

環境策略-善用地冷/地熱資源於節能規劃

趙有光

國立勤益科技大學 冷凍空調與能源系 副教授

陳廷育

國立勤益科技大學 綠色生活科技整合研究中心 博士後研究員

近年來，許多國家在針對住宅和商業建築的節能發展議題上，無不竭盡心力地探討如何有效的維持室內空間之冷暖狀況（夏涼冬暖），進而降低空調負荷，以達到節能的目的。這方面的研究，又以隔熱/隔冷技術被討論的次數為最多。隔熱/隔冷技術可透過主動式或被動式的能源有效策略(active or passive energy efficient strategies)之實施，來提升節能效率。例如，夏季時如何讓建築空間保持通風、冬季時如何避免空間內的暖空氣流失、以及空調系統的改善等皆屬主動式的策略；而建築結構（如外牆、屋頂）、門及窗等的改善，則被歸類為被動式的策略。利用地下水並搭配熱交換系統來進行隔熱，即是有效的被動式策略之一。此技術是將管路布置於牆面、層板或屋頂上，讓流體（如地下水）流動於管道內，吸收管材上的熱量，進行熱交換，以求能達到一定程度的冷卻效果。一般而言，地表下一定深度之地下水的水溫，一年四季幾乎維持恆定，介於夏季白天與冬季夜晚的空氣溫度之間。因此，我們可藉由地下水，利用冷熱交換的方式，可使建築物室內達到降溫或升溫效果，以降低空調負荷，達到節能的目的。

壹、前言

目前，已有許多文獻指出，地冷與地熱作為替代性能源是可行的。以現代的建築物而言，空調等機械設備的使用是無可避免的，但若將低能量的冷卻能力納入建築時的評估項目，除可節省能源外，對增進整體冷卻效率亦極具助益。以英國為例，在部分地區就利用低能量冷卻技術，包括夜間的自然通風冷卻、空氣冷卻、水冷卻板、蒸發冷卻、除濕冷卻等方法，來冷卻建築物。除此之外，還可以利用地下水或海/河/湖水進行冷卻，其中地下水冷卻就是發展的要項之一(Ampofo et al., 2006)。

地下水可視為一種再生能源，它的再利用，也是對環境保護的措施之一。在歐洲，城市能源的開發，主要在於將再生能源充分地再利用，它可逐漸地取代石化燃料，以減少排放有害氣體進入大氣之中。地冷/地熱資源的使用，若能檢視當地區域的開發情形與詳實的規劃，所產生的能量預計可以大幅的提升。研究(Milenic' et al., 2010)也指出，若將地冷/地熱資源運用在現有大樓上，進行能源改造，可提升能源的應用效率。地下水應用於建築物的冷卻/加熱，已逐漸被接受的主要原因包括，可明顯提升能源的使用效率與水循環系統技術的逐漸成熟。此系統不像傳統空調系統需要使用冷卻塔，可減少維修費用與避免額外的空間需求。因此，冷卻/加熱技術是可以被接受的，且建議將其納入新建造和現有之建築物上，進而改善整體能源之使用效率及減少對環境之影響(Ampofo et al., 2006)。

地下水加熱/冷卻系統，是利用地下水溫度具非常穩定之特性，將其作為建築物或目標物的熱源或冷卻水之用，一般可分為開放式與密閉式兩種型式(Heng and Rybach, 2005；Allen and Milenic, 2003)。開放式系統是以井水做為熱源或冷源，井水將建築物空間加溫或降溫後，會被排入附近的河川、湖泊中，如圖1所示。本系統之優點是加熱或冷卻的效果佳，缺點是會對地質與環境產生較大的影響。因為，這個系統需要持續的抽取地下水或湖水，因此必須要進行詳細的地質調查與環境影響評估。密閉式系統不會將熱交換過後的水排出，而是將其留在管路中繼續循環使用，如圖2及圖3所示。圖2為垂直型的密閉式系統，較常應用於地下水資源豐富的地區，管路會埋設的較深。若建築物周遭有河川、湖泊可以利用，則應選擇圖3的系統(Natural Resources Canada, 2009)。

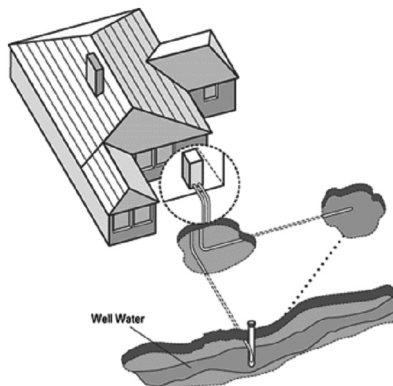


圖1. 地下水加熱/冷卻系統-以單井搭配地面水體降溫(開放式)

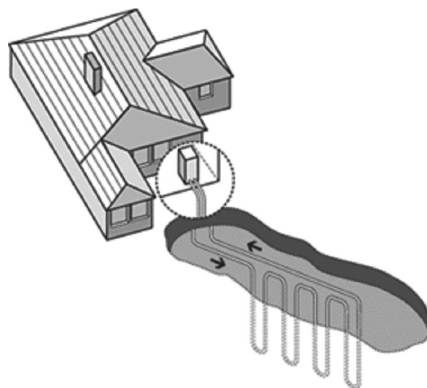


圖2. 地下水加熱/冷卻系統-使用U型垂直配置管路(密閉式)

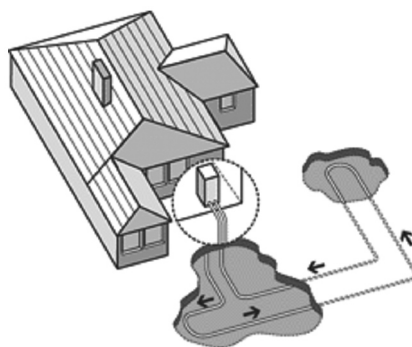


圖3. 地下水加熱/冷卻系統-使用單層水平式配置管路(密閉式)

貳、地冷/地熱系統設備之組成

地下水冷卻/加熱系統所需建構的設備包括冷凝器、壓縮機、循環馬達、管線輔助系統，如圖4所示。就冷卻建築物的系統而言，管路中的熱交換液體通常是使用流經建築物底下的地下水。因為，此時地下水或地底土壤的溫度較空氣低，因此管路中的水就會對建築物進行冷卻作用。管線的總長度取決於系統的类型、地下水或土壤的溫度、冷卻空間的需求等而有所不同。在執行考量方面，需注意到開挖、基地的長遠計畫及深度三個部分(Kwok and Grondzik, 2010)。開挖工程需要仔細的評估，完整的敷地計畫(Site Planning)與現有設施物的調查分析，有助於減少施工成本。基地的長遠規劃部分，由於整個系統所使用的土地可能會持續使用30-50年，甚至更久，因此相關區域內未來可能的發展即要事先評估，系統的擴充性也需一併考量。

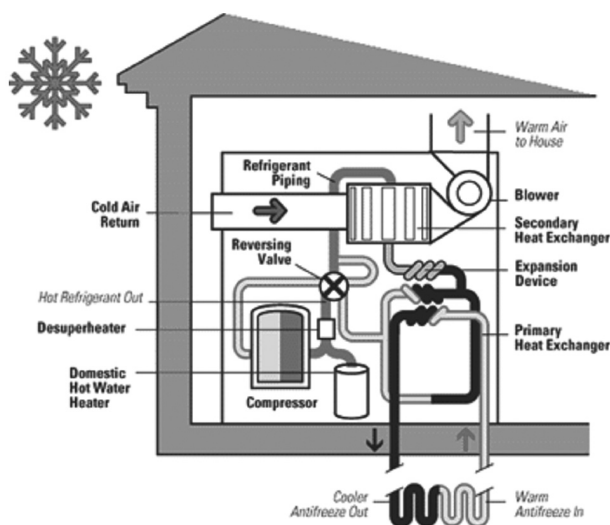


圖4.地下水冷卻/加熱系統組成(Natural Resources Canada, 2009)

參、建築物的受熱環境

熱是物質分子能的外部表現，是一種能量的形式。當熱由一個物體流向另一個物體時，會引起物體溫度的變動。例如，太陽輻射照射牆面，引起牆體溫度升高，這種熱就稱為顯熱(Sensible Heat)，是可感知或測知的熱。通常，熱傳遞方式有輻射、對流和導熱三種方式。輻射(Radiation)是自由空間熱轉移的主要方式，對流(Convection)是流體（液體或氣體）內熱轉移的主要方式，導熱(Conduction)是固體內熱轉移的主要方式(劉念雄、秦佑國，2007)。

建築物受到的熱可分為下列幾項：1.通過牆和屋頂的太陽輻射熱。建築的外表面吸收了太陽輻射，並將其轉換成熱能，通過導熱傳遞到牆壁的內表面，再經表面長波輻射及空氣對流換熱，將熱量傳入室內。2.通過窗的太陽輻射熱，主要是透過玻璃的輻射。3.居住者的人體散熱。4.電燈和家用電器等設備的散熱。5.相關空調設備的散熱。

建築物散失的熱則包括：1.通過外牆結構的導熱、對流與輻射向室外散熱。2.空氣滲透和通風帶走熱量。3.地面傳熱。4.室內水分蒸發，這部分水蒸氣排出室外所帶走的熱量(稱為潛熱)。5.制冷設備吸熱。

當建築物中受到的熱大於散失的熱時，即表示環境或建築的設計無法排除空間中的熱，此時就必需藉由空調，來維持居住或工作環境的舒適程度，能源的使用也同時提高。古代傳統地方建築，則是利用茅草和樹葉等自然材料來

進行保溫。到了20世紀，科技發展為現代建築提供了高效的絕熱材料和構造，例如輕質成型材料、空氣間層構造和反射絕熱材料等。現代建築牆壁結構所選擇之材料追求天然、舒適和健康，除考慮絕熱性能之外，還需要考慮材料的重量、強度和施工方法，以及耐用、美觀、高強、調濕、抗菌和去污等性能，而且還要求材料生產能耗低、污染小、易降溫，對環境無不利的影響。若能搭配地下(地下水或土壤層)再生資源，並設計規畫好的牆面，將可達到隔絕熱進入室內的目的，又可減少空調使用的頻率，進而達到節能減碳的效果。

肆、案例介紹

案例一：作者在臺中市設置了一個實驗場地，探討地下水對建築牆面的冷卻及節能效果。

一、地下水資源判斷

(一)、區域特性

由臺灣9個地下水區域之水文地質特性分佈顯示(如表1所示)，臺中地區有1-5個含水層(aquifer)，中間夾有2-4層阻水層，地下水位在地表下3-40公尺，地層岩性以砂、礫、卵石為主，每個含水層最厚有10-180公尺，為等級佳之地下水資源區。

根據地層資料顯示，臺中盆地上部物質組成以砂礫層為主，烏溪以北厚度約100至200公尺，間夾黏土層、砂層及含土砂礫層，透水性好，屬良好的含水層，本區地下水以自由水層為主。

表1 臺灣9個地下水區域特性

地下水區域	由地面至靜止地下水位(m)	地下水層之層數厚度及井深	水層岩性	地下水補給
臺北盆地	10-40	含水層2層 每層20m 最深井200m	砂、礫、卵石	佳
桃園中壢臺地	0-3	不規則 最深井100m	砂、礫、卵石	劣
新竹苗栗地區	0-5	不規則 最深井140m	砂、礫、卵石	劣

臺中地區	3-40	含水層1-5層 最厚10-180公尺 最深井200m	砂、礫、卵石	佳
濁水溪沖積扇	30-20 3-15 3-40	含水層2層 每層15-20m 最深井200m	靠山麓多礫 沿海岸多砂	優
嘉南平原	1.2-21	含水層3-5層 每層1-2m 最深井170m	貝殼、細砂、黏土	劣
屏東平原	0-12	含水層2-3層 每層10-30m 最深井152m	靠山麓多礫 沿海岸多砂	優
蘭陽平原	0-10	含水層1-3層 每層10-60m 最深井150m	靠山麓多礫 沿海岸多砂	優
花蓮臺東縱谷平原	臺東0-42 花蓮0-21	縱谷地區地面以下均為透水層	砂、礫、卵石	優

資料來源：水資會，1992

(二)、地下水井與熱交換器

本研究於實驗地點附近之適當位置，設置一口功能井，深度為60公尺，地下水位距地表約30公尺，作為實驗屋之溫度調控。監測結果顯示，功能井之溫度大致落於19-22℃左右，且每天溫度變化不大。井中設置一個以銅管製成的熱交換器，置於深度40公尺處，並以感溫線監測井中水溫變化情形。

(三)、牆面冷卻系統

地下水對牆面的冷卻分析方面，是在混凝土牆內鋪置鍍鋅鋼管，如圖5所示。鋼管與熱交換器連接，形成一密閉的回流系統，提供牆面恆定的冷卻溫度。溫度較低的地下水會使管路冷卻，進而實現了讓牆壁冷卻之目的。分析結果顯示，若以地下水19℃為評估溫度，管路中的流量為0.5 m³/h，則此冷卻系統可帶走牆上1050-1120 J/s的熱量，進而有效的降低牆面溫度，減少太陽對室內溫度的影響，使室內維持在26-28℃，如圖6所示。

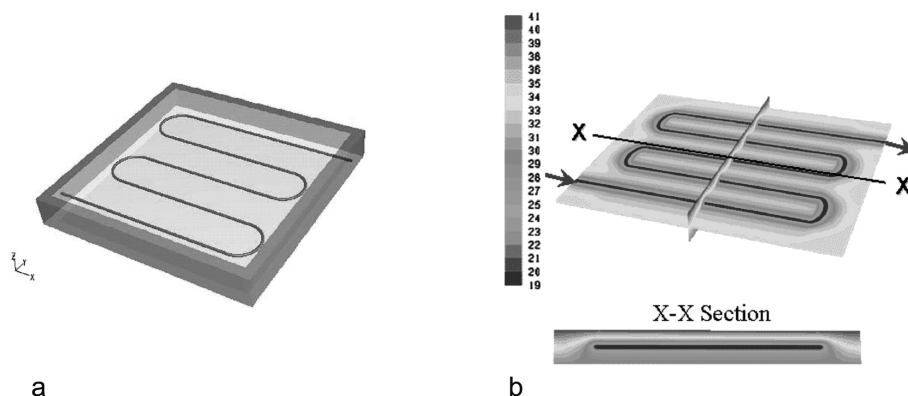


圖5.牆面冷卻系統：a.為混凝土與鍍鋅鋼管管路模型，b.為熱流場分析

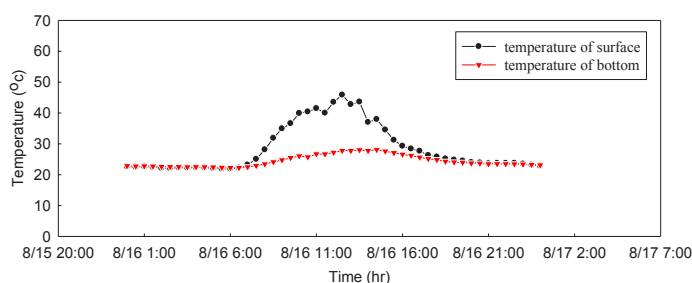


圖6. 內外牆溫度分析曲線圖

案例二：巴西聖保羅市醫療社會中心建築設計方案(Enkyo medical and social center)。

在位於亞熱帶的巴西地區，利用預冷(pre-cooling)的策略來進行節約能源，是一個全新的構思，如圖7所示。此建築設計了一個綜合性的系統，運用大量的地下水資源，再搭配常規的空調系統，結果被證實是非常經濟的。建築物的前遮陽部分採用穿孔金屬絲網的遮陽設計，此方式可優化自然採光條件，避免眩光，減少熱負荷等優點。屋頂則種植植物，藉由植物生長與遮蔭，可減少加熱與冷卻的成本花費，減少雨水逕流，提供附近生物棲息及人的休憩等。另外，設置雨水收集池，可有效的將水資源進行再利用。預估整體的能源消耗，加上冷卻的地下水、外遮陽與綠屋頂，可以節省約80%的能源使用。

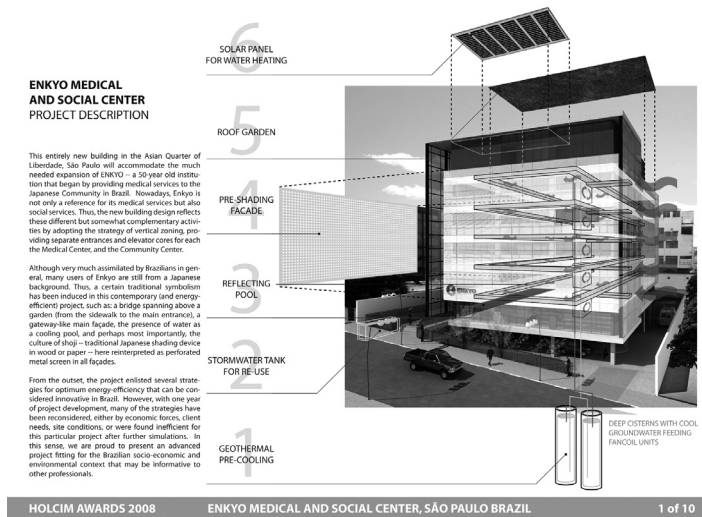


圖7. 建築設計方案概念圖

案例三：包裝公司設計改裝案(Multifilm Packaging)。

Multifilm包裝公司是一家中型糖果、點心、乾貨和咖啡市場的軟包裝薄膜製造商。工廠內有一組300噸的冰水機組，連同供暖、通風和空調（HVAC）系統，皆因長時間的使用而耗費較高的電力能源。製造包裝的加工設備在製造專業薄膜時，會產生大量的熱量，因此設備需要較大的冷卻系統來應付設備的冷卻用途。Multifilm包裝公司與許多製造廠商一樣，採用冰水機組冷卻製程設備(製作包裝的過程)。由於，300噸的冰水機組耗費太多的能源，因此在評估需將其更換時，合乎邏輯的第一個想法就是，找尋更高效能的冷卻機組來取代舊有的冰水機組，希望可以減少一半的能源消耗。但，Multifilm公司尋找到一個創新的做法，使公司整體的能源消耗和碳排放量大幅的減少。這個做法就是，利用地底的資源，來取代低效能的冷卻系統。經過仔細的評估，當地地下水水溫約在華氏53度（約12°C），全年變化少，幾乎保持恆溫。在夏天可做為冷卻設備與廠房之用，冬天則可做為保暖的熱源。

此計畫於 2009年5月開始進行，第一個的步驟即為評估當地環境是否適合，因此開始勘探鑽井的過程。當地附近有湖，含水層距地面約 280英尺，因此先鑽一口測試井，其深度為365英尺。評估結果顯示，附近可以提供每分鐘 400加侖流量的冷卻水，足夠廠房的系統使用。因此在接下來幾個月中，繼續在適當處鑽井，以建立整套冷卻系統。最後，該系統共鑽了3口抽取井及四口注入井，並啟動流動循環試驗，檢視進出水是否達到平衡，及對環境是否構成嚴重危害的影響。

響。再接下來的4個月中，開始整合整個系統，包括熱交換器、水泵電機、過濾器及連接閥門與整個工廠長達數千英尺的管路（以銅管裝設）。整體的循環測試，於2010年4月完成。



圖8. Multifilm包裝公司地下水資源應用設計方案

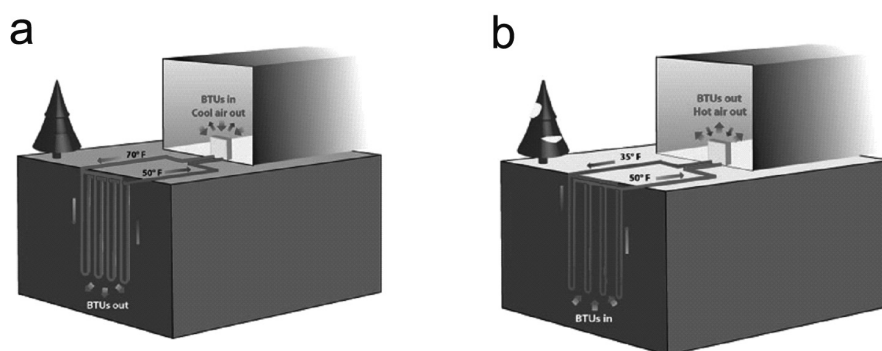


圖9.地下水應用示意圖：

- a. 夏天以低於空氣溫度的地下水提供冷的資源供應建築物冷卻
- b. 冬天以高於空氣溫度的地下水提供熱的資源供應建築物保溫

Multifilm公司經過僅僅9個月的運作，其地下水冷卻系統已經取得了良好的效果。經由仔細的評估與測量後發現，新系統所減少的能源消費約占總量的31%，估計每年共可節省143萬千瓦時的電力。以目前的電費計算，這等於每年節省143,340美元的成本。此外，Multifilm公司執行官預估，新系統的維護成本將可大幅的降低。

該公司評估指出，雖然地下水冷卻系統的安裝成本較以往冰水機組的成本

高出兩倍，但透過美國能源部的獎勵辦法及後續能源成本和維修費用的降低，該系統的投資可在不到6年的時間就可回本。當然，從可持續發展的角度來看，此項措施也減少了碳的排放量。這不祇兼具了環保意識和經濟性，更重要的是公司可以降低成本，使公司更具有競爭力，也提高了利潤。投資人受到鼓勵後，願意對公司繼續投資，公司從而能持續的經營與發展。

伍、結論

受21世紀全球暖化和迅速枯竭的化石燃料等議題的影響，可再生能源和清潔能源被許多專家學者所提出，希望能減輕對環境所造成之影響。其中，地下熱與冷資源是最被討論的項目之一，其可成為替代性能源，並具可用性，已成為可再生能源研究的目標。許多案例足以證明，地下水冷卻或加熱系統，能有效的針對建築或設備進行冷卻或保溫。但在應用這項系統前，須審慎評估周遭環境與地質條件。雖然，建造地下水冷卻或加熱系統的成本會較傳統機械空調貴，但若考量逐漸攀升之能源價格、未來可能訂定之碳排放制度，及節省的能源與維修費用，將可發現，其效益是值得且適合發展的。

參考文獻

1. F. Ampofo, G. G. Maidment, and J. F. Missenden (2006). Review of groundwater cooling systems in London. *Applied Thermal Engineering*, Vol. 26, 2055.
2. D. Milenic' , P. Vasiljevic' , and A. Vranjes~ (2010). Criteria for use of groundwater as renewable energy source in geothermal heat pump systems for building heating/cooling purposes. *Energy and Buildings*, Vol. 42, 649.
3. X. S. Heng, and L. Rybach (2005). Development and application of a new, powerful groundwater heat pump system for space heating and cooling. *World Geothermal Congress 2005*, International Geothermal Association, Antalya, Turkey
4. A. Allen, and D. Milenic (2003). Low-enthalpy geothermal energy resources from groundwater in fluvioglacial gravels of buried valleys. *Applied Energy*, Vol. 74, 9.

5. Natural Resources Canada (2009). *Office of Energy Efficiency, Personal: Residential Heating and Cooling with a Heat Pump Ground-Source Heat Pumps (Earth-Energy Systems)*.
6. A. G. Kwok, W.T. Grondzik (2010). *The green studio handbook*.
7. 劉念雄、秦佑國 (2007)。建築熱環境。新竹：清華大學出版社。
8. Acknowledgement prize 2008 Latin America (2008, April). From http://www.holcimfoundation.org/Portals/1/docs/A08EU/08_LATAM_%20Ackn_B.pdf (案例二)
9. Business Case Study : Multifilm Packaging (2011,May). From https://www.comed.com/Documents/BusinessSavings_CaseStudies/CoolingHVAC_CS.pdf(案例三)