

## 道路維修之霧狀封層鋪築評估

\*杜嘉崇

東南科技大學營建與防災所  
cctu@mail.tnu.edu.tw

林思翰

東南科技大學營建與空間設計系  
zzz80526@gmail.com

### 摘要

以往鋪面維修方式大都採用刨除後以熱拌瀝青混凝土(HMA)加鋪方式為之，施鋪時因高溫產生一氧化碳、二氧化碳、二氧化硫以及氧化氮等有害氣體，而冒出大量煙霧伴隨著刺鼻氣味，不僅污染大氣環境，且對操作人員呼吸系統造成傷害，同時依資料顯示拌合溫度每降低 10°C，則每 1 噸混合料約可降低 0.9kg 二氧化碳排放。考慮經濟效益及環境污染因素，同時不影響鋪面服務品質與使用年限前提下，使用霧狀封層施工方式既能常溫施工且可以達到節能減碳永續發展之要求。

本研究採現場施作以評估霧狀封層之成效。研究結果顯示，本維修方式主要針對鋪面微裂縫與粒料剝脫做修補，及活化原有瀝青鋪面等項，當原鋪面之應是擺錘抗滑值(BPN)高於 70 以上時，或溝紋深度 0.5mm 以上，霧狀封層才建議施作。

**關鍵詞：**節能減碳、霧狀封層、抗滑值、鋪面溝紋深度

## In site evaluation of fog seal as pavement maintenance construction method

### Abstract

In the past, paving maintenance methods mostly used hot mix asphalt concrete (HMA). During the paving, harmful gases such as carbon monoxide, carbon dioxide, sulfur monoxide and nitrogen oxides were generated due to high temperature, and a large amount of smoke was emitted to the ambience. The nasal smell not only pollutes the atmosphere, but also causes damage to the respiratory system of the operator. At the same time, according to the data, it is shown that every 10 °C reduction in the mixing temperature, each 1 ton of the mixture can reduce about 0.9kg of carbon dioxide emissions. Considering economic benefits and environmental pollution factors, while not affecting the service quality and service life of the pavement, the fog seal construction method can not only be constructed at room temperature, but also meet the requirements of sustainable development of energy saving and carbon reduction.

In this study, field application was adopted to evaluate the effectiveness of the fog seal construction method. The research results show that this repair method is mainly aimed at repairing pavement micro-cracks and pavement raveling, and rejuvenator the original asphalt pavement. When the anti-skid value of the original pavement is higher than 70 or the pavement macrotexture is more than 0.5mm, it is recommended to apply a fog seal.

**Keywords :** energy saving and carbon reduction, fog seal, anti-skid value (BPN), pavement macrotexture

## 一、前言

近年來國內道路因路平專案實施後，已解決部分鋪面問題，刨除後加鋪方式相對逐漸減少，因路平專案後瀝青路面維護面積逐年降低，因此，有關鋪面設計工作之重點，亦逐年由新建道路設計之路基土壤特性研析，逐漸轉移到舊有道路鋪面結構之特性分析及各種不同維修方法之探討，以往維修方式大都採用刨除後以熱拌瀝青混凝土(HMA)加鋪方式為之。依不同種類之瀝青膠泥，HMA 拌合溫度介於 130°C~170°C 之間，其滾壓溫度一般在 120°C 至 163°C 之間，施鋪時因高溫產生一氧化碳、二氧化碳、一氧化硫以及氧化氮等有害氣體，而冒出大量煙霧伴隨著刺鼻氣味，不僅污染大氣環境，且對操作人員呼吸系統造成傷害，同時依資料顯示拌合溫度每降低 10°C，則每 1 噸混合料約可降低 0.9kg 二氧化碳排放 [1、2]。

基於上述，鋪面之維修採用局部及面層修補將是未來趨勢，尤其是面層修補使用封層，其延長鋪面使用年限更顯得特別重要。隨著鋪路科技之蓬勃發展，新材料及新工法在國外被廣泛研究運用，尤其是歐、美及日本各國近年來普遍採用封層材料，大大地提高道路鋪面之品質，如使用於預防性維護，更可以降低養護成本，並延長道路鋪面之壽命[3、4]。

又考慮經濟效益及環境污染因素，同時不影響鋪面服務品質與使用年限前提下，使用霧狀封層施工方式既能常溫施工且可以達到節能減碳之永續發展之要求[5]。道路鋪築採霧狀封層(Fog Seal) 方式施作，材料使用常溫液化地瀝青施噴，並無法處理所有鋪面缺失，因此必須搭配其他方式。霧狀封層之維修方式主要針對鋪面狀況指數(PCI)之微裂縫與粒料剝脫做修補，及活化原有瀝青鋪面等項；但對於嚴重之變形或裂縫，如反射龜裂、車轍等破壞之路面，可搭配局部半厚度或全厚度、裂縫修補之方式特別處理，以達到整體改善之目的。而局部修補之施工則可使用紅外線加熱燙鈹配合常溫瀝青混凝土(加熱燙鈹工法)，可以避免因溫度要求不確實造成壓實度不足及冷縫等問題。總結以上所述，霧狀封層之施工其整體之配套措施與衡量方式有以下幾點要項[5]：

- (1) 材料品質要求（快乾要求 2 小時內）
- (2) 施工前之檢測：鋪面狀況檢測(PCI)與抗滑試驗
- (3) 修補方式之選擇（局部或裂縫修補）
- (4) 均勻撒布液化地瀝青
- (5) 開放交通時間之依據（要求抗滑值達到一定標準）
- (6) 施工後鋪面檢驗與驗收

## 二、霧狀封層施作評估時程與項目

### 2.1 霧狀封層施作規畫

路段里程與施工配置如圖 2-1 所示，使用材料為乳化瀝青與油溶瀝青。噴灑量預估為 0.3 公升/平方公尺。施作分 2 天，第一天由園科路往南區中路，第二天由南區中路往園科路。

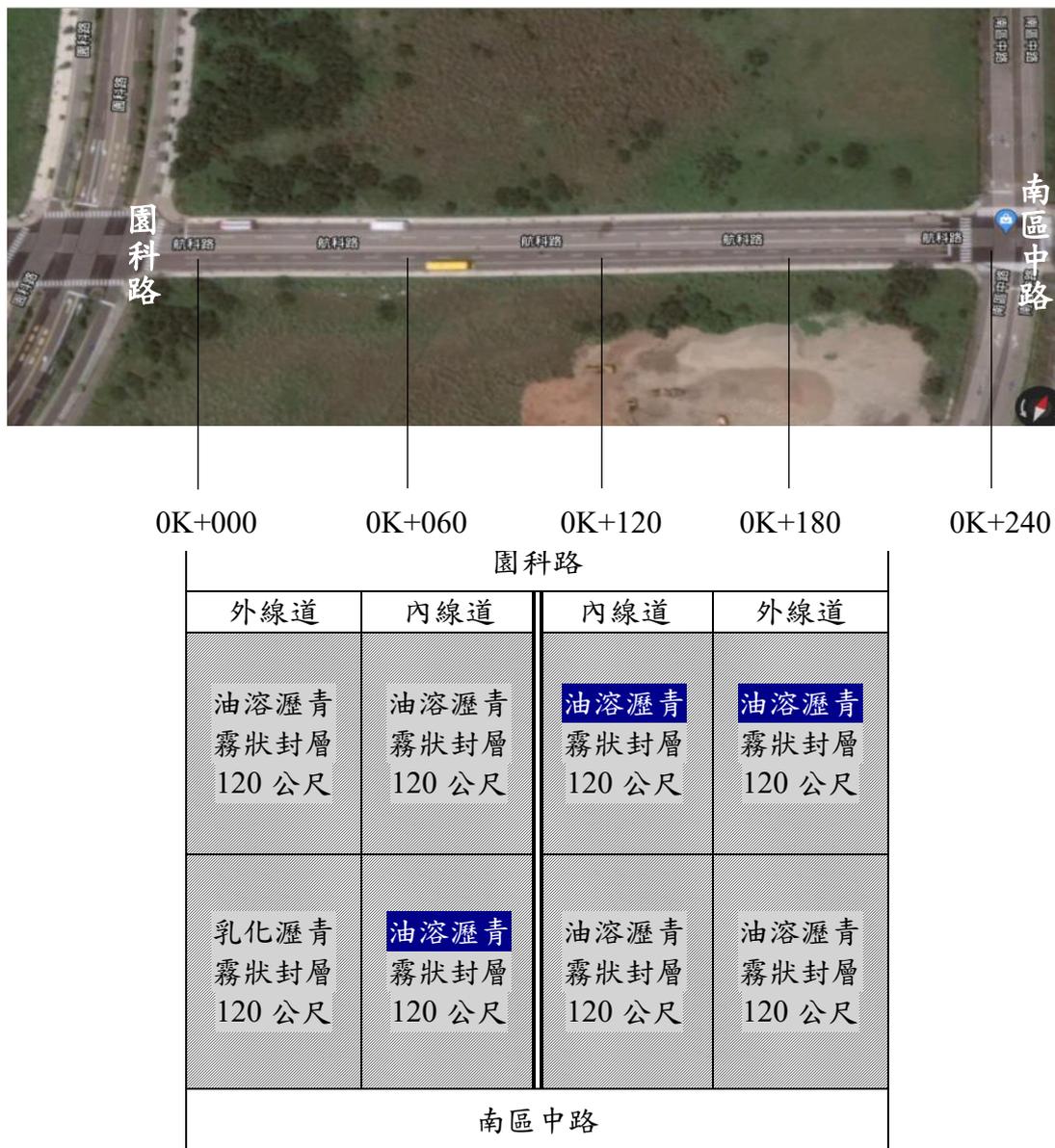


圖 2-1 路段里程與施工配置

## 2.2 霧狀封層評估與施工

霧狀封層施工其先後順序流程如圖 2-2 所示。

- (1) 施工前後之鋪面狀況
- (2) 鋪面裂縫、局部或全部厚度修補修補
- (3) 霧狀封層施工  
霧狀封層噴塗流程為：表面清掃與既有標誌標線膠紙黏貼遮蔽⇒撒布機噴撒⇒養護⇒膠紙拔除⇒抗滑檢測⇒完成開放交通
- (4) 機器撒布施噴後養護(視氣候而定 0.5 小時<養護<2 小時)
- (5) 開放交通時間之依據(要求抗滑值)

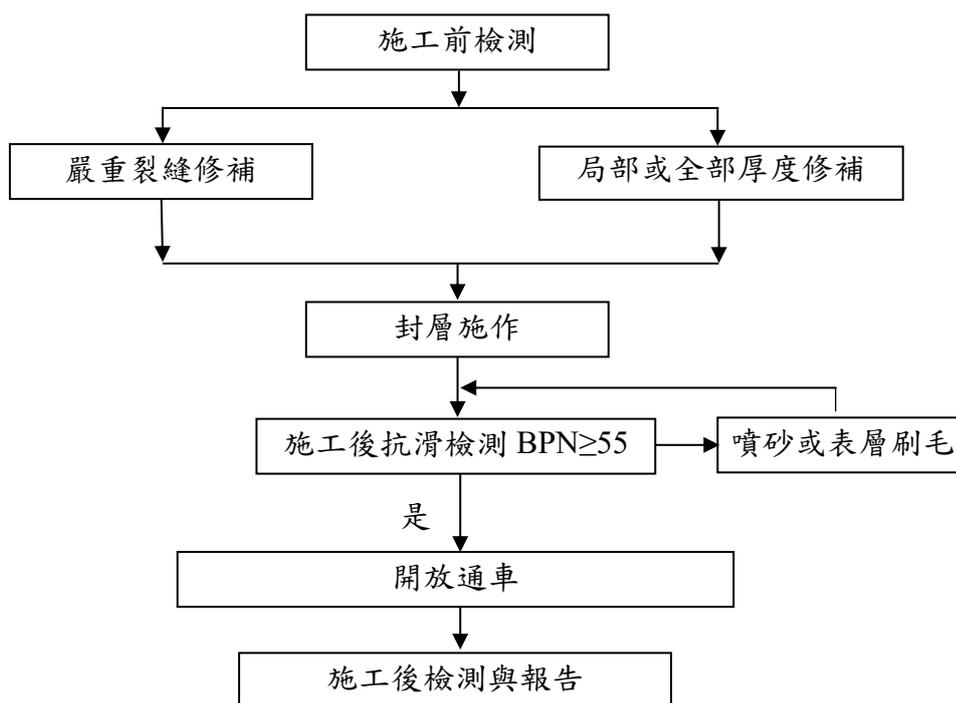


圖 2-2 霧狀封層評估與施工流程圖

### 三、材料檢驗

本工程霧狀封層係採用油溶性瀝青封層材料，材料品質應符合表 3-1 規定，使用乳化瀝青必須符合 ASTM D2397、AASHTO M208 或 CNS 1304 K5016 之規定[5、6、7]。

#### 3.1 油溶性瀝青

油溶瀝青封層材料採用油溶硬質瀝青檢驗結果如表3-1所示，其物性符合規範要求。

#### 3.2 乳化瀝青

乳化瀝青封層材料採用快凝乳化瀝青CRS-1，其物理性質之試驗結果如表3-1所示，將其與ASTM D2397比較，顯示乳化瀝青CRS-1之物性符合規範要求。

表 3-1 封層材料物性檢驗結果

	試驗項目	規範要求	試驗方法	檢驗結果
油 溶 性 瀝 青	1.含水量(%)	< 0.5	ASTM D95	0.18%
	2.賽氏黏度(Sabolt Furol), 25°C	40~50	ASTM D88	48
	3.蒸餾殘留物佔原試樣體積比 %	≥ 45	ASTM D402	58
	4.餾後之殘餘物試驗			
	• 針入度, 25°C, 100g, 5sec	20~50	ASTM D5	39
	• 三氯乙烯溶解度, %	≥ 99.0	ASTM D2042	99.4

快凝乳 化瀝青	CRS-1 基本物性	規範要求	檢驗方法	檢驗結果
	黏度(50°C, SFS)	20~100	ASTM D88	76
	比重 (25°C)	-	ASTM D3142	1.05
	篩析試驗(%)	<0.1	ASTM D546	<0.1
	殘渣之三氯乙烯溶解度(%)	>97.5	ASTM D2042	99.0

#### 四、施工前後結果分析與討論

##### 4.1 PCI 觀測結果分析與討論

施工前後 PCI 觀測結果數據整理如表 4-1 所示。綜觀此路段，經施作霧狀封層後，粒料剝脫現象獲得改善，而裂縫修補及部分紅外線加熱燙鈹修補後，PCI 亦有所改善。然而，此試鋪路段孔蓋數量較多，其周邊常造成高低差及切割所留下之延伸裂縫，此損壞情況往往控制 PCI 數據下降的主要原因。其完工後平均 PCI 分別為 72 與 74 等級屬「很好(Very good)」。圖 4-1 所示為 PCI 觀測結果比較圖，由圖可看出施工後，不管是由園科路往南區中路或南區中路往園科路，其 PCI 皆有所改善，而完工後與 3 個月後(當天觀測前裂縫有再修補)觀測結果，差異性不大。其原因是孔蓋所造成損壞控制 PCI 數值。

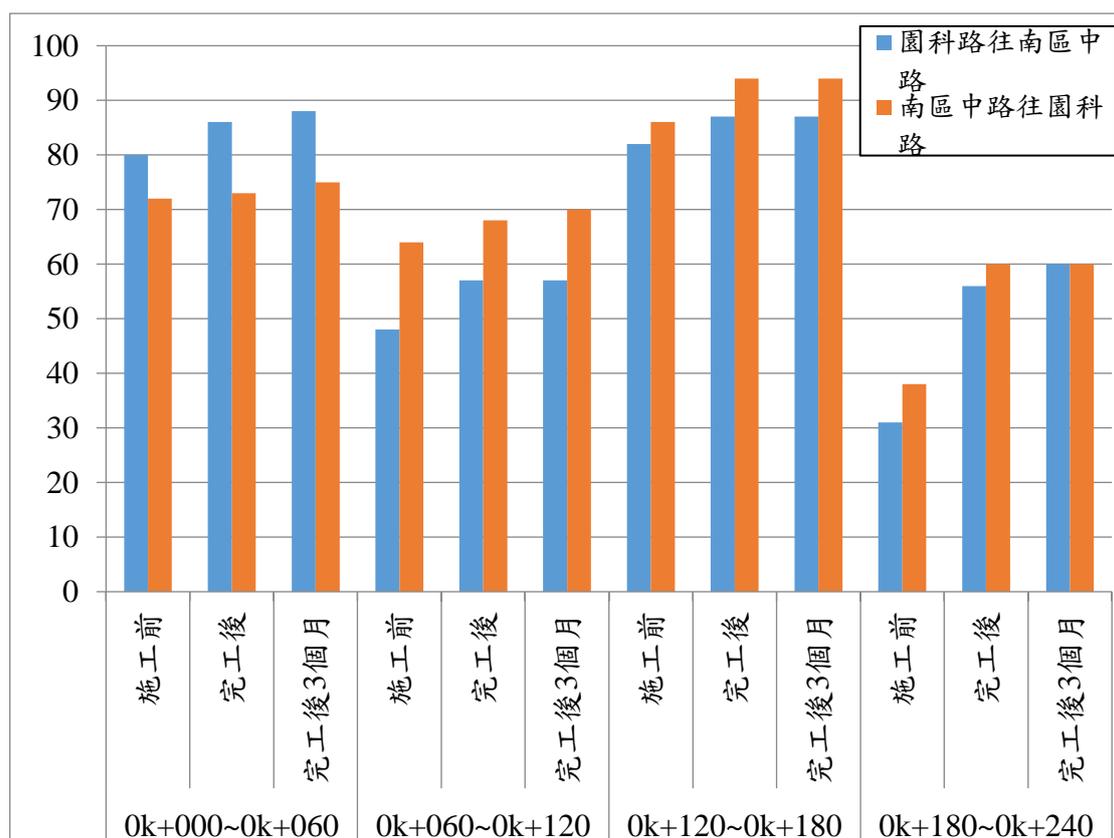


圖 4-1 PCI 觀測結果比較

使用雙因子變異數分析無重複性，以檢驗其是否有顯著影響，如表 4-2 所示，在 95% 可信度下，同時程觀測之 PCI 其 F 值 30.347 大於臨界值 2.764，表示同時程觀測之 PCI 是有顯著差異的，表示此路段不同里程其鋪面破壞程度有所差異。

另不同時程 PCI 觀測，其 F 值為 11.216 是大於 3.739 的臨界值，亦表示有顯著差異的，也就是說施工前與施工後其 PCI 值有所差異，表示霧狀封層施作前後有顯著不同。

表 4-2 PCI 變異數分析無重複性

變源	SS	自由度	MS	F	P-值	臨界值
同時程不同區段	5760.958	7	822.994	30.347	2.03E-07	2.764
不同時程	608.333	2	304.167	11.216	0.001237	3.739
錯誤	379.667	14	27.119			
總和	6748.958	23				

### 4.2 BPN 檢測結果分析與討論

BPN 施工前後抗滑值檢測結果數據整理如表 4-3 所示。由表中可看出施工後之 BPN 有下降趨勢有些甚至未達 55，特別是南區中路往園科路方向內線車道，其 BPN 平均只有 52 左右，但 3 個月後 BPN 隨之上升，整體上 BPN 平均是有達到 55 以上。這是霧狀封層之特性，隨時間而增加 BPN 值。

噴灑量多寡造成厚度不一，同時亦影響噴灑後之 BPN，厚度越厚 BPN 越低，又原有鋪面 BPN 值越高，施噴後(假設噴灑量一致)BPN 也相對高，由圖 4-2 可看出原鋪面之內線 BPN 比較低，施噴後內線之 BPN 亦有相對較低的趨勢，南區中路往園科路之 BPN 相對較低，其原因有可能噴灑太厚所造成。

整體觀之，霧狀封層施工完後當下 BPN 有所降低，但時間延續其 BPN 值隨著提升，為了行路人安全考慮，當原鋪面之 BPN 高於 70 以上時，而鋪面狀況尚無破壞到無法接受時，如表 4-3 紅色部分，霧狀封層才建議施作。

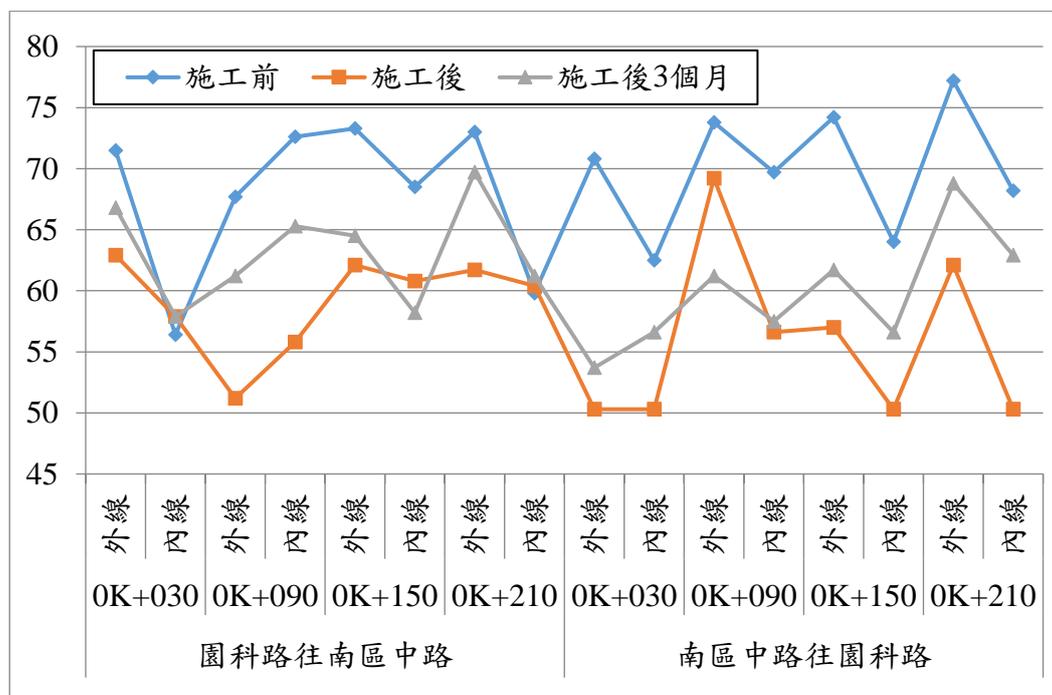


圖 4-2 抗滑值比較

表 4-3 抗滑值檢測結果

測試點 里程	園科路往南區中路				南區中路往園科路			
	線道	20°C 抗滑值 Rt			線道	20°C 抗滑值 Rt		
		施工前	完工後	施工後 3 個月		施工前	完工後	施工後 3 個月
0K+030	外線	71.5	62.9	66.8	外線	70.8	50.3	53.7
	內線	56.4	57.9	57.9	內線	62.5	50.3	56.6
0K+090	外線	67.7	51.2	61.2	外線	73.8	69.2	61.2
	內線	72.6	55.8	65.3	內線	69.7	56.6	57.5
0K+150	外線	73.3	62.1	64.5	外線	74.2	57.0	61.7
	內線	68.5	60.8	58.2	內線	64.0	50.3	56.6
0K+210	外線	73.0	61.7	69.7	外線	77.2	62.1	68.8
	內線	59.8	60.4	61.2	內線	68.2	50.3	62.9

#### 4.3 溝紋深度檢測結果分析與討論

鋪面有足夠的溝紋深度也就是巨觀紋理深度(MTD)，將會迅速的分散路面上積聚的水，以防止水漂的產生，水漂容易造成鋪面 BPN 降低，適當的溝紋深度有助於鋪面摩擦的提升，但 MTD 值太大，則造成剝脫現象。MTD 檢測結果如表 4-4 所示，由表中可看出施工前後 MTD 是有差異，施工前較深完工後較淺。

表 4-4 溝紋深度檢測結果

試點 里程	園科路往南區中路				南區中路往園科路			
	線道	鋪面溝紋深度(mm)			線道	鋪面溝紋深度(mm)		
		施工前	完工後	施工後 3 個月		施工前	完工後	施工後 3 個月
0K+030	外線	0.47	0.46	0.32	外線	0.71	0.53	0.32
	內線	0.62	0.50	0.52	內線	0.52	0.50	0.31
0K+090	外線	0.48	0.47	0.37	外線	0.53	0.46	0.31
	內線	0.45	0.49	0.47	內線	0.59	0.56	0.45
0K+150	外線	0.48	0.42	0.47	外線	0.64	0.57	0.48
	內線	0.42	0.45	0.36	內線	0.64	0.56	0.34
0K+210	外線	0.55	0.42	0.50	外線	0.44	0.43	0.46
	內線	0.61	0.51	0.52	內線	0.62	0.60	0.33
平均		0.51	0.47	0.44	平均	0.59	0.53	0.38

另以雙因子變異數分析重複性，以檢驗其是否有顯著影響，檢驗結果如表 4-5 所示，內外線 F 值為 1.492 小於臨界值，表示內外線之 MTD 無顯著差異，但施工前與施工後之 F 值為 13.562 大於臨界值，表示 MTD 是有顯著之差異性。

參考香港道路規範要求 Road Surface Requirements for Expressways and High Speed Roads，瀝青鋪面要求溝紋深度介於 0.3mm~0.5mm 之間[9]。若鋪面使用密級配其溝紋深度 0.5mm 以上，則粒料可能有嚴重剝脫，或少於 0.3mm 則粒料有可能被磨平，則要考慮是否施作霧狀封層了。

表 4-5 變異數分析(重複性)

變源	SS	自由度	MS	F	P-值	臨界值
內外線	0.008802	1	0.008802	1.492	0.228795	4.073
期程	0.160067	2	0.080033	13.562	2.86E-05	3.220
交互作用	0.003817	2	0.001908	0.323	0.725496	3.220
組內	0.247863	42	0.005901			
總和	0.420548	47				

## 五、結論與建議

桃園市道路封層工法試辦工程成效評估為期 3 個月，時間稍嫌不足。本報告就施工後 3 個月期之評估總結報告，有如下結論與建議：

1. 封層工法尤其是霧狀封層，其為一種鋪面預防性養護，可延長鋪面使用年限，此方式不僅節省資源且可以達到工程經濟效益。
2. 霧狀封層之維修方式主要針對鋪面狀況指數(PCI)之微裂縫與粒料剝脫做修補，及活化原有瀝青鋪面等項，但對於嚴重之變形或裂縫，如反射龜裂、車轍等破壞之路面，可搭配局部半厚度或全厚度、裂縫修補之方式特別處理，以達到整體改善之目的。
3. 霧狀封層宜天氣晴朗施工，材料使用機具施作後，以 1 小時養護開放通車為最佳。
4. 施噴時均勻性至關重要，不均勻時造成推積不易乾，用路人滑倒機率倍增，雖本次噴灑機具不如預期，但數據值得參考，建議引進國外小型噴灑機具。
5. 材料使用 RC-70 之油溶瀝青則不乾，使用國內乳化瀝青例如 CRS 系列，可以快乾，但基材是針入度 85-100 瀝青，在夏天路面溫度下還是軟的，亦會造成用路人的危險。
6. PCI 觀測結果施工前與施工後經變異數分析，是有顯著差異，也就是鋪面有所改善。
7. 孔蓋數量安裝，造成其周邊高低差及切割所留下之延伸裂縫，此損壞情況往往控制 PCI 數據下降的主要原因。
8. 霧狀封層施工完後當下 BPN 有所降低，但時間延續其 BPN 值隨著提升，為了行路人安全考慮，當原鋪面之 BPN 高於 70 以上時，且鋪面狀況尚無破壞到無法接受時，霧狀封層才建議施作。
9. 施工前與施工後之溝紋深度經變異數分析，是有顯著差異。
10. 鋪面使用密級配其溝紋深度 0.5mm 以上，則粒料可能有嚴重剝脫，或少於 0.3mm 則粒料有可能被磨平，則要考慮是否施作霧狀封層。

### 三、參考文獻

- [1]. 劉豐、高曉剛、鄒勃、張朝暉，「為保護環境研製應用常溫築路養路材料」*北方交通*，2006，pp 22-24(中國大陸)。
- [2]. 李祝龍、丁小軍、趙述曾、吳德平，「瀝青混合料應用中的環境保護」*交通運輸工程學報*，第4卷第4期 2004年12月(中國大陸)。
- [3]. L. Galehouse, J. S. Moulthrop, and R. G. Hicks, “Principles of pavement preservation: definitions, benefits, issues, and barriers,” *TR News*, pp. 4–15, 2003.
- [4]. Federal Highway Administration, FHWA -16 -CAI -012 “Pavement Preservation: How Workbook”, 2016.
- [5]. 杜嘉崇、葉榮晟，「節能減碳鋪面維修方法—噴霧封層施工」，*技師月刊* 51期 (2008 / 12 / 01) ， P82 – 88。
- [6]. American Society for Testing and Materials, ASTM D2397-05 Standard Specification for Cationic Emulsified Asphalt.
- [7]. The American Association of State Highway and Transportation Officials, AASHTO M208, 2018 Edition, 2018 - Standard Specification for Cationic Emulsified Asphalt.
- [8]. 中華民國國家標準 CNS 1304 K5016 乳化瀝青。
- [9]. 香港 Research & Development Division, “GUIDANCE NOTES ON ROAD SURFACE REQUIREMENTS FOR EXPRESSWAYS AND HIGH SPEED ROADS”, June 2007.