

頂級節能辦公室的誕生 改造案例分享

摘要

本文針對我國某北部地區一棟已經使用逾 30 年之既有辦公室進行節能改善，首先針對外觀與能源使用背景進行調查，並透過與管理者的對談取得諸多基本資料後以美國 Energy Star Target Finder 進行試算，試算結果發現該建築物之現況已屬高度節能建築物，然經業主要求需再降低 30% 耗能，因此筆者依據該建物特徵與業主預算，以及建築模擬軟體 eQuest 之協助，以三年為改善期限設計下列改善措施：(一) 被動式節能：屋頂綠化與外牆隔熱；(二) 大型設備與辦公家電效率改善：空調設備效率改善、通風管路重新設計、照度合理化、階段性更換高效率燈具等；(三) 管理措施：逐層設置智慧電錶並且建置建築能源管理系統 (Building energy Management System, BEMS)、設備排程、調整辦公室家具位置與類型、修正設備採購計畫、員工教育講習；(四) 節能優質環境提升：為因應業主要求，本案還特別規劃一處既有辦公空間做為技術驗證之用，並且往外延伸與走廊環境整合，重新妝點空間新意。

一、前言

建築部門在全球各國約穩定佔有 25-40% 之初級能源消耗量，其中又以已開發國家例如美國、日本、OECD 等國比例偏高[1]。雖然開發中國家例如印度、中國等由於工業耗能甚大，因此建築物之耗能看似比例偏低，但是根據歷史數據顯示，隨者經濟情況好轉，各國經濟活動將會逐漸轉型，導致住商部門耗能比例隨之攀升，而這樣的趨勢甚至可能來的比預期還快，因為中國大陸早

在今年初於十二五計畫中揭櫫了未來五年大陸將要推動居住城鎮化達到 50% 的比例(原 45%)，這意味著在未來五年光憑大陸市場將會有約 4600 萬人口移入都市或是就地需要都市基礎建設。而麥肯錫更是大膽預估在 2030 年之前，大陸人口將會達到約 15 億，其中 2/3 人口的居住地會朝城市化發展，因此需要大量新的城市基礎建設來因應 [2]。值得關注的是大陸很可能可以在這一波的城鎮化過程中徹底蛻變成爲建築部門最節能的國家，因為新建物設置節能技術的成本甚

低，不論是透過設計或是整體與城鎮的綜合規畫等皆然；反觀我國，雖然建築部門長期約佔我國 30-35% 之初級能源使用量，以及大約 40% 之耗電量，但是新建物（建置完成時間 < 5 年）僅佔目前約 3% 之樓地板面積，加上我國新建物建照發行之最高峰已過約 20 餘年 [3]，因此我國欲徹底落實建築部門節能減碳，反而需要關注如何改善這一片市場中的大宗標的物 – 既有建築物。

既有建築由於已經施工完畢，因此部分被動節能技術若欲設置，其成本會相形墊高，例如最基本的坐向位置、外遮陽、浮力通風路徑規劃等，因此仍多以主動式節能策略加以因應，例如改善空調、照明、插座耗電等三項耗能占比最大的項目。由於近年來各國積極培植能源服務業（Energy Service Company, ESCO），因此目前包括我國在內的節能服務市場上已經有許多知名的公司與成熟的服務流程，一般大眾可逕自與其聯繫諮詢。而筆者在本文所欲分享之案例與一般市面上希望尋求改善的案例大相逕庭 – 該案例在業主的細心維護之下已屬高度節能建築，然而業主為追求企業形象與永續發展，希望透過專業的協助再把現況甚優之建築耗能削減 30%，同時兼顧環境再造與技術展示等多項功能。該名業主同時要求每年都需要有令人耳目一新的措施或表現，方能展現企業求新求變的積極態度以及功能與美感的徹底平衡。本案最後依據業主的的要求完成規劃，並於近期展開發包施工，雖然尚未正式驗證其成效，然而依據建築模擬軟體 eQuest 之驗證結果顯示，這項頂級節能的終極目標確實有機會達成。因此本案對於希望追求高度節能辦公室

改善的讀者應可提供部分具有參考意義之規畫經驗。

二、案例分析

2-1 背景調查與分析

本案例位處我國北部地區，是一棟地上五層、地下一層之建物，總樓地板面積約 7500 m²，內設一處迎賓大廳、約 350 個辦公座位、400 台桌上型電腦與 10 個大小不等會議室。很明顯地當初在設計階段便已融入許多被動式節能理念，例如長軸為東西向，藉以減少大量東西側之熱獲得，同時把逃生梯、廁所、電梯等不常使用之空間與設備留在東西側，也是巧妙地減少外部熱負載同時鼓勵多使用樓梯的手法之一。南面 1-2 樓則有完整茂密樹林遮覆，可以為該大樓已經全面裝設雙層玻璃的設計截斷更多來自直接陽光的照射。該建物南北向的開窗甚多，但是窗外皆有 0.4 公尺之水平（窗戶上緣）與垂直外遮陽（窗戶兩側）。依據太陽極投影圖（Stereographic projection）之推算，該遮陽結構在夏至當天可於上午 11 點至接近下午 3 點間完整遮覆南面 3-5 樓窗戶，惟夏季下午 3 點以後室內可能會因為靠窗處與非靠窗處的亮度反差太大而導致炫光。推斷當時未將水平遮陽繼續延伸至完整遮覆其窗戶的原因可能是當年缺乏該地長期統計之氣候資料，因此是由設計師依據經驗判斷過熱時段後，再據此設計水平遮陽的凸出長度加以遮覆。其他外觀部分，該建築物四周完整外覆白色磁磚，而在樓頂部分，據筆者調閱業主施工紀錄發現距今約 10 年前該處也已進行過大規模防水與隔熱磚的施作工程，

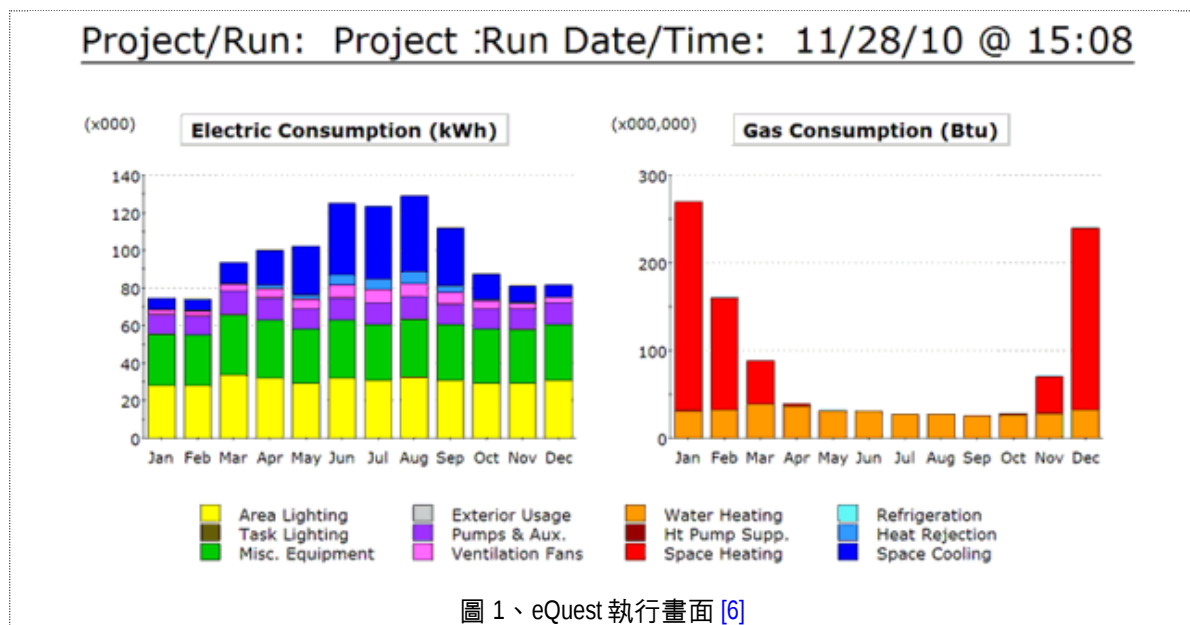
惟諸多數據例如折射與隔熱等數據均未保留，無法為後續建築模擬提供準確數據。

本案例與許多從事既有建築改善同業所面對的問題一樣，即陳年施工維修紀錄多為紙本，除了紙本不若電子檔可以搜尋特定字串外，也會發生保存不善導致污損或缺漏等意外，甚至面臨特定裝置型號短缺的現象。例如根據該業主指出：該棟大樓之窗戶皆採雙層玻璃，內填惰性氣體，但是從驗證的角度而言，卻無從得知完整性能特徵。後來因 eQuest 耗能模擬結果指出更換窗戶的成本效益比例偏低，因此便未進行後續之特性測量等工作。

2-2 耗能型態分析

經過基本的訪談與資料統計後，下一階段為整個節能改善的關鍵，也就是進行耗能的型態分析，即分析有哪些種類的能源以及多少的量，在甚麼時候被使用？筆者於本階段所採用之數據由該業主提供，而讀者除可由相同途徑取得數

據外，部分我國溫室氣體盤查減量的觀念與工具也十分有幫助 [4-5]。然而真正的考驗在於該大樓只能看到整體用電與空調用電，並未針對其他耗能設備裝設電錶，因此判斷耗能分布之作業便只好借重模擬軟體。本案使用之軟體為 eQuest，其執行畫面如圖 1 所示 [6]。筆者依序輸入基本數據，例如各種用途空間的比例，主要耗能設備效率值與運作策略等等，經模擬後取得各項耗能的分配比例。由於建築物老舊的關係，本案無法完全輸入所有數據，因此難免會與實際數據產生誤差。在實務上的解決方法便是比對過去數年的實際數據，再從差異中回頭調整模擬值，雖然有未盡嚴謹之處，但這是處理老舊建物缺乏數據時的共同問題與解決之道。當模擬數據與實際數據誤差達到 $\pm 3\%$ 時（讀者可視業主需求，一般是設定在 $\pm 5\sim 10\%$ ）便可相當程度依賴模擬結果。模擬的好處有二：第一是可以預測每個改善項目的節能效果，第二則是針對沒有獨立掛表的設備耗能加以解析，例如逐周甚至逐時的特定耗能趨勢。由於絕大多數的建築



物不會投資大筆的金額為每個設備一一裝設電表，因此模擬軟體確實有其實用性。

2-3 建築物效能評比

下一個步驟便是與同等級建築物進行評比。依照筆者的經驗，建物節能評比可以分為三個等級：最入門的等級是與既有資料做比較，例如透過美國環保署的 Energy Star 線上評比 Target Finder [7]，若超過 75 分 (滿分 100) 便可獲得 Energy Star 的認證，或是與美國 EIA 的全美商業建築物耗能調查結果評比 (Commercial Buildings Energy Consumption Survey Commercial Energy Uses and Costs) [8] (由於數據只提供到 2003 年，故不推薦)、台灣的機關學校用電 EUI 平均值調查 [9]、內政部公告各類建築 EUI [10] 等等，然而這樣的比較卻有可能失真，因為基礎調查可能不夠完備或是資料庫內的建築物都不節能，即使勝出也意義有限；更進一階的等級便是與綠建築指標進行評比，例如我國的 EEWB 或是美國的 LEED 等對於節能項目的規範，以判斷是否有機會通過綠建築的考驗；最終極的目標便是跟 (淨) 零耗能屋來做比

較，期許所有的措施都可以將耗能與產能達到中和。本案於上述三個等級都進行比較，結果發現不論國內外、類似緯度、同樣使用目的等，其結果均皆相當卓越。倘若比起美國同氣候區之辦公大樓 (根據 ASHREA 90.1 標準，台灣之冷卻度日 (Cooling degree day) > 9000°F，屬於極度濕熱之 Zone 1) 已較平均節能 61%，雖然本案距離零耗能屋尚有每年約 70 餘萬度電的缺口，但是若設計規劃得宜仍相當有機會達到業主欲節能 30% 的需求。

2-4 擬定節能措施

本案特殊之處在於如何針對既有能源使用效率甚高之建物持續節能，因此在本案的討論過程中充滿了許多討論與折衝，例如合理成本的界線、外型傳達的意念、與環境永續共生的方法、如何同步促進員工健康...等等。最後答案聽起來或許平凡無奇，卻是實在無比，那就透過與業主不斷的溝通，最後選擇業主最大利益成本之措施加以推動。最終版建議措施如表 1 所示。

表 1、各執行年度措施分類與預期減少耗能

執行年度	亮點措施	輔助措施	預期減少耗能 (以 2010 為 100%)
1	1. 建物外觀改造 2. 鋪設感知器，建構 BEMS	1. 現有照明設備最佳化 2. 現有空調設備最佳化 3. 輔助設備：再生能源、迷你氣象站 4. 行政措施	空調 (5%) + 照明 (5%) + 再生能源 (5%) + 行為改善 (5%) = 20%
2	1. 成立技術展示用辦公室	1. 依據 BEMS 結果修正行政措施 2. 辦公設備等雜項設備效率改善	展示辦公室 (1%) + 行為改善 (2%) + 雜項設備改善 (2%) = 5%
3	1. 換裝高效率燈具 2. 升級展示辦公室技術		照明 (4%) + 展示辦公室 (1%) = 5%
			總計：30%

表 1 共分為亮點措施與輔助措施，其界線在於技術成熟度與建物外觀變化程度，舉例來說若是外觀變化大、技術相對風險較高、偏向展示性質等則列為亮點項目，反之若是技術成熟但是無法展現該業主積極研發的形象之措施，即使效果較大也會被列入輔助措施。其中爭議較大的有再生能源的設置種類與面積，這是因為再生能源雖然是邁向零耗能的關鍵步驟，而且能展現業主積極減碳的決心，但是最後在能夠創造優質環境下的空中花園（第一年亮點項目之建物改造）面前，業主決定做出取舍，把大多數面積讓給綠地，僅留少量面積給太陽光電設備與風力發電機，待再生能源技術更加成熟時再擴大規模導入。另一個激烈的辯論案例則是針對設置技術極為前瞻的再生能源空調，最後由於成本效益過小，因此在只有三年的改善限制之下作罷。第三個令筆者印象深刻的提案是能調變色彩的智慧窗戶的採用。由於窗戶是影響室內熱負載的關鍵之一，尤其在亞熱帶氣候並非單純的酷暑或是嚴寒，因此對於智慧調變窗戶應該是最有應用契機的場域，也是前瞻節能的圖騰，然而最終也因為成本效益無法在三年內獲致明顯回收，因此忍痛割愛。

第一年的建物改造主要聚焦被動式節能，採用的方式有外觀綠美化以及外加公共藝術的融合，以便將節能改造與優質環境的塑造一次完成。此外，由於在前述內容曾提及能源模擬需要比對實際數據，因此建議頂樓設置迷你型氣象站，如此也可以與室內設置的感知器交叉提供能源管理者決策訊息。本案為業主所設計的能源管理介面主要以立體圖形化為操作介面，除可離線操控不受網

路斷訊的影響外，平時也可與氣象預報結合預測用電尖峰並提前告知節能秘訣。其他還包括照明與空調的最佳化調校，例如亮度是否合理，調光器與電子安定器的鋪設、燈光是否能隨窗面平行的方向開關、通風管路內壓力降是否過高、冰水溫度設定是否合理等等。行政措施則包括設備排程關機、使用低矮的辦公隔屏可有利燈光與冷氣流通、定期維護保養與員工教育訓練等。

第二年首先根據第一年的數據加以檢討並且調整相關措施，例如行政措施是否應該緊縮或是放寬，其次則是透過甫建置完成的 BEMS 於第二年正式展開更智慧化的管理。依據筆者的經驗，尋求節能服務的業主對於節能技術的知識背景略有差異，因此設計 BEMS 的過程必須要有好幾個備案，沒有一定的公式可以依循。另一個比較特別的是，業主會提供一間中小型辦公空間加以改裝，並且納入個人化空調與照明、人員位置感知、隔音設備等，目標在於將個人空調加照明的耗能降低到每人 0.3-0.5 kWh。筆者則是參照 ASHRAE 對於人體舒適度的條件加以設計，結果發現這樣的條件確實有機會達成，因此排入第二年嘗試使用，惟節能成效仍有待檢驗，因此節能量暫時保守以對。

第三年是驗收前的最後一年，如果一切按照計畫進行，則第三年起市面上應該已經可以輕易購得部分價格合理之能源設備，例如節能電器、節能設備、再生能源設備等。因此前兩年因為價格稍貴而不予安裝之選項都在這一年得以實現。以節能技術展示辦公室為例，本案將會選用其中 1-2 項值得推廣的技術

擴大複製；同一時間將會嘗試運用紀錄一年的人員使用習性進行行為預測，例如習慣午休的同仁，空調將會適時提高溫度與降低風速，或是習慣七點下班的同仁，則會依照日照條件適時調整局部照明等。另外以照明改善為例，屆時也將會視情況考慮 LED 取代目前之主流 T5 燈具的可行性。

成本是本案最後一個重點，也是牽引本案內容不斷翻修的主因，其角色之重不言可喻。前文曾提及本建築物在改善前就已非常節能，因此若要再往下削減 30% 的耗能量勢必要比一般普通建築物來的昂貴。最後筆者擬定以下 4 大策略主軸加以因應：(1) 朝向優質生活環境的方向加以包裝：既然該建物已經內涵大多數的被動式設計且不易再新增任何項目，因此筆者往該建物最大的缺口 - 優質生活環境的方向著手，試圖把冷冰冰的工作環境與令人舒適的戶外環境加以結合，在優質環境創造的前提下同時還可節能，例如空中花園與植生牆的利用等、(2) 修正傳統智慧節能手法，例如依據 BEMS 與迷你氣象站的綜合資訊擬定適合該建物使用者習性的行政措施，而非傳統仰賴大量感知器的方式進行 (3) 耗能合理設計：由於該建物已經導入許多手動操控的個人化開關，但是照度和冰水溫度卻不盡然合理，於是藉由簡單的員工教育和排程控制是最直觀也是最快見效的方式、(4) 以時間換取空間：許多設備現階段仍然昂貴，因此筆者便採少量鋪設或是多等幾年後再視當時市價決定行動方案，而非為了節能而節能。

最後將本案自接受委託開始到完成規畫的流程整理如表 2 供讀者參考：

表 2、本案節能改善流程表

步驟	說明
1	分析建築物類別
2	收集耗能資訊
3	分析耗能型態 (常需要電腦模擬工具協助)
4	建物效能評比
5	擬定節能措施 (建議優先施作成熟技術，以達最佳成本效益)
6	提供節能服務與保證

三、結語

一棟建築物是一個大系統，裡面的設備耗能與外界的環境條件環環相扣，因此不論是事前設計或是現場施工的情況都十分複雜，著實難以歸納出一體適用的標準流程，因此本文係經驗分享而非提供唯一方案。本案針對台灣北部氣候區域之既有辦公建築加以規畫改善，採用三年削減 30% 耗能為目標，4 大節能策略為主軸，分別擬定出亮點與輔助措施若干，雖然其過程無法完全套用在其他區域和其他類型建物，但是筆者盡量在說明過程中朝向各建物共通的原則加以解說與分享。節能策略沒有唯一解答，本文希望能拋磚引玉，激發大眾更多想像力，提出更多精采的創見。最終期許本案能在成果檢驗的那一天為台灣真正打造出一處頂級節能建物改造的典範案例。

四、誌謝

本文承蒙經濟部能源局能源研究基金贊助與支持，特此致謝。同時感謝筆者身邊專業同仁，包括 (以下稱謂略)：鄭名山、張鈺炯、張育瑞、江旭政、曾鵬樟、李浩銓、張文奎等人寶貴的觀點。

五、參考文獻

- [1] p.83, Energy Technology Perspectives 2010, IEA
- [2] M. Joerss, J. R. Woetzel, and H. Zhang, China's green opportunity, Mckinsey Quarterly, Mckinsey&Company
- [3] 內政部營建署主動公開資訊
http://www.cpami.gov.tw/chinese/index.php?option=com_openinfo&view=openinfo&Itemid=95
- [4] 行政院環保署國家溫室氣體登錄平台
<http://ghgregistry.epa.gov.tw/Tool/tools.aspx>
- [5] 經濟部能源局能源產業溫室氣體減量資訊網 http://www.cadiis.com.tw/energy/index.php?option=com_content&view=article&id=202&Itemid=55
- [6] C. Wark, Cooler than Cool Roofs: How Heat Doesn't Move Through a Green Roof, Part 5: Assuming Insulation, Green Roof Energy Series, November 29, 2010
- [7] https://www.energystar.gov/index.cfm?fuseaction=target_finder.
- [8] Commercial Buildings Energy Consumption Survey commercial energy uses and costs
<http://www.eia.gov/emeu/cbecs/>
- [9] 機關學校用電指標 (EUI) 基準值
http://www.moeaboe.gov.tw/Download/opengovinfo/Laws/saveenergy/files/l_save_22_f02.doc
- [10] 綠建築解說與評估手冊 2007 更新版，內政部建築研究所

Abstract

This paper reveals the processes of how to retrofit an existing high performance commercial building and cut as much as 30% of energy use in three years with limited budget. This building is located in northern Taiwan. It has five stories and one basement which is about 7500 m² in total. Although it has ranked 98 out of 100 according to an Energy Star online assessment tool which is equivalent to 61% of energy reduction compared to the average, this paper still spots several unnecessary waste and proposes four action plans: (1) passive features: a green roof and a vertical garden, (2) equipment and appliances: retrofit of HVAC and lighting system and rational use, (3) management: install AMI and an corresponding BEMS for energy managers, scheduling control, re-align cubicles with light sources, green procurement schemes, training and education, (4) environmental face lift: launch a demo office and connect it with show cases in the corridor to create an holistic innovative space for the building.