

國立交通大學

工學院永續環境科技學程

碩士論文

台灣發展太陽能加熱系統之

環境與經濟效益評估

Assessment of Environmental and Economic

Benefits for Solar Water Heating System

Development in Taiwan

研究生：翁志博

指導老師：高正忠教授

中華民國九十八年 十月

台灣發展太陽能加熱系統之環境與經濟效益評估

Assessment of Environmental and Economic Benefits for Solar Water Heating System Development in Taiwan

研 究 生：翁志博

Student：Chih-Po Wong

指 導 教 授：高正忠

Advisor：Jehng-Jung Kao

國 立 交 通 大 學

工 學 院 永 續 環 境 科 技 學 程

碩 士 論 文

A Thesis

Submitted to Degree Program of Sustainable Technology on
Environmental Protection
College of Engineering
National Chiao Tung University
in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of
Master of Science
In

Sustainable Technology on Environmental Protection

October 2009

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中 華 民 國 九 十 八 年 十 月

摘要

為了改善能源結構及降低溫室氣體人均排放量，推展太陽能加熱系統(SWHS)為當前重要能源政策之一。唯由於各區域特性不同，適宜性及效益亦因而不同。本研究因而建立一套方法分析在台灣發展SWHS之適宜性及環境與經濟效益。

由於各地的輻射量不同，加上行政區域劃分方式影響政策的推動，本研究因而以自然條件為主、行政區為輔的方式分區，以作為後續分析之依據。以往的分析方法是依據全年太陽潛能累積值計算效益，但由於各區每日日照資源無法延至數日後使用，節能效益估算亦因而失真。故本研究依據各分區之水溫資料及太陽潛能估算系統之熱輸出，並依據熱輸出量多寡決定該日是否為有效日照天，再以各分區之有效日照天數比例計算效益值，進而考量單雙桶之影響。接著探討SWHS在各分區使用適宜性之差異，並以成本效益及政府的能源政策建立程序分析之。然後依據發展狀況、旗艦計畫執行率、補助費用、傳熱率、初置成本、維修費用及折現率等建立七種不同情境，並推估各情境下的安裝量，及評估與比較各情境下的環境與經濟效益，以作為相關決策或規劃之參考依據。

各情境分析後結果顯示環境效益在現況下及所替代能源為電力、柴油及天然氣時，估計約分別可減少 eCO_2 37,175噸、18,721噸及14,157噸。而當旗艦計畫執行率達100%時，環境效益約為現況1.5倍。豐日照與外島區在無補助下之回收年限約在18.9至21.2年間，其他地區則長達24年以上，誘因而較小。當初設成本降低10%-30%及含補助時，回收年限則可縮短為12.8至7.9年。傳熱率技術提昇可增加有效日照天數，增加7%-20%時各區最多約可增加9-20日。當折現率值由1.86%增為3%-5%時，各區約可縮短收年限9.1%-17.5%。依結果可看出現今以豐日照區的推廣效益較佳，而中日照區的回收年限長，誘因較為不足。上述情境分析結果可作為台灣在不同區域發展SWHS與相關決策之參考依據。

關鍵詞：太陽能加熱系統、適宜性、環境效益、政策評估、永續環境系統分析

Abstract

In order to improve the energy structure and reduce the GHG emission per capita, promoting renewable energy applications such as the solar water heating system (SWHS) has become an essential national policy. However, regional characteristics can greatly affect the applicability and potential benefits of using SWHS. This study thus proposed a method for assessing the regional applicability and environmental and economic benefits of SWHS in Taiwan.

To facilitate various regional analyses, the entire country is divided into four SWHS development regions based on the level of radiation in each region and administrative boundaries. Previous studies generally implemented their analyses based on the annual solar radiation that may overestimate the energy benefit because, for a SWHS application, the solar radiation energy captured today generally can not be preserved until the next day, even the radiation is excessively high. Therefore, this study determines effective days based on whether the potential heat output, estimated from the water temperature and solar radiation in each region, of each day is enough to run a SWHS or not. The energy benefit of a SWHS is then estimated based on the number of effective days, instead of on annual radiation. The potential benefit for installing two storage tanks is also analyzed. A procedure is established for analyzing the applicability of a SWHS in each region based on its potential cost benefit. Seven scenarios are established according to the development status, the ratio for achieving the national policy target, subsidy, heat transfer rate, fixed and maintenance cost, and discount rate. The environmental and economic benefits among scenarios are also estimated and compared.

Under current situation, the environmental benefit, in term of eCO₂ reduction, for substituting electricity, diesel and natural gas are 37,175, 18,721 and 14,157 tons, respectively. If the target of the national SWHS development policy is achieved, the environmental benefit is expected to increase about 50%. The payback period without subsidy in the high radiation and island areas is between 18.9 and 21.2 years, while for other areas it is more than 24 years. If the initial fixed cost is decreased by 10%-30% and providing subsidies, the payback period can be shortened to 12.8-7.9 years. If the heat transfer rate increases 7%-20%, it can increase 9-20 effective days. When the discount rate is increased from 1.86% to 3% -5%, the payback period can be shorten about 9.1%-17.5%. The results show that promoting SWHS in high radiation areas is effective, but for other areas with less radiation the payback period is still too long. These scenario results are expected to facilitate related decision analyses for developing SWHS in different regions.

Keywords: Solar water heating system; applicability; environmental benefit; policy assessment; sustainable environment systems analysis.

誌謝

進入職場工作後，常懷念起以前的學生生活，特別是大學時代，除了念書、準備考試外，也對於步入社會後的人生，充滿無限憧憬與想像。但畢業後，因為家庭因素，無法選擇繼續學生生活，就這樣拋棄了許多事情，入伍、工作直到現在。

一直有再進修的想法，只是工作壓力下遲遲未付諸行動，感謝登福兄的鼓勵與幫助，方得以下定決心在工作之餘，完成未竟之想法，數年研究生的日子，除了買學生票時有點笑容外，印象中，大多數的時間，不是在上課，就是在課堂，或是在學校及圖書館間中度過。在職進修與全職學生間的差距，有時大到難以量化，偶而也想過要放棄，但總在同學們的互相鼓勵及自己的不甘心下走到了現在。感謝所上教授及兼任教授對專班學生的付出及關懷，特別是我的指導教授高正忠博士，高老師不但讓我了解如何從一個環工人的角度分析事情，而且不厭其煩指導我論文寫作的技巧及態度並適時鼓勵我，更重要的是，高老師對教育的責任感及對社會的關懷，讓我十分佩服；感謝研究室的子欽及宥禎，在研究過程中的指導與幫忙，讓我學習如何規劃及解決瓶頸問題；感謝嘉俊、啟弘、舒閔、淑君的鼓勵，讓我沒有勇氣放棄研究；不能忘記玉華、凱茹、珮絹的加油打氣，也在此表達我的謝意；感謝我的家人及明蓉、郁晴，謝謝你們給我精神上的最大鼓勵。

最後感謝所有幫助過我的人，以及所有同窗之同學，很高興認識大家，也期望畢業後自己對於未來的路有較深刻之思考與永續之規劃。

目錄

中文摘要	i
英文摘要	ii
誌謝	iii
目錄	iv
表目錄	vi
圖目錄	vii
符號說明	ix
第一章 前言	1
1.1 研究緣起	1
1.2 研究目的	3
1.3 研究流程	4
1.4 論文內容	6
第二章 文獻回顧	7
2.1 太陽能發展現況與趨勢	7
2.2 SWHS 應用推廣現況與趨勢	9
2.3 SWHS 補助政策	11
2.4 太陽潛能分析與分區	14
2.5 SWHS 發展可行性與適宜度分析	15
2.6 SWHS 環境與經濟效益分析	18
第三章 太陽能加熱系統及分區方法	20
3.1 太陽能加熱系統	20
3.1.1 簡介	20
3.1.2 種類	21
3.2 應用對象及代表系統	24

3.3	政府補助誘因	27
3.4	太陽能潛勢分區	29
第四章	太陽能加熱系統之適宜性分析	35
4.1	銷售市場與成本效益分析	35
4.2	成本效益分析	38
4.3	日照有效日分析	40
4.4	結果及討論	44
第五章	太陽能加熱系統應用之環境與經濟效益分析	55
5.1	情境	55
5.2	環境與經濟效益分析	57
5.2.1	環境效益與衝擊分析	57
5.2.2	經濟效益分析	58
5.3	各情境環境與經濟效益分析結果與討論	58
5.3.1	情境一：現行 SWHS 發展狀況	59
5.3.2	情境二：太陽能產業發展旗艦計畫執行率分析	64
5.3.3	情境三：分析補助費用多寡之差異	68
5.3.4	情境四：SWHS 技術提升，集熱器之傳熱率增加	71
5.3.5	情境五：SWHS 初置成本降低	73
5.3.6	情境六：年維護運轉費用佔總初設成本的比例	76
5.3.7	情境七：折現率(Discount rate)分析	77
第六章	結論與建議	79
6.1	結論	79
6.2	建議	83
參考文獻	85

表目錄

表 2.1 影響再生能源發展的因素.....	8
表 2.2 各國獎勵政策及現況說明.....	12
表 2.3 希臘地區太陽潛能分佈.....	14
表 2.4 適用性評估分類說明.....	16
表 3.1 代表案例說明.....	27
表 3.2 台灣各氣象站太陽潛能觀測數據.....	32
表 3.3 SWHS 的分區結果.....	33
表 4.1 95 年各區申請太陽能加熱系統件數.....	36
表 4.2 分區之市場銷售狀況.....	37
表 4.3 各分區自來水平均溫度.....	44
表 4.4 各分區每月最低太陽潛能需求量.....	45
表 4.5 各分區之單桶有效熱水天數(A=4 平方公尺).....	46
表 4.6 各分區之雙桶有效熱水天數與單桶差異值(A=4 平方公尺).....	47
表 4.7 各分區之單桶有效日照天數(A=6 平方公尺).....	48
表 4.8 各分區之雙桶有效日照天數.....	49
表 4.9 各分區雙桶可增加之有效熱水天數(A=6 平方公尺).....	50
表 4.10 代表案例相關資料.....	51
表 5.1 各情境的內容說明.....	56
表 5.2 污染物與 GHG 排放係數.....	58
表 5.3 情境一資料-各分區各種類型安裝面積.....	59
表 5.4 情境一相對污染物及 GHG 減量表.....	60
表 5.5 環境污染處理成本換算表.....	62
表 5.6 情境二相對污染物及 GHG 減量表.....	65

圖目錄

圖 1.1 研究流程.....	5
圖 3.1 SWHS 應用範例	21
圖 3.2 自然循環式太陽能熱水器.....	22
圖 3.3 強制循環式太陽能熱水器.....	23
圖 3.4 儲置式太陽能熱水器.....	23
圖 3.5 台灣地區太陽能熱水器應用分佈圖.....	24
圖 3.6 SWHS 之住宅型態調查	25
圖 3.7 台灣地區安裝太陽能集熱面積歷年統計圖	28
圖 3.8 測站分佈圖.....	30
圖 3.9 全天空輻射量.....	30
圖 3.10 SWHS 分區範圍圖	33
圖 4.1 各區每日太陽潛能平均趨勢圖.....	43
圖 4.2 HA 類案例 A_{TC} 與 B_{ze} 比較圖.....	52
圖 4.3 HB 類案例 A_{TC} 與 B_{ze} 比較圖.....	52
圖 4.4 M 類案例 A_{TC} 與 B_{ze} 比較圖.....	53
圖 4.5 CC 類案例 A_{TC} 與 B_{ze} 比較圖.....	53
圖 4.6 豐日照區 HA 類案例 A_{TC} 與 B_{ze} 比較圖.....	54
圖 4.7 高日照區 HA 類案例 A_{TC} 與 B_{ze} 比較圖.....	54
圖 4.8 中日照區 HA 類案例 A_{TC} 與 B_{ze} 比較圖.....	54
圖 4.9 外島區 HA 類案例 A_{TC} 與 B_{ze} 比較圖.....	54
圖 5.1 各分區(能源為電力時)污染物與 GHG 之減量分析圖	60
圖 5.2 各分區(能源為天然氣時)之減量分析圖.....	61
圖 5.3 豐日照區污染物與 GHG 之減量分析圖	62
圖 5.4 各分區採用 SWHS 與原使用能源為天然氣時之效益比較	63

圖 5.5 不同原使用能源下採 SWHS 之效益比較圖	63
圖 5.6 太陽能產業發展旗艦計畫未來裝設量推估圖	64
圖 5.7 情境二各分區(能源為天然氣時)污染物與 GHG 之減量分析圖 ...	66
圖 5.8 情境一至二污染及 GHG 減量比較圖	66
圖 5.9 情境一至二經濟效益比較圖	67
圖 5.10 HA 類案例 ATC 與 Bze 比較圖補助費用	69
圖 5.11 補助費用比例與 15 年後 ATC 剩餘比例圖	70
圖 5.12 各分區之單位面積污染減量累積成本	70
圖 5.13 傳熱率增加與 Rz 值之變化圖	71
圖 5.14 情境一至五污染及 GHG 減量比較	72
圖 5.15 不同集熱效率之成本效益比較	73
圖 5.16 HA 類案例 ATC 與 Bze 比較圖初設成本降低	74
圖 5.17 HA 類案例 ATC 與 Bze 比較圖初設成本降低 10%、20% 及 30%	75
圖 5.18 HA 類案例 ATC 與 Bze 比較圖維護運轉費用係數	77
圖 5.19 HA 類案例 i 值與回收年限關係圖	78
圖 5.20 HA 類案例 i 值與回收年限降低百分比關係圖	78

符號說明

符號	說明	數值	單位
A	太陽能加熱器之集熱板面積大小		m ²
A _{TC}	太陽能熱水器在使用壽命年限前每年平均成本	---	NT
B _{ze}	分區 z 太陽能熱水器在使用壽命年限間之年平均節能費用		NT
CC	SWHS 應用主要對象之一，醫院。		
C ₀	取代加熱能源在使用起始年的現值		nt/kWh
DE _d	雙桶系統有效日天數之判斷值	1 or 0	
e	取代之加熱能源市場價格之平均改變率		%
E _d	第 d 天是否為有效日照天	1 or 0	
E _z	分區 z 之系統年平均熱輸出		kWh/ m ²
Ez ₀	分區 z 假設全年 365 日均使用的總熱輸出		kWh/ m ²
f	使用期間平均通貨膨脹率(inflation rate)		%
FC	初始投入成本	依系統大小不等	NT
H	水之比熱		cal/g °C
HA	SWHS 應用主要對象之一，四人之透天住家家庭使用。		
HB	SWHS 應用主要對象之一，公寓與大廈之家庭使用場所。		
i	平均折現率(discount rate)		%
M	SWHS 應用主要對象之一，旅館。		
MC	維護運轉總費用		NT
MR	年維護運轉費用		NT
m	維護運轉費用之係數		%
n	熱水器的使用年限		year
R _z	分區 z 年平均日照天數比例		%
R _{min_d}	第 d 日的最低太陽潛能需求		MJ/ m ²
R _d	第 d 天之太陽潛能量		MJ/ m ²

符號	說明	數值	單位
S	政策補助費用		NT
u	利率，以中央銀行全球資訊網公告五大銀行平均存款利率(一年期)計算	0.77	%
V	單一儲桶之體積		Liter
Y	分析年度的總天數	一般為 365	day
α	政策補助之係數	2250 or 4500	NT/ m ²
γ	集熱器之集熱效率		%
Δt_d	第 d 日需求熱水與自來水之溫差		°C



第一章 前言

1.1 研究緣起

台灣地區能源約 98% 以上仰賴進口(經濟部能源局，94 年)，加上人口增加及生活品質提升，能源供給已漸不足以滿足需求成長量。而全球能源取得的成本上昇及石化燃料逐漸枯竭，導致原油價格增加。加上近年來全球環保意識抬頭，暖化問題使得全球重視溫室氣體減量，而台灣人均排放量明顯高於國際平均，面對這些改變，發展太陽能等再生能源因而已成為當前重要政策之一。

加熱系統是太陽能的重要應用之一，目前推廣加熱系統之主要誘因來自於政府補助政策(范，89年)，其他誘因還包括電價因素影響，在電價即將上漲，預期會更具誘因促使民眾採用太陽能，然而台灣預估年安裝面積可達10萬平方公尺，居全球第8位；若以單位土地安裝密度來看，可達全球第3位，普及率已達4.48%(經濟部能源局，94年)。但與2006年歐盟市場成長率47%相比，臺灣平均成長率僅約8.3%(王等，96年)，明顯有進步的空間。以德國太陽能運用最普及的弗萊堡為例，台灣面積約為該地235倍，但太陽能裝置容量尚不及其1/5(徐，96年)，因此可看出台灣發展太陽能仍然有很大的發展空間。唯由於台灣區域特性不同，日照量與太陽潛能皆有差異，不同分區日照時數相差可達2.8倍(中央氣象局，95-96年)。加上都會區與非都會區之住宅樓層高度差異，五層樓以下之公寓所佔比例明顯不同，也因加熱系統儲水端與使用點之輸送管線距離不同，影響到可節約之熱能總值(范，89年)，因此適宜性及效益均不同，使得台灣各區推動太陽能加熱系統(Solar water heating systems, SWHS)的適宜性及效益是一個值得探討的研究課題。

國內評估 SWHS 之應用，曾採用問卷評估（鄭，93 年）針對特定區域之人民調查對 SWHS 是否熟悉與接受的程度，以及對政府政策之了解，但並未針對效益評估進行調查。亦曾有以效益評估（黃，93 年）及潛能評估（譚，95 年）方式來分析某特定區域之太陽能加熱應用狀況。唯特定區域之效益評估，對於氣候因素較少著墨，亦未針對不同住宅型態分析加熱系統應用情形。國外對於適宜性研究，則曾有研究依成本效益分析太陽能加熱的可行性（Kaldellis *et al.*, 2004），成本效益考量項目包括裝設面積、裝置價格、政策獎勵比例、年回收熱源、電熱價格、瓦斯加熱價格等。唯這些指標對於台灣地區之適用性尚待探討，且相關因子對於成本效益的影響程度，會因區域之條件不同而不同。本研究因而建立分析台灣各區發展 SWHS 之適宜性的適當方法，以作為後續推廣策略規劃及環境與經濟效益分析之重要依據。

SWHS 之推廣除了分析其適宜性，尚須考量其環境與經濟效益。例如溫室氣體減量是目前全球的焦點，也是環境面的重要考量，裝設太陽能加熱系統，可減少石化燃料或是電力的使用（范，89 年），因而能減少溫室氣體排放量，本研究因而探討依溫室氣體等環境衝擊因子評量其環境效益。並建立一套程序分析 SWHS 的環境與經濟效益。雖然社會面的部分如可能增加的人力需求（Diakoulaki *et al.*, 2000）及教育功能等亦甚為重要，唯因資料甚難取得，故本研究未納入。

而運用 SWHS 取代傳統能源之推廣程度不同，對於環境衝擊及經濟效益亦會有所不同，本研究因而依不同情境，採用前述所建立的方法分析台灣各區推廣 SWHS 之適宜性與環境與經濟效益。

1.2 研究目的

本研究主要分析 SWHS，建立能用以評估台灣發展 SWHS 之適宜性與環境與經濟效益工具，以期作為後續改善與相關決策的依據。主要研究目的有以下四項：

1. 提供適當的工具評估台灣發展 SWHS 之適宜性與環境與經濟效益：因台灣主要能源仰賴進口，再加上全球暖化問題嚴重，使得再生能源受到重視。SWHS 是目前普及率最高的太陽能應用，然而目前國內並沒有適當的方法可供評估台灣發展 SWHS 之適宜性與環境與經濟效益，本研究因而建立一套方法或程序來解決此問題。
2. 評估台灣各區發展 SWHS 的潛勢及適宜性：本研究參考徐(91 年)之分區方法，藉由氣候資料年報之數據，並參考行政區及區內住宅分佈之型態，將台灣分成數區，進而評估各區發展太陽能之潛勢。由分析市場佔有率與成長率，考量民眾接受度及成本效益分析等方式，以評估台灣各區發展 SWHS 的適宜性。
3. 評估台灣各區發展 SWHS 的環境與經濟效益：依據所提出之工具探討台灣各區發展 SWHS 在環境面、經濟面之正面與負面效益，以評估台灣各區發展 SWHS 的環境與經濟效益。
4. 提供台灣發展 SWHS 之適宜性與環境與經濟效益分析結果，以作為後續改善與相關決策的依據：由於台灣各區之氣候與住宅等特性有顯著差異，導致各區推行效益不同，本研究之適宜性與環境與經濟效益研究成果可作為後續改善與相關決策的重要依據。

1.3 研究流程

本研究流程圖如圖 1.1 所示，主要分為資料收集、SWHS 及其運用、潛勢分區方法、SWHS 之適宜性分析、SWHS 之環境與經濟效益性分析、情境分析等六大步驟，以下分別摘要說明之：

1. 資料收集：主要收集國內外 SWHS 文獻，包括再生能源發展、太陽能相關技術、國家能源政策及政府補助政策等相關文獻。及收集案例分析所需要的資料、包括全台灣觀測站日照時數、全日空輻射量、本島住宅分佈型態、多層樓管路等資料。
2. 太陽能加熱系統及其運用：依所收集的文獻，整理出相關 SWHS 之原理，並介紹常用之種類。根據國內外之文獻分析比較台灣與國外加熱系統運用之相異處，以作為後續分析台灣地區適用性時參考。
3. 分區方法：由於台灣區域地形及氣候特性不同，導致各地日照量與太陽潛能皆有差異，加上行政區域劃分方式影響政策的推動，本研究因而以自然條件為主、行政區為輔的方式分區，並考量台灣都會區與非都會區之住宅樓層高度差異，導致加熱系統儲水端與使用點之輸送管線距離不同，做為分區之權重調整。
4. SWHS 之適宜性分析：針對 SWHS 於台灣之佔有率與銷售量，以評估民眾之接受度。並參考 Kaldellis *et al.* (2004)所使用的成本分析方法，考量裝設面積、裝置價格、政策獎勵比例、年回收熱源、電熱價格、瓦斯加熱價格等項目，建立一套可用以評估台灣各區發展 SWHS 之適宜性的方法。
5. SWHS 之環境與經濟效益性分析：本研究除了分析 SWHS 之經濟效益，針對相關成本與經濟因素作一探討，並探討依溫室氣體等環境衝擊因子評量環境效益，討論裝設 SWHS 減少石化燃料及電力的使用量，及相

對應溫室氣體之減少排放量並建立一套程序分析 SWHS 的環境與經濟效益。

6. 情境分析：鑑於運用 SWHS 取代傳統能源之推廣程度不同，對於環境衝擊及環境與經濟效益亦會有所不同，本研究因而依可能發生的不同情境，採用前述所建立的方法分析台灣各區推廣 SWHS 之適宜性與環境與經濟效益，以供作為後續改善與相關決策的重要依據。

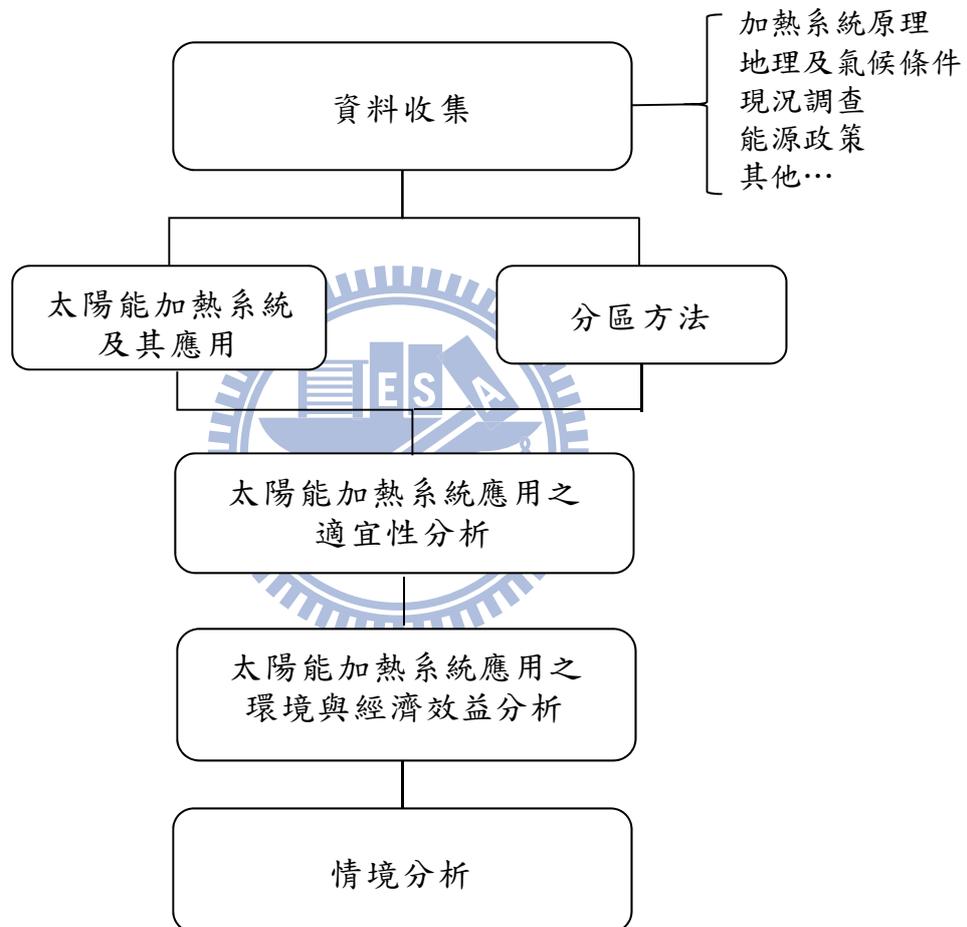
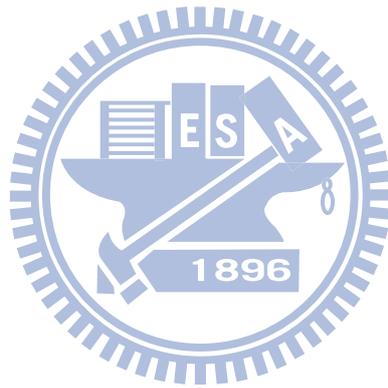


圖 1.1 研究流程

1.4 論文內容

第二章主要介紹及回顧 SWHS 及其發展與運用現況、台灣相關條件、國家能源政策及太陽能發展政策分析；第三章詳述 SWHS 及依氣候及行政界等因子劃分的分區方法；第四章說明台灣各區發展 SWHS 之適宜性分

析，包含市佔率、銷售市場及成本效益分析；第五章說明台灣各區發展 SWHS 之環境與經濟效益分析程序，包含情境分析及討論環境與經濟效益分析結果；最後第六章總結論文及說明後續建議。



第二章 文獻回顧

本章主要回顧及整理與本研究有關的文獻，藉由探討相關研究之成果，分析及討論本研究之重要性與可行性。相關重要文獻主要分為太陽能發展現況及趨勢、SWHS 應用推廣現況與趨勢、SWHS 補助政策、太陽潛能分析與分區、SWHS 發展可行性與適宜性分析及 SWHS 環境與經濟效益分析等部分，以下一一說明之。

2.1 太陽能發展現況與趨勢

發展再生能源已是國際上的趨勢，表 2.1 所列為 Gutermuth (1998) 所指出會影響再生能源發展的 11 項因素，雖然成功的發展再生能源仍面對不少困難及挑戰，但已是各國都在努力的重要目標。而源源不絕的太陽能更是再生能源中很重要的一種綠色能源，工研院(98 年)指出，以歐盟各國為例，在 1975~2002 年間，一共安裝了集熱面積達 12,158,900 平方公尺之 SWHS，其中又以德國佔 34% 最多，且 2003、2004 年資料顯示，德國每年約以 100 萬平方公尺增加中。Tsoutsos (2002) 指出歐洲對於太陽能熱系統之需求逐年增加，自 1999 年起以 7% 之成長率增加。依 BMU (2009) 分析，歐盟太陽熱能發展自 2006 年開始，至 2008 年中，有近 44% 成長，Cyprus 為裝置量排行第一，奧地利及希臘居次，德國為第四位。其中，奧地利與德國能在歐盟排名第二及第四位並非其太陽潛能較高，而是由於其政策所影響。

表 2.1 影響再生能源發展的因素

Item	內容
1	當地氣候、地質條件、地形等因素。
2	技術水準與科技進步程度
3	對於能源之需求程度與
4	與相對應之非再生能源價格比較
5	外在的影響亦包括在能源單價上
6	具體改善財務的途徑
7	國家是否具備再生能源相關條件，如法律、制度、管理等。
8	具備發展使用再生能源的特殊技術
9	獲得資料的能力
10	教育及訓練
11	世代覺醒與公眾的接受。

整理自 Gutermuth (1998)

台灣由於多數能源仰賴進口，以 97 年第三季為例，進口能源佔總能源約 99.3%(經濟部能源局，97 年)，對於自給自足之能源，相形重要。再加上溫室氣體人均排放量頗高，2006 年能源燃燒 CO₂ 排放總量占全球排放總量 0.96%，全球排名第 22 位。人均排放量為全球排名第 16 位(環保署，98 年)，因而發展綠色能源，有必要成為國家的重要政策。加上台灣在自然天候條件上，有很豐富的太陽潛能。比較日、德與台灣數據，台灣日平均輻射量約是日本 67%，德國 56% (歐等，97 年)，但依日照日而言，德國弗萊堡一年擁有 1800 個小時的日照時間，比德國北部的漢堡多了 200 多小時日照，故成為德國之太陽能之都；但其實，弗萊堡日照比起於台灣南部的 2200 小時還要少(徐，96 年)，技術上，國內太陽能廠商亦已正蓬勃發展中，也已在量產階段中，太陽光電部分產值由 2004 年的 26 億台幣，至 2006 年已增加至 148 億，太陽熱能產值亦由 7.3 億提升至 11 億(王等，96

年)，故台灣頗值得推動太陽能應用相關政策。以 96 年資料，太陽能只佔約國內能源的 0.1%(經濟部能源局，97 年)，比起德國太陽能於電力上已佔 0.6%，熱能替代已佔 0.3%(BMU, 2009)，台灣的太陽能應用，仍有很大的發展空間，本研究因而針對國內已在推動的 SWHS 進行分析，以期能更有效的推動相關政策。

2.2 SWHS 應用推廣現況與趨勢

台灣由於太陽潛能豐富，在國內需要發展綠色能源與溫室氣體減量的壓力下，有必要發展太陽能，而技術上已頗成熟的 SWHS 頗值得在台灣推廣，本研究因而建立方法分析台灣發展 SWHS 的適宜性及環境與經濟效益，由於在下一章有必要先說明太陽能加熱系統、種類與應用對象等，以作為後續研究的主要依據，故這些部分說明及相關文獻介紹請參見在第 3.1 節之說明。以下主要回顧國內外 SWHS 應用現況與政策發展趨勢。

張(95 年)提到台灣最早 SWHS 政策為經濟部能源局 88 年所訂定的「太陽能熱水系統推廣獎勵辦法及相關作業要點」目的在藉由補助政策，提高國人裝置 SWHS 之意願，並希望於 2020 年提高再生能源於台灣總能源需求的 3%。王等(96 年)分析國內 SWHS 之市場分佈，主要是以家用 SWHS 為主，佔約 90%，而使用之形態多為自然循環式，但因系統限制，多需安裝於平台或空地上，對建築物之整合性較低。其指出我國自 1986 年至 2006 年底，SWHS 集熱面積安裝達 155 萬平方公尺，能源效益每年為 10.26 萬公秉油當量，相當於節省每年 22.2 億元之 LPG，環境保護效益為可抑制二氧化碳排放量達 28.9 萬噸。97 年 7 月政府宣佈對於太陽能發展之新策略，並將相關經費編於 98 年中央政府總預算案(行政院主計處，98 年)，主要項目為推動太陽能熱水器的 1.7 億元與包括「太陽能產業發展旗艦計畫」在內的雙旗艦計畫共 50.7 億元。

國外對於 SWHS 之發展，主要與各國之太陽潛能及補助推動政策有關，其中歐盟、美國與日本為主要之應用國家。一般國外之政策多採用補助策略，美國發展 SWHS 時亦可減免部分所得稅，日本則是於產業面推廣與及低利貸款方式進行，較詳細說明請參見下一節。

發展 SWHS 需考量其推廣之困難點，必要時需於國家能源政策中協助。Argiriou *et al.* (2003)曾分析於希臘推行 SWHS 之障礙處，值得於國家發展 SWHS 推廣政策時考量，整理如下：

1. 公眾對於 SWHS 之認知與覺醒
2. 產業初始投資成本
3. 希臘都市化程度
4. 建築物屋頂形式
5. 天然氣使用者之促銷

王等(96年)亦曾提到 SWHS 發展需思考的幾個方向

1. 設備成本與經濟誘因
2. 建物景觀問題
3. 屋頂可安裝面積

Tsoutsos (2002)曾以 SWOT 分析 SWHS 技術之優缺點與必要性，以確認發展 SWHS 重要因素與要件。其中之重要因子，如 Strength 中技術成熟、價格合理等。Weaknesses 中銷售安裝需再訓練、部分區域人員的較慢覺醒，機會為高昂的能源成本，歐盟的獎勵與補助政策，Threats 為季節影響或消費者環保意識低落等，此部分因素亦值得決策人員參考。

發展 SWHS 政策需多方面思考，除了下一節所討論的補助政策外，對於生產端或回收端之改善，雖然未列入本研究的範疇中，但後續研究宜納入考量。

2.3 SWHS 補助政策

黃(91年)指出太陽能設施成本仍然高於傳統能源頗多，故現階段推動太陽能應用有賴於政府的補助政策，SWHS亦不例外，目前已有不少國家採用獎勵補助政策推動SWHS，表2.2所列為各國補助措施，多數國家以補助方式來提高SWHS之使用率。

德國是歐洲最大的太陽熱能市場，BMU(2009)分析至2006年底，德國太陽能集熱器安裝面積佔歐盟之49%。依工研院(98年)指出，德國市場與台灣類似，住家使用90%以上。每平方公尺補助110歐元，約是成本的15%。

美國(工研院，98年)則以減稅及獎勵大型系統安裝者為主，主要用於溫水游泳池(88.2%)，家用熱水(9.8%)及暖房(1.7%)次之。可看出其與台灣的SWHS發展頗為不同。

日本(張，97年)使用融資方式推動之外，亦以一些行動計畫，如1994年「新日光計畫」及1995年「綠色政府行動計畫」補助推動之。1998年針對大型系統予以30%~50%補助，2010年目標為5.5百萬公秉油當量。

中國大陸(工研院，98年)自90年代開始就已是全世界最大的太陽能熱水器製造商和使用國，2002年的新安裝面積佔全世界總產量的76%。就1998-2003年期間的累積量平均年增加率為28%左右。地方政府亦有提供一些補助，例如人民日報社(2007)曾報導河南省鄧州市對於自願安裝太陽能熱水器的農戶，每台補助人民幣240元，其市場上普通太陽能熱水器每台售價約在1400至1600元之間，實行集中採購後，得標價降至1100元左右，農民支付800多元，就能裝一台太陽能熱水器。約佔1成多補助，與台灣每平方公尺1500元相比，比例略高。張等(97年)指出大陸安裝SWHS成本較低，單位平方公尺之安裝成本約1000~2000元人民幣；亦有一些地方執行強制條款，如濟南2006年之百萬屋頂太陽能熱水計畫。

台灣(范, 89年)於87年全國能源會議中, 為因應聯合國之氣候變化綱要及後續對人為之GHGs之全球性管制, 達成幾項結論, 包括再生能源利用於2020年達成總能源需求之3%, 加強推動新能源之發展, 如太陽能, 以及成立研究開發小組, 規劃能源科技長久發展計劃。其後, 參考75年至80年間對SWHS之獎勵經驗, 於89年實施「太陽能熱水系統推廣獎勵辦法」, 藉由獎勵措施激勵國人普遍裝置太陽能熱水系統, 並期能於2020年時再生能源占我國總能源需求比例至3%。97年7月政府宣佈雙旗艦計畫(經濟部, 98年), 包括太陽能產業發展旗艦計畫在內, 計畫於四年內推動14萬戶之太陽能熱水器之安裝。「太陽能熱水系統推廣獎勵辦法」是利用補助方式獎勵人民安裝SWHS, 其內容主為依集熱板面積每平方公尺補助1500元, 外島區域則為3000元, 並成立基金會辦理補助作業, 協助合格廠商設立及合格產品登記。補助款不同主要原因包括SWHS初置成本與本島與外島之能源成本不同, 本研究因而就各情境條件下、各區域之太陽能潛能與補助款多寡分析對於推廣SWHS之影響。

表 2.2 各國獎勵政策及現況說明

國名	政策及現況說明
德國	<ol style="list-style-type: none"> 1. 補助金額為110歐元/平方公尺, 以集熱面積5平方公尺的住家熱水系統計算, 成本約4,000歐元; 補助比率約15%。 2. 是歐洲最大的太陽熱能市場, 自1991年以來, 已經成長了十倍。在2003年, 約安裝72萬平方公尺, 有6億歐元銷售額。至2006年底, 太陽能集熱器安裝面積佔歐盟之49% 3. 大型系統安裝位置: 公寓、旅館、醫院、游泳池和公司。德國市場與台灣類似, 住家使用90%以上。 4. 為了刺激公寓建築的使用, 減少聯邦支出, 目前德國正在制訂"Regenerative Heating Act"和"Renewable Energies Act"。

美國	<ol style="list-style-type: none"> 1. 1978 年起，聯邦政府補助 50% 之費用於學校醫院及建築有裝設太陽能熱水系統者。 2. 1980 年訂定能源減稅法，費用之 40% 可減免所得稅於家庭購置太陽能系統者，最高 4,000 美元至 1985 年到期，各州亦有其單獨的減稅辦法，且可和聯邦政府減稅辦法並行。 3. 銷售量至 1984 年最高達 152.5 萬平方公尺。但 1985 年減稅辦法到期之後，加上石油價格低迷，太陽能熱水器的銷售量也逐漸下降，至 1995 年時年銷售面積僅剩 71.2 萬平方公尺。 4. 主要用於溫水游泳池 (88.2%)，家用熱水 (9.8%) 及暖房 (1.7%) 次之。主要使用為南部各州，如佛羅里達 (50%)、加州 (20%) 等，原因為氣候因素及各州之獎勵措施。
日本	<ol style="list-style-type: none"> 1. 能源多數仰賴進口，和我國類似，對太陽能的推展應用可說不遺餘力。 2. 1974 年「日光計畫」(Sunshine Project)。1974 年至 1980 年，重點放在應用於個別及集合式住宅的太陽能冷、暖房和熱水供應系統。1980 年後，重點移至太陽能工業製程用熱的應用及長時熱儲存。 3. 1980 年「促進普及太陽能系統融資制度」，重點為低利貸款補助及稅率優惠。 4. 1994 年「新日光計畫」使用 4.27 億日圓於太陽能冷凍系統研究。 5. 1995 年「綠色政府行動計畫」要求有效地利用太陽能於新建建築物。 6. 1998 年針對大型系統予以 30%~50% 補助，2010 年目標為 5.5 百萬公秉油當量。 7. 1980 年融資制度開始實施後，增加十幾倍年裝置量。80 年代末期，因低油價，銷售量開始下滑。
中國大陸	<ol style="list-style-type: none"> 1. 90 年代開始就已是全世界最大的太陽能熱水器製造商和使用國，2002 年的新安裝面積占全世界總產量的 76%。就 1998-2003 年期間的累積量平均年增加率為 28% 左右。 2. 第 10 個新永續能源工業發展五年計畫裡，2005 年設定目標為 65 百萬平方公尺，長期目標是於 2015 年，完成安裝量 230 百萬平方公尺。 3. 安裝成本較低，單位平方公尺之安裝成本約 1000~2000 元人民幣 (張等，97 年) 4. 2006 年強制條款，如濟南之百萬屋頂太陽能熱水計劃 (張等，97 年)。

台灣	<ol style="list-style-type: none"> 1. 政府於 75 年至 80 年間對 SWHS 施行獎勵措施，推廣獎勵期間年均安裝面積由 5 千平方公尺提昇到 4 萬 9 千平方公尺。 2. 因應聯合國「氣候變化綱要公約」，87 年 5 月全國能源會議達成結論，包括再生能源於 2020 年佔總能源需求 3% 與加強推動新能源開發利用，包括太陽能等。 3. 89 年實施「太陽能熱水系統推廣獎勵辦法」，目的在藉由獎勵措施激勵國人普遍裝置太陽能熱水系統，期能於 2020 年時再生能源占我國總能源需求比例至 3%。94~97 年度辦理第二階段 SWHS 推廣獎勵補助作業 4. 97 年 7 月宣佈雙旗艦計畫，其中包括太陽能產業發展旗艦計畫，該計畫為政府將於四年內推動 14 萬戶之太陽能熱水器之安裝
----	---

整理自 工研院(97 年); 張等(97 年); 范(89 年); BMU (2009); 經濟部(98 年)

2.4 太陽潛能分析與分區

發展 SWHS，與當地的地理條件相關，尤其各區域的太陽潛能，一般太陽潛能是以全年每平方公尺多少 MJ 為單位來評估，並根據各區的太陽潛能來分區;例如 Kaldellis *et al.* (2005)曾根據希臘當地條件，如表 2.3 所列，依據為太陽潛能年累積值分為七區，但差異並不大，最大與最小相差只有約 901MJ/m²; Haralambopoulos *et al.* (1997)亦採用類似分類方式，分為六區，其太陽潛能之範圍為 6030 MJ/m² 至 4810 MJ/m²。

表 2.3. 希臘地區太陽潛能分佈

ZONE	A	B	C	D	E	F	G
MJ/m ²	>5940	5760-5939	5580-5759	5400-5579	5220-5399	5040-5219	<5039

(整理自 Kaldellis *et al.*,2005)

台灣地區太陽潛能之分佈，與希臘相比，範圍分佈較大，氣候資料年報(94 年)指出由最低的蘭嶼(2861.3 MJ/m²)到最高的七股(6272.3 MJ/m²)，其中有 3411 MJ/m²之差距，太陽潛能差異的原因與各區域日照時數、雲量及降水量有關，以太陽潛能最低之蘭嶼為例，各測站日照時數最高為恆春(2303.6 小時)，最低為陽明山鞍部(846.9 小時)，平均為 1715.7 小時，蘭嶼

為 1462.8 小時，為 25 個測站中第 19 位；雲量由多至少排列蘭嶼為第三位；而降水量則為第六位(中央氣象局，97 年)。因此，討論台灣 SWHS 之發展時，有必要進行分區討論，並針對不同區域之特性加以分析研究。唯只考量太陽潛能分區方式，對於執行相關政策並不是很適當，故本研究亦參考行政區作為分區的依據之一。

此外，雖然為了方便，本研究在分區時仍以傳統的全年太陽總潛能作為分區依據，但太陽潛能若只考量全年輻射潛能，並不適合用以分析 SWHS 的效益，因一般家用 SWHS 是以儲存一日或少數為二日的熱水量為主，雖然亦可能儲存三日或更多量，但儲存桶的體積及成本均會較高，不太實用，也因此，即使某一日有較強的太陽潛能時，亦因無法儲存更多的熱能，效益不見得較高，例如某二日的太陽潛能很高，若接下來是二天陰雨天，會比連續四天都有較平均太陽潛能的效益差，本研究因而在依 SWHS 太陽潛能分析各項效益亦採用日及需求太陽潛能來分析。

2.5 SWHS 發展可行性與適宜性分析

SWHS 的可行性與適用性評估可由許多方面著手，如區域之地理與氣候特性，以成本效益、民眾熟悉度與政府政策等亦可列為評估之項目。依據范（89 年）、黃（93 年）鄭（93 年）及 Kaldellis *et al.* (2004)等文獻，本研究整理了一些評估項目，如表 2.4 所列，主要分為區域條件、人文結構、成本效益、獎勵政策及能源分析等五大類，其中對於各類別之因子加以簡要說明，如區域條件之太陽潛能，社會結構之年收入等。本研究擬探討表中所列因子是否適合作為評估台灣發展 SWHS 之適用性，且針對不同分類應用對象時，做各別之討論分析，以了解各因子用於評估適用性的合宜程度，並選擇較適當的因子進行評估。本研究因而依太陽潛能、日照天數、成本效益、回收期、能源價格、政府獎勵比例、年回收熱源，補貼政策及電力使用結構等來分析 SWHS 適宜性。考量的原因主要包括區域條件、成

本效益、獎勵政策與能源分析。區域條件關係 SWHS 之運作效益，成本效益、能源分析及獎勵政策可以決定 SWHS 回收年限及適宜性等因素，社會結構上因目前的資料尚不足以進行分析，故本研究暫不採用。

表 2.4. 適用性評估分類說明

分類	評估項目	說明	出處
區域條件	太陽潛能	影響太陽能集熱器收集效率	II
	日照天數	影響太陽能集熱器有效運作時間	II
	平均氣溫	影響太陽能集熱器效率及使用者意願	II
	降雨天數	影響太陽能集熱器有效運作時間	II
	天然災害	影響太陽能集熱器使用年限	II
	住宅形態	樓層高低與房屋型態直接影響裝設意願	I
	地形分布	影響裝機意願	II
社會結構	年收入	影響裝機意願及能力	II
	人口密度	影響裝機意願	II
	人力資源	勞動參與率、失業率	II
	教育程度	影響太陽能加熱系統接受度	II
成本效益	裝設面積	受限於可使用之面積	IV
	裝置價格	單位面積價格	IV
	土地需求成本	住宅類型與裝置成本	II
	政策獎勵比例	獎勵金額 / 單位面積	IV
	能源貢獻	能源效率	II
	年回收熱源	回收效率	IV
	電熱價格	影響裝機意願	IV
	瓦斯加熱價格	影響裝機意願	IV
獎勵政策	補貼政策	投資補貼，生產補貼，用戶補貼	III
	稅收政策	稅收優惠，強制稅收	III
	價格政策	差價補貼，電價優惠	III
	低息貸款	降低生產成本	III
能源分析	產業結構	影響能源使用	II
	電力使用結構	離尖峰，負載量	II
	電力需求分析	影響未來能源發展趨勢	II

出處：I - 范(89年), II - 黃(93年), III - 鄭(93年), IV - Kaldellis *et al.* (2005)

成本效益分析部分，Alsema (2009)在能源回收期研究上，主要考量生產及組裝的用電量當依據來計算回收期，以生產太陽能電池與組裝所消耗總電力 / 每年日照太陽能電池所產生電力來計算太陽能電力回收期，但這個方式是指"電力"回收期，並不是太陽能設施的真正的回收期，因而得到頗短的回收期。然而太陽能電池生產原料、生產機具、配送都需要用到能源，且製造過程也不是只消耗電，且還會有污染及廢棄物，故此用電回收期並不是頗實用的決策分析依據。Kaldellis *et al.* (2005)曾分析太陽能加熱系統在希臘之成本效益，考量投入成本與節省效益，並以現值呈現。以初始成本與每年之維護成本計算投入成本，節省效益依系統可產生熱能換算為取代能源之成本。由兩者相比較，可以計算出第 n 年成本效益比，兩者相等則可求出回收年限。Haralambopoulos *et al.* (1997)亦採用過類似之回收期(payback period,PBP)方式，方式如下式

$$PBP = \ln \left\{ \left[\frac{TC \times (i - d)}{L \times C_F} + 1 \right] \right\} \div \ln \left[\frac{(1 + i)}{(1 + d)} \right] \quad (2.5a)$$

其中 TC 為系統之成本，i 為通貨膨脹率，d 為市場利率，L 為太陽能取代之能源， C_F 為傳統能源成本。

蔡(94 年)於計算成本效益上亦有類似做法，將裝置 SWHS 之成本與收入分為兩部分，包括初始費用與營運收入兩部分，初始費用估算上，需扣除政府補助款，最後結果分析採用年平均(Annual worth)法計算，並將每年之維修費用亦列入討論，以初始成本的固定比率估算，所有結果轉換成現值計算。

除了上述方式，Diakoulaki *et al.* (2000)則以 B/C ratio 分析 SWHS 的經濟效益，並說明應考量的參數與因子：

1. 定義相關技術或規格參數
2. 定義成本與利益之因子
3. 計算成本與效益之現值(PV)

4. 量化財務評估之指標
5. 最後階段之敏感性分析

本研究由於不擬增加成本效益分析的複雜性，故並未採 B/C ratio 方法，但其中部分成本計算方式可供本研究參考。

2.6 SWHS 環境與經濟效益分析

永續發展當前是國際上各國追求的重要目標，因而 SWHS 發展，除了考量可行性與適宜性之外，更重要的是分析其永續效益。不過，過去的研究與 SWHS 的永續效益完整分析的相關文獻並不多。故以下主要針對個別面向回顧相關文獻。

發展 SWHS 與其他綠色能源一樣，主要著眼於環境效益，希望能減少非再生能源之使用，降低溫室氣體及減少污染，以期減少全球溫室效應，Achard *et al.* (1999) 曾以燃油、煤、天然氣等能源產生之熱值與污染物及溫室氣體列表，除比較不同城市之數值外，也對於 SWHS 替代之能源及其產生物質表作整理，解釋不同城市的替代效果亦有所差異。Diakoulaki *et al.* (2000) 即曾根據各能源使用後，單位能量所產生之污染物比例做整理，指出太陽能比起非再生能源，可減少 SO₂、NO_x、TSP 等污染物及顯著減少排放 CO₂。

有關 SWHS 的經濟效益，需要考量投資成本、回收效益、能源價格等因子，且會受到技術提昇所影響，例如 Haralambopoulos *et al.* (1997) 以 SWHS 可轉換之替代能源分析經濟效益，並依替代能源的不同，而有不同的轉換係數。Mohsen *et al.* (1999) 以 Analytic Hierarchy Process (AHP) 方法分析比較約旦當地各種熱水系統與 SWHS 的效益。Argiriou *et al.* (2003) 曾分析希臘自 1980 至 2000 年家用 SWHS 之投資效益，自 1980 年後投資 SWHS 之成本開始下降，原因為相關技術成熟，但用電單價降低及 discount rate 降低亦會影響使用者採購意願。此外，Diakoulaki *et al.* (2000) 將降低部

分環境衝擊所節省的成本納入經濟效益分析中，此部分亦頗為重要，本研究因而亦將其納入環境與經濟效益分析中。Kaldellis *et al.* (2005)則考量各因素包括集熱器面積大小，單位製造成本，銷售價格等對 SWHS 的經濟效益影響。郭等(96年)以應用彈簧式追日裝置改善太陽能系統之效能，淨發電量約可增加 30.8%。林等(93年)以採用 XYZ 三軸追日之分析，增加淨發電量之範圍由 4%至 47%。由於追日型式不同，效率雖較高，但成本亦較高，目前亦較不普及，故成本效率仍不易評估，本研究因而未直接將追日型納入評估。

有關社會面向部分，Diakoulaki *et al.* (2000)曾分析 SWHS 對社會效益之影響，主要包括 SWHS 產業增加之工作機會，其中新就業人口包含原本待業人口與轉業之人口，相對的，因 SWHS 是替代傳統產業，故亦有社會衝擊，為相關傳統產業工作機會減少或改變。雖然這不是分析 SWHS 效益的主要面向，人力市場的推估與流動會受到很多因子影響，導致其準確性不易掌握，因而一般尚不是推廣 SWHS 的主要決策因子，但相關推估有必要納入考量，以作為輔助決策的參考因子。

第三章 太陽能加熱系統及分區方法

目前已有不少的 SWHS 產品的應用(請參見第二章)，但不同產品在不同條件下的適用性仍有待探討。本章首先介紹 SWHS 之種類及現況分析，並討論適用性及如何評選，之後說明分區原則，由於台灣各地區條件不同，故發展條件不盡相同，故有必要分區分析，並配合行政區界作調整。

3.1 太陽能加熱系統

SWHS 是目前較成熟之太陽能運用，在電價一再上漲下，預期會更具誘因促使民眾採用太陽能，且台灣因地處亞熱帶，日照量充沛，有較豐富之潛力發展太陽能，國內又有能自行生產的太陽能板廠商，但使用率仍偏低，台灣預估年安裝面積可達 10 萬平方公尺，居全球第 8 位(經濟部能源局，94 年)，全球新增安裝太陽能板的量，以中國的市場最大，約佔總安裝量的 75.3%，再來是歐盟的 11.6%、土耳其的 2.7% (REN21, 2008)；若以單位土地安裝密度來看，台灣可達全球第 3 位，但普及率只有 4.48%(經濟部能源局，94 年)，1986 年至 2006 年 12 月止太陽能集熱器國內總安裝面積相當為 155 萬平方公尺。相當能源效益為節省能源為 10.26 萬公秉油當量，若以等效熱含值的液化石油氣(LPG)估算，每公斤 29 元(市價)，則每年可節省約 22.2 億元的 LPG (王等，96 年)。其中安裝之區域別，南部最高，至 96 年底，佔 53%，中部次之，佔 34%，北部為 12%，東部及離島分別為 1%及 0.2%(張等，97 年)。

3.1.1 簡介

太陽熱能的利用主要是將太陽幅射能接受或聚集，使之轉換成熱能以供使用。SWHS 是目前台灣主要使用之類型，利用集熱器吸收太陽之輻

射能，經過熱交換後，將水加熱後儲存於裝置中以供使用。由於該系統建置成本較低，加上政府之補助政策，使得加熱系統與一般民眾之生活較為貼近。

目前 SWHS 是太陽熱能中，應用較廣泛，最具經濟價值且技術成熟，應用範圍如圖 3.1 所示，頗為廣泛，包括工廠製程用水預熱，家庭用水，宿舍、軍隊、泳池、餐廳及醫療院所等，其中家庭用水為目前主要使用項目，宿舍次之。



圖 3.1. SWHS 應用範例 (摘自 工研院，97 年)

3.1.2 種類

一般而言，SWHS 依其加熱與循環方式可分為自然循環、強制循環及儲置式等三類(經濟部能源局，97 年)，以下一一說明之。

- (1) 自然循環：如圖 3.2 所示，此類是利用冷熱水密度不同，將儲水槽設於集熱器上，利用冷水比重較大，會下降至集熱器端形成自然循

環的方式將儲水桶內水加熱。此種類較為單純，適合一般家庭。若盥洗用水直接使用到儲水桶內與集熱器之間循環的熱水即為則屬於直接加熱型（單循環）；如果不是直接使用加熱流體，而是借由流體吸收太陽能後，再間接加熱儲水桶內的使用水則屬間接加熱型（雙循環），熱管集熱器即屬此型。其中，一般家庭用水因為使用習慣問題，多會在儲水桶中增加一輔助電熱棒，其作用是預防使用者因太晚洗澡，造成儲水桶內使用水溫度不夠高，用來輔助加熱使用。

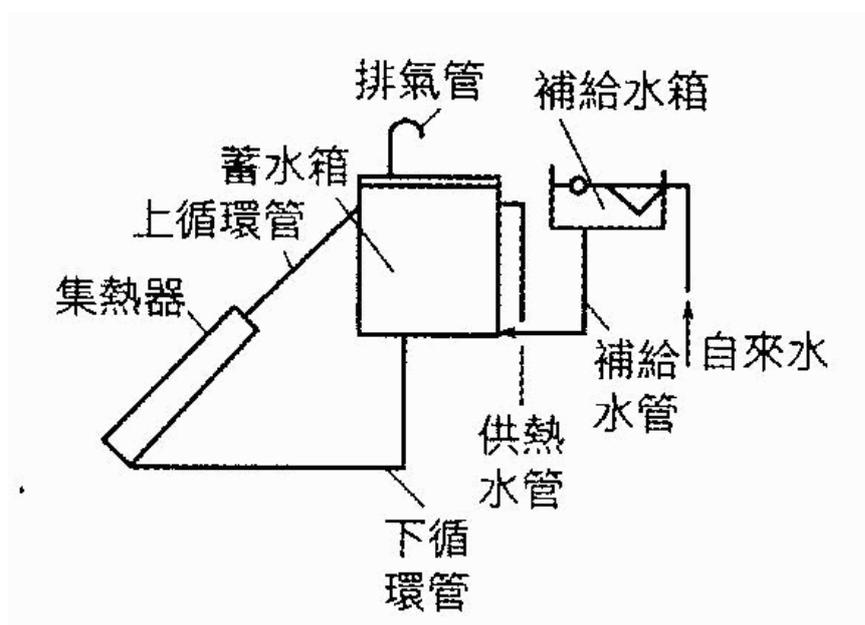


圖 3.2. 自然循環式太陽能熱水器(摘自 羅等，96 年)

- (2) 強制循環：如圖 3.3 所示，此類與自然循環不同，乃是藉由溫差控制器，儲水槽與集熱器間使用泵浦做輸送，理論上可得到較佳之集熱效率。但因設置上較為複雜，適合用於醫院、工廠等大型場所。

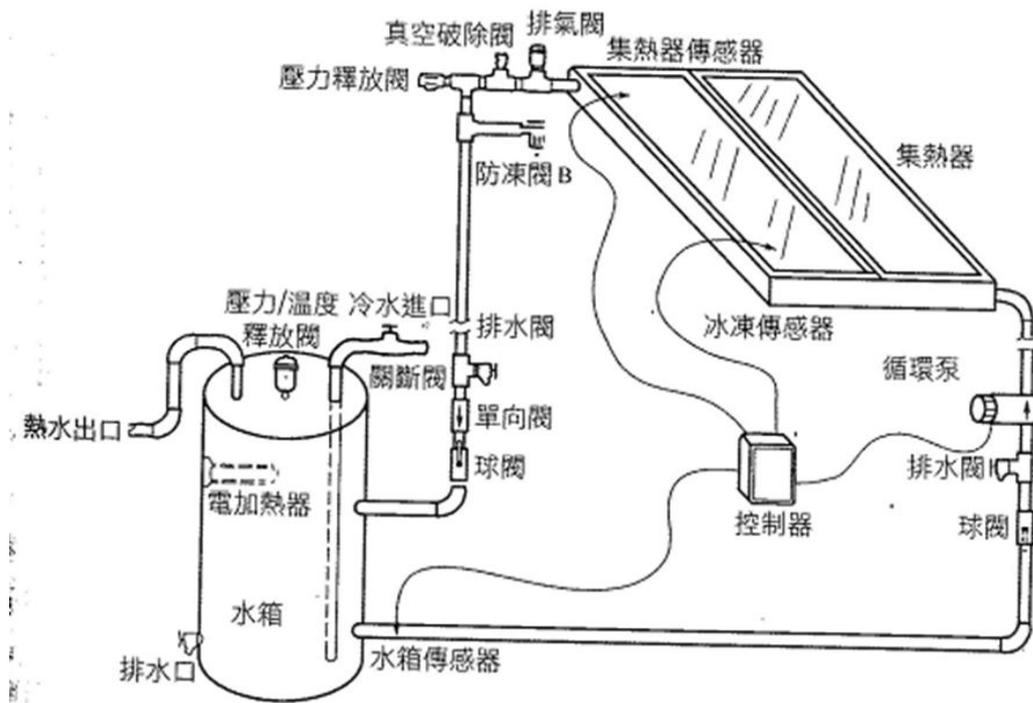


圖 3.3. 強制循環式太陽能熱水器(摘自 羅等，96 年)

- (3) 儲置式：如圖 3.4 所示集熱器與儲水桶合併設置，合而為一之太陽能熱水器，使儲水桶兼具收集太陽熱能與儲水之功能。構造與價格較為經濟，但相對無法保溫太久，多使用於日照量充足之地區。

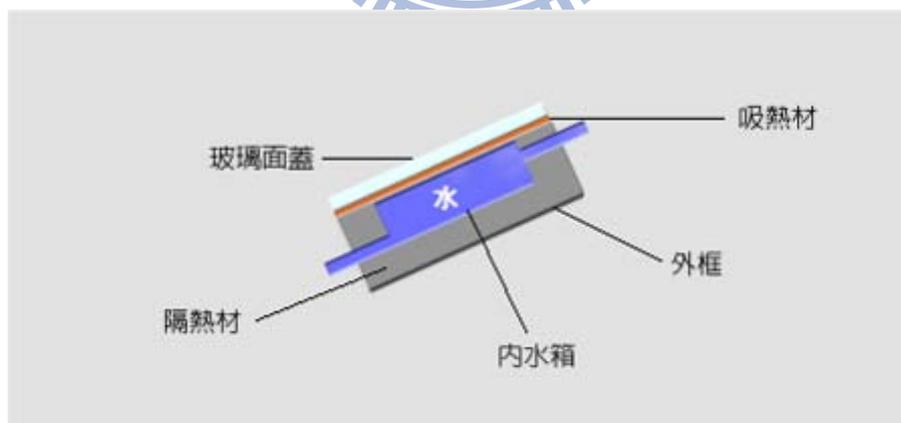


圖 3.4. 儲置式太陽能熱水器(摘自 工研院，97 年)

若以使用對象而言，自然循環及儲置式適合用於使用量較小且使用對象單純之對象，如家庭。其中儲置式因構造與價格因素，多使用於日照量較充足區域如台灣南部等。強制循環則多用於大型場所或使用對象較

多之對象，如宿舍、工廠製程、泳池等，這與強制循環之 SWHS 之構造與投入成本相關。

3.2 應用對象及代表系統

針對 SWHS 使用對象，一般分為家庭、學校宿舍、溫水游泳池、工廠製程預熱（見圖 3.1）、旅館及醫院等類，這些地方均需要使用加熱系統，若能採用 SWHS，可有效節能，圖 3.5 為台灣地區太陽能熱水器應用情形分佈圖，截至 96 年底之資料，最大使用對象為家庭，約為安裝量之 95%，第二使用量為宿舍，為安裝量之 3%(張等，97 年)，其他部分僅佔 2%。

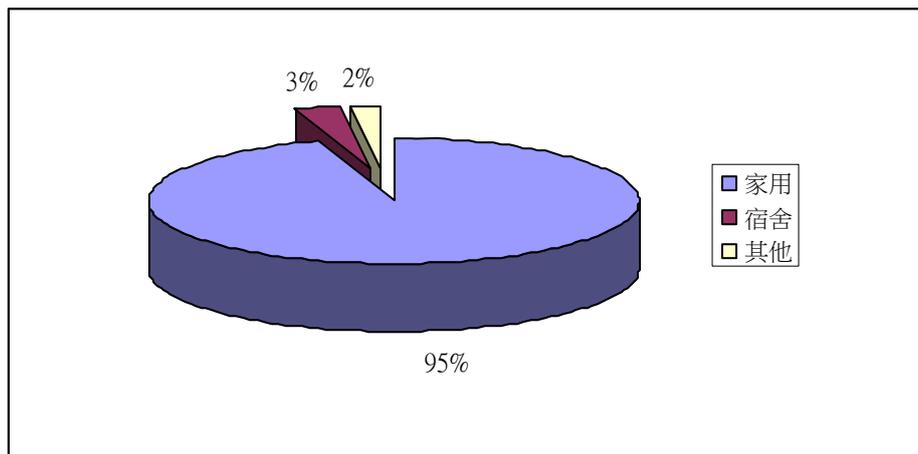


圖 3.5.台灣地區太陽能熱水器應用分佈圖(摘自張等，97 年)

影響 SWHS 銷售狀況之因子很多，除了氣候分區外，住宅型態也是一個值得探討的因素，圖 3.6 為張(95 年)調查裝設 SWHS 之住宅型態所整理的統計圖，由圖中之住宅型態分布可以看出，多數安裝型態集中於透天住宅，佔安裝數 96.5%，其餘部分約佔 3.5%。此原因與透天住宅之住戶較單純與安裝配管上難度較低有關，也反應出高樓林立之都市化區域較不普及之現象。

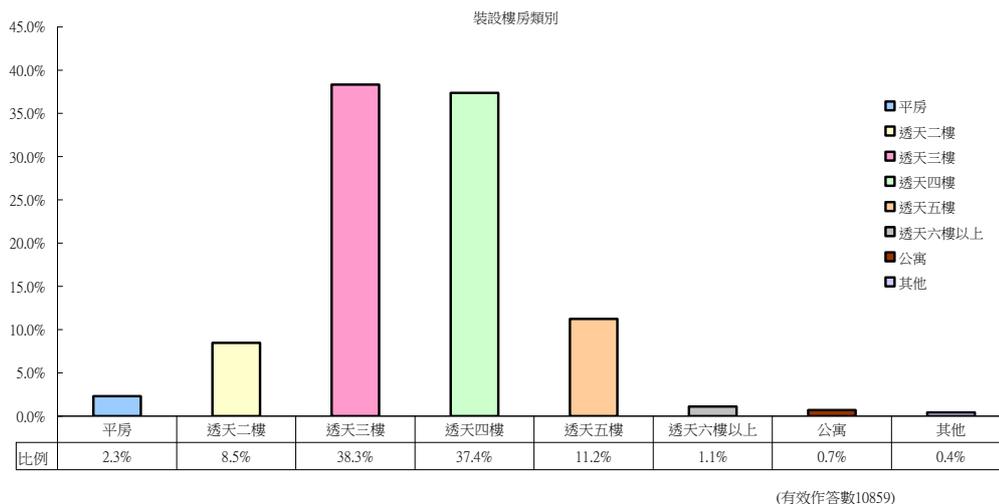


圖 3.6 SWHS 之住宅型態調查(摘自 張，95 年)

本研究依國內特性，將 SWHS 應用主要對象分為四類，以利於後續探討、比較及分析，雖然這四類並未包括全部的應用，但相信已佔大部分比率的應用。四類分別一一說明如下：

- (1) HA 類：四人之透天住家家庭使用，使用於家庭淋浴及廚房熱水使用等，是 SWHS 最早與最基本之使用方式。一般而言，皆以構造與設置成本較低的自然循環式為主。但因配合家庭使用時間關係，有時會於儲水桶內加裝電熱裝置，以提高出水溫，避免可使用之熱水不足。考量住家空間與投入成本，此類之儲水桶容量多以單日或兩日使用設計為主。94 年之調查資料指出，此類住宅(包括傳統農村住宅、獨棟、雙併與連棟)約為 4,331,230 戶，約佔全體戶數 67.9%(營建署，98 年)。
- (2) HB 類：公寓與大廈之家庭使用場所，94 年之統計資料指出其總數 2,047,606 戶約佔全國住宅數之 32.1%(營建署，98 年)，因其管路配置方式與透天之住宅不同，故單獨分為一類討論之。表 3.1 之 HB 類代表性案例，人數及安裝面積與 A 類相同，主要是層別多樓層建築物與 HA 類之差別。

- (3) M類：旅館，因熱水使用點與使用量較多，一般皆採用強制循環方式，以確保較佳之效率與經濟性。且由於使用點較多，一般會加裝電熱器或於出水端加設鍋爐以確保熱水供應不致中斷。至98年1月份，台灣地區旅館家數共3254家，房間數為123,570間，包括離島區91家旅館與房間數3,736間(觀光局，98年)。各旅館之平均房間數約為38間，但依(張，95年)之統計資料指出，95年度已安裝之大型案件為15件，故本研究以其中之相近之案例做為代表案例分析。
- (4) CC類：醫院，亦因熱水使用點與使用量較多，一般皆採用強制循環方式，以確保較佳之效率與經濟性。也一般會於出水端加設鍋爐以確保熱水供應不致中斷。以能源使用分析而言，台灣各級醫院燃油、瓦斯約為11.46億元，但用於熱水系統佔17%，約1.95億元(中技社，96年)。至96年底，台灣地區醫院家數共541家，病床數為45568張，包括離島區21家旅館與病床數為781張(衛生署，98年)。與M類類似，CC類亦由已安裝中之相近案例做為代表案例分析。

將上述四類的代表性案例整理如下表，以做為後續分析之依據。

表 3.1 代表案例說明

類別	使用人數	集熱器面積(平方公尺)	儲水桶(liter)	熱水日用量 l/d	備註
HA	5	4	300*1	60	參考(陶，94 年)估計個人熱水日用量及(張，92 年)單位使用人數。
HB	5	4	300*1	60	利用既有管路使用，但假設不必改管費用 熱水管路，因距離較長，年維修費用比例亦較 A 類高。
M	56	56	300*14	100	汽車旅館，房間數 28
CC	130	104	300*26	100	老人養護中心用熱水中央供水系統，年維修費用最高。

3.3 政府補助誘因

由於太陽能的成本仍然高於傳統能源，故政府補助政策是影響 SWHS 裝設的一個重要因素，目前各國太陽能板的補助政策如第二章之回顧，常用的數種方式有：(1)依裝設太陽能板的面積大小來補助；(2)以保證電價間接補助太陽能光電的應用；(3)設備的融資、低利貸款、減免稅或抵稅。國內主要採用依太陽能板面積大小的補助方式，本研究亦因而仍依此方式進行分析。

經濟部能源局近年來亦制定相關法規與獎勵條例(經濟部能源局，97 年)，分別有太陽能熱水系統推廣獎勵辦法與財稅獎勵措施，希望藉以促進相關產業發展與增加民眾裝機意願，進一步達到發展再生能源的目的。圖 3.7 所示為國內歷年安裝太陽能集熱面積，95 及 96 年已達約 12

萬平方公尺(張等，97年)。目前已訂定2020年要達到每年14萬平方公尺的太陽能熱水器安裝面積之目標(王等，96年)。目前政府推動太陽能熱水系統之獎勵措施為依SWHS集熱器面積及裝設地區而不同，SWHS裝設於本島政府補助每平方公尺1500元，裝設於外島區域則補助每平方公尺3000元。

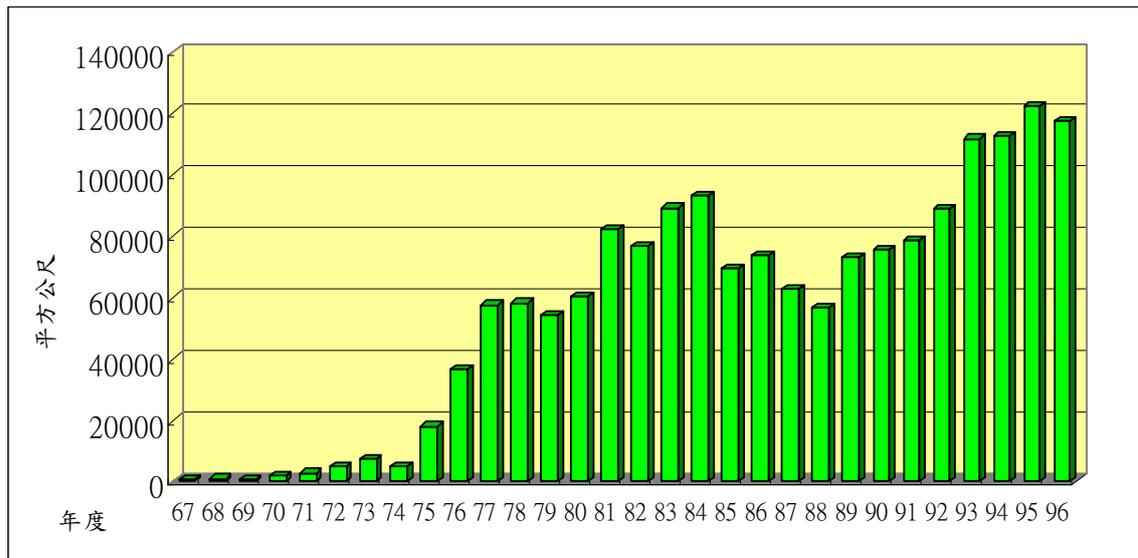


圖 3.7 台灣地區安裝太陽能集熱面積歷年統計圖(摘自 張等，97年)

目前國內利用普及率已由獎勵前3.3%提升至4.6%，且由國際能源總署資料，我國之密度已達 $42 \text{ m}^2/\text{km}^2$ ，全球排序達第三位(經濟部能源局，97年)。但至第二次獎勵措施後，成長趨勢漸趨平穩，主要原因整理如下：

- (1) 經濟誘因：以安裝300公升之設備為例，價格約4~6萬元，參考97年九月瓦斯單價，預估每月瓦斯費用可減少約890~1270元(王等，96年)，但因使用習慣等問題，有時尚需啟用電熱器升溫，可能增加100~300元電費，以及安裝費用較一般熱水器多等，因而會降低一般民眾之意願。91年至95年間，集熱器每平方公尺平均售價約在7000元至7500元間(張，95年)
- (2) 建物規劃：因一般SWHS之外觀不能符合新建築物之設計，影響一般民眾加設之意願。主要原因國內之生產製造商規模較小，不易

配合建物規劃之特別設計。以德國太陽能運用最普及的弗萊堡為例，台灣面積約為該地 235 倍，但太陽能裝置容量尚不及其 1/5(徐，2007)，可以了解若經過有系統之規劃設計，太陽能亦可融入生活中。

- (3) 可安裝面積：目前 SWHS 仍多以安置在樓頂為主，以台灣之銷售分析，多集中在中南部，主要原因便是與樓頂面積取得有關係，且北部多為高樓大廈之建築，先天上就有推廣使用之限制。

3.4 太陽能潛勢分區

日照量與太陽潛能是直接影響 SWHS 效率最直接之因素，不同地區之地理條件與海拔高度亦是需考慮的項目，由於台灣各地在這些項目的特性不盡相同，甚至有的差異很大，例如國內不同區之日照時數差異可達 2.8 倍，依 2.4 太陽潛能分析結果顯示，比較台灣與希臘，希臘區域間差異較少，台灣地區則較大。故首先依據太陽潛能進行分區，再輔以行政區確立分區方式，以利於進行後續的分析。另都會區與非都會區之樓層結構，亦會影響太陽能加熱系統裝設及使用上之效率，此部分將於之後說明之。

台灣各地區域特性不同，日照量差異明顯，本研究因而依太陽潛能分區，資料主要是依據全省中央氣象局之氣候年報(中央氣象局，89-94 年)為依據，根據 26 個測站之全天空輻射量數據，以日照時數為主要指標。圖 3.8 為中央氣象局各地測站之分佈圖，圖 3.9 以 94 年資料所整理 26 個測站的全天空輻射量分布。



圖 3.8 測站分佈圖(摘自 中央氣象局，97 年)

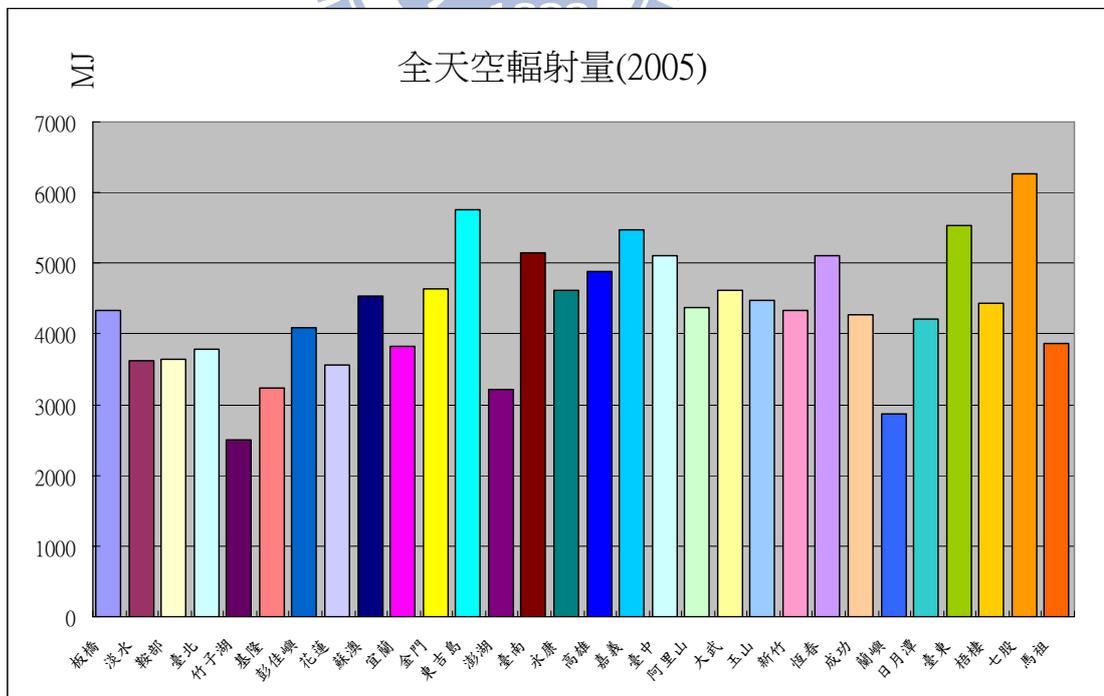


圖 3.9 全天空輻射量(整理自中央氣象局，94 年)

徐(91 年)曾就太陽能資源分級劃分區域，因台灣地區太陽潛能多位於 2000~5000 MJ/m² 之間，故其將相關區域分為四區。本研究參考其分區方法，並考量 91 年後全天空幅射量之改變，加計 6000 MJ 以上之區域，初步共分為五區做為討論，並將離島區域納入討論，且依補助程度不同，分析不同情境可能產生的差異與影響。

由於太陽能的成本仍比傳統能源高，故發展 SWHS 與政府的補助政策推動有極大的相關性，亦會受到地方政府的推動態度所影響，因與行政區域有一定之關係，且不同行政區域，間接影響到區域內的住宅分布與產業發展方向，這些因子皆會造成適用性之差異，Haralambopoulos *et al.* (1997)及 Kaldellis *et al.* (2005)亦曾針對希臘案例分別依太陽潛能作分區，並依等輻射能線分區。唯這樣的分區法沒有依行政區劃分，不易執行推廣策略，故本研究除了依等輻射能線劃分亦考量行政區界作為分區的依據。依據表 3.2，參考台灣之行政區劃，扣除人員稀少之測站資料，如玉山，竹子湖等及較小離島之數據，整理出如表 3.3 所列之依行政區界分區的範圍及圖 3.10 SWHS 之分區範圍圖。

表 3.2. 台灣各氣象站太陽潛能觀測數據

等級	分類	站名	年總值(MJ/m ²)
極豐富帶	≥6000	七股	6272.3
豐富帶	5000~6000	臺東	5539.3
		恆春	5113.3
		東吉島	5753.9
		臺南	5157.2
		嘉義	5480.3
		臺中	5104.9
較豐富帶	4000~5000	彭佳嶼	4098.7
		蘇澳	4536.8
		金門	4633.9
		永康	4613.3
		高雄	4880.1
		阿里山	4376.5
		大武	4627.1
		玉山	4476.9
		新竹	4329.7
		成功	4282
		日月潭	4210.1
		梧棲	4439.3
		較貧帶	3000~4000
鞍部	3648.2		
臺北	3793.3		
基隆	3237.9		
花蓮	3553.6		
宜蘭	3819.9		
澎湖	3220.5		
馬祖	3857.6		
貧乏帶	2000~3000	竹子湖	2512.4
		蘭嶼	2861.3

(整理自 中央氣象局，94 年)

表 3.3 SWHS 的分區結果

分區	分類	站名	年總值(MJ/m ²)
豐日照區	5000~6000	臺東	5539.3
		恆春半島	5113.3
		臺南	5157.2
		嘉義	5480.3
		臺中	5104.9
高日照區	4000~5000	高雄	4880.1
		新竹	4329.7
		南投	4210.1
中日照區	3000~4000	臺北	3793.3
		基隆	3237.9
		花蓮	3553.6
		宜蘭	3819.9
外島區	3000~5000	金門	4633.9
		澎湖	3220.5
		馬祖	3857.6

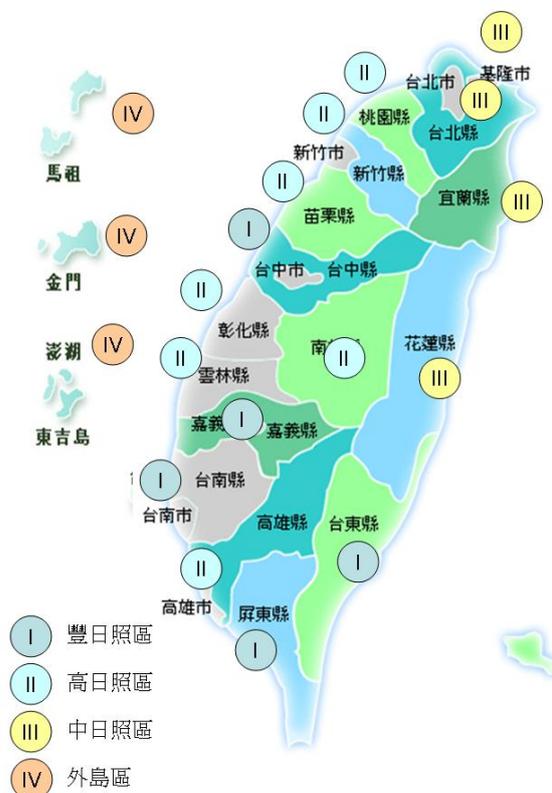


圖 3.10 SWHS 分區範圍圖(台灣地圖摘自 原住民委員會，98 年)

本研究初步依據徐(91年)分區方式加計91年後氣候之改變，將台灣及主要離島分為五區(如表3.2)，但考量部分測站之區域人員稀少，如七股、竹子湖及蘭嶼等，對於區域之幅射量平均值反而造成偏離，影響區域之平均數據。故本研究將極豐富帶及貧乏帶人口較少之分區取消，但考量補助政策之比例於本島與外島區域不同，故將外島區域單獨歸與第四區，與其他區域做比較。將原先之五區縮小至四區，整理後，採用表3.3之分區方式，以進行後續SWHS環境與經濟性評估研究。其中桃園、苗栗、彰化、雲林等四區域因中央氣象局未設觀測站，故未列於表3.3，但考量其介於豐日照與中日照間，故將其分類於高日照。屏東因包括豐日照之恆春半島，故分類於豐日照。

由分區圖可以看出，台東、台南、嘉義及台中為台灣地區太陽能資源豐日照區，含屏東南部恆春半島。台北、基隆、花蓮及宜蘭為相對中日照區，含離島之澎湖與馬祖，其餘地區為較豐富帶。本研究根據此項分區方式，配合地區之住宅形式差異，做為後續分析之依據。

第四章 太陽能加熱系統之適宜性分析

影響 SWHS 應用的適宜性如表 2.4 所列，影響因素並不少，其中區域條件是主要原因之一，日照量與輻射量多寡可以影響相關產品的銷售與使用。加上都會區與非都會區之住宅樓層高度差異，亦會造成消費者的意願差異。故分析 SWHS 除了從成本效益上著手，亦依據銷售市場分析應用的適宜性。本章首先介紹太陽能加熱系統之銷售市場現況分析，並討論影響銷售之因子，之後說明成本效益分析，包括裝設面積、裝置價格、日照天數、預期回收期、政策獎勵比例等因子，建立依據相關因子估算成本效益的方法。進而依據銷售市場及成本效益分析建立分析台灣各區發展 SWHS 之適宜性方法。由於人文結構上因目前的資料尚不足以進行分析，故本研究暫不採用。因而將以包括區域條件、成本效益、補助政策與能源分析等分類因子分析 SWHS 適宜性。

4.1 銷售市場與成本效益分析

台灣對於 SWHS 的使用，始自民國 67 年開始(張等，97 年)，政府於民國 75 年，實行太陽能熱水系統推廣獎勵辦法，期限至民國 81 年中，執行期間，安裝面積有明顯之成長。民國 89 年中，政府修法，另行訂定太陽能熱水系統推廣獎勵要點，施行至今，兩次政府獎勵措施，由圖 3.6 可看出，於獎勵期間之年度總安裝面積皆有明顯之成長。歷年安裝面積如圖 3.6 所示，以民國 95 年之安裝數據為例，各分區申請使用件數整理如表 4.1 所列，以南部區域安裝之件數較多，中部次之，北部再次之，東部及離島之安裝件數較少。

表 4.1 95 年各區申請太陽能加熱系統件數

縣市		完工件數
北部	台北市	26
	台北縣	119
	桃園縣	2066
	新竹市	106
	新竹縣	512
	苗栗縣	161
中部	台中市	893
	台中縣	2548
	彰化縣	1585
	南投縣	1103
	雲林縣	536
南部	嘉義市	556
	嘉義縣	560
	台南市	2125
	台南縣	2431
	高雄市	2769
	高雄縣	3499
	屏東縣	1964
東部	宜蘭縣	74
	花蓮縣	147
	台東縣	81
離島	澎湖縣	20
	金門縣	21
	琉球鄉	14
	蘭嶼	0
合計		23916

整理自張(95 年)

依據表 3.4 太陽能資源之行政區劃，及參考表 4.1 之數據，可整理出如表 4.2 所列四個分區之市場銷售狀況，由該表數據可看出分區銷售之比率，豐日照區與高日照區約佔 47%與 52%，中日照則只佔 1.5%左右，外島區的比例最低，約 0.2%。由上表可以發現，太陽資源會明顯影響市場銷售狀況，中日照由於成本效益較差，市場銷售狀況亦明顯較差。

表 4.2 分區之市場銷售狀況

等級	分類	縣市	完工件數	百分比
豐日照區	5000~6000	台中市	893	46.7%
		台中縣	2548	
		嘉義市	556	
		嘉義縣	560	
		台南市	2125	
		台南縣	2431	
		屏東縣	1978	
		台東縣	81	
		小計	11172	
高日照區	4000~5000	桃園縣	2066	51.6%
		新竹市	106	
		新竹縣	512	
		苗栗縣	161	
		彰化縣	1585	
		南投縣	1103	
		雲林縣	536	
		高雄市	2769	
		高雄縣	3499	
		小計	12337	
中日照區	3000~4000	台北市	26	1.5%
		台北縣	119	
		宜蘭縣	74	
		花蓮縣	147	
		小計	366	
外島區	3000~5000	金門縣	21	0.2%
		澎湖縣	20	
		馬祖	0	
		小計	41	
總計			23916	100%

整理自張(95年)

4.2 成本效益分析

有關成本效益分析，Kaldellis *et al.* (2005)曾分析希臘之 SWHS 的成本效益，主要是考量投入成本與節省效益，其結果以現值呈現。其中投入成本包括初始成本與每年之維護成本，節省效益則是依加熱系統可產生熱能換算成取代能源之所需成本。由兩者相比較，可以計算出第 n 年成本效益比。蔡(94 年)於成本效益計算上亦採用類似方式，分為初始費用與營運收入兩部分，其中初始費用包括投入成本但扣除政府補助款，營運收入則為可節省之 LPG 費用，採用 Annual worth 法計算，並將每年之維修費用亦列入討論。

本研究對於成本效益分析的因子如表 2.4 所述，包括裝設面積、裝置價格、土地需求成本、政策獎勵比例、能源貢獻、年回收熱源、電熱價格及瓦斯加熱價格等。考慮到一般分析成本效益之方法有 Net Present Method、Internal rate of return 及回收年限法(payback period)等，本文採用回收年限方法以分析成本效益問題，主要考量到一般大眾著眼點在於可否回收，回收成本的期間多長等問題。針對使用對象不同，初始成本差異較大，故可分成兩類討論，一為家庭使用，一為集合式區域，如宿舍、旅館、醫院、泳池及工廠等。以下分別說明成本及效益之公式。

成本

成本部分參考 Kaldellis *et al.* (2005)之成本計算公式，並修改為年均攤提值(Annual Worth)，以利於作方案間比較，並加入台灣補助方式。成本之計算公式如下列：

$$A_{TC} = [FC - S + MC] \times \left(\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right) \quad (4.1a)$$

$$S = \alpha A \quad (4.1b)$$

$$MC = MR \times \sum_{r=1}^n \left(\frac{1+f}{1+i} \right)^r \quad (4.1c)$$

$$MR = mFC \quad (4.1d)$$

其中 A_{TC} 為太陽能熱水器在使用壽命年限前每年平均成本； n 為熱水器的使用年限； FC 為初始投入成本； S 為政策補助費用，主要依式 4.1b 計算，依太陽能加熱器之集熱板面積大小 A 及補助率 α 計算，離島等偏遠區域的補助率(之前為 NT\$3000 元，目前為 NT\$4500/m²)與本島(之前為 NT\$1500 元，目前為 NT\$2250/m²)不同； i 為平均折現率(discount rate)； MC 為維護運轉總費用之現值，主要依式 4.1c 計算之，假設每年的 MR 相同，但依據通貨膨脹率修正，並換算為安裝年度的現值； f 為使用期間平均通貨膨脹率(inflation rate)； MR 為年維護運轉費用，主要依式 4.1d 計算，以初始投入成本的一定比例 m 估算之，考量表 3.1 不同之案例類型，HA 類與 M 類管路配置單純， m 以 3% 計算(Kaldellis *et al.*, 2005)；HB 類次之，本研究假設 m 以 5% 計算；CC 類為中央供水系統，維修較不易，本研究假設 m 以 7% 計算。

效益

效益中有關節能部分亦採用類似 Kaldellis *et al.* (2005) 針對希臘案例的所用的方法來分析，但由於各區的日照資源不同，故節能效益亦不同，故本研究依日照資源不同作了修正。計算公式如下列：

$$B_{ZE} = E_z C_0 \left(\sum_{r=1}^n \left(\frac{1+e}{1+i} \right)^r \right) \times \left(\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right) \quad (4.2a)$$

$$E_z = E_{z_0} R_z \quad (4.2b)$$

其中 B_{ze} 為分區 z 太陽能熱水器在使用壽命年限間之年平均節能效益； E_z 為分區 z 之系統年平均熱輸出； C_0 為取代加熱能源在使用起始年的現值； e 為取代之加熱能源市場價格之平均改變率(類似平均通貨膨脹率)； E_{z_0} 為

分區 z 假設全年 365 日均使用的總熱輸出； R_z 為分區 z 年平均有效日照天數比例，唯由於太陽能熱水器亦經常會安裝較大的容量，有時即使隔日無日照，仍可使用前一日留存的熱水，故本研究依有效日照比例(請參見下一節之說明)來修正此值。若將 n 設為未知值，則可以下式將支出與節省費用設為相同，即可算出設備回收年數。

$$A_{TC} = B_{ze} \quad (4.3)$$

可依回收年數比較出不同系統可回收成本之時間。

以不同之使用時間(n)分別計算出相對應之 A_{TC} 與 B_{ze} ，可比較分析在不同使用年限下，SWHS 成本與效益之變化情況。

4.3 有效日照天數分析

太陽能一般是依日照總太陽潛能量評估，但針對 SWHS，有必要進一步考量不同時間之日照情況。例如，台東之總太陽潛能雖高，但夏天與冬天之差別很大，故能有效提供熱水之天數並不一定會多。此外，由於儲桶之容量大小會影響熱水供應之情況。因此，在設置 SWHS 時，需考量有效日照天數及儲桶大小對應之有效熱水天數。有效日照天數係指一年中滿足 SWHS 所需最低太陽潛能之天數，而有效熱水天數為 SWHS 實際可提供之熱水天數。以下為分析步驟：

1. 探討儲桶尺寸

由於儲桶之容量會決定加熱所需太陽能量，並影響有效熱水天數。故於分析時，需先決定儲桶之容量。目前依據台灣地區之現況儲桶容量可分為可提供單日熱水用量之單桶或兩日量之雙桶。雙桶之 SWHS 為兩個獨立之單桶，而在加熱過程中，系統會先以太陽潛能加熱其中一桶至所期望之水溫，然後如有多餘之太陽能，再接繼加

熱另一桶。因而有必要將單桶與雙桶分別分析之。依表 3.1 代表案例中，個人熱水用量為每天 60 L，五口之家為 300L，故單桶體積以 300L 計算，雙桶為 300L * 2。在估算 SWHS 所需最低太陽潛能時，各分區之太陽潛能總量雖作為分區依據(請參見第 3.4 節)，但因 SWHS 對於加熱之太陽需達一定量以上，如某一日太陽潛能不足，則無法產生足夠熱的熱水量，故實際太陽潛能利用效率與該地區之單日之太陽潛能累積量有關。參考陶(94 年)需求熱能之計算方式及考量集熱效率 γ ，可計算出 SWHS 所需日最低太陽潛能需求量，計算方式如下：

$$R_{\min_d} = \frac{VH\Delta t_d}{\gamma A} \quad (4.4)$$

其中， R_{\min_d} 第 d 日的最低太陽潛能需求量，單位為 MJ/m²；V 為單一儲桶之體積，單位為公升；H 為水之比熱，單位為 cal/g °C； Δt_d 為第 d 日需求熱水與自來水之溫差，單位為 °C； γ 為集熱器之集熱效率，單位為 %；A 為集熱器面積，單位為 m²。而對於雙桶之 SWHS，第一儲桶皆要加熱至需求水溫，需要 R_{\min_d} 之太陽能，而如要第一及第二儲桶皆至需求水溫，則需 2 倍 R_{\min_d} 之太陽潛能量。

2. 計算有效日照天數

SWHS 集熱器對於太陽潛能有最低需求，高於此潛能量，便可稱為有效日照天。不同 SWHS 系統，位於不同之區域，有效日照天數亦不相同。參考 95 年至 97 年之太陽潛能資料(大氣研究資料庫，98 年)，利用最低太陽潛能之計算公式，可計算出每日不同條件下之最低太陽潛能。如 4.6 式所示，大於此值則為有效日照天。據此分析各分區之有效日照天數比例(Rz)。

$$R_z = \frac{1}{Y} \sum_{d=1}^Y E_d \quad (4.5)$$

其中， R_z 為分區 z 之年有效日照天數比例（請參見式 4.2b）； Y 為分析年度的總天數，一般為 365 天； E_d 為第 d 天是否為有效日照天； R_d 為第 d 天之太陽潛能量。當第 d 天太陽潛能 R_d 大於所需最低太陽潛能 (R_{min_d}) 時， $E_d=1$ ，否則 $E_d=0$ ，加總 E_d 即可計算出該年之有效日照天數及年比例值 R_z 。

3. 分析有效熱水天數

有效熱水天數為 SWHS 實際供應熱水之天數，此天數會因儲桶之容量而改變。對於單桶之 SWHS 之有效熱水天數即是有效日照天數。而對於雙桶之 SWHS 而言，有第一天日照充足，而第二天日照不足之情況下，第二儲桶可以藉由第一天所獲得之能量，繼續提供第二天之熱水，故雙桶之有效熱水天數，除了原單桶之有效熱水天數外，亦需加入第二儲桶所增加之有效熱水天數。第二儲桶所增加之有效熱水天數如式 4.6 所示，為第 d 天之 R_d 值為 2 倍 R_{min_d} ，且第 $d+1$ 天不為單桶 SWHS 的有效日照天數，此部分考量原單桶之使用量為使用者之一日使用量，若隔日仍為單桶 SWHS 有效日照天數，則雙桶之效益無法顯現。

$$R_z = \frac{1}{Y} \sum_{d=1}^Y (E_d + DE_d) \quad (4.6)$$

其中 DE_d 為雙桶系統有效日天數之判斷值，當第 d 天有效太陽潛能 R_d 大於雙桶系統單位體積所需最低太陽潛能 (2 倍 R_{min_d}) 時，且隔日之有效太陽潛能 R_{d+1} 小於單桶系統單位體積所需最低太陽潛能 $R_{min_{d+1}}$ ，則 $DE_d=1$ ，否則 $DE_d=0$ 。加總 E_d 及 DE_d 可計算出該年雙桶

系統有效熱水天數總和。此部分結果除供成本效益分析用，亦可用以分析各分區單桶與雙桶效益之差異度，並可於成本效益分析需考。

依據大氣資料庫 95~97 年資料，可取得各分區上測站逐日之太陽潛能值，如圖 4.1 為 97 年各區中縣市每日太陽潛能平均趨勢圖，可以看出其每日平均與太陽潛能累計之趨勢相近，且冬季與夏季之有顯著差別。

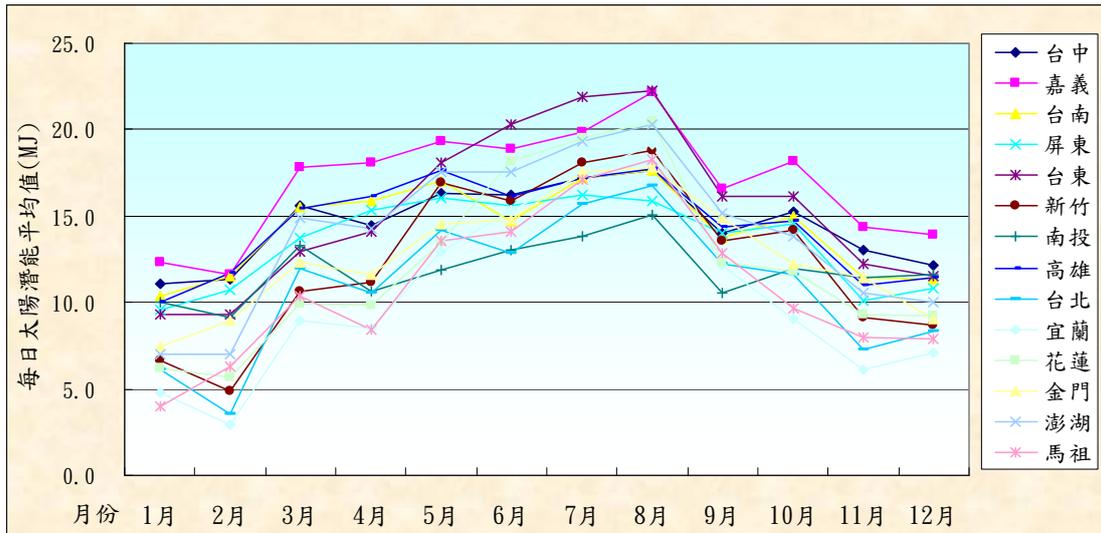


圖 4.1 各區每日太陽潛能平均趨勢圖 (資料整理自台灣大學大氣科學系，98 年)

參照假設案例之條件，依照公式 4.1~4.3，依序取得式 4.4 所需的各項參數值，代入公式 4.4 可計算出 R_{min_d} 。再以 PHP (PHP Group, 2009) 語言撰寫程式依據公式 4.5 及 4.6 進行比對，取得各分區之年有效日照天數比例(R_z)。

4.4 結果與討論

根據第三章的應用分類，考量集熱器轉換效能 γ (以 0.75 計算)，利用公式 4.4，可以計算出最低太陽潛能需求量 R_{min_d} ，以表 3.1 的條件計算，整理(張，94 年)水溫資料如表 4.3，其中缺少之數據以鄰近月份或同區之平均估算，全年度平均水溫以外島區最高(27.5°C)，豐日照區次之(26.8°C)，高日照及中日照較低(25.8°C，25.9°C)。各區水溫之高低反應在每月最低太陽潛能需求量上，水溫較高者所需之太陽潛能需求量相對較低。參考(范，89 年)設定熱水溫度，假設熱水加溫至 45°C，則各分區不同月份單日最低太陽潛能需求量(A=4 平方公尺)如表 4-4 所述，豐日照區所需之太陽潛能需求量較低，全年平均為 7.6MJ，高日照及中日照次之，皆為 8.0MJ，外島區所需之太陽潛能需求量最低為 7.3MJ，但此部分因自來水溫度取樣點較少，需待後續研究追蹤。

表 4.3 各分區自來水平均溫度

分區	縣市	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	平均
豐日照區	台中	22.4	21.9	21.0	25.0	28.1	28.6	31.4	33.3	28.5	27.9	24.8	23.6	26.4
	嘉義	22.4	22.8	28.4	27.0	26.3	29.7	29.8	30.5	29.9	26.8	26.4	23.6	27.0
	台南	22.4	23.2	25.5	27.0	26.3	29.5	28.1	30.5	31.2	27.4	28.0	23.6	26.9
	屏東	22.4	25.0	27.2	28.9	26.1	30.3	32.0	27.6	29.9	27.4	26.4	23.6	27.2
	台東	22.4	23.1	25.5	27.0	24.7	29.5	27.6	30.5	29.9	27.4	26.4	23.6	26.5
	平均	22.4	23.2	25.5	27.0	26.3	29.5	29.8	30.5	29.9	27.4	26.4	23.6	26.8
高日照區	桃園	17.5	21.0	18.7	23.1	26.0	28.3	28.4	30.3	29.7	25.8	26.3	21.9	24.8
	新竹	19.0	22.2	23.4	20.4	24.0	29.4	32.1	28.7	30.9	25.9	26.5	21.9	25.4
	苗栗	19.4	22.2	23.4	25.4	27.0	27.9	29.1	28.7	29.3	27.8	23.5	21.9	25.5
	彰化	19.0	22.2	27.3	24.5	29.3	26.8	30.9	31.6	30.8	28.7	27.2	21.9	26.7
	南投	20.0	23.3	23.0	27.2	29.1	27.0	27.4	29.3	27.2	27.5	27.3	21.9	25.9
	雲林	19.0	22.2	26.0	26.5	27.0	27.9	26.9	32.8	32.4	30.1	28.3	21.9	26.8
	高雄	19.0	22.2	21.8	27.0	26.8	27.9	29.1	27.3	30.1	27.6	26.5	21.9	25.6
	平均	19.0	22.2	23.4	24.9	27.0	27.9	29.1	29.8	30.1	27.6	26.5	21.9	25.8
中日照區	台北	23.0	18.4	23.3	24.2	25.0	27.8	30.8	32.1	31.2	27.8	27.5	23.0	26.2
	宜蘭	21.8	18.5	22.3	24.2	26.2	25.5	30.4	32.1	30.9	27.8	27.5	23.0	25.8
	花蓮	20.6	18.5	21.2	24.2	27.4	25.1	30.6	32.1	30.6	27.8	27.5	23.0	25.7
	平均	21.8	18.5	22.3	24.2	26.2	26.1	30.6	32.1	30.9	27.8	27.5	23.0	25.9
外島區	金門	29.0	29.0	29.0	29.0	29.0	27.9	30.0	29.0	29.0	29.0	29.0	29.0	29.0
	澎湖	25.8	20.6	25.8	25.8	25.8	25.8	25.8	25.8	30.3	26.5	25.8	25.8	25.8
	馬祖	27.6	27.6	27.6	27.6	27.6	27.6	27.6	27.6	27.6	27.6	27.6	27.6	27.6
	平均	27.5	25.7	27.5	27.5	27.5	27.1	27.8	27.5	29.0	27.7	27.5	27.5	27.5

資料來源：整理自張，94 年

說明：1. 台中 12 月數據以 11 月,1 月平均估算；2. 桃園 12 月數據為以 11 月,1 月平均估算；3. 台中 12,1 月數據以 11 月,2 月平均估算，4 月數據以 3,5 月平均估算；4. 其餘各縣市缺少數據以該區當月平均推估；5. 外島區缺少月份以該縣市現有數據平均估算。

表 4.4 各分區每月最低太陽潛能需求量(A=4 平方公尺)

分區	縣市	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	平均
豐日照區	台中	9.5	9.7	10.0	8.4	7.1	6.9	5.7	4.9	6.9	7.2	8.5	9.0	7.8
	嘉義	9.5	9.3	6.9	7.5	7.8	6.4	6.4	6.1	6.3	7.6	7.8	9.0	7.5
	台南	9.5	9.1	8.2	7.5	7.8	6.5	7.1	6.1	5.8	7.4	7.1	9.0	7.6
	屏東	9.5	8.4	7.5	6.7	7.9	6.2	5.4	7.3	6.3	7.4	7.8	9.0	7.4
	台東	9.5	9.2	8.2	7.5	8.5	6.5	7.3	6.1	6.3	7.4	7.8	9.0	7.8
	平均	9.5	9.1	8.2	7.5	7.8	6.5	6.4	6.1	6.3	7.4	7.8	9.0	7.6
高日照區	桃園	11.5	10.0	11.0	9.2	8.0	7.0	6.9	6.2	6.4	8.0	7.8	9.7	8.5
	新竹	10.9	9.5	9.0	10.3	8.8	6.5	5.4	6.8	5.9	8.0	7.7	9.7	8.2
	苗栗	10.7	9.5	9.0	8.2	7.5	7.2	6.7	6.8	6.6	7.2	9.0	9.7	8.2
	彰化	10.9	9.5	7.4	8.6	6.6	7.6	5.9	5.6	5.9	6.8	7.5	9.7	7.7
	南投	10.5	9.1	9.2	7.5	6.7	7.5	7.4	6.6	7.5	7.3	7.4	9.7	8.0
	雲林	10.9	9.5	8.0	7.7	7.5	7.2	7.6	5.1	5.3	6.2	7.0	9.7	7.6
	高雄	10.9	9.5	9.7	7.5	7.6	7.2	6.7	7.4	6.2	7.3	7.7	9.7	8.1
	平均	10.9	9.5	9.1	8.4	7.5	7.2	6.6	6.4	6.3	7.3	7.7	9.7	8.0
中日照區	台北	9.2	11.1	9.1	8.7	8.4	7.2	5.9	5.4	5.8	7.2	7.3	9.2	7.9
	宜蘭	9.7	11.1	9.5	8.7	7.9	8.2	6.1	5.4	5.9	7.2	7.3	9.2	8.0
	花蓮	10.2	11.1	10.0	8.7	7.4	8.3	6.0	5.4	6.0	7.2	7.3	9.2	8.1
	平均	9.7	11.1	9.5	8.7	7.9	7.9	6.0	5.4	5.9	7.2	7.3	9.2	8.0
外島區	金門	6.7	6.7	6.7	6.7	6.7	7.2	6.3	6.7	6.7	6.7	6.7	6.7	6.7
	澎湖	8.0	10.2	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	6.2	7.7	8.0	8.0	8.0
	馬祖	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3
	平均	7.3	8.1	7.3	7.3	7.3	7.5	7.2	7.3	6.7	7.2	7.3	7.3	7.3

利用前述式 4.6 分析有效熱水天數，即可得出各分區之有效熱水天數，表 4.5 及 4.6 所列分別為假設採用 4 平方公尺的集熱器下，單桶的有效日照天數及雙桶與單桶間的差異值。由各分區之平均值可以看出，豐日照區單桶有效日照天數較中日照區高出達 48%，而外島區則介於高日照與中日照區間。其中高日照區之桃園、苗栗、彰化及雲林等地，因測站因素，以現有數據估算，如表 4.5 說明欄，表 4.6~4.9 估算方式與表 4.5 相同。豐日照區中，雖然台東年總輻射量不低，但單日輻射量高低差異較明顯，影響有效熱水日數，故表 4.5 中，台東單桶有效熱水天數低於該區之平均值。

而由表 4.6 所列之雙桶有效熱水天數與單桶差異值可看出單桶與雙桶之有效熱水天數差異並不大，大約只有 3.5% 之差異。實際上，全年加總單桶有效熱水天數中，50% 左右天數的太陽潛能值大於 2 倍 $R_{min,d}$ ，但雙桶 SWHS 系統實際增加有效熱水天數不多，此原因與天氣穩定度有關，當隔日之有效太陽潛能 R_{d+1} 不小於單桶系統單位體積所需最低太陽潛能，雙桶 SWHS 系統便無法增加有效熱水天數。

表 4.5 各分區之單桶有效熱水天數(A=4 平方公尺)

分區	縣市	2006	2007	2008	平均
豐日照區	台中	299	309	307	308
	嘉義	322	321	320	
	台南	296	317	315	
	屏東縣	326	317	314	
	台東縣	288	287	284	
	平均值	306	310	308	
高日照區	桃園縣	229	226	234	262
	新竹市	241	236	239	
	苗栗縣	270	273	273	
	彰化縣	261	261	264	
	南投縣	270	270	275	
	雲林縣	261	261	264	
	高雄市	294	299	297	
	平均值	261	261	264	
中日照區	台北	216	216	229	208
	宜蘭縣	197	196	206	
	花蓮縣	150	231	231	
	平均值	188	214	222	
外島區	金門縣	281	299	295	256
	澎湖縣	198	237	286	
	馬祖	227	247	238	
	平均值	235	261	273	

說明：1.桃園縣因介於新竹與台北間，有效熱水天數以兩者平均值估算；2.苗栗縣因介於新竹與台中間，有效熱水天數以兩者平均值估；3.彰化縣與雲林縣因無測站資料，以高日照區其他縣市資料平均值估算；4.表 4.6~4.8 估算方式與表 4.5 相同。

表 4.6 各分區之雙桶有效熱水天數與單桶差異值(A=4 平方公尺)

分區	縣市	2006	2007	2008	平均
豐日照區	台中	8	7	12	9
	嘉義	6	5	13	
	台南	7	4	9	
	屏東縣	5	8	5	
	台東縣	13	16	13	
	平均值	7.8	8	10.4	
高日照區	桃園縣	7	7	10	7
	新竹市	4	5	9	
	苗栗縣	6	6	11	
	彰化縣	6	6	9	
	南投縣	5	5	8	
	雲林縣	6	6	9	
	高雄市	6	5	10	
	平均值	6	6	9	
中日照區	台北	9	8	10	10
	宜蘭縣	12	9	13	
	花蓮縣	6	9	13	
	平均值	9	9	12	
外島區	金門縣	14	9	16	10
	澎湖縣	1	3	9	
	馬祖	12	8	16	
	平均值	9	7	14	

將集熱器面積由 4 平方公尺增加至 6 平方公尺，以與表 4.3，4.4 之相同條件計算有效日照天數，結果列於表 4.7 及表 4.8 中。當集熱面積增加 50%，單桶有效日照天數於各分區可分別增加 7.5%、8.9%、18.8%及 14.5%。且不考量 E_{d+1} 是否為 0 的條件下，集熱器面積 6 平方公尺之雙桶 SWHS 有效日照天數約為集熱器面積 4 平方公尺單桶有效日照天數 70%，此結果表示理想狀況下雙桶之 SWHS 可較單桶之 SWHS 增加約 70% 左右的年平均熱輸出 E_z ，但實際之熱輸出受限於 E_{d+1} 是否為 0 的條件下，雙桶 SWHS 可增加之有效熱水天數列於表 4.9。分析表 4.9 之數據，

若雙桶之保溫效果僅能延續至隔日，且隔日不為單桶之有效日照天數，則實際可增加之熱輸出由 70%降至只有 4.7%。

表 4.7 各分區之單桶有效日照天數(A=6 平方公尺)

分區	縣市	2006	2007	2008	平均
豐日照區	台中	325	336	331	331
	嘉義	337	338	345	
	台南	320	317	315	
	屏東縣	348	344	343	
	台東縣	314	330	327	
	平均值	329	333	332	
高日照區	桃園縣	274	272	272	285
	新竹市	286	286	282	
	苗栗縣	306	311	307	
	彰化縣	261	261	264	
	南投縣	270	270	275	
	雲林縣	261	261	264	
	高雄市	331	335	328	
	平均值	284	285	284	
中日照區	台北	261	258	261	247
	宜蘭縣	246	241	241	
	花蓮縣	170	270	273	
	平均值	226	256	258	
外島區	金門縣	324	324	328	293
	澎湖縣	255	297	311	
	馬祖	262	274	264	
	平均值	280	298	301	

表 4.8 各分區之雙桶有效日照天數(不考量 E_{d+1} 是否為 0)(A=6 平方公尺)

分區	縣市	2006	2007	2008	平均
豐日照區	台中	271	280	272	253
	嘉義	284	292	288	
	台南	234	148	168	
	屏東縣	287	274	258	
	台東縣	249	248	247	
	平均值	265	248	247	
高日照區	桃園縣	183	185	198	169
	新竹市	188	191	196	
	苗栗縣	230	236	234	
	彰化縣	111.9	118.9	128.8	
	南投縣	81	86	91	
	雲林縣	111.9	118.9	128.8	
	高雄市	234	249	253	
	平均值	163	169	176	
中日照區	台北	177	178	200	173
	宜蘭縣	163	154	171	
	花蓮縣	132	187	196	
	平均值	157	173	189	
外島區	金門縣	251	266	263	218
	澎湖縣	135	184	252	
	馬祖	191	213	210	
	平均值	192	221	242	

表 4.9 各分區雙桶可增加之有效熱水天數(A=6 平方公尺)

分區	縣市	2006	2007	2008	平均
豐日照區	台中	14	9	15	11
	嘉義	11	9	9	
	台南	11	4	9	
	屏東縣	10	9	9	
	台東縣	17	12	11	
	平均值	12.6	8.6	10.6	
高日照區	桃園縣	15	16	15	10
	新竹市	12	15	12	
	苗栗縣	13	12	14	
	彰化縣	6	6	9	
	南投縣	5	5	8	
	雲林縣	6	6	9	
	高雄市	8	7	13	
	平均值	9	9	11	
中日照區	台北	18	16	17	17
	宜蘭縣	17	18	20	
	花蓮縣	8	17	19	
	平均值	14.3	17	18.7	
外島區	金門縣	13	20	15	16
	澎湖縣	7	8	14	
	馬祖	23	22	24	
	平均值	14	17	18	

根據第三章的應用分類，將依各類代表對象進行成本效益分析，各類對象相關假設資料如表 4.10，計算結果如圖 4.1~4.8 所列，以下說明及比較各類太陽能加熱系統成本效益。

表 4.10 代表案例相關資料

資料項目(符號)	單位	HA	HB	M	CC	備註
初始投入成本 (FC)	NT\$	66,000	66,000	831,600	1,887,600	參考業者提供之裝設費用，C 類因裝設數量較多，單位平均價格較 A/B 類少 10%；D 類則因為中央供應系統，單位平均價格較 A/B 類多 10%
維護運轉費用之 係數(m)	%	3	5	3	7	以 3% 假設，B 類管路較複雜，以 5% 假設，D 類為中央供應系統，以 7% 假設。
太陽能加熱器之 集熱板面積大小 (A)	m ²	4	4	56	104	參考(黃，93 年)平均五口之家約需 4 平方公尺。C，D 類則依代表案件假設之。
政策補助之係數 (α)	NT/ m ²	2,250	2,250	2,250	2,250	依太陽能熱水系統推廣獎勵要點 98 年 1 月之新規定
熱水器的使用年 限(n)	year	15	15	15	15	n 值為使用年限，以 15 年假設，在效益分析中，n 值可假設為 1~15 年，以分析不同情境結果
取代之加熱能源 市場價格之平均 改變率(e)	%	1.54	1.54	1.54	1.54	以台灣中油公告之 LPG 價格計算 (1999/01/06~2009/05/02)
使用期間平均通 貨膨脹率(f)	%	1.08	1.08	1.08	1.08	以主計處 CPI 平均漲跌率計算(1999~2008)
利率(u)	%	0.77	0.77	0.77	0.77	以中央銀行全球資訊網公告五大銀行平均存款利率(一年期)計算
平均折現率(i)	%	1.86	1.86	1.86	1.86	以公式(1+i)=(1+u)(1+f)計算

圖 4.2 至 4.5 為 HA~CC 類案例 A_{TC} 與 B_{ze} 比較圖，各圖 R_z 以 1 計算，即假定各分區全年皆為有效日照天數，由結果可以看出，各案例第一年 A_{TC} 即較 B_{ze} 高，原因為第一年增加之初始投入成本 FC ，隨使用時間變長， A_{TC} 逐漸降低。降低之趨勢以 CC 類最緩，HB 類次之，HA、M 則較顯著。此結果與維護運轉費用係數 m 有關，CC 類為老人養護中心之中央供水系統，建置及年維護費用均較高，故 A_{TC} 相對偏高。M 類與 HA、HB 類相似，但 M 類為汽車旅館，裝設之 SWHS 數量較多，初始投入成本 FC 較一般家用系統較有優勢，故 A_{TC} 減少趨勢較顯著。HA、HB 類差異在於 HB 類為公寓及大廈， m 值較 HA 類為高，其結果反應在 A_{TC} 上。

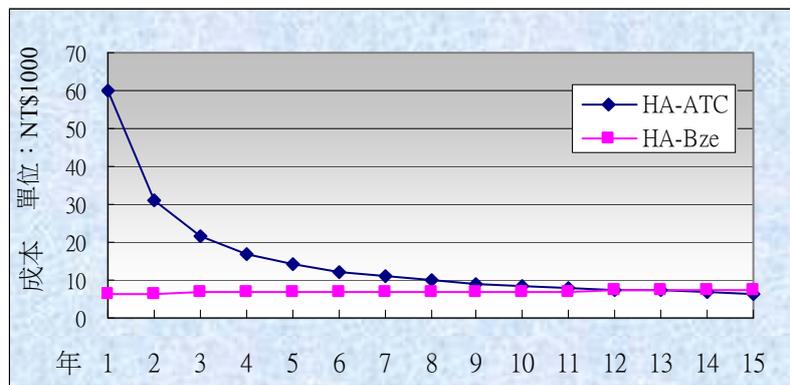


圖 4.2 HA 類案例 A_{TC} 與 B_{ze} 比較圖

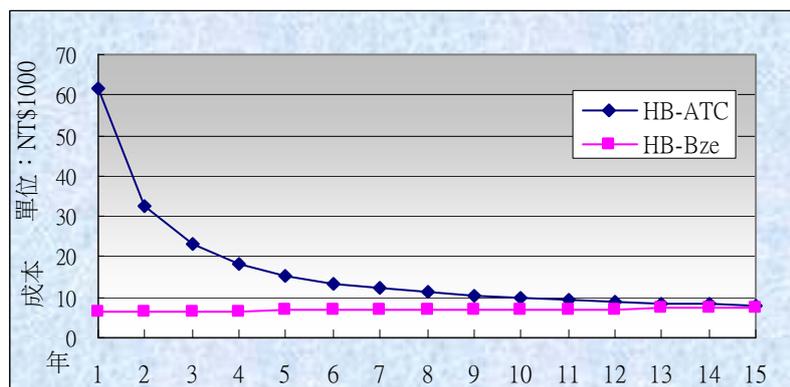


圖 4.3 HB 類案例 A_{TC} 與 B_{ze} 比較圖

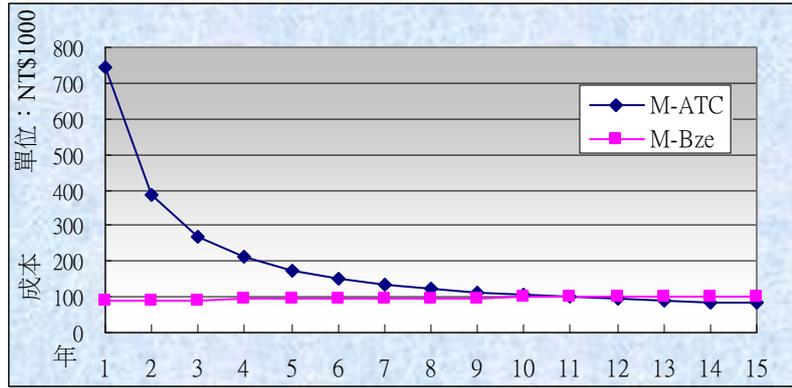


圖 4.4 M 類案例 A_{TC} 與 B_{ze} 比較圖

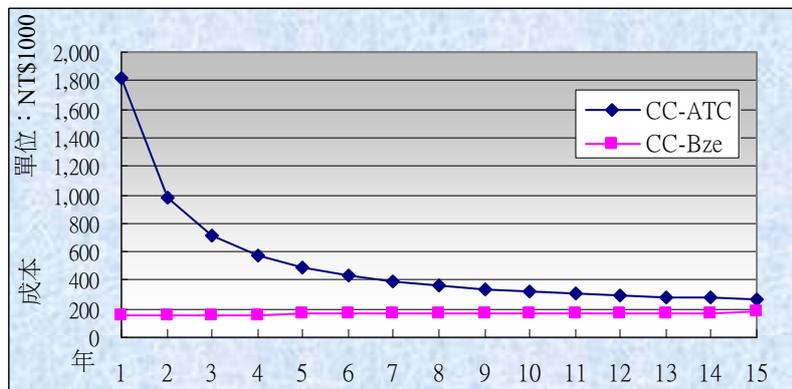


圖 4.5 CC 類案例 A_{TC} 與 B_{ze} 比較圖

將表 4.5 各分區之單桶有效日照天數(A=4 平方公尺)代入 R_z，以 HA 類條件計算，結果如圖 4.6 所示。A_{TC} 之趨勢與圖 4.2 相同，除圖 4.9 外島區之 A_{TC} 起始值為 50,894 較其它三區 60,062 低，約為 85%，原因為外島區之補助率較高所致。15 年後外島區 A_{TC} 仍為其他三區 89% 左右，但差距已由 9,168 元降至 693 元。回收年數由 R_z=1 時的 13 年左右皆延長至 15 年後，至 15 年後 A_{TC} 與 B_{ze} 差值分別為 496、1,135、2,246 及 507 元，由此可看出 R_z 值對於 B_{ze} 之影響。15 年後外島區 A_{TC} 為 5,849 元，與其他區域 A_{TC} 6,542 元差距 653 元，約為 11%。

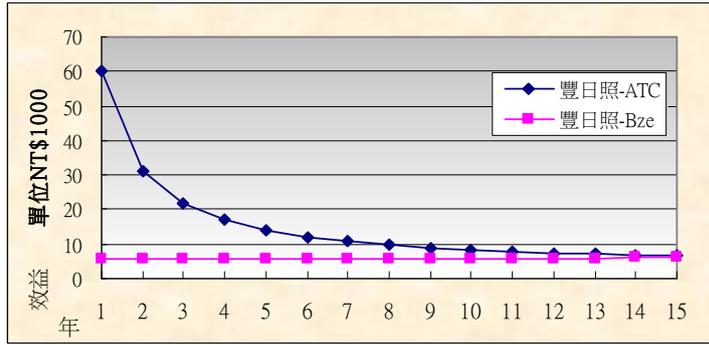


圖 4.6 豐日照區 HA 類案例 A_{TC} 與 B_{ze} 比較圖

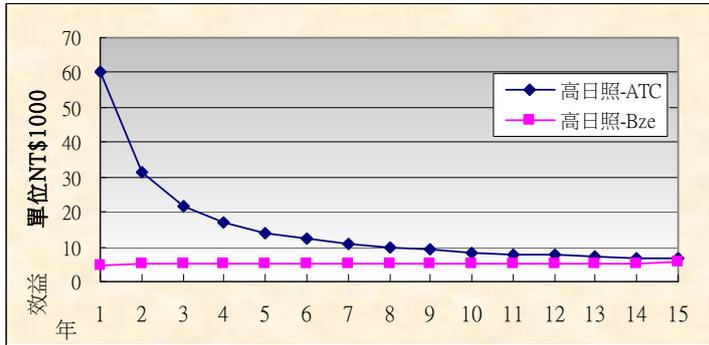


圖 4.7 高日照區 HA 類案例 A_{TC} 與 B_{ze} 比較圖

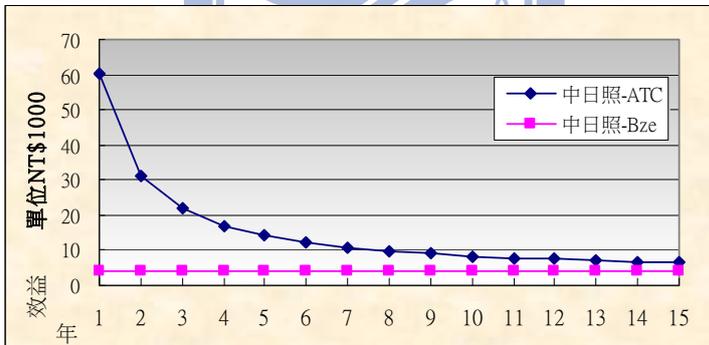


圖 4.8 中日照區 HA 類案例 A_{TC} 與 B_{ze} 比較圖

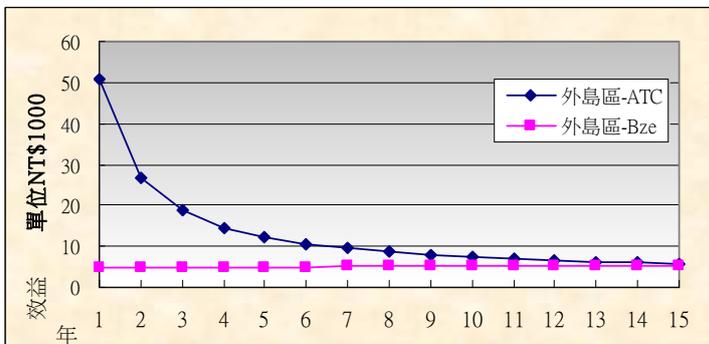


圖 4.9 外島區 HA 類案例 A_{TC} 與 B_{ze} 比較圖

第五章 太陽能加熱系統應用之環境與經濟效益分析

推動 SWHS 應用政策，除了應分析各區推動的適宜性之外，亦應評估其環境與經濟效益。本章介紹如何進行環境效益分析，主要著重於溫室氣體減量。其次為經濟效益分析。針對環境與經濟效益，建立一套程序來分析。最後建立一些合理的情境來分析及比較不同狀況下推動太陽能加熱系統應用政策之環境與經濟效益。

5.1 情境

本研究建立一些情境分析在台灣推動 SWHS 之環境與經濟效益，情境研擬主要考量補助方案、各區的日照資源、預期安裝數量與面積及政策目標、政策執行率等因子，如圖 3.7 所示為台灣歷年之安裝數量，數量與補助政策有一定的相關性，該圖之數據亦將作為本研究研擬情境的依據之一。政府於 97 年 7 月宣佈之雙旗艦計畫，包括太陽能產業發展旗艦計畫(經濟部，98 年)，該計畫政府將於四年內推動 14 萬戶之太陽能熱水器之安裝，亦列入本研究擬分析的情境之一。每一情境包括各分區各類應用之安裝比例與數量，然後分析及比較每一情境之永續效益。

表 5.1 是各情境的內容與原則，情境一為目前 SWHS 發展之環境與經濟效益分析，並做為後續情境比較基準；情境二主要討論太陽能產業發展旗艦計劃之政策執行率多寡與環境與經濟效益關係；情境三則是討論單位面積之政策補助費用多寡；情境四分析當 SWHS 技術提升時，集熱器之傳熱率改變對於環境與經濟效益之影響，初步以增加 10%、20% 與 30% 之傳熱率分析。情境五則考量 SWHS 初置成本降低後，對於效益之影響，因成本降低之方式以 90%、70%、50% 比例計算，與情境三之政策補助費用定額方式不同。情境六則分析年維修佔總初設成本的比例對回

收期(payback period)之影響。情境七討論不同方案不同折現率(discount rates)下之回收期分析。每一情境均將分析及比較其環境與經濟效益。

關於情境六之補助費用，參考各國的補助基準，德國約 15%(工研院，97 年)，台灣約 7.5%，初步採用(a)0% (b)7.5%，(c)10%，(d)15%及(e)20% 試算。其中無補助(0%)雖然依目前太陽能的成本效益仍不可行，若可行，則由自由經濟市場運作即可，不必推廣即可推動，雖然不可行，但無補助方案可用於與其他方案比較差異情形。

表 5.1 各情境的內容說明

	內容	說明
情境一	現行 SWHS 發展狀況	了解目前狀況之環境與經濟效益，作為其他情境分析比較用
情境二	太陽能產業發展旗艦計畫執行率 75%，90%，100%，125%	各區之裝設比例與現行比例相同
情境三	分析補助費用多寡之差異	採用(a)0% ，(b)7.5%，(c)10%，(d)15%及(e)20% 試算
情境四	SWHS 技術提升，集熱器之傳熱率增加	分析傳熱率由 75%增加為 80%、85%及 90%時之影響
情境五	SWHS 初置成本降低	分析初置成本降低為原成本之 90%、70%、50%之影響
情境六	年維修佔總初設成本的比例	分析年維修佔總初設成本的比例不同，對回收期(payback period)的影響
情境七	不同方案不同折現率(discount rates)下之回收期分析	分析不同方案案與折現率之回收期差異

一個情境下基於各情境之假設所推估各分區各類應用之安裝比例與面積等資訊可整理為單一情境資料表，此部分資訊可藉由政策補助之總金額，推算出台灣可能裝設 SWHS 之總面積，再依照目前之比例，換算出各區之安裝面積及區內四個分類之安裝比例與環境與經濟效益。各情境環境與經濟效益方法如以下之說明，情境分析結果與討論將於第 5.3 節中說明之。

除以上情境分析，本研究考量日照之有效日，加計考量儲桶單日或兩日量之影響程度，並於現行之銷售量比較，整理出兩者之關連，並分析於各分區相關 GHGs 減量成本之差異。

5.2 環境與經濟效益分析

SWHS 的永續性主要依環境面向、經濟面向及社會面向等三面向分析其效益與衝擊，以下一一說明之。

5.2.1 環境效益與衝擊分析

環境效益與衝擊分析主要是針對於污染物排放及溫室氣體減量進行 SWHS 環境效益的完整分析，必須由從原料、製造生產到使用、最終處置等一連串過程中，對於環境的正面與負面影響，加以分析及評估，唯對於太陽能加熱系統之原料及製造生產部分，因涉及各廠牌之生產流程而有所差異，而最終處置部分，由於大部分系統均是近年設置，尚未達壽命廢棄或回收的階段，不易找到相關文獻可供參考。

故本章先針對使用部分分析，SWHS 利用太陽能來加熱，若太陽能足夠，不需要使用其他能源，亦不會排放溫室氣體，亦可減少原使用其他能源於製造過程中所排放的污染物，如天然氣、發電及柴油等能源會排放的污染物，如 SO_2 、 NO_x 、TSP (Diakoulaki *et al.*, 2000)。各污染物及 GHG(主要以 eCO_2 表示)將依下表 5.2 計算之。

本研究依各種情境假設依上列式子估算各污染物及 GHG 的減少量，再結合製造階段所造成環境衝擊，以作為分析環境效益與衝擊的依據。

表 5.2 污染物與 GHG 排放係數

排放係數 mg/kWh	TSP	SO _x	NO _x	eCO ₂
電力	31	493	446	637000
天然氣	10.6	0.8	130.6	202145
柴油	23.5	0.08	234.5	267314

資料來源:電力來自台灣電力公司(97年);天然氣、柴油 TSP、SO_x 及 NO_x 來自環保署(98年), eCO₂ 來自盧(92年)及 Eggleston *et al.* (2006)

5.2.2 經濟效益分析

SWHS 的經濟效益部分,除了前一章的成本效益以外,主要可分為兩部分,第一部分是替代原使用能源之成本;第二部分為避免使用原能源所降低的污染處理成本,本研究暫不考量社會成本的部分。上兩項之效益說明茲分述如下。

1. 替代原使用能源之成本:因 SWHS 可減少原使用能源之成本,此部分之效益可由各地區之太陽潛能總量換算,並依分區之有效日照天數有不同權重。
2. 節省環境污染處理成本:SWHS 可減少為處理相關污染或減少 GHG 排放所投入之費用,包括電力、天然氣及柴油之製造過程及使用中所產出(Diakoulaki *et al.*, 2000),本研究根據環境效益之數量及後續處理之成本計算此部分經濟效益。

5.3 各情境環境與經濟效益分析結果與討論

針對本研究之不同情境,於環境效益,經濟效益分別比較。情境一至五,除計畫各效益之數據外,並針對這五個情境各效益之結果繪圖比較,以了解政策達成率對環境與經濟效益之影響程度。情境六則針對單位補助費用四種比率計算效益作分析,分析目前補助費用對於環境與經濟效益之影響。情境七則是 SWHS 技術提升,集熱器之傳熱率增加時,不同

傳熱率之影響程度。情境八則是分析初置成本降低對於環境與經濟效益之影響。

5.3.1 情境一：現行 SWHS 發展狀況

此情境主要用以了解目前狀況之環境與經濟效益，作為與其他情境比較的依據。表 5.3 所列為整理的情境資料，依表 4.4 各分區太陽潛能需求量平均值為基準，可換算為各分區系統年熱輸出。而若熱水器裝設以電力、天然氣或是柴油為能源時，相對的污染物及 GHG 排放數量可由表 5.2 之係數換算出，但 SWHS 於產生熱水時，此部分排放量幾可忽略不計，故以各能源替代換算出排放數量即可表示為現行 SWHS 取代電力、天然氣或是柴油實際使用比率時，相對污染物及 GHG 減量表，結果列於表 5.4。各能源之現行使用比率柴油可由實際安裝面積推算，其餘可由電熱水器普及狀況(盧，97 年)換算，分別為天然氣 69%、電力 27.6%及柴油 3.4%。由表 5.4 可以看出，不論取代能源為那一種，豐日照區與高日照區之 SO_x 、 NO_x 及 eCO_2 減量數量明顯較中日照區及外島區為多，原因與該兩分區之裝設面積比重較大有關。而污染物與 GHG 在各分區之減量多寡則與表 5.2 之排放係數成正比。

表 5.3 情境一資料-各分區各種類型安裝面積(單位:平方公尺)

分區	HA	HB	M	CC	總安裝面積	比例
豐日照區	51,329	363	0	1,746	53,438	46.7%
高日照區	56,613	401	0	2,031	59,045	51.6%
中日照區	1,540	11	0	165	1,716	1.5%
外島區	1,38	1	90	0	229	0.2%
				總計	114,428	100%

資料來源：各分區安裝比例(請參考表 4.2)、分區中各類之比例、總安裝面積等資料均依張(95 年)的資料估算，M 及 CC 類以各分區實際安裝面積計算，HA 及 HB 則依比例分配。

表 5.4 情境一相對污染物及 GHG 減量表

	TSP(kg)	SO _x (kg)	NO _x (kg)	eCO ₂ (100 ton)
豐日照(電力)	248	3942	3566	50.9
高日照(電力)	245	3894	3523	50.3
中日照(電力)	6	90	81	1.2
外島區(電力)	1	15	13	0.2
豐日照(天然氣)	254	20	3133	48.5
高日照(天然氣)	251	20	3096	47.9
中日照(天然氣)	6	0.5	72	1.1
外島區(天然氣)	1	0.1	12	0.2
豐日照(柴油)	28	0.1	277	3.2
高日照(柴油)	27	0.1	274	3.1
中日照(柴油)	1	0.002	6	0.1
外島區(柴油)	0.1	0.0003	1	0.01

說明：電力、天然氣與柴油之轉換率分別假設為 90%、75% 及 75%(台灣綠色生產力基金會，98 年)

若以替代能源皆為電力，比較各分區污染物與 GHG 之減量效果，可以發現減量效果與分區之集熱器安裝面積相關，豐日照區與高日照區集熱器安裝面積佔全部安裝面積 98% 以上，其影響可於圖 5.1 上明顯發現，豐日照區及高日照區減量數量相當，而豐日照區污染物與 GHG 減量為中日照區的 44 倍，外島區的 264 倍。

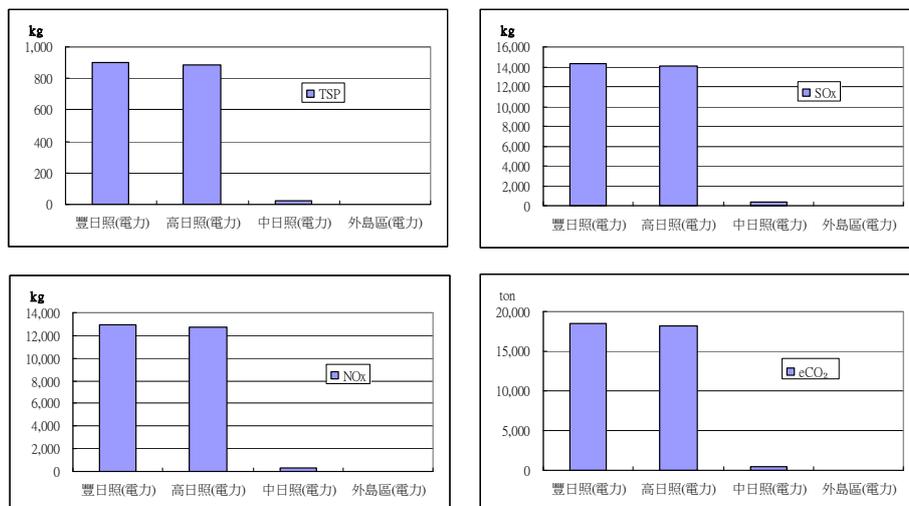


圖 5.1 各分區(能源為電力時)污染物與 GHG 之減量分析圖

若以替代能源皆為天然氣，比較各分區污染物與 GHG 之減量效果，結果如圖 5.2 所示，可看出各分區間減量之倍數與圖 5.1 相同，但 eCO₂ 減量僅為能源為電力的 0.38 倍，TSP 減量僅為能源為電力的 0.41 倍，SO_x 減量僅為能源為電力的 0.002 倍，NO_x 減量僅為能源為電力的 0.35 倍。

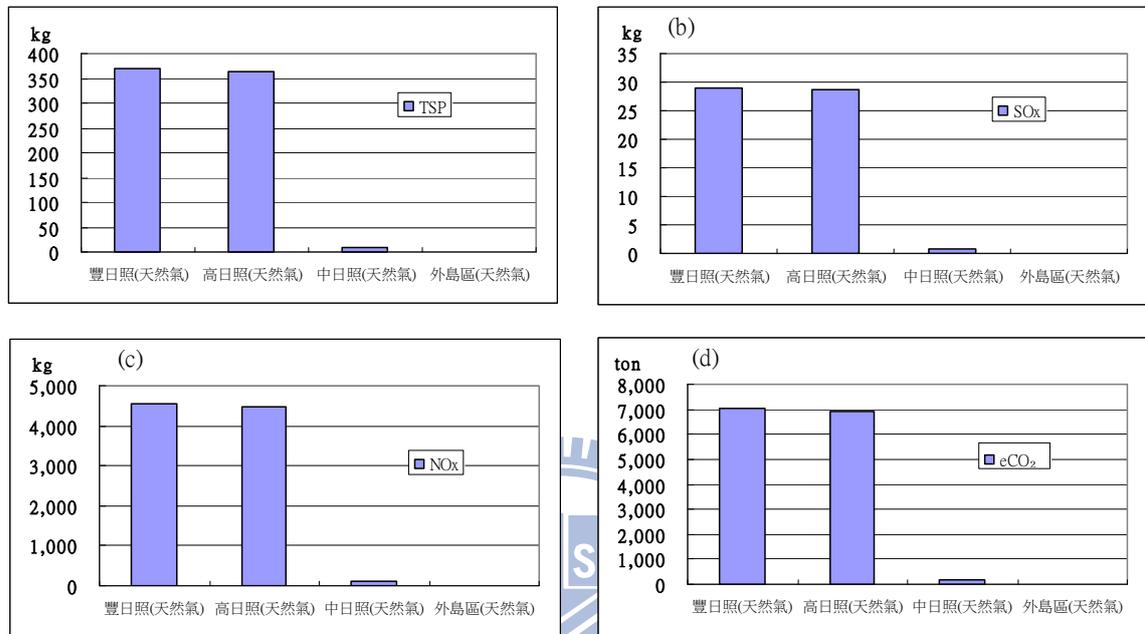


圖 5.2 各分區(能源為天然氣時)之減量分析圖(a)TSP (b)SO_x (c) NO_x (d)eCO₂

同一分區不同能源的比較圖如圖 5.3 所示，由圖中可看出當能源為天然氣時，污染物與 GHG 之減量效果相對較小，特別是 SO_x 與 TSP 部分。當能源為電力時，eCO₂ 減量為能源為天然氣及柴油的 2.6 倍及 2.0 倍，由於目前國內加熱系統以天然氣為主要能源，故減量效益需依實際能源使用比例精算。

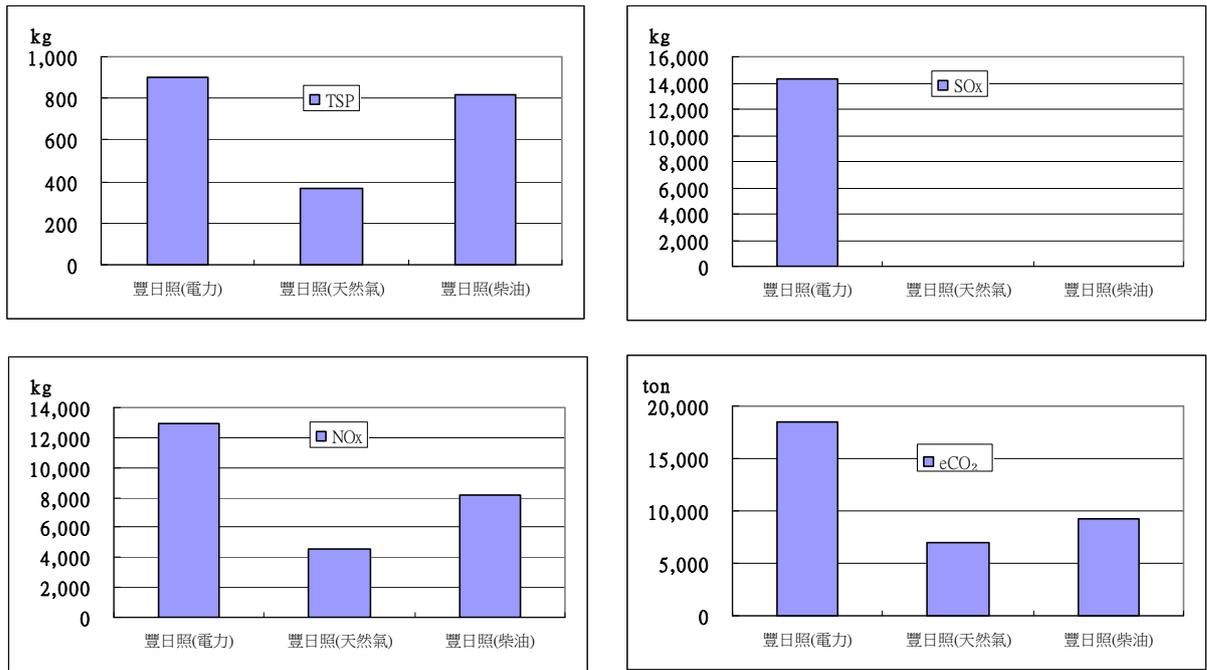


圖 5.3 豐日照區污染物與 GHG 之減量分析圖

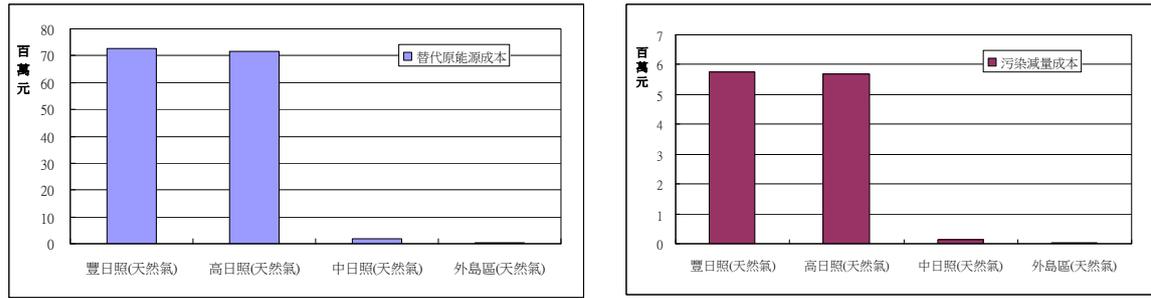
經濟效益分析分為兩部分，第一部分為替代原使用能源之成本，第二部分為因減少環境污染而減少之處理成本。其中，節省環境污染處理成本之換算表整理如表 5.5 所列。

表 5.5 環境污染處理成本換算表

元/噸	TSP	SO _x	NO _x	eCO ₂
處理成本	15,365	26,424	26,965	800

說明：eCO₂ 整理自盧等(91 年)；其餘整理自倪等(96 年)，匯率以 US\$1=NT\$32 計算。

經濟效益部分，以常用之天然氣為代表案例，整理如圖 5.4。以豐日照區分析，替代原能源成本為污染減量成本的 12.61 倍。經濟效益多寡與該分區之集熱器面積及污染物與 GHG 之減量正相關。



(a)

(b)

圖 5.4 各分區採用 SWHS 與原使用能源為天然氣時之效益比較: (a)替代能源成本及(b)污染減量成本(單位為百萬元)

與不同原使用能源比較，SWHS 的效益如圖 5.5 所示，當能源為電力時，效益分別為天然氣及柴油的 1.21 倍及 0.75 倍。替代能源為電力，污染減量成本較高，分別為天然氣與柴油的 2.70 與 2.02 倍。而所替代能源為柴油時的效益最高，主要因為台灣平均電價自 95 年開始，即維持在 2.57~2.59 元/度間(台灣電力公司，98 年)，但柴油價格由 88 年最低 11.5 元/公升上漲至 2009 年 26.1 元/公升左右(中國石油公司，98 年)。

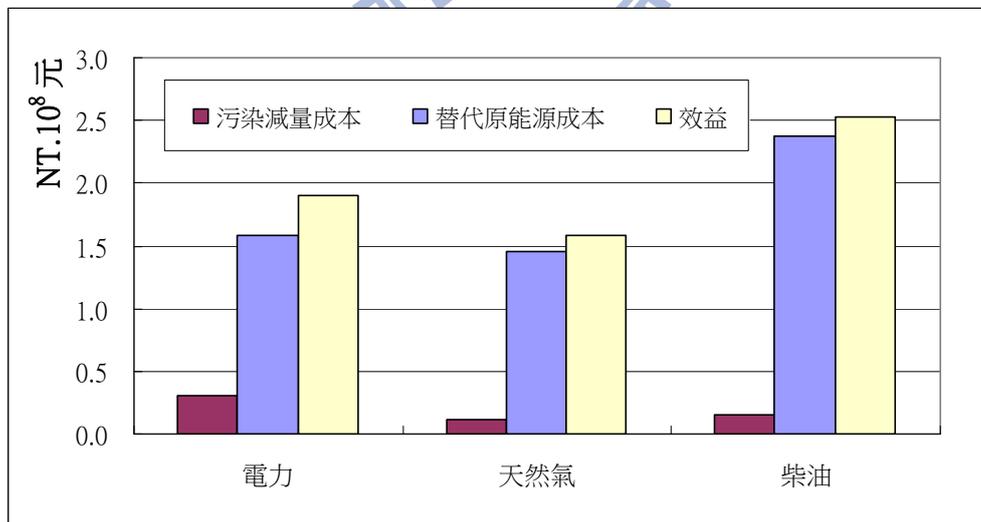


圖 5.5 不同原使用能源下採 SWHS 之效益比較圖(平均電價以 2.57 元/度計算)

5.3.2 情境二：太陽能產業發展旗艦計畫執行率分析

根據過去之裝設率分析(張等, 97 年), 假設在補助政策不改變的情況下, 可以迴歸分析的方式推估未遂的裝設面積如圖 5.6 所述, 分別為 142,622 平方公尺、150,945 平方公尺、159,257 平方公尺及 167,549 平方公尺。換算為旗艦計畫達成率, 98 至 101 年可能之達成率分別為 83%、88%、93%及 98%, 計畫期間內總累積達成率估計為 90%。

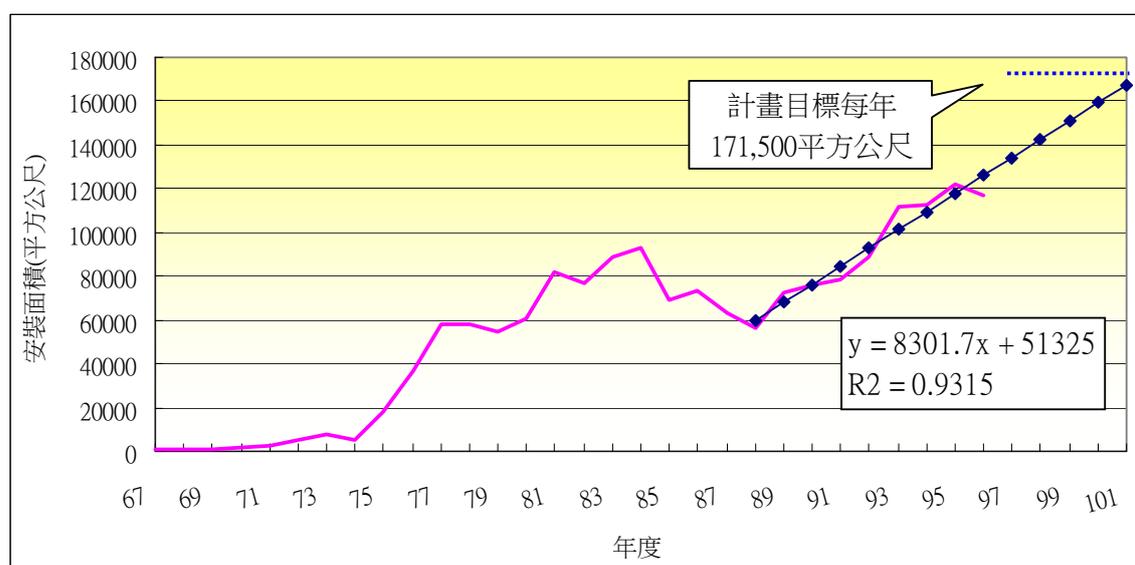


圖 5.6 太陽能產業發展旗艦計畫未來裝設量推估圖

情境二分別為太陽能產業發展旗艦計畫(沈等, 97)執行率為 75%、90%、100%及 125%時, 對於環境與經濟效益影響程度。此計畫目標為四年內推動 14 萬戶 SWHS 之安裝, 以每戶 SWHS 之集熱器面積平均約 4.9 平方公尺(張, 95 年)估算, 情境一以 95 年安裝面積 114428 平方公尺估算, 換算為太陽能產業發展旗艦計畫已約有 66%之執行率, 情境二則分別設定執行率為 75%、90%、100%及 125%時, 每年平均安裝面積分別為 128,625、154,350、171,500 及 214,325 平方公尺。各情境之相對污染物及 GHG 減量表如表 5.6, 其中替代原使用能源以天然氣估算。

表 5.6 情境二相對污染物及 GHG 減量表

	內容	TSP(kg)	SO _x (kg)	NO _x (kg)	eCO ₂ (100 ton)
執行率 75%	豐日照-75%	414	33	5104	79
	高日照-75%	409	32	5043	78
	中日照-75%	9	0.7	116	1.8
	外島區-75%	2	0.1	19	0.3
執行率 90%	豐日照-90%	497	39	6125	95
	高日照-90%	491	39	6052	94
	中日照-90%	11	0.9	140	2.2
	外島區-90%	2	0.1	23	0.4
執行率 100%	豐日照-100%	552	43	6806	105
	高日照-100%	545	43	6724	104
	中日照-100%	13	1.0	155	2.4
	外島區-100%	2	0.2	26	0.4
執行率 125%	豐日照-125%	690	54	8505	132
	高日照-125%	682	54	8403	130
	中日照-125%	16	1.2	194	3.0
	外島區-125%	3	0.2	32	0.5

情境二執行率為 75%時集熱器安裝面積為 128,625 平方公尺，較 95 年安裝面積 114428 平方公尺高，約為 1.1 倍。由污染物與 GHG 之減量分析圖 5.7 可看出，安裝面積略高於 95 年之安裝面積，污染物與 GHG 之減量亦因而略高於 95 年之量。

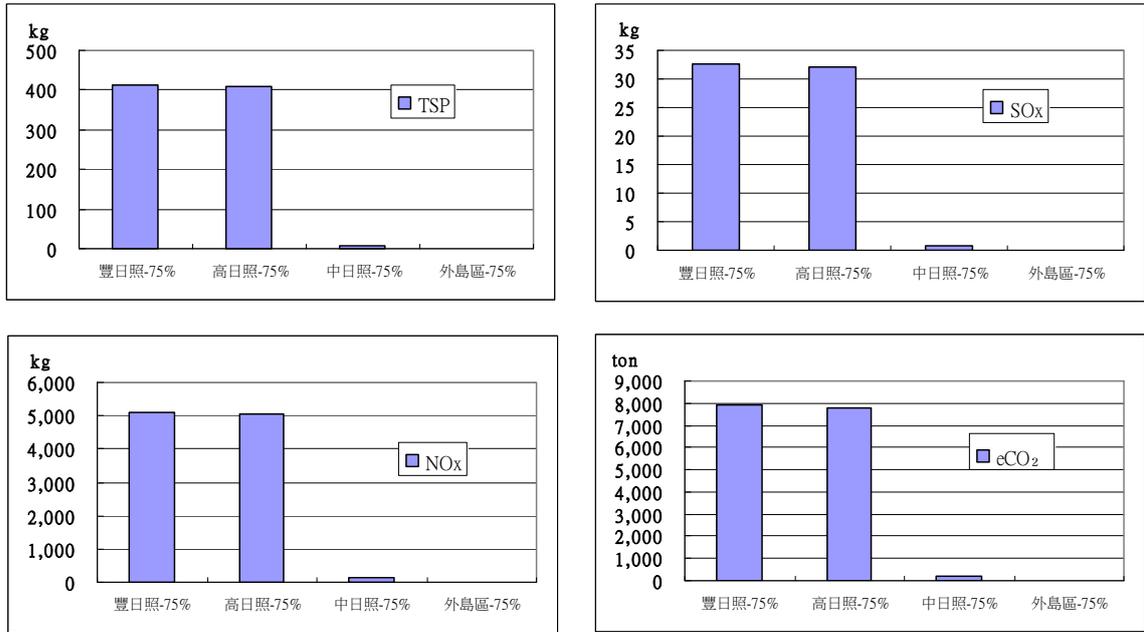


圖 5.7 情境二各分區(能源為天然氣時)污染物與 GHG 之減量分析圖

以情境一至二各分區環境效益分別比較，由圖 5.8 可看出隨著安裝面增加，環境效益亦隨之增加。

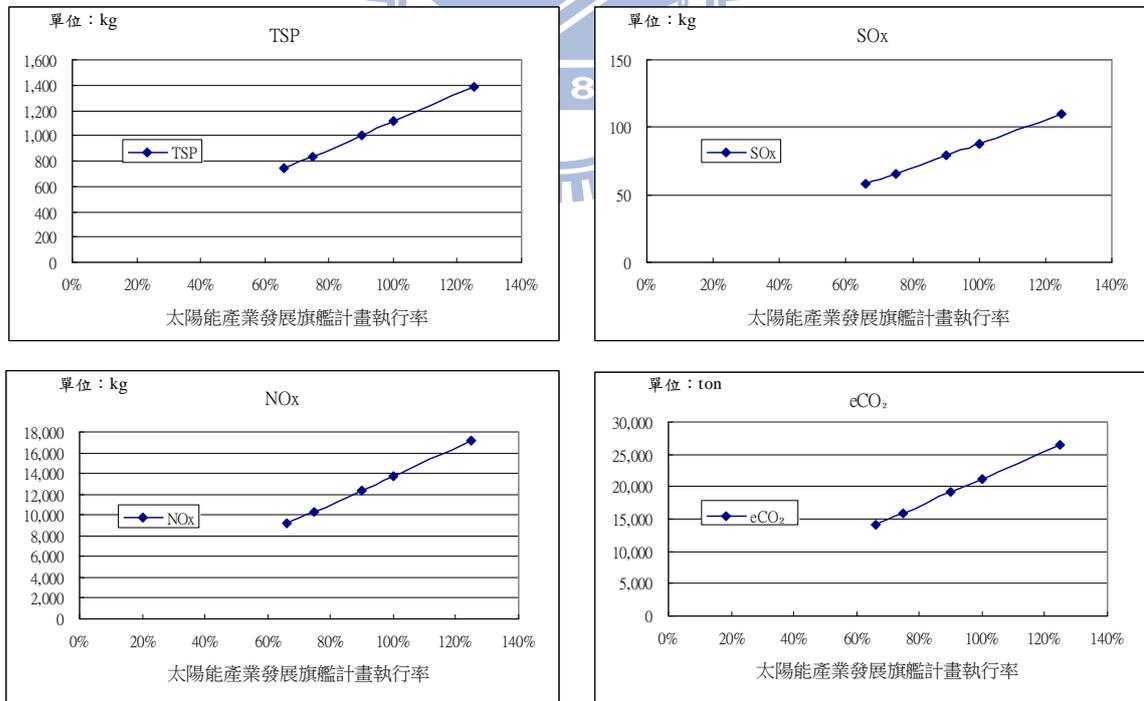
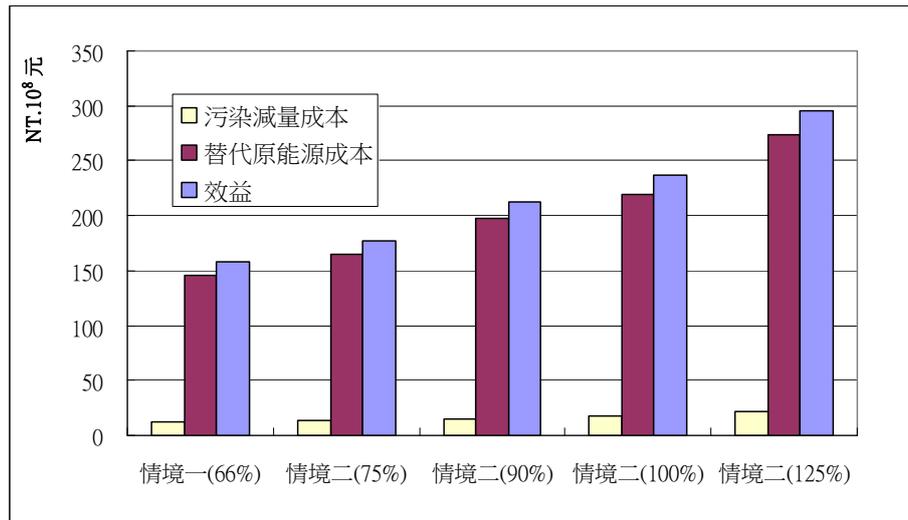
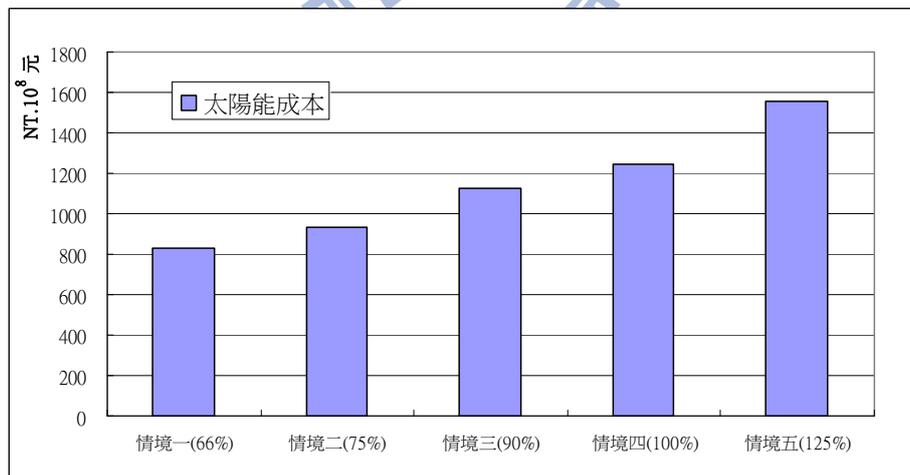


圖 5.8 情境一至二污染及 GHG 減量比較圖(原始能源為天然氣)

情境二的經濟效益分析如圖 5.9，情境二分別為情境一的 1.12 倍、1.35 倍、1.50 倍與 1.87 倍。此結果主要與集熱器之裝設面積有關。另 SWHS 初設成本部分如圖 5.9(b)所示，因 SWHS 之初設成本隨使用者之需求而有較大差異，故此部分以集熱器初設成本表示，集熱器單位售價以 7,275 元/平方公尺估算(張，95 年)



(a) 污染減量成本及替代原能源成本與總效益



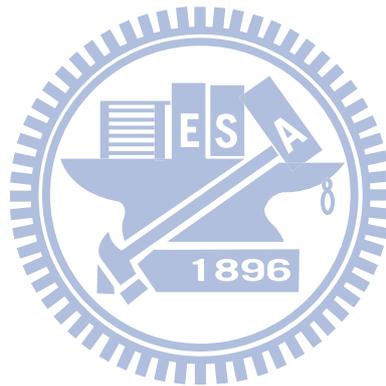
(b) 太陽能初設成本

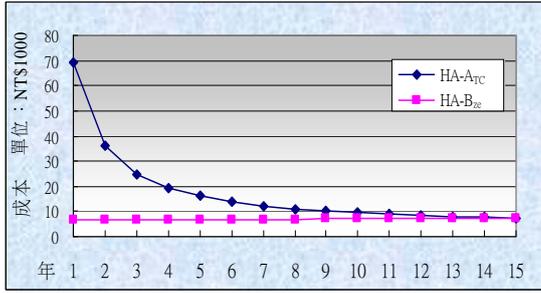
圖 5.9 情境一至二經濟效益比較圖: (a) 污染減量成本及替代原能源成本與總效益; (b) 太陽能初設成本

5.3.3 情境三：分析補助費用多寡之差異

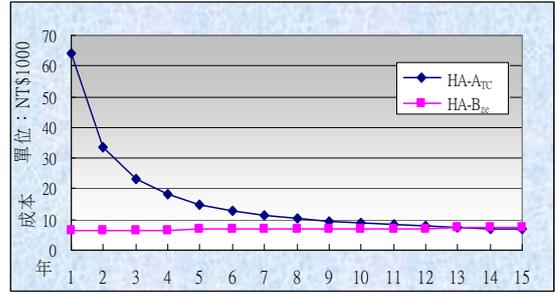
補助費用多寡，直接影響到 SWHS 使用者的安裝意願，如圖 3.7 所示，獎勵政策實施期間安裝面積成長幅度大於非獎勵期間。因目前無足夠數據分析補助率與安裝數量間關係，本節先以成本效益分析補助費用多寡之差異。以圖 4.2 HA 類案例 A_{TC} 與 B_{ze} 比較圖分析，當補助費用分別為 (a)0% ，(b)7.5% ，(c)10% ，(d)15% 及 (e)20% 時， A_{TC} 與 B_{ze} 間關係，回收年限分別為 14.8、13.7、13.3、12.6 及 11.9 年。

分析 15 年後平均成本 A_{TC} ，(b)~(e)分別為(a)的 94.7%、93.0%、89.5% 及 85.9%，如圖 5.11 所表示，當補助費用達 20% 時，年運轉成本可降低至未補助前的 85.9%。

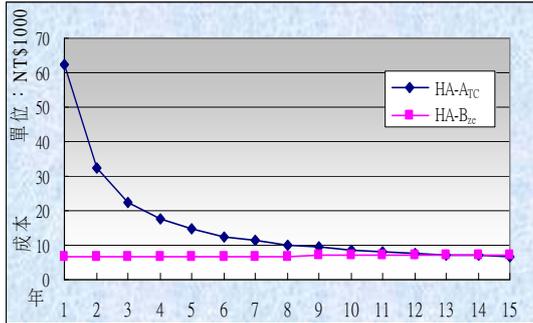




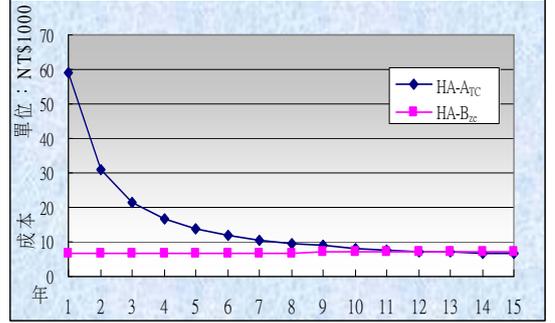
(a) 0%



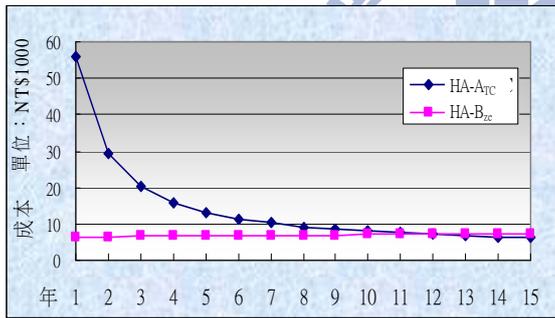
(b) 7.5%



(c) 10%



(d) 15%



(e) 20%

圖 5.10 HA 類案例 A_{TC} 與 B_{ze} 比較圖補助費用(a)0%(b)7.5% (c)10%
(d)15%(e)20%

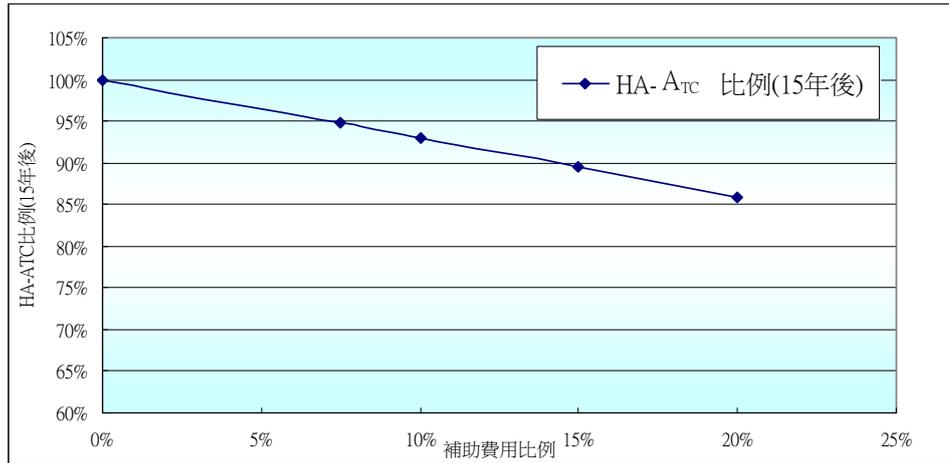


圖 5.11 補助費用比例與 15 年後 A_{TC} 剩餘比例圖

考量環境效益與補助效益間之關係，由情境一替代能源為天然氣可換算出單位面積之污染物與 GHG 減量表，參考表 5.5 之環境污染處理成本換算表，可計算出各分區之單位面積污染減量成本，如圖 5.12。以本情境案例而言，補助率為(a)0%(b)7.5%(c)10%(d)15%(e)20%時，單位面積補助費用分別為(a)0元 (b) 1,237.5元(c) 1,650元(d) 2,475元(e)3,300元，除補助率(b)7.5%在豐日照區、高日照區及外島區，環境污染處理成本可於 13 年左右大於補助費用，其餘皆大於 15 年以上。

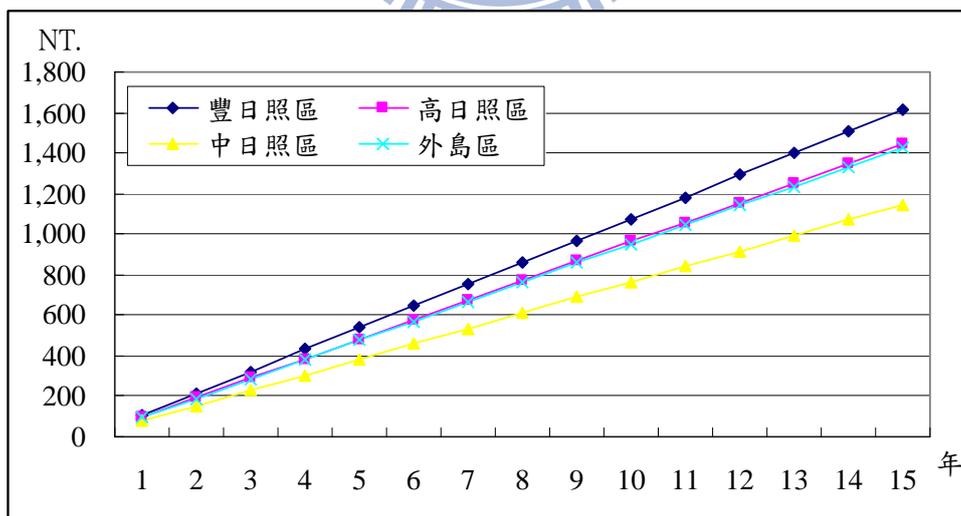


圖 5.12 各分區之單位面積污染減量累積成本

5.3.4 情境四：SWHS 技術提升，集熱器之傳熱率增加

傳熱率會影響最低太陽潛能需求量，當 SWHS 的技術提升，使得傳熱率增加，亦會增加效益。提升傳熱率除了技術改善外，追日型 SWHS 亦是增加傳熱率的方式，不同之追日方式，對於 SWHS 有不同的改善效益，彈簧式追日裝置淨發電量約可增加 30.82%(郭等，96 年)，採用 XYZ 三軸追日之分析，淨發電量增加之範圍可由 4% 至 47% (林等，93 年)。由於追日型式不同，效率雖較高，但成本亦較高，目前亦較不普及。故本研究未直接以追日型評估，主要以假設提昇傳熱率作為評估之依據。

當集熱器之傳熱率由 75% 增加為 80%、85% 及 90% 時，可分別降低最低太陽潛能需求量 R_{min_d} 為原需求量的 94%、88% 及 83%。 R_{min_d} 降低主要影響到各分區的有效日數，進而增加 Rz 值，使得各分區環境與經濟效益增加，傳熱率增加與 Rz 值之變化如圖 5.13。由圖可看出，當傳熱率增加時，Rz 值隨之增加，增加的幅度以外島區較為明顯，豐日照區則為各分區中增加幅度最低，原因為豐日照區原有效日照天數已高達 308 天，故能再增加的幅度有限。

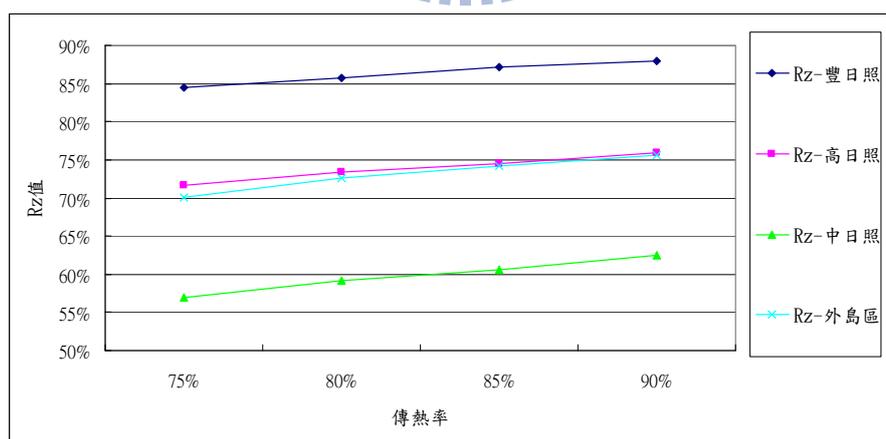
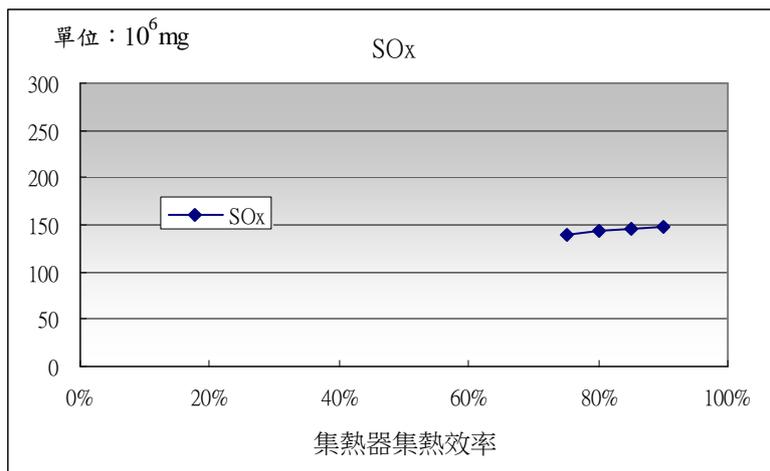
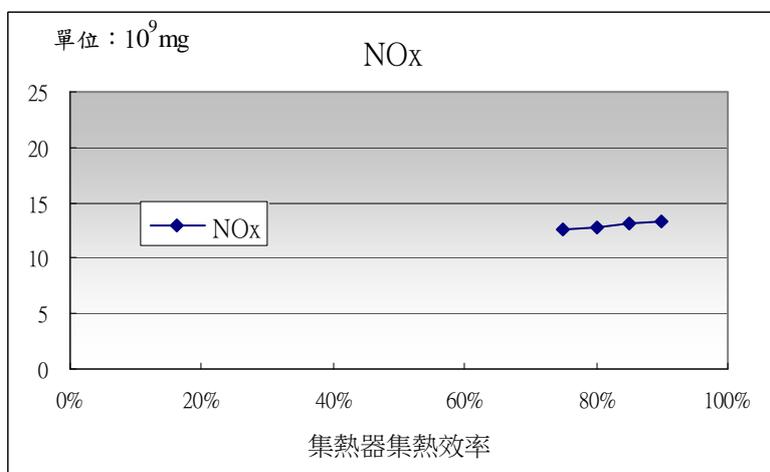


圖 5.13 傳熱率增加與 Rz 值之變化圖

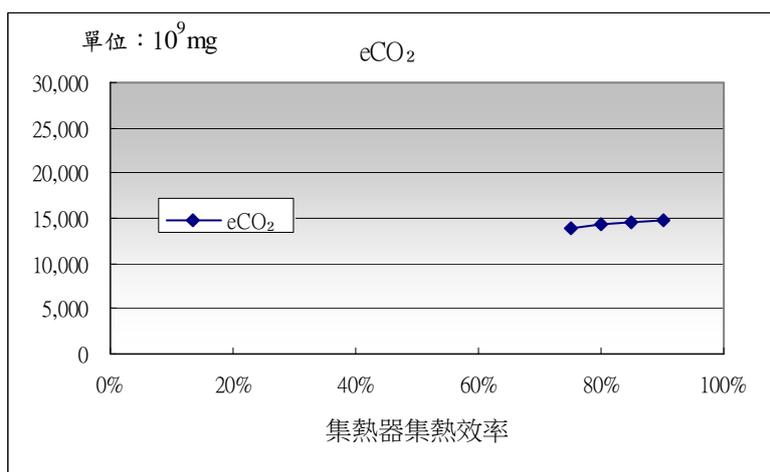
比較傳熱率與環境效益之關係如圖 5.14，當傳熱率增加為 80%、85% 及 90% 時，GHG 減量分別為原本數量的 1.02 倍、1.036 倍及 1.051 倍。



(a) SO_x



(b) NO_x



(c) eCO₂

圖 5.14 情境一至五污染及 GHG 減量比較(原始能源為天然氣) (a) SO_x; (b) NO_x; (c) eCO₂

成本效益分析如圖 5.15 所示，當傳熱率增加為 80%、85% 及 90% 時，成本效益分別為原本的 1.02 倍、1.036 倍及 1.051 倍。

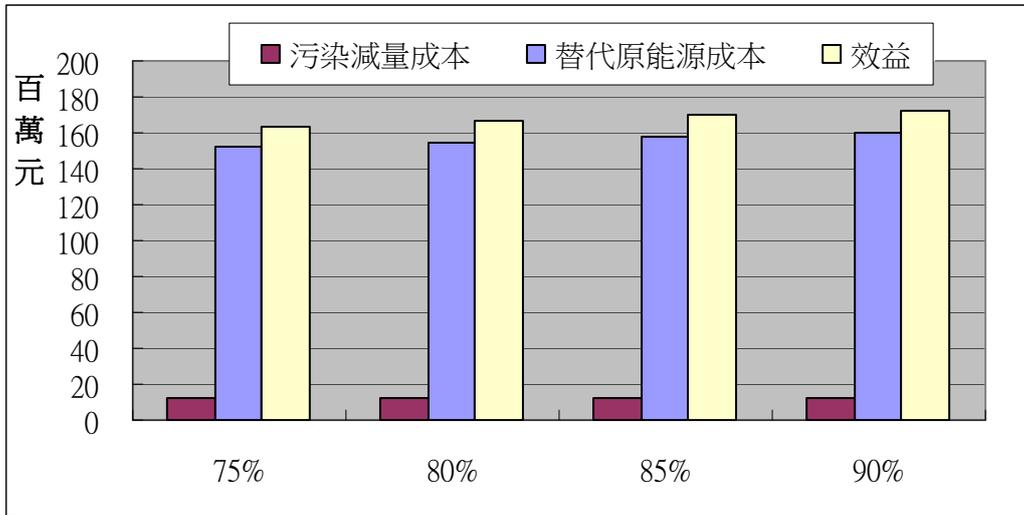
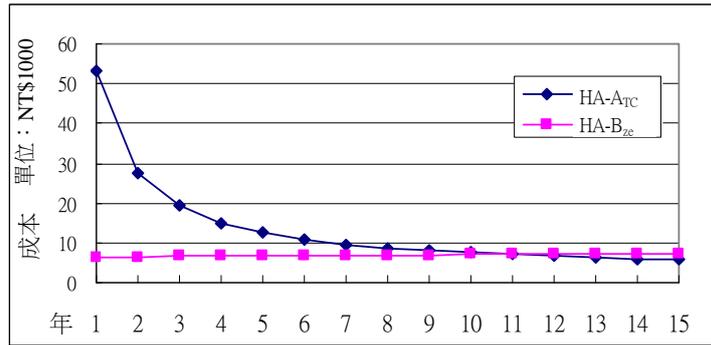


圖 5.15 不同集熱效率之成本效益比較

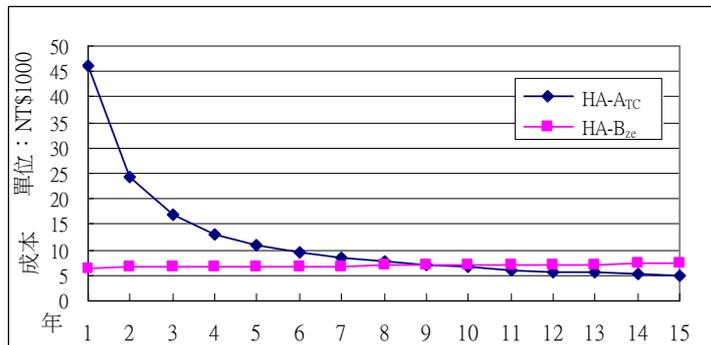
5.3.5 情境五：SWHS 初置成本降低

(a) 初置成本降低

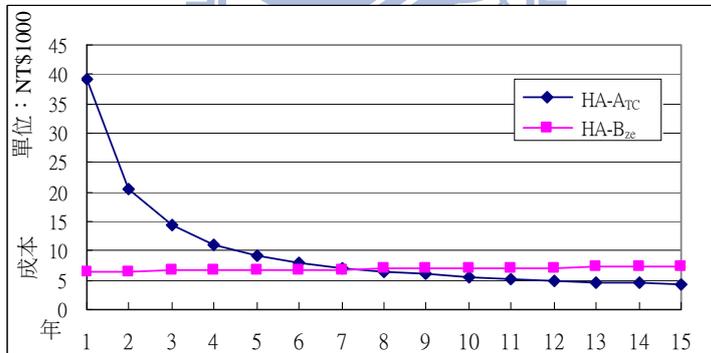
初置成本多寡，影響 SWHS 的回收期及使用者的安裝意願，此節主要假設因技術或量產的因素導致初置成本降低，並分析不同降低程度下的影響。以圖 4.2 HA 類案例 A_{TC} 與 B_{ze} 比較圖分析，在折現率 $i=1.86\%$ 時，當初置成本降低(a)-10% ;(b)-20%;(c)-30% 時 A_{TC} 與 B_{ze} 間的關係如圖 5.16 所示，回收年限分別為 10.9、9.1、7.5 年，相對於原本的 12.8 年，回收年限降低幅度為(a)-15% ，(b)-29% ，(c)-41% 。



(a)-10%



(b)-20%



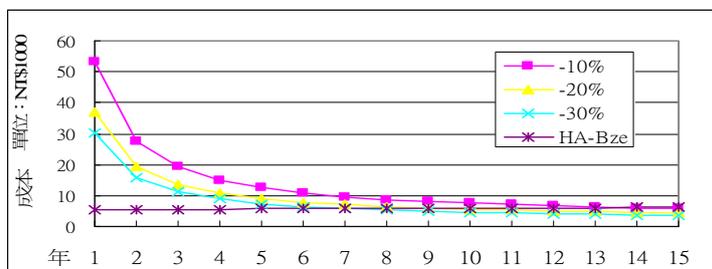
(c)-30%

圖 5.16 HA 類案例 A_{TC} 與 B_{ze} 比較圖初設成本降低(a)-10%(b)-20% (c)-30%

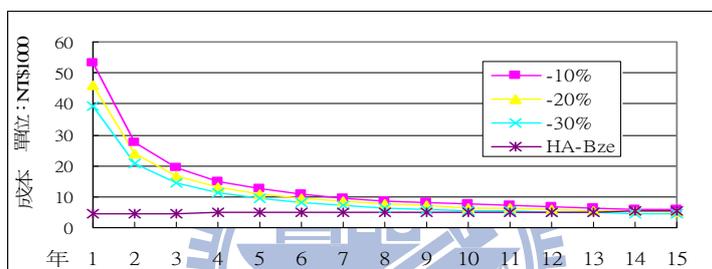
(b)初置成本降低及各分區狀況

由於圖 4.2 HA 類案例 A_{TC} 與 B_{ze} 比較圖之分區 z 年平均日照天數比例(Rz)值設定為 1，故回收年限較短，豐日照、高日照、中日照及外島區之實際 Rz 值分別為 0.84、0.72、0.57 及 0.78(請參見第四章)。以初設成本降低 10%、20%及 30%針對各分區分析，包括補助費用較高之外島區，

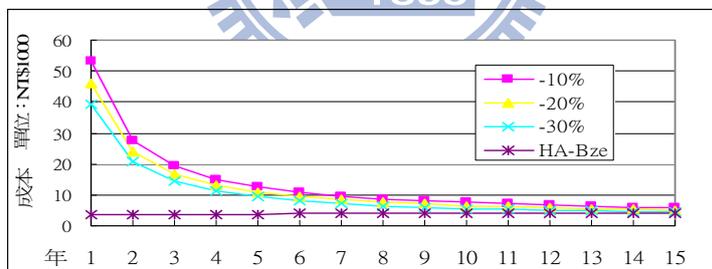
結果如圖 5.17 所示，回收年限豐日照區分別為 13.8 年、11.4 年及 9.3 年；高日照區分別為 17.5 年、14.4 年及 11.5 年；中日照區分別為 25.3 年、20.4 年及 16.1 年；外島區分別為 12.8 年、10.2 年及 7.9 年。外島區因補助費用較高，回收年限最短，中日照區回收年限則大於 15 年以上。



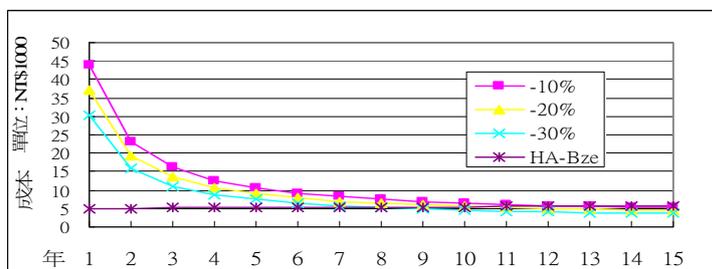
(a) 豐日照區



(b) 高日照區



(c) 中日照區



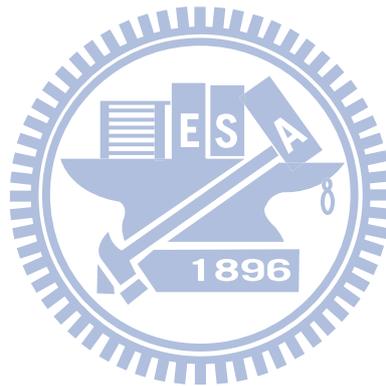
(d) 外島區

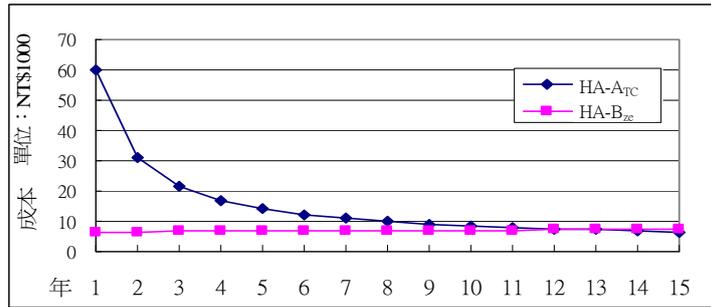
圖 5.17 HA 類案例 A_{TC} 與 B_{ze} 比較圖初設成本降低 10%、20% 及 30%(a)

豐日照區(b)高日照區(c)中日照區(d)外島區

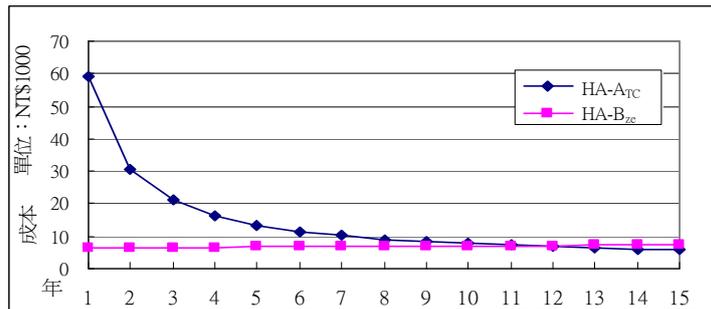
5.3.6 情境六：年維護運轉費用佔總初設成本的比例

年維護運轉費用(MR)，是依據維護運轉費用係數(m)與初設成本之乘積而得，年維護運轉費用多寡，對於SWHS的回收期有一定程度之影響，此節主要假設因技術或量產的因素導致維護運轉費用係數(m)降低，並分析不同降低程度下的影響。參考 Kaldellis *et al.* (2005) 維護運轉費用係數(m)以3%估算，但考量製作及安裝技術成熟，分別亦以m為2%及1%估算，分析m值降低之影響。以圖4.2 HA類案例 A_{TC} 與 B_{ze} 比較圖分析， $i=1.86\%$ 時(請參見表4.10)，當維護運轉費用係數分別為(a)3%; (b)2%;及(c)1%時 A_{TC} 與 B_{ze} 間的關係如圖5.18所示，回收年限分別為12.8、11.3、10年，相對於(a)的12.8年，(b)及(c)回收年限降低幅度為(b)-12%，(c)-22%。

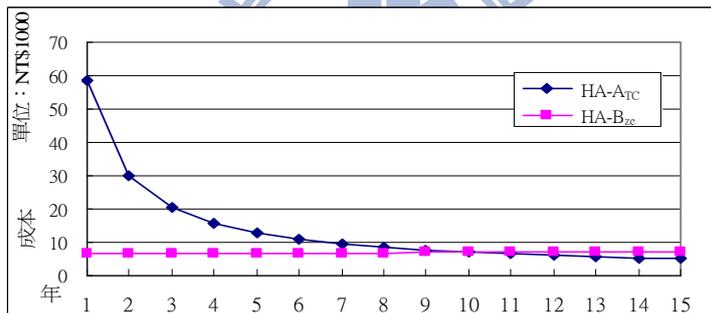




(a)3%



(b)2%



(c)1%

圖 5.18 HA 類案例 A_{TC} 與 B_{ze} 比較圖維護運轉費用係數(a)3% ;(b)2%;(c)1%

5.3.7 情境七：折現率(Discount rate)分析

折現率會隨著經濟變動而變動，尤其是近年經濟變動甚大，亦使折現率變化甚大，也因而會影響成本及回收期之估算，不同的折現率會造成不同的影響，折現率分析為不同方案不同折現率(discount rates)下回收期分析，如下說明。

考量折現率不同，對於不同方案下的影響程度，以圖 4.2 HA 類案例 A_{TC} 與 B_{ze} 比較圖分析，i=1.86%時(請參見表 4.10)，回收期為 12.8 年，以

i 值改變為 3%、4% 及 5% 分析，則回收年限則為 12.6、12.4 及 12.2 年。將各分區 Rz 值代入分析，回收年限如圖 5.19，由圖中可看出，i 值增加時，回收年限隨之降低，其中以中日照區回收年限降低較大，由原本的 30.8 年降低至 25.4 年；HA Rz=1 時降幅最小，只有 0.6 年。

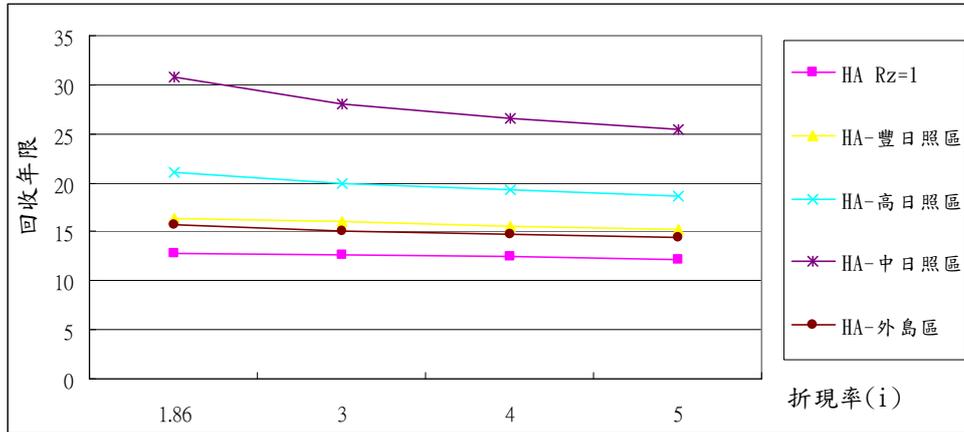


圖 5.19 HA 類案例 i 值與回收年限關係圖

將回收年限降低幅度以百分比方式呈現，可以表示如圖 5.20。由圖中了解，當 i 值由 1.86 增加到 5 時，對於中日照區回收年限影響較大，達 17.5%，高日照區、外島區及豐日照區次之，HA 類 Rz=1 時影響最小，為 4.7%。

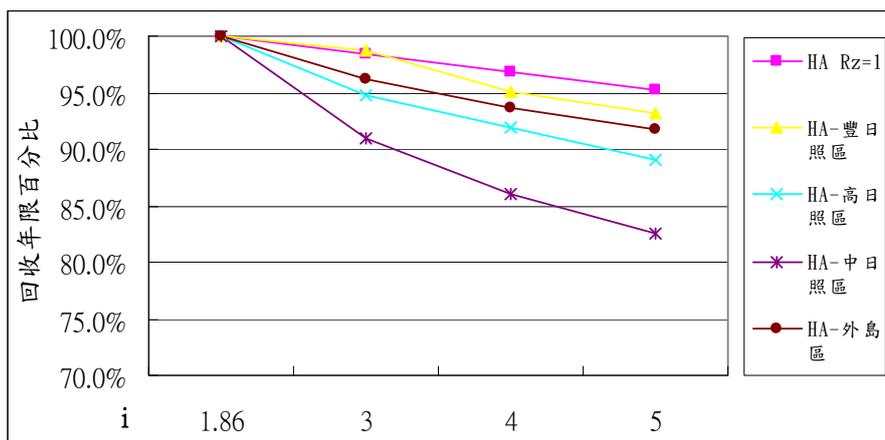


圖 5.20 HA 類案例 i 值與回收年限降低百分比關係圖

第六章 結論與建議

本研究評估在台灣推動 SWHS 的環境與經濟效益，除了分析 SWHS 的環境與經濟效益外，不同情境分析所得結果，亦可供相關決策分析時參考。以下總結本研究目前的成果及重要結論，且說明可繼續探討之問題與建議。

6.1 結論

本研究目前主要有三項重要結論，以下分別說明之。

1. 建立 SWHS 分區及成本效益計算方法

台灣雖已推動 SWHS 一段時間了，唯目前並沒有建立方法評估其適宜性，本研究所建立的分區及成本效益方法可滿足此需求，可供分析不同分區發展 SWHS 的潛勢與適宜性。過去針對 SWHS 分區大多只考量太陽潛能，不完全適用於分析台灣的狀況，本研究因而除了依太陽潛能及行政區域外，亦考量離島區域之差異，將台灣地區分為共四區。效益中有關節能部分主要參考 Kaldellis *et al.* (2005) 的方法分析，唯其未考量各區日照資源不同節能效益亦不同，故於計算方法中作了些修正。參考各分區之水溫資料，利用分區之太陽潛能計算系統之熱輸出，並利用各地之有效日照天數做為權重，及考量單雙桶之影響，如此可使計算值較符合實際情形。

2. 建立發展 SWHS 之環境效益與衝擊分析方法

環境與經濟效益分析除了成本以外，亦有必要分析環境效益與衝擊，考量使用者於 SWHS 上之環境衝擊，本研究因而建立方法以 SWHS 與傳統能源比較所能減少的污染物或 GHGs，建立污染物及 GHGs 之估算方式，以作為分析環境效益與衝擊之依據。所建立的分析方法可

用以分析台灣各區發 SWHS 的永續效益。唯社會面因資料不足，目前尚無法進行此部分分析。

3. 依不同情境分析台灣各區發展 SWHS 之適宜性及環境與經濟效益

依據台灣的現況及未來的可能發展，本研究考量補助方案、各區的日照資源、預期安裝數量與面積及政策目標、政策執行率等因子，作為建立情境之原則，並依據各別情境資料分析比較各情境之適宜性及環境與經濟效益。情境一為目前 SWHS 發展情形，並作為其他情境之比較基準；情境二至五主要討論太陽能產業發展旗艦計畫之不同政策執行率、不同補助費用、不同集熱器傳熱率及不同 SWHS 初置成本；情境六則分析年維修佔總初設成本的比例對回收期之影響；情境七比較不同方案不同折現率(discount rates)下之回收期。各情境分析的重要結果說明如下：

- (1) 情境一[現況]：環境效益比較上，所替代能源為電力時的環境效益較高，TSP 為 1.8 噸、SO_x 為 28.8 噸、NO_x 為 26 噸及 eCO₂ 為 37176 噸。所替代能源為柴油時次之，一般家庭使用的天然氣環境效益則較低。豐日照區與高日照區之 SO_x、NO_x 及 eCO₂ 減量數量明顯較中日照區及外島區為多。當所替代能源為電力時，污染減量成本較高，而所替代能源為柴油時的成本效益最高，主要原因為台灣平均電價無明顯漲幅，但柴油價格由 88 年最低 11.5 元/公升上漲至 2009 年 26.1 元/公升左右(中國石油公司，98 年)。
- (2) 情境二[太陽能產業發展旗艦計畫執行率]：現況換算為太陽能產業發展旗艦計畫已約有 66% 之執行率。以環境效益分析，若此計畫執行率達 100% 時，替代天然氣使用效益為 TSP 1.1 噸、SO_x 0.09 噸、NO_x 為 13.7 噸及 eCO₂ 為 21,217 噸，為現況的 1.5 倍。假設太陽能產業發展旗艦計畫執行率為 75%、90%、100% 及 125% 時，可計算出經濟效益分別為現況的 1.12 倍、1.35 倍、1.50 倍與 1.87

倍。若在政策補助計畫內容不改變下，太陽能產業發展旗艦計畫期間內總累積達成率估計為 90%，但 98 年開始政府補助增加為原補助金額的 1.5 倍後，計畫累積達成率應可輕鬆超過原估計的 90%，建議決策者可考量增加此計畫規模。

- (3) 情境三[分析補助費用多寡之差異]：以圖 4.1 HA 類為例，當補助費用比例分別為(a)0%，(b)7.5%，(c)10%，(d)15%及(e)20%時，回收年限分別為 14.8、13.7、13.3、12.6 及 11.9 年。因豐日照、高日照、中日照及外島區之實際 Rz 值分別為 0.84、0.72、0.57 及 0.78，可看出在豐日照區與外島區即使沒有補助，回收年限仍屬可接受範圍。唯高日照與中日照的回收年限則有點過長，尤其是中日照區，若無較多補助，回收年限長達 25 年以上，誘因將明顯較小。討論補助費用與環境污染減量成本關係，除補助率 (b)7.5%在豐日照區、高日照區及外島區，環境污染處理成本可於 13 年左右大於補助費用，其餘皆大於 15 年以上。此結果表示，以環境效益而言，在現有條件未改變下，政策補助費用比例不宜超過 7.5%。

- (4) 情境四[分析傳熱率之影響]：假設技術提昇，傳熱率增加時，Rz 值亦隨之增加，增加的幅度以外島區較為明顯，豐日照區為各分區中增加幅度最低，原因為豐日照區原有效日照天數已高達 308 天，故能再增加的幅度有限。當傳熱率增加為 80%、85%及 90%時，GHGs 減量分別為原本數量的 1.02 倍、1.036 倍及 1.051 倍；成本效益分別為原本的 1.02 倍、1.036 倍及 1.051 倍。因傳熱率增加可增加相關效益，且對於外島區，中日照區等 Rz 值增加影響幅度較大，建議決策者可依據 SWHS 產品之傳熱率不同，給與不同之補助

- (5) 情境五[SWHS 初置成本降低]：以圖 4.1 HA 類為例，當初設成本

降為 (a)-10% ;(b)-20%;(c)-30% 時，回收年限降低幅度為 (a)-15% ，(b)-29% ，(c)-41% ；以各分區分析，外島區則因補助費用較高，回收年限因而最短，中日照區回收年限則都大於 15 年以上，但受初置成本降低之影響回收年限之年數最多，當初置成本由-10% 降至-30% 時，回收年限可明顯由 25.3 年降至 16.1 年，減少 9.2 年。故建議決策者可考量當 SWHS 裝設於不同區域，售價可採取差異價格，考量各區 SWHS 回收年限為調整參考。

(6) 情境六[年維護運轉費用佔總初設成本的比例]：以豐日照區 HA 案例分析，當維護運轉費用係數分別為(a)3%; (b)2%;及(c)1%時，回收年限由原(a)之 12.8 年分別為降為 11.3、10 年，相對於預設維護運轉費用係數為 3%，(b)及(c)回收年限降低幅度為(b)-12%，(c)-22%。可看出年維護運轉費用亦對於回收年限有明顯影響，建議亦可降低維護運轉費用係數，包括未來建築物鼓勵預設 SWHS 的管線等，鼓勵生產者注重降低維護運轉費用之努力，宣導如何自行保養 SWHS 之觀念等。

(7) 情境七[折現率分析]：當折現率 i 值由 1.86% 增加到 5% 時，對於中日照區回收年限影響較大，達 17.5%，高日照區、外島區及豐日照區次之，HA 類 $R_z=1$ 時影響最小，為 4.7%。當 i 值相對增加時，各區回收年限會隨之降低，特別是中日照區。補助政策亦因而應考量依據折現率明顯變動時作必要調整。

由用戶者的觀點而言，除了回收年限多寡外，對於初置成本是否會造成支出上的重大負擔，亦是裝設 SWHS 之考量，另外包括是否需增加管路修改費用，是否有適合場地等因素；決策者除了單純的政策補助費用外，亦建議針對用戶者之需求，提供相關幫助；或可由分區甚至針對部分偏遠之區域有不同之政策考量。在環境效益分析上，所替代能源為電力時的環境效益較高，所替代能源為一般家庭使用的天然氣時環境效益

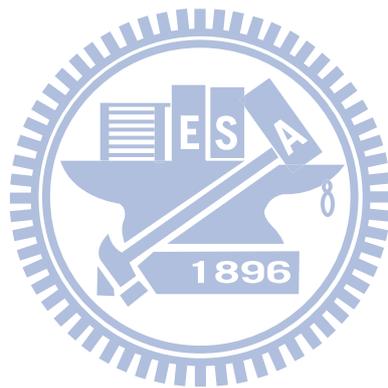
則較低；太陽能產業發展旗艦計畫執行率對環境效益上有正面影響，若執行率達 100% 時，可增加環境效益為現況的 1.5 倍。上述各情境分析之結果可作為後續發展 SWHS 之參考與相關決策之依據。

6.2 建議

本研究已建構對於 SWHS 之研究方法與架構，於研究間的發現與心得，提出以下幾點建議

1. 有效熱水天數本研究定義為未達 $R_{min,d}$ 即為 0，但實際上，可能已經接近目前設定溫度，實務上是採用電熱器補足此部分差異，建議後續可朝此差異深入分析討論
2. 太陽能熱水系統設置單桶或雙桶與分區、成本、效益息息相關，建議針對此項目有進一步之分析探討。
3. Δt_d 為第 d 日需求熱水與自來水之溫差，本研究暫以文獻數據及大氣溫度推估，此部分因與效益分析相關，建議後續研究。
4. 環境效益與衝擊分析部分，本研究未考量製造階段的環境衝擊，建議後續可由太陽能大公司的環境報告書或永續報告書來看看如何評估製造階段的環境衝擊，或是生產太陽能的 LCA 研究亦可。
5. 環境與經濟效益分析中，社會效益與衝擊分析因相關產業尚在發展階段，較無可供研究之參考數據，建議待相關數據與資料完備後，可將社會效益部分納入考量。
6. 污染物與 GHG 排放係數表及環境污染處理成本換算表部分數據因國內數據不足，乃參考部分國外文獻資料換算，建議持續搜集相關數據以期成果較貼近國內現狀。
7. 集熱器之集熱面積對於各分區之有效日照天數亦為一個重要因素，建議後續可建立優選模式分析其影響。

8. 所分析的情境大多是假設單一因子改變下的情形，未來可考量以綜合情境進一步分析之。



參考文獻

人民日報社，(96 年)，人民網

<http://politics.people.com.cn/BIG5/14562/6600890.html> (accessed on 2008/09/22)。

台灣大學大氣科學系，(98 年)，大氣研究資料庫 <http://dbar.as.ntu.edu.tw/> (accessed on 2009/03/29)。

台灣綠色生產力基金會，(98 年)，節約能源網

<http://www.ecct.org.tw/>(accessed on 2009/06/24)

工研院，(97 年)，再生能源網 <http://re.org.tw/index.aspx> (accessed on 2008/07/10)。

中央氣象局，(97 年)，中央氣象局網站 <http://www.cwb.gov.tw/> (accessed on 2008/07/10)。

中技社，(96 年)，「醫院節能技術手冊」，台北。

中央氣象局，(89-94 年)，「氣候資料年報」，中央氣象局，台北。

中央銀行，(98 年)，中央銀行全球資訊網 <http://www.cbc.gov.tw/mp1.html> (accessed on 2009/06/06)。

王啟川等，(96 年)，「2007 年能源科技發展白皮書」，經濟部能源局，台北。

台灣電力公司，(97 年)，「台灣電力公司永續報告書 2008」，台灣電力公司，台北。

台大新能源中心，(98 年)，台大新能源中心網站

http://www.me.ntu.edu.tw/~nec/ch/ch_main.htm (accessed on 2009/07/28)

台灣大學大氣科學系，(98 年)，大氣研究資料庫 <http://dbar.as.ntu.edu.tw/> (accessed on 2009/03/29)。

行政院主計處，(98 年)，中華民國統計資訊網

<http://www.stat.gov.tw/mp.asp?mp=4> (accessed on 2009/02/12)。

- 沈溫禪等，(97年)，「低碳能源新主張」，*能源報導* 2008年11月，4-6頁。
- 林等，(93年)，「太陽能追日系統之研究：第二篇：雙軸及單軸追日系統」，*中華民國第25屆電力工程研討會*，2154-2159頁。
- 李宗德，(96年)，「我國四種再生能源產業的發展策略探討」，臺灣大學商學組碩士論文，台北。
- 李孟杰，(94年)，「住宅生活熱水使用耗能評估與節能方法之研究」，國立臺灣科技大學建築系博士論文，台北。
- 宋慧純，(95年)，「太陽能於綠色建築之應用」，大葉大學電機工程學系碩士在職專班碩士論文，彰化。
- 徐翠華，(91年)，「台灣地區太陽輻射及太陽能發電潛力之研究」，國立臺灣師範大學地理研究所碩士論文，台北。
- 徐崇輔，(95年)，「台灣太陽能熱水器系統產業競爭策略之抉擇——專業代工或自有品牌？」，立德管理學院科技管理研究所碩士論文，台南。
- 徐仁全，(96年)，「向太陽巨人取經—弗萊堡的成就」，*遠見雜誌*，第二百五十一期，台北。
- 倪等，(96年)，「空氣污染物排放清冊更新管理及空氣品質損量推估計畫」，環保署，台北。
- 范馥婷，(89年)，「太陽能熱水系統在多層樓建築物之應用」，淡江大學水資源及環境工程學系碩士論文，台北。
- 陶政慷，(94年)，「三維地理資訊系統在都市建築日照之應用-以陰影遮蔽及太陽輻射效能分析為例」，國立中山大學海洋環境及工程學系研究所碩士論文，高雄。
- 郭等，(96年)，「應用彈簧式追日裝置改善太陽能系統之效能」，*技術學刊*，第二十二卷，第四期，343-348頁。
- 張克勤，(94年)，「太陽能熱水系統推廣獎勵補助作業計畫.(第一年度)」，經濟部能源局，台北。

- 張克勤，(95 年)，「太陽能熱水系統推廣獎勵補助作業計畫.(第二年度)」，
經濟部能源局，台北。
- 張景福，(92 年)，「台灣再生能源需求-以太陽能熱水系統為例」，國立中央
大學產業經濟研究所碩士論文，中壢。
- 張梅英，陳文杰，鄭宗奇，(97 年)，“我國與國際主要太陽熱能市場發展
概況”，*太陽能與新能源學刊*，第十三卷，第一期，24-27 頁。
- 黃秉均，(89 年)，“太陽能熱水器之輔助電熱器問題探討”，*中華民國太陽
能學會學刊*，第五卷，第二期，29-32 頁。
- 黃俊宇，(93 年)，「太陽能源技術應用於雲嘉南地區之可行性」，國立中正
大學應用地球物理研究碩士論文，嘉義。
- 黃聖儼，(88 年)，「太陽能發電技術暨經濟分析之研究」，雲林科技大學電
機工程技術研究所碩士論文，雲林。
- 黃重魁，(90 年)，「家用太陽能熱水器用後評估之研究」，國立成功大學建
築學系碩博士論文，台南。
- 經濟部能源局，(94 年)，「能源政策白皮書」，經濟部能源局，台北。
- 經濟部能源局，(97 年)，經濟部能源局網站 <http://www.moeaboe.gov.tw/>
(accessed on 2008/07/10)
- 經濟部，(98 年)，經濟部溫室氣體減量網
<http://proj.moeaidb.gov.tw/tigo/index.asp> (accessed on 2009/01/17)
- 經濟部，(97 年)，永續產業發展資訊網 <http://portal.nccp.org.tw/> (accessed on
2008/07/10)。
- 歐文生等，(97 年)，“台灣太陽能設計用標準日射量之研究”，*中華民國建
築學會建築學報*，第六十四期，103-118 頁。
- 環保署，(98 年)，環保署網站 <http://www.epa.gov.tw/> (accessed on 2009/02/13)
- 環保署，(98 年)，空氣污染排放量查詢系統網站
<http://www.ctci.com.tw/air-ei/Default.asp> (accessed on 2009/11/08)

營建署，(98 年)，營建署網站 <http://www.cpami.gov.tw/> (accessed on 2009/03/13)

蔡宏達，(94 年)，「台灣地區太陽能利用之潛力與效益評估」，立德管理學院資源環境研究所碩士論文，台南。

蔡火雄，(93 年)，「太陽能熱水器應用於國軍營舍之研究」，立德管理學院資源環境研究所碩士論文，台南。

蔡政修，蔡妙姍，周桂蘭，周裕豐，(93 年)，「溫室氣體減量彈性方案及成本分析」，環保署，台北。

鄭傑仁，(93 年)，「太陽能政策推廣於嘉義市之具體計畫與可行性分析」，國立中正大學應用地球物理研究碩士論文，嘉義。

賴鵬程，(71 年)，太陽能系統分析與設計，全華科技圖書，台北。

衛生署，(98 年)，衛生署網站

http://www.doh.gov.tw/CHT2006/index_populace.aspx (accessed on 2009/03/13)

盧怡靜，(92 年)，「台灣地區工業部門能源消費與污染物排放關聯分析」，國立成功大學環境工程研究所碩士論文，台南。

盧誌銘，蔡妙姍，(91 年)，「我國能源使用溫室氣體減量成本評估」，2002 環境資源經濟、管理暨系統分析學術研討會論文集(B)，158-202 頁。

盧科妙，(97 年)，「個案家庭電器用電監測與解析-以開飲機、冰箱、電視與桌上型電腦為例」，國立中央大學環境工程研究所碩士論文，中壢。

譚亮璽，(95 年)，「建築物太陽能潛力評估與推動策略 —以台南縣市都市計畫區為例」，立德管理學院地區發展管理研究所碩士論文，台南。

羅運程，何梓年，王長貴，(96 年)，太陽能發電技術與運用，新文京開發出版股份有限公司，台北。

觀光局，(98 年)，<http://admin.taiwan.net.tw/hotel/statisticsA.asp?relno=125> (accessed on 2009/03/13)

- Achard, G., Diab, Y., and Letz, T. (1999). "Energy concepts for utilization of solar energy in small and medium cities: the case of Chambéry." *Energy Conversion and Management*, 40 (14), pp. 1555-1568.
- Argiriou, A., and Mirasgedis, S. (2003). "The solar thermal market in Greece—review and perspectives." *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 7, pp. 397-418.
- Belessiotis, V. and Mathioulakis, E. (2002). "Analytical approach of thermosyphon solar domestic hot water system performance." *Solar Energy*, 72(4), pp. 307–315.
- Diakoulaki, D., Zervos, A., Sarafidis, J., and Mirasgedis, S. (2001). "Cost benefit analysis for solar water heating systems." *Energy Conversion and Management*, 42 (14), pp. 1727-1739.
- E. Alsema, (2009).
http://www.chem.uu.nl/nws/www/general/personal/alsema_a1.htm(accessed on 2009/07/07) ◦
- Eggleston, S., Buendia L., Miwa K., Ngara T., Tanabe K. (2006). "2006 IPCC guidelines for national greenhouse gasinventories." *Institute for Global Environmental Strategies*, Hayama, Japan.
- Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety(BMU). (2009). <http://www.erneuerbare-energien.de/inhalt/3860> (accessed on 2009/01/30) ◦
- Georgopoulou, E., Lalas, D., and Papagiannakis, L. (1997). "A multicriteria decision aid approach for energy planning problem: the case of renewable energy option." *European Journal of Operational Research*, 103(9) , pp. 38-54.

- Georgopoulou, E., Sarafidis, Y., and Diakoulaki, D. (1998). "Design and implementation of a group DSS for sustaining renewable energies exploitation." *European Journal of Operational Research*, 109, pp. 483-500.
- Gutermuth, P. G. (1998). "Financial measures by the state for the enhanced deployment of renewable energies." *Solar Energy*, 64(Nos1-3), pp. 67-68.
- Haralambopoulos, D., Paparsenos, G. F., and Kovras, H. (1997). "Assessing the economic aspects of solar hot water production in Greece." *Renew Energy*, 11 (2), pp. 153–167
- Kaldellis, J. K., El-Samani, K., and Koronakis, P. (2005). "Feasibility analysis of domestic solar water heating systems in Greece." *Renewable Energy*, 30 (5), pp. 659-682.
- Karagiorgas, M., Botsios, A., and Tsoutsos, T. (2001). "Industrial solar thermal applications in Greece. Economic evaluation, quality requirements and case studies." *Renewable & Sustainable Energy reviews*, 5, pp. 157–173
- Mamlook, R., Akash, B.A., and Nijmeh, S. (2001). "Fuzzy sets programming to perform evaluation of solar system in Jordan." *Energy Conversion and Management*, 42, pp. 1717-1726.
- Mohsen, M. S., and Akash, B. A. (1999). "Evaluation of domestic solar water heating system in Jordan using analytic hierarchy process." *Fuel and Energy Abstracts*, 39 (14), pp. 39.
- Meyer, J. P. and Thimankinda, M. (1998). "Domestic hot-water consumption in South African apartments." *Energy*, 23(1), pp. 61–66.
- PHP GROUP, (2009). PHP GROUP website <http://www.php.net> (accessed on 2009/06/09)

- REN21, (2008). *Renewables 2007 global status report*. Renewable Energy Policy Network for the 21th Century, <http://www.ren21.net/> (accessed on 2008/07/24)
- Tsoutsos, T. D. (2002). “Marketing solar thermal technologies: strategies in Europe, experience in Greece.” *Renewable Energy*, 26, pp. 33–46.
- Wolfgang, B. (1998). “The technical and behavioural potential for solar energy – a case study for the town of Lusk / Ireland.” *Renewable Energy*, 13(1), pp. 55-66.

