

CO₂ 激光标记中光学参数的计算

陈义红 唐宗化 丘军林

(华中理工大学激光研究所, 武汉, 430074)

摘要: 激光标记由于具有标记清晰永久等特点而得到迅速发展。在激光器参数一定的情况下, 标记质量在很大程度上取决于光学参数的选择。本文导出了能量密度、象深和物距之间的关系, 给出了常用材料标记能量密度阈值的实验参数, 对 CO₂ 激光标记中光学系统设计有指导意义。

关键词: 激光打标 光学参数

The optical parameters computation for CO₂ laser marking system

Chen Yihong, Tang Zhonghua, Qiu Junlin

(Institute of Laser, HUST)

Abstract: The laser marking has been rapidly developed because of its clarity and long life of the laser brand. Marking quality depends on the optical parameters of the system. This paper discusses the relation among the system parameters, such as energy density, image length, body distance, etc. The experimental results of the energy density thresholds of some materials are listed. Those results are useful for designing the optical system of laser marking system.

Key words: laser mark optical parameter

一、CO₂ 激光标记系统

激光标记系统结构如图 1 所示。脉冲激光经过掩模盒和 45°全反镜后, 由透镜聚焦, 并成象在工件表面上。掩模盒中的模片携带了要标记的标志信息, 即光学系统中的物平面。因此, 该物平面经透镜(组)成象后, 其象必须在工件表面上, 否则不能有清晰的标志刻在工件上。但是, 对于一定的物质表面, 因其材料及表面的情况不同, 标记所需的能量密度亦不同, 故我们必须适当选取光学参数。

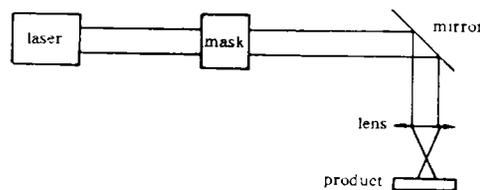


Fig. 1 Schematic diagram of laser marking system

二、光学参数的计算

在 CO₂ 激光标记系统中,假定不考虑衍射效应,且认为透镜是薄透镜,则物距 l , 象距 l' 和透镜焦距 f 应满足如下关系式^[1]:

$$\frac{1}{l} + \frac{1}{l'} = \frac{1}{f} \quad (1)$$

物象放大率:
$$\beta = \frac{l'}{l} \quad (2)$$

当 f 固定时:
$$\beta = \frac{f}{l-f} \quad (3)$$

$$l' = \frac{lf}{l-f} \quad (4)$$

一般来说,激光标记中使用聚焦透镜,且成实象,则 $f > 0, l > f$ 。由(3)式和(4)式可以看到,放大率反比于物距。

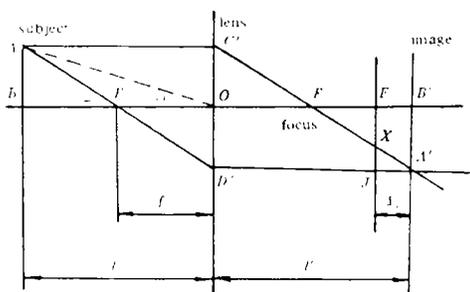


Fig. 2 Diagram of optical imaging

如图 2 所示,设掩模平面在 AB 平面上,与之共轭的景象平面为 $A'B'$ 。根据理想光学系统特性,物空间一个平面在象空间只有一个平面与之共轭。在标记系统中,设定掩模平面和透镜固定,如果待标记工件表面是平面且位于 $A'B'$ 面时,则标记是清晰的。但实际情况可能是待标记工件表面移到了 EJ 平面,这时 AB 平面上一个点在 EJ 平面的象就不是一个点,而是一个弥散斑。如果弥散斑足够小,例如它对人眼的张角小

于眼睛的最小分辨角(约为 $1'$)时,看起来并无不清晰的感觉,则称弥散斑可允许最大值所对应平面 EJ 与景象平面 $A'B'$ 距离的两倍为“象深” Δ 。

从图 2 可以看到, $\triangle A'IJ$ 相似于 $\triangle A'C'D'$, 则

$$\frac{IJ}{C'D'} = \frac{AI}{C'D'}$$

而
$$\overline{C'D'} = \overline{C'O} + \overline{OD'} = \overline{AB} + \overline{AB} \cdot \frac{f}{l-f} = \frac{l}{l-f} \cdot \overline{AB} = \frac{l'}{f} \overline{AB}$$

所以,
$$\Delta_s = l' \cdot \frac{IJ}{C'D'} = \frac{f}{AB} \cdot IJ \quad (5)$$

观察标记面图象时,为了得到正确的空间感觉而不发生景象的歪曲,必须使图象各点对眼睛的张角与直接观察空间时各对应点对眼睛的张角相等,符合这一条件的距离称为正确透视距离 D 。则

$$D = \overline{A'B'} \cdot \text{ctg}\omega = \overline{A'B'} \cdot \frac{l}{AB} = \beta l = \frac{lf}{l-f}$$

由象深及正确透视距离定义知:

$$\overline{IJ} = D\epsilon = \frac{lf\epsilon}{l-f} \quad (6)$$

式中, ϵ 表示弥散斑对眼的极限角。

$$\text{将(6)式代入(5)式得: } \Delta_1 = \frac{l\epsilon f^2}{l-f} \cdot \frac{1}{AB}$$

$$\text{所以, } \Delta = 2\Delta_1 = \frac{2l\epsilon f^2}{l-f} \cdot \frac{1}{AB} \quad (7)$$

由上式知, $\Delta \propto \frac{1}{AB}$, 即掩模尺寸愈小, 允许移动距离愈大, 或标记表面的平面性要求愈低, 这与光学系统中景深的情况相类似。

设 $\overline{AB} = 20\text{mm}$, $f = 120\text{mm}$, $\epsilon = 1' = 0.00029$, 则

$$\Delta = \frac{2 \times 0.00029 \times 120^2}{20} \times \frac{l}{l-120} = 0.4176 \frac{l}{l-120} \quad (8)$$

如设 $l = 500\text{mm}$, $\overline{AB} = 20\text{mm}$, $\epsilon = 0.00029$, 则

$$\Delta = 2 \times 500 \times 0.00029 \times \frac{f^2}{500-f} = 0.29 \times \frac{f^2}{500-f} \quad (9)$$

由(8)式和(9)式可知, 当 $l > f$ 时, 物平面愈靠近焦点, 象深愈大, 当物平面放在焦平面时, 即 $l=f$, $\Delta \rightarrow \infty$, 这是因为景象平面在无穷远处的缘故。由(9)式还可以看到, 焦距愈长愈好。

综合上述情况, 为了得到大的象深, 应选取长焦距, 且使掩模板靠近物方焦点。

三、标记能量密度计算

待标记工件表面即使在象深的范围内还不一定标出清晰的标记, 因为工件的标记总是在一个能量密度阈值, 激光能量经聚焦后只有大于能量密度阈值才能得到清晰的标记。

如图3, 设激光束是平行光束, 激光输出能量为 E_{out} (单位 J), 光束为矩形光斑 $b \times c (\text{mm}^2)$, 则经聚焦后 L 处的能量密度为:

$$E_d = \frac{\eta f^2 E_{\text{out}}}{(L-f)^2 bc} \quad (\text{J}/\text{mm}^2) \quad (10)$$

式中, η 为聚焦透镜的透过率。

如果 L 正好处在与掩模对应的景象平面上, 即 $L = l' = \frac{lf}{l-f}$, 则

$$E_d = \frac{\eta E_{\text{out}} (l-f)^2}{f^2 bc} \quad (\text{J}/\text{mm}^2) \quad (11)$$

式中, l 为掩模与透镜的距离。

将(7)式两边平方再乘以(10)式, 得

$$E_d \Delta^2 = \frac{4\eta E_{\text{out}} l \epsilon f^2}{ABbc}$$

在激光器参数及 l, f 一定时, $E_d \Delta^2 = \text{常数}$, 表明 E_d 反比于 Δ^2 。

综合前面情况, 我们可以看出, 象深与能量密度是相互制约的。在 $l > f$ 时, 能量密度与物距成正比, 而象深与物距成反比。要标出清晰的标记, 必须满足:

$$\begin{cases} E_d \geq (E_d)_{\text{th}} \\ l' - \Delta_1 \leq L \leq l' + \Delta_1 \end{cases}$$

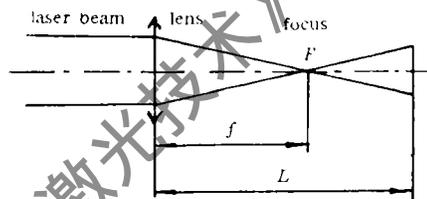


Fig. 3 Schematic diagram of computing energy density

即

$$\begin{cases} \frac{\eta E_{\text{out}}(l-f)^2}{f^2bc} \geq (E_d)_{\text{th}} \\ \frac{lf}{l-f} \left(1 - \frac{\epsilon f}{AB}\right) \leq L \leq \frac{lf}{l-f} \left(1 + \frac{\epsilon f}{AB}\right) \end{cases}$$

式中, $(E_d)_{\text{th}}$ 为标记工件的能量密度阈值。

能量密度是标记中一个极重要参数,特别是在激光器输出能量较低时更是如此,故以选择短焦距透镜为好,但焦距亦不能过短,因为过短会使标记面与透镜过近,易污染镜片。

下面给出了几种常见材料的 CO₂ 激光标记能量密度阈值。彩纸: 6.12J/cm²; 普通玻璃: 6.38J/cm²; 塑料笔套: 6.76J/cm²; 药瓶玻璃: 13.14J/cm²; 有机玻璃: 16.15J/cm²。其实验条件为: $f=120\text{mm}$; 光斑为 $25\text{mm} \times 20\text{mm}$; $l=640\text{mm}$; 标记图案为 HUST; 透过率为 100%; 并假设几何成象在景象平面上。

参 考 文 献

- 1 张以谟主编. 应用光学(上册). 北京, 机械工业出版社, 1982: 29

作者简介: 陈义红, 男, 1962年7月出生。硕士, 副教授。现主要从事大功率激光器及打标机研究工作。

收稿日期: 1993-07-21

· 产品简讯 ·

CD 激光器

年产量超过二千万支 780nm 波长、毫瓦级 GaAlAs 激光器, 每支售价仅几美元。该产品专为音频唱机设计, 基片上录有数码, 这种激光器发射单横模, 噪声低。在 CD 唱机或其他只读放唱光盘中它们无需调制, 但如有需要, 即可调制。低成本使其具有多种应用, 诸如光纤数码通信。它们常采用不同的条形封装。

译自 L F World, 1993; 29(7): 84 中尧 译 马理 校

· 产品简讯 ·

倍频二极管激光器

二极管的高功率密度允许直接从近红外倍频到蓝光波长。实际上, 光束质量与原始功率同样重要, 因为近红外二极管的输入必须加以会聚, 才能在非线性器件内高效产生谐波。这是大多数 GaAlAs 激光器波长太长的一种应用, 最好选用 860nm 来产生在蓝区的 430nm, 但对某些应用来说更长的波长可能更好, 这就导致了对 InGaAs 及其它材料的兴趣, 这些材料的发射波长大约在 900~1000nm 左右。

译自 L F World, 1993; 29(7): 82 郭福清 译 刘建卿 校