤歷史價格與我國進口價格歷史值的關聯性，以迴歸分析結果作為本土化數據設定之依據。

WEO 預測的煤進口價格指標為 OECD steam coal imports，OECD library 皆有其歷史資料因此可藉由迴歸分析可進一步得知國際燃煤價格對我國進口燃煤價格之影響方向及程度，並根據迴歸係數及 WEO 的預測值推估 2015~2050 年我國進口價格預測值，以作為我國本土化參數設定之依據。

$$\hat{P}_{\text{TW steam coal},t} = -4.448 + 1.011\hat{P}_{\text{WEO steam coal},t} \quad (2)$$

由於 WEO 報告僅列示燃料煤之預測值，並未有煉焦煤之長期預測可參考，因此本研究亦以迴歸分析得到我國進口燃料煤和進口煉焦煤之關係，以此迴歸係數作為推估煉焦煤價格之依據。迴歸估計結果及統計分析詳細內容可參見柴蕙質和葛復光 (2014)，以下則簡要列出各類能源價格之推估係數。

$$\hat{P}_{TW \text{ coking},t} = -41.773D_{2005} + 2.446\hat{P}_{TW \text{ steam},t} + \varepsilon_{j,t} \quad (3)$$

(三) 初級能源價格假設

考量參考數據之可取得性，WEO 報告每年之出版時間較早且公開程度高，故本案價格以 WEO 2015 低油價情境(低油價情境)為主要依據，氣價依據計量方法所得到之迴歸係數與油價連動，推估結果亦與 WEO 日本進口氣價相近，另外煤價參考 WEO 2016 低油價情境中燃料煤價格。而高油價情境則以中油公司提供之油價為依據，並據此推估天然氣價格；由於煤價不在中油公司之咨詢範圍內，故以 WEO 之政策現況情境作為依據。原油價格在高油價情境約為低油價情境的 2.5 倍左右，天然氣因與油價連動，故差異倍數相近。而煤價在高低油價情境差異較小，約 1.2 倍左右，此與 AEO 2016 煤之礦口(minemouth) 價格在高低情境下之倍數相

近。油氣在高低油價下之價格變化來自非傳統油氣技術突破造成之供給變化，以及 OPEC 產油國的市場策略。但燃煤的供給面並沒有此類因技術突破造成的劇烈變化，且如本文第二章國際傳統能源市場現況趨勢所述，因考量煤對環境之影響，許多用煤大國（如美國、大陸）皆開始抑制煤的需求，進而使得煤的供給趨緩，因此不論是 WEO 報告或 AEO 報告中，煤價在高低油價情境下之差異皆很小。下表列出高低油價情境下之推估依據。

表 11 初級能源進口價格假設依據及本土化方法

	低油價情境	高油價情境
原油	IEA/WEO 2015 低油價情境、計量方法	中油公司
天然氣	IEA/WEO 2015 低油價情境油價、計量方法(與 WEO 提供之日本進口價格相近)	中油公司油價、計量方法
燃料煤	IEA/WEO 2015 低油價情境、計量方法	IEA/WEO 2015 政策現況情境、計量方法

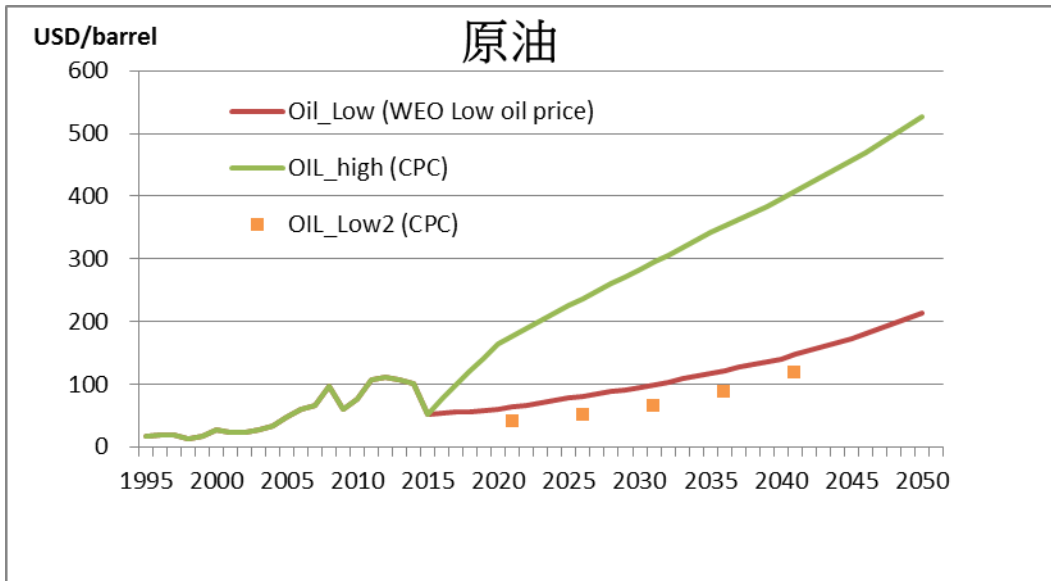


圖 17 原油進口價格高低案假設

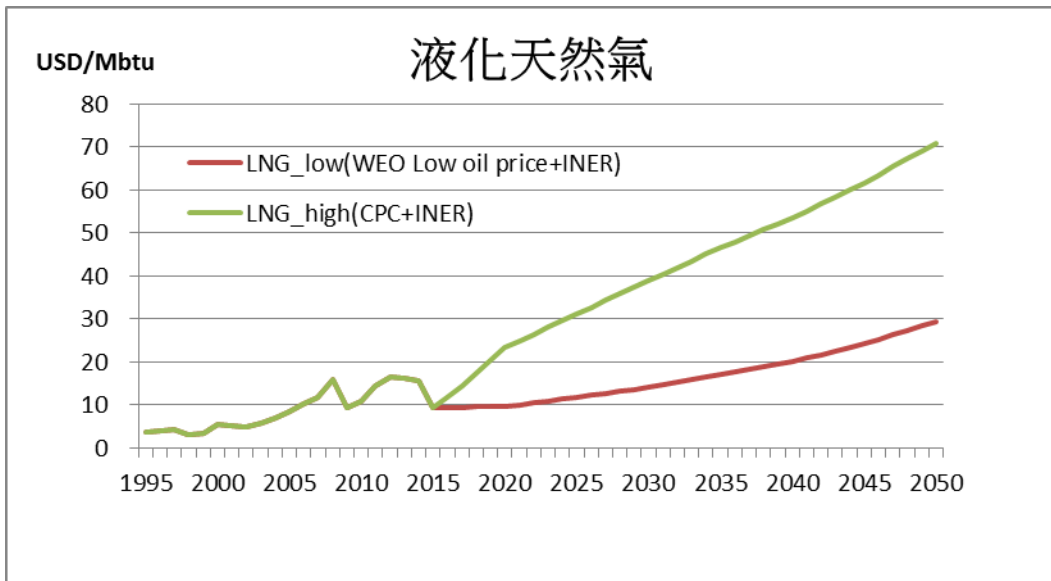


圖 18 液化天然氣進口價格高低案假設

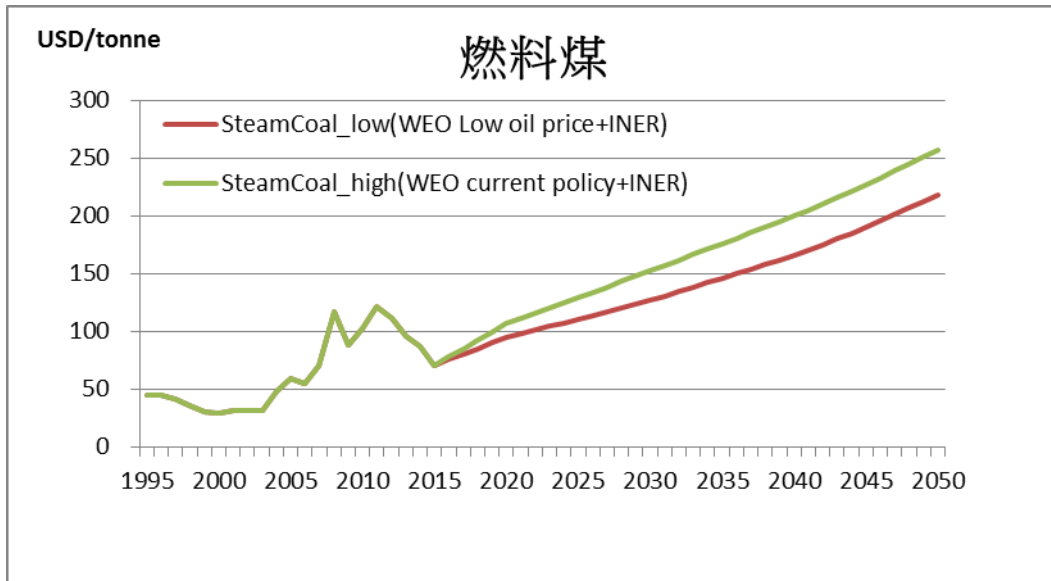


圖 19 燃料煤進口價格高低案假設

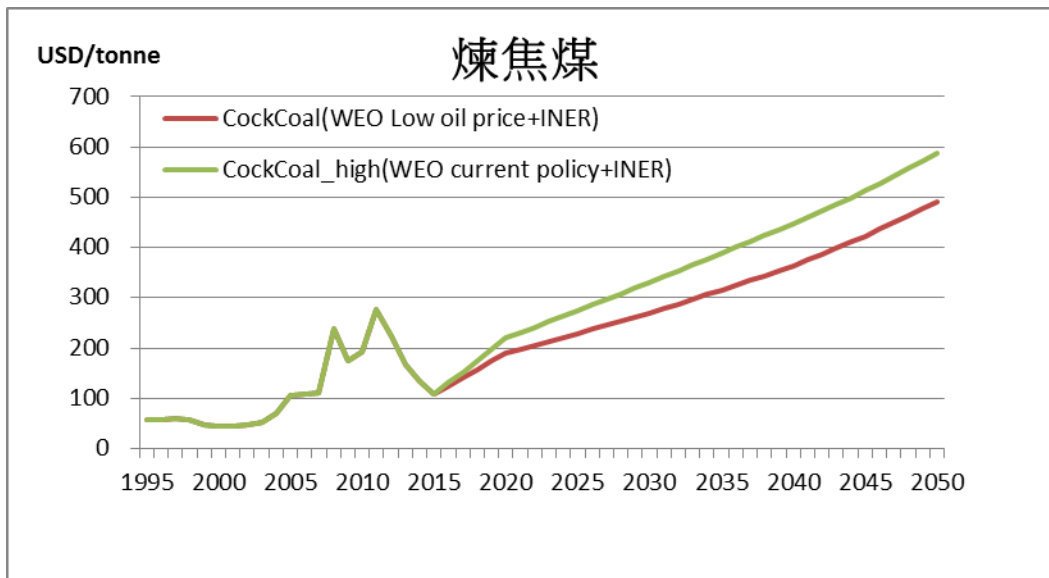


圖 20 煉焦煤進口價格高低案假設

四、GEMEET 模型之應用

(一) 研究目的

近年來美國頁岩油氣出口及國際政經局勢變化皆深切影響國際能源市場，石油輸出國組織 (OPEC) 為了對抗美國的頁岩油且為了鞏固全世界市占率，多次表達不輕易減產之立場，同時全世界之經濟成長減緩，導致其他國家之能源需求成長也無法消化此產量，形成供過於求的現象，半年內布蘭特 (Brent)、西德州 (WTI) 及杜拜等原油價格下跌達 60%。而我國能源 98% 接來自進口，為了因應國際能源市場變化以降低能源供應風險，已成為各界關注的焦點。

然而除了國際能源市場的供應風險問題之外，隨著全世界經濟發展，伴隨著能源的投入，也排放許多對環境造成負擔的溫室氣體。因此世界各國皆設法降低溫氣氣體排放以減緩對經濟、環境、社會等各層面之影響。我國也因天然資源缺乏，98% 的能源需仰賴進口，且又為無鄰近國家電網支援的孤島型能源系統，但我國政府在嚴峻的能資源挑戰及產業結構轉型不易的限制下，仍提出各種能源及減碳策略，對於減緩全球氣候變遷做出積極的回應。我國於民國 104 年 7 月 1 日，公布施行「溫室氣體減量及管理法」(以下簡稱溫管法)，在溫室氣體減量及管理上建立完備法源，藉此達成降低與管

理溫室氣體排放，落實環境正義之立法目的。而溫管法第 4 條明訂國家溫室氣體長期減量目標為：民國 139 年溫室氣體排放量，降為 94 年溫室氣體排放量 50% 以下。此法也是我國首次將溫室氣體減量法制化，明確授權政府因應氣候變遷的法律。我國去年也參加 COP21 並提出我國的 INDC，明確宣示我國於 2030 年溫室氣體排放量要減至 BAU 的 50%，目前估計排放量需減至 214 百萬公噸(環保署，2015)。

今年 5 月 20 日新政府上台後，經濟部長李世光隨即宣布我國 2025 年要達成非核家園的目標，並且提出我國新的綠色能源發展目標，亦即 2025 年我國再生能源發電總裝置容量要達到 27.42GW，以太陽光電(目標 20GW)與離岸風力(目標 3GW)為主要發展項目，同時再生能源發電量於 2025 年可提昇至 515 億度，達成占總發電量 20% 的目標(經濟部，2016)。發展再生能源雖為未來的趨勢，但是再生能源有供應間歇性特性，為了確保我國未來供電無虞，我國仍須要供電穩定的基載電力及再生能源無法供電時的輔助電力。依照目前政府能源政策，目前唯一的選擇只剩燃煤或燃氣發電。但是大量使用燃煤會造成環境衝擊，而大量使用燃氣發電則會影響能源供應安全及增加發電成本，孰輕孰重則為當下政府須深思熟慮的。

基於以上因素，在存在著國際能源市場的供應風險，又有未來面對氣候變遷的壓力下，我國再生能源技術之發展究竟是如何？要針對此議題進行詳細的評估，需要有一套完整而又複雜的架構。而近年來，在原子能委員會核能研究所支持與中原大學應用經濟模型研究中心的合作下，開發了適合於再生能源政策及產業發展效益評估的 3E (Energy, Environment, and Economy) 評估模型—GEMEET (General Equilibrium Model for Energy Economic and Technology Analysis)。此一模型有三個最主要的重點：(1) 符合經濟現況，並納入重要之新及再生能源產業與主要發電技術 (2) 可以用於評估新及再生能源產業發展的成本與效益；及(3) 可以將其與能源工程模型做軟連結，以發揮兩類模型的最大效益，提升政策評估的品質。

因此，我們利用動態可計算一般均衡 GEMEET 模型，而模型主要以 2011 年的產業關聯表為基期，透過歷史模擬至 2015 年，而從 2016 年逐步求解模擬至 2050 年。在模擬結果中，我們將重點放在不同能源價格及減碳情境對再生能源發展之狀況分析。而模擬情境主要可分為參考情境與政策情境。政策情境主要是在不同的能源價格情境下搭配未來減碳政策與達到再生能源推廣目標做模擬，最後再比較不同情境

之間的差異，提出未來再生能源發展之策略。

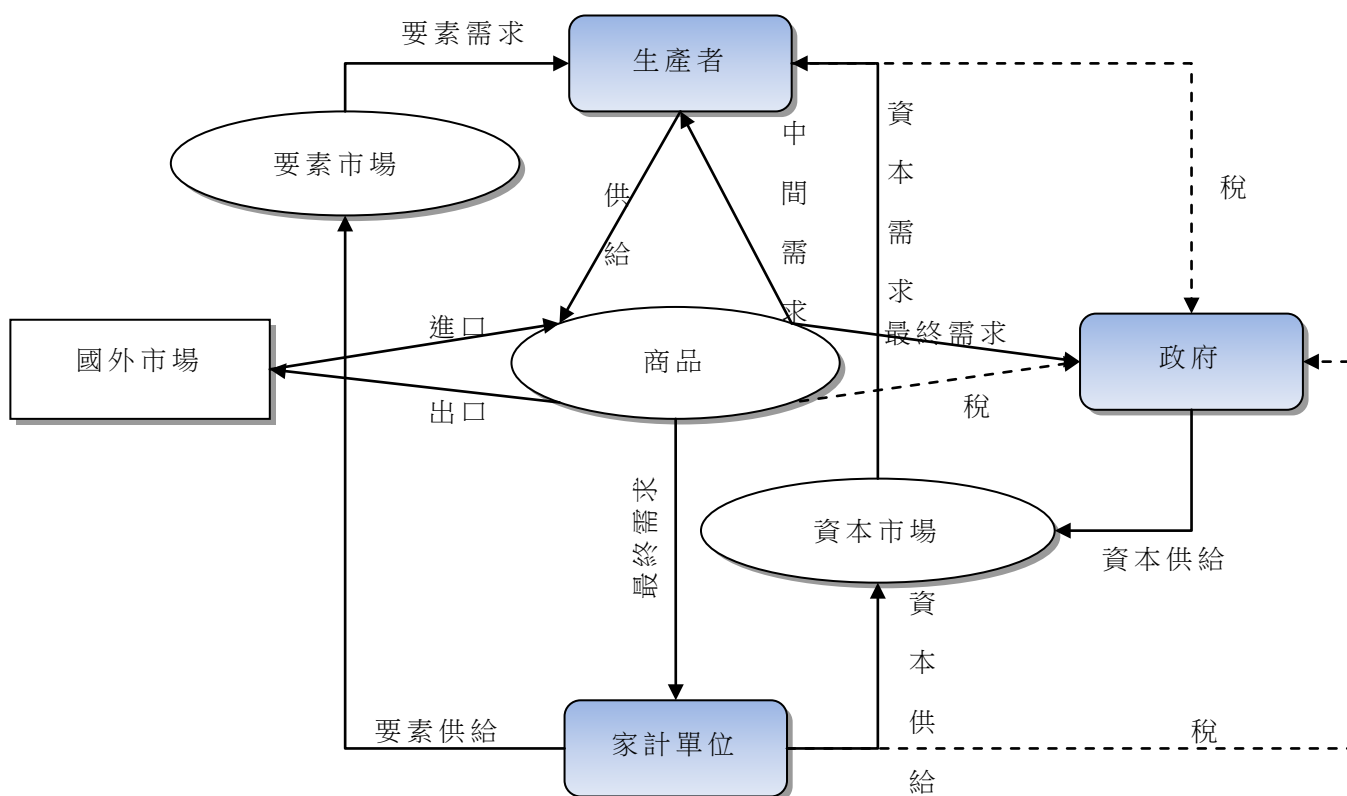
(二) 研究方法

本計畫研發之 GEMEET 模型歷經多年的開發已建置完成，其中納入了幾個重要的新及再生能源產業，如太陽光電、風力發電設備、纖維酒精、生質柴油…等，也針對發電業設定了不同的發電技術，如燃油發電、燃煤發電、燃氣發電、核能發電、汽電共生、風力發電、太陽光電發電…等。利用此一模型，研究團隊已進行了一些政策的模擬，如二氧化碳減量、能源使用效率提升、核電廠延後除役，課徵能源稅及碳稅、學習曲線效果、再生能源學習曲線效果、R&D 投資效益評估、躉費率政策評估、能源安全評估…等。目前建置的 GEMEET 模型特色可歸納如下：

- (1) 納入特殊之新能源及再生能源部門（包含纖維酒精製造業、生質柴油製造業、風力發電設備製造業、太陽光電發電設備製造業、纖維酒精設備製造業）
- (2) 發電部門係由不同之發電技術所組成（包含傳統的火力發電、水力發電、核能發電，以及再生能源發電如太陽光電發電、風力發電）
- (3) 部份新能源或再生能源主要用於發電，部份則以作為一般消費為主，另有一些則屬於組件及設備製造為主
- (4) 考量了內生技術變動的機制（學習曲線效果及 R&D 累積），並連結了科技政策的影響機制

- (5) 考量了能源政策中的誘因或補貼政策，針對租稅及補貼有特殊的處理
- (6) 考量環境政策的施行，設計了課徵碳稅或能源稅，以及直接進行總量管制之機制
- (7) 事先考量將來與能源工程模型整合的策略，擬定合理的部門分類

在建置的 GEMEET 模型基本架構中（圖 21），生產者購買包括商品（中間需求）及原始要素（要素需求）來進行生產，而就家計單位、政府及國外購買者等最終需求者而言，其僅購買商品，並無原始要素的購置。而政府可以針對商品、家計及生產者課徵稅收。惟不論中間或最終需要，其所購買之商品均可分為國產品及進口品。至於在決策行為模式的設定上，係利用投入—產出弱可分割假設（Weak Separability Assumption），將生產者、投資者及消費者之決策行為以巢式（Nested）的結構設定處理，表示巢式結構內各商品之需求完全取決於該結構內商品之相對價格，與其他巢式結構是完全獨立的。

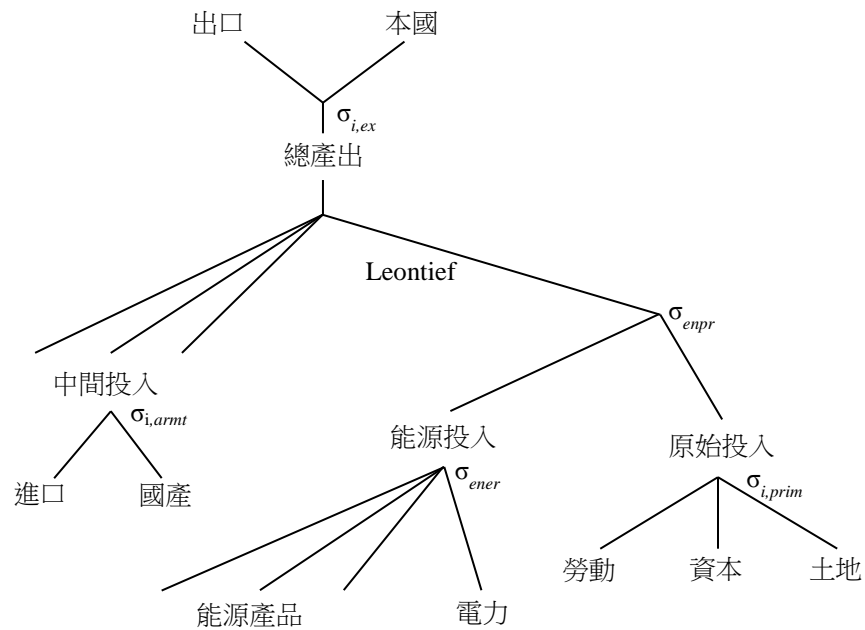


資料來源：Lin *et al.* (2015)

圖 21 模型基本架構

生產者行為的設定是在成本最小化的前提下，在特定的生產函數中選擇最適投入組合以求取最適的產出。在投入方面，圖 22 下層的投入組合代表各個產業是採用 Leontief 生產函數將中間產品與複合能源原始投入作為要素來生產商品，這樣的設定代表著上述各項投入之間無替代性，只是反映出各生產投入將隨著產出的擴張或緊縮而呈等比例的增減。而中間投入各商品的組合是由該商品國產與進口品透過 CES (Constant Elasticity of Substitution, CES) 函數加總而成

之複合產品。而在 CES 函數中，則是透過其替代彈性 (σ) 的大小來反應投入之間的替代性。而複合能源原始投入則代表著能源與原始投入之間有相互替代之關係，能源投入在模型內也有相當詳盡之刻畫。而原始投入一樣是由勞動、土地、資本透過 CES 函數加總而成。在產出的部分，圖 22 最上層的 CET (Constant Elasticity of Transformation, CET) 加總函數所代表的是生產者在追求利潤極大化的前提下，以固定轉換彈性決定最適的產出分配。換句話說，國內的產業會依照各個產品的價格進而決定各種產品的生產比例來追求收入的最大化。而廠商生產供本國或是出口使用的比例則是由本國與出口的相對價格而定。

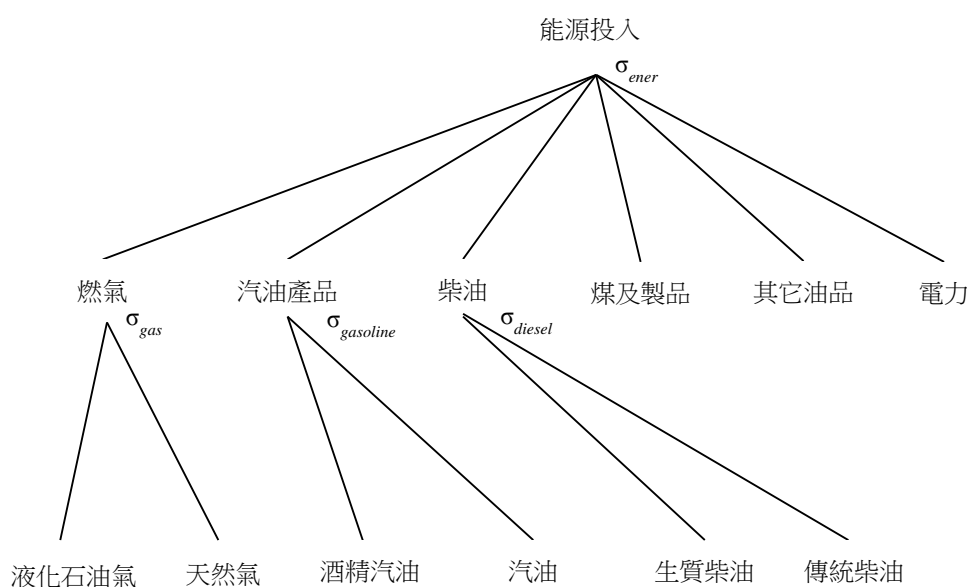


資料來源：Lin *et al.* (2015)

圖 22 模型內生產巢式結構

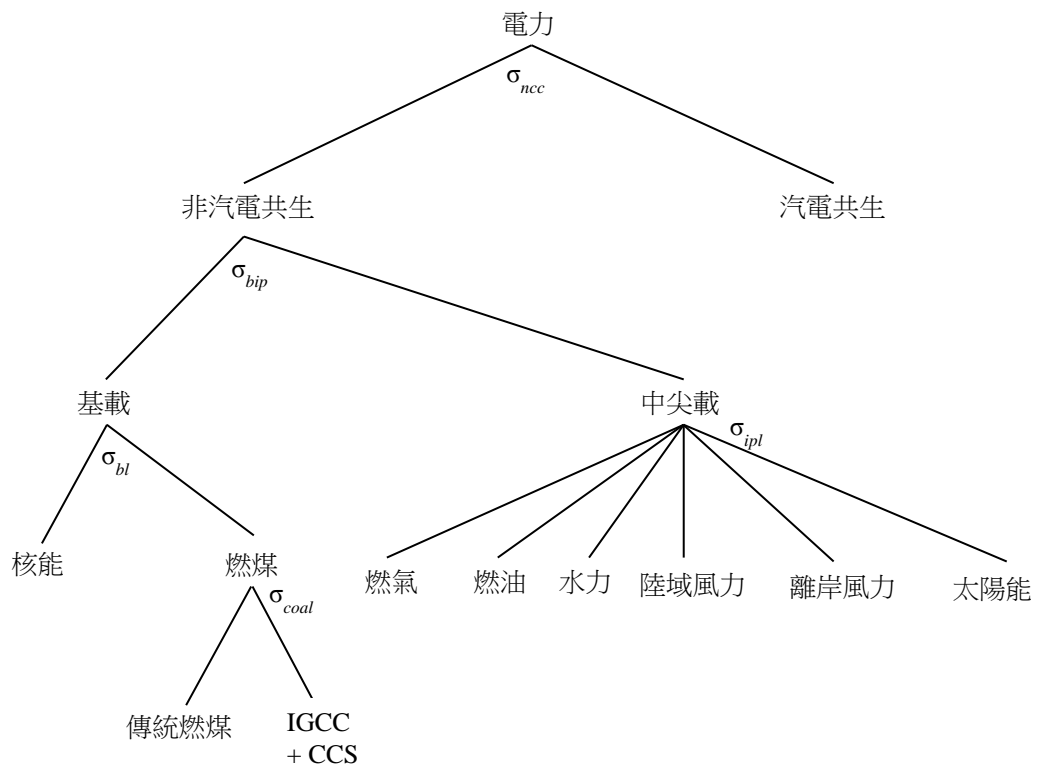
本模型也涵蓋了相關能源產品，其所包含之範圍及結構如圖 23 所示。在能源投入中，煤及製品、燃氣、汽油產品、柴油、其他油品以及電力互相為一不完全替代之關係，而汽油產品分別由纖維酒精與汽油做複合加總而成，燃氣則為液化石油氣及天然氣所組成。現實社會的狀況也類似於此，當其中某種能源相對價格高漲，廠商對該種能源之需求量會減少，自然會提高其他能源的需求量。在電力投入方面，圖 24 顯示目前模型內電力主要分為非汽電共生及汽電共生，非汽電共生則依照不同發電技術之特性在區分為基載與中尖載電

力，基載電力包含了核能與燃煤發電技術，而在燃煤發電中，又透過將傳統燃煤與 IGCC + CCS 複合加總而成。其他的發電技術則歸類至中尖載。



資料來源：Lin et al. (2015)

圖 23 模型內能源投入結構



資料來源：Lin *et al.* (2015)

圖 24 模型內電力投入結構

由於新能源及再生能源產業技術目前仍處於初期發展階段，高額的期初研發投入使得產品成本相較於其他化石能源產品高出許多，因此無法刺激市場需求。然而隨著環境變遷，各種有利條件出現及在相關政策配合之下，再加上研發經費投入及產業學習效果，將使其成本逐漸具有競爭力。為了體現再生能源產業的研發投資及產業生產的學習效果，因此模型中將生產成本與研發資本存量及累積產品產量進行連結。此外，由於政府針對再生能源實施 FIT 政策，由電力業者向再生能源投資人以一固定費率保證收購，如此將使得電力業

者成本提高。以下便針對學習曲線、躉購費率制度於模型中的設定做簡要說明：

1. 學習曲線

再生能源產業及發電業透過累積生產及 R&D 投資，進而使其生產成本下降或生產力提升，在模型中可透過二因子學習曲線機制的設定來加以體現，其設定係透過以下的方程式來完成：

$$GC_{k,t} = a \times CP_{k,t}^{-b} \times KS_{k,t}^{-c} \quad (4)$$

$$KS_{k,t} = KS_{k,t-1} \times (1 - s) + AR\&D \times ypp_t \quad (5)$$

式中： $GC_{k,t}$ 表示為第 t 期 k 產業之單位成本；

$CP_{k,t}$ 表示為第 t 期 k 產業之累積產量；

$KS_{k,t}$ 表示為第 t 期 k 產業之研發資本存量；

b 為累積產量學習彈性

c 為 R&D 資本學習彈性

s 為折舊率

$AR\&D$ 為總研發投資

ypp_t 為研發投資各年之支出比例。

由 (4) 式可知，在二因子學習曲線設計中，產業的單位成本將受到該產業的累積產量與累積研發投資（即研發資本存量）兩項因子所影響，而影響大小則是分別由累積產量彈性與 R&D 資本彈性所決定，而不同的再生能源技

術依據過去相關文獻給予不同之彈性值；(5)式則為研發投資之資本累積方程式。

2. 再生能源補貼

有關再生能源發電業補貼在模型中的處理方式，可以下列之方程式說明：

$$P_{\text{躉購費率}} = P_{\text{發電成本}}(1+t) \quad (6)$$

在模型中，我們假設政府對發電業者採躉購費率政策時，相當於是對發電業者進行補貼，而以發電成本為補貼基準， t 即為補貼率。對輸配電業者而言，當再生能源業者發電後，輸配電業者必須以躉購費率保證收購，因此躉購費率即為輸配電業者向發電業者收購的價格，當躉購費率高於台電自行發電成本時，便會使得電力成本提高，因而對電力價格產生衝擊。

(三) 模型參考情境設定

GEMEET 模型為一動態可計算一般均衡模型，主要以所編製完成 2011 的新能源產業關聯表為基期，透過歷史模擬至 2015 年，而從 2016 年逐步求解模擬至 2050 年。特別的是，本研究之參考情境將會依高低能源價格而分別有兩組結果，以利後續政策模擬分析時比較用。而其他相關之設定則如下：

- A.核能發電技術假設：依照目前所規劃之核能政策，在模型內設定核一廠於 2015 年、2019 年分別停轉一部機組，核二廠於 2016 年、2023 年分別停轉一部機組，核三廠於 2024 年、2025 年分別停轉一部機組，並設定核四廠停工不商轉。
- B.水力發電技術假設：由於台灣水力發電之河川有限，且也已幾乎開發待盡，所以在未來年裡發電量並不會有太大幅之增加。但如果在模型內不去外生限制其發電量的話，那麼在其低成本之優勢下未來年會持續地大幅成長且不符合現實狀況。故在模型內我們將水力發電之設定為外生變數，並依據再生能源推廣目標做設定。
- C.未來人口成長率：模型內家計戶數主要反映家計消費之總額，本研究利用資策會產研所 (2014) 所估計之未來戶量趨勢，搭配國發會中推計之未來人口預測結果，來推估未來家庭戶數的趨勢 (圖 25)。

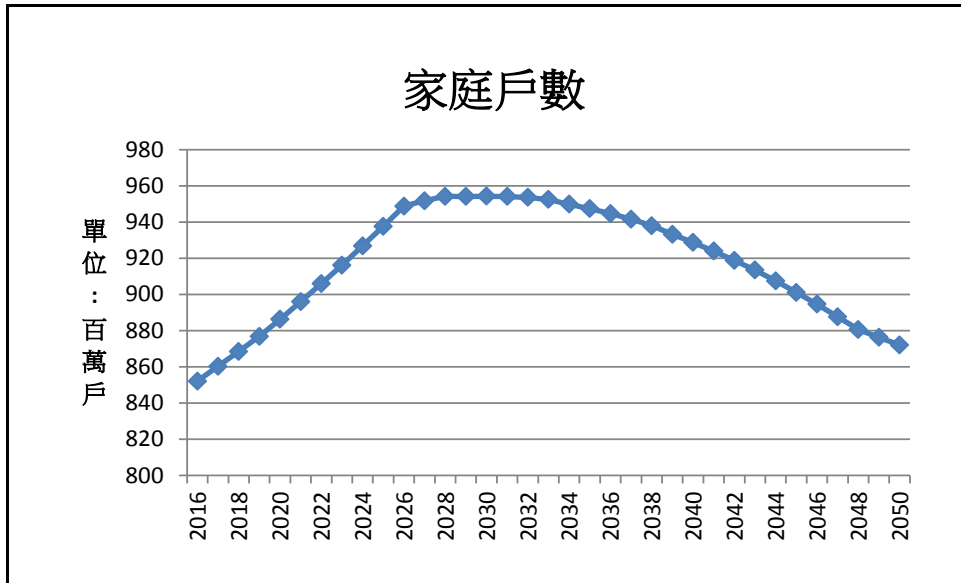


圖 25 家庭戶數趨勢

D. 未來國際能源價格：模型未來年須將國際能源名目價格(原油、天然氣、煤)設為外生，並依前一節所估計之高低能源價格結果做設定 (圖 26、圖 27 及圖 28)。而由於模型內並無將燃煤區分為燃料煤及煉焦煤，故在此我們以台灣消費這兩種煤的比例為權重加總成燃煤。

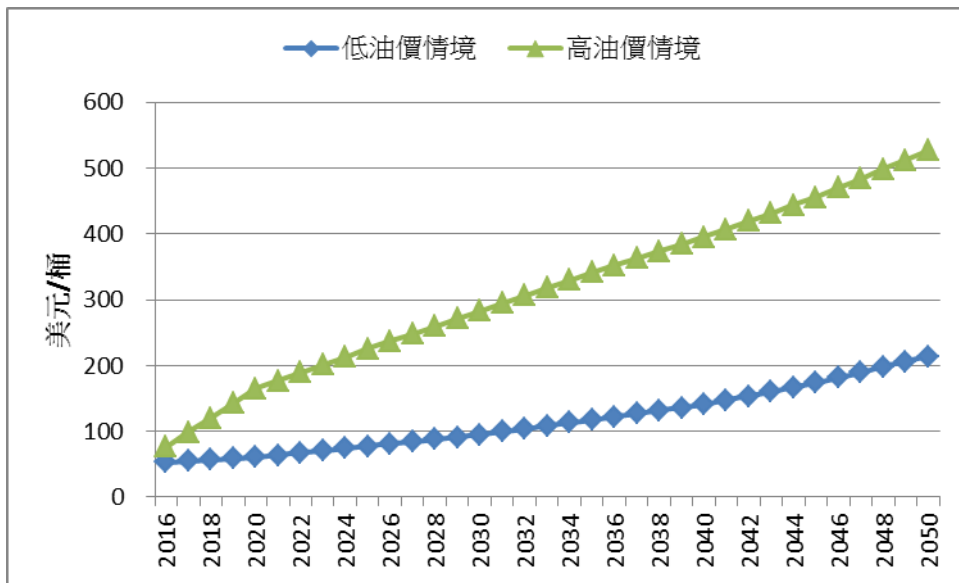


圖 26 原油價格

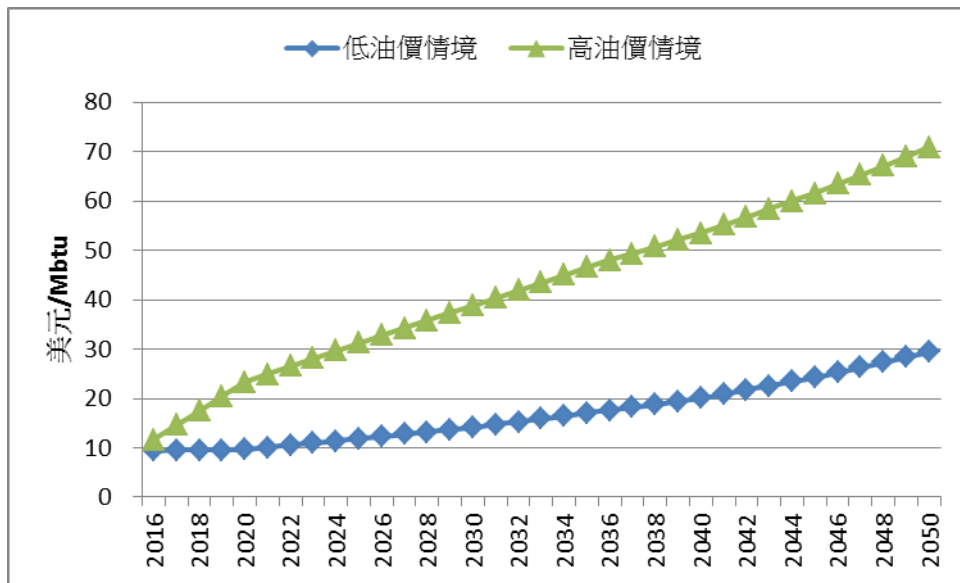


圖 27 天然氣價格

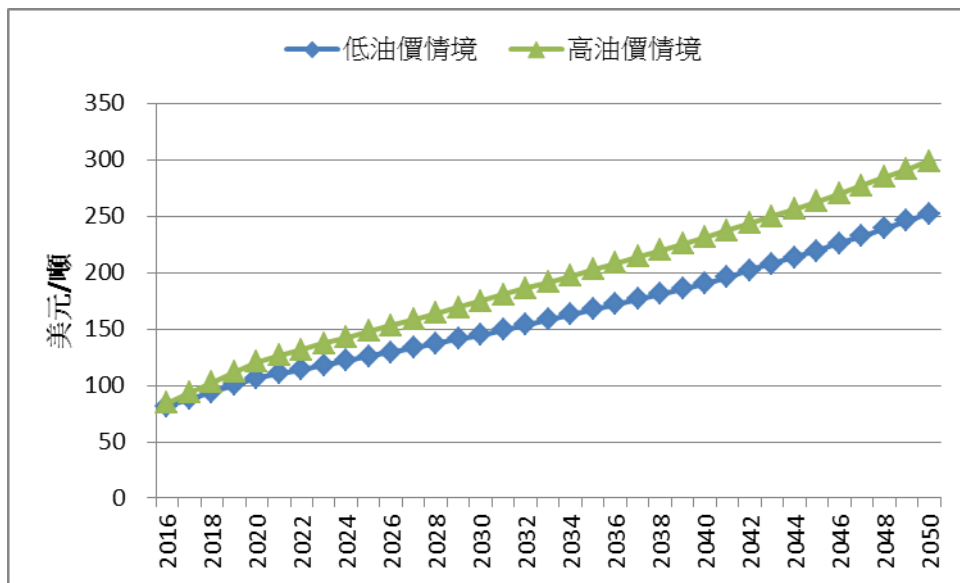


圖 28 燃煤價格

E. 自發性投資及出口需求：依近五年的平均成長率做設定，分別為 0.95% 及 2.75%。

F. 總要素生產力提升：依據計量模型估計之結果，從 0.64% 逐漸遞減至 0.52%。

G.新自發性能源使用效率提升 (AEEI)：假設未來每年提升 0.5%。

H.新及再生能源產業研發投入：假設新及再生能源未來每年的研發投入以正常的速度成長 (2001-2013 年發電設備業的年均成長率 3.57%)。

I. 新及再生能源產業補助機制：假設未來對太陽光電、陸域風力及離岸風力發電(躉購費率或設備補貼) 為已確定之政策，而基準年 (2015) 再生能源之躉購費率則是以各再生能源不同級距過去之申裝量為權重做加權平均所得，補助的下降速度皆依 JRC (2014) 之各個新及再生能源的設備成本下降率做設定。設定值如圖 29 所示。

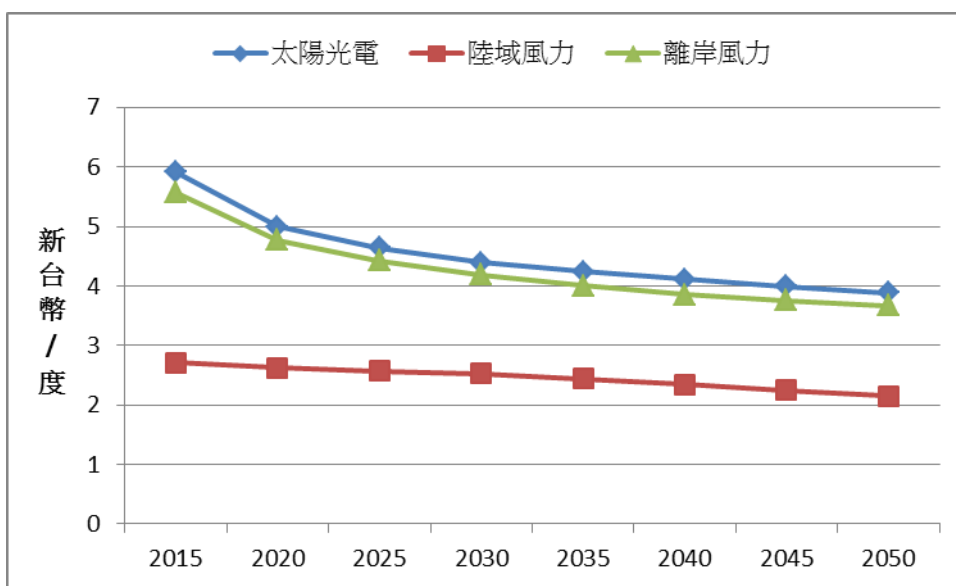


圖 29 躉購費率設定

(四) 模型參考情境模擬結果

根據以上的設定，首先觀察低油價之參考情境結果，由圖 30 經濟成長率之結果可知，若未來出口、投資無法有效提升及人口紅利漸失，且無相關經濟及產業政策刺激下，2025 年後經濟成長率將低於 1%。若與其它單位研究結果做比較的話，可看出本研究所解出之經濟成長率偏低，主要之原因為在參考情境中我們並沒有考慮未來相關經濟及產業政策，且未來自發性投資及出口需求仍維持過去近五年較為低迷的情況。至於二氧化碳排放量方面，隨著經濟成長，二氧化碳排放量逐年增加，但值得注意的是，在 2020 年以前因為低油價情境裡的燃煤價格相較於其他傳統能源漲幅還要高，故燃煤增加的幅度較慢(圖 32 及圖 33)，天然氣成長的速度較快，而二氧化碳排放量上升的速度也較緩。另外再生能源發展的部分，在未來一般性的躉購費率及 R&D 投資的狀況下，無論高低油價的情境我國再生能源發展皆無法達到政府所設定之推廣目標，顯示需要更多的誘因而來刺激其發展。

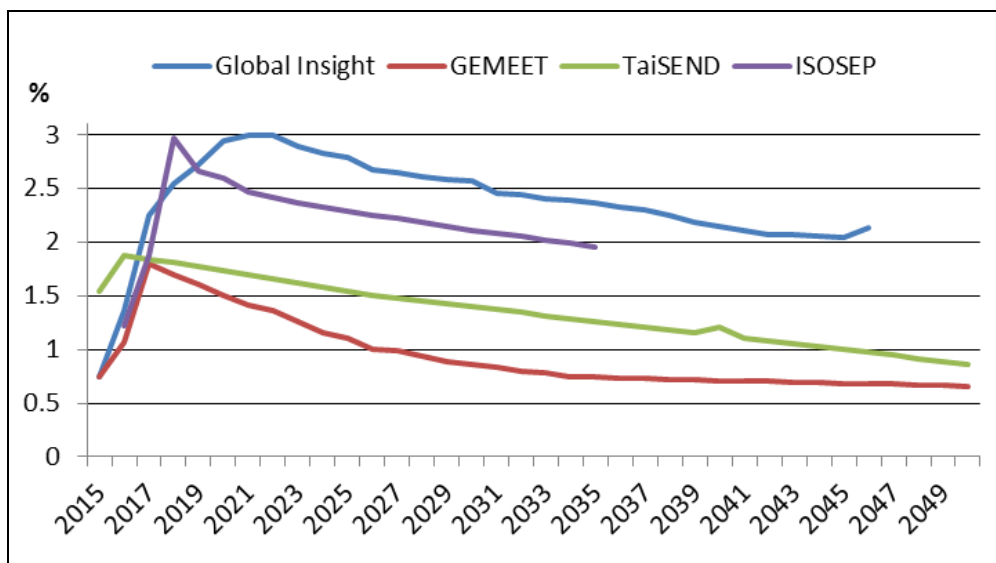


圖 30 低油價參考情境經濟成長率及比較

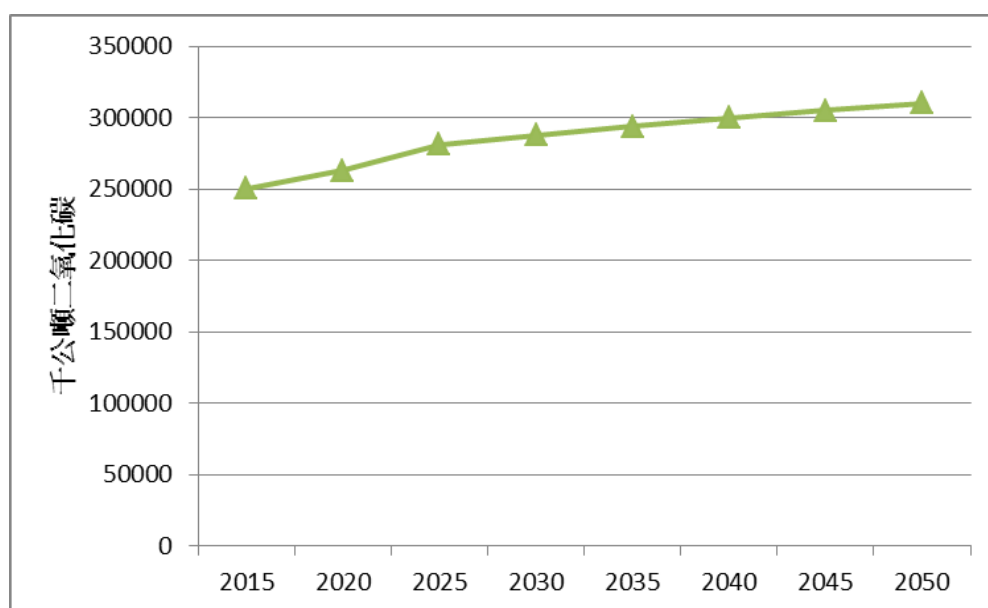


圖 31 低油價參考情境之二氧化碳排放量

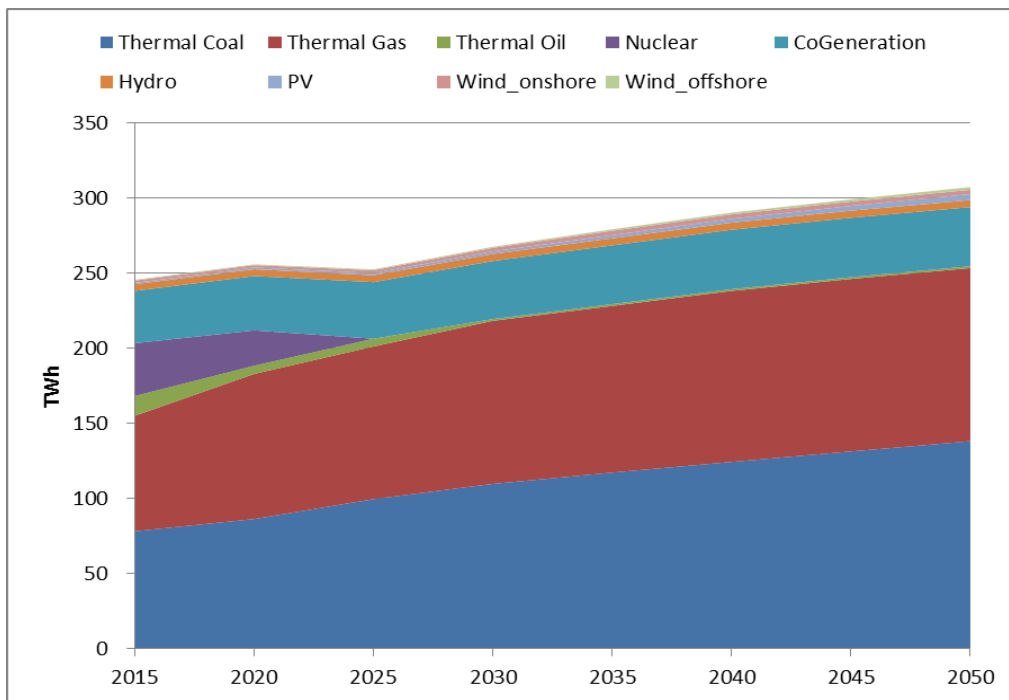


圖 32 低油價參考情境之發電量結構

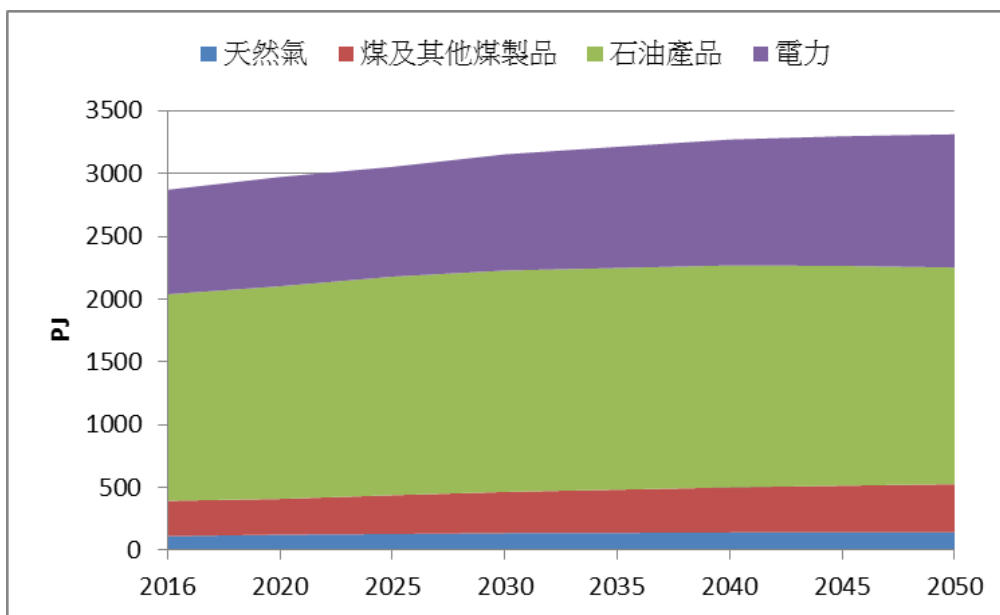


圖 33 低油價參考情境之最終能源消費結構

另外在高油價的參考情境結果，由於在高油價下原油及天然氣之國際價格在 2020 年以前漲幅都相當大，所以相較於低油價參考情境，我國經濟成長率在 2020 前受到相當大之影

響(圖 34)，直接也影響到我國的能源使用及二氧化碳排放量(圖 35、圖 36 及圖 37)，但由於燃煤價格相較於其他能源漲幅較低，所以雖然總最終能源使用及電力在這段期間呈現下滑的現象，但燃煤的能源及電力使用還是呈現上升的趨勢。而 2020 年之後隨著各種能源價格漲幅趨緩我國的經濟成長慢慢回復。

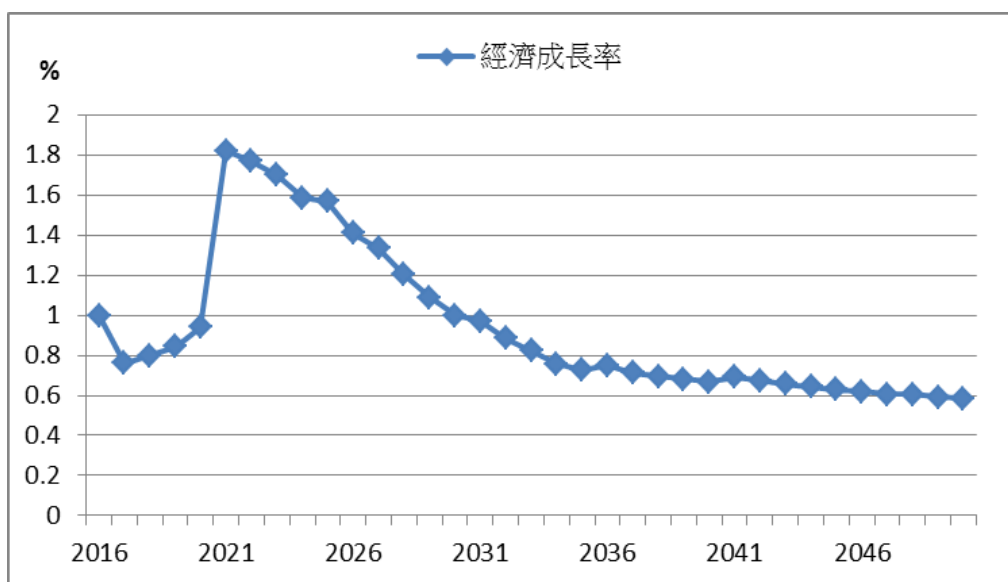


圖 34 高油價參考情境之經濟成長率

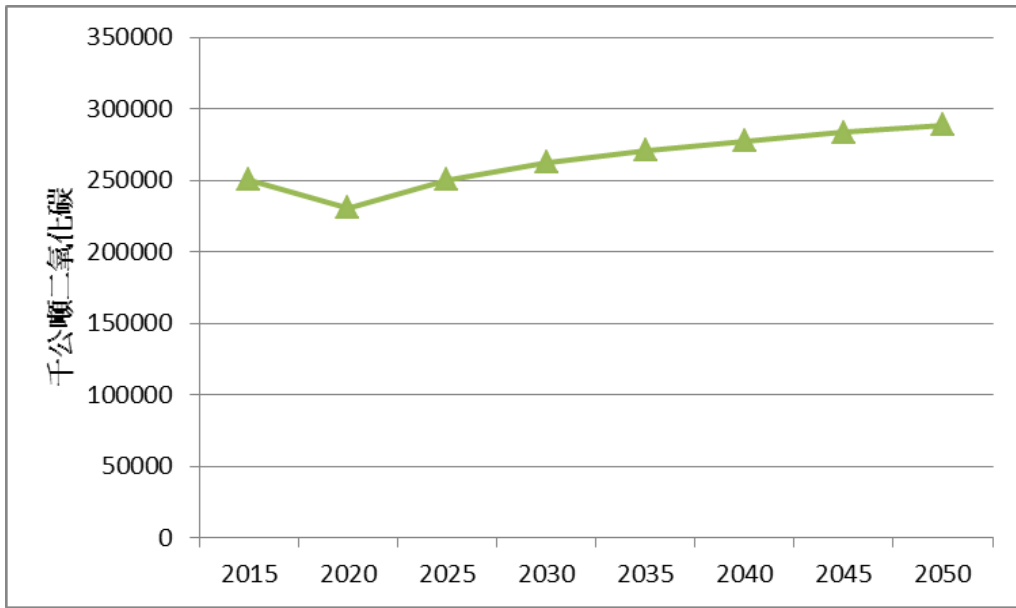


圖 35 高油價參考情境之二氧化碳排放量

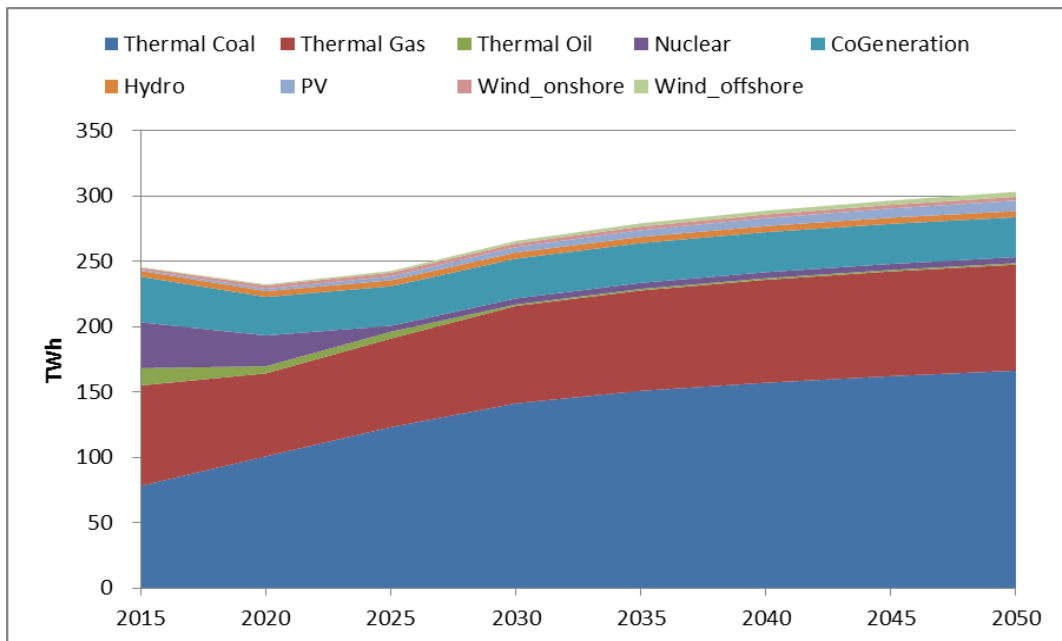


圖 36 高油價參考情境之發電量結構

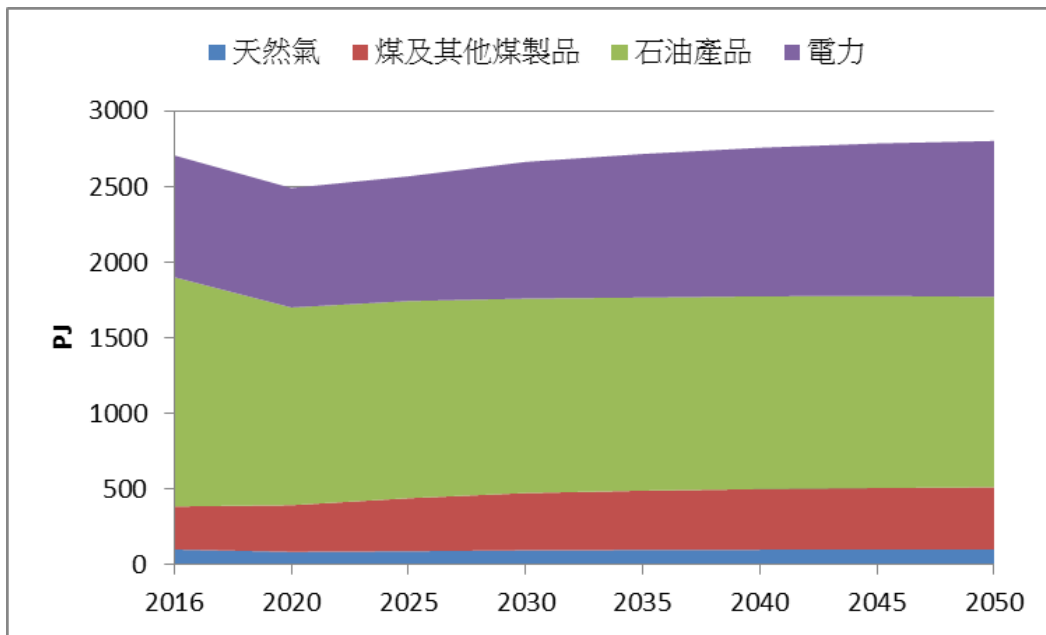


圖 37 高油價參考情境之最終能源消費結構

(五) 模型政策情境設定

在政策情境模擬中，我們設計三組情境，以下分別針對情境設定內容作詳細之說明：

1. 減碳情境

根據溫管法，明訂國家溫室氣體長期減量目標為：民國 139 年溫室氣體排放量，降為 94 年溫室氣體排放量 50% 以下。另外根據我國的 INDC，明確宣示我國於 2030 年溫室氣體排放量要減至 BAU 的 50%。依以上的目標，我國未來的二氧化碳排放量如圖 38。

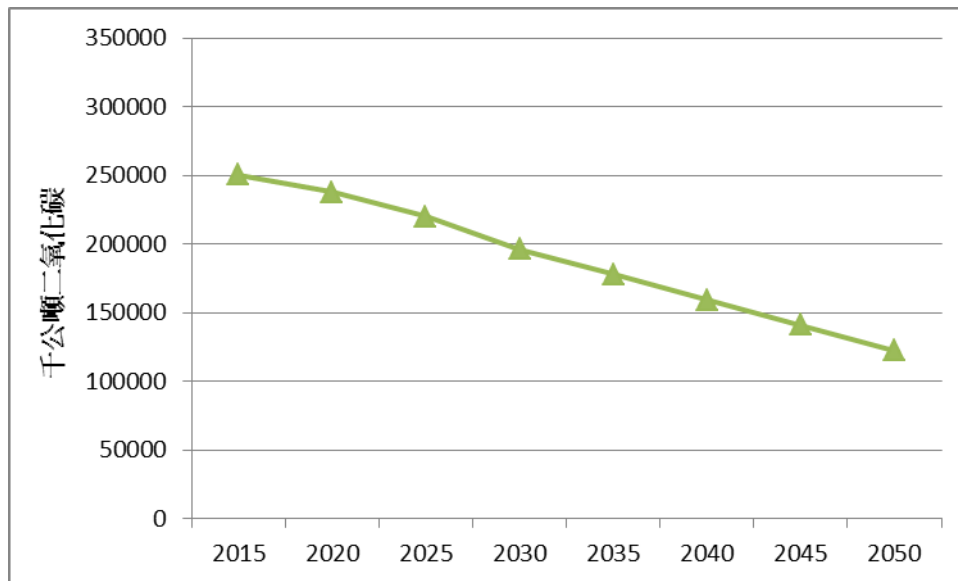


圖 38 減碳目標設定

2. 再生能源政策發展目標與持續發展上限

今年新政府上台後，經濟部長李世光隨即宣布我國 2025 年要達成非核家園的目標，並且提出我國新的綠色能源發展目標，亦即 2025 年我國再生能源發電總裝置容量要達到 27.42GW，以太陽光電(目標 20GW)與離岸風力(目標 3GW)為主要發展項目。而在 2025 年以後，太陽光電部分，以「便於政策執行，及避免與民爭地並不影響農業產出」作為建置我國地面型太陽光電的用地選擇，並以每公頃可裝設 0.67MW 評估我國可裝設的太陽光電容量，可得我國太陽光電裝置上限為 30GW。另外在離岸風力部分，參考台灣離岸風力潛能與優選離岸區塊場址研究(工研院綠能所，電力工程研討會，2015/12)，考慮在臺灣西海岸之淺

海區域(5~20 m 水深)潛能完全開發，在 2050 年可達 9GW 裝置容量上限。表 12 為整理上述再生能源政策發展目標及上限之結果。而在本設定我們將在模型透過提高 R&D 投資來促使其達到所設定之政府推廣目標及發展上限。

表 12 再生能源推廣目標及發展上限

單位: MW	政府推廣目標		本研究估計之上限值				
	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
太陽光電	8,776	20,000	22,003	24,006	26,010	28,013	30,016
陸域風力	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200
離岸風力	520	3,000	5,200	6,150	7,100	8,050	9,000

3. 能源使用效率提升

在參考情境中，我們假設自發性能源使用效率在未來每年提升 0.5%，而在政策情境中，我們假設未來自發性能源使用效率相較於參考情境提高兩倍，也就是未來每年提升 1%。

根據以上情境說明，我們整理政策情境裡每個情境之設定如表 13：

表 13 情境設計

情境說明	情境代號	低油價設定	高油價設定	減碳目標	2025 年達再生能源政策目標	2050 年達再生能源發展上限	能源使用效率提升
減碳目標 + 再生能源政策目標	S1	*		*	*		
	S2		*	*	*		
減碳目標 + 再生能源發展上限	S3	*		*	*	*	
	S4		*	*	*	*	
減碳目標 + 再生能源發展目標 及上限 + 能源使用效率提升	S5	*		*	*	*	*
	S6		*	*	*	*	*

(六) 模型政策情境模擬結果

針對第一組情境的部分 (S1 及 S2)，圖 39 為相較於參考情境之實質 GDP 變動率及所求解出碳稅之結果，由結果可知，在 2025 年以前由於再生能源已達到政府所設定之推廣目

標，且減碳的量並不大，所以對整體經濟的衝擊有限，甚至在 2020 年以前，因在參考情境下高油價情境下整體能源使用量減少，導致二氧化碳排放量跟著減少，故高油價之參考情境已經達到減碳目標，所以在 S2 情境裡 2020 年實質 GDP 並無影響。而當未來減碳量越來越高時，無論高低油價情境對經濟之衝擊皆也逐漸擴大。從 S1 及 S2 情境的電力消費來看(圖 40 及圖 41)，在 S2 情境下整體電力消費大幅下降，主要的原因是在高油價又加上減碳的情況下，雖然碳稅相較於低油價還要低，但整體的能源的使用價格還是相當高，直接地抑低整個電力需求，導致 S2 情境相較於參考情境的實質 GDP 變動率與 S1 比還要大，到 2050 年約有-35%的實質 GDP 之負面衝擊。

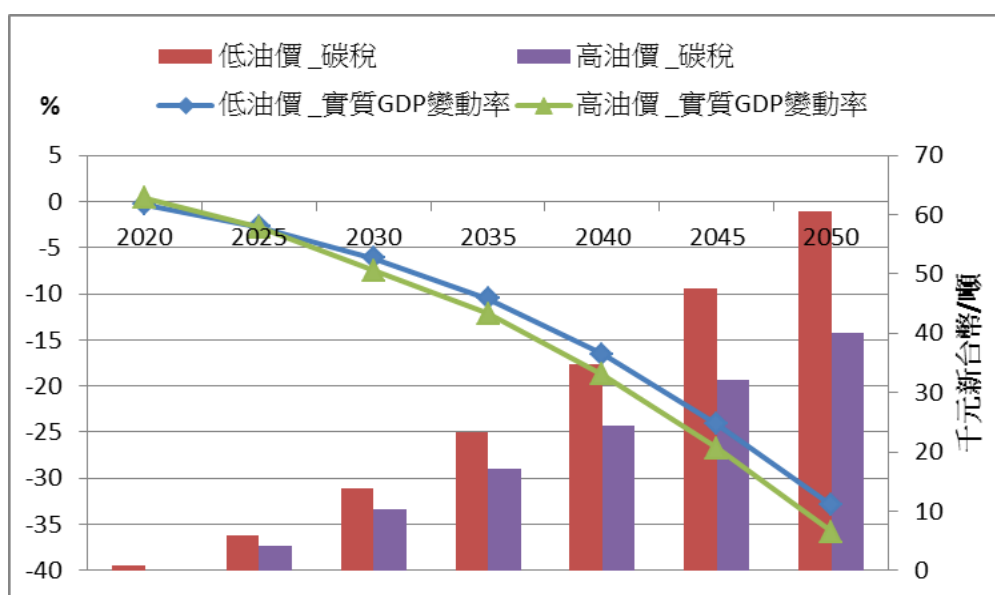


圖 39 相較於參考情境之實質 GDP 變動率及碳稅(S1 及 S2)

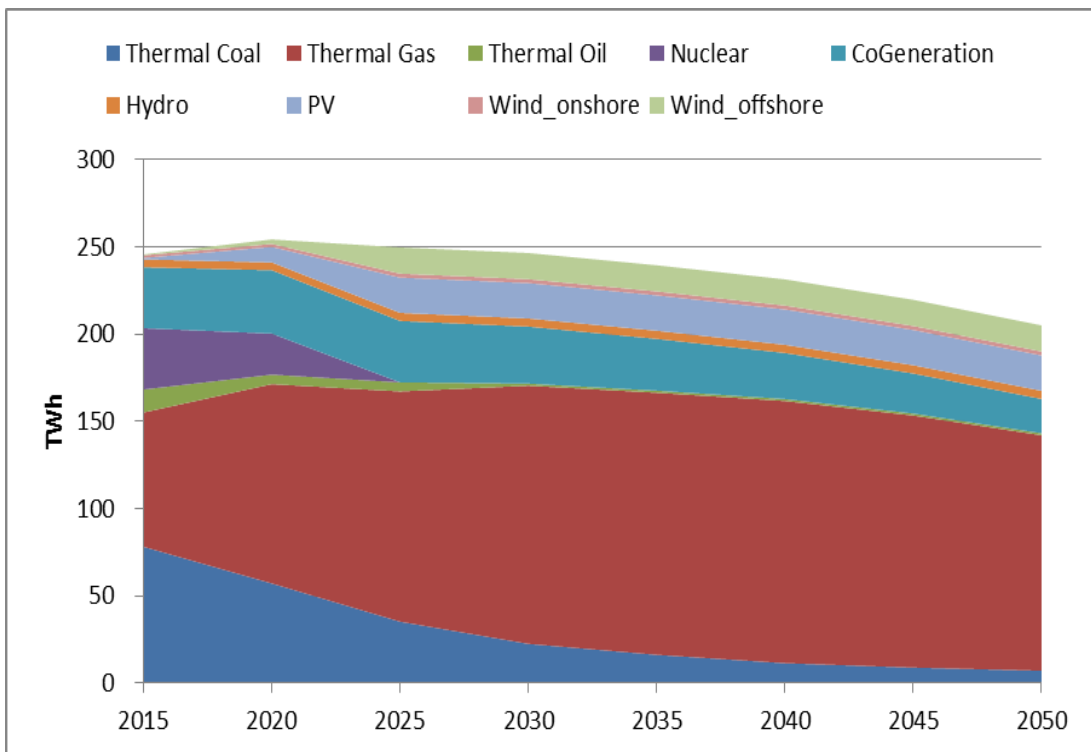


圖 40 S1 情境之發電量結構

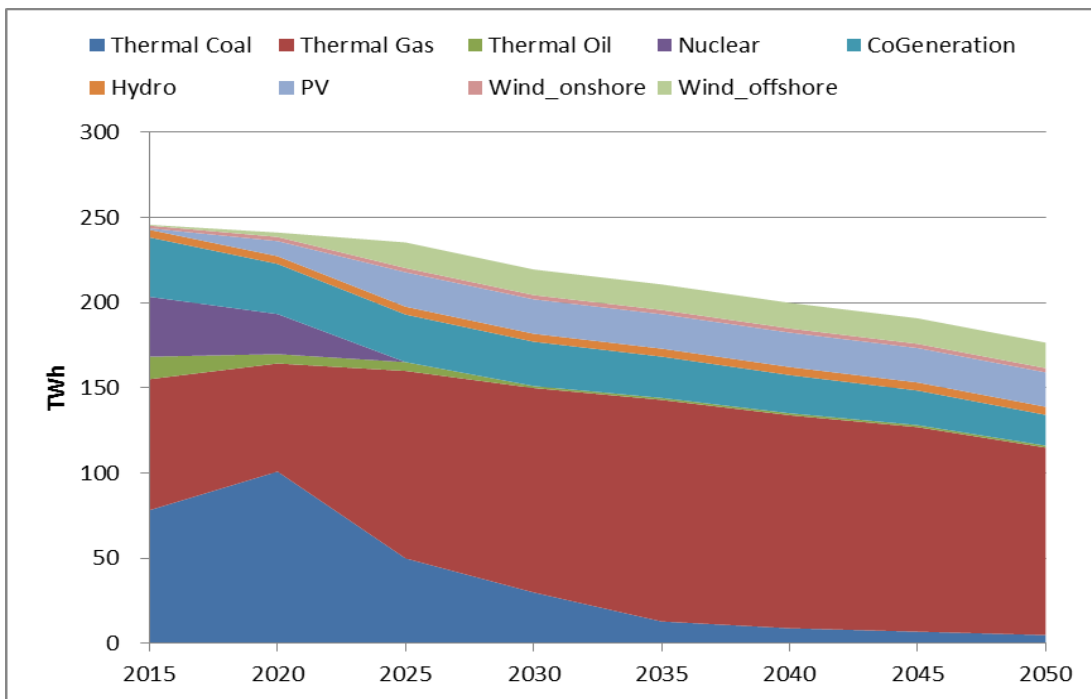


圖 41 S2 情境之發電量結構

而在第二組情境裡，我們考慮在減碳目標加入 2025 年以後持續發展再生能源。由結果可發現持續發展再生能源確實可減緩減碳所帶來之衝擊，但減少的幅度有限，若從高油價的情境來看，減碳目標加上 2025 年後持續發展再生能源 (S4)，對實質 GDP 在 2050 年的衝擊為-31% (圖 42)，與 S2 的衝擊-36%相比約減少了 1/6。而碳稅也跟著從每噸 4 萬元下降至 3.8 萬元。而就低油價情境來說(S3)，實質 GDP 衝擊在 2050 年為-28%，與 S1 的影響-33%相比約也減少 1/6。而從電力消費來觀察，S3 與 S4 情境皆因為 2025 年以後持續發展再生能源減少了天然氣與燃煤的使用 (圖 43 及圖 44)，其中以天然氣減少的幅度較高，主要的原因為在模型中太陽光電與離岸風力皆歸類在中尖載的部分，故 2025 年之後增加的量會直接與天然氣做替代，而間接與燃煤替代，但又因為模型中的 CES 函數為一不完全替代之生產函數，所以替代的量並非一比一，故可以看到 S3 與 S4 的發電量相較於 S1 及 S2 皆要高出一些。

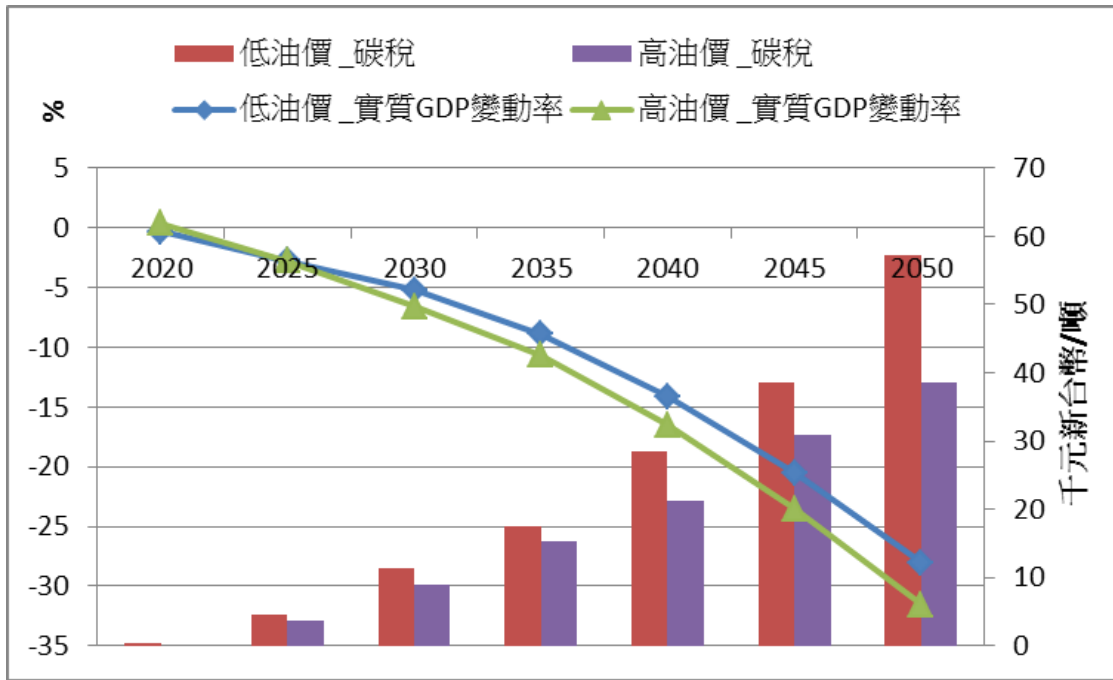


圖 42 相較於參考情境之實質 GDP 變動率及碳稅(S3 及 S4)

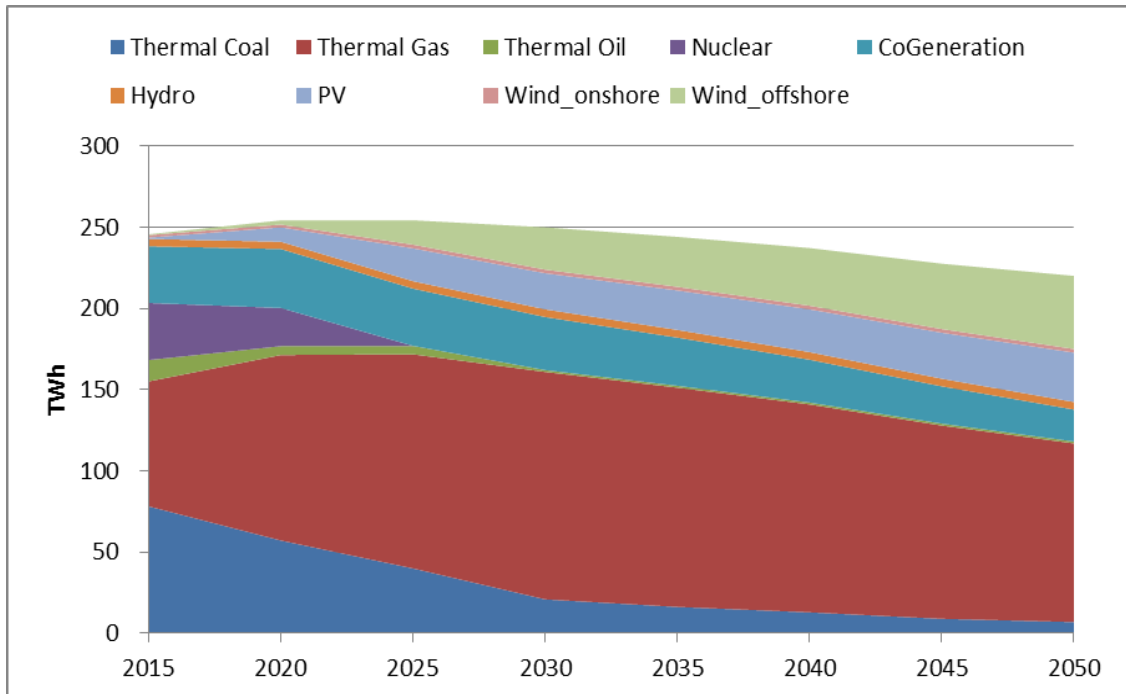


圖 43 S3 情境之發電量結構

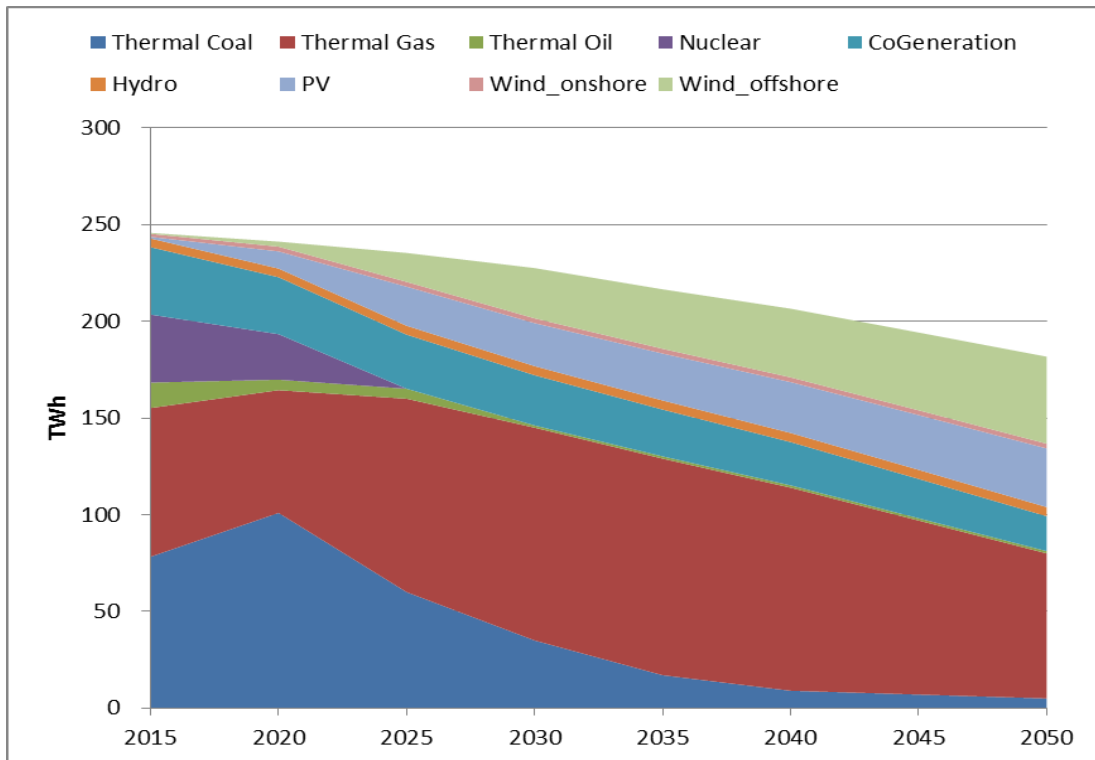


圖 44 S4 情境之發電量結構

而在最後一組情境中，我們在未來提高能源使用效率，結果顯示能源使用效率對於減碳所造成的負面衝擊有相當程度上的減緩作用，甚至在 2025 年以前對經濟有正面的影響 (圖 45)，而整體的電力消費量 (圖 46 及圖 47) 相較於以上其他情境也因能源使用效率提升有效降低。但隨著減碳量越來越大時，對經濟仍有相當程度的衝擊，不過如果把本組情境之結果 S5 及 S6 與第一組情境 S1 及 S2 相比的話，約可減緩 1/3 的經濟負面影響，也就是說如果未來透過能源需求管理提高能源效率，且除了 2025 年之再生能源目標以外，之後仍積極持續地發展再生能源，無論在高低油價情境下，對於減

緩達到減碳目標所造成的負面影響，皆有相當程度之助益。

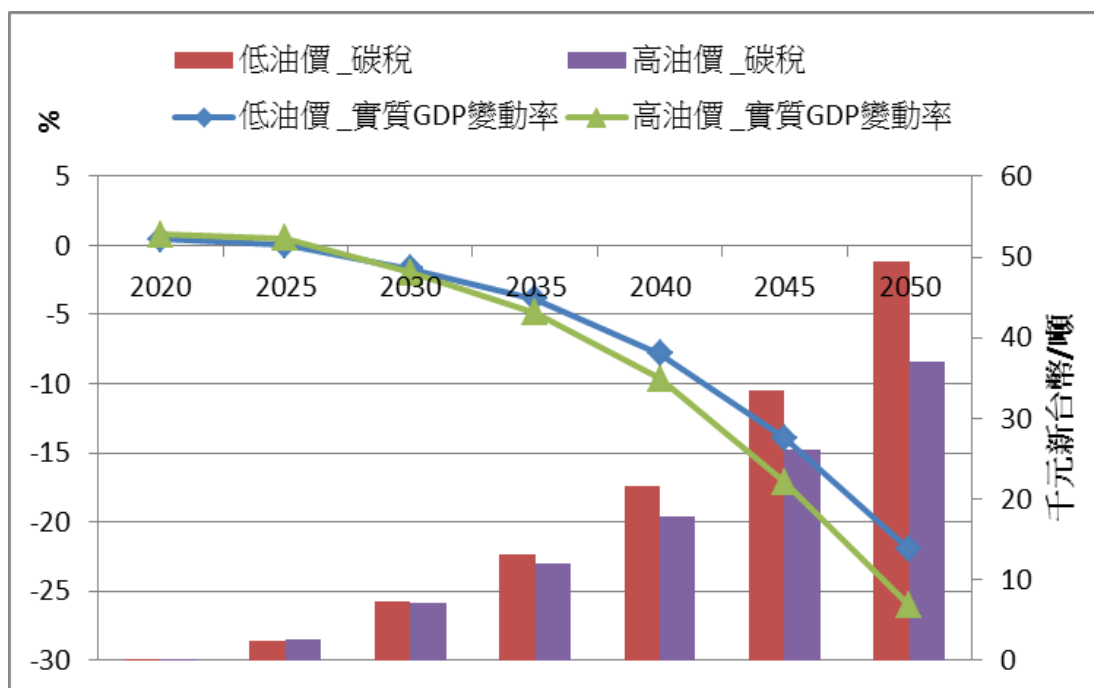


圖 45 相較於參考情境之實質 GDP 變動率及碳稅(S5 及 S6)

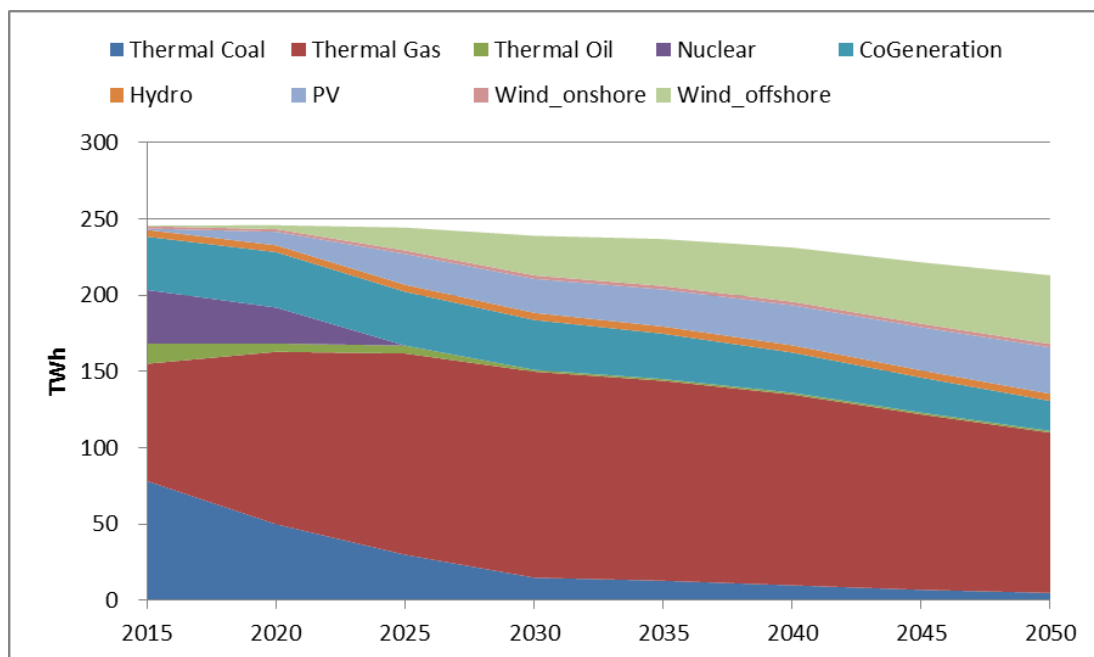


圖 46 S5 情境之發電量結構

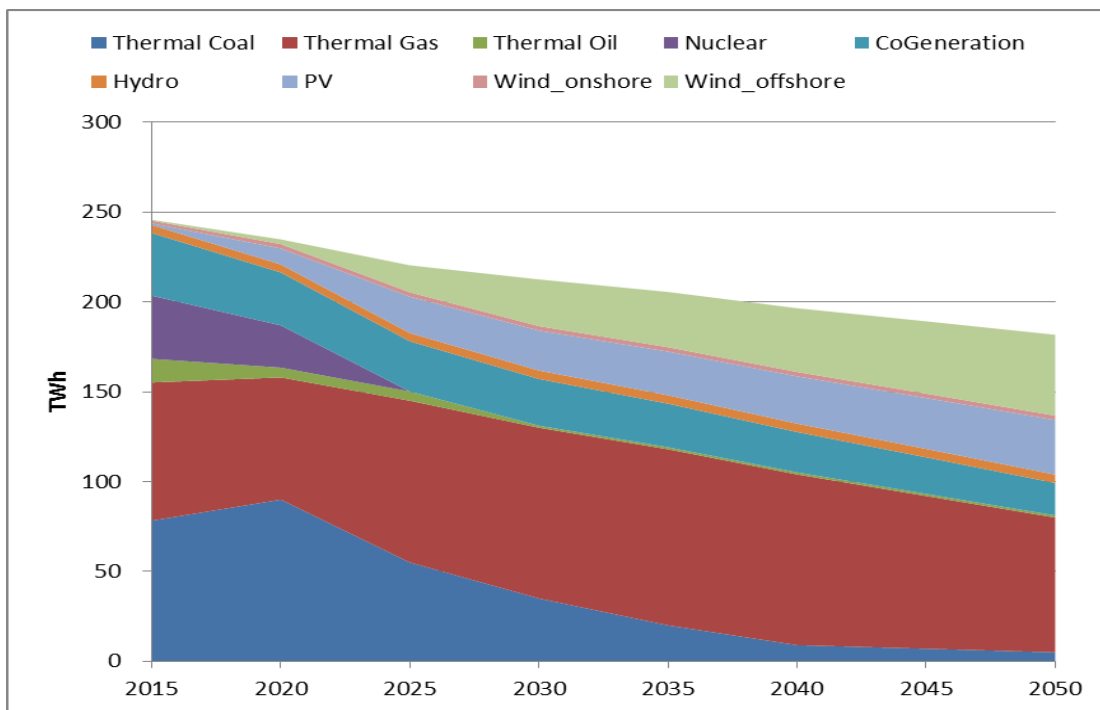


圖 47 S6 情境之發電量結構

參、主要發現與結論

在過去的研究中，我們已針對相關新及再生能源進行技術經濟分析，並結合 3E 模型進行能源、經濟、環境效益評估，最後整合研究成果與發現，提出具體之產業化建議。基於此，本團隊將利用過去所累積之研究能量，在今年度(105)針對國際能源市場趨勢之下，評估我國新及再生能源發展策略。研究目的為完成相關模型的資料更新工作後，評估在不同能源價格情境下我國新及再生能源發展策略。以下具體針對不同研究提出相關發現與結論：

一、相關國際能源市場及歐洲新及再生能源發展資料蒐集

2014 年全球的煤炭市場出現本世紀以來的首度負成長，中國經濟成長趨緩及調整產業結構是主要的原因。油價持續下跌，促使利用天然氣取代燃煤發電，使得煤炭得需求下降。碳排放及空氣污染的議題日益受到各國的重視，在政策上對於燃煤也有愈來愈多的限制。而未來煤炭的供給及對環境的影響均主要受到電力部門的影響，碳捕捉與封存技術(CCS)及超臨界(SC)/超超臨界(USC)發電技術可降低燃煤對環境的衝擊，可能會提高煤炭的使用。

原油蘊藏量目前仍以中東地區蘊藏量最高，占約 47%，其次為中南美洲地區，約占 19%，然而北美地區擴大開採頁岩油才是近年影響國際油價波動劇烈之主因。由 EIA 與 IEA 之研究

報告顯示，至 2020 年前原油之供需趨勢與價格變動仍將大比例受北美地區之原油供給影響。而較長期的國際原油供需與價格走勢，除了受北美地區之供給影響之外，非 OECD 國家之經濟成長幅度以及 OPEC 國家之原油供給將是至 2040 年原油供需趨勢與價格變動之主要驅動因素。

在天然氣方面，中國和中東為天然氣需求增長的主要中心。目前北美天然氣價格已然很低，而其他地區則因為供應充足加上價格與油價合約連結，價格也被拉低。而國際機構對未來全球經濟成長率持續下修，經濟復甦的乏力已持續影響市場對於天然氣的需求。另一方面，天然氣於發電端則面臨煤炭、核能（如日本核電重啟）及再生能源等替代能源的相互競爭。除此之外，雖然 IEA 預期未來全球的天然氣供應量由頁岩油氣占 60% 的份額，然除了北美地區外，其他地區的開發進程仍呈現緩慢且不均衡的態勢，上述種種因素皆對天然氣產量的成長產生不利影響。

在歐洲之再生能源發展趨勢方面，發展離岸風力是英國達成 2020 年在生能源目標的關鍵角色，將風電併入電網並繼續維持英國在離岸風力技術在全球的領先地位；同時，海洋能 (Marine energy) 也是英國優先發展的再生能源技術。英國得天獨厚具有發展海洋能的先天優勢，包含波浪 (Wave) 與潮汐

(Tidal)，並積極推動上述技術的商業化，但許多推動機制與發展策略必須藉由地方政府的配合，因此英國政府亦積極與威爾斯、蘇格蘭及北愛爾蘭等當地政府密切協商合作，來推動再生能源的發展以達到英國整體的再生能源發展目標，例如蘇格蘭目標為 2020 年達到再生能源占比達 20% 的目標。

另外就法國來說，法國希望 2025 年前將核能發電占比從目前的 75% 降至 50%，故需要積極發展再生能源，在風場方面數量要增加兩倍，太陽能發電量要增加三倍。相較於 2012 年，法國要在 2050 年以前降低最終能源消費 50%，而 2012 年法國再生能源占最終能源消費為 14%，2020 年該目標為 23%，2030 年該目標為 32% 並占發電量的 40%，並將上述目標列入法國的 Energy Transition Law 顯示其政策推行的決心。

德國再生能源高速發展的代價是政府龐大的財務負擔及民眾負擔高昂的電價，FIT 一再修改也影響業者投資的決策。德國北部環境較南部有利再生能源發展，但南部的用電需求較大，北電南送所需的高壓電纜傳輸系統尚在進行中，太陽能與風能間歇性發電的特性，除了仍然需要以火力發電為基載電源外，也需要積極發展儲能系統以調配間歇性的再生能源電力。從德國的發展經驗來看，台灣在發展再生能源上，除了政策的健全及財務的補貼之外，也需要做好輸配電及儲能的規劃，以

利再生能源的發展。

二、應用模型於議題分析

近年來美國頁岩油氣出口及國際政經局勢變化皆深切影響國際能源市場，在半年內布蘭特(Brent)、西德州(WTI)及杜拜等原油價格下跌達 60%。而我國能源 98% 皆來自進口，為了因應國際能源市場變化以降低能源供應風險，已成為各界關注的焦點。除此之外，國際間已陸續完成簽訂多項具體之溫室氣體減排協議，例如京都議定書、國家溫室氣體適當減緩行動、國家自訂預期貢獻等，展現各國減緩全球環境持續惡化之決心外，各國同時亦致力於尋求一能同時兼顧經濟發展、環境永續與能源安全之解決方案。我國為與國際一同因應氣候變遷議題，訂定了溫管法及國家自訂預期貢獻之溫室氣體排放目標，以展現我國在國際舞台上共同面對全球氣候變遷問題之決心。

基於以上因素，在存在著國際能源市場的供應風險，又有未來面對氣候變遷的壓力下，我國再生能源技術之發展究竟扮演著怎麼樣的角色？要針對此議題進行詳細的評估，需要有一套完整而又複雜的架構。因此，在本研究中我們將利用近年來所開發建置完成之動態可計算一般均衡 GEMEET 模型來進行分析。結果顯示，首先在參考情境中，若未來出口、投資無法有效提升及人口紅利漸失，且無相關經濟及產業政策刺激下，2025

年後經濟成長率將低於 1%。建議政府應及早因應。且無論在高低油價的情況下，在未來一般性的再生能源躉購費率及 R&D 投資下，將無法達到整府所設定之政策目標，政府勢必要有更強力的誘因政策才能促使其有更快速的發展。而若考慮到政府須達到減碳目標的情況，並透過提高 R&D 投資讓再生能源達到政府所設定的推廣目標及持續發展上限下，再加上能源使用效率提升約可降低 1/3 因減碳所造成之經濟衝擊，顯示單單靠發展再生能源及提升能效並無法完全消除因減碳而對經濟所帶來之負面影響，未來如果要更進一步減緩衝擊，則有必要考慮引進其他低碳技術，如 CCS 等。

肆、参考文献

1. Agora Energiewende (2015). Report on Germany Power System.
2. BMWi (2011). The Federal Government's energy concept of 2010 and the transformation of the energy system of 2011.
3. BP (2015). BP Energy Outlook 2035.
4. BP (2015). BP Statistical Review of World Energy June 2015.
5. BP (2016). BP Statistical Review of World Energy June 2016.
6. Domestic Renewable Heat Incentive. Retrieved from <https://www.ofgem.gov.uk/environmental-programmes/domestic-rhi>
7. EIA (2015). Annual Energy Outlook 2015 with projections to 2040.
8. EIA (2016). Short-Term Energy Outlook March 2016.
9. Electrek (2016). *New Milestone: 95% of German electricity provided by renewables on Sunday at 11 AM*. Retrieved from <https://electrek.co/2016/05/09/new-milestone-95-of-german-electricity-provided-by-renewables-on-sunday-at-11-am/>
10. Energy Transition for Green Growth Act (2015). Retrieved from <http://www.votreenergiepourlafrance.fr/>
11. Energy Transition, The German Energiewende. Retrieved from www.energytransition.de

12. Energy Trend. 德國通過再生能源法案修正，FIT 補貼將走入歷史。取自：<http://technews.tw/author/energytrend/>
13. Finadvice (2014). Development and Integration of Renewable Energy: Lessons Learned From Germany.
14. IEA (2015). Medium-Term Coal Market Report 2015, OECD/IEA, Paris.
15. IEA (2015). World Energy Outlook 2015.
16. IEA (2016). Oil Medium-Term Market Report 2016.
17. JRC (2014). Energy Technology Reference Indicator projections for 2010-2050. Luxembourg.
18. International Gas Union (2016). 2016 World LNG Report.
19. International Gas Union (2016). Wholesale Gas Price Survey 2016 Edition.
20. International Monetary Fund (2016). World Economic Outlook Update July 2016.
21. Lin, J. X. Feng, C. C. Lin, S. M. Ko, F. K. and Chu, Y. P. (2015). R&D, Technological Change and Rate of Feed-in Tariff. The Empirical Economics Letters, 14(2), 161-172.
22. National action plan for the promotion of renewable energies 2009-2020. Retrieved from

<https://www.gov.uk/domestic-renewable-heat-incentive>

23. 台電公司燃煤採購情形，取自：

http://www.taipower.com.tw/content/new_info/new_info-a03.aspx?LinkID=1

24. 秦安易、曾盟峯 (2015)，德國積極發展再生能源之經驗與觀察。

25. 經濟部能源局 (2015)，104 年度能源統計手冊。

26. 闕棟鴻 (2015)，「德國能源轉型的現況與展望－發布至 2016 年能源規劃藍圖，持續進行再生能源等各領域之改革」。取自：

http://km.twenergy.org.tw/DocumentFree/reference_more?id=119

附錄：期末審查會議委員意見

台灣經濟研究院研究五所 陳詩豪副所長

綜合評論：

1. 針對部分概念可以再做釐清，例如再生能源補貼中何謂補助？「中尖載」機組與「基載」機組的差別為何？為何燃氣機組仍是「中尖載」？
2. 對於策略內涵，可以有更明確的提出，使研究結果可以更為貼近研究目的之設定。

後續修訂之建議：

1. 不同章節之間可以再把中間的連結再論述清楚，使章節之間更為連貫。
2. 相同資料的年度應清楚表達，例如第 53 頁表 10，就看不出年度，可以再全盤檢視確認。

中央大學台經中心 吳大任主任

綜合評論：

1. 油價預測可考量原油生產市場結構變化，頁岩油開採導致原油市場競爭性提高。
2. 能源需求面管理可考量電價（區域電價）調整的政策效果。

後續修訂之建議：

1. 政策模擬可考量 FIT 等再生能源發展策略。
2. 除英法德，可考量分析如韓國等與台灣相近的發展策略。

台電綜研所電力經濟研究室 洪紹平主任

綜合評論：

1. 報告完整充實，論述清晰，符合研究目的；研究方法嚴謹，模型結構周延。
2. 情境設計堪稱合理並具意涵，惟或有參考精進空間(例如 BP 之 LEAN、CLEAN、GREEN 等情境)。
3. 針對再生能源間歇性特性(容量與發電量之落差、發電量之變動性)如何針對不同的滲透率適度融入模型中的電力資源組合，或可適度加以深思與精進。

後續修訂之建議：

1. 簡報 P.22 或可考量需求面管理、儲能、電動車或傳統彈性機組等電力資源。(智慧電網下超越傳統基中尖載之彈性動態協調搭配)
2. 或可考量再生能源在不同生命週期下市場、技術、制度、再生能源價格、電價等的適度搭配，並融入模型進行模擬分析。
3. 考量再生能源補貼、自製率是否違反 WTO 規範(投資與貿易)分析之可能性。
4. 適度融合穩核、綠能、節能與低碳之整合性策略分析。