

# 可融資性評估方案研究-太陽光電模組驗證及加嚴測試需求

許書宗<sup>1\*</sup> 龍彥先<sup>2</sup> 馬先正<sup>3</sup>

## 摘 要

為了協助太陽光電(PV)模組可融資性評估，除現有的PV產品性能與安規測試標準外，特殊環境的加嚴測試需求也應運而生。國際相關驗證機構及測試實驗室已進行設計不同的加嚴測試與驗證方案，提供判斷PV產品耐候性及可靠度的資訊，以協助銀行或投資者衡量PV融資的風險程度。有鑑於此，本研究聚焦於太陽光電可融資性評估所需驗證、加嚴測試及國際驗證方案，可幫助投資者與PV廠商建立一致的共識。太陽光電模組可融資性方案，需仰賴第三方公正驗證機構及專業測試實驗室提出之驗證方案及測試報告，確保該產品具有好的可靠度及耐候性品質，以消弭消費者使用疑慮，並減低銀行及投資者風險。而如何設計適當的加嚴測試項目或流程，將是未來PV融資研究的重點方向。

**關鍵詞：**可融資性、太陽光電、驗證、加嚴測試

## 1. 前 言

太陽光電(Photovoltaic, PV)產品必須能長時間使用於戶外環境中，才能將發電成本降至合理範圍。太陽光電系統在安裝後，產品處於風吹雨打和日曬雨淋的嚴酷條件，若要維持發電品質不變，PV模組必須能通過一系列檢驗標準才能在世界各地銷售。其次PV模組長時間受到天候、太陽輻射和空氣污染等因素影響，導致元件結構快速裂化，直到整個元件失效為止。PV模組於發電生命週期中都會有這些劣化現象，而劣化速率(Degradation Rate)變化隨著季節及天候而有所不同，嚴重影響PV模組系統在保固期(Warranty)的風險。故瞭解環境因素造成

失效的原因，將有助於PV產品可靠度的改善。

可融資性需求對所有電站開發都是相當重要的。本文著眼於新興再生能源之太陽能發電系統或製造商融資需求，特別是核心組件中的PV模組，一般都視為該發電系統重點，必須通過嚴格的國際驗證與測試程序，才能說服投資者融資。PV產品在市場上雖然商機無限，但受到近幾年全球經濟變化的影響，導致太陽光電產業結構及成員產生洗牌效應。2011年開始，太陽光電產品在後FiT (Feed-in-Tariff) 補貼時代營運挑戰加劇，多數PV業者以低於成本的價格流血搶市，外加FiT調降、供需失調、歐債危機等牽制下，造成PV市場需求低迷，引發PV廠商陸續整併或結束。為使優質廠商與

<sup>1</sup>工業技術研究院量測中心 正研究員

<sup>2</sup>工業技術研究院量測中心 工程師

<sup>3</sup>工業技術研究院量測中心 資深工程師

\*通訊作者, 電話: 03-5743864, E-mail: andersonhsu@itri.org.tw

收到日期: 2014年03月13日

修正日期: 2014年04月24日

接受日期: 2014年05月12日

產品能持續生存，需要銀行提供即時的融資，並借助第三方驗證機構(Third-Party Certification Organization)及測試實驗室(Testing Lab)提出之新驗證方案及測試報告，確保太陽光電產品之可靠度(Reliability)及耐候性(Durability)品質，以消弭消費者使用疑慮，並減低銀行及投資者風險(Jenya Meydbray, 2011)。以下就PV產品可融資性(Bankability)評估作法所需的太陽光電測試標準、加嚴測試和各機構評估驗證方案作說明，以協助PV業者、銀行或投資者了解PV驗證設計方案，解決PV廠商融資取得問題。整體而言，實現太陽光電“可融資性”評估可提升對PV產品可靠度和融資專案風險信賴度，並藉此獲取雙方最大利益。

## 2. 太陽光電產品可融資性評估作法

太陽光電可融資性(Bankability)是由銀行或投資者定義的投資評估標準(Julia Burrows, 2011)。可融資性是從融資銀行的角度來衡量投資的風險程度，銀行一般會以定量和定性評估，結合多種因素進行鑑別，包括產品或技術是否通過驗證、製造商資產負債表、完工的可能性、承購人的償還能力、專案零組件的品質及環境因素等。銀行融資是表達該專案債務的可被信任度、服務能量和實現安全回報的程度，以作為最低融資審核要求。銀行評估者須建立優質產品及廠商白名單，如模組和模組製造商、太陽光電元件和元件製造商與其他利益

相關者，作為融資選擇的依據。

就太陽光電產業的可融資性而言，投資報酬率的評估與PV零組件的耐候性及可靠度息息相關。為了證實PV產品品質，國際相關驗證機構或測試實驗室已分別提出各自的驗證方案(Certification Project)及加嚴測試(Extended Qualification Test)。例如嚴苛的濕熱測試(Damp Heat Test)，PV模組經過2,000小時處於高溫高濕環境下，造成封裝層間產生間隙，空氣中濕氣得以滲透至模組內，導致模組層與層之間產生分離及電池腐蝕。測試後結果以電致發光法(Electro-luminescence, EL)分析，可明顯看到該電池邊緣產生腐蝕徵兆(圖1)，同時接線盒(Junction Box)也顯示有濕氣侵入腐蝕金屬元件並造成短路(圖2)。目前太陽光電成本常以前期成本減掉補貼優惠，例如預估PV模組功率每年約1%的衰減率之作法，當然不足以作為融資考量因素，並忽略了產品耐候性因素。另外零組件製造商將部分收益用作服務保證金，若提高產品可靠度將有助於降低該保證金的額度。

圖3中TÜV可融資性評估驗證技術關係示意圖，強調業者除持續新產品設計及製造技術外，須完整進行相關的可靠度及性能驗證暨測試，才能確保產品的品質及實現投資回報。如此，可闡釋圖3中產業營運與供應鏈確認和性能或可靠度測試之關聯性。故進行太陽光電可融資性的驗證方案是必需的(S.T. Hsu, 2013)，可提供投資者風險成本評估，並有效結合銀行管理及投資者，共同確保專案競爭力之優勢。而從驗證方案所衍生的加嚴測試，可協助製造商

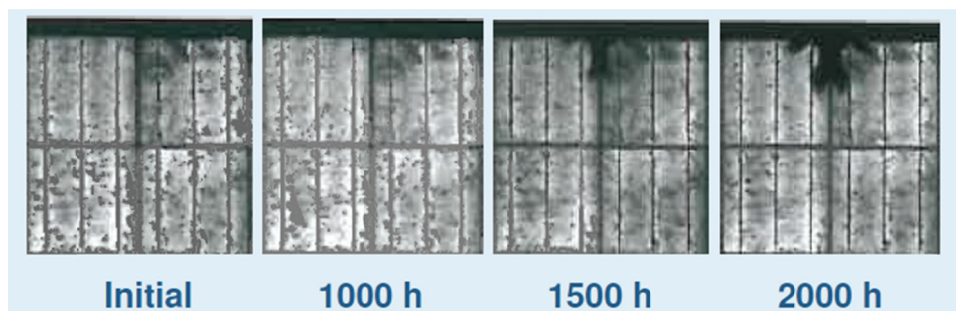


圖1 太陽光電模組濕熱測試EL圖(資料來源：N. Bogdanski, 2011)



圖2 太陽光電模組濕熱測試腐蝕圖(資料來源：PV magazine, 2013)

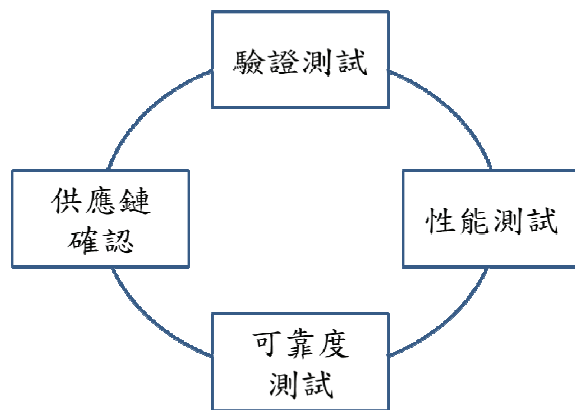


圖3 太陽光電可融資性評估驗證關係示意圖(資料來源：許書宗，2013；Herman K. Trabish, 2013)

深入了解該產品在不同區域之壽命、發電效率及元件老化等寶貴資訊，進而提升投資者與業主的信心及保證更大的投資回報率。

### 3. 太陽光電測試標準現況與全球環境狀態分類

#### 3.1 太陽光電測試標準現況

目前國際太陽光電測試標準約有300餘種，主要項目整理如表1，其中最常用IEC 61215 /61646 /61730等標準，是針對PV模組在效能、可靠度及安規驗證方法，但僅是一般PV產品測試或驗證的基本門檻，仍不足以滿足PV產品長期可靠度檢測需求。

#### 3.2 全球環境狀態分類(Global Environmental Conditions)

太陽能電池材料在開發階段雖參考表1 IEC規範的流程與測試條件，但表1中設計之檢測環境對應條件大都依據IEC 60721及IEC 60068單一檢測條件，這些檢測規範無法完全反應高品質太陽能電池結構的效能及可靠性，主因在太陽能電池結構大都為複合式材料封裝，所遭受之環境變化也屬於複合式條件。有鑑於此，IEC PV檢測規範已闡明需設計新的測試條件與測試流程。測試條件可依據IEC 60721-3-3 (圖4)及參考各地月平均溫度變化來擬定，分類範圍共涵蓋五大區域，如A類赤道帶(tropical climate)，B類乾旱帶(arid climate)，C類溫暖帶(temperate climate)，D類降雪帶(continent climate)及E類極地帶(polar climate)。另外細項分類依據降水及氣溫條件區分為雨林(rain forest)、雨季(monsoon)、熱帶草原(tropical savanna)、濕度亞熱帶(humid subtropical)、海洋型氣候(oceanic climate)、地中海型氣候(mediterranean climate)、西伯利亞大草原(steppe)、西北極區氣候(subarctic climate)、凍土地帶(tundra)、極地冰帽(polar ice cap)及沙漠(landform)等。分類編碼(表2)的範例如溫帶夏熱常溼氣候(Cfa)、溫帶夏熱冬乾氣候(Cwa)、熱帶冬乾氣候(Aw)、熱帶常溼氣候(Af)、熱帶季風氣候(Am)等。

#### 3.3 加嚴測試 (Extended Qualification Test)

表1中現有PV檢測規範部分是參考IEC 60721及IEC 60068產品環境可靠度檢測方法，主要的設計條件屬於全球天候條件(Global climates)與一般環境嚴厲性(Severity)，無法提供長期可靠度的資訊。另外IEC PV檢測規範為針對產品生命週期在早期階段的可靠度試驗，僅考慮一種或兩種應力之全球通用型條件的試驗方法，也無法滿足PV模組之新材料多為複合



表1 IEC太陽光電測試標準規範  
(資料來源：許書宗，2013；C. R. Osterwald, 2009)

編號	名稱
IEC 60891	矽晶型太陽光電裝置I-V特性之溫度和照度修正方法 Procedures for temperature and irradiance corrections to measured I - V characteristics of crystalline silicon photovoltaic devices
IEC 60904-1	第1部:太陽光電電流-電壓特性的量測 Measurement of photovoltaic current-voltage characteristics
IEC 60904-2	第2部:標準太陽電池要求 Requirements for reference solar cells
IEC 60904-3	第3部:地面用太陽光電裝置的量測原理及標準光譜照度資料 Measurement principles for terrestrial photovoltaic solar devices with reference spectral irradiance data
IEC 60904-4	第4部:標準太陽光電裝置:建立校正追溯程序 Reference solar devices - Procedures for establishing calibration traceability
IEC 60904-5	第5部:用開路電壓法確定太陽光電等效電池溫度 Determination of the equivalent cell temperature of photovoltaic devices by the open-circuit voltage method
IEC 60904-6	第6部:標準太陽光電模組要求 Requirements for reference solar modules
IEC 60904-7	第7部:太陽光電裝置量測過程中引起的光譜失配誤差計算 Computation of the spectral mismatch correction for measurements of photovoltaic devices
IEC 60904-8	第8部:太陽光電光譜響應的量測 Measurement of spectral response of a photovoltaic device
IEC 60904-9	第9部:太陽光模擬器性能要求 Solar simulator performance requirements
IEC 61215	矽晶型太陽光電模組(PV)-設計鑑定和形式認證 Crystalline silicon terrestrial photovoltaic modules – Design qualification and type approval
IEC 61646	薄膜型太陽光電模組-設計鑑定和形式認證 Thin-film terrestrial photovoltaic modules – Design qualification and type approval
IEC 61730-1	太陽光電模組之安全確認－第1部：構造要求 Photovoltaic module safety qualification - Part 1: Requirements for construction
IEC 61730-2	太陽光電模組之安全確認－第2部：測試要求 Photovoltaic module safety qualification - Part 2: Requirements for testing
IEC 61829	矽晶型太陽光電陣列I-V特性之實地量測 Crystalline silicon photovoltaic array - On-site measurement of I-V characteristics
IEC 61853	地面太陽光電模組性能測試和能量等級 Photovoltaic module performance testing and energy rating

#### 1. IEC：國際電工委員會(International Electrotechnical Commission)

式結構的嚴苛檢測需求。有鑑於此，必須仰賴額外的加嚴測試來提升產品的耐候性，藉由更嚴苛的測試條件來發掘產品潛在會影響長期可靠度的缺陷。

一般產品可靠度的加嚴測試(Kececioglu,

1991)除以現有 IEC標準為基礎，主要是利用調整環境應力、測試時間或較嚴峻的環境測試條件，來加速產品的失效時間，獲得產品的耐候性或可靠性測試結果，再依效能表現來區分產品的優劣。表3的項目參考IEC及ASTM規範

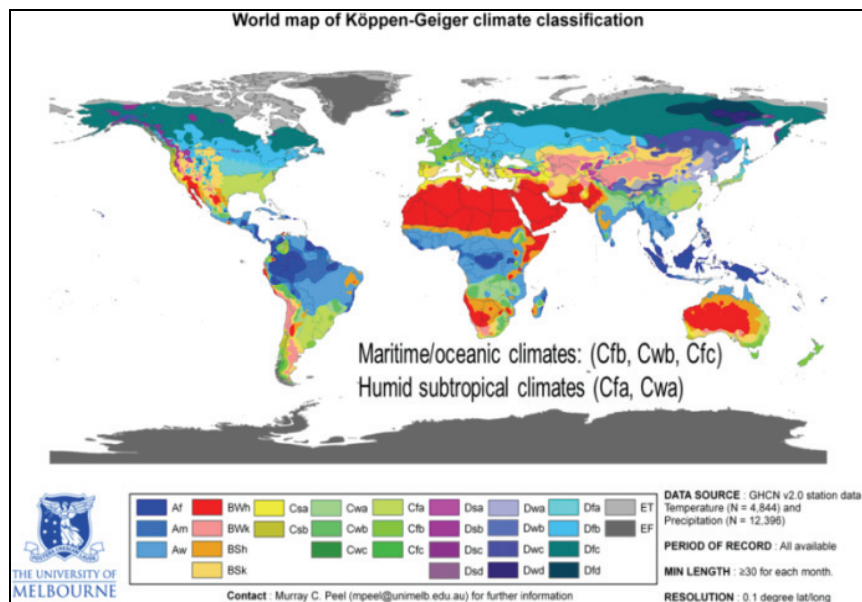


圖4 全球環境狀態分類 - Köppen-Geiger climate map of the world (資料來源：IEC 60721-3-3)

表2 全球環境狀態分類編碼(許書宗，2013)

主氣候帶 Main climates	降水 Precipitation	氣溫 Temperature
A：赤道帶 equatorial B：乾旱帶 arid C：溫暖帶 warm temperate D：降雪帶 snow E：極地帶 polar	W：沙漠型 desert S：草原型 steppe f：濕地型 fully humid s：夏天旱季型 summer dry w：冬天旱季型 winter dry m：季風型 monsoonal	h：炎熱乾燥 hot arid k：寒冷乾燥 cold arid a：夏季炎熱 hot summer b：夏季溫暖 warm summer c：夏季涼快 cool summer d：顯著大陸型 extremely continental F：極地冰帽 polar frost T：極地苔原 polar tundra

表3 IEC及ASTM規範中的加嚴測試(許書宗，2013)

○：有；x：無

測試項目	IEC					ASTM
	60068	60721	61215	61646	61730	E1171
DH	○	x	○	○	○	○
TC	○	x	○	○	○	○
HF	○	x	○	○	○	○
ML	○	x	○	○	x	x
LS	x	x	x	○	x	x
PID	x	x	x	x	x	x
SMC	○	x	x	x	x	x

1. DH：濕熱測試(Damp Heat Test)
2. TC：熱循環測試(Thermal Cycle Test)
3. HF：濕冷凍測試(Humidity Freeze Test)
4. ML：機械力測試(Mechanical Load Test)
5. LS：光照度測試(Light Soaking Test)
6. PID：電致衰減測試(Potential Induced Degradation Test)
7. SMC：鹽霧測試(Salt Mist Corrosion Test)
8. ASTM：美國材料試驗協會(American Society for Testing and Materials)

中常用的測試項目，如濕熱循環測試(DH)、熱循環測試(TC)、電致衰減測試(PID)和符合海島型環境需求的鹽霧測試(SMC)，濕冷凍測試(HF)、機械力測試(ML)和光照度測試(LS)。其中有別於模組適用的標準(表1)如下：

(1) IEC 60068 (Environmental testing)規範：包括一系列具有一致性及可重複性的環境檢測方法，主要是說明測試件在預期的運輸、儲存及其操作使用等方面是否有達到可靠度設計需求。

(2) IEC 60721 (Classification of environmental conditions)規範：將目前世界氣象組織(World Meteorological Organization, WMO)針對全球氣候的監控資料做有系統化分類，提供測試件產品於運輸、儲存、安裝與使用時所遭遇之環境條件，作為產品設定選擇之背景資料。

(3) ASTM E1171 (Standard test methods for photovoltaic modules in cyclic temperature and humidity environments)規範：針對PV模組於溫度劇變和在高濕環境下之測試方法。

表1和表3說明 PV模組可靠度品質與其所使用材料和所處環境有關連性，表4更進一步補充

表3中的加嚴測試項目所需之測試條件及適合環境。各項目有不同的設計目的，如濕熱循環是測試模組抵抗長期濕氣滲透之影響能力；熱循環測試是確認模組抵抗由於溫度之重複變化所產生熱不均勻性、疲勞及其他應力之能力；電致衰減測試可檢視模組受高電位誘發衰減及腐蝕的退化程度；鹽霧測試是檢驗模組在海域型區域抵抗鹽霧腐蝕能力。

## 4. 全球各驗證機構評估方案比較

全球各驗證機構如TÜV-Rheinland (德國萊因)、TÜV-SÜD (南德意志)、VDE (德國電氣工程師協會)及ATLAS (亞太拉斯)，在PV可融資性驗證方案上都以IEC 61215 /61646標準為基礎，藉著延長測試時間及加嚴各重點項目測試條件，如濕熱測試(DH)、溫度循環測試(TC)、濕冷凍測試(HF)及電致衰減測試(PID)等。廠商依據加嚴測試失效分析的結果，改善製程與材料設計來提高產品可靠度，可減少研發成本投資。以下就各測試場域、驗證時間、驗證機構及驗證測試內容作比較。

表4 加嚴測試項目(資料來源：許書宗，2013；Jennifer E. Granata, 2011)

項目	測試條件	環境地區分類
濕熱循環測試(DH)	1. $(85 \pm 2) ^\circ\text{C}$ 2. $(85 \pm 5) \% \text{RH}$ 3. 連續測試1,000~3,000小時	中亞熱帶濕潤氣候 Humid subtropical climates (Af, Cfa)
熱循環測試(TC)	1. 低溫： $-40 ^\circ\text{C}$ 2. 高溫： $85 ^\circ\text{C}$ (IEC 61215/IEC 61646)、 $90 ^\circ\text{C}$ (UL 1703) 3. 最快溫變速率(平均)： $100 ^\circ\text{C}/\text{hr}$ 4. 連續測試200~600 Cycles	全世界應用組 Global climates
鹽霧測試(SMC)	1. 鹽水濃度： $(5 \pm 1) \text{ wt.}\%$ 2. pH值： $(6.5 \sim 7.2)$ 3. 溫度範圍： $(35 \pm 2) ^\circ\text{C}$ 4. 連續測試96小時~56天	海島/海洋氣候 Maritime/oceanic climates
電致衰減測試(PID)	1. $(85 \pm 2) ^\circ\text{C}$ 2. $(85 \pm 5) \% \text{RH}$ 3. 1,000 V的負向電壓 4. 連續測試48小時	1. 中亞熱帶濕潤氣候 Humid subtropical climates (Af, Cfa) 2. 中溫/溫帶氣候 Temperate/ mesothermal climates (Cwa)

表5 驗證方案測試場域比較表(許書宗，2013)

○：有 x：無

驗證機構(Test Lab)	室內(In-door)	戶外(Out-door)	IECEE CBTL
ATLAS	○	○	x
TÜV-SÜD	○	x	○
TÜV- Rheinland	○	x	○

1. IECEE: System for Conformity Testing and Certification of Electrotechnical Equipment and Components.

2. CBTL: Certification Bodies (CB) Testing Laboratories.

## 4.1 測試場域比較

各驗證機構所提出驗證方案測試場域比較中(表5)，TÜV-Rheinland及TÜV-SÜD皆在實驗室內進行測試，ATLAS雖不是IECEE CBTL實驗室，但測試方案(25plus)利用與其他國家合作所建構之全球戶外測試點(美國南佛羅里達州(Florida)和亞利桑那州(Arizona)索諾蘭沙漠(Sonoran Desert)優勢，除了可得到實驗室的測試結果外，還提供實驗室與戶外測試之比較結果，可預估產品使用年限與造成失效的關鍵環境因子(Kurt P. Scott, 2010)。

## 4.2 驗證方案測試時程比較

比較ATLAS、TÜV-SÜD及TÜV-Rheinland驗證方案全程花費的時間(表6)，ATLAS標準型及進階型方案比基本型需較長的測試時間，一般從基本型先做評估，確認產品優劣程度後，再依實際需求進行標準型或進階型評估，並依據需求比較戶外與室內測試後，找出環境劣化加速因子，估算產品使用壽命區間(Service-of-

Life, SoL)。TÜV-SÜD的驗證方案流程主要是以矽晶產品所用之IEC 61215為基礎，延長原方法測試時間，相較ATLAS方案雖測試時間短，但測試過程中記錄產品衰減趨勢。TÜV-Rheinland雖測試時間短，但可提供失效分析，協助廠商藉此改善不良製程參數，找出造成失效材料與環境耐候因子之關係，提升產品可靠度。

## 4.3 各驗證機構可融資性評估方案

為了提供PV產品可融資性評估方案，國際相關驗證機構或測試實驗室分析歷年來PV模組檢測失效結果(表7)，最常失效的項目分別為TC/DH/HF/ML等，加上表4中各失效項目與環境的關聯性，驗證機構可依此提出各自的驗證方案(表8)，包括TÜV-Rheinland的長期混和測試方案(Long-term Sequential Testing)、TÜV-SÜD的篩選方案(Thresher Program)、PVEL的可靠度示範方案(Reliability Demonstration Program)、ATLAS的25+測試方案(25plus)和VDE的耐候性測試方案(Durability Testing Program)等。TÜV-Rheinland的長期混和測試

表6 驗證方案整體測試時間比較表(許書宗，2013)

驗證機構(Test Lab)		測試時程(Month)	特殊項目
名稱(Name)	方案類型(Test-Type)		
ATLAS	基本型(Basic)	6	NA
	標準型(Standard)	12	NA
	進階型(Premium)	12	增加地區性之特殊環境測試
TÜV-SÜD		8	NA
TÜV-Rheinland		8	提供製程改善與產品失效分析



表7 PV模組在IEC 測試項目之失效率比較表  
(資料來源：Jenya M., 2011)

c-Si Module		Thin Film Module	
項目	失效率(%)	項目	失效率(%)
Thermal Cycling Test (50)	4	Thermal Cycling Test (50)	4
Thermal Cycling Test (200)	17	Thermal Cycling Test (200)	8
Damp Heat	20	Damp Heat	22
Humidity Freeze	11	Humidity Freeze	6
Mechanical Load	9	Mechanical Load	12
Bypass Diode Test	3	Bypass Diode Test	--
Reverse Current	--	Reverse Current	11
Light- Soaking	--	Light- Soaking	9
Initial Measurement	8	Initial Measurement	10
Hot-Spot	8	Hot-Spot	10
Impulse Voltage	2	Impulse Voltage	--
Robustness of Termination Test	2	Robustness of Termination Test	2
Cut Test	3	Cut Test	--

表8 各驗證機構可融資性評估方案比較  
(資料來源：許書宗，2013；David H. M., 2011; Herman K. T., 2013; Julia B., 2011)

驗證機構	可融資性評估方案說明
TÜV-Rheinland	Long-Term Sequential Testing：Solarpraxis公司會同35位產業專家組成諮詢委員會，並參考各地環境條件及歷年來IEC驗證失效統計資料，定出25種不同的測試方法及流程，如DH 1500或TC 400或PID等。
TÜV-SÜD	Thresher Program：利用歷年來 IEC驗證失效統計資料，在 IEC 61215測試流程中，除了一般TC /DH /HF測試項目外，另增加 TC600 /DH2000 /HF30 /PID等加嚴測試，嚴格記錄過程中產品衰減趨勢，衰減趨勢分為80%與60%兩類作為評分等第。
PVEL	Reliability Demonstration Program：參考IEC 61215 /61646環境測試條件與流程，延長TC 600 /DH 2000 /HF 30 /UV /ML /PID測試時間。從測試過程與結果獲得性能和可靠度的“性價比”報告，作為向銀行提出可融資性申請依據。
ATLAS	Atlas 25+：參考IEC 61215 /61646環境測試條件與流程，各地環境條件及延長相關測試時間，分為(1) 6-Month “Basic” Testing Program (2) 12-Month “Standard” Testing Program (3) 12-Month “Premium” Testing Program，其中“Premium”流程包括有PID。因為通過 IEC 61215 /61646 驗證測試產品，不一定能通過這些加嚴測試，所以從測試過程資料中可找出影響材料使用壽命的關鍵環境因子。
VDE	Durability Testing Program：VDE與Q-Cells及BP Solar公司組成產業聯盟，參考IEC 61215 /61646環境測試條件與流程，增加DH1500 /TC400 /Mechanical Cycling /PID等加嚴測試，並於測試後加入EL等失效分析。依據這些加嚴測試結果，除表示通過IEC 61215 /61646驗證外，同時作為向銀行提出可融資性申請依據。

方案因為有完整的測試數據，故較常被採用。TÜV-SÜD的篩選方案強調必須嚴格記錄產品實驗過程中衰減趨勢(Degradation Trend)，而不是

僅記錄實驗前後的電性變化，是唯一一只針對矽晶模組的驗證方案。ATLAS的25plus專案，利用區域性環境劣化因素不同，在加速老化實驗



中，加入環境多因子條件，如溫度、濕度、光和壓力等。該整合實驗除了可大幅縮短驗證時間外，也可觀察出原IEC驗證方案無法檢測出的產品瑕疵，有助於提升產品耐候性的設計。

## 5. 結 論

IEC PV模組性能及安規的檢測項目，目前還未完全考量在不同環境區域下所需的特殊加嚴測試。從表1、3、4可瞭解到現有驗證機構多以IEC 61215及IEC 61646為基礎，除參考環境測試條件與流程，並藉著延長相關測試時間，來達到加嚴測試目的，以凸顯產品在該特定區域之耐候性或可靠度，如此可提早發現產品瑕疵。當模組材料的劣化速率太高，可能直接影響發電效率，相對提高使用成本，這當然不是廠商與民眾所樂見的。其次執行太陽光電的可靠度測試來預估產品的壽命，一般都需要有長期的測試數據，故各驗證機構以延長測試時間來獲得足夠測試資料，再從這些測試項目功率劣化表現中來區分產品的優劣。如此可促使廠商積極找出產品的缺陷與失效原因，提高模組的使用壽命，滿足產品的高性價比。

從表8可了解目前現有驗證機構，利用歷年來IEC驗證失效資料統計出影響產品可靠度的失效原因。故就太陽光電產業的可融資性而言，必須重視產品在不同地域性之環境可靠度，而如何設計適當的加嚴測試項目或流程，如濕熱測試(DH)、溫度循環測試(TC)、濕冷凍測試(HF)及電致衰減測試(PID)等，將是未來PV融資研究的重點方向。國際相關驗證機構或測試實驗室已分別提出各自的驗證方案，包括TÜV-Rheinland的長期混和測試方案、TÜV-SÜD的篩選方案及ATLAS的25+測試方案等。表5、6、8分別從驗證機構、測試環境、測試時間及驗證方案作比較，雖各有不同著眼點，但值得業界及投資者參考。

整體而言，實現太陽光電“可融資性”評估乃是產生對PV廠商產品可靠度和專案風險

評估等信任，並藉此獲取雙方最大利益。公正的驗證機構可擔任第三方驗證角色(Third-Party Certification)，協助連結銀行、廠商、和消費者之間的橋樑。有效管理可融資性，除可保障銀行投資回收外，並提高廠商產品可靠度與消費者的接受度。太陽光電各家模組製造商為跨越可融資性需求所造成的障礙，不論從產品本身以及公司品牌，都要積極成為銀行能夠放心接受之標的，及證明該公司產品的好品質，能有效對抗其他以低成本滲透市場的劣質產品。從可靠度觀點來看，若能即時找出造成材料失效的環境因素，並藉此改善製程，相信對於銀行、廠商、消費群和驗證單位來說，都是獲利多贏的樂觀局面。如此，銀行融資將可延續太陽能光電產業中優良產品之競爭力。

## 參考文獻

- 許書宗等，2013，國際太陽光電產品可融資性驗證評估方案研究-Part 1：太陽光電驗證與加嚴測試方法，量測資訊，152。
- 許書宗等，2013，國際太陽光電產品可融資性驗證評估方案研究-Part 2：可融資性評估做法與驗證方案比較，量測資訊，154。
- 許書宗等，2013，國際驗證機構PV產品可融資性評估資訊研析報告，工研院07-3-A2-0103。
- C. R. Osterwald, T. J. McMahon, 2009, History of Accelerated and Qualification Testing of Terrestrial Photovoltaic Modules: A Literature Review, Prog. Photovolt: Res. Appl., vol. 17, pp.11-33.
- David H. Meakin, 2011, Photovoltaic Durability Initiative (PVDI) A Durability Program Providing Bankability and Marketing Leverage, NREL PV Module Reliability Workshop.
- Herman K. Trabish, 2013, TÜV-Rheinland Takes On Bankability Testing for Solar Modules.

- <http://www.greentechmedia.com/articles/read/the-tuv-rheinland-take-on-bankability-testing-for-solar-modules>.
- Jenya Meydbray, 2011, Reliability Demonstration Test, NREL PV Module Reliability Workshop.
- Jennifer Granata, 2011, PV Performance and Reliability Validation Capabilities at Sandia National Laboratories and The National Renewable Energy Laboratory, NREL PV Module Reliability Workshop.
- Julia Burrows etc., 2011, Photovoltaic Modules and Bankability, publication by Valley Vision, Inc.
- Kececioglu, B. Dimitri, 1991, Reliability Engineering Handbook, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.
- Kurt P. Scott, 2010, Atlas Material Testing Technology LLC, Weather Durability of PV Modules; Developing a Common Language for Talking about PV Reliability, PV Module Reliability Workshop, Denver West Marriott, Golden, Colorado.
- Shu-Tsung Hsu, Yean-San Long, Hsien-Chen Ma, 2013, Bankability Management and Extended Qualification Tests for Photovoltaic Modules, International Photovoltaic Science and Engineering Conference (PVSEC23).
- Shu-Tsung Hsu, Yean-San Long, Hsien-Chen Ma, 2013, Extended IEC Test and Bankability Program for Solar Product, Conference on Photonics and Communications, National Kaohsiung University.
- N. Bogdanski, 2011, Weighting of climatic impacts on PV-module degradation -Comparison of outdoor weathering data and indoor weathering data, 27th EU PVSEC.
- IEC 60721-3-3, 1994, Classification of environmental conditions – Part3: Classification of groups of environmental parameters and their severities – Section 3: Stationary use at weather protected locations.
- ATLAS, <http://atlas-mts.com/>
- TÜV-Rheinland, [http://www.tuv.com/tw/greater\\_china/home.jsp](http://www.tuv.com/tw/greater_china/home.jsp)
- TÜV-SÜD, [http://www.tuv-sud.com/home\\_com](http://www.tuv-sud.com/home_com)
- <http://www.civicsolar.com/resource/galvanic-corrosion-and-protection-solar-pv-installations>, 2011.
- [http://www.pv-magazine.com/archive/articles/beitrag/fretting-over-junction-boxes-\\_100013324/572/#axzz2vNsXqeyo](http://www.pv-magazine.com/archive/articles/beitrag/fretting-over-junction-boxes-_100013324/572/#axzz2vNsXqeyo), 2013.

# Bankability Management, Certification, and Extended Qualification Tests for Photovoltaic Modules

Shu-Tsung Hsu<sup>1\*</sup>   Yean-San Long<sup>2</sup>   Hsien-Chen Ma<sup>3</sup>

## ABSTRACT

Photovoltaic industry is expanding rapidly to meet the growing renewable energy demands worldwide. The current problem is PV manufactures developing new technologies are having difficulty achieving bankability, even for companies that had already established commercial level manufacturing facilities. Furthermore, bankability still lacks definitions or standards of bankability for investors to follow. Therefore, a solution is needed urgently to develop bankability estimation, and help PV module producers to achieve a bankable product. This paper aims to address active bankability management including certification solutions to fulfill urgent needs of PV module producers and investors. This study proposes a detailed analysis of the ongoing bankability programs and extended qualification tests from major authorized testing laboratory, and the industry will be able to achieve the financial assessment of PV projects for bankers and investors.

**Keywords:** bankability, photovoltaic, certification, extended qualification test

---

<sup>1</sup> Principal Researcher, Center for Measurement Standards, ITRI

<sup>2</sup> Engineer, Center for Measurement Standards, ITRI

<sup>3</sup> Senior Engineer, Center for Measurement Standards, ITRI

\* Corresponding Author, Phone: +886- 3-5743864, E-mail: andersonhsu@itri.org.tw

Received Date: March 13, 2013

Revised Date: April 24, 2014

Accepted Date: May 12, 2014