

基于灰色模型的某型末制导弹药贮存寿命预测

赵东华, 张怀智, 郭胜强, 曹宏安, 李惠明

(武汉军械士官学校, 武汉 430075)

摘要: 某型末制导弹药具有导弹与常规弹药的双重特性, 贮存寿命预测更加复杂。应用薄弱环节法和灰色理论, 建立了末制导弹药贮存寿命预测的 $GM(1, 1)$ 模型, 并进行了实例计算。结果表明, 该模型简单、实用, 预测结果准确, 对于部队提高末制导弹药的维护能力具有一定意义。

关键词: 末制导; 灰色模型; 贮存

中图分类号: TJ410.89 **文献标识码:** A

文章编号: 1672-9242(2011)06-0028-03

Prediction of Terminal Guided Projectile Storage Life Based on Gray Model

ZHAO Dong-hua, ZHANG Huai-zhi, GUO Sheng-qiang, CAO Hong-an, LI Hui-ming

(Wuhan Ordnance Non-commissioned Officer Academy, Wuhan 430075, China)

Abstract: Terminal Guided Projectile (TGP) has two characteristics of missile and general ammunition. It is difficult to predict the storage life of TGP. The storage life prediction $GM(1, 1)$ model of TGP was established using weakness method and gray theory. Real cases were computed with the model. The results showed the model is simple, practical and exact. It has important meaning in improving maintenance of TGP.

Key words: terminal guided projectile; gray model; storage

随着科学技术的发展,更多的高新技术在弹药领域得到广泛应用,使弹药向着远程化、智能化、制导化方向快速发展,大大提高了武器装备的信息化程度,如末制导弹药、炮射导弹等。这些制导弹药价格昂贵,相当于常规弹药的几百倍。由于其结构复杂,储存环境条件要求高,对贮存可靠性要求也更加苛刻。研究制导弹药的储存寿命预测方法,对于提高部队制导弹药储存保障能力,具有重要的意义。自然贮存实

验法的试验数据最为实际、也最为准确,但由于耗时过长,不能适应新型弹药的发展需要。笔者对末制导弹药组成部件的性能进行分析,建立了末制导弹药贮存寿命预测方法。

1 贮存寿命预测方法

常规弹药一般由引信、底火、弹丸、发射装药以

收稿日期: 2011-04-01

作者简介: 赵东华(1982—),男,江西余干人,讲师,主要研究方向为制导弹药检测维修。

及药筒组成,储存过程中容易受环境影响的部件是发射装药和引信,而末制导弹药由控制舱、弹舱、发射装药、药筒等组成。从组成看,末制导弹药在常规弹药结构的基础上与导弹有较多相近之处。因此,在对其进行贮存寿命研究时,可以借鉴国内外对导弹贮存寿命研究较为成熟的分析理论以及试验方法,如加速寿命试验法、相似产品分析法、薄弱环节法等。笔者利用薄弱环节法对末制导弹药贮存寿命进行分析。

装备系统的失效不是取决于最稳定部件,而是取决于整个系统中的最薄弱环节,应利用最薄弱环节的定寿、延寿来预测其贮存寿命^[1]。

末制导弹药鼻锥部是该型弹药重要的部件,在弹药飞行过程中,待发程控装置定时启动弹上电池,并利用电池产生的电压点燃电爆管,进而点燃装药抛射鼻锥部,方便导引头接收反射激光实现制导。电池产生的电压对各电路进行充电,如果程控装置不能定时启动或者充电电压不够,弹上电池不能激活,鼻锥部不能顺利抛射,导引头无法工作,制导无法实现,弹丸不会爆炸。鼻锥部主要由机械部件以及电子部件组成,机械部件贮存可靠性较高,电子部件贮存可靠性相对较低。某工厂对近几年的检测数据表明,鼻锥部程控装置充电提供的电压极易受到环境影响,随着贮存时间的增长,很难达到要求,有的在贮存一段时间后,产生的电压仅为5 V,失效率较高。表1为2002年装备的某批末制导弹药到2007年某工厂对程控装置启动电压时的检测数值。

表1 某工厂检测电压值

Table 1 Factory detected voltage value

年份	2002	2003	2004	2005	2006	2007
电压/V	8.013	7.927	7.664	7.312	7.204	6.943

2 贮存寿命预测GM(1,1)模型

灰色预测主要是指利用灰色动态模型GM(1,1)对时间序列数据进行累加,生成序列并建立白化微分方程,即GM(1,1)方程,离散化求出待估参数,得出方程对于时间的相应函数,输入参数得出需要预测的数值。此方法需要对残差精度进行检验。

利用表1关于鼻锥部输出电压的数据,进行灰

色动态模型GM(1,1),建模步骤如下。

1) 将原始数据的时间序列 $x^{(0)}=\{8.013, 7.927, 7.664, 7.312, 7.204, 6.943\}$ 经过一次累加,生成序列 $x^{(1)}=\{8.013, 15.940, 23.604, 30.916, 38.120, 45.063\}$,

其中 $x^{(1)}(k)=\sum_{i=1}^k x^{(0)}(i), i=1, 2, \dots, k$ [2-3]。

对生成的序列建立白化微分方程形式,即GM(1,1)方程:

$$\frac{dx^{(1)}}{dt} + ax^{(1)} = \mu \quad (1)$$

式中: a 为发展系数; μ 为灰色参数。

2) 将式(1)离散化得:

$$x^{(0)}(k+1) + \frac{a}{2}[x^{(1)}(k+1) + x^{(1)}(k)] = \mu$$

$$k=2, 3, \dots, n$$

写成矩阵的形式为: $Y=Ba$

$$B = \begin{pmatrix} -1/2[x^{(1)}(1) + x^{(1)}(2)] & 1 \\ -1/2[x^{(1)}(2) + x^{(1)}(3)] & 1 \\ \vdots & \vdots \\ -1/2[x^{(1)}(n-1) + x^{(1)}(n)] & 1 \end{pmatrix} =$$

$$\begin{pmatrix} -7.87, 1 \\ -11.802, 1 \\ -15.458, 1 \\ -19.06, 1 \\ -22.531, 1 \end{pmatrix}, Y = \begin{bmatrix} x^{(0)}(2) \\ x^{(0)}(3) \\ \vdots \\ x^{(0)}(6) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 7.927 \\ 7.664 \\ 7.312 \\ 7.204 \\ 6.943 \end{bmatrix}$$

3) 用最小二乘法解方程得:

$$\hat{a} = [a, \mu]^T = (B^T B)^{-1} B^T Y = [0.0268, 8.312]^T$$

4) 解得方程对于时间的响应函数为:

$$\hat{x}^{(1)}(k+1) = [x^{(0)}(1) - \frac{\mu}{a}] \exp(-ak) + \frac{\mu}{a}$$

$$\text{即: } \hat{x}^{(1)}(k+1) = -302.14 \exp(-0.0268k) + 310.15$$

5) 作一次累减得到预测序列,即灰色GM(1,1)模型为:

$$\hat{x}^{(1)}(k+1) = \hat{x}^{(1)}(k+1) - \hat{x}^{(1)}(k) = 8.097 \exp(-0.02676k), k=1, 2, \dots, n \quad (2)$$

6) 模型精度检验。应用式(2)对某型末制导炮弹的鼻锥部输出电压数据进行计算,见表2。

实测电压值和预测值的离差 s_1 及残差的离差 s_2 计算如下。

$$s_1^2 = \sum_{k=1}^n [x^{(0)}(k) - \bar{x}^{(0)}]^2, k=1, 2, \dots, n$$

表2 电压预测值
Table 2 Predicted voltage value

年份	2002	2003	2004	2005	2006	2007
实测值	8.013	7.927	7.664	7.312	7.204	6.943
预测值	8.013	7.884	7.675	7.472	7.275	7.082
误差值	0	0.043	0.011	0.160	0.071	0.139

$$s_2^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{k=1}^{n-1} [\varepsilon^{(0)}(k) - \bar{\varepsilon}^{(0)}]^2, k = 1, 2, \dots, n$$

$$\varepsilon^{(0)}(k) = x^{(0)}(k) - \hat{x}^{(0)}(k), k = 1, 2, \dots, n$$

计算后验比 c 及小误差概率 p 为:

$$c = s_1/s_2 = 0.34$$

$$p = \{ |\varepsilon^{(0)}(t) - \bar{\varepsilon}^{(0)}| < 0.6745s_1 \} > 0.8$$

根据后验比 c 及小误差概率 p 对模型进行诊断, 具体标准及数据见表3。

表3 模型评价标准
Table 3 Evaluation standard of model

等级	p	c
好	>0.95	<0.35
合格	>0.8	<0.5
勉强	>0.7	<0.65
不合格	≤ 0.7	≥ 0.65

根据表3的精度分级, 模型精度在“合格”以上, 说明该模型可靠。

3 贮存寿命预测

根据前述建立模型见式(2), 对某型末制导炮弹的贮存寿命进行预测计算。规定鼻锥部程控启动产生充电电压低于6 V为失效, 根据预测公式计算得到11.4 a的电压值为6.03 V, 所以该型末制导炮弹的贮

存寿命为11.4 a。一般正常条件下制导炮弹的贮存年限为10 a, 所以采用该模型对某型末制导炮弹预测比较准确。

4 结语

末制导炮弹具有导弹和常规弹药的双重特性, 其电子元器件容易受到环境因素的影响, 但是检测参数漂移缓慢, 呈现逐年下降的趋势, 并具有一定的规律性, 所以, 可以通过建模等方法对其贮存寿命进行预测判断。通过计算分析得出具有一定实用价值的结论, 对部队提高其贮存维护能力有一定的帮助。

通过上述分析可以得出, 末制导炮弹电子元器件及光学部件是薄弱环节, 在贮存过程当中容易受到环境的影响, 导致末制导炮弹的贮存寿命下降, 所以部队在贮存过程当中应该引起足够重视, 并采取积极措施防止雷电和空气温、湿度及霉菌等对其影响, 加强监控, 定时检查维护, 逐步提高末制导炮弹的贮存寿命^[4]。

参考文献:

- [1] 徐向国, 赵晓利. 某型制导弹药贮存预测方法探讨[J]. 四川兵工学报, 2007, 26(3): 35—36.
- [2] 徐哲, 楼文高. 基于灰色模型 $GM(1, 1)$ 的IPTV市场预测[J]. 出版与印刷, 2007, 27(2): 6—9.
- [3] 邓聚龙. 灰理论基础[M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2002.
- [4] 郭芳筓. 弹药可靠性工程基础[M]. 石家庄: 军械工程学院出版社, 1991.

(上接第27页)

参考文献:

- [1] 夏建才, 刘丽梅. 火工品制造[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2009.
- [2] 叶迎华. 火工品技术[M]. 北京: 北京理工大学出版社,

2007.

- [3] 王凯民. 军用火工品设计技术[M]. 北京: 国防工业出版社, 2006.
- [4] GJB 2001—1994, 火工品包装、运输、贮存安全要求[S].
- [5] GJB 4377—2002, 弹药导弹用火工品安全性要求[S].
- [6] GJB 736—1990, 火工品试验方法研究[S].