

BG—12B型功率继电器失效分布类型研究

阿城电站设备自动化设计研究所 孙慧妍 邢丽华

一批产品在进行寿命试验时,各个产品的失效时间可能相差很多,但是它们失效的数据是遵循一定规律的,用数理统计语言来说,产品的失效时间是服从一定的分布的。产品的寿命分布规律,对可靠性预计,对产品的可靠性所有特征量都有着密切的关系。不同的分布规律,获得其可靠性特征量的估计方法是不同的。失效数据的来源有两条途径:(1)试验室内对产品进行模拟寿命试验;(2)对现场使用的数据进行搜集。对于该产品失效数据的搜集,是由试验室内进行寿命试验而获得的。

确定产品的失效分布类型和估计分布参数,是可靠性理论与可靠性数据处理中的两个重要问题,本文采用图估法和假设检验来确定失效分布类型,利用回归分析法来确定估计参数。

1 试验条件的选择

该产品在室温条件下,进行寿命试验。寿命试验分贮存寿命和工作寿命试验,我们采用工作寿命试验,对工作寿命试验又分连续型的和间断型的,对该继电器采用连续型的。试验时在输入端加入一定量的电流(1A)和一定量的电压(100V)即采用所谓的静态试验,并进行性能监测,采用不连续监测,监测周期符合JB/DQ6296 $Lg\tau = 1/3$ 来选取,当 $\tau = 200$ 小时后,每隔200小时测试一次,以继电器的静态参数超过规定的技术性能标准作为失效判据。

2 试验数据的搜集与数据分析处理

2.1 试验数据的搜集

该产品为静态型量度继电器取样10台,进行不完全寿命试验,其试验结果,搜集数据如下:

表1 寿命试验失效数据统计表

序号	失效区间($\times 10^3$ h)	失效数	失效原因
1	0~3	1	半导体器件特性变化
2	3~6	2	半导体器件特性变化
3	6~9	1	半导体器件特性变化
4	9~12	1	半导体器件特性变化
5	12~15	1	半导体器件特性变化

注:本项目得到机械工业技术发展基金资助

试验到 $t_r = 14658\text{h}$ 结束, 试品失效总数 $r = 6$ 台, 由表1可看出, 试品的失效主要是由于晶体管的特性发生变化。

2.2 数据处理

按不完全寿命试验数据归纳整理列入表2中。

表2 寿命试验数据整理

序号	$t_i (\times 10^3 \text{h})$	n_i	$F(t_i)$	$R(t_i)$	$f(t_i) (\times 10^3 \text{h})$
1	0.958	1	0.067	0.933	0.1044
2	3.548	2	0.163	0.837	0.0386
3	5.234	3	0.259	0.741	0.0593
4	7.706	4	0.356	0.644	0.0405
5	9.110	5	0.452	0.548	0.0712
6	12.713	6	0.548	0.452	0.0278

表2中的符号及计算公式如下:

n — 试验样品数 $n = 10$

n_i — 第 i 个时刻的累计失效数

$F(t_i)$ — 产品在 t_i 时刻的累计失效概率

$$F(t_i) = \frac{n_i - 0.3}{n_i + 0.4}$$

$R(t_i)$ — 产品在 t_i 时刻的可靠度

$$R(t_i) = 1 - F(t_i)$$

$f(t_i)$ — 产品在 t_i 时刻的失效密度函数

$$f(t_i) = \frac{\Delta n_i}{n \cdot \Delta t_i}$$

2.3 根据表2数据, 绘制继电器可靠度函数失效密度函数曲线。

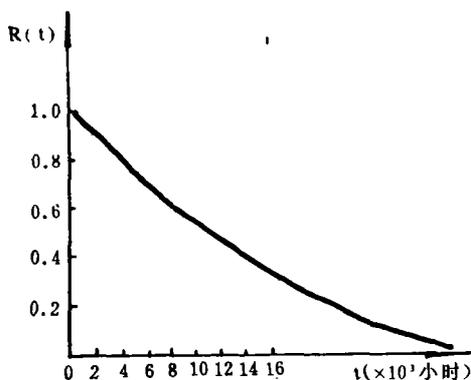


图1 可靠度函数

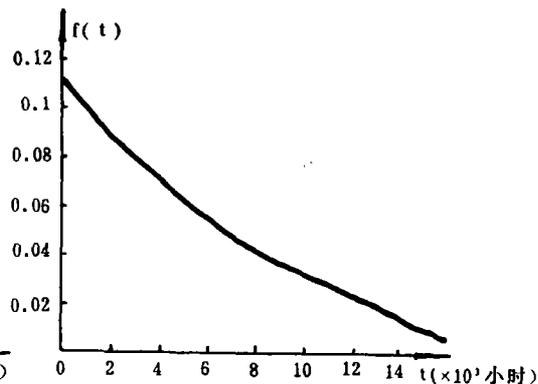


图2 失效密度函数

由图1、图2初步确认BG-12B型功率继电器的失效分布近似于威布尔分布的指数分

布, 但此结论是否正确, 还需要进行拟合度验证。

3 用图估计检验继电器的失效类型及估计可靠性特征量

用概率纸确定样品失效的分布类型是工程上常用的方法, 它具有简单、方便、直观等优点, 但精确度不高。

根据表 2 中 $[t_i, f(t_i)]$ 在威布尔概率纸上描点, 大致在一条直线上, 如图 3 所示, 故可判断该继电器的失效分布服从于威布尔分布, 根据图估法, 其分布参数如下:

$$\text{形状参数: } \hat{m} = 0.95$$

$$\text{位置参数: } \gamma = 0$$

$$\text{特征寿命: } \hat{\eta} = \hat{\eta} \times 10^3 = 16.5 \times 10^3 \text{ h}$$

$$\begin{aligned} \text{尺度参数} &= \hat{t}_0 = 10^{m \times \hat{t}_0'} \\ &= 10^{0.95 \times 3} \times 15.7 \\ &= 11.1 \times 10^3 \text{ h} \end{aligned}$$

从概率纸上估计有关的特征寿命:

$$\begin{aligned} \text{寿命的标准离差: } \hat{\delta} &= \hat{\eta} \times \hat{\delta}' / \eta \\ &= 16.5 \times 10^3 \times 1.1 \\ &= 18.15 \times 10^3 \text{ h} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{平均寿命: } \hat{\mu} &= \hat{\eta} \times \hat{\mu}' / \eta \\ &= 16.5 \times 10^3 \times 1.02 \\ &= 16.83 \times 10^3 \text{ h} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{可靠度函数: } R(t) &= e^{-\frac{(t-r)^m}{t_0}} \\ &= e^{-\frac{t^m}{t_0}} \\ &= e^{-\frac{t^{0.95}}{11.1 \times 10^3}} \\ &= e^{-9.01 \times 10^{-5} t^{0.95}} / \text{h} \end{aligned}$$

失效率函数:

$$\begin{aligned} \lambda(t) &= \frac{m}{t_0} (t - \gamma)^{m-1} \\ &= \frac{m}{t_0} t^{m-1} \\ &= \frac{0.95}{11.1 \times 10^3} t^{0.95-1} \\ &= 8.56 \times 10^{-5} t^{-0.05} / \text{h} \end{aligned}$$

从图检验看出 $m \approx 1$, 失效分布属于威布尔分布的特殊情况, 近似为指数分布。

4 用恒定失效率检验法, 检验继电器的失效分布类型

寿命试验所取的试品 $n = 10$ 台, 是小子样, 截尾数据, 这样采用指数分布的专用检验恒

定失效率检验法进行检验。

设产品的寿命分布为 $F(t)$ ，检验假设

$$H_0: F(t) = 1 - e^{-\frac{t}{t_0}}$$

按定时截尾试验计算：

总试品数 $n = 10$ 台

截尾时间 $t_c = 14658$ h

失效数 $\gamma = 6$ $d = r = 6$

取显著性水平 $\alpha = 0.1$

计算统计量 X^2 ，选取检验的统计量 $X^2 = 2 \sum_{k=1}^d \ln \frac{T^*}{T_k}$

根据表 2 中求出总试验时间：

$$\begin{aligned} T^* &= \sum_{j=1}^r t_j + (n-r)t_c = t_1 + t_2 + \dots + t_6 + 4t_c \\ &= 97901 \text{ h} \end{aligned}$$

$$\ln T^* = \ln 97901 = 11.492$$

计算累计试验时间： $T_k = \sum_{j=1}^k t_j + (n-k)t_c$
 $k = 1, 2, \dots, r$

$$\begin{aligned} T_1 &= 10 \times 958 \\ &= 9580 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_2 &= 958 + 9 \times 3548 \\ &= 32890 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_3 &= 958 + 3548 + 8 \times 5234 \\ &= 46378 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_4 &= 958 + 3548 + 5234 + 7 \times 7706 \\ &= 63682 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_5 &= 958 + 3548 + 5234 + 7706 + 6 \times 9110 \\ &= 72106 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_6 &= 958 + 3548 + 5234 + 7706 + 9110 + 5 \times 12713 \\ &= 90121 \end{aligned}$$

$$\ln T_1 = 9.1674 \quad \ln T_4 = 11.062$$

$$\ln T_2 = 10.401 \quad \ln T_5 = 11.186$$

$$\ln T_3 = 10.745 \quad \ln T_6 = 11.409$$

$$\sum_{k=1}^6 \ln T_k = \ln T_1 + \ln T_2 + \ln T_3 + \ln T_4 + \ln T_5 + \ln T_6$$

$$\begin{aligned} &= 9.1674 + 10.401 + 10.745 + 11.062 + 11.186 + 11.409 \\ &= 63.97 \end{aligned}$$

$$X^2 = 2 \sum_{k=1}^d \ln \frac{T^*}{T_k}$$

$$= 2 \left(6 \ln T^* - \sum_{k=1}^6 \ln T_k \right)$$

$$= 216 \times 11.492 - 63.971$$

$$= 9.946$$

查 X^2 分布表得: $X_{0.95}^2(12) = 5.226$
 $X_{0.05}^2(12) = 21.026$

$$\because X_{0.95}^2(12) < X^2 < X_{0.05}^2(12)$$

\therefore 接受原假设

\therefore BG-12B 功率继电器的寿命失效分布服从指数分布。

3 用最小二乘法求回归方程并估计参数

首先计算回归系数 a 、 b 及相关系数 γ , 将统计数据列于表 3 中。

表 3

序号	$t_i (\times 10^3 \text{ h})$	$F(t_i) \%$	$\ln t_i$ (X_i)	$\ln \ln \frac{1}{1-F(t_i)}$ (Y_i)
1	0.958	6.7	6.365	-2.665
2	3.548	16.8	8.174	-1.726
3	5.234	25.0	8.563	-1.205
4	7.706	35.6	8.950	-0.821
5	9.110	45.2	9.117	-0.508
6	12.713	54.8	9.450	-0.231

将表 3 中的 (X_i, Y_i) , ($i = 1, 2, \dots, 6$) 输入计算器进行 STAT 回归计算 可得:

$$a = 9.36$$

$$b = 0.959$$

$$\gamma = 0.99$$

\therefore 所求参数为:

$$\hat{m} = b = 0.959$$

$$\hat{t}_0 = e^{1.61} = e^{0.36} = 1.16 \times 10^4 \text{ h}$$

$$\hat{\eta} = \hat{t}_0^{\frac{1}{b}} = (1.16 \times 10^4)^{\frac{1}{0.959}} = 1.75 \times 10^4 \text{ h}$$

用回归分析法估计结果与在威布尔概率纸上图估结果基本相同。

根据参数可得回归方程:

$$Y = bX + a$$

$$= 0.959X - 9.36$$

以上利用图检验法, 恒定失效率检验法都证明了寿命分布属于指数分布。

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

其中: $m = 0.95$ $t_0 = 11.1 \times 10^3 \text{ h}$

利用回归分析得到 $Y = \ln \ln [1 - F(t)]$ 与 $X = \ln t$ 的回归方程 $Y = 0.959X - 9.36$
算得相关系数 $\gamma = 0.99$, 这说明 Y 与 X 显著相关, 即方程很好地反映了 Y 与 X 的关系。

$$\therefore F(t) = 1 - e^{-\frac{t^{0.959}}{t_0}} = 1 - e^{-\frac{t^{0.959}}{1.16 \times 10^4 \text{ h}}}$$

通过回归分析进一步证明了寿命分布服从指数分布

5 估算继电器的平均寿命, 失效率及平均寿命的区间 Q_L 、 Q_U

根据以个分析得出 BG—12B 型功率继电器的寿命分布服从指数分布, 按定时截尾寿命试验计算可靠性特征参数。

总试验时间:

$$\begin{aligned} T &= \sum_{i=1}^r t_i + (n-r)t_c \\ &= t_1 + t_2 + \dots + t_6 + 4t_c \\ &= 97901 \text{ h} \end{aligned}$$

$$\text{平均寿命: } \text{MTTF} = \frac{T}{\gamma} = \frac{97901}{0.959} = 16316.8 \text{ h}$$

若置信度 $\beta = 1 - \alpha = 90\%$ $\alpha = 0.1$

取双侧置信限, 即平均寿命区间估计

$$\begin{aligned} Q_L &= \frac{2T}{X^2_{1-\frac{\alpha}{2}}(2\gamma+2)} = \frac{2 \times 97901}{X^2_{0.95}(14)} \\ &= 8.27 \times 10^3 \text{ h} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_U &= \frac{2T}{X^2_{\frac{\alpha}{2}}(2\gamma)} = \frac{2 \times 97901}{X^2_{0.05}(12)} \\ &= 6.37 \times 10^4 \text{ h} \end{aligned}$$

若用单侧置信限估计的下限估计, 则

$$\begin{aligned} Q_L &= \frac{2T}{X^2_{1-\alpha}(2\gamma+2)} = \frac{2 \times 97901}{X^2_{0.9}(14)} \\ &= 9.296 \times 10^3 \text{ h} \end{aligned}$$

其中 $X^2_{0.95}(14)$ 、 $X^2_{0.05}(12)$ 、 $X^2_{0.9}(14)$ 查可靠性试验用表的 $X^2(f)$ 分布的下侧分位点 $X^2_{\alpha}(f)$ 表。

当寿命服从指数分布时, 失效率与平均寿命互为倒数, 则失效率的区间估计的置信下限 λ_L , 置信上限 λ_U 及失效率的上限估计的置信上限 λ'_U 为:

$$\lambda_U = \frac{1}{-Q_L} = \frac{1}{6.37 \times 10^4 \text{ h}} = 1.57 \times 10^{-5} / \text{h}$$

$$\lambda_L = \frac{1}{Q_U} = \frac{1}{8.27 \times 10^3 \text{ h}} = 1.2 \times 10^{-4} / \text{h}$$

$$\lambda'_U = \frac{1}{Q'_L} = \frac{1}{9.296 \times 10^3 \text{ h}} = 1.08 \times 10^{-4} / \text{h}$$

(下转67页)

喷粉枪采用摩擦式可避免屏蔽效应,喷涂均匀。不受形状限制。但电压较高压喷枪低弱,且只能使用于摩擦带电的环氧粉末,不利于多品种粉末,局限性大。现随着粉末喷涂技术的不断完善,新的高、低压式喷枪的出现,吸取了高压枪和摩擦枪的长处,且更进一步提高,使喷涂大大方便。

供粉器目前有:流化床式,螺旋搅拌式、振荡抽吸式、压力式等多种形式,但采用流化床式较多,主要是使用及维护较简单、安全。

回收装置有旋风分离式、布袋式、格层式、封闭式自动回收等。但综合各式,普遍认为使用旋风分离加布袋回收效果较好。回收效果还与回收风量与进风量的设计有关,一般经验认为回收风量与进风量3:1较得当。

5.2 固化系统:

粉末的固化温度一般为180℃、时间为30分钟,现已研制出短时固化粉末,15~20分钟即可。但温度控制要严格,温差不大于10~20℃。

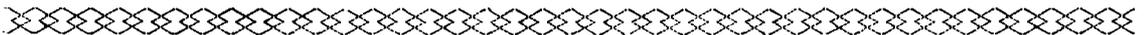
烘烤设备无论是间歇封闭式还是通过式,都必须保证温度的均匀和稳定。现有烘干炉由于设计的炉腔狭窄,空气不能旋转流动,死角梯层温差大,应加以改进。炉腔加大,加入微型风机,强化热气流旋转流动。由于热气一般呈上升趋势,炉底与工件底部距离要远些,使热气流流动。

5.3 刮腻子:

电冰箱、洗衣机等家用电器由于材质规格,无刮腻子工序。对于喷粉件最好无中间层(腻子),减少此工序,可提高涂覆质量和外观。也可减少很多技术难题,这就需要改进金属的金加工过程,避免人为地产生缺陷。

6 结束语

粉末静电涂装技术的应用,使我们的加工工艺水平提高了一步,质量达到国内先进水平。产量逐步提高,品种不断扩大,取得了较显著的经济效益和社会效益。被各行业普遍采用,粉末涂装技术方兴未艾。



(上接73页)

6 结论

6.1 BG—12B功率继电器的寿命失效分布服从指数分布

6.2 寿命均值在置信度 $\beta = 0.90$ 下的置信区间为(8.27×10³h, 6.37⁴h)。

6.3 失效率在置信度 $\beta = 0.90$ 下的置信区间为(1.08×10⁻⁴/h, 1.2×10⁻⁴/h)。