

LED 車頭燈於車輛過彎時之光學分析

蔡國銘¹、謝忠祐²、梁鈞³、劉金松⁴
Kuo-Ming Tsai¹, Chung-Yu Hsieh², Chun Liang³, Chin-Sung Liu⁴

國立勤益科技大學機械工程系
Department of Mechanical Engineering
National Chin-Yi University of Technology

¹Email:tsai101@ncut.edu.tw

²Email:hsieh100@ncut.edu.tw

³Email:jim771202@yahoo.com.tw

⁴Email:ak0911759599@hotmail.com

NSC : 100-2221-E-167-011

摘要

駕駛人在夜間行駛中，若車頭燈之設計不佳將影響對向車輛之行車安全。本研究探討LED機車頭燈於車輛過彎時之照度與眩光問題。首先是使用SolidWorks建立模型，將其匯入LightTools軟體進行光學分析，並與實際LED之光學性質量測值相比較，以驗證模擬模型中之光源特性。接著使用3顆LED搭配經設計的全內反射透鏡及聚焦透鏡，使光型能符合歐洲車輛法規(ECE R112)之近光燈要求，最後進行機車過彎時之光型變異分析。結果顯示，在車燈偏轉5°及10°時，透過光型補償機構可有效的改善平均照度分別為16%及43%；同時，其眩光亦可分別改善24%及59%，此結果可改善行車安全。最後提出一種補償光型之機構設計，有待後續實驗驗證。

關鍵字詞:LED陣列燈具、機車頭燈、近光燈光型、照度、眩光

Abstract

Poor designed vehicle headlights may endanger the drivers when they drive at nights. This study investigates the illuminance and flare of the LED headlights for motorcycles when the vehicles pass through curves roads. The LED model was built in SolidWorks and was transferred into LightTools to implement optical simulation analysis. The result of simulation was compared with the experimental data to confirm the validity of the light-source characteristics in the optical model. A set of three LEDs, each coupled with a total internal reflection(TIR) lenses and a focusing lenses, was used to produce a light-pattern conforming the European Standard for vehicles, ECE R112. The analysis of variance was then performed to determine the light-pattern of headlight when the motorcycle passes through a curved path. The result indicated that, with the light-pattern compensating mechanism installed, the average illuminance of the headlight was improved by 16% and 43% , and the flare was improved by 24% and 59%, for tilt angles of 5° and 10° respectively. A light-pattern compensation mechanism design was proposed to produce the effect demonstrated in this study so that a safer headlight can be achieved; the experimental verification awaits further research endeavor.

Keywords: LED-array light-ware, Motorcycle headlight, Dipped light pattern, Illuminance, Flare.

1. 前言

在夜間行行駛機車時，常會遇到一些車輛頭燈燈源極亮，其造成對向車道駕駛人視線不佳而影響行車安全，尤其是車輛轉彎時，由於車輛傾斜使其車頭燈常造成對向車輛駕駛眩光，因而影響車輛之行車安全，此為車輛之頭燈在轉彎時未符合安全規範所致。

一個良好的機車頭燈，需有足夠的照度與正確的光型[1]，才能達到財團法人車輛研究測試中

心之規範要求。如果LED裸晶以單純的封裝之設計製程機車頭燈，是無法達到規範之需求。因此需要使用二次光學之導光透鏡及陣列設計如球面或非球面透鏡、Fresnel結構透鏡、反射罩、全內反射面(Total Internal Reflection Only Surface, TIR)結構等之輔助，以提升其照明效率並符合安全規範。

Vladimir 等[2-3]使用具有令光線往前方反射而出之全反射光學構造使LED聚光，並且該構造

為全透明之結構，即光線進入後必須依靠全內反射原理才可以聚光，並向前方射出。同時，在導光元件與 LED 搭配的情形下，可將原有 55°的發光角縮減至僅有 15°[3]。也證明 LED 燈具發出之光線受到導光元件的作用使其光線較搭配鏡面反射罩的 LED 燈具集中。

本研究是用上述之原理及使用蔡伯年君[4]設計 LED 搭配 TIR 透鏡及聚焦透鏡可聚光而提升燈具之照明效率，因此投射至目標之光通量損失較小並產生更高的照度。透過陣列與光型設計可達到車輛頭燈規範，並針對機車過彎時之光型變異，分析其對照度與眩光的影響，最後設計一個補光機構供參考。

2. 光學基礎

2.1 照度(Illuminance)

照度之定義為一固定光源照射至檢測面之一單位面積上之光通量。其公制單位為勒克斯(LUX)，1 勒克斯為每平方米之檢測面接收到 1 流明之光通量。故照度之描述如下式：

$$E = d\Phi/dA \quad (1)$$

其中 E 為照度； Φ 為光通量；A 為面積。

2.2 流明(Lumen)

流明之定義為一固定光源發射到一個立體角的範圍中，則此立體角之總發射光通量為 1 流明，為人眼感知光能的量度，其數學定義為 1 lm = 1 cd·sr = 1 cd·m²·m⁻²，其中 cd 為燭光；sr 為球面度(Steradian)。

2.3 蒙地卡羅路徑追蹤法(Monte Carlo Path Tracing) [5]

以 LightTools 進行光跡追蹤時，使用的運算法為蒙地卡羅光跡(Monte-Carlo Ray Tracing)運算法來計算平面空間裡的光強度、照度等。其原理是在一光源與一檢測面之間，投射一定數量且為亂數排列之光線，當光線由光源往檢測面前進之過程中，遇到任何表面，將會產生折射或反射之效應，最後由檢測面檢出其照度及分布區域。其中，光源與檢測面之間所有物體表面並無先後順序之分，其光學效應均依照各光線行進過程所接觸之物件為準。蒙地卡羅光跡追蹤原理之數學模式(M)如下：

$$M = \int_b^a f(x)dx \quad (3)$$

$$M = \frac{1}{b-a} \int_b^a f(x)g(x)dx \quad (4)$$

$$M \approx \frac{b-a}{a} \sum_{i=1}^n f(x_i) \quad (5)$$

其中，M 定義為照度與光度之總合；f,g 為 x,y 空間中需進行積分之函數，其包含光源初始之光通量於空間中之分布；p 為 x,y 空間中之機率函數，其分布機率受光源與檢測面之間的環境所影響。n 則是使用數值方法進行加總時，系統分析之解析度，其數值愈高，誤差愈小但會增加分析求解時間，a,b 為網格區間(即為網格大小)。上式經數值計算後，即可得知空間中某區段之函數分布。此方法便可應用於工程或電腦繪圖之光跡追蹤數值運算。

2.4 折射式Lens設計

本實驗為達歐洲規範，以 ZEMAX 透鏡設計軟體設計所需之聚焦透鏡，所使用之設計原理為造鏡者公式[6]，如下式所示：

$$1/f = (n_2/n_1 - 1)(1/r_1 + 1/r_2) \quad (6)$$

其中，f:透鏡之焦距，n₂:透鏡之折射率，n₁:透鏡周圍環境之折射率，r₁:透鏡第一球面之曲率半徑，r₂:透鏡第二球面之曲率半徑。

2.5 眩光(glare)[7]

所謂的眩光是因為在視覺範圍內有一景物比原先之光源強很多，形成一種極大的刺激，導致光源與景物無法配合，造成視覺無法看清景物的現象。

根據國際照明委員會(CIE)於 1995 年提出統一眩光等級法 (UGR)，其計算方法如下式所示：

$$UGR = 8 \log \frac{0.25}{L_b} \sum \frac{L^2 \omega}{P^2} \quad (7)$$

其中，L_b:背景輝度 (cd/m²)，L:單一個燈具之發光部分在觀測者眼睛方向之輝度(cd/m²)， ω :單一個燈具之發光部分對觀測者眼睛所構成之立體角(sr)，P :Guth 位置指數，。

UGR 之絕對數值範圍介於 10 ~ 30 之間，數字愈小，代表眩光之影響愈低；反之則表示眩光之影響愈高。

3. 實驗方法

本研究以經最佳化設計之全反射透鏡的陣列燈具之車頭燈，進行光學分析，整體研究流程如

圖1所示。

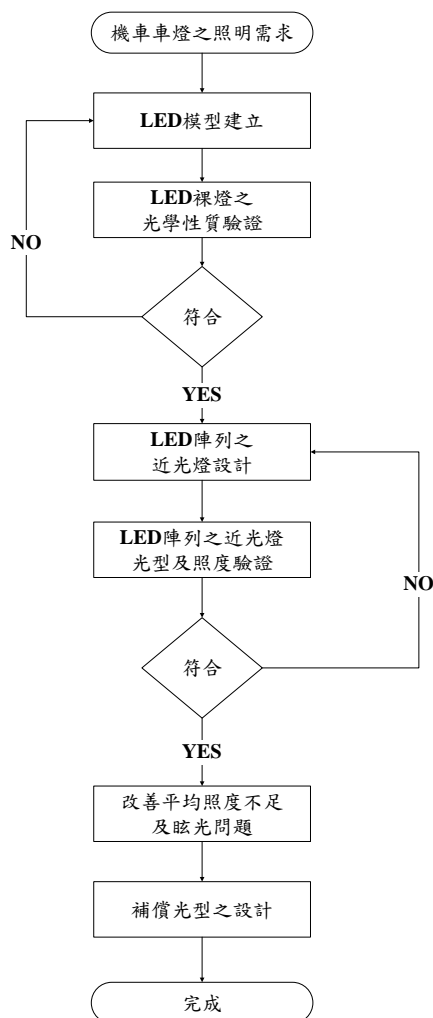


圖 1 研究流程圖

3.1 模型建構

首先本研究在SolidWorks中建立CREE公司生產之Q5 LED[8]並在其前方加入由蔡柏年君所設計之TIR透鏡及聚焦透鏡，後匯入LightTools軟體中搭配LED晶片及封裝之光源並設計成LED陣列，於前方25公尺處設置一個接收面，以進行蒙地卡羅光跡追蹤。

3.2 光學性質分析

本研究首先使用積分球測量單顆CREE X-RE Q5 LED裸晶之光學性質為使分析結果能符合實際光學性質，其後於LightTools中設置半徑為150 mm之積分球接受器，並於其中心依Q5 LED規格建立一顆白光LED光源，如圖2所示，其模擬值與積分球測量中所得之實際值進行比較。

將3顆含TIR透鏡之LED陣列車燈模型匯入軟體中，如圖3所示，於光源前方25m遠處設置一

接收面，其中LED光源為實際7顆LED陣列所消耗之功率，輸入積分球後所量得之流明值，接著進行光學分析，其後以實際3顆含TIR透鏡之LED陣列車燈，檢查是否符合模擬值，如圖3所示。

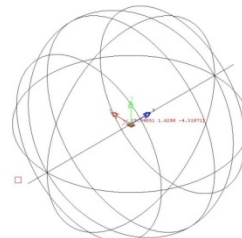


圖 2 模擬軟體中之積分球模型

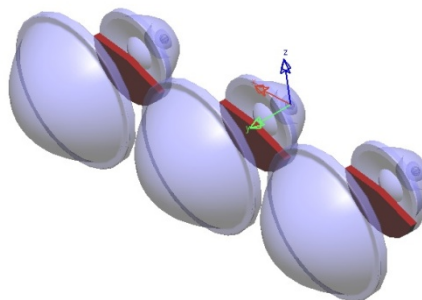


圖 3 完整三顆 LED 陣列車頭燈之模型

3.3 光型設計

在光型設計部分，本實驗以造鏡者公式設計後之聚焦透鏡置於TIR透鏡前，使經TIR面之光線直線向前，後依財團法人車輛研究測試中心公告之“車輛安全檢測基準公告版” [9]，於LighTools中建立擬非對稱光型車輛之光型面，如圖4所示，並於其上建立接收器，進行光學分析。

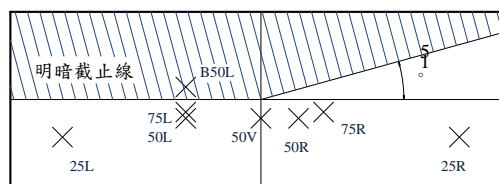


圖 4 模擬財團法人車輛檢測中心的非對稱光型車輛在 LighTools 軟體中所建立的光型說明

3.4 實驗材料與設備

本研究所使用之設備如表1所示。其中LED之TIR透鏡使用旭化成PMMA-80N塑膠材料經射出成形完成。

表 1 實驗材料與設備

品名	廠牌	規格	數量
LED	CREE	X-RE Q5	3

3.65V, 6W			
光譜輻射分析儀	浙大三色儀器	SPR-920 350nm-800nm 波長精度： 0.2nm 連積分球	1
光度計	浙大三色儀器	PR108C	1
照度計	KONICA	T10	1
光學分析軟體	LightTools		1

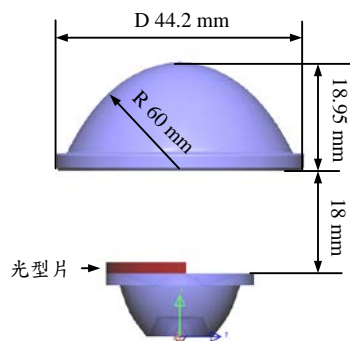


圖 5 光學分析之配置圖

4. 結果與討論

4.1 LED裸燈之光學分析

本研究首先將單顆LED，不含透鏡，使用積分球測量其光通量及照度計量測照度，並與LightTools軟體之分析結果比對，測量三顆LED所得之光通量與模擬之光通量最大誤差僅有0.69%，可見光源模型相當準確。然後將含TIR透鏡之LED進行光學模擬，其模擬值與實際測量得最大照度值之誤差最大為8.997%，如表2所示。由此結果可知實驗值與模擬值頗為接近。

表 2 單顆 LED 之模擬與驗證

光通量(lm)	實驗值	模擬值	誤差
1 號	273.91	272.01	0.69%
2 號	274.57	273.065	0.55%
3 號	263.21	263.12	0.04%
照度(lux)	實驗值	模擬值	誤差
1 號	149.9	162.85	8.64%
2 號	149.9	163.39	8.997%
3 號	146.1	156.62	7.20%

4.2 折射式凸透鏡與光型片之設計

TIR透鏡雖能降低LED之發光角，但依然有散光。本研究為達歐規，將聚焦透鏡為直徑44.2mm、鏡厚18.95mm、鏡面曲率60mm，匯入LightTools軟體置於TIR透鏡前方18mm處，此聚焦透鏡如下圖5所示，以少量(1千條光線)的光線進行觀察可知光線經此透鏡後達到二次聚焦且除雜散光外之光線幾乎呈直線行進，如圖6所示。

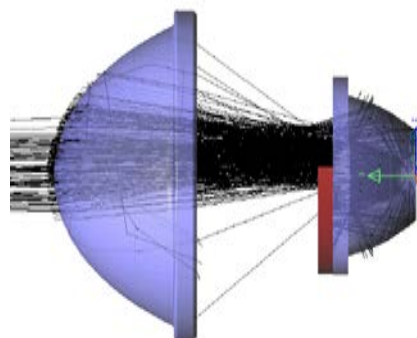


圖 6 光學分析之光跡圖

設計3顆陣列LED及具有15°角之光型片進行光學分析，探討其是否符合車輛安全檢測基準(同歐規)，其中非對稱光型車輛的光型，需符合圖7之光型。

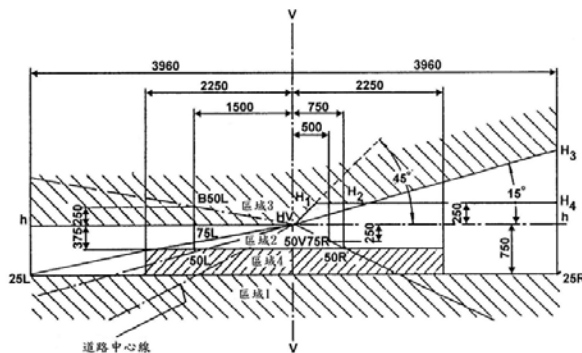


圖 7 非對稱光型車輛的近光燈光型規範

由如圖8所示之光學分析光型可知，其結果符合車輛安全檢測基準中非對稱光型車輛頭燈的近光燈光型。

經實際設計如圖9驗證光型之LED機車頭燈。實際量測其近光燈光型如圖10所示，由此可知其所量測而得的光型符合規範。

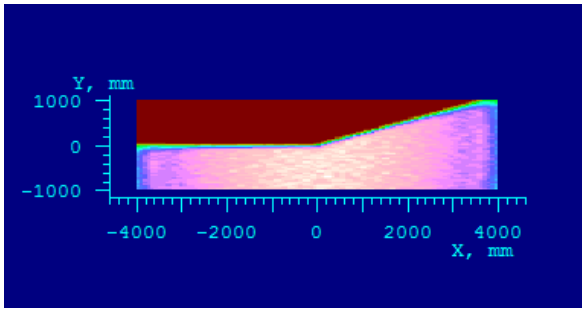


圖 8 LED 車頭燈之近光燈光型

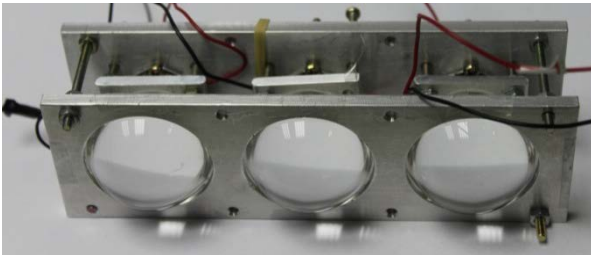


圖 9 實驗用三顆 LED 陣列車頭燈



圖 10 量測 LED 車頭燈之近光燈光型

4.3 照度分析

機車行車在轉彎時，車頭燈會因轉彎而偏轉，使平均照度改變，本研究使用LightTools軟體進行模擬，若機車向右過彎時，偏轉10度之車燈光型如圖11所示，若向左過彎時偏轉10度之車燈光型如圖12所示。針對此現象調整光型片之角度，求得修正值，並與未轉彎之平均照度做比較，其結果如表3所示。由結果可知，利用偏轉光型片的方式，在車燈偏轉5°及10°可有效的改善平均照度分別為16%及43%。

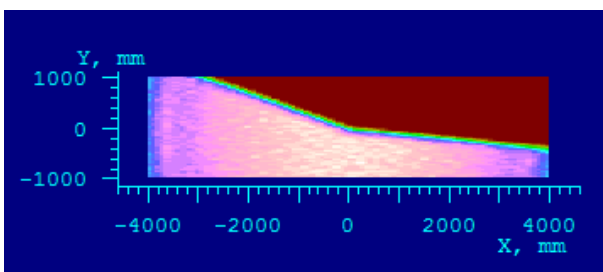


圖11 在右彎偏轉10°時的近光燈光型

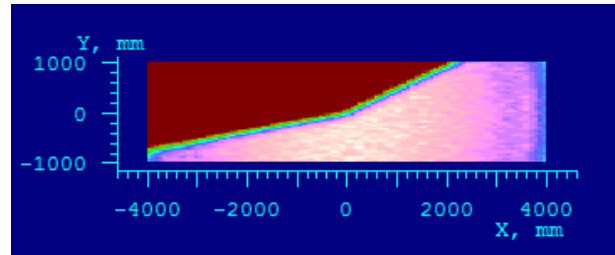


圖12 在左彎偏轉10°時的近光燈光型

表 3 偏轉角度影響平均照度之結果

偏轉角度	平均照度 (lux)	修正後之值 (lux)	改善率
未轉	14.12		
5°	12.12	14.1	16%
10°	9.85	14.1	43%

4.4 眩光分析

在眩光計算中，本研究使用統一眩光等級法(UGR)並得到如下表4所示之結果。若有一調整光型片位置之機構，在車輛轉彎時可將光型片維持在水平位置時，其眩光現象的結果。此補光機制僅轉動光型片使其維持在水平位置。

計算中背景輝度(L_b)是取住宅商業區，為 2 cd/m^2 ，Guth位置指數為人的注視線與光軸距離加上查表求得。而Guth位置指數因人而異，本研究在計算過程中是取一般人之身高(170cm)及一般機車高度(排氣量125CC)求得，而此2組數據依地區而異，最後代入(7)式中計算，即可求得如表4所示之結果。最後計算結果顯示可有效改善眩光，在車燈偏轉5°及10°可有效的改善眩光分別為24%及59%。

表 4 眩光計算值

偏轉角度	眩光值	修正後之眩光值	改善率
未轉彎	-10.416		
5°	-8.212	-10.16	24%
10°	-6.338	-10.09	59%

4.5 補償光型之設計

為使車輛轉彎時可將光型片維持在水平位置，本研究提出以滾珠搭配配重塊設計補償光型之機構構想，如圖13所示，此補償光型機構置於TIR透鏡與聚焦透鏡之間，圖中之中外環為剖視圖以方便看到機構內部，此機構為兩片式設計，組合後使得滾珠得以侷限在滾動槽內，光型片之左右兩側為配重塊，圖中光型片之位置為機車車身

未傾斜之情形，當車身傾斜時因重量配置之關係，光型片會旋轉回歸維持在水平位置。

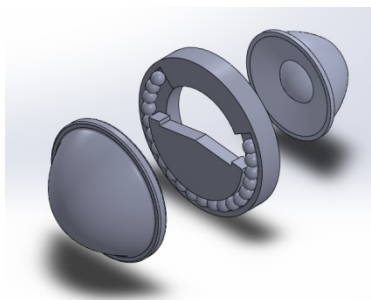


圖 13 補償光型之機構設計

5. 結論

本研究探討LED車頭燈於車輛過彎時之光學性質與光型，可得以下幾點結論：

1. 本研究設計之光型能符合歐洲車輛法規(ECE R112)之機車近光燈光型。
2. 車輛過彎時經光型補償機構能使光型及平均照度維持不變。
3. 經光補償機構亦能使眩光值維持不變。

致謝

此研究承蒙國科會經費補助(NSC100-2221-E-167-011)使研究工作得以順利完成，在此衷心感謝。

參考文獻

1. 趙偉成，對向來車的強光！--不可忽視的燈具改裝問題，財團法人車輛研究測試中心，彰化，台灣，2010
2. Vladimir M., Parkyn W.A. Jr., "Beam-forming lens with internal cavity that prevents front losses," US Pat. US5757557, 1997.
3. Parkyn W.A., Pelka D.G., "New TIR lens applications for light-emitting diodes," in Nonimaging Optics: Maximum Efficiency Light Transfer IV, San Diego, CA, USA, pp.135-140, 1997.
4. 蔡柏年，LED導光杯之設計與照明分析，碩士論文，國立勤益科技大學，台中，台灣，2010。
5. Murthy K.P.N., Monte Carlo: Basics, Indian Society for Radiation Physics, India, 2001.
6. 耿繼業，何建娃，幾何光學，全華圖書，台北，台灣，2002。
7. 張智鴻，人工智慧應用於室內照明最佳化設計之研究，碩士論文，國立臺灣科技大學，台北，台灣，2006。
8. "CreeRXLampR XR-E LED data sheet," CREE Inc.
9. 車輛安全檢測基準1010101公告版，財團法人車輛研究測試中心，彰化，台灣，2012。