

一种预测磁光盘可靠寿命的方法*

姜书艳** 刘素环

(电子科技大学自动化系 成都 610054)

【摘要】 提出了利用威布尔分布参数的图分析法预测磁光盘可靠寿命的方法,克服了以往仅针对单一或特定结构的分析,将磁光盘作为一个系统来综合考察,以误码率作为磁光盘的失效判据,通过对磁光盘两个温度点的高温恒定应力加速寿命试验结果的分析,计算出了磁光盘在25℃正常大气条件下的可靠寿命。

关键词 磁光盘; 加速寿命测试; 威布尔分布; 可靠性

中图分类号 TN247

光电记录技术及应用是当今世界上工业发达国家十分活跃的高技术研究项目,实现实用型磁光盘的关键技术是解决其可靠性问题。目前广泛使用的磁光记录层为稀土-过渡族合金膜。稀土元素的易氧化性是导致磁光记录介质失效的根本原因,国内外有关专家对此进行过大量研究,主要是针对单一或特定的结构进行分析。然而,磁光盘由多层膜构成,各层膜及基片的状况对磁光盘的老化性能都会产生影响。因此,将实用化磁光盘作为一个系统来综合考察其失效机理是十分必要的。目前,国内外在此方面的研究报道极少,本文提出了利用威布尔分布参数的图分析法从整体上预测磁光盘可靠寿命的方法。

1 加速测试以预测寿命

加速测试是对产品寿命预测中经常采用的手段。该方法的基本思路是加大应力(如热应力、电应力、机械应力等)的办法,加快产品失效,缩短试验时间,运用加速寿命模型估计出产品在正常应力作用下的各类可靠性指标。加速寿命试验可分为恒定应力、步进应力和序进应力加速寿命试验。其中恒定应力加速寿命试验得到的信息最多,从中得出的分析结果也最多^[1]。本文采用恒定应力加速寿命试验,选择热应力来预测磁光盘的可靠寿命。

磁光盘可靠寿命的预测判据可以是反射率、位错误率和缺陷错误率^[2],本文选取位错误率即误码率作为磁光盘的失效判据。由于磁光盘的可靠性比较高,寿命较长,因此在有限的时间内不会引起其中一、二张盘失效,故假定在任一温度水平 s_i 下磁光盘的误码率随时间呈线性规律变化,当误码率达到 1.0×10^{-4} 时即认为其失效。每张盘在每个温度点均测试三次,取其平均值作为该温度点的测试结果,以减少偶然误差。

2 威布尔分布

在可靠性工程中,寿命分布以威布尔分布最为普遍。这是因为威布尔分布含有的参数对各种类型的试验数据拟合的能力强,对浴盆曲线的三个失效期都能适应,威布尔分布应用很广,可用于描述疲劳失效、真空失效等寿命分布。因此,对于磁光记录介质也采用了威布尔分布的寿命分布模型。试验证明,磁光盘的失效数据与威布尔分布拟合得很好。

2.1 威布尔分布

威布尔分布的分布函数为

$$F(t) = \int_{t_0}^t f(t)dt = \int_{t_0}^t \frac{m}{\eta} \left(\frac{t-t_0}{\eta} \right)^{m-1} \exp \left[- \left(\frac{t-t_0}{\eta} \right)^m \right] dt = 1 - \exp \left[- \left(\frac{t-t_0}{\eta} \right)^m \right] \quad (1)$$

1999年11月2日收稿

* 国家科委火炬重点项目

** 女 30岁 硕士 讲师

式中 m 为形状参数； η 为尺度参数； t_0 为位置参数。

可靠度及失效率为

$$R(t) = \exp\left[-\left(\frac{t-t_0}{\eta}\right)^m\right] \quad t \geq t_0 \quad (2)$$

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{m}{\eta} \left(\frac{t-t_0}{\eta}\right)^{m-1} \quad (3)$$

可靠寿命及中位寿命为

$$t_R = t_0 + \eta \left(\ln \frac{1}{R}\right)^{\frac{1}{m}} \quad (4)$$

$$t_{0.5} = t_0 + \eta (\ln 2)^{\frac{1}{m}} \quad (5)$$

2.2 威布尔分布参数的图分析法

T 服从威布尔分布，其分布函数为

$$\begin{cases} F(t) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{t}{\eta}\right)^m\right] = 1 - \exp\left(-\frac{t^m}{t_0^m}\right) & t_0 = \eta^m \\ 1 - F(t) = \exp\left(-\frac{t^m}{t_0^m}\right) & \text{或} \quad \ln \frac{1}{1 - F(t)} = \frac{t^m}{t_0^m} \end{cases} \quad (6)$$

两边再取对数，有

$$\ln \ln \frac{1}{1 - F(t)} = m \ln t - \ln t_0^m$$

令 $\ln \ln \frac{1}{1 - F(t)} = y$, $\ln t = x$, $\ln t_0 = B$ ，则有线性方程

$$y = Ax - B \quad A = m, t_0 = \exp B \quad (7)$$

3 试验

试验采用高温恒定应力加速寿命试验，加速寿命方程为

$$t = A \exp\left(-\frac{E}{kT}\right) \quad (8)$$

式中 t 为时间； A 为常数； E 为激活能参数； T 为绝对温度； k 为波尔兹曼常数，其值为 $0.8617 \times 10^{-4} \text{ eV/K}$ 。

根据可靠性原理，在作恒定应力加速寿命试验时，加速应力水平的个数 l 最好大于等于 4，也不得少于 3，故取 $l=4$ 。对于第一个应力水平 S_1 应尽量接近于正常应力水平 S_0 ，因此选择 $S_1=30^\circ\text{C}$ 。对于最高应力水平 S_4 ，应在不改变磁光记录介质失效机理的前提下，尽量选取可以获得最大加速效果的应力水平，故取 $S_4=80^\circ\text{C}$ 。由加速寿命方程可知，温度呈倒数形式，故可将加速应力水平 T_1 、 T_2 、 T_3 、 T_4 按其倒数成等间隔的原则选取，即令

$$\Delta l = \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_l}\right) / (l-1) \quad (9)$$

$$\frac{1}{T_i} = \frac{1}{T_1} - (i-1)\Delta l \quad i=2,3,\dots,l-1 \quad (10)$$

按式(10)计算可得 $S_2=45^\circ\text{C}$ ， $S_3=70^\circ\text{C}$ 。

试验设备选择 DB205 型电热鼓风干燥箱，箱的工作尺寸为 $400 \text{ mm} \times 400 \text{ mm} \times 400 \text{ mm}$ ，温度范围为室温升 $10^\circ\text{C} \sim 300^\circ\text{C}$ ，温差 $\pm 1^\circ\text{C}$ 。

试验样品采用 13 cm(5 英寸)650M可抹可录磁光盘。由于受到时间和磁光盘成本的限制,只选取两个较高级的温度应力水平,即 $S_3=70^\circ\text{C}$, $S_4=80^\circ\text{C}$ 。

对于 $S_4=80^\circ\text{C}$ 的应力水平,取两批盘作试验,每批盘为不同的生产时期,其数量分别为 4 个、12 个;对于 $S_3=70^\circ\text{C}$ 的应力水平,在一批盘中随机地抽取四张作试验。将这两个应力水平下的磁光盘分别进行预处理、初始检测、试验、恢复和最后检测后^[1],将测得的试验数据用计算机绘图,得到各点的分布可近似地模拟成一条直线。通过计算各条直线的斜率,以误码率达到 1.0×10^{-4} 为其失效判据,分别计算出磁光盘在 $S_4=80^\circ\text{C}$ 和 $S_3=70^\circ\text{C}$ 水平下的试验失效数据。

4 试验结果

经过高温恒定应力加速寿命试验,得到磁光盘在各个温度应力水平下的失效数据如表 1 所示。

表 1 测试条件及失效数据

$T/^\circ\text{C}$	$t/(10^6\text{h})$															
70	3.80	4.41	4.77	5.36												
80	1.72	2.28	2.45	2.59	2.86	3.00	3.14	3.24	3.40	3.53	3.72	4.51	4.58	4.95	5.00	5.42

对应表 1 失效数据,可查中位秩数表。在威布尔分布概率纸上对上述所得数据进行描点,可得各个应力水平下的失效数据近似地配置成一条直线,如图 1 所示。由此可见,假定磁光盘的失效近似服从威布尔分布是正确的。

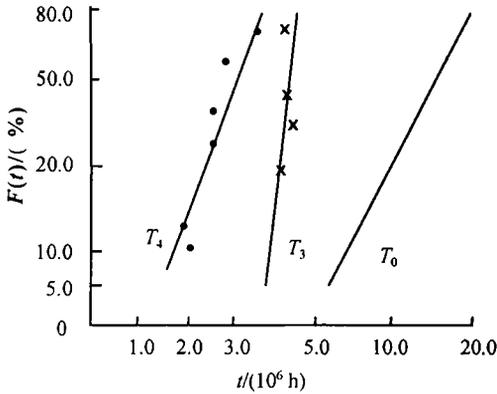


图 1 威布尔分布寿命图

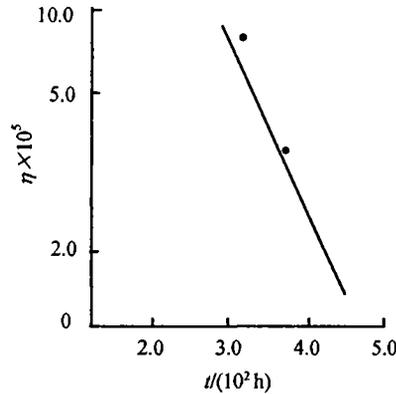


图 2 加速寿命试验图

由寿命分布直线求出 S_3 、 S_4 水平下的 m_i 和 η_i 分别为: 3.61、6.47、 6.00×10^5 、 4.00×10^5 , 由 m_i 加权平均得到 $T_0=25^\circ\text{C}$ 下的 m 估计值为

$$m_0 = \frac{16 \times 3.61 + 4 \times 6.47}{16 + 4} = 4.182$$

在对数坐标纸上由两点($343, 6.0\times 10^5$), ($253, 4.0\times 10^5$)作加速寿命直线,如图 2 所示。

由加速寿命直线求出加速寿命直线方程 $\ln \eta = a + b/T$ 的斜率和截距的估计值为

$$b = (\ln \eta_1 - \ln \eta_2) / \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right) = 2\ 732.41$$

$$a = \ln \eta_1 - \frac{b}{T_1} = 5.146$$

加速寿命方程为

$$\ln \eta = 5.146 + 2\ 732.41/T$$

因为 $T_0=25^\circ\text{C}$, $\ln \eta_0=14.315$, 所以 $\eta_0 = e^{14.315} = 1\ 648\ 315$ 。

以 m_0 、 η_0 作正常温度 T_0 下的寿命分布直线 L_0 ，如图 1 所示。分别从 $F=0.1$ 、 0.15 、 0.2 点处作水平线与直线 L_0 相交，在交点处作垂线与 t 轴相交，交点的刻度即是可靠度为 $1-F$ 的磁光盘可靠寿命，即

$$t_{0.90,0} = 9.72 \times 10^5 = 110.96 \text{ a}$$

$$t_{0.85,0} = 10.80 \times 10^5 = 123.29 \text{ a}$$

$$t_{0.80,0} = 11.60 \times 10^5 = 132.42 \text{ a}$$

加速系数为

$$\tau_{70^\circ\text{C} \sim 25^\circ\text{C}} = 3.33$$

$$\tau_{80^\circ\text{C} \sim 25^\circ\text{C}} = 4.17$$

利用加速系数可估计可靠度，由上述加速寿命方程 $\ln \eta = 5.146 + 2.732.410/T$ ，得 $\eta_0 = 1\ 648\ 315$ ，故在 $T_0 = 25^\circ\text{C}$ 水平下的可靠度为

$$R(t) = \exp \left[- \left(\frac{t}{1\ 648\ 315} \right)^{4.182} \right]$$

当 $t = 100 \text{ a} = 876\ 000 \text{ h}$ 时，可靠度 $R(876\ 000 \text{ h}) = 93.14\%$ 。

5 结 论

通过对磁光盘进行高温恒定应力加速寿命试验，可得磁光盘在温度为 25°C 的正常大气条件下，具有相当高的理论使用寿命；在不考虑磁光盘衬底材料老化形变的情况下，其寿命值可望超过 100 a 。由于时间、试验器材及磁光盘成本的限制，试验中只选取了较高级的两个应力水平。因 $S_3 = 70^\circ\text{C}$ 距常温 25°C 相差较大，因此得到的寿命估计只是一个近似值，这方面的工作有待作更深入地研究。

参 考 文 献

- 1 张训诤, 肖德辉. 可靠性及其应用. 北京: 兵器工业出版社, 1991
- 2 陈宏猷, 陈小洪. 光电记录技术及其应用. 成都: 电子科技大学出版社, 1994
- 3 罗 勇, 陈小洪, 高正平. 光盘扫描高斯光束的研究. 电子科技大学学报, 1995, 24(2): 192~196
- 4 Crasemam J H, Hansen P, Rosenkranz, *et al.* Thermomagnetic switching on rare-earth transition-metal alloy magneto-optic disks. Journal of Applied Physics, 1990, 66(3): 1 273~1 278

A Way of Calculating Reliable Service Life of MO Disks

Jiang Shuyan Liu Suhuan

(Dept. of Automation, UEST of China Chengdu 610054)

Abstract This paper presents a method of calculating the reliable service life of magneto-optic disks by way of analyzing figures of weibull parameters, which overcome the analysis of only one or definite construction of MO disks before. In this method, MO disk is considered as a whole system and the invalid of BER is taken into account. The reliable service life of MO disks is calculated at normal atmosphere by means of analyzing the experiments result which is concluded by acceleration experiments of high temperature.

Key words magneto-optic disks; acceleration aging test; weibull distribution; reliability