

doi: 10.7690/bgzdh.2014.12.007

基于使用寿命的备件需求预测模型

任喜^{1,3}, 赵建军¹, 张晓斐², 张伟³(1. 海军航空工程学院, 山东 烟台 264001; 2. 中国人民解放军海军 92635 部队, 山东 青岛 266041;
3. 中国人民解放军海军 91202 部队, 辽宁 葫芦岛 125004)

摘要: 为实现备件数量科学确定与合理优化, 建立基于使用寿命的备件需求预测模型。从收集数据、确定分布、分布假设检验和确定需求方面对模型进行介绍, 并基于模型装备故障数据, 通过实例对模型进行验证分析。结果表明: 该模型是有效、可行的, 可为相关研究提供参考。

关键词: 使用寿命; 备件; 需求预测; 统计分析

中图分类号: TJ760.7 **文献标志码:** A

Spare Parts Demand Forecasting Model Based on Service Life

Ren Xi^{1,3}, Zhao Jianjun¹, Zhang Xiaofei², Zhang Wei³(1. Naval Aeronautical & Astronautical University, Yantai 264001, China;
2. No. 92635 Unit of PLAN, Qingdao 266041, China; 3. No. 91202 Unit of PLAN, Huludao 125004, China)

Abstract: Determine the number of spare parts for the realization of scientific and rational optimization, spare parts demand forecasting model based on the establishment of life. From the collection of the data, to determine the distribution, the distribution of hypothesis testing to determine the needs and introduce the model, and based on the model and equipment failure data, the model is validated by example analysis. The results show that the model is effective, feasible and can provide a reference for related research.

Keywords: service life; spare parts; demand forecasting; statistical analysis

0 引言

装备维修备件是进行装备使用和实施维修等保障任务的重要物质基础, 其保障力度对于装备的战备完好性有着直接的影响。随着海军装备现代化进程的不断前行, 装备的种类和品种越来越多, 对装备维修备件的需求也越来越多, 如何实现备件数量科学确定与合理优化, 以达到精确化保障的目的, 已成为海军装备现代化建设道路上日显突出和亟待解决的现实问题^[1-3]。笔者建立了基于使用寿命的备件需求预测模型, 用实例对模型的有效性进行验证。

1 基于使用寿命的备件需求预测模型

设备中发生的故障零部件是备件需求的主要来源。在理想情况下, 零部件正好在发生故障时更换, 即在备件寿命周期结束时更换备件。这时备件需求预测的步骤^[4]为:

1) 收集数据。

首先应该收集设备及其零部件运行及故障历史数据。对于已装备部队的装备, 通过一段时间的使用, 这些数据很容易获取。对于新装备而言, 由于

使用数据少, 该方法在使用上存在一定的困难, 一般通过各零部件、分系统的可靠性指标进行预测。另外在装备管理水平较高的情况下, 这是很容易办到的。基于使用寿命的备件需求预测使用的前提是在已获取充足的设备及其零部件的运行故障数据。

2) 确定分布。

对收集的数据进行分析, 去除数据中明显不合理的异常数据。可通过零部件的性质确定故障分布的类型。对于较大数据量的样本, 确定的分布类型较能符合实际情况。

3) 分布假设检验。

为了验证故障分布的确定是否正确, 需要进行假设检验。对于样本数据较大(通常不小于 30)的时候, 用皮尔逊 χ^2 来检验故障分布类型函数。

为了验证统计得到的经验分布函数 $F_n(t)$ 和假设的理论分布 $F(t)$ 是否一致。将数据进行分组, 用统计量 χ^2 作为经验分布和假设理论分布之间的差异度, 用下式表示

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^m \frac{(m_i - nX_i)^2}{nX_i} \quad (1)$$

收稿日期: 2014-08-18; 修回日期: 2014-09-26

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60478053)

作者简介: 任喜(1984—), 男, 安徽人, 博士, 工程师, 从事武器装备保障研究。

式中： m 为数据所分得组数； m_i 为落入第 i 组的频数； n 为样本容量； X_i 为按假设的理论分布计算得到的落入第 i 组的概率。

当 n 足够大时，所得到的经验分布和假设的理论分布差异的统计量分布服从自由度为 $k=m-1$ 的 χ^2 分布。当所假设的理论分布参数是用统计得到的样本估计出来时，自由度为 $k=m-r-1$ ，其中 r 为所估计的总体分布参数的个数。计算步骤^[5-9]如下：

① 将数据分组，要求样本数 n 不小于 50，落入每组的频数不小于 5，若某组的 m_i 太小，则可进行合并，减少组数；

② 统计各组频数；

③ 计算落入任一区域内的理论概率： $X_i = F(t_i) - F(t_i - 1)$ ；

④ 按式 (1) 所示的皮尔逊公式计算统计量，根据自由度 k 及显著性水平 α ，查 χ^2 分布表得出 $\chi^2_{\alpha}(k)$ 值。

4) 确定需求。

设 $x(t)$ 为设备中寿命为 t 零部件数，则 t 时刻该零部件的备件需求，如下式：

$$Y(t) = \sum x(t) \tag{2}$$

但实际上有些备件由于维修计划安排，没有到寿命就更换^[10]。这时需要对备件需求进行修正。

2 实例分析

作为我海军新型的中近程区域防空武器，某型导弹是目前我海军某型舰艇的主要防空武器系统。由于该导弹的制导模式采用的是无线电制导模式，在导弹飞行过程中主要靠接收照射器给与的目标信号进行目标跟踪，因此在该型武器系统中，照射器有着举足轻重的地位。在装备使用过程中，由于工作环境和人员操作等原因，照射器会出现故障，据对某艘军舰的照射器故障调查情况，截止工作 100 100 h 内共有 72 个(次)照射器发生过故障，故障时间如下：

420, 437, 837, 1 458, 1 676, 2 088, 2 566, 2 688, 3 509, 4 123, 4 274, 4 420, 4 581, 4 834, 5 038, 6 454, 6 841, 8 343, 8 741, 9 211, 9 719, 9 980, 10 936, 11 025, 11 078, 12 056, 12 492, 12 356, 13 832, 13 744, 14 011, 14 075, 14 153, 15 356, 15 878, 16 038, 18 729, 20 061, 20 133, 20 207, 21 187, 21 460, 21 571, 22 945, 23 619, 23 900, 25 147, 25 976, 26 264, 26 824, 26 996, 27 526, 28 145,

28 827, 34 403, 37 652, 38 392, 38 510, 39 013, 39 492, 49 287, 55 700, 58 019, 59 401, 59 610, 64 378, 65 925, 84 723, 85 176, 95 416, 98 069, 100 037。

1) 从图 1 可以近似得到照射器故障为指数分布，将它作为原假设 H_0 。

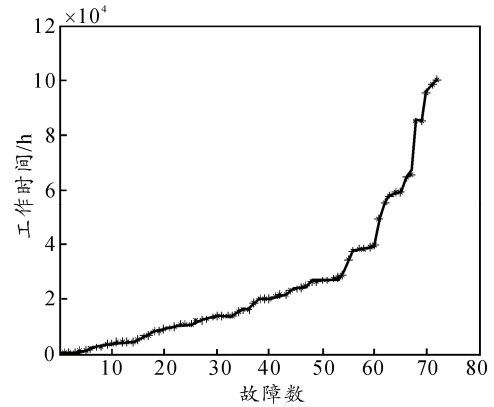


图 1 故障数与工作时间的关系

2) 将数据分组并统计各组频率，根据斯特格的经验公式^[11]，计算分组数为

$$k = 1 + 3.3 \lg N = 1 + 3.33 \lg 72 \approx 7.3$$

故可以分为 8 组，为了保证落入各组的频数不小于 5，经过整合后的分组结果如表 1 所示。

表 1 无线电高度表的故障数据

组号	区间界限	故障数
1	0~8 000	17
2	8 000~16 000	18
3	16 000~24 000	11
4	24 000~32 000	8
5	32 000~40 000	6
6	40 000~	12

3) 计算平均寿命。

$$MTBF = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i = 25\ 305$$

4) 由可靠度函数计算落入任一区域内的理论概率 X_i ，计算公式^[12]为

$$X_i = F(t_{i2}) - F(t_{i1}) = (1 - e^{-\lambda t_{i2}}) - (1 - e^{-\lambda t_{i1}})$$

式中 $\lambda = \frac{1}{MTBF}$ 。

详细结果如表 2 所示。

5) 由上表得出统计量 χ^2 值^[13]。

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^8 \frac{(m_i - nX_i)^2}{nX_i} = 1.98$$

6) 根据自由度 $k=m-r-1$ ，以及显著性水平 $\alpha=0.05$ ，查 χ^2 分布表得出 $\chi^2_{0.05} = 9.488 > 1.98$ 。

结论：接受原假设 H_0 ，分布函数为指数分布。

最后确定备件的需求，在服务水平为 90%下，
即

$$R(t) = \exp(-t/25\ 305) = 90\%$$

表 2 照射器的故障数据

时间区间/h	故障数/ m_i	落入区间概率/ X_i	nX_i	$(m_i - nX_i)^2$	$\frac{(m_i - nX_i)^2}{nX_i}$
0~8 000	17	0.206	14.818	7.939	0.536
8 000~16 000	18	0.077	5.508	0.242	0.044
16 000~24 000	11	0.105	7.560	0.194	0.038
24 000~32 000	8	0.144	10.368	0.399	0.039
32 000~40 000	6	0.198	14.227	14.234	1.000
40 000~	12	0.271	19.512	6.310	0.323

假设上述 4 套照射器系统具有相同的技术状态，可求出 $t = 2\ 667$ 。

若该照射器备件的采购周期为 1 400 h，目前运行时间加上 1 400 h 大于 t 的照射器备件数量为未来 1 400 h 后的备件需求，根据式 (2)，则 1 400 h 后该舰照射器备件需求量为 1 个。

但考虑到维修计划安排和采购等因素，对备件需求进行修正，应在需求量的基础上适当增加安全库存量，这里配置 2 个照射器备件。

3 结论

笔者在对舰船装备备件需求特点分析的基础上，提出了一种基于使用寿命的备件需求预测方法，结合某型导弹照射器备件历史使用寿命的数据，建立了基于寿命分布的维修备件需求量预测模型。通过计算分析，并根据保障任务要求，最终得到备件配置的数量。确定备件配置不是一件容易的事，所提出的预测模型只能根据统计分析对已知历史数据进行计算，因此应收集尽可能多的历史需求数据来确定备件的分布函数以及其需求量。

参考文献:

[1] Ward Romeijnders, Ruud Teunter, Willem van Jaarsveld. A two-step method for forecasting spare parts demand using information on component repairs[J]. *European Journal of Operational Research*, 2012, 220(17): 386-393.

[2] 张金隆, 陈涛, 王林, 等. 基于备件需求优先级的随机库存控制模型研究[J]. *中国管理学*, 2003, 11(6): 25-28.

[3] Ghobbar A. A., Friend C. H. Evaluation of forecasting

methods for intermittent Parts demand in the field of aviation: a predictive model[J]. *Computers&Operations Research*, 2003, 30(14): 2097-2114.

[4] Willemain T. R., Smart C. N., Schwarz H. F. A new approach to forecasting intermittent demand for service parts inventories[J]. *International Journal of Forecasting*, 2004, 20(3): 375-387.

[5] Efron B. Bootstrap methods: another look at the jack-knife[J]. *Annals of Statistics*, 1979, 7(1): 1-26.

[6] 赵宇, 伏洪勇, 张坚. 航空电子设备备件需求量分析[J]. *系统工程与电子技术*, 2002, 24(3): 1-3.

[7] 鲍敬源, 王航宇, 刘忠. 装备维修中备件需求率的预计方法[J]. *海军工程大学学报*, 2003, 15(2): 101-103.

[8] 郭继周, 郭波, 张涛, 等. 地空导弹维修保障能力评估与备件优化模型[J]. *火力与指挥控制*, 2008, 33(3): 9-12.

[9] Kuo R. J. A sales forecasting system based on fuzzy neural network with initial weights generated by genetic algorithm[J]. *European Journal of Operational Research*, 2001, 129(3): 496-517.

[10] 冯保东, 马俊文, 黄艳松. 状态维修技术在提升装备维修保障能力中的应用[J]. *四川兵工学报*, 2013, 34(2): 89-91.

[11] 李瑾, 宋建社, 王正元, 等. 备件消耗预测仿真方法研究[J]. *计算机仿真*, 2006, 23(12): 306-309.

[12] Li S. G., Kuo X. The inventory management system for automobile spare parts in a central warehouse[J]. *Expert Systems with Applications*, 2007, 34(2): 1144-1153.

[13] Hua Z., Zhang B. A hybrid support vector machines and logistic regression approach for forecasting intermittent demand of spare pans[J]. *Applied Mathematics and Computation*, 2006, 181(2): 1035-1048.