

# 用“最好线性无偏估计法”计算氦-氖激光管的工作寿命

王喜山

孙振东

(青岛大学)

(烟台大学)

## Helium-neon laser lifetime computed by best linear undistorted estimation

Wang Xishan

Sun Zhendong

(Qingdao University, Qingdao)

(Yantai University, Yantai)

**Abstract.** The data was treated with best linear undistorted estimation (BLUE) and the lifetime of He-Ne laser was computed, the results were in good agreement with the experimental ones.

### 一、小型氦-氖激光管的失效机理与威布尔分布函数

大量试验证实<sup>[1]</sup>, 玻璃结构的全内腔式小型氦-氖激光管的失效, 主要决定于下列几项因素: 铝阴极的溅射; 工作气体的变化; 放电管的腐变质和反光镜的损伤污染等。

用威布尔函数表征电子器件的寿命特征, 已经证明是有效的, 氦-氖激光管的失效机理与威布尔函数物理模型吻合。若引入位置参数  $\mu = \ln \eta$  和尺度参数  $\sigma = \frac{1}{m}$ , 描述激光管寿命的威布尔函数为

$$F(t) = 1 - e^{-\frac{\ln t - \mu}{\sigma}} \quad (1)$$

由(1)式可见当  $t = \eta$  时, 得  $F(\eta) = 63\%$ 。这意味着, 点燃 100 支激光管, 经特征寿命  $\eta$  时间后, 将积累失效 63 支, 故称  $\eta$  为激光管的特征寿命。

(1) 式中的两个待定常数  $\sigma$  和  $\mu$ , 可用“最好线性无偏估计法(简称 BLUE)”进行计算。

随机地抽取  $n$  支激光管 ( $n \leq 25$ ), 用  $I_4$  毫安的电流通电, 激光管依次失效的时间为

$$t_{1,n} \leq t_{2,n} \leq \dots \leq t_{r,n} \quad (2)$$

按 BLUE 法, 得到估计值  $\hat{\sigma}$  和  $\hat{\mu}$  分别为<sup>[2]</sup>

$$\begin{aligned} \hat{\sigma} &= \frac{\sum_{j=1}^r C(n, r, j) \cdot \ln t_{j,n}}{2.3026 \sum_{j=0}^r C(n, r, j) \cdot \lg t_{j,n}} \\ &= 2.3026 \frac{\sum_{j=1}^r C(n, r, j) \cdot \ln t_{j,n}}{\sum_{j=0}^r C(n, r, j) \cdot \lg t_{j,n}} \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \hat{\mu} &= \frac{\sum_{j=1}^r D(n, r, j) \cdot \ln t_{j,n}}{2.3026 \sum_{j=0}^r D(n, r, j) \cdot \lg t_{j,n}} \\ &= 2.3026 \frac{\sum_{j=1}^r D(n, r, j) \cdot \ln t_{j,n}}{\sum_{j=0}^r D(n, r, j) \cdot \lg t_{j,n}} \end{aligned} \quad (4)$$

式中  $r$  是失效激光管数,  $C(n, r, j)$  和  $D(n, r, j)$  分别称为  $\sigma$  和  $\mu$  的 BLUE 系数。由此, 得到形状参数  $m$  和特征寿命  $\eta$  的估计值为

$$\hat{m} = \frac{g_{r,n}}{\hat{\sigma}} \quad (5)$$

$$\hat{\eta} = e^{\hat{\mu}} \quad (6)$$

式中  $g_{r,n}$  称为修偏系数, 有表可查<sup>[2]</sup>。

随机抽取了 35 支激光管, 分成五组, 用不同的电流应力  $I_4$  进行点燃, 测得相应的失效时间  $t_{r,n}$ , 利用公式(3)~(6), 估计出这种激光管的特征寿命  $\hat{\eta}$  (小时)。

利用这五组试验数据, 得到相应的五组计算值  $\hat{m}_i$  和  $\hat{\eta}_i$  ( $i=0, 1, 2, 3, 4$ ) 分别为

$$\hat{m}_0 = 2.14; \hat{m}_1 = 2.12; \hat{m}_2 = 2.91;$$

$$\hat{m}_3 = 2.58; \hat{m}_4 = 4.52$$

和  $\hat{\eta}_0 = 12270$  小时;  $\hat{\eta}_1 = 5797$  小时;

$$\hat{\eta}_2 = 3956$$
 小时;  $\hat{\eta}_3 = 2448$  小时

由此可得出如下几点结论:

1. 腔长为 250mm 的小型氦-氖激光管, 正常点燃的电应力为  $I_0=5\text{mA}$ , 计算其相应的特征寿命  $\eta_0=12270$  小时, 这与实际情况相吻合。

2. 电应力小于 20mA 时, 形状因子  $\hat{m}$  具有大致相同的值。这说明电应力在 5~20mA 范围内, 都可用 BLUE 估算这种激光管的特征寿命  $\hat{\eta}^{[2]}$ 。

3. 增大电应力时(10mA~20mA 点燃), 这种激光管的特征寿命显著缩短, 这样测得的寿命称为“加速”寿命。若能找到加速寿命与大电应力之间的函数关系, 则可用较短时间确定其特征寿命  $\eta_0$ 。

## 二、加速寿命公式

器件的特征寿命  $\eta$  与电应力  $I$  可写为:

$$\eta = e^{a+2.3026(b \cdot \lg I)} \quad (7)$$

式中  $a$  和  $b$  为常数。

据 BLUE 法, 常数  $a$  和  $b$  的计算值为

$$\hat{a} = \frac{GH - IM}{BG - I^2} \quad (8)$$

$$\hat{b} = \frac{0.4343(BM - IH)}{BG - I^2} \quad (9)$$

式中

$$\left. \begin{aligned} B &= \sum_{i=1}^3 A_{r_i, n_i}^{-1} \\ I &= \sum_{i=1}^3 A_{r_i, n_i}^{-1} \cdot \lg I_i \\ G &= \sum_{i=1}^3 A_{r_i, n_i}^{-1} \cdot (\lg I_i)^2 \\ H &= \sum_{i=1}^3 A_{r_i, n_i}^{-1} \cdot \mu_i \\ M &= \sum_{i=1}^3 A_{r_i, n_i}^{-1} \cdot \mu_i \cdot \lg I_i \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

式中系数  $A_{r_i, n_i}^{-1}$  的数值可查表<sup>[4]</sup>。(10) 式中的有关数据列在表 1 中。将其中的数据代入(8)~(10)式, 得  $\hat{a}=11.26$  和  $\hat{b}=-1.13$ 。

表 1

序号 $i$	$I_i(\text{mA})$	$n_i$	$r_i$	$\mu_i$	$A_{r_i, n_i}^{-1}$
0	5	9	9	9.4149	7.9477
1	10	5	4	8.6651	3.4268
2	15	5	4	8.3386	3.4268
3	20	9	8	7.8028	7.4042

不同应力下的特征寿命为

$$\eta_i = \frac{77265}{I_i^{1.13}} \quad (11)$$

式中  $i=0, 1, 2, 3$ 。将  $i=0$  和  $i=3$  分别代入(11)式, 得

$$\eta_0 = \left(\frac{I_3}{I_0}\right)^{1.13} \eta_3 \quad (12)$$

若正常应力  $I_0=5\text{mA}$ , 大电应力  $I_3=20\text{mA}$ , 则由(12)式得到正常应力下的特征寿命  $\eta_0$  为

$$\eta_0 = 4.79 \eta_3 \quad (13)$$

式中  $\eta_3$  是用大应力  $I_3=20\text{mA}$  得到的“加速”特征寿命。我们称(12)式或(13)式为“加速”寿命公式。

我们抽测某工厂生产的激光管 5 支, 用大电应力电流  $I_3=20\text{mA}$  点燃, 按本文方法算出  $\eta_3=2300$  小时。代入(13)式, 推算出正常应力  $I_0=5\text{mA}$  时, 该激光管的特征寿命应为  $\eta_0=4.79 \times 2300=11017$  (小时)。该厂用其它方法测得的寿命也符合这一结果。

## 参 考 文 献

- 1 茆诗松, 王玲玲;《可靠性统计》, 1984 年, 上海师范大学出版社。
- 2 第四机械工业部标准化研究所,《可靠性试验用表》, 1979 年。

(收稿日期: 1986 年 12 月 5 日)

## 更 正 启 事

由于工作疏忽, 本刊 1987 年第 11 期发表的“CARS 技术测量煤气/空气火温焰度的实验研究”一文有串行现象, 现更正如下: 第 696 页左栏第 14 行应为该栏的第 1 行, 第 13 行应为该栏的第 1 行,

第 1 行应为该栏的第 3 行, 以下类推。

由于我们工作中的失误, 给作者和读者带来很多麻烦, 特此致歉。

编辑部