

「2022 中華民國營建工程學會第二十屆營建產業永續發展研討會」

單晶矽太陽能光電系統發電數據解析－以桃園市蘆竹區
廠房為例

*葉安迪(Anti Yeh)

中國科技大學建築研究所研究生

簡君翰(Chunhan Chien)

中國科技大學建築研究所助理教授

摘要

本研究調查單晶矽太陽能發電在桃園蘆竹地區實際運轉情形，比對中央氣象局桃改臺北分場測站（72AI40）、桃園農改場測站（72C440）以及蘆竹廠房氣象觀測儀器所測得之年均日射量，得知三測站的年均日射量皆超過 3.50 kWh/m²/Day，已屬於具有太陽能光電系統發電潛力之地區。本研究統計 2020 年桃園市蘆竹區某廠房屋頂之單晶矽太陽能發電系統全年日射量、發電量、組件效率、逆變器轉換率，研究顯示每瓩的太陽能光電系統年均發電量約為 1,069 kWh，可取代建築耗能達到近零耗能建築之目標。

關鍵詞：單晶矽、日射量、發電量、近零耗能建築

Analysis of Power Generation Data of single crystalline silicon solar cell- A case study of the Plant in Luzhu District, Taoyuan City.

Abstract

This study investigates the actual operation of monocrystalline silicon solar power generation in the Luzhu area of Taoyuan, and compares the Central Meteorological Administration's Taoyuan Station (72AI40), the Taoyuan Agricultural Station (72C440) and the Luzhu Plant Meteorological Observation Station. According to the measured annual average insolation, it is known that the annual average insolation of the three stations exceeds 3.50 kWh/m²/Day, which already belongs to the area with the potential of solar photovoltaic system power generation. This study counts the annual insolation, power generation, module efficiency, and inverter conversion rate of the monocrystalline silicon solar power generation system on the roof of a factory in Luzhu District, Taoyuan City in 2020. It is 1,069 kWh, which can replace the energy consumption of buildings to achieve the goal of near-zero energy consumption buildings.

一、緣起與目的

電能為民生與工業不可或缺的能源之一，根據經濟部能源局自 2010 年到 2020 年近 10 年電力消費統計，住宅部門電力消費成長 15.60%。我國發電方式分別為：火力、核能、再生能源與水力等四種組成，火力發電佔比 82.18%，核能發電佔比 11.22%。再生能源佔比 5.47%。水力發電佔比 1.13%。

然而，臺灣在地理位置上屬於四面環海的海島型國家，絕大多數的能源原物料非我國自然資源，燃煤與天然氣發電方式佔我國總發電量高達八成，並且全數仰賴進口。其採購價格、到貨時間等條件皆非由我國可完全掌控，加上新冠肺炎疫情影響導致國際能源原物料價格、海運價格大幅度的調漲，燃煤價格自 2020 年至 2021 年期間調漲 2.61 倍。天然氣同樣自 2020 年至 2021 年期間調漲 2.34 倍。

為了降低傳統發電燃料的使用需求與發展其他因應對策，我國逐年推動各項可再生能源計畫並持續擴大推動屋頂型設置太陽能光電系統，利用屋頂空間使用發揮至最大效益。期望在政策的推動下太陽能光電系統能成為普及率高、發電功率優良以及對自然環境友善的可再生能源取得方式之一。

本研究以桃園市蘆竹區某廠房屋頂型單晶矽太陽能光電系統在運轉中所記錄的實際數據資料，進行單晶矽太陽能光電系統發電數據統計，並解析光電板組件效率、直流電轉換交流電逆變器效率，以期對日後在相同區域內有意裝設屋頂型太陽能系統之用戶提供參考資料與評估依據。

二、理論與方法

2-1 桃園地區日照環境與發電量推估

日射量是建築環境計畫中重要的考量因子之一，在太陽能光電系統的發電量推估研究方面，北部地區年平均日射量約為 2.68 kWh/m²/Day，並將年均日射量 3.00 kWh/m²/Day 定義為適合發電區域區間（何明錦，2007）。每瓦容量需要約 10 m² 的裝設場地，每瓦容量的太陽能光電系統於北部地區一年發電量約為 803 kWh（何明錦，2015）。

另外，根據中央氣象局桃改臺北分場測站（72AI40）2020 年年均日射量約為 3.73 kWh/m²/Day 以及桃園農改場測站（72C440）2020 年年均日射量約為 4.35 kWh/m²/Day，從這兩個測站可再將日射量精度縮小範圍至桃園地區（中央氣象局，2020）。

2-2 單晶矽太陽能模組

太陽能發電產業發展已逐漸成熟，也成為再生能源之中設備模組化供應鏈相當完善且相較於其他能源設備所需場地較小、危險性較低。其中，單晶矽太陽能電池轉換效率比多晶矽及非晶矽太陽能電池較高，光能轉換電能效率約為 15-24%，而模組化後其轉換效率約為 10-14%。發電特性極為安定，使用年限長，

約有 20 年耐久性。但相對製作成本較高、製作時間冗長，當日光微弱、或運作溫度較高時，將更大幅度地影響能源輸出水準（謝明諺，2013）。

2-3 統計區域範圍、時程與方法

在桃園市蘆竹區零星工業區內某廠房裝設屋頂型太陽能光電系統，周邊無高於廠房屋頂之建築物、植被等影響日照的遮蔽物，屬於相當良好裝設太陽能光電系統的區域條件。統計時程自 2020 年 01 月 01 日至 2020 年 12 月 31 日止。在太陽能模組及變流器之間裝設直流發電和組串資料監測儀表，統計直流電發電量。在變流器與市電接連處之間裝設交流發電資料監測儀表，統計直流電轉交流電之電能損失。在太陽能模組東西南北四個方位裝設日照計，統計水平日射量。

三、研究過程與成果

3-1 數據來源與現況

本研究實測蘆竹廠房太陽能光電系統 2020 年全年運轉現況，監測項目包含日射量、發電量、組件轉換率、逆變器轉換率。彙整桃園農改場測站（72AI40）與桃園農改場台北分場測站（C27440）之日射量紀錄與蘆竹廠房自有監測系統中日射量紀錄數據並作比較分析。蘆竹廠房與兩個測站相對位置，如圖 1 所示（◆蘆竹廠房，▲桃園農改場測站，★桃園農改場台北分場測站）。

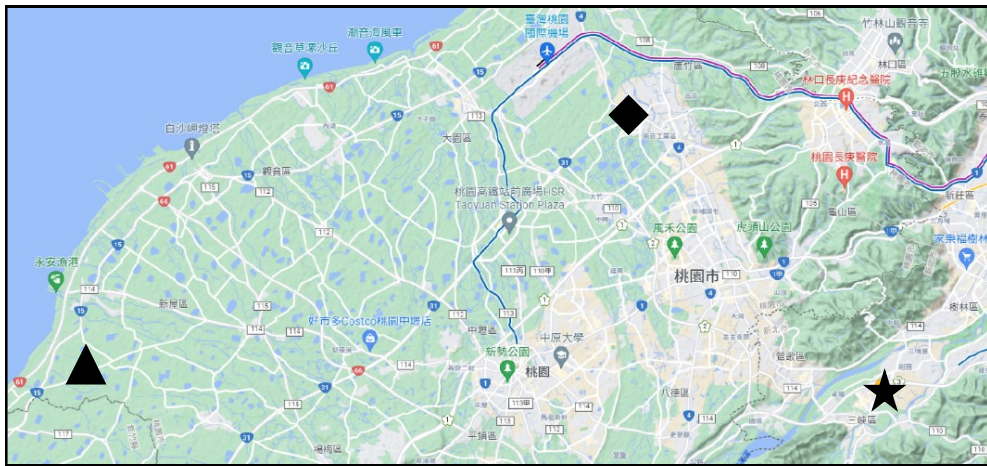


圖 1 測站區域位置圖

蘆竹廠房裝設太陽能光電系統分共為四場，每場容量 498.6 kWp，總計裝設容量為 1,994.4 kWp。組件峰值功率 300 Wp，單片尺寸 1640 * 992 * 40 mm，每場使用 1,668 片，每場屋頂面積約為 2,713.63 m²，總計使用屋頂面積約為 10,854.54 m²。組件效率 18.4%，逆變器轉換率 98.8%，詳細設備規格如表 1，設置面積如圖 2 所示。

表 1 單晶矽太陽能光電系統設備規格表

組件效率 (%)	逆變器轉換率 (%)	直流電監測	交流電監測	日照計
18.4	98.8	模組與逆變器之間	逆變器與市電接連處之間	模組東西南北四個方位裝設

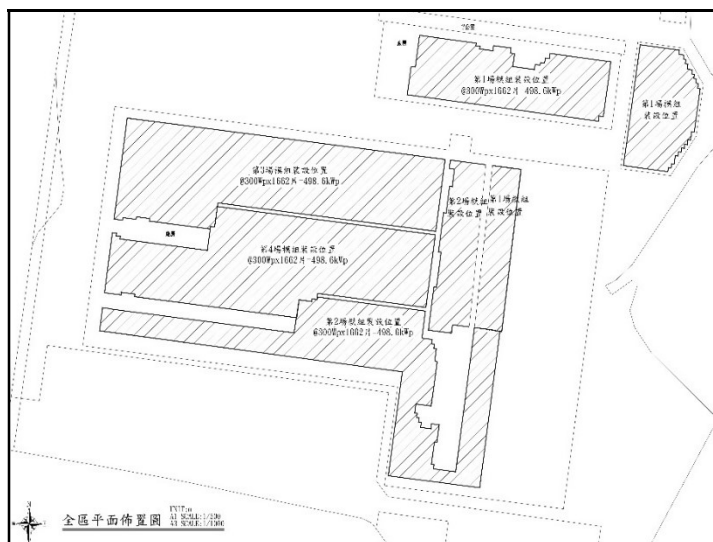


圖 2 裝設屋頂配置圖

3-2 日射量數據解析

主要影響太陽能光電系統發電效率為日照時數與日射量，近年來因全球氣候變化影響亞熱帶氣候區的日照時數與日射量有逐年提高的跡象，在同一縣市不同區域也會因地形、地貌等不同的微氣候造成日射量產生差異。

本研究案例之蘆竹廠房，月均日射量最高在六月份，為 5.75 kWh/m²/Day，最低在十二月份，為 1.18 kWh/m²/Day，年均日射量為 3.55 kWh/m²/Day。另外整理桃改臺北分場、桃園農改場日射量統計數據做對比依據。日射量統計詳細數據如表 2 所示。

表 2 2020 年日射量統計表

月份	一	二	三	四	五	六	七	八	九	十	十一	十二	年平均
蘆竹廠房	2.41	3.19	2.72	3.16	4.07	5.75	5.61	4.96	3.86	2.91	2.73	1.18	3.55
桃改臺北分場	2.71	3.50	2.97	3.14	3.92	5.71	5.65	5.18	4.09	3.17	3.01	1.66	3.73
桃園農改場	2.95	3.79	3.33	3.93	4.77	6.30	6.44	5.84	4.78	4.53	3.76	1.79	4.35

單位：kWh/m²/Day

3-3 發電量數據解析

本研究案例之蘆竹廠房數據中太陽能光電系統每月最高發電量在七月，為 312,568 kWh/kWp/month，最低在十二月，為 79,577 kWh/kWp/month。每瓦容量

日平均發電量最高發電量在七月，為 5.06 kWh/kW/day，最低在十二月，為 1.29 kWh/kW/day。每平方公尺日平均發電量最高發電量在七月，為 0.93 kWh/m²/day，最低在十二月，為 0.24 kWh/m²/day。

根據 2020 年統計每瓦容量每日發電量約為 3.20 kWh，等同於每平方公尺太陽能光電系統每日發電量為 0.58 kWh。由此可知在實際運轉中光能轉換電能平均轉換效率為 16.9%，相較出廠規格說明書效率衰減約 8.2%，直流電發電量統計如表 3 所示。

表 3 2020 年直流電發電量統計表

月份	一	二	三	四	五	六
累積發電量(kWh/kWp/month)	135,318	169,784	157,897	172,557	222,240	299,059
日均發電量(kWh/kW/day)	2.19	2.94	2.55	2.88	3.59	5.00
日均發電量(kWh/m ² /day)	0.40	0.54	0.47	0.53	0.66	0.92
組件效率(%)	16.7	16.9	17.3	16.8	16.2	16.0
月份	七	八	九	十	十一	十二
月累積發電量(kWh/kWp. month)	312,568	269,318	205,449	163,858	148,906	79,577
日均發電量(kWh/kW. day)	5.06	4.36	3.43	2.65	2.49	1.29
日均發電量(kWh/m ² /day)	0.93	0.80	0.63	0.49	0.46	0.24
組件效率(%)	16.6	16.1	16.4	16.7	16.7	20.1

3-4 逆變器數據解析

光能經太陽能光電板組件轉換成直流電後，經由逆變器將直流電轉換成交流電，也是常規電器所使用或併聯台灣電力公司系統的電流要求。逆變器轉換效率最高在十二月份，為 98.4%，最低在六月份，為 87.9%。逆變器在出廠規格說明書中最高轉換效率為 98.8%。

根據 2020 年統計數據累計直流發電量為 2,336,531 kWh，直流電轉換成交流電之電量為 2,132,622 kWh。由此可知實際運轉中測試紀錄平均效能值為 91.2%，相較出廠規格說明書效率損失約 8.7%，交流電發電量統計如表 4 所示。

表 4 2020 年交流電發電量統計表

月份	一	二	三	四	五	六
累計直流發電(DC)	135,318	169,784	157,897	172,557	222,240	299,059
累計交流發電(AC)	125,332	158,748	150,318	160,651	201,349	262,873
轉換率(%)	92.6	93.5	95.2	93.1	90.6	87.9
月份	七	八	九	十	十一	十二
累計直流發電(DC)	312,568	269,318	205,449	163,858	148,906	79,577
累計交流發電(AC)	278,186	239,154	186,137	153,535	138,036	78,304
轉換率(%)	89.0	88.8	90.6	93.7	92.7	98.4

四、結論與建議

4-1 結論

太陽能光電系統發電量部分，本研究所統計之年均日射量為 3.55 kWh/m²/Day，優於適合設置太陽能光電系統日設置量 3.0 kWh/m²/Day 之評估基準。每瓦容量的年均交流電發電量約為 1,069 kWh，每瓦容量使用面積約 5.44 m²。

太陽能光電組件與逆變器轉換效率，光能轉換成直流電的組件效率 16.9 %、直流電轉換成交流電逆變器轉換率 91.2 %，經過兩次轉換才能輸出常規電器所使用的電流要求。以相同日射量但用設備出廠規格推估發電量與實際發電量之間差異約 16.3%，造成許多不必要的損失。

4-2 建議

本研究案例之蘆竹廠房，年均日射量為 3.55 kWh/m²/Day，從月均日射量解析達標僅有 2 月、4 月到 9 月，共 7 個月。其餘未達標準之月份如使用太陽能發電系統為主要供電設備，儲能系統及電力分配為後續研究的課題。

解析直流電轉換交流電數據顯示轉換過程效率損失約 8.7 %。如日後在設施設備上可推廣直接使用直流電的電器與設施，將可降低直流電交流電轉換產生的電能損失，提高太陽能發電使用效率。

五、參考文獻

1. 謝明諺，單晶矽與多晶矽太陽能模組實測研究，國立中央大學光電科學與工程學研所，桃園市，2013。
2. 何明錦，歐文生，施文和，黃國倉，施孟亨，劉桂宏，建築物建置太陽能光電最佳化設計模型之研究，內政部建築研究所研究報告，2007。
3. 何明錦，趙又嬋，鄭明仁，廖峯淇，詹佳綾，我國近零能源建築設計與技術可行性研究，內政部建築研究所研究報告，2015。
4. 交通部中央氣象局，農業氣象觀測網監測系統桃改臺北分場測站（72AI40）、桃園農改場測站（72C440）累積日射量 2020 年 01 月 01 日至 2020 年 12 月 31 日，取自 https://agr.cwb.gov.tw/NAGR/history/station_day，2020。
5. 台灣電力公司，歷年發電結構，取自 <https://www.taipower.com.tw/tc/page.aspx?mid=202>，2020。
6. 經濟部能源局，電力消費統計 2010 年 01 月 01 日至 2020 年 12 月 31 日，取自 <https://data.gov.tw/dataset/36683>，2020。
7. 鉅亨網，澳洲紐卡爾斯港煤走勢 2020 年 07 月 01 日至 2021 年 06 月 30 日，取自 <https://www.cnyes.com/futures/Javachart/NCFCON.html>，2020。
8. 鉅亨網（2020），紐約天然氣走勢 2020 年 07 月 01 日至 2021 年 06 月 30 日，取自 <https://www.cnyes.com/futures/Javachart/NGCON.html>，2020。