

剖析零碳建築對建築創新與環保設計的意義

許俊民
香港大學機械工程系

摘要

近年世界各地都積極發展「零碳/低碳」建築,以達到節能減排及提高環保意識之目的。因為建築物是溫室氣體和碳排放的主要來源,所以未來建築節能和減碳排放成為大勢所趨。本論文深入剖析零碳建築的定義和相關概念,並且闡述了零碳建築的設計策略及意義,同時從建築和工程設計的觀點上,探討如何促進零碳建築的技術,以及在香港的發展情況。

關鍵詞: 零碳建築、零能耗建築、再生能源、節能減碳、香港

1. 引言

二十世紀以來全球氣候變暖的問題越來越嚴重,溫室效應正不斷威脅著全球氣候的生態環境。在溫室氣體中,二氧化碳(CO₂)的數量日益增加,不僅會使全球氣溫上升、氣候極度動盪,還會對陸地和海洋的分佈狀況產生復雜而嚴重的影響,如持續的海平面上升、堤壩崩塌、土壤沉陷等等。為了減少碳排放和降低溫室效應,世界各國都紛紛推出「零碳」計劃,發展低碳城市和社會,以達到節能減碳的目標[1, 2, 3, 4]。

目前,與建築相關的能源消耗和溫室氣體排在總能源消耗和人為溫室氣體排放中佔有很高的比例,約佔全球碳排放三成。正因為建築物是溫室氣體和碳排放的主要來源,所以未來建築節能和減碳排放成為大勢所趨[5, 6, 7]。在許多國家,零能耗建築(zero energy building, ZEB)和零碳建築(zero carbon building, ZCB)備受關注,因為它們被認為是實現節約能源、減少溫室氣體的排放量和達到可持續發展的一個重要措施[8]。近年來歐盟、美國和一些亞洲

國家紛紛發表零能耗/零碳排放建築的規劃設計或建造案例,並且已放入國家減碳政策目標,顯示零碳和低碳建築是未來的主流[9, 10]。

在歐洲,由於歐盟國家設定2020年為落實零碳建築的目標年,同時啟動了零碳技術的科技研發計劃,配合許多新節能促進制度與法令規範的修訂,使零碳建築成為具體明確的努力目標,也凝聚了全球先進國家的共識[8, 10]。在美國,美國能源部訂出2030年前商業新建築需達到淨零耗能、2040年前50%商業建築需達到淨零耗能,並於2050年前全面達到淨零耗能的目標[2]。日本也為了京都議定書的承諾,加上311震災後的教訓,設定2030為零碳建築實踐目標年,從政府機構到民間部門無不全力推展進行[3]。

為了把零能耗/零碳建築變為現實,以促進更廣泛的應用,最重要的是要提高人們的理解和制定有效的政策。本論文深入剖析零碳建築的定義和相關概念,並且闡述了零碳建築的設計策略及意義,同時從建築和工程設計的觀點上,探討如何促進零碳建築的技術,以及在香港的發展情況。

2. 零碳建築的定義

「零碳建築」又稱為「零排放建築」,顧名思義是沒有碳排放的建築物[9]。可是,建築物的建造過程及運輸所需物料時都必須耗用大量能源,這些能源主要來自燃燒化石燃料,過程中必然會產生大量碳排放,所以要在建築物興建之時即達至零碳排放是沒有可能的。「零碳建築」的理念不在於將建築時產生的碳排放降至零,而是建築物在運作過程中自行產生可再生能源,用以抵消運作時因能耗產生的碳排放[11, 12]。例如在建築物上加設熱能回收器

和太陽能光伏板等器材設備，將太陽的光和熱轉化為電力供建築物使用，如果產生的電力多於建築物所需，多餘的電力還可輸往公共電網。因此，建築物在運作時使用可再生和低碳能源，可抵消運作過程所產生的碳排放，達致「零碳」目標。

從實際上考慮，「零碳建築」的定義，大致可以理解是一棟建築的設計建造與整體生命週期中，透過節能手法與低碳技術的應用，加上可再生潔淨能源的導入使用，使其日常能源消耗可以達到零碳排放或接近零能耗之目標。其實，目前在國際上，零碳建築仍未有明確的定義和算法，各個國家可能採取不同的方法來定義零碳建築，這樣導致出現了各種各樣的術語和方式來描述這些建築物，包括零碳排放、碳中和、低碳、低能耗和被動式節能屋等等，使人們感到困惑和不容易作比對。

在一般情況下，建築的能源消耗(例如電力)是其碳排放的主要項目。通常，零碳或零能耗建築的算法是以每年為基礎，根據一年內建築物的能源消耗、能源產生和碳

排放的淨值來評估。美國的研究顯示 [13]，零碳/零能耗建築可以仔細分為六大類別，表1顯示了這些類別的術語和定義，當中把淨零能耗、現場淨零能耗、場外淨零能耗、初級能源淨零能耗、成本淨零能耗，和淨零能耗排放量(即零碳)都清楚區分定義出來。這樣考慮了建築物現場範圍，可再生能源是在現場或場外產生，能耗以初級或最終計算，評估能耗淨值、買賣成本或能耗排放量。

通常情況下，零碳/零能耗建築的定義只包括建築物運作的日常耗能，作為零碳計算的操作模式。另外一種零碳計算方法，是考慮建築結構、建材和設備的生產、運輸、建造過程等的包含能耗(Embodied energy)和包含碳排放量(Embodied carbon/emissions)，可以稱為零碳包含建築(Zero carbon embodied building) [14]。比較嚴格和廣義的定義，會考慮整體生命週期，從規劃設計、建材生產、材料運輸、興建施工、日常運作使用、更新維護修繕、廢棄處理等階段皆納入計算[15]。可是，這種零碳生命週期建築(Zero carbon

表 1. 零能耗建築和零碳建築的各種術語和定義

術語	定義/含義
零能耗建築(ZEB)/淨零能耗建築(Net zero energy building, NZEB)	建築物每年自己產生的能源(例如可再生能源)，相等於自己所需要消耗的能源
現場淨零能耗建築(Site ZEB)	建築物每年現場自己產生的能源相等於自己所需要消耗的能源(限於建築物現場範圍)
場外淨零能耗建築(Off-site ZEB)	與前一個類似，但考慮場外購買的可再生能源(建築物現場範圍以外)
初級能源淨零能耗建築(Source ZEB)	從初級能源計算，建築物每年自己產生的能源，相等於自己所需要消耗的能源。例如，每一度電力消耗其實需要在電廠使用大約相等於三倍的化石燃料的能源。這樣，建築物的總耗能要乘上三倍來計算。
成本淨零能耗建築(Cost ZEB)	建築物每年要平衡購買能源的成本和銷售現場產生能源的收入(例如銷售可再生能源的電力給電網)
零碳建築(ZCB)/零排放建築(Zero emission building)/淨零能耗排放量建築	建築物每年在現場或場外使用化石燃料產生的碳排放，相等於自己現場生產可再生能源所抵銷的碳排放

life-cycle building)的計算操作難度極高且甚為複雜，現階段沒有足夠數據和法則支援，所以暫難施行。

目前很多國家如美國、德國、英國等已製定了自己的建築碳排放計量方法，但尚沒有一個國際上通行的、公認的標準[16]。雖然一些主要的綠色建築評估系統已經將節能減排作為重要指標，可是它們仍然只關注建築運行過程中的個別直接能源消耗，評估有限的個別幾個能源消耗和碳排放項目，對其他能耗或碳排放項目則不做要求。碳排放計量，尤其是建築的碳計量問題，在國際上一直是一個學術難題，相對其他領域，確定建築碳排放基準線比較困難[14]。目前全世界都沒有提出對建築整體的能耗和碳排放進行統一全面計量的方法。要想真正了解建築的能耗和碳排放，必須對眾多相關方面都進行計量，否則有可能出現偏頗，將評價標準所要求的項目的能耗和碳排放轉移至無要求項目的情況。因此，明白零碳/零能耗建築的定義，是非常重要的。

3. 環保建築相關概念

要深入剖析零碳建築，必須了解一些相關的環保建築概念。所謂「環保建築」，即

建築物在興建及運作時減少對環境的破壞，其實零碳建築就是當中的佼佼者，因為它可以透過節能減碳來保護生態環境。建築物實現零碳排放，代表它可以把本身對溫室效應和氣候變化等破壞環境的影響減至最少，同時也可以大大提高節約能源的效果。不過，達至零碳排放，其實有很多不同的手法，要根據所採用的零碳建築定義來決定，例如抵消碳排放量或建築能耗的方法，包括現場或場外的可再生潔淨能源，也有一些國家容許用其他方法來抵消(例如場外節能減碳合約和通過認證的綠色電力)[10, 12, 17, 18]。因此，在判斷零碳建築的實際表現時，一定要了解其真正定義和相關條件。

表2列舉了五個常見的環保建築相關概念。「自主或自給自足建築」能夠在自己的現場範圍內獨立運作和自給自足(電力、給排水等等)，通常只有地處偏遠的小型建築物才能做到[19]。現今人類的生活都要依靠公用電網的電力服務，所以「離電網建築」是有一定困難和不便的，尤其是當前可再生能源和能量儲存技術的成本及效率未如理想。若果離電網型建築不能把自己生產的多餘能量送返回到電網，那麼在能量平衡和穩定可靠等方面都會比較遜色。至於自給自足建築和離電網建築的碳排放

表 2. 環保建築相關概念

概念	定義/含義
自主或自給自足建築 (Autonomous or self-sufficient building)	建築物被設計為獨立運作，自給自足，不需其他基礎公共設施支援，例如電網供電、市政供水系統、公共污水處理系統、雨水渠、通信服務等。
離電網建築(Off-the-grid building)	建築物電力是完全自給自足和獨立，不需要連接場外的公用電網設施。它需要具備分佈式可再生能源和能量儲存能力。
綠色建築(Green building, GB)	建築物能夠減少對環境的影響，同時提高環境的可持續發展。
低能耗建築(Low energy building, LEB)	能夠比一般建築物有較低的能源消耗。
被動式節能屋(Passive energy building)	在德國被稱為 Passivhaus，也被稱為被動式太陽能建築。可以通過被動式設計，達到超低能耗，但不包括主動的系統，例如機械通風或光電設備。

量應如何計算，它們對環境的影響又應怎樣評估，關鍵在人們對碳排放計量和環境影響的理解。

「綠色建築」基本上是個抽象的概念，它重視建築與生態及環境的融合，關照面向較廣泛，能源使用僅是它關注的其中一個重要項目。2006年中華人民共和國國家標準《綠色建築評價標準》正式出版[20]，其中對於「綠色建築」的定義是：“在建築的全壽命週期內，最大限度地節約資源(節能、節地、節水、節材)、保護環境和減少污染，為人們提供健康、適用和高效的使用空間以及與自然和諧共生的建築。”其他國家地區也有發展了不同的綠色建築評估系統[16]，例如美國的LEED、英國的BREEAM、加拿大的BEPAC、日本的CASBEE、香港的BEAM Plus、新加坡的Green Mark等，當中對綠色建築的定義是不完全一樣的，所關注的項目也各不相同。儘管對綠色建築的內涵有各式各樣的定義，涉及建築類型的範圍有寬有窄，世界各國的綠色建築評價標準(或評價體系)基本上是圍繞三個主題展開的：1)減少對地球資源與環境的負荷和影響；2)創造健康、舒適的生活環境；與3)周圍自然環境相融合。有一點很重要，就是符合綠色建築評價標準的建築，未必是零碳/零能耗(或低能耗)建築，因為彼此沒有必然固定的關係。

「低能耗建築」和「被動式節能屋」是在歐洲最早發展出來的，通常應用在住宅建築。一個接近零能耗的建築可被稱為「近

零能耗建築(Near-zero energy building)」或「超低能耗建築(Ultra-low energy building)」。它們是基於被動式設計建造的節能型建築，以建築物理和技術來減少能源消耗，同時顧及到新鮮空氣的流通。這些建築是必須遵守和確實做到幾點指導原則，就可以用非常小的能源消耗調節室內溫度。這類建築與之前介紹的零碳建築不同點在於：零碳建築主要的定義是在現場內「產生」與「消耗」的電和熱相抵，沒有多餘的碳排放量，也沒有限制建築單位面積耗能多少。

據了解，大多數零碳/零能耗建築是很「綠色」和環保的，然而，目前很少有綠色建築能達到零碳/零能耗的目標。其實，零碳/零能耗建築和綠色建築有許多相似之處，因為兩者的目的都是要減少能源消耗和溫室氣體排放，以實現高性能的節能型建築。綠色建築的目的是更有效地利用資源，並減少建築物對環境的負面影響。零碳/零能耗建築則不一定在所有領域都能夠達到綠色和環保的要求，另外，它一般不會考慮建築結構和建材的包含能耗、建造過程和交通運輸的能耗。表3顯示了低能耗、零能耗/零碳和綠色建築的優點和缺點比較[10]。

近年也有一些國家和人們立志要超過淨零能耗的理想，創造出正能源建築(Energy-plus/-positive building, E+B)和低碳建築(Low-carbon building, LCB)[4, 21]。這樣的建築能夠在現場產生比自己本身需要更多的能量，並將多餘的能量回饋到電網。通

表 3. 比較低能耗、零能耗/零碳和綠色建築

	優點	缺點
低能耗建築(LEB)， 如被動式節能屋	成本最優;有成千上萬的例子	沒有達到最大的節能減碳潛力
零能耗建築(ZEB)/ 零碳建築(ZCB)	能達到最大的節能減碳效果	昂貴的，實際經驗和例子很有限的
綠色建築(GB)	考慮到更廣泛的可持續發展和資源的使用問題	有些建築可能不能滿足其所有理想要求

過匯集一組建築群和集體管理的方式，可以優化整體能源的使用，也可以把建築物當作能量存儲中心，支援廢能量回收、電動車和混合動力車等新穎的能源系統。

3. 零碳建築的設計策略

零碳/零能耗建築的設計目標是聚焦在能源的使用議題上，希望能夠在維持活動環境的舒適性下，透過建築節能設計技術和高效能設備的有效應用，再加上合理的再生能源使用，搭配能源資訊智慧化管理，達到建築物零碳/零能耗的目標[8]。圖1顯示了澳洲的零碳建築定義和允許減排方案[14]，表明了應該先鼓勵提高能源效率，減少對能源的需求必須是第一個目標，然後才使用可再生/低碳能源。當中也要首先考慮現場可再生/低碳能源，最後才採用場外的。而現場可再生/低碳能源，可以包括建築本身範圍內、土地業權內、發展區範圍內，以及輸入場外可再生燃料(例如生物質燃料)在現場發電。場外可再生/低碳能源，是包括來自社區基金所支持的社區規模能源設施，以及公用電廠提供的「綠色電力」(Green power)。

從以上例子分析，可以明白到零碳/零能耗建築的實踐，不能只顧及建築設計和設備，還要考慮社區能源設施和公用能源系

統的安排。若果大家最終目標是社會全面的節能減碳，就要在建築設計、社區規劃和能源基建各方面相互協調，共同努力。換句話說，零碳/零能耗建築的成功策略，並不是單靠本身的設計和優點，而是需要考慮整體社區、社會的條件與發展。例如，運用建築群和集體管理的方式[4]，比較個別建築可以發揮更高的整體效益。這樣的策略，好處在於綜合社會全面的資源，壞處就是當考慮不同的因素(節能減碳、社區規劃和社會發展等)時，很難平衡兼顧所有方面。

從建築和工程設計的觀點上看，零碳/零能耗建築很需要採用集成化建築設計(Integrated building design)的方法[22]，綜合考慮眾多影響因素，並通過計算機虛擬模擬分析與預測，達成建築方案設計階段的優化作用[23]，也可以在建築建造、維護、運行階段幫助選擇合適的操作方式，使得在整個建築生命週期內參與設計人員的同步協調。作為建築師，在設計過程中應和建築設備、結構材料等其他相關專業人員共同合作，綜合考慮各種影響因素，針對具體建築盡可能採用簡單合適的技術，盡量適應環境的特點，依靠自然力來滿足舒適性要求，讓建築環境與自然環境協調發展。專家們都相信，集成化的建築設計方法它在形式、功能、性能和成本上

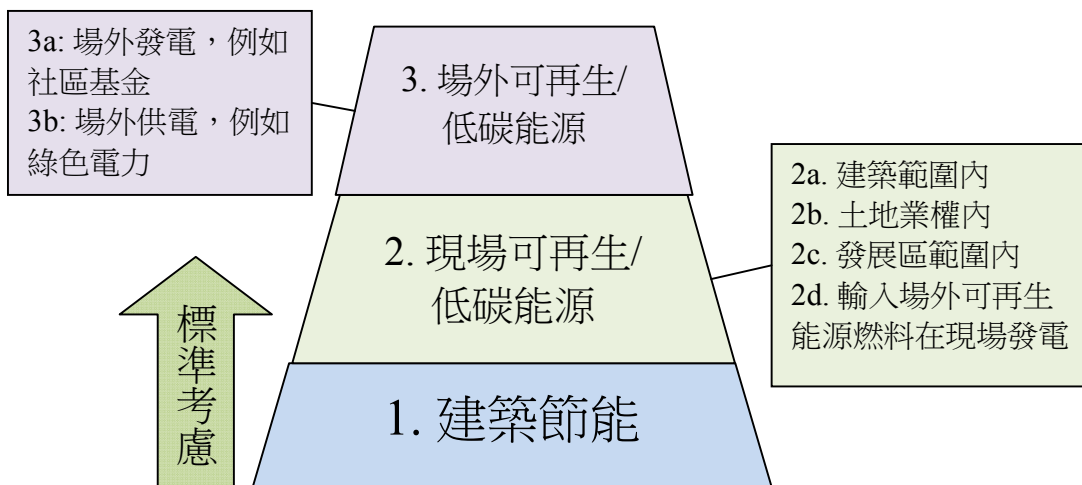


圖 1. 澳洲的零碳建築定義和允許減排方案

與綠色建築設計策略緊密結合，對於建築的生態節能設計和建造良好的人居環境有著很大的意義[24]。

零碳/零能耗建築的設計可能會比一般建築複雜的，因為要針對具體位置、使用要求和實際的能源使用情況，來決定建築節能和可再生/低碳能源的安排。在很多建築類別中，被動式太陽能或低能耗設計往往比昂貴的光伏系統更符合經濟成本效益。常見的建築節能措施包括自然採光、自然通風、建築物適當的坐向、維護結構保溫/隔熱、節能照明、節能暖通空調、節能辦公室設備和能源管理等[25, 26, 27]。總括來說，零碳/零能耗建築的基本設計策略列於表4中。

表4. 零碳/零能耗建築的基本設計策略

設計策略
- 建築項目應從一開始就納入考慮建築節能與可再生能源的運用
- 選擇適合的建築基地，讓可再生能源發揮機會提高，並減少運輸和糧食生產需要
- 優化被動式設計策略，保障自然舒適環境，以減少能源需求
- 節約用水及減少熱水的需求
- 適當選擇建材，以提高被動式設計效果及降低包含能耗
- 減少各方面的能源使用
- 在建築節能與可再生能源之間取得平衡，不要只應用可再生能源而忽略節能水準

5. 零碳建築的成本和技術

低碳建築節能技術以低碳排放為特徵涉及建築全生命週期的各環節，主要包括：熱島效應防護、日照與採光設計、生態共生理念、圍護結構一體化高效保溫隔熱技術、暖通空調系統、高效照明和照明控制技術、建築智能化系統、太陽能、熱泵等可再生能源在建築上的綜合利用技術等。專家指出，零碳/零能耗建築目前在技術上已經沒有問題，關鍵是如何將它的成本降

低到可以走向大規模市場推廣的範圍[26]。人們在建築上投入的資金，可以通過節約水電和節省日常運作維護等方式回收，如果7-8年可以回收成本，那麼零碳建築就值得大規模推廣；如果這一過程需要15-20年，那可以進行小規模的試驗；如果需要20-30年以上，那麼只能作為案例來研究了。

縱觀國內外的技術發展，零碳建築的核心技術更新速度快，不同技術體系的發展也有先有後的特徵；另一方面，相關技術或產品在中國的本地化水平相對不高，低碳建築設計、綜合解決方案及核心技術多為國外企業掌握[26]。針對技術市場特徵，依據標準化一般定義，首先有關部門應規範現行做法，即統一協調現有技術，使之在更大範圍內實現標準化，降低社會成本；其次規範未來技術，即引導新興產業新技術的開發、應用、推廣，最終實現規模化、產業化和商業化，可使社會成本在短時期迅速降低。

有研究指出[28]，在朝著可持續發展的過渡時期，主導技術的大規模轉移中是有必要的。然而要實踐這樣的變化是困難的，因為除了要發展創新技術外，人們更需要改變現有的機制、專業規範、信念體系，甚至工作和生活方式。從個人到專業團體、商業機構、以至整體社會，都需要較高的學習思考來明白適應這樣的變化。通過實驗新的技術和設備是促進這種類型學習的方法之一。而探討和體驗零碳/零能耗建築，真正能夠提供好的學習機會。在英國的經驗反映了這樣的結果[29]，英國政府在近年勇敢地推行嚴格和富挑戰性的零碳建築目標，導致了翻天覆地的變化，驅動了建築行業的大規模技術轉移，促使人們更積極考慮如何減少碳排放。這樣相比原來逐漸遞增的變化要快速和有效得多。

據報導，在英國的初步試驗表明[30]，零碳建築的相關一次成本可以差別很大，從超過基準成本的5%至30%不等。許多人認為，將來環保技術的大規模發展可以降低

經濟成本，而試點項目和新技術研究開發，將提供很有用的信息和經驗，以克服行業的隋性。建築行業人員需要考慮這些技術是否可行，還需要考慮什麼是對業主和社會最佳的成本效益。零碳建築的出現轉變了人們的觀念，加速啟發了推動建築創新的機會，引導人們用創造性方式去探討節能減排問題，也掀起了環保綠色建築的風氣 [31]。這方面才是零碳建築的真正實際貢獻。

6. 香港的情況

香港的耗電量中，建築物用電佔了九成；全港整體溫室氣體排放量，也有六成源自建築物。要推動綠色建築，目前政府的政策包括以立法來促進業界採取綠色措施，和提供誘因去鼓勵業界盡可能在建築期間引入低碳原素，以低碳排放進行工程。在公共工程中，自2009年起所有新興建的政府建築物，若建築樓面面積超過一萬平方米，都要引入綠色設計，最少取得綠色建築認證評估的第二高級別。同時，2010年通過了《建築物能源效益條例》(www.beeo.emsd.gov.hk)，2012年9月21日起全面強制性實施，以推動建築節能。再加上環境保護署及機電工程署編製了一份碳審計的指引[32]，鼓勵人們自願地作出碳排放核算及報告，找出可以改善的地

方。將來有需要把綠色建築、建築節能和碳審計綜合起來，才能有效地在香港推動建築節能減排。

香港人煙稠密，土地需求緊張，城市建築密度高，許多高樓大廈和多層建築。要在這環境和條件之下設計零碳/零能耗建築會有一定困難。幸運的是，香港有一個非常有效的運輸系統，大大降低了交通運輸的能源消耗，而且高密度城市可以令建築設備輸送和耗損相對減少[33]。若果要在香港實現環保綠色建築，須有長遠及完善的規劃，也要運用很多創意理念和創新技術來解決所面對的空間和周邊環境等問題。目前，適用於高層、高密度建築的節能和低碳建築設計及技術仍然有待研究開發，所以在香港有些人們便先行探討低層建築的零碳/零能耗建築技術[34]。同時政府亦剛剛建立了首座零碳建築的案例，是低層建築設計，旨在向大眾展示環保建築的尖端科技和先進設計。

香港首座零碳建築名為「零碳天地」(<http://zcb.hkcic.org>)，位於九龍灣常悅道，造價2.4億港元，於2012年6月揭幕。「零碳天地」佔地14,700平方米，當中包括室內及戶外的展覽場地、會堂、綠色辦公室、綠色家居、公眾休憩綠化區及香港首個都市原生林。該建築是直接連通至當地



圖 2. 香港的零碳天地

電網，利用光電板和生物柴油推動的三聯供系統，現場生產可再生能源，以抵銷每年營運所消耗的能源，剩餘能源則輸送至公共電網，以抵銷建造過程及建築材料本身在製造和運輸過程中所使用的能源[21]。圖2顯示這建築的外觀。在它運作一段時間後，而建築內的系統已穩定並已作微調，便會展開研究和檢驗其真正的節能減碳效果。

8. 結論

節能減排，是全人類需要共同面對的難題。建築領域作為其中重要的一環意義重大。為了對抗溫室氣體，世界各地對開發零碳建築的興趣有增無減，相信在不久的將來，零碳和低碳建築必會成為建築的主流。現今環保綠色建築的發展趨勢，是把建築減碳概念由「低碳」發展至「零碳」，減碳範圍擴大至建築全生命週期。可以預見，這樣的建築需要綜合考慮眾多影響因素，因此集成化建築設計及跨領域零碳技術的進一步拓展和深化是十分重要的。了解零碳建築的定義、建立清晰科學的計算法、發展創新環保技術和建材、改變現有建築發展設計機制，便能夠把「零碳」這一個積極的願望實現起來。不只是新建築發展的設計規劃，對現有建築的節能減碳改造亦應重視。如果能夠把建築設計、能源系統、社區設施、社會發展和環境資源相互協調，全面綜合地安排，便可以優化整體效益。

事實上，零碳是一種生活方式，而不是一個具體標準。零碳建築，是利用各種手段減少自身產生的污染，並將廢物合理利用，使用環保清潔的能源，以降低二氧化碳排放，最終達到「零廢水」、「零能耗」、「零廢棄物」的理想狀態。例如，通過太陽能、風能和有機垃圾發酵產生的生物能作為核心能源達到零能耗；通過屋頂收集的雨水沖洗馬桶或灌溉植物，減少對自來水的需求，以此達到零廢水；將有機垃圾用來發電，將無機垃圾製作成傢俱或建築材料，以此達到零廢棄物。這就是

零碳建築主要原理。這種精神可以推展到零碳交通、零碳能源、零碳家庭、以及零碳城市。

參考文獻

- [1] DCLG, 2007. *Building a Greener Future: Policy Statement*, Department for Communities and Local Government (DCLG), London.
- [2] NSTC, 2008. *Federal Research and Development Agenda for Net-Zero Energy, High-Performance Green Buildings*, Subcommittee on Buildings Technology Research and Development, Committee on Technology, National Science and Technology Council (NSTC), Washington, DC.
- [3] NIES, 2009. *Japan Roadmaps towards Low-Carbon Societies (LCSs)*, National Institute for Environmental Studies (NIES), Tsukuba, Ibaraki, Japan.
- [4] ADEME, 2010. *Roadmap for Positive-energy and Low-carbon Buildings and Building Clusters*, French Environment & Energy Management Agency (ADEME), Angers Cedex, France.
- [5] Hui, S. C. M., 2010. Zero energy and zero carbon buildings: myths and facts, In *Proceedings of the International Conference on Intelligent Systems, Structures and Facilities (ISSF2010): Intelligent Infrastructure and Buildings*, 12 January 2010, Kowloon Shangri-la Hotel, Hong Kong, China, pp. 15-25.
- [6] Marszal, A. J., Heiselberg, P., Bourrelle, J. S., Musall, E., Voss, K., Sartori, I. and Napolitano, A., 2011. Zero Energy Building – A review of definitions and calculation methodologies, *Energy and Buildings*, 43 (4): 971-979.
- [7] Adhikari, R. S., Aste, N., Del Pero, C. and Manfren, M., 2012. Net Zero Energy Buildings: Expense or Investment?, *Energy Procedia*, 14 (2012): 1331-1336.
- [8] 操紅, 2010。解讀零碳建築，《工業建築》2010年40卷3期。
- [9] Brown, H., 2010. *Toward Zero-Carbon Buildings*, The Post Carbon Reader Se-

- ries: Cities, Towns, and Suburbs, Post Carbon Institute, Santa Rosa, CA.
- [10] ECEEE, 2009. *Net Zero Energy Buildings: Definitions, Issues and Experience*, European Council for an Energy Efficient Economy (ECEEE), Stockholm, Sweden.
- [11] Sartori, I., Napolitano, A. and Voss, K., 2012. Net zero energy buildings: A consistent definition framework, *Energy and Buildings*, 48 (2012): 220-232.
- [12] DCLG, 2008. *Definition of Zero Carbon Homes and Non-Domestic Buildings: Consultation*, Department for Communities and Local Government (DCLG), London.
- [13] Torcellini, P., et al., 2006. Zero energy buildings: a critical look at the definition, In *Proceedings of the 2006 ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Buildings*, August 14-18, 2006, Pacific Grove, CA, 12 pp.
- [14] ASBEC, 2011. *Defining Zero Emission Buildings*, Australian Sustainable Built Environment Council (ASBEC), Sydney, Australia.
- [15] Hernandez, P. and Kenny, P., 2010. From net energy to zero energy buildings: Defining life cycle zero energy buildings (LC-ZEB), *Energy and Buildings*, 42 (6): 815-821.
- [16] 邵玲、郭珊、韓夢瑤，2012。建築能耗與碳排放的系統計量，《世界環境》2012-8-15。(www.wem.org.cn)
- [17] UK-GBC, 2008. *The Definition of Zero Carbon*, Zero Carbon Task Group Report, UK Green Building Council (UK-GBC), London, available at www.ukgbc.org.
- [18] Fulcrum, 2009. *Fulcrum's Dream Definition of Zero Carbon Buildings*, Fulcrum Consulting, London, www.fulcrumfirst.com.
- [19] Vale, B. and Vale, R., 2000. *The New Autonomous House: Design and Planning for Sustainability*, Thames & Hudson, New York.
- [20] 中華人民共和國建設部，2006。《綠色建築評價標準》GB/T 50378-2006，中國建築工業出版社，北京。
- [21] Civic Exchange, 2011. *Less Than Zero? The Future for Buildings & Carbon Emissions*, Forum Summary Report, 1 November 2011, Hong Kong.
- [22] 張衛，王川，2009。探討可持續發展理念下的建築集成化設計，《瀋陽建築大學學報：社會科學版》2009年第3期289-292頁。
- [23] Jankovic, L., 2012. *Designing Zero Carbon Buildings Using Dynamic Simulation Methods*, Earthscan, Abingdon, Oxon and New York, NY.
- [24] 徐峰，等編，2011。《可持續建築系列教材：集成化建築設計》，中國建築工業出版社，北京。
- [25] CIBSE, 2012. *Energy Efficiency in Buildings: CIBSE Guide F*, 3rd edition, Chartered Institution of Building Services Engineers (CIBSE), London.
- [26] 陳碩，2011。零碳建築技術指南，《建築技藝》2011年09-10期127-131頁。
- [27] 林憲德，2010。《綠建築84技術》，詹氏書局，台北。
- [28] Brown, H. S. and Vergragt, P. J., 2008. Bounded socio-technical experiments as agents of systemic change: The case of a zero-energy residential building, *Technological Forecasting & Social Change*, 75 (2008): 107-130.
- [29] Menon, R. and Porteous, C. D. A., 2008. Materials, specification and economic implications of moving to carbon-neutral housing, *Open House International*, 33 (3): 48-59.
- [30] UK-GBC, 2007. *Report on Carbon Reductions in New Non-domestic Buildings*, UK Green Building Council (UK-GBC), for Department for Communities and Local Government, London, available at www.communities.gov.uk.
- [31] Kentish, J. and Petersen, A., 2009. *Zero Carbon Buildings: A Worthwhile Aspiration?*, PricewaterhouseCoopers, Australia.
- [32] EPD and EMSD, 2010. *Guidelines to Account for and Report on Greenhouse Gas Emissions and Removals for Buildings*

(*Commercial, Residential or Institutional Purposes*) in Hong Kong, 2010 Edition, Environmental Protection Department (EPD) and Electrical and Mechanical Services Department (EMSD), Hong Kong.

- [33] Hui, S. C. M., 2001. Low energy building design in high density urban cities, *Renewable Energy*, 24 (3-4): 627-640.
- [34] Fong, K. F. and Lee, C. K., 2012. Towards net zero energy design for low-rise residential buildings in subtropical Hong Kong, *Applied Energy*, 93 (2012): 686-694.

作者簡介

許俊民博士，香港大學機械工程系教學顧問及名譽助理教授，多年從事建築節能研究，並積極推動可持續建築技術。
(E-mail: cmhui@hku.hk)

The meaning of zero carbon buildings for construction innovation and environmental design

Dr. Sam C. M. Hui
Department of Mechanical Engineering
The University of Hong Kong

Abstract:

In recent years many countries in the world are developing zero-carbon/low-carbon buildings in order to achieve carbon emission reduction and improve the awareness of environmental design. Since the building sector is the major contributor of greenhouse gas and carbon emissions, therefore energy efficiency and carbon emission reduction in buildings have become an important trend for the future. This research paper investigates critically the meaning of zero carbon buildings and its related concepts. It also explains the design strategy and implications of zero carbon buildings. From the viewpoints of architectural and engineering design, the method to promote the technologies of zero carbon building is discussed and the current situation in Hong Kong is described.

Keywords:

Zero carbon building, zero energy building, renewable energy, energy efficiency and carbon reduction, Hong Kong