

防空导弹武器装备最佳服役年限研究

陈永革, 赵英俊, 苑立伟
(空军工程大学 导弹学院, 陕西 三原 713800)

摘要:基于技术与经济两方面的特点,提出了防空导弹武器装备最佳服役年限决策模型,对影响防空导弹装备最佳服役年限的因素进行了研究,得出了一些有价值的结论,为武器系统最佳服役年限的确定问题提供参考。

关键词:防空导弹;服役年限;费用;效能

中图分类号:V55;TJ761.1⁺3 **文献标识码:**A **文章编号:**1009-3516(2002)05-0028-04

从20世纪80年代末开始武器系统寿命周期费用的研究,目前已在这方面取得了不小的成果。但近十几年来,随着第三次科技革命的兴起和实际需求的刺激,长期以来那种单独以经济指标确定装备服役年限的做法受到了挑战,武器装备效能的高低同样也应作为确定其服役年限的重要依据,如何科学合理地确定出装备的最佳服役年限,已成为决策机关较为关心的问题。

1 防空导弹武器装备服役年限的影响因素

所谓装备的服役年限就是指武器装备从列装到服役、经使用、保障、维修、改装直到退役所经历的时间。防空导弹武器装备一般服役年限较长,而现代科技的发展却日新月异,因此在确定装备服役年限时必须考虑到经济和技术两方面因素的影响。

1.1 经济因素的影响

在防空导弹装备服役期间发生的费用种类较多、数量庞大。研究经济因素对装备服役年限的影响,就是要使装备的寿命周期费用(LCC)最小,最大可能地节约开支。防空导弹武器装备的寿命周期费用一般可表示为^[1]

$$LCC = \text{采购费} + \text{使用保障费}$$

其中采购费随着使用年限的增长年均费用逐渐减少;但伴随着系统设备的老化,其年均使用保障费用将逐渐增加,这种保障费用的逐年增加称为装备的劣化。为简便起见,假定每年使用保障费用的增加量是均等的,即使用保障费用呈线形增长,按专家调查法,每年的增加额 $\lambda = 5\% C_1$,若装备使用 t 年,这第 t 年的使用保障费为

$$C_t = C_1 + (t-1)\lambda$$

其中 C_1 ——首年使用保障费;

t ——装备使用年数。

在寿命周期内装备的年均费用—服役年限关系如图1所示。

图1中的 t 便是使系统年均费用最少的服役年限,即所说的装备经济寿命^[2-3]。

随着武器装备性能的不断提高和结构的日益复杂,武器装备的采购费和使用保障费比起以前均大大增加;由于系统的服役年限都相对较长,因此在确定经济因素的影响时,必须考虑到资金的时间价值和通货膨胀

胀的影响。

1.2 技术因素的影响

随着科学技术的发展,装备的生产水平和工艺水平都不断提高,其所对付目标的性能也肯定会随之上升到一个高的水平,这就使得现役装备的有些指标不能满足未来作战的需要,综合能力有所下降,作战效能降低。除技术进步的影响外,由于设备的老化,也同样会使得旧装备的效能劣于同型新装备的效能。

根据对各种装备效能指数的计算和统计,由于技术进步而引起的效能变化模型可表示为^[4]

$$E_1 = E_0 \exp(-\lambda_1 t) \tag{1}$$

其中 E_0 ——初装备部队时系统的效能;
 λ_1 ——技术发展系数。

武器装备经部队常年使用,不断磨损、老化,使系统有些指标达不到以前的标准,考虑到这些因素,武器系统的效能模型应为

$$E_2 = E_0 \exp[(\lambda_1 + \lambda_2)t] \tag{2}$$

其中 E_n ——装备部队后使用到第 t 年时系统的效能;
 λ_2 ——效能损耗系数;
 E_0, λ_1 同上。

需要注意的是,武器装备是由不同材料的众多设备组成的一个有机整体,在装备服役期间各个设备的作用不同,因此,它们的磨损程度也就有所不同,有的甚至差别很大。为了保持和恢复装备的效能,常常会在装备服役期间对其进行若干次维修活动。尽管要求经过维修特别是大修后装备的效能要达到出厂时的水平,但在实践中装备经过维修后不论从精度、速度等方面,还是从使用中的有效运行时间等方面,都比同型的新装备要逊色一些,其综合质量会有某种程度的降低。系统效能—服役年限关系如图 2 所示。在图 2 中,装备效能客观上是按曲线 E_2 趋势下降的,如果在 B_1 点进行一次维修,装备效能可能恢复到 B 点,自 B 点起进行第二周期的使用,其效能又继续劣化,当降到 C_1 点时,又进行第二次维修,其效能可能恢复到 C 点。这样再次维修后装备效能又可能恢复到相当程度,一经使用又会下降。将图中的 $A、B、C、D$ 各点连接起来形成的一条曲线 E_n 反应了装备在使用过程中的综合质量劣化趋势,从这条曲线上也可以看出,装备的维修并非是无止境的^[5]。

2 防空导弹武器装备服役年限决策模型

在防空导弹整个服役期间,发生的费用有采购费(C_g)、年使用保障费(C_j)、大修费(C_{dj})、中修费(C_{zj})、和耗弹费(C_{hj}),设第 j 次大修、中修、耗弹发生的年份分别第 $d(j)、z(j)、h(j)$ 年,考虑到资金的时间价值(设年利率为 i),可得在服役期间折算到基准年(0 年)的总费用 C 为

$$C = C_g + \sum_{j=1}^n C_j (1+i)^{-j} + \sum_{j=1}^m C_{hj} (1+i)^{-h(j)} + \sum_{j=1}^k C_{zj} (1+i)^{-z(j)} + \sum_{j=1}^l C_{dj} (1+i)^{-d(j)} \tag{3}$$

式中 n ——装备使用期;
 m ——装备使用期内耗弹次数;
 k ——装备使用期内中修次数;
 l ——装备使用期内大修次数。

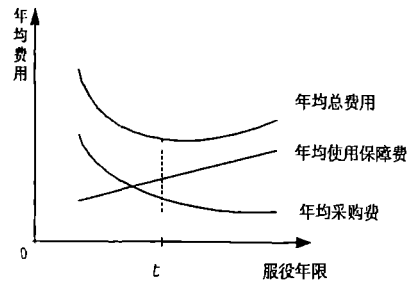


图 1 防空导弹武器装备年均费用—服役年限关系图

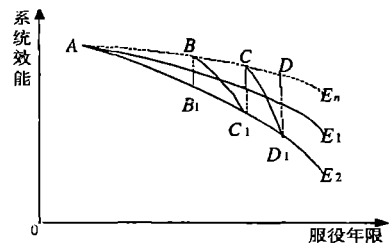


图 2 系统效能—服役年限关系图

则年均发生费用为

$$\overline{C(n)} = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \cdot C \quad (4)$$

考虑到维修活动对装备效能的影响,设第*i*次维修对装备的修复率为 μ_i ,则装备在服役期间(0, *n*)年内的平均效能为

$$\overline{E(n)} = \frac{1}{n} \int_0^{n_1} E_2 dt + \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{k+1} \int_0^{n_i} \left(\prod_{j=1}^i \mu_j \right) E_2 dt \quad (5)$$

式中 n_1 ——从装备部队到第一次维修前装备使用时间;

n_i ——装备第(*i*)次维修到第(*i*+1)次维修的间隔时间; n_{k+1} 为最后一次维修活动到退役的时间。

值得注意的是,装备经过维修后其效能损耗系数 λ_2 一定会大于同型新装备的效能损耗系数 λ_2 ,但对于 λ_2 比 λ_2 的劣化程度,至今尚没有一个明确的量化指标,本文为问题的简化,假定了装备经过维修后其效能损耗系数与同型新装备的效能损耗系数相等。

由式(4)、(5),可得装备的效费函数 $G(n)$

$$G(n) = \overline{E(n)} / \overline{C(n)} \quad (6)$$

使得效费函数最大的服役年限即为装备的最佳服役年限。

3 服役年限影响因素的综合分析

影响装备服役年限的许多要素均处于不确定的变化之中,考虑到经济和技术两方面的影响,为明确效费函数的主宰因素,以下对影响服役年限的诸因素进行敏感性分析。

根据效费函数模型,通过专家调查法,在防空导弹装备服役期间,取 $\lambda_1 = 3\%$, $\lambda_2 = 0.5\%$,设年利率 $i = 8\%$;且经过第一次大修,系统的效能恢复到原来的95%,第*l*次大修后系统的效能是第(*l*-1)次大修后系统效能的95%;同样,经过第一次中修,系统的效能恢复到原来的80%,*k*次中修后系统的效能是第(*k*-1)次中修后系统效能的80%。这样确定影响装备最佳服役年限的参数为:初始效能、首年使用保障费、采购费、大修费、中修费、耗弹费、耗弹次数、中修次数、大修次数及它们发生的时间点。

基准条件如表1所示。

表1 装备服役年限影响因素初始值

采购费 (万元)	首年使用 保障费(万元)	大修费 (万元/次)	中修费 (万元/次)	耗弹费 (万元/次)	初始 效能	大修		中修		耗弹	
						次数	年份	次数	年份	次数	年份
5 000	500	180	95	80	0.8	1	12	3	7,15,18,	6	3,6,9,12,15,18

3.1 效费函数对装备初始效能和费用的敏感性分析

分别令系统的初始效能、首年使用保障费、大修费、中修费和耗弹费变化10%,得到防空导弹装备效费函数的变化如表2所示。

表2 效费函数对装备初始效能和费用的敏感性分析

项目变化10%	初始效能	首年使用保障费	采购费	大修费	中修费	耗弹费
效费函数变化(%)	9.1	7.6	2.7	0.081	0.18	0.27

可见,在综合考虑技术与经济两方面的情况下,装备的最佳服役年限对装备的初始效能最为敏感。在系统初始效能一定的条件下,首年使用保障费对装备的最佳服役年限的影响较严重。另外,大修费虽较中修费与耗弹费高,但由于其发生的次数较少(基准条件认为服役期间只发生一次),因此对效费函数的影响不大。经研究,若系统初始效能一定,装备的经济寿命为19年左右,基于效费函数的最佳服役年限为18年;但是,当首年使用保障费为购置费的1/10时,装备最佳服役年限的效费函数值是首年使用保障费为购置费的1/20时效费函数值的1.5倍。这与装备实际情况基本相符。

3.2 效费函数对费用发生年份的敏感性分析

分别令系统的大修、中修和耗弹发生年份变化一年,得系统效费函数的变化如表3所示。

表3 效费函数对费用发生年份的敏感性分析

发生年份变化一年	大修	中修	耗弹
效费函数变化(%)	0.27	5.4	0.14

可见,中修发生的年份,对系统的效费函数有较大的影响,所以在系统服役年限内,适当安排中修年份至关重要,同时研究也表明,中修的年份安排,对装备的最佳服役期也影响较大,当装备的各次中修年份均比基准条件提前两年时,装备最佳服役期也从原来的18年变为16年。

3.3 大修次数、中修次数和耗弹次数对系统的效费函数影响较大

在给定的 $n=20$ 年内,大修次数和耗弹次数增加一次,不论发生的年份如何选择,总会引起效费函数值的下降,因此对于防空导弹武器装备,在服役期间不宜进行多次大修或多次耗弹。中修次数增加一次,配合中修年份的适当调整,可以提高装备服役期间的效费函数值,但经仿真计算表明,其提高幅度不大。

4 结论

本文基于技术与经济两个方面,提出并研究了防空导弹武器装备最佳服役年限的决策模型。服役年限问题是一个十分复杂的重要问题,一个系统的最佳服役年限受多种因素的影响,但研究的结果表明:当 λ_1 , λ_2 一定时,服役年限对装备初始效能和首年使用保障费用的敏感性最大。因此,对于一个武器系统应尽可能提高装备的初始效能和降低装备的首年使用保障费用。

参考文献:

- [1] 陈学楚. 装备系统工程[M]. 北京:国防工业出版社,1995.
- [2] 赵国杰. 工程经济与项目评价[M]. 天津:天津大学出版社,1999.
- [3] 傅家骥,全允桓. 工业技术经济学[M]. 北京:清华大学出版社,1996.
- [4] 高尚. 武器装备更新模型[J]. 飞航导弹,2000,(2):29-32.
- [5] 张净敏. 飞机服役年限的确定[J]. 空军工程大学学报(自然科学版),2000,1(5):68-71.

(编辑:田新华)

Study on the Optimum Service Life of Air Defence Missile Weaponry

CHEN Yong-ge, ZHAO Ying-jun, YUAN Li-wei

(The Missile Institute, Air Force Engineering University, Sanyuan 713800, China)

Abstract: In view of the characteristics of technology and economy, this paper presents the optimum service life decision model of air defence missile weaponry, and pursues the study on the factors effecting the optimum service life. Thus some valuable conclusions are obtained, which offer a reference for determining the optimum service life of air defence missile weaponry.

Key words: air defence missile; service life; cost; efficacy