

# 太陽光伏發電系統併聯配電饋線之規劃研究

許振廷、\*鄭尊仁、鄭蜀文

南臺科技大學電機系

chengtj@stust.edu.tw

## 摘要

本論文研究太陽光伏發電系統之設計規劃與成本效益分析。首先探討太陽光電模組與電力轉換器特性，接著以台電屏東佳冬饋線為研究對象，評估在不超過電壓變動率的最大裝置容量，在此饋線末端設置一 499kW 的太陽能光伏發電廠。依據該地位置與所選擇的太陽光電轉換器，設計最佳的陣列傾斜角度與模組串並聯數目，據此設計此一太陽光電廠的年發電量。接著根據現有躉購費率、裝置成本、貸款金額與利率、稅率等參數，以分析在此一案例的回收年限，並評估其是否符合經濟投資效益。

**關鍵詞：**太陽光伏發電系統、電壓變動率、成本效益分析

## Planning Study of a Solar Photovoltaic Generation System in Distribution Feeder

Cheng-Ting Hsu, Tsun-Jen Cheng\*, Shu-Wen Cheng

Department of Electrical Engineering, Southern Taiwan University of Science and Technology

### Abstract

This paper presents the design and cost benefit analysis of a large-scale solar photovoltaic generation plant (PVGP). The operating characteristics of the PV module and PV inverter were first investigated. After that, a Taipower feeder at Pingtung was selected for the study. We conducted the maximum installation capacity analysis for PVGP without causing the voltage variation to exceed limits. A new PVGP with a capacity of 499 kWp was installed at the end terminal of the feeder. The best PV array angle of tilt, and the ideal series and parallel connections for PV modules were designed according to the installation site and the selected PV inverter. The cost analysis of the designed PVGP was executed for various parameters, such as wholesale price, installation cost, loan payment, loan interest and tariff. The payback year of the PVGP project was derived. Finally, the sensitivity analysis of various cost parameters on the payback year and net present value is also presented.

**Keywords:** Solar Photovoltaic Generation Plant, Voltage Variation, Cost Benefit Analysis

## 壹、前言

由於我國目前主要發電型式為火力發電與核能發電，前者主要使用石油、煤及天然氣等石化能源為燃料，這些燃料會排放大量的二氧化碳、氮氧化物及硫氧化物等溫室氣體，除了造成空氣的污染，更使得全球氣候發生極大的變化。核能則是使用放射性化學物質鈾為燃料，由於一般民眾對核災的恐懼與後續核廢料的處理問題皆有相當的疑惑，因此政府已決定不再興建核能電廠且舊的核能電廠也不再延役。目前包含台灣在內的世界各國政府正在大力推廣以再生能源(renewable energy)及天然氣為燃料的發電系統，以降低對石化能源的依賴並減緩其對地球的環境衝擊。2015年能源局公佈的能源發展目標，2030年再生能源發電將成長至17250MW。而風力(WG)與太陽光(photovoltaic; PV)發電更是我國政府未來將大力推廣之主要再生能源發電項目，政府今年更將PV發電裝置目標提高至2025年的20GW[1]。

再生能源發電併聯將對電力系統造成影響，其衝擊程度會隨著其佔比之增加而更加顯著，有可能危及整個電力系統的供電可靠度與供電品質。為了避免再生能源發電併聯對電力系統產生影響，世界各國均有訂定相關併聯規範[2-3]，台電公司亦在「再生能源發電系統併聯技術要點」[4]中，對併接發電設備總容量、負載潮流、故障電流、電壓變動、暫態穩定度、功率因數、諧波、電壓閃爍、三相不平衡、躉售電力、逆送電力、保護協調、調度與通訊等，訂定相關管制規範。本文選擇在屏東一條配電饋線設置一太陽光光伏發電廠，考量土地現況、地理位置、選擇的太陽光電模組與轉換器，據以設計陣列傾斜角度，使此一太陽光電廠有較佳的發電效率。接著設定目前包括躉購費率、裝置成本、貸款金額與利率、稅率、模組發電衰減率等相關參數的數據，然後使用PV\*SOL軟體[5]進行成本效益分析。最後，文中執行躉購費率、裝置成本與貸款金額等相關參數的靈敏度分析，以了解其對太陽光電廠回收年限、淨現值與投資報酬率的影響。

## 貳、太陽光伏發電系統

太陽光伏發電系統主要是由太陽光伏模組(PV Module)、太陽光伏變流器(PV Inverter)、變壓器與連接電纜所組成，以下將針對PV Module與PV Inverter做進一步說明。

### 一、太陽能電池模組特性

太陽能電池發電原理是根據光伏效應，將光能轉成電能，等效電路如圖1所示。

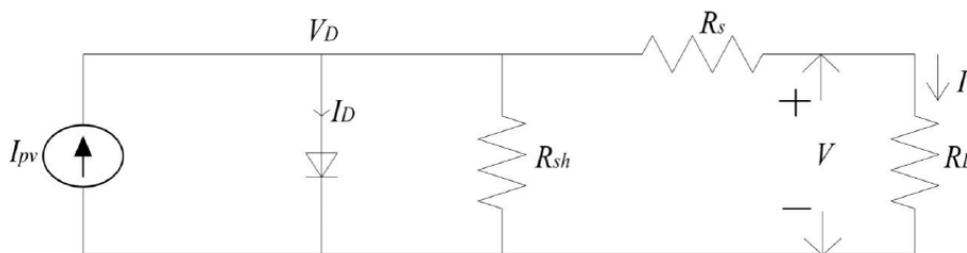


圖1 太陽能模組等效電路

方程式(1)-(3)為太陽能電池特性曲線方程式[6]，其中 $R_s$ 與 $R_{sh}$ 分別為太陽能電池材料內部的等效電阻，而一般 $R_{sh}$ 值很大，在此分析時忽略不計， $V$ 為太陽能電池輸出電壓， $I$ 為太陽能電池輸出電流， $P$ 為太陽能電池輸出功率。

$$I = I_{pv} - I_o \left\{ \exp \left[ \frac{q}{kT_a} (V + IR_s) \right] - 1 \right\} \quad (1)$$

$$V = \frac{akT}{q} \times \ln \left[ \frac{I_{pv} + I_o - I}{I_o} \right] - IR_s \quad (2)$$

$$P = V \times I = \left[ \frac{akT}{q} \times I \times \ln \left( \frac{I_{pv} + I_o - I}{I_o} \right) \right] - I^2 R_s \quad (3)$$

由上述所示的等效電路與公式，若一模組有 $n_p$ 個電池串聯與 $n_s$ 個電池並聯，則其輸出電流、電壓與功率可表示為：

$$I_{pv-m} = n_p \times I \quad (4)$$

$$V_{pv-m} = n_s \times V \quad (5)$$

$$P_{pv-m} = V_{pv-m} \times I_{pv-m} = n_p \times n_s \times V \times I \quad (6)$$

接著以友達(AUO)PM240 模組[7]進行分析，表 1 所示為其相關參數，圖 2 與圖 3 為在  $1000W/m^2$  的日照強度下，太陽光電板對模組溫度變化的 V-I 與 P-V 特性曲線圖，溫度愈高，開路電壓愈小而最大輸出功率也愈小。圖 4 與圖 5 為在固定的  $25^\circ C$  溫度下，太陽光電板對日照變化的 V-I 與 P-V 特性曲線圖，隨著日照度的增加，短路電流與開路電壓也愈大，最大輸出功率也愈大。

表 1 友達(AUO)PM240 模組相關參數

相關參數	規格
型號	EcoDuo PM240P00
額定功率(W)	240
最大功率電壓 $V_{mp}(V)$	29.7
最大功率電流 $I_{mp}(A)$	8.1
開路電壓 $V_{oc}(V)$	37.4
短路電流 $I_{sc}(A)$	8.62
效率(%)	14.9
$V_{oc}$ 溫度係數(%/K)	-0.32
$I_{sc}$ 溫度係數(%/K)	0.04
$P_{mp}$ 溫度係數(%/K)	-0.44
尺寸(長×寬×高, mm)	1639×983×40

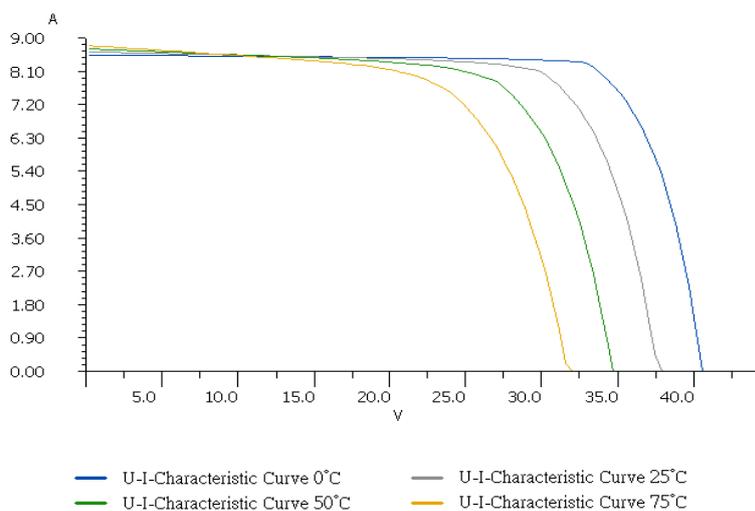


圖 2 日照固定於  $1000 W/m^2$  時，不同模組溫度之 V-I 特性曲線

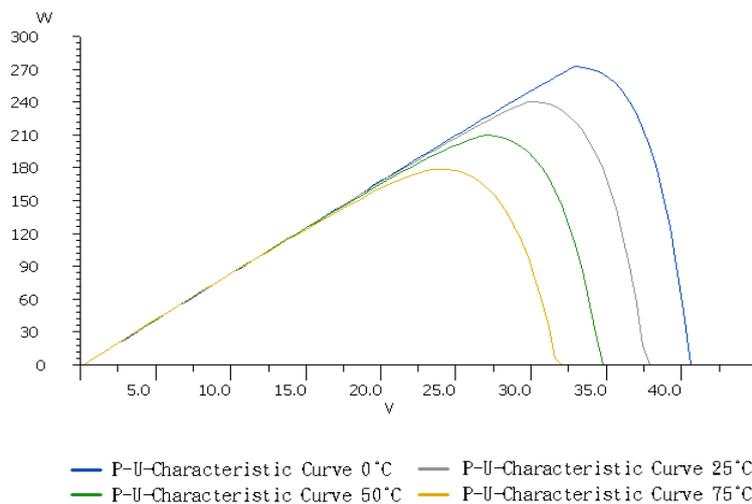


圖 3 日照固定於 $1000\text{ W/m}^2$ 時，不同模組溫度之 P-V 特性曲線

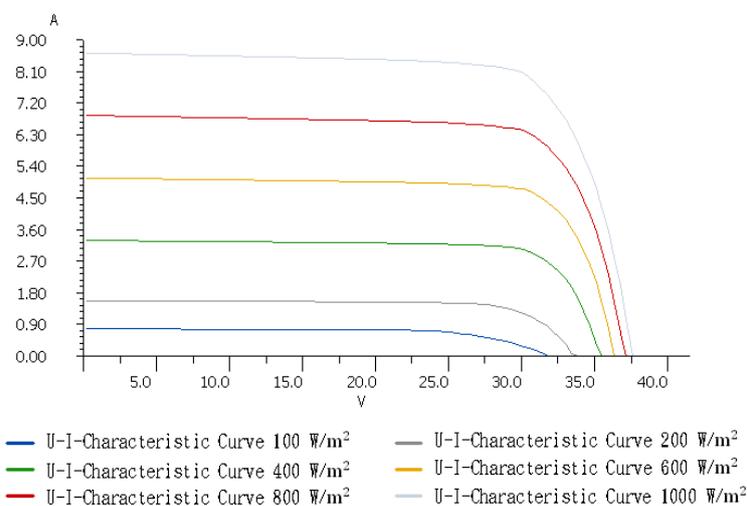


圖 4 溫度於 $25^\circ\text{C}$ 時，不同日照度之 V-I 特性曲線

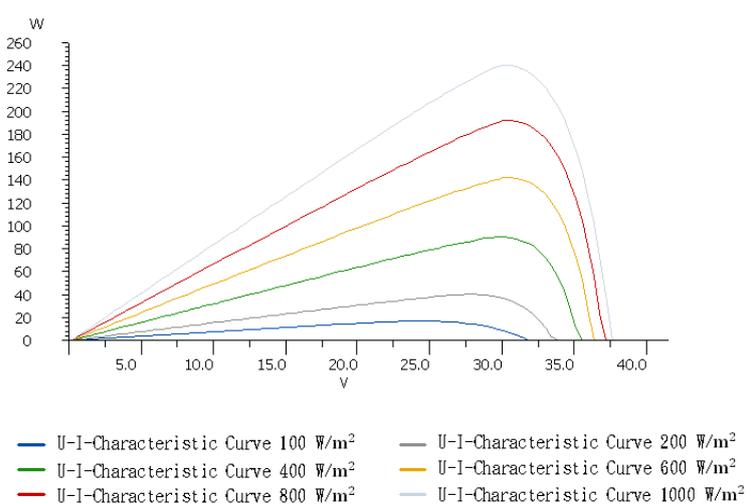


圖 5 溫度於 $25^\circ\text{C}$ 時，不同日照度之 P-V 特性曲線

## 二、變流器

PV Inverter 是將太陽能電池所輸出之直流電轉換成交流電後與市電併聯或供給負載。此輸出可分單相光伏轉換器與三相光伏轉換器兩項輸出之電源形式，而太陽電池的輸出可串連成一高壓輸出，若直流電壓高於輸出電壓之峰值，則為降壓型轉換器，反之為昇壓型轉換器。目前太陽光電系統因考量功能、效率、體積、重量及成本問題，大多使用三相三線式 Inverter 結合變壓器型，如圖 6 所示。由於太陽能電池輸出端之電流-電壓特性是一非線性曲線，根據最大功率轉移定理，所設計之 Inverter 其輸入阻抗要能與太陽能電池之輸出阻抗相互匹配，才能獲得太陽電池之最大輸出功率。但是太陽電池特性亦受太陽照度、溫度影響，因此 Inverter 必須隨著太陽電池特性的變化適當地調整，表 2 為由 Satcon 公司製造之 100kW PV Inverter 規格[8]。

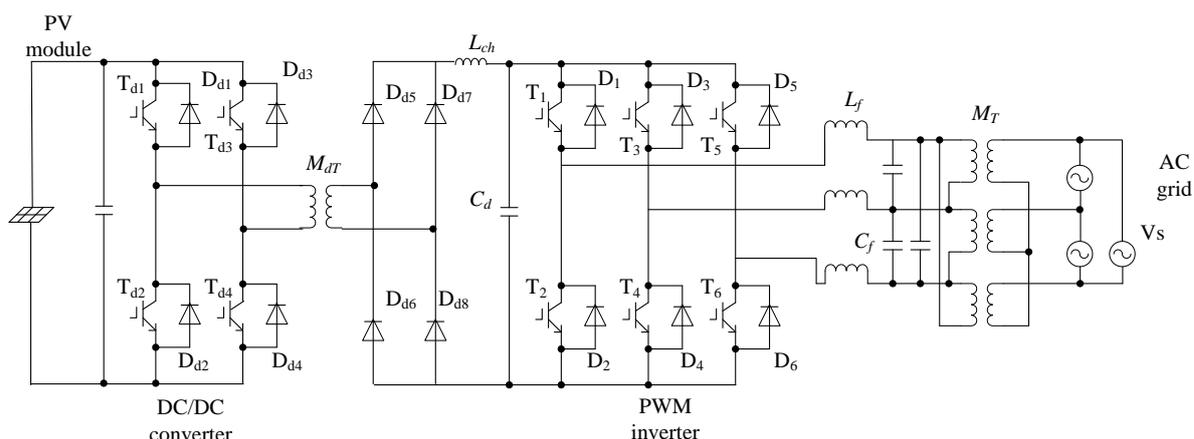


圖 6 隔離式三相變流器

表 2 電力轉換器規格

Inverter 型號	Satcon Technology Corporation PowerGate Plus 100KW-480V	
直流額定功率	115KW	
交流額定功率	100KW	
MPPT 追蹤	2	
Nom.直流電壓	365V	
最大輸入電壓	600V	
最大輸入電流	331A	
MPPT 追蹤範圍電壓	Max	600V
	Min	315V

## 參、成本效益分析方法

成本在計算費率中佔有重要角色，主要分為期初設置成本、運維成本、設備成本及併聯成本等。期初設置成本係以業者投入此產業之始，所投入之直接成本與間接成本，直接成本包括土地取得及改良物、土建工程、機器設備等項目，間接費用則包含規劃設計費用、保險費與漲價準備金等。另外，運維成本亦是後續運轉期間中，業者所需負擔費用之一大成本。主要包含操作、設備維修、消耗性材料、更換零件與相關人事薪資。

成本效益分析常使用的方法為淨現值法(Net present value, NPV)、益本比法、還本期法及內部報酬率法，但須注意的是這四種方法中，淨現值法及內部報酬率法較能反映投資方案之可行性，並為業界財務管理專業常採用，其中更以淨現值法考量貨幣之時間價值，並能以較客觀的角度給予投資者做為決策參

考。本文應用淨現值法進行太陽光電廠的成本效益分析，計算方式是將各期淨效益之現值加總，淨現值越大的計畫越值得採行，其公式如下[9, 10]：

$$\begin{aligned} NPV &= -S + \frac{CF_1}{(1+r)^1} + \frac{CF_2}{(1+r)^2} + K + \frac{CF_n}{(1+r)^n} \\ &= -S + \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+r)^t} \end{aligned} \quad (7)$$

其中 S：投資成本。

$CF_n$ ：指第 n 年的現金流量。

r：貸款的年利率。

將上式 NPV 設為 0，回收年限(Pay back year, PBY)可依下式計算。

$$PBY = \frac{\log(1 - \frac{S}{CF_1} \times r)}{\log(\frac{1}{1+r})} \quad (8)$$

## 肆、太陽光伏發電廠設計

### 一、光伏發電對配電系統的電壓變動分析

本文以屏東佳冬之 NF-29 饋線為研究對象，由於太陽能電廠產生的電力須併入台電饋線系統，所以電力公司為確保供電品質，對於電壓變動容許度的要求也更嚴格。目前台電要求太陽光電發電併聯配電系統之穩態電壓變動率需小於±2.5%，電壓變動率計算公式如(9)所示。

$$\Delta V(\%) = \frac{V_{w/o-pv} - V_{with-pv}}{V_{with-pv}} \times 100\% \quad (9)$$

其中  $V_{with-pv}$  與  $V_{w/o-pv}$  分別為有太陽光電併聯電壓與沒有太陽光電併聯電壓。

圖7為NF-29饋線單線圖[11]，饋線主幹線使用3C500XP2與3A477XPW，分歧線路使用3A#2XPW，架空線路阻抗考慮因線路佈置所造成的耦合效應。另外，饋線於尖峰期間各匯流排負載量皆假設78.17 kW/25.69kvar。該饋線已有多家太陽光電廠併聯，在Bus21、Bus22、Bus23、Bus24、Bus25。其中匯流排Bus20 有499 kWp、Bus21 有499 kWp、Bus22 有1700 kWp、Bus23有804 kWp、Bus24 有499 kWp、Bus25 有992 kWp，既設太陽光電廠共11 戶，總裝置容量達4993 kWp。

接著使用OpenDSS軟體，執行有無PV發電系統之三相負載潮流分析。為求得饋線最大PV裝置容量，本文在匯流排30增設新PV發電廠，分析在電壓變動率2.5%時，所能再裝設之最大PV裝設容量。經分析可知若該處再設置7個499 kWp PV廠，則在其責任分界點(Bus30)B相電壓變動率已達2.49%，整條饋線電壓可維持在0.9931~1.0178 pu之間，表3為各匯流排B相電壓大小與電壓變動率。

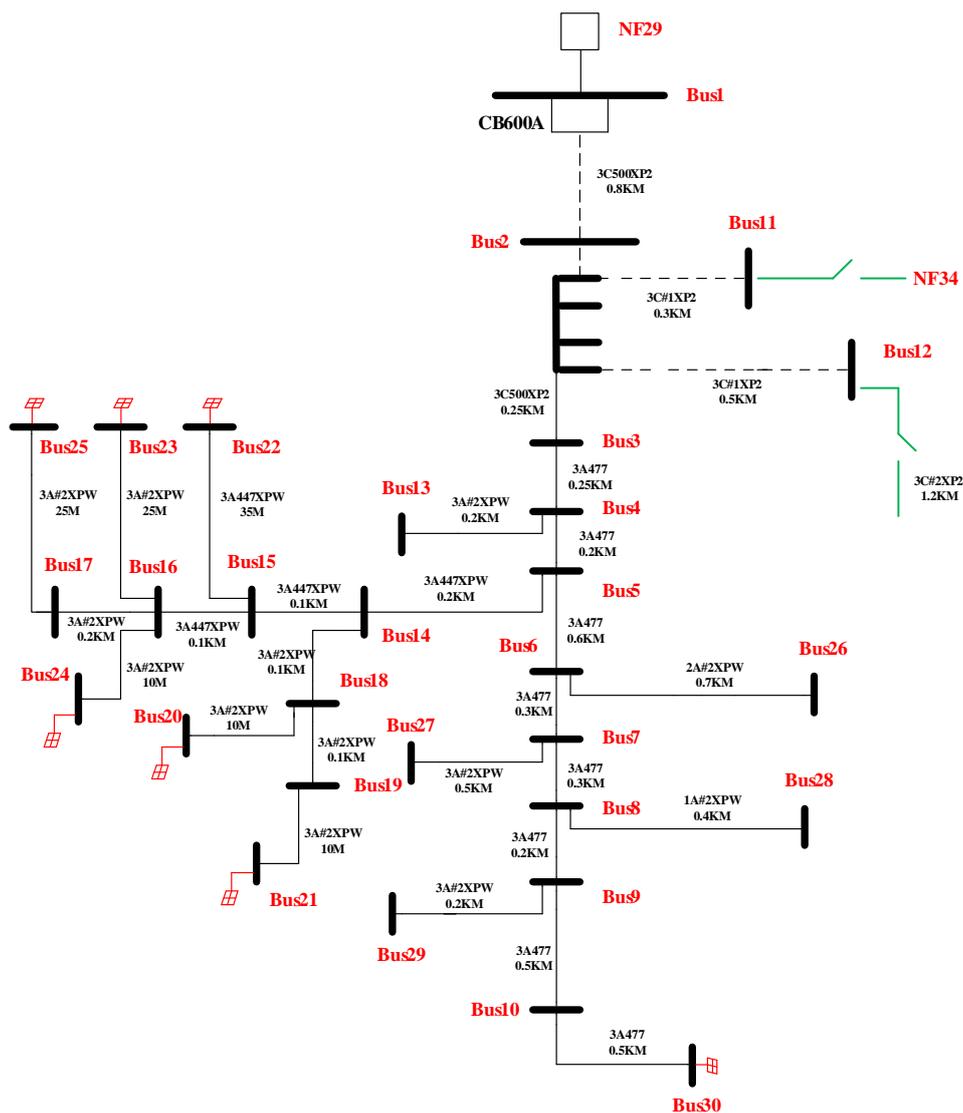


圖 7 研究配電饋線單線圖

表 3 匯流排 B 相電壓大小與電壓變動率

Bus	$V_{with-pv}$	$V_{w/o-pv}$	$\Delta V(\%)$	Bus	$V_{with-pv}$	$V_{w/o-pv}$	$\Delta V(\%)$
1	1.0000	1.0000	0.00	16	1.0097	0.9947	1.51
2	1.0033	0.9978	0.55	17	1.0110	0.9944	1.67
3	1.0044	0.9972	0.72	18	1.0095	0.9946	1.50
4	1.0063	0.9961	1.02	19	1.0098	0.9945	1.54
5	1.0080	0.9953	1.28	20	1.0095	0.9946	1.49
6	1.0099	0.9943	1.57	21	1.0098	0.9945	1.54
7	1.0110	0.9938	1.73	22	1.0095	0.9948	1.48
8	1.0122	0.9935	1.88	23	1.0097	0.9947	1.51
9	1.0130	0.9934	1.98	24	1.0097	0.9947	1.51
10	1.0154	0.9932	2.24	25	1.0110	0.9944	1.67
11	1.0032	0.9977	0.55	26	1.0094	0.9938	1.57
12	1.0031	0.9976	0.55	27	1.0106	0.9935	1.72
13	1.0062	0.9960	1.03	28	1.0119	0.9932	1.88
14	1.0090	0.9949	1.42	29	1.0129	0.9932	1.98
15	1.0095	0.9948	1.48	30	1.0178	0.9931	2.49

## 二、太陽光伏發電系統設計

### 1. 太陽能模組架設地區平面圖

南部地區日照充足面積寬廣與政府大力支持架設太陽能光伏發電廠，於是本研究選擇位於屏東佳冬饋線段架設 499 kWp 之太陽能光伏發電廠，圖 8 為利用 Google 空拍地圖顯示太陽光電預定架設地與 NF29 饋線段，該 PV 架設地即為 NF29 饋線單線圖中之匯流排 Bus30，PV 發電廠將以高壓外線方式與台電饋線併聯。



圖 8 太陽光電預定架設地與 NF29 饋線段

### 2. 太陽光電模組陣列設計

選定光伏發電廠場址後，本文設計圖 9 與圖 10 之太陽能光電廠直流側與交流測線路圖，圖 11 為太陽能光伏發電廠模組配置全區圖，此系統選擇 Satcon 公司 100 kW 的電力轉換器(Inverter)五台，該轉換器有 2 組 MPPT 輸入。使用 PV\*SOL 軟體，AUO 公司的 240 Wp 太陽能模組設計為 13 串 16 併，為確保所設計之 PV 陣列可在可能溫度範圍內正確動作，須瞭解其在不同溫度下之電壓，表 4 為陣列模組溫度在 0°~75°之間的電壓與電流大小，由表可知此陣列的工作電壓皆在 Inverter MPPT 範圍內，而輸入電流亦不會超出其最大值。每個陣列共 416 片太陽能模組連接至每台電力轉換器，總共使用 2080 片太陽能模組，可輸出之電力為 499 kWp，如表 5 所示。5 台轉換器之輸出端併接後，再經一 3 相 500kVA 的變壓器，將其升壓至 11.4 kV，再以電纜連接至台電高壓電桿。

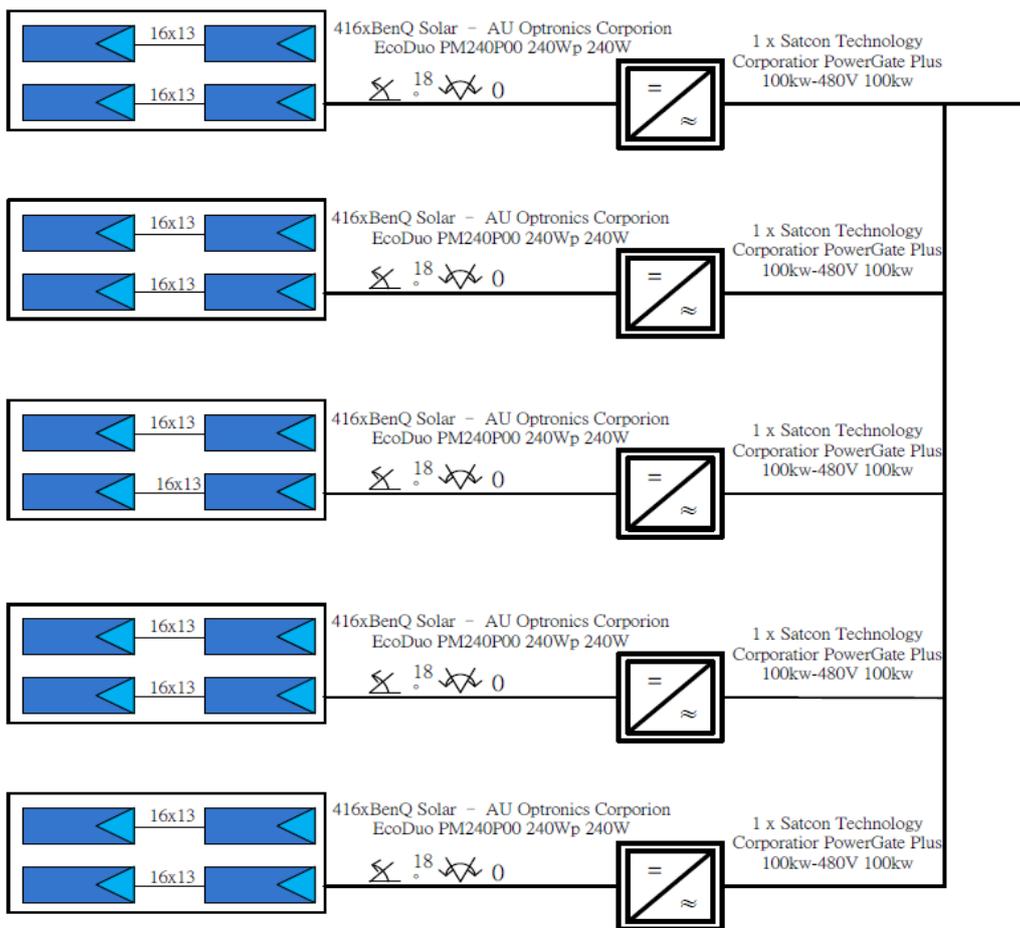


圖 9 太陽光伏發電廠直流側設計圖

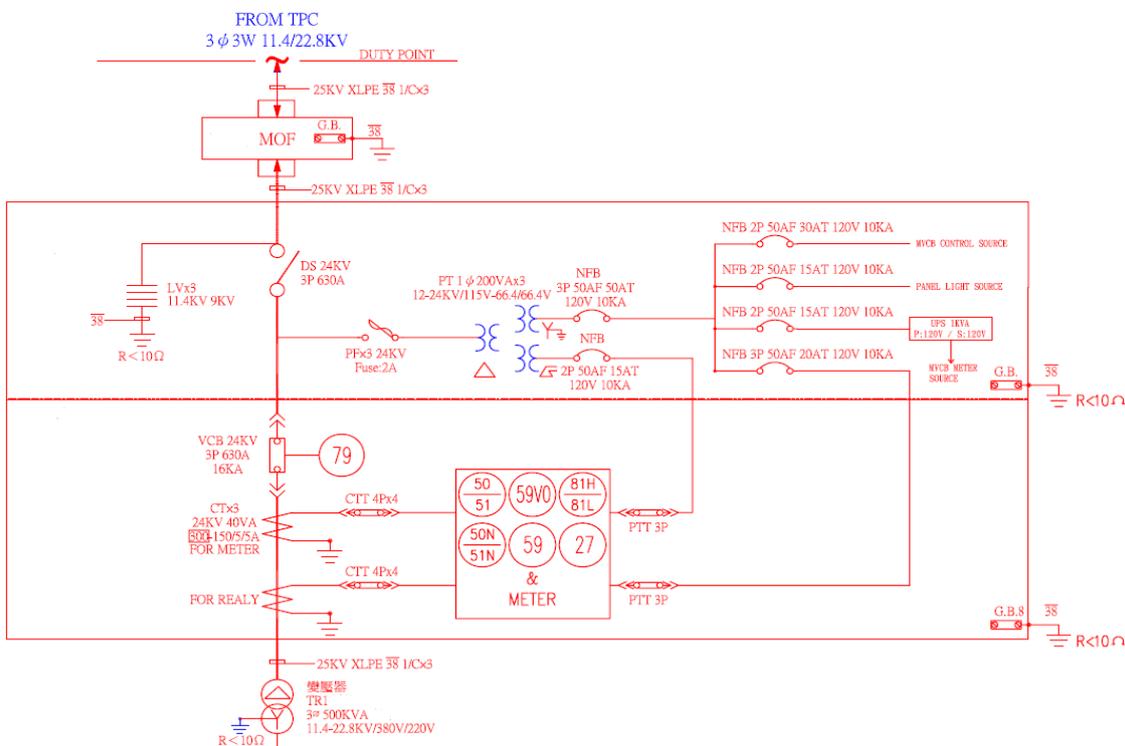


圖 10 太陽光伏發電廠交流側設計圖

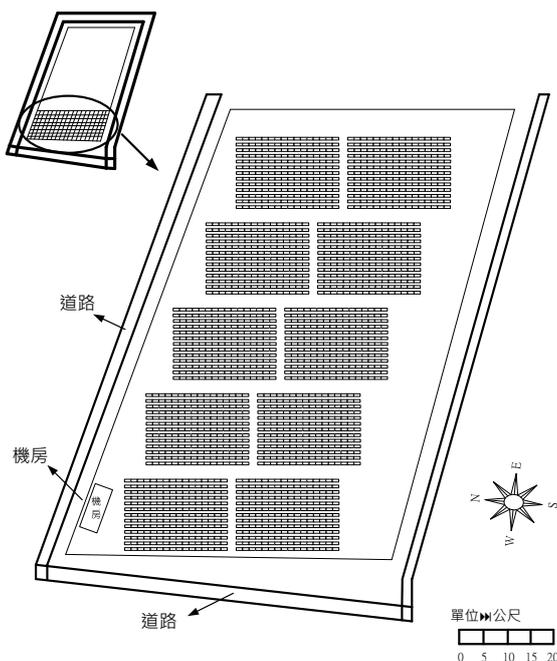


圖 11 太陽能光伏發電廠全區配置圖

表 4 MPPT 對應不同溫度效應檢核

MPPT Trackers		MPPT1/MPPT2		
串聯數/併聯數		13/16		
溫度(°C)	V <sub>mp</sub> (V)	V <sub>oc</sub> (V)	I <sub>mp</sub> (A)	I <sub>sc</sub> (A)
0	431.6	526.5	131.08	136.96
5	423.8	520	130.55	136.96
10	418.6	510.9	129.19	136.96
15	414.7	503.1	127.19	136.96
20	403	495.3	126.48	137.76
25	396.5	487.5	125.90	137.76
40	373.1	465.4	123.76	138.56
50	356.2	449.8	121.46	139.36
60	343.2	434.2	119.40	140.16
70	328.9	418.6	117.46	140.16
75	318.5	410.8	116.90	140.80

表 5 太陽光伏發電廠陣列設計參數

INV 編號	INV 容量(KW)	模組串並數	PV 模組容量(W)	PV 模組片數	PV 模組總容量(W)
1	100	MPPT1:13S16P	240	416	99.84
		MPPT2:13S16P			
2	100	MPPT1:13S16P	240	416	99.84
		MPPT2:13S16P			
3	100	MPPT1:13S16P	240	416	99.84
		MPPT2:13S16P			
4	100	MPPT1:13S16P	240	416	99.84
		MPPT2:13S16P			
5	100	MPPT1:13S16P	240	416	99.84
		MPPT2:13S16P			

### 3.太陽光伏模組最佳傾斜角分析

太陽能光伏發電系統在不同地區，因緯度不同所架設的角度亦不相同，使期獲得最大照度與發電量。圖 12 為屏東地區月平均表面日照量曲線圖，其值介於 93-194kWh/m<sup>2</sup> 之間，圖 13 與圖 14 為太陽能模組架設在 15°~25°間之年平均日照度與年總發電量，由圖可得知太陽能板最佳架設角度為 18°，即可得到 1450W 最大日照量與 110,100kWh 年發電量。因此，模組最佳角度設計在 18°。當 PV 模組架設角度設計在 18°後，圖 15 為此太陽光伏發電單組月平均表面日照量曲線圖，其表面日照量最低為 2 月的 86kWh/m<sup>2</sup>，最大為 7 月的 152kWh/m<sup>2</sup>。圖 16 為太陽光伏發電單組陣列(99.84 kWp)年日照量，2 月陣列平均獲得能量為 58,622kWh，7 月則為 105,560kWh，年總獲得日照能量為 1006840kWh/m<sup>2</sup>。

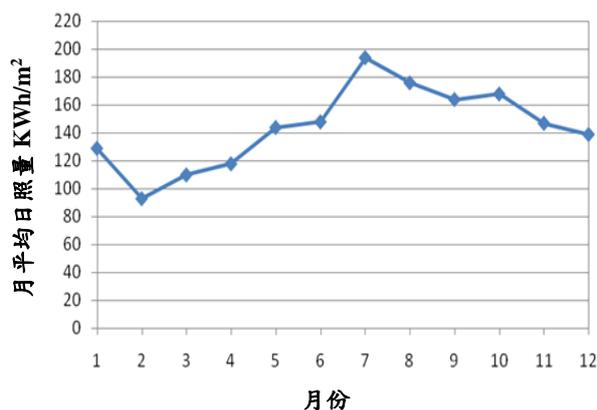


圖 12 屏東月平均表面日照量

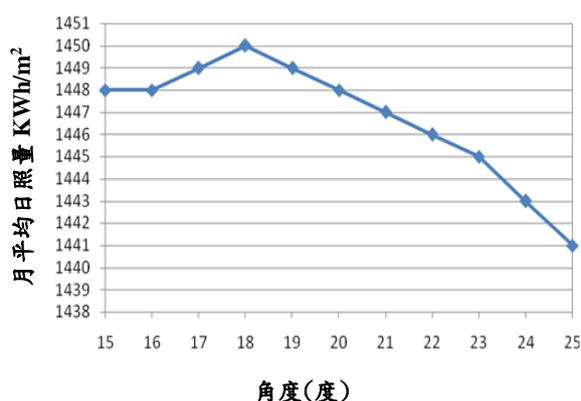


圖 13 不同傾斜角度之年平均日照度

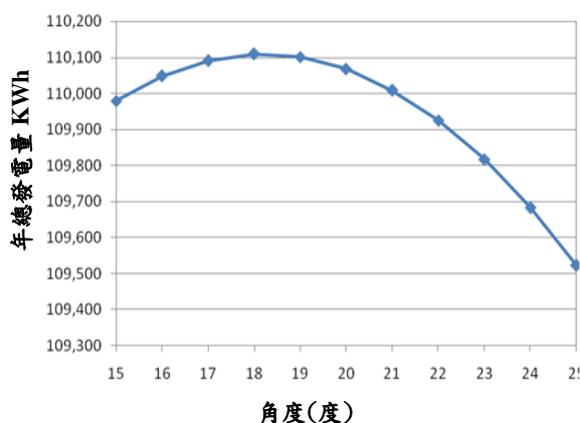


圖 14 模組不同傾斜角度之 PV 系統年總發電量

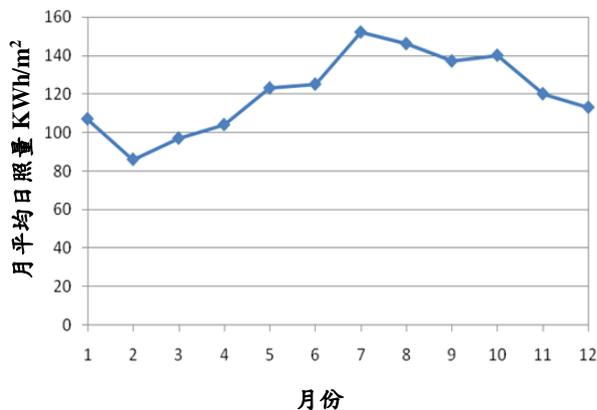


圖 15 太陽光伏發電一年之月平均表面日照量

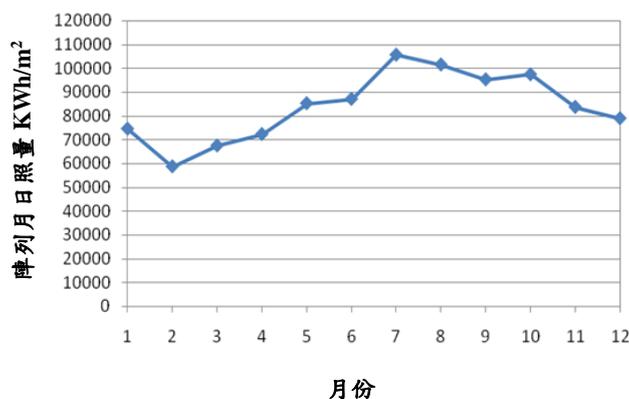


圖 16 太陽光伏發電單組陣列月日照能量

圖 17 所示為太陽光伏發電單組陣列 DC 與 AC 發電曲線圖，2 月平均 DC 發電量為 6,559 kWh，7 月則為 11478 kWh，一年總發電量達 110,109 kWh。另外，經由 PV Inverter 的轉換，2 月平均 AC 發電量為 6,211 kWh，7 月則達到 10,922 kWh，總發電量為 104,564 kWh。

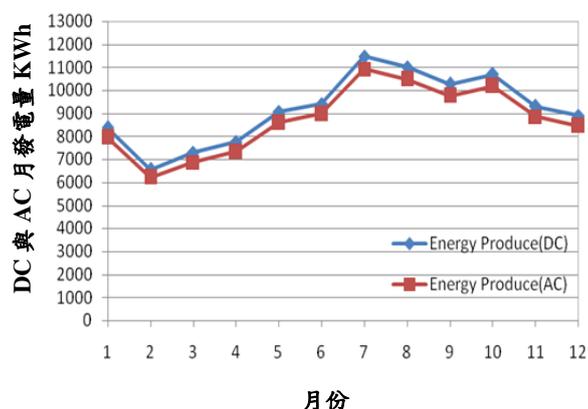


圖 17 太陽光伏發電單組陣列 DC 與 AC 月發量

圖 18 所示為太陽光伏發電廠每月日照能量圖，其值介於 293,111 kWh ~ 527,801 kWh 之間，而太陽光伏發電廠全年日照量為 5,034,199 kWh。圖 19 所示為此太陽光伏發電廠每月發電量，介於 31,000 kWh ~ 54,485 kWh 之間，全年發電量達到 521,673 kWh。由於此太陽光電廠共有 5 個 99.84 kWp 的陣列，因其連接至 Inverter 的線路長度略有不同，故每個陣列的損失亦有極小差異。

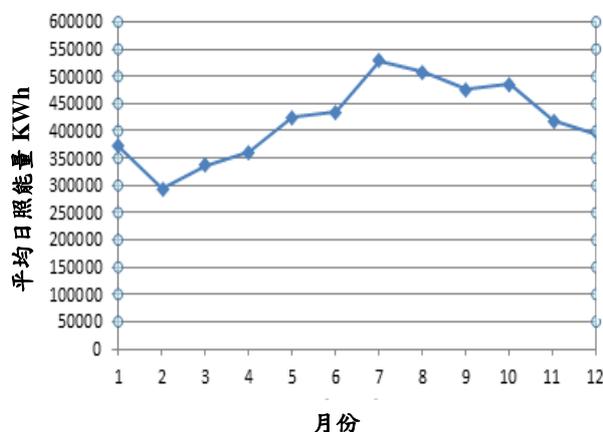


圖 18 太陽光伏發電廠每月平均日照能量

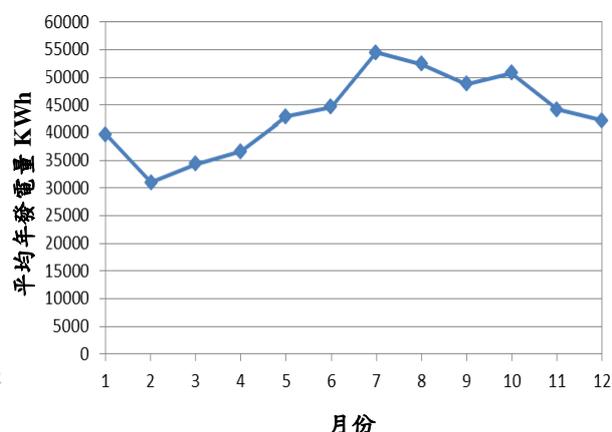


圖 19 太陽光伏發電廠每月平均發電量

## 伍、太陽光伏發電廠經濟效益分析

本節探討在現有合理躉購費率、裝置成本、貸款金額與利率、稅率、模組衰減率下，分析此太陽光電廠在 20 年中的各項成本與利潤。另外，文中亦執行躉購費率、裝置成本與貸款金額變動時之靈敏度分析。

表 6 為此案例的各年現金流量表，圖 20 為淨現值曲線，由圖可知此系統可在第 11 年回收成本，並於 20 年的淨現值達到 2450.02 萬元，資本報酬率為 18.82%，電力生產成本為 2.66 元/kWh。

表 6 年現金流量表

	自籌 資金 (萬元)	售電 收入 (萬元)	一次性 付款 (萬元)	支付 總貸款 (萬元)	總貸款 利息 (萬元)	稅前 金額 (萬元)	稅 額 (萬元)	未償還 貸款 (萬元)	稅後 金額 (萬元)	稅後現 金流量 (萬元)	現金 餘額 (萬元)	盈 餘 (萬元)
第 1 年	-499	311.82	-2495	-214.5	-81.44	-2264	-113	-2433	-2151.4	-305.91	-305.91	-2738.9
第 2 年	0	308.7	0	-209.07	-76.01	215.22	-10.76	-2223.92	204.46	71.4	-234.51	-2458.43
第 3 年	0	305.59	0	-203.65	-70.58	217.54	-10.88	-2020.27	206.66	73.59	-160.92	-2181.19
第 4 年	0	302.47	0	-198.22	-65.15	219.85	-10.99	-1822.06	208.86	75.79	-85.13	-1907.19
第 5 年	0	299.35	0	-192.79	-59.72	222.16	-11.11	-1629.27	211.05	77.98	-7.15	-1636.42
第 6 年	0	296.23	0	-187.36	-54.29	224.47	-11.22	-1441.91	213.13	80.18	73.03	-1368.88
第 7 年	0	293.12	0	-181.93	-48.86	226.79	-11.34	-1259.98	215.45	82.38	155.41	-1104.57
第 8 年	0	290	0	-176.5	-43.43	229.1	-11.46	-1083.48	217.64	84.57	239.98	-843.5
第 9 年	0	286.88	0	-171.07	-38	231.41	-11.57	-912.41	219.84	86.77	326.75	-585.66
第 10 年	0	283.76	0	-165.64	-32.57	233.72	-11.69	-746.77	222.03	88.96	415.71	-338.96
第 11 年	0	280.65	0	-160.21	-27.15	236.03	-11.8	-586.56	224.23	91.17	506.88	-79.68
第 12 年	0	277.52	0	-154.78	-21.72	238.33	-11.92	-431.77	226.41	93.35	600.23	168.46
第 13 年	0	274.41	0	-149.35	-16.29	240.65	-12.03	-282.42	228.62	95.56	695.79	413.37
第 14 年	0	271.29	0	-143.92	-10.86	242.96	-12.15	-138.5	230.81	97.75	793.54	655.04
第 15 年	0	268.17	0	-138.5	-5.43	245.27	-12.26	0	233.01	99.94	893.48	893.48
第 16 年	0	265.05	0	0	0	247.58	-12.38	0	235.2	235.2	1128.68	1128.68
第 17 年	0	261.93	0	0	0	244.46	-12.22	0	232.24	232.24	1360.92	1360.92
第 18 年	0	258.81	0	0	0	241.34	-12.07	0	229.27	229.27	1590.19	1590.19
第 19 年	0	255.7	0	0	0	238.23	-11.91	0	226.32	226.32	1816.51	1816.51
第 20 年	0	252.58	0	0	0	235.11	-11.76	0	223.35	223.35	2039.86	2039.86

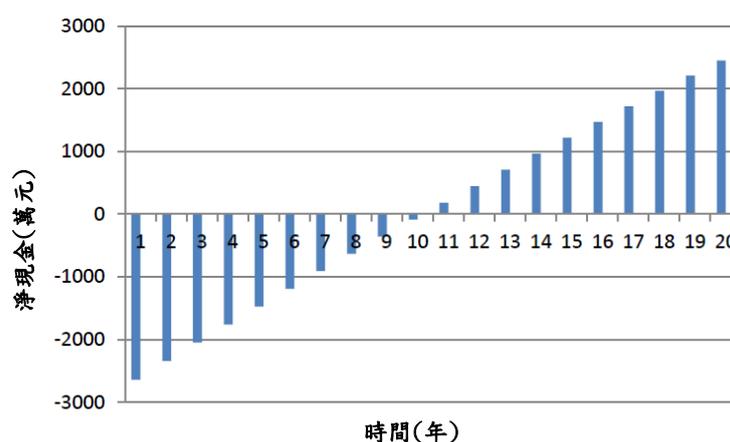


圖 20 太陽光伏發電廠在 20 年之年淨現值曲線

本小節將變更相關參數，以檢視其對回收年限、淨現值與投資報酬率的影響。

### 一、躉購費率變動

變更太陽光電躉購費率，重新執行相關成本效益分析時，可得到躉購費率變動時對回收年限、淨現值與投資報酬率的影響。圖 21 為躉購費率對回收年限比較圖，由圖可知，躉購費率為 4 元時，回收年限

為 16.3 年；躉購費率為 5 元時，回收年限為 12.8 年；躉購費率為 6 元時，回收年限為 10.6 年；躉購費率為 7 元時，回收年限為 9 年；躉購費率為 8 元時，回收年限為 7.8 元。由圖 22 與圖 23 可知，躉購費率為 4 元時，20 年之淨現值為 758.8 萬元、投資報酬為 6.2%；躉購費率為 5 元時，淨現值為 1694.9 萬元、投資報酬率為 14.8%；躉購費率為 6 元時，淨現值為 2631 萬元、投資報酬率為 24.8%；躉購費率為 7 元時，淨現值為 3567.1 萬元、投資報酬率為 34.9%；躉購費率為 8 元時，淨現值為 4503.2 萬元、投資報酬率為 45.6%。

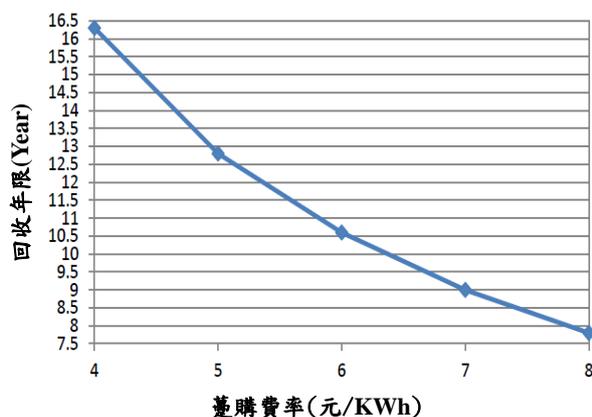


圖 21 躉購費率對回收年限比較圖

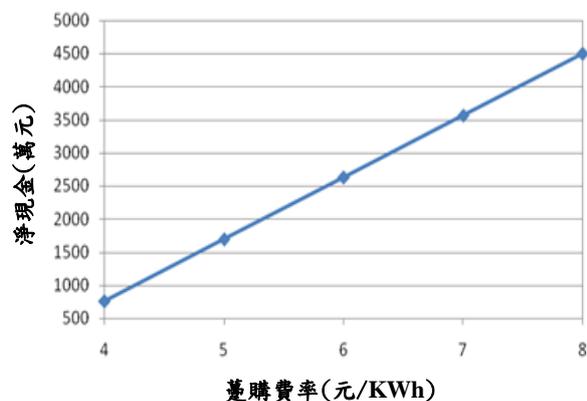


圖 22 躉購費率對淨現值比較圖

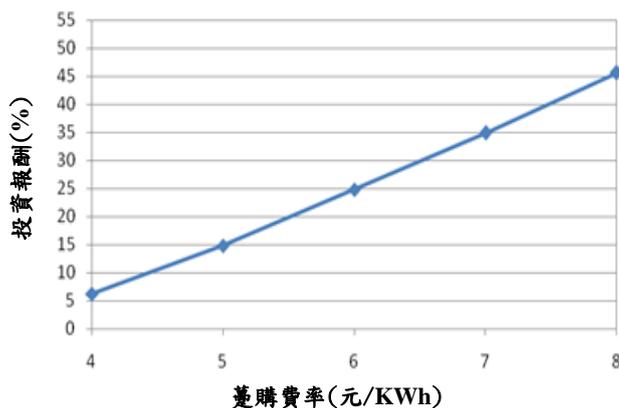


圖 23 躉購費率對投資報酬率比較圖

## 二、裝置成本變動

太陽光電廠裝置成本變動，重新執行相關成本效益分析時，可得到裝置成本變動時對回收年限、淨現值與投資報酬率的影響。圖 24 為裝置成本對回收年限比較圖，由圖可知，若裝置成本為每 3 萬元/kWp，則成本回收年限為 6.2 年；每 4 萬元/kWp 成本回收年限為 8.4 年；每 5 萬元/kWp 成本回收年限為 10.6 年；每 6 萬元/kWp 成本回收年限為 12.9 年；每 7 萬元/kWp 成本回收年限為 15.2 年；每 8 萬元/kWp 成本回收年限為 17.6 年。由圖 25 與圖 26 可知，若 PVGP 裝置成本為每 kWp 3 萬元，則其 20 年之淨現值為 3805.3 萬元、投資報酬率為 66.8%；每 4 萬元/kWp 之淨現值為 3207.5 萬元、投資報酬率為 39.9%；每 5 萬元/kWp 之淨現值為 2609.6 萬元、投資報酬率為 24.2%；每 6 萬元/kWp 之淨現值為 2011.8 萬元、投資報酬率為 14.6%；每 7 萬元/kWp 之淨現值為 1414 萬元、投資報酬率為 8.4%；每 8 萬元/kWp 之淨現值為 816.2 萬元、投資報酬率為 4.1%。

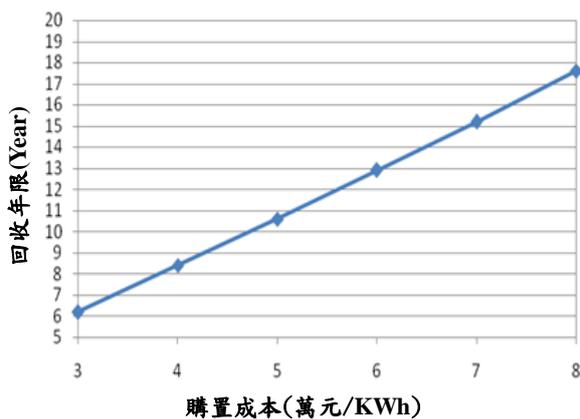


圖 24 裝置成本對回收年限比較圖

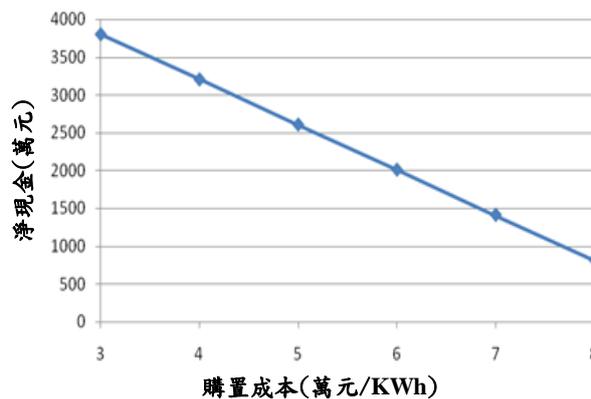


圖 25 裝置成本對淨現值比較圖

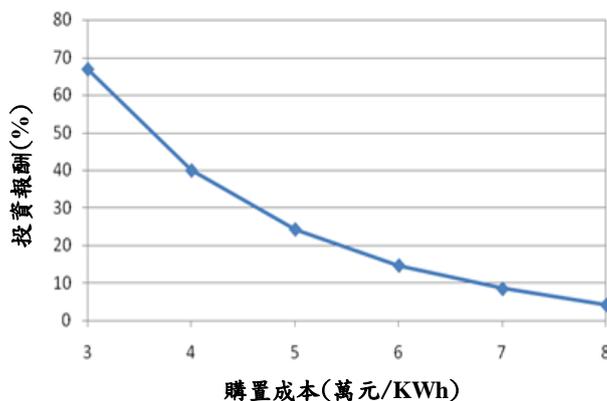


圖 26 裝置成本對投資報酬率比較圖

### 三、貸款金額變動

若變更太陽光電廠貸款金額，重新執行相關成本效益分析時，可得到貸款金額變動時對回收年限、淨現值與投資報酬率的影響。圖 27 為貸款金額對回收年限比較圖，由圖可知，貸款佔投資總金額比在 30 %、40 %、50 %、60 %、70 %與 80 %時，回收年限分別為 9.2 年、9.5 年、9.7 年、10 年、10.3 年與 10.6 年。由圖 28 可知，貸款佔投資總金額比在 30 %、40 %、50 %、60 %、70 %與 80 %時，淨現值分別為 2996.5 萬元、2919.1 萬元、2841.7 萬元、2764.4 萬元、2687 萬元與 2609.6 萬元。由圖 29 可知，貸款佔投資總金額比在 30 %、40 %、50 %、60 %、70 %與 80 %時，投資報酬率分別為 11.8%、12.8%、14.1%、15.9%、18.8%與 24.2%。

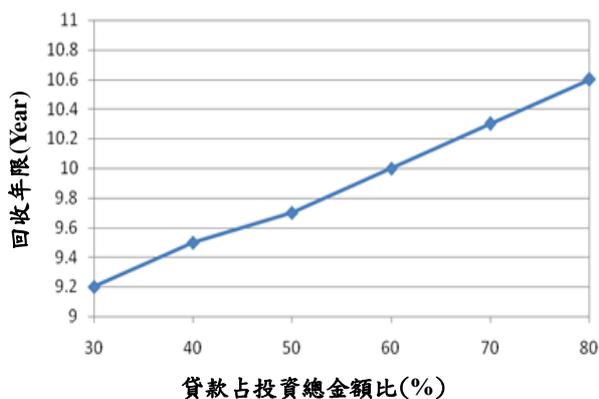


圖 27 貸款金額比率對回收年限比較圖

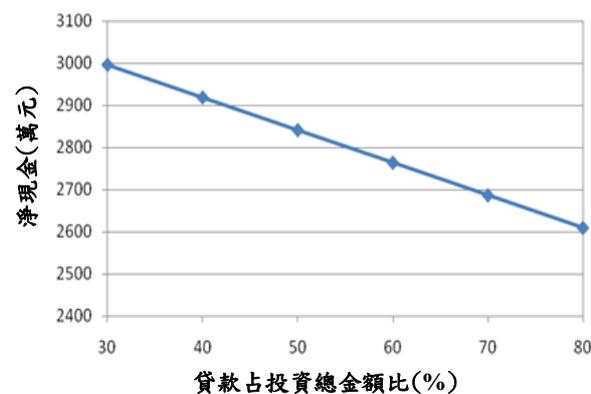


圖 28 貸款金額比率對淨現值比較圖

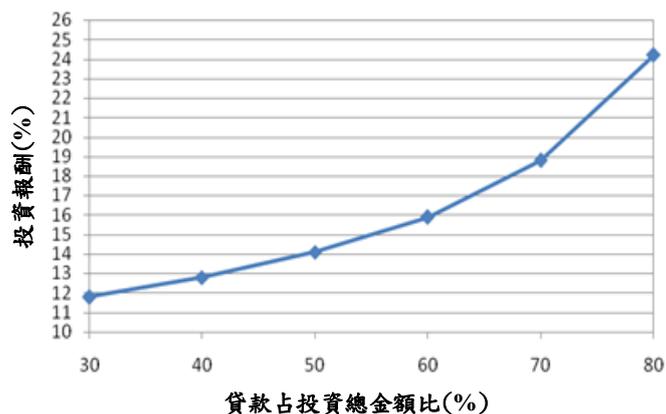


圖 29 貸款金額比率對投資報酬率比較圖

#### 四、貸款利率變動

若變更太陽光電廠貸款利率，重新執行相關成本效益分析時，可得到貸款利率變動時對回收年限、淨現值與投資報酬率的影響。圖 30 為貸款利率對回收年限比較圖，由圖可知，貸款利率在 3%、4%、5%、6%、7%、8%與 9%時，回收年限分別為 10 年、10.6 年、11.1 年、11.7 年、12.3 年、12.9 年與 13.5 年。由圖 31 可知，貸款利率在 3%、4%、5%、6%、7%、8%與 9%時，淨現值分別為 2773.5 萬元、2621.8 萬元、2470 萬元、2318.4 萬元、2166.7 萬元、2015 萬元與 1863.3 萬元。由圖 32 可知，貸款利率在 3%、4%、5%、6%、7%、8%與 9%時，投資報酬率為 27.6%、24.4%、21.5%、18.9%、16.5%、14.4%與 12.5%。

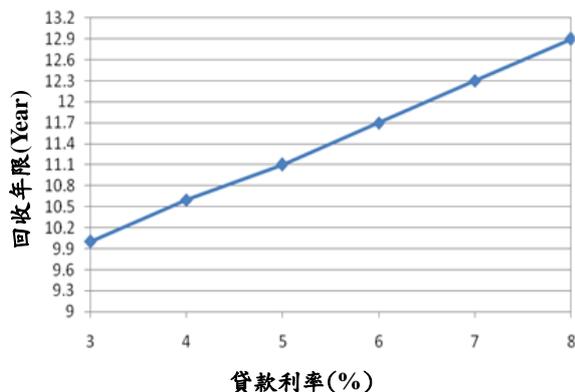


圖 30 貸款利率與回收年限之比較

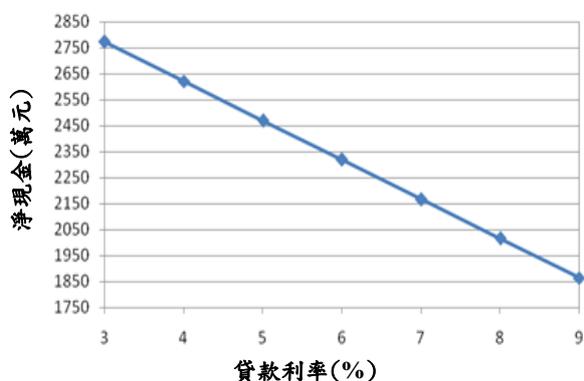


圖 31 貸款利率對淨現值比較圖

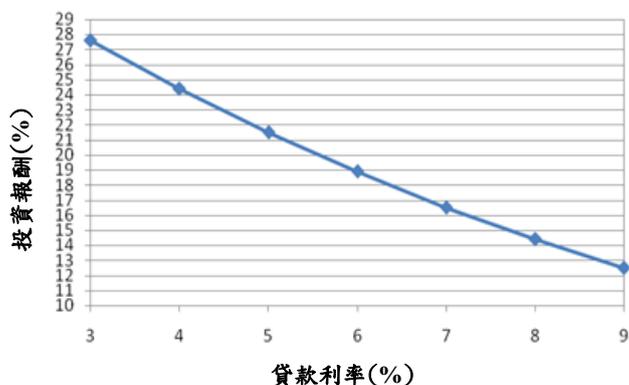


圖 32 貸款利率對投資報酬率比較圖

由以上分析結果可知，若躉購費率越高，則淨現值越高且回收年限越早。若裝置成本越低，則淨現值越高且回收年限越早。若貸款金額越高，淨現值越少且回收年限越久。若貸款利率越低，則淨現值越高而回收年限越早。

## 陸、結論

本論文主要探討太陽光伏發電系統設計並對設廠進行經濟效益分析，文中以屏東佳冬 NF29 饋線為研究對象，在不超過電壓變動率 2.5% 的規範下，在該饋線末端尚有 7 組 499 kWp 的設置容量。接著以 Google 衛星地圖在饋線末端的區域規劃一個 499 kWp 的太陽光電廠。文中選擇 AUO 公司 240Wp PV 模組與 Satcon 公司 100 kW PV inverter，總共使用 2080 片太陽能模組與五台電力轉換器，每一陣列採 13 串 16 並的設計，以符合電力轉換器的輸入電壓與電流限制，經分析後發現此區域之最佳陣列傾斜角為 18°。另外，為確認所設計的太陽光伏發電廠可符合投資效益，接著進行成本效益分析。此太陽光伏發電廠年總發電量為 521,673 kWh，然後使用 PV\*SOL 軟體進行分析，由模擬結果可知，此系統可在第 11 年回收成本，並於 20 年的淨現值達到 2450 萬元，資本報酬率為 18.82%，電力生產成本為 2.66 元/kWh。本文亦探討部分重要數據變動時，對系統回收年限、淨現值與投資報酬率的影響。本文的執行結果可提供給電力公司與相關能源公司做參考，對國內發展太陽光電產業與提高再生能源併網有極大的助益。

## 參考文獻

- [1] 經濟部能源委員會。 <http://www.moeaec.gov.tw/>
- [2] IEEE 1547 Standard for Interconnecting Distributed Resources with Electric Power Systems(2013).
- [3] VDE-AR-N 4105: Power Generation Systems Connected to the Low-voltage Distribution Network, VDE, German (2011).
- [4] 台灣電力股份有限公司再生能源發電系統併聯技術要點 (民98年12月8日)。
- [5] Which PV\*SOL is for me? (n.d.). <http://www.solardesign.co.uk/pv.php>
- [6] 林明獻 (2013)。太陽電池技術入門。台北市：全華圖書股份有限公司。
- [7] 友達(AUO)PM240模組規格。取自<http://solar.auo.com/>
- [8] Satcon Technology Corporation PowerGate Plus 100KW-480V PV Inverter 規格。取自<http://www.satcon.com/>
- [9] 郭昱瑩 (2007)。成本效益分析。台北市：華泰文化。
- [10] C. H. Lin, W. L. Hsieh, C. S. Chen, T. T. Ku and C. T. Tsai (2011). Financial Analysis of a Large-Scale Photovoltaic System and Its Impact on Distribution Feeders. *IEEE Trans. on Industry Applications*, 47(4), 1884-1891.
- [11] 鄭蜀文 (2013)。太陽光伏系統之設計與經濟效益分析(碩士論文)。南臺科技大學，台南市。