

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2012.06.011

基于排队论的舰船装备维修保障模型

毛德耀, 林广积, 何舍炳, 李成
(海军 91832 部队装备部, 广西 北海 536000)

摘要: 舰船装备基层级维修保障中, 维修机构对维修保障力量的预测存在不足。在分析舰船装备基层级维修保障特点基础上, 运用排队论原理建立了定点保障与伴随保障分析模型, 优化保障力量配置方式及预测最优保障力量规模, 并分别通过实例分析证明模型的合理性。结论证明, 该方法可为基层级维修保障机构确定合理修理力量提供决策依据和量化支持。

关键词: 舰船装备; 基层级; 维修保障; 排队论

中图分类号: TJ8 **文献标志码:** A

Warship Maintenance Support Model Based on Queuing Theory

Mao Deyao, Lin Guangji, He Shebing, Li Cheng
(Equipment Department, No. 91832 Unit of Navy, Beihai 536000, China)

Abstract: In organization-level maintenance support of warship, the maintenance department is short of forecasting maintenance support scale. Based on the analysis of warship maintenance support characteristic, establish the analysis model of pointing support and concomitancy support use queuing theory, optimize the scheme means of support force and forecast the best scale of support force. Validate the rationality of analysis model by example. The result shows that the method will give decision-making evidence and quantitative support for organization-level maintenance support department deciding suitable maintenance force.

Key words: warship equipment; organization-level; maintenance support; queuing theory

0 引言

随着海军武器装备的不断发展, 装备维修保障任务十分艰巨, 尤其海上局部战争环境下, 时间紧迫, 保障难度极大。在海军基层级维修保障中, 维修机构对维修保障力量的预测仍不是很明确, 包含较多决策者主观判断的成分, 未能合理地进行优化。一个较好的舰船装备基层级维修保障模型直接影响装备的完好率及任务的成功。为此, 笔者在分析海上舰船装备维修保障特点的基础上, 运用运筹学中排队论原理, 提出了相应的基层级维修保障模型, 实例证明能够为基层级维修保障机构提供决策依据和量化支持。

1 舰船装备基层级维修保障特点

海军舰船装备保障目前仍是建制独立、持久保障, 实行多级库存和“采办、运输、储存、分发”的串行运作模式^[1]。在维修保障体制上采用三级维修, 即基层级、中继级、基地级。

随着海战节奏的加快及中继级维修保障维持费用的日趋加大, 两级维修体制成为趋势, 必然要求

舰船基层级维修保障向着以“及时、准确、优质、高效、低耗”为特色的精确化方向发展, 即以最小的保障资源满足一定的保障需求, 达到最佳费效比。

机动性强的舰船基层级维修保障机构主要采用的保障方式有^[2]: 定点保障、伴随保障。定点保障是以岸基和岛屿为依托, 在预先展开的保障点进行维修保障; 伴随保障是编好的机动保障分队跟随舰艇执行任务, 在舰上实时对装备进行维修保障。

定点保障能保证舰船在实施远航大范围机动作战的同时, 保持稳定可靠的保障能力; 伴随保障提高了维修保障的实效性, 能保证战损装备及时修复。

2 舰船装备的排队模型

排队论是系统工程的一种分析方法^[3-4], 它广泛应用在军事系统分析工作中, 利用这种方法进行舰船装备维修保障模型研究是可行的。排队论的方法简明易懂, 能在复杂的战场环境下准确计算出结果, 方便海军基层保障单位使用, 同时应用排队论能够将定量分析转化为定性分析, 为科学决策提供量化支持。

收稿日期: 2012-01-30; 修回日期: 2012-03-01

作者简介: 毛德耀(1983—), 男, 河南人, 硕士, 工程师, 从事维修性工程、综合保障研究。

2.1 模型假设

现对舰船装备维修保障模型作如下假设^[3,5]:

1) 损伤装备数量服从以 λ 为参数的泊松分布, 其送至保障机构的时间间隔服从以 λ 为参数的负指数分布。

2) 每台装备修理时间服从以 μ 为参数的负指数分布。

3) 每个保障分队在确定的时间只能维修 1 台装备, 且服务时间相互独立, 无空闲时, 排队等候。

4) 各保障分队技术水平相同, 不存在战损。

其他定义参数为: c 为服务台数量, 即保障分队数量; p_0 为保障分队空闲概率; ρ 为服务强度。

2.2 定点保障模型分析

笔者以某装备保障修理所为例, 修理所编制为 c 个保障分队。其主要任务为本部舰船装备及过往军舰实施定点保障, 因此可以认为队列长度无限制, 先到先修理。其排队模型为等待制服务模型 $[M/M/c]:[\infty/\infty/FCFS]$, 其服务过程如图 1 所示^[5]。

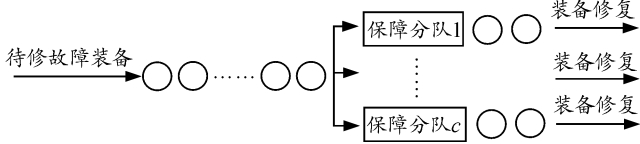


图 1 等待制服务模型的服务过程

假设修理所保障分队采用集中、分散兵力进行修理。对于集中配置, 即集中所有兵力在军港或修理所内定点维修, 而分散配置即将保障分队安排到不同地点进行维修。容易知道, 集中配置为多服务台模型, 分散配置为 c 个并行的单服务台模型。

对于集中分队配置有:

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu} \tag{1}$$

$$\rho_c = \frac{\lambda}{c\mu} \tag{2}$$

$$p_0 = \left[\left(\sum_{n=0}^{c-1} \frac{\lambda^n}{\mu^n n!} \right) + \frac{1}{c!} \left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^c \left(\frac{1}{1-\rho_c} \right) \right]^{-1} \tag{3}$$

$$p_n = \begin{cases} \frac{\lambda^n}{\mu^n n!} p_0 & (1 \leq n \leq c) \\ \frac{\lambda^n}{\mu^n c! c^{n-c}} p_0 & (n > c) \end{cases} \tag{4}$$

可得重要指标有:

等待修理的装备数量 L_q :

$$L_q = \frac{\lambda^c \rho_c p_0}{\mu^c c! (1-\rho_c)^2} \tag{5}$$

平均等待修理时间: $W_q = L_q / \lambda$;

装备平均停机时间: $W = L / \lambda$ 。

而对于分散兵力进行保障相关参数有:

$$p_0 = 1 - \rho;$$

$$p_n = (1 - \rho) \rho^n;$$

则等待修理的装备数量 L_q :

$$L_q = \frac{\rho^2}{(1-\rho)} \tag{6}$$

平均等待修理时间: $W_q = \rho / (\mu - \lambda)$; 装备平均停机时间: $W = L / \lambda$; 且 $L = \rho / (1 - \rho)$ 。

以某型号舰炮武器装备为例, 根据其参数对上面 2 种保障方式进行对比。已知 $\lambda=4, \mu=10$, 取 $c=2, 3, 4$, 当为集中配置时, $p_0=0.667, 0.67, 0.67$; $L_q=0.017, 0.0013, 0.000088$; 对应分散配置时: $p_0=0.8, 0.87, 0.9$; $L_q=0.05, 0.021, 0.011$; 显然集中配置方式下, 等待时间短, 空闲率低, 为较好的维修保障方式。

2.3 伴随保障模型分析

伴随保障是舰船装备在战时保持较高完好率的重要方式。针对现有部队装备保障体制编成的特点, 基层级伴随保障装备数量是有限的^[6-7], 由此假设参加某个海上演习任务的装备数量为 m 个, 保障分队数为 c 个, 且 $m > c$, 则其模型为有限源多服务台模型 $[M/M/c]:[\infty/m/FCFS]$, 其服务过程如图 2^[5]所示。

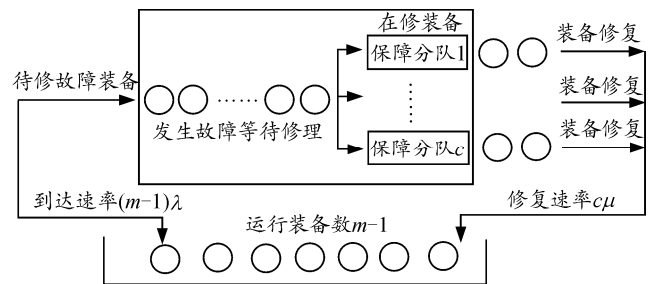


图 2 有限源排队服务模型的服务过程

有下面的模型计算公式:

装备全部无故障概率(即空闲概率):

$$p_0 = \left[\sum_{n=0}^{c-1} \frac{m!}{(m-n)! n!} \rho^n + \sum_{n=c}^m \frac{m!}{(m-n)! c! c^{n-c}} \rho^n \right]^{-1} \tag{7}$$

式中 $\rho = \lambda / \mu$ 。

n 台装备出故障的概率:

$$p_n = \begin{cases} \frac{m!}{(m-n)!n!} \rho^n p_0 & (0 \leq n \leq c) \\ \frac{m!}{(m-n)!c!c^{n-c}} \rho^n p_0 & (c \leq n \leq m) \end{cases} \quad (8)$$

平均等待修理的装备数量:

$$L_q = \sum_{n=c}^m (n-c)p_n \quad (9)$$

出故障的平均台数:

$$L = \sum_{n=0}^m np_n \quad (10)$$

平均等待修理时间:

$$W_q = \frac{L_q}{\lambda(m-L)} \quad (11)$$

装备的完好率:

$$\eta = \frac{m-L}{m} \times 100\% \quad (12)$$

这样可以根据装备实际参数, 得出保障分队数 c 与实际装备完好率之间的关系, 进而优化排队模型。现以某舰载雷达装备为例进行计算验证, 已知 $\lambda=0.0014$, $\mu=0.0056$, $m=5$, 取任意 $c \geq 2$, 得到数据如表 1。

表 1 数据统计表

舰载雷达数 m	保障分队数 c	空闲概率 p_0	出故障的平均台数 L	平均等待修理数 L_q	装备完好率 $\eta/\%$
5	2	0.314 90	1.092 00	0.118 00	78.160 0
5	3	0.326 90	1.039 54	0.009 93	79.210 0
5	4	0.327 70	1.010 47	0.000 71	79.790 0
5	5	0.327 73	1.010 32	0.000 67	79.793 6

从表 1 中可以看出, 随着保障分队数 c 的增加, 装备完好率也随之增加, 但当 c 增加到一定量值时, 装备完好率的数值增加缓慢, 并结合排队论中费用模型优化原则, 笔者可以为决策者提供最优的服务台数, 即最优的保障分队数。

此外, 由于目前部队编制体制和保障能力的制约, 要达到较高的装备完好率, 基层维修保障力量仍有不足, 三级维修体制仍要不断完善协调, 要把各种先进保障方式有机结合, 通过各级装备维修保障部门的规划、计划、组织、协调和控制监督调整舰船装备维修保障体系, 达到保障及时, 维修迅速, 质量可靠, 资源消耗减少, 提高舰船装备在航率和参战率的要求。

3 总结

舰船装备维修保障是一个复杂的系统, 运用排队论模型对基层维修保障分队现有的定点和伴随 2 种典型保障方式进行分析, 在定点保障方式中宜采用集中配置策略, 并由伴随保障排队模型, 结合装备完好率及排队论中费用优化模型确定出最优保障分队数, 为决策人员提供必要依据。

研究得知: 影响舰艇部队维修保障能力的因素

复杂, 尤其战时具体的海上保障模式, 取决于作战任务环境、部队人员实力, 以及保障部队实力等因素; 因此, 应用排队论模型对保障力量进行计算和评估时, 仍然是种理想化的方法, 还需要针对具体情况进行适当修正, 以使分析结果更接近于基层维修保障的实际。

参考文献:

- [1] 李春易, 王仕勇. 海军舰船装备精确化保障及发展对策初探[J]. 舰船电子工程, 2007, 27: 100-103.
- [2] 张彦宏, 赖长江, 郭建科. 海上舰船装备维修保障建设探讨[J]. 装备环境工程, 2007, 4(4): 81-84.
- [3] Benjamin S. Blanchard, Wolter J. Fabrycky. 系统工程与分析(影印版)[M]. 北京: 清华大学出版社, 2002: 70-72.
- [4] 陈凯. 运筹学[M]. 河北: 河北教育出版社, 1989: 52-60.
- [5] 康锐. 工程系统工程基础[M]. 北京: 北京航空航天大学, 2009: 90-105.
- [6] 王博, 刘军, 齐飞. 战时装甲装备维修保障力量需求分析[J]. 装备指挥技术学院学报, 2007, 18(3): 15-18.
- [7] 张会宾. 基于排队论的车辆维修保障中维修组的个数优化[J]. 兵工自动化, 2007, 26(2): 20-22.