

9 第九章：建築物能源效益

許俊民博士

香港大學機械工程系 (屋宇設備工程)

9.1 綠建築由屋頂做起

聯合國的研究指出[1]，越來越多人將居住在城市地區，而世界城市化水平將由 2009 年的 50% 提高至 2050 年的 69%。到了 2050 年，城市居民在較發達地區將佔 86% 的人口，在非發達地區亦佔 66% 的人口。這樣對維護生態平衡，協調人與自然之間的關係，帶來了相當大的壓力。



許俊民博士

9.2 可持續建築和城市環境

綠化屋頂幫助可持續建築和城市環境

現今世界上許多城市為了應付人口增加都提高了建築密度，因此城市熱島和缺乏綠化空間的問題在城市日益嚴重。一些城市正試圖提高城市綠化和促進都市農業，以改進城市的可持續發展[2]。通過安裝綠化屋頂和促進城市農業，是有可能實現建築及城市在環境、社會和經濟上的可持續性，因為它可以有助於緩解環境問題，增強社區功能和發展城市糧食系統[3]。圖 1 顯示了綠化屋頂如何幫助可持續建築和城市環境[4]。為了實現綠色生產的城市，鼓勵離家較近的地方種植食物可以幫助提高對糧食生產的認識和讚賞 [5]。這種認識將有助於建立尊重對我們賴以生存之地球和環境。

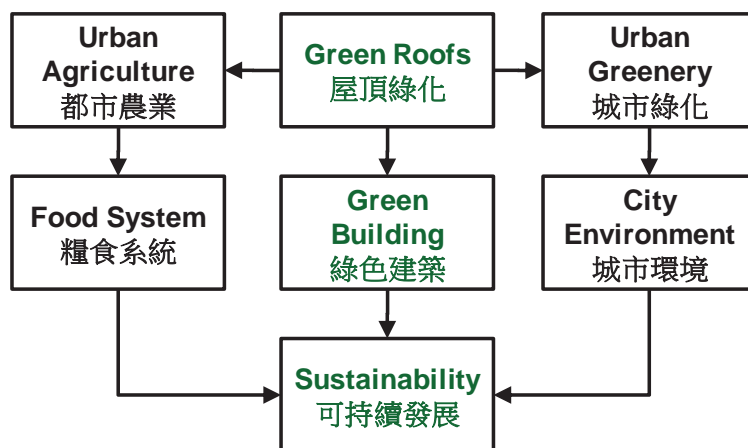


圖 9-1 綠化屋頂如何幫助可持續建築和城市環境

9.3 全球趨勢

屋頂綠化在世界上越來越流行

近年來，在許多國家地區，屋頂綠化的應用正越來越流行，因為他們可以使城市變得更適宜居住[6]。屋頂綠化是在屋頂上安裝的植被系統，也是一個很有用的可持續發展建築技術[7]。他們可以提供綠色空間，緩解城市熱島效應，降低空氣質量問題，加強雨水管理和生物多樣性[8]。事實上，屋頂綠化提供了廣泛的好處，從美化城市到生態環境，從空間運用到社區活動，都可以作出積極貢獻。

若果情況許可，屋頂綠化還可以提供耕地來生產本地蔬菜和糧食[9]。

屋頂和天台空間是城市裡一個目前未開發的資源，如果有合理的設計和安排，是可以充分發揮其潛力的。在一些建築物的頂部可能會有其他重要設備，例如空調製冷設備、水箱、電梯機房、電視天線和配水管道等。為了克服一些空間障礙，是要確定適當的屋頂空間及位置來進行綠化的。在香港，許多學校建築、工業樓宇、政府樓宇、商場和體育館，都有空置的屋頂空間，可以發展成為屋頂綠化和城市農場，因為這些位置都是全天暴露在陽光下，最適合種植綠化植物和蔬菜[4]。

9.4 屋頂綠化的種類和設計考慮

現代屋頂綠化主要有兩種方式：密集型的(深度 150 至 1000 毫米)和輕型的(深度 50 至 150 毫米)[6]。密集型的綠色屋頂(包括屋頂花園)有更深的種植材料，以支持更廣泛的種植，而且往往包括灌木和樹木。輕型的綠色屋頂系統主要使

用矮生植物，如景天科植物(sedums)，除了偶爾維護工作外，便沒有讓其他人踏上去[10]。這種輕型的綠色屋頂是能夠自我維持，所以在城市中更經濟實用。圖 2 展示輕型綠色屋頂的典型結構。

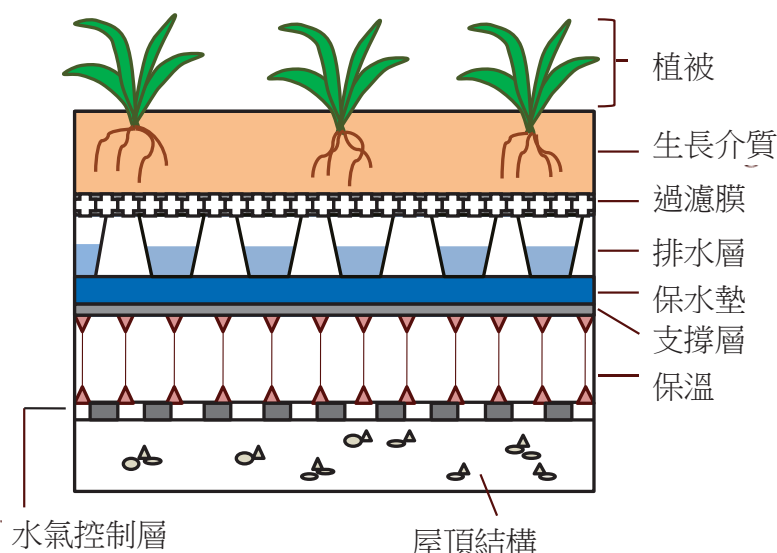


圖 9-2 輕型綠色屋頂的典型結構

防水和足夠的排水在所有類型的屋頂都是主要考慮的問題[11]。在一些綠化屋頂，結構荷載和維護的要求也很重要。一些現有的建築物不能加裝某些類型的

屋頂綠化，可能是因為負重超過允許的靜負荷。植被的選擇往往是至關重要，因為它會影響綠化屋頂系統的生存和長期成功[12]。

9.5 在香港推展城市綠化

在香港，屋頂綠化近年來備受關注，其實是大有原因的[13]。據研究指出[14]，屋頂綠化可以幫助減輕城市熱島，並把大自然帶回市區。他們不僅可以幫助降低城市溫度和減少建築能源消

耗，還能提高城市美觀，以及減少污染物濃度和噪音。圖 3 展示一些香港屋頂綠化的例子。其實，一些住宅建築的景觀型式的平台花園，也可以稱得上是綠化屋頂或屋頂花園，這些平台花園在香港較為普遍。



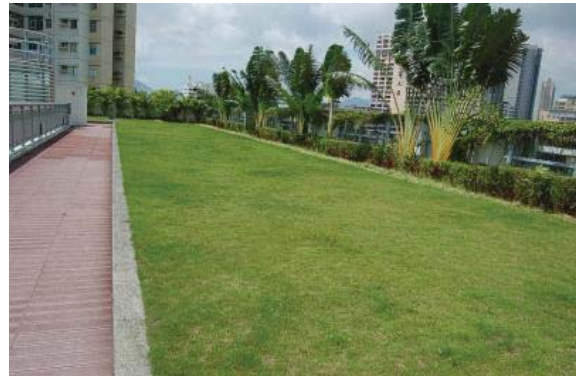
香港濕地公園



九龍灣機電署總部



尖沙咀柏麗大道



新蒲崗某小學

圖 9-3 香港屋頂綠化的例子

但是，要在香港推展城市綠化並不容易，因為香港城市的建築密度極高，每個角落都填補了建築物和道路[15]。香港的人口都集中在中心城區周邊地區內(維多利亞港兩岸)和一些新市鎮。圖 4 顯示了這些人口密度高的地區。人口最稠密的地區是觀塘區，具有密度超過每

平方公里 54000 人，一些住宅區甚至超過每平方公里 100000 人。有限的土地是綠化活動面臨的最大困難局面，因此，屋頂綠化和綜合建築綠化成為人口稠密的城市地區的唯一有希望的選擇 [9]。

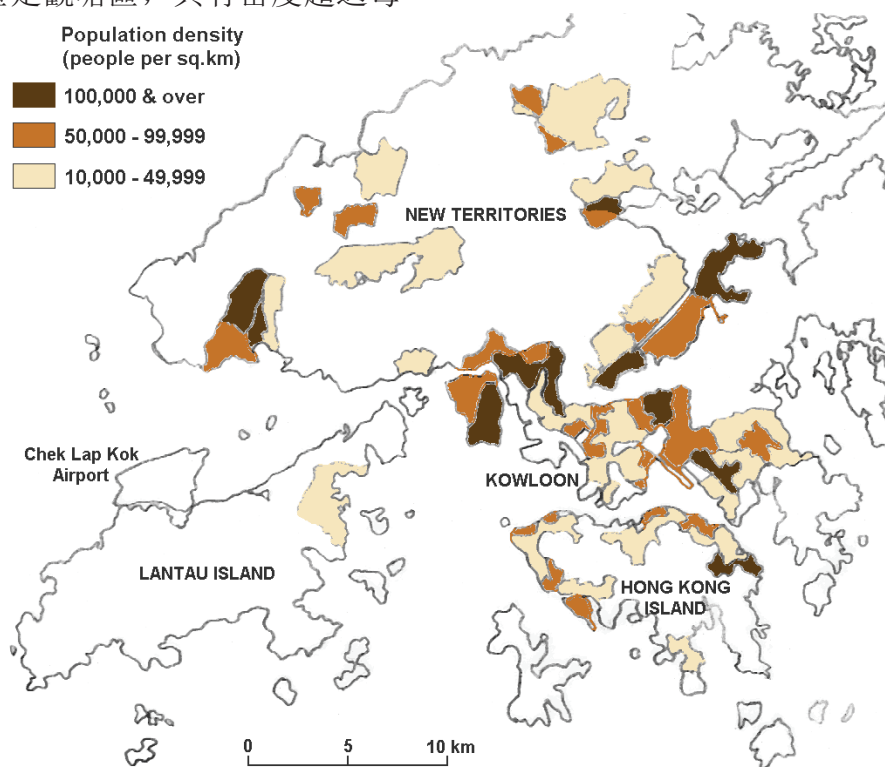


圖 9-4 香港人口密度高的地區

9.6 屋頂綠化和城市農業的研究

為了解高密度城市推展建築綠化所引出的環境和社會問題，筆者在最近幾年進行了一些學術研究，希望深入探討其中利弊和機會，以便找出更合理的推動政策和方法 [4, 8, 11, 12, 14, 15]。例如，表 1 展示香港天台城市農業的優點和機會的分析結果[4]。通過這些研究資料，可以幫助人們更有效地運用屋頂和天台空間。

為了引證當中的綠化效果和測試新技術，筆者在香港一所小學進行了一些屋頂綠化和城市農業的試驗性研究。圖 4 顯示了一個小學禮堂的屋頂，採用了以下的可持續技術：(1) 收集雨水用來灌溉植物；(2) 從微型風力渦輪機發電力來推動水泵；(3) 通過堆肥來提供種植的肥料。希望通過研究屋頂綠化以及這些可持續技術，可以幫助推展城市綠化和環保綠建築。有關這些研究的詳細情況和其他屋頂綠化的參考資料可以到以下網站瀏覽：

<http://www.hku.hk/bse/greenroof/>

| | |
|--------------------|---|
| 優勢 (Strengths) | <ul style="list-style-type: none"> - 新鮮的食物，安全和降低運輸成本 - 提供許多對環境及社會的福利 - 更好地利用屋頂空間 (可以有很多功能) |
| 弱點 (Weaknesses) | <ul style="list-style-type: none"> - 缺乏屋頂農業的空間 - 農業被視為日漸衰落行業 - 都市農業缺乏研究與發展 |
| 機會 (Opportunities) | <ul style="list-style-type: none"> - 對有機及安全的食品需求不斷增長 - 可以發揮社區及休閒農業的優點 - 需要管理和康復不少舊式樓宇 |
| 威脅 (Threats) | <ul style="list-style-type: none"> - 缺乏相關信息和機會 - 缺乏都市農業相關的研究數據 - 颱風襲擊及空氣污染 |

表 9-1 香港天台城市農業的 SWOT 分析 [4]



表 9-2 在香港一所小學進行的屋頂綠化和城市農業的試驗性研究

9.7 建築節能大有可為

建築節能對社會和經濟發展有重要意義，可以幫助減輕大氣污染、降低經濟增長對能源的依賴，同時也可以提供不少商機與就業機會，幫助推動低碳城市。建築耗能過多不單浪費資源，而且間接帶來溫室效應、氣候變化等不利影響，嚴重威脅社會以至全球的可持續發展，所以必須得到正視和控制。在當今世界上很多國家和城市，建築節能被視為節能工作和能源政策的重要部分，並且是實現可持續發展的關鍵因素。

9.7.1 香港建築能耗

香港在七十年代世界石油危機時，便開始著手研究能源效益和節省能源的措施。其後在八十和九十年代裡，隨著經濟轉型，香港從輕工業為本的社會，變成一個金融、貿易、旅遊和商業中心，工業能耗需求下降，商業和住宅能耗的比重不斷上升。圖 9-5 顯示香港在 1984-2009 年的能源最終用途情況。工業能耗從 1988 年開始漸漸下降，另一方面，在這 25 年裡，商業和住宅能耗分別有 2.6 倍和 1.6 倍的增長。建築能耗在社會總能耗上扮演非常重要的角

色，建築節能也成為了刻不容緩的工作。

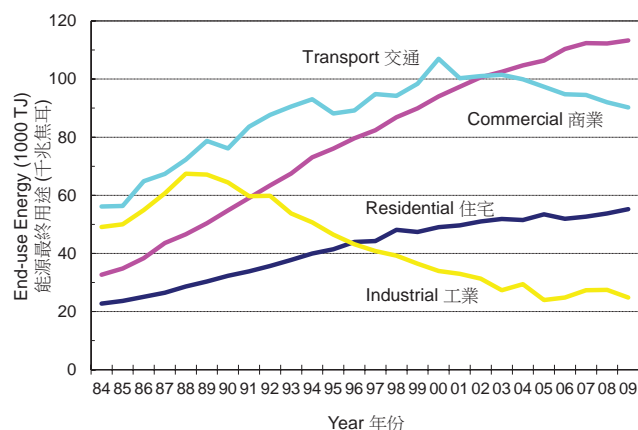


圖 9-5 香港能源最終用途的發展趨勢 1984-2009 (數據來源: 香港機電工程署能源效益事務處)

目前，香港建築物的能源供應以電力和煤氣為主，其中電力佔超過八成的建築能耗。商業建築的能耗是最重要的環節，而且每年都有可觀的上升趨勢，因此成為香港節能政策針對的焦點。這種情況跟其他以住宅節能為中心的國家和地區相比，在方向上有所不同。圖 9-6 表示香港商業類別 2009 年的能源最終用途，當中食肆、零售、辦公室和旅館等組成最重要部分。能耗主要用在空調、照明、煮食和電氣設備上。根據一些研究顯示，香港的商業建築(包括辦

公室、酒店和商場等)能耗水平相距甚大，而建築設計及運作的優劣往往會大

大影響其節能程度。

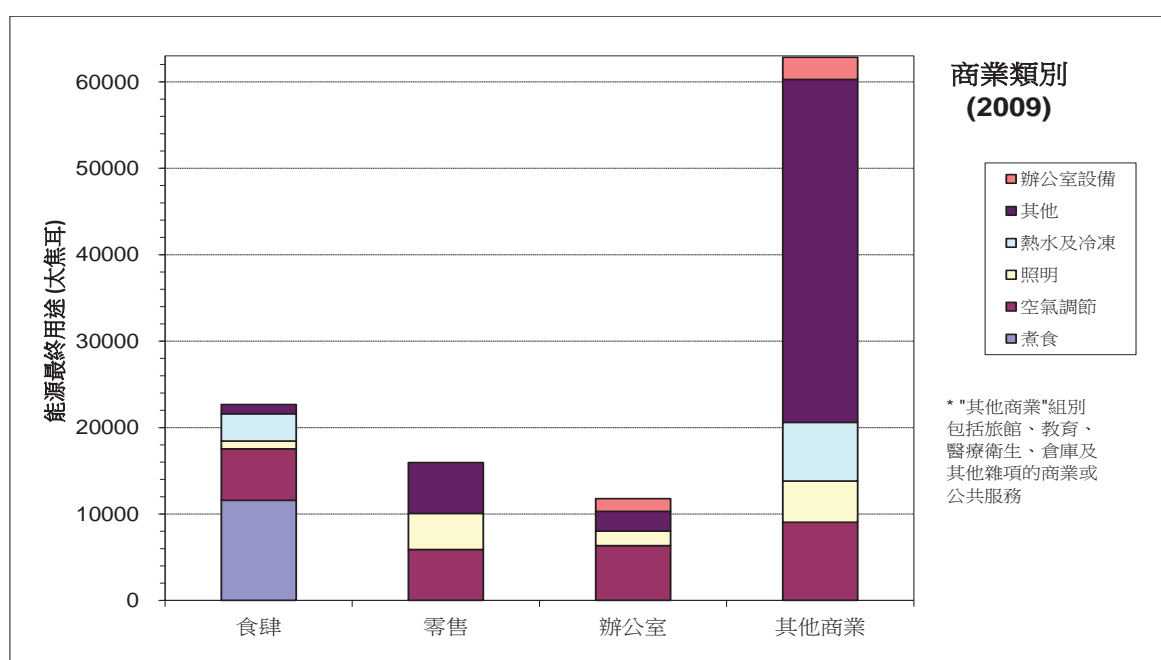


圖 9-6 香港商業類別 2009 年的能源最終用途

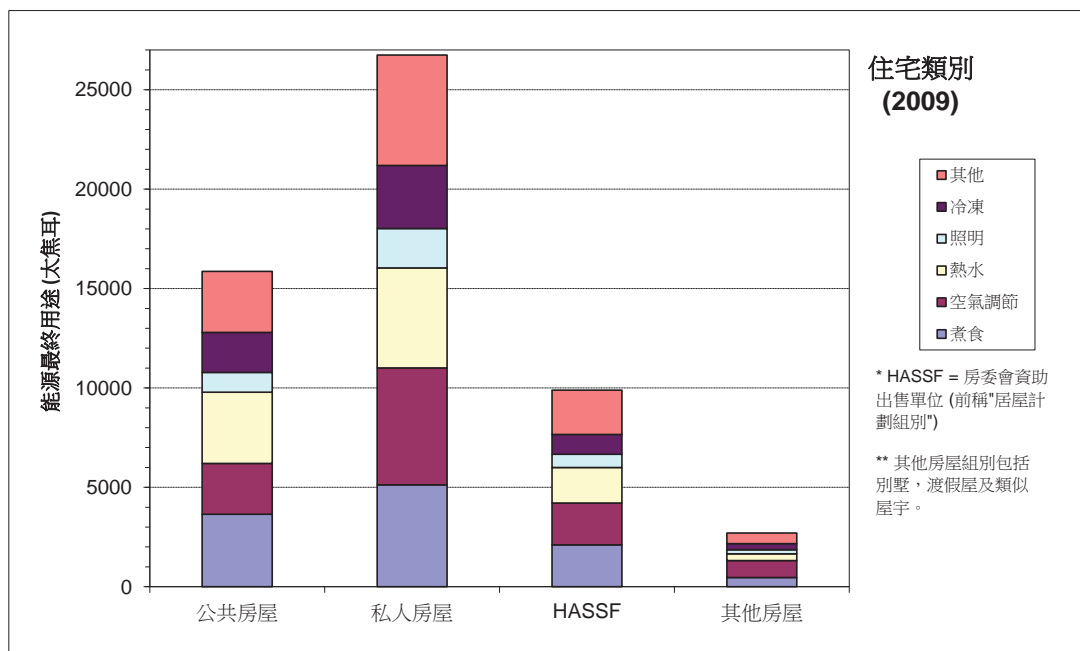


圖 9-7 香港住宅類別 2009 年的能源最終用途

至於住宅方面，圖 9-7 表示香港住宅類別 2009 年的能源最終用途，私人房屋是最主要能耗成員，公共房屋和居屋也是重要部分。能耗主要用在電氣設備、空調、熱水、煮食和照明上。香港位於亞熱帶潮濕炎熱的氣候地區，經濟發展迅速，人口密度也很高，而都市開發模式則趨向高密度、高樓層建築為主流。因此其住宅建築的能耗亦反映出這些特點和人們生活的模式。電力是住宅最主

要的消費能源，供給空調設備和家庭電器等使用。住宅建築應用煤氣作燃料之機會比較商業建築多，包括家居煮食和熱水。

9.7.2 香港建築節能法規

香港的《建築物能源效益條例》(香港法律第 610 章)已於 2010 年 11 月制定，其相關方案將於 2012 年 9 月 21 日開始

全面實施。該條例訂明強制實施《建築物能源效益守則》，為四類主要屋宇裝備裝置訂定最低能源效益標準及規定，涵蓋空調裝置、電力裝置、照明裝置和升降機及自動梯裝置。同時，也要求商

業建築物和綜合用途建築物的作商業用途的部分須根據《建築物能源審核守則》強制實施能源審核。相信這條例會對建築節能產生積極和深遠的影響作用。



圖 9-8 香港已實施了綜合熱傳值的建築物能源守則，新建的商樓須符合適當的熱傳值

其實，在 1995 年 7 月香港已實施了一份名為綜合熱傳值 (Overall thermal transfer value - OTTV) 的建築物能源守則，管制範圍包括新建的商業樓宇和酒店，主要的規定是建築圍護結構須符合適當的綜合熱傳值。這份守則採用的手法，跟東南亞一些國家例如新加坡、馬來西亞、泰國和菲律賓等採用的 OTTV

標準很相似。經過多年來的經驗和檢討，目前香港 OTTV 守則的規定已經提高了約三成，從最初的要求數值，即是建築物高塔(離地面 15 公尺以上部分)不得超過 35 W/m^2 及平台(離地面 15 公尺以內部分)不得超過 80 W/m^2 ，變成當今的建築物高塔不得超過 24 W/m^2 及平台不得超過 56 W/m^2 。

這些守則內的規定只是最低之節能要求，並不代表市場上節能效果較優良的建築設計。要達致提升香港建築物的能源效益，通過政府的引導和促進，可以起示範作用，提高節能意識與關注，使節能工作得到重視，節能科技能夠充分應用和發展。我們要明白，建築節能是一項綜合性的任務，需要考慮了解不同建築物的能耗特徵和節能技術。

要有效實踐節能目標，不單要制定合理的建築節能法規，更需要加強建築節能教育，建立優良技術體系，針對相關專業及管理人員進行培訓，以提高建築節能的科研和管理隊伍之水平。這些都是實現建築節能的基本建設，不可忽視。

9.7.3 如何實行建築節能

建築節能對一般市民來說，可能比較陌生和不容易掌握。其實，當我們在選購樓宇時，一般所考慮的樓宇朝向、通風狀況、陽光照射充沛情況等，實際就涉及建築節能這一門學問。

簡單地說，建築節能是指採用節能技術和節能材料及產品，同時注意結合地理

位置和氣候特徵等自然條件，融入建築設計當中，以儘量提高建築物在使用過程中的能源效率，儘可能降低能源的消耗，又不影響人們居住和工作的環境舒適度。在通常情況，建築節能的措施主要有兩方面：節流和開源，表 9-3 解釋了這兩方面的措施和列出了一些例子。



圖 9-9 開發和利用建築物中的可再生能源可降低常規能源的消耗量

要有效降低建築能耗，主要是考慮建築物自身的節能和屋宇設備的節能(例如空調和照明系統)。在實際運行中，對

於系統形式相同和建築規模相似的建築物，其建築能耗也存在較大的差別。因此，加強運行管理，合理降低設備的運

行能耗可以大大的節約能源，並帶來顯著的經濟效益。

| | 節流措施 | 開源措施 |
|----|---|--|
| 目標 | 儘量減少建築物的能源消耗量，藉此提高能源的使用效率。 | 開發和利用建築物中的可再生能源資源，藉此降低常規能源的消耗量。 |
| 方法 | 利用樓宇坐落位置的自然條件，合理考慮建築物的朝向、樓距，使樓宇能充分地利用自然通風和採用天然光，減少對空調設備及照明系統的需求。 | 充分利用當地的自然資源條件，在建築物上開發和利用可再生能源，例如太陽能、風能、地熱能等。 |
| 例子 | 在保證日照、採光、通風、觀景條件下，盡量減少外門窗洞口的面積。設置遮陽設施，減少陽光直接輻射。改善建築的保溫隔熱性能，包括門窗、外牆和屋頂。合理設計和優化空調及照明系統。 | 在建築物的陽台或屋頂上安裝太陽能集熱器，結合建築的一體化設計，使之能透過太陽能加熱產生熱水，供給建築物內的住戶生活所需。 |

表 9-3 建築節能的措施

在香港和其他國際都市中，現在既存的建築物佔全部建築物的絕大部分，所以既有建築的節能改造是建築節能工作的重點。這意味著，若無法提高這些「舊建築」的能源效益，那麼他們會變成耗能怪獸。美國紐約市帝國大廈的改造經驗可以給人們一些啟示。

這棟 80 歲的紐約地標大樓在最近幾年進行了主要的改建，努力轉型成為一個

更加節能的環保綠建築。而最主要的改造是改善冷暖空調系統，以及將窗戶玻璃改成雙層隔熱且可外推的形式，可同時減少室內空調的使用率，也防止使用空調時的逸散。節能改造的成績是，帝國大廈每年減少 38% 的能源耗用，相當於省下 440 萬美元的費用。在建築節能這方面，帝國大廈便贏得了能源效益、

環保名聲，同時也產生不少節能商機與就業機會，幫助推動低碳城市。



圖 9-10 經改造的帝國大廈贏得了環保能源效益的名聲

9.7.4 建築節能的未來發展

建築節能是中國十大重點節能工程之一。近年來，受益於政府支持，中國高效照明產品、家用電器、電機、新型節能牆材等節能設備和產品的市場規模得到大幅提升，節能環保裝備的研發和製造水準顯著提高，當中也產生了無限商機。預測未來中國建築節能的發展趨勢，無論是新建建築節能市場或是既有建築節能改造，都有很大的發展潛力。香港和內地的緊密經濟合作，會產生很多機會，在建築節能這領域上，可以相互扶持，結合國際節能科技來發揮最佳效益。

從國際上更深入的研究指出，建築節能在積極性意義上並非只在於節約能源，而是在於改善建築環境的舒適與健康。其實，「有效利用能源」是不局限於「節能」，而是希望以最少的能源達到最佳的居住條件，發揮能源的最大效率。節能只是確保環境品質的附帶結果，健康、舒適、效率的居住環境才是建築節能設計最基本的原點。因此，未來建築節能的發展會配合環保綠建築的趨勢，形成環境品質的重要指標。

9.8 參考資料

- [1] UN, 2010. *World Urbanization Prospects, the 2009 Revision: Highlights*, Population Division, Department of Economic and Social Affairs, United Nations (UN), New York.
- [2] Smit, J., Ratta, A. and Nasr, J., 1996. *Urban Agriculture: Food, Jobs and Sustainable Cities*, United Nations Development Programme (UNDP), Habitat II Series, New York.
- [3] Mougeot, L. J. A., 2006. *Growing Better Cities: Urban Agriculture for Sustainable Development*, International Development Research Centre, Ottawa, Ontario, Canada.
- [4] Hui, S. C. M., 2011. Green roof urban farming for buildings in high-density urban cities, Invited paper for *the Hainan China World Green Roof Conference 2011*, 18-21 March 2011, Hainan (Haikuo, Boao and Sanya), China, 9 pages.
- [5] van Veenhuizen, R. (ed.), 2006. *Cities Farming for the Future: Urban Agriculture for Green and Productive Cities*, International Development Research Centre, Ottawa.
- [6] Dunnett, N. and Kingsbury, N., 2008. *Planting Green Roofs and Living Walls*, Revised and Updated Edition, Timber Press, Oregon.
- [7] Lockett, K., 2009. *Green Roof Construction and Maintenance*, McGraw-Hill, New York.
- [8] Hui, S. C. M., 2006. Benefits and potential applications of green roof systems in Hong Kong, In *Proc. of the 2nd Megacities International Conference 2006*, 1-2 December 2006, Guangzhou, China, pp. 351-360.
- [9] Lim, Y. A. and Kishnani, N. T., 2010. Building integrated agriculture: utilising rooftops for sustainable food crop cultivation in Singapore, *Journal of Green Building*, 5 (2): 105-113.
- [10] FLL, 2008. *Guidelines for the Planning, Construction and Maintenance of Green Roofing*, 2008 edition, Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V. (FLL), Bonn.
- [11] Hui, S. C. M. and Chu, C. H. T., 2009. Green roofs for stormwater mitigation in Hong Kong, In *Proc. of the Joint Symposium 2009: Design for Sustainable Performance*, 25 November 2009, Kowloon Shangri-La Hotel, Hong Kong, p. 10.1-10.11.
- [12] Hui, S. C. M., 2010. Development of technical guidelines for green roof systems in Hong Kong, In *Proceedings*

- of Joint Symposium 2010 on Low Carbon High Performance Buildings*, 23 November 2010, Hong Kong, 8 pages.
- [13] Urbis Limited, 2007. *Study on Green Roof Application in Hong Kong, Final Report*, Architectural Services Department, Hong Kong.
- [14] Hui, S. C. M., 2009. *Study of Thermal and Energy Performance of Green Roof Systems: Final Report*, Department of Mechanical Engineering, The University of Hong Kong, Hong Kong.
- [15] Hui, S. C. M. and Chan, H. M., 2008. Development of modular green roofs for high-density urban cities, paper presented at *the World Green Roof Congress 2008*, 17-18 September 2008, London, 12 pa