文章编号：1673–1522（2009）05-0496–03

基于故障统计模型的导弹武器系统贮存检测周期确定方法

洪　亮[1]，张福光[1]，姚　斌[2]，万　宇[3]，崔旭涛[1]

（1. 海军航空工程学院 科研部，山东 烟台 264001；2. 海军大连舰艇学院，辽宁 大连 116001；
3. 海装军械保障部，北京 100083）

摘　要：综合运用可靠性工程理论、现代数理统计理论等，以实际故障统计数据为基础，提出了确定导弹贮存检测周期的方法，并用 Matlab 进行了计算验证。

关键词：故障；统计；检测周期

中图分类号：TJ760.7　　**文献标志码：**A

导弹作为一次性使用武器，从出厂到使用、退役报废，其寿命剖面的大部分时间处于贮存状态。在其长期的贮存过程中会受到自然因素（温度、湿度、大气压力、霉菌、盐雾等）和诱导因素（电磁辐射、静电等）的影响，从而造成性能参数变化，导致功能异常或可靠度降低。因此，为保证导弹处于良好状态，保持较高的战备完好率，必须在其贮存期内进行定期检测。

导弹定期检测[1]，是指按规定的间隔周期，对导弹弹上各分系统的主要技术性能、工作协调情况和可靠性进行检查和鉴定，目的是为了判明其功能和技术状况，提供性能正常、完好的导弹。导弹检测周期与其固有可靠度、贮存时间、贮存环境和部队装备完好率要求等因素紧密相关[2]。因此，确定合理的检测周期对于提高装备完好率、增强检测工作的科学性具有重要意义。本文运用可靠性工程理论，结合某型导弹的储存数据，提出了基于故障统计分析的导弹检测周期确定方法。

1 检测周期的确定方法

导弹固有可靠度受承制方在生产过程中对质量的控制、生产工艺水平等条件的影响，对于同一批次导弹而言，导弹检测周期主要取决于贮存时间、贮存环境和部队装备完好率要求等，应当具体情况具体分析，不应“一刀切”。

导弹属于可修系统，如果不计算贮存过程中故障后的维修时间，则其贮存过程可以视为有替换定时截尾试验[3]。假设导弹在贮存时间 t_0 内，故障率是 $\lambda(t)$，在一定的装备完好率 W 的要求下，有

$$1-\lambda(t)\geq W \text{。} \tag{1}$$

为减少通电检测对电子部组件可能造成的寿命损伤，导弹检测周期 T 应当在满足公式(1)的前提下，尽可能减少检测次数，减少导弹各分系统的通电时间，取

$$T=\max(t) \text{。} \tag{2}$$

导弹检测周期 T 是故障率 $\lambda(t)$ 的函数，利用故障数据计算导弹贮存时间 t_0 内的故障率分布 $\lambda(t)$，是求得检测周期 T 的关键。下面本文以某型导弹的数据为例进行计算。

2 检测周期的确定步骤

2.1 现场数据收集与分析

2.1.1 数据收集原则

现场数据依据以下原则进行收集：

1）收集对象和范围明确统一。

2）明确故障标准：在规定的条件下，若产品完不成规定的功能则判为故障。由于人为因素或其他原因未能按照规定的要求进行操作，造成设备故障，如果正确操作可避免故障发生，则不计作装备故障。

3）保证数据的真实性和有效性。

收稿日期：2009-02-24；　**修回日期：**2009-05-04

作者简介：洪　亮（1978–），男，工程师，硕士。

4）保证数据信息量。可靠性指标是统计指标，只有对大量的、丰富的数据进行统计，才能得到较为客观的结论，对产品的可靠性水平才能有正确的评价，所以只有原始数据达到一定的信息量，才能保证结论的准确可靠。

为保证计算结果的科学性，应根据以上原则，收集该型导弹服役的各导弹部队、导弹仓库、导弹修理厂（所）、计量站等单位历次测试记录、修理记录和调动记录等有关数据。

2.1.2 样本数据的筛选

在样本选取中,在整体数据统计分析的基础上，根据地区环境和样本量的大小的不同，选取了有代表性的两个单位（A 和 B）的数据。同时考虑到不同型号不同批次导弹的质量差异，选取两单位共有的同型号同批次导弹数据，这样使得数据既有足够信息量，又有足够的代表性，以保证结论符合客观实际。A、B 选取的样本量分别为 34、40。

由故障统计数据分析可知，导弹的控制系统故障占全弹故障的 90%以上，所以近似用控制系统的故障数代表全弹的故障数。假设 A、B 两个单位从导弹出厂至贮存 12 年的故障统计数据如表 1 所示。

2.1.3 数据分析

由表 1 可以得出导弹贮存时间内累积发生故障数，如表 2 所示。

表 1　故障数据统计表

第 X 年	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
A	24	17	11	13	16	31	39	47	48	43	35	39
B	15	19	16	14	16	19	18	24	19	34	19	18

表 2　累积发生故障数据统计表

储存时间/月	12	24	36	48	60	72	84	96	108	120	132	144
A	24	41	52	65	81	112	151	198	246	289	324	363
B	15	34	50	64	80	99	117	141	160	194	213	231

2.2 确定故障率函数

导弹在贮存过程中为可修复系统，且假设导弹在贮存期 t_i 内的平均故障率 λ_i 为恒定值[4]，则有

$$\lambda_i = \frac{1}{\mathrm{MTBF}} = \frac{r_i}{t_i \cdot n}, \tag{3}$$

式中：r_i 为贮存期 t_i 内发生的故障数；n 为样本数。

由式(3)计算得出 A、B 两个单位导弹贮存期内的平均故障率如表 3 所示。

作平均故障率曲线图，如图 1 所示。由图 1 看出，导弹在储存第 1~3 年，其故障率相对较高，存在波动过程，说明还存在早期失效。一般来说，导弹从第 9 年开始逐步进入耗损期，故障率开始缓慢上升，至第 12 年急剧上升[5]。因此，在回归分析中，剔除早期失效期，考虑较短年限的耗损故障期，选取导弹储存 4~9 年的故障数据进行线性回归计算。

表 3　导弹贮存期内的平均故障率

t_i/月	12	24	36	48	60	72	84	96	108	120	132	144
A	0.058 82	0.050 25	0.042 48	0.039 83	0.039 71	0.045 75	0.052 87	0.060 66	0.066 99	0.070 833	0.072 193	0.074 142
B	0.031 25	0.035 42	0.034 72	0.033 33	0.033 33	0.034 38	0.034 82	0.036 72	0.037 04	0.040 417	0.040 341	0.040 104

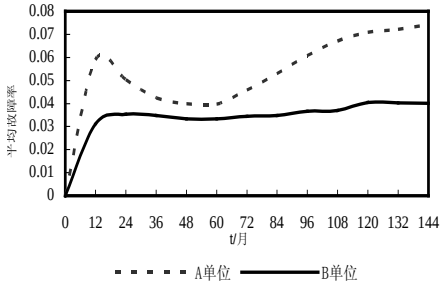

图 1　平均故障率曲线图

用Matlab编程计算线性回归方程、相关系数及相关系数显著性检验见表 4。[6-7]

表 4　线性回归检验

单位	方程	r	n	相关系数显著性检测
A	$\lambda(t)=0.0127t+0.0005$	0.978 1	6	$r>r_{0.01}=0.917$
B	$\lambda(t)=0.0295t$	0.963 2	6	$r>r_{0.01}=0.917$

由表 4 可知，给定显著性水平 $\alpha=0.01$，存在

$r > r_{0.01}(n-2)$，说明相关系数是显著的，配置的两个单位故障率函数线性回归方程是合理的。

2.3 检测周期计算

假设部队要求的装备完好率 $W = 90\%$，将用式(1)计算可得：

对于 A 单位，$t \le 7.8$，近似取 $T_A = 7$ 个月；

对于 B 单位，$t \le 3.4$，近似取 $T_B = 3$ 个月。

由此可见，在装备完好率 $W = 90\%$ 的要求下，A 单位导弹检测周期为 7 个月、B 单位导弹检测周期为 3 个月。

3 结论

由 2.3 的计算结果可以看出，在同样的装备完好率要求下，A、B 两个单位同批次导弹的检测周期相差较大。造成这种差异的主要原因是由于 A、B 两个单位地域分布的差别，B 单位地处南部沿海，空气盐雾大、高温、高湿，贮存环境相对恶劣，而 A 单位的贮存环境相对较好，所以计算得出的检测周期是合理的。

本文提出的基于故障统计数据的导弹检测周期确定方法，综合考虑了贮存时间、贮存环境和部队装备完好率要求的影响，对于其他武器装备检测周期的确定也可提供参考。

参考文献：

[1] 《海军军语》编纂办公室. 中国人民解放军海军军语[K]. 北京: 海潮出版社, 2006:597, 624.

[2] 史连艳, 张睿, 宋文渊. 导弹武器系统贮存期间检测周期的确定方法[J]. 战术导弹技术, 2004,5(3):22-25.

[3] 顾伟, 褚建新. 基于故障统计模型的可修系统维修周期预测法[J]. 机械强度, 2000,22(3):1-3.

[4] 胡燕, 朱明让. 可靠性设计大全[K]. 北京: 中国标准出版社, 2006:66-67.

[5] 李久祥, 申军, 侯海梅, 等. 装备贮存延寿技术[M]. 北京: 宇航出版社, 2004:130-138.

[6] COIT D W, DEY K A. Analysis of grouped data from field-failure reporting system[J]. Reliability Engineering and System Safety, 1999,15(2):78-81

[7] KUMAR U D, KNEZEVIC J, CROCKER J. Maintenance free operating period-an alternative measure to MTBF and failure rate for specifying reliability[J]. Reliability Engineering and System Safety, 1999,30(9):532-526.

Method of Determining Check Period during Storage of Missile Weapon System Based on the Fault Statistics

HONG Liang[1]，ZHANG Fu-guang[1]，YAO Bin[2]，WAN Yu[3]，CUI Xu-tao[1]

（1．Department of Scientific Research，NAAU，Yantai Shandong 264001，China；

2．Dalian Naval Academy，Dalian Liaoning 166001，China；

3．Ordnance Support Branch of NED，Beijing 100083，China）

Abstract: A new method of determining inspection period of missile weapon system stored was presented based on actual data, by using reliabihty theory and modern mathematical statistics. And the Matlab software was used in calculation and validation.

Key words: fault; statistics; inspection period