兼顧視覺舒適與節能的人因照明技術

Ergonomic Lighting Research in Consideration of Visual Comfort and Energy Efficient

苑寅秋 Y. Q. Yuan[1]、李麗玲 L. L. Lee[2]、鄭名山 M. S. Jeng[3]
工研院綠能所(GEL/ITRI) [1]研究員、[2]副組長、[3]組長

本文主要論述人因照明技術內涵、目前國內外的研究動態及應用實例。為推廣臺灣LED照明市場的發展，開發出兼顧節能、環保和人因需求的LED照明產品和系統，工業技術研究院綠能所的照明與色彩環境研究實驗室，開展了有關閱讀照明的實驗研究，本文闡述了部分的研究成果。

The concept of ergonomic lighting technology, hot topics and applications are discussed in this paper. To develop LED lighting products in consideration of energy efficiency and well-being, a research laboratory called lighting and colour environments research lab was established in 2014 in ITRI. Since then, research on reading comfort has been investigated in this lab, part of the research results are discussed in this paper.

關鍵詞/Key Words
人因照明(Ergonomic Lighting)、視覺舒適(Visual Comfort)、節能(Energy Efficient)

人因照明技術概述及研究現狀分析

近年來，由於能源問題越來越突出，節能變得越來越重要，各國尤其是發達國家，對照明節能的訴求更為緊迫。近年來CIE(International Commission on Illumination)國際照明會議主題，多集中在照明的節能技術，探索照明節能技術的同時，CIE也提出了舒適照明的概念。

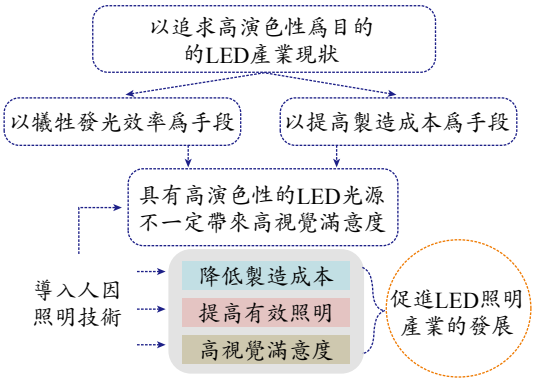
舒適照明關注的是照明引發的視覺舒適度與安全性問題，該議題的中心思想就是節能固然重要，但是如果以犧牲照明的安全性和健康性為代價，則與照明是為人服務之終極目的相背。該議題主要以研究照明環境與其引發人體刺激之間的關係為目的，這些刺激包括心理和生理的感受。人們對照明產品好壞的評價，或安全性和健康性的感知，是藉由這些心理和生理的感受來決定。該議題是目前日本及歐美的照明產、學、研各界研究之重點。概括起來，該議題主要探討了三個大方向的技術內容：一是建築照明應極大程度的使用自然光，來建立符合人的視覺感知和生理晝夜節律的日光使用標準；二是對光的醫療作用要善加利用，相關的研究要更為深入，

以便制定光治療標準；三是在使用人工光源的時候，要改變越亮越好的認知，應以視覺滿意度和身體節律為主要考量，並兼顧節能，開發可調變的照明產品。總體而言，關於好的照明，CIE的定義是：以需要而用，並帶來視覺滿足，提昇生活品質。

目前國際上在LED照明領域的研究重點之一，為LED的照明品質評價技術，主要包括光源的演色品質以及舒適照明設計。在不犧牲照明品質的前提下，實現節約能源，提昇照明環境的舒適性、安全性和健康性。國際上發達國家為推廣LED取代傳統照明，投入了大量的研發資金，鼓勵產學研合作。國際照明大廠也紛紛成立相應的研究部門，以開發LED產品應用為導向的技術研究，其中以Philips、ORSAM和Panasonic為主要的領軍企業。近年來，臺灣在LED取代傳統光源方面，政府十分重視，能源局也積極推廣，就LED引發的視覺安全性和舒適性方面，臺灣的學術界及工研院也在積極開展研究，以期為政府制訂相關LED使用標準提供理論依據。這種以研究光源物理特性和其引發的人類生理及心理感知之間關係的科學，就是臺灣照明產業界提到的人因照明技術。其中，影響人對照明認知的相關因素包括：文化、年齡、性別、環境等，而這些因素將決定著照明市場的劃分和細分。

照明條件對人的影響，包括光源的相對色溫(CCT)、照度(lx)、均勻度、眩光以及顯色指數等。近年來，國內外很多學者對由光源刺激而產生的人體反應做了大量的實驗研究，這些研究主要針對的是白光，其變量多為光源的相對色溫和照度。大量的實驗結果發現，光源的相對色溫和照度對視覺績效與視覺疲勞都有影響，而兩者之中，照度具有顯著的影響[1-5,8]。這些影響會依據光照射的觀測物的特性不同而不同，例如，被觀看字體的大小[2,7]，被觀看物的載體是紙張還是電子材料[2,6,7,8]等。對光環境品質的評價還會受到光源的放置位置[9,11]，以及受測者的性別和年齡[10,11]的影響。比如，研究發現男性較女性對光的感知較不敏感，而且男性對暗環境的適應時間較長[10]；老年人較年輕人偏愛較高色溫的光環境[3]。

除了光源的相對色溫和照度對視覺感知有影響外，光源的眩光程度以及光源的演色特性也對光源品質的視覺評價有重要影響。目前國際上，對於眩光的影響普遍採用眩光指數(UGR)，來評價其對視覺疲勞或視覺績效的影響。過去對於傳統光源，其光色品質通常採用其演色特性指數來說明。演色特性指數高的光源，其對物體色的渲染效果接近日光，使物體色表現的較為真實，從而也較符合人們的認知。然而，對於LED光源，由於其發光原理與傳統光源的發光模式不同，是否應該沿用演色特性指數來評價其對物體色的渲染效果，目前在色彩與照明研究領域廣為爭議。研究人員發現LED光源的演色性與其引發的視覺喜好度之間沒有顯著相關性，亦即演色性高的LED光源不一定比演色性低的LED光源能更好的呈現物體的表面色[11-13]。基於大量的研究發現，CIE177：2007的技術報告指出：“The Color Rendering Index(CRI)暨演色性指數，一般而言並不適用於預測白光LED的演色性”，並建議產業界不必為了追求高演色性而犧牲發光效率，或以高製造成本做為代價。



▲圖一　人因照明技術對促進LED照明產業的重要性

▲圖二　工研院照明與色彩環境研究實驗室

從上面的論述，可以看到CIE提倡的節能有效安全照明，其中人因照明的研究成果是關鍵。因為過去對光源品質的評價多數是通過科學儀器的測量，採用針對傳統光源的評價方法，來評價LED光源的演色品質。目前針對LED照明產業界面臨的一些現實問題，導入人因照明技術，不但可以幫助業者解決高製造成本，還可以使用者為中心的照明設計理念提供理論依據。圖一解釋了人因照明技術在LED產業界的重要地位。

歐美一直是人因照明研究領域的主導者，研究成果豐富，也已形成了一些照明設計推薦使用的數據庫。但是這些研究成果是否可以用於指導亞洲照明市場，還十分有爭議，主要原因是人們對照明的感知是否受文化和地域差異的影響，還未有充分的科學證據。所以，以日本為首的人因照明專家學者正積極的針對亞洲市場，展開人因照明的研究，以期建立相關的資料庫。臺灣的照明廠商近年來為創立自有品牌的照明產品，也開始關注人因照明的研究，以期擺脫長久以來為國際大廠做代工的企業運行模式，開創針對本土用戶的高端照明產品。

工業技術研究院（簡稱工研院）作為臺灣科技創新的指導性單位，於2014年在綠能所成立了照明與色彩環境研究實驗室，主要從事人因照明領域的應用科學研究，並以研究成果服務於產業界。

該實驗室的核心宗旨是從提高室內照明品質，並兼顧節能的角度，為產業界提供照明解決方案。依據研究需要，實驗室主要包括實景照明環境模擬區、大型燈箱實驗區以及色彩與光環境量測區，如圖二所示。

目前該實驗室的研究，主要針對的是室內照明環境。研究採用了目前國際上通用人因照明技術手法，而與國外同類研究所不同之處主要包括：採用的視覺刺激為中文字體、受測者為臺灣人，以及實驗光環境設計考慮了臺灣地域特徵，例如，空間大小、使用者習慣以及溫濕度等。人因照明實驗除了針對傳統光源之外，還重點研究LED照明環境對使用者的身心理的影響。實驗中，光環境在受約束條件下之變化，例如，變化相對色溫(CCT)、照度和照明方式等。

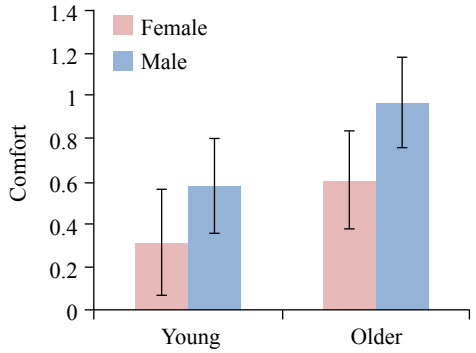
人因閱讀照明研究

隨著LED逐漸走入一般照明市場，為了解LED照明條件對人體視覺感知的影響，我們設計了一系列的人因實驗。實驗中，採用的光源包括LED白光和一般傳統光源，例如，A光源和D光源，並透過控制系統，對光源的色溫及照度進行控制或轉換。研究中我們招募了不同性別和年齡的受測者，以研究由照明環境產生的年齡差異和性別差異。

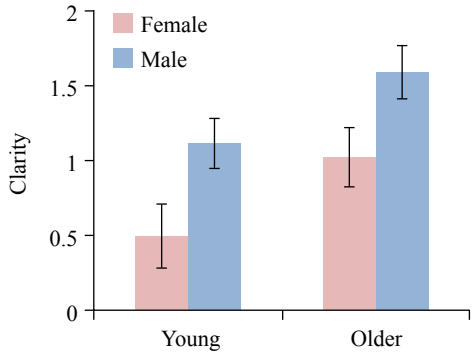
在LED照明條件下，實驗數據顯示，工作面的照度和色溫對閱讀的舒適度和清晰度均有顯著影響，且比較之下，照度的影響大於色溫的影響。透過分析受測者對閱讀舒適度評價，我們發現不同性別組和年齡組之間沒有統計意義上的差別。但是，實驗結果也顯示，與老年組（年齡高於50歲）比較，年輕組（年齡低於35歲）對光環境的變化較為敏感；兩個年齡組中，女性受測者較男性受測者對光源的品質較為挑剔，圖三描述了評價閱讀照明之舒適度時的年齡及性別差異。

在判斷閱讀清晰度時，比較不同性別組和年齡組我們發現了具有統計意義的性別和年齡差異，如圖四所示。實驗結果顯示，隨著色溫和照度的變化，雖然年輕組和年老組對實驗照明條件下的清晰度評價趨勢相同，但是老年人需要的照度較高，年輕人對照明品質要求較高；女性較男性對照明條件較為挑剔。從實驗結果我們還發現，色溫4,000K照度900 lx可營造高視覺滿意度的閱讀照明環境。

人們對於白光照明品質的判斷，除了受色溫和照度的影響外，還受照明的方向



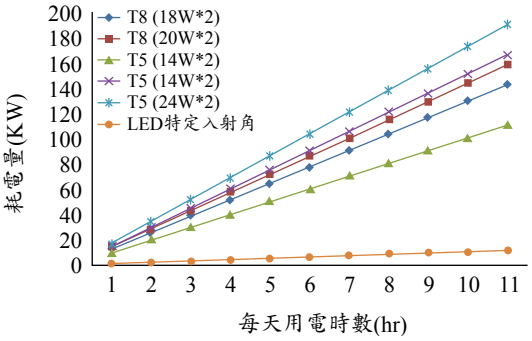
▲圖三　評價閱讀舒適度時的性別及年齡差異



▲圖四　評價閱讀清晰度時的性別及年齡差異

或入射角的影響。對的入射角度不但可以提昇使用者的視覺滿意度，還可以大幅降低照明用電量。

實驗數據顯示，受測者對光源品質的評價顯著受到光線入射角度的影響，而且對男女的影響結果是一樣的。更有趣的是，該結果不受身高和閱讀距離的影響，也就是說，能提供高閱讀滿意度的照明角度可能是某個絕對角度值。前面我們提到，滿足視覺需要且節能的照明環境是現今使用者的訴求，那麼，透過人因實驗我們發現的最佳照明角度，是否節能呢？透過與市場上常用的T5和T8日光燈比較，



▲圖五　特定入射角度下的實驗LED閱讀燈與一般醫院病房床頭燈之T5、T8燈年耗電量比較

我們發現，實驗光源在最優化的照射角度下，不但可以提供高視覺滿意度的照明條件，而且較T5和T8日光燈，其年節電量可達80%以上，比較結果如圖五。

以上，我們討論了工研院照明與色彩環境研究實驗室關於閱讀照明的部分研究成果。從這些實驗發現，我們可以看出照明環境參數對人的視覺感知有重要的影響，而且該影響可能隨著環境特徵以及觀看者的性別、年齡和種族差異而顯現差異。本實驗室目前主要致力於針對亞洲使用者的人因照明技術的開發和應用。

結　語

照明環境的設計除了涉及能耗問題外，還關係到使用者的安全和生活品質。對於一般使用者來說，由於缺乏對光環境優劣的專業判斷能力，會不自覺地調整自身的習慣去適應現有的光環境，例如使用者在多眩光和過度照明的辦公環境中，為了能看清楚，不自覺的以不正確的坐姿工作，長此以往，就會造成對身心的損傷，例如，眼睛疲勞、身體肌肉酸澀、頭痛和注意力下降等，繼而影響工作績效。如何針對使用者的需求和所處的環境設計合理的光源產品和照明解決方案，實現節能的同時，創造安全、環保、健康和舒適的照明環境是未來人因照明技術的研究宗旨。由於人因照明涉及地域性和種族差異，開展國際間的合作研究將是未來的研究模式，該模式下的研究成果可以幫助照明業者劃分市場，並有的放矢的根據市場需要做出快速反應，以增加企業競爭力。

參考文獻

1. 馮文陽，「照明因子對視覺績效與視覺疲勞之影響」，碩士論文，中原大學工業工程學系，桃園(2001)。
2. 徐立威，「光源、照度、字體大小及行間距對電子紙顯示器的視覺績效與視覺疲勞之影響」，碩士論文，台灣科技大學工業管理系，台北(2006)
3. 顏兆詩，「LED照明環境光源色溫度對辦公空間閱讀心理影響之研究」，碩士論文，清華大學工業工程與工程管理學系，新竹(2009)
4. 申新仟，「不同色溫螢光燈用於辦公室照明之視覺效應研究」，碩士論文，中央大學光電科學與工程學系，桃園(2012)
5. 賀大行，「混和照明環境下照度與色溫度變化對心理反應之研究」，碩士論文，台北科技大學建築與都市設計研究所，台北(2008)
6. Xu, W.and Z. Zue. 1990. The effects of ambient illumination and target luminance on colour coding in a CRT display. Journal of Ergonomics 33:p933-944.
7. Lee, D. S., Y. H. Ko. , I. H. Shen and C. Y. Shen. 2011. Effect of light source, ambient illumination, character size and interline spacing on visual performance and visual fatigue with electronic paper displays. Journal of Displays 32:p1-7.
8. Isono, H., S. Takahashi. , Y. Takiguchi. and C. Yamada. 2004. Measurement of Visual Fatigue from Reading on Electronic Paper. In IDW 2004,Proceedings,ed. by Niigata. Niigata Convention Center, p1647-1648.
9. Shieh, K. K. and D. S. Lee. 2007. Preferred viewing distance and screen angle of electronic paper displays. Journal of Applied Ergonomics 38:p601-608.
10. Yuan, Y., L. Lee, M. Jeng and S. Chen. 2014. Visual impressions of coloured LED lights in an indoor space. Proceedings of CIE 2014, p638-642.
11. Chuo, L., H. Huang, Y. Yuan,C. SHIH , W. Tsai and M. Jeng. 2014. Influence of light source position on visual comfort for writing. Proceedings of the 2nd Conference of Asia Color Association 2014,p26-29.
12. CIE Expert Symposium on LED Light Sources:-Physical Measurement and Visual and Photobiological Assessment. 2004. Tokyo.
13. Rea M.S., J.P. Freyssinier . 2010. Color Rendering: Beyond Pride and Prejudice. Color Research and Application, Volume 35, Number 6, pp401-409.