

## Investigation of Elderly Lifelong Learning Needs and Integration of Unused School Space

Chen, Brian. Tsong-Hour<sup>1</sup> Ho, Zhong-Hua<sup>2</sup> Lin, Shi-Jian<sup>2</sup> Chen, Jun-Jie<sup>2</sup>  
Wei, Pei-Jie<sup>3</sup> Chen, Li-Yang<sup>4\*</sup>

<sup>1</sup>Professor Dean, Architect, Department of Architecture, China University of Technology and Science

<sup>2</sup>Lecturer, Department of Architecture, China University of Technology and Science

<sup>3</sup>Graduate Student, Department of Architecture, China University of Technology and Science

<sup>4</sup>Research Assistant, National Taiwan University, Institute of Biomedical Electronics

### ABSTRACT

**Backgrounds:** According to rapid decline in fertility of Taiwan, enrolling students are decreased obviously in recent years. The classroom in elementary, junior high school unused was increased. On the other hand, the lacking of space for elderly lifelong learning needs is getting severely. How to integrate of learning space and keep balance of social resources are the most important issues for the present.

**Purposes:** The purposes of this study was to assess elderly lifelong learning needs, interests and lacking learning space, in order to develop behavior pattern and space planning model according to research needs.

**Methodss:** The research design of this study was a survey research. Purposive sampling and research objectives 362 over 65 year's elderly in northern Taiwan community were used. A structured questionnaire including learning needs (55), interest (55), and lack of learning place (55) were used. Five dimensions: health care prevention, art appreciation, living skills, recreational activity and spiritual needs were included. Total 210 questions are included in this study. Likert scale 4 point was used to collect data. The score over 2.5 indicated positive needs. The internal consistence for this questionnaire Cronbach's alpha was 0.83. The validity was based on 7 experts' opinion. Data was analyzed by correlation, mean, standard deviation and ranking.

**Resultss and application:** The learning needs in five dimensions are: healthcare prevention (3.40), art appreciation (2.93), living skills (2.84), recreational activities (2.79) and spiritual needs (2.66). The interests are ranked as follow: healthcare prevention (3.09), art appreciation (2.84), living skills (2.75), recreational activities (2.69) and spiritual needs (2.58). The lack of space priority is: Health care prevention (3.31), art appreciation (3.21), living skills (3.10), recreational activity (3.07) and spiritual needs (3.05). The higher scores for lacking space in healthcare prevention are medical knowledge, exercise and introduction of disease place. The researcher developed behavior pattern and space planning model according to elderly research needs.

**Conclusions:** This study found that the sequence of five learning needs of elderly are demand side. To use of unused space of elemental school for elderly learning space is the supply side. The expected benefits of the results of space integration would not only solve unused space of elemental schools, but also to reduce welfare spending by lifelong learning of the elderly, revive the local economy by preserving the local industry characteristics, preserving the local culture by the elderly experience pass and so on. From the balancing resource of land use point of view, the result of this Study can contribute to the integration space planning for elderly lifelong learning needs and unused school space.

**Keywords:** Lifelong Learning Needs, Health Care Prevention, Art Appreciation, Living Skills, Recreational Activity, Spiritual Needs, Behavior Patterns, Unused Space, Space Planning Model.

Accepted for publication : August 1, 2013

Corresponding author : Chen, Li-Yang

Address : Fl. 18-1, No.151, Section 4, Shin-yi Rd., Taipei, Taiwan, R.O.C.

Tel : 0910025454

E-mail : btcgroupusa@gmail.com

## 建築材料釋放揮發性有機化合物對室內空氣品質影響之研究

Assessing the Effect of Volatile Organic Compounds Emissions on Indoor Air Quality From Building Materials

羅時麒

國立臺灣大學環境工程學研究所博士



### 摘要

**背景：**建築材料釋放揮發性及半揮發性有機化合物，對室內空氣品質及人體健康有許多潛在影響，並引發民眾對如何選擇室內建材的重視。

**目的：**研究目的係為了解建築材料釋放揮發性及半揮發性有機化合物之潛在危害，及其與室內空氣品質之關聯性。

**方法：**以健康風險評估方法進行揮發性及半揮發性有機化合物之危害確認，及整合室內空氣品質模式，模擬常用塗料類綠建材逸散揮發性有機化合物對室內人員之健康風險。

**結果：**建材可能釋放之揮發性有機化合物，依據國際癌症研究署 (IARC) 之致癌性分類，甲醛及苯屬第 1 類具致癌性，模擬結果顯示綠建材標章產品之風險在可接受範圍；甲苯、二甲苯等揮發性有機化合物屬第 3 類無適當證據其與致癌相關。至於鄰苯二甲酸酯類 DEHP 等半揮發性有機化合物則屬第 2B 類，並已透過修正相關規定予以污染源控制。

**結論 / 實務應用：**建議未來加強推廣健康綠建材，以進行污染源控制，提升室內空氣品質。

**關鍵字：**健康風險評估、揮發性有機化合物、半揮發性有機化合物、室內空氣品質、綠建材。

接受刊載：102 年 8 月 1 日

通訊作者：內政部建築研究所研究員

電話：(02)8912 7890 轉 274

地址：新北市新店區北新路三段 200 號 13 樓

電子信箱：losc@abri.gov.tw

## 1. 前言

建築建材如塗料、板材、填縫劑、接著劑、壁飾等及傢俱如桌椅等，常會釋放各種揮發性有機化合物 (volatile organic compounds, VOCs) 及半揮發性有機化合物 (semi volatile organic compounds, SVOCs) 而污染室內空氣。由於現代人約花費 90% 以上的時間於室內活動，室內空氣品質 (indoor air quality, IAQ) 的良窳影響身體健康甚鉅。造成室內空氣污染主因包括過度裝潢及由新建材所含逸散 VOCs，加上近來引起國人關心之鄰苯二甲酸酯類塑化劑等 SVOCs 之污染，致使室內空氣品質問題日益嚴重。本研究目的係為了解建築材料釋放 VOCs 及 SVOCs 之潛在危害，及其與室內空氣品質之關聯性。

### 1-1 常見室內空氣污染物

1980 年代國際間便已開始關注空調型建築物，因通風量過低所造成病態大樓症候群議題，此時之室內空氣污染物多以生物性為主。隨著現代室內裝潢大量使用含有溶劑類塗料、接著劑等之裝修材料及傢俱，室內空氣中之各種 VOCs 開始受到關切 (江、邵、陳、陳，2006)。行政院環境保護署為改善室內生活環境，維護國民身體健康，以提升室內空氣品質，制定「室內空氣品質管理法」，業於 100 年 11 月 23 日總統公布，並自 101 年 11 月 23 日施行，環保署於同日發布「室內空氣品質管理法施行細則」、「室內空氣品質標準」等相關子法。室內空氣污染物，區分為「物理性」、「化學性」及「生物性」。包括二氧化碳、一氧化碳、甲醛 (formaldehyde)、總揮發性有機化合物 (total volatile organic compound, TVOC)、細菌 (bacteria)、真菌 (fungi)、粒徑小於或等於 10 微米之懸浮微粒 (PM<sub>10</sub>)、粒徑小於或等於 2.5 微米之懸浮微粒 (PM<sub>2.5</sub>)、臭氧等，其中甲醛標準為 0.08ppm，TVOC 為 0.56ppm。

### 1-2 建築材料逸散甲醛及 VOCs

為提升國人居住生活品質，內政部建築研究所建立「綠建材標章制度」，分為四大類，其中以健康綠建材標章與室內空氣品質較為相關，綠

建材標章以低甲醛逸散速率 (< 0.08 mg/m<sup>2</sup>hr) 及 TVOC 逸散速率 (< 0.19 mg/m<sup>2</sup>hr) 為評估指標。甲醛之分子式 HCHO (1 mL/m<sup>3</sup>=1 ppm，在 20°C 與 101.3 kPa 時相當於 1.2 mg/m<sup>3</sup>)，是一種無色有刺激性之有毒氣體，易溶於水及甲醇中，有消毒防腐作用，對黏膜有刺激作用，當刺激眼、鼻及喉部時，會發生咳嗽、疲倦、起疹及過敏等現象，並可造成結膜炎、鼻炎、喉炎等。

揮發性有機化合物 (VOCs)，根據 ISO 16000-5 (2007) 之定義：在標準狀態下 (20°C，1 atm)，蒸汽壓大於 0.1 mmHg 以上之有機化合物。VOCs 依世界衛生組織 (WHO) 所定義為沸點在 50-260°C 之物質，且依其沸點的不同尚分為半揮發性有機化合物 (SVOCs) 及極易揮發性之有機化合物 (very volatile organic compounds, VVOCs)。一般室內常見 VOCs 並無充分資料證明其具有致癌性，但接觸 VOCs 者卻常產生昏眩、頭痛、眼、鼻及皮膚刺激等症狀。至於總揮發性有機物質化合物 (TVOC) 之定義，除前揭室內空氣品質標準外，根據 ISO 16000-9 (2006) 建築產品及家具揮發性有機化合物逸散測定 - 逸散試驗箱法之標準，TVOC 之定義為：從正己烷 (n-hexane) 至正十六烷 (n-hexadecane) 間所析出之已辨識及未辨識揮發性有機化合物之濃度總合。至於綠建材標章之 TVOC 包括：苯、甲苯、對二甲苯、間二甲苯、鄰二甲苯及乙苯，詳表一所示。

### 1-3 新興室內空氣污染物 SVOCs

隨著甲醛及 VOCs 被納入管制，業界逐漸改用較低逸散之膠合劑，此類問題已獲得控制。另一方面，國際上開始關注 SVOCs。例如鄰苯二甲酸酯類塑化劑、含溴阻燃劑、防菌劑等。前述 SVOCs，環保署納入「環境荷爾蒙管理計畫」自 99 年 1 月 1 日起對於國內用品、產品、食品及環境之環境荷爾蒙物質，進行抽測及監控。雖然建材產品未列入前述優先管制項目，但考量我國石化業相當發達，目前仍有相當多室內地板材料使用聚氯乙烯 (polyvinyl chloride, PVC)，為增加 PVC 地板材彈性及避免碎裂，生產過程需添加塑化劑，鄰苯二甲酸酯類塑化劑是使用最多、最廣泛者，由於 PVC 與鄰苯二甲酸酯類塑化劑非

以化學鍵結，未受化學束縛，所添加之塑化劑會自 PVC 材料緩慢揮發逸散到室內環境 (Xu & Zhang, 2011)，並黏結到空氣粒子或吸附至室內材料表面，這些化學物質進入人體可能對健康產生潛在影響。Bonvallet, Mandin, Mercier, Bot, & Glorennec (2010) 評估在法國因食入住宅落塵之 SVOCs 可能產生之健康風險，DEHP 排名第一。因此，鄰苯二甲酸酯類塑化劑等新興室內空氣污染物，已成為室內空氣品質的新挑戰。

## 2. 研究方法

本研究參考健康風險評估概念 (行政院環境保護署，2011；羅、李，2011；Azuma, Uchiyama, & Ikeda, 2007)，針對建材逸散 VOCs 之健康風險評估，包括：危害確認 (hazard identification)、劑量效應評估 (dose-response assessment)、暴露評估 (exposure assessment) 及風險特徵描述 (risk characterization) 等階段，並以質量平衡模式 (mass balance model) 模擬化建材逸散室內空氣污染物之濃度。

### 2-1 危害確認

危害確認為健康風險評估之首要步驟，屬定性分析，係為瞭解室內環境中可能暴露之化學物質之健康危害，重點在於鑑定建材可能釋放化學物質之種類及毒性。從國內實測調查發現，建材常含有甲醛、VOCs 等室內空氣污染物；新建築物 VOCs 來源，為溼性建材產品 (塗料、接著劑、填縫劑)。

表一、總揮發性有機物質 TVOC 的定義及用途

	室內空氣品質標準	CNS16000-9 標準	綠建材標章
效力	強制性	建議性質	自願申請性質
主管機關	行政院環境保護署	經濟部 (標準檢驗局)	內政部 (建築研究所)
TVOC 定義	採計苯、四氯化碳、氯仿 (三氯甲烷)、1,2-二氯苯、1,4-二氯苯、二氯甲烷、乙苯、苯乙烯、四氯乙烯、三氯乙烯、甲苯及二甲苯 (對、間、鄰) 等 12 種化合物之濃度測值總和者。	從正己烷 (n-hexane) 至正十六烷 (n-hexadecane) 間所析出之已辨識及未辨識揮發性有機化合物之濃度總合。	試驗污染標的，包括：苯、甲苯、對二甲苯、間二甲苯、鄰二甲苯、乙苯等 6 種化合物之逸散速率。
單位	ppm	ppm	mg/m <sup>2</sup> hr
用途	適用室內空氣品質之現場實測	適用建築產品及家具性能檢測	適用綠建材標章性能檢測
量測方式	現場採樣 + 實驗室	實驗室	實驗室

其中，C：代表穩定狀態下，VOCs濃度 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )，  
E(t)：污染源之TVOC單位面積逸散速率 ( $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ )，  
V：代表室內空間體積 ( $\text{m}^3$ )，  
A：建材(污染源)表面積 ( $\text{m}^2$ )，  
L：建材負荷率 ( $\text{m}^2/\text{m}^3$ ) ( $L=A/V$ )，  
ACH：室內空氣之換氣率 ( $\text{h}^{-1}$ ) ( $\text{ACH}=Q/V$ )，  
Q：室內通風速率 ( $\text{m}^3/\text{h}$ )。

### 2-3-2. 室內空氣污染物暴露評估

一般暴露劑量進入人體途徑，包括吸入、食入及皮膚吸收3種，室內環境VOCs暴露劑量，以經由慢性低濃度吸入途徑之終生平均每日暴露劑量 (lifetime average daily dose, LADD) 暴露評估，計算如下：

$$\begin{aligned} \text{終生平均每日暴露劑量 (LADD)} \\ = C_i \times IR \times EF \times ED / (BW \times AT) \quad (2) \end{aligned}$$

其中，LADD：吸入途徑之終生平均每日暴露劑量 ( $\text{mg}\cdot\text{kg}/\text{d}$ ,  $\text{mg}/\text{Nm}^3$ )，  
C<sub>i</sub>：危害性物質之平均濃度 (空氣 $\text{mg}/\text{Nm}^3$ )，  
IR：每天呼吸量 ( $\text{Nm}^3/\text{day}$ )，  
EF：人與接觸介質之暴露頻率 ( $\text{d}/\text{yr}$ )，  
ED：人與接觸介質之暴露持續期間 (year)，  
BW：體重 (kg)，  
AT：平均時間 (day)。

### 2-4 風險特徵描述

(1) 致癌風險度 (cancer risk, CR)：若建材逸散VOCs之致癌性分類為第1類或第2A類時，致癌風險度可做為致癌性影響之健康風險評估，方法有二種：

方法①：

$$\begin{aligned} \text{致癌風險} = \text{暴露劑量 (ADI)} \\ \times \text{致癌斜率因子 (CSF)} \quad (3a) \end{aligned}$$

其中，CSF：致癌斜率因子，單位為 ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )<sup>-1</sup>，ADI：平均每日暴露劑量，單位為 ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )。

方法②：

$$\begin{aligned} \text{致癌風險} = \text{暴露濃度} \times \text{單位風險} \\ (\text{unit risk}) \quad (3b) \end{aligned}$$

致癌風險之判斷基準，可接受風險 (acceptable risk) 介於萬分之一 ( $10^{-4}$ ) 至百萬分之一 ( $10^{-6}$ )，當總致癌風險高於百萬分之一 ( $10^{-6}$ ) 時須提出改善對策。由於單位風險係依據美國環保署建立之IRIS資料，係假設每人每天的呼吸量為  $20\text{m}^3/\text{day}$ ，一天中有24小時的暴露，終生暴露時間為70年，體重70公斤。本研究參考林(2005)暴露情境及《台灣一般民眾暴露參數彙編》之調查數據，將前述室內空氣暴露參數修正為每人每天呼吸量為  $12\text{m}^3/\text{day}$ ，一天約有16小時的時間處於室內環境，一年約有50週的時間在室內，平均壽命78歲，體重65公斤。健康風險經驗公式修正如下：

$$\begin{aligned} \text{致癌風險} = C \times \text{unit risk} = C(\mu\text{g}/\text{Nm}^3) \times \\ (16/24) \times (12/20) \times (70/65) \times (50/52) \times (70/78) \times \text{unit risk}(3c) \end{aligned}$$

(2) 非致癌之危害商數 (hazard quotient, HQ)：若建材逸散VOCs致癌性分類為第3或2B類時，危害商數可做為非致癌性影響之健康風險評估，以暴露臨界值表示，非致癌風險之危害商數HQ方程如下：

$$\text{HQ} = \sum i (\text{ADI}/\text{RfD}) \quad (4)$$

其中，HQ：危害商數，

RfD：參考劑量，單位為 ( $\text{mg}/\text{kg}/\text{day}$ )。

如果HQ小於1，預期將不會造成顯著損害；如果HQ大於1，則表示暴露劑量超過閾值可能產生毒性。

### 2-5 模擬參數之設定與選擇

(1) 室內空間之條件：室內空間參數，包括長度、寬度、高度、建材負荷率 (loading factor) 等，假設一室內空間為  $22.5\text{m}^3$  (長3m、寬3m、高2.5m)，樓地板面積為  $9\text{m}^2$  (約2.7坪)，模擬建材負荷率設為0.4下，即室內空間採用表面積為  $9\text{m}^2$  之室內裝修材料。

(2) 室內環境之條件：室內環境參數，包括溫度、濕度、換氣率等，均是影響模式準

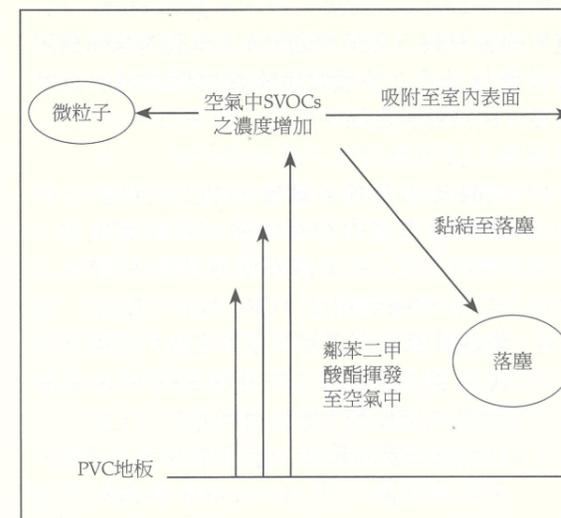
確率之因素，模擬室內環境條件為溫度  $25^\circ\text{C}$ ，相對溼度50%，換氣率 (ACH) 為0.5，空氣之混合率為50%，探討室內環境中建材VOCs濃度變化情形，進而進行風險度推估。

(3) 致癌斜率因子與參考劑量之設定與選擇：本研究利用美國環保署所建置的整合風險資訊資料庫IRIS查詢相關化學物質的致癌斜率因子與參考劑量資料。

### 2-6 鄰苯二甲酸酯類等SVOCs之暴露與影響

鄰苯二甲酸酯類塑化劑屬於SVOCs之一，主要由聚氯乙烯 (PVC) 製品釋放，包括：PVC地板及家具等製品，PVC產品常添加鄰苯二甲酸雙-2-乙基己酯 (di-2-ethylhexyl-phthalate, DEHP) 塑化劑，DEHP是最具代表性之塑化劑，可提高塑膠柔軟度及延展性。SVOCs之逸散機制與VOCs不同，其差異說明如下：(1) VOCs具高揮發性，逸散機制以材料相擴散係數為主。

(2) 鄰苯二甲酸酯類塑化劑等SVOCs，揮發性非常低，逸散速率很慢，使用多年後仍持續排放，主要隨外在因子而變，例如氣相分佈、質傳係數、及室內表面吸附量，示意圖詳圖一所示。室內環境中鄰苯二甲酸酯類塑化劑之人體暴露途徑主要經由食入為主，其次為吸入室內空氣及皮膚接觸等。在吸入室內空氣暴露途徑時，空氣懸浮微粒扮演重要角色，因此亦須考量鄰苯二甲酸酯



圖一. 室內鄰苯二甲酸酯類塑化劑等SVOCs之暴露途徑

類塑化劑黏結至空氣微粒子效應。

## 3. 結果

### 3-1 建築材料釋放揮發性有機化合物之危害確認

(1) 揮發性有機化合物VOCs：建材VOCs，包括：甲醛、苯、甲苯、乙苯、鄰-二甲苯、間-二甲苯、及對-二甲苯等，其危害確認及劑量效應等資料，依據國際癌症研究署 (IARC) 之致癌性分類，甲醛及苯屬第1類之人類致癌物，劑量效應依據美國環保署整合風險資訊資料庫IRIS，甲醛之單位風險 (unit risk) 為  $1.3 \times 10^{-5}$  ( $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ )<sup>-1</sup>，苯之單位風險為  $2.9 \times 10^{-5}$  ( $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ )<sup>-1</sup>，根據查詢結果，苯之單位風險值比甲醛還高。至於甲苯、鄰-二甲苯、間-二甲苯、及對-二甲苯等，依據國際癌症研究署 (IARC) 之分類，屬第3類，無適當證據其與致癌相關，乙苯屬2B類，其劑量效應相關資料詳表二所示。

(2) 半揮發性有機化合物SVOCs：有關建材釋放鄰苯二甲酸酯類SVOCs，依據國際癌症研究署 (IARC) 分類，DEHP屬第2B類，可能引起人類癌症者 (動物性實驗資料足夠)。其餘未列入評估，詳表二所示。

### 3-2 建材逸散VOCs濃度之推估及影響

室內裝修材料之種類繁多，本研究以塗料類進行推估，塗料類以符合CNS4940水性水泥漆最常見，其性能標準分室內用及室外用兩類，水性水泥漆為第1種 (室內用)，一般市面稱乳膠漆為第2種 (室外用)；其他塗料標準包括：CNS4912木器用透明二度底漆、CNS12137多彩花紋塗料、及CNS4938環氧樹脂漆等。塗料類建材之樣本參考羅、李(2011)之資料，包括：水性水泥漆 (20件)、水性水泥漆 (乳膠漆) (18件) 及其他塗料 (11件)。表三結果顯示：健康綠建材標章產品之各類材料甲醛逸散速率平均值 ( $0.0016\text{mg}/\text{m}^2\text{hr}$ ) 遠低於評定基準  $0.01\text{mg}/\text{m}^2\text{hr}$ ，TVOC逸散速率 (平均  $0.0729\text{mg}/\text{m}^2\text{hr}$ ) 亦低於健康綠建材評定基準  $0.19\text{mg}/\text{m}^2\text{hr}$ 。

表二、建材釋放揮發性有機化合物之危害性鑑定及劑量效應

揮發性有機化合物 VOCs	致癌性	劑量效應
	依據國際癌症研究署 (IARC) 分類	查詢美國環保署整合風險資訊資料庫 (IRIS)
甲醛 (Formaldehyde)	group 1	Unit risk=1.3×10 <sup>-5</sup> (μg/Nm <sup>3</sup> ) <sup>-1</sup>
苯 (benzene)	group 1	Unit risk=2.9×10 <sup>-5</sup> (μg/Nm <sup>3</sup> ) <sup>-1</sup>
甲苯 (toluene)	group 3	RfD=0.08mg/kg/day ; RfC=0.4mg/m <sup>3</sup>
乙苯 (ethyl-benzene)	group 2B	RfD=0.1mg/kg/day ; RfC=1mg/m <sup>3</sup>
間、對-二甲苯 (m, p-xylene)	group 3	RfD=0.2mg/kg/day ; RfC=0.1mg/m <sup>3</sup>
鄰-二甲苯 (o-xylene)	group 3	RfD=0.2mg/kg/day ; RfC=0.1mg/m <sup>3</sup>
半揮發性有機化合物 SVOCs		
鄰苯二甲酸二-2-乙基己酯 (di-(2-ethylhexyl) phthalate, DEHP)	group 2B	RfD=0.02mg/kg/day ; RfC: No data
鄰苯二甲酸丁基甲酯 (butyl benzyl phthalate, BBP)	-	RfD=0.2mg/kg/day ; RfC: No data
鄰苯二甲酸二丁酯 (di-n-butyl phthalate, DBP)	-	RfD=0.1mg/kg/day ; RfC: No data
鄰苯二甲酸二異壬酯 (diisononyl phthalate, DINP)	-	RfD: No data ; RfC: No data
鄰苯二甲酸二異癸酯 (diisodecyl phthalate, DIDP)	-	RfD: No data ; RfC: No data
鄰苯二甲酸二正辛酯 (dioctyl phthalate, DNOP)	-	RfD: No data ; RfC: No data
鄰苯二甲酸二甲酯 (dimethyl phthalate, DMP)	-	RfD: No data ; RfC: No data
鄰苯二甲酸二乙酯 (DEP)	-	RfD: No data ; RfC: No data

註：依據國際癌症研究署 (IARC) 之致癌性分類，group 1: 經確證會引起人類致癌者；group 2A: 極可能引起人類致癌者 (動物性實驗資料足夠，但人類致癌性流行病學資料不足)；group 2B: 可能引起人類致癌者 (動物性實驗資料足夠)；group 3: 尚無法歸類為可引起人類致癌者 (資料不足，無適當證據其與致癌相關)；Group 4: 已證明極可能不會引起人類致癌者；-：尚未列入評估。

m<sup>3</sup>hr，顯示各塗料類健康綠建材標章之產品性能頗佳。由表三可看出各類材料之 TVOC 逸散速率 (平均 0.0729 mg/m<sup>3</sup>hr) 高於甲醛逸散速率 (平均 0.0016 mg/m<sup>3</sup>hr)，顯示須注意甲醛以外之各類 VOCs。個別 VOCs，以甲苯之逸散速率 (平均 0.0337 mg/m<sup>3</sup>hr) 最高。

為評估特定室內空間單一建材逸散 VOCs，以簡化室內空氣品質質量平衡模式模擬。將各塗料類建材 VOCs 之平均逸散速率，帶入計算式 (1)，推估在室內空間 VOCs 之逸散濃度，結果如表三所示。並以特定室內環境空間 (22.5m<sup>3</sup>，長 3m、寬 3m、高 2.5m；樓地板面積為 9m<sup>2</sup>，約 2.7 坪) 單一建材之 VOCs 逸散濃度模擬其健康風險

值，假設材料之負荷率為 0.4 (即室內空間採用表面積為 9m<sup>2</sup> 之各類健康綠建材標章材料之裝修量) 作為比較之條件。

- (1) 甲醛及苯之致癌風險 (CR)：以表三計算所得之室內空間甲醛及苯的濃度值，代入公式 (3c) 得到健康綠建材標章之 VOCs 致癌風險度 (CR) 如表四所示。由表四計算結果可知，在特定室內空間水性水泥漆 (乳膠漆) 之甲醛終生致癌風險 (CR=5.93E-07) 低於百萬分之一 (10<sup>-6</sup>)，在可接受風險範圍；水性水泥漆之甲醛終生致癌風險 (CR=5.91E-06) 及苯終生致癌風險 (CR=4.75E-06) 在此情況下均略

表三、塗料類綠建材揮發性有機化合物之逸散速率及模擬濃度

類別	逸散速率 (mg/m <sup>3</sup> hr) 之極大值、平均值、極小值 (Max, Ave, Min) 註 1							樣本數 (有效件)
	甲醛	TVOC	苯	甲苯	乙苯	間、對二甲苯	鄰二甲苯	
水性水泥漆	(0.0020, 0.0015, 0.0015)	(0.1280, 0.0803, 0.0040)	(0.0070, 0.0005, 0.0001)	(0.0755, 0.0335, 0.0003)	(0.0257, 0.0128, 0.0003)	(0.0428, 0.0228, 0.0001)	(0.0183, 0.0112, 0.0027)	20(17)
水性水泥漆 (乳膠漆)	(0.0020, 0.0015, 0.0015)	(0.1740, 0.0835, 0.0230)	(0.0011, 0.0002, 0.0001)	(0.1073, 0.0387, 0.0109)	(0.0283, 0.0112, 0.0006)	(0.0445, 0.0240, 0.0024)	(0.0209, 0.0097, 0.0024)	18(15)
其他塗料	(0.0020, 0.0017, 0.0015)	(0.0970, 0.0549, 0.0200)	(0.0078, 0.0012, 0.0001)	(0.0563, 0.0289, 0.0020)	(0.0136, 0.0069, 0.0001)	(0.0231, 0.0122, 0.0001)	(0.0133, 0.0058, 0.0001)	11(9)
室內空間有機化合物之模擬濃度 (μg/m <sup>3</sup> ) 註 2								
類別	甲醛	TVOC	苯	甲苯	乙苯	間、對二甲苯	鄰二甲苯	
水性水泥漆	1.22	64.24	0.42	26.77	10.23	18.25	9.00	
水性水泥漆 (乳膠漆)	1.23	66.83	0.14	30.96	8.96	19.22	7.76	
其他塗料	1.33	43.91	0.97	23.14	5.56	9.73	4.63	

註：1. 逸散濃度之測值低於偵測極限者註記為 ND，其濃度以 1/2 偵測極限計算，並以此值換算速率試驗。  
2. 室內空間為 22.5m<sup>3</sup> (長 3m、寬 3m、高度 2.5m)，建材負荷率為 0.4 (室內空間採用 9m<sup>2</sup> 之裝修材料) 之情況。

高於百萬分之一 (10<sup>-6</sup>)，但尚在可接受範圍 (10<sup>-4</sup> 至 10<sup>-6</sup> 之間)，但應避免過量使用。

- (2) 非致癌性之危害商數 (HQ)：在特定室內空間，並假設每日有 80% 的時間暴露在此濃度下，代入公式 (4) 即可求得非致癌性之危害商數 (HQ)，計算所得之非致癌風險如表四所示。非致癌性風險之判斷基準，當危害商數小於 1 (HQ < 1)，表示該有機化合物濃度對人體健康無顯著之負面影響，有機化合物濃度為可接受範圍。由表四計算結果可知，健康綠建材標章之各塗料類 VOCs 之危害商數皆小於 1 (HQ < 1)，個別 VOCs 之危害商數 (HQ)，以間、對-二甲苯較高，鄰-二甲苯及甲苯次之，乙苯最低；因甲苯、乙苯、間、對-二甲苯及鄰-二甲苯等之危害商數皆小於 1，對人體健康無顯著之負面影響。

### 3-3 建材釋放 SVOCs 之污染源控制

綠建材標章評定之 SVOCs 規定，已修訂「綠建材解說與評估手冊」(2011 年版)，除舊版綠建材通則評估要項與基準二、限制性物質 (一) 及 (四) 項之規定外，新增鄰苯二甲酸酯類可塑劑 (塑化劑) 之限量規定。各類綠建材 SVOCs 之篩檢，須符合環保署公告毒性化學物質之鄰苯二甲酸酯類塑化劑規定，及檢附塑化劑試驗報告供查驗。

## 4. 討論

- (1) 有關建築材料釋放 VOCs 及 SVOCs 之危害確認，依據國際癌症研究署 (IARC) 之致癌性分類，甲醛及苯屬第 1 類具致癌性，甲苯、鄰-二甲苯、間-二甲苯及對-二甲苯等 VOCs 屬第 3 類無適當證據與致癌相關；至於近來引起國人關心之鄰苯二甲酸酯類等 SVOCs 則屬第 2B 類，並已透過修正「綠建材解說與評

表四、模擬室內空間使用健康綠建材之健康風險評估

建材類別	終生致癌風險 (cancer risk)			
	甲醛	苯		
水性水泥漆	5.91E-06	4.75E-06		
水性水泥漆(乳膠漆)	5.93E-07	1.54E-06		
其他塗料	6.44E-06	1.05E-05		

建材類別	危害商數 (HQ)			
	甲苯	乙苯	間、對二甲苯	鄰二甲苯
水性水泥漆	5.35E-02	8.18E-03	1.46E-01	7.20E-02
水性水泥漆(乳膠漆)	6.19E-02	7.17E-03	1.54E-01	6.21E-02
其他塗料	4.63E-02	4.45E-03	7.78E-02	3.70E-02

備註：室內空間為 22.5m<sup>3</sup>(長 3m、寬 3m、高 2.5m)，材料負荷率為 0.4(室內空間採用 9m<sup>2</sup>之裝修材料)之情況。

估手冊」(2011年更新版)通則規定，新增鄰苯二甲酸酯類塑化劑之限量規定，可予以污染源控制，有效提升綠建材標章產品品質。

- 本研究模擬單一綠建材釋放 VOCs 健康風險，結果顯示，各塗料類健康綠建材中，水性水泥漆、乳膠漆，因甲醛及苯之測值多低於偵測極限，其終生致癌風險最佳，在可接受風險範圍。至於各塗料類 VOCs 之非致癌風險，因危害商數 HQ 皆小於 1，對人體健康無顯著之負面影響。推論其原因，可能是建材經過 48 小時的平衡，VOCs 濃度值已相當的低，推估至實際空間濃度值更低。
- 本研究以單一建材之 VOCs 逸散速率，進行室內環境中之 VOCs 濃度及其健康風險值之模擬，因此相關結果僅適用於單一建材類別健康效益之比較。

### 5. 誌謝

本研究承蒙內政部建築研究所鼎力支持(101301070000G0046)，得以順利完成，特此申謝。

### 參考資料

行政院衛生署國民健康局 (2008) · 台灣一般民眾暴露參數彙編 · 取自 <http://www.bhp.doh.gov.tw/BHPNet/.../1>。台灣一般民眾暴露參數彙編(全一冊)。[Bureau of Health Promotion, Department of Health, Executive Yuan (2008). *Compilation of Exposure Factors in Taiwan*. Retrieved from <http://www.bhp.doh.gov.tw/BHPNet/.../1>.]

行政院環境保護署 (2011) · 健康風險評估技術規範 · 取自 <http://ivy5.epa.gov.tw/epalaw/docfile/033310.pdf>。[Environmental protection administration, Executive Yuan (2011). *Health risk assessment technical standards*. Retrieved from <http://ivy5.epa.gov.tw/epalaw/docfile/033310.pdf>.]

江哲銘、邵文政、陳逸青、陳振誠 (2006) · 建材揮發性有機逸散物質行為預測模式之研究 · *建築學報*, 58, 41-61。[Chiang, C. M., Shao, W. C., Chen, Y. C., & Chen, C. C. (2006). Study on the Prediction Model for the VOC Emission from BPs. *Journal of*

*Architecture*, 58, 41-61.]

何明錦 (2011) · 綠建材解說與評估手冊 · 新北市：內政部建築研究所。[Ho, M. C. (2011). *Evaluation Manual for Green Building Material*. New Taipei City: Architecture and Building Research Institute, Ministry of Interior.]

林霧靈 (2005) · 常見天花板建材之揮發性有機物逸散研究 · 新北市：內政部建築研究所。[Lin, W. T. (2005). *VOC Emissions from ceiling materials*. New Taipei City: Architecture and Building Research Institute, Ministry of Interior.]

中華民國國家標準 (1987) · CNS4940 水性水泥漆 · 台北市：經濟部標準檢驗局。[Chinese National Standards (1987). *CNS4940 Water-base masonry*. Taipei: Bureau of Standards, Metrology and Inspection, Ministry of Economic Affairs.]

羅時麒 (2011) · 室內聚合物釋放鄰苯二甲酸酯類可塑劑之影響 · *正品雜誌*, 3, 9-13。[Lo, S. C. (2011). Phthalate Plasticizer Emitted from Polymeric Materials used in Buildings. *Journal of Quality Product*, 3, 9-13.]

羅時麒、李明賢 (2011) · 健康綠建材標章材料之室內健康效益評估 · *建築學報*, 76 (技術專刊), 43-60。[Lo, S. C., & Lee, M. H. (2011). Evaluation of Indoor Health Benefits from Green Building Materials. *Journal of Architecture*, 76 (Special Issue on Technology), 77-92.]

羅時麒、姚志廷 (2009) · 健康綠建材揮發性有機化合物逸散量對室內空氣品質影響之

研究 · *建築學報*, 70 (技術專刊), 77-92。[Lo, S. C., & Yau, J. T. (2009). Quantifying the effect of VOC emissions on indoor air quality for green building materials in Taiwan. *Journal of Architecture*, 70 (Special Issue on Technology), 77-92.]

Azuma, K., Uchiyama, I., & Ikeda, K. (2007). The risk screening for indoor air pollution chemicals in Japan. *Risk Analysis*, 2(6): 1623-1638.

Bonvallot, N., Mandin, C., Mercier, F., Bot, B. Le, & Glorennec, P. (2010). Health ranking of ingested semi-volatile organic compounds in house dust: an application to France. *Indoor Air*, 20, 458-472.

Guo, H., Murray, F., & Lee, S.C. (2003). The development of low volatile organic compound emission house-a case study. *Building and Environment*, 38, 1413-1422.

ISO 16000-5(2007). *Indoor air - Part 5: Sampling strategy for volatile organic compounds (VOCs)*. Switzerland: International Organization for Standardization.

ISO 16000-9(2006). *Indoor air - Part 9: Determination of the emission of volatile organic compounds from building products and furnishing - Emission test chamber method*. Switzerland: International Organization for Standardization.

Xu, Y., & Zhang, J. (2011). Understanding SVOCs. *ASHRAE Journal*, December, 121-125.