

【武器装备理论与技术】

某型火炮零件的寿命统计分析

熊照明

(总装备部重庆军代局 成都,611930)

摘要:在统计分析的基础上对某零件的寿命问题进行了深入的讨论,对 Gamma 分布的剩余寿命问题有条件地进行了探讨,对其它零件的寿命统计分析具有一定的指导意义。

关键词:Gamma 分布;统计分析;剩余寿命

中图分类号:TJ302

文献标识码:A

文章编号:1006-0707(2012)08-0024-03

某零件是某型火炮的核心零件之一,承受火炮射击时的强烈冲击,是典型的寿命零件,用射弹数衡量其寿命。零件在射击试验中常常出现断裂情况,寿命有时不能达到规定的要求。为了对火炮零件寿命进行统计分析,在此首先进行了基本假设,采用 16 个样本进行射击,对零件的试验情况进行统计。在统计结果分析基础上,对剩余寿命和可接受最低寿命进行估算,得出零件的寿命。

1 基本假设

本研究有如下基本假设:

1) 零件为同一种材料,在同一种工艺下生产,在同一种条件下完成的射击,如果射击条件不同,这些条件之间可以进行相互转换。

2) 零件的寿命服从 $\text{Gamma}(\lambda, k)$ 分布。从零件的生产过程来看,零件的材料从科研试制以来从未发生过变化,其生产工艺尤其是热处理工艺也从没有发生过重大调整;在射击过程中,对零件寿命影响最大的是发射药的装药量,装药量越大,零件受到的冲击越大,寿命越短。在试验计算过程中根据射击时火炮的膛压大小进行折算,对强装药和减装药分别取系数,对强装药的系数设为 α ,根据经验,取值为 1.17~1.5 之间,减装药系数设为 β ,取 0.9。

零件的失效模型和 Gamma 分布的物理模型相似,在实际生产中,类零件的失效模式也服从 Gamma 分布,因而假定零件的断裂模式服从 Gamma 分布。

2 数据统计情况

1) 试验过程中某零件射弹量统计表

根据零件的试验情况,对 16 个样本的射击情况进行了统计,统计数据见表 1。

2) 数据分析

实际射弹量有强装药、减装药和正装药 3 种,为方便对比,将强装药和减装药转换到正装药进行分析,其正装药理论射弹数采用以下公式进行计算:

$$\text{正装药理论弹数} = \text{正装药弹数} + \alpha \times \text{强装药弹数} + \beta \times \text{减装药弹数}$$

因此,根据表 1 的统计数据得出正装药理论射弹数,如表 2 所示。

表 1 射弹量情况统计表

序号	强装药	减装药	正装药	备注
1	310	40	761	未断裂
2	308	45	602	
3	348	46	869	
4	368	35	419	
5	318	35	492	
6	321	53	855	
7	308	46	806	
8	312	30	867	未断裂
9	308	45	738	
10	319	35	534	
11	308	46	595	
12	310	30	748	未断裂
13	308	46	682	
14	310	30	779	未断裂
15	308	35	477	
16	310	30	675	未断裂

收稿日期:2012-05-16

作者简介:熊照明(1975—),男,硕士,工程师,主要从事火炮工程研究。

表2 正装药理论射弹数

序号	正装药理论弹数		备注
	强装药系数 1.17	强装药系数 1.5	
1	1 159	1 262	未断裂
2	1 002	1 104	
3	1 317	1 432	
4	880	1 002	
5	895	1 000	
6	1 277	1 383	
7	1 207	1 309	
8	1 259	1 362	未断裂
9	1 138	1 240	
10	938	1 043	
11	996	1 098	
12	1 137	1 240	未断裂
13	1 083	1 185	
14	1 168	1 271	未断裂
15	868	970	
16	1 064	1 167	未断裂

3 剩余寿命 t_j 的估算

3.1 试验设计

由于试验数据中有已经寿命终了的,也有没有达到寿命的零件,这种情况可以作为无替换的定时截尾寿命试验进行处理。

无替换的定时截尾寿命试验的平均寿命为

$$\theta = \frac{1}{n} \left[\sum_{i=1}^r t_i + \sum_{j=1}^n (t_{0j} + t_j) \right] \quad (1)$$

式中: θ 为平均寿命; n 为试验样本量; t_i 为已经寿命终了的零件的实际寿命; t_{0j} 为没有达到寿命的零件的实际工作弹数,即为表2中折算后的射弹数; t_j 为剩余寿命。

3.2 剩余寿命的分布函数

根据假设,零件的寿命服从 Gamma(λ, k)分布,其密度函数为

$$f(x) = \begin{cases} \frac{\lambda^k x^{k-1} e^{-\lambda x}}{(k-1)!}, & x > 0 \\ 0, & x < 0 \end{cases} \quad (2)$$

式(2)中, $\lambda > 0, k > 0$ 为参数。

如果已知零件射弹 s 发,则它再射击 t 发不发生断裂的概率

$$P(T > s + t | T > s) = \frac{P(T > t + s, T > s)}{P(T > s)} = \frac{R(s+t)}{R(s)}$$

经过计算,该式最后结果

$$e^{-\lambda t} \frac{\sum_{i=0}^{k-1} (\lambda t + \lambda s)^i}{\sum_{i=0}^{k-1} (\lambda t)^i}$$

考虑到实际试验中,在部分零件已经发生断裂的情况下,部分未断裂零件的剩余寿命弹数远比已射弹数小,即 $t \ll s$,因而剩余寿命应服从参数为 λ 的指数分布,即

$$f(t) = \begin{cases} e^{-\lambda t}, & t > 0 \\ 0, & t \leq 0 \end{cases} \quad (3)$$

3.3 参数估计

根据剩余寿命分布函数的推导过程可以看出,其分布函数的参数 λ 和寿命分布函数 Gamma(λ, k)中的 λ 参数一致。

设该样本的平均寿命为 $\hat{\theta}_0$,方差 $\hat{\sigma}$ 。根据 Gamma(λ, k)分布的数学期望和方差可得

$$\begin{cases} \frac{k}{\lambda} = \hat{\theta}_0 \\ \frac{k}{\lambda^2} = \hat{\sigma} \end{cases} \quad (4)$$

将 $\hat{\theta}_0$ 和 $\hat{\sigma}$ 带入式(4),可得 λ 和 k 。

根据式(3),指数分布的期望为 $\frac{1}{\lambda}$,则得到剩余寿命 t_j 。

根据式(1)可得 $\hat{\theta}$ 和 $\hat{\sigma}$ 。

4 可接受的最低寿命

在生产过程中,平均寿命体现出生产的工艺能力,但在射击过程中,平均寿命和可以接受的最低寿命相比,更关心可以接受的最低寿命,在战争中必须在零件发生断裂之前进行更换,降低战争的伤亡风险。

将 $\hat{\theta}$ 和 $\hat{\sigma}$ 带入式(4)中,可得 λ 和 k ,代入式(2),则可得其分布函数。

设定风险指标 Δ ,则

$$\Delta = \int_0^T \frac{\lambda^k x^{k-1} e^{-\lambda x}}{(k-1)!} dx \quad (5)$$

式中, T 为射弹数。

在式(5)中,根据风险指标 Δ ,则可求解在此风险指标下最低可接受的寿命 T ,根据产品的寿命也可得到该寿命时的风险概率。

5 结论

根据上述推算,在强装药系数 α 分别为 1.17 和 1.5 的极限情况下,零件的平均寿命为 $\hat{\theta}$,在风险指标 Δ 分别为 5% 和 10%时零件的最低寿命,见表3所示。

表3 零件的寿命

项目	强装药系数 α	
	$\alpha = 1.17$	$\alpha = 1.5$
平均寿命 $\hat{\theta}$	1 093	1 197
$\Delta = 5\%$ 时的寿命	870	975
$\Delta = 10\%$ 时的寿命	915	1 023

其分布图如图1所示。

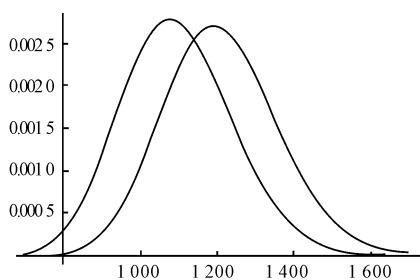


图1 零件寿命分布图

图1中,峰值靠左的是强装药系数 α 为1.17的曲线,靠右的为1.5的曲线。

6 结束语

在试验过程中,射击的条件是非常复杂的,天气、温度和连续射弹的数量对零件的寿命都有影响,尤其是连续射弹数量的影响,连续射弹量越大,寿命越短,但由于连续射击的弹数在很多情况下是随机的,属于不易控制的因素,在本文的射击条件一致的假设中也包含了射击长度一致的假设,忽略了射击长度对零件寿命的影响。在实际射击时,可以根据强装药系数 α 进行控制,如整个寿命过程中连续射击弹数偏大,则可以选择较小的强装药系数,如连续射击弹数较小,则

选择较大的强装药系数。

另外,在未断裂零件的剩余寿命计算中,其分布函数采取了近似的方法,因而在实际工作中其剩余寿命应比计算出的寿命偏大,因此本文中零件的平均寿命较实际的偏低,可接受的最低寿命也趋于保守。

参考文献:

- [1] 昂盛炳. 概率论及数理统计[M]. 军械工程学院出版,.
- [2] [苏]P. III. 里普切尔, A. H. 史里亚耶夫. 随机过程统计[M]. 张纬国,译. 北京:宇航出版社,1987.
- [3] 张宏斌,梁宁宁. 直升机有寿机件剩余寿命可靠性评估[J]. 直升机技术,2005(1):23-25.
- [4] 王技,钟海辉. 回归预测法在桥梁剩余寿命预测中的应用研究[J]. 公路交通技术,2006(1):60-62.
- [5] 徐格宁,左斌. 起重机结构疲劳剩余寿命评估方法研究[J]. 中国安全科学学报,2007,17(3):126-130.
- [6] 孟慎非. 关于坦克炮身管的剩余寿命评估[J]. 火炮发射与控制学报,2007(7):6-9.

(责任编辑 周江川)

(上接第23页)获得了标准路谱数据,在对Adams/ATV三维路面数据格式进行分析研究的基础上,将标准路谱数据编辑成了Adams/ATV模块下的三维路面文件,运用ATV建立了履带式自行火炮动力学模型,在三维路面上进行了火炮行进间仿真,得到了路面以及车速对履带式自行火炮车体和炮口振动的影响规律,为研究履带式自行火炮行军速度的优化,履带式自行火炮行进间射击等提供参考。

参考文献:

- [1] 聂彦鑫,李孟良,过学迅,等. 基于谐波叠加法的路面不平度重[J]. 汽车科技,2009,4:55-57.
- [2] 徐延海. 随机路面谱的计算机模拟[J]. 农业机械学报,2007,38(1):33-36.
- [3] 周云波,闫清东,李宏才. 履带车辆平顺性仿真试验路面

谱研究[J]. 系统仿真学报,2006,18(2):95-97.

- [4] 闵建平,杨国来,王长武,等. 行进间发射平顺性研究[J]. 南京理工大学学报,2000,24(4):326-329.
- [5] 谷增锋,张培林,傅建平. 基于ADAMS的自行火炮射击仿真研究[J]. 军械工程学院学报,2007,19(5):26-29.
- [6] 吴大林,马吉胜,董自卫. 基于ADAMS的自行火炮悬挂装置振动分析[J]. 振动与冲击,2005,24(5):39-45.
- [7] 段虎明,石峰,谢飞,等. 路面不平度研究综述[J]. 振动与冲击,2009,28(9):95-100.
- [8] 张永林,钟毅芳. 车辆路面不平度输入的随机激励时域模型[J]. 农业机械学报,2004,35(2):9-12.
- [9] 周成,顾克秋,卢其辉,等. 履带式自行火炮发射动力学仿真建模[J]. 四川兵工学报,2010(6):20-23.

(责任编辑 陈松)