

大尺寸模組及金屬組件溫濕環境腐蝕 試驗研究

丁三字 / 楊維綸 / 盧冠伍 / 蔡閔安 / 謝卓帆

本研究聚焦於大尺寸太陽能模組及金屬組件，深入探討模組放大對可靠度的影響。選用M6、M10單晶太陽能模組和建築整合 (Building-integrated photovoltaic; BIPV)鋼板G12光電模組，關切太陽能光電模組設計材料的變革。同時考察太陽能系統的耐用性，尤其是金屬組件在台灣亞熱帶氣候的挑戰，透過四種金屬鎖扣件進行可靠度試驗，模擬金屬接觸可能的腐蝕現象。參考IEC 61730-2:2023及IEC 61215-2:2021標準，結合溫溼度可靠度試驗，包括低溫、乾熱和濕冷凍，提升對太陽能模組的要求，通過這些測試，評估大尺寸模組及金屬組件在極端環境下的可靠性，確保其能抵抗腐蝕和水氣膨脹所帶來的損害。

一、前言

近年來，太陽能發電逐漸普及，模組尺寸也隨之放大以提高發電效率，然而，模組尺寸增加可能會對可靠度造成影響，因此有必要深入探討其影響因素。本研究選用了三種面積大於2.1 m²的大尺寸太陽能電池模組，包括M6和M10單晶太陽能模組以及建築整合 (Building-integrated photovoltaic, BIPV) 鋼板G12光電模組。透過這三種型式的選擇，探討了模組大小逐漸放大對可靠度的可能影響。此外，太陽能發電系統的耐用

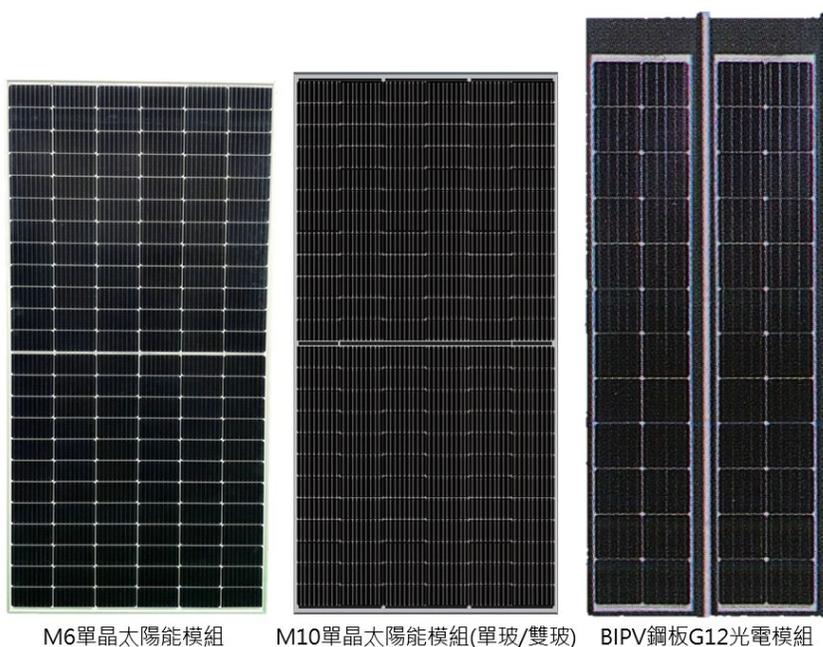
性不僅取決於太陽能模組本身，還需考慮搭配的金屬組件；台灣亞熱帶氣候中，強風、高濕度和溫度變化對金屬組件造成影響，為了模擬實際情境，選用了四種常見金屬鎖扣件進行可靠度試驗，測試部分主要參考了最新國際標準IEC 61730-2:2023及IEC 61215-2:2021進行設計，該標準對大尺寸太陽能系統品質提出了更高的要求。本研究將標準內三項較為嚴苛的溫溼度可靠度測試進行結合，分別為低溫試驗、乾熱試驗及濕冷凍試驗。藉由上述低溫、高溫及高濕度的循環測試，可以試驗大尺寸太陽能模組及金屬組件是否

足夠抵抗腐蝕傷害和水氣膨脹擴大材料分子的影響。

二、研究實驗設計

隨著近年來太陽能電池片逐漸放大，新型大尺寸太陽能電池模組面積大小已超越2.1 m²以上，為了能針對各種型態之大尺寸太陽能電池模組，進行有效且準確的大尺寸模組及組件可靠度評估試驗，本研究選用了三種型式面積大於2.1 m²以上的大尺寸太陽能電池模組，其分別為M6單晶太陽能模組、M10單晶太陽能模組及建築整合 (Building-integrated photovoltaic; BIPV) 鋼板G12光

電模組，如圖一所示。選用此三種型式除了可探究當電池及模組大小逐漸放大的情況下，其可靠度是否也會因此受到影響。而除了模組尺寸大小的變化之外，太陽光電模組本身設計材料變化也是必須考慮的要點，為了提升國內太陽能建置量，國內廠商研發出與建築整合的太陽能BIPV新型大尺寸鋼板光電模組，相較一般鋁框太陽能模組，BIPV大尺寸鋼板光電模組具有輕量化、易安裝及低成本等優點，預計將會成為未來國內太陽能市場主力之一，因此將此型式納入本研究，可進行大尺寸模組材料變化對於其可靠度的影響。



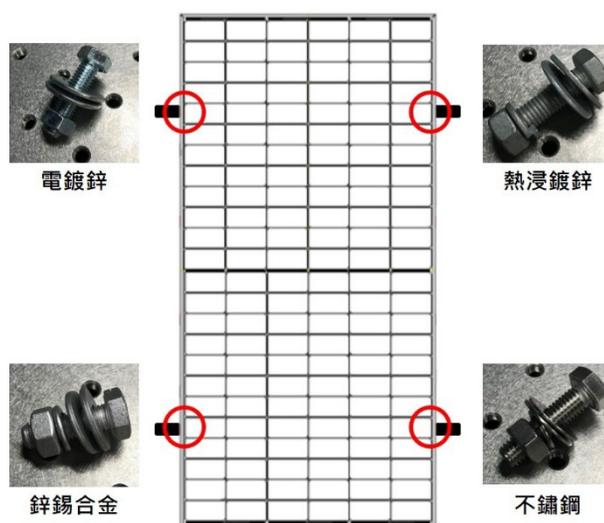
圖一 各式大尺寸太陽能電池模組

然而，談及太陽能發電系統的可靠性和耐用性時，除了考慮大尺寸太陽能模組條件外，配套的金屬組件也會對其可靠性產生影響。台

灣四周環海的環境，造就夏季高溫高濕和冬季低溫高濕等嚴苛的氣候條件。在太陽光電案場實際應用中，金屬組件與太陽能模組的連接部

分，以及與不同金屬直接接觸的螺栓孔等地方，都是需要考慮的重要因素。不同金屬相接觸時，由於標準電極電位存在差異，會產生電流，在受環境影響較強的一側，金屬可能會發生腐蝕。腐蝕後，材料表面可能出現孔洞，進而導致連接部位強度降低等問題，如果遭受強風襲擊，

還可能導致太陽能電池板掉落等事故。因此，為了評估大尺寸太陽能模組及其配套金屬組件的可靠性，研究中選擇了四種常用的金屬鎖扣件，如圖二所示，模擬實際情況將其鎖固於模組和支架上，並進行可靠度試驗測試。



圖二 大尺寸模組及金屬組件架設圖

選定進行研究之大尺寸模組及金屬組件後，針對大尺寸模組及組件可靠度評估試驗平台部分，主要參考了最新國際標準IEC 61730-2:2023及IEC 61215-2:2021進行設計，這兩份標準是太陽能產業最重要的基礎標準之一，對

於太陽能模組安全結構與測試要求可靠度鑒定，對大尺寸太陽能模組品質提出了更高的要求；本研究將標準內三項較為嚴苛的溫溼度可靠度測試進行結合，分別為低溫試驗、乾熱試驗及濕冷凍試驗，其測試條件如下表一。

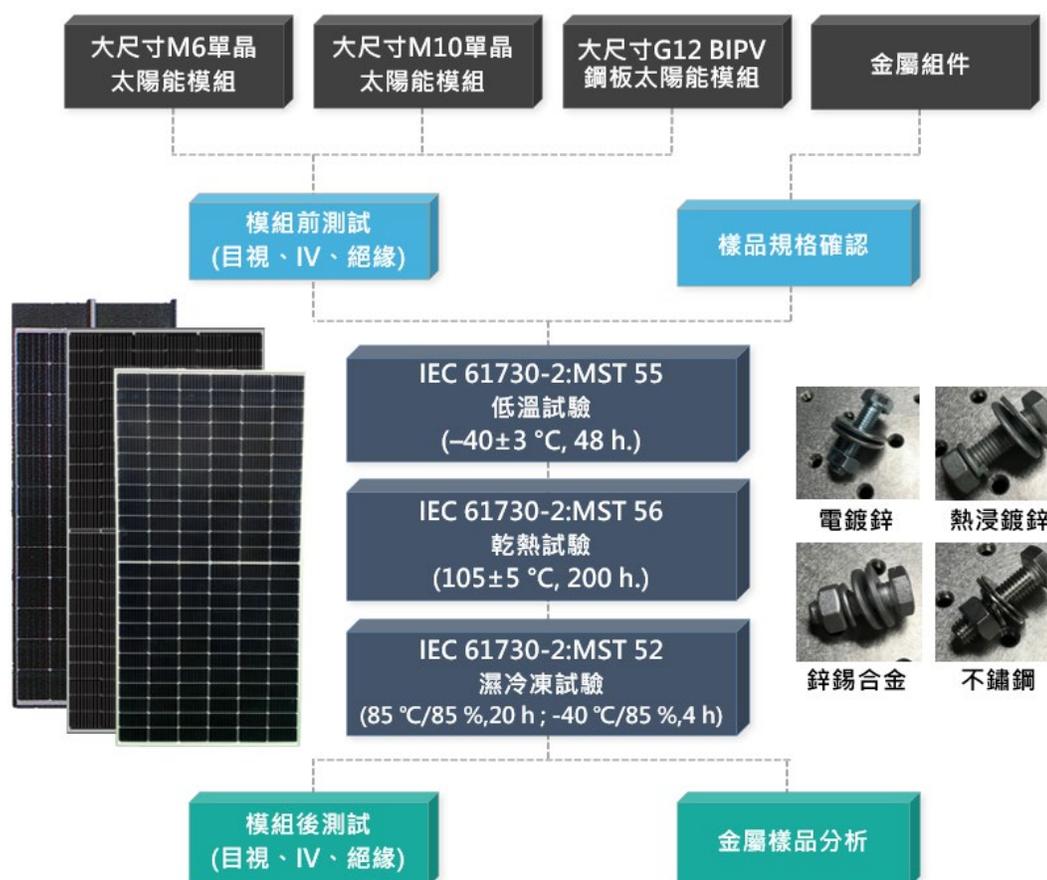
表一 大尺寸模組及組件可靠度評估試驗條件

試驗名稱	試驗條件	試驗時程
低溫試驗	溫度：-40 ± 3 °C	48 小時
乾熱試驗	溫度：105 ± 5 °C	200 小時
濕冷凍試驗	溫度85 °C / 濕度 85% R.H. 溫度-40 °C / 濕度 85% R.H.	高溫20 小時 低溫 4 小時 循環10 cycles

備註: R.H.為相對溼度

藉由上述低溫、高溫及高濕度的循環測試，藉此可以試驗大尺寸太陽能模組及金屬組件是否足夠抵抗腐蝕傷害和水氣膨脹擴大材料

分子的影響，大尺寸模組及組件可靠度評估試驗流程如圖三。



圖三 大尺寸模組及組件可靠度評估試驗流程圖

三、研究執行情況

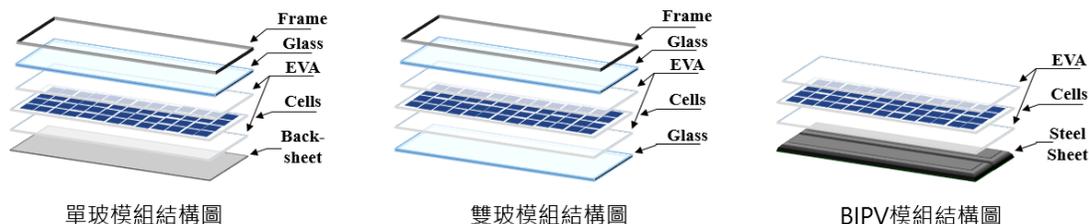
近年來在太陽能系統的應用中，因大尺寸模組具有更大的表面積和更高的功率輸出，能夠更有效地收集和轉換太陽能，在太陽能系統中扮演著重要的角色，而金屬鎖固件則是大尺寸模組安裝過程中不可或缺的組件。為了確保這些系統的可靠性和穩定性，針對大尺寸模組以及太陽能系

統常見的金屬鎖固件材料做了準備工作。模組方面，選用M6單晶太陽能模組、M10單晶太陽能模組以及BIPV新型G12大尺寸鋼板光電模組，為了確保測試前後的數據比較，首先進行了相應的前置準備工作，包含目視檢查、STC狀態最大功率量測、乾絕緣測試及濕漏電測試，模組結構及初始功率量測結果如表二及圖四所示。

表二 大尺寸太陽能模組初始功率量測結果

樣品編號	太陽電池尺寸 (mm)	太陽模組尺寸 (mm)	測試條件	P_{max} (W)	FF (%)
ITRI-M6單玻-01	M6 (166 × 166)	2,095 × 1,039 × 40	Initial	454.0	80.02
ITRI-M10單玻-02	M10 (200 × 200)	2,277 × 1,133 × 40	Initial	535.7	78.30
ITRI-M10雙玻-03	M10 (200 × 200)	2,277 × 1,133 × 40	Initial	543.8	78.84
ITRI-G12 BIPV-04	G12 (210 × 210)	2,660 × 550 × 20	Initial	206.9	72.06

備註: FF為填充因子 (Fill factor)。



圖四 大尺寸太陽能模組結構

金屬鎖固件材料方面，實驗室與國內金屬材料業者合作，在選用目前現行普遍四種商用材料，分別為電鍍鋅、熱浸鍍鋅、鋅錫合金以及不鏽鋼，支架部分則是選用太陽能系統廠常用的兩種材料，分別為鎂鋁鋅合金以及鎂鋁鋅合金新日鋼，將不同金屬材料結合之螺絲、扣件及支架為組合，

與大尺寸太陽能模組架設安裝，一併進行圖三大尺寸模組及組件可靠度評估試驗測試，以模擬實際戶外太陽能系統的架設情況，在進行大尺寸模組及組件可靠度評估試驗，更能有效驗證其性能和老化情況。

四、研究執行結果

完成大尺寸模組及組件可靠度評估試驗

後，我們首先檢視大尺寸太陽能模組是否受到環境溫濕、腐蝕或水氣膨脹擴大材料分子等因素的影響。我們對M6單晶太陽能模組、M10單晶太陽能模組以及BIPV新型G12大尺寸鋼板光電模組進行了模組後測試，包含目視檢查、STC最大功率測試、乾絕緣測試和濕漏電流測試等。在目視檢查中，我們發

現M6單晶太陽能模組、M10單晶太陽能模組以及BIPV新型G12大尺寸鋼板光電模組的外觀部分並未出現腐蝕或損壞的情況。乾絕緣測試和濕漏電流測試的結果也顯示，這些模組的性能與初始值相比差異不大。然而，值得注意的是，最為明顯的差異出現在測試前後的功率部分。

表三 大尺寸模組測試前、後功率量測結果

樣品編號	太陽電池尺寸 (mm)	太陽模組尺寸 (mm)	測試條件	P_{max} (W)	功率衰減 (%)
ITRI-M6單玻-01	M6 (166 × 166)	2,095 × 1,039 × 40	Final	440.1	3.06
ITRI-M10單玻-02	M10 (200 × 200)	2,277 × 1,133 × 40	Final	516.9	3.51
ITRI-M10雙玻-03	M10 (200 × 200)	2,277 × 1,133 × 40	Final	536.1	1.42
ITRI-G12 BIPV-04	G12 (210 × 210)	2,660 × 550 × 20	Final	129.9	37.22

如表三所示，經過大尺寸模組及組件可靠度評估試驗流程後，我們首先觀察M6單晶太陽能模組和M10單晶太陽能模組的功率衰減，均未超過5%。然而，實驗發現M10單晶的功率衰減較M6單晶更明顯，推測原因可能是由於M10單晶模組的表面積較大，在高低溫循環中，溫度效應可能對太陽能電池的性能產生更大的影響，進而影響其效能和壽命。同樣是M10單晶大小的大尺寸模組中，一般背板大尺寸矽晶太陽模組的功率衰減較雙面玻璃大尺寸矽晶太陽模組更為明顯。這可能是因為單面模組在高低溫循環時，內部元件受到環境溫度變化的影響較大，容易出現微小損傷或老化，進而影響功率輸出，而雙面模組由於有正反面玻璃保護層，具有

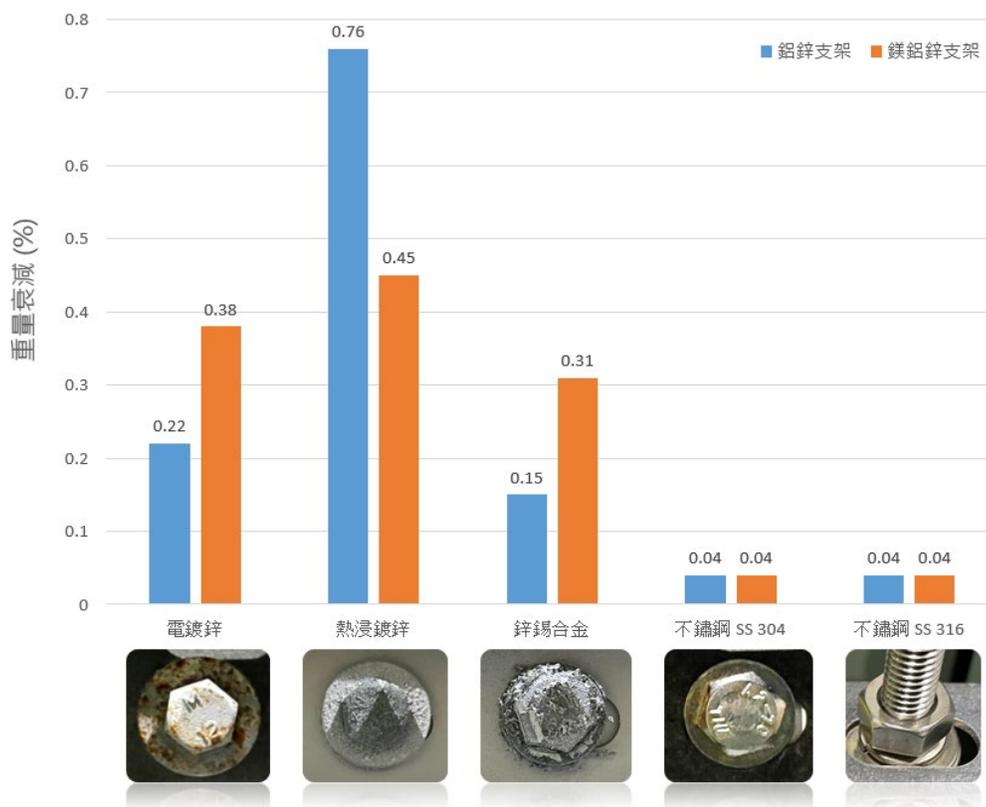
更高的耐候性。

此外，大尺寸BIPV太陽模組的測試後功率衰減超過35%，主要原因可能來自其模組結構。由於搭配大尺寸電池，模組體積增大，表面增加強化玻璃，使得安裝上的困難度增加。為減輕重量，模組正面沒有玻璃保護矽晶電池，使得太陽能電池更容易受到外部環境的影響。這強調了玻璃封裝對於電池保護的重要性，可提供業界在製造大尺寸矽晶模組或BIPV太陽模組時的參考。

除了模組功率電性量測外，此試驗還對市面上常用金屬組件進行了可靠度評估試驗，研究測試前後的老化腐蝕程度。根據CNS 14122標準，使用機械處理的方式，在持續流動的水中以軟毛刷進行樣品清洗，清除腐

蝕生成物，並對電鍍鋅扣件、熱浸鍍鋅扣件、鋅錫合金扣件、不鏽鋼SS 304扣件及不鏽鋼SS 316扣件等進行了測試前後重量量測比較。

結果如圖五所示，這些常用金屬扣件經過可靠度評估試驗後，金屬重量均有下降。



圖五 常用金屬扣件戶外測試前、後重量比較

可以發現不同金屬扣件其重量減少程度不同，其中又以鍍上金屬後之螺絲，如鍍鋅及熱浸鍍鋅，其腐蝕程度較為嚴重，在經過高溫低溫濕度循環測試之後，可能會發生鏽蝕的原因是多種因素的綜合作用。首先，化學反應在高溫、濕度的環境中更容易發生，導致螺絲表面產生氧化物，進而形成鏽蝕；其次，水分與氧氣是鐵鏽蝕的主要元兇，而

高溫低溫的變化可能使水分滲透到微小裂縫中，使得氧氣更容易接觸螺絲表面，從而引發鏽蝕。除此之外，熱膨脹與收縮現象也參與其中，高溫和低溫的變化可能加速微小裂縫的形成或擴大，進一步促進水分滲透，加速鏽蝕的過程。另外從上述結果來看，螺絲的材料也是影響其耐腐蝕性的重要因素，不鏽鋼、合金等金屬相對於一般鋼材有更強的

抗腐蝕性，因此在惡劣環境中使用螺絲時，選擇合適的材料至關重要。藉由高溫低溫濕度循環之可靠度評估試驗，模擬金屬扣件長期處於極端環境中，可能破壞螺絲表面的保

護層，使其更容易受到腐蝕，在這樣的條件下，為了確保螺絲的耐用性，除了選擇抗腐蝕性較強的材料外，還應考慮採取其他保護措施，以延長其使用壽命。

結論

本研究針對大尺寸太陽能模組及金屬組件進行可靠度評估試驗，以探討模組放大對可靠度的影響。試驗結果顯示，大尺寸模組的功率衰減與模組尺寸、設計材料和組裝等因素有關。在模組尺寸方面，M6及M10單晶太陽能模組功率衰減未超過5%，M10單晶較明顯，或因其表面積大，溫度變化影響較大。M10單晶大尺寸模組中，背板矽晶模組功率衰減較雙面玻璃模組明顯，單面模組在高低溫循環易受環境變化影響。在設計材料方面，大尺寸BIPV模組後測功率衰減超過35%，可能因模組結構增大，安裝困難度提高，正面無保護矽晶層，易受外部影響。強調了玻璃保護層對電池保護的重要性。在組裝方面，試驗也評估了市面上金屬組件，如電鍍鋅、熱浸鍍鋅、鋅錫合金、不鏽鋼SS 304和SS 316扣件，測試前後重量比較，結果顯示金屬扣件經評估試驗後均有下降，腐蝕程度與材料選擇有關，利用高溫低溫濕度循環試驗模擬極端環境，可破壞扣件表面保護層，選擇耐腐蝕材料及採取保護措施，有助於提升扣件使用壽命。基於上述研究結果，在模組設計方面，應考慮模組尺寸對功率衰減的影響，並採取措施減緩功率衰減，例如，採用雙面玻璃模組或在模組背面加裝保護層；在組裝方面，應使用耐腐蝕材料或採取保護措施，延長金屬組件的使用壽命。例如，使用不鏽鋼或鍍鋅材料，並在金屬組件表面塗覆防腐塗層。本研究成果可為太陽能模組和金屬組件的設計、製造和應用提供參考。

誌謝

本論文由於能源署的支持，以及緻揚實業股份有限公司合作提供金屬試驗樣品，使本研究得以順利進行，特此致上感謝之意。

參考文獻

1. 經濟部能源科技研究發展 112 年度計畫。
2. IEC 61730-2:2023, Photovoltaic (PV) module safety qualification – Part 2: Requirements for testing.
3. IEC 61215-2:2021, Terrestrial photovoltaic (PV) modules - Design qualification and type approval - Part 2: Test procedures.
4. CNS 14122, 金屬及合金之腐蝕-大氣腐蝕-試片腐蝕生成物清除法

作者簡介

丁三字 / 量測中心 綠能測試驗證實驗室 / 工程師

楊維綸 / 量測中心 綠能測試驗證實驗室 / 副工程師

盧冠伍 / 量測中心 綠能測試驗證實驗室 / 工程師

蔡閔安 / 量測中心 綠能測試驗證實驗室 / 資深研究員

謝卓帆 / 量測中心 綠能測試驗證實驗室 / 正研究員
