

專題報導 | 森林資源

# 綠建築中的 的建材

# 木質材料

居家環境採用木質建材，  
可發揮冬暖夏涼、抗菌除霉的功能，  
且在有計畫的運用下，這種建材永不虞匱乏。

王松永

「綠建築」在日本稱為環境共生建築，有些歐洲國家則稱它是生態建築或永續建築。而「綠建築」的評估指標，可從資材、能源、水、土地、氣候等地球資源，以及營建廢棄物、垃圾、污水、排熱、二氧化碳排放量等廢棄物，兩個層面來評估。「綠建築」較實質的定義就是，消耗最少的地球資源、產生最少廢棄物的建築物。換言之「綠建築」就是強調節能、低污染、低耗能、低環境衝擊的環保建築。

「綠建築」的評估指標群共有9個，分別是生物多樣性指標、綠化指標、基地保水指標、水資源指標、日常節能指標、二氧化碳減量指標、廢棄物減量指標、污水與垃圾改善指標，以及室內環境指標。

**綠建築的定義是消耗最少的地球資源、產生最少廢棄物的建築物，也就是強調節能、低污染、低耗能、低環境衝擊的環保建築。**

## 環境調和材料

環境調和材料是指顧慮到環境的材料，可由四項條件來評量：資源可再生產或再製成同一產品的回收率高，資源的消耗少；各製造程序或生命周期的全部製造程序所造成的環境負荷少；廢材可再利用於其他用途；廢棄物所造成的環境負荷少。

把上述四項條件及人類利用材料流程，與綠建築指標進行比較。其中第一項條件是有關資源的枯竭性，幾乎人類利用的所有資源都無法再生，唯有木材等生物資源，可藉由吸收大氣中的二氧化碳與環境中的水分，經光合作用產生其生長所需的碳水化合物。

樹木生產1公噸碳水化合物，須自大氣中吸入1.6公噸二氧化碳，並釋出1.2公噸氧，因此樹木生長期間能夠淨化空氣，並把這些碳水化合物提供給形成層細胞，做為分生木質部細胞的營養源，木材就是木質部細胞的累積體。因為屬於生物材料的木材只要透過合理的育林過程就可再生，而森林再生過程由於會吸收二氧化碳，進而使地球大氣中二氧化碳濃度降低，所以木材符合綠建築的綠化指標要求。

只有當某製品是必要的時候，再製成同一製品的回收率高才有意義。但通常僅由廢材已無法再製成原產品，必須投入新的資源，才有可能再加以利用。鐵的回收率接近100%，其廢料混入銅後，性能會降低，而成為使用等級逐漸降低的階梯狀利用型式。木材因可再生產，所以這一資源的取得並無太大問題，建築廢材回收再利用，則大多製成粒片板等板狀材料，今後研發如何把廢材製成使用比率甚高的軸狀材料，是一大課題。

第二項條件是有關製造過程中投入能源而造成二氧化碳的



木材在加工、製造過程中所投入的能源較其他材料少很多。

排放等，造成環境負荷的問題。任何一項產品在每一生產環節，或多或少都會增加環境的負擔。不過，木材在加工、製造過程所投入的能源則較其他材料少很多。木材乾燥、木質板材的熱壓工程，製漿蒸解等都在攝氏 200 度以下，而水泥煅燒需攝氏 1,400 度，塑膠原料的輕油裂解約在攝氏 700—800 度，融礦爐的溫度則需達攝氏 2,000 度，因此木材也符合這一項條件。

木材一次製品，如纖維板、紙張或木粉與塑膠複合材等，因其構成要素變小，以致加工時能源需求較大，但比起其他材料仍然少了很多。

廢材回收再利用時，加工過程的能源消耗，也必須列入考量。雖然把鐵從廢材回收再利用，比利用新的資源更節省能源，但是仍需投入大量能源。由廢混凝土製造再生骨材時，則會較新規骨材消耗更多能源。然而木材回收再利用所製成的粒片板，消耗的能源與新規製品並無差異，最後廢棄時尚可當成能源使用，可見木材的回收再

單純從二氧化碳減量觀點來看，與其他材料相比，木質材料最符合「綠建築」的要求。



丁詩向攝

利用對於環境幾乎不會造成負荷。

就「二氧化碳減量指標」來比較建築物使用木質材料與其他材料時所排放的二氧化碳量，當建築一棟樓地板面積 136 平方公尺的住宅時，依三種建築構法所使用的建材，推算出碳素排放量，木造住宅是 5,140 公斤；鋼筋混凝土結構住宅（RC 構造）是 21,814 公斤，是木造的 4.2 倍；鋼骨結構是 14,730 公斤，是木造的 2.9 倍。

再就材料對碳的貯藏量而言，因木材的構成元素是 50% 碳、43% 氧、6% 氫，另 1% 是其他二十幾種元素，所以木材質量中有一半是碳素，只要在固體狀態時利用木質材料，這些碳素都會固定在木質材料內部，因此木材是碳貯藏型材料。一般木造住宅所使用的木材，每平方公尺建坪大約是 0.20 立方公尺 ( $\text{m}^3 / \text{m}^2$ )，這其中包含結構材與裝飾材，而非木造住宅所使用的木材量，大約是  $0.04 \text{ m}^3 / \text{m}^2$ ，以裝飾材為主。如木材密度是每立方公尺 500 公斤，其中含 50% 碳素，則 136 平方公尺建坪的木造住宅會貯藏碳素 6,800 公斤，而非木造住宅會貯藏碳素 1,360 公斤。

如單純從二氧化碳減量觀點來看，與其他材料相比，木質材料最符合「綠建築」的要求。木材是一種自然物，雖然在加工過程中使用膠合劑、塗料、保存處理藥劑等，但這些物質對環境的影響還不算大。

第三項條件雖與第一項有部分重複，但具有使廢棄物處理量減低的積極意義。即使資源再生產是可能的，但製造過程中的廢棄物，若不設法減量，而當作垃圾逐漸累積，也會造成環境問題。當前木材的回收再利用率雖低，但也可當作材料能源回收再利用，因此不會引起垃圾問題。在掩埋處理時因木材具有生物分解性，對於環境影響也較少。木材的解體材經燃燒可獲得材料能源，最終會變成灰，不至於有垃圾堆積的問題。這與綠建築的「廢棄物減量指標」及「污水與垃圾改善指標」都有關聯。



專題報導

# 森林資源

綠建築中的建材——木質材料

第四項條件指的是，最終的廢棄物殘留狀況不會增加環境負荷。我國已公布實施「資源回收再利用法」，木材及混凝土是可回收再資源化的材料，可以使環境負荷降至最低。當前的木材加工利用，則已朝向零廢料排放方向努力。



木材是可回收再資源化的材料，可以使環境負荷降至最低。

若針對利用木材、鋼骨與混凝土為材料的三種建築系統，對環境所造成的影響進行比較，並以構築建坪 4,620 平方公尺，地上 3 層辦公室及地下 1 層車庫的建築物為例，採用埃森納模型 (Athenatm model) 分析所使用的原材料及能源的需求量，以及氣體、水及固體廢棄物的排放量。在能源需求方面，混凝土造及鋼骨造各

比木造大 1.5 與 1.9 倍；在排放溫暖化氣體指數方面，包含所排放的二氧化碳、一氧化碳、氮氧化物及甲烷等，大 1.8 與 1.4 倍；在空氣污染指數方面，大 1.67 與 1.42 倍；在水污染指數方面，大 1.9 與 120 倍；在產生固體廢棄物方面，大 1.96 與 1.36 倍；在生態資源使用衝擊指數方面，大 1.97 與 1.16 倍。

綜合上述資料可知，由木材所建築的構造物，是具有最低生態衝擊、最環保的一種建築物，也就是最符合「綠建築」指標的建築物。

## 木材的舒適健康效能

居住環境的優劣取決於居住性的好壞，居住環境可區分為住宅的外在環境與內在環

境。住宅外在環境的居住性是指有關地域氣候、地質、水質、交通、都市化程度、公害等，而內在環境則是指有關住宅的耐力、防火、耐久性等安全性，以及舒適性、方便性等。以下僅針對與住宅舒適性、健康性相關的木質材料效用進行說明。

**調節溫度與隔熱** 單純就材料的熱擴散係數而言，木材、混凝土及鐵分別是  $8 \times 10^{-4}$ 、 $2 \times 10^{-3}$  與  $5 \times 10^{-2}$  平方公尺 / 小時 ( $m^2/h$ )。因此以相同厚度的材料進行比較時，木材比混凝土等隔熱材，

**由木材所建築的構造物，是具有最低生態衝擊、最環保的一種建築物，也是最符合「綠建築」指標的建築物。**

具有較佳的隔熱性與溫度調節性。

筆者曾在台北市針對一棟磚造混凝土房屋，以 9 毫米 (mm) 厚杉木板內裝天花板與牆壁後



冬天溫度低時，木質地板顯得較溫暖，最適用於幼兒與老年者起居室的地板。

(稱為A房屋)，進行室溫變化的實驗，觀察到室溫的平均值在春、秋及冬天，都比無內裝房屋(稱為B房屋)高約攝氏0.2~1.5度，而夏天則相反，A房屋比B房屋低攝氏0.1~2.0度，達到「冬暖夏涼」的效果。此外，室內溫度的垂直變化在A房屋是攝氏0.1~1.6度，比B房屋的攝氏0.2~2.3度小。

就A與B房屋的節約能源情形進行比較試驗時，測試時間是在1991年8月2~4日，先把兩房屋的室溫控制在攝氏25度，測得A房屋消耗電力是0.258~0.487千瓦·小時(kw·h)，平均0.375 kw·h，B房屋是0.317~0.587 kw·h，平均0.468 kw·h，A房屋比B房屋節約20%的能源。就牆壁與屋頂的熱貫流係數進行比較時，B房屋的熱流量是每小時每平方公尺攝氏每度溫差2.58~4.93 kcal/m<sup>2</sup>h，而A房屋是1.66~2.38 kcal/m<sup>2</sup>h，B房屋是A房屋的1.6~2.1倍。

當腳底接觸不同材質的地板時，會有不同的熱量流向地板，由測定腳背皮膚溫度的變化，可看出隨接觸時間的增加，皮膚溫度減低的多寡依序是混凝土地板、PVC塑膠地板及木質地板(櫟木)，且在室溫攝氏18度時熱流向地板會明顯大於室溫22度時。所以在冬天溫度

低時，木質地板顯得較溫暖，最適用於幼兒與老年者起居室的地板。

**調節濕度** 木材的吸濕性比混凝土、PVC塑膠、玻璃、金屬等材料高，透濕性大，所以由木材所包圍的空間比起由吸濕性較低材料所包圍的空間，因溫度變化所發生的相對濕度(RH)變動會較小，能使大氣中的RH值維持穩定的效果。

大氣中含有的水分，決定於隨溫度變化的飽和蒸氣壓，例如1立方公尺的大氣中所含的飽和

水分，在攝氏10度時是9.4公克，20度時是17.3公克，30度時是30.4公克。厚度5毫米，面積1平方公尺的木材，當它的含水率增減1%時，比重0.4的木材會吸脫濕20公克水分，比重0.6的木材則會吸脫濕30公克水分。因此，被木材所包圍的空間內，木材的含水率不需有太大的變化，就能讓大氣中的相對濕度保持恆定。

台北市屬於高溫高濕地區，由實驗結果得知，A房屋(有木材內裝者)RH的年平均值較B房屋(無木材內裝者)低8~10%，且RH值在室內的垂直分布差異，也以A房屋的1.1~5.7%低於B房屋的4.2~14.8%。一般輕質纖維板、木材、合板、粒片板、纖維板等都是良好調濕材料，至於玻璃、磁磚、壓克力樹脂等材料的調濕性則較差。

室溫在一日內會循環變化，RH也會隨著循環變化，木材吸脫濕現象也是如此。就台北地區而言，一日內木材調濕的有效深度，由實驗結果得知大約是4毫米。對於高濕的台灣地區來說，木材內裝可說是一種不需消耗能源的「自然除濕機」。

**防滑止跌** 地板表面在濕潤狀態時，依所使用材料種類的不同，而有容易滑倒與否的差異，尤其用於身體障礙者、兒童、老人的地板

設施，防止滑倒是非常重要的考量因素。材料的濕潤表面摩擦係數與乾燥表面摩擦係數的比值，是與滑倒相關的水分係數，水分係數和材料的吸濕性、吸水性有關，其值愈小愈易滑倒。塑膠地磚或合成橡膠等水分係數值都較小，而木材、栓皮、木質材料等的水分係數則較大，較不易令人滑倒。

**舒適的五官感受** 以往常說「在木造校舍上學的小孩較不易有近視眼」，這可能是因為木材會吸收對眼睛有害的短波長光線，即紫外線，只會反射可使人們感到溫暖的長波長光線，即紅外光，且具有抑制晃眼感的性質。一般木材的反射率大約和人類肌膚相同，在 50%—60%

**對於高濕的台灣地區來說，木材內裝可說是一種不需消耗能源的「自然除濕機」。**

木材能夠增添平靜的印象，這可能是因為木材的原色與黃、紅系的色相相近，會讓人們感覺溫暖有關。此外，原木材特有的規則紋理以及散發出的特殊芬多精味道，都會讓人感到舒適。然而由木材所製成的中密度纖維板或粒片板，如直接使用時，並不會產生上述的效果。木材的紋理來自年輪，而年輪間隔又受到每年天候的影響，它在規則中帶有變動，這種規律又不失呆板的特徵，反應出自然的美，給人一種安詳、舒暢的感受。

京都大學木質研究室的研究指出，凝（注）視木材紋理時，會促進腦部  $\alpha$  波的發生，具有使人愉快的效果。此外，木材能夠提供人們心情柔和、平靜感覺的「 $1/f$  的搖晃」，這種效果在蠟燭的火焰、微風、小溪的水聲等各種自然現象，或在人們的心跳間隔、古典音樂、手工作品等當中都存在。至於 RC 造住宅，則具有把「 $1/f$  的搖晃」聲音隔絕掉的特性，它對於聲音幾乎不會吸收，使得音響在室內久久不消，而形成噪音。

依筆者研究所得結果，RC 造室內的餘響時間在高頻 4,000 赫茲（4 kHz）時是 2.6—2.7

左右，所以木材反射的光線不至於太晃（耀）眼，對眼睛較柔和。

家具、門、櫥櫃等的住宅內裝材，喜歡使用木材的理由，是



家具、櫥櫃等的住宅內裝材，喜歡使用木材的理由，是木材能夠增添平靜的印象。

專題報導  
森林資源

綠建築中的建材——木質材料

秒，中頻（250—2kHz）約3—5秒，低頻（125 Hz）是4.5—5.4秒。若室內以9毫米厚的杉木壁板內裝時，可使室內的餘響時間與噪音值降低，高頻可降低約20—30%，中頻可降低約50—60%，低頻可降低約60%，能夠有效地改善音響品質。

一定濃度的木材香氣會刺激人們的副交感神經，使人們心情放鬆，提高肝功能，對於腦部也有良好的影響。在含有—松油萜類氣味的環境下睡覺時，疲勞消除得較快，翌日的工作效率會提高，血液的流動會變得較順暢，可使血壓保持穩定。台灣扁柏的檜木油成分，對於黃色葡萄球菌或真菌具有殺菌效果，而這類細菌常會使先天性過敏症皮膚炎患者遭受感染，引發症狀惡化。木材的天然香氣對人類不會產生副作用，有降低血壓（收縮壓會降低11%）、減少流行性感冒的發生率、治療失眠、治癒過敏症等功效。

**抑制蟎類** 在室內棲息的細菌類、霉菌類、蟎類等微生物，其繁殖都與溫度、濕度條件有密切關係。以蟎類為例，棲息在室內的以塵蟎及爪蟎為主，其繁殖條件是溫度攝氏25—32度，相對濕度60—85%。蟎類並非直接喝水，而是從空氣中吸收水分做為其水分的來源，所以太乾燥或太潮濕時都不適蟎類的生存。一般支氣管氣喘、過敏性鼻炎、先天性過敏症皮膚炎（蕁麻疹）等過敏症病患，其致病原因有50—90%與蟎類有關，其中小孩氣喘更高達80%是由蟎類所引起的。

在RC造的住宅內蟎類會快速地繁殖，但如果室內能用木材內裝成木質環境，則對蟎的繁殖有很大抑制效果。這可能是因為木材表面不停地進行水分的吸收與脫離，當空氣乾燥時，灰塵容易在室內到處飛揚，這時木材會釋出水分，灰塵吸收水分後就不會四處飄浮，人們也就不易吸入蟎類。還有一項重要因素是木材所含精油對蟎類的繁殖有抑制效果，如檜木、杉木、柳杉、樟樹、側柏、羅漢柏、花旗松、桉

樹等樹種的精油都具有較強的抑制效果。

**降低癌症發生率** 東京農工大學教授鈴木正治，曾就癌症與住宅的木造率關係進行研究，他以受氣候影響較少的西日本地區女性為對象進行分析，發現木造率分別是60%與90%時，二者的平均壽命會有一歲的差異。木造率愈高者，肺癌、食道癌、乳癌、肝癌所引起的死亡率（對於死亡總數的比率）會減少。同時鈴木教授特別針對肺癌、乳癌、肝癌，分別在1968年、1987年、1988年3個不同時期，進行3次統計分析，結果也顯示有相同的趨勢。

鈴木教授也曾進行「教育現場的居住性」調查，結果指出，訴求「想睡覺、疲倦感」的學生數目，在RC造教室會較木造教室高出3倍以上。訴求「注意力不能集中」的學生數目，RC造教室是木造教室的2.5倍。教師本人的「累積疲勞」，也出現RC造教室是木造教室2倍的結果。對於「精神的壓力」、「焦慮」、「氣力衰退」、「身體疲勞與不順」等訴求的教師，也以RC造教室的較多。

**降低環境中的氡濃度** 天然放射線占了人類接受到的輻射中極大的比率，約占總輻射的83%，其中57%來自於氡，其次是鈾與其他放射性物質。鈾的半衰期較氡短很多，較不會形成問題。氡、鈾與其他放射性物質在衰變時放射出來的 $\alpha$ 射線，其穿透力遠較 $\beta$ 射線或 $\gamma$ 射線為低，用一張薄紙就可以擋住，然而這並非意味 $\alpha$ 射線的危險性較低。

事實上 $\alpha$ 射線會對生物體產生較大的電離作用，比其他放射線更會造成傷害，尤其人類的支氣管上皮組織，如直接被 $\alpha$ 射線照射，會引起染色體異常，產生高危險性。氡與其他放射性物質會附著於煙霧微粒上在空中飄浮，極易吸入肺部，其中部分會附著在肺的支氣管黏膜上，若附著的放射性物質平均半衰期達40分鐘以上，則衰變會對支氣管上皮長時間近距離照射，一般認為這是引起肺癌的原因之一。

從鈾礦山的氡濃度與肺癌死亡率關係的免

疫學研究發現，兩者之間有正相關的關係，所以美國及聯合國糧農組織（FAO）都把氡列為一種對人類有害的放射性物質。依據美國訂定的標準，長期暴露在室內氡濃度是每立方公尺 100 貝克勒 ( $\text{Bq}/\text{m}^3$ ) 的危險性，大約相當於每年胸部照射 200 次 X 光，這一影響也會導致每 1,000



木造住宅一方面可有效減低二氧化碳的排放量，另一方面所使用的原料又可再生，發揮了資源永續經營與環境保育二大功能。

人中就有 30 人因肺癌而死亡。

木質建材的柳桉合板不會放射氡氣，至於無機建材中，以石綿板的放射量最高，每公斤可達 11.3 ~ 13.0  $\text{Bq}$ 。水泥板、石膏板的放射量也很高，主要是來自所使用的石膏，尤其磷酸石膏的放射量每公斤高達 48 ~ 93  $\text{Bq}$ ，住宅所使用的石膏板也達到 29.8  $\text{Bq}/\text{m}^3$ 。就連水泥系建材的氡濃度釋放量，也較木質系建材高出甚多。

木造住宅一樓與二樓的氡濃度，平均值大約是 3 ~ 22  $\text{Bq}/\text{m}^3$ ，而 RC 造連棟住宅是 25 ~ 46  $\text{Bq}/\text{m}^3$ ，RC 造住宅內的氡濃度大約是木造住宅的 1.6 倍。一般 RC 造住宅的氡濃度都比木造住宅高，主要是因為混凝土釋放氡所致。

在同一地點所建造的木造校舍與 RC 造校舍內的氡濃度也有差異，前者是 7 ~ 18  $\text{Bq}/\text{m}^3$ ，後者是 53 ~ 82  $\text{Bq}/\text{m}^3$ 。RC 造辦公室或校內實驗室的氡濃度一般都較高，其範圍在 21 ~ 325  $\text{Bq}/\text{m}^3$ ，尤其空調設備完善，與外界空氣較少交換的 RC 造圖書館，其氡濃度可高達 253 ~ 1,116  $\text{Bq}/\text{m}^3$ 。而微膠片資料室一般是用無機建材內裝，與倉庫同樣都是密閉的空間，所以其氡濃度也高達 88 ~ 325  $\text{Bq}/\text{m}^3$ ，這是因為

從 RC 及無機質建材所放射出的氡氣滯留室內所致。

對於由 RC 及無機質建材所放射出的氡氣，可透過加裝木質材料的貼面來加以遮蔽。如果在 RC 室內牆壁以木材裝飾，或在石膏板、各種無機質建材表面貼木質單板，則由 RC 及無機質建材所放出的氡氣，經衰變最後在木質材料中變成穩定的鉛，不再存在於室內空氣中，這樣對人體就不會造成危害。

木造住宅一方面可有效減低二氧化碳的排放量，另一方面所使用的原料又可再生，發揮了資源永續經營與環境保育二大功能。實際上，歐、美、加、日等工業先進國家，住宅大部分都採木質結構，至於國內則大量使用無機質材料，使得都市成為水泥森林，對生態衝擊甚大，如能增加生物材料的使用量，將可改善這種情況。木材取自森林，能再生、可回收、省能源，廢棄物對生態環境衝擊少，因此被認為是 21 世紀的「生態材料」，值得推廣利用，它不但不會破壞環境，反而對環境具有正面的貢獻。

王松永  
台灣大學森林環境暨資源學系

## 森林資源

### 綠建築中的建材——木質材料