



# 太陽光電系統常見危害及預防

單位:工業技術研究院-綠能所  
部門:太陽光電技術組-R300  
實驗室:太陽光電系統測試實驗室  
實驗室主管:宋洪義

# Outline



設計規範注意事項

系統健檢建議執行步驟

# Outline



設計規範注意事項

系統健檢建議執行步驟

## 設計規範注意事項



連接器

直流電源線

極性要求

半切太陽能模組

鋤刀開關

接地系統

連接器

直流電源線

極性要求

半切太陽能模組

鋤刀開關

接地系統

# 設計規範重要性

(1) 目前對應國際標準規範:

- a) IEC 62446-1:5.2 inspection (審查): 目的設計審查, 提供評估報告給銀行、業主
- b) IEC 62548 太陽光電系統設計指引: 目的系統元件設計規格選用要求
- c) IEC 62738 地面型太陽光電系統設計指引: 目的地面型太陽光光電系統設計要求
- d) 水上型太陽光電系統設計指引: 國際標準組織目前成立工作小組, 開始制定草案

(2) 執行方案: 委託第三方協助設計、設計審查

(3) 設計不良: 發電性能損失、人員傷亡、系統損毀、火災事故

(4) 設計審查的好處: 業主、銀行融資借貸的依據



# 設計要求-連接器

(1)現場施作不實：水氣入侵導致連接器腐蝕

(2)串列不匹配：

a)低照度：逆電流高溫導致熔化變形

b)高照度：保險絲燒斷



串列串併方式使用錯誤



連接器施作不實

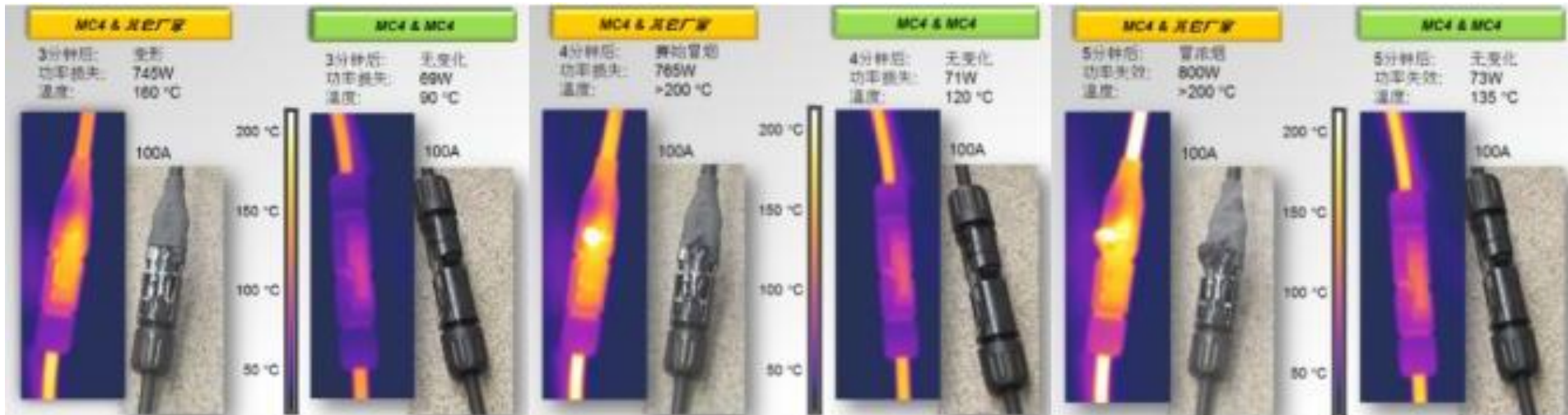
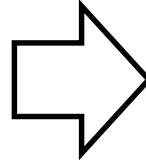


不同廠牌連接器對接



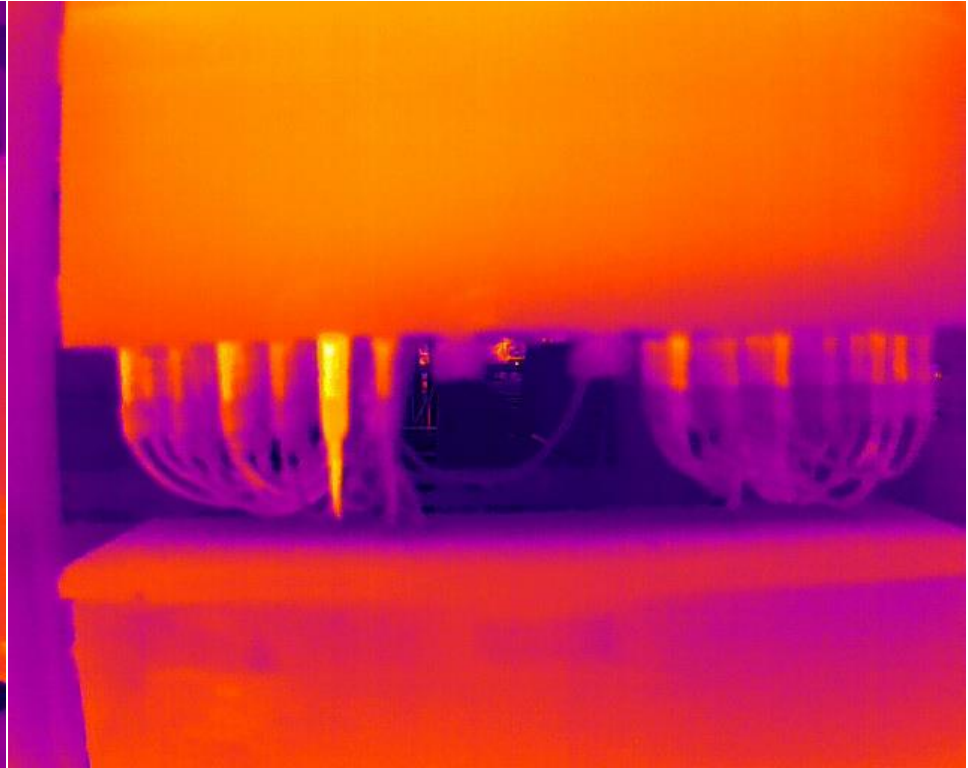
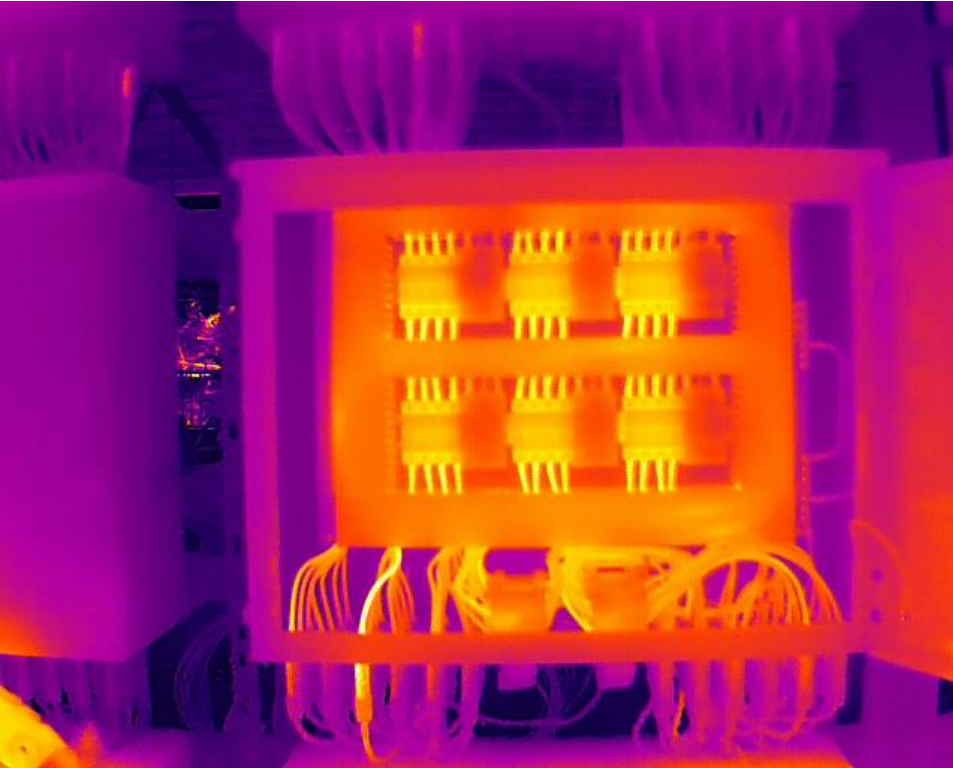
連接器施作不實

# 連接器廠商實驗





# 實際連接器失效案例-1



# 實際連接器失效案例-2



# 連接器發包規範-防觸電要求

## IEC 62548-7.3.9:2016

- (1) 直流連接器: 選用相同廠牌型號、相同製造商
- (2) 選用目的: 降低對接公母金屬接觸的公差
- (3) 發包規範要求:
  - a) 選用與太陽能模組相同廠牌型號、相同製造商
  - b) 現場施作依據連接器說明書安裝

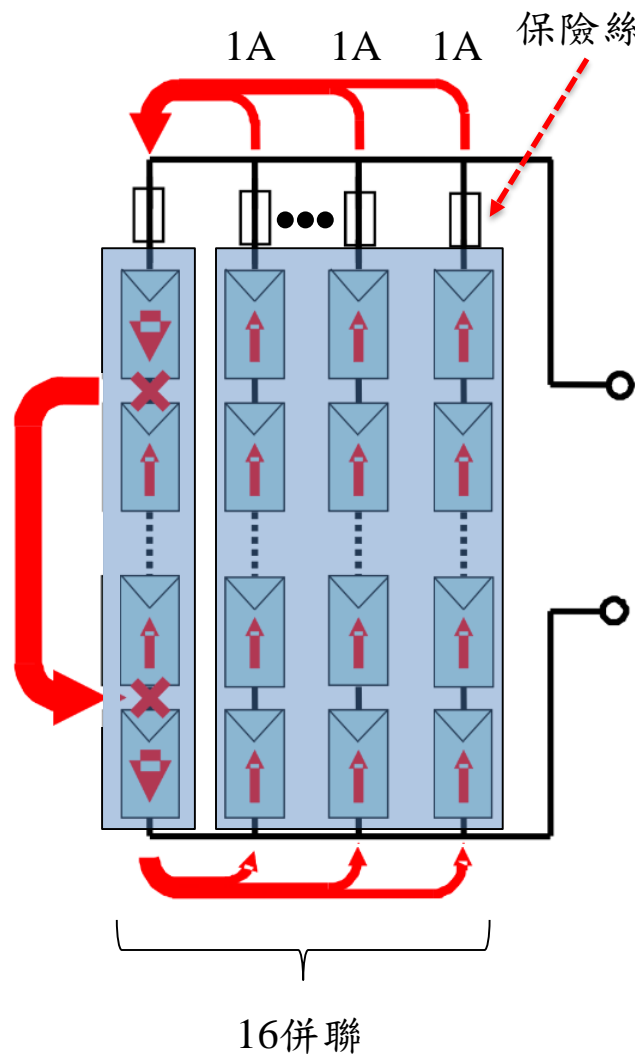


連接器施作不實



連接器施作不實

# 高併聯設計上考量



(1)低照度狀態： $100 \text{ W/m}^2$

(2)設計值:運轉電流10 A( $1000 \text{ W/m}^2$ )

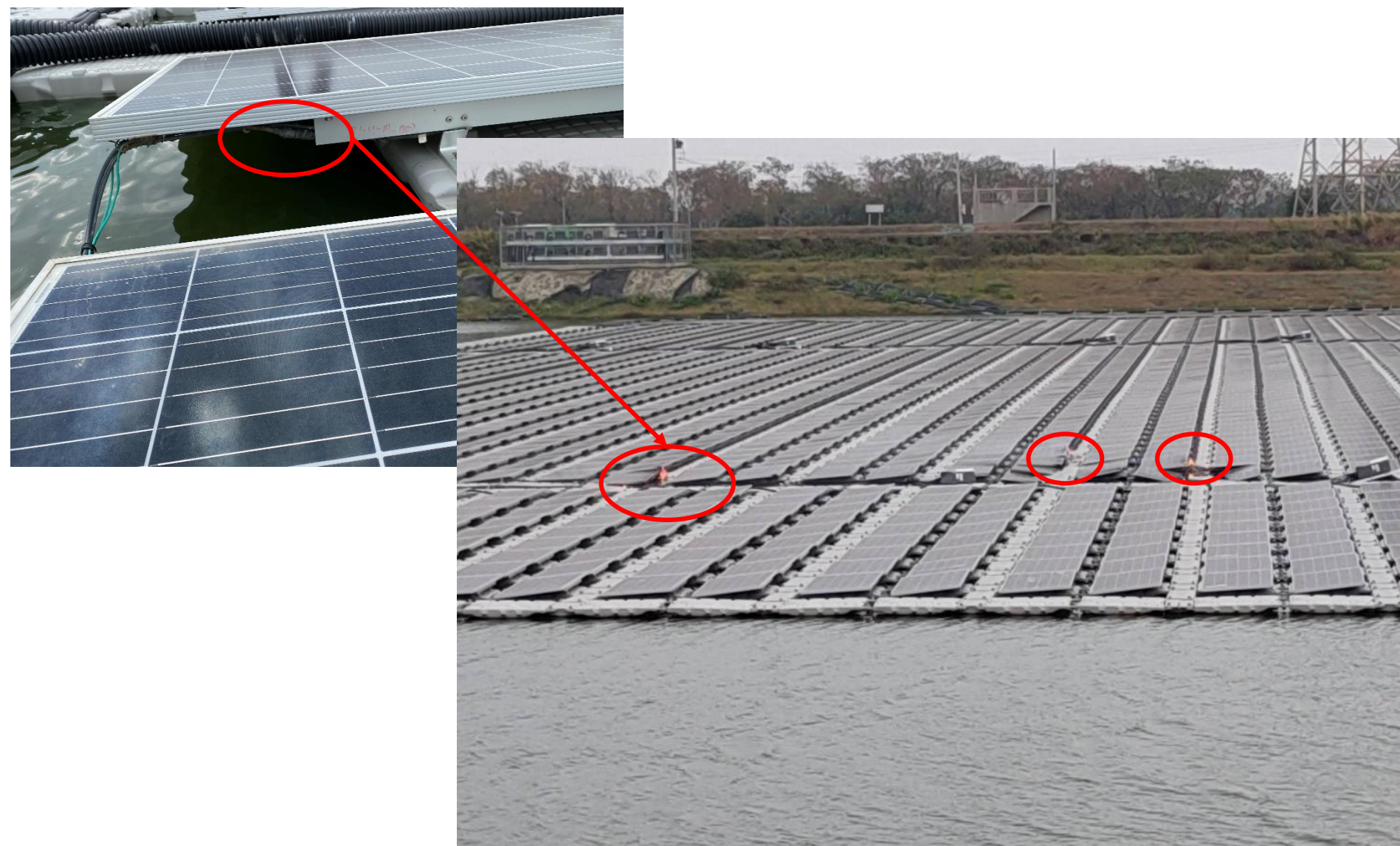
(3)每串產生1A逆電流，共15 A進入電位較低串列

(4)保險絲20 A但逆電流為15 A，連接器若電阻大，則會處於高溫

(5)低照度狀態：漏電較嚴重下，保險絲容易燒斷



# 彰化滯洪池失效分析-1

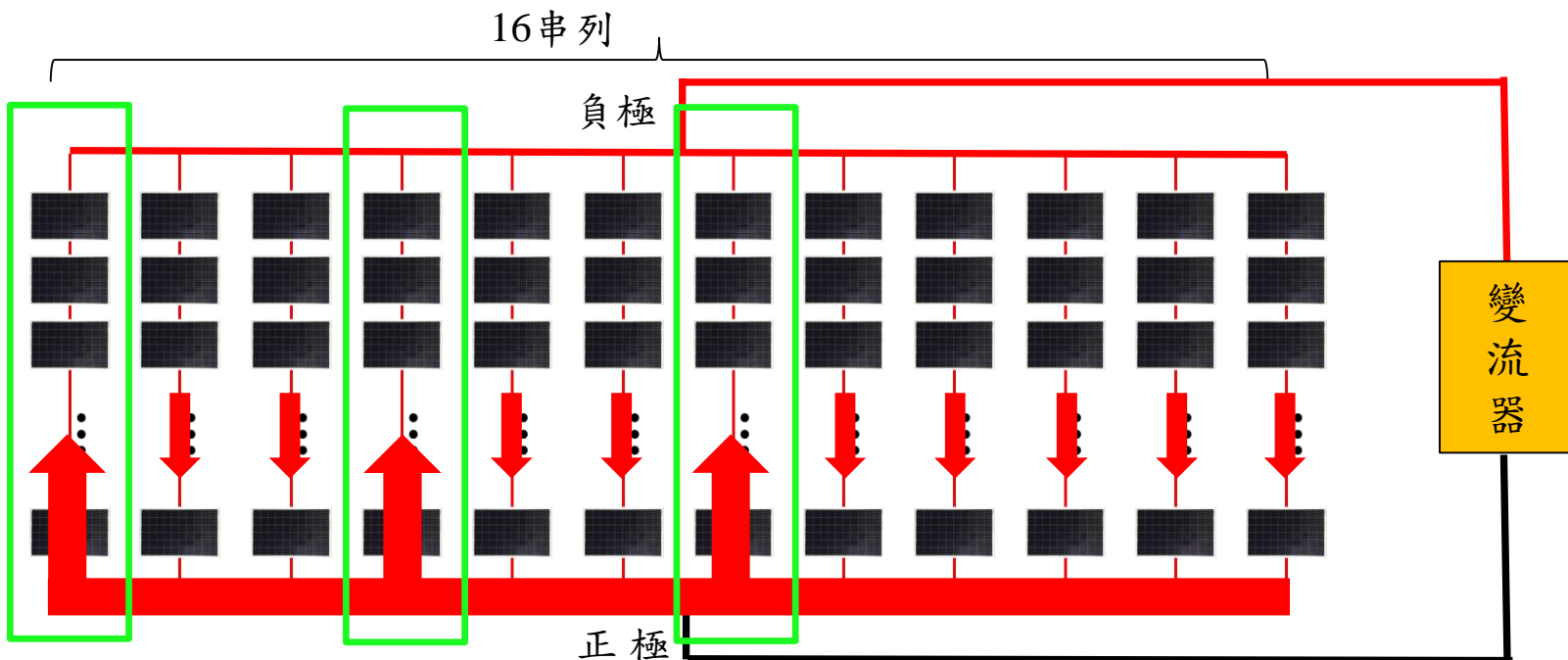


# 彰化滯洪池失效分析-2



<b>TSEC</b> TS72-6M3-390 H1	
電性資料:	
最大功率	(Pmax) : 390 W
開路電壓	(Voc) : 48.36 V
短路電流	(Isc) : 10.46 A
最大功率電壓	(Vomax) : 39.32 V
最大功率電流	(Ipmax) : 9.94 A

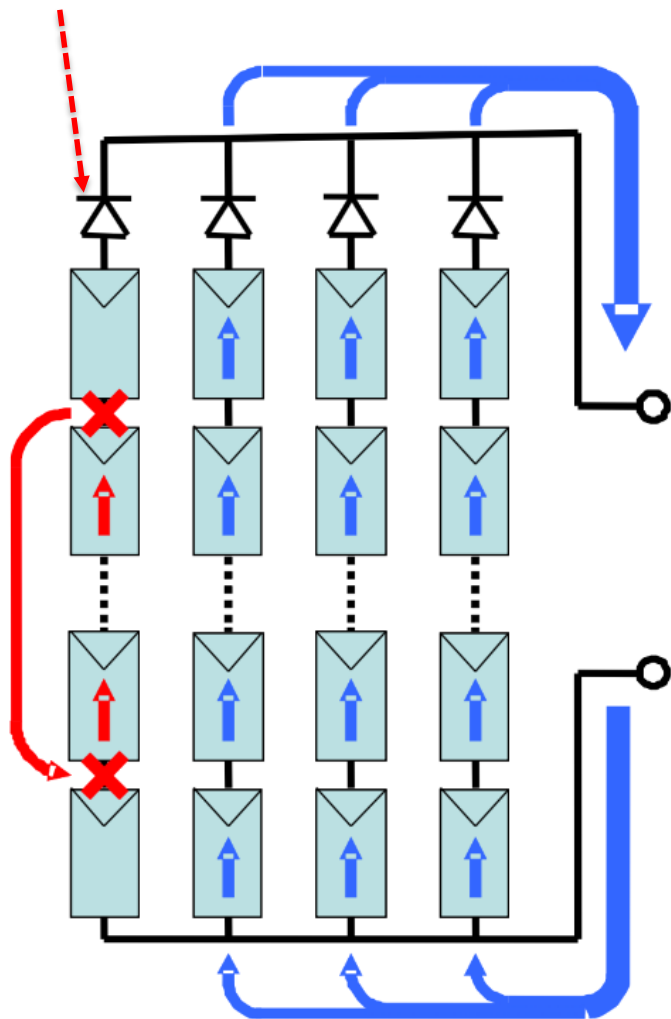
- (1)平均氣象局監測站12:00~14:00之間照度為293 W/m<sup>2</sup>
- (2)現場發現同一區陣列有三串起火
- (3)以平均照度計算每串電流約 =  $9.94 \times 293 / 1000 = 2.9 \text{ A}$
- (4)16並聯中有其中13串提供逆電流共 =  $2.9 \times 13 = 37.7 \text{ A}$
- (5)計算後三串平均分到逆電流 =  $37.7 / 3 = 12.6 \text{ A}$



- (1)通報火災發生時間點14:07
- (2)往前推算可能產生逆電流時間約一至兩小時

# 高併聯設計-採用阻絕二極體

阻絕二極體  
Blocking diode



阻絕二極體：

(1)目的：防止逆電流，含儲能系統時，防止夜間反向電流

(2)元件會熱需有散熱機制

(4)容易損壞，增加維運成本以及檢查困難

(5)規格要求：

a)耐電壓等級：兩倍串列最大系統電壓

b)耐電流等級：

- $1.4 \times I_{SC\ MOD}$  for PV strings
- $1.4 \times I_{SC\ S-ARRAY}$  for PV sub-arrays
- $1.4 \times I_{SC\ ARRAY}$  for PV arrays

連接器

直流電源線

極性要求

半切太陽能模組

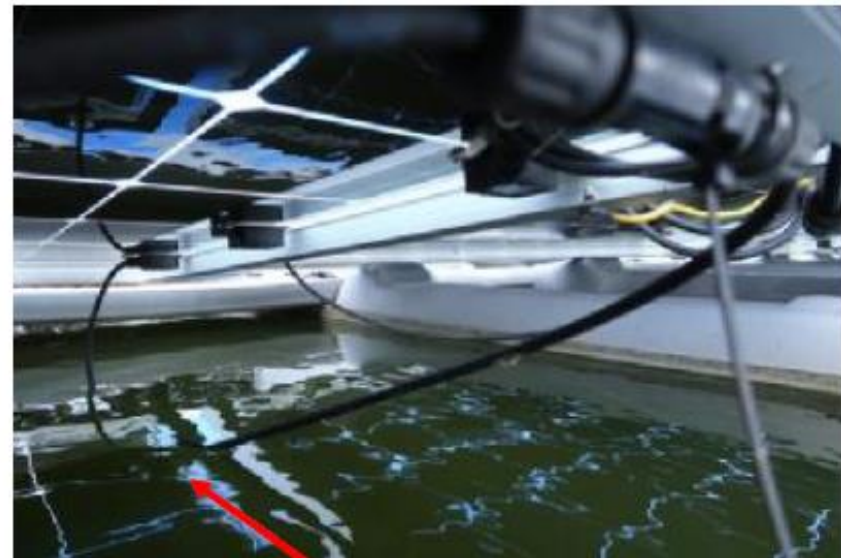
鋤刀開關

接地系統



# 水面型太陽光電系統-淡水

- (1) 連接器接觸到水，電器安全考量
- (2) 佈線固定應考慮避免連接器落入水中、平貼屋頂



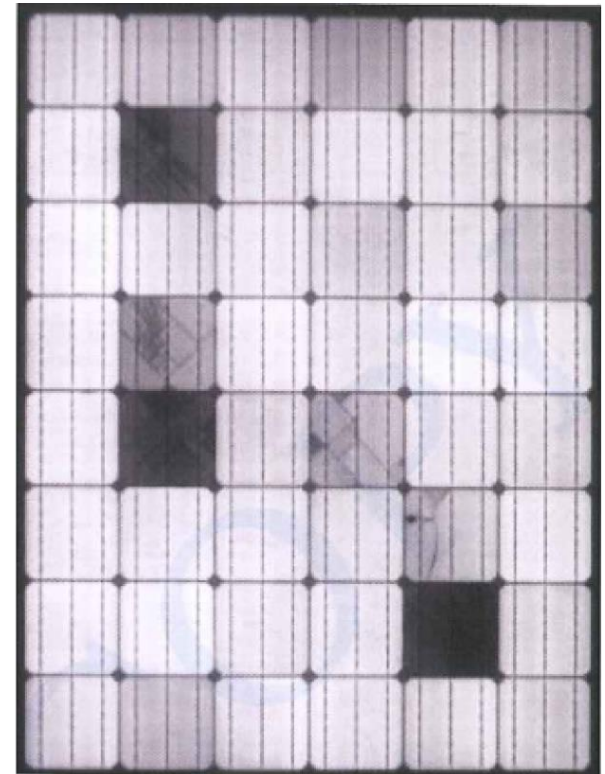
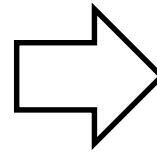
# 水面型太陽光電系統-海水

- (1)設計上水上型支架高度要提高，避免直流電源線落入海中
- (2)生物附著可能產生生物腐蝕，導致導體裸落



# 佈線未固定

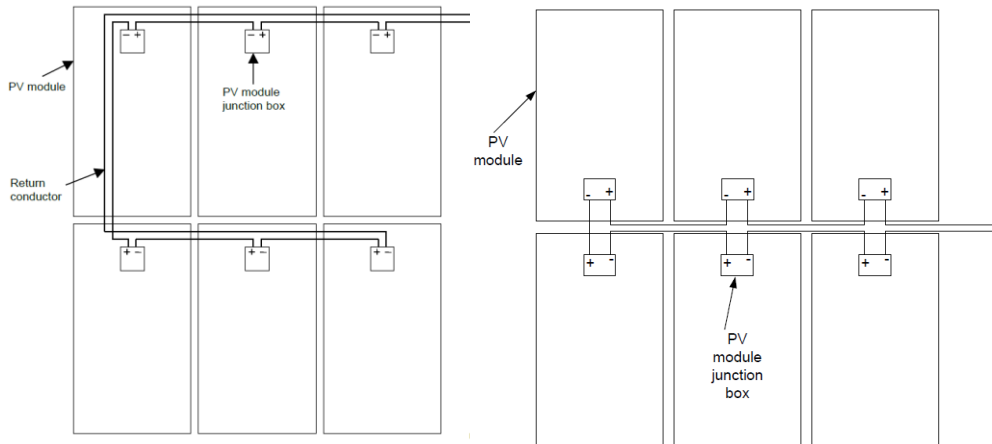
- (1) 設計要求上應佈線於線槽中
- (2) 模組後方直流電源線須固定，避免風吹拍打背面，長期導致電池隱裂
- (3) 隱裂的太陽能電池，因電阻較高容易處於熱異常，加速老化該區域的元件



# IEC 62548佈線方法

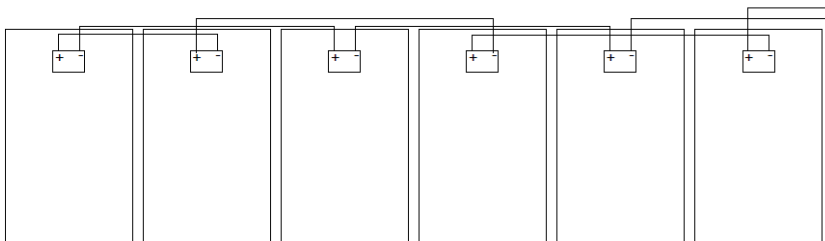
- (1) 避免連接器碰觸地面或水中
- (2) 預留有效直流電源線長以及固定方式

## IEC 62548 : Method of area of wiring loops

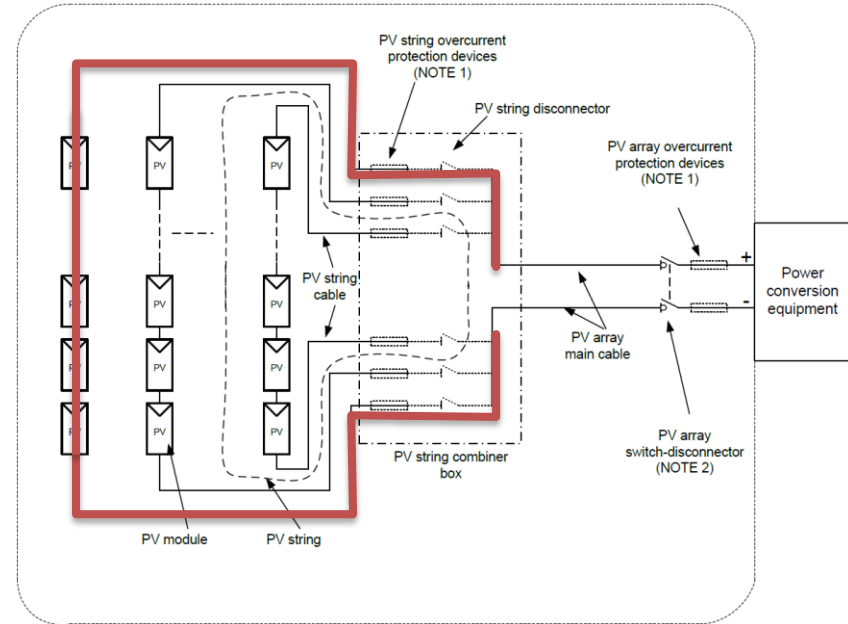


方法 1

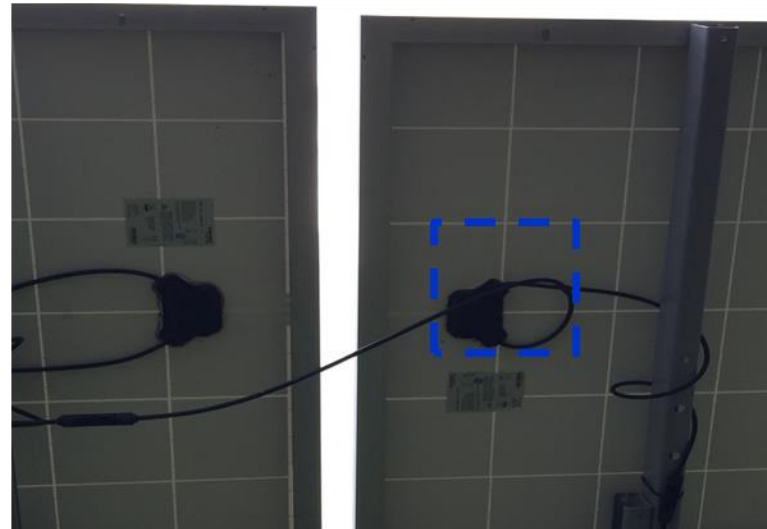
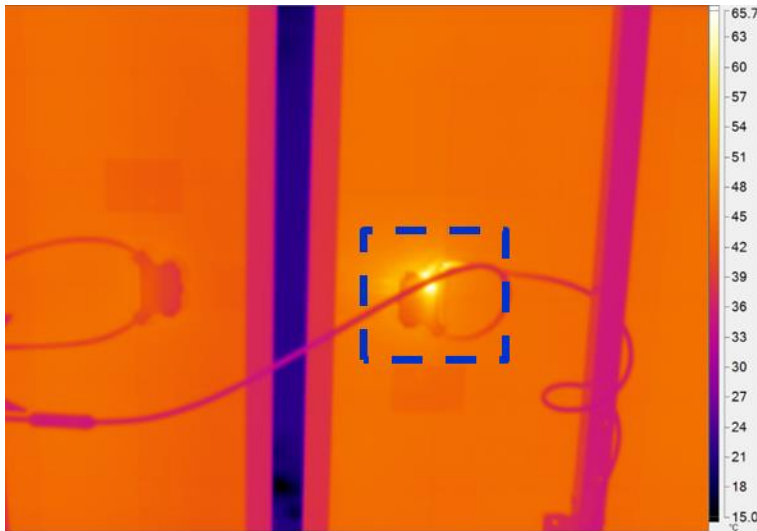
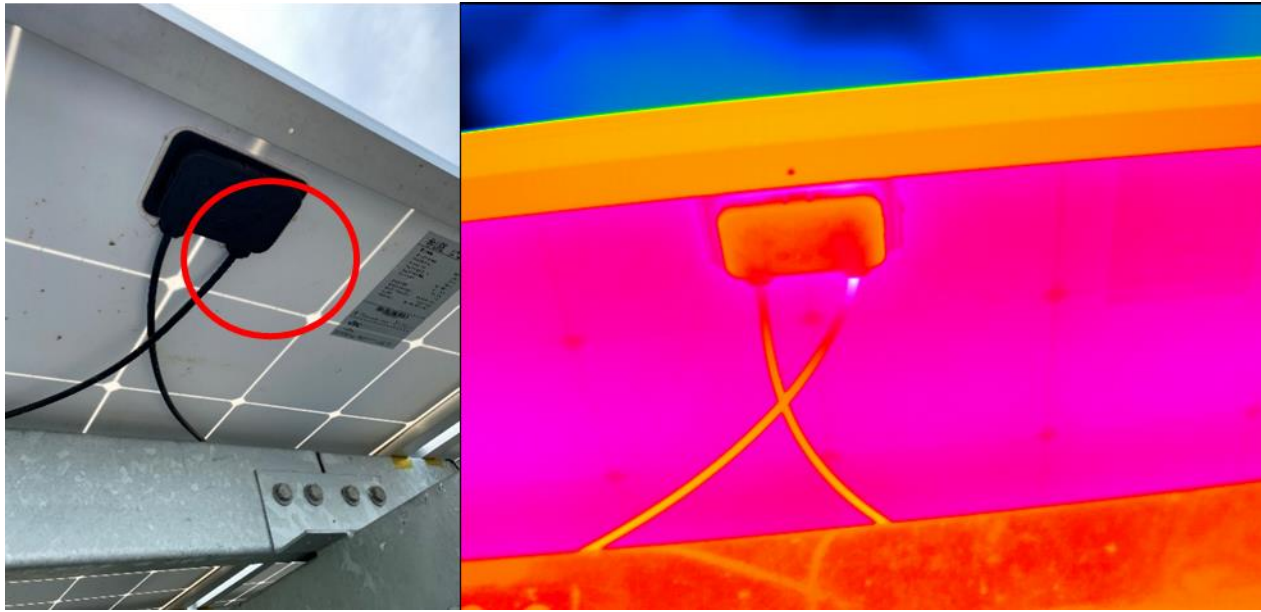
方法 2



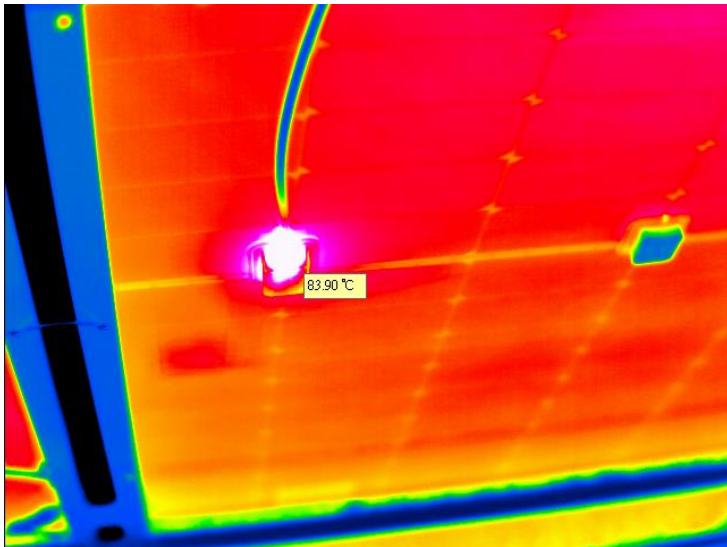
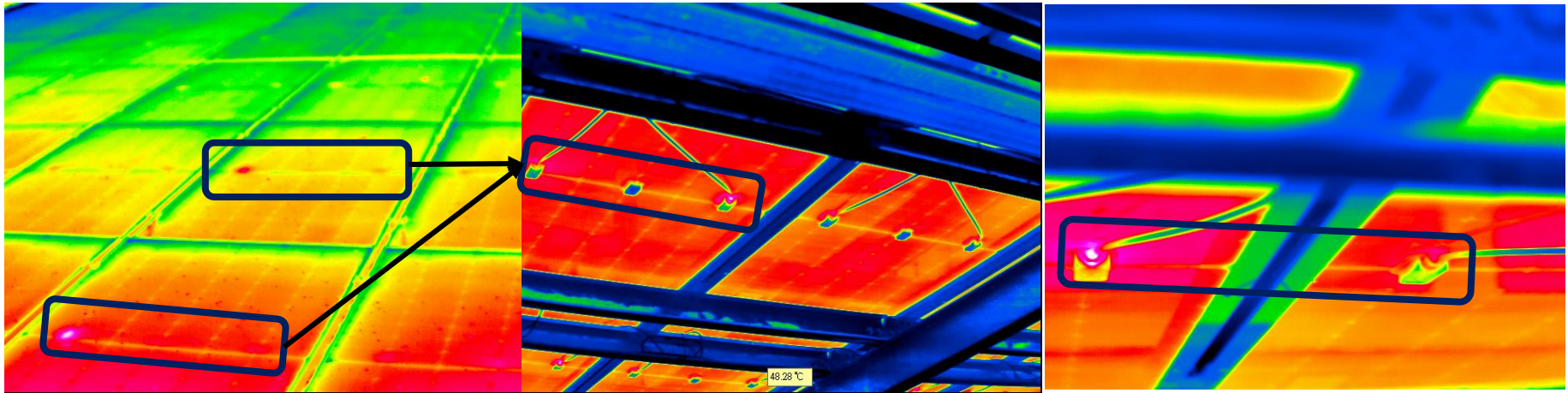
方法 3



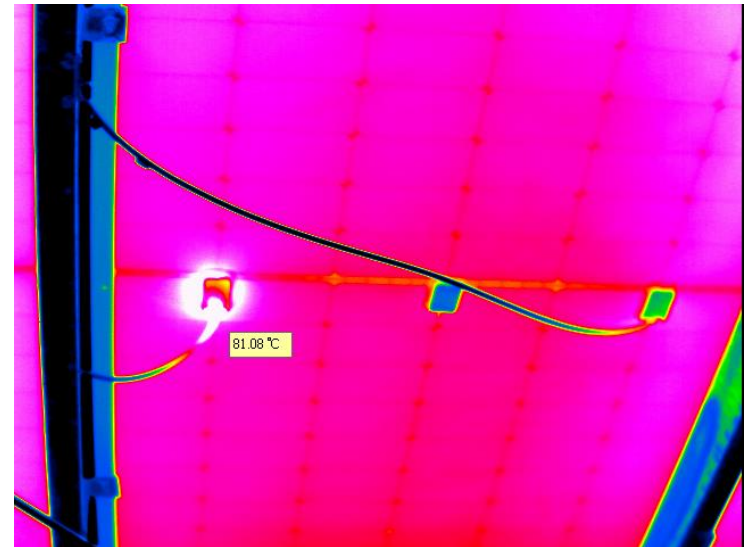
# 佈線施作失效案例



# 半切模組引線端異常



案場A



案場B

# 畜禽舍-老鼠咬線

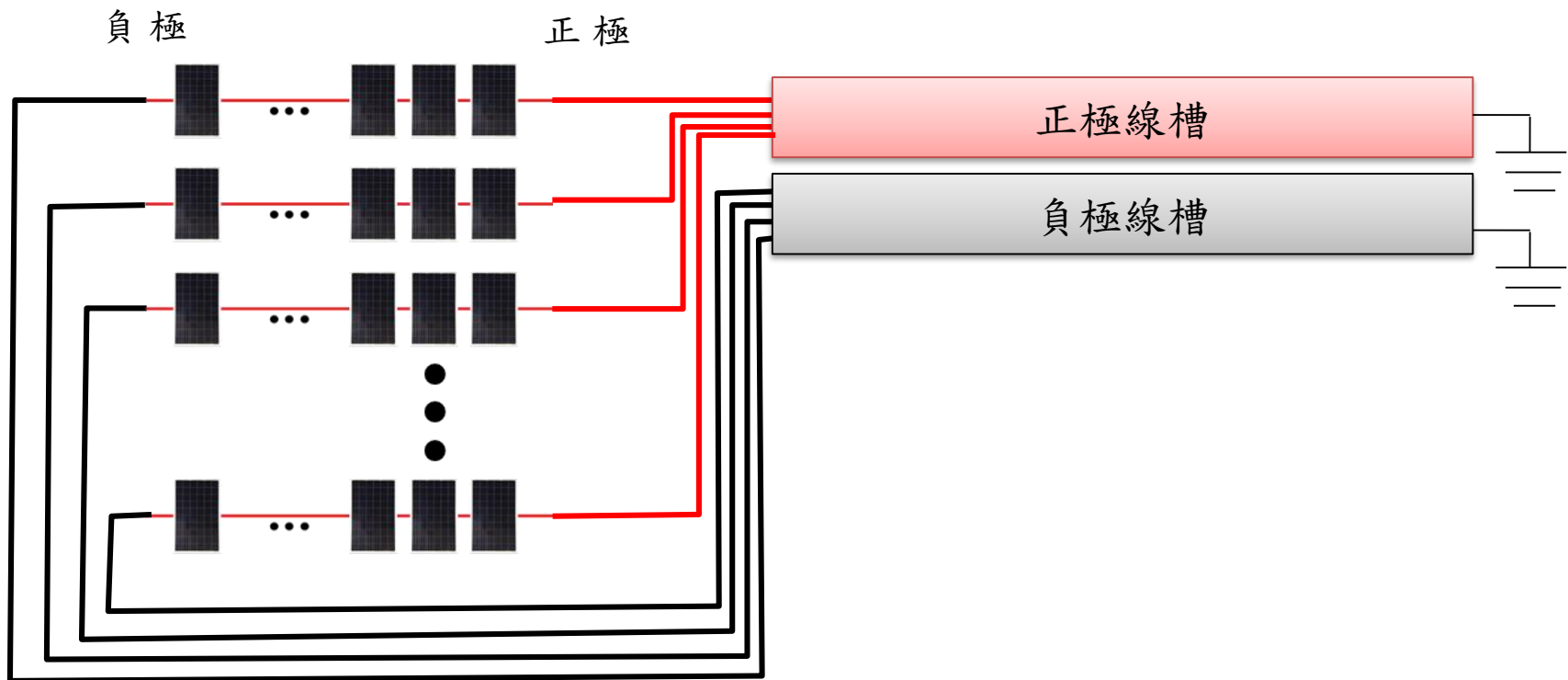


● REDMI NOTE 8 PRO  
● AI QUAD CAMERA

● REDMI NOTE 8 PRO  
● AI QUAD CAMERA

# 直流電源線佈線方式一

- (1) 可避免正負極短路而火災
- (2) 電源線破皮，漏電導致變流器跳脫
- (3) 金屬線槽應接地，且不共地





# 5.2.7 Protection against the effects of lightning & overvoltage

b) measures are in place to **protect long cables** (e.g. screening or the use of surge protective devices, SPDs);

## IEC 62548 : Protection against overvoltage

Long cables (e.g. **PV main DC cables over about 50 m**) should be either

- installed in earthed metallic conduit or trunking, where the conduit or trunking is connected to the equipotential bonding,
- be buried in the ground (using appropriate mechanical protection),
- be cables incorporating mechanical protection which will provide a screen, where the screen is connected to the equipotential bonding, or
- be protected by a surge protective device (SPD).



metallic trunking



buried in the ground



cables



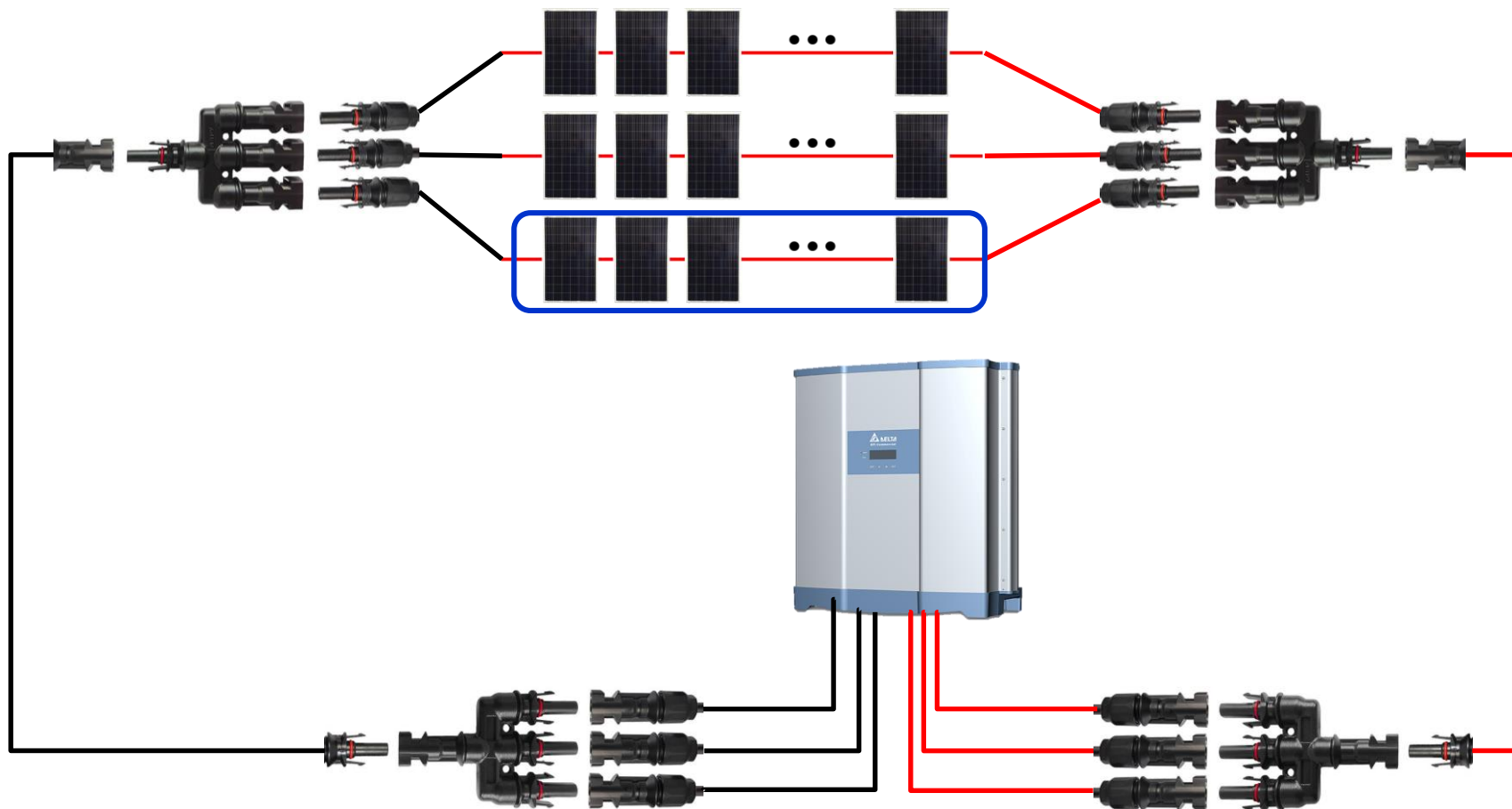
SPD

# 隔離網



# 直流電源線配置方式

- (1) 無法量測單串列對應開路電壓，不利維運檢查
- (2) 連接點太多施作，變成多數連接器容易失效
- (3) 變流器容易損壞或火災
- (4) 低電位串列處於順向偏壓



# 實際案例



連接器

直流電源線

極性要求

半切太陽能模組

鋤刀開關

接地系統

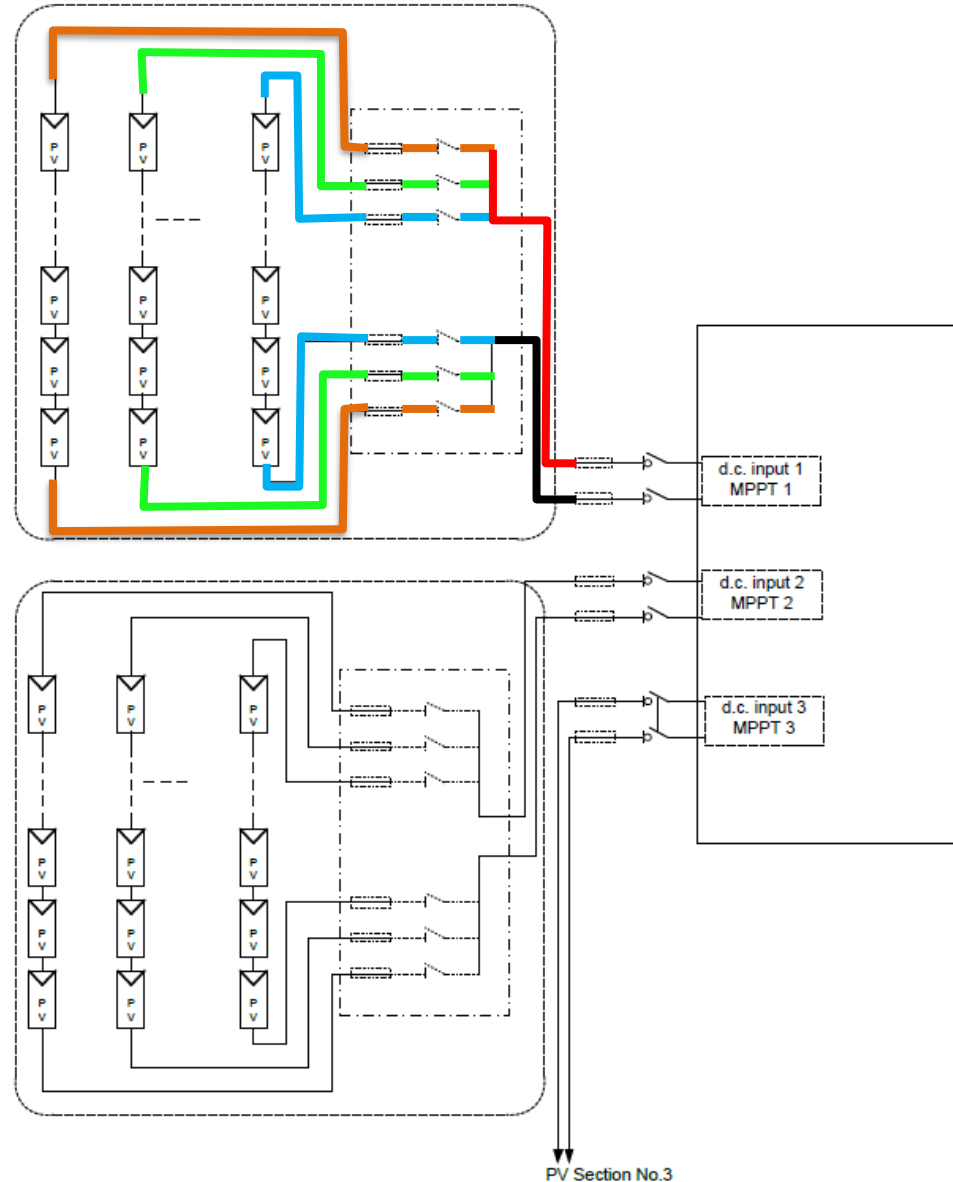
# 接線過程要求

## (1)極性確認：

- a)第一次：串列延長至直流匯線箱
- b)第二次：保險絲至直流開關
- c)第三次：端子台並聯串列
- d)第四次：主電源線至變流器

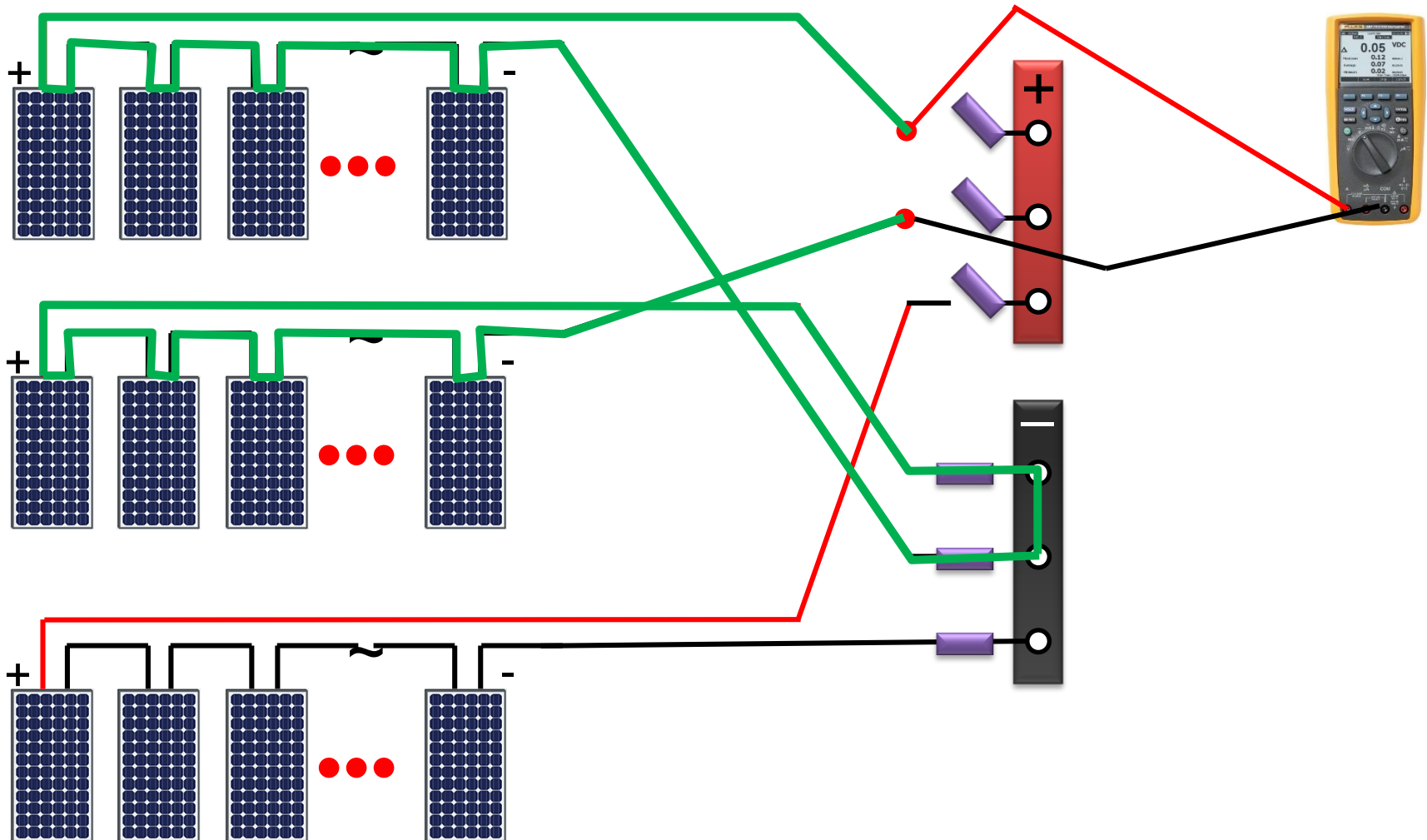
## (2)極性接錯：

- a)至多產生兩倍設計串列串聯電壓
- b)超過變流器電壓上限



# 串列極性接反-兩倍最大系統電壓

- A reverse polarity condition will be very evident if it exists – the measured voltage will be twice the system voltage.



# 異常現象-1





# 異常現象-2



連接器

直流電源線

極性要求

半切太陽能模組

鋤刀開關

接地系統

# 工廠/生產檢查

採購階段



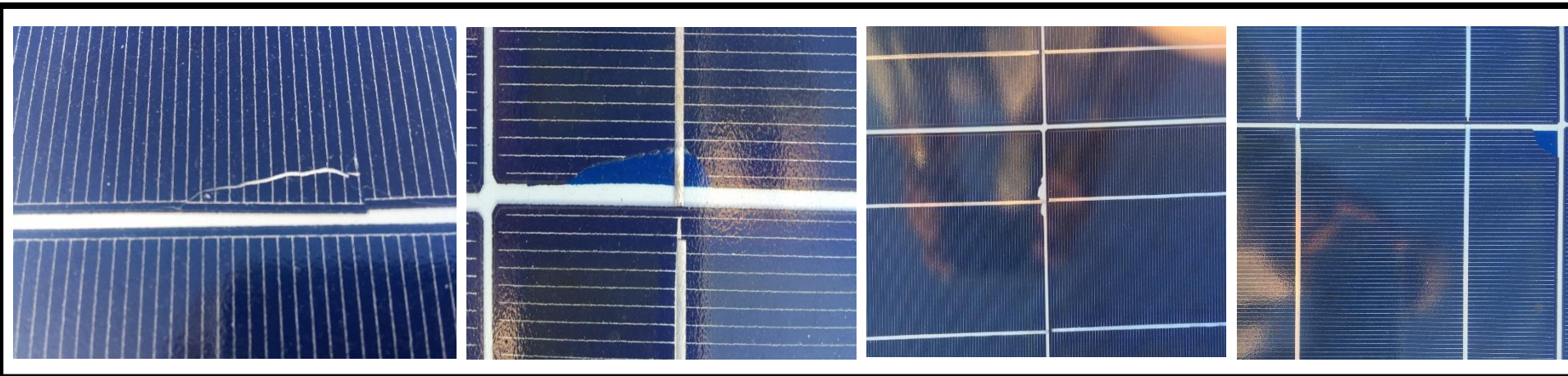
1. 工廠檢查
2. 生產檢查

## 提供工廠檢查:

- △ 審查品質系統相關文件
- △ 定期追蹤設備校正實施狀態
- △ 系統與設備保養計畫與紀錄
- △ 原物料採購與允收標準
- △ 週期性查核紀錄(太陽光模擬器、絕緣測試)

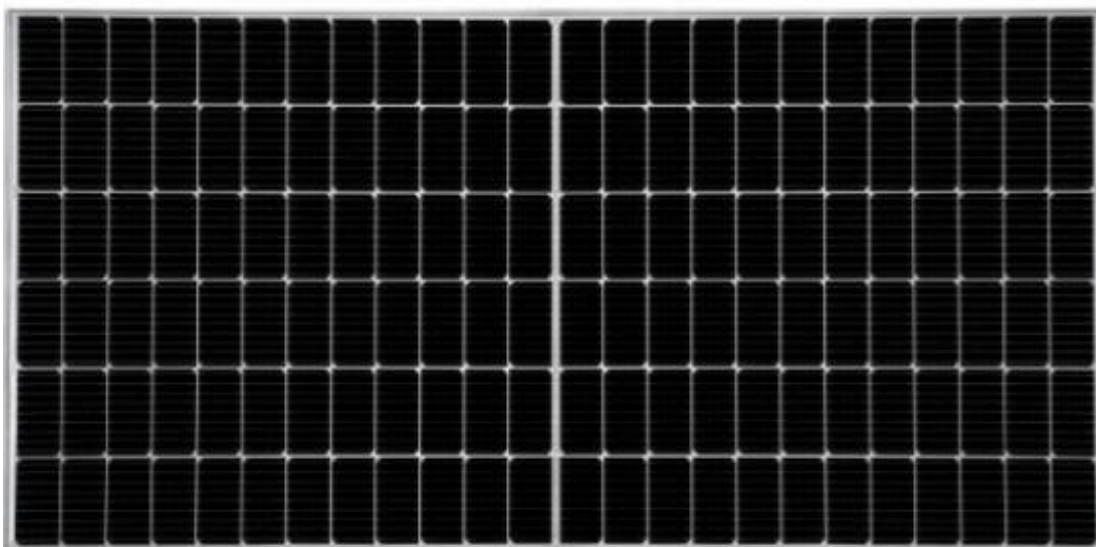
## 提供生產檢查:

- △ 製程監視(參數監控與維護)
- △ 生產系統監控(每日太陽光模擬器查驗)
- △ 產品良率確認(IV/EL抽查)
- △ 生產流程與庫存管理(序號/批號管理)
- △ 批次抽樣測試(依據ISO 2859)



封裝不良、無掌控出貨品質

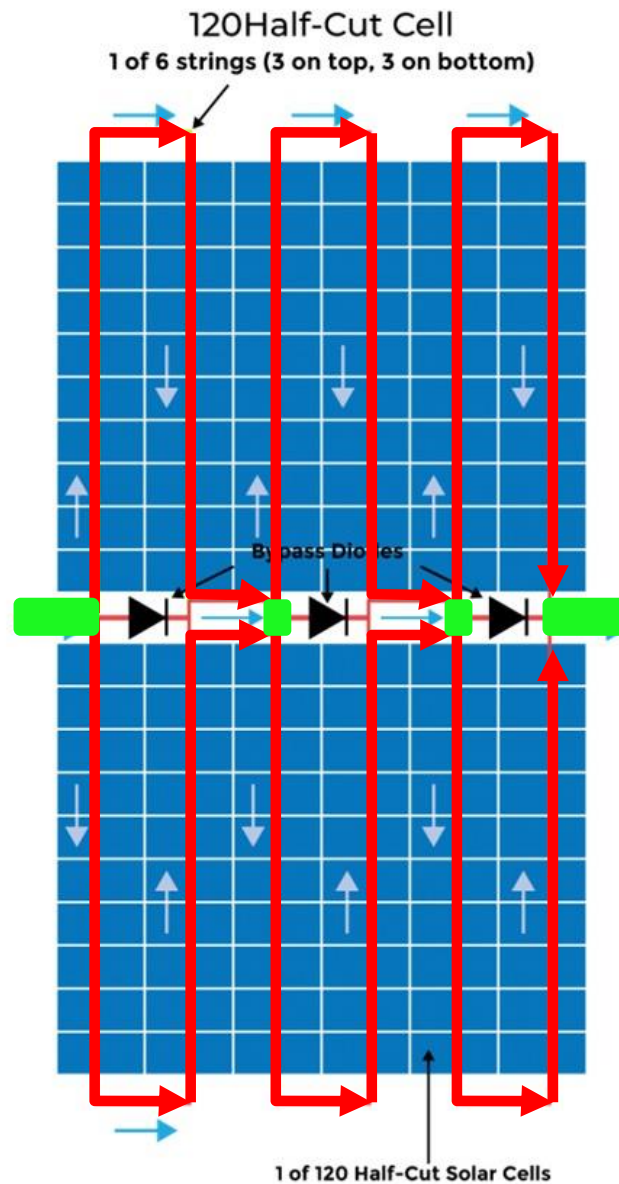
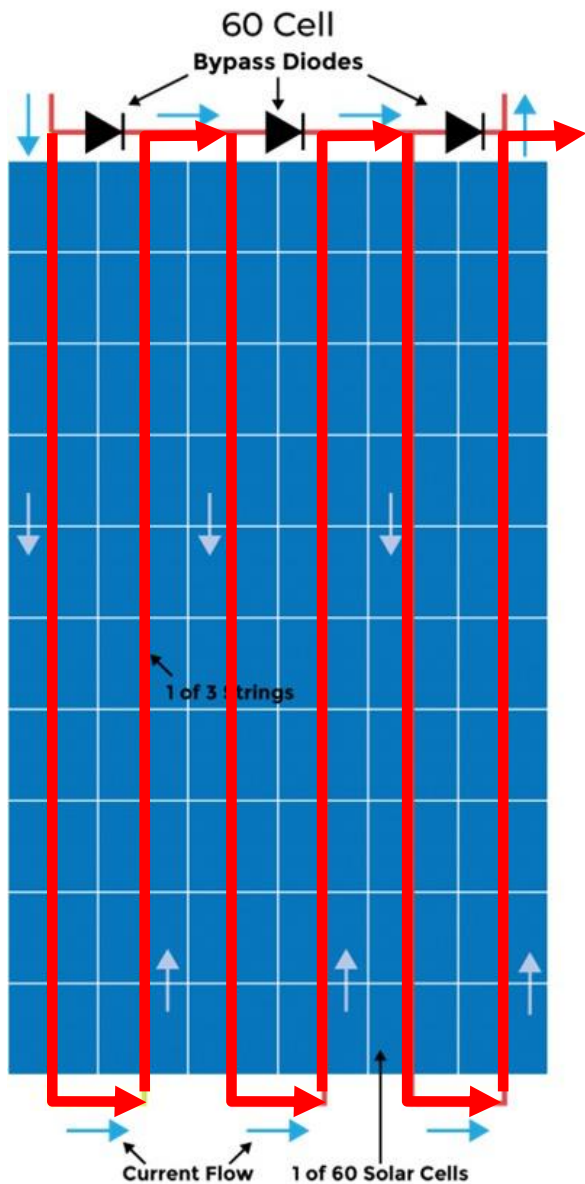
# 半切太陽能模組成品



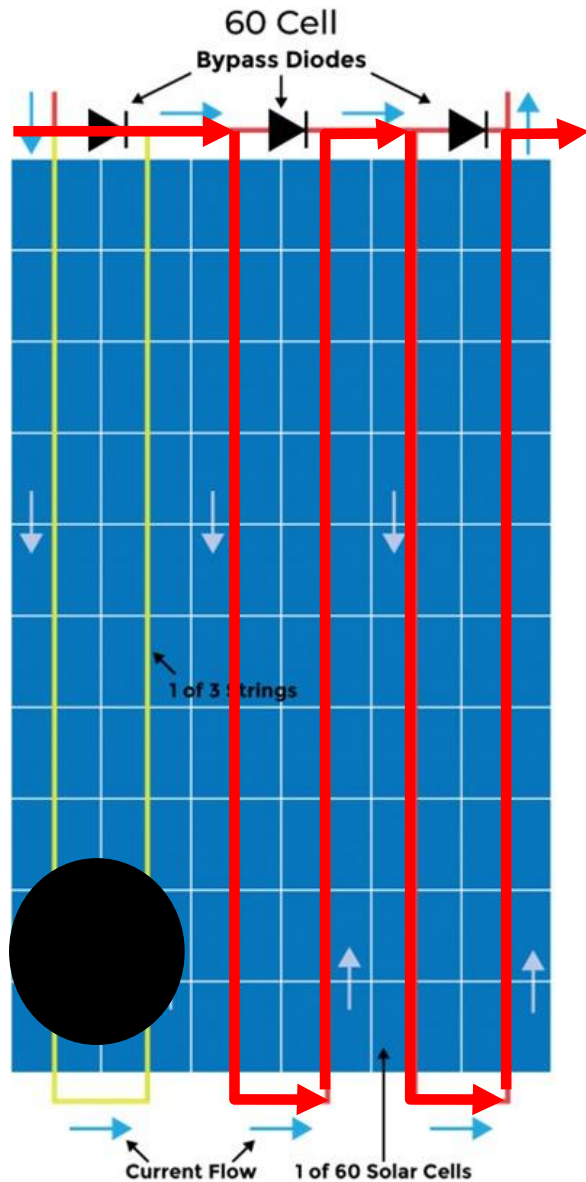
## ELECTRICAL PARAMETERS AT STC

TYPE	JAM60S20 -365/MR	JAM60S20 -370/MR	JAM60S20 -375/MR	JAM60S20 -380/MR	JAM60S20 -385/MR	JAM60S20 -390/MR
Rated Maximum Power(Pmax) [W]	365	370	375	380	385	390
Open Circuit Voltage(Voc) [V]	41.13	41.30	41.45	41.62	41.78	41.94
Maximum Power Voltage(Vmp) [V]	33.96	34.23	34.50	34.77	35.04	35.33
Short Circuit Current(Isc) [A]	11.30	11.35	11.41	11.47	11.53	11.58
Maximum Power Current(Imp) [A]	10.75	10.81	10.87	10.93	10.99	11.04
Module Efficiency [%]	19.5	19.8	20.1	20.3	20.6	20.9
Power Tolerance				0~+5W		
Temperature Coefficient of Isc( $\alpha_{Isc}$ )				+0.044%/°C		
Temperature Coefficient of Voc( $\beta_{Voc}$ )				-0.272%/°C		
Temperature Coefficient of Pmax( $\gamma_{Pmp}$ )				-0.350%/°C		
STC	Irradiance 1000W/m <sup>2</sup> , cell temperature 25°C, AM1.5G					

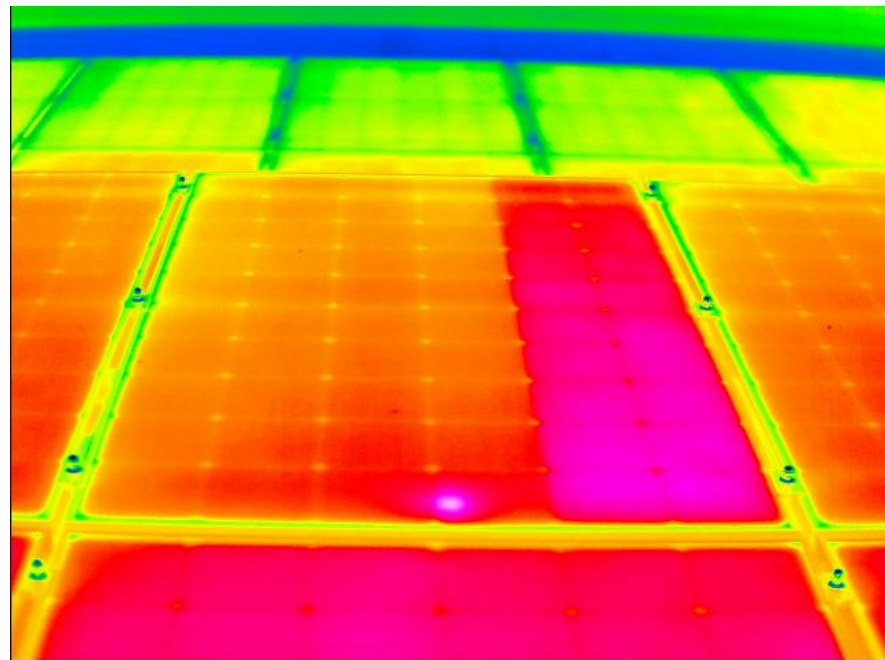
# 太陽能模組串併線路-電流路徑



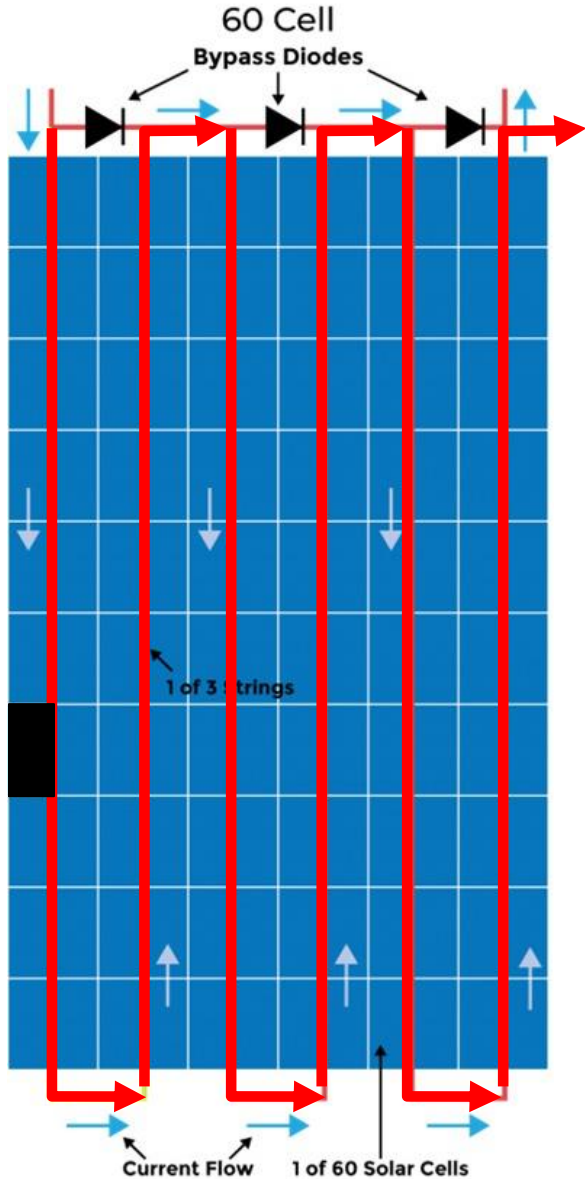
# 太陽能模組大面積遮陰



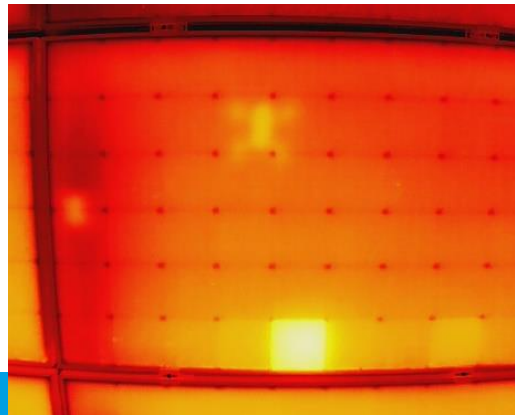
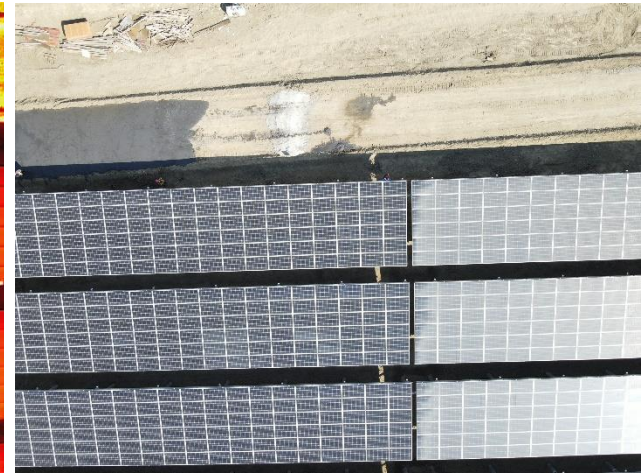
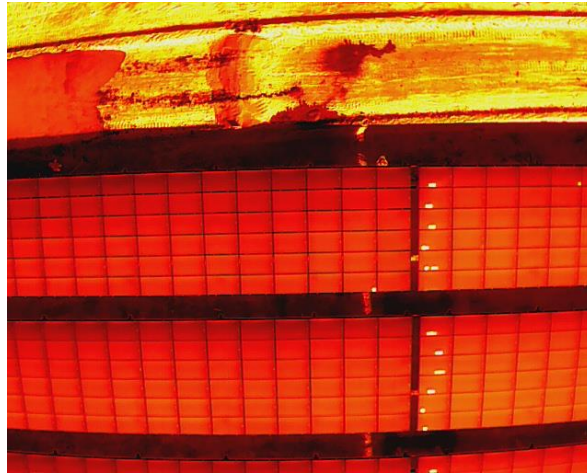
- (1) 大面積遮陰，電阻大，旁路二極體導通
- (2) 旁路二極體高溫，且對應1/3串列開路
- (3) 熱影像觀察:
  - a) 接線盒熱異常
  - b) 1/3開路串列比運轉串列溫度高(2~7) °C
- (3) 電性檢查: 少了單片太陽能模組1/3電壓



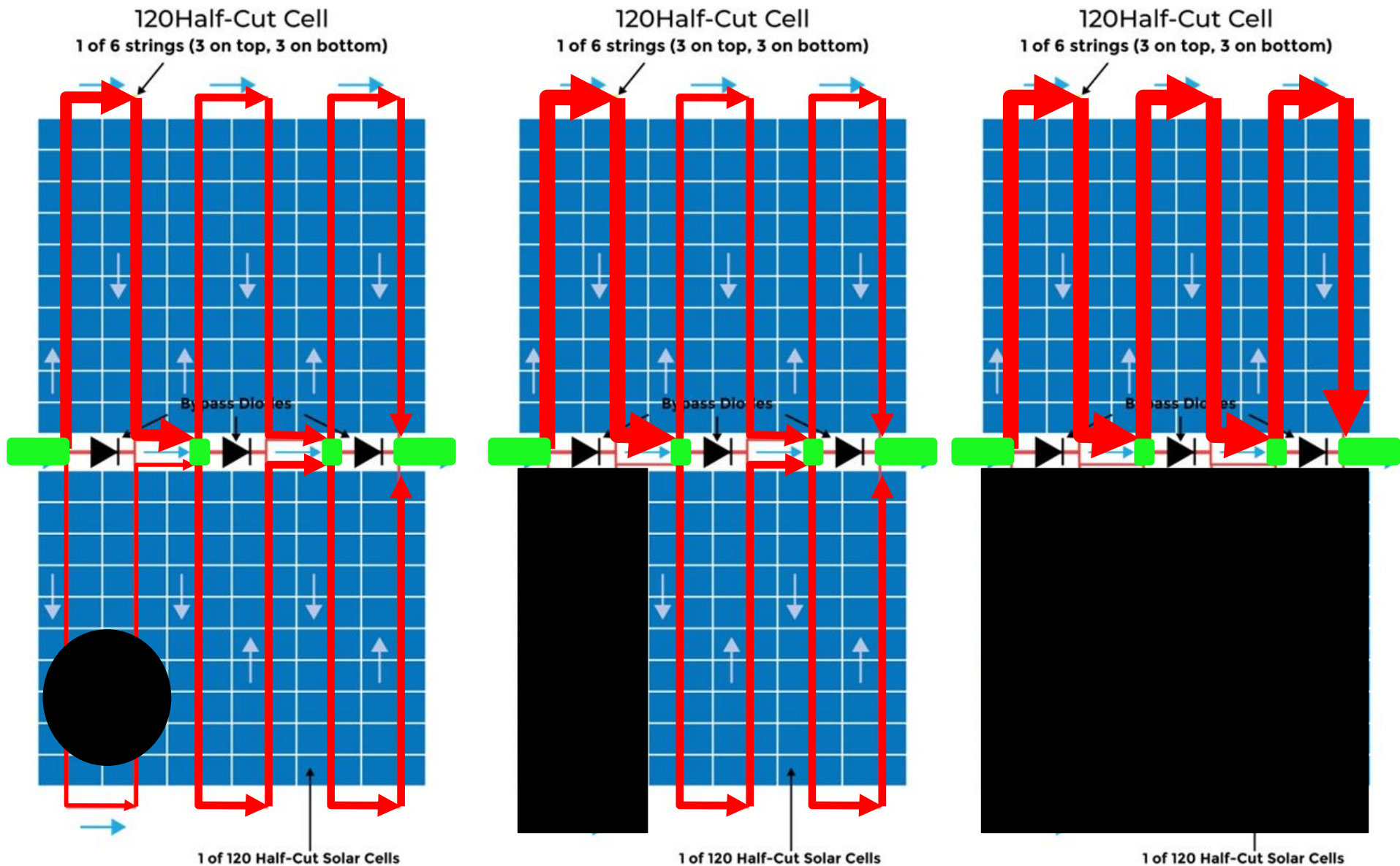
# 太陽能模組小面積遮陰



- (1) 小面積遮陰，電阻小，旁路二極體不會導通
- (2) 遮陰處運轉電流小，其它正常電流(10 A)通過形成逆偏壓，多餘電流以熱形式散發( $5 \times 5 \times 2R$ )=50R
- (3) 長期處於熱異常，加速老化EVA以及背板，進而裂開或燒穿

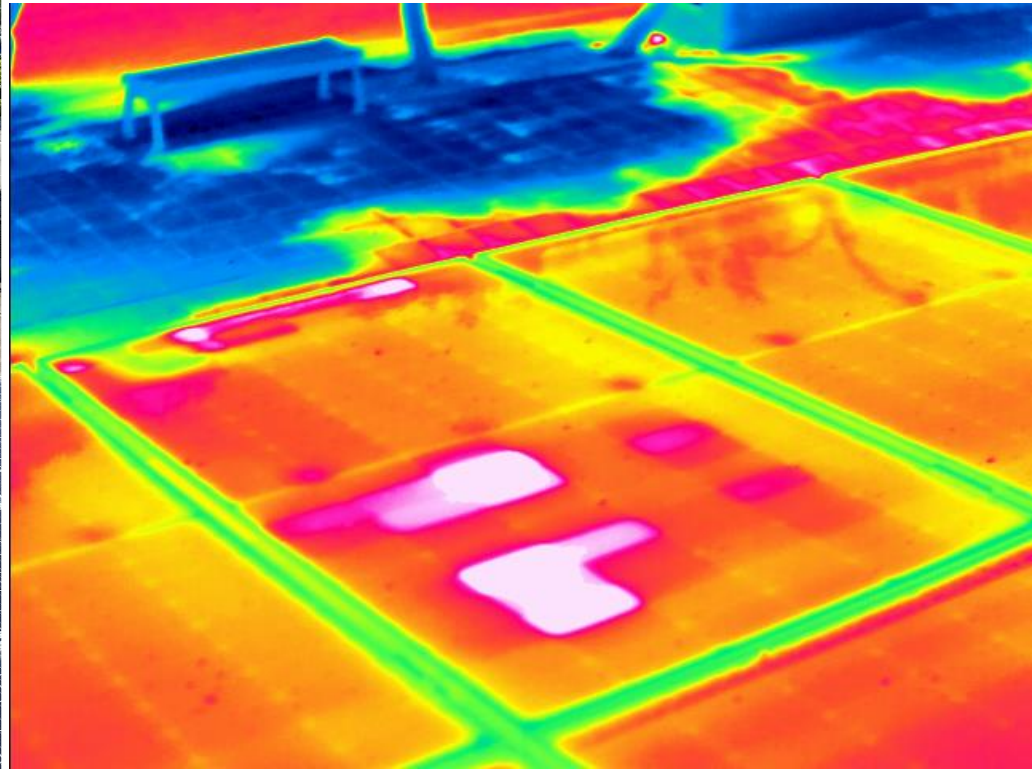


# 正常半切太陽能模組大面積遮陰

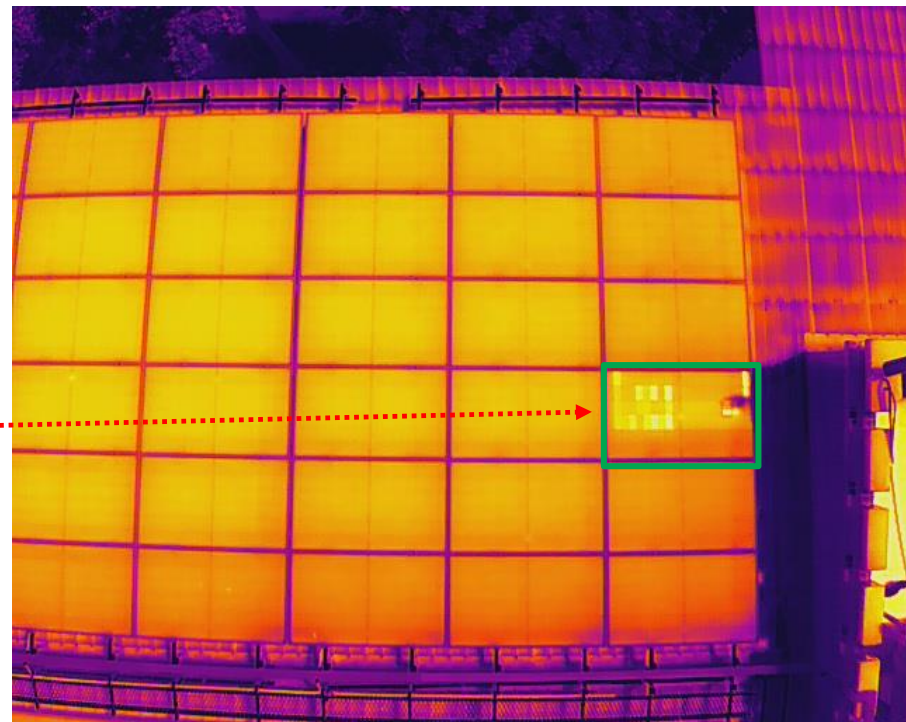
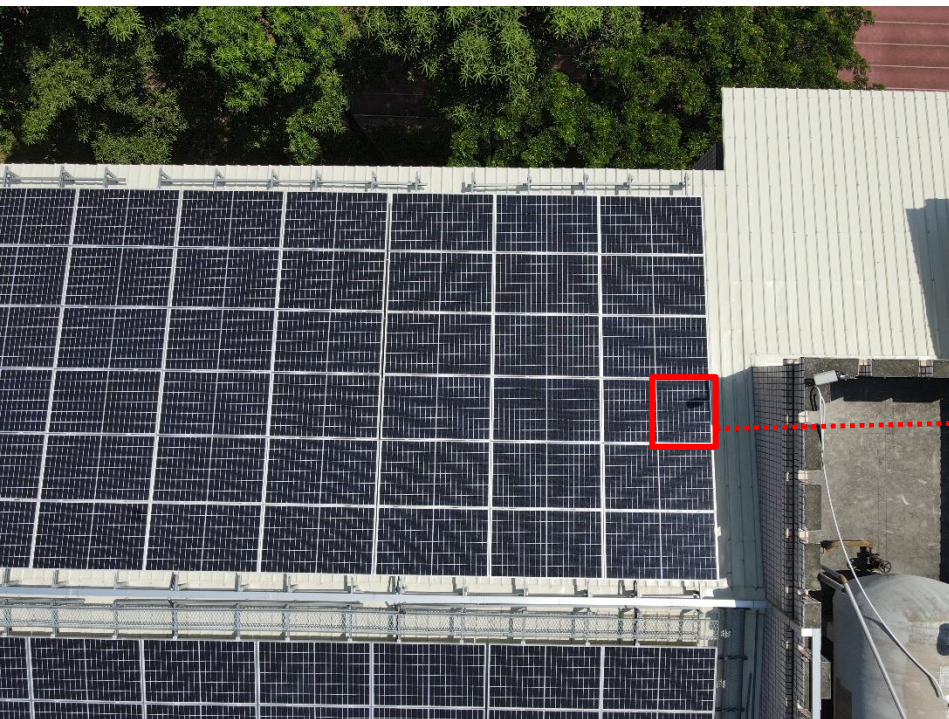




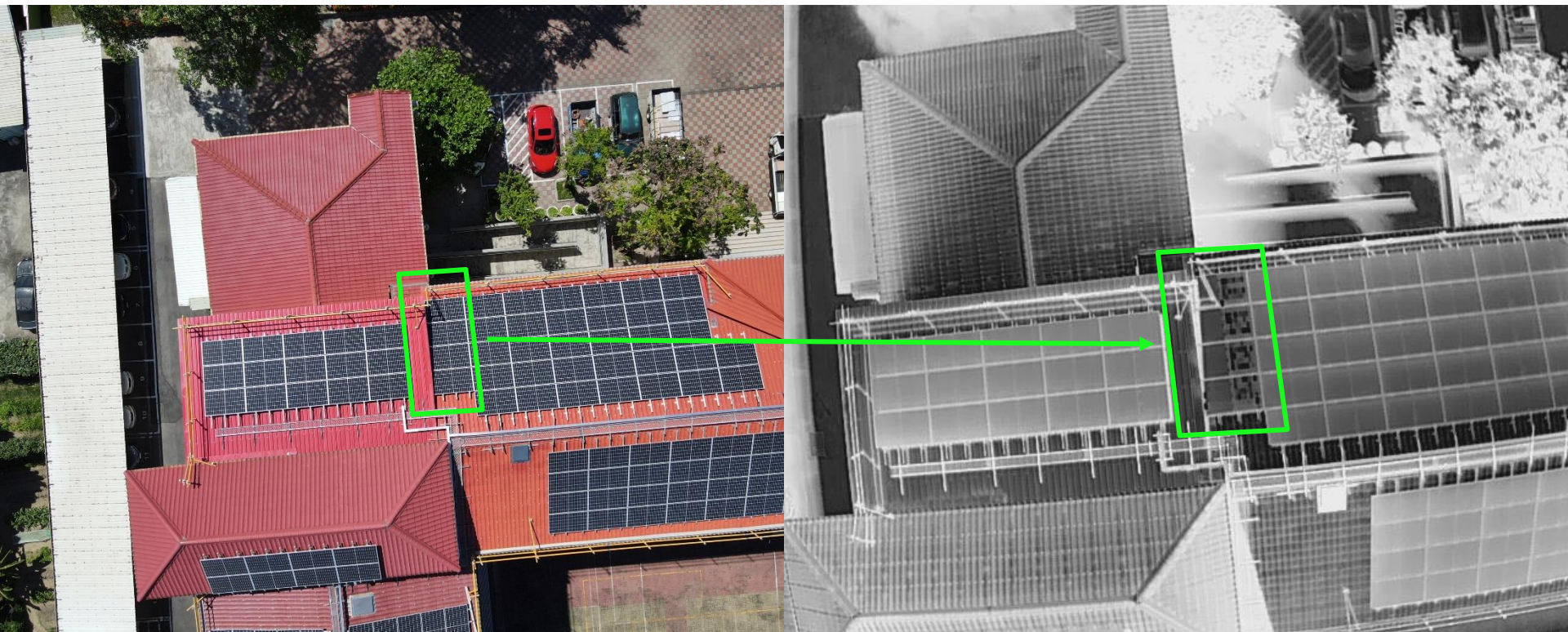
# 半切太陽能模組熱影像-1



# 半切太陽能模組熱影像-2

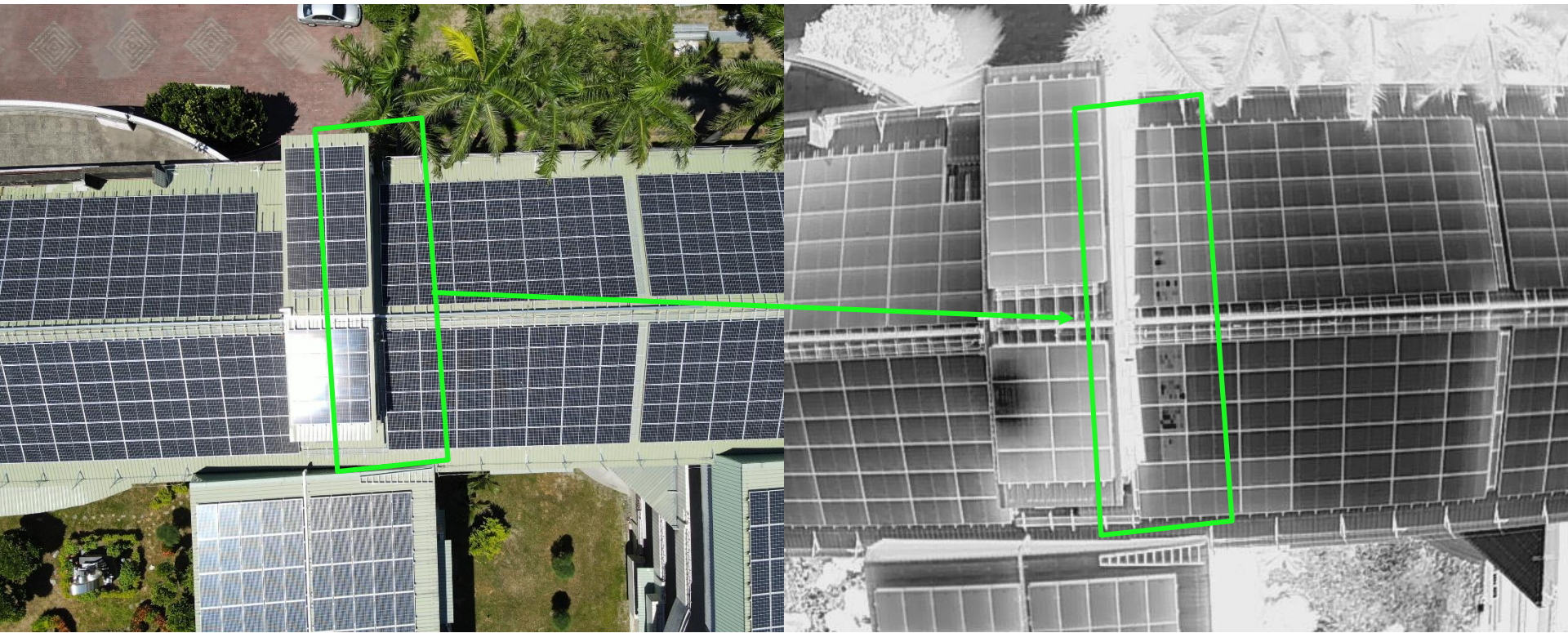


# 半切太陽能模組熱影像-3



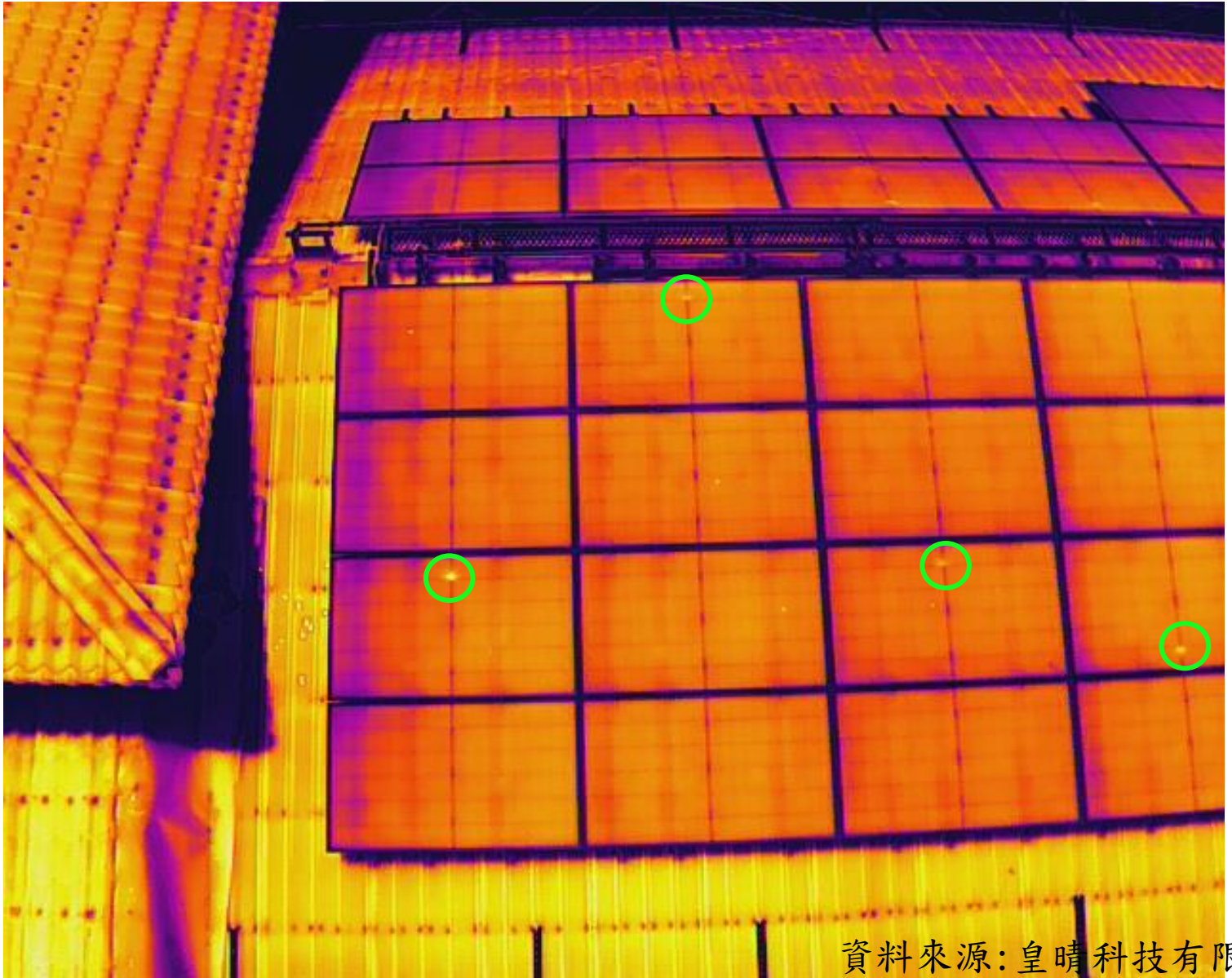
資料來源: 皇晴科技有限公司

# 半切太陽能模組熱影像-4



資料來源: 皇晴科技有限公司

# 半切太陽能模組熱影像-5



資料來源: 皇晴科技有限公司

連接器

直流電源線

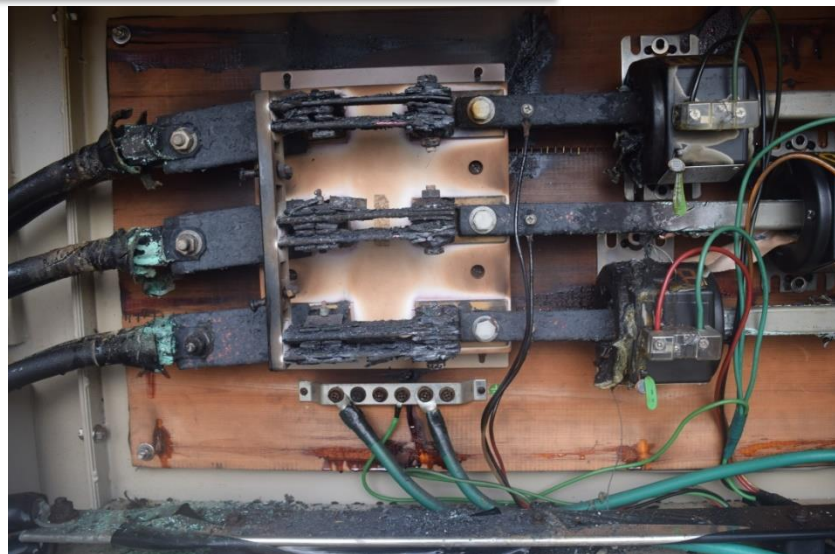
極性要求

半切太陽能模組

鋤刀開關

接地系統

# 彰化縣芳苑鄉表前開關箱火災



- (1) 事件說明：2019/06/04彰化縣芳苑鄉太陽光電系統火災。
- (2) 事故原因：鋤刀開關起電弧。
- (3) 因應做法：設計階段計算耐電流等級，維運期間向台電申請開表箱，採用熱影像檢查。

# 苗栗-表前開關箱火災-1

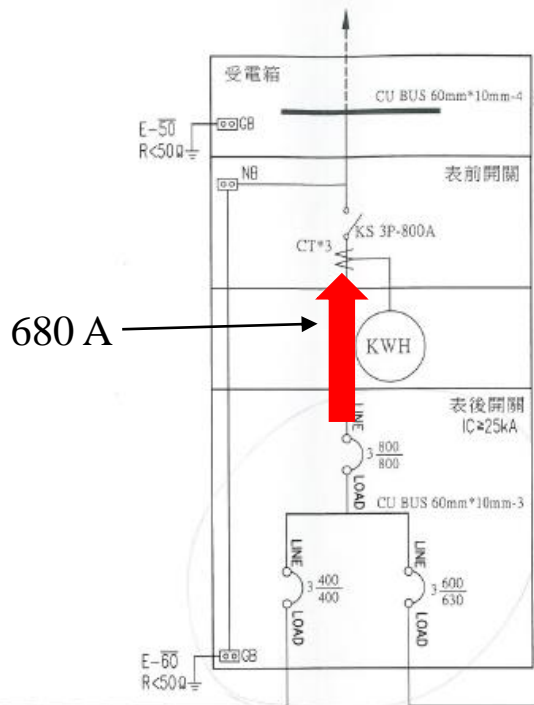


- (1) 事件說明：2022/09/01 苗栗縣太陽光電系統火災。
- (2) 事故原因：鋤刀開關耐電流規格偏低，應選用至少1000 A等級鋤刀開關。
- (3) 因應做法：設計階段計算耐電流等級，維運期間向台電申請開表箱，採用熱影像檢查。



# 苗栗-表前開關箱火災-2

TO: 台電 304W-220380V

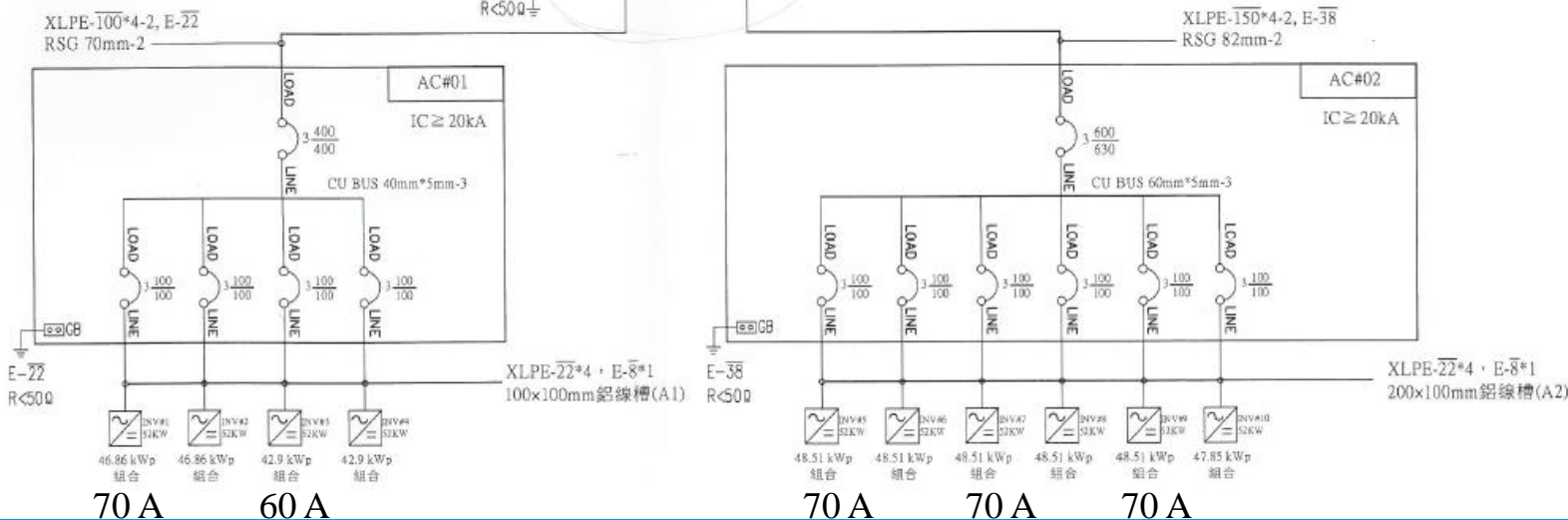


## 設計與選用:

- (1) 總輸出最大電流 = 680 A
- (2) 選用閘刀開關規格 800 A

## 建議設計值與選用規格:

- (1) 總輸出最大電流 =  $680 \times 1.25 = 850A$
- (2) 規格選用: 應為 850 A 或更高一級規格



70 A

70 A

60 A

60 A

70 A

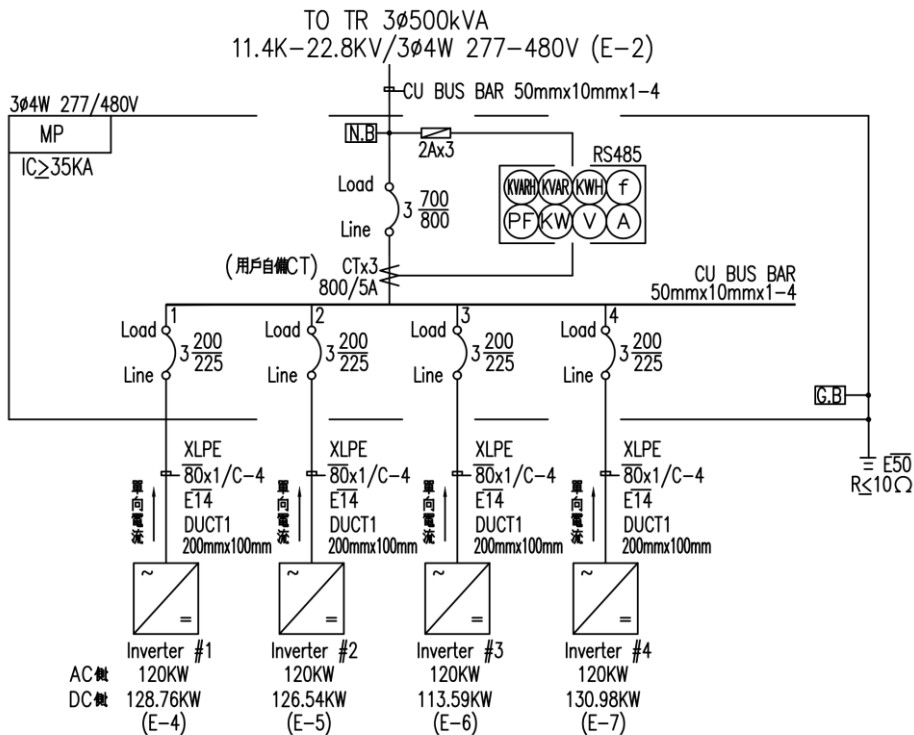
70 A

70 A

70 A

70 A

# 宜蘭-MP盤無熔絲開關火災-1



## Inverter規格

序號	圖例	名稱	規格
1		Inverter	廠牌:solaredge 型號:SE120K (1)直流最大輸入電壓:1000Vdc (2)直流標稱輸入電壓: 750Vdc (3)最大輸入電流/每個MPPT: 48.25A/3組 (4)交流最大輸出功率:120KW (5)交流額定輸出電壓:249-305/432-529Vac 本次選用輸出電壓:277/480Vac (6)交流最大輸出電流: 145A(各相) (7)工作頻率範圍: 50/60Hz ±5Hz (8)最高效率:98.1%

變流器 廠牌:solaredge 型號:SE120K

依據用戶用電設備裝置規則第396-27條

一、變流器輸出電路之最大電流應為變流器連續輸出額定電流。

依選用變流器120kW之連續輸出額定電流為 $120kW/480V/\sqrt{3}=144$ ，故變流器輸出電路之最大電流為144A。

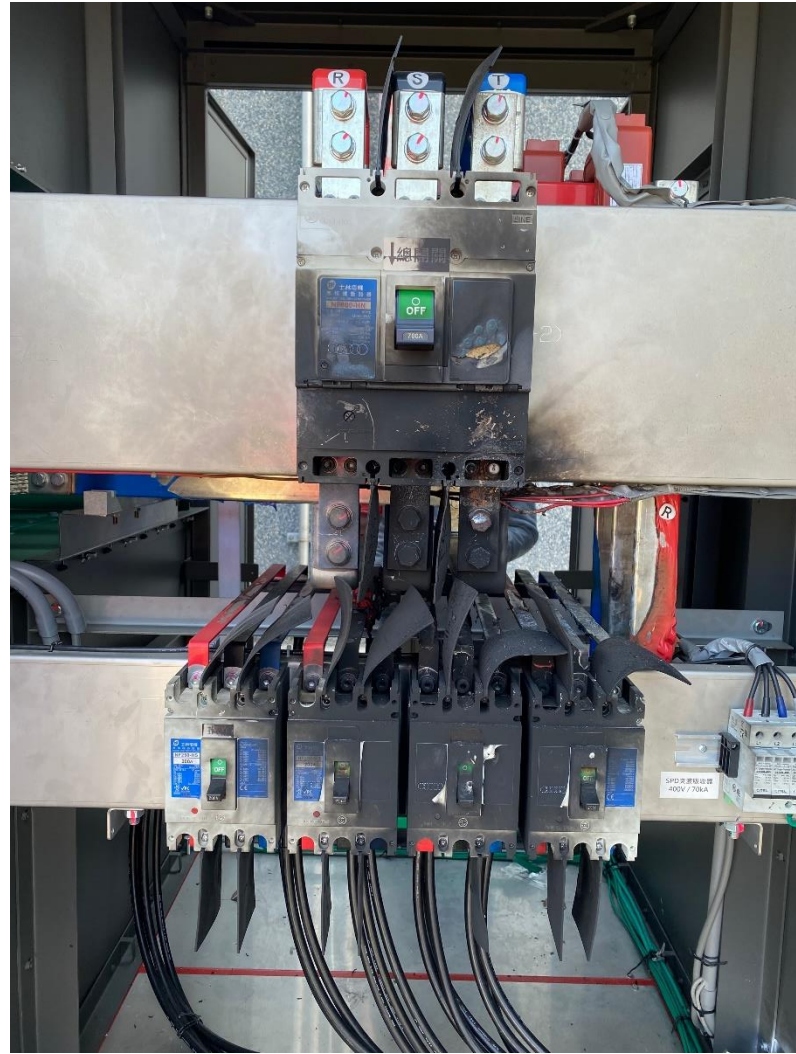
二、過電流保護裝置：載流量不得小於依前款計算所得最大電流之1.25倍。但電路為含過電流保護裝置之組合，且經設計者確認用於百分之一百額定連續運轉者得採用其百分之一百額定值。

分路開關載流量不得小於 $144A \times 1.25 = 180A$ ，採200A。

主開關max以PV最大容量計算

MP:  $(144 \times 3 + 144 \times 1.25) = 612A$ ，採700A

# 宜蘭-MP盤無熔絲開關火災-2



# 竹南-開刀開關規格下選-1

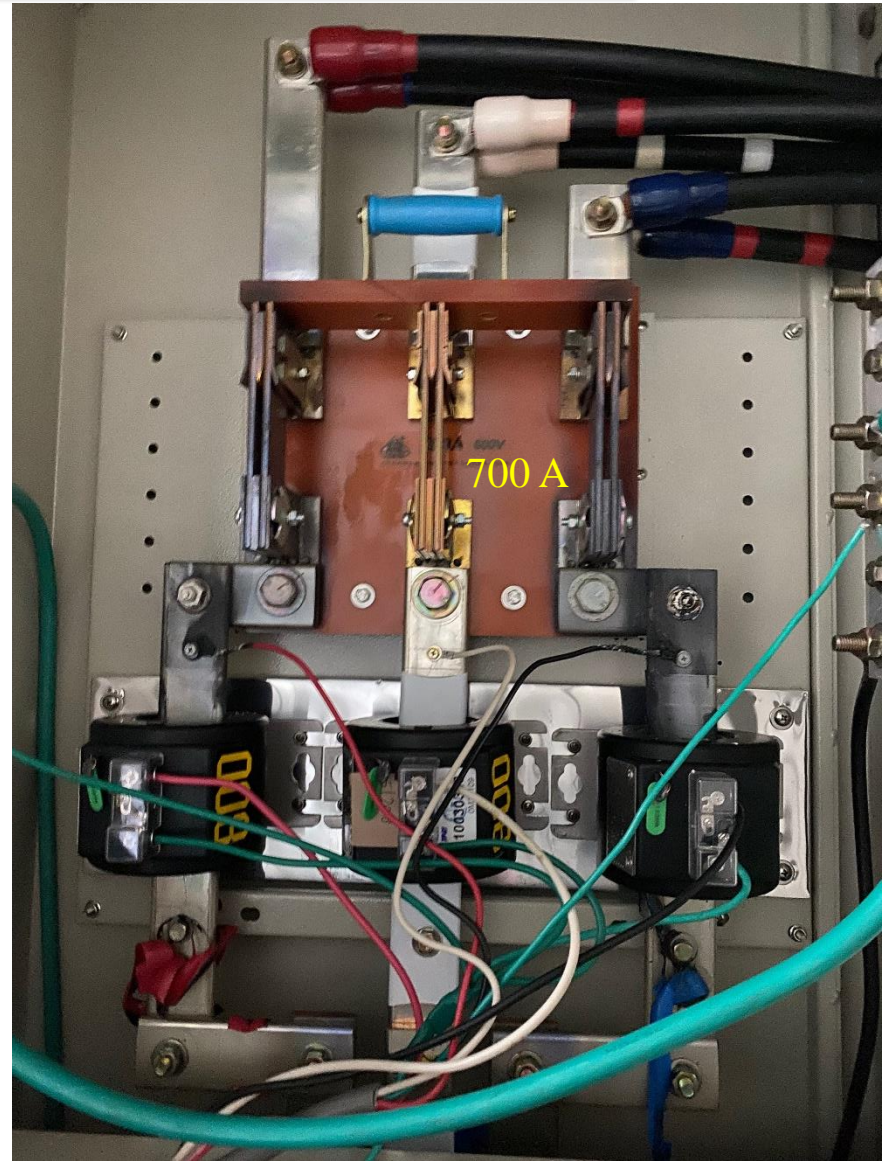
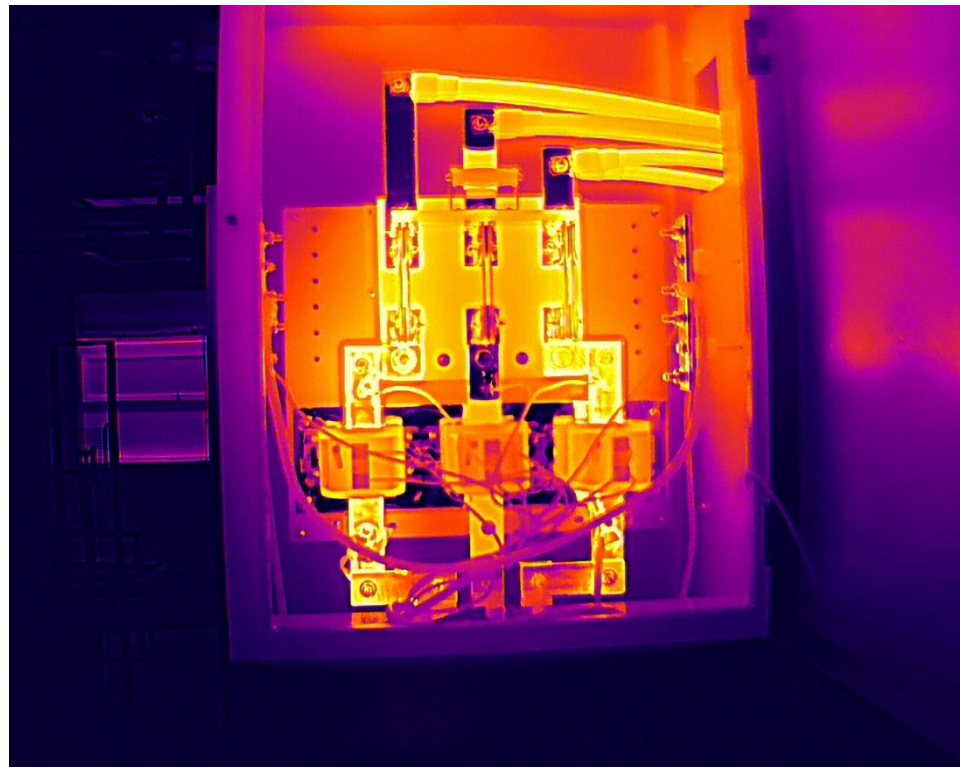
Model / 型號	<b>M30A_230</b>
Solar Inverter / 太陽能變流器	
P/N: RPI303M230100	
	
<hr/>	
DC Input / 直流輸入	
Max. Input Voltage / 最大輸入電壓	1000 Vd.c.
MPP Voltage Range / MPP電壓範圍	480 ~ 900 Vd.c.
Max. Input Current / 最大輸入電流	72 Ad.c.
Max. Short Circuit Current / 最大短路電流	50 Ad.c. per MPPT
<hr/>	
AC Output / 交流輸出	
Nominal Output Voltage / 額定工作電壓	400 / 380 Va.c.
Nominal Output Frequency / 額定工作頻率	50 / 60 Hz
Connection Type / 連接形式	3Ø3W / 3Ø4W, PE
Max. Continuous Output Current / 最大輸出電流	50 Aa.c.
Rated Continuous Output Power / 額定輸出功率	30000 W
Max. Apparent Output Power / 最大視在功率	33000 VA
Power Factor / 功率因數	0.8 lead ~ 0.8 lag
<hr/>	
Protection Class / 保護等級	I
Over Voltage Category / 過電壓類別	III (AC), II (DC)
Ingress Protection / 防護等級	IP66
Operating Temperature Range / 操作溫度範圍	-25 ~ +60°C
Non-isolated inverter	非隔離型變流器
<hr/>	
Made in China	



無熔絲開關、開刀開關規格=50 A x 15 x 1.25=937 A



# 竹南-開刀開關規格下選-3



# 改善建議

(1) 表前開關處，選用開關一般選用鋤刀開關為主，主要功能為人工斷開電源。

(2) 鋤刀開關缺點：

a) 無法因過電流而保護跳脫保護

b) 經常處於高溫，如開關無定期保養(例如:塗導電膏、機械油)，容易氧化變質。

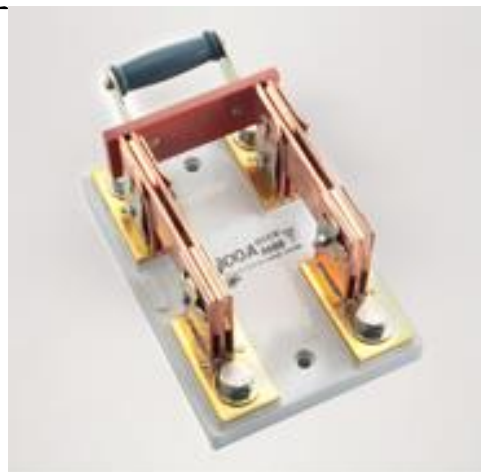
c) 表前開關於台電併聯驗收後，會封籤上鎖無法於維運期間打開。

(3) 建議方案：

a) 方案1:鋤刀開關元件更換為無熔絲開關，對於過電流會因溫度而跳脫保護。

b) 方案二:鋤刀開關規格為設計值1.25 倍以上。

c) 定期向台電申請打開表前開關進行維運檢查。



開刀開關



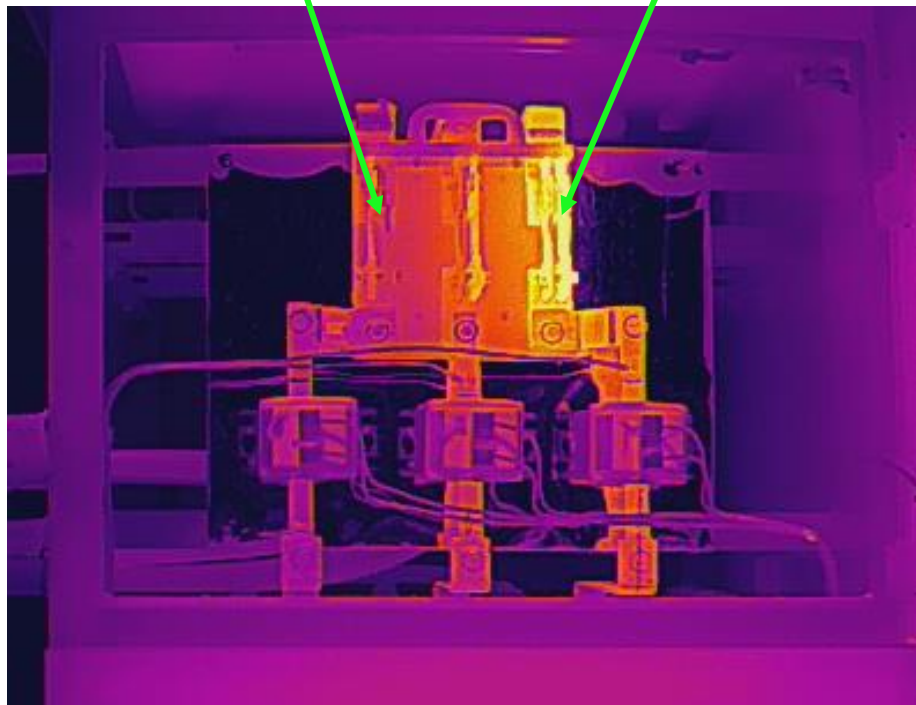
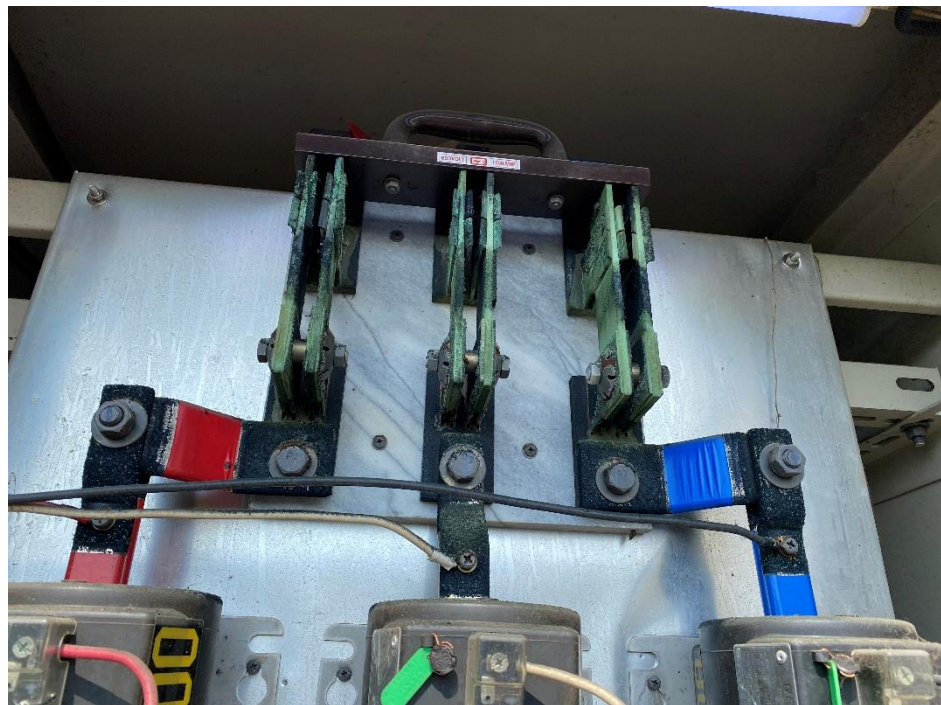
無熔絲開關

# 箱體選用以及維運注意事項

- (1) 選擇室外型箱體，安裝後進線孔密封，或者遠離畜禽舍安裝
- (2) 定期確認周邊膠條老化程度，如有老化應更換新的膠條
- (3) 鋸刀應定期清潔與塗油保護，並採用熱像儀檢查

avg:65.1 °C

max:174.9 °C





連接器

直流電源線

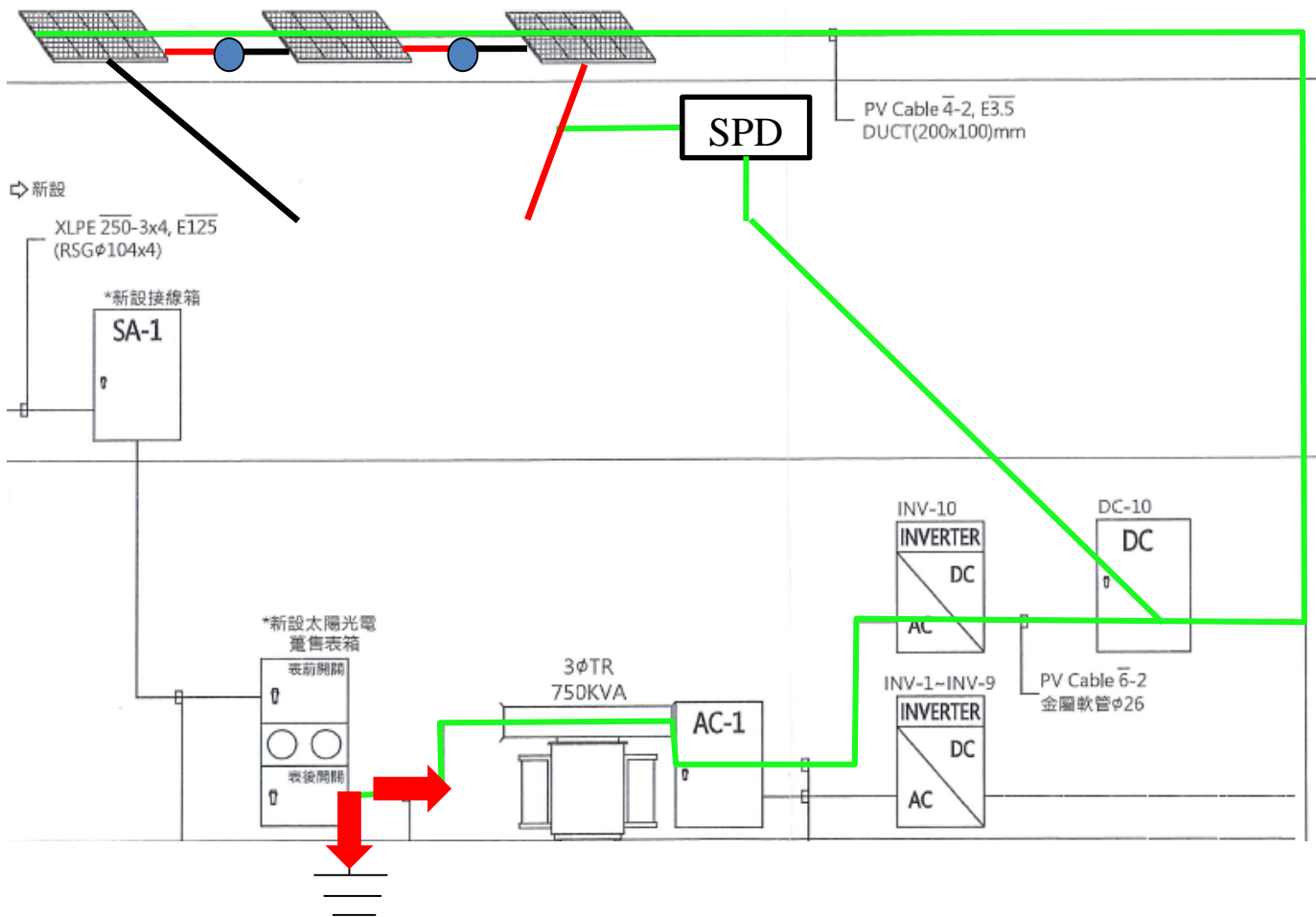
極性要求

半切太陽能模組

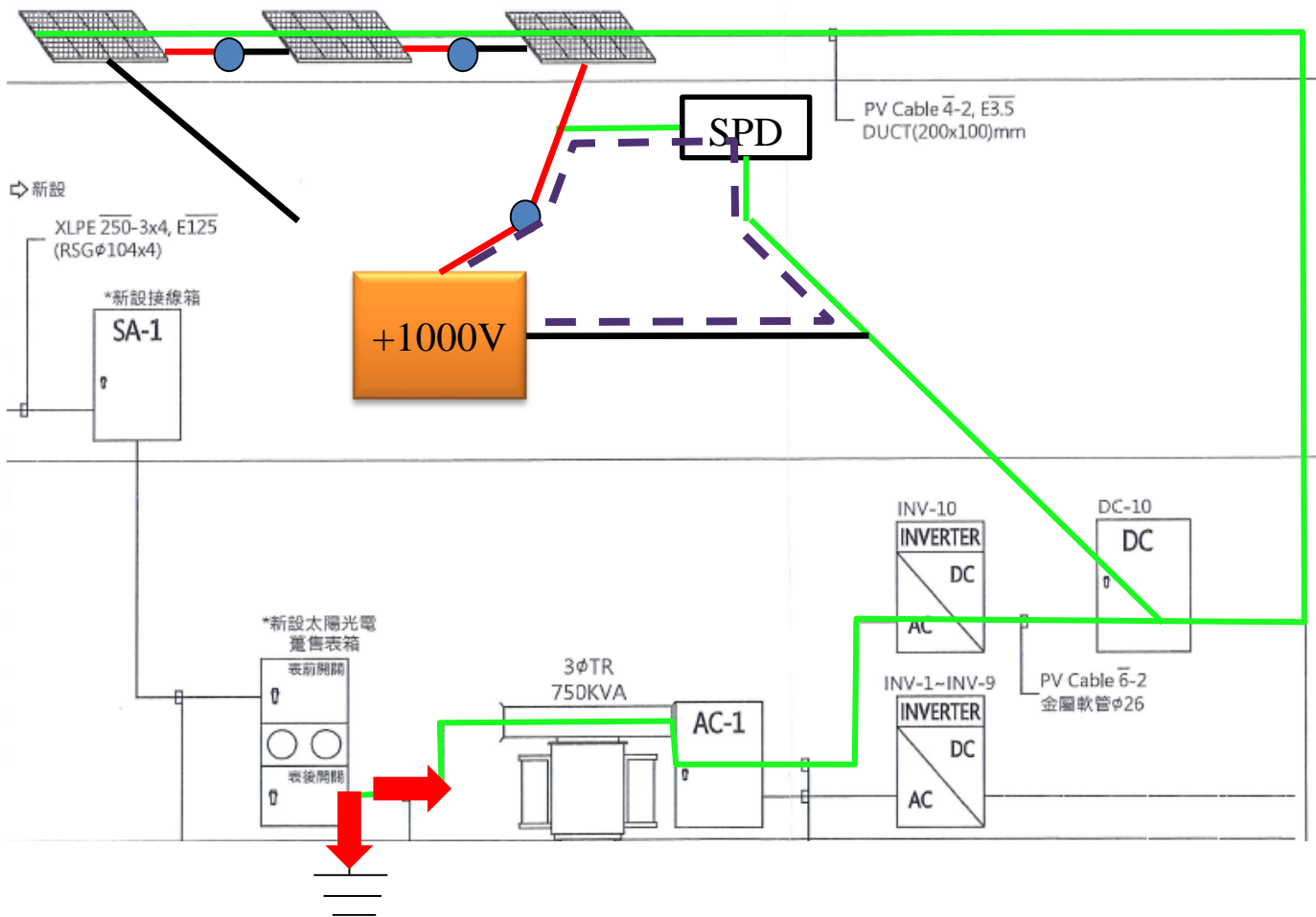
鋤刀開關

接地系統

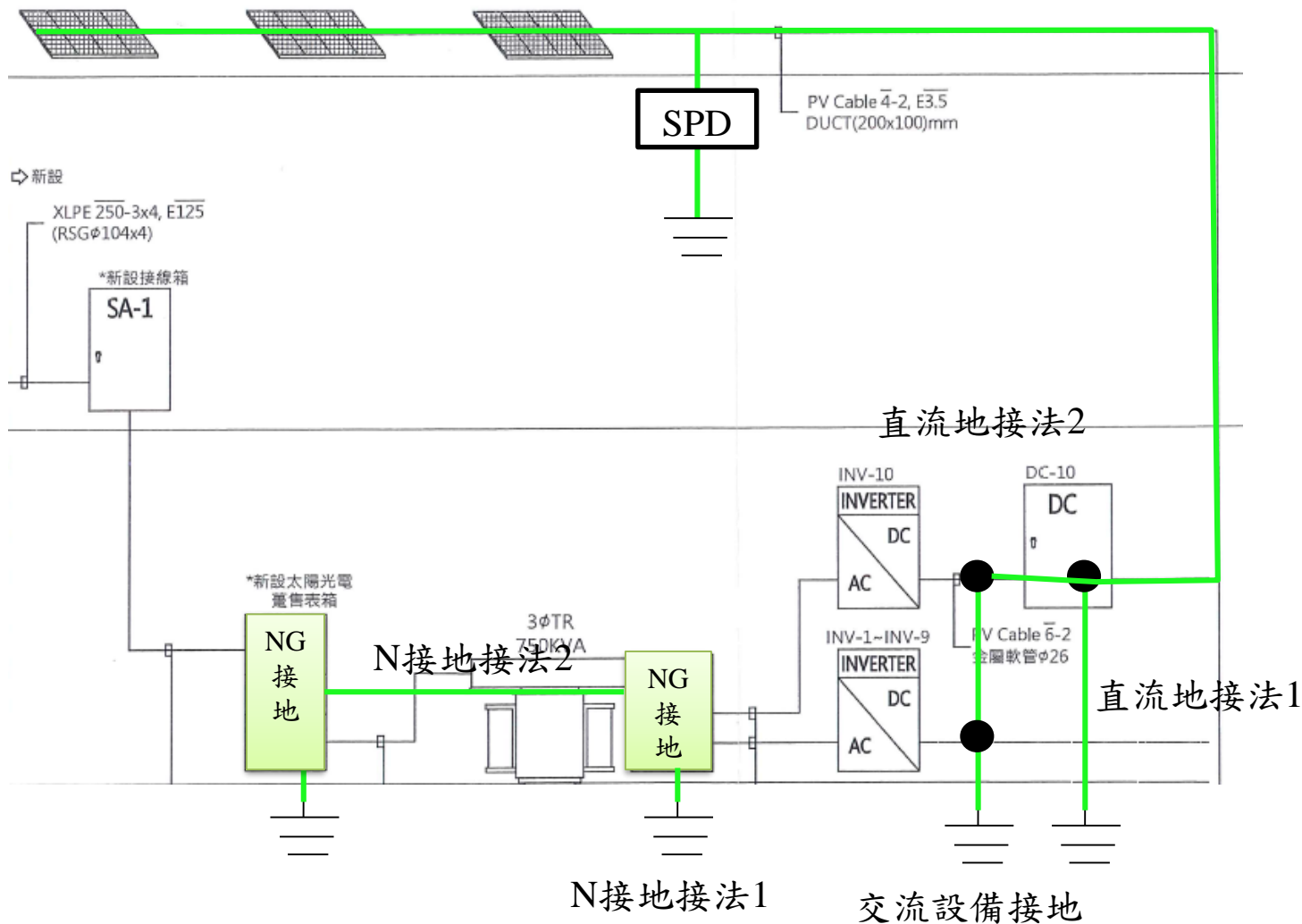
# 多重接地系統



# 多重接地系統-絕緣測試



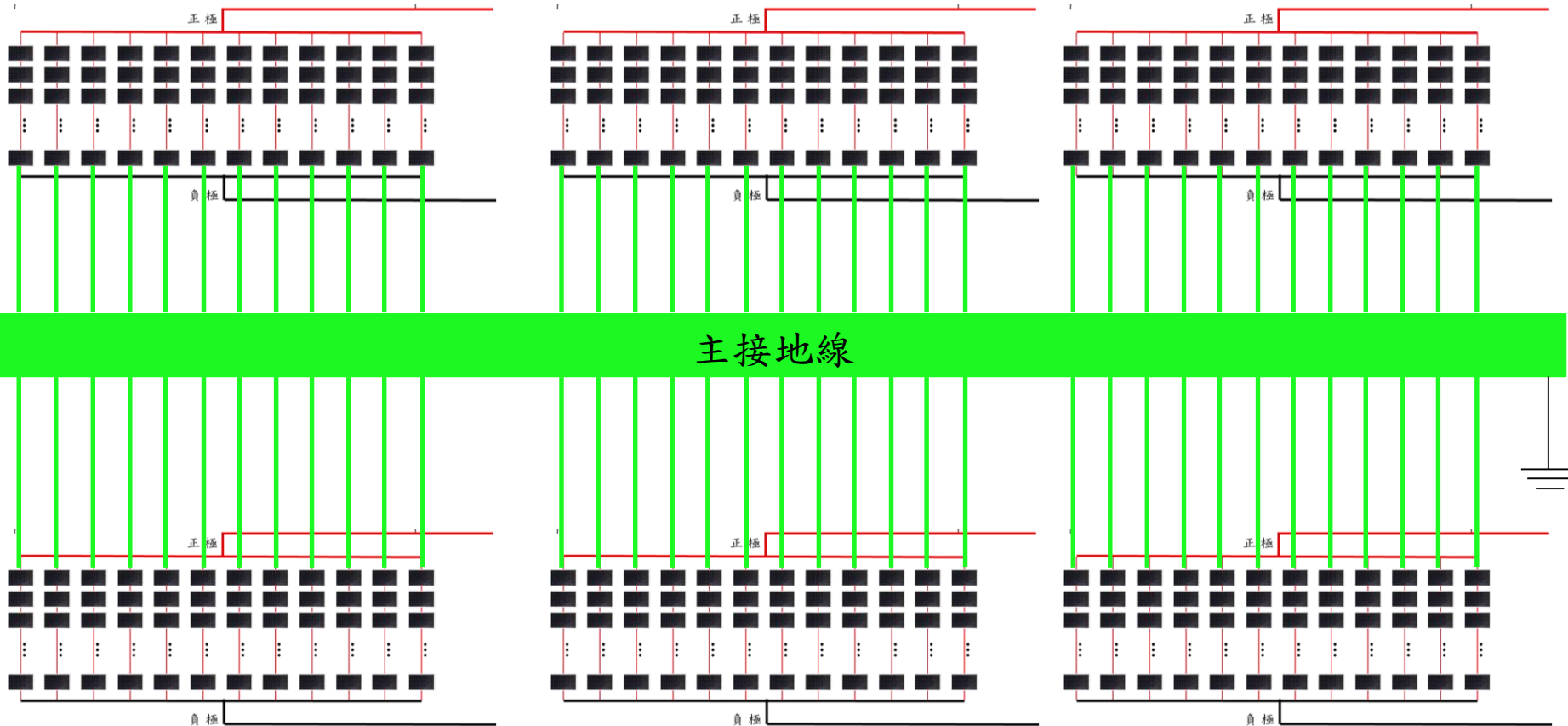
# 三相四接地系統建議



# 高併聯接地線配置方式

10 MW系統

12串並聯

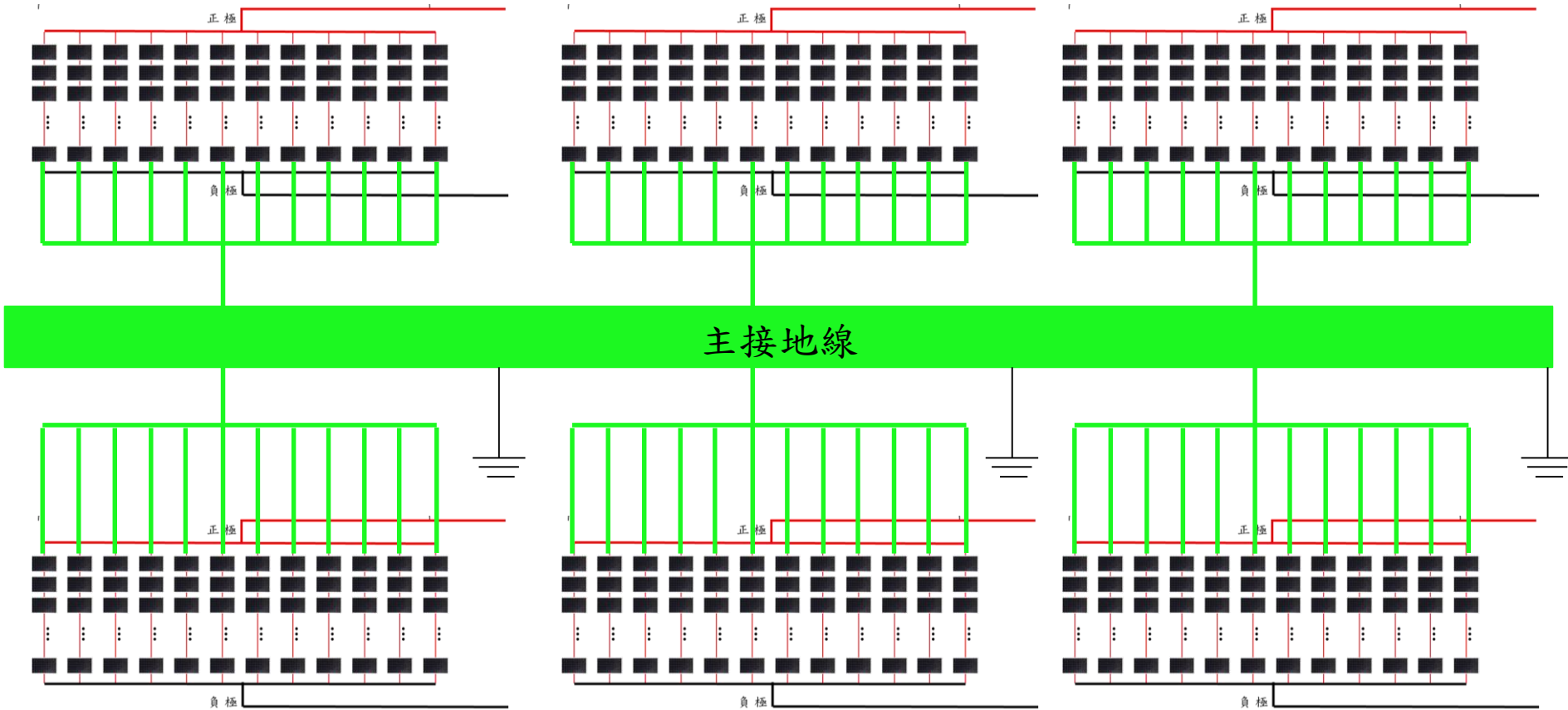


想一想可能問題

- (1) 想一想可能問題 =  $(10 \times 1000 \times 1000) / (340 \times 20) = 1470$  串
- (2) 每串漏電 0.1 A 並聯後，主接地線至主接地點共  $1470 \times 0.1 = 147$  A

# 高併聯接地線配置方式

12串並聯



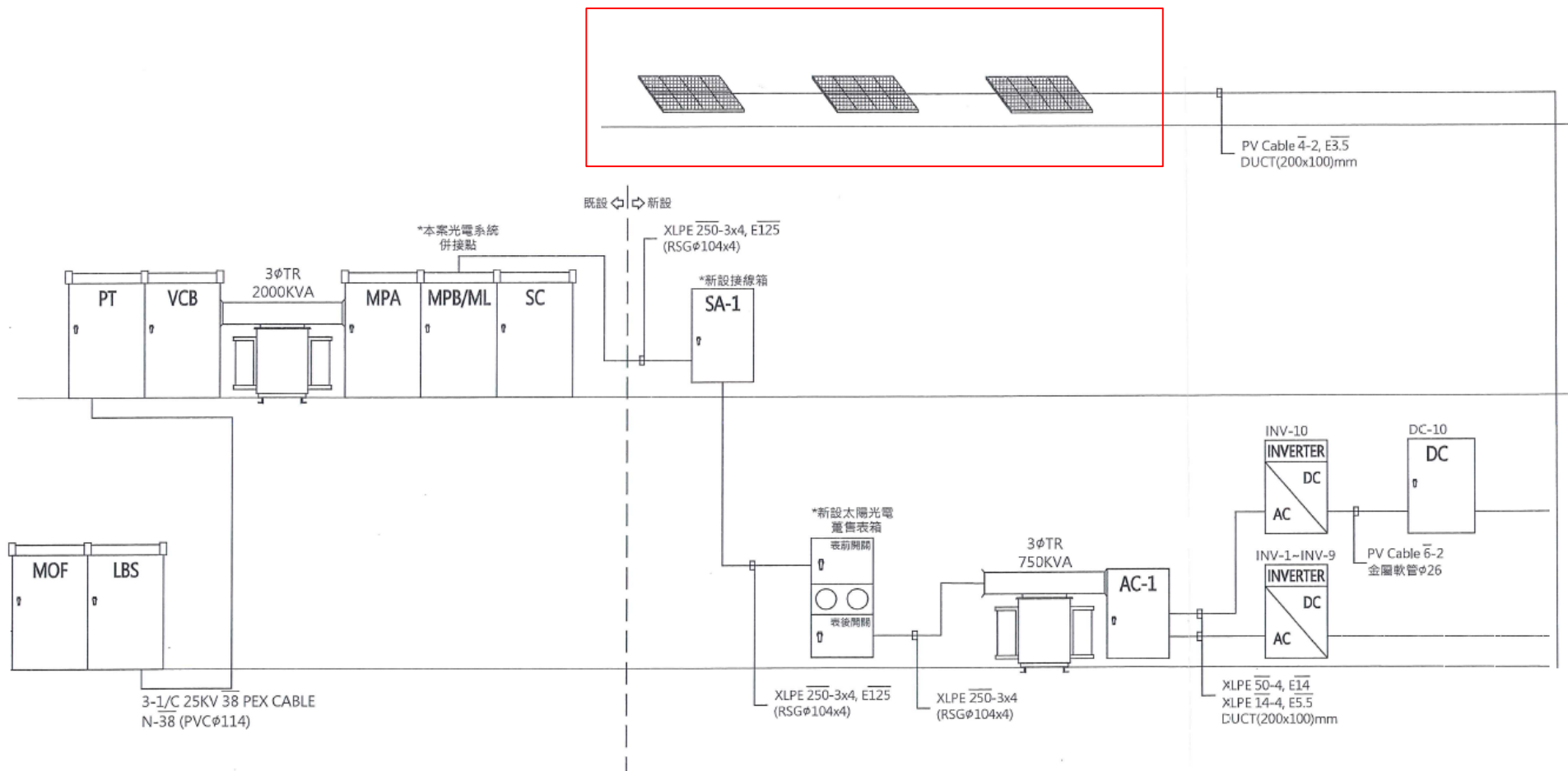
# Outline



設計規範注意事項

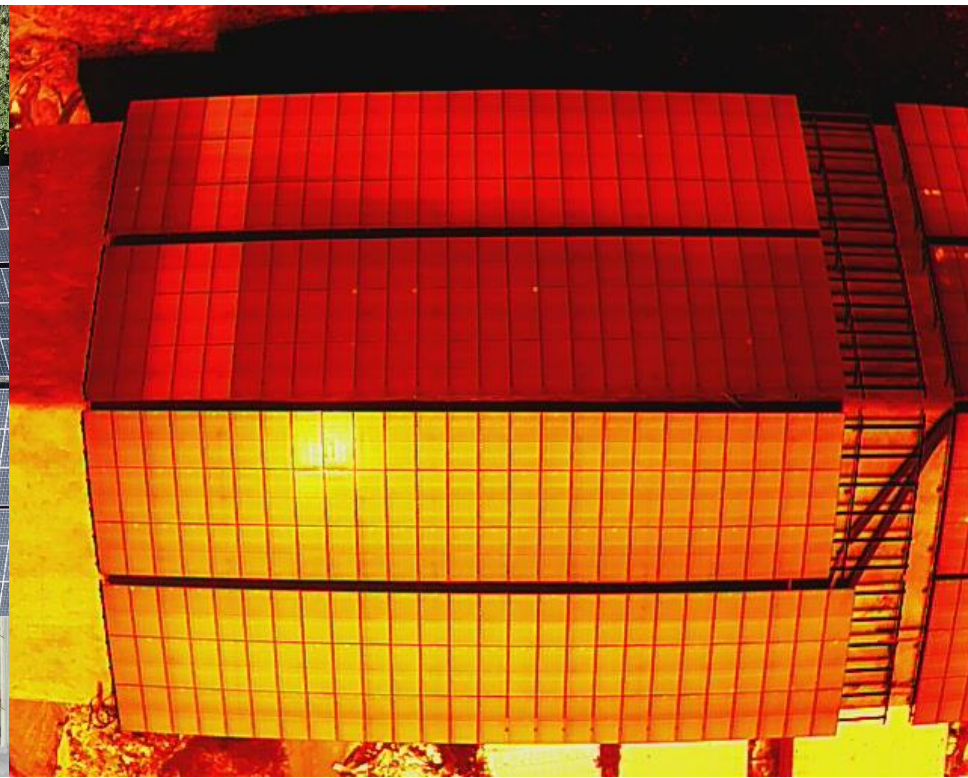
系統健檢建議執行步驟

# 熱影像檢查項目

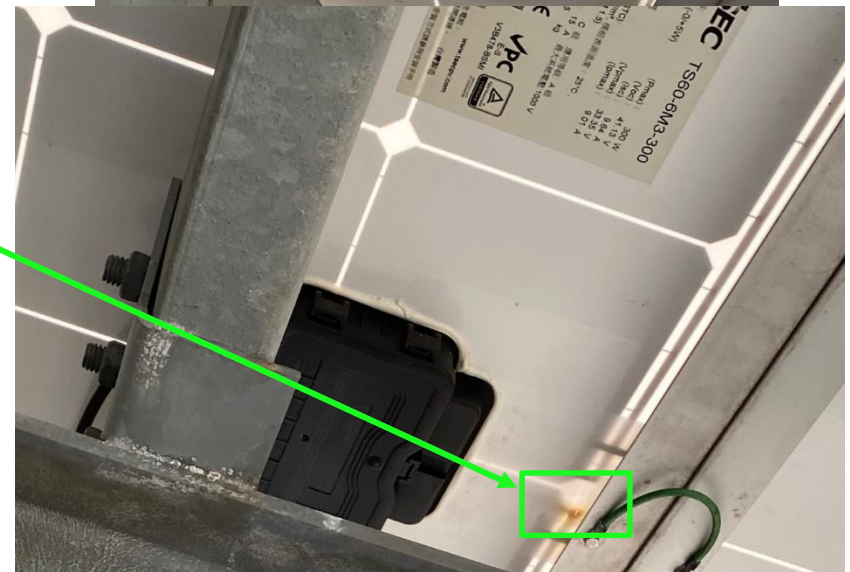
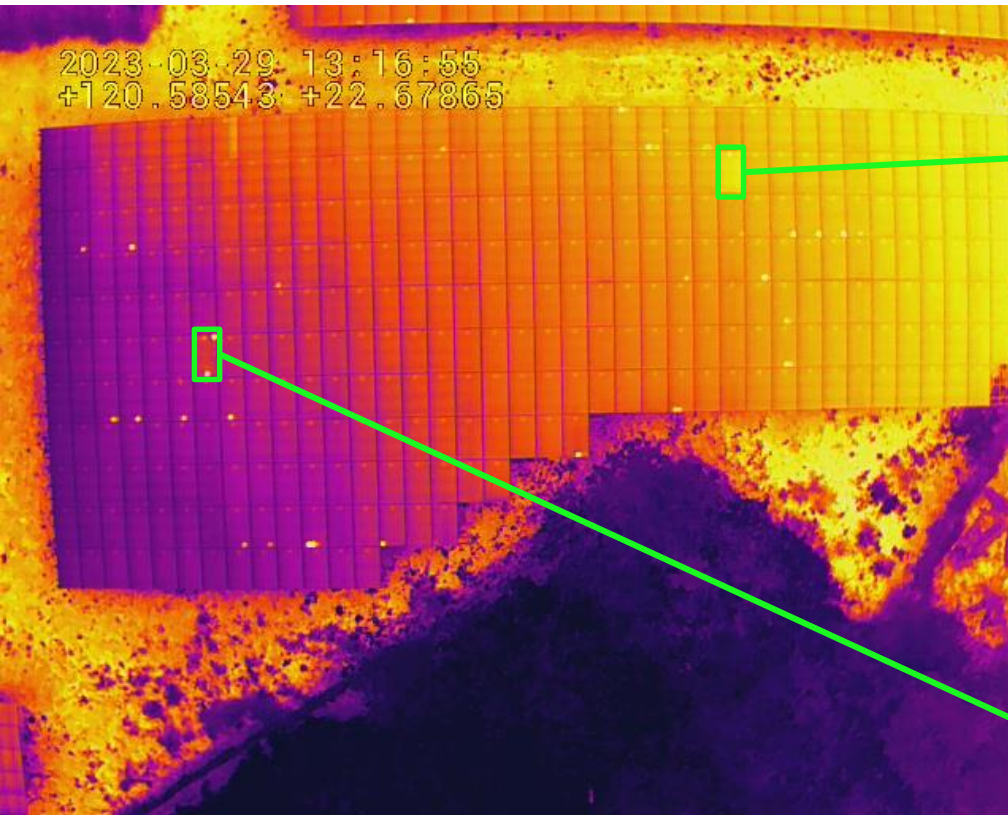




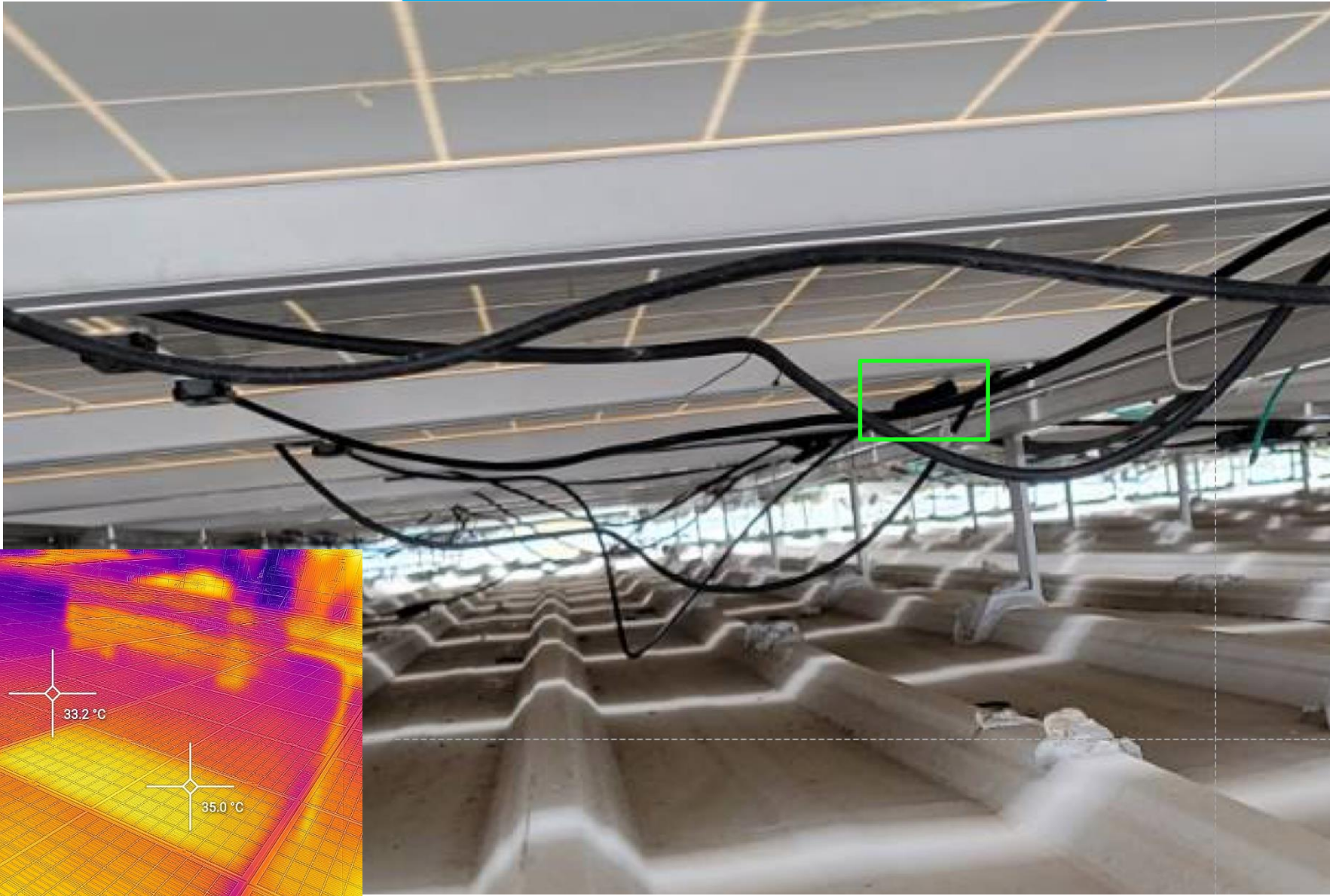
# 串列開路與反光問題



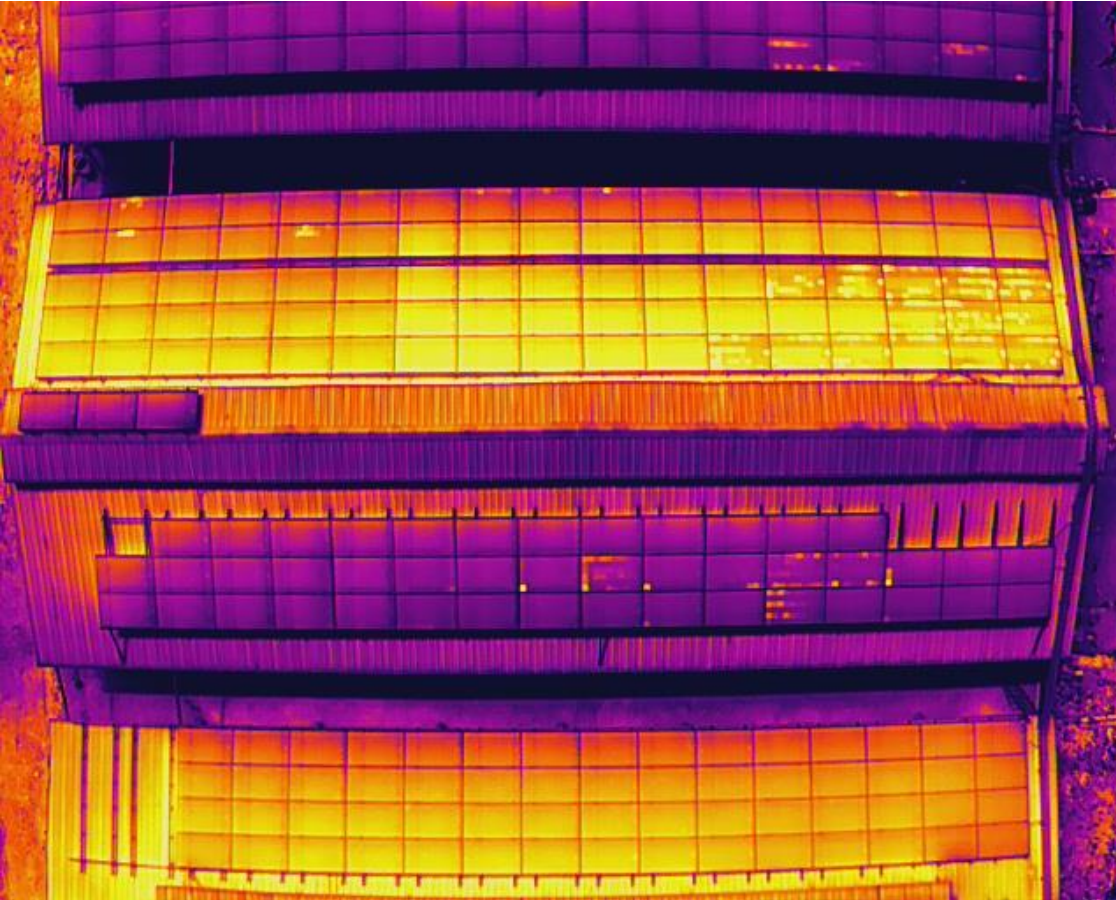
# 單片開路-1



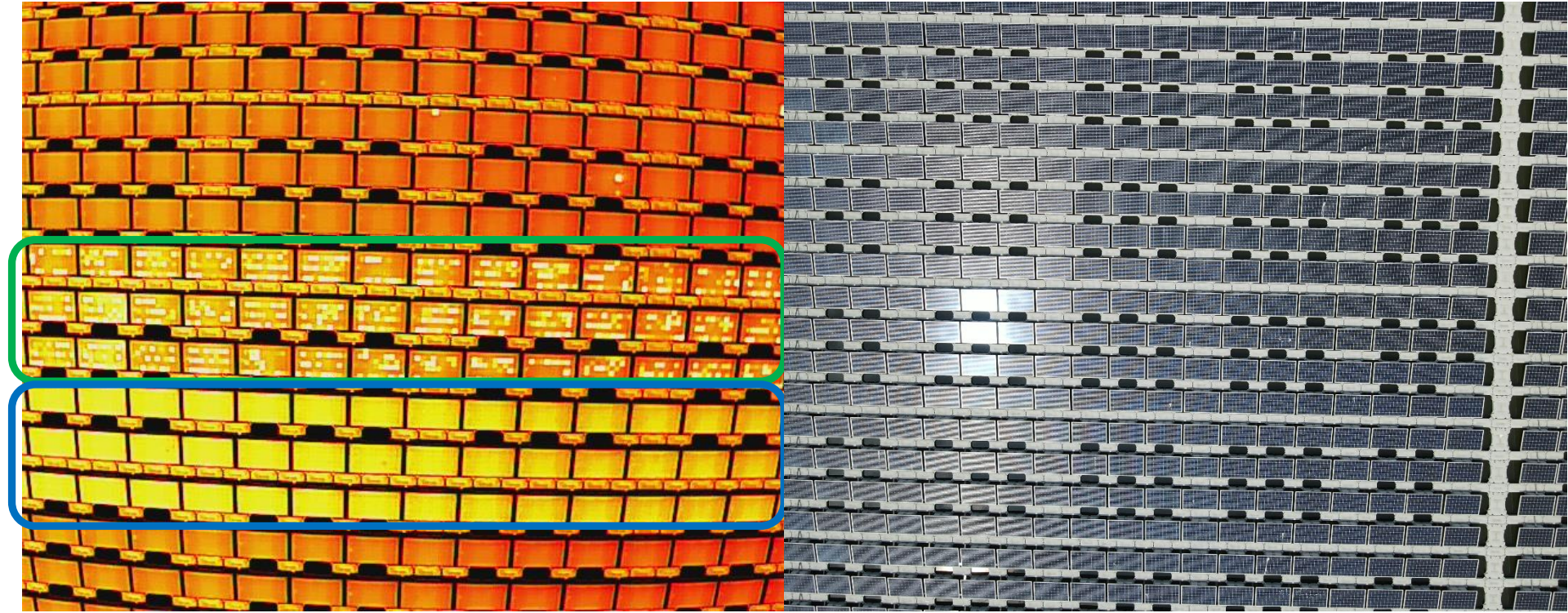
# 單片開路-2



# 串列、太陽能模組短路

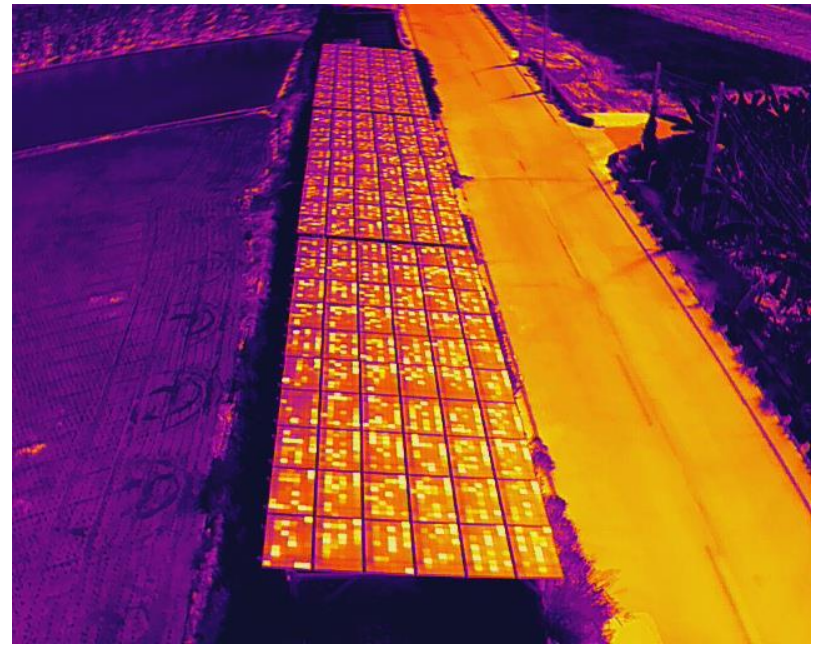
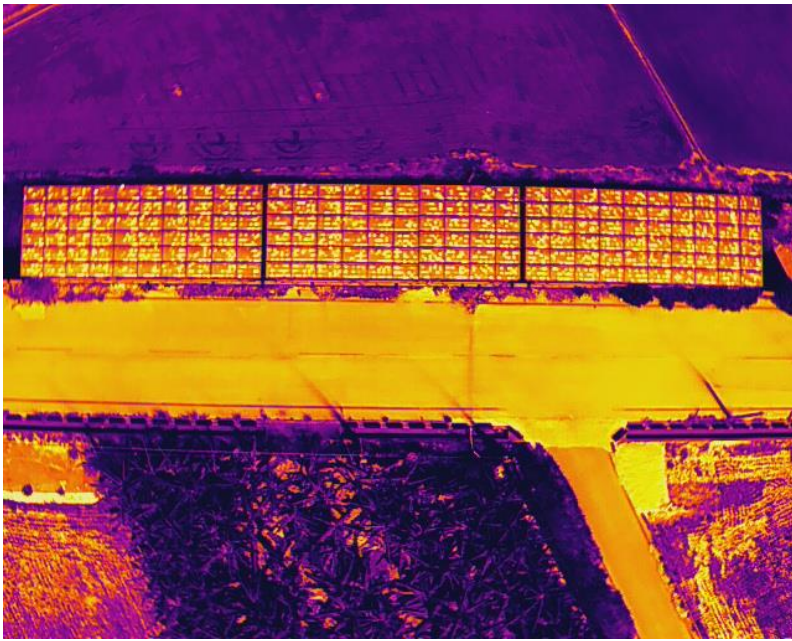


# 串列短路熱異常現象-1



- (1) 紅色區域太陽能模組，以開路電壓分析，判定該區域太陽能模組隱裂機率較高，如要確定失效原因，建議拆下一片進行電致發光(EL)測試
- (2) 現場確認綠色串列開路電壓，計算回推發現無異常，可以排除電致衰減(PID)現象
- (3) 綠色區域是短路導致
- (4) 藍色區域為串列開路

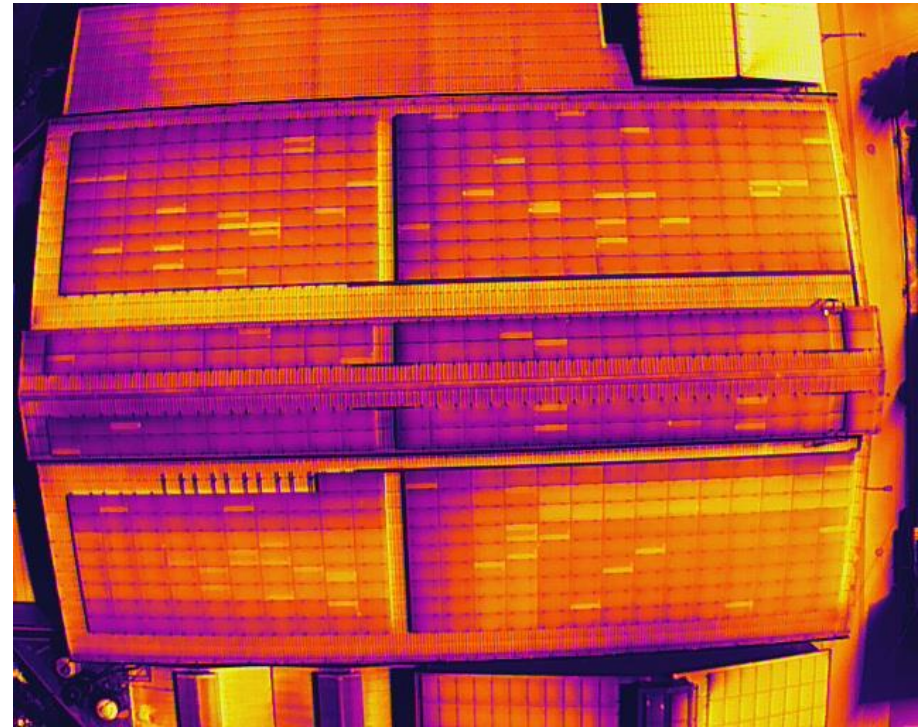
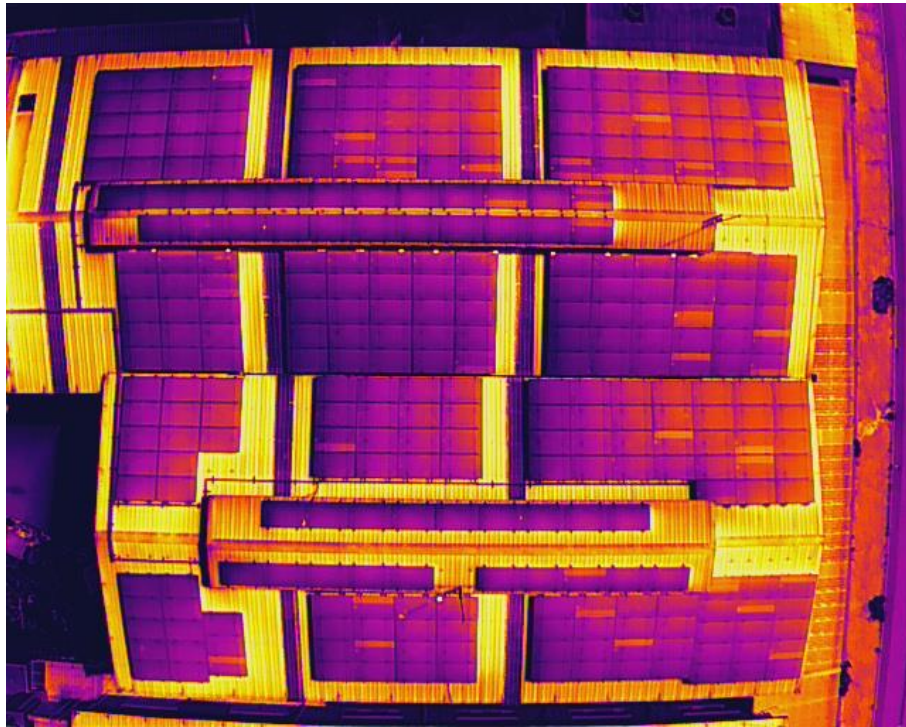
## 串列短路熱異常現象-2



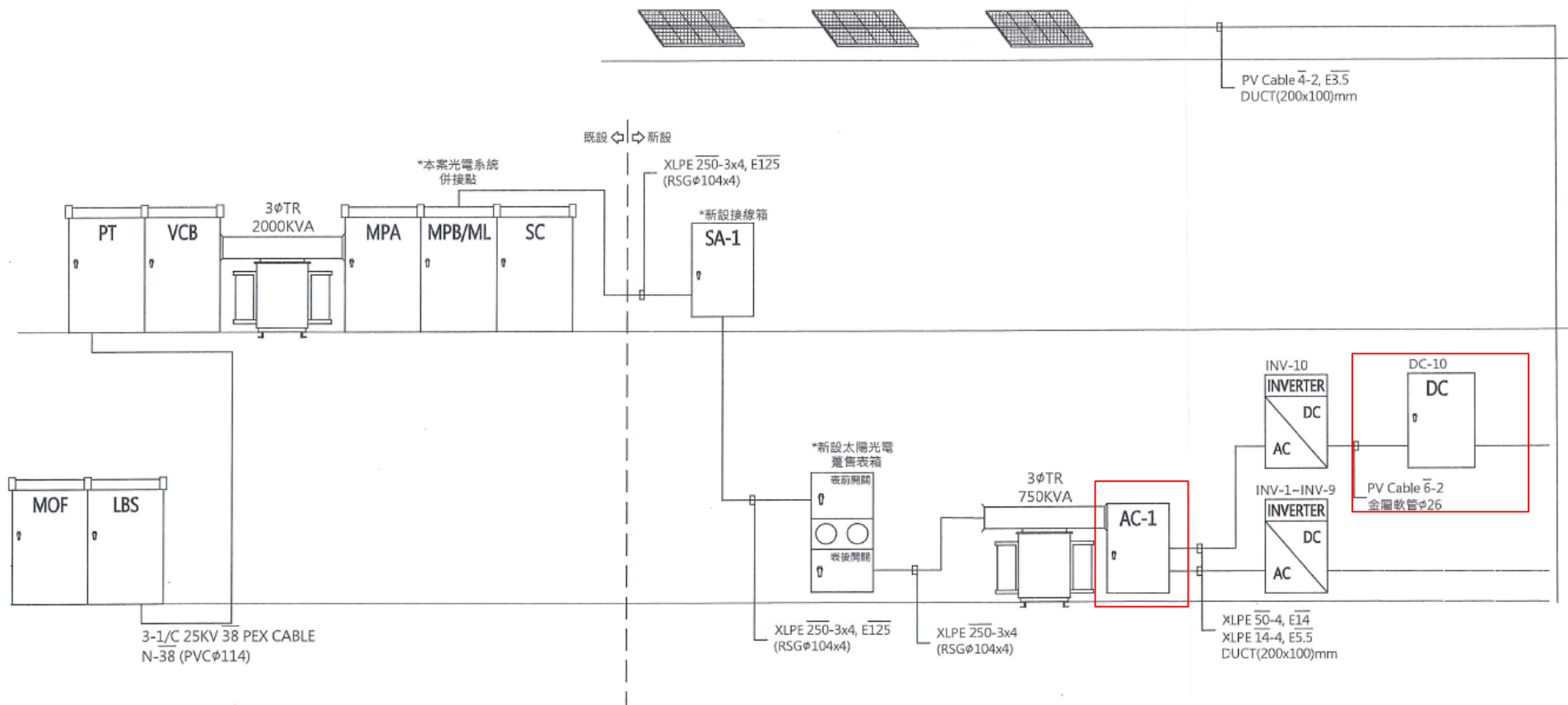
- (1) 無法量測開路電壓
- (2) 運轉電流偏低或者為零

資料來源:聚馨股份有限公司

# 旁路二極體異常

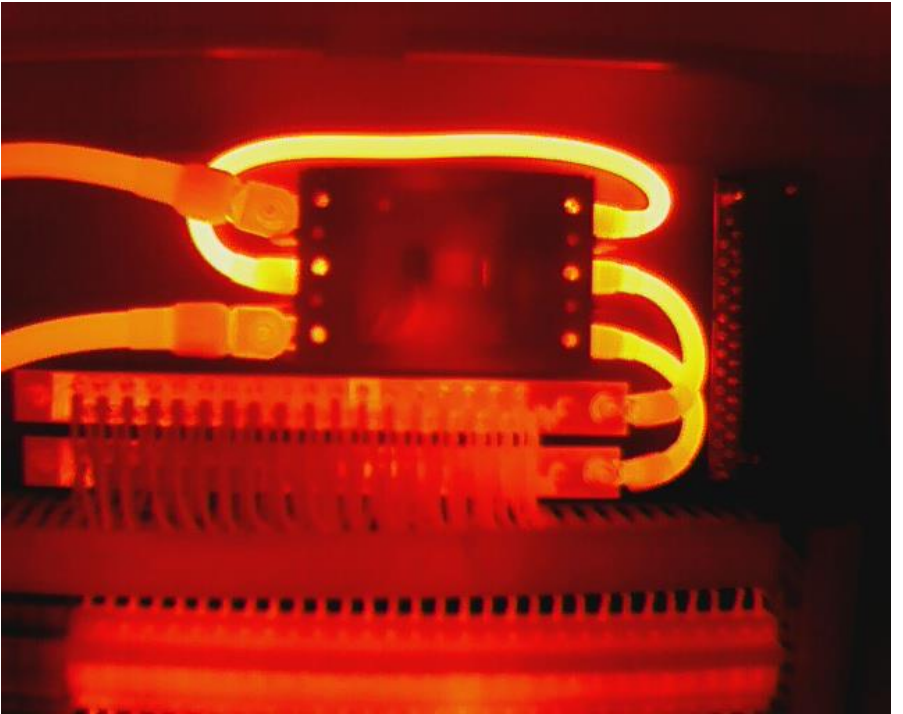


# 熱影像檢查項目



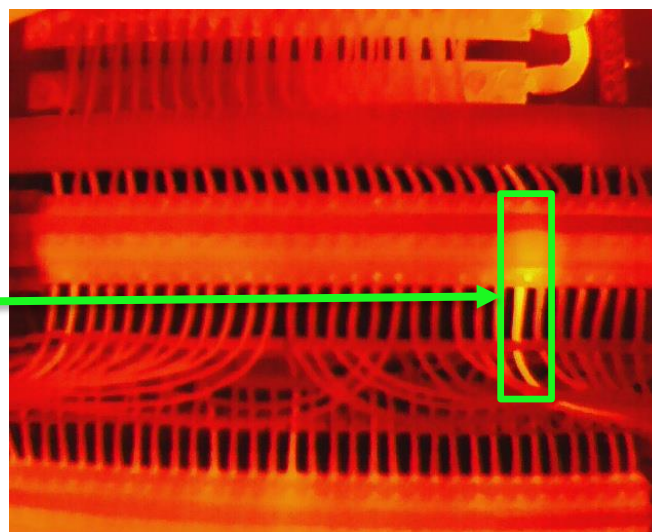
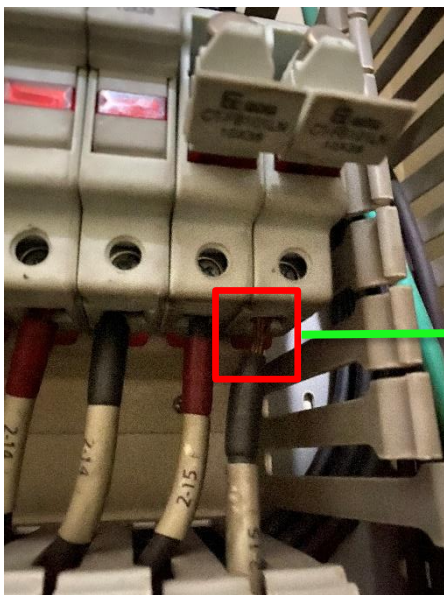
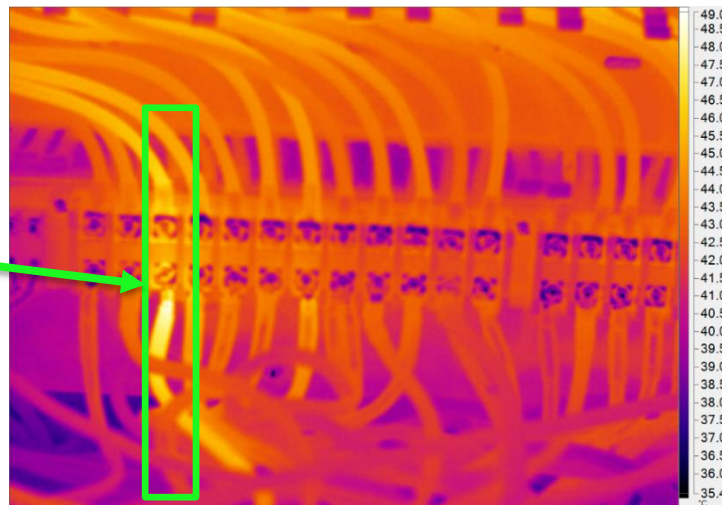
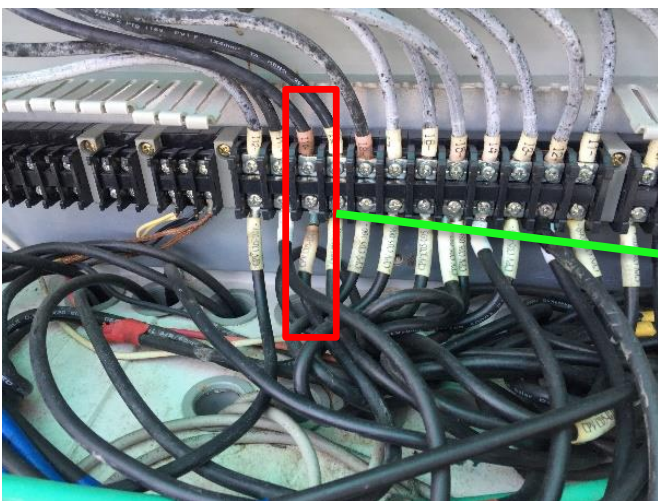


# 熱影像-2



# 熱影像-3

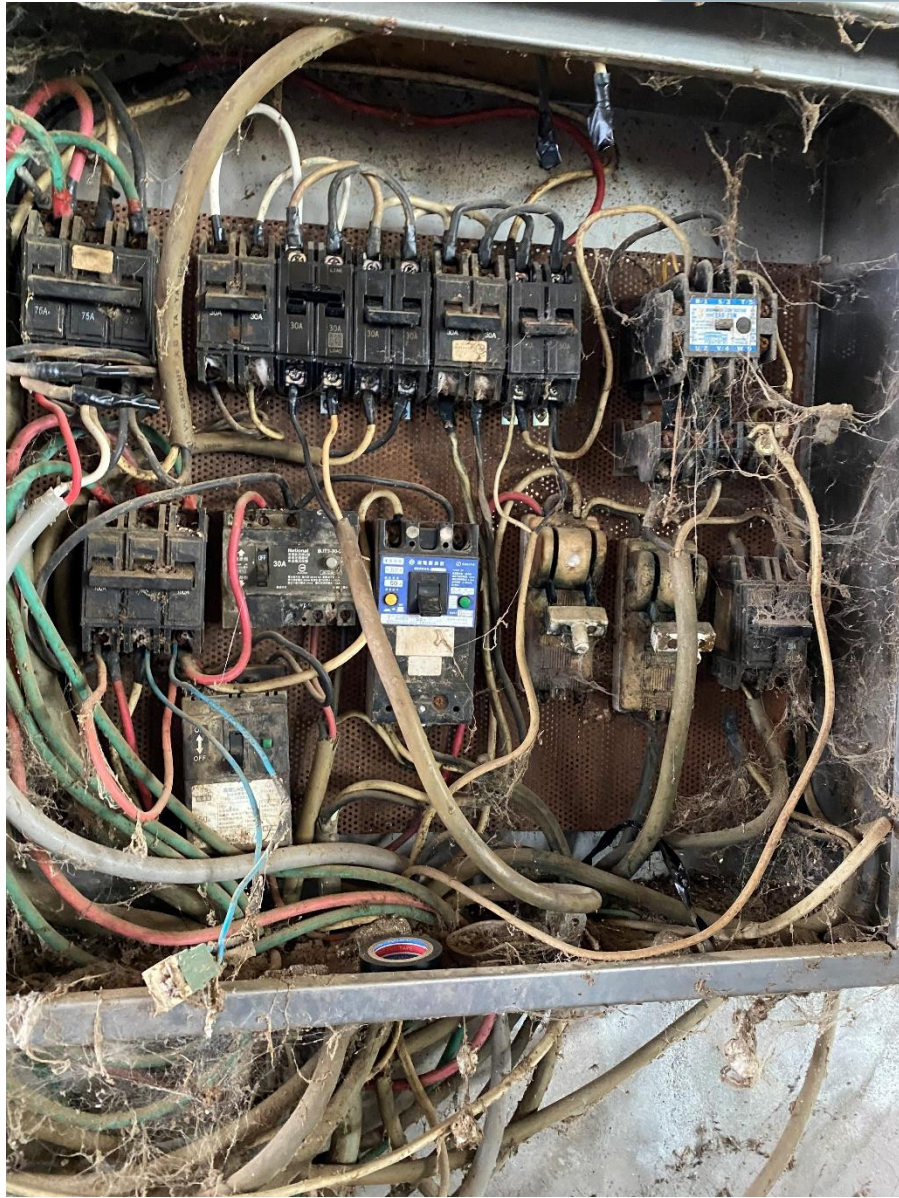
配電盤火災：配電盤中，因其他因素導致過載或短路而產生火災。



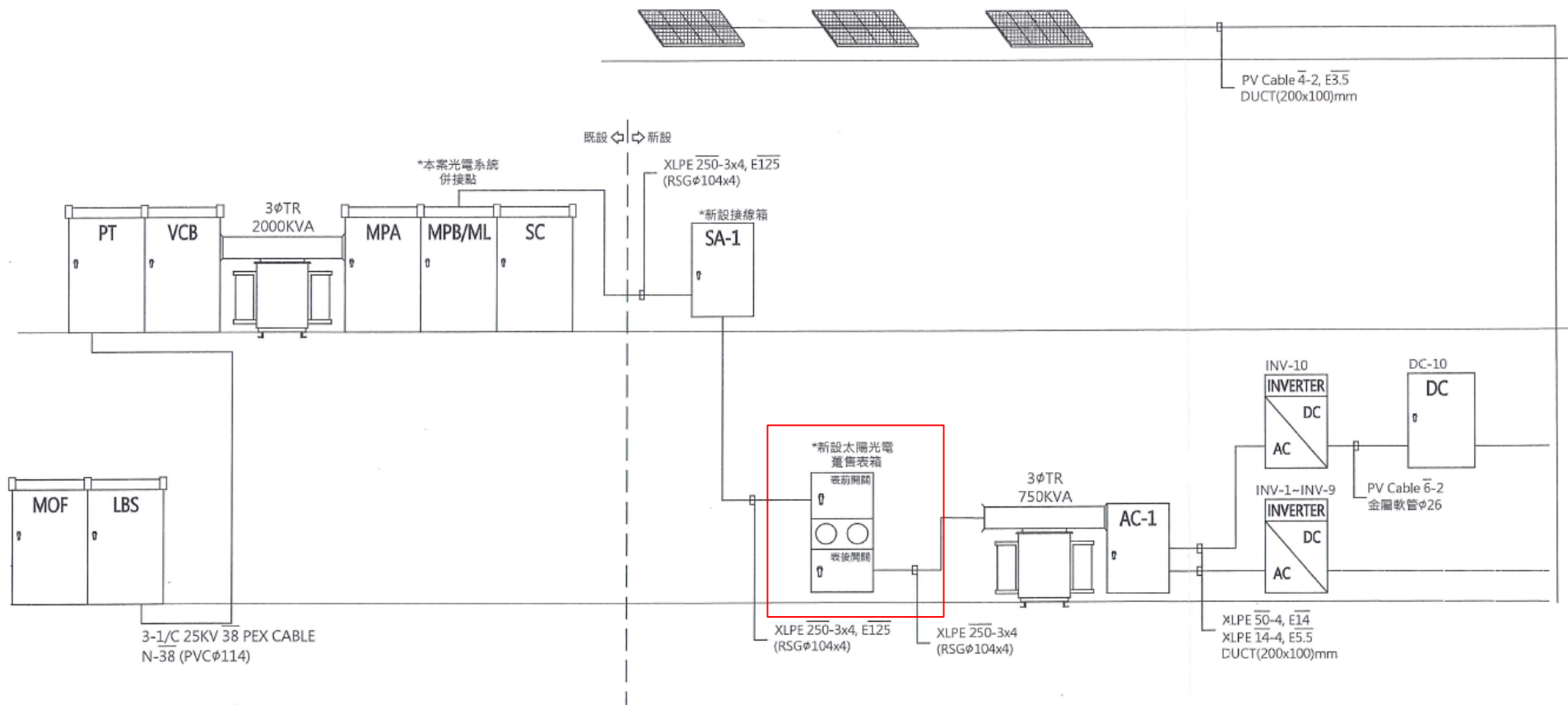
# 熱影像-3



# 用戶建物交流箱體

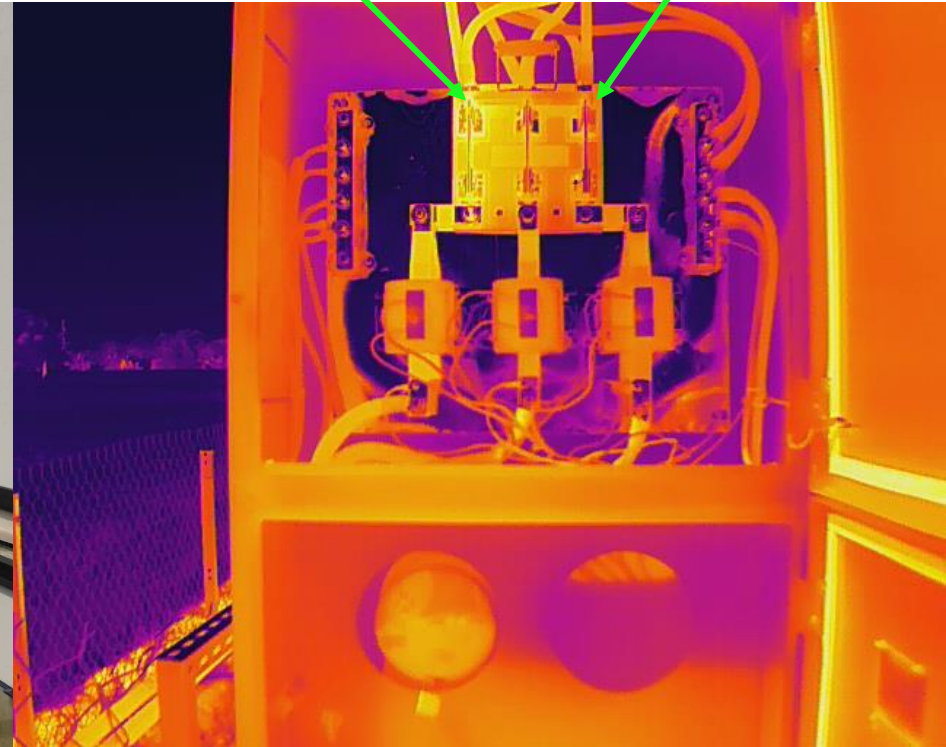


# 熱影像檢查項目



# 太陽能表前開關-1

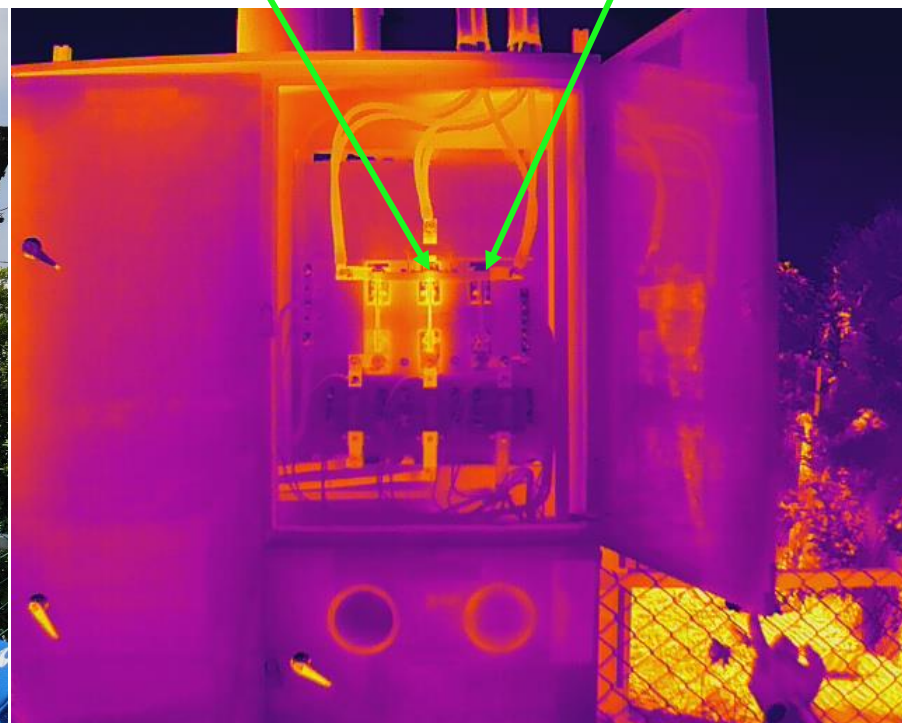
最高溫度:62.8 °C    平均溫度:51.7 °C



# 太陽能表前開關-2

最高溫度:49.2 °C

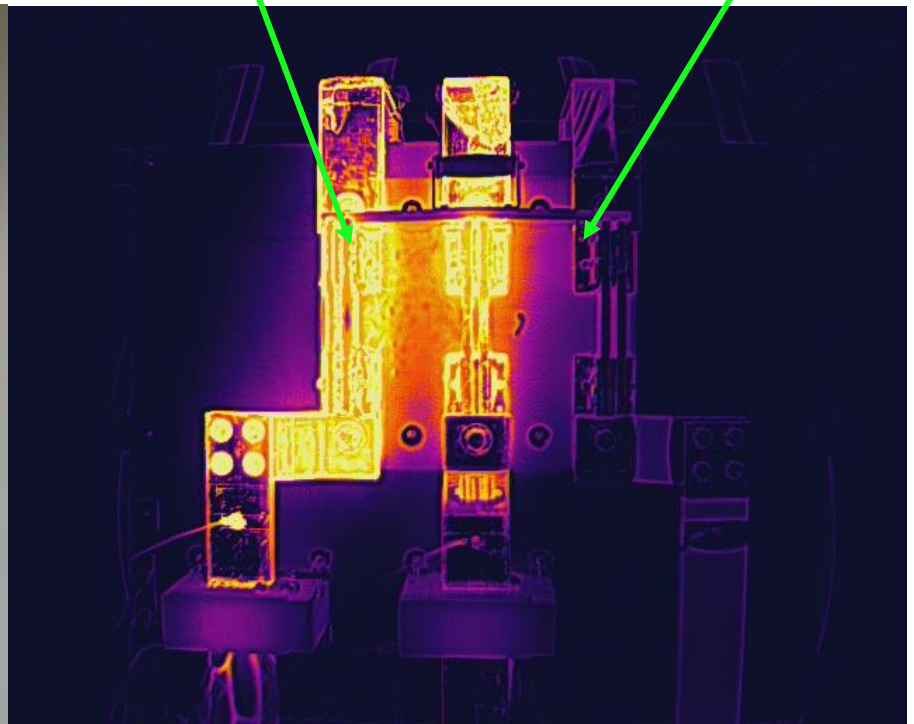
平均溫度:40.3 °C



# 太陽能表前開關-3

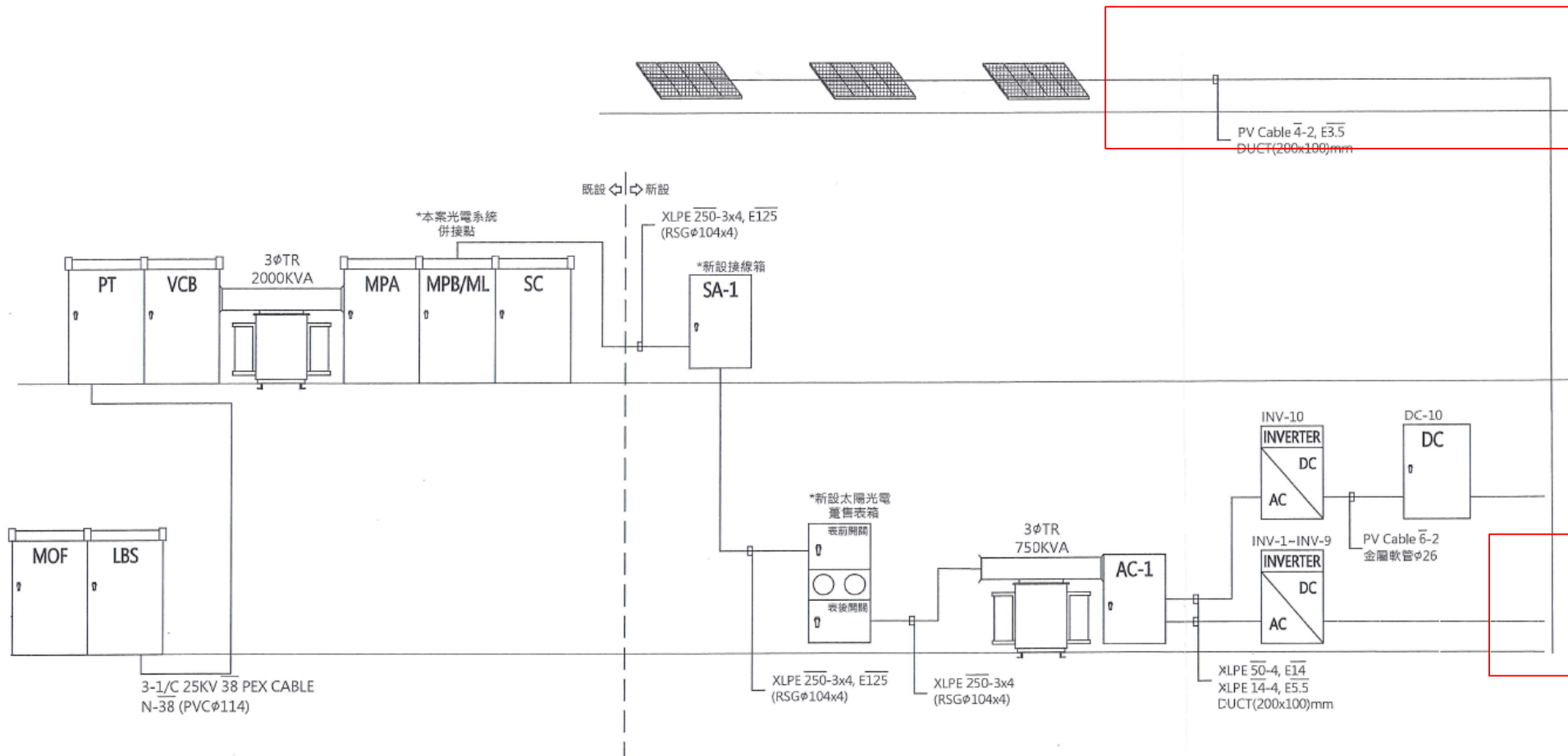
最高溫度:176.9 °C

平均溫度:61.5 °C





# 熱影像檢查項目



# 火災案例



# 失效統計

失效原因	旁路二極體	直流電源線鎖固處	直流連接器	表前開關	直流電源線	變流器
案例	1	3	2	4	5	2

年份	2018	2019	2020	2021	2022
案件數	3	4	4	8	4
案場數量	7,790	14,596	22,530	32,775	38,165
事故比例	0.04 %	0.03 %	0.02 %	0.02%	0.01 %

## 未來前三大失效

表前開關

直流電源線

儲能電池



**Thank you for your attention!**