

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2011.10.004

## 舰空导弹发射装置可靠性对作战效能影响

薛鲁强, 褚政, 王成学

(海军航空工程学院指挥系, 山东 烟台 264001)

**摘要:** 针对舰空导弹在作战任务和战斗中的使用特点, 研究舰空导弹发射装置的可靠性对导弹武器系统作战效能的影响。建立舰空导弹发射装置的可靠性模型。设置不同的战术应用背景, 提出了舰空导弹发射装置可靠性对作战效能影响的指标, 在设定的3种典型作战模式下对典型的A、B、C三型导弹发射装置进行了仿真研究。仿真结果证明: 必须将可靠性与作战效能结合, 才能得到最优的效果。

**关键词:** 舰空导弹; 可靠性; 发射装置; 作战效能

**中图分类号:** TJ765 **文献标志码:** A

## Influence of Ship-to-air Missile Launcher's Reliability to Fighting Efficiency

Xue Luqiang, Zhu Zheng, Wang Chengxue

(Department of Command, Naval Aeronautical Engineering Institute, Yantai, 264001)

**Abstract:** on basic of reliability and mission of the ship-to-air missile, take research of the missile launcher's reliability to fighting efficiency. Establish the simulation model for reliability of ship-to-air missile's launcher and advances the index for the research. Setting the different combating applications A, B, C for background and have numerical simulation analysis. The digital simulation results show, reliability and fighting efficiency must be combined with both, to get the best results.

**Keywords:** ship-to-air missile; reliability; launcher; fighting efficiency

### 0 引言

在作战使用过程中, 舰空导弹发射装置是整个武器系统中受冲击、振动、火焰烧蚀等工作环境影响最大的设备, 也是系统中受海洋恶劣自然环境长期直接接触影响最大的组成部分, 它的使用和功能结构特点决定了其严格的可靠性要求。舰空导弹发射装置的可靠性和其结构类型、数量和布置方式是决定其作战效能的重要因素, 尤其是远洋作战环境, 漫长的离岸时间更是对可靠性提出了苛刻的要求。

因此, 笔者设定了舰空导弹发射装置的任务剖面, 提出发射装置可靠性对作战效能影响的指标, 建立舰空导弹发射装置任务可靠性模型。在设定的3种典型作战模式下对典型的A、B、C三型导弹发射装置进行了仿真研究。

### 1 舰空导弹发射装置可靠性对系统作战效能影响模型

#### 1.1 舰空导弹发射装置可靠性模型

可靠性是指产品在规定的条件下和规定的时间内完成规定功能的能力<sup>[1]</sup>。一般采用故障率 $\lambda(t)$ 对舰空导弹的发射装置可靠性进行评价<sup>[2-3]</sup>。

可靠度 $R(t)$ 与故障率 $\lambda(t)$ 的函数关系为:

$$R(t) = e^{-\int_0^t \lambda(t) dt} \quad (1)$$

当 $\lambda(t)$ 为常数时, 即与时间无关, 上式变为:

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad (2)$$

#### 1.2 舰空导弹发射装置舰上使用剖面

舰空导弹发射装置使用剖面是其从制造到寿命终结或退出使用这段时间内所经历的全部事件和环境的时序描述。该剖面说明了导弹在整个寿命期经历的事件(如装卸、运输、贮存、检测、维修、部署、执行任务等)以及每个事件的顺序、持续时间、环境和工作方式。如表1, 舰空导弹发射装置在舰艇上的假设使用剖面包含一个或多个任务剖面<sup>[4-5]</sup>。

表1 舰空导弹发射装置舰上使用剖面

工作状态	海试	训练	航行间维修	训练	坞修	航行间维修
时间/d	90	255	10	120	30	10
工作状态	战备值班执勤	航行间维修	战备值班执勤	小修	训练	航行间维修
时间/d	180	10	90	90	130	10
工作状态	战备值班执勤	航行间维修	战备值班执勤	航行间维修	训练	中修
时间/d	180	10	150	10	150	180

#### 1.3 建立舰空导弹射击模型和效能模型

空中目标在有效的射击范围内, 舰艇对其能发射的导弹数, 可根据目标飞行条件和发射间隔, 由下式确定:

$$r = \frac{T}{t_c} + 1 \quad (3)$$

收稿日期: 2011-06-27; 修回日期: 2011-07-21

作者简介: 薛鲁强(1975—), 男, 山东人, 博士, 讲师, 从事装备指挥与管理研究。

式中:  $T$  为可射击时间;  $t$  为一次射击持续时间;  $t_c$  为发射间隔时间。

作战效能指标可选取  $r$  次齐射至少命中一发的概率<sup>[6]</sup>:

$$P_r = 1 - \prod_{i=1}^r (1 - P_i)^X \quad (4)$$

式中:  $P_i$  为舰空导弹武器系统第  $i$  次齐射中的单发命中概率;  $X$  为第  $i$  次齐射弹量。

### 1.4 舰空导弹发射装置性能对作战效能影响分析模型

舰艇防空导弹武器系统的战斗效能使用完成所赋予战斗任务的程度来评价。因此对于使用剖面下第  $i$  次使用系统的战斗效能实现系数可用下式进行描述:

$$K_i = \frac{W_i}{W_{\max}} \quad (5)$$

式中:  $W_i$  为使用剖面下第  $i$  次使用的战斗效能;  $W_{\max}$  为不考虑使用环境干扰影响下的系统战斗效能最大值。

导弹武器系统的战斗能力随时间变化, 因而战斗效能实现系数也随时间而变化。为了评价使用措施的效能, 可以合理地取战斗效能实现影响系数的平均值<sup>[7-8]</sup>, 如下式所示:

$$\bar{K}_i = \frac{1}{T} \int_0^T K_i(t) dt \quad (6)$$

式中:  $T$  为评价所用的使用剖面时间区间;  $K_i(t)$  为使用剖面下第  $i$  次使用的战斗效能实现系数值。

在双发齐射情况下, 不考虑导弹发射装置可靠性  $R$  影响时的作战效能可表述为:

$$P_{12} = 1 - (1 - P_1)(1 - P_2) \quad (7)$$

在双发齐射情况下, 导弹发射装置可靠性  $R$  对其作战效能的影响参数  $K$  可表述为:

$$K = \frac{P_{12}(R)}{P_{12}} = \frac{1 - (1 - RP_1)(1 - RP_2)}{1 - (1 - P_1)(1 - P_2)} \quad (8)$$

影响参数  $K$  综合了可靠性和武器系统的作战效能 2 个方面, 能体现可靠性对作战效能的影响。在现实意义上, 指标值  $K$  是舰空导弹武器系统在时间  $T$  内的对防空作战需求的有效射击行动。合理的时间区间  $T$  的选择与舰艇使用剖面、使用措施和方法相联系, 这样该指标就能反映出导弹发射装置可靠性对舰空导弹武器系统战斗效能的影响。

在战斗准备和战斗实施过程中, 舰空导弹武器系统及其分系统和部件<sup>[9-10]</sup>, 比如, 舰空导弹、导弹武器系统的舰面设备、控制系统和发射装置, 都有可能发生故障。甚至在发出防空战斗警报, 启动舰空导弹武器系统的过程中也可能出现故障。这些

情况都应该在模型中进行考虑。还需要考虑许多敌方的因素, 如敌发动空袭的时机。如果在防空战斗警报发出的时候, 舰空导弹武器系统出现了影响功能的故障, 必须在开始战斗之前进行及时的系统修复工作。因此, 可靠性指标、维修性指标和技术勤务能力之间有相互关系, 但它们之间的相互关系不能明确预定。只有在模型中考虑到使用过程中的相关因素, 才能得到可靠的评估结果。

### 2 仿真设定条件和仿真模型

假定空中目标为反舰导弹, 其飞行速度为 0.75 Ma; 飞行高度为 10 m。仿真计算设定的三型典型舰空导弹系统及发射装置性能参数如表 2。

表 2 仿真计算设定的三型典型舰空导弹系统及发射装置性能参数

舰空导弹系统及发射装置类型	A	B	C
弹药基数/枚	48	48	48
发射装置数量	6	2	48
系统反应时间/s	11	18	10
人员就位时间/min	5	5	5
系统启动时间/min	10	10	10
导弹架上准备时间/s	9	9	9
发射间隔/s	3	6	5
对反舰导弹单发命中概率	0.65	0.65	0.65
导弹飞行最大速度/Ma	4	3	4
对反舰导弹发射区近界/km	1.5	1.5	1.5
对反舰导弹发射区远界/km	23	18	18

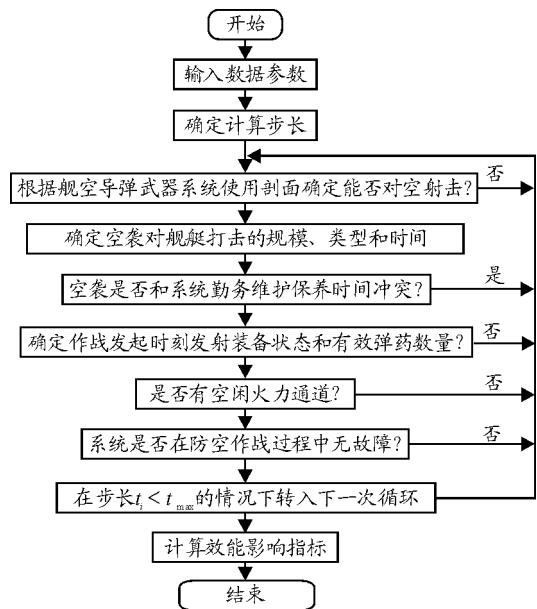


图 1 舰空导弹发射装置可靠性对作战效能影响计算框图

在仿真中设定 3 种作战模式:

第 1 种: 对来袭的单个低空亚音速小型空中目标(反舰导弹)对行一次双发齐射, 作战背景适用于抗击偶然性或袭扰性空中打击。

第 2 种: 对依次来袭的 24 个低空亚音速小型空中目标对行双发齐射, 敌来袭时间间隔较长(如

15 min), 大于双发齐射作战完成所需时间, 但整个防空作战时间较长, 抗击强度大。

第 3 种: 对依次来袭的 24 个低空亚音速小型空中目标进行双发齐射, 敌来袭时间间隔极短(如 1 s), 小于双发齐射作战完成所需时间, 即敌对我编队进行饱和攻击, 抗击密度强度大。

基于以上 3 种模式, 采用双发齐射的射击方式, 仿真流程图如图 1。

### 3 仿真过程和结果分析

笔者选择发射装置单次发射可靠度  $R_{发射}$  为可靠性指标, 计算结果如图 2~图 4。

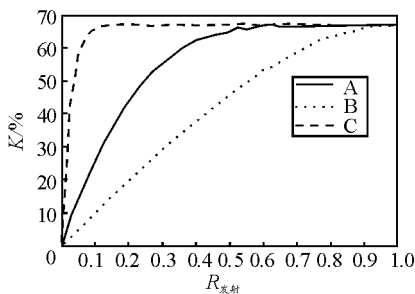


图 2 第 1 种作战模式发射装置可靠性与作战效能关系图

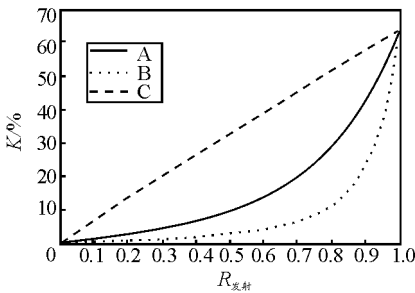


图 3 第 2 种作战模式发射装置可靠性与作战效能关系图

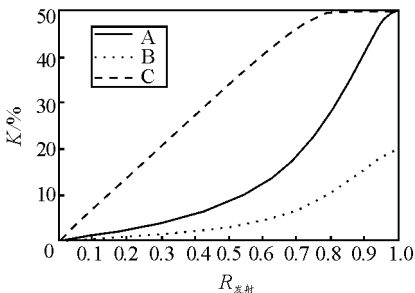


图 4 第 3 种作战模式发射装置可靠性与作战效能关系图

由图 2 可以看出, 在对抗来袭的单个低空亚音速小型空中目标时, 在发射装置可靠度 0.93 以上时, 发射装置数量对作战效能几乎没有影响。在发射装置可靠度较小, 达 0.6 以下时, 发射装置数量对作战效能有较大影响。发射装置数量可在一定程度上弥补可靠性的不足。在既定作战效能情况下, 较少

的发射装置需要较高的发射可靠度。

由图 3 可以看出, 在防空作战时间较长, 抗击强度大的情况下, 发射装置数量的增多可以有效地提高作战效能, 在一定程度上放宽了对可靠性的要求。同时, 也要考虑到发射装置增多, 其可靠性对有效弹药量的影响, 如 B 型系统, 一座发射架出现可靠性问题, 其所服务的 24 枚导弹也无法参加战斗, 同样也会第 2 种作战模式下的效能产生较大影响。由图 3 可以看出, 增加发射装置数量和提高发射可靠度都可以有效提高系统作战效能。

由图 4 可以看出, 当抗击强度大密度高, 即抗饱和攻击时, 相对于发射装置数量和可靠性, 作战效能很大程度上受到导弹武器系统本身性能的影响, 如反应时间、发射间隔、单发命中概率等。单纯增加发射架数量和发射可靠度对作战效能的提高是有限的。

### 4 结论和建议

仿真结果表明: 在建造新舰、舰艇改装时应注重发射装置可靠性和发射装置数量的平衡, 过高要求发射架的可靠性会造成资金的浪费, 而过多的发射装置会对舰艇的设计、日常的保养维护和成本提出过高要求, 必须将可靠性与作战效能结合, 才能得到最优的效果。

### 参考文献:

- [1] GJB 451A-2005 可靠性维修性保障性术语[S]. 北京: 总装备部军标出版发行部, 2005: 15-17.
- [2] 杨为明. 可靠性维修性保障性总论[M]. 北京: 国防工业出版社, 1995: 23-38.
- [3] 赵元立. 可靠性维修性保障性管理[M]. 北京: 海潮出版社, 2009: 1-20.
- [4] 曾声奎, 赵廷弟, 张建国, 等. 系统可靠性设计与分析[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2001: 9-20.
- [5] 潘吉安. 可靠性维修性可用性评估手册[M]. 北京: 国防工业出版社, 2005: 115-120.
- [6] 陈建华. 舰艇作战模拟理论与实践[M]. 北京: 国防工业出版社, 2002: 115-127.
- [7] 鲍里斯·玛尔钦科, 薛鲁强. 舰载导弹武器系统使用特点分析[J]. 俄罗斯海洋学报, 2007, 22(2): 96-98.
- [8] 薛鲁强. 舰空导弹武器系统使用仿真模型[C]//第十二届俄罗斯科学院导弹火炮年会论文集第 4 卷. 圣彼得堡: 俄罗斯海军军事科学院出版社, 2009: 489-494.
- [9] 王治军, 等. 导弹武器系统的可靠性与维修性[M]. 西安: 第二炮兵工程学院出版社, 1994: 75-97.
- [10] 徐品高. 防空导弹体系总体设计[M]. 北京: 宇航出版社, 1996: 26-27.