

导弹火工品贮存寿命的影响因素分析

张福光, 崔旭涛, 洪亮

(海军航空工程学院, 山东 烟台 264001)

摘要:以现役某型反舰弹火工品为研究对象,结合其贮存、使用、维护的特点,分析了可能影响贮存寿命的因素。对火工品定寿模式及方法进行了分析,对双因素试验法在火工品定寿方面的优势进行了综述,同时对其过程及模型进行了研究。利用双因素试验法,对某导弹2类火工品定寿的影响因素进行了分析。研究表明,温度是火工品贮存寿命最主要的影响因素。

关键词:导弹;火工品;贮存寿命

中图分类号: TJ410.31 **文献标识码:** A

文章编号: 1672-9242(2011)06-0024-04

Influencing Factor Analysis of Storage Life of Missile Initiating Explosive Devices

ZHANG Fu-guang, CUI Xu-tao, HONG Liang

(The Naval Aeronautical Engineering Academy, Yantai 264001, China)

Abstract: Some active anti-ship missile initiating explosive devices were studied. Possible influencing factors of storage life were analyzed with characteristics of storage, employment and maintenance of the initiating explosive devices. The life-confirming mode and methods of initiating explosive devices were analyzed, the advantage of Dual-factor Test Method in life-confirming of initiating explosive devices was summarized, and its procedure and model were studied. Influencing factors of two initiating explosive devices of some missile were analyzed. Research results showed that temperature is the uppermost influencing factor.

Key words: missile; initiating explosive device; storage life

由于对导弹火工品的可靠性及使用寿命评估均缺乏系统的研究,因此,在使用过程中为保障一定

的安全性和可靠性,不得不缩短火工品的使用年限,造成人力、物力和财力的浪费。
笔者以现役某型导弹火工品为研究对象,根据该型导弹火工品贮存、使用、维护的特点,通过建立科学、合理的数学模型,对影响导弹火工品贮存寿命

的因素进行了研究,提出了保障和延长火工品使用寿命的合理措施,为导弹火工品管理及新品设计提供了技术支持。

1 基本情况分析

导弹火工品包括战斗部、引信及弹上火工元件

收稿日期: 2011-04-20

作者简介: 张福光(1965—),男,山东威海人,博士,副教授,主要研究方向为军械装备保障理论研究及应用。

等。战斗部是导弹的有效载荷,其爆炸威力能使敌驱逐舰、护卫舰受到重创,丧失战斗能力或沉没。引信是战斗部可靠工作的保证,是一种能够在预定的时间、地点,按预定的方式使弹药(战斗部)起爆的装置。弹上火工品元件主要有燃气发生器、烟火点火器、燃油开启活门、爆炸螺栓、成对电嘴、电发火管等,用以引燃火药、引爆炸药或输出机械功^[1-3]。

1.1 导弹火工品贮存特点

导弹火工品采用分类、分库保管,对起爆火工品、扩爆火工品和爆炸火工品采用不同的仓库存放。同时,火工品采用分批存放的方式。战斗部、火药柱等单独存放,引信、火药盒、电爆管等密闭存放。火工品库房内均有测量和控制温度、湿度的设备,以保证库房温度、相对湿度不超过规定的范围^[4-5]。

1.2 导弹火工品维护特点

在导弹火工品的维护方面,通常的做法是按照规定的要求,对引信、战斗部等进行定期外观检查及电性能测试。对于电爆管等小件火工品,由于在贮存期间处于密封状态,故只在备弹和技术准备时进行启封检查,且多数启封后不再重复使用,因此维护环节较为简单。

1.3 导弹火工品贮存寿命的影响因素

火工品贮存寿命的确定,通常以火工品各项战术、技术指标衰减至无法满足规定的要求时为计算截止点。就火工品贮存寿命而言,其理化性能衰减是内因,对寿命长短起着决定性作用,温度、湿度、振动及电磁环境则为外因。

2 定寿方法研究

2.1 定寿基本模式

目前对火工品的定寿,多数采用的是“黑匣子”式的运作方式,即不对火工品装药进行理化分析(或仅以理化分析为辅),以火工品实际贮存环境条件为前端激励源(通常在不改变火工品衰退机理的基础上,采用比实际环境更恶劣、强度更高的激励条件),以选定的火工品特征指标为灵敏参量(如平均发火

感度、作用时间、点火压力、爆炸威力、同步作用时间等),在对火工品试样施加激励(如温度、湿度、振动及电磁辐射等)后,进行试样外观检查、无损检测以及静爆试验,获得所需的灵敏参量试验数据。将该数据与规定的火工品产品检验、验收标准相比较,如在规定的范围之内,则认为试样合格,并利用相应的换算关系,确定出火工品的贮存寿命期限。火工品定寿的基本模式如图1所示。

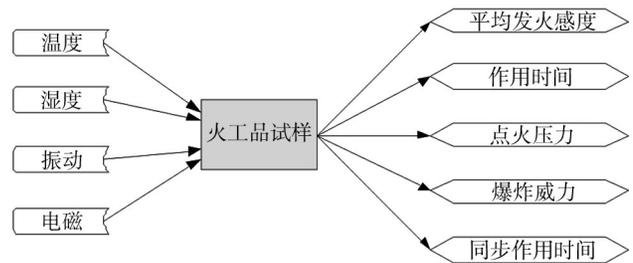


图1 火工品定寿的基本模式

Fig. 1 Basic mode of confirming initiating explosive devices life

2.2 定寿基本方法

当前对火工品定寿主要有估算法、71℃试验法和双因素试验法^[6]。

2.2.1 方法比较

估算法建立在经验和理论推算基础之上,缺乏必要的试验数据支撑,其分析结论的精确性有待提高,所确定的火工品贮存寿命相对比较保守。

71℃试验法的基本前提是:假设所有火工品在贮存过程中采取了防止水分侵蚀措施,简化了实际贮存环境,变成了单因素贮存问题^[5]。这种假设对处于密封贮存状态(如铁壳密封)下的火工品是基本适用的,但对于半密封(如开封后的引信)或非密封状态下的火工品,则存在较大的局限性,可能产生较大的推算误差,从而降低了贮存寿命的置信度。

双因素试验法,充分考虑了火工品在实际贮存环境中可能面临的温度、湿度的影响,确定温、湿度为2个影响火工品贮存寿命的主要因素,同时兼顾温、湿度的交互关系。文中重点介绍了双因素试验法。

2.2.2 双因素试验法

2.2.2.1 温、湿度总加速系数的确定

双因素试验法采用广义艾琳(Eyring)模型作为火工品温、湿度加速方程,见式(1)。

$$\tau = \frac{T_0}{T_1} \exp\left(B\left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_0}\right) + C(RH_1 - RH_0) + D\left(\frac{H_1}{T_1} - \frac{H_0}{T_0}\right)\right) \quad (1)$$

式中： τ 为温、湿度双应力加速寿命方程中温、湿度总加速系数； T_0 为常温时热力学温度； T_1 为试验时热力学温度； RH_0 为常温时相对湿度； RH_1 为试验时相对湿度； R 为理想气体常数； B, C, D 分别为温、湿度加速寿命方程中的温度项，湿度项，温、湿度交互项的系数。

式(1)也可简单直观地表示为：

$$\tau = \tau_1 \cdot \tau_2 \cdot \tau_3 \quad (2)$$

式中： τ_1, τ_2, τ_3 分别为温湿度双应力加速寿命方程中温度，湿度，温、湿度交互项的加速系数，可分别由式(3)~式(5)得出：

$$\tau_1 = r_1^{(T_1 - T_0)/10} \quad (3)$$

$$\tau_2 = r_2^{(RH_1 - RH_0)/0.05} \quad (4)$$

$$\tau_3 = 1 \quad (5)$$

式中： r_1 为温度每升高10 K反应速度加快的倍数，在2.7~2.9之间； r_2 为湿度每升高5%反应速度加快的倍数，取2.0。

温、湿度总加速系数确定以后，即可进行加速寿命试验，并依据试验数据和总加速系数，最终得出规定温、湿度状态下导弹上火工品的贮存寿命。

2.2.2.2 贮存寿命评估

双因素试验法通常首先确定出总加速系数，然后在全面了解火工品性能的基础上通过试验确定出1~3项灵敏参量，每个测试项目选样本量为15~30发，加速寿命试验过程中的取样时间通常可选择为7, 14, 21, 28 d等。将试样投入高温、高湿环境中进行试验，在上述时间点对试验产品进行取样检测，并记录检测数据。各阶段试验结束后，应对该阶段所有试样进行检验，并确定各灵敏参量有无显著性变化，若结果全部合格，则可按照式(6)给出该型火工品的贮存寿命估计值。

$$t_{T,RH_0} = \tau \cdot t_1 = \tau_1 \cdot \tau_2 \cdot \tau_3 \cdot t_1 \quad (6)$$

式中： t_{T,RH_0} 为火工品在常温、常湿条件下的贮存寿命； t_1 为进行加速寿命试验的时间。

该方法对 t_{T,RH_0} 的处理方法是：估算值在不大于15 a时取整数，在大于15 a时定为15 a。

该方法既适用于新研制的火工品的贮存寿命估算，也可用于到寿火工品的延寿期限预测。当长期贮存的火工品达到估计贮存寿命年限后，可按本标准进行试验，得出加速寿命试验条件下的无故障贮存时间 t_1 ，然后根据温、湿度总加速系数 τ ，估算出可能的延寿期限值。

3 实例及影响因素分析

某型导弹引信所使用的2类电雷管火工品在结构、组成及理化特性上具有一定的代表性。同时，由于引信密封条件相对较差，特别在启封以后，受环境温、湿度影响更大，因此，分析2类火工品在温、湿度双因素影响下的加速寿命试验数据，对研究影响弹上火工品贮存寿命主要因素有着更为实用的价值和意义。

3.1 寿命估计实例

3.1.1 延期电雷管

该产品延期药采用硅-四氧化三铅，其药剂组成及质量分数为：硅粉22.0%~22.5%、四氧化三铅77.5%~78.0%。延期时间为10~18 ms，起爆药为羧甲基纤维素氮化铅，猛炸药为泰安。

延期电雷管试样共有3 014发，选择延期时间、桥丝电阻值、电压发火感度等为灵敏参量，并以此确定产品最终贮存期限，试验分析见表1~表5。

从表1可以看出，经长贮后延期电雷管仍能满足技术条件要求；从表2可以看出，长贮试验后产品的电阻值略有增大；从表3可以看出，长贮试验后产品的电压发火感度变化满足要求；从表4可以看出，产品在电容为28 μ F的条件下，发火电压降低到20 V或升高到36 V，延期时间均满足 (14 ± 4) ms的指标；从表5可以看出，无论是两发并联还是单发联结形式，延迟时间均满足 (14 ± 4) ms的指标，且发火率均为100%。

对采用双因素试验法加速试验后的3 014发延期电雷管进行检验，未发现任何失效现象，即失效数 $F=0$ 、可靠度 $R>0.999$ （置信度为90%）。根据加速温、湿度条件所得出的总加速系数，最终估算出延期电雷管常态环境贮存寿命为15 a，满足引信对火工品提出的贮存期限要求。

表1 长贮试验后产品延期时间变化

Table 1 Product deferred time change after longtime storage test

贮存时间/d	样本量	作用时间/ms			
		t_{max}	t_{min}	\bar{t}	s
0	9	14.90	13.30	14.20	0.36
7	10	15.02	14.23	14.58	0.21
14	10	15.69	14.84	15.29	0.30
21	10	15.66	12.13	14.74	1.00
28	9	15.89	15.22	15.44	0.21

表2 长贮试验后产品的电阻变化

Table 2 Product resistance change after longtime storage test

贮存时间/d	试验数	试验前		试验后	
		\bar{R}/Ω	s/Ω	\bar{R}/Ω	s/Ω
7	30	5.09	0.24	5.23	0.24
14	30	5.11	0.28	5.18	0.27
21	30	5.16	0.27	5.33	0.29
28	30	5.11	0.30	5.34	0.30

表3 长贮试验后产品的电压发火感度变化

Table 3 Product fire voltage change after longtime storage test

贮存时间/d	样本量	电压发火感度/V			
		0.01%	50%	99.99%	s
0	20	10.08	10.90	11.72	0.22
7	17	10.60	11.53	12.46	0.25
14	20	10.72	12.13	13.54	0.36
28	18	12.03	12.36	12.69	0.09

表4 不同发火电压对产品延期时间的影响

Table 4 Influence of different fire voltage on product deferred time

序号	发火电压/V	试验数	作用时间/ms			
			t_{max}	t_{min}	\bar{t}	s
1	20	10	14.34	14.7	14.0	0.27
2	24	10	14.47	15.2	14.0	0.41
3	27	10	14.42	15.0	13.78	0.4
4	32	10	14.07	14.3	13.8	0.14
5	36	10	14.10	14.5	13.6	0.28

3.1.2 电雷管

对该型电雷管同样采用加速试验以估算其贮存期限,见表6。

表5 温、湿度试验后产品的发火和延期时间

Table 5 Fire and deferred time of product after temperature and humidity test

产品批号	试验数	联结形式	作用时间/ms				发火率
			t_{max}	t_{min}	\bar{t}	s	
90-4	20	两发并联	14.80	14.18	14.47	0.18	100%
90-4	10	单发	15.23	14.48	14.76	0.21	100%

表6 高温长贮

Table 6 Longtime storage under high temperature

温度/ $^{\circ}\text{C}$	时间/d	试验数	作用时间/ms				电容发火感度/V	
			t_{max}	t_{min}	\bar{t}	s	50%发火电压	s
69.4~72.3	28	100	4.5	3.8	4.07	0.17	4.08	0.17
69.4~72.3	56	100	4.8	3.8	4.01	0.25	4.04	0.30
69.4~72.3	84	100	4.4	3.6	3.92	0.19	4.16	0.42

对加速试验后试样的检验方法,除需检验试验前后显著性变化外,其余与产品常规验收过程基本相同,最终估算出该型电雷管贮存期限为10 a。

3.2 影响因素分析

从对火工品定寿过程和典型产品的分析来看,环境温、湿度无疑是影响弹上火工品贮存寿命的重要因素。导弹火工品在贮存状态下多采用密封包装,包装器材主要有全密封塑料筒、全密封金属盒、密封金属筒等。火工品装弹后置于贮运发射箱中,并由箱体提供相对良好的密闭空间,对湿度变化、静电及射频电磁干扰有较好的隔离和抑制作用。因此,在诸多影响弹上火工品使用寿命因素中,温度变化无疑成为最主要的影响因素。

4 结论

结合该型导弹火工品服役信息,利用火工品定寿的双因素试验法,选取该型导弹2类典型火工品进行了寿命预测,定量研究了影响反舰导弹主要的影响因素。研究表明:由于导弹火工品在贮存状态下多采用密封包装,因此在诸多影响弹上火工品使用寿命因素中,温度是最主要的影响因素。

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6V为失效, 根据预测公式计算得到11.4a的电压值为6.03V, 所以该型末制导炮弹的贮

存寿命为11.4a。一般正常条件下制导炮弹的贮存年限为10a, 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储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, 对部队提高其储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, 在储存过程当中容易受到环境的影响, 导致末制导炮弹的储存寿命下降, 所以部队在储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储存寿命^[4]。

参考文献:

[1] 徐向国, 赵晓利. 某型制导弹药储存预测方法探讨[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] 郭芳箴. 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].