

# 太陽能光電系統之投資決策評估

## An Evaluation of Investment Decision for Solar Photovoltaic System

葉惠忠<sup>1</sup>

國立高雄科技大學 企業管理系 副教授

hcyeh@nkust.edu.tw

黃珮綾<sup>2</sup>

國立高雄科技大學 企業管理系碩士班 研究生

1106335117@nkust.edu.tw

### 摘要

能源是我們的生活中每天都需要使用的，由於目前各國使用的能源大多為傳統燃煤發電或者核能發電，而燃煤發電容易造成空氣汙染及溫室氣體的產生造成全球氣候異常，核能發電雖無上述問題，但是一旦發生像日本311福島核災的意外，後果不堪設想，因此各國政府紛紛以環保且安全的再生能源做為替代能源，再生能源中以太陽能最為普遍。

本研究以屋頂型太陽能投資方案為例，透過專家訪談找到影響投資太陽能系統之關鍵因素，探討太陽能投資決策之可行性及評估屋頂型太陽能系統之投資效益及其投資的風險，並透過敏感性分析，找出影響投資的敏感性因素，結果顯示建置成本、躉購費率及發電效率都是影響投資者投資的主要因素，藉此提出一套太陽能投資決策流程，以提供未來決策者投資太陽能系統之依據，讓台灣太陽能產業能夠更蓬勃發展。

**關鍵詞：**太陽能、投資決策、可行性分析、財務分析、敏感性分析。

**Keywords:** solar energy、Investment decision、Feasibility Analysis、Financial analysis、Sensitivity analysis

## 1. 緒論

### 1.1 研究背景與動機

在日常生活中決策與我們息息相關，每個人每天都需要做決策，以企業的視角來看，在每一個單位每一個員工都需要做決策，位階越高的員工的決策越具有挑戰性，每一個決策都有可能影響企業的運作。

能源是人類生活的基本需求，使用安全環保的能源是現代社會的需求條件，因此各國發現再生能源的重要性，尋找一個可以替代火力發電且較為環保的能源，是保護地球環境重要課題，因此再生能源被稱為替代能源，有助於減輕對氣候變化的影響。

台灣為海島型島嶼位於亞熱帶地區擁有豐富的再生能源潛力，例如太陽能、生質能、地熱能、水力發電、風力發電、潮汐能、波浪能等等，其中以太陽能最受重視，畢竟水力或風力發電，都要有地理條件配合，但太陽光則幾乎處處可及，其每秒照射到地球的能源大於地球上一天的使用量且資源豐富無污染，政府近年來越來越重視太陽能的發展並以再生能源發展條例為基礎，積極推動相關政策，如太陽光電兩年推動計畫以及綠能屋頂全民參與計畫等等並實施再生能源躉購制度，隨著太陽能技術越來越進步，可預見太陽能光電未來的發展趨勢將越來越有挑戰性、競爭也越來越激烈。

本文預期提出太陽能的投資決策流程，評估台灣設置屋頂型太陽能光電系統之投資效益，並以台灣太陽能的技術、經濟、政策法規、環境與社會四大因素進行可行性分析及透過專案管理中的定性風險分析探討其投資風險，接著進行財務分析及敏感性分析探討其經濟效益及影響效益變動的敏感因素，以提供決策者作為投資設置屋頂型太陽能系統之決策參考，來協助台灣太陽能產業的發展。

### 1.2 研究目的

依據研究背景與動機，本研究探討投資屋頂型太陽能系統之可行性與效益，故本文之研究目的如下：

(一) 提出太陽能投資決策流程。

(二) 透過相關文獻提出影響太陽能投資的可行性因素，建構出太陽能的可行性評估流程。

(三) 評估設置屋頂型太陽能發電系統之投資效益與敏感性分析。

### 1.3 研究對象與範圍

本文以屋頂型太陽能系統作為研究對象，並將屋頂型太陽能系統分為公有建築與私有建築。

### 1.4 研究流程

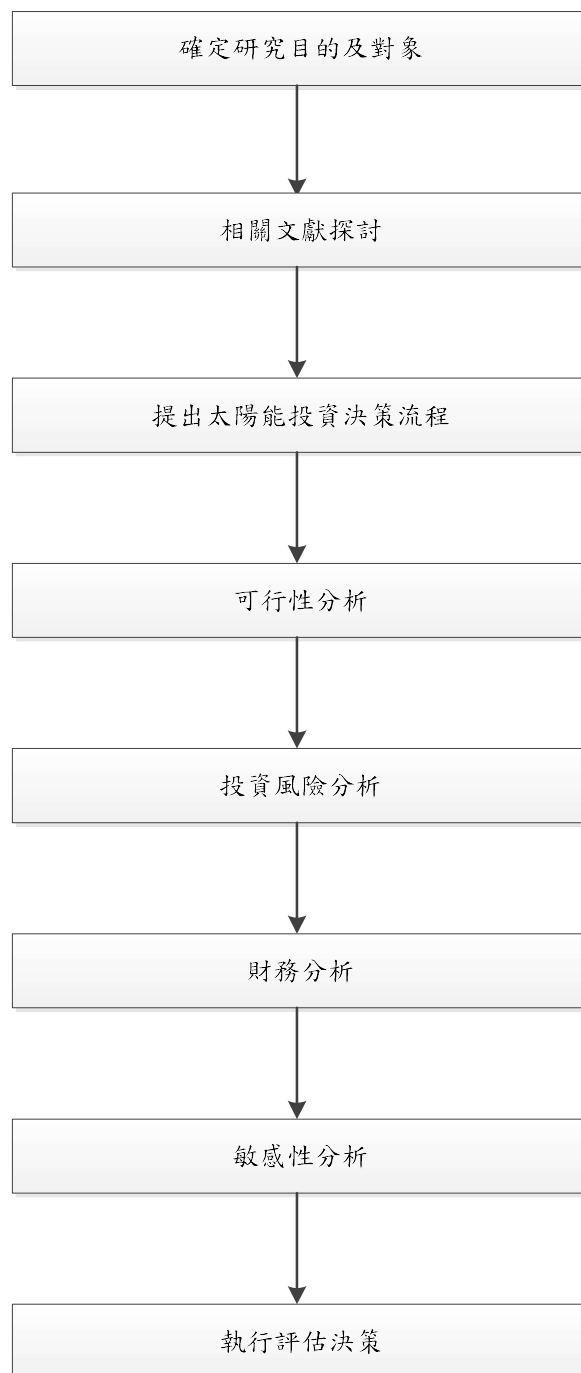


圖 1-1 研究流程圖

## 2.文獻探討

### 2.1 再生能源介紹

#### 2.1.1 再生能源定義

能源，就是動力的來源，能源的種類分成再生能源(renewable energy)與非再生能源兩種(nonrenewable energy)，非再生能源即是所有的化石燃料、鈾 235 核分裂燃料、重氫等等能源，再生能源為來自於自然界且取之不盡，用

之不竭的永久性能源，如太陽能、風能等等，比較不會造成全球暖化及產生較少汙染相較於其他傳統能源較為環保。

### 2.1.2 太陽能介紹

再生能源中以太陽能最普遍，許多能源如風能、水能、波浪能、潮汐能等能源大多與太陽能有關，由於地球上的太陽輻射能量並不平均，溫差造成空氣對流而形成風，風力可以發電，因此在有些國外地區將風力發電視為一種太陽能，由於植物也需要太陽光的照射，因此以植物提煉出的生質能源也是源自太陽能。

表 2-1 再生能源種類

再生能源種類	
太陽能	指由太陽輻射發出的光和熱，分成太陽能光電、太陽能熱能等等。
生質能	指農林植物、沼氣及國內有機廢棄物直接利用或經處理所產生之能源。
地熱能	指源自地表以下蘊含於土壤、岩石、蒸氣或溫泉之能源。
風能	指設置於低潮線以外海域，不超過領海範圍之離岸海域風力發電系統。
水力發電	指利用水圳之自然水量與落差之水力發電系統。

資料來源：經濟部能源局、本研究整理

### 2.1.3 台灣太陽能發電推動現況

台灣位處於北回歸線，日照豐富，近年來致力於推動太陽能的開發與利用，年平均每平方公里每日約有3.1度的日照量，由於每個地區的日照量不同，系統發電量也有所不同，此外每年的降雨量也會影響發電量，水氣較多的地方，日照也相對比較少一些，由於太陽光電系統是靠太陽光來發電，因此發電量跟日照時數成正比。

民國98年通過再生能源發展條例，再生能源透過躉購制度來推動，通過再生能源電能躉購費率審定會，審訂躉購電價計算公式，確保再生能源設置者獲得正當合理的報酬。

#### (一) 經濟部能源局將太陽能的發電系統分為三種：

1. **屋頂型**：屋頂上設置太陽能發電系統，將太陽光能轉換成電能，屋頂型的太陽光電結合生活，是每個人隨處可見的太陽光電系統。
2. **地面型**：主要設置於地面上的太陽能發電系統。
3. **建築整合型**：以建築整合太陽能(BIPV)建築設計手法，使建築物本身變成一個巨大的能量來源。

#### (二) 政府相關計畫

政府於民國98年施行再生能源發展條例後，以安全、環保為願景，積極推動再生能源，並提出許多相關的太陽能方案計畫，提供業者進行投資，於105年10月行政院核定「太陽光電2年推動計畫」，設置目標分為屋頂型與地面型，其中太陽光電累積裝置容量目標為20GW，包括屋頂型設置目標3GW與地面型設置目標17GW，屋頂型設置目標包含中央公有屋頂、工廠屋頂、農業設施與其他屋頂，地面型設置目標則是包含鹽業用地、嚴重地層下陷區域、水域空間、掩埋場等各類型場域。

1. **太陽光電2年推動計畫**：「太陽光電2年推動計畫」以2年為基礎，完成屋頂型910 MW（MW為電量單位，即百萬瓦）及地面型610 MW共1.52 GW太陽光電系統設置量的目標，預期創造投資額達新台幣九百多億元、九千多個就業機會，累積年發電量約19億度。
2. **『綠能屋頂全民參與』方案**：由於屋頂型太陽光電的推動涉及面向較地面型相對單純，設置速度相對較快，為鼓勵產業與住商參與，經濟部在於106年10月經濟部提出了『綠能屋頂全民參與』方案，以民眾零出資，政府零補助為推動原則，由地方政府尋找願意出租的自宅屋頂的民眾，每個區域約五千戶進行篩選，再給太陽能業者競標施作；而廠商需至少將賣電收入之一成，回饋給出租自宅屋頂的民眾，另再撥百分之三給地方政府。
3. **綠能科技產業創新方案**：根據目前全球能源轉型趨勢，台灣政府也提出了綠能科技產業創新方案，以國內環保的再生能源需求為基礎，引進國內外的大型投資增加就業機會，並帶動再生能源的產業發展。

## 2.2 產業投資決策之相關文獻

李悅儀(2011)將創業投資業的投資決策分為以下八個階段：

- (一) 尋找案源
- (二) 投資案的篩選
- (三) 投資案的評估:評估可分為二個階段，內部審核、外部審核
- (四) 提報內部投審會
- (五) 投資協議階段
- (六) 投資後活動階段
- (七) 轉導及投資後管理
- (八) 退出階段。

呂筱湘(2014)指出創業家與經營團隊的經營管理能力、創業家與經營團隊的本質與潛力、創業家與經營團隊的因應外部威脅能力、投資案的變現能力、市場性和投資案被併購的潛力等六項重要評估準則，是創業者在動態能力下對與新興產業在做投資評估時的重要評估準則。

在相關的文獻中創業投資評估決策程序大多分為：方案的取得、方案的篩選、可行性分析、投資協議、投資後管理、退出階段。

## 2.3 再生能源投資決策之相關文獻

Afgan & Carvalho (2002)對再生能源項目的多標準評估及其相關標準進行了調查，定義了以下能源指標：能源資源、環境潛力，社會指標和經濟指標。

Aslani (2012)調查了投資者在投資伊朗再生能源項目時所考慮的標準，通過文獻調查和投資者回應考慮的標準包括三個主要類別中的七個標準，即技術，商業和政策以及環境。

Ahmad & Tahar (2014)開發了一種評估模型，優先考慮四種再生能源，包括水電，太陽能，風能和生質能，評估模型基於AHP方法，該模型有四個主要標準和十二個子標準，主要標準為技術、經濟、社會和環境，子標準被指定為成熟度、效率、交付週期、技術成本、作業壽命、資源潛力、上網電價、公眾接受度、創造就業機會、二氧化碳的排放量減少、對環境的影響和土地的要求。

Beliz Ozorhon, Arda Batmaz & Semih Caglaya (2018)指出政策法規，資金可用性和投資成本等經濟標準被認為是再生能源投資決策最重要的因素。

從文獻中分析出，再生能源產業的投資主要分為四種重要因素，技術、經濟、環境、社會，其中以經濟因素中的資金可用性和投資成本為再生能源投資決策過程中的重要因素，這幾個要素可以幫助投資者評估自己的投資能力以及政府根據再生能源的投資需求制定較為適當的政策。

### 2.3.1 太陽能投資決策相關文獻

林明村(2013)指出過去許多太陽能計畫在投資效益上未能成功，故系統建置之維修成本對經濟效益的影響相當重要，而影響發電效率之因素主要為屋頂型太陽能之裝設朝向與形式，包括面板朝向、角度及是否受到遮蔽，而政府之躉購電價水準亦為直接影響效益之主要因子。

陳聖儒(2017)指出台灣地面型太陽能發電系統之投資風險影響程度由高至低排列分別為單位發電效率、系統建置成本、系統維運成本、太陽能系統保險費、太陽能案場租金；投資報酬率的高低取決於投資案場的選址、躉購電價的高低、單位發電效率的多寡、天然風災的控管、太陽模組的轉換效率等因子。

從文獻分析出目前社會、技術、經濟、環境和政治方面是太陽能發展的重要因素，並找出太陽能的投資可行性評估準則。

### 2.3.2 屋頂型太陽能投資效益分析之相關文獻

李桂英(2011)探討養殖漁業的成本和獲利來源，並與太陽能發電獲利的可行性相互比較評估及其經濟效益分析，發現利用三種傳統財務分析方法其結果顯示投資太陽能發電的方案是可行的，且近年來太陽能發電成長速度快，沿

海養殖漁業者須思考未來的生存利基，可考慮轉型設置投資太陽能發電來獲利。

謝文益(2013)指出就財務效益而言，最主要的影響因子為年發電量，而影響發電效率之因素主要為屋頂型太陽能之裝設朝向與形式，包括面板朝向、角度及是否受到遮蔽，而政府之躉購電價水準亦為直接影響效益之主要因子，顯示年發電量只要稍微的變動一下就會影響到投資個案的損益，所以，如何降低期初投資成本與提高發電量，是整個投資個案效益的關鍵。

從相關文獻整理出屋頂型太陽能系統需考量的因素如下：

#### **(一)公有建築：**

##### **1. 建築物條件**

- (1) 建築類型：申請設置屋頂型太陽能系統是否許可。
- (2) 建築結構現況：房屋是否老舊，結構是否堅固。

##### **2. 氣候條件**

- (1) 日照時數：白天的日照時數是否能夠提供足夠的電能。
- (2) 地理位置：建築物所在的位置是否被遮蔽。

##### **3. 管理維護**

- (1) 維護成本：由於設置屋頂型太陽能系統需要有經費做保養，因此維護的成本相當重要。
- (2) 維護人力：需有人力定期的檢查設備。

#### **(二)私有建築：**

##### **1. 技術條件：**

- (1) 安全性：在屋頂施工時是否安全是設置屋頂型太陽能的重要課題。
- (2) 資源可用性：屋頂型太陽能系統所產生的電能如何利用。

##### **2. 經濟條件**

- (1) 設置成本：設置太陽能板產生的費用成本。
- (2) 風險性：投資設置太陽能板導致損失的可能性。

##### **3. 社會條件**

- (1) 屋頂產權問題：有些建築的產權可能會有爭議，因此設置時產權需要清楚。
- (2) 違章建築：違章建築需不影響公共安全才可設置屋頂型太陽能系統。

#### **2.3.3 屋頂型太陽能法令與政策**

1. 再生能源發展條例:立法的目的在於推廣再生能源的利用，改善環境品質，達到節能減碳的目標，並且帶動相關產業的發展。
2. 電業法:電業法立法目的在於有效管理國家電力資源、調節電力供需，推動能源轉型、降低排碳量。
3. 躉購的推動機制:我國以躉購制度(FIT)為核心，用固定費率收購再生能源，並提供設置補助增加經濟誘因、保障再生能源發展，此固定電價收購的補貼政策的做法為對再生能源得設置者提出符合利益的獎勵，由經營電網的業者躉購再生能源。

表2-2 108年太陽光電躉購費率

再生能源類別	分類	裝置容量級距	第一期上限費率(元/度)	第二期上限費率(元/度)	
太陽光電	屋頂型	1瓩以上未達20瓩	5.7983	5.7983	
		20瓩以上未達100瓩	4.5925	4.5083	
		100瓩以上未達500瓩	4.3175	4.2355	
		500瓩以上	無併聯電業特高壓供電線路	4.2313	4.1579
			有併聯電業特高壓供電線路	4.6902	4.6168
		地面型	1瓩以上	無併聯電業特高壓供電線路	4.1094
	有併聯電業特高壓供電線路			4.5560	4.4846
	水面型(浮力式)	1瓩以上	無併聯電業特高壓供電線路	4.5016	4.4324
有併聯電業特高壓供電線路			4.9345	4.8652	

資料來源:經濟部能源局(2019)

## 2.4 決策分析方法

### 2.4.1 層級分析法

1971年 Thomas L. Saaty所發展出來，主要應用在不確定情況下和具有多數個評估準則的決策問題上，結合了定量與定性變量，層級分析法的應用範圍廣泛，經濟、社會等決策問題，都可使用層級架構的特性層層分析作為決策參考。

陳智賢(2018)採用層級分析法(AHP)協助選擇FDIR電力轉供方案，並確認可做出符合需求的轉供方案決策，並根據選擇策略定義七種權重組合，以實際案例比較各種故障區間內的效能。

### 2.4.2 決策樹

決策樹用來輔助決策是一種像樹一樣的模型的決策工具，在決策分析中，能幫助確定一個最可能達到目標的策略，由一個決策圖和可能的結果組成，創造達成目標的規劃。

洪郡伶(2017)指出在考慮市場需求和需求期間的不確定性的情況下，蒐集決策者認為的投資關鍵因子，並採用層次分析法(AHP)評估策略的權重，再搭配投資方案的情景規劃和決策樹(DTA)計算產品的實際成本，以決定最佳的投資方案。

### 2.4.3 財務決策

財務決策是對財務方案進行決策的過程，目的在於選擇一個可行的財務方案，實行一個可行的財務方案可以獲得效益，完成財務管理的目標，對於財務決策來說，決策的目的是如何使目標達到效益最大化。

## 3.研究方法

### 3.1 專家訪談

專家訪談是藉由面對面的交談，藉以了解研究對象的經驗及看法，利用長時間的訪談，得到所需資料，本文蒐集許多太陽能相關資料，其中需要許多專家的意見來進行比較得知他們的看法，所以本文的研究方法是蒐集相關資料以及訪談太陽能光電產業業者及台電相關人員，希望能透過訪談了解影響屋頂型太陽能投資的重要因素，另也了解太陽能光電業者對屋頂型太陽能投資之看法，藉以修正太陽能之投資決策流程。

#### 1.訪談大綱設計

訪談大綱為研究者於訪談時與研究對象談話的主要內容重點，在訪談中本研究透過開放式的問答，讓受訪者依照自己的經驗、觀點來陳述自己的看法，為確保收集的訪談資料符合研究目的，在進行訪談前先閱讀相關文獻報導，設計一份符合研究目的之訪談大綱，在正式訪談前以電子郵件寄給受訪者，經由受訪者提供相關看法並進行修正後進行訪談。

#### 2.資料分析方法

本文在進行專家訪談之後，將訪談的內容轉化成文字稿，並了解案場可能發生的問題，並依照相關文獻所找到的政策與法規因素、環境與社會因素、技術因素、經濟因素四大類建立可行性評估模式進行可行性分析，提出太陽能投資決策流程，並透過業者提供之實際投資方案將此流程套入分析該投資方案是否可行且有收益，藉以了解及驗證此太陽能投資決策流程的正確性。

### 3.2 太陽能投資可行性分析

本文根據文獻資料將太陽能投資可行性評估準則分為政策與法規因素、環境與社會因素、技術因素、經濟因素四大類16個評估準則：

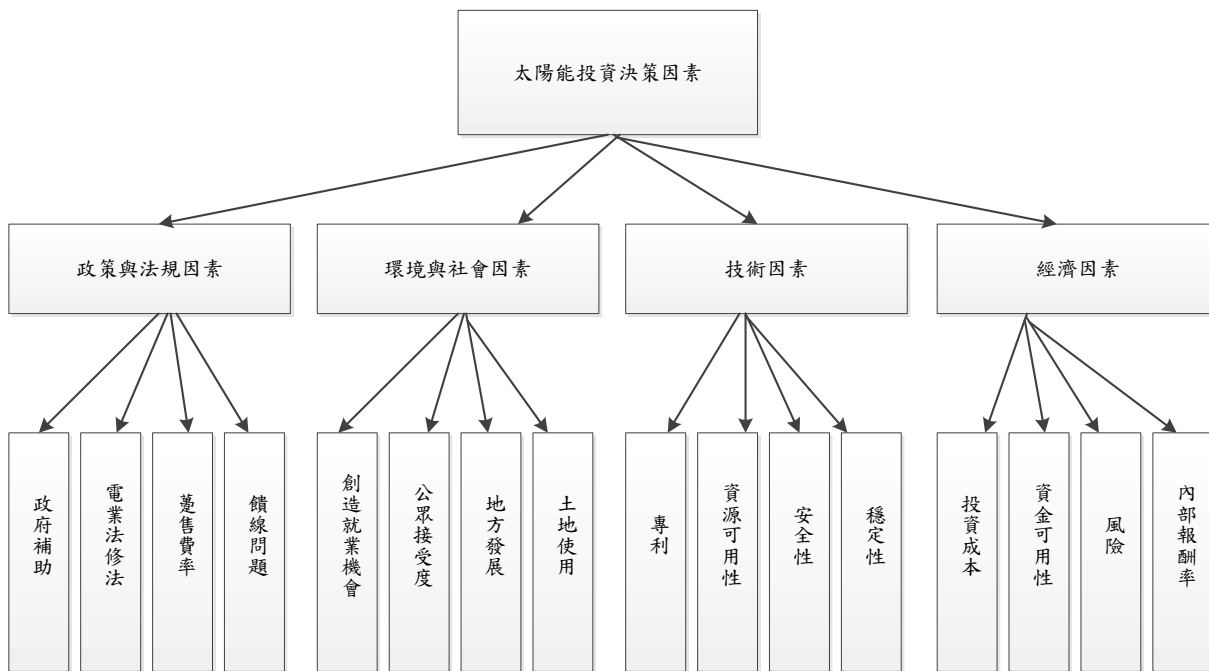


圖 3-1 太陽能投資可行性評估模式

### 3.3 投資風險分析

投資風險指的是對未來投資收益的不確定性，在投資中可能會損失風險，投資者需要根據自己的投資目標選擇工具，本文以專案管理中的定性分險分析來分析投資太陽能的風險。

本研究根據訪談提出的風險，辨認其可能發生的機率與衝擊，根據風險高低將機率與風險進行配分，接著將分數相乘算出風險優先數進行重要性排序，來決定這個風險需要用什麼策略來回應和預防這個風險。

表3-1 風險機率尺度表

發生機率	可能的發生率	配分
非常高：幾乎確定發生	$\geq 2/3$	10
高度：有可能重複發生	$\geq 1/2$	8
中部：偶爾發生	$\geq 1/10$	6
低度：很少發生	$\geq 1/100$	4
微小：幾乎不可能發生	$\leq 1/1000$	2

表3-2 風險衝擊尺度表

影響	影響的嚴重性	配分
致命的	在有預警的情況下，專案受到衝擊，有可能因此取消	9
高	對專案時程、成本或品質有顯著的衝擊，有可能造成時程的延遲，成本超支	7
中	對專案時程、成本或品質有一些影響	5
低	對專案時程/成本會有小影響	3
微小	幾乎沒有影響	1

### 3.4 投資效益評估方法

投資最重要的就是以最小成本獲得最大的利益，因此在投資方案中投資效益評估是非常重要的，進行投資決策的時候，以投資決策準則來探討計畫是否值得投資，由於目前企業投資評估方法多利用財務管理相關概念，如淨現值法( Net Present Value )，內部報酬率法( Internal Rate of Return )以及回收期間法分析( Payback Period )，透過這些方法，探討方案的投資效益，讓決策者評估方案之投資效益，以降低投資的錯誤率，接著透過敏感性分析從許多因素中找對投資方案經濟效益有影響的敏感性因素，並分析該因素的影響程度和敏感性程度，進而判斷項目承受風險的一種分析方法，敏感性分析有助於確定哪些風險對投資方案具有最大的影響。

## 4. 資料分析

### 4.1 專家訪談結果

#### 1. 業者

##### 太陽光電產業業者介紹:

**業者 A:**在太陽能方面具有豐富的實務經驗，積極推廣屋頂型太陽能的設置，增加綠色能源的使用，藉以達到節能減碳的效果。

**業者 B:**負責太陽光電設置與能源管理，努力發展再生能源與執行節能減碳，讓太陽光電更普遍，使再生能源能發展其最大效益。

**業者 C:**提供案場規劃及太陽能設計方案，提供客製化的太陽能系統解決方案。

**業者 D:**協助上中下游相關廠商評估及開發太陽能設置案場，並極力使不利耕作地及鹽業用地成為台灣發展太陽光電的重要根據地。

業者通常都希望投資能夠有最低的成本，最高的效益，若這個投資有正面的回收就會增加投資者的意願；政府的補助政策也會影響業者投資的意願，政府在制定政策的時候應該要先跟能源局及地方縣市政府做溝通提升政策執行的穩定度，以免訂定的政策和實際執行差異太大，讓投資者失去信心。

#### 2. 台電

##### 台電專業人員介紹:

**配電處:**主要負責網路端的部分，針對一般家庭、小規模案場，初期發展由配電開始。

**系統規劃處:**主要負責太陽能系統併網及規劃輸電等級的業務，不單是太陽能併網，也有用戶供電案那種，輸電在系統規劃處，屬於電壓等級較高的規劃。

**再生能源處:**主要處理再生能源相關業務。

目前政府積極推廣再生能源，但是如何讓民眾更安全、更有效率的使用能源、提升供電的穩定性並且達到節能減碳的目標，設置太陽能案場時需要的饋線都是台電的任務，但是每一個人都在地球上過生活，台電要達到這些目標，也需要每一個人的配合才能完成。

根據訪談結果顯示政策執行的穩定度、安裝環境、日照、發電效率、建置成本等等都是投資太陽能的關鍵因素。

### 3. 可行性分析

#### 政策與法規:

太陽能是一個環保無污染的能源，政府希望人們去使用，但是太陽能的發電成本比化石燃料的發電成本高，一般民眾不接受，基於此原因，政府需要去補助太陽光電，而現今政府的補助主要是以 FIT 為主，地方政府為鼓勵設置太陽光電，也進行一些設備的補助，台灣屬於法令政策執行較穩定的地區，會加強業者投資意願。

#### 環境與社會:

太陽能在正常使用下不會有污染，太陽能廠商都取得無毒的證明，並在表面上用玻璃夾起來，讓他有自淨的功能，讓灰塵不易年在表面，約 1-2 個月用清水清洗即可。

投資太陽能能提供非常多就業機會，由於台灣太陽能從上游到下游都能 100%台灣製造，在台灣大規模電廠設



置的過程中會創造商機，像是太陽能系統施工的部分根據太陽光電系統統計約有 2 萬人，電廠蓋完之後 20 的過程之中還是會有一定的工作機會。

#### 技術:

台電和民間業者都在想辦法提高太陽能的發電與轉換效率，降低模組的成本，讓太陽能發電更穩定、更安全，現在很多電廠都往智慧化，透過智慧化可以隨時監控電廠狀況提出報告，隨時做維護維修，省時有效率，這是目前最新的技術發展，發電效率提高，模組成本下降，跟智慧化有很大的關係。

#### 經濟:

投資一定會有風險，天災人禍及政府的政策都是風險，由於一簽訂就是 20 年，合約都是以當時的情況做規範，一般會考慮的就是天災，天災可以買保險加以控管，而建置費用的高低，若太貴就會影響投資者的意願。

### 4.2 投資風險分析

#### 4.2.1 風險辨識

根據專家訪談的結果，投資屋頂型太陽能最主要的幾個風險如下:

1. **天災風險:**颱風容易將太陽能板吹走造成損壞故障，導致電站停止發電。
2. **維運風險:**通常是安全性的問題，像是配電饋線的問題，超過基準電壓將影響用戶安全，系統基礎結構強度可能降低，傳統變流器會因太陽光多寡，造成電壓上上下下而供電品質不良。
3. **建置風險:**在建置期間若補助政策改變，且政策修正會引起整個產業鏈的變化，會增加資本投入的不確定性，而停止對台灣投資，或是躉購費率降低，加上每個地方政府的解釋不同，導致電站無法設置，需要付出很大的成本。
4. **變更風險:**若是屋頂易主，突然哪一天不租了。

#### 4.2.2 定性風險分析

根據專家訪談內容來評估業者提供之屋頂型太陽能投資方案，其風險的發生機率及影響，結果如下:

表4-1風險優先數排序結果表

風險類型	發生機率	影響	風險優先數	排序
天災風險	10	9	90	1
維運風險	6	7	42	3
建置風險	8	9	72	2
變更風險	4	3	12	4

根據定性風險分析所計算出的風險優先數進行排序，天災風險屬於高度風險，維運及建置風險屬於中度風險，變更風險屬於低度風險。

#### 4.2.3 風險回應分析

##### 1. 天災方面:

屋頂型太陽能系統影響最大的就是風災所造成的系統故障，首先要先了解設置案場的地理環境，進行太陽能板的平均風壓15級防風測試，並要求結構要耐風42.5公尺/秒，選用可靠度較高之產品，加強基礎結構之強度。

當平均風壓超過15級風時，增加防鬆脫螺絲及在迎風面增加破風網或浪板，降低強風的侵襲；最後在發電設備可以加保設備保險約為電費收入的5%，來降低意外損失的風險。

##### 2. 維運方面:

主要關於系統整體的安全性，首先需要找到過去信譽優良且服務嚴謹快速的系統商，並選用可營運20年之系統材料及耐酸鹼、耐腐蝕之產品。

設置完成在電站建置遠端監控，有問題時可隨時處理，並且加強保養及清洗達到發電最佳化；關於配電饋線問題，台電方面導入具有自主調控功能的智慧變流器，保障供電安全提升併網容量，業者則是請專業的結構技師及機電技師來做簽證確認系統安全性沒有問題。

##### 3. 系統建置方面:

由於政府的補助政策的訂定和實際執行的會有些差異，因此要先了解補助政策如何執行，躉購費率越高業者願意加速投入，因此在系統建置之前，簽訂合約將內容清楚登載，以免影響投資者權力。

太陽能整體系統結構保固20年，太陽能板發電保證25年，逆變器保固10年，在這20年中需要一定的維護跟保養，其餘損壞時及時更換。

#### 4.變更方面:

這方面投資者的權益，簽訂的合約不會因此而失效，要預防這類風險，首先出租人在賣掉屋頂之前須告訴新買主相關事宜，宣示物權及產權，確保投資者權益，並在投資前須做相關的確認並簽訂合約，合約要登載清楚及規範。

#### 小結:

由於每一個人都無法預估天災所造成的影響有多大，且建商設置太陽能板的經驗若是缺乏，有可能造成很大的危險，且有一天政府若不再補助，會有成本上的問題，從以上來看投資太陽能造成的風險主要以安全性和政府政策為大宗，因此在投資設置太陽能板時，需要謹慎評估才可執行。

### 4.3 投資方案評估

本文以業者提供之實際設置之投資方案進行財務評估，以回收建置成本的時間及收益來決定是否能投資，其主要評估標準為回收期間法。

#### (一) 案場A:

此案場為雲林縣，建物座向為東西向(理論上模組為至朝正南方可得最佳日照角，但實務上僅能依建築物實際做向來設置，而模組角度影響平均日照不大)之工廠屋頂(工廠設計以斜面平鋪為主)，屋頂以鐵皮斜屋頂及RC屋頂為主要架構，屋齡約10-15年，斜屋頂東方排氣孔有粉塵污染的疑慮(約1-2個月用清水清洗)，建物中間有太子樓造成遮蔭的問題(設計時盡可能直接避開)，此案場為非鹽害環境，根據氣象局相關資料顯示該地區之平均風速為32.5m/s(結構可耐風42.5m/s，故沒有疑慮)，以屋頂架構之型式不同而有不同之設置型式，鐵皮斜屋頂以斜面平鋪式為設置型式(不管任何支撐架形式都必須考慮氣候因素，此類型屋頂一般以鋁擠型和鎂鋁型鋼來解決氣候問題)而RC屋頂以RC基樁式為設置型式，配置容量約620KW，案場平均發電3.5小時(以附近案場之年平均值做計算)，並以108年度第二期躉購電價4.1579元/度做計算。

#### 1.相關前置作業評估

2017年於雲林沿海增加3個變電所增加饋線容量，而此建物中有太子樓需要避開，增加發電量，並請施作廠商做遮蔭的模擬。

一般RC屋頂約可使用50-60年以上，鐵皮屋頂部分則需再補強，此案場屋齡10-15年尚可使用很久。

#### 2.確認投資關鍵因素

有誘因的躉購費率、台灣政府法令政策穩定、技術更新快速、成本降低都是投資的重要關鍵因素。

#### 3.可行性分析

2018年雲林縣政府通過《太陽光電設施管理自治條例》規定太陽能板不得用清潔劑清洗，此案場的斜屋頂有粉塵污染疑慮，需用清水清洗，屋頂結構都有結構技師來做評估。

#### 4.案場設計

建置成本:620KW\*42,000NTD/KW=26,040,000元

預計設置容量:620KW

案場平均發電:3.5小時/天

預估年平均發電量:620KW\*365天\*3.5小時/天=792,050(度)

預估年售電收益:792,050(度)\*4.1579元/度=3,293,264.695元

以108年度第二期躉購價格每度電4.1579元，保證收購20年做計算

每年維護費用約為售電收入10%:6,586,529.4(元)/20(年)=329,326.47元/年

每年租金費用約為售電收入12%： $7,903,835.3(\text{元})/20(\text{年})=395,191.765\text{元}/\text{年}$

預估每年淨收益：預估年售電收益-預估每年維護費用-預估每年租金費用 $3,293,264.695(\text{元})-329,326.47(\text{元})-395,191.765(\text{元})=2,568,746.46(\text{元})$

折現率從台灣證交所選取2009年-2019年政府公債票面利率平均值1.326%。

根據三種傳統財務方法計算出投資案場A的計畫10.96年可回收，淨現值\$18,827,714元，內部報酬率為7.59%大於1.326%，投資計畫可行。

## 5.評估風險

設置太陽能板最怕的就是強風，該地區平均風速32.5m/s，正常來講結構可耐風42.5m/s，若超過需增加固定支架及螺絲，降低強風侵襲，支撐架系統分為三種H型鋼架高型、方管型鋼架高型、鐵皮屋頂直鋪型，無論何種支撐架型式都需考慮氣候因素，H型鋼架高型較為堅固但成本較高，而方管型若再加強也可抵抗颱風侵襲，但風險比H型鋼架高型高，鐵皮直鋪型成本較低，而整體系統的安全性對於電站的設置非常重要，需要結構技師及機電技師來確認評估系統安全性，並加強保養。

### (二) 案場B:

此案場為台東縣，建物座向為東西向(理論上模組為至朝正南方可得最佳日照角，但實務上僅能依建築物實際做向來設置，而模組角度影響平均日照不大)之大樓屋頂(住宅設計以架高為主)，屋頂架構以RC屋頂為主要架構(為考慮成本問題經評估後以方型鋼管做支撐)，屋齡約10年，周圍空曠無工廠，沒有粉塵污染的疑慮，也沒有遮蔭的問題，此案場為非鹽害環境，根據氣象局相關資料，該地區平均最大風速約為37.5m/s(結構可耐風42.5m/s，故沒有疑慮)，設置形式以RC基樁式為主，配置容量約99.6KW，案場平均發電2.77小時(以附近案場之年平均值做計算)，以108年度第一期躉購電價4.5925元/度做計算。

#### 1.相關前置作業評估

一般RC屋頂可使用50-60年，此案場屋齡約10年，尚可持續使用，且周圍空曠沒有遮蔭問題，台東縣政府將饋線進行升級，故在饋線及遮蔭方面沒有疑慮，不會影響發電量，台東縣政府提到只要是合法私有建築物就可以申請補助，每戶最多可補助30萬元。

#### 2.確認投資關鍵因素

有誘因的躉購費率、台灣政府法令政策穩定、技術更新快速、成本降低都是投資的重要關鍵因素。

#### 3.可行性分析

此案場設置形式以RC基樁式為主，無粉塵污染的疑慮，且周圍空曠無工廠，沒有遮蔭的問題，屋頂結構為RC屋頂在施工時需注意不要破壞防水層造成漏水，須通過結構技師的評估確認。

#### 4.案場設計

預估建置成本： $99.6\text{KW} \times 43,500\text{NTD}/\text{KW}=4,332,600\text{元}$

預計設置容量：99.6KW

案場平均發電：2.77小時/天

預估年平均發電量： $99.6\text{KW} \times 365\text{天} \times 2.77\text{小時}/\text{天}=100,700.58(\text{度})$

預估年售電收益： $100,700.58(\text{度}) \times 4.5925\text{元}/\text{度}=462,467.41365\text{元}$

以108年度第一期躉購價格每度電4.5925元，保證收購20年做計算

每年維護費用約為售電收入10%： $924,394.8(\text{元})/20(\text{年})=46,219.74\text{元}/\text{年}$

每年租金費用約為售電收入10%： $924,394.8(\text{元})/20(\text{年})=46,219.74\text{元}/\text{年}$

預估每年淨收益：預估年售電收益-預估每年維護費用-預估每年租金費用

$462,467.41365(\text{元})-46,219.74(\text{元})-46,219.74(\text{元})=370,027.93365(\text{元})$

折現率從台灣證交所選取2009年-2019年政府公債票面利率平均值1.326%。

根據三種傳統財務方法計算出投資案場B的計畫12.81年可回收，淨現值\$2,130,594元，內部報酬率為5.76%大於

1.326%，投資計畫可行。

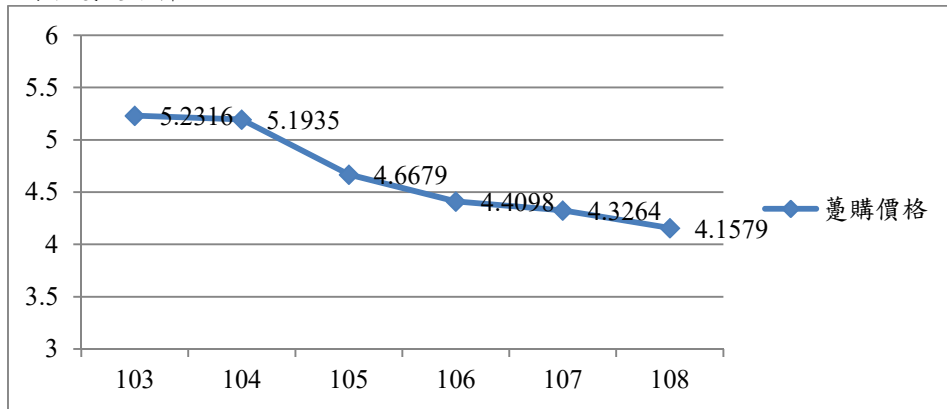
### 5.評估風險

該地區平均風速37.5m/s，較沒有強風的風險，且周圍無工廠，無遮蔭疑慮，維運、及系統建置方面都確認後，可降低風險。

本文利用三種傳統財務方法進行分析，結果顯示案場A跟案場B都是可行的，其中案場A的報酬率較高且回收年限較短，因此業者適合投資案場A較有獲利。

### 4.4 敏感性分析

從專家訪談結果得知，目前建置成本、躉購價格及發電效率的高低將是影響太陽能光電產業業者投資報酬率及投資意願，建置成本會隨著技術進步而逐漸降低，而躉購價格每年都不同，有誘因之躉購價格會吸引投資者投資，太陽能板的發電效率會隨技術進步提高，方案經由投資效益分析後以案場A較為可行且獲利較高回收年限較短，因此本節以案場A來進行敏感度分析。



資料來源:經濟部能源局、本研究整理

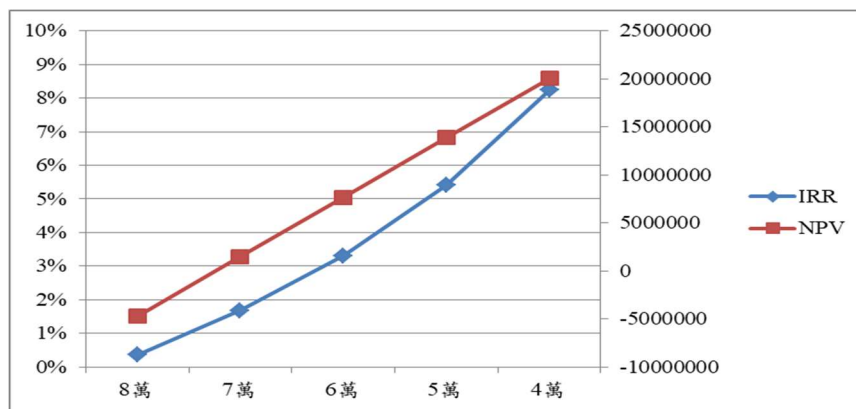
圖 4-1 103-108年躉購價格趨勢圖

由於前2-3年躉購價格差距不大，因此本文以103年躉購價格5.2316元/度與108年躉購價格4.1579元/度，計算案場A裝置容量620KWP，年發電量792050度，發電效率100%的情況下，在不同的建置成本所產生的效益，建置成本(元/KW)會依據案件的實際情形進行調整。

(一) 以108年躉購價格4.1579元/度，利率1.326%，不同建置成本其IRR與NPV結果如下:

表 4-2 108年不同建置成本IRR與NPV結果表

建置成本	8 萬	7 萬	6 萬	5 萬	4 萬
IRR	0.35%	1.68%	3.31%	5.40%	8.24%
NPV	-4,732,286	1,467,714	7,667,714	13,867,714	20,067,714



建置成本(萬元/KW)

圖 4-2 108年不同建置成本IRR與NPV趨勢圖

在躉購價格4.1579元/度的情況下，建置成本若高於8萬元/KW，IRR小於1.326%，方案不可行，若建置成本降低則方案可行。

(二) 以103年躉購價格5.2316元/度，利率1.326%，不同建置成本其IRR與NPV結果如下：

表 4-3 103年不同建置成本IRR與NPV結果表

建置成本	8 萬	7 萬	6 萬	5 萬	4 萬
IRR	3.29%	4.80%	6.67%	9.10%	12.49%
NPV	10,121,897	16,321,897	22,521,897	28,721,897	34,921,897

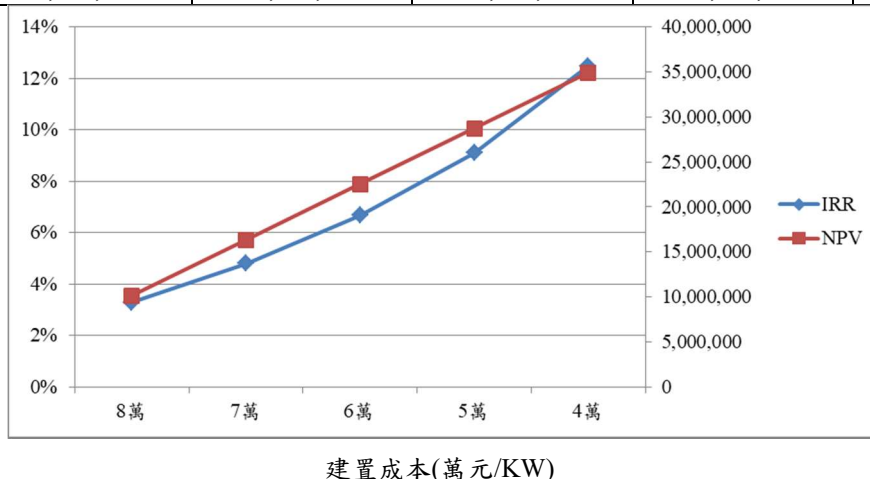


圖 4-3 103年不同建置成本IRR與NPV趨勢圖

在躉購價格5.2316元/度的情況下，建置成本從8萬下降至4萬，淨現值及內部報酬率都有不錯的表現。

(三) 以下以103-108年不同的躉購價格在相同的建置成本及發電效率100%的情況下，探討其IRR與NPV的變化結果如下：

表 4-4 不同躉購價格其IRR與NPV結果表

年度	103	104	105	106	107	108
躉購費率(元/KW)/H	5.2316元	5.1935元	4.6679元	4.4098元	4.3264元	4.1579元
IRR	11.70%	11.57%	9.60%	8.60%	8.26%	7.59%
NPV	33,681,880	33,154,783	25,883,339	22,312,640	21,158,837	18,827,714

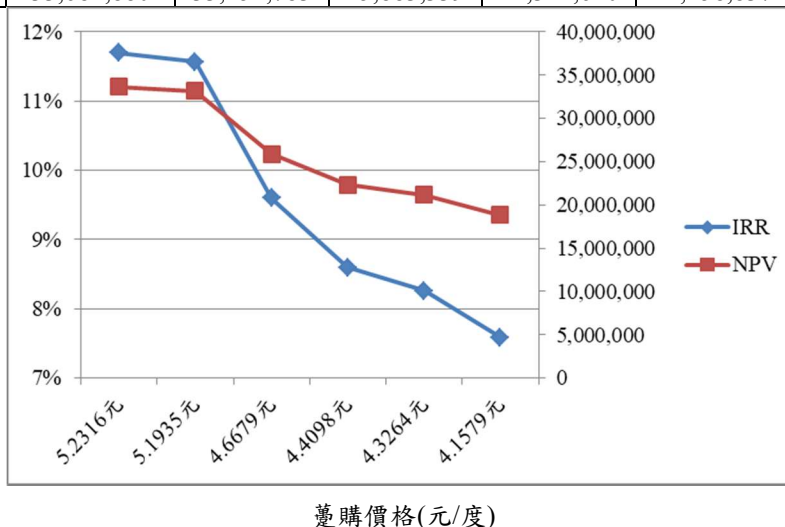
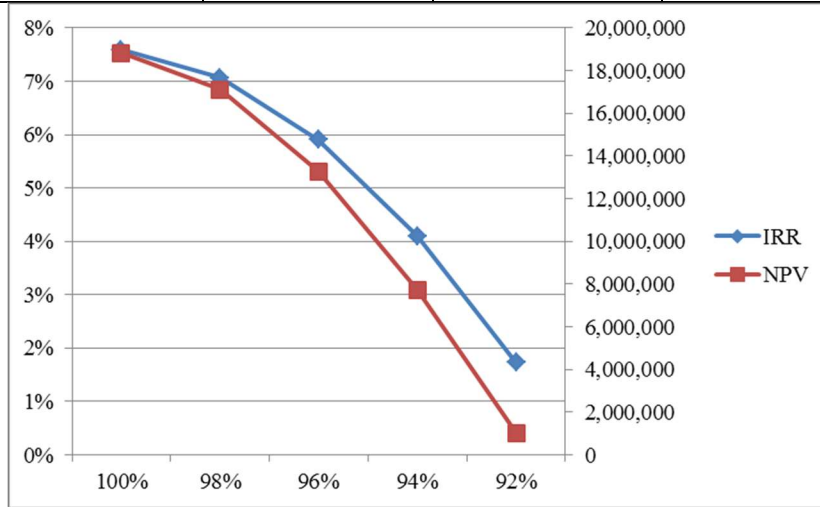


圖 4-4 不同躉購價格下IRR與NPV趨勢圖

(四) 除了躉購價格外，直接影響投資效益的因素為太陽能板的發電效率，發電效率會隨著使用時間逐漸降低，以下分別發電效率100%-92%，相同的建置成本及躉購價格來分析其變化，結果如下：

表 4-5 108年不同的發電效率其IRR與NPV結果表

發電效率	100%	98%	96%	94%	92%
IRR	7.59%	7.07%	5.90%	4.10%	1.73%
NPV	18,827,714	17,113,587	13,273,910	7,713,237	1,011,888



發電效率

圖 4-5 108年不同發電效率IRR與NPV趨勢圖

**小結:**

1. 目前影響太陽能投資最主要的因素為政府補助政策，而目前躉購價格逐年下修，政府若持續推動太陽能產業，須重新評估整體太陽能市場，以提升投資者的收益，讓更多的投資者加入投資，讓太陽能產業越來越發揚光大。
2. 由敏感性分析結果得知建置成本、躉購價格及發電效率是影響投資屋頂型太陽能的經濟效益重要因素，若想有較高的經濟效益，須從施工工法、技術及投保保險來做修正對太陽能發電設備所產生的影響。

**5. 結論與建議**

**5.1 研究結論**

由於全球暖化造成氣候異常且空氣品質不佳加上環保意識的提升，因此政府致力於推廣再生能源，並希望未來再生能源發電比率可以佔總電量 20%，目前台灣再生能源為太陽光電最為普遍，其中以南部地區的條件最好，政府提出相關政策吸引投資者投資，為了解決投資方案評估的決策問題，以幫助決策者做出正確的投資決策，因此本文建構一個太陽能的投資決策流程，讓投資者在投資時可以參考，達到最大的投資效益。

以屋頂型太陽能方案為例，首先透過有設置經驗者的意見進行相關前置作業評估，接者透過閱讀歷史資料確定太陽能投資的關鍵因素，進行可行性分析，若不可行再進行修正，修正後提交可行性報告，此案場投資可行後，利用三種財務分析方法進行投資效益分析及評估風險，並成立專案小組和負責人來進行投資決策，評估方案優先順序，接著進行案場設計，並給予相關技師進行審查，若審查未通過則再重新修正案場設計，當所有的評估作業都確認可行後簽訂相關合約，該案場即可投資設置太陽能光電系統。

- (1) **經驗者訪談/閱讀歷史資料:**在投資建置屋頂型太陽能案場前，先訪談有設置經驗之相關人士，聽取他們的設置經驗及在設置上發生的相關問題，如:饋線、遮蔭、發電量，及閱讀歷史資料後將投資太陽能關鍵因素分為政策法令、環境與社會、技術、經濟。
- (2) **相關前置作業評估:**饋線評估、遮蔭問題、發電量多寡。
- (3) **確認投資關鍵因素:**再生能源發展條例、FIT 評估、技術發展。
- (4) **現場勘查:**周圍環境評估、可行性評估、屋頂結構評估。
- (5) **投資效益分析:**利用三種財務分析方法來分析方案的投資效益。

(6)評估風險:天災、維運、建置、變更。

(7)案場設計:合約修訂、確認設置容量、系統設計。

(8)修正與審查:案場設計需要透過相關技師進行審查及修正，所有步驟完成後即進行設置。

(9)執行:簽訂地主租地合約和採購合約、台電申請併聯、能源局申請備案、簽訂售電合約、地方政府免雜照申請及相關文件申請、辦理躉售電能。

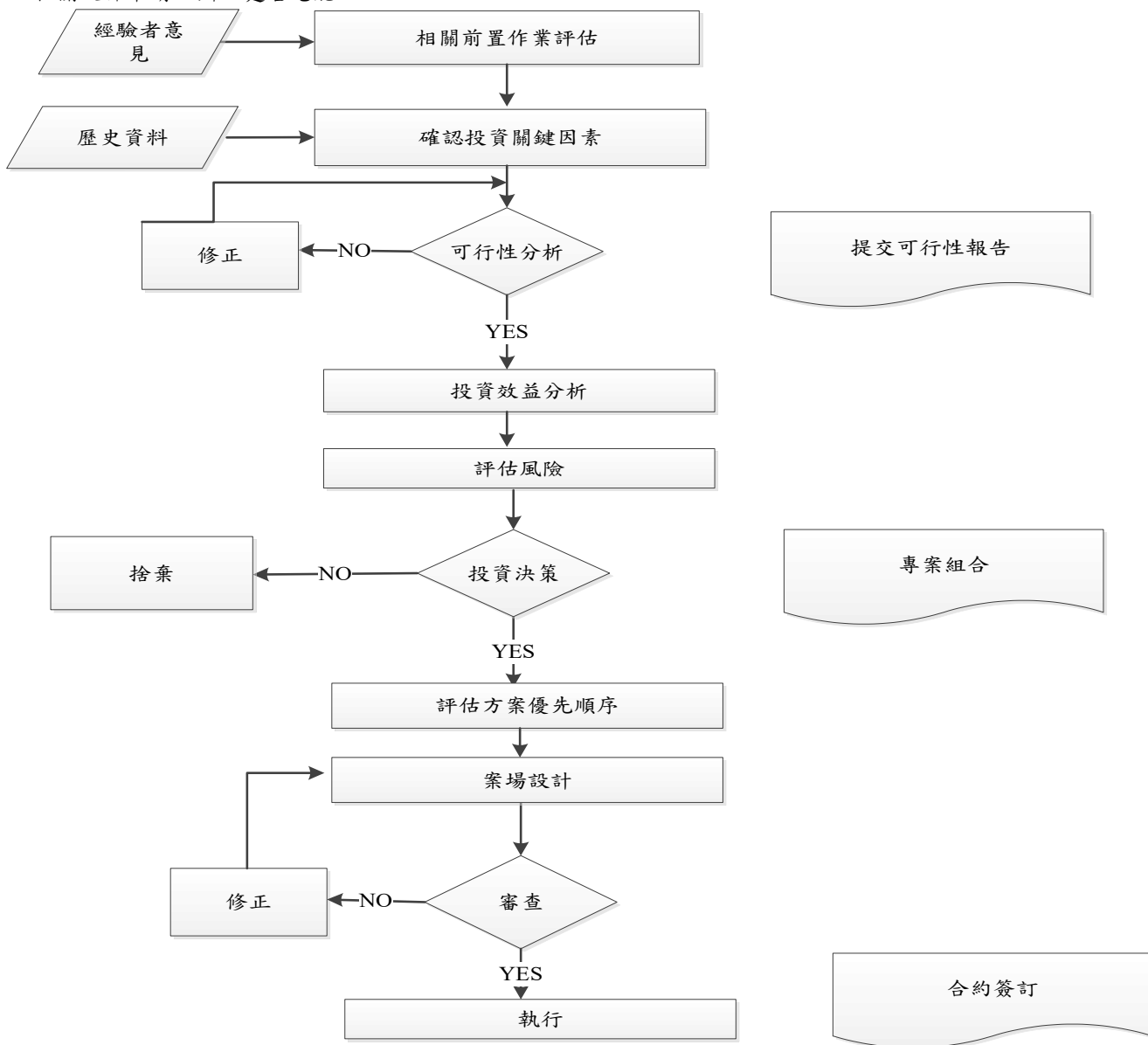


圖 5-1 太陽能投資決策流程

## 5.2 研究限制

由於太陽能發電有很多種形式，像是屋頂型、地面型、水面型等等，每一種的成本、躉售價格、風險等等都不同，本文僅以屋頂型為例來做評估，而屋頂型的形式又分為工廠、住家、大樓等等，因此無法將每一種形式的太陽能都一探討，提出的流程對某些形式較不適合。

目前太陽能的建置成本還很高，躉購費率逐漸降低，未來太陽能技術發展越來越成熟，可降低成本，因此投資效益仍具有不確定性。

## 5.3 未來研究建議

在太陽能的投資決策的部分，本文只對屋頂型太陽能進行討論，並未針對其他類型的太陽能系統來探討，像是地面型、水面型、漁電共生等等，因此建議未來研究者可以進一步往這方面探討，使太陽能之投資決策流程更為完整。

本文以蒐集相關資料以及訪談太陽能光電產業業者及台電相關人員，來作為太陽能投資因素依據，由於訪談的對象有限，因此建議後續研究可以訪談之後再進行專家問卷調查，建立層級架構，運用層級分析法計算出投資因素之權重，比較各類專家對太陽能投資方案決策重要因素的看法差異，讓太陽能投資因素更正確，讓投資決策評估更深入。

## 6. 參考文獻

### 6.1 中文文獻

1. 不要核電、又不要燃煤的台灣，電力從「屋頂」來夠嗎？（民 106 年 12 月 17 日）。關鍵評論。民 107 年 10 月 11 日。取自：<https://www.thenewslens.com/article/81974>
2. 太陽光電單一服務窗口。民 107 年 10 月 11 日。取自：<http://www.mrpv.org.tw/#>
3. 尹俞歡（民 105 年 5 月 3 日）。太陽能發電有「線」阱！有光有地有電沒饋線送不出來。風傳媒。民 107 年 10 月 11 日。取自：<https://www.storm.mg/article/112472>
4. 再生能源發展條例（民 98）。
5. 呂筱湘(2014)。以動態能力理論探討創業者對新興產業之投資評估準則，國立交通大學管理學院(經營管理學程)碩士班碩士論文。
6. 李仟萬（2017）。國際專案管理知識體系 3.0，第一版。台灣專案管理學會。
7. 李悅儀（2011）。創投業投資案篩選因素的研究-以資訊科技產業及生技產業為例，國立成功大學高階管理碩士在職專班碩士論文。
8. 李桂英（2011）。「養水種電」發電模式之研究-以屏東地區養殖漁業為例，國立高雄應用科技大學企業管理系高階經營管理研究所碩士論文。
9. 林明志（2016）。太陽能發電系統，國立彰化師範大學電機工程學系。下載自：  
[http://blog.ncue.edu.tw/sys/lib/read\\_attach.php?id=18684](http://blog.ncue.edu.tw/sys/lib/read_attach.php?id=18684)
10. 林明村（2013）。建置太陽光電發電系統結合銀行融資之投資效益研究，中華大學營建管理學系碩士班碩士論文。
11. 林明村、鄭紹材、余文德（2012）。運用銀行融資方法分析太陽能光電系統之財務可行性，營建管理季刊 101 年秋季號。
12. 林明德（2015）。結合 DEMATEL 與 AHP 探討疏濬工程決策評估因素之研究，國立中興大學環境工程學系在職專班碩士學位論文。
13. 洪郡伶(2017)。整合層次分析法及決策樹於設備投資決策之實證研究，國立清華大學工業工程與工程管理學系碩士在職專班碩士論文。
14. 張譯方（2017）。應用層級分析法(AHP) 探討消費者選擇中華電信 MOD 方案的決策準則，國立中央大學企業管理學系碩士論文。
15. 設置屋頂太陽光電免請領雜項執照處理原則（民 107）。
16. 陳聖儒（2017）。台灣地面型太陽能發電系統之投資效益分析，國立中興大學高階經理人碩士在職專班碩士學位論文。
17. 減碳節能新趨勢屋頂太陽能種電（民 106 年 12 月 22 日）。住展雜誌。民 107 年 10 月 11 日。取自：  
<https://news.cnyes.com/news/id/3996973>
18. 經濟部能源局。民 107 年 10 月 11 日。取自：<https://www.moeaboe.gov.tw/ECW/populace/home/Home.aspx>
19. 電業法（民 106 修正）。
20. 褚志鵬（2009）。層級分析法（AHP）理論與實作。
21. 劉靜達(2003)。投資生物科技產業評估準則之探討，國防大學國防管理學院資源管理研究所碩士學位論文。



22. 鄧振源，曾國雄 (1989)。層級分析法(AHP)的內涵特性與應用 (上)，中國統計學報，27 卷，6 期，頁 5-22。
23. 鄧振源，曾國雄 (1989)。層級分析法(AHP)的內涵特性與應用 (下)，中國統計學報，27 卷，7 期，頁 1-20。
24. 鄭洵 (2016)。既有集合住宅增置屋頂農場可行性評估準則之研究，國立臺北科技大學建築系建築與都市設計碩士班碩士學位論文。
25. 謝文益 (2013)。太陽能光電系統投資成本效益之分析—以台南市陽光電城為例，康寧大學資產管理與城市規劃學系碩士論文。
26. 蘇煥格 (2011)。太陽能板應用於公有建築之效益研究-以圖書館建築為例，國立臺灣大學工學院土木工程學系碩士論文。

## 6.2 英文文獻

1. Alexander, R. K. & Ken'ichi, M. (2018). Investors' perspective on determinants of foreign direct investment in wind and solar energy in developing economies – Review and expert opinions. *Journal of Cleaner Production, Vol 179*, PP. 132-142.
2. Alireza, A., Marja, N. & Behnam, Z. (2012). The prime criteria for private sector participation in renewable energy investment in the Middle East (case study: Iran). *Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol 16(4)*, PP. 1977-1987.
3. Beliz, O., Arda, B. & Semih, C. (2018). Generating a framework to facilitate decision making in renewable energy investments, *Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol 95*, PP. 217-226.
4. Cheuk, W. & Lee, J.Z. (2014). Top down strategy for renewable energy investment: Conceptual framework and implementation, *Renewable Energy, Vol 68*, PP. 761-773.
5. Haralambopoulos, D.A & Polatidis, H. (2003). Renewable energy projects: structuring a multi-criteria group decision-making framework. *Renewable Energy, Vol 28(6)*, PP. 961-973.
6. Eleni, S. & Konstantinos, A. (2016). Decision making in renewable energy investments: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol 55*, PP. 885-898.
7. Fausto, C. & Luigi, C. (2005). A multicriteria approach to evaluate wind energy plants on an Italian island. *Energy Policy, Vol 33(2)*, PP. 235-244.
8. Hassan, Z.A. G. & Anjali, A. (2017). Solar PV power plant site selection using a GIS-AHP based approach with application in Saudi Arabia, *Applied Energy, Vol 206*, PP. 1225-1240.
9. Laxman, P.G. & Yeonbae, K. (2018). An analysis on barriers to renewable energy development in the context of Nepal using AHP, *Renewable Energy, Vol 129*, PP. 446-456.
10. Meryem, T., Mustapha, H. & Mohamed, M. (2015). The evaluation of solar farm locations applying Geographic Information System and Multi-Criteria Decision-Making methods: Case study in southern Morocco. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol 51*, PP. 1354-1362.
11. Naim, H. A. M. & Carvalho, G. (2002). Multi-criteria assessment of new and renewable energy power plants. *Energy, Vol 27(8)*, PP. 739-755.
12. Rolf, W. & Emanuela, M. (2012). Strategic choices for renewable energy investment: Conceptual framework and opportunities for further research, *Energy Policy, Vol 40*, PP. 1-10.
13. Salman, A. & Razman, M. T. (2014). Selection of renewable energy sources for sustainable development of electricity generation system using analytic hierarchy process: A case of Malaysia. *Renewable Energy, Vol 63*, PP. 458-466.
14. Sonal, S., Vijay, N. & Sunil, L. (2017). Solar energy deployment for sustainable future of India: Hybrid SWOC-AHP analysis, *Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol 72*, PP. 1138-1151.
15. Sonal, S., Vijay, N. & Sunil, L. (2017). Investigation of feasibility study of solar farms deployment using hybrid AHP-TOPSIS analysis: Case study of India. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol 73*, PP.496-511.