

LED 路燈技術於道路照明應用

LED Street Light Technology for Roadway Lighting Application

李麗玲、黃素琴

Li-Ling Lee, Su-Chin Huang

安全節能與智慧人性為道路照明的願景，LED 路燈具備良好的光品質、效率高、容易調控及壽命長等特性，附加中間視覺的理論優勢，符合應用需求；目前 LED 路燈發光效率已達 100 lm/W，超越高壓鈉燈，但性能穩定性及壽命可靠度仍需持續改善。本文將介紹我國 LED 路燈技術之最新發展以及應用現況，分析國際 LED 路燈技術的進展，根據道路照明的法規，探討 LED 路燈的機會與挑戰，加速綠色智慧道路照明時代的來臨。

Safety, energy conservation, intelligent and environmental friendly are roadway lighting basic requirements. The LED street light has the good light quality, the high efficiency, easy to control and the long life. The LED street light luminous efficiency has reached the 100 lm/W surmounting high pressure sodium lamp now, but the performance stability and reliability still have to improve. This paper introduces the regulations of roadway lighting, LED street light technology most recent development as well as application present situation in Taiwan, and also discusses the opportunity and the challenge of LED road lighting.

一、前言

夜間光環境為城市經濟發展的表徵，更充分反應地方生活型態與開發程度。能源居 21 世紀全球最受關切議題之首，照明節能更被列為第一要務。道路照明攸關人民行的安全，因應全球暖化問題嚴重，隨著 LED 技術提升性能大幅成長，LED 道路照明示範計畫在全球普遍進行中。

從照明觀點，道路分為汽車專用、一般街道、商店街及人行道四大類。一般所指的道路照明乃指汽車專用道之照明，主要功能在保障夜間道路的行人及車輛駕駛者能安全通行，尤其應提供車輛駕駛者看清楚道路之形狀、行進方向及周圍等，以正確

辨視任何障礙物，且容易預測行進方向。良好的道路照明有助於減少交通事故和犯罪。高效率、配光適當、壽命長與耐環境等是路燈的基本條件，以提供合宜亮度、色溫及均勻度，滿足道路的安全可靠、節能、視覺舒適、低光害及低維修率等。隨著城市網路化時代，科技人性智慧型路燈為技術趨勢，近年來燈具裝飾化的趨勢越發明朗化，路燈造型強調蘊藏地方人文特色，自動調控搭配造型為先進路燈的潮流，透過道路照明增添城市之美與建立人文的意象。

固態照明被譽為 21 世紀之光，根據美國 DOE 對白光 LED 的技術預測，1 W 暖白光 LED (色溫 2580–3710 K，演色指數 80–90) 發光效率為 184

lm/W，每千流明售價 USD 3.3，至於冷白光 LED (色溫 4746–7040 K，演色指數 70–80) 發光效率則達到 215 lm/W，最新的實驗室數據 1 W 白光 LED 發光效率達到 231 lm/W，每千流明售價 USD 2。近三年來全球暖化加遽，節能減碳議題舉世關注，2010 年 LED 照明燈具市場滲透率達 7%，隨著性能提高、價格下降，預期 2015 年 LED 照明滲透率將突破 20%⁽¹⁾。LED 路燈是公共設施，2005 年荷蘭 Dutch town of Ede 市 Philips 公司的 30 W LED 街燈首度在世人面前亮相，隨後台灣、中、歐、美、日陸續建立小規模的 LED 路燈實驗示範系統，其中又以中國最為積極。根據分析統計，LED 路燈節能已經可達 50%，我國 LED 路燈換裝水銀燈從 2008 年台中市開跑，2009 年經濟部於全台 47 鄉鎮示範及工業區更新計畫，估算目前使用比例為 1.2%。我國在全球第一份 LED 路燈標準的基礎下，產品技術居全球領先，透過示範計畫也建立智慧化 LED 道路照明技術，利用 ICT 整合 LED 路燈調降初期照度、時控制照度設定及失效判斷等，大幅提升 LED 道路照明之競爭力；但規格不統一、成本高、性能不穩定、壽命不確定等，仍然是市場無法普及的關鍵因素。

二、道路照明規範及燈具標準

道路照明安全第一，因此照明品質受到嚴格的要求；雖然全球對道路安全的要求不一致，但在道

路照明規範相當完整明確。照明標準一般包含亮度、照度以及均勻度 (最小/平均)，最新節能及環境友善議題受到重視，能源效率及眩光、光污染成為新的規範。道路照明標準依據道路類型及車速而定，汽車專用道其照明需求是看清路面，因此以亮度為規範，基準值介於 0.5–2 cd/m²，周圍亮則道路亮度高；亮度均勻度最高 0.4、最低 1/6⁽²⁾，速度快的道路亮度及均勻度標準值較高。表 1 為國際道路照明標準。其次，一般市區或人行道照明需考慮辨識人的需求，照度與亮度標準並列，且兩項都規範均勻度。一般照度常指水平照度，但道路照明在降低犯罪前提下，增加垂直面 (或稱半圓柱) 照度，定義為 1.5 米高度之垂直面照度，位置等同人的臉部，參考表 2 所示日本對於街道及人行道之基準。我國道路照明規範依據現有路面材料水泥與瀝青制定不同基準，如表 3 所示，所有道路均需通過照度標準，而市區道路同時有滿足亮度之需求，但均勻度僅評量照度部分，分別是高於 0.25 或 0.33，與國際趨勢略有差異。此外，國際之間基於環境與文化的因素，在交叉路口另規範嚴苛之縱向均勻度，以提高安全係數⁽²⁾。

戶外照明提供人行的安全、美化城市，並增加生活趣味，但需要與節能減碳協調，照明系統總體用電管制為全世界管理能耗的重要手段，目前兩岸均對道路照明用電制定建議值。交通部 99 年底正式將道路照明用電列入規範中，依據道路寬度及照度制定每單位面積 (路寬 × 路長) 的用電稱之「道

表 1. 國際道路照明標準。

道路種類	周圍亮度	平均亮度 (cd/m ²)	均勻度	縱向均勻度	眩光限制		備註
			最低亮度/平均亮度		眩光指數 (G)	門檻增量值 (TI)	
高速公路		2	≥ 0.4	≥ 0.7	≥ 6	≤ 10%	汽車道路
快速道路		2			≥ 5		
主要道路	亮	2			≥ 6		
	暗	1					
環路或放射狀路	亮	2		≥ 5	≤ 20%		
	暗	1		≥ 6	≤ 10%		
主要道路	亮	2	≥ 0.5	≥ 4	≤ 20%	汽機車混合道路	
次要道路及其他道路	亮	1		≥ 4			
	暗	0.5		≥ 5			

看到前方來人之情況	距離 (m)	必要照度 (lx)	立面照度 (lx)	
			A	B
可以看到顏臉之方向	4	0.5	5	3
	10	1.5		
可以判出口鼻之位置	4	1.0	4 米前步行者臉型 概要	4 米前步行者臉型 舉動姿勢
	10	2.1		
可以判出是何人	4	1.8		
	10	5.0		

表 2.
日本街道／防範照
明規範。

台灣－交通工程手冊								
道路功能分類與條件		商業區		住宅區		均勻度		
		R	C	R	C			
高速公路		15 lx				> 0.33		
一般公路	幹道	15 lx	10 lx	7 lx	5 lx	> 0.25		
	次要道路	10 lx	7 lx	6 lx	4 lx			
	輔助性道路	10 lx	7 lx	6 lx	4 lx			
	交流道	15 lx	10 lx	7 lx	5 lx			
台灣－市區道路及附屬工程設計規範								
道路功能分類	商業區		住商混合區		住宅區		均勻度	
	照度 (lx)		照度 (lx)		照度 (lx)		照度	亮度
	R	C	R	C	R	C		
快速道路	15	10	10	7	7	5	> 0.33	無
主要道路	15	10	10	7	7	5	> 0.25	
次要道路	10	7	7	5	6	4		
服務道路	6		—		4		0.3	

表 3.
台灣道路照明規
範。

道路條件		照度		UPD (W/m ²)				
道路寬度 (公尺)	車道數	30 lx	20 lx	15 lx	10 lx	8 lx		
24-30	> 6	0.95	0.63	—	—	—		
22	6	1.08	0.72	—	—	—		
16-20	4-5	1.23	0.83	0.61	0.41	—		
14	4	1.35	0.90	0.68	0.45	—		
10-12	3-4	—	—	0.85	0.56	0.45		
8	2	—	—	—	0.63	0.50		

表 4.
交通部道路照明用
電建議值。

路照明用電密度」(UPD, W/m²)，建議值如表 4 所示。除了用電管制，德國之動態道路照明為國際間比較特殊的規範，源自商業與住宅區隔明顯，所以依據交通流量、時間及天氣情況自動調整路面的亮度，屬於系統面節約能源的策略。無論 UPD 或動態照明，顯示日後系統化道路照明節能必然成為法規。

配光曲線是燈具的光強分布圖，配光設計不當的路燈浪費能源、對天空造成光污染、影響生態及民眾的作息等，制定路燈性能標準並管制能源效率已是全球的共識。國際照明組織對戶外燈具的光害防治相當積極，嚴格限制燈具的上方光束以及點燈時間，商業區規定最鬆上方光束可達 20%，但在公園、住宅區則以 5% 為限。日本針對街道燈具之

lm/W

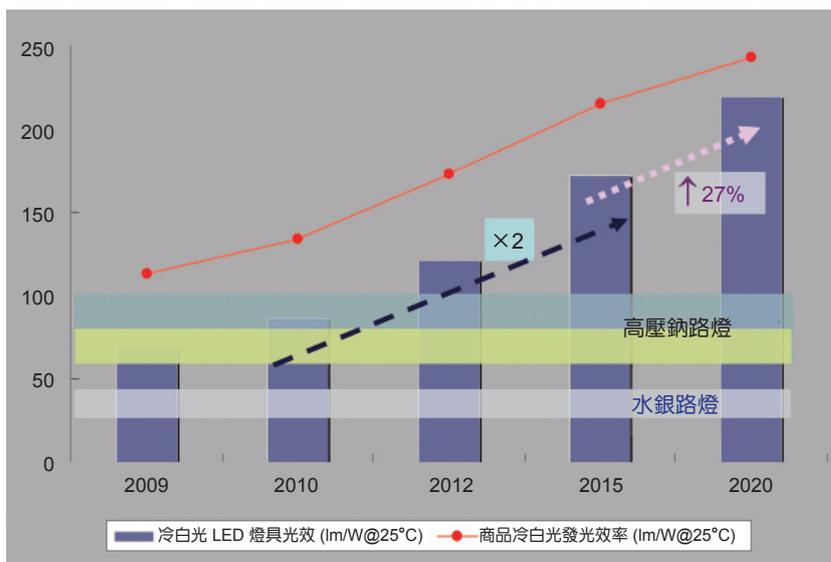


圖 1. LED 路燈發光效率。

照明率、上方光束比、眩光與能源四項參數等制定評估基準，燈具功率 200 W 以下燈具發光效率必須高於 50 lm/W，隨著功率提高而將發光效率基準調高為 60 lm/W 以上⁽²⁾。根據 CNS 9118 路燈配光分為遮蔽型、半遮蔽型及無遮蔽型三類，遮蔽型路燈在鉛直角 80° 與 90° 光強度最大值最低，亦即上方光束少，遮蔽型配光為路燈主流技術。

現有路燈歷經 70 年的技術演進，燈具成熟穩定；LED 為正在發展中的技術，相關標準及測試技術是全球努力的重點項目。我國於 2008 年 12 月公告全球第一套 CNS 15233「發光二極體道路照明燈具」標準；本標準訴求 LED 路燈具有「節能、耐用」、「安全」與「舒適光」三大項，主要測試項目包含基本性能 (功率因數、輸入功率、電流諧波失真及電壓變動率)、安全性 (絕緣、耐電壓、突波與 IP)、電磁干擾、光學特性 (色溫、色座標及配光)、能效 (發光效率，分為 45 lm/W、60 lm/W 及 75 lm/W 三等級)、光衰 (壽命)、耐用可靠性 (溫度循環、高溫及點滅測試) 等，相關耐用性測試強調所有元件均不得有裂痕或其他物理性損害，任一個 LED 不得有不亮或閃爍之失效情況。本標準之測試方法參照國際標準先經過 1,000 小時枯化點燈後，再進行所有測試，惟基於稍短測試時間，光衰量以點燈 3,000 小時後光通量維持率需高於 92%，以評斷 LED 路燈的壽命⁽³⁾。台灣地區雷

擊甚多，故必須提高路燈的耐突波能力，才能避免雷殛傷害；而規範燈具光強度的分布，方能確保路面照度均勻，保障行車安全。

近三年來 LED 路燈技術有長足進步，因應 LED 燈具配光設計改善，光利用更趨有效，美國能源之星研訂之 LED 路燈基準，除了發光效率及壽命外，特別強調 LED 燈具光的適當配置 (有效利用率)，顛覆了傳統燈具單以「發光效率」評量燈具節能效益的方法。LED 燈具應將光投射在適當位置，並依不同角度訂定光輸出比例，以燈具目標區發光效率 (fitted target efficiency, FTE) 做為評量燈具能效，FTE 定義為被照射目標接受的光束總量除以燈具消耗功率，亦即 LED 路燈所輸出光真正被使用在道路上的能源效率，更加突顯 LED 燈具光學設計的重要性，也是因 LED 燈具而誕生的革命新法。能源之星的 LED 路燈初始最低光輸出為 1000 lm，其能源效率 FTE 分為 37 lm/W、48 lm/W、53 lm/W 與 70 lm/W；輸出光束高能效指標亦高。

LED 參考傳統光源壽命定義，以輸出光通量維持率 70% (符號 L70) 稱為光維持壽命。IESNA-LM80-08 (IESNA Approved Method for Measuring Lumen Maintenance of LED Light Sources) 是 2008 年由北美照明學會 (IESNA) 制訂的 LED 光衰減測試方法的標準，適用於測試 LED、LED 陣列與

燈具類型	環境污染 (汞)	平均壽命 (千小時)	色溫 (K)	演色性
水銀燈	◎	16-24	3300-5700	10-60
複金屬燈	○	10-15	3000-6000	60-96
高壓鈉燈	○	12-24	2000-2500	20-35
LED 路燈	×	20-50	3000-7500	65-75

表 5.
LED 路燈及傳統路燈性能比較。

LED 模組，本項此測試不得少於 6000 小時。因為 LED 光通量與溫度密切相關，標準測試條件以 LED 外殼 55 °C、85 °C 以及業者自選三種環境溫度下進行，環境溫度需穩定控制在低於外殼溫度 5 °C 內，且每一 LED 獨立進行測試⁽⁵⁾。搭配 LM 80 國際照明學會 (IES) 另提出 IES-TM21 方法作為依據光衰減量推估壽命，目前廣為國際採用。美國能源之星固態照明產品採同一套標準，LED 性能基準為 6000 小時光維持率高於 94.1%，推估壽命 35000 小時。

三、LED 路燈技術發展

路燈光源以水銀燈及高壓鈉燈為主，LED 路燈及傳統路燈性能比較說明如表 5 所示，LED 路燈演色性高，可改善周遭景觀，並提高辨識率，安全性佳，無汞污染之虞。另外，研究報告證實，道路照明屬於中間視覺區，合宜的白光 LED 路燈人眼靈敏度高於高壓鈉燈。LED 性能快速提升，最新資訊實驗室 1 W 白光 LED 發光效率已高達 231 lm/W，市售產品約 120 lm/W；台灣擁有完整的 LED 照明產業鏈，光學、散熱與電控技術成熟，同時是全球發展 LED 路燈最積極的國家，產品技術居國際領先群，發光效率超過 100 lm/W，並持續提升，目前替換水銀燈省電超過 60%，LED 到燈具之效率可達 75%。

圖 1 為 LED 燈具性能發展趨勢，節能減碳政策加速 LED 照明應用。根據實驗室測試資料，輸出光束已經超過 20000 流明，整組燈具發光效率最高者已經與高壓鈉路燈相同，節能效益與日俱增，如表 5 所示。理論上，LED 路燈壽命可達 5 萬小時，但壽命受制於散熱，散熱設計如何克服戶外灰塵與鳥屎等環境污染，而性能降低，業者所承諾

之產品壽命仍被存疑，目前實驗室測試資料，LED 路燈的光衰差距極大。遮蔽型路燈其最大光度之涵蓋範圍為 0 度至 65 度，光分布角度較小，為滿足道路均勻度，CNS10779 道路照明標準規定燈具的配置；但我國市區路燈一般採用無遮蔽型水銀燈佔絕大多數，因此 8 米燈桿路燈平均桿距在 30 至 40 米，這也是多數經濟條件較差地區的現況。LED 路燈挑戰在最低的燈具數量仍可滿足照度、均勻度與低光害，以滿足節能、環保、低光污染，並降低燈具維護等道路照明的需求。

對高功率、高亮度需求的 LED 路燈而言，光學、機構、電控與散熱技術缺一不可。路燈在行車安全考量下，需要滿足路面亮/照度、均勻度等規範。現階段的 LED 路燈發光角度已大幅躍進，根據模擬 8 米燈桿平均燈桿距離從 30 米改進至 40 米，均勻度仍可達到道路照明要求。其次，決定 LED 燈具光衰減的散熱設計，在諸多如均溫板、熱管、風扇等技術的投入，統計 25 盞 LED 路燈在實驗室經 6000 小時點燈，其中有兩成光維持率高於 100%，13 盞燈具若比照 LED 元件推估壽命可達 35000 小時，但也有 20% 的設計顯然還需改善，如圖 2 所示。圖 3 說明 LED 燈具光色將隨著時間改變，且變化高低都有，LED 路燈光性能穩定度仍須改善。

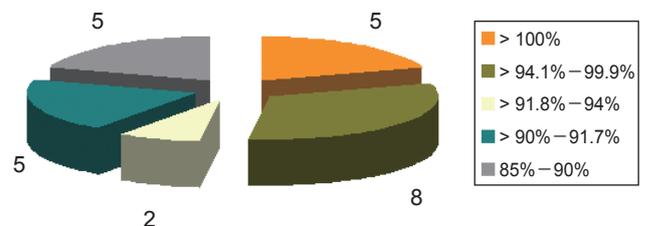


圖 2. 實驗室測試 LED 路燈 6000 小時光通量維持率分布。

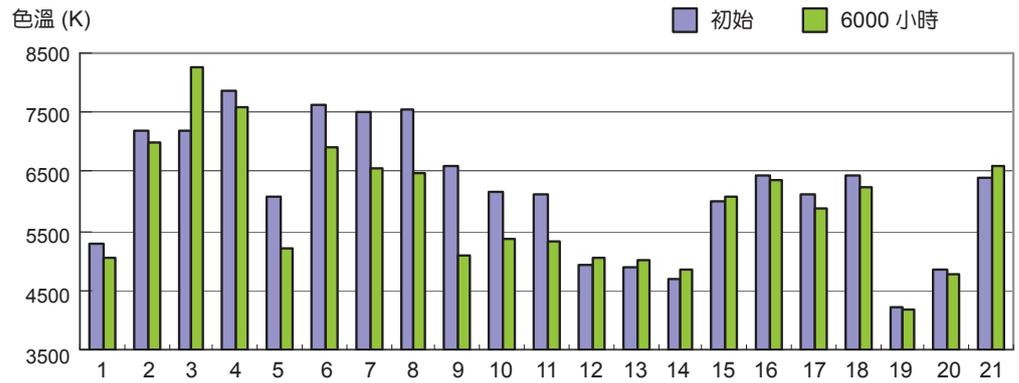


圖 3. LED 路燈 6000 小時光衰減與色溫變化。

台灣的 LED 電源技術堅強，配合 LED 照明的需求，高功率密度、輕薄短小；新電路架構成本降低；定電流高精度輸出、調光功能；數位監控：資訊通信技術；提升性能及效率，目標效率 95%；可靠度高、壽命長，MTBF 高於 3 萬小時；戶外用途啟動溫度低於 -5°C 等；LED 路燈還需考量防水防塵耐雷擊等功能。現階段 LED 路燈的電源規格未統一，產品量少、成熟度不足。

智能化 LED 道路照明系統整合感測技術、數位化、智能化及通信技術，透過感測照度、車／人、溫度、電壓／電流與光／霧等調控，並監測 LED 路燈，此類系統的功能包含：

- 照明管理：設定燈具點燈時程表。
- 光品質調控：調整初期照度、調光及調色溫。
- 具備標準的通信介面和協定：實現局域網／城市網的聯網控制。
- 監測燈具各種參數：如照度、電流、電壓、功率與溫度等基本供電系統參數。
- 維護管理：監測故障狀態，分析故障原因。

LED 路燈技術迅速成長，諸多優勢吸引全球 LED 進入道路照明應用。除此之外，人因照明為照明最當紅的議題，由於人眼睛對於不同波長光的靈敏度會受到周圍明亮程度而改變，圖 4 為人眼睛之光譜光效率曲線，歸納分成明視覺與暗視覺及中間視覺三種。視覺環境在 3.4 nt (尼特) 以上，人眼對各種波長光的相對靈敏度稱為明視覺的光譜光效率 $V(\lambda)$ ，其最大值在 555 nm (黃綠光)；當環境亮度降到 0.034 nt 以下，稱為暗視覺的光譜光效率 $V'(\lambda)$ ，其最大值在 507 nm (藍綠光)；介於兩者之間稱為中間視覺，其最大值在 520 nm (綠光)，道路照明恰好介於此範圍。

通常所說的光譜光效率是指明視覺的光譜光效率，根據研究實驗顯示人眼將光源調整至中間視覺區，則維持相同之視覺功能，白光 LED 路燈較高壓鈉燈可降低三成的功率。

LED 路燈之未來前景亮麗，但目前仍待克服若干問題，例如價格仍然是 LED 路燈的關鍵門檻，LED 及電源等關鍵零件檢測制度未建立，產品性能差異大；LED 路燈的可靠度驗證技術尚未建立等，壽命驗證時間長，但產品推陳出新速度快，消費者一大隱憂；價格高，目前 LED 路燈高於傳統燈具數倍，眩光強、色溫偏高；其中又以規格未統一，使用者無法維護，影響使用意願，問題嚴重。

全球照明龍頭廠商研發更安全和更經濟的道路照明外，標準介面亦成為大廠壟斷市場之手段，2010 年 2 月初全球九家照明行業巨頭宣布發起成立一組織—ZHAGA 聯盟，旨在發展 LED 光引擎 (light engine) 介面的標準，光引擎為光電熱整合，

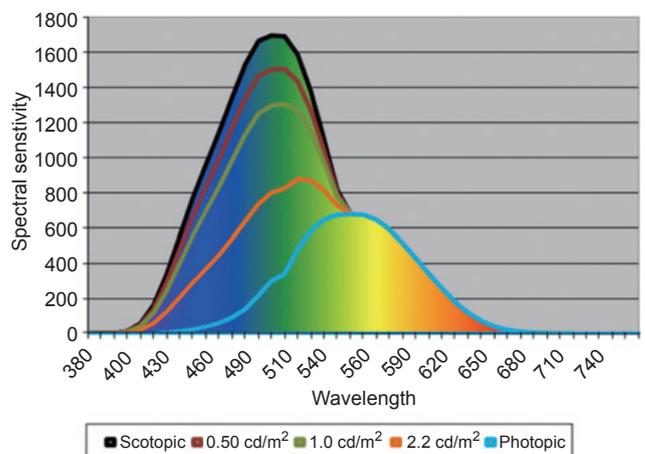


圖 4. 人眼睛之光譜光效率曲線。

具有替換便利性，ZHAGA 等同宣告模組化 LED 照明技術明朗化。

LED 照明技術是一場全球性的競爭，LED 照明模組技術是國際照明趨勢，光引擎 (整合光、機、電、熱) 的 LED 路燈挑戰使用者的接受度。歐洲的 LED 照明大廠對 LED 路燈之效率、光利用率、視覺舒適度及換裝便利的機構設計，並搭配外觀的創新，全新的 LED 道路照明震撼照明界。不同思維的產品設計、PV 電力 LED 路燈等，LED 路燈在造型、光色變化及調光控制等特點，適合搭配周圍環境及人文，創造出最具特色的城市意象燈具，LED 正帶領道路照明進入嶄新的一頁。

四、我國 LED 路燈應用

台灣的 LED 路燈技術發展甚早，從台大校園內試點開始，97 年底僅數十盞。直至 97 年透過「加強地方建設擴大內需方案」推動 LED 路燈換裝水銀路燈的計畫，總計約換裝 1 萬盞，創造當時全球單一地區最大 LED 路燈應用。接續 98 年經濟部能源局「LED 道路照明節能示範」補助計畫以及工業局的工業區更新，以通過 CNS15233 LED 路燈標準測試的產品，全台換裝了 7000 多盞 LED 路燈，目前估算全台 LED 路燈總數約 2 萬盞。

本研究在地理條件相當地區對新裝設的 LED 路燈進行照度、用電量與可靠度的長期追蹤，同時也量測新裝設之水銀燈，作為客觀比較。照度之測定則根據 CNS5065，並扣除其照度背景值，計算其平均照度，以降低戶外量測之誤差。

根據本研究測試結果顯示，水銀路燈的光譜吸引昆蟲聚集，照度下降快，點燈時間 1,000 小時，光衰已有 10-19%，點燈時間 3,000 小時，光衰平均為 32%。而 LED 路燈經過一年，其平均照度仍可維持在 13 lx 以上，符合我國內政部營建署「市區道路工程規劃及設計規範」道路照明標準要求。LED 路燈之光維持率因產品及使用環境而異，根據在相類似的環境條件採隨機取樣進行實測統計，一年光維持率介於 82%-100%，參見圖 5⁽⁴⁾。大部分照度均在合格範圍，部分燈具使用超過 6500 小時，其光衰減情況仍小於 10%，甚至低於 5%，與傳統路燈 1.5-2 年，即需更換的情況比較，確實呈現其 LED 照明長壽命的特點。另外，量測數據顯示 LED 路燈光衰程度差距頗大，根據 CNS15233 標準 3000 小時，光衰應低於 8%，顯然 LED 路燈產品技術雖達水準，但在量產時仍加強品質管控。

LED 路燈系統故障率小於傳統水銀路燈及高壓鈉燈，對於 LED 路燈故障情形有整燈損壞不

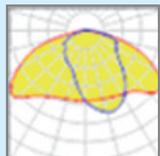
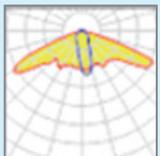
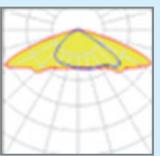
	水銀燈	高壓鈉燈	複金屬燈	LED 燈
燈具消耗功率 (W)	230	80	98	89.2
路面寬度	8 m			
照度及均勻度設定	15-20 lx / > 0.3			
燈桿設置條件	桿高：8 m；桿距：24 m；單排單邊排			
模擬平均照度 (lx)	17	20	17	18
模擬照度均勻度	0.59	0.44	0.51	0.6
每公里路燈數	42	42	42	42
每公里路燈用電 (W)	9660	3360	4116	3746
節能效益 (%)	0	65	57.4	61.2
燈具配光				

表 6. LED 路燈節能效益。

註：燈具消耗功率 = 光源功率 + 安定器 / 電源供應器消耗功率。

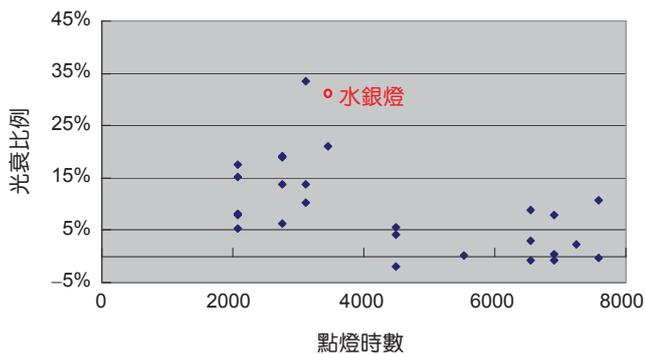


圖 5. LED 道路照明應用光衰減。

亮、部分燈串不亮，以及整燈或個別 LED 閃爍三種情形。圖 6 所示為 LED 路燈中 LED 元件故障情形。分析結果：(1) LED 燈具系統在雷雨季故障率高，主因為燈具防水不佳，造成故障，(2) LED 路燈電源供應器電路複雜與耐雷擊、突波能力不足，此為 LED 路燈短期失效的主因；(3) LED 路燈部分元件損壞，環境汙染導致散熱性能下降，造成 LED 路燈部分失效、照度下降。另外，仍有近 20% 燈具不亮情形，問題源自路燈電源系統的線路老舊、保護開關設計不當。長壽命是外界對 LED 路燈的期待，對於其功能性失效與損壞性失效均須再深入進行可靠度的探討。

夜間照明品質對一般民眾及駕駛者的影響甚大，另一方面，LED 道路照明的應用已數年，使用者之接受度為 LED 道路照明普及化的另一關鍵因素。本研究除了探討技術及應用成效外，也對行路人及車輛駕駛人的感受進行調查，統計結果如下：

- 73% 的受訪者察覺更換 LED 新路燈。
- 駕駛者：50% 認為較原有路燈更能清楚看見對向來車或路邊行人，31% 認為稍有改善，8% 認為

較原有路燈差。

- 行人：51% 認為較原有路燈更能清楚看見對向來車或路邊行人，32% 認為稍有改善，8% 認為較原有路燈差。
- 61% 受訪者認為亮度適切，22% 認為「太亮」或「稍亮」。
- 89% 受訪者認為 LED 路燈有「大幅改善」與「稍微改善」鄰近地區整體景觀；81% 認為有改善鄰近地區夜間安全性；83% 認為有改善鄰近地區能見度或亮度。
- 82% 受訪者「非常喜歡」及「稍微喜歡」LED 路燈。

喜歡新路燈的原因包含「改善可見度」、「晚上有較佳的視野」、「對農作物較無光害影響」、「較無蚊蟲聚集」等；佐證 LED 路燈的照度、均勻度、配光設計及演色性提高，發揮實質上的效果。但仍有 8% 的民眾喜歡舊路燈，此份調查結果說明每個人對照明的喜好不同，「人因」工程仍是未來 LED 道路照明的關鍵議題。

五、結語

LED 路燈光效已超越傳統路燈，壽命預估可達 35000 小時以上，模組化燈具發展成為 LED 路燈的主流。隨著光、機、電、熱等技術持續提升，LED 路燈節能成效將更為顯著。智慧調控技術主題及燈具二次光學技術與相關材料的開發將是重點技術發展方向。LED 道路照明一般使用者接受度高，智慧系統整合 ICT 感測監控讓照明更人性化、管理維護更便利，而無汞、低光害有利生態，為人類營造舒適又安全的道路光環境，但規格統一、成本下降、提高穩定性與可靠度乃當務之急。



圖 6. LED 路燈中 LED 元件故障的情形。

誌謝

本研究由經濟部能源局「LED 照明應用技術與製程設備開發計畫」支持，謹此誌謝。

參考文獻

1. 林志勳, 李麗玲, 江松柏, 陳怡萍, 工業材料, **267**, 86 (2009).
2. 李麗玲, 郭玉萍, 林士凱, 探討 LED 路燈技術及標準, 海峽兩岸第十五屆照明科技與營銷研討會 (2008).
3. 中國國家標準 (CNS) 15233 「發光二極體道路照明燈具」.
4. 李麗玲, 黃素琴, LED 道路照明應用成效與技術發展, 海峽兩岸第十七屆照明科技與營銷研討會 (2010).
5. IES LM-80-08 Approved Method for Measuring Lumen Maintenance of LED Light Sources.



李麗玲小姐為日本熊本工業大學能源電子研究所工學博士，現任工業技術研究院綠能與環境研究所智慧節能系統技術組副組長。

Li-Ling Lee received her Ph.D. in engineering from Kumamoto Institute of Technology, Japan. She is currently a deputy division director in Smart Energy-Saving System Division of Green Energy and Environment Research Laboratory at Industrial Technology Research Institute.



黃素琴小姐為淡江大學化學系學士，現任工業技術研究院綠能與環境研究所智慧節能系統技術組固態照明系統研究室研究員。

Su-Chin Huang received her B.S. in chemistry from Tamkang University. She is currently a researcher in Solid-State Lighting System Department of Green Energy and Environment Research Laboratory at Industrial Technology Research Institute.