

高抗滑標線反光與抗滑性能長期趨勢分析

陳艾懃¹、周家蓓²、李耀瑄³

摘要

道路標線為指引交通、提供正確道路資訊之重要交通工程設施，為發揮其使用成效，標線之能見度與反光度向為道路主管機關與研究人員所重視；而於亞洲機車使用盛行國家，因標線與鋪面抗滑值差異所導致之雨天打滑事故亦備受重視，因此標線之抗滑能力亦為道路主管機關管控重點。然於文獻回顧中得知雖多數規範同樣重視標線之反光與抗滑性能，但主要增進二者能力之材料特性有所衝突，故可能難以同時兼顧兩者。另由初期研究得知，當採用不同材料調製劃設時，標線性能即有不同表現，因此國外研究所得結果是否適用於我國仍需驗證。此外，由於目前我國標線規範並無管養要求，因此標線性能之長期表現極為關鍵，若可掌握其變化趨勢，方可於適當時機進行標線重繪，維持其性能。本研究藉由現地劃設與密集檢測追蹤長達 33 個月之結果，分析標線長期趨勢，得知標線反光性能與抗滑性能於劃設後初期的確呈現反向變動，且目前我國慣用材料並無法獲得良好反光性能，但於使用 10 個月後反光性能略有提升；而抗滑性能於劃設初期表現接近於瀝青混凝土鋪面，但僅可維持約三個月。基於此等觀察，建議道路主管機關應考量標線劃設地點，選擇適當型式標線以得較佳之成本效益。

關鍵字：熱處理聚酯標線、反光、抗滑、長期性能趨勢

一、緒論

標線為給予用路人連續之指引以降低交通事故率之重要交通工程設施，在國外之相關研究中也獲知若有適當之標線指引或是能清楚看見標線，則可以大幅降低事故率，尤其是夜間事故率；因此標線之能見度，即用路人是否能看見並辨識標線內容實為重要課題。此外，因標線抗滑能力多低於瀝青混凝土鋪面，當車輛行駛其上時可能因二者抗滑能力差異而存在使車輛打滑風險。雖一般而言標線面積甚小，車輛經過標線而暴露於打滑風險之時間亦短，然由於機車僅有兩輪，當兩輪之其中一輪失去抓地力時即可能導致車輛失去平衡而摔倒，因此標線抗滑之重要性更高於以四輪以上車輛為主之地區。

有鑑於此，我國交通工程規範 4.4 節中即明確要求「標線宜具反光性及

¹ 中央警察大學交通學系暨交通管理研究所助理教授(聯絡地址:桃園市龜山區樹人路 56 號, 電話:(03)328-2321#5001/5100, E-Mail: aichinchen@mail.cpu.edu.tw)。

² 臺灣大學土木工程學系暨研究所特聘教授，臺北市大安區羅斯福路四段 1 號。

³ 臺灣大學土木工程學系暨研究所碩士，臺北市大安區羅斯福路四段 1 號。

抗滑性」(交通部, 2015), 但由中華民國國家標準 CNS 15834 4.1 節則指出「一般而言, 高等級之回歸反射與防滑性並無法兼得」(經濟部標準檢驗局, 2015)。由於標線之主要功能係警告、禁制與指示交通, 而其功能之正常發揮有賴於良好之能見度, 因此於歐美為主之國外文獻雖多有針對標線性能進行探討者, 但甚少討論標線抗滑性能表現。我國所關注之標線抗滑性能係為「抑制負面效應」, 亦即發現標線表面出現抗滑性能低於鋪面且可能致使車輛打滑, 為控制此負面效應於較小影響範圍, 故訂定標線抗滑性能基準。然由於車輛打滑涉及車輛胎紋、是否有水膜或油膜、車輛速度、煞車情形等多種因素影響, 就目前回顧國內外研究結果尚無法提出確保車輛不致打滑之數值基準, 因此國內基準值之訂定亦較偏向於經驗法則。

另一方面, 以交通工程規範(交通部, 2015)解說 C4.4 節為例, 對於標線應具備之反光性能與抗滑性能係採兩種不同方式予以規範, 於反光性能方面係以材料規範, 即要求所添加玻璃珠之數量與品質, 並採劃設後鑽心取樣進行實驗室試驗方式獲得; 於抗滑性能方面則採成效規範, 即要求劃設標線於現地量測之抗滑值。由於此兩種規範方式並不一致, 且如前述此兩項性能間可能存在互斥而無法兼得情形, 因此本研究擬了解於目前規範下現地標線之反光性能與抗滑性能表現, 期可供規範修訂之參考。此外, 目前交通工程規範僅要求於標線劃設完成後兩週內進行抗滑係數檢測, 較偏向於施工驗收概念, 但對於完工後長期使用應具有之標準則未有相關規範, 經檢視各級道路主管機關之規定亦未見訂定使用中之管養標準者, 因此須掌握標線抗滑性能之變化趨勢, 以了解所訂定之檢驗基準是否適當。

本文首先整理熱處理聚酯標線之反光性能與抗滑性能之意義、主要來源與規範標準。而後將藉由現地標線劃設與長期密集檢測, 掌握標線反光與抗滑性能之長期變化, 分析其趨勢變動, 期可提供路權機關於適當時機進行標線重繪, 維持用路人行車安全。

二、標線反光與抗滑性能簡介

本研究所探討標線類型為我國各級道路系統所使用之熱處理聚酯標線, 此類標線藉由熱處理聚酯材料(包括合成樹脂粉末與顏料)之特性, 於高熱時熔融為液狀而得以劃設不同圖形, 且可即刻乾固而黏著於鋪面, 形成不因輪胎輾壓而脫落或變形之標線。且於熱處理聚酯材料中可拌合反光玻璃珠與抗滑骨材等材料, 得以提供反光與抗滑能力。由於標線之能見度與抗滑性由多項因素構成, 亦有不同規範與檢測方式, 本節將介紹其意義、主要來源與規範標準, 以做為後續實驗、檢測與討論基礎。

2.1 反光性能

本文以標線「反光性能」代表標線於光線照射下反射光線使得用路人得以辨認之能見度, 決定標線反光性能之原因有許多, 例如 Carols and Lopez (2004)為美國德州所編撰之標線手冊中即將影響標線反光性能之因素整理為

玻璃珠、塗料與其他等三類，其中玻璃珠相關因素包括數量、圓度、尺寸、透明度、折射率分散程度、嵌入深度等，塗料相關因素包括顏色、種類、厚度，其他因素為非標線本身因素，例如表面髒污或鋪面表面粗糙度等，而採用不同指標或設備量測亦可能得到不同結果。

依據外部光源不同，標線反光性能可概分為兩大類，其一為環境光源充足，例如晴天日間陽光照射情況，或雖為夜間但路燈或週邊照明明亮情況，於此等情況下，用路人對於標線之辨識主要由標線受光照射後所產生之擴散反射 (diffuse reflection) 所影響。另一類型為環境光源不充足、僅依賴車燈照射時，此時車燈照射於標線上形成回歸反射 (retroreflection)，其反射光線進入用路人眼中而使得用路人得以辨識標線。對應於此兩類反光性能，分別可採用擴散照明下之輝度係數 Q_d (Luminance Coefficient Under Diffuse Illumination) 及回歸反射輝度係數 R_L (Coefficient of Retroreflected Luminance) 為指標，進行標線反光性能之評估。其中 Q_d 代表標線於環境光源充足時之反光性能，因此當標線外觀目視完整良好時， Q_d 值通常也可以維持良好水準；反之，當標線遭磨除、或有塵埃或髒汙覆蓋在標線上時，將造成 Q_d 值下降。 R_L 則為模擬車燈照射於標線上之回歸反射情況，由於此回歸反射來源主要由適度嵌入之玻璃珠所提供，前述德州標線手冊中所指出之玻璃珠相關因素均為決定 R_L 值之關鍵。而由於 R_L 值係評估標線反射車燈光線能力，因此若標線表面被水所覆蓋，例如雨天狀況，亦將造成標線反射車燈能力之變化，故於 CNS 15834 規範中， R_L 指標即包括乾燥、潮濕、雨天三種狀況，於檢測時須選擇對應設備並依循標準方法操作方可得正確測值。

我國標準檢驗局依據歐洲標準化委員會 (European Committee for Standardization, CEN) 於 2007 年核定並於 2008 年修訂之 EN 1436 標準，制定國家標準 CNS 15834 以規範道路標線使用性能，其中對於上述反光性能指標訂定分級標準如下表 1 至表 3 所示，表中數值單位均為 $\text{mcd}/\text{m}^2/\text{lx}$ 。於各個指標中規範均分為 0~5 共六個等級，依據不同標線顏色、鋪面類型與晴雨狀況給定不同標準值，但同一指標之同一等級於不同應用情境之數值相同。其中亦有部分等級未提供數值，即該等級不存在。以表 1 之 Q_d 為例，因水泥混凝土的顏色較淺，因此於水泥混凝土鋪面上之白色標線最低等級為 Q3；相對而言黃色標線於不同鋪面上均有較明顯對比，因此其等級即自 Q1 開始。

此外，於各項指標之 0 等級均為「無測出性能」，但各指標之無測出性能意義不甚相同，於 Q_d 係指該指標無法測得，而須改以其他指標替代；於乾燥 R_L 則係用在車輛頭燈照明無回歸反射下，所得到之道路標線能見度；於潮濕及雨天情況之 RW0 與 RR0 等級係用於因經濟或技術理由而不需要此類型的回歸反射。因提昇潮濕及雨天情況之標線回歸反射能力涉及較高等級材料或施工方式，若經評估經濟效益，或可採用其他替代方法改善潮濕及雨天時之標線能見度。

本標準雖訂出各個指標之等級最低值，但並未限定其應用條件，亦即未於標準中指出於何等情況下應採用哪一等級，而係由道路主管機關就其管養道路情況自行選擇合適之等級。且據了解，目前並無道路主管機關應用此標準規範廠商，各道路主管機關之標線施工規範仍多依循交通工程規範與施工

綱要規範之第 02898 章（行政院公共工程委員會，2021），採規範玻璃珠品質與數量方式要求標線反光性能。

表 1 CNS 15834 乾燥標線擴散照明下之最低輝度係數 Q_d

等級	白色		黃色
	瀝青混凝土	水泥混凝土	
Q0	無測出性能	無測出性能	無測出性能
Q1	-	-	$Q_d \geq 80$
Q2	$Q_d \geq 100$	-	$Q_d \geq 100$
Q3	$Q_d \geq 130$	$Q_d \geq 130$	$Q_d \geq 130$
Q4	$Q_d \geq 160$	$Q_d \geq 160$	-
Q5	-	$Q_d \geq 200$	-

備考：Q0 等級為當無法測得 Q_d 時，必須藉由輝度率（ β ）才能獲得之日間能見度。

表 2 CNS 15834 乾燥標線最低回歸反射輝度係數 R_L

等級	永久性		暫時性
	白色	黃色	
R0	無測出性能	無測出性能	無測出性能
R1	-	$R_L \geq 80$	-
R2	$R_L \geq 100$	-	-
R3	$R_L \geq 150$	$R_L \geq 150$	$R_L \geq 150$
R4	$R_L \geq 200$	$R_L \geq 200$	-
R5	$R_L \geq 300$	-	$R_L \geq 300$

備考：R0 等級係用在車輛頭燈照明無回歸反射下，所得到之道路標線能見度。

表 3 CNS 15834 潮溼與雨天狀況之最低標線回歸反射輝度

潮溼狀況		雨天狀況	
等級	最低值	等級	最低值
RW0	無測出性能	RR0	無測出性能
RW1	$R_L \geq 25$	RR1	$R_L \geq 25$
RW2	$R_L \geq 35$	RR2	$R_L \geq 35$
RW3	$R_L \geq 50$	RR3	$R_L \geq 50$
RW4	$R_L \geq 75$	RR4	$R_L \geq 75$
RW5	$R_L \geq 100$	RR5	$R_L \geq 100$
RW6	$R_L \geq 150$	RR6	$R_L \geq 150$

備考：RW0 與 RR0 等級等級係用於因經濟或技術理由而不需要此類型的回歸反射。

註：潮溼與雨天狀況之回歸反射輝度係數與乾燥狀況下之檢測方式相同，差別在於標線上是否有水，以及水量供給情況，故其指標仍為 R_L 值。

2.2 抗滑性能

鋪面或標線之抗滑能力係當車輛行駛於鋪面或標線上時，鋪面或標線抵抗車輛輪胎產生滑行之能力，其物理意義即為鋪面或標線與輪胎間之摩擦力，

其數額高低可藉由各式抗滑檢測儀器檢測，以客觀量化方法評估抗滑能力 (Kutttesch, 2004)。若車輛發生滑行或無法及時煞停時皆可能造成行車事故，因此抗滑能力為行車安全性的重要因子之一 (Hall, J.W., et al., 2009)。影響鋪面及標線抗滑能力相關因素可區分為接觸面特性、車輛輪胎特性、駕駛行為、環境因素等四類，對於本研究而言主要考量接觸面特性，即鋪面及標線之紋理特性（粒料級配材質、形狀、或磨耗程度等）與排水能力（鋪面表面處理或鋸槽等），若表面越粗糙或排水能力越佳，則抗滑能力越高。

雖抗滑能力之物理意義為鋪面或標線與輪胎間之摩擦力，但摩擦力並無法被直接量測，因此抗滑能力之檢測係採用各種間接方式量測摩擦力作用之影響，例如動能降低或阻力增大。以標線抗滑性能檢測而言，考量其面積尺寸，因此多採用檢測區域較小之英式擺錘儀進行檢測，此種儀器於 ASTM E303 與我國交通工程規範稱 British Pendulum Tester (BPT)，於歐盟規範 EN 1436 與我國 CNS 15834 則稱為 Skid Resistance Tester (SRT)。不僅名稱不同，且於部分儀器參數（例如正向力）略有差異，但其基本原理與檢測方式完全相同，本研究後文不另加辨別，均依循我國交通工程規範稱 BPT。英式擺錘儀量測原理係考量擺錘位能所轉換之動能因摩擦力作用而降低，故可利用其降低程度換算為抗滑值大小，當待測表面抗滑能力越高時，將消耗較多擺錘能量而使其難以擺動至較高位置。BPT 試驗結果稱為英式擺錘數 (British Pendulum Number, BPN)，BPN 值為一無單位指標，數值越大則表示該待測表面之抗滑能力較佳，目前我國交通工程規範之標線抗滑能力規範即以 $BPN \geq 45$ 為標準，而部分縣（市）採用之高抗滑標線則以 $BPN \geq 65$ 為標準。表 4 為 CNS 15834 之防滑性能等級，其分級概念、等級數量與 S0 之「無測出性能」等設定均與前述反光性能相同，但其並未區分不同標線顏色與鋪面類型，推測其意涵為抗滑性能不因標線顏色或鋪面類型而異。

表 4 CNS 15834 標線抗滑性能等級

等級	SRT 值
S0	無測出性能
S1	$SRT \geq 45$
S2	$SRT \geq 50$
S3	$SRT \geq 55$
S4	$SRT \geq 60$
S5	$SRT \geq 65$

備考：S0 等級用在 SRT 值無法量測時。

三、實驗方法

本研究採用現地標線劃設與長期密集追蹤方式取得標線反光與抗滑性能資料，所採用之熱處理聚酯材料為國內廣泛使用之 II 型標線材料，即提高抗滑能力之熱處理聚酯標線，由專業廠商劃設後隨即進行檢測。本節將說明劃設地點選擇與劃設情形，以及反光與抗滑性能檢測使用設備與檢測規劃。

3.1 地點選擇與標線劃設

為了解熱處理聚酯標線之長期性能變動情形，本研究選擇合適地點進行現地標線劃設及後續之長期追蹤。為便於觀測，於地點選擇方面主要擬滿足以下三個條件：

- 1.道路進行管線挖掘與重新鋪設機率低，以確保可完整觀測較長時間，不至於因為鋪面鋪設而中斷標線觀測；
- 2.交通干擾小，檢測時之交維需求低，以利經常性進行檢測；
- 3.車輛輾壓機率較低，可較單純評估標線之長期自然劣化趨勢，而非因車輛輾壓導致之變化。

根據上述條件，本研究評估數個候選地點後，選定向臺灣大學洽借椰林大道進行本項劃設與長期追蹤，獲校方同意後，配合椰林大道鋪面改善工程，於面層完工後進行熱處理聚酯標線劃設，由於椰林大道標線僅有中央分向線與道路邊線，考量其他研究項目所需，本研究選擇劃設中央分向線，於全長約 450 公尺道路上劃設 46 組中央分向線（包括雙黃實線與黃虛線），劃設作業於 2018 年 9 月 20 日進行並於同日完成。



(a) 標線劃設情形



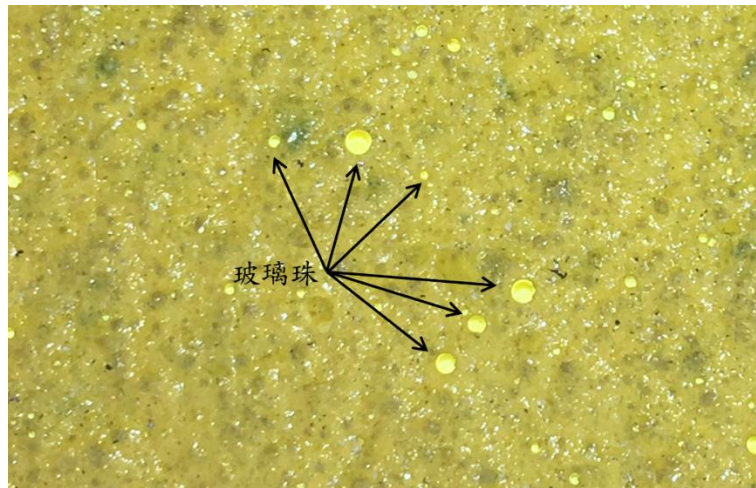
(b) 標線劃設完成全景

資料來源：周家蓓、陳艾懃(2019)。

圖 1 椰林大道標線劃設情形

此次選擇材料為目前多個縣（市）採用之 II 型標線，即加強抗滑能力之熱處理聚酯標線，此型標線之驗收標準為劃設後兩週檢測其抗滑值，BPN 值須大於 65 以上。據標線廠商表示，不同廠商對於達成標線驗收標準之方式不一，但主要是採添加抗滑骨材的方式，抗滑骨材則以玻璃碎或陶瓷類材料為主流；另有廠商表示需降低內摻玻璃珠比例以提高數值，但此做法效果較未獲確認。此次劃設因想了解一般慣用標線之長期表現，因此直接使用廠商所

提供材料，該材料除基底之熱處理聚酯材料外，配合多數道路主管機關要求，需內摻 30%以上玻璃珠，並以 160g/m^2 比例外撒玻璃珠；此外，為提供高抗滑能力，該材料採用外撒抗滑骨材方式達成。圖 2 為劃設後之標線近照，其中圓形且顏色較淺者為玻璃珠，白色星布狀之小點則為抗滑骨材，由劃設後當天照片中分布比例可知，抗滑骨材數量甚多，且多數粒徑小於玻璃珠；但於劃設後十個月之照片可觀察得知，玻璃珠之數量似較劃設後多出許多，且抗滑骨材數量已大幅降低，於照片中幾乎已無法辨識出來。



(a) 劃設後當天拍攝



(b) 劃設後十個月拍攝

圖 2 熱處理聚酯標線表面近照

3.2 檢測設備

於標線反光與抗滑性能檢測方面，係採用具有國際標準之設備，而所使用設備考量取得之可行性，皆為本團隊既有設備，並於歷次檢測前均依原廠要求方式完成儀器校正，以確保檢測結果之正確性。其中反光性能方面採用瑞士製造商 Zehntner 所生產之手提式回歸反射輝度儀 ZRM 6013+型，其外

觀如圖 3 所示。該儀器符合 ASTM E1710、ASTM E2177、ASTM E2302 及 EN 1436 等規範之規定，模擬觀測距離 30 公尺、車頭燈高度 0.65 公尺、駕駛人視線高度 1.2 公尺之幾何設計，模擬車頭燈之入射光源與地面之夾角 1.24° ，駕駛人視線與地面夾角 2.29° ，可測得擴散照明下之輝度係數 Q_d 、乾燥狀態下與潮溼狀態下之回歸反射輝度係數 R_L 。抗滑性能則採用義大利製造商 CONTROLS 所生產之 48-PV 0190 型英式擺錘儀，其外觀如圖 4 所示，該儀器符合 ASTM E303 與我國交通工程規範之規定。由於前述 ASTM 與 EN 規範對於該型儀器之參數設定不同，而本研究係採用我國交通工程規範為檢測依據，因此亦依循 ASTM E303 標準進行儀器設定與校正。



圖 3 本研究採用之手提式回歸反射輝度儀 ZRM 6013+外觀



資料來源：科技部專題研究計畫「提升道路標線夜間與潮溼狀態下之反光性能與發展 VR 於檢測管理應用」期中報告，108 年 10 月。

圖 4 本研究採用之 CONTROLS 48-PV0190 型英式擺錘儀外觀

3.3 檢測規劃

檢測點位之位置選擇與檢測數量方面，因國內尚未有相關規範，本研究係依循 ASTM D7858/D7585M 選取，圖 5 為根據該標準內容依據標線類型整理之樣本數量選取準則。此次所劃設標線皆為縱向標線，且長度小於 3km，

故選取 20 個樣本；抗滑性能檢測點位方面因尚未有相關規範提出檢測樣本數量抽樣估算方法，且因抗滑檢測較反光檢測更為耗時，為兼顧檢測能量與取樣代表性，將配合前述反光能力之選點，於反光能力檢測的 20 個樣本中選取 4 點進行檢測。兩種性能每次檢測之所有測點數值均全數採算術平均方式獲得該次檢測之代表值。

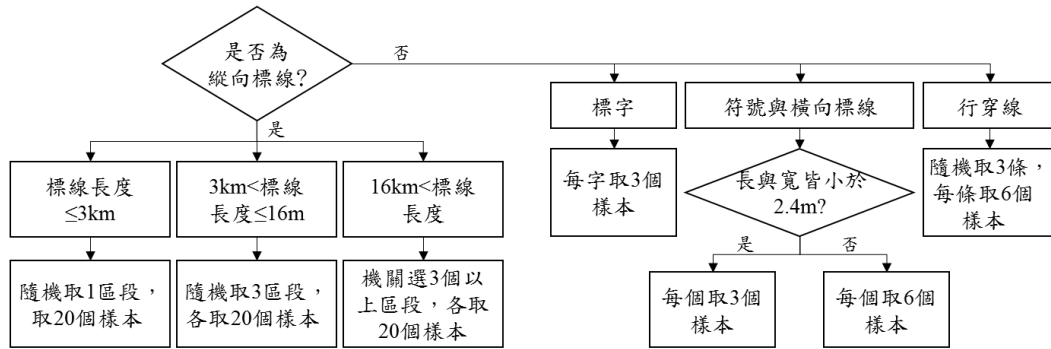


圖 5 ASTM D7585/D7585M 標線樣本數量選取準則

檢測頻率方面，除道路標線驗收時要求於 2 週進行抗滑檢測之時間點外，本研究採取每個月檢測一次之頻率進行，密集檢測 33 個月（自 107 年 9 月劃設後至 110 年 5 月），所得結果將於下節呈現並討論。

四、資料分析與長期性能趨勢討論

本節首先呈現連續 33 個月之逐月檢測結果，包括三種反光性能 Q_d 、 R_L 與 RLW ，以及抗滑性能 BPN ；再就 R_L 與 BPN 之間之變動情況探討二者間是否存在消長關聯。

4.1 反光性能 Q_d

如前所述，標線反光性能包括 Q_d 、 R_L 與 RLW 三種指標，其中 Q_d 於標線外觀目視完整良好時可維持良好水準，於椰林大道上之中央分向線因其所在位置與校園內之車輛使用狀況，甚少遭車輛輾壓，因此經 33 個月後目視狀況皆甚清晰，雖其顏色不如剛劃設後般鮮豔，但仍可維持完整外觀，於日間辨識並無困難。反應於其 Q_d 值，如圖 6 所示，於 33 個月期間均可維持於 CNS 15834 之 Q2 ($Q_d \geq 100 \text{ mcd/m}^2/\text{lx}$) 等級之上，且除其中不連續之 6 個月外，均可達到 CNS 15834 對於黃色標線要求之最高等級 Q3 ($Q_d \geq 130 \text{ mcd/m}^2/\text{lx}$) 之上，顯示若無較大量之車輛輾壓磨耗或外力破壞， Q_d 可長時間維持於較高等級，對於外部照明充足時之行車指引可發揮良好效果。

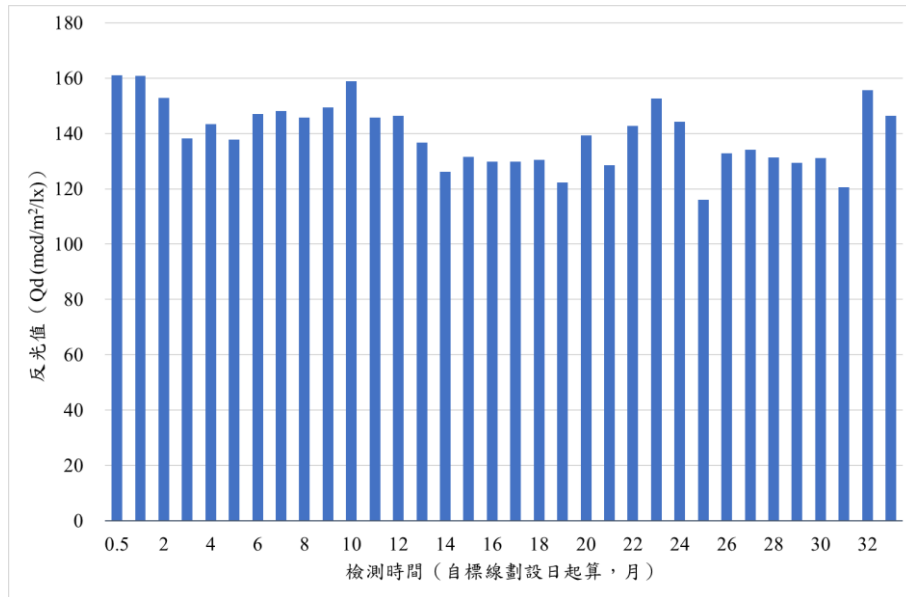
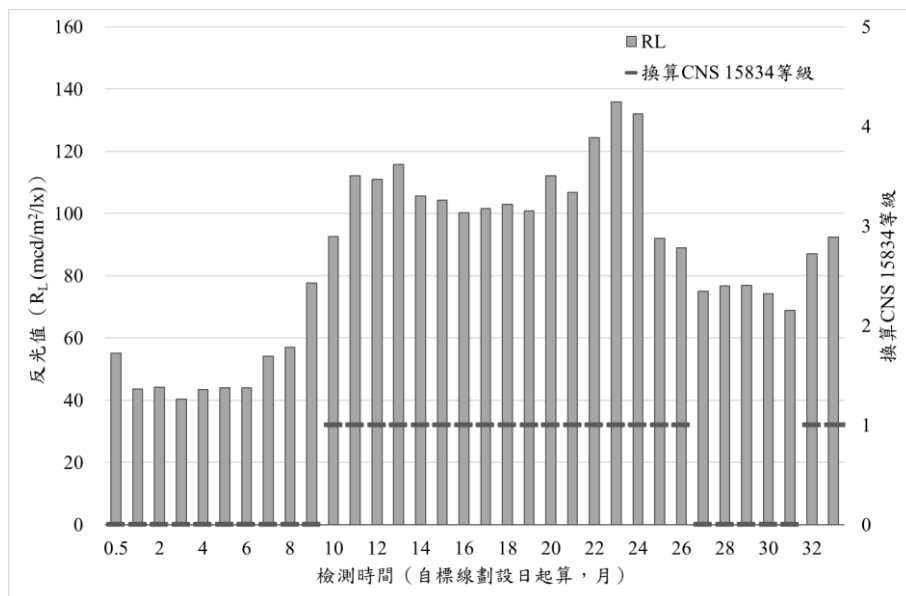


圖 6 逐月反光值 Qd

4.2 反光性能 R_L

相較於可長期保持良好水準之 Q_d ，反應外部照明不足、需依靠車燈照射情況下標線能見度之 R_L 指標則有不同表現。圖 7 為此次劃設標線之 R_L 值與所對應之 CNS 15834 等級，由圖中數據可知，於第 10 至 26 個月與第 32、33 個月時 R_L 可達到 CNS 15834 之 R1 等級 ($R_L \geq 80 \text{ mcd/m}^2/\text{lx}$)，但於劃設後之前 9 個月均屬 R0 之「無測出性能」，亦即若道路主管機關不要求此項性能時，可令標線之 R_L 值屬於此等級。

圖 7 逐月反光值 R_L 與對應之 CNS 15834 等級

另由檢測數值觀之，可發現 R_L 值於劃設後之前 6 個月約為持平趨勢，而

後則逐漸升高，至第 13 個月再呈現持平狀況，至第 22 個月起則再度升高，但於第 25 個月驟降並約略維持至第 33 個月。由於 R_L 值之主要來源為適度嵌入之玻璃珠反射車燈而產生，因此若適度嵌入之玻璃珠較多，且玻璃珠品質良好，折射率高且表面乾淨，則可獲得較佳之回歸反射輝度，即較高之 R_L 值。對照圖 2 可知，於劃設後之標線表面散布之玻璃珠數量甚少，但於第 10 個月時因熱處理聚酯材料之劣化與外撒抗滑骨材脫落，逐漸使內摻玻璃珠露出且不被抗滑骨材所干擾阻擋，因內摻玻璃珠比例較外撒玻璃珠高出許多，因此使 R_L 值於此次觀察中期有較高數值。但於觀測後期則玻璃珠持續掉落，導致 R_L 值降低。

4.3 反光性能 RLW

除乾燥狀態下之回歸反射輝度係數 R_L 外，潮濕狀態下之 RLW 值對於雨夜行車安全甚為重要，圖 8 為此次檢測之 RLW 值，其中除第 9、10、21、23 個月可達 CNS 15834 之 RW1 等級 ($RLW \geq 25 \text{ mcd/m}^2/\text{lx}$) 外，其餘月份均未達最低等級要求。由此結果可知，若採目前材料所劃設標線，於雨夜幾乎無法辨識，此亦與研究團隊實際行車經驗相符，而於此情況下，標線已無引導行車、提供行車資訊之功能。

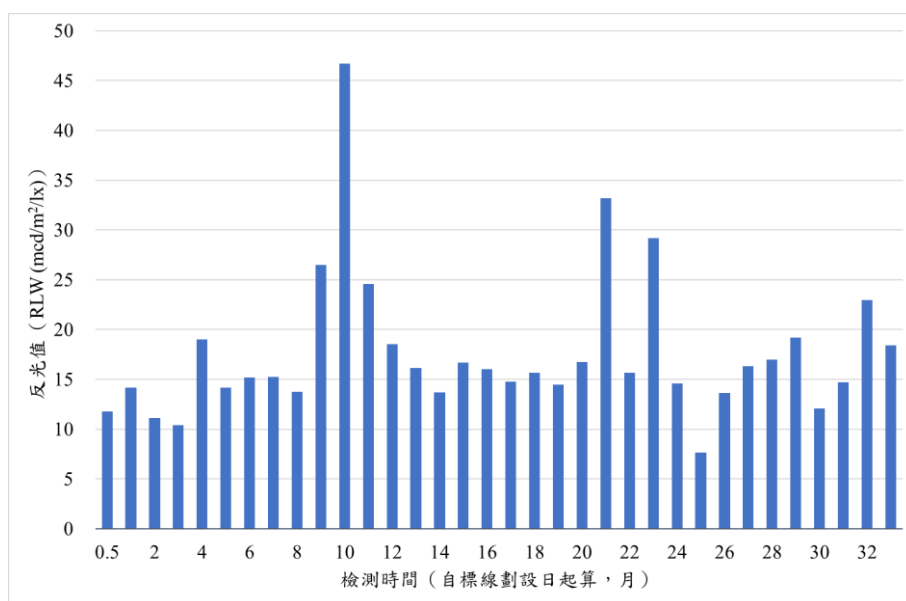


圖 8 逐月反光值 RLW

比較三種反光性能指標可知，目前所採用之高抗滑標線於正常使用、車輛磨耗不嚴重之情況下， Q_d 值可維持良好水準，但 RLW 則多屬無測出性能等級；亦即於日間或夜間燈光明亮充足時，標線能見度良好，但雨夜時則甚難辨識。而於外部照明不足、需依賴車燈照射反光時，現行標線於劃設後 9 個月期間均未達最低要求等級，但第 10 個月至 26 個月時則可達 R1 等級，顯示略有夜間能見度。由於道路實際照明狀況不一，且對我國多數地點，雨天日數應少於晴天日數，因此於後續討論時將以 R_L 值為代表，此指標較為保守（不依賴外部照明情況），亦可涵蓋較多日數需求，因此本團隊認為可將其

視為標線可發揮其功能所需之基本反光性能指標。

4.4 抗滑性能 BPN

圖 9 為標線於 33 個月期間之抗滑值 BPN 檢測結果，由於擬針對同一地點所劃設標線進行長時間觀測與比較，因此圖 9 中之 BPN 值係依據江東旭（2017）採用臺灣地區氣候特性所發展之溫度修正公式進行檢測值修正，以去除夏季高溫時 BPN 值較低、冬季高溫時 BPN 值較高之現象。

由檢測結果可知，此高抗滑標線於劃設後兩週時其 BPN 值達 83，遠高於規範要求（ $BPN \geq 65$ ），已與瀝青混凝土數值相近，顯示所添加之抗滑骨材確實可於初期有效提供抗滑效果。但其數值於劃設後逐漸下降，於第 4 個月已降到 60 以下、第 7 個月起再降低至 55 以下，顯示高抗滑值之效果約僅維持半年。且因所選擇之劃設地點交通量甚低，期間亦未發生強風豪雨等惡劣天候，推測主要造成性能衰退的效果屬一般天氣狀況下之自然衰退，亦即表面外撒之抗滑骨材將於一般天氣狀況下自然脫落。當抗滑骨材掉落時標線抗滑能力亦將大幅衰退，而此時抗滑能力的來源主要為熱處理聚酯材料。隨使用時間日久，聚酯材料逐漸因日照（紫外線）與交通磨耗而逐漸耗損，即標線厚度可能逐漸減少，使標線表面逐漸貼近鋪面表面，此時鋪面之粗質紋理亦對提升抗滑能力有貢獻（如圖 10 所示意），因此於使用一段時間後將發現抗滑能力提升的情形，但約介於 BPN 40~60 間，即部分月份其數值已低於 CNS 15834 之 S1 與交通工程規範之標準（ $BPN \geq 45$ ）。由圖 9 中亦可得知，若將檢測結果換算為 CNS 15834 之對應等級，於持續檢測之 33 個月期間，抗滑性能出現較反光性能更為頻繁且劇烈的變動，較難長時間維持於相同性能水準。

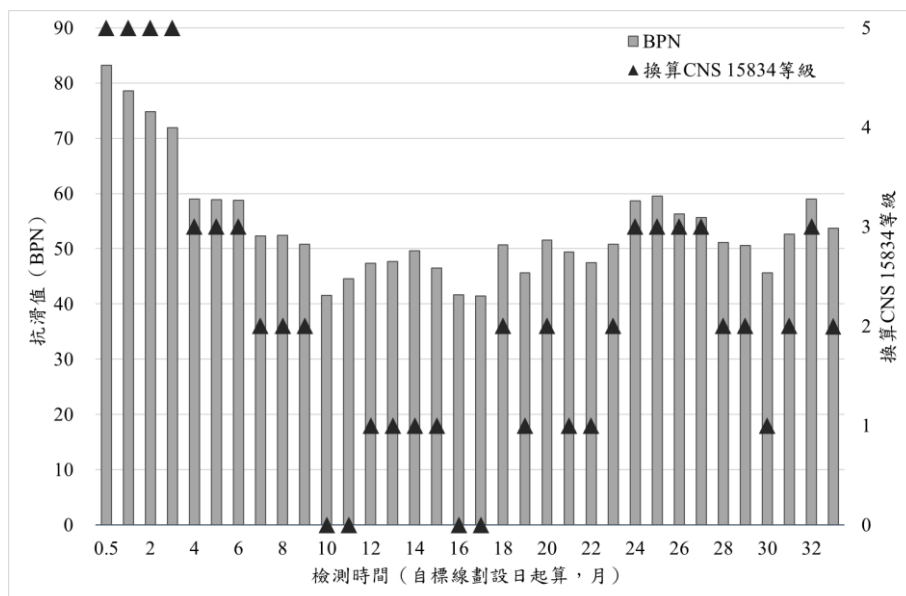


圖 9 逐月 BPN 抗滑值與對應之 CNS 15834 等級

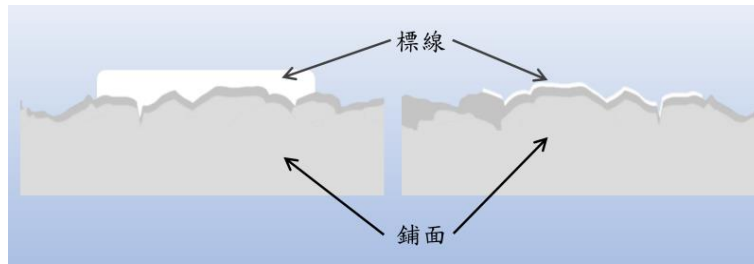


圖 10 熱處理聚酯標線隨使用時間而使標線貼近鋪面之示意圖

4.5 反光性能 R_L 與抗滑性能 BPN 之變動趨勢比較

與其他國家相比，我國對於標線抗滑性能的要求更加重視，而由於規範要求與廠商所選擇之方式，形成前述標線抗滑性能初期甚佳但衰退快速情形，以及反光性能於初期未達令人滿意程度之結果。為進一步比較標線反光性能與抗滑性能之變動趨勢，本研究以四期移動平均消除月與月間的短期波動，使長期趨勢更為突顯，並以 CNS 15834 之第 1 等級數值，即 $R_L \geq 80 \text{ mcd/m}^2/\text{lx}$ 、 $\text{BPN} \geq 45$ 為基準，將各期移動平均值除以基準值以轉換為標準化指標，分析結果如圖 11 所示。圖中縱軸為反光性能 R_L 與抗滑性能 BPN 之標準化指標，並於 1.0 處劃設橫線以利比較。橫軸為四期移動平均之結束月，即自劃設後第 4 個月至第 33 個月。

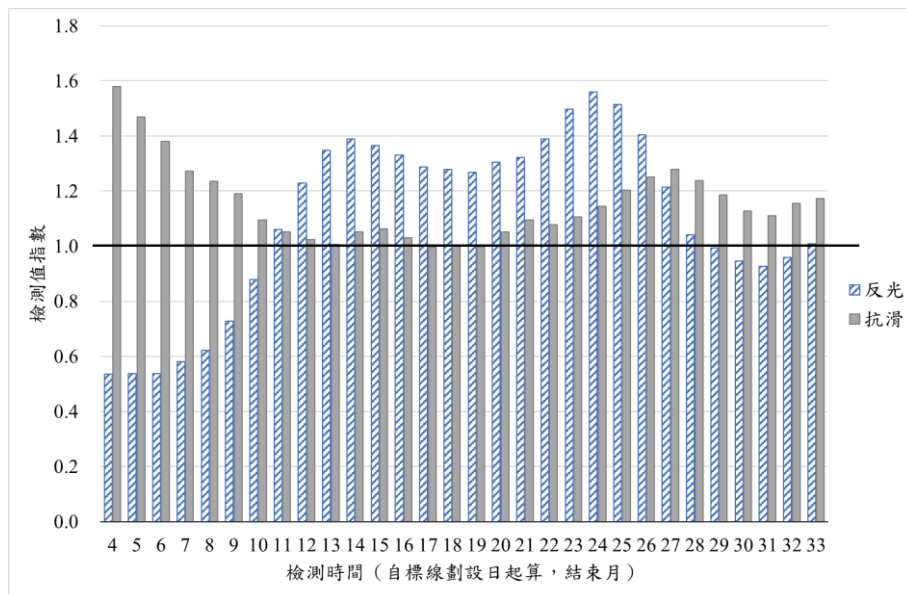


圖 11 反光與抗滑性能指標之四期移動平均

經此處理後可發現劃設後前 10 個月，反光性能與抗滑性能呈現明顯之反向變動趨勢，反光性能逐漸提升而抗滑性能逐漸降低，二者至第 11 個月時交會於略高於基準處。而後反光性能繼續提升至 1.3~1.5 左右，而抗滑性能則於基準值附近跳動，但二者之變動趨勢約略相同，均呈現兩次先升後降之波動。反光值於第 29 個月後降至基準值之下，此與 Chimba 等人 (2018) 之研究顯示黃色標線之耐久性約為 29.5 個月之結果相近，然因 Chimba 等人 (2018) 研究

背景與所採用材料與本研究差距甚大，且其判斷標線到達年限之基準係為 R_L 100 mcd/m²/lx，與本研究基準數值亦有差異，因此適當之標線管養標準仍有待後續研究持續發展。由於高抗滑標線單價高於 I 型標線（BPN 45 標線），且其高抗滑性能僅可維持 3~6 個月，而標線反光性能於劃設後前 10 個月均難達 CNS 15834 之最低等級，基於此等觀察，建議道路主管機關應考量標線劃設地點特性，選擇適當型式標線以得較佳之成本效益，而對於 I 型標線之反光性能與抗滑性能之長期趨勢亦可再加觀察研究。

五、結論與建議

5.1 結論

本研究藉由現地標線劃設與長達 33 個月之密集追蹤檢測，掌握我國高抗滑標線之長期反光與抗滑性能之變化趨勢，且於劃設地點刻意選擇車輛磨耗甚少之校內道路，因此該標線之表現應可解釋為多數道路均可達成之基礎狀況，具有參考價值。

經分析檢測結果顯示，於反光性能之三種指標中，代表環境光源充足時能見度之 Q_d 值可長期維持良好水準，雖略有起伏但多可維持於 CNS 15834 對於黃色標線要求之最高等級 Q3 之上。但相對而言，當照明不足、需依賴車燈照射反光時，現行標線於劃設後 9 個月期間均未達最低要求等級，但第 10 個月至第 26 個月期間則可達 R1 等級，顯示略有夜間能見度；但若為雨夜，則於歷次檢測所得數值多屬無測出性能等級，顯示幾乎無法辨識。

而此高抗滑標線材料於持續檢測之 33 個月期間，抗滑性能出現較反光性能更為頻繁且劇烈的變動，較難長時間維持於相同水準。於劃設後初期可達與瀝青混凝土鋪面相近之抗滑能力，的確對於防止車輛打滑具有效果；但其高抗滑效果約僅維持半年。若將乾燥情況之 R_L 值與 BPN 進行比較，可知二者於劃設後前 10 個月出現反向變動趨勢，而後則有相同變動趨勢，並於第 29 個月時反光性能將降至 R1 等級之下。

5.2 建議

本文主要針對現地實測結果進行整理探討，尚未充分解釋數值變動原因與可能影響因素，亦尚未建立對實務單位更具應用實效之性能基準建議與性能值預測，有待後續研究持續進行。另由本研所得結果顯示，II 型標線之高抗滑能力約可維持半年，考量 II 型標線較 I 型標線成本高出許多，縣（市）政府於採用前宜評估其成本效益，或考量其生命週期成本，以使經費獲得有效運用。

參考文獻

江東旭(2017)，熱處理聚酯標線添加料對抗滑性能影響性研究，臺灣大學土木工程學研究所碩士論文

行政院公共工程委員會(2021)，施工綱要規範，第 02898 章標線，9.0 版。

交通部(2015)，交通工程規範。

周家蓓、陳艾懃(2019)，「提升道路標線夜間與潮溼狀態下之反光性能與發展 VR 於檢測管理應用」期中報告，科技部專題研究計畫。

經濟部標準檢驗局(2015)，中華民國國家標準 CNS 15834:2015，道路標線使用性能。

ASTM (2015), ASTM Standard D7585/D7585M. Standard Practice for Evaluating Retroreflective Pavement Markings Using Portable Hand-Operated Instruments, ASTM International, Pennsylvania, USA.

ASTM (2018), ASTM Standard E303, Standard Test Method for Measuring Surface Frictional Properties Using the British Pendulum Tester, ASTM International, Pennsylvania, USA.

Carlos, A. and Lopez, P. E. (2004), Pavement Marking Handbook. Texas Department of Transportation.

CEN (2007), EN 1436, Road Marking Materials - Road Marking Performance for Road Users. European Committee for Standardization.

Chimba, D., Kidando, E., and Onyango, M. (2018), Evaluating the Service Life of Thermoplastic Pavement Markings: Stochastic Approach. Journal of Transportation Engineering, Part B: Pavements, 144(3), 04018029. <https://doi.org/10.1061/JPEODX.0000055>

Hall, J.W., Smith, K.L., Titus-Glover, L., Wambold, J.C., Yager, T.J., and Rado, Z. (2009), Guide for Pavement Friction. National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. Washington, DC: The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/23038>

Kuttesch, J. S. (2004), Quantifying the Relationship between Skid Resistance and Wet Weather Accidents for Virginia Data, Master of Science Thesis, Civil and Environmental Engineering, Virginia Polytechnic Institute, Virginia State University.

致謝

本研究為科技部專題研究計畫「提升道路標線夜間與潮溼狀態下之反光性能與發展 VR 於檢測管理應用」(計畫編號：MOST 107-2221-E-002 -039 -MY3) 之部分成果，於執行過程中獲得臺灣大學提供校內道路劃設標線並進行檢測，特此致謝。