

# 激光印刷中激光光斑的理想尺寸及测量

李庆熊 钱秋明 赵建明

(中国科学院上海光机所)

## Ideal size of laser spot in laser printing and its measurement

*Li Qingxiang, Qian Qiuming, Zhao Jianming*

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica, Shanghai)

提要: 从激光印刷出发分析了激光光斑的理想尺寸, 给出了设计的理论依据并建立计算机化的测量系统。

关键词: 激光印刷, 光学扫描, 光学传递函数

### 一、前言

用短波长半导体激光器作为光源的激光打印机、激光照排机, 由于高质量的输出和低的噪声而迅速发展。本文描述了用光电扫描方法来测量光斑尺寸, 并找出了光电扫描曲线上的特征点与光斑尺寸的对对应关系。在此基础上, 建立了一个微机化的光电扫描测量系统, 利用二维刀口可自动沿着扫描方向进行测量, 从而给出整个线上的精确结果。

### 二、原理

现在激光打印机、照排机大多采用半导体激光器作光源, 发射一在垂直结方向发散角为  $30^\circ \sim 40^\circ$ , 平行结方向发散角为  $10^\circ$  左右的像散光束, 后经如图 1 的光学扫描器到达感光鼓或感光胶片上, 形成要打印的图像和文字。

来自半导体激光器的椭圆截面光束首先通过  $F=2$  的准直透镜  $L_1$ , 激光束会被不同程度地拦截。所以像面光束分布更接近于一阶贝塞尔函数的平

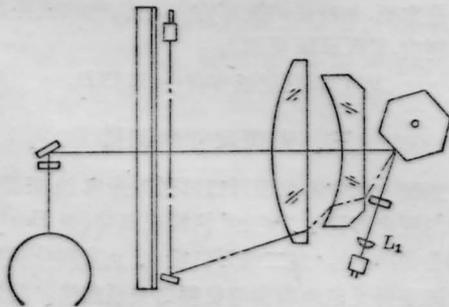


图1 激光扫描器

方。但是, 它与高斯分布的光斑形状差别很小, 为简单起见, 用高斯分布来讨论。

来自聚焦激光器的  $TEM_{00}$  模光束的光斑, 可以用“ $1/e^2$ ”半径  $r_0$  来表示:

$$I(r) = I(0) \exp[-2(r/r_0)^2] \quad (1)$$

其中  $I(0)$  是光斑中心的强度,  $r$  是离开中心的距离,  $r_0$  是当  $I(r) = I(0)/e^2$  时的  $r$  的值。通常还有一个对应于半功率点光强的半径  $r_1$ ,

$$r_1 = 0.589 r_0 \quad (2)$$

它所定义的光斑直径为半极大处全宽度, 即

$$FWHM = 0.589 \omega_0 \quad (3)$$

其中  $\omega_0$  是束腰,  $\omega_0 = 2r_0$ 。

激光扫描在走纸方向上是断续的, 在垂直于走纸方向上则是连续的。

对激光印刷的写系统, 激光扫描后形成一定的曝光量分布, 考虑系统的 MTF 由 FWHM 与调制器 (对半导体激光器而言是内调制) 的带宽所决定。下面, 我们把由分辨率要求所决定的像素大小称之为  $D_r$ , 它等于分辨率的倒数。

考虑位于光接收器处的曝光量分布是如何受调制带宽和 FWHM 与  $D_r$  之比影响的。图 2 表明了几个有关参数的示意图。上面的曲线代表具有理想的空空间频率物体, 中间为激光二极管发出的光波形, 其上升时间  $t_r$  受电子线路与激光管本身的带宽限制。若驱动的电子线路响应足够快, 上升时间仅由激光管本身决定而且可以达到纳秒量级。下面的曲线表示扫描后光接收器上的曝光量分布。

不妨假设光波形的上升时间等于下降时间, 即  $t_r = t_f$ , 对一个静止的扫描光学系统, 点扩散函数如

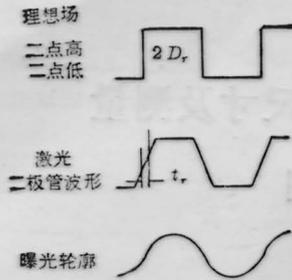


图2 几个有关参数

(1)式。当光斑扫描时,光点在光接收器上运动,点扩散函数将扩大。按方程(1), $t$ 时刻的强度分布为

$$I(x, y, t) = I(0) \exp[-2((x-vt)^2 + y^2)/r^2] \quad (4)$$

其中 $v$ 表示扫描速度。同时,激光器的光波形可假设受如下无量纲函数的时域调制,此函数对应于二点白二点黑的空间频率的物体。

$$i(t) = \begin{cases} [1 - \exp(-(t/t_r - 4N))] + [\exp(-2) + \exp(-4)]4N & 4N < t/t_r < 4N + 2 \\ [1 - \exp(-2)] \exp[t/t_r - (4N + 2)] & 4N + 2 < t/t_r < 4N + 4 \end{cases} \quad (5)$$

其中 $N=1, 2, 3, \dots$ ,记录介质上某点 $(x, y)$ 上的曝光量为

$$E(x, y) = \int_0^\infty i(t) I(x, y, t) dt \quad (6)$$

考虑 $y=0$ 的线上的曝光量,把(3)、(4)、(5)式代入(6)式,并定义

$$RA = \text{FWHM}/D_r \quad (7)$$

得

$$E(x) = C \int_0^\infty i(t) \exp[-2(x-vt)^2/(1.7RAD_r)^2] dt \quad (8)$$

其中 $C$ 是常数因子,设

$$D_r = Kvt_r \quad (9)$$

把(9)式代入(8)式并归一化后,得到

$$E_N(x) = \int_0^\infty i(t) \exp[-0.69((x/D_r - t/Kt_r)/RA)^2] dt \quad (10)$$

图3表示当 $K=1, RA$ 为1时,归一化曝光量与 $X/D_r$ 的关系曲线。图4表示当 $K$ 等于1, 4, 7时,曝光量调制度与 $RA$ 的关系曲线。

对于激光印刷系统来说,只要求获得两元的图像和文字,所以希望记录介质具有高的反差特性。这意味着当使用胶片时,胶片的 $H-D$ 曲线斜率很高,而当使用光导鼓时,表面电位衰减量与曝光量的关系曲线很陡。

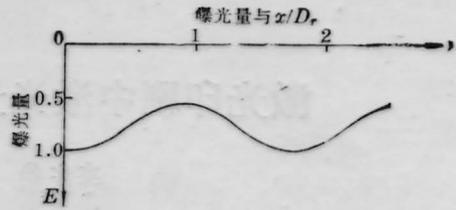


图3 曝光量分布与 $X/D_r$ 曲线  
 $RA=1, \text{调制度}=0.282405$

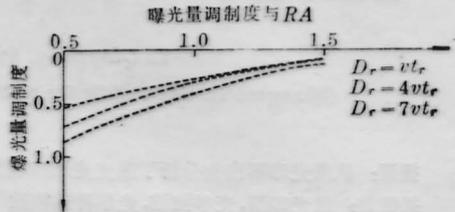


图4 曝光量调制度与 $RA$ 的关系曲线( $K=1, 4, 7$ )

在激光打印机中,印刷图形的密度对于对数曝光量的曲线很陡。所以当 $K=1$ 时,我们可以取

$$\text{FWHM(扫描方向)} = 0.5 D_r \quad (11)$$

当 $K=7$ 时,我们取

$$\text{FWHM(扫描方向)} = 0.9 D_r \quad (12)$$

在照排机中,如果要求获得60%的调制度(4:1衬度)如胶片 $H, D$ 曲线斜率为4,则当对数曝光量达0.6时,输出密度差即可达2.4。如假定 $K=1$ ,那么取

$$\text{FWHM(扫描方向)} = 0.4 D_r \quad (13)$$

如 $K=7$ ,则取

$$\text{FWHM(扫描方向)} = 0.7 D_r \quad (14)$$

在走纸方向,情况要简单得多。输出的图像和文字中的垂直线可以看作是一系列静止的点的叠加。Emmel<sup>[1]</sup>给出了关于一白一黑物体的结果,如FWHM被取得等于扫描线间隔的话,则可获得77%的调制度。对于激光打印机,如果我们想获得50%的调制度,可取

$$\text{FWHM(走纸方向)} = 1.23 D_r \quad (15)$$

对于照排机,如使用的胶片特性同前,而欲获得60%的调制度,FWHM可取为

$$\text{FWHM(走纸方向)} = 1.18 D_r \quad (16)$$

### 三、光斑尺寸的测量

光斑的尺寸用位于刀口后面的光电池来测量,刀口用压电陶瓷的“爬虫”机构来驱动(美Burleigh仪器公司产品),当二维刀口沿 $x, y$ 方向分别扫描时,即获得光电池输出与位移的关系曲线。测量装置的光电部分如图5。

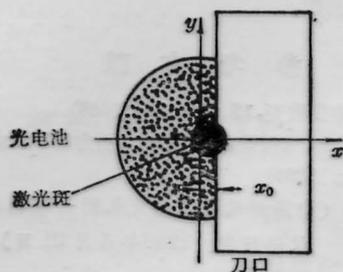


图5 扫描刀口

对于如同(1)式所示的光强分布,我们测到的总能量是

$$\Phi(x_0) = \int_{-\infty}^{x_0} \int_{-\infty}^{\infty} I(0) \exp(-2(x^2 + y^2)/r_0^2) dy \quad (17)$$

$$= 2I(0) \int_{-\infty}^{x_0} \exp(-2x^2/r_0^2) dx \times \int_{-\infty}^{\infty} \exp(-2y^2/r_0^2) dy \quad (18)$$

$$= CI_0 [1 + \operatorname{erf}(\sqrt{2} x_0/r_0)] \quad (19)$$

其中  $C$  是一常数,  $\operatorname{erf}$  表示误差函数。当  $x_0$  趋于无穷大时,  $\Phi(x_0)$  趋于  $\Phi_{\max}$ , 用  $\Phi_{\max}$  归一化  $\Phi(x_0)$ , 得到归一化函数  $\Phi_N(x_0)$

$$\Phi_N(x_0) = 0.5 [1 + \operatorname{erf}(\sqrt{2} x_0/r_0)] \quad (20)$$

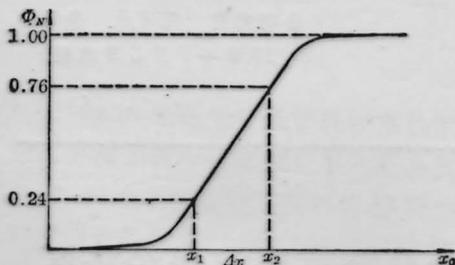


图6 光电输出曲线

读者·作者

## 史瓦度规的强场修正

文[1]发表了未经推导的强引力场时空线元函数,即史瓦度规的强场修正,不少读者来信希望了解推导过程,现简述如下。

首先考虑引力场中的狭义相对论效应,运动体的能量方程为:

$$mc^2 - \mu c^2 = GMm/R \quad (1)$$

由此可推出下面关系:

图6表示用此光电扫描获得的曲线,在曲线上我们找出对应于0.24和0.76  $\Phi_N$  的  $x_1$  和  $x_2$  点,查取误差函数表,我们得到下列关系式

$$\begin{cases} x_1 = -0.35 r_0 \\ x_2 = +0.35 r_0 \\ \Delta x = 0.7 r_0 \end{cases} \quad (21)$$

从而可以精确地知道“1/e<sup>2</sup>”半径和 FWHM

$$\begin{aligned} r_0 &= 1.43 \Delta x \\ \text{FWHM} &= 1.67 \Delta x \end{aligned} \quad (22)$$

取0.24及0.76  $\Phi_N$  的目的在于取曲线的较陡的部分,从而可以获得较高的精度。图7是测量系统的示意图。当位于“爬虫”工作台上的刀口移动时,来自光电池的电信号被送入  $x-y$  记录仪和微机。“爬虫”工作台的位移信号通过电感测微仪也送入记录仪和微机。分析(手工或自动)如图6所示曲线即可得知 FWHM 的大小。

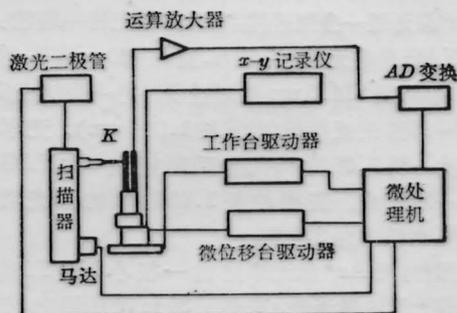


图7 测量系统框图

## 参考文献

- 1 P. M. Emmel, Laser Scanning and Recording for Advanced Image and Data Handling, SPIE Proceeding, Vol. 223, 2(1980)

(收稿日期: 1988年1月21日)

$$\frac{v^2}{2} = \frac{GM}{R} \left(1 - \frac{GM}{2Rc^2}\right) \quad (2)$$

如果令

$$\left. \begin{aligned} \varphi &= -\frac{GM}{R} \\ \varphi_{re} &= \varphi \left(1 - \frac{GM}{2Rc^2}\right) \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

(2)式可表为: