



解構高科技白光LED頭燈技術

隨著汽車科技的演變，車燈不只是亮就夠了！車燈已非昔日以光學、材料與成型製程為主之傳統技術，在安全、環保、智慧化的趨勢下，具有冷光、壽命長、反應速度快、節能等功能的LED照明系統應運而生。LED於車外光源系統的終極目標仍在車前燈的應用，欲達到此一目標，必須克服車燈系統對光輸出密度、均勻性及成本的嚴格要求。有鑑於此，全球各大車廠正積極投入龐大研發資源，根據市場預估，2008年LEXUS高階車種將推出第一款高亮度LED車用頭燈。目前歐、美、日等國皆已具備車用LED頭燈設計能力，以KOITO、VALEO、STANLEY等廠商為主的國際車用燈具大廠，早在三年前便已著手研究車用LED頭燈，反觀國內廠商，在LED汽車燈具研發的投入尚未普及與深入。

白光LED於車頭燈之要求

目前LED已大量使用於車輛之信號燈、尾燈等輔助照明，至於車前燈尚未有廠商量產，主要是輸出流明值僅勉強達法規要求及價格昂貴之考量。只要發光效率提升與價格下降，車前燈導入LED必定是未來趨勢，表一為高功率白光LED使用於車前燈照明之優缺點比較。

汽車頭燈屬於車外使用，其技術特性指標與手電筒（探照燈）最大不同，在於前者特別嚴格要求光型分布設計（安全性）與元件可靠度驗證（耐用性）；而改用LED光源後，為達到足夠的照明亮度，並非一味的增加LED數量與電流即可，對於LED發光角度、色差、亮度、電壓、電流等光學、電學性能的一致性和可靠性要求反而更高。

LED光源選用

針對LED頭燈設計研究，先以市售高亮度LED元件進行設計，完成汽車頭燈初步光型，以設計符合歐洲車輛法規（ECERegulation）要求的LED頭燈系統，並尋找最佳的LED頭燈設計參數。由於目前市面上的白光LED亮度皆無法達到一般車用燈泡（如H4）亮度，因此需選用亮度及穩定度較高的LED產品，如LumiledsLED之封裝及散熱方面已做了較佳設計，單一LED晶片可輸入更高之功率，其3W之LED晶片面積為1mm×1mm，發光效率25lm/w，當驅動電流在700mA時，會有70-80流明(Lumen)的光輸出表現；而6W的產品當驅動電流在1.5mA時，其光輸出更可達到140lm的效果，因此選用此2款作為LED頭燈之光源。

LED車燈單元設計

傳統汽車頭燈的設計方式，是以平滑拋物面所構成的反射效果，搭配花紋透明燈殼，將光源置於拋物面的焦點處，以便形成平行光束，再經過小凸透鏡來雕塑所需之光型。經過潮流的演變，目前主要汽車頭燈應用主流，分為多重反射鏡面車燈（Multi-Reflector）與投射式汽車頭燈（ProjectionSystem）。這2種款式的汽車頭燈設計方式，恰巧都能符合LED的發光原理及設計方式，不過LED是以面光源形式來產生光線，發光立體角為傳統光源如鎢絲燈泡的一半，因此光學設計必須再經重新改良，配置如圖一所示，在反射面只有傳統車燈1/3可用的環境下，反射面設計變得更加重要，也比傳統設計方式更具有挑戰性。經一系列的研究改良，將反射面做最佳化處理，讓LED單元模組的體積縮到最小，以符合陣列式LED頭燈設計的空間需求。

除上述外，LED頭燈仍有其他非傳統車燈光學之設計方式，如圖二所示之光導管結合自由曲面設計，這些設計目前國外都有專利存在，但在2005年德國車燈展(ISAL)上還無實品展現，其原因為加工精度之要求與開模不易，故一般還是使用反射式與投射式之設計，較有商品化之可能。

突破傳統燈具之造形設計

LED頭燈雛型的製作流程可分為四個階段，造型設計、光學設計、機構設計及加工製作，彼此相互影響，某個環節錯誤都將導致錯誤的產出，圖三為LED頭燈雛型製作流程。在造型設計中常遇到的問題，為造型設計師設計的造型草圖無法與光學設計者設計出的光學模組做搭配，往往第一次設計之造型都相當概念化且完美，但設計師並未將實際的車燈空間、光學模組配置、機構干涉等問題考慮進去，導致設計圖無法使用。因此設計師與光學工程師之彼此溝通是迫切需要的，如圖四流程中，紅色為一般燈具設計過程，藍色則為因應LED車燈而加入的新流程，雙向箭頭表示需來回修正與溝通，在開始設計造型時，若未與設計師討論空間配置，導致LED模組光學面干涉嚴重，而必須修改圖面，除影響製作時程，造型也無法滿足先前大家所期望的樣式，這也是LED設計與製作上比一般頭燈困難之處。

更精密的機構加工



LED車燈燈具光學元件加工精度對配光測試結果有其重大影響，由於反射面小，LED車燈曲面開模精度需優於一般車燈，現有加工技術未必能達到，導致光型有所誤差。如果反射面是利用塑膠加工、電鍍，塑膠的反射面容易受外力影響而變形，使反射面曲率受到影響，進而讓光型有所變化。其次，由於整體模組較小，稍微偏移，光型即無法疊加在一起，安裝誤差範圍極小。當反射罩設計的機構又是整體式，在安裝誤差產生後，所有反射面與透鏡都會位移，其安裝誤差範圍必定要更小，因此LED安裝需更精密的技術。

在組裝容忍度方面，LED位移裝置容忍度大約為0.5mm，此為光型之容忍度；若要達到法規之能量分布，容忍度範圍必須更加嚴格。且當光型疊加時，每個模組的間距容忍度與模組旋轉角度之容忍度皆須考慮，假使光型重合度不夠高，則會造成對比度下降。目前國內燈具模具加工機等級普遍無法提供高精度之加工，對於高階曲面設計之反射面加工能力明顯不足，很容易影響系統之光輸出效率，因此有必要引進高轉速多軸向精密加工機，且電鍍及射出技術需再多加掌握。

整車散熱模組開發

儘管LED應用在汽車頭燈得具備相當大的潛力，但仍有相當多的技術瓶頸需加以克服，如應用在汽車照明上首當其衝是LED溫度。LED發光強度大致和驅動電流成正比，當溫度改變時，連帶也會改變LED的發光特性及元件壽命，環境溫度升高則LED的光輸出降低，且影響使用壽命，成為LED應用在汽車頭燈的主要障礙。

目前世界各國車廠欲發展之車輛電子產品中，尤以LED車頭燈的散熱設計最為困難。因其使用環境大多處於高溫的引擎室內，溫度常高於90°C以上，在散熱水箱周圍甚至可達100°C以上，相較於一般LED產品之使用環境，著實惡劣許多。一般散熱系統解決電子產品廢熱之排除方式，大多藉由傳導、對流及輻射方式將熱排出至周圍環境，降低電子產品的運轉溫度，以維持系統運轉的穩定性與可靠度（如表二）。

在此選用熱管傳熱方式做LED頭燈散熱設計之基礎，將LED貼覆於燈粒載板之散熱模組端，利用散熱模組端作為系統熱傳的機制，由於熱傳機構是影響LED散熱系統性能的一項重要關鍵因素，在此利用熱流分析軟體評估此系統優劣，透過模擬結果呈現鱗片高度、間隙與鱗片厚度，皆會影響散熱系統的熱對流係數，造成熱傳效果的差異。經由理論分析與實車溫度場量測，確認散熱模組符合設計要求，成功開發可供LED車頭燈使用之散熱模組。在理論分析條件下，LED頭燈的溫升可控制30°C左右，圖四為LED車頭燈散熱模

組離型製作。

LED頭燈散熱模組成為注目焦點

LED頭燈雖擁有許多優點，但在光學設計及離形加工上卻比傳統燈具更難掌控，如LED光源晶片大小、焦點位置容忍度、機構安裝定位，再加上散熱模組考量，都一再顛覆傳統燈具的設計及製造流程。圖五、圖六為車輛中心設計的LED頭燈離型及符合ECER112法規要求之光型，反射面為傳統車燈的1/3倍，外觀配置由多顆LED投射模組以複眼方式排列，為超越現今所有式樣的頭燈，聚焦國際視聽

作(譯)者：財團法人車輛研究測試中心 許日滔



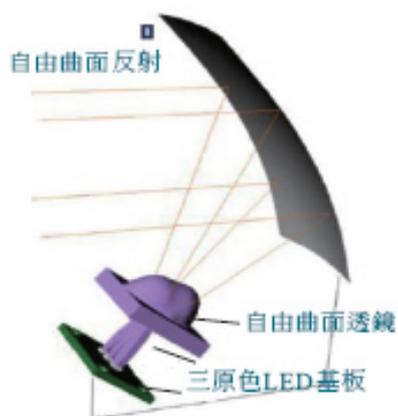
表一 白光LED使用於車前燈照明之優缺點比較

表一 白光LED使用於車前燈照明之優缺點比較

優點	生命週期超長	<ul style="list-style-type: none"> ◆生命週期可達五萬小時。 ◆超過車輛使用週期。 ◆沒有傳統燈泡易碎的玻璃外殼。
	具優良光源穩定性	◆LED採環氧樹脂包覆方式，禁得起震動、擠壓與摩擦。
	LED切換速度快	◆可應用於目前最新進之適應性頭燈系統 (Adaptive Front-lighting System ; AFS) 。
缺點	LED發光效率需提升	◆一般照明發光效率至少120 lm/W以上。
	LED的輝度不利於車頭燈設計	◆LED作為車前燈時，LED的輝度必須再提升。
	LED色彩特性	◆LED色溫高於鹵素燈，會顯得較為刺眼，駕駛人有適應上的問題。

資料來源：各大網站LED資料整理

圖二 光導管結合自由曲面設計

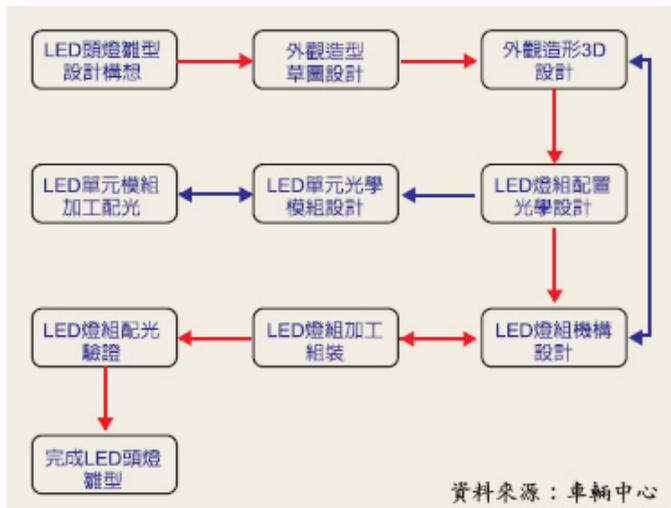


資料來源：SPIE Newsroom

圖二 光導管結合自由曲面設計

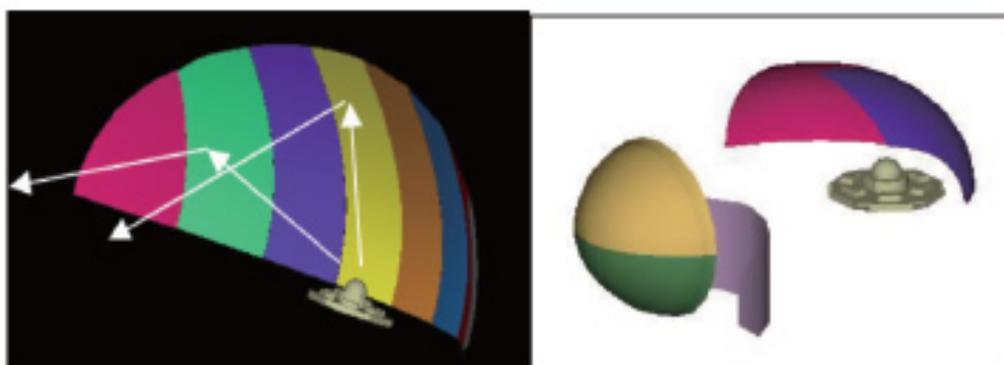


圖三 LED頭燈雛型製作流程



圖三 LED頭燈雛型製作流程

圖一 LED單元模型：反射式(左)與投射式(右)



資料來源：車輛中心

圖一 LED單元模型：反射式（左）與投射式（右）



表二 散熱系統元件設計

表二 散熱系統元件設計

設計方式	功能
以附加散熱鰭片提高與外界空氣之對流傳熱效應	當鰭片表面積越大，其散熱效果越佳
在鰭片端周圍外加風扇	提升對流熱傳係數而達較高散熱量之要求
以熱管傳熱方式作為高導熱性材料，傳熱至鰭片端	使用熱管將熱由熱源傳送到冷卻氣流區
透過液冷系統將廢熱藉由液體將廢熱傳遞至散熱器	透過對流與外界進行熱交換

資料來源：車輛中心

圖四 LED頭燈散熱模組



資料來源：車輛中心

圖四 LED頭燈散熱模組



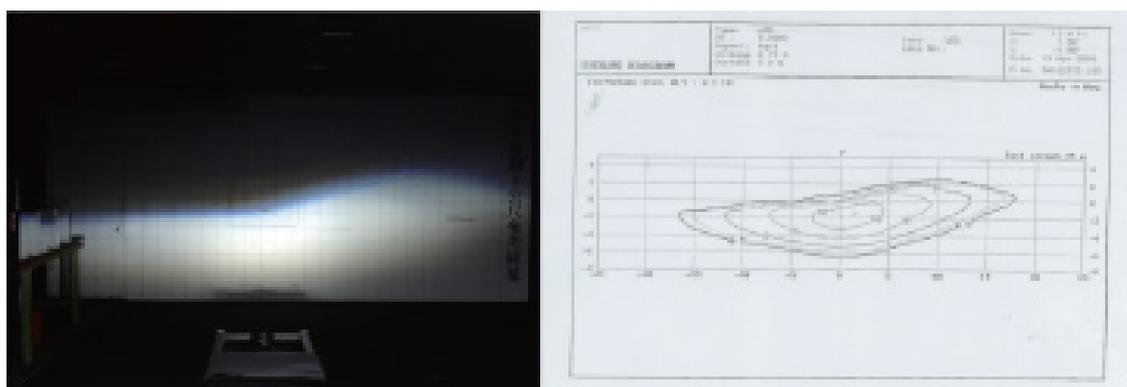
圖五 汽/機車LED頭燈雜型



資料來源：車輛中心

圖五 汽/機車LED頭燈雜型

圖六 實際配光光型掃描圖



資料來源：車輛中心

圖六 實際配光光型掃描圖