

He-Ne 激光管的可靠性分析

刘金绶 邹志洁

(南京工学院激光研究室)

提要:通过对内腔式 He-Ne 激光管的工作寿命试验, 由威布尔分析定量地描述了激光管的各项寿命特征, 并讨论了管子的失效模式。

Reliability analysis of He-Ne lasers

Liu Jinshou, Zou Zhijie

(Laser Research Lab., Nanjing Institute of Technology)

Abstract: Several life-time characteristics are described quantitatively and the failure modes are discussed through lifetime test of He-Ne lasers and Weibull analysis.

一、失效器件的分布规律

影响 He-Ne 激光管可靠性的因素很多, 不仅有结构和制造工艺的原因, 而且跟使用环境有关。使用寿命是一个随机变量, 但对大量管子而言, 它遵循着一定的分布规律。为保证统计的准确性, 在管子制造过程中应尽量保证各项参数和工艺的一致性。在测试合格的腔长 250 毫米的管子中随机抽取一定数量作为寿

表 1 各激光管工作寿命数据

管号	8119	8037	8045	80115	
失效时间(小时)	8732	10328	13313	14160	
管号	8111	8031	80142	8153	80119
失效时间(小时)	15744	17170	19266	16830 未失效	20923 未失效

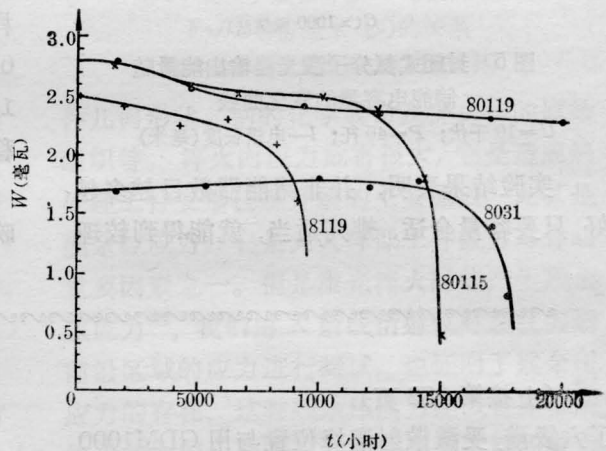


图 1 各激光管随时间的关系曲线

命试验样管, 并认为输出功率低于 1 毫瓦时, 寿命终了, 器件失效。表 1 列出了 9 只试验样管的工作寿命数据, 图 1 画出其中四只管子的输出光强 (W)-时间 (t) 关系曲线。

从表中可见, 器件的寿命有长有短, 为了

收稿日期: 1983 年 12 月 5 日。

描述它的失效规律，我们引进累积失效概率的概念，当试验样管数 $n=9 < 20$ ，累积失效概率 $F(t_i)$ 可按下式计算^[1]

$$F(t_i) = \frac{i}{n+1}$$

式中 i 表示在工作时间 t_i 时的累积失效样管数。若 9 只试验样管中有 7 只失效，即 $F(t_7) = 70\%$ 时，寿命试验结束，根据表 1 数据，按上式可计算出相应的累积失效概率，见表 2。

表 2

失效时间 t (小时)	t_1 8732	t_2 10328	t_3 13313	t_4 14160	
累积失效概率 $F(t)\%$	10	20	30	40	
数据变换 $t' = t/10^3$	t'_1 8.732	t'_2 10.328	t'_3 13.313	t'_4 14.160	
失效时间 t (小时)	t_5 15744	t_6 17170	t_7 19266	t_8 未失效	t_9 未失效
累积失效概率 $F(t)\%$	50	60	70		
数据变换 $t' = t/10^3$	t'_5 15.744	t'_6 17.170	t'_7 19.266		

众所周知，瑞典教授威布尔曾发表了一般形式的分布函数，这种分布首先是解决机械工程磨损问题，其后发现对电子元器件和设备等的寿命试验统计分析，也是一种有用

的工具。威布尔分布是一种三参数分布，它的累积失效函数 $F(t)$ 、失效密度函数 $f(t)$ 和失效率函数 $\lambda(t)$ 可表示为^[2,3]

$$F(t) = \begin{cases} 1 - e^{-\frac{(t-r)^m}{t_0^m}} & \text{当 } t \geq r \\ 0 & \text{当 } t < r \end{cases}$$

$$f(t) = \begin{cases} \frac{m}{t_0} (t-r)^{m-1} e^{-\frac{(t-r)^m}{t_0^m}} & \text{当 } t \geq r \\ 0 & \text{当 } t < r \end{cases}$$

$$\lambda(t) = \begin{cases} \frac{m}{t_0} (t-r)^{m-1} & \text{当 } t \geq r \\ 0 & \text{当 } t < r \end{cases}$$

式中： t_0 ——比例参数， m ——分布的形状参数， r ——定位参数。那末 He-Ne 激光管是否也符合威布尔分布？为了在威布尔概率纸上描点，首先对概率纸的 t 尺作数据变换，设 t_i 为管子失效的实际时间数据， t'_i 为威布尔纸上的数据，令：

$$t_i = t'_i \times 10^\alpha, \alpha = 3$$

按上表中各 t_i 值可计算得相应的 t'_i 值亦列于表 2 中。按表 2 所列 $[t'_i, F(t'_i)]$ 各组数据，在威布尔概率纸上作图（见图 2），显然呈一条直线，表明失效分布符合威布尔分布，且定位参数 $r=0$ 。

过估计点 (1, 0) 作一条与回归直线平行

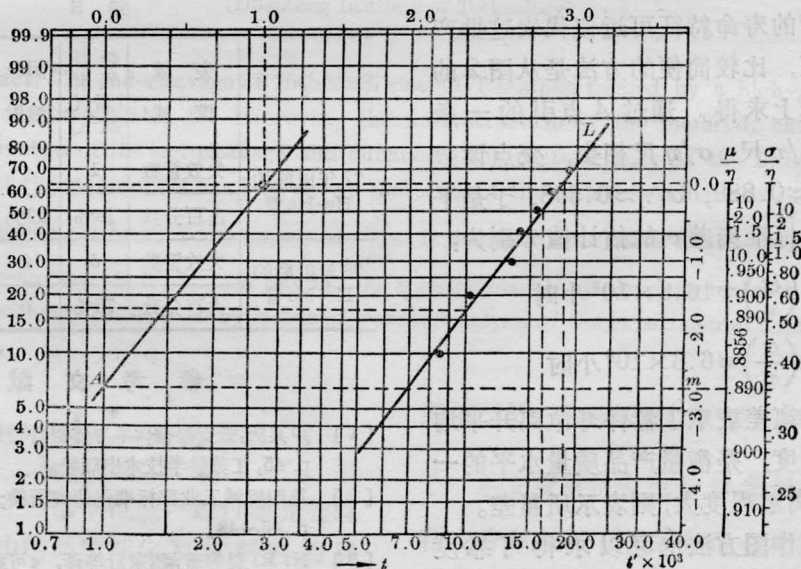


图 2

的直线, 且与 y 轴相交于 A 点。通过图估法就可求得威布尔分布的形状参数 m , 真尺参数 η 和比例参数 t_0 的估计值:

$$\hat{m}=2.7$$

$$\hat{\eta}=18.3 \times 10^3$$

$$\hat{t}_0=\hat{\eta}^{\hat{m}}=3.2 \times 10^{11}$$

由于知道了威布尔分布函数的三个参数的估计值 \hat{m} , \hat{t}_0 和 $\hat{\eta}$, 分布函数也就确定了。图 3 表示了 $F(t)-t$ 曲线, 从曲线可见, 约百分之六十的器件在 1 万~2.2 万小时的时间内失效, 如果我们希望器件的可靠度为 $R(t)=80\%$, 即累积失效概率 $F(t)=20\%$, 这时允许工作时间为 $t_R \approx 10000$ 小时。

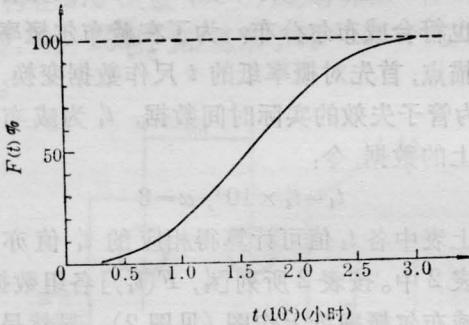


图 3

二、估计激光管的寿命特征值

试验样管的寿命特征可近似代表这批产品的寿命特征, 比较简便的方法是从图 2 的威布尔概率纸上求得。通过 A 点引的一条水平直线与 μ/η 尺、 σ/η 尺相交, 交点读数分别为: $\mu/\eta \approx 0.889$, $\sigma/\eta \approx 0.358$, 于是平均寿命和寿命标准离差 σ 的估计值分别为:

$$\hat{\mu}=\hat{\eta} \left(\frac{\mu}{\eta} \right) \approx 16.3 \times 10^3 \text{ 小时}$$

$$\hat{\sigma}=\hat{\eta} \left(\frac{\sigma}{\eta} \right) \approx 6.6 \times 10^3 \text{ 小时}$$

寿命标准离差表示了器件寿命离开平均寿命的离散程度, 是衡量产品质量水平的一项重要指标, 离散程度大, 则表示质量差。

同样, 用作图方法也可以求得可靠度 $R(t_i)$ 、可靠寿命 t_R 和中位寿命 $t_{0.5}$ 。

例如, 当 $t_i=10000$ 小时, 在 $t'=10$ 的点引一条垂直线与回归线 L 相交, 再从交点引水平线与 $F(t)$ 尺相交得 $F(t_i) \approx 18\%$, 则 $R(t_i)=1-F(t_i)=82\%$ 。反之, 我们若从使用角度要求 $R=82\%$, 则允许工作寿命 $t_R \approx 10000$ 小时, 就称为可靠寿命。显然要求可靠度高, 则可靠寿命就短。

若可靠度 $R(t)=F(t)=50\%$, 即器件失效一半, 这时的寿命就是中位寿命, 由图 2 可以方便求得 $t_{0.5} \approx 16000$ 小时。

三、失效模式与分析

对于环氧封接内腔式 He-Ne 激光管的存放寿命和工作寿命, 失效模式很可能是不同的。我们对 1977 年以前制作的 7 只工作寿命试验样管分析其失效情况, 各种失效模式所占的百分比和平均寿命列于表 3, 由表可见, 阴极溅射、反射镜沾污对器件失效起着重要作用, 平均寿命也较短。针对失效原因, 采取了适当措施, 严格质量控制, 对 1978 年以后制造的 9 只试验样管进行长期工作寿命试验, 其中 7 只失效, 试验结果也列于表 3 中, 可见质量水平有了显著提高。

表 3

	失效模式	杂质气体(漏气、放气)	阴极溅射	反射镜沾污损伤	平均寿命(小时)
77年以前的 He-Ne 管	失效管数	1	4	3	~3000
	占百分数	14%	57%	42%	
78年以后的 He-Ne 管	失效管数	5	0	3	~16000
	占百分数	70%	0	43%	

参 考 文 献

- [1] 卢其庆, 张安康编;《半导体器件可靠性与失效分析》, p. 45, 江苏科学技术出版社。
- [2] 第四机械工业部标准化研究所编;《可靠性基础》, p. 46~48。
- [3] N. R. 曼等著, 魏宗舒等译,《可靠性与寿命数据的统计分析方法》, p. 86~87。