某型混合集成电路长期贮存寿命研究

李坤兰[1,2,3]，青林[4]
（1.中国电子产品可靠性与环境试验研究所，广州　510610；
2.广东省电子信息产品可靠性技术重点实验室，广州 510610；
3.广东省电子信息产品可靠性与环境工程技术研究开发中心，广州 510610；
4.中国人民解放军 77546 部队，拉萨 850000）

摘要：目的 研究某型混合集成电路在自然环境下的贮存寿命。**方法** 选用某型混合集成电路在 A（寒温）、B（亚湿热）、C（亚湿热）、D（热带海洋）等 4 地开展为期 172 个月的库房贮存试验，跟踪测试其性能参数增益。应用灰色预测理论中的灰色 GM（1，1）模型，对该型混合集成电路的贮存寿命进行预测，**结果** D 地的寿命最长，为 32 年；A 地的寿命最短，为 21 年。**结论** 温度较差是增益退化的最优影响因素。就该型混合集成电路而言，B 地和 C 地的环境应力对其影响无明显差异。

关键词：混合集成电路；贮存试验；性能参数；贮存寿命；预测
DOI：10.7643/ issn.1672-9242.2016.06.019
中图分类号：TJ04　　**文献标识码：**A
文章编号：1672-9242(2016)06-0110-04

Long-term Storage Life of a HIC

LI Kun-lan[1,2,3], *QING Lin*[4]
(1.China Electronic Products Reliability and Environment Institute, Guangzhou 510610, China;
2.Guangdong Provincial Key Laboratory of Electronic Information Products Reliability Technology, Guangzhou 510610, China;
3.Guangdong Provincial Research Center of Electronic Information Products Reliability and Environment Engineering Technology, Guangzhou 510610, China;
4.The NO. 77546 Force of The People's Liberation Army, Lhasa 850000, China)

ABSTRACT: Objective To study the storage life of a HIC in a natural environment. **Methods** Storage test of a HIC was carried out in warehouses at 4 places, A (cold temperate climate), B (subtropical warm wet climate), C (subtropical warm wet climate) and D (tropical marine climate) for a period of 172 months. Their performance parameters were traced and tested. It's storage life was predicted by GM (1, 1) model in the grey prediction theory. **Results** The storage life at place D was the longest and the storage life at place A was the shortest. The storage life at place A was 21 years. The storage life at place D was 32 years. **Conclusion** The temperature range is the primary parameter which affects degradation of gain. In terms of this HIC, there is little difference in the effect of environmental stress at B and C.

KEY WORDS: HIC; storage test; performance parameters; storage life; prediction

收稿日期：2016-07-13；**修订日期：**2016-08-16
Received：2016-07-13；**Revised：**2016-08-16
作者简介：李坤兰（1973—），女，湖南人，高级工程师，主要研究方向为电子元器件贮存可靠性。
Biography：LI Kun-lan(1973—), Female, from Hunan, Senior Engineer, Research focus: storage reliability of electronic components.

混合集成电路具有组装密度大、可靠性高、参数范围宽、精度高、稳定性好等特点。其使用范围日益扩大，已渗透到了许多工业部门，主要应用于航天电子设备、卫星通讯设备等领域，在微波领域中的应用尤为突出[1—5]。

电子元器件是组成电子产品的基础，因此，研究其贮存可靠性对产品而言，非常重要。贮存寿命是产品贮存可靠性的重要指标，因此，研究其组成元器件的贮存寿命对评估产品的贮存寿命、定寿延寿等具有重要意义[6—10]。文中通过开展贮存试验、整理、分析和研究某型混合集成电路的贮存试验数据，利用灰色预测理论预测了其贮存寿命，并从环境温度和退化量等方面进行了分析。

1　试验

参加库房贮存试验的某种混合集成电路共 40 只，于 2000 年 4 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 地开展贮存试验。在试验期间，长期跟踪测试了增益。到目前，试验了 172 个月后，各项性能参数均合格。

2　灰色 GM（1,1）模型的建立

利用灰色预测理论预测了该型号混合集成电路的贮存寿命。灰色 GM（1,1）模型的建立、检验和寿命预测的理论方法参考了文献[11—15]。该型号混合集成电路 GM（1,1）的参数求解和检验情况如下。

2.1　GM(1,1)模型参数的求解

将该型号混合集成电路的性能参数测试数据的平均值作为原始序列 x^0，那么 A 地、B 地、C 地、D 地的原始序列分别为：

A 地

x^0={1.98，1.989，1.98，1.98，1.98，1.98，1.94，1.97，1.93，1.93}

B 地

x^0={1.98，1.985，1.98，1.98，1.98，1.98，1.94，1.97，1.92，1.94}

C 地

x^0={1.98，1.982，1.97，1.98，1.97，1.97，1.93，1.97，1.92，1.94}

D 地

x^0={1.97，1.979，1.98，1.99，1.98，1.98，1.94，1.98，1.93，1.94}

GM（1,1）模型的参数 a 和 b 的计算公式为[11]：

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

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

对 A，B，C，D 四地的 GM（1,1）模型的参数进行求解，结果见表 1。

表 1　混合集成电路在四地的模型参数

Table 1　Model parameters of the HIC in its warehouse

试验地点	参数a	参数b
A地	0.0030	1.9849
B地	0.0025	1.9838
C地	0.0023	1.9759
D地	0.0019	1.9806

由表 1 可知，该种混合集成电路的增益在 A 地、B 地、C 地和 D 地的发展系数都有 $a\in(-2,2)$，且 $a\geq-0.3$ 时，所建 GM(1, 1)模型可用于中长期预测。于是，该型号混合集成电路的 GM（1,1）模型分别为：

A 地

$$\hat{x}_{k+1}^0=\left(x_1^0-\frac{1.9849}{0.0030}\right)\left(1-e^{0.0030}\right)e^{-0.0030k}$$

B 地

$$\hat{x}_{k+1}^0=\left(x_1^0-\frac{1.9838}{0.0025}\right)\left(1-e^{0.0025}\right)e^{-0.0025k}$$

C 地

$$\hat{x}_{k+1}^0=\left(x_1^0-\frac{1.9759}{0.0023}\right)\left(1-e^{0.0023}\right)e^{-0.0023k}$$

D 地

$$\hat{x}_{k+1}^0=\left(x_1^0-\frac{1.9806}{0.0019}\right)\left(1-e^{0.0019}\right)e^{0.0019k}$$

2.2　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。平均相对误差越小越好。

平均相对误差 $\bar{\Delta}$ 计算公式为[11]：

$$\bar{\Delta}=\frac{1}{n}\sum_{k=1}^{n}\left(\left|\frac{x_k^0-\hat{x}_k^0}{x_k^0}\right|\times 100\%\right) \tag{3}$$

对所建立的 GM（1，1）模型进行了检验，A，B，C，D 地的平均相对误差 $\bar{\Delta}$ 分别为 0.4356%，0.5261%，0.3989%，0.3305%。

由以上结果可知，所建立的 GM（1，1）模型的 $\bar{\Delta}$ 符合要求，模型达到一级。因此，所建立的模型可以用于中长期预测。

2.3　灰色关联度的计算

灰色绝对关联度是系统行为特征序列和影响因素序列之间关联程度的度量。特征序列的变化速率与影响因素序列的变化速率越接近，关联度就越大，反之就越小。

$\gamma_{ij}(i=1，2，\ldots，i；j=1，2，\ldots，m)$为系统灰色关联度。灰色关联度计算公式为[11]：

$$\gamma_{ij}(k)=\frac{1}{m-1}\sum_{k=1}^{m-1}\xi_{ij}(k) \tag{4}$$

其中：$\xi_{ij}(k)=\dfrac{1}{1+\left|\dfrac{\Delta X_i}{\sigma_i}-\dfrac{\Delta Y_j}{\sigma_j}\right|}$

$$\Delta X_i=X_i(k+1)-X_i(k)$$

$$\Delta Y_j=Y_j(k+1)-Y_j(k)$$

$$\sigma_i=\sqrt{\frac{\sum\left(X_i-\bar{X}\right)^2}{i-1}}$$

$$\bar{X}=\frac{1}{n}\sum X_i$$

将每个贮存点的贮存环境和试验样品作为一个系统，以增益的退化量作为特征行为数据，用 X 表示。以平均温度、最高温度、最低温度、温度较差作为影响因素，分别以 $Y1$，$Y2$，$Y3$，$Y4$ 表示。

对于 A 地有：

X=[0.009,-0.009,0,0,0,-0.04,0.03,-0.04,0]

$Y1$=[4.73,6.48,7.29,6.15,4.94,5.68,5.99,7.15,6.73]

$Y2$=[22.59,23.49,23.34,25.29,24.4,23.43,23.49,22.93,23.14]

$Y3$=[-13.69,-15.5,-16.2,-11.93,-18.13,-19.85,-17.72,-13.63,-13.28]

$Y4$=[36.28,38.99,39.58,37.22,42.53,43.28,41.21,36.56,36.42]

于是，通过计算可得灰色关联矩阵：$\boldsymbol{\Gamma}_{\mathrm{A}}=\left(\gamma_{ij}\right)$=[0.3530.5280.5740.636]对于 B 地有：

X=[0.005,-0.005,0,0,0,-0.04,0.03,-0.05,0.02]

$Y1$=[15.34,16.05,16.59,15.84,16.15,16.34,16.77,16.08,16.79]

$Y2$=[26.87,27.48,28.57,26.1,28.87,30.21,28.58,28.31,29.33]

$Y3$=[2.51,2.1,2.34,4.36,2.27,3.98,4.98,2.42,3.35]

$Y4$=[24.36,25.38,25.38,26.23,21.74,26.6,26.23,23.63,25.89,25.98]

于是，通过计算可得灰色关联矩阵：$\boldsymbol{\Gamma}_{\mathrm{B}}=\left(\gamma_{ij}\right)$=[0.4210.3570.5230.558]对于 C 地有：

X=[0.002,-0.012,0.01,-0.01,0,-0.04,0.04,-0.05,0.02]

$Y1$=[21.57,21.53,22.25,21.62,21.95,22.84,22.52,22.45,22.18]

$Y2$=[28.46,27.7,28.8,28.4,28,29.4,28.8,28.9,31.58]

$Y3$=[11.99,12.45,13.5,12,13.9,13.2,14.1,14,13.46]

$Y4$=[16.47,15.25,15.3,16.4,14.1,16.2,14.7,14.9,18.12]

于是，通过计算可得灰色关联矩阵：$\boldsymbol{\Gamma}_{\mathrm{C}}=\left(\gamma_{ij}\right)$=[0.4430.5790.4330.632]对于 D 地有：

X=[0.009,0.001,0.01,-0.01,0,-0.04,0.04,-0.05,0.01]

$Y1$=[26.32,26.37,26.78,26.69,27.2,27.83,27.05,26.96,26.85]

$Y2$=[29.11,29.49,29.7,29.3,29.5,29.9,28.9,29.1,29.89]

$Y3$=[21.25,22.92,23.6,22.8,23,25,23.8,23.8,22.72]

$Y4$=[7.86,6.57,6.1,6.5,6.5,4.9,5.1,5.3,7.17]

于是，通过计算可得灰色关联矩阵：$\boldsymbol{\Gamma}_{\mathrm{D}}=\left(\gamma_{ij}\right)$=[0.4430.4490.4740.546]

3　结果与讨论

3.1　长贮寿命的预测

利用通过检验的 GM（1，1）模型进行预测，性能参数增益要求大于 1.85。

由预测结果可知，该种混合集成电路在 D 地的贮存寿命最长，为 32 年；在 A 地的贮存寿命最短，为 21 年；B 地和 C 地相同，均为 25 年。

3.2　退化量的研究

该型混合集成电路在 A，B，C，D 各地的电性能参数增益的退化量分别为 0.05，0.04，0.04，

0.03。

由以上结果可知，A 地的退化量最大，D 地的退化量最小，B 地和 C 地的退化量相同。退化量也说明了 A 地的贮存寿命最短，D 地的贮存寿命最长，B 地和 C 地的贮存寿命相同。

3.3　增益与温度的灰色优势分析

由灰色关联矩阵 $\boldsymbol{\Gamma}_A$，$\boldsymbol{\Gamma}_B$，$\boldsymbol{\Gamma}_C$，$\boldsymbol{\Gamma}_D$ 可知，增益的退化量与温度较差的关联度最大，而与平均温度、最高温度、最低温度的关联度均较小。因此，温度较差为增益退化的最优影响因素。

4　结论

通过对该型混合集成电路的贮存试验数据的整理分析研究，得出如下结论。

1)该种混合集成电路在 D 地的贮存寿命最长，在 A 地的贮存寿命最短。

2 ）温度较差是增益的退化的最优影响因素。

3 ）就该混合集成电路而言，B 地与 C 地的环境应力对其影响无明显差异。

参考文献：

[1] 白玉鑫. 从混合集成电路到多芯片组件[J]. 电子元器件应用, 2001(5): 30—32. BAI Yu-xin. From IC to Chip Components[J]. Electronic Component Application, 2001(5): 30—32.

[2] 罗天元, 余淑华, 朱蕾, 等. 国外弹药贮存寿命试验与评价技术概述[J].装备环境工程, 2005, 12(4): 17—22.
LUO Tian-yuan, YU Shu-hua, ZHU Lei, et al. Overview of Storage Life Test and Evaluation Technology of Foreign Ammunition[J]. Equipment Environmental Engineering, 2005, 12(4): 17—22.

[3] 朱觅, 王卫国, 吴昌. 某型空空导弹贮存寿命研究[J]. 国防技术基础, 2007(5): 40—44.
ZHU Mi, WANG Wei-guo, WU Chang. Study of a Air-to-air Missile Storage Life[J]. Technology Foundation of National Defence, 2007(5): 40—44.

[4] 赵保平, 孙建亮, 张韬, 等. 产品定寿与延寿中的几个环境问题[J]. 装备环境工程, 2014, 11(4): 21—25.
ZHAO Bao-ping, SUN Jian-liang, ZHANG Tao, et al. Some Problems of Environment Engineering in Life Estimation and Prolongation of Products[J]. Equipment Environmental Engineering, 2014, 11(4): 21—25.

[5] 庞志兵, 高强, 魏赫. 提高武器装备环境适应性对策研究[J]. 装备环境工程, 2014, 11(1): 68—71.
PANG Zhi-bing, GAO Qiang, WEI He. Research on Environment Adaptive Countermeasures for Weapons and Equipment[J]. Equipment Environmental Engineering, 2014, 11(1): 68—71.

[6] 孟涛, 张仕念. 导弹贮存延寿概论[M]. 北京: 中国宇航出版社, 2013.
MENG Tao, ZHANG Shi-nian. Basic Missile Storage Life Extension[M]. Beijing: China Space Publishing House, 2013.

[7] 王守国. 电子元器件的可靠性[M]. 北京: 机械工业出版社, 2014.
WANG Shou-guo. Electronic Components Reliability[M]. Beijing: Mechanical Industry Publishing House, 2014.

[8] 祝学军, 管飞. 战术弹道导弹贮存延寿工程基础[M]. 北京: 中国宇航出版社, 2016.
ZHU Xue-jun, GUAN Fei, et al. Basic for Tactical Ballistic Missile Storage Life Extension[M]. Beijing: China Space Publishing House, 2016.

[9] 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.
XIAO Xin-ping, SONG Zhong-min, LI Feng. Grey Technology Basement and Application[M]. Beijing: Science Publishing House, 2005.

[10] 祝华远, 纪云飞, 史凤隆. 基于灰色系统理论的军机维修性定性要求评价[J]. 装备环境工程, 2014, 11(3): 40—44.
ZHU Hua-yuan, JI Yun-fei, SHI Feng-long. Battleplan Maintainability Qualitative Request Evaluation Based on Grey System Theory[J]. Equipment Environmental Engineering, 2014, 11(3): 40—44.

[11] 丁少娜, 冯诚, 陈毓, 等.基于性能退化数据分析的训练装备精度保持性评估[J]. 装备环境工程, 2014, 11(3): 30—34.
DING Shao-na, FENG Cheng, CHEN Yu, et al. Assessment of Precision Retention of Training Equipment Based on Performance Degradation Data Analysis[J]. Equipment Environmental Engineering, 2014, 11(3): 30—34.

[12] 马同玲, 党晓勇, 庞明磊. 基于加速老化和自然贮存数据的氟硅橡胶制品贮存寿命预估[J]. 装备环境工程, 2014, 11(4): 65—69.
MA Tong-ling, DANG Xiao-yong, PANG Ming-lei. Storage Life Prediction of Fluorine Rubber Products Based on Accelerated Aging and Natural Storage Data[J]. Equipment Environmental Engineering, 2014, 11(4): 65—69.

[13] 王安东, 陈跃良, 张勇, 等. 基于灰色马尔科夫模型的 2A12 铝合金腐蚀预测方法研究[J]. 装备环境工程, 2014, 11(6): 22—28.
WANG An-dong, CHEN Yue-liang, ZHANG Yong, et al. The Research on 2A12 Aluminum Corrosion Prediction Method Based on Gray Markov Model[J]. Equipment Environmental Engineering, 2014, 11(6): 22—28.