國 立 政 治 大 學

社會科學學院經濟學系

碩士論文

台灣住宅部門熱泵系統之成本效益分析

Cost-Benefit Analysis of Residential Heat Pump System in Taiwan

國立政治大學 National Chengchi University

研 究 生：朱圃漢

指導教授：許志義

中華民國一〇〇年七月

謝 誌

兩年研究所生活轉眼即逝，回憶當初僅僅抱持對經濟的興趣入學，但經研所給予我的回饋卻比我想要的還更加豐富。從初次見面尷尬的迎新開始到全班一同出遊聯誼，從每堂必修的課程到圖書館與研討室，不論是在聚會中還是在每次共同研習與討論，我都能感受到班級的團結與和樂。感謝我們的班代還有所有同班同學，能進入這樣優秀的一班，是我研究所生活中最大的幸運。

在碩班學習的過程中感謝經濟系所的師長，毛維凌、陳鎮洲、黃俞寧、林馨怡及許志義老師給予我的教導以及經濟觀念的啟發。我要特別感謝我的指導老師許志義老師，不僅引領我進入能源經濟領域開創我的視野，在我論文寫作的過程中更是不辭辛勞的帶領我們拜訪熱泵協會、相關業界及台電公司，指導我論文寫作方法，老師的支持與鼓勵，是我論文寫作中最大的助力。謝謝陳澤義老師、錢玉蘭老師擔任我的口試委員，老師們給予我的寶貴意見，使我的論文能更加完整。

感謝政大總務處王明軍先生、學務處張君豪先生、台灣熱泵協會林江財理事長、永續先進能源公司黃瑞湄特助、金弘利公司張鑫龍總裁、善騰太陽能源公司葉志忠總經理，在研究過程中提供熱泵熱水系統之相關實證資料。在此要特別感謝台灣熱泵協會陳建方秘書長，在百忙之中能撥冗提供協助，諸多熱泵技術相關問題亦熱心解釋與指導。

謝謝我的直屬學姊晏伶，在學業上還有研究所生活都給我許多寶貴且實用的建議，感謝同班同學比聖、竣永、宇翔、葛天協助我解決課業上的諸多的疑難雜症，尤其要謝謝一直以來共同研究、互相幫忙的嘉豪和乃頊，有你們的相助和陪伴使得研究過程更加有趣與充實。

最後我要非常感謝我的家人，我的爸爸、媽媽、妹妹、看護 Suti 還有我最慈祥可愛的奶奶，謝謝你們一直以來的支持，我才能心無旁騖地專心於課業，朝向自己的興趣發展，在我遇到瓶頸與困難的時候安慰我，幫我加油。謝謝我的家人，你們是支持我持續完成論文的力量。

撰寫這本論文對我來說不是一件容易的事，一直以來受到大家的協助我才得以順利完成，對於所有曾經幫助過我的人再次致上我由衷的感謝。

朱圃漢謹誌於

國立 政治大學經濟學系碩士班

中華民國一〇〇年七月

國立政治大學 National Chengchi University

摘 要

台灣為海島型國家，因自有能源貧乏，99%以上的能源仰賴國外進口。為確保能源供給之穩定與安全，除發展再生能源之外，提高能源終端使用效率為重要之解決手段。熱泵系統因其獨特之節能減碳效果，在歐美先進國家備受重視，極力推廣。基此，考量台灣氣候類型及居住型態，評估熱泵熱水系統的適用性及成本效益分析，爰為本研究之動機與目的。

為了彰顯應用熱泵系統在不同地區氣候條件與能源價格之差異，本研究將台灣劃分為 12 個地區，並且以電能、LPG 桶裝瓦斯、NG 管線瓦斯三種現有之住宅用熱水系統作為可供替代之選項，利用迴避成本(Avoided Cost)推估台灣各地區住宅部門改採熱泵熱水系統之成本效益。此外，參考歐美先進國家熱泵系統補助政策，以及台灣現有「太陽能熱水系統推廣獎勵措施」之政府政策補助方案，設定各相關參數，俾模擬政府補貼方案情境下之成本效益分析。

分析結果以淨現值(Net Present Value)、益本比(Benefit-Cost Ratio)及折現回收期(Discounted Payback Period)呈現，結論可從兩個觀點之檢定加以評估。其一、以「參與者檢定」評估是否有足夠的經濟誘因，促使住宅用戶裝設熱泵熱水系統。其二、以「總資源成本檢定」，評估推廣熱泵系統對於整體社會是否具有淨效益。

本研究中全台 12 個地區，若以熱泵系統取代電能熱水系統、LPG 瓦斯熱水系統、NG 瓦斯熱水系統三種既有設備，交叉比對之 33 個替代方案，由「參與者檢定」之結果顯示，所有替代方案之益本比均大於 1.1；折現回收期最長達 11.3 年，最短僅 3.2 年。若模擬政府補助 18,000 名用戶採用熱泵系統，則「總資源成本檢定」之結果中，所有替代方案之益本比介乎 1 至 1.73 之間；折現回收期最長達 14.9 年，最短僅 5.4 年；住宅部門以熱泵替代現有電能、LPG 瓦斯、NG 瓦斯熱水系統至少可降低碳排放量每年 2,707 公噸。三種替代類別中以電能熱水系統替代方案益本比最高(介乎 1.55 至 1.73)；LPG 瓦斯替代方案之益本比居次(介乎 1.19 至 1.28)；NG 瓦斯替代方案益本比最低(介乎 1.0 至 1.06)。全台 12 個地區考量環境溫度差異之影響以南投分區改採熱泵系統的益本比最高(電能替代 1.73、LPG 瓦斯替代 1.28、NG 瓦斯替代 1.06)，屏東分區的益本比為最低(電能替代 1.55、LPG 瓦斯替代 1.19、NG 瓦斯替代 1.0)。

若考量熱泵系統市場滲透率，以熱泵取代 NG 瓦斯熱水系統之市佔率達 5%、20%、50%時，台灣整體社會的淨現值分別為 251 百萬元、1,006 百萬元與 2,514 百萬元，且每年可減少碳排放量 27,169 公噸、108,675 公噸以及 271,687 公噸。

關鍵字：熱泵系統、住宅部門、節能減碳、成本效益分析、淨現值、迴避成本

Abstract

As an island country, 99% energy supply in Taiwan depends on importation due to the very limited endogenous energy. In order to maintain both energy security and stability, improving energy efficiency of consumer end-use is an important government policy. Heat pump systems have been widely applied and strongly promoted in Europe and United State for its uniquely energy saving and CO_2 reducing capability. Therefore, the motivation of this study is to access the regional applicability of heat pump water heating system for Taiwan's climate and residential building types by cost-benefit analysis method.

To demonstrate the regional difference of climatic conditions and energy prices heat pump application, Taiwan is divided in twelve regions with three kinds of alternative residential water heating systems (i.e. electric heating, LPG tank heating, and NG pipe heating). Under these conditions, we utilize the avoided cost method to access itemized costs and benefits of heat pump water heating systems in various regional families in Taiwan. In addition, referring to heat pump incentive scheme in advanced European countries and North America while considering solar water heating systems incentive policy in Taiwan, we also simulate variation of parameters (such as cash rebate subside, total residential heat pump user numbers)of heat pump system subsidy program.

The outcome of cost-benefit analysis is presented in a form as net present value (NPV), benefit-cost ratio (BCR), and discounted payback period (DP). The results could be analyzed by test from two different perspectives including Participant Test (PCT) from participant perspective and Total Resource Cost Test (TRC) from overall sociality perspective.

All of the 33 alternative programs constituted by 12 regions with electric , LPG and NG systems, for PCT, BCR, all 33 alternative programs are greater than 1.1; DP are between 3.2 to 11.3 years. For TRC, BCR, all 33 alternative programs are greater than 1 but less than 1.73; DP are between 5.4 to 14.9 years. Residential building adopting heat pump could reduce 2,707 tons carbon emissions annually. For the three types of alternative system, BCR of electric heating alternative program is the largest and NG alternative program being the least. For all of the 12 regions, BCR of Nantou region is the largest for adopting heat pump while BCR of Pingtung region is the smallest.

國立政治大學 National Chengchi University

NPV of overall Taiwan with market penetration reaching 5%, 20% and 50% substitution rate from heat pump system to NG water heating system are 251 million NT$, 1,006 million NT$, and 2,514 million NT$ respectively. Carbon emissions reduce 27,169 tons, 108,675 tons and 271,687 tons annually.

Keywords: heat pump, residential section, energy saving and carbon emissions reduction, cost-benefit analysis, net present value

國立政治大學
National Chengchi University

目 錄

謝誌 ……i

中文摘要 ……ii

英文摘要 ……iii

目錄 ……v

表目錄 ……vii

圖目錄 ……ix

第一章 緒論……1

1.1 研究動機與目的……1

1.2 研究方法……3

1.3 研究範圍與限制……4

1.4 研究流程與論文架構……5

第二章 熱泵系統及其發展現況……7

2.1 熱泵系統概述……7

2.2 熱泵系統發展現況……13

2.2.1 歐洲……13

2.2.2 美國……14

2.2.3 亞洲……16

2.3 各國熱泵推廣政策……17

第三章 研究方法與文獻探討……23

3.1 熱泵效率改善研究文獻……23

3.2 熱泵經濟效益分析……24

3.3 本研究採用之評估方法……25

3.3.1 分區評估方法……27

3.3.2 節能估計方法……32

國立政治大學 National Chengchi University

3.3.3 政府補助政策……35
第四章 熱泵系統應用之成本效益分析……..39
4.1 成本效益分析……...39
4.1.1 參與者檢定……40
4.1.2 總資源成本檢定……42
4.2 敏感度分析……...45
4.2.1 基本模擬補助政策執行結果……47
4.2.2 政府補助比例提升……55
4.2.3 能源價格成長……57
4.2.4 能源效率提升……59
4.2.5 熱泵系統設備成本降低……62
4.2.6 折現率分析……65
4.2.7 熱泵系統應用之滲透率分析……67
4.3 引申討論……...69
第五章 結論與建議……..72
5.1 結論……...72
5.2 研究貢獻……...77
5.3 後續研究方向與建議……...78
參考文獻……..79
1. 中文文獻……79
2. 外文文獻……81
附錄……..84

國立政治大學 National Chengchi University

表目錄

表 2.1 日本空調設備(熱泵型)歷年能效係數平均值……20

表 2.2 各國熱泵推廣政策……..21

表 3.1 台灣各地區太陽能日照年總值……..27

表 3.2 台灣各縣市季節平均溫度……..29

表 3.3 公用天然氣事業氣體售價表(99 年)-從量價……..29

表 3.4 國內桶裝瓦斯查報價格(2010 年)……...31

表 3.5 各類型家用熱水器之效率比較……..33

表 3.6 熱泵熱水器能效係數(COP)……33

表 3.7 基準線關係方程式……..35

表 3.8 各國熱泵熱水器補助金比較……..35

表 3.9 太陽能熱水系統補助作業與成效調查研究計畫作業成果……..36

表 3.10 燃氣其電力排放係數……38

表 4.1 各成本效益檢定之觀點……..40

表 4.2 參與者檢定之參數設定……..42

表 4.3 總資源成本檢定之參數設定……..45

表 4.4 敏感度分析項目內容說明……..46

表 4.5 各替代類型之分區編號……..47

表 4.6 電熱替代方案各分區之節能率……48

表 4.7 LPG 瓦斯替代方案各分區之節能率……49

表 4.8 NG 瓦斯替代方案各分區之節能率……..50

表 4.9 電熱替代方案空汙排放減量結果……53

表 4.10 LPG 瓦斯替代方案空汙排放減量結果…….....54

表 4.11 NG 瓦斯替代方案空汙排放減量結果……....54

表 4.12 各種補助比例下參與者之淨現值……55

國立政治大學 National Chengchi University

表 4.13 液化石油氣國際CP價格……...57

表 4.14 能源價格成長敏感度分析之PCT檢定……58

表 4.15 能源價格成長敏感度分析之TRC檢定……59

表 4.16 設備成本降低敏感度分析之TRC檢定……64

表 4.17 各類替代方案之折現率敏感度分析……65

表 4.18 裝設GSHP之簡單回收期及淨現值……66

表 4.19 2010年各分區天然瓦斯累計供應總戶數……..68

表 4.20 不同市場滲透率之空氣汙染排放減量比較……69

國立政治大學
National Chengchi University

圖目錄

圖 1.1 研究流程……6

圖 2.1 熱泵裝置的運作原理……8

圖 2.2 空氣源熱泵機組結構與運作方式……..10

圖 2.3 空氣源熱泵建築安裝示意……..10

圖 2.4 各種類 GSHP 管線埋設方式示意……...12

圖 2.5 歐洲市場各類熱泵系統銷售市占率……..14

圖 2.6 日本 Eco-cute 產品歷年銷售量……..17

圖 2.7 熱泵獎勵推廣政策架構……..18

圖 3.1 成本效益估算方式及考量因素……..26

圖 4.1 電熱替代方案 PCT 檢定結果……..48

圖 4.2 LPG 瓦斯替代方案 PCT 檢定結果…….....49

圖 4.3 NG 瓦斯替代方案 PCT 檢定結果……..50

圖 4.4 電熱替代方案 TRC 檢定結果……..52

圖 4.5 LPG 瓦斯替代方案 TRC 檢定結果……52

圖 4.6 NG 瓦斯替代方案 TRC 檢定結果……53

圖 4.7 電熱替代方案不同補助比例之折現回收期……..56

圖 4.8 LPG 瓦斯替代方案不同補助比例之折現回收期……56

圖 4.9 NG 瓦斯替代方案不同補助比例之折現回收期……..56

圖 4.10 能源效率提升敏感度分析之 PCT 檢定……60

圖 4.11 能源效率提升敏感度分析之 TRC 檢定……61

圖 4.12 能源效率提升敏感度分析之各分區碳排放減量比例……61

圖 4.13 NG 瓦斯替代方案屏東分區空氣汙染年減排量變化……62

圖 4.14 設備成本降低之折現回收期-電熱替代(PCT 檢定)……63

國立政治大學 National Chengchi University

圖 4.15 設備成本降低之折現回收期-LPG 瓦斯替代(PCT 檢定)……63

圖 4.16 設備成本降低之折現回收期-NG 瓦斯替代(PCT 檢定)……..63

圖 4.17 各類替代方案不同折現率下之淨現值……66

圖 4.18 各折現率下裝設 GSHP 之淨現值……67

圖 4.19 不同市場滲透率之方案淨現值……....69

國立政治大學
National Chengchi University

第一章　緒論

1.1　研究動機與目的

我國自有能源貧乏，能源自產率占總能源供給尚不足 1%(經濟部能源局，2010)。然而伴隨經濟成長與國民生活水準提升，我國能源消費量在過去 20 年間成長快速。能源供給大量的仰賴國外能源進口造成我國能源價格頻繁波動，對居民生活與產業發展亦造成莫大影響。為維持能源供給之穩定與安全，除發展再生能源之外，提高能源終端使用效率亦為重要之手段。

我國自 89 年起實施太陽能熱水系統推廣獎勵措施，其目的在於提高我國再生能源使用率。截至目前國內總安裝面積為 178 萬平方公尺，平均每平方公里國土面積安裝集熱器 30.97 平方公尺為世界第七位，推廣成效斐然。然而我國住宅建築 47%為高樓式公寓，建築形式外觀及屋頂使用權(范馥婷，2000)等問題不利太陽能熱水系統之裝設。對於如此高比例的區塊，如何提升住宅部門能源使用之效率值得深入探討。

熱泵(heat pump)為一種「移熱」之機械裝置，依使用者需求可被整合成空調、暖氣、熱水等設備。早期熱泵技術主要應用在冷凍空調之領域，近年來由於國際能源價格不斷調漲，連帶影響燃燒化石燃料加熱之成本上升，熱泵系統作為加熱設備的應用逐漸受到重視。熱泵具有低耗能、低碳排放等優點，根據歐盟 2009 年發佈之再生能源指令，定義熱泵系統所擷取之大氣熱能(aerothermal)、水熱能(hydrothermal)以及地熱能(geothermal)為再生能源之選項，熱泵系統實為兼具能源效率及再生能源利用之供熱及冷房設施。熱泵系統因其獨特之節能減碳效果，在歐美先進國家備受重視，極力推廣，國外亦時有研究討論熱泵系統應用之經濟與環境效益。

相較於國外熱泵技術的應用已相當成熟，我國熱泵產業正處萌芽之階段，熱

泵相關的研究文獻也較為稀少。目前國內熱泵技術的應用主要在建築熱水系統方面，實際安裝的案例則多屬於醫院、飯店、溫水泳池等大量熱水需求的建築類型。參考綠基會 2006 年的統計資料推估，全台大型熱泵系統案件的實績約在一百件左右。一般住宅方面，市場上雖有住宅用的熱泵產品，但礙於產品能見度不高，民眾對熱泵系統之特性了解甚少以致缺乏購買信心。目前國內熱泵相關研究如高志宇(2009)、李居芳(2008)研究有關熱泵系統效率的提升；宋炎明(2005)、王輔仁(2010)等研究方向則以實際案例的量測與驗證為主。綜觀我國熱泵相關研究偏向以單一案例作為研究標的，研究結果難以涵蓋熱泵應用廣泛的建築類型，熱泵應用之成本效益分析也缺乏有系統的計算方式。

熱泵系統的使用在國內外是截然不同的情況，相關研究的數量也有極大落差。如何完善國內熱泵系統成本效益的研究方法，並且分析熱泵系統於台灣住宅部門之適用性，爰為本文之研究動機。

本研究主要透過成本效益分析方法，展現熱泵熱水系統於台灣住宅部門之適用性主要研究目的有以下四項：

1. 建立系統化之熱泵熱水系統成本效益分析方法：參考國外成本效益計算之方法手冊，並且分析熱泵系統以電能替代化石燃料之模式，建立適當的成本效益計算方法，作為本研究分析之用。
2. 提供適當之工具評估熱泵熱水系統之成本與效益：目前國內研究以案例之績效驗證為主，尚缺合理之方式評估熱泵熱水系統之效益。本研究從熱泵系統之運作原理、能效表現、減排效果等逐步探討，並以此建立效益評估之方法。
3. 評估台灣各區應用熱泵熱水系統之適宜性：本研究參考翁志博(2009)之分區方法，考量地區氣候條件影響熱泵之工作效率，以氣候資料作為主要劃分依據。各分區內尚考慮行政區域的歸屬，彰顯各行政區域之能源價格差異影響分區使用熱泵系統之效益。

4. 提供熱泵熱水系統之成本效益分析結果：利用已建立之工具，計算台灣住宅部門應用熱泵熱水系統之成本效益，並輔以各種背景假設之參數敏感度分析，提供決策者執行熱泵推廣政策之參考。

1.2 研究方法

本文以「一家四口」之代表性家庭[1]的每月熱水熱值需求做為家庭能源使用的參考計算基準，計算代表性家庭使用現有的電能熱水器、天然氣瓦斯熱水器、液化石油氣瓦斯熱水器的每月能源耗用量。接續評估以熱泵熱水系統替代現有之熱水器前、後的能源使用情況，以及替換所需支付的初始成本、維護成本等等作為成本效益計算之考量。本研究所計算之成本效益檢定分為參與者檢定以及總資源成本檢定兩部分，計算所需考量之因素如下：

參與者檢定各成本與效益項目的計算採用迴避成本法，計算時需要納入考量之因素包括分區評估方式、節能估計方式、政府獎勵補助金額等等。檢定之結果以淨現值(Net Present Value, NPV)、益本比(Benefit-Cost Ratio, BCR)以及折現回收期(Discounted Payback period, DP)三種方式表現。

總資源成本檢定各成本與效益項目的計算採用迴避成本法以及願付價格法，在計算時須納入考量之因素為分區評估、節能估計及政府補助政策之執行成本。另外由於能源使用產生之空汙排放所造成的外部性成本，則參考梁啟源(2005)的空氣汙染社會外部成本研究結果，該研究以願付價格進行外部成本之估算。總資源成本檢定之結果同樣以淨現值、益本比以及折現回收期表示。

排放的社會外部成本雖已納入總資源成本檢定之項目中計算，但本研究仍將實際排放減量之數據獨立表示，以作為減碳政策目標之參考。

[1] 代表性家庭係以一對夫妻及兩名子女所組成之小家庭。

1.3 研究範圍與限制

熱泵系統的種類及功能繁多，應用於不同之住宅類型時需考量不同的成本效益計算方式。使用功能過於複雜之熱泵系統做為評估標的不僅模糊本研究之目的同時也不能適用台灣一般家庭之使用情況。故本研究設定之研究範圍如以下所列：

1. 本研究所評估之熱泵系統，為適用於一般公寓住宅家庭之空氣源式熱泵熱水系統。
2. 本研究所評估之代表性家庭類型係指一家四口之小家庭。
3. 本研究以熱泵系統所替代之家庭現有熱水設備為電能熱水器、天然瓦斯熱水器、液化石油氣瓦斯熱水器三類。
4. 本研究考量之政府獎勵補助方式均為直接獎勵金制度。
5. 總資源成本檢定之成本效益計算，係以一萬八千名受補助改採熱泵熱水系統之家庭其效益項與成本項之總和作為計算依據，唯敏感度分析之項目七以市場滲透率作為補助名額設定之參考。
6. 市場滲透率之敏感度分析不考慮因為產量或生產規模擴大而使熱泵設備生產成本降低之效果。

由於目前資料取得之障礙，本研究之限制如下:

1. 本研究之電力使用數據以年平均、月平均資料作為計算依據，未能反映熱泵系統每小時之電力使用情況。台電的資料部分亦未能統計至每小時之發電成本，使得本研究計算之成本項目未能納入熱泵應用對電力負載之影響。
2. 本研究可取得之能源供給成本，未能反映各分區能源供給之不同成本，以致TRC 檢定之結果未能精確反映各分區能源使用之差異性。
3. 由於外島區域尚缺乏廠商設立之服務據點，系統維護成本與本島地區差異較大，故未納入外島區域於分區選項中。

國立政治大學 National Chengchi University

4. 熱泵系統能源效率數據係由業界廠商提供，唯本研究所蒐集之廠商數據份數不足，用以計算之能源效率可能偏離市場產品之平均表現。

5. 未能取得現有家用電熱水器、液化石油氣瓦斯熱水器的實際安裝使用數量等資料，故市場滲透率之敏感度分析僅計算天然瓦斯熱水器替代部分。

以上研究之範圍及限制留待後續相關研究資料之取得，得以持續完善及補充。

1.4 研究流程與論文架構

本研究主要探討住宅熱泵系統之應用對於消費者、整體社會之經濟效益，以及降低台灣空氣污染排放之效果。並使用各種情境背景假設下的敏感度分析，探討熱泵系統獎勵補助政策之施行手段。研究流程可參見圖 1.1。

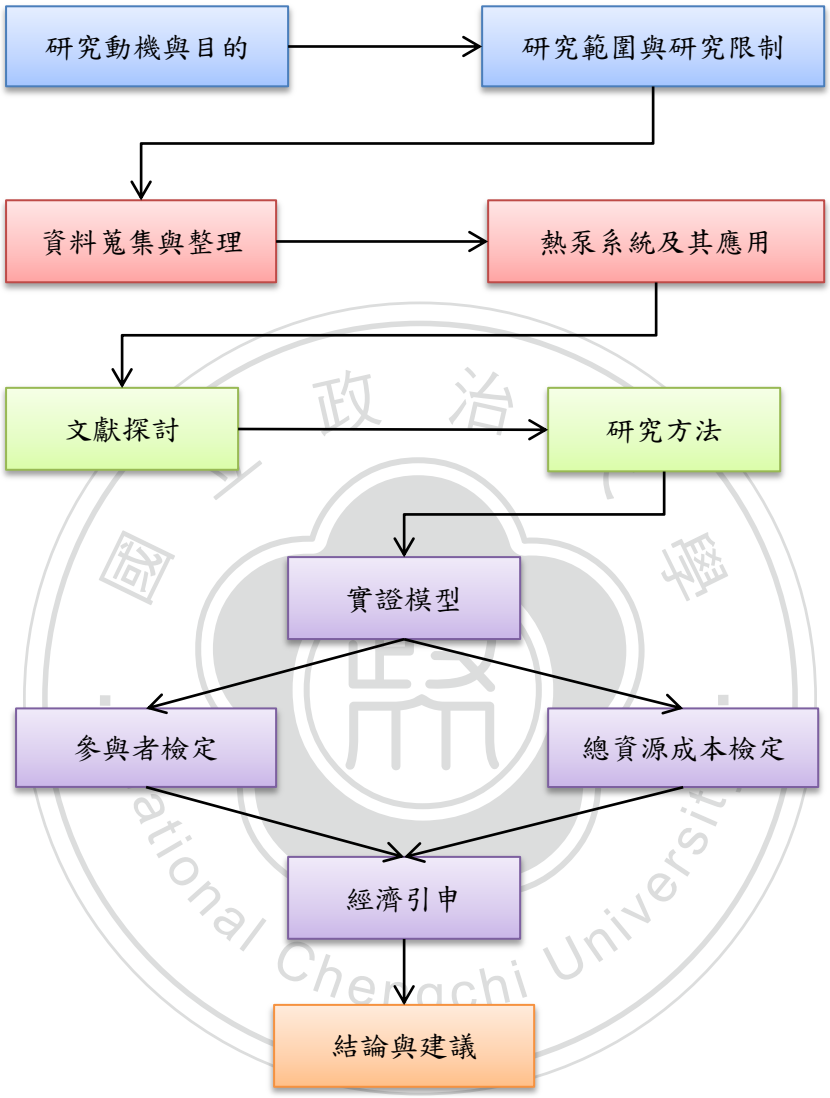
第一章為緒論，第一節先確立研究動機與目的，第二節簡述研究方法，第三節說明研究範圍及研究限制，第四節為研究流程及論文架構。

第二章介紹熱泵系統及其發展現況，作為本研究之基礎背景知識。第一節概述熱泵系統運作之原理、能源效率指標以及熱泵系統之應用類型，第二節簡介各國熱泵系統發展之現況，第三節整理各先進國家熱泵推廣獎勵政策之措施以做參考借鑒。

第三章為研究方法與文獻探討，以先前之研究為基礎作為本文研究之擴展方向。第一節回顧熱泵系統效率改善之研究，第二節討論熱泵成本效益分析之研究，第三節參考分區方式、節能計算公式、政府補助措施以及空氣汙染排放的資訊，建構本研究之成本效益評估方法。

第四章為熱泵系統應用之成本效益分析，第一節詳述成本效益分析參與者檢定、總資源成本檢定的計算方式，第二節介紹各敏感度分析之情境背景及參數設定方式，以及敏感度分析之結果。第三節為熱泵應用之引申討論。

第五章為結論與建議，第一節為結論，第二節為本研究之貢獻，第三節為後續研究之方向與建議。



資料來源：本研究繪製

圖 1.1 研究流程

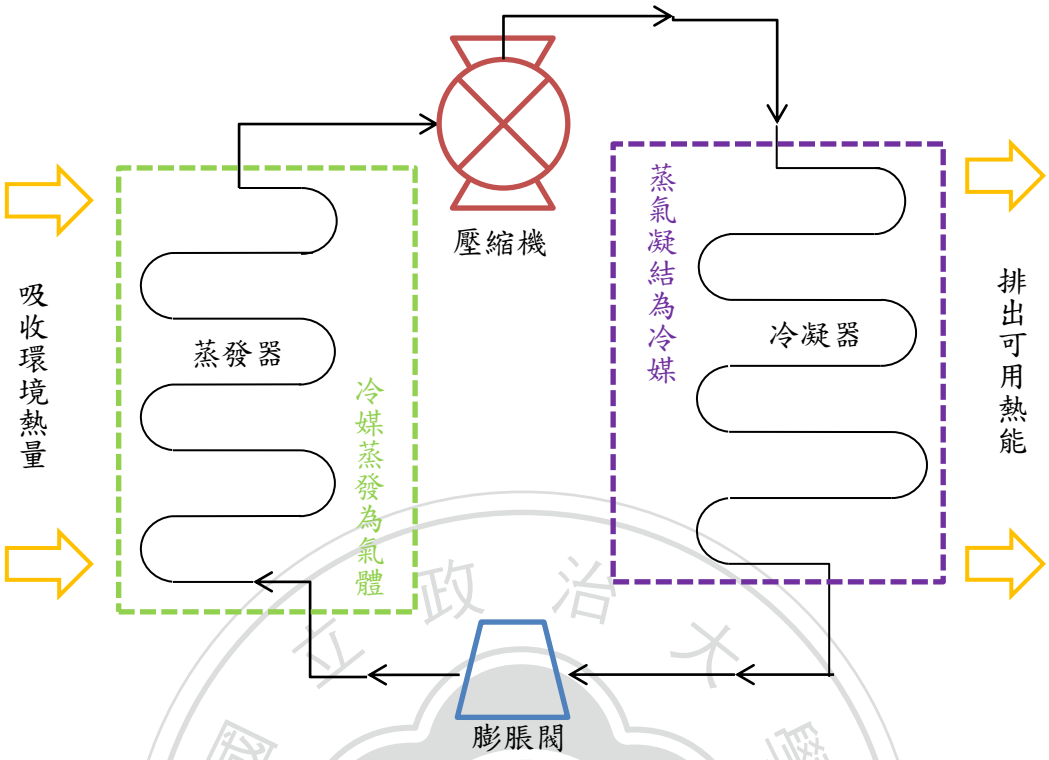
第二章　熱泵系統及其發展現況

本章節之主要內容在探討熱泵系統特色及運作原理，簡述世界先進國家應用熱泵系統概況及各國獎勵推廣政策。第一節首先說明熱泵系統工作原理、機組之特性以及熱泵系統的效率評鑑指標。第二節概述世界主要熱泵市場與各國熱泵系統應用之現況。第三節討論世界先進國家財務面、制度面熱泵推廣政策及其施行成效。

2.1　熱泵系統概述

熱泵(heat pump)為一種「移動」熱量的機械裝置，主要由壓縮機、蒸發器、冷凝器、膨脹閥、冷媒管路以及熱交換器等零件所組成。透過壓縮機的熱力循環原理【朗肯循環[2]】(黃秉鈞，2007)讓熱量在兩個由冷媒管路連接的熱交換器間移動，使其能夠回收周遭環境的廢熱，轉而做為熱源供給暖氣、熱水等設備使用，在系統進行逆向循環時則可移出室內多餘的熱量，作為空調之用。目前市面上的熱泵產品居多以電能驅動，因為熱泵之工作原理為回收熱能而非產生熱量，相較於傳統電熱器消耗一度電能最多只能產生一度電的熱能，熱泵在一般環境條件下(氣溫 25℃)輸入一度電能來驅動，可以回收三度電以上的熱能供作使用。因此相較於傳統的電熱器，改用熱泵系統進行供熱可節約五成到七成的電力(綠基會，2006)。若是替代燃燒化石燃料等傳統加熱設備則能有效降低溫室氣體的排放。使用熱泵系統不僅具有節約能源的效果，同時也能節省用戶龐大的能源費用支出。

[2] 朗肯循環(Rankine cycle)由四個組件構成：壓縮機、冷凝器、蒸發器與膨脹閥，連接管路中充滿冷媒，冷媒蒸氣受壓縮機壓縮產生高溫高壓蒸氣，流入冷凝器因排熱而凝結成冷凝液，經一膨脹閥流入蒸發器內蒸發成蒸氣而產生吸熱效應(冷氣效果)，蒸氣再被壓縮機吸入繼續進行壓縮，構成一循環迴路。熱泵的移熱原理即是透過，熱能在蒸發器處被吸收，然後在冷凝器處被排出並進行收集與利用，構成一個熱的移動過程。



資料來源：本研究繪製

圖 2.1 熱泵裝置的運作原理

熱泵的工作效率視其產品技術、工作條件而有所不同，通常我們以「能效係數」(Coefficient of performance, COP)來說明，它代表熱泵運作時輸出能量與輸入能量的比值。下列公式可簡單表示能效係數的運算：

$$\text{製冷}\ COP_c = \frac{Q_c}{W_e}$$

Q_c：製冷量　　W_e：壓縮機耗能

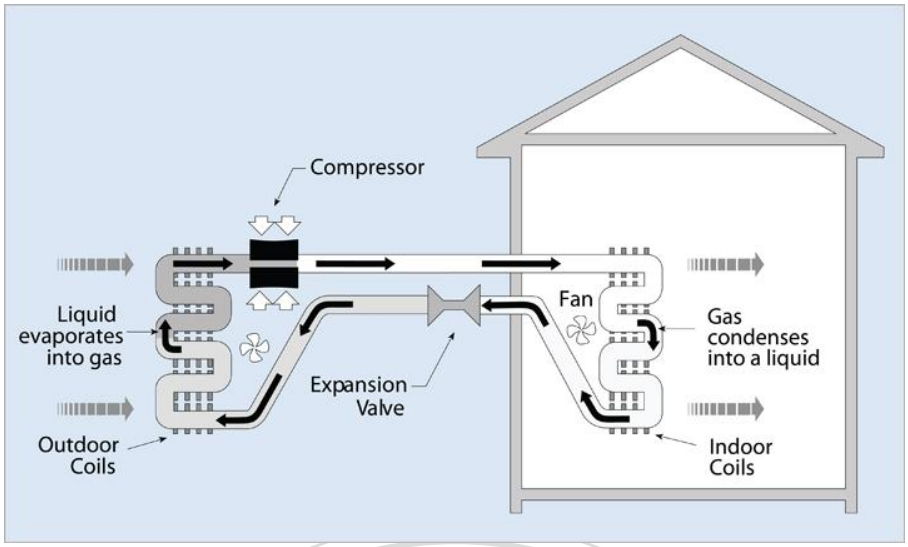
$$\text{製熱}\ COP_h = \frac{Q_h}{W_e} = 1 + COP_c\ (\textit{假設耗能完全轉變為熱量})$$

Q_h：製熱量　　W_e：壓縮機耗能

COP_c與COP_h分別表示熱泵在製冷以及製熱的能效係數，COP_c=3 表示輸入一度電能給予熱泵運作能從處熱源抽取相當三度電的熱能，COP_h=3 則表示輸入一度電能提供三度電的熱能來使用。對於同一機組熱泵的 COP 值並非維持固定，它依據工作環境條件的改變而有所增減。以下根據熱泵的取熱來源為熱泵形式作一簡單的分類說明：

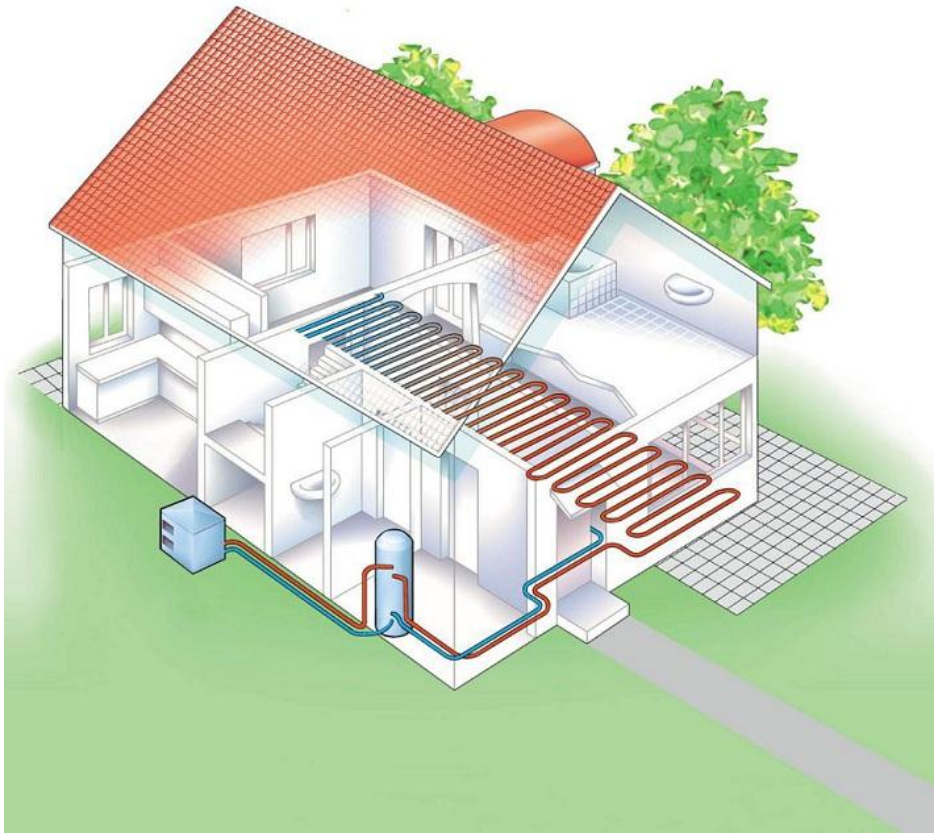
空氣源熱泵(Air-source heat pump, ASHP)

空氣源熱泵是以空氣中所蘊含之熱量為取熱的來源，它在冷凍空調的領被廣泛的使用，如冷氣機(將室內之熱能移到室外)、冰箱(將冰箱內的熱能移出箱外)等等。由於 ASHP 空氣取熱的特性，使其工作效率容易受大氣溫、濕度的影響，在氣溫 35℃以上的環境運作時 COP 值可以高達 4~5，但在接近攝氏零度的低溫地區工作時 COP 值只能達到 1~1.5，低溫運作的不利條件使得空氣源熱泵在高緯度國家的使用受到限制，熱泵機組必須附加抗凍、除霜等輔助設備。但另一方面空氣源熱泵也擁有體積小、成本低的優點。即使是生活在公寓中的住家，只要空氣流通的陽台空間即可安裝，因此在亞熱帶氣候溫暖、人口較為密集的國家受到歡迎。日本在 2001 年即推出 eco-cute 系列採用 CO_2冷媒的空氣源熱泵熱水器，該產品的高效率、環保等優點受到日本政府的大力提倡，從 2002 年即導入補助金制度大力推廣，至 2009 年全日本 eco-Cute 的累積銷售量達到 200 萬台以上，足見該產品在日本受歡迎之程度。下圖 2.2 為分離式的空氣源熱泵的結構簡圖並說明空氣源熱泵運作方式。



資料來源：http://www.energysavers.gov/your_home/space_heating_cooling/index.cfm/mytopic=12620

圖 2.2 空氣源熱泵機組結構與運作方式



資料來源：STIEBEL ELTRON-Going Green: Water and Heat

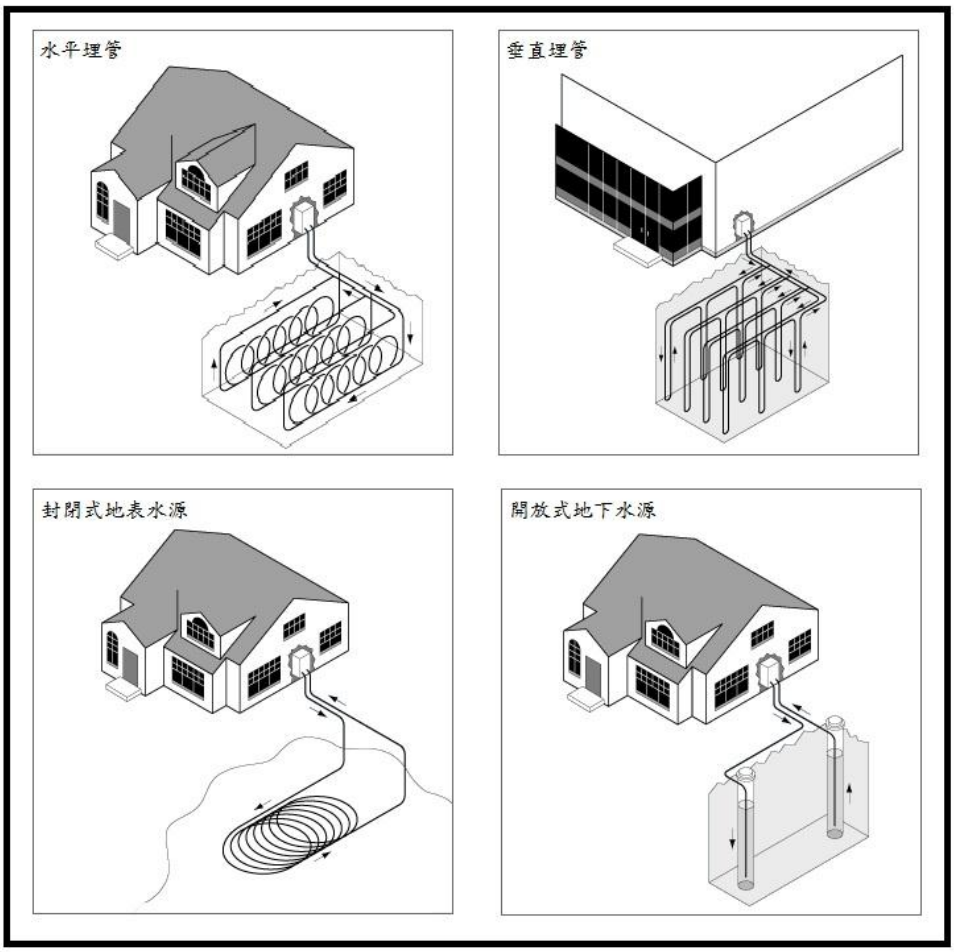
圖 2.3 空氣源熱泵建築安裝示意

地源熱泵(Ground-source heat pump, GSHP)

地源熱泵(GSHP)通常也稱作地熱源熱泵 Geothermal heat pump，它主要是從用戶建築附近的「地層」或是「臨近水體」作為取熱的來源。此處所指的地熱並非一般所理解的溫泉、火山等高溫的地熱源，而是指蘊藏在地表以下，地層所含有的熱能。在地表下(一般指 4 英呎以下)的地層依地球緯度的高低，溫度大約在攝氏 7℃~21℃之間。相較於大氣溫度季節變化劇烈，地層因為有土壤的阻隔而可以維持相當穩定的恆溫。在冬天地層溫度比地表大氣高，可以做為極佳的取熱來源，在夏天地層溫度相對較低，就成為提供冷房的優良資源。GSHP 機組根據不同的管線埋設方式，可再細分為四類：垂直埋管(Vertical Ground Heat Exchanger)、水平埋管(Horizontal Ground Heat Exchanger)、開放式地下水源(Groundwater Heat Pumps)及封閉式地表水源(Surface Water Heat Pumps)。下圖 2.4 表示各種 GSHP 管線的埋設方式。

垂直埋管適用於熱能需求較大的建築如旅館、商辦等，管線埋設的深度可達 100~400 英呎(約 30~120 公尺)透過垂直管線得以在相同土地面積下交換更多的熱能使用。水平埋管適用於一般住家，埋設的深度在地面下 1~2 公尺，工程較簡單成本也較低，但是對於熱能需求大的住家則需要較大的土地面積提供管線埋設之用。地下水源與地表水源則需有特殊的地理及地質條件才可裝設，特別是開放式地下水源，是透過抽取地下水取熱再將水排出，操作上需要符合當地地下水體使用的規範。

國立政治大學 National Chengchi University



資料來源:http://www.energysavers.gov/your_home/space_heating_cooling/index.cfm/mytopic=12650

圖 2.4 各種類 GSHP 管線埋設方式示意

National Chengchi University

地源熱泵具有穩定的效率表現以及能克服在零度以下低溫工作的不利條件等優點，在高緯度國家 GSHP 是相當受到注目的節能產品。在瑞典單一家庭的住宅中，有高達 46%採用熱泵作為供熱系統，其中又有 39%的家庭選擇安裝地源熱泵(EHPA，2009)。根據美國 EPA(U.S. Environmental Protection Agency)的估計，GSHP 相較於 ASHP 可以額外再節省最多 44%的電量消費，對於有大規模供熱需求的建築(如學校、醫院、辦公大樓等)相當具有經濟效益。但是高額的設備成本(約 ASHP 的 4~10 倍)以及需要較大的土地面積用於管線鋪設是 GSHP 難以普及的主因。

2.2 熱泵系統發展現況

應用熱泵技術作為供熱設備在歐美國家的使用相當普及，在緯度較高的國家如北歐、加拿大等國，居民的室內暖房需求也相對較高，熱泵系統主要作為室內暖氣供應的設備。在氣候條件相對溫暖的南歐國家，同時具有暖氣及空調的複合式熱泵機組在市場上較受歡迎。然而在亞州的中國和日本，在溫暖的氣候區域造成居民對室內暖房的需求較為薄弱，熱泵熱水系統是在亞洲地區主要的應用範圍。

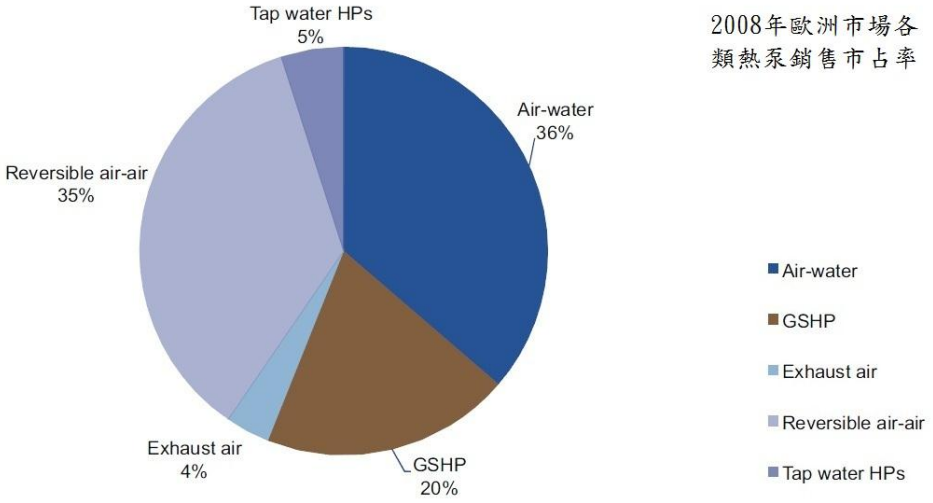
2.2.1 歐洲：

歐洲是全球使用熱泵技術最密集的地區，根據 2008 年的統計資料，每萬人的熱泵銷售數字在挪威是 185 台、在瑞典則是 140 台。另外在歐盟八國[3]2008 年的熱泵合計銷售數字是 57.6 萬台相較 2007 年提高了 46%(EHPA，2009)。根據 BSRIA(Building Services Research and Information Association)的市場研究報告中指出：歐洲熱泵市場的發展歸因於歐洲地區及歐洲國家的立法支持促進再生能源使用，再加上建築能源效率的規範以及財政獎勵措施等，是熱泵在歐洲市場得以持續快速發展的主因(HPC，2009)。

下圖 2.5 統計 2008 年歐洲市場各類型熱泵的銷售市占率。以熱泵類型來看，空氣源熱泵仍是市場的大宗，成長速度也最快。ASHP 機種成本低廉，同時在老舊建築改裝的條件較為寬鬆，可以避免複雜的管線配接、地面鑽井等工程，諸多優點使得 ASHP 成為翻修住宅的用戶最具成本效益的選擇。地源熱泵方面則呈現緩步成長的趨勢，目前在歐洲 GSHP 使用比率最高的兩個國家為瑞典及德國，在 2005~2008 年間分別銷售 10.2 萬台與 5.3 萬台。GSHP 市場在瑞典與德國兩國擴

[3] 歐盟八國統計數據為奧地利、芬蘭、法國、德國、義大利、挪威、瑞典、瑞士等八國銷售量、由歐洲熱泵協會統計

展相對快速，主要原因為政府補貼措施特別有利於 GSHP 的裝設。瑞典政府補貼熱泵安裝施工費用(Labour costs)的 50%，對於需要龐大施工程序的 GSHP 較為有利，德國則是依照熱泵形式的不同給予不同補助額度。然而真正影響 GSHP 無法普及的障礙在於缺乏訓練良好的鑽井人員、自然條件的限制如不適合鑽井的岩層以及土地使用權歸屬的法律問題(鄭維嶽、林師培，2009)。



資料來源：EHPA Outlook 2009

圖 2.5 歐洲市場各類熱泵系統銷售市占率(2008)

2.2.2 美國

熱泵設備在北美洲是一個技術成熟且持續成長的市場。自 2000 年起美國房地產市場的榮景帶動熱泵系統銷售量的持續攀升，在金融海嘯之前 2001~2005 年美國的熱泵銷售量平均每年成長 9.8%，銷售量最高的 2005 年有近 220 萬台的熱泵出貨量。2006 年美國次貸風暴爆發之後，熱泵設備在美國的銷量也應聲下跌，2009 年全美熱泵銷售量約在 176 萬台，其中 93%是 ASHP，GSHP 只佔 7%(資料來源 AHRI and EIA 網站)。

美國 GSHP 設備的銷售量是全球最高，但是在人均使用的比例卻遠低於歐洲國家。ORNL(Oak Ridge National Laboratory)在 2008 年曾進行一份研究，主要在比較各個國家使用 GSHP 的情況，並且分析美國 GSHP 的使用無法快速成長的原因，文章中歸納出幾點美國拓展 GSHP 市場的主要障礙(順序優先者越重要)：

1. 對消費者而言過高的 GSHP 初始成本。
2. 消費者缺乏對 GSHP 系統效益的認知與信心。
3. 政策或法規制定者缺乏對 GSHP 效益的認知與信心。
4. GSHP 設計與業務規劃基礎佈署的限制。
5. GSHP 安裝相關基礎建設的限制。
6. 缺乏新的技術與工藝來降低 GSHP 成本以及提升能效表現。

針對目前 GSHP 的主要障礙，在文中也提出建議，包括：進行有效的數據統計建立 GSHP 成本效益的硬體資料、評估積極佈署熱泵系統的國家效益、開發及提供 GSHP 普及化基礎建設的方案等(Hughes，2008)。

過去美國的電力業者普遍會提供優惠折扣獎勵電力用戶安裝高效率的空調設備與熱泵來替換使用其他燃料或較不效率的舊設備。而在最近的調查中發現電力業者已較少提供相關折扣，這歸因於政府逐漸減少電業管制的趨勢。美國政府透過能源之星計畫促進高效率設備的使用，能源之星認可設備符合一定的能效標準(鄭維嶽、韋宗樞，2008)。目前，為符合能源之星要求分離式熱泵機組 SEER[4]不得小於 15，HSPF[5]不得小於 8.5。為獎勵消費者，在 2009 年 12 月以後購買符合能源之星認證的熱泵產品得享有租稅扣抵的優惠。藉由能源之星計畫的執行將有

[4] SEER(Seasonal energy efficiency rario)：用以計算熱泵系統的冷房效率指標，它是由供冷季節”空間總移出熱量(Btu)”除以供冷季節”總電能消費(watt-hours)”計算所得。

[5] HSPF(Heating season performance factor)：用以計算熱泵系統的暖氣效率指標，它是由供暖季節”總空間暖氣需求(Btu)”除以供暖季節”總電能消費(watt-hours)”計算所得。

助淘汰市面上能源效率較低的熱泵產品。

2.2.3 亞洲

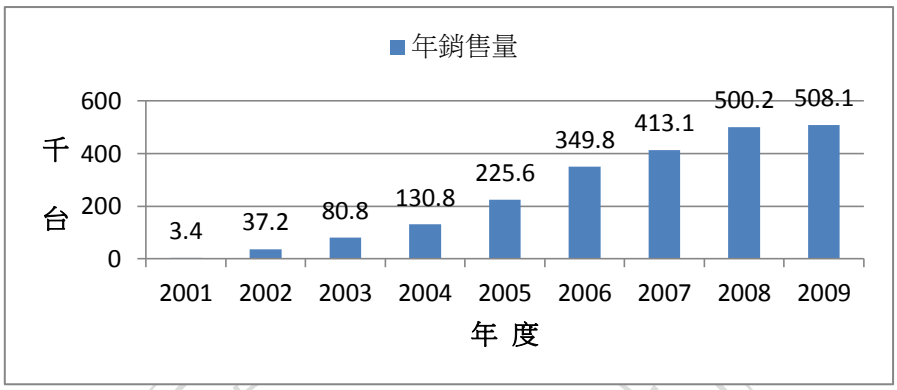
氣候相對溫暖的亞洲地區，熱泵技術主要應用在於冷凍空調方面的領域。尤其在人口密集的都市地區空調市場的增長相當快速。2003 年亞洲地區的窗型冷氣機/箱型冷氣機總市場大約 2,800 萬台，其中以中國 1,800 萬台和日本 720 萬台為最大市場。值得關注的是 2,800 萬台中有 60%為冷暖氣複合式的可逆式熱泵，顯示在氣候相對溫暖的亞洲地區仍然有季節性的暖氣需求。冷氣機的市場在這個地區的各個國家有不同的滲透率，例如在日本窗型冷氣的滲透率達 90%，而在開發中國家如印度則不到 10%，亞洲國家間的差異成為明顯的對比，但也顯示這個區域仍有極大的市場潛力(鄭維嶽、廖建順，2008)。

使用 CO_2 作為冷媒的氣源熱泵熱水器「Eco-cute[6]」是在亞洲地區相當特殊的熱泵產品，自 2001 年問世以來，僅有短短數年的發展成長卻相當快速。由於 CO_2 冷媒的工作特性，Eco-cute 可以產生攝氏 90 度的高溫熱水，相較於一般熱泵熱水器 65 度 C 左右的出水溫度，Eco-cut 更具有工業應用的潛力。在形式上 Eco-cute 採用儲備式的熱水桶，可以使用深夜離峰較低電費的時段運轉，運轉成本僅有一般瓦斯熱水器的 1/4~1/5(廖建順、韋宗楒，2009)。Eco-cute 產品優異的節能表現受到日本政府的重視，2002 年即訂定補助方案推廣產品的使用。下圖 2.6 為 Eco-cute 產品的歷年銷售量，截至 2009 年 Eco-cute 產品的市場累積銷售量就達到 200 萬台，足見該產品受歡迎的程度。

GSHP 在亞洲地區的發展非常緩慢，近年來卻逐漸受到關注。中國廣泛的使用地下水做為熱源以及散熱，發展水對水的熱泵系統。日本與韓國則對地熱源系

[6] Eco-cute 為 2001 年日本 Denso 公司率先開發的 CO2 冷媒熱泵熱水器，爾後日本各家熱泵廠商相繼推出該類產品，並協議以 Eco-cute 作為該產品的統一名稱。

統較感興趣，主要是受到歐美 GSHP 發展成熟的市場所影響。然而複雜的地質結構以及國家地震本質仍然是 GSHP 在這個區域發展的主要障礙(鄭維嶽、廖建順，2008)。



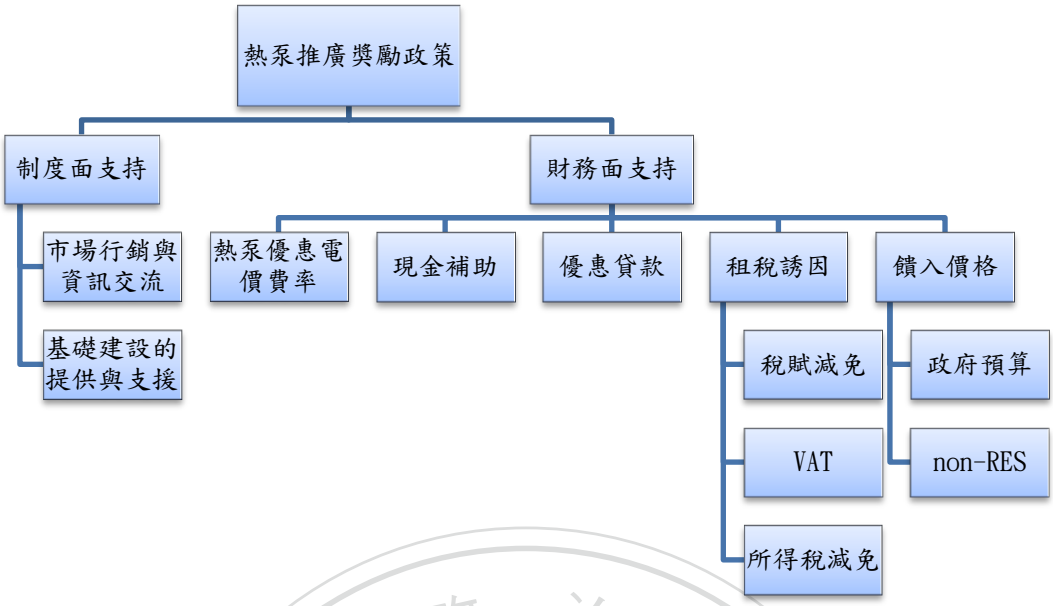
資料來源：JRAIA 網站

圖 2.6 日本 Eco-cute 產品歷年銷售量

2.3 各國熱泵推廣政策

「京都議定書」之後，溫室氣體的排放始有國際公約的限制。締約國中的已開發國家必須依照協議內容，控制溫室氣體的排放。根據 IEA 熱泵中心(heat pump centre)的估計，熱泵技術的推廣應用將能減少每年 8%的 CO2 排放量。熱泵優異的能源效率表現以及減碳效益，成為各先進國家的減碳政策目標下首要推廣的節能技術。

各國針對熱泵系統的獎勵推廣政策主要分為"制度支持"以及"財務支持"兩方面，其中制度面支持主要目的為提升民眾對熱泵技術的認知、擴張熱泵產品的市場能見度、建構熱泵產業交流平台以及完善熱泵設置的相關基礎建設。財務支持方面則利用各種租稅、費率、補貼等手段，提高民眾設置熱泵的經濟誘因，藉此協助熱泵產業發展。下圖 2.7 將各國的誘因政策分類列舉，供作參考：



資料來源：Nowak(2010)

圖 2.7 熱泵獎勵推廣政策架構

這些推廣政策則視各國國情不同而被參酌採用，以下僅就幾個國家的熱泵推廣政策進行介紹：

德國

德國作為世界再生能源使用之先進國家，對於推廣熱泵系統的安裝使用有全面性的政策配合，包括：熱泵資訊平台的建立、境內地質調查、電價費率優惠、以及安裝獎勵金等。2008 年德國政府實施「市場激勵計畫」(Markt anreiz program, MAP)提供熱泵用戶直接獎勵金，該年度熱泵市場銷售量成長 47%。根據 EHPA 預測，德國新成屋使用熱泵的比例可望達到 15%。

瑞典

瑞典為熱泵系統發展相當成熟的市場，在單一家庭或是雙家庭的住宅型式中有超過50%的家庭選擇使用熱泵作為供熱系統，在公寓住宅中也有將近8%(HPC ，

2011)。由於熱泵系統的普及，與其相關的配套措施也相當完善。包括：熱泵標章制度、消費者申訴委員會以及安裝補助政策。其中較為特殊的消費者申訴委員會是由熱泵廠商及安裝業者的代表所組成，負責提供熱泵消費問題的諮詢。該委員會自 1989 年成立至目前總共處理了 490 件消費糾紛。

法國

在 2004 年以前法國的熱泵市場並不受到額外的注目，但自 2005 年起法國政府實施熱泵的補助政策，法國熱泵的銷售量急遽的成長。優厚的熱泵補助方案使得 2008 年法國熱泵的出貨量達到全歐洲第一，迅速發展成為熱絡的市場。法國的實行的相關推廣措施包括：熱泵標章制度、安裝技術認證計畫以及熱泵補助政策。

英國

英國並未針對鼓勵熱泵系統提出單一的推廣政策，而是將熱泵系統納入再生能源計畫中進行推廣。2011 年 3 月英國「能源與氣候變遷部」(DECC[7])公佈了「再生能源供熱獎勵計畫」(Renewable Heat Incentive, RHI)。該計畫的補助主要分為兩類：一.提供裝設再生能源供熱設備的住家直接獎勵金，二.採用類似於再生能源饋網電價(feed-in tariff)的制度，給予生產再生熱能的廠商 20 年的優惠收購價格。根據 DECC 自行評估方案成本效益的報告，在最佳預測的情況下淨現值為-42 億英鎊，但是方案的執行將有助於提升英國的再生能源供熱比例從現有的 1.5%到 2020 年的 12%。

[7] DECC：英國能源與氣候變遷部(Department of Energy and Climate Change, DECC)成立於 2008 年 10 月，他整合原有”商業企業監管改革部” (Department for Business, Enterprise and Regulatory Reform, BERR)的能源監管以及”環境、食物和農業事務部(Department for Environment, Food and Rural Affairs, Defra)的氣候變遷事務而成新的部會。DECC 的主要職責在於 1.執行綠色新政節約能源並支持弱勢消費者，2.保證能源安全以達到未來低碳能源的目標，3.在國內外採取積極行動因應氣候變遷問題，4.忠實管理能源遺產及成本效益。

日本

日本的將熱泵技術應用在冷供空調的領域相當成熟，但自 2001 年 Eco-cute 產品問世後，採用熱泵供熱的產品在市場上迅速成長，使日本一舉躍升為應用熱泵系統的主要國家。與其他國家稍有不同的是，日本的熱泵廠商致力於熱泵產品能源效率的提升。在日本主要的推廣政策為獎勵金與產品能效提升計畫。其中產品能效提升計畫「Top Runner Program」的實行，在短短五年讓日本熱泵產品的平均效率提升 68%，成效斐然。

表 2.1 日本空調設備(熱泵型)歷年能效係數平均值

能力等級	1999 年	2000 年	2001 年	2002 年	2003 年	2004 年	目標值
≦2.5kW	3.17	3.24	3.37	3.49	3.75	5.33	5.27
＞2.5kW,≦3.2kW	3.47	3.63	3.83	4.00	4.18	5.14	4.90
＞3.2kW,≦4.0kW	3.07	3.37	3.57	3.92	3.99	4.10	3.65

資料來源：廖建順、韋宗楒(2009)

台灣：

目前台灣採用熱泵系統主要為大型用戶，依使用場所可分為學校、游泳池、飯店、醫院等 13 類。根據綠基會 2006 年的資料顯示，國內採用熱泵供熱的大型用戶可能不到百家。一般民眾則以冷暖氣複合的冷氣機為主，熱泵熱水器的使用比例較低。目前國內尚未有統一規範要求熱泵產品須符合最小的能源效率標準，以致於市場產品品質良莠不齊。台灣現行的推廣政策為節能標章以及補助政策。補助政策方面有「投資抵減辦法」及「節能設備優惠貸款」，但均不適用一般民眾。

國立政治大學 National Chengchi University

表 2.2 各國熱泵推廣政策

國別	各國推廣政策及現況
德國	1. 交流平台：政府與熱泵產業合資建立熱泵資訊交流平台，提供廠商與消費者市場調查資訊、熱泵安裝指南、住宅產業資訊與決策參考文件。 2. 地質調查：北萊茵-威斯特法倫州政府進行境內的鑽孔地質調查，目的在調查全州土地使用 GSHP 之潛力，該調查最後繪製成「地熱潛能地圖」提供民眾與廠商下載使用。 3. 建築能效規範：2009 年德國公佈「EEWarmeG」指令，規定新建築必須使用一定量的再生能源作為暖房熱水使用。符合指令的熱泵系統必須通過 VDI4650 檢測標準的最小 SPF 規範。 4. 獎勵金：2008 年實施「市場激勵計畫」(Marktanreizprogramm)對於年份不同的住宅提供有差別的熱泵裝設獎勵金，在 2009 年後新成屋的部分提供 637.5~1,500 歐元的補助，舊屋翻修換裝熱泵的部分則提供 1,500~3,000 的補助金。
瑞典	1. 標章制度：瑞典熱泵協會(Swedish Heat Pump Association, SVEP)是 EHPA 品質標章計畫的正式會員，同時也是“國際品質委員會”的主持機構。 2. 消費者申訴：瑞典熱泵廠商與安裝業者的代表組成“消費者申訴委員會”，且由地方法院主持並且負責裁決。SVEP 負責提供必要文件與諮詢無裁決之權利。 3. 補助政策：2008 年底瑞典政府針對建築翻修及擴充的熱泵消費者，給予所得稅的減免。折抵幅度為安裝施工費用的 50%，最多不超過 50,000 瑞士克朗(當時約 4,500 歐元)
法國	1. 標章制度：2007 年法國熱泵協會(French heat pump Association)公佈 NF-PAC 熱泵標章，欲獲得標章的產品必須通過 EN14511 檢驗規範的最小 COP 標準，同時標章上也註明產品的 COP 值提供消費者比較。 2. 安裝技術認證：2007 年 AFPAC 執行安裝技術認證計畫「QualiPAC」，欲獲得認證的安裝技師必須符合兩項標準：(1)取得法國知名認證或通過 EUCERT 測驗，(2)每年有安裝實績被隨機抽檢，必須符合 AFPAC 訂定之施工標準。 3. 補助政策：自 2005 年法國政府補助熱泵安裝，對於安裝空氣對水以及 GSHP 機種的家庭得扣抵所得稅，扣抵幅度為熱泵設置(包括設備、施工)成本的 40%，最多不超過 8,000 歐元。由於優厚的補助政策 2008 年法國成為全歐最大的熱泵市場。

英國	1. 目前供熱佔英國所有能源消費的 47%，因供熱而產生的二氧化碳排放則佔全國碳排放的 46%。 2. 有鑑於此 DECC 在 2011 年公佈 RHI 計畫，該計畫核心目標在於提升英國再生能源供熱率、減少二氧化碳排放以及提高能源自給率。 3. RHI 計畫類分成兩部門：非住宅部門安裝再生能源供熱設備生產熱能，政府提供 FITs(Feed-in Tariffs)機制的長期供熱回售價格，保證 20 年的熱能收購。住宅部門得享有安裝再生能源熱設備的補助金，該補助金細節目前尚未公佈，目前規劃在第二階段讓住宅部門也可加入 FITs。 4. 根據 DECC 評估報告「Renewable Heat Incentive Impact Assessment」，該方案在最佳預測的情況下 NPV 為-42 億英鎊，最好的情況 NPV 可達 105 億英鎊，最差可能為-137 億英鎊。 5. 該計畫預測可將英國現有的再生能源供熱率由現在的 1.5%，提高到 2020 年的 12%。
日本	1. 日本家用熱水器市場每年約 350 萬台，其中燃氣型及燃煤型的總和就佔 94%，用電型僅佔 6%。 2. 因應人口老化所產生的高齡人口居家安全問題，防止燃燒式家用設備可能引發火災和一氧化碳中毒等公共安全災害，日本政策傾向推廣「全電力化家庭」之觀念。 3. 補助政策：2002 年 9 月日本政府立法實施全國性補助方案補助 Eco-cute 產品消費者，該補助方案經逐年調整，目前補助金額為每台 41,000 日圓，約佔產品市價的 7%。 4. 能源效率提升：1998 年執行「Top Runner Program」(TRP)來規範家電產品的能源效率。該計畫召集所有家電設備製造商與進口商，以當時市場已經存在的最高能源效率產品做為標準，約定在未來某一時點市場上所有產品都必須達到標準。該計畫也頒布能效標章標示產品已達 Top Runner 目標進度如 80%、110%，刺激業者加速研發提升提升產品效能。 5. 成效：TRP 自 1998 實施起至目標年 2004 年為止，市場上所有空調業者均達到 TRP 標準，產品平均的能源效率表現提高 68%。

資料來源：Nowak(2010)、EHPA Outlook(2009)、DECC(2011)、綠基會(2006)、張鈺炯等(2006)、廖建順等(2010)

第三章　研究方法與文獻探討

本章節回顧國內外熱泵效率改善之文獻以及熱泵系統濟效益分析文獻，設計合理的熱泵熱水器效益評估方法。第一節首先探討提升熱泵運作效率之相關文獻。第二節探討國內外應用熱泵系統之成本效益分析。第三節根據台灣地區氣候條件及居住型態，設計合理的熱泵熱水器效益評估方法。包括建立分區評估方法、熱泵熱水器效益計算方法、排放外部成本估計方式以及參考國內外熱泵熱水器之補助金制度及台灣再生能源熱利用獎勵辦法，設定熱泵熱水系統可資模擬之政府政策補助比例。

3.1　熱泵效率改善研究文獻

Baylon 等(2005)透過帳單分析、實地考察、實驗室量測以及訪談等方法了解美國西北各州熱泵系統安裝者的使用現況，進而評估最佳的管理方案來降低用戶使用的電量。在帳單分析中發現參與優惠方案裝設熱泵的用戶比沒有裝設熱泵的用戶，每年可多節約 4,149 度的電。若執行全面性的用戶熱泵機組維護方案，對於降低用電的效益不大，原因是熱泵安裝不良的比例偏低導致效益不彰。在實地考察方面，有 10%用戶的熱泵機組冷媒填充不足，約有 25%的用戶室內機設置在通風不良之處，顯示裝設位置的通風是否良好可能是影響熱泵系統效率的因素。

李居芳(2008)利用實驗室模擬不同溫度、濕度之工作環境，測試家用 ASHP 熱水器在台灣各種氣候型態下的性能表現。並且藉由蒐集實驗數據分析最佳的熱泵運作條件。其結果發現：1.環境溫、濕度的增加將影響熱泵系統的高壓壓力，壓力越高加熱時間越快；2.環境溫度越高，熱泵系統的運作效率也增加，氣溫每升高攝氏 10 度，COP 約上升 50% ；3.冷媒冷凝溫度隨儲水桶熱水溫度提高而上升，將提高熱泵效率；4.工作環境的濕度高則會使盤管結露，影響熱泵效率。

高志宇(2009)以溫水游泳池的應用為例，分析太陽能集熱面板結合熱泵熱水器與傳統鍋爐的多熱源系統。藉由比較不同組合系統之生命週期總成本，評估最佳的組合模式。研究結果在外氣比例為 0.27 和太陽能集熱板片數為 150 片，以及儲水桶容量與太陽能集熱板總面積比值為 100 時，系統運轉 10 年最符合經濟效益。而實際多熱源合併系統的效率仍需要參考各設備之使用年限以控制策略的使用。

王輔仁等(2009)以中部某醫學中心熱水系統的最佳化案例，探討如何提升既有熱水鍋爐的運作效率，並將其轉作備援系統。以水對水熱泵系統搭配熱水儲槽為主，與舊有熱水鍋爐並聯而成恆溫熱水系統。透過實測系統的能源消耗並且搭配評估系統之能效係數以測試熱泵熱水系統的運作效率。該研究分析熱泵的替代結果每年可節省 119 萬的能源費用，抑制二氧化碳的排放量 162 公噸。

3.2 熱泵經濟效益分析

宋炎明(2005)用成本效益方法評估室內溫水游泳池的熱能回收系統，以五種不同功率的壓縮機(CaseA~CaseE)組合而成的熱泵系統應用於溫水游泳池的節能效果，比較不同機組運作的生命週期總成本，做為經濟效益之參考。研究結果顯示以 10 年生命週期成本比較分析，CaseE(功率最大)為最符合經濟效益之方案。而初始成本則以 CaseA(功率最小)最為經濟。生命週期總成本之計算方式，僅納入設備之初設成本以及未來每年之運轉能源成本。

Hackel(2009)更新 Wisconsin Energy Center 在 2009 年的研究，該研究的主題在評估應用 GSHP 的經濟效益以及減排效果。研究中修正了設備成本、能源成本以及電力生產所產生的排放等數據，分析五種不同型式建築的能源使用情況，包括大型學校、小型學校、商業大樓、社區以及住宅部門，並且套用在三種不同氣候區域。其中學校以及商業大樓類型使用 DOE-2 軟體進行模擬，社區類型以 TRNSYS 軟體模擬，住家類型則採用過去的能源使用資料進行分析。分析結果除

了住家類型之外其他的建築使用 GSHP 的 ROR(Rate of Return)都大於 10%(住宅類型為 8%~9%)。排放評估方面，學校以及商業大樓的類型都能有效降低 6%~15%的 CO_2 排放量，而在社區以及住家類型 CO_2 排放量則是維持現有的水準或是少量的上升。

Liu(2010)使用 DOE-2 軟體模擬一個代表性的家庭住宅的能源使用狀況，用成本效益方法評估以 GSHP 替代家中現有的暖氣、空調、熱水設備的潛在國家利益(National Benefits)。在計算上先詳列代表性住宅使用現有暖氣、空調及熱水設備的能源使用量以及 GSHP 系統的能源使用量，然後比較兩者得到以 GSHP 取代現有設備之效益。結果發現當 GSHP 的市場滲透率達到 20%時，可節約 9%的初級能源消費(相對於全國單一家庭住宅中暖氣、空調、熱水所消費初級能源總量)，減少 9.1%的 CO_2 排放，降低 11.2%的夏日尖峰負載並節省 9.6%的能源費用支出。但由於 GSHP 系統之初設成本較高，該研究中並未討論達到某市場滲透率時社會需投入的總成本做為參考。

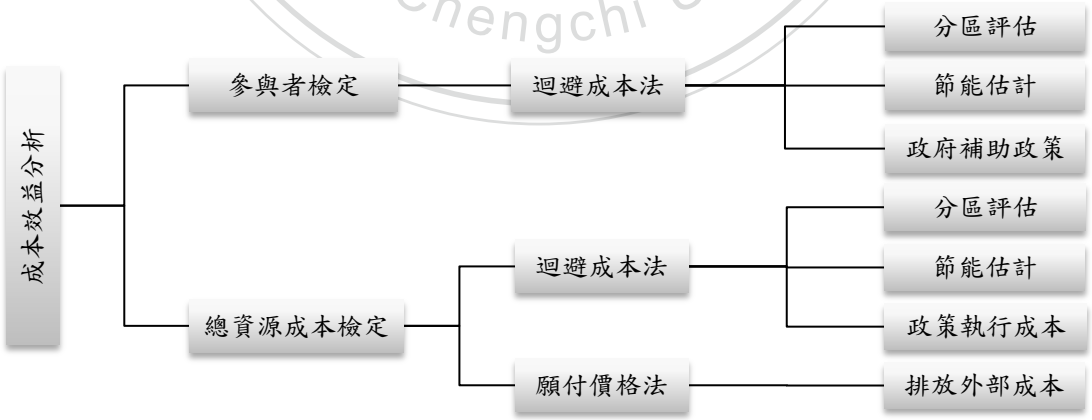
王輔仁等(2010)針對北部某大學之宿舍電熱水器替換為熱泵加熱系統之實例，依照宿舍熱水使用的實際情形，以及現場量測之結果進行評估。該研究以符合經濟效益為考量，比較電熱水系統與熱泵加熱系統能源使用量及能源花費。評估結果發現以熱泵熱水系統取代電熱之後，每季約可節省 32 萬元的電費，節能率達 72.53%，然而該研究在成本的計算上未考量設置熱泵系統的初始成本及維護成本，無法體現整體投資的實際效益。

3.3 本研究採用之評估方法

本研究主要目的在評估適用於台灣家庭住宅之熱泵系統，在系統的選擇上，需考量各類型熱泵系統在台灣的氣候及居住型態下的適宜性。氣候方面，台灣位於亞熱帶與熱帶交界處，終年氣候溫暖，全台(除山區以外)冬季均溫都在攝氏 10 度以上(中央氣象局網站)，對於 ASHP 是極佳的運作條件。在居住型態方面，

台灣有 47%以上家庭居住在集合式住宅(4 層樓以上房屋)，居住於平房的家庭僅佔百分之十(主計處，2009 年)。集合式住宅土地使用權等問題難以解決，不利地源熱泵的設置。另外台灣市場上現有之熱泵產品主要以熱水系統為主，雖然也有結合熱水與空調功能之雙生熱泵產品,但用作空調之能源效率尚不如現有之分離式冷氣。分析以上條件，空氣源熱泵熱水系統較適用於台灣家庭住宅，故本研究以家用 ASHP 熱水系統做為評估標的，進行家庭住宅更替熱泵熱水系統成本效益的比較分析。

本研究之成本效益分析從消費者觀點進行「參與者檢定」，同時從整體社會之觀點進行「總資源成本檢定」。參與者檢定之各成本項及效益項數值透過迴避成本法(Avoided Costs)進行估算，估算時需要納入考量之因素例如：台灣各地區家庭住宅裝設熱泵系統條件之優劣；使用合理的能源節約效益估計方式；政府補助額度對參與者之影響。總資源成本檢定各成本項及效益項則透過迴避成本法以及願付價格法(Willingness to Pay)進行估算，參考因素包括：地區條件之影響；節能效益之計算方式；補助方案之執行管理成本；排放之外部性成本。其中排放之外部成本參考梁啟源(2005)的研究結果,該研究以願付價格法進行排放外部成本之估算。



資料來源：本研究繪製

圖 3.1　成本效益估算方法及考量因素

3.3.1 分區評估方法

應用熱泵系統的效益隨者所在區域的特殊條件而有所不同，在進行成本效益估計時需考量因地理條件差異而改變的估計參數。Liu(2010)曾評估以 GSHP 替代家庭現有的暖氣、冷房以及熱水設備的國家效益。在討論應用 GSHP 之效益除了考量建築本身特徵以及現有設備的能源效率之外，尚須考慮幾個「地區敏感參數」(location-sensitive parameters)，例如：

1. 地區氣候條件。
2. 家庭現有暖氣、冷房、熱水設備的燃料成本。
3. 各地區的電力生產組合所對應的初級能源消費、輸電成本以及 CO_2 排放量。
4. 各地區收集與輸送化石燃料所造成的初級能源消費以及 CO_2 排放量。

相對於美國地域廣大，涵蓋氣候類型眾多。台灣相對土地狹小，整體氣候類型較為單純，在分區上則可遵循較簡單的模式。翁志博(2009)研究太陽能熱水器替代柴油、天然氣鍋爐及電能熱水系統的經濟及環境效益，在分區的考量上以太陽潛能之分布作為依據，並以行政區域劃分評估地區。表 3.1 為翁志博整理台灣地區太陽潛能之分區結果。

表 3.1　台灣各地區太陽能日照年總值

分區	分類	站名	年總值(MJ/m²)
豐日照區	5000~6000	台東	5539.3
		嘉義	5480.3
		台南	5157.2
		恆春半島	5113.3
		台中	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	**宜蘭**	3819.9
		台北	3793.3
		花蓮	3553.6
		基隆	3237.9
外島區	3000~5000	**金門**	4633.9
		馬祖	3857.6
		澎湖	3220.5

資料來源：翁志博(2009)

本研究所評估之 ASHP 系統與 GSHP 系統運作條件不同，影響效率表現的因素亦有所出入。參照國內外文獻以及熱泵系統特性的異同之處，考量影響台灣家庭住宅應用 ASHP 熱水系統的地區敏感因素整理如下：

1. 氣候條件影響地區自來水入水水溫及加熱需求。
2. 氣候條件影響 ASHP 之性能表現。
3. 各地區天然氣、液化石油氣燃料價格。

以上地區因素以行政區域作為劃分，由於台電為台灣唯一電力公營事業，全台各區居民用電價格遵循台電所訂之統一電價表。電力生產所造成的排放因素也僅來自於台電的發電組合。天然氣、液化石油氣由中油公司統一供應，各縣市燃料運輸之成本反映在最終消費價格。

考量地區敏感因素對於估計所造成的影響，透過蒐集各地區的資料分別進行估算。首先考量前兩點的氣候條件影響，氣候條件包括溫度、濕度、雨量、風速等資訊，以環境溫度高低對於熱泵運作的影響最為重要。本研究氣溫資料參考中央氣象局統計之平均溫度資料作為計算依據。

國立政治大學 National Chengchi University

表 3.2　台灣各縣市各季節平均溫度

單位：℃

季節 地區	12~2 月	3~5 月	6~8 月	9~11 月
基隆	16.6	21.2	28.5	24.1
臺北	16.8	21.9	28.8	24.5
新竹	16.4	21.5	28.4	24.2
臺中	17.3	22.9	28.2	24.8
南投	14.8	19.0	22.6	20.4
嘉義	17.2	22.8	28.2	24.3
臺南	18.4	24.3	28.8	25.7
高雄	20.1	25.2	28.8	26.3
恆春	21.3	25.1	28.1	26.0
宜蘭	16.9	21.7	27.9	23.6
花蓮	18.6	22.7	27.9	24.6
臺東	20.0	24.0	28.5	25.5

整理自 中央氣象局網站(2011)

其次考量第 3 點之能源價格影響。台灣各縣市天然氣、液化石油氣以中油公司為主要上游供應廠商，零售價格以各縣市零售商自行訂定。天然氣方面，目前台灣僅有西部縣市設有天然氣管線，東部宜蘭、花蓮、台東三縣市目前尚無天然氣供應，故在天然氣瓦斯熱水器替代部分不予計算。天然氣價格制定，各家民營業者均參照中油公司幹線批發售價加成一固定金額作為零售價格(加成金額各家不同)，因此採計各地區民營業者之平均售價，作為計算天然氣燃料價格之參考。表 3.3 為台灣各民營業者天然氣價表。

表 3.3 公用天然氣事業氣體售價(99 年)-從量價

單位：新台幣元/立方公尺

服務地區	公司名稱	種類	99.01.02	99.09.02	99.11.02
	中油公司 (輸氣幹線批發價格)	NG1	15.00	14.64	14.22
		NG2	16.68	16.28	15.82
基隆	欣隆天然氣公司	NG1	18.00	17.64	17.22

台北	大台北區瓦斯公司	NG1	17.23	16.87	16.45
	陽明山瓦斯公司	NG1	18.03	17.67	17.25
	欣湖天然氣公司	NG1	17.90	17.54	17.12
	欣欣天然氣公司	NG1	18.23	17.87	17.45
	新海瓦斯公司	NG1	18.40	18.04	17.62
	欣泰石油氣公司	NG1	18.33	17.97	17.55
	欣芝實業公司	NG1	18.62	18.26	17.84
桃園	欣桃天然氣公司	NG1	17.19	16.83	16.41
新竹	中油天然氣事業部營業處	NG1	16.61	16.25	15.83
	新竹縣瓦管處	NG1	17.77	17.41	16.99
苗栗	竹建瓦斯公司	NG1	17.48	17.12	16.70
	裕苗企業公司	NG1	17.78	17.42	17.00
台中	欣中天然氣公司	NG1	18.52	18.16	17.74
	欣彰天然氣公司	NG1	18.75	18.39	17.97
彰化		NG2	20.95	20.55	20.09
南投	欣林天然氣公司	NG1	19.04	18.68	18.26
雲林	欣雲天然氣公司	NG2	20.73	20.33	19.87
嘉義	欣嘉石油氣公司	NG2	21.04	20.64	20.18
台南	欣營石油氣公司	NG2	20.69	20.29	19.83
	欣南天然氣公司	NG2	20.55	20.15	19.69
高雄	欣高石油氣公司	NG2	20.48	20.08	19.62
	南鎮天然氣公司	NG2	20.50	20.10	19.64
	欣雄天然氣公司	NG2	20.83	20.43	19.97
屏東	欣屏天然氣公司	NG2	20.74	20.34	19.88

資料來源：經濟部能源局-公用天然氣事業管理系統網站

說明：NG1 每立方公尺熱值為 8,500 大卡，NG2 每立方公尺熱值為 9,200 大卡

家用液化石油氣(桶裝瓦斯)價格，由各地零售業者自行訂價。經濟部能源局自 2006 年起每半月執行一次抽查，各縣市桶裝瓦斯零售業者平均零售價格資訊公布於能源局網站。表 3.4 為 2010 年各縣市 20 公斤桶裝瓦斯年平均售價。

表 3.4　國內桶裝瓦斯查報價格(2010 年)

單位：新台幣元/桶(20 公斤)

臺北市	金門縣	基隆市	連江縣	澎湖縣
864	855	848	841	839
新北市	苗栗縣	花蓮縣	新竹市	臺東縣
813	801	801	797	789
新竹縣	台中市	桃園縣	南投縣	高雄市
776	775	773	767	766
雲林縣	台南市	屏東縣	宜蘭縣	彰化縣
756	755	753	749	744
嘉義縣	嘉義市	平均		
740	688	780		

資料來源：經濟部能源局-油價資訊管理分析系統網站

說明：本表價格為能源局每半月抽查國內液化石油氣零售業者之零售價格

根據以上 3 點之地區敏感因素，本研究初步依據縣市別行政區域分區，並考量熱泵設置實際可行之區域。目前外島區域尚無廠商設點服務，後續維護修繕成本無可用參考數據，故排除外島區域作為分區選項。其次考量各縣市氣溫資料，由於部分縣市中央氣象局未設有觀測站，氣候資料未能列入統計，考量相鄰縣市間周年溫度差異較小，以氣溫為分區依據之檢定結果尚可互相參照。故最終以氣溫資料可得地區作為本研究分區評估之選項，分別為基隆、台北、新竹、台中、南投、嘉義、台南、高雄、屏東、宜蘭、花蓮、台東共 12 個分區。

此類分區所涵蓋之縣市區域定義如下，台北市、新北市類歸為台北分區，新竹縣、新竹市類歸為新竹分區，嘉義縣、嘉義市類歸為嘉義分區，其餘分區均依照現行行政區域名稱分別類歸。燃氣價格資料如有分區內縣市不同價之處，以平均價格計算之。熱泵性能表現數據依照此 12 分區氣溫資料估算，於下一節進行說明。

3.3.2 節能估計方法

用戶能源效率改善之效益計算方式,首先須蒐集改善前能源用量、能源單價、設備使用需求(如：空調需求、暖房需求、熱水需求)等資訊作為能源效率改善之計算基準。然而計算過程中所採用之設備使用需求參數，難以囊括眾多台灣家庭之需求情況，故本研究參考 Liu(2010)利用代表性住宅建築類型之研究方法，以一家四口之代表性家庭的熱水需求做為計算基準,並且計算該代表性家庭裝設熱泵系統替代方案之成本效益。

3.3.2.1 熱水熱值計算

能源用量的數據依照代表性家庭每月熱水之需求量,計算代表性家庭每月所需熱水之熱值。熱水熱值計算公式參考綠基會「熱水加熱系統汰換為熱泵系統之節能績效量測與驗證方法」之熱泵系統量測與驗證方法 A-01，公式如下：

$$H_{hw-m} = \frac{V_{hw-m} \times (T_{hwo} - T_{hwi}) \times \rho_w \times C_{pw}}{10^3\ (kcal/Mcal)} \qquad \text{（公式 1）}$$

H_{hw-m}：每月所需之熱水熱值（Mcal/月）

V_{hw-m}：每月冷水進水量（m^3/月）

T_{hwo}：每月平均熱水供水溫度（℃）

T_{hwi}：每月平均冷水進水溫度（℃）

ρ_w：水之密度 = 1000 kg/m^3

C_{pw}：水之比熱 = 1.0 kcal/kg-℃

依據公式1所計算之熱水熱值除以現有熱水設備之每單位能源有效熱產量，即可得現有設備每月能源使用量。本研究所替代之電能、天然氣、液化石油氣等熱水設備之每單位能源有效熱產量，於下一小節中表列顯示。

3.3.2.2 能源效率

現有家用熱水系統(太陽能除外)的能源效率尚未有統一之規範，經濟部能源局雖有推動節能標章制度協助推廣高能效產品之使用，但未強制性要求所有市面產品均符合要求，故目前台灣市售產品之能源效率表現參差不齊。本節所採計之熱水器能源效率數據原則以節能標章之規定為準，電熱水器節能標章所規範之節能表現定義有所不同，故採用綠基會出版物之資訊。表 3.5 為家用熱水器之能源效率以及單位能源有效產熱量之比較表。

表 3.5 各類型家用熱水器之效率比較

熱水器種類	能源熱值		平均熱效率 COP	有效熱產量	
電熱水器	860	kcal/kWh	95%	817	kcal/kWh
NG 瓦斯熱水器	8,500	kcal/m^3	82.5%	7,013	kcal/m^3
LPG 瓦斯熱水器	12,062	kcal/kg	82.5%	9,951	kcal/kg
熱泵熱水器	860	kcal/kWh	150%~400%	*	

資料來源：節能標章網站(2011)、綠基會(2006)、能源平衡表(2010)、中油(2010)

說明：*熱泵熱水器的有效熱產量為 860(kcal/kWh)與 COP 之乘積，COP 數據請參考表 3.7。

熱泵熱水器能效表現之參數採用某國內業者家用熱泵熱水器產品，送交工研院能效檢測之數據。本研究根據該份檢測報告進行延伸的能效係數計算，檢測及計算結果如下表 3.6 所列。

表 3.6 熱泵熱水器之能效係數(COP)

入水溫度 / 環境溫度	10℃	15℃	20℃	25℃
35℃	5.62	5.35	5.19	4.96
30℃	4.95	4.72	4.54	4.32
25℃	4.12	3.91	3.74	3.53
20℃	3.95	3.76	3.58	3.39
15℃	3.35	3.19	3.03	2.87
10℃	2.82	2.67	2.52	2.35

5℃	2.44	2.29	2.16	2.07
0℃	1.82	1.70	1.58	1.47

整理自　工研院熱泵產品能效檢測報告

說明：本表數值為測試熱泵熱水器由各入水溫度加熱至 55℃之能效係數

3.3.2.3　基準線關係方程式

基準線關係方程式表示設備改善前每月「能源用量」與「熱水熱值」的關係方程式。計算基準線關係方程式之目的，在於容易評量熱泵系統替代現有熱水設備後之節能率及節能效益。計算方法參考「節能績效量測與驗證方法手冊」之熱泵節能 A-01 方法。唯本研究無實際量測之數據，基準線關係方程式之計算以代表性家庭熱水需求做為參考。以下列出計算公式：

$$F = Q_{f-m} \times U_f \qquad \text{（公式 2）}$$

F：改善前能源費用（新台幣元/月）

Q_{f-m}：每月能源用量（電-kWh，天然氣-m^3，液化石油氣-kg）

U_f：能源單價（電-元/kWh，天然氣-元/m^3，液化石油氣-元/kg）

$$\mathrm{E} = \frac{Q_{f-m} \times HV_{f-u}}{1000\,(kcal/Mcal)} \qquad \text{（公式 3）}$$

E：改善前耗能量（Mcal/月）

HV_{f-u}：能源的單位熱值（參考表 3.5）

以台北分區之代表性家庭為例，由公式 1~公式 3 可計算家庭之基準線能源費用關係方程式與基準線耗能量關係方程式，計算結果如下。

表 3.7 基準線關係方程式

基準線能源費用方程式	
天然瓦斯熱水器	y = 2.55x
LPG 瓦斯熱水器	y = 4.21x
電能熱水器	y = 3.16x
基準線耗能量方程式	
天然瓦斯熱水器	z = 1.21x
LPG 瓦斯熱水器	z = 1.21x
電能熱水器	z = 1.11x
x：熱水熱值（Mcal/月） y：能源費用(元/月） z：耗能量(Mcal/月）	

資料來源：本研究計算整理

基準線關係方程式的應用，可根據未來每月不同之熱水需求，直接換算設備更新前的能源使用情況以及能源花費。由於本研究的數據以代表性家庭模擬而得，以致規避實際使用情況中可能存在的系統耗能以及能源使用的基本費，故計算出的基準線方程式不存在截距項。然而根據基準線耗能量方程式的結果顯示，以瓦斯熱水器加熱每單位熱值的熱水，需額外多消耗 21%的能源。而以電能加熱的方式則需額外多消耗 11%的能源。

3.3.3 政府補助政策

本節參考國外 ASHP 補助金措施以及台灣太陽能熱水系統推廣獎勵辦法等內容，模擬熱泵熱水系統之補助措施以及補助措施之執行成本。下表節錄各國補助措施以及補助金額與市場價格之比例。

表 3.8 各國熱泵熱水器補助金比較

國別	補助方式	ASHP 熱水器市價	補助比例
芬蘭	60%施工費用，最多 3000 歐元	8,000~12,000 歐元	25%~30%
法國	40%總成本，最多 8000 歐元	12,000 歐元	40%
德國	視屋齡 637.5~1500 歐元不等	10,000~15,000 歐元	4.25%~15%
瑞典	50%施工費用，最多 4500 歐元	8,000~11,000 歐元	25%
愛爾蘭	每台 2000 歐元	8,000~12,000 歐元	16%~25%

加拿大	英屬哥倫比亞省提供 每台 1500 美元	3,000~4,500 美元 （不含安裝）	33%~50%
日本	每台 41,000 日圓	60,0000 日圓 （不含安裝）	6.8%

資料來源:EHPA(2009)、LiveSmartBC(2011)、SEAI website(2011)、JRAIA website(2011)

目前台灣再生能源熱利用之補助「太陽能熱水系統推廣獎勵辦法」，補助裝設真空管及面蓋式平板集熱器每平方公尺 2,250 元新台幣，根據張克勤(2009)在 98 年的調查每平方公尺集熱板的申報總價為 10,127 元新台幣，補助金額占市價比例為 22.2%。

在補助方案的執行成本計算方面，由於目前尚未有補助方案實施，無實際統計之數據可引證，故本研究引用「太陽能熱水系統推廣獎勵辦法」之執行成本做為參考。自民國 89 年起由經濟部能源局委託財團法人成大研究發展基金會及第一銀行組織工作團隊執行補助作業，該計畫為「太陽能熱水系統補助作業與成效調查研究計畫」，其工作內容包括接受補助申請、資料管理、審查、撥款等作業，表 3.9 為該計畫歷年執行成果及補助金費。

表 3.9 太陽能熱水系統補助作業與成效調查研究計畫作業成果

年度	製造供應廠商(撤銷)	安裝銷售廠商(撤銷)	合格產品(撤銷)	申請案件	大型案	完工案件	核撥案件	年度研究補助經費(千元)	平均每件補助作業經費(千元)
89	21	120(2)	133(26)	6659	0	5012	5012	20,000	3.003
90	2	26	68	13526	22	13156	13151	21,460	1.587
91	2	32	49	14693	8	13906	13898	22,670	1.543
92	1(2)	19(24)	29(38)	16548	14	15197	15191	23,500	1.420
93	3	20	35	21662	20	19434	19433	24,660	1.138
94	5	32	45	22587	17	22156	22155	25,000	1.107
95	4	36(2)	36	24308	18	23399	23396	25,000	1.028
96	4	39(1)	13	26337	9	25743	25736	30,650	1.164

97	2	84	25	22040	22	22503	22503	30,000	1.361
98	10	148	36	24401	40	22679	20210	31,000	1.270
合計	54 (2)	556 (29)	469 (64)	192761	170	183185	180685	253,940	1.317

資料來源：張克勤(2008、2009)、GRB 智慧搜尋系統

由於該計畫總攬太陽能熱水系統補助作業之所有執行業務，故引用該計畫之研究補助經費額度代表太陽能熱水系統補助作業之執行成本。根據表 3.9 之數據計算結果平均每件補助申請之執行經費為 1,317 元，若以單位補助額的執行成本計算，每一元補助之執行費用為 0.1775 元。

本研究參考國外熱泵熱水器之補助措施以及國內現有太陽能熱水器的補助方案，模擬國內熱泵熱水器之補助方案並進行成本效益分析。在初始的參數設定下假設補助金額為熱泵設備成本的 20%，並且在敏感度分析的部分調整補助比例在 0%~40%，評估參與者裝設熱泵熱水器之成本效益。

3.3.4 空氣汙染排放外部成本

透過成本效益分析評估替代能源的使用時，通常將燃燒化石燃料產生的空氣汙染物排放外部成本納入考量，排放外部性的社會成本原應納入總資源成本檢定之變形，「社會成本檢定」中考量。但本研究參考梁啟源(2005)台灣空氣汙染之社會外部成本研究文獻，將空氣汙染排放所造成的社會外部成本貨幣化，納入總資源成本檢定項目中進行計算。每單位天然氣、液化石油氣使用以及每單位電力生產所造成之空汙排放，參考 TEDS 7.0(Taiwan Emission Data System)的能源使用排放係數表，相關數據整理至表 3.10。

表 3.10　燃氣及電力排放係數

單位：公斤

能源種類及其單位	CO2	SOx	NOx	PM10
電力（每千度）	623	0.342	0.354	0.033
天然氣（每千立方公尺）	2,090	0.01	1.504	0.1075
液化石油氣（每噸）	3,180	0.7108	3.1633	0.0942
排放社會成本（元/公斤）	0.8 元	45.919 元	53.790 元	88.212 元

資料來源：TEDS7.0、梁啟源(2005)、盧誌銘等(2002)

透過各類空氣汙染物之排放係數表及排放之社會外部成本等資料，本研究即可將住宅部門裝設熱泵系統，影響台灣空氣污染排放之效益與成本納入考量。並且推估裝設熱泵系統可降低相關空氣污染之排放量。

國立政治大學 National Chengchi University

第四章　熱泵系統應用之成本效益分析

本章節根據前章之熱泵系統評估方法設定成本效益分析的相關參數，並進行裝設熱泵系統之參與者檢定與總資源成本檢定。第一節建構參與者檢定及總資源成本檢定之計算方式並設定相關檢定參數，第二節計算成本效益分析之結果及設置熱泵系統相關敏感度分析，第三節引申討論應用熱泵系統的影響。

4.1　成本效益分析

在學術研究上一般採用成本效益分析來檢定能源效率改善方案是否具有效性，而成本效益分析主要的應用方式則是從參與者、公用事業、整體社會等各利害關係人的不同觀點評估方案施行的成本與利益。首先，Chen & Yu(1997)於 1997 年透過成本效益分析之 RIM(Rate Impact Measure)檢定、TRC(Total Resource Cost)檢定、TUC(Total Utility Cost)以及 TCC(Total Customer Cost)檢定四種觀點，評估美國商業照明之需求面管理方案。成本效益分析經過多次修正與統整，逐漸發展成為系統化的能源效率改善方案評估方法，本研究參考 California Public Utilities Commission(2001)發布之成本效益分析實務手冊並根據本研究評估標的之特性進行調整。概括而論成本效益分析可包含以下四種檢定：參與者檢定(Participant test, PCT)、方案管理者成本檢定(Program administrator cost test, PACT)、用戶影響檢定(RIM)、總資源成本檢定(TRC)，以上各檢定之觀點及解釋於下表 4.1 中說明。

國立政治大學 National Chengchi University

表 4.1 各成本效益檢定之觀點

檢定名稱	檢定觀點	核心問題
PCT	方案參與者	參與者在整個方案的生命週期中是否能獲得利益?
PACT	公用事業經營者	公用事業體所花費的成本是否會增加?
RIM	未參與方案之公用事業用戶	未來公用事業的費率是否會上升?
TRC	整體社會	方案的執行是否能有效地降低整體社會在能源成本的花費?

資料來源：National Action Plan for Energy Efficiency (2008)

本研究之目的為評估家庭用戶是否具有相當的經濟誘因來應用熱泵系統，PCT 檢定的結果是極為重要之參考指標。另外由於台灣電力公用事業由政府管制，現行能源節約政策皆來自於政府政策目的之考量。UCT 檢定或是 RIM 檢定無法反映公用事業體之營利動機，其主要原因是台灣公用事業的決策至今仍由政府所主導。然而 TRC 檢定以社會觀點角度切入問題，對於台灣特殊的能源消費環境而言，可為能源公用事業監督管理當局以及政策制定者提供極佳的政策訂定參考。有鑒於此，本研究採用 PCT 檢定及 TRC 檢定兩種方式，彰顯台灣家庭住宅應用熱泵系統之效益。

國立政治大學 National Chengchi University

4.1.1 參與者檢定

參與者檢定用以衡量用戶參與方案後的「可計數」效益與成本。以本研究的熱泵系統應用為例，家庭用戶採用熱泵熱水系統的效益包括：能源費用帳單金額的減少，被替代系統的設備成本，還有政府給予的獎勵金。而家庭用戶的成本則有：設置熱泵系統的支出(包括設備費用、安裝費、維護費、最終移除之成本)以及電費帳單的增額。參與者檢定的結果可以三種方式表達：一.總方案的淨現值(Net Present Value, NPV)；二.益本比(Benefit-Cost ratio, BCR)；三.折現回收期(Discounted Payback period, DP)，若檢定結果淨現值大於零或是益

本比大於一，則表示家庭用戶採用熱泵熱水器是有利的，折現回收期則是指累積折現效益超過累積折現成本所需的年數，折限期越短則表示回收速度越快(許志義、黃國瑋，2010)。三者的計算公式如下說明。

$$NPV_p = B_p - C_p$$

$$BCR_p = B_p \ / \ C_p$$

$$DP_p = Min\, j \ \text{而使得} \ B_j > C_j$$

其中

$$B_p = \sum_{t=1}^{N} \frac{EBR_t + PAC_{at} + INC_t + TC_t}{(1+d)^{t-1}}$$

$$C_p = \sum_{t-1}^{N} \frac{PC_t \ + \ EBI_t}{(1+d)^{t-1}}$$

以上各式中代號所代表之意涵如下：NPV_p 為全體裝設用戶之總淨現值；BCR_p 為用戶之益本比；DP_p 為折現回收期；B_j 為用戶至第 j 年之累積效益現值；C_j 為用戶至第 j 年之累積成本現值;B_p 為用戶的效益總現值;C_p 為用戶的成本總現值；d 為折現率；EBR_t 為用戶採用熱泵而節省第 t 年之能源帳單費用；PAC_{at} 為用戶採用熱泵而節省之第 t 年迴避成本；INC_t 為用戶第 t 年所能獲得之政府獎勵金；TC_t 為用戶第 t 年可獲得之租稅扣抵；PC_t 為第 t 年用戶的參與成本，包括：初始熱泵設備成本、維護成本、最終移除成本；EBI_t 為用戶採用熱泵而增加第 t 年之電費帳單費用。

參與者檢定中家庭用戶裝設熱泵熱水器替代現有家用熱水設備，以家庭成員用水量以每人每日 70 公升熱水用量作為計算標準(參考綠基會手冊)，節能效益之計算方式如前章節能效益評估方法之內容所述，參與者檢定中所需各熱水設備相關資料以及檢定參數之設定如表 4.2。

表 4.2 參與者檢定之參數設定

資料項目	單位	瓦斯熱水器	電能熱水器	熱泵熱水器	備註
初始投入成本	NT$	6,000 (免安裝費)	21,000 (3,000)	53,000 (7,000)	參考熱水器市價及熱泵協會提供資訊
維護成本佔設備價格比例	%	3	3	3	參考熱泵協會提供資訊所設定
設備使用年限	year	5	15	15	參考國外文獻及消防署建議支瓦斯熱水器使用年限
設備期末殘值	NT$	300	900	2,300	設定為設備成本 5%
政府補助獎勵	NT$	0	0	9,200	設定政府補助熱泵設備成本之 20%
能源單價	NT$	*	2.76/每度	2.76/每度	*瓦斯零售價請參考表 3.3、3.4；電力價格參考台電網站之 99 年家庭用電平均售價
使用期間平均通貨膨脹率(f)	%	0.95	0.95	0.95	依主計處 CPI 平均漲跌率計算(2001~2010)
利率(r)	%	0.99	0.99	0.99	央行公布之五大銀行 2010 年平均存款利率(一年期)
平均折現率(d)	%	1.95	1.95	1.95	以公式計算 (1+d)=(1+r)(1+f)

資料來源：EnerGuide(2004)、消防署網站(2011)、行政院主計處(2011)、中央銀行網站(2011)、台電公司網站(2011)、本研究整理

4.1.2 總資源成本檢定

總資源成本檢定表達了能源效率方案對整體參與者及非參與者的影響，因此估算 TRC 檢定時的效益項與成本項即是 PCT 檢定與 RIM 檢定之效益項與成本項加總。在計算的過程中有兩點需要注意：其一，政府獎勵金視為一種移轉性支付，不可計入 TRC 檢定效益項中。其二，PCT 檢定中用戶所節省的能源帳單費用與公用事業所損失之帳單收入相等，故不可計為效益，取而代之成為效益項目的是整體社會因降低能源需求而可節省相關的避免成本。在計算時，PCT 檢定與 TRC 檢

定中減少每單位能源消費的效益並不相同，這是由於用戶與公用事業購買能源之成本不同。

在 TRC 檢定中，整體社會因用戶採用熱泵熱水器之效益項目包括：公用事業可節省能源相關之迴避成本(包含進口能源之花費、供給能源之設備成本)，可貨幣化的環境以及非能源效益。而成本項目方面則有：整體方案的執行管理成本，因方案執行所增加的支出(包含由公用事業所支付及客戶所支付)等。總資源成本檢定的結果以三種方式表達：一.淨現值(NPV)；二.益本比(BCR)；三折現回收期(DP)，相關的計算公式如下所述：

$$NPV_T = B_T - C_T$$

$$BCR_T = B_T / C_T$$

$$DP_T = Min\ k \text{ 而使得 } SB_k > SC_k$$

其中

$$B_T = \sum_{t=1}^{N} \frac{UAC_t + PAC_{at} + UAC_{at} + MEB_t}{(1+d)^{t-1}}$$

$$C_T = \sum_{t=1}^{N} \frac{PRC_t + PC_t + UIC_t}{(1+d)^{t-1}}$$

以上各式中代號所代表之意涵如下：NPV_T 代表本檢定之淨現值；BCR_T 代表本檢定之益本比；DP_T 代表整體社會執行方案之折現回收期；SB_k 表示整體社會累積至第 k 年之折現總效益；SC_k 表示整體社會累積至第 k 年之折現總成本；B_T 為方案的折現總效益；C_T 為方案之折現總成本；UAC_t 為第 t 年公用事業節省的能源供給迴避成本，包括能源進口及生產之成本；PAC_{at} 表示用戶採用熱泵而節省第 t 年之迴避成本；UAC_{at} 表示第 t 年公用事業因執行方案可節省之迴避成本，包括因執行方案節省之設備成本或因電力需量將低而減少的成本；MER_t 表示第 t 年可貨幣化之環境與非能源效益；PRC_t 為第 t 年執行管理方案之成本；PC_t 為第 t 年用的戶參與成本；UIC_t 為第 t 年公用事業增加之能源購買成本。

國立政治大學 National Chengchi University

總資源成本檢定之各項參數如：補助名額，補助方案執行成本，能源進口及生產成本，空氣汙染排放之社會外部成本。各項參數設定之依據如下說明：

1. 補助名額：由於台灣尚未有裝設熱泵系統的獎勵金制度，本研究參照台灣「太陽能熱水系統推廣獎勵措施」之補助名額年平均值，設定本研究之補助名額參數。考量在年補助名額相同之情況下，估計推廣熱泵系統之社會淨效益，為本項參數設定之意涵。太陽能熱水系統推廣獎勵作業自民國 89 至民國 98 年十年期間共補助 180,685 名，平均每年補助名額約 18,000 名，故本研究之 TRC 檢定設定 18,000 之補助名額，補助期間為一年。
2. 補助方案之執行成本：參考「太陽能熱水系統補助作業與成效調查研究計畫」之年度研究補助經費，設定每件補助申請之執行管理費用為 1,317 元新台幣，以該計畫補助經費設定為執行管理成本之緣由，請參考本文 3.3.3 章節之說明。
3. 能源進口及生產成本：天然氣(Natural Gas，NG)與液化石油氣(Liquefied Petroleum Gas，LPG)進口成本之部分，本研究未能取得台灣中油公司之實際進口成本，但以較接近生產成本之中油公司批發價格作為替代參考指標。NG 生產成本採用中油公司輸氣幹線批發價格每立方公尺之 NG1 為 14.81 元新台幣，NG2 為 16.47 元新台幣。LPG 生產成本設定為中油公司家用 LPG 經銷商平均牌價每公斤 26.23 元新台幣。

   電力生產之成本則考慮台電公司減少供電之迴避成本，每度 1.88 元新台幣，計算方式為【(台電總燃料成本+台電總購電成本)/總售電量】。
4. 空氣汙染排放之社會外部成本：參考梁啟源(2005)之研究結果，計算需參考之數值在本文章節 3.3.4 中有詳細說明。
5. 折現率、設備使用年限等參數同 PCT 檢定之假設。

表 4.3　總資源成本檢定之參數設定

資料類型	參數設定
補助名額	18,000 名
方案執行成本	1,317 元/件
電力生產成本	1.88 元/度
NG 瓦斯生產成本	NG1 14.81 元/立方公尺 NG2 16.47 元/立方公尺
LPG 瓦斯生產成本	26.23 元/公斤

資料來源：張克勤(2008、2009)、台電公司統計年報(2011)、中油公司網站(2011)

4.2　敏感度分析

本研究透過敏感度分析表現在各種不同的背景假設下，住宅部門裝設熱泵熱水系統之成本效益以及對整體社會之影響，敏感度分析之項目主要為分析政府補助之比例影響用戶裝設熱泵系統之經濟誘因，未來能源價格變動影響裝設熱泵之用戶效益及社會效益，熱泵機組效率改善及機組製造成本下降等因素。

本章節首先設定二項基本假設：1.未來是過去的延續，並且不存在不確定之變動因素，2.政府、廠商與消費者做理性決策，作為敏感度分析之基礎原則。以下說明各敏感度分析項目之內容，項目一為現況下基本模擬政策執行之影響，本項目設定熱泵熱水系統年補助名額為 18,000 名，補助比例為機組售價之 20%，後續敏感度分析皆以項目一之參數設定做為基礎;項目二主要考量政府補助之比例對用戶經濟誘因之影響，由於補助金額不計入 TRC 檢定之項目中，故項目二僅計算 PCT 檢定之結果；項目三納入未來能源價格變動之因素，分析能源價格成長對成本效益之影響；項目四、項目五分別探討熱泵系統能源效率提升以及設備成本降低之影響；項目六討論不同折現率下之淨現值及折現回收期長短，並與 Liu(2010)之研究結果進行比較；項目七分析以熱泵熱水系統替代現有家庭之天然氣瓦斯熱水器，在不同滲透率下對於整體社會之影響。

表 4.4　敏感度分析項目內容說明

	內容	說明
項目一	現況下基本模擬政策執行結果	分析熱泵補助政策執行之成本效益，並作為其他敏感度分析之基本設定。
項目二	政府補助比例提升	考量 0%，10%，20%，30%，40%五種不同補助比例下影響用戶之折現回收期
項目三	能源價格成長	將能源價格成長之因素納入參與者檢定及總資源成本檢定中考量，並與基本假設情況比較結果。
項目四	熱泵系統能源效率提升	分析熱泵能源效率提升 5%、10%、15%、20%時之影響。
項目五	熱泵機組設備成本下降	分析設備成本降地為原成本之 90%、75%、50%之影響
項目六	折現率分析	分析 0%、3%、6%、9%、12%、15%不同折現率下對折現回收期之影響。
項目七	滲透率分析	以熱泵系統替代天然氣瓦斯熱水器，在不同滲透率下對於整體社會影響，設定滲透率分析級距為 5%、20%、50%。

資料來源：本研究整理

本研究劃分 12 地區，各地區熱泵可替代之選項為電熱、LPG 瓦斯、NG 瓦斯三類交叉比對共計 33 種替代方案，表 4.5 為各替代類型之分區編號，其中宜蘭、花蓮、台東尚無天然氣管線設置，故在天然氣替代種類中不予採用。項目一(基本設定)敏感度分析之結果以繪圖整合之方式表現。項目二至項目六之敏感度分析結果，則以各類替代項目中淨現值表現最高之分區，及淨現值表現最低之分區作為代表，計算之結果作為該類替代項目中，效益表現最高與效益表現最低之參考指標。項目七之敏感度分析則將總補助名額依各地區家戶數之比例分別配置於各分區內，由於資料取得之障礙，項目七僅計算天然氣瓦斯替代種類之檢定結果。

表 4.5　各替代類型之分區編號

A 類 熱泵系統替代電能熱水器	B 類 熱泵系統替代 LPG 瓦斯熱水器	C 類 熱泵系統替代 NG 瓦斯熱水器
A-01 基隆	B-01 基隆	C-01 基隆
A-02 台北	B-02 台北	C-02 台北
A-03 新竹	B-03 新竹	C-03 新竹
A-04 台中	B-04 台中	C-04 台中
A-05 南投	B-05 南投	C-05 南投
A-06 嘉義	B-06 嘉義	C-06 嘉義
A-07 台南	B-07 台南	C-07 台南
A-08 高雄	B-08 高雄	C-08 高雄
A-09 屏東	B-09 屏東	C-09 屏東
A-10 宜蘭	B-10 宜蘭	
A-11 花蓮	B-11 花蓮	
A-12 台東	B-12 台東	

資料來源：本研究整理

4.2.1 基本模擬補助政策執行結果

項目一敏感度分析為本研究之基本假設，主要目的為評估在台灣現況下政府執行熱泵系統補助政策對於裝設熱泵的用戶以及整體社會之效益。

由圖 4.1 之電熱替代方案 PCT 檢定結果可看出，以熱泵熱水系統替代電能熱水器之效益以南投分區最高，屏東分區為最低。從台灣整體之地理區域來看北部縣市平均效益最好，中部縣市次之，而南部縣市之效益表現則最低。電熱替代方案中，電價為唯一的能源價格考量之因素，由於全台各區之電價均由台電公司統一訂定，電熱替代之結果可視為排除能源價格影響因素，單純考量地區氣候條件使用熱泵熱水系統之效益評估結果。

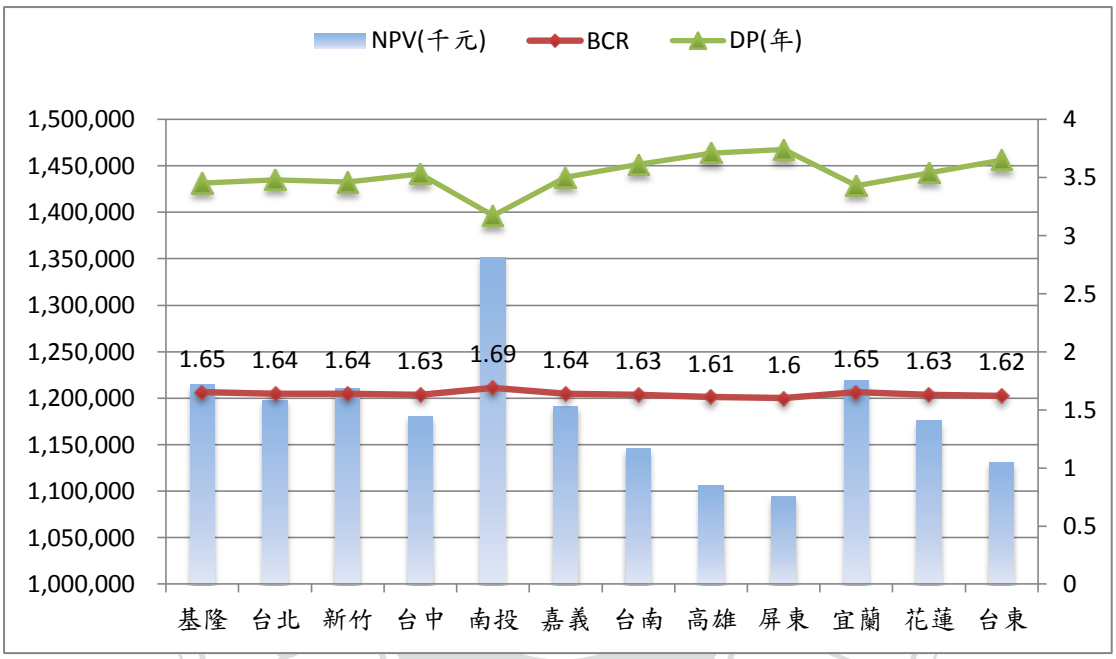
表 4.6　電熱替代方案各分區之節能率

單位：%

分區	基隆	台北	新竹	台中	南投	嘉義	台南	高雄	屏東	宜蘭	花蓮	台東
節能率	73.8	73.9	73.5	74.0	72.6	73.9	74.7	74.9	74.6	73.8	74.2	74.6

*註：節能率表示以熱泵系統替代現有熱水系統平均每年可節省之能源使用比例

資料來源：本研究整理



資料來源：本研究繪製

圖 4.1　電熱替代方案 PCT 檢定結果

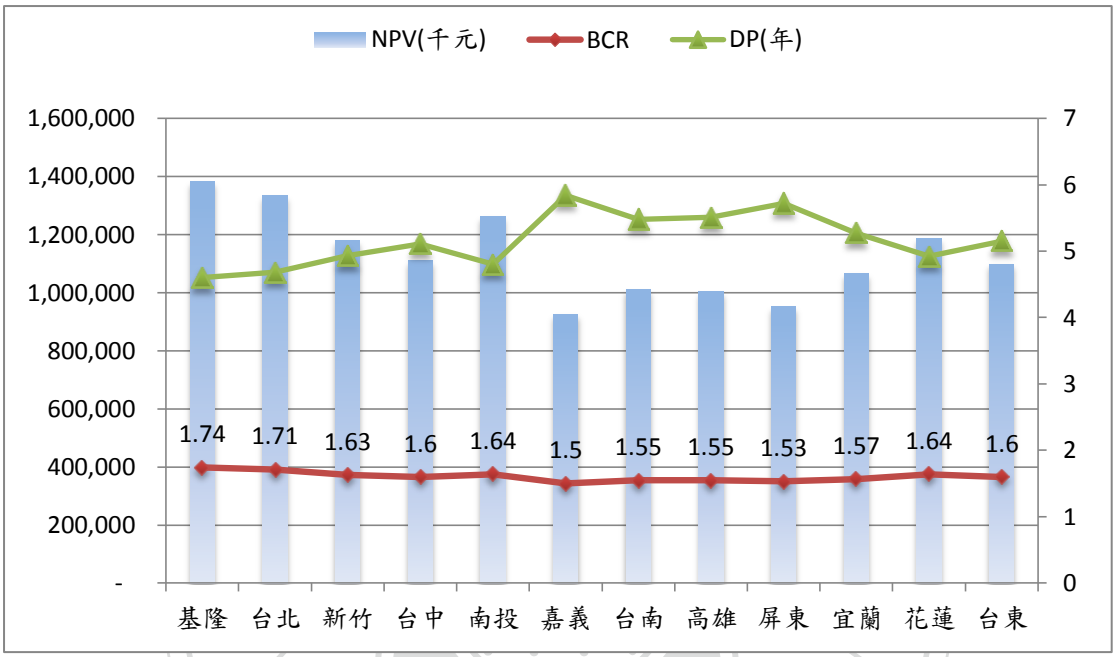
圖 4.2 為 LPG 瓦斯熱水器替代方案 PCT 檢定之結果，其中效益最佳之分區為基隆、台北兩分區，效益最低之分區則為嘉義分區，檢定結果可一併參照圖 4.1 與表 3.4 之國內桶裝瓦斯價格。以整體替代方案比較，電熱、LPG 瓦斯兩類替代方案之效益大致相近，但 LPG 瓦斯替代方案中各分區的效益變動較大。電熱替代之益本比大致在 1.6 至 1.69 之間，而 LPG 瓦斯替代之益本比則在 1.5 至 1.74 之間波動，。這是由於各分區 LPG 桶裝瓦斯的零售價格差異程度較大之故。若細究各分區檢定之結果，可發現 LPG 瓦斯替代方案檢定之結果與各分區桶裝瓦斯價格具有關聯性，桶裝瓦斯價格越高則影響替代效益越高，反之亦然。

表 4.7　LPG 瓦斯替代方案各分區之節能率

單位：%

分區	基隆	台北	新竹	台中	南投	嘉義	台南	高雄	屏東	宜蘭	花蓮	台東
節能率	74.7	74.8	74.5	74.8	73.6	74.9	75.6	75.7	75.5	74.7	75.1	75.5

資料來源：本研究整理



資料來源：本研究繪製

圖 4.2　LPG 瓦斯替代方案 PCT 檢定結果

National Chengchi University

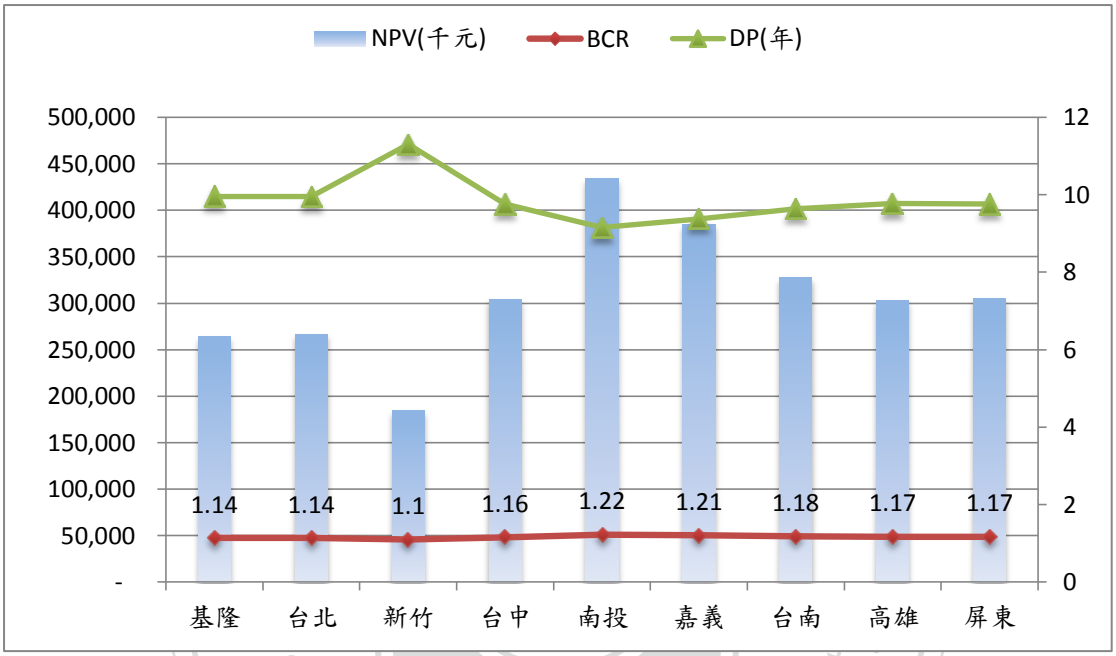
圖 4.3 為 NG 瓦斯熱水器替代方案 PCT 檢定結果，結果顯示南投分區之效益最佳，效益最低之分區則為新竹分區。綜觀全體替代方案，天然氣瓦斯熱水器替代方案為三種替代方案類別中效益最低者，益本比在 1.1 至 1.22 之間，折現回收期多在 9 年以上。對照表 3.3 之天然氣事業氣體售價表亦可發現，天然氣價格較為低廉之北部區域，如基隆、台北、新竹等分區，以熱泵系統替代之效益也較低。

表 4.8 NG 瓦斯替代方案各分區之節能率

單位：%

分區	基隆	台北	新竹	台中	南投	嘉義	台南	高雄	屏東
節能率	74.7	74.8	74.5	74.8	73.6	74.9	75.6	75.7	75.5

資料來源：本研究整理



資料來源：本研究繪製

圖 4.3　NG 瓦斯替代方案 PCT 檢定結果

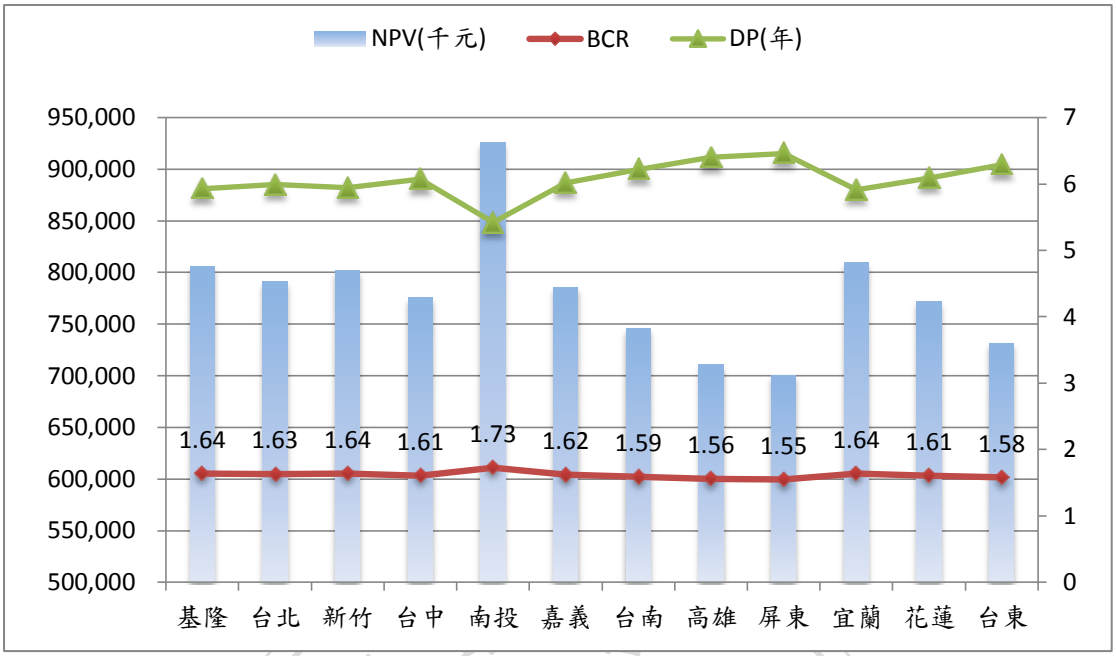
關於節能率與用戶效益之矛盾，綜觀以上三類家用熱水器替代方案之 PCT 檢定結果，有時出現節能率高之分區其淨現值反而較低，與常理所設想之節能率越高效益也越高之推論有所出入。事實上熱泵系統為期初投入成本高、運作變動成本低之節能設備，當用戶所需之熱水加熱需求越高，則越能彰顯裝設熱泵熱水系統之效益。以本研究之案例而言，雖然各分區用戶之熱水需求量相同，但自來水入水溫度卻受到氣溫不同之影響，使得氣溫較低之分區用戶加熱自來水的熱值需求越高，間接提高了熱泵系統之使用率。再者，以本研究評估台灣之分區，其最低月均溫不低於攝氏 14 度，最高則不過攝氏 30 度，於此氣溫區間內熱泵能效係數(COP)之變化約在 3.2 至 4.2 之間，以地域相對狹小之台灣各分區內，氣溫

因素對於熱泵系統之效率影響並不明顯。綜合以上兩點影響裝設熱泵系統效益之原因，氣溫降低使得能源效率降低造成對效益之負面影響，尚不及氣溫降低而使加熱需求提高造成對效益之正面影響。故而產生分區節能率越高而效益越低之結果。

以下接續討論總資源成本檢定之部分。項目一敏感度分析之總資源成本檢定其主要目的在分析現況下執行政府補助政策之整體社會效益。圖 4.4 至 4.6 為各類替代方案 TRC 檢定之結果。

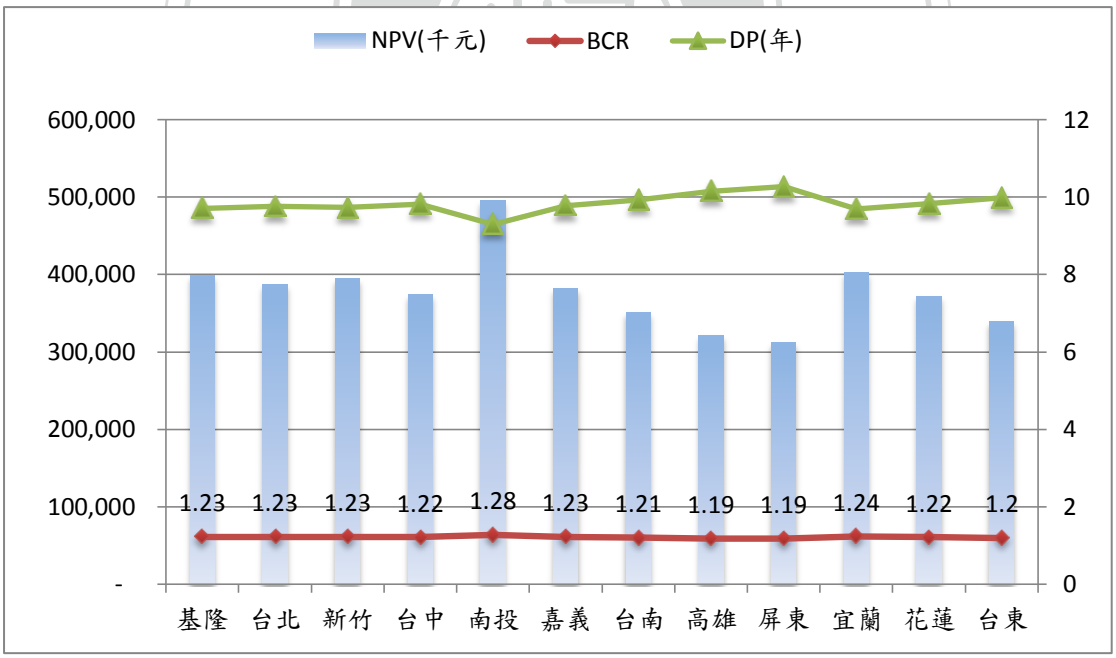
TRC 檢定結果以電熱替代部分效益為最高，方案的淨現值約在 700 百萬元到 920 百萬元，折現回收期大約在 5.4 至 6.4 年之間。由於少了政府補貼，其效益不及 PCT 檢定之結果，但益本比在 1.55 至 1.73 之間仍是相當具有效益之方案。LPG 瓦斯替代部分效益居次，方案淨現值在 310 百萬元至 500 百萬元左右，折現回收期則上升至十年左右。LPG 瓦斯替代方案在 TRC 檢定中效益大幅的降低，除了缺少補補貼之外，各縣市 LPG 瓦斯之零售價格與中油公司 LPG 批發價格差異較大，也是效益降低的主要原因。NG 瓦斯替代的效益依然為三種替代方案中最低，淨現值大多在 100 百萬元新台幣以下，在某些分區的淨現值甚至低於政府補貼的支出(約 160 百萬元新台幣)。若以整體社會之觀點來分析，以熱泵系統替代 NG 瓦斯熱水器仍然具有節能減碳之功能，在 15 年的方案週期中淨現值為正，同樣是值得參考的政策選項。

國立政治大學 National Chengchi University



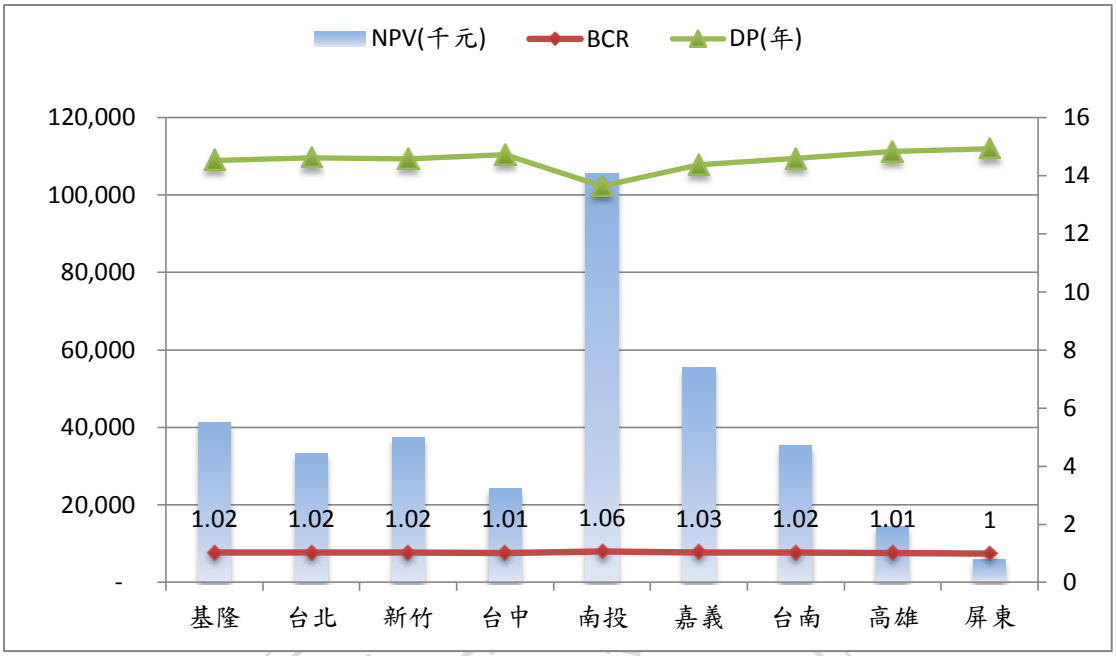
資料來源：本研究繪製

圖 4.4 電熱替代方案 TRC 檢定結果



資料來源：本研究繪製

圖 4.5 LPG 瓦斯替代方案 TRC 檢定結果



資料來源：本研究繪製

圖 4.6　NG 瓦斯替代方案 TRC 檢定結果

下表 4.9~4.11 為各種類替代方案的實施每年可減少之空氣汙染排放量。電熱替代方案中每年可減少 72%至 75%各種類空氣汙染的排放。若以熱泵系統替代 LPG 瓦斯熱水器，每年將減少 27%至 33%二氧化碳(CO_2)排放，降低 58%至 62%的氮氧化物(NO_x)排放，顆粒物(PM_{10})污染的排放則每年增加 20%至 30%，硫氧化物(SO_x)排放每年增加 65%至 80%。最後以熱泵系統替代天然氣瓦斯熱水器，每年可減少約 22%二氧化碳排放、降低 20%的顆粒物以及 38%氮氧化物排放，但硫氧化物的排放則會增加為原來的 88 倍。

表 4.9　電熱替代方案空汙排放減量結果

單位：公噸

分區	CO_2	PM_{10}	SO_x	NO_x
A-01 基隆	31,479	1.67	17.28	17.89
A-02 台北	31,190	1.65	17.12	17.72
A-03 新竹	31,409	1.66	17.24	17.85
A-04 台中	30,885	1.64	16.95	17.55
A-05 南投	33,875	1.79	18.60	19.25
A-06 嘉義	31,077	1.65	17.06	17.66

A-07 台南	30,275	1.60	16.62	17.20
A-08 高雄	29,580	1.57	16.24	16.81
A-09 屏東	29,367	1.56	16.12	16.69
A-10 宜蘭	31,564	1.67	17.33	17.94
A-11 花蓮	30,803	1.63	16.91	17.50
A-12 台東	30,002	1.59	16.47	17.05

資料來源：本研究整理

表 4.10　LPG 瓦斯替代方案空汙排放減量結果(負數表示增加)

單位：公噸

分區	CO2	PM10	SOx	NOx
B-01 基隆	4,896	-0.12	-2.55	9.65
B-02 台北	4,895	-0.11	-2.50	9.57
B-03 新竹	4,809	-0.12	-2.60	9.60
B-04 台中	4,862	-0.11	-2.46	9.48
B-05 南投	4,831	-0.16	-3.07	10.25
B-06 嘉義	4,900	-0.11	-2.47	9.55
B-07 台南	5,027	-0.09	-2.22	9.38
B-08 高雄	4,970	-0.09	-2.12	9.18
B-09 屏東	4,862	-0.09	-2.16	9.09
B-10 宜蘭	4,925	-0.12	-2.55	9.68
B-11 花蓮	4,930	-0.11	-2.39	9.48
B-12 台東	4,963	-0.09	-2.21	9.29

資料來源：本研究整理

表 4.11　NG 瓦斯替代方案空汙排放減量結果(負數表示增加)

單位：公噸

分區	CO2	PM10	SOx	NOx
C-01 基隆	3,810	0.18	-6.08	4.44
C-02 台北	3,821	0.18	-5.98	4.42
C-03 新竹	3,723	0.17	-6.13	4.39
C-04 台中	3,799	0.18	-5.91	4.38
C-05 南投	3,645	0.17	-6.93	4.55
C-06 嘉義	2,707	0.12	-5.95	3.61
C-07 台南	2,912	0.13	-5.57	3.65
C-08 高雄	2,909	0.13	-5.39	3.60
C-09 屏東	2,809	0.13	-5.42	3.53

國立政治大學 National Chengchi University

4.2.2 政府補助比例提升

熱泵系統的期初投入成本約為瓦斯熱水器的 9 至 10 倍，高額的期初成本經常成為消費者卻步的主要原因。本項目之敏感度分析以 0%、10%、20%、30%、40%五種政府補助比例的實行，比較用戶之淨現值與折現回收期之長短。若在 0%政府補助比例之下，用戶仍具有正的淨現值，則表示即使缺乏政府政策推動，民眾仍有經濟誘因自發裝設熱泵熱水系統。

參照表 4.12 中 PCT 檢定之結果，各補助比例下裝設熱泵熱水系統之淨現值均大於零，表示用戶即使在沒有政府補助的情況下，仍然有經濟誘因促使其自發裝設熱泵熱水系統，然而折現回收期間之長短同樣影響用戶投資熱泵熱水系統之意願。在電熱替代方案效益最低的屏東分區中，補助比例由 0%提高至 40%則能縮短用戶的折現回收期，從原來的 5.3 年下降至 2.2 年。若以熱泵系統替代 LPG 瓦斯熱水器，補助比例提升可縮短折現回收期 1.8 至 3.1 年。在 NG 瓦斯替代項目中，補助提高的成效最為明顯，以效益最低之新竹分區為例，當補助由 0%提升至 40%可縮短折現回收期 5.7 年(由 14.8 年下降至 9 年)，在效益最佳的南投分區中也可縮短 4.3 年的折現回收期。

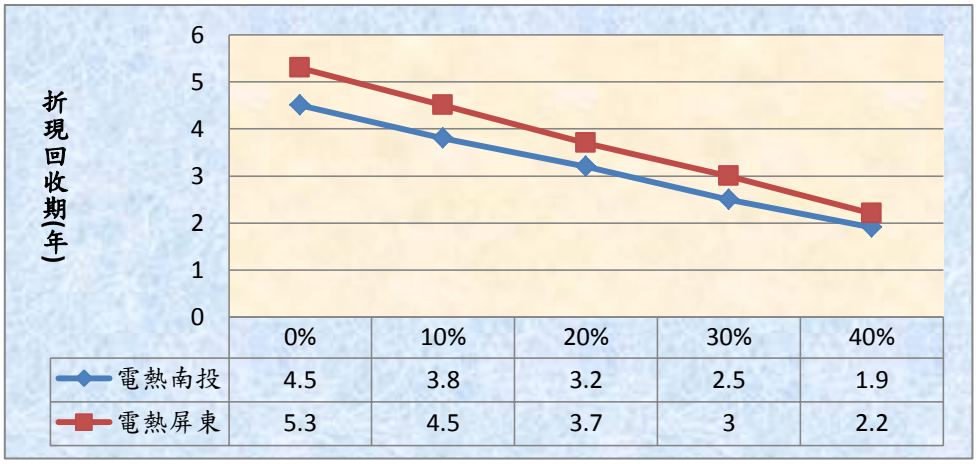
表 4.12　各種補助比例下參與者之淨現值

單位：新台幣元

補助比例 / 分區	0%	10%	20%	30%	40%
電熱替代最高-南投	65,880	70,480	75,080	79,680	84,280
電熱替代最低-屏東	51,568	56,168	60,768	65,368	69,968
LPG 瓦斯替代最高-基隆	67,628	72,228	76,828	81,428	86,028
LPG 瓦斯替代最低-嘉義	42,147	46,747	51,347	55,947	60,547
NG 瓦斯替代最高-南投	14,903	19,503	24,103	28,703	33,303
NG 瓦斯替代最低-新竹	1,078	5,678	10,278	14,878	19,478

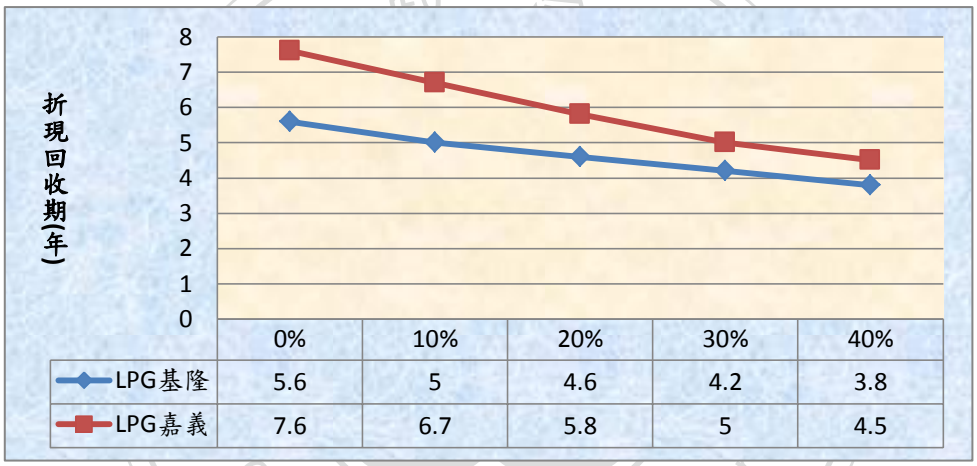
資料來源：本研究整理

國立政治大學 National Chengchi University



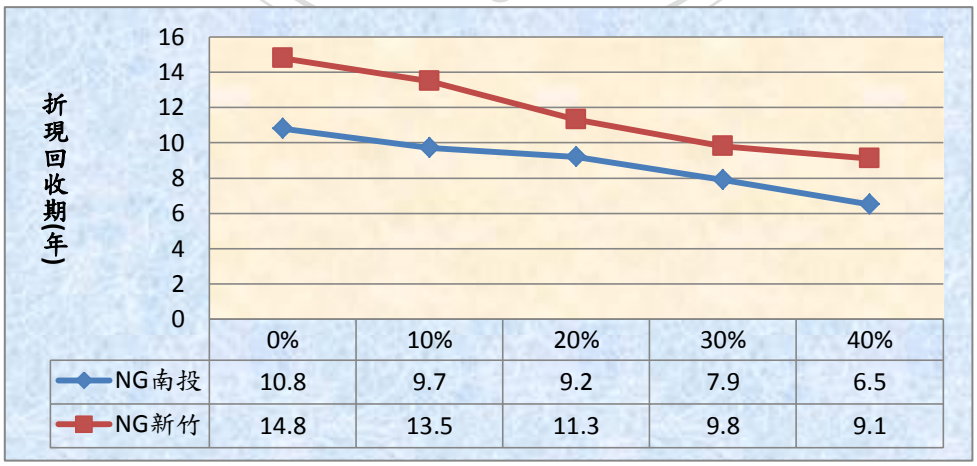
資料來源：本研究繪製

圖 4.7　電熱替代方案不同補助比例之折現回收期



資料來源：本研究繪製

圖 4.8　LPG 瓦斯替代方案不同補助比例之折現回收期



資料來源：本研究繪製

圖 4.9　NG 瓦斯替代方案不同補助比例之折現回收期

4.2.3 能源價格成長

在能源價格持續攀升的情況下，消費者預期未來能源帳單支出的增加，將會增加裝設節能設備的動機。項目三之敏感度分析加入能源價格成長的因素，分析在能源的市場價格持續提升的情況，裝設熱泵系統對於用戶個人與整體社會效益的影響。

本項目的計算中導入能源市場價格之平均改變率 e，為求與本研究的替代能源種類相吻合，e 值是由歷年液化石油氣國際 CP[8]價格之變動率平均計算而得，表 4.13 為 2005 年~2010 年國際 CP 價格。

表 4.13　液化石油氣國際 CP 價格(2005~2010)

年份	2005	2006	2007	2008	2009	2010
CP 價格（美元/噸）	486.6	511.96	608.46	776.46	511.25	712.71
CP 價格成長率（%）		5.21	18.85	27.61	-34.15	39.4

資料來源：經濟部能源局-油價資訊管理與分析系統網站

電價之成長率參考台電「電價燃料條款機制」之燃料影響電價權重。該影響權重是基於台電現有發電構成之比例計算而成，燃料影響電價之權重為 0.79，故以此比例為計算參考，國際能源市場價格上升 e，國內電價應隨之調升 0.79e。本項目採用之 e 值為 11.38%(2006~2010 國際 CP 價格成長率五年均值)，以下為 PCT 檢定結果。

表 4.14 為 PCT 檢定結果，其中 e = 0%表示未來能源價格維持在固定水準不上漲之情況，e = 11.38%則表示能源價格水準以每年 11.38%的成長率上升。比較兩不同情況檢定之結果，NG 瓦斯替代的方案淨現值增加之比例最高，主要是因為在基本假設下 NG 瓦斯替代方案淨現值較低。淨現值之絕對值擴大最多的則是 LPG 瓦斯替代方案，其淨現值大幅增加的主因是由於化石燃料價格成長之速度

[8] 國際 CP(Contract Price)價格為沙烏地阿拉伯國營石油公司每月底公告之次月裝貨離港合約價格，簡稱 CP。

高於電價成長之速度。

表 4.14　能源價格成長敏感度分析之 PCT 檢定

分區	分析情況	NPV(千元)	BCR	DP(年)
電熱替代南投	e = 0%	1,351,440	1.69	3.2
	e = 11.38%	3,088,080	2.18	2.9
	效益變動率 = 129%			
電熱替代屏東	e = 0%	1,093,824	1.6	3.7
	e = 11.38%	2,599,344	2.12	3.3
	效益變動率 = 138%			
LPG 瓦斯替代基隆	e = 0%	1,382,904	1.74	4.6
	e = 11.38%	4,344,912	2.77	4
	效益變動率 = 241%			
LPG 瓦斯替代嘉義	e = 0%	924,246	1.5	5.8
	e = 11.38%	3,294,396	2.36	4.7
	效益變動率 = 256%			
NG 瓦斯替代南投	e = 0%	433,854	1.22	9.2
	e = 11.38%	2,216,754	1.85	6
	效益變動率 = 411%			
NG 瓦斯替代新竹	e = 0%	185,004	1.10	11.3
	e = 11.38%	1,618,488	1.66	7.3
	效益變動率 = 775%			

資料來源：本研究整理

表 4.15 為 TRC 檢定結果，從結果中分析發現在能源價格持續上漲的情況下，LPG 瓦斯替代的方案淨現值增加最多，淨現值增加 16.7 億至 19.5 億左右。在 NG 瓦斯替代方案方面，折現回收期可有效的縮短，淨現值約增加 13 至 14 億。以熱泵系統替代電熱水器之方案淨現值增加相對較少，其主要原因與 PCT 檢定之結論相同，是由於化石燃料費用增加相對快速。於此可推論，若長期化石燃料的價格持續上漲，則以熱泵熱水系統替代燃燒燃料之鍋爐、熱水器，不僅有利用戶燃料費用的節省，對於整體社會節約能源之效益更有顯著的提升。

國立政治大學 National Chengchi University

表 4.15　能源價格成長敏感度分析之 TRC 檢定

分區	分析情況	NPV(千元)	BCR	DP(年)
電熱替代南投	e = 0%	925,461	1.73	5.4
	e = 11.38%	2,110,977	2.67	4.6
	效益變動率 = 128%			
電熱替代屏東	e = 0%	699,573	1.55	6.5
	e = 11.38%	1,727,308	2.37	5.3
	效益變動率 = 147%			
LPG 瓦斯替代南投	e = 0%	495,587	1.28	9.3
	e = 11.38%	2,439,003	2.11	6.4
	效益變動率 = 392%			
LPG 瓦斯替代屏東	e = 0%	311,708	1.19	10.3
	e = 11.38%	1,978,877	1.99	7.2
	效益變動率 = 535%			
NG 瓦斯替代南投	e = 0%	105,427	1.06	13.6
	e = 11.38%	1,573,636	1.71	8.2
	效益變動率 = 1393%			
NG 瓦斯替代屏東	e = 0%	5,925	1.00	14.9
	e = 11.38%	1,316,661	1.66	8.9
	效益變動率 = 22122%			

資料來源：本研究整理

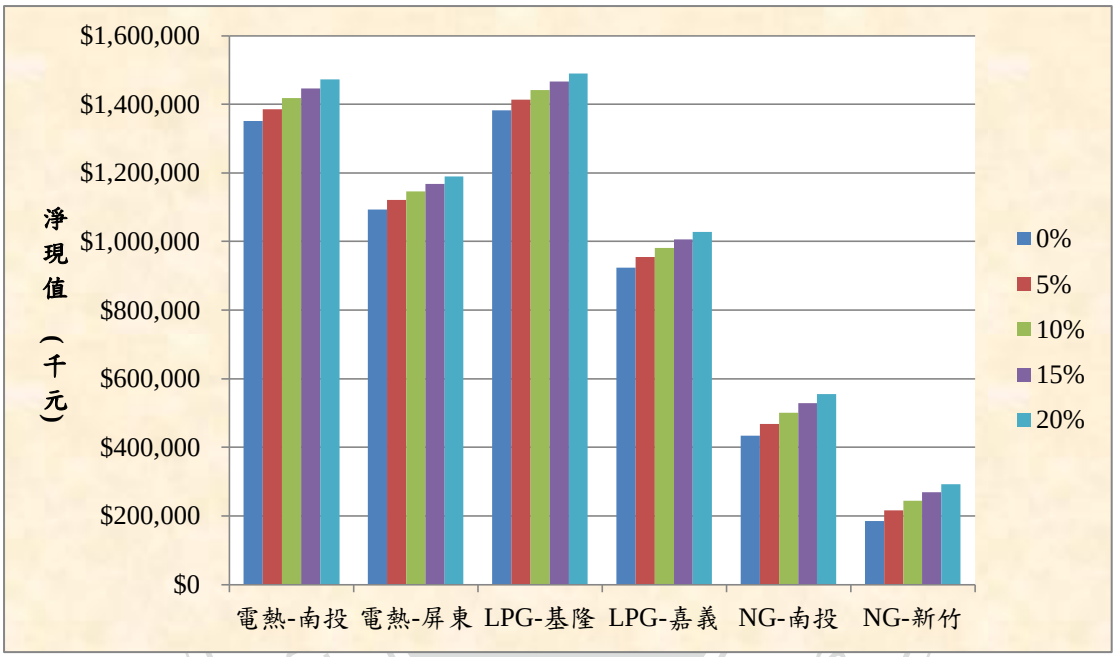
4.2.4 能源效率提升

熱泵製造技術的逐漸提升，熱泵系統之能源效率得以不斷改善。能效改善之利益不僅嘉惠熱泵系統產品的使用者，同時亦能擴大整體社會能源節約的比例，對於減少溫室氣體及空氣汙染排放也大有助益。本項目之敏感度分析，假設熱泵系統之能源效率較現有技術水準提高 5%、10%、15%、20%，並與現行技術水準比較經濟效益及排放減量的效果，下圖 4.10 為 PCT 檢定之結果。

圖 4.10 中 0%項目代表現行技術水準，5%、10%、15%、20%則分別代表能源效率相較於現行水準提升之比例。綜觀參與者檢定之結果，能源效率提升對於用戶的效益影響作用較小，能源效率每提高 5%，則淨現值約增加 30 百萬元左右，

國立政治大學 National Chengchi University

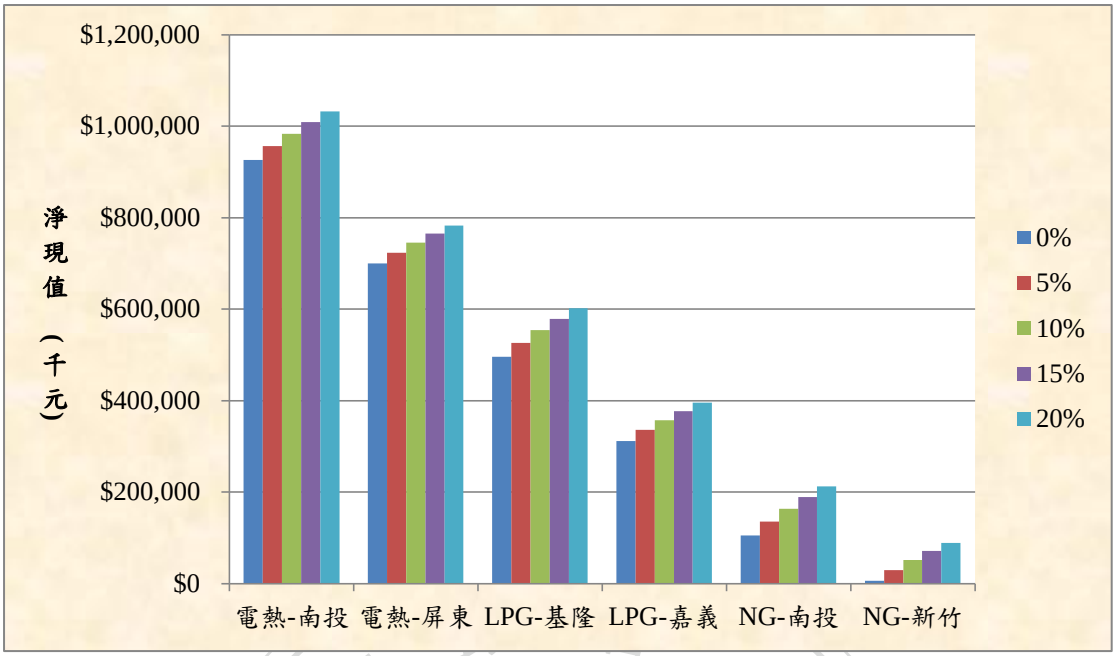
增加的淨現值隨能源效率提高而遞減。在電熱以及 LPG 瓦斯替代之項目，能源效率提升對於用戶之益本比及折現回收期沒有明顯的影響，以能效提升 20%的例子與現有水準比較，益本比大約提高 0.1，可縮減的折現回收期都在半年以內。在 NG 瓦斯替代的項目中，能源效率的提升對縮短折現回收期較有幫助，能效提升 20%可縮減回收期 1 至 1.5 年。



資料來源：本研究繪製

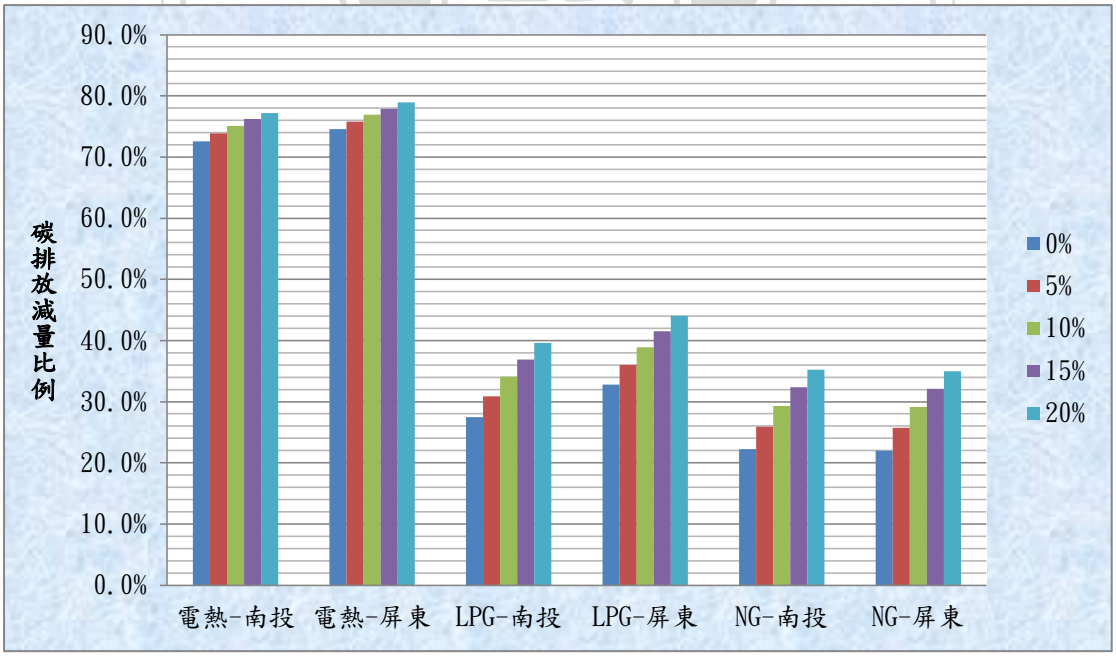
圖 4.10　能源效率提升敏感度分析之 PCT 檢定

由於能源效率提升的效果反映在熱泵系統運作時用電量的減少，而在 TRC 檢定中各分區之能源單價相同，因此只要是位在相同分區內，不論是哪一類的替代方案(電熱、LPG 瓦斯或 NG 瓦斯)淨現值所增加的絕對值是相同的，TRC 檢定結果如下圖 4.11。其中淨現值增加的數據如下所示：三種替代類別項目中效益最高之南投分區，在能源效率提高至現有 20%時，效益淨現值增加 106 百萬元，而在效益最低的屏東分區，效益淨現值約增加 83 百萬元。空氣汙染排放減量的部分，若能源效率提升 20%，南投分區可再額外降低碳排放量每年 2,126 公噸，屏東分區可額外降低碳排放量每年 1,663 公噸，碳排放減量比例如圖 4.12 所示。



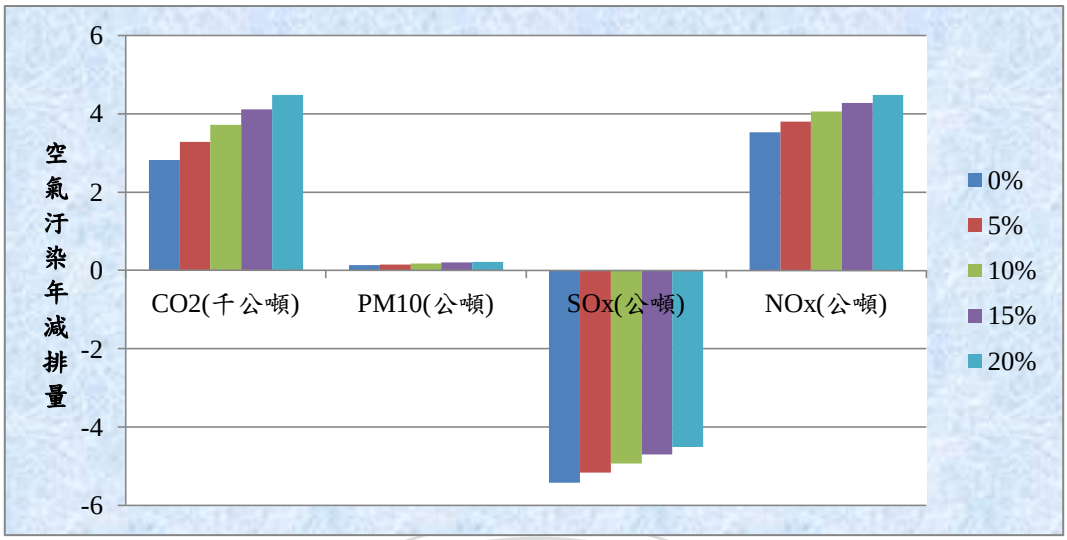
資料來源：本研究繪製

圖 4.11　能源效率提升敏感度分析之 TRC 檢定



資料來源：本研究繪製

圖 4.12 能效提升敏感度分析之各分區碳排放減量比例



資料來源：本研究繪製

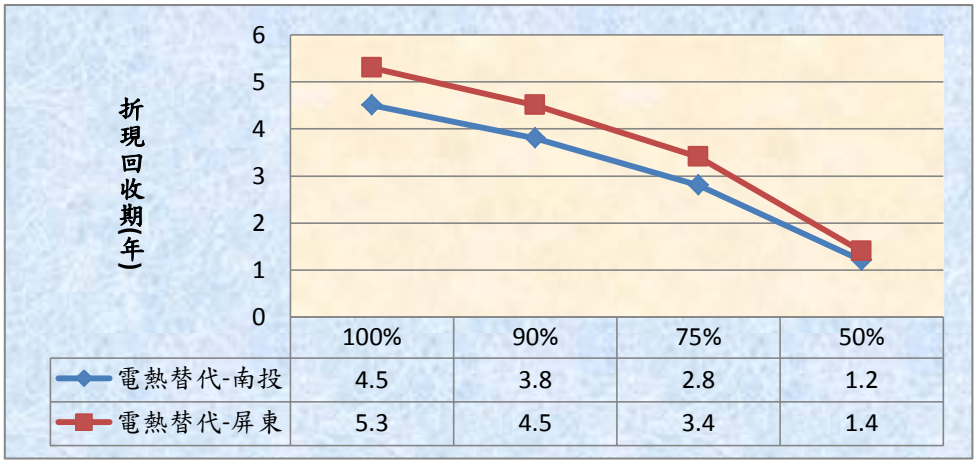
圖 4.13　NG 瓦斯替代屏東分區空氣汙染年減排量變化

4.2.5 熱泵系統設備成本降低

熱泵系統設備成本的多寡，經常影響用戶裝設之意願。項目五之敏感度分析假設熱泵系統因量產或技術革新等因素，導致熱泵系統設備成本降低，並分析當熱泵系統之設備成本降低至現行水準的 90%、75%、50%對於用戶及整體社會之影響。在 PCT 檢定部分以項目一所設定之折現率 d = 1.95%，並且排除裝設熱泵之獎勵補助金，分析各替代方案用戶的折現回收期。TRC 檢定部分整體社會之效益以淨現值、益本比、折現回收期等數據表列呈現。

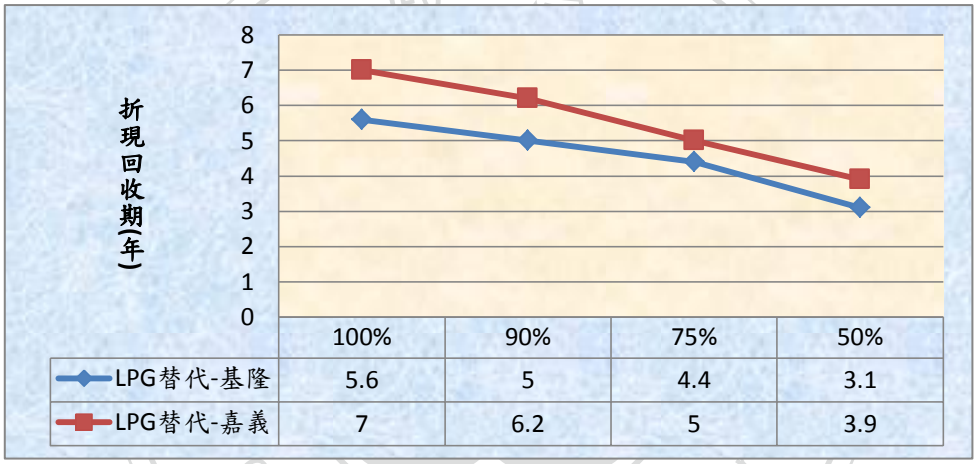
熱泵系統設備成本降低可縮短設置熱泵之折現回收期，在設備成本降至原有的 50%時，電熱替代類型可縮短折現回收期 3.3 至 3.9 年，LPG 瓦斯替代類型可縮短折現回收期 2.5 至 3.1 年，NG 瓦斯替代類型在熱泵設備成本降低時對縮短折現回收期的成效最佳，可縮短 5.6 至 7.5 年。

國立政治大學 National Chengchi University



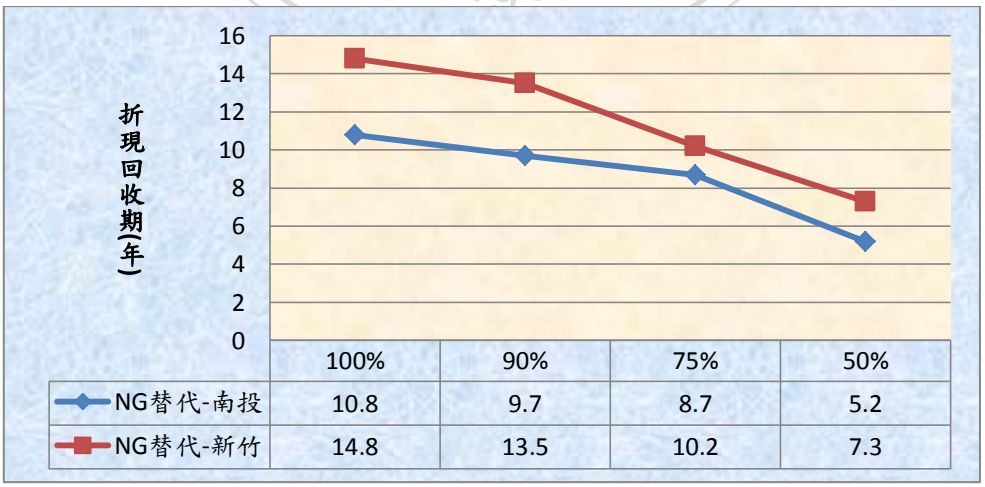
資料來源：本研究繪製

圖 4.14　設備成本降低之折現回收期-電熱替代(PCT 檢定)



資料來源：本研究繪製

圖 4.15　設備成本降低之折現回收期-LPG 瓦斯替代(PCT 檢定)



資料來源：本研究繪製

圖 4.16　設備成本降低之折現回收期-NG 瓦斯替代(PCT 檢定)

熱泵系統之設備成本為 TRC 檢定項目中用戶之參與成本，若用戶的參與成本降低，將有助於提升整體社會執行該方案之效益。TRC 檢定之結果顯示在設備成本為現有水準的 50%時，電熱替代南投分區益本比由 1.73 提升至 2.58，為全體方案之最高。NG 瓦斯替代屏東分區的益本比則由 1 提高至 1.34，雖然為全方案益本比最低之分區，亦有相當良好之報酬率。

表 4.16　設備成本降低敏感度分析之 TRC 檢定結果

電熱替代(南投)	NPV（千元）	BCR	DP（年）
100%	925,461	1.73	5.4
90%	1,008,261	1.86	4.6
75%	1,132,461	2.07	3.4
50%	1,339,461	2.58	1.5

電熱替代(屏東)	NPV（千元）	BCR	DP（年）
100%	699,573	1.55	6.5
90%	782,373	1.66	5.5
75%	906,573	1.86	4.1
50%	1,113,573	2.31	1.8

LPG 瓦斯替代(南投)	NPV（千元）	BCR	DP（年）
100%	495,587	1.28	9.3
90%	578,387	1.35	8.5
75%	702,587	1.45	6.8
50%	909,587	1.68	4.6

LPG 瓦斯替代(屏東)	NPV（千元）	BCR	DP（年）
100%	311,708	1.19	10.3
90%	394,508	1.25	9.5
75%	518,708	1.36	8.3
50%	725,708	1.59	5.0

NG 瓦斯替代(南投)	NPV（千元）	BCR	DP（年）
100%	105,427	1.06	13.7
90%	242,227	1.15	10.5

國立政治大學 National Chengchi University

75%	312,427	1.20	9.7
50%	519,427	1.39	6.5

NG 瓦斯替代(屏東)	NPV（千元）	BCR	DP（年）
100%	5,925	1.00	14.9
90%	88,725	1.06	13.9
75%	212,925	1.15	10.6
50%	419,925	1.34	7.7

資料來源：本研究整理

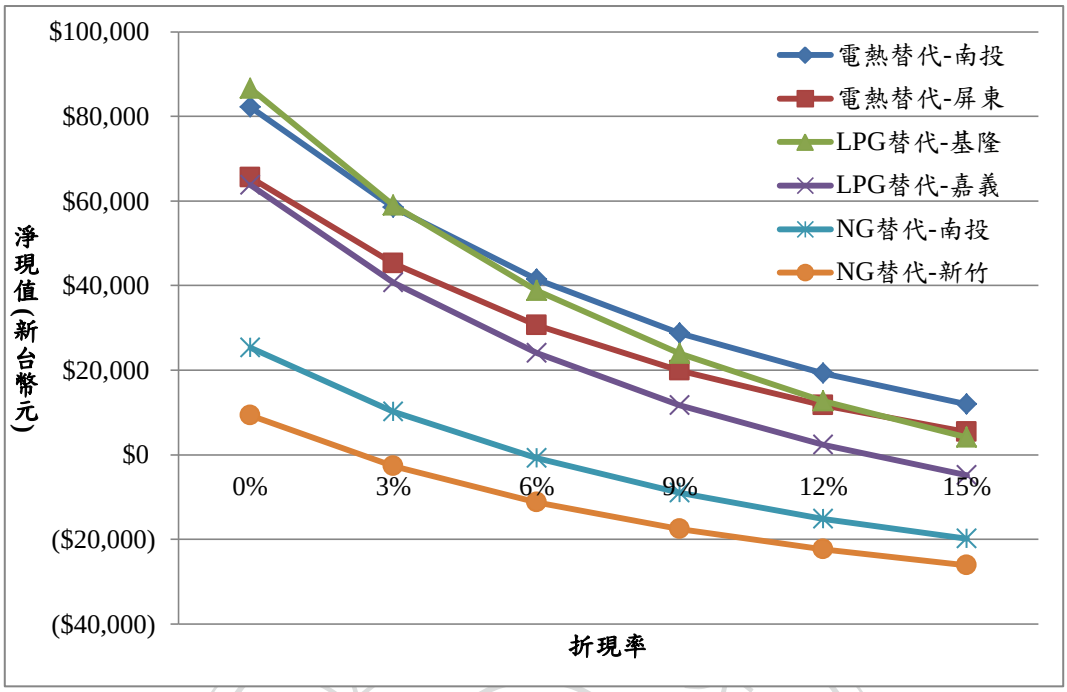
4.2.6 折現率分析

折現率(Discount Rate)高低依照通貨膨脹率及利率等指標進行調整，因此容易隨經濟情勢變動而產生變化，影響用戶安裝熱泵系統之成本及折現回收期。故本項目之敏感度分析以不同折現率評估各類替代方案之效益，以作用戶裝設熱泵之參考。本研究設定折現率 d=0%、3%、6%、9%、12%、15%等不同程度，並且裝設排除熱泵系統之獎勵補助，分析各類替代方案之效益，並以其中相似之設定與 Liu(2010)的研究結果進行比較。

表 4.17　各類別替代方案之折現率敏感度分析

Discount Rate（%）		0%	3%	6%	9%	12%	15%
電熱替代（南投）	NPV（元）	82,121	58,487	41,392	28,762	19,241	11,927
	DP（年）	4.3	4.6	5.1	5.7	6.4	7.4
電熱替代（屏東）	NPV（元）	65,477	45,240	30,615	19,818	11,684	5,438
	DP（年）	5.0	5.5	6.2	7.0	8.2	10.1
LPG 瓦斯替代（基隆）	NPV（元）	86,649	58,954	38,857	23,967	12,715	4,055
	DP（年）	5.2	5.9	6.7	7.8	9.3	11.8
LPG 瓦斯替代（嘉義）	NPV（元）	63,754	40,733	24,033	11,663	2,320	-4,870
	DP（年）	6.4	7.4	8.8	9.9	13.6	>15
NG 瓦斯替代（南投）	NPV（元）	25,329	10,152	-846	-8,985	-15,127	-19,849
	DP（年）	9.7	11.8	>15	>15	>15	>15
NG 瓦斯替代（新竹）	NPV（元）	9,250	-2,644	-11,257	-17,626	-22,428	-26,117
	DP（年）	12.9	>15	>15	>15	>15	>15

資料來源：本研究整理



資料來源：本研究繪製

圖 4.17　各類別替代方案不同折現率之淨現值

Liu(2010)以美國各州資料分析 GSHP 替代現有空調及暖房設備之經濟效益，該研究以全國效率最高(state-of-the-art)家用 GSHP 系統作為評估標的，設定 GSHP 系統之使用年限為 20 年，不同折現率計算之淨現值如表 4.18 所示。

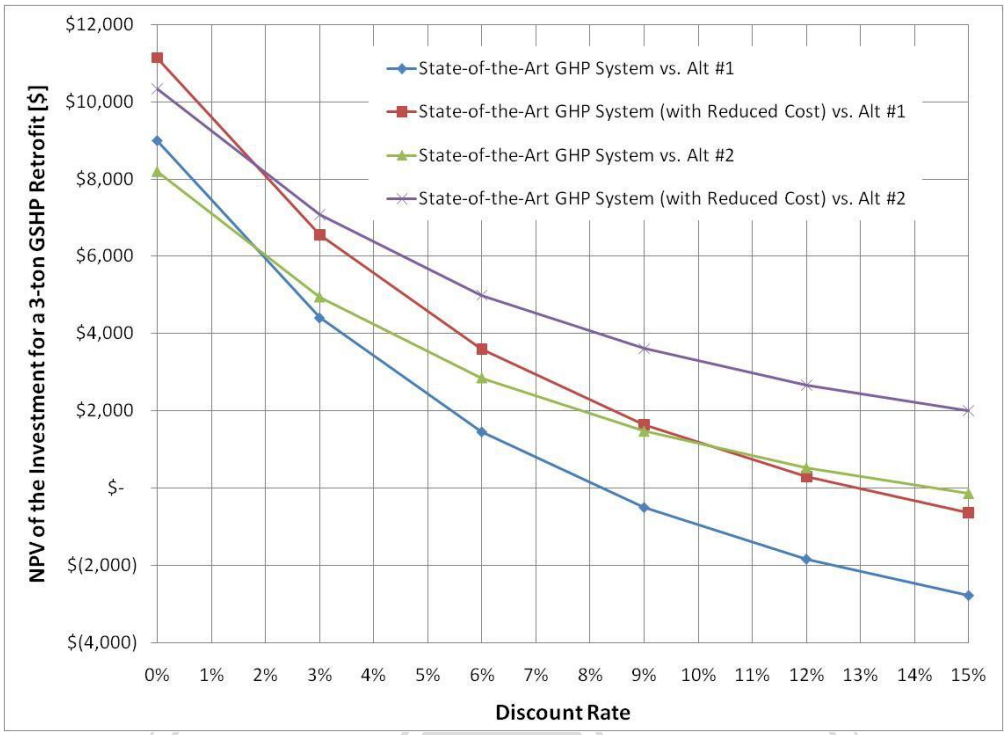
表 4.18　裝設 GSHP 之簡單回收期及淨現值

單位：美元

比較組合	回收期	折現率					
	年	0%	3%	6%	9%	12%	15%
GSHP vs alt#1	14.4	9,002	4,411	1,460	-497	-1,834	-2,775
GSHP(折價) vs alt#1	9.8	11,141	6,550	3,599	1,642	305	-636
GSHP vs alt#2	8.9	8,189	4,943	2,857	1,474	528	-137
GSHP(折價) vs alt#2	2.4	10,328	7,082	4,996	3,612	2,667	2,002

資料來源：Liu(2010)

說明：alt#1 為全國能源效率最高之空調與天然氣暖爐；alt#2 為符合最小能效要求之空調及天然氣暖爐



資料來源：Liu(2010)

圖 4.18　各折現率下裝設 GSHP 之淨現值

本研究之結果與 Liu 所分析之美國資料相比較，GSHP 之效益表現在採用高折現率時較為優異，其主要三點原因：1.Liu 採用之標的 GSHP 系統為全國效率最高之機種，本研究礙於資料蒐集之障礙無法取得全國效率最高之機種能效數據。2.GSHP 系統為結合空調暖房之複合系統，與本研究採用之 ASHP 熱水系統相較，系統功能應用較為全面，可發揮之效益也越高。3.GSHP 設定之使用年限為 20 年，與一般 ASHP 系統 15 年壽命相比，折現回收之期間較長。

4.2.7 熱泵系統應用之滲透率分析

項目七敏感度分析，係模擬熱泵熱水系統取代全台灣現有家庭之熱水設備達到某比例時，整體社會效益之淨現值。本項目敏感度分析依據全台家戶總數乘以滲透比率，作為設定方案補助名額及熱泵裝設戶數之參考。由於 NG 瓦斯之供應屬於公用事業，具體供應戶數之資料為透明公開之資訊且易於取得，本研究以全台天然氣瓦斯管線供應之家戶數，推算全台使用天然氣瓦斯熱水器之用戶總數。

LPG 瓦斯熱水器實際用戶總數之部分，由於 LPG 瓦斯零售業並非公用事業，無資訊公開之義務，故欠缺次級統計資料來源，實際使用戶數之調查數據難以取得。電熱水器之安裝銷售業務亦屬民間業者自行經營，實際用戶總數之調查資料亦無從參考。故本研究項目七敏感度分析僅就全台天然瓦斯熱水器的替代方案類別，進行市場滲透率分析。下表 4.19 為本研究之各分區 2010 年天然氣瓦斯累計供應總戶數。

表 4.19　2010 年各分區天然瓦斯累計供應總戶數

單位：戶

分區名稱	累計供氣戶數
基隆	98,548
台北	1,395,860
新竹	313,221
台中	399,427
南投	106,117
嘉義	20,232
台南	86,387
高雄	228,414
屏東	10,877
總計	2,659,083

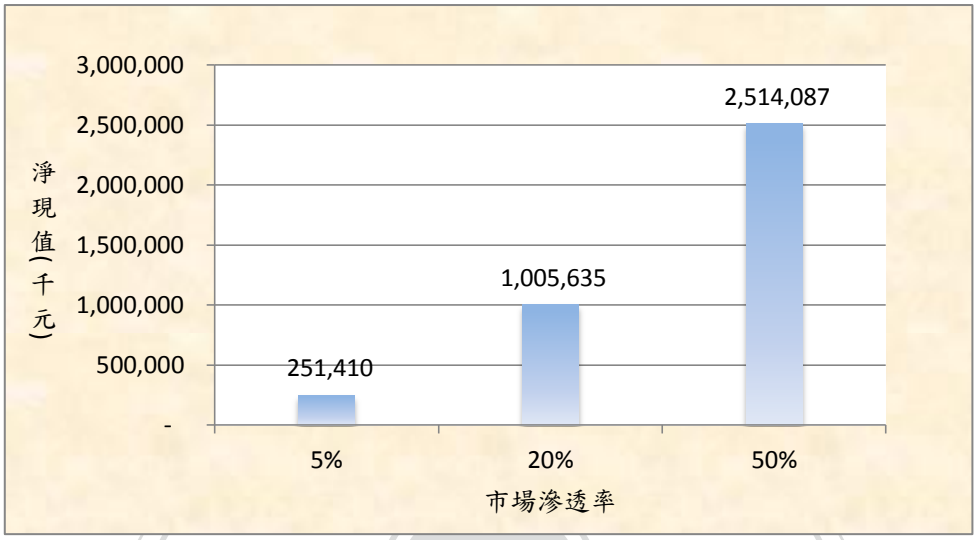
資料來源：整理自台灣地區瓦斯事業手冊(2011)

國立政治大學 National Chengchi University

依照產業發展不同之階段，本項目之分析設定 5%、20%、50%三階段市場滲透率分別代表熱泵產業位於萌芽期、成長期以及成熟期三個不同的產業發展階段，由於台灣尚未建立熱泵產業生產成本相關之統計資料，因此本研究之滲透率分析中未納入因產量擴張致使每單位生產成本下降之影響。

根據 TRC 檢定之結果顯示，當市場滲透率在 5%、20%、50%時整體社會之淨現值分別為 251 百萬元、1,006 百萬元 2,514 百萬元，方案之益本比均為 1.02。空氣汙染排放之部分，當市場滲透率為 5%時每年可降低 27,168 公噸二氧化碳(CO_2)排放量，減少每年 1.3 公噸的顆粒物(PM_{10})汙染排放，氮氧化物(NO_x)排放每

年減量 31.8 公噸，但是在硫氧化物(SO_x)汙染排放的方面，每年將增加 44.1 公噸。檢定結果整理如圖 4.19 以及表 4.20。



資料來源：本研究繪製

圖 4.19　不同市場滲透率之方案淨現值

表 4.20　不同市場滲透率之空氣汙染排放減量比較

單位：公噸

市場滲透率(%)	CO_2	PM_{10}	SO_x	NO_x
5%	27,169	1.3	-44.1	31.8
20%	108,675	5.1	-176.2	127.4
50%	271,687	12.7	-440.5	318.4

資料來源：本研究估算結果

4.3　引申討論

根據以上實證檢定之結果，熱泵在替代 LPG 瓦斯、及天然氣 電熱等設備均有顯著效益，若以政府政策、產業發展、教育宣導各方面的相互配合，在可預見的未來台灣熱泵市場發展將逐步成熟。尤其考慮以下幾項因素，熱泵系統的發展會更為快速：

熱泵系統應用的居家安全性

現有居家之熱水系統大多以燃氣熱水器為主，台灣地區每年入冬一氧化碳中毒之不幸事件時有所聞，其主要原因多為燃氣熱水器設置不當、未妥善維護以及設備使用超過年限等問題。日本政府因應未來人口老化，高齡人口之居家生活安全，多年來提倡「全電力化家庭」之概念，而熱泵熱水系統以電力驅動，得以避免燃燒石化燃料而產生的一氧化碳中毒及火災等公共安全事故。使得熱泵系統成為全電力化家庭重要的設備選項之一。

目前內政部消防署每年均編列預算，提供予燃氣熱水器設置不當之住家，獎勵換購電熱水器或強制排氣型瓦斯熱水器，由此可見一氧化碳中毒之意外事件已引起政府相關部門之重視。然而熱泵熱水器之應用則可避免類似問題，有助降低居民意外發生之機率以及減少社會消防救助資源的使用。

節能環保潮流之驅動

節能減碳之觀念逐漸為時下民眾所接受，在消費行為上亦將環境保護、節約能源等概念納入消費選擇的考量。以旅館、飯店、游泳池業者而論，使用熱泵熱水系統之技術不僅是在能源費用的節約有顯著效果，對消費者亦可建立節能環保的企業形象。另外在新式建築中也逐漸導入綠建築之觀念，熱泵系統於建築之應用則有助降低建築之能源消耗，使其符合綠建築節能之規範。未來複合功能的空調、暖房及熱水的熱泵系統，將在市場上販售，對於重視居家節能及環境保護的消費者，無疑是一項更有效的設備選擇。

熱泵系統可否定義為再生能源

熱泵系統是否可歸入再生能源之選項一直備受爭議，其關鍵因素是由於電力為驅動熱泵系統的主要能源。早期熱泵系統的主要應用範圍在冷凍空調領域，對於冷凍或空調所排出的熱能的應用並不重視，故熱泵系統與再生能源之使用並無

關聯。而近年來以熱泵做為取熱技術的應用已十分普遍，生活周遭環境之熱能是否該定義為再生能源逐漸引起討論。

跟據歐盟 2009 年的再生能源指令，定義熱泵所擷取之大氣熱能、水熱能以及地熱能為再生能源之選項，但計算方式則需考量熱泵應用區域之發電結構及熱效率，以熱泵擷取的熱能超過發電所損失之部分得以計作再生能源之使用。以台灣的電力系統為例，台電供應至住戶的電力熱效率為 33%左右，若住戶使用的熱泵能效指數為 COP=3.0，熱泵擷取之可利用熱能正好彌補發電的能源消耗(0.33*3.0≒1)，此時所利用之再生能源為零。若熱泵系統之能效指數為 COP=4，則熱泵所擷取之熱能超過發電之能耗，此時有相當 32%的發電初級能源可計作再生能源(0.33*4.0=1.32)。

以現今再生能源發電之情況而論，熱泵系統運作尚未能完全仰賴再生能源提供電力。但若未來再生能源發電佔發電結構之比例逐漸提高，或以熱泵系統合併家用之小型太陽能、風力發電、生質能、儲能設施等分散式發電系統，這些都有助於熱泵系統成為更充分的再生能源利用設備。

國立政治大學 National Chengchi University

第五章 結論與建議

本文分析台灣家庭裝設熱泵熱水系統之用戶經濟效益及社會效益，並輔以敏感度分析探討在不同之情境設定下對裝設用戶與整體社會之影響。本章節總結研究成果及重要結論，並且提供未來研究可持續改進之方向。

5.1 結論

本文以敏感度分析探討不同情境下台灣家庭住宅裝設熱泵熱水系統之成本效益，並以成本效益分析之 PCT 檢定及 TRC 檢定，評估用戶以及整體社會執行方案之經濟效益。敏感度分析之項目係考量目前時空背景、政府政策推動意願、現行技術水準以及未來經濟情勢之變動作為設定之原則。項目一為基本模擬政策執行之情況，並作為其他項目之分析比較基準；項目二、項目三討論不同的政府補助比例及未來能源價格成長之因素；項目四、項目五分別討論因熱泵製造技術的進步使其能源效率提升以及生產成本下降的情況；項目六比較不同方案不同折現率下之折現回收期。各敏感度分析項目之重要結果如下：

1. 項目一[基本補助政策執行]：三種替代方案類別(電熱、LPG 瓦斯、NG 瓦斯)中 PCT 檢定之結果以電熱及 LPG 瓦斯替代方案之結果最佳，電熱替代方案之淨現值在 1,093 百萬元至 1,351 百萬元，折現回收期在 3.7 至 3.2 年；LPG 瓦斯替代之淨現值在 924 百萬元至 1,382 百萬元，回收期在 5.8 到 4.6 年。NG 瓦斯替代的結果效益較低，淨現值約在 185 百萬元至 434 百萬元，折現回收期則都在 9 年以上。電熱替代中效益表現最佳之分區為南投，益本比為 1.69；效益最低的分區為屏東，益本比為 1.6。LPG 瓦斯替代中效益最高與最低的分區為基隆與嘉義，益本比分別為 1.74 與 1.5。NG 瓦斯替代中效益最高分區為南投，最低為新竹，益本比分別為 1.22 與 1.1。

TRC 檢定中則以電熱替代最佳，LPG 瓦斯替代次之，NG 瓦斯替代則是效益表

現最低之替代方式。電熱替代的社會淨現值為 700 百萬元至 925 百萬元，折現回收期在 6.5 至 5.4 年之間。LPG 瓦斯替代的社會淨現值約 312 百萬元至 496 百萬元，回收期 9.3 到 10.3 年。NG 瓦斯替代之社會淨現值為 6 百萬元至 105 百萬元，回收期需要 13.7 到 14.9 年，已接近整體方案之生命週期。

關於降低排放的部分以電熱替代的成效最明顯，由於電熱替代為電力的淨節約，每年可減少 72%的各種空氣汙染排放(CO_2、PM_{10}、SO_x、NO_x)；若以熱泵系統替代 LPG 瓦斯，每年可減少 27%的 CO_2 及 58%的 NO_x，但每年則會增加 30%的 PM_{10} 排放以及 80%的 SO_x 排放；最後以熱泵替代 NG 瓦斯每年可減少 22%的 CO_2、20%的 PM_{10}、38%的 NO_x，但 SO_x 排放的部分則會增加為原來的 88 倍。

以項目一的檢定結果推論，使用電熱水器或是無天然瓦斯供應地區的消費者，裝設熱泵系統的效益高、還本期間短，相當適合以熱泵熱水系統取代原有的熱水設備。NG 瓦斯替代的效益雖然較低，但在天然氣價格相對較高的分區(如南投、嘉義、台南等區)裝設熱泵系統亦有不錯的投資報酬。若以政府施政角度考量整體社會效益最大以及達到最佳的減碳效果，則電熱替代方案應為最優先補助的選擇，其次為 LPG 瓦斯，最後為 NG 瓦斯。雖然 NG 瓦斯替代方案的益本比不及其他兩類替代方案，但在 15 年方案執行的期間淨現值大於零，亦是值得考慮之選項。以地區來劃分，除南投分區外，北部縣市的平均淨現值較高，中部縣市次之，南部縣市則是效益表現相對較低的區域。

2. 項目二[補助比例提升]：參照圖 4.7~4.9 各類別替代方案之折現回收期，以全方案中最高之分區【電熱替代-南投】為例，當補助比例為 0%、10%、20%、30%、40%時，折現回收期分別為 4.5、3.8、3.2、2.5、1.9 年。而在全方案之最低之分區【NG 瓦斯替代-新竹】，折現回收期則分別為 14.8、13.5、11.3、9.8、9.1 年。本研究所有分區與替代類別交叉比對之 33 個替代方案，在政府補助比例為 0%時檢定結果之淨現值均大於零，表示在缺乏政府補助政策之情況下，用戶仍具有經濟誘因自發裝設熱泵熱水系統。補助比例提高幫助於

縮短折現回收期之效果以 NG 瓦斯替代方案最佳，LPG 瓦斯替代次之，電熱替代成效最小。若政府政策執行目標為全面性的替換現有熱水設備為熱泵系統，對於不同類別的替代方案亦可考慮執行有差別的政府補助比例。

3. 項目三[能源價格成長]：假設未來進口能源價格上漲，為反映發電之燃料成本，電價也隨之調漲。PCT 檢定結果，因為能源價格持續上漲而使電熱替代方案之淨現值增加 1,506 至 1,737 百萬元，縮短折現回收期約 0.3 年。LPG 瓦斯替代方案之淨現值增加 2,370 至 2,962 百萬元縮短折現回收期 0.4 至 1.1 年。NG 瓦斯替代方案之淨現值增加 1,433 至 1,783 百萬元。回收期縮短 3 到 4 年。

   在 TRC 檢定結果中顯示，因能源價格上漲而使淨現值增加最多的方案為 LPG 瓦斯替代方案，淨現值增加 1,667 至 1,946 百萬元；其次為 NG 瓦斯替代方案，淨現值增加 1,310 至 1,468 百萬元；淨現值增加額最小的是電熱替代方案，大約增加 1,027 至 1,185 百萬元。檢定結果以瓦斯替代方案淨現值增加額度較多，主要原因是化石燃料價格成長的速度比電價成長速度快。以此可推論若未來進口能源價格持續上漲，則以熱泵熱水系統替代燃氣熱水器，更有利於節省整體社會進口能源之成本。

4. 項目四[熱泵能源效率提升]：熱泵技術水準的進步，將有助於熱泵系統運作效率的提升，其影響不僅提高用戶與整體社會之經濟效益，同時有助於降低碳排放量。以 PCT 檢定中【電熱替代-南投】及【NG 瓦斯替代-新竹】兩方案為例，當熱泵能效提升 0%、5%、10%、15%、20%時，南投分區的益本比分別為 1.69、1.72、1.75、1.77、1.8；新竹分區的益本比分別為 1.1、1.12、1.13、1.15、1.16。綜觀 PCT 檢定之結果，能效提升對於熱泵裝設用戶效益淨現值影響較小。

   在 TRC 檢定結果方面，三類替代方案效益最高之分區均為南投分區，效益最低之分區均為屏東分區。當熱泵系統能效提升 5%時，南投分區可增加淨現值

30 百萬元；屏東分區可增加淨現值 24 百萬元，淨現值增加的數額隨能效提升而逐漸降低。若考慮能效提升對排放減量之影響，南投分區在能效提升 0%、5%、10%、15%、20%時，可額外減少 CO_2 排放量 607、1,159、1,664、2,126 噸；屏東分區可額外減少 CO_2 排放量 475、907、1,301、1,668 噸。能源效率的提升有助於降低碳排放量，若考量降低碳排放等政策目標，建議可設定補助熱泵設備之最小之能源效率要求，並且逐年檢討修改能源效率之規範，以激勵廠商持續改進能源效率。

5. 項目五[設備成本降低]：由於商品量產及生產技術的改良將導致熱泵系統的設備成本可能在未來下降。成本降低將影響消費者裝設熱泵系統的折現回收期，同時也影響整體社會執行方案的投資報酬率。圖 4.14~4.16 顯示當熱泵設備成本降低時PCT檢定各替代方案之折現回收期。以替代方案之類別分析，當設備成本降至現有的 50%時電熱替代的折現回收期從 5 年左右縮短至 1.3 年；LPG 瓦斯替代的回收期由 6.3 年左右縮減至 3.5 年；NG 瓦斯替代的回收期從 12.8 年縮減至 6.3 年，是設備成本下降影響折現回收年數最多的替代方案類別。

   TRC 檢定結果以 NG 瓦斯替代類別為例，當設備成本降至現有的 100%、90%、75%、50%時，效益最高之分區南投的益本比分別為 1.06、1.15、1.20、1.39，效益最低之分區屏東的益本比分別為 1.00、1.06、1.15、1.34。整體社會執行方案之淨效益受設備成本降低之影響極為明顯，若能加速熱泵產品的普及則有助於降低設備成本。

6. 項目六[折現率分析]：利率及通膨率等估算用戶折現率因子，亦隨國內經濟情勢變化而有所變動，過高的折現率影響消費者裝設熱泵系統之淨現值以及折現回收期長短。項目六之檢定過程發現三種替代方案類別在不同折現率下產生不同結果。電熱替代方案之報酬率最佳，在折現率 d=15%時各分區均能保有正的淨現值。LPG 瓦斯替代在折現率在 12%以下，方案淨現值均為正。

在折現率 d=15%時某些分區之淨現值轉變為負值，折現回收期超過 15 年。NG 瓦斯替代方案之報酬率為最低，當折現率在 6%以上時所有分區之淨現值均為負值。折現率分析之結果可提供政策參考，在直接補助措施之外亦可考慮提供購置熱泵系統之優惠貸款，以降低用戶之折現率。

7. 項目七[滲透率分析]：市場滲透率表示熱泵系統實際取代家中熱水設備之比例，其比例越高表示台灣熱泵市場發展的成熟度也越高。分析結果熱泵系統替代天然瓦斯熱水器的市場滲透率為 5%時，整體社會執行方案之淨現值為 251 百萬元，益本比為 1.02，每年可減少之二氧化碳排放量為 27,168 公噸。由於本檢定之範圍僅限於天然瓦斯熱水器之部分，同時也未考慮產能擴張使平均成本降低的效果，本研究之滲透率分析結果其效益表現應比實際情況低。預期未來在其他替代方案類別的分析或是加入成本降低等參數設定，其效益之表現會更加良好。

本研究之敏感度分析在基本假設之外，分析各種情境背景下影響用戶個人及整體社會之效益。政府除了提供補助之外，尚需考量用戶之個人需求、時空環境之背景以及如何敦促產業持續發展。本文僅以上述敏感度分析結果，作為政府推廣熱泵系統應用之決策參考。

根據本研究之結果顯示，ASHP 熱水系統實為適用於台灣家庭之優良節能設備。但依我國能源政策之準則，政府補助的施行仍須考量再生能源種類之認定。熱泵技術是否可被歸類為再生能源？其答案是顯而易見的。熱泵所取用之熱能源自於大氣、水源、地層，這些熱能可源源不絕由太陽能所補充。然而熱泵所使用之電力應視為設備運作的必要投入，若以耗用電力為理由否定熱泵為再生能源之技術，則風力、水力、地熱、太陽能等均無法完全符合再生能源之定義(因其設備之生產、設置均需電力與化石燃料之投入)。故依作者研究之心得所評論，熱泵應視為利用再生能源能源之科技。

5.2 研究貢獻

綜合本研究目前之成果，其研究貢獻有以下三點：

1. 系統化熱泵應用之成本效益分析方法。

   目前台灣熱泵應用相關之成本效益分析，未能妥善考慮方案執行之效益與成本項目。本研究參照美國加州電力公用事業需求面管理成本效益分析之實作手冊，設定熱泵系統應用之 PCT 檢定與 TRC 檢定計算方式，在效益項目的考量上納入方案執行的迴避成本，使成本效益計算結果更加吻合經濟觀念。唯國內各地區能源供給成本變異性之資料不足，計算結果未能更精確反映各分區能源使用之差異，以及熱泵成本效益之不同。

2. 建立空氣源式熱泵熱水系統(ASHP)分區比較及能效評估方式。

   熱泵在台灣市場為新興產業，尚未建立合理的方式估算用戶應用熱泵設備之成本效益。國內廠商以工程法評估用戶之效益時，參數之設定未能貼近用戶需求及實際使用之情況，以至於系統之實際節能效果往往與事前估計有所落差。本研究參考國內外熱泵系統應用之相關文獻，推論影響台灣家庭住宅應用 ASHP 熱水系統之地區因素，並以此建立以氣候條件為主要依據之分區評估方法。同時納入各地區不同之能源價格資訊，以求符合台灣各縣市用戶之實際情況。關於節能效益計算的部分主要參考綠基會(2007)節能績效量測與驗證方法，惟本研究所設定之基準能源消費量不同，故計算方式略有修正。

3. 依不同設定條件下評估台灣推廣熱泵系統之效益。

   台灣現有熱泵應用相關之經濟效益分析，均以參與者之角度進行評估。然而決策者考量政策的推行與否，需以整體社會之角度評估政策執行之效益。本研究參考台灣現有「太陽能熱水系統獎勵推廣措施」之執行成果，設定方案執行成本參數。空氣汙染排放所造成的環境外部性成本參考 TEDS7.0 及梁啟源(2005)之研究結果進行估算。敏感度分析之研究，則依據台灣的現況並考量未來可能的發展，如能源價格變動、生產技術的進步等因素，俾進行成本

效益分析之 TRC 檢定。本文之成本效益分析結果，應可作為政府推廣熱泵系統之政策參考。

5.3 後續研究方向與建議

本研究已建立住宅熱泵系統應用之成本效益分析方法，基於目前研究之限制以及研究過程之心得，提出以下建議：

1. 本研究之標的為住宅適用之熱泵熱水系統，熱泵效益發揮之空間有限。未來可考慮以整合空調、熱水之雙生熱泵系統為研究標的，其節能效益的發揮更為可期。
2. 熱泵系統應用對於電力負載之影響評估，尚缺每小時電力供給成本等資訊。建議待相關數據與資料完備後，可將電力負載之影響納入考量。
3. 目前台灣尚未公布熱泵能源效率之標準，有待各家廠商持續送交產品進行檢測做為參考。後續研究可參考國內平均標準及業界最高標準進行估算。
4. TRC 檢定所參考之政府補助名額對於整體方案之淨效益有極大影響，未來研究方向可透過市場需求函數或整體住宅熱水系統市場之滲透率，進一步模擬不同補助名額之情境設定。
5. 本研究 TRC 檢定之成本效益，僅以熱泵系統應用之可貨幣化市場價值進行估算，若考量熱泵系統應用對環境之衝擊影響，亦可採用生命週期評估的方式進行分析。
6. 目前所進行之敏感度分析均假設單一參數改變之情況，未來可考量多項參數之情境設定，做進一步分析與模擬。

國立政治大學 National Chengchi University

中文文獻

1. 工研院，2011，節能標章網站 http://www.energylabel.org.tw/ (accessed on 2011/7/7)

2. 王輔仁、郭清山、蔡明樺、邱文志，2010，運用熱泵熱水系統取代電熱加熱系統之性能量測與驗證分析，中華冷凍空調，40 期，25-33 頁。

3. 中油公司，2010，中油燃料類產品簡介，台灣中油公司網站 http://www.cpc.com.tw/big5/content/index.asp?pno=41 (accessed on 2011/7/8)

4. 中央氣象局，2011，中央氣象局網站 http://www.cwb.gov.tw/V7/ (accessed on 2011/7/7)

5. 台電公司，2011，台灣電力公司 99 年統計年報，台灣電力企劃處編印。

6. 宋炎明，2005，熱泵系統應用於溫室內游泳池之節能分析，國立台北科技大學冷凍空調工程學系碩士論文。

7. 李居芳，2008，臺灣地區家用熱泵熱水裝置性能實驗研究，元智大學機械工程學系碩士論文。

8. 范馥婷，2000，太陽能熱水系統在多層樓建築之應用，淡江大學水資源及環境工程學系碩士論文。

9. 高志宇，2009，太陽能結合熱泵應用於溫水游泳池之佳化分析，國立台北科技大學冷凍與低溫科技研究所碩士論文。

10. 翁志博，2009，台灣發展太陽能加熱系統之環境與經濟效益評估，國立交通大學工學院永續環境科技學程碩士論文。

11. 梁啟源，2005，台灣空氣汙染之社會外部成本與台電公司空汙防治成本效益分析，台電工程月刊，第 681 期，26-39 頁。

12. 許志義、黃國暐，2010，台灣能源需求面管理成本效益分析之應用，中華民國能源經濟學會 99 年學術研討會論文。

13. 張鈺炯、楊錞忠，2006，二氧化碳熱泵技術簡介，冷凍與空調，第 37 期，52-60 頁。

14. 張克勤，2008，太陽能熱水系統補助作業與成效調查研究計畫（第一年度），經濟部能源局。

15. 張克勤，2009，太陽能熱水系統補助作業與成效調查研究計畫（第二年度），

經濟部能源局。

16. 黃秉鈞，2007，我國熱泵發展現況與未來趨勢，中華水電冷凍空調，第 6 期，88-90 頁。

17. 經濟部能源局，2010，中華民國 99 年能源統計手冊，經濟部能源局。

18. 經濟部能源局，2010，中華民國九十九年能源平衡表，經濟部能源局編印。

19. 經濟部能源局，2011，公用天然氣事業管理系統網站 https://web2.moeaboe.gov.tw/npgweb/ (accessed on 2011/7/7)

20. 經濟部能源局，2011，油價資訊管理與分析系統網站 http://www.moeaboe.gov.tw/oil102/ (accessed on 2011/7/7)

21. 綠基會，2006，熱泵熱水系統 Q&A 節能技術手冊，財團法人台灣綠色生產力基金會節約能源中心編印。

22. 綠基會，2007，熱水加熱系統汰換為熱泵系統之節能績效量測與驗證方法(熱泵 M&V 參考範本)，財團法人台灣綠色生產力基金會節約能源中心報告。

23. 廖建順、韋宗楒，2009，小型空調機市場發展趨勢簡介，冷凍空調&能源科技，第 57 期，44-59 頁。

24. 鄭維嶽、韋宗楒，2008，北美洲熱泵市場的概況，中華水電冷凍空調，第 22 期，56-62 頁。

25. 鄭維嶽、廖建順，2008，亞洲和太平洋地區熱泵技術概況，中華冷凍空調，第 24 期，54-63 頁。

26. 鄭維嶽、林師培，2009，歐洲熱泵的現況和趨勢，中華水電冷凍空調，第 26 期，25-35 頁。

27. 盧誌銘、蔡妙姍，2002，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。

28. 環保署，2008，全國性排放清冊 TEDS7.0，行政院環保署編制。

國立政治大學 National Chengchi University

外文文獻

1. AHRI, 2011. Air-Conditioning, Heating, and Refrigeration Institute website http://www.ahrinet.org/central+air+conditioners+and+air_source+heat+pumps+historical+data.aspx (accessed on 2011/7/7)

2. Baylon, D., Strand, S., Davis, B., Robison, D., Kruse, E., 2005. Analysis of Heat Pump Installation Practices and Performance. Heat Pump Working Group.

3. Chen, T.Y., Yu, O.S., 1997. Performance Evaluation of Selected U.S. Utility Commercial Lighting Demand-Side Management Programs. *Energy Engineering*, Volume 94, No.4

4. California Public Utilities Commission 2001. California Standard Practice Manual: Economic Analysis of Demand-Side Management Programs and Projects. CPUC.

5. Canada BC, 2011. Canada British Columbia LiveSmartBC website http://www.livesmartbc.ca/attachments/LiveSmartHomeIncentives14Apr2011.pdf (accessed on 2011/6/22)

6. DECC, 2010. Renewable Heat Incentive. Department of Energy and Climate Change.

7. EIA, 2011. U.S. Energy Information Administration website http://www.eia.gov/cneaf/solar.renewables/page/ghpsurvey/ghpssurvey.html (accessed on 2011/7/7)

8. Energy Star 2011. Energy Star website http://www.energystar.gov/index.cfm?fuseaction=find_a_product.showProductGroup&pgw_code=EP (accessed on 2011/7/7)

9. Forsén, M. Nowak, T., 2009. Outlook 2009 European Heat Pump Statistic. EHPA.

10. Hughes, P.J., 2008. Geothermal (Ground-Source) Heat Pumps: Market Status, Barriers to Adoption, and Actions to Overcome Barriers. ORNL/TM-2008/232. Oak Ridge, TN: Oak Ridge National Laboratory.

11. Hackel, S.P.E., 2009. Ten year update: Emissions and Economic Analysis of Geothermal Heat Pump in Wisconsin. Energy Center of

Wisconsin Report.

12. HPC, 2009. Heat pump market growing fast. *IEA Heat Pump Newsletter.* Volume 27, No.1/2009.

13. HPC, 2011. The Swedish people confirms its love for heat pumps. *IEA Heat Pump Newsletter.* Volume 29. No.2/2011.

14. HPC, 2011. IEA Heat Pump Center website http://www.heatpumpcentre.org/en/aboutheatpumps/howheatpumpsachieveenergysavings/Sidor/default.aspx (accessed on 2011/7/7)

15. JRAIA, 2009. 社団法人日本冷凍空調工業会 website http://www.jraia.or.jp/frameset_p_heatpump.html (accessed on 2011/6/22)

16. Liu, X., 2010. Assessment of National Benefits from Retrofitting Existing Single-Family Homes with Ground Source Heat Pump Systems. Resource for The Future Backgrounder.

17. National Action Plan for Energy Efficiency, 2008. Understanding Cost-Effectiveness of Energy Efficiency Programs: Best Practices, Technical Methods, and Emerging Issues for Policy-Makers. Energy and Environmental Economics. Inc.

18. Nowak, T., 2010. Heat Pump incentive schemes: Experiences from EU Member States. EHPA.

19. SEAI, 2011. Sustainable Energy Authority of Ireland website http://www.seai.ie/Grants/GreenerHomes/ (accessed on 2011/6/22)

20. U.S. DOE, 2011. DOE Energy Efficiency & Renewable Energy website http://www.energysavers.gov/your_home/space_heating_cooling/index.cfm/mytopic=12610 (accessed on 2011/7/7)

國立政治大學 National Chengchi University

國立政治大學
National Chengchi University

附 錄

附表一　基本設定(項目一)電熱替代方案 PCT 檢定結果

分區代碼	NPV(千元)	BCR	DP(年)	節能率(%)*
A-05 南投	1,351,440	1.69	3.17	72.64
A-10 宜蘭	1,219,392	1.65	3.43	73.8
A-01 基隆	1,214,496	1.65	3.45	73.75
A-03 新竹	1,210,482	1.64	3.46	73.54
A-02 台北	1,197,990	1.64	3.48	73.88
A-06 嘉義	1,191,564	1.64	3.50	73.94
A-04 台中	1,180,602	1.63	3.53	73.92
A-11 花蓮	1,175,904	1.63	3.54	74.15
A-07 台南	1,145,718	1.63	3.61	74.68
A-12 台東	1,130,148	1.62	3.65	74.63
A-08 高雄	1,106,046	1.61	3.71	74.86
A-09 屏東	1,093,824	1.60	3.74	74.64

資料來源：本研究整理

*說明：節能率表示以熱泵系統替代現有熱水系統平均每年可節省之能源使用比例

附表二　基本設定(項目一)LPG 瓦斯替代方案 PCT 檢定結果

分區代碼	NPV(千元)	BCR	DP(年)	節能率(%)
B-01 基隆	1,382,904	1.74	4.6	74.68
B-02 台北	1,332,648	1.71	4.68	74.79
B-05 南投	1,261,476	1.64	4.8	73.6
B-11 花蓮	1,186,254	1.64	4.92	75.06
B-03 新竹	1,178,662	1.63	4.93	74.47
B-04 台中	1,108,962	1.60	5.11	74.83
B-12 台東	1,097,982	1.60	5.15	75.52
B-10 宜蘭	1,064,772	1.57	5.27	74.72
B-07 台南	1,009,386	1.55	5.48	75.57
B-08 高雄	1,002,240	1.55	5.51	75.74
B-09 屏東	950,706	1.53	5.72	75.53
B-06 嘉義	924,246	1.50	5.84	74.86

資料來源：本研究整理

附表三　基本設定(項目一)NG 瓦斯替代方案 PCT 檢定結果

分區代碼	NPV(千元)	BCR	DP(年)	節能率(%)
C-05 南投	433,854	1.22	9.15	73.6
C-06 嘉義	384,714	1.21	9.38	74.86
C-07 台南	327,798	1.18	9.64	75.57
C-04 台中	304,542	1.16	9.76	74.83
C-09 屏東	304,632	1.17	9.76	75.53
C-08 高雄	302,994	1.17	9.77	75.74
C-02 台北	266,832	1.14	9.95	74.79
C-01 基隆	264,618	1.14	9.96	74.68
C-03 新竹	185,004	1.10	11.3	74.47

資料來源：本研究整理

附表四　基本設定(項目一)電熱替代方案 TRC 結果

分區代碼	NPV(千元)	BCR	DP(年)
A-05 南投	925,461	1.73	5.42
A-10 宜蘭	809,669	1.64	5.91
A-01 基隆	805,388	1.64	5.93
A-03 新竹	801,864	1.64	5.94
A-02 台北	790,912	1.63	5.99
A-06 嘉義	785,276	1.62	6.02
A-04 台中	775,657	1.61	6.07
A-11 花蓮	771,549	1.61	6.09
A-07 台南	745,074	1.59	6.22
A-12 台東	731,417	1.58	6.29
A-08 高雄	710,289	1.56	6.4
A-09 屏東	699,573	1.55	6.46

資料來源：本研究整理

附表五　基本設定(項目一)LPG 瓦斯替代方案 TRC 檢定結果

分區代碼	NPV(千元)	BCR	DP(年)
B-05 南投	495,587	1.28	9.3
B-10 宜蘭	402,052	1.24	9.69
B-01 基隆	398,295	1.23	9.71

B-03 新竹	394,616	1.23	9.73
B-02 台北	386,479	1.23	9.76
B-06 嘉義	381,933	1.23	9.78
B-04 台中	373,740	1.22	9.82
B-11 花蓮	371,017	1.22	9.83
B-07 台南	350,330	1.21	9.93
B-12 台東	338,609	1.20	9.98
B-08 高雄	321,488	1.19	10.15
B-09 屏東	311,708	1.19	10.27

資料來源：本研究整理

附表六　基本設定(項目一)NG 瓦斯替代方案 TRC 檢定結果

分區代碼	NPV(千元)	BCR	DP(年)
C-05 南投	105,427	1.06	13.65
C-06 嘉義	55,277	1.03	14.37
C-01 基隆	41,204	1.02	14.53
C-03 新竹	37,301	1.02	14.57
C-07 台南	35,271	1.02	14.59
C-02 台北	33,253	1.02	14.62
C-04 台中	24,164	1.01	14.72
C-08 高雄	14,349	1.01	14.83
C-09 屏東	5,925	1.00	14.93

資料來源：本研究整理

附表七　電熱替代方案能效提升敏感度分析(項目四)PCT 檢定結果

電熱替代(南投)	NPV（千元）	BCR	DP（年）
0%	1,351,440	1.69	3.2
5%	1,386,144	1.72	3.1
10%	1,417,698	1.75	3.0
15%	1,446,516	1.77	3.0
20%	1,472,940	1.8	3.0
電熱替代(屏東)	NPV（千元）	BCR	DP（年）
0%	1,093,824	1.6	3.7
5%	1,120,968	1.63	3.7

10%	1,145,664	1.65	3.6
15%	1,168,182	1.67	3.6
20%	1,188,846	1.69	3.5

資料來源：本研究整理

附表八　LPG 瓦斯替代方案能效提升敏感度分析(項目四)PCT 檢定結果

LPG 瓦斯替代（基隆）	NPV（千元）	BCR	DP（年）
0%	1,382,904	1.74	4.6
5%	1,413,378	1.76	4.6
10%	1,441,080	1.79	4.5
15%	1,466,388	1.82	4.5
20%	1,489,572	1.84	4.5
LPG 瓦斯替代（嘉義）	NPV（千元）	BCR	DP（年）
0%	924,246	1.5	5.8
5%	954,049	1.52	5.7
10%	981,140	1.54	5.6
15%	1,005,876	1.56	5.5
20%	1,028,550	1.58	5.4

資料來源：本研究整理

附表九　NG 瓦斯替代方案能效提升敏感度分析(項目四)PCT 檢定結果

NG 瓦斯替代（南投）	NPV（千元）	BCR	DP（年）
0%	433,854	1.22	9.2
5%	468,565	1.24	9
10%	500,122	1.26	8.7
15%	528,935	1.28	8.4
20%	555,347	1.3	8.2
NG 瓦斯替代（新竹）	NPV（千元）	BCR	DP（年）
0%	185,004	1.1	11.3

5%	215,747	1.12	10.7
10%	243,695	1.13	10.2
15%	269,213	1.15	9.9
20%	292,605	1.16	9.8

資料來源：本研究整理

附表十　電熱替代方案-南投分區能效提升敏感度分析(項目四)TRC 檢定結果

分區-南投	NPV（千元）		BCR	DP（年）
0%	925,461		1.73	5.4
5%	955,900		1.76	5.3
10%	983,572		1.78	5.2
15%	1,008,837		1.80	5.1
20%	1,031,997		1.82	5.0
排放減量(公噸)	CO_2	PM_{10}	SOx	NOx
0%	33,875	1.79	18.60	19.25
5%	34,483	1.83	18.93	19.59
10%	35,035	1.86	19.23	19.91
15%	35,540	1.88	19.51	20.19
20%	36,001	1.91	19.76	20.46

資料來源：本研究整理

附表十一　電熱替代方案-屏東分區能效提升敏感度分析(項目四)TRC 檢定結果

分區-屏東	NPV（千元）		BCR	DP（年）
0%	699,573		1.55	6.5
5%	723,378		1.57	6.3
10%	745,019		1.59	6.2
15%	764,777		1.61	6.1
20%	782,890		1.62	6.0
排放減量(公噸)	CO_2	PM_{10}	SOx	NOx
0%	29,367	1.56	16.12	16.69
5%	29,842	1.58	16.38	16.96
10%	30,274	1.60	16.62	17.20

15%	30,668	1.62	16.84	17.43
20%	31,030	1.64	17.03	17.63

資料來源：本研究整理

附表十二　LPG 瓦斯替代方案-南投分區能效提升敏感度分析(項目四)TRC 檢定結果

分區-南投	NPV（千元）		BCR	DP（年）
0%	495,587		1.28	9.3
5%	526,026		1.30	9.2
10%	553,697		1.32	9.1
15%	578,963		1.34	8.9
20%	602,123		1.36	8.8
排放減量(公噸)	CO_2	PM_{10}	SOx	NOx
0%	4,831	-0.16	-3.07	10.25
5%	5,438	-0.12	-2.74	10.59
10%	5,990	-0.09	-2.44	10.91
15%	6,495	-0.07	-2.16	11.19
20%	6,957	-0.04	-1.91	11.46

資料來源：本研究整理

附表十三　LPG 瓦斯替代方案-屏東分區能效提升敏感度分析(項目四)TRC 檢定結果

分區-屏東	NPV（千元）		BCR	DP（年）
0%	311,708		1.19	10.3
5%	335,513		1.21	10.0
10%	357,153		1.22	9.9
15%	376,912		1.24	9.8
20%	395,024		1.25	9.7
排放減量(公噸)	CO_2	PM_{10}	SOx	NOx
0%	4,862	-0.09	-2.16	9.09
5%	5,337	-0.06	-1.90	9.36
10%	5,769	-0.04	-1.66	9.61
15%	6,163	-0.02	-1.45	9.83
20%	6,530	-0.001	-1.25	10.04

資料來源：本研究整理

國立政治大學 National Chengchi University

附表十四　NG 瓦斯替代方案-南投分區能效提升敏感度分析(項目四)TRC 檢定結果

分區-南投	NPV（千元）		BCR	DP（年）
0%	105,427		1.06	13.7
5%	135,865		1.08	13.0
10%	163,537		1.10	12.5
15%	188,802		1.11	12.0
20%	211,962		1.13	11.7
排放減量(公噸)	CO_2	PM_{10}	SOx	NOx
0%	3,645	0.17	-6.93	4.55
5%	4,252	0.20	-6.59	4.90
10%	4,804	0.23	-6.29	5.21
15%	5,309	0.26	-6.01	5.50
20%	5,771	0.28	-5.76	5.76

資料來源：本研究整理

附表十五　NG 瓦斯替代方案-屏東分區能效提升敏感度分析(項目四)TRC 檢定結果

分區-屏東	NPV（千元）		BCR	DP（年）
0%	5,925		1.00	14.9
5%	29,730		1.02	14.7
10%	51,370		1.03	14.4
15%	71,129		1.04	14.2
20%	89,241		1.06	14.0
排放減量(公噸)	CO_2	PM_{10}	SOx	NOx
0%	2,809	0.13	-5.42	3.53
5%	3,284	0.15	-5.16	3.80
10%	3,716	0.18	-4.92	4.05
15%	4,111	0.20	-4.70	4.27
20%	4,472	0.22	-4.50	4.48

資料來源：本研究整理

國立政治大學 National Chengchi University