

照明節能介紹與範例探討

Introduction on Energy Saving in Lighting Engineering

李麗玲

李清然

黃素琴

Lee Li-Ling

Lee Ching-Ran

Huang Su-Chin

工業技術研究院 能源與環境研究所

摘要

目前照明用電約佔國內總用電量的 12% 左右，以國內現況而言，照明節能仍有相當大的進步空間。節能照明設計是系統性的工程，本文從國際照明委員會 CIE (International Commission On Illumination) 所提出的照明節能原則開始探討，從光源、安定器至燈具進行說明，並提供先進國家之節能標準或政策，作為國內照明節能的參考。同時本文中以司馬庫斯部落照明革命為例，探討節能改善之效益。

關鍵詞：節約能源，節能標章，照明系統，照明設計，LED 照明

Energy Saving, Energy Conservation Labeling, Lighting System, Lighting Design, LED Lighting

一、前言

近年來全球能源價格攀高，在替代能源尚未普及下，節能是減緩問題的唯一途徑，更是永續發展必要的工作。照明設計與應用伴隨著科技發展，今日照明不僅是一盞燈，而是一個系統，是生活的必需品，也成為現代建築的必要設備。

推動照明節能無可避免的要付出設備更新的初期成本，並面對消費者採購習慣與使用者適應等心理問題，因此，由政府立法與政策推動，將能有效地加速達成目標。國際間其節能公共策略推廣辦法一般有強制性、鼓勵性、以及自發性三種。台灣地區目前也施行節能標章、節稅優惠獎勵措施、以及優惠貸款等獎勵使用高效率產品，但仍不夠全面，成效有限。

本文除介紹照明基本概念，並對照明節能技術做廣泛的探討，以及對於世界照明節能的趨勢進行概略性的說明，最後並以一實際照明節能案例作彙整比較，藉此提升國人對照明節能的認知。

二、基本照明系統觀念

照明系統乃建築物的必要設備，而所謂照明系統是包含了照明設計、照明器具及照明管理。照明節能工作中，僅提升照明設備的效率是不足的，照明系統必須以更積極的方式來管

理照明設備，來達成更大的整體效率提升。

1. 照明設計

照明設計是以使用者及使用場所為中心進行設計，設計者必須瞭解使用的照明目的，再根據目的設計照明，以提供使用者需求的合適照明環境。合適的照明環境設計包括了最佳的照度、對比、色溫、演色性及經濟效率，說明如下：

(1)照度：照度是指單位面積內的光通量，一般照度約為 500Lux~750Lux 即可，平均照度太低即亮度不足，容易導致眼睛疲勞，造成近視；反之，平均照度太高，眼睛亦會覺得太刺眼而不舒服。下表所列即依照 CNS 國家標準之辦公室內各場所平均照度：

表一 辦公室平均照度

照度(Lux)	場 所
1000~1500	設計室、製圖室
500~750	主管室、會議室、電子計算機室、一般辦公室
300~500	禮堂、大廳、餐廳、娛樂室、休息室、警衛室、電梯走道
200~300	茶水間、盥洗室、走廊、樓梯、廁所、值夜室、倉庫
30~75	安全梯

(2)對比：當注視於某一色面時，其明度、彩度及色相會受四周背景顏色的影響，稱之為色彩同時性對比。在不同色溫光源並存的環境，低色溫會顯得較黃，高色溫會顯得較藍。

(3)色溫：色溫是光源發出的顏色，色溫由低到高，顏色變化由紅色轉黃色再轉白色到藍色，色溫 3000K 給人溫暖的感覺，色溫 6000K 則給人清冷的感覺。

(4)演色性：演色性為光源照射到物體後，物體顏色呈現的程度，演色性高的光源對顏色的表現較好，較接近自然原色。

(5)經濟效率：經濟效率的主要考量為購置成本、使用成本、維護成本、回收年限等。若不考慮購置成本，則主要考量為光源的發光效率與使用壽命，光源之發光效率為電能轉換為光能之比值，一般以每瓦(W)電能轉成光的流明數(Lm)來表示，數值越大表示其效率越高。而使用壽命是指光源輸出光衰減到額定值 80%所經歷的點燈時間，一般以千小時計算。

2. 照明器具

照明器具不只是燈具造型美觀而已，更要從使用光源，搭配安定器，甚至燈具本身特性如照明率、配光曲線、燈具效率、眩光等逐一作考量，是否符合國家標準要求，能否達到環

境需求，更重要的是能不能節約能源。

(1)光源：常用的光源有白熾燈、鹵素燈、螢光燈、安定器內藏式螢光燈泡、水銀燈、複金屬燈及鈉燈。白熾燈與鹵素燈係利用電流流過燈絲產生高熱而發光，螢光燈與省電燈泡係利用電極發出的電子撞擊填充於管內的水銀原子，水銀原子會發出紫外線，並透過管壁的螢光塗料轉換成可見光。水銀燈、複金屬燈及鈉燈都是屬於高強度氣體放電燈，不同的是內管填充了不同的物質。目前較常用的各種光源之相關特性比較如表二所列。

表二 常見光源特性比較表

光源種類		發光效率 (Lm/W)	壽命 (khrs)	色溫 (°k)	演色性 (CRI)
白熾燈		6~16	0.8~1	2700	100
鹵素燈泡		20~25	1~3	3000	100
省電燈泡		38~60	3~6	2700	80
螢 光 燈	T9	50~95	5~10	2700~6500	60~95
	T8	80~95	8~15		
	T5	90~105	10~20		
高壓鈉燈		45~110	16~24	2000~2300	25~85
複金屬燈		45~125	2~20	3200~5500	80~95
水銀燈		25~65	16~24	3400~6000	20~50
白光 LED 燈		35~115	20~50	3200~7500	60~80

(2)安定器/電源轉換器：安定器可以區分為傳統電磁式及電子式安定器，傳統電磁式安定器效率低、笨重，耗能相較於電子式安定器而言高，且不適用於 T5 螢光燈管，已逐漸被淘汰。電子式安定器除了效率提高 10%~15%外，搭配適當的燈管更能提昇燈管效能、延長燈管壽命，還可具有保護裝置、功因修正、可調光等功能設計。

(3)燈具：燈具的目的即在於有效控制光線的放散，同時還具有保護、支撐光源之用途，控制配光是其中最重要的部分，控制因數包含照明率、配光曲線、燈具效率、眩光等。所謂照明器具之照明率是指到達作業面之光束對光源輸出光束之比例；配光曲線是以燈具中心水平面為基準，測得各方向光度大小後，繪之於圖；照明器具之燈具效率是指光源發出之全光束對燈具反射出光源之全光束之比例；眩光則為輝度較高之光源、燈具或窗戶燈部位造

成，通常以視線為中心，向上下左右各繪一條 30 度線，由這些線所圍成的錐形體範圍內，若有刺眼的光源存在則會使眼睛產生不舒服的感覺，造成眼睛對於物品辨識能力的下降，前者稱之為不舒適眩光，後者則稱為減能眩光。眩光又可分為直接眩光、反射眩光兩種，直接眩光是來自光源或窗戶外光線，反射眩光則是來自工作桌面。

(4)照明管理：照明管理系統是利用自動化的方式控制照明相關設備，以提供適切的照明環境。透過照明管理系統，可以達成許多用人工操作不易達成的工作，進一步提升效率到人工控制所不易到達的目標。因此，裝設照明管理系統，透過時程管理設定、控制模式選擇、群組控制等功能，以更積極的方式來管理照明設備，可達成更大的整體效率提升。

三、減少照明能源浪費

照明節能最重要的是提升照明效率，照明效率提升即可以減少燈具使用量，用電量跟著減少，同時也可以減低購置成本和維護成本。照明效率的提升可由光源、安定器、燈具及照明管理等四方面著手。

(一) 選用高效率光源

開發效率更高的光源一直是照明技術中不斷進行的工作，目前世界各地將開發的重點著重在半導體燈源、複金屬燈及無電極燈上，這三種燈源分別都具有效率高、壽命長等優點。其中以 LED 光源最具潛力，具有體積小、反應速度快、可靠度佳及壽命長等優點，經過長時間的研發，LED 光源的效率、體積及壽命均大幅改進。目前白光 LED 達 115 Lm/W 以上，不過因為成本高之因素故目前尚難普及。

白熾燈與鹵素燈這些低效率的產品，將被安定器內藏式螢光燈泡或小瓦特複金屬燈逐漸取代，水銀燈也會逐漸由鈉燈或複金屬燈替換，螢光燈則會朝管徑小且效率高的方向發展，道路上隨處可見的白熾燈交通號誌將由 LED 交通號誌燈取代，表四所列即為光源產品替代效益評估。

表四 光源產品替代效益評估

傳統光源	高效率光源	效率提升	壽命提升	使用場合
40W 白熾燈	9W 電子省電燈泡	約 77%	約 400%	一般居家照明，但不適用高照度
60W 白熾燈	13W 電子省電燈泡	約 78%	約 400%	
125W 鹵素燈	35W 複金屬燈	約 72%	約 375%	商業重點照明及大區域照明
T9/18W 螢光燈	T5/14W 螢光燈	約 18%	約 267%	住商、工業用一般照明
T9/38W 螢光燈	T8/32W 螢光燈	約 14%	約 200%	

	T5/28W 螢光燈	約 23%	約 200%	
400W 水銀燈	250W 複金屬燈	約 38%	----	道路、公共空間及大區域一般照明
白熾燈交通號誌燈	LED 交通號誌燈	約 80%~90%	約 1334%~3334%	道路

近來政府積極推動節能標章，自發性申請節能標章，目前照明產品中有螢光燈管及省電燈泡已經推行，節能標章基準表示效率為一般產品平均的前 15~30%，室內燈具也即將公告。

(二)選用高效率安定器

安定器若要選擇高效率產品，則傳統電磁式安定器就必然被屏除在外，而選用電子式安定器。電子安定器的選用主要取決於三項，分別為：1.安定器因數（Ballast Factor; BF）：相同燈管搭配待測安定器與試驗用安定器之光輸出比值。2.安定器效率因數（Ballast Efficiency Factor; BEF）：安定器因數除以輸入功率。3.功率因數（Power Factor）：安定器輸入功率與電壓、電流之乘積的比值，可評估安定器將輸入電源轉為有效電源之能力。這三項參數越高，表示電子安定器的整體節能效益越好，越能達到最好的節能效果。

(三)選用高效率燈具

燈具效率高或低對於節能的功效影響非常大，此外，燈具的維護也是一項重要因數，燈具經過長時間使用後，表面上會堆積灰塵，影響其折射與反射的效率。因此，適時的清潔不但可以維持燈具效率，也可以維持照明品質。台灣目前在燈具方面僅有 CNS 國家標準對於室內用燈具作安全性規範，但日本則因應節約照明能源制定了照明器具管理細則與效率標準，可作為我們的參考：由於螢光燈無論辦公與居家均普遍應用，所以被選定為節能潛力最高之器具，日本政府規定所有螢光燈具商品必須滿足政府訂定之 2005 年標準，才有機會被公家機關採用。表五所列為日本現行的照明器具評量標準。

表五 日本照明器具評量標準

項目			點數
光源種類	螢光燈	整體效率 > 100LmW	12
		整體效率 > 90LmW	6
	精緻型螢光燈、高壓鈉燈、複金屬燈		6
燈具	下邊開放式	效率 > 0.9	12
		0.8 > 效率 > 0.9	6
	格柵型	效率 > 0.75	12
		0.6 > 效率 > 0.75	6
	下方有罩型	效率 > 0.6	12
		0.5 > 效率 > 0.6	6

(四)照明節能管理系統

照明節能僅僅提升照明設備的效率是不足的，必須以更積極的方式來管理照明設備，以達成更大的整體效率提升。照明管理系統是利用自動化的方式控制照明相關設備，以提供適切的照明環境，透過照明管理系統，可以達成許多用人工操作不易達成的工作，進一步提升效率到人工控制所不易到達的目標，若能搭配日光使用，節能效果將大幅提升。目前對於日光節能的應用方面，在技術上已可充分將日光導引至室內使用，搭配調光控制實用性高。由於日光僅限於白晝時間才有，於是結合光電系統讓日光的能源能夠延伸到黑夜使用，也是目前的技術關鍵，隨著光電科技的進展，未來日光能源的應用將更有效率。

此外，在建築物照明用電基準（Lighting Power Density， W/m^2 ）方面，每單位面積供應電源量的建築物照明用電基準已廣泛在美、日、新、澳洲等眾多國度施行。美國 ASHRAE 與 IESNA 兩組織制定標準 ASHRAE/IESNA 90.1 新修定 2004 年的新標準比 2001 年提昇 30% 以上，細項規範如表六所示，可作為國內相關規劃的參考。

表六 美國 ASHRAE/IESNA 90.1 照明能源密度基準

建築物類型	LPD (90.1-2001) (W/ ft ²)	LPD (90.1-2004) (W/ ft ²)
體育館	1.7	1.1
辦公室	1.3	1.0
博物館	1.6	1.1
停車場	0.3	0.3
零售店	1.9	1.5
批發倉庫	1.2	0.8

四、照明節能範例

LED 照明亦是符合省電及環保的新興光源，因為 LED 有體積小，發熱量低，耗電量小及壽命長等優點，是被看好在未來十年內替代傳統照明器具之明日之星。在節能效益方面，以 LED 替代交通號誌燈的節能效益約 80%~90%，替代霓虹燈的效益約 65%，替代緊急照明燈的效益約 45%，節能效益相當卓著。目前白光 LED 發光效率已超越螢光燈，價格也持續下降中，未來的應用從景觀、建築到道路照明應用其曾面不斷擴展，LED 照明節能效益將可充分表現，並提供更優質之 LED 照明光環境。

經濟部能源局於 97 年協助司馬庫斯部落進行照明節能改善，此部落位處 1600m 山區，為觀星得絕佳地點，因此在全案革新從光環境設計做起，以 LED 照明及各種高效率燈具來

取代原使用的傳統燈具，並搭配及照明控制達到節能舒適光環境；全案之具體措施包含：

(一) 優質光環境設計

設計理念為結合部落人文及環境的照明。從照度、均勻度與暖色光三方面著手，強調光環境利用高效率燈具搭配照明設計營造舒適且節能環保低光害照明。特別是戶外燈具特別請部落自行設計製作，融合文化特色，降低燈具造成空間視覺的衝擊。

(二) 咖啡館之吧台照明

採用 35W 陶瓷複金屬燈具加上電子安定器，3300K 陶瓷複金屬燈演色性高，發光效率佳同時體積小，替換傳統高功率鹵素燈省電 70%，為商業投光照明節能光源。

(三) 步道照明

以 2W AC LED 燈替換 10W 的白熾燈泡，轉角處則以 5W 省電燈泡取代 10W 的白熾燈。同時步道燈亦設置感測裝置進行自動點滅控制，當行人經過步道時才點燈。

(四) 雕像照明設備

以 6W LED 投射燈作局部景觀照明，搭配照明控制管理系統，而為了凸顯雕像的立體感並降低光害，投射燈是採用低功率、低色溫的 LED 燈具。

(五) 停車場照明

採用 80W LED 景觀燈取代 250W 水銀燈，並搭配照明控制管理系統。

(六) 教堂及教室照明

以高效率 T5 螢光燈具替換 T9 螢光燈具，教堂十字架的背光照明則使用 LED 燈條替換 T9 螢光燈管，充分發揮 LED 高輝度，節能效果佳。

(五) 一般民宅照明

分別以 5W、9W、13W、19W 省電燈泡替換原來使用的白熾燈泡和 T9 螢光燈具。

(六) 餐廳及商店之特殊照明

換裝 LED 出口指示燈，並使用 LED 緊急照明燈替換原來使用的白熾燈類產品。

(七) 戶外標語、看板照明

分別以 3W LED 投光燈及 12W LED 燈條替換白熾燈泡。

(八) 照明控制管理系統

依假日與非假日活動特性，設定公共照明區域不同的點燈和熄燈時間，節約戶外照明用電，並減少光害對自然生態的衝擊。

司馬庫斯部落節能改善前與節能改善後之節能效益彙整比較如表七所示，另外此照明改善案又於步道、停車場、雕像等公共照明設施裝置自動控制系統，將照明裝置之點燈及熄燈時間依假日與非假日分別訂定不同時段，將上述三處公共照明之月點燈時數減為 114 小時，節電情況如表八所列。而統計司馬庫斯部落照明節能改善之用電情況，照明改善前，低效率的照明設備每月總耗電量(加上水銀燈)實際為 2,774 度，改善後每月總耗電量實際為 1,083 度，總節電率達百分之六十，節能效果頗為顯著。此項原住民部落的照明革命除了示範各項照明節能應用，並結合部落人文及優質光環境理念，呈現了優質照明設計，透過司馬庫斯部落此一小步的革新，讓民眾瞭解照明的節能潛力，同時也營造社會大眾追求優質節能照明生活的氛圍。

表七 照明節能改善效益比較

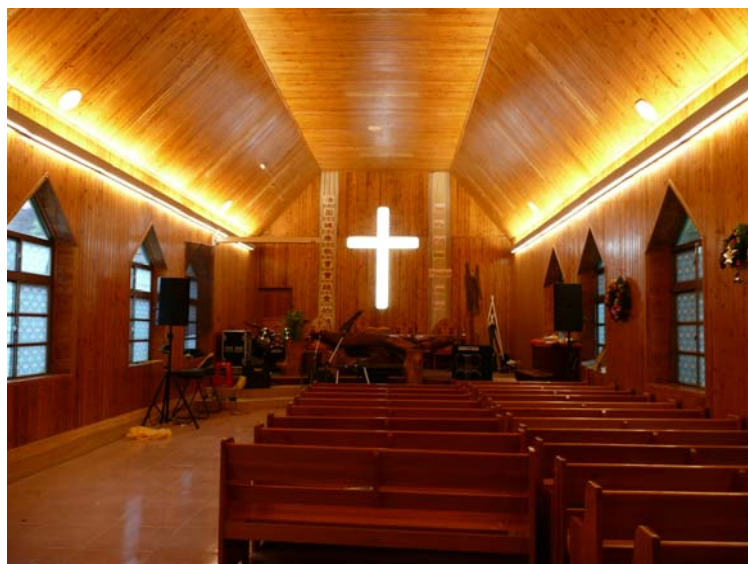
項目	月點燈時數(H)	改善前		改善後（未加自動控制）	
		燈源種類、數量	月用電量(度)	燈源種類、數量	月用電量(度)
步道	360	20W 白熾燈*29 10W 白熾燈*13	256	5W 省電燈泡*11 2W AC LED*39	54
停車場	360	無照明設備	0	80W LED 景觀燈*3	102
招牌	360	無照明設備	0	3W MR16 LED 投光燈 12W LED 燈條 *5	25
雕像	360	無照明設備	0	6W LED 投光燈*3	8
教堂內	720	十字架 40W*4+20W*4T9 螢光燈	166	12W LED 燈條 *6	65
	12	40W*4 T9 螢光燈*19	46	80W T5 螢光燈*20	22
教堂週邊	90	40W*2 T9 螢光燈*18 20W T9 螢光燈*2 10W T9 螢光燈*9 10W 白熾燈*7	111	28W T5 螢光燈*12 19W*2 省電燈泡*3 13W*2 省電燈泡*2 19W 省電燈泡*3 9W 省電燈泡*3 5W 省電燈泡*15	97
教室	160	40W*2 T9 螢光燈*10 10W T9 螢光燈*1	162	28W*2 T5 螢光燈*10 0	107
民宿	60	40W T9 螢光燈*93 23W 省電燈泡 *92 50W MR16 *24 20W*2 T9 螢光燈*38 40W 白熾燈*94 20W 白熾燈*33 10W 白熾燈*24	813	13W*2 省電燈泡*100 13W 省電燈泡*92 3W MR16 LED 燈 19W*2 省電燈泡*7 9W 省電燈泡*94 5W 省電燈泡*33 5W 省電燈泡*24	313
佈告欄	360	20W 白熾燈*34	245	12W LED 燈條*2 5W 省電燈泡*33	71
商店 餐廳	54	40W T9 螢光燈*27 20W T9 螢光燈*2 40W 白熾燈*1 出口標誌圖 白熾燈緊急照明燈	63	28W*2 T5 螢光燈*9 28W T5 螢光燈*4 19W 省電燈泡*3 2W LED 出口指示燈*12 LED 緊急照明燈	40
民宅	90	40W T9 螢光燈*103 20W T9 螢光燈*45 10W T9 螢光燈*16 40W 白熾燈*12 20W 白熾燈*1	628	19W* ³ 省電燈泡*17 19W*2 省電燈泡*17 13W*2 省電燈泡*102 9W 省電燈泡*17 5W 省電燈泡*34	355
咖啡廳		250W 鹵素燈*4		35W 複金屬燈*3	
合計			2,490	0	1,259

表八 公共照明加上照明自動控制系統之節電量

項目	未加自動控制		加自動控制	
	月點燈時數(H)	月用電量(度)	月點燈時數(H)	月用電量(度)
步道	360	54	114	17
停車場	360	102	114	32
雕像	360	8	114	3
小計		164		52



圖一 司馬庫斯部落咖啡吧換裝複金屬燈



圖二 司馬庫斯部落教堂換裝 T5 螢光燈及 LED 照明

五、結論與建議

照明已從滿足人類的基本需求，進化成結合節能、環保與人因之多功能照明系統，因此除應強制製定法規提高效率或訂定建築物照明用電基準之外，更應提出獎勵政策，鼓勵業者

積極研發，並讓使用者有願意配合之誘因。

目前對光源、安定器及燈具的強制性規範，只針對安全性進行管制，建議需增加較有效益的管制項目，如效率或更具指標性項目，以對照明器具進行強制且有效的管理。同時並應訂定中長程計畫，逐漸淘汰耗能產品，並由政府單位或政府機關強制配合率先實施，落實綠色採購法，達到節能目標，以收風行草偃之效。

高效能照明系統應滿足功能性、經濟性及舒適性，同時要考慮對週邊環境之影響，故整體規劃為對照明品質之提升與降低照明耗能之必要手法。利用現代照明器具（高效率光源、電子式安定器、高品質燈具及控制元件），並搭配照明設計及照明維護計畫，即能實現優質照明系統與經濟效益之理想。

照明節能除了有賴技術的研發與政策的制定，適當地規劃推動照明節能案例作為標竿，亦能將優質照明及照明節能效益更為擴大普及，讓政府與使用者雙贏，達到節約能源及環境保護的目的。

致謝

本研究由經濟部能源委局「照明系統技術開發應用與前瞻技術研發」計畫支持。

六、參考文獻

1. 照明系統發展規劃書；工研院能資所高效率照明計畫, 2004. 06
2. 照明節能策略與趨勢；工研院 能資所 照明技術研究室 黃琪鈞 李麗玲
3. 照明能源效率規範與政策探討；工研院 能資所 照明技術研究室 李麗玲
4. 中國國家標準 CNS 12112 Z1044 照度標準
5. 照明設計學，李碩重編著，全華出版
6. <http://www.energystar.gov>
7. LD+A Lighting Design + Application；Aug. 2004
8. 2001 年國際節約能源技術研討會；住商節能管理
9. <http://www.energypark.org.tw/>
10. ANSI/ASHRAE/IESNA Standard 90.1-2004 – Energy Standard for Buildings Except low-rise residential Buildings
11. 照明系統技術開發應用與前瞻技術研發計畫九十七年度期中報告；工業技術研究院