

# 基于性能参数分布的某火箭弹储存可靠性评估

范志锋, 齐杏林, 李宁, 仲伟君

(军械工程学院, 石家庄 050003)

**摘要:** 针对目前无法有效地对含有电子部件的复杂弹药系统开展储存可靠性评估的问题, 提出了利用定期检测的性能数据, 采用基于性能参数分布的方法对此类弹药开展储存可靠性评估。提出了基于性能参数分布可靠性评估的基本思路, 讨论了基于性能参数分布可靠性评估的一般步骤, 并对某型火箭弹进行了储存可靠性评估, 证明了该方法的有效性, 最后对该型火箭弹可靠储存寿命的预测提出了相应的建议。

**关键词:** 火箭弹; 可靠性评估; 性能参数; 分布; 定期检测

**中图分类号:** TJ410      **文献标识码:** A

**文章编号:** 1672-9242(2011)01-0070-03

## Storage Reliability Assessment of a Certain Type of Rocket Based on Distribution of Performance Parameters

FAN Zhi-feng, QI Xing-lin, LI Ning, ZHONG Wei-jun

(Ordnance Engineering College, Shijiazhuang 05003, China)

**Abstract:** A reliability assessment method of rocket containing electronic components was put forward, which was by using the performance data of periodic testing and the method based on distribution of performance parameters, to solve the reliability assessment problem of the complex ammunition system. The basic ideas were put forward and the general steps of reliability assessment based on the distribution of performance parameters were discussed. Storage reliability assessment of a certain type of rocket was carried out. The results showed that this method is valid. Some advices on forecasting reliable storage life of the rocket were put forward.

**Key words:** rocket; reliability assessment; performance parameters; distribution; periodic testing

近年来, 末制导炮弹、炮射导弹、简易控制火箭弹、电视侦察弹等高新技术弹药不断涌现。完全利用传统的成败型、产品计数型数据开展此类复杂弹

药系统储存可靠性评估的难度也越来越大。

笔者针对近年来装备部队的某型火箭弹的定期检测数据进行了分析, 采用了基于性能参数分布的

收稿日期: 2010-07-28

作者简介: 范志锋(1978—), 男, 湖北武穴人, 硕士, 讲师, 主要研究方向为弹药可靠性技术。

方法对其储存可靠性进行了评估,为开展此类复杂弹药系统的可靠性评估提供了一种新的思路。

## 1 基本思路

假设火箭弹各性能参数之间是相互独立的,即可以认为整批火箭弹的储存可靠度是各个性能参数对应火箭弹储存可靠度的乘积。

各性能参数对应的是火箭弹内部的不同元件,可以认为性能参数之间是相互独立的。另外,对应于同一元件的性能参数,它们之间的独立性可以用协方差矩阵进行检验。

搜集火箭弹定期检测性能参数的数据,通过分布检验,得到每个性能参数的分布参数后,求出每个性能参数对应火箭弹的储存可靠度,然后求出所有性能参数对应火箭弹储存可靠度的乘积,即可得到整批火箭弹的储存可靠度。

## 2 评估步骤

对于定期检测得到的性能参数中含有的计数型数据,如电路的通断,可以利用传统的成败型产品可靠性评估方法评估火箭弹的储存可靠度 $R_N$ 。

笔者讨论了性能参数中计量型数据的可靠性评估方法,一般分为3个步骤。

1) 对定期检测得到的一批火箭弹(共 $n$ 发,编号为 $m_i, i=1, \dots, n$ )的每一个计量型性能参数(共 $p$ 个,编号为 $q_j, j=1, \dots, p$ )的所有数据进行分布检验。一般可以用正态分布和威布尔分布进行检验。选择性能参数服从较好的分布类型,并求出相应的分布参数。

在此仅讨论分布参数的点估计值,区间估计的方法类似。

若性能参数服从正态分布,一般采用极大似然法估计相应的分布参数。若性能参数服从威布尔分布,样本量 $n \leq 25$ 时,采用最佳线性无偏估计来求解性能参数的分布参数;样本量 $> 25$ 时,采用简单线性无偏估计来求解性能参数的分布参数<sup>[1]</sup>。

2) 求出每一个计量型性能参数对应的火箭弹的储存可靠度 $R_{q_j}$ 。

对于火箭弹来说,其性能参数指标有如下3种情况。

(1) 单侧下限参数。如果对火箭弹的某性能参数允许下限提要求,即 $q_j \geq q_{jL}$ ,那么该性能参数称为单侧下限参数。

若某一性能参数的数据服从正态分布,该性能参数的均值为 $\mu_{q_j}$ ,均方差为 $\sigma_{q_j}$ ,则该性能参数对应的火箭弹的储存可靠度 $R_{q_j}$ <sup>[2]</sup>为:

$$R_{q_j} = 1 - \Phi\left(\frac{q_{jL} - \mu_{q_j}}{\sigma_{q_j}}\right) \quad (1)$$

若某一性能参数的数据服从威布尔分布,该性能参数的形状参数为 $m_{q_j}$ ,尺度参数为 $\eta_{q_j}$ ,则该性能参数对应的火箭弹的储存可靠度 $R_{q_j}$ <sup>[3]</sup>为:

$$R_{q_j} = \exp\left[-\left(\frac{q_{jL}}{\eta_{q_j}}\right)^{m_{q_j}}\right] \quad (2)$$

(2) 单侧上限参数。如果对火箭弹的某性能参数允许上限提要求,即 $q_j \leq q_{jU}$ ,那么该性能参数称为单侧上限参数。

若某一性能参数的数据服从正态分布,该性能参数的均值为 $\mu_{q_j}$ ,均方差为 $\sigma_{q_j}$ ,则该性能参数对应的火箭弹的储存可靠度 $R_{q_j}$ <sup>[2]</sup>为:

$$R_{q_j} = \Phi\left(\frac{q_{jU} - \mu_{q_j}}{\sigma_{q_j}}\right) \quad (3)$$

若某一性能参数的数据服从威布尔分布,该性能参数的形状参数为 $m_{q_j}$ ,尺度参数为 $\eta_{q_j}$ ,则该性能参数对应的火箭弹的储存可靠度 $R_{q_j}$ <sup>[3]</sup>为:

$$R_{q_j} = 1 - \exp\left[-\left(\frac{q_{jU}}{\eta_{q_j}}\right)^{m_{q_j}}\right] \quad (4)$$

(3) 双侧参数。如果对火箭弹的某性能参数允许上、下限同时提要求,即 $q_{jL} \leq q_j \leq q_{jU}$ ,那么该性能参数称为双侧参数。

若某一性能参数的数据服从正态分布,该性能参数的均值为 $\mu_{q_j}$ ,均方差为 $\sigma_{q_j}$ ,则该性能参数对应的火箭弹的储存可靠度 $R_{q_j}$ <sup>[2]</sup>为:

$$R_{q_j} = \Phi\left(\frac{q_{jU} - \mu_{q_j}}{\sigma_{q_j}}\right) - \Phi\left(\frac{q_{jL} - \mu_{q_j}}{\sigma_{q_j}}\right) \quad (5)$$

若某一性能参数的数据服从威布尔分布,该性能参数的形状参数为 $m_{q_j}$ ,尺度参数为 $\eta_{q_j}$ ,则该性能参数对应的火箭弹的储存可靠度 $R_{q_j}$ 为:

$$R_{q_j} = \exp\left[-\left(\frac{q_{jU}}{\eta_{q_j}}\right)^{m_{q_j}}\right] - \exp\left[-\left(\frac{q_{jL}}{\eta_{q_j}}\right)^{m_{q_j}}\right] \quad (6)$$

3)根据提出的假设,求出所有性能参数对应的火箭弹的储存可靠度的乘积即为该批火箭弹的储存可靠度  $R_s$ :

$$R_s = R_N \cdot \prod_{j=1}^p R_{q_j} \quad (7)$$

### 3 实例分析

某型火箭弹定期检测时,主要进行电性能检测,每发火箭弹都必须检测的项目包括11项,其中有1项是计数型数据,其余项目均为计量型数据。即该火箭弹电性能检测共有10个计量型性能参数( $q_1, q_2, \dots, q_{10}$ )。

#### 3.1 性能参数收集

该型火箭弹的电性能检测是采用专用检测仪自动完成的,每发火箭弹的检测数据都以EXCEL表

格的形式保存。由于该型火箭弹一个批次数量较多,人工收集每个性能参数的值比较繁琐,故编制了专用程序对每发火箭弹的EXCEL表格数据进行处理,方便后续对每个批次火箭弹每个性能参数的分析。

#### 3.2 性能参数分布形态检验

某批火箭弹共计  $\times \times \times$  发,有一个性能参数  $q_2$  为恒定值0.005 s。对剩余9个性能参数进行拟合优度检验,样本量较大,可以采用Kolmogorov-Smirnov检验。通过Kolmogorov-Smirnov检验发现,9个性能参数基本符合正态分布。

#### 3.3 性能参数分布参数估计

由于该批火箭弹的9个性能参数均服从正态分布,可以采用极大似然法估计每个性能参数的分布参数,计算结果见表1。

表1 火箭弹性能参数分布参数的极大似然估计值

Table 1 The MLE value of distribution parameter of the rocket's performance parameters

| 分布参数           | 性能参数     |           |         |         |         |         |         |         |          |
|----------------|----------|-----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|
|                | $q_1$    | $q_3$     | $q_4$   | $q_5$   | $q_6$   | $q_7$   | $q_8$   | $q_9$   | $q_{10}$ |
| $\hat{\mu}$    | -0.009 6 | 742.516 4 | 0.838 9 | 128.23  | 2.046 8 | 2.020 3 | 5.195 9 | 5.536 4 | 1.473 2  |
| $\hat{\sigma}$ | 0.014 8  | 17.136 8  | 0.014 7 | 2.560 9 | 0.271 5 | 0.255   | 0.300 1 | 0.307 8 | 0.044 2  |

#### 3.4 可靠度计算

9个性能参数中,除 $q_{10}$ 只对允许上限提要求外,其余8个性能参数均对允许上、下限同时提要求,因此性能参数 $q_{10}$ 对应的火箭弹的储存可靠度用式(3)进行计算,其余性能参数对应的储存可靠度用式(5)进行计算。每个性能参数对应的火箭弹储存可靠度计算结果见表2。

由于性能参数 $q_2$ 为恒定值,而且该值基本处于上下限指标均值附近,因此可以认为性能参数 $q_2$ 对应的火箭弹储存可靠度 $R_{q_2}=1$ 。

该火箭弹的性能参数中有1项为计数型性能参数,该批火箭弹的所有计数型性能参数的值均为合格,故可以认为该计数型性能参数对应的火箭弹储

表2 性能参数对应的火箭弹储存可靠度

Table 2 The rocket's storage reliability corresponding to performance parameters

| 性能参数     | $q_1$ | $q_3$   | $q_4$ | $q_5$ | $q_6$ | $q_7$   | $q_8$ | $q_9$ | $q_{10}$ |
|----------|-------|---------|-------|-------|-------|---------|-------|-------|----------|
| 火箭弹储存可靠度 | 1     | 0.999 6 | 1     | 1     | 0.978 | 0.979 3 | 1     | 1     | 1        |

存可靠度  $R_N=1$ 。

故采用式(7)计算得到该批火箭弹的储存可靠度为:

$$R_s = R_N \cdot \prod_{j=1}^{10} R_{q_j} = 0.957 4$$

### 4 结语

应用笔者提出的基于性能参数分布的方法对某  
(下转第96页)

表2 不同试板上氟硅物聚合物的水接触角

Table 2 Water contact angles of fluoro-silicone polymer on different test plates

|              | 分别测定试板上5个不同点 平均值 |     |     |     |     |     |
|--------------|------------------|-----|-----|-----|-----|-----|
| 试板①的水接触角/(°) | 120              | 119 | 120 | 120 | 117 | 119 |
| 试板②的水接触角/(°) | 122              | 120 | 120 | 121 | 119 | 120 |
| 试板③的水接触角/(°) | 118              | 120 | 119 | 119 | 121 | 119 |

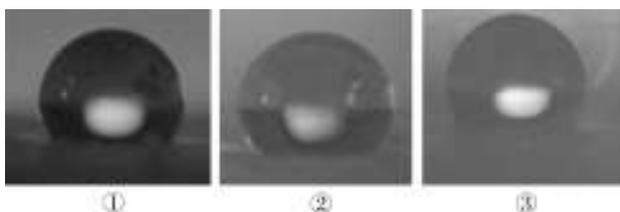


图2 水珠在试板上的状态

Fig. 2 Water bead status on test plates

## 2.2 添加了微胶囊涂层的水接触角的测定

将合成的微胶囊分别添加到涂料中(质量比为1:8),制成涂层。分别测量涂层的接触角。对涂层打磨后使微胶囊破裂,芯材渗出,再测定涂层的接触角。打磨前涂层的水接触角为 $80^{\circ}$ ,打磨后为 $112^{\circ}$ 。可以看出,微胶囊破裂后,芯材渗出,可以明显提高涂层的水接触角,降低涂层的表面能。这是因为芯材本身具有较高的水接触角所致。

## 2.3 紫外灯照射对添加了微胶囊的涂层的影响

将打磨后涂层置于紫外灯下照射一段时间后,对其涂层接触角进行测量。涂层水接触角的变化情况如图3所示。

涂层经紫外线照射400 h后,其接触角下降不明显。这说明涂层表面能几乎不发生变化。

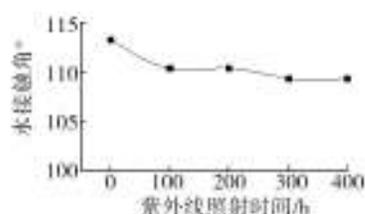


图3 紫外灯照射后水接触角的变化情况

Fig. 3 Change of water contact angles after ultraviolet irradiation

## 3 总结

将合成的微胶囊添加到涂料中,研制出了2种长效的表面能涂层。涂层的表面能低,水接触角分别可达 $120^{\circ}$ 。涂层经紫外线照射后,其接触角下降不明显。表面能几乎不发生变化。

### 参考文献:

- [1] 韩磊. 低表面能防污涂料的最新研究进展[J]. 材料保护, 2006, 39(2): 37—41.
- [2] 王强. 低表面能海洋防污涂层技术及其评价方法[J]. 材料导报, 2008, 22(10): 84—87.
- [3] 罗正鸿. 低表面能聚合物的聚合进展[J]. 高分子通报, 2007(9): 9—14.
- [4] 冀林仙. 脲醛树脂微胶囊的制备[J]. 材料导报, 2005, 19(5): 109.
- [5] 张留城, 李佐邦. 缩合聚合[M]. 北京: 化学工业出版社, 1986: 38—46.
- [6] 王凯军, 张明祖, 管丹. 热致变色材料制备及微胶囊封装[J]. 印染助剂, 2008, 25(7): 41—44.

(上接第72页)

型火箭弹的储存可靠性进行了评估,求出了对应检测年份的某批该型火箭弹的储存可靠度。由于该火箭弹在长期储存过程中,每隔2 a需要检测1次,每次检测都能求出每批火箭弹的储存可靠度。因此,随着该火箭弹储存时间的增加,通过对同一批火箭弹不同检测年份的储存可靠度变化趋势的分析,可以求出储存可靠度限定值对应的储存年限,即为该批火箭弹的储存寿命。

### 参考文献:

- [1] 崑诗松,王玲玲. 可靠性统计[M]. 上海: 华东师范大学出版社, 1984: 83.
- [2] 刘传模. 弹药可靠性工程基础[M]. 石家庄: 军械工程学院, 1996: 91—92.
- [3] 邓爱民. 高可靠长寿命产品可靠性技术研究[D]. 长沙: 国防科技大学, 2006.