

綠建材標章之材料健康效益分析研究

內政部建築研究所自行研究報告

中華民國 98 年 10 月

098301070000G2022

PG9803-0232

綠建材標章之材料健康效益分析研究

研 究 人 員：羅時麒

內政部建築研究所自行研究報告

中華民國 98 年 10 月

ARCHITECTURE AND BUILDING RESEARCH INSTITUTE
MINISTRY OF THE INTERIOR
RESEARCH PROJECT REPORT

Assessing the Health Effect of Green Building Materials Labeling

BY

Dr. LO SHIH CHI

October, 2009

目次

表次.....	III
圖次.....	V
摘要.....	VII
第一章 緒論.....	1
第一節 研究緣起與背景	1
第二節 研究目的	3
第三節 研究流程	4
第四節 預期成果	6
第二章 文獻回顧與探討.....	7
第一節 綠建材標章發展現況	7
第二節 建材有機化合物與室內空氣品質之關聯....	16
第三節 室內空氣品質之健康風險評估	27
第三章 建築材料之室內健康風險評估方法	33
第一節 風險評估架構	33
第二節 建築材料有機化合物之健康風險評估.....	37
第三節 室內有機化合物濃度之推估	42
第四章 綠建材標章之健康效益評估	45
第一節 從健康觀點探討現行綠建材標章評估項目..	45
第二節 綠建材標章之材料性能標準分析	48
第三節 建築材料有機化合物逸散量分析	51
第四節 健康綠建材標章之材料健康風險推估.....	56
第五節 小結	64

第五章 結論與建議	67
第一節 結論	67
第二節 建議	69
附錄一、期初審查及回應	71
附錄二、期中審查及回應	73
參考書目	77

表次

表 2-1 綠建材之認可分類	9
表 2-2 綠建材標章與環保標章水性塗料評定基準比較表	10
表 2-3 受理申請的健康綠建材項目	14
表 2-4 健康綠建材評定範圍與基準.....	15
表 2-5 室內環境重要的甲醛來源.....	19
表 2-6 國際癌瘤研究署之致癌性分類.....	20
表 2-7 室內空氣有機污染物的分類.....	20
表 2-8 環保署公告「室內空氣品質標準建議值」.....	26
表 2-9 環境面相關風險來源與分類.....	27
表 3-1 健康綠建材之有機化合物評定基準.....	42
表 4-1 健康綠建材標章申請類別及對應國家標準.....	49
表 4-2 CNS 國家標準之材料種類.....	50
表 4-3 健康綠建材標章(96-97 年)材料揮發性有機化合物之逸散速率(平均值)	53
表 4-4 模擬特定室內空間之材料逸散揮發性有機化合物濃度.....	55
表 4-5 健康綠建材標章有機化合物之危害性鑑定及劑量效應.....	57
表 4-6 模擬室內空間使用健康綠建材標章裝修材料之健康風險評估(致癌風險).....	58
表 4-7 模擬室內空間使用健康綠建材標章裝修材料之健康風險評估(非致癌風險).....	62

圖次

圖 1-1 研究流程	5
圖 2-1 通過綠建材標章評定之種類分布	13
圖 2-2 人體健康風險評估之流程圖案例.....	28
圖 2-3 ISO 31000 風險管理架構	29
圖 2-4 暴露於致癌性室內空氣污染物之單位風險估算 .	30
圖 2-5 暴露於非致癌性室內空氣污染物之 NOAEL 估算 .	31
圖 3-1 人體健康風險評估架構圖.....	34
圖 3-2 建築材料揮發有機化合物之健康風險評估流程 .	38
圖 3-3 建材揮發性有機物質逸散速率量測系統圖	43
圖 4-1 綠建材通則規定要項.....	45
圖 4-2 11 類健康綠建材標章材料之甲醛逸散速率之分布圖	51
圖 4-3 11 類健康綠建材標章材料之 TVOC 及個別揮發性有機化合物逸散速率之分布圖	52
圖 4-4 11 類健康綠建材標章材料之甲醛終生致癌風險之分布圖	59
圖 4-5 11 類健康綠建材標章材料之苯終生致癌風險之分布圖	60
圖 4-6 11 類健康綠建材標章材料之揮發性有機化合物之危害商數分布圖	63

摘 要

關鍵詞：綠建材、風險評估、甲醛、揮發性有機化合物、健康效益

一、研究緣起

近年來國人對室內環境品質之健康問題，日漸重視，因室內裝修材料常含有甲醛及揮發性有機化合物，對室內空氣品質及人體健康有許多潛在影響。為提升室內環境品質，內政部建築研究所建立「綠建材標章」制度，自 93 年 7 月正式受理申請，分為健康、生態、再生、高性能等 4 分類評定，其中健康綠建材之評定項目為甲醛及總揮發性有機化合物(TVOC)之逸散速率。建築技術規則規定，室內裝修材料及樓地板面材料之綠建材使用率應達總面積 30%以上。基於民眾對健康議題特別重視，致使申請綠建材標章之廠商皆偏好健康分類，惟現有「綠建材解說與評估手冊(2007 年版)」尚未建立健康效益評估，因此，亟需針對通過綠建材標章評定之材料，進行健康風險評估，俾了解綠建材標章之健康效益。

二、研究方法及過程

本研究首先蒐集通過綠建材標章評定之個案資料，從健康觀點探討綠建材通則及健康分類評估項目之妥適性。其次，蒐集裝修材料之健康風險評估相關文獻，建立建築材料之室內健康風險評估方法，探討室內空間在特定裝修材料使用量下，暴露於有機化合物對室內人員之健康風險。最後，模擬及比較不同健康綠建材標章材料之健康風險資訊，俾供各界參考。

三、重要發現

本研究針對綠建材標章之健康效益，進行相關資料之調查與推估，重要結論如下：

1. 96-97 年通過健康綠建材標章評定之材料，以塗料類佔最多，板材類其次，各類材料之甲醛及 TVOC 逸散速率均遠低於評定基準。
2. 健康綠建材標章評定之揮發性有機化合物之危害性鑑定，甲醛及苯具致癌性，甲苯、乙苯、鄰-二甲苯、間-二甲苯及對-二甲苯等屬無適當證據其與致癌相關。
3. 室內空氣品質與裝修材料使用量息息相關，模擬在特定室內空間（長 3m、寬 3m、高 2.5m）及裝修負荷率(0.4)下，結果顯示，甲醛及苯之終生致癌風險（CR）尚在可接受範圍，甲苯、乙苯、間、對-二甲苯及鄰-二甲苯等之危害商數(HQ)皆小於 1，對人體健康無顯著之負面影響。

四、主要建議事項

本研究提出下列具體建議，分別從立即可行的建議、及中長期建議加以列舉：

立即可行建議－建議健康綠建材標章增列健康風險評估，以瞭解綠建材標章之健康效益。

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：

中長期之建議－經濟部草制之室內空氣品質測定國家標準公布後，健康綠建材標章之總揮發性有機化合物之範圍應配合修正。

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：

ABSTRACT

Keywords: Green building material, Risk analysis, Formaldehyde, TVOC, Health effect

The health issue of Green building material (GBM) Labeling has already been one of the urgent issues for evaluating living environment in Taiwan. Inappropriate use of the artificial chemical building materials, the potential hazards and health risk of indoor air quality (IAQ) were occurred. The GBM labeling system of Taiwan was officially launched in 2004 to systematically and effectively evaluate the performance of green building materials. The GBM system covers four major aspects, including Health, Ecology, Recycling, and High-performance. In addition, the regulation of at least 30% mandatory GBM utilization has also been involved into Taiwan's Building Code and become effective since July 2009. The emission rate of formaldehyde and TVOC are used to evaluate the healthy green building materials. Therefore, the purpose of this study is planned to estimate the health risk emitted from GBM on indoor environment and understand the health effect of different building materials on indoor environment to preserve the human health. Finally, the risk ranking of Volatile Organic Compounds (VOCs) emitted from different green building materials can be addressed.

The study first collected the case study data of GBM Labeling, and then checked the item of general regulation of GBM Labeling and healthy category. Second, the risk assessment method of building materials was established to assess the health risk of VOCs on indoor environment under specific loading factor of interior decoration materials. Finally, the simulation and comparison of risk level based on different type of healthy building materials was performed.

Based on the above analysis results, the important findings of this study are concluded as follows:

1. The survey results indicated that water-base paint and board material were main distributions of GBM Labeling, and the emissions rate of formaldehyde and TVOC were below GBM standard.
2. The formaldehyde and benzene of GBM labeling were identified cancer effect, and toluene, ethylbenzene, m/p-xylene and o-xylene GBM Labeling were identified noncancer effect.
3. The IAQ problems are mainly related to the interior decoration quantity. The simulation results indicated that the cancer risk of formaldehyde and benzene were acceptable risk, and the hazard quotient of toluene, ethylbenzene, m/p-xylene and o-xylene were less 1 (no adverse effect) under specific condition on indoor environment (3m*3m*2.5m) and loading factor of interior decoration materials (0.4).

The immediate and long-term suggestions of this study are proposed as follows:

1. For immediate suggestion: Planning to increase the item of risk assessment should be incorporated in healthy green building materials labeling by the Architecture and Building Research Institute, Ministry of the interior (ABRI).
2. For long-term suggestion: Planning to increase the measure indicators of different VOCs categories for TVOC emission rate, under the new CNS standard of IAQ measure become effective by the ABRI.

第一章 緒論

第一節 研究緣起與背景

現代人超過 90% 的時間生活於室內環境，室內環境品質良窳影響身體健康甚鉅。近年來國人對居住環境的安全、舒適與健康，日漸重視，因室內裝修使用材料常含有甲醛及揮發性有機化合物，對建築室內空氣品質及人體健康有許多潛在影響。在室內空氣品質不良的大樓生活或工作，更容易引發病態建築症候群(Sick building syndrome)。在室內空氣品質管理，行政院環保署於 94 年 12 月 30 日公布「室內空氣品質建議值」，包括：二氧化碳、一氧化碳、甲醛、總揮發性有機化合物、細菌、真菌、粒徑小於十微米的懸浮微粒、粒徑小於二點五微米的懸浮微粒、臭氧及溫度等 10 項空氣污染物。

室內環境品質不佳之主因，包括：建築設計不良、室內裝修材料逸散有機化學物質、機械設備及人體本身污染等。建材與室內環境品質之密切關係，從國人罹患呼吸道與皮膚疾病之比例特別高，可應證裝修材料的甲醛與揮發性有機化合物，對人體健康有重要影響。在歐美先進國家幾乎已經買不到非綠建材的產品，反觀國內製造與使用綠建材的觀念仍未全面普及，因此，綠建材標章之健康效益議題，值得深入探討。

為提升室內環境品質，策略包括：新建築物設計、建材污染物「源頭控制」及舊建築物之室內環境品質改善。在污染源管制方面，內政部建築研究所已於綠建築標章評估體系中新增「室內環境指標」，用以鼓勵室內裝修材料採用低逸散性之建材。並建立「綠建材標章制度」，區分為健康、生態、再生、高性能等 4 分類評定，其中健康分類已針對建材之甲醛及總揮發性有機化合物(TVOC)之

逸散速率進行評定，並自 93 年 7 月正式受理申請，截至 98 年 9 月，已核發 245 件綠建材標章。加上我國建築技術規則建築設計施工篇第 17 章綠建築基準，亦規定：室內裝修材料及樓地板面材料應採用綠建材，於 95 年 7 月 1 日開始實施，並於 98 年 7 月 1 日將使用率應達室內裝修材料及樓地板面材料總面積 5%以上提升至 30%以上。使得民眾日漸認識綠建材標章，相關綠建材標章材料日益普及。

雖然綠建材標章有 4 分類，但廠商申請以健康綠建材為主(約占 77%)，顯示民眾對健康議題特別重視，致使建材廠商皆偏好申請健康綠建材標章。惟 2007 年版之「綠建材解說與評估手冊」尚未有明確之健康效益計算方式，因此，為健全綠建材標章制度，亟需進行相關健康效益評估研究，本(98)年度爰辦理「綠建材標章之材料健康效益分析研究(以下簡稱本研究)」。

第二節 研究目的

我國自 93 年起推動綠建築標章制度，通過健康綠建材標章評定之材料快速成長，基於民眾對健康議題特別重視，致使申請綠建材標章之廠商皆偏好健康分類，惟現有「綠建材解說與評估手冊(2007 年版)」尚未建立健康效益評估，因此，本研究之主要目的係為了解室內空間採用通過綠建材標章評定材料之健康效益。

相關研究目的說明如下：

- 一、為了解綠建材標章通則及健康分類之評估項目之妥適性，蒐集通過綠建材標章評定之個案資料，從健康觀點探討綠建材標章之相關評估項目及基準等之妥適性。
- 二、為了解健康綠建材標章之材料組成及性能，本研究蒐集通過綠建材標章評定之個案資料，統計分析各類材料之組成分佈及有機化合物之逸散速率。
- 三、為評估健康綠建材標章材料之健康效益，及比較不同材料使用量對室內人員健康風險之影響，本研究建立建築材料之室內有機化合物風險評估方法，模擬室內空間採用通過綠建材標章評定材料，其揮發性有機化合物對室內人員之健康風險及影響程度，俾供業界參考。

第三節 研究流程

為進行綠建材標章之材料健康效益分析，本研究整合健康風險評估、室內空氣品質模式、及建材有機化合物逸散速率檢測資料，建立建築材料之室內健康風險評估方法，模擬室內空間採用通過健康綠建材標章評定之裝修材料之健康效益及影響。

本研究之研究流程與步驟，詳圖 1-1 所示，說明如下：

- 一、首先確立綠建材健康效益研究主題，並蒐集通過綠建材標章評定之個案資料、國內外室內健康風險評估等相關文獻資料。
- 二、根據健康風險概念，建立建築材料之室內有機化合物風險評估方法及計算方式。
- 三、統計 96-97 年通過健康綠建材標章評定之材料組成，及分析甲醛及 TVOC 之揮發性有機化合物之逸散速率($\text{mg}/\text{m}^2\text{hr}$)。
- 四、設定特定室內空間及裝修量之情境條件，假設特定室內空間（長 3m、寬 3m、高 2.5m）及裝修負荷率(0.4)。
- 五、根據材料揮發性有機化合物之逸散速率及室內空間及裝修量條件，推估特定室內空間中材料揮發性有機化合物之逸散濃度。
- 六、模擬室內空間採用通過綠建材標章評定材料，其揮發性有機化合物對室內人員之健康風險值及影響程度。
- 七、比較不同綠建材標章材料對室內健康風險之影響與效益。
- 八、撰寫報告。

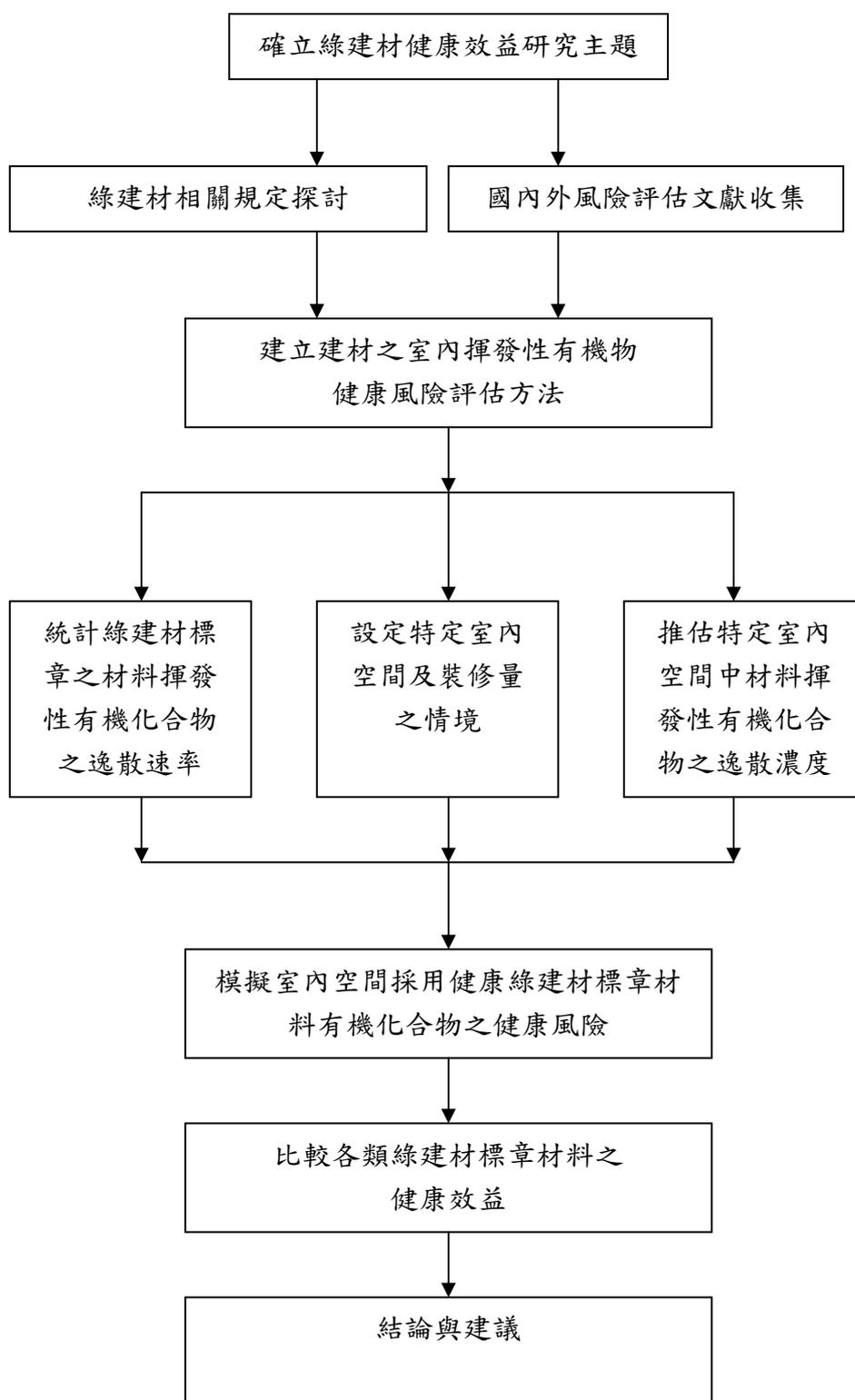


圖 1-1 研究流程

(資料來源：本研究整理)

第四節 預期成果

本研究經由統計分析綠建材標章逸散速率之個案資料，整合健康風險評估及室內空氣品質模式，建立建築材料之室內健康風險評估方法，模擬室內空間採用通過健康綠建材標章評定之裝修材料之健康效益及影響。

本研究之預期成果，說明如下：

- 一、完成綠建材標章通則及健康分類評估要項及範圍之檢討，從健康觀點了解綠建材標章材料健康效益之妥適性。
- 二、完成建築材料之室內有機化合物風險評估方法之建立。
- 三、應用本研究建立建築材料之室內有機化合物風險評估方法，完成室內空間採用通過綠建材標章評定材料之模擬，評估材料揮發性有機化合物對室內人員之健康風險及影響程度。

第二章 文獻回顧與探討

第一節 綠建材標章發展現況

一、何謂綠建材

(一)我國綠建材之定義

在綠建材的法制化方面，內政部於 98 年 5 月 8 日以台內營字第 0980803595 號令修正「建築技術規則」建築設計施工編部分條文，自中華民國 98 年 7 月 1 日施行。營建署修訂「建築技術規則」建築設計施工篇第 17 章綠建築基準。

所謂綠建材係指建築技術規則第 299 條第 12 款之建材，即經中央主管建築機關認可符合生態性、再生性、環保性、健康性及高性能之建材；其適用範圍為供公眾使用建築物及經內政部認定有必要之非供公眾使用建築物。建築技術規則第 321 條規定，建築物之室內裝修材料及樓地板面材料應採用綠建材，其使用率應達室內裝修材料及樓地板面材料總面積 5%以上，於 95 年 7 月 1 日開始實施，並於 98 年 7 月 1 日提升至 30%以上。詳表 2-1。

內政部於民國 98.6.29 台內營字第 0980805514 號令修正「綠建材設計技術規範」，該規範係依「建築技術規則」建築設計施工編第 323 條第二項規定而訂定。其中第 8 條「綠建材認可」包括 3 類（詳表 2-2）：

◎依行政院環境保護署第一類環保標章規格標準，取得環保標章之下列材料：(1)塑橡膠類再生品、(2)建築用隔熱材料、(3)水性塗料、(4)回收木材再生品、(5)資源化磚類建材、(6)資源回收再利用建材。

◎取得內政部建築研究所認定綠建材標章之材料。

◎其他經中央主管建築機關認定具有同等性能者。

「建築技術規則」之綠建材相關條文(營建署，2009)如下：

第 321 條 建築物之室內裝修材料及樓地板面材料應採用綠建材，其使用率應達室內裝修材料及樓地板面材料總面積百分之三十以上。

第 322 條 綠建材材料之構成，應符合左列規定之一：

- 一、塑橡膠類再生品：塑橡膠再生品的原料須全部為國內回收塑橡膠，回收塑橡膠不得含有行政院環境保護署公告之毒性化學物質。
- 二、建築用隔熱材料：建築用的隔熱材料其產品及製程中不得使用蒙特婁議定書之管制物質且不得含有環保署公告之毒性化學物質。
- 三、水性塗料：不得含有甲醛、鹵性溶劑、汞、鉛、鎘、六價鉻、砷及銻等重金屬，且不得使用三酚基錫(TPT)與三丁基錫(TBT)。
- 四、回收木材再生品：產品須為回收木材加工再生之產物。
- 五、資源化磚類建材：資源化磚類建材包括陶、瓷、磚、瓦等需經窯燒之建材。其廢料混合攙配之總和使用比率須等於或超過單一廢料攙配比率。
- 六、資源回收再利用建材：資源回收再利用建材係指不經窯燒而回收料摻配比率超過一定比率製成之產品。
- 七、其他經中央主管建築機關認可之建材。

第 323 條 綠建材之使用率計算，應依設計技術規範辦理。

前項綠建材設計技術規範，由中央主管建築機關定之。

表2-1 綠建材之認可分類

◎第一類環保標章建材	塑橡膠類再生品
	建築用隔熱材料
	水性塗料
	回收木材再生品
	資源化磚類建材
	資源回收再利用建材
◎綠建材標章建材	
◎其他經中央主管建築機關認定具有同等性能者	

(資料來源：營建署，2009)

依此一條文說明，建築技術規則所謂之綠建材包括第一類環保標章中的六大類產品及綠建材標章產品。其中環保標章產品目前有 94 類，綠建材設計技術規範納入其中六大類，但值得注意的是「卜特蘭高爐水泥」、「木製傢俱」、「油性塗料」，雖是環保標章產品，但不列入廣義綠建材中。事實上「木製傢俱」類中包括隔間高櫃、雙門高櫃等，這部分似乎合乎「高度超過 1.2 公尺固定於地板之隔屏或兼作櫥櫃使用之隔屏。」所限定適用的部位，而卜特蘭高爐水泥亦可能使用於內牆的粉光層，因此這兩部分似可考量納入廣義綠建材範圍裡。油性塗料的部分，由於其 VOC 之含量遠較水性塗料為高，這部分不納入廣義之綠建材範圍裡，甚為合理，另在塗料類的部分，健康綠建材對於逸散物質是以逸散率來管制，而環保標章是以含量比例來管制，如表 2-3 所示。

表 2-2 綠建材標章與環保標章水性塗料評定基準比較表

綠建材標章 (健康綠建材)		環保標章 水性塗料						
油漆等各式水性、油性粉刷塗料	甲醛逸散率 <0.08 mg / m ² ·hr	1. 產品不得含有甲醛及鹵性溶劑。產品中芳香族碳氫化合物含量應符合下表之規定。 <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;">類別</td> <td>芳香族碳氫化合物</td> </tr> <tr> <td>乳膠漆</td> <td>不得超過 0.1%</td> </tr> <tr> <td>其他水性塗料</td> <td>不得超過 1%</td> </tr> </table>	類別	芳香族碳氫化合物	乳膠漆	不得超過 0.1%	其他水性塗料	不得超過 1%
	類別		芳香族碳氫化合物					
乳膠漆	不得超過 0.1%							
其他水性塗料	不得超過 1%							
	TVOC 逸散率 <0.19 mg / m ² ·hr	2. 產品不得含有汞、鉛、鎘、六價鉻、砷及銻等重金屬，且不得使用三苯基錫(TPT)與三丁基錫(TBT)。產品組成物中雜質或污染產生之上述重金屬總量不得超過 0.1%。 3. 產品之閃火點 (Flash point)須不低於 61°C。 4. 產品中揮發性有機化合物 (沸點不超過 250°C) 含量應符合下表之規定。 <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;">類別</td> <td>VOC</td> </tr> <tr> <td>乳膠漆</td> <td>不得超過 50g/L</td> </tr> <tr> <td>其他水性塗料</td> <td>不得超過 100g/L</td> </tr> </table>	類別	VOC	乳膠漆	不得超過 50g/L	其他水性塗料	不得超過 100g/L
類別	VOC							
乳膠漆	不得超過 50g/L							
其他水性塗料	不得超過 100g/L							

(資料來源：羅時麒、姚志廷，2007)

(二)國際相關綠建材之發展

自 1977 年德國率先提出藍天使標章後，25 年來世界各國的建材與環保標章評估日臻完善。除藍天使標章外，目前世界上尚有許多綠建材相關標章如：芬蘭建材逸散等級、丹麥與挪威的室內氣候標章、德國環保與建材的標章評估、北歐環保標章、歐盟生態標章、美國綠建材相關評估制度、日本環保標章與住宅性能評估標準—JIS、JAS 對建材甲醛濃度之逸散量規定、加拿大環保標章、中國大陸的中國環境標誌等。這些制度所列出之建材評估項目，都能作為建材標章等級或管制規範。

中國大陸對於室內建材釋放出的有毒物質相當重視，因此早在 2003 年 7 月 1 日首度實施「室內裝飾裝修材料十項有害物質限量」國

家標準，規定市場停售不符合該 10 項國家標準的產品。該 10 項強制性國家標準為：《室內裝飾裝修材料 人造板及其製品中甲醛釋放限量》(GB 18580-2001) 《室內裝飾裝修材料 溶劑型木器塗料中有害物質限量》(GB 18581-2001) 《室內裝飾裝修材料 內牆塗料中有害物質限量》(GB 18582-2001) 《室內裝飾裝修材料 膠粘劑中有害物質限量》(GB 18583-2001) 《室內裝飾裝修材料 木家具中有害物質限量》(GB 18584-2001) 《室內裝飾裝修材料 壁紙中有害物質限量》(GB 18585-2001) 《室內裝飾裝修材料 聚氯乙烯卷材地板中有害物質限量》(GB 18586-2001) 《室內裝飾裝修材料 地毯、地毯襯墊及地毯用粘劑中有害物質釋放限量》(GB 18587-2001) 《室內裝飾裝修材料 混凝土外加劑中釋放氫限量》(GB 18588-2001) 《室內裝飾裝修材料 建築材料放射性核素限量》(GB 6566-2001) 以上 10 項國家標準基本上規定了室內裝飾裝修材料中氫、甲醛、揮發性有機化合物(VOC)、苯、甲苯和二甲苯，以及重金屬如：鉛、鎘、鉻、汞、砷等有害元素的限量指標。由於過往市場充斥不少劣質的產品，為了更全面控制室內裝修產品的品質，減低室內污染物危害人體，中國大陸自 7 月 1 日起規定所有上述產品必須提供認可化驗所的報告，證明產品符合標準，方可市場出售。惟達標產品不等於綠色產品，有關標準公佈後，對大陸本地市場產生引起頗大的沖擊，各生產商紛紛整改生產流程，或研改產品成份。儘管有意見認為新標準過於寬鬆，與國際標準還有差距，但整體而言消費者對新標準的頒布均表歡迎。需特別注意，這些產品只符合了國家設定的最基本要求，不能稱得上是環保產品。以內牆塗料為例，強制性標準對揮發性有機化合物(VOC)的要求是 1 升塗料中含量相等或小於 200 克，而中國環境標誌標準為 1 升塗料 VOC 含量相等或小於 100 克。除此之外，2003 年三月中國大陸亦已實施「室內空氣質量標準」。(資料來源：<http://www.greencouncil.org>)

歐盟國家現有環保標章執行單位中，已開放綠建材產品項目者計有歐盟 27 國共同推動之花卉標章、北歐五國共同推動之天鵝標章、德國藍天使標章、荷蘭生態標章等。另歐盟國家現有環境宣告執行單位中，已開放具綠建材產品項目者計有瑞典環境管理協會(SEMA)、挪威企業與工業協會(NHO)、五風國際顧問公司(Five Winds)德國分公司等(均屬全球性環境宣告網路組織(GEDNet)會員)。另其他與建材產品環境宣告相關之計畫有芬蘭建築資訊基金會(RTS)、法國標準組織(AFNOR)、荷蘭環境相關建築產品計畫(MRPI)、瑞士工程與建築師協會(SIA)、英國建築材料環境資訊計畫(BRE)等。

二、綠建材標章

目前國內現行評估制度係由標準檢驗局「中國國家標準」、「商品檢驗法」規範產品的一般性能；另有環保評估制度部分，包括政府「綠色採購制度」及環保署「環保標章制度」，以及「綠建築標章」採綠建築九大指標規範新建建築物的生態、節能、減廢與健康性能。

「綠建材標章制度」主要是依據行政院民國 90 年核定實施之「綠建築推動方案」辦理，其中實施方針第四點即明示：「建立室內環境品質評估及綠建材標章制度。」

所謂綠建材標章係指：在原料採取、產品製造、應用過程和再生利用循環中，對地球環境負荷最小、對人體健康無害的建材。國內綠建材標章制度依此意涵，規劃四大範疇，包括考量建材資源採取與製造階段之「生態綠建材」、建材使用對人體無害之「健康綠建材」、廢棄物再利用之「再生綠建材」及提昇建材防音、透水等性能之「高性能綠建材」。

93 年 7 月綠建材標章正式上路，受理建材申請案件，首批評定項目為健康及再生兩類綠建材標章，94 年則針對另兩類：高性能與生態

綠建材標章，進行評定基準的研擬與審核制度的建立，配合檢測實驗室的建置完成，開放此兩類標章的審核與核發。為健全綠建材標章制度的完整性，今年將持續增加受理的建材種類，以符市場上建材多元化之現況，提昇國內建材產業之整體品質，並與國際營建市場接軌。

截至本(98)年6月30日止，核發241標章(186件健康、1件生態、19件再生與35件高性能)詳如圖2-1所示，包含121家廠商共1953種產品(2種PVC地毯、202種PVC地磚、91種木質地板、204種木質板、43種有機板、12種吸音材料系統、1種架高地板、155種高壓混凝土地磚、27種高壓混凝土空心磚、200種透水磚、73種陶瓷面磚、250種無機板、2種填縫劑、3種碎石級配料、3種節能玻璃、649種裝修塗料、23種隔音門窗牆系統、7種磁磚黏著劑、3種樓版緩衝材、3種接著劑)。

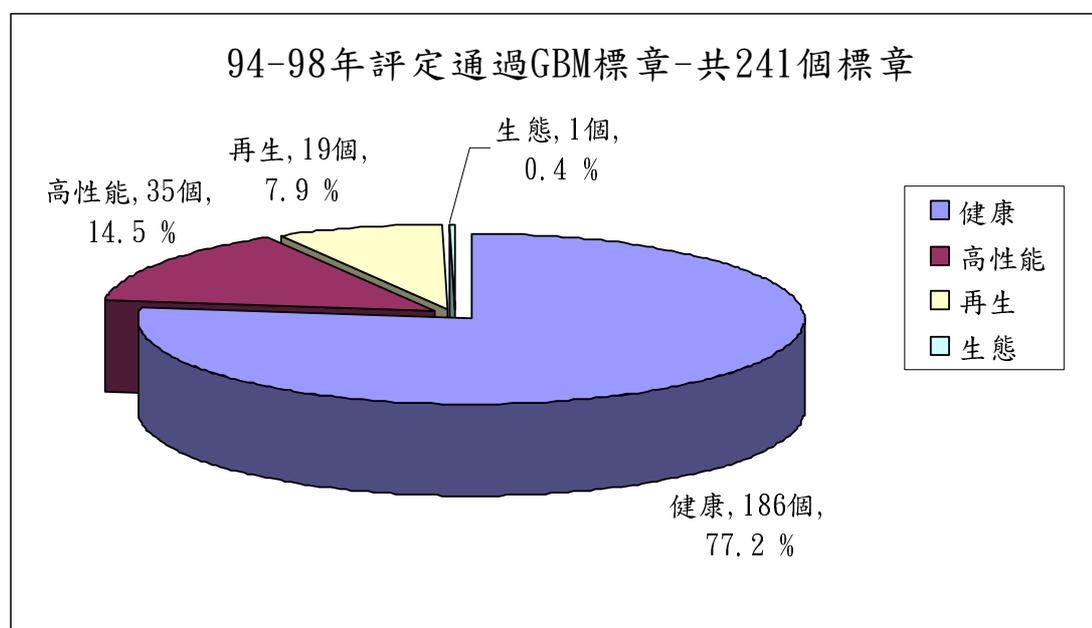


圖 2-1 通過綠建材標章評定之種類分布

(資料來源:台灣建築中心, 2009)

有效標章計有 173 標章 106 家廠商與 1427 種產品(1 種 PVC 地毯、202 種 PVC 地磚、48 種木質地板、143 種木質板、43 種有機板、12 種吸音材料系統、1 種架高地板、143 種高壓混凝土地磚、27 種高壓混凝土空心磚、3 種接著劑、25 種透水磚、73 種陶瓷面磚、206 種無機板、1 種填縫劑、3 種碎石級配料、3 種節能玻璃、501 種裝修塗料、15 種隔音門窗牆系統、5 種磁磚黏著劑)。

雖然綠建材標章有 4 分類，但廠商申請以健康綠建材標章為主(約占 77.2%)，顯見民眾對健康議題特別重視，致使廠商皆偏好申請健康綠建材標章。健康綠建材標章目前以「低甲醛」及「低揮發性有機化合物」逸散為評估指標。由於建築裝修建材種類繁多，不僅裝修過程有乾式、濕式之分，對於材質之厚度、種類之差異，均有對應的試驗方法及程序，所以健康綠建材測試過程中，對於不同種類的建築材料亦具有不同的分析條件及不同的參數。已受理申請的健康綠建材項目表詳 2-3 所示。

表 2-3 受理申請的健康綠建材項目

1	地板類	地毯、PVC 地磚、木質地板、架高地板。
2	牆壁類	合板、夾板、纖維板、石膏板、壁紙、防音材。
3	天花板	礦纖天花板、玻纖天花板、夾板。
4	填縫劑與油灰類	矽利康、環氧樹脂。
5	塗料類	油漆等各式水性、油性粉刷塗料。
6	接著(合)劑	油氈、合成纖維、聚氣乙烯。
7	門窗類	木製門窗。

(資料來源:綠建材解說與評估手冊, 2007)

健康綠建材之指標性污染物測試，優先以甲醛（HCHO）及總揮發性有機化合物（TVOC：苯、甲苯、對二甲苯、間二甲苯、鄰二甲苯及乙苯）為試驗污染物。目前建研所建築性能實驗群中的建材揮發性有機物質實驗室，已建立標準室內建材揮發性有機逸散物質試驗標準試驗方法及程序，可針對健康綠建材試驗要項中之有機氣體項目進行試驗，再配合標章評估程序及基準值之評估，即能判斷建材對於室內健康環境之危害度及健康綠建材標章取得資格。

現今國際規範建材有機污染物指標是以逸散速率表示，所以依 HCHO:0.1ppm、TVOC:300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 兩基準值經質量平衡模型(Mass Balance Model)換算，得知國內健康綠建材規範甲醛與總揮發性有機物質之評估基準，如表 2-4 所示。

表 2-4 健康綠建材評定範圍與基準

一、甲醛 (HCHO)		
材料類別	性能水準(逸散效率)	說明
木質板類、塗料類	$<0.08 \text{ mg} / \text{m}^2 \cdot \text{hr}$	建材樣本置於環控箱中試驗建材逸散量，量測甲醛濃度達穩定狀態時之逸散率。
二、總揮發性有機物質 (TVOC)		
材料類別	性能水準(逸散效率)	說明
木質板類、塗料類	$<0.19 \text{ mg} / \text{m}^2 \cdot \text{hr}$	建材樣本置於環控箱中試驗逸散量，量測總揮發性有機物質(TVOC)濃度達穩定狀態時之逸散率。
測試機構：經綠建材審查委員會認可之實驗室		
注意事項：		
1. 測試方法依據內政部建研所標準測試法，計劃編號 MOIS901014，測試時間達 48 小時或已達到評估基準值（甲醛 $<0.08 \text{ mg} / \text{m}^2 \cdot \text{hr}$ ，總揮發性有機物質 $<0.19 \text{ mg} / \text{m}^2 \cdot \text{hr}$ ）者即可停止測試。		
2. 總揮發性有機物質化合物評估：苯、甲苯、對二甲苯、間二甲苯、鄰二甲苯、乙苯。		

（資料來源：綠建材解說與評估手冊，2007）

第二節 建材有機化合物與室內空氣品質之關聯

室內裝修材料中大多含有有害物質，尤其塗料類、膠合劑、及劣質板材類最為嚴重，其中總揮發性有機化合物（TVOC）及甲醛（HCHO）為主要有害物質。甲醛及（HCHO）等有害物質為一種無色化學氣體，為常見的有毒化學物，具有刺激性和窒息性的氣體，是國際癌症研究署（International Agency for Research on Cancer）評估的疑似致癌物之一。濃度高時有刺鼻的氣味，會引起眼睛及呼吸到極度不適。而長期暴露在高濃度環境中，可能引起呼吸道疾病、染色體異常、影響生長發育和誘發腫瘤等健康危害。

依據我國環保署提供之室內甲醛容許濃度值為 0.1ppm；而 TVOC 濃度值方面，依據 WHO 提供之建議值 300g/m³ 作為 TVOC 濃度之評估指標。新裝修後辦公空間的甲醛與揮發性有機化合物等致癌風險值高於 WHO 標準值之 100 到 1000 倍，恐導致國人罹患呼吸道與皮膚疾病，故室內材料必須慎選，裝修施工也應更加留意。過去國內建材產業在性能評估上較無一完善之審查制度，造成建材在使用上參差不齊、管控不易，為提昇國人居住生活品質，追求舒適健康室內居住環境，近年來內政部已建立綠建材標章制度，為國人健康及永續地球環境把關。

一、室內裝修材料逸散之空氣污染物

造成室內空氣品質不良的污染物很多，這些污染物經由吸入、食入、或吸收、代謝過程，對人體健康造成影響。有些污染物會單獨引發人體健康的病變，有些污染物間接可能發生拮抗（Antagonistic），或協同（Synergistic）的作用。

室內空氣污染物，依其特性可區分為「化學性」、「物理性」及「生物性」等，空氣污染物進入室內方式為：1. 藉由生物程序—人或寵物

所產生之 CO₂、濕氣、臭味及微生物，2. 藉由燃燒程序—火爐、瓦斯爐及暖爐，3. 藉由一般消費物品，如噴霧器、空氣清淨機、室內裝潢材料及傢俱，4. 藉由香煙，5. 藉由建築物四周或其底下之土壤，6. 藉由器具，如溼潤器、冷氣機等。

室內裝修材料及傢俱常會含有各種有毒氣體而污染室內空氣，室內裝修建材，如地毯、瓷磚、地板、壁飾，以及購置之傢俱，如桌椅等常含有黏著劑、油漆、染料等。從國內建築物現場實測調查中發現，造成室內健康環境的空氣污染主因是由新建材及裝修建材所揮發出之化學物質。含有人造纖維的材料可能含有重金屬。裝修建材在防火、耐燃、防腐、防霉、防蟲、防蛀、防污及施工容易、表面易清潔、美觀之要求下，處理過程所添加的化學物質、有機溶劑等亦均可能破壞環境、污染空氣。室內裝修經常使用的建材如合板、木心板、夾板、噴漆、溶劑類塗料及接著劑等是揮發性有機物質及甲醛

(formaldehyde) 之主要來源，且不同的建材具有不同的逸散特性，例如油漆刺鼻的味道大約需要三、四天可以散去，而合板中的甲醛可能持續逸散數年之久。

(一) 甲醛特性及危害

甲醛 (Formaldehyde)，分子式 HCHO ($1 \text{ mL/m}^3 = 1 \text{ ppm}$ ，在 20 °C 與 101.3 kPa 時相當於 1.2 mg/m^3)，為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。甲醛是一種刺激性毒物，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，依據美國環保署資料顯示，甲醛是屬於很可能致癌之人類致癌物。甲醛之特性，根據 ISO16000-2 標準，甲醛易溶於水與乙醇等極性溶劑，商業上可購得者主要為 35 % 至 40 % 質量分率水溶液，含有 5 % 至 15 % 質量分率之甲醇，添加作為安定劑。

甲醛進入人體之途徑有吸入、皮膚吸收及食入。1. 吸入造成呼吸道刺激及肺功能減弱，為弱的肺過敏源。2. 會造成皮膚刺激及過敏，敏感者對非常低濃度亦會過敏，過敏包括皮膚刺痛、發紅、濕疹、紅疹、龜裂。濕疹可能產生在手肘、腳及部分或全部的臉、頸處。

甲醛廣泛使用在人造板材、塑料地板、化纖材料、塗料和黏著劑中，甲醛的主要室內排放源是壓製木產品、黏合膠、粒片板、中等密度纖維板，及其他裝修物料，如發泡絕緣物料、紡織物、地毯及地台織物等。此外，燃燒中的香煙及其他燃燒源，例如燃氣爐具、火水採暖裝置，或某類消費品如紙品及化妝品等亦會散發甲醛。室內裝修材如發泡膠、隔熱層、黏著劑、織物、地毯及樓版面材中亦含有甲醛，因此，試驗建材之甲醛逸散量為判定健康建材之重要項目之一。

甲醛廣泛地應用於生活環境中，台中榮民總醫院列出以下可能含有甲醛的物質：(1)黏膠、漿糊、橡膠接合劑。(2)防腐劑：各種用途的防腐劑，有些防腐劑可釋出甲醛。(3)各種合成樹脂及松脂。(4)感光紙、安定劑、顯影劑。(5)化粧品：牙膏、漱口水、除臭劑、洗髮精、潤絲精、泡浴用品、指甲油及硬劑。(6)農業用燻蒸消毒器、用於蔬菜、農地作物、種子及根部處理。(7)清香劑及消毒劑、如家用噴灑劑及擦拭品。(8)清潔用品：如一般家用品清潔液。(9)磨光粉和打亮品：用於汽車、地板、水泥地、鞋子、傢俱。(10)汽車用品：清潔劑、防鏽品。(11)油漆及漆器、防蝕塗料、乳狀塗料。(12)紙張處理。(13)許多對甲醛敏感者不能穿用甲醛樹脂處理的衣物：最可能含有甲醛或甲醛樹脂的紡織品、或室內裝潢用建築材料是那些物品？凡是曾有抗皺、防水、防蟲、防黴、防汗處理及防縮水的毛製品。裝修建材一、二年內都會持續揮發甲醛，造成家人呼吸困難、皮膚過敏、咳嗽不停等「病態大樓症候群」症狀。(http://www3.vghtc.gov.tw/derm/contents/health01_17.htm)

根據 ISO16000-2 標準附錄 B，室內環境中最重要的甲醛來源，如表 2-5 所示。根據隸屬世界衛生組織 (WHO) 之國際癌瘤研究署 (International Agency for Research on Cancer, IARC) 的致癌性分類，Group 1 為「具人類致癌性」，Group 2 為「可能是人類致癌物」，Group 3 為「無適當證據其與致癌相關」，Group 4 為「無致癌性」，如表 2-6 所示。目前甲醛已被美國環保署及國際癌瘤研究署 (IARC) 歸類為 Group 1 為「具人類致癌性」。

表 2-5 室內環境重要的甲醛來源

來源	使用範例
塑合板與其他壓縮木製品	牆壁 (戶外與室內)、天花板、假天花板、地板、腳板、門及門框、階梯、合板鑲嵌板材、家具
尿素-甲醛泡棉	牆空心絕緣物、屋頂絕熱物
接著劑、膠水	壁紙糊料、黏地磚、外飾板材、鑲板、地毯與乙烯基地板
壁紙、噴霧髮膠水、清漆、油漆	內部裝潢
菸草	菸草煙霧
消毒劑	表面消毒之噴霧與溶液
燃燒過程	瓦斯爐操作
處理過之織品	裝修
內燃引擎	運輸

(資料來源：ISO16000-2，2004)

表 2-6 國際癌癥研究署之致癌性分類

分類	說明
Group 1	人類致癌物
Group 2A	極可能是人類致癌物-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	可能是人類致癌物-動物性實驗資料足夠
Group 3	資料不足，無適當證據其與致癌相關
Group 4	無致癌性

(資料來源：International Agency for Research on Cancer)

(二)總揮發性有機化合物特性及危害

揮發性有機化合物之定義：為在標準狀態下 (20°C, 1 atm)，蒸氣壓大於 0.1 mmHg 以上之有機化合物。揮發性有機化合物依世界衛生組織(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(semi-volatile organic compounds, SVOCs) 及極易揮發性之有機化合物(very volatile organic compounds, VVOCs) (ISO 16000-6)，詳表 2-7 所示。

表 2-7 室內空氣有機污染物的分類

分類說明(縮寫)	沸點溫度 (°C)
極易揮發性(氣態)有機化合物(VVOCs)	<0~50 至 100
揮發性有機化合物(VOCs)	50 至 100~240 至 260
半揮發性有機化合物(SVOCs)	240 至 260~380 至 400
附著於懸浮微粒的有機物或固形有機物(POMs)	> 380

(資料來源：ISO 16000-5, 2007)

總揮發性有機化合物(Total Volatile Organic Compounds, TVOCs)之一般來源為油漆、氣膠噴霧器、殺蟲劑、農藥、建築材料、地毯、香煙及燃燒性材料等。VOCs 之化學物質種類繁多，可引致室內環境問題之相關種類研究亦尚未有完整，目前全球對於測量室內環境 VOC 時所應包括之種類，尚未有清楚之共識，且單獨測量一種化學物質耗費成本高昂且費時費力，實際測量之時，乃多以揮發性有機物總量(TVOC)進行。

根據國際標準組織 2006 年發行之 ISO 16000-9 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，總揮發有機化合物(Total volatile organic compound, 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。為進行已辨識化合物之定量，使用其各別回應，未辨識峰之面積則使用甲苯回應因數，依據分子量將其轉換成濃度。

目前內政部建築研究所性能實驗中心，對總揮發性有機物質化合物認定包括：苯、甲苯、對二甲苯、間二甲苯、鄰二甲苯及乙苯等。施工中所使用建材、塗料及接著劑是 TVOC 之主要來源。總揮發性有機化合物為評估 TVOC 對人體之健康影響的綜合評估指標，健康綠建材已納入評估基準。

雖然一般室內常見 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。國際癌瘤研究署(International Agency for Research on Cancer, IARC)已將 VOCs 中之 Benzene 列為 Group 1「確定致癌物質」，其會對造血系統產生毒性，導致急性骨髓白血病或慢性白血病的發生，若長期處於 VOCs 氣體的環境中，會造成人體視覺、聽覺、記憶受損。

揮發性有機化合物之致癌性如下：

1. 苯(Benzene)

被國際癌瘤研究署列為 Group 1「具人類致癌物」，會對造血系統產

生毒性，導致急性骨髓白血病發生及慢性白血病的發生。

2. 甲苯(Toluene)

被歸類在 Grop 3「無適當證據其與致癌相關」，但相關研究顯示，健康的成年人在濃度100ppm的甲苯中連續暴露6小時會造成眼睛及鼻黏膜的刺激。

3. 其它常見揮發性有機化合物

雖然一般室內其它常見 VOCs 並無充分資料證明其具有致癌性，但卻常造成人體產生昏眩、頭痛、眼、鼻及皮膚刺激等統稱為病態大樓症候的症狀，影響人類的健康。

二、室內裝修材料逸散化合物與空氣品質之關聯

近幾年隨著都市密集化，各類活動頻繁造成居住環境充斥噪音干擾；密閉式高層大樓，室內通風需仰賴中央空調系統，使用具人工化學物質之建材及裝修材，致使新建建築物及新裝修室內環境充斥揮發性有機物，這些都可能是室內環境品質不佳的問題所在。其次，台灣室外環境高濕、高熱的氣候特性，使得建築室內環境污染問題更加嚴重。

以室內空氣品質(Indoor Air Quality)而言，一般人普遍認為室內空氣應該比室外乾淨，但是根據美國環保署和世界衛生組織(WHO)的研究指出，室內空氣污染物的濃度常為室外環境之 2~5 倍，有時更高達 100 倍。

根據民生報報導：你住的房子也可能會害你生病！而且在部分家戶室內還測出揮發性有機化合物(VOCs)，如苯、甲苯、乙基苯、二甲苯等，都比室外環境濃度還高；且台灣都會區家庭室內，普遍有來自室外的汽機車及工廠廢氣污染，再加上室內的裝潢、木板、地毯、電腦、印表機、瓦斯爐、熱水器等污染，住戶致癌風險大大增加。而國人因偏好木質家具，針對室內環境甲醛濃度之實測結果，進行致癌風險的評估，發現：一般「**可接受致癌風險**」為百萬分之

一(10^{-6})，但高雄地區受測者因暴露在居家環境的高甲醛濃度下，致癌風險高達千分之 2.2，而花蓮地區受測的平均致癌風險更達千分之 5.58，顯示改善室內空氣品質已刻不容緩。

每人每天約 90% 的時間處於室內環境中，隨國人逐漸注重視室內居住健康，提升室內環境品質需求，有增加之趨勢。而室內環境中最直接影響人體健康的因子是室內空氣污染問題。近幾年隨著都市密集化，各類活動頻繁造成居住環境充斥噪音干擾；密閉式高層大樓，室內通風需仰賴「中央空調系統」，使用具人工化學建材及裝修材，致使新建建築物及新裝修室內環境充斥揮發性有機物，這些可能都是室內空氣品質不佳的問題所在。加上台灣室外環境高濕高熱的氣候特性，使得室內空氣污染問題更加嚴重。為解決室內空氣污染問題，行政院環保署曾委託研究機構，檢測國內一般家戶環境、學校及各種典型辦公建築室內空氣品質，結果顯示室內空氣污染之主要問題點，包括：(1)通風換氣不良導致 CO_2 偏高、(2)裝修建材之揮發性有機污染物(甲醛、TVOC)、(3)生物性污染物濃度普遍偏高。

綜合評估室內環境及空氣品質不佳的可能原因如下：

(一)建築通風換氣設計、空調系統溫度濕度控制不良

建築物在設計階段之通風換氣、溫度濕度控制、自然採光之設計不良，往往就已埋下室內空氣污染問題。在通風換氣方面，空調系統設計不良，室內引入之新鮮外氣不足，造成室內通風不良，二氧化碳濃度偏高，無法稀釋室內污染物濃度而影響健康。因此，良好的通風設計、引進新鮮空氣及定時清洗過濾裝置，為避免 CO 及 CO_2 污染的不二法門。其次，台灣係屬亞熱帶海島型氣候國家，年平均相對濕度多達 80% 以上，易孳生生物性污染物，其中細菌及真菌二種生物性污染物濃度偏高。

(二)建材及傢俱之揮發性有機化合物含量過高

室內建材是室內 VOCs 和甲醛污染源的主因之一，這些建材包括

表面塗裝材料、黏著劑、填縫劑(膠合地板、安裝地毯、壁紙、窗框、門等)以及溶劑(膠、漆、塗料等)等。

(三)室內其他事務機器及用品的污染

一般常用於家具、玻璃、地板之表面清理擦拭之溶劑型清潔劑，會導致大量揮發性有機化合物(VOCs)逸散於室內而影響人類居家健康。其他如電腦、印表機、瓦斯爐、熱水器等亦會排放固體、臭氧、揮發性有機化合物(VOCs)等污染物。影印機的操作所排放之二氧化碳及臭氧。

自1970年代初期能源危機以來，一種沒有確定病兆的「症候群」首先在歐美醫學界被發現，後來稱為「病態建築症候群(Sick Building Syndrome, SBS)」，主要症狀包括喉嚨乾燥，眼睛、鼻子過敏，頭痛，頭昏眼花，容易疲倦，咳嗽，氣喘，黏膜及皮膚的乾燥感，皮膚的紅斑、發癢，頭痛及可聞到輕微且持續性的異味等。通常這些症狀是員工到該辦公大樓上班以後才發生，可能因此症候群而影響生產力，但員工一離開辦公大樓或下班以後，症狀就會減輕或消失。

發生病態建築症候群的建築物，通常是密閉型具有空調系統、或缺少可開啟窗戶，此類建築被稱為「病態建築(Sick Building)」。病態建築症候群與室內空氣品質有密切關係，最容易發生於新建建築物的或舊建築物的改建工程中。根據聯合報報導，國內約有三成大樓是「病態建築」，空氣品質不良，不合世界衛生組織標準，在這些大樓生活或工作，很容易引發「病態建築症候群」。室內環境不健康的建築物之常引發症狀，除病態建築症候群外，其他建築相關疾病尚包括：退伍軍人症(Legionnaires' disease)、化學物質過敏症(Multiple Chemical Sensitivity, MCS)等，「退伍軍人症」是嗜肺性退伍軍人桿菌引致的疾病，如果條件適合(特別是攝氏20至45度含養分的微溫水中)，此類桿菌便會大量繁殖，中央空調系統的冷卻塔是「退伍

軍人病症」的感染來源之一，根據病例記錄，曾有病人因吸入冷卻塔散發的水滴而感染退伍軍人病症。首宗退伍軍人症病例在 1976 年美國費城一間酒店舉行的退伍軍人會議中發現。「化學物質過敏症」發病原因是，對多種化學物質產生過敏反應（或稱變態反應），產生呼吸道疾病、沮喪與焦慮等問題。其中一項便是纖維肌痛，全身肌肉痠痛僵硬的慢性疲勞疾病。社會大眾普遍認為，每年推陳出新的化學用品是導致人們患病的原兇。

我國室內空氣品質管理現況，行政院環保署依行政院消保會於第 133 次委員會議，於第 135 次委員會議提報擬訂「室內空氣品質管制法(草案)」，以為長遠規範之依循。立法目的係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。未來完成立法後，經中央主管機關公告指定之室內公私場所應符合室內空氣品質標準、應定期委託進行室內空氣品質檢驗、應設置自動連續監測、委由中央主管機關許可之室內空氣品質查證人員查驗及簽證檢驗測定報告及改善與維護管理措施。目前室內空氣品質管理法（草案）已送立法院進行一讀程序中。

依空氣污染防治法規定，空氣品質標準係指室外空氣中空氣污染物排放標準，室內空氣品質並不在規範內，環保署民國 94 年 12 月 30 日公佈「室內空氣品質標準建議值」（參考性質），包括二氧化碳（CO₂）、一氧化碳（CO）、甲醛（HCHO）、總揮發性有機化合物（TVOC）、細菌（Bacteria）、真菌（Fungi）、粒徑小於或等於 10 微米之懸浮微粒（PM₁₀）、粒徑小於或等於 2.5 微米之懸浮微粒（PM_{2.5}）、臭氧及溫度等，如表 2-8 所示，其內容可區分為「物理性」、「化學性」及「生物性」等項目。惟上開公告之室內空氣品質建議值目前僅為建議性質，只能產生建議之功能，沒有法律效力，主管機關未來如何落實檢測管制將是一大挑戰。

表 2-8 環保署公告「室內空氣品質標準建議值」

項目	建議值			單位
二氧化碳 (CO ₂)	8 小時值	第 1 類	600	ppm (體積濃度百萬分之一)
		第 2 類	1000	
一氧化碳 (CO)	8 小時值	第 1 類	2	ppm
		第 2 類	9	
甲醛 (HCHO)	1 小時值		0.1	ppm
總揮發性有機化合物 (TVOC)	1 小時值		3	ppm
細菌(Bacteria)	最高值	第 1 類	500	CFU/m ³ (菌落數/立方公尺)
		第 2 類	1000	
真菌(Fungi)	最高值		1000	CFU/m ³
粒徑小於等於 10 微米(μm) 之懸浮微粒 (PM ₁₀)	24 小時值	第 1 類	60	μg/m ³ (微克/立方公尺)
		第 2 類	150	
粒徑小於等於 2.5 微米 (μm) 之懸浮微粒 (PM _{2.5})	24 小時值		100	μg/m ³ (微克/立方公尺)
臭氧 (O ₃)	8 小時值	第 1 類	0.03	ppm(體積濃度百萬分之一)
		第 2 類	0.05	
溫度(Temperature)	1 小時值	第 1 類	15 至 28	°C (攝氏)
<p>第 1 類係對於室內空氣品質有特別需求場所採用較嚴格數值，包括學校及教育場所、兒童遊樂場所、醫療場所、老人或殘障照護場所等。</p> <p>第 2 類則係指一般大眾聚集之公共場所及辦公大樓，包括營業商場、交易市場、展覽場所、辦公大樓、地下街、大眾運輸工具及車站等室內場所。</p>				

(資料來源：行政院環保署，2005)

第三節 室內空氣品質之健康風險評估

依照風險來源類別，一般於風險管理領域關注的風險如表 2-9 所示，從工業製程的工安意外與環境污染物，到日常生活中食品或產品中內殘留的農業以及含重金屬塗料，均是當前人類生活所需面對以及管理的風險，探討室內空氣污染物的危害性，常以健康風險評估為基礎，評估對人體健康之影響及風險。因此如何進行室內裝修材料及室內空氣品質之風險分析為當前重要課題。

表 2-9 環境面相關風險來源與分類

風險源	風險源類別
物理源	游離輻射、非游離輻射、噪音、動能、溫度、具閾值毒性物質、致癌性物質、環境污染物
生物性風險源	真菌類與藻類、細菌、病毒、基因改造有機體
自然力	風災、地震、火山活動、乾旱、洪災、海嘯、森林大火、雪崩
社會風險	恐怖主義行動、犯罪行為、暴動、大規模人體實驗、社會集體歇斯底里
結合性的複雜危害	食物、日常生活用品、新興科技、大型土木結構物（如水庫、橋樑、高速公路）、民生基礎建設

（資料來源：馬鴻文，2008，整理自 Renn 和 Walker）

依據 ISO 國際組 2009 年公佈之 ISO31000(2009)之風險管理(Risk management) - Principles and guidelines General information, 所謂的風險管理係一系列之整合行動，首先需建立風險管理架構 (Establishing the context)，協助範疇界定。此階段需界定出風險管理計畫與組織目標及行動的關聯性，並發展風險評量準則 (Risk Criteria)，如可接受風險、是否需考量多重風險間的加成性等。

第二步驟則是進行風險評估 (Risk Assessment)，包含風險鑑定 (Risk Identification)、風險分析 (Risk Analysis)、風險推估 (Risk Evaluation) 三大階段。風險鑑定為基於前述所定義出的風險管理架

構中目標與準則的設定，鑑定出相關的風險類別、風險來源、風險事件及其潛在影響程度。案例詳圖 2-2 所示。

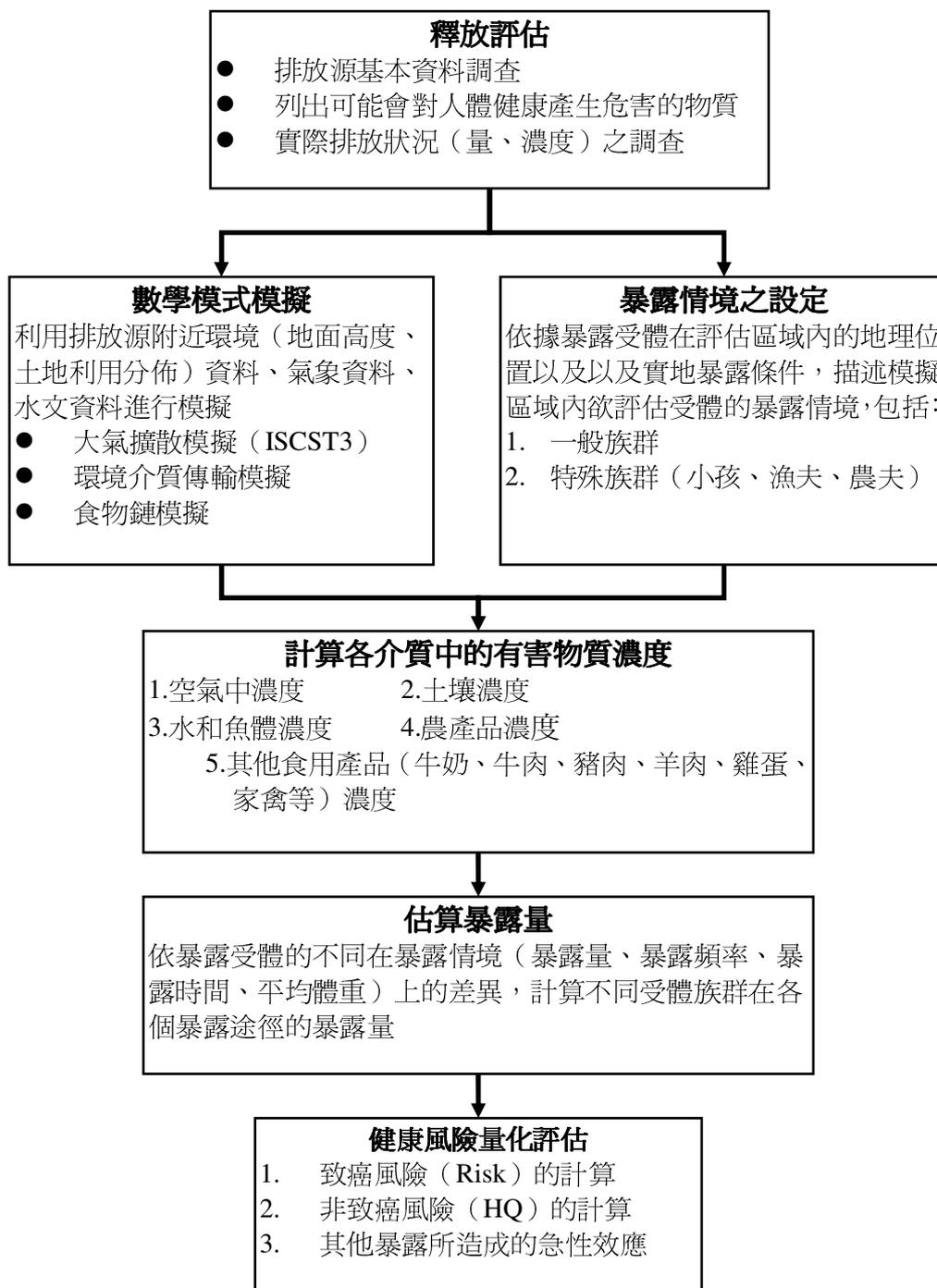


圖 2-2 人體健康風險評估之流程圖案例

（資料來源：馬鴻文，2008）

風險分析則可針對前述鑑定結果，建立風險的因果關係，其正面與負面的影響程度，以及發生的可能性。風險評價則需針對風險分析結果與所設定風險準則進行比較，以判斷是否需進行風險因應 (Risk Treatment)，以及風險因應的優先順序。

風險評估者要處理的問題是：「這狀態的風險程度為何？」而風險管理者則面對的是「此風險程度是否可以接受」及「如何因應此風險」問題。一般而言，風險評估多被視為立基於客觀與科學之方法，而風險管理則應將主觀感受以及政治社經因子納入。(van Leeuwen, 2007)。

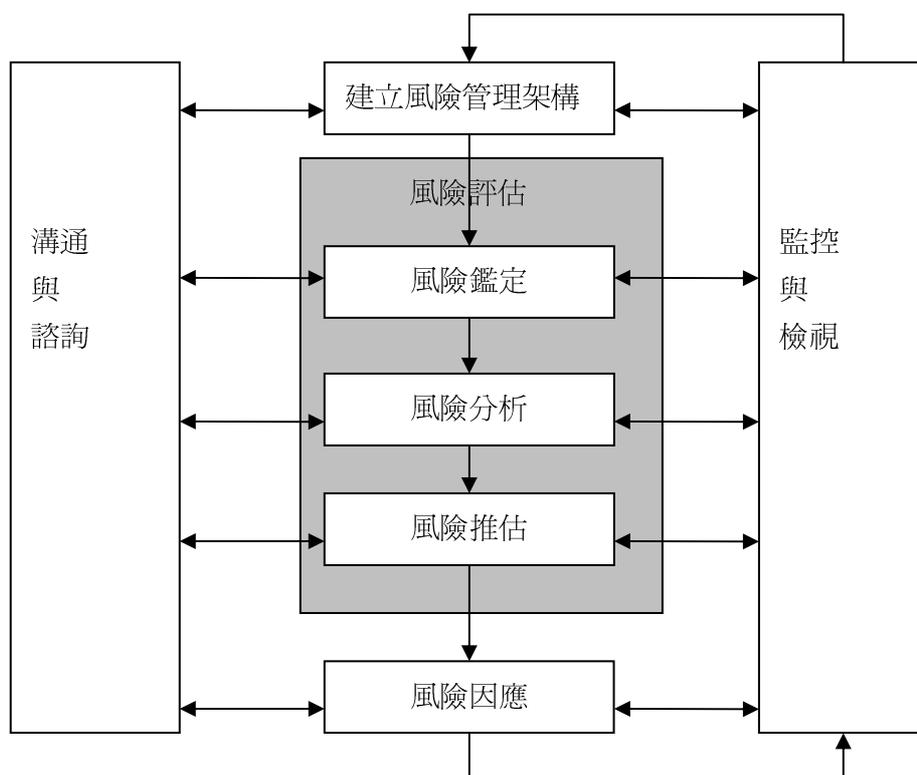


圖 2-2 ISO31000 風險管理架構

(資料來源: ISO31000, 2009)

探討室內空氣污染物的危害性，常以健康風險評估為基礎，評估各類揮發性有機化合物對人體健康之影響及風險，如日本針對 13 種化學物質，如甲醛、甲苯、二甲苯等，進行致癌與非致癌知室內空氣污染模擬分析，Azuma 等人(2007)發展風險篩檢計畫，評估在日本境內各種室內空氣污染物之風險水準，並推估這些化學物質在日本境內之單位風險值，詳圖 2-3 所示，及無負面健康影響值(NOAFEL)，詳圖 2-4 所示。

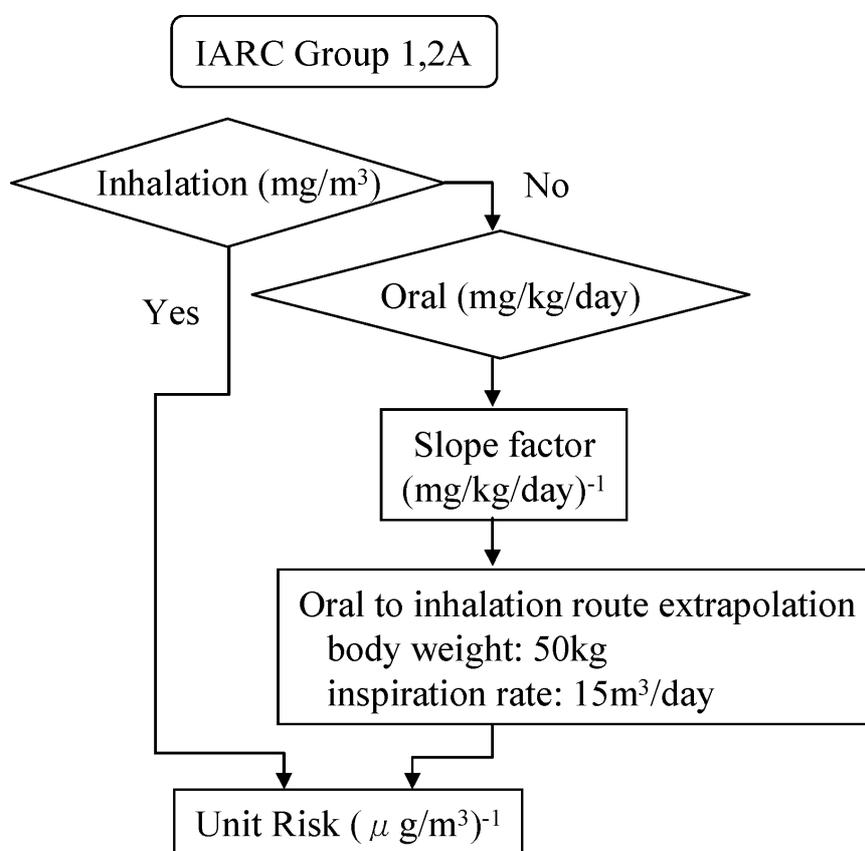


圖 2-3 暴露於致癌室內污染物之單位致癌風險估算

(資料來源: Azuma et al., 2007)

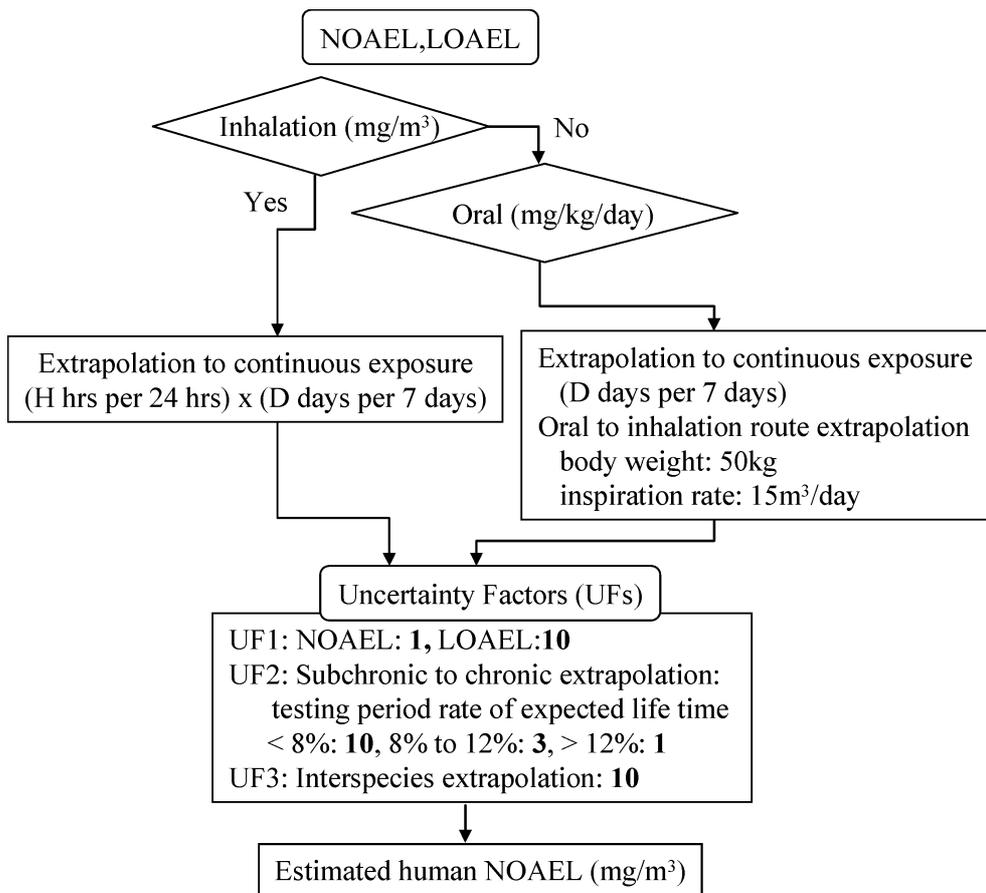


圖 2-4 暴露於非致癌室內污染物之 NOAEL 估算

(資料來源: Azuma et al., 2007)

第三章 建築材料之室內健康風險評估方法

第一節 風險評估之架構

建築物使用之各種裝修材料，可能引致許多室內空氣污染源，室內環境品質不良可能引起不同層面的健康危害問題。就經濟層面的考量，室內空氣品質不佳所引起的不適症狀或相關疾病，會引起生產力降低、工時損失及照護成本增加。最直接的效益考量，即對人體健康的影響，近年來，健康風險評估已廣泛使用於擬定空氣品質標準、飲用水標準、及各種環境介質（如空氣、水、及食物等）的污染物可忍受濃度之估算(NRC, 2008)。

依據美國環保署之定義，環境風險意指：「暴露於環境壓力源（stressor）對人體健康或者生態環境產生有害影響的可能性（chance）。」環境壓力源包含任何會引起環境負面效應的物理、化學或生物因子。而因著環境壓力源的不同，廣義的環境風險包含化學物質風險、工安意外風險、自然災害風險、生物性風險等。若依暴露受體分類，可區分為「人體健康風險」及「生態風險」兩大領域。

針對一般性的環境風險，評估步驟包含：危害性鑑定（Hazard identification）、影響結果鑑定（Identification of consequences）、影響程度估算（Estimation of the magnitude of consequences）、影響發生機率估算（Estimation of the probability of the consequences），及風險顯著性評估（Evaluating the significance of a risk）等。

美國環境風險評估理論的發展，主要以美國國家科學院所屬的國家研究委員會於 1983 年出版的「Risk Assessment in the Federal Government: Managing the Process」報告，所提出評估化學物質對人體健康所產生的風險的架構。

美國國家研究委員會(National Research Council, NRC)將風險評估流程分為四個步驟，詳圖 3-1 所示，包括：

- (1)危害性鑑定 (Hazard identification)，
- (2)劑量/效應評估 (Dose-response assessment)，
- (3)暴露評估 (Exposure assessment)，
- (4)風險推估 (Risk characterization)。

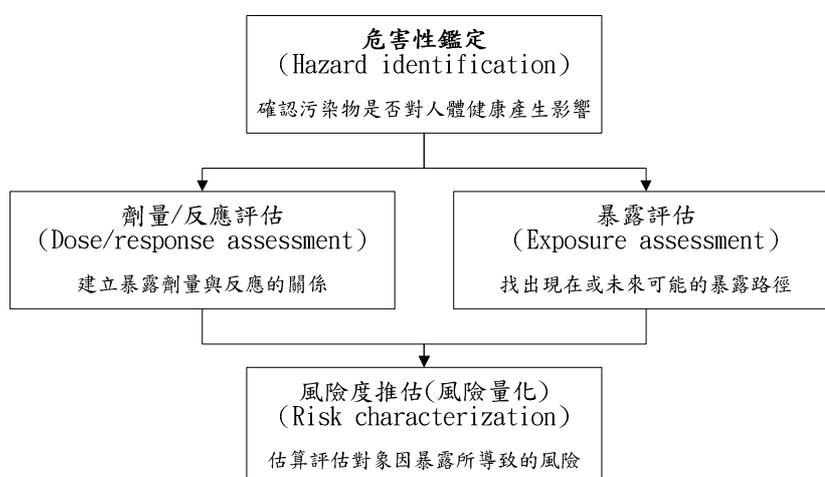


圖 3-1 人體健康風險評估架構圖

(資料來源:NRC, 1983)

各步驟詳述如下：

一、危害性鑑定 (Hazard identification)

又稱為定性的風險評估，主要針對某物質可能對人產生致癌性或非致癌性的健康影響的定性評估。為達完善評估，與此物質相關的流行病學與毒理（或毒物）學的研究成果資料要收集齊全。流行病學研究結果是對人健康影響的最直接證據，另外動物實驗的結果是很好的佐證，但須探討動物與人之間是否存在有類似的致病機制。此步驟重點在於鑑定某特定化學物質可能產生健康損害的種類，以及產生危害

的暴露情況。除了上述兩種危害鑑定之研究方法，尚有其他從污染物的物化性質出發，配合生理、毒理的瞭解，以估計該污染物產生健康危害的可能性。

二、劑量反應評估 (Dose-response assessment)

劑量反應評估主要評估某族群暴露在某污染物質環境中，其所受劑量與其產生傷害或發生疾病的對應關係，即找出所謂之劑量-反應關係 (Dose-Response relationships)。也就是說，這一階段必須推估出人體暴露在不同程度的環境濃度下，可能產生的反應與造成傷害的程度。人體暴露數據必須依據流行病學的研究報告所得，但一般而言，研究數量仍偏低。因此，劑量效應評估常需藉由動物實驗的數據來推估人體劑量效應。

在劑量反應的推估方法上，可依物質是否致癌而分為致癌性評估與非致癌性兩類方法。(1)在致癌性方面，由於較缺乏實際證據，根據美國環保署 (USEPA) 2005 公告的致癌物風險評估指引，假設所有的暴露劑量都會造成致癌風險；並且其劑量反應的關係使用直線關係，亦即單位暴露劑量的增加與其致癌風險成正比。在此假設之下，根據流行病學或動物實驗的數據即可以推估出該物質之劑量反應關係的斜率。(2)在非致癌風險方面，則是假設存在一個安全劑量或恕限值 (Threshold)，若暴露量小於該劑量，則不會產生危害效應。根據這個原則，USEPA 估計出每種毒性物質的參考劑量 (RfD, Reference Dose) 或每天允許的最高攝取劑量。

三、暴露評估 (Exposure assessment)

所謂暴露評估即是實際測量或模擬計算人體在環境中受到某污染物質之暴露程度與暴露量，也就是評估有多少污染物質進入人體。欲推估暴露量需要蒐集的資料包括污染物在環境中的實際濃度、重要的暴露途徑、污染物進入人體的方式、實際接收的內在劑量、及受暴

露的人口大小及特性與暴露時間。本階段主要的相關因子為：與排放相關之控制參數、污染物質之排放量與排放點、以及累積或衰變分解之等各項因子。藉由污染物釋放評估以得知污染物排放特性與排放量後，暴露評估則是估計特定人群與此污染物之接觸量，亦即人體吸入、食入或皮膚吸收污染物的量。

四、風險度推估 (Risk characterization)

風險度量化是風險評估的最終步驟，主要在於整合危害性鑑定、釋放評估、暴露評估與劑量反應關係之評估，以描述特定族群所受風險的性質與大小，同時分析風險評估執行之品質，以描述結論之可信賴度與不確定性。

第二節 建築材料有機化合物之健康風險評估

一、建材揮發性有機化合物之健康風險評估流程

本研究根據美國國家研究委員會(NRC)健康風險評估概念，進行建材揮發性有機化合物健康風險之計算，並評估綠建材標章揮發性有機化合物之健康效益。

健康風險評估流程如圖 3-2 所示，內容分述如下：

二、建材揮發性有機化合物之危害性鑑定

從國內建築物現場實測調查中發現，造成室內健康環境的空氣污染主因是由新建材及裝修建材所揮發出之化學物質。室內裝修材料常會含有各種有毒氣體而污染室內空氣，揮發性有機化合物(VOCs) 和甲醛(Formaldehyde)是室內污染源的主因之一，這些建材如地毯、瓷磚、地板、壁飾，以及購置之傢俱，如桌椅等常含有黏著劑、油漆、染料等。包括表面塗裝材料、黏著劑、填縫劑(膠合地板、安裝地毯、壁紙、窗框、門等)以及溶劑(膠、漆、塗料等)等。

新建築物之主要 VOCs 來源，為溼性營造產品(塗料、接著劑、填縫劑)。在建築物興建階段，選擇最小 VOCs 逸散建材。例如，將黏著劑(Adhesive)之使用降至最低。或使用不會逸散 VOCs 陶瓷地板材料。在屋頂隔熱空氣層裝鋁箔，內層塗料為低 VOCs 逸散材料。且不同的建材具有不同的逸散特性，例如油漆刺鼻的味道大約需要三、四天可以散去，而合板中的甲醛可能持續逸散數年之久。

建材揮發性有機化合物之風險評估，必須先蒐集揮發性有機化合物之健康影響資料，包括：對人類健康無不良影響值(No observed adverse effect levels, NOAFELs)、不良健康影響之最低值(Low observed adverse effect levels, LOAFELs) 等資料，並判斷這些有機化合物是否具有致癌性，及蒐集其單位風險值(Unit risk)等。

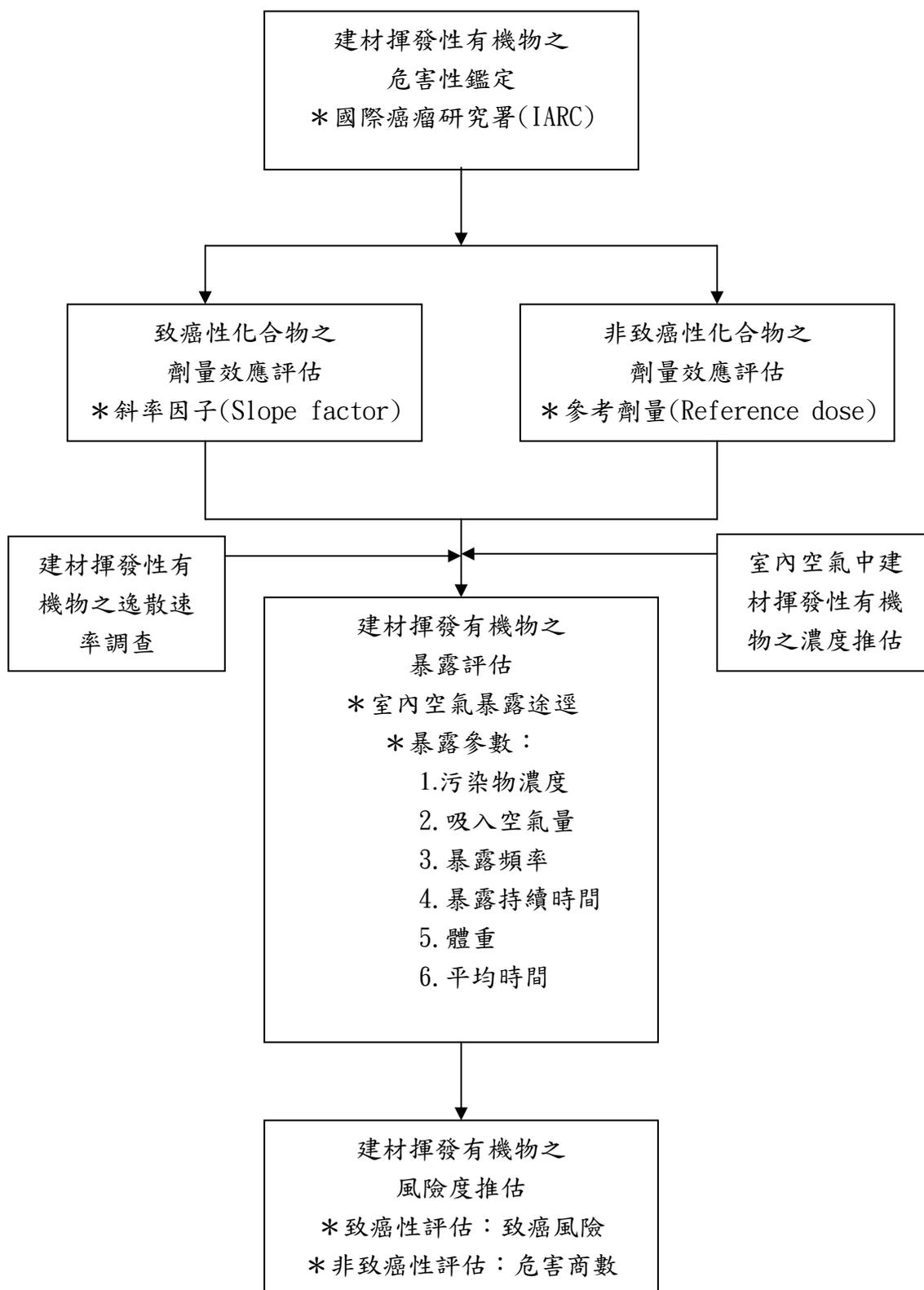


圖 3-2 建築材料揮發有機化合物之健康風險評估流程

(資料來源：本研究整理)

三、建材揮發性有機化合物之劑量效應評估

在劑量反應的推估方法上，可依物質是否致癌而分為致癌性評估與非致癌性兩類方法。綠建材標章揮發性有機化合物，包括：甲醛、苯、甲苯、乙苯、鄰-二甲苯、間-二甲苯、及對-二甲苯等，其致癌性依據國際癌瘤研究署(IARC)之分類，其劑量效應評估則依據美國環保署整合風險資訊資料庫(Integrated Risk Information System, IRIS)之致癌斜率因子與參考劑量。

四、建材揮發性有機化合物之暴露評估

暴露評估過程可分為多介質傳輸轉換評估 (Multimedia transport and transformation assessment) 及多途徑暴露評估 (Multiple pathway exposure assessment) 等模式。經由各途徑之終身攝入劑量(Lifetime ingestion dose, LID) 暴露評估，計算式如下：

$$\text{終身攝入劑量(LID)} = C_i \times IR \times EF \times ED / (BW \times AT) \quad (3-1)$$

LID_{ij} ：平均每天從接觸介質 i 暴露途徑 j 接觸之劑量(mg·kg/d, mg/Nm³)，

C_i (Concentration)：污染物於接觸介質之濃度 (如飲用水 mg/L，空氣 mg/Nm³)，

IR (Ingestion Rate)：每天攝入率(如飲水量 L/d，呼吸量 m³/day)，

EF (Exposure Frequency)：人與接觸介質之暴露頻率(d/yr)，

ED (Exposure Duration)：人與接觸介質之暴露持續期間(year)，

BW (Body Weight)：體重(kg)

AT (Average time)：平均時間(day)。

五、建材揮發性有機化合物之健康風險推估

一般風險推估主要是利用終身暴露劑量進行致癌影響與非致癌影響，本研究將建材揮發性有機化合物，經致癌性分類後根據不同分類後，進行致癌風險與非致癌風險評估，計算式如下：

(一) 致癌風險 (Cancer risk, CR)

若建材逸散揮發性有機化合物之致癌性分類為 Group 1 或 Group 2A 時，致癌風險可做為致癌性影響之健康風險評估，主要以人體暴露濃度乘致癌斜率因子加以推算 (NRC, 2008)，致癌風險方程式如下：

$$\text{致癌風險} = \text{致癌斜率因子(CSF)} \times \text{暴露劑量(ADI)} \quad (3-2)$$

致癌風險：終身致癌風險，

CSF: 致癌斜率因子 (Cancer slope factors)，單位為 $(\text{mg}/\text{m}^3)^{-1}$

ADI: 平均每日暴露劑量 (Average daily intake)，單位為 (mg/m^3) ，

$\text{ADI} = \text{Ci}(\text{濃度}, \text{g}/\text{Nm}^3) * \text{I}(\text{吸收頻率}, \text{m}^3/\text{day}) * \text{EF}(\text{接觸頻率}, \text{day}/\text{yr}) * \text{ED}(\text{接觸時間}, \text{yr}) * /(\text{BW}(\text{體重}, \text{kg}) * \text{AT}(\text{平均時間}, \text{day}))$ 。

(二) 非致癌之危害商數 (Hazard quotient, HQ)

若建材逸散揮發性有機化合物之致癌性分類為 Group 3 或 Group 2B 時，危害商數可做為非致癌性影響之健康風險評估，主要以暴露臨界值表示 (NRC, 2008)，非致癌風險方程式如下：

$$\text{危害商數 HQ} = \sum_i (\text{ADI}/\text{RfD}) \quad (3-3)$$

$$\text{RfC or RfD} = \text{NOAEL}/(\text{UF} \times \text{MF}) \quad (3-4)$$

HQ: 危害商數，

RfD: 參考劑量，單位為 (mg/kg/day)，

ADI: 平均每日暴露劑量(Average daily intake)，單位為(mg/m³)。

RfC: 參考濃度，單位為 (mg/m³)

NOAEL: 無毒性作用劑量 (mg/kg/day)

UF: 不確定性因子(Uncertainty factor)，每增加一項不確定性，需增加 10 倍。

MF: 為修正因子(Modify factor)，其值介於 1-10 之間。

危害評估標準：危害商數大於 1。

六、模擬參數之設定與選擇

本研究之健康風險評估之模擬參數之設定與選擇，說明如下：

(一) 致癌斜率因子與參考劑量之設定與選擇

美國環保署所建置的整合風險資訊資料庫(IRIS)，提供約 400 種化學物質的致癌斜率因子與參考劑量，本研究利用此資料庫查詢相關劑量反應資訊。

(二) 室內空氣暴露參數之設定與選擇

本研究依據國人暴露情形，推估每人每天的呼吸量為 12m³/day，一天中大約有 16 小時的時間處於室內，一年當中約有 50 週的時間在室內，平均壽命 76 歲，體重 60 公斤。

第三節 室內有機化合物濃度之推估

一、建材揮發性有機化合物逸散速率之試驗方法

室內裝修材料種類繁多，裝修過程亦有乾式、濕式之分，對於材質之厚度、種類之差異，均有對應的試驗方法及程序。目前健康綠建材標章以「低甲醛」及「低揮發性有機化合物」逸散速率為評估指標，如表 3-1 所示。測試方法依據內政部建研所標準測試法，計劃編號 MOIS901014，測試時間達 48 小時或已達到評估基準值(甲醛 <0.08 mg / m²hr，總揮發性有機物質 <0.19 mg / m²hr)者即可停止測試。其採用之揮發性有機物質標準測試方法係參考 ASTM (American Society for Testing and Material) D5116-97 所規範之小型環控艙測試法，如圖 3-3 所示，其指標性污染物測試上，優先以甲醛 (HCHO) 及總揮發性有機化合物 (TVOC：苯、甲苯、對二甲苯、間二甲苯、鄰二甲苯及乙苯) 為試驗污染物。

表 3-1 健康綠建材標章之有機化合物評定基準

有機化合物	逸散速率	備註
甲醛(HCHO)	<0.08 mg/m ² hr	-
總揮發性有機物質(TVOC)	<0.19 mg/m ² hr	包括：苯、甲苯、對二甲苯、間二甲苯、鄰二甲苯、乙苯

(資料來源：綠建材解說與評估手冊，2007)

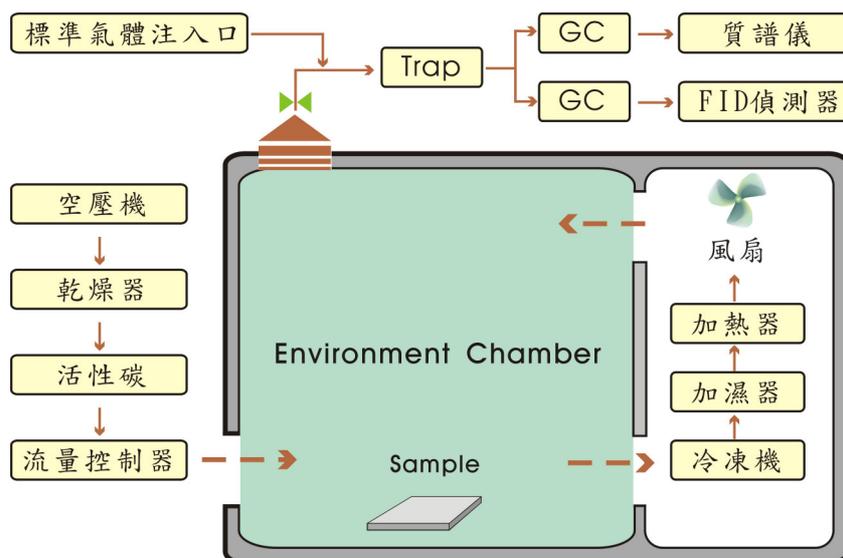


圖 3-3 建材揮發性有機物質逸散量測系統圖

(資料來源：林霧霆，2005)

二、室內揮發性有機化合物濃度之推估

目前建築空間之室內空氣品質模式，係以質量平衡原理及使用比面積逸散速率來代表建材之整體逸散速率，室內污染物之平衡受到污染源之逸散量、室外空氣量、及建築通風量之影響。將裝修材料之揮發性有機化合物之逸散速率($\text{mgm}^{-2}\text{h}^{-1}$)，轉換成室內環境之揮發性有機化合物濃度。室內空氣品質模式視污染源強度、通風速率及室內空間大小而定。

在穩定狀態下，室內空氣品質之質量平衡模式(Guo et al., 2003)表示如下：

$$\begin{aligned}
 C_{V, T, RH} &= (E_{V, T, RH} \times A) / (ACH \times V) \\
 &= (E_{V, T, RH} \times L) / (ACH)
 \end{aligned}
 \tag{3-5}$$

其中，C：代表穩定狀態下，VOC之室內濃度(μgm^{-3})，

$E(t)$ ：污染源之 TVOC 單位面積逸散速率 ($\mu\text{gm}^{-2}\text{h}^{-1}$)

V ：代表室內空間體積 (m^3)，

A ：建材（污染源）表面積 (m^2)，

L ：建材負荷率 (m^2m^{-3}) ($L = A/V$)

ACH ：室內空氣之換氣率 (h^{-1}) ($ACH = Q/V$)，

Q ：室內通風速率 (m^3h^{-1})。

三、模擬參數之設定與選擇

本研究以環控箱所量測出之建材揮發性有機化合物逸散速率，應用於室內空間揮發性有機化合物濃度之推估，並計算其風險評估值。模擬參數之設定與選擇，說明如下：

（一）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 22.5m^3 (長 3m、寬 3m、高 2.5m)，樓地板面積為 9m^2 (約 2.7 坪)，本研究模擬建材負荷率為 0.4 下，即室內空間採用表面積為 9m^2 之室內裝修材料。

（二）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，本研究模擬室內環境條件為溫度 25°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揮發性有機化合物濃度變化情形，進而進行風險度推估。

第四章 綠建材標章之健康效益評估

第一節 從健康觀點探討現行綠建材標章評估項目

綠建材標章之評定，根據 2007 年版「綠建材解說與評估手冊」規定，需先符合通則規定，再進行健康、生態、再生、高性能等 4 分類評估，詳圖 1-4-1 所示。

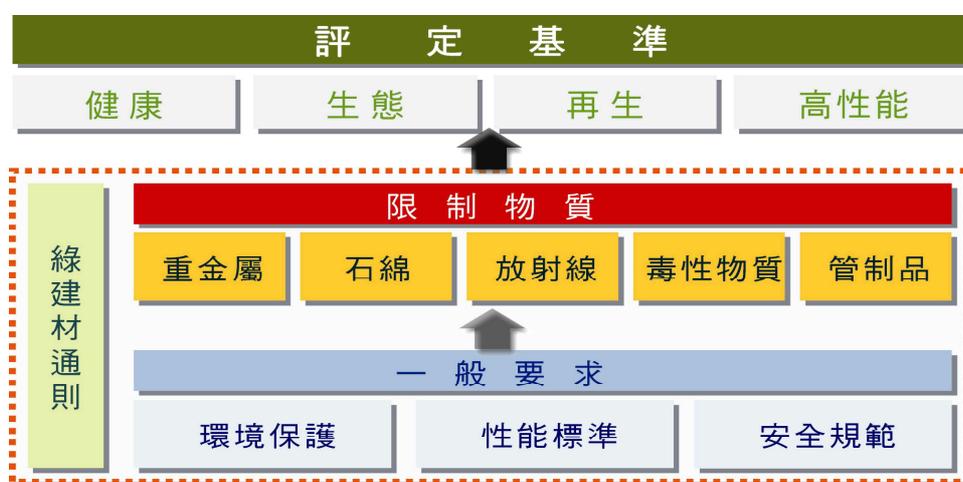


圖 4-1 綠建材通則規定項目

(資料來源:綠建材解說與評估手冊，2007)

綠建材標章通則之評估項目，分為一般要求及限制物質兩項。

一、一般要求：包括環境保護、性能標準及安全規範等，分別以環保單位公文及試驗方式證明。

二、限制物質：評估項目有 5 類，包括：

1. 非金屬材料任一部份之重金屬成份，依據「事業廢棄物毒性特性溶

出程序 (TCLP)」檢出值不得超過「綠建材解說與評估手冊」表 3-1 之規定。

2. 不得含有石綿成份。
3. 不得含有放射線【加馬等效劑量在 0.2 微西弗/小時以下 (包括宇宙射線劑量)】。
4. 不得含有行政院環境保護署公告之毒性化學物質。
5. 不得含有無機鹵化物及其他蒙特婁公約管制化，如「綠建材解說與評估手冊」表 3-2 所示。

三、現行綠建材通則及健康分類之評估要項檢討

1. 書面聲明之應明確列出聲明項目

綠建材標章通則之限制物質中，重金屬、石棉、放射性等 3 類以試驗方式證明。至於毒性化學物質、無機鹵化物及其他蒙特婁公約管制化學品等，得採書面聲明方式為之。惟查「綠建材解說與評估手冊」(2007 年版)並未將環保署公告之毒性化學物質列明或說明，廠商通常亦不清楚環保署之公告內容；建議未來綠建材標章之評定，應將毒性化學物質等公告內容具體列明，以供廠商瞭解書面聲明之內容及法律效果。

2. 健康綠建材標章之總揮發性有機化合物之試驗範圍

根據國際標準組織 2006 年發行之 ISO 16000-9 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，總揮發有機化合物 (Total volatile organic compound, 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。為進行已辨識化合物之定量，使用

其各別回應，未辨識峰之面積則使用甲苯回應因數，依據分子量將其轉換成濃度。

目前經濟部標準檢驗局刻正依室內空氣品質管理法草案，參考 ISO 16000 系列室內空氣品質測定國際標準，編擬相對應 CNS 草-制 0980383 等 8 種「室內空氣品質測定」國家標準草案。由於我國健康綠建材之 TVOC 逸散率檢測，其評估指標性污染物檢測苯、甲苯、乙苯、間二甲苯、對二甲苯、鄰二甲苯。與 ISO 16000-9 標準 TVOC 之試驗範圍不同，且健康綠建材標章 TVOC 逸散速率之指標性污染物較 ISO16000-9 標準所定義之試驗範圍少。建議待室內空氣品質測定之 CNS 國家標準公布後，健康綠建材標章之總揮發性有機化合物之範圍應配合修正。

第二節 綠建材標章之材料性能標準分析

一、建築材料對應之 CNS 國家標準

室內裝修材料之種類繁多，不僅裝修過程有乾式、濕式之分，對於材質之厚度、種類之差異，均有對應的試驗方法及程序，因此為瞭解綠建材標章，須先對於不同種類的建築材料之 CNS 國家標準有所了解。

本研究統計 96-97 年通過健康綠建材標章評定之 115 件個案資料，分析其組成，發現以塗料類佔最多，其中水性水泥漆 20 件、水性水泥漆(乳膠漆)18 件、其他塗料 11 件；其次為板材類，矽酸鈣板 9 件、複合木地板 7 件、石膏板 6 件。

整理常見的健康綠建材標章材料，其申請類別及對應 CNS 國家標準如表 4-1 所示。塗料類以符合 CNS4940 水性水泥漆最常見，符合 CNS4940 之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)，詳表 4-2 所示，品質性能包括：研磨細度、作業性、乾燥時間、塗膜外觀、遮蓋力、耐水性、耐鹼性、耐洗刷性等，兩種水性水泥漆之主要差異為耐洗刷性能，第 1 種經 1000 次往返洗刷試驗，第 2 種經 2000 次往返洗刷試驗。另外，其他塗料包括符合 CNS4912 木器用透明二度底漆、符合 CNS12137 多彩花紋塗料、及符合 CNS4938 環氧樹脂漆等。

常見牆壁板材類，包括：符合 CNS4458 石膏板、符合 CNS13777 纖維強化水泥板、符合 CNS3802 纖維水泥板、符合 CNS9456 木絲水泥板、符合 CNS1349 合板(木芯板)、符合 CNS8058 特殊合板(塗裝木皮板)、符合 CNS2215 粒片板(化粧)等。CNS13777 纖維強化水泥板，性能標準分 4 類，包括水泥板、珍珠岩板、矽酸鈣板、爐渣石膏板等。

表 4-1 健康綠建材標章申請類別及對應國家標準

材料類別	材料	CNS 國家標準
塗料類	水性水泥漆	CNS4940(I)
	水性水泥漆(乳膠漆)	CNS4940(II), CNS2070
	木器用透明二度底漆	CNS4912
	多彩花紋塗料(室內)	CNS12137(II)
	環氧樹脂漆	CNS4938
	其他類	比照各 CNS 國家標準
牆壁類	石膏板	CNS4458
	矽酸鈣板 (纖維強化水泥板)	CNS13777
	纖維水泥板	CNS3802
	木絲水泥板	CNS9456
	合板(木芯板)	CNS1349
	特殊合板(塗裝木皮板)	CNS8058
	粒片板(化粧)	CNS2215
	其他類	比照各 CNS 國家標準
地板	複合木地板	CNS11342
	聚氯乙烯地磚	CNS8906
	聚氯乙烯塑膠地毯	CNS3216
	鋁合金架高地板	CNS10678
天花板類	岩棉裝飾吸音板 (礦纖天花板)	CNS10994
填縫劑與油灰類	填縫劑	-
	建築防水用聚胺酯(防水膠)	CNS6986
	其他類	比照各 CNS 國家標準
接著劑	陶磁壁磚接著劑	CNS12611
	其他類	比照各 CNS 國家標準

(資料來源：本研究整理)

常見地板類，包括：符合 CNS11342 複合木地板、符合 CNS8906 聚氯乙稀地磚、符合 CNS3216 聚氯乙稀塑膠地毯、符合 CNS10678 鋁合金架高地板等。常見天花板類，符合 CNS10994 岩棉裝飾吸音板，如礦纖天花板。常見填縫劑與油灰類，包括：符合 CNS6986 建築防水用聚胺酯(防水膠)。常見接著劑類，符合 CNS12611 陶磁壁磚接著劑。

表 4-2 CNS 國家標準之材料種類

標準項目	材料種類
CNS4940 水性水泥漆	分第 1 種(室內用)及第 2 種(室外用)兩類，
CNS12137 多彩花紋塗料	分第 1 種(室外用)及第 2 種(室內用)兩類
CNS4458 石膏板	分石膏板、防潮石膏板、強化石膏板、粉刷基層石膏板、及裝飾石膏板等 5 類
CNS13777 纖維強化水泥板	分水泥板、珍珠岩板、矽酸鈣板、爐渣石膏板等 4 類
CNS2215 粒片板	分素面粒片板、單板貼面粒片板、化粧粒片板等 3 類
CNS11342 複合木地板	分複合 I 類木質地板、複合 II 類木質地板、複合 III 類木質地板等 3 類

(資料來源：本研究整理)

第三節 建築材料有機化合物逸散量分析

一、建築材料之揮發性有機化合物之逸散速率分析

本研究彙整 96-97 年評定通過之 115 件健康綠建材標章，統計各類材料之揮發性有機化合物逸散速率之平均值；揮發性有機化合物之種類，包括：甲醛、苯、甲苯、間二甲苯、對二甲苯、鄰二甲苯及乙苯等，分析結果詳如表 4-3 所示。其中水性水泥漆(20 件)、水性水泥漆(乳膠漆)(18 件)、其他塗料(11 件)、矽酸鈣板(9 件)、複合木地板(7 件)、石膏板(5 件)等類建材之樣本數，超過 5 件，分析數據較具代表性。

根據健康綠建材標章之評定基準，甲醛之逸散速率 $< 0.08 \text{ mg/m}^2\text{hr}$ ，TVOC 之逸散速率 $< 0.19 \text{ mg/m}^2\text{hr}$ 。本研究統計結果顯示，健康綠建材標章之各類材料甲醛逸散速率平均值 ($0.0017 \text{ mg/m}^2\text{hr}$) 遠低於評定基準 $0.01 \text{ mg/m}^2\text{hr}$ ，詳圖 4-2 分布圖，TVOC 逸散速率(平均 $0.0686 \text{ mg/m}^2\text{hr}$) 亦低於健康綠建材評定基準 $0.19 \text{ mg/m}^2\text{hr}$ ，詳圖 4-3 分布圖，顯示 96-97 年評定通過之健康綠建材標章之各類產品性能相當優越。

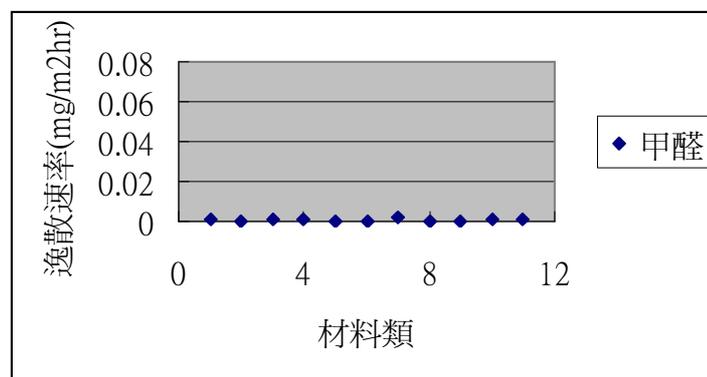


圖 4-2 11 類健康綠建材標章材料之甲醛逸散速率之分布圖

(資料來源：本研究整理)

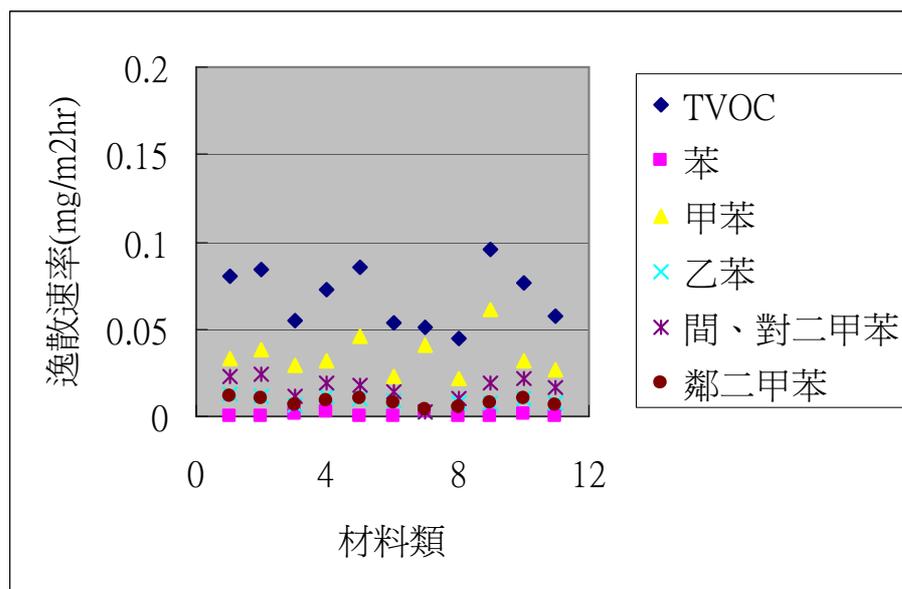


圖 4-3 11 類健康綠建材標章材料之 TVOC 及個別揮發性有機化合物逸散速率之分布圖

(資料來源：本研究整理)

由表 4-3 可看出各類材料之甲醛逸散速率，以水性水泥漆類(平均 0.014 mg/m²hr)最高，合板類(平均 0.002 mg/m²hr)次之，複合木地板(平均 0.0008 mg/m²hr)、接著劑(平均 0.0007 mg/m²hr)、石膏板(平均 0.0006mg/m²hr) 再次之；矽酸鈣板、纖維水泥板、化粧粒片板及礦纖天花板等，則未檢出。

另外，可看出各類材料之 TVOC 逸散速率(平均 0.0686 mg/m²hr)遠高於甲醛逸散速率(平均 0.0017 mg/m²hr)；各類材料之 TVOC 逸散速率，以礦纖天花板(平均 0.095 mg/m²hr)最高；平均值高於 0.075 mg/m²hr 者，包括：矽酸鈣板、乳膠漆、水性水泥漆及複合木地板等，平均低於 0.075 mg/m²hr 者，包括：其他塗料、石膏板、化粧粒片板、纖維水泥板、合板及接著劑。

表 4-3 健康綠建材標章(96-97 年)材料揮發性有機化合物之逸散速率 (平均值)

類別	逸散速率之平均值 (mg/m ² hr)							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	0.0008	0.0803	0.0004	0.0334	0.0128	0.0228	0.0112	20(17)
水性水泥漆(乳膠漆)	0.0001	0.0835	0.0001	0.0387	0.0112	0.0240	0.0097	18(15)
其他塗料	0.0008	0.0549	0.0011	0.0289	0.0069	0.0121	0.0058	11(9)
石膏板	0.0006	0.0732	0.0025	0.0318	0.0109	0.0195	0.0085	6(5)
矽酸鈣板	0	0.0856	0	0.0459	0.0100	0.0177	0.0107	9(9)
纖維水泥板	0	0.0540	0	0.0228	0.0095	0.0136	0.0081	3(3)
合板	0.0020	0.0513	0.0025	0.0405	0.0025	0.0025	0.0038	3(3)
化粧粒片板	0	0.0445	0	0.0212	0.0081	0.0107	0.0045	2(2)
礦纖天花板	0	0.0950	0	0.0611	0.0077	0.0187	0.0075	2(2)
複合木地板	0.0008	0.0760	0.0010	0.0320	0.0106	0.0220	0.0107	7(5)
其他接著劑	0.0007	0.0572	0	0.0265	0.0079	0.0165	0.0058	2(2)
平均	0.0017	0.0686	0.0007	0.0534	0.0089	0.0344	0.0078	

(資料來源：本研究整理)

個別揮發性有機化合物中，以甲苯之逸散速率(平均 0.0534 mg/m²hr)最高，間、對二甲苯之逸散速率(平均 0.0344 mg/m²hr)次之，乙苯及鄰二甲苯再次之，苯之逸散速率(平均 0.0007 mg/m²hr)最低。此一結果可以充分證明通過健康綠建材標章之材料，其逸散出之有害物質確實甚低，亦顯示國內建材業者之技術能力可生產出低甲醛與低揮發性有機化合物之建材，因此，隨著業界的技術能力持續提昇，未來應漸進提昇健康綠建材之評定基準。

二、特定室內空間採用通過綠建材標章評定之裝修材料有機化合物逸散濃度推估

為瞭解在特定室內空間之揮發性有機化合物濃度，本研究以第三章第三節建立之室內有機化合物濃度之推估方法進行模擬。

本研究之特定室內空間及裝修材料量之模擬條件，假設如下：

1. 假設室內空間為 22.5m³(長 3m、寬 3m、高 2.5m)，樓地板面積為 9 m²(約 2.7 坪)。
2. 假設各類材料之裝修負荷率為 0.4 (即室內空間採用表面積為 9m²之綠建材標章材料)。

將表 4-3 之各類建材揮發性有機化合物之逸散速率，帶入計算式(3-5)，推估在室內空間之有機化合物之逸散濃度，結果如表 4-4 所示。

表 4-4 模擬特定室內空間之材料逸散揮發性有機化合物濃度

材料類別	室內空間有機化合物之濃度 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)						
	甲醛	TVOC	苯	甲苯	乙苯	間、對二甲苯	鄰二甲苯
水性水泥漆	0.66	64.24	0.33	26.76	10.22	18.25	9.0
水性水泥漆(乳膠漆)	0.11	66.83	0.06	30.96	8.96	19.22	7.76
其他塗料	0.62	43.91	0.92	23.14	5.53	9.71	4.62
石膏板	0.48	58.56	2.03	25.43	8.74	15.6	6.77
矽酸鈣板	0	68.44	0	36.75	7.98	14.18	8.56
纖維水泥板	0	43.2	0	18.23	7.62	10.9	6.45
合板	1.6	41.07	2	32.39	2	2	3
化粧粒片板	0	35.6	0	16.94	6.45	8.6	3.61
礦纖天花板	0	76	0	48.85	6.17	14.98	6
複合木地板	0.64	60.8	0.81	25.58	8.46	17.63	8.53
其他接著劑	0.53	46.13	0	21.23	6.34	13.21	4.63
備註：室內空間為 22.5m^3 (長 3m、寬 3m，高度 2.5m)，建材負荷率為 0.4(室內空間採用 9m^2 之裝修材料)之情況。							

(資料來源：本研究整理)

第四節 健康綠建材標章之材料健康風險推估

為瞭解通過綠建材標章評定之材料，應用於室內裝修後之健康影響，本研究以第三章所建立之建築材料健康風險評估方法，模擬特定室內空間中使用特定裝修量之有機化合物在之健康風險值。

假設在特定室內空間為 22.5m^3 (長 3m、寬 3m、高 2.5m)，樓地板面積為 9m^2 (約 2.7 坪)。假設各類材料之負荷率為 0.4，即室內空間採用表面積為 9m^2 之各類健康綠建材標章材料之裝修量。

健康綠建材標章之揮發性有機化合物，包括：甲醛、苯、甲苯、乙苯、鄰-二甲苯、間-二甲苯、及對-二甲苯等，其致癌性及劑量效應相關資料詳表 4-5 所示，依據國際癌瘤研究署(IARC)之分類，甲醛、苯具致癌性，屬 Group 1，為人類致癌物，可以致癌風險(CR)值評估。甲苯、乙苯、鄰-二甲苯、間-二甲苯及對-二甲苯等，屬 Group 3，資料不足，無適當證據其與致癌相關，可以危害商數危害商數(HQ)值評估。分析如下：

一、致癌風險(CR)

在特定室內空間(長 3m、寬 3m、高 2.5m)內，假設材料負荷率為 0.4 之有機化合物之濃度為 $C(\mu\text{g}/\text{Nm}^3)$ ，健康綠建材標章之揮發性有機化合物中，致癌性依據國際癌瘤研究署(IARC)之分類，甲醛及苯屬 Group 1 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 $1.3 \times 10^{-5}(\mu\text{g}/\text{Nm}^3)^{-1}$ ，苯之單位風險為 $2.9 \times 10^{-5}(\mu\text{g}/\text{Nm}^3)^{-1}$ ，根據查詢結果，苯之單位風險值比甲醛還高，因此，本研究特別進行甲醛及苯之致癌風險比較。

表 4-5 健康綠建材標章有機化合物之危害性鑑定及劑量效應

揮發性有機化合物	致癌性	劑量效應評估
	國際癌瘤研究署(IARC)	美國環保署整合風險資訊資料庫(IRIS)
甲醛(Formaldehyde)	Group 1	Unit risk= $1.3 \times 10^{-5} (\mu\text{g}/\text{Nm}^3)^{-1}$
苯(Benzene)	Group 1	Unit risk= $2.9 \times 10^{-5} (\mu\text{g}/\text{Nm}^3)^{-1}$
甲苯(Toluene)	Group 3	RfD=0.08mg/kg/day RfC=0.4mg/m ³
乙苯(Ethyl-Benzene)	Group 3	RfD=0.1mg/kg/day RfC=1mg/m ³
間、對-二甲苯 (m, p -Xylene)	Group 3	RfD=0.2mg/kg/day RfC=0.1mg/m ³
鄰-二甲苯(o- Xylene)	Group 3	RfD=0.2mg/kg/day RfC=0.1mg/m ³

(資料來源：本研究整理)

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 m³/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。本研究依據國人之暴露情形，修正為每人每天的呼吸量為 12m³/day，一天中大約有 16 小時的時間處於室內環境，一年當中約有 50 週的時間在室內，平均壽命 76 歲，體重 60 公斤。健康風險值經公式(4-1)修正如下：

$$\begin{aligned} \text{Risk} &= C \times \text{Unit Risk} \\ &= C (\mu\text{g}/\text{Nm}^3) \times (16/24) \times (12/20) \times (70/60) \times (50/52) \times (70/76) \times \text{Unit Risk} \end{aligned} \quad (4-1)$$

本研究以表 4-4 計算所得之室內空間甲醛及苯的濃度值，代入公式(4-1)得到修正致癌風險(CR)值，計算所得之致癌風險如表 4-6 所示。

**表 4-6 模擬室內空間使用健康綠建材標章裝修材料之健康風險評估
(致癌風險)**

建材類別	終生致癌風險(Cancer risk)	
	甲醛	苯
水性水泥漆	3.54E-06	3.95 E-06
水性水泥漆(乳膠漆)	5.73E-07	6.79E-07
其他塗料	3.34E-06	1.10E-05
石膏板	2.58E-06	2.43E-05
矽酸鈣板	0	0
纖維水泥板	0	0
合板	8.60E-06	2.40E-05
化粧粒片板	0	0
礦纖天花板	0	0
複合木地板	3.44E-06	9.75E-06
其他接著劑	2.87E-06	0
備註：室內空間為 22.5m ³ (長 3m、寬 3m、高 2.5m)，材料負荷率為 0.4(室內空間採用 9m ² 之裝修材料)之情況。		

(資料來源：本研究整理)

致癌風險之判斷基準，當致癌風險低於百萬分之一(10^{-6})為可接受風險(Acceptable risk)，致癌風險介於十萬分之一(10^{-5})至百萬分之一(10^{-6})一般公認尚在可接受範圍。

由表 4-6 計算結果可知，在特定室內空間（長 3m、寬 3m，高度 2.5m），裝修建材負荷率為 0.4(室內空間採用 9m^2 之裝修材料)之情況下，各類健康綠建材標章中，矽酸鈣板、纖維水泥板、化粧粒片板、礦纖天花板等板材，因未檢出甲醛及苯，其終生致癌風險為零最佳，詳圖 4-4 及 4-5 分布圖。水性水泥漆(乳膠漆)之甲醛終生致癌風險($\text{CR}=5.73\text{E}-07$)及苯之終生致癌風險($\text{CR}=6.79\text{E}-07$)皆低於百萬分之一(10^{-6})為可接受風險。其餘各類建材在此情況下均略高於百萬分之一，但尚在可接受範圍(10^{-5} 至 10^{-6} 之間)。例如：水性水泥漆之甲醛終生致癌風險($\text{CR}=3.54\text{E}-06$)及苯之終生致癌風險($\text{CR}=3.95\text{E}-06$)；複合木地板之甲醛終生致癌風險($\text{CR}=3.44\text{E}-06$)及苯之終生致癌風險($\text{CR}=9.75\text{E}-06$)，尚在可接受範圍(10^{-5} 至 10^{-6} 之間)。

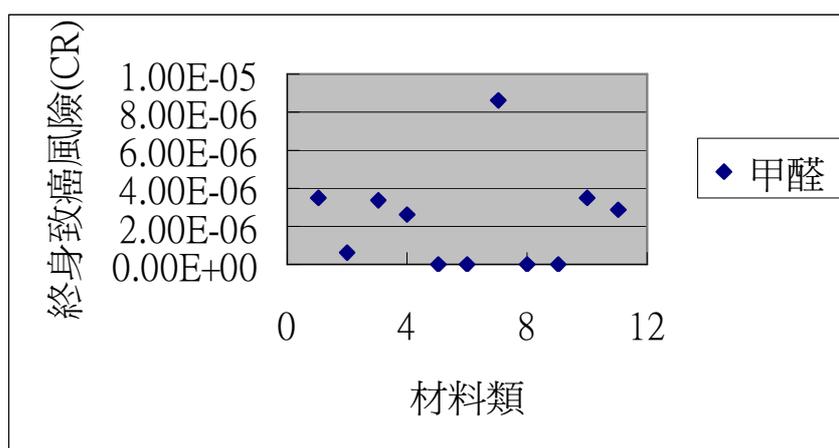


圖 4-4 11 類健康綠建材標章材料之甲醛終生致癌風險之分布圖

(資料來源：本研究整理)

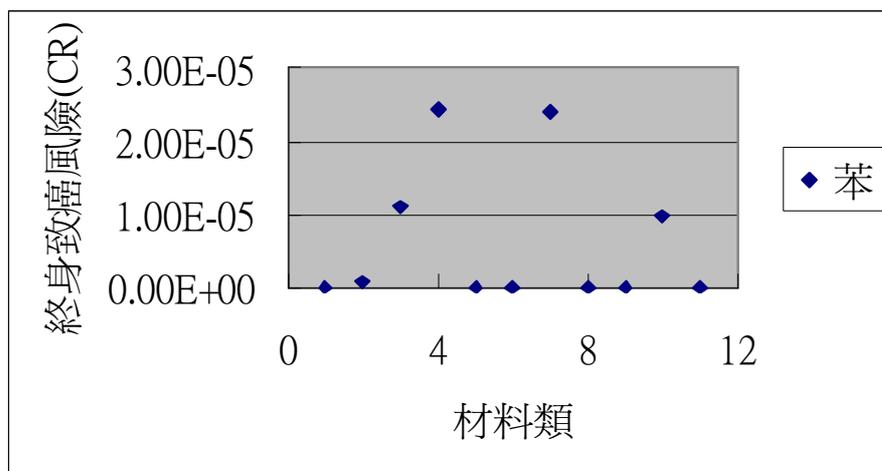


圖 4-5 11 類健康綠建材標章材料之苯終生致癌風險之分布圖

(資料來源：本研究整理)

至於合板之甲醛的終生致癌風險 ($CR = 8.60E-06$) 值略大於百萬分之一，但合板之苯的終生致癌風險 ($CR = 2.40E-05$) 略大於十萬分之一，其致癌風險值較高，顯示合板是屬於較具危害性的建材，應避免過量使用，因此，未來健康綠建材標章，須特別注意苯的致癌風險問題。尤其台灣是屬於高溫高濕的氣候，若溫度和溼度升高，人們所暴露到甲醛及苯的致癌風險(CR)值相對提高，對室內空氣品質及人體健康的影響亦相對增加。

二、非致癌性之危害商數(HQ)

在特定室內空間（長 3m、寬 3m、高 2.5m）內，假設材料負荷率為 0.4 之個別 VOCs 濃度為 $C(\mu\text{g}/\text{Nm}^3)$ ，健康綠建材標章評定基準之揮發性有機化合物中，致癌性依據國際癌瘤研究署(IARC)之分類，甲苯、乙苯、鄰-二甲苯、間-二甲苯、及對-二甲苯等，屬 Group 3，無適當證據其與致癌相關，劑量效應依據美國環保署整合風險資訊資料庫(IRIS)，以危害商數評估。其劑量效應，依據美國環保署整合風險資訊資料庫(IRIS)，甲苯(Toluene)、乙苯(Ethyl-Benzene)、間、對-二甲苯(m, p-Xylene)及鄰-二甲苯(o-Xylene)之參考濃度(RfC)分別為 $0.4\text{mg}/\text{m}^3$ 、 $1\text{mg}/\text{m}^3$ 、 $0.1\text{g}/\text{m}^3$ 、 $0.1\text{mg}/\text{m}^3$ ，相關資料詳表 4-5 所示。並假設每日有 80% 的時間暴露在此濃度下，代入公式(3-3)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 4-7 所示。

非致癌性風險之判斷基準，當危害商數小於 1 ($\text{HQ} < 1$)，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 4-7 計算結果可知，在室內空間（長 3m、寬 3m，高度 2.5m），建材負荷率為 0.4（室內空間採用 9m^2 之裝修材料）之情況下，健康綠建材標章之各類揮發性有機化合物之危害商數皆小於 1 ($\text{HQ} < 1$)，詳圖 4-6 之分布圖，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。

表 4-7 模擬室內空間使用健康綠建材標章裝修材料之健康風險評估(非致癌風險)

材料類別	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	8.17E-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	4.43E-03	7.77E-02	3.69E-02
石膏板	5.09E-02	6.99E-03	1.25E-01	5.41E-02
矽酸鈣板	7.35E-02	6.39E-03	1.13E-01	6.85E-02
纖維水泥板	3.65E-02	6.09E-03	8.72E-02	5.16E-02
合板	6.48E-02	1.60E-03	1.60E-02	2.40E-02
化粧粒片板	3.39E-02	5.16E-03	6.88E-02	2.89E-02
礦纖天花板	9.77E-02	4.94E-03	1.20E-01	4.80E-02
複合木地板	5.12E-02	6.77E-03	1.41E-01	6.82E-02
其他接著劑	4.25E-02	5.07E-03	1.06E-01	3.70E-02

備註：室內空間為 22.5m³(長 3m、寬 3m、高 2.5m)，材料負荷率為 0.4(室內空間採用 9m²之裝修材料)之情況。

(資料來源：本研究整理)

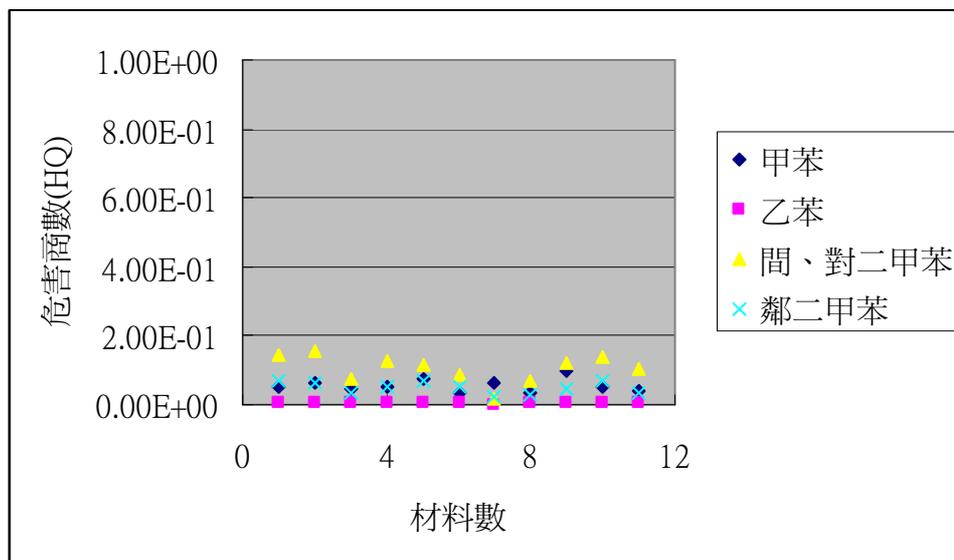


圖 4-6 11 類健康綠建材標章材料之揮發性有機化合物之危害商數分布圖

(資料來源：本研究整理)

各類材料之個別 VOCs 之危害商數，以間、對-二甲苯為例，水性水泥漆、水性水泥漆(乳膠漆)、石膏板、矽酸鈣板、礦纖天花板、複合木地板及其他接著劑等之危害商數較高；對人體的健康危害程度較其他塗料、纖維水泥板、合板、化粧粒片板等為高，但因危害商數皆小於 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，揮發性有機化合物濃度值已相當的低，推估至實際空間濃度值更低，因此，暴露於揮發性有機化合物之危害商數小於 1，代表各類材料之甲苯、乙苯、間、對-二甲苯及鄰-二甲苯等，對人體的健康危害程度是輕微的。

第五節 小節

1. 本研究統計 96-97 年通過健康綠建材標章評定之材料顯示，各類材料甲醛逸散速率平均值($0.0017 \text{ mg/m}^2\text{hr}$)遠低於評定基準 $0.01 \text{ mg/m}^2\text{hr}$ ，TVOC 逸散速率(平均 $0.0686 \text{ mg/m}^2\text{hr}$)亦低於健康綠建材評定基準 $0.19 \text{ mg/m}^2\text{hr}$ ，顯示健康綠建材標章之各類產品性能相當優越。各類材料之甲醛逸散速率，以水性水泥漆類最高，合板類次之，矽酸鈣板、纖維水泥板、化粧粒片板及礦纖天花板等，則未檢出。各類材料之 TVOC 逸散速率，以礦纖天花板(平均 $0.095 \text{ mg/m}^2\text{hr}$)最高。
2. 本研究建立之建築材料室內健康風險評估方法，係整合健康風險評估、室內空氣品質模式及建材有機化合物逸散速率檢測資料，為一整合型評估架構及方法，並應用於模擬特定室內空間採用健康綠建材標章材料之健康效益及影響。
3. 健康綠建材標章之揮發性有機化合物中，依據國際癌瘤研究署(IARC)之致癌性分類，甲醛及苯具致癌性，屬 Group 1 之人類致癌物，可以致癌風險(CR)評估。甲苯、乙苯、鄰-二甲苯、間-二甲苯及對-二甲苯等，屬 Group 3，無適當證據其與致癌相關，可以危害商數危害商數(HQ)值評估。
4. 健康綠建材標章之材料健康效益，在特定室內空間(長 3m、寬 3m、高 2.5m)，裝修建材負荷率為 0.4(室內空間採用 9m^2 之裝修材料)之情況下，甲醛及苯之終生致癌風險評估，在各類健康綠建材標章中，矽酸鈣板、纖維水泥板、化粧粒片板、礦纖天花板等板材，因未檢出甲醛及苯，其終生致癌風險為零最佳。水性水泥漆(乳膠漆)之甲醛終生致癌風險($\text{CR} = 5.73\text{E}-07$)及苯之終生致癌風險($\text{CR} = 6.79\text{E}-07$)皆低於百萬分之一(10^{-6})為可接受風險。至於健康綠

建材標章之各類揮發性有機化合物之非致癌風險，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($HQ < 1$)，個別VOCs之危害商數，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。

第五章 結論與建議

第一節 結論

我國位處高溫高濕之環亞熱帶氣候區域，人口密度高，相較於其他國家，我國室內環境的健康議題，更顯重要與迫切。我國自 93 年起推動綠建築標章制度，通過健康綠建材標章評定之材料快速成長，實有必要瞭解其材料健康效益。本研究爰進行綠建築標章之材料健康效益分析，重要結論如下：

一、96-97 年通過健康綠建材標章評定之材料，以塗料類佔最多，板材類其次，各類材料之甲醛及 TVOC 逸散速率均遠低於評定基準。

統計 96-97 年通過健康綠建材標章評定之材料顯示，其組成以塗料類佔最多，其中水性水泥漆 20 件、水性水泥漆(乳膠漆) 18 件、其他塗料 11 件；其次為板材類，矽酸鈣板 9 件、複合木地板 7 件、石膏板 6 件。各類材料甲醛逸散速率平均值($0.0017 \text{ mg/m}^2\text{hr}$)遠低於評定基準 $0.01 \text{ mg/m}^2\text{hr}$ ，TVOC 逸散速率(平均 $0.0686 \text{ mg/m}^2\text{hr}$)亦低於健康綠建材評定基準 $0.19 \text{ mg/m}^2\text{hr}$ ，顯示健康綠建材標章之各類產品性能相當優越。各類材料之甲醛逸散速率，以水性水泥漆類最高，合板類次之，矽酸鈣板、纖維水泥板、化粧粒片板及礦纖天花板等，則未檢出。各類材料之 TVOC 逸散速率，以礦纖天花板(平均 $0.095 \text{ mg/m}^2\text{hr}$)最高。

二、健康綠建材標章評定之揮發性有機化合物之危害性鑑定，甲醛及苯具致癌性，甲苯、乙苯、鄰-二甲苯、間-二甲苯及對-二甲苯等屬無適當證據其與致癌相關。

健康綠建材標章之揮發性有機化合物中，依據國際癌瘤研究署(IARC)之致癌性分類，甲醛及苯具致癌性，屬 Group 1 之人類致癌物，可以致癌風險(CR)評估。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 $1.3 \times 10^{-5} (\mu\text{g}/\text{Nm}^3)^{-1}$ ，苯之

單位風險為 $2.9 \times 10^{-5} (\mu\text{g}/\text{Nm}^3)^{-1}$ 。且苯之單位風險值比甲醛還高。甲苯、乙苯、鄰-二甲苯、間-二甲苯及對-二甲苯等，屬Group 3，無適當證據其與致癌相關，可以危害商數危害商數(HQ)值評估。其劑量效應，依據美國環保署整合風險資訊資料庫(IRIS)，甲苯、乙苯、間、對-二甲苯及鄰-二甲苯之參考濃度(RfC)分別為 $0.4\text{mg}/\text{m}^3$ 、 $1\text{mg}/\text{m}^3$ 、 $0.1\text{g}/\text{m}^3$ 、 $0.1\text{mg}/\text{m}^3$ 。

三、室內空氣品質與裝修材料使用量息息相關，模擬在特定室內空間（長3m、寬3m、高2.5m）及裝修負荷率(0.4)下，結果顯示，甲醛及苯之終生致癌風險（CR）尚在可接受範圍，甲苯、乙苯、間、對-二甲苯及鄰-二甲苯等之危害商數(HQ)皆小於1，對人體健康無顯著之負面影響。

健康綠建材標章之材料健康效益，在特定室內空間（長3m、寬3m、高2.5m），材料負荷率為0.4(室內空間採用 9m^2 之裝修材料)之情況下，甲醛及苯之終生致癌風險評估，在各類健康綠建材標章中，矽酸鈣板、纖維水泥板、化粧粒片板、礦纖天花板等板材，因未檢出甲醛及苯，其終生致癌風險為零最佳。水性水泥漆(乳膠漆)之甲醛終生致癌風險(CR = $5.73\text{E}-07$)及苯之終生致癌風險(CR = $6.79\text{E}-07$)皆低於百萬分之一(10^{-6})為可接受風險。至於健康綠建材標章之各類揮發性有機化合物之非致癌風險，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(HQ<1)，個別VOCs之危害商數，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。

第二節 建議

根據本研究之文獻調查及實驗結果，提出下列具體建議，以下分別從立即可行的建議、及中長期建議加以列舉：

建議一

建議健康綠建材標章增列健康風險評估，以瞭解綠建材標章之健康效益：立即可行建議

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：

健康綠建材標章受理申請以來，廣泛受到業界及消費者的高度重視，截至 98 年 9 月，已核發 245 件綠建材標章，雖然綠建材標章有 4 分類，但廠商申請以健康綠建材為主(約占 77%)，顯見民眾對健康議題特別重視，致使廠商皆偏好申請健康綠建材。惟目前健康綠建材僅針對甲醛及 TVOC 進行評定，有關綠建材標章之健康效益評估，2007 年版之「綠建材解說與評估手冊」尚未有明確之計算方式，因此，亟需增列健康風險評估，俾健全綠建材標章制度。

建議二

經濟部草制之室內空氣品質測定國家標準公布後，健康綠建材標章之總揮發性有機化合物之範圍應配合修正：中長期建議

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：

目前健康綠建材針對甲醛及 TVOC 進行評定，然而我國健康綠建材之 TVOC 逸散率檢測，其評估指標性污染物僅檢測苯、甲苯、乙苯、間二甲苯、對二甲苯、鄰二甲苯。惟根據國際標準組織 2006 年發行之 ISO 16000-9 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，總揮發有機化合物(Total volatile organic compound, 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。經濟部標準檢驗局刻正依室內空氣品質管理法草案，參考ISO 16000系列室內空氣品質測定國際標準，編擬相對應CNS草-制0980383等8種「室內空氣品質測定」國家標準草案。由於健康綠建材標章TVOC逸散速率之指標性污染物較ISO16000-9標準之定義少，建議待CNS標準公布後，健康綠建材標章之總揮發性有機化合物之範圍應配合修正。

附錄一、期初審查及回應

內政部建築研究所 98 年度第 8 次研究業務協調會議紀錄

一、時間：98 年 5 月 19 日（星期二）下午 2 時正

二、地點：本所簡報室

三、主持人：何所長明錦 記錄：羅時麒

四、出席人員：如簽到單

五、確認第 7 次研究業務協調會議紀錄：洽悉，紀錄確定。

六、研究計畫期初簡報：略。

七、綜合討論與建議事項：

...

（六）「綠建材標章之材料健康效益分析研究」案：

1. 原「室內通風及建材調濕技術之研究」案，因業務需要，課題名稱調整為「綠建材標章之材料健康效益分析研究」。
2. 本案之材料健康風險分析採數值模擬方法，建議需考量材料逸散化學物質之衰減效應，未來亦需考量進行實驗驗證之可能性。
3. 本案進行之室內空間健康風險分析，建議需考量通風狀態及溫溼度等參數。

八、會議結論：

（一）請綜合組開始著手規劃委、協辦案之期中簡報事宜，各計畫並依照合約控管進度。

（二）自辦案於修正、確定題目方向後積極辦理，並注意進度掌握。

九、散會：下午 4 時。

審查意見回應

	審查意見	回應情形
一	本案之材料健康風險分析採數值模擬方法，建議需考量材料逸散化學物質之衰減效應，未來亦需考量進行實驗驗證之可能性。	遵示辦理。
二	本案進行之室內空間健康風險分析，建議需考量通風狀態及溫溼度等參數。	遵示辦理。

附錄二、期中審查及回應

本所 98 年度「地下建築物綠建築規劃設計要項之檢討研究—以台北市公園地下停車場為例」、「綠建材標章之材料健康效益分析研究」暨「綠建築科技研究整體績效之評析」等 3 案自辦研究計畫期中審查會議紀錄

一、開會時間：98 年 7 月 30 日上午 9 時 30 分

二、開會地點：本所簡報室

三、主持人：鄭組長元良

記錄：羅時麒等

四、出席人員：詳簽到單

五、主席致詞：略。

六、承辦單位報告：略。

七、研究計畫簡報：略。

八、出（列）席人員發言要點：

...

（二）「綠建材標章之材料健康效益分析研究」案

台灣省建築材料商業同業公會聯合會：

劉經理制軍：

1. 綠建材標章是否考量以指標性為評分審查，例如：再利用比例、毒物成份含量、揮發性、功能性等；強度規範以 CNS 為主。
2. 綠建材規定，由室內樓地板面積換算，建議考量於室外(建築外、工程)使用之規定。

王總幹事榮吉：

1. 本研究案如能就室內空氣品質與健康綠建材標章之逸散作相對之效益評估，對綠建材推廣使用將更有助益。
2. 建議請乳膠漆、石膏板、合板等取得綠建材標章之廠商，提供低逸散材料使用於住家、辦公室、公共場所等不同室內環境影響比較對照。
3. 依個人淺見，取名「健康」仍是各建材廠商申請綠建材標章之主要原因之一。

台灣綠建材產業發展協會（楊理事長捷凱）：

1. 本研究相當用心，但廠商提出綠建材標章申請者顯然不

高，建議對民眾廣作宣傳及說明使用綠建材的好處，由消費者去要求廠商。

- 2.我不反對嚴格審查，因這是為國民健康把關，但需要政府儘速公佈100%實施綠建材限期，以便廠商及投資人規劃生廠計劃，鼓勵廠商發展綠建材產業。

江教授哲銘(段教授葉芳代)：

- 1.相關之健康效益分析數據結果較少，無法有效量化各項風險，在用作規劃未來研究方向或政策方向，較難有可依賴的可信度。故本案效益之質化充分但量化結果呈現較少，請補充說明。
- 2.圖表請在文章中標示，以引導讀者閱讀。

林簡任技正之瑛：

- 1.本研究案相當有意義，同意材料健康方面之管制，增加室內材料相關填縫劑之管制；研究成果宜納入「綠建材解說與評估手冊」修正案辦理。
- 2.鑒於材料健康宜以綠色材料為範圍，建請考量納入照明燈具、中央空調系統風管及保溫斷熱材料相關健康效益、危害性、暴露評估與劑量等應注意事項。

蕭教授江碧：

- 1.綠建材使用在室內者均應為健康(低逸散)綠建材，室外則可不規定。
- 2.健康風險評估，苯的量高，若超過標準，則建議修訂我國健康綠建材標準。

梁漢溪教授(書面意見)：

- 1.倘能模擬居家裝修所用材料對健康風險分析之結果，則貢獻度極大。
- 2.初步模式之建立，建議變因少些，爾後再逐步增加，以利個別變因影響之掌控。

計畫主持人回應：

- 1.有關增加量化數據、補充綠色材料之健康資料等相關建議，將納入研究參考。
- 2.有關綠建材標章是否區分於室內或戶外使用，後續將進一步探討。

九、會議結論：

- (一) 與會專家學者及出席代表意見請參採，於期末報告回應，如期如質完成研究計畫。
- (二) 本次會議 3 案期中報告，經審查結果原則通過，請依規定辦理經費核銷及管控研究進度。

十、散會(11 時 45 分正)

期中審查意見回應

	審 查 意 見	回 應 情 形
一	<ol style="list-style-type: none"> 1. 綠建材標章是否考量以指標性為評分審查，例如：再利用比例、毒物成份含量、揮發性、功能性等；強度規範以 CNS 為主。 2. 綠建材規定，由室內樓地板面積換算，建議考量於室外(建築外、工程)使用之規定。 	參考辦理。
二	<ol style="list-style-type: none"> 1. 本研究案如能就室內空氣品質與健康綠建材標章之逸散作相對之效益評估，對綠建材推廣使用將更有助益。 2. 建議請乳膠漆、石膏板、合板等取得綠建材標章之廠商，提供低逸散材料使用於住家、辦公室、公共場所等不同室內環境影響比較對照。 3. 依個人淺見，取名「健康」仍是各建材廠商申請綠建材標章之主要原因之一。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 已進行健康綠建材標章之逸散速率分析、推估室內空間之濃度及健康風險。 2. 及 3. 略。
三	<ol style="list-style-type: none"> 1. 本研究相當用心，但廠商提出綠建材標章申請者顯然不高，建議對民眾廣作宣傳及說明使用綠建材的好處，由消費者去要求廠商。 2. 我不反對嚴格審查，因這是為國民健康把關，但需要政府儘速公佈 100% 實施綠建材限期，以便廠商及投資人規劃生廠計劃，鼓勵廠商發展綠建材產業。 	感謝委員對本研究支持。

四	<p>1. 相關之健康效益分析數據結果較少，無法有效量化各項風險，在用作規劃未來研究方向或政策方向，較難有可依賴的可信度。故本案效益之質化充分但量化結果呈現較少，請補充說明。</p> <p>2. 圖表請在文章中標示，以引導讀者閱讀。</p>	<p>1. 業於期末報告中加強各項健康風險數據之分析及模擬。</p> <p>2. 請已在內文中標示圖表號碼</p>
五	<p>1. 本研究案相當有意義，同意材料健康方面之管制，增加室內材料相關填縫劑之管制；研究成果宜納入「綠建材解說與評估手冊」修正案辦理。</p> <p>2. 鑒於材料健康宜以綠色材料為範圍，建請考量納入照明燈具、中央空調系統風管及保溫斷熱材料相關健康效益、危害性、暴露評估與劑量等應注意事項。</p>	<p>1. 業於第五章提出增列風險評估之建議。</p> <p>2. 略。</p>
六	<p>1. 綠建材使用在室內者均應為健康(低逸散)綠建材，室外則可不規定。</p> <p>2. 健康風險評估，苯的量高，若超過標準，則建議修訂我國健康綠建材標準。</p>	<p>1. 同意。</p> <p>2. 經確認數據後，苯的健康風險值尚在可接受範圍。</p>
七	<p>1. 倘能模擬居家裝修所用材料對健康風險分析之結果，則貢獻度極大。</p> <p>2. 初步模式之建立，建議變因少些，爾後再逐步增加，以利個別變因影響之掌控。</p>	<p>1. 模擬結果詳第四章。</p> <p>2. 參考辦理。</p>

參考書目

壹、中文部分

內政部建築研究所，《綠建材解說與評估手冊》，pp.33-38，2007。

內政部營建署，第 17 章綠建築基準，《建築技術規則》，2009。

<http://www.cpami.gov.tw/lawdata/>

江哲銘、邵文政、陳逸青、陳振誠，建材揮發性有機逸散物質行為預測模式之研究，《建築學報》，第 58 期，pp.41-61，2006。

江哲銘，《辦公建築室內空氣品質與空調設備之診斷研究》，內政部建築研究所研究報告，2000。

江哲銘、李俊璋，《健康綠建材性能實驗研究》，內政部建築研究所，2006。

行政院消費者保護委員會，室內空氣品質 必要時將研訂專法，《消費新生活運動電子報》，第 39 期，2006。

林霧霆，《常見天花板建材之揮發性有機物逸散研究》，內政部建築研究所，2005。

馬鴻文，《健康風險管理資料》，國立臺灣大學環境工程研究所，2008。

財團法人成大研究發展基金會，《建築物通風性能與室內空氣品質管制法令增修訂研究案期中報告》，內政部營建署研究報告，2007。

張怡怡、莊朝欽、蔣本基、李易書、康世芳，飲用水中新興污染物之健康風險評估，《自來水會刊》，第 28 卷，第 3 期，2009。

經濟部標準檢驗局，《CNS4940 水性水泥漆》，1987。

經濟部標準檢驗局，《CNS11342 複合木地板》，2006。

經濟部標準檢驗局，《CNS2215 粒片板》，2006。

經濟部標準檢驗局，《CNS13777 纖維強化水泥板》，2008。

羅時麒、陳伯勳，生命週期方法應用於室內環境政策之優先度評估，室《建築學報》，第 64 期增刊（技術專刊），pp. 91~107，2008。

羅時麒、姚志廷，室內裝修材料對辦公室建築空氣品質相關性之研究-

以甲醛及 TVOC 為例，內政部建築研究所自行研究報告，2007。

貳、英文部分

- Azuma, K., I. Uchiyama, and K. Ikeda (2007) The Risk Screening for Indoor Air Pollution Chemicals in Japan, *Risk Analysis*, Vol. 2, No. 6 1623-1638.
- Cheong, K.W. and K.Y. Chong (2001) Development and Application of an indoor air quality audit to an air-conditioned building in Singapore, *Building and Environment*, Vol. 36, 181-188.
- Cheong, K.W.D. and H.Y.T. Lau (2003) Development and application of an indoor air quality audit to an air-conditioned tertiary institutional building in Singapore, *Building and Environment*, Vol. 38, 605-616.
- Guo, H., F. Murray and S.C. Lee (2003) The development of low volatile organic compound emission house-a case study, *Building and Environment*, Vol. 38, 1413-1422.
- ISO/FDIS 31000 (2009) Risk management -- Principles and guidelines General information.
- ISO 16000- 2 (2004) Indoor air -- Part 2: Sampling strategy for formaldehyde.
- ISO 16000- 3 (2001) Indoor air -- Part 3: Determination of formaldehyde and other carbonyl compounds -- Active sampling method.
- ISO 16000- 5 (2007) Indoor air -- Part 5: Sampling strategy for volatile organic compounds (VOCs).
- 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.
- ISO 16000- 11 (2006) Indoor air -- Part 11: Determination of the emission of volatile organic compounds from building products and furnishing --

- Sampling, storage of samples and preparation of test specimens.
- ISO16814 (2008) Building environment design - Indoor air quality -
Methods of expressing the quality of indoor air for human occupancy.
- ISO/ FDIS 31000 (2009) Risk management -- Principles and guidelines.
- Ofungwu, J (2005) Indoor Air Quality Investigation and Health Risk
Assessment at Correctional Institutions, *Integrated Environmental
Assessment and management*, Vol. 1, No. 2, 135-141.
- Osawa, H. and M. Hayashi (2009) Status of the indoor air chemical
pollution in Japanese houses based on the nationwide field survey from
2000 to 2005, *Building and Environment*, 44, 1330–1336.
- World Health Organization (2000) Guidelines for Air Quality, Geneva:
WHO.