

東海大學管理碩士在職專班(研究所)
碩士學位論文

政府政策與技術創新對太陽能光電產業發展之
探討

Study on government policies and technological innovation for
the development of solar photovoltaic industry

指導教授：許書銘 博士
研 究 生：陳宗堯 撰

中華民國 101 年 07 月

中文摘要

論文名稱：政府政策與技術創新對太陽能光電產業發展之探討

校所名稱：東海大學管理碩士在職專班(研究所)

畢業時間：2012 年 07 月

研究生：陳宗堯

指導教授：許書銘

論文摘要：

太陽能光電的運用從太空競賽用於人造衛星上，經石油危機及核災時的充當化石能源或核能的替代能源，到環境污染、地球暖化時成為潔淨再生能源，價格從不計成本的擁有，經含有戰略意義的高價發展，到普及於民生要和化石能源競爭。太陽光電發展至今雖然蓬勃但並非一帆風順，運用上仍面臨著初期建置成本偏高及使用壽命不夠長的大挑戰；現今影響太陽光電普及的兩大因素是政府政策和技術創新，本研究聚焦於這兩個因素對太陽能產業發展的影響，探討政府政策、技術創新、政府政策與技術創新等對太陽能光電產業發展的影響。本研究以在技術、生產、運用、政府政策方面對太陽能產業發展具有代表性的美國、日本、德國、中國、台灣等國，作為論述的範圍。

政府政策由早期供給面，中期供給面、需求面，到近期的供給面、需求面、環境面，由點而線至面，層次分明的透過改變價量關係、供需平衡影響太陽能光電產業。因光電轉換方式的多樣化，技術創新的發展也多樣化及多重子系統，整體而言產品技術由漸進式創新往模組式創新發展，也漸朝架構式創新及突破式創新發展。需求面政策提供市場拉力，間接拉動技術創新，環境面政策提供激勵產業發展的基礎架構，也間接提供技術創新的有利條件，供給面更直接透過研發創新活動影響產業發展，政府政策透過影響元件知識、結構知識的不同層面改變技術創新類型，而技術創新的成果及趨勢也會回饋而影響政府政策的制訂及方向，兩者單獨的、聯合的、互相纏繞的、互為因果的影響太陽能光電產業。

關鍵詞：政府政策、技術創新、內容分析、共同演化、太陽能光電

Abstract

Title of Thesis : Study on government policies and technological innovation for the development of solar photovoltaic industry

Name of institute : Executive Master of Business Administration

Graduation Time : (07/12)

Student Name : Tyler Chen

Advisor Name : Hsu Sue Ming

Abstract :

The use of solar PV start the space race for satellite, as alternative energy sources to fossil fuels or nuclear power in the oil crisis and the nuclear disaster, when environmental pollution, global warming it to be become clean renewable energy sources. The price is from regardless of the cost to owner, after development of high prices with strategic significance to popularize the people's livelihood and competition with fossil energy. Photovoltaic now is booming but has not been smooth, it is still facing big challenges of the high cost of initial deployment and lifetime is not long enough; government policies and technological innovation are the two main factors for photovoltaic development, this study focused on the these two factors on the development of solar energy industry, and to explore the affect of government policies, technological innovation, government policies and technological innovation for the development of solar photovoltaic industry. In this study, the United States, Japan, Germany, China, Taiwan in technology, production, application and government policies on the development of solar energy industry are representative, as the scope of discourse.

The early period government policy is supply side, the medium period are supply side, demand side, the recent are supply side, demand side, environmental side, while from point, line to surface - structured by changing the relationship between price and

quantity, the balance between supply and demand affect the solar photovoltaic industry. Technological innovation due to the diversification of the photoelectric conversion, the development of technological innovation but also multiple subsystems, the whole product technology from incremental innovation to the development of modular innovation, gradually toward the development of architectural innovation and radical innovation. Demand side policies to provide market pull power, indirectly stimulating technological innovation, the environment side policy to encourage industrial development of the infrastructure, but also indirectly provide favorable conditions for technological innovation, the supply side is a direct impact of industrial development through R & D innovation activities, government policies through the impact of component knowledge, structure knowledge to change the type of technological innovation, the results and trends of technological innovation will feedback to affect the formulation of government policy and government policy direction, both single, joint, entwined, mutually causal impact of solar photovoltaic industry.

Key words : co-evolution , technological innovation, government policy,
solar photovoltaic, Content analysis

目次

| | 頁次 |
|-----------------------|----|
| 第一章 緒論 | 1 |
| 第一節 研究背景及動機 | 1 |
| 第二節 研究目的 | 3 |
| 第三節 研究流程 | 4 |
| 第二章 文獻探討 | 6 |
| 第一節 共同演化 | 6 |
| 第二節 產業創新 | 9 |
| 第三節 政府政策 | 12 |
| 第四節 技術生命週期 | 16 |
| 第三章 太陽能光電產業討論 | 20 |
| 第一節 太陽能光電 | 20 |
| 壹、太陽能產業發展沿革 | 20 |
| 第二節 全球太陽能光電產業介紹 | 26 |
| 壹、太陽能光電發電產業的演化 | 26 |
| 貳、美國太陽能產業介紹 | 28 |
| 參、日本太陽能產業介紹 | 33 |
| 肆、德國太陽能產業介紹 | 37 |
| 伍、中國太陽能產業介紹 | 41 |
| 陸、台灣太陽能產業介紹 | 45 |
| 第四章 研究方法 | 52 |
| 第一節 研究方法 | 52 |
| 第二節 研究架構與流程 | 57 |
| 第三節 研究對象 | 58 |

| | |
|--------------------------------|-----|
| 第四節 太陽能光電產品與創新矩陣 | 58 |
| 第五節 政府政策與產業創新..... | 61 |
| 壹、供需關係的互補 | 61 |
| 貳、演化關係的互補 | 62 |
| 第五章 研究發現與討論 | 65 |
| 壹、政府政策對太陽能產業的影響 | 65 |
| 貳、政府政策對技術創新的影響 | 70 |
| 參、政府政策、技術創新與太陽能光電產業發展的關係 | 75 |
| 第六章 結論與建議..... | 81 |
| 第一節 研究結論..... | 81 |
| 第二節 管理意涵(建議)..... | 84 |
| 第三節 研究限制與未來研究方向..... | 85 |
| 參考文獻 | 86 |
| 附錄一 | 93 |
| 附錄二..... | 116 |
| 附錄三..... | 135 |
| 附錄四..... | 136 |

表次

頁次

| | |
|-----------------------------------|----|
| 表 2-1 Henderson-Clark 創新矩陣 | 10 |
| 表 2-2 創新模型與創新知識的關係矩陣 | 12 |
| 表 2-3 政府創新政策工具分類 | 14 |
| 表 2-4 技術生命週期定義 | 17 |
| 表 3-1 太陽能產業主要國家政府政策與技術創新要點 | 27 |
| 表 3-2 德國歷年太陽能光電研發項目表 | 41 |
| 表 4-1 預測之相互同意度 | 55 |
| 表 4-2 政府政策對應科技創新政策工具的內容分析表 | 56 |
| 表 4-3 太陽能光電創新性產品類型 | 59 |
| 表 4-4 太陽能光電成本降低的因素 | 64 |
| 表 5-1 政府政策對太陽能產業影響矩陣圖 | 70 |
| 表 5-2 政府政策對技術創新影響矩陣表 | 72 |
| 表 5-3 各期政府政策、技術創新、產業發展摘要一覽表 | 77 |

圖次

頁次

| | |
|--|----|
| 圖 1-1 各種發電類型和累積安裝量的經驗學習曲線..... | 2 |
| 圖 1-2 美國原油向國外採購價格(1973-2010)..... | 2 |
| 圖 1-3 研究流程..... | 5 |
| 圖 2-1 廠商、產業、與環境的共同演化 | 8 |
| 圖 2-2 技術生命週期的 S 曲線概念..... | 17 |
| 圖 2-3 多重子系統的技術生命週期..... | 18 |
| 圖 2-4 技術生命週期的曲線..... | 19 |
| 圖 3-1 歷年全球太陽能光電模組生產量. | 22 |
| 圖 3-2 歷年各國太陽能電池生產量(2000-2010)..... | 23 |
| 圖 3-3 歷年各國太陽能系統安裝量(2000-2010)..... | 23 |
| 圖 3-4 太陽能模組價格趨勢圖(1985-2011) | 24 |
| 圖 3-5 各種模組的效率及價格比較圖(2008)..... | 24 |
| 圖 3-6 各種太陽光電模組之轉換效率與單位成本分析..... | 25 |
| 圖 3-7 1975-2012 年太陽光電技術路徑圖..... | 25 |
| 圖 3-8 歷年美國太陽能光電電池生產量(1976-2010) | 29 |
| 圖 3-9 歷年美國太陽能光電電池生產量(2000-2010) | 30 |
| 圖 3-10 歷年美國太陽能光電發電系統安裝量(1980-2010)..... | 30 |
| 圖 3-11 歷年台灣太陽能光電發電系統安裝量(2000-2010)..... | 31 |
| 圖 3-12 歷年美國太陽能光電安裝量和生產量比較表(1995-2010)..... | 31 |
| 圖 3-13 美國歷年太陽能光電研發經費 | 33 |
| 圖 3-14 歷年日本太陽能光電電池生產量(1981-2010)..... | 34 |
| 圖 3-15 歷年日本太陽能光電發電系統安裝量(2000-2010)..... | 35 |
| 圖 3-16 歷年日本太陽能光電安裝量和生產量比較表(1995-2010)..... | 35 |

| | |
|---|----|
| 圖 3-17 日本歷年太陽能光電研發經費 | 36 |
| 圖 3-18 歷年德國太陽能光電電池生產量(2000-2010)..... | 38 |
| 圖 3-19 歷年德國太陽能光電發電系統安裝量(1985-2010)..... | 38 |
| 圖 3-20 歷年德國太陽能光電發電系統安裝量(2000-2010)..... | 39 |
| 圖 3-21 歷年德國太陽能光電安裝量和生產量比較表(2000-2010)..... | 39 |
| 圖 3-22 德國歷年太陽能光電研發經費 | 40 |
| 圖 3-23 歷年中國太陽能光電電池生產量(2000-2010)..... | 43 |
| 圖 3-24 歷年中國太陽能光電發電系統安裝量(2000-2010)..... | 43 |
| 圖 3-25 歷年中國太陽能光電安裝量和生產量比較表(2000-2010)..... | 44 |
| 圖 3-26 中國科技部太陽能光電產業研發經費及項目(2001-2010)..... | 45 |
| 圖 3-27 歷年台灣太陽能光電電池生產量(2000-2010)..... | 47 |
| 圖 3-28 歷年台灣太陽能光電發電系統安裝量(2000-2010)..... | 47 |
| 圖 3-29 歷年台灣太陽能光電安裝量和生產量比較表(2000-2010)..... | 48 |
| 圖 3-30 台灣 1993-2010 年再生能源研究計畫經費變化 | 49 |
| 圖 3-31 台灣 1993-2010 年各主管機關研究計畫經費..... | 50 |
| 圖 3-32 台灣 1993-2010 年各屬性執行機關的研究計畫經費分配表..... | 50 |
| 圖 3-33 台灣 1993-2010 年各研究方式的研究計畫經費分配表..... | 51 |
| 圖 3-34 台灣 1993-2010 年各研究性質的研究計畫經費分配表..... | 51 |
| 圖 4-1 內容分析法流程 | 53 |
| 圖 4-2 研究架構 | 57 |
| 圖 4-3 再生能源發電系統市場形成概念圖(1) | 61 |
| 圖 4-4 再生能源發電系統市場形成概念圖(2) | 62 |
| 圖 4-5 太陽能光電學習曲線(1975-2002) | 63 |
| 圖 4-6 太陽能光電損益平衡點的預測..... | 63 |
| 圖 5-1 北海布蘭特原油價格(2000-2012) | 67 |
| 圖 5-2 各國太陽能光電電池生產量比較表(2000-2008) | 71 |

第一章緒論

本章主要在描述本研究的初始動機，想探討的議題和希望達成的目的。以下分別說明本研究背景、動機、研究流程及研究目的。

第一節 研究背景及動機

二十世紀三次的全球石油危機對經濟產生了嚴重的影響，加上蘇聯車諾比核災讓人類須嚴肅的面對著能源安全問題；二十一世紀才剛起步，異常的氣候變化，造成糧食的短缺，這和人類不注重環境保護，濫用地球資源有關，且化石能源逐漸面臨枯竭的窘境，在種種不利人類演進、發展的錯綜問題下，太陽能具有無污染、取得的便利性、發電品質穩定，且近來發電成本逐年降低，有些地區已是「市電同價」(Grid Parity)，應用不受地形、環境的限制，具有和傳統化能源競爭的潛力。

全世界很少有一個產業，本身沒有競爭力(先期建置成本高)，但各國政府卻大量運用國家政策扶持，寄望能成為明日之星，太陽能光電產業就是這樣一個特殊的例子，為甚麼各國政府願意呢？是明智之舉 或是一種迷思？圖 1-1、圖 1-2 給了一個太陽能光電未來應該有機會和傳統化石能源競爭的願景。雖然太陽能發電的價格比其他種類的發電成本高，但其經驗學習曲線最陡峭，代表依此模式發展，未來太陽能的發電成本，有可能比其他種類發電成本還低，且化石能源價格日益高漲，有助於太陽能替代傳統化石能源的提早到來；另一個重要的原因是太陽能是生生不息，不用擔心耗竭的問題，可永續發展。發展太陽能光電，其主要功能包括：(1)安全的能源，豐富及到處都有的能源、原生性的能源(降低進口依賴度)及不具耗竭性；(2)降低全球環境污染與溫室氣體排放；(3)提高特定能源需求，如偏遠地區的電力建設；(4)因產業發展的普及，增加地方與區域的就業機會。前述太陽能光電發電具備之功能特性，涵蓋能源安全、環境保護、競爭力及社會發展等層面，是最符合人類永續發展的策略。

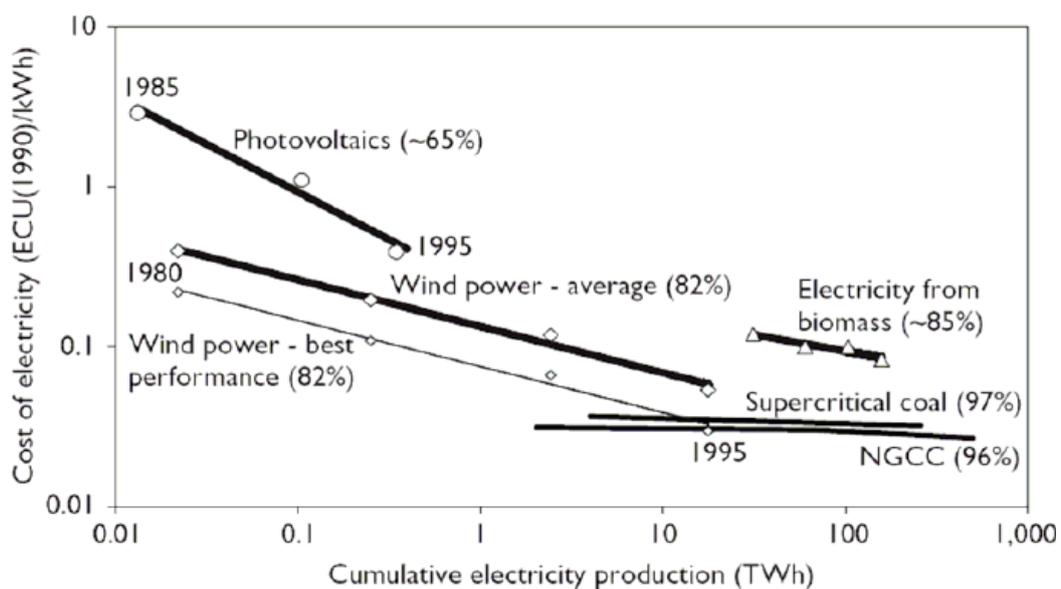


圖1-1 各種發電類型和累積安裝量的經驗學習曲線

資料來源:Electric technologies in EU, 1980-1995(IEA, 2000)

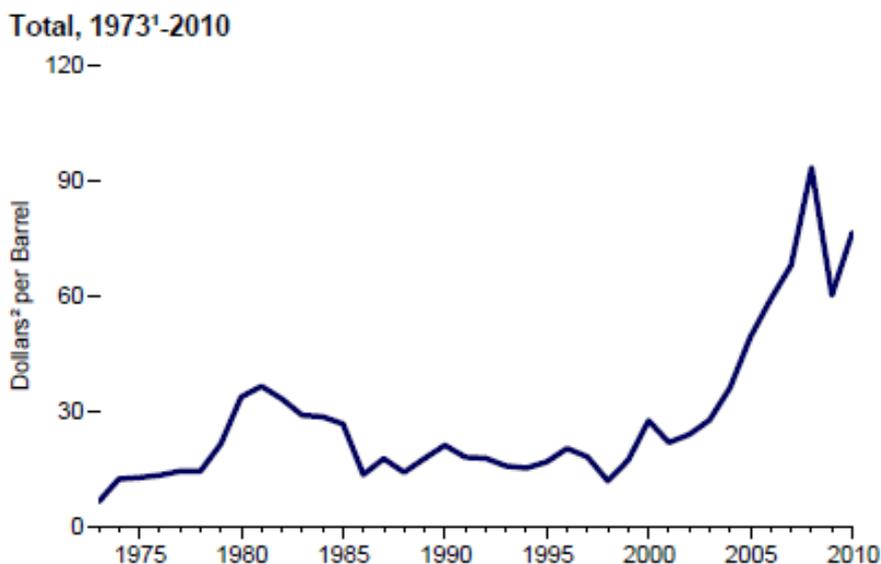


圖 1-2 美國原油向國外採購價格(1973-2010)

資料來源:美國政府能源資訊管理局

近期太陽能光電產業蓬勃發展，尤其德國在人民高環保意識及政府立法保障太陽能發電收購價，提供二十長期合約及低率貸款，讓投入太陽能產業成為有利潤的行業，人人願意安裝太陽能光電發電系統，使太陽能光電系統需求量大增，

造成供不應求，須大量向外國購入太陽能模組，帶動了全球太陽能產業的發展，而其中中國因政府認為可再生能源是解決中國能源供給及環境污染的可行方案，透過政府提供各種獎勵措施，積極扶持太陽能光電產業，且碰上全球需求大增，促使中國太陽能光電產業快速發展，使其在太陽能光電模組的供應量超過全球一半，成績斐然。

美國 NREL(National Renewable Energy Laboratory)的 Keshner and Arya (2004)研究指出，影響成本降低的因素 51%的來自生產規模，49%來自轉換效率的改善。Nemet (2005)，根據因素分析發現太陽能光電成本降低最有影響力的是經濟規模(生產規模)佔 43%、轉換效率佔 30%。陳彥豪(2005)認為適時的政策補助技術進步的不足，填補價值間隙，有助於太陽能初期市場的形成。太陽能光電發電和傳統化石能源發電競爭最重要的關鍵在於成本的降低，而政府政策正是提供太陽能市場(需求)最主要的力量，由需求拉動市場規模，而轉換效率的提升可藉由技術創新來達成，所以政府政策和技術創新是影響太陽能光電產業最重要的兩個因素。但上述三位學者、專家均未對這些因素如何影響太陽能產業發展及影響機制為何，進一步提出說明。

基於全球能源發展趨勢、環境變遷對人類的影響、太陽光電的特性及優點、政府不斷的推出激勵太陽能產業發展的政策及太陽能產業發展迅速等等綜合性因素及背景下，認為太陽能光電產業的發展對人類發展有其前瞻性及重要性，而上述相關的的文獻並未說明政府政策與技術創新對太陽能產業的影響及如何影響，本研究認為深值得加以研究探討，藉由研究過去發展軌跡、發掘成功的模式及影響發展的機制，提供太陽能光電產業未來發展的趨勢及建議。

第二節 研究目的

影響太陽能光電發展的因素很多，最主要的是政府的政策和技術的創新發展，所以本研究將聚焦於探討這兩個因素對太陽能光電產業發展的影響。而美國、日本、德國、中國、台灣等國在技術、生產、運用、政府政策等方面對太陽能光電

產業發展具有代表性，本研究以探討這些國家的產業發展作為研究論述的範圍。

主要探討有：

壹、政府政策對太陽能光電產業的影響及如何影響。

貳、技術創新對太陽能光電產業發展的影響。

參、政府政策對技術創新的影響及如何影響。

肆、政府政策與技術創新對太陽能光電產業發展的影響。

伍、對太陽能光電產業未來發展提出建議。

第三節 研究流程

本研究以研究背景與動機為思考起點，找出欲探討之研究目的，再從太陽能產業現況瞭解著手，開始資料之蒐集、分析、歸納，得知政府政策和技術創新是影響產業發展兩股最重要的力量，藉由相關文獻如政府政策、技術創新、內容分析、共同演化的理論基礎探討，以及太陽能光電產業主要國家發展歷程及現況，探討政府政策、技術創新對太陽能產業發展的影響，政府政策對技術創新的影響，政府政策與技術創新對太陽能產業演化過程的影響，加以分析出研究發現，歸納所得並提出結論與建議；時間上依演進的階段分成三期 1974 到 1990 年稱為早期，1991 到 2000 年為是中期，2001 到現在(2012 年)為近期。圖 1-3 研究流程。

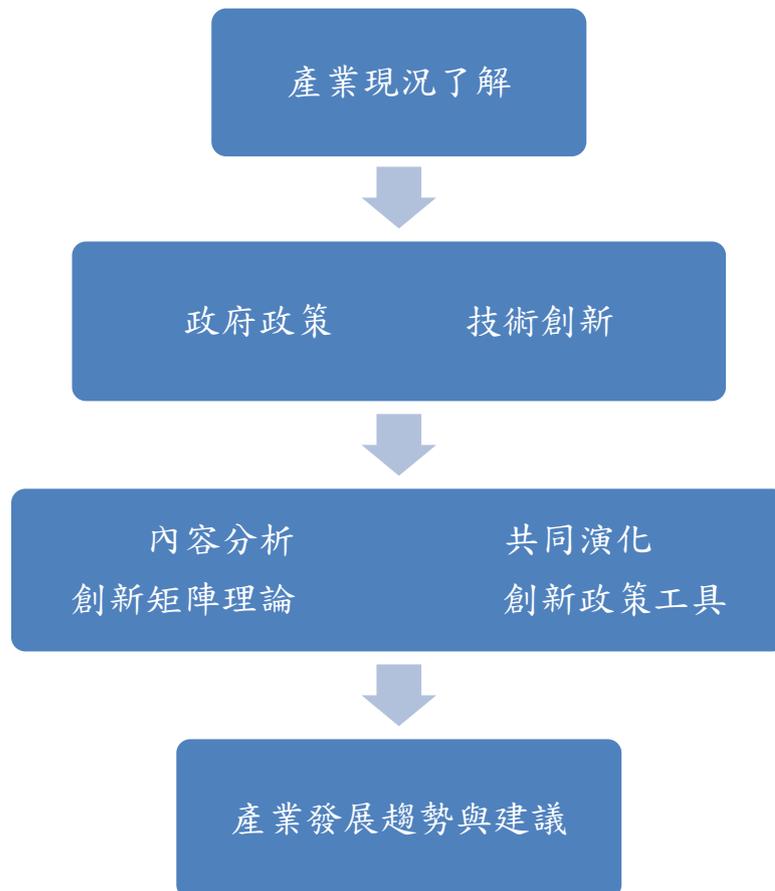


圖 1-3 研究流程

資料來源:本研究

第二章 文獻探討

第一節 共同演化

達爾文於一八五九年年底出版了《物種起源》，第一部曲建立了基本觀念—物種是會變化的，這個觀念證明物種的演化是通過自然選擇（天擇）和人擇的方式實現的，確立演化(evolution)的事實。生存競爭，其意義包含著這一生物對令一生物的依存關係，生存競爭不是與大自然競爭，只有在極端的情況下，物種要跟大自然的條件競爭；而是個體與個體的競爭，其中同類間的生存競爭才是所有生存競爭中最激烈、最可怕的。這就是所謂的「物競天擇，適者生存」。而後來學者將演化觀念衍生出組織理論的變異 (Variation)、選擇 (Selection)，以及保留 (Retention) 之 VSR 模式，成為組織研究中演化理論的重要基礎。演化理論約自 1960 年代開始被應用於社會科學的領域中，許多學者由 VSR 為基礎發展出不同的觀點，曾引發有關「選擇—適應」的辯證。在開放的自然環境下，儘管組織也許有獨特的策略意圖，但由於環境、資源因素和有限理性，限制了組織的自主能力，而導致「環境選擇」(selection) 和「組織適應」(adaptation) 兩種相異且對立的論點。「環境選擇」論點：強調環境透過資源稀少性和競爭決定組織的存在與否，認為唯意志論的管理意圖對組織適應的影響相當少，甚至沒有。「組織適應」論點：著重在廠商層次的適應觀點，強調策略與組織設計的管理意圖。然而，無論自選擇或適應單一觀點來解釋環境與組織間的演化現象皆有其不足處；Lewin and Volberda (1999) 認為，「選擇—適應」現象的單一理論觀點發展已臻成熟，並且達到了其所能解釋的極限，故 Volberda 與 Lewin 認為應考慮管理適應和環境選擇的聯合結果，而非單獨的「適應」，或單獨的「選擇」，兩者應是根本性的相關，而非完全對立的力量。

近來，許多學者開始提出「共同演化」(co-evolution) 架構，嘗試連結「選擇—適應」觀點理論，即在一致的架構中，整合微觀 (micro) 與宏觀 (macro) 層次的演化，結合多層次分析和情境效應，藉此推導出新理論、新研究方法和新

的領悟(Lewin & Volberda, 1999)。

共同演化的概念源自生物學的進化論，意指兩個或兩個以上獨特(unique)的物種(species)持續的互動與演變，使其演化途徑(evolutionary trajectory)互相糾結的現象。在演化的過程中，物種適應(adaptation)其所處環境而得以生存，而所謂的環境，亦即其他物種的集合。當兩個物種相互適應，其結果即為部分相依(interdependent)的生態系統(ecosystem)。在任何系統中，相互依賴的行為其結果是可以共同演化的，像蜜蜂、花朵和它們的共生關係即為典型的共同演化情形。花朵提供食物(花蜜)給蜜蜂，而蜜蜂則為花朵授粉，選擇或淘汰使得花朵演化的更具吸引力，增加授粉的機會，蜜蜂也被吸引成為更有效率的授粉者、最佳的獵奪者，增加它們自身的存活機率。共同演化可以容許我們從理性中脫離，達成一種均衡狀態。共同演化的架構也強調一種適應力的比賽，哪些首先確認並充分利用環境中各種機會的群體，較有機會在這場比賽中勝出。首先擁有一流策略或能力者會產生可防禦的競爭優勢，這種優勢會持續下去，至少直到另一個行為者的適應性再度改變環境為至。

無論是產業與產業間、產業與廠商間，或是廠商與廠商間之共同演化關係，皆為「巨觀演化」(macroevolution)。建構在廠商內部競爭的架構(intrafirm competitive context)之上，探討個別廠商內部的資源、動態能力、以及競爭力之共同演化，則為「微觀演化」(microevolution)。(謝凱宇，2000)。因此，共同演化可以發生在組織內部的個體之間、組織與組織之間，組織與產業，產業與環境，因此共同演化應該涵括個別組織、產業、制度環境等相關因素的多層次的分析。又由於共同演化是互動的結果，而非個別組織的獨立行為，環境、產業，或是廠商間互動關係的改變，彼此間所形成的網絡關係隨之改變，圖 2-1 說明了共同演化多層次關係之架構：

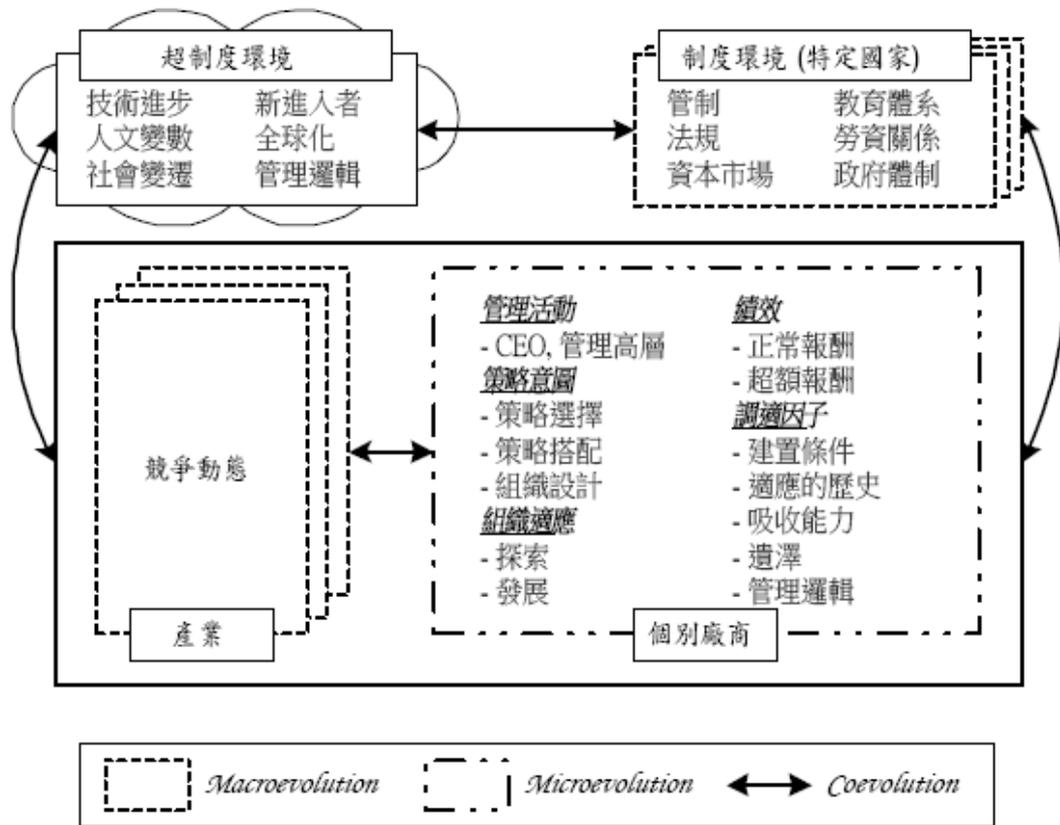


圖 2-1 廠商、產業、與環境的共同演化

資料來源：Lewin, Long, & Carroll (1999)

Lewin and Volberda (1999) 將共同演化的重要特徵與要件分為以下五點：

- 1、多層次與鑲嵌性：共同演化過程發生在組織內與組織間，廠商與廠商之間，微觀共演化則發生在宏觀選擇競爭壓力的情境中。意即兩個以上不同層次的實體於特定情境中是互動的。
- 2、多向因果性：共同演化過程中，組織本身發生進化，所在環境也會受影響一起進化，反之亦然。變化可能產生在組織內或組織間，變化互動和互相影響的關係相當複雜，任一變化可能是因為其他變化而導致外生性變化的影響所致。
- 3、非線性：互動組織的改變，並不一定只從一對組織間的互動而來，亦有可能是系統或環境中，其他組織的間接影響而來。
- 4、正向的反饋：組織系統性的影響其所在的環境，而組織環境是由其他組織的互相影響所構成。這些迴路式的互動，產生相互依賴性和循環的因果性。即每一廠商不但影響其他廠商，也反被其他廠商所影響。
- 5、路徑和歷史相依性：即共同演化過程中的變化有路徑與歷史相依性。組織演化

的起始條件，可能對共同演化的過程與結果影響很大。

第二節 產業創新

壹、創新的定義

「創新」的觀念，最早是由熊彼特 Schumpeter(1934) 於其著作『經濟發展理論』(The Theory of Economic Development) 中，主張創新是企業利用資源，以新的生產方式，滿足市場的需要，將已發明的事物，發展為社會可以接受並具商業價值之活動，是經濟的原動力，爾後「創新」的觀念漸漸的獲得學術界的探討。他認為：創新是指企業家實行對生產要素的新的組合。這包括五種情況：引入一種新的產品或提供一種新的產品品質、採用一種新的生產方法、開闢一個新的市場、獲得一種原料或半成品的新的供應來源和實行一種新的企業組織形式（建立一種壟斷地位或打破一種壟斷地位）。熊彼特定義的創新概念所包含的範圍很廣，包括經營創新、技術創新與體制創新等等，但他並沒有對創新本身進行細緻的分析研究並給出嚴格的定義。「不創新，就滅亡」管理大師 Drucker (1985) 闡述企業創新的重要性，並認為創新 (innovation) 是賦予資源創造財富的新能力，使資源變成真正的資源，並認為創新是可以訓練和學習的。因此，創新係指使用新的知識，提供顧客所需新的服務及產品。創新的行動就是賦予資源以創造財富的新能力。

綜上言之，創新是將創意轉換成價值，特別是經濟上價值。

貳、創新矩陣

創新矩陣 (Innovation Matrix) 即是根據創意程度不同所進行之矩陣分類，特別是以二維矩陣表示。

產品創新 (Product Innovation) 即是以產品改變 (change) 與增值 (value added) 為核心之創新類型。產品創新雖是最古老的，但也是最重要的創新類型，畢竟沒有好產品或服務，企業無法增加客戶價值，必然也不會有穩定現金流。

產品創新可分成兩類：產品應用創新以及產品設計創新。產品應用創新涵蓋功能上創新（需求面，市場拉力）與產品端創新（供給面，技術推力）。產品設計創新即是以產品之改變為核心之創新內涵，知名典範者 Henderson-Clark 創新矩陣就是例子。Henderson-Clark 創新矩陣橫軸為產品底層的元件層級之組合，例如不同零組件，而縱軸為整體結構層級。舉例來說，結構式創新（Architectural Innovation）即是組成產品的基本元件不變，但是整體結構布局改變。也就是說，將相同元件進行整體結構之重新調整，進而產生新功能。Henderson-Clark 創新矩陣之兩個軸線都和技術相關，屬於技術推力型-技術推力型，而與市場拉力或消費者是無關。

表 2-1 Henderson-Clark 創新矩陣

| | | | |
|----------------|----|-------|-------|
| 連結方式 (結構層級) | 改變 | 結構式創新 | 突破式創新 |
| | 不變 | 漸進式創新 | 模組式創新 |
| | | 強化 | 顛覆 |

核心概念(元件層級)

資料來源：Henderson-Clark

Henderson-Clark 創新矩陣，四種創新分類說明如下：

1、突破式創新(Radical Innovation)是建立一個新的優勢設計，產生新的核心設計觀念且由元件具體化，使其可能產生新的結構(元件之間的新連結)。當突破式創新破壞了原有的有效能力(例如架構、元件的知識)，則對已建立好的市場而言，它會產生明顯的挑戰。

2、漸進式創新(Incremental Innovation)是將過去的設計加以改進，精緻化，著重於改善獨立的元件。當漸進式創新建立好主要的競爭能力時，則其目的主要傾向於加強在市場上的競爭地位。

3、模組式創新(Modular Innovation)是只改變核心設計觀念，沒改變整個產品的結構，是最容易達成的創新，因為它是由模組組成的，而模組的觀念主要在於模組之間的關連性較小，因此更換其中一個模型也能照常運做，例如類比電話取代數位電話，轉換方法很簡單，只要將類比轉換器換成數位轉換器即可。

4、架構式創新(Architectural Innovation)字面上的意思是「結構的創新」，但是本意卻與字面上意思有些差別，指的是改變產品元件連結在一起的結構，它雖然破壞了市場上架構知識(Architectural Knowledge)，但是仍保有產品元件的知識。

表2-2加強說明四種創新類別和元件及結構間的關係，並舉兩個實例使理論更具體化。Architectural Knowledge是指有關如何將元件整合連接在一起成完整的產品的知識。元件(Component)是在產品中實體性的個別部份，會嵌入核心設計觀念中顯示其功能。Component Knowledge，指的是有關於所有核心設計的觀念，以及部份元件如何實作的知識。

表2-2 創新模型與創新知識的關係矩陣

| Type of innovation | Core design concept | Linkages between core concepts and components | Components knowledge | Architecture knowledge | 硬碟的技術創新 | 風扇的技術創新 |
|------------------------|-------------------------|---|----------------------|------------------------|----------------|---------------|
| Incremental 漸進式創新 | No change Reinforced | unchanged | Changed | No, or minor change | 硬碟容量更大速度更快 | 風扇扇葉形狀的改變 |
| Modular 模組式創新 | New Overturned | unchanged | Major change or new | No, or minor change | 金屬讀寫頭變成薄膜磁阻讀寫頭 | 風扇葉片材料由金屬改成塑膠 |
| Architectural 架構式創新 | No change Reinforced | changed | No, or minor change | Major change or new | | 吊扇變成立扇 |
| Radical 突破式創新 | New Overturned | changed | Major change or new | Major change or new | 硬碟由磁阻技術變成光學技術 | 吊扇變成冷氣機 |

資料來源：Henderson-Clark。本研究整理

第三節 政府政策

壹、政策

政策 (Policy) 泛指政府、機構、組織或個人為實現目標而訂立的計劃。政策包含一連串經過規劃和有組織的行動或活動。推行政策的過程包括：了解及制定各種可行方案，訂立日程或開支的優先次序，然後考慮它們的影響性來選擇要採取的行動。政策可以在政治、管理、財經及行政架構上發揮作用以達到各種目標。政策這個詞語，可包含以下任何一項意思，語意廣泛：

- 1、政府的正式政策（規定法律如何運作的法例或指引）
- 2、政治理念和概要

貳、創新政策

政府政策(government policy)是由政府所採納或提出的行動原則或方針。創新政策是指能對創新活動產生影響的法律、法規和政策,通常分為供給、需求與環境等方面的政策。

一、創新政策的分類

Rothwell 及 Zegveld(1981)於研究政府之創新政策中,指出創新政策應包括科技政策及產業政策,以政策對科技活動之作用層面,可將政策歸納為下列三類:

- 1、供給面的政策工具: 政府直接投入技術供給的三個因素,即財務、人力、技術支援、公共服務等。
- 2、需求面的政策工具: 以市場為著眼點,政府提供對技術的需求,進而影響科技發展之政策;如中央或地方政府對科技產品的採購等。
- 3、環境面的政策工具: 指間接影響科技發展之環境,即專利、關稅及政策性策略扶植企業。

政府創新政策分成三類其政策工具本研究將它分成六種,便以分析及歸納,如表 2-3。

表 2-3 政府創新政策工具分類

| 分類 | 政策工具 | 定義 | 範例 |
|-------|-----------|---|--|
| 供給面政策 | 政府的研發創新 | 政府直接進行或直接鼓勵各項科學與技術發展之作為。 | 政府所轄研究機構創新，公營事業創新、發展新興產業，公營事業首倡引進新技術、參與民營企業，政府設立研究實驗室、圖書館、教育訓練、產官學合作研究創新，政府建立技術及市場資訊流通平台。 |
| | 民間的研發創新 | 政府透過民間進行或間接鼓勵各項科學與技術發展之作為。 | 政府補助民間機構、企業、大學等研究經費，政府補助民間設立研究實驗室、進行教育訓練，支援研究單位、學術性團體、專業協會，研究特許、R&D 研究合約、產官學合作研究創新。政府協助民間企業、機構建立技術及市場資訊流通平台。 |
| 需求面政策 | 政府創造需求 | 中央政府及各級地方政府各項採購之作為。 政府直接給於民間之各項財務支援。 | 中央或地方政府的採購、公營事業之採購、原型採購、補助金、設備提供、財物分配安排、利息補貼。 |
| | 政府鼓勵民間採購 | 政府間接給於民間之各項採購誘因。 政府對公用事業或民間企業向外採購規定。 | 政府對公用事業、民間企業向外採購規定。例FIT、RPS。 |
| 環境面政策 | 財務金融及租稅優惠 | 政府直接或間接給於企業或個人之各項財務支援。 政府給予企業或個人各項稅賦上的減免。 | 貸款、貸款保證、出口信用貸款等，公司、個人薪資稅和租稅的扣抵或減免。 |
| | 法規及管制性措施 | 政府為規範市場秩序之各項措施。 政府基於協助產業發展所制訂各項策略性措施。 政府各項進出口管制措施。公共服務。 | 專利權、技術標準、環境規定和健康服務、獨占規範，規劃、區域政策、獎勵創新、鼓勵企業合併或聯盟，貿易協定、關稅、貨幣調節。公共建設、運輸、電信。 |

資料來源：Rothwell 及 Zegveld (1981)。本研究整理

二、創新政策的設計

許多經濟學家指出，成功的創新有賴於技術供給和市場需求等因素間良好組合。在科技研究和發展上，就供給面而言，新產品開發和其製程端視下列三種投入要素之適當程度而定：

- 1、科學與技術之知識及人力資源。
- 2、有關創新的市場資訊及研究發展、生產和銷售所需的管理技術。
- 3、財力資源。

若政府企圖以供給面的政策影響創新過程，政府本身可以透過直接參與科學與技術過程，或透過改善上述三要素，或是間接地調整經濟、政治與法規，以符合新產品創新需求。政府亦可經由需求面的政策改善創新過程，政府可以在國內市場不論間接或直接創造市場需求；亦或選擇改變國內或國際貿易大環境方式，來改善環境面條件，例如可藉由關稅或貿易協定為之。

科技發展也受到市場拉力的影響，因為科技發展必須符合市場需求。一般而言，市場拉力往往來自於消費者，因市場拉力所激勵的科技發展主要是增加或改善現有科技的性能與技術，技術的改善是具有累加性的，且往往對生產力和競爭力產生驚人的影響，當針對某特殊問題的解決方案有強烈需求時，市場拉力將促成重要的科技突破。科學的推力和市場的拉力帶動了創新與變革，若能整合推力與拉力將可加速科技的變革，成功的科技發展要整合科學推力與市場拉力，還要結合企業的技術與財務資源以及管理科技的方式。

三、科技與產業的政策

創新政策包括科技政策與產業政策，如果將科技形成至產業活動區分成：基礎科學研究、應用科學研究、應用技術發展、技術實用化、技術市場化、市場活動六個階段，Thomas 及 Wionczek(1979)認為前三者屬於科技政策的範疇，較重視基礎研究，以超越現實創新技術為主，研究成果通常以論文發表的方式公開，後三者屬於產業政策的領域，較重視技術發展，以配合市場開發競爭力商品為主，

研究成果往往需要保密。科技政策是政府為促進科技有效發展，以達成國家整體建設目標，所採行的重要制度及施政方針。產業政策是指政府透過公權力的運作，積極介入某些產業發展或調整的相關活動，以促進某些特定產業的發展，進而達到提昇國家經濟發展，促進全民福祉的目標(Rothwell, 1982)。產業政策的主要訴求在於強調以政府的力量，透過金融、財稅、貿易、公共建設、行政指導乃至教育訓練等政策或措施，來改變企業生產成本、產業結構與資源分配，以創造產業發展的有利條件。過去，許多國家將其產業政策和科技政策視為兩個不同的領域，但在知識經濟的時代中，受到科技國際化與技術創新競爭激烈的影響，產業創新需要科技的強力支援；而創新的科技能否被快速的商品化，更是一個國家能否擁有全球競爭力的關鍵，因此越來越多的國家努力將其產業政策與科技政策加以整合，希望兩者能互相配合，成為一體的兩面(吳思華，2000)。

第四節 技術生命週期

壹、技術生命週期

技術生命週期(Technology life cycle)的概念是 Arthur(1981)發展用來衡量技術變化指標，它包含二個構面第一是競爭的衝擊，第二是產品或製程的整合，及萌芽期、成長期、成熟期、飽和期四個階段。四個階段根據 Arthur 的定義，如表 2-4。後來 Ernst(1997)發展出一個用 S 曲線在時間時程上或累積的研發支出下，觀察技術績效(性能)或專利使用量，作為技術生命週期分析的說明表，如圖 2-2。

表 2-4 技術生命週期定義

| 階段 | 技術種類 | 競爭衝擊性 | 產品或製程整合 |
|-----|----------------------|---------------|-----------------|
| 萌芽期 | 新興技術 | 低競爭衝擊性 | 低產品或製程整合 |
| 成長期 | 技術逐漸成長及快速成長 | 中競爭衝擊性 | 技術尚未完全整合在產品或製程中 |
| 成熟期 | 有些快速成長的技術變成關鍵技術 | 維持技術在競爭中的高衝擊性 | 技術整合在產品或製程中 |
| 飽和期 | 關鍵技術變成基本技術，可能被其他技術取代 | 技術流失對競爭的衝擊性 | |

資料來源：Arthur(1981)。本研究整理

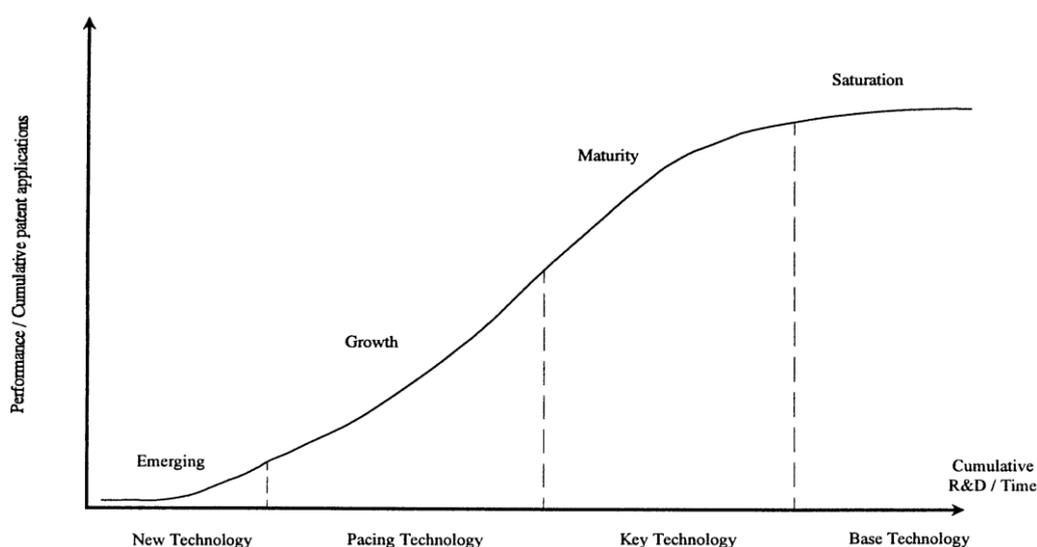


圖 2-2 技術生命週期的 S 曲線概念

資料來源：Ernst (1997)

在新興技術方面，當競爭力的影響低，產品與製程的整合低，是屬於新興技術；在成長技術 (Pacing technology) 方面則表示競爭影響力漸漸提昇，但在產品與製程的整合度不高，因此需加強整合；在關鍵技術方面 (Key technology) 競爭影響力和產品與製程的整合皆高；在基本/通用技術方面 (Base technology) 其競爭影響力降低，但仍具有很高的產品與製程的整合，將上述技術生命週期階段結合，則新興技術是屬於第一階段 (萌芽期)；成長技術則是屬於第二階段 (成長期)；關鍵技術則是屬於第三階段 (成熟期)；基本/通用技術則是屬於第四階

段（飽和期），達到飽和期後逐漸由新的技術取代（Ernst, H., 1997）。然而運用此一技術生命循環週期的 S 曲線型態僅能看出技術尺度的單一面向，卻無法看出技術潛力所形成的經濟成果。因此便將量化的績效參數結合 S 曲線來做為技術的績效衡量。此方式主要以績效參數和時間為分析的兩軸（Ernst, H., 1997）。相關研究學者包括 Krubasik (1982)、Merino (1990) 與 Russell (1990)，研究技術生命週期型態主要如前述之 S 曲線，可區分為四個階段：第一個階段為技術萌芽期，研發投入增加，卻產生低成長的技術成果；第二個階段為技術成長期，研發投入增加，其邊際技術演進是呈現正向成長；第三個階段為技術成熟期，研發投入增加，其邊際技術演進反而呈現負向成長；第四個階段為技術飽和期，研發投入高度增加，對於技術也僅產生很少的改變。當成熟期成長至某一時點，此點稱為飽和點（飽和點由限制線所控制），而之後曲線開始呈現衰退的情況，屬技術衰退期；之後便有另一新的技術替代而生命週期再度循環(Ernst, H., 1997)，形成多重子系統的技术生命週期，圖 2-3。

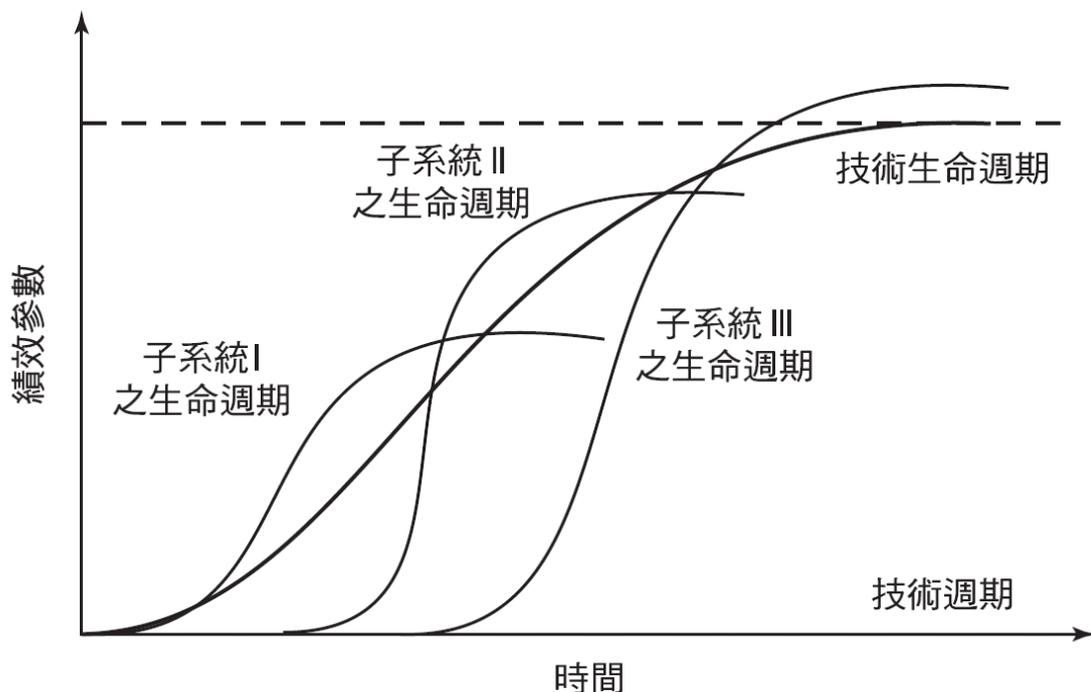


圖 2-3 多重子系統的技术生命週期

資料來源:McGraw-Hill (2005)

貳、技術生命週期與市場成長

當科技可以進入市場推廣時，方可產生收入，因此科技在發展的過程中並無法產生實質收入。藉由市場滲透的產生，便形成市場成長，其表現就是市場交易量。在技術發展階段，市場尚未接觸新科技，因此市場交易量為零。在此階段，工程師和科學家花費大量的精力，金錢和時間進行創新、研發以及測試。然而此階段無法提供實質收益。新科技開始於市場應用的技術萌芽期，市場交易量便開始成長，在萌芽期，成長的速度是緩慢的。進入成長期，成長速度才快速增加，此時，市場的滲透需依賴創新的速度和市場的需求而定。進入成熟期時，市場成長速度將開始遲緩，市場交易量也達到頂點，而後開始衰退，進入技術飽和期。最後，便是技術衰退期，此技術已無價值。如圖 2-4。

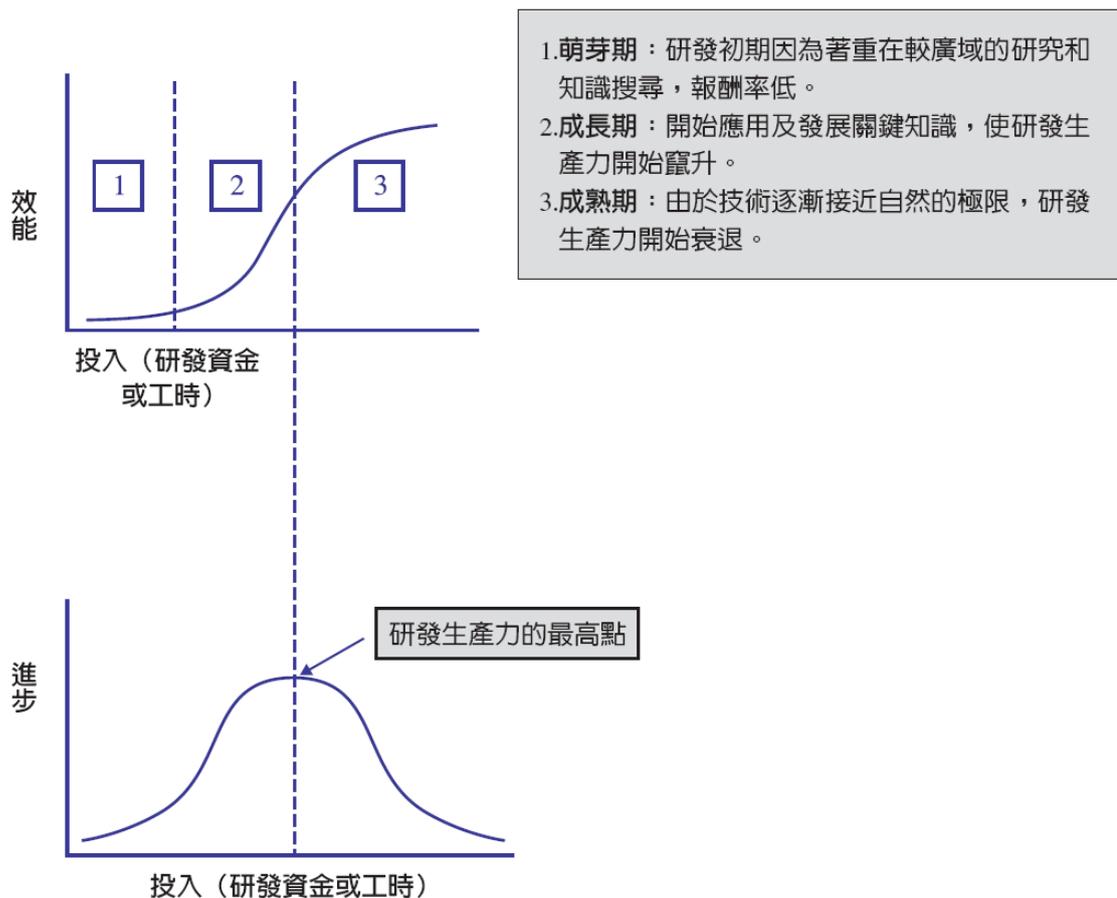


圖 2-4 技術生命週期的曲線

資料來源:McGraw-Hill (2005)

第三章 太陽能光電產業討論

第一節 太陽能光電

壹、太陽能光電產業發展沿革

一、太陽能光電產業發展簡史

太陽能光電產業發展已超過五十年，其過程中重要的里程碑及政策摘要如下。

- 1954 美國研發出晶矽太陽能電池
- 1955 美國發明出 CdS(硫化鎘)太陽能電池
- 1956 美國發明As(砷)太陽能電池
- 1958 美國在先驅者1 號通信衛星上應用太陽能電池
- 1963 日本晶矽太陽能光電模組開始量產
- 1972 美國研發出薄膜太陽光電技術
- 1972 美國制定新能源開發計劃
- 1973-1974 第一次石油危機
- 1974 美國制定了陽光計劃
- 1974 日本制定太陽能發電發展的陽光計劃
- 1976 美國開始發展多晶矽太陽能電池
- 1976 美國研發出非晶矽太陽能電池(a-Si)
- 1978 美國公用事業管制政策法(FIT)
- 1979-1980 第二次石油危機
- 1982 日本開始多晶矽太陽電池量產
- 1980 年代開始發展 CIS(銅銦硒)太陽能電池
- 1984 美國7 MW太陽能發電站建成
- 1985 日本 1 MW 太陽能發電站建成

- 1986 薄膜太陽能電池開始商品化
- 1989 開始發展聚光型太陽能光電(CPV)
- 1990 第三次石油危機
- 1991 德國制定再生新能源發電與公共電力網併網法規
- 1991 德國1000個屋頂計畫
- 1992 日本制定逆潮流供電與公共網併網法規
- 1994 日本實行住宅太陽能光電系統監測計畫
- 1999 德國十萬屋頂計畫
- 2000 德國制定再生能源法案(EEG FIT)
- 2003 美國加州實施再生能源配額制度(RPS)
- 2003 日本通過有關電力企業利用新能源發電的特別措施法案(RPS)
- 2004 德國調整修正再生能源法案(EEG)
- 2005 簽署京都議定書
- 2005 中國制定可再生能源法
- 2006 美國加州通過百萬太陽能屋頂法案(CBI)
- 2008 德國調整修正再生能源法案(EEG)
- 2009 日本實施太陽光電多餘電能饋網電價制度(Feed-in Tariff, FIT)
- 2009 中國可再生能源法修正案(FIT)
- 2009 中國發佈太陽能光電建築應用財政補助資金管理暫行辦法
- 2009 中國發佈金太陽示範工程財政補助資金管理暫行辦法
- 2009 中國特許權招標
- 2009 台灣立法再生能源發展條例(FIT)
- 2010 德國可再生能源法太陽能發電饋網補貼修訂案
- 2011 日本立法電力公用事業購買可再生能源發電法

二、太陽能光電產業發展概況

在1975年全球太陽能光電模組年產量僅2MWp¹，1990年為47MWp，2000年是252MWp，2011年增加到17400MWp，產量成長非常的快速，呈現陡峭的正斜率，如圖3-1。

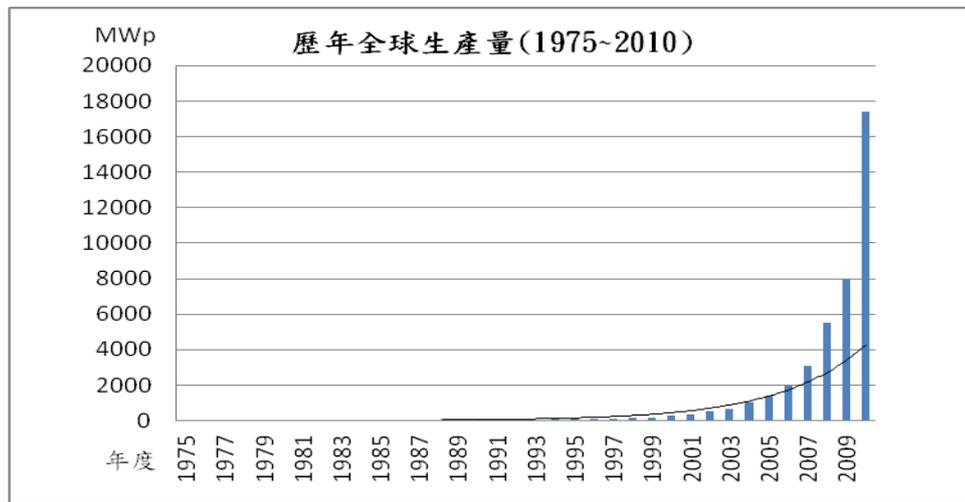


圖 3-1 歷年全球太陽能光電模組生產量

資料來源:IEA-PVPS, Photon International, REN21, IEK, PIDA, Solarbuzz。本研究整理

在各國生產量方面，日本在1998超越美國成為世界第一，2004年德國超越美國成為世界第二，2007年中國超越日、德成為世界第一，2010年台灣超越日、德成為世界第二。如圖3-2。

¹ WP 是太陽能電池的瓦數，是指在溫度 25°C，大氣質量 AM1.5，輻射強度 1000W/平方公尺光照下

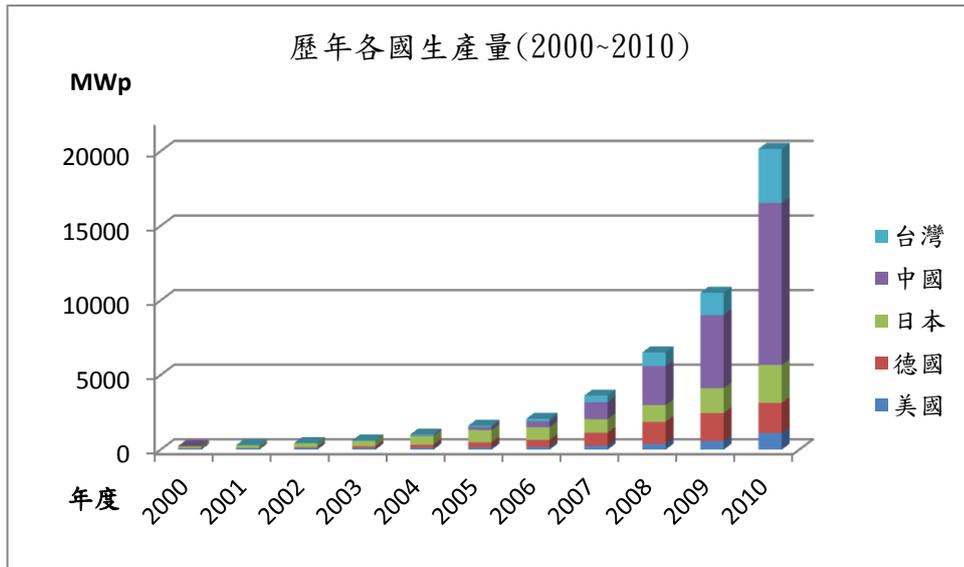


圖3-2 歷年各國太陽能電池生產量(2000-2010)

資料來源:IEA-PVPS, Photon International, REN21, IEK, PIDA, Solarbuzz。本研究整理

在安裝量方面，約1990年日本超越美國成為世界第一，德國於2004年超越日本成為世界第一，爾後領先的差距更逐漸擴大，2007年後美、日、中國的安裝量也明顯的增長。如圖3-3。

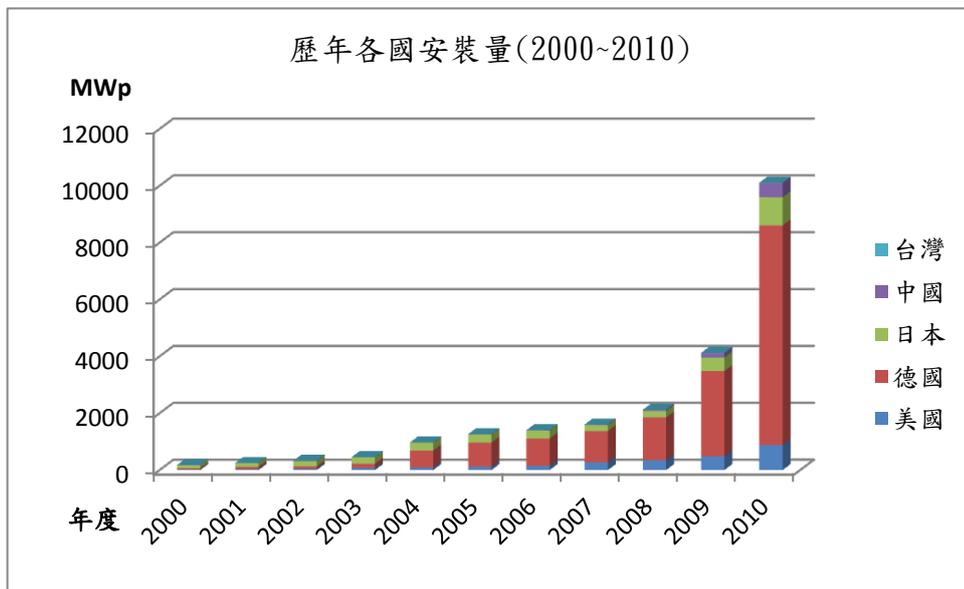


圖3-3 歷年各國太陽能系統安裝量(2000-2010)

資料來源:IEA-PVPS, Photon International, REN21, IEK, PIDA, Solarbuzz。本研究整理

在模組平均價格方面，從1975年的90美元/Wp，降到1990年6.2美元/Wp，2000年是2.7美元/Wp，2011年降到1.4美元/Wp，顯示價格是一路的往下降，除

2007 因矽材料供不應求，導致價格上漲外。如圖 3-4。

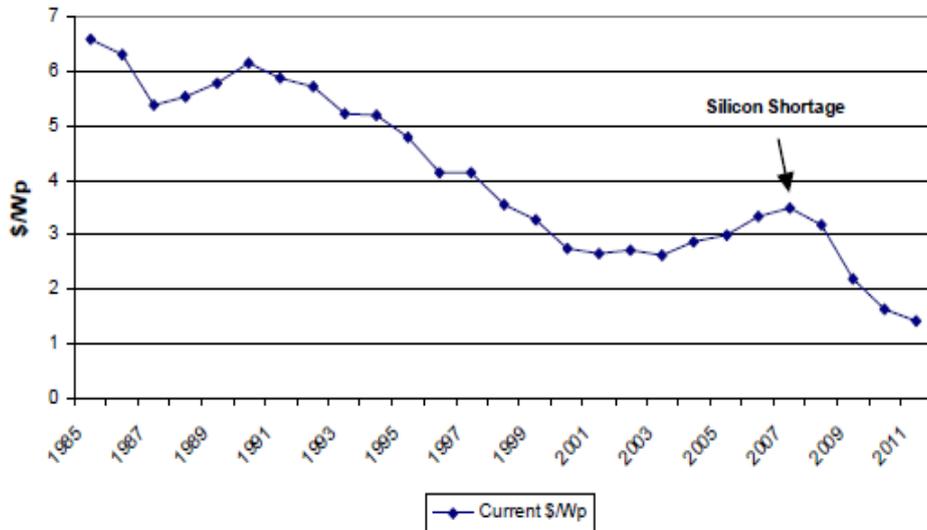


圖3-4太陽能模組價格趨勢圖(1985-2011)

資料來源:1985-2010 Paula Mints, Solar Services Program, Navigant; 2011 current market data.

在太陽能光電產業有多重子系統產品，光電轉換效率及價格分佈，如圖3-5、圖3-6。通常是高轉換效率，價格不低；低價格，轉換效率不高，轉換效率是聚光型太陽能>晶矽太陽能>薄膜太陽能>有機太陽能，價格是聚光型太陽能>晶矽太陽能>薄膜太陽能、有機太陽能。

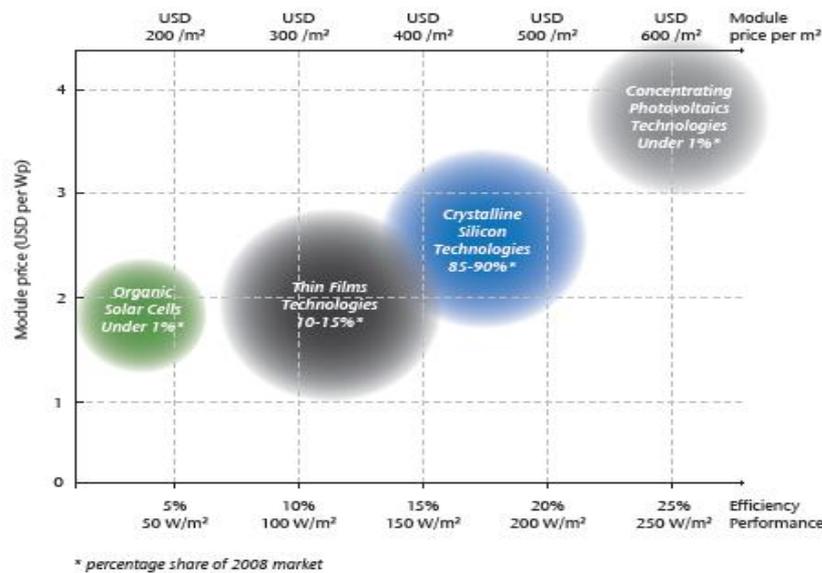


圖 3-5 各種模組的效率及價格比較圖(2008)

資料來源:IEA (2010)

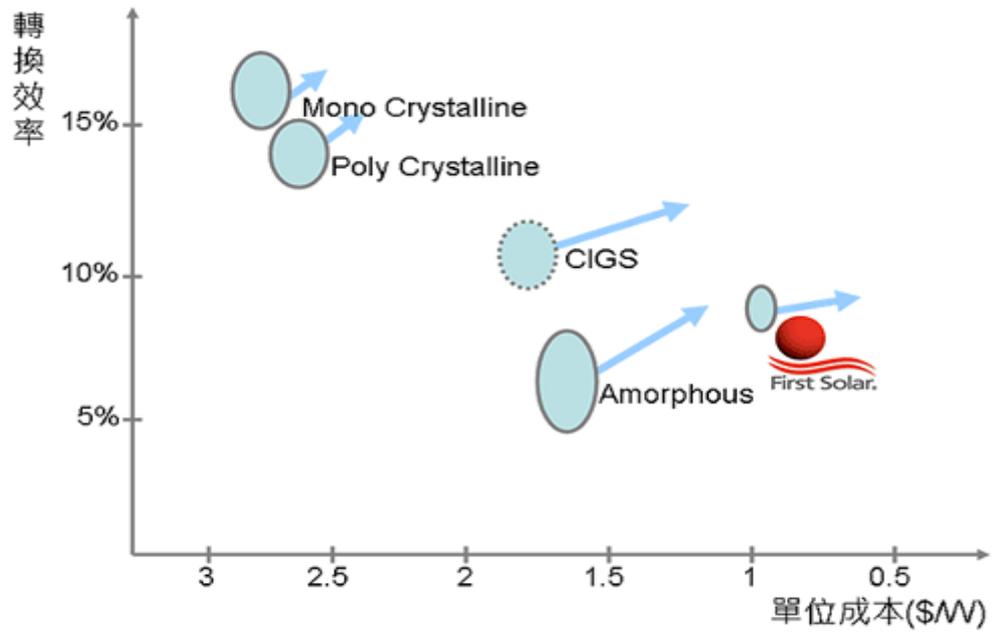


圖 3-6 各種太陽光電模組之轉換效率與單位成本分析

資料來源:工研院 IEK(2009)

在 1975 到 2012 年，各類型太陽能技術發展歷程中，最佳轉換效率的演進情形，如圖 3-7。

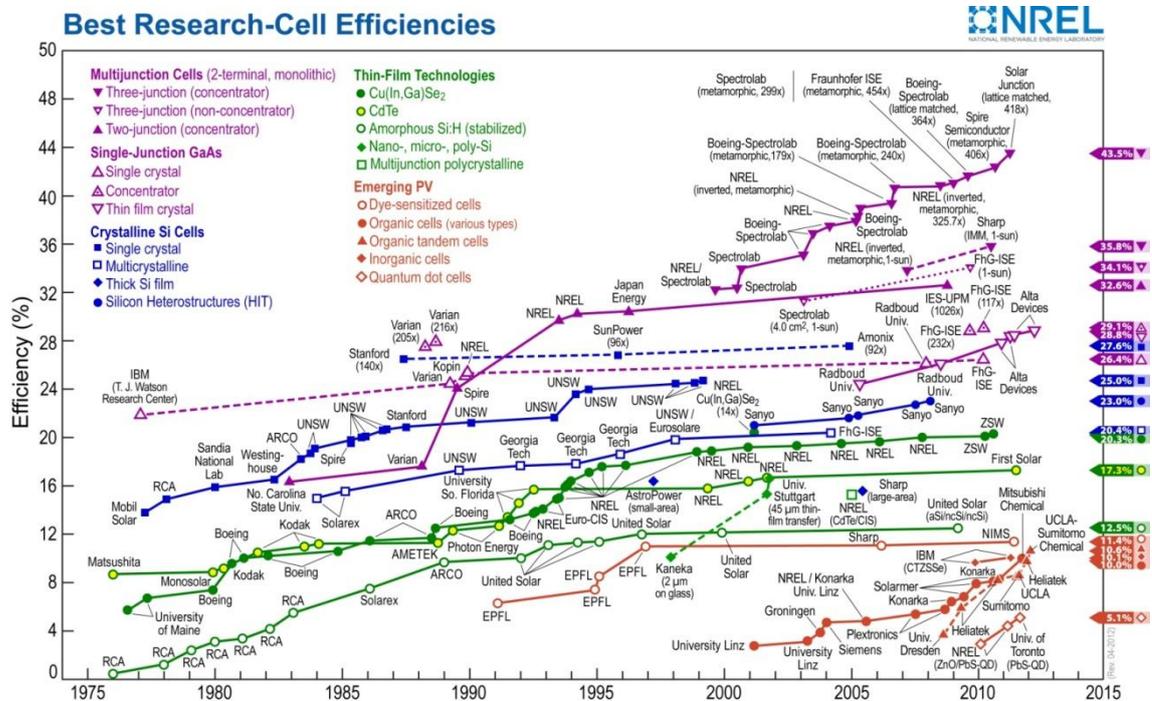


圖 3-7 1975-2012 年太陽光電技術路徑圖

資料來源: National Renewable Energy Laboratory (USA), 2012/04.

由上述的資料可知太陽能產業長期趨勢呈現量拋物線式的增長、價格持續的下降、技術持續進步，產品種類多樣化，各主要發展國家不論生產量或安裝量近期均明顯的增長，政府的激勵政策陸續的推出，使得太陽能產業更加蓬勃發展。

第二節、全球太陽能光電產業介紹

壹、太陽能光電發電產業的演化

從 1954 年美國研發出太陽能光電電池以來，全球因有美蘇太空競賽、三次石油危機、蘇聯車諾比核災、全球環境污染、地球暖化、能源日益耗竭等等問題影響著太陽能光電產業的發展，首先美國因美、蘇太空競賽開始投入太陽能的研發，形成先入者優勢，在技術、量產、運用上領先全球；很快的日本因二次大戰後經濟成長迅速及石油危機對缺乏天然資源的日本經濟影響很大，大力投入太陽能的研發及商品化，在 1990 左右太陽能光電系統安裝量超越美國成為世界第一，產量也在 1998 年超越美國成為第一；德國原本環保意識就高，加上蘇聯核災影響到德國，使得廢核改用可再生能源成為德國人的共識，並促使德國開始立法積極獎勵太陽能等可再生能源發電，德國於 2004 年在太陽能光電發電安裝量超越日本成為世界第一，爾後領先的差距更逐漸擴大，生產量超越美國成為世界第二。中國改革開放成功促使經濟實力日益壯大，加上政府政策的積極獎勵，太陽能光電產業從 2000 年快速起步，2007 年中國太陽能光電電池生產量超越日、德成為世界第一；台灣也和中國近似於 2000 年左右，企業開始積極發展太陽能光電產業，得力於台灣半導體產業及面板產業的技術外溢效應，2010 年台灣太陽能光電電池超越日、德成為世界第二。這波全球太陽能光電發電熱潮由德國於 2004 年引爆，2007 年後美、日、中國的安裝量也明顯的增長。上述幾國對太陽能產業在技術、生產、運用、政府政策等方面的發展具有代表性，摘要上述五國政府政策與技術創新相關要點如表 3-1，說明如後。詳細資料請參考附錄二。

表 3-1 太陽能產業主要國家政府政策與技術創新要點

| 國家 | | 美國 | 日本 | 德國 | 中國 | 台灣 |
|------|------|--|--|---|--|--|
| 要點 | 供需關係 | 供需關係良好，供給略大於需求 | 2000 年以前供需關係良好，以後供給大於需求，且差距擴大，造成原因國外需求遽增 | 2004 年以前供需關係良好，以後需求大於供給，造成原因是國內需求遽增 | 2004 年以前供需關係良好，以後供給大於需求，造成原因是國外需求遽增 | 2004 年以前供需關係良好，以後供給大於需求，原因是國外需求遽增 |
| | 主要政策 | 1974 年陽光計畫 2005 年再生能源補助法案 2007 年能源獨立與安全法案 | 1974 年 陽光計畫 1994 年住宅太陽能光電系統計畫 2011 年電力公用事業購買可再生能源法 | 1999 年十萬屋頂計畫 2000 年再生能源法 2004 年再生能源法修正案 | 1995 年新能源和可再生能源發展綱要 2005 年可再生能源法 2009 年可再生能源法修正案 | 2000 年太陽光電發電示範系統 2009 年綠色能源產業旭升方案 2009 年再生能源發展條例 |
| 政策工具 | 早期 | 供給面 | 供給面 | — | — | — |
| | 中期 | 供給面 | 需求面 | 需求面 | 供給面 | 需求面 |
| | 近期 | 供給面 需求面 環境面 | 需求面 供給面 | 環境面 需求面 | 供給面 需求面 環境面 | 供給面 需求面 |
| | 創新性質 | 2000 年 基礎研究 52% 技術發展 24% 示範 24% 2011 年 技術發展 51.7% 基礎研究 34.2% 應用研究 10.3% | 短期到中期的技術發展依太陽能光電 2030 ⁺ 技術藍圖 (PV2030 ⁺) 進行。 2011 年技術創新光電發電發展：8.04 BJPY | 基礎研究 13-26% 技術發展 40% 薄膜 30% 其他技術 3-15% | 2001-2005 基礎研究 25% 高科技研發 35% 關鍵技術 35% 2006-2010 基礎研究 15% 高科技研發 74% 關鍵技術 11% | 1993-2010 技術發展 70.7% 應用研究 19.9% 基礎研究 6.3% |

表 3-1 太陽能產業主要國家政策與技術創新要項(續)

| | | | | | |
|------|---|--|--|---|--|
| 研發特徵 | 美國創新的關鍵注重基礎研究及先軍後民軍民結合。大學是美國基礎研究的大本營 | 日本採用大型企業的研發體制，進行分包研發，擅長漸進式創新的改善。 | 德國重視實體經濟採行技職教育實用主義，基礎研究主要透過研究機構和大學推動。 | 國家訂定全國科技發展計畫，漸由指令型轉成指導型管理運作模式。 | 台灣的科技發展由政府主導，訂定中長期計畫或推動方針，透過研究機構、大學及民間企業進行。 |
| 發展目標 | 2020 年前減少系統約 75% 的成本，達到政府不用補貼，產業可永續發展的目标。 | 2020 年時，再生能源占總能源供給的 10% 以上。2050 年轉換效率從目前的水平 10 - 15% 到 40% 以上，太陽能電池由目前水平 46 日元/kWh 至 7 日元/kWh。 | 再生能源佔能源的消耗比例在 2010 年達到 12.5%，在 2020 年提升到 20%。長期目標則希望再生能源在 2050 年分攤 50% 的總能量消耗。 | 2020 年太陽能光電發電安裝量達到 1.8GWp，2050 年達到 600GWp，占全國電力安裝量的 25%，其中太陽能光電發電安裝量將占到 5%。 | 內需目標為再生能源開發潛力，2025 年占總發電量 8%。產業發展目標為 2015 年成為全球前三大太陽電池生產國。 |

資料來源：本研究

貳、美國太陽能產業介紹(技術創新的先驅和領先者)

一、產業演進及現況

美國是發展太陽能光電相當早的國家之一，早在 1954 年貝爾實驗室研發出轉換效率 4% 的太陽能電池，早期發展的重要推手是美國軍方，1962 年太陽能電池用於通訊衛星上，1972 年制定新能源開發計畫，太陽能研究經費大幅度增長，並且成立太陽能開發銀行，促進太陽能產品的商業化。1974 年第一次石油危機，美國政府制定了陽光計畫，提出了具體的太陽能研發項目，政府投入了大量人力、物力和財力，世界上出現的開發利用太陽能熱潮。1980 年能源部補助太陽能研發的資金因第二次石油危機之故，創下歷史的第一個高峰(1.5 億美元)，隨後因能源危

機漸除，補助經費也漸減，直到 1991 年波灣戰爭(第三次石油危機)，才又逐年遞增。2005 年能源政策法(Energy Policy Act)修正，有關再生能源補助法案，通過提供減徵稅收的激勵，改變能源政策和各種類型能源生產的的貸款擔保。2007 年通過能源獨立和安全法案(Energy Independence and Security Act)，增加對太陽能等再生能源發展的財政撥款。2011 年美國能源部門倡議「SunShot」，目的是提高效率、降低成本和發展尖端技術，加快太陽能發電的研究和開發，使太陽能系統更具成本競爭力，不用長期的補貼。

美國運用太陽能光電的時間較早從太空競賽時代即開始，當時產量很少即時到 1976 年也才 0.3MWp，往後隨著應用量的增加而逐年增加，從 2000 年 75MWp 開始較明顯的成長到 2006 的 178MWp，隨後跟著全球太陽能產業蓬勃發展的趨勢、許多政府激勵政策的實施增加需求量，廠商陸續的投入太陽能產業，產量跳躍式的增加到 2010 年的 1115MWp。美國太陽能光電發電系統安裝量基本上和生產量相去不遠，生產量略大於安裝量，隨著經濟發展及技術進步，安裝量逐年提高到 2000 年的 31 MWp，2003 年後加州政府、2005 年後聯邦政府提出一些太陽能光電系統安裝的推廣政策，加上全球太陽能光電熱潮的出現，到 2010 年安裝量成長至 878MWp。近年來生產及安裝量如圖 3-8、圖 3-9、圖 3-10、圖 3-11、圖 3-12。

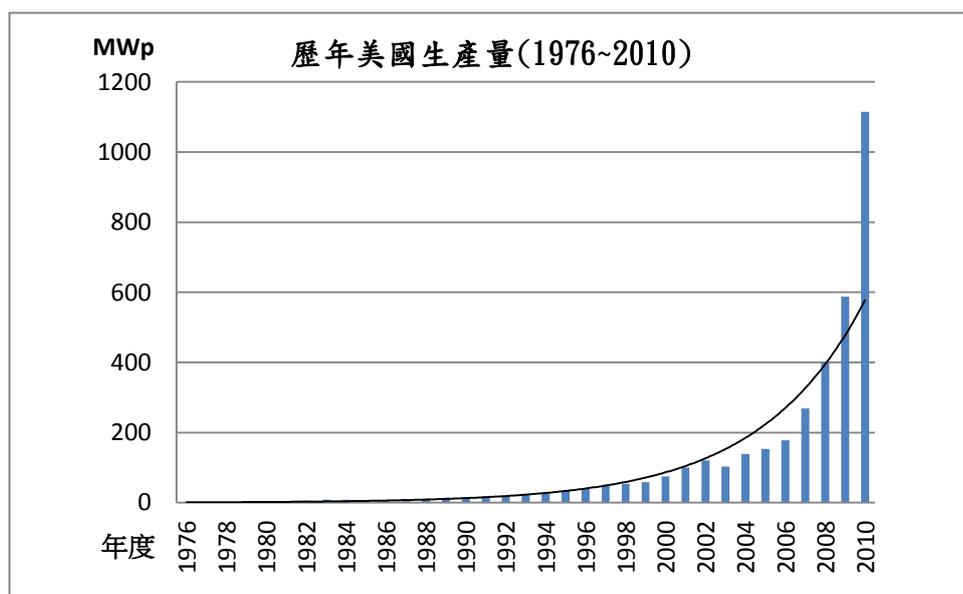


圖 3-8 歷年美國太陽能光電電池生產量(1976-2010)

資料來源:IEA-PVPS, Photon International, REN21, IEK, PIDA, Solarbuzz。本研究整理

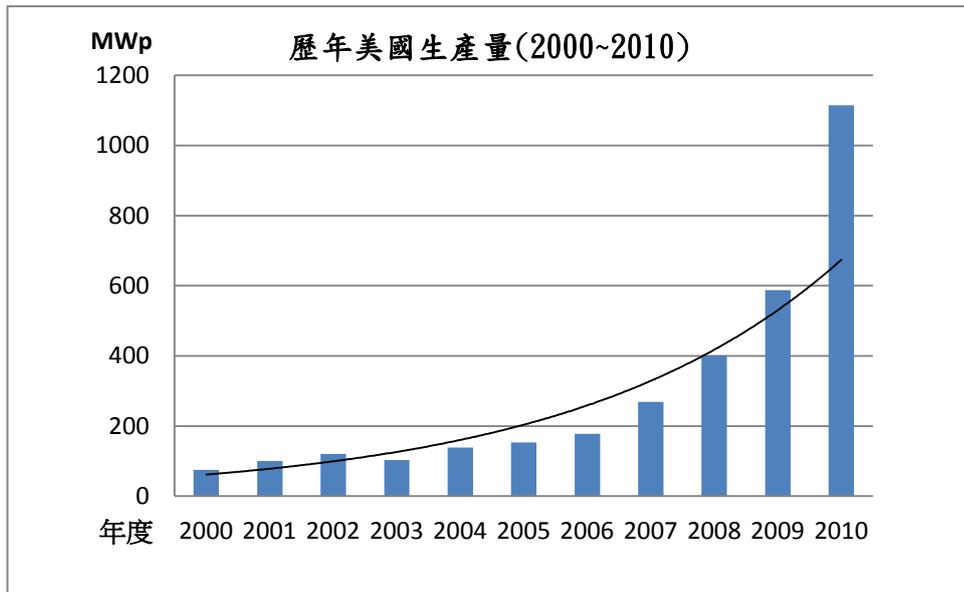


圖 3-9 歷年美國太陽能光電電池生產量(2000-2010)

資料來源:IEA-PVPS, Photon International, REN21, IEK, PIDA, Solarbuzz。本研究整理

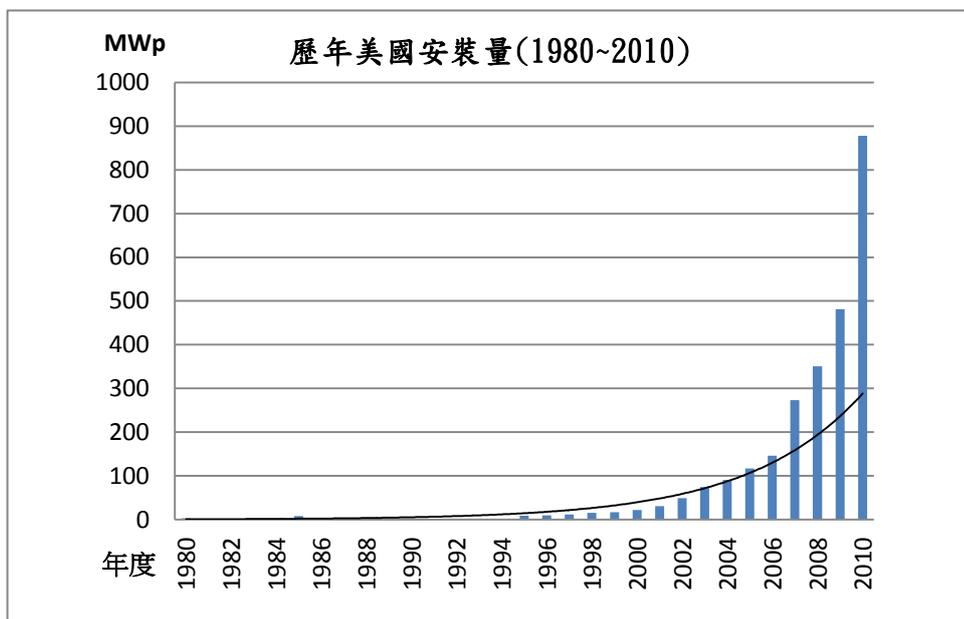


圖 3-10 歷年美國太陽能光電發電系統安裝量(1980-2010)

資料來源:IEA-PVPS, Photon International, REN21, IEK, PIDA, Solarbuzz。本研究整理

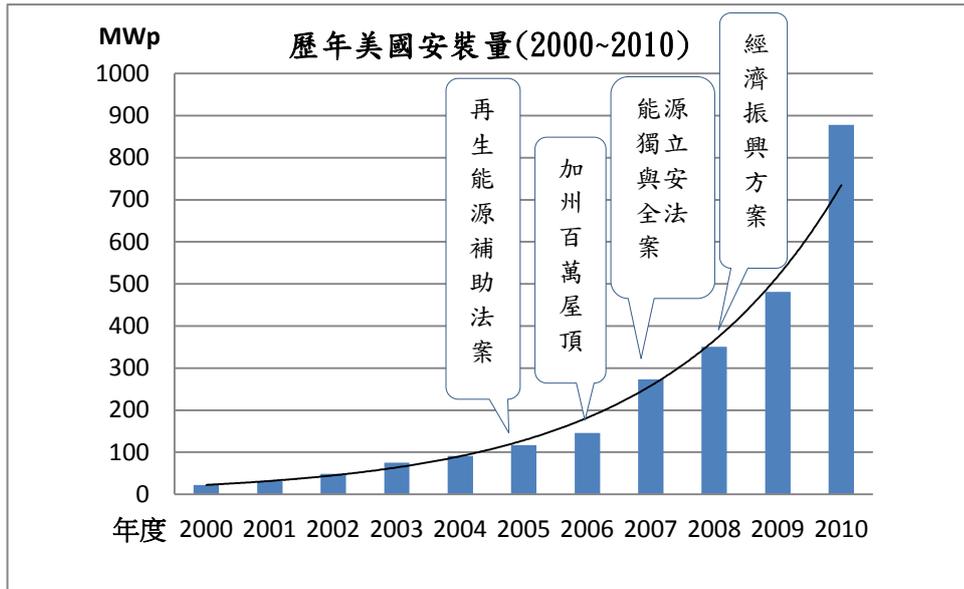


圖 3-11 歷年台灣太陽能光電發電系統安裝量(2000~2010)

資料來源:IEA-PVPS, Photon International, REN21, IEK, PIDA, Solarbuzz。本研究整理

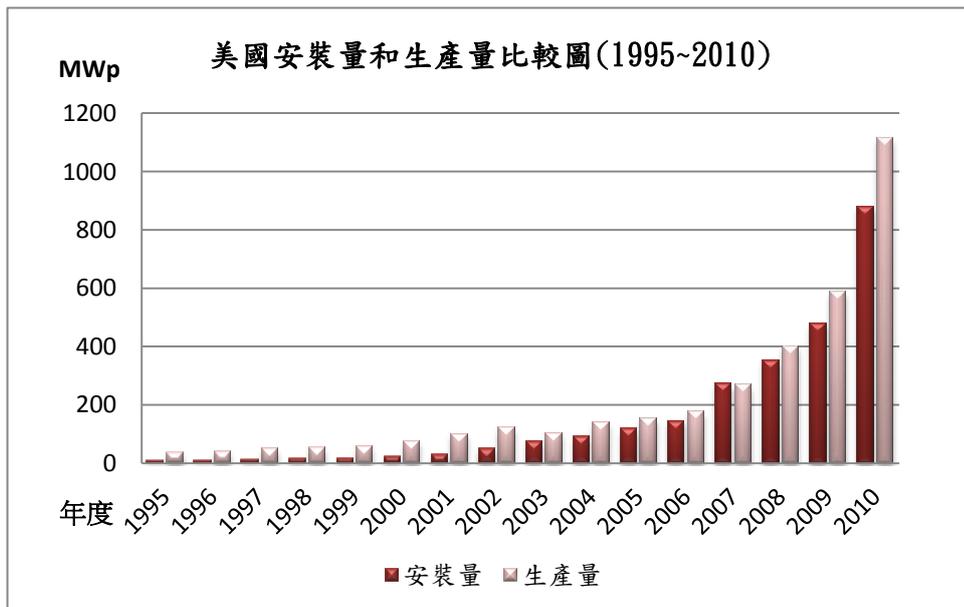


圖 3-12 歷年美國太陽能光電安裝量和生產量比較表(1995~2010)

資料來源:IEA-PVPS, Photon International, REN21, IEK, PIDA, Solarbuzz。本研究整理

二、政府政策與太陽能產業創新

(一)、太陽能產業發展的政府政策

美國在 1972 年制定了「新能源開發計畫」，1974 年制定了「陽光計畫」，1978 年美國國會通過「公用事業管制政策法」(Public Utilities Regulatory Policy Act；PURPA)，太陽能源開始受到注意。爾後，因聯邦政府法令遲未通過，發展再度受到限制。1997 後聯邦或各州政府又積極立法保障太陽能源的發展。2005 年政府簽署能源政策法(Energy Policy Act)，更明定再生能源設備投資的獎勵措施，2007 年通過能源獨立與安全法案，增加對太陽能研發經費的提撥。2008 年遇到金融風暴，在經濟振興方案中，持續對太陽能源進行投資。美國推動太陽能光電產業的政策彙整資料請參閱附錄二。

(二)、太陽能產業發展的科技創新

美國太陽能光電發展主要由能源部(DOE)主導及提供研發經費，由轄下的國家太陽能光伏中心(NCPV)統籌經費分配及規劃研發計畫的進行。在研發費用的分配上，大多數 NCPV 所提供的聯邦基金獎助是透過競爭性的向企業、大學、及其他研究中心依研發合約採購。從 1975 年開始為因應石油危機，開發替代能源，美國政府提撥研發經費發展太陽能光電產業，從最初的五百一十萬美元到 1980 年的一億五千萬美元，隨後因石油危機漸解除，研發經費降至 1990 年三千四百七十萬美元，後來因第三次石油危機再起及政府開始立法推廣太陽能光電，研發經費又開始逐年往上提升，並維持在六、七千萬美元的水準，2007 年立法通過「能源獨立和安全法案」及全球興起太陽能源熱潮，加上太陽能光電發電成本降低，促使美國加快研發腳步，研發經費也節節高升至 2010 年的三億四千二百萬美金。美國歷年太陽能光電研發經費，如圖 3-13。研究性質以 2000 年為例，基礎研究(52%)，技術發展(24%)，示範(24%)，到 2011 年，技術發展(51.7%)佔最大宗，其次是基礎研究(34.2%)，再次是應用研究(10.3%)。

美國在太陽能光電研發領域投入既早且深是先驅者及領導者，在太陽能光電產品價格離市電同價還很遠時，以基礎研究開發新知識及將知識轉換為產品的應用研究為主，促使美國在早、中期研發出各類型創新產品及轉換效率不斷的創新

高；近期因創新發展的重心逐漸轉移至技術發展為主，基礎研究為輔，力促太陽能系統更具成本競爭力，提高效率、降低成本，目標在 2020 年前減少這些系統約 75% 的成本，達到政府不用補貼，產業可永續發展的目標。

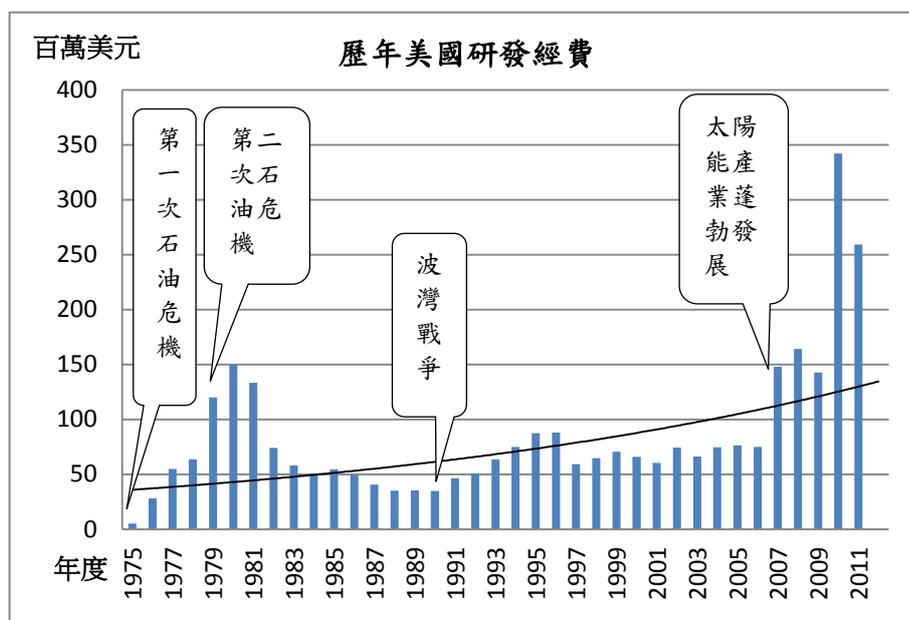


圖 3-13 美國歷年太陽能光電研發經費

資料來源：IEA-PVPS, Photon International, REN21, IEK, PIDA。本研究整理

參、日本太陽能產業介紹(中期太陽能產業發展的成功者)

一、產業演進及現況

日本發展太陽能光電產業的濫觴於 1954 年，一些實驗室和私營公司開始研發太陽能光電電池，到 1963 年 Sharp 開始商業量產。自 1974 年的石油危機以來，日本即意識到再生能源之重要性，為確保能源安全、經濟效益與保護環境，日本政府和企業大力研究發展新能源，作為化石燃料的替代能源。日本透過制定法令規範、能源技術研發計畫及獎勵補助措施等方式，積極發展與研究各項再生能源之技術，目標為在 2020 年時，達成再生能源占總能源供給的 10% 以上。

自 1994 年以後，住宅太陽能光電系統的安裝迅速增加，主要刺激因素是政府的政策措施，如簡化太陽能光電發電安裝程序，電網連接的技術準則，投資住宅

太陽能光電發電系統的補貼，和電力公司提供淨計電量系統。

日本太陽能光電發電發展是一個技術、政府扶持政策 and 市場發展的共同演化過程，太陽能政策由早期產管學合作發展技術，由政府率先導入示範項目，爾後逐漸將示範安裝推行至民間住宅，當技術漸趨成熟，導入補助對策，以降低初期投資成本，提高民間投資意願，並進行潛力評估與技術可行性之後續發展研究。當評估發展潛力及技術可行後，藉由放鬆政策管制(如土地法規)，獎勵太陽能光電發電運用。

日本歷年太陽能光電電池生產量、系統安裝量如圖 3-14、圖 3-15、圖 3-16 所示。日本早期太陽能光電產品產銷趨近平衡，2000 年後世界太陽能光電市場日漸成長，日本受惠於產業供應鏈完整、產品技術優良，呈現出口大幅成長的趨勢。

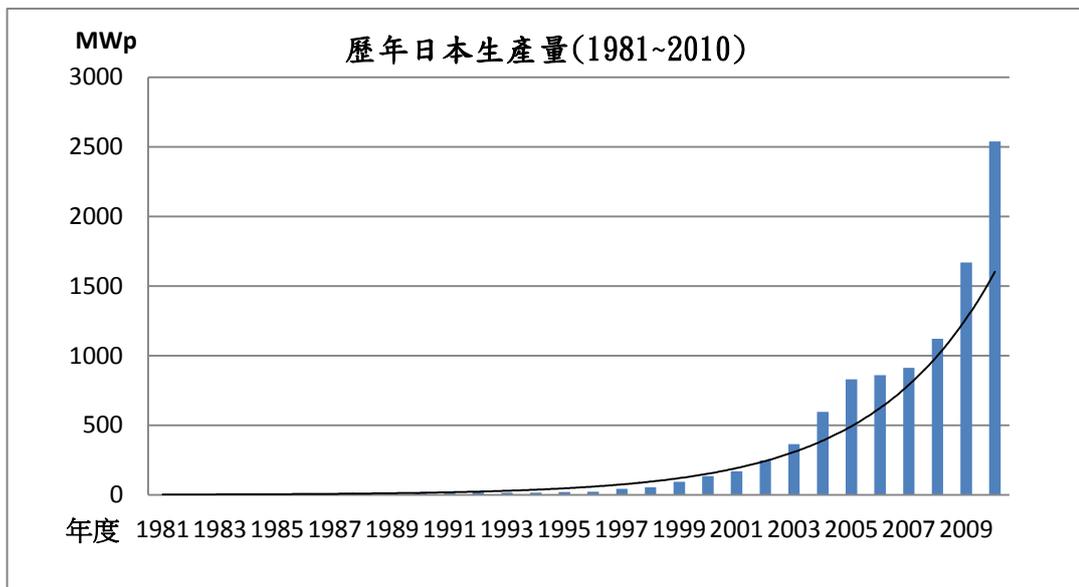


圖 3-14 歷年日本太陽能光電電池生產量(1981-2010)

資料來源:IEA-PVPS, Photon International, REN21, IEK, PIDA, Solarbuzz。本研究整理

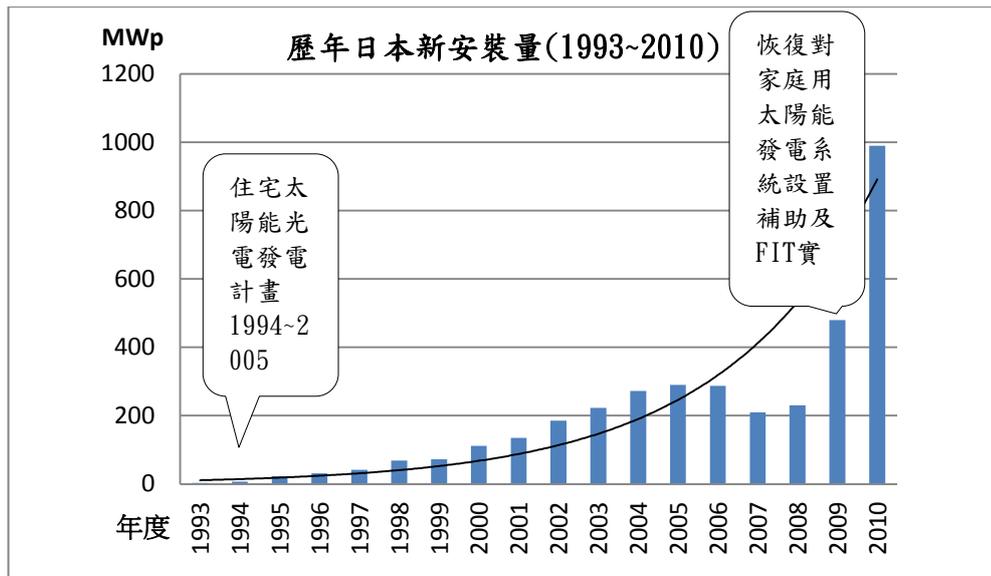


圖 3-15 歷年日本太陽能光電發電系統安裝量(2000-2010)

資料來源:IEA-PVPS, Photon International, REN21, IEK, PIDA, Solarbuzz。本研究整理



圖 3-16 歷年日本太陽能光電安裝量和生產量比較表(1995-2010)

資料來源:IEA-PVPS, Photon International, REN21, IEK, PIDA, Solarbuzz。本研究整理

二、政府政策與太陽能產業創新

(一)、太陽能產業發展的政府政策

日本主要太陽能政策有 1974 年 陽光計畫，將太陽光電技術開發當全國計畫來做，政府補助企業提升研發動力，發展太陽能技術替代傳統能源。1994 年住宅

太陽能光電系統計畫，補貼住宅太陽能光電系統安裝費用，減少太陽能光電系統的安裝成本和建立初步的太陽能光電市場。2011 年電力公用事業購買可再生能源法，電力公司依法以固定合同期限，固定購電價格購買再生能源發電。

日本推動太陽能光電產業的政策彙整資料請參考附錄二。

(二)、太陽能產業發展的科技創新

日本太陽能光電發電政策的主要主導者為經產省(METI)，主要實施的方式有技術研究的執行、示範測試、推廣政策、法律的制定。新能源產業技術總合開發機構(NEDO)為太陽能光電主要研究機構，結合產學共同發展太陽能光電產業技術，致力於降低太陽能光電系統成本的技術發展、太陽能光電的推廣、下一代太陽能技術的創新。日本在太陽能光電發電系統短期到中期的技術發展策略為 2009 年制定的太陽能光電 2030⁺ 技術藍圖 (PV2030⁺)。太陽能光電系統的長期技術發展策略為 2007 年制定的涼爽地球能源創新技術計劃，「創新太陽能光電發電」被選定為創新科技的發展主題。設定的目標是 2050 年增加太陽能電池的轉換效率從目前的水平 10 - 15% 到 40% 以上，降低發電成本從目前太陽能電池的 46 日元/kWh 至 7 日元/kWh。日本太陽能光電研發經費，長期維持穩定增長，如圖 3-17 所示。

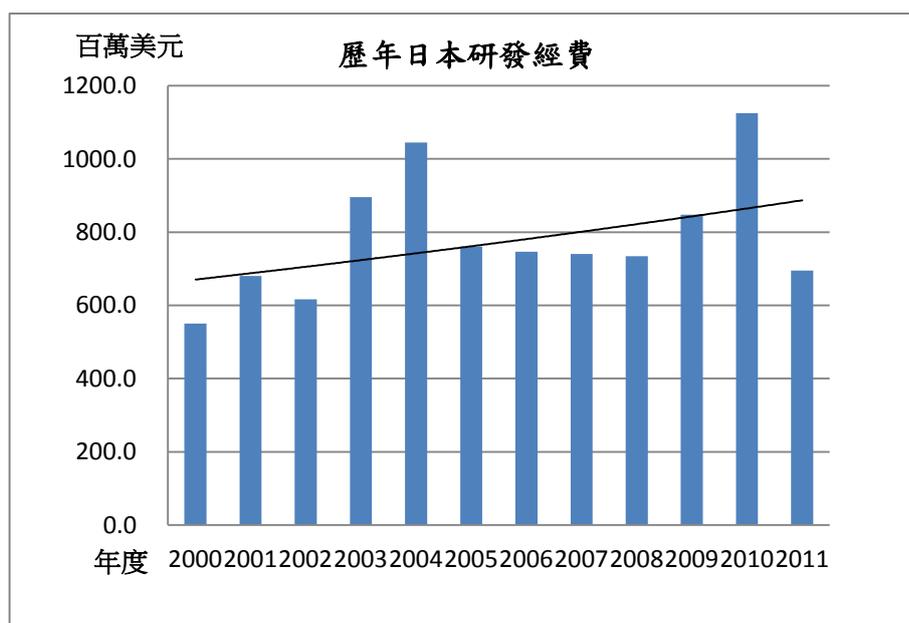


圖 3-17 日本歷年太陽能光電研發經費

資料來源：IEA-PVPS, Photon International, REN21, IEK, PIDA。本研究整理

肆、德國太陽能產業介紹(近期太陽能產業的最大市場)

一、產業演進及現況

德國太陽能光電發展開始於 1974 年，第一次石油危機後。其後的 15 年，發展的重心在提升技術的研究（從人員培訓到原型和實驗室生產的發展），德國人民原本就有很高的環保意識加上反對核能發電，在這樣的結合下，德國開始積極的推動以再生能源取代核能及化石能源。德國的再生能源政策中，最為眾人所知的莫過於 1999 年所推動的「十萬屋頂計畫」，2000 年通過的「再生能源法」，「十萬屋頂計畫」再搭配「再生能源法」，法律設計提高了太陽光發電優厚的獎勵條件，前者提供長期低率貸款補助，後者提供優惠購電價格及長期收購合約，讓想參加此計畫的人都有機會參加，因此促使德國太陽能光電發電市場快速成長及普及。德國在政府積極的獎勵措施下，不僅締造了全球第一的太陽能市場，也造就了上下游完整的太陽能產業鏈，部分業者甚至已是整合上中下游的全球太陽能市場龍頭，佔有舉足輕重的地位。

德國剛開始發展太陽能光電時產量很少，即使到 2000 年也才 23MWp，往後隨著應用量的增加逐年加速成長，加上政府激勵政策的實施，廠商陸續的投入太陽能產業，產量快速的增加到 2010 年的 2022MWp。因政府優惠獎勵措施及人們安裝意願高，德國太陽能光電發電系統安裝量，比生產量高出甚多，安裝量從 1985 年的 2 MWp，隨著產業技術進步，產品價格下降，政府的推廣，安裝量逐年提高到 1999 年的 12MWp，2000 年後因再生能源法案開始實行，成長速度加快由 40 MWp 到 2010 年的 7730MWp。德國太陽能光電發電生產量及安裝量如圖 3-18、圖 3-19、圖 3-20、圖 3-21 所示。德國太陽能產業發展隨著政府獎勵措施的實行而成長，在 2000 年以前產銷差距不大，從 2004 年後因政府 FIT 制度，沒有補助名額的限制，促使安裝量快速成長，比預期的還要熱絡，導致需求量大於產出量甚多，須向外採購太陽能光電模組，促使亞洲的日本、中國、台灣受惠，進而帶動全球太陽能產業的擴散發展。

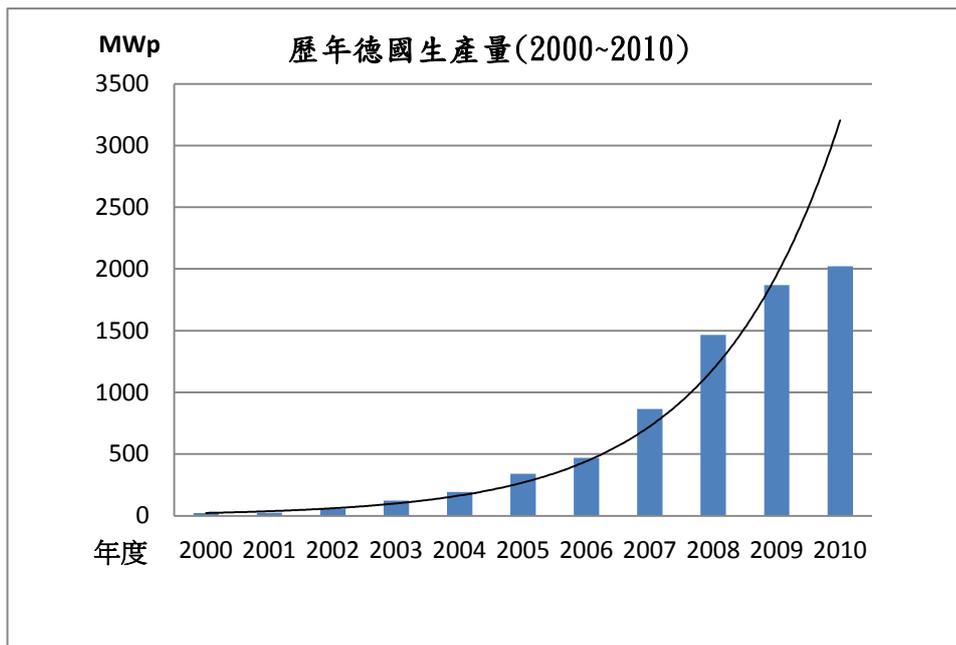


圖 3-18 歷年德國太陽能光電電池生產量(2000-2010)

資料來源:IEA-PVPS, Photon International, REN21, IEK, PIDA, Solarbuzz。本研究整理

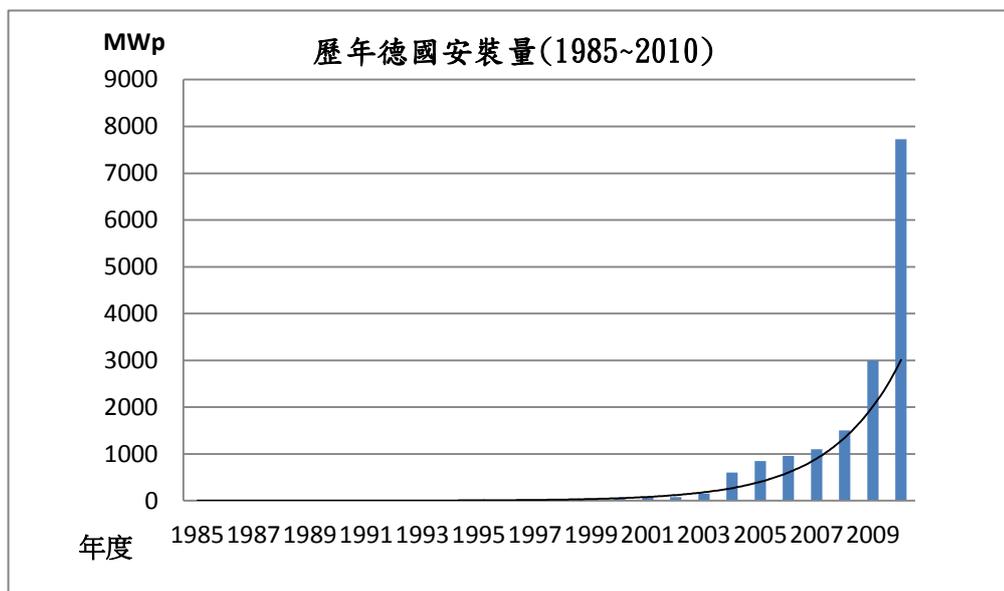


圖 3-19 歷年德國太陽能光電發電系統安裝量(1985-2010)

資料來源:IEA-PVPS, Photon International, REN21, IEK, PIDA, Solarbuzz。本研究整理

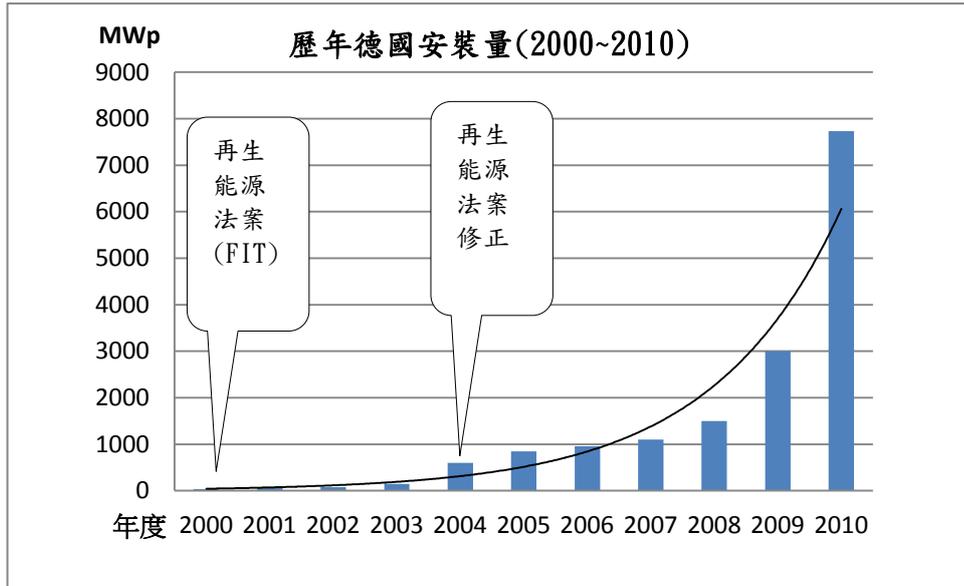


圖 3-20 歷年德國太陽能光電發電系統安裝量(2000-2010)

資料來源:IEA-PVPS, Photon International, REN21, IEK, PIDA, Solarbuzz。本研究整理

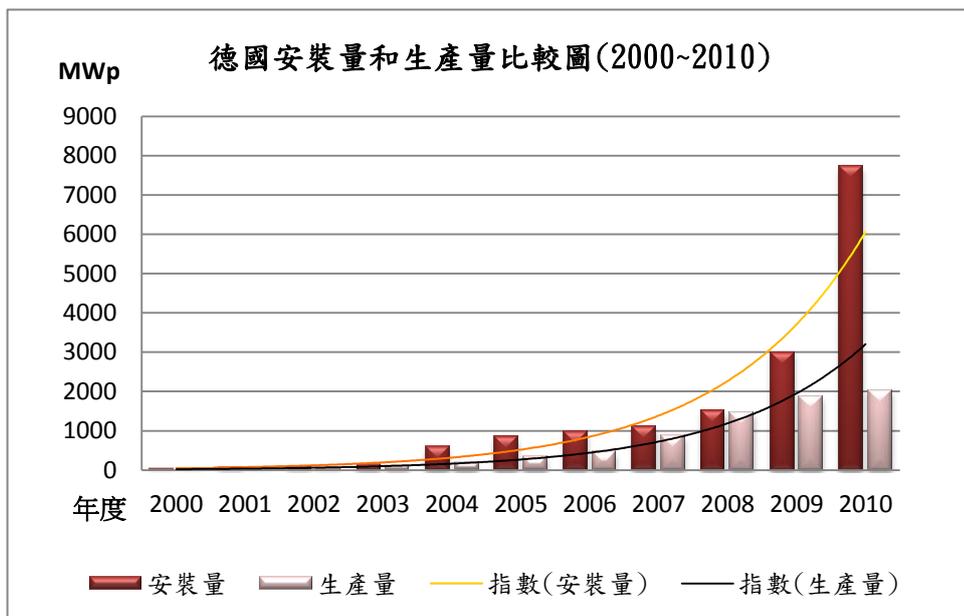


圖 3-21 歷年德國太陽能光電安裝量和生產量比較表(2000-2010)

資料來源:IEA-PVPS, Photon International, REN21, IEK, PIDA, Solarbuzz。本研究整理

二、政府政策與太陽能產業創新

(一)、太陽能產業發展的政府政策

德國主要的太陽能光電政策有 1999 年十萬屋頂計畫，目標是六年內達成

300MWp~500MWp的併聯太陽能發電系統，目的是發展太陽能光電市場，減少排碳量，建立新的就業機會，增加競爭力。2000年再生能源法，立法保障再生能源業者在一特定期間內能夠得到一個固定的能源收購費率，使經營發電者有經濟利潤可獲。2004年再生能源法修正案，增加再生能源的供應比例，計畫於2010年至少達12.5%，2020年達20%。德國推動太陽能光電產業的政策彙整資料請參考附錄二。

(二)、太陽能產業發展的科技創新

德國從第一次石油危機後開始發展太陽能光電，在2000年以前，發展的重心在提升技術的研究（從人員培訓到原型和實驗室生產的發展），研發創新由德國聯邦環境、自然保育及核能安全部(Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety, BMU)及德國聯邦教育與研究部(Federal Ministry of Education and Research, BMBF)主導並提供相關研發經費。歷年太陽能研發經費如圖3-22，由研發經費及項目表可知德國太陽能研發經費穩定的成長，研發項目也維持某種程度的穩定性，是穩健型的經濟體，研發項目如表3-10。

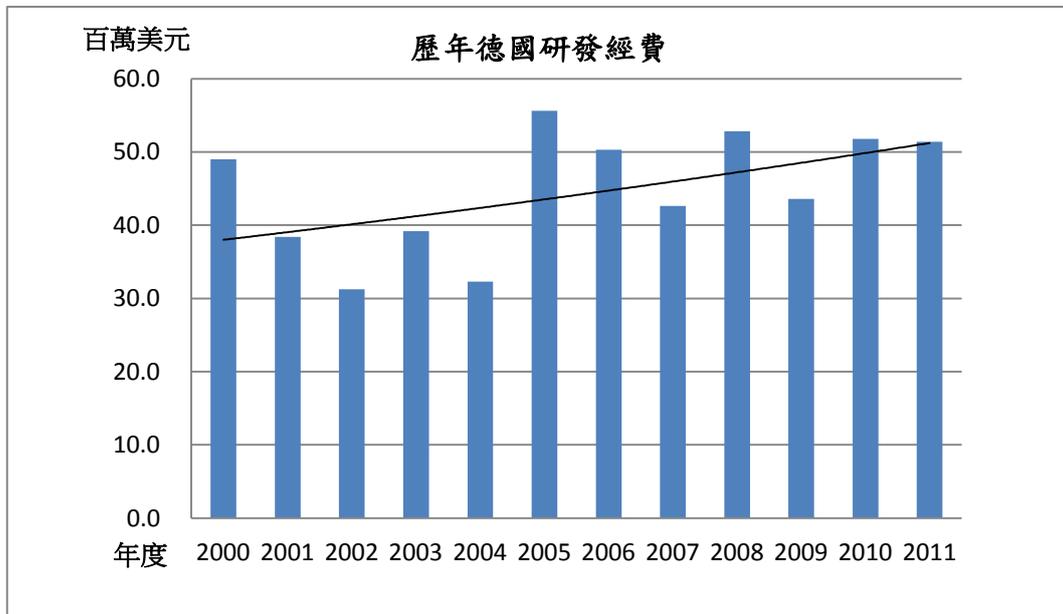


圖 3-22 德國歷年太陽能光電研發經費

資料來源：IEA-PVPS, Photon International, REN21, IEK, PIDA。本研究整理

表 3-2 德國歷年太陽能光電研發項目表

| 年度 | 矽材料基礎研究 (%) | 矽晶圓及模組技術發展 (%) | 系統技術發展 (%) | 矽薄膜電池 (%) | 非矽薄膜電池 (%) | 半導體化合物薄膜太陽能 (%) | CPV 聚光型太陽能 (%) | 其他技術 (%) |
|------|-------------|----------------|------------|-----------|------------|-----------------|----------------|----------|
| 2001 | 24 | 26 | 50 | | | | | |
| 2002 | 13 | 29 | 7 | 32 | | 19 | | |
| 2003 | 13 | 40 | 8 | 17 | 9 | 14 | | 0 |
| 2004 | 23 | 18 | 10 | 19 | 8 | 22 | | |
| 2005 | 26 | 34 | 7 | 11 | 7 | 9 | | 6 |
| 2006 | | 39 | 10 | 9 | 18 | 22 | | 3 |
| 2007 | | 57 | 7 | 5 | 11 | 16 | | 4 |
| 2008 | | 59 | 6 | 13 | | 18 | | 4 |
| 2009 | | 50 | 8 | 16 | | 16 | | 10 |
| 2010 | | 51 | 3 | 14 | | 15 | 8 | 9 |

資料來源：IEA-PVPS, BMU。本研究整理

德國是對太陽能發電大量補助的國家，德國市場也成為全球最重要的太陽能光電產品銷售市場。德國主要通過十萬屋頂計畫和 EEG 法案促成德國內需市場的成長，其中以租稅優惠、電價補助為主要的政策。觀察德國政策動向及政府減少補助的速率，可以看出德國政府對太陽能產業政策輔助的走勢。預計德國內需市場未來的成長力度會受到補助政策加速減少或總量管制的影響。

伍、中國太陽能產業介紹(近期太陽能產業的生產王國)

一、產業演進及現況

中國太陽能光電發電產業於 1970 年代起步，1971 年首次成功應用於東方紅第 2 號衛星上，1973 年太陽電池開始在地面應用，1979 年開始生產單晶矽太陽電池。在應用方面，主要用於通信系統和邊遠無電地區，年安裝量約 1.1MWp。1990 年代中期進入穩步發展階段，太陽能電池及組件產量逐年穩步增加，中國太陽能產量

從 2000 年 3MWp 開始緩慢成長到 2004 年的 50MWp，隨後跟著全球太陽能產業蓬勃發展的趨勢及廠商陸續的投入太陽能產業，產量每年跳躍式的增加，到了 2007 年產量為 1132MW，一舉超越日、德成為世界太陽能電池最大生產國，爾後更爆增到 2010 年的 10852MWp，寫下傳奇的一頁，並建立起從原材料生產到太陽能光電發電系統一系列的建設，組成完整的產業鏈，如圖 3-23。太陽能光電發電市場的發展在 1990 年代初期，太陽能發電主要應用在通信和工業領域，包括微波中繼站、衛星通信地面站、水閘和石油管道的陰極保護系統等；從 1995 年開始，主要應用在特殊應用領域和邊遠地區，逐步建立了較大型的太陽能發電應用系統及推廣家用太陽能電源系統的運用；2000 年中國的太陽能技術已步入大規模併網發電階段，安裝量為 3.3MWp，2002 年以後，啟動了送電到鄉工程，在西部七省區安裝太陽能光電電站，該專案拉動了太陽能光電產業快速發展，到 2006 年安裝量為 10MWp，隨著全球太陽能電池熱潮的出現，並於 2006 年完成「可再生能源法」立法，政府推動太陽能光電發電的力道增強，加速太陽能光電市場的發展，到 2010 年安裝量跳升至 500MWp，近年來安裝量如圖 3-24。中國太陽能光電發電系統安裝量雖成長快速但仍遠遠落後於生產量，如圖 3-25 所示。

根據「可再生能源中長期發展規劃」，到 2020 年，中國力爭使太陽能光電發電裝機容量達到 1.8GWp，到 2050 年將達到 600GWp，可再生能源的電力安裝量將占全國電力裝機的 25%，其中太陽能光電發電安裝量將占到 5%。

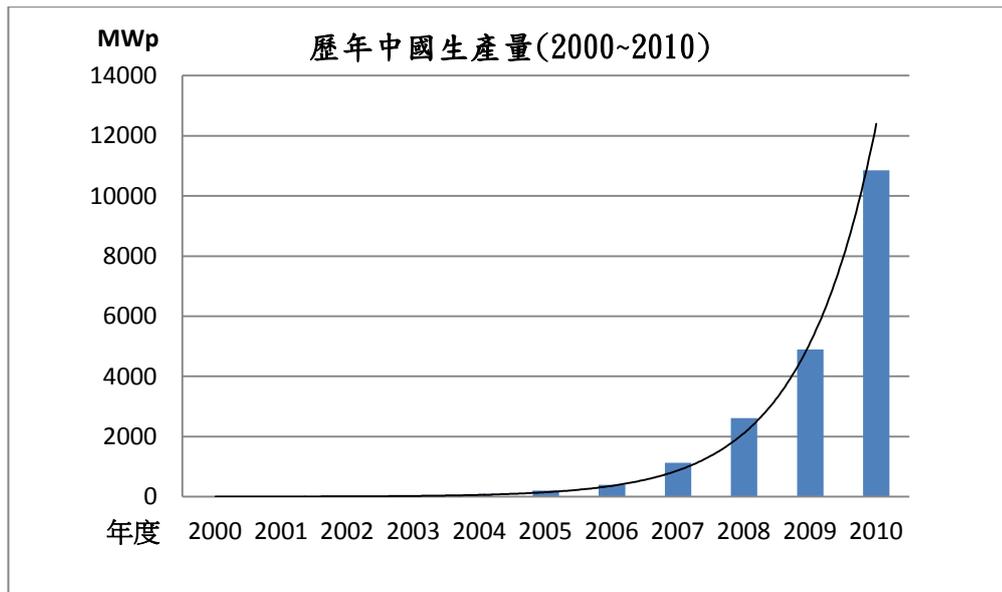


圖 3-23 歷年中國太陽能光電電池生產量(2000-2010)

資料來源:IEA-PVPS, Photon International, REN21, IEK, PIDA, Solarbuzz。本研究整理

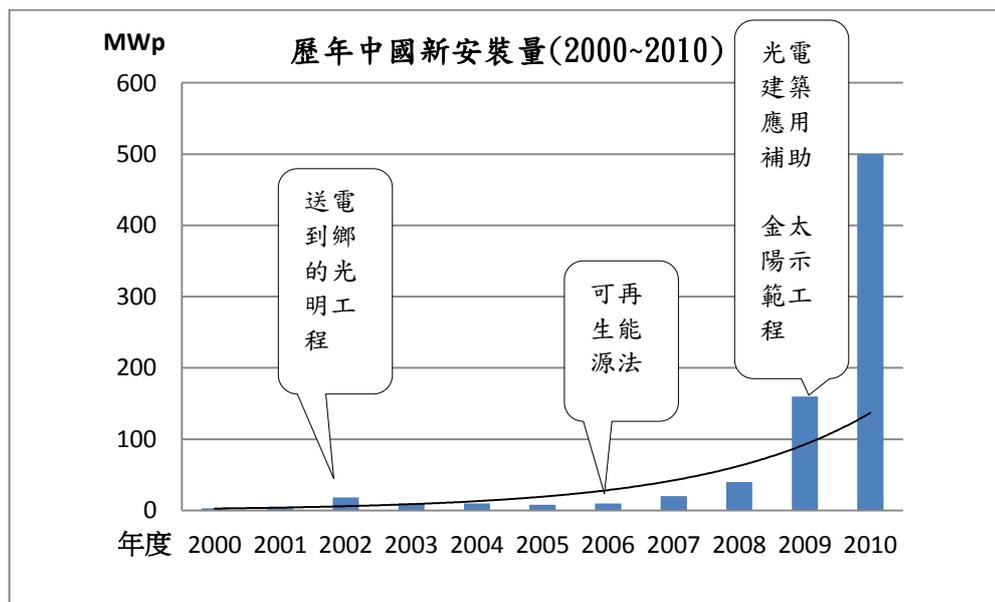


圖 3-24 歷年中國太陽能光電發電系統安裝量(2000-2010)

資料來源:IEA-PVPS, Photon International, REN21, IEK, PIDA, Solarbuzz。本研究整理

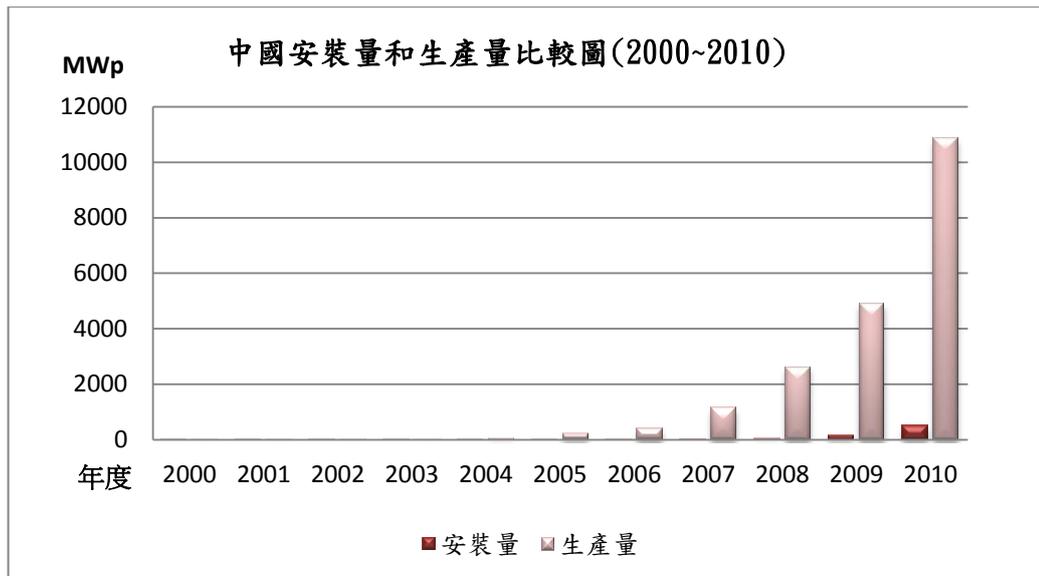


圖 3-25 歷年中國太陽能光電安裝量和生產量比較表(2000-2010)

資料來源:IEA-PVPS, Photon International, REN21, IEK, PIDA, Solarbuzz。本研究整理

二、政府政策與太陽能產業創新

(一)、太陽能產業發展的政府政策

中國主要太陽能光電政策有，1995 年新能源和可再生能源發展綱要，擴大太陽能的開發利用，把推廣應用節能型太陽能建築、太陽能光電發電系統作為重點。2005 年可再生能源法，將太陽能光電的開發利用列為能源發展的優先項目，推動市場的建立和發展。並根據不同類型和地區，製訂饋網電價。2009 年可再生能源法修正案，對可再生能源發電實施全額保障性收購制度，強化有關電網企業收購可再生能源的責任和義務，並建立可再生能源發展基金，加強產品技術的研發。中國推動太陽能光電產業的政策彙整資料如附錄二。

(二)、太陽能產業發展的科技創新

中國太陽能光電產業的研發由國家發展和改革委員會(NDRC)和科技部(MOST)主導。科技部的「863 計劃」支持策略性高科技領域的創新，「973 計劃」支持基礎研究，以滿足國家長期重大策略需求。在中國對太陽能光電的研策略方針，主要集中在太陽能光電電池所用的材料和伴隨製造工藝。科技部「863 計劃」，在太

太陽能光電發展中 2006 年到 2010 年的計畫項目是研發 BIPV、CPV、在沙漠中的大型太陽能併網、薄膜。科技部的「973 計畫」在 2006 年至 2010 年對太陽能光電產業的研發項目是薄膜研發，研究經費 300 萬歐元。科技部有關關鍵技術的研發計畫，在 2006-2010 年期間，太陽能光電的研發項目是 C-Si 技術和設備。計畫經費用法是用研發合同提供非償還現金，研發經費如圖 3-26 所示。

中國的太陽能電池研究比美、日、德等國晚了約 15~20 年，最近十年在這方面逐年加大投入，但研發的成果和美、日、德主要技術領先國家仍然有差距。中國的研究機構主要為大學和中科院，研究領域主要為薄膜電池、燃料敏化、碲化鎘、CIS 電池等方面。

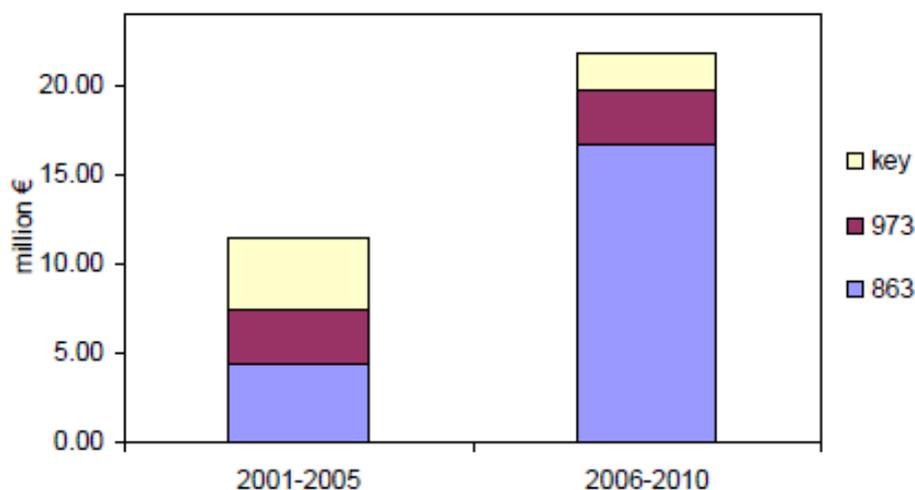


圖 3-26 中國科技部太陽能光電產業研發經費及項目(2001-2010)

資料來源:CPI(2011)

陸、台灣太陽能產業介紹(近期太陽能產業的生產基地)

一、產業演進及現況

台灣太陽光電產業的發展，從 1980 年即已開始，但在 2000 年之前產業非常蕭條，產值僅有數千萬元。2000 年由經濟部能源局啟動「太陽光電示範推廣計畫」，開始推動太陽能光電產業的發展，至 2004 年累計發電安裝量為 419KWp。2000 年後陸續有廠商投入太陽能光電產業生產領域。2005 年由於油價屢創新高，太陽能

光電炙手可熱，國內廠商獲利出現大幅度成長。2006、2007 年由於看好太陽能光電產業的發展潛力龐大，國內各廠商的積極投入及擴產，產量持續大幅成長。台灣為了加速國內太陽光電產業深耕，與國際潮流接軌，在 2009 年 4 月推出「綠能產業旭升方案」，目標是在 2015 年時將台灣太陽能電池產業產值，增加 3 倍至新台幣 4,500 億元，預估屆時可創造 4.5 萬名就業人口，使台灣成為世界前 3 大太陽能生產大國與太陽能技術研發重鎮，進而形成完整產業聚落。2009 年 6 月臺灣通過「再生能源發展條例」，鼓勵民間以太陽能、風力等方式發電，拓展傳統火力或核能發電以外之替代能源，開啟臺灣太陽能產業內需之路。2010 年受惠於德國、日本及中國訂單增加，台灣太陽能電池出貨表現相當亮眼。太陽能電池的產量占全球總體的 14%，已經超過日本和德國，僅次於中國、位居全球第二。中國和臺灣的太陽能電池出貨量佔全球太陽能電池總出口的 62.2%，使得亞洲成為太陽能電池出口量最大的地區。

台灣太陽能產量從 2000 年開始緩慢成長到 2004 年的 39MWp，隨後跟著全球太陽能產業蓬勃發展的趨勢及台灣廠商陸續的投入太陽能產業，產量每年跳躍式的增加到 2010 年的 3639MWp，寫下輝煌的新頁。台灣太陽能光電發電系統安裝量遠遠落後於生產量，從 2000 年經濟部能源局執行「再生能源示範推廣五年計畫」開始，緩慢成長到 2007 年的 1MWp，後來隨著全球太陽能電池熱潮的出現，政府的推動太陽能光電發電的力道逐漸增強，並於 2009 年完成「再生能源條例」立法，加速推動台灣太陽能光電市場的發展，到 2010 年安裝量成長至 12MWp。近年來生產及安裝如圖 3-27、圖 3-28。從台灣太陽能光電生產和安裝圖的比較，如圖 3-29，可知生產量和安裝量相差非常懸殊懸殊，大部分產品以外銷為主，產品的國際競爭力格外重要。

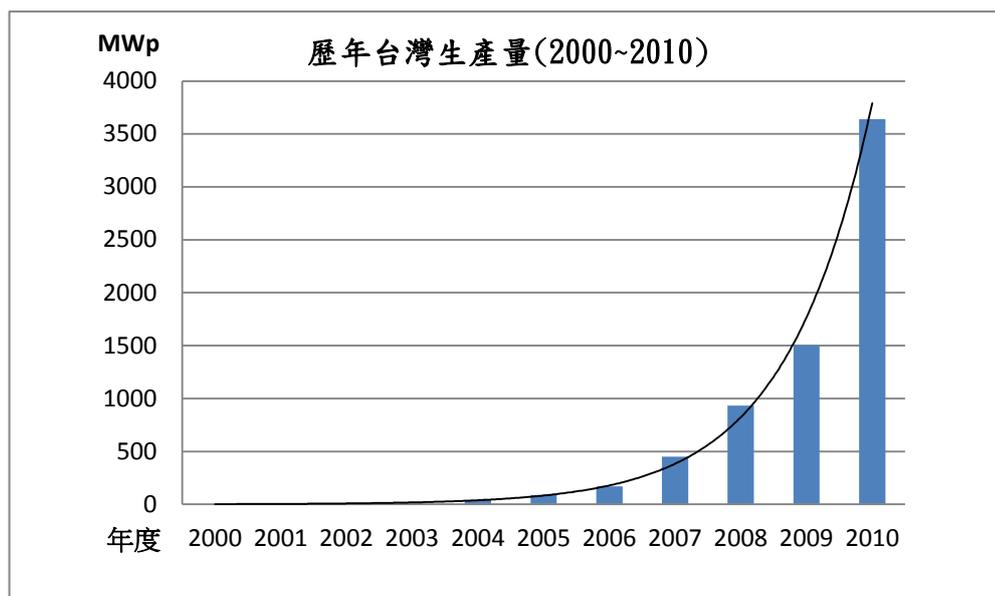


圖 3-27 歷年台灣太陽能光電電池生產量(2000-2010)

資料來源:IEA-PVPS, Photon International, REN21, IEK, PIDA, Solarbuzz。本研究整理

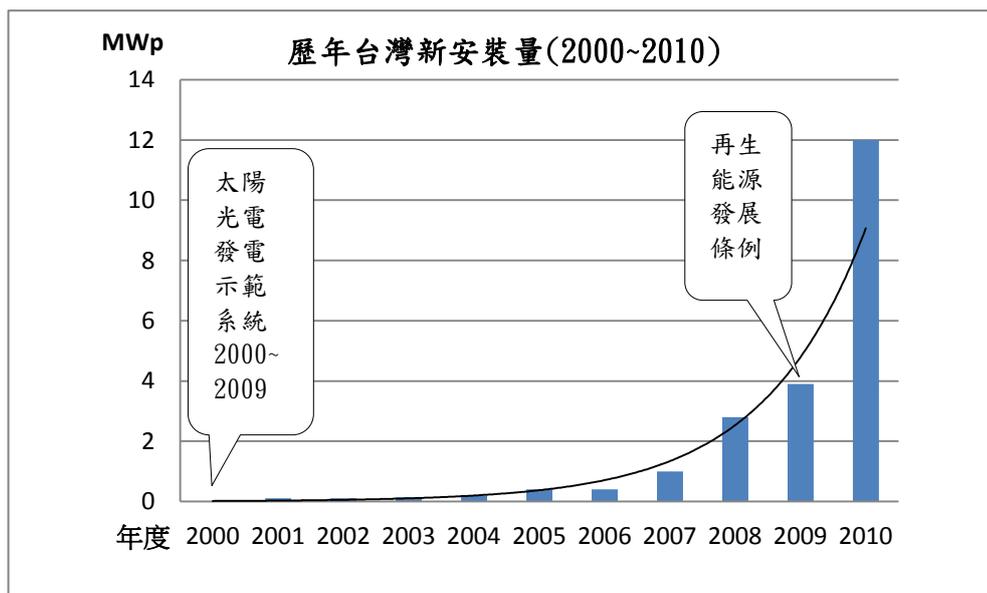


圖 3-28 歷年台灣太陽能光電發電系統安裝量(2000-2010)

資料來源:IEA-PVPS, Photon International, REN21, IEK, PIDA, Solarbuzz。本研究整理

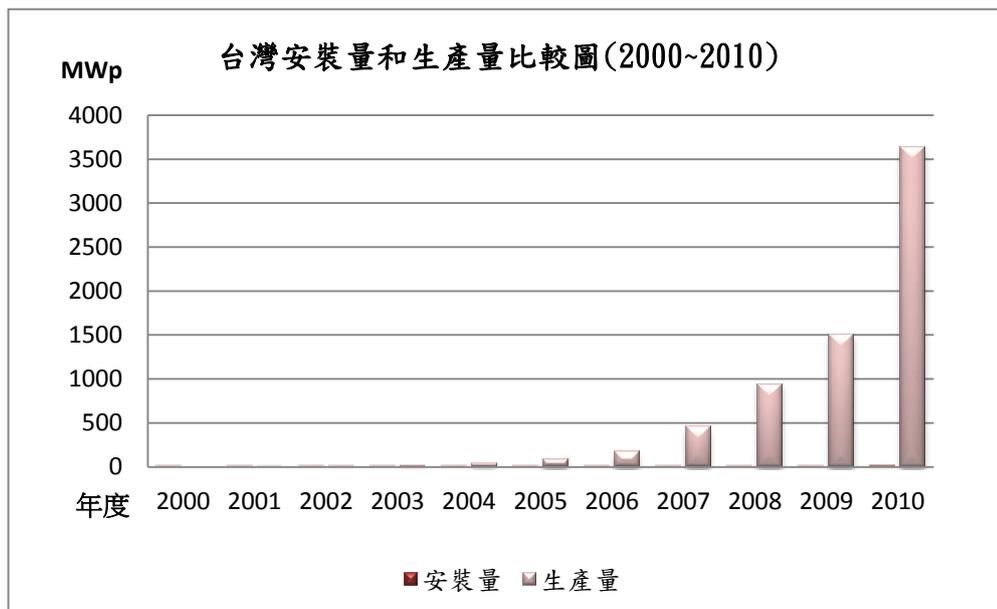


圖 3-29 歷年台灣太陽能光電安裝量和生產量比較表(2000-2010)

資料來源:IEA-PVPS, Photon International, REN21, IEK, PIDA, Solarbuzz。本研究整理

太陽能光電發電模組主要分成單晶(Mono c-Si)、多晶(Multi c-Si)及薄膜型(thin films)三種，而前兩者的生產技術與半導體相近，後者和 TFT-LCD 面板技術有部分相近，均屬於技術和資本密集之產業。由於我國具有優異的半導體產業發展基礎與成功的發展經驗，面板產業也是台灣發展非常成熟的產業，所以相當適合發展太陽光電產業。台灣的太陽能光電發電內需市場已逐漸成形中，已由示範階段，進入推廣階段。台灣生產的太陽光電電池及模組多以外銷為主，掌握全球太陽光電市場的脈動與趨勢、政府提供具國際競爭力的產業政策、加強產官學多方前瞻技術的發展、建立長期發展的技術策略，嚴防它國破壞式創新的出現，損及台灣太陽光電產業的根基，對台灣太陽光電產業顯得非常重要。

二、政府政策與太陽能產業創新

(一)、太陽能產業發展的政府政策

台灣主要太陽能光電政策有 2000 年太陽光電發電示範系統，提供設置成本之半額補助，開啟台灣太陽光電發電系統設置利用之先端。2009 年綠色能源產業旭升方案，規劃產業的發展目標，成為全球前三大太陽電池生產國、技術研發重鎮及

建立太陽光電完整產業群聚。2009年再生能源發展條例，明訂政府可運用收購機制、獎勵示範及法令鬆綁等，提高開發再生能源誘因。

台灣推動太陽能產業之相關發展已超過20年，在全球暖化及氣候變遷的議題下，台灣順應著潮流趨勢的變化，從政府技術的研發、技術的導入、示範推廣、財稅獎勵、獎勵民間技術創新，啟動協調機制，到訂立再生能源發展條例，普及太陽能光電發電系統，台灣太陽能政策近年來逐漸成熟，過去推廣上亦有些效果，再再揭示台灣太陽能能源發展政策，已逐漸走上康莊大道。但在環境上與技術上仍存在供電穩定性、國內土地資源限制，以及發電成本偏高等課題。台灣太陽能光電產業的政策彙整資料如附錄二。

(二)、太陽能產業發展的科技創新

台灣太陽能產業研究發展方向及內容主要由經濟部技術處、經濟部能源局、國科會等部門主導，整合國內太陽能光電研究相關的人力(大學、研究機構、企業)與物力，朝向計畫目標的邁進。從1993年以來政府對太陽能光電產業的研發經費並不多每年在一千萬新台幣以下，到2000年開始漸漸成長，2006年開始快速成長到2009年四十億新台幣的高峰，如圖3-30；研究經費主要由經濟部提供其次是國科會，如圖3-31，以委託研究機構、補助大專院校及行政院直屬單位自行研究等方式進行研究，如圖3-32、圖3-33；研究性質以技術發展(70.7%)佔最大宗，其次是應用研究(19.9%)，再次是基礎研究(6.3%)，如圖3-34。

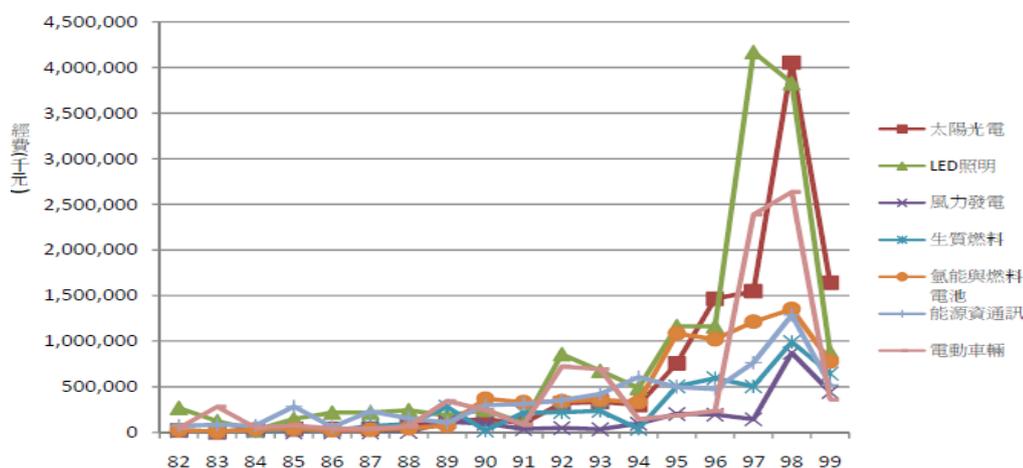


圖 3-30 台灣 1993-2010 年再生能源研究計畫經費變化

資料來源:國研院科技政策中心(2011)

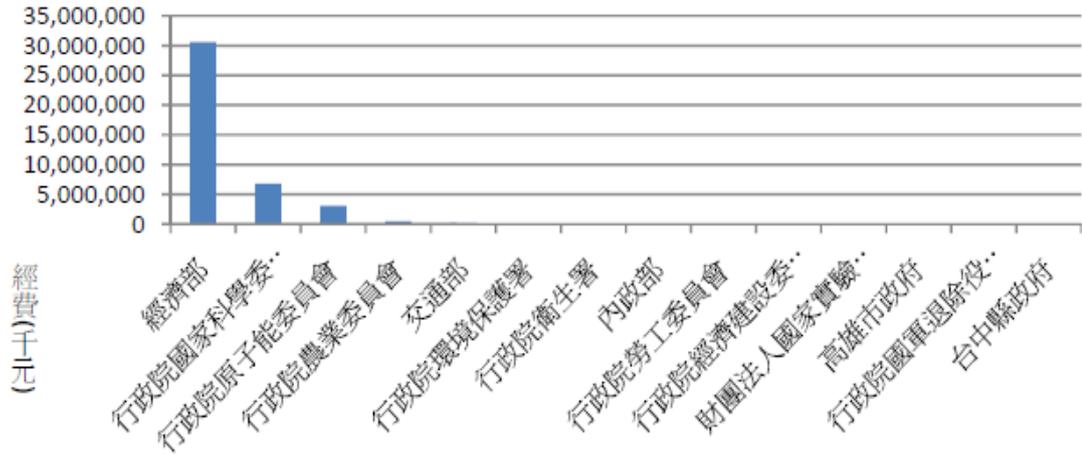


圖 3-31 台灣 1993-2010 年各主管機關研究計畫經費

資料來源:國研院科技政策中心(2011)

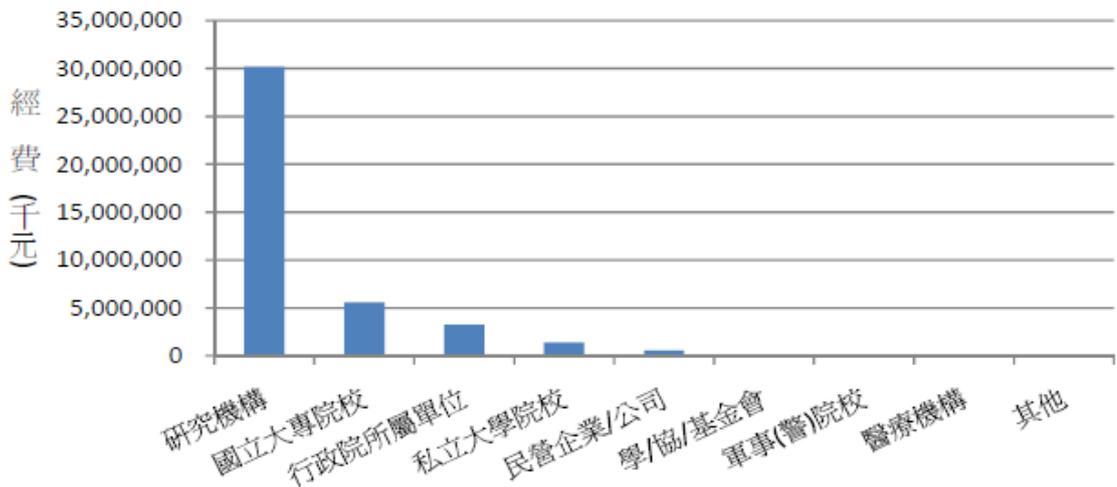


圖 3-32 台灣 1993-2010 年各屬性執行機關的研究計畫經費分配表

資料來源:國研院科技政策中心(2011)

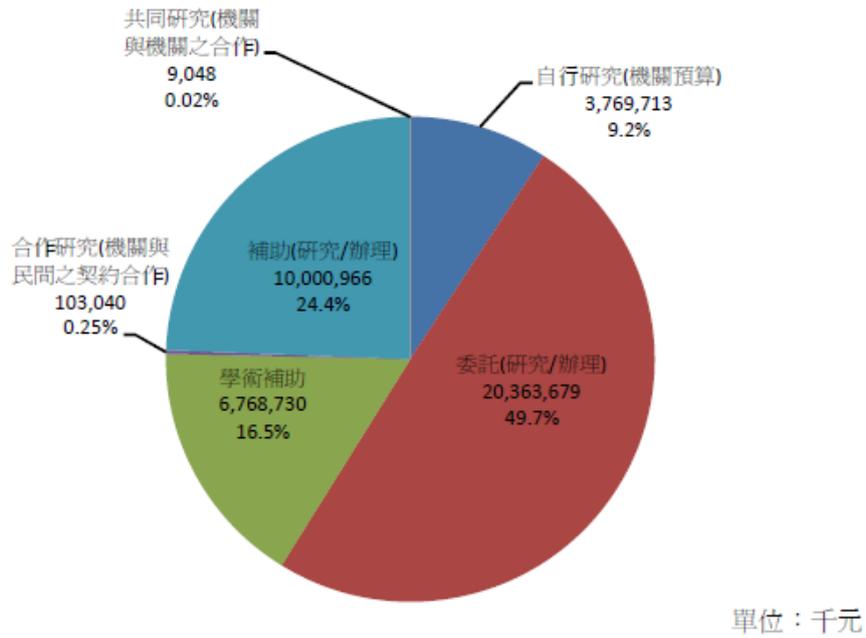


圖 3-33 台灣 1993-2010 年各研究方式的研究計畫經費分配表

資料來源：國研院科技政策中心(2011)

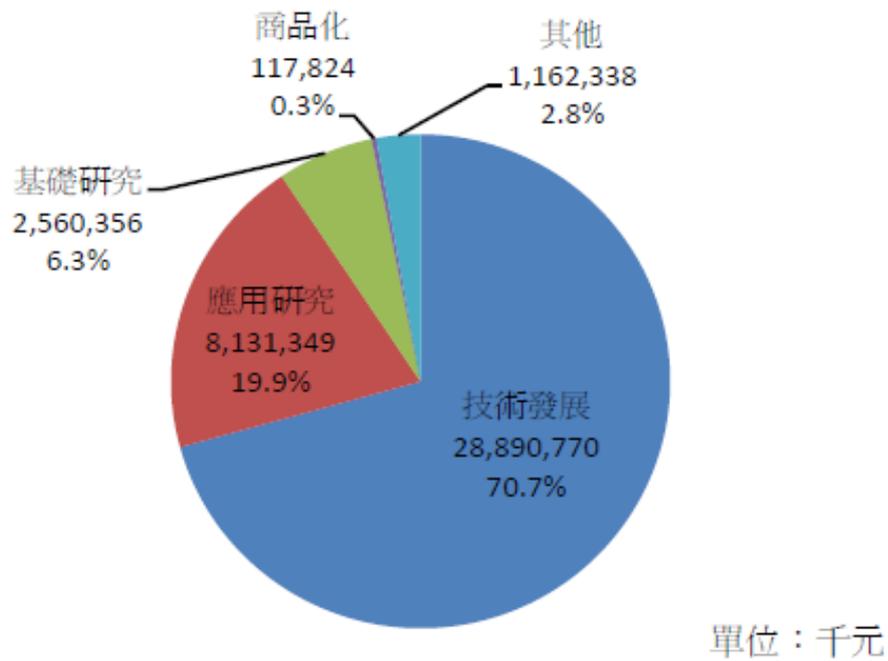


圖 3-34 台灣 1993-2010 年各研究性質的研究計畫經費分配表

資料來源：國研院科技政策中心(2011)

第四章研究方法

本章旨在說明本研究所採用之研究方法，第一節說明本研究主要的研究方法，第二節說明研究架構與流程，第三節說明研究之對象，第四節講述太陽能光電產品與創新矩陣，第五節說明政府政策與產業創新的關係。

第一節 研究方法

本研究在政府政策對太陽能產業發展之影響的探討上，針對美國、日本、德國、中國、台灣等五個對太陽能產業具代表性國家，採「內容分析法」，將政府政策分成三個時區及三大類六種，對各國政策對太陽能產業發展的影響進行區段式、整體性的分析、歸納。在技術創新對太陽能產業發展的影響主要採取次集資料分析法從蒐集到的跨時間、國家、技術的資料，用 Hendreson-Clark 創新矩陣、技術生命週期、經驗學習曲線和量價關係進行比對、分析、歸納出技術創新對太陽能產業的影響。透過綜合性、整體性描述各國之總體產業發展的演化過程、政府政策及技術發展狀況，結合政策工具項目及技術創新知識的驅動機制，分析、歸納並舉例說明政府政策對技術創新的影響，最後總結政府政策與技術創新對太陽能產業發展的影響。

壹、文件分析法

本研究資料以次級資料為主，採用之次級資料包括太陽能產業的相關資料、新聞報導以及數據資料，來源為文獻、研究機構的研究報告、報章雜誌、網路資訊、管理及產業等各類刊物評論、調查報告、產經資料庫、企業網站、工研院 IEK 產業情報網、政府機構發佈的資訊、圖書等。

內容分析法是量化技巧與質的分析，以客觀及系統的態度，對文件內容進行研究與分析，藉以推論產生該項文件內容環境背景及其意義的一種科學研究方法。是以傳播內容的「量」的變化來推論「質」的變化，因此可是為一種「質」與「量」並重的研究方法(歐用生，1991)。

內容分析法 (Content analysis) 運用於 18 世紀的瑞典，自 1930 年隨著宣傳分析和傳播研究的發展而興起。此方法最先被用在報紙內容分析研究，隨著研究方法的成熟，和電腦科技與統計軟體的進步，已廣泛的運用在傳播學術和其他社會學科，並成為了重要的研究方法之一。根據 Bowers 提出內容分析法的定義，不是針對內心是否客觀且有系統或量化，而內容分析的價值是針對分析的內容，利用系統客觀和量化方式加以歸類統計，並根據這些類別的數字作敘述性的解釋。透過量化的技巧和質的分析，以客觀和系統的態度對文件內容進行研究和分析，分析文字內容中各種語言和特性，不僅分析文字內容的訊息，而且分析文字內容對於整個傳播過程所發生的影響，藉以推論產生該項內容的環境背景和意義的一種研究(維基百科，內容分析法，2012)。內容分析法若能配合其他研究一起使用，例如：調查法、觀察法或個案分析法，效果會更好，對研究的議題有更深入的了解(王石番，1992；歐用生，1991)。

內容分析法是科學的研究方法其內容分析實施的流程如下：

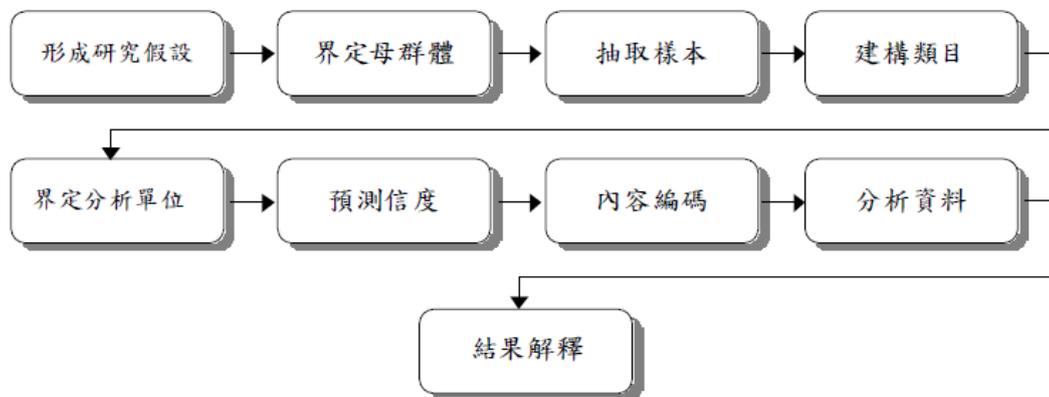


圖 4-1 內容分析法流程

資料來源:Wimmer, R. D. and Dominick, J. R. (1994)

內容分析法的步驟：

1、形成問題或假設：從現象發現問題，形成問題，不可漫無目的為研究內容計算次數，才不會徒勞無功。

2、 界定母群體：明確規劃內容主體的界線，賦予母群體設定的操作定義。本研究範圍為太陽能產業五個主要國家：美國、日本、德國、中國、台灣。時間從1974~2012年，有關太陽能產業發展的政府政策。

3、抽取樣本：母群體過大受限於人力、物力，則需抽取樣本作為研究對象，考量資料分布形態，掌握母群體特性，抽取具有代表性的樣本。本研究採蒐集整個對太陽能產業有影響的政府政策為樣本，力求完整性及客觀性。

4、建構類目：所謂「類目」是依據研究目的與研究問題，針對欲分析的內容進行分類，為內容分析的重點。本研究採用 Rothwell 及 Zegveld(1981)說法將科技創新政策歸納為下列三類：供給面政策、需求面政策、環境面政策，每類分兩種，共分類成六種，分別為政府的研發創新、民間的研發創新、政府的需求、政府鼓勵民間的需求、財務金融及租稅優惠、法規及管制性政策，其定義如表 2-3 所示。

為使分類更具有客觀性，分類必須考慮五項原則：(1)互斥性；(2)周延性；(3)一貫性；(4)完整性；(5)適切性（王居卿與徐木蘭，1994）。

在進行編碼的過程中，一筆資料不應該同時列入兩個類目中，也不應出現資料無法歸類於類目中的現象出現，編碼員常常對資料的分類有爭議或認定不清，表示缺乏信度。

5、界定分析單位：分析單位是內容分析過程中，實際計算的最小單位，隨類目不同而有差異，內容分析常包含許多特性，所以必須容納不同分析單位。本研究以一法令為最小單位，如同一法令對應多政策工具時，由編碼員提出討論後，分拆為對應政策工具的條項。

6、建立量化系統：內容分析是定量分析，類目是可量化的，選擇適當的測量方法以及分析方法，建立量化系統是必要的。內容分析法的量化方法包括名目、等距和等比等三種尺度。例如在報紙的內容分析中，每出現某一名詞即紀錄一次，在統計後採用如次數分配、描述性統計進行分析等。本研究採用政府政策對應類目次數的計次方式，建立量化體系，作為後續分析的依據。

7、執行預測、建立信度：建立信度之前，必須施行編碼表預測，檢視類目定義是否清楚明確。

「信度」是指測量結果的一致性或穩定性，即相同資料由不同編碼員或同一編碼員在不同時間內編碼，應該得到相同的結果。本研究以評分員信度法檢視編碼員間相互同意度後，再求算信度係數。在進行正式編碼前，研究者與兩位編碼員共同就類目、分析單位及編碼原則充分討論並取得共識後，從所收集 106 個樣本中隨機抽取 15%的樣本計 16 個政策，利用公式求得平均相互同意度與信度如 4-1 所示，分別為 0.83 與 0.937。Kassarjian (1977) 認為信度係數若大於 0.85，編碼結果即可被接受。

表 4-1 預測之相互同意度

| 編碼員 | 編碼員一 | 編碼員二 |
|------|-------|------|
| 編碼員三 | 0.875 | 0.81 |
| 編碼員二 | 0.81 | |

資料來源:本研究

註1. 平均相互同意度 = $(0.88+0.81+0.81) / 3 = 0.83$

2. 信度 = $3 \times 0.83 / (1+2 \times 0.83) = 0.937$

8、依照定義將內容編碼：依照類目和分析單位的定義，將分析單位規劃到類目就是編碼。編碼者依照類目和分析單位判讀內容，必須設計標準標碼表，制定統一量尺，才能堅守標準。編碼者以三到六為佳，編碼前先受編碼訓練，熟悉類目的定義和編碼表的操作方式，使內容編碼作業有一致性。本研究採三位編碼者進行內容編碼，編碼表如附錄三。

9、分析資料：在編碼後，依量化方式，設定處理、分析的方法，進行辨別描述性統計和推論統計的適用性。本研究編碼後的統計表如表 4-2 所示。

10、結論解釋與推論：針對分析後的數據結果，驗證變項之間關聯性的假設，闡述與推論這些假設。由表 4-2 政府政策對應科技創新政策工具的內容分析表，可知早期政府太陽能光電產業政策以供給面為主，中期政府太陽能光電產業政策以

需求面居多，近期政府太陽能光電產業政策以需求面較多，供給面和環境面政策也不少。從早、中、近三期的太陽能光電產業政策的數量看，後一個時期較前一期以倍數方式增加，顯示各國政府對太陽能光電產業越來越重視，政策也越來越多樣化及漸趨於完備。

表 4-2 政府政策對應科技創新政策工具的內容分析表

| 政策類別 政策工具 國家別 | | 供給面 | | 需求面 | | 環境面 | | |
|---------------------|----|---------|---------|-------|-----------|-----------|----------|----|
| | | 政府的研發創新 | 民間的研發創新 | 政府的需求 | 政府鼓勵民間的需求 | 財務金融及租稅優惠 | 法規及管理性政策 | |
| 早期 1974~1990 | 美國 | 3 | 2 | 0 | 2 | 0 | 0 | 7 |
| | 日本 | 3 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6 |
| | 德國 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 中國 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 台灣 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 小計 | | 6 | 5 | 0 | 2 | 0 | 0 | 13 |
| 中期 1991~2000 | 美國 | 3 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 6 |
| | 日本 | 1 | 1 | 3 | 2 | 1 | 0 | 8 |
| | 德國 | 0 | 0 | 3 | 2 | 0 | 1 | 6 |
| | 中國 | 2 | 2 | 1 | 0 | 1 | 0 | 6 |
| | 台灣 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 小計 | | 6 | 4 | 9 | 5 | 2 | 1 | 27 |
| 近期 2001~2012 | 美國 | 2 | 2 | 4 | 1 | 4 | 0 | 13 |
| | 日本 | 2 | 2 | 3 | 4 | 0 | 1 | 12 |
| | 德國 | 0 | 1 | 0 | 3 | 3 | 1 | 8 |
| | 中國 | 2 | 2 | 2 | 3 | 4 | 1 | 14 |
| | 台灣 | 4 | 4 | 3 | 4 | 4 | 0 | 19 |
| 小計 | | 10 | 11 | 12 | 15 | 15 | 3 | 66 |

資料來源:本研究

第二節 研究架構與流程

研究架構與流程如圖 4-2 所示。

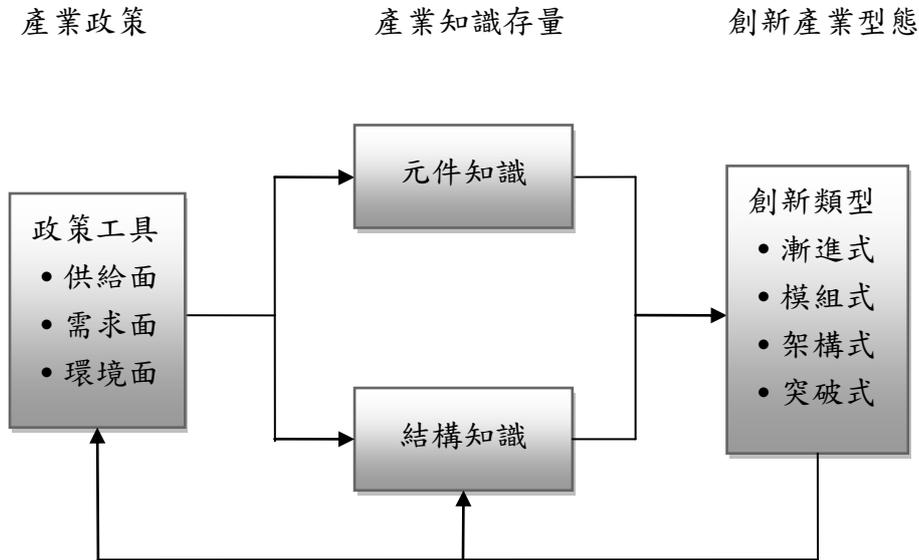


圖 4-2 研究架構

資料來源:本研究

本研究乃從太陽能產業現況瞭解著手，得知政府政策和技術創新是影響產業發展兩股最重要的力量，藉由內容分析法、創新政策工具、創新矩陣、共同演化等方法及觀點，探討政府政策、技術創新對太陽能產業的影響，政府政策對技術創新的影響，政府政策與技術創新對太陽能產業的影響，並以此研究發現、提出結論及建議。

本研究資料來源主要以次級資料，國內資料以行政院國科會、工研院、經濟部、台經院所編印的產業科技政策報告書為主；國外資料以各國科技與產業政策白皮書、太陽能光電相關研究報告、年報、期刊為主，並從網路上下載各國官方網頁有關科技政策及其最新動態資訊，藉由資料的整理、回顧，用以瞭解各國科技政策、產業發展、技術演進等現況、趨勢及影響的層面。

第三節研究對象

王俊如(2003)指出，在選擇研究對象時，必須考慮是否符合研究的目的，使資料的分析完備，並引述 Eisenhardt (1989)指出研究方式，不宜採用隨機取樣，應採用研究者判斷為「有用的」案例進行研究，其意指選取對理論建議或概念填補，有所助益的個案。在本研究中除一般性的全球產業論述外，選取的研究國家並非隨機取樣，而是在太陽能光電產業發展歷程中，對整體產業貢獻度較高的國家作為對象。美國、日本是太陽能產業的先趨者，在技術、生產及運用居領導地位，德國是近期太陽能光電產業，蓬勃發展的主要功臣。大陸和台灣在太陽能供應鏈上雖是後起之秀但已後來居上，躍升為數一數二的要角。這幾個國家的重要性、代表性足以彰顯本研究所欲探討的內涵及旨意。

第四節太陽能光電產品與創新矩陣

創新矩陣 (Innovation Matrix) 即是根據創意程度不同所進行之矩陣分類，特別是以二維矩陣表示。Henderson-Clark 創新矩陣，橫軸為產品底層的元件層級之組合，例如不同零組件，而縱軸為整體結構層級，創新矩陣之兩個軸線都是技術相關，而與市場拉力或消費者是無關。Henderson-Clark 創新矩陣，四種創新分類說明如下：

1、突破式創新(Radical Innovation)是建立一個新的優勢設計，產生新的核心設計觀念且由元件具體化，使其可能產生新的結構(元件之間的新連結)。當突破式創新破壞了原有的有效能力(例如架構、元件的知識)，則對已建立好的市場而言，它會產生明顯的挑戰。

2、漸進式創新(Incremental Innovation)是將過去的設計加以改進，精緻化，著重於改善獨立的元件。當漸進式創新建立好主要的競爭能力時，則其目的主要是傾向於加強在市場上的競爭地位。

3、模組式創新(Modular Innovation)是只改變核心設計觀念，沒改變整個產品的結構，是最容易達成的創新，因為它是由模組組成的，而模組的觀念主要在於，

模組之間的關連性較小，因此更換其中一個模型也能照常運做，例如類比電話取代數位電話，轉換方法很簡單，只要將類比轉換器換成數位轉換器即可。

4、架構式創新(Architectural Innovation)字面上的意思是「結構的創新」，但是本意卻與字面上意思有些差別，指的是改變產品元件連結在一起的結構，它雖然破壞了市場上架構知識(Architectural Knowledge)，但是仍保有產品元件的知識。

表4-3是將太陽能光電產品依據Henderson-Clark 創新矩陣，按創新的程度加以分類，說明四種創新產品類別和元件及結構間的關係及之間的差異和應用情形。

表 4-3 太陽能光電創新性產品類型

| | | | | | |
|-------|-----------------------|----------------|--------------------------|------------------|----------------|
| 結構概念 | 核心概念與構件之間的連結不變 | 核心概念與構件之間的連結不變 | 核心概念與構件之間的連結不變 | 核心概念與構件之間的連結改變 | 核心概念與構件之間的連結改變 |
| 核心概念 | 核心概念加強 | 核心概念顛覆 | 核心概念顛覆 | 核心概念加強 | 核心概念顛覆 |
| 元件知識 | 元件知識改變 | 元件知識改變 | 元件知識改變 | 元件知識小改變 | 元件知識改變 |
| 架構知識 | 架構知識沒改變 | 架構知識沒改變 | 架構知識部分改變 | 架構知識大改變 | 架構知識較大改變 |
| 創新種類 | 漸進式創新 | 模組式創新 | 模組式創新 | 架構式創新 | 突破式創新 |
| 創新性產品 | 高轉換效率、低成本、高品質單晶矽太陽能電池 | 多晶矽太陽能電池 | 薄膜太陽能電池 (a-Si、CdTe、CIGS) | BIPV(建築物整合太陽能系統) | 聚光型太陽能電池(CPV) |

表 4-3 太陽能光電創新性產品類型(續)

| 創新種類 | 漸進式創新 | 模組式創新 | 模組式創新 | 架構式創新 | 突破式創新 |
|-------------|---|--|--|--|---|
| 創新性產品 | 高轉換效率、低成本、高品質單晶矽太陽能電池 | 多晶矽太陽能電池 | 薄膜太陽能電池 (a-Si、CdTe、CIGS) | 建築物整合太陽能電池 (BIPV) | 聚光型太陽能電池(CPV) |
| 與單晶矽太陽能電池比較 | 轉換效率最高25%。 降低製造成本，提高品質穩定度及耐久性。 技術成熟、高信賴性、發電特性安定，三十年以上的使用壽命。 | 光電轉換效率略低於單晶矽為20.4%。 材料製造成本較低。 製程較簡單。 沒有明顯效率衰退問題。 模組排列空間較不浪費。 | 轉換效率在20.4%-12.5%)低於單晶矽。 製造成本低。 可以用在不同的基板(硬板、軟板、金屬、非金屬)製成多元化的產品。 對矽原料的依賴降低，製造較不耗電。 薄膜電池的弱光發電性強，早晚可發電。 薄膜電池產業鏈很短，可快速大量生產。 | 可多樣化使用各種電池組合。 可節省建築物建築成本。 整體美觀性佳。 安裝方式配合建築物多樣化。 | 轉換效率最高超過40%。 耐熱性比一般矽晶太陽能電池高。 安裝較節省空間，用地面積少且可多用途運用。 較節省太陽能電池用量。 |
| 市場需求面 | 主要用於講究轉換效率的家庭屋頂市場上，市佔率約30%-40%。 | 發電應用(取代傳統發電)，電力供應源。 太陽光電市場44%-55%市佔率。 | 在BIPV運用，可和建築物良好結合。 可用於消費性產品。 可用於安裝於大面積的場所。 市佔率10-15%。 | 和建築物及其週邊設施結合。 | 用於衛星、軍事等需高轉換效率的場合。 適合在乾燥且日照充足的地區建置大型電廠。 市佔率少於1%。 |

資料來源:本研究

第五節 政府政策與產業創新

壹、供需關係的互補

陳彥豪(2005)認為，太陽能光電發電從 1970 年代已開始發展，但遲遲不能普及的原因是供需之間「價值間隙」無法填補的所造成的。當技術進步無法快速填補「價值間隙」時，適時的政策獎勵補足餘隙，可促使初期市場形成。初期市場形成有助於帶動市場規模的成長及技術進步的成本降低。在技術發展漸趨成熟，藉由技術進步成本不斷的下降，政策補助可逐漸減少，讓市場自然發展。如圖 4-3、4-4 所示。

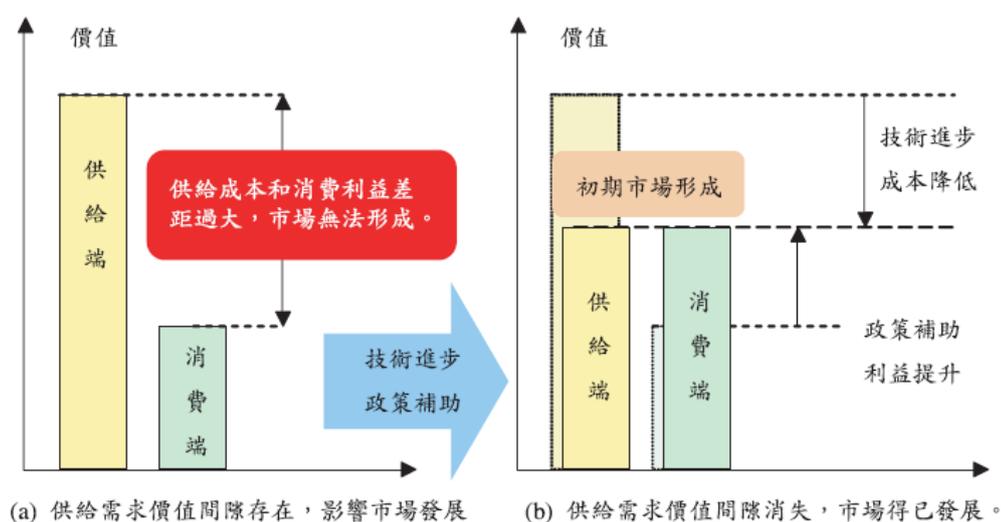
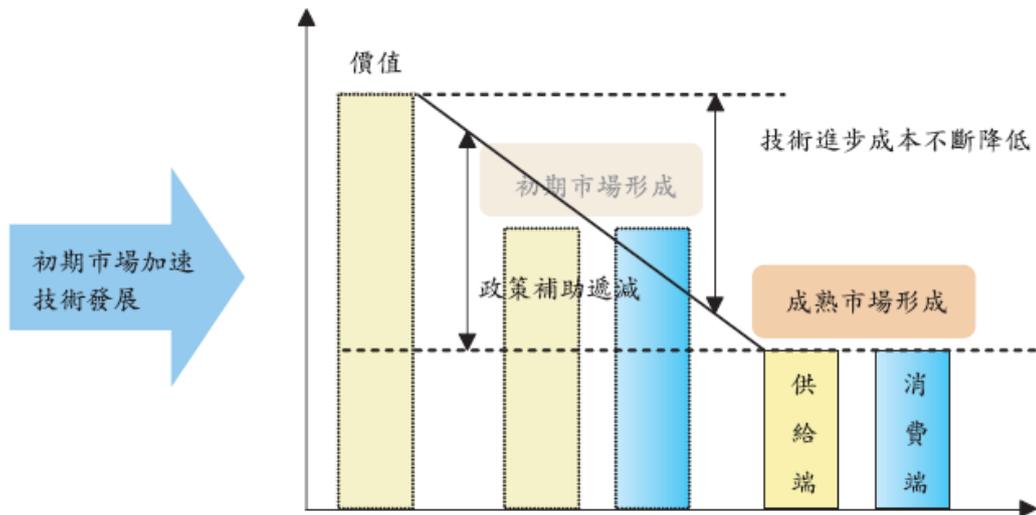


圖4-3 再生能源發電系統市場形成概念圖(1)

資料來源:陳彥豪(2005)，科技發展與政策報導



(c) 技術進步成本不斷降低，政策補助遞減，市場自然發展。

圖 4-4 再生能源發電系統市場形成概念圖(2)

資料來源:陳彥豪(2005)，科技發展與政策報導

貳、演化關係的互補

Jason Anderson, Samuela Bassi, Emilia Stantcheva, Patrick ten Brink(2006)認為創新是個不易量化的概念，指標包含相關的專利數、設備種類及數量、在這個領域的專業人員人數，公司登記數等等。為了簡單及對太陽能光電市場發展的結果具代表性，提出成本的降低程度來表示創新，成本的高低表示著太陽能光電技術能夠和其他的能源技術競爭的程度，而經驗學習曲線(Experience curves)是經解釋及描述累積生產經驗，由學習獲得降低成本的方法。經驗學習曲線，是一種表示生產的單位時間與連續生產單位之間的關係曲線。經驗曲線效應表示了經驗與效率之間的關係。當個體或組織在一項任務中習得更多的經驗，他們會變得效率更高。一項任務越是經常執行，做它的代價越小。數量每增加一倍，代價下降一個常數量百分比。太陽能產業的經驗曲線如圖4-5。接著可以運用經驗曲線對未來成本下降的趨勢做預測，可推測何時會達到化石燃料替代點，如圖4-6。經驗學習曲線是個簡單易懂的成本下降預測工具，對不同類型的太陽能光電成本下降比較，或是和其它化石能源做未來發展趨勢比較，相當簡便有用。但只用經驗學習獲得成本下降的

概括性用法，忽略了其他重要的因素，對於如何提升成本下降的速度及作法等驅動因素的分析，顯得太粗略及欠缺。未能對太陽能光電發展模型需要考慮其他因素，如研發、知識外溢和市場動態，未來的投資、產業發展方向提供更逼真的模擬情境。

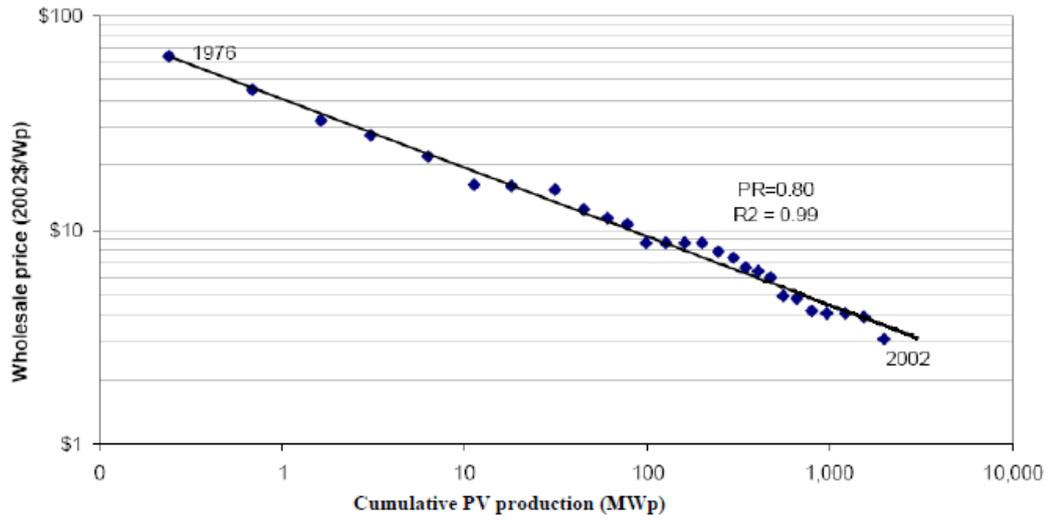


圖 4-5 太陽能光電學習曲線(1975-2002)

資料來源：Johnson(2002), Dunay(2003)

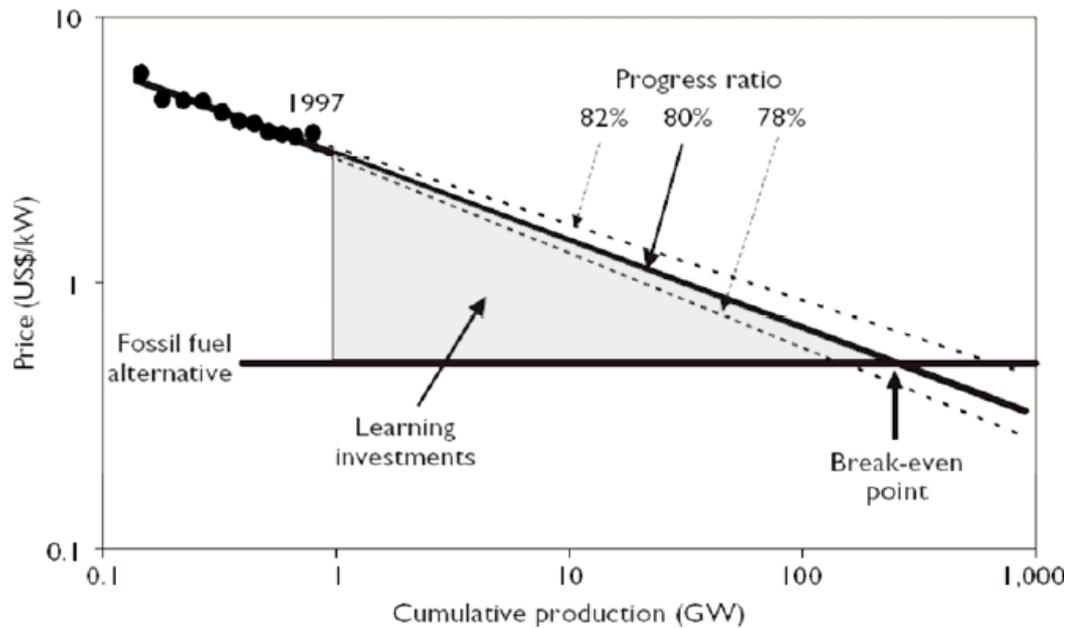


圖 4-6 太陽能光電損益平衡點的預測

資料來源：IEA(2002)

Nemet (2005)用了兩個不同資料組產生不同的經驗曲線也得到不同的結論，他認為探究成本降低背後的驅動動力才是重要的，根據因素分析發現太陽能光電成本降低最有影響力的是經濟規模(生產規模)、轉換效率、矽材料成本，而由經驗邊做邊學(learning by do)相較起來影響度很小。如表 4-4 所示。這樣的比率關係是相似於 NREL 的 Keshner and Arya (2004)的研究，影響成本降低的因素 51% 的來自生產規模，49%來自轉換效率的改善。現階段影響生產規模最重要的力量是政府需求面政策所產生的市場拉力，而這股力量也可由技術創新所產生的推力來達成。而這兩股力量是鑲嵌及互動的，並互相正向的反饋，及多向因果性。

表4-4太陽能光電成本降低的因素

| 因素 | 對成本的影響 | 因素變革的驅動力 |
|---------|--------|----------------|
| 生產規模 | 43% | 需求拉動，快速擴張產能 |
| 轉換效率 | 30% | 研發，從實驗室到市場邊做邊學 |
| 矽材料價格 | 12% | 半導體產業的外溢利益 |
| 晶片尺寸 | 3% | 努力的邊做邊學 |
| 矽的使用量 | 3% | 邊做邊學，線鋸切的外溢利益 |
| 多晶矽的佔有率 | 2% | 努力邊做邊學 |
| 其他因素 | 5% | 不清楚 |

資料來源 Nemet(2005)

第五章 研究發現

本研究主要以政府政策及技術創新兩大主軸，對太陽能光電產業整體發展軌跡及趨勢進行探討，採用資料分析法、政府創新政策工具、創新矩陣、技術生命週期、共同演化等方法及觀點，發現其對太陽能光電產業發展之影響及影響機制如下：

壹、政府政策對太陽能產業的影響

對太陽能光電產業主要發展國家的政府創新政策，採用創新政策工具加以分類並經內容分析法的量化分析及次集資料的整理歸納，發現政府政策對太陽能光電產業的影響有：

從1954年美國貝爾實驗室研發出太陽能電池開始，太陽能光電發電最早應用於美蘇的太空競賽的太空衛星上，不計成本的發展是為了達成軍武競賽目的，需求者主要是軍方，技術發展的方式是軍方委託研究機關或學術單位進行研發，太空發展注重的是太陽能光電功率-重量比。當時的產量非常的少，完全沒有商業化的思維和條件，雖然隨著半導體產業的發展價格略有下降，但在1971年每瓦的成本仍然高達100美元，這樣的情況在第一次石油危機(1973~1974)，油價由每桶3美元漲到13美元後，開始出現改變，美、日、德等經濟大國著手於化石替代能源的發展，太陽能的運用是其中的一個選項，從此改變了太陽能的發展方向，技術發展的思維也由太空用轉到民用。1963年日本Sharp 全球首創，開始商業量產太陽能電池。1972年美國研發出薄膜太陽能光電，接著1976年美國RCA公司研發出非晶矽(a-Si)太陽能電池，當時轉換效率很低僅有1.1%，到1986年開始商品化，最高轉換效率在6~7%，變換效率雖低於單晶矽(最高轉換效率19%)，但製造時可以任意選配電壓電流比，故大量用於計算機、手錶和各種家用電子產品作為電源。多晶矽太陽能電池在1970年代中期開始發展，1982年開始大規模的量產。在1980年代開始發展CIS(銅銦硒)太陽能電池。1989年聚光型太陽能光電(CPV)開始發展。在1975年時美國的太陽能研發經費是510萬美元，逐年增加到1980年第二次石油危機

達到高峰為15000萬美元，隨後又因能源危機威脅漸減，太陽能熱度也些許的冷卻，1990年研發經費降為3470萬美元，但還是比1975年許多。如圖3-13。全球年產量由1975年的2MWp，逐年遞增到1990年的47MWp。如圖3-1。經過十多年的努力太陽能模組價格也降到1990年的6.2美元/Wp，如圖3-4所示。在這個時期的主要的政府政策參閱附表4-1所示，重要的技術創新及里程碑參閱附表4-2。

由產業的演進說明、政府主要政策、重要的技術創新、里程碑及政府政策內容分析可歸納得知，本期的政策以供給面為主，制定開發計畫，成立研發機構，將太陽能發展列為國家重要化石替代能源計畫，在技術創新方面，重視基礎研究、開發新產品、新技術發展、提高能源轉換效率，以美國、日本為代表性國家。由上說明得到：

重要發現一：早期政府太陽能光電政策以供給面居多。

1981~1990年全球平均氣溫比100年前上升了0.48°C，而導致全球變暖的主要原因是人類大量使用化石燃料（如煤、石油等），排放出大量的CO₂等多種溫室氣體。為了阻止全球暖化趨勢，1992年聯合國專門制訂了《聯合國氣候變化框架公約》，同年在巴西的里約熱內盧簽署生效。依據該公約，已開發國家同意在2000年之前將他們釋放到大氣層的二氧化碳及其它溫室氣體的排放量降至1990年時的水準。世界各先進國家如日本、德國紛紛展開節能減碳的政策與具體行動。應用太陽能是因應地球暖化及減碳重要的一環，發展的力度也由於各國政府的重視，逐漸增強中。在1991~2000年間，各國政府提出和太陽能有關的主要政策參閱附表4-3，重要的技術創新及里程碑參閱附表4-4。

全球太陽能光電安裝量如圖3-1所示，由1991年的55MWp，增加到2000年252MWp，增幅為4.58倍，太陽能光電模組的價格由6.2美元/Wp，降至不到3元/Wp，如圖3-4所示。由產業的演進說明、政府主要政策、重要的技術創新、里程碑及政府政策內容分析可歸納得知，中期政策以需求面為主，重視太陽能光電應用的示範和推廣，提供資金補助安裝或提供優惠購電，日本及德國是代表性國家，而供給面政

策持續維持原本的力道，整體太陽能光電產業在這段時期的發展是量增、價跌、研發持續平穩發展。由上分析的得知：

重要發現二：中期政府太陽能光電政策以需求面居多。

近期太陽能光電產業可說是發展迅速，超乎預測，其中的原因歸納如下(一)德國需求的爆增:德國從認為核能是安全的意識中覺醒，開始從擁核轉為廢核，綠能的意識逐漸高漲，開始逐步立法實施以綠能代替核能，增加再生能源佔全國發電量的比率，目標是2010年12.5%，2020年20%，2050年50%(2020年目標在2011年已達成)，太陽能是其中最熱門的再生能源項目。(二)京都議定書的簽署:2005年京都議定書締約國的溫室氣體排放總量的二氧化碳當量，在2008年至2012年這個承諾期內，這些氣體的全部排放量應比1990年水平至少減少5%，促使各國努力的節能減碳及開發可再生能源，以達到各國在締約時的承諾。(三)國際石油價格的爆漲:石油價格高漲由2000年的二十幾美元/桶，漲到2012年的超過一百美元/桶，如圖5-1所示。同樣其他化石能源(煤炭、天然氣)價格也高漲數倍，但同時太陽能光電模組的成本卻一直的往下降由接近3美元/Wp降至1.4美元/Wp，預期這樣的發展趨勢，很快就達到太陽能產業發展的初期目標：市電同價；可擺脫依賴政府政策扶持，成為獨立自主發展的產業，進而可和傳統化石能源競爭。在2001~2012年間，各國政府提出有關太陽能產業的主要政策參閱附表4-5。

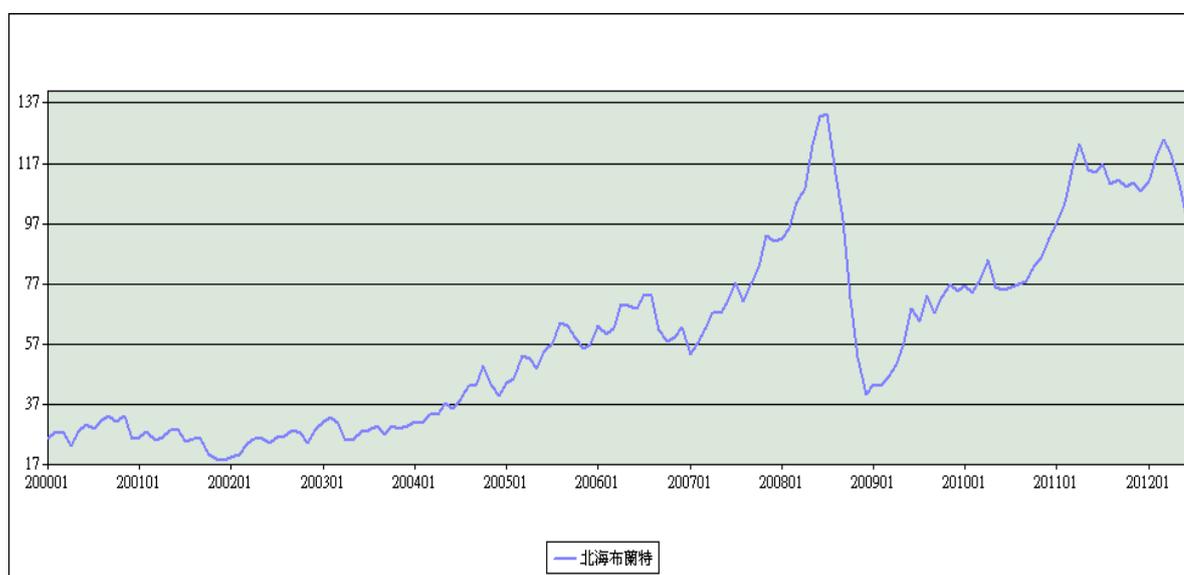


圖 5-1 北海布蘭特原油價格(2000-2012)

資料來源:經濟部能源局。本研究整理

由近期太陽能光電產業演進說明、近期主要的政府政策及政府政策內容分析可歸納得知，近期各國政府推出的政策相當的多，種類也相當齊全及均衡，此期中國及台灣崛起，政策的類別及量是多且均勻，逐漸趕上美、日、德等發展較早的國家。但仍以需求面政策略多一些，供給面和環境面政策也不少，從政府重視的程度、政策工具的多樣性、產品量價關係的演化，顯示太陽能產業進入蓬勃發展的階段。由陳述的得知：

重要發現三：近期政府太陽能光電政策雖以需求面居多，供給面和環境面也多，且均增加不少。

其中需求面的政策數量增加的最為明顯，和太陽能產業發展過程中生產量、安裝量成長的情況有顯著的正相關，顯示政府需求面政策直接、發酵時間短且高強度的影響太陽能光電市場，而供給面政策，在技術進步提高轉換效率，降低製造成本而使得成本下降，直接、高強度影響市場供給的價格，發酵時間也短。而在政策種類的演化過程從早期著重供給面政策，注重技術創新，開發新產品，到中期較注重需求面政策，注重市場的推廣及產品普及化，但供給面政策也持續增加中，到近期在各國太陽能政策中除環境面政策中的法規及管制性政策較少外(可能早已完備或激勵效果不明顯)，其他五種政策數量相差不多，歸納如表 4-2，得知：

重要發現四：由早、中、近三期的太陽能光電政策數量及類別而論，後一期比前一期倍增，顯示各國政府對太陽能光電產業越來越重視，政策也越多樣化及漸趨於完備。

政府透過創新政策工具改變供需機制的生產和消費促使產品價格、數量發生變化進而影響產業的發展。

一、政府供給面政策(政府的研發創新、民間的研發創新)直接對供需機制的生產產生影響，其影響的層面為價格，影響強度為高，短時間可看到成果，間接對供需機制的消費產生影響，其影響的層面由價而量，影響強度中，發酵時間中，需一段的時間才能看到成果。以美國早、中期為例，在這期間美國所提的政策大部分為供給面政策，生產量由 1976 的 0.3MWp 增加到 2000 年的 75MWp，增幅 249 倍；在模組平均價格方面，從 1975 年的 90 美元/Wp，降到 2000 年 2.7 美元/Wp，降幅 97%，價格只剩原來的 3%，安裝量由極少量增加到 2000 年的 17MWp，增加幅度也相當的大。由上述分析可知供給面政策先對生產產生直接的影響(生產量增加)，影響層面為價格的下降，價格變化為漸進，短時間看到其變化；供給面政策間接影響消費，影響層面由價格的下降到刺激消費量，影響的強度中，發酵時間中，從消費者接受價格到量的增加有時效遞延的情況。

二、政府需求面政策(政府創造需求、政府鼓勵民間採購) 直接且高強度的影響供需機制的消費，影響層面由量而價，再影響生產量，發酵的時間為短；透過消費間接且中強度的對生產產生影響，影響的層面由量而價，發酵時間為中。以德國 2000 年開始實施再生能源法案(Erneuerbare Energien Gesetz, EEG)為例，再生能源法案為一 FIT (Feed-In-Tariff)的觀念，依各類再生能源的發電成本給予不同的最低收購電價保障，對新設太陽能光電發電系統以 20 年期至少 0.51 歐元/kwh 的優惠價格收購太陽能發電(但每年降低 5%的補助費率)。最初饋網電價為零售價的三倍。德國的太陽能光電安裝量由 2000 年的 40MWp 增加到 2010 年的 7730MWp，增幅 192 倍，國內的生產量也由 2000 年的 23MWp 增加到 2010 年的 2022MWp，增加 87 倍，而模組價格由 2.7 美元/Wp 降至 1.4 美元/Wp。可見其影響力直接，影響層面由固定價格增加消費量，間接引導製造商增加生產量，成本降低，再因成本降低致使銷售價格的下降，發酵的時間很短，很快看到成果。

三、政府環境面政策對生產及消費均間接影響，影響層面為價或是量，發酵時間中，影響強度低，成果不明顯。以美國聯邦政府 2005 年通過能源政策法(Energy Policy Act)修正，有關再生能源補助法案，太陽能產業投資稅賦抵減(Investment

Tax Credit；ITC)規定，投資太陽能產業可享 30%賦稅減免。佔美國太陽能市場 7-8 成的加州為來說，加州政府推動百萬太陽屋頂法案(CSI)，目標設定於 2016 年，建置 3,000 MW 太陽能發電系統，為現有住宅、新設工商及農業建築物提供 22 億美元獎勵基金，提供稅收優惠及融資方案，鼓勵建築物設置太陽能發電系統。由圖 5-2 可知美國在 2004 年未推出環境面政策前太陽能產業生產量相當持平，推出後生產量有往上增長的趨勢，但相對其他國家用別種類型的政策，其增長速度顯得緩慢許多，由圖 3-12 歷年美國太陽能光電安裝量和生產量比較表(1995-2010)可看出美國安裝量和生產量相近，由此可知政府環境面政策是間接影響生產或消費，影響的層面以量或價為主，發酵的時間短至中，看到的成果比較不明顯。政府政策對太陽能光電產業的影響及其影響機制整合成如表 5-1。

重要發現五：政府政策對太陽能產業影響矩陣及其影響機制如表 5-1。

表 5-1 政府政策對太陽能產業影響矩陣圖

| 政策類別 政策影響項目 | | 供給面政策 | | 需求面政策 | | 環境面政策 | |
|----------------|-------|---------|---------|--------|----------|-----------|----------|
| | | 政府的研發創新 | 民間的研發創新 | 政府創造需求 | 政府鼓勵民間採購 | 財務金融及租稅優惠 | 法規及管制性措施 |
| 生產 | 發酵時間 | 短 | 短 | 短 | 短 | 短或中 | 短或中 |
| | 直接/間接 | 直接 | 直接 | 間接 | 間接 | 間接 | 間接 |
| | 影響層面 | 價→量 | 價→量 | 量→價 | 量→價 | 價或量 | 價或量 |
| | 影響強度 | 高 | 高 | 中 | 中 | 低 | 低 |
| 消費 | 發酵時間 | 中 | 中 | 短 | 短 | 短或中 | 短或中 |
| | 直接/間接 | 間接 | 間接 | 直接 | 直接 | 間接 | 間接 |
| | 影響層面 | 價→量 | 價→量 | 量→價 | 量→價 | 量或價 | 量或價 |
| | 影響強度 | 中 | 中 | 高 | 高 | 低 | 低 |

資料來源：本研究

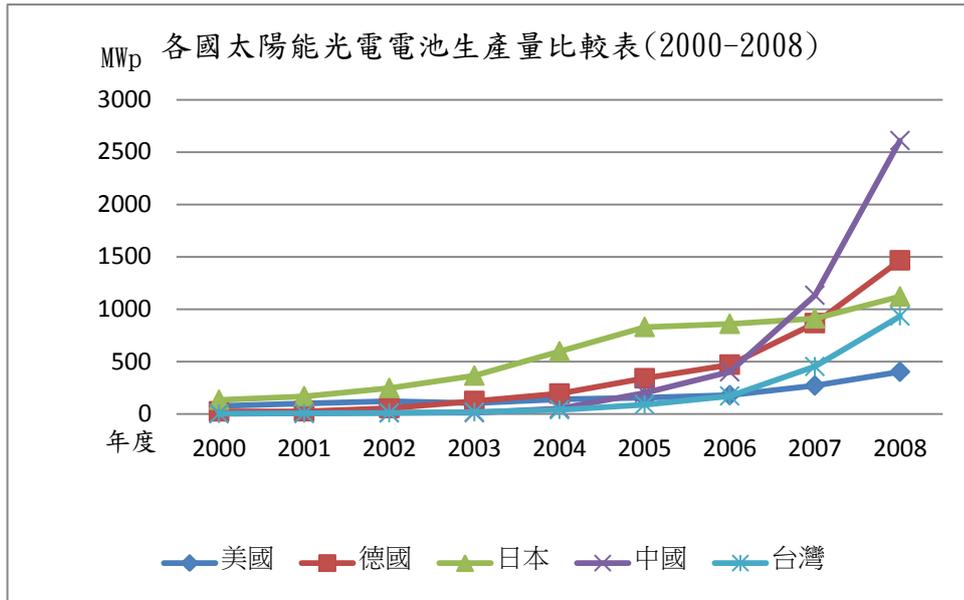


圖 5-2 各國太陽能光電電池生產量比較表(2000-2008)

資料來源:IEA-PVPS, Photon International, REN21, IEK, PIDA, Solarbuzz。本研究整理

貳、政府政策對技術創新的影響

政府政策和技術創新是影響太陽能光電發展的兩個最主要的因素，政府可運用政策工具影響技術創新的模式，改變產業發展方向、發展速度，其影響深遠且複雜列表如 5-2 所示，並舉各國相關例子說明影響的狀況。

5-2 政府政策對技術創新影響矩陣表

| 政策類別 政策影響工具 創新方式 | | 供給面政策 | | 需求面政策 | | 環境面政策 | |
|------------------------|-------|-----------|-----------|----------------|----------------|-----------|----------|
| | | 政府的研發創新 | 民間的研發創新 | 政府創造需求 | 政府鼓勵民間採購 | 財務金融及租稅優惠 | 法規及管制性措施 |
| 元件知識 | 發酵時間 | 長 | 長 | 短 | 短 | 短 | 中 |
| | 直接/間接 | 直接 | 直接 | 間接 | 間接 | 間接 | 間接 |
| | 影響層面 | 基礎研究或應用研究 | 應用研究或基礎研究 | 產品需求→技術開發→應用研究 | 產品需求→技術開發→應用研究 | 技術開發 | 技術開發 |
| | 影響強度 | 高 | 高 | 中 | 中 | 低 | 低 |
| 結構知識 | 發酵時間 | 中 | 中 | 短 | 短 | 中 | 中 |
| | 直接/間接 | 直接 | 直接 | 間接 | 間接 | 間接 | 間接 |
| | 影響層面 | 應用研究或基礎研究 | 應用研究或基礎研究 | 產品需求→技術開發→應用研究 | 產品需求→技術開發→應用研究 | 技術開發 | 技術開發 |
| | 影響強度 | 中→低 | 中→低 | 低 | 低 | 低 | 低 |

資料來源:本研究

一、政府供給面政策(政府的研發創新、民間的研發創新)對元件知識創新的影響層面在基礎研究及應用研究，其影響直接且強度高，但需長的時間才能看到成果。例：從1954年美國貝爾實驗室研發出太陽能電池開始，1963年日本Sharp 全球首創，開始商業量產太陽能電池。1972年美國研發出薄膜太陽能光電，接著1976年美國RCA公司研發出非晶矽(a-Si)太陽能電池，當時轉換效率很低僅有1.1%，到1986年開始商品化，最高轉換效率在6~7%，大量用於計算機、手錶和各種家用電子產品作為電源。多晶矽太陽能電池在1970年代中期開始發展，1982年開始大規模的量產。在1980年代開始發展CIS(銅銦硒)太陽能電池，1998年初步量產。1989年聚光型太陽能光電(CPV)開始發展並於1994首次安裝。由上面諸多描述可知任何

一項太陽能元件知識的基礎研究，經應用研究到可以初步的商品化均需花很長的時間，而且對太陽能光電產業發展都是重大的元件知識改變，其影響力既深且廣。

二、政府需求面政策中的政府創造需求是透過政府對產品的需求間接及中強度的影響元件知識的創新，影響的層面以技術開發為主，發酵的時間短，很快可看到成果。市場拉力往往來自消費者，因市場拉力所激勵的科技發展主要是增加或改善現有科技的性能和技術，但技術改善的知識具累加性的對生產力和競爭力產生影響，隨著影響時間的增長及某些情況下強烈的市場拉力，影響的層面可能擴及應用研究領域及促成較重要的科技創新。例：日本於 1994-2005 年實施「住宅太陽能光電系統監測計畫，1997 年改了名稱住宅太陽能光電系統的傳播計畫(RDP)」，通過補貼住宅太陽能光電系統安裝費用，減少太陽能光電系統的安裝成本和建立初步的太陽能光電市場，該政策由日本政府出資，新能源財團(NEF)作為代理機構，在日本全國範圍內開展，政府對於每戶安裝太陽能發電設備的家庭給予 90 萬日元/千瓦的補貼，按當時價格計算，該補貼額達到初裝費用的 45%。這個計畫總共超過 25 萬 3754 安裝案例，931.5MWp 安裝量，成功達成建立初步太陽能光電市場計畫，使日本在 1998 年迎頭趕上美國，並連續多年保有世界第一的太陽光電發電累積安裝量，生產量及安裝量。成長情形如圖 3-14、3-15、3-16。2005 年夏普太陽能生產能力為 500MWp 世界第一，連續 6 年達到世界最高的太陽能電池生產量，日本三洋(Sanyo)、京瓷(Kyocera)、夏普(Sharp)，在研發創新也都有很傑出的表現，三洋在 2001 年開發出 HIT(Silicon Heterostructures)多晶矽，技術領先全球為多晶矽轉換效率最高的電池(超過 21%)。

三、政府需求面政策中的政府鼓勵民間採購是透過對人民對產品的需求，間接及中強度的影響元件知識的創新，影響的層面以技術開發為主，發酵的時間短，很快可看到成果，隨著影響時間的增長及強烈的市場拉力，影響的層面可能擴及應用研究領域及重量級廠商的出現。例：德國 2000 年以再生能源法案(Erneuerbare Energien Gesetz, EEG)，提供太陽光電電能優惠購電價格制度，保障太陽能光電發電投資者的獲利率，並於 2004 年調整該法案，增加再生能源的供應比例，計畫

於 2010 年至少達 12.5%，2020 年達 20%，促使德國太陽光電系統設置量快速增加。初始的賣電價格係以市售電價 3 倍的價格回售給電力公司，之後該價格逐年調降 5%，並保證 20 年的收購期，經計算此作法約 10 年期間初期設置費用即可回收，因此導入使用太陽光電發電的企業或個人劇增，且將太陽光電發電當成事業投資。此制度的實施使 2007 年全球的新能源投資、融資達到 850 億美元。大量的資金流入太陽能產業，製造設備與原材料也紛紛準備到位，新興製造商也如雨後春筍般崛起，造就了上中下游完整的太陽能產業鏈，部分業者甚至已是整合上中下游的全球太陽能市場龍頭，佔有舉足輕重的地位，產量排名第一的 Q Cells，於 1999 年成立，在 2005 年股票上市。德國太陽能光電發電生產及安裝量如圖 3-18、圖 3-19、圖 3-20、圖 3-21 所示。

四、政府環境面政策是間接而低強度的影響元件知識的創新，影響的層面以技術開發為主，發酵的時間短至中，看到的成果比較不明顯。美國的太陽能產業政策依照實施層級可分為聯邦政府與地方政府兩部分，而採用的政策以租稅獎勵和法律規定為主。聯邦 2005 年通過能源政策法(Energy Policy Act)修正，有關再生能源補助法案中太陽能產業投資稅賦抵減(Investment Tax Credit; ITC)規定，投資太陽能產業可享 30%賦稅減免。地方政府方面以稅賦獎勵、補貼和提升再生能源發電比例為主要實施方案，並提供無息或低利率的貸款以增加企業投資再生能源產業的動力。

美國以提供太陽光電設置的投資減免，再配合系統設置之優惠貸款制度，成功提升太陽光電應用市場，2004 年加州政府推動百萬太陽屋頂法案(CBI)，目標設定於 2016 年底，建置 3,000 MW 太陽能發電系統，提撥 22 億美元獎勵基金，提供稅收優惠及融資方案，鼓勵建築設置太陽能發電系統。由圖 5-2 可知美國在 2004 年未推出環境面政策前太陽能產業生產量相當持平，推出後生產量有往上增長的趨勢，但相對其他國家其增長速度顯得緩慢許多，由此可知政府環境面政策是間接而低強度的影響元件知識的創新，影響的層面以技術開發為主，發酵的時間短至中，看到的成果比較不明顯。

五、政府供給面政策(政府的研發創新、民間的研發創新)直接影響結構知識創新，影響層面在應用研究及技術發展為主，其影響強度中偏低，有日漸衰減的傾向，發酵時間為中或短，但成果並不明顯。就太陽能產業而言技術創新主要的方向為提高轉換效率及降低成本兩大主軸。以聚光型太陽能光電為例，聚光型太陽能發電系統是聚光型太陽能電池、光學系統與太陽光追蹤器的組合，和一般固定式的太陽能光電發電系統差別在於光學系統及追光系統，而此兩者技術已漸普遍、成熟度也高，追光系統準度也由 1 度進步到 0.1 度，而光學系統的透明度及準確度屬於製程技術且技術也相當成熟，結構連接知識的創新對聚光型太陽能光電而言，主要聚焦於簡化結構降低成本、提高耐用性為主，雖中、短期可看到成果，但供給面政策對其影響強度中偏低。

六、政府需求面政策(政府創造需求、政府鼓勵民間採購)透過政府直接採購或透過政策優惠人民購買產品或設備，間接影響結構知識創新，影響層面以技術發展為主，其影響強度低，發酵時間為中或短，但成果並不明顯。以建築物整合太陽能光電發電系統為例，在公共建築如車站、政府辦公大樓、候車亭、大型活動場館都有 BIPV 的存在，在有些國家除了原有的太陽能獎勵措施外，還提供額外補助來推廣 BIPV，饋電價格比安裝其他太陽能電系統多，法國補助最高將近多 0.25 歐元/kWh，德國多 0.05 歐元/kWh (只有外牆)，在都市地狹人稠土地昂貴的地方，有效的提高 BIPV 的安裝量。對 BIPV 而言結構連接知識的創新主要是在改善太陽能光電系統和建築物結合的架構及結合架構的模組化，以增加建築物美觀實用及降低成本，這些技術大多是現有建築技術及太陽能模組安裝知識的延伸；雖中、短期可看到些許成果，但需求面政策對其結構知識創新的影響強度低。

七、政府環境面政策(財務金融及租稅優惠、法規及管制性措施)是政府透過租稅、關稅、環保稅、區域規劃、專利、技術規範、公共服務等政策工具，藉由調整經濟與法規環境或改善企業的投資環境，以符合新產品創新的需求，間接影響結構知識創新，影響層面以技術發展為主，提供減稅、優惠進出口關稅、良好公共設施服務、消除貿易障礙等，其影響強度低，發酵時間為中或長，但對太陽能產業

而言成果並不明顯。

重要發現六：政府政策對技術創新影響矩陣圖及其影響機制如表 5-2。

叁、政府政策、技術創新與太陽能光電產業發展的關係

各國政府對科技政策的制定與執行，不但影響國家整體的科技發展及產業環境，更是形成國家產業競爭力之來源。表 5-3 中列舉太陽能光電產業各期政府政策、技術創新、生產和消費的量價發展情形。

在早期(1974-1990)，由政策的類別及數量的分析，供給面 11 個、需求面 2 個、環境面 0 個，可知政府政策主要是供給面政策(政府的研發創新及民間的研發創新)，提供新產品技術創新的推力，而需求面政策(政府創造需求及政府鼓勵民間採購)也略有著墨，環境面政策(財務金融及租稅優惠及法規及管制性措施)則無。由各類產品的轉換效率提升的軌跡，發現經由政府政策的引導轉換效率提升不少，單晶矽產量逐漸增加中，轉換效率由 13.5→21.5(增 59.2%)，符合技術發展曲線成長期的特徵，多晶矽在 1982 量產及 a-Si 在 1986 量產，也有少量的產品外，其餘不是尚在研發階段，就是還沒開始研發，較符合技術生命週期中的萌芽期及技術發展階段的特徵。當時廠商發展的重於放在單晶矽市場的推廣，製造成本的降低、轉換效率的提升，多晶矽及 a-Si 的技術發展主要由政府、研究機構、大學及企業共同研發。創新的形式主要為單晶矽產品的漸進式創新，多晶矽及薄膜太陽能等模組式創新也努力的提升效率及降低成本。此期價格由 90 美元/Wp 下降到 6.2 美元/Wp，降幅達 93.1%，量也由 2MWp 增加到 47MWp 增幅達 22.5 倍，量增降減的幅度均相當大，此時因政府需求面及環境面的政策不多，價跌量增的貢獻度，來自於技術進步的推力居多。

表 5-3 各期政府政策、技術創新、產業發展摘要一覽表

| 年代 | 早期(1974-1990) | 中期(1991-2000) | 近期(2001-2012) |
|--------------|---|---|--|
| 政策類別及數量 | 供給面 11 需求面 2 環境面 0 | 供給面 10 需求面 14 環境面 3 | 供給面 22 需求面 27 環境面 18 |
| 創新內容及轉換效率(%) | <p>單晶矽 13.5→21.5(增 59.2%)</p> <p>多晶矽 15→17.1(增 14%)</p> <p>薄膜 a-Si 1.1→9.5(增 763%)</p> <p>薄膜 CdTe 8.5→12.5(增 47.1%)</p> <p>研發出晶矽太陽能電池(1954)</p> <p>單晶矽太陽能光電模組開始量產(1963)</p> <p>研發出薄膜太陽光電技術(1972)</p> <p>開始發展多晶矽太陽能電池(1976)</p> <p>研發出非晶矽太陽能電池(a-Si)(1976)</p> <p>多晶矽太陽電池開始量產(1982)</p> <p>開始發展 CIS(銅銦 硒)太陽能電池(1980 年代)</p> <p>薄膜太陽能電池開始商品化(1986)</p> <p>開始發展聚光型太陽 能光電(CPV) (1989)</p> | <p>單晶矽 21.5→25(增 16%)</p> <p>多晶矽 17.1→19.6(增 14.6%)</p> <p>薄膜 a-Si 9.5→12(增 26.3%)</p> <p>薄膜 CdTe 12.5→15.7(增 25.6%)</p> <p>聚光型 PV 31.8</p> | <p>單晶矽 25→25(增 0%)</p> <p>多晶矽 19.6→20.4(增 4%)</p> <p>薄膜 a-Si 12→12.5(增 4.1%)</p> <p>薄膜 CdTe 15.7→17.3(增 10.2%)</p> <p>聚光型 PV 31.8→43.5(增 36.7%)</p> <p>CIGS 20.4</p> |

表 5-3 各期政府政策、技術創新、產業發展摘要一覽表(續)

| 年代 | 早期(1974-1990) | 中期(1991-2000) | 近期(2001-2012) |
|---------------|---|--|--|
| 各類型產品市場佔有率(%) | 1990 年 單晶矽 37 多晶矽 36 薄膜 a-Si 27 薄膜 CdTe 0 聚光型 PV 0 開始發展 BIPV(1990 年代) | 2000 年 單晶矽 37.4 多晶矽 52.5 薄膜 a-Si 9 薄膜 CdTe 0.2 聚光型 PV 0 | 2010 年 單晶矽 34.1 多晶矽 52.9 薄膜 a-Si 5.5 薄膜 CdTe 5.5 CIGS 1-2 聚光型 PV 0.3 |
| 模組價格(美元/Wp) | 90 (1975) 6.2 (1990) | 2.7 (2000) | 1.4 (2011) |
| 生產量(MWp) | 2 (1975) 47 (1990) | 252 (2000) | 17400 (2011) |
| 研發經費(百萬美元) | 美國平均 61.7 | 美國平均 67.2 日本平均 76.9 德國平均 31.9 | 美國平均 134.8 日本平均 50.7 德國平均 55.3 |
| 技術創新的重心 | 單晶矽為主 多晶矽及薄膜為輔 | 多晶矽為主 單晶矽和薄膜為輔 | 多晶矽為主 單晶矽和薄膜為輔，但單晶矽市佔率出現滑落的趨勢 |
| 創新的歸類 | 漸進式創新 | 模組式創新 | 模組式創新 |

資料來源:本研究

在中期(1991-2000)，由政策的類別及數量的分析可知，政府政策在供給面政策(由政府的研發創新及民間的研發創新)仍維持早期時的軌跡，僅少量增加，繼續提供新產品技術創新的動能，此階段需求面政策，相當受到政府的重視由早期的 2 個政策增加到 14 個，增幅達 7 倍，環境面政策也由零變成 3 個，顯示市場推廣及產業發展環境已受到政府的重視，各類產品的轉換效率提升的軌跡可發現，技術持續的進步，轉換效率持續成長，但總體增長幅度比早期略有縮小，但也顯示著技術越來越成熟，太陽能產業先進國家中，日本及德國陸續積極推廣太陽光電發電，希望藉由建立示範計畫，推廣人民使用太陽能光電發電，建立初期市場

增加市場成熟度，進而普及太陽能光電。多晶矽最高轉換效率(19.6%)雖低單晶矽約 5.4%，但組成系統後僅低 2-3%且因成本較低，在 1998 年超越單晶矽成為市場的主流，市場佔有率達 52.5%。從技術生命定義觀察，各類創新產品的轉換效率持續上升(平均增幅 20.6%)，產量也持續的增加由 1990 年的 47MWp 增加到 2000 年的 252MWp 增幅 4.4 倍，顯示整體產業處於技術生命週期的成長期，此階段產品發展的主流是多晶矽產品，薄膜的發展也相當受到重視，單晶矽持續穩定發展。此期模組價格由 6.2 美元/Wp 降到 2.7 美元/Wp，降幅達 56.4%，市場呈現量增價跌，顯示供給面政策的技術的推力及需求面的市場需求的拉力在這時機明顯的存在。

在近期(2001-迄今)，由政策的類別及數量的分析可知，政府政策由中期的 27 個到近期的 67 個，增加 40 個，增加幅度 1.48 倍，顯示政府強力的介入太陽能光電產業，在供給面政策(由政府的研發創新及民間的研發創新)由 10 個增加到 22 個增加了 1.2 倍，加大了產品技術創新的推力，而需求面的政策在這階段，由 14 個增加到 27 個，增加 13 個，增加的幅度 92%是最多的政策數及增加數，顯見政府在驅動市場成長的拉力是有增無減，環境面政策也由 3 變成 18 個，顯示產業發展環境除受到政府的重視外，也漸為太陽能產業成為可獨立、持續發展的產業建立環境面的架構。從技術生命定義觀察，整體創新產品的轉換效率持續上升(平均增幅 11%)，產量也持續的增加由 2000 年的 252MWp 增加到 2011 年的 17400MWp 增幅 68 倍，顯示整體產業處於技術生命週期的成長期，但總體增長幅度比上時期明顯的縮小，尤其是單晶矽，最高轉換效率已出現停滯不前，多晶矽及 a-Si 薄膜增長的幅度也僅有 4%，單晶矽的技術生命週期由成長期進入成熟期，多晶矽及 a-Si 薄膜也有此傾向。但也因為技術越來越成熟，世界各國政府陸續的倡導安裝太陽能光電發發電，使安裝太陽能熱潮由歐美先進國家，蔓延至如中國、印度等等新興國家，產品供應鏈中的製造環節，也由美國、日本、德國移往亞洲的中國、台灣。這階段多晶矽仍是市場的主流產品，市場佔有率小幅增加至達 52.9%，單晶矽則略微下滑由 37.4%到 34.1%，a-Si 也由 9%下滑到 5.5%，但同為太陽能薄膜產品轉換效率較高的 CdTe 則漸受市場青睞市佔率由 0.2%提升到 5.5%，有逐漸取代了 a-Si

的趨勢，CPV 的發展也漸受市場的接受市佔率為 0.3%。此階段產品發展的主流是多晶矽產品，薄膜的發展如 CdTe、CIGS 等也相當受到重視。此期模組價格由 2.7 美元/Wp 降到 1.4 美元/Wp，降幅達 48.1%，顯示供給面政策的技術的推力、需求面的市場拉力及產業環境的塑造在這時機相當明顯的存在。

從太陽能產業發展的軌跡來看，1954 年美國因為太空競賽研發出太陽能光電電池，經過 1973-1974 第一次石油危機，全球開始注意到太陽能的發展，再經歷二次石油危機，一次核災，太陽能發展的聖火逐漸點燃了，太陽能光電產業穩定的成長，到了 2000 年後因環境的污染、地球的溫室效應，漸威脅著人類的發展，環保意識較高的國家加強立法，獎勵人民應用太陽能及發展太陽能光電產業，在德國成功的太陽能政策帶領下，世界各國陸續仿效，加上京都議定書的締約，太陽能產業因而蓬勃發展，逐漸形成可永續發展的產業。太陽能光電的用途由軍事用途→商業用途→偏遠地區、公共設施等離網發電用途→併網發電和其他發電方式競爭。過程中因太陽能用途日廣、發電量漸增，面對的困境及難題也越來越多，政府政策對太陽能光電的演進，扮演著舉足輕重的角色，因產業演變的需求，政策也隨著改變，從注重產品研發創新的供給面政策，因產品技術漸趨成熟而轉至示範、推廣的需求面政策，進而推出影響層面更廣泛遍及各階層的環境面政策以普及太陽能光電產品。而產品的創新也因技術的演變漸往新一代更具競爭力、更適合大眾需求的產品演進；太陽能產業的政策在演變、技術發展也在演變，政策由早而近的由供給面→需求面、供給面→需求面、供給面、環境面的逐漸演變，技術方面由早而近的由漸進式創新→模組式創新，未來朝向架構式創新及突破式創新發展，而這樣的趨勢及潮流已遍及全球主要國家，且越來越明顯及勢力越來越強。由上述政府政策、技術創新、產業發展三者關係分析得到：

重要發現柒：全球太陽能光電產業政策漸由供給面轉向需求面，技術創新的重心由漸進式移往模組式，且對模組式創新的影響越來越明顯。

第六章 研究結論及建議

本研究為政府政策與技術創新對太陽能產業發展的探討，以美國、日本、德國、中國、台灣等對太陽能產業發展歷程較具代表性國家為研究及討論的範圍。論述政府政策、技術創新及其共同演化對太陽能產業發展的影響，從研究發現及討論結果作一扼要說明，並探討研究結果的管理意涵及對太陽能產業未來發展提出建議。

第一節 研究結論

本研究為質性研究，透過內容分析法探討政府政策，採用 Henderson-Clark 創新矩陣探討技術創新，以共同演化理論研究政府政策、技術創新與產業發展的關係。本研究主要發現：

壹、政府政策對太陽能產業發展的影響

太陽能光電產業最主要用途是轉換太陽光能為電能作為電力使用，在公共電力供電方面現今仍無法和化石能源及核能的低成本競爭，因此政府的激勵措施對太陽能產業在這方面的發展佔有絕對的重要度及影響力。政府透過政策工具對市場供需機制產生改變而促使產品價、量變化進而影響產業的發展。在早期政府政策以供給面政策為主，透過直接參與技術創新過程、合約研究、提供財務及技術資源給企業，進而影響產業的技術創新及市場發展，此期的代表性國家為美國；中期政府政策以需求面為主，供給面為輔，政府透過示範設置，提供安裝補助金，租稅優惠、融資及優惠購電，建立初期市場，帶動企業投資生產、研發創新，此期代表性國家為日本；近期需求面為主，供給面及環境面為輔，但相當均衡，各國政府在這階段除加強推出激勵太陽能產業的政策，也開始注重間接影響產業發展的環境面如關稅、環保稅、公共服務等等環節，此階段代表性國家為德國。對直接影響技術創新的供給面政策在早、中期持穩，近期漸增強。對明顯影響市場成長的需求面政策由早而近明顯增強。對影響產業發展基礎、激勵創新意願的環境面政策，早期較不注重，從中期逐漸推出相關政策，近期發展迅速，漸漸跟上

供給面及需求面政策的腳步。

整體而論，有關太陽能產業發展的政府政策由早而近，越來越均衡，越來越強化的趨勢。

貳、政府政策對技術創新的影響

科技的發展是促進國家建設及社會進步的原動力，也是開創人類文明的泉源，技術的創新會影響市場並為產業帶來劇烈的變革，亦會帶動經濟的成長，提升太陽能產業和其他能源類別競爭力的主要方法為提高光電轉換效率、降低製造成本、創新出更具競爭力的產品等，而這和技術創新有密不可分的關係，產業發展可由市場拉動及技術推動來達成，政府可透過政策機制達到拉動市場及提升技術的目的，太陽能光電產業因尚未達到可獨立永續發發展的階段，政府的激勵政策對太陽能光電產業技術創新的影響更是明顯可見。

一、政府供給面政策(政府的研發創新、民間的研發創新)對元件知識創新的影響層面在基礎研究及應用研究，其影響是直接且強度高，但需長的時間才能看到成果。

二、政府需求面政策中的政府創造需求是透過對產品的需求間接及中強度的影響元件知識的創新，影響的層面以技術開發為主，發酵的時間短，很快可看到成果，隨著影響時間的增長及強烈的市場拉力，影響的層面可能擴及應用研究領域及促成較重要的科技創新。

三、政府需求面政策中的政府鼓勵民間採購是透過人民對產品的需求，間接及中強度的影響元件知識的創新，影響的層面以技術開發為主，發酵的時間短，很快可看到成果，隨著影響時間的增長及強烈的市場拉力，影響的層面可能擴及應用研究領域及重量級廠商的出現。

四、政府環境面政策是間接而低強度的影響元件知識的創新，影響的層面以技術開發為主，發酵的時間短至中，看到的成果比較不明顯。

五、政府供給面政策(政府的研發創新、民間的研發創新)直接影響結構知識創新，

影響層面在應用研究及技術發展為主，其影響強度中偏低，有日漸衰減的傾向，發酵時間為中至短，但成果並不明顯。

六、政府需求面政策(政府創造需求、政府鼓勵民間採購)透過政府直接採購或透過政策優惠人民購買產品或設備，間接影響結構知識創新，影響層面以技術發展為主，其影響強度低，發酵時間為中至短，但成果並不明顯。

七、政府環境面政策(財務金融及租稅優惠、法規及管制性措施)是政府透過租稅、關稅、環保稅、區域規劃、專利、技術規範、公共服務等政策工具，藉由調整經濟與法規環境或改善企業的投資環境，以符合新產品創新的需求，間接影響結構知識創新，影響層面以技術發展為主，其影響強度低，發酵時間為中至長，但成果並不明顯。

在早期政府政策透過供給面政策，由政府及政府資助民間研發影響技術創新，且對漸進式創新產生影響較大；在中期政府的供給面政策持續早期的強度，增強了需求面政策的力度，透過政府對市場的需求及政府獎勵民間的需求帶動市場的成長，形成對技術創新的拉力，而這拉力對正處於技術成長期的模組式創新影響較大；在近期政府在供給面、需求面及環境面的政策明顯的增多，呈現多且均衡的發展，政府政策引導出的市場拉力及技術推力均較以往增強，對模組式創新影響較大外，對突破式創新、架構式創新的影響也日益形成中。

參、政府政策與技術創新對太陽能光電產業的影響

太陽能光電產業的技術肇始於軍事用途，市場發展於能源危機、環境保護，形成於政策的推廣，立足於技術創新。政府政策由早期供給面，中期供給面、需求面，近期的供給面、需求面、環境面，如同由點而線至面，層次分明、漸次加強於太陽能光電產業。太陽能光電產業是一個多重子系統的技術生命週期循環，多技術創新模式的產業，早期的技術發展以發展較早的漸進式創新(單晶矽)為主，中期模組式創新(多晶矽及薄膜)，因成本較低，轉換效率不低而超越漸進式創新產品(單晶矽)成為市場的主流產品，而架構式創新產品也進入發展階段，近期模

組式創新產品仍是市場主流，而漸進式創新產品因進入技術生命週期的成熟期，市場佔有率漸趨下滑，但突破式創新產品(聚光型太陽能光電)開始導入量產。因光電轉換方式的多樣化，技術創新的發展也多重及多樣化，呈現高轉換效率而製造成本不低，低成本而轉換效率不高，各有其應用之處；整體而言產品由漸進式創新往模組式創新發展，也漸往架構式創新產品及突破式創新產品發展，產業研發的方向正朝著低製造成本及高轉換效率的高經濟效益創新邁進。需求面政策提供市場拉力，間接拉動技術創新，環境面政策提供激勵產業發展的基礎架構，也間接提供民間技術創新的有利條件，供給面更直接透過研發創新活動長期、明顯的影響產業創新，而技術創新的成果及趨勢也會回饋而影響政府政策的制訂及方向。兩者單獨的、聯合的、互相纏繞的、互為因果的影響太陽能光電產業。

第二節 管理意涵(建議)

趨勢是不易形成但形成後是不易改變的，太陽能光電產業歷經 40-50 年的演化，形成了作為新一代能源的共識並已努力朝此方向邁進，隨著全球環境的變動仍有不確定的因素影響著太陽能光電產業的發展，根據本研究結果及心得對太陽能光電產業發展提供建議如下。

雖然各國政府透過需求面政策激勵太陽能光電市場的發展，成效也很好，但市場拉力有邊際效用遞減效應及市場依賴性，在市場已形成往普及方向邁進的同時，應加強技術創新，降低製造成本、提高光電轉換效率及創新出更具競爭優勢的產品，使太陽能光電產品和傳統能源競爭時可產生相對優勢。

現有太陽能光電產品保證壽命在 20 年到 30 年之間，應努力提高到 50-70 年之間；太陽能光電發電因初期建置成本太高，加上受限於使用年限，使得單位發電成本無法和傳統化石能源及核能發電競爭，提高太陽能光電系統使用年限可有效降低單位發電成本，如使用年限提高到 50-70 年，發電成本將只有現在的一半，就足以和其他發電種類競爭；另外使用壽命和建築物使用年限相近，建築物整合太陽能光電(BIPV)，因建築物多了發電賺錢的機會，且不用像現在擔心 20-30 年

後，太陽能光電系統面臨拆除或重建的成本再支出及繁複工程的麻煩，將會大受歡迎而普及。

第三節 研究限制及未來研究方向

壹、研究限制

由於本研究所探討的主軸偏向內容分析法、共同演化理論、創新矩陣、政府創新政策工具等，受限於研究方法與資料來源有以下未盡周全及受限之處：

1. 在太陽能產業相關的各國法案搜尋時，雖力求完整，但受限於各國法規繁多、時間、語言、法條解讀、適用範圍等限制，有未盡周全之可能。
2. 研究資料來源大多為次級資料，搜尋的範圍為跨國、跨語言、長期間，早期資料收集不易、資料間的偏誤及統計與整理過程可能存在的誤解，可能造成研究結果的誤差。
3. 受限於研究方法的運用能力及資料收集的完整性，僅就所知進行探討，研究結果完整性可能有所限制。

貳、未來研究方向

本研究主要探討全球太陽能產業主要國家的政府政策與技術創新對太陽能產業發展之影響，但礙於時間及研究範圍太大未對產業競爭情勢及企業策略進行分析及提出建議，後續的先進或可從這方面進行研究，提供太陽能產業發展更多的幫助。

參考文獻

一、中文部分

- George S. Day, David J. Reibstein (2004) 李璞良譯，《華頓商學院—動態競爭策略》(Wharton on Dynamic Competitive Strategy)，台北:商周出版 (2005)(原文於 2004 出版)。
- 方良吉等 (2010)，《2010 年能源產業技術白皮書》，台北，經濟部能源局。
- 王孟傑 (2011) 近期矽晶太陽能電池模組發展方向分析，ITIS 評析。
- 玉石番(1992)，《傳播內容分析法-理論與實證》，臺北:幼獅。
- 朱昭銘 (2009) 〈以技術生命週期分析薄膜太陽能產業趨勢之研究〉，中央大學，碩士論文。
- 何孟穎 (2010)，『太陽能光電市場與產業發展』，*光遠雙月刊*，No. 86，pp14-18。
- 吳銀全 (2006) 太陽能電池產業發展模式與競爭策略，東海大學，碩士論文。
- 吳靜宜、丁蕙萱 (2011)，『國際再生能源現況與政府政策變化趨勢』，*台灣經濟研究月刊*，第三十四卷第七期，pp21-27。
- 呂嘉容、林子晴 (2011)，『無悔的策略-展望再生能源政策發展現況』，*台灣經濟研究月刊*，第三十四卷第七期，pp28-34。
- 李淑宜 (2009) 〈台灣太陽能電池產業經營策略之探討〉，東海大學，碩士論文。
- 李雯雯、王孟傑 (2007)，《薄膜太陽能電池技術發展潛力分析》(ITRIEK-0453-S603(96))，新竹，工研院。
- 林原慶 (2010) 超額報酬宣告落幕—歐洲太陽光電系統市場投資報酬率趨勢析，ITIS 評析。
- 林淑蓮 (2007) 〈整合制度理論與創新採用理論探討號碼可攜服務及其影響〉，東海大學，碩士論文。
- 邱昱芳 (2011)，《太陽能光電製造業基本資料》(17803)，台北，台經院。
- 洪定慶 (2010) 〈開放式創新模式之共同演化行為-以 Skype 為例〉，東海大學，

碩士論文。

徐作聖、邱奕嘉、游朝成、許金涼(2000)，〈跨國性科技政策比較分析之研究-以美、日、韓、中華民國、中國大陸為例〉，2000 中華民國科技管理研討會，台灣，中華民國科技管理學會。

徐作聖等著 (2003)，《產業經營與創新政策》(初版)，台北：全華科技圖書。

徐作聖著 (2003)，《科技政策與企業策略：台灣十大產業發展策略》(初版)，台北：全華科技圖書。

財信出版社編著 (2009)，《新太陽鍊金術》，台北：財信出版社。

財訊出版社編著 (2006)，《太陽鍊金術：透視全球太陽光電產業》，台北：財訊出版社。

馬公勉 (2010)，『日本再生能源政策發展現況與趨勢』，*台灣經濟研究月刊*，第三十三卷第九期，pp76-82。

康志堅、王孟傑、李雯雯 (2008)，《矽晶太陽光電產業低成本化技術展望》(ITRIEK-0453-T709(97))，新竹，工研院。

陳威志 (2009)〈數位匯流趨勢下網路與電信產業之共同演化與創新軌跡〉，東海大學，碩士論文。

陳彥豪 (2005)，『德國再生能源政策與現況』，*科發展與政策報導*，SR9406(2005)，PP636-654。

陳婉如 (2010)，『太陽能光電產業價值鏈移動亞洲成為新決勝點』，*光連雙月刊*，No. 86，pp8-12。

陳曉萍等作 (2008)，《組織與管理研究的實證方法》(初版)，台北：華泰文化。

曾俊洲 (2008)，《太陽能光電製造業基本資料》，台北，台經院。

曾俊洲 (2008)，『台灣太陽能光電產業暨全球相關法規制度(I)-產業分析』，*品質月刊*，第四十四卷第七期，pp54-61。

曾俊洲 (2008)，『台灣太陽能光電產業暨全球相關法規制度(II)-全球相關法規與制度』，*品質月刊*，第四十四卷第八期，pp41-47。

- 馮堉生主編 (2010), 《太陽能發電原理與應用》(1版), 台北: 五南文化。
- 楊淑慧等作 (2006), 《太陽能鍊金術: 透視全球太陽能產業》(初版), 台北: 台北財訊出版社。
- 楊景滄 (2010) 〈創新性產品應用之動態演化分析-以 TFT-LCD 面板產業為例〉, 東海大學, 碩士論文。
- 楊翔如、王孟傑 (2011), 〈2011 年法國太陽能光電補貼政策縮減對市場的影響〉, ITIS 評析。
- 趙麗莉 (2011) 政策工具視角的中國光伏產業政策文本內容分析, 浙江大學, 碩士論文。
- 劉佳怡 (2005), 《兩岸太陽能產業競合策略研究》(ITRIEK-0453-S401(94)), 新竹, 工研院。
- 劉佳怡 (2006), 《從全球價值鏈探討台灣太陽光電產業發展契機》(ITRIEK-0453-S502(95)), 新竹, 工研院。
- 劉佳怡 (2007), 《太陽光電產業發展透析-美國太陽光電政策與產業綜覽》(ITRIEK-0453-C601(96)), 新竹, 工研院。
- 劉婉柔 (2011), 『分析新能源產業之產業關聯與投入產出』, 台灣經濟研究月刊, 第三十四卷第十一期, pp45-60。
- 蕭博文 (2011) 〈管理教育人才培育與業界所需之契合度-以中部大學為例〉, 東海大學, 碩士論文。
- 賴如蘋 (2009) 〈德國能源政策之探討-以開發太陽能為例〉, 東海大學, 碩士論文。

二、英文部分

Andris Piebalgs (2009), Photovoltaic solar energy: development and current research (ISBN 978-92-79-10644-6), Belgium, EU.

Arie Y. Lewin , Henk W. Volberda (1999), "Prolegomena on Coevolution : A

- Framework for Research on Strategy and New Organizational Forms”, *ORGANIZATION SCIENCE*, Vol. 10, No. 5, pp519-534.
- Arie Y. Lewin ,Chris P. Long ,Timothy N. Carroll (1999),“ The Coevolution of New Organizational Forms”, *ORGANIZATION SCIENCE*,Vol. 10, No. 5, pp535-550.
- Arnulf Jäger-Waldau (2007), *Thin Films in the Photovoltaic Industry* (ISBN 978-92-79-08715-8), Italy,JRC.
- Claude Mandil (2006), *RENEWABLE ENERGY:RD&D Priorities*, France, IEA.
- Doug Ruby (2001), *History of the Crystalline Silicon Photovoltaic Cell Research Program at Sandia National Laboratories*, U.S.A. DOE.
- Erik H. Lysen (2000), *Photovoltaic Power Systems Programme Annual Report 2000 Switzerland*, IEA PVPS.
- Gerhard Stryi-Hipp (2004), *The effects of the German renewable energy sources act (EEG) on market, technical and industrial development* ,Paris, Published at 19th European Photovoltaic Solar Energy Conference.
- Gregory F. Nemet (2005), *Beyond the learning curve: factors influencing cost reductions in photovoltaics*, U.S.A., Elsevier .
- Henderson, Rebecca M. and Kim, B. Clark (1990), “Architectural Innovation: the Reconfiguration of Existing Product Technologies and the failure of Established Firms,” *Administrative Science Quarterly*, 35, pp.9-30.
- Jason Anderson, Samuela Bassi ,Emilia Stantcheva ,Patrick ten Brink (2006) ,*INNOVATION CASE STUDY: PHOTOVOLTAICS* , IEEP.
- Justin Baca (2011), *U.S. PV Market*, U.S.A.,SEIA.
- Katie Bolcar, Kristen Ardani (2011), *National Survey Report of PV Power Applications in the United States 2010*, Switzerland, IEA PVPS.
- Lauren Poole, Paul D. Maycock, Ward Bower (2008), *National Survey Report of PV Power Applications in the United States 2007*, Switzerland, IEA PVPS.

Lothar Wissing (2009), National Survey Report of PV Power Applications in Germany 2008, Switzerland, IEA PVPS.

Lothar Wissing (2011), National Survey Report of PV Power Applications in Germany 2010, Switzerland, IEA PVPS.

Masamichi YAMAMOTO, Osamu IKKI (2011), National survey report of PV Power Applications in Japan 2010, Switzerland, IEA PVPS.

Nicola Pearsall (2011), A Strategic Research Agenda for Photovoltaic Solar Energy Technology (ISBN 978-92-79-20172-1), Belgium, EU.

Osamu Ikki, Koji MATSUBARA (2008), National survey report of PV Power Applications in Japan 2007, Switzerland, IEA PVPS.

Osamu Kimura, Tatsujiro Suzuki (2006), 30 years of solar energy development in Japan: co-evolution process of technology, policies, and the market, Paper prepared for the 2006 Berlin Conference on the Human Dimensions of Global Environmental Change.

Paolo Frankl (2010), Technology Roadmaps Solar photovoltaic energy, France, IEA.

REN21 (2011), RENEWABLES 2011 GLOBAL STATUS REPORT, REN21.

Robert Foster (2005), JAPAN PHOTOVOLTAICS MARKET OVERVIEW, New Mexico, U.S.A., Sandia National Laboratories U.S. Department of Energy.

Rothwell R, Zegveld W (1981), Industrial Innovation and Public Policy, preparing for the 1980s and the 1990s, France, 1981.

Ryne P. Raffaele (2010), Photovoltaics : Past, Present, and Future, Florida, NREL.

Stefan Nowak (2001-2011), Photovoltaic Power Systems Programme Annual Report 2001-2011, Switzerland, IEA PVPS.

Stefan Nowak (2011), TRENDS IN PHOTOVOLTAIC APPLICATIONS Survey report of selected IEA countries between 1992 and 2010, Switzerland, IEA PVPS.

Thilo Grau, Molin Huo, Karsten Neuhoff (2011), Survey of Photovoltaic Industry and

Policy in Germany and China, Berlin ,Climate Policy Initiative.

Thomas Nordmann (2006), FEED IN TARIFFS AND BUILDING INTEGRATED PV

(BIPV) CAN WE MAKE IT A WINNING TEAM? Switzerland, TNC Consulting.

Volkmar Lauber, Lutz Mez (2004), “Three Decades of Renewable Electricity Policies

in Germany”, *ENERGY & ENVIRONMENT*, vol. 15 no. 4 (2004), pp599-623.

William MacDougall (2011), The Photovoltaic Industry in Germany, Berlin, Germany

Trade and Invest.

Wim C, Sinke (2009), Today’s actions for tomorrow’s PV technology(ISBN

978-92-79-12391-7), Belgium, EU.

三、網路

AUO , <http://www.auo.com/?sn=51&lang=zh-TW>

BMBF , <http://www.bmbf.de/publikationen/index.php?L=2&T=25&pag=1>

Digitimes , <http://www.digitimes.com.tw/>

DSIRE-SOLAR , <http://www.dsireusa.org/solar/index.cfm?ee=0&RE=0&spf=1&st=1>

EIA , <http://www.eia.gov/>

Energy Trend , <http://www.energytrend.com.tw/>

EPIA , <http://www.epia.org/solar-pv/your-sun-your-energy.html>

Global sources 電子工程專輯 ,

http://www.eettaiwan.com/ART_8800545016_480702_NT_11e6cf68.HTM

http://grb-topics.stpi.narl.org.tw/GRB_TopicService/AnalysisFile/13/82-99年「綠色能

[源」專題研究計畫統計分析.pdf](#)

IEA-PVPS , <http://www.iea-pvps.org/index.php?id=1>

IEK 產業情報網 , <http://ieknet.iek.org.tw/register.do>

NEDO , <http://www.nedo.go.jp/>

NREL , <http://www.nrel.gov/solar/>

REN21 , <http://www.ren21.net/>

SEIA , <http://www.seia.org/>

Solar buzz , <http://www.solarbuzz.com/tw>

工研院-太陽光電科技中心 , <http://www.itri.org.tw/chi/pvtc/>

中國太陽能產業發展現狀與規劃建議 ,

<http://www.newenergy.org.cn/html/0087/730818631.html>

中國光伏產業聯盟 , <http://www.chinapv.org.cn/>

中國新能源網 , <http://www.newenergy.org.cn/>

中華人民共和國 〈太陽能光電建築應用財政補助資金管理暫行辦法〉 , 2009。

http://big5.china.com.cn/policy/txt/2009-03/26/content_17507104.htm

中華人民共和國 〈新能源和可再生能源發展綱要〉 1995 ,

http://law.solidwaste.com.cn/view/id_697

太陽能光電資訊網 , <http://solarpv.itri.org.tw/aboutus/sense/principle.asp>

太陽能電池 ,

<http://zh.wikipedia.org/wiki/%E5%A4%AA%E9%98%B3%E8%83%BD%E7%94>

[http://zh.wikipedia.org/wiki/%E5%A4%AA%E9%98%B3%E8%83%BD%E7%94](http://zh.wikipedia.org/wiki/%E5%A4%AA%E9%98%B3%E8%83%BD%E7%94%E5%B5%E6%B1%A0)

太陽能電池-維基百科 ,

<http://zh.wikipedia.org/wiki/%E5%A4%AA%E9%98%B3%E8%83%BD%E7%94>

<http://zh.wikipedia.org/wiki/%E5%B5%E6%B1%A0>

日本經濟產業省 , <http://www.meti.go.jp/intro/law/ichiran.html>

台經院產經資料庫 ,

http://tie.tier.org.tw/db/article/list.asp?code=IND20-13&ind_type=midind

材料世界網 , <http://www.materialsnet.com.tw/DocView.aspx?id=8362>

拓璞產業研究所 , <http://www.topology.com.tw/TRI/>

染料敏化太陽能電池 ,

<http://www.moneydj.com/KMDJ/Wiki/wikiviewer.aspx?keyid=dc1dc110-eaff-4a2>

[a-8f5b-81f0654aed21](http://www.moneydj.com/KMDJ/Wiki/wikiviewer.aspx?keyid=dc1dc110-eaff-4a2-a-8f5b-81f0654aed21)

經濟部能源局 , <http://web3.moeaboe.gov.tw/ECW/populace/home/Home.aspx>

綠色能源產業旭升方案 , <http://grb-topics.stpi.narl.org.tw>

綠色能源產業資訊網 , <http://www.taiwangreenenergy.org.tw/>

附錄一

壹、太陽能光電技術發展

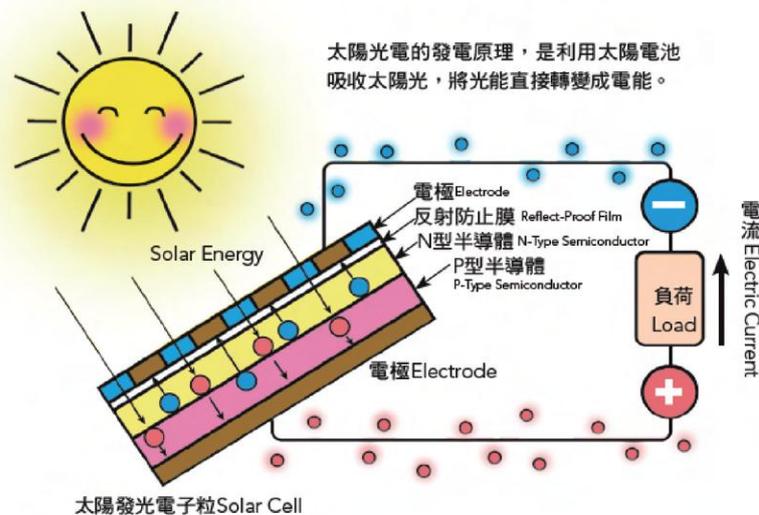
19 世紀發現光電效應(photo-voltaic effect)後，愛因斯坦(Einstein)在 1905 年發表光電效應的理論基礎。太陽能電池之發展始於 1954 年，由美國貝爾實驗室 Chapin 等人發展出矽太陽能電池，當時轉換效率僅約 4%，1956 年製作出全球第一個太陽能電池，由於造價太高(357 美元/Wp)，缺乏業價值。因太空計畫，太陽能電池具有不可取代性，使得它加速開發，1958 年美國將太陽能電池應用在人造衛星，作為人造衛星的電力來源，當時太陽能電池係屬於化合物半導體之單結晶(GaAs)。在 1970 年代全球能源危機後，世界各國開始投入資源進行太陽能研究，並開始將太陽能電池的應用轉移到一般民生用途上，不過由於成本過高，電能轉換率偏低，導致太陽能研發在能源危機解除之後，再度陷入沈寂。期間僅 Carlson 於 1976 年製作出第一個非晶矽薄膜太陽能電池，並使得第二代的非晶矽(a-Si)及多結晶(CdS/CdTe)等薄膜太陽能電池被應用在消費性產品上。

直到 1990 年代，隨著半導體製造技術成熟，生產成本下降，太陽能電池的商用價值才逐漸顯現，許多電力不易輸送或成本過高的偏遠地方，也開始安裝獨立運作的太陽能電力系統。隨著 1990 年代太陽能電池與公用電力併聯之太陽光發電技術逐漸成熟，歐美及日本等各國開始推動太陽能光電補助獎勵，使得太陽能電池逐漸被發展，在 1993 年第七屆國際太陽光電科學與工程會議(PVSEC)中確立太陽光電結合建築的發展構想，於是有建材一體型太陽能電池範本 BIPV(Building Integrated Photovoltaic)的產品推出；歐盟在 2002 年公佈「再生能源發展白皮書」，德國亦於 2004 年通過「新再生能源法修正案」給予太陽能電池業更多補助，使得太陽能光電產業展開光明璀璨的一頁。

一、太陽能光電電池基本構造及系統原理

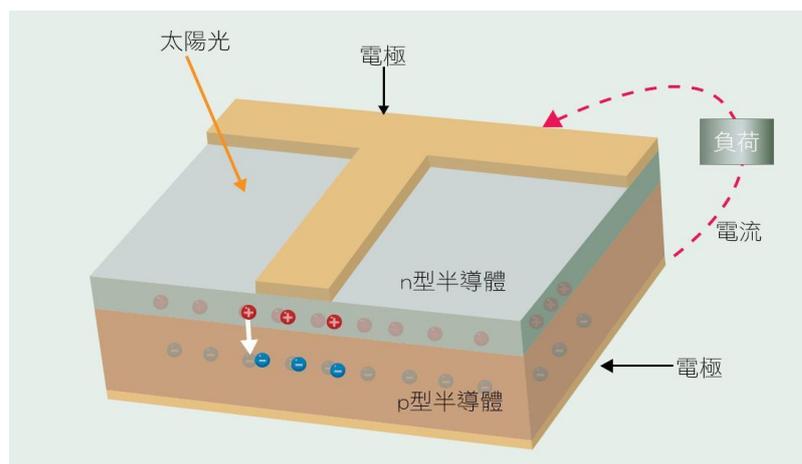
太陽電池(solar cell)發電原理是將太陽光照射在太陽電池上，使太陽能電池吸收太陽光能透過附圖 1-1 及附圖 1-2 中的 p-型半導體及 n-型半導體使其產生

電子(負極)及電洞(正極)，同時分離電子與電洞而形成電壓降，再經由導線傳輸至負載，利用電位差發電，無電磁波產生。簡言之是利用太陽能電池吸收 $0.2\mu\text{m}$ ~ $0.4\mu\text{m}$ 波長的太陽光，將光能直接轉變成電能輸出的一種發電方式。太陽電池產生的電是直流電，若需提供電力給家電或機器，則需經過直/交流轉換器，將直流電轉換成交流電，才能供電至家庭用電或工業用電。



附圖 1-1 太陽光電發電原理示意圖

資料來源：楊舒惠 (2006)



附圖 1-2 太陽能電池結構圖

資料來源：wiki 百科(2007)

二、太陽能光電分類及產品介紹

(一)、太陽能光電分類

太陽能電池技術從 1954 年發展至今已超過 50 年，其技術與材料種類亦具備多樣性，不同材料對於太陽光譜的反應有不同的特性，依材料分類一般可區分為「矽」、「化合物半導體」及「其他材料」等三大類，如附表 1-1

附表 1-1 太陽能電池技術分類及轉換效率發展概況

| 太陽能電池種類 | 半導體材料 | 電池轉換率 | 模組轉換效率 | |
|---------|---------------|-----------------------------|---------|----------|
| 矽 | 單結晶(晶圓型) | 15%~24% | 13%~20% | |
| | 多結晶(晶圓型、薄膜型) | 10%~17% | 10%~15% | |
| | 非晶矽 | a-Si、a-Si/ μ c-Si (薄膜型) | 8%~13% | 5%~10% |
| 化合物半導體 | III-V 族 | GaAs(晶圓, 薄膜型) | 19%~32% | 25%~30% |
| | II-VI 族 | CdS、CdTe、CIGS、CIS (薄膜型) | 8%~17% | 6%~13.4% |
| | 多元化合物 | CuInSe ₂ (薄膜型) | 10%~15% | 7%~10% |
| 其他材料 | 有機物(色素增感型) | TiO ₂ /Dye | 10%~12% | 8%~10% |
| | Carbon 系(塗布型) | - | - | - |
| | Carbon 系(蒸著) | - | - | - |

附表 1-1 太陽能電池技術分類及轉換效率發展概況

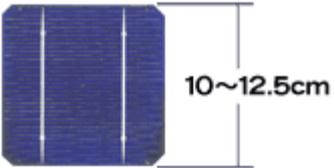
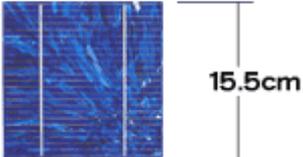
資料來源：OPTRONICS，工研院材料所，國票綜合證券，資策會 MIC，台經院產經資料庫整理(2009)

依產品種類分太陽能電池共有 4 種類型，分別為晶系、薄膜、聚光型、新興材料，其中的前三種都已完全量產。以代數可分成：第一代矽晶、第二代為薄膜、第三代新材料概念(New Concept)、第四代複合薄膜材料，針對電池吸收光的薄膜做出多層結構。晶系(C-Si)太陽能電池採用單晶矽(c-Si)或多晶矽(mc-Si)太陽能

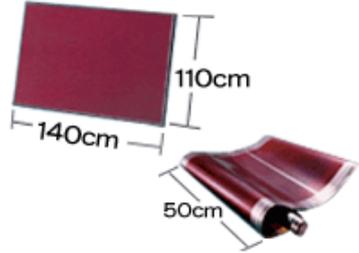
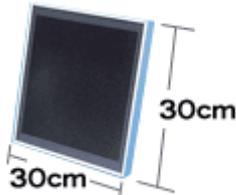
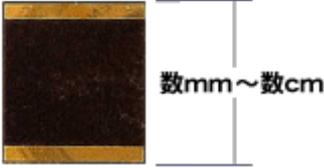
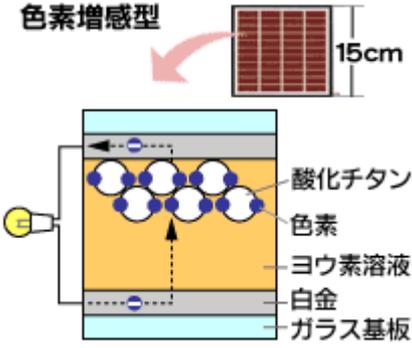
電池，轉換效率可達 24%。薄膜太陽能電池的轉換效率大約介於採用非晶矽太陽能電池的(a-Si)8%，以及採用 II-VI 族材料的 17%之間，採用這種薄膜方式可望為現有製程導入全新或改良的材料，長期看來有機會大幅降低成本。聚光型多接面太陽能電池採用 III-V 族材料是一種直接能隙複合物，它具有最高轉換效率與成本，過去主要用於衛星和軍事應用，通常需要聚光型光學元件與追蹤系統，才可達到 40%以上的轉換效率。最後一類則包括了各種新技術，例如染料敏化薄膜太陽能電池，以及到目前為止轉換效率仍低的有機太陽能電池等等。

目前全球太陽能電池市場係以「矽」為主流產品，所佔比重約 85%~90%，其中電池組轉換效率以單結晶矽、多結晶矽及砷化鎵 (GaAs) 三類較高，轉換效率分別為 15~24%、10~17%及 19~32%，有關太陽能電池技術之分類及轉換效率發展概況如附表 1-1 所示。太陽能電池依產品類別分類為如附表 1-2 所示。依發展的代數來分和依產品類別分有些雷同，不再贅述。

附表 1-2 太陽能電池產品類別及市佔率

| 產品類別 | 市占率 (%) | 圖片 | 產品名稱 |
|-----------|---------|--|-------------|
| 晶系 (C-Si) | 85-90 | <p>單結晶</p>  | 單晶矽 (sc-Si) |
| | | <p>多結晶</p>  | 多晶矽 (mc-Si) |

附表 1-2 太陽能電池產品類別及市佔率(續)

| 產品類別 | 市占率 (%) | 圖片 | 產品名稱 |
|-------------------|------------|---|------------------------------|
| 薄膜 (Thin-Film) | 10-15 |  | 非晶矽(a-Si , a-Si/ μ c-Si) |
| | |  | CdTe |
| | | <p>CIS系</p>  | CIS/CIGS |
| 聚光型 PV(CPV) | 1 | <p>高效率化合物半導体</p>  | CPV |
| 新興材料 | | | 有機電池 |
| | | <p>色素増感型</p>  | 染料敏化電池 |
| | | | 奈米矽電池 |

資料來源:圖片來源日本 NEDO，百度。本研究整理

(二)、太陽能光電產品介紹

1、晶系

(1)、單晶矽

單晶矽的組成原子按照一定的規則、週期性地排列，製作方法是把矽材料（純度為 99.99999999%，11 個 9）熔融於石英坩堝中，然後把晶種插入液面，以每分鐘 2-20 轉的速率旋轉，同時以每分鐘 0.3-10 毫米的速度緩慢的往上拉引，可形成一直徑 4 ~ 8 吋單晶矽棒。用單晶矽製成的太陽電池，光電轉換效率高且性能穩定，壽命長，效率不易衰退，但生產時需耗用大量高純度矽材料，而高純度矽材料製作相當耗能且有環保疑慮，成本甚高，另外矽晶棒成圓柱型，切割成太陽能光電電池時，不是成圓形就是有圓弧的方形，材料耗損多，成本較高，目前廣泛應用於太空及陸地上，主要市場為安裝面積有限，講究轉換效率的家庭屋頂市場。

(2)、多晶矽

多晶矽的矽原子堆積方式不只一種，它是由多種不同排列方向的單晶所組成。多晶矽是以熔融的矽鑄造固化而成，因其製程簡單，成本較低。多晶矽太陽能光電具單晶矽電池的高轉換效率、長壽命及沒有明顯效率衰退問題且製造相對簡單於單晶矽，成本也相對較低，加上電池到模組封裝製程中的輸出損失較單晶矽太陽能電池少，因此得以獲得市場的青睞，成為太陽能市場主流產品。目前全球太陽能電池的生產方式係以多晶矽為主，目前發展出的熱門多晶矽製程主要有三類，包括傳統西門子(改良式西門子)、流體床反應爐及冶金級矽提煉，各製程均各具特點，但亦均有爭議之處，如傳統西門子法，雖然製出的太陽能電池具有較高的轉換效率，不過確有耗電量大、製程成本高以及新加入者較無處理副產品的能力，易造成環境污染等問題，有關三類製程之詳細比較，如附表 1-3。

附表 1-3 多晶矽製程比較表

| 製程法 | 傳統西門子法 | 流體床反應爐 | 冶金級矽提煉 |
|---------------|---|---|--|
| 代表廠商 | 美國 Hemlock、挪威 REC、日本 Tokuyama、美國 MEMC 及德國 Wacker 等七大老字號多晶矽廠 | 美國 MEMC 最具代表性。REC、Wacker | 挪威 Elkem、日本 JFE、美國道康寧 Dow Corning、新日本製鐵 (Nippon Steel) |
| 提煉純度 | 99.999999999% (即 11 個 N) | 9 個 N 以上 | 5~6 個 N |
| 缺點 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 製程成本高。 2. 新加入者較無處理副產品的能力，反易造成環境污染。 3. 化學製程，不管生產經驗多久都有化學元素不穩定影響製程的威脅。 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 新加入者的製程成熟度仍不足，無法及時彌補市場缺料的問題。 2. 短期內成功率仍受部分人士質疑。 3. 化學製程，有化學元素不穩定影響製程的威脅。 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 成熟度仍不足。 2. 因純度限制導致產出的太陽能電池恐難突破 15%。 3. 仍無實際的經驗值證明該料源所產出的產品可保證 15~20 年的壽命。 |
| 特性 | 製出太陽能電池轉換效率最高，且會產生 HCL 有毒氣體、耗電量大、純度最高 | 符合太陽能電池高轉換效率的要求，且可連續生產，生產成本較低 | 太陽能電池要突破 15% 轉換效率有相當門檻，且純度偏低、單位生產成本最低 |
| 主要原料 | SiHCl ₃ | SiH ₄ | 冶金矽 |
| 製造成本 美元/kg | 30~40 | 20~30 | 10~20 |

資料來源：電子時報，元富證券，台經院產經資料庫(2008)。本研究整理

(3)、晶系太陽能產品製程

太陽能光電業主要可區分為上游矽材料、矽晶圓，中游太陽能電池及下游太陽能模組及系統裝置等產品，各產品之製程均有差異。

矽晶圓生產製程如下：

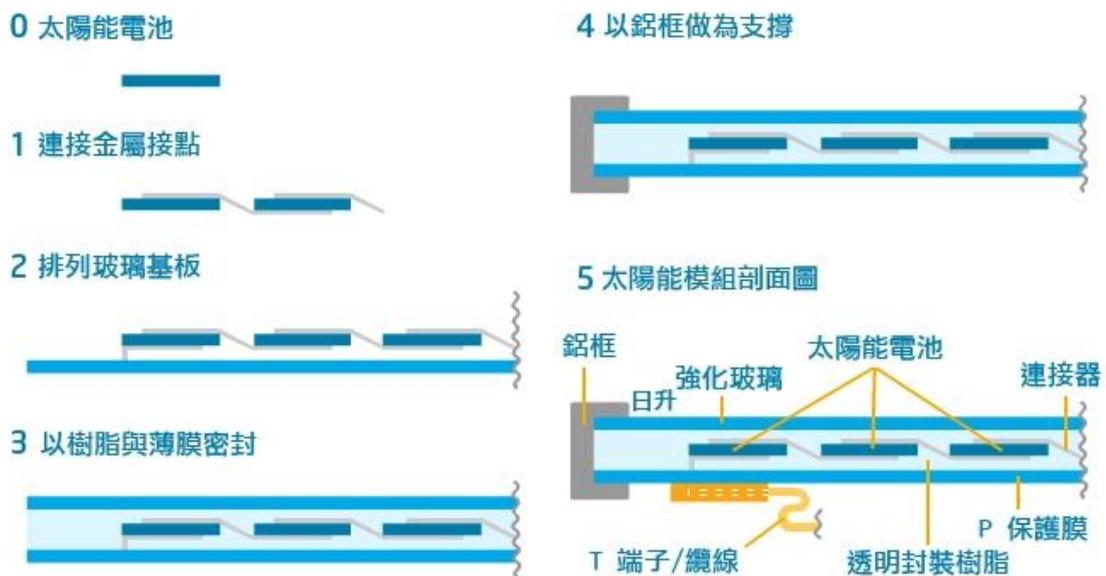
矽原料→長晶→切斷→切方→研磨→切片→粗晶片預洗→粗晶片清洗→檢驗→成品包裝

太陽能電池生產製程如下：

晶圓→表面金字塔化→擴散→鍍膜→網印電極→效率測試→目檢→包裝入庫

太陽能模組生產製程：

把晶片(或切割後)焊上箔條導線，再將焊好的晶片用箔條串聯成一組，再和 EVA，tedlar 與低鐵質強化玻璃層疊，一同放入層壓機做真空封裝製成模組。整個流程如附圖 1-3。



附圖 1-3 結晶矽太陽能電池的製作流程

資料來源:AUO 太陽能技術介紹(2011)

2、薄膜

薄膜太陽能電池之原料不受限制取得較容易、製程成本低以及其產品特性非常適合與建材結合，薄膜技術可以在不同的基板，如玻璃、金屬薄片、塑膠基材、陶瓷等上面製作硬式或軟式等較多元化的太陽能電池模組，故對於終端應用市場的開展有所助益。在各項薄膜太陽能電池的技術類型中，以實驗室單一電池最高轉換效率而言，CIGS、CdTe 及 a-Si/u-Si 轉換效率可分別達到 20.4%、16.5%、12.5%；而太陽能模組的轉換效率則以 CIGS 模組的 13.4% 居冠、CdTe 模組以 10.9% 居次，a-Si/u-Si 模組的 8.2% 最低。多數量產薄膜太陽電池轉換效率仍無法與晶矽太陽電池抗衡，但是其低製造成本仍然使其在市場有一席之地。薄膜太陽能優缺點如附表 1-4。

附表 1-4 薄膜太陽能產品的比較

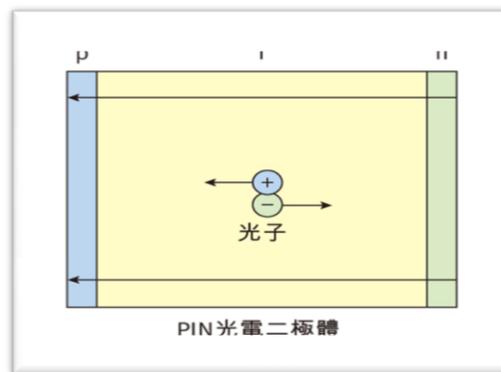
| 太陽能技術 | 實驗室最高轉換效率 | 模組最高轉換效率 | 優點 | 缺點 |
|--------------------|-----------|----------|--------------------------------------|---------------------|
| 碲化銅鎳鎳 (CIGS) | 20.4% | 13.4% | 薄膜技術中轉換效率最高 可用於軟性基材 產能高 成本低 | 無標準化製程技術 製程技術門檻高 |
| 非晶矽 (a-Si) | 9.5% | 8.2% | 適用於 BIPV 累積較多的發電量 | 效率最低 具光衰退性 |
| 非晶/微晶矽 (a-Si/u-Si) | 12.5% | | 容易量產和製造大面積 | 設備與製程費用較高 |
| 碲化鎘 (CdTe) | 17.3% | 10.9% | 成本低 製程容易複製 | 碲化鎘具毒性 效率提升緩慢 |

資料來源：工業材料雜誌(2009)，工研院 IEK(2010)，台經院產經資料庫(2010)。

本研究整理

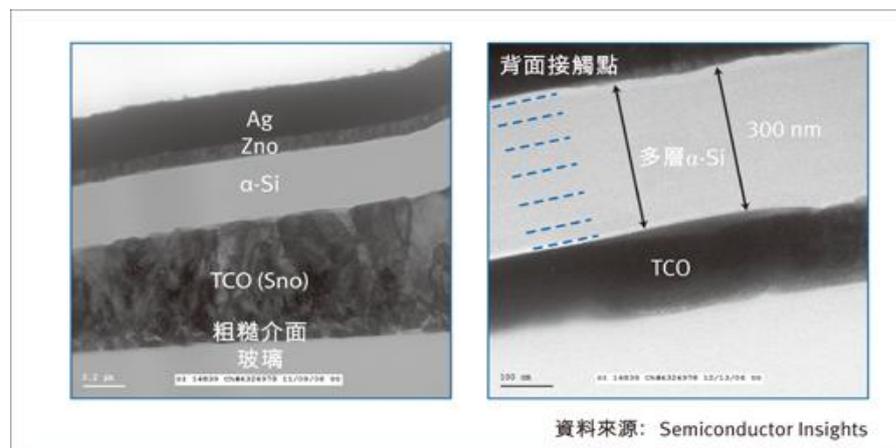
(1)、非晶矽(a-Si)

非晶矽乃是指矽原子的排列非常紊亂，沒有規則可循，一個薄膜 α -Si 電池包含一個 p 型薄層、一層厚的無摻雜層和較厚的 n 型層。來自 n 層的過剩電子被摻雜於 p 層中，構成了一個電場。如附圖 1-4、附圖 1-5。一般非晶矽是以電漿式化學氣相沈積法，在玻璃等基板上成長厚度約一微米($1\mu\text{m}$)左右的非晶矽薄膜。非晶矽對光的吸收性比矽強約 500 倍，只需要薄薄的一層就可以把光子的能量有效地吸收，不需要使用昂貴的結晶矽基板，可用較便宜的玻璃、陶瓷或是金屬等當作基板，如此不僅可以節省大量的材料成本，也使得製作大面積的太陽電池成為可能（結晶矽太陽電池的面積受限於矽晶圓的尺寸）。



附圖 1-4 a-Si 太陽能 PIN 光電二極體

資料來源:semiconductor insights



資料來源: Semiconductor Insights

附圖 1-5 α -Si 太陽能電池的 TEM 剖面圖。

資料來源:Semiconductor Insights (2007)

薄膜太陽能光電發展已超過30年，最早商品化的矽薄膜太陽能電池使用在計算機、手錶等商業化產品為主。就a-Si/u-Si技術方面，過去a-Si技術備受青睞，認為承接矽晶圓的發展經驗，加上穩定的材料來源，有機會取代部分的c-Si模組，但隨著晶矽模組價格的大幅下降，a-Si材料本身特性將導致模組效率偏低以及光衰退性使得模組效率容易下降，製程設備成本相當的高，一條生產線動輒上億美元，昂貴的初始建置成本成為投入此項技術的廠商面對的難題。

(2)、碲化鎘(CdTe)

此類型薄膜光電池在薄膜式光電池中歷史最久，在1982年時Kodak首先做出光電效率超過10%的此類型電池，目前實驗室達成最高的光電效率是17.3%，關於CdTe電池的薄膜，目前已有多種可行的方法，其中電流沉積法是最便宜的方法之一，同時也是目前工業界採用的主要方法。沉積法操作時溫度較低，所耗用碲元素也最少。CdTe太陽能光電在具備上述許多有利於競爭的因素下，但無法成為市場主流原因下：

1. 模組與基材材料成本太高，整體CdTe太陽能光電材料佔總成本的一半，其中半導體材料只佔約5.5%。
2. 碲蘊藏量有限，無法應付全部倚賴此種光電發電所需。
3. 鎘的毒性，使人們無法放心的接受此種發電方式。

隨著發展CdTe技術的美國太陽能大廠First Solar大放異彩，使得CdTe技術備受市場矚目。雖然模組效率僅10.9%，但就成本而言，First Solar已經達到每瓦低於0.8美元的門檻，並朝向每瓦0.5美元的目標前進，希望能快速達到市電併聯上網的需求。CdTe太陽能電池最為人詬病的就是鎘(Cd)本身是一種有毒材料，存在污染問題，為解決此問題，First Solar已提出完整的回收機制，透過提撥回收基金給第三者的作法，但未來此回收機制能否被接受，將成為影響CdTe技術未來發展的關鍵。

(3)、銅銦(鎳)硒(CIS/CIGS)

CIGS 太陽能電池是由數種元素組合之後而具有半導體特性的材料所構成，在 CIS 中部分鎵 (Ga) 取代銦 (In) 可以調變能隙並提高電池性能，即為銅銦鎵硒太陽能電池 (Cu(Ga, In)Se₂、CIGS)。理想的太陽材料之吸收能隙介於 1.3 - 1.5 eV，而隨著銦鎵比例不同，銅銦鎵硒材料吸收範圍約在 0.98 - 1.68 eV，與太陽頻譜有相當好的重疊部分，且亦為吸收範圍最廣之材料。現階段技術種類大致可分為真空與非真空製程兩類，真空製程以共蒸鍍及濺鍍為主，非真空製程則又有電鍍或以印刷塗佈各式化合物漿料等方式，其中以真空製程發展較早，技術較成熟，所發表的轉換效率亦較高，短期內仍為商業化量產上主要的製程技術，但非真空製程技術卻擁有低生產成本、大面積生產以及有較高生產良率的優勢。銅銦鎵硒太陽能電池之優勢在於：

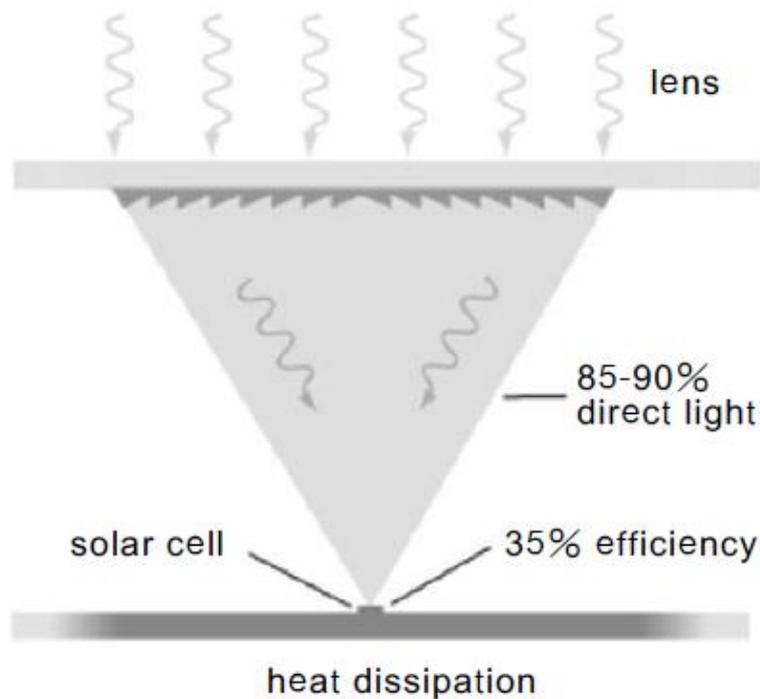
1. 具有目前薄膜太陽能電池中最高之轉換效率 (20.4 %)，效率已接近主流之矽晶圓太陽能電池 (25 %)。
2. 比其它非晶矽薄膜太陽能電池材料具有更高的穩定性，即無光衰退之問題。
3. 生產成本低，由於高吸光係數，可大幅降低所需之膜厚，且可採用一般建材使用之鈉玻璃，而不需使用超白玻璃或是導電玻璃，也可在可撓式軟性基板上生產的能力。

CIGS 雖然在現階段擁有轉換效率較高的優勢，產品應用範圍較廣，2010 年產量為 413MWp，但製程技術尚未標準化，製程技術門檻高，幾乎所有的廠商都是客製化機台，限制產能規模的擴充，初期投資金額相對龐大，因此反映在成本仍居高不下，即便 CIGS 薄膜太陽能電池具有降低成本潛力的優勢，在量和價的限制下 CIGS 短期要大量生產不易。

3、聚光型 (CPV)

聚光型太陽光電系統 (concentrating PV system; CPV) 是利用透鏡進行折射或反射將陽光聚焦在太陽能電池上進行發電。聚光型太陽能發電系統是聚光型太陽能電池、光學系統與太陽光追蹤器的組合，採用 III-V 族材料的聚光型多接面太

陽能光電是一種直接能隙複合物，主要材料是砷化鎵(GaAs)，透過多接面化合物半導體可吸收較寬廣之太陽光譜能量，目前已發展出三接面 InGaP/GaAs/Ge 的聚光型太陽電池可大幅提高轉換效率，平均電池的轉換效能已高達 36%~43.5%，模組化後尚有 22~25%，而且聚光型太陽能電池的耐熱性比一般矽晶太陽能電池來的高，它具有最高轉換效率與成本，最初主要用於衛星和軍事應用，通常需要聚光型光學元件與精密的追蹤系統，才能達到 40%以上的轉換效率，聚光構成如附圖 1-6。



附圖 1-6 聚光型太陽能光電聚光構成圖

資料來源：Solar Tec International AG

聚光型太陽能光電(CPV)主要是以使用玻璃、鋁材為主，對於半導體材料的使用相對非常少，但 CPV 加上追蹤系統後，成本比單晶矽光電系統高很多，目前無法對主流的結晶矽太陽能電池造成威脅，且 CPV 與傳統太陽能發電鎖定的應用領域不同，說明如附表 1-5，CPV 較適合大規模集中應用，如發電廠，而單晶矽太陽能光電則用於住宅屋頂較多。CPV 系統可運用不規則、高低等排列方式，用地面積可較少，模組下方種植作物或綠化，適合在高溫、乾燥、日照充足之地。最近逐

漸在南歐、中東、中國、印度、非洲和美國等地的太陽能電廠建置案中嶄露頭角，極具市場潛力。

附表 1-5 聚光型模組和單晶矽模組比較表

| | 聚光型模組(CPV) | 單晶矽模組 |
|----|---|--|
| 優點 | <ul style="list-style-type: none"> ▪ 半導體原料使用較少，無缺料問題 ▪ 鎖定大型發電 ▪ 電池效能可達 40% | <ul style="list-style-type: none"> ▪ 產品技術成熟 ▪ 住宅屋頂滲透率高 ▪ 電池效能可達 25% |
| 缺點 | <ul style="list-style-type: none"> ▪ 大規模才可降低生產成本 ▪ 加上追蹤系統成本變高 ▪ 降價空間大 | <ul style="list-style-type: none"> ▪ 原料可能缺乏 ▪ 晶片厚度仍需再減薄 |

資料來源：新電子雜誌(2011)。本研究整理

美國能源部(DOE)評估資料顯示，聚光型太陽能光電系統在聚光倍率達 1,000 倍、太陽電池效率為 40%時，系統的建置成本將有機會降至約 1 美元/Wp，且用地成本較省，具市場競爭力。

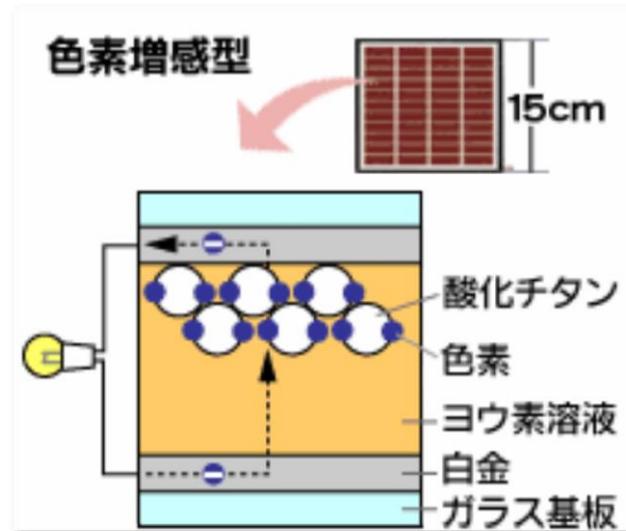
4、新興材料

新興材料有染料敏化薄膜太陽能電池(Dye-sensitized solar cell, DSSC)，以及到目前為止轉換效率仍低的有機太陽能電池等。

染料敏化太陽能光電是第三代的奈米薄膜太陽能電池，優點在於原料成本低、製程容易與製程設備簡單，未來可降低太陽電池發電成本至 US\$0.2/Wp 以下，為所有太陽能電池中製作成本最低者，僅約傳統矽基材料太陽電池成本的 1/5 - 1/10。DSSC 因材料便宜、可在低溫、簡單的製程製作，且具備可撓性、多彩性與可透光性等特性，應用範圍廣泛。其擁有半透明特性，因此適合建材化作為建築窗材，且 DSSC 可用一般室內光線即可充電，可作為 3C 產品電池的輔助商品，適用於可攜式電子產品等用電量較小的產品，結合紡織品採用衣物塗佈方式作為隨身發電

使用，市場商機潛力龐大。

染料敏化太陽電池是由基板(玻璃或薄膜基板)、透明導電膜、半導體膜(光電極 TiO_2)、染料、電荷輸送材(電解質、溶劑)，和鉑觸媒之相對電極等所構成。如附圖 1-7。



附圖 1-7 染料敏化太陽能光電構造及原理

資料來源：日本 NEDO

染料敏化太陽能電池與晶系太陽能電池的比較優勢：

1. 製程容易、成本低。
2. 30°C 以上高溫電力輸出較高，低光量仍有高轉換效率。
3. 可接受日照光譜範圍大，模組兩面皆可吸收光線，有利吸收散射光。
4. 入射光角度對轉換率影響較小。
5. 具有透明性可使用於窗戶，模組顏色可改變。
6. TiO_2 材料的物理、化學性質穩定，且無毒性、較無環境污染。
7. 可製成可撓式模組。
8. 具大尺寸量產潛力。

DSSC 缺點：

1. 轉換效率比晶系太陽能電池低。
2. 染料激發態壽命不夠長，光電轉換效率低。

貳、太陽能光電發電系統的運用

一、太陽能光電發電系統介紹

(一)、太陽能光電系統的組成和工作原理

太陽能光電發電系統是把太陽光能直接轉化為電能的一種發電系統裝置。主要由太陽能模組方陣、蓄電池組、太陽能控制器、直流—交流轉換器、交流配電設備等組成，不同的運用方式組成略有不同。

太陽能發電系統的主要設備：

1. 太陽能模組方陣：太陽能模組方陣是由太陽能模組串聯或並聯而成，主要功能為光電轉換，是太陽能光電發電系統的核心元件。
2. 蓄電池組：以鉛酸蓄電池作為儲能裝置，用來儲蓄太陽能發電系統轉換出來的電能。
3. 太陽能控制器：實現整套系統充、放電等的控制，當蓄電池電量充滿時自動切斷太陽能電池大電流充電，改為涓流充電，當蓄電池電量不足時報警並切斷輸出，提供過充、過放保護。
4. 轉換器：是將直流電轉換為交流電的設備。太陽電池方陣產生的一般為 12VDC、24VDC、48VDC 直流電。當輸入電壓為交流電時則需要轉換器來轉換為 220V 或 110V 電壓工作，當負載功率超過額定功率或輸出端短路，轉換器會自動保護電路。

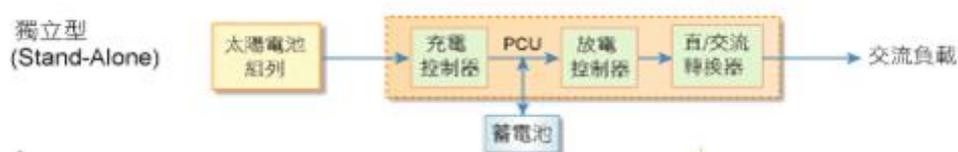
太陽能光電供電系統的基本工作原理就是在太陽光的照射下，將太陽能光電元件產生的電能通過控制器的控制充電至蓄電池或者是直接給負載供電，日照不足或者在夜間則由蓄電池在控制器的控制下供電給直流負載，對於交流負載需要用逆變器將直流電轉換成交流電。太陽能光電發電系統的應用形式多種，其基本原理大同小異。

(二)、光電系統的分類與介紹

一般將太陽能光電發電系統分為獨立系統、併網系統和混合系統。

1. 獨立型(Stand-Alone)太陽能光電發電系統

使用蓄電池，白天太陽能光電系統發電並供電給負載及充電，夜間由電池供電，可以自給自足，適用於高山、離島、基地台…等市電無法到達處。系統圖如附圖 1-8。

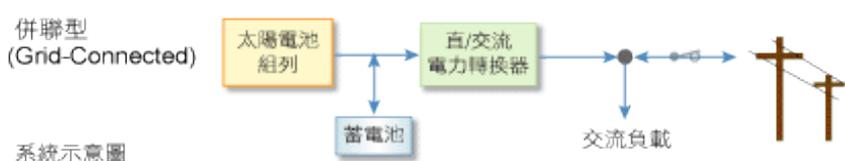


附圖 1-8 太陽能光電獨立型發電系統圖

資料來源:太陽能光電資訊網(2012)。本研究整理

2. 市電併聯型 (Grid-Connected) 太陽能光電發電系統

與市電負載併聯，平時太陽光電發電系統發電並提供電力給負載，將市電電力系統當作一個無限大的蓄電池，不夠的電時由電力公司供電。適用於電力正常送達之任何地點。系統圖如附圖 1-9。

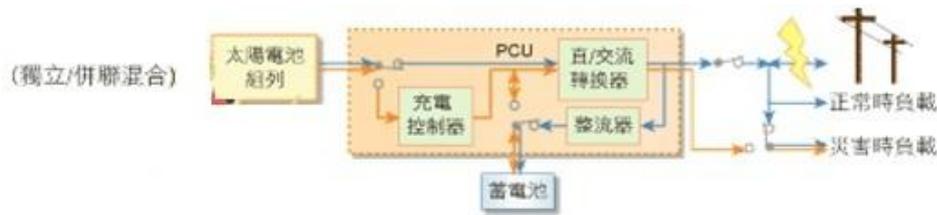


附圖 1-9 太陽能光電併聯型發電系統圖

資料來源:太陽能光電資訊網(2012)

3. 混合型太陽能光電發電系統

混合型太陽能光電系統為和市電及蓄電池供電搭配使用；平時太陽能光電系統併聯發電，供應負載用電及蓄電池充電，夜間由電力公司供電，蓄電池保留電力，以備不時之需。當刮颱風、下大雨，電力中斷時，蓄電池有足夠電力安排救災，等待市電回復。適用於有防災需求(照明、汲水、通信…)之公共設施，如附圖 1-10。



附圖 1-10 太陽能光電混合型發電系統圖

資料來源:太陽能光電資訊網(2012)。本研究整理

二、太陽能光電發電系統之優勢、效益及應用實例

(一)、太陽能的特色及優勢

太陽是地球生生不息能量，取之不盡，用之不竭的天然來源。太陽能電池發電特色及優勢有：

1. 太陽能光電系統可將光能直接轉換成直流電能使用。
2. 使用時安靜，沒有轉動件與噪音，安全性高、操作簡單。
3. 具彈性設計空間，可因環境、地形的不同，做不同的規劃設計，具空間彈性運用能力，較不受地理、地形的限制。
4. 應用廣泛，小至消費性產品-如手錶、計算機，大至發電廠；可獨立使用，也可和其他電力系統併聯使用；可用於邊遠地區，也可用於城市中。
5. 系統設備使用年限長，太陽能電池因沒有轉動件，不易磨損，矽材料不易氧化，使用壽命可長達 20 年以上，而且使用壽命有更長的可能。
6. 使用過程環保、無需人為提供能源、無廢棄物和污染。
7. 可與建築物結合，提供建築物所需電力及降低建築物熱效應。

(二)、太陽能光電發電系統效益

1. 經濟效益(降低偏遠、離島用電成本，緊急用發電簡易化，獨立、併聯發電回收投資成本獲取投資效益)。
2. 環保及安全效益(降低化石燃料發電之 CO_2 、 NO_x 、 SO_x 污染，避免核能發生災害威脅人類生命安全)。

3. 節能效益(以自然能源替代化石燃料、減少地球資源的耗用，建立自主永續的能源)。

4. 產業效益(建立太陽能光電產業，帶動周邊產業發展及提供就業機會)。

(三)、太陽能光電發電系統應用實例

應用領域非常廣泛實例如下：

1. 民生-手錶、計算機、太陽能照相機、手電筒、電池充電器、野營燈、家電等民生消費品。
2. 道路、交通-路燈、交通號誌、道路指示牌、高速公路緊急電話、偏遠道路緊急電話、停車計時器、停車場控制門系統、太陽能車、太陽能飛機、平交道指示燈、候車亭發電系統、車站屋頂型發電系統。
3. 農林漁牧醫-農宅用電、溫室栽培發電系統、農業抽水用、自動灑水系統、漁業養殖揚水通氣。
4. 通訊-無線通信、中繼站基地台、緊急電話站、電話通信發電系統、無線電受信發電系統、微波中繼站發電。
5. 建築物-住宅用供電系統、緊急供電及緊急照明系統、帷幕牆、遮陽棚、採光罩、花園路燈、屋頂發電系統。
6. 產業用-輸油管流量計發電系統、市場廣告塔供電、海上石油平臺供電、各種計測站發電系統。
7. 緊急防災-勤務指揮中心、緊急避難所、醫療院所、公園、學校、地震觀測站、森林瞭望台、避難指示燈、氣象觀測所、水位警報發電系統、河川安全燈、防波堤安全燈用電。

(四)、建築物整合太陽能光電系統(BIPV)

建築物整合太陽能光電系統 (Building-integrated photovoltaic BIPV) 是使用太陽能光電材料取代傳統建築材的一種應用方式，使建築物本身成為一個大的能量來源，而不必用外加方式加裝太陽能光電模組，因為在設計階段就考量，

所以發電率和成本比值最佳，天窗和外牆是通常最大的接光面。可以部分或全部供應建築用電，現有建築也可能用改裝方式成為 BIPV 建築，最大好處是太陽能光電模組價格可以攤進原始建築材料，安裝成本也可以算進建築工事中，從而降低使用太陽能的成本，而且在設計階段就納入太陽能，可以使接光率提高並且兼具美觀因素，這些因素使 BIPV 成為成長快速的太陽能產業應用。

目前 BIPV 主要應用範圍：

- (1)大樓帷幕牆或外牆。
- (2)大樓、停車場的遮陽棚。
- (3)斜頂式屋頂建築之屋瓦。
- (4)大型建築物屋頂/隔音牆等。

在地狹人稠與土地價格昂貴的地區，BIPV 是解決土地設置成本過高與整合發電設備與建物外觀的最佳解決方案，相對於現有裝設太陽能電池模組的方法其所帶來的優點有：

1. 可有效利用建築物的表面積。
2. 替代建築物的牆面、窗戶及屋頂等外表材料。
4. 可遮陽，降低建築物外表溫度。
5. 降低整體建築成本。
6. 建築物外觀較美觀等。

應用缺點：

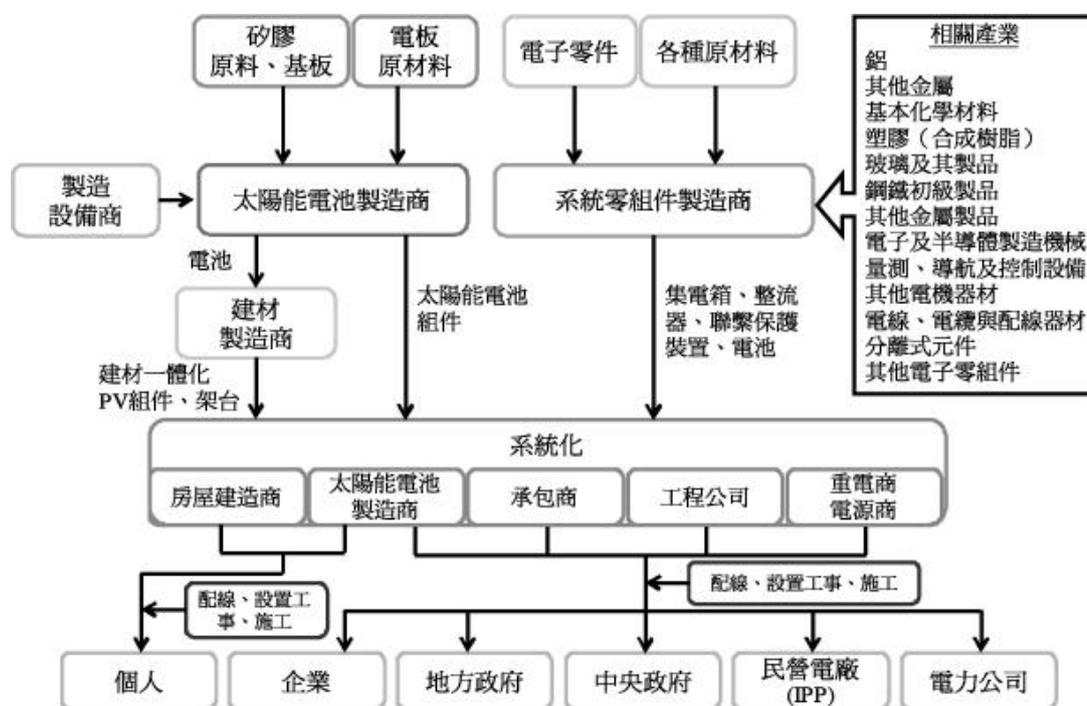
1. BIPV 的日照時數與轉換效率，會因為受限於建築物外牆或頂樓地板的位置及方向而有所降低。
2. 建物外觀的形狀與顏色會受到 BIPV 原先形狀與顏色的限制。
3. 太陽能光電發電模組的使用壽命比建築物的壽命短，會有更新或拆除的問題。
4. 會受各國相關法規(如結構強度、安全性等)的牽制，修法有時曠日廢時影響 BIPV 的發展。

有些國家有獎勵措施提供額外補助來推廣 BIPV，饋電價格比安裝其他太陽能電系統多，法國補助最高將近多 0.25 歐元/kWh，德國多 0.05 歐元/kWh（只有外牆）。

叁、太陽能光電產業的成本結構分析

一、產業關聯性(製造階段)

太陽能光電產業從原材料取得，經上、中、下游的製造安裝，最後到消費者手中，經歷的相關產業相當的多，太陽能光電發電的普及將對許多產業帶來關聯效果，促進相關產業發展，增加就業人數。如附圖 1-11。

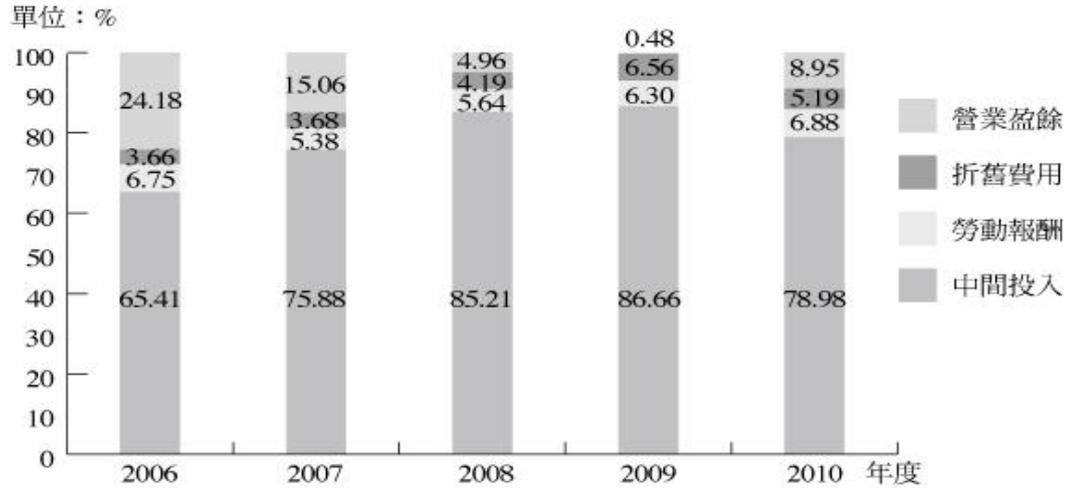


附圖 1-11 太陽光電產業的產業關聯圖

資料來源:台經院(2011)

二、附加價值分析

附加價值率為營業盈餘比重加上折舊費用比重在加上勞動報酬比重。在台灣太陽能光電產業整體的附加價值逐年的下降的趨勢，其中影響附加價值最明顯的是中間投入佔比的高低，中間投入高則附加價值降低，最近幾年中間原料佔比大都維持在七成以上。如附圖 1-12。



附圖 1-12 2006~2010 年台灣太陽光電整體產業中間投入率與附加價值率

資料來源：台經院(2011)

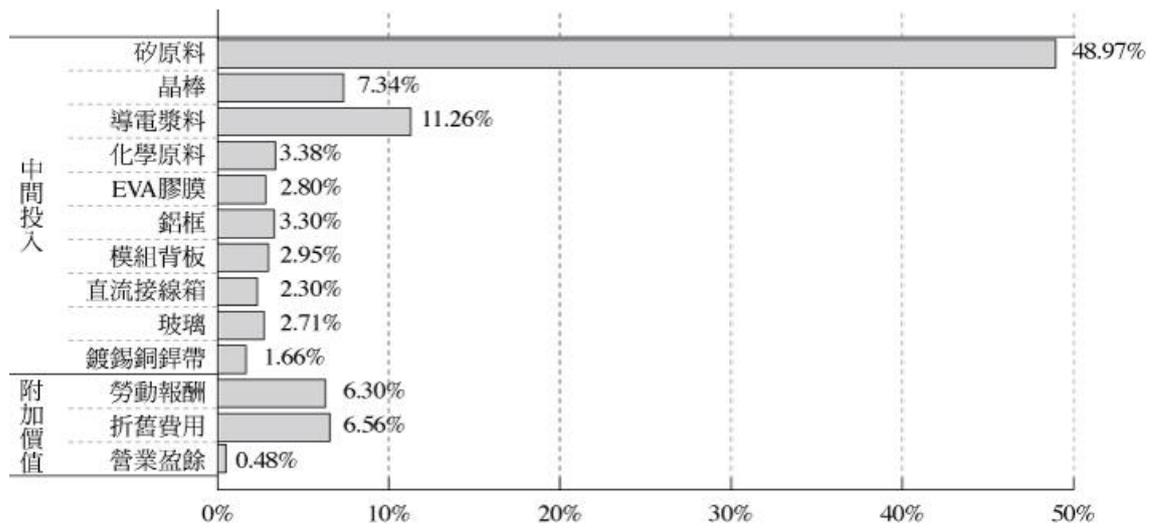
三、成本分析

由製造階段產業供應鏈上中下游的中間投入佔比數據顯示，矽材料及其加工品佔各製造階段的成本相當的高，分別是上游100%，中上游79.37%，中下游81.86%，下游系統安裝時為44.6%，如附表1-6。經由將產業供應鏈中間投入佔比分析中的生產原物料佔比，帶入附加價值分析表中的中間投入佔比，可得知矽原料在整個產業供應鏈中價格的佔比相當高為48.97%，如附圖1-13。可知對晶系產品而言提高光電轉換效率及降低太陽能光電電池的製造成本是增加競爭力的重要關鍵。

附表 1-6 台灣 2009 年太陽光電製造階段主要生產材料投入結構

| 上游矽晶圓 | | 中、上游太陽能電池 | | 中游下太陽能電池模組 | | 下游太陽光電系統與應用 | |
|-------|-------|-----------|-------|------------|-------|-------------|-------|
| 生產原材 | 比重 | 生產原材 | 比重 | 生產原材 | 比重 | 生產原材 | 比重 |
| 矽原料 | 86.96 | 晶片 | 79.37 | 太陽能電池 | 81.86 | 太陽能電池模組 | 44.64 |
| 晶棒 | 13.04 | 導電漿料 | 15.87 | EVA 膠膜 | 3.24 | 支撐與結構物件 | 13.24 |
| | | 化學原料 | 4.76 | 鋁框 | 3.81 | 配電材料 | 7.51 |
| | | | | 模組背板 | 3.40 | 設計及施工 | 16.00 |
| | | | | 直流接線箱 | 2.66 | 轉換器 | 6.70 |
| | | | | 玻璃 | 3.13 | 監控系統 | 11.90 |
| | | | | 鍍錫銅鐸帶 | 1.91 | | |

資料來源：台經院(2011)



附圖 1-13 台灣 2009 年太陽光電產業鏈價格組成

資料來源：台經院(2011)

附錄二

壹、美國太陽能產業發展的政府政策

美國在 1972 年制定了「新能源開發計畫」，1974 年制定了「陽光計畫」，1978 年美國國會通過「公用事業管制政策法」(Public Utilities Regulatory Policy Act；PURPA)，太陽能開始受到注意。1990-1997 年，因聯邦政府法令遲未通過，而又再度發展受到限制。1997 後聯邦或各州政府則又積極立法保障太陽能的發展，例如聯邦政府通過再生能源的投資減稅方案，部分州政府採用淨計電量法(Net metering)，或保障再生能源發電比例的配額制度(Renewable Portfolio Standard；RPS)等。而 2005 年政府簽署能源政策法(Energy Policy Act)，更明定再生能源設備投資的獎勵措施，2008 年遇到金融風暴，在經濟振興方案中，仍不忘對太陽能進行投資。美國推動太陽能光電產業的政策彙整如附表 2-1。

附表 2-1 美國太陽能光電產業政策及內容彙整表

| 年度 | 政策 | 內容 | 影響 |
|------|-----------|--|--|
| 1972 | 制定新能源開發計畫 | 太陽能研究經費大幅度增長，並且成立太陽能開發銀行，促進太陽能產品的商業化。 | 開始太陽能商品化 |
| 1974 | 政府制定了陽光計畫 | 太陽能的研究開發項目有：太陽房、工業太陽能系統、太陽能發電、太陽電池生產系統、分散型和大型太陽能光電發電系統等。為實施這一計畫，政府投入了大量人力、物力和財力。 | 70 年代初因石油危機的影響，世界上出現的開發利用太陽能熱潮，這一時期，太陽能開發利用工作處於前所未有的大發展。 |

附表 2-1 美國太陽能光電產業政策及內容彙整表(續 1)

| 年度 | 政策 | 內容 | 影響 |
|------|---|--|---------------------------------|
| 1977 | 美國成立能源部(DOE) | 提升對能源管理和發展的重視程度 | 美國太陽能研發經費撥發部門。 |
| 1977 | 美國能源部成立了太陽能研究協會(SERI) | 後來改名為國家可再生能源實驗室(NREL)，致力於太陽能源的開發。 | 美國太陽研究的主要政府機構。 |
| 1978 | 公用事業管制政策法(Public Utilities Regulatory Policy Act) | 1978 年以前電業並無購買再生能源之義務，對於水力以外的發電方式亦毫無興趣。 | 公用事業政策管制法的實施，促使美國在1980年代再生能源發展。 |
| 1978 | 加州通過太陽能權利法案 | 保護消費者安裝太陽能的權利。 | |
| 1996 | 國家太陽能光電中心成立(NCPV) | 聚焦太陽能光電技術創新，驅動產業的增長，利用的國家實驗室和大學的資源和能力，造福美國太陽能光電產業，加速太陽能光電運用使成為一種可行的能源選項。 | |

附表 2-1 美國太陽能光電產業政策及內容彙整表(續 2)

| 年度 | 政策 | 內容 | 影響 |
|-----------|---------------------------------------|---|---|
| 1997 | 美國政府提出太陽能計畫(Million Roofs) | 預計到 2010 年，美國將為 100 萬個家庭安裝太陽能屋頂，每個太陽能屋頂將有 3-5KWp 的太陽能併網發電系統，總需求量為 3205MWp。 | |
| 2003 | 加州實施再生能源配額制度(RPS) | 屬於州政府層級的獎勵方式。RPS 是指各州建立電力時，透過法律強制規定再生能源必須佔有一定的發電比例，配合「綠色憑證交易制度」，使再生能源可在各種不同電力網系統間交易，以解決各地區間再生能源發電的差異。 | 對太陽能產業激勵不大，因太陽能發電成本高於其他再生能源發電，電力公司不會優先採購太陽能發電。 |
| 2004 | 加州百萬屋頂計畫提出 | 預計 2017 年達成 | 最大的地方政府太陽能發電補助計畫。 |
| 2005~2008 | 能源政策法(Energy Policy Act)修正，有關再生能源補助法案 | 太陽能產業投資稅賦抵減(Investment Tax Credit; ITC)，投資太陽能產業可享 30% 賦稅減免。關於再生能源部分，主要政策包括再生能源設備獎勵計畫、宣示 2013 年再生能源需達總能源 7.5% 之目標、再生能源防護條款(Renewable Energy Security Act)，提供財政援助修復、更新年久風化的再生能源設備等。 | 可直接刺激一般住宅需求，從每年裝置量需求估算，預計到 2012 年累計稅賦補貼總額將達 120 億美元左右。 透過提供稅收激勵改變美國能源政策和各種類型能源生產的貸款擔保。 |

附表 2-1 美國太陽能光電產業政策及內容彙整表(續 3)

| 年度 | 政策 | 內容 | 影響 |
|-----------|---|--|---------------|
| 2006 | 美國加州公共設備委員會(CPUC)通過 32 億美元提供家庭與商業用戶、農場與公共建築物的太陽能能源補貼案 | 實施混合兩種扶持政策的補貼方案，對中小系統實施投資補貼或饋網電價法，對大系統實施饋網電價法，初始饋網電價 0.39 美元/KWh，維持 5 年，逐年降低。提供太陽光電設置的投資減免，再配合系統設置之優惠貸款制度，目標設定於 2017 年前，建置 3,000 MWp 太陽能發電系統，以「啟動加州太陽能計畫」為現有住宅、新設工商及農業建築物提供 20 多億美元獎勵基金，鼓勵建築設置太陽能發電系統。 | 成功提升太陽光電應用市場。 |
| 2006 | 加州政府百萬太陽屋頂法案(CBI) | | |
| 2007 | 能源獨立和安全法案 (Energy Independence and Security Act) | 增加可再生能源的財政撥款，用於太陽能、風力、海洋等等的發展。 | |
| 2008~2016 | 通過經濟振興方案 (The Emergency Economic Stabilization Act of 2008, EESA) | 30%聯邦太陽能投資租稅減免 (Solar investment Tax Credit, ITC) 將延長八年至 2016 年底，取消住宅用太陽光電系統補貼金額的上限，也取消電力公司不得申請 30% 太陽能投資聯邦租稅減免的規定，希望藉由擴大內需市場促進本土太陽光電產業發展 | 因應 2008 金融風暴。 |
| 2011 | 美國能源部門倡議 SunShot | 旨在使太陽能系統更具成本競爭力，不用長期的補貼，通過 2020 年的年前減少這些系統約 75% 的成本。該專案目的是提高效率、降低成本和尖端技術的進展加快太陽能發電的研究和開發 | |

資料來源:美國 DOE, NREL, IEA, 台經院。本研究整理

貳、日本太陽能產業發展的政府政策

附表 2-2 日本太陽能光電產業政策及內容彙整表

| 年度 | 政策 | 內容 | 影響 |
|-----------|--|---|--------------------------------------|
| 1974~1994 | 制定太陽能光電發展的陽光計劃(Sun Shine)，1994 年被新陽光計畫取代 | 將太陽光電技術開發當全國計畫來做，政府補助企業提升研發動力，發展太陽能技術替代傳統能源。 | 推廣研究活動，提升替代能源技術的發展，確定太陽能能否成為產業及市場用途。 |
| 1980~ | 石油替代能源開發及引進促進法 1992 年又對該法進行修訂 | 確立替代能源的發展目標，制定了優惠政策，提出新能源開發及推廣普及的具體措施。提高電力和煤炭稅，以確保有足夠的收入，因應替代能源政策的需求。 | |
| 1980 | 成立日本新能源及產業技術總合開發機構(NEDO) | 準政府組織成立，負責新能源的發展。開始大規模推進石油替代能源的綜合技術開發，主要包括核能、太陽能、水力、廢棄物發電、海洋熱能、生物發電、綠色能源汽車、燃料電池等。 | 從事新能源及省能源技術之開發與引進。 |
| 1992~1997 | 公共設施安裝太陽能發電系統現場測試計畫 | | 共安裝了 4.9MWp。 |
| 1992~ | 制定逆流供電與公共網併網法規。即淨計電量法(net metering) | 規定電力公司收購太陽光發電和水力發電等分散型電源多餘電力的具體辦法，採自願淨計電量方案，收購價格同市電價格(22JPY/KWh) | 收購價格遠低於發電成本，推行效果不佳。 |

附表 2-2 日本太陽能光電產業的政策彙整表(續 1)

| 年度 | 政策 | 內容 | 影響 |
|------------------------|---|---|--|
| 1993~2000 | 新陽光計畫(取代陽光計畫) | 主要目的是在政府領導下,採取政府、企業和大學三者聯合的方式,共同克服在能源開發方面遇到的難題。新陽光計畫的目標是實現經濟增長的能源供應和環境保護之間的平衡。新陽光計畫的主要研究可分七大領域,在再生能源技術中,太陽能最受重視。目標:普及推廣外,還進一步研究降低矽晶太陽能電池價格、研究減少矽晶材料用量的薄膜技術。 | 整合陽光,月光(節能技術研發)和全球環境科技計畫,目標是加速技術的市場滲透力。 |
| 1994~1996 1997~2005 | 住宅太陽能光電系統監測計畫,1997年改了名稱為住宅太陽能光電系統的傳播計畫(RDP) | 通過補貼住宅太陽能光電系統安裝費用,減少太陽能光電系統的安裝成本和建立初步的太陽能光電市場。由日本政府出資,新能源財團(NEF)作為代理機構,在該補貼政策下,政府對於每戶安裝太陽能發電設備的家庭給予90萬日元/千瓦的補貼,該補貼額達到初裝費用的45%。2005年住宅用太陽能發電系統安裝補貼政策終止。 | 目的是推廣太陽能的應用。超過25萬3754安裝案例,931.5MWp安裝量,成功達成建立初步太陽能光電市場計畫。使日本迎頭趕上美國並連續八年保有的太陽光電發電累積安裝量的世界第一。 |
| 1997~ | 新能源利用特別措施法(簡稱新能源法) | 規定國家和地方政府、能源消費者、能源供應者、能源設備製造商負起導入和推廣新能源的責任。規定對使用新能源的單位給予金融支援。 | |

附表 2-2 日本太陽能光電產業的政策彙整表(續 2)

| 年度 | 政策 | 內容 | 影響 |
|------------------------|---|---|---|
| 1998~2001 | 工業用太陽能光電系統現場測試計畫 | 私人公司、地方公共團體安裝太陽能光電系統補貼50%費用 | 到2001年總共225個太陽能光電發電系統，安裝量為5210KWp。 |
| 2001~2005 | 5年太陽能光電發電技術研究與發展計畫 (2001財報年~2005財報年) | 目標為盡早實現可接近其他發電成本的太陽能光電發電技術。 為全面佈署太陽能光電應用，制定必要的共同基本技術。 用新概念發展太陽能光電電池和太陽能光電發電系統的重要的技術。 | 取得進展的具體短期和中期目標是： (1) 先進太陽能光電電池的技術發展 (2) 推廣太陽能光電的技術發展 (3) 共同的技術基礎，大規模散播太陽能光電應用所必須的共同技術發展。 長期目標是為太陽能光電系統研究發展下一代創新的技術。 |
| 2001(單年) | 新能源計畫 | 種子團隊的鑑定，對相關的生產技術、產業化和商品化(提供高達50%的資金補助)。 先進的太陽能光電發電對新太陽能光電技術先導工廠的發展提供100%經費補助。 | |
| 2002年6月通過 2003年開始實施 | 有關電力企業利用新能源發電的特別措施法案(RPS) | 電力企業有義務使用一定比率的新能源發電，經濟產業省按電力銷售量每4年核定一次各電力企業使用新能源的發電量。居民太陽能發電設備生產的剩餘電力可由各電力公司購買，並計入電力公司需要達到的可再生能源發電配額。 | 提高了電力公司購買太陽能發電剩餘電量的積極性。 |

附表 2-2 日本太陽能光電產業的政策彙整表(續 3)

| 年度 | 政策 | 內容 | 影響 |
|-------------|-------------------------------------|--|--|
| 2005 | 京都議定書 (Kyoto Protocol)在 2 月 16 日生效 | 防止地球溫暖化 | 世界各國開始制定再生能源運用相關法案，並積極推廣以達成締約目標。 |
| 2006 年 3 月 | 2005 財政年度的結束，住宅用太陽能發電系統安裝補貼政策隨之終止。 | | 補貼終止影響了日本太陽能相關市場的發展。日本國內住宅太陽能新增裝機容量自 2006 年開始呈下降趨勢。2007 年的銷售量比 2005 年下降了 30% 以上。 |
| 2007 | 涼爽地球 50 | 在能源技術創新計劃下，創新的太陽能光電技術被選定為研究的主题。目的在提高太陽能電池的轉換效率由目前 10 - 15% 到 40% 以上，降低發電成本從目前的 46 日元/ kWh 至 7 日元/ kWh。努力太陽能光電技術創新。 | |
| 2009 年 1 月 | | 恢復對家庭用太陽能發電系統設置的補助，每千瓦補助 7 萬日元，一般住宅約可得到 20 萬~25 萬日圓的補助，補助計畫的預算為 900 億日圓。 | 刺激市場普及。日本當年全國的太陽能板產量也比前一年增長了一倍。 |
| 2009 年 11 月 | 太陽光電多餘電能饋網電價制度(Feed-in Tariff, FIT) | 電力公司以 48 日圓的價格購買剩餘電力(小於 10Kwp)，其他為 24 日圓/KWh，還規定電力公司有義務在 10 年內收購剩餘電力。 | |

附表 2-2 日本太陽能光電產業的政策彙整表(續 4)

| 年度 | 政策 | 內容 | 影響 |
|--------------------------------------|------------------|--|-----------------------|
| 2011 年 8 月 立法 2012 年 7 月 實施 | 電力公用事業購買可再生能源發電法 | 該法案規定，電力公司購買來自可再生能源發電（太陽能光電發電，風力發電，水利電力，地熱和生物質）。固定合同期限，固定購電價格。在購買可再生能源電力所產生的費用，由所有電力客戶按比例支付可再生能源附加費。 | 日本政府開始再次全面推進太陽能產業的發展。 |

資料來源：日本NEDO，IEA，台經院。本研究整理

參、德國太陽能產業的政府政策

附表 2-3 德國太陽能光電產業政策及內容彙整表

| 年度 | 政策 | 內容 | 影響 |
|-----------|--|--|---|
| 1991~2000 | 電力輸送法修正案 2000/4 被再生能源法取代(德文原文為 Emererbare-Energie-Gesetz，簡稱為 EEG) | 制定再生新能源發電與公共電力網併網法規。 規定電力公司有義務以一定合理價格，收購太陽能發電的多餘電力。收購價格為終端消費者使用價的 90%(約 8.5 分歐元/KWh)。 | 加速再生能源的推廣。太陽能發電成本高於市電電價多倍，成效並不好。 |
| 1991~1994 | 1000 個屋頂計畫 (後續的法案為十萬屋頂計畫) | 政府為每位安裝太陽能屋頂的住戶提供最高 70%的投資成本的補助。 | 計劃的目地在獲取安裝太陽能設備的經驗，使新住房與可再生能源發電需求兼容，並鼓勵民眾消費太陽能。 |

附表 2-3 德國太陽能光電產業政策及內容彙整表(續 1)

| 年度 | 政策 | 內容 | 影響 |
|-----------|-----------------------------|---|--|
| 1995~ | 各州政府太陽光電發電推廣計畫 | 各州政府對境內的太陽光電投資，提供發電系統設備補助。多數為資本補助，少部份為融資補助。補助金額在 2002 年前約為 1000 歐元/KWp，在 2002 年後降為約 700 歐元/KWp。 | 提升人民安裝太陽能光電系統的意願。 |
| 1997~ | 歐洲也宣布了百萬屋頂計畫，並提出了於 2010 年完成 | | |
| 1999~2003 | 十萬屋頂計畫(HTRP) | <p>目標:六年內達成 300MWp~500MWp 的併聯太陽能發電系統。</p> <p>目的:發展太陽能光電市場，減少排碳，建立新的就業機會，增加競爭力。</p> <p>政府為該計畫提供約 37.5%的貸款補助(6230 歐元/KWp)，提供 10 年信貸，(2002 年利率為 1.9%)，兩年內不用還本金，每筆貸款最高額度為 50 萬歐元。</p> | <p>第一年成效不好只達成 8.9MWp，離目標 18MWp 有段差距。旋於 2000 年 4 月通過再生能源法案，通過電價收購計畫。購電價格 0.51 歐元/kWh。政策成功刺激市場，使太陽能光電市場迅速成長。</p> |

附表 2-3 德國太陽能光電產業政策及內容彙整表(續 2)

| 年度 | 政策 | 內容 | 影響 |
|-----------|---|---|---|
| 1999~2004 | 能源環保稅(Ecotax) 陸續在 2004 稅率修訂 | 生態稅改革，聯邦政府懲罰能源消耗和破壞環境的行為，促進節約能、鼓勵使用再生能源，輔助再生能源之推行。課徵稅有兩部分一為電力稅，一為燃料稅，專款專用的原則，規劃收入的 90% 必需使用於「再生能源支持計畫」。 | 自 1999 年，開始收取生態燃料稅。對用電徵稅，現行稅率是 2.05 美分/Kwh。再生能源電免課電力稅。 |
| 2000~2004 | 再生能源法案 (Erneuerbare Energien Gesetz, EEG) 取代電力輸送法修正案。每四年修法一次。 (Feed-In-Tariff; FIT)的觀念，亦即電力公司有義務以較高的價錢，對其營業區域內所有由再生能源產出的電力進行補貼收購，讓再生能源的電力能被充分運用，且補貼營運的再生能源設備。 | 再生能源法基本精神是保障再生能源業者在一特定期間內能夠得到一個固定的能源收購費率，使經營發電者有經濟利潤可獲。法條中規定，採購再生能源電力所產生之營業費用，亦即法定保證收購價格和市場電費間之價差，應平均分配給各能源供應公司分攤（全國均衡規定），並作為額外費用，納入最終消費者價格之計算公式中。制定依各類再生能源的發電成本給予不同的最低收購電價保障，對新設 PV 發電系統以 20 年期至少 0.99 馬克/kwh(0.51 歐元/kwh)的優惠價格收購太陽能(但每年降低 5%的補助費率)。 | 太陽能光電市場蓬勃發展，造就了上下游完整的太陽能產業鏈，部分業者甚至已是整合上下游的全球太陽能市場龍頭，佔有舉足輕重的地位。由於德國在再生能源的推動頗有成效，因此這部法案日後成為其他國家競相仿效的範本。最初饋網電價為零售價的三倍，或是工業電價的八倍。 |

附表 2-3 德國太陽能光電產業政策及內容彙整表(續 3)

| 年度 | 政策 | 內容 | 影響 |
|-----------|--------------------------------------|--|--|
| 2003~2004 | 「KfW 二氧化碳減量計畫」及「你在陽光照射的地方」 | 針對自用住宅的小型系統進行設備貸款低利補助，最高貸款比例為安裝費用的 100%，最高額度為 5 萬歐元，貸款年限最高 20 年，最高年限 3 年不用償還本金(裝置容量小於 15 kW 之發電系統) 你在陽光照射的地方則針對大於 15 kW 的發電系統進行補助 | |
| 2004~2008 | 調整修正再生能源法案(EEG) | 增加再生能源的供應比例，計畫於 2010 年至少達 12.5%，2020 年達 20% 施行購電補償法，根據不同的太陽能發電形式，政府給予為期 20 年，0.45-0.62 歐元/度的補貼，每年遞減 5-6.5%。 | 促使德國太陽光電系統設置量快速增加，2004 年超過 50% 的增長，導致市場需求高於供給。 |
| 2004~ | PV 產業研發計畫的提升 | 對研發機構或廠商參加研發計畫的財務資助 | |
| 2005~ | 太陽光發電計畫(Solarstrom Erzeugen) | 針對小型系統進行設備貸款低利補助，最高貸款比例為安裝費用的 100%，最高額度為 5 萬歐元，貸款年限最高 20 年，不用償還本金年限最高 3 年(裝置容量小於 15 kW 之發電系統) | |
| 2005~ | 您在陽光照射的地方計畫 (Ihr Platz an der Sonne) | 環保銀行針對電力大中型太陽發電系統投資 (容量大於 15 kWp) 給與長期低率貸款，期限最長 15 年，利率依償還期間不同而異，約為 4.5% | |

附表 2-3 德國太陽能光電產業政策及內容彙整表(續 4)

| 年度 | 政策 | 內容 | 影響 |
|-----------|---------------------------------------|---|---|
| 2006~ | 由一個完全重新設計的“能源環保稅”取代現有的礦物油稅和修訂現行的稅收法律。 | 生態稅改革，聯邦政府懲罰的能源消耗和破壞環境的行為為其目的，促進節約能源，推動能源結構的改變、鼓勵使用再生，輔助再生能源之推行。課徵稅有兩部分一為電力稅，一為燃料稅。專款專用的原則，規劃收入的 90% 必需使用於「再生能源支持計畫」。 | 自 1999 年開始收取生態燃料稅。2009 年輕質油品是 0.61 美分 / 公升，天然氣為 0.37 美分 / 千瓦時。自 2003 年 1 月 1 日對用電徵稅。現行所得稅率是 2.05 美分 / 千瓦時。再生能源電免課電力稅。 |
| 2008~2012 | 調整修正再生能源法案 (EEG) | 德國政府意識到政策補助下最大受惠者為企業團體而非普羅大眾，而加快了電力收購費率遞減速度，期望藉此在 2015 年前可達成市電同價。 | 顯示目前德國政府新政策傾向鼓勵產業創新來取代補助。 |
| 2010 | 德國聯邦參議院通過了可再生能源法太陽能光電發電饋電上網補貼修訂案 | 宣布削減補貼，7 月份德國聯邦參議院通過了可再生能源法太陽能發電上網補貼修訂案，從 2010 年 7 月 1 日開始，在德國境內建造的屋頂太陽能發電系統補貼額減少 13%，轉換地區（原來非電站用地後改作電站用地）補貼額減少 8%，其他地區補貼額減少 12%。從 2010 年 10 月 1 日開始，補貼額將在 7 月 1 日的基礎上再減少 3%。 | 減少補助金額，但投資太陽能光電發電的投資報酬率(6.5%以上)，仍比十年期公債殖利率高 3%以上。 |

資料來源：NREL，日本 NEDO，IEA，台經院。本研究整理

肆、中國太陽能產業的政府政策

附表 2-4 中國太陽能光電產業政策及內容彙整表

| 年度 | 政策 | 內容 | 影響 |
|--------------------|--------------------------------------|--|---|
| 1995~2010 | 新能源和可再生能源發展綱要 | 擴大太陽能的開發利用，把推廣應用節能型太陽能建築、太陽能光電發電系統作為重點。制定相應的財政、投資、信貸、稅收和價格等方面的優惠政策。集中資金、集中力量支持優先發展專案，加強科研示範和產業化的銜接，促進科研成果迅速轉化為生產力。 | |
| 1998~ | 節能法 | 國家鼓勵、支持開發和利用新能源、可再生能源。實行稅收優惠、補貼及信貸支持、價格、優先採購等扶持政策。 | 再次強調再生能源對節能減碳及改善環境的重要性。 |
| 2002~ | 2002 年由國家發改委負責實施的“光明工程”先導專案和“送電到鄉”工程 | 為偏遠地區居民供電 | 設置 60MWp，至 2005 年共投入 100 億人民幣。對太陽能光電發電的應用和太陽能光電電池製造起了較大的推動作用。 |
| 2005 立法 2006 實施 | 中華人民共和國可再生能源法 | 太陽能光電的開發利用列為能源發展的優先項目，推動市場的建立和發展。納入國家科技發展和高技術產業發展規劃，資金支援開發利用的科學技術研究、應用示範和產業化發展。太陽能光電發電電價由國務院，根據不同類型和地區，製訂饋網電價。電價差額，附加在銷售電價中分攤。實行發電專案的招標制度。金融機構提供優惠貸款、稅收優惠。 | 2020 年再生能源需占總發電能源比例的 15% 以上，太陽能需達到 1.8GW。 |

附表 2-4 中國太陽能光電產業政策及內容彙整表(續 1)

| 年度 | 政策 | 內容 | 影響 |
|------|-----------------------------------|--|--|
| 2007 | 可再生能源中長期發展計畫 | 規劃太陽能光電發電在 2010 年達到 300MW，2020 年達到 1.8GW 的目標 | 實行優惠的財稅、投資政策和強制性市場佔有率政策，鼓勵生產與消費可再生能源，提高在一次能源消費中的比重。 |
| 2009 | 中華人民共和國可再生能源法修正案 | 對可再生能源發電實施全額保障性收購制度，強化有關電網企業收購可再生能源的責任和義務。建立可再生能源發展基金，是本次修正案的重點項目。 | 一些資金流向可再生能源技術的研發、標準制定以及檢測認證等方面，而不是僅僅集中在可再生能源電站建設，使基金的應用更加廣泛。 |
| 2009 | 太陽能光電建築應用財政補助資金管理暫行辦法 | 從可再生能源專項資金中安排部分資金，支援太陽能光電在城鄉建築領域應用的示範推廣。補助項目：單晶矽光電產品效率應超過 16%，多晶矽光電產品效率應超過 14%，非晶矽光電產品效率應超過 6%。2009 年補助標準定為 20 元/Wp。 | 增加建築物安裝太陽能的誘因。 |
| 2009 | 財政部 海關總署 國家稅務總局的關於研發機構採購設備稅收政策的通知 | 對外資研發中心進口科技開發用品免徵進口稅收，對內外資研發機構採購國產設備全額退還增值稅。 | |

附表 2-4 中國太陽能光電產業政策及內容彙整表(續 2)

| 年度 | 政策 | 內容 | 影響 |
|------------------|--|--|--|
| 2009 年 7 月 | 金太陽示範 工程財政補 助資金管理 暫行辦法 | 採取財政補助方式支援 不低於 500GWp 的太陽能 光電發電示範專案 併網太陽能光電發電專 案按太陽能光電發電系 統及其配套輸配電工程 總投資的 50%給予補助， 偏遠無電地區的獨立太 陽能光電發電系統按總 投資的 70%給予補助。 | 採取財政補助、科技支援和市 場拉動方式，加快國內太陽能 光電發電的產業化和規模化 發展。2009 年批准 147MWp， 2010 年批准 272MWp，並在全 國建立 13 個太陽能光電示範 園區。 |
| 2009 | 特許權招標 | 由政府指定地點，規畫 設計太陽能光電電廠，對 外招標，由得標廠商依合 約負責興建、營運。電價 依合約價格由當地電力 輸送業者承購。 | 特許權招標使中國太陽能光 電發電饋網電價得到大幅度 降低，從 2008 年 4 元/kWh 到 2010 年 1 元/kWh 以下。是未 實行固定饋網電價前，推動太 陽能光電市場開發的主要推 手。 |
| 2011 | 國家發改委 發佈了《關於 完善太陽能 光電發電饋 網電價政策 的通知》饋網 電價 | 2011 年 7 月 1 日以前核准 及 2011 年完成的饋網電 價為每千瓦時人民幣 1.15 元/KWp。其於人民幣 1 元/KWp | 價格高於市場的預期，對市場 的推廣有幫助。 |

資料來源：IEA，台經院，中國發改委。本研究整理

伍、台灣太陽能產業的政府政策

附表 2-5 台灣太陽能光電產業政策及內容彙整表

| 年度 | 政策 | 內容 | 影響 |
|-----------|--|---|---|
| 2000~2009 | 太陽光電發電示範系統設置補助辦法 | 提供設置成本之半額補助 | 台灣大力推動太陽光電發電系統設置利用之開端。 |
| 2001~2011 | 新興重要策略性產業屬於製造業及技術服務業部分獎勵辦法 | 辦法是依促進產業升級條例，第八條第三項規定訂定之。 五年免徵營業稅，及「促進產業升級條例」等各項法令。 投資於新興重要策略性產業之股東給予股東抵減所得稅之優惠 | 對發展太陽能產業的公司、股東個人提供稅務減免。 |
| 2003~2009 | 經濟部於 11 月公佈「台灣電力股份有限公司再生能源電能收購作業要點」。 2004 年 6 月進行第一次修正。 | 台電以總簽約容量 60 萬 kWh 為限，以每度 2 元收購再生能源電能。簽約年限為 15 年，可續約 5 年，每年一簽，最長可達 20 年 | 提供饋電電價(FIT)的簡版機制，讓太陽能光電發電，能連上公共電力系統。但提供的價格太低，激勵性不足。 |
| 2004~ | 2004「陽光電城」及 2006「太陽光電經典建築」示範專案 | 提供太陽光電與公共建築結合之多樣化設計，以利帶動國內建築相關產業的關注與利用 | 推動太陽光電多元應用，及創造國內建築、設計之新方向。 |
| 2005~2006 | 偏遠離島緊急防災系統設置補助計畫 | 補助緊急防災型太陽光電系統之設置 | 增加太陽能光電系統的設置量，補助電力供應，並可強化救災體系。 |
| 2005~2000 | 促進產業升級條例修正案 | 企業從事研發及人才培訓支出抵減營所稅的上限，將由 25%放寬至 35%， | 對發展太陽能產業的公司提供更多稅務減免激勵措施。 |

附表 2-5 台灣太陽能光電產業政策及內容彙整表(續 1)

| 年度 | 政策 | 內容 | 影響 |
|-----------|-------------------------------------|---|--|
| 2006~2010 | 「公司購置節約能源、利用新淨潔能源設備或技術適用投資抵減辦法」修正條文 | 對購置太陽能光電設備或技術之廠商，進行投資抵減補助。 | 設備部分得就購置成本按百分之七，技術部分得就購置成本按百分之五，自當年度起五年內抵減各年度應納營利事業所得稅額。 |
| 2006~2007 | 太陽光電產業行動計畫 | 研商太陽光電發展策略 | 凝聚共識，相互合作，朝向共同目標發展。 |
| 2008 | 永續能源政策綱領 | 有效運用再生能源開發潛力，於2025年占總發電量8%（裝置容量15%）以上。 推動「再生能源發展條例」完成立法，發展潔淨能源。研擬「能源稅條例」並推動立法，反應能源外部成本。積極推動「再生能源法」及再生能源產業（如太陽光電等等）。 政府能源相關研究經費4年內由每年50億元倍增至100億元。 | 政府提出未來再生能源的發展的目標及執行的方法、步驟。 |
| 2009~2012 | 振興經濟方案公共建設計畫 | 將太陽能光電推廣至校園、社區及各縣市等公共設施。 | 提升太陽能光電系統運用的普及度。 |
| 2009 | 能源國家型科技計畫」（簡稱NEP） | 太陽能、風力、生質能源與核能工程為優先發展項目，將從2009年起執行五年，研究項目和經費的排序原則將鎖定已具國際競爭力且積極投入開發關鍵技術者 | 政府將透過動用國家資源與學術研究力量，提升台灣太陽能產業在全球市場的競爭力。 |

附表 2-5 台灣太陽能光電產業政策及內容彙整表(續 2)

| 年度 | 政策 | 內容 | 影響 |
|-----------|------------|---|--|
| 2009 | 綠色能源產業旭升方案 | <p>規劃產業的發展目標，成為全球前三大太陽電池生產國、技術研發重鎮及建立太陽光電完整產業群聚。透過技術突圍、關鍵投資、環境塑造、出口轉進及內需擴大等五大推動策略，加速太陽光電產業升級，以及進軍國際市場。預計五年內將投入 200 億元技術研發資金，將帶動民間投資達 2,000 億元，更以 250 億元推動再生能源與節約能源的設置和補助。目標在 2015 年將國內太陽能電池產業產值增加三倍至 4,500 億元，並創造每年 4.5 萬名就業機會，使台灣成為太陽能產業生產大國與技術研發重鎮。</p> | <p>台灣大型企業如友達、聯電、台積電、華新麗華、英業達等集團，紛紛投入佈局太陽光電產業，未來可望整合產業能量，繼續帶動我國太陽光電產業快速成長。矽晶電池產業於 2010 年產值達新台幣 1,000 億元，產量躍居全球第二位，整體太陽光電產業之總產值亦達 2,066 億元，相關廠商家數達 160 家，以太陽能電池業者為主。</p> |
| 2009~ | 再生能源發展條例 | <p>明訂政府可運用收購機制、獎勵示範及法令鬆綁等，提高開發再生能源誘因。</p> <p>再生能源收購機制方面，提供再生能源發電設備設置者合理利潤，並要求經營電力網的電業併聯、躉購再生能源電能。</p> <p>鼓勵應用具發展潛力之太陽光電產品，針對設置建築整合型太陽光電(BIPV)發電系統予以示範獎勵。</p> | <p>條例通過後，適逢國際太陽光電成本大幅下降及施行饋電上網制度及競標制，使裝置量明顯攀升。</p> |
| 2010~2030 | 陽光屋頂百萬座 | <p>預計至 2030 年，推動我國太陽光電設置應用達 3,100MWp。</p> <p>推展時程採用「先緩後快、先屋頂後地面」策略。</p> <p>設置容量小於 30kW 者無需競標，採取隨到隨審方式，以提升國內陽光屋頂之設置。</p> | <p>取代部分傳統化石能源發電，帶動台灣太陽光電相關產業發展，促使設置成本有效下降，加速太陽光電普及應用。</p> |

資料來源:IEA，台經院，台灣經濟部。本研究整理

附錄三

附表 3-1 政府法令內容分析編碼表

編碼員代號:

編碼日期:

國家分類: 美國 日本 德國 大陸 台灣

期別: 早期(1974~1990 年) 中期(1991~2000 年) 近期(2001~2012)

| 政策分類 法令 法條編號 | 供給面 | | 需求面 | | 環境面 | |
|--------------------|-------------|-------------|-----------|-------------------|-------------------|--------------|
| | 政府的研 發創新 | 民間的研 發創新 | 政府的需 求 | 政府鼓勵 民間的需 求 | 財務金融 及租稅優 惠 | 法規及管 制性政策 |
| 01 | | | | | | |
| 02 | | | | | | |
| 03 | | | | | | |
| 04 | | | | | | |
| 05 | | | | | | |
| 06 | | | | | | |
| 07 | | | | | | |
| 08 | | | | | | |
| 09 | | | | | | |
| 10 | | | | | | |
| 11 | | | | | | |
| 12 | | | | | | |
| 13 | | | | | | |
| 14 | | | | | | |
| 15 | | | | | | |
| 16 | | | | | | |
| 17 | | | | | | |
| 18 | | | | | | |
| 19 | | | | | | |
| 20 | | | | | | |
| 21 | | | | | | |
| 22 | | | | | | |
| 23 | | | | | | |
| 24 | | | | | | |
| 25 | | | | | | |

附錄四

早、中、近期主要的政府政策及重要技術創新里程碑

附表 4-1 早期主要的政府政策

| 年度 | 國家 | 政策 | 內容 |
|------|----|--|--|
| 1972 | 美國 | 制定新能源開發計劃 | 太陽能研究經費大幅度增長，並且成立太陽能開發銀行，促進太陽能產品的商業化。 |
| 1974 | 美國 | 政府制定的「陽光計劃」 | 太陽能的研究開發項目有：太陽房、工業太陽能系統、太陽能發電、太陽電池生產系統、分散型和大型太陽能光電發電系統等。 |
| 1977 | 美國 | 美國成立能源部 | 提升了能源管理和發展的重視程度 |
| 1977 | 美國 | 國能源部成立了太陽能研究協會(SERI) | 美國主要太陽能研究的政府機構 |
| 1978 | 美國 | 公用事業管制政策法 (Public Utilities Regulatory Policy Act) | 電業者有購買再生能源的義務(FIT) |
| 1974 | 日本 | 制定太陽能光電發電發展的「陽光計劃(Sun Shine)」 | 將太陽能光電技術開發當全國計畫來做，日本政府補助企業提升研發動力，發展太陽能技術替代傳統能源。 |
| 1980 | 日本 | 石油替代能源開發及引進促進法 | 確立了替代能源的發展目標，制定了優惠政策，提出了新能源開發及推廣普及的具體措施。 |
| 1980 | 日本 | 日本新能源及產業技術總合開發機構(NEDO)成立 | 從事新能源及省能源技術之開發與引進。 |

資料來源：資料來源：美國DOE，NREL，日本NEDO，IEA，台經院。本研究整理

附表4-2 早期重要的技術創新及里程碑

| 年度 | 國家 | 技術創新及里程碑 | 內容 |
|--------|----|--|--|
| 1954 | 美國 | 研發出晶矽太陽能電池 | 美國貝爾實驗室的三名科學家利用矽晶體材料開發出性能良好的太陽能電池，其轉換效率達4% |
| 1959 | 美國 | 晶矽太陽能電池轉換效率達到10% | |
| 1962 | 美國 | 太陽能用於通訊衛星上 | |
| 1972 | 美國 | 能源轉換協會（The Institute of Energy Conversion）成立 | 全球第一個致力於薄膜太陽能光電系統研發的實驗室 |
| 1972 | 美國 | 美國研發出薄膜太陽光電技術 | |
| 1976 | 美國 | 開始發展多晶矽太陽能電池 | |
| 1976 | 美國 | 研發出非晶矽太陽能電池（a-Si） | 美國RCA研發出非晶矽太陽能電池。轉換效率 1.1% |
| 1980 | 美國 | 薄膜太陽能電池轉換效率超過10% | 能源轉換協會 |
| 1980年代 | 美國 | 開始發展 CIS(銅銦硒)太陽能電池 | |
| 1986 | 美國 | 薄膜太陽能電池開始商品化 | ARCO 太陽能發行世界上第一個商業化的薄膜太陽能光電模組 |
| 1989 | 美國 | CPV 開始發展 | |
| 1963 | 日本 | 產出世界上第一個太陽能光電商用模組 | 夏普公司 |
| 1982 | 日本 | 多晶矽太陽電池開始量產 | 京瓷公司 |

資料來源:美國DOE，NREL，日本NEDO，IEA，台經院。本研究整理

附表4-3 中期主要的政府政策

| 年度 | 國家 | 政策 | 內容 |
|-----------|----|----------------------------|--|
| 1997 | 美國 | 美國政府提出「Million Roofs」太陽能計畫 | 預計到2010年，美國將為100萬個家庭安裝太陽能屋頂，每個太陽能屋頂將有3-5KWp的太陽能饋網發電系統，需求量為3205MWp。 |
| 1992~1997 | 日本 | 公共設施安裝太陽能發電系統現場測試計畫 | 共安裝了4.9MWp |
| 1992 | 日本 | 制定逆潮流供電與公共網併網法規 | 規定電力公司收購太陽光發電和水力發電等分散型電源的多餘電力的具體辦法，採自願淨計電量方案，收購價格同市電價格。 |
| 1993 | 日本 | 新陽光計畫 | 在政府領導下，採取政府、企業和大學三者聯合的方式，共同克服在能源開發方面遇到的各種難題。目的除了普及推廣外，還進一步研究降低矽晶太陽能電池價格、研究減少矽晶材料用量的薄膜技術。 |
| 1994 | 日本 | 住宅太陽能光電系統監測計畫 | 通過補貼住宅太陽能光電系統安裝費用，減少太陽能光電系統的安裝成本和建立初步的太陽能光電市場。 |
| 1997 | 日本 | 新能源利用特別措施法（簡稱新能源法） | 規定國家和地方政府、能源消費者、能源供應者、能源設備製造商負起，導入和推廣新能源的責任。規定了對使用新能源的單位予以金融支援。 |
| 1998 | 日本 | 工業用太陽能光電系統現場測試計畫 | 私人公司、地方公共團體安裝太陽能光電系統補貼50%費用。 |
| 1991 | 德國 | 電力輸送法修正案 | 規定電力公司有義務以一定合理價格，收購太陽能發電的多餘電力。收購價格為終端消費者使用價的90%。 |
| 1991 | 德國 | 1000個屋頂計畫 | 政府為安裝太陽能屋頂的住戶提供最高70%的投資成本的補助。計畫目的在獲取安裝太陽能設備的經驗。 |

附表 4-3 中期主要的政府政策(續)

| 年度 | 國家 | 政策 | 內容 |
|------|----|------------------|--|
| 1995 | 德國 | 州政府太陽光電發電推廣計畫 | 各州政府對境內的太陽光電投資，提供發電系統設備補助。多數為資本補助，少部份為融資補助。 |
| 1999 | 德國 | 十萬屋頂計畫 | 目標：六年內達成 300MWp~500MWp 的併聯太陽能發電系統。政府為該計畫提供約 37.5% 的貸款補助(6230 歐元/KWp)，提供 10 年信貸。(2002 年利率為 1.9%)。 |
| 1999 | 德國 | 能源環保稅 | 聯邦政府懲罰能源消耗和破壞環境的行為，推動能源結構的改變、鼓勵使用再生，輔助再生能源之推行。 |
| 2000 | 德國 | 再生能源法案 | 闡述再生能源發電設備和電力網路的關係外，又進一步制定依各類再生能源的發電成本給予不同的最低收購電價保障，使經營發電者有經濟利潤可圖。 |
| 1995 | 中國 | 新能源和可再生能源發展綱要 | 擴大太陽能的開發利用，把推廣應用節能型太陽能建築、太陽能光電發電系統作為重點。 制定相應的財政、投資、信貸、稅收和價格等方面的優惠政策。 加強科研示範和產業化的銜接，促進科研成果迅速轉化為生產力。 |
| 1998 | 中國 | 節能法 | 國家鼓勵、支持開發和利用新能源、可再生能源。實行稅收優惠、補貼及信貸支持、價格、優先採購等扶持政策。 |
| 2000 | 台灣 | 太陽光電發電示範系統設置補助辦法 | 提供設置成本之半額補助。 |

資料來源:美國DOE，NREL，日本NEDO，IEA，台經院，中國發改委。本研究整理

附表4-4 中期重要的技術創新及里程碑

| 年度 | 國家 | 技術創新及里程碑 | 內容 |
|--------|----|-------------------|---|
| 1990年代 | 美國 | BIPV 開始發展 | |
| 1996 | 美國 | 國家太陽能光電中心成立(NCPV) | 聚焦太陽能光電技術創新，驅動產業的增長，利用國家實驗室和大學的資源和能力，造福美國太陽能光電產業。 |

資料來源:美國DOE，NREL，IEA。本研究整理

附表4-5 近期主要的政府政策

| 年度 | 國家 | 政策 | 內容 |
|------|----|-------------------------|---|
| 2003 | 美國 | 加州再生能源配額制度(RPS) | 透過法律強制規定再生能源必須佔有一定的發電比例，配合「綠色憑證交易制度」，使再生能源可在各種不同電力網系統間交易。 |
| 2005 | 美國 | 能源政策法(EPA)修正，有關再生能源補助法案 | 投資太陽能產業可享 30%賦稅減免。 |
| 2006 | 美國 | 加州 32 億美元太陽能能源補貼案 | 實施混合兩種扶持政策的補貼方案，對中小系統實施投資補貼或饋網電價法，對大系統實施饋網電價法。 |
| 2006 | 美國 | 加州百萬太陽能屋頂法案(CBI) | 最大的地方政府太陽能發電補助計畫。預計2017年達成建置3,000 MW太陽能光電發電系統。 |
| 2007 | 美國 | 能源獨立和安全法案(EISA) | 增加可再生能源的財政撥款，用於太陽能、風力、海洋等等的發展。 |
| 2008 | 美國 | 經濟振興方案(EESA) | 30%聯邦太陽能投資租稅減免(Solar investment Tax Credit, ITC)將延長八年至2016年底，取消住宅用太陽光電系統補貼金額的上限，也取消電力公司不得申請30%太陽能投資聯邦租稅減免的規定。 |
| 2011 | 美國 | 倡議 SunShot | 提高效率、降低成本和發展尖端技術加快太陽能發電的研究和開發，在2020年前使太陽能系統更具成本競爭力，不用長期的補貼。 |

附表4-5 近期主要的政府政策(續1)

| 年度 | 國家 | 政策 | 內容 |
|------|-----|-------------------------------------|--|
| 2001 | 日本 | 五年太陽能光電發電技術研究與發展計畫 | 目標為盡早實現可接近其他發電成本的太陽能光電發電技術。 |
| 2003 | 日本 | 有關電力企業利用新能源發電的特別措施法案(RPS) | 電力企業有義務使用一定比率的新能源發電。 |
| 2005 | 簽署國 | 京都議定書(Kyoto Protocol) | 世界各國開始制定再生能源運用相關法案，並積極推廣以達成締約目標，防止地球暖化。 |
| 2009 | 日本 | 恢復家用太陽能安裝補助計畫 | 恢復對家庭用太陽能發電系統設置的補助，每千瓦補助7萬日元，一般住宅約可得到20萬~25萬日圓的補助，補助計畫的預算為900億日圓， |
| 2009 | 日本 | 太陽光電多餘電能饋網電價制度(Feed-in Tariff, FIT) | 電力公司以每千瓦小時48日圓的價格購買剩餘電力(小於10KWp)，其他為每千瓦小時24日圓，還規定電力公司有義務在10年內收購剩餘電力。 |
| 2011 | 日本 | 電力公用事業購買可再生能源發電法 | 該法案規定，電力公司購買來自可再生能源發電，固定合同期限，固定購電價格。在購買可再生能源電力所產生的費用，由所有電力客戶按比例支付可再生能源附加費。 |
| 2003 | 德國 | 「KfW 二氧化碳減量計畫」及「你在陽光照射的地方」 | 針對自用住宅的小型系統進行設備貸款低利補助，最高貸款比例為安裝費用的100%，最高額度為5萬歐元。 |
| 2004 | 德國 | 調整修正再生能源法案(EEG) | 調高太陽能貸款補助，最高5萬歐元的全額補助。 |
| 2004 | 德國 | PV產業研發計畫的提升 | 對研發機構或廠商參加研發計畫的財務資助 |
| 2006 | 德國 | 能源環保稅修正法案 | 調高對傳統能源的課稅 |
| 2008 | 德國 | 調整修正再生能源法案(EEG) | 加快了電力收購費率遞減速度，期望在2015年前可達成市電同價。 |

附表4-5 近期主要的政府政策(續2)

| 年度 | 國家 | 政策 | 內容 |
|------|----|----------------------------|--|
| 2010 | 德國 | 可再生能源法太陽能發電饋網補貼修訂案 | 從2010年7月1日開始，在德國境內建造的屋頂太陽能發電系統補貼額減少13%，轉換地區（原來非電站用地後改作電站用地）補貼額減少8%，其他地區補貼額減少12%。 |
| 2002 | 中國 | 送電到鄉的光明工程 | 為偏遠地區居民提供電力。 |
| 2005 | 中國 | 可再生能源法 | 太陽能光電的開發利用列為能源發展的優先項目，推動市場的建立和發展。 2020年再生能源需占總發電能源比例的15%以上，太陽能需達到1.8GW。 |
| 2007 | 中國 | 可再生能源中長期發展計畫 | 實行優惠的財稅、投資政策和強制性市場佔有率政策，鼓勵生產與消費可再生能源，提高在一次能源消費中的比重。 |
| 2009 | 中國 | 可再生能源法修正案 | 對可再生能源發電實施全額保障性收購制度，強化有關電網企業收購可再生能源的責任和義務。 |
| 2009 | 中國 | 太陽能光電建築應用財政補助資金管理暫行辦法 | 從可再生能源專項資金中安排部分資金，支援太陽能光電在城鄉建築應用的示範推廣。 |
| 2009 | 中國 | 金太陽示範工程財政補助資金管理暫行辦法 | 採取財政補助、科技支援和市場拉動方式，加快國內太陽能光電發電的產業化和規模化的發展。 |
| 2009 | 中國 | 特許權招標 | 政府在指定地點，規畫設計太陽能光電電廠，對外招標，得標廠商依合約負責興建、營運。電價依合約價格由當地電力輸送業者承購。 |
| 2011 | 中國 | 完善太陽能光電發電饋網電價政策的通知 | 發改委發佈饋網電價。 |
| 2001 | 台灣 | 新興重要策略性產業屬於製造業及技術服務業部分獎勵辦法 | 對發展太陽能光電產業的公司、股東個人提供稅務減免。 |

附表4-5 近期主要的政府政策(續3)

| 年度 | 國家 | 政策 | 內容 |
|------|----|-------------------------------------|--|
| 2003 | 台灣 | 公佈「台灣電力股份有限公司再生能源電能收購作業要點」 | 提供饋電電價(FIT)的簡版機制，讓太陽能光電發電，能連上公共電力系統。 |
| 2004 | 台灣 | 2004「陽光電城」及2006「太陽光電經典建築」示範專案 | 提供太陽光電與公共建築結合之多樣化設計，以利帶動國內建築相關產業的關注與利用。 |
| 2005 | 台灣 | 促進產業升級條例修正案 | 對發展太陽能產業的公司提供更多稅務減免激勵措施。 |
| 2006 | 台灣 | 公司購置節約能源或利用新及淨潔能源設備或技術適用投資抵減辦法」修正條文 | 購置太陽能光電設備或技術之廠商，進行投資抵減補助。 |
| 2008 | 台灣 | 綠色能源產業旭升方案 | 產業的發展目標，係成為全球前三大太陽電池生產國、技術研發重鎮及建立太陽光電完整產業群聚。預計五年內將投入200億元技術研發資金，將帶動民間投資達2,000億元。 |
| 2009 | 台灣 | 再生能源發展條例 | 明訂政府可運用收購機制、獎勵示範及法令鬆綁等，提高開發再生能源誘因。 |
| 2010 | 台灣 | 陽光屋頂百萬座 | 預計至2030年，推動我國太陽光電設置應用達3100MWp。 |

資料來源:美國DOE，NREL，日本NEDO，IEA，台經院，中國發改委。本研究整理