

# LED 照明

## 節能應用技術手冊

經濟部能源署 指導  
財團法人台灣綠色生產力基金會 編印  
中華民國113年10月

# 目錄

目錄.....	I
圖目錄.....	III
表目錄.....	VIII
前言.....	1
壹、 關於照明.....	3
貳、 常用的專有名詞.....	4
參、 照明現況與展望.....	23
一、 全球照明用電現況與 LED 技術展望.....	23
二、 我國淨零路徑與照明節能政策.....	25
三、 我國照明用電與 LED 產品銷售趨勢.....	27
四、 我國 LED 照明能效管理下之產品技術.....	28
肆、 LED 特性、結構與應用.....	31
一、 照明特性.....	31
二、 光源與模組結構.....	34
三、 LED 照明產品介紹.....	43
伍、 LED 照明選用原則與注意須知.....	55
一、 LED 照明產品特質.....	55
二、 照明系統節能更新方法.....	61
三、 LED 照明產品選用要點.....	66
四、 節能方法與原則.....	70

## 目錄

陸、 照明光環境與 LED 照明技術應用 .....	75
一、 認識照明光環境 .....	76
二、 學校照明 .....	77
三、 辦公室照明 .....	80
四、 醫療場所照明 .....	85
五、 商業空間照明 .....	87
六、 停車場與人行步道 .....	91
七、 戶外照明 .....	96
柒、 智慧照明 .....	100
一、 控制的關鍵組件 .....	101
二、 照明控制功能 .....	101
三、 智慧控制技術現況 .....	105
四、 DALI 數位控制 .....	105
五、 經濟部能源署先進照明示範補助計畫 .....	106
捌、 照明模擬 .....	109
玖、 結語 .....	112
壹拾、 參考文獻 .....	113

# 圖目錄

圖 1-1 燭光示意圖.....	3
圖 2-1 燭光之定義【1】 .....	4
圖 2-2 光通量示意圖.....	5
圖 2-3 照度與光通量及受照面積的關係.....	6
圖 2-4 照度計示意圖.....	6
圖 2-5 眼睛視覺與輝度的關係【5】 .....	7
圖 2-6 傳統高輝度 LED 元件【6】 .....	7
圖 2-7 色溫示意圖.....	8
圖 2-8 燈具之光束角(配光曲線).....	11
圖 2-9 測光量各種單位之互相關係【7】 .....	11
圖 2-10 均勻度量測示意圖(此範例約 0.5).....	12
圖 2-11 試驗期間光通量衰減之圖例【2】 .....	14
圖 2-12 演色性標準顏色樣品示意圖.....	15
圖 2-13 燈光的演色性可增進購買慾.....	16
圖 2-14 某量販店賣場全般照明.....	17
圖 2-15 某量販店蔬果區重點照明.....	18
圖 2-16 作業照明示意圖.....	18
圖 2-17 雙燈帽 LED 燈管節能標章產品獲證資訊示意圖【8】 .....	21
圖 2-18 清洗燈具灰塵與照度的影響【5】 .....	22
圖 3-1 淨零情境下 LED 照明發光效率進展【4】 .....	23

## 圖目錄

圖 3-2 IEA 淨零情境下住商部門的 LED 照明展望【4】 .....	24
圖 3-3 我國 LED 照明革命歷程 .....	25
圖 3-4 我國照明用電與 LED 照明市場銷售變化.....	27
圖 4-1 LED 戶外公共照明應用 .....	33
圖 4-2 LED 結構，紅色為電子、藍色為電洞，中間為發光層 .....	34
圖 4-3 白光 LED 的構造.....	35
圖 4-4 常用白光 LED 製作方式.....	37
圖 4-5 兩種單晶激發螢光粉 LED 比較; SunLike 為高光品質 LED .....	38
圖 4-6 LED 光源及光源模組示意圖 .....	39
圖 4-7 LED 照明整體構成元件示意圖【6】 .....	41
圖 4-8 LED 光源二次光學組件商品.....	42
圖 4-9 燈具配光曲線與等照度圖(左：LED、中：T5、右：T8).....	43
圖 4-10 鎢絲燈(左)與省電燈泡(右)示意圖 .....	43
圖 4-11 球泡型 LED 燈示意圖 .....	44
圖 4-12 燈絲型/導光條 LED 燈示意圖.....	45
圖 4-13 直管型 LED 燈示意圖 .....	45
圖 4-14 螢光燈管與 LED 燈管發光角度示意圖 .....	46
圖 4-15 某家電賣場展示 LED 平板燈與格柵燈.....	48
圖 4-16 投射型 LED 燈源.....	49
圖 4-17 投射型 LED 照明產品應用 .....	49

## 圖目錄

圖 4-18 LED 智慧照明控制.....	50
圖 4-19 LED 吸頂燈連續調光、調色(從暖黃、暖白、冷白).....	51
圖 4-20 某家電賣場展示 LED 感應燈.....	51
圖 4-21 逃生避難指示型 LED 燈源.....	52
圖 4-22 戶外投射型 LED 燈源.....	53
圖 4-23 某家電賣場展示 LED 燈帶.....	53
圖 4-24 LED 閱讀檯燈.....	54
圖 5-1 LED 照明產品發光效率分布.....	56
圖 5-2 LED 光源的色容差(Duv)示意圖.....	57
圖 5-3 螢光燈及平板燈辦公室照明.....	60
圖 5-4 燈具更新作法.....	61
圖 5-5 光源使用分類.....	63
圖 5-6 有效光通量應用比較案例.....	63
圖 5-7 BSMI 商品檢驗登錄證書.....	66
圖 5-8 LED 投射燈的光.....	70
圖 5-9 某量販店透過開窗、反射板(右側)引導自然光.....	71
圖 5-10 某百貨公司引入自然光(左側)與間接照明形成點綴.....	72
圖 5-11 某量販店透過迴路控制於非尖峰時段關閉部分燈具.....	73
圖 5-12 燈具(左方)被排水管路阻隔形成無效照明.....	74
圖 6-1 光環境影響人的視覺、情緒及節律.....	75

## 圖目錄

圖 6-2 黑板燈具裝設位置與投光照射角度【5】 .....	78
圖 6-3 LED 可調光調色辦公室照明 .....	81
圖 6-4 良好的辦公室照明是提升工作效率的基本要求 .....	81
圖 6-5 外掛式紅外線感測器(右側，現已有整合型產品).....	84
圖 6-6 賣場大面積均勻的泛光照明.....	87
圖 6-7 購物中心以平板結合調光大面積均勻的泛光照明.....	88
圖 6-8 賣場照明色溫與重點照明分布 .....	88
圖 6-9 貨架的重點照明(暖色系、1300 Lux) .....	89
圖 6-10 商業展示照明類型比較.....	89
圖 6-11 間接與重點照明凸顯店鋪柔和與商品亮點.....	90
圖 6-12 賣場貨架的照明陰影(下層).....	90
圖 6-13 某量販店停車場配置示意圖 .....	92
圖 6-14 某飯店停車場車道照明配置示意圖 .....	93
圖 6-15 某飯店停車場梁柱重點照明示意圖 .....	93
圖 6-16 屋頂停車場設置太陽光電示意圖 .....	95
圖 6-17 屋頂太陽光電的間隙與地面標線混淆 .....	95
圖 6-18 感應式燈管示意圖 .....	96
圖 6-19 新竹-竹塹城迎曦門照明示意圖 .....	97
圖 6-20 新竹-竹塹城迎曦門照明凸顯建築之美 .....	97
圖 6-21 廣場照明示意圖 .....	98

## 圖目錄

圖 6-22 行人穿越道照明示意圖.....	99
圖 6-23 停車場出口照明示意圖.....	99
圖 7-1 智慧控制架構.....	100
圖 7-2 智慧燈具應用.....	101
圖 7-3 恆定照度說明圖.....	102
圖 7-4 停車場 LED 智慧控制.....	103
圖 7-5 會議室場景控制.....	103
圖 7-6 辦公室晝光利用及空間場景應用.....	104
圖 7-7 數位控制 DALI 示意圖.....	106
圖 7-8 先進照明示範補助計畫內容.....	106
圖 7-9 智慧燈具介面示意圖.....	107
圖 7-10 示範計畫之燈具能效集節電效益.....	108
圖 8-1 全中文化界面建立模型.....	110
圖 8-2 各種所需物件選擇與擺設完成.....	110
圖 8-3 照度模擬.....	111

## 表目錄

表 2-1 照度與色溫及氣氛關係【7】 .....	9
表 2-2 統一眩光值等級限制【3】 .....	13
表 2-3 連續輻射光源-藍光風險類別【3】 .....	16
表 2-4 LED 光源產品與各種光源的比較【6】 .....	19
表 2-5 發光二極體燈泡節能標章發光效率基準【8】 .....	20
表 2-6 雙燈帽 LED 燈管節能標章發光效率基準【8】 .....	20
表 3-1 住商部門節能戰略計畫階段指標.....	26
表 3-2 我國照明產品能效管理現況【4】 .....	29
表 3-3 照明設備節能標章之能源效率基準【4】 .....	29
表 4-1 CNS 16027 LED 燈管類型【9】 .....	46
表 4-2 LED 燈管的型式-依 A 類(直接替換)供電方式【9】 .....	47
表 4-3 LED 燈管的型式-依 B 類(非直接替換)供電方式【9】 .....	47
表 4-4 CNS16027 雙燈帽 LED 燈管產品訊息表【9】 .....	48
表 4-5 LED 照明節能產品應用範圍一覽表.....	54
表 5-1 色容差的描述與應用場域.....	57
表 5-2 LED 與幾種常用光源的特性比較.....	58
表 5-3 商業部門常用燈具用電比較.....	60
表 5-4 照明於不同場所維護係數.....	62
表 5-5 螢光燈管與 LED「光源」的有效光通量及節電率比較.....	64
表 5-6 螢光燈管與 LED「燈具」的有效光通量及節電率比較.....	65

## 表目錄

表 5-7 兩種類型 LED 燈具比較.....	69
表 6-1 CNS 12112 教育建築要求(摘錄)【3】 .....	80
表 6-2 CNS 12112 辦公室(摘錄)要求【3】 .....	82
表 6-3 CNS 12112 健康照護空間(摘錄)要求【3】 .....	86
表 6-4 CNS 12112 常見服務業(統整各節、部分摘錄)要求【3】 .....	91
表 6-5 CNS 12112 公共停車場(室內)要求【3】 .....	94
表 8-1 美國 ASHRAE/IESNA 90.1-2019 建議值.....	111

# 前言

照明為人類基本需求，與人的生活息息相關，因此也成為全球主要耗能來源之一，全球照明市場發展主要受經濟成長、人口成長、相關產業發展之影響。照明為住商領域除空調之外另一主要耗電設備，近年來因固態照明技術發展迅速，燈具效率相較於傳統照明有顯著之提升，為照明節電創造了廣大機會。

照明市場發展與全球經濟成長有連動關係，經濟成長越快，對照明的需求就越大，市場伴隨著技術觸動照明產品價格下降快速，依國際能源署(IEA)調查報告，若欲達成2030年淨零建築路徑，其LED(發光二極體)照明銷售占比需於2025年達100%。未來在全球邁向2050淨零碳排的共識目標，各國政府積極推動能源效率高、發光品質較好的光源，訂定強制性容許耗用能源標準(Minimum Energy Performance Standard)，故LED照明已被IEA列為2050淨零碳排必要技術。我國2050淨零路徑規劃中，節能戰略里程碑目標2030年商業部門全數使用LED照明。因此推動高效率固態照明科技研發，除有益於國內節能減碳工作之外，也肩負著扶植產業永續發展重要任務。

自2009年起全球主要經濟體如歐洲、澳大利亞、紐西蘭、加拿大及美國等，透過提升產品能效基準、含汞禁令等規範，使得白熾燈泡、螢光燈等傳統光源逐漸消失於市場，而我國則於2024年提升螢光燈容許耗用能源基準，意味著點亮世界120年的傳統燈泡，吹起「熄燈」號，同時宣告了LED照明新世代的來臨。現代LED照明技術無論在光源與設備上皆有重大的進步，照明改善投資少、回收快，且效果顯著。故無論新舊大樓或建築物，都值得立即針對照明用電及品質提升加以重視；並開始著手評估改善，必能節省照明用電50~90%不等的效益。

財團法人台灣綠色生產力基金會受經濟部能源署委託進行現場節能輔導時，了解國內工商各行業能源管理者及業者急需LED照明節能新世代光源技術、選購及維護等參考資料。乃於2012年委請國內LED照明燈具及光源上有長期精闢分析與研究的專家學者，台灣科技大學電機工程研究所蕭教授弘清撰稿，次於2016年、2024年洽請台灣LED照明產業聯盟宋福生副執行長及前工業技術研究院智慧節能系統技術組李麗玲技術總監增修，並配合本會節能技術服務資料，彙編成此「LED照明節能應用技術手冊」。

本手冊介紹LED照明基本原理、種類與選用、日常維護及節能應用與案例等內容，提供各能源用戶參考。由於照明技術演進，出現許多新的LED照明應用、永續照明、智慧控制等新的技術與LED照明觀念，提供各類型建築物LED照明設計之參考。

未來仍應視實際需要，繼續補充修訂以臻完善，並懇請各界先進不吝指正、賜教及建議，俾使本手冊更加充實完備。

## 壹、關於照明

自從古代人類有了用「火」的技術便掌握了「光」，由此極大的加速人類發展進程，其誕生的文化、藝術等諸多人類發展里程碑，因此光一直伴隨著你我身旁，重要性不言而喻；人類使用光的歷史從柴火、蠟燭、油燈，直到19世紀愛迪生改良了白熾燈，邁入電力為能源的照明時代，期間發展出多種發光技術及光源產品，例如省電燈泡(緊湊型螢光燈)、複金屬燈、水銀燈、高壓鈉燈等，而發光二極體(LED)則是在20世紀末出現，其具備效率高、壽命長、無汞、直流操作及輸出可調控等特色，逐漸取代上述各類光源。



圖 1-1 燭光示意圖

本手冊主軸圍繞於LED照明節能應用技術，盡可能以淺顯易懂的概念、日常現象引導讀者了解照明、知曉LED特性與節能技術，限於篇幅將以服務業應用為主。讀者需知曉照明就是光的應用，用光為世間萬物畫上不同的「色彩」或是「重點」，無論使用大自然的光亦或本手冊提及LED的人造光，因此要思考的是為什麼把光投射在此處？方式有哪些？效果是否符合預想等問題，往後的章節將逐一說明。

礙於印刷可能色彩呈現不佳，若需電子檔可至服務業節能服務網/節能知識/節能技術手冊下載，網址：<https://www.ecct.org.tw>

## 貳、常用的專有名詞

前一章概略鋪墊了光的歷史，接下來就相關專有名詞逐一說明，期望讀者在光源應用上對於規格名詞上有相當的認知。

### 1. 坎德拉(candela, cd)或稱燭光

國際單位制的發光強度單位，其定義為「一燭光等於光源發出頻率 $540 \times 10^{12}$ 赫(Hz)之單色輻射能量，在一定方向每立徑之輻射通量為683分之1瓦特(W)之發光強度」(如圖2-1所示)，細部的定義、歷史緣故在此不做深入探討，我們可以概略理解為一燭光就是在1米距離時一根蠟燭的亮度。



圖2-1 燭光之定義【1】

## 2. 光通量(luminous fLux)或稱流明(lumen, lm)

指1個燭光(cd)以均勻點光源放射於1立徑(steradian, sr)之立體角範圍內累積或所有之光通量(如圖2-2所示)，稱為流明(lumen, lm)；可以理解為這顆燈能發出多少的可見光；單位流明 (lm)； $1 \text{ lm} = \int 1 \text{ cd} \, d\omega$

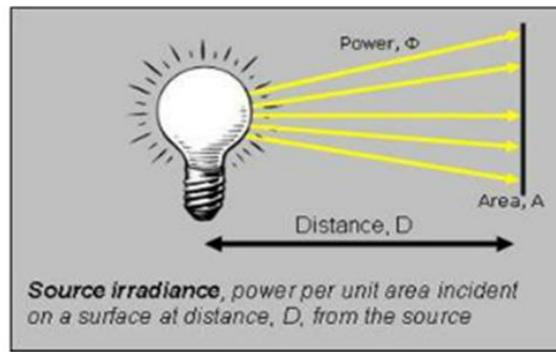


圖2-2 光通量示意圖

## 3. 光照度(illuminance)或稱照度

指1個流明(lm)的光通量，垂直照射於1平方米( $\text{m}^2$ )平面之光照度，單位為勒克斯(Lux, lx)如圖2-3所示，也是手持式照度計所測得出的單位(如圖2-4所示)，我們可以理解這就是光最終投射到物體表面的量；當一顆1,000 lm的燈泡均勻照射於10  $\text{m}^2$ 的平面，可得100 Lux的平面照度(若不考慮折射等損失)，然而將空間放大成100  $\text{m}^2$ 時僅餘10 Lux的平面照度。照度與距離平方成反比，所以被照面的照度會隨燈具安裝的距離而變，同一盞燈具，當天花板高度越高，則桌面照度越低。

照度  $\rightarrow E(\lambda) = \frac{\Phi(\lambda)}{A} \leftarrow$  光通量



照度(照度計)

圖2-3 照度與光通量及受照面積的關係



圖2-4 照度計示意圖

#### 4. 輝度(luminance)

輝度是從某一方向所看到光線的強度，也就是發光體或被照面反射光投射到人眼時，人眼所看到發光面投影面積上的光強度，亦即眼睛從來光方向所看到物體的光的強度(如圖 2-5 所示)，單位為坎德拉每平方米( $\text{cd}/\text{m}^2$ )。

由公式  $L = \frac{d^2\phi}{(dA \cdot \cos\theta)d\omega}$  定義的量，式中

$d\phi$ --包含給定方向的立體角 $d\omega$ 內的光通量(lm)；

$dA$ --包括給定點射束截面積( $\text{m}^2$ )；

$\theta$ --射束截面法線與射束方向間的夾角。

LED 光源的發光面小，故輝度較高(如圖 2-6 所示)。

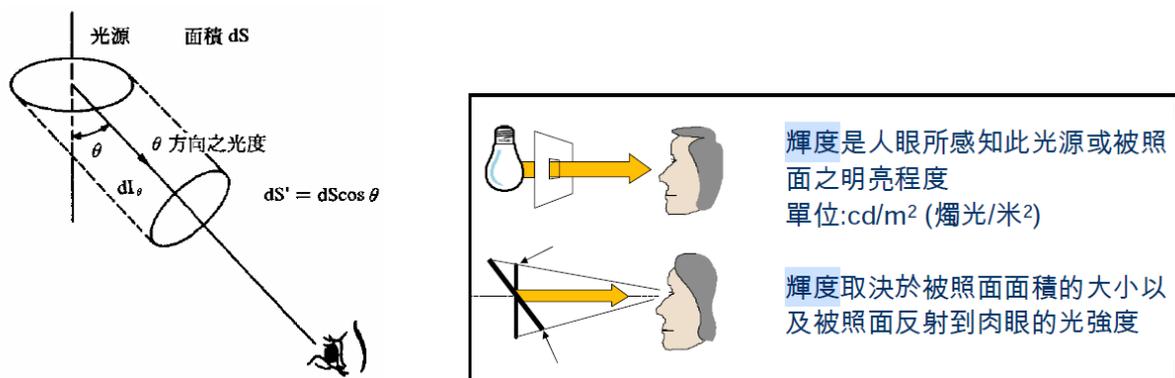


圖2-5 眼睛視覺與輝度的關係【5】



圖2-6 傳統高輝度LED 元件【6】

## 5. 色溫(colour temperature)

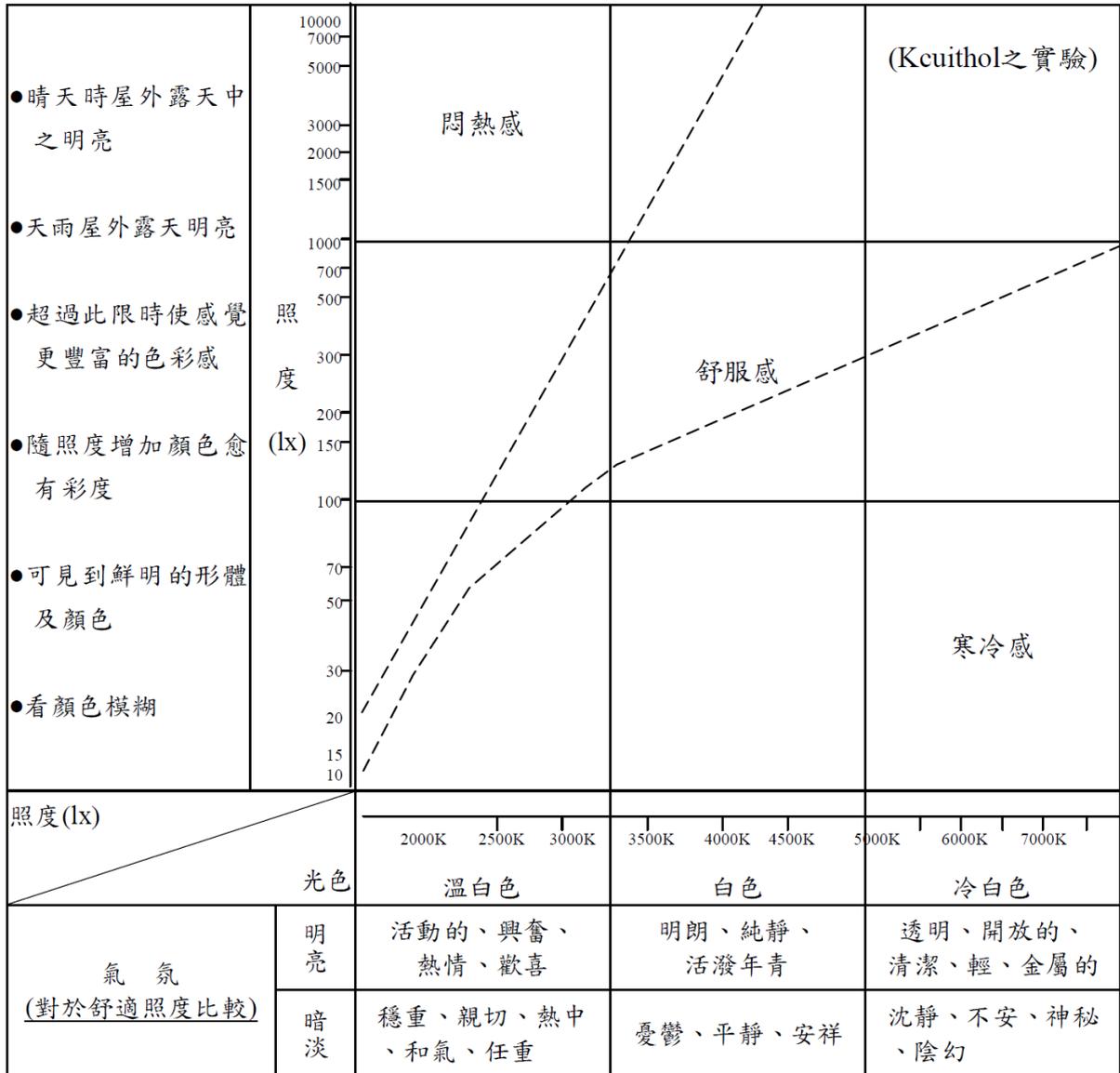
色溫是表示光源光色的尺度，可能有些人會疑惑「顏色」怎麼跟「溫度」有相關呢？緣由是將一個物質(標準黑體)加熱直到該溫度熱到開始發光，此溫度下光的顏色稱之為色溫，就像是太陽從早晨到日落有不同的顏色一樣，單位為 K (Kelvin)；以圖 2-7 為例，左方 2700K 色溫低相當於夕陽的暖白光、右方 6500K 則是冷白光，就像餐酒館、飯店、精品櫃常用偏暖(黃)的光塑造出溫暖、放鬆的情境，而辦公室、停車場等則常用偏冷白色期望提升員工效率，如表 2-1 所示。

LED 燈標稱的色溫是一個額定值，依據國際電工委員會(IEC)標準，每個色溫均有允許範圍，例如 3000 K 是  $3045 \pm 175\text{K}$ 、5000 K 為  $5028 \pm 283\text{K}$ 。



圖2-7 色溫示意圖

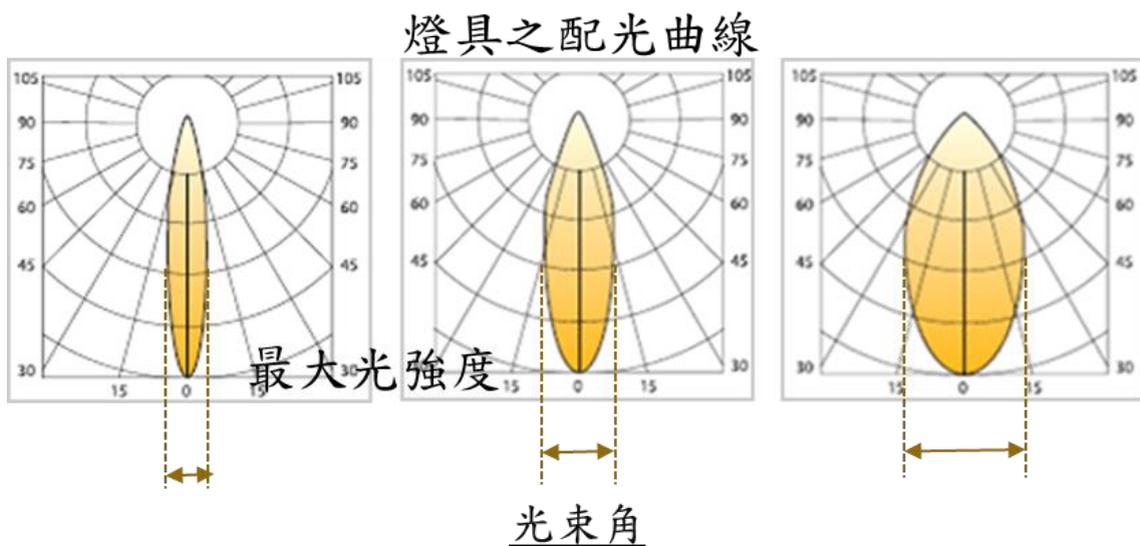
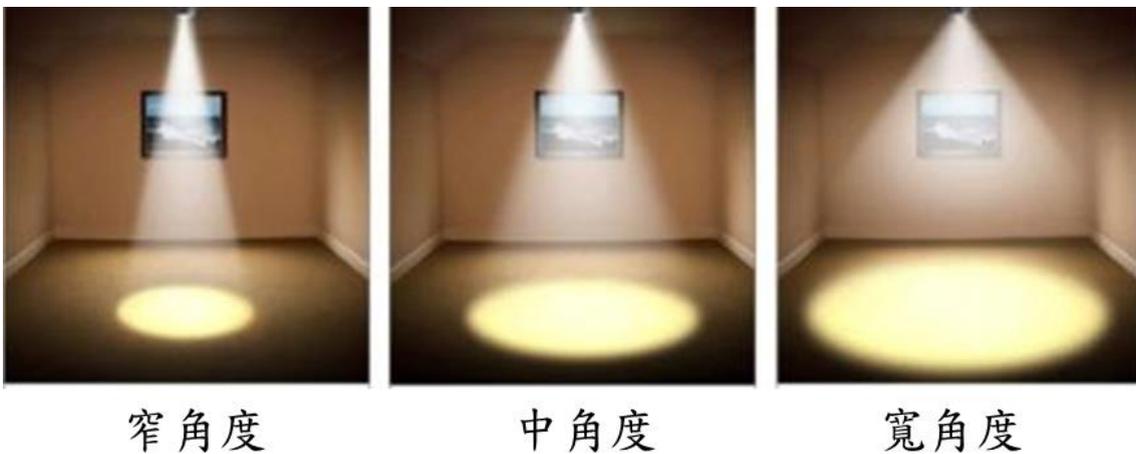
表 2-1 照度與色溫及氣氛關係【7】



## 6. 燈具光束角 (beam angle of luminaire)

光束角是燈具光照射的區域，發光強度等於 1/2 峰值光強的方向所包容的角度定義為光束角；如圖 2-8 所示，窄角度：光束角 $<20$  度；中等角度： $20\sim 40$  度，寬角度：光束角 $>40$  度；光束角可由配光曲線設備量測得知；主要表現燈具光分布為集中光或散光。

燈具的光束角選擇合宜對整體照明系統的光環境品質如照度均勻度以及商業展示的對比性有關鍵影響。越寬的光束角，因照射面積廣則中心照度會降低，5 米高度位置， $30$  度角照度為  $60$  度角的 2 倍。



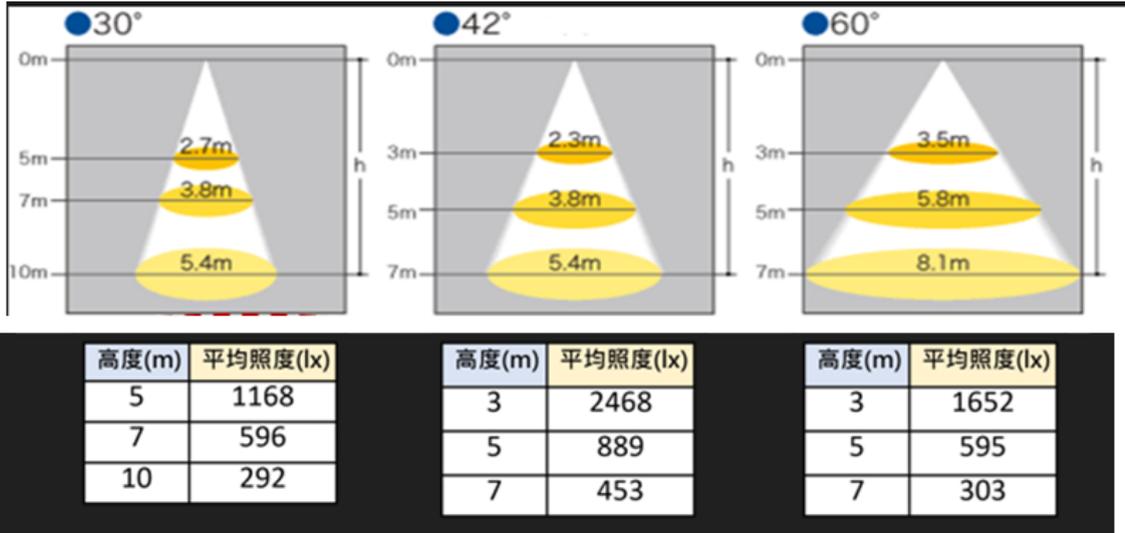


圖2-8 燈具之光束角(配光曲線)

光通量(lm)、坎德拉(cd)、輝度(cd/m<sup>2</sup>)、光束角、照度(Lux)，其對應的關係可參圖 2-9 所示。

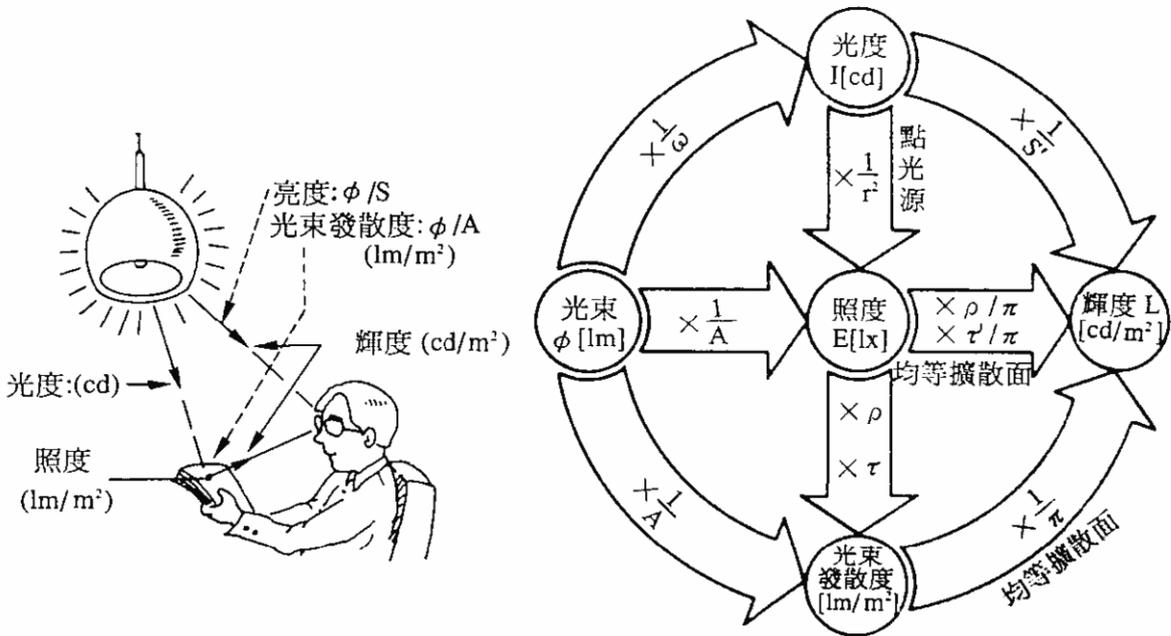


圖2-9 測光量各種單位之互相關係【7】

## 7. 均勻度(Uniformity)

均勻度為空間照度最小值( $E_{min}$ )與平均值( $E_{avg}$ )間之比值。將空間(平面或立面)劃分成網格，使用照度計逐一量測如圖 2-5 及公式(1)所示，此區最低照度為 59 Lux，5 點平均照度為 123.8 Lux。均勻度越高代表空間的明暗對比不大、越低則有明顯亮區或暗區(例如聚光燈)，範例為餐廳室內照明座位區使用投射燈聚光，而通道或部份等區域偏暗。照度應當為漸變的，應儘可能均勻地照亮作業區。作業面照度均勻度不應小於 0.7，周邊環境之照度均勻度不應小於 0.5。

$$\text{均勻度} = \frac{E_{min}}{E_{avg}} \dots\dots\dots (1)$$

59 Lux (座位區 1)	80 Lux (櫃台)	211 Lux (大門)	
147 Lux (座位區 2)	122 Lux (座位區 3)		

圖2-10 均勻度量測示意圖(此範例約0.5)

## 8. 眩光(glare)

由於視野中的亮度分佈/範圍的不適宜或存在極端的對比，光源對視覺產生的刺眼現象。以致引起不舒適感覺、降低觀察細部或目標的能力的視覺現象，眩光會影響視覺功效，並刺激眼睛造成不適造成眼睛疲勞。

眩光不僅是各類燈具產生的，也可能是陽光或其他光源反射/折射，尤其服務業建物多採大面積玻璃採光、停車場車道與入口交界或是建築/樹木光與陰影交會處，皆是常見造成眩光的地方，需有相應之措施(遮擋/補光等)降低不適造成的影響。眩光依產生緣由分三種類型；

眩光三類型：

- (1)直接眩光：光線直射人眼，自垂直面  $45^{\circ}\sim 85^{\circ}$  進入人眼。
- (2)反射眩光：螢幕、黑板、桌面或地面反射。
- (3)背景眩光：背景光線對比過強烈。

眩光的產生通常為光源亮度、位置、大小、數量以及背景亮度比共同作用的結果。

## 9. 統一眩光值(unified glare rating, UGR)

國際照明委員會(CIE)用於度量處於視覺環境中的照明裝置，發出的光對人眼引起不舒適感主觀反應的評價值；可分為七個等級(如表 2-2 所示)UGR 越低表示舒適度高，UGR 19 介於中間大多數情境可接受。

我國 CNS 12112 室內工作場所照明，訂有各場域之統一眩光值等級限制(UGR<sub>L</sub>)，另室內照明燈具節能標章能源效率基準與標示方法修正規定(113 年 9 月 4 日)應小於或等於 UGR 19，讀者可依場域需求參酌是否引用相關標準。

表 2-2 統一眩光值等級限制【3】

UGR <sub>L</sub>	等級
10	幾乎無眩光，適用於注重舒適度區域
13	低度眩光，最低能察覺之不舒適眩光
16	中等眩光，適用於精密作業、寶石製造、工程製圖
19	略高眩光，文書處理、會議室、收銀區、圖書館、診間、手術室等
22	高度眩光，健身房、賣場、餐廳、廚房
25	略為不適的眩光，樓梯、車道、廁所
28	不舒適眩光，通道走廊、停車位

## 10. 光束維持率(lumen maintenance)或稱光衰

指光源在指定時間所測得之光通量與其初始光通量之比值，以百分比表示；用  $L_{XX}$  表示， $L_{70}$  代表光通量維持率 70%。光源在相同的點燈時間下光通維持率高代表光衰減慢，則經濟壽命較長。

LED 常見的衰減分為兩種類型，漸進式光輸出衰減(材料劣化)與突發性光輸出衰減，前者像是燈泡過了幾年漸漸沒有這麼亮，後者則是突發閃爍(電子元件失效)；依照我國 CNS 15630 一般照明用安定器內藏式 LED 燈泡標準，由於 LED 壽命較長(約 2.5~5 萬小時)要測試全壽命週期下的光輸出衰減不切實際，故以額定壽命的 25%、最長不超過 6000 小時的點燈時數進行測試取得，如圖 2-11 所示。另我國發光二極體燈泡節能標章能源效率基準與標示方法(112 年 3 月 1 日生效)，要求取得標章之產品其測試 3000 小時應維持  $L_{95}$  以上之標準，若讀者應用之場域對光衰較敏感，可引用相關標準作為採購依據。

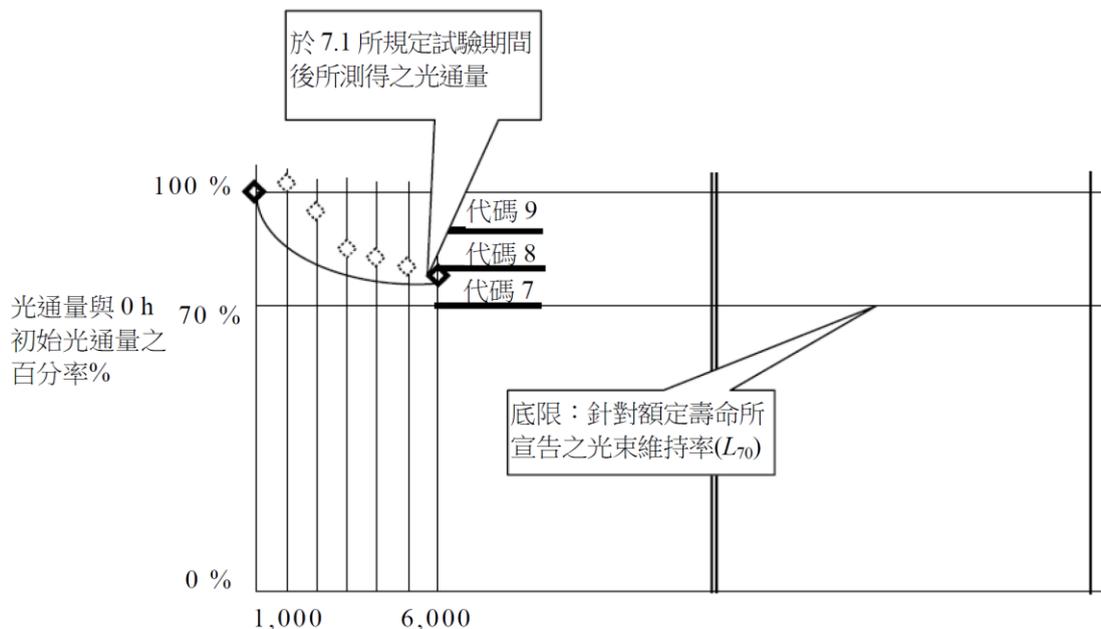


圖 2-11 試驗期間光通量衰減之圖例【2】

## 11. 演色性(colour rendering index, CRI)或稱顯色指數

光源照射到物體表面時所呈現的顏色逼真程度，以較接近自然陽光分布的白熾燈泡作基準(100%)，其他光源對於同一物體不同顏色的表現，依國際照明委員會(CIE)規定的第 1-8 種標準顏色樣品演色性指數的平均值，通稱平均演色指數，符號是 Ra，評分 1~100，100 最優。演色性標準顏色樣品共 15 種，除前 8 種外，另外 7 種稱為特殊演色指數，如飽和色:紅(R9)、黃(R10)、綠(R11)、藍(R12)。LED 光源通常特別要求 R9，用以評量白光 LED 對紅色物件的表現(如圖 2-12 所示)。

平均演色指數(Ra)越高越能呈現被照物的真實色彩(如圖 2-13 所示)，例如白熾燈、太陽自然光皆是 Ra 100 的光源，或者標榜高 Ra 值的 LED 燈(可達 99)，而我國 CNS 15630 則是要求至少 75 以上，若有特別展示商品、藝術品或攝影打光等需求，期望能儘可能反映被照物真實色彩時，則建議選購標榜高 Ra 與高 R9 的光源。

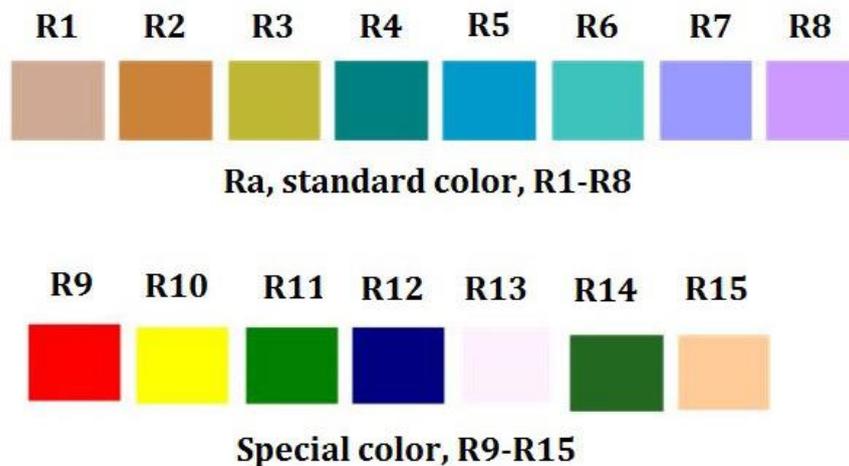


圖2-12 演色性標準顏色樣品示意圖



**Ra 95, R9 79**

紅綠色彩較飽滿



**Ra 86, R9 35**

色彩略嫌單薄

圖2-13 燈光的演色性可增進購買慾

## 12. 光生物安全(Photobiological safety)

用以評估光源(波長 200nm 至 3,000nm)對生物安全性，分別評估對皮膚、眼睛前表面(角膜、結膜、水晶體)、視網膜的紫外線(UV)、藍光、紅外線(IR)、熱危害等項目，IEC 62471 標準將風險等級區分為無風險、低風險、中風險與高風險四種，若依我國 CNS 15592 與 CNS 15436 規範其藍光危害，選擇無風險等級較適合室內長期照明空間使用(如表 2-3 所示)；符合節能標章之燈具，則必須要求屬於無風險等級。

表 2-3 連續輻射光源-藍光風險類別【3】

風險類別	曝露期間	危害
無風險	約 2.8 小時	不造成視網膜 藍光危害(L <sub>B</sub> )
低風險	100 秒內	
中風險	0.25 秒內	
高風險	均造成危害	

### 13. 全般照明(General lighting)

全般照明也稱為“背景照明”或者“環境照明”，是一個照明規劃的基礎，指的是充滿房間的非定向照明，為所有活動創造照明基礎；例如量販店對整個賣場均一性照明，沒有特別明暗差異(如圖 2-14 所示)。



圖2-14 某量販店賣場全般照明

### 14. 重點照明(Accent lighting)

重點照明為提高指定區域或目標的照度，使其比周圍區域突出的照明。它通常被用於強調空間的特定部件或陳設，例如建築要素、架構、衣廚、收藏品、藝術品或博物館文物等；照明範圍/集中度介於全般照明與作業照明之間(如圖 2-15 所示)。



圖2-15 某量販店蔬果區重點照明

## 15. 作業照明(Task lighting)

作業照明是因應高精密、高專注度等作業需求，將燈具裝設於工作面上方、易於調整位置/角度，在局部範圍內以較小的光源功率獲得較高的照度(如圖 2-16 所示)，例如珠寶/銀行作業台、手術台或辦公桌面等；然而高專注度作業，長時間下容易引起視覺疲勞。



圖2-16 作業照明示意圖

## 16. 發光效率(luminous efficacy of a light source)或稱光效

代表光源輸出光通量(total lumen output)與所消耗功率(W)之比值。發光效率(lm/W) = 流明(lm) ÷ 用電量(W)；單位為流明每瓦特(lm/W)，也就是光源每一瓦消耗電力所能發出的光通量，其數值越高，表示光源的光效愈高，各類光源發光效率的比較可參表 2-4 所示。

表 2-4 LED 光源產品與各種光源的比較【6】

光源種類	發光效率 (lm/W)	演色性 (Ra)	色溫度 (K)	使用壽命 (小時)
白熾燈泡	10~17	100	2700	750~2,500
鹵素燈	12~22	100	2700~3200	1,000~3,000
省電燈泡	60~85	60~85	2700~6700	3,000~6,000
T8 螢光燈	70~90	70~90		8,000~12,000
T5 螢光燈	90~105	80~95		12,000~20,000
LED 球泡燈	80~150	70~95	1800~10000	15,000~40,000
LED 燈管	100~180	70~95		20,000~50,000
複金屬燈	90	65~85	3000~5000	10,000~20,000

註：參考我國容許耗用能源基準與各家廠商型錄整理、更新部分資料。

我國 LED 燈泡與燈管節能標章，如表 2-5、表 2-6 與圖 2-17 所示，其他燈種可至節能標章全球資訊網查詢。

網址：<https://www.energylabel.org.tw/index.aspx>

表 2-5 發光二極體燈泡節能標章發光效率基準【8】

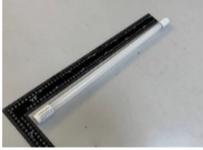
發光效率基準(lm/W)		
額定色溫 (K)	不可進行調光控制且不可調整色點且演色性指數實測值小於 90	可進行調光控制或可調整色點或演色性指數實測值大於等於 90
2700、3000 3500	125	115
4000、4500 5000、5700 6500	130	120

表 2-6 雙燈帽 LED 燈管節能標章發光效率基準【8】

發光效率基準(lm/W)	
不可進行調光控制且不可調整色點且演色性指數實測值小於 90	可進行調光控制或可調整色點或演色性指數實測值大於或等於 90
150	140

雙燈帽LED燈管
友善列印
回列表

相關圖片



**產品資料**

型號：

證書號碼：

證書有效期限： 2024/07/23 - 2026/07/22

廠牌名稱：

額定功率(W)： 6

演色性指數標值： 80

特殊演色評價指數(R9)： 4

額定色溫(K)： 4000

發光效率實測值(lm/W)： 180.3

光生物安全等級： 風險類別0

節能標準發光效率基準(lm/W)： 150.0

**省能特點**

節能、高光效

※本資訊由獲證公司提供,僅供參考,本網站不負內容之保證責任

查詢日期：2024/10/9 下午 01:26:00

圖2-17 雙燈帽LED燈管節能標章產品獲證資訊示意圖【8】

## 17. 燈具效率(luminaire efficiency)

在規定的使用條件下，燈具發出的總光通量與燈具內所有「光源」發出的總光通量之比，電能輸入晶片發出光(轉換損失)，光從 LED 晶片出來後穿越多個材質、燈罩折射等，少部分光線以熱量型式離開(損失)，其他則從燈具輸出至被照物上；LED 燈具一般由驅動電控、光學設計及機械結構等組成，此三項技術的效率乘積即為燈具效率，提高任一項效率均可提升燈具效率。

$$\text{燈具效率} = \frac{\text{燈具發出的總光通量(lm)}}{\text{燈具內所有光源發出的總光通量(lm)}}$$

## 18. 燈具能源效率(luminaire efficacy)

而燈具能效則是上段類似的概念導入輸入電功率(W)，在規定的使用條件下，LED 燈具之總輸出光通量(total lumen output)與額定輸入功率(含電源供應器)之比值；單位為流明每瓦特(lm/W)；數值越高，表示功能類似的燈具(如辦公室燈具)在相同安裝條件下，高能效燈具用較少的電就可以提供相同照度，或使用相同電力可以得到較高的亮度(光通量)。

$$\text{能源效率} = \frac{\text{燈具發出的總光通量(lm)}}{\text{額定輸入功率 W(含電源供應器)}}, \text{表示單位為 lm/W}$$

## 19. 維護係數(maintenance factor, MF)

照明裝置在使用一定週期後，在規定表面上的平均照度或亮度與該裝置在相同條件下新裝時在同一表面上所得到的平均照度或亮度之比，範圍在 0~1 之間。

照明系統久經使用後，作業面照度之所以會降低，是由於(1)光源本身的光通輸出減少，(2)燈具材質老化引起透光率和反射率的下降以及(3)環境塵埃對燈具和室內表面的污染，造成燈具光輸出效率與室內表面反射率的降低等原因。在造成光損失的諸多因素中，區分為可恢復與不可恢復光損失因素兩種，前者可通過清潔燈具和室內表面或更換光源等維護方式得以復原(如圖 2-18 所示)，後者涉及電源供應器電子零件或燈具老舊損壞，除非更換燈具或電源供應器等，否則不可能復原，稱為不可恢復光損失因素。

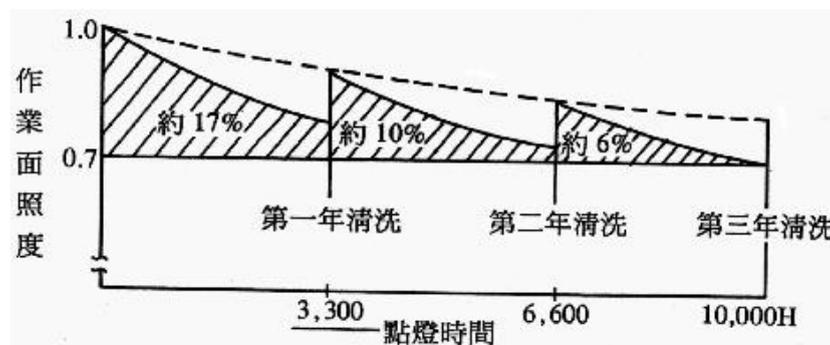


圖 2-18 清洗燈具灰塵與照度的影響【5】

## 參、照明現況與展望

### 一、全球照明用電現況與 LED 技術展望

依據國際能源署(International Energy Agency, IEA)2022年9月研究報告，2010年迄今全球住商照明用電為1,700-1,825億度，期待2030年透過LED的普及應用，實現省電21%、用電降至1367億度。調查顯示，2022年LED光源平均光效111 lm/W、COB光源為150 lm/W，然市場最好的LED產品已達200 lm/W；LED燈泡發光效率介於110~130 lm/W，其最佳光效是省電燈泡的4倍約210 lm/W，但缺點是價格高。

IEA研析達成2050淨零情境，2030年LED光源效率需提升30%至142 lm/W，依圖3-1所示可清楚得知，LED燈的發光效率已遠遠超越現有住商領域當前所使用的主流光源，基於此LED為全球照明淨零的必要技術唯一選項。IEA統計2020年全球市場銷售占比超過50%，隨LED照明產品價格快速下降，燈泡類每個僅3-5美元，冀望2030年占比達99%。

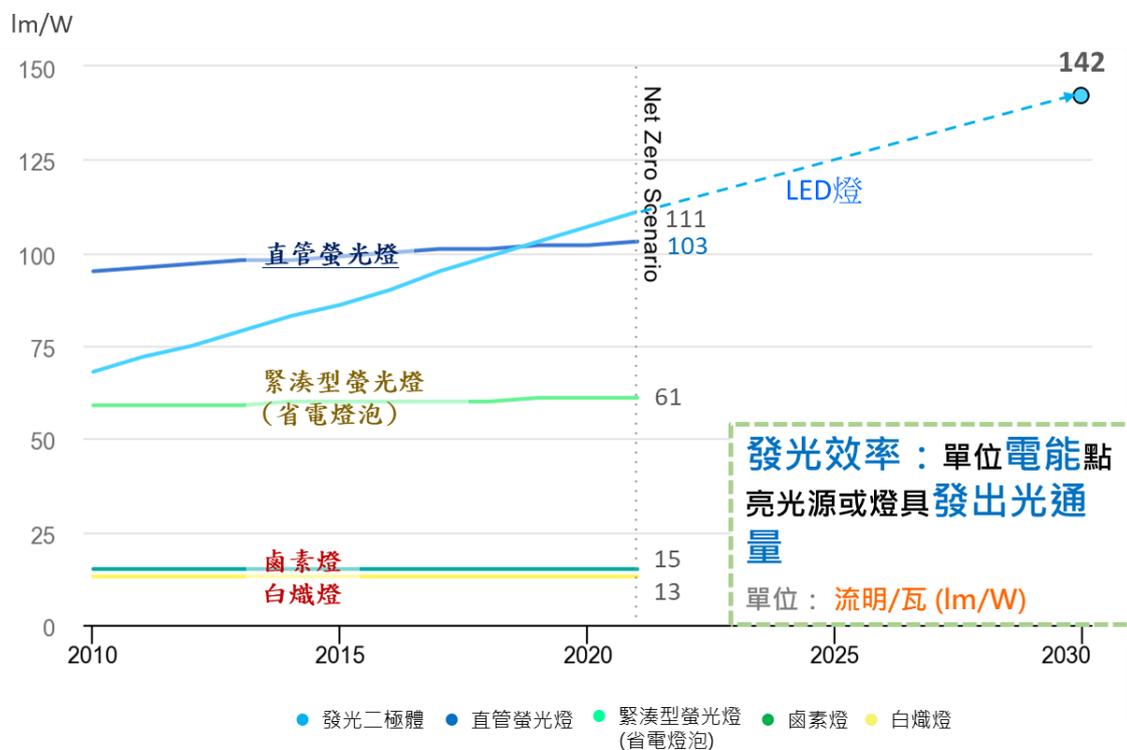


圖3-1 淨零情境下LED照明發光效率進展【4】

依國際能源署的研究分析，2050 建築淨零情境，2030 年後 LED 照明為光源技術的唯一選項(如圖 3-2 所示)。

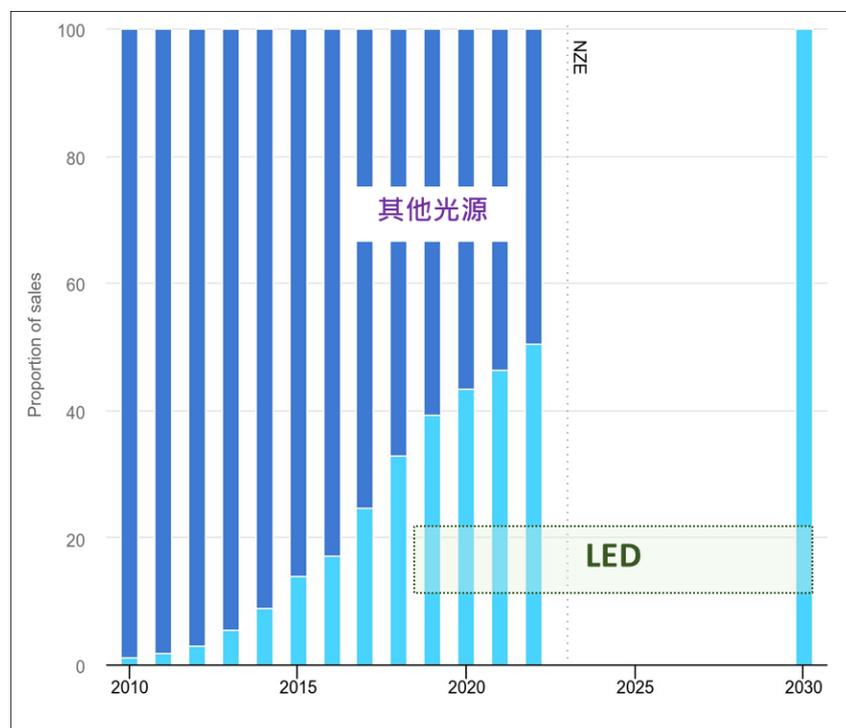


圖3-2 IEA淨零情境下住商部門的LED照明展望【4】

IEA同時提出2050淨零情境下之LED照明仍須發展三大技術：(1)開發高發光效率且性能優的LED：美國能源部國家計畫目標，2030年LED光效245 lm/W，2050年LED光效達336 lm/W，整燈光效214 lm/W；(2)利用先進控制系統優化LED照明最佳使用：著重於自動調光與自然光的利用；(3)直流照明：PV系統零碳電力與LED『直流原生電器』整合應用，降低電力轉換損失，將LED照明節能最大化。

## 二、我國淨零路徑與照明節能政策

為促進能源合理及有效使用，確保全國能源供應穩定及安全，我國自1980年公布實施「能源管理法」，並且在中央、地方政府攜手共同推動節能運動，持續推動設備效率管理及用能行為管理等基盤工作，並依據社會經濟情勢，以政府帶頭與產業、全民參與建構節電氛圍。在政府與全民共同努力推行節能政策下，全民已逐漸凝聚節能共識，許多節能方面重大轉變持續進行，如(1)節能標章及能效標示全面涵蓋用能設備:能源效率分級標示賣場標貼正確率已達99.9%；(2)商家冷氣外洩大幅改善：2010年前，70%以上商家冷氣有外洩情形，現在99%的營業場所已設置防冷氣外洩裝置；(3)照明革命台灣之光：從2003全面換裝LED交通號誌燈、2013年以LED路燈汰換水銀路燈、2016年起推動LED室內平板燈，進入到2021年導入LED智慧照明(如圖3-3所示)。



圖3-3 我國LED照明革命歷程

2022年3月30日臺灣2050淨零排放路徑及策略正式對外公開，淨零由五大路徑著手，建築為其中之一，針對住商建築節能有提升建築外殼設計、建築能效及家電能效標準三大技術手段，逐步邁向50%既有建築符合能效一級、85%的新建築實現近零碳建築目標。因應國家淨零轉型政策政府提出12項戰略計畫、節能戰略為其中之一。節能戰略計畫依工業、商業、住宅及運具四部門列出關鍵績效指標，照明乃住商部門用電大戶，我國目標於2030年實現將LED全數導入商業部門，如表3-1所示。

表3-1 住商部門節能戰略計畫階段指標

	2025年	2030年
商業部門	(1) 每年新增700件綠建築 (2) 70%採用LED；30%空調最佳化操作	(1) 每年新增800件綠建築 (2) 100%採用LED；60%空調最佳化操作
住宅部門	(1) 住宅建築外殼基準提升5% (2) 市售燈泡100%為LED燈	(1) 住宅建築外殼基準提升至10% (2) 冷氣機、電冰箱MEPS提升至3級基準

註：建築外殼基準係指透過建築外觀、材料等設計規範，在熱性能(隔熱)、採光等節能要求。

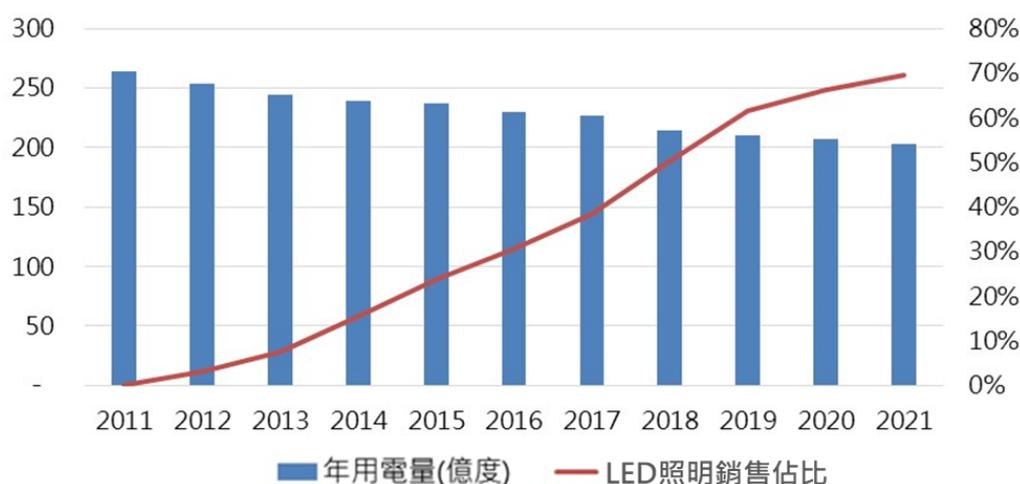
經濟部自112年起推動補助服務業汰換老舊照明設備，補助產品共七類節能標章LED照明燈具，包含平板燈具、天井燈、筒燈暨嵌燈、室內照明燈具、辦公室及營業場所燈具、室內停車場智慧照明、出口及避難指示燈。除了提高設備效率設備，為達成國家節能減碳目標，同時參考國際2050淨零排放節能戰略，綜合考量技術對我國節能減碳效益、產業發展、承接能量與未來國際競爭力，智慧節能與技術革新亦為重要策略，開發創

新淨零、智慧與高效率技術，透過設備智慧化提供終端使用者體驗智慧簡便節能，促成智慧科技實現高節能效益。

### 三、我國照明用電與LED產品銷售趨勢

112年全國用電2,261億度，工業佔55.8%、住商部門佔42.8%；服務業的前三大用電設備依序為空調38%、照明16%及事務設備8%，住宅用電空調最高，照明(9.4%)排在冰箱之後。

依工研院2022年調查我國照明用電，觀測市場過去十年變化，LED銷售佔比大幅成長近年已達7成以上，用電自264億度降至110年約200億度(如圖3-4所示)，顯示LED已普遍為國人所接受。



資料來源: 工研院調查，2022年

圖3-4 我國照明用電與LED照明市場銷售變化

#### 四、我國 LED 照明能效管理下之產品技術

我國照明能效管理可分為強制性-最低允許能效基準(MEPS)及自願性-節能標章兩種(如表3-2及表3-3所示)，而節能標章是政府推動自願性認證辨識標章，「節能標章」產品代表著高能源效率，亦即代表著在同樣功能條件的使用狀態下，消耗較少的能源、負擔較低的能源費用。標章的基準原則是能源效率高於市場產品能效10-50%，因此在整個LED照明市場起步階段，節能標章遂成為消費者辨識選用產品的最佳參考。

照明的節能標章提供四大保障：

- (1)須符合中華民國國家標準(以下簡稱CNS)14335與14115之燈具
- (2)能源效率：高發光效率、低總輸入功率及功率因數0.9以上
- (3)光品質及壽命：演色性80、 $R9 > 0$ 、總光通量以及3000小時光束維持率(壽命)及顏色偏移
- (4)光安全：低眩光、無閃爍及無藍光危害，與光生物危害「風險類別0」要求。

LED產品更新疊代速度快，其產品效率/能效標準每隔幾年就會再次升級，以平板燈為例，104年標準要求95 lm/W、109年提升至140 lm/W，而近年送審產品已有160 lm/W的產品出現，因此讀者若欲採購LED光源/燈具前，可至節能標章全球資訊網查詢。

網址：<https://www.energylabel.org.tw/index.aspx>

表3-2 我國照明產品能效管理現況【4】

	強制性-最低允許能效基準 MEPS	自願性-節能標章
光源	(1). 白熾燈泡 (2). 雙燈帽LED燈管 (3). 安定器內藏式LED燈泡 (4). 螢光燈管 (5). 螢光燈管用安定器 (6). 安定器內藏式螢光燈泡 (7). 緊密型螢光燈管	(1). 發光二極體燈泡 (2). 雙燈帽LED燈管 (3). 螢光燈管(114.01.01廢止)
燈具		(1). 室內照明燈具 (2). 道路照明燈具 (3). 發光二極體平板燈具 (4). 天井燈 (5). 筒燈暨嵌燈 (6). 辦公室及營業場所燈具 (預計114.07.01退場) (7). 開放型照明燈具 (8). 室內停車場智慧燈具 (9). 出口標示與避難指示燈

表3-3 照明設備節能標章之能源效率基準【4】

節能標章 燈具類別	生效日期	能源效率基準
室內照明燈具	113.09.04	125 lm/W
發光二極體 平板燈具	109.07.01	小於5000K，130 lm/W 5000K以上，140 lm/W
天井燈	106.02.01	低於20,000 lm，110 lm/W 20,000 lm以上，80 lm/W
	113.10.01	150 lm/W

節能標章 燈具類別	生效日期	能源效率基準
筒燈暨嵌燈	107.05.01	110 lm/W
	114.12.01	非指向型，125 lm/W 指向型，110 lm/W
辦公室及營業場所 燈具	106.10.18	格柵燈具及平板燈具，100 lm/W 其他燈具，120 lm/W
發光二極體 道路照明燈具	107.08.01	140 lm/W
室內停車場 智慧燈具	106.11.01	120 lm/W
開放型燈具	113.09.04	150 lm/W

國內LED照明已相當普及，但照明系統的效率仍有改善空間，如設計沿用傳統燈具，初設照度偏高，忽視LED燈具的光源壽命長、光衰減速度慢，且冷光燈具較不容易積灰塵，致增加用電。其次，缺乏智慧化，感測器的使用不普遍，造成無人使用時燈具無謂的耗電。節標產品中有一項室內停車場智慧燈具，此燈具已將感測器整合為一，原是提供室內停車場節能用，當偵測人或車時為全開模式，第二段配合停車場的監視功能，改為弱光模式，非常適合在商業場合使用頻率較低的地方，例如茶水間、洗手間、庫房等。

## 肆、LED 特性、結構與應用

### 一、照明特性

LED能量轉換效率高，較省電、反應時間短、壽命長、安全性高、色彩豐富、驅動與調控彈性高、體積小、無汞等特點，使得LED在一般照明市場應用得以大幅度擴張，帶動其市場需求成長。

#### (一)優勢

##### 1. 節能

白光LED照明產品發光效率約110~180 lm/W，平均141 lm/W，已超越所有傳統照明產品，取代傳統燈具之節能率介於50%~90%，而且目前LED光源效率仍持續提升當中。

##### 2. 低碳化

隨著2030、2050的全球淨零排碳目標，太陽光電、燃料電池等再生能源發出來的直流電，若輸回公共電網需經直交流轉換、升壓，難免耗損，若就近提供給LED照明使用，僅需調整電壓即可驅動，例如常見的太陽能庭園燈、太陽能施工燈等，可部份取代零碳建築的照明電力需求。

##### 3. 耐久、長壽命

LED是固態半導體光源，目前戶外燈具的壽命在額定的操作條件下已推升至3萬5000小時以上，室內照明產品經濟壽命以2萬5000小時為目標，相較於傳統燈具產品的壽命提升。

##### 4. 環保減碳

LED不含汞，且光源不會產生輻射與過量的電磁波。並且產品的碳足跡遠低於傳統照明，環保又減碳的綠色光源。

##### 5. 設計多樣化

LED體積小，燈具設計靈活，可以配合應用產品的各種造型，以薄形

及輕量化設計。LED晶粒幾近為點狀光源，利用封裝技術設計出只見光不見燈的創意燈具；又縮小LED出光角度以增強其輝度，使人眼容易察覺、分辨LED所顯現的圖樣、顏色，導入特定光學封裝的LED，具有指向性強的特性，適合應用在強調特徵的照明場域。

## 6. 容易調控光

LED光源透過控制電流大小，或使用脈波寬度調變控制驅動(PWM)等方式，都可以調整LED的輸出光強度，若對多色光模組進行調控，則可提供調光調色的功能，滿足個人偏好的光環境，更進一步可營造符合晝夜節律的照明。和市售的螢光放電燈光源比較，LED調光更加簡易。

## 7. 單色光性能強

由於LED是材料決定光輸出的光源，相對大部份人工光源而言波長較單一且顏色純正，不加濾光器下就能提供多種單純的色光。

### (二)缺點

#### 1. 光電規格未標準化

LED光源(光模組)由點光源組成，組合千變萬化，所以未如傳統光源容易將產品規格標準化，包含光通量、封裝外型及連接腳位等，因而連帶的驅動電源規格也難以標準化；尤其LED光源壽命長，當使用長時間後，若電源損壞或發生光色偏移，無法採購相同產品更換，對使用者的維護保養造成一大困擾。

#### 2. LED燈具的眩光

因為發光二極體為光源面積小、分佈較集中，作照明用途時會刺眼，須運用光學設計分散光輸出。

#### 3. 產品品質的一致性

每顆LED因生產技術問題都會在特性（亮度、顏色、偏壓...等）上有一定差異，即使是同一批次的發光二極體，特性差異也不少。

#### 4. 智慧照明(控制)曲高和寡

智慧化為LED燈具產品發展趨勢，然智慧照明系統之相關介面如通信(有線或無線)、控制介面、及控制模式(數位或類比)、系統功能分類等均處於各技術競爭磨合時期，因而價格高出一般LED燈具甚多，造成使用者對採用LED智慧照明系統意願仍低。

LED 經過二十餘年的技術改良，市售 LED 產品之最佳發光效率已達 200 lm/W；其價格也大幅降低，低至傳統照明產品的水準。目前研究單位加緊研發超高光效白光 LED，目標將光效提高至 300 lm/W 以上。

LED 採直流驅動、反應速度快、可高頻操作，在顯示器及車輛信號照明已經大量應用。室內照明正朝向整合物聯網技術，推動智慧照明系統的市場。戶外照明則以智慧燈具內置微處理系統控制發光強度，調整發光方式，實現光與藝術結合為代表；同樣照明效果的情況下，充分利用 LED 燈輕薄短小、直流工作且用電量低，在戶外公共照明展現絕佳的照明效果，而且可以全彩變化，是城市節能減碳、塑造景觀意象的最佳元素(如圖 4-1 所示)。



圖4-1 LED戶外公共照明應用

隨 LED 光源效率提升，電轉換為光的效率高，一般室內燈具散熱已解決，依美國能源部固態照明研究分析，在成本限制條件下，LED 燈具的電源效率及壽命是未來幾年仍需持續突破的，理論上 LED 燈具使用壽命可達 25,000 小時以上(至少 5~10 年)，對降低燈具維護費用及環境保護助益極大。

## 二、光源與模組結構

### (一)基本原理

發光二極體(Light Emitting Diode, LED)使用半導體製程技術來實現以二極體為發光主體的光學元件，其所發光之波長涵蓋紅外光、可見光及紫外光。LED結構的核心乃是應用半導體PN接合面製成的(如圖4-2所示)；元件具有兩個電極端子，在端子間施加電壓，通入順向電流，經由電子電洞之結合將能量轉換以光子的形式激發釋出，電流通過LED時會發光，就是電致固體發光的一種半導體元件；LED發出的光強度與通過的電流成正比關係。

LED只能由一個方向導通(通電)，叫作順向偏壓；當外加順向偏壓時，電子與電洞在其內發光層複合而發出單色光，而光線的波長、顏色跟其所採用的半導體材料種類與摻入的元素雜質有關；因為半導體材料不同，不同色光LED的順向偏壓也不同。LED利用電力直接發出可見光，是冷光源，而效率高、壽命長、不易破損、反應速度快、可靠性高以及低溫下性能優越等，更是傳統光源所不及之處。

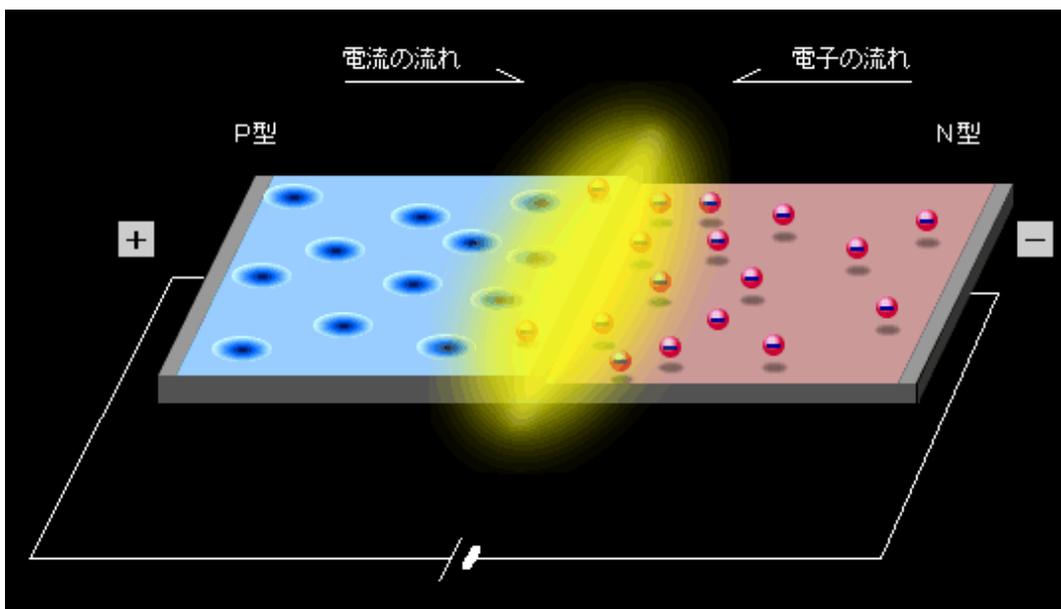


圖4-2 LED結構，紅色為電子、藍色為電洞，中間為發光層

1960 年初期紅光 LED 即成功製成，受制於短波長發光材料技術發展，直到 1993 年日本 Nichia 公司(日亞)研製出基於寬能隙半導體材料氮化鎵和氮化銦鎵(InGaN)、具有商業應用價值的藍光 LED。數年後白光 LED 在全球期盼中閃亮登場，短短 20 年間 LED 已主宰全球的照明市場。

LED 電子和電洞之間的能量(帶隙)越大，產生的光子的能量就越高，其能量分佈在可見光的頻譜範圍內，其中短波長的藍光、紫光攜帶的能量最多，橘色光、紅色光攜帶的能量最少，不同的半導體材料具有不同的帶隙，從而能夠發出不同顏色的光，再利用各種螢光粉將光顏色轉變，達成光源的光譜分布，成為演色性更高、更舒適的色光(如圖 4-3 所示)。

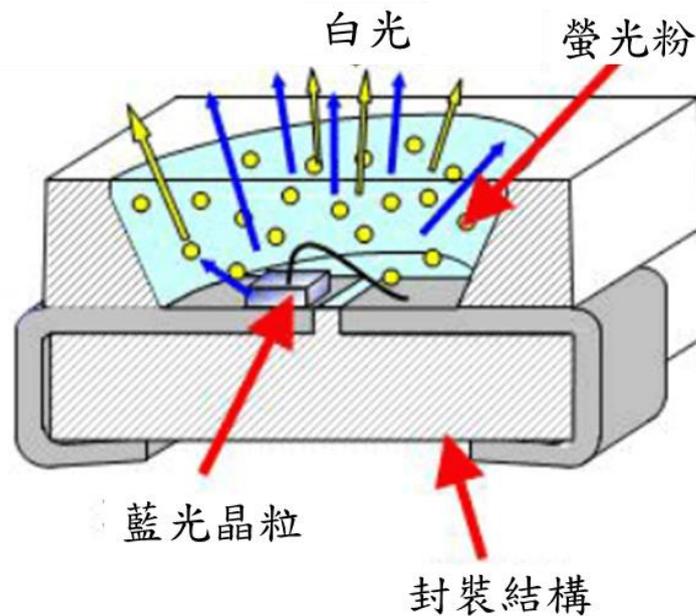


圖4-3 白光LED的構造

## (二)白光 LED 技術分類

白光 LED 的發光分為兩種類型；其一是單晶片激發螢光粉 LED(phosphor-converted LED, pc-LED)透過轉換發出，其二是由多晶 LED 混光產生白光(如圖 4-4 至圖 4-5 所示)，發光原理與特性分述如下：

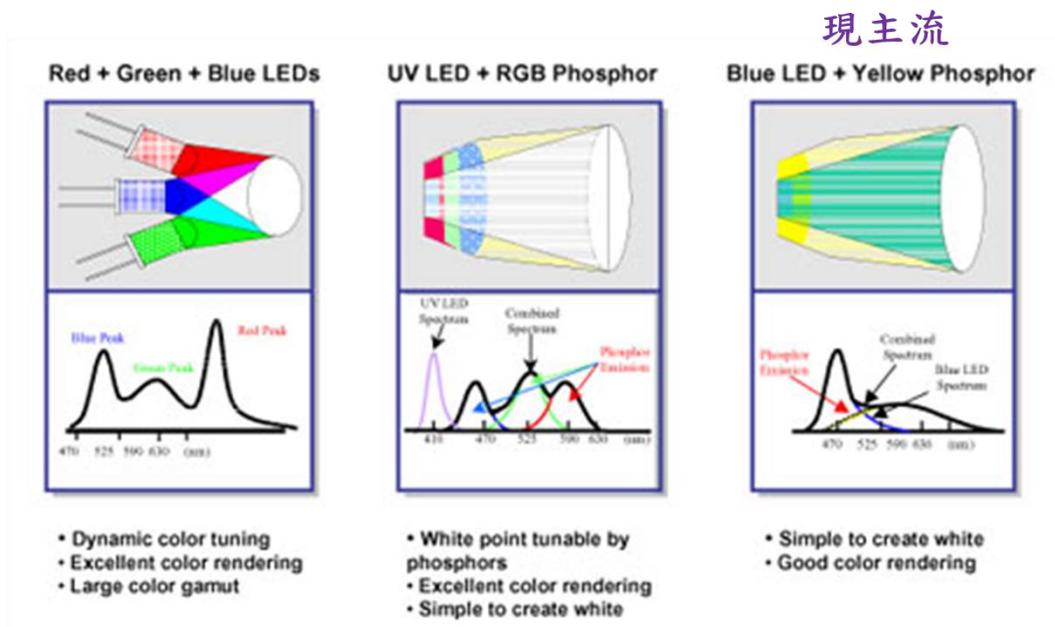
### 1. 單晶LED激發螢光粉

- (1) 目前市場主流白光LED光源由藍光LED與黃色螢光體所構成，利用藍光激發黃色螢光粉產生黃色光同時也有部份藍光射出來，配合黃光由互補原理產生白光。這種型式的白光LED結構簡單，發光效率高且成本低，其缺點(a)紅光成份的強度較弱，需補充紅色螢光粉提高光品質；(b)發出的白光容易看到外圍偏黃，封裝時需掌握螢光粉與藍光晶粒接觸的均勻。
- (2) 近紫外白光LED：由近紫外光LED配合可產生RGB三種色光的螢光粉體組合而成，因它是利用RGB三種顏色混合變成白光，所以對物理顏色再現性很高。但紫外光會使封裝樹脂與螢光體劣化等考量，因此必需另外開發抗紫外光的樹脂與螢光體，對光源的成本及壽命是考驗；其次，紫外光激發螢光粉體轉換為RGB光時會造成損失，致使影響白光LED的發光效率。

### 2. 多晶混光LED單體LED色光白光LED

- (1) 單體RGB或RGBALed混合成白光，其組成全部都是可見光，因此較容易獲得高發光效率。不過在光源封裝時須針對RGB或RGBA單體LED的晶粒的數量及配置進行設計，使RGB或RGBA單體LED的光線能均勻混色變成各種規格的白光LED，匹配色光LED的驅動電壓，故電源需要多組輸出。

- (2) 兩種白光LED混和之白光LED：此為目前可調光調色溫LED燈具所採用的光源，將低色溫2700K與高色溫6500K白光組合在一起，透過控制兩種的光輸出比例，達到色溫可變的目的。本光源為成熟白光LED，且僅需兩組輸出之電源就可以驅動，具成本優勢。
- (3) 色光及白光LED混和之白光LED：為了提高白光LED光源的光譜連續性及色溫範圍，同時考慮效率及成本之技術方案，主要應用在特殊場合如攝影棚燈、攝影輔助燈及營業場所營造天光效果等，未來在健康照護場域也有極大潛力。



資料來源：Lumileds

圖4-4 常用白光LED製作方式

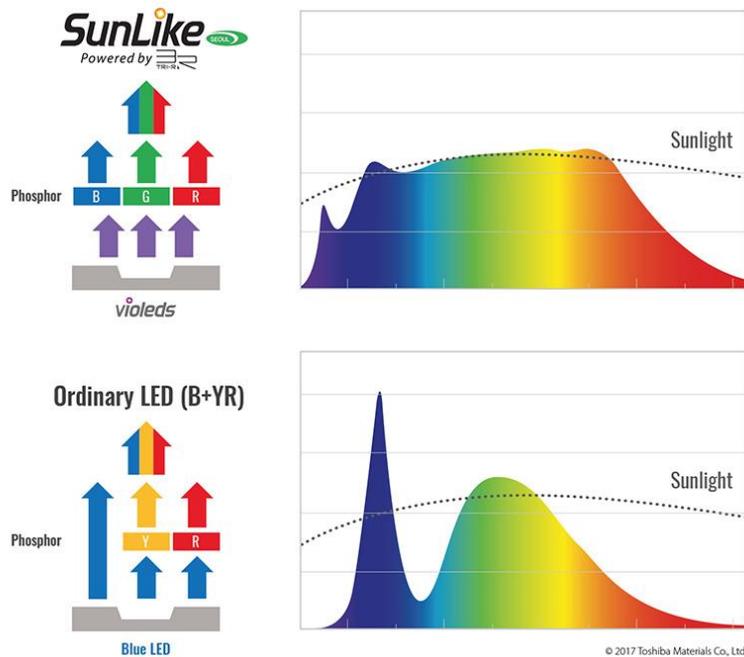


圖4-5 兩種單晶激發螢光粉LED比較; SunLike為高光品質LED

### (三)光源及光源模組

前一節提到的LED發光原理是以個別的晶粒製造出光線，但若我們需要更多的光就牽涉到如何組合，使其從單一晶片的點光源變成燈管、平板燈或各類造型光源，以下介紹SMD、COB與DOB等光源模組形式。

表面黏著元件(Surface Mounted Device, SMD)就是將發光晶粒封裝成燈株，再把燈株焊接到PCB板上，細看還是個別的點光源，透過各種晶粒排列組合成多樣的光源形式，常見於燈條、燈泡、燈管等應用於室內一般照明。

晶片直接封裝(Chip On Board, COB)則將發光晶粒直接在陶瓷或金屬製成的基板上排列，再配上黃色螢光粉片、整體封裝，外觀看來就像是面光源(亦或者有軟性基板組成線光源)，其高密度排列封裝可滿足高輸出光通量或連續不間斷光源應用需求。

光引擎(Driver on Board, DOB)則是將光模組與驅動電源整合在一起(如圖 4-6 所示)，相較過往還要額外的驅動器提供電源與控制，降低了硬體故障機率，對製造商而言 DOB LED 光引擎設計燈具非常簡便，僅需處理二次光學即成。



圖4-6 LED光源及光源模組示意圖

#### (四) 驅動電源

驅動電源為提供 LED 光源(光模組)穩定及高品質的電源，由於 LED 發光亮度與所驅動電流成正比、具有負電阻特性(即溫度越高，電阻愈低)，因此若以定電壓提供電源時，晶片點亮後隨著溫度升高，電流急遽增加將使晶片損壞；因此驅動電源應採定電流的控制功能，必須能在不同環境條件下，提供恆定電流來驅動 LED 光源，確保光源正常使用。

LED 光源價格遽降後，驅動電源成為決定 LED 燈具價格的主要因素，因此驅動電源性能如功率因數與閃爍指數，也是比較 LED 燈具的參考指標。功率因數影響節能效果，我國節能標章要求功因至少 0.9。另一項光閃爍(頻閃)，由於國際標準尚未定案，目前我國節能標章部分產品已訂定閃爍基準。

既然 LED 亮度與電流成正比，那麼控制驅動電源便可實現調光(調色)，同時對於電力系統或負載變動時都要能提供平衡或保護動作。以提供高效率、物聯網控制及低閃爍(穩定的電流)等功能。

### (五)燈具結構

燈具是保護光源、配置光線、提供光源所需驅動電源，所以燈具消耗功率等於光源功率加上驅動電源耗損，燈具與光源間的規格差別：(1)燈具消耗功率不等於光源的功率(W)；(2)燈具輸出的光通量低於光源發出的光通量(lm)。

LED 照明燈具由 LED 光源(燈珠或面板)、驅動電路、二次光學(反射罩或透鏡等)、散熱機構及控制系統等所構成，如圖 4-7 所示。交流電源 110V 或 220V 輸入至驅動電路，轉換為適合驅動 LED 直流電。再透過控制器提供給 LED 光源，自此電能轉換成光能，而光線此時還是四處分散，需要透過二次光學(反射罩或透鏡等)，整理成特定的發光角度(*beam angle of luminaire*)，以投射到適當的照明空間，或者變成特殊的光線輸出角度，達到聚光或散光等功能。

而控制系統主要控制 LED 光源亮度、光色等功能，若燈具有調整明暗或色溫功能或環境需求才會配置；電能轉換為光能時總有損失，其多以熱能的形式向外發散，散熱機構則是藉由導熱及散熱元件所構成，將 LED 光源所發出的熱傳導至外界環境。

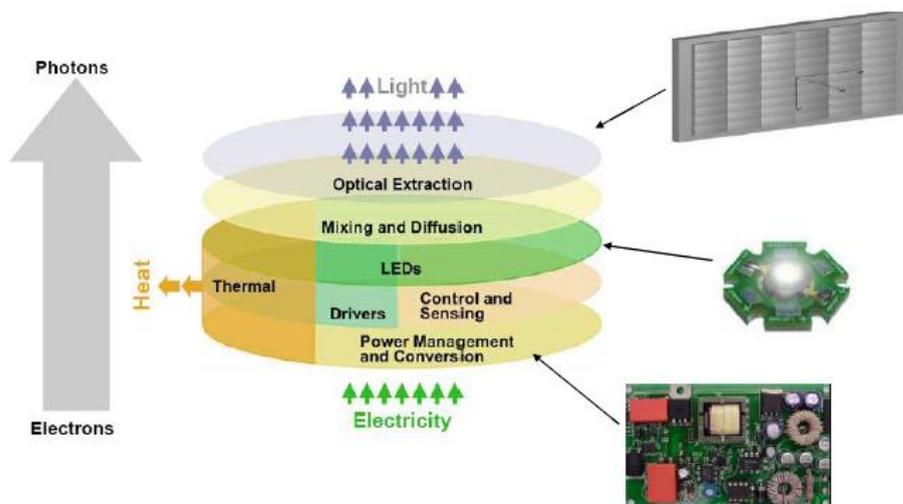


圖4-7 LED照明整體構成元件示意圖【6】

高效率 LED 燈具其關鍵在於 LED 的發光效率、驅動電源的效率以及光學設計組件的轉換效能。美國能源部的 LED 照明計畫 2025 年目標如下：

- (1) 燈具能效 225 lm/W、光有效利用(配光)、光譜、控制與通信
- (2) 光學、電控及散熱效率效率提高至 95%
- (3) 無閃爍、可靠性佳，且具備通信功能

#### (六)散熱設計

當前 LED 光源發光效率至少 150 lm/W，發光效率越高代表功給 LED 的電能多數轉為光，所以發出的熱就少了。溫度是所有半導體元件的致命傷，而散熱不良、LED 接面溫度高的燈具將影響其能效及壽命。散熱分為自然冷卻及強制冷卻兩種，燈具基於成本及維護考量，一般採用自然冷卻，即傳導、對流及輻射三種類型；大多數的 LED 燈具散熱裝置的設計手法，主要是增加散熱面積、提升散熱氣流的流暢度、使元件溫升分佈均勻、以及降低 LED 元件至外界環境間的熱阻等方面著手。

室內 LED 辦公室燈具功率集中在 20~30W，發光效率在 130~160 lm/W，目前產品設計採用低功率(0.15W)、低成本的 LED 光源，單顆 LED 光效高、

發熱低且有足夠空間導熱，所以散熱問題已迎刃而解；然而若燈具裝設於高熱高濕之環境，則需注意散熱、安裝位置或選用合適的燈具。針對高功率 LED 燈具、戶外燈具、追求高可靠度/長壽命燈具或特殊規格的 LED 燈具，仍須將散熱設計列為重點。目前 LED 燈具的散熱器大致可以歸納為鋁擠型、鰭片型及熱管結合型散熱等方式，不同散熱技術各有優劣。

### (七)光學設計

傳統光源(燈泡/燈管)光線以 360 度向外輻射，再應用燈具反射罩、格柵或光學透鏡進行二次光學設計以達到所需要的需求效果，這些光學組件都會吸收部分的光，降低燈具效率。LED 光源晶片發光是以單面約 180 度向外輻射，透過透鏡(Lens)、反射罩、擴散板或導光片等是普遍的二次光學組件(如圖 4-8 所示)，滿足 LED 燈具的配光曲線(如圖 4-9 所示)。

LED 光源經過封裝後，本身已具備特殊方向性的配光曲線，使用 LED 作為光源時，若充分應用其本身所具有的配光進行設計，可將二次光學的使用降至最低，大幅提高燈具效率，並達到最佳的照明效果及節約能源的目的。

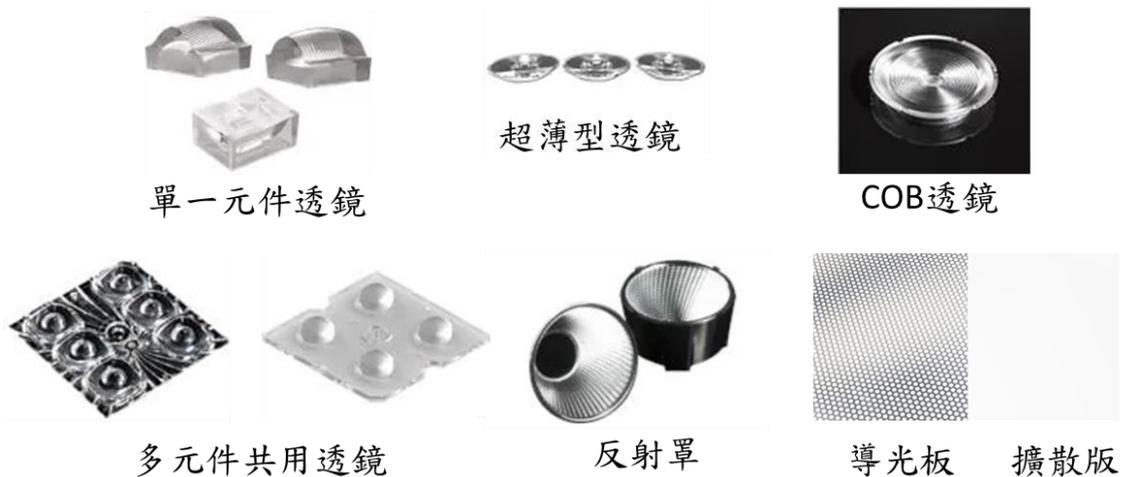


圖4-8 LED光源二次光學組件商品

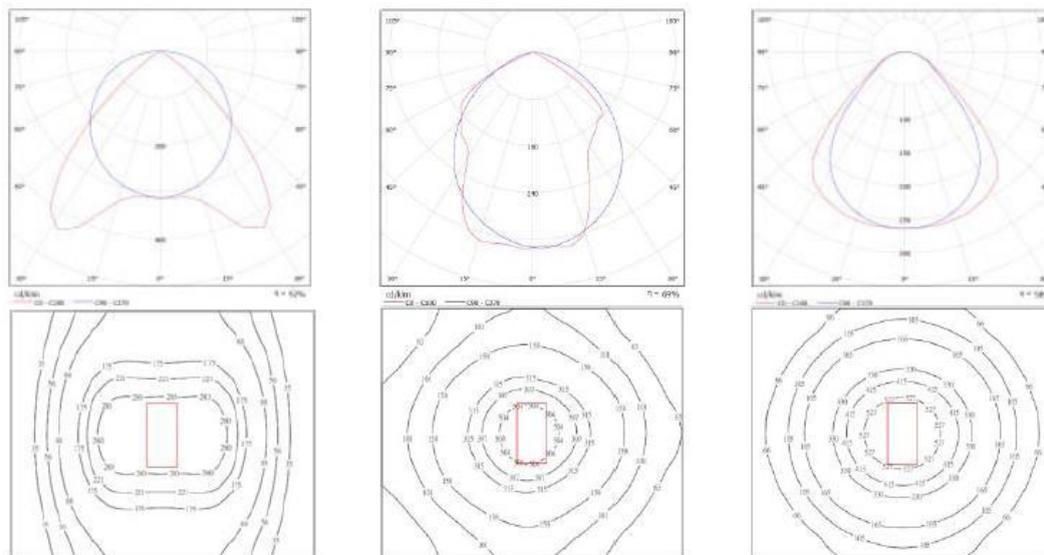


圖4-9 燈具配光曲線與等照度圖(左：LED、中：T5、右：T8)

### 三、LED 照明產品介紹

#### (一)球泡型 LED 燈

球泡燈源自鎢絲燈(白熾燈，15 lm/W)，常見為 E27、E14 接口，廣泛應用於家庭與各類商業空間，1990 年代普及的省電燈泡(緊湊型螢光燈，60 lm/W)取代鎢絲燈，如圖 4-10 所示，而近年 LED 球泡燈則有 140 lm/W 發光效率相較於前者已有數倍差異。



圖4-10 鎢絲燈(左)與省電燈泡(右)示意圖

現今 LED 燈泡發光效率大幅提升，如圖 4-11 所示，逐年推出更低功率的燈泡取代上述鎢絲燈、省電燈泡外，亦推出 60W 以上燈泡取代挑高照明之複金屬燈，惟大瓦數相對需注意散熱，因此外觀可見有金屬散熱片或開孔散熱。



圖4-11 球泡型LED燈示意圖

近年發展出 LED 燈絲燈，從外形上來看，就是模仿白熾燈的形態而用 LED 製造的產品，相較於前段光源由單面晶粒結合霧面擴散板，燈絲則是數條黃色螢光的燈絲組成，仿傳統白熾燈的“形”，又兼顧了 LED 照明的“神”，契合消費者的“懷舊情懷”。

LED 燈絲光源(如圖 4-12 所示)如蠟燭燈、水晶燈、球泡燈在歐美市場被越來越多的消費者所接受；與其他 LED 燈泡產品相比，燈絲燈具有全角度發光、光效更高，更節能等優勢。



圖4-12 燈絲型/導光條LED燈示意圖

## (二)直管型 LED 燈

直管型 LED 燈是為了取代 T8、T5 螢光燈，如圖 4-13 所示，LED 燈管與螢光燈管發光角度大不相同，最大約 270 度(如圖 4-14 所示)，也就是將光有效地往下方投射(折射少、損失少)，因此，選擇以 LED 燈管替換螢光燈管時，LED 燈管的輸出光通量可降低，仍可產生和螢光燈管同樣之照明效果。例如 T8 螢光燈(4 尺 36W、3,400lm)，被 T8 LED 燈(4 尺 20W、2,400lm)取代，更換後甚至讓使用者感受更亮。



圖4-13 直管型LED燈示意圖

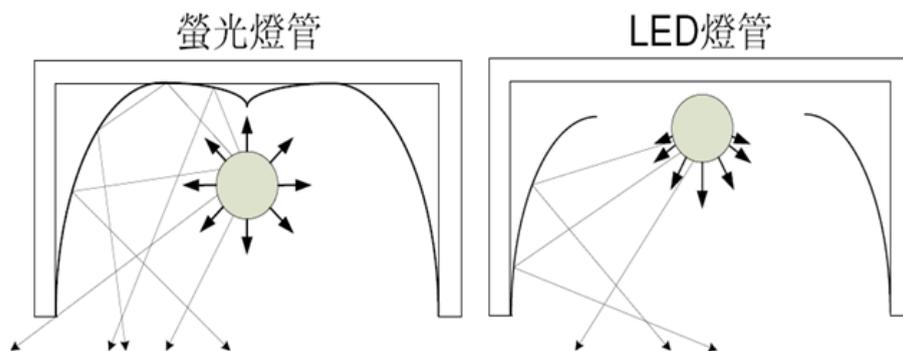


圖4-14 螢光燈管與LED燈管發光角度示意圖

LED 燈管依循 CNS 16027 標準，於 111 年 1 月列入強制檢驗，同時施行 MEPS 管理。LED 燈管分為四種型式，如表 4-1 至表 4-3 所示，需特別注意的是供電方式分為單側入電、雙側入電兩種，亦有主打無需拆除安定器即可直接替換 LED 燈管(A 型)，或者需拆除安定器才能裝上燈管(B 型)等，因此原燈具改裝時尤需注意線路/線路配置與燈管規格之要求；其產品標示如表 4-4 所示，供消費者選購參考。

表 4-1 CNS 16027 LED 燈管類型【9】

型式代碼	燈管種類	適用燈管	說明
A	直接替換型	直接替換螢光燈管	適用於原裝有感抗式或電子式螢光燈管安定器且 <b>未經改裝之舊燈具</b> 。
B	非直接替換型	安定器內藏型(整合型)	指能以 <b>市電電源直接驅動之LED燈管</b>
C	直流型 (非直接替換型)	安全超低壓直流型	透過LED驅動器與市電電源接通之LED燈管。 安全 <b>超低電壓</b> 為不高於50Vac (rms)或無漣波之120 Vdc
D	直流型 (非直接替換型)	GX16t-5燈帽直流型	透過LED驅動器與市電電源接通之LED燈管。 燈管 <b>額定電流</b> 為 350 mA

表 4-2 LED 燈管的型式-依 A 類(直接替換)供電方式【9】

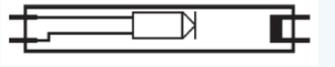
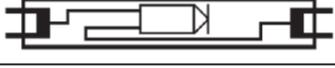
型式代碼	供電方式	燈管接線圖	適用燈具(用途)
A1	單邊供電		替換感抗式安定器燈具之雙燈帽螢光燈管(需附加短路啟動器)
			
A2	雙邊供電		替換感抗式安定器燈具, (需移除或斷開啟動器)
A3			替換電子式安定器燈具之雙燈帽螢光燈管
A4	雙邊供電		替換電子式安定器燈具之雙燈帽螢光燈管
			

表 4-3 LED 燈管的型式-依 B 類(非直接替換)供電方式【9】

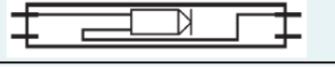
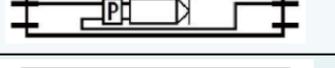
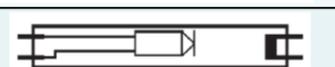
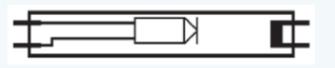
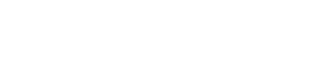
型式代碼	供電方式	燈管接線圖	適用燈具(用途)
B1	雙邊供電		雙邊燈帽單接點, 燈座需短路
			
B2	雙邊供電		雙邊燈帽雙接點
			
B3	單邊供電		單邊燈座直接供電
			
B4	單邊供電		單邊燈座直接供電
			

表 4-4 CNS16027 雙燈帽 LED 燈管產品訊息表【9】

項目	產品本體	外包裝	產品規格書/型錄/ 網站
商品名稱 (燈管類型)	√	√	√
相移因數	-	√	√
額定光通量(lm)	√	√	√
發光效率(lm/W)	-	√	√
光束角(°)	-	√	√
額定色溫(例：F 2,700、F6,500...)	√	√	√
額定演色性指數	-	√	√
額定相關色溫(K)	-	√	√
額定綜合壽命(h) (MxFy)	-	√	√
光學特性代碼	-	√	√
燈管型式代碼	√	√	√

### (三)LED 平板燈

LED 平板燈(如圖 4-15 所示)，是全新風貌的 LED 燈，由於外觀簡潔乾淨且輕薄，且發光效率高，近年消費者採購意願攀升。LED 平板燈借重成熟的面板製程及零組件，故其在一般商場及需直下照明場所能夠供給足夠且明亮的效果，發光面亮度均勻是 LED 平板燈特色之一。在面板顯示器產業的支持下，LED 平板燈成本極具競爭力；我國市場上可調光(調色)的 LED 平板燈已經越來越普遍，且能源效率極佳。



圖 4-15 某家電賣場展示 LED 平板燈與格柵燈

#### (四) 投射用 LED 燈泡

MR16、AR111、PAR30 及 PAR38 系列為一般商業及家用投射燈具主流產品(如圖 4-16 及圖 4-17 所示)，鹵素燈為傳統投射用燈泡的光源，演色性高、體積小且重量輕為最大優勢。PAR 燈透過拋物線形狀投射光線，確保光束集中，PAR20、30 或 38 代表光源的直徑，以八分之一英吋為單位；其產品規格相當豐富足以符合實用現場的需求。

LED 照明燈源設計以取代傳統產品出發，故投射光源與傳統光源之投射角度、演色性、色溫及光通量幾無差異，隨技術進展，投射用 LED 燈泡之電源供應器普遍採用內置型居多，節省用電且增加其空間使用之靈活與方便性。另 MR16 LED 燈源，因其燈體體積較小，故電源供應器外置型式為主。LED 投射燈的優勢之一是無紫外光，可降低對物品的傷害。



圖 4-16 投射型 LED 燈源



圖 4-17 投射型 LED 照明產品應用

## (五)智慧燈具

智慧燈具是指將 LED 光源、感測器與資通信零組件整合在一起的燈具；感測到物件的存在或離開而控制燈具的亮度，實現自動節能。啟動感測器的有效距離有限制(8-10 米)，感應移動熱體啟動全亮模式；全亮時間長短可以設定，無人車時自動降低亮度(~30%)，省電又安全，最大優勢是安裝施工方便，無需加裝控制系統，產品以燈管型居多，適用於辦公室/家庭/商店/工廠/社區大樓/賣場及學校等。在照明產業，LED 燈運用於智慧照明早已隨處可見，人們並不陌生。例如手機可透過數位控制(如圖 4-18 至 4-20 所示)，控制燈泡亮度、明滅，而若干空間的照明設備運用紅外線/微波偵測，當有人進入時，立即自動開啟；所有人都離開時則自動關閉。

理想中的智慧照明是無須人為控制，感測器可精準感知周遭情境、訊號變化，透過內建的資料以及演算，自動進行合宜的調整。可以依人、依時間、依處理事務的內容甚至不同地理環境提供智慧照明的空間；根據實際狀態，調控不同的光環境。物聯網與 AI 技術促進智慧照明技術的進步，歐盟積極推動智慧照明，期待 2025 年後市場的接受度得以顯著提升，也成為未來 LED 照明技術主流。

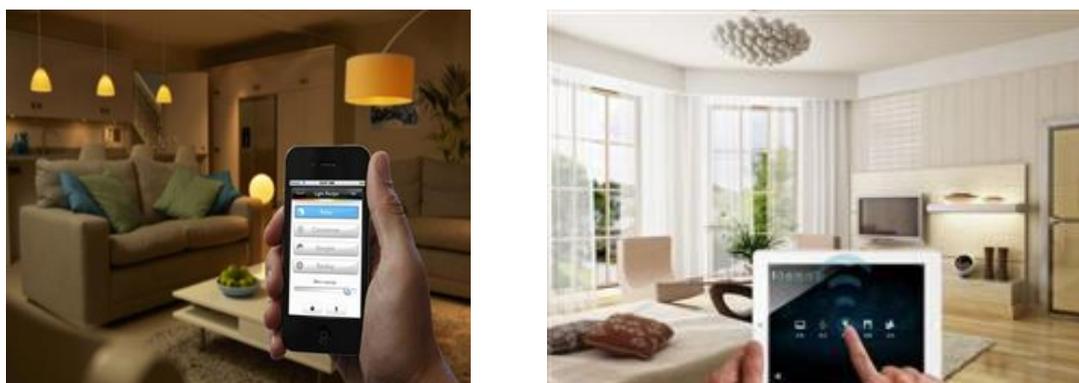


圖 4-18 LED 智慧照明控制



圖 4-19 LED 吸頂燈連續調光、調色(從暖黃、暖白、冷白)



圖 4-20 某家電賣場展示 LED 感應燈

## (六)LED 天井燈

天井燈是百貨量販、工廠、體運場館等天花板高度高、需要燈具讓空間明亮均勻的燈具稱之。天井燈是一般下照式之懸吊型或吸頂型燈具，提供高的輸出光強度(燈具光通量要高)。傳統天井燈的光源都是複金屬燈或水銀燈，隨 LED 技術的進步，目前 LED 天井燈取代 HID 燈可節電至少一半以上。傳統 HID 燈的功率固定，輸出光強度也固定，而 LED 燈具則可控制光輸出，對節能更加有效。

## (七)LED 路燈

路燈是道路照明設備，過去我國路燈主力是白光水銀路燈及黃光高壓鈉燈兩類，自 2008 年制定 CNS 15233 LED 路燈標準，政府大力推動高污染低效率的水銀路燈汰換補助，帶動產業投入 LED 路燈開發，十餘年後 LED 路燈發光效率已經高至 180 lm/W(水銀燈 40 lm/W)；而且 LED 燈具由點光源組成，所以燈具的功率(輸出光通量)規格不受限制，提供使用者極大的選擇空間。

## (八)逃生避難方向指示型之 LED 燈源

LED 燈源逃生避難方向指示燈(如圖 4-21 所示)充分善用 LED 光源高輝度、直流電力、低耗電、體積小及長壽命等特性，當緊急時以電池供電情況下、可提供更明亮且時間更長的指引效果，同時減少其人工換裝維修成本，使得該產品之應用相對成功且無可比擬取代。



圖 4-21 逃生避難指示型 LED 燈源

### (九)其他照明節能產品應用之 LED 燈源

另在戶外投射及造景燈部分(如圖 4-22 至圖 4-23 所示)，因有先期政府大力推動與支持產業發展的優勢下，逐步從路燈的研發量產，進而將技術轉移為戶外投射及防水景觀燈的產品開發，此類型產品有著良好的散熱和防水特性，壽命上比起其他傳統類型光源來得持久，因此採用該類型產品除了可減低夜間照明的耗能外，亦可減少其人工換裝及維修成本。



圖 4-22 戶外投射型 LED 燈源



圖 4-23 某家電賣場展示 LED 燈帶

在一些精細作業及特別需要使用眼力的場所可採用一般照明加上局部照明方式，例如：設計室、製圖室...等必須要有較高之照度者，可將辦公室基本照明設計改為 500~750 Lux，並使用 LED 閱讀檯燈(如圖 4-24 所示)補強工作桌照度至 1,500 Lux。



圖 4-24 LED 閱讀檯燈

表 4-5 LED 照明節能產品應用範圍一覽表

應用別	產品類型
室內照明	燈泡、燈管、平板燈、投射燈、嵌燈、高天井燈、視覺作業檯燈、LED 燈條等
戶外照明	路燈、街燈、停車場燈、運動場燈、隧道燈、投光燈等
展示照明	冷凍冷藏櫃燈、投射燈等
景觀照明	如景觀高燈、庭園燈、感應探照燈、階梯燈等
消防照明	緊急照明燈、出口方向指示燈、避難指示燈等
商業替代光源	如投射燈、珠寶燈、招牌燈、廣告看板等

## 伍、LED 照明選用原則與注意須知

照明走入生活百年；LED是21世紀半導體光源，畢竟不似傳統的螢光燈、鹵素燈、HID燈等規格穩定、性能成熟，過去20年全球看著白光LED萌芽，到進入經濟量產階段，迄今市場高度接受。面對新穎照明，技術日新月異，終端使用者則還在學習、理解新光源的特性與使用方法。尤其是LED照明技術仍持續發展，元件為高效能的點狀光源，如何滿足用戶已經習慣的傳統照明型態，同時善用LED新光源的優勢，成為空間光源設計與綠建築照明改善能耗的重要設計議題。

LED照明與傳統光源特性有多項不同，其次，仍有部分問題待解決，本章主要就服務業換裝或規劃設計選用LED燈具原則與注意須知，以協助工程順利完成，迎接LED照明的世代，提供舒適的照明品質及節電效益最佳化。

### 一、LED 照明產品特質

傳統照明最大的優勢就是產品成熟、維護便利。光源大廠協商訂出數個固定的功率，在發光效率已定量下，光源的功率代表這盞光源輸出一個定量的光通量，照度由光通量所決定，因此消費者習慣採購光源時直接看功率，買功率等同買照度。

而21世紀的LED照明與傳統光源截然不同，其產品具有下列特質：

- (1) LED點光源，其光模組的排列組合類似樂高玩具，組合彈性極大，容易客製化、呈現方式多樣化，相較過往傳統光源，情境照明已由商業步入家庭，更可DIY多樣設備組合連動應用。
- (2) 傳統光源僅能選擇固定色溫進行調光，而現今LED透過整合不同顏色的晶粒發光，單一燈具即可提供2700K(暖黃)至6500K(冷白)無段調色與調光。

- (3) 透過遙控器/控制器、手機APP、網路等，整合全室光源、自訂情境模式甚至與智慧家電連動，亦有整合感應器(動作、照度、溫濕度、門禁等)創造出多種照明模式。
- (4) 低功率輕薄平板型或燈條(帶)LED，相較傳統光源於設置上更具便利性，以往不容易安裝的區域透過貼附即可完成安裝，再使用USB線、電池等方式供電。
- (5) LED是半導體，怕熱不怕冷，極適合低溫環境，要留意驅動電源的工作溫度。
- (6) 光模組規格尚未統一、不同燈具商的設計不相同，甚至同品牌亦可能出現換代不兼容等問題，致使關鍵的驅動電源也難以交互使用，是維護的隱憂。
- (7) 白光LED色溫低，光效低(如圖5-1所示)；又市場上販售不同時期生產的產品，其發光效率差異大，使得同瓦數光源，光通量有不小的差異。

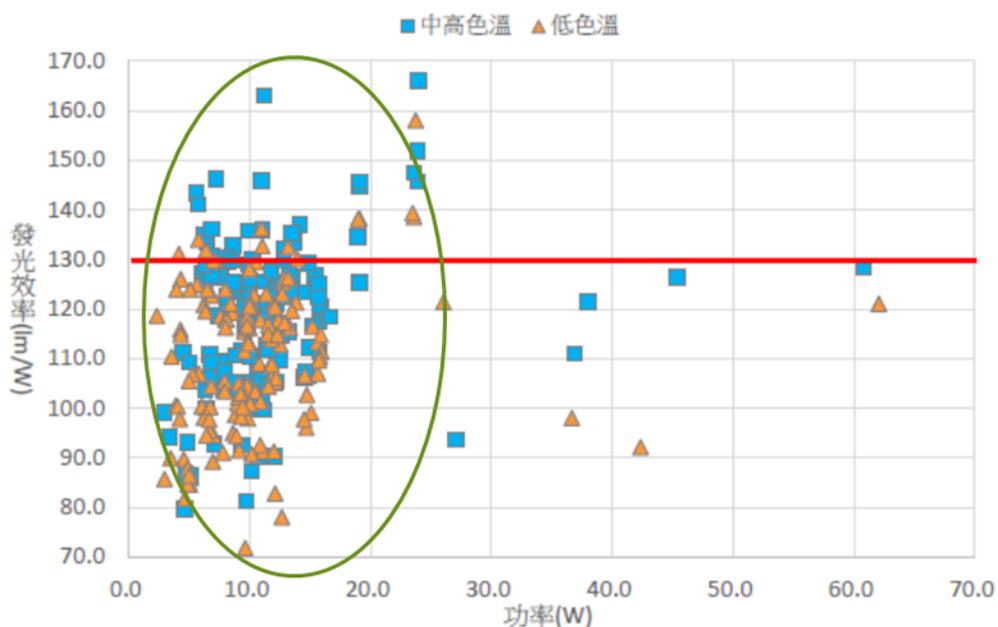


圖 5-1 LED 照明產品發光效率分布

(8) 相同色溫但光色不相同，不同業者配方不一樣以及製程管理等，會出現標稱色溫都是3000K，但光色有的偏紅、偏綠，稱為色容差(Duv)；色容差(Duv)區分7個等級(如表5-1及圖5-2所示)；

表 5-1 色容差的描述與應用場域

SDCM	差異描述	應用場域
1	幾乎看不到任何色差	博物館、畫廊等 對於一致性要求 極高
2	僅透過儀器才能看到差異	
3	可見色差微小	高品質 商業或居家照明
4	色差可見	
5~7	明顯差異可見	要求不高的 工業或戶外照明

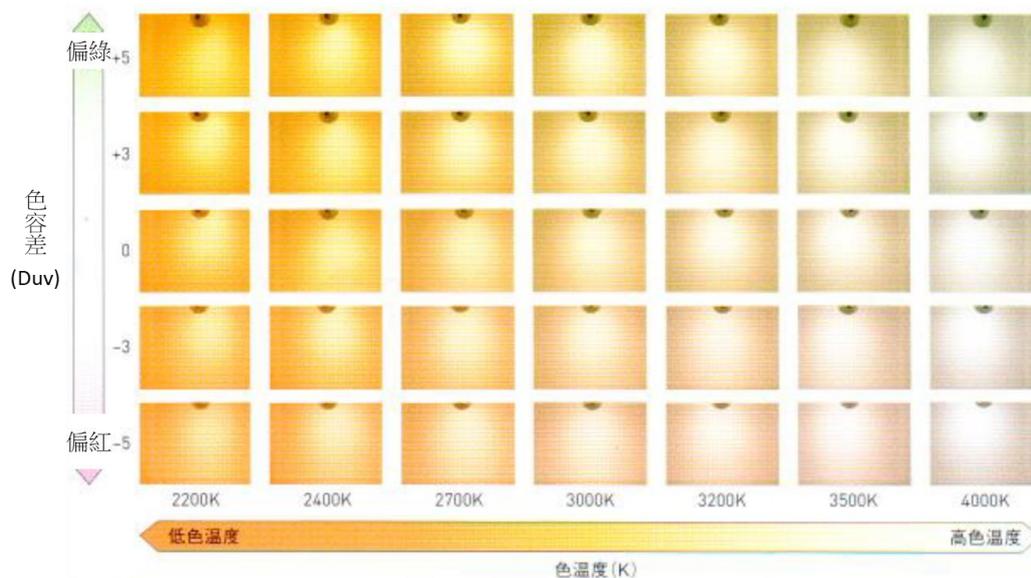


圖5-2 LED光源的色容差(Duv)示意圖

## (一) 光源特性比較

螢光燈、鹵素燈、HID燈(複金屬燈、水銀燈)是室內常用的傳統光源，表5-2 說明LED與幾種常用光源的特性比較；經濟壽命乃光源輸出光通量衰減至初始值的70%之時數。幾類光源比較，螢光燈使用最方便，螢光燈家族還有PL燈管、BB燈管，這幾種光源是螢光燈管做結構設計改變，體積變小了，但發光效率約僅直管螢光燈管的80%，是小眾產品；省電燈泡將PL燈搭安定器用以取代白熾燈泡，光效約50-65 lm/W。鹵素燈以演色性取勝，LED光源不僅發光效率及經濟壽命大幅領先，且有最多的色溫可供選擇。其次，視覺照明核心元素是可見光，由表5-2可知傳統光源都存在紫外光，LED則無，適合對紫外光敏感的空間使用。

表5-2 LED與幾種常用光源的特性比較

光源類型	發光效率 (lm/w)	經濟壽命 (khrs)	色溫 (K)	演色性 (Ra)	紫外光
鹵素燈	20	1~3	2700~3200	~100	微
螢光燈管	70~105	8~15	2700~6700	70~95	有
PL 燈管 BB 燈管	60~85	3~6	2700~6700	60~85	有
HID 燈(複金屬 燈、水銀燈)	45~150	10~20	2100~6500	40~80	有
LED 燈	80~180	15~50	1800~10000	70~95	無

備註：螢光燈及HID燈以具毒性的汞為發光材料，2020年起包含我國等各國紛紛禁用，業者也關閉產線。

## (二) 常用燈具用電分析

照明產品有光源跟燈具，燈具用來配置光線、保護光源並提供所需驅動電源，燈具消耗功率 = 光源功率 + 驅動電源耗損；因此，燈具消耗功率大於光源功率(W)，但燈具輸出的光通量卻低於光源發出的光通量(lm)。

商業空間常見的燈具及用途，格柵類螢光燈用於泛光照明，滿足空間明亮均勻；支架燈、層板燈、燈條等提供貨架的隱形光；鹵素投光燈強調對比、凸顯物品；高挑的百貨公司、車站、機場大廳、體育場館及工廠等則需高功率的天井燈提供泛光照明，目前的LED燈具已可取代傳統產品。

表5-3說明LED與傳統燈具的用電比較，數據是以相同照度條件下，以LED燈具(1對1)替換現有產品為基準，在此條件計算省下的電與原燈具用電的比值稱為節電率。LED燈具功率依現行產品發光效率平均120 lm/W計算，雙燈帽LED燈管的光實際利用效率相較於螢光燈管，至少提升30%，估算幾種常用商業燈具採LED光源的節電率；(1)鹵素燈最高超過90%；(2)辦公室燈具約50-67%；(3)天井燈與展示燈輔助燈45%以上，但辦公室及天井燈的節能標章能效基準已提高至150 lm/W，節電潛力可期。LED燈具除了省電效果高，經濟壽命可延長2倍以上，從生命週期分析，節能減碳成效驚人。

燈具的用電量有部分來自驅動電源(或稱安定器)的損失，現行僅CNS 15233 LED路燈標準規定電源供應器的效率；期待未來超高效率LED燈具搭配使用再生能源直流電力系統，可降低電源損失而實現零碳LED燈具。

表5-3 商業部門常用燈具用電比較

應用	傳統燈具類型		燈具功率 (W)	LED 燈具 功率(W)	汰換說明	節電率 (%)
辦公環境基本照明	T5 電子式 格柵燈具	2 呎*4 管	62	20~30	輸出 3,000lm	52~67
		4 呎*2 管				70~80
	T8~T9 傳統 格柵燈具	2 呎*4 管	100	20~30		66~77
4 呎*2 管		90	20~30			
商業投射	MR16 鹵素燈		50	3~8	輸出 400-1,000lm	84~94
展示輔助	T5 4 呎 支架燈、層板燈		32	14~18	輸出 1,600lm	44~56
天井燈	400W 複金屬天井燈		450	200~250	輸出 30,000lm	44~55

備註：以LED燈具120 lm/W計算。



圖5-3 螢光燈及平板燈辦公室照明

## 二、照明系統節能更新方法

高效率照明系統由設計、照明器具、操作維護三要素組成，照明節能應注意以下幾項重點：(1)節能必須兼顧好的光品質，如滿足照度標準、減少眩光、均勻、對比度、高演色性等；(2)用電量低、經濟壽命長；(3)系統的安全性如諧波失真要低、功因要高，另光生物安全(閃爍、藍光)無虞；(4)利用監控管理提高系統省電量，節省人力並提高附加價值。節能簡單地說就是有效率的照明，選用高效率產品在對的時間與地點提供正確的照明。

更新的目的是降低用電，且保有原本或追求更高的照明品質、系統安全度，照明換裝工作可採整盞燈具更新或僅換燈管/燈泡(光源)，如圖5-4所示。更換燈具首先要掌握LED燈具的主要性能規格，額定光通量、功率、色溫、演色性：Ra-R9、色容差、配光曲線：光束角/距高比、功因、光生物安全及閃爍等。

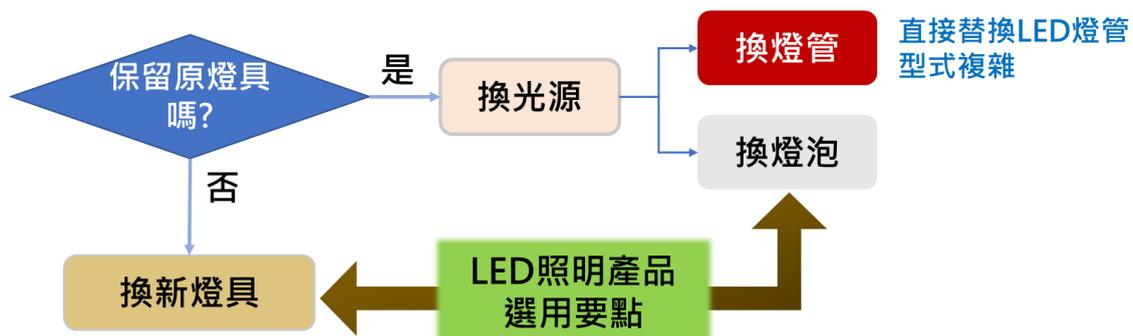


圖5-4 燈具更新作法

### (一)照度的計算

室內若欲得到均勻照度時一般以光束法計算照度；採用天花板配置均勻分布的光源/燈具，使作業面照度均勻分布；其設計的參數有水平面所需平均照度，照明器具數量、配光、室內尺寸、形狀、天花板/牆壁/地面反射率及照明器具和室內的灰塵。利用光束法計算照度如公式(2)，依此可知當一個辦公空間更換為LED燈具，因維護係數自0.8提高為0.9，則燈具光通量可降低14%。

$$E = N \times F \times U \times \frac{M}{A} \dots\dots\dots (2)$$

其中

A = 室內面積(m<sup>2</sup>)

E = 要求的平均照度(Lux)

M = 維護係數

U = 照明利用係數

F = 使用光源/燈具的光通量(lm)

N = 光源/燈具數量

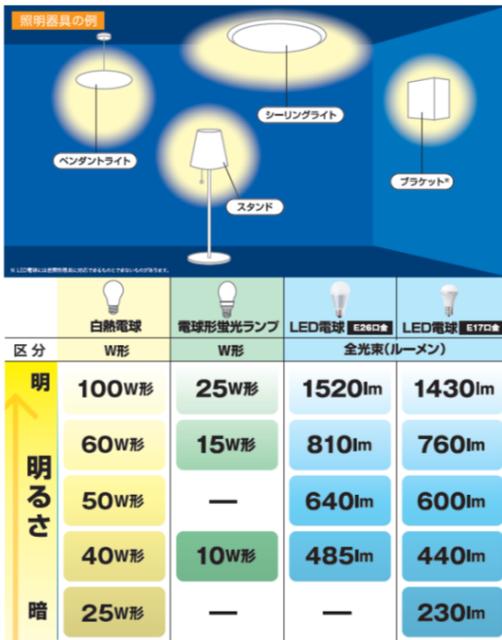
換裝LED燈時，因維護係數M較傳統產品高，若配光得宜，照明利用係數U也高，可以使用全光束(lm)較低的光源/燈具。

表5-4 照明於不同場所維護係數

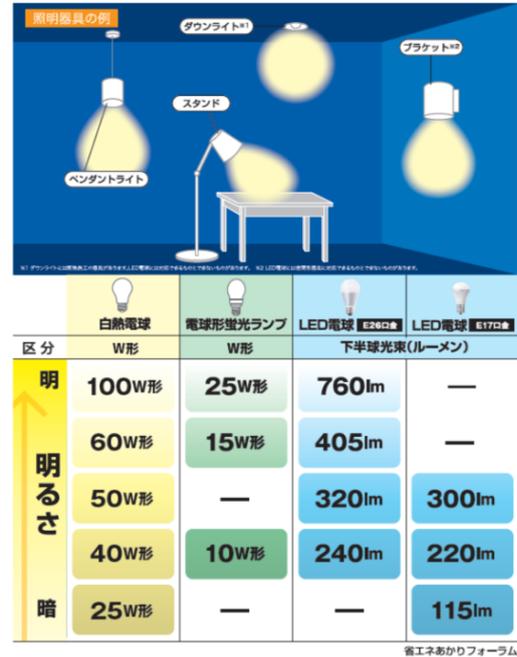
工作場所	維護係數M	
	傳統	LED
辦公室，教室，圖書館 ...	0.8	0.9
商店，營業場所，戲院 ...	0.7	0.8
道路，廣場	0.6	0.7
廚房，鑄造工廠，熔接廠	0.6	0.7

更換光源時依安裝方式及功能等可分為兩大類，圖5-5左方為常見的全周(全般/全周)照明、照射方向是360度，傳統光源白熱燈(鎢絲燈)、省電燈泡依照需求選擇瓦數；LED則依照度選擇；而右方為重點照明，傳統光源因為本身沒有指向性(均360度發光)因此瓦數無法降低，而LED本身具有方向性，選擇半球式燈泡，其光通量約略減半即可符合需求。

## 1. 全周照明:等光通量



## 2. 区域照明:有效光通量



資料來源: Panasonic 公司

圖5-5 光源使用分類

有效光通量應用比較如圖5-6所示，原吧檯吊燈採用21W省電燈泡(1,200 lm)，桌面照度300 lx，以800 lm、7W LED燈泡替代即可獲得相同照度；觀察LED燈泡光分布大部分光集中在下方，相較於省電燈泡，其燈罩約3分之1都是黑的(犧牲視覺上的美觀)，顯示當LED發出的光被更有效利用，節能可以更高。



照度300 lx

圖5-6 有效光通量應用比較案例

## (二)基於相同照度下之 LED 光源與燈具節電比較

表5-5 螢光燈管與LED對「光源」的比較，以T8螢光燈為基準，若選擇T5螢光燈可節電11%(因發光效率提升)，而LED因具有指向性可將光向下投射(減少其他方向的折射損失)，當發光效率為120 lm/W時節電61%、150 lm/W時，節電效率上升至68%。

表5-5 螢光燈管與LED「光源」的有效光通量及節電率比較

	T8 4 呎 螢光燈管	T5 4 呎 螢光燈管	4 呎 LED 燈管 A	4 呎 LED 燈管 B
光通量(lm)	3000	2900	1900	1950
發光效率 (lm/W)	83	105	120	150
功率(W)	36(41)	28(31)	16	13
節電率(%)	----	24	61	68

備註：

1. 光通量以有效使用為基準
2. 括弧內含螢光燈之安定器耗能，LED驅動器耗能包含在光源內

但這僅僅是「光源」，裝上燈具之後的損失還要另外算，以表5-6所示，若以T8螢光燈具為基準，換裝T8 LED格柵燈節電率61%(光有效利用率約85%)，即便燈管選擇150 lm/W(與平板燈相同)，然而燈具本身的光學設計，整燈發光效率下降至130 lm/W，而平板燈的優勢在於光學設計更加完善，光有效利用率約90%，因此節電率提升至67%。

表5-6 螢光燈管與LED「燈具」的有效光通量及節電率比較

	T5 螢光燈具	T8 LED 格柵燈具	LED 平板燈
光通量(lm)	3400	3100	3000
發光效率 (lm/W)	55	130	150
功率(W)	62	24	20
節電率(%)	-	61	67

備註：

1. 室內螢光燈具維護係數0.7；LED燈具維護係數0.8(經濟壽命長)
2. T5螢光燈具由14W\*4；燈具功率 = 燈管功率加上安定器功耗
3. LED格柵燈具有3支8W LED燈管，燈管光效150 lm/W(含驅動電源)；其光有效利用率約85%
4. LED平板燈光有效利用率90%

### (三)燈具替換先期重點事宜：

- (1)第一要務是建立選用LED燈具時，必須改以光通量(流明；lm)替代瓦特(W)的理念。
- (2)確認燈具的類型：LED燈具型式分為一體式(平板)或光源可換式(燈泡、燈管)；根據空間與燈具的型式思考光(流明)的有效利用，取得最佳節能效果。
- (3)燈具的視覺舒適度：LED點光源輝度高，容易造成眩光，部分燈具直接將光源裸露在外，影響視覺舒適。燈具眩光直接關係就是其表面輝度，美國健康建築(WELL)眩光標準-輝度 $< 6000 \text{ cd/m}^2$ 或UGR19。
- (4)從整體照明光環境的品質，研擬燈具規格及相關監控技術。

### 三、LED 照明產品選用要點

半導體照明是發展中的產品，生產者與使用者互相協助，透過消費者發掘問題，技術上再來解決，十幾年前藍光對視網膜有危害的議題被大肆報導，然2008年IEC/EN 62471國際標準就頒布，也成為全球對照明產品光生物安全一致性的檢驗標準，但消費者的資訊並未隨著更新，因此簡單歸納三項選用LED照明產品的要點如下：

(1)保障安全：我國法規室內照明產品必須通過CNS認證、取得標準檢驗局(BSMI)商品檢驗登錄證書，才能上市銷售。標準有電氣安全(CNS 14335)、電磁干擾(CNS 14115)及光生物安全(CNS 15592)；而LED燈泡及燈管列為強制性檢驗的商品，還需要通過性能檢驗。商品檢驗登錄證書上記載產品型號與生產者相關資料，選購時要認清此證書的正確性。



圖5-7 BSMI商品檢驗登錄證書

(2)性能優越：優先選擇『節能標章獲證產品』。LED技術進步及產品的更迭非常迅速，選購產品能源效率是最重要的考量，其次，性能、品牌等因素均會影響商品價格。節能標章LED照明產品針對能源效率、光通量、光強度分布、光品質、壽命及保護使用者在用光時之安全提出明確要求，且嚴格執行後市場的管理，協助消費者為產品把關。

(3)保固與商譽：LED照明產品價格差異大，製造與銷售都是重要因素，基於消費者對產品的信心，選購時亦須留意產品的保固與商譽。

LED產品取得BSMI商品檢驗登錄證書及節能標章兩張證書，才足以證明在安全及性能均有政府部門把關；其次，節能標章的品項多，各品項的能效基準不相同，因此，一項產品3張證書是合理的；故除了看標章證書(含有效期)外，有測試數據的佐證更能比較不同廠商之間的差異。

### (一)直管型螢光燈

直管型螢光燈普遍用於辦公室/教室格柵燈、賣場/教室/停車場工事燈、間接照明層板燈或招牌燈等，其中辦公室與賣場結合燈具直接照明，以全般照明涵蓋整個場面，因此燈具涵蓋均勻度、角度影響其效果。更新直管型螢光燈為LED燈，需注意的原始燈具(殼)若沿用，則需注意更新LED燈管後配光是否符合需求，若要求不高的場域，沿用既有燈具更新燈管也是常見的做法。然而前一章介紹LED燈管有提到，分為免拆線直接使用(A型)，或者需拆除安定器才能裝上燈管(B型)兩類，因此拆裝/電路改裝工程衍伸的成本也須納入考量，整體而言選擇LED燈具整座更新，亦是在乎照明效果、工程時間/綜合成本下的選擇。

間接照明層板燈或招牌燈，於LED替代燈管已有整合性模組，過往需配線、安裝燈管，現今整合為一體僅需固定燈具、插上電源快速接頭，便可形成無縫的連續光帶。

1. 直管型螢光燈的替代品：LED燈管/支架燈

2. 更換直管型螢光燈的規格考量：

(1) 發光效率：建議比照節能標章，高於150 lm/W。

- (2) 色溫(色座標)：3000K(黃光)、4000K(暖白光)、6500K(白光)是常見的規格，多半沒有調光調色功能，依使用區域的情境想定選擇需求的色溫。
- (3) 光色分布，色容差與顏色偏移：此類光源屬於大範圍全般照明，若使用場域為百貨飯店類較在乎一致性時，一般會採購較大的批量(或留有備品)於零星損壞時更新，當使用年限(時數)接近時，區域性或全面汰換。
- (4) 演色性：Ra大於等於80、R9大於零。
- (5) 光束維持率：建議比照節能標章，測試3000小時在95%以上。
- (6) 光生物性危害：建議比照節能標章，風險類別0。
- (7) 供電方式：單側入電、雙側入電，免拆安定器直接使用(A型)或需拆除安定器才能裝上燈管(B型)。
- (8) 統一眩光指數：若屬辦公室、教室等直接照明場所，建議比照節能標章要求，應在19.0以下。
- (9) 智慧照明：若屬停車場或需調光區域，建議比照節能標章，內建有自動開關、調光或時序控制。

## (二) 平板燈、平板型崁燈

平板燈、平板型崁燈是LED光源出現後的產品，將過往燈泡/管、支架/光罩、線路等繁雜的組件整合為一體。2012年起的LED燈具所產生的熱量已大幅降低，一體式燈具產品變多，而沿襲傳統光源可換式燈具也有相當市佔率。如表5-7所示，一體式燈具(平板燈)相較光源可換式燈具(格柵燈等)，其優勢在於發光效率相比燈管經燈具衰減來的高效，外觀平坦貼合視覺感受較佳、清潔容易，適合應用於前一節格柵燈或傳統崁燈的區域。

表5-7 兩種類型LED燈具比較

	一體式燈具(平板燈)	光源可換式燈具(格柵燈等)
燈具發光效率	整燈量測數據	燈管光效×光利用效率
光電品質 (色溫、眩光、 EMI、壽命..)	整燈量測	更新燈管後難以確保維持原燈具性能
外觀效益	明顯察覺更新	無新意
維護	維修必須找原廠	光源可換
特殊注意事項	燈具光電規格留存	光電規格、燈管型式代碼需留存；維修時要選用與原型式代碼規格相同之燈管

### (三) 鹵素燈泡

鹵素燈經常應用於投光燈(指向型燈具)，利用反射鏡或透鏡，能在某個方向獲得特定光強度分布之燈具，使被投射的場景或受照物之照度遠大於其週遭環境照度，其光型設計包含軸對稱配光、雙面對稱配光、單面對稱配光及非對稱配光，配光的種類分為窄角形( $< 30^\circ$ )、中角形( $30^\circ \sim 60^\circ$ )、廣角形( $> 60^\circ$ )。

1. 鹵素燈的替代品：LED燈泡、LED嵌燈

2. 更換鹵素燈泡的規格考量：

(1) 色溫(色座標)：使用適合場景需求的色溫，改變既有限制，鹵素燈通常會多盞同時用，色座標越相近，會降低視覺上看出光色的差別。

(2) 光色分布，色容差與顏色偏移：白光LED因封裝時螢光粉的均勻性，通常中間較白、四周光色較黃如圖5-8所示；色容差與顏色偏移要選低者。

- (3) 演色性：Ra與R9高，Ra 90光源供應很充分；紅色物品是商業投射照明評價重點，R9越高越好。
- (4) 配光角度與中心光強度：參考MR16(36°)、AR111(8°/24°/45°)，光束角選擇LED燈。
- (5) 驅動電源的功率，以及與既有調光器的相容性

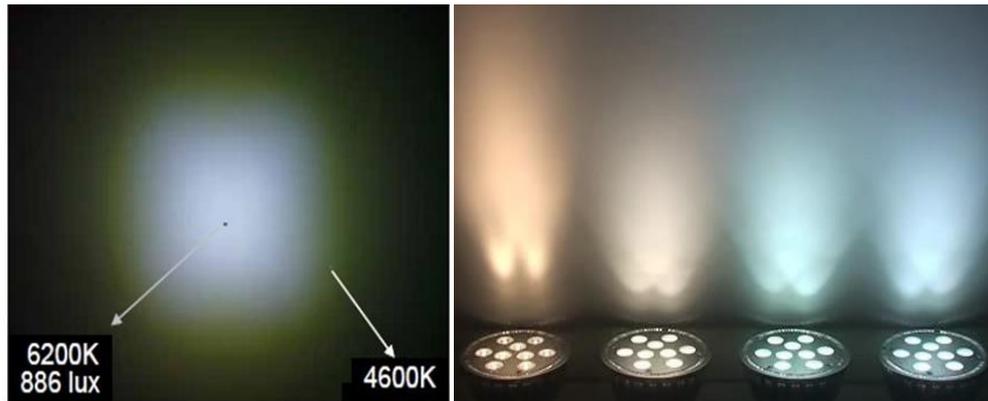


圖5-8 LED投射燈的光

#### 四、節能方法與原則

室內照明設計引進LED光源及燈具，從設計之始就應充分運用其特色來兼顧節能與視覺需求，正確的使用及定期做好燈具的維護，確保舒適的照明環境。在照明節能的規劃上，北美照明學會與日本照明學會推薦七種照明節能方法與基本原則如下：

##### (一)符合工作要求的照度水準

參照國家標準CNS 12112，依工作與視覺需求選定適當的照度水準，維持視覺環境一定的平均照度要求，並且力求配光的均勻，以產生舒適的視覺效果；而要求高照度的場所，則可採用局部照明。

##### (二)使用高效率的光源與電源控制器

LED光源的演色性略低於白熾燈，但高色彩飽和度卻可彌補而產生明亮吸睛的視效；而高發光效率及長壽命，最符合室內照明節能的需求。

LED光源均使用更省電的電子電路技術，其驅動器的省能效果更佳。

### (三)照明燈具的選擇

優先採用效率高、清掃和更換燈容易的低眩光燈具。2012年的LED燈具所產生的熱量已大幅降低，光衰與空調用電均降低，不舒服眩光也由光學設計改善；達到可維持高亮度輸出與延長燈管壽命目標。

### (四)天然光的利用

依建築方位適當開窗採光與通風(可參考綠建築標準)，引進適量的天然光(如圖5-9至圖5-10所示)，發揮一定的照明節能成效；需注意於錯誤的方位、過度開窗，在我國亞熱帶氣候條件下，可能造成額外的空調負載與人員不適感，或是特定季節/時間由太陽光造成的眩光。



圖5-9 某量販店透過開窗、反射板(右側)引導自然光



圖5-10 某百貨公司引入自然光(左側)與間接照明形成點綴

#### (五)採用明亮的室內建材

室內牆壁採用明亮系列的顏色來裝飾，增加反射光，可呈現較佳的視覺感覺與降低照明用電。

#### (六)有效的配線設計

依照空間使用模式，區分內周(無窗)、外周(靠窗)區或者走廊/通道、座位區等配置迴路開關(如圖5-11所示)，進而配合自然採光或不同階段使用需求分區調控；亦可導入光感應器/動作感應器/定時器等調光、開關，克服不特定使用者離開未關燈的問題點。

對於使用者自行操作的開關，可標示對應的分區、時間供其操作依循，而不是猜測試誤，最後淪為全開/關、忘記關。



圖5-11 某量販店透過迴路控制於非尖峰時段關閉部分燈具

### (七)易於維護管理的設計

隨著使用年限接近，故障與衰退逐漸升高，維護需求是必然的，設計之初便須考量場域特性，選擇合適的照明方式與維護空間。例如高空照明燈具固定於屋頂中央，雖有較佳的照明均勻性，但卻難以維護(無維修通道)或風險過高(高空作業)，因此透過燈具裝設位置改變，將其移動至兩側易維護空間與小瓦數多燈具共同照明，綜合營運成本較佳。

另一種常見問題則是燈具位置與其他設施發生干涉，例如燈具被排水管路阻擋(如圖5-12所示)、安裝在貨架之上難以接近更換，照明效果也不佳(產生陰影)



圖5-12 燈具(左方)被排水管路阻隔形成無效照明

## 陸、照明光環境與 LED 照明技術應用

人類在太陽下演化，紫外光可以光療、消毒殺菌、預防老年人骨質疏鬆和軟骨症，紅外光增進人體血液循環；可見光滿足看需求，所以日光是身體的營養物。現代生活約有80%以上的時間待在人工照明的環境。從光環境角度分析，太陽光的連續光譜、色溫範圍大(2,000K-10,000K)，且光強度變化明顯，最高照度可達100,000 Lux，反觀現代室內的辦公室、教室及工廠等空間無論螢光燈或LED照明，光譜與日光差異大，且6000K/500 Lux的光照環境，人從早到黃昏停留在固定的光環境下，對身體的刺激顯然不足；此外研究顯示，光譜分布的頻寬越寬，眼睛比較不容易疲勞。

光會影響人的三個面向是：(1)視覺功能，隨年齡增加對光的需要也提高，50歲之後的視覺僅20歲的50%；(2)情緒功能：白天的太陽又白又亮，情緒是有活力的，黃昏的光讓人感覺放鬆，所以工作場合及咖啡館、餐廳等的照明系統設計明顯不同；(3)生理功能：人類長期生活在日光下，光的亮度及顏色變化非常明顯，光線改變也默默地安排人的作息(圖6-1所示)。

2002年學術研究證實，人體的眼睛除了視覺功能外，還具有一個感測器作為調控生理時鐘的功能，基於這項重大的發現理論，現代的照明系統設計考量因素就更複雜了。

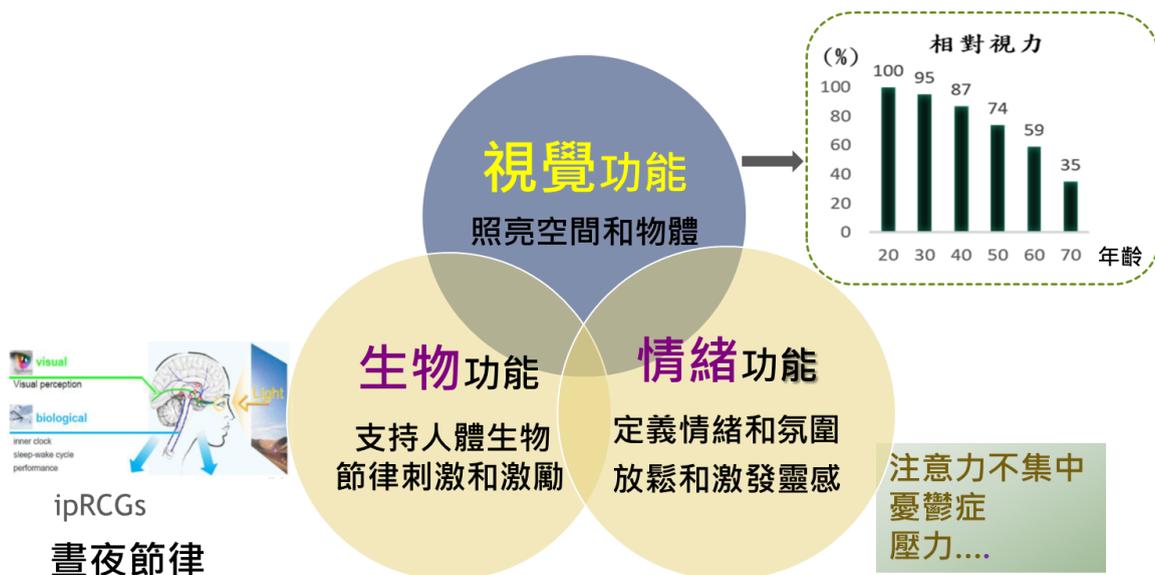


圖 6-1 光環境影響人的視覺、情緒及節律

”明媚”、”繽紛”、”陰霾”、”幽暗”等，都反應出人們心理對環境光線產生的共鳴；而朝日令人精神奕奕，夕陽則伴隨著疲憊的身影，這正是千萬年人類與自然環境互動的作息時鐘。然而，燈具技術的進步使人們輕易突破了日光的限制，越來越長的活動時間帶動文明的發展，但不當的照明直接或間接地衍生了許多文明病，如身理時鐘失調、失眠、視力提早受損等。因此，創造一個優良照明環境，不僅滿足視覺亮度需求，貼近心理情緒，並能避免文明病的發生，結合醫學與科技的照明技術，正是現階段LED照明技術研究的主軸。

## 一、認識照明光環境

習知的照明系統幾乎等同照度與色溫的組合；然而人眼接受光的刺激將它們轉換、再傳導至大腦進行處理分析，使人們得以辨識物體的形狀、大小、色彩、明暗、動靜等，所以光環境的內涵嚴重影響人接受到的信息。光環境的幾項關鍵參數包含照度、色溫、演色性、眩光控制及閃爍對視覺功能及視覺舒適度、安全度、視覺美感均有顯著的影響，所以要嚴格管控。

我們生活在不同的空間，如學校、辦公室、百貨公司、量販超市、飯店旅館、醫院以及戶外的道路、公園、停車場等，因應場域的工作或活動目的，照明要滿足的需求不同，必須針對各個空間提供合宜進行視覺作業之光環境，就是照明系統規劃設計的重點。我國經濟部標檢局制訂 CNS 12112 室內工作場所照明標準，交通部頒布 交通工程規範，透過此原則性規範供地方政府與執行機關遵行辦理公路照明設計，同時因地制宜、保留操作彈性。

依 CNS 12112 標準，工作場所良好之照明設施可提供良好之作業可見度，亦為方便及舒適地進行作業之不可缺少的必要條件。為利照明於質和量上達到環境之需求，其應滿足下列之要求：

- (一)視覺舒適度，使人感到舒適。
- (二)視覺效能，能迅速而準確地完成視覺作業，甚至能使人於較差之環境及長時間作業中亦能達成工作需求。
- (三)視覺安全性，能看清周圍環境並察覺危險。

為滿足上揭條件要求，應注意所有影響光環境之相關參數，影響光環境之主要參數包含：(a)輝度分佈；(b)照度；(c)眩光；(d)光之方向性；(e)光線和表面之顏色特性；(f)閃爍；(g)自然光以及(h)維護。

CNS 12112 標準提出室內區域作業或活動的照明要求有三項，分別是維持照度( $E_m$ , Lux)、統一眩光等級限制( $UGR_L$ )及平均最低演色指數(Ra)；所有照度值均為維持照度，可滿足作業時所需之視覺安全及視覺效能。理想的光環境應兼具節能、環保，有足夠的亮度，沒有眩光及閃爍，且均勻度好，演色指數大於 80 且  $R9 > 0$ ，色溫涵蓋低色溫(黃光)至高色溫(白光)。

## 二、學校照明

教學場所主要的照明重點是教室，從幼稚園、國小、國中/高中、大學使用者特性有所不同，不能一概而論。教室光環境品質應同時滿足節約能源、視覺功能的照明要求及光健康安全三要素。目前的教室照明多為恆定的光環境，而隨著 LED 照明技術的發展，智慧控制的動態光環境已日漸普及，並成為潮流。醫學研究證實，日照不足會導致近視，學生在校學習時間長且需近距離用眼，若教室照明光環境品質不佳，將影響學生視覺績效、造成視覺疲勞、視覺健康等。

基於教室光環境與學生的視力保健和學習效率息息相關，因此教室光環境應整體考量照度、照度均勻度、入眼輝度、色溫、演色性，也應該滿足光生物安全(藍光風險)、眩光、閃爍/頻閃等要求，邁向節能、環保且安全的目標。另外，針對現代教室多媒體教學及多功能教室，提供可因年齡

層、課表、活動(數位教學)調控照明參數的智慧照明系統，也日漸成為教室光環境的發展方向。

教室光環境需特別留意桌面照度、黑板立面照度，及窗邊自然光導致均勻度問題；其次，教室使用對象是學生及老師，身高差異大，在要求桌面照度一致且均勻的條件下，LED 燈具可調光，提供一種全新的選擇。

學校照明注意事項：

1. 照度標準依教育部門或 CNS 12112 的照明規定(如表 6-1 所示)
2. 燈具安裝高度與學生身高的平衡，避免視角導致眩光
3. 黑板表面亮度均勻，安裝位置避免對老師/學生產生眩光(圖 6-2 所示)
4. 燈具與風扇位置協調，以防止閃爍產生
5. 老師的臉部照度宜足夠且均勻，助於提高學童專注力
6. 依照課表設計照明的內涵，提供學生可以有輕鬆的休息時刻
7. 人因、健康照明屬於未來趨勢，唯現階段我國尚無標準，若環境要求標準更高可參考相關國際標準；從健康照明的角度而言，遵循人體生理時鐘夜間(睡前兩小時)閱讀色溫建議偏暖，引導使用者放鬆。

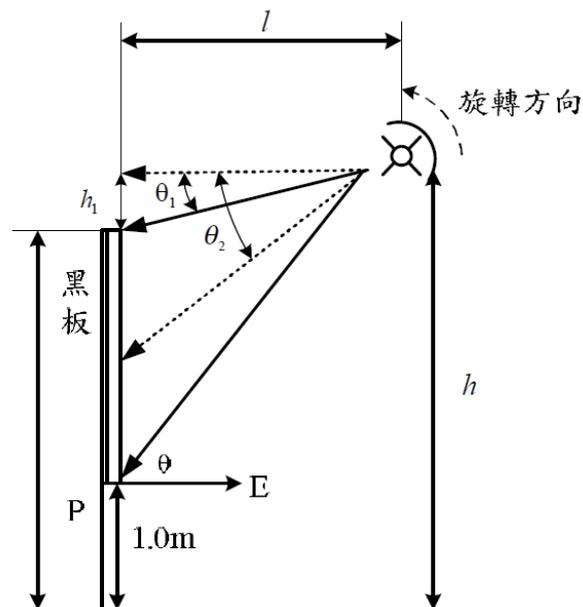


圖 6-2 黑板燈具裝設位置與投光照射角度【5】

(一)幼稚園嬰幼兒視覺仍未成熟，宜有恰當照明保護之：

1. 色溫宜採 3000K 至 4000K 暖色系。
2. 燈具尤須注意避免眩光，且須從幼兒的視角(高度、角度)觀察是否受影響。

(二)國小已逐漸學習事物：

1. 色溫宜採 4000K 暖白色，逐漸提升注意力。
2. 黑板與桌面照明應避免眩光，戶外直射自然光進入教室造成的對比差亦須納入考量。

(三)國中/高中職需高度集中精神，投影機等電子講桌普及：

1. 教室色溫宜採 4000K 暖白至 5000K 白色，提升注意力。
2. 實驗室或實習教室宜保持 5000K 白色，維持注意力。
3. 黑板與桌面照明應避免眩光，戶外直射自然光進入教室造成的對比差亦須納入考量。
4. 實驗、美術或其他精細作業，宜有較高的照度、演色性，可使用重點照明局部提升工作面。
5. 配合投影片授課，照明迴路可分區或採調光控制，使其凸顯投影內容又避免後排座位過於昏暗。

(四)大專院校除了延續上段使用態樣外，另有分組、專題研討等：

1. 上段各項均須納入考慮。
2. 配合教室空間運用(例如教室型改分組討論型座位配置等)，照明迴路、燈光配置宜納入考量。
3. 社團活動、運動、展演空間與廣袤校區人車照明，各有標準。
4. 開放校園與近乎全年無休的特性，常態性基礎照明設施宜有更高的效率、維護性及安全性。

表 6-1 CNS 12112 教育建築要求(摘錄)【3】

活動種類	照度 (Lux)	眩光限制 UGR <sub>L</sub>	平均演色指數 Ra	備註
幼稚園 托兒所	500	19	80	
教室	500	19	80	建議可調光
電腦教室	500	19	80	
黑板	750	19	80	防止鏡面 反射
實習桌	500	19	80	
美術教室	750	19	80	
實驗室	500	19	80	
實習工廠	500	19	80	
門廳	100	22	60	摘錄一般 建築
通道及走廊	100	28	40	
樓梯	150	25	40	
浴室、廁所	200	25	80	

### 三、辦公室照明

辦公室與工作場所照明光環境品質以追求高工作績效為目標。光強度足夠白光如同早上的太陽光(色溫約 6500K，白光)，可以讓人興奮覺醒度好，降低錯誤率，進而提高專注力；其次，不刺眼低眩光、均勻的光環境讓眼睛舒適，降低視覺疲累，都是優良辦公室照明的關鍵參數。國際大廠推動辦公場所智慧健康照明，人的身理因素影響視覺效能外，冗長的工作時間，更需要關注照射過多的藍光導致晝夜節律失調，研究證實動態照明模擬日光，提供上班族早中晚不同的白光，增進工作效率及幸福感。

視覺舒適度和生產力研究對工作場所照明關係重大。視覺舒適度是指照明環境對人眼的舒適度和視覺感受。一個舒適的照明環境可以減少眼部疲勞和視覺不適，提高工作效率和生活品質。其的影響因素包括光的亮度(眩光)、均勻度、色溫、色彩呈現等。生產力是指人們在工作、學習、生活等方面的有效能力。一個良好的照明環境可以提高人們的識字能力、記憶力、專注力和創造力，進而提高工作效率和生產力。生產力的影響因素包括光照強度、光譜組成、照明時間和照明模式等(如圖6-3至圖6-4所示)。

日本照明領導廠商實際驗證，以LED動態光色調變，營造辦公室工作照明不僅省電且舒適，且工作效率高，達到高覺醒度及低錯誤率，同時生理狀況好，核心溫度高、褪黑激素濃度高；未來的潮流所趨。

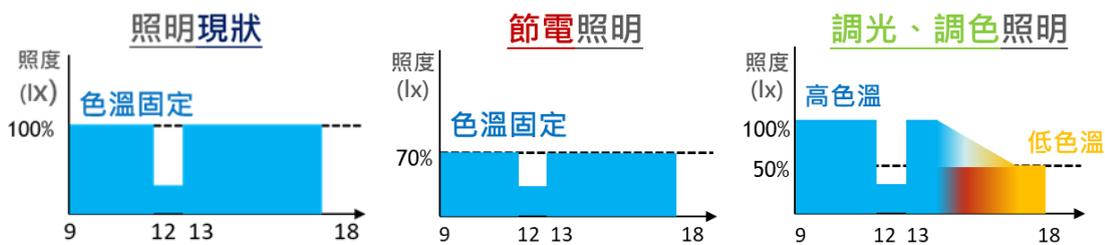


圖6-3 LED可調光調色辦公室照明



圖6-4 良好的辦公室照明是提升工作效率的基本要求

辦公室及工作場所照明注意事項：

- (1)辦公室照明以人為本，正邁向舒適健康、提升工作績效發展；需考慮視覺舒適度和生產力的因素，以實現照明環境的最佳效果(如表6-2所示)。
- (2)資訊時代、數位化辦公環境，顯示幕取代紙張，照明需求也從平面改為半立面，自發光的螢幕降低了照度的需求。
- (3)辦公室使用者年齡層25-65歲，隨年齡增加視覺功能退化，對照明的需求也隨之提高，辦公室照明設計宜適度考量此差異，提供檯燈或導入LED智慧調光有助於實現此功能。
- (4)日光會改善工作環境的工作滿意度，妥善利用全光譜的日光，透過迴路設計或自動調光控制節能，同時兼顧輻射熱效應對能耗的影響，日光利用在WELL的評分佔比高。

表 6-2 CNS 12112 辦公室(摘錄)要求【3】

活動種類	照度 (Lux)	眩光限制 UGR <sub>L</sub>	平均演色指數 Ra	備註
文書處理	300	19	80	
書寫打字	500	19	80	若有電腦螢幕，另有輝度限制
工程製圖	750	16	80	
會議室	500	19	80	必須能控制光
檔案室	200	25	80	
門廳	100	22	60	摘錄一般建築
通道及走廊	100	28	40	
樓梯	150	25	40	
浴室、廁所	200	25	80	

2004年國際健康建築研究所（International WELL Building Institute, IWBI）推出健康建築標準(WELL)，以醫學研究為準則，提出不同類別的健康建築設計準則，從人的健康系統需求對應建築物設計來提升空間舒適感。美國組織積極推動健康建築，包含我國建築界紛紛響應，各類建築的光環境設計成為照明系統的新挑戰，LED照明的新舞台。

辦公大樓的照明控制方法大體上可分為：

1. 室內大面積辦公場所。
2. 公共空間如走廊、洗手間、停車場等場所。
3. 夜間景觀照明。

一般常用的控制方式不外有：

(1) 配合時序控制器(timer)

於預定的時間自動地對照明環境作模式切換明滅控制，可避免因忘記關燈而浪費電能，以上下班、午休時段、夜間景觀照明之自動點滅照明應用最多。

(2) 配合晝光感知器

當陽光充足明亮時，可自動調降靠窗LED 燈具的輸出亮度或直接關閉燈具，但電路設計需採平行靠窗方向來配置，較適合於辦公場所靠窗側燈具、靠窗走廊、採光井、夜間室外景觀燈等的自動控制。

(3) 利用熱感開關裝置

在辦公大樓的小型會議室、會客室、廁所...等場所，由熱源感知器檢測空間內人體溫度，當室內沒人時自動關燈，可避免浪費能源，已廣泛使用於國內。

#### (4) 使用紅外線/微波感知器

常態下較少人員之場所可使用附加感知器之自主控制型燈具，自動控制燈具之明滅，當感測到有人接近時，自動點亮燈具；於人員離開後，經過預設定時間而自動熄滅燈具(如圖6-5所示)。



圖6-5 外掛式紅外線感測器(右側，現已有整合型產品)

#### (5) 整體群控式照明控制系統

採照明中央監控系統、二線式或DALI照明控制系統等，可機動配合辦公大樓作息變動需求，加以監控管理，以節約照明用電30%以上。

#### 四、醫療場所照明

醫療是人生命中的一環，醫療空間的光環境設計攸關病患的情緒及康復速率，且對輪值的醫護人員的生理節律有直接的影響，所以，符合身心健康且安全安心為首要要務；醫院的光環境應在醫護人員、病患與陪伴家屬(或照護人員)與訪客等使用者需求間取得平衡。

醫療院所照明需求特殊，系統24小時提供照明，使用者包含病人、醫護人員、照護人員等。醫院照明需考量視覺、節律、情緒三部分；視覺照明部分，醫護照明需滿足高演色性、足夠的照度及適切的光譜，讓醫護人員可明確掌握病患的狀況，辨識病徵不致誤判。而病人常常處於臥床的體位，對躺在病床上、心情欠佳的病人而言，照明燈具必須避免不舒適眩光，令其愉悅放鬆外，尚需有類日光的光譜及節律變化，以利身心回復健康。

嬰幼兒更是醫院中相當特別的使用族群，由於短波長的光可穿透嬰幼兒眼球、傷害視網膜，因此嬰兒房光的使用需要特別慎重。而醫護人員需要的高亮度照明，對躺著的病人會形成刺眼的光，LED可調光恰恰解決此困擾，若加上可調光、可調色溫的床頭燈，即可營造類日光的晝夜節律照明。針對醫護站的照明，基於工作型態及任務條件，必須考慮平面照度、垂直照度及節律照明；其中節律照明(即隨日照時間調整色溫與照度)也是加護病房ICU的重點專注事項。

醫療照護場所照明的注意事項：

- (1)國外大量研究報告證實，臨窗、較近門邊的病人住院天數短，顯示光對身心健康的重要性。
- (2)照明系統柔和舒適、明亮均勻、健康安全、低眩光、低閃爍及至日光利用，考慮設置照明控制，提供節律照明、時序控制、照明管理及緊急照明功能。

- (3)病房病房/護理站照明場景包含：醫護模式、休息模式、睡眠模式、交誼模式等，自動調光、感測開燈照明環境強調明亮舒適、健康安全
- (4)急診室、ICU、老人照護中心及護理站等強化節律照明。
- (5)LED燈具的性能要求與一般建築照明無差異，唯獨對固定色溫的照明，一般喜好採用中低色溫，例如4000K。
- (6)可參考CNS 12112 針對健康照護空間室內、作業或活動種類的照度、眩光與演色性提出的建議參數(如表6-3所示)。

表 6-3 CNS 12112 健康照護空間(摘錄)要求【3】

活動種類	照度 (Lux)	眩光限制 UGR <sub>L</sub>	平均演色指數 Ra	備註
等候室	200	22	80	地板平面 照度
走廊(白天)	200	22	80	
走廊(晚上)	50	22	80	
病房	100-300	19	80	
淋浴間 洗手間	200	22	80	
檢查治療	1,000	19	90	
一般診療室	500	19	90	
手術室	1,000	19	90	
手術部位	特別，10,000-100,000			
加護病房 一般照明	100	19	90	樓版面照度
加護病房 診療、治療	1,000	19	90	床面照度

## 五、商業空間照明

商業展示空間(百貨門市、量販店、超市、飯店、旅館等)照明設計上需要更多的裝飾性與藝術表達，使得建築與室內環境更為協調及美觀。內部空間必須滿足寬敞明亮、動線清晰及物品具足夠吸引力，高演色性讓物件的色澤鮮明逼真，因此是商業照明光源的必要條件。商業照明強調營業績效，吸引消費者的目光注意及達成第一階段的目標，其照明系統主要重點有二：(1)大面積均勻的泛光照明，可依據天花板高度選擇大角度的天井燈或室內燈具(如圖6-6至圖6-8及表6-4所示)；(2)展示照明凸顯物品形成焦點，焦點照明以主視覺與環境光差異營造強對比，燈具的光束角及中心光強度所主宰(如圖6-9所示)。

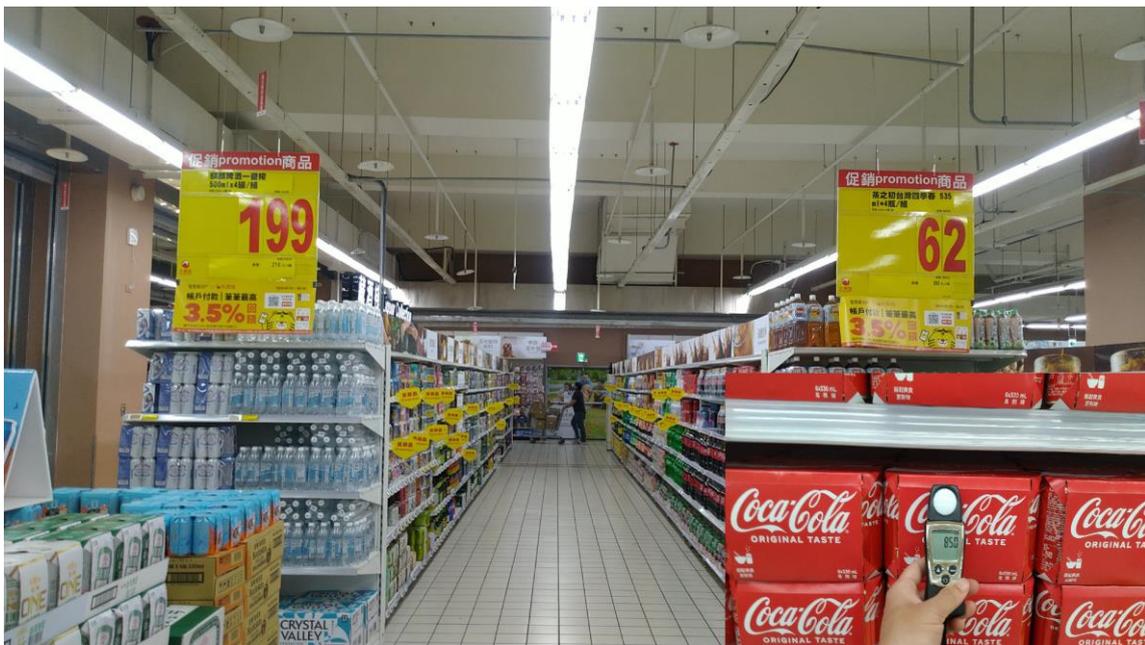


圖6-6 賣場大面積均勻的泛光照明  
(走道約500 Lux、商品表面約850 Lux)



圖6-7 購物中心以平板結合調光大面積均勻的泛光照明



圖6-8 賣場照明色溫與重點照明分布

(左側背景生鮮燈、中間蔬果暖黃重點照明、右側通道白光全般照明)



圖6-9 貨架的重點照明(暖色系、1300 Lux)

德國Globussupermarket,Saarbrücken案例透過焦點照明及向上彩光設計手法提高**6%**營業收入(如圖6-10所示)。將間接與重點照明於正確的角度、色溫下，可使店鋪呈現柔和、均勻又能凸顯商品亮點(如圖6-11所示)，倘若光源、被照物配置角度稍有偏差便容易出現陰影，造成商品外觀誘因略低，如圖6-12所示。



圖6-10 商業展示照明類型比較



圖6-11 間接與重點照明凸顯店鋪柔和與商品亮點



圖6-12 賣場貨架的照明陰影(下層)

表 6-4 CNS 12112 常見服務業(統整各節、部分摘錄)要求【3】

活動種類	照度 (Lux)	眩光限制 UGR <sub>L</sub>	平均演色指數 Ra	備註
理髮廳	500	19	90	
貴重寶石 加工	1,500	16	90	色溫至少 4000K
製錶(手工)	1,500	16	80	
零售店 銷售區	300-500	22	80	
零售店 收銀區	500	19	80	
餐廳、旅館 宴會場	200	22	80	
餐廳、旅館 歐式自助	300	22	80	
旅館、旅館 會議室	500	19	80	建議可調光
旅館、旅館 走廊	100	25	80	夜間可接受 低照度
門廳	100	22	60	摘錄一般 建築
通道及走廊	100	28	40	
樓梯	150	25	40	

## 六、停車場與人行步道

建築物除了前幾節所提到的場域外，停車場與步道也是照明的重點，我們可把停車場切分為四個區塊，車道、車格、人行通道與進出口(如圖 6-13 所示)，停車場需將安全放在首位、節能則是其次，而明亮(照度高)、均勻可提供良好的視覺環境、提升駕駛注意力，照明標準可參考我國 CNS 12112 對室內停車場的規範要求(如表 6-5 所示)。

簡而言之，停車場照度高低依序為進出口>人員通道>車道>停車格，使得駕駛出停車格後注意力能集中於車道、穿越人員、轉彎處/進出口等處，避免全場照度/色溫相同，使駕駛視覺感官毫無重點。較佳的範例如燈具沿車道上方配置提供良好的連續照明(圖 6-14)，該範例之停車場整體布局呈現圓弧形、梁柱較多，因此沿行車方向(右側)梁柱有增設重點照明，使駕駛人明確知曉障礙物與設施對應位置(圖 6-15)

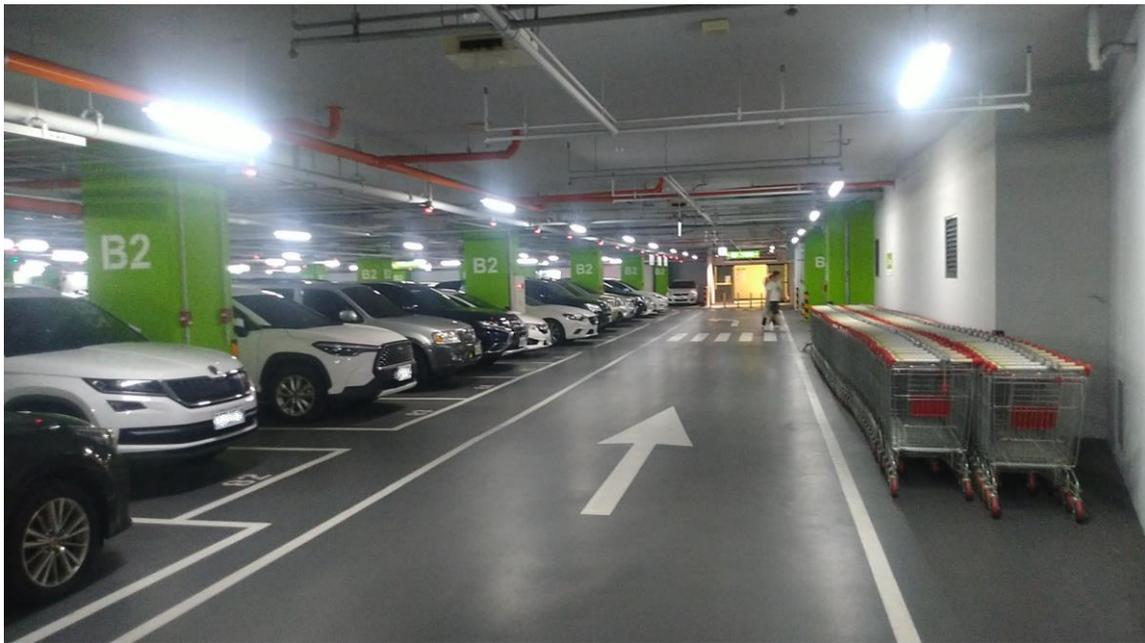


圖6-13 某量販店停車場配置示意圖

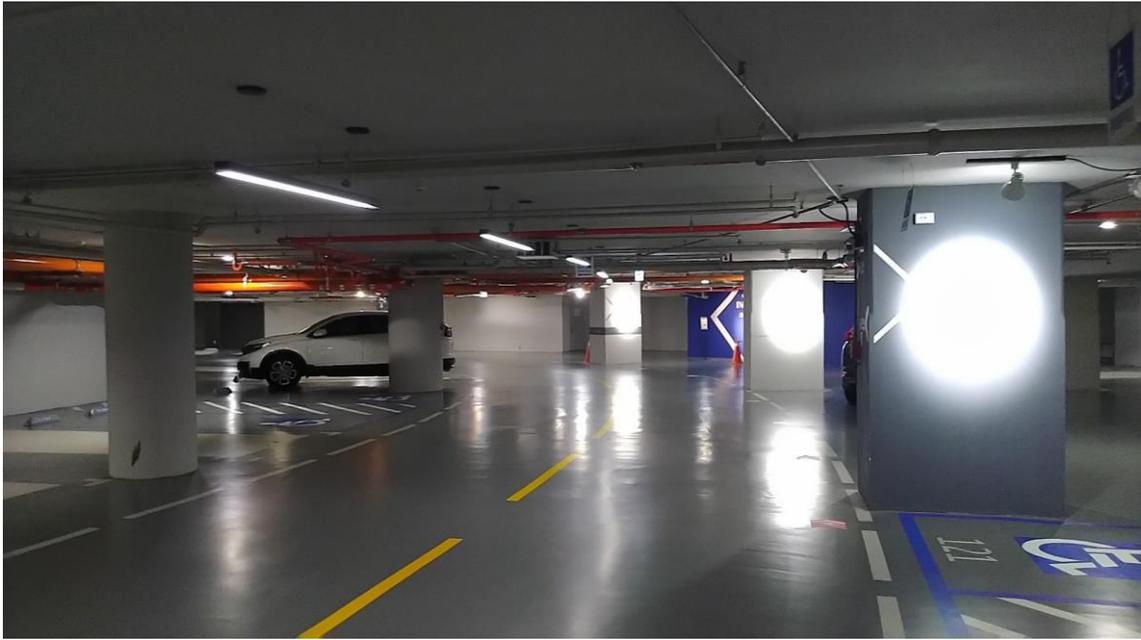


圖6-14 某飯店停車場車道照明配置示意圖



圖6-15 某飯店停車場梁柱重點照明示意圖

由表 6-5 可看到進出口白天規範照度較高，然而這只是「最低」標準，實質仍視車道開口方位與陽光之間的明暗對比，就像是車輛從明亮處進入偏暗的隧道、地下室，一瞬間根本無法看到前方路況，過陣子視覺才恢復卻可能因此釀成事故；另一方面常見的明暗對比不良，則是屋頂停車場增設太陽光電板(如圖 6-16 至圖 6-17 所示)，日間地面的標線與穿越光電板的強烈陽光產生混淆，偶而就有傳出駕駛停錯車格、停歪的新聞，對此可於下方懸掛黑網、車格標線顏色增加對比等方式，避免與陽光造成混淆，而照明也需配合光電板調整位置，使光源位於光電板之下完整涵蓋場面。

表 6-5 CNS 12112 公共停車場(室內)要求【3】

活動種類	照度 (Lux)	眩光限制 UGR <sub>L</sub>	平均演色指數 Ra	備註
進出口 (白天)	300	25	40	必須能辨識 安全顏色
進出口 (夜間)	75	25	40	
車道	75	25	40	
停車場	75	28	40	垂直照度增加提高使用者辨識能力，以提高安全性。
通道及走廊	100	28	40	在出口和入口提供過渡區，避免突然變化。



圖6-16 屋頂停車場設置太陽光電示意圖



圖6-17 屋頂太陽光電的間隙與地面標線混淆

節能面而言，現今LED照明已整合感應器(如圖6-18所示)，其區分為微波與紅外線感應兩種，前者可穿透障礙物、後者無法穿透，控制分成點滅或調光型，兩者皆是觸發後全亮，而後者於設定秒數後自動變暗(如

30%)，讀者可依場域選擇合適的感應式燈具，然而有安全顧慮的場域，應避免全面使用感應式照明，通常僅應用於汽車停車格區域，畢竟車輛進出車位時才需要加強照明，其餘時間由車道照明補充即可；而機車停車格由於一盞燈涵蓋範圍達多輛機車，且車道與車位緊鄰，若設置感應式燈具容易引起車道的頻繁點滅(閃爍)，反而有安全顧慮。



圖6-18 感應式燈管示意圖

## 七、戶外照明

戶外照明相當廣泛由建築景觀、廣場與人行通道等組成，在此著重於服務業建築周遭應用場景。建築景觀重點在於使被照物(建築、企業標誌、廣告)在夜間依想要表示的色調(色溫)、均勻且完整呈現，因此燈具的照射角度相當重要，透過多燈、多角度照明，使其夜間完美呈現被照物之美(如圖 6-19 所示)，需注意的是依被照物特性(如圖 6-20 所示)，細節是否有陰影或燈具角度造成光害(對空、鄰房等)。



圖6-19 新竹-竹塹城迎曦門照明示意圖



圖6-20 新竹-竹塹城迎曦門照明凸顯建築之美

廣場是眾人休閒與舉辦活動的場所，包含行人、自行車並且涵蓋全齡的使用者，因此空間宜以暖色調(低色溫)、慢步調為主，重點在於照明、樹木、設施的配置且適時修剪樹木，避免光源受阻造成局部陰影、眩光，以圖 6-20 為例，光源涵蓋廣場分布均勻度高，並無常見樹木底下一片陰影或直射視野的光源；若有步道或自行車道穿越，則需於穿越點(人、車)加強照明，使雙方交會時能更加注意對方。



圖6-21 廣場照明示意圖

若場域較大時，往往園區/院區還會有道路相連、人車交會，自然安全是最重要的，而具體車道設計不在此手冊說明範圍，讀者可參內政部國土管理署之都市人本交通道路規劃設計手冊較妥，照明如開頭所述「畫重點」，因此依照重要性宜有色溫、照度漸變的配置，並非全般、高亮度照明就是最佳。

若以園區/院區這類車速較慢、行人較多的場域，主體應是「人」的安全為首要，因此照明會放在行人穿越處(配合標示/標線引導)，給予重點照明如圖 6-22 所示。而停車場出口鄰接車道時，亦可透過照明使往來人車將視線放在「交會點」，如圖 6-23 所示。善用照明設計可使用路人正確的注意到重點，避免事故的發生。



圖6-22 行人穿越道照明示意圖



圖6-23 停車場出口照明示意圖

## 柒、智慧照明

CNS 15562智慧照明標準定義：將燈具、感測與資訊管理平台透過訊號連結，可依人的心理/生理或被照物等需求自動調控出最佳視覺或最適合人之照明光環境，可搭配網路進行即時遠端監控，使照明系統更節能、聰明、人性化，符合使用需求。簡而言之，智慧照明就是因人、因時、因事提供最適化照明。

智慧照明乃架構在智慧控制基礎上，系統至少要有感測模組、人機介面、控制中心、通信介面、資料庫及可控之照明設備等(如圖7-1所示)。進行運作時，使用者可預先透過人機介面(電腦、手機等)，對系統進行各項功能設定及管理控制，之後，系統將依預設模式或結合感測裝置進行自動控制，人機介面和燈具間可以是直接或透過中繼器、開道器等進行通訊；至於通訊介面又可分為有線或無線兩種方式。



圖 7-1 智慧控制架構

## 一、控制的關鍵組件

### 1. 人機介面

為提高使用者的接受度，人機介面產品設計日益多元，諸如行動裝置 (APP)、中央控制中樞(PC)、可攜式遙控器等，並分成：(1)圖控化介面裝置：可觸發功能與調整參數之控制面板並能顯示目前燈具狀態；(2)傳統壁面電源開關：系統失效仍維持燈具開/關基本功能；(3)可程式化數位壁面開關：依需求設定功能之實體開關以及智慧音箱等，貼近個人到全系統控制的需求。

### 2. 感測裝置

晝光感應器、紅外線、微波、音箱及攝影機等。

## 二、照明控制功能

智慧燈具是節能標章品項之一，最簡便且智慧的燈具，安裝方便。LED燈管內建感測器實現燈光自動控制，當感測人或物體時燈光就100%點亮，燈具分段調光通常是20~30%與100%，可設定延時長短。智慧燈具適用空間於室內停車空間、圖書館、展覽室、走道、逃生通道以及人員使用頻率低的空間。亦可將數盞燈組成一組(同一控制迴路)，利用智慧燈具控制一組燈，如圖7-2所示。

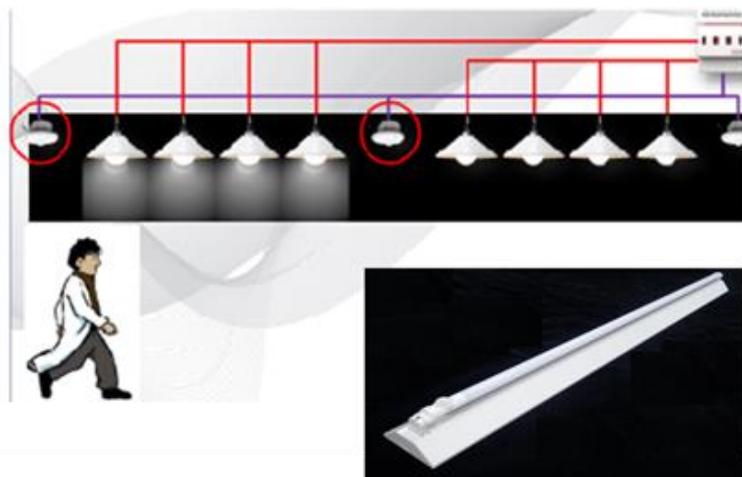


圖 7-2 智慧燈具應用

## (一)調光與時序控制

調光是 LED 照明的絕大優勢，對節能的貢獻外，對於照明光環境及燈具壽命也具有具體助益。

### 1. 初期照度調降：

新燈具的光通量高，照度隨之高，初期調降輸出功率，讓控制照明系統生命週期之照度為恆定；估計第一年功率可調降 20-30%。因 LED 的操作功率是隨時間逐年提高，節能之餘還可增加 LED 照明的使用壽命(如圖 7-3 至圖 7-4 所示)。

### 2. 調光及時序控制：

可實現因時間、地點之節能最適及個人化照明；辦公室透過時序控制上班、午休及下班後照明自動啟閉(如圖 7-3 所示)，節能省人力。

### 3. LED 路燈智能化：

隧道照明的兩端亮度跟隨戶外亮度，白天亮、夜晚暗，讓駕駛者的視覺調適更舒適，解決往昔黑洞效應的問題。

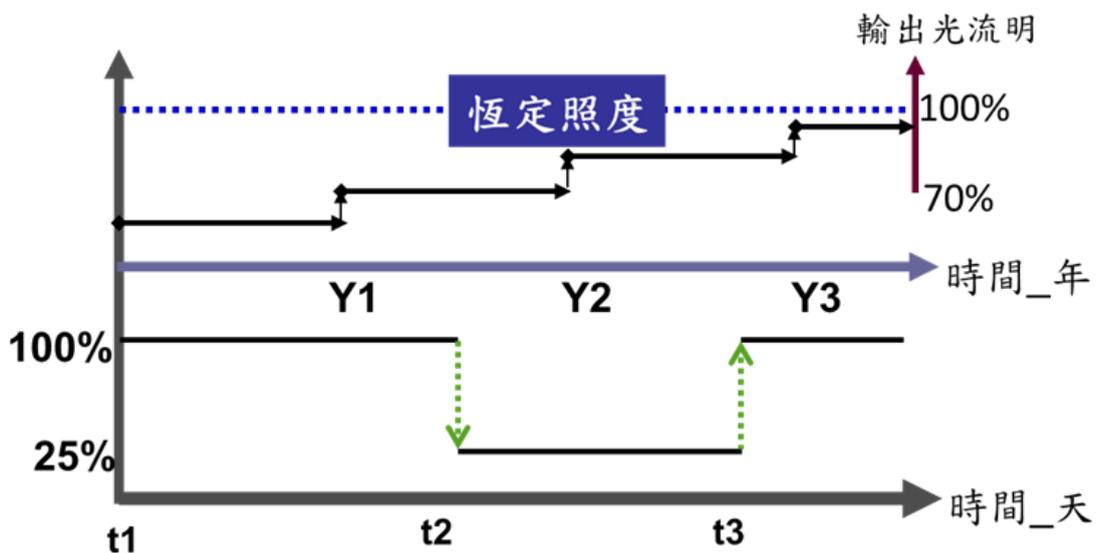


圖 7-3 恆定照度說明圖

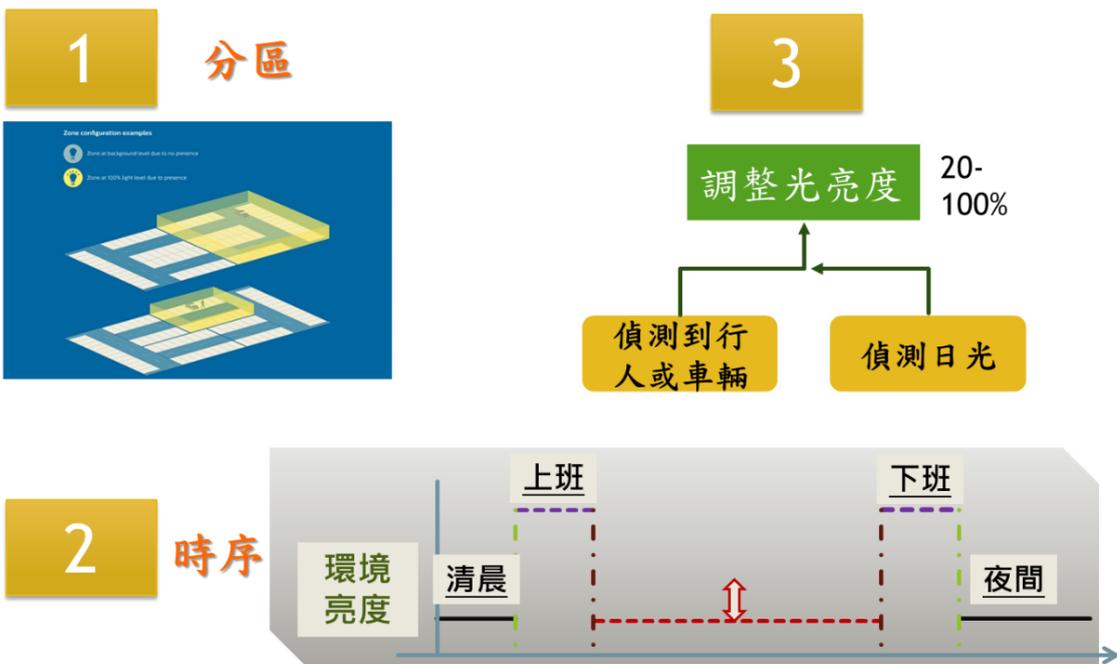


圖 7-4 停車場 LED 智慧控制

## (二) 場景及情境照明

滿足各空間的不同的照明，預設情境或透過感測啟動照明模式，大型會議廳簡報模式、演講模式、表演及頒獎活動等(如圖 7-5 至圖 7-6 所示)；活動中心及體育場館因應各類活動或競賽，專業照明設計列在場景中，方便智慧化。照護中心、醫院病房照明也需要類似的功能。

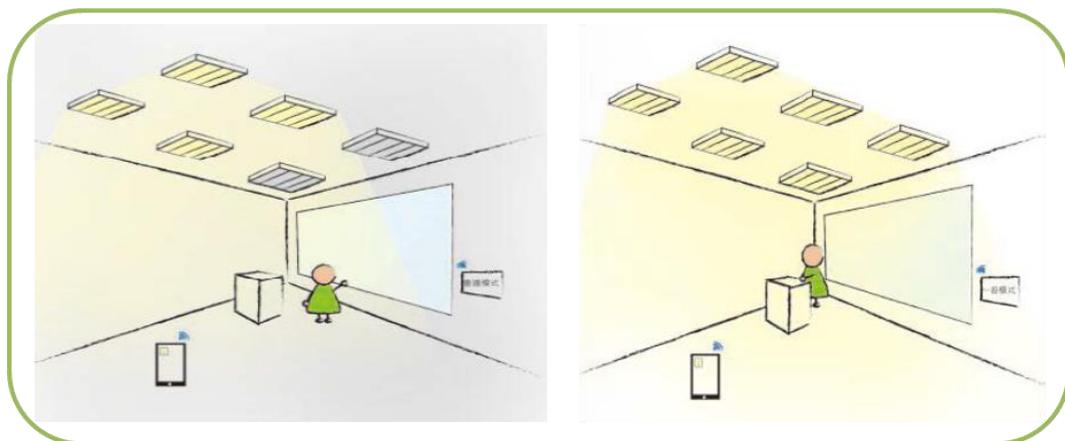


圖 7-5 會議室場景控制

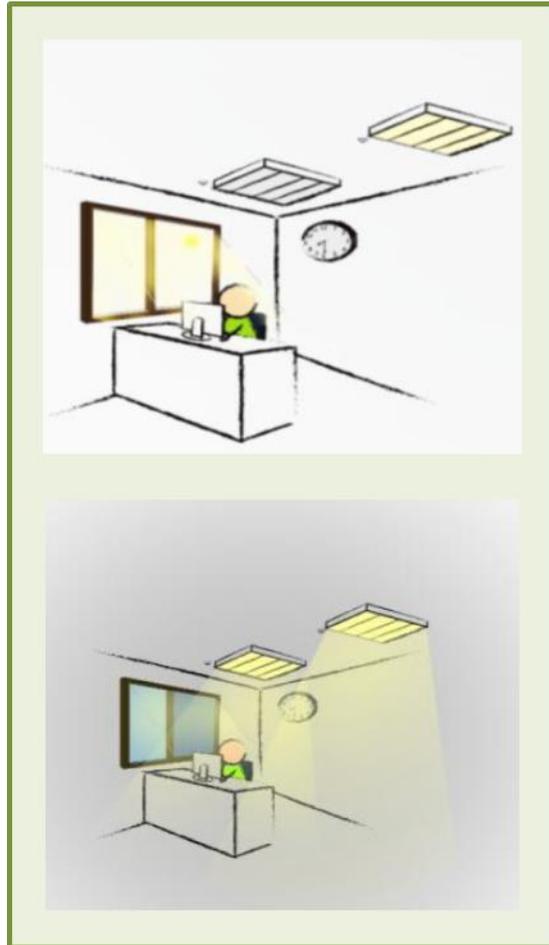


圖 7-6 辦公室晝光利用及空間場景應用

### (三)照明系統管理

老舊建築的照明系統配電併入插頭中，致無法確實掌握照明系統的用電；而隨著 LED 照明的普及，產品信息也需要進行管理，以利後續維護；若為建築照明就需要監測設備狀態。所以系統管理宜具備幾項功能：(1)能源管理：監測並紀錄系統及燈具各種參數：功率、照度、電流、電壓、溫度及使用時數等；(2)設備管理：設備數量及類型資料庫；監測設備狀態：分析故障原因、預警報修；最後，物聯網之雲端監控管理。

### 三、智慧控制技術現況

智慧控制為滿足不同規模的照明系統，技術發展趨向客製化，以下較關鍵的幾種技術。

1. 手機 APP 是單盞燈具或控制一個區域，APP 可預設多種場景，例如在病房中醫護時間、休憩時間、訪客時間及睡眠時間等
2. 調光控制方式仍然是百家爭鳴的狀態，在國內以類比 0-10V 與數位 DALI-2 為主流，國際上 KNX/ Casambi/ Matter 等均有支持者
3. 通信技術：有線技術訊號穩定、系統可靠、無資安疑慮但成本高；無線技術 WiFi、藍芽是主流，佈線成本低、操控方便且拓展性強等，但組網複雜、訊號有死角且容易被干擾。

### 四、DALI 數位控制

DALI 數位控制介面是 IEC 62386 所訂定的照明標準協定，採認證機制，所有通過認證的智慧照明各零組件及驅動電源都可以互通互聯(如圖 7-7 所示)。數位控制最具吸引力的就是每個單元有獨立的地址，可對個別燈具獨立控制，且具狀態回饋雙向通信及同步調控功能，確實對照明設備得狀態監視進而控制以符合環境的需求；此外，DALI 使用軟體可重新配置空間而不需要重新佈線，打造有彈性靈活和可持續的解決方案。

DALI 通訊協定需要微控制器搭配晶片上周邊裝置處理。DALI 系統包含控制中心、控制驛站與受控單元，內建完整標準控制指令集，每個控制驛站可控制 64 個照明迴路、16 個群組及 16 個場景應用，數位訊號介面 (DSI) 提供開放式標準架構的替代方案。DALI 採兩線式有線傳輸，相較無線通信其穩定性佳，信號傳輸最長可達 300 m。DALI 系統進步至 DALI2，系統成本高是最大的弱勢。

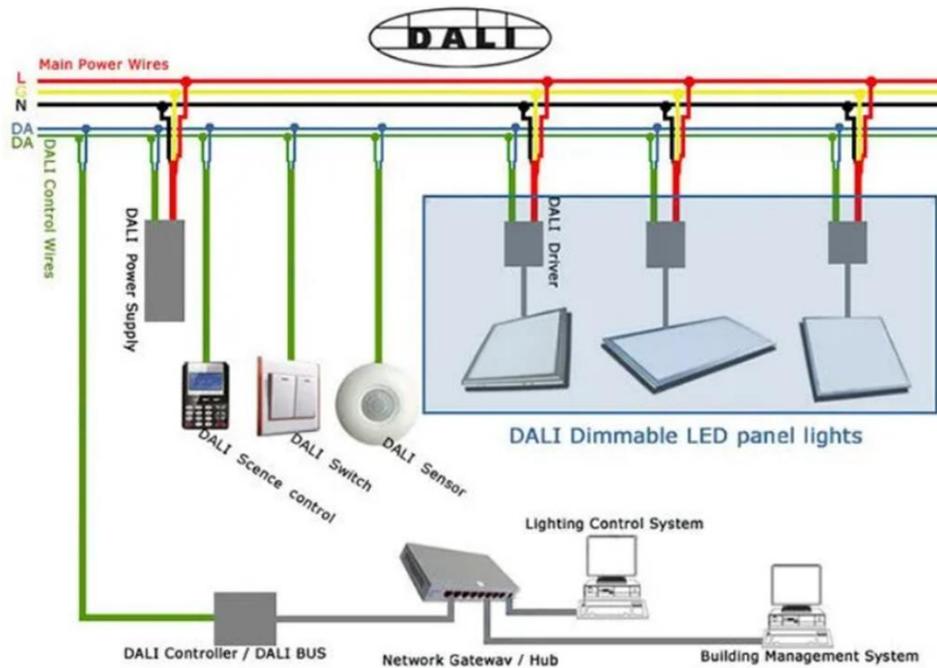


圖 7-7 數位控制 DALI 示意圖

## 五、經濟部能源署先進照明示範補助計畫

104 年經濟部能源署為推動智慧照明示範應用及通訊控制介面規格，引領照明產業升級，透過補助、訂技術規範，建實場驗證、統計成效，佈局智慧照明(如圖 7-8 所示)。

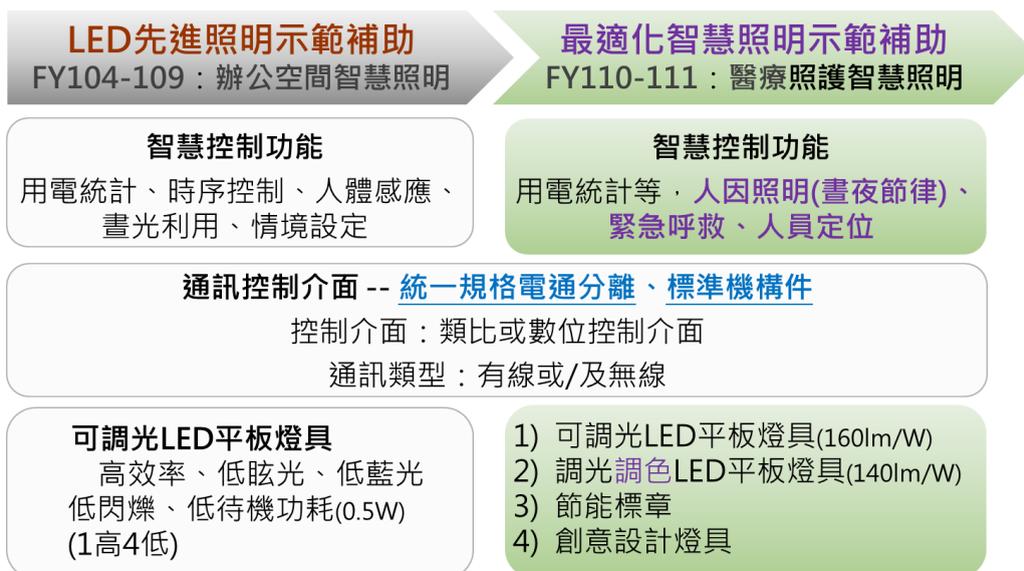


圖 7-8 先進照明示範補助計畫內容

## (一)技術規範--照明系統與智慧照明控制系統要求

### 1. 智慧照明控制系統須包含照明控制與能源管理監測功能：

- (1)能源管理系統：監測並定時記錄所有 LED 燈具(含不可調光燈具)之照明總用電量，其最大時間間隔為 15 分鐘。
- (2)能源管理系統：輸出照明用電資訊，圖表紀錄時段最大用電功率及用電度數等資訊。
- (3)照明控制：依需求搭配時序控制、人員感知控制、晝光照明調光、場景照明設定/呼叫等功能。
- (4)照明控制系統：具備整合控制，對燈具進行獨立或群組調光控制。

### 2. 中央控制失效保護：智慧型燈具須能透過壁面開關，直接開、關及調光，避免系統失效導致無法使用照明。

### 3. 燈具通訊介面：

LED 燈具其智慧控制宜採用有線(1-10V、PWM、DALI、PLC)或無線(ZigBee、WIFI、Bluetooth)之通訊介面。

## (二)智慧燈具介面規格

智慧燈具，採電-通分離之控制通信標準介面(如圖 7-9 所示)，實現互聯、互通、互換，突破維修關卡，降低系統成本，增進接受度。

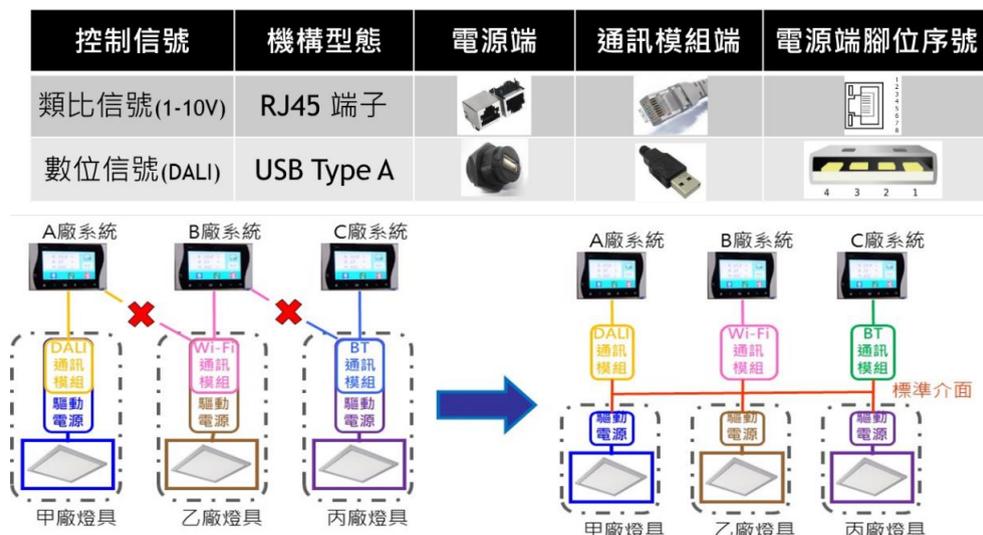


圖 7-9 智慧燈具介面示意圖

### (三)推動成效

104-109 年全台公部門 235 處示範場域，平均節電 65%，109 年起年節電 897.8 萬度，統一通訊控制介面規格，降低成本、便利維修。

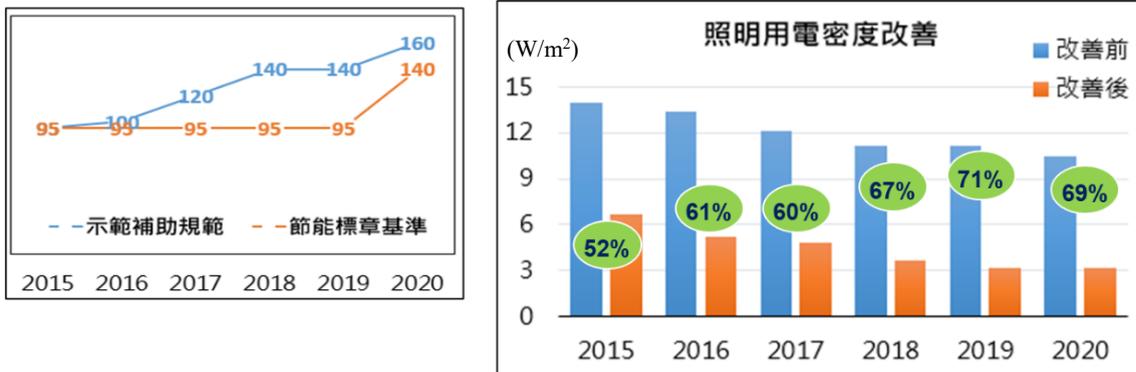


圖 7-10 示範計畫之燈具能效集節電效益

### (四)LED 照明智慧控制節電效益

項目	換裝前	換裝後 (僅換 LED 燈)	改善後 (啟用智慧控制功能)
場域總面積 (m <sup>2</sup> )	6,583.4		
照明設備 年使用天數(天)	365		
設置總功率 (W)	62,022	21,371	
<b>LPD(W/m<sup>2</sup>)</b>	<b>9.4</b>	<b>3.2</b>	
年用電量 (度)	271,656	93,605	18,433
<b>節電率 (%)</b>	—	<b>65.5%</b>	<b>93.2%</b>

## 捌、照明模擬

DiaLux Evo(DIALux Electronic Visualization)是一個專業且免費的照明設計軟體，可以由官網站上下載使用，它可應用於室內照明、戶外照明、道路照明、緊急照明等，其功能上主要有光學計算、3D室內模擬、燈光設計、效果模擬、節能分析等。使用者可藉由DiaLux Evo進行精確的光學計算、照明設計規劃、視覺化顯示與室內外區域光環境評估，以確定在空間中光線分佈與預測照明效果。

DiaLux軟體亦提供三維建模工具(如圖8-1至圖8-2所示)，建立精確的包括牆壁、天花板、地板等室內空間模型，以便進行照明設計，此外用戶可以藉由選擇不同類型的照明設備，放置在室內模型中，以創建不同的照明場景。使用者亦可以模擬不同時間、季節和天氣條件下的照明效果，呈現照明方案的表現。DiaLux提供節能分析工具，可評估不同照明設計方案的能源效益。

DiaLux Evo對照明設計師、工程師、建築專業人員或相關人員，提供一個非常有用的設計與驗證平台，以確保空間照明達到的效果，同時兼顧節能效益。圖8-2所示為所需物件選擇與擺設，完成後即可以選擇工具列上的”計算元件”之”計算”，計算整體光環境，其結果如圖8-3所示，可以看到計算後光環境的結果，包含了照度等高線圖、使用3D與等高線呈現，亦可使用偽色方式呈現光環境的分佈狀況，藉由這些呈現結果即可判對，室內燈具的擺設與光環境是否得宜。

國際上以照明用電密度LPD( $W/m^2$ )評估照明系統的效益，LPD定義是單位面積的照明安裝功率  $\Rightarrow$  燈具總功率/空間面積。能源效益依據圖8-3照度模擬結果證明設計合宜，即可將空間大小( $m^2$ )與燈具總功率(等於燈具功率(W)乘數量)帶入計算得出。

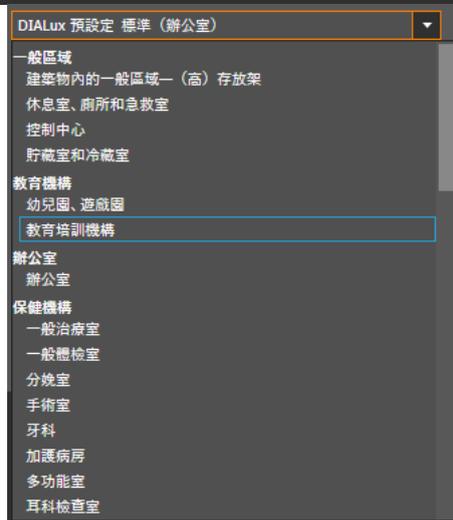
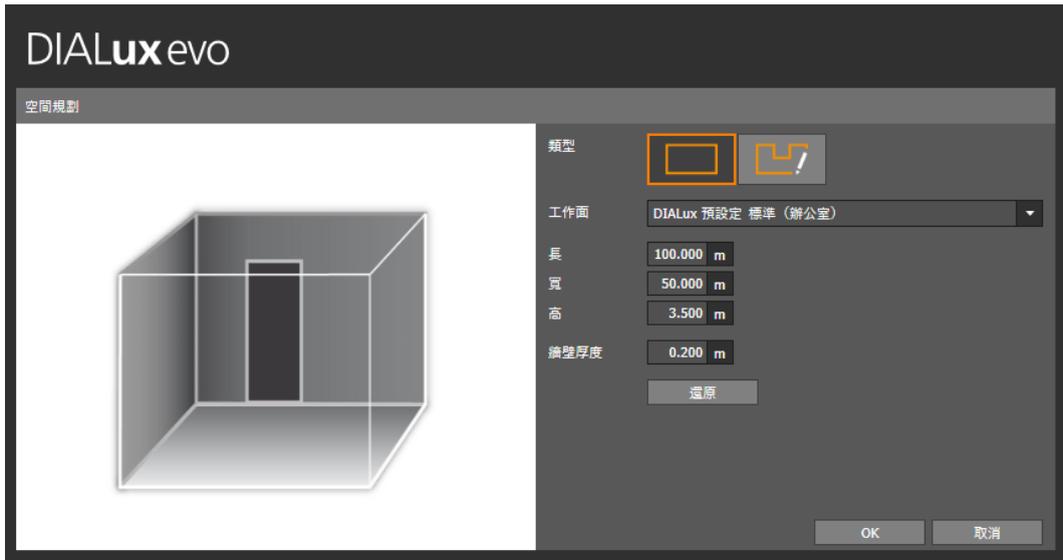


圖 8-1 全中文化界面建立模型

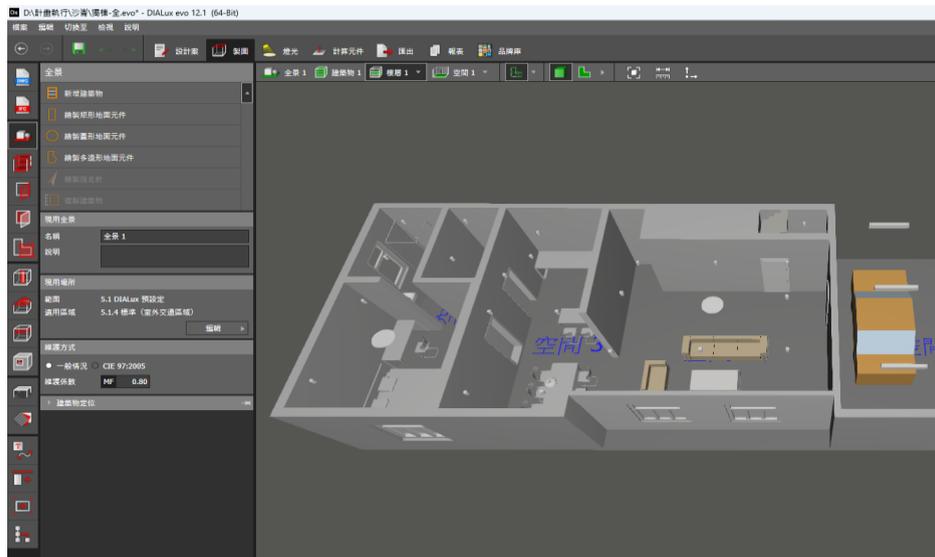
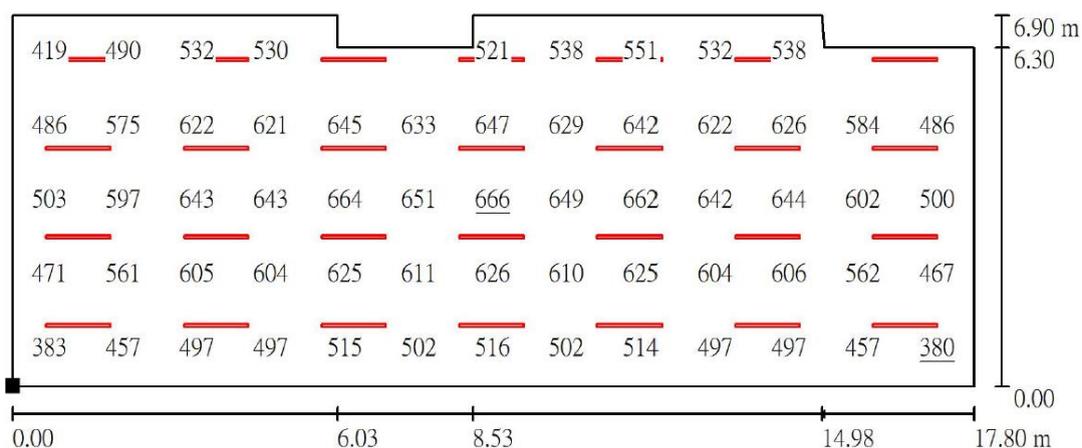


圖 8-2 各種所需物件選擇與擺設完成



空間高度: 4.300 m, 安裝高度: 3.300 m, 維護係數: 0.80

數值單位: Lux, 比例 1:128

表面	$\rho$ [%]	平均照度 [lx]	最小照度 [lx]	最大照度 [lx]	最小照度 / 平均照度
Workplane	/	559	380	666	0.679
Floor	20	504	300	605	0.596
Ceiling	70	148	107	175	0.724
牆壁 (10)	50	312	118	2227	/

圖 8-3 照度模擬

表 8-1 美國 ASHRAE/IESNA 90.1-2019 建議值

空間類型	照度 (lx)	LPD (W/m <sup>2</sup> )
開放式辦公室	323 to 538	7.3
會議廳	323	13.9
體育館	1076	11.8
零售銷售區	323	12.9
走廊	54	5.4
一般倉儲	107	8.6
一般製造	323	12.9;18.2 (天井)
停車區	2.2	1.6

## 玖、結語

LED照明發展更新疊代速度飛快，快速取代各類傳統燈具，進一步將光導入過往未使用的領域，其節能的特性為大眾所知；以服務業為例，照明約佔整體建築耗能20%，而LED取代傳統光源可降低30~50%耗能，因此透過更新光源即可降低建築6~10%耗能，且受益於便宜的光源成本，其投資回收年限僅約1~3年。以2030年、2050年的全球減碳目標而言，LED的發光效率仍有相當大的提升空間，讀者若欲採購時，需注意標準不限於本手冊提及之範圍，而應參考我國節能標章所列指標為依據。

LED與傳統光源不同，選購與配置上更需注意光源規格與場域需求，避免因色溫、色容差、指向性等特性，造成光的呈現不如預期；在可見的未來隨著智慧燈具價格趨於低廉、通訊技術門檻的降低，其應用將更為多元，也期盼讀者使用各類光源時，適時因地導入節能等各類控制，進一步降低耗能、提升安全或多情境變換。

回顧本手冊開頭強調照明是光的應用，用光為世間萬物畫上不同的「色彩」或是「重點」，隨著LED光源的效率增長，讀者需知節能乃當用則用、當省則省，並非為了節能就禁止使用，亦非設備節能就恣意濫用，因此或許我們該開始思考過量、不當照明配置，趁此機會理解光源特性、善用趨於低廉適當的控制方案，適當點綴周遭環境，共同達成全球淨零排碳的遠大目標。

## 壹拾、參考文獻

- [1] 國家度量衡標準實驗室(2023)，光強度的單位：燭光(cd)，查詢日期：2024年9月10日，檢自：  
<https://www.nml.org.tw/measurement/new-knowledge/3603-%E5%85%89%E5%BC%B7%E5%BA%A6%E7%9A%84%E5%96%AE%E4%BD%8D%EF%BC%9A%E7%87%AD%E5%85%89.html>
- [2] 國家標準(CNS)網路服務系統，CNS15630，查詢日期：2024年9月10日，檢自：[https://www.cnsonline.com.tw/?node=search&locale=zh\\_TW](https://www.cnsonline.com.tw/?node=search&locale=zh_TW)
- [3] 國家標準(CNS)網路服務系統，CNS12112，查詢日期：2024年9月10日，檢自：[https://www.cnsonline.com.tw/?node=search&locale=zh\\_TW](https://www.cnsonline.com.tw/?node=search&locale=zh_TW)
- [4] International Energy Agency，Lighting，查詢日期：2024年9月11日，檢自：<https://www.iea.org/reports/lighting>
- [5] 財團法人台灣綠色生產力基金會，2009，照明節能產品應用手冊。
- [6] 財團法人台灣綠色生產力基金會，2016，LED 照明節能應用技術手冊。
- [7] 財團法人台灣綠色生產力基金會，2008，照明系統 Q&A 節能技術手冊。
- [8] 經濟部能源署節能標章全球資訊網站，CNS15630，查詢日期：2024年9月10日，檢自：<https://www.energylabel.org.tw/>
- [9] 國家標準(CNS)網路服務系統，CNS16027，查詢日期：2024年9月10日，檢自：[https://www.cnsonline.com.tw/?node=search&locale=zh\\_TW](https://www.cnsonline.com.tw/?node=search&locale=zh_TW)
- [10] International Energy Agency，Net Zero Emissions，查詢日期：2024年9月11日，檢自：<https://www.iea.org/topics/net-zero-emissions>
- [11] 美國能源部固態照明計畫技術機會，2022，Solid-State Lighting R&D Opportunities
- [12] 美國能源部個態照明計畫，2023，The Energy and Operational Impacts of Using 0-10V Control for LED Streetlights
- [13] 國際照明委員會(CIE)技術報告，2023，CIE TN 014:2023 Example Luminance Measurement Setup for UGR
- [14] 經濟部，2023，臺灣 2050 淨零轉型「節能」關鍵戰略行動計畫（核定本）
- [15] 德國照明學會，DiaLux Evo，查詢日期：2024年9月11日，檢自：<https://www.diaLux.com/>
- [16] ASHRAE，Standard 90.1-2022—Energy Standard for Sites and Buildings Except Low-Rise Residential Buildings，查詢日期：2024年9月11日，檢自：<https://www.ashrae.org/technical-resources/bookstore/standard-90-1>