

# 從博物館照明採購談 LED 燈具規格

翁誌勵<sup>1</sup>

## 摘要

發光二極體 (LED) 光源目前已經成為主流燈具。在經濟部能源局有計畫地推廣下，政府單位透過採購程序，對於室內照明汰換更新。本文試圖自博物館從業人員角度出發，由實務面介紹博物館辦理展示照明採購作業時，針對 LED 燈具需要詳列的諸多規格。我們首先討論與 LED 晶片相關的規格，包括色溫、顯色性、發光效率與功率等。其中針對顯色性，我們介紹了顯色指數 (CRI) 與近年新發展的量測規範 TM-30。而軌道燈具的規格則是本文的介紹重點。我們探討了燈體結構、投光角度，以及可以改變光斑的相關附屬配件，並以實例呈現展示照明效果。此外，我們也介紹了檢驗規範，以確保燈具的使用安全。辦理採購是博物館從業人員重要工作之一，本文透過燈具規格的介紹，希望能夠對於展示照明及燈具採購的進行，有所幫助。

關鍵詞：博物館照明、發光二極體、燈具規格、軌道燈、顯色性、採購實務

## 前言

發光二極體 (Light-Emitting Diode，以下簡稱 LED) 光源，由於其較鹵素燈泡或螢光燈管具有更佳的發光效率，因此在節能特性上具有優勢。再者，由於 LED 的發光機制與另兩種不同，在實務燈控操作上具便利性，因此 LED 逐漸成為常用照明的主要光源，各廠商並且開發出各種不同形式的燈具，以因應各種場合需求。

近年來 LED 光源也逐漸被博物館或美術館所採用。儘管 LED 光源從文物保

存觀點上來看，仍然存在疑慮 (張琳，2010；2014)；然而如果考慮 LED 的節能特性，採用 LED 光源除了能夠有效提升照明燈具的發光效率以外，同時也可以降低光電轉換時的熱能逸散，減輕空調負擔 (Druzik et al., 2012)。同時自民國 105 年起，經濟部能源局為達節能減碳及創新照明節能應用之目標，訂定了《發光二極體先進照明推廣補助計畫作業要點》，並於民國 110 年修改成為《最適化智慧照明示範推廣補助計畫作業要點》<sup>2</sup>，推廣 LED 照明燈具的示範建置，並促進相關技術與

<sup>1</sup> E-mail: clw@npm.gov.tw

<sup>2</sup> [https://www.moeaboe.gov.tw/ecw/populace/Law/Content.aspx?menu\\_id=13213](https://www.moeaboe.gov.tw/ecw/populace/Law/Content.aspx?menu_id=13213) (瀏覽日期：2021/11/07)

創新產品之應用。由於政府單位基於節約能源政策的領頭推廣，LED 光源燈具逐漸佔據主要照明市場；此消彼長之下，其他光源則陸續從市場中退出。這也使得博物館或美術館在照明設計選擇時，受到貨源與成本的限制，有必要在眾多 LED 燈具中，挑選出適合展覽所需，又符合文物保存要求的合宜燈具。

本文自博物館從業人員角度思考，如何在諸多 LED 燈具中做出選擇；實務上亦即探討如何針對展覽或作業需求，訂定相關燈具規格，以利採購作業之進行。由於一般政府機關或接受機關補助之法人團體，其採購之辦理應適用《政府採購法》<sup>3</sup>；而燈具採購作業雖無關學術理論，但在採購程序的辦理上，對很多博物館工作者來說有其操作上的實務需求。因此，筆者試圖藉由本文透過燈具規格的介紹，幫助博物館同業對於燈具建立更詳細的認識；讓使用者可以專注於個別使用目的，據以擬定相關需求，同時能夠瞭解不同規格燈具間的差異性。更進一步來說，也希望讓使用者在有限成本與相關現實條件的考量下，能夠有效率地完成展示照明建置；對於照明燈具的採購實務工作，有所幫助。

本文首先將簡述照明相關的採購需求，且將重點置於燈具器材的採購；燈具需求的規格書訂定是全篇文章的主旨。透過各項規格的介紹，闡明燈具採購各方面需要注意的事項，包括照明燈具的基本組成、LED 晶片的顯色性、燈具的發光效率與功率等。由於本文主要對象為博物館或美術館從業人員，因此文中討論之採購標的，主要為該類場館最常使用的軌道類燈具。透過燈軌的建置，軌道燈可以彈性且靈活地運用，相當便利廣泛。文中將針對軌道燈的燈體結構，及相關性能與附屬配

件加以探討，並以簡單範例呈現不同燈具的投光展示效果，並提及有關安全規範的國家標準或國際標準。本文將著重在燈具採購本身的規格訂定；至於燈光氛圍的照明設計，或是整體場域的照明系統及燈光控制規劃，則暫時未納入本文討論。

## 背景

博物館展示照明需求之採購，依照採購策略可以分為勞務採購或財物採購，應該都有適用空間。各單位的業管承辦同仁見解不同，不一定能相提並論；端看使用者將展示照明視為服務，或者主要視為燈具採購。舉例來說，如果單位主要需求是展示照明設計，這時通常還需要基於特定展覽，要求廠商提供調燈或打光等相關規劃服務。此時的展示照明需求比較偏向勞務採購。然而，廠商在提供展示照明設計的同時，通常也必須一併提供配合使用之燈具。因此即使是勞務採購，單位仍然可以對於燈具加以規範。至於牽涉到設計理念或策展人對於光環境的喜好等主觀意向，因為無法規格化，則非本文所討論之範疇。

若機關決定將照明採購當做財物採購辦理，則燈具規格的訂定，應參考使用需求與目的，針對燈具的特性與效能加以規範。而廠商則依照機關的規格書提供服務，同時該規格書亦成為驗收的標準。因此，訂定出可檢測及可量化，或者可以明確判斷是否通過的規格，讓機關可以獲得合乎需求的燈具，且通過驗收，順利完成採購。然而，市面上燈具樣式五花八門，相對的也有許多可以做為規格的特性描述。那麼，該如何訂定燈具規格，才能據以規範出符合單位需求的燈具呢？

在繼續說明燈具規格之前，我們需要

<sup>3</sup> <https://law.moj.gov.tw/LawClass/LawAll.aspx?pcode=A0030057> (瀏覽日期：2021/08/31)

建立一個基本觀念：照明係由光源、燈具以及調光模組三方面所構成，簡單分別說明如下。光源，亦即該項照明器具的發光原理種類。例如螢光燈是利用紫外線激發螢光物質，複金屬鹵素燈則是利用電弧及氣體放電，或是 LED 固態照明則是利用電子電洞結合放出光，以及螢光粉的利用等等，其發光原理各不相同。而燈具則是指該照明器具之形制，例如軌道投射燈、燈管、燈泡、光纖或是平板燈……等不同樣式的照明燈具。至於調光模組，亦可以稱做變壓器，亦即該照明的控制調整機制。最基本的調光控制就是開啟與關閉；然而僅僅只能開或關的照明，恐怕不符博物館所需，必須要有周全的調光系統，控制明暗，才能應付博物館或美術館的展示照明彈性需求，並且兼顧文物保存對於照明的限制。除此之外，不同發光原理的光源，能夠採用的調光模式也不相同。

本文主要將探討在採用 LED 固態照明做為光源時，其燈具規格細項如何設定；而調光模組則是另一個廣泛的議題，通常與照明系統的基礎建置及硬體建築有關，還牽涉到機電線路安裝與訊號傳輸及通訊協定。本文重點旨在燈具採購，討論將聚焦於光源及燈具本身，暫不擴及有關硬體建置的燈控系統，未來有機會將另文深入討論。

此外，根據需求的不同，採購燈具的款式可能也不一樣。有些燈具款式比較單純，例如 LED 燈管或是平板燈；其他還有光纖燈、燈條或其他特殊種類等，皆各有其適用的燈具規格。而本文主要將著重在博物館或美術館常用的 LED 軌道燈之規格探討。軌道燈相當具有彈性，可以隨著軌道的佈建，機動調整位置並增減數量，適合不同展覽場合搭配使用。而跟其他形式的燈具相比，軌道燈也多了一些尺寸之外，且與功能相關的規格需要留意。而且隨著市場成熟與技術進步，目前也出現許

多軌道燈的應用擴充附屬配件，增加單一燈具的廣泛運用與細膩調整。這使得展示照明投燈不再只是「打亮作品」而已，應該還有投光角度、照度強弱，甚至光影對比手法或整體場景明暗等級設定等值得追求，以營造出展覽場域給予觀眾的特定氛圍。

以下，我們試著將 LED 軌道燈的各類規格分成 3 個部分來討論，分別是光源（即發光機制）、燈具本體結構與性能以及擴充配件等；最後還將討論燈具的安全規範與認證。實務上採購時並非所有規格皆須羅列，通常僅須針對個別採購需求，加以闡明或限定規範即可。

### 一、LED 晶片及其顯色性

首先我們應該加以規範的是 LED 晶片（或稱芯片）。雖然目前 LED 製作技術相當成熟，有能力製作 LED 晶片的廠商也很多，但挑選具有良好聲譽，產品表現長期穩定的國際品牌，還是比較可以讓人安心。我們固然可以在採購合約裡加上保固條件，以降低廠商提供瑕疵品的風險；但如果可以自源頭即挑選優良穩定的產品，自然可以減少潛在的困擾。建議挑選業界認可，具有較高市佔率的 LED 晶片品牌，並要求廠商出示供貨證明，以確保 LED 晶片的來源。常見的 LED 晶片品牌包括日亞化、歐司朗、Lumileds（公司前身為飛利浦）、三星、CREE 等，可以參考 LED 業界期刊資料，例如 LEDinside 研究發表的年度報告。

除了廠牌以外，另一個與光源相關的規格，則是該燈具的色溫。基本上可以根據需求請廠商提供合適的色溫，甚至如果預算充足，也可以選用具有可變換色溫功能的燈具。但如果將文物保存因素納入考量，則應注意較高色溫燈具對於光敏感材質文物存在風險，也因此博物館常用 LED 燈具之色溫大多限制在 4000K 以下（翁

誌勵，2015)。圖 1 為額定色溫 3000K 與 4000K 燈具照明效果之比較；3000K 偏黃，而 4000K 則顯得較白。另外，如果希望個別燈具的色溫差別不會太大，則可以針對色溫訂定色容差等級（Standard Deviation of Color Matching，以下簡稱 SDCM）的要求，如此可以減少整批燈具的個體化色溫差異。有關色溫及 SDCM 的進一步詳細內容，可參考其他文章介紹（翁誌勵，2015），於此暫不贅述。

燈具的顯色性（或譯為演色性），也跟光源的品質有關，可說是博物館或美術館使用燈具最應該在乎的一項規格。由於被照射物體本身通常並不發光，而是藉由反射來自光源的光線，讓觀眾看見物體的樣子，包括形狀、顏色、彩度等等。因此光源品質的好壞，將影響被照射物如何在光線下呈現。傳統上用顯色指數（Color Rendering Index，以下簡稱 CRI）來描述燈具的顯色性，係將太陽光的顯色指數定為 100，其原因是人類長期以來習慣在太陽光底下觀賞事物，因此覺得在陽光照射下的物體顯得最自然，而其他人工光源的照射效果則跟陽光做比較；CRI 越接近 100 的光源，照射效果會讓使用者感覺越自然。CRI 的使用相當普遍，在 LED 固態照明被發明之前，傳統燈具通常使用 CRI

量測之 Ra 來描述其光源顯色的等級好壞。固態照明的發光原理雖然不同於太陽光，兩種光源的光譜也有差異，但將 CRI 的規格標準套用於 LED，仍然具有相當的參考價值。

隨著燈具製作技術的進步，今日將博物館專用燈具之顯色性需求訂為 CRI 之 Ra 值必須達到 90 以上，尚屬妥適；如果館藏展品對於光源的顯色更講究的話，甚至可以將 CRI 的需求規格訂定更高，要求 Ra 達到 95 以上。而在辦理採購時，關於顯色性的規範，還有一個細節需要注意：我們應該選擇量測「燈具投射到展品的光線」之顯色性，或是以「LED 晶片」本身之顯色性，以做為驗收標準。畢竟有些燈具的光源晶片雖然可以發出高顯色性的光線，但經過燈具本身二次光學的透鏡構造或光纖路徑之後，其顯色性可能會因此而衰退；該燈具所發出光線的顯色性，通常會略低於晶片本身的顯色性。因此，載明如何量測燈具的顯色性以做為驗收標準，應該是有必要的。如果燈具結構複雜但功能多元，可能因為燈具的二次光學調製因而降低燈具所發出光線的顯色性；此時也可以斟酌直接量測光源 LED 晶片的顯色性，以做為驗收標準。

如前所述，主要針對傳統光源顯色性

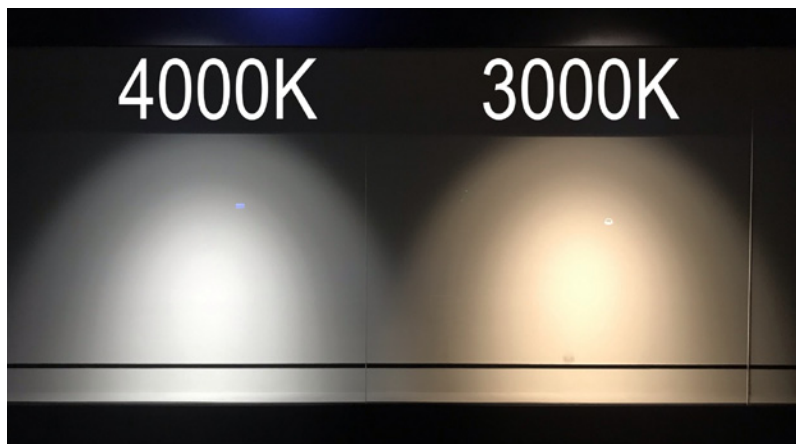


圖 1. 額定 3000K 與 4000K 色溫燈具之比較。3000K 顯得較黃，4000K 則偏白。（攝影標註／翁誌勵）



所制訂的 CRI 量測標準，使用上已經超過 50 年了 (Houser et al., 2016)；而近年來照明相關學界及業界，為了能夠更恰當地描述 LED 燈具的顯色性，陸續發展出其他量測標準。以下我們簡要介紹顏色質量等級 (Color Quality Scale，以下簡稱 CQS) 以及 TM-30 系列；該系列隨著時間年份修正，陸續發表 TM-30-15、TM-30-18 及 TM-30-20 (Illuminating Engineering Society, 2015; 2018; 2020)，皆屬 TM-30 系列。而未來對於 LED 燈具採購規格之訂定，也可以將 TM-30 做為顯色性的同等參考標準。

我們首先介紹 CQS。由美國國家標準暨技術研究院 (National Institute of Standards and Technology，以下簡稱 NIST) 發展推行的 CQS，可說是因應 LED 固態照明所制訂 (Davis and Ohno, 2010)。跟前述的 CRI 量測類似，CQS 也是選用了 15 種標準色樣，用來量測評斷光源的顯色性，並取其平均定為該光源的 CQS 值，通常以  $Q_a$  表示；同樣也是將 100 定為  $Q_a$  的最高值，而 0 則為最低。與 CRI 的最大不同是，CQS 所使用的 15 種標準色樣皆為高度飽和的顏色。事實上，大多數的傳統光源，例如白熾燈或是氣體放電燈，並無法增加被照射物體的色彩飽和度 (chroma)；但發光原理不同的 LED 燈，因為其光譜與傳統光源的型態存在差異，因此可以使被照射物的色彩飽和度增加，呈現出較鮮豔的色彩。而根據研究調查發現，多數人比較喜歡色彩飽和度較高的視覺感受 (Bartleson, 1961)。簡單來說，如果同時使用 CRI 及 CQS 來量測傳統光源，通常會得到兩者接近的數值；但 LED 光源的量測往往會在 CQS 與 CRI 的分數存在差異。

而北美照明協會 (Illuminating Engineering Society，簡稱 IES) 所發展的

TM-30 量測方法，可說是結合了 CRI 與 CQS，很有機會成為未來光源顯色性的通用評斷方法。TM-30 也是利用標準色樣做為評斷。值得一提的是，TM-30 參考了超過 10 萬種真實世界存在的事物，包括顏料、織品、膚色、油墨等，透過這些物件的光譜反射函數並統計演算以後，挑選了 99 種標準色樣做為評斷依據<sup>4</sup>。因此，以 TM-30 評斷光源的顯色性應該能夠更貼近真實世界物品的顏色。由於 TM-30 融會了 CRI 與 CQS，因此以 TM-30 量測，主要會得到兩個數值：分別是代表光源顏色保真度 (Fidelity Index) 的  $R_f$ ，以及描述顏色飽和度 (Gamut Index) 的  $R_g$ 。其中， $R_f$  跟 CRI 測得的  $R_a$  很類似，是光源針對 99 種標準色樣評斷後所獲得的平均分數，得分可能從 0 到 100。 $R_g$  則是參考來自標準色樣平均統計的 16 個色度 (hue) 座標，比較待測光源與參考標準兩者所圍出的面積。參考數值為 100；如果光源測得高於 100 的數值，表示光源在色彩飽和度上有所增加；反之若低於 100 則代表減少。

於此，我們任意挑選 5 種 LED 燈具，分別使用 CRI、CQS 以及 TM-30 標準對其顯色性進行量測，其結果列為表 1。5 種光源的光譜圖同時附上以做為參考；此外，TM-30 量測結果還可以色彩向量圖呈現，如表 1 最末欄所示。色彩向量圖中，黑色圓圈圖示代表參考數值，而紅色圖示則是測量光源所獲得的數值。如果紅線相較於黑線落在外部區域，則代表受測光源對於該顏色具有較高的飽和度，如表 1 末欄圖示之紅色箭頭所標註。反之，若紅線落於黑線內部區域，則代表受測光源之飽和度較為不足，如黑色箭頭所標註。而色彩向量圖在應用上，在於如果我們已經設定好光源的專屬照射對象，對於光源有特定要求，那麼我們便可以針對被照射物體

<sup>4</sup> [https://www.energy.gov/sites/prod/files/2016/04/f30/tm-30\\_fact-sheet.pdf](https://www.energy.gov/sites/prod/files/2016/04/f30/tm-30_fact-sheet.pdf) (瀏覽日期：2021/11/07)

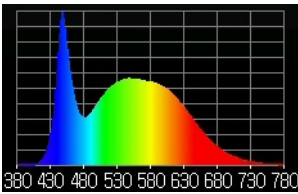
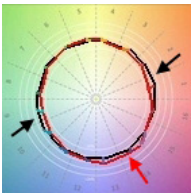
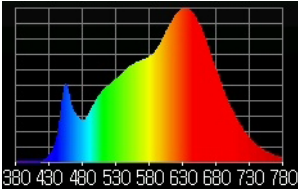
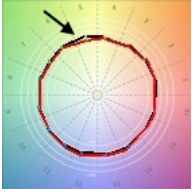
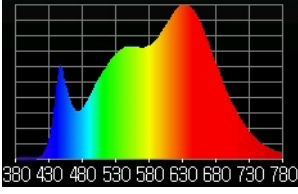
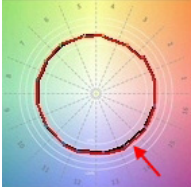
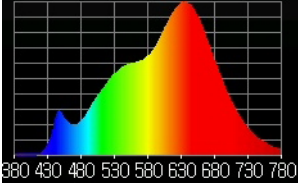
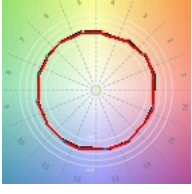
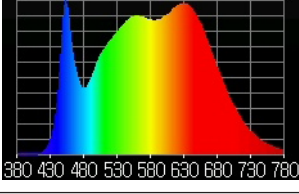
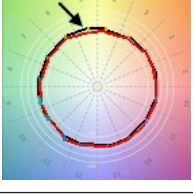
本身相關的特定顏色，選擇相對應飽和度較高的光源。

目前辦理燈具採購，訂定 CRI 之 Ra 值做為規格尚屬足夠；但如果將 TM-30 的量測結果定為規格，則可以有更彈性的進階運用。TM-30 很可能未來會是燈具採購時顯色性的參考標準。

除了顯色性以外，另一個跟 LED 晶

片有關的規格是發光效率，係指燈具光通量（單位為流明，簡寫為 lm）除以燈具功率（單位為瓦，簡稱 W）之數值，單位為 lm/W。一般來說，LED 燈具的發光效率優於傳統燈具，亦即在相同的照明條件下，LED 燈具的耗能通常較傳統燈具為低。參考經濟部《最適化智慧照明示範推廣補助計畫作業要點》，其中規定 LED 燈具應

表 1. 5 種 LED 燈具（編號 001 至 005）之色溫、光譜及描述顯色性相關的 CRI (Ra 值)、CQS (Qa 值)、TM-30 之 Rf、Rg 與色彩向量圖之量測結果

燈具	色溫 K	光譜	CRI Ra	CQS Qa	TM-30 Rf、Rg	TM-30 色彩向量圖
001	5956		85.4	84.1	85.7、97.0	
002	3076		98.0	95.8	94.1、100.1	
003	3485		97.5	97.3	95.8、101.9	
004	2911		98.1	94.9	96.4、100.3	
005	4046		94.5	93.7	90.9、97.6	

量測儀器：MK350N-PREMIUM

資料來源：翁誌勵量測

具節能標章，或者發光效率需達 120lm/W 以上。事實上，燈具的發光效率除了晶片以外，跟燈具的本身形式也有關係，例如利用光纖傳導的間接照明，由於傳輸過程的耗散，其發光效率通常會因此降低。只是在博物館或美術館的照明需求裡，除了打亮展件以外，燈具形式的美觀，以及前述關於燈具顯色的性質等，或許是比發光效率更要優先考量的屬性。但是不可否認地，較佳的發光效率確實是 LED 燈具優於傳統燈具的主因之一；前者由於較佳的光能轉換效率，明顯地減少伴隨著燈具照明所連帶產生的散逸熱量，這將有利於減少空調耗能。從文物保存的觀點來看，使用 LED 燈具，確實對於保存環境溫溼度的穩定控制，有所幫助。

跟發光效率相關聯的規格是燈具功率，一般會以瓦數 (W) 表示之。燈具功率再乘上前述的發光效率，通常就可以決定燈具本身能夠發出多少流明的光；這在較大空間或較遠照射距離的條件下，通常需要注意。一般來說，功率越大的燈具，能夠發出流明數越高的光，也就是所謂越亮的燈具。但博物館照明由於需要考慮文物保存，對文物的照明有照度上的限制，因此通常不會將燈具的輸出調到最大功率。燈具功率可以列為參考規格。

如果燈具可能用來照射光敏感材質文物，例如織品、書畫或其他有機材質，那麼可能有必要針對文物保存的需求，對燈具的規格提出額外的要求。雖然目前已有研究指出，只要限制 LED 燈具的色溫不高於 4000K，其對於文物的傷害大致上不會比傳統燈具更嚴重 (Weintraub, 2010)。但如果我們細究其原因，可以瞭解其關鍵就在燈具光譜裡的藍光成分 (Mie, 2008)，也就是燈具整體光譜中，波長 400nm 至 500nm 所佔的強度部分，亦可稱為藍光比例。由於目前市售 LED 的紫外線波段皆已濾去或技術上使其不會產生，因此藍光

波段成為 LED 燈具對文物造成危害的主要原因。然而，藍光成分本身會隨著色溫上升而增加，事實上這也是較低色溫燈具對文物潛在傷害較小的緣由。在實務上，我們可以採用比較細膩的規範，對於不同色溫的燈具，要求相對應的藍光成分比例，以儘可能降低 LED 燈具的潛在傷害。就目前的 LED 製作技術來看，3000K 色溫的燈具可以要求其藍光比例不高於 15%、3500K 燈具則限制為 18% 以下、4000K 燈具限制在 21% 以下 (翁誌勵, 2015)；而色溫高於 4000K 的燈具，則不建議使用於光敏感材質文物。

如果更進一步考量文物保存需求的話，目前已有相關研究指出，或許我們可以針對不同材質文物訂做不同光譜成分的 LED 燈具，以降低展示照明對文物的潛在傷害 (Manuela, 2017; Dang, 2019; Dorukalp, 2020)。只是這種特殊訂做的低傷害 LED 仍屬研發中之產品，而且所謂的低傷害也只對該類特定文物有效。但我們還是可以期待該種 LED 的研發成熟，或許未來我們可以針對不同材質文物，提出相對應規格的 LED 光譜需求。然而，就現階段來說，我們還是建議選擇較低色溫的 LED 燈具，相對應會有較低的藍光成分，也可以確保該燈具對文物的潛在傷害受到控制。

## 二、軌道燈具結構與性能

在討論過 LED 晶片以後，我們將討論重點轉移到軌道燈的燈體結構與相關性能。軌道燈藉由卡榫機構嵌在燈軌上頭，位置可以自由移動；但展廳卻可能因為受到裝修或空間的限制，其燈軌的鋪設方位與密度並不見得能涵蓋所有地方。因此，軌道燈本身在空間上的旋轉及擺動角度，將決定燈具照明可以照射的區域範圍。以下我們圖解示意，大致說明一下目前市面上常見軌道燈的設計形式。

目前軌道燈的常見設計，其燈體通常



由三部分所組成：帶有卡榫的燈座、支架或支撐軸以及燈頭或燈筒，如圖 2(a) 或 (b) 所示。燈座部分通常帶有變壓器或調光器，同時軌道燈具也是透過燈座的簧片或卡榫，安裝在適用相容的燈軌上。燈頭或燈筒則是燈具的主要發光單元，LED 晶片即裝置在這個部位。此外，燈頭同時裝配有該燈具的光學元件，包括燈杯（或稱反光罩、反光杯）、光學透鏡、遮光板或其他配件等。目前市面上常見的軌道燈產品，通常藉由燈架或支撐軸來連接燈座與燈頭，而這個連接的部分對於燈具的可旋轉角度，相當關鍵。以下我們將詳細介紹與燈具性能相關的各個部分。

一般來說，常見的燈具顏色有黑、白兩種，而燈具本身可能是金屬烤漆或塑料材質。燈具材質不同對於博物館這類大致上屬靜態展演的場館來說，其光學表現並無太大差異；但如果是演藝廳或舞臺使用的燈具，某些材質燈具面對重低音喇叭的音浪，可能因此產生震動而發出雜音。另

外，燈具的尺寸也可以由需求單位挑選合適的大小；一般來說，功率越高的燈具，體積通常也會比較大。但是尺寸較大的燈具，通常會佔用比較大的軌道空間，也可能受到限制因而無法裝入某些特定地點；例如展櫃內部。較大的燈具，當然也會比較顯眼。至於燈具的重量，同樣也需要列入參考；畢竟燈具裝上軌道之後，其重量即由軌道承受，而軌道承重亦有其上限。這裡提到的燈具顏色、材質、尺寸以及重量等，基本上只要由需求單位提出參考值，由廠商提供適用的產品即可。

接著我們將討論燈具的可旋轉角度。燈具的這項性能，將牽涉到燈具使用的靈活性；尤其如果展場空間的燈軌佈設不夠密集，那麼一個具有廣泛旋轉角度的燈具，將有機會補償燈軌佈建的不足。大部分的軌道燈具，連接燈座與燈頭的支架或支撐軸，即是主要的旋轉單元，可參考圖 2(a)-(d) 4 種不同燈具及圖上的藍色標示。以支架為例，一般燈具的燈座安裝於燈軌

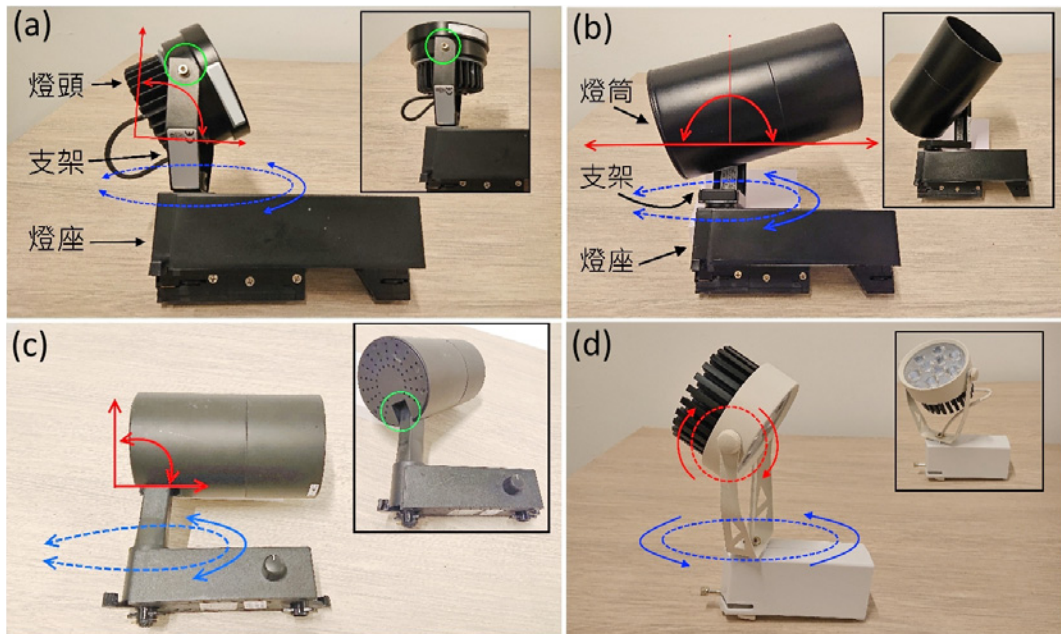


圖 2(a)-(d). 4 種燈具的燈體結構、支架旋轉（藍色）與燈頭擺動（紅色）示意圖；綠色標示為燈頭擺動角度限制之設計。（攝影標註／翁誌勵；APP 截取畫面）



上，而燈具支架則突出於燈軌（即燈座）這個平面，支架本身相對於燈座可以在平面上進行旋轉。不同廠商的燈具設計，這個支架的旋轉角度也各有不同。大部分燈具的支架旋轉角度都可以接近 360 度；但因為組裝構建，或是避免過度旋轉造成電力線路的纏繞，因此實際上會略小於 360 度，如圖 2(a)-(c)。這樣設計的軌道燈會有一個小角度無法轉至，在使用上需要稍微注意。而部分燈具的旋轉角度可達 360 度，如圖 2(d)，但還是要注意燈具本身電力傳輸線路的拉扯。

除了支架相對於燈座平面的旋轉以外，燈頭對於支架則可以在垂直於燈軌平面的方向上進行擺動，如圖 2(a)-(d) 的紅色標線所示意。燈頭相對於支架的擺動，基本上只要涵蓋水平到垂直的 90 度已經足夠；再搭配支架本身的旋轉，可以針對燈軌所面對的半個平面空間大部分角度進行投光。當然，如果這個擺動可以到達更大的角度，則可以增加燈具使用的靈活度。但跟前述燈架旋轉的限制相同，我們同樣要注意燈具本身傳輸線路的安排，不要因為燈頭擺動拉扯線路，因而造成損壞。如圖 2(a) 與 (c) 之燈具，其燈頭擺角僅有 90 度，可參考綠色圖示所標註之設計。此外，圖 2(d) 燈具其支架旋轉與燈頭擺動皆可達 360 度，因此要特別注意勿造成線路拉扯。燈具支架旋轉及燈頭擺動的角度，可以當做需求規格加以規範。

接下來要討論的是軌道燈的發光角度，或稱投光角度，而比較正式的稱呼則是光束角 (beam angle)；這或許是軌道燈具最重要的規格之一。根據國家標準（即 CNS）的定義，光束角係指中心光強度（即最強）至 50% 以內的區域。事實上，博物館對展品投燈，絕對不只是將展品打亮而已；不同的展示場景或展品，有需要營造不同的照明條件來處理。大面積或大角度的投光通常適用於平面類的展品，例

如書畫，以追求勻稱的照明展示效果。而小角度或窄角度的區域範圍投光，通常可用於強調展件局部，例如器物類的寶石鑲嵌，或是某個需要加強照明的小區域。不同投光角度的燈具，有不同的使用方式，以豐富多樣化的展示效果。

因此，根據展示需求，我們可以規範燈具的投光角度。比較簡單的分類法，可以將投光角度分成 3 種，其角度從小到大分別是 8 度左右的窄角、20 度左右的一般以及 30 度左右的廣角。如果有其他需求，市面上還有大約 4 度的超窄角，以及 40 度以上的超廣角。圖 3(a)-(c) 之右側皆為 20 度軌道燈，而左側依序為 4 度、8 度、10 度之軌道燈，皆裝設於 4.4 公尺高度之

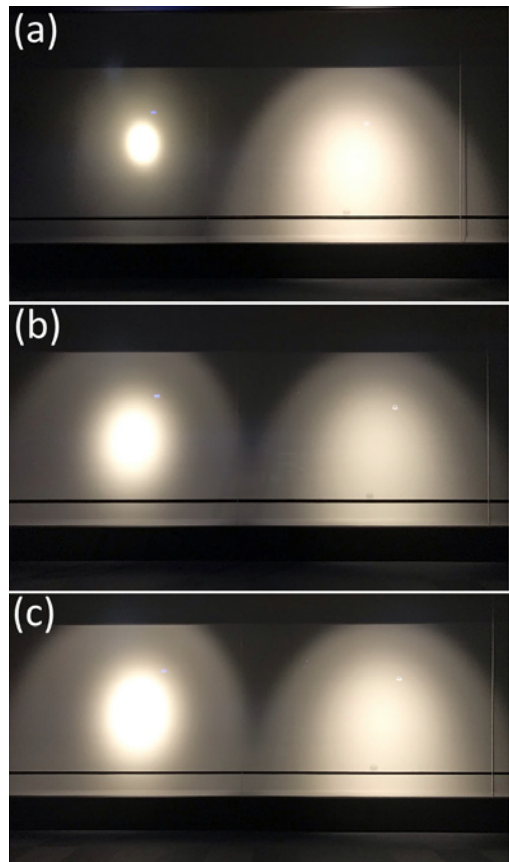


圖 3(a)-(c). 不同光束角燈具之投光效果比較。右側燈具一律為 20 度。左側為 (a) 4 度與 20 度。(b) 8 度與 20 度。(c) 10 度與 20 度。(攝影／翁誌勵)

燈軌，向前方 3.7 公尺處之展櫃背板投光之情形；各燈具輸出功率皆調整一致。觀察圖 3(a) 可發現，4 度燈的光斑顯然較為集中。此外，由 3(b) 與 (c) 亦可看出，8 度、10 度及 20 度燈之光斑中心 50% 強度區域雖有不同，但三者整體的光斑區域相差不大。

在採購實務上，大致可以依照需求給出一定的角度範圍規格，例如將窄角訂為 6 至 10 度，讓廠商可以據此備貨。而在驗收的實務上，根據 CNS 的量測方法，受測樣品的光束角，與商品的額定值差異應該在 25% 以內。因此建議在光束角的規格訂定上不必拘泥於太精確的數值，能夠區分出窄角、一般角度以及廣角的燈具，在博物館的投燈需求上，應該已經足夠。

### 三、軌道燈具附屬配件

前述燈具的投光角度，依照不同廠牌的設計，部分其實可以透過前置透鏡，或是反射燈杯而決定；而透鏡或燈杯是可以更換的。例如圖 4(a) 為 3 種不同角度的反射燈杯，仔細比較燈杯內緣表面，可以發現不同角度燈杯之間存在差異。因此採購單位預算如果足夠，可以在規格書裡載明，要求可以一燈多用，利用配件的改變來調整燈具的投光角度。或者有些軌道燈的燈頭本身即具有可調焦的透鏡裝置，亦可以利用透鏡與 LED 晶片相對位置的調整，改變燈具的投光角度，連更換配件也不用。只是這樣的變焦操作，會微幅改變燈具的尺寸，如果軌道燈裝置在狹窄的櫃內空間裡，就必須考慮容納的問題。前述各種改變投光角度的配件，應該視為燈具不可或缺的附屬品；然而若是經費預算不足，也可以酌量刪減。事實上，如果現有燈具數量足夠，或許僅僅透過配件的採購，同樣可以擴充燈具的豐富性，增加展覽的展示效果。另外，這些附屬配件本身具有光學儀器材料的精密特性，找個地方

好好收藏是有必要的。

除了燈杯或透鏡以外，部分軌道燈還有其他配件可以選購，例如圖 4(b) 之各種功能不同的附屬配件。這裡首先介紹拉伸片，或稱擴散片。該配件通常由玻璃或俗稱 PC 材質的聚碳酸酯或其他類似材質所構成，其主要作用係改變燈具所投射出來的光斑形狀。例如原本投光是圓形區域，擴散片則可以利用光的折射或散射原理，將光斑延伸為細長橢圓形，或擴散至更大的區域。如圖 5(a)-(d) 所呈現，其右側皆為 20 度軌道燈做為對比，而左側依序使用 13x40、13x60、17x53、34x60 寬長比例之拉伸片；軌道燈皆安裝於 4.4 公尺高度之燈軌，向前方 3.7 公尺處之展櫃背板

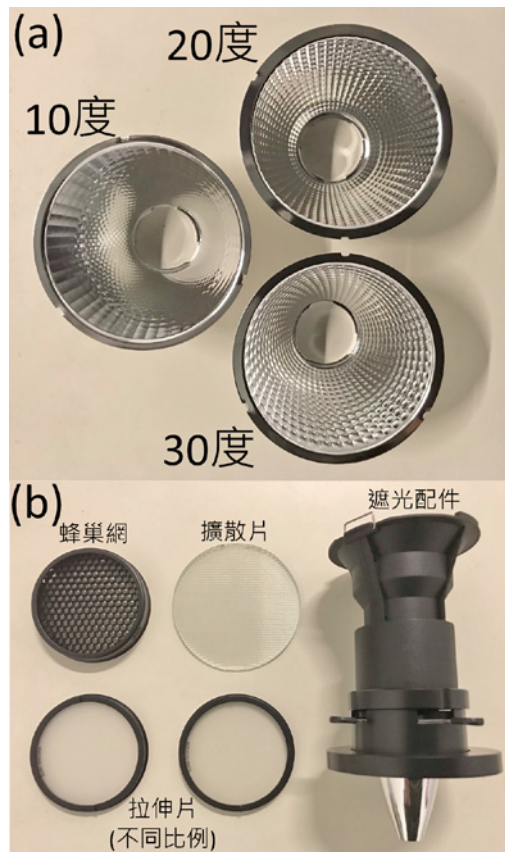


圖 4(a)(b). 各種軌道燈具附屬配件。(a) 不同角度的反射燈杯。(b) 各種常見可改變投光（光斑）的配件。（攝影標註／翁誌勳）

投光，且各燈具輸出功率皆調整一致。由圖 5(a)-(d) 可以發現，拉伸片配件可以擴展單燈的投光區域，也可以讓投光的效果更加柔和；但由於同樣強度的光線被擴散至更廣大的區域，因此擴散後的燈光照度也會相對減弱。另外，由於拉伸片的光學原理主要是藉由光的折射及散射，因此搭配使用的燈具應該採用小角度燈杯，將光束集中穿過拉伸片使其折射及散射，可以得到較好的擴散效果。

另外一種常見的燈具配件是蜂巢網，其作用主要是降低眩光，減少因為從展櫃外部投燈，因而在玻璃上形成的反射點炫目影響。另外在投光效果上，蜂巢網也可以讓光影之間的分界顯得更柔和，營造出漸層的改變。此外，有些燈具還可以加裝遮光配件（gobo 配件），能利用光學元件做出剪影及光線投射效果，例如將光斑「裁剪」成特定的幾何形狀，在光影明暗之間形成強烈對比，呈現特別的展示效果。Gobo 燈具通常用於平面類展件，利用投光設計出類似燈箱的感覺；但使用該配件時尤應注意燈具投光的位置與角度，調整上較為費時，需預留較長之作業時間。

綜上所述，我們可以將前述燈具配件分成基礎與進階兩類。可以改變投光角度的額外反射燈杯或是透鏡，應該歸為基礎配件；現代軌道燈應該具備可自由變換投光角度的功能，以增加展示照明效果的豐富性。此外，蜂巢網亦應屬基礎配件。雖然即使缺少蜂巢網，燈具仍可正常使用，但相對於燈具來說，蜂巢網成本低，如能充分搭配使用，即能提升展示效果。至於擴散拉伸片，以及遮光配件則屬於進階配件。進階配件可以讓軌道燈具發揮出額外的照明效果，營造出完全不同的展示氣氛。只是進階配件的開發成本多半較高，也可能因此反映在廠商的供貨價格上，對於燈具採購預算的編列，則應多所斟酌。

圖 6(a)-(f) 為範例展示不同角度軌道燈及使用附屬配件所達到之效果。圖 6(a) 為使用遮光配件之效果，展示面上大致勻光，且周邊無溢光。圖 6(b) 則使用超窄角 4 度燈，可以看出展示面中心較亮，而周

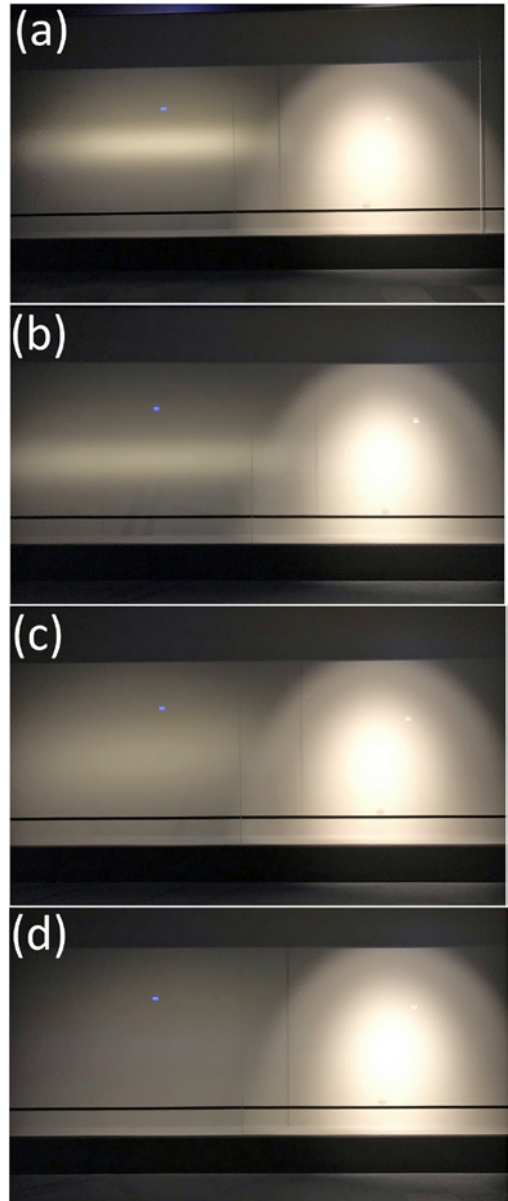


圖 5(a)-(d). 不同長寬比例拉伸片配件所形成之投光效果。右側燈具一律為 20 度。(a) 13x40 拉伸片。(b) 13x60 拉伸片。(c) 17x53 拉伸片。(d) 34x60 拉伸片。(攝影標註／翁誌勵)



邊略有溢光。圖 6(c) 為 10 度燈、圖 6(d) 為 20 度燈，展示面周邊溢光產生之光暈漸大。圖 6(e) 與 (f) 則分別為使用 13x40 及 17x53 寬長比例之拉伸片。上述不同角度燈具及相關配件，實務上可以根據需求調整使用。

#### 四、燈具的採購與安全規範

最後我們來談談燈具的安全規範與認證。由於《政府採購法》第 26 條第一款明文規定：「機關辦理公告金額以上之採購，應依功能或效益訂定招標文件。其有國際標準或國家標準者，應從其規定。」那麼，博物館使用之燈具，有什麼國際或國家標準嗎？事實上，一般室內照明用燈具，屬於「經濟部公告應施檢驗商品」<sup>5</sup>；依此規定，博物館或美術館使用之室內燈具，皆應送檢驗。因此在採購燈具時，可

以確認燈具產品應有商品安全標章。另外，經濟部標準檢驗局對於 LED 燈具相關方面亦訂定許多標準，包括照明燈具本身、燈光控制裝置、照明相關模組或元件以及智慧照明系統等，皆有相對應的規範要求或量測試驗方法。機關可以根據不同的燈具採購需求，於規格書上載明哪幾項國家標準必須符合或通過認證。而一般博物館展示所使用之燈具，基本上與 CNS 14335「燈具安全通則」以及 CNS 14115「電氣照明與類似設備之射頻擾動限制值與量測方法」最為相關。此外，與 CNS 14335 相對應的國際標準 IEC 60598 也規範了有關燈具使用與安全之各種檢測標準，通常也可以列為認證要求。上述國家或國際標準內容細項於此且不贅述，讀者可自行參考各類由標準檢驗局所訂定的 CNS 或相對應的 IEC 標準。

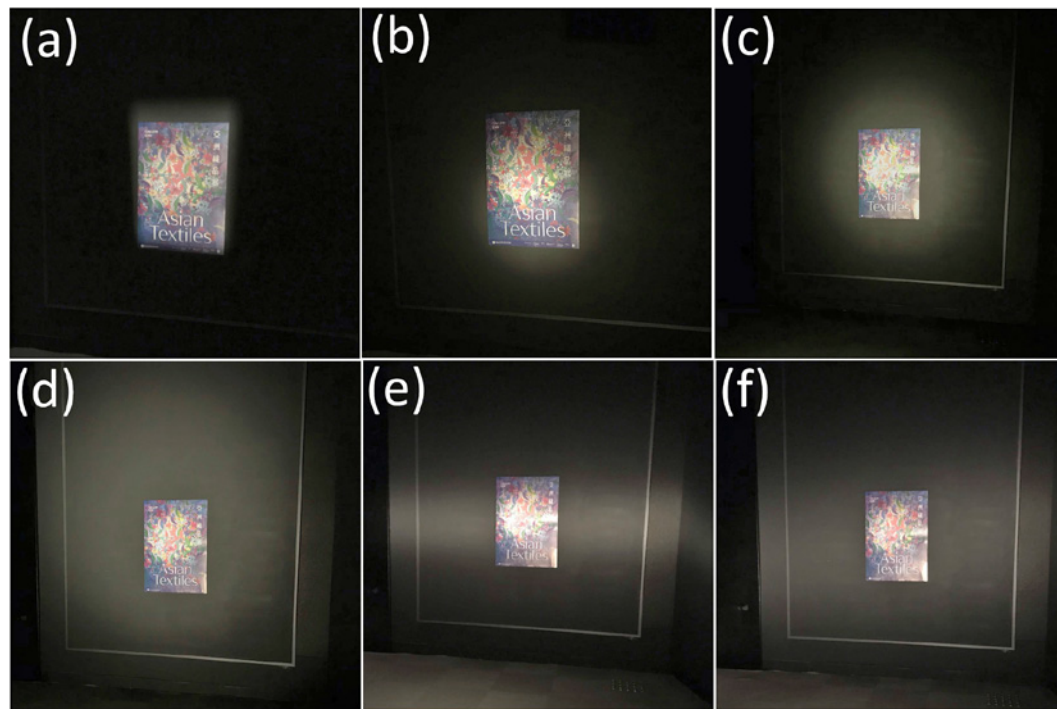


圖 6(a)-(f). 不同角度燈具及使用附屬配件所呈現之照明效果。(a) 使用遮光配件。(b) 4 度燈。(c) 10 度燈。(d) 20 度燈。(e) 使用 13x40 拉伸片。(f) 使用 17x53 拉伸片。(攝影／翁誌勵)

<sup>5</sup> <https://law.moea.gov.tw/LawContent.aspx?id=GL000334> (瀏覽日期：2021/11/07)

事實上，現今 LED 燈具產業仍蓬勃發展，各家廠商投入開發，商品日新月異。而博物館在選擇燈具時，除了考慮效能以外，對於電器電路的相關安全，絕對需要特別注意。然而，LED 燈具各單元組成複雜，亦各有相關專業技術，機關在辦理燈具採購時，於規格書上實在難以面面俱到。畢竟採購承辦人員，終究不是 LED 燈具製程的專家，規格書上也沒辦法規定到所有的細節項目。因此，於規格書上載明要求廠商提供的燈具產品必須符合國家檢驗標準的安全規範，應該是比較合適的做法。利用國家或國際標準的審查認證，給予燈具產品在安全方面足夠的保障，應該比較符合採購效益。而目前在實務做法上，廠商可以將自己的商品送交審查確定通過檢測後，申請使用經濟部標準檢驗局的正字標記；或依規定報驗商品且合格後，可以標示商品檢驗標識，如圖 7(a) 或 (b) 所示。圖 7(a) 為正字標記，係業者將商品自行送審確認符合國家標準 CNS 後，

得以使用。圖 7(b) 則是商品檢驗標識；由於室內燈具已公告為「應送檢商品」，因此 R 字軌的商品檢驗標識為燈具採購所必須規範<sup>6</sup>。為博物館燈具使用安全起見，商品檢驗標識的確認應該多加重視。此外，行政院公共工程委員會於民國 91 年 1 月 29 日工程企字第 09200044060 號函已經明示「各機關如使用正字標記產品，其就該產品已依規定辦理之檢驗事項，機關得免重行檢驗。」<sup>7</sup> 因此機關在辦理燈具採購時，如果經過文件審查或上網查詢，確定該產品可以使用正字標記，並確認符合相關的國家標準，在驗收的程序上，相對簡便；對於燈具產品的使用，也多一分保障。

前段所提是燈具產品所應符合的一般性安全通則，可以透過標記或標識確認之。而採購單位根據需求對廠商所提出的燈具性能規格，在辦理驗收時，同樣需要確認。雖然採購單位可以自備檢測儀器於驗收時量測抽查，例如現在坊間常見的手

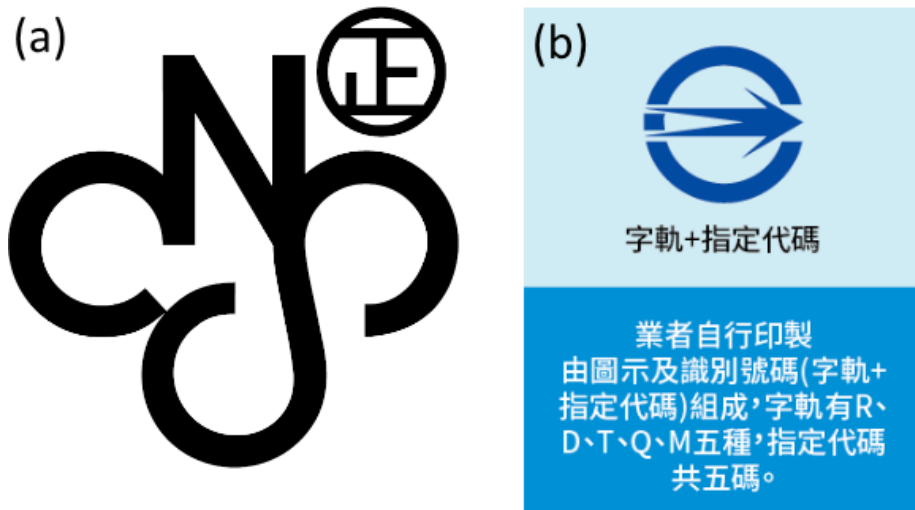


圖 7(a)(b). 正字標記與商品檢驗標識 (圖片來源/經濟部標準檢驗局網站)

<sup>6</sup> <https://www.bsmi.gov.tw/bsmiGIP/wSite/ct?xItem=36088&ctNode=3907&mp=1> (瀏覽日期：2021/11/07)

<sup>7</sup> <https://www.bsmi.gov.tw/wSite/ct?xItem=84951&ctNode=9472> (瀏覽日期：2021/11/07)

持式光譜儀，已經可以檢測大部分 LED 燈具晶片的相關性能；但博物館或美術館畢竟不是光學研究中心，無法完成採購燈具所有的待檢測項目。而在實務上關於採購驗收，《政府採購法施行細則》第 90 條第一項第五款亦規定：「經政府機關或公正第三人查驗，並有相關品質或數量之證明文書者」，可以採書面驗收，不一定要現場查驗。也就是說，採購單位可以在規格書訂定時，同時要求廠商必須事先將產品送交第三方公正單位進行相關檢驗，並提交證明文件；此項檢驗費用應由廠商負擔。有些廠商會將燈具性能送檢結果登載於產品型錄，如果可以確認型錄內容與檢驗報告正本相符，也可以將型錄視為有效的證明文件。

在驗收時除了確認燈具種類與數量以外，也要審查廠商提交的證明文件所載燈具性能是否符合契約規範，並於必要時隨機挑選一定比例或數量燈具抽查之，甚至可以全面普查。單位可以自備儀器量測或送交第三方檢驗，但此時應由單位負擔相關檢測費用。此外，單位還必須注意保固期間的訂定。一般來說，由於 LED 相關技術已臻成熟，目前市面上大多數 LED 燈具的故障率並不高，但仍可能還是會有電路接觸不良，或是偶發燈具瑕疵情形需要更換處理。實務上，燈具的保固期間定為 2 或 3 年都還算合理；甚至還可以更進一步要求廠商保固「兩年內燈具流明輸出效能仍可達原始光通量 80% 以上、3 年內仍可達 70% 以上」，以確保燈具效能不至於衰退過快，也可以保障採購燈具的基本使用年限。較長的保固期將會增加廠商成本，也可能因此必須提高採購預算，這由採購單位自行斟酌。

## 五、結語

本文自博物館或美術館從業人員的角度出發，簡要介紹辦理展示照明採購時，

其燈具的相關規格與性能如何規範；希望能對相關從業人員在採購實務上，有所幫助。軌道燈具是本文主要介紹的採購標的，但文中介紹的各種規格，對於採購其他類型燈具仍有參考價值。燈具的品質奠基於燈具所採用的 LED 晶片，最重要的規格是顯色性，傳統上用顯色指數 CRI 做為標準，近日則有 TM30 做為新的評斷標準。另外，與 LED 晶片有關的發光效率與燈具的功率，也應該列為參考規格。至於燈具的投光角度，則是各類型燈具主要功能上的重要規格，因為直接牽涉到展示照明設計的投光效果。前述這些燈具的規格與性能，不僅限於軌道燈具，而應該對於所有燈具，包括光纖燈、平板燈、燈管或燈條，都能夠適用。

由於搭配燈軌佈建而可以自由移動位置的軌道燈，在使用上具有彈性，相當適合博物館或美術館。因此，本文特別介紹軌道燈的結構及燈體的旋轉角度，還包括軌道燈的擴充附屬配件，例如蜂巢網、反射燈杯、擴散片、遮光板等；上述各部位的相關效用，皆屬燈具的規格性能，可以載入需求文件。另外，燈具通過檢驗的安全合格標章，也應該做為規範要求，以確保各場館的燈具使用安全。於此，我們將本文提及的相關燈具規格，整理成規格書範例如表 2，提供從業人員採購燈具時可以參考使用。至於與場館相關的燈控系統佈建，本文則暫不討論，留待未來專文探討。

最後一點建議，各機關的採購辦理雖然同樣依循《政府採購法》；但由於各單位的採購實務可能存在現實上的差異，其負責審核採購程序的政風、主計單位也可能見解不同。因此，本文希望可以從基礎面給予博物館或美術館從業人物實務上的參考，但在現實操作上，或許仍然需要加以調整修正，以符合實際面對的狀況。另外，本文提及的各種燈具相關規格，其實



表 2. LED 燈具採購規格書參考範例

項次 A. 軌道投射燈，可參考（單位現行使用）XX 公司型號 ABC-001，或與其相容之同等品燈具。燈具支架可水平旋轉 355 度（或以上），燈頭可擺動 90 度（或以上）。燈體顏色應限於黑色或白色或銀灰色。	
(1) LED 光源	須為日亞化、歐司朗或 CREE 或其他同等級之國際廠牌，可參考 LEDinside 或其他相關業界報導做為廠牌排名依據。
(2) 顯色性	CRI 之 Ra 需高於或等於 95（或 TM-30 之 Rf 及 Rg 皆需高於或等於 95，並應提供顏色向量圖）。顯色性量測須以燈具出光為測量基準，並非 LED 晶片裸光量測。
(3) 紫外線	燈具光譜不得含有紫外線波段（380nm 以下）。
(4) 參考瓦數與輸入電壓	19.5W、220-240V (50-60Hz)。
(5) 須符合安規執行標準	CNS 14335（88 年版）、CNS14115（93 年版）、IEC60598-2-1(1979) 與符合 CNS15663 第 5 節「含有標示」規定（102 年版）。
(6) 光束角	可透過配件自由變換兩種以上角度；供貨時本批燈具角度應統一，應為 20-40 度之間。
(7) 色溫及對應數量	本次採購，3000K 色溫 50 盞、4000K 色溫 50 盞。如因現場需求經雙方同意後，不同色溫燈具數量可調整，但仍以 3000K 與 4000K 兩種，且合計 100 盞為限。
(8) 附屬配件	本項目需附 100 組可裝卸防炫光蜂巢網。本項目需附 50 組可裝卸光學拉伸片。本項配件屬供貨燈具完整安裝外之額外提供。本項配件及需求數量為燈具完整使用之必須。
(9) 軌道	單位目前使用之 220V 軌道，其規格可參考附件（軌道非本案採購項目）。
(10) 調光驅動器 *	本項目燈具必須附有調光驅動器，且必須與單位現行使用之 XXXX 系統完全相容。

\* 調光驅動器，或稱變壓器，因牽涉層面較廣，本文未深入介紹討論。採購實務上應註明與現行系統相容。

資料來源：翁誌勵製作

在現今網路上也可以搜尋得到所需資料；本文除了加以分類之外，也整理出對於博物館或美術館燈具使用特別需要注意的幾項規格。希望讀者可以從本文獲得幫助，順利完成燈具採購，以達成美好理想的展示設計與照明效果。

## 誌謝

本篇論文由科技部計畫 MOST 108-2410-H-136-005 補助支持。另感謝李育叡編纂與研究助理蔣嘉愷協助拍攝燈光場景照片。

## 參考文獻

- 翁誌勵，2015。博物館選用 LED 光源色溫之探討，文化資產保存學刊，34：51-65。
- 張琳，2010。發光二極體燈做為文物展示照明之可行性探討，文化資產保存學刊，13：75-78。
- ，2014。LED 燈應用於文物展示照明之可行性：兼談藍光危害，博物館學季刊，28(4)：121-132。
- Bartleson, C. J., 1961. Color in memory in relation to photographic reproduction. *Photographic Science and Engineering*, 5(6): 327-331.

- Dang, R., Wang, N., Liu, G. and Tan, H., 2019. Four-component, white LED with good colour quality and minimum damage to traditional Chinese paintings. *Lighting Research & Technology*, 51(7): 1077-1091.
- Davis, W. and Ohno, Y., 2010. Color quality scale. *Optical Engineering*, 49(3): 033602.
- Durmus, D., Abdalla, D., Duis, A. and Davis, W., 2020. Spectral optimization to minimize light absorbed by artwork. *LEUKOS*, 16(1): 45-54.
- Druzik, J. R. and Michalski, S. W., 2012. *Guidelines for Selecting Solid-State Lighting for Museums*. Los Angeles: Getty Conservation Institute; Ottawa: Canadian Conservation Institute.
- Houser, K., Mossman, M., Smet, K. and Whitehead, L., 2016. Tutorial: Color rendering and its applications in lighting. *LEUKOS*, 12(7): 7-26.
- Illuminating Engineering Society, 2015. *IES TM-30-15 Method for Evaluating Light Source Color Rendition*. New York.
- , 2018. *ANSI/IES TM-30-18 Method for Evaluating Light Source Color Rendition*. New York.
- , 2020. *ANSI/IES TM-30-20 Method for Evaluating Light Source Color Rendition*. New York.
- Ishii, M., Moriyama, T., Toda, M., Kohmoto, K. and Saito, M., 2008. Color degradation of textiles with natural dyes and of blue scale standards exposed to white LED lamps: Evaluation of white LED lamps for effectiveness as museum lighting. *Journal of Light and Visual Environment*, 32(4): 30-38.
- Lunz, M., Talgorn, E., Baken, J., Wagemans, W. and Veldman, D., 2017. Can LEDs help with art conservation? Impact of different light spectra on paint pigment degradation. *Studies in Conservation*, 62(5): 294-303.
- Weintraub, S., 2010. Using Risk Assessment tools to evaluate the use of LEDs for the illumination of light-sensitive collections. *AIC News*, 35(5): 14-17.

收稿日期：2021年8月31日；接受日期：2021年11月8日

#### 作者簡介

翁誌勵現任國立故宮博物院南院處助理研究員。

# LED Lighting Procurement Specifications for Museums

Chih-Li Weng\*

Manuscript received August 31, 2021; accepted November 8, 2021

## Abstract

Nowadays, light-emitting diodes (LEDs) are common lighting solutions. Due to the intentional promotion by the Bureau of Energy of the Ministry of Economic Affairs, government agencies have been updating indoor lighting based on LED procurement. In this paper, the required specifications for LED lighting in museums are introduced from the viewpoint of museum staff. First, the specifications of LED chips are discussed, including correlated color temperature (CCT), color rendition, luminous efficiency, and power. For the color rendition measure, color rendering index (CRI) and TM-30 system are presented. The focus of this paper is on the specifications for track lighting. Track lighting configuration, beam angle, and attached accessories for modulating light spots are discussed, with examples of lighting effects. Safety standards and regulatory inspections are also emphasized. Procurement is one of the important tasks of museum staff. Therefore, this discussion of LED lighting specifications should be helpful for museum staff in terms of developing lighting solutions and carrying out procurement duties.

Keywords: museum lighting, LED lighting, lamp specifications, track lighting, color rendition, procurement

\* Assistant Research Fellow, Department of Southern Branch Museum Affairs, National Palace Museum; E-mail: clw@npm.gov.tw