

出國報告(出國類別：實習)

建築物之電氣設備整合趨零耗能智慧綠建築規劃技術研習

服務機關：台灣電力公司

姓名職稱：劉禹均 電機工程師

派赴國家/地區：英國

出國期間：112年12月13日至26日

報告日期：113年2月5日

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：

建築物之電氣設備整合趨零耗能智慧綠建築規劃技術研習

頁數 37 含附件：是 否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話

翁玉靜/台灣電力公司/人資處/專員/02-23667685

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話

劉禹均/台灣電力公司/營建處/專員/02-23666965

出國類別：1 考察 2 進修 3 研究 4 實習 5 開會 6 其他

出國期間：112年12月13日至112年12月26日

派赴國家/地區：英國

報告日期：113年2月5日

關鍵詞：儲能電池、永續、近零、低碳、智慧綠建築

內容摘要：(二百至三百字)

為配合國家政策，本公司新建建築物積極朝向近零智慧綠建築發展，本次前往位於英國之 GE Vernova 公司，進行國際新建之儲能系統專業技術研習，並實地考察 Conrad Energy 公司位於溫徹斯特的儲能電池廠 (Winchester Site)，瞭解該公司建置儲能電池廠的規劃設計、實務經驗及解決方案。另安排至英國各地指標性的整合再生能源設備之低碳、近零社區及智慧綠建築進行參訪，其中包含貝丁頓零碳社區、霍克頓住宅、倫敦水晶大廈及諾丁漢大學朱比利校區等，以增進相關新技術之發展認知、先進技術導入，可作為本公司日後推廣之重要參考，有助於提供本公司發展近零智慧綠建築及社區相關計畫之規劃依據。

本文電子檔已傳至公務出國報告資訊網

(<https://report.nat.gov.tw/reportwork>)

目錄

壹、	目的	1
貳、	過程	2
參、	儲能電池廠參訪及相關技術研習	4
一、	儲能系統及儲能電池介紹	4
二、	Winchester Site 儲能電池廠	9
肆、	低碳、近零社區及智慧綠建築參訪	13
一、	倫敦水晶大廈 (The Crystal)	13
二、	貝丁頓零碳社區 (BEDdington Zero Emissions Development)	15
三、	霍克頓住宅 (The Hockerton Housing Project)	20
四、	諾丁漢大學 (University of Nottingham-Jubilee Campus) ..	24
伍、	心得及建議	28
陸、	參考資料出處	30

圖目錄

圖 貳-1 與GE公司 Mr. Mark Taylor(右)及 Conrad Energy 公司 Mr. Steve Almond(左)合影	3
圖 貳-2 與GE公司 Mr. Neil Theobald(中)及 Miss. Michelle Hancocks(右)合影	3
圖 參-1 儲能系統分類圖	4
圖 參-2 鋰離子電池充放電示意圖	6
圖 參-3 鈉硫電池單電池構造圖	7
圖 參-4 鈉硫電池充放電示意圖	7
圖 參-5 全釩液流電池充放電示意圖	8
圖 參-6 Winchester Site 儲能電池廠.....	10
圖 參-7 Winchester Site 儲能系統架構圖.....	10
圖 參-8 與 Mr. Mark Taylor 討論儲能系統	12
圖 參-9 電池廠旁之 33kV 變電站	12
圖 參-10 功率調節系統 (PCS)貨櫃	12
圖 參-11 儲能電池貨櫃	12
圖 肆-1 水晶大廈全景照	14
圖 肆-2 水晶大廈西側照	14
圖 肆-3 大廳導覽電視牆	14

圖 肆-4 一樓公共空間，可供租借辦理小型活動	14
圖 肆-5 公用會議室，可供訪客租借使用	15
圖 肆-6 咖啡廳，可供市政府人員及訪客休憩	15
圖 肆-7 貝丁頓社區模型	16
圖 肆-8 貝丁頓社區地圖	16
圖 肆-9 建築物被動節能設計	16
圖 肆-10 屋頂及窗戶植被	17
圖 肆-11 屋頂風杓調節室內通風及溫度	17
圖 肆-12 建築結合太陽光電設備	18
圖 肆-13 生質鍋爐機房	18
圖 肆-14 住戶停車位充電樁	19
圖 肆-15 社區公共充電站	19
圖 肆-16 住戶自營溫馨小咖啡廳	20
圖 肆-17 霍克頓社區入口告示牌	21
圖 肆-18 霍克頓住宅建築外觀	21
圖 肆-19 太陽光電設備	22
圖 肆-20 第一部 5kW 風機	22
圖 肆-21 非飲用水儲水池	23
圖 肆-22 蘆葦床過濾汙廢水	23

圖 肆-23 校園內人工湖	24
圖 肆-24 湖畔人行道	24
圖 肆-25 教學大樓	25
圖 肆-26 捕風塔	25
圖 肆-27 玻璃屋頂嵌入太陽能電池	26
圖 肆-28 外牆隔柵及百葉窗	26
圖 肆-29 能源技術大樓	27
圖 肆-30 心理健康研究大樓	27

表目錄

表 貳-1 出國行程表	3
表 參-1 鋰離子電池材料表	6

壹、目的

近年來因全球氣候變遷及環保意識抬頭，各國開始重視能源使用效率及環境永續發展議題，各先進國家紛紛進行減能減碳升級計畫，而「近零建築」的推動更是勢在必行。為配合國家政策，本公司新建建築物積極朝向近零智慧綠建築發展。本次前往位於英國之 GE Vernova 公司，進行國際新建之儲能系統專業技術研習，並吸取該公司建置除能電池廠的規劃設計、實務經驗及解決方案。另安排至英國各城市指標性的整合再生能源設備之低碳、近零社區及智慧綠建築進行參訪，增進相關新技術之發展認知、先進技術導入，可作為本公司日後推廣之重要參考，有助於提供本公司發展近零智慧綠建築及社區相關計畫之規劃依據。

貳、過程

本次前往英國實習自 112 年 12 月 13 日至 12 月 26 日，共計 14 天，其主要目的係藉由實地參訪國外能源公司建置之儲能電池廠，學習儲能系統之規劃技術；另參訪英國各城市指標性的低碳、近零社區及智慧綠建築，瞭解其相關技術與發展。

首先在倫敦期間，安排至水晶大廈 (The Crystal)及貝丁頓零碳社區 (BEDdington Zero Emissions Development)參訪，以瞭解英國的永續建築及零碳社區之發展概況；接著前往溫徹斯特，並由 GE Vernova 公司協助安排參觀 Conrad Energy 公司之儲能電池廠；再前往斯塔福德拜訪 GE Vernova 英國辦公室，並進行儲能電池相關技術研討；最後安排至紹斯韋爾及諾丁漢，分別參訪霍克頓住宅 (The Hockerton Housing Project)及諾丁漢大學朱比利校區 (University of Nottingham-Jubilee Campus)，以瞭解英國低碳住宅及智慧綠建築之相關先進技術。本次出國行程如表 貳-1 所示。

	
<p>圖 貳-1 與GE公司Mr. Mark Taylor(右)及Conrad Energy公司Mr. Steve Almond(左)合影</p>	<p>圖 貳-2 與GE公司Mr. Neil Theobald(中)及Miss. Michelle Hancocks(右)合影</p>

表 貳-1 出國行程表

出國行程表		
日期	所在地點	工作內容
112/12/13	-	往程 (台北-倫敦)。
112/12/14~ 112/12/16	倫敦 (London)	1. 參訪倫敦水晶大廈 (The Crystal)。 2. 實地考察貝丁頓零碳社區 (BEDdington Zero Emissions Development)。
112/12/17~ 112/12/18	溫徹斯特 (Winchester)	參觀 Conrad Energy 溫徹斯特儲能電池廠，儲能系統規劃設計研討。
112/12/19~ 112/12/20	斯塔福德 (Stafford)	拜訪 GE Vernova 英國辦公室，儲能電池相關技術研討。
112/12/21~ 112/12/24	紹斯韋爾 (Southwell)、 諾丁漢 (Nottingham)	1. 實地考察霍克頓住宅 (The Hockerton Housing Project)。 2. 參訪諾丁漢大學朱比利校區 (University of Nottingham-Jubilee Campus)。
112/12/25~ 112/12/26	-	返程 (倫敦-台北)。

參、儲能電池廠參訪及相關技術研習

一、儲能系統及儲能電池介紹

儲能，顧名思義即是將能量儲存起來，依據國際電工委員會（International Electrotechnical Commission, IEC），儲能系統主要分為機械儲能、電化學儲能、化學儲能、電力儲能及熱能儲能五大類，其中以機械儲能的抽蓄水力儲能為目前較具商業化規模且成熟，惟其主要缺點在於受到地形條件限制，且投資成本高，回收期程亦長。近年來電化學儲能的技術越來越進步，同時成本也大幅下降，更由於其不受地理環境限制，開始有許多的商業應用模式，已成為現行儲能系統的主流。

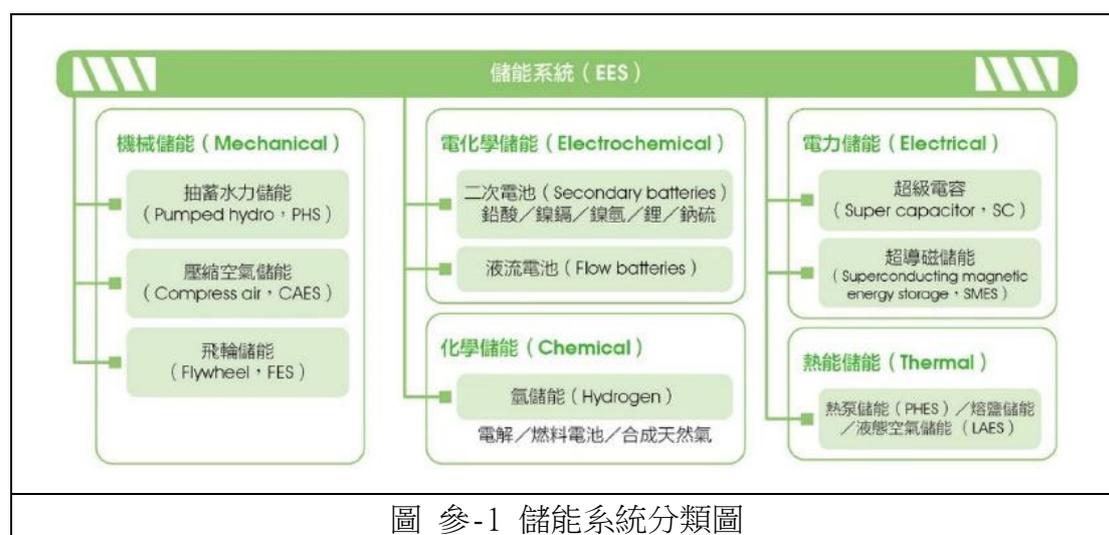


圖 參-1 儲能系統分類圖

電化學儲能通常由多個電化電池組成，利用可逆的電化學反應來儲存電能，目前國際間較主流的電化學儲能電池包含鋰離子電池、鈉硫電池及液流電池，相關說明如下：

- (一) 鋰離子電池 (Lithium-ion battery)：鋰離子電池的工作原理主要依靠帶電的鋰離子在正極材料（金屬氧化物）和負極材料（石墨）之間運動，實現電荷轉移，以進行充電及放電，充放電示意圖如圖 參-2，鋰離子電池材料種類如表 參-1 所示。鋰離子電池具有輸出電壓高、比能量高、比功率高、充放電效率高、循環壽命長、自放電小、環境友好等優點，雖然應用於大容量儲電池存在著安全問題，但仍可透過安全性電極材料、電池內外保護措施以及電池的結構設計加以改善。鋰離子電池儲能系統具有快速反應的運轉彈性及高功率輸出的特性，能夠即時進行充放電，幫助電力系統頻率維持穩定，亦能提升既設發電機組之運轉效率，使系統供電更穩定。

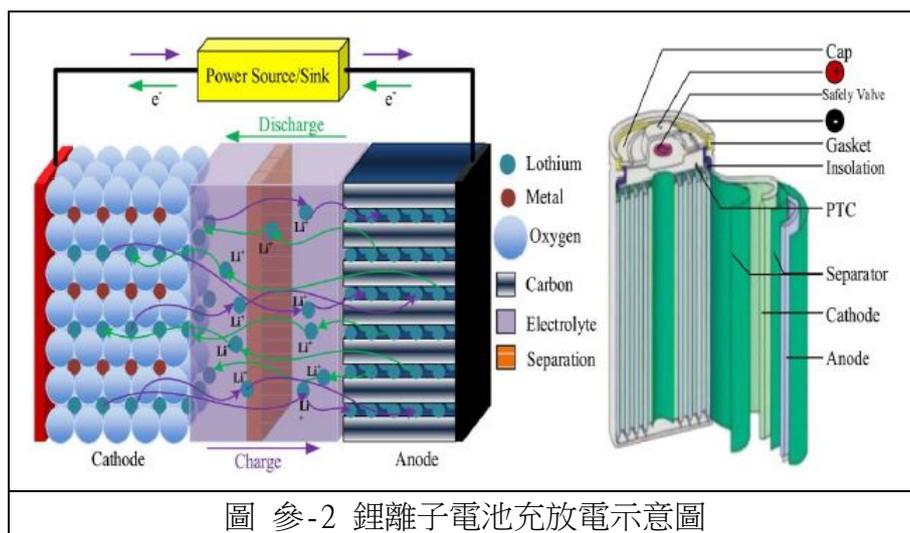


圖 參-2 鋰離子電池充放電示意圖

表 參-1 鋰離子電池材料表

電池名稱	正極材料	負極材料
鈷酸鋰電池	LiCoO ₂	石墨
錳酸鋰電池	LiMn ₂ O ₄	石墨
磷酸鐵鋰電池 LFP	LiFePO ₄	石墨
鈦酸鋰電池	LiMn ₂ O ₄ 或NMC	Li ₄ Ti ₅ O ₁₂
鎳鈷錳酸鋰電池 NMC	LiNiMnCoO ₂	石墨
鎳鈷鋁酸鋰電池 NCA	LiNiCoAlO ₂	石墨

(二) 鈉硫電池 (sodium sulfur battery)：鈉硫電池採用

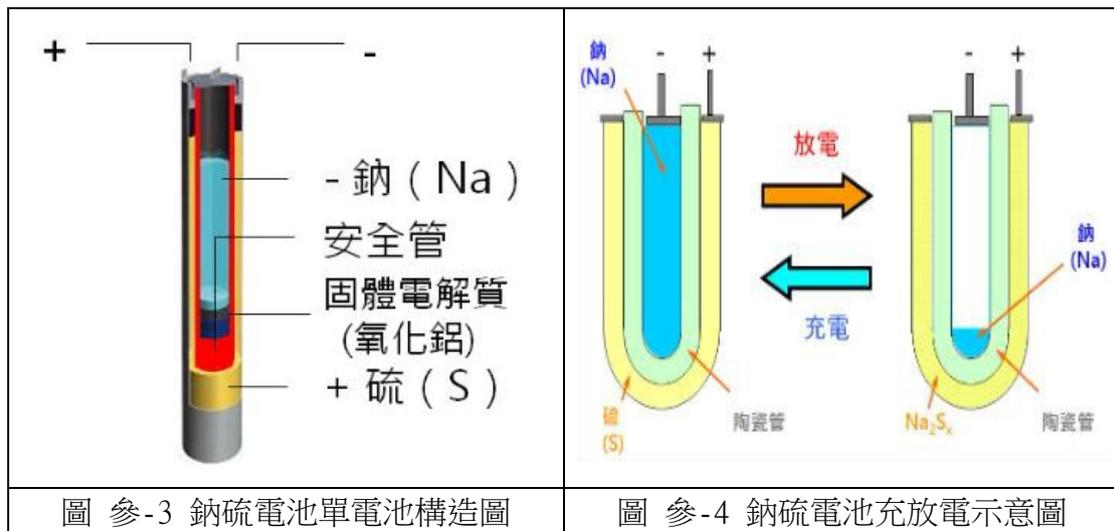
管式設計，中心以金屬鈉 (Na)作為負極，內管 (β -Al₂O₃

陶瓷管)為電解質隔膜，同時起到盛放金屬鈉的作用，外管為

合成材料或不銹鋼金屬材料，用於盛放正極材料非金屬硫

(S)，單電池構造如圖 參-3 所示，在一定的工作溫度下

(290°C 以上)，鈉離子透過電解質隔膜與硫之間發生可逆反應，形成能量的釋放及儲存，充放電示意圖如圖 參-4。因鈉與鋰的物理及化學性質相近，鈉硫電池可採用鋰離子電池部分技術，且鈉與硫的藏量非常豐富，成本也比較低，故在市場上具競爭優勢，惟其最大的問題就是需要在高溫狀態下工作，這對於電極材料的穩定性要求更高，尤其是陶瓷隔膜和硫電極的抗腐蝕性須進一步提高。



(三) 液流電池 (Flow battery)：液流電池是一種大規模高效電化學儲能電池，通常具有兩個儲液容器，內有化學電解溶液，形成兩個次系統，這兩個次系統之間的連接處為發電

區，以一層薄膜區隔，利用化學循環泵把電解液抽出或導入發電區，隔著薄膜產生離子交換，藉此進行充放電。現今液流電池以全鈦氧化還原液流電池 (Vanadium Redox Flow Battery) 之技術最為成熟，其正負極材料為不同價態的鈦離子，充電時正極電解液中的 V^{4+} 氧化成 V^{5+} ，負極電解液中的 V^{3+} 還原成 V^{2+} ，放電時為逆反應，充放電示意圖如圖 參-5。

全鈦液流電池的優點包括容量易測量與控制、充放電次數高、極低的自放電率、電池容量易擴充、運維成本低、無汙染排放問題，也無起火或爆炸風險等，但亦存在著電池能量密度低、初期建置成本較高等問題。

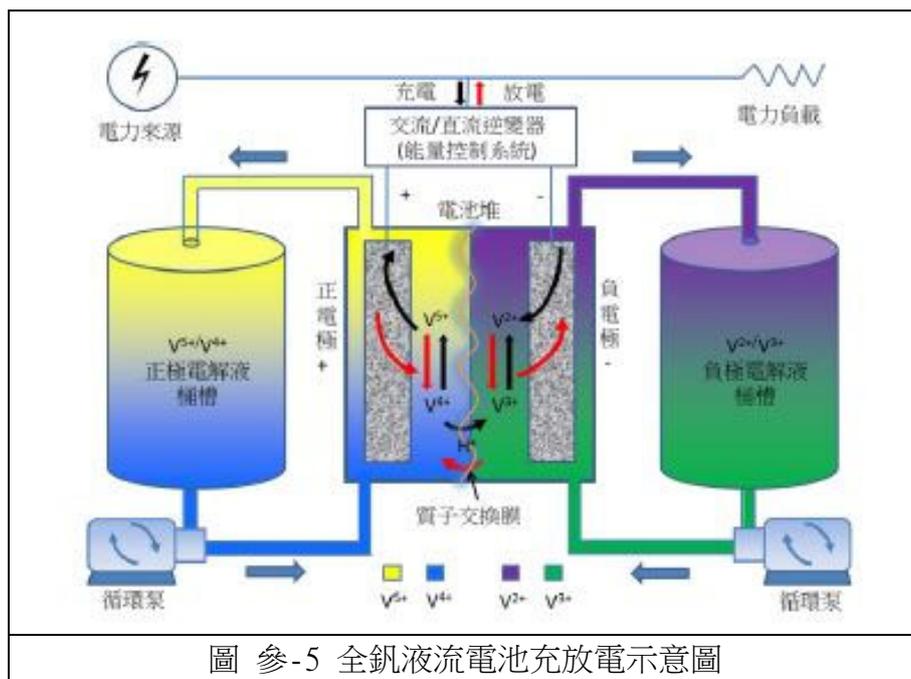


圖 參-5 全鈦液流電池充放電示意圖

二、Winchester Site 儲能電池廠

本次參訪的 Winchester Site 是 Conrad Energy 公司與 GE Vernova 公司合作建置的儲能電池廠。Conrad Energy 是英國一間生產電力的公司，目前在英國運轉中的儲能廠有 71 座(加上興建中的廠區則超過 85 座)，總發電量約 821MW，專門為國家電網及私人企業客戶提供能源滿足其需求。

Winchester Site 廠區採用寧德公司 (CATL) 生產的鋰離子電池及 GE 公司開發的功率調節系統 (Power Conversion System, PCS)，包含 12 個貨櫃型儲能電池(每個儲能電池貨櫃的大小為 20 呎 ISO 標準貨櫃)及 6 個功率調節系統，1 個 PCS 控制 2 個貨櫃，儲能電池總輸出功率為 25MW，並可連續放電 2 小時提供 50MWh。平時儲電時是利用廠區附近的 33kV 變電站送電進來，經由電力變壓器(GE 製造)降壓後再透過 PCS 設備轉換成直流電存入電池，當電網有電力需求時再將電池內儲存的電釋放出來，儲能系統架構如圖 參-7 所示。

相較於鈉硫電池及全鈎液流電池，鋰離子電池的安全性相對較低，儲能系統的保護設備非常重要的，當系統在運行時電池若以不可控制的方式通過自加熱升高溫度，產生的熱量高於可以消散的適量時會發生「熱失控 (Thermal Runaway)」，鋰離子電池的熱失控溫度通

常在 159°C 左右，而熱失控會散發易燃氣體，容易起火甚至引發爆炸，故貨櫃內除了電池模組外，亦設置空調設備 (HVAC)、水冷式散熱系統、滅火設備 (Fire extinguishers)、監測裝置 (偵熱、偵煙、火警) 及警報裝置等保護設備，所有訊號皆會回傳監控中心，隨時掌握系統狀態以避免事故發生。一旦發生熱失控而引起火災，貨櫃與貨櫃之間也有一定的安全距離防止延燒。



圖 參-6 Winchester Site 儲能電池廠

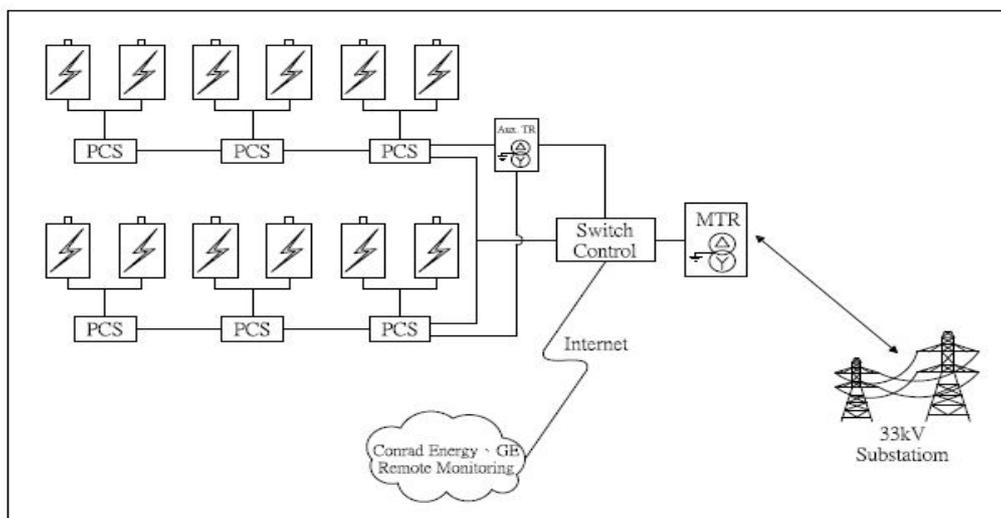


圖 參-7 Winchester Site 儲能系統架構圖

Winchester Site 儲能電池廠主要的商業運轉模式有兩種，一種是參與容量市場 (Capacity Market)：為確保國家未來的電力供應安全，政府每年會開放供應商參與競標，供應商得標後必須在電力需求量大時，提供契約所簽訂的容量給電網以紓解系統壓力，供應商可藉此獲得穩定的收入，反之，如果供應商未依契約提供容量滿足系統需求時，將面臨高額罰金；另一種是提供調頻服務 (Frequency Response)：當電力系統因為負載端或發電端突然發生變化而造成系統頻率不穩時，藉由儲能設備進行快速的放電或充電，調節電力系統的頻率，以助維持系統因為負載的波動造成之頻率飄移，非常適合用於再生能源高佔比情況之電網穩定方式。



圖 參-8 與 Mr. Mark Taylor 討論儲能系統



圖 參-9 電池廠旁之 33kV 變電站



圖 參-10 功率調節系統 (PCS)貨櫃



圖 參-11 儲能電池貨櫃

肆、低碳、近零社區及智慧綠建築參訪

一、倫敦水晶大廈 (The Crystal)

水晶大廈是一棟位於倫敦東部泰晤士河岸的永續建築，由西門子公司委託 WilkinsonEyre 建築事務所規劃設計，於 2012 年完工後獲得 BREEAM 傑出 (Outstanding) 評級和 LEED 白金級 (Platinum) 認證。最初開幕時曾作為未來城市展覽中心，自 2022 年開始由倫敦市政府及市議會進駐成為新的市政廳。建築物除了被動式節能設計外，亦採用了多種新技術來減少能源使用。

建築外殼採用全玻璃方式建置，包層使用了不同類型的高度隔熱玻璃，每種玻璃都有不同的透明度，以調節太陽光照使建築物內擁有充足的光源。建築物機電系統方面，使用地熱搭配熱泵作為暖氣及熱水的供應來源。屋頂鋪設了 1580m² 太陽光電(約占屋頂面積 2/3)，可供應建築物 20% 之用電需求。照明部分則採用 LED 燈搭配感測器，可依據日光照度控制開關。此建築物的外型非常利於雨水回收，收集到的雨水經過過濾後流入地下蓄水池，再藉由薄膜過濾、碳過濾及消毒等淨化處理，甚至可達飲用水的品質標準，其他使用過的廢水也可以再回收加以處理作為洗手間用水或是花園澆灌使用。

水晶大廈內外更設置大量的監控點，可隨時掌握水、電、空調等系統的運轉狀態及耗能情形，相較於英國其他規模相當的辦公大樓，它的電力消耗減少約 50%，二氧化碳排放量亦減少將近 70%，可以說是世界最永續的建築物之一。

	
<p>圖 肆-1 水晶大廈全景照</p>	<p>圖 肆-2 水晶大廈西側照</p>
	
<p>圖 肆-3 大廳導覽電視牆</p>	<p>圖 肆-4 一樓公共空間，可供租借辦理小型活動</p>



二、貝丁頓零碳社區 (BEDdington Zero Emissions Development)

貝丁頓零碳社區位於倫敦南部郊區，占地約 1.8 公頃，社區整體分為 A~G 共 7 個區塊，包含 100 戶空間單元(住家及辦公室)，約有 200 多位居民。貝丁頓社區由建築師 Bill Dunster 規劃設計，並由環境組織 BioRegional Development Group 團隊施工建造，於 2002 年完工。整個社區採用被動式節能設計，從建築外殼的隔熱、自然通風、自然採光等方式，減少建築能源的使用，並設置太陽光電、生質鍋爐等設施，藉此達到節能減碳。貝丁頓社區是世界第一個近零碳排放的社區。



圖 肆-7 貝丁頓社區模型



圖 肆-8 貝丁頓社區地圖

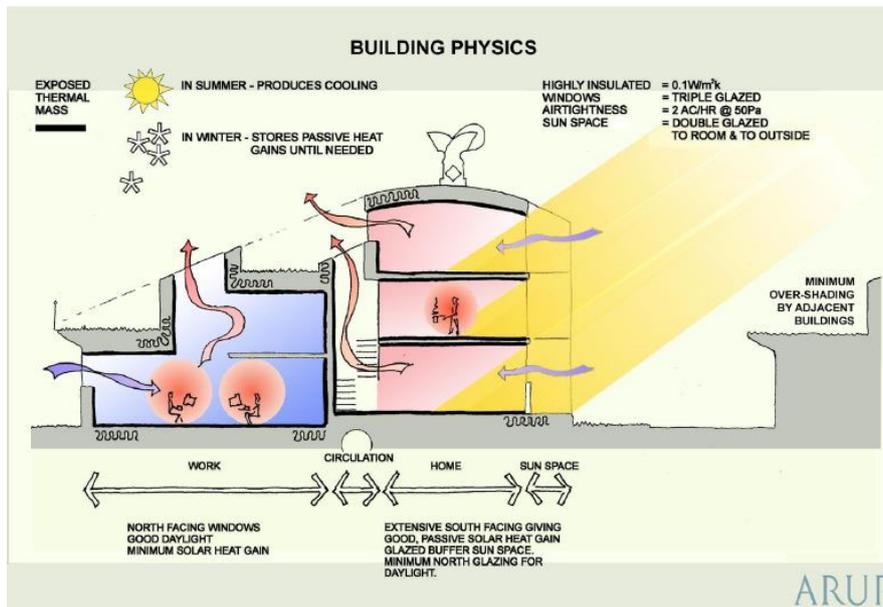


圖 肆-9 建築物被動節能設計

貝丁頓零碳社區之節能減碳設計如下：

- (一) 被動式節能與自然通風：建築物屋頂部分以厚達 30cm 之多肉植物覆蓋，藉此減少冬天室內熱量的散失，外牆設計成夾心構造，採用 300mm 厚的礦毛絕緣纖維，以保存大量熱能；屋頂上設有多組風杓 (Wind Cowls)，依據風向調整角度，利用風壓與室內外溫度差，將外氣導入屋內，每個風杓

有兩個通風口，一個外氣引進屋內，另一個排放室內熱空氣，而室外冷空氣會先經過預熱再進入屋內，降低冷暖空氣交換產生之熱散失，讓室內溫度可維持在 20°C 左右。



(二) 電力及熱水供給：社區中所使用的能源皆為再生能源，屋頂上的太陽光電設備面積有 777m²，每年約可產生 97,000kWh 供應全社區 20%之電力需求，其餘則以綠色電價由電網購取綠電；社區內有一台 240kW 的生質鍋爐，使用木質顆粒作為燃料供應整個社區熱能及熱水需求。

(三) 廢水處理及雨水回收：貝丁頓社區初建完成時，擁有自己的小型汙水處理廠，將家庭生活廢水淨化處理，達到相當水質標準後導入地下水槽與雨水一起儲存；而雨水則透過被覆於屋頂的多肉植物與大量的透水鋪面，能夠均勻滲透至每

間住戶的地下水槽，供應浴廁沖洗與澆灌使用。然而這座小型污水處理廠因為耗電量過高不符合經濟效益，及其他營運問題，已關閉不再使用，雨水回收系統亦因為擔心屋頂植被肥料造成細菌污染而停擺，實屬可惜。



圖 肆-12 建築結合太陽光電設備



圖 肆-13 生質鍋爐機房

(四) 綠色生活及交通：生活細節方面，家電設備皆採用歐盟合格的低耗能產品，如：節能燈具、省電冰箱、省水洗衣機、省水馬桶、節水噴頭水龍頭等，以節約能源。交通部份，社區停車場約有 80 個停車位，並設有充電樁，另為鼓勵住戶使用更環保的電動車減少溫室氣體排放，社區提供電動車免費的停車空間及免費充電等誘因。貝丁頓社區更是倫敦第一個綠色共乘俱樂部所在地，提供會員在線上預訂及支付費用，即可使用公共電動車。除此之外，每戶住家皆有自行

車位，公共區域亦設置自行車架，鼓勵居民多多騎乘自行車，兼顧節能、環保與健康。



貝丁頓社區在落成之初，政府提供了補助資金聘請環境教育人員開啟課程，教導社區住戶有關低碳生活的概念，並發給住戶一本住宅設備的使用手冊，但隨著補助資金用罄，相關活動也停擺了。由於社區並未訂定任何生活公約或守護環境的規定要求住戶遵守，部分居民漸漸回到過往的生活習慣，社區環境也不如從前。令人佩服的是，有幾位居民自願在社區內經營一間溫馨的小咖啡廳，裡面有著手工餅乾、蛋糕及現沖咖啡提供給社區居民及遊客享用，這些食物並無特定價格，客人可以依據自己的心意隨意支付。居民們希望藉由這種方式募集一些資金，聘請專人來打理環境，使整個社區更美好。



圖 肆-16 住戶自營溫馨小咖啡廳

三、霍克頓住宅 (The Hockerton Housing Project)

霍克頓住宅是英國第一個以庇護地球、自給自足的生態住宅為目的之開發計畫，是由建築師 Brenda Vale 教授和 Robert Vale 博士所規畫設計，其宗旨是在於永續發展因應經濟、社會及環境的挑戰。霍克頓住宅是由五間單層房屋組成，這裡的居民們自行生產乾淨的能源，種植蔬果及飼養羊、雞等動物以獲取肉類及雞蛋等食品，進行水資源處理及儲存，回收廢棄物等，大部分生活可自給自足。這些房屋早在 1998 年就已完工，迄今仍是歐洲最節能的住宅之一。



圖 肆-17 霍克頓社區入口告示牌



圖 肆-18 霍克頓住宅建築外觀

霍克頓住宅之永續環境特色如下：

- (一) 乾淨的能源：霍克頓住宅的五間房屋屋頂上裝設有 7 組太陽光電設備，其容量約 13.6kW，另外在社區旁設有兩部高度 26 公尺的風機，其容量分別為 5kW 及 6kW，每部風機約可提供 6,000kWh 的電量，這些太陽光電設備及風機所生產的電力由五間住戶共享，以滿足能源需求。值得一提的部分，這裡第一部風機是在 2002 年設置，並成為諾丁漢郡第一部投入運轉的風機。

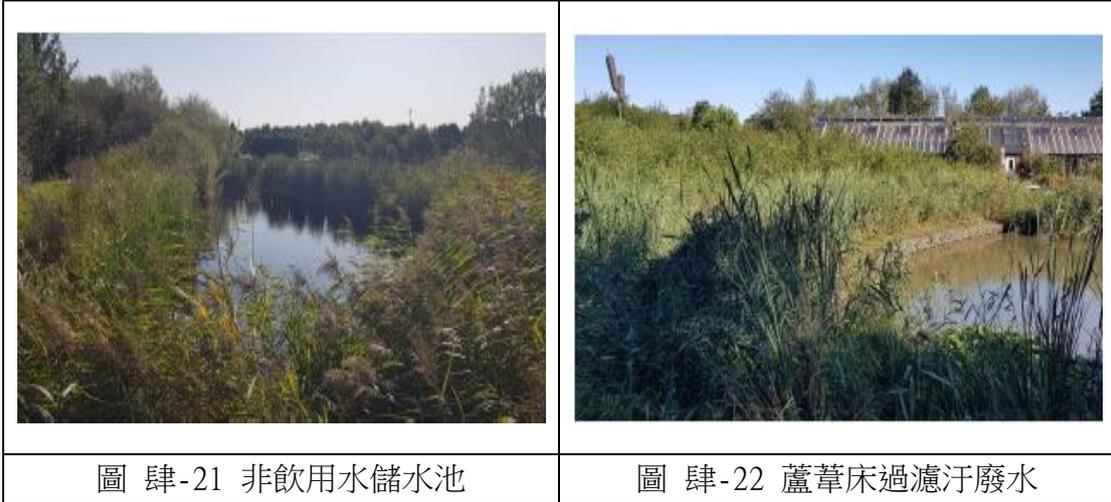


圖 肆-19 太陽光電設備



圖 肆-20 第一部 5kW 風機

(二) 自給自足的供水系統：依據水資源的用途對其進行不同的收集與處理，其中高品質飲用水是從屋頂收集雨水而來，1cm 的降雨量約可提供五週的用水量，收集的雨水會經由過濾器去除小顆粒，再以碳過濾器去除溶解的化學物質，最後以紫外線消毒成為飲用水。非飲用水則是從道路和田野收集雨水，經由砂過濾系統去除固體和有機物並儲存在水池中，引入住家水箱後作為浴廁沖洗及農作物澆灌使用。至於家庭用的廢水和污水會先在化糞池中沉澱，再進入蘆葦床系統，在蘆葦床中以氧氣和細菌來淨化汙廢水，當水質達到歐盟相關標準時即可排入河流。



(三) 飼養動物與有機農作物：霍克頓住宅的居民飼養了一小群羊來獲取平時所需的肉類，還飼養了一窩母雞可生產雞蛋，並種植有機蔬菜和水果，另外在果園內飼養蜜蜂，可生產蜂蜜及幫助植物授粉。整個社區約有三分之二的蔬菜、水果及雞蛋是靠自給自足。生產有機食品可以節省資金並減少化學肥料、殺蟲劑和除草劑對環境所造成的污染，有機廢棄物亦可作為肥料回收再利用。

四、諾丁漢大學 (University of Nottingham-Jubilee Campus)

諾丁漢大學朱比利校區距離大學園主校區 (University Park Campus) 約一英里處，原來的基地為工業用地，屬於棕地開發，是由建築師 Michael Hopkins 設計之永續發展及低能耗設計創新建築。朱比利校區於 1999 年建造完成，並榮獲 2000 年的 BCIA 「年度建築」獎及 2001 年的「RIBA 雜誌永續發展獎」等。

朱比利校區的主要特色是一個人工湖，它蔓延了大部分的校園，湖濱長廊是主要作為人行道使用，而這些人工湖不僅是作為各種野生動物的家園，當遇到暴雨時亦可作為滯洪池使用，更是天然冷卻系統，在夏季時降低校園內溫度，使環境更加舒適。



校園內的教學大樓屋頂覆蓋著低矮的高山植物，能幫助屋頂隔熱，使建築物內全年保持穩定的溫度。另外教學大樓中庭的玻璃屋頂嵌有 312 組的太陽能電池，其發電量可滿足通風系統的需求。

各棟教學大樓的通風是採熱回收機械通風系統，室外空氣藉由吸力經過屋頂上的捕風塔(Wind- Catchers)進入空調箱並進行靜電過濾，再透過風扇沿著通風直井進入室內公共區域。其中空調箱設備是由旋轉式熱交換器和間接燃氣加熱器來驅動，風扇的電源則是來自太陽光電設備，以提供室內新鮮空氣，最後排出的廢氣會回到特殊的空氣處理設備進行熱回收。

建築物外牆隔柵及百葉窗的設計，能最大化地利用自然採光及防止眩光，此外室內還有設置智慧照明系統，利用光感應器可以在自然採光較低時調高燈具照度，自然採光充足時調降燈具照度，以減少能源消耗。相較於大學園主校區，朱比利校區內的建築物更節能了 60%，並朝向「零耗能建築」的目標邁進。

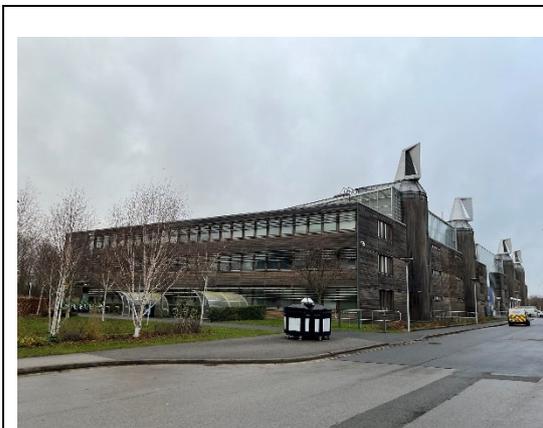


圖 肆-25 教學大樓



圖 肆-26 捕風塔



圖 肆-27 玻璃屋頂嵌入太陽能電池



圖 肆-28 外牆隔柵及百葉窗

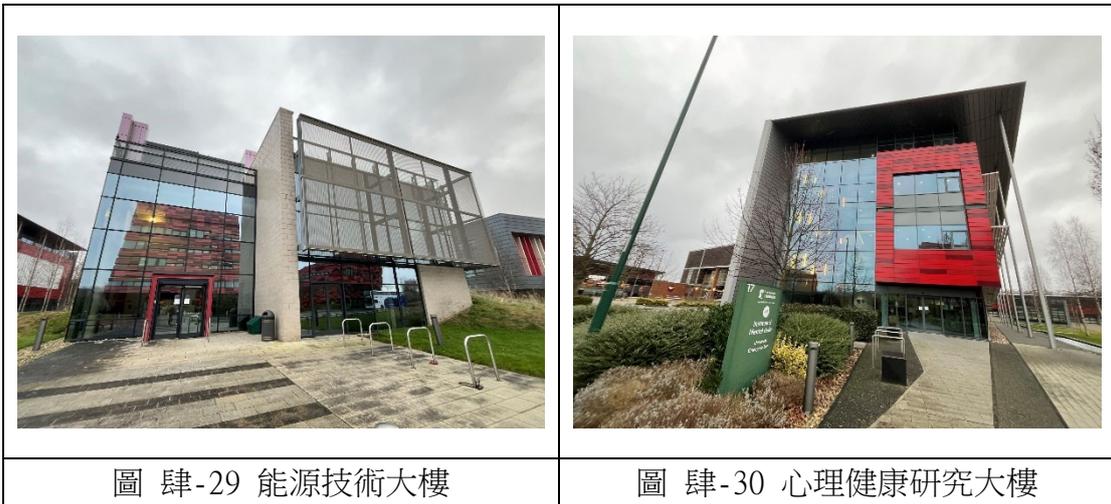
除了各棟教學大樓之外，位於諾丁漢大學校創新園區的能源技術大樓 (Energy Technologies Building) 更是低碳建築的典範，其建築物東西向的方位可以充分利用自然採光及通風，建築物採用裸露混凝土來調節溫度，建築物上還有一片綠色屋頂及太陽光電設備，能夠更有效率的反射太陽光照射，讓屋頂的維持涼爽溫度，使得室內空間更加舒適。屋頂上的植物可以保留降雨時所帶來的水分，當天氣變炎熱時，地面吸收更多熱量並蒸發水分產生冷卻效果，有利於太陽光電設備提升效率。建築物的通風系統，結合了創新的地中管 (earth tube) 系統，利用地底層土壤的恆溫作為熱交換的媒介，將室外空氣冷卻後導入內部空間。

能源技術大樓藉由一部複合式生質燃料熱電機組 (A biofuel Combined Heat and Power) 可以大量地節省碳排放，為了減少更多的碳排放，這部複合式生質燃料熱電機組同時提供能源技術大樓及其北

側的心理健康研究大樓 (Institute of Mental Health building)

所需的電力。過程中大量的基礎設耗能從原估計每年 53 噸二氧化碳

排放減少到每年負 13 噸二氧化碳排放，相當於減少了 124%。



伍、心得及建議

本次透過 GE Vernova 公司的協助，有機會來到英國並實地參訪 Conrad Energy 公司的儲能電池廠 (Winchester Site)，過程中 Mr. Mark Taylor 及 Mr. Steve Almond 詳細解說整個儲能系統的架構、技術及運作模式，令我獲益良多。這趟旅程中我也走訪英國各地指標性的低碳、近零社區及智慧綠建築，其中包含貝丁頓零碳社區、霍克頓住宅、倫敦水晶大廈及諾丁漢大學朱比利校區等，瞭解相關技術與發展。另外在交通方面，英國的馬路、街道上隨處可見電動車及共享電輔自行車，並且設置許多充電設施，大眾運輸也有電動巴士。由這些能源及運輸政策可以得知英國對於淨零排放及零碳未來相當重視。

本次赴英國實習之建議如下：

- (一) 為因應國家能源政策，本公司近年來亦大規模建置太陽光電及風力發電，而光電及風電的特性皆為間歇性且不容易預測，沒辦法像傳統發電機組一樣，隨時接收調度指令因應系統負載的變化，大量的再生能源併入電網後，傳統機組須配合再生能源進行降載或是解聯待機，可能會造成系統慣量不足的情況，若遇上天候不佳使再生能源發電突然大量減少，恐導致系統頻率驟降，影響供電穩定。為了降低大規模再生能源併網所造成的風險，許多國家都已經開始發展大型的儲

能系統，藉此幫助電力系統運轉的穩定，建議本公司未來可逐步推動大型儲能電廠，運用電化學儲能電池可迅速充放電的優勢，快速響應有效的調節電力系統頻率，以確保電網穩定。此外，儲能系統應結合太陽光電及風力發電，這樣的搭配可在光電及風電發電量高於系統需求量時，將多餘的能源存入儲能電池，當系統有需求時再釋放出來。光電及風電皆屬於間歇性的再生能源，但它們與儲能系統整合後即可成為一個穩定的電源。

(二) 一般來說，夏季戶外空氣的溫度會高於地下土壤的溫度，地中管熱交換系統主要是將高溫的外氣引入地下涵管，與地底層比較低溫的土壤進行熱交換後，再將降溫的外氣導入空調系統送入室內。辦公大樓之空調系統用電量約佔總用電量四成以上，未來本公司新建辦公大樓及宿舍若能將地中管系統納入規劃設計，後續在使用上可提升空調系統的效率，亦能降低能源消耗減少碳排放。

(三) 本公司各電廠廠區占地廣大，許多時候同仁在電廠內移動距離較長需仰賴機車，建議可在電廠內設置多處共享電輔自行車站，取代機車供同仁使用；另外是否可在電廠內建置小型生質燃料熱電機組 (A biofuel Combined Heat and Power)，提供電力給廠內辦公大樓、宿舍等建物使用，可減少大量碳排放，亦值得納入考量。

陸、參考資料出處

1. <https://www.gevernova.com/>
2. <https://conradenergy.co.uk/>
3. <https://wilkinoneyre.com/projects/the-crystal>
4. <https://www.bioregional.com/projects-and-services/case-studies/bedzed-the-uks-first-large-scale-eco-village>
5. <https://www.hockertonhousingproject.org.uk/>
6. <https://www.nottingham.ac.uk/>
7. <https://tpcjournal.taipower.com.tw/article/3447>
8. <https://www.moea.gov.tw/MNS/doi/home/Home2.aspx>