

工業技術研究院

Industrial Technology
Research Institute

太陽光電電站維運驗證技術 與常見問題

李思賢

工研院量測技術發展中心

綠能計量測試驗證實驗室

太陽光電系統長期維護的挑戰

風災



雷擊



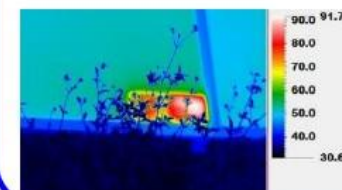
接點電弧



太陽光電系統



熱斑

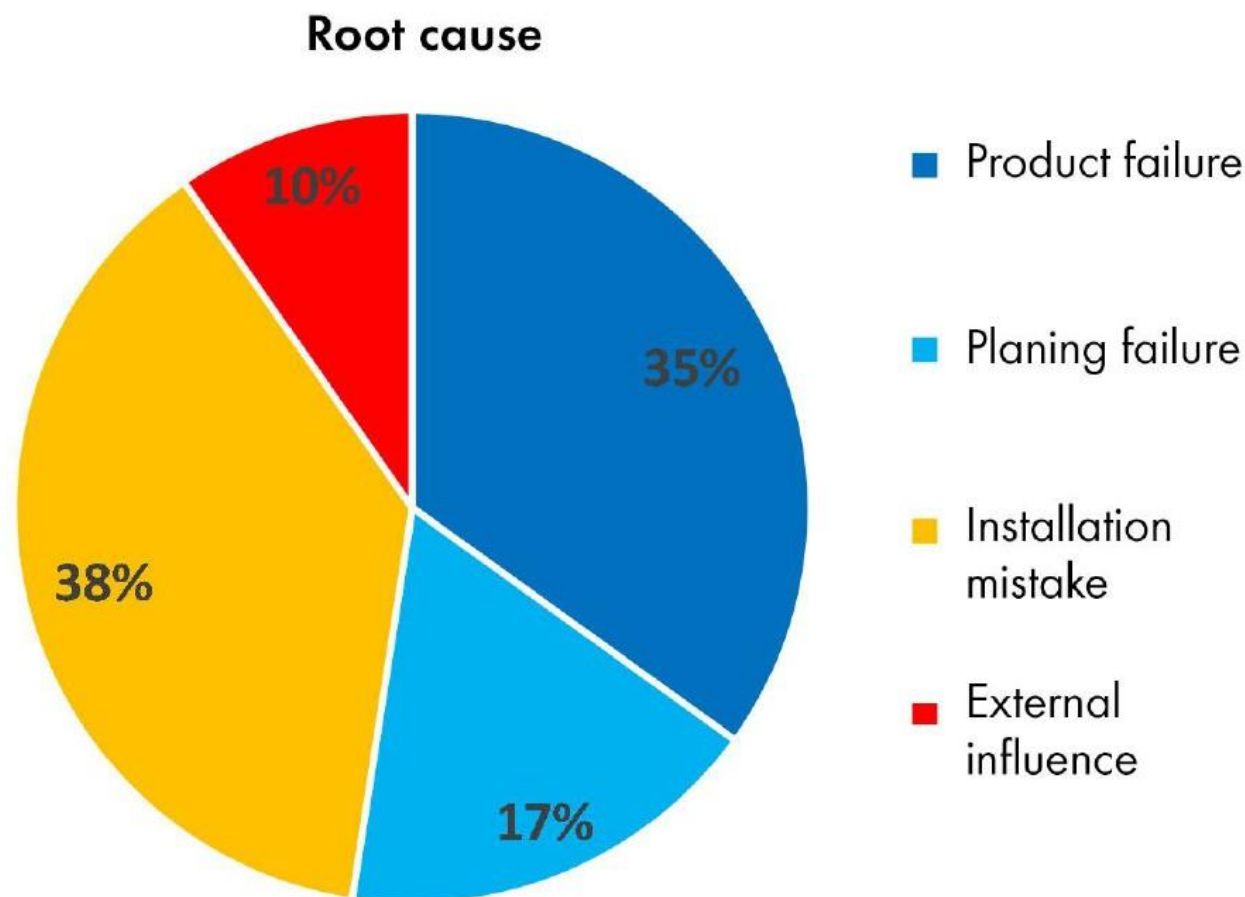


絕緣保護故障



太陽光電系統安全

- ◆ 德國TÜV萊因統計德國的210起太陽光電系統火災原因，人為**安裝的缺失佔38 %**，模組、變流器或電工元件的**品質缺陷佔35 %**，**設計不良佔17 %**，**外部的因素如動物或雷擊的損壞僅佔10 %**。



(參考: Sepanski et al, "Assessing Fire Risks in Photovoltaic Systems and Developing Safety Concepts for Risk Minimization," TÜV Rheinland Energie und Umwelt GmbH, 2018.)

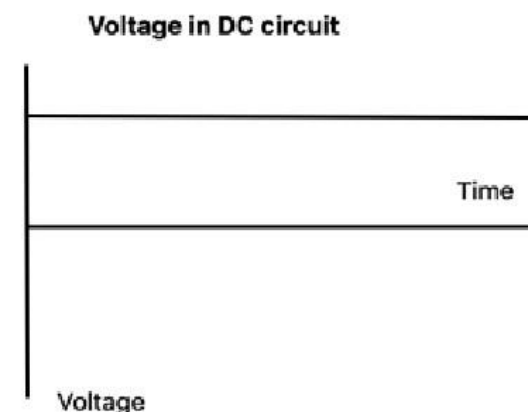
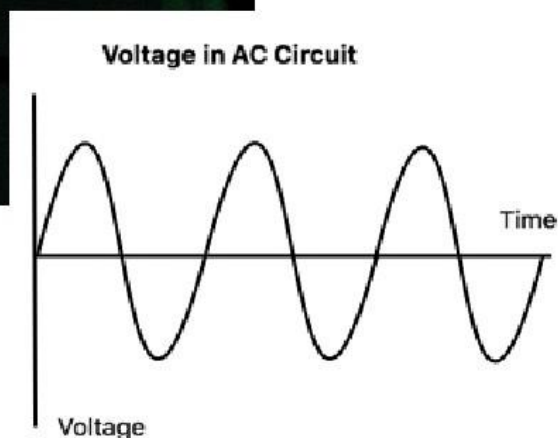
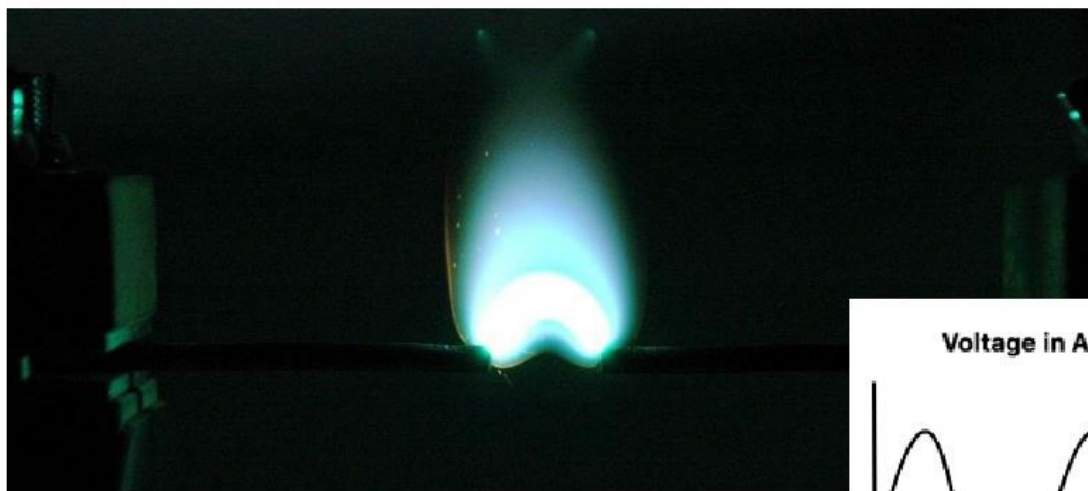
太陽光電系統健檢維護



工業技術研究院
Industrial Technology
Research Institute



- ◆ 電弧：一種在兩個電極之間產生的氣體放電電漿流 (plasma currents)，可目測到特定長度弧形灼熱光，溫度可達攝氏數千度。
- ◆ 交流電弧有自熄的特性，但直流電弧可以穩定的燃燒，造成火災的風險更高。



太陽光電系統電弧故障



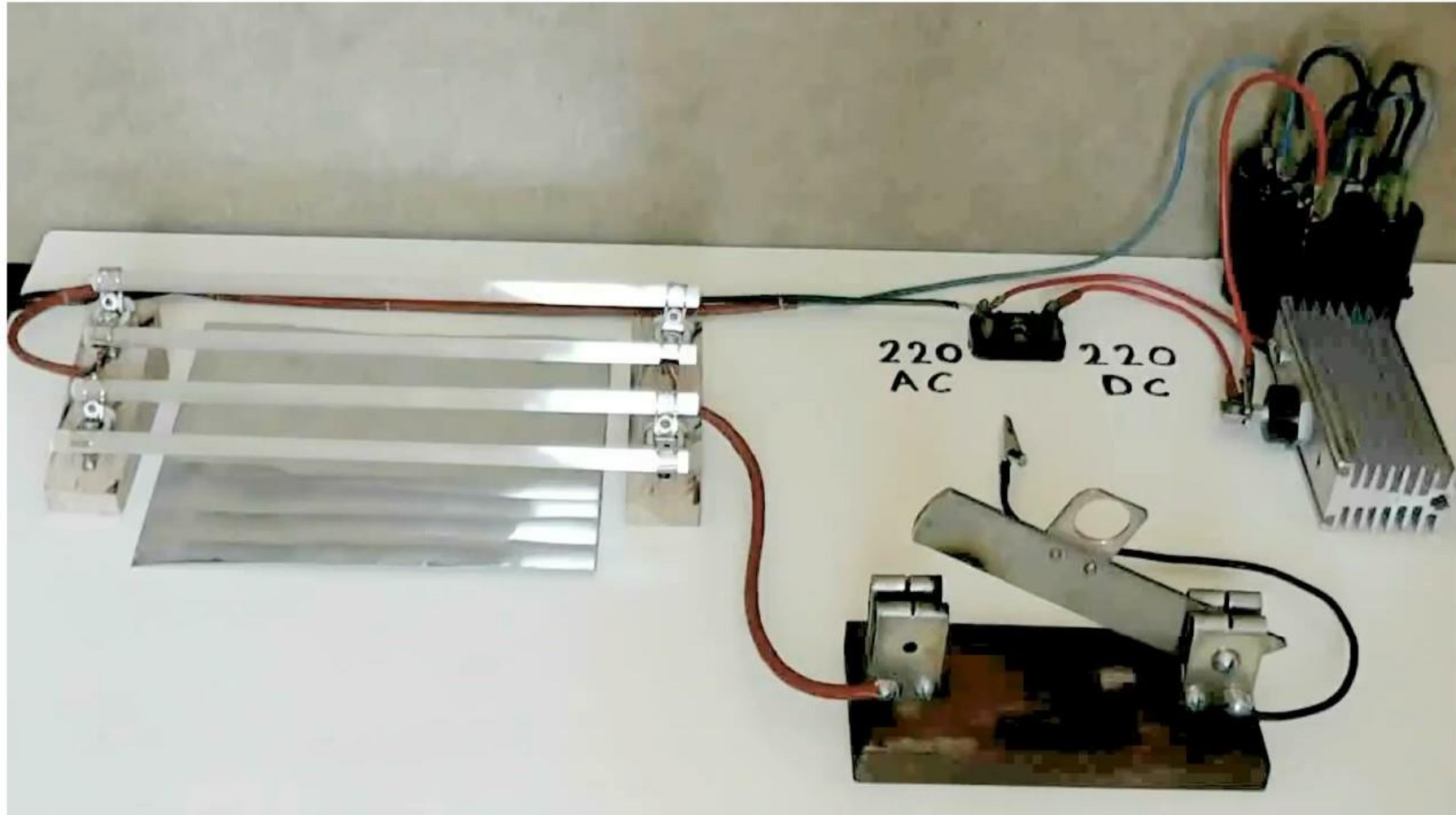
工業技術研究院
Industrial Technology
Research Institute

◆ PV 串列電弧試驗



太陽光電系統電弧故障

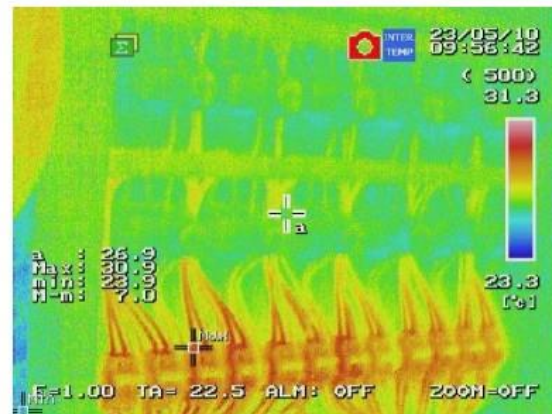
- AC與DC電源電弧試驗



太陽光電系統健檢維護

□ 電氣單元 — 電弧故障

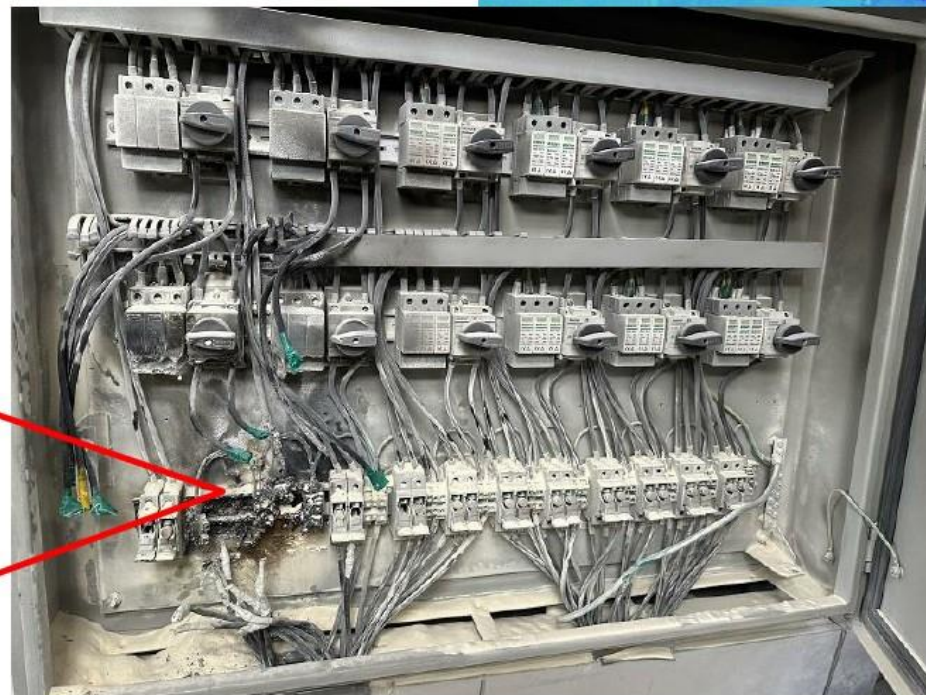
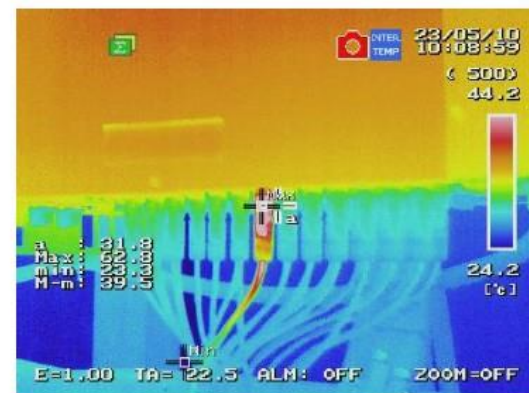
- 電弧燃燒可藉由纜線蔓延，分散走線可降低燃燒蔓延風險，
- 以正負極線路盡可能分開為原則



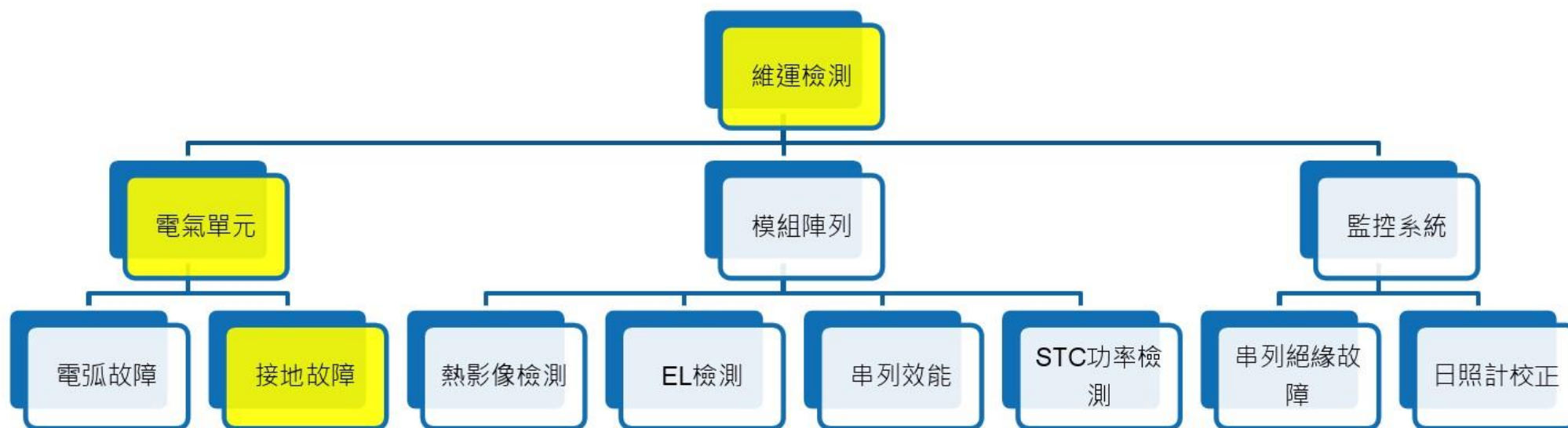
太陽光電系統健檢維護

□ 電氣單元 — 電弧故障

- 正負端點集中加上接觸不良產生直流電弧



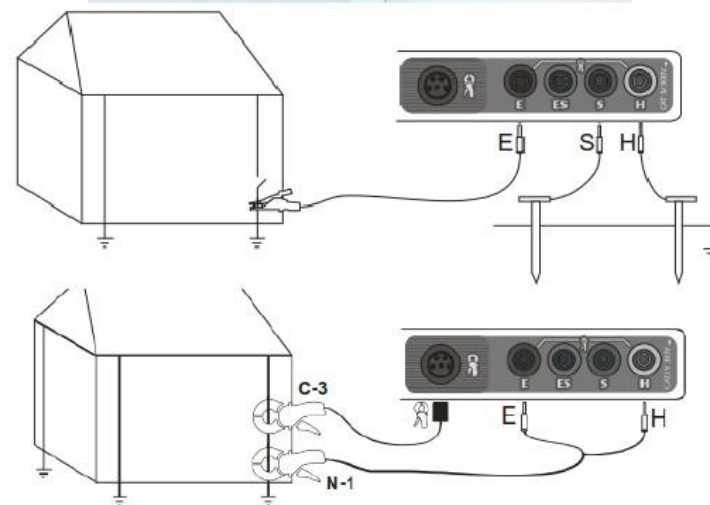
太陽光電系統健檢維護



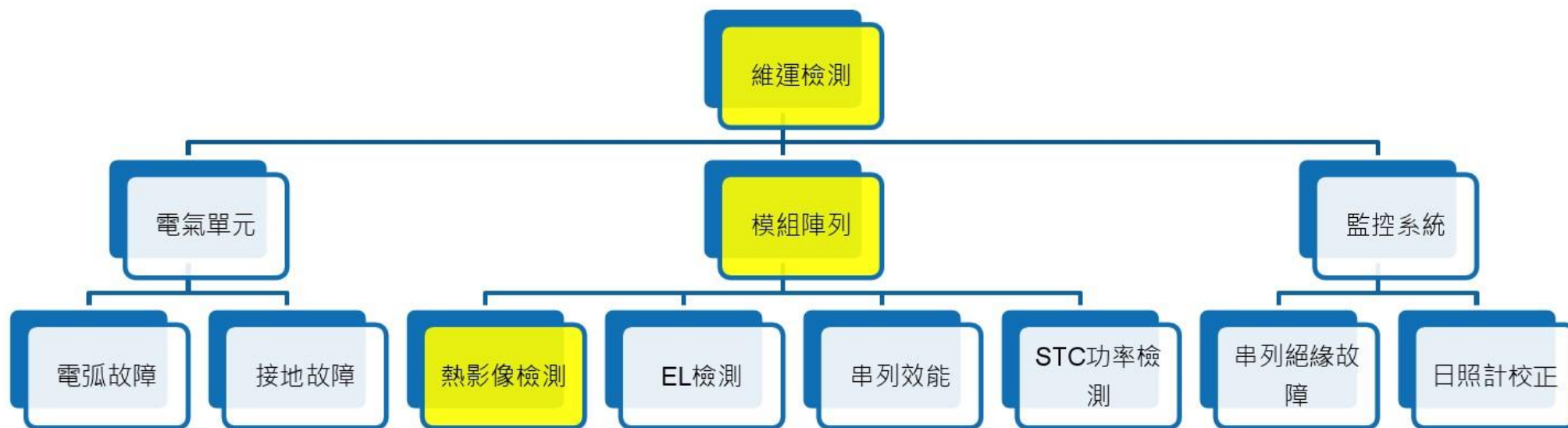
太陽光電系統健檢維護

□ 電氣單元 — 接地故障

1. 系統接地 — 定義電網中0 V的位置
2. 設備接地 — 快速排除漏電電流，避免人員觸電
3. 雷擊保護接地—避雷器接地及避雷針接地係用於導引雷電能量至大地，其電流可能高達10 kA-80 kA



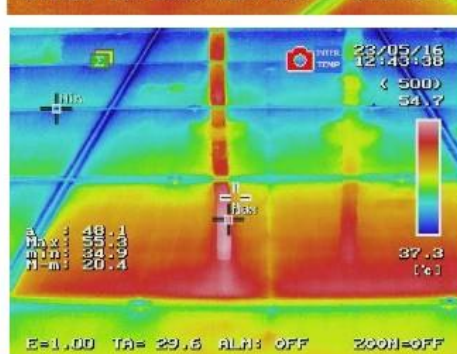
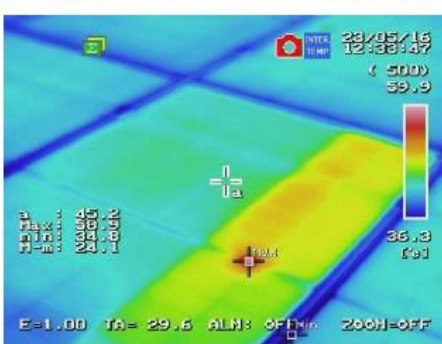
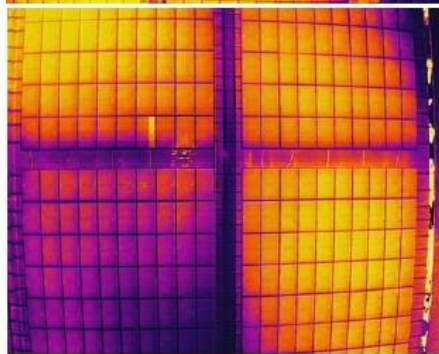
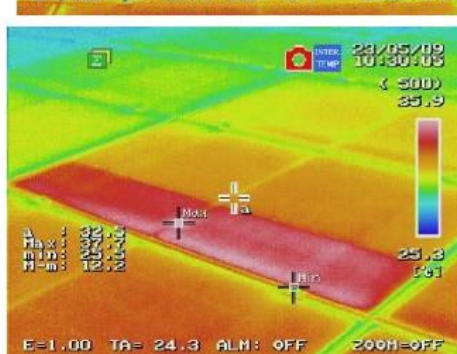
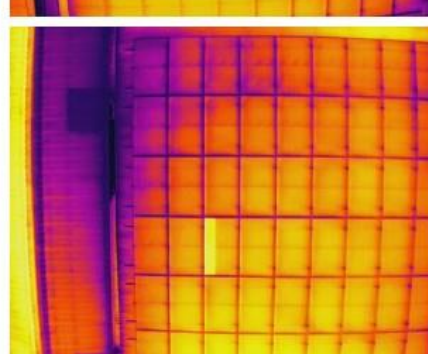
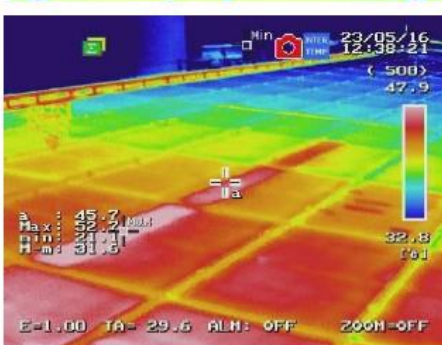
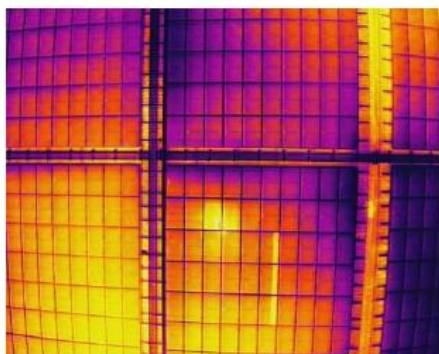
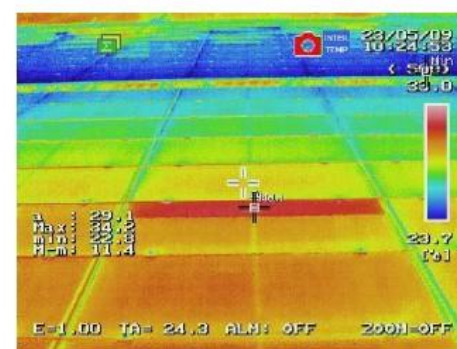
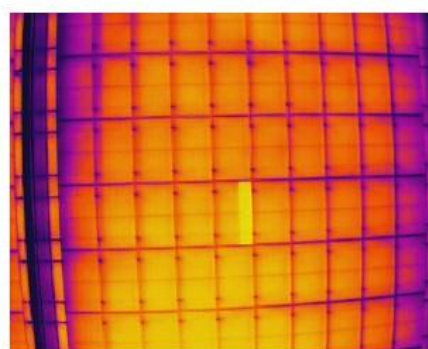
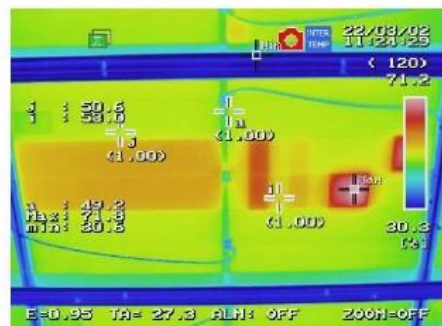
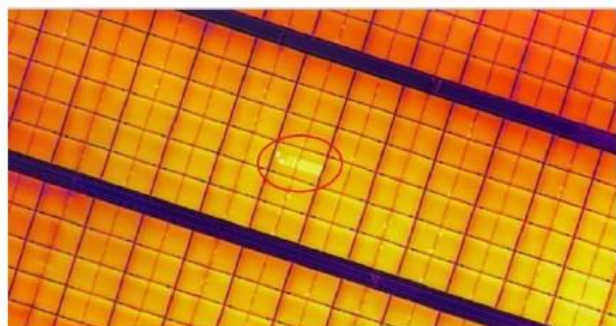
太陽光電系統健檢維護



太陽光電系統健檢維護

□ 模組陣列 — 熱影像檢測

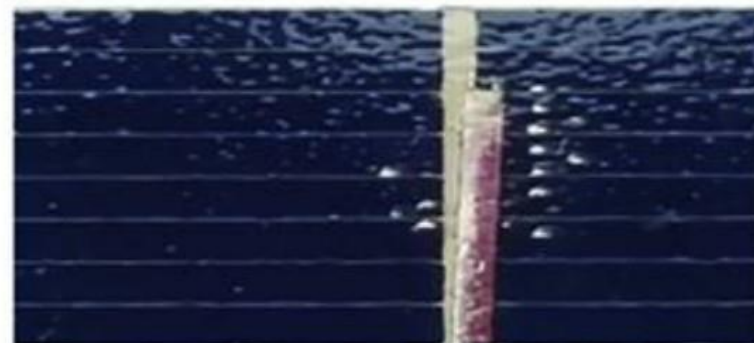
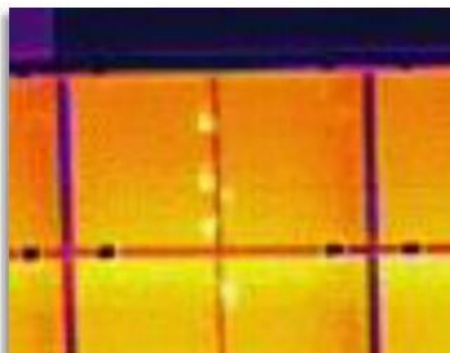
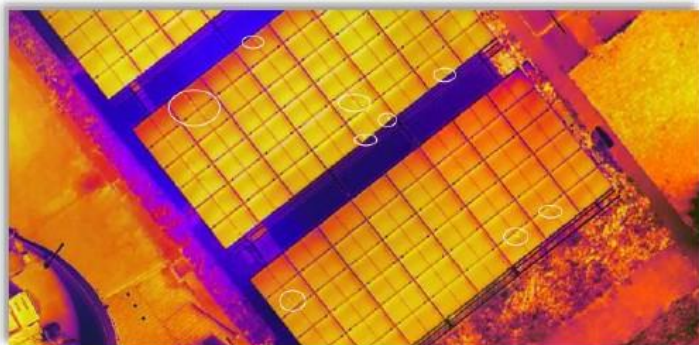
➤ 戶外高溫及發電狀態可提供模組耐受性檢測環境



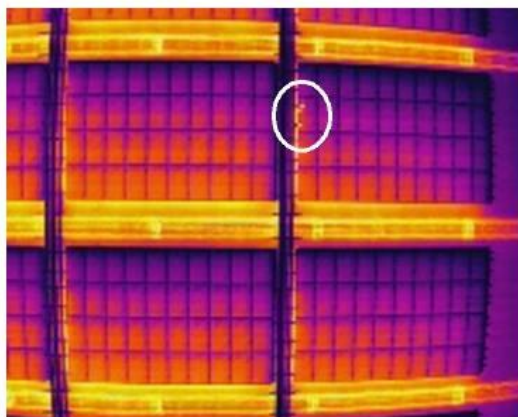
太陽光電系統健檢維護

□ 模組陣列 — 熱影像檢測

- 戶外高溫及發電狀態可提供模組耐受性檢測環境



Corrosive misaligned bus bar of SPV module



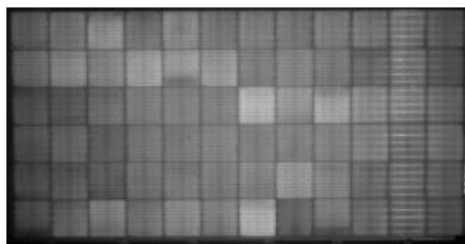
太陽光電系統健檢維護



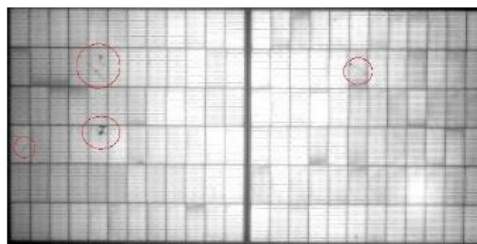
太陽光電系統健檢維護

□ 模組陣列 — EL檢測

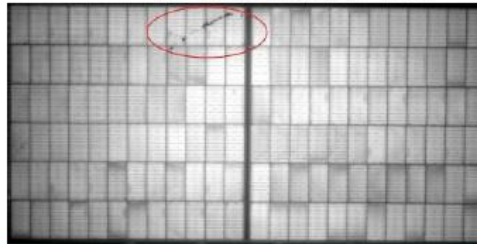
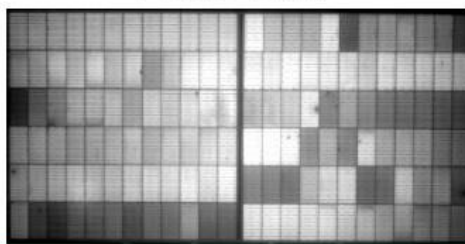
- 單片及串列EL均可於白晝檢測破片、隱裂、二極體短路、LeTID衰減等



LeTID衰減



隱裂及背膜劃傷

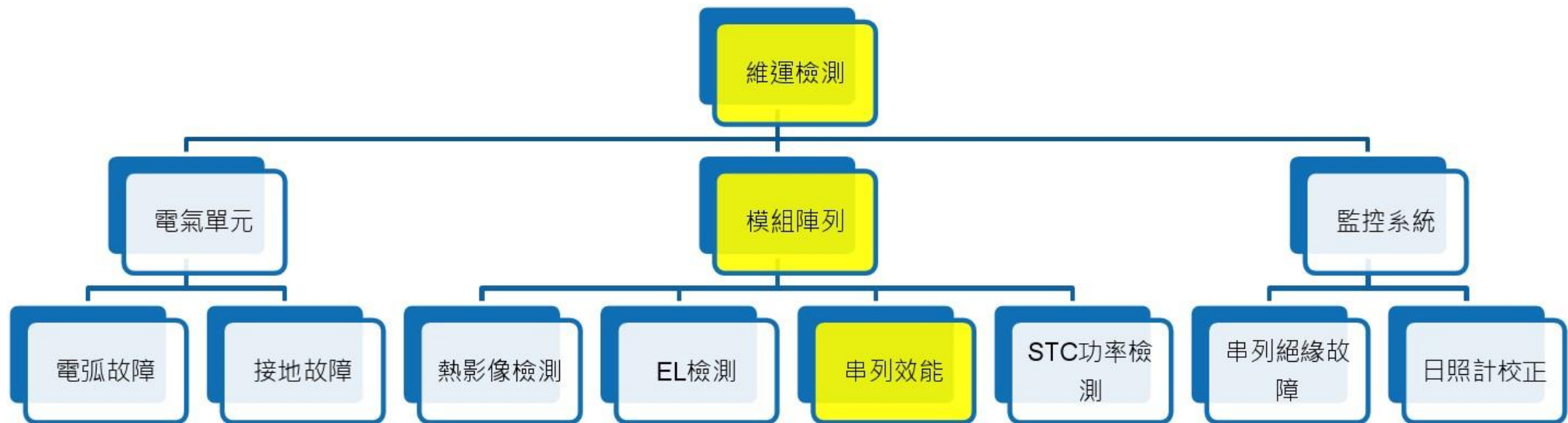


破片+旁路二極體短路



破片

太陽光電系統健檢維護



太陽光電系統健檢維護

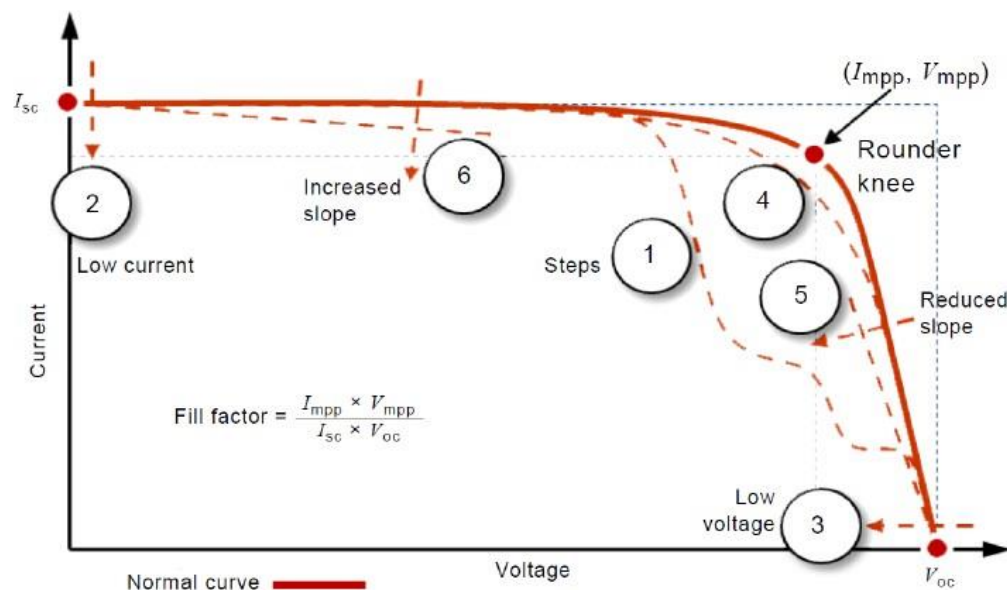


工業技術研究院
Industrial Technology
Research Institute

系統監控— IEC 62446-1-7.2 PV串列I-V曲線量測

□ I-V曲線分析可提供PV串列是否工作異常的資訊

- 電池或模組破片(Damaged cells / modules.)
- 旁路二極體短路(Short circuited bypass diodes.)
- 遮陰 (Local shading)
- 模組失配(Module mismatch)
- 電池/模組/陣列存在分流阻抗(The presence of shunt resistance in cells / modules / arrays)
- 串聯阻抗異常增加(Excessive series resistance)



- ① 階梯或凹陷(Steps or notches in curve)
- ② 低電流(Low current)
- ③ 低電壓(Low voltage)
- ④ 曲膝(Rounded knee)
- ⑤ 垂直區淺斜率(Shallower slope in vertical leg)
- ⑥ 水平區深斜率(Steeper slope in horizontal leg)

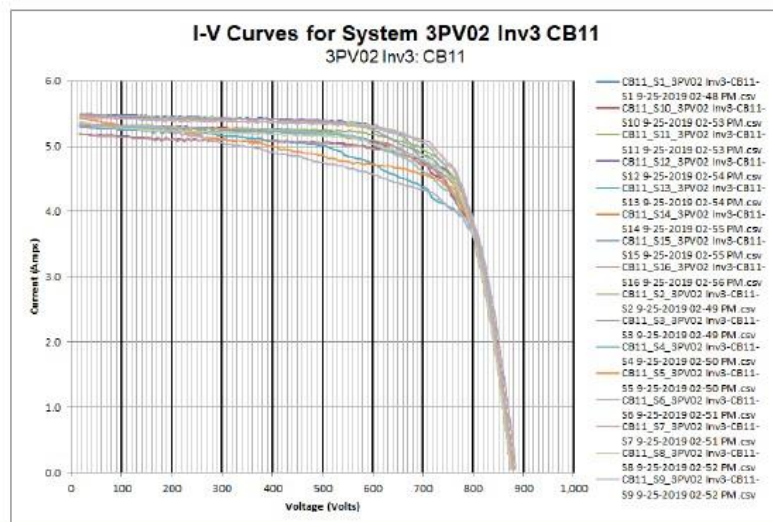
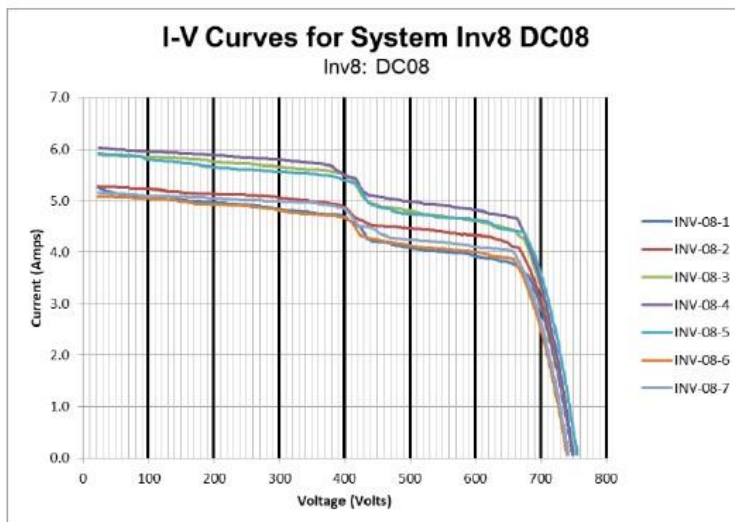
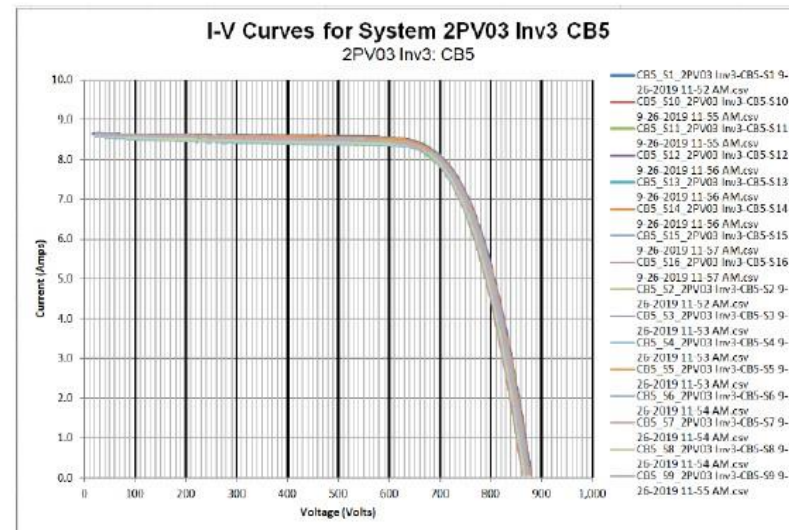
太陽光電系統健檢維護



工業技術研究院
Industrial Technology
Research Institute

☐ 模組陣列 — 串列效能

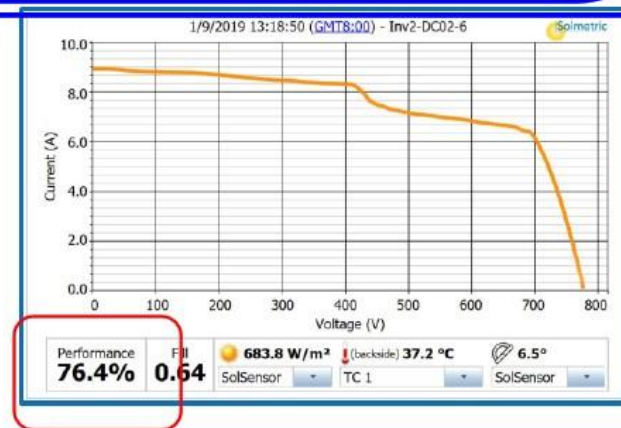
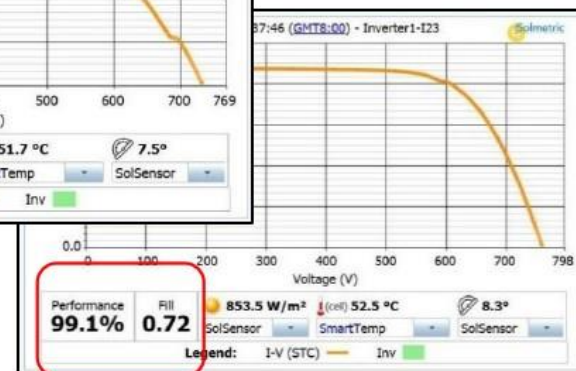
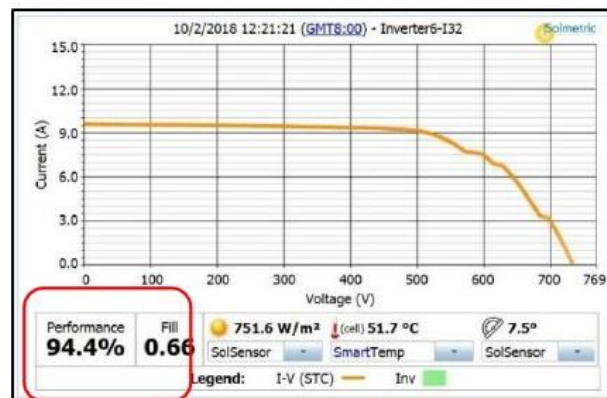
- 戶外同時測試多串列I-V曲線進行比對



太陽光電系統健檢維護

□ 模組陣列 — 串列效能

➤ 戶外同時測試多串列-V曲線進行比對



太陽光電系統健檢維護



太陽光電系統健檢維護

☐ 模組陣列 — 行動車STC功率檢測

模擬器標定

- 將待測案場同款模組送至定點實驗室3A或3A+級氙燈模擬器進行參考模組校正

模組校正

- 參考模組送至案場於23~27度範圍下標定LED模擬器

- 模組控溫至23~27度範圍或送至定點實驗室3A或3A+級氙燈模擬器進行精準驗證測試
- 可出報告

驗證測試

**須送模組至定點實驗室進行參考
模組校正及異常模組驗證測試**

LED太陽光模擬器



驗證測試

- 以3A+級氙燈模擬器於案場控溫至23~27度範圍進行參考模組查核或校準

設備查核

- 待測模組控溫至23~27度範圍量測
- 可出報告

**於案場可完成檢驗與驗證
測試不須再送定點實驗室**

3A+ 氙氣燈太陽光模擬器



太陽光電系統健檢維護

☐ 模組陣列 — 行動車STC功率檢測

➤ 已完成超過100 MW案場國產及進口模組抽檢



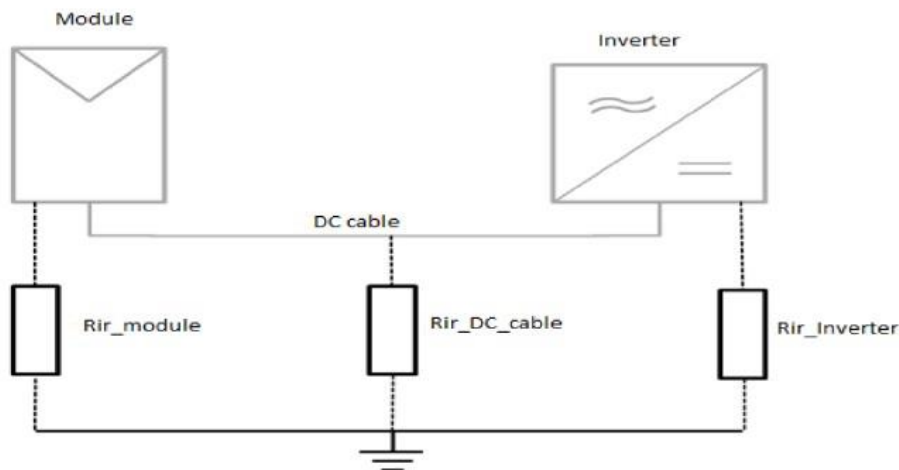
太陽光電系統健檢維護



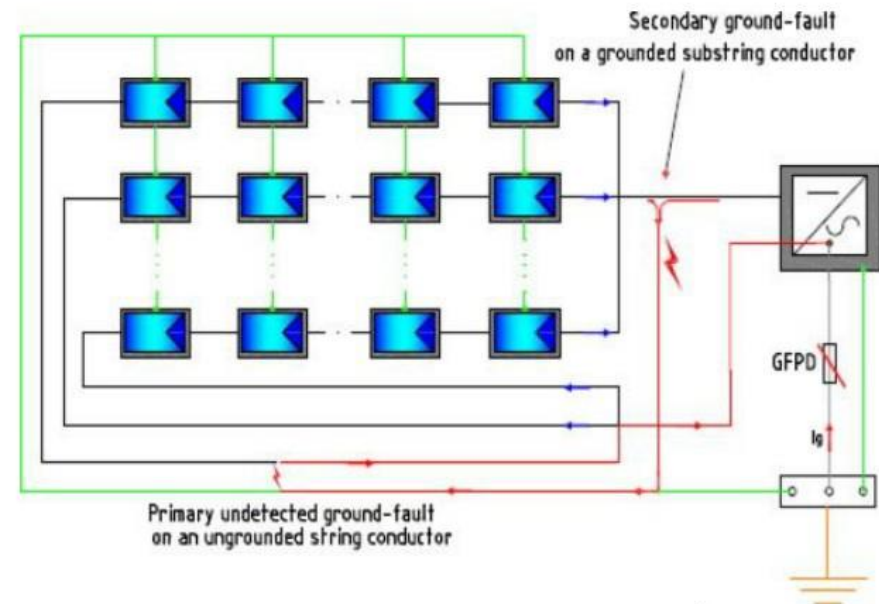
太陽光電系統健檢維護

□ 監控系統——串列絕緣故障排除

- 變流器偵測到絕緣阻抗過低而停機
- 串列: IEC 62446-1, $V_{oc} > 500\text{ V}$, 測試電壓 1000 V , 絕緣阻抗 $> 1\text{ M}\Omega$
- 模組: IEC 61215-2, 絕緣阻抗 $> 40\text{ M}\Omega \cdot \text{m}^2 / (\text{模組面積})$



$$R_{ir} = \frac{1}{\frac{1}{R_{ir_module}} + \frac{1}{R_{ir_DC_cable}} + \frac{1}{R_{ir_Inverter}}}$$



$$\text{模組串列絕緣阻抗} = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \dots + \frac{1}{R_n}}$$

參考文獻：

1. Causes for Insulation faults in PV systems and detection methods.
2. Safety issues in PV systems: Design choices for a secure fault detection and for preventing fire risk.

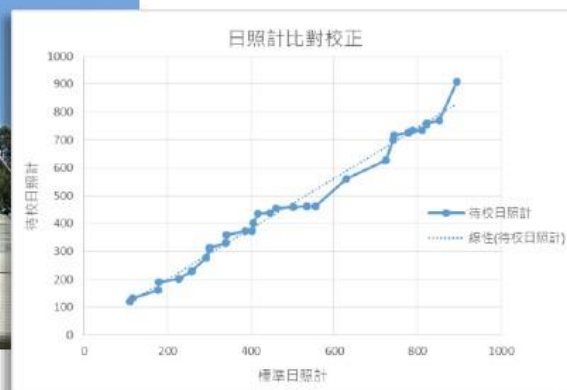
太陽光電系統健檢維護



太陽光電系統健檢維護

☐ 監控系統 — 日照計校正

➤ 30天戶外日照計比對校正可完整分析日照計線性趨勢精準校正



日期	標準日照計	實測日照計	偏離線性校正日 照計	線性分析校正後 日照計
2023/01/10	2.49	2.25	2.59	2.33
2023/01/11	1.25	1.49	1.72	1.54
2023/01/12	1.88	1.94	2.23	2.00
2023/01/13	3.77	3.55	4.09	3.67
2023/01/14	3.87	3.49	4.02	3.61
2023/01/15	1.58	1.97	2.27	2.04
2023/01/16	0.901	1.018	1.17	1.053
2023/01/17	0.457	0.579	0.67	0.599
2023/01/18	0.406	0.590	0.68	0.611
2023/01/19	3.859	3.737	4.31	3.867
2023/01/20	1.964	1.906	2.20	1.972
2023/01/21	2.489	2.369	2.73	2.451
2023/01/22	3.283	3.411	3.93	3.529
2023/01/23	1.115	1.280	1.47	1.325
2023/01/24	0.770	0.856	0.99	0.886
2023/01/25	3.891	3.973	4.58	4.111
2023/01/26	0.930	1.128	1.30	1.167
2023/01/27	0.699	0.731	0.84	0.757
2023/01/28	2.916	2.420	2.79	2.504
2023/01/29	5.343	4.477	5.16	4.632
2023/01/30	5.622	4.768	5.49	4.933
2023/01/31	5.319	4.548	5.24	4.706
2023/02/01	3.113	2.610	3.01	2.700
2023/02/02	1.369	0.943	1.09	0.975
2023/02/03	3.506	2.877	3.31	2.976
2023/02/04	2.377	1.772	2.04	1.834
2023/02/05	0.461	0.563	0.65	0.582
2023/02/06	1.211	1.405	1.62	1.454
2023/02/07	1.416	1.611	1.86	1.667
2023/02/08	3.502	3.697	4.26	3.825
2023/02/09	1.014	1.116	1.29	1.154
累積日照量	72.77	69.08	79.57	71.47
		-5.08%	9.34%	-1.80%

3-2 輻射照度

標準值 (W/m ²)	器示值 (W/m ²)	**誤差 (%)
742.56	717.75	-3.34

**誤差 = $\frac{\text{實測日照計照度} - \text{標準日照計照度}}{\text{標準日照計照度}} \times 100\%$

結論

- ◆ 太陽光電直流電弧不同於一般常見的交流電弧，不僅電壓更高、危害性也更大，應更加注意接點的可靠性，設計上也盡量以正負極分離為原則。
- ◆ 校舍、風雨球場、工廠、農舍等因涉及公共與財產安全，應特別注意接地保護的有效性。
- ◆ 戶外熱影像空拍可補充模組於產線中除了功率、**EL**及絕緣測試外所沒有的高溫及高串聯電壓的測試條件，建議列為必測項目。
- ◆ 太陽光電行動測試車可至系統案場執行精確的模組**STC**功率測試，也可執行**EL**及絕緣測試。
- ◆ **30**天戶外日照計比對校正可完整分析日照計線性趨勢達到精準校正的目的。

感謝聆聽



李思賢

Tel: 03-5913893

Email: sven@itri.org.tw