

鱼雷装载可靠性 Bayes 方法评定

孟凡亮, 令狐喜欢, 孙继红

(海军装备部, 山西 侯马 043003)

摘要: 鱼雷装载可靠性是鱼雷可靠性的重要指标, 由于客观条件限制, 依靠传统方法进行装载可靠性评定存在很大困难。在分析鱼雷可靠性信息来源的基础上, 提出了综合利用验前信息和验后信息的 Bayes 评定方法。分析了验前信息来源和试验信息的结构, 给出了验前数据和试验数据的处理方法, 最后举例说明了该方法的有效性和科学性。

关键词: 可靠性评定; Bayes 方法; 装载可靠性; 鱼雷

本文引用格式: 孟凡亮, 令狐喜欢, 孙继红. 鱼雷装载可靠性 Bayes 方法评定[J]. 四川兵工学报, 2014(11): 37-39.

中图分类号: TJ63

文献标识码: A

文章编号: 1006-0707(2014)11-0037-03

Torpedo Load Reliability Assessment Using Bayes Methods

MENG Fan-liang, LINGHU Xi-huan, SUN Ji-hong

(Department of the Navel Equipment, Houma 043003, China)

Abstract: Torpedo Load Reliability is an important indicator of torpedo Reliability. Since the objective conditions, it's very difficult to assess the load reliability of torpedo using traditional methods. On the basis of analyzing the Reliable source of information, a Bayes Assessment Method of integrating prior information and a posteriori information was put forward. This paper analyzes the structure prior information sources and test information, and gives the pretest data processing methods and test data. Finally, the method is proved to be effective and scientific by giving an example.

Key words: reliability assessment; Bayes methods; load reliability; torpedo

Citation format: MENG Fan-liang, LINGHU Xi-huan, SUN Ji-hong. Torpedo Load Reliability Assessment Using Bayes Methods[J]. Journal of Sichuan Ordnance, 2014(11): 37-39.

鱼雷在战备值班或训练期间要经历长时间的装载, 在此期间除了发射前进行简单的检查和测试外, 一般不进行维护和修理, 因此鱼雷在装载期间的可靠性对鱼雷的作战使用具有重要的影响^[1]。由于研制条件和客观情况的限制, 在鱼雷研制和定型过程中很难做大量的装载可靠性试验, 不能掌握其真正可靠性水平, 不利于部队的作战训练和维修保障。在装载可靠性评定中利用 Bayes 方法可以利用验前信息, 有效克服鱼雷装载试验样本量少的不足。文献[2]中提出了在利用模糊回归理论将实航可靠度转换为装载可靠度的方法, 解决了鱼雷装载试验数据较少的问题, 但如果实航可靠性估计不准确, 势必增加装载可靠性的估计误差; 文献[3]中提出了分阶段进行装载试验的方法, 将前期试验数据作为当前试验的验前信息, 利用 Bayes 方法估计当前时间点的装载可靠

度, 最后再利用函数拟合的方法得出鱼雷装载可靠度的分布函数的方法, 数据处理比较复杂, 不便于工程应用^[4-6]。针对鱼雷装载可靠性试验样本量少、试验困难的特点, 本文提出了以加速试验信息和运输信息为验前信息, 舰艇装载试验数据作为验后信息的 Bayes 方法。

1 可靠性信息的获取

1.1 鱼雷装载可靠性信息来源

由于条件限制, 鱼雷实际装载试验一般只安排几条鱼雷进行潜艇实际装载, 所获得的信息非常少, 为了充分准确地掌握装载可靠性水平, 可以充分利用各类可靠性信息, 对鱼雷装载可靠性进行综合评估。一般情况下鱼雷装载可靠性

信息的来源有:

1) 鱼雷研制过程中的各类运输信息

在鱼雷研制的各个阶段,为了进行鱼雷湖海试验和其他试验,需要进行长途运输。鱼雷运输的过程会经历随机振动、冲击和不同温度等因素的影响,其运输环境往往比艇上装载更为恶劣。因此,相对时间较短的运输过程可以反映出鱼雷的装载可靠性水平,可以考虑作为鱼雷装载可靠性评估的信息来源。

2) 鱼雷装载可靠性加速试验信息

由于鱼雷的常规装载可靠性试验的周期很长,不能满足对鱼雷装载可靠性准确评估的要求。为了弥补这一不足,在鱼雷正样研制阶段和定型阶段一般安排可靠性加速试验,这些加速可靠性信息是鱼雷装载可靠性评估的重要信息来源。

3) 鱼雷舰艇装载试验信息

艇上装载试验的信息是鱼雷可靠性评估的直接信息来源,它可以真实的反映鱼雷的可靠性水平,必须作为装载可靠性评定直接的依据。由于装载试验的样本少、时间长,试验量一般很小,必须合理使用各阶段的验前试验数据,才能对鱼雷装载可靠度做出准确评定。

1.2 鱼雷装载试验

由于在艇上装载试验过程中不能对鱼雷进行实时检测,鱼雷必须从舰艇上卸载以后,在岸上的技术阵地由技术保障人员完成检测,鱼雷的艇上装载的数据是成败型数据。由于不能准确获得鱼雷出现故障的时间,直接使用定时截尾模型进行计算可靠度置信下限会有误差。在组织鱼雷进行专项装载试验时,结合部队战备周期和使用规定,对参加装载试验的鱼雷预先设置若干检测时间点,在装载的每个检测时间点,抽取若干鱼雷进行检测,经过检测的鱼雷退出装载试验,而未经卸载舰测得鱼雷继续进行装载试验至下一个检测时间点,再抽取若干条鱼雷进行检测,直至所有参加装载的鱼雷检测完毕。先进行完装载试验的鱼雷可以进行其他相关试验,从而可以大量节省时间,是一种可以接受的装载试验方法。

2 鱼雷装载试验的数据处理及 Bayes 评定方法

2.1 鱼雷装载试验的数据处理

设 n 条鱼雷进行装载试验,检测时间为 t_1, t_2, \dots, t_n 。当装载时间为 t_i 时,对参加装载的 n_i 条鱼雷进行检测,故障条数为 f_i ,因此装载可靠性试验的数据结构为 (t_i, n_i, f_i) ($i = 1, 2, \dots, m$),其中 $\sum_{i=1}^m n_i = n$ 。

记第 t_i 时刻检测的 n_i 个样品的故障时间分别为 $T_{i1}, T_{i2}, \dots, T_{in_i}$,其中 t_i 时刻的第 j 条鱼雷的故障时间为 T_{ij} ($j = 1, 2, \dots, n_i$)。由于同批次鱼雷状态相同,它们独立同分布,记它们的共同分布为 $F(t, \lambda)$, λ 为分布参数。若令

$$X_{ij} = \begin{cases} 1 & T_{ij} \leq t_i \\ 0 & T_{ij} > t_i \end{cases} \quad (1)$$

则当 t_i 一定时, X_{ij} 也独立同分布,且

$$f_i = \sum_{j=1}^{n_i} X_{ij} \sim B(n_i, P_i) \quad (2)$$

$$P_i = F(t_i, \lambda)$$

由于各时间点采集的数据来自同一服从指数分布总体 $F(t, \lambda)$,则与试验数据 (t_i, n_i, f_i) , $i = 1, \dots, m$, 对应的似然函数为

$$L(X | \lambda) = \prod_{i=1}^m \binom{n_i}{f_i} [F(t_i, \lambda)]^{f_i} [1 - F(t_i, \lambda)]^{n_i - f_i} \quad (3)$$

2.2 验前信息的处理

运输折合信息和加速试验信息相当于指数分布定时截尾数据,当 2 种不同条件下的数据折合为相同装载条件下的数据时,可以将 2 种环境下的可靠性信息进行综合。设运输过程中得到的数据为 (z_1, τ_1) , 加速试验数据为 (z_2, τ_2) , 其中 z_1, z_2 为故障个数, τ_1, τ_2 为折合后对应的装载时间,折合的方法为

$$(z_1, \tau_1) + (z_2, \tau_2) \rightarrow (z_1 + z_2, \tau_1 + \tau_2) \quad (4)$$

定时截尾失效率的非随机化最优置信上限 λ^U 满足^[4]

$$2\tau\lambda^U = \chi_C^2(2z + 2) \quad (5)$$

其中 C 为置信度,按照可靠性评定的保守原则,可以取 $2\tau\lambda$ 服从开方分布

$$2\tau\lambda \sim \chi_{2z+2}^2 \quad (6)$$

可以证明,此时 λ 服从分布 $\Gamma(z+1, \tau)$ 。由式(4)的折合数据可得,装载条件下失效率的验前分布为 $\Gamma(z_1 + z_2 + 1, \tau_1 + \tau_2)$ 。

2.3 Bayes 方法综合

假设 λ 的验前分布为 $\pi(\lambda)$, 则根据 Bayes 定理, λ 的后验分布为

$$f(\lambda) = \frac{\pi(\lambda)L(X | \lambda)}{\int_{\theta} \pi(\lambda)L(X | \lambda)d\lambda} \quad (7)$$

将验前分布和试验数据的似然函数代入式(7)即可得到失效率的验后分布。此时,置信度为 C 的失效率上限为

$$\int_0^{\lambda^U} f(\lambda) d\lambda = C \quad (8)$$

从而可以得出任意时间 t 的装载可靠度下限为

$$R_L(t) = \exp(-\lambda_t^U t) \quad (9)$$

3 实例分析

设经过折合后的加速试验信息为 $(0, 16)$ 和 $(3, 560)$, 在此处失效率的单位为(次/月)。由于条件限制了装载样本,实际装载分段试验数据为 $(3, 3, 0)$ 、 $(6, 3, 0)$ 、 $(9, 3, 1)$, 且在 3 个月和 6 个月的装载试验中出现了无故障的情况, 9 个月的装载试验出现故障。为了对比评估方法的实际效果,假设另一组对比试验数据一为 $(3, 3, 1)$ 、 $(6, 3, 0)$ 、 $(9, 3, 0)$, 即在 3 个月时出现故障, 6 个月和 9 个月没有出现故障。与以上数据对应的一次时间截尾试验方案对比数据二为 $(6, 9, 1)$, 即 9 条鱼雷进行 6 个月装载, 出现 1 条故障雷, 以上 3 组数据

的等效试验总时间同为 54 个月,故障数同为 1 条次。

由于经过折合的运输信息、加速试验信息和试验数据属于同一指数分布总体的样本数据,按照式(4)综合后的验前数据为(3, 576),即失效率的验前概率密度分布为 $\Gamma(4, 576)$ 。

当置信度 $C=0.8$ 时,由试验数据的得出的装载时间为 12 个月时的可靠度下限如表 1 所示。

表 1 基于不同试验数据的评估结果

	原试验数据	对比数据一	对比数据二
$R_{C=0.8}^L$	0.879 0	0.879 6	0.879 3

通过表 1 中的数据对比可以看出,分段时间截尾时故障的出现时间不同得出的评估结果也不同,该试验方法可以反映出故障时间的变化对评估结果的影响,有利于对装载可靠度的精确评估。一次时间截尾试验数据的评估结果为分段时间截尾试验数据评估结果的中间值,不能反映故障时间的不同,但其试验较容易实施。一次时间截尾试验本质上是退化了的分段时间截尾试验,因此本评估方法仍可以应用在一次时间截尾试验时的鱼雷装载可靠性评估。

4 结束语

(责任编辑 杨继森)

Bayes 方法可以有效融合验前信息,降低了装载可靠性

(上接第 27 页)

参考文献:

- [1] 宋玉琴,章卫国. 基于混合粒子群算法的小波神经网络故障诊断[J]. 测控技术,2011,30(1):112-116.
- [2] 张建军,张利,穆海芳,等. 基于改进粒子群优化 BP 网络的发动机故障诊断方法[J]. 农业机械学报,2011,42(1):198-203.
- [3] Demetgu L M, Tansel I N, Taskin S. Fault diagnosis of pneumatic systems with artificial neural network algorithms [J]. Expert Systems with Applications, 2009, 36(7): 10512-10519.
- [4] 彭威,张大发. 基于改进粒子群算法的蒸汽发生器水位控制优化[J]. 船海工程,2010,39(5):208-210.

评估中对试验信息的依赖。验前信息的加入,可以避免在缺少试验样本时评定结果的过于乐观或保守。当试验数据为极小样本时,仅依靠试验数据所得的评估结果不具备统计意义,此时验前信息的加入可起到提高评估精度的作用,因此 Bayes 方法比较适合鱼雷装载可靠性评定。

参考文献:

- [1] 孟庆玉,周徐昌. 鱼雷可靠性工程基础[M]. 武汉:海军工程大学出版社,1987:289-290.
- [2] 田星,宋保维,梁庆未,等. 鱼雷装载可靠度和工作可靠度的关系研究[J]. 系统仿真学报,2006,18(4):883-885.
- [3] 钟强辉,张志华,董理. 鱼雷装载可靠度的评估方法[J]. 舰船科学技术,2010,32(6):73-75.
- [4] 周源泉,翁朝曦. 可靠性评定[M]. 北京:科学出版社,1990:31-125.
- [5] 茆诗松,王玲玲. 加速寿命试验[M]. 北京:科学出版社,1997.
- [6] 郑波,李淦,李明. 基于成败型试验数据的弹药贮存寿命评估[J]. 军械工程学院学报,2005,17(5):29-30.

- [5] 刘永阔,夏虹,谢春丽,等. 基于模糊神经网络的核动力装置设备故障诊断系统研究[J]. 核动力工程,2004,25(4):328-331.
- [6] 史凯,孙建华,付明玉,等. 船舶核动力装置蒸汽发生器故障诊断系统研究[J]. 哈尔滨工程大学学报,2001,22(3):1-5.
- [7] 刘永阔,夏虹,谢春丽. 蒸汽发生器 U 形管破裂事故的识别与诊断系统[J]. 应用科技,2004,31(4):57-59.
- [8] Kennedy J, Eberhart R C. Particle swarm optimization [C]//In: Proc. IEEE Int'l. Conf. on Neural Networks. IV. Piscataway, NJ: IEEE Service Center, 1995:1942-1948.
- [9] 李宁,孙德宝,岑翼刚,等. 带变异算子的粒子群优化算法[J]. 计算机工程与应用,2004(17):12-14.

(责任编辑 杨继森)