

配光镜折射单元倾斜角的测量和拟合函数

郭山河 何丽桥 林晓珑 张铁强

(吉林工业大学应用物理系, 长春 130025)

摘要 本文提出一种自动、快速测量配光镜折射单元倾斜角的方法, 并采用曲线拟和方法, 确定出倾斜角的函数表达式。结果表明, 构成配光镜的折射单元不能简单看成是棱镜, 每个折射单元的表面是一个曲面。这一结论对研究车灯配光性质, 并以此为基础, 建立起配光镜设计模型, 具有明显的实际意义。

关键词: 折射单元; 配光镜; 倾斜角; 回归曲线

1 引言

配光镜是车灯的关键部件。由灯泡发出的经抛物反射面反射的光线, 再通过配光镜的折射作用进行混合, 产生满足配光要求的光型。以前照灯为例, 应在特定平面上产生如图1所示的明暗截止线。

配光镜由若干折射单元组成, 每个单元可看成是一个弯曲的柱面和倾斜角渐变的折射面的组合。倾斜角 α 对光线方向的偏转起着决定的作用, 测量得出折射单元倾斜角 α 的变化形式, 对于配光中光能量分布的计算有着重要作用, 有利于改进车灯设计方案, 修正配光镜所用棱镜的配置和形状的确定。

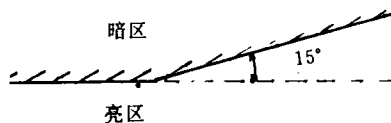


图1 前照灯的光型

2 倾斜角测量

2.1 测量原理

折射单元视为图2所示的棱镜, 从中看到入射光线与出射光线之间夹角 δ (称为偏向角)与棱镜倾斜角 α 、光线入射角 i_1 和出射角 i' 之间有如下关系:

$$\delta = i_1 + \sin^{-1}\{n \sin[\alpha - \sin^{-1}(\frac{1}{n} \sin i_1)]\} - \alpha \quad (1)$$

使光线正入射, $i_1 = 0$, 于是

$$\delta = \sin^{-1}(n \sin \alpha) - \alpha \quad (2)$$

式中 n 是配光镜材料的折射率。

为了由 δ 求出 α , 先取小角度近似, 则有

$$\delta_0 \approx (n-1)\alpha \quad (3)$$

将由此式得到的近似值 α_0 代回到(2)式中,反复进行迭代计算,直至得到与 δ 测量值有最小偏差的 α 值为止。

但是,实际折射单元表面是曲面,倾斜角是逐点变化的,折射单元厚度 y 随水平距离 x 变化。因此,逐点测量 $\delta(x_i)$,可得与之相应的倾斜角 $\alpha(x_i)$

2.1 仪器结构

测量倾斜角 α 的仪器结构如图 3 所示。由

He—Ne 激光器发出的近似平行的细光束,经聚焦透镜汇聚再变细(约为 0.5mm 的口径),照射到配光镜的折射单元上。由折射单元出射的细光束被探头阵列接收。探头阵列是由 40 个阵

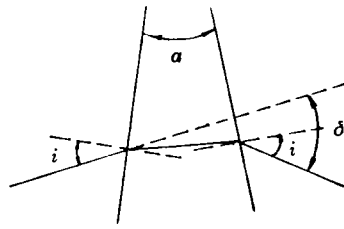


图 2 折射单元对光线的偏转作用

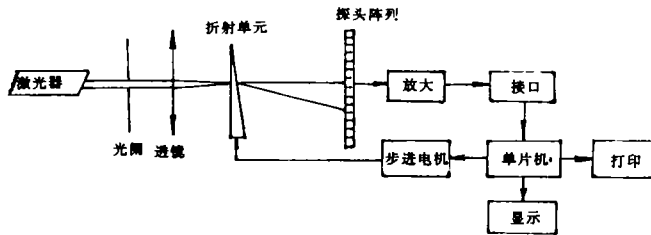


图 3 仪器结构框图

元的硅光电池组成,每个阵元是 $1 \times 1\text{mm}^2$,相邻阵元间距是 0.05mm。探头将光信号变成电信号,再通过放大和 A/D 转换,送到计算机中作数据处理。通过查询输送信号的探头标号,再根据折射单元到探头表面距离,算出偏向角 δ 。同时,计算机控制两台步进电机,推动配光镜实现二维移动,完成对镜面逐点的自动测量。表 1 列出了某个折射单元的偏转角 δ 和倾斜角 α 随平移座标 x 变化的测量值。其中,探测器表面到配光镜的距离是 240mm,配光镜材料的折射率是 1.52。

表 1 折射单元偏转角和倾斜角的测量值

$x(\text{mm})$	0	1	2	3	4	5	6	7	8
δ	0.01	0.15	0.57	1.63	3.21	5.26	8.84	11.08	12.32
α	0.02	0.27	1.09	3.05	6.11	10.31	16.12	19.64	21.46

3 回归法确定倾斜角随座标的变化关系

对于测定的一组数据 $(x_i, \alpha_i) (i=0, 1, 2, \dots, M)$,利用 N 阶回归分析法确定函数关系 $\alpha(x)$ 。这个方法是将 $\alpha(x)$ 展开为 x 的 N 阶常系数多项式,通过选择 N 和系数,获得与实际值最接近的关系式。

设 N 阶多项式回归函数是

$$\begin{aligned} \alpha(x) &= a_0 + a_1x + a_2x^2 + \dots + a_Nx^N \\ &= \sum_{j=0}^N a_jx^j \quad (N \leq M) \end{aligned} \tag{4}$$

$\alpha(x)$ 要想与测量值 α_i 有良好的拟合, 要求节点 x_i 处回归值 $\alpha(x_i)$ 与实测值 α_i 的偏差

$$\Delta\alpha_i = \alpha(x_i) - \alpha_i \tag{5}$$

的平方和取极小。 $\Delta\alpha_i$ 的平方和为

$$\begin{aligned} \sum_{i=0}^M \Delta\alpha_i^2 &= \sum_{i=0}^M (\alpha - \alpha_i)^2 \\ &= \sum_{i=0}^M [(\sum_{j=0}^N a_jx^j) - \alpha_i]^2 \\ &= A(a_0, a_1, a_2, \dots, a_N) \end{aligned}$$

通过选择 $a_k (k=0, 1, 2, \dots, N)$, 使偏差平方和 A 取极小值。

a_k 应满足下列 N 个方程

$$\frac{\partial A}{\partial a_k} = 2 \sum_{i=0}^M (\sum_{j=0}^N a_jx^j - \alpha_i)x_i^k = 0$$

或者写成

$$\sum_{j=0}^N a_j \sum_{i=0}^M x^{j+k} = \sum_{i=0}^M \alpha_i x_i^k \quad k = 0, 1, 2, \dots, N \tag{6}$$

引入符号

$$S_k = \sum_{i=0}^M x_i^k, \quad T_k = \sum_{i=0}^M \alpha_i x_i^k \tag{7}$$

则(6)式化为

$$\sum_{j=0}^N a_j S_{j+k} = T_k \quad k = 0, 1, 2, \dots, N \tag{8}$$

利用测得的一组数据 (x_i, α_i) 代入到(7)式中算出 S_k 和 $T_k (k=0, 1, 2, \dots, N)$ 的值, 再由(8)式求出回归函数 $\alpha(x)$ 。

由于 N 可以根据回归值与测量值之间的偏差确定(但 N 不能大于测量点个数 M)。所以, 总能得到一个与实测数据相逼近的回归函数, 作为该折射单元倾斜角的函数表示式。

确定常系数 $a_j (j=0, 1, 2, \dots, N)$ 利用计算机处理, 在图 4 中列出了适用于任意多组测量数据, 回归任意次的多项式方程, 用 Quick BASIC 语言编制计算程序的方框图。

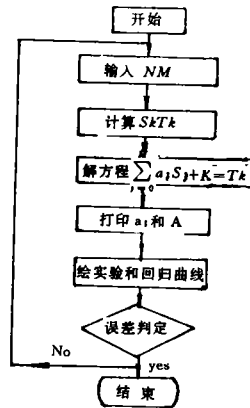


图 4 回归程序方框图

4 实例分析

对表 1 所列数据进行分析, 依次进行三次、四次、五次回归计算, 它们的偏差平方和分别是 0.63、0.25、0.09。图 5 画出各次回归函数曲线与实验曲线。从曲线比较中看到, 随着回归次数增加, 回归函数 $\alpha(x)$ 与实测值分布是比较接近的。

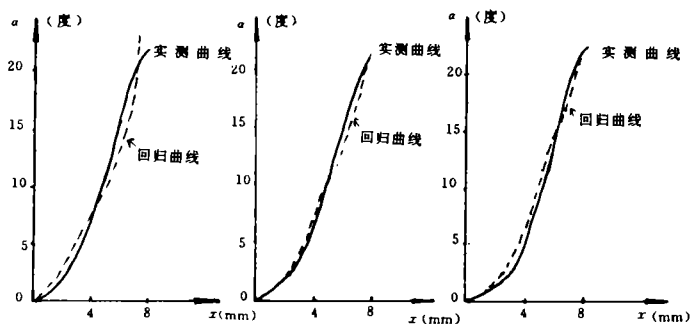


图 5 回归曲线实例分析

Measuring and Fitting Function of Inclination Angle of Refracting Component of Matched Mirror

Guo Shanhe, He Liqiao, Lin Xiaolong and Zhang Tieqiang

(Dept. of Applied Physics, Jilin University of Technology, Changchun 130022)

Abstract

The paper gives a new measuring method, which used for detecting the inclination angle of refracting component of matched mirror. By the method of minimum squares and regression curve, the function of inclination is presented. We see that every refracting component of matched mirror is not a prism, it has a conicoid. The result is practical significance for study of matching property of motor vehicular lamps and supposition of design model.

Key words: Refracting components, Regression curves, Matched mirrors, Inclination angle