



公路總局 道路鋪面 演進 與未來技術發展

鄧文廣／交通部公路總局 總工程司

王韻瑾／交通部公路總局材料試驗所 所長

王睿懋／交通部公路總局 工程司

本局掌管全省省道與快速公路達 5,453 餘公里，近年因氣候變遷、全球暖化，造成短延時強降雨遽增，亦影響全省道路鋪面行車品質！為提供用路人舒適的鋪面品質，除引進國際規範參考，並積極採用鋪面檢測車，以 IRI 檢測頻率納入鋪面養護資料用以評估鋪面現況、建立破壞預測模式及養護排序，提供養護單位以有限的經費運用於鋪面上。另為接軌國際，配合節能減碳、循環經濟，發展資源再利用及成效試驗，並持續進行相關研究，如高耐久性瀝青混凝土、RAP 利用於常重水泥混凝土之研究、RAP 混凝土添加卜作嵐材料研究…等。

近年為精進一般坑洞修補品質，解決壓實度不足及施工時間長，積極研發並於 106 年 6 月以「瀝青磚之產製與安裝方法」世界首創並取得國內專利，應用於鑽心試體填補及坑洞修補，以延長鋪面使用年限、節省養護經費。也為提升坑洞修補技術與效率，開發「瀝青磚坑洞修補整合式機械化工法」自動化作業，也於 110 年 5 月 21 日取得國內專利。為降低人力負擔及減少混凝土試體送樣時間及減少試體遭調換…等，更研發國內首創 RFID 技術應用於水泥混凝土及瀝青混凝土試體樣品，有效唯一識別碼，加速追蹤提高效率，RFID 技術應用於試體亦屬工程界首創技術。未來將持續引進國外瀝青混凝土配合設計，並發展本局所需之智慧型檢測車，導入全生命週期鋪面養護作業，並研發瀝青混凝土剷除料再利用於水泥混凝土及冷拌瀝青混凝土之研發、試辦與永續發展。

關鍵詞：IRI、漢堡車轍輪跡實驗、均衡式配合設計法 (Balance Mix Design)、瀝青磚、RFID、UAV、IoT、PCI、AI

前言

公路總局前身為「臺灣省公路局」，成立於民國三十五年八月一日，民國三十八年續接管「臺灣省公共工程局」執掌全臺公共工程業務，自此公路局之業務範圍包括公路工程、公路運輸、公路監理三大類別。自民國九十一年起，機關全銜更名為「交通部公路總局」，本局約六千多位員工，辦理公路交通建設及公路監理業務，服務全國民眾^[1]。

省道與快速公路養護為本局主要業務之一，目前總養護里程為 5,453.63 公里（含快速公路 679 公里、一般省道 4,397.26 公里、代養縣道 72.9 公里），省道養護面積

約 100 平方公里。分別由 5 個養護工程處、36 個工務段進行道路養護工作^[2]，以提供用路人最佳之行車環境。而如何提供優質的道路鋪面，確實是公路總局最高的鋪面養護原則與一直以來不間斷的要求與前進的動力！

近年來本局在鋪面養護工程之發展

鋪面平坦度評估

對於鋪面平整度之評估，目前以國際糙度指標 (International Roughness Index, IRI) 最廣為使用，因具備有：不因時間變化而改變其量測之特性、國際間使用之平整度量測儀器均可以直接或間接計算得到

IRI、可以應用於所有型式之道路鋪面，且涵蓋所有等級之鋪面及可以客觀顯示鋪面狀況，不易受人為因素干擾等；可以用來了解鋪面狀況對於使用者成本、行駛品質及安全性所造成之影響。

本局於民國 86 ~ 88 年委託中央大學辦理路面維護管理系統研究計畫，該計畫由國外購入全國第一台 ARAN 路面檢測車，率先將鋪面檢測車引進國內，(如圖 1，稱為第 1 代路面檢測車) 後經儀器設備更新及改良，於 101 年 10 月換裝更新款的雷射測距儀，檢測車進入第 3 代(如圖 2)。自 96 年起，開始辦理各區養護工程處轄管省道路面平整度檢測，省道每年各路線、順逆樁方向各檢測 1 次；後續為增加資料收集頻率，由各區養護工程處各採購 1 台鋪面檢測車，增加省道 IRI 之檢測頻率，並上傳至鋪面養護管理系統(如圖 3)。另自 107 年起試辦將 IRI 納入施工補充條款驗收項目，相關資料除用於建置本局鋪面養護資料外，並將相關資料用於評估路面現況、建立破壞預測模式及養護排序，讓本局在有限之養護經費做最有效之運用^[3]。

另本局轄管西濱快速公路(省道台 61 線)，北起新北市八里區(0k + 000)、南至台南七股(304k + 152)，全長約 304 公里。分別由一、二、五養護工程處(10 個工務段)負責管養，由於分年分階段興建完成，形成多種路型，有平面(路口)、高架、側車道、橋下道路等，又沿線工業區、港口重車頻繁運輸，增加養護困難度影響服務品質。本局為提升道路鋪面品質及行車舒適，持續投入大量經費進行養護，自 103 年至 109 年持續籌措經費共投入 32 億 300 萬元餘，改善了路面 234 公里、227 處伸縮縫及 55 處引道沉陷等，年平均 IRI 值從 2.65 (m/km) 降至 2.29 (m/km) (如圖 4 所示)，提供用路人最佳行車環境及舒適度。

配合循環經濟，資源再利用使用再生材料於鋪面

為創造經濟與環保雙贏並接軌國際，配合行政院環保署「資源回收再利用推動計畫」，引進循環經濟概念，建立是一個資源可恢復且可再生的經濟和產業系統，使用再生能源、減少甚至消除廢棄物。



圖 1 ARAN 路面檢測車(第 1 代路面檢測車)

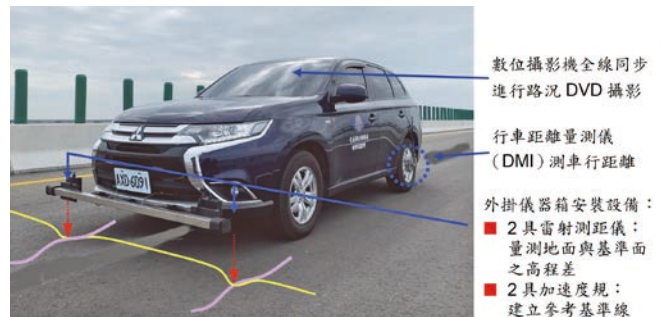


圖 2 第 3 代路面檢測車

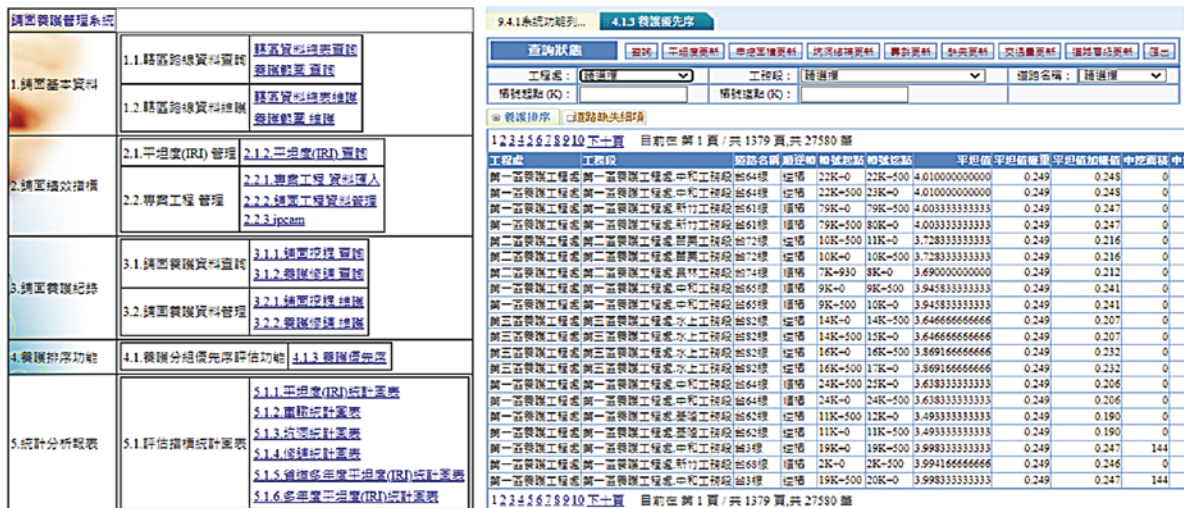


圖 3 本局發展之鋪面養護管理系統

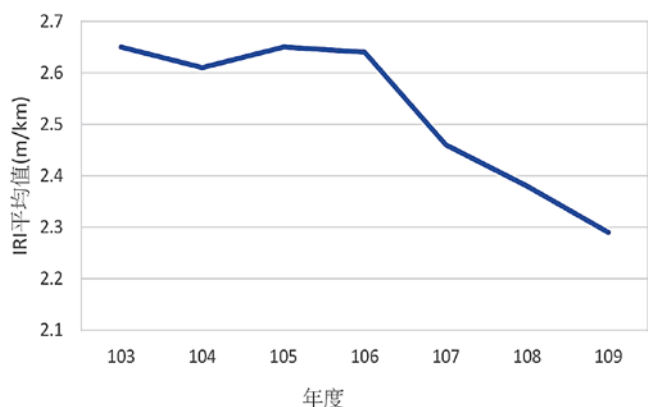


圖 4 103 年~109 年台 61 線 IRI 平均值

台灣走過高速經濟成長的年代，道路鋪面已全面採用瀝青混凝土，除瀝青材料需由石油提煉，其中粗粒料及細粒料皆需從河川或陸地進行開採，付出的代價是自然資源過度開採及環境遭到大量破壞，另瀝青混凝土之刨除重鋪，會產生大量的刨除料，本局自 90 年代起，已持續使用再生瀝青混凝土；並自 107 年開始配合去化煉鋼之副產品轉爐石 10 餘萬噸及焚化再生粒料（底渣），達到資源再利用之目的。

近年經濟發展快速，本局轄管省道交通量激增，為因應重車數量增加，本局將瀝青混凝土級配料最大粒徑自 3/4" 提升至 1"，重載交通路段使用改質瀝青取代傳統瀝青 AC-20，以增加抵抗車轍變形之能力。另考量連續降雨之影響，也嘗試添加水泥（石灰）於瀝青混凝土中，增加抵抗水份浸蝕能力；為增加在雨天之行車安全性，已試辦使用開放級配（多孔隙級配），可獲得較佳排水性及抗滑能力，並可減低行車噪音等。本局為提升用路人之行車安全及品質，除自行研究外，並與國內研究單位合作，持續引進新材料及新工法，以提升鋪面品質^[3]。

發展成效試驗驗收

目前國內對於瀝青混凝土之驗收規定大都為用於確保其施工品質，已延用數十年，國內之瀝青混凝土鋪面自 91 年推行再生瀝青後，屢因目標黏度、回收瀝青黏度之規範帶訂定爭議、使用過度老化之回收瀝青混凝土或添加比例失當、使用不明再生劑或軟化劑等問題，致鋪面品質日漸低落，本局遂開始 研究成效試驗之漢堡車轍輪跡試驗（AASHTO T324-14）對於瀝青混凝土抗車轍及抗水侵害能力有明顯辨識成效。

目前本局已收集超過 600 組漢堡車轍輪跡試驗資料（如圖 5 和圖 6），配合現地觀測資料進行大數據統計分析，並同時進行漢堡車轍輪跡試驗儀 TAF 認證，逐步推動本土化漢堡車轍輪跡試驗標準，研議納入本局施工說明書中辦理^[3]。

推動前瞻基礎建設計畫—提升道路品質計畫工程

前瞻基礎建設計畫期程自 106 年 9 月~114 年 8 月止，計畫經費約 218.92 億元，主要工作項目為將現有



圖 5 漢堡車轍輪跡試驗 8 字形試體及試模



圖 6 車轍輪跡試驗儀器及試體放置

道路重新規劃，以符合「人本交通」之需求，完成後將提升公路景觀與功能重要街道優化改造、桿線及孔蓋下地、因應強降雨改善排水設施、確保人行空間、增設自行車道、種植特色植栽塑造景觀等等，帶動地方觀光及人文等發展路口節點安全改善，提升安全效益，有效降低車禍及傷亡，透過道路美化景觀與管線整合提升整體國家美學實力與生活品質。

雖為補助地方政府，本局大力推動各項工程採用再生瀝青混凝土，將氧化矽、轉爐石、鋼質粒料...等導入循環經濟在鋪面工程，使廢棄物轉換成再生資源，成果豐碩。

也針對人行環境與路口節點安全的改善，過去道路以「車」為主，現在道路「以人為本」，透過提升人文環境與自然環境舒適度、公共服務設施便利性、交通便捷與安全性...等理念，重新思考讓道路環境邁入更安全更人本的宜居城市；如設置庇護島、改善路緣斜坡、行穿線退縮、加大行人空間...等交通工程來更提升道路安全。另為改善道路景觀，重新形塑城鄉人文地景特色、綠廊道延續，持續植入低碳永續、環保與生態工程策略，讓道路不再只是道路^[4]！

因應氣候變遷，進行減節能減碳工作相關研究

全球暖化將對臺灣農林漁業、降水型態、氣候災害、公衛健康等面向造成諸多影響，使臺灣氣候風險增加，必須妥善規劃並執行調適政策以因應風險，提升氣候韌性，本局為因應氣候變遷，持續進行相關研究，期望能在此方面有所貢獻^[5]。

1. 使用高耐久性瀝青混凝土：瀝青鋪面材料對鋪面耐久性影響之研究。
2. 延長鋪面設計年限：碎石級配料底層改良使用水泥處理之方法研究、瀝青混凝土運用均衡式配合設計法（Balance Mix Design）成效之研究。
3. 預防性養護作業：瀝青磚坑洞修補整合式機械化工法研究。
4. 刨除料再生再利用：瀝青混凝土刨除料再利用於道路基底層之研究、RAP 利用於常重水泥混凝土之研究。
5. 其他再生材料應用：RAP 混凝土添加卜作嵐材料之研究。
6. 降低拌合過程耗能：溫拌瀝青混凝土性能之研究。

本局創新與精進工法

瀝青磚應用於鑽心試體填補及坑洞修補並首次取得專利^[6]

本局轄管省道一般坑洞修補多以常溫瀝青混凝土或熱拌瀝青混凝土進行修補，而常溫瀝青混凝土修補後需經一段時間提供強度發展，熱拌瀝青混凝土面臨問題材料溫度及夯實能量不足，修補後易形成結構弱面區、平整性、穩定性、耐久性不佳、短時間內該處修補易重複損壞，影響民眾通行，本局材料試驗所仿效高壓混凝土磚，於實驗室壓製瀝青磚，再至現場安裝，解決「壓實度不足」及「施工時間長」之問題。並於 105 年 6 月以「瀝青磚之產製方法」成功申請專利，再於 106 年 6 月以「瀝青磚之安裝方法」申請專利成功，施作流程及方式如圖 7 所示。以實驗室車轍試驗驗證成效，瀝青磚抗車轍能力為常溫瀝青混凝土之 40 倍以上，以現地觀測 148 顆試體，經修補 1 年半後，與原路面相較，高差超過 $\pm 4 \text{ mm}$ ，僅有 9 顆，約佔 6.1%，其餘皆在 $\pm 4 \text{ mm}$ 範圍內。

在經濟效益部分，與其他修補方式相較，具有之優勢為，可配合坑洞尺寸量身訂做、產製過程簡單、施工快速、品質穩定、成效良好、延長鋪面使用年限、節省養護經費，經濟效益佳。此專利研發成果除本局局屬單位使用外，並同時推廣給其他各道路相關

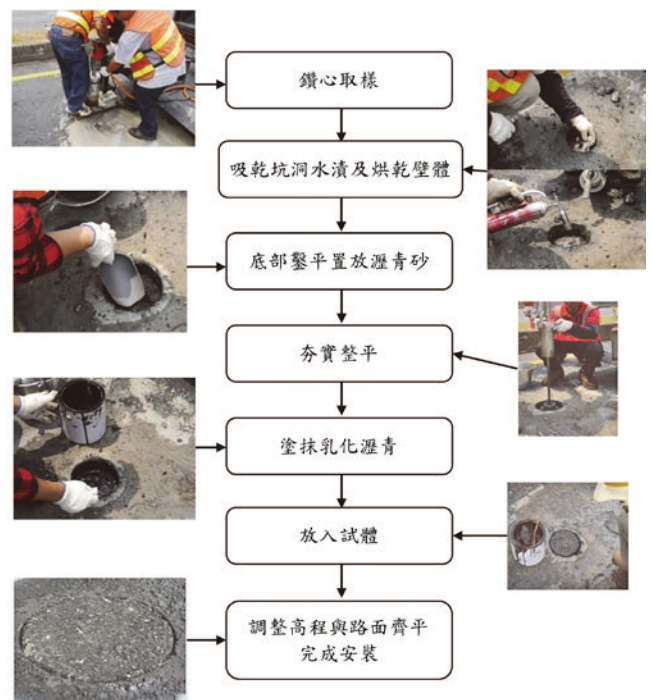


圖 7 瀝青磚應用於鑽心試體填補流程

單位（農委會水保局、基隆市政府、新北市政府等單位）使用，期能共同提升鋪面服務品質。

經研究及試辦數年後，於 108 年將瀝青磚之使用，納入本局施工說明書中，截至 110 年 6 月底本局已使用 23,727 顆瀝青磚（其中 108 年 12,659 顆、109 年 8,992 顆、110 年截至 6 月底 2,076 顆）。

瀝青磚坑洞修補整合式機械化工法^[6]

為讓瀝青磚坑洞修補技術使用更便利，提升修補效率，減少人力使用，提高施工安全性，遂開發瀝青磚坑洞修補整合式機械化，並將該機器掛置於車輛後車斗（如圖 8），以車身重量做為銑刨時所需反力，改良型新型刀具，依電子程式設定進行銑刨，搭載集塵設備，同步進行除渣作業，完成銑刨後以瀝青磚回填（如圖 9），將更節省坑洞修補時所需人力與時間。

經本局研究及試做，破損範圍直徑小於 25 cm 坑洞可採圓形瀝青磚修補；大於 25 cm 或扁長形坑洞修補，使用方形瀝青磚將優於圓形瀝青磚。採用此工法可將



圖 8 瀝青磚坑洞修補整合機械

修補時間縮短為 7 分鐘，施作人力縮減為 2 人，自動化作業大為提高坑洞修補效率，讓坑洞修補更為便利。

RFID 技術應用於水泥混凝土及瀝青混凝土^[7]

為降低本局工務段人力負擔，減少試體送樣所需時間，本局也研究將 RFID 技術應用於水泥混凝土及瀝青混凝土送驗中，將 RFID 標籤埋入試體中，廠商、檢驗單位及本局工務段透過 RFID 讀取器，讀取 RFID 唯一識別碼（TID），可追蹤試體流向，系統化存取檔案，更有效監控試體品質，監控防弊、提升效率、節省系統資源。本局已於 111 年起全面使用這項技術，解決舊式紙張糊掉問題及抄寫出錯的發生率，有效識別讀取追蹤，省去到場監督的必要性，加快流程進行，節省時間及人力，提高效率。

自 110 年 4 月 1 日起至 110 年 12 月 31 日止，使用無線射頻辨識晶片共計 8,167 片（低頻射頻微晶片 7,475 片、超高頻 UHF 晶片 692 片），節省送樣人力 2,251 人次及時間約 4,151 小時，並同時確保了試體送驗安全及效率。這 RFID 技術應用於試體亦屬工程界首創技術（如圖 10）。



圖 9 坑洞完成銑刨後以圓形瀝青磚回填



圖 10 RFID 技術應用於瀝青混凝土取樣送驗

未來技術發展

引進國外使用經濟研究提升瀝青混凝土配合設計符合本局需求基於馬歇爾試驗研究均衡式配合設計法^[8]

臺灣地區公路鋪面以瀝青混凝土為主要材料，然瀝青混凝土鋪面會隨著車軸重、交通量及溫度影響，造成永久變形（車轍）、疲勞開裂及溫度裂縫等破壞，故瀝青混合料配合設計應在適當情況下考慮這些破壞模式影響，所以可考量以實驗室力學性能評估作為混合料設計的一環。本局以傳統馬歇爾設計法（體積設計法）為基礎研究均衡式配合設計法（Balance Mix Design），導入漢堡輪跡試驗及裂縫試驗，決定瀝青含量之可接受區間，再求得建議瀝青含量；並可依所在地區、氣候、交通量…等因素，增減力學性能評估試驗項目，使瀝青含量之設計最佳化，以確保鋪面鋪設後之成效，增加瀝青混凝土鋪面耐用年限，瀝青混凝土配合設計運用合適的成效試驗方法，將可使配合設計及長期成效符合預期，有助於提升本局鋪面工程品質。

發展符合本局需求之智慧型檢測車，並將全生命週期引進鋪面養護作業

目前本局對於鋪面服務能力以每年三次的國際粗糙度指標（IRI）檢測為主，鋪面表面狀況則以巡查填報坑洞為主，對於鋪面結構強度及其他型式破壞無相關檢測評估，鑑於科技日新月異，國內外檢測設備、資料收集技術、數據分析方法等突飛猛進，本局將導入智慧化及行動化之資訊科技（Information Technology, IT）技術，例如行動裝置、無人飛機（Unmanned Aerial Vehicle, UAV）、物聯網（Internet of Things, IoT）等，精進路況更新機制，提升各項鋪面成效之檢測效率，並導入鋪面狀況指標（Pavement Condition Index, PCI）評估，提出適用於本局之簡易型 PCI 評估方法。

本局已收集 10 年以上包含 IRI 之路況成效資料，針對不同道路等級、或不同地理區域（例如工程處等）、或不同環境特性（例如雨量、交通量等）等，使用適當的鋪面成效參數（例如 IRI、PCI、結構強度等），以統計或分析方法（例如深度學習、AI 等），建立智慧化鋪面破壞預測模式，進而將有限預算做最有效之分配，將全生命週期引進鋪面養護作業，提升養護效率。

瀝青混凝土刨除料再利用於水泥混凝土^[3]

瀝青混凝土刨除料（RAP）可作為再生粒料使用在非結構用混凝土，其強度、工作性與常重混凝土幾乎無差異，另添加卜作嵐材料後耐久性表現佳，可推廣於無筋混凝土結構物（如擋土牆或臨時構造物）。RAP 粒料替代天然粗粒料使用在常重混凝土的添加比例建議在 30% 以下，添加卜作嵐材料對於 RAP 粒料混凝土長期強度有幫助，建議使用 RAP 粒料於混凝土中都應添加卜作嵐材料。添加瀝青混凝土刨除料於水泥混凝土中，增加去老化瀝青混凝土刨除料途徑，落實循環經濟政策。

冷拌瀝青混凝土^[3]

瀝青混合料依不同的拌和溫度分為熱拌、溫拌及常溫（冷拌）三類。其中冷拌拌和溫度通常介於 16°C ~ 35°C 之間。冷拌再生技術係指將既有瀝青混凝土刨除料，以冷拌再生技術以水泥穩定處理、發泡穩定處理或乳化瀝青穩定處理等處理方式進行拌和作業；拌和過程中無須將粒料進行加熱，拌和後可直接將冷拌再生混合料鋪築於道路，應用於基底層時，鋪築完畢後即可鋪築面層，相關技術於國內、外已研究多年。

熱拌再生瀝青混凝土在法規的限制下，瀝青刨除料添加上限為 40%，剩餘之刨除料只能堆置於廠內，導致多年來各縣市之廠商陸續貯存之刨除料已達飽和，未來本局將配合學術研究單位進行冷拌再生瀝青混凝土試辦，協助解決刨除料堆置問題及使用方式，兼顧營建廢棄物再利用與永續發展。也讓循環經濟策略持續推動！

參考文獻

1. 交通部公路總局網統計資料本局資訊（www.thb.gov.tw）。
2. 交通部公路總局網檔案下載公路資訊（www.thb.gov.tw）。
3. 交通部公路總局鋪面小組各次會議紀錄及材料試驗所業務報告。
4. 交通部公路總局辦理推動前瞻基礎建設計畫成果簡報。
5. 交通部公路總局材料試驗所瀝青磚產製及安裝工法簡報。
6. 交通部公路總局材料試驗所自行研究計畫成果報告「瀝青磚坑洞修補整合式機械化工法研究」顏召宜、朱建東、洪明澤、黃榮波、蘇信詠、陳彥霖。
7. 交通部公路總局材料試驗所 110 年 12 月「RFID 技術應用於瀝青混凝土試體品質管理作業流程」簡報。
8. 交通部公路總局材料試驗所自行研究計畫成果報告 109 年 12 月「瀝青混凝土運用均衡式配合設計法（Balance Mix Design）成效之研究」顏召宜、朱建東、洪明澤、黃榮波、葉政璋、楊士潔、蘇信詠。