

出國報告（出國類別：實習）

# 智慧電網於變電所規劃、建置及應用與 技術研習報告

服務機關：台灣電力公司

姓名職稱：莊易儒 六等電機工程師

派赴國家：美國

出國期間：108.12.09~108.12.18

報告日期：109.02.03

# 目 錄

	頁次
壹、實習計畫緣由及目的.....	4
貳、出國行程 .....	5
參、研習心得 .....	5
一、儲能電池簡介.....	5
二、參訪過程介紹.....	11
肆、實習心得與建議事項 .....	25
伍、參考文獻 .....	27

## 圖目錄

圖 1 儲能系統功能.....	6
圖 2 儲能系統基本架構圖.....	7
圖 3 PQ 控制示意圖.....	8
圖 4 VF 控制示意圖.....	8
圖 5 交流系統傳輸模式.....	9
圖 6VSG 控制示意圖.....	9
圖 7 特斯拉公司.....	11
圖 8 參訪特斯拉總部照片.....	12
圖 9Megapack 照片.....	13
圖 10 逆變器模組箱構造圖.....	16
圖 11 電網頻率響應圖.....	19
圖 12Gigafactory 建設現場圖.....	20
圖 13 參訪 Gigafactory 照片.....	21

## 表目錄

表 1 出國行程表.....	5
表 2-1 電氣規格.....	17
表 2-2 機械與安裝規格.....	17
表 2-3 管理規範.....	18

## 壹、計畫緣由及目的

能源是文明進步不可或缺的原動力，因應美加大停電、全球氣候變遷及日本福島事件，全球社會加速思考能源及電力議題，因此在這樣的背景之下，發展離岸風力、太陽光電等再生能源來代替傳統的石化能源發電，是目前世界各國進行電力建設時所優先考量的方向，但再生能源目前發展還不穩定、加上傳統網路連接方式無法符合發展需求，所以世界各國在進行現有電網的發展計劃時，就將智慧電網的建置與技術開發列為優先發展方向。

智慧電網的發展屬於「國家綠能低碳總行動方案」標竿計畫方案之一、其原本的推動方向為偏重智慧電表的硬體建設，但在歷經電業法修法、815大停電，以及為符合未來能源轉型後的發展與穩定供電，現行之智慧電網的發展方向已朝向解決問題方面進行，而在能源轉型的過程中一個比較大的影響就是會有很多再生能源進入現有的電網系統，目前的太陽能發電與風力發電都屬於間歇性能源，為了要穩定電網系統的頻率控制，發展與應用相關的儲能設備就顯得十分重要，藉由分散式的儲能設備可提高再生能源佔總發電量的比例，並加強電力品質。儲能的總類及方式非常多，不同的儲能元件有其較適合應用場合，但隨技術演進與產品價格，其應用領域將隨時改變。

美國舊金山特斯拉公司除了發展車輛製造外，也發展儲能設備，值得我們學習，因此這次實習選擇到美國舊金山特斯拉公司去參訪。

本次出國案件係應用108年度出國計劃第096號，出國核定書--電人字第1088132475號函。

## 貳、出國行程

表 1 出國行程表

時間	地點	工作概要
108年12月9日	台北桃園機場 → 美國舊金山國際機場→	往程  (台北→舊金山)
108年12月11日~12月16日	美國舊金山特斯拉總部及內華 達州之雷諾工廠	智慧電網於變電所規 劃、建置及應用與技術 研習
108年12月17~12月18日	美國舊金山國際機場  →台北桃園機場	回程  (舊金山→台北)

## 參、研習心得

首先，我要感謝公司及主管給我這個機會到美國舊金山特斯拉公司實習，除了和他們技術人員討論外，也到現場參訪，實際觀摩設備裝置及運作情形，讓我對鋰離子電池的應用有更進一步的了解，接著進入主題「智慧電網於變電所規劃、建置及應用與技術研習」之研習心得。

### 一、 儲能電池簡介

#### 概論

儲能系統 (Energy Storage System, 簡稱 ESS) 是一個可完成儲存電能和供電的系統，具有平滑過渡、削峰填谷、調頻調壓等功能。可以使太陽能、風能發電平滑輸出，減少其隨機性、間歇性、波動性給電網和用戶帶來的衝擊；通過離峰時段充電，尖峰時段放電可以減少用戶的電費支出；在電網斷電時，能夠孤島運行，確保對用戶不間斷供電。其功能依裝置地點可區分如下圖 1. 所示：

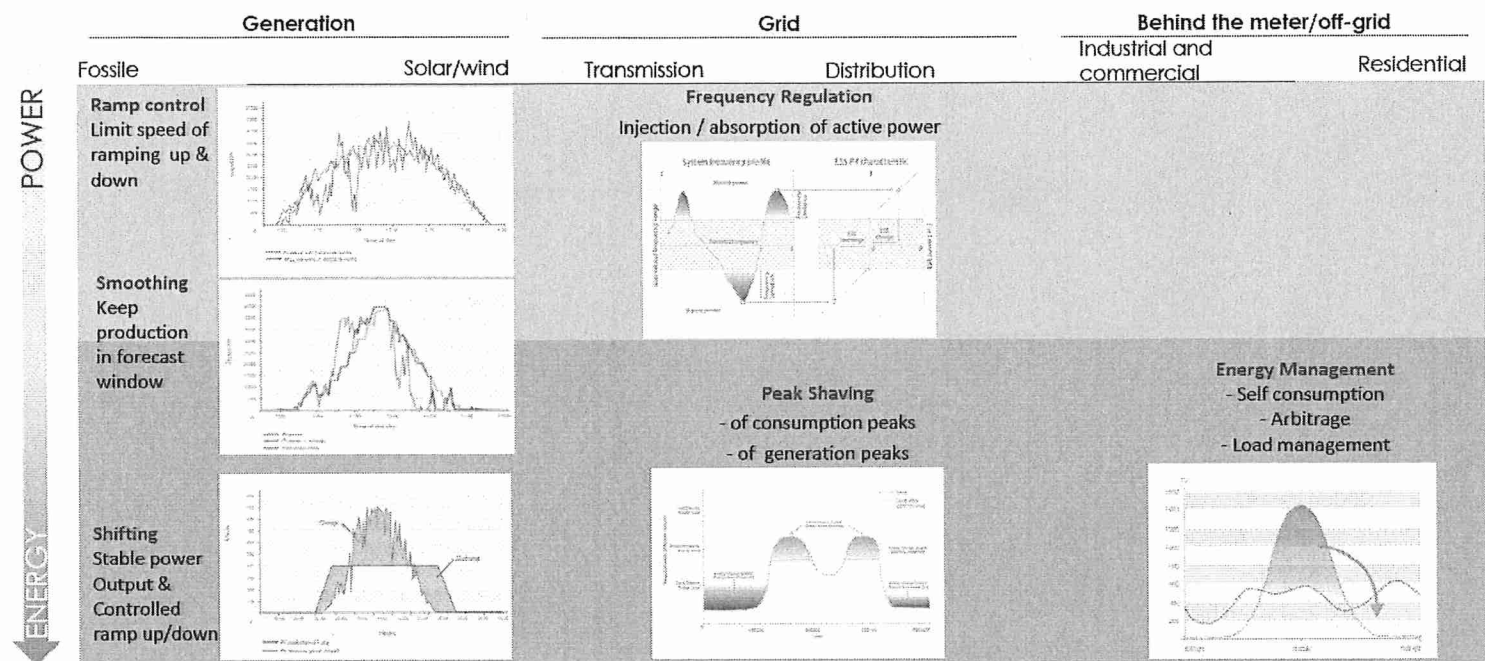


圖 1. 儲能系統功能

1. 裝置在電源端(Generation): 可控制太陽能及風力發電之升降載 (Ramp control)、控制電源產出符合預測(Smoothing)及藉由充放電做能量轉移(Shifting)，以確保電源輸出穩定。
2. 裝置在系統端(Grid): 藉由吸收或釋放實功率以調節頻率(Frequency Regulation)、藉由能量轉移作為尖載峰值補償(Peak shaving)。
3. 裝置在用戶端(Behind the meter): 自我負載及能量管理(Energy management)。

## 儲能系統組成與管理

儲能系統主要由儲能單元和監控與調度管理單元組成，儲能單元包含儲能電池組 (BA)、電池管理系統 (BMS)、儲能變流器 (PCS) 等；監控與調度管理單元包括中央控制系統 (MGCC)、能量管理系統 (EMS) 等，設備架構如圖 2. 所示。其中 PCS(Power Conversion System) 為直流/交流轉換器，具備控制功能調整運轉模式與輸出(入)，並接受管理系統命令，另外附屬設備包含電纜、開關設備、變壓器與保護電驛等。

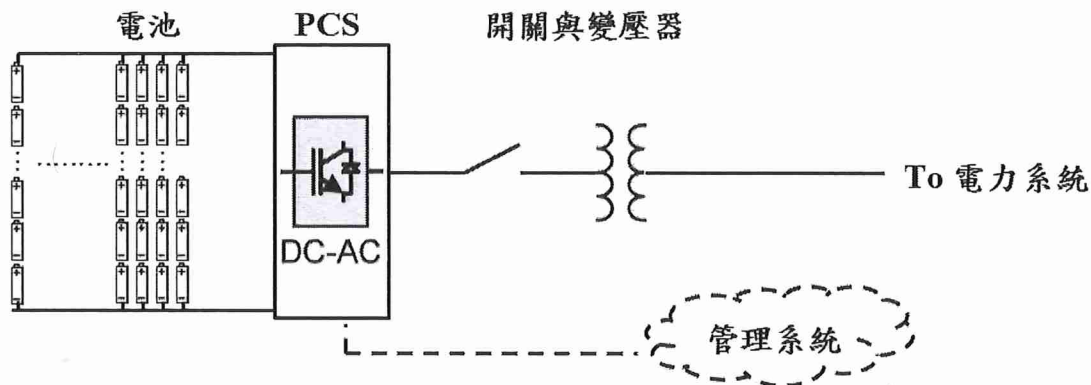


圖2. 儲能系統基本架構圖

## 儲能管理系統

儲能管理系統的技術主要包含對儲能變流器的控制、對儲能電池的管理，以及監控與調度管理單元對系統能量合理調度。

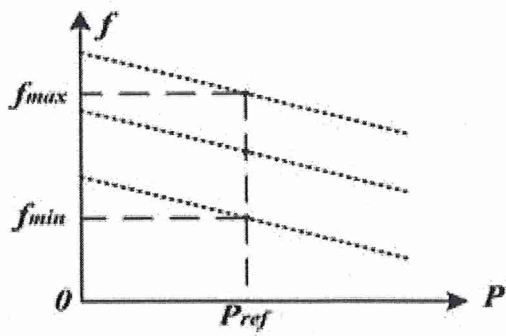
### A. 儲能變流器PCS

儲能變流器又稱功率變換系統Power Conversion System (PCS)，是儲能單元中功率調節的執行設備，在監控與調度系統的調配下，實施有效和安全的儲電和放電管理。儲能變流器可控制蓄電池的充電和放電過程，進行交直流的變換。PCS由 DC/AC雙向變流器、控制單元等構成，PCS 控制器通過通訊接收後台控制指令，根據功率指令的符号及大小控制變流器對電池進行充電或放電，實現對電網有效功率及無效功率的調節。PCS控制器可透過Modbus TCP、DNP3、Rest API、CAN接口與BMS通訊，獲取電池組狀態信息，可實現對電池的保護性充放電，確保電池運行安全。目前常用的變流器控制策略有PQ控制、VF控制、下垂控制、虛擬同步機控制四種方式。

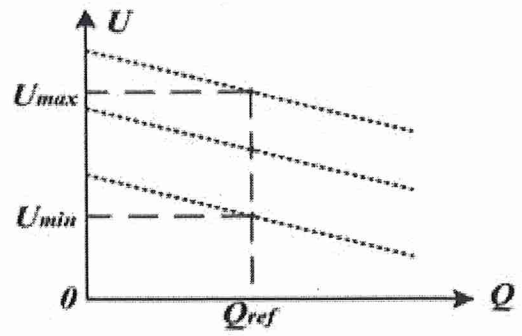
#### (1) PQ控制

PQ控制是指恆定有效功率及無效功率控制，控制儲能變流器輸出的有效功率和無效功率等於其參考功率。PQ控制是新能源併網最常用的控制方式，只有在儲能系統併網模式下才可能運用，其控制原理圖如圖3.所示。





(a) 恆定有效功率控制

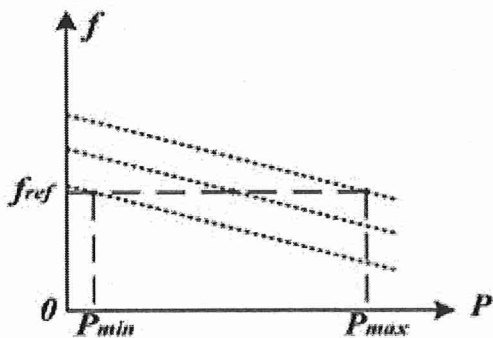


(b) 恆定無效功率控制

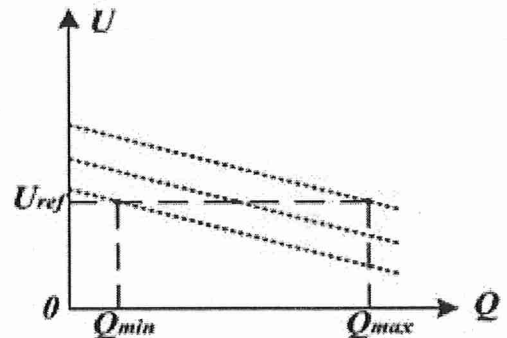
圖3. PQ控制示意圖

(2) VF控制

VF控制是指儲能變流器維持輸出電壓和頻率不變；而輸出的有效功率和無效功率由負荷決定，其控制原理如圖4.所示。不論輸出的有效功率和無效功率如何變化，VF控制的儲能變流器自動調整運行曲線，滿足負荷隨機變化，保持電壓頻率恆定，因此，其外特性為電壓源。



(a) 恆定頻率控制



(b) 恆定電壓控制

圖4. VF控制示意圖

VF控制常用於微網的孤島模式，支持電網的電壓和頻率，有利於電力系統的平衡。

(3) 下垂控制

下垂控制是一種無互聯線逆變器並聯均流的控制方法，下垂控制變流器模型可以簡化為如圖5.所示交流電源：

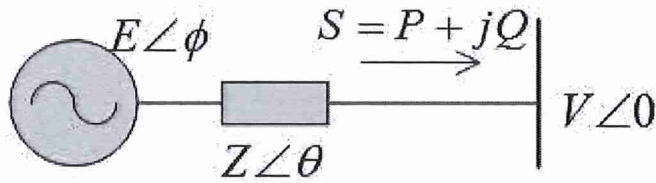


圖5. 交流系統傳輸模式

當PCS輸出阻抗主要呈現電感性時，其輸出有效功率 $P$ 與相角差成正比，無效功率與電壓差成正比，因此可以通過調節變流器輸出電壓的相位和差值來調節逆變器輸出的有效功率和無效功率。

#### (4) VSG控制

虛擬同步機（VSG）控制是一種基於同步發電機暫態模型的新型微電網逆變電源控制方法,如圖6. 借鑑同步發電控制中調速器和勵磁調節器的控制方法來設計變流器的控制器，使分散電源的輸出特性類似一個同步發電機系統，對電力系統具有更加友好的併網特性，便於使用電力系統中成熟的方法對分散電源進行管理調度，同時外特性接近同步機，有利於電力系統的建模分析，避免了現在併網變流器模型多樣給電力系統分析帶來的困難。

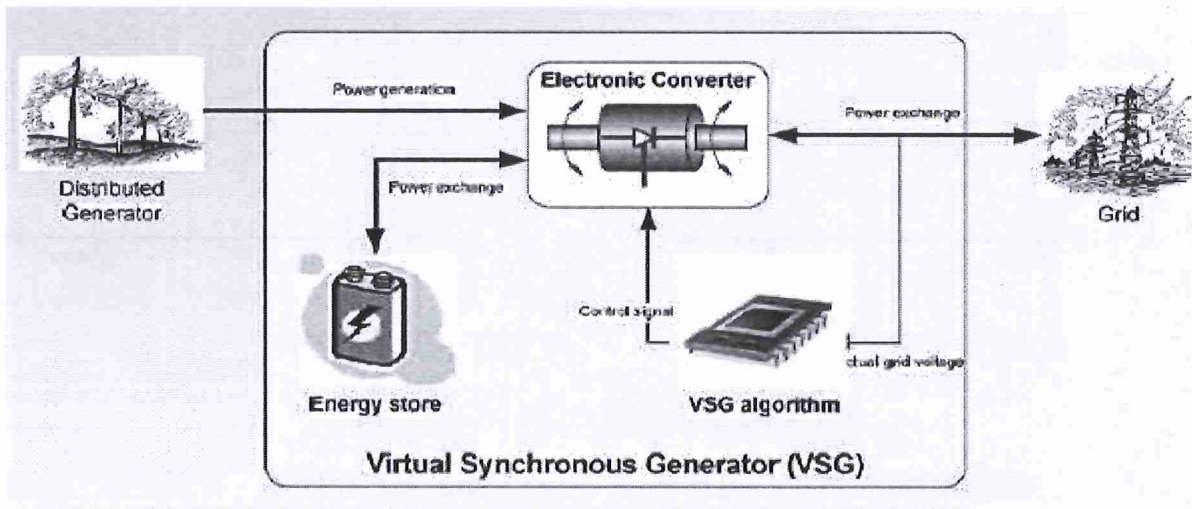


圖6.VSG控制示意圖

儲能變流器具有雙向逆變特點，既能向負載供電，作為系統的調節和支撐單元，又能作為負載吸收能量，並具備緊急電源（UPS）功能。儲能變流器既支持併網運行模式，也可以脫離大電網在孤島模式下運行。併網運行時，用戶可以將

變流器設置成上述所說的PQ控制、下垂控制或VSG控制模式，此時變流器可以向負載供電，也可以給電池進行充電。當檢測到電網停電，系統會自動切換離網孤島模式，離網時的變流器可運行在VF控制、下垂控制或VSG模式，此時儲能系統作為主電壓源為貨櫃所在本地負載提供穩定的電壓和頻率支撐，確保負載系統安全穩定運行。

## 電池管理系統

電池管理系統（BMS）安裝於儲能電池組內，負責對儲能電池組進行電壓、溫度、電流、容量等信息的採集，即時狀態監測和故障分析，同時通過CAN總線與PCS、監控與調度系統聯機通信，實現對電池進行優化的充放電管理控制。系統每個電池組各自配一套電池管理系統，能達到高效率地使用每個儲能電池及整體合理調配的目的。

BMS具有電池電壓均衡、電池組保護、熱管理、電池性能分析診斷等功能。BMS能夠即時測量蓄電池模組電壓、充放電電流、溫度和單體電池端電壓、並計算得到的電池內阻等參數，通過分析診斷模型，得出單體電池當前容量或剩餘容量（SOC）的診斷，單體電池健康狀態（SOH）的診斷、電池組狀態評估，以及在放電時當前狀態下可持續放電時間的估算。

## 監控與調度管理系統

監控與調度管理系統是儲能單元的能量調度、管理中心，包含中央控制系統（MGCC）和能量管理系統（EMS），負責收集全部電池管理系統數據、儲能變流器數據及配電櫃數據，向各個部分發出控制指令，控制整個儲能系統的運行，合理安排儲能變流器工作；系統既可以按照預設的充放電時間、功率和運行模式自動運行，也可以接受操作員的即時指令運行。

其中，能量管理系統是儲能系統的大腦，主要實現能量的合理調度，根據電網峰谷特點，實現微網的經濟運行，具有運轉優化、負載預測、發電預測、電源調度、潮流控制等功能。

## 二、 參訪過程紀要

參訪美國舊金山特斯拉公司(Tesla)

## (一) 特斯拉公司(如圖 7)簡介



圖 7 舊金山特斯拉公司

特斯拉（英語：Tesla Inc.），前身為特斯拉汽車，是美國最大的電動汽車及太陽能板公司，產銷電動汽車、太陽能板及儲能設備。公司於創立時命名為「特斯拉汽車（Tesla Motors）」，是用來紀念物理學家尼古拉·特斯拉（Nikola Tesla）。在投入市場十年後，特斯拉無論在品牌上還是汽車集團裡，都成為 2018 年世界最暢銷充電式汽車公司<sup>(1)</sup>。

2016 年 11 月 17 日特斯拉汽車收購馬斯克的另一家公司：太陽能發電系統供應商 SolarCity。2017 年 2 月，特斯拉汽車亦正式更名為特斯拉（Tesla Inc.），進一步把電動車業務，拓展到住宅及商業太陽能蓄電系統領域，打造為清潔能源企業，向客戶提供端到端(是從客戶需求端出發，到滿足客戶需求端去，提供端到端服務，端到端的輸入端是市場，輸出端也是市場)的清潔能源產品。2019 年 2 月 4 日特斯拉以換股方式斥資 2.18 億美元收購 Maxwell，其核心技術有乾電池電極技術和超級電容驅動的能源儲存業務，隨後 Maxwell 將與特斯拉的一家子公司合併，成為特斯拉的全資子公司，不過鋰電池仍然會由松下進行製造<sup>(1)</sup>。

## (二)參訪過程

本次在合作廠商華城電機的陪同下一同參訪位於加州舊金山灣區帕羅奧圖的特斯拉總部，首先到特斯拉公司1樓進行訪客的參訪身份登錄後就由本次負責接待的Nate Underwood與來自上海的Siyi Zhang簡介特斯拉公司及其相關產品之應用(如圖8)，接著到總部鄰近工廠由現場主管介紹大型蓄電廠電池(Megapack如圖9)



圖8. 與Tesla接待人員合影

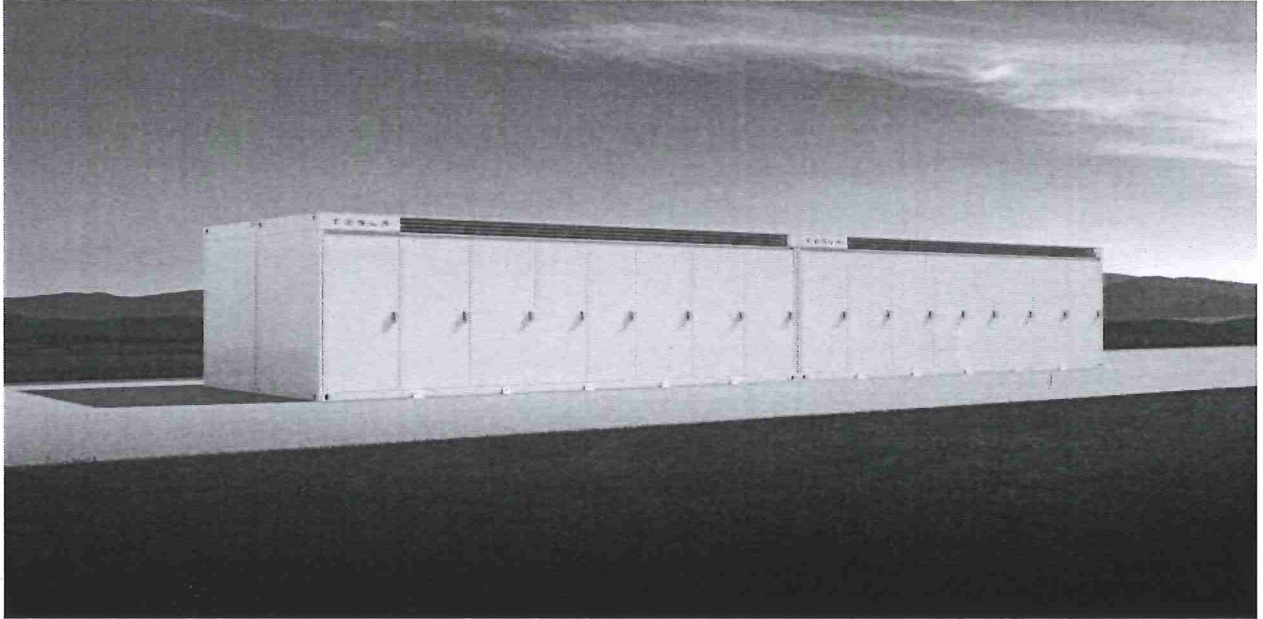


圖9. (Megapack)

大型蓄電廠的電池(Megapack)可擴展至任何工廠對於空間、功率、及能量能達到2MWh~1GWh的要求，Megapack是在考量成本、性能及容易安裝下的最優化產品、同時包括15年標準系統的保固。第一部已於2019後期運轉，Megapack是完全整合的系統，每一部Megapack的外殼都包含以下幾個元件，智慧變流器、交流主斷路器、電池模組、散熱系統、特斯拉工廠的管理者、低電壓介面面板。此轉換系統設計的目的是在不犧牲效能或可靠性下擁有此產業最快速、最低成本的安裝<sup>(2)</sup>。

下面列舉並簡單敘述特斯拉儲能設備的特色及優點：

### **優異的智慧軟體管理系統具備預測及優化電力系統功能**

特斯拉發展出先進的軟體 Opticaster，Opticaster 是 TESLA 在儲能設備的管理系統，其設計目標是用來最大化業主的使用利益。目前這個系統在全球超過 100 個商用或工業用的 Powerpack 的建置案裡，因此累積了大量的現場數據經驗，包括在連結電網或停電等不同的情況。再加上 TESLA 全球電動車內的電池使用資訊，使得 TESLA 在電池管理領域裡的經驗無人能比。這些資料都是持續優化儲能系統的基礎<sup>(2)</sup>。

建置儲能系統的不同階段，Opticaster 有不同功能，在初期，它可以建議最

佳設置儲能容量，來最大化財務收益。而在運轉後，它可預測及優化電力系統的分配來降低電費，並同時維持供電。Opticaster 會從「預測」、「優化」及「即時管理」三個方向來使儲能系統發揮最大功能。而特斯拉的系統可以隨時連網來更新軟體，且若日後有較高容量的需求，只要增加機櫃即可而不需額外設立貨櫃<sup>(2)</sup>。

## 提高系統供電穩定度與安全性

特斯拉所有電池模組各自獨立，任何一模組損毀，其他模組皆可正常使用。其儲能系統提供 10 年保固，在每天充放一次的情況下，啟用後 10 年仍保有 80% 能量儲存能力。另外其使用之電池與 TESLA 的車輛相同，在全世界上已有不同環境的測試經驗，所以更確保電池的耐久使用<sup>(2)</sup>。

在安全性上儲能設備直接連接到 TESLA 的伺服器，提供了 24 小時的遠端監控與及時預警的功能，且特斯拉戶外型的儲能系統，是把電池放在防火的金屬殼內，相較於傳統的貨櫃系統來說可以減少電池間發生火災時的連燒事件，而特斯拉公司的 Megapack(蓄電池系統) 全部皆為內部維修，因為不是貨櫃式，所以其電池本身的維修僅限於 Pod 的拆卸和更換，且維修時不用從走道移動或操作設備，因此降低了維修時間與人員的風險、其產品在工廠內已經預先安裝與測試所以沒有直流接線的風險、另外還有獨立之高壓電連接、電弧等級，在電池組的產品認證上也通過相關的電氣標準<sup>(2)</sup>。

## 增進綠色能源之利用

使用特斯拉的戶外儲能系統因為佔地面積較小，可保留較多比例的綠地，並且在其合約結束後提供回收服務，而特斯拉的儲能電池可以連接充電座與計費系統，藉由風能、太陽能等再生能源產生的電可以給電動車使用，藉此達成綠電循環的商業模式<sup>(2)</sup>。

## 節約能源與成本的設計

特斯拉的戶外儲能系統採用液態冷卻系統，其 AC-AC RTE 可高達 89%，相較於其他需要空調系統的貨櫃型儲能設備來說節省了更多的能源，而使用水來滅火與降溫更是節省消防成本的設計<sup>(2)</sup>。

## 先進的併網型電力調節系統(PCS)

TESLA 所研發之雙向逆變器(bidirectional inverter)擁有目前世界上最新的科技，能夠完全整合儲能系統之功能。藉由獨家高效能的轉換技術，此 TESLA 逆變器能史無前例地達到轉換效能峰值達 99%及全載效能達 98.5%，此效能可使在頻率切換時以較低的聲響噪音及減少應力。

TESLA 逆變器是以模組化的架構設計(如下圖 10)，方便在不同系統規模需求下，可以彈性地從 1 組加到 10 組逆變器於一個櫃體中。非相互隔離的逆變器的設計讓多個逆變器可以同時平行處理大量的需求。除此之外，每個逆變器模組都有獨立的 AC 及 DC 的安全保護裝置及 AC 接觸器，若其中任一模組發生問題，其他的逆變器仍能正常運作，因此可達成高度復原性，最大化可運轉的時間。TESLA 逆變器也能自動調整以分攤功能下降或損壞的模組。

TESLA 逆變器符合 UL 1741、IEEE 1547、Rule 21、EU 以及其他國際的網電法規，也達到 IP66/NEMA4 的防塵防水標準。另一個 TESLA 逆變器的優勢是整合了直流接線箱，讓現場佈線更加容易，只需較小的基地面積及減少系統損耗。和 Powerpack 的液態冷卻系統一樣，TESLA 逆變器也採取類似水冷作法，可達成增加能源密度，更高的效率及讓零件的生命週期更長，此冷卻系統也包括備用的風扇，代表在最差環境下，逆變器仍能運作如常。

TESLA 逆變器的設計上有許多功能，可在下列不同的應用中發揮能力：

- 全黑啟動(Black-Start)：可升壓至使用者所設定的值
- 快速升壓(Fast ramping)：可以少於一秒的時間內完成，包括完整的控制迴路
- 可調式過載電流管理
- 包含過頻與低頻時間保護開關以及低電壓及過電壓保護開關
- 能在 Volt/VAR，Volt/Watt or VRT 事件中進行支援。
- 在不對稱網路下仍可以正常運作



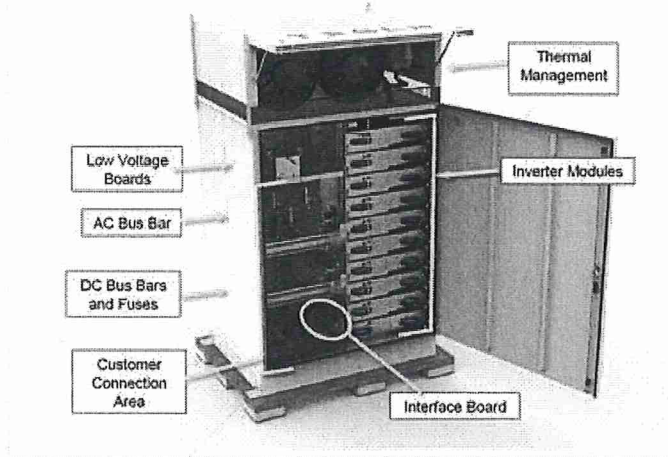


圖 10. 逆變器模組箱構造圖<sup>(2)</sup>

## 產業領導的可信度

從硬體設計與軟體資源發展做縱向整合，Megapack 在品質上提供了重大的可信度，這些設計的優點以有效率的冷卻系統來展現，因此 Megapack 提供優越的冷卻系統，且模組設計的直流轉換器可以在部分失去功能情況下仍維持系統的運作而不受影響<sup>(2)</sup>。

## 最低成本的工程總承包 ENGINEERING PROCUREMENT, AND CONSTRUCTION(EPC) COSTS

Megapack 運送到現場時已經完全地組裝完成，並預先測試過，因此提供給客戶世界上最快速的儲能規模設備安裝，一旦運送至現場，Megapack 只需要設備固定、連接交流線材與通訊電纜。EPC 的效益是很清晰的，目前沒有其它的設備可以提供如此簡化的程序<sup>(2)</sup>。

## 全球服務的足跡

身為縱向整合的製造與供應商，特斯拉對於所有 Megapack 的元件提供完整的服務與保固。特斯拉運作 1+GWh 的團隊提供有價值的數據顯示出維護的型號與效能保證，全部的 Megapack 系統都有 15 年的標準保固，另外可以在某些特定的案子上可以選擇有 20 年的容量維護合約<sup>(2)</sup>。

## Megapack 的產品規格

下面的特斯拉產品規格是標準品規格<sup>(2)</sup>

### 電氣規格

表 2-1 電氣規格

直流電壓	400-480伏特，交流3相
標稱頻率	50或60赫茲
充放電的持續時間	2小時或4小時
每個Megapack <sup>1</sup> 的交流功率	2hr:1257kW/2514kWh 4hr:739.5kW/2958kWh
變流器大小(交流480伏特)	2hr:可擴充至1540kVA，4hr:可擴充至910kVA
往返效率	2hr:87.0%，4hr:90.5%
<b>峰值電壓</b>	介面:直流耦合 最大工作電壓:直流1500伏特 最大工作電流:直流2390安培Imp

### 機械與安裝規格

表 2-2 機械與安裝規格

防護等級	IP66/NEMA 3R(主外殼)
尺寸	寬:7125公釐 長:1600公釐 高:2516公釐
最大重量	25,400公斤
運轉操作溫度	-30°C~50°C

### 管理規範

表2-3管理規範

鋰離子元件	NRTL listed to UL 1642
system	NRTL listed to UL 1973,9540,1741 SA IEEE1547 Compliant to grid codes and safety standard of all major markets.

通訊協定:採用Modbus TCP、DNP3、Rest API。

## 電能儲存系統

特斯拉的能量儲存系統可以改善電網的頻率響應，電力系統的頻率響應會因為慣性響應、初級頻率響應、及二次頻率響應等三種發電端與負載端之間突然的不匹配的響應狀態而造成偏移，特斯拉的能量儲存系統可以藉由提供三種形式的頻率響應來改善電網的頻率穩定度<sup>(2)</sup>。

### 慣性響應

因為旋轉源在電力系統內的立即的響應而干擾所造成的電網頻率波動即為慣性響應，電力系統內部的慣性響應會在干擾後限制頻率改變的速度，因此會在其它控制電網內的機械反應前影響系統所能達到的最大的頻率偏移，電網如果是比較快速的動態頻率、大的動態偏移和比較低的頻率穩定度通常是具備較低慣性。

在傳統的電網上，同步發電機的渦輪質量旋轉慣性會提供慣性響應。變流器介面的風力與太陽光電等再生能源因不產生慣性響應，所以就降低了電網整體的慣性響應，因此藉由增加再生能源在電網的能量，提供快速的頻率響應以平衡低慣性就顯得很重要，特斯拉儲存系統可以模仿傳統發電機的慣性響應以支撐電網運轉時的穩定性<sup>(2)</sup>。

### 初級頻率響應

初級頻率響應是當頻率偏移後幾秒內就會自動啟動的控制機制，而且通常能維持至少30秒，初級頻率控制的設計目的是要確保電網頻率在受到大規模的干擾後能維持在可接受的限制值內，其會在所有電網內的資源都因為干擾而決定了最大頻率偏移後提供，然後電網的計畫與操作人員力維持此最低值高於設定的低頻

卸載值以避免系統斷電<sup>(2)</sup>。

## 二次頻率響應

二次頻率響應是當初級頻率響應讓系統的狀態與頻率偏移量穩定後，把電網頻率回復到可接受目標值的控制機制，二次頻率響應通常會在受到干擾後30秒內啟動並且可以維持30分鐘，通常是透過資料採集與監控系統由電網操作者在區域內做調度，主要是作為頻率調節或自動發電系統。

特斯拉的能量儲存系統接收電網操作者的自動發電信號，並提供二次頻率響應指令來維持電網頻率，特斯拉儲存系統提供了比傳統發電機更快速的電力操作裝置及控制機制可正確的調節與響應。此外傳統的發電機響應通常限制了其標示值的比例，然而特斯拉的能量儲存系統可以在充放電的需求下提供額定值<sup>(2)</sup>。

下圖11為系統在能量隨時間減少後的電網頻率響應圖

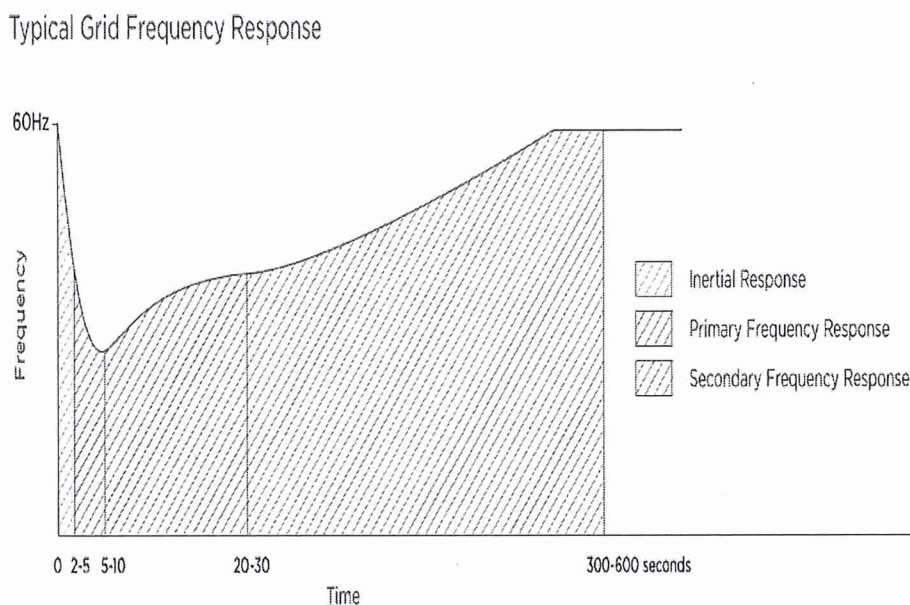


圖11. 電網頻率響應圖

## 參訪特斯拉位於雷諾的Gigafactory

雷諾的千兆工廠是 Tesla 希望透過增加價格親民的電動車款和能源產品的產能，以加速全球轉向永續能源發展而設立的工廠。為了在 2018 年達成每年 50 萬部車輛的量產計畫，Tesla 自身就需要消費耗全球所有鋰離子電池產量，因此誕生了 Tesla Gigafactory，以生產足夠的電池來因應車輛的需求。目前，

Gigafactory 除了生產 Model 3 電動馬達以及電池組件外，還生產 Tesla 的能源儲存產品 Powerwall 以及 Powerpack<sup>(3)</sup>。

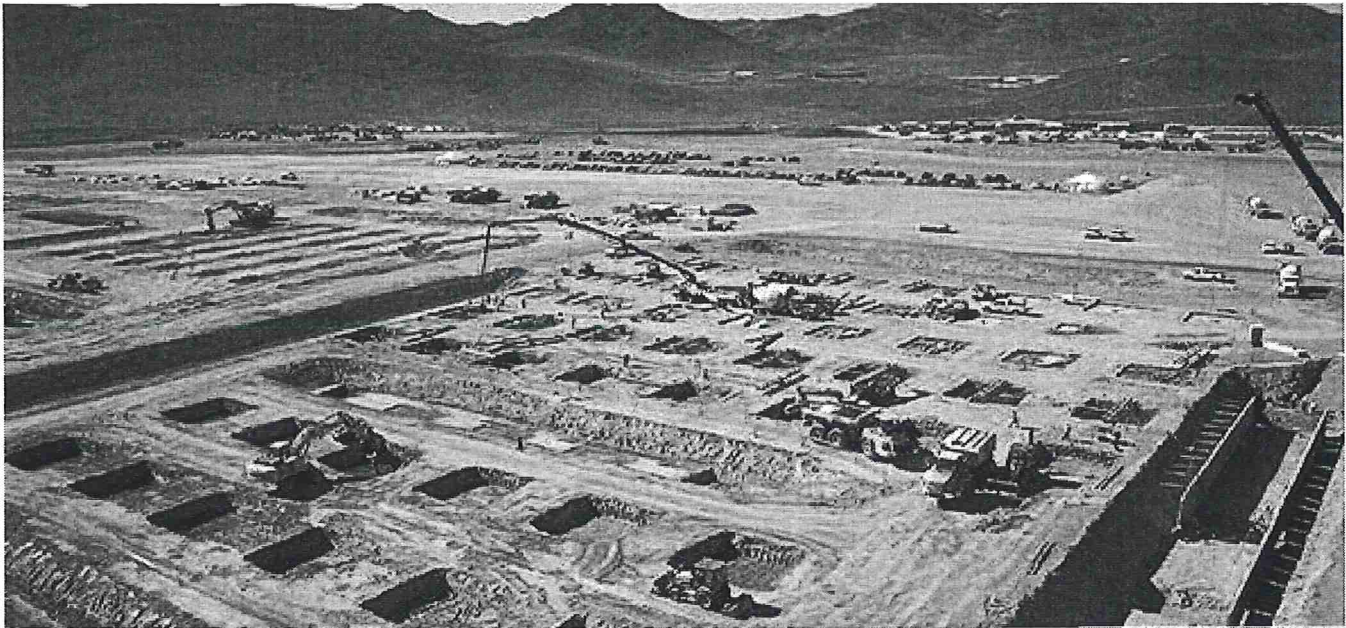


圖 12. Gigafactory 建設現場圖<sup>(3)</sup>

2014 年 6 月，Tesla 在美國內華達州的 Sparks 郊外舉行了 Gigafactory 的動土儀式，Gigafactory 的名稱來自於英文的「Giga」，代表「十億」的測量單位。Gigafactory 的落成採用階段性方式進行，因此 Tesla 可以立即在完工區域開始進行車輛製造，並在日後持續擴建。目前的佔地面積已達 18 萬平方公尺，這代表許多樓面有約 492,000 平方公尺的作業空間，目前，Gigafactory 的落成進度約 30%，整體完工後，Tesla 希望 Gigafactory 能成為世界上最大的工廠並完全由可再生能源供給電力。此工廠以完工後淨耗能為零作為目標進行設計，也將以太陽能作為主要供電來源，安裝工作已在進行中<sup>(3)</sup>。

截至 2018 年中期，Gigafactory 1 的電池生產將達到每年約 20 GWh，成為全世界電池產量最高的電池工廠，Tesla 目前生產的 kWh 電池數量已超越所有其他汽車製造商的總和，有了 Gigafactory 帶來的生產助力，Tesla 的電池芯成本將大幅降低，這都歸功於 Gigafactory 的規模經濟、製造上的創新、廢料的減少，以及將多數製造程序集中於單一建築內的最佳化措施，透過降低電池成本，Tesla 可以使產品越來越普及，對世界轉型至使用永續能源的過程影響深遠<sup>(3)</sup>。

在進入到Gigafactory後，首先由雷諾工廠的主管傑森先生先以開車的方式

就Gigafactory的周邊廠址做基本的介紹，包括一些再生能源相關的東西放置，接著在戴上護目鏡後就進入Gigafactory內部實際觀看鋰電池經由機器自動化搬運與檢測之流程，因為其一組是1千個，所以在操作上都是經由機器的方式來運作，如此可以加速產品的作業流程並保護人員安全，最後是在換上防灰塵(靜電)鞋下進入到一些組裝電動車零組件(如幫浦)的現場去參觀，下圖13為參訪後與傑森先生合影。

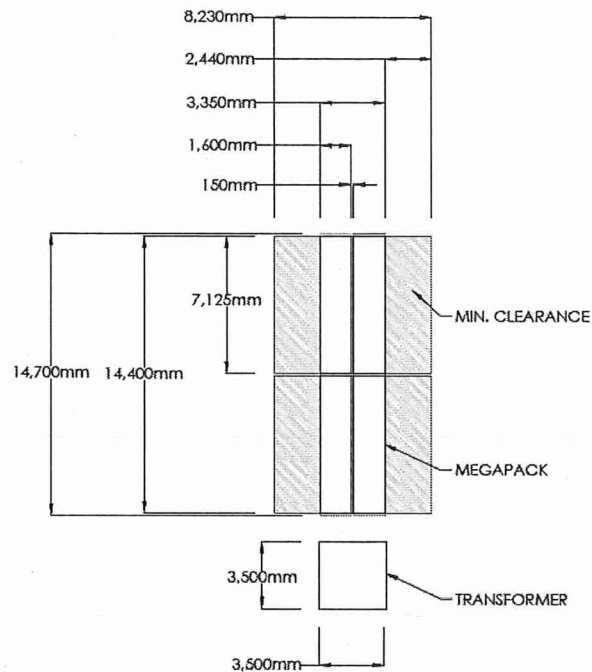


圖13.與Gigafactory主管合影

本次參訪美國舊金山特斯拉公司(Tesla)，除了到該公司位於帕羅奧圖之總部辦公室與技術人員討論並聽取相關產品介紹外，並到雷諾的特斯拉千兆工廠實地了解設備之規劃及運作現況，期間提出部分相關問題，以作為將來本處於變電所裝置儲能設備時之設計、施工、安裝及驗收參考，底下為提出請教之問題及獲得之答案：

問題 1. 儲能設備之最小安全間距？法令是否有規定？

特斯拉公司答覆：下圖是一個 4 組蓄電電池的設計方案<sup>(2)</sup>可供參考，在投標或規劃階段，仍可以依照案場空間的配置來提供最佳的設計建議，包含安全間距與人工保養時要求的最小距離等。



問題 2. 特斯拉的產品需要裝設滅火或空調設備以防止火災及溫度過熱嗎？

回覆：特斯拉的電能儲存系統以及蓄電池系統是設計安裝在戶外，因此不需要相關的滅火與空調設備。

問題 3. 特斯拉電池的工作溫度範圍

回覆：因為特斯拉的能量儲存系統完全和液態的熱管系統整合在一起，所以可以在-30°C~50°C間操作而不需要降低額定值，特斯拉已經藉由目前實際佈署在不同的氣候區域的產品建置實績來取得相關經驗。

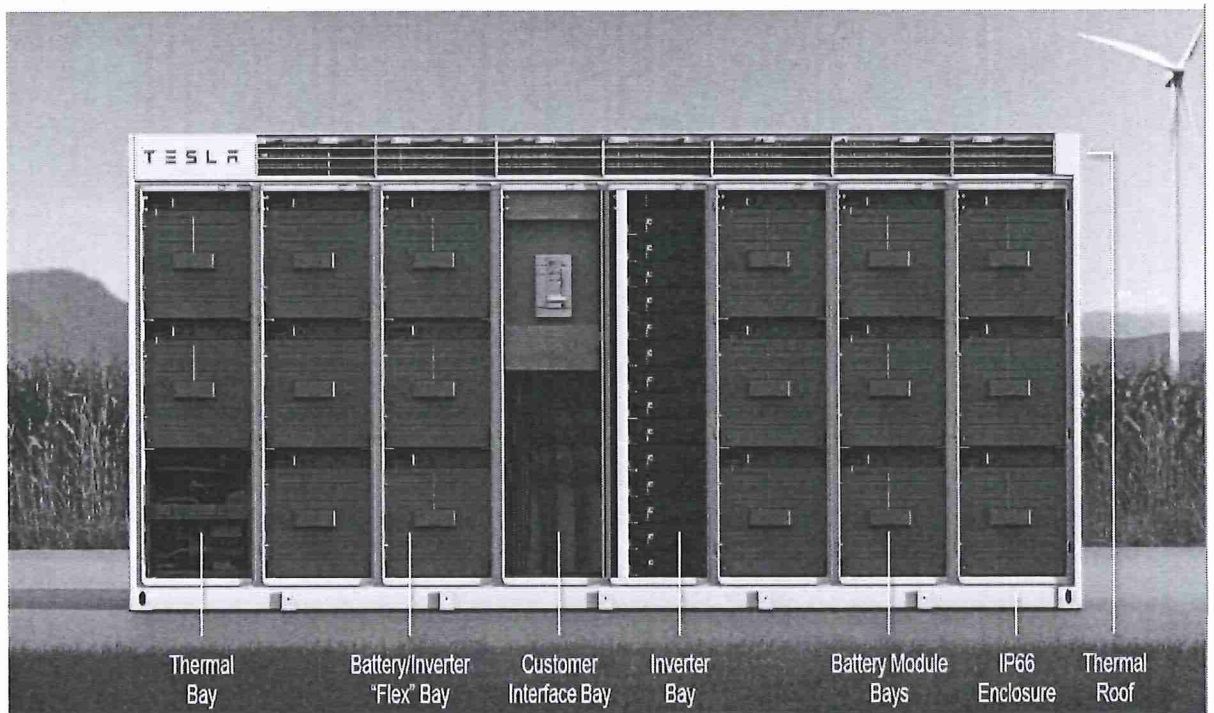
問題 4. 電池多久需要維修或更換？

回覆：電池與系統都會由系統自行判斷與偵測，每年特斯拉會派原廠技師進行

系統維護，同時會針對系統相關故障做必要的更換，但電池並不會因為一兩顆故障造成整個模組停用，同樣模組也是，某個模組故障並不會造成整個系統停用，同時在特斯拉的監控系統上，隨時也可以得知系統哪裡有故障訊息。

問題 5. 整組電池是在工廠組裝或運到現場再組裝？

回覆: 特斯拉的蓄電池系統組裝與測試全部都在特斯拉位於美國內華達州斯托裡的千兆工廠完成再運到現場，且完全由特斯拉來執行，從電池生產到電池焊接、電池模組封裝都是採用自動化生產技術。



問題 6. 依過往經驗特斯拉公司 1MW 容量儲能電池成交費用約多少？

回覆: 隨著技術的進步及市場需求量的增加，目前特斯拉的儲能設備價格已由早期的 7000 萬/MW 降低到 4000 萬~5000 萬/MW 之間。

問題 7. 依過往經驗特斯拉公司得標後到加入系統多久時間？

回覆: 特斯拉因全部採模組化設計及自動化製造，可大幅縮短期程，根據過往實績，從取得標案後規劃設計約 2 個月、製造 6 個月、運輸 1 個月、安裝測試約 1 個月，所以整個期程可壓縮到 10 個月內完成。

問題 8. 貴公司產品目前的最大實績？在哪個國家？

回覆: 已完成建造的最大單一場址的系統是在澳洲的霍恩斯代爾電力儲備，總



共是 100MW/129MWh，且將會在 2020 年初時擴充到 150MW/ 193.5MWh。

此外，特斯拉在美國加州的莫斯蘭丁變電站將會有 1 個總容量 182.5MW/730MWh 的莫斯蘭丁計劃。

問題 9. 特斯拉的產品使用在電廠還是變電站？

回覆：特斯拉的能量儲存系統過去已經有應用在電廠和變電站之實績，比較大的案場如下：

A. 在美國加利福尼亞安大略的變電所有 1 個連結總裝置容量 20MW/80MWh 的南加州愛迪生儲能系統。

### SOUTHERN CALIFORNIA EDISON (SCE)

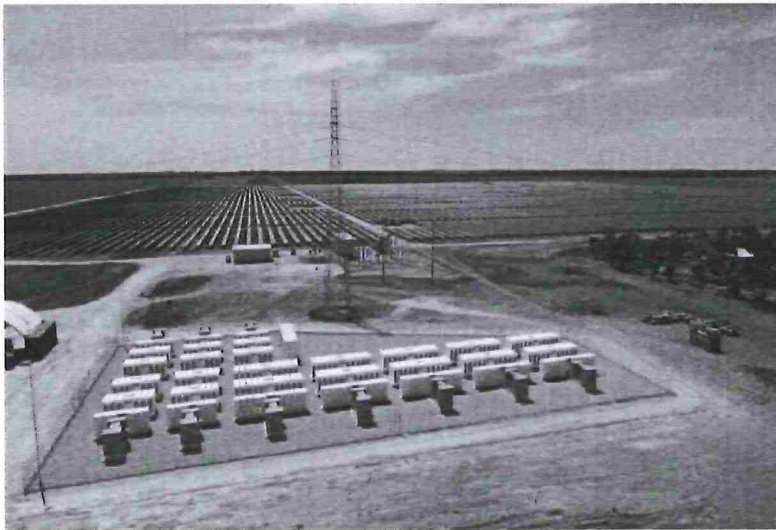


B. 在澳洲南部的霍恩斯代爾風電場有連接電網的霍恩斯戴爾動力儲能設備，其總裝置容量 100MW/129MWh。

C. 在比利時的特爾電廠有裝置容量 18MW/21.7MWh 電池儲能系統。

D. 在澳洲的甘納瓦拉太陽能農場有裝置容量 25MW/50MWh 的甘納瓦拉儲能系統。

## GANNAWARRA SOLAR FARM



Location  
Kerang, Victoria

Project Size  
25 MW / 50 MWh

Distributed Energy Resource  
50 MW Solar PV

Applications  
Renewable integration  
PV firming  
Capacity protection  
Market participation  
Frequency Report

Commissioned  
September 2018

問題 10. 特斯拉產品電池管理系統包含那些設備？

回覆: 是的, 特斯拉的電池儲存系統或蓄電池系統是完全整合的交流耦合儲存解決方案, 包括元件、電池管理系統、直流轉換直流裝置、雙向直流轉換器、儲能變流器、特斯拉工廠的管理、室外防護等級及液態熱管理系統。

### 肆、實習心得與建議事項

這次實習從收集與研讀資料、與Tesla公司人員討論並到現場實地參觀, 對於儲能設備之應用有較深入之認識, 在此針對公司未來如要採購相關設備提出以下幾點建議:

- 一、 經營模式: Tesla設備通常採甲方提供土地, 乙方提供設備及運轉維護管理, 至於維修方面可由該公司員工負責或派技師協助方式辦理。與本公司以往採用之買斷方式不盡相同, 但該公司在美國境外有提供相關的教育訓練, 建議業者採購相關儲能設備時, 如何在規範中針對相關維護與教育訓練作補充說明, 並可派現場人員至該公司參加相關儲能系統的訓練與操作, 以做好緊急狀況時如果廠商無法配合於第一時間趕到現場時之自我搶修工作。
- 二、 生產與驗收過程:

本次到特斯拉位於雷諾的工廠，進入產線觀看到鋰電池的生產過程雖然還是有少數人力，但其整個流程都是以機器來運作，幾乎是完全自動化來進行，因此其產品都是在最進步的科技與環境下所生產與測試及組裝完成的，且經由與特斯拉員工討論並提供相關文件情況下了解到，特斯拉的鋰電池與其相關產品及附件都有通過相關的美國電氣安全認證、IEC62109的功率轉換器應用在光電的一般要求與變流器的特別要求的認證、及澳洲的能源系統通過逆變器的併網等要求，另外其工廠之管理亦有通過相關之電氣安全認證，另外適用於Powerpack(電能儲存系統)或Megapack(蓄電池系統)的軟體裝置是有其標準作業程序，因此其生產之產品皆是以安全、壽命周期和可達到顧客端的實際應用為最大考量。

### 三、 儲能設備之安全性、消防與維護:

由於儲能設備的應用是未來穩定智慧電網頻率中重要的一個環節，為了達成無論是智慧變電所或是供電穩定度、或再生能源應用等建置目標，目前本處已開始規劃啟動東林P/S儲能建置工程，惟因近年來國際上相繼發生儲能設備之鋰電池火災事件，所以相關的工程安全規劃與規範需要謹慎考量。

經由參訪，了解到特斯拉是唯一一間通過美國消防協會(NFPA)全面火災風險評估的公司，這個評估包含了儲能設備內部火災試驗與外部火災試驗，且美國消防協會經由自然情況下所做的測試發現，其結果已經遠遠超出北美或國際標準中熱失控測試所需達到的標準，特斯拉經由針對能源產品進行包含不同的溫度、充電程度及地點的內部火災測試，其性能表現完全符合產品設計的初衷「安全、可控」。所以如何深入了解特斯拉在火災安全防護上的設計，並蒐集研讀國際相關規定，提供公司編訂採購規範之部門參考，以期在不違背採購法的原則下，訂定一個嚴謹的採購規範，確保將來設備運轉後人員及系統的安全，是一個目前相當迫切且重要的課題。

四、 本次感謝公司提供這個萬分難得的機會，讓我有機會出國去學習新的東西，同時能夠擴展視野，因為這是我人生中第一次出國，除了去參觀並學習相關的儲能設備外、也順便去體驗不同國家的人文風情，或許是因為怕生的緣故，我比較

習慣保護自己，在無形之中也減少和人接觸的機會，經過這次的學習後我瞭解到自己無論是在專業上以及一般的生活英文上都需要再花時間來自我充實。

## 伍、參考文獻

1. Tesla Wikipedia  
<https://en.wikipedia.org/wiki/Tesla>, .
2. Energy storage industry growing with battery gigafactory  
<https://www.vanadiumcorp.com/news/sustainability-news/energy-storage-industry-growing-with-new-battery-gigafactories/>.
3. Tesla Gigafactory/  
[https://www.tesla.com/zh\\_TW/gigafactory](https://www.tesla.com/zh_TW/gigafactory).