ICS XXX

中華民國國家標準

C N S

太陽光電 (PV) 模組延長熱循環－試驗程序

Extended thermal cycling of PV modules − Test procedure

CNS 草-制 1150257:2026

中華民國　年　月　日制定公布
Date of Promulgation:　-　-

中華民國　年　月　日修訂公布
Date of Amendment:　-　-

本標準非經經濟部標準檢驗局同意不得翻印

※

目錄

節次 頁次

前言 2
1. 適用範圍 3
2. 引用標準 3
3. 用語及定義 4
4. 取樣 4
5. 標示及文件 4
6. 修改 4
7. 試驗程序 4
7.1 初步評估 4
7.2 熱循環試驗 4
7.3 最終評估 6
7.4 要求 6
8. 報告 6
附錄 A (規定)計算所需熱循環次數 8
附錄 B (參考)基於部署氣候之加速度因子 11
參考資料 14

前言

本標準係依據 2019 年發行之第 1.0 版 IEC 62892，不變更技術內容，制定成為中華民國國家標準者。

本標準係依標準法之規定，經國家標準審查委員會審定，由主管機關公布之中華民國 國家標準。

依標準法第四條之規定，國家標準採自願性方式實施。 但經各該目的事業主管機關引 用全部或部分內容為法規者，從其規定。

本標準並未建議所有安全事項，使用本標準前應適當建立相關維護安全與健康作業，並且遵守相關法規之規定。

本標準之部分內容，可能涉及專利權、商標權與著作權，主管機關及標準專責機關不 負責任何或所有此類專利權、商標權與著作權之鑑別。

1. 適用範圍

本標準定義一個試驗序列，延長 CNS 61215-2 的熱循環試驗。此計畫旨在區分具有更強熱循環耐久性的 PV 模組，並評估模組在最易受熱循環壓力 1 型影響的部署位置。本標準基於提交樣品中 95 %的代表性模組能通過 CNS 61215-2 之 4.11.3 中定義的 500 個熱循環等效性能，且最大功率衰減低於 5 %。亦規定透過提高最大循環溫度及/或提交測試模組數量，以縮短整體試驗時間。

本標準中的試驗程序是基於對晶體矽太陽能電池在玻璃表層材料封裝中錫-鉛焊點接合上的應力分析而開發。對無鉛焊錫的改變會影響加速因子，但不足以改變整體試驗結果。具有整合電池互連的單片型模組不會受到這種特定應力的影響，但模組內部仍有電氣連接，例：整合電池電路與模組匯流排間，可能會因熱循環而磨損。無玻璃的可撓性模組承受的應力方式與玻璃表層或基板模組不同，因此本標準中使用的等效因子可能不適用於此模組。

2. 引用標準

下列標準因本標準所引用，成為本標準之一部分。有加註年分者，適用該年分之版次，無加註年分者，適用該最新版(包括補充增修)。

CNS 61215-1	陸上太陽光電(PV)模組－設計確認及型式認可－第 1 部：試驗要求
CNS 61215-1-1	陸上太陽光電模組－設計確認和型式認可－第 1-1 部：結晶矽太陽光電模組特別試驗要求
CNS 61215-1−4	陸上太陽光電模組－設計確認和型式認可－第 1−4 部：(硫、硒)化銅(鎵、鎵)薄膜型太陽光電模組特別試驗要求
CNS 61215-2	陸上太陽光電(PV)模組－設計確認及型式認可－第 2 部：試驗程序
CNS 61730-1	太陽光電模組之安全確認－第 1 部：構造要求
CNS 61730-2	太陽光電模組之安全確認－第 2 部：試驗要求
CNS 62915	太陽光電(PV)模組型式認可設計與安全確認-重新測試(本次正在另案審查中)
IEC 61215-1-2	Terrestrial photovoltaic (PV) modules − Design qualification and type approval − Part 1-2: Special requirements for testing of thin-film Cadmium Telluride (CdTe) based photovoltaic (PV) modules
IEC 61215-1-3	Terrestrial photovoltaic (PV) modules − Design qualification and type approval − Part 1-3: Special requirements for testing of thin-film amorphous silicon based photovoltaic (PV) modules
IEC TS 61836	Solar photovoltaic energy systems − Terms, definitions and symbols

IEC TS 62941:2016 Terrestrial photovoltaic (PV) modules − Guideline for increased confidence in PV module design qualification and type approval

3. 用語及定義

IEC TS 61836 所規定及下列用語及定義適用於本標準。

3.1 等效循環數(equivalent cycles)

產生相同程度焊接疲勞損傷的熱循環次數。

4. 取樣

此試驗的模組應隨機從已通 IEC 61215、CNS 15118-1 及 CNS 15118-2 認驗證的模組類型生產批次中挑選。模組必須依相關圖面及製程單，使用指定材料與組件製造，並經過製造商的正常檢驗、品質控制及生產驗收程序。模組必須在每個細節上完整無缺，並附有製造商的操作、安裝及連接說明。

提交測試的模組數量與所需週期數之間的關係參照表 1 及附錄 A。至少應提交三個模組進行測試，兩個用於實際測試，一個作為對照。

由於此等試驗是為加速生產模組的應力測試設計，因此不允許使用工程樣品。

5. 標示及文件

各個模組應包含 CNS 61215-1 中定義的清晰且不易抹除的標示。模組應附有符合 CNS 61215-1 要求的文件。符合 IEC TS 62941:2016 第 4 節要求的文件亦應供試驗機構查驗，以確保品質管理系統的充分性。

6. 修改

材料選擇、組件及製造流過程的改變，若引用 IEC TS 62915 中 200 個熱循環段的重新測試，本標準也要求重新測試。

7. 試驗程序

7.1 初步評估

(a) 依據 CNS 61215-2 模組確認試驗(MQT) 01 進行目視檢查。

(b) 根據 CNS 61215-2 MQT02 進行最大功率測定。

(c) 依據 CNS 61215-2 MQT 03 進行絕緣試驗。

(d) 依據 CNS 61215-2 MQT 15 進行濕漏電流試驗。

7.2 熱循環試驗

7.2.1 目的

熱循環驗之目的是確定 PV 模組承受熱不匹配、疲勞及其他因快速、不均勻或重複溫度變化所引起之應力的能力。

7.2.2 儀器

依據 CNS 61215-2 之 4.11.2。

7.2.3 程序

依 CNS 61215-2 之 4.11.3，並進行以下修改：

(a) 依表 1，循環最高溫度可提高至 85 ℃以上以減少所需循環次數。(TMAX)應由提交方指定並記錄於試驗報告中。

(b) 在熱循環試驗中，在加熱循環期間的連續電流流量設定為 CNS 61215-2 中規定的電流，溫度從−40 ℃到(TMAX) −50 ℃冷卻期間，停留階段為−40 ℃，溫度高於(TMAX) −5 ℃時，連續電流應降低至不超過測量 STC 峰值功率電流的百分比，以測量連續性。

(c) 循環數應如表 1 所示。當提交超過 10 個模組試驗，或溫度達(TMAX) −85 ℃ > 25 ℃時，附錄 A 可用於計算所需的熱循環次數。

表 A　溫度循環要求次數，NR

T_{MAX}−85	Number of modules submitted for test								
°C	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	731	683	651	627	609	593	580	569	559
1	711	665	634	611	592	577	565	554	544
2	693	647	617	594	577	562	550	539	530
3	674	630	601	579	562	547	535	525	516
4	657	614	585	564	547	533	521	511	502
5	640	598	570	549	533	519	508	498	489
6	623	583	555	535	519	506	495	485	477
7	608	568	541	521	506	493	482	473	465
8	592	553	528	508	493	481	470	461	453
9	577	539	514	495	481	468	458	449	441
10	563	526	501	483	469	457	447	438	430
11	549	513	489	471	457	445	436	427	420
12	535	500	477	459	446	434	425	417	409
13	522	488	465	448	435	424	414	406	399
14	509	476	454	437	424	413	404	396	390
15	497	465	443	427	414	403	394	387	380
16	485	453	432	416	404	394	385	378	371
17	473	443	422	406	394	384	376	368	362
18	462	432	412	397	385	375	367	360	353
19	451	422	402	387	376	366	358	351	345
20	441	412	393	378	367	358	350	343	337
21	430	402	383	369	358	349	342	335	329
22	420	393	375	361	350	341	334	327	321
23	411	384	366	353	342	333	326	320	314
24	401	375	358	344	334	326	319	312	307
25	392	367	349	337	327	318	311	305	300

備考：表 1 中計算所需循環次數的關係，基於柯芬-曼森(Coffin-Manson)式的焊接熱疲勞經驗關係及一個參數的韋伯(Weibull)分析，並指出本測試提交樣品中 95 %的模組可通過相當於 500 次確認等級熱循環的等效性[1，2]2。此關係適用於鉛錫焊料與無鉛焊料。對 PV 模組的有限元素法模擬顯示，此關係可得出保守的等效性估計[3]。此模擬顯示，模組封裝劑在高溫下軟化會導致焊點損壞累積速度加快。因此，雖然規定較高的最高循

環溫度會縮短整體試驗時間，但此測試的等效性或整體應力可能比預期大。

7.3 最終評估

(a) 依 CNS 61215-2 MQT 01 進行目視檢查。

(b) 依 CNS 61215-2 MQT 02 進行最大功率測定。

(c) 依 CNS 61215-2 MQT 03 進行絕緣試驗。

(d) 依 CNS 61215-2 MQT 15 進行濕漏電流試驗。

(e) 依 CNS 61215-2 MQT 18.2 進行旁路二極體功能試驗。

在執行 CNS 61215-2 的試驗時，應考量技術特定標準(CNS 61215-1-1、IEC 61215-1-2、IEC 61215-1-3 及 CNS 61215-1-4)之要求。

7.4 要求

要求如下：

－ 測試期間未中斷電流流動。

－ 依 CNS 61215-1 第 7 節定義的主要目視缺陷證據。

－ 最大輸出功率的衰減不得超過試驗前測量值的 5 %。

－ 絕緣電阻應符合與初步量測相同的要求。

－ 任何旁路二極體應仍具備二極體功能。

備考：電致發光成像可能是成像失效或失效焊點位置的有用技術。

8. 報告

在型式認可後測試結束後，試驗單位應準備確認試驗之報告，其中包括所測定之性能特性與任何失效及重新試驗之細節。該報告應包含模組之詳細規格，各份試驗報告至少應包含下列資訊：

(a) 標題。

(b) 執行試驗之測試實驗室名稱與地址以及位置。

(c) 試驗報告內各頁之唯一識別。

(d) 客戶名稱與地址(若適當時)。

(e) 試驗件之說明與識別。

(f) 試驗件之特性與條件。

(g) 試驗件接收日期與試驗日期(若適當時)。

(h) 參照/依據取樣程序。

(i) 試驗方法之任何差異、增加或排除，以及有關之特殊試驗之其他任何資訊，如環境條件及用來確證旁路二極體在測試序列結束時是否正常運作的測試程序。

(j) 由表、圖說、圖形及相片所支持之量測，包括所有測試後觀察到的最大功率損失、因測試引起的乾濕絕緣電阻變化，以及可能導致性能下降的變化證據。

(k) 對於試驗結果之預估不確定度說明(若相關時)。

(l) 對於試驗報告內容負責之報告簽署人之職稱、簽章及核發日期。

(m)若相關時，表示結果僅與試驗樣品有關之說明。

(n) 聲明若無實驗室書面同意，不得重製部分或全部試驗報告之說明。

製造商應保留本報告副本作為參考用途。

附錄 A
(規定)
計算所需熱循環次數

有兩個因子共同決定所需的熱循環次數(NR)，如表 1 所示：

(a) 最大循環溫度，T_{MAX} (℃)。

(b) 提交試驗的模組數量，n。

第一步驟是確認等效的循環數 Ne。此數循環將造成相當於 CNS 61215-2，MQT 11 定義的 500 個確認等級週期(−40 ℃至 85 ℃)的焊接疲勞損傷。T_{MAX} 與 Ne 之間的關係為：

$$N_e = 150470(T_{MAX} + 40)^{-2}\exp\left(\frac{1414}{T_{MAX}+273}\right) \qquad (A.1)$$

式中，(A.1)定義將最大循環溫度提高超過 85 ℃時，如何減少潛在循環數，從而縮短整體試驗時間，參照圖 A.1。此公式基於 Coffin-Manson 式的焊接熱疲勞經驗關係[1，2]。此關係適用於鉛錫(PbSn)焊料與無鉛錫(PbSn-free)焊料。對 PV 模組的有限元素法模擬顯示，此關係可得出等效的保守估計[3]。此等模擬顯示，模組封裝劑在高溫下軟化會導致焊點損壞累積速度加快。因此，雖然規定較高的最高循環溫度會縮短整體試驗時間，但此試驗的等效性或整體應力可能高於預期

。

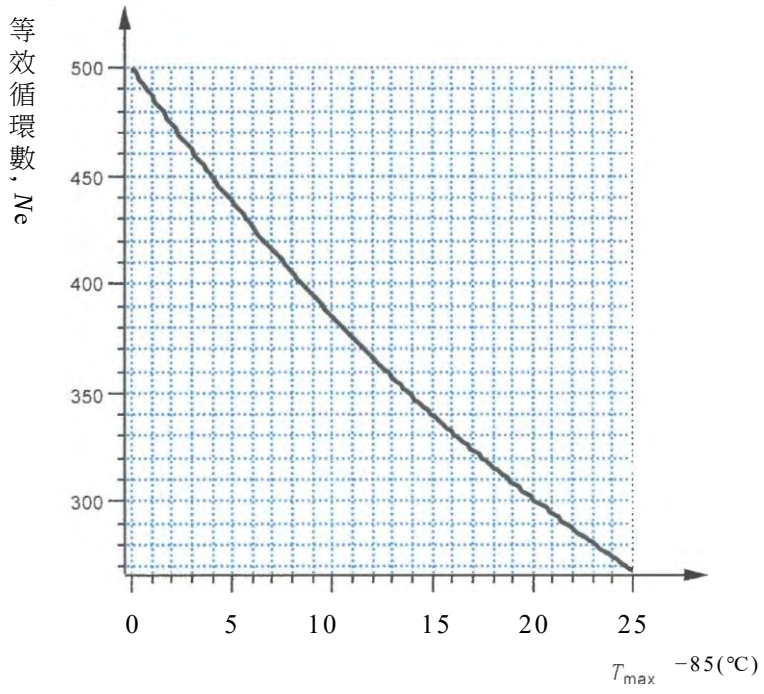


圖 A1　等效循環數與最大循環溫度除以最大模組運作溫度的函數

提交試驗的樣品數 n 與等效熱循環數 Ne 決定所需熱循環數 N_R。

$$N_R = \left[\frac{-N_e^6}{n\ln(0.95)}\right]^{1/6}$$

式中，基於一參數 Weibull 分析，指出此次試驗樣品中 95 %的模組能通過相當於 500 次合格確認等級熱循環，且相對最大功率衰減低於 5 %。Weibull 形狀參數選中 6[1]。圖 A.2 展示一個 Weibull 參數為 6、500 循環存活機率為 95 %的存活率圖，以說明假設的分布。在此分布中，特徵壽命(63.5 %失效機率)為 820 循環，1 %失效(相對功率衰減> 5 %)為 378 個循環，99 %失效為 1,057 循環。

式中(A.2)的結果 N_R 是通過本標準所需的 n 個模組樣品數的熱循環數。

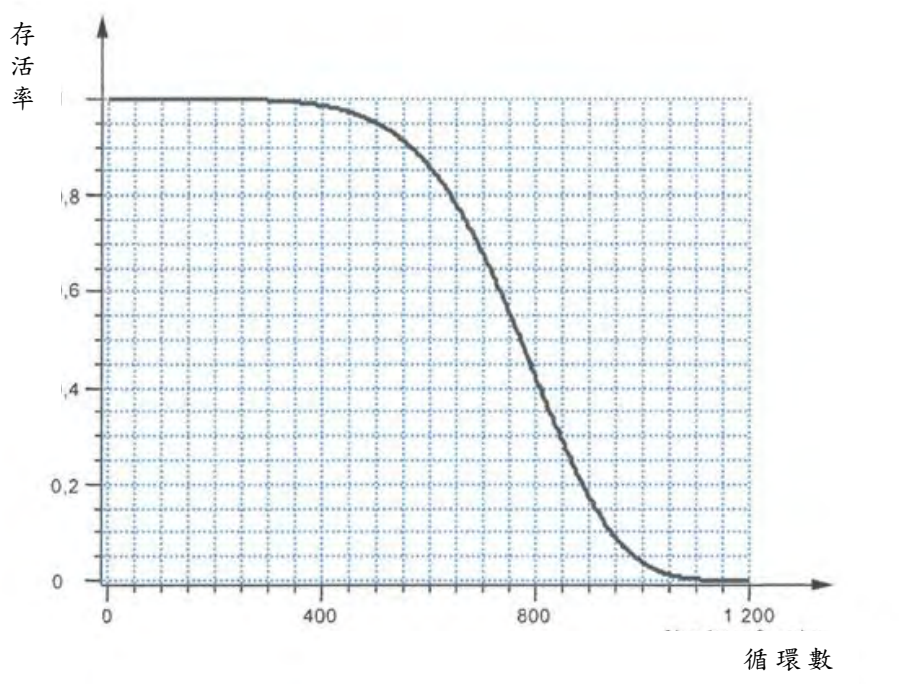


圖 A.2　Weibull 分布的存活圖，形狀參數為 6，存活機率為 95 %，在 500 個循環中

以下是計算所需熱循環次數的示例：

(c) 選擇熱循環參數：

$T_{MAX} = 95\,℃$

$n = 2$ modules

(d) 計算等效的週期數：

$$N_e = 150470(95+40)^{-2}\exp\left(\frac{1414}{95+273}\right) = 385$$

(e) 計算所需的熱循環次數

$$N_R = \left[\frac{-385^6}{2 \cdot \ln(0.95)}\right]^{1/6} = 563$$

表 A.1 用來說明樣本量對所需循環次數及對應測試時間的影響。

表 A.1　樣品量對試驗時間之影響。

模組數 n	循環次數要求 N_R	總測試時間 (日)
2	563	69,9
3	526	65,3
4	501	62,2
5	483	60,0
6	469	58,2
7	457	56,7

附錄 B
(參考)
基於部署氣候之加速度因子

分析顯示，某些氣候對 PV 模組的焊點損害較大[3]。此等氣候通常以高周圍溫度及局部多雲的天氣為特徵。本附錄之目的是提供如何評估特定部署地點是否值得長時間熱循環的指引，以正確評估模組對焊接熱機械疲勞之耐久性。

焊接疲勞損壞速率已被證明取決於模組溫度歷史的三個因素：

$\bar{T}_{c\,max}$：日平均最高電池溫度。

$\overline{\Delta T}$：日平均最大電池溫度變化。

$\gamma(55)$：溫度反轉項。

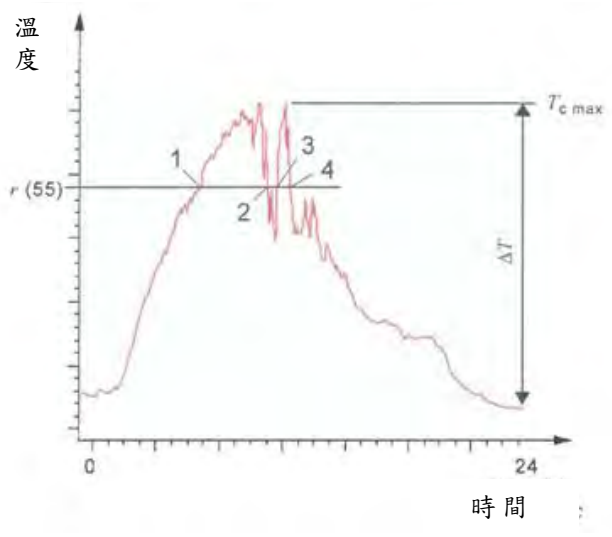


圖 B.1　模組電池溫度在一天內的圖表，以說明最高溫度、最大溫度變化及溫度反轉項

此因素可在圖 B1 中模組電池單日溫度的代表性圖表說明。溫度反轉項$\gamma(55)$是指電池溫度歷史在 55 ℃內增加或減少的次數(圖 B.1 中，$\gamma(55) = 44$)

為確定特定位置是否保證延長時間熱循環，應依該地點的 60 min 時間平均模組電池溫度數據，在一年內評估這三個因子。高解析度溫度數據需降低取樣至 60 min 平均時間，以確保分析準確。雖然$\bar{T}_{c\,max}$和$\overline{\Delta T}$項是全年每日觀測值的平均值，而$\gamma(55)$項則是全年的總和。圖 B.2 中的圖表展示多項因素組合，顯示該地點建議進行延長熱循環。它基於有限元素法(FEM)模擬，將加速熱循環累積的焊料疲勞損傷，與在各種氣候下太陽部署所累積的損害相等[3]。圖中定義的區域代表氣候特徵，25 年太陽照射超過 200 至 250 次加速熱循環所造成的等效焊接疲勞損害。

使用此圖時，找出依分析模組電池溫度歷史所確定的$\bar{T}_{c\,max}$和$\overline{\Delta T}$值的交集。若$\gamma(55)$因子大於該陰影區域所示值，則該特定地點的天氣模式特別危害，建議延長熱循環。

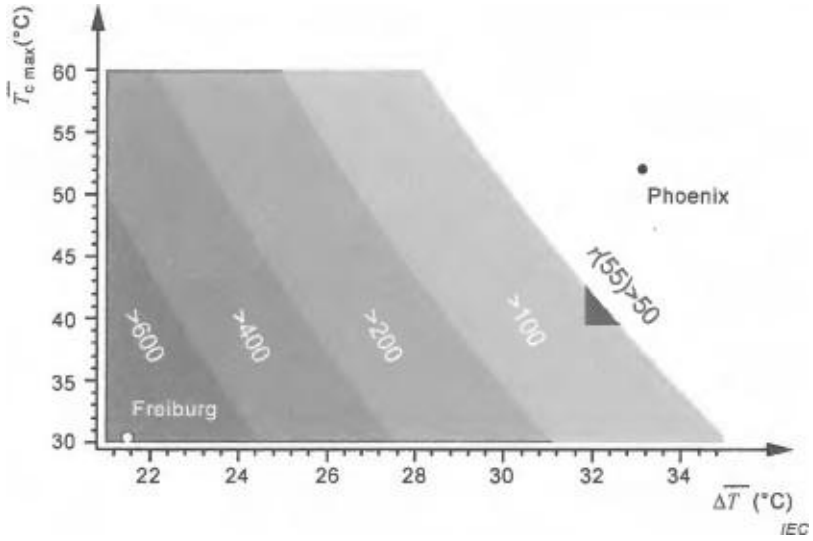


圖 B.2　建議在特定位置進行延長熱循環的因素組合

為了說明，德國弗賴堡(Freiburg Germary)與亞利桑那州鳳凰城(Phoenix Arizona)兩座城市的因子繪於圖 B.2 中。這三個城市的用語列於表 B1。因為鳳凰城的溫度是($\gamma(55) = 396$，建議延長熱循環。然而，對於弗賴堡($\gamma(55) = 38$)，可不需要延長時間熱循環以正確評估該位置的模組熱機械疲勞抗性。

表 B.1　電池溫度因子

城市	$\overline{T}_{c\,max}$ °C	$\overline{\Delta T}$ °C	r(55)
F亞利桑那州鳳凰城	52,1	33,2	396
F　德國弗賴堡	30,2	21,5	38

在缺乏一年模組電池溫度資料的情況下，可透過檢視特定地點的氣象資料，綜合出模組電池一年的溫度歷史。若開發，建議採用製造商針對模組及預定安裝配置的型號。或者，也可採用以下通用方法：

(a) 收集包含一年環境溫度、T_{amb}、風速、WS 及全球總輻照度 E 的資料集，並定期記錄。

(b) 將該資料降取樣為 60 min 時間平均值。

(c) 計算整年模組電池平均溫度的 60 min 時間：

$$T_{cell} = T_{amb} + C \cdot E\exp(a + b \cdot WS) + E\frac{\Delta T}{E_0}$$

式中，E_0是參考太陽照射度 1,000 W/m²，ΔT代表電池與模組在此參考照射度下的溫差，C 為 1 的前置因子，單位為℃m²/W。係數 a 與 b 依模組類型與安裝配置而定，

並於表 B.2[4]中提供多種配置。

表 B.2　模組與安裝特定模型參數

Module type	Mount	a	b	ΔT °C
glass/cell/glass	open rack	-3,47	-0,0594	3
glass/cell/glass	close roof	-2,98	-0,0471	1
glass/cell/polymer	open rack	-3,56	-0,075	3
glass/cell/polymer	insulated back	-2,81	-0,0455	0

參考資料

[1] R. 8. Aberne thy, The New Weibull Handbook-F ifth Edition", 2007

[2] K. C. Norris and A. H. Landzber g, "Reliability of Controlled Collapse Interconnec tions", IBM Journal of Research and Development, vol. 13, pp. 266-271, 1969

[3] N. Bosco, T. Silverman, and S. Kurtz, "Climate Specific Solder Thermal Fatigue Damage in PV Modules", Microelec tronics Reliability, vol. 62, pp. 124-129, July 2016

[4] D. L. King, W. E. Boyson, and J. A. Kratochvil, "Photovoltaic array performance model", Sandia National Laboratories SAND2004-3535, 2004

關鍵字：

中華民國國家標準
發行機關：經濟部標準檢驗局
局　　址：臺北市中正區濟南路一段四號
電　　話：(02)2343-1700
網　　址：https://www.bsmi.gov.tw
編輯排版：文山彩藝有限公司
銷售網址：https://www.cnsonline.com.tw
定　　價：依上開銷售網站公告之售價為準
GPN　　：4911300047
本標準非經經濟部標準檢驗局同意不得翻印