



綠建築節能再進化

台達電子文教基金會執行長 / 張楊乾
台達電子文教基金會高級專員 / 詹詒絜

關鍵字：綠建築、淨零耗能、零碳建築、分散式能源系統

自2005年以來，台達以及台達電子文教基金會，總共自建與捐建了27棟經認證的綠建築、以及2座獲國際節能認證的資料中心。其中，由基金會所捐建的綠建築，每年持續與受贈單位合作，嘗試將建築能耗進一步降低；到2020年第一季為止，已有一棟連續三年達成「淨零耗能」的高標、一棟超越原先「碳中和」規劃，成為負碳建築；台達所研發的儲能以及電力調節系統，也持續導入建築管理系統之中，使零碳建築的未來，更快地可以在臺灣實現。

建築本身承載著各式能源使用情境，能夠提供再生能源發電的面積亦為有限，要能夠如何達成零碳建築的高標，很容易被民眾認為過於理想。先進國家或許有政策引導，要求大型建築物須於電網採購綠電或取得碳權憑證等，但節能技術的導入，永遠是建築能源管理者年年需要學習的課題。

位於高雄那瑪夏區的民權國小，是由台達基金會在莫拉克風災後認養重建，計劃啟

動至今已經十年（如圖1）。由郭英釗建築師所設計的校園，運用包括高腳立柱、深遮簷、浮力通風、LED燈、加厚屋頂隔熱層等被動式設計的原理，再加上10峰瓦的小範圍建築一體型太陽能板、以及建置能源監控系統，落成首年的能源消耗，每平方米僅需9度電左右。（如圖2）

不過台達的團隊在將硬體移交給校方後，仍持續與校方團隊合作，思考能如何優



圖1 那瑪夏民權國小採用大屋頂和多窗設計手法



圖2 利用建築設計，巧妙遮陽及促進自然風的對流



圖3 成大孫運璿綠建築研究大樓，每平方米的平
均造價為台幣2萬9千元，是非常平價的低耗能
建築

化學校的能源使用，使其成為東亞校園節能的標竿。

由於民權國小設計為當地避難中心，太陽能以自發自用為主，但第一年即發現到午休時間，全校太陽能有發電過剩的情況，因此逐步加裝儲能系統。另外太陽能發電時，發電效率也高於原有預計，反倒當地風場與歷史氣象資料相距甚遠，風力發電效果不彰，後來決定將小型的風力發電機拆下，利用原有基座新增地面型太陽能系統12峰瓦。

相關設施改善逐步到位後，民權國小在落成後的第三年，教學棟與圖書館均達成全年發電量等同於用電量的「淨零耗能」標準，成為全台第一座淨零耗能校園。台達基金會也整理相關細節，帶到聯合國氣候會議周邊會議，分享給與會的各界決策者，強化與會者的減碳決心。

但故事到此還沒結束，隨著災後重建陸

續完成，那瑪夏區的人口也逐漸回流，學校的人數也逐漸增加，在連續三年達成淨零耗能後，2018年學校用電量再次超越發電量，每平方米耗電量增為1.7度電。時值台達的儲能及電力調節技術亦已成熟，搭配民權國小所新提出的托兒所新建工程，在2019年底開始陸續導入，除了持續挑戰淨零耗能目標外，也讓未來當災難來臨時，作為避難中心的民權國小，能發揮分散式能源系統的優勢，讓當地居民均能順利避災。

除那瑪夏民權國小外，台達基金會也持續監控其他捐建的綠建築能耗資料，其中由成大林憲德教授與石昭永建築師師徒攜手，共同設計的成功大學孫運璿綠建築研究大樓，能耗表現同樣不俗。（如圖3）

林憲德教授採用大量的被動式設計與策略、搭配高效能的MEP系統（機械、電力、配管）、以及再生能源系統，也讓這棟位於市區的大學校園建築，從預估每平方每年耗電43度，優化到2019年每平方米僅需26.3度，



圖4 孫運璿綠建築研究大樓上的浮力通風塔促進上下自然通風，是節省能耗的一大助力

較能源局所公佈的辦公大樓類能耗，平均節能84%。（如圖4）

俗稱「綠色魔法學校」的孫運璿綠建築研究大樓，落成時校方就已保留校地雜木林5公頃40年不開發，作為研究大樓碳中和使用。現由於建築用電效率提升將近40%，孫運璿綠建築研究大樓已成為名符其實的負碳建築等，持續引領臺灣的綠建築設計。

在亞洲，同樣也有不同城市的建築，努力朝向零碳建築的目標努力，也作為台達綠建築的砥礪對象。

推動綠建築不遺餘力的新加坡，其負責綠建築業務的建築和建設局（Building and Construction Authority, BCA）辦公樓，每平方米的用電量約為55度，常被視作是東南亞零能耗建築的原型。從外觀來看，BCA以遮陽板搭配低輻射（Low-E）玻璃、屋頂與深遮簷上裝滿太陽能板，充份利用身處熱帶的優勢。此外，BCA辦公樓也讓大量的綠

色植物，覆蓋於建築頂部跟部分立面，極大化了熱隔絕功能，也降低對整個城市的熱島效應。

BCA亦採用了「灶窯」原理打造室內舒適環境，也就是讓熱空氣從高處窗口或煙囪排出，並透過低處開口引進冷空氣。雖然新加坡的溫差幅度較小，浮力通風的效果不一定比對流風來得好，不過只要在建築內塑造顯著溫度差和適當風場，並非全然不可行。BCA另也利用鏡面導板、燈架和光導管等設計，將自然光反射至室內，一方面提升視覺舒適度，一方面使這座三層樓的建築，全年竟然只用780度電在照明上。

建築能耗標準已較臺灣更嚴格的中國大陸，近年對零耗能建築的嘗試更如雨後春筍般興旺。如座落於中國大陸珠海的興業新能源產業園研發樓，就是中國大陸在華南氣候帶，淨零耗能建築關鍵技術示範專案。17樓高的商辦大樓，每平方米每年的耗電量僅為42.9度，是中國大陸廣東省辦公建築能耗平均值的三分之一。這棟綜合型的商辦大樓，採用多功能太陽能帷幕牆，不僅在深遮簷上裝置太陽能板，避免熱氣傳遞至室內又能發電，同時利用自然通風來降低太陽能背面的溫度，以提高發電效率和調整室內熱舒適度。自然採光也是興業研發樓的特色，每月每平方米的照明能耗，平均下來只需要0.5度電左右。

由台達綠建築以及相關低耗能建築的案例，可以發現能達成低碳建築的技術已不是障礙，但建置成本可能是讓建築管理者裹足不前的原因之一。隨著節能與再生能源的技



術提升，相關成本可望逐年下降，只要建築管理者設定好節能目標與對策，一定能找到最適合採用的節能、創能與儲能技術。

早在十幾年前，美國專家就曾針對30所達成「綠色學校」標準的校園進行調查。報告發現這些學校的設計和建造成本，確實比傳統設計的學校增加約1-2%，但啟用後平均能耗少了33%，再加上因採綠建築設計後，帶來整體環境改善，其他附加利益像是教師留任率的提升、醫療費用的降低等，使其財務收益相較之下多達20倍。

而臺灣內政部建築研究所2018年也出了一份研究，實質比較綠建築和一般建築之間造價成本的差異，在調查完國內一共95棟住宿類、非住宿類（辦公和學校）型態建築，最後總結有綠建築標章的建物，造價並沒有明顯高於一般建築，反而是部分一般建築案件，因為業主的特殊使用，而要求價格較高之建材或特別設計，導致造價還比綠建築高。

就像即將落成滿十年的綠色魔法學校，若分析其中的成本，會發現當初被動式設計的成本非常低，但卻省了41%的能源使用；接著相對昂貴一點的MEP系統，貢獻約19%的節電，而目前價格已相當親民、但安裝時價格仍不斐的再生能源系統，則為建築省下5%的電。若以整體造價來計算，在不包含再生能源的安裝成本下，建築每平方米的平均花費大約2萬9千元，在當時就與臺灣傳統辦公樓的建置成本旗鼓相當，何況是十年後的今天。

2018年一篇登在國際潔淨生產期刊（Journal of Clean Production）的研究，也深入分析新加坡BCA改造成淨零耗能建築，背後的成本效益，結論反而發現一棟既有建築如果要做低耗能翻修，主動式設計的節能效果可能會比被動式還來得明顯，且成本支出是相近的。

其中最具成本效益的策略是提高照明系統的能效，其次是換裝高效率的空調系統。以BCA的案例來看，用LED燈具和自動控制系統替換一般T5燈具，可減少40%的能耗，且投資回收期僅僅2年而已。而在改善空調方面，BCA利用專為熱帶建築量身訂做的變速風扇（variable speed fan）、置換通風（displacement ventilation）、個人化通風（personalized ventilation）和單線圈雙風扇系統（single coil twin fan），可減少23-28%的能源使用，相當可觀。當然，也正是因為這些節能措施，另外搭配再生能源的使用，BCA才會被視為亞熱帶零碳建築的原點。

根據國際上推動建築能源效率的組織「新建築協會（New Buildings Institute, NBI）」統計，光是美加兩國在2019年提出的零耗能建築提案，就已有580案，過去幾年幾乎都是翻倍成長。零碳建築的未來已能預見，台達綠建築也正快速朝此目標前進之中，相信可以給國內各類建築的使用者與擁有者一些啟發，讓建築的能源使用效率可以更高，協助全球在本世紀中達成淨零排碳，守住升溫1.5°C的暖化底線。