



太陽光電系統維運檢測技術

工研院量測中心
太陽光電計量實驗室
報告人：李思賢

中華民國108年11月6日



太陽光電系統-測試要求、文件和維護營運標準

- IEC 62446-1 Ed.1: Photovoltaic (PV) systems - Requirements for testing, documentation and maintenance - Part 1: Grid connected systems - Documentation, commissioning tests and inspection(太陽光電系統-測試、文件和維護營運-第一部：併網系統-系統文件的最低要求、試運行測試及目視檢測)
 1. 取代IEC 62446-2009
 2. 設計審查：系統資訊、機電設計、場地布局
 3. 完工後系統測試：安全性、電力輸出性能等
 - 檢查系統安全裝置
 - 測試電力特性、絕緣阻抗
 - 測試太陽光電陣列的輸出功率
 - 分析環境遮蔽陰影對於發電量的影響
- IEC 62446-2 Ed.1: Photovoltaic (PV) systems -Requirements for testing, documentation and maintenance - Part 2: Grid connected systems - Maintenance of PV systems(draft)(太陽光電系統-測試、文件和維護營運-第二部：併網系統-太陽光電系統維護營運)(草案)
- IEC 62446-3 Ed.1: Photovoltaic (PV) systems – Requirements for testing, documentation and maintenance –Part 3: Photovoltaic modules and plants – Outdoor infrared thermography (太陽光電模組與電站戶外紅外線熱影像檢測)



太陽光電系統-測試要求、文件和維護營運標準

■ IEC 62446-1 Ed.1:

➤ 類別1：不論系統之大小、種類、位置或複雜度均須符合的最低要求，

6.1 接地連續性及等電位導體測試(Continuity of protective earthing and equipotential bonding conductors)

6.2 電極極性測試(Polarity test)

6.3 PV串列配電箱測試(PV string combiner box test)

6.4 PV串列開路電壓量測(PV string – Open circuit voltage measurement)

6.5 PV串列電流量測(PV string – Current measurement)

6.6 功能測試(Functional tests)

6.7 PV陣列絕緣阻抗測試(PV array insulation resistance test)

➤ 類別2：傾向對較大及較複雜的系統所做的附加測試，

7.1 通則：類別2測試可採取全系統執行或部分取樣執行

7.2 PV串列I-V曲線量測(String I-V curve measurement)

7.3 PV陣列紅外熱影像檢測程序(PV array infrared camera inspection procedure)

➤ CH 8 附加測試程序

8.1 阻抗接地電壓測試(Voltage to ground – Resistive ground systems)

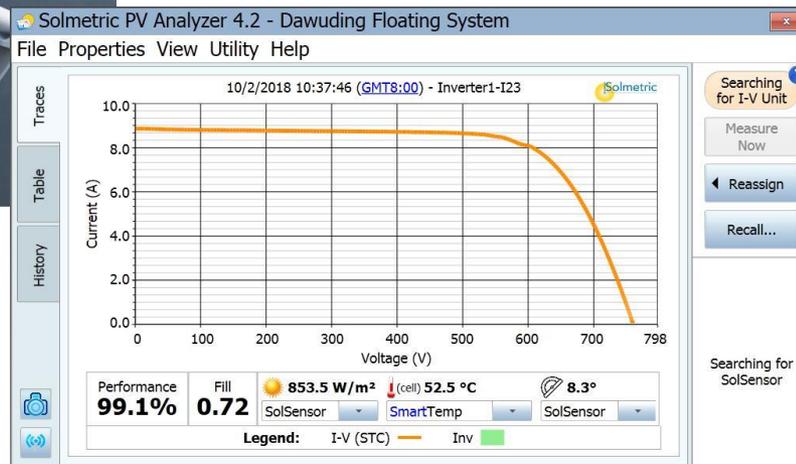
8.2 阻隔二極體測試(Blocking diode test)

8.3 溼絕緣阻抗測試(PV array – Wet insulation resistance test)

8.4 遮陰評估(Shade evaluation)

系統監控—IEC 62446-1-7.2 PV串列I-V曲線量測

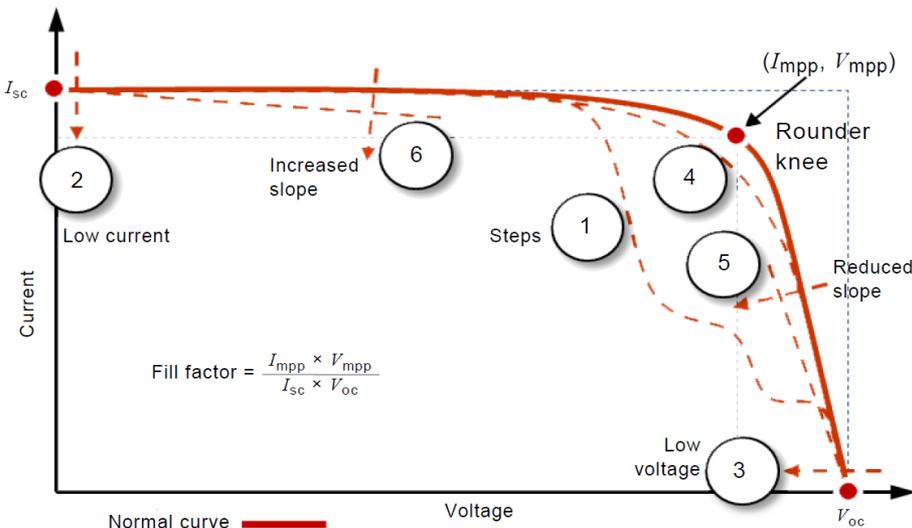
- 開路電壓(Voc) 與短路電流量測 (Isc).
- 最大功率電壓(Vmpp), 電流(Imp), 及最大功率 (Pmax)量測.
- PV陣列性能量測.
- PV模組/串列填充因子 (fill factor)量測
- 辨識PV模組與陣列的缺陷及遮蔽議題



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)

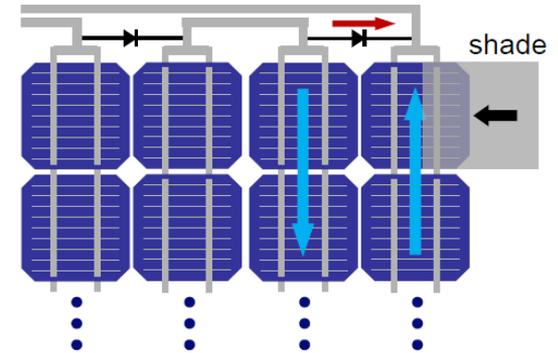
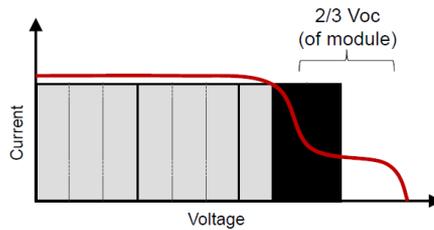
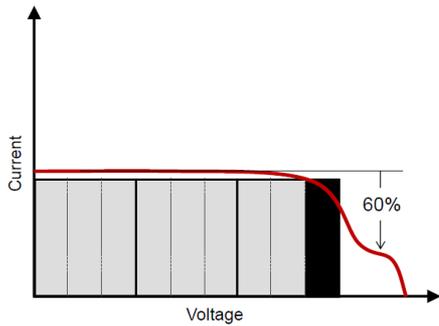
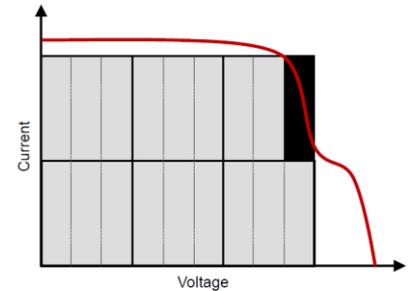
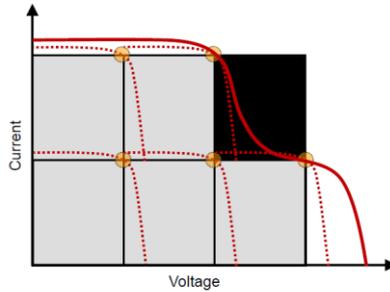
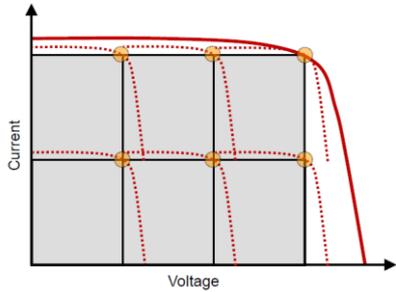


- ① 階梯或凹陷(Steps or notches in curve)
- ② 低電流(Low current)
- ③ 低電壓(Low voltage)
- ④ 曲膝(Rounder knee)
- ⑤ 垂直區淺斜率(Shallower slope in vertical leg)
- ⑥ 水平區深斜率(Steeper slope in horizontal leg)

系統監控— IEC 62446-1-7.2 PV串列I-V曲線量測

① 階梯或凹陷：

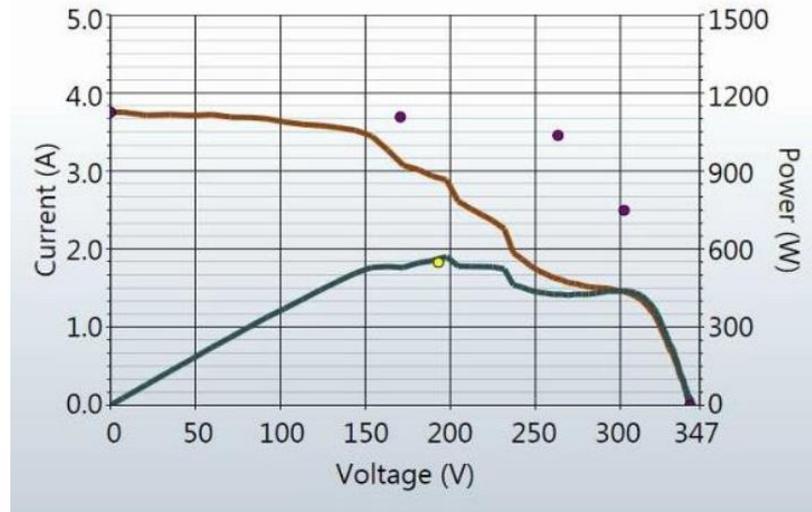
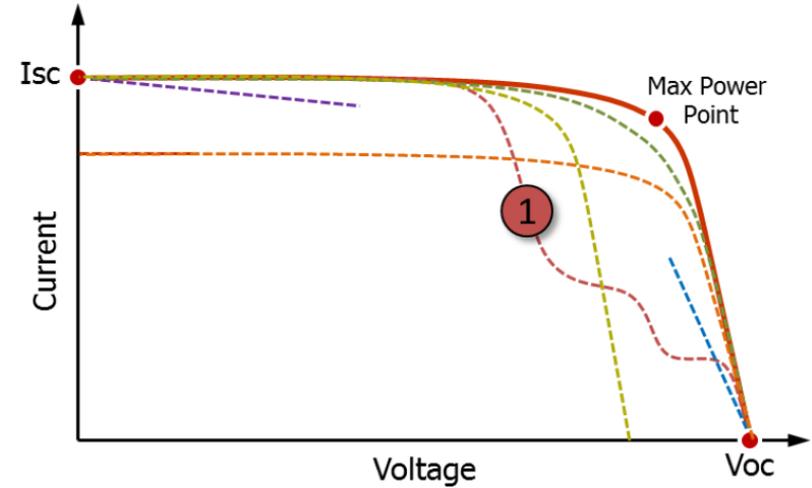
- 串列或模組部分遮陰或遮蔽
- 太陽電池或模組缺陷
- 旁路二極體短路





系統監控— IEC 62446-1-7.2 PV串列I-V曲線量測

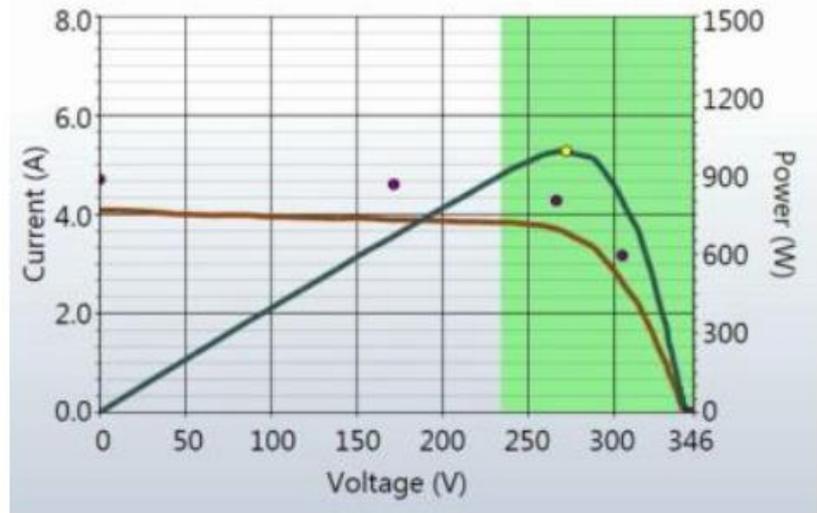
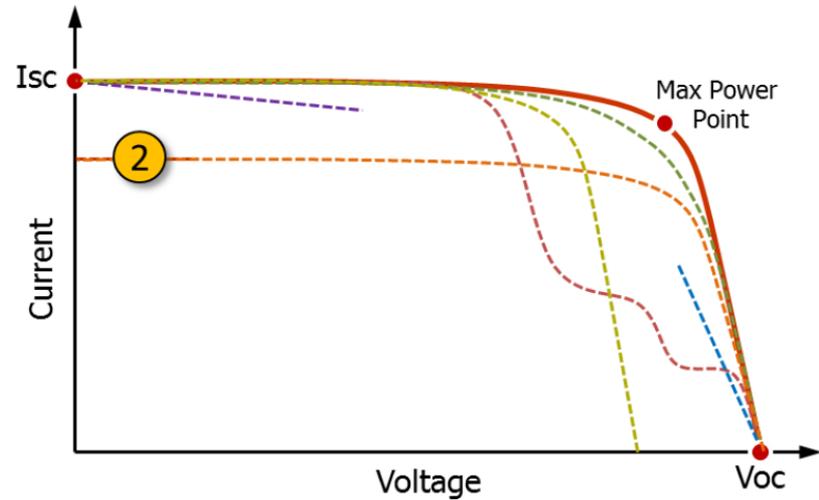
- ① 階梯或凹陷：旁路二極體啟動
- 串列或模組部分遮陰或遮蔽
 - 太陽電池或模組缺陷
 - 旁路二極體短路



系統監控— IEC 62446-1-7.2 PV串列I-V曲線量測

② 低電流

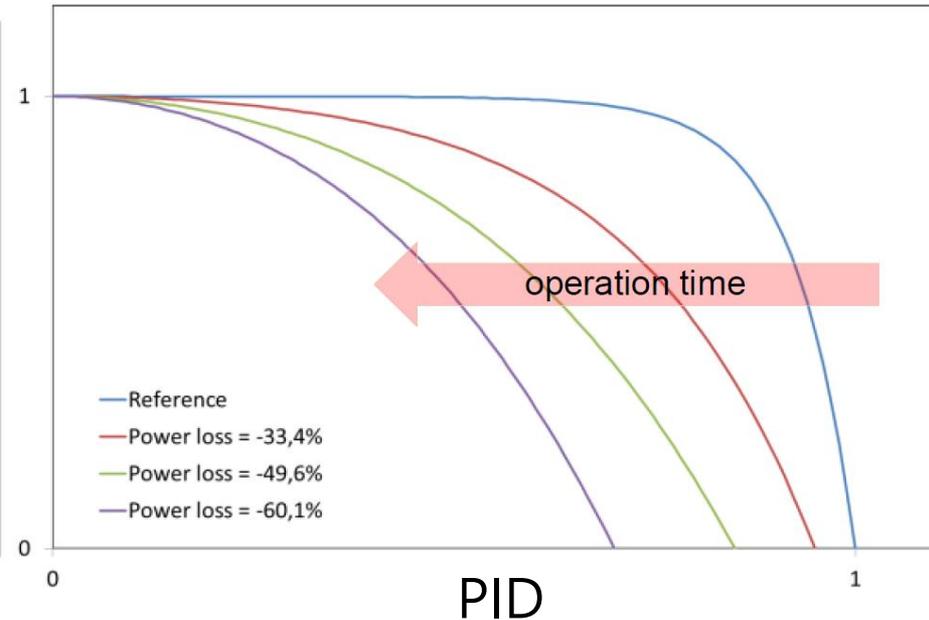
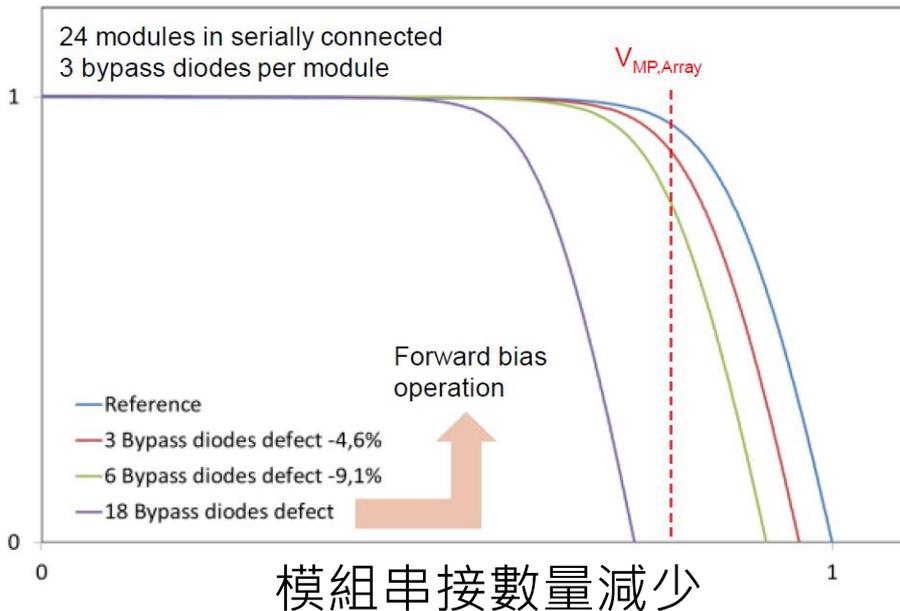
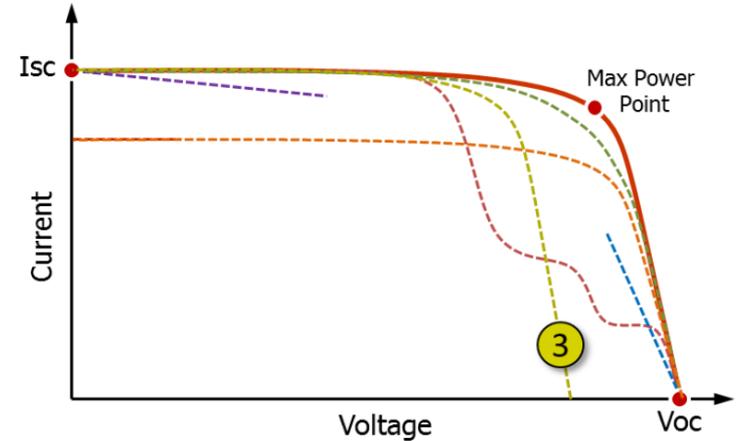
- 均勻的遮蔽
- 砂壩遮蔽(Dirt dam)
- PV模組衰減
- 照度量測失準



系統監控— IEC 62446-1-7.2 PV串列I-V曲線量測

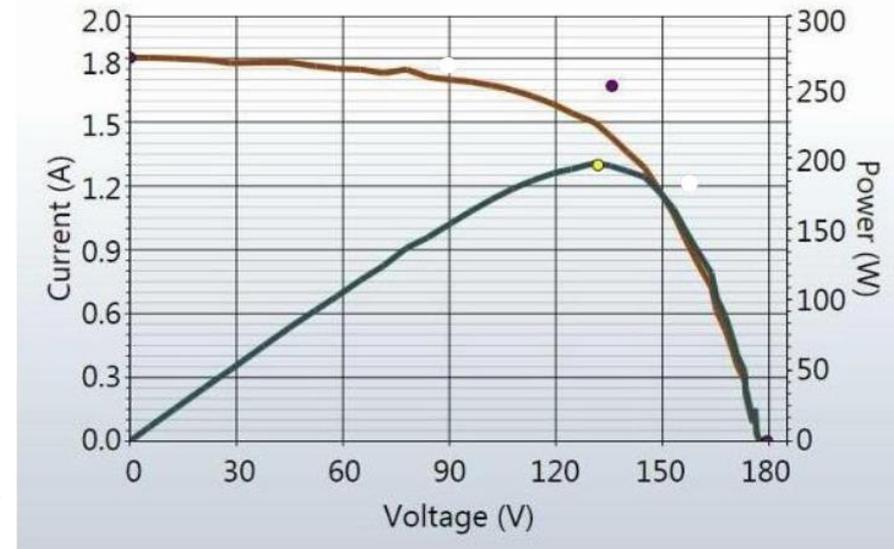
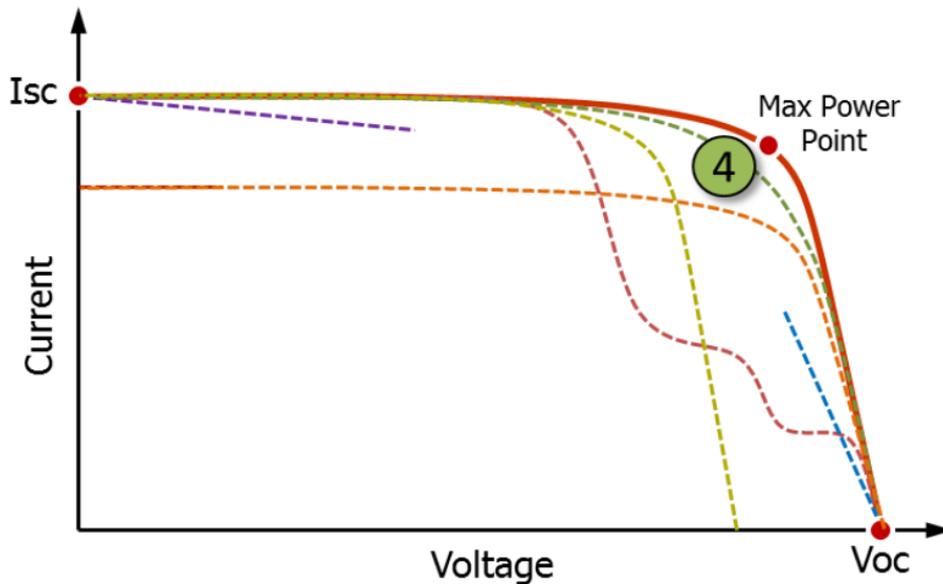
③ 低電壓

- 旁路二極體導通
- 模組串接數量減少
- PID
- 整片電池/模組/串列完全被遮蔽
- 模組溫度量測失準



系統監控— IEC 62446-1-7.2 PV串列I-V曲線量測

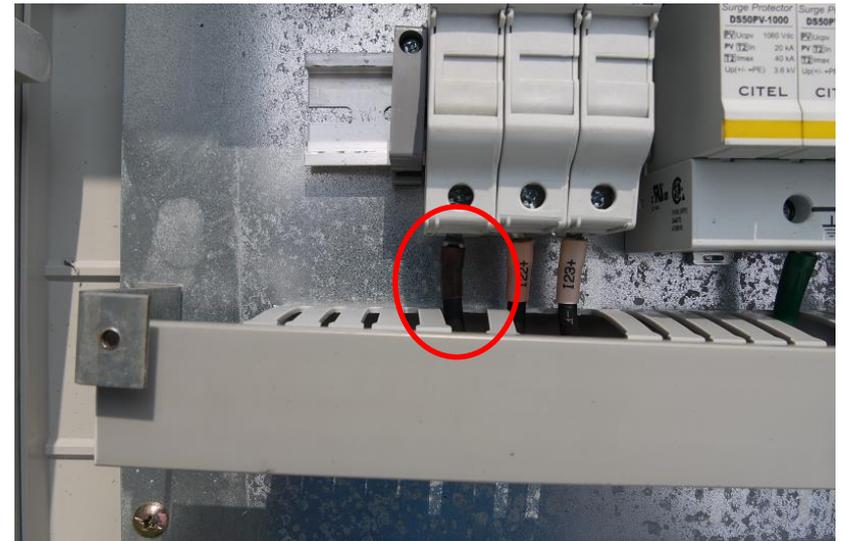
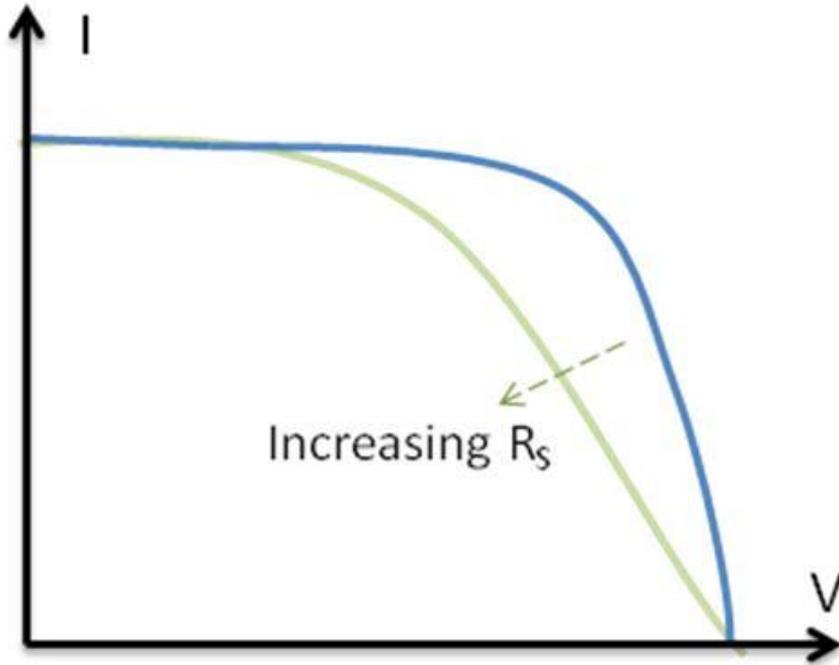
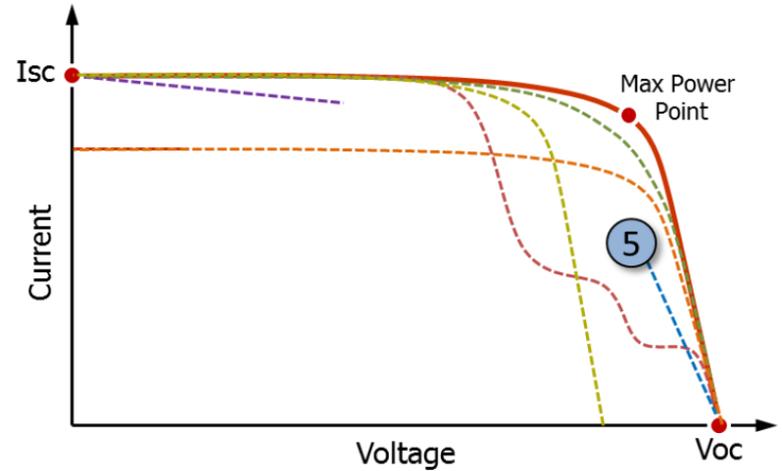
- ④ 曲膝(Rounder knee)
 - 模組老化
 - 垂直或水平區改變



系統監控— IEC 62446-1-7.2 PV串列I-V曲線量測

⑤ 垂直區淺斜率

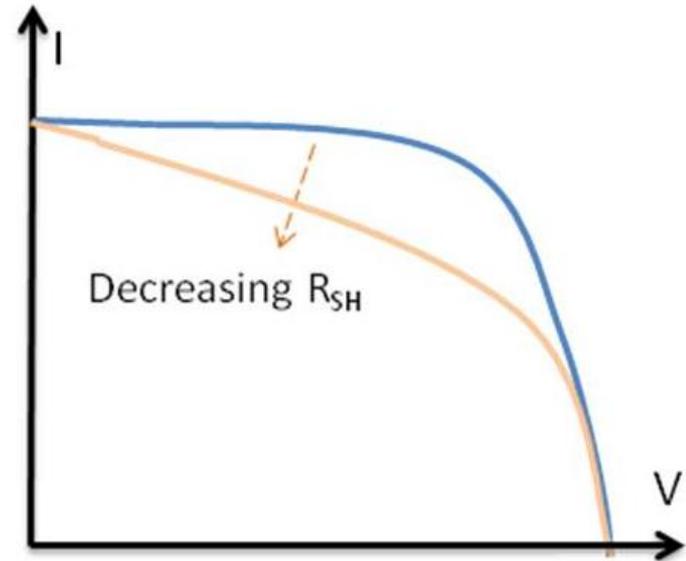
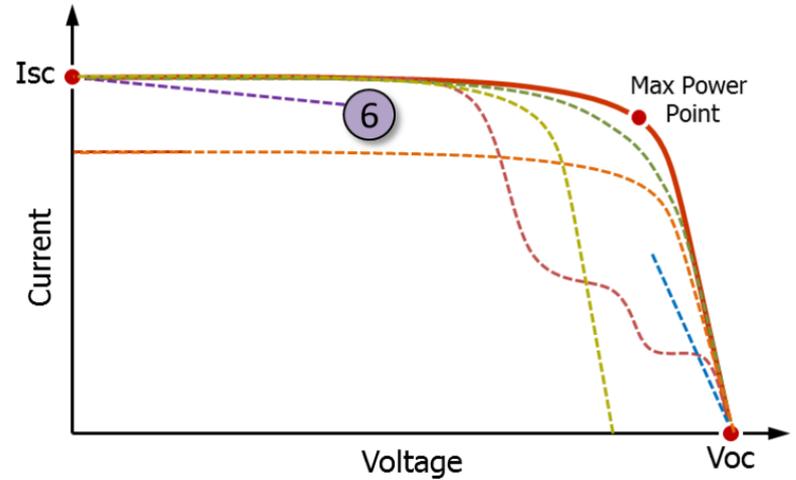
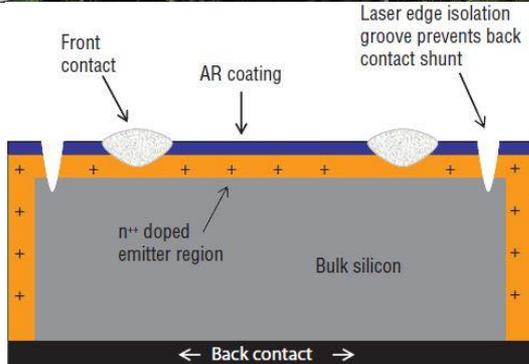
- 直流配線或端子接觸不良
- 模組或串列線路接觸不良
- 模組串聯電阻上升



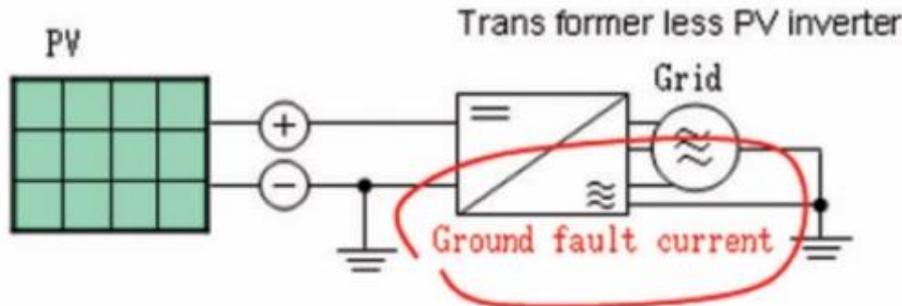
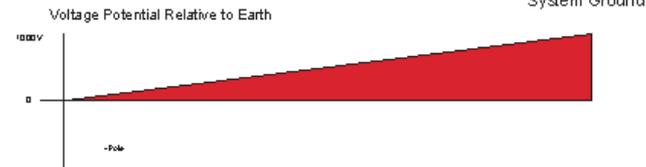
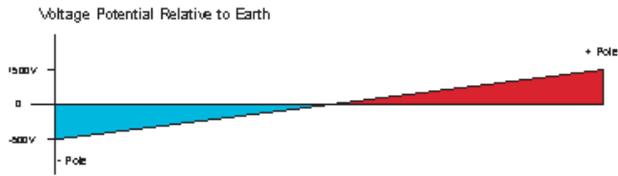
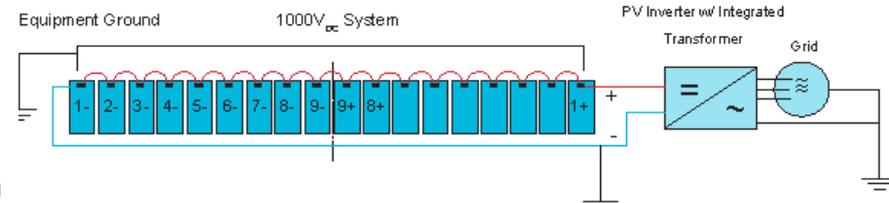
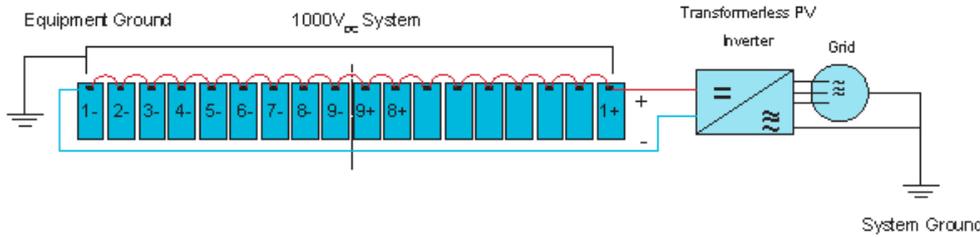
系統監控— IEC 62446-1-7.2 PV串列I-V曲線量測

⑥ 水平區深斜率

- 太陽電池漏電流
- 模組Isc失配
- 不均勻的砂壩遮蔽



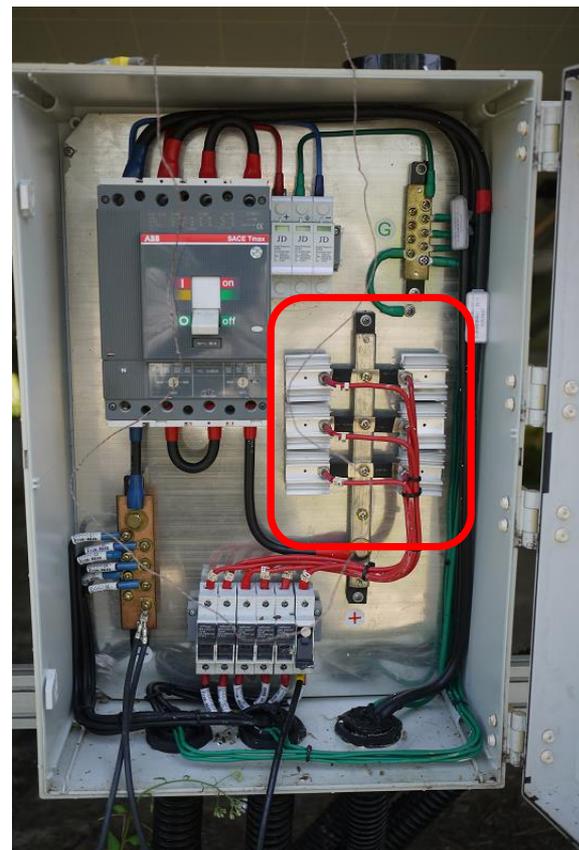
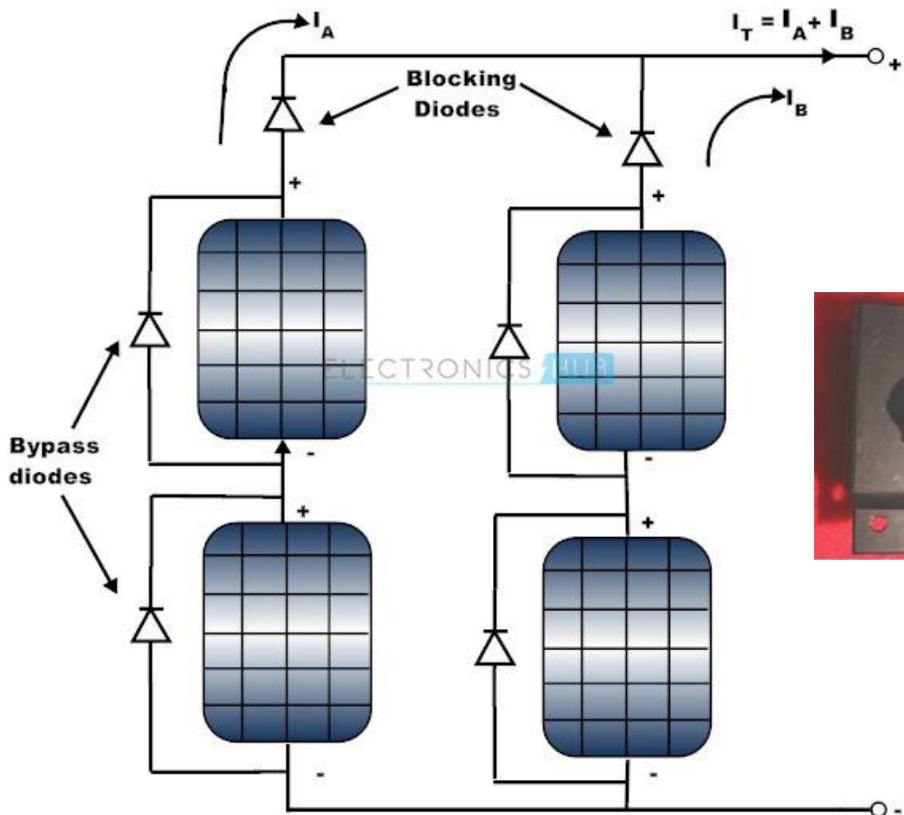
系統監控—IEC 62446-1-8.1 對地電壓測試-電阻性接地



□ 測試接地電阻之電阻值
或可接受之電壓值、電流值

變流器工作期間，組件採用大阻值電阻間接地(一般為22K Ohm)，避免了直接接地造成與無變壓器隔離型逆變器的不兼容的問題。由於通過該接地電阻的實際電流很小，不會因此造成無變壓器隔離型變流器直流漏電報警，同時接地線路上的直流漏電保護器設置值很小能起到人員安全保護作用。變流器不工作期間，組件直接接地，對變流器無影響，但可以達到接地的效果。

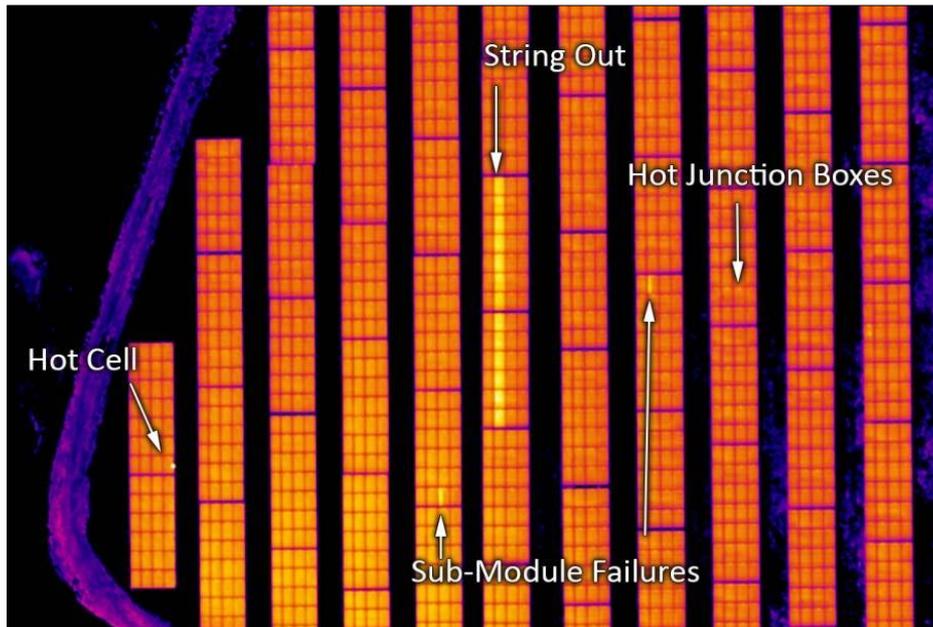
系統監控—IEC 62446-1-8.2 阻隔二極體測試



- ❑ 目視檢查：是否**正確安裝**、是否有**碳化及過熱**的情形
- ❑ 電壓測試：於系統正常運轉狀態下二極體電壓值應在 $V_{BD}=0.5\text{ V}$ 及 1.65 V 之間。

系統監控—空拍影像檢測識別

- ❑ 模組故障：熱斑、二極體故障、模組故障、配線盒過熱、模組破裂、EVA霧化、變黃、抗反射膜退化、嚴重污染(鳥糞、碎屑、植物)及其他模組層級的缺陷。
- ❑ 串聯與系統故障：保險絲故障、變頻器故障、模組接頭故障、配線極性相反，主要最大電力點追蹤功能(MPPT)故障。
- ❑ 模組架與系統平衡：主要模組架偏移、系統遮陰、明顯的腐蝕。



- 需有適當的影像後處理工具
- 以上所述的問題無法僅利用空拍檢驗加以診斷，需要在地面上進一步的故障排除。

高解析度紅外線顯影，可以識別故障的串聯、模組及模組中的單元。如這個影像所示



系統監控—IEC 62446-3 熱影像檢測程序

- 簡易熱影像檢測(Simplified thermographic inspection):
 - 用以檢測模組與元件的基本功能
 - 無法對太陽光電模組品質做出權威性的結論
 - 僅能依據附錄C的模組熱影像圖形評估是否異常
- 詳細熱影像檢測(Detailed thermographic inspection and analysis):
 - 可分析附錄C以外的模組熱影像特徵
 - 可作為IEC 62446-1及未來IEC 62446-2的週期性檢測
 - 用以排除低效能系統的故障原因
 - 測定絕對溫度
- 遙控空拍機拍攝熱影像屬簡易型檢測



系統監控—IEC 62446-3 空拍機熱影像檢測

□ 特點

- 較地面拍攝**快速**
- 易於取得**良好的拍攝角度及距離**
- 可**克服**如屋頂及水面系統等的**地形障礙**

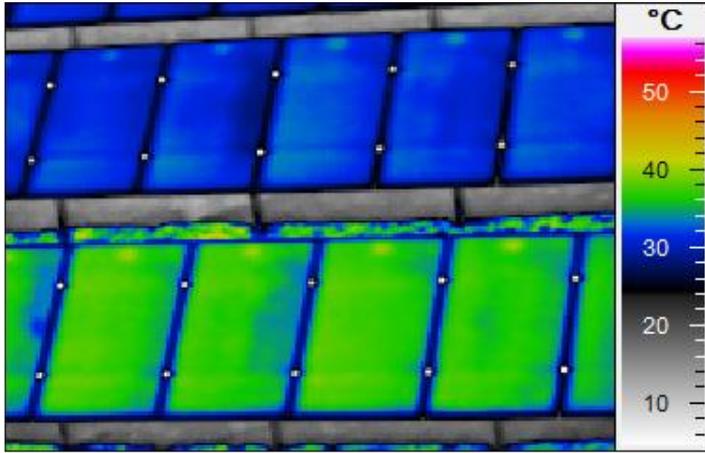
□ 侷限性

- 屬於**簡易型**：
 - 僅用以**檢測**系統是否有發生**異常**，**不能**作為**判定故障原因**的工具
 - **不能**作為符合**IEC 62446-1**及未來**IEC 62446-2**的**週期性檢測**工具
 - 量測的溫度列為**相對**參考的**溫度**
- **拖尾效應**：飛行速度過快(≥ 3 m/s)會有影像**拖尾效應**(smearing effects)
- **區域限制**：禁航區不可使用；限航區於屋頂處亦有可能超高而不得飛行
- **時間限制**：電池容量會對拍攝時間形成限制
- **風速限制**：飛行風速限制(建議 < 時速 36 公里)

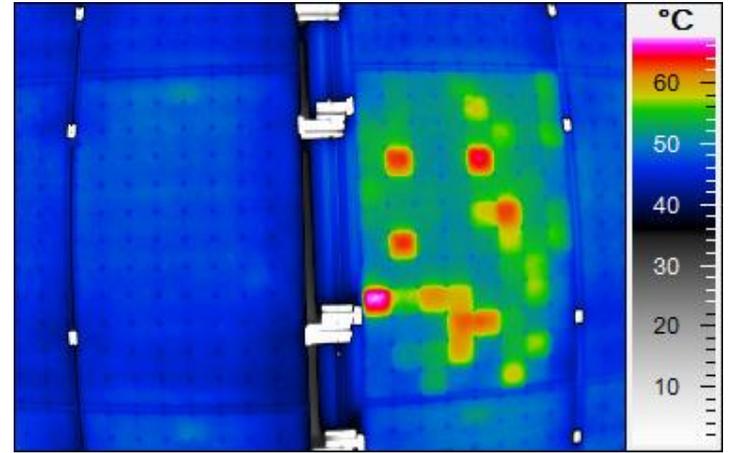


太陽光電系統維運檢測技術

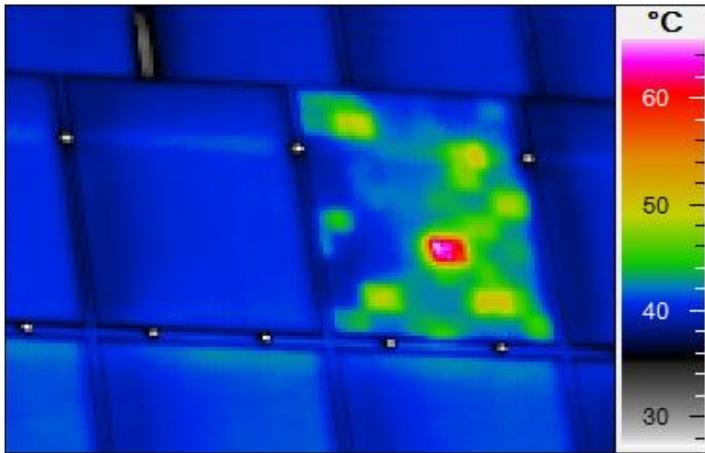
系統監控—IEC 62446-3 模組陣列熱影像異常範例



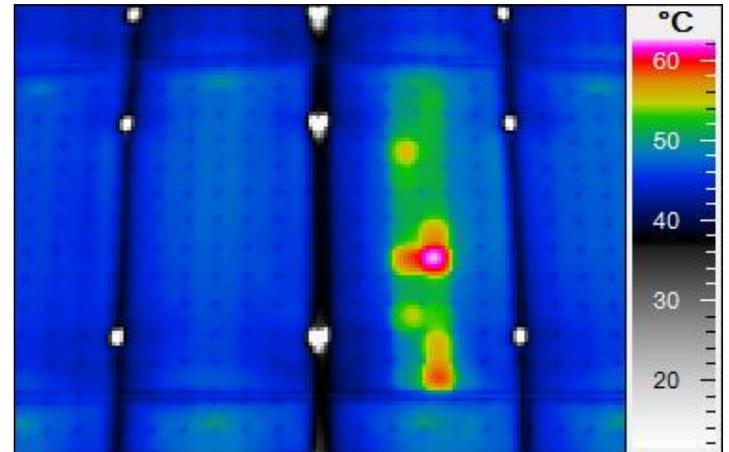
模組陣列開路



可能模組短路、玻璃破裂、PID、電池缺陷或模組失配



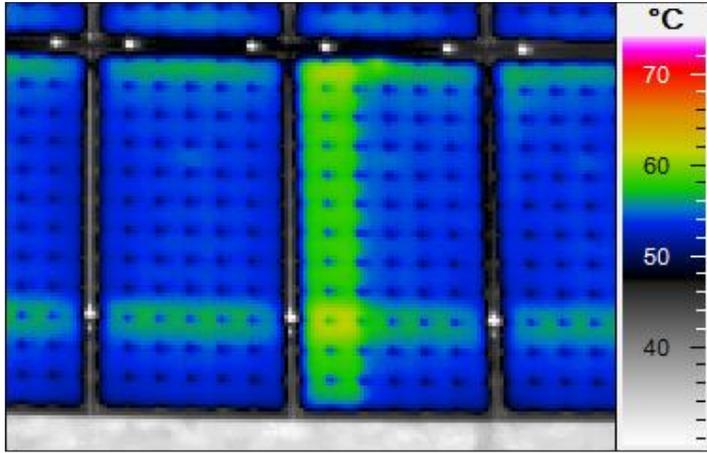
可能矽晶模組玻璃破裂、模組短路、PID、電池缺陷或模組失配



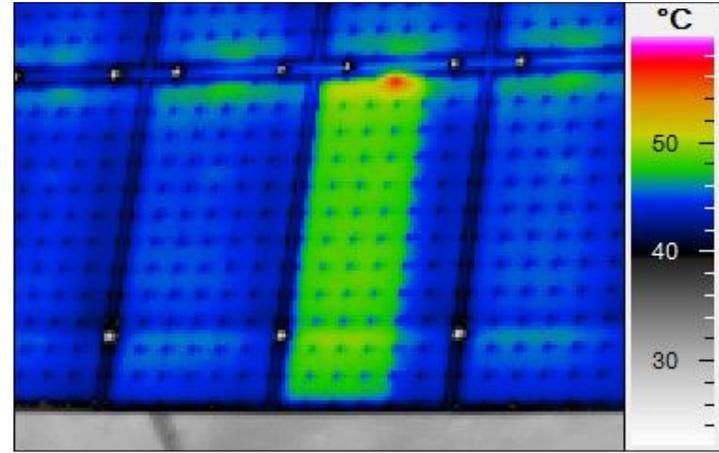
模組電池串列短路、電池破裂、缺陷、PID或模組失配



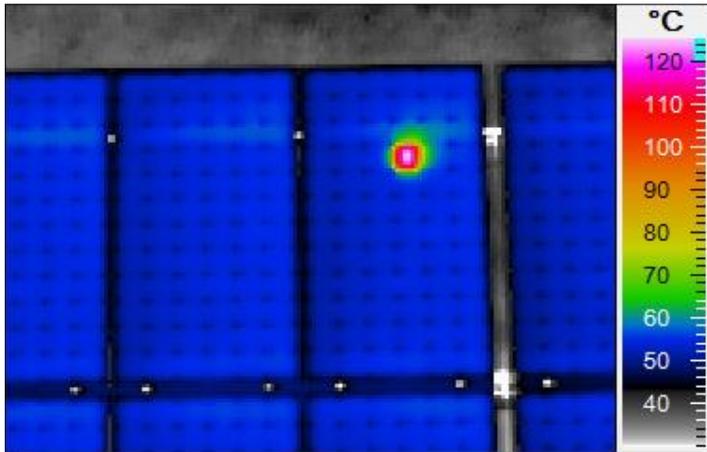
系統監控—IEC 62446-3 模組陣列熱影像異常範例



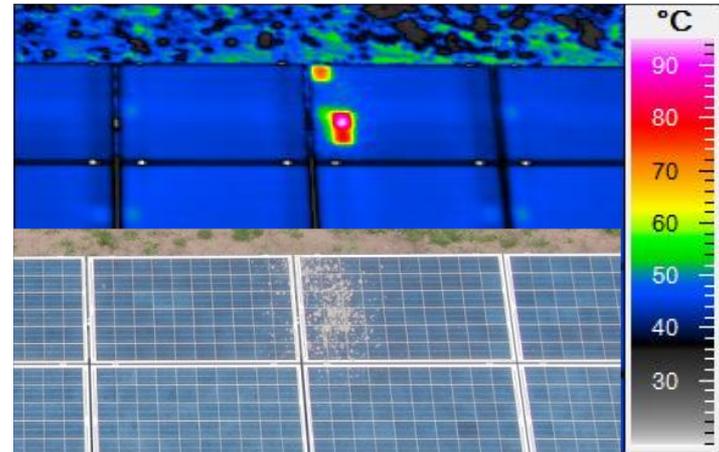
單串電池開路



兩串電池開路



單電池高溫

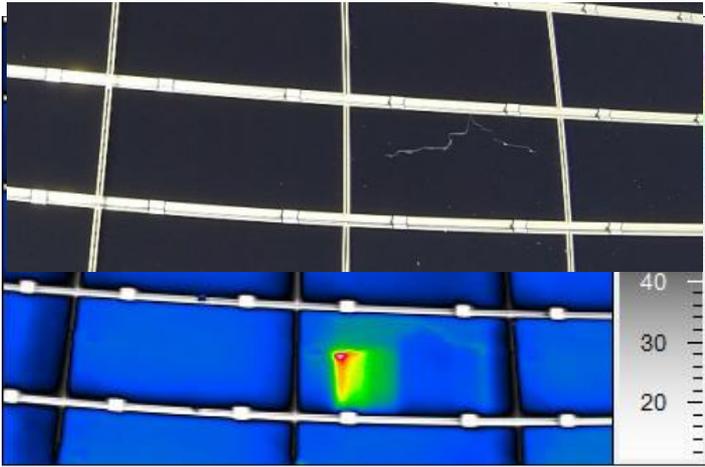


模組電池遮蔽

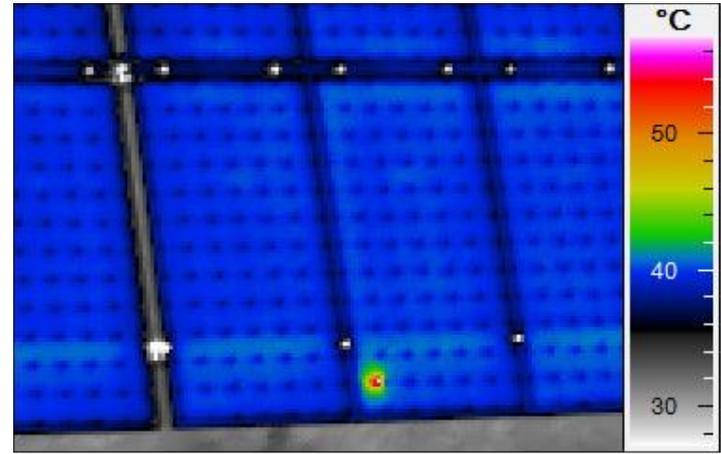


太陽光電系統維運檢測技術

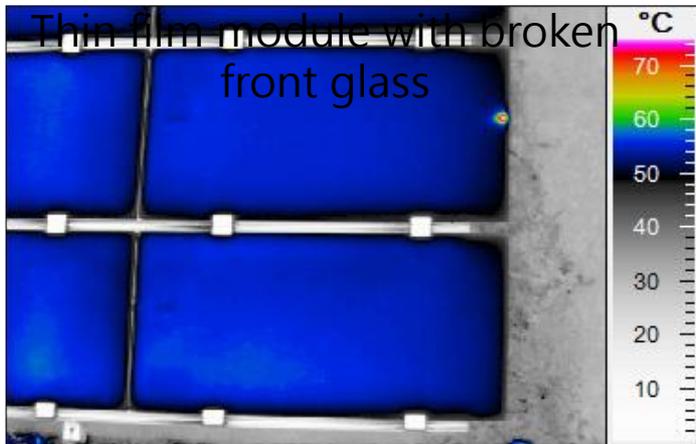
系統監控—IEC 62446-3 模組陣列熱影像異常範例



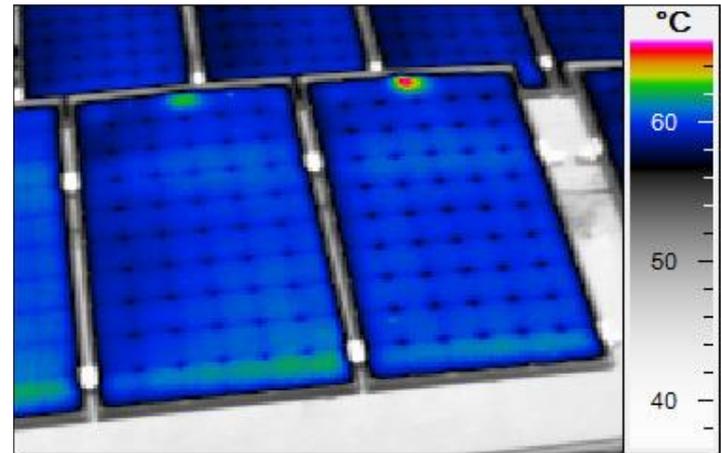
可能薄膜模組玻璃破裂、短路、PID、電池缺陷或模組失配



矽晶模組導電帶電阻過大，可能因為導電帶接觸不良或斷裂



薄膜模組接點電阻過大



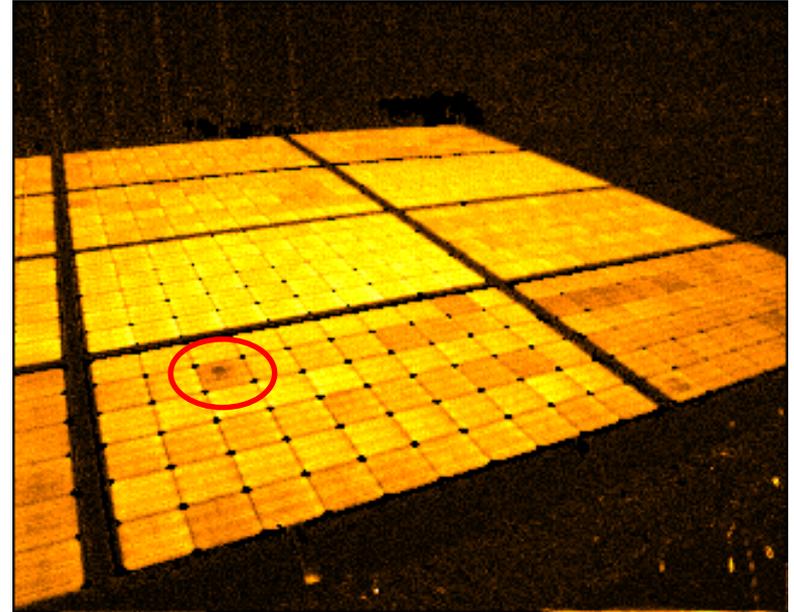
矽晶模組接線盒高溫，可能因為低阻抗的旁路二極體漏電所導致



太陽光電系統維運檢測技術

PV 電站環境條件—生態影響

實境憤怒鳥 Real live: 'Angry birds'



日本一處接近高兒夫球練習場及海岸的地面系統持續被投擲小白球、淡菜、堅果，當然也包括排泄物。

Damage detected in Japan near golf course at coastline
- birds drop golf balls, mussels, nuts etc.



太陽光電系統維運檢測技術

PV 電站環境條件—生態影響

地面系統植被管理

鋪碎石：成本高又有諸多問題

- 造成工作地面**不平整**
- 影響**排水**
- **無法提供長期減少雜草**的解決方案
- 使用**除草劑**的方式可能受到當地法規的**限制**
- 機械式**除草**的方式，可能會把**石頭彈起**並損壞模組。



低成長植物：重新種植根據現場土壤與氣候條件所選擇的低成長的品種，包括**本特草**(bent grass)**白三葉草**(white clover)和**野牛草**(buffalo grass)結合**格蘭馬草**(blue grama)。

1. **原生植物**：**保留**既有或**原生的植物**，有時候能夠**降低雜草**的快速**生長**。
2. **羊電共生**：一些德國的公司，還有美國北卡羅萊納州與夏威夷的光電系統，與當地牧場與農場合作，使用**綿羊**放牧來進行植被管理，但**山羊及牛**則**不適用**本方案。





太陽光電系統維運檢測技術

PV 電站環境條件—生態影響

光電模組種類	每年衰退率 (%/年)
非晶矽(a-Si)	0.87
單晶矽(sc-Si)	0.36
多晶矽(mc-Si)	0.64
碲化鎘(CdTe)	0.40
銅銦鎵二硒化物(CIGS)	0.96
聚光型	1.00

代表性的光電模組退化率(光電退化率—分析審查D.C. Jordan與S.R. Kurtz,
<http://www.nrel.gov/docs/fy12osti/51664.pdf>)



太陽光電系統維運檢測技術

PV 電站環境條件—生態影響

落塵與生物污染

- 視汙染的**來源**與**種類**而定，年度污染損失**範圍**從**4.3 %**至**7.5 %**
- 在具有**重度農業**活動的區域據報**每天**約**0.36 %**衰退率
- **沙漠**地區沒有農業、建築或工業活動的區域**每天**僅**0.01 %**的速率衰退。
- **大量鳥類**的污染**每天**可累積達**0.5 %**的損失，
- 有**沙塵暴**的地方像是印度據報大約**每天**可累積**1.5 %**衰退率

(Ref: NREL, Best Practices in Photovoltaic System Operations and Maintenance 2nd Edition)

霧霾

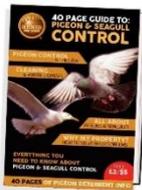
- MIT 研究收集**印度德里**長達兩年的日照量與污染數據，太陽能板發電量**年衰退率**高達**12 %**，**新加坡****2 %**、**北京****9 %** (Ref: MIT, Air pollution can put a dent in solar power)



太陽光電系統維運檢測技術

PV 電站環境條件—生態影響

• **減少鳥類棲息**：減少太陽能板之間鳥類可以築巢的間隙，使用**塑膠防鳥片**，以改變平坦表面為陡斜表面，使用**防鳥網**以封閉陣列周圍面板下方至屋頂的整個區域，沿著陣列頂端邊緣安裝**防鳥刺**，避免鳥棲，使用附有旋轉鳥頭的**塑膠猛禽**嚇走鳥類。依照築巢季節的時間排程屋頂維修並清除鳥巢。鳥類是習慣性的生物，牠們的**行為**可以經過時間來**改變**不再棲息你的屋頂。





太陽光電系統維運檢測技術

結論

1. IEC 62446規範可作為太陽光電電站初期驗收、週期性維護性檢測以及資產轉移前的驗證標準。
2. 空拍機檢測具有快速、可克服地形障礙等優點，但系統的週期性維護以及可靠度驗證仍須以地面檢測為主。
3. I-V曲線測試可分析PV串列的失效性等缺陷，全日戶外EL檢測則可作為電池片隱裂或斷路的直接檢測工具。
4. 系統建置前對於地點的氣候與生態環境評估非常重要，決定地點後也要預先規劃解決方案。

感謝聆聽

