

出國報告（出國類別：研究）

交通部 108 年選送人員赴國外專題研究

美國州際公路預防性養護策略及工法
應用於臺灣區高速公路之可行性

服務機關：交通部高速公路局

姓名職稱：高均約科長

派赴國家/地區：美國

出國期間：108 年 5 月 20 日 至 108 年 8 月 19 日

報告日期：108 年 10 月 28 日

摘 要

預防性養護依據國外長期研究數據及經驗顯示，確有節省鋪面全生命週期養護經費、延長鋪面壽年、長時間維持優良鋪面服務水準及改善鋪面結構體質等多項優點，應可將此概念引入國內養護機制內。尤以預防性養護工法主要處理破壞類型係以裂縫為主，考量臺灣多雨及高落塵天候環境特性，裂縫發展為後續嚴重破壞，如坑洞、車轍等之進程時間，恐較國外更加快速，故於裂縫微小時進行填補封層之整體效益應較國外更加顯著，更增預防性養護應用於國內之必要性。

預防性養護工法之材料及機具設備，經初步評估可應用於國內，惟須注意相關作業過程之材料控制問題，另國外工法分類較細，各種工法及組合工法之適用情形，亦需時間及經驗累積。

目 次

壹、目的、過程及預期效益·····	01
一、目的·····	01
二、過程·····	01
三、預期效益·····	12
貳、美國州際公路預防性養護策略及檢測設備·····	02
一、鋪面養護概述·····	02
二、國內養護概況·····	07
三、鋪面養護策略·····	08
四、鋪面養護檢測·····	09
叁、美國州際公路預防性養護材料及工法·····	14
一、裂縫填封·····	15
二、霧狀封層·····	20
三、更新霧狀封層·····	26
四、碎石封層·····	32
五、稀漿封層·····	37
六、複合封層·····	42
七、微表面處理·····	47
八、薄層加鋪·····	52
九、小結·····	56
肆、美國州際公路其他重要課題·····	61
一、養護施工人員安全防護·····	61
二、及時訊息·····	64
三、匝道管制·····	67
伍、心得及建議·····	69
一、心得·····	69
二、建議·····	71
陸、參考來源·····	72

圖 目 錄

圖 2.1.1 鋪面狀況與養護方式關係圖	04
圖 2.1.2 預防性養護經費示意圖	05
圖 2.1.3 預防性養護經費比較圖(1)	06
圖 2.1.4 預防性養護經費比較圖(2)	06
圖 2.2.1 國道鋪面夜間施工養護圖	07
圖 2.3.1 抱怨線示意圖	08
圖 2.3.2 預防性養護啟動線示意圖	09
圖 2.4.1 檢測車外觀圖	12
圖 2.4.2 檢測設備系統展示圖	12
圖 3.1.1 填封作業圖	16
圖 3.1.2 填封施工圖	19
圖 3.2.1 運送設備圖	21
圖 3.2.2 灑布設備圖	22
圖 3.3.1 運輸設備圖	28
圖 3.3.2 路面養護完成圖	30
圖 3.4.1 施工過程圖	34
圖 3.4.2 灑布作業圖	36
圖 3.5.1 施工機具圖	38
圖 3.5.2 施工作業圖	40
圖 3.6.1 機具作業圖	44
圖 3.6.2 施作完成圖	46
圖 3.7.1 施工機具圖	48
圖 3.7.2 施工作業圖	49
圖 3.8.1 施工機具圖	53
圖 3.8.2 施工作業圖	55
圖 4.1.1 施工工區總致死人數統計圖	61
圖 4.1.2 施工工區施工人員致死人數統計圖	61
圖 4.1.3 施工工區大型車致死撞擊事故統計圖	62
圖 4.1.4 施工工區超速致死撞擊事故統計圖	62
圖 4.1.5 同向兩車道路段封閉內側車道交管布設示意圖	63
圖 4.2.1 全跨度高架資訊可變標誌	64
圖 4.2.2 路旁資訊可變標誌	64

圖 4.2.3 門架式資訊可變標誌·····	64
圖 4.2.4 1968 網站示意圖·····	65
圖 4.2.5 1968App 示意圖 ·····	65
圖 4.2.6 最新消息頁面示意圖·····	66
圖 4.2.7 施工事故頁面示意圖·····	66
圖 4.2.8 開放路肩頁面示意圖·····	66
圖 4.2.9 行車速度頁面示意圖·····	66
圖 4.2.10 資訊可變標誌頁面示意圖 ·····	66
圖 4.2.11 天氣資訊頁面示意圖 ·····	66
圖 4.3.1 匝道儀控系統示意圖·····	67
圖 4.3.2 匝道儀控效果比較圖·····	68

表 目 錄

表 2.1.1 各類型養護工法及其工項·····	03
表 2.4.1 PCI 破壞種類一覽表·····	10
表 2.4.2 PCI 鋪面狀況分級表·····	10
表 2.4.3 MAP-21 指標表 ·····	11
表 3.1.1 美國預防性養護工法比較表·····	14
表 3.9.1 各工法之組合工法比較表·····	56
表 3.9.2 各工法之天候要求比較表·····	57
表 3.9.3 各工法之注意事項摘要比較表·····	58

本文

壹、目的、過程及預期效益

一、目的

本專題研究希望藉由對於美國州際公路在鋪面預防性養護之指標、檢測技術、應用材料及使用工法等各項議題之研習瞭解，以評估探討應用於國內高速公路之可行性。

二、過程

本計畫研究人員(以下簡稱筆者)係於 108 年 3 月 20 日奉准赴美國維吉尼亞州交通廳及華盛頓特區、紐約等地區進行為期 3 個月的專題研究，研究題目為「美國州際公路預防性養護策略及工法應用於臺灣區高速公路之可行性」，並希望藉由本次觀摩參訪機會，一併瞭解蒐集國外目前針對養護施工人員安全防護、及時訊息及美國州際公路匝道管制等相關重要課題之辦理情形。

筆者隨即進行前置聯繫作業並獲同意前往維吉尼亞州交通廳研究，嗣後於 108 年 5 月 20 日前往美國，主要時間於維吉尼亞州交通廳進行資料蒐集及研習，並於 108 年 7 月 23 日至 29 日至華盛頓特區、108 年 8 月 1 日至 7 日至紐約，各進行為期 1 周的參訪觀摩行程，最後於 108 年 8 月 19 日返國，結束為期 3 個月的專題研究。

三、預期效益

倘能針對鋪面預防性養護部分項目本土化應用於國內高速公路，預期將可節省整體養護經費及影響交通造成之社會成本，並提升鋪面服務品質，提供國人更安全、舒適、便捷之旅運體驗。

本計畫赴國外短期研究範疇，希望瞭解美國州際公路以下各項預防性養護內容，並評估應用於台灣高速公路之可行性：

(一)預防性養護

- 1.美國 MAP-21 計畫鋪面養護指標及 PCI 鋪面狀況指標等
- 2.美國州際公路預防性養護檢測技術發展狀況及應用
- 3.美國州際公路預防性養護應用材料工法(碎石、乳化瀝青、稀漿等)

(二)其他相關重要課題

有鑑於國內高速公路部分課題仍有需借鏡先進國家作法之處，以下

項目希望藉由本次觀摩機會，一併瞭解蒐集目前國外辦理情形。

- 1.美國州際公路養護施工人員安全防護
- 2.美國州際公路及時訊息
- 3.美國州際公路匝道管制

貳、美國州際公路預防性養護策略及檢測

一、預防性養護概述

依照路面破壞程度所採取的養護方式可概分為預防性養護(PM)、改善性養護(CM)、復原性養護(RM)、改善重建(RC)等，以美國維吉尼亞州為例，其各養護工法之工項請詳表 2.1.1

表 2.1.1 各類型養護工法及其工項

養護工法	工項
預防性養護 (PM)	表面封層處理(霧狀封層、碎石封層、稀漿封層、微表面處理及薄層加鋪等)
	裂縫填封
	小型補綻(<面積 5%),表面補綻(深度< 2")
改善性養護 (CM)	瀝青面層加鋪(<厚度 2")
	部份深度補綻及表面封層處理(面積<10%及深度 4" -6")
	部份深度補綻及瀝青面層加鋪(<面積 10%及深度 4" -6" , 加鋪<2")
	中等補綻 (面積<10%,深度> 6")
復原性養護 (RM)	瀝青面層加鋪(厚度<4")
	全深度補綻及瀝青面層加鋪(面積<20%,深度 9" -12" ;加鋪<4")
	重度補綻 (面積<20%,深度>12")
改善重建 (RC)	瀝青面層加鋪 (9" -12")
	重建

資料來源：美國維吉尼亞州交通廳

基本上從路面破壞之維修程度來看，從輕微到嚴重，分別為預防性養護、改善性養護、復原性養護、改善重建。預防性養護主要是表面裂縫處理封層及小型補綻，改善性養護則以部份深度補綻及加鋪為主，復原性養護則為全深度補綻及瀝青面層加鋪，改善重建就是大型加鋪或直接重建了。如分布在鋪面生命週期圖來看，如圖 2.1.1 所示，可看出當鋪

面狀況極佳時，只須進行日常養護，而當鋪面狀況由極佳下降至佳時，則須進行維護作業，包括預防性養護，而鋪面狀況再下降時，就須依序進行改善或重建了。

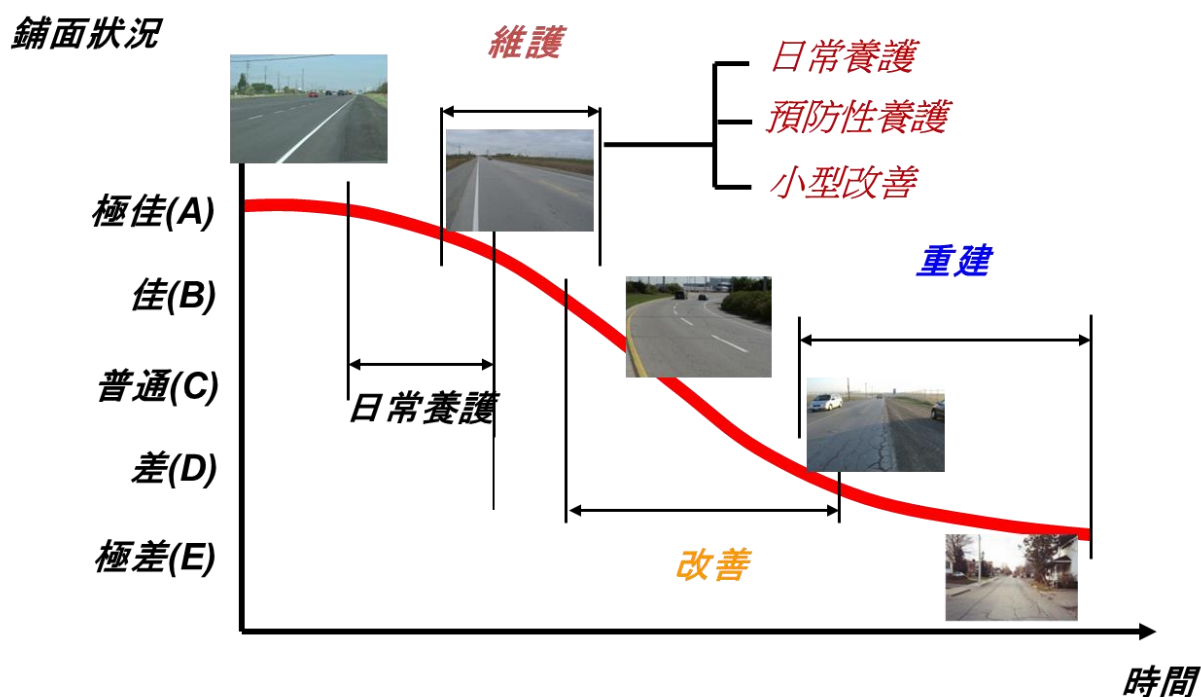


圖 2.1.1 鋪面狀況與養護方式關係圖(圖資來源：美國維吉尼亞州交通廳)

另由表 2.1.2 可看出改善重建或結構加鋪可以增加鋪面結構強度，減緩鋪面材料老化，並改善道路服務性，而鋪面維護(含預防性養護)無法增加鋪面結構強度，另改善性養護及復原性養護均只能改善道路服務性。

表 2.1.2 各類維修工法優點特性比較表

維修工法		增加強度	減緩老化	改善服務性
改善重建		V	V	V
主要改善/結構加鋪		V	V	V
鋪面 維護	次要改善		V	V
	預防性養護		V	V
	日常養護			V
改善性養護				V
復原性養護				V

而由上述說明亦可知，預防性養護主要進行表面裂縫處理封層及小型補綻，處理時機是當路面狀況尚良好時，可減緩鋪面材料老化程度，並提升道路服務水準。

The graph illustrates the relationship between Pavement Condition Index (PCI) and Time (Years) for different maintenance levels. The y-axis represents PCI from 10 to 100, and the x-axis represents Time in Years from 0 to 50. Five curves represent different maintenance levels: 'Every \$1 here...' (highest), 'Every \$1 there...', 'Every \$1 somewhere else', 'Every \$100 here...', and 'Every \$100 there...' (lowest). The curves show that higher maintenance spending leads to a slower decline in PCI over time. The graph is divided into five condition levels: EXCELLENT (A), GOOD (B), FAIR (C), POOR (D), and VERY POOR (E).

Time (Years)	Every \$1 here... (PCI)	Every \$1 there... (PCI)	Every \$1 somewhere else (PCI)	Every \$100 here... (PCI)	Every \$100 there... (PCI)
0	100	100	100	100	100
10	100	100	100	100	100
20	100	100	100	100	100
30	100	100	100	100	100
40	100	100	100	100	100
50	100	100	100	100	100

5



圖 2.1.3 預防性養護經費比較圖(1) (圖資來源：PPRA 網站)



圖 2.1.4 預防性養護經費比較圖(2) (圖資來源：PPRA 網站)

二、國內養護概況

參照高速公路鋪面養護手冊，目前國道瀝青路面養護的準則如下：

- (一)若有鋪面坑洞之巡查通報時，應即進行確認、依等級處理，以維行車安全。
- (二)鋪面養護作業時應確實依照高公局「施工之交通管制守則」規定辦理交通維持事宜。
- (三)鋪面坑洞之修補，可以用常溫瀝青混合料或熱拌混合瀝青料。兩者皆屬臨時修補性質，為維持鋪面平整度與一致性，得將補綻納入年度整修中一併整修。
- (四)鋪面損壞修補，儘量避免擾及完好的底層、基層或路基，且較損壞範圍外寬 30cm 為原則，四邊可用切割機切割、氣動錘鑿打或刨除機，略呈垂直，縱向邊略與路中心線平行。
- (五)鋪面補綻之挖除部分，須將廢料、雜質或鬆動部分清除後灑佈黏層，再以修補材料回填。
- (六)鋪面修補以小型滾壓機或震動夯實鈑壓實，若因時間因素無法壓實時，滾壓後之鋪面，可約較原有鋪面略高 2-3mm(或以上)為原則，以求開放通車自然壓實後能達平整。但若有足夠時間可壓實時，滾壓完成之後之鋪面，應與相鄰鋪面高度相同，維持鋪面平整。
- (七)瀝青混凝土鋪面損壞若連續性補綻或修補之面積達車道面積之 20% 以上，或其補綻或修補之延續長度達 200m 以上時，則應重鋪面層或摩擦層。

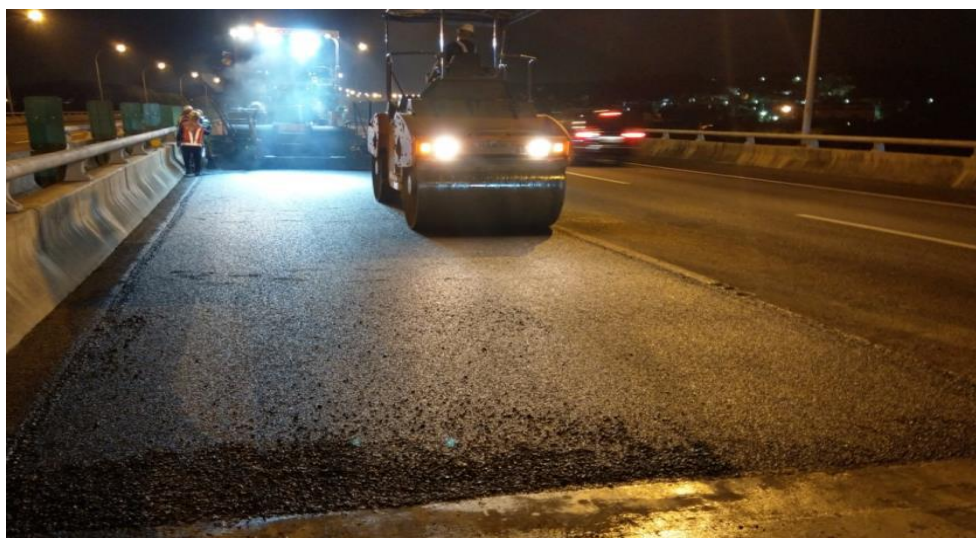


圖 2.2.1 國道鋪面夜間施工養護圖(圖資來源：高速公路局)

三、預防性養護策略

有關養護策略上，經本次參訪蒐集資料，除採用電腦程式計算排列養護優先順序外，美國亦採用下列兩種理念以進行養護時機之判斷。

(一)抱怨線

如圖 2.3.1 所示，在鋪面生命週期圖中，有一虛擬線，當鋪面狀況跌至此線以下，將超出大多數用路人的容忍程度，抱怨抗議將大為增加，鋪面養護單位須於此情形發生前，提早維修該路面。惟此標準為經驗值，各地區狀況不同，依筆者觀察並詢問美方人員經驗發現，國內用路人對於高速公路要求標準較高，國內抱怨線位置應更提高，推測除民情外，應與國內高速公路須收費，而美國州際公路部分不收費之狀況有關。

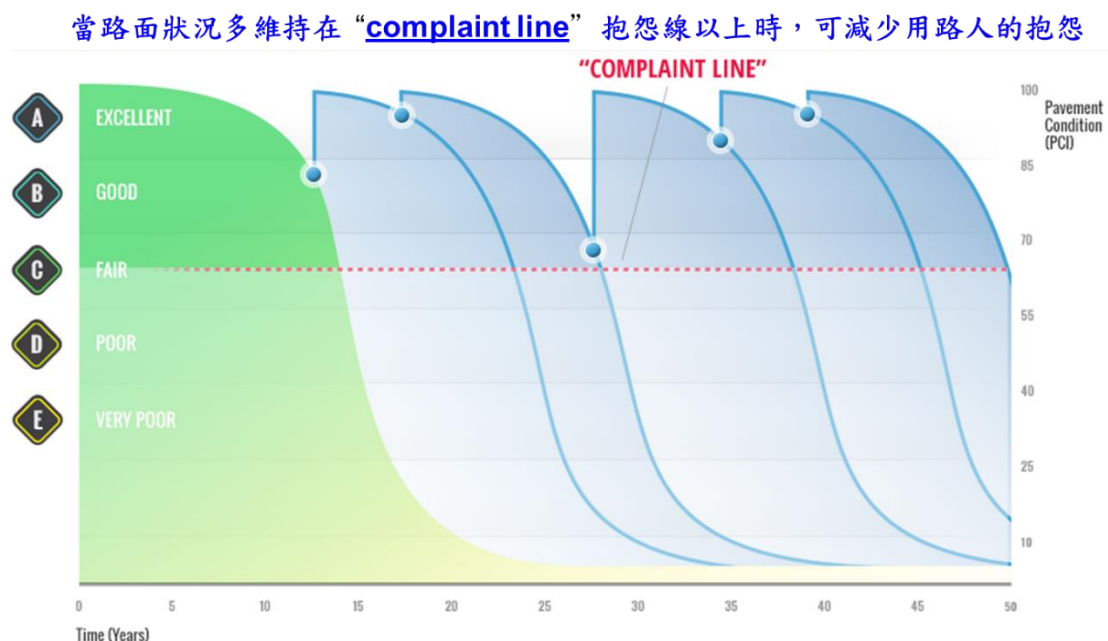


圖 2.3.1 抱怨線示意圖(圖資來源：PPRA 網站)

(二)預防性養護啟動線

另由圖 2.3.2，可制定預防性養護啟動線，在鋪面生命週期曲線中，當鋪面狀況跌至此線以下，即展開預防性養護作業，並不斷重複施行，除可將路面狀況長時間維持在良好狀況下，減少用路人抱怨，提升主管機關形象外，亦可節省養護經費，依國外經驗與鋪面狀況降至需進行改善養護時所需花費相較，可達 3 倍以上之撙節經費效果。

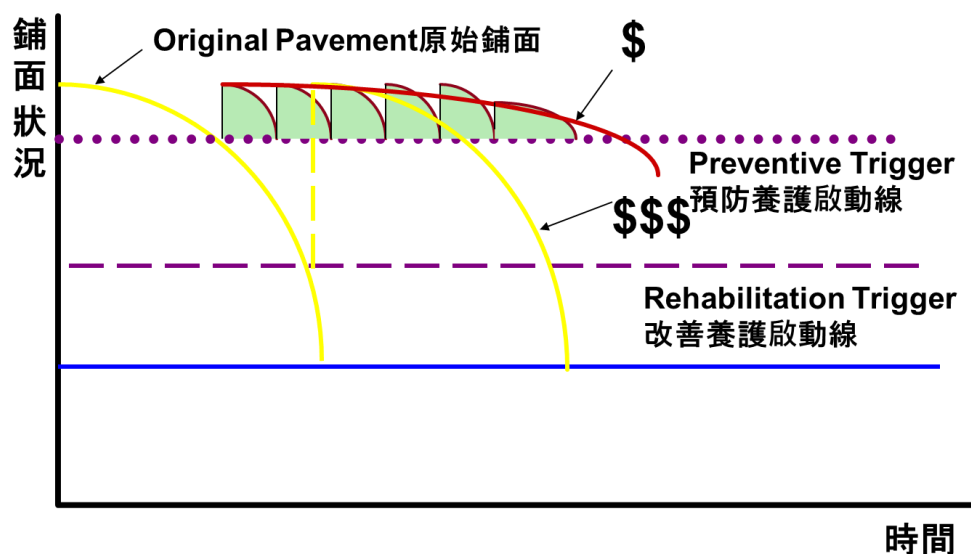


圖 2.3.2 預防性養護啟動線示意圖(圖資來源：美國維吉尼亞州交通廳)

預防性養護策略著重在於主動養護，屬預防性質，在經費無虞情形下，可依其理念施行，惟現實狀況，無論國內外，均有鋪面養護經費不足的問題，路面損壞經用路人通報或目視檢查發現回報再依嚴重程度安排維修養護，為主要養護機制及策略，著重在於被動養護，屬改善(治療)性質。目前養護方式尚可滿足用路需求，惟未來鋪面隨時間老化後，維修頻率將更為頻繁，養護經費支出勢將大幅增加，倘能適度採行預防性養護方式，則可適度延長鋪面使用壽命，節省維修經費。

依本次考察經驗，國外雖有維修經費不足問題，惟仍編列一定比例(如 10%)之經費用於預防性養護作業，期逐步改善鋪面體質，延長鋪面壽年，減少未來鋪面維修經費。

綜上，國外預防性養護策略可為借鏡，由鋪面管理單位於年度鋪面養護經費中編列一定比例之經費，藉由鋪面檢測調查方式瞭解轄區鋪面狀況後，選擇適合路段進行預防性養護作業，並視情況搭配適當的評估程序(如同一路段不同車道施行不同養護工法等)，以瞭解國內預防性養護之實際成效及效益，做為評估未來持續施行預防性養護工法之依據及方向。

四、預防性養護檢測設備

(一)鋪面狀況評估

鋪面狀況指標(Pavement Condition Index，PCI)為常用以評估鋪面狀

況之量化依據，將鋪面破壞類型概分為裂縫、表面破壞、表面變形及其他等 4 大項共 19 種破壞類型，請詳參表 2.4.1，含括範圍相當全面，另計算步驟為：先計算鋪面損壞型式扣減值，再算最大容許損壞扣減值，接著計算鋪面修正折減值，最後可得到 PCI 值。雖計算相當複雜，惟可得到量化且全面之鋪面狀況值，須以先進的鋪面檢測儀器為輔助。表 2.4.2 根據 PCI 值將鋪面狀況概分為極佳、佳、普通、差、極差等 5 類。

另外，其他鋪面狀況評估指標亦包括美國 MAP-21(Moving Ahead for Progress in the 21st Century Act，指標詳表 2.4.3)、PSR(Present Serviceability Rating)、MCI(Maintenance Control Index)，此三類指標均只評估裂縫率、車轍深度及平坦度等 3 項，較為簡化，便於量測應用，目前也漸漸廣泛應用中。

表 2.4.1 PCI 破壞種類一覽表

種類	破壞名稱	種類	破壞名稱
裂縫 (面積)	鱷魚狀裂縫	表面變形	凸、凹陷
	塊狀裂縫		波浪形路面
	滑動裂縫		凹陷
裂縫 (長度)	邊緣裂縫		車轍
	反射裂縫		側擠
	縱、橫向裂縫		隆起
表面破壞	補綻	其他	冒油
	坑洞		路肩高差
	風化、剝脫		粒料打滑
			跨越鐵道

表 2.4.2 PCI 鋪面狀況分級表

PCI(0-100)	鋪面狀況等級
86-100	A_EXCELLENT 極佳
71-85	B_GOOD 良好

56-70	C_FARE 普通
41-55	D_POOR 差
0-40	E_VERY POOR 極差

表 2.4.3 MAP-21 指標表

	佳	普通	差
平坦度(IRI)(m/km)	<1.5	1.5-2.7(3.5*)	> 2.7(3.5*)
裂縫率(%)	<5	5-10	>10
車轍(mm)	<5	5-10	>10

*人口數百萬以上之地區適用

(二)國內現況

- 1.高速公路巡查依鋪面養護手冊，可分為經常巡查、定期巡查及特別巡查三類；鋪面定期巡查係指養護單位就轄區內鋪面做定期的巡視與檢查，其巡查之項目包含鋪面調查及鋪面檢測，俾利發現異常現象後進行相關養護決策以改善之。
- 2.鋪面日間經常巡查採乘車以目力檢視可判斷之路面破裂、坑洞、跳動及積水等狀況為主，其頻率主線每日 1 次、匝道每週 1 次。
- 3.調查目的以目視鋪面表面損壞情形加以記錄，衡量國內現況，篩選出高速公路常見的鋪面損壞型式，列出瀝青混凝土鋪面損壞調查項目為(1)線狀裂縫，(2)龜裂，(3)車轍(含側擠)，(4)沉陷，(5)坑洞，(6)冒油，(7)薄層剝離，(8)修補面等。若經鋪面調查結果後，尚需進一步瞭解局部路段破壞深度，得搭配採用鑽心取樣或透地雷達等方式調查。
- 4.鋪面檢測之目的為評估道路之相關指標，利用該指標進行鋪面現有狀況之評估，以便工務段即時了解，俾便即時研擬配套措施，做為養護決策之參考。檢測項目及評估指標如下：
 - (1)撓度：以落錘式撓度儀檢測之，作為鋪面結構強度評估之依據。
 - (2)糙度：以慣性式平坦儀檢測之，評估行車舒適性，檢測結果以國際糙度指標(International Roughness Index, IRI)呈現。
 - (3)抗滑：以鎖輪式抗滑儀檢測之，評估行車安全性，檢測結果以抗滑值(Skid

Number, SN)呈現。

5.檢測作業範圍

(1)撓度檢測原則為主線每 1,000m 檢測一次(橋梁、水泥混凝土鋪面、隧道及爬(下)坡路段除外)。在辦理撓度檢測時，養護單位可視需求調整檢測距離，無路肩路段辦理撓度檢測應依本局規定辦理交維管制，倘有安全疑慮可暫時毋需辦理撓度檢測。

(2)糙度檢測原則為主線每 100m 計算一次檢測數據。

(3)抗滑檢測原則為主線每 1,000m 檢測一次。

(4)以上檢測若有需要時可增加檢測密度，但對檢測地點、狀況仍需留存紀錄。

6.檢測頻率：檢測之頻率除新設鋪面完成後之撓度、糙度及抗滑均應做一次檢測，其餘之路段糙度及抗滑需每年定期檢測一次，撓度每 3 年至少檢測一次，可依優先順序或預定整修路段分年檢測。為避免對交通之衝擊，檢測位置以外車道為原則。

(三)國外檢測車

美國發展鋪面檢測車已有多多年經驗，資料蒐集上相當多樣化及客制化，可蒐集縱向坡度、國際糙度指標、路表紋理、車轍、GPS 定位，透地雷達偵測、公路資產管理、影像判讀等功能。

澳洲亦有關專業公司對於鋪面檢測相關儀器設備持續研發超過 40 年，其自動檢測車具備廣泛的功能性，功能包含：GPS 系統、公路資產管理、鋪面影像系統、數位剖面高程系統等。

相關檢測車外觀及系統展示情形請詳圖 2.4.1~2.4.2。



圖 2.4.1 檢測車外觀圖



圖 2.4.2 檢測設備系統展示圖

(四)國內檢測設備

中央大學團隊於 2000 年開始發展檢測車系統至今，於 1999 年率先引進檢測車後，開發測試後轉交由公路總局進行全省道路檢測，並自行開發道路智慧車，除了開發道路平坦度量測模組外，並增加街景攝影模組及鋪面破壞調查模組。

臺灣大學團隊約於 2002 年開始進行智慧型檢測車之組裝，於 2008 年利用線掃描相機進行鋪面狀況檢測與分析，在 2011 年引進美國 PSI 公司所開發之鋪面雷射掃描儀進行鋪面全斷面高程掃描，繪製完整鋪面高程資訊，並以此評估道路服務力。

另高速公路局、公路總局等政府部門及部份私人專業顧問機構亦擁有落錘式撓度儀、慣性式平坦儀及鎖輪式抗滑儀等檢測設備。

參、美國州際公路預防性養護材料工法(參考網站：PPRA)

美國州際公路預防性養護材料工法主要可概分為裂縫填封(Crack Sealing)、封層(Seal)、微表面處理(Micro Surfacing)及薄層加鋪(Thin Hot Mix Asphalt overlay, THMACO)等四大類,其中封層又可再細分為霧狀封層(Fog Seal)、更新霧狀封層(Rejuvenating Fog Seal)、碎石封層(Chip Seal)、稀漿封層(Slurry Seal)及複合封層(Cape Seal),各工法所針對維修路面狀況的PCI範圍,及所延長的鋪面壽年、減少生命週期成本及開放交通時間請詳表 3.1.1 所示。

表 3.1.1 美國預防性養護工法比較表(圖資來源：維吉尼亞州交通廳)

工法		PCI 範圍	延長 壽年	減少生命 週期成本	開放交 通時間
Crack Sealing 裂縫填封		70-90	3-5	-	< 1hr
Seal 封層	Fog Seal 霧狀封層	70-90	2-4	-	-
	Rejuvenating Fog Seal 更新霧狀封層	70-90	2-4	-	-
	Chip Seal 碎石封層	60-90	5-7	48%	< 1hr
	Slurry Seal 稀漿封層	70-90	5-7	33%	1-4hr
	Cape Seal 複合封層	60-90	8-10	25%	1-4hr
Micro Surfacing 微表面處理		70-90	6-8	28%	< 1hr
THMACO(Thin Hot Mix Asphalt overlay)薄層加鋪		70-90	8-10	-	< 1hr

以下章節內容及圖資來源均參考自 PPRA(Pavement Preservation & Recycling Alliance)網站。此係本次參訪經國外專家學者推薦之網站,內容相當豐富專業,亦推薦對此議題有興趣讀者可進一步上網參閱。

一、裂縫填封(crack sealing)

主要針對路面狀況 A 及 B(PCI 介於 70 到 100 之間)所進行之預防性養護工法。

(一)簡介

波特蘭水泥混凝土 (PCC) 開始做為路面磨耗層的時間約在美國 20 世紀初期。在早期施工期間使用的材料通常是沙、柏油瀝青、瀝青化合物或木塊，這些早期使用的材料，目前均已不使用。隨著時代的進步，引入了新材料(通常為改質聚合物)，並開發了新材料規格。

20 世紀 70 年代，隨著石油價格的飛漲，瀝青路面的成本也急劇增加。現有路面的維修方法不僅只重鋪一途的想法乃應運而生。最初，用於密封混凝土路面接縫的相同材料也用於密封瀝青路面的裂縫，後來開發了新的規格並改進材料的配方。

就大多數的路面而言，裂縫產生是無可避免的，如果不加以處理，可能會導致後續較嚴重的路面破壞，如坑洞和路基沉陷，裂縫填封係為處理裂縫超過 1/8" 最具經濟效益的工法。

(二)預期成效

- 1.減緩路面材料持續惡化
- 2.可延長路面使用壽命達 5 年
- 3.最低成本的處理工法
- 4.有 75% 的未填封的裂縫將在 3 年內會發展成坑洞，而只有 1%的密封裂縫在 3 年內會再發展成坑洞。
- 5.

	最佳成效	平均成效	保守成效
鋪面狀況	A	B	C
PCI 範圍	85 - 100	70 - 85	55 - 70
延長壽年	5 年	3 年	1 - 2 年

6.經濟效益

裂縫填封是最具成本效益的路面養護工法之一。

(三)組合工法

- 1.裂縫填封+瀝青加鋪：此組合因熱拌瀝青無法填補裂縫，故須搭配裂縫填封
- 2.裂縫填封+碎石封層：當現有表面的裂縫寬度超過 1/8"時，在施作碎石封層之前應進行裂縫填封，有助於防止水流入碎石封層後再侵入路面基底層結構。
- 3.裂縫填封+微表面處理：當現有表面的裂縫寬度超過 1/8" 時，在微表面處理之前先進行裂縫填封，有助於防止水流入路表後再侵入路面基底層結構。
- 4.裂縫填封+稀漿封層：當現有表面的裂縫寬度超過 1/8" 時，在稀漿封層之前先進行裂縫填封，有助於防止水流入路表後再侵入路面基底層結構。

為獲得最佳效果，當應用上述組合工法時，應待裂縫填封養治固化至少 2 周，然後再於其上進行其他工法施工。



圖 3.1.1 填封作業圖(圖資來源：PPRA 網站)

(四)材料

美國材料試驗學會(ASTM) D6690(TM-11)為裂縫填封的參考標準。裂縫填封製造商生產產品須符合 ASTM 要求。ASTM D6690 可識別以下四種不同類型的材料：

1. I 型：適用中等氣候，在-18°C 下測試低溫性能，延展率 50%。
2. II 型：適用大多數氣候，在-29°C 下測試低溫性能，延展率 50%。
3. III 型：適用大多數氣候，在 -29°C 測試低溫性能，延展率 50% ，並須再進行特殊測試。
4. IV 型：適用非常寒冷氣候，在-29°C 下測試低溫性能，延展率 200%。

(五)引用規範

在研議裂縫填封相關規範前，可先查詢國際稀漿表面處理協會（ISSA）提供之推薦性能指南(A175)。惟請注意，ISSA 指南並非規範，在查看 A175 後，仍需考慮許多重要因素。

(六)施工

1.裂縫填封最有效的處理破壞型式是塊狀、縱向、反射和橫向裂縫。除非在早期發展階段即進行裂縫填封處理，否則疲勞裂縫處理不會顯著改善路面性能，惟仍可防止路面進一步惡化。

(1)橫向裂紋：垂直路面車道方向的裂縫，通常是由於下層路面接縫的反射所形成。橫向裂縫通常每隔 100 英尺就會在路面的生命週期早期發生。隨著路面老化，裂縫會以較小的間距持續產生。對於較冷天候的路面，當路面壽年為 3-6 年時，橫向裂縫間距一般在 40-80 英尺之間。部份非常寒冷氣候的舊路面，橫向裂縫間隔僅 5 英尺。

(2)縱向裂縫：平行於路面車道方向的裂縫。道路中心線附近形成的縱向裂縫通常是由施工接縫處理不良所致。縱向裂縫也可能因底層裂縫的反射而形成。

(3)塊狀裂縫：由於熱漲冷縮效應所產生，通常形成在較老舊的瀝青路面上，由於瀝青硬化，加上寒冷天氣的收縮現象，形成塊狀裂縫。

(4)邊緣裂縫- 發生在瀝青路面的外部兩英尺範圍內，由於缺乏橫向支撐、底層材料沉陷、基礎強度不足或邊緣區域有重載交通所致，可應用裂縫填封工法來改善。

(5)疲勞裂縫：也稱為鱷魚皮裂縫，由於過多的交通荷重，過弱或過薄的表面材料厚度，和排水不良所造成。疲勞裂縫顯示路面在基底層和瀝

青面層的結構強度不足。對於妥善設計與施工的路面，疲勞裂縫通常發生在路面壽年的後期。惟對於超載、高流量路面或設計或施工欠妥的路面，疲勞裂縫可能提早發生。雖然裂縫填封適合處理大多數的裂縫，但因疲勞裂縫主要是結構強度不足所導致，因此以裂縫填封方式處理並非最佳工法。

2.天候條件

裂縫填封建議可在冬季進行，此時裂縫將最寬，惟仍應根據所在氣候區域，並選擇適當的封填材料。

3.施工前告知

如同所有道路建設案，使居民和用路人隨時瞭解即將進行的施工維修作業，有助於儘量減少交通混亂、延誤和抱怨。施工通知方式因主辦單位與工作型態而異，常見通知方式包括：

- (1)向所有受影響民眾寄發信件或電子郵件
- (2)在適當的時間內設立臨時「禁止停車」標誌
- (3)在工作進行之前設立電子留言板
- (4)在施工單位網站上發布資訊
- (5)利用傳統媒體(電視、廣播和報紙)通知

4.通知內容包括以下 6 個基本資訊：

- (1)使用工法的簡要說明
- (2)施工道路位置
- (3)工作日期、天數或時數，包括天氣或其他不可預見的延誤證明
- (4)說明預防性維護處理旨在延長路面的使用壽命，避免惡劣的行駛條件
- (5)說明一般施工步驟順序，包括對行車時間和道路使用的潛在影響
- (6)參與專案的人員姓名及聯繫方式

5.交通管制

為確保用路人和施工人員安全，必須進行交通管制。承包商應制定完善的交通管制計畫，經批准後，安全高效地管理工作區域。

應採用合格的交通管制人員，以保護施工人員和已完成的工作不因交通意外而受損。在工作人員和設備進入道路或工作區域前，應實施交通管制。交通管制包括施工標誌、交通錐和路障、標誌人員和駕駛車輛，以引導交通車流避開施工區域。

交通管制裝備及施設應符合相關規範要求，並確保應用的材料在重

新開放交通前能有足夠的時間養治固化。固化時間因路面表面狀況和應用時的天氣狀況而異。

6.一般準備

路表面應無灰塵、鬆散或異物以及任何會阻礙乳化瀝青粘附到路表的物質材料。在灑布施工前，應用洗滌劑或其他方法清潔路表有柴油滴落的區域。熱塑性路面標記應盡可能先磨平，並從路面上移除。

7.天氣要求

- (1)適用條件，清潔、乾燥的裂縫和適當的溫度是有效進行裂縫填封工法的重要關鍵。通常建議路面溫度超過 4.4°C。如路面溫度過低則可以使用熱空氣槍加熱。道路保持乾燥，較空氣或路面的溫度更為重要。
- (2)不合適的條件，須確認裂縫無冰水或除冰材料殘留，因將對填縫材料產生負面影響，應先清除乾淨。

(七)注意事項

- 1.裂縫必須不含灰塵或水分，俾確保施工品質。
- 2.道路保持乾燥較空氣或路面的溫度更為重要。



圖 3.1.2 填封施工圖(圖資來源：PPRA 網站)

二、霧狀封層(fog seal)

主要針對路面狀況 A 及 B(PCI 介於 70 到 100 之間)所進行之預防性養護工法。

(一)簡介

在 20 世紀初期，車輛產生的揚塵和道路材料逐漸解離成為問題，當時利用噴灑柏油來形成一個所謂「柏油碎石路」的表面。多年後，這種解決方法，最後發展為今天所熟知的霧狀封層工法。

霧狀封層是一種單一工法，使用經稀釋的慢凝乳化瀝青，於現有瀝青路面上，以瀝青噴灑車薄層灑布封層，封填路面細縫孔隙，避免粒料分離現象，可有效使用在因天候氧化的路面，並改善路面外觀，視現有路面狀況可延長 2 到 4 年的使用壽年。主要用於修護輕微路面裂縫、因氧化造成的路面破壞及因級配降級或夯實不良造成之路面破壞。

(二)預期成效

- 1.可保護路面結構免於水氣入侵及氧化老化
- 2.可延長路面壽命及延後進行大型維修之時間
- 3.可增加路面標線的相對辨識度，改善行車安全。
- 4.

	最佳成效	平均成效	保守成效
鋪面狀況	B	B	B ~ C
PCI 範圍	70-100	65-75	55 -65
延長壽年	4 年	3 年	2 年

5.經濟效益

霧狀封層是一種具經濟性的工法，可用於修復路面粒料分離並先保護任何破壞部分，直到資金足可運用以其他工法進行維修。

(三)組合工法

- 1.碎石封層+霧狀封層
- 2.全厚度翻修+霧狀封層
- 3.冷拌現地再生+霧狀封層

(四)材料

- 1.所使用的乳化瀝青包括 SS-1, SS-1h, CSS-1,或 CSS-1h，也有一些單位採用快凝乳化瀝青如 RS-1 或 CRS-1。
- 2.在確定霧狀封層使用速率之前，應考慮以下因素：
 - (1)交通狀況：在選擇要使用的乳化瀝青用量及類型時，應考慮道路之交通特性及車流量。
 - (2)既有路面：現有路面的質地紋理和狀況會影響乳化瀝青的灑布量及灑布速率。乾燥的多孔隙路面可能需要灑布更多的乳化瀝青。
- 3.乳化劑中的瀝青殘餘量會影響所需的乳化瀝青用量。瀝青殘餘量越低，所需的乳化劑用量越高。
- 4.霧狀封層所需要的乳化瀝青使用率為 0.23 – 0.68 公升/平方公尺。



圖 3.2.1 運送設備圖(圖資來源：PPRA 網站)

(五)引用規範

乳化瀝青製造商協會(Asphalt Emulsion Manufacturers Association ,AEMA)
推薦成效準則，第三版，2004.。

針對各部分液態材料的 ASTM 規範如下：

1. ASTM D977
2. ASTM D2397 / D2397M
3. ASTM D2026 / D2026M

4. ASTM D2027 / D2027M
5. ASTM D2028 / D2028M
6. ASTM D140
7. ASTM D244
8. ASTM D977
9. ASTM D2995

(六)施工

1.施工前準備

- (1)霧狀封層適用於具有足夠結構容量的路面。如果存在結構不良的現象，如嚴重裂縫、車轍或側擠，則應考慮其他替代工法。
- (2)使用經核可的儀器設備來評估現有路面表面狀況，以確認路面是否出現垂流或冒油現象。
- (3)霧狀封層僅應用於預期乳化瀝青可穿透流入的路面，包括老化和粒料分離的瀝青路面，以及碎石填封的道路表面和開放級配瀝青路面。
- (4)霧狀封層可應用於各種道路類型及交通等級。
- (5)為確保施工品質，應事先進行現地勘查，記錄現有路面的質地紋理、狀況、交通類型與服務水準。



圖 3.2.2 灑布設備圖(圖資來源：PPRA 網站)

2.天候條件

霧狀封層可應用於任何氣候中，並已在世界各地得到驗證。

3.施工前告知

如同所有道路建設案，使居民和用路人隨時瞭解即將進行的施工維修作業，有助於儘量減少交通混亂、延誤和抱怨。施工通知方式因主辦單位與工作型態而異，常見通知方式包括：

- (1)向所有受影響民眾寄發信件或電子郵件
- (2)在適當的時間內設立臨時「禁止停車」標誌
- (3)在工作進行之前設立電子留言板
- (4)在施工單位網站上發布資訊
- (5)利用傳統媒體(電視、廣播和報紙)通知

4.通知內容包括以下 6 個基本資訊：

- (1)使用工法的簡要說明
- (2)施工道路位置
- (3)工作日期、天數或時數，包括天氣或其他不可預見的延誤證明
- (4)說明預防性維護處理旨在延長路面的使用壽命，避免惡劣的行駛條件
- (5)說明一般施工步驟順序，包括對行車時間和道路使用的潛在影響
- (6)參與專案的人員姓名及聯繫方式

5.交通管制

為確保用路人和施工人員安全，必須進行交通管制。承包商應制定完善的交通管制計畫，經批准後，安全高效地管理工作區域內和周圍的交通。

應採用合格的交通管制人員，以保護施工人員和已完成的工作不因交通意外而受損。在工作人員和設備進入道路或工作區域前，應實施交通管制。交通管制包括施工標誌、交通錐和路障、標誌人員和駕駛車輛，以引導交通車流避開施工區域。

交通管制裝備及設施應符合相關規範要求，並確保應用的材料在重新開放交通前能有足夠的時間養治固化。固化時間因路面表面狀況和應用時的天氣狀況而異。

優先使用交通控制並設置臨時牌面標誌。確保對交通流量控制設備進行例行檢查，並且僅使用狀況良好且可見度高的交通控制設備。找到清晰可見的標誌，並在遠處放置標誌，以使用路人有足夠的反應時間判斷並可預為因應。

6.一般準備

路面應無灰塵、鬆散或異物以及任何會阻礙乳化瀝青粘附到路表的物質材料。在灑布施工前，應用洗滌劑或其他方法清潔路面有柴油滴落的區域。熱塑性路面標記應盡可能先磨平，並從路面上移除。

7.天氣要求

(1)適用條件，當氣溫高於 10°C 且路面溫度高於 15°C 時，可使用霧狀封層。

在極端炎熱乾燥的條件下，應先噴水來輕微浸濕路面，可防止乳化瀝青過早裂解。

(2)不合適的條件，如有任何降雨情形，則不適合使用霧狀封層，且不應在雨中施工。當氣溫低於 10°C 時，亦不建議使用霧狀封層。

(七)注意事項

1.霧狀封層是一種輕型的工法，將乳化瀝青鋪灑在既有路面上。常用慢凝及低流速之乳化瀝青，使乳化瀝青可輕易地流入填充裂縫與孔隙，並且以乳化瀝青將骨材加強包覆，進一步達到路面防水效果。

2.如工區場地狀況允許，應使用經校正之乳化瀝青撒布機。

3.慢凝乳化瀝青常被使用以填補層封細小裂縫，乳化瀝青常以水稀釋以降低其黏滯性，以便於撒布。稀釋比例可達 1(乳)：5(水)，但 1(乳)：1(水)最常用。

4.稀釋可以通過預熱稀釋液到 25 至 90°C 來改善。切勿於水中添加乳化瀝青，而需在乳化瀝青中倒入水或其他稀釋劑。

5.稀釋的乳化瀝青通常不儲存，除非惡劣天氣需要臨時儲存。

6.ASTM D-2995 可用於估計乳化瀝青使用率和殘餘量使用率。為確保施工品質，應安排實地考察，記錄現有路面的質地紋理、狀況及交通類型和服務水準。通常，霧狀封層所需之乳化瀝青灑布率為 0.23 - 0.68 公升/平方公尺，此取決於所使用的乳化劑中瀝青的殘餘含量。

7.稀釋的乳化瀝青通常不另外儲存，除非惡劣天氣需要臨時儲存。稀釋用水應清潔，無可檢測出的固體或不相容的可溶性鹽類。

8.加壓灑布機噴灑的乳化瀝青應採用均勻速率，不得用低壓從噴杆上飛濺或鑽孔。必須調整噴嘴角度和噴杆高度，以確保正確的噴灑方式。

9.灑布速率和覆蓋範圍：霧狀封層需要具有一致的外觀，以滿足特定的灑布率。

10.手動噴灑：灑布機無法進入的區域，需要採用手動噴灑進行封層施工。

人工噴灑應盡可能達到與灑布機具施工相同的表面處理成效。乳化瀝青

利用加壓灑布裝置，採均一速度施工，不可在噴杆上鑽孔以降低壓力。
應調整噴嘴角度和噴杆高度，以確保正確的灑布方式。

三、更新霧狀封層(fog seal)

主要針對路面狀況 B（PCI 介於 70 至 85 間）所進行之預防性養護工法。

(一)簡介

更新霧狀封層與霧狀封層相似，主要當路面破壞程度大於可使用霧狀封層或碎石封層維修之情況使用。更新霧狀封層的主要好處是可透過活化瀝青膠結料中的氧化成分來提高瀝青表面的韌性，進一步降低路面材料老化和氧化的速率。

數十年來，在路面上一直使用更新霧狀封層來恢復老化的瀝青性能到原來或優於原來的路面條件。噴灑混合物中的瀝青，在成分和性能上隨時間而變化。變化的速度和程度取決於其化學成分、環境條件和接觸時間。最初的更新霧狀封層由石油和樹脂或麥芽的特殊混合料組成，經乳化作用以利灑布噴塗。近年來，這些產品將石油和樹脂的特殊混合料與瀝青和相容聚合物(亦經乳化過程)相結合。更新霧狀封層的應用通常由經校正的瀝青灑布車來完成，灑布稀釋的乳化瀝青用量為 0.23 至 0.68 公升/平方公尺。

(二)預期成效

- 1.改善路面出現輕微的粒料分離，鬆散及不良壓實。
- 2.保護路面結構免受水氣入侵和氧化。
- 3.在需要針對磨耗面層進行封層前，可延長路面 1 至 4 年壽命。
- 4.可將須進行主要維修及養護的時間延後。
- 5.透過強化路面和道路標線間的顏色對比度，提升路面行車安全
- 6.

	最佳成效	平均成效	保守成效
鋪面狀況	B	B	B - C
PCI 範圍	70-85	65-75	55 -65
延長壽年	4 年	3 年	2 年

7.經濟效益

依據現有路面條件可延長 2 到 4 年鋪面壽年，可能影響成本的因

素包括：(1)材料可用性(2)場地條件(材料供應情況，在塗用霧封之前，表面的外在狀況和清潔和準備所需的工作量)(3)灑布速率。

(三)組合工法

- 1.碎石封層+更新霧狀封層
- 2.全厚度翻修+更新霧狀封層
- 3.冷拌現地再生+更新霧狀封層

(四) 材料

- 1.包括石油副產品和樹脂（即麥芽）或石油副產品和樹脂與瀝青和相容聚合物的特殊混合物;兩種類型都經過乳化程序。相關規格可參考 ASTM 4552-16。
- 2.用於更新霧狀封層的常用材料包括 ER-1、PMPS-Q 和 PMRE 等，許多品牌產品也在市場上銷售。大多數更新霧狀封層採用稀釋範圍從 1(乳)：1(水)、1(乳)：5(水)，到 2(乳)：1(水)。
- 3.配合設計

在確定更新霧狀封層的噴灑率前，應考慮以下因素：

- (1)交通：在選擇使用的乳化瀝青用量及類型時，應考慮交通特性及交通量。
- (2)既有路面：現有路面的質地紋理和狀況會影響乳化瀝青灑布量及灑布速率。乾燥的多孔隙路面可能需要灑布更多的乳化瀝青。
- (3)瀝青殘餘量：乳化劑中的瀝青殘餘量會影響所需的乳化劑用量。瀝青殘餘量越低，所需的乳化劑用量越高。

(五)引用規範

乳化瀝青製造商協會(Asphalt Emulsion Manufacturers Association ,AEMA)推薦成效準則，第三版，2004。

針對各部分液態材料的 ASTM 規範如下：

1. ASTM D977
2. ASTM D2397 / D2397M
3. ASTM D2026 / D2026M
4. ASTM D2027 / D2027M
5. ASTM D2028 / D2028M
6. ASTM D140

- 7. ASTM D244
- 8. ASTM D977
- 9. ASTM D2995

其他參考規範：瀝青研究所(AI)和乳化瀝青製造商協會(AEMA)，2008. MS-19 基本瀝青乳化手冊，第四版。



圖 3.3.1 運輸設備圖(圖資來源：PPRA 網站)

(六)施工

1.施工前準備

- (1)更新霧狀封層適用於具有足夠結構容量的路面。如果存在結構不良的現象，如嚴重裂縫、車轍或側擠，則應考慮其他替代工法。
- (2)使用經核可的破壞識別系統來評估現有路面表面狀況，以確認路面是否出現垂流或冒油現象。
- (3)更新霧狀封層僅應用於預期乳化瀝青可穿透流入的路面。這包括老化和粒料分離的瀝青路面，以及碎石填封的路表面和開放級配瀝青路面。
- (4)更新霧狀封層可用於各種道路類型及交通等級。
- (5)為確保成功，應進行現地勘查，並記錄現有路面的質地紋理、狀況，及交通類型與服務水準。

2.天候條件

更新霧狀封層可應用於任何氣候中。

3.施工前告知

如同所有道路建設案，使居民和用路人隨時瞭解即將進行的施工維修作業，有助於儘量減少交通混亂、延誤和抱怨。施工通知方式因主辦單位與工作型態而異，常見通知方式包括：

- (1)向所有受影響民眾寄發信件或電子郵件
- (2)在適當的時間內設立臨時「禁止停車」標誌
- (3)在工作進行之前設立電子留言板
- (4)在施工單位網站上發布資訊
- (5)利用傳統媒體(電視、廣播和報紙)通知

4.通知內容包括以下 6 個基本資訊：

- (1)使用工法的簡要說明
- (2)施工道路位置
- (3)工作日期、天數或時數，包括天氣或其他不可預見的延誤證明
- (4)說明預防性維護處理旨在延長路面的使用壽命，避免惡劣的行駛條件
- (5)說明一般施工步驟順序，包括對行車時間和道路使用的潛在影響
- (6)參與專案的人員姓名及聯繫方式

5.交通管制

為確保用路人和施工人員安全，必須進行交通管制。承包商應制定完善的交通管制計畫，經批准後，安全高效地管理工作區域內和周圍的交通。

應採用合格的交通管制人員，以保護施工人員和已完成的工作不因交通意外而受損。在工作人員和設備進入道路或工作區域前，應實施交通管制。交通管制包括施工標誌、交通錐和路障、標誌人員和駕駛車輛，以引導交通車流避開施工區域。

交通管制裝備及設施應符合相關規範要求，並確保應用的材料在重新開放交通前能有足夠的時間養治固化。固化時間因路面表面狀況和應用時的天氣狀況而異。

優先使用交通控制並設置臨時牌面標誌。確保對交通流量控制設備進行例行檢查，並且僅使用狀況良好且可見度高的交通控制設備。找到清晰可見的標誌，並在遠處放置標誌，以使用路人有足夠的反應時間判讀並可預為因應。

6.一般準備

路表面應無灰塵、鬆散或異物以及任何會阻礙乳化瀝青粘附到路表的物質材料。在灑布施工前，應用洗滌劑或其他方法清潔路表有柴油滴落的區域。熱塑性路面標記應盡可能先磨平，並從路面上移除。

7.天氣要求

- (1)適用條件，當氣溫高於 10°C 且路面溫度高於 15°C 時，可使用更新霧狀封層。在極端炎熱乾燥的條件下，利用噴水來輕微地浸濕表面，應可防止乳化瀝青過早裂解。
- (2)不合適的條件，如果有任何降雨情形，則不適合使用更新霧狀封層，且不應在雨中施工。當氣溫低於 10°C 時，亦不建議使用更新霧狀封層。

(七)注意事項

- 1.更新霧狀封層可用活化添加劑的乳化瀝青，包括瀝青、改質瀝青和其他添加劑。
- 2.經適當校正的乳化瀝青灑布機或手動噴灑器可用於噴塗乳化瀝青。
- 3.ASTM D-2995 可用於估計乳化瀝青使用率和殘餘率。



圖 3.3.2 路面養護完成圖(圖資來源：PPRA 網站)

- 4.更新霧狀封層通常在使用前先以水稀釋，以降低噴灑的粘度。稀釋以不同的比例，最多為 1(乳): 5(水)，但在大多數情況下，常使用 1(乳): 1(水) 稀釋。
- 5.稀釋可以通過預熱稀釋液到 25 至 90°C 來改善。切勿於水中添加乳化瀝青，務必在乳化瀝青中加入水或其他稀釋劑。
- 6.稀釋的乳液通常不儲存，除非惡劣天氣需要臨時儲存。稀釋水應清潔，飲用水，無可檢測的固體或不相容的可溶性鹽。
- 7.霧化：在極端炎熱乾燥的條件下，應通過噴水「霧化」表面，以防止乳化瀝青過早裂解。霧化噴塗的速率隨表面溫度、表面紋理、濕度和乾燥度而不同。應注意不要產生水聚現象，以影響乳化劑裂解和固化的時間。
- 8.灑布速率和覆蓋範圍：更新霧狀封層需要具有一致的外觀，以滿足特定的灑布率。
- 9.手動噴灑：灑布機無法進入的區域需要採用手動噴灑進行封層施工。人工噴灑應盡可能達到與灑布機具施工相同的表面處理成效。乳化瀝青利用加壓灑布裝置，採均一速度施工，不可在噴杆上鑽孔以降低壓力。必須調整噴嘴角度和噴杆高度，以確保正確的灑布方式。

四、碎石封層(chip seal)

主要針對路面狀況 A、B、C(PCI between 60 and 90)所進行之預防性養護工法。

(一)簡介

碎石封層起源於 20 世紀 1920 年代。早期用途主要是做為次級碎石路的面層使用。但在過去的 75 年中，碎石封層已成為可在各種容量路面上成功施行的維修工法。碎石封層的流行主要是因為與薄層瀝青加鋪相比，有較低的初始成本。

碎石封層由一層瀝青膠結料(熱拌或乳化)和一層碎石骨材所組成。碎石封層可提供新的防滑耐磨表面，改善粒料分離，密封小裂縫，並延緩現有道路進一步的惡化。碎石封層的黏著劑可為改質瀝青，以加強骨料粘著效果，可盡快開放交通。

(二)預期成效

- 1.提高抗滑及安全性
- 2.減少水氣入侵
- 3.減緩反射裂縫產生
- 4.

	最佳成效	平均成效	保守成效
鋪面狀況	B	C	D
PCI 範圍	80	60	40
延長壽年	7-10 年	3-5 年	1-3 年

5.經濟效益

與傳統施工作業相比，生命週期成本降低 45%-50%，延長道路壽年 5 至 10 年，惟仍取決於道路的狀況及施工中使用的材料。當碎石封層在適當的時間施行於合適路面並以正確的方式施工時，效果最佳。

(三)組合法

- 1.裂縫填封+碎石封層：當現有表面的裂縫寬度超過 1/8"時，在施作碎石封層之前應進行裂縫填封，有助於防止水流入碎石封層後再侵入路面基底層結構。

- 2.雙層和三層碎石封層：當路面需要更耐用時，可使用多重碎石封層。與單層碎石封層相比，多層碎石封層具有較少交通噪音、額外防水性能以及更堅固的填封效果等優點，多用於路面受高應力的情況，例如高重車比路段或陡坡路段。
- 3.碎石封層+霧狀封層：這種組合可使封層較為美觀及安全。
- 4.碎石封層+瀝青加鋪：用於減緩新鋪瀝青面層的反射裂縫產生速度。
- 5.碎石封層+稀漿封層或微表面處理（即複合封層）：相對於只進行稀漿封層或微表面處理，如先施做碎石封層，再進行稀漿封層或微表面處理，可更徹底地密封裂縫及阻隔反射裂縫，達到更加的路面養護改善成效。

(四) 材料

材料變化可能來自不同類型或尺寸的骨料以及碎石封層過程中使用的不同膠結料。

1. 骨材

- (1)類型：花崗岩、礦渣、石灰石或輕質骨材是碎石封層常用的類型。使用的類型通常取決於當地的材料可用性和規範。
- (2)尺寸：碎石封層骨材尺寸範圍為 1/4" 到 1/2"。

- 2.膠結料：有許多不同的膠結料可用於碎石封層，可概分為乳化膠結料和熱灌膠結料等兩大類。

(五)引用規範

在研議碎石封層相關規範前，可先查詢國際稀漿表面處理協會（ISSA）提供之推薦性能指南(A165)。惟請注意，ISSA 指南並非規範，在查看 A165 後，仍需考慮許多重要因素。

(六)施工

1.施工前準備

- (1)碎石封層適用於具有足夠結構強度的路面，如路面出現結構不足情形，則應選擇不同的處理。如果路面發生車轍或側擠，也不是應用碎石封層的好時機。
- (2)雖然碎石封層被廣泛用於維護結構強度良好的道路，但亦可用於早期解決特定破壞類型的路面，以避免日後可能需進行更大規模的維修作業。
- (3) 碎石封層可增加路面的抗滑性。如路面抗滑能力下降，可採用碎石封

層來改善，以增加安全性。

(4)碎石封層可處理小於 1/4"之裂縫，避免水分滲入，破壞路基及基底層。

2.天候條件

應嚴格遵守施工部分中對於天氣或季節性限制。大多數碎石封層成效不佳主要是由於施工時間過早或太晚所致。



圖 3.4.1 施工過程圖(圖資來源：PPRA 網站)

3.施工前告知

如同所有道路建設案，使居民和用路人隨時瞭解即將進行的施工維修作業，有助於儘量減少交通混亂、延誤和抱怨。施工通知方式因主辦單位與工作型態而異，常見通知方式包括：

- (1)向所有受影響民眾寄發信件或電子郵件
- (2)在適當的時間內設立臨時「禁止停車」標誌
- (3)在工作進行之前設立電子留言板
- (4)在施工單位網站上發布資訊
- (5)利用傳統媒體(電視、廣播和報紙)通知

4.通知內容包括以下 6 個基本資訊：

- (1)使用工法的簡要說明
- (2)施工道路位置
- (3)工作日期、天數或時數，包括天氣或其他不可預見的延誤證明
- (4)說明預防性維護處理旨在延長路面的使用壽命，避免惡劣的行駛條件
- (5)說明一般施工步驟順序，包括對行車時間和道路使用的潛在影響
- (6)參與專案的人員姓名及聯繫方式

5.交通管制

為確保用路人和施工人員安全，必須進行交通管制。承包商應制定完善的交通管制計畫，經批准後，安全高效地管理工作區域內和周圍的交通。

應採用合格的交通管制人員，以保護施工人員和已完成的工作不因交通意外而受損。在工作人員和設備進入道路或工作區域前，應實施交通管制。交通管制包括施工標誌、交通錐和路障、標誌人員和駕駛車輛，以引導交通車流避開施工區域。

交通管制裝備及施設應符合相關規範要求，並確保應用的材料在重新開放交通前能有足夠的時間養治固化。固化時間因路面表面狀況和應用時的天氣狀況而異。

優先使用交通控制並設置臨時牌面標誌。確保對交通流量控制設備進行例行檢查，並且僅使用狀況良好且可見度高的交通控制設備。找到清晰可見的標誌，並在遠處放置標誌，以使用路人有足夠的反應時間判讀並可預為因應。

6.一般準備

路表面應無灰塵、鬆散或異物以及任何會阻礙乳化瀝青粘附到路表的物質材料。在灑布施工前，應用洗滌劑或其他方法清潔路表有柴油滴落的區域。熱塑性路面標記應盡可能先磨平，並從路面上移除。

7.天氣要求

(1)適用條件，天氣在碎石封層施工中佔有極其重要的作用。理想的施工條件包括：空氣和表面溫度高於 16°C，濕度低於 50%，盡量無風無雨。

(2)不合適的條件，包括涼爽的夜晚將使得碎石封層很難固化或增強力量。此為碎石封層施工通常存在季節性限制的原因，強風會導致噴灑的材料分佈不均勻。

(七)注意事項

- 1.選擇骨材類型、大小及膠結材料時，應考慮當地料源及交通流量類型。
應用於行人及機慢車的市區道路維修時，可採用較小的骨材。
- 2.經驗法則是噴杆高度距表面 12 英尺。
- 3.溫度、濕度和風速皆會影響碎石封層乳化材料的裂解與固化時間。



圖 3.4.2 灑布作業圖(圖資來源：PPRA 網站)

五、稀漿封層(slurry seal)

主要針對路面狀況 A 及 B(PCI 介於 77 到 100 之間)所進行之預防性養護工法。

(一)簡介

稀漿封層始於德國，產品名稱為 Schlémme，是一種冷拌的混合料，其稠度是流動的，易於施工。1936 年，在柏林的斯塔肯機場完成了第一次施拌混合料施工。美國的研究應用始於 1938 年，而真正廣泛的應用始於 1960 年代初，當時乳化劑混合料的一部分。

加州在 1930 年代末至 1940 年代初開始使用稀漿封層。1940 年代末，稀漿封層設備在道路養護中開始變得應用更加頻繁，但直至 1955 年才建造了一台專用機具來提高施工品質的可信度。

隨著卡車安裝灑布機的出現，稀漿封層在 1960 年代初經歷了快速的變化及成長。1960 年代中後期，美國、歐洲及其他地區的稀漿封層應用已日漸成熟。

稀漿封層是一種表面處理工法，可提供路面抗滑性、限制水分侵入、保護結構免受進一步氧化和粒料分離破壞，以及恢復路面均勻色澤，延長瀝青路面在良好條件下的使用壽命。稀漿封層施工時間短，可盡早開放通車，減少對車流的干擾影響。

(二)預期成效

1.許多研究指出，當稀漿封層使用在新的路面上，狀況良好時，使用壽命為 8 年或更長時間。但不建議使用稀漿封層作為臨時的權宜措施。

2.

	最佳成效	平均成效	保守成效
鋪面狀況	A	B-C	-
PCI 範圍	80-100	60-80	-
延長壽年	7-10	5-7.5	-

3.經濟效益

稀漿封層可降低成本至少 33%，溫室氣體減量 44%-93%，能源使用量減少 54%-84%，原物料減少至少 35%，可於 1-4 小時開放交通，增加 5-7 年以上鋪面壽年。

與傳統磨平及填縫處理工法相比，稀漿封層的生命週期成本降低了約 60%。當路面的 PCI 為 80 時採用稀漿封層處理，與 PCI 降為 40 才進行大型維修相較，可節省成本達 300%。

(三)組合工法

- (1)裂縫填封 + 稀漿封層：當現有表面的裂縫寬度超過 6 mm 時，在稀漿封層之前，先將表面以裂縫填封方式處理，將有助於防止水滲入及反射裂縫於路表磨耗層產生。
- (2)碎石封層 + 稀漿封層(即複合封層)：相對於只進行稀漿封層，如先施做碎石封層，再進行稀漿封層，可更徹底地密封裂縫及阻隔反射裂縫，達到更加的路面養護改善成效。



圖 3.5.1 施工機具圖(圖資來源：PPRA 網站)

(四) 材料

稀漿封層由乳化瀝青（可採用改質瀝青）、礦物聚合、水和添加劑等混合組成。稀漿封層厚度約為最大標稱粒徑的 1 倍，在其使用壽命期間均具有防滑紋理。稀漿封層可在施工後 1-4 小時內開放交通。

泥漿密封通常將鋪築機安裝於卡車上，進行施工，並可連續鋪築以儘量

減少施工接縫。

- 1.骨材：須採用合格的骨材，品質要求包括適當的級配、顆粒形狀、清潔度和含砂當量等。
- 2.乳化瀝青：稀漿封層所用的瀝青在使用前須經過乳化作用，亦可採用改質瀝青。乳化作用允許在環境溫度下泵送瀝青與骨料混合，並對瀝青性質進行調整。
- 3.礦物填充料：礦物填充料可用於提高混合物的稠度，並調整混合物裂解和養治特性。常使用波特蘭水泥、石灰石粉塵或飛灰等。
- 4.水：水用於提供混合物的穩定性和一致性。建議採用飲用水，必須不含鹽類和污染物，不建議由池塘或溪流取水。
- 5.添加劑：添加劑可用於加速或延緩稀漿封層的裂解時間。乳化劑和硫酸鋁是常用的添加劑。

(五)引用規範

在研議稀漿封層相關規範前，可先查詢國際稀漿表面處理協會（ISSA）提供之推薦性能指南(A105)。惟請注意，ISSA 指南並非規範，在查看 A105 後，仍需考慮許多重要因素。

(六)施工

1.施工前準備

- (1)稀漿封層工法適用結構承載能力良好的瀝青路面。如瀝青路面結構強度不足時，應選用其他養護工法。另瀝青路面產生車轍或側擠等破壞時，亦非應用稀漿封層工法的時機。
- (2)路面在施工前應處於良好狀態，無坑洞、嚴重疲勞裂縫等情形。如有前述狀況，應採適當工法先進行修護後，始採用稀漿封層施工。

2.天候條件

稀漿封層於任何天候條件均可施作。

3.施工前告知

如同所有道路建設案，使居民和用路人隨時瞭解即將進行的施工維修作業，有助於儘量減少交通混亂、延誤和抱怨。施工通知方式因主辦單位與工作型態而異，常見通知方式包括：

- (1)向所有受影響民眾寄發信件或電子郵件

- (2)在適當的時間內設立臨時「禁止停車」標誌
- (3)在工作進行之前設立電子留言板
- (4)在施工單位網站上發布資訊
- (5)利用傳統媒體(電視、廣播和報紙)通知

4.通知內容包括以下 6 個基本資訊：

- (1)使用工法的簡要說明
- (2)施工道路位置
- (3)工作日期、天數或時數，包括天氣或其他不可預見的延誤證明
- (4)說明預防性維護處理旨在延長路面的使用壽命，避免惡劣的行駛條件
- (5)說明一般施工步驟順序，包括對行車時間和道路使用的潛在影響
- (6)參與專案的人員姓名及聯繫方式



圖 3.5.2 施工作業圖(圖資來源：PPRA 網站)

5.交通管制

為確保用路人和施工人員安全，必須進行交通管制。承包商應制定完善的交通管制計畫，經批准後，安全高效地管理工作區域內和周圍的交通。

應採用合格的交通管制人員，以保護施工人員和已完成的工作不因交通意外而受損。在工作人員和設備進入道路或工作區域前，應實施交通管制。交通管制包括施工標誌、交通錐和路障、標誌人員和駕駛車輛，

以引導交通車流避開施工區域。

交通管制裝備及設施應符合相關規範要求，並確保應用的材料在重新開放交通前能有足夠的時間養治固化。固化時間因路面表面狀況和應用時的天氣狀況而異。

優先使用交通控制並設置臨時牌面標誌。確保對交通流量控制設備進行例行檢查，並且僅使用狀況良好且可見度高的交通控制設備。找到清晰可見的標誌，並在遠處放置標誌，以使用路人有足夠的反應時間判讀並可預為因應。

6.天氣要求

(1)適用條件，當路面和空氣溫度均高於 7°C 時，即可採用稀漿封層。如遇下雨，應須暫停施工。

(2)不合適的條件，當路面或空氣溫度低於 10°C 時，不建議施作稀漿封層。倘預估施工後 24 小時內可能有結冰情形，亦不建議施工。

(七)注意事項

- 1.在裝載卡車安裝灑布機前，應即對材料進行篩選，避免在重新處理材料時有受污染的可能。
- 2.稀漿封層較常應用於瀝青路面，但亦可使用於水泥混凝土表面。
- 3.在人口稠密地區，可採用組合封層取代稀漿封層，以提供更具耐久性的磨耗面層。

六、複合封層(cape seal)

主要針對路面狀況 A、B 及 C(PCI 介於 60 到 90 之間)所進行之預防性養護工法。

(一)簡介

複合封層係由南非開普敦(Cape)為中心進行開發，1950 年首次使用，主要是為了提高單層和多層碎石封層工法的耐久性，起初只用於日交通量低於 300 輛重車的新建道路。在交通量較大的道路。隨著時間的演進，約在 1957 年，現代的複合封層成形，一個 19mm 的碎石封層加上兩層稀漿封層和 13mm 碎石封層加上單層稀漿封層。

在澳洲，複合封層的使用可追溯到 1960 年代初，在大型碎石封層上應用了離子漿液材料，以提高承載力和耐久性。在美國，使用複合封層的第一個案例係引用參考自南非經驗，類似石膠泥瀝青混凝土（SMA）的導入方式。

複合封層可使路面壽年延長到良好狀態，包括先使用碎石封層處理，然後再用稀漿封層或微表面處理來覆蓋施工，兼具碎石封層及稀漿封層或微表面處理的優點，可填封中度裂縫，提供抗滑性，避免路面免受水分入侵，保護路面結構免受進一步氧化破壞，並恢復統一的黑色外觀，提升行駛安全性及舒適性，且施工時間短，可盡早開放通車。

(二)預期成效

- 1.填封改善路面中等裂縫
- 2.提高路面抗滑力
- 3.改善路面和標線之間的顏色對比辨識度，提升行車安全
- 4.保護路面結構免受水分入侵及氧化破壞
- 5.

	最佳成效	平均成效	保守成效
鋪面狀況	B	C	D
PCI 範圍	80	60	40
延長壽年	8-10 年	6-8 年	4-6 年

6.經濟效益

與碎石及瀝青鋪築處理相比，生命週期成本降低 45%-50%，施工速度提高 75%。

(三) 材料

1.碎石封層使用以下材料：

(1)骨材：骨材品質對碎石封層的整體成功至為重要。品質要求包括須採用清潔、耐用和耐磨的骨材。上層覆蓋材料的骨材應將提供足夠的抗滑力，並耐受氣候和交通荷重磨損。通常骨材選擇視當地料源狀況而定，倘品質不符要求，仍應採用外地骨材料源施工。

(2)骨料通常是碎石，如花崗岩、礦渣、石灰石或其他優質材料。

(3)瀝青膠結料：在構建碎石封層時，主要選擇兩種類型的膠結料，即乳化膠結料和熱灌膠結料。

2.稀漿封層或微表面處理使用以下材料：

(1)骨材：須採用合格的骨材，品質要求包括適當的級配、顆粒形狀、清潔度和含砂當量等。

(2)乳化瀝青：瀝青在使用前須經過乳化作用，亦可採用改質瀝青。乳化作用允許在環境溫度下泵送瀝青與骨料混合，並對瀝青性質進行調整。

(3)礦物填充料：礦物填充料可用於提高混合物的稠度，並調整混合物裂解和養治特性。常使用波特蘭水泥、石灰石粉塵或飛灰等。

(4)水：水用於提供混合物的穩定性和一致性。建議採用飲用水，必須不含鹽類和污染物，不建議由池塘或溪流取水。

(5)添加劑：添加劑可用於加速或延緩材料的裂解時間。乳化劑和硫酸鋁是常用的添加劑。

(四)施工

1.施工前準備

(1)碎石封層適用於具有足夠結構強度的路面，如路面出現結構不足情形，則應選擇不同的處理。如果路面發生車轍或側擠，也不是應用碎石封層的好時機。

(2)雖然碎石封層被廣泛用於維護結構強度良好的道路，但亦可用於早期解決特定破壞類型的路面，以避免日後可能需進行更大規模的維修作業。

- (3)碎石封層可增加路面的抗滑性。如路面抗滑能力下降，可採用碎石封層來改善，以增加安全性。
- (4)碎石封層可處理小於 1/4"之裂縫，避免水分滲入，破壞路基及基底層。
- (5)稀漿封層及微表面處理工法適用結構承載能力良好的瀝青路面。如瀝青路面結構強度不足時，應選用其他養護工法。另瀝青路面產生車轍或側擠等破壞時，亦非應用稀漿封層工法或微表面處理的時機。
- (6)路面在施工前應處於良好狀態，無坑洞、嚴重疲勞裂縫等情形。如有前述狀況，應採適當工法先進行修護後，始採用稀漿封層或微表面處理施工。
- (7)為確保成功，應進行現地勘查，並記錄現有路面的質地紋理、狀況，及交通類型與服務水準。



圖 3.6.1 機具作業圖(圖資來源：PPRA 網站)

2.施工前告知

如同所有道路建設案，使居民和用路人隨時瞭解即將進行的施工維修作業，有助於儘量減少交通混亂、延誤和抱怨。施工通知方式因主辦單位與工作型態而異，常見通知方式包括：

- (1)向所有受影響民眾寄發信件或電子郵件
- (2)在適當的時間內設立臨時「禁止停車」標誌

- (3)在工作進行之前設立電子留言板
- (4)在施工單位網站上發布資訊
- (5)利用傳統媒體(電視、廣播和報紙)通知

3.通知內容包括以下 6 個基本資訊：

- (1)使用工法的簡要說明
- (2)施工道路位置
- (3)工作日期、天數或時數，包括天氣或其他不可預見的延誤證明
- (4)說明預防性維護處理旨在延長路面的使用壽命，避免惡劣的行駛條件
- (5)說明一般施工步驟順序，包括對行車時間和道路使用的潛在影響
- (6)參與專案的人員姓名及聯繫方式

4.交通管制

為確保用路人和施工人員安全，必須進行交通管制。承包商應制定完善的交通管制計畫，經批准後，安全高效地管理工作區域內和周圍的交通。

應採用合格的交通管制人員，以保護施工人員和已完成的工作不因交通意外而受損。在工作人員和設備進入道路或工作區域前，應實施交通管制。交通管制包括施工標誌、交通錐和路障、標誌人員和駕駛車輛，以引導交通車流避開施工區域。

交通管制裝備及設施應符合相關規範要求，並確保應用的材料在重新開放交通前能有足夠的時間養治固化。固化時間因路面表面狀況和應用時的天氣狀況而異。

優先使用交通控制並設置臨時牌面標誌。確保對交通流量控制設備進行例行檢查，並且僅使用狀況良好且可見度高的交通控制設備。找到清晰可見的標誌，並在遠處放置標誌，以使用路人有足夠的反應時間判讀並可預為因應。

5.一般準備

由於複合封層是一種組合的處理工法，而且由於底層是碎石封層，因此碎石封層的適用條件應納入考量，如路面須具足夠結構強度，不可有產生車轍或側擠的狀況等。

6.天氣要求

- (1)適用條件，天候在複合封層施工上扮演極其重要的角色。其中碎石封層部分的理想條件為空氣和表面溫度高於 16℃，濕度低於 50%，盡量

無風無雨。稀漿封層或微表面處理的理想條件為路面和空氣溫度均高於 7°C。

- (2)不合適的條件，其中碎石封層部分的不合適條件包括涼爽的夜晚將使得碎石封層很難固化或增強力量，強風會導致噴灑材料分佈不均勻。而稀漿封層或微表面處理的不合適條件為路面或空氣溫度低於 10°C 時，另倘預估施工後 24 小時內可能有結冰情形，亦不建議施工。

(七)注意事項

- 1.選擇骨材類型、大小及膠結材料時，應考慮當地料源及交通流量類型。應用於行人及機慢車的市區道路維修時，可採用較小的骨材。
- 2.經驗法則是噴杆高度距表面 12 英呎。
- 3.溫度、濕度和風速皆會影響碎石封層乳化材料的裂解與固化時間。
- 4.在裝載卡車安裝灑布機前，應即對材料進行篩選，避免在重新處理材料時有受污染的可能。
- 5.應用複合封層的良好時機是路面有輕微裂縫或抗滑力下降，而較不適用於處理寬裂縫或車轍破壞。



圖 3.6.2 施作完成圖(圖資來源：PPRA 網站)

七、微表面處理(micro surfacing)

主要針對路面狀況 A 及 B(PCI 介於 70 到 100 之間)所進行之預防性養護工法。

(一)簡介

微表面處理 1960 年代末至 1970 年代初在德國率先出現。最初是研究人員在試驗傳統的稀漿封層時，發現若採較厚的處理應用，則可處理車轍及側擠問題。微表面處理在 1980 年應用於美國，現在被認為是處理車轍及側擠等問題較經濟有效的工法之一。

微表面處理可提供抗滑力，避免路面免受水分入侵，保護路面結構免受進一步氧化破壞，並恢復統一的黑色外觀，提升行駛安全性及舒適性，且施工時間短，可盡早開放通車。

(二)預期成效

- 1.提高路面抗滑力，有利行車安全
- 2.改善路面和標線之間的顏色對比辨識度，提升行車安全
- 3.保護路面結構免受水分入侵及氧化破壞
- 4.可處理車轍和側擠
- 5.

	最佳成效	平均成效	保守成效
鋪面狀況	B	B-C	C
PCI 範圍	75-85	65-75	55-65
延長壽年	8-10 年	6-8 年	4-6 年

6.經濟效益

與傳統重鋪方法相較，生命週期成本降低 28%。溫室氣體排放量減少 44%以上，能源使用量減少 54%以上，原物料減少 35%以上，可在 1 小時內開放交通，增加 6 - 8 年路面壽年。

(三)組合工法

- 1.裂縫填封+微表面處理
- 2.碎石封層+微表面處理（即複合封層）

(四)材料

- 1.骨材：須採用合格的骨材，品質要求包括適當的級配、顆粒形狀、清潔度和含砂當量等。
- 2.乳化瀝青：瀝青在使用前須經過乳化作用，亦可採用改質瀝青。乳化作用允許在環境溫度下泵送瀝青與骨料混合，並對瀝青性質進行調整。
- 3.礦物填充料：礦物填充料可用於提高混合物的稠度，並調整混合物裂解和養治特性。常使用波特蘭水泥、石灰石粉塵或飛灰等。
- 4.水：水用於提供混合物的穩定性和一致性。建議採用飲用水，必須不含鹽類和污染物，不建議由池塘或溪流取水。
- 5.添加劑：添加劑可用於加速或延緩材料的裂解時間。乳化劑和硫酸鋁是常用的添加劑。



圖 3.7.1 施工機具圖(圖資來源：PPRA 網站)

(五)引用規範

在研議微表面處理相關規範前，可先查詢國際稀漿表面處理協會（ISSA）提供之推薦性能指南(A143)。惟請注意，ISSA 指南並非規範，在查看 A143 後，仍需考慮許多重要因素。

(六)施工

1.施工前準備

- (1)微表面處理適用結構承載能力良好的瀝青路面。如瀝青路面結構強度不足時，應選用其他養護工法。另瀝青路面產生車轍或側擠等破壞時，亦非應用微表面處理的時機。
- (2)路面在施工前應處於良好狀態，無坑洞、嚴重疲勞裂縫等情形。如有前述狀況，應採適當工法先進行修護後，始採用微表面處理施工。



圖 3.7.2 施工作業圖(圖資來源：PPRA 網站)

2.天候條件

微表面處理於任何天候條件均可施作。

3.施工前告知

如同所有道路建設案，使居民和用路人隨時瞭解即將進行的施工維修作業，有助於儘量減少交通混亂、延誤和抱怨。施工通知方式因主辦單位與工作型態而異，常見通知方式包括：

- (1)向所有受影響民眾寄發信件或電子郵件
- (2)在適當的時間內設立臨時「禁止停車」標誌

- (3)在工作進行之前設立電子留言板
- (4)在施工單位網站上發布資訊
- (5)利用傳統媒體(電視、廣播和報紙)通知

4.通知內容包括以下 6 個基本資訊：

- (1)使用工法的簡要說明
- (2)施工道路位置
- (3)工作日期、天數或時數，包括天氣或其他不可預見的延誤證明
- (4)說明預防性維護處理旨在延長路面的使用壽命，避免惡劣的行駛條件
- (5)說明一般施工步驟順序，包括對行車時間和道路使用的潛在影響
- (6)參與專案的人員姓名及聯繫方式

5.交通管制

為確保用路人和施工人員安全，必須進行交通管制。承包商應制定完善的交通管制計畫，經批准後，安全高效地管理工作區域內和周圍的交通。

應採用合格的交通管制人員，以保護施工人員和已完成的工作不因交通意外而受損。在工作人員和設備進入道路或工作區域前，應實施交通管制。交通管制包括施工標誌、交通錐和路障、標誌人員和駕駛車輛，以引導交通車流避開施工區域。

交通管制裝備及施設應符合相關規範要求，並確保應用的材料在重新開放交通前能有足夠的時間養治固化。固化時間因路面表面狀況和應用時的天氣狀況而異。

優先使用交通控制並設置臨時牌面標誌。確保對交通流量控制設備進行例行檢查，並且僅使用狀況良好且可見度高的交通控制設備。找到清晰可見的標誌，並在遠處放置標誌，以使用路人有足夠的反應時間判讀並可預為因應。

6.天氣要求

- (1)適用條件，當路面和空氣溫度均高於 7°C 時，可採用微表面處理。如遇下雨，應暫停施工。
- (2)不合適的條件，當路面或空氣溫度低於 10°C 時，不建議施作微表面處理。倘預估施工後 24 小時內可能有結冰情形，亦不建議施工。

(七)注意事項

- 1.在裝載卡車安裝灑布機前，應即對材料進行篩選，避免在重新處理材料

時有受污染的可能。

- 2.儘早用除草劑處理植被，防止其在施工後恢復生長。
- 3.每天檢查裝載區域，特別強調乳化瀝青裝載區域，以確保所有區域保持清潔有序。

八、薄層加鋪(Thin Hot-Mix Asphalt Concrete Overlays，THMACO)

主要針對路面狀況 A 及 B(PCI 介於 70 到 100 之間)所進行之預防性養護工法。

(一)簡介

薄層加鋪工法已於美國使用多年。在密西根州，自 1999 年以來，一直使用薄層加鋪，到 2008 年，施作面積已超過 1000 萬平方碼。

薄層加鋪厚度通常介於 0.75" 到 1"之間，主要應用於狀況良好的道路，可提供平坦的表面，同時解決粒料分離及輕微裂縫及氧化破壞。

(二)預期成效

- 1.保護路面免受氧化破壞
- 2.保持路面坡度線形
- 3.亦可用於現有水泥混凝土路面加鋪
- 4.

	最佳成效	平均成效	保守成效
鋪面狀況	A-B	B-C	C
PCI 範圍	75-100	65-75	55-65
延長壽年	8-10	6-8	4-6

(三)組合工法

- 1.裂縫填封+薄層加鋪：裂縫填封可延緩底層路面的反射裂縫，減少水分侵入底層，破壞路面結構。
- 2.碎石封層+薄層加鋪：碎石封層亦有助於延遲底層路面的反射裂縫。

使用組合工法可有效延長路面的使用壽命，並可處理破壞情況較嚴重的路面（PCI 在 55-70 之間）。

(四)材料

- 1.瀝青混凝土：瀝青應符合規定要求，可使用較硬的改質瀝青。瀝青等級應視天候環境和交通類型而定。
- 2.骨材：須使用高品質骨材，滿足規範規定之級配等級及試驗要求函殺當

量應大於 45，並符合骨材表面抗滑特性。

3.再生料：薄層加鋪可採用再生瀝青，惟使用限制為不超過混合料的 20%。

3.粘層：根據薄層加鋪應用的類型，粘層可採 CRS、CSS 或其他材料。粘層灑布量通常為每平方碼 0.1 到 0.15 加侖。由於加鋪厚度較薄，新舊路面之間的介面與車輛施以剪應力的位置非常接近，故粘層對於薄層加鋪的施工品質至關重要。

(五)施工

1.施工前準備

薄層加鋪為瀝青路面的一種養護工法，適用於結構強度及排水功能良好的路面，可用以處理輕微裂縫及粒料分離線向，但較不適用於嚴重裂縫、車轍或側擠。



圖 3.8.1 施工機具圖(圖資來源：PPRA 網站)

2.天候條件

薄層加鋪可應用於各類天候條件。由於通常加鋪厚度低於 1 英寸，故建議應於較傳統瀝青路面施工更低的环境及路表溫度下，施作薄層加鋪。

3.施工前告知

如同所有道路建設案，使居民和用路人隨時瞭解即將進行的施工維修作業，有助於儘量減少交通混亂、延誤和抱怨。施工通知方式因主辦

單位與工作型態而異，常見通知方式包括：

- (1)向所有受影響民眾寄發信件或電子郵件
- (2)在適當的時間內設立臨時「禁止停車」標誌
- (3)在工作進行之前設立電子留言板
- (4)在施工單位網站上發布資訊
- (5)利用傳統媒體(電視、廣播和報紙)通知

4.通知內容包括以下 6 個基本資訊：

- (1)使用工法的簡要說明
- (2)施工道路位置
- (3)工作日期、天數或時數，包括天氣或其他不可預見的延誤證明
- (4)說明預防性維護處理旨在延長路面的使用壽命，避免惡劣的行駛條件
- (5)說明一般施工步驟順序，包括對行車時間和道路使用的潛在影響
- (6)參與專案的人員姓名及聯繫方式

5.交通管制

為確保用路人和施工人員安全，必須進行交通管制。承包商應制定完善的交通管制計畫，經批准後，安全高效地管理工作區域內和周圍的交通。

應採用合格的交通管制人員，以保護施工人員和已完成的工作不因交通意外而受損。在工作人員和設備進入道路或工作區域前，應實施交通管制。交通管制包括施工標誌、交通錐和路障、標誌人員和駕駛車輛，以引導交通車流避開施工區域。

交通管制裝備及施設應符合相關規範要求，並確保應用的材料在重新開放交通前能有足夠的時間養治固化。固化時間因路面表面狀況和應用時的天氣狀況而異。

優先使用交通控制並設置臨時牌面標誌。確保對交通流量控制設備進行例行檢查，並且僅使用狀況良好且可見度高的交通控制設備。找到清晰可見的標誌，並在遠處放置標誌，以使用路人有足夠的反應時間判斷並可預為因應。

6.天氣要求

- (1)適用條件，最低表面和環境溫度應在 10°C 以上，且路面在施工前應清潔乾燥。
- (2)不合適的條件，不適用在潮濕或冰凍的路面上，且潮濕天氣或表面或環境溫度低於 10°C 時亦不適用。如遇大雨，應立即停止施工。



圖 3.8.2 施工作業圖(圖資來源：PPRA 網站)

(六)注意事項

- 1.由於鋪築厚度薄，材料冷卻迅速，須於鋪築完成後盡速滾壓，以確保材料強度，避免早期破壞。
- 2.使用組合工法可有效延長路面的使用壽命，並可處理破壞情況較嚴重的路面(PCI 在 55-70 之間)。
- 3.薄層加鋪不建議用於防止反射裂縫，在施工前應先填封較大的裂縫。
- 4.由於加鋪厚度較薄，新舊路面之間的介面與車輛施以剪應力的位置非常接近，故粘層對於薄層加鋪的施工品質至關重要。
- 5.必須確認路面完全養治完成，始得開放交通。

九、小結

經由以上各節的介紹，對於預防性養護工法可有較進一步之認識，惟筆者亦首次接觸此類工法，參考國外資料整理彙整，錯謬之處尚請見諒。以下依各工法特性，綜合整理彙整成表，謹供比較參考。

(一)組合工法

表 3.9.1 各工法之組合工法比較表

工法		組合工法
Crack Sealing 裂縫填封		1.裂縫填封+瀝青加鋪 2.裂縫填封+碎石封層 3.裂縫填封+稀漿封層 4.裂縫填封+微表面處理
Seal 封層	Fog Seal 霧狀封層	1.碎石封層+霧狀封層 2.全厚度翻修+霧狀封層 3.冷拌現地再生+霧狀封層
	Rejuvenating Fog Seal 更新霧狀封層	1.碎石封層+更新霧狀封層 2.全厚度翻修+更新霧狀封層 3.冷拌現地再生+更新霧狀封層
	Chip Seal 碎石封層	1.裂縫填封+碎石封層 2.雙層和三層碎石封層 3.碎石封層+霧狀封層 4.碎石封層+稀漿封層或微表面處理 (即複合封層) 5.碎石封層+瀝青加鋪
	Slurry Seal 稀漿封層	1.裂縫填封+稀漿封層 2.碎石封層+稀漿封層(即複合封層)
	Cape Seal 複合封層	1.碎石封層+稀漿封層 2.碎石封層+微表面處理
Micro Surfacing 微表面處理		1.裂縫填封+微表面處理 2.碎石封層+微表面處理(即複合封層)
THMACO(Thin Hot Mix Asphalt overlay)薄層加鋪		1.裂縫填封+薄層加鋪 2.碎石封層+薄層加鋪

(二)天候要求

表 3.9.2 各工法之天候要求比較表

工 法		天 候 要 求	
		適 用 條 件	不 適 用 條 件
Crack Sealing 裂縫填封		清潔、乾燥的裂縫和適當的溫度是有效進行裂縫填封工法的重要關鍵。通常建議路面溫度超過 4.4°C。如路面溫度過低則可以使用熱空氣槍加熱。道路保持乾燥，較空氣或路面的溫度更為重要。	須確認裂縫無冰水或除冰材料殘留，因將對填縫材料產生負面影響，應先清除乾淨。
Seal 封層	Fog Seal 霧狀封層	當氣溫高於 10°C 且路面溫度高於 15°C 時，可使用霧狀封層。在極端炎熱乾燥的條件下，應先噴水來輕微浸濕路面，可防止乳化瀝青過早裂解。	如有任何降雨情形，則不適合使用霧狀封層，且不應在雨中施工。當氣溫低於 10°C 時，亦不建議使用霧狀封層。
	Rejuvenating Fog Seal 更新霧狀封層	當氣溫高於 10°C 且路面溫度高於 15°C 時，可使用更新霧狀封層。在極端炎熱乾燥的條件下，利用噴水來輕微地浸濕表面，應可防止乳化瀝青過早裂解。	有任何降雨情形，則不適合使用更新霧狀封層，且不應在雨中施工。當氣溫低於 10°C 時，亦不建議使用更新霧狀封層。
	Chip Seal 碎石封層	空氣和表面溫度高於 16°C，濕度低於 50%，盡量無風無雨。	涼爽的夜晚將使得碎石封層很難固化或增強力量。另強風會導致噴灑的材料分佈不均勻。

工法		天候要求	
		適用條件	不適用條件
	Slurry Seal 稀漿封層	當路面和空氣溫度均高於 7°C 時，即可採用稀漿封層。如遇下雨，應須暫停施工。	當路面或空氣溫度低於 10°C 時，不建議施作稀漿封層。倘預估施工後 24 小時內可能有結冰情形，亦不建議施工。
	Cape Seal 複合封層	如碎石封層及稀漿封層或微表面處理的適用條件。	如碎石封層及稀漿封層或微表面處理的不適用條件。
	Micro Surfacing 微表面處理	當路面和空氣溫度均高於 7°C 時，可採用微表面處理。如遇下雨，應暫停施工。	當路面或空氣溫度低於 10°C 時，不建議施作微表面處理。倘預估施工後 24 小時內可能有結冰情形，亦不建議施工。
	THMACO(Thin Hot Mix Asphalt overlay)薄層加鋪	最低表面和環境溫度應在 10°C 以上，且路面在施工前應清潔乾燥。	適用在潮濕或冰凍的路面上，且潮濕天氣或表面或環境溫度低於 10°C 時亦不適用。如遇大雨，應立即停止施工。

(三)注意事項

表 3.9.3 各工法之注意事項摘要比較表

工法		注意事項
	Crack Sealing 裂縫填封	1.裂縫必須不含灰塵或水分，俾確保施工品質。 2.道路保持乾燥，較空氣或路面的溫度更為重要。
Seal 封層	Fog Seal 霧狀封層	1.如工區場地狀況允許，應使用經校正之乳化瀝青撒布機。 2.稀釋可以通過預熱稀釋液到 25 至

工法		注意事項
		<p>90°C 來改善。切勿於水中添加乳化瀝青，而需在乳化瀝青中倒入水或其他稀釋劑。</p> <p>3.稀釋的乳化瀝青通常不儲存，除非惡劣天氣需要臨時儲存。</p>
	Rejuvenating Fog Seal 更新霧狀封層	<p>1.更新霧狀封層通常在使用前先以水稀釋，以降低噴灑的粘度。稀釋以不同的比例，最多為 1(乳)：5(水)，但在大多數情況下，常使用 1(乳)：1(水)稀釋。</p> <p>2.灑布速率和覆蓋範圍：更新霧狀封層需要具有一致的外觀，以滿足特定的灑布率。</p>
	Chip Seal 碎石封層	<p>1.選擇骨材類型、大小及膠結材料時，應考慮當地料源及交通流量類型。應用於行人及機慢車的市區道路維修時，可採用較小的骨材。</p> <p>2.溫度、濕度和風速皆會影響碎石封層乳化材料的裂解與固化時間。</p>
	Slurry Seal 稀漿封層	<p>1.在裝載卡車安裝灑布機前，應即對材料進行篩選，避免在重新處理材料時有受污染的可能。</p> <p>2.稀漿封層較常應用於瀝青路面，但亦可使用於水泥混凝土表面。</p> <p>3.在人口稠密地區，可採用組合封層取代稀漿封層，以提供更具耐久性的磨耗面層。</p>
	Cape Seal 複合封層	如碎石封層及稀漿封層或微表面處理的注意事項。
Micro Surfacing 微表面處理		<p>1.在裝載卡車安裝灑布機前，應即對材料進行篩選，避免在重新處理材料時有受污染的可能。</p> <p>2.儘早用除草劑處理植被，防止其在施工後恢復生長。</p> <p>3.每天檢查裝載區域，特別強調乳化瀝</p>

工法	注意事項
	青裝載區域，以確保所有區域保持清潔有序。
THMACO(Thin Hot Mix Asphalt overlay)薄層加鋪	<ol style="list-style-type: none"> 1.由於鋪築厚度薄，材料冷卻迅速，須於鋪築完成後盡速滾壓，以確保材料強度，避免早期破壞。 2.使用組合工法可有效延長路面的使用壽命，並可處理破壞情況較嚴重的路面（PCI 在 55-70 之間）。 3.薄層加鋪不建議用於防止反射裂縫，在施工前應先填封較大的裂縫。 4.由於加鋪厚度較薄，新舊路面之間的介面與車輛施以剪應力的位置非常接近，故粘層對於薄層加鋪的施工品質至關重要。

肆、美國州際公路其他重要課題

有鑑於國內高速公路在養護施工人員安全防護、及時訊息及匝道管制等公路管理策略議題上，均有進一步蒐集國外資料之需求，本次觀摩研習亦蒐集相關資料供參考。

一、養護施工人員安全防護

依據美國統計資料，如圖 4.1.1，2017 年全美因施工工區撞擊事故致死者為 799 人，較前一年成長 2%，其中施工人員死亡人數為 132 人，較前一年減少 11 人，詳圖 4.1.2，而如圖 4.1.3，大客車及大卡車因施工工區撞擊致死事故由 2016 年的 189 件，增加為 2017 年的 222 件，顯見大型車致死撞擊事故有愈趨嚴重趨勢，至於超速造成致死撞擊事故之件數，亦由 2016 年的 194 件，增加為 2017 年的 203 件，如圖 4.1.4，故此議題在美國亦是非常嚴重的問題。

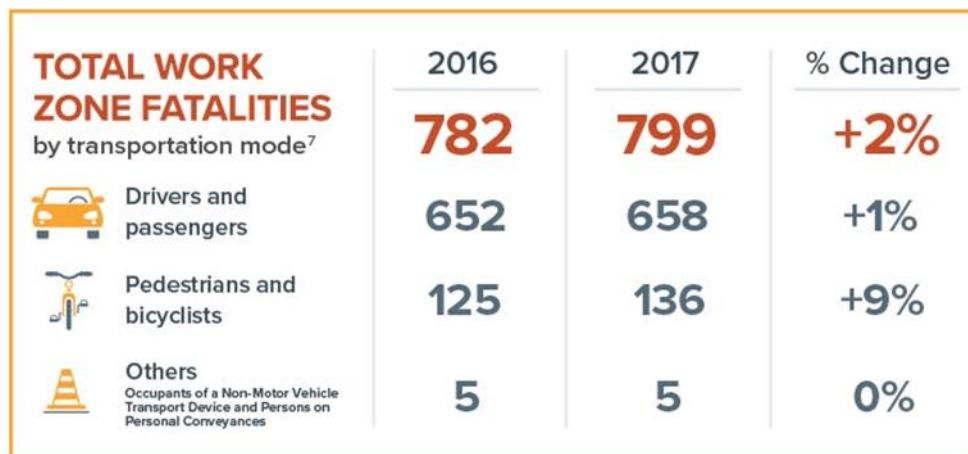


圖 4.1.1 施工工區總致死人數統計圖(圖資來源：FHWA 網站)



圖 4.1.2 施工工區施工人員致死人數統計圖(圖資來源：FHWA 網站)



圖 4.1.3 施工工區大型車致死撞擊事故統計圖(圖資來源：FHWA 網站)



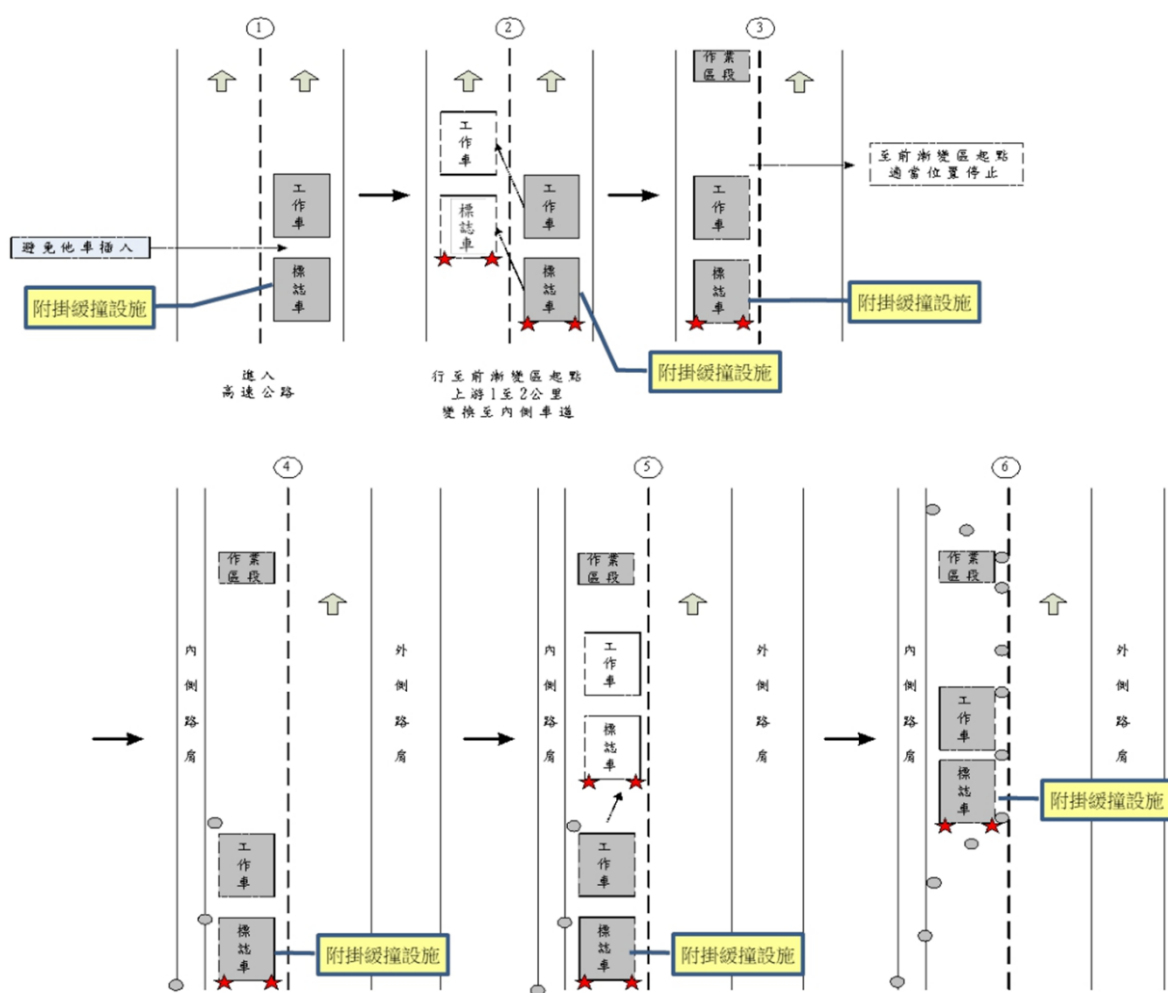
圖 4.1.4 施工工區超速致死撞擊事故統計圖(圖資來源：FHWA 網站)

目前有關施工人員安全防護相關規定包括由美國聯邦公路總署 (FHWA) 發布之「工作區域安全和移動規則 (部分規定 J)」，係於 2004 年 9 月 9 日發佈，2007 年 10 月 12 日生效。該規則為解決重載交通量、嚴重壅塞、更多施工工區以及其他安全議題而有再做更新修正。而「臨時交通管制設備規則 (部分規則 K)」則於 2007 年 12 月 5 日公佈，2008 年 12 月 4 日生效，用以補充前述「工作區域安全和移動規則 (部分規定 J)」，針對執法人員、施工人員和機動車輛採取積極的保護措施，在施工及維護期間設置臨時交通管制裝置。另外還有「公路建設工作區安全規定 (ANSI/ASSE A10.47-2009)」，係自 2010 年 2 月 24 日起生效，適用於在公路上任何區域從事建築、公用事業、維護或維修活動的工人。

國內相關規定則包括「交通管制設施之布設與撤除作業程序」、「施工之交通管制守則」、「交通工程手冊」(第 10 章)及「道路交通標誌標線號誌設置規則」(第 139-145 條)等，主要理念為：施工管制路段小於 3 公里，封閉路段間緩衝路段大於 2 公里，交通安全為最優先考量，布設方式需符合車行及人行特性，避免避免突變與頻變，需有現場告示及媒體宣傳(公告)，工程司可視工地需要，使用其他加強安全警示之管制設施等，

相關配置示意圖，請詳圖 4.1.5。

此議題經詢問維吉尼亞州及紐約州交通廳人員意見，咸認為目前臺灣高速公路施工作業安全防護相關規定，如「交通管制設施之布設與撤除作業程序」、「施工之交通管制守則」、「交通工程手冊」及「交通管制設施之布設與撤除作業程序」等，應已相當完善，依照上述相關規範規定執行安全防護作業，仍常發生安全事故，主要應屬駕駛守法習慣不良，建議國內除可持續檢討精進相關規定及落實執行外，最有效率之作法，仍應從加強宣導教育及嚴格執法取締著手，否則再多的安全防護亦無助於改善此現象，徒增對車流的干擾影響，反易衍生其他安全事故。



註：本圖例為示意圖，施工單位應依「施工之交通管制守則」及實際狀況設置相關設施或進行適當調整

圖 4.1.5 同向兩車道路段封閉內側車道交管布設示意圖(圖資來源：高速公路局)

二、及時訊息

傳統的及時訊息主要為資訊可變標誌(Changeable Message Signs, CMS 或 Variable Message Signs, VMS)，是一種交通控制設備，用於在行駛途中對用路人提供即時的資訊。通常安裝在全跨度高架標誌看板上(如圖 4.2.1)或路旁(如圖 4.2.2)及高架懸臂結構上(如圖 4.2.3)。資訊的輸入可從遠端控制中心或現場來進行控制。CMS 告知資訊並引導用路人，以改善道路交通車流壅塞，並避免事故發生。CMS 所顯示的資訊可能是由操作人員程式設計的例行性資訊或是臨時突發狀況的通知，包括：特定目的地的預估行駛時間、沿線壅塞狀況、施工通知、特別事故的通知說明、維護運營時間表等。

CMS 提供資訊的目的是讓用路人可預判避免事故及為無法避免的情況做好準備，或給出改道行駛建議，主要的目標是為縮短節省用路人的行駛時間及確保行車安全。



圖 4.2.1 全跨度高架資訊可變標誌



圖 4.2.2 路旁資訊可變標誌



圖 4.2.3 門架式資訊可變標誌

而國內高速公路及時訊息發展相當迅速，除結合閉路監視器(CCTV)等資訊蒐集裝置，於適當區位設置資訊可變標誌外，同時目前已建置專屬網站 1968 高速公路局服務網(詳圖 4.2.4)及手機 1968App 程式(詳圖 4.2.5)，使用路人可透過多元的管道平台，即時獲得高速公路相關資訊，不僅只能在路上即時看到 CMS 所顯示的資訊，亦可在出發前即掌握所有路況資訊及規劃替代路線以避開壅塞區域及施工、事故路段。



圖 4.2.4 1968 網站示意圖



圖 4.2.5 1968App 示意圖

其中所揭露的即時訊息包括：最新消息、施工事故、開放路肩、行車速度、資訊可變標誌及天氣資訊等，相關資料情形請詳圖 4.2.6~4.2.11。



圖 4.2.6 最新消息頁面示意圖



圖 4.2.7 施工事故頁面示意圖



圖 4.2.8 開放路肩頁面示意圖



圖 4.2.9 行車速度頁面示意圖



圖 4.2.10 資訊可變標誌頁面示意圖



圖 4.2.11 天氣資訊頁面示意圖

經詢問國外經驗並交流國內做法後，認為國內因道路網絡系統分類明確，且未如美國複雜，故相關軟體建置相對簡易，利用先進科技並配合國人生活習慣，以上述網站及手機 App 程式來加強傳播即時資訊，極具效益，建議可持續精進，提供更簡易的操作介面，更多元的語言類型、更清楚的辨識效果及更確實的改道建議等，以持續提高民眾的使用率，達到及時訊息應用的目的。

三、匝道管制

匝道為用路人進出高速公路的唯一設施通路，倘可有效設計、營運及維護，將可使用路人安全、方便、舒適的方式轉換連接於不同道路系統設施，而盡量減少對既有交通車流的影響或延遲。匝道管制管理主要即是應用交通號誌、標誌和閘門等控制裝置，來調節控制進出高速公路的車流量，達到高速公路安全、順暢通行的目的。

匝道管制在國外主要有三種基本策略，包括(1)匝道封閉(2)匝道終端處理及(3)匝道儀控等 3 種方式，其中國內於重大連續假期在部分特殊(系統)匝道採用(1)匝道封閉策略，而(2)匝道終端處理策略則包括匝道拓寬、改變車流動線及車道容量、號誌及時相調整、路面標誌標線調整等，較屬於硬體部分之調整，有關(3)匝道儀控則在國內平時應用日漸頻繁，以下謹就匝道儀控部分，針對本次蒐集之國外資料進行說明供參考。

匝道儀控系統是安裝於高速公路上的各類交通信號，用於控制車輛進入高速公路的時間頻率，可透過科學化管制進入高速公路的車流量來減輕高速公路的整體壅塞，及匯入、匯出操作過程之車流回堵狀況。

如圖 4.3.1 所示，在主線接近匝道入口位置設有感應線圈(星號處)，用以偵測主線車流狀況，另在匝道匯入主線前之適當位置，亦設有感應線圈以蒐集匝道車流等候狀況，而於匝道匯入處設置停等線及號誌，依據主線及匝道車流狀況來控制號誌時相及秒數。

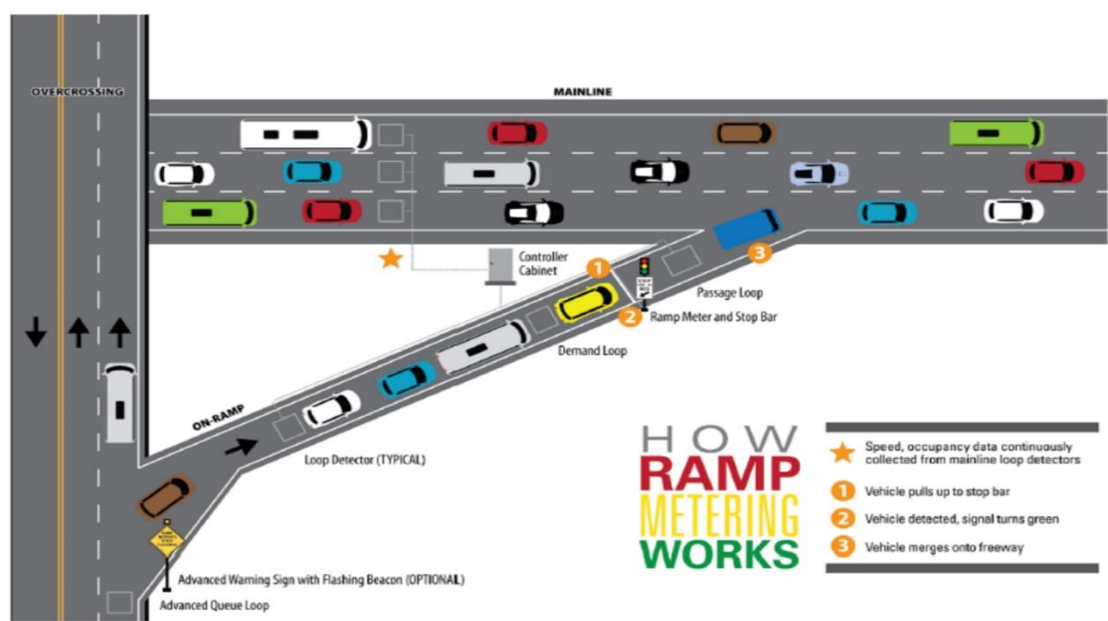


圖 4.3.1 匝道儀控系統示意圖(圖資來源：紐約州交通廳)

採行匝道儀控與不採行之成效可詳圖 4.3.2 所示，惟使用上仍應視主線及匝道與平面道路之交通狀況，避免造成回堵現象。

依據國外經驗，匝道儀控執行上最大問題是主線或匝道之幾何空間條件無法配合，其次是財源經費不足，接下來是地方政府或民眾反對，及匝道交通量過大等因素。

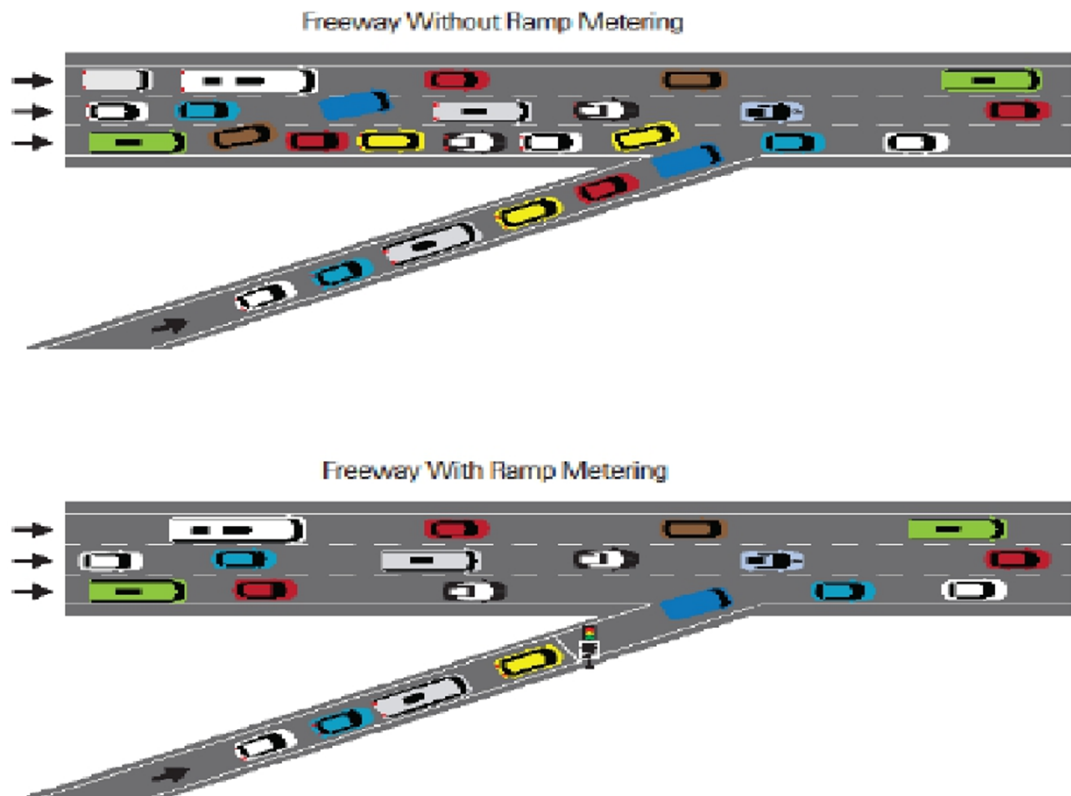


圖 4.3.2 匝道儀控效果比較圖(圖資來源：紐約州交通廳)

經詢問國外經驗，一般而言，國外亦採固定及變動時相控制號誌，固定時相知施行方式及秒數與目前國內約略相當，並建議最佳的匝道儀控運作需要強大的資料蒐集及分析軟體程式，資料類型包括交通量及旅行時間等，而模擬之模型類別有助於決定使用何種交通控制演算法，運用電腦程式模擬可快速運算一系列的交通數據，如旅行時間，行車速度等，以提升匝道儀控整體效能，國內可朝上述方向持續精進，使匝道儀控的效益更能發揮，並避免造成主線、匝道，甚至是平面連接道路的回堵壅塞。

伍、心得及建議

經過 3 個月於美國維吉尼亞州交通廳、華盛頓特區及紐約州交通廳參訪研習美國州際公路預防性養護策略工法相關課題後，謹提出以下心得及建議供參考。

一、心得

本研究謹提供 5 點心得供參考。

- (一)預防性養護的概念源自一普世價值：「預防勝於治療」，極易於獲一般外界接受，依據國外長期研究數據及經驗顯示，亦確有節省鋪面全生命週期養護經費、延長鋪面壽年、長時間維持優良鋪面服務水準及改善鋪面結構強度體質等多項優點，應可將此概念引入國內養護機制內。尤以預防性養護工法主要處理破壞類型係以裂縫為主，考量臺灣多雨及高落塵天候環境特性，裂縫發展為後續嚴重破壞，如坑洞、車轍等之進程時間，恐較國外更加快速，故於裂縫微小時進行填補封層之整體效益應較國外更加顯著，更增預防性養護應用於國內之必要性。
- (二)鋪面狀況評估指標種類繁多，惟仍以裂縫、車轍、平坦度等主要項目為主要計算依據加以量化，各單位可視經費多寡、現有儀器設備及人員專業能力等因素考量，選用適當量化指標以評估瞭解轄管路面目前狀況，有利於養護經費籌編執行及人力調度，並可適度導入預防性養護概念，維持良好路面品質。另目前國內亦有專業顧問公司及學校單位備有儀器設備及專業人力、分析軟體，亦可搭配運用蒐集分析資料，取得鋪面狀況量化指標，作為後續養護決策之參考。
- (三)預防性養護工法之材料及機具設備，經檢視應可應用於國內，惟須注意相關作業過程之材料控制問題，另國外工法分類較細，各種工法及組合工法之適用情形，需時間及經驗累積，可先逐步試行。
- (四)有關在養護施工人員安全防護、及時訊息及匝道管制等公路管理策略議題方面，其中養護施工人員安全防護在美國亦是非常嚴重的問題，目前國內相關規定已多參考國外，除持續檢討精進相關規定及落實執行外，仍應從加強宣導教育及嚴格執法取締著手。另及時訊息方面，國內已透過多元平台提供用路人即時資訊，未來可朝向更簡易的操作介面、更多元的語言類型、更清楚的辨識效果及更確實的改道建議等方向改進。匝道管制則可朝向資料即時分析模型處理功能更強的方向

去持續精進。

(五)本次出國研究於觀摩參訪時，發現美國州際公路品質差異極大，我國高速公路路面品質相較之下其實毫不遜色，此問題經詢問相關人員表示，應與各州政府經費財源差異有關，且部分州際公路因未收費，民眾要求不高，而鋪面養護單位又絀於財源支援，路面品質自然不佳。有鑑於此，我國高速公路養護同仁應秉持過去一貫態度及理念，以提供用路人最佳的旅運環境為己任，不負用路人所託，積極做好各項高速公路養護及新建工作。

二、建議

預防性養護在理論上具多項優點，惟實際執行上，國內、外皆然，目前鋪面養護主要方式仍多採破壞改善性養護方式，亦即當鋪面經養護人員目視(或儀器)檢查或外界反映有破壞時，始進行養護改善，其時機將較預防性養護為晚，但受限年度養護經費、人力、時間不足之現實條件，實較難於鋪面上無明顯破壞時即進行維修，除養護經費用以維修已出現破壞路面之情況下仍有不足外，主要擔心民眾反映抱怨道路沒壞即維修，有浪費公帑、圖利及妨礙交通順暢之虞。

預防性養護應用於國內高速公路時，謹提出以下 4 點建議供參。

- (一)鑒於國內高速公路年度鋪面養護經費、人力、時間不足之問題，建議可參照國外經驗，先提撥編列少量養護經費用於預防性養護項目，選擇適當路段(考量路面狀況、交通影響等因素)進行預防性養護作業，除可節省鋪面全生命週期養護經費、維持良好鋪面服務水準外，並可逐步累積預防性養護工法相關本土化施工經驗。
- (二)基於目前科技進步，借助科技輔助鋪面養護亦格外重要，建議可應用鋪面檢測設備蒐集高速公路鋪面狀況量化指標，長期下來，或可建立完整資料庫，以瞭解各路段鋪面情形，供未來鋪面養護決策之重要參考依據。
- (三)考量部分預防性養護工法對於當地天候狀況、料源性質、施工人員經驗及養治固化時間等之要求較高，倘逕行引入國外做法而未加以本土化驗證，恐難獲得預期成效。故建議未來施工應用時，宜整體評估國內天候環境、料源性質及施工人員經驗等因素，視需要進行相關試鋪作業，確認可達預期成效後，再進行施工鋪築。
- (四)為利觀察瞭解預防性養護應用於國內高速公路之成效，建議未來施工應用時，可視實際狀況考量規劃預防性養護成效試驗(如同一路段擇定不同車道各為試驗組及對照組)，比較採用不同維修工法在一定壽年之鋪面狀況及維修經費，或可逐步建立預防性養護成本效益本土化資料，供後續執行方向上之決策參考。

陸、參考來源

- 一、PPRA(Pavement Preservation & Recycling Alliance)網站
- 二、FHWA(Federal Highway Administration)網站
- 三、NCPD(National Center for Pavement Preservation)網站
- 四、TSP2(Transportation System Preservation Technical Services Program)網站
- 五、ISSA(International Slurry Surfacing Association)網站
- 六、Freeway Ramp Management and Control(NYSDOT, Planning, NYC Region)
- 七、MAP-21 Transportation Asset Management Plan (TAMP)(VDOT)
- 八、VDOT' S Preventive Maintenance Techniques & Expectations(2017 Asphalt Regional Seminars)
- 九、Preventive Pavement Maintenance in Virginia(Chung-Lung Wu, 2016)
- 十、Pavement Preservation In the US(Chung-Lung Wu, 2013)
- 十一、高速公路局養護手冊(鋪面)
- 十二、交通管制設施之布設與撤除作業程序(高速公路局 107 年 10 月修正)