

PV系統結合儲能之維運

PV Guider
首席顧問 林敬傑 博士



Keep Green Gold Shining!

儲能應用類型



儲能系統的應用與選擇重點

| 應用 | 場域 | 系統容量 | 系統反應速度 | 持續時間 | 電池充放電 C-Rate |
|---------|-------|-------|---------|----------|-----------------|
| 負載轉移 | 錶後 | kW~MW | 數秒~3分鐘 | 2~4小時以上 | $\leq 0.5C$ |
| 太陽能自發自用 | 錶後 | kW~MW | 數秒~3分鐘 | 2~4小時以上 | $\leq 0.5C$ |
| 緊急備用電源 | 錶後 | kW~MW | ~30分鐘 | 2~4小時以上 | $\leq 0.5C$ |
| 削峰填谷 | 錶後 | kW~MW | 數秒~3分鐘 | 15分鐘~1小時 | $0.5C \sim 2C$ |
| 電動車充電站 | 錶後 | kW | 數秒~3分鐘 | 15分鐘~1小時 | $0.5C \sim 2C$ |
| 需量反應 | 錶前/錶後 | kW~MW | 毫秒~30分鐘 | 3~30分鐘以上 | $\geq 2C$ |
| 調頻輔助服務 | 錶前/錶後 | MW | 數秒~3分鐘 | 15分鐘以上 | $\geq 2C$ |

系統控制與
EMS功能

併網需求

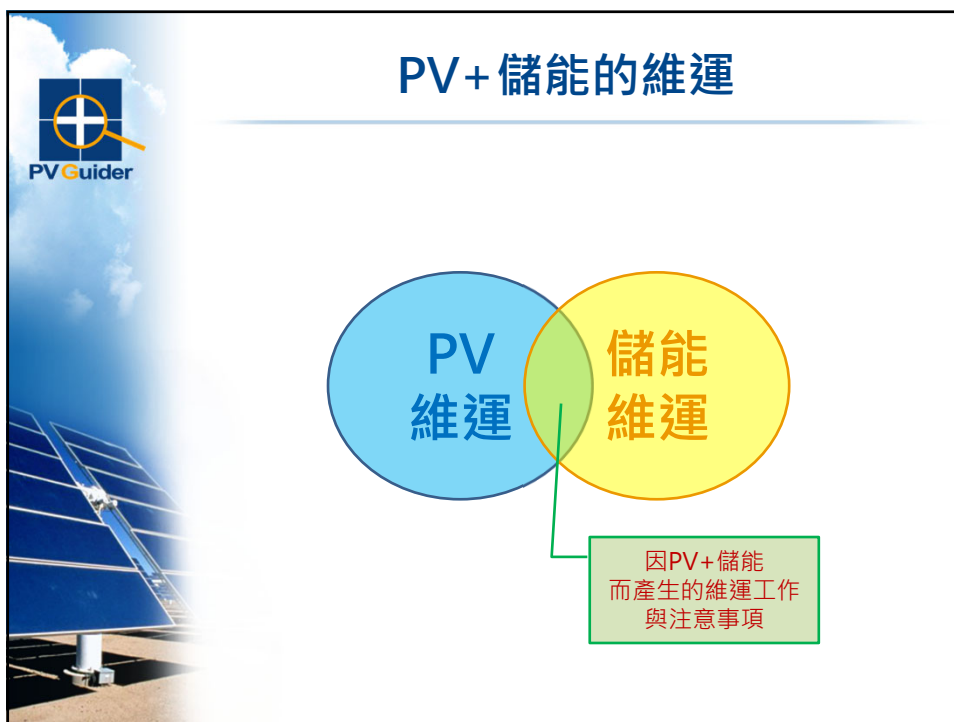
PCS容量與
擴充性

系統控制與
EMS功能

電池系統容量
與擴充性

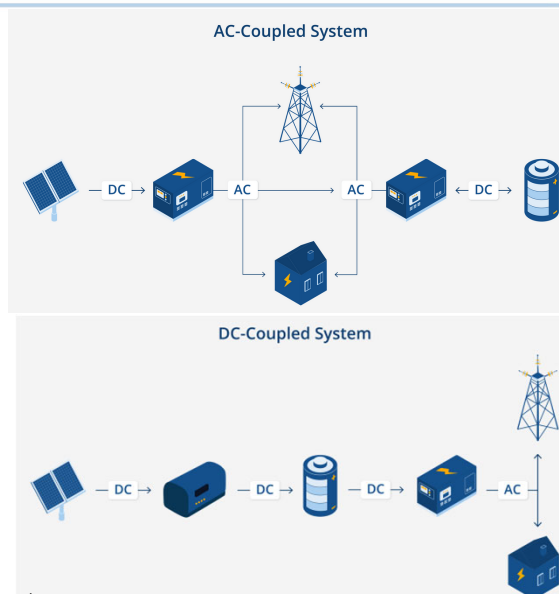
電池系統特性
與種類

資料來源：台達電子・用戶設置再生能源方案選擇 評估與儲能系統介紹



PV與儲能結合的形式

AC/DC coupled system



圖片來源：RatedPower



AC vs DC coupled

| | AC coupled | DC coupled |
|-------------|------------|------------|
| 現有PV系統改造 | V | X |
| 變流器數量/位置的彈性 | V | X |
| 充電來源的彈性 | V | X |
| 成本 | X | V |
| 系統效率 | X | V |
| 可指定電源 | X | V |
| 離網 | X | V |

- 交流耦合系統較適合大型和電網規模電站
- 直流耦合較適合中小型系統



其他系統形式

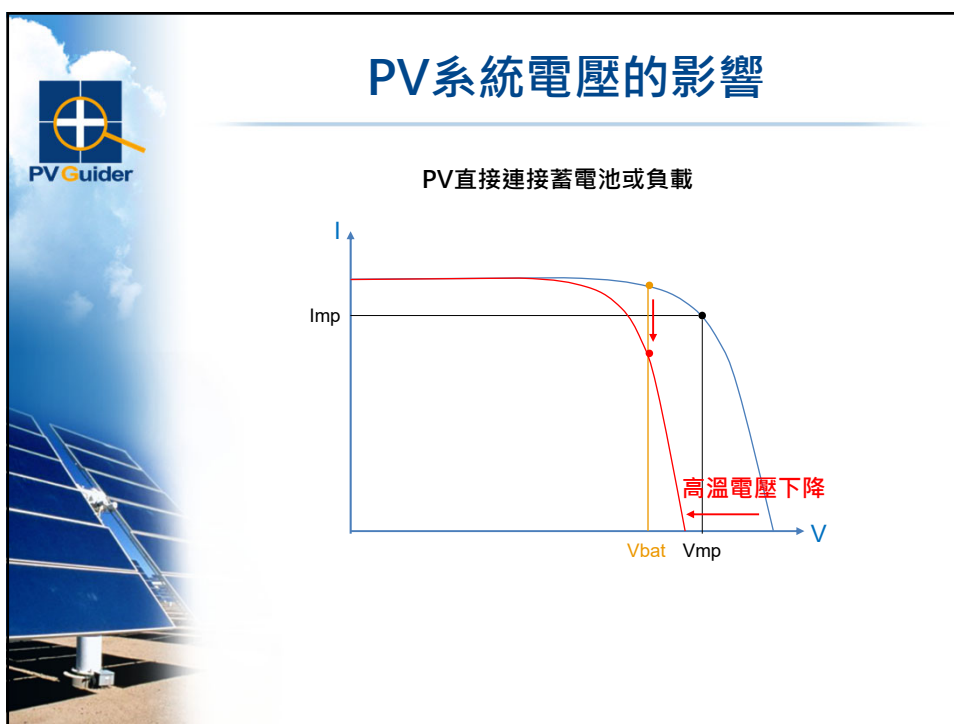
- 結合其他發電設備（柴油、燃料電池等）
 - 可能減少了初期投入成本，但增加燃料與維運成本
 - 其他副作用- 噪音、排煙、臭味、燃料運補
- 直供DC負載（馬達、LED等）
 - 可由PV或蓄電池直接供電給DC負載
- 緊急備用電源
 - 平常不作用，斷電時才切換使用

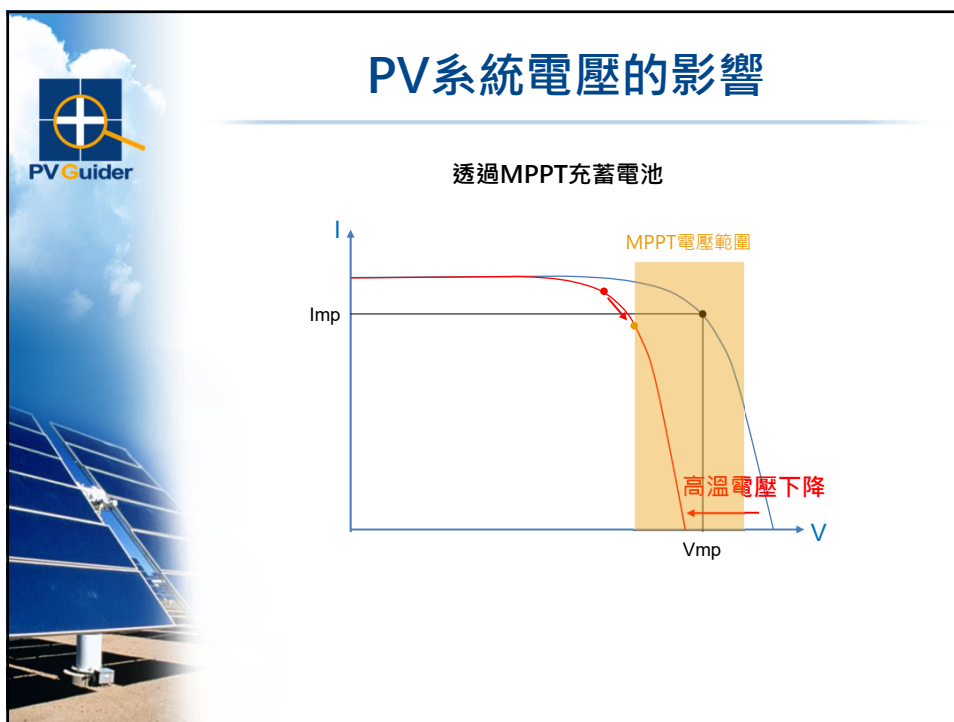
不同系統形式會影響維運規劃與預算



PV電壓電流範圍

- 溫度的影響
- 日照的影響
- 模組缺陷的影響
 - 電流
 - 電壓
 - 串聯電阻
 - 並聯電阻





PV系統問題影響電壓電流

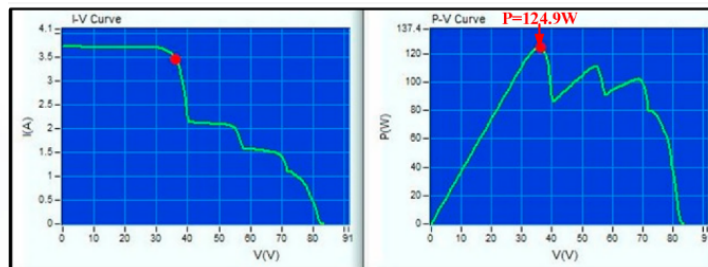
➤ 造成電壓/電流變化的問題

- 遮蔽
- PID
- 嚴重隱裂
- 模組串開路/短路
- Cell串開路/短路
- ...

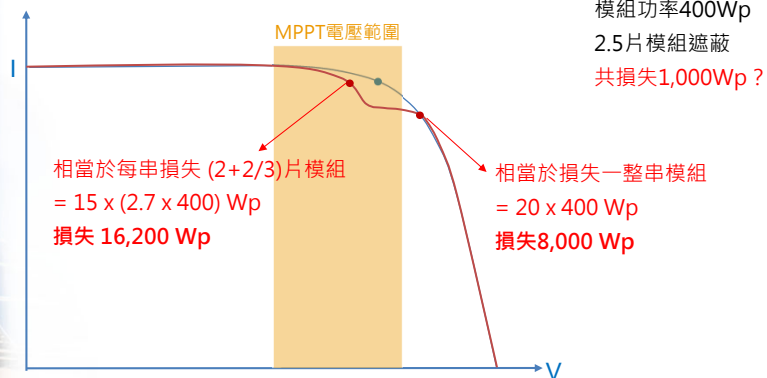
The image shows a close-up of a solar panel with visible cracks and a thermal image of a solar panel array. The thermal image shows a color scale from purple (cooler) to yellow (warmer), with two specific temperature readings: 43.88.1 and 43.50.1.



模組問題對IV曲線的影響



模組問題的影響



模組串併設計：
20串/15併=300片模組



設計與維運的考量

- MPPT範圍不能只考量溫度
- 定期檢查PV系統是重要的
 - 預防性維護包括IR檢測
 - 更積極的檢測包含EL
- 透過監控系統了解運行狀態
 - 不能只看PR，電壓/電流都要注意



儲能系統的維護



蓄電池更換時間

- 在規劃 O&M 支出時，電池更換間隔是一個特殊的挑戰，因為電池可以持續使用多長時間取決於電池的處理方式。
- 更換間隔 \leq “保質期” (shelf life) 或 “浮動壽命” (float life)。

$$R_{\text{batt}} = \begin{cases} \frac{N_{\text{batt}} \cdot Q_{\text{lifetime}}}{Q_{\text{depth}}} & \text{決定於輸出量 (常充放)} \\ R_{\text{batt},f} & \text{決定於時間 (不常充放)} \\ \text{MIN} \left(\frac{N_{\text{batt}} \cdot Q_{\text{lifetime}}}{Q_{\text{depth}}}, R_{\text{batt},f} \right) & \text{決定於輸出量與時間} \end{cases}$$

- 壽命取決於
 - 電池處於低充電狀態的時間 \leftarrow PV發電不穩定性
 - 充電/放電率的大小 \leftarrow PV發電不穩定性
 - 電池環境的平均溫度和極端溫度
- 電池安裝後就會開始損失容量 (有效kWh存儲量)。因此要決定電池更換間隔，必須指定最低儲電量。例如，電信應用可能會指定在測試顯示電池容量為初始容量的 70% 時更換電池。



系統設計對維運的影響

- 系統設計通常決定於補助政策或成本需求。
 - 例如美國有些地方採用投資抵稅補助，會鼓勵先用太陽能發電來充蓄電池。
 - 有些國家政策鼓勵夜間用市電充電，白天跟太陽能一起供電。
- 一個針對其應用而設計的系統可以優化電池的使用，降低矯正措施的頻率 (例如常需要更換過度使用而過早失效的電池)，並延長電池壽命。
- 減少效率損失的第一步是評估預期的系統條件：
 - 評估負載配置
 - 負載與該位置的太陽能資源進行比較
 - 考慮功率需求和持續時間
 - 考慮當地氣候與天氣狀況
- 要注意各元件在不同的使用率下有不同的效率，設備效率隨溫度等環境條件而變化等。例如，需要電池深度放電的系統通常可能需要更多維護，並且會縮短電池的使用壽命，並改變維運預算。



電池環境

- 將電池溫度保持在一定範圍內，通常是電池保固的要求之一
- 電池持續在高溫下，容量下降的速度會顯著增加
- 需要在系統設計階段確定保固、溫度調節成本和容量退化之間的平衡。
- 保持電池通風口暢通也很重要。排氣孔對於冷卻電池和排出某些氣體非常重要。
- PV電站所在位置經常日照充足，植物生長快速，不利溫度控制。



變流器

- **MPPT範圍要與PV系統搭配**，並考慮天候、PV老化的狀況，並適度考慮PV模組損傷故障的影響
- 採用大型變流器系統時，停機時間造成的損失可能非常昂貴。變流器選擇應考慮系統組件故障如何影響整個系統運行並導致收入損失。



儲能性能指標

- Uptime/Availability
 - 計劃內和計劃外停機時間：計劃內或計劃外停機時間是對正常運行時間是否達到預期的簡單初步估計
也可以排除計劃內維護，以將重點放在運營問題上。
 - 相對於預期的停機時間：實際停機時間與預期停機時間的比率是需要考慮的分析。
 - 分解停機時間以進行系統優化。PV的停機也會導致儲能系統的停止運作，因此**維護計畫要整合規劃**。
- Energy Delivery
 - 追蹤每年能量輸送量，可用於財務和運營報告。



儲能性能指標

- Cycling and Depth of Discharge
 - 電池壽命主要取決於 DOD、循環次數、充電速度以及工作溫度。保固通常會有使用規定，以保持符合承保範圍。
 - 放電深度：DOD 可以是隨時間變化的平均百分比，並帶有單獨的指示器，用於觀察放電變化以及最深放電 ← **PV發電不穩定性**
電池會限制最低充電狀態，因此應配置監控系統和設定限制。
 - 循環：循環通常定義為電池放電然後再充電的次數。有些更複雜的循環計數方法可以為電池性能評估提供更多資訊。 ← **PV發電不穩定性**
有些應用中電池每天循環不到一次，因為它們從 PV 充電並在高峰期放電。
循環指示可以是總數、模型或供應商建議值的百分比。若每個循環中只進行了部分充電，也是重要資訊。某些電池還需要定期均衡充電（ex: 鉛酸）以確保適當的使用壽命。
 - 總壽命：構建系統模型估計電池的壽命。模型的輸入包括負載曲線、輻照度數據、系統大小、效率特性和退化率假設等 ← **PV發電不穩定性**。電池系統的預期總壽命在整個運作期間不斷變動，有助於預算管理和預防性維護計劃



儲能性能指標

- **Energy Availability/Capacity Degradation**
 - 監控並診斷容量下降的根本原因非常重要。
 - 對於鉛酸電池，在充電和放電循環期間監測電壓是比較電池組相對健康狀況的有效方法。比較電池之間的電阻變化也可以顯示不均勻退化的跡象。
 - 對於鋰離子電池，電池電阻的增加可能表示電池容量減少，這是由於電池內的電化學退化造成的。
 - 電池過早退化通常是與充電/放電方式、溫度偏離有關。
 - 溫度是了解電池健康狀況和性能的重要資訊。在量測時要將讀數與溫度同時紀錄。



維運計畫

- 電池壽命終止規劃- 包括儲能系統容量穩定下降的規劃，以及電池不符合預期時的應變計劃。**考慮電池壽命末期的儲能需求**，設定容量不足時更換電池的準則。在實際應用中，有時電池的使用時間可能只有製造商建議值的一半。
- 確保**充電控制**符合所安裝電池的類型和配置，並**根據溫度對充電率進行修正**。
- 進行需求控制（負載控制）以**確保遵守電池放電率和 DOD 的限制** - 可能需要削減負載以防止低 DOD（例如，低壓斷開）。
- 使用**溫控裝置**將電池保持在指定的溫度範圍內，並確保氣流有效地從電池中帶走熱量。
- 不要將高阻抗的舊電池與低阻抗的新電池混合在同一串中，這會導致高阻抗電池產生更高的電壓和老化，形成惡性循環。**用新電池更換故障電池會更快地耗盡剩餘的舊電池。**



能源管理

- 能源管理系統決定何時充電/放電，相當大程度決定於電價政策。通常在設計階段就決定了能源走向的順序與邏輯。
- 但是PV系統的發電受限於天候、裝置品質、元件老化等因素，可能導致發電結果與當初設計不同。維運時需特別**注意能源管理系統的運作是否符合需求**，才能持續達到最佳效益。





預防性維護

- 預防性維護的目的在維持系統輸出，**防止發生更昂貴的故障**，並延長PV和儲能系統的使用壽命。
- **預防性維護必須與財務成本達成平衡**，目標是在系統生命週期內管理定期維護成本、收益和現金流之間的最佳平衡。
- 存儲系統的設計要**考慮定期維護成本和收益**。例如，在某些系統中，最好將電池組構建為多個獨立的串，這樣就可以在個別串上進行維護，而無需關閉整個電池和所有與儲能元件。
- **監控數據精細度**也與預防性維護成本有關。例如，即時電池級數據可識別電池串或電池組級別不可見的問題，以進行預防性維護。




電池容量衰減


- 電池的衰退在很大程度上取決於使用情況、溫度和保固期。
- 現場應用中的電池壽命可能只有製造商規格的一半，這很可能是由於過熱，或長時間處於低電量狀態（特別是跟PV結合的應用），造成衰退比一般應用更快。
- 除了設計上造成電池長期處於低電量，PV系統的部份故障問題也會導致電壓/電流下降，使電池無法充電，也會造成電池容量快速衰退。



電池使用壽命終結

- 對於可靠性很重要的應用，下降到 80% 的電池可能會被更換，但在許多應用中，電池可能會繼續工作直到 60% 或更長的時間，只要用戶可以忍受容量減少，並且單個電池狀態的可變性不會導致災難性故障。
- 電池的實際容量可以通過充電/放電測試來測量，但這需要在測試期間中斷電池的運行。
- 循環壽命的另一種測量方法是基於電池的內阻。在這種情況下，循環壽命定義為電池在其內阻增加到指定數值之前（例如初始值的 1.3 倍）可以執行的循環次數。
- 訂定電池系統規格時，通常是指定壽命結束時所需的容量，而不是新電池時的容量。





儲能系統健康狀態SOH

State of Health (SOH)估算：

- SOH是一種“指標”，而不是絕對值的量測。用來反映電池的狀況，及其與新電池相比的能力比值。
- SOH是一種主觀估算，測試者根據自己的一套規則，從各種電池性能參數計算得出。但使用不同測試設備和方法進行的估計，彼此之間可能無法比較。
- 也可以用電池使用歷史記錄來估算 SOH，可用來評估電池狀態，甚至驗證保固索賠。
- SOH必須與電池初始性能比較，因此需要保存電池初始測試數據。
問題：供應商提供的初始數據可靠嗎？
- 實務上，有些人用單次測量電池阻抗或電池電導來估算 SOH。
為了追求準確性，有些主張測量**多個電池參數**，並根據這些因素的組合來估計 SOH。例如容量、內阻、自放電、充電能力、放電能力、電解質的流動性和循環計數等。



蓄電池工廠驗貨/稽核

檢驗重點：

- 充放電測試
 - 確認電池容量符合規格，確認供應商數據正確性。
 - 使用模擬應用情境的負載進行測試
- 電性測試
 - 確認電池性能符合規格，確認供應商數據正確性。
 - 由電性分佈觀察製程穩定性
- 認證符合性
 - 材料符合性。
 - 製程與設備的符合性
 - 確認管控品質的能力

建立未來估算SOH的基礎



結論

- PV系統發電不穩定，所以需要搭配儲能系統。但發電不穩定也回過頭來影響儲能系統的壽命、能源管理、維運規劃
- 透過串併聯，PV模組的功率損失可能會被放大數十倍
 - PV电站檢測。
 - PV系統監控。
- 透過驗貨、驗廠，可提昇供應商提供測試結果的正確性
 - 儲能市場正處於「西部拓荒時代」
 - 性能不足事小，安全性問題至關重大



Contact us

Dr. Jay Lin
Mobile : +886 989-832-421
Email : Jay@pvguider.com

網站 : www.PVGuider.com
Website: English.PVGuider.com

Keep Green Gold Shining!