

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

以生物毒性試驗法檢測鋪面再生材料之環境相容性研究 研究成果報告(精簡版)

計畫類別：個別型
計畫編號：NSC 95-2221-E-216-047-
執行期間：95年08月01日至96年07月31日
執行單位：中華大學土木與工程資訊學系

計畫主持人：邱垂德

計畫參與人員：碩士班研究生-兼任助理：薛毓瀚、余俊奇

報告附件：出席國際會議研究心得報告及發表論文

處理方式：本計畫可公開查詢

中華民國 96 年 10 月 30 日

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

以生物毒性試驗法檢測鋪面再生材料之環境相容性研究

Application of Aquatic Toxicity Tests for the Environmental Properties of Asphalt Mix Containing Waste and By-Product Materials

計畫編號：NSC95-2221-E-216-047

執行期限：95年8月1日至96年7月31日

主持人：邱垂德 中華大學土木與工程資訊學系

電子郵件信箱(E-mail)位址：ctc@chu.edu.tw

一、中文摘要

相關研究顯示，廢玻璃砂、廢輪胎橡膠粉及垃圾焚化底渣等再生鋪面材料應用於瀝青混凝土，其物理性質及工程性質可符合規範需求；但在環境性質之相關研究報告較少，且大都著重於重金屬與個別化學成分的評估，不易考量整體性的環境危害。本研究應用代表檢測整體性環境危害的生物毒性試驗法，以整體毒性來評估再生鋪面材料之環境性質。由於環境生態的可能衝擊是鋪面再生材料無法擴展使用的主要原因，本研究嘗試以水蚤及藻類兩種生物毒性試驗來評估包括廢輪胎橡膠瀝青、廢玻璃瀝青、及含垃圾底渣瀝青混凝土的環境性質；方法上乃將含這些再生材料的瀝青混凝土，以批次及平板兩種溶出試驗取得溶出水樣，再對這些溶出水樣進行兩種生物毒性試驗，配合同時進行的原子光譜求得的重金屬濃度，本研究嘗試提出以生物毒性試驗判定鋪面再生材料的環境性質。

關鍵詞：溶出試驗、生物毒性、垃圾底渣、廢輪胎、廢玻璃

Abstract

In order to conserve natural resources and to reduce solid wastes, significant amounts of recycled materials are proposed to be used in the components of asphalt mixtures for highway pavements. Most of the previous

researches were focused on the engineering properties of the alternative mixes; a few studies were done on the environmental properties, dealing mainly with the metal concentrations of leachates obtained from the asphalt mix containing the recycled materials. Since the scarcity of information on human or ecological impacts is the major barrier to recycling, this study evaluates the ecosystem risk by assessing the potential impacts of leachates to flora and fauna, usually present in the immediate environment of the action. The aquatic toxicity tests on the organisms, both daphnia and algae, were performed on the leachates of several alternative asphalt mixes including asphalt rubber, glassphalt, and MSW incinerator bottom ash. Coping with selected metal concentrations obtained by Atom Absorption analysis on the leachates, this particular study tried to link individual metal content of leachates to damaging ecological effects. Results obtained could be used in an attempt to propose the toxicity criteria for those recycled materials..

Keywords: leaching test, toxicity test, incinerator bottom ash, waste tire, waste glass

二、緣由與目的

自聯合國在1987年第42屆大會上提出「永續發展(Sustainable Development)」

的理念後，各先進國家莫不致力於將廢棄物進行資源化處理，除了持續以往環保團體主張的減量(Reduction)和重複使用(Reuse)外，並積極地構築循環利用(Recycling)和回收利用(Recovery)體系，以此所謂的「4R 觀念」來努力促成永續發展的目標。公路工程使用材料數量龐大且品質要求的妥協性較一般工程材料高，故常被考慮要求協同解決工程與工業廢棄物的問題。行政院公共工程委員會(簡稱工程會)為徹底解決國內營建資源不足的問題，即於 1996 年起，積極進行燃煤飛灰及路面刨除料再利用於公共工程之實務性研究，緊接著在 921 大地震後，工程會委託財團法人台灣營建研究院進行「營建資源利用於公共工程之研究」，並於 2002 年陸續完成對舊混凝土、廢玻璃、及廢輪胎等營建資源於公共工程上的試用。2003 年起則有環保署委辦的垃圾焚化底渣再利用案。

以往路面材料講究強度及耐久性，故需選擇適當的材料加工生產，以符合路面績效需求，未來許多公路路段可能因更替頻繁而必須以生產時耗能少、施工過程較少包括噪音在內的環境污染、及可以回收再用為目標，故依不同的需求，各式材料皆有作為路面材料的可能。在這樣的前題下，工程人員除了將料源分類並應用在不同的用途外，在國外文獻與實務經驗上受到較多耐久性限制的再生材料，例如路面刨除料、廢混凝土塊、鋼爐石、廢玻璃、垃圾焚化底渣、建物拆除廢料、及其它工業副產物，只要能符合工程性質與環境特性需求，未來都有作為路面材料的可能。用在公路鋪面上的材料，經由長時間的風吹日曬雨淋，極有可能滲流出其中的化學物質，傳佈至週遭的土體造成污染，又或隨水注入形成地下水污染，尤其是使用前述各種工業副產物時，有別於傳統材料的化學成份或重金屬等毒性物質，有可能使生態系受損而失去資源再利用的意義。

評估鋪面再生材料之環境相容性的方法，除了以真實的環境長期蒐集可能污染物的流佈狀況外，尚可以試驗室內之溶出試驗(Leaching Tests)或戶外的溶出試驗進

行模擬；至於檢測毒性(Toxicity)的方法，則除了以原子吸收光普儀檢測污染物的濃度外，亦可採用生物毒性試驗法進行。尤其是面對來源複雜的鋪面再生材料，在未知或不確定可能污染物時，生物毒性試驗法可能是初步毒性測試的最簡易方法。申請人即基於以往對包括再生瀝青、廢輪胎瀝青、廢玻璃瀝青、底渣瀝青...等鋪面再生材料之工程性質與環境性質研究基礎，嚐試在國內建立這些材料的生物毒性試驗法流程及檢測結果資料庫，以提供未來研究及應用的重要參考。

本研究分為五個階段進行，第一階段進行材料的準備，包括基本物性(篩分析、比重、吸水率等)、再生鋪面材料的 pH 值與毒性特性溶出程序(Toxicity characteristic leaching procedure, 以下簡稱 TCLP), 第二階段進行拌製再生鋪面材料瀝青混凝土與藻類及水蚤的培養，第三階段進行生物毒性供試生物之參考毒物敏感測試，第四階段將本研究所使用的再生鋪面材料與再生材料拌製而成的瀝青混凝土進行 24 小時批次溶出試驗，第五階段將所得溶出液分別進行化學分析及生物毒性試驗。試驗流程如圖 1。

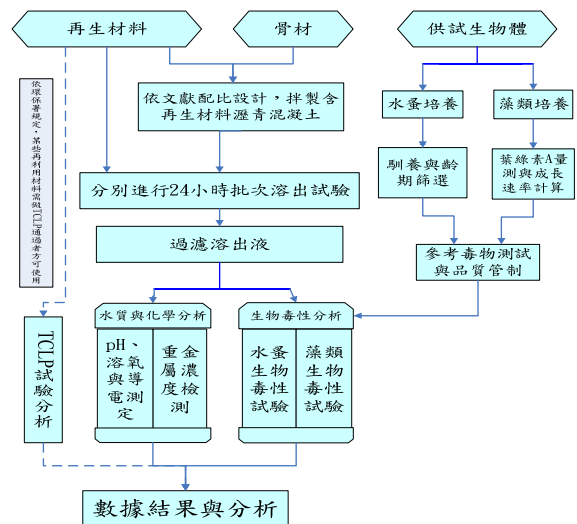


圖 1、本研究進行的流程圖

本研究採用單因子變異數分析來檢定不同材料對觀測值是否有顯著的差異，統計數學模型為：

$$y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$$

其中

y_{ij} 為第 i 種材料中第 j 個重複試驗的觀測值。

τ_i 為第 i 種材料的影響， $i=1\sim 8$ ，分別代表垃圾焚化底渣、廢玻璃砂、廢輪胎橡膠粉、一般瀝青混凝土、添加 25% 焚化底渣瀝青混凝土、添加 50% 焚化底渣瀝青混凝土、廢玻璃砂瀝青混凝土、廢輪胎橡膠瀝青混凝土共 8 種受測材料。

j 為重複試驗的影響， $j=1\sim 3$ 。

ε_{ij} 為隨機誤差。

三、結果與討論

表 1 為本研究探討的八種材料的 24 小時批次溶出液的各项試驗數據，由表 1 可知大部材料溶出液的 pH 值與導電度，趨勢都是隨著材料含量增加而上升，只有廢輪胎橡膠粉 pH 相反，隨著材料的增加而下降，因為廢輪胎橡膠粉是屬於酸性材料。溶氧量皆維持在不影響水生生物生存的高溶氧量狀態，推判可能因為本研究使用批次溶出試驗的關係，在 24hr 用最大溶出的方式劇烈搖晃，導致各材料皆為高溶氧狀態。生物毒性方面，水蚤與藻類生物毒性試驗皆可看出瀝青材料具有包覆總量毒性作用。若將所有溶出液的 LC_{50} 與 EC_{50} 值進行相關性分析，所得的相關係數值為 +0.657，呈正相關但相關性不高，可解讀為本研究所使用的兩種供試生物對污染物的敏感度不同。

八種材料 24 小時批次溶出液的水蚤毒性 LC_{50} 值，用單因子變異數分析得到的變異數分析表如表 2 所示，由表 2 可知廢玻璃砂屬於較低毒性，25% 焚化底渣瀝青混凝土毒性介於中間，50% 焚化底渣瀝青混凝土、焚化底渣、廢輪胎橡膠粉三種材料毒性無明顯差異，皆屬於極毒性；藻類毒性的 EC_{50} 值，用單因子變異數分析得到的變異數分析表如表 3 所示，由表 3 可知廢玻璃砂與 25% 焚化底渣瀝青混凝土為同屬

較低毒性，而 25% 焚化底渣瀝青混凝土與 50% 焚化底渣瀝青混凝土為中、高毒性，廢輪胎橡膠粉與焚化底渣同屬極毒性。

表 2 八種材料 24 小時批次溶出液的水蚤毒性 LC_{50} 值變異數分析表

LC ₅₀ ANOVA						
變源	SS	自由度	MS	F	P-值	臨界值
組間	10801.97	4	2700.492	1868.594	3.99E-13	3.633089
組內	13.0068	9	1.4452			
總和	10814.97	13				
Duncan 檢定						
	個數	子集				
料別		1	2	3		
廢輪胎橡膠粉	3	0.806667				
焚化底渣	3	1.1				
50%焚化底渣瀝青混凝土	3	2.113333				
25%焚化底渣瀝青混凝土	3		6.206667			
廢玻璃砂	2			81.73		
顯著性		0.255495	1	1		

表 3 八種材料 24 小時批次溶出液的藻類毒性 EC_{50} 值變異數分析表

EC ₅₀ ANOVA						
變源	SS	自由度	MS	F	P-值	臨界值
組間	13869.4	4	3467.35	19.2975	0.000193	3.633089
組內	1617.109	9	179.6787			
總和	15486.51	13				
Duncan 檢定						
	個數	子集				
料別		1	2	3		
廢輪胎橡膠粉	3	3.786667				
焚化底渣	3	7.096667				
50%焚化底渣瀝青混凝土	3		44.80667			
25%焚化底渣瀝青混凝土	3		65.33667	65.33667		
廢玻璃砂	2			88.58		
顯著性		0.779606	0.107326	0.073541		

一般判定毒性會採用 EC_{50} 或 LC_{50} 的倒數值，而稱之為毒性單位 (Toxicity Unit, TU 值)，TU 值愈大代表毒性愈高；將八種材料的 24 小時特批次溶出水溶液以藻類毒性及水蚤毒性測得的 TU 值做為分析的參數，得圖 2 及圖 3。

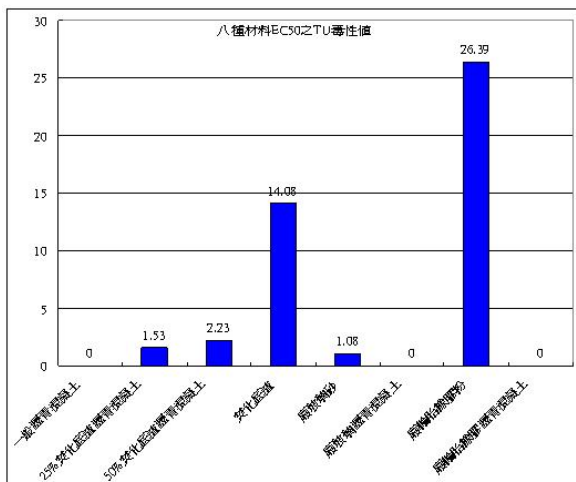


圖 2 本研究探討之八種材料 24 小時批次溶出液的水蚤生物毒性單位值比較

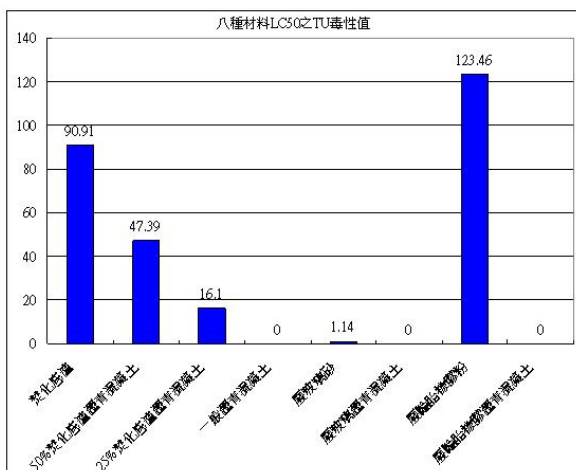


圖 3 本研究探討之八種材料 24 小時批次溶出液的藻類生物毒性單位值比較

本研究探討應用生物毒性試驗法檢測再生鋪面材料環境性質之研究，選用具有毒性測試代表性的藻類與水蚤；將焚化底渣、廢輪胎橡膠粉、廢玻璃砂與鋪面材料拌製成瀝青混凝土，進行 24 小時批次溶出試驗，所得溶出液以生物毒性試驗測試，並搭配水質測試與重金屬濃度檢測分析，作為再生材料欲再利用的初步評估。經由實驗室的試驗數據與觀察分析結果，提出以下結論。

1、本研究藻類生物毒性採用本地品系的小球藻，所測得對數成長期約為 72 小時，因此不適用於美國 NCHRP 與 U.S.EPA.所規定的 96 小時慢毒性試驗。本研究採用環檢所公告之規範「藻

類靜水式法」，試驗時間為 24 小時毒性試驗，屬於急毒性試驗。試驗時間小於所培養之藻類對數成長期，較容易控制藻種的健康程度與生長期，以期試驗所造成誤差更小。

- 以溶出液之銅濃度進行八種材料之單因子變異數分析，再經由 Duncan 多重範圍檢定顯示，焚化底渣溶出液之含銅量明顯高於其他材料溶出液。焚化底渣以相關文獻指出之應用方式和配比拌製瀝青混凝土，經瀝青材料包裹後含銅量有明顯降低。
- 以溶出液之含鉛量與含鎘量進行統計分析之結果，則顯示玻璃砂溶出液之鉛與鎘濃度是明顯高於其他材料之溶出液。廢玻璃砂以相關文獻指出之應用方式和配比拌製成瀝青混凝土，經瀝青材料包裹後含鉛量與含鎘量有明顯降低。
- 以溶出液之含鋅與量含錳量進行統計分析之結果，則顯示廢輪胎橡膠粉之鋅與錳濃度明顯高於其他材料之溶出液。廢輪胎橡膠粉以相關文獻指出之應用方式和配比拌製瀝青混凝土，經瀝青材料包裹後含鋅與錳濃度有明顯降低。
- 一般瀝青混凝土、廢輪胎橡膠瀝青混凝土與廢玻璃砂瀝青混凝土等三種材料因生物毒性判定 NTE，因此以有毒性之五種材料進行統計分析。五種材料以溶出液之 48 小時水蚤毒性 LC₅₀ 值進行統計分析之結果顯示，焚化底渣、廢輪胎橡膠粉及 50% 焚化底渣瀝青混凝土等三種材料之毒性最高，25% 焚化底渣瀝青混凝土的毒性則稍低於前三種材料，此四種材料之溶出液皆屬極毒性，而廢玻璃砂溶出液則屬於低毒性。
- 以五種材料溶出液之 24 小時藻類毒性 EC₅₀ 值進行統計分析之結果，顯示焚化底渣與廢輪胎橡膠粉皆屬極毒性，50% 與 25% 焚化底渣瀝青混凝土則屬高、中毒性，25% 焚化底渣瀝青混凝土與廢玻璃砂則為中、低毒性。

7、綜合比較下，焚化底渣與廢輪胎橡膠粉本身均為極毒性，廢玻璃砂則為低毒性。由數據顯示再生材料以相關文獻指出之應用方式和配比，重金屬濃度與生物毒性皆有降低；經由統計分析結果焚化底渣經瀝青材料包裹後含銅量有明顯降低，廢玻璃砂經瀝青材料包裹後含鉛與鎘濃度有明顯降低，廢輪胎橡膠粉經瀝青材料包裹後可看出含錳與鋅濃度有明顯降低。可能因為拌製過程稀釋了原料濃度和充分與瀝青材料的拌和，造成重金屬濃度與毒性值的下降，可證明瀝青材料是具有包覆整體毒性效果。但是對焚化底渣的整體毒性只能有效減緩不能完全包覆住，對於焚化底渣要再利用鋪面，環境性質方面可能需要更深入探討。

四、計畫成果自評

本研究之執行，提供中華大學土木工程學系兩位碩士班研究生進行論文研究，並順利完成(薛毓瀚，含垃圾焚化底渣瀝青混凝土生物毒性之研究，及余俊奇，應用生物毒性試驗法檢測再生鋪面材料環境性質之研究)；部份研究成果也發表在國內2007第十四屆鋪面工程學行研討會，及2007第二十一屆廢棄物處理技術研討會，供國內工程及環保相關單位參考。本研究之部份成果經整理成兩篇論文，發表於國際期刊 *Resources, Conservation and Recycling*，並獲同意發表，如參考文獻 7 又 8 所列，已達到申請人原欲達到的目的。

五、參考文獻

- [1] National Research Council, Environmental Impact of Construction and Repair Materials on Surface and Ground Waters, National Cooperative Highway Research Program, NCHRP Report 448, 2001.
- [2] 行政院環保署，廢棄物焚化灰渣材料化技術研究(第二年)專案計畫期末報告，epa-93-u1h1-02-101，執行單位：國立台灣大學環境工程學研究所、中華大學土木工程研究所，中華民國九十三年十二月。
- [3] Takayuki Shimaoka, Dr. Eng, Unsaturated Moisture Flow in the Layered Structure Composed of MSW Bottom Ash, 2004 International Workshop on Water Movement and Reactive Transport Modeling in Roads
- [4] Ole Hjelm, Jesper Holm, Unsaturated Moisture Flow in the Layered Structure Composed of MSW Bottom Ash, 2004 International Workshop on Water Movement and Reactive Transport Modeling in Roads
- [5] David Gress, Xishun Zhang, Scott Tarr, Ingrid Paziienza, and Taylor Eighmy, "Physical and Environmental Properties of Asphalt-Amended Bottom Ash," Transportation Research Record No. 1345, Washington, D. C., 1992.
- [6] Chin-Ming Huang, Chui-Te Chiu, Kung-Cheh Li, and Wan-Fa Yang, "Physical and Environmental Properties of Asphalt Mixtures Containing Incinerator Bottom Ash," Journal of Hazardous Materials, Vol. 137, Issue 3, page 1742~1749, 11 October 2006.
- [7] Chui-Te Chiu, Tseng-Hsing Hsu, and Wan-Fa Yang, "Life Cycle Assessment on Using Recycled Materials for Rehabilitating Asphalt Pavements," *Resources, Conservation and Recycling*, In Press, Corrected Proof, available online 20 August 2007.
- [8] Chui-Te Chiu, "Use of Ground Tire Rubber in Asphalt Pavements: Field Trial and Evaluation in Taiwan," *Resources, Conservation and Recycling*, In Press, Corrected Proof, available online 2 August 2007.
- [9] 薛毓瀚，含垃圾焚化底渣瀝青混凝土生物毒性之研究，中華大學碩士論文，中華民國九十六年七月。
- [10] 余俊奇，應用生物毒性試驗法檢測再生鋪面材料環境性質之研究，中華大學碩士論文，中華民國九十六年七月。

表 1 本研究八種材料 24 小時批次溶出液之各項實驗數據表

實驗項目	一般瀝青混凝土	焚化底渣	25%焚化底渣瀝青混凝土	50%焚化底渣瀝青混凝土	廢玻璃砂	廢玻璃砂瀝青混凝土	廢輪胎橡膠粉	橡膠瀝青混凝土
pH 值	7.74	11.04	9.25	9.75	9.53	8.83	6.94	8.58
溶氧量 (mg/L)	8.32	8.14	8.38	8.63	7.66	7.14	7.48	7.73
導電度 (ms/cm)	0.11	8.63	1.14	2.98	0.62	0.11	0.27	0.11
重金屬濃度 (mg/L)	銅：ND 鉛：ND 鉻：0.124 錳：ND 鎳：0.026 鎘：0.008 鋅：ND	銅：2.167 鉛：ND 鉻：0.114 錳：0.006 鎳：0.035 鎘：0.015 鋅：0.032	銅：0.058 鉛：ND 鉻：0.081 錳：0.008 鎳：0.043 鎘：0.007 鋅：ND	銅：0.185 鉛：ND 鉻：0.096 錳：0.007 鎳：0.058 鎘：0.009 鋅：0.009	銅：0.185 鉛：1.361 鉻：0.211 錳：0.018 鎳：1.526 鎘：0.028 鋅：0.142	銅：0.012 鉛：0.093 鉻：0.102 錳：0.025 鎳：0.026 鎘：0.006 鋅：0.017	銅：0.034 鉛：0.037 鉻：0.188 錳：0.109 鎳：0.067 鎘：0.005 鋅：50.417	銅：ND 鉛：0.048 鉻：0.102 錳：0.038 鎳：0.022 鎘：0.005 鋅：0.039
藻類生物毒性 EC50(%)	NTE	7.10	65.34	44.81	92.39	NTE	3.79	NTE
水蚤生物毒性 LC50(%)	NTE	1.10	6.21	2.11	87.82	NTE	0.81	NTE

NTE：No toxic effect

ND：濃度低於偵測極限

重金屬濃度檢測：原子吸收光譜儀

藻類生物毒性試驗：24 小時靜水慢毒性試驗

水蚤生物毒性試驗：48 小時靜水急毒性試驗

出席國際學術會議心得報告

計畫編號	NSC95-2221-E-216-047
計畫名稱	以生物毒性試驗法檢測鋪面再生材料之環境相容性研究
出國人員姓名 服務機關及職稱	邱垂德，中華大學土木與工程資訊學系副教授
會議時間地點	2006 年 10 月 24 至 27 日，Palm Spring, California
會議名稱	Asphalt Rubber 2006
發表論文題目	Taiwan's Experience on Asphalt Rubber Pavement

一、參加會議經過

本人於 24 日傍晚到達會議場地 Doral Desert Princess Resort，並完成住宿登入及研討會註冊，領取資料，並於晚間七時，參加大會於泳池邊舉辦的 Reception Party，在輕鬆的氣氛下與包括大陸參與代表、印度代表、及美國本土尤其是加州 Caltran 及亞利桑納州 ADOT 的工程人員，及內華達州立大學的教授閒聯交換心得；該 Reception Party 在晚間九時結束，為本研討論揭開序幕。

25 日上午由大會主席 Dr. Jorge Sousa 說明廢輪胎橡膠瀝青在世界各個不同國家與地區的應用狀況，及自 2000 年在葡萄牙(Portugal)舉辦第一屆國際研討會、2003 年在巴西(Brazil)第二屆，到現在在加州的 AR2006 以來的主要進展，並寄望未來在低噪音鋪面及耐久性鋪面上的遠景。Rubber Pavement Association 的主席 Dr. Cliff Ashcroft 亦說明這三年來在中國大陸的進展，尤其是金邦公司的努力，三年後的 AR2009 很可能在中國大陸上海召開；代表加州運輸部(Caltran)的 Dr. Shakir Shatnawi 亦概要說明 Caltran 在廢輪胎橡膠瀝青的研究與應用方向；代表州長出席的 Miss Margo Reid Brown 則說明 Arnold 州長於去年(2005)簽署的 AB338 (Assembly Bill 338)，要求加州運輸部門使用廢輪胎橡膠瀝青材料佔總瀝青材料數量的百分比，要從目前的 20%，在 2013 年時提高到 35%；代表 FHWA 的 Jason Dietz 則說明聯邦政府的支持立場，並發表對橡膠瀝青正面成效的相關研究數據；代表美國環保署的 Tab Tesnau 則重申廢輪胎橡膠瀝青的環保與工程雙贏意義，且又更寄望採用後的其它諸如噪音及都市熱島效應的舒緩效果。總計本次研討會的參加人數共約 320 人，分別來自 20 個不同的國家，主會場並懸掛參與會議之各國國旗，如圖 1 所示，並闢有 15 個廠商產品展示攤位，主要展示產品為工程顧問服務、廢輪胎切割研磨機具、及橡膠瀝青拌合設備。



會議主場地懸掛參與各國國旗



報告人在會場留影



中場休息時段提供茶點



會場共有 15 個場商展示攤位

25 日下午開始進行兩天半的研討，分為兩個群體及場地進行研討，內容如表一所示，本人參加學術研討場地，另一場地為廢輪胎橡膠瀝青的工法推動實務訓練。

表 1、AR2006 研討會的主要議程表

時間	學術研討組議程	工程實務組議程
25 日上午	本研討會主題報告及官方策略介紹	
25 日 13:00~15:00	廢輪胎專題論文發表一	廢輪胎橡膠市場狀況介紹
25 日 15:30~17:30	廢輪胎專題論文發表二	廢輪胎處理流程
25 日 17:30~19:00	海報論文發表	
26 日 8:30~10:00	橡膠瀝青混合物性質論文發表一	廢輪胎橡膠瀝青之拌製及品質保證系統
26 日 10:30~12:00	試驗路面成效及環境影響論文發表	污染排放控制及再生
26 日 13:00~15:00	鋪面設計與成效設計論文發表	工程績效介紹一
26 日 15:30~17:30	橡膠瀝青性質研究論文發表一	工程績效介紹二
26 日 19:00~21:00	大會晚宴	
27 日 8:30~10:00	加鋪翻修與噪音降低論文發表	工地參訪： 砂石軋製 瀝青拌合廠 廢輪胎橡膠瀝青的鋪築工地
27 日 10:30~12:00	橡膠瀝青混合物性質論文發表二	
27 日 13:00~15:00	橡膠瀝青性質研究論文發表二	
27 日 15:30~17:30	橡膠瀝青性質研究論文發表三及閉幕	

本人發表的論文屬於試鋪路面成效，被安排在 26 日上午 10:30 至 12:00 的場次發表，該場次共有三篇論文，每篇論文 30 分鐘，發表時間 20 分鐘，詢答時間 10 分，本人利用約 20 分鐘介紹我國橡膠瀝青的研究及試鋪路面的成效與經驗，尤其是自製的拌合設備，在大會上獲得不少參與者的贊揚，許多其它國家的研究人員，也對於我們順利由亞利桑納州引進廢輪胎橡膠瀝青感到興奮。圖 2 為本人發表論文的照片，會後並與大會主辦人 Dr. Jorge Sousa 合影。



報告人在大會發表論文之照片



報告人與主辦人 Dr. Jorge Sousa 合影

本次大會的學術研討組共發表 34 篇廢輪胎橡膠瀝青論文，除了傳統的橡膠瀝青性質的研究外，已有愈來愈多長時間的試驗路面成效數據，美國以外的瑞典、英國、葡萄牙、巴西、及哥倫比亞也都有許多試驗室的數據，顯示廢輪胎橡膠瀝青因增加了彈性而有成效較佳的理論基礎。走在較前端的亞利桑納州，除了有長期的成效紀錄且市場相當成熟外，最近年則開始將橡膠瀝青應用在剛性鋪面的維修上，並意外發現了兩項重要的利多，其一為可能可以降低都市熱島效應，其二則為有效地降低輪胎噪音，針對這兩項額外好處的研究，目前則委託亞利桑納大學積極研究中，預計幾年後將有更多的數據來驗證。

本次大會安排許多研究人員間交流的機會，除了發表論文時，以 10 分鐘時間進行詢答，以達到研討的目的外，若將開幕前一天的活動計入，長達四天三夜的研討會，除了午餐採自助式外，每個晚上都有不同的交誼活動，許多參與研討會的學者專家，也都相當習慣這種邊開會邊聯宜的方式，在輕鬆的氣氛中除了增進專業研究經驗交換外，也透過不同活動的互動而增進了彼此的情宜，對未來的研究工作及專業領域，提供相當好的再出發潛力。圖 3 為報告人與幾位重要研究夥伴的合影，未來將有視情況與他們合作。



中：ADOT 的 George Way, 右：NDOT 的 Dr. Pan



左：WRI 的 Dr. Huang, 中：U of Wiscon. 的 Prof. Dahia

二、與會心得

本人自 1994 年回國任教，一直從事瀝青材料方面研究，鮮有機會參與國際性的研討會，本次有幸獲國科會及中華大學的補助，發表本人最近四年來的研究成果，除了上臺前的緊張外，由於有充份的練習，且論文程度還算適當，整體而言自己相當滿意，對未來將研究成果大膽地向國際上發表，建立了相當高的自信心。

本次研討會有相當多的研討時間，報告人感受到美國工程界的活力，大部份的研討都相當實務，尤其是問問題的大都是產業界及顧問公司，詢問的問題也都相當務實，感受到研討的效果，對照國內的研討會時常淪為學生論文發表的場合，而且大部份參與人沒有討論的興趣，工程界面對學術界的論文，似乎沒有討論的興趣，學術界也常出現不務實的論文而又不自知，應是身為教育界的我們必需加強努力推動的方向。在未來的研究領域方向，則認為以廢輪胎橡膠瀝青做為摩擦層方面，有必要在國內更廣泛地加以研究，國內高速公路都設計有 OGFC，這層材料在最近幾年也都有嚐試採用改質瀝青的試鋪案，但一直沒有採用廢輪胎橡膠瀝青的案例，應趁此機會，再次地以噪音及環保二大誘因，爭取高速公路局支助廢輪胎橡膠瀝青開放級配摩擦層的研究，方法上由於本校已有相當經驗，應可在適當的實驗室評估後，直接進行試鋪，並針對排水效率和噪音進行實地量測及驗證。

由於廢輪胎橡膠瀝青的施工溫度較高，能源消耗較大，雖然 Dr. Jorge Sousa 的相關論文以成效較佳及有效應用廢輪胎為基礎，認為整體的能源節省相當可觀，但若能以適當的方式降低廢輪胎橡膠瀝青的拌合和施工溫度，將可使應用更為普遍；在這個研究主題上，美國聯邦州公路局最近推行的溫拌瀝青(Warm Mix Asphalt)或可提供參考，也許可以在添加適當的藥劑下，調降橡膠瀝青的施工溫度。

亞利桑納州公路局針對其剛性路面進行的「靜音鋪面(Quiet Pavement Pilot Program)」也可供國內高速公路局參考；在二高全線通車後，時有針對北、中、南三段剛性路面的噪音較大的抱怨，也許學習亞利桑納州公路局，用廢輪胎橡膠瀝青薄層加鋪，可以有意想不到的噪音降低效果。

最後是大會の後難能力相當強，也許是註冊費高的原因，使參加研討會的人有相當舒適的研討環境，茶水點心、音效控制、活動進行、及會場詢問與服務，足可做為本人未來主辦相關研討會之參考。

三、建議

本次活動報告人自認收穫很大，對未來教學及研究方向有相當大的幫助，以自身的經驗認為這種國際性的研討會，從事專業研究的大學教授應多多參與。對於國內廢輪胎橡膠瀝青之推廣，則經由本次參與研討會的心得，有下列四點建議：

- 1、加強進行廢輪胎橡膠瀝青應用於開放級配摩擦層的研究，特別專注在骨材粒形不良時的配比設計修正，並嚐試說服高速公路局進行試鋪。
- 2、進行橡膠瀝青開放級配之噪音降低效果研究。
- 3、進行降低橡膠瀝青施工溫度的相關研究。
- 4、由環保署以能源使用的觀點，仿照美國加州的方式，與交通部溝通，並訂定合理的以整體環境利益為考量的強制使用廢輪胎橡膠瀝青鋪面條款。

四、攜回資料名稱及內容

本次研討會的論文集：Proceedings Asphalt Rubber 2006，由 Jorge B. Sousa 主編，963 頁，內含 49 篇與廢輪胎橡膠瀝青相關的論文。