

# 隔熱膜 CO<sub>2</sub> 減量成本定價法與應用策略

黃勝帝，黃郁青

核能研究所-能源經濟及策略研究中心

2018/10

## 壹、前言

台灣地處亞熱帶夏日高溫建築物內酷暑難耐，研究顯示太陽熱量經由玻璃窗進入室內占建築外殼耗能的大宗<sup>1</sup>，因此「建築技術規則」<sup>2</sup>對於各式建築物的開窗率均有建議值；然而英國開窗評級委員會(British Fenestration Rating Council；BFRC)認為傳統使用傳熱係數值作為窗戶熱性能的評估<sup>3</sup>，忽略熱和光照亮房屋內部產生的吸引力和舒適性，因此建立“窗戶能源評級”(Window Energy Ratings)，提供窗戶總體性能及相關的評量。高開窗率的建築為降低太陽熱量進入室內，對建物玻璃隔熱性能的要求更加嚴格，為提升玻璃隔熱性能的方法應運而生。使用多層複合低輻射玻璃或貼隔熱膜均能有效提升窗戶玻璃的隔熱性能，只是二者市價差異極大。研究結果顯示，位於平均氣溫較高的區域，隔熱膜的隔熱能力高於平均氣溫較低的區<sup>4</sup>。為降低台灣夏日尖峰用電的壓力，我們有必要針對隔熱膜的節能效益進行探討。對此核能研究所亦自行研製開發紅外光反射型隔熱膜及紅外光吸收型隔熱膜，經實測驗證及以 Ecotect、eQuest、Builder 等程式模擬，顯示無論實驗或模擬，各式隔熱膜確實能有效隔絕熱能，且可見光透光度愈低、隔熱能力愈佳，本所產品在滿足可見光透射能力 70%的條件下，對空調節能效益仍有 9%~20%的節電能力，證明隔熱膜確實具有發展潛力。為此本研究將由二氧化碳減碳成本的角度，探討隔熱膜在台灣市場之合理售價。

---

<sup>1</sup> 董雲春,建築物外牆玻璃窗熱傳對空調節能之影響,中興工程,第 119 期,2013 年 4 月,PP. 57-64

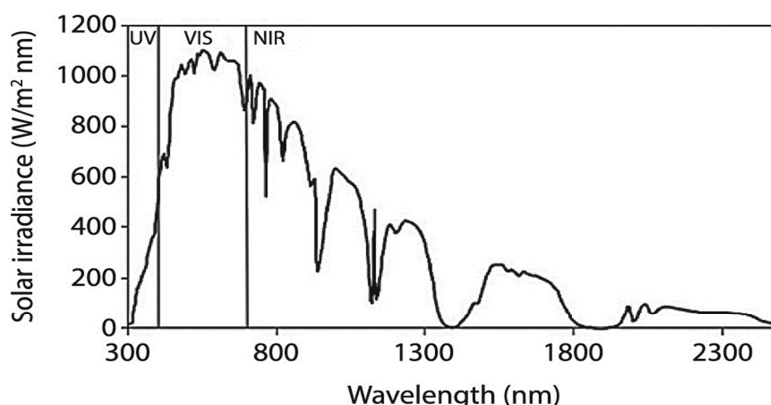
<sup>2</sup> 內政部營建署網站法規公告資料

<sup>3</sup> British Federation Rating Council, Use of the BFRC A-G energy window label, BFRC Guidance Note, March 2007.

<sup>4</sup> Charlie Curcija, Liquid-Applied Absorbing Solar Control Window Film Retrofit, Lawrence Berkeley National Laboratory Windows and Envelope Materials Group, General Services Administration, 2014

## 貳、隔熱膜的節能效益

隔熱膜的隔熱設計原理為讓可見光透過且使得紅外光和紫外光反射，其光譜特性如圖一實線所示<sup>5</sup>。因為太陽的能量中約有超過一半是以紅外線的方式進入地球，紅外光頻率低於紅色光的輻射，雖然用肉眼看不見，但仍然能使被照射物體表面的溫度上昇，更重要的關鍵是紅外光在二氧化矽玻璃中的衰減率很低，因此無法被玻璃阻擋，所以必須要有適當的物質加以反射或吸收。



圖一 太陽光之能量分佈

使用隔熱膜的目的為讓太陽的能量在可見光通過，紅外光反射或吸收，以減少日照的灼熱感，Chaiyapinunt<sup>6</sup> 的研究中發現隔熱膜對於太陽熱能以傳導和對流形式進入室內沒有顯著影響，但可降低太陽輻射熱進入室內，證實隔熱膜確實能阻絕紅外光進入室內，達到節能的目的。隨著隔熱膜加工技術不斷發展與進步，自原本的染色膜演進為真空金屬鍍膜、陶瓷濺鍍膜等製程技術，不但能隔絕紅外光的熱能，同時又能兼顧可見光的穿透性，大大地提升隔熱膜的使用範圍，使用壽命也較長。表一為市售隔熱膜特性之比較<sup>7</sup>。

表一、市售隔熱膜特性

<sup>5</sup> 引用資料來源：<http://dx.doi.org/10.1590/0104-1428.1869>

<sup>6</sup> Somsak Chaiyapinunta, Nopparat Khamporn, ENGINEERING JOURNAL, vol.13, 2009, p29-42

<sup>7</sup> 引用資料來源：核能研究所物理組提供數據，本研究整理

| 項目      | 說明                                                                                                                                                                    | 缺點                                                                                                            | 耐用年限 |
|---------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 染色膜     | <ul style="list-style-type: none"> <li>不氧化</li> <li>顏色多</li> <li>紅外光阻隔率能達到30%-50%</li> </ul>                                                                          | <ul style="list-style-type: none"> <li>透視差</li> <li>無光澤 彈性差</li> <li>日曬褪色嚴重</li> </ul>                        | 5年   |
| 金屬多層光學膜 | <ul style="list-style-type: none"> <li>均勻濺鍍鈦、金、銀等金屬，可多種顏色</li> <li>精密多層膜堆疊</li> <li>可見光透光率60%以上</li> <li>紅外光反射率能達到70% 以上</li> <li>紅外光阻隔率90%以上</li> <li>高隔熱</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>有輕度氧化可能</li> <li>會遮蔽導航及ETC訊號</li> <li>室內加熱效應低</li> <li>成本較高</li> </ul> | 10年  |
| 陶瓷膜     | <ul style="list-style-type: none"> <li>奈米顆粒噴濺至基材</li> <li>可見光透光率70%以上</li> <li>吸收紅外光，紅外光阻隔率90% 以上</li> <li>不影響導航通訊</li> </ul>                                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>長時間會吸熱，產生加熱效應</li> <li>成本高</li> </ul>                                  | 10年  |

隔熱膜隔熱能力良窳的判斷參數為日光輻射熱得取係數(Solar Heat Gain Coefficient，SHGC)和遮陽係數 (Shading Coefficient，SC)。其中 SHGC 是透過窗戶進入室內的太陽輻射熱量與投射到窗戶表面的太陽輻射熱量的比值，SC 是垂直入射角度下某窗戶系統之太陽得熱與 3mm 透明玻璃的太陽得熱之比值；因此兩者係數愈小，隔熱能力愈佳<sup>8</sup>。根據東海橡膠工業針對該公司隔熱膜進行實驗，顯示隔熱膜使用於單層清玻璃可降低 15%空調耗電量，多層夾層玻璃則改善程度為 9%<sup>9</sup>；成功大學以實驗屋的空調實際耗電量做為隔熱膜省電的指標，可降低 9%~20%之空調耗電量，兩實驗證明隔熱膜之節電效果應該可以降低空調耗電量 9%~20%。

市售品牌隔熱膜之規格與售價，如表二所示，顯示總隔熱率<sup>10</sup>(Total Solar Energy Rejection，TSER)高或透光率較低，隔熱能力越佳；但基於室內採光與明亮，建築研究所建議採用可見光(380 nm~780 nm)透光度 70%以上之隔熱膜產品，其次在室內開窗率越大的建物使用隔熱膜節能效果較佳<sup>11</sup>。隔熱膜若搭配調高室內空調設定溫度，在不降低人體舒適度的情形下，室內溫度設定 26℃空調節能效率 9~20%，自 26℃調高至 27℃空調節電效能可達 40%，若再將空調設定溫度自 26℃提高至 28℃，則空調節電效益甚至達到 47%的節電能力，其結果顯示隔熱膜與調高空調設定溫度可產生加乘效果<sup>12</sup>。

<sup>8</sup> 蕭江碧，玻璃日光輻射熱取得率之評估研究，成功大學機研所，內政部建築研究所協同研究報告，2003

<sup>9</sup> Tetsuya TAKEUCHI\*, Osamu GOTO, Masataka INUDUKA, Tetsuji NARASAKI, Yoshihiro TOKUNAGA, Hisami BESSHO and Hitoshi TAKEDA, Development of Window Films for Solar Shading and Heat Insulating Applications, SEI TECHNICAL REVIEW, No.74 APRIL 2012 pp.95-105

<sup>10</sup> 總隔熱率(TSER) 與日光輻射熱得取係數(SGHC)的關係式為：TESR=1－SGHC

<sup>11</sup> 李訓谷，既有建築物節能改善之評估研究，核能研究所委託計畫，2015

<sup>12</sup> 李訓谷，隔熱建材與既有建築之節能改善評估研究，核能研究所委託計畫，2016

表二 市售隔熱膜規格及單價<sup>13</sup>

| 品牌               | 透光率 | 阻紅外線 | 阻紫外線  | U 值  | 遮陽系數 | 總隔熱率   | 價格(NT/才) |
|------------------|-----|------|-------|------|------|--------|----------|
| Sun mark SH-70   | 72% | 91%  | 99%   | 1.03 | 0.59 | 49%    | 350      |
| V-KOOL 70        | 73% | 94%  | 99%   | 0.94 | 0.50 | 55%    | 500*     |
| 3M PR70          | 69% | 97%  | 99.9% | 0.99 | 0.58 | 50%    | 450      |
| 3M PRX90         | 88% | 99%  | 99.9% | 1.02 | 0.74 | 36%    | 500      |
| NAN YA Y-7       | 70% | 95%  | 99.8% | NA   | 0.58 | 77%    | 380      |
| NAN YA F-7       | 75% | 62%  | 99.8% | NA   | 0.75 | 61%    | 280      |
| Solar gard ST 70 | 70% | 99%  | 99.9% |      | 0.73 | 36%    | 257      |
| Solar gard lx70  | 72% | 98%  | 99%   |      | 0.55 | 55%    | 500*     |
| I999             | 69% | 92%  | 99%   | 0.95 | 0.58 | 50.4%  | NA       |
| Car life X65     | 70% | 95%  | 99%   |      | 0.58 |        | 1959/21  |
| Pyrolytic Low-E  | 74% | 58%  |       |      | 0.62 | 35-43% | 300-500  |
| S Low-E          | 74% | 52%  |       |      | 0.59 | 42-78% | 300-500  |
| D Low-E          | 62% | 62%  |       |      | 0.52 | 44%    | 300-500  |
| Pyrolytic-MCL    | 60% | 72%  |       |      | 0.48 | 55%    | 300-500  |

\* 代表以汽車前擋玻璃價格估算可能售價

## 參、隔熱膜減碳成本評估

隔熱膜的節能效率受建築物的開窗率、室內外溫差、可見光穿透率與建築隔熱材料之效果等因素的影響。因此，評估隔熱膜之減碳成本，先列出情境假設之條件再進行評估。

### 假設條件：

1. 隔熱膜透光率 70%，溫度設定 26℃，壽命十年
2. 應用在商辦大樓，空調節能率 17%
3. 運輸業使用隔熱膜之定位不同與本研究要求透光率不同，因此排除不討論。
4. 夏季電價 3.5 元/度；電力碳排放係數推估約 0.522kg/kWh。
5. 空調效率參考本研究商業冰水主機之推估
6. 窗戶/樓板比例 20%、開窗率低於 30%
7. 隔熱膜滲透率：2020 年約 5%，2025 年約 15%，2030 年 30%估算減碳量

### 隔熱膜減量成本推估：

<sup>13</sup> 資料來源: <https://www.tintingdirect.com.au/window-tinting-film/price-solar-gard-lx70.html>。表中所列價格為參考售價，實際售價會因施工面積而有所差異

1. 由空調需求量除以空調效率，推估空調用電量。
2. 空調用電量 × 節能率 = 節電量，可進一步估算減碳量
3. 由空調需求量估算樓板面積  
冷氣噸數 = 室內坪 × 0.15<sup>14</sup>  
再由窗戶/樓板之比例，換算全國隔熱膜總面積
4.  $\frac{\text{隔熱膜總面積} \times \text{每才售價}}{\text{使用壽命}} = \text{年均花費}$
5.  $\frac{\text{年均花費} - \text{節電費用}}{\text{減碳量}} = \text{減碳成本}$

隔熱膜售價以 120、140、160 元新台幣/才 估算，其結果如表三

表三 隔熱膜價格與 CO<sub>2</sub> 減量成本之關係

| 隔熱膜價格               | 120 NT/才   | 140 NT/才 | 160 NT/才 |
|---------------------|------------|----------|----------|
| 隔熱膜年均花費(億元/年)       | 34.54      | 40.30    | 44.06    |
| 全國隔熱膜需求(平方米)        | 2,883 萬平方米 |          |          |
| 隔熱膜總節電量(億度/年)       | 11.57      |          |          |
| 隔熱膜節電費用(億元/年)       | 40.57      |          |          |
| 全國隔熱膜減碳量(kt/年)      | 637        |          |          |
| 2030 年減碳成本(元/tonne) | -942       | -42      | 859      |

資料來源：1.以住商部門張貼隔熱膜 2030 年達 30%滲透率估算 2.本研究估算

表三顯示若隔熱膜每才價格介於 140 元與 160 元之間約 150 元，於 2030 年的減量成本將會為 0，且當售價低於 150 元其 CO<sub>2</sub> 減量成本將為負值。以投入成本與減省電費之平衡點，推估隔熱膜基於減碳能力優劣以決定其市場售價，此一方法並未觸及廠商生產成本及其商品收益的考量，亦即商品的價值取決於其節能性能的良窳判斷。

## 肆、結論與建議

隔熱膜可應用範圍相當廣泛，包括住宅及服務部門、工業以及汽車運輸業均能發揮減碳成效；應用在住宅及服務部門能夠有效降低空調用電需求，而且減碳量僅次於更換高效率空調與

<sup>14</sup> 參考節能標章全球資訊網

使用 LED 照明節能，以隔熱膜使用壽命十年以上估算，則隔熱膜減碳成本為負值；同時隔熱膜除了空調節能，也可降低室內對於窗簾及百葉窗的需求，增加日間室內亮度，因此隔熱膜可有效降低夏季尖峰之用電量。又若考慮人體舒適度，則使用隔熱膜可增加人體舒適度<sup>15</sup>，住宅及服務部門中隔熱膜具有絕佳的投資效益，值得進一步推廣使用。若以節能效率 17% 為例，其市場售價以 CO<sub>2</sub> 減量成本推算之結果為 150 元/才 (換算每平方英尺約 5 美金元)。只要單價低於此數值其減碳成本將為負值，表示使用隔熱膜所節省的電費高於使用者購買隔熱膜的花費，而且隔熱膜單價越低其 CO<sub>2</sub> 減量成本亦隨之降低，就越具減碳優勢；反之減碳成本將隨著隔熱膜單價提高而增加，表示當隔熱膜單價過高，則安裝隔熱膜所省的電費將無法補足所投入的資金，此計算結果與 IWFA 之建議之價格區間每平方英尺 4~9 美金元吻合<sup>16</sup>。因此本所自行研製的 TYPE-A 與 TYPE-B 反射型隔熱膜，其市場訂價以此推估合理售價，可以選擇此方法作為依據。

其次，對於如何提升隔熱膜之能見度，建議與能源服務公司 (Energy Service Company, ESCO) 及綠基會合作，建立異業之間的商業模式，以提高競爭優勢。同時在應用方面，除了原先設計應用在商辦大樓的規劃外，建議考慮其他服務業例如：政府機關、學校、研究機構、展覽館及公立醫院。由於政府近年推廣公務機關尖峰節約用電，可使用隔熱膜搭配調高設定溫度以提高其空調的使用效率。

---

<sup>15</sup> 李訓谷，隔熱建材與既有建築之節能改善評估研究，核能研究所委託計劃，2016

<sup>16</sup> TAM O'SHANTER, Energy Analysis for Window Films Applications in New and Existing Homes and Offices, IWFA, 2012