



汽機車用LED方向燈設計

車輛研究測試中心 王溫良

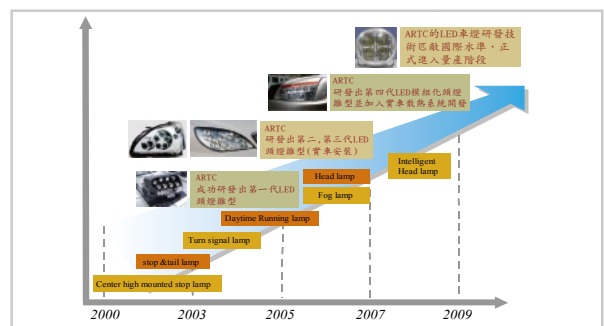
摘要

車燈光學設計運用了折射、反射及投射等基本光學原理，而當前正夯的LED車燈設計，亦脫離不了典型的車燈光學設計技巧。其包含LED光源、反射鏡和透鏡三部分，除了LED光源，與其他傳統車燈構成相較，其實並沒有太大的不同，而這小小的差異卻常給設計者帶來困擾，造成設計上的誤差。一直以來，車輛中心致力於研究車燈光學設計，並已累積相當豐富經驗，同時也為因應產業設計之需求，著手成立『車輛光學設計中心』，以擴大產業垂直水平整合，提升商品化能力，更可為國內的車燈產業開創新利基。本文將就LED光源取代傳統鎢絲燈泡之方向燈設計法與大家分享，並針對光源與車燈設計模擬做整合，利用專業的光學量測設備、光學設計分析，從光源建構開始到設計出配光分析符合SAE標準要求，進行包含光源模型的建構、Fresnel Lens及擴散透鏡車燈設計等一系列專業性的介紹。

一、前言

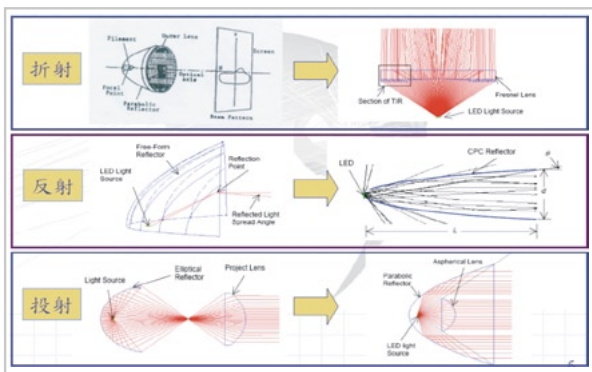
近些年來全球吹起一陣節能減碳風，環保省能源的產業因此受到大家重視，而LED即是其中之一。什麼是LED呢？LED為發光二極體(Light Emitting Diode, LED)的縮寫，是一種半導體組件，在還沒廣泛應用在照明系統前，大部分是用在儀器

設備的指示燈上，隨著科技的進步及LED製造廠的努力研發，目前LED的發光效能已足以取代傳統鎢絲燈泡，LED具備許多優於傳統光源的特點，如長達數萬小時的使用壽命、固態光源不易破壞、體積小應用方便、無汞環保、省電等。目前普及應用於各種產品上，如液晶螢幕的LED背光、手機的LED背光等，甚至有些已發展到路燈、室內燈等一般照明上，各種應用正如雨後春筍般地不斷發展、擴大。而車燈上的應用更一直被認定為LED主要擴展的項目之一，這使得LED在車燈上的應用，漸漸的從儀表照明、車廂內照明、訊號指示燈、煞車燈、第三煞車燈等，延伸到目前正在研發的霧燈及頭燈等照明性燈具，整體的發展藍圖如圖1所示。因為LED光源具有壽命長、耐震動、隨點隨亮、環保並節能等優點，剛好可彌補傳統燈泡易故障、反應慢、耗電等缺陷。因此無論是國內外車廠或是車燈廠，莫不積極的朝LED燈具發展，並廣泛的應用到車上所有燈具。



▲ 圖1. 車輛中心LED車燈研發歷程

LED光源與傳統光源在車燈光學設計上，雖然所採用的設計手法都是利用反射、折射原理，但還是存在著一些需要特別注意的地方。如光源外形與發散角度，一般傳統光源其發光處為一長條形燈絲形狀，可朝周圍360度發光，而LED則是一個正方形的面光源，光線的發散分佈僅朝某一特定方向的角度範圍，因此在執行光學設計時，就必須針對此一特性去尋找適合的方法來做設計。常用的光學基本設計原理如圖2所示，運用這些手法將可有效的利用LED光源特性設計出符合需求的LED車燈。

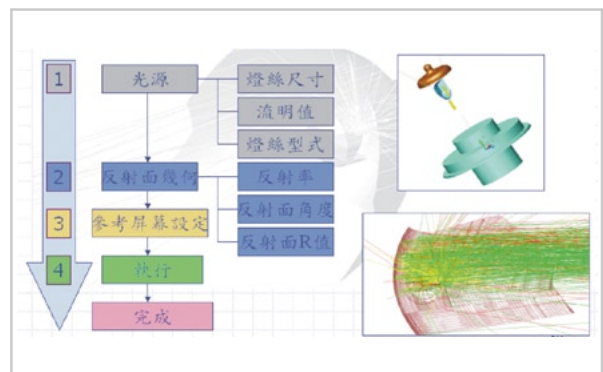


▲ 圖2. 常用之車燈光學設計原理 資料來源:SAE Tech.Paper

二、光源建構

車燈光學設計模擬主要的流程如圖3所示，從光源建構一直到執行光線模擬追跡，其過程中最重要、也是最需要事先明確定義的，就是光源。但在車燈設計常用的光學設計模擬軟體中，往往只提供鹵素及白熾燈泡等較傳統的光源資料庫，如歐規ECE R37規範的車用光源或是美規SAE標準中使用的車用光源，目前開發中的LED光源，則比較少出現在這類的光學設計模擬軟體資料庫中。且由於LED光源不像傳統燈泡有制式的規格，各家製造廠

間產品差異大，因此在執行LED車燈設計時，若無法取得原廠所提供的詳細光源資料檔案，則必需準備LED光源資料及樣品，將這些資料以3D繪圖軟體建構出幾何尺寸及相關組件位置，再用光學設計模擬軟體設定詳細的光源資料，如光通量、折射率、穿透率等參數。依上述參數進行模擬，將模擬結果與配光機、積分球實際量測LED光源樣品所得之結果進行反覆比對，了解實際測試值與電腦模擬值之LED光源分佈差異，並進行修正後完成光源的建構。

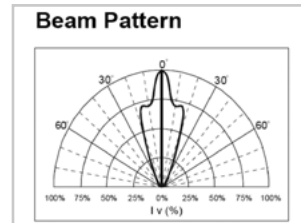


▲ 圖3. 車燈光學設計模擬流程

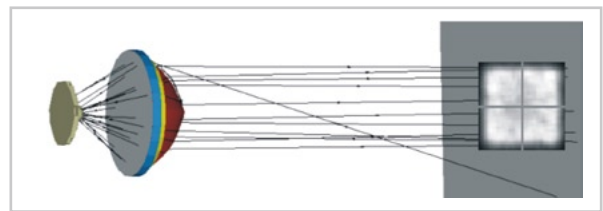
經過車輛中心多年來累積車燈光學研究設計的經驗已具備一套完整的光源建構模型。以LED汽機車方向燈常用的食人魚LED光源建構為例，一般LED光源廠對於食人魚LED光源大多難以提供光學設計模擬軟體所需的光源資料檔案，故無法直接進行LED車燈光學設計，需利用上述光源模型建構方式來製作，經過尺寸量測、3D建構、光源分佈與光通量量測等步驟，最後再以LED光源廠商提供之光源資料進行參數設定與調整，如圖4~12所示。從圖11及圖12的beam pattern圖可知，本中心建構之LED

技術放大鏡

光源模型模擬結果與原廠資料幾乎吻合。這樣的結果還不能確定光源模型是否與實際光源相同，因為光源有一定的大小，一般設計者可以很容易用光學設計模擬軟體做出相同的beam pattern曲線，但也常會因此忽略到光源的尺寸大小。錯誤的光源尺寸將會嚴重影響到最終的模擬結果，故可以再利用光源投影方式做雙重檢查，確認光源形狀與大小，如圖13所示。光形分佈確定後，該光源模型始可用於車燈光學設計，才不致使模擬結果與實際量測產生太大的誤差。



▲ 圖12. LED樣品原廠光源資料



▲ 圖13. 光源投影比對

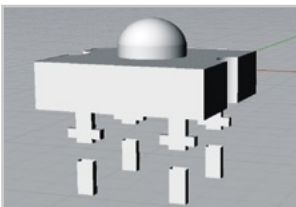
以下面的例子來說，圖14~17是採用相同光分佈曲線的LED，利用相同光學系統的設計，但LED晶片尺寸大小不同的燈具，進行電腦光學模擬的結果。由圖中可以看出其光形差異相差不小，圖14為40 mil晶片之光源 A，圖15為72 mil晶片之光源 B，圖16、17分別為A光源與B光源經過設計之光學系統產生的光形。若LED光源晶片較小，如圖16，光形較為密集、範圍小、亮度高，而圖17則反之。可想而知，若以點光源之模擬光源分佈來建構LED光源，其與實際尺寸模型建構之LED光源，兩者在尺寸上有差異，後續在燈具設計模擬上之結果與加工後成品之實際光形，一定會產生誤差，且此誤差與光學設計或加工無關，而是一開始輸入的光源資料便與實際不合。如此一來，必將花費許多時間在後續的偵錯及修改上，影響開發時程也增加成本。LED晶片尺寸大小之所以會造成設計上的誤差，主要是因為車燈光形設計是由燈絲或晶片影像堆疊而成的，如圖18所示，並非視為理想的點光源設計如



▲ 圖4. 光學投影儀



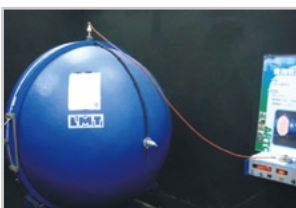
▲ 圖5. LED光源幾何量測



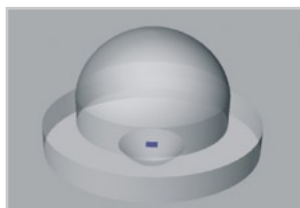
▲ 圖6. LED3D幾何模型建構



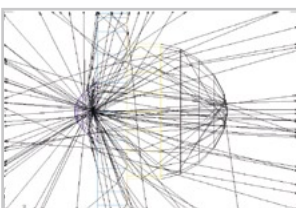
▲ 圖7. 光源分佈量測



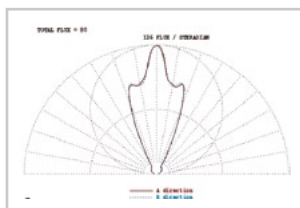
▲ 圖8. 光通量量測



▲ 圖9. 發光源參數設定

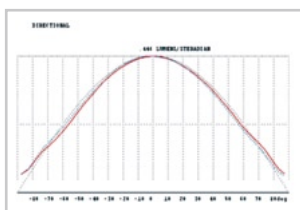


▲ 圖10. 光線模擬追跡

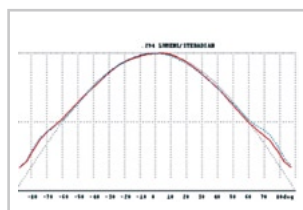


▲ 圖11. beam pattern模擬結果

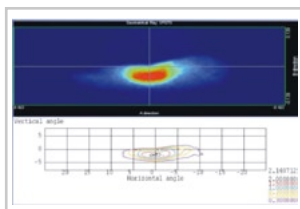
此簡化，故實際大小之光源模型建構成為光學設計的首要條件。



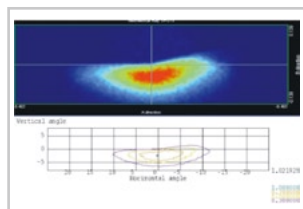
▲ 圖14. 40mil晶片LED光源A



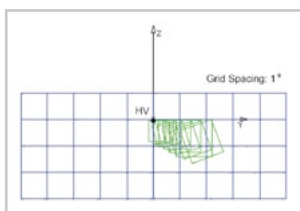
▲ 圖15. 72mil晶片LED光源B



▲ 圖16. A光源模擬結果



▲ 圖17. B光源模擬結果



▲ 圖18. 晶片影像疊加效應

資料來源: SAE Tech.Paper(North American Lighting, Inc)

三、車燈光學元件介紹

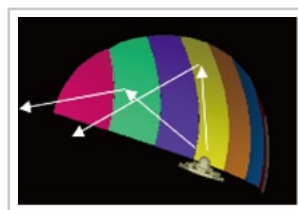
車燈光學設計其實就是把光線收集後再依車燈規範的光形需求分佈擴散出去，但是要怎麼收集及擴散？反射及折射兩種原理皆可利用。收集部分可用反射原理的拋物面反射鏡，將光源置於拋物面焦點上使得光線經過反射面後產生平行光；或者利用折射原理的非球面透鏡，也可以讓焦點上的光源光線透過非球面鏡收光產生平行光。擴散部分則是在反射面上做多個單元反射面來進行設計，或在透鏡上利用花紋塊來完成。

LED燈具因LED光源具有固定角度的發散角，

與鹵素及白熾燈泡等360度發散的光源不同。為符合國內外法規的要求，目前LED汽機車方向燈的設計，都是選用30度上下10度的光源，以直打的方式來符合車燈光形規範及測試點要求，並在LED光源後方建構一些造型用的反射面來增加燈具質感，如圖19所示。或是前方增設透鏡及花紋先收光再擴散，少部分則是選用角度介於120~180度間的LED光源，應用與鹵素及白熾燈泡一樣，光軸朝前放置，以拋物面反射鏡來收光再擴散達到設計需求。因通常一般LED光源正前方發出的光量多於側邊，因此設計上若將LED光源以發光面朝上置放，反射鏡收光效率會比朝前置放來的好，如圖20所示。



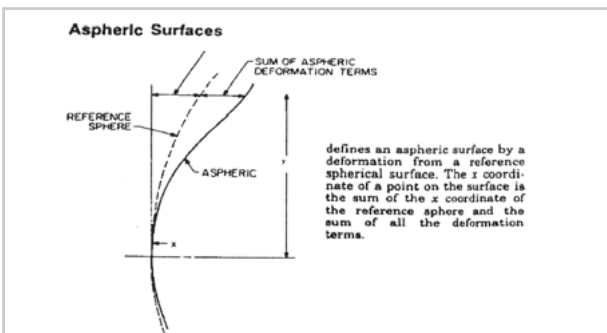
▲ 圖19. LED尾燈組



▲ 圖20. LED反射面

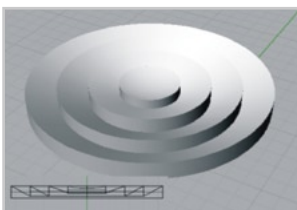
針對透鏡設計這部份，車用透鏡多以非球面透鏡為主。所謂的非球面透鏡即是鏡片的曲面和通過軸心的橫斷面交集為簡單的雙曲線、拋物線或橢圓的多項式曲線，或者為更複雜的曲線所建構，如圖21所示。非球面鏡因為有一定的厚度大小，若用在頭燈系統上因有空間可置放所以沒有太多尺寸問題，但放置在LED汽機車方向燈上就會有較多限制，因此透鏡可能需在厚度上做一些改變，如Fresnel Lens即是在厚度上做過修正的透鏡，如圖22所示。實際設計上若沒有專業的透鏡設計軟體，其實可以利用非球面鏡直接加以變化來達成，如圖23

所示。利用設計好之非球面鏡切割成數段，再將這些已分段的曲線平移至同一平面，以3D繪圖軟體接合並補面及建構厚度，如此即可以完成比非球面透鏡厚度薄且重量輕的Fresnel Lens，且功能上亦可以達到與非球面透鏡收集光線相同的效果，有時在設計上甚至可以依圈數多寡來建構符合車燈外觀的透鏡，作為外觀上的修飾。

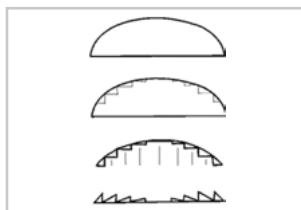


▲ 圖21. 非球面透鏡

資料來源:SAE Tech.Paper



▲ 圖22. Fresnel Lens

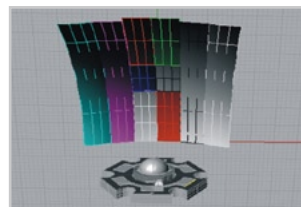


▲ 圖23. Fresnel Lens簡易做法

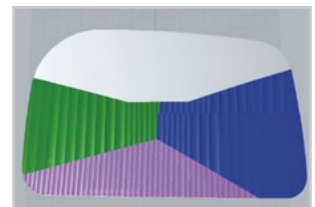
資料來源:《國際光電與顯示》LED專欄

談完收光再來談擴散，如同上述擴散的方式，不論是反射或者是折射都需將光學面做多個單元分割，再利用這些小單元反射面或透鏡做擴散設計，設計方法即在單元面上修改曲率使光線經過此區塊時產生擴散效果，如圖24、25所示。每一小單元上皆有加上曲率，但會因需求及位置在設計上有所差異。如有些LED汽機車方向燈的設計，在擴散方面即是利用燈殼上的花紋單元來完成，依燈殼曲面及外觀要求劃分成多個小區塊，再將各區塊四個邊界

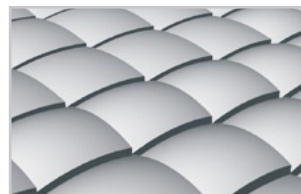
加上曲率，成為柱狀透鏡，最後依據不同擴散角度來調整曲率，完成整體的設計，如圖26所示。



▲ 圖24. 反射花紋單元設計



▲ 圖25. 透鏡花紋單元設計

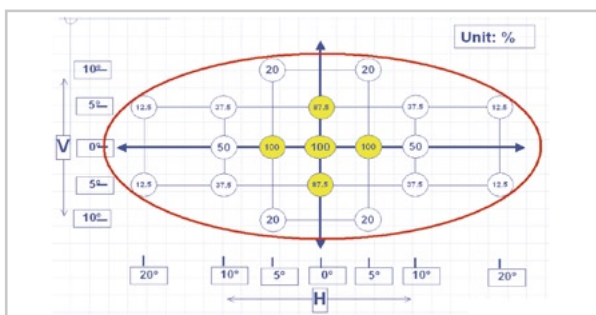


▲ 圖26. LED汽機車方向燈殼柱狀花紋透鏡

四、燈具設計

在開始進行LED汽機車方向燈設計前還需注意一件事，即上述一直在強調的光形規範要求。一件好的設計，就是能利用有限的光源光通量、燈具的尺寸邊界、透鏡的穿透率、反射鏡的反射率，在多重限制下設計出符合光形規範的汽機車燈具。LED汽機車方向燈光形到底是長什麼樣子呢？前文中有提到，許多的LED汽機車方向燈都是以直打方式來完成設計，因為LED光源直打就是一個圓形的光形，多個LED一起點亮，在10M處屏幕看到的也是個圓形，所以容易被誤認為方向燈的光形只是一個圓形的要求。其實，這樣的設計並沒有充分利用到光源散發出來的光，浪費了許多沒被收集及擴散的光通量，導致必須增加LED光源的使用顆數，耗費不必要的成本。本文以FMVSS 108及SAE之汽機車方向燈標準為例，其實汽機車方向燈的光形為一

個接近橢圓的形狀，其中間5度十字形區域內需要較亮之光線，如圖27所示，因此若能有效利用工具，設計出貼近光形規範要求之光形分佈，就可以節省不必要的浪費。



▲ 圖27. SAE汽機車方向燈光形要求圖

車燈設計及模擬如同圖3所示，要建構光源、反射面及透鏡光學元件，再進行光線追跡，每個步驟在執行時若能掌握越多資訊，就能得到越精準的設計成果。光線由光源發出經過反射鏡穿過透鏡到達前方屏幕，整個方向燈光學系統所需考慮的參數大致上有：光源模型、光通量、反射鏡反射率、透鏡穿透率及折射率，最後再加上加工及整燈組裝誤差的經驗值，將所有過程中產生的參數輸入光學設計模擬軟體，依據光形需求來完成最佳化設計。

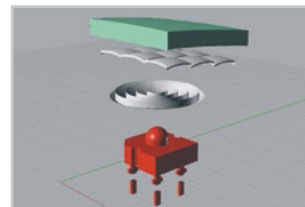
以一個汽機車方向燈設計變更案為例，將一傳統光源方向燈改為LED方向燈燈具。原本傳統光源採用的是P21W白熾燈泡，光通量460 lm，前方燈殼設計為琥珀色透明橫條花紋，後方反射鏡則為拋物面直條花紋。變更設計後光源改為LED，因LED發光效率及光源數的限制，總光通量只剩下90 lm，而前方採方格花紋並加上一層透明燈殼，後方無設計反射鏡，不但是兩者光通量相差5倍之多，

經反射/穿透率設備量測穿透率（如圖28所示），發現琥珀色種類的燈殼僅40%、透明種類的燈殼80%，光穿透率部分便多了20%的損耗，更惶論無反射鏡可以收集光線。FMVSS 108及SAE方向燈規範，針對LED燈具亮度還特別提高了1.375倍(視為發光區數3之要求)，整個車燈光學系統條件可說是相當嚴苛。因此為確保90 lm光源可設計出符合FMVSS 108及SAE方向燈規範要求之燈具，在光形設計上就必須盡量減少損失，提高效率。

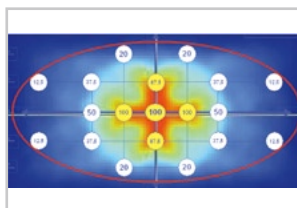
此燈做法可利用LED上打反射鏡或Fresnel Lens收光再經花紋擴散達成，除了盡可能提高收光效率外，還要依據光形要求分配，正確控制擴散角度。圖29為方向燈Fresnel Lens系統設計圖，圖30為設計之光形分佈，光形接近規範要求，各測試點均滿足標準值。若使用之光源發光角度太大的話，可在透鏡外側周圍部位採用全反射（TIR）設計。對於Fresnel Lens特性，越接近外側，光線入射角度越大，損失越大，若利用全反射透鏡架構，如圖31所示，可使入射角度接近0度，減少了收光透鏡外側的光反射損失，增加收光效率。



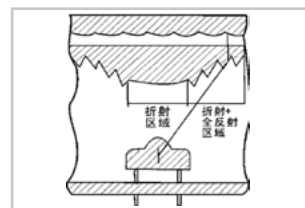
▲ 圖28. 反射及穿透率量測設備



▲ 圖29. LED方向燈設計



▲ 圖30. 方向燈光形設計結果



▲ 圖31. 全反射設計

資料來源：《國際光電與顯示》LED專欄



五、結語

在LED及散熱技術趨近成熟之下，LED光源發光效率越來越好，車用燈具光源全面汰換成LED光源已是指日可待。光學設計部份，無論是在LED封裝一次光學或是車燈燈具二次光學上，本中心皆投入了許多資源進行研究開發，並掌握許多關鍵技術。LED光源相對於LED車燈系統的光學元件，以傳統車燈燈泡中的鎢絲相對於反射面之比例來看，LED是屬於面積較大的光源，而以目前中心於設計上的技術與經驗，大多能克服光源差異所造成的設計誤差。目前大多遭遇到的問題，主要在於加工製作及組裝時人為誤差因素而對LED燈具成品所造成的影響。因只要有些許的加工或組裝誤差，光形結果將會與設計不符，但這些人為因素都是可以克服的。而車輛中心所成立的光學設計中心也將會致力於開發出更高效率的光學系統，並且提供國內產業界最完整的產品開發、驗證服務，成為國內車燈進軍世界、佈局全球的堅強後盾。

六、參考文獻

- [1] Ben Wang and Jianzhong Jiao, North American Lighting, Inc, "Studies for Headlamp Optical Design Using LEDs," SAE Tech.Paper No. 2004-01-0434
- [2] 唐國慶/上海金橋大晨光電科技有限公司，王國定/上海光谷科技有限公司，"LED信號燈二次光學設計"，《國際光電與顯示》LED專欄-2002年11月刊
- [3] 許日滔、王溫良，財團法人車輛研究測試中心，"高效能LED頭燈設計"，中華民國第十屆車輛工程學術研討會
- [4] LED產業網, <http://www.ledinside.com.tw/>
- [5] 劉源昌、賴添興"聚焦非球面厚透鏡的光學設計"，光學工程第七十九期