理论与实验研究

某种有机薄膜电容器长期贮存寿命预测研究

李坤兰
（工业和信息化部电子五所，广州 510610）

摘要：选用某种有机薄膜电容器在A（寒温）、B（亚湿热）、C（亚湿热）、D（热带海洋）等四地的库房开展了为期168个月的库房贮存试验，跟踪测试了电容量、损耗角正切值和绝缘电阻等性能参数。应用灰色预测理论中的*GM*(1,1)模型，对该种电容器的贮存寿命进行了预测，结果表明在A地的寿命最长，为44 a；在D地的寿命最短，为32 a。

关键词：电容器；贮存试验；性能参数；贮存寿命；预测
中图分类号：TB43　　**文献标识码：**A
文章编号：1672－9242(2013)01－0001－03

Study on Long-term Storage Life Prediction of Organic Film Capacitor

LI Kun-lan
(The 5th Electronics Research Institute of the Ministry of Information Industry of China, Guangzhou 510610, China)

Abstract: Storage test of a kind of organic film capacitor was carried out in warehouse at 4 places, A(cold climate), B (subtropical climate), C(subtropical climate) and D(tropical matritime climate) for a period of 168 months. Their capacitance, tan loss angle and insulation resistance were tested. Its storage life was predicted by *GM* (1, 1) model. The result showed that the storage life of the capacitors in A is the longest and the storage lifetime in D is the shortest; the storage life in A is 44 years; the storage life in D is 32 years.

Key words: capacitor; storage test; performance parameter; storage life; prediction

电容器是电子设备中大量使用的电子元件之一，在隔直、耦合、旁路、滤波、调谐回路、能量转换、控制电路等环境中具有广泛应用。

目前，对电容器的研究工作主要集中在工作状态的可靠性上，而对于贮存状态则研究得较少。文中主要研究了某电容器的贮存寿命预测方法，并给出了预测结果。

1 试验

参加库房贮存试验的某种有机薄膜电容器共60只，于1996年10月被平均分配到A（寒温）、B（亚湿热）、C（亚湿热）、D（热带海洋）等4地的库房开展贮存试验。长期跟踪测试了电容量、损耗角正切、绝缘

收稿日期：2012-08-11
作者简介：李坤兰（1973—），女，湖南人，硕士，高级工程师，主要研究方向为元器件非工作状态下的可靠性研究。

电阻等性能参数。试验了168个月后，各项性能参数均合格。主要分析研究了该种电容器在A，B，C和D等4个地点的贮存寿命。

2 性能参数的假设检验[4]

由于选用的电容器有3种性能参数，因此需要对该种电容器性能参数测试数据进行假设检验，目的在于找出退化显著的性能参数，以便后续的建模和寿命预测。

3 灰色预测理论

经过几十年的发展，灰色理论已经成为一门新兴的边缘学科，应用日益广泛。经过多个领域的使用，证实了该模型预测精度高，且使用简便，既可用于软科学，如社会、经济等方面，又可用于硬科学，如工业过程的预测控制[1—2]。

灰色系统着重研究“小样本、贫信息、不确定”问题，其特点是“少数据建模”。通过对部分已知信息的生成、开发，提取有价值的信息，实现对系统运行行为、演化规律的正确描述和有效监控[3]。

贮存试验受时间、温度、湿度等多种因素的影响，具有一定的灰色特征。一般情况下，参与贮存试验的样品量较少，特别是某些贵重的元器件，试验样品量更少，有的甚至只有几只或1只。因此，灰色理论可以用于贮存试验寿命的预测。

3.1 建模可行性分析

对于给定序列x^0，能否建立精度较高的$GM(1,1)$预测模型，一般可用x^0的级比σ_k^0的大小与所属区间来判断。

设$x^0=(x_1^0,x_2^0,\cdots,x_n^0)$，$x_k^0$，$x_{k-1}^0\in x^0$。级比$\sigma_k^0$表达式见式(1)。则有$\sigma_k^0\in(e^{\frac{-2}{n+1}},e^{\frac{2}{n+1}})$时，序列$x^0$可进行$GM(1,1)$建模。

$$\sigma_k^0=\frac{x_{k-1}^0}{x_k^0} \tag{1}$$

3.2 灰色$GM(1,1)$模型的选择

在众多的灰色预测模型中，$GM(N,1)$模型是一个近似的差分微分方程，具有微分、差分、指数兼容等性质。模型的参数可调，结构随时间而变，突破了一般建模要求数据多、难以得到“微分”性质的局限，最常用和精度较高的是$GM(1,1)$[3]。因此，选用$GM(1,1)$模型，其灰微分方程见式(2)。

$$x^{(0)}(k)+az^{(1)}(k)=b \tag{2}$$

式中：z为累加生成量。式(2)的解即为时间响应函数(白色预测方程和累加反推式)，见式(3)、式(4)。

$$\hat{x}_{k+1}^1=\left(x_1^0-\frac{b}{a}\right)\times e^{-ak}+\frac{b}{a} \tag{3}$$

$$\hat{x}_{k+1}^0=\hat{x}_{k+1}^1-\hat{x}_k^1 \tag{4}$$

式中：a为反映$\hat{x}^{(1)}$及$\hat{x}^{(0)}$发展态势的参数；b为反映数据变化关系的参数。

3.3 模型参数的求解

设x^0为原始序列，$x^0=(x_1^0,x_2^0,\cdots,x_n^0)$。在贮存试验中，原始序列即为试验样品的性能参数测试数据。

构造矩阵：

$$\boldsymbol{B}=\begin{bmatrix}-z_2^1 & 1\\ \vdots & \vdots\\ -z_n^1 & 1\end{bmatrix} \tag{5}$$

$$\boldsymbol{Y}=\begin{bmatrix}x_2^0\\ x_3^0\\ \vdots\\ x_n^0\end{bmatrix} \tag{6}$$

对参数列$\hat{a}=[a,b]^T$进行最小二乘估计，见式(7)。

$$\hat{a}=(\boldsymbol{B}^T\boldsymbol{B})^{-1}\boldsymbol{B}^T\boldsymbol{Y}=\begin{bmatrix}a\\ b\end{bmatrix} \tag{7}$$

a和b的解析式为：

$$a=\frac{\sum_{k=2}^{n}x_k^0\sum_{k=2}^{n}z_k^1-(n-1)\sum_{k=2}^{n}x_k^0z_k^1}{(n-1)\sum_{k=2}^{n}(z_k^1)^2-\left(\sum_{k=2}^{n}z_k^1\right)^2} \tag{8}$$

$$b=\frac{1}{n-1}\left(\sum_{k=2}^{n}x_k^0+a\sum_{k=2}^{n}z_k^1\right) \tag{9}$$

a，b为待定系数，a的有效区间是$(-2,2)$。根据灰色系统理论，当发展系数$a\in(-2,2)$且$a\geqslant-0.3$时，所建$GM(1,1)$模型可用于中长期预测[3]。

3.4　模型检验

为了确保所建灰色模型有较高的预测精度,需要对灰色预测模型进行检验。一般情况下,最常用的是相对误差检验指标。通过对误差的考察来判断模型的精度,平均相对误差越小越好。

求解原始序列x^0与相应预测模型模拟序列$\hat{a}^0$的残差序列ε^0、相对误差序列Δ和平均相对误差$\overline{\Delta}$,见式(10)—(12)。

$$\varepsilon_k = x_k^0 - \hat{x}_k^0 \tag{10}$$

$$\Delta_k = \left|\frac{\varepsilon_k}{x_k^0}\right| = \left|\frac{x_k^0 - \hat{x}_k^0}{x_k^0}\right| \times 100\% \tag{11}$$

$$\overline{\Delta}=\frac{1}{n}\sum_{k=1}^{n}\Delta_k \tag{12}$$

平均相对精度的计算见式(13)。

$$p^0=(1-\overline{\Delta})\times 100\% \tag{13}$$

对于ε_k,一般要求$\varepsilon_k<20\%$,最好使$\varepsilon_k<10\%$;对于p^0,一般要求$p^0>80\%$,最好使$p^0>90\%$。

3.5　长储寿命预测

利用通过检验的$GM(1,1)$模型进行预测。

3.5.1　临界的求解

无论性能参数的边界类型是上边界还是下边界,当$\hat{x}_k^0=M$(M为边界值)时,临界值为$k_{临界}$。由$\hat{x}^0$的时间响应函数可得:

$$k_{临界}=-\frac{1}{a}\ln\frac{M}{(1-e^a)(x_1^0-\frac{b}{a})} \tag{14}$$

利用式(16)可求得$k_{临界}$。

利用$k_{临界}$可求出样品贮存试验的失效时间,即为贮存寿命。

3.5.2　贮存寿命的预测

求得$k_{临界}$后即可计算元器件贮存寿命,$t_{失效}=k_{临界}\times t_{测试间隔}$。

4　结果与讨论

4.1　性能参数测试数据的假设检验

在F检验中,$n_1=15$,$n_2=15$,$\alpha=0.1$,$F_{0.95(9,9)}=1.97$;在t检验中,$n_1=15$,$n_2=15$,$\alpha=0.05$,$t_{0.975(18)}=2.09$,$df=14$。假设检验的结果见表1。

表1　假设检验结果

Table 1　The T-tset results

试验地点	性能参数名称		
	电容量	损耗角正切	绝缘电阻
A地	有	无	无
B地	有	无	无
C地	有	无	无
D地	有	无	无

注:表中“有”表示有显著性退化;“无”表示无显著性退化。

由表1可知,电容量在A地、B地、C地、D地都有显著性退化;损耗角正切和绝缘电阻未发生显著性退化。因此,只需对电容量建模并预测寿命即可。

4.2　建立$GM(1,1)$模型

对测试数据进行整理后,建立$GM(1,1)$模型,所求得的模型参数见表2。

表2　电容量在四地的模型参数

Table 2　Parameters of $GM(1,1)$ model of capacitor in four area

试验地点	参数a	参数b
A地	0.000 141 05	6832.818
B地	0.000 215 86	6836.660
C地	0.000 441 52	6839.711
D地	0.000 543 55	6857.506

由表2可知,该种电容器的电容量在A地、B地、C地和D地的发展系数都符合$a\in(-2,2)$,且$a\geq-0.3$,因此所建$GM(1,1)$模型可用于中长期预测。

4.3　$GM(1,1)$模型的检验

对所建立的$GM(1,1)$模型进行了检验,结果见表3。

由表3可知,所建立的$GM(1,1)$模型的$\overline{\Delta}$和p^0均符合要求。

4.4　长期贮存寿命预测

应用所建立的$GM(1,1)$模型,对该种电容器的

(下转第48页)

从图2中可以看出，在试验开始10 min后，发动机各项温度指标都稳定在一定的范围内，并保持了12 min以上，且未超出发动机机油温度125 ℃报警保护上限。根据国军标，车辆进行改进后可以达到模拟试验状态下的热平衡技术要求。

模拟环境试验室室内试验在车辆研制过程中发挥了很大的作用，找出了试验过程中出现的问题并采取了相应的解决方案，为车辆总体设计人员提供了可靠的设计或改进方面的试验依据。试验方法取得了成功。

4 结语

模拟环境温度为30~55 ℃时，根据被试车辆的动力大小，采取完全封闭状态下的环境模拟动态热平衡试验，或者采取开放式模拟环境热平衡试验，多种车型都圆满完成了试验任务，试验方法获得成功。

参考文献：

[1] 李建华. 发动机热平衡试验数据处理和热平衡水平估算[C]// 黄荣华. 内燃机科技——中国内燃机学会2005年学术年会暨APC2005年联合学术年会论文集. 武汉：华中科技大学出版社，2005：487—490.

[2] 孟庆勇，焦旭东，梁凤远. 装载机冷却系热平衡改进[J]. 工程机械与维修，2007(12)：1—3.

[3] 黄晖. 发动机冷却系统的研究与优化设计[D]. 济南：山东大学，2005.

（上接第3页）

表3 电容量$GM(1,1)$模型的检验结果

Table 3 The verification test results of capacitance $GM(1,1)$ model

试验地点	$\overline{\Delta}$	p^0
A地	0.007 41	99.259
B地	0.008 06	99.194
C地	0.001 65	99.835
D地	0.004 25	99.575

长期贮存寿命进行了预测，结果见表4。

表4 长期贮存寿命预测结果

Table 4 Storage life prediction results

试验地点	寿命/a
A地	44
B地	38
C地	36
D地	32

由表4可知，该种电容器在A地的贮存寿命最长，在D地的贮存寿命最短。

5 结语

将灰色预测理论中的$GM(1,1)$模型应用于该种电容器的贮存寿命预测中，预测结果表明该种电容器在A地的贮存寿命最长，为44 a；在D地的贮存寿命最短，为32 a。

参考文献：

[1] 肖新平，宋中民，李峰. 灰技术基础及其应用[M]. 北京：科学出版社，2005.

[2] 张彦. 基于灰色理论的汽车产品可靠性工程研究[D]. 合肥：合肥工业大学，2006：7—18.

[3] 刘思峰，党耀国，方志耕. 灰色系统理论及其应用[M]. 北京：科学出版社，2004.

[4] 张子华，李坤兰. 某型固体继电器储存性能退化规律研究[J]. 装备环境工程，2009，6(6)：39—41.