灰色理论在确定防空导弹武器系统经济寿命中的应用

陈永革， 苑立伟
(空军工程大学 导弹学院，陕西 三原 713800)

摘 要：针对使用保障费用数据有限的防空导弹武器系统经济寿命的确定问题，根据灰色理论建立了预测模型，并用该方法预测了某一设备的经济寿命，分析结果令人满意。

关键词：灰色理论；防空导弹；经济寿命；寿命周期费用
中图分类号：TJ761.1+3 **文献标识码**：A **文章编号**：1009-3516(2001)06-0044-04

随着装备的高科技含量不断增加，全寿命周期费用(LCC)日益昂贵，经济因素已成为制约装备发展和建设的重要因素。防空导弹武器系统作为国土防空的重要力量，一般设备庞大、结构复杂、涉及费用较多，加上某些装备研制的系统型号较少，又没有建立起研制、生产单位向管理机关定期汇报费用数据的制度，所以通常防空导弹武器系统 LCC 数据的获取十分困难，而且可信度也不高；特别是对新装备来说，由于服役时间不长，积累的费用数据更是极其有限。在经济尚不发达、军费有限的情况下，如何克服这种不利条件，较准确地预测出防空导弹武器系统的经济寿命，已成为决策机关较为关心的问题。为此，本文提出了利用灰色理论进行预测的方法。

1 防空导弹武器系统 LCC 分解结构

防空导弹武器系统的 LCC 是指从装备的论证、设计、研究、制造、使用直到退役处理所需的全部费用之和，一般可以表述为[1]· LCC = 采购费用 + 使用保障费用。

其费用分解结构[2]如图1所示。

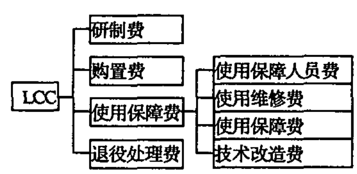

图1 防空导弹武器系统 LCC 分解结构

随着对装备要求的不断提高和日益复杂化，防空导弹武器系统的采购费和使用保障费均大量增加。通常人们只重视一次性的采购费，而忽视装备的使用保障费。但经验表明，虽然使用保障费只是逐年零星支付的，然而由于装备的服役年限一般较长，有的甚至达到二、三十年，所以其总额仍十分可观。因此，有些研究人员就将装备的 LCC 表示为一座冰山，冰山露出水面的部分，代表占寿命周期费用一小部分的采购费，而那些与装备使用保障有关的费用却经常是看不到的。在决策者只看到外露的部分，而未预计到水下尚有大量费用需要支付的情况下，便轻易决断，就可能形成“买得起，养不起”的被动局面。

2 防空导弹武器系统的经济寿命

由于防空导弹武器系统服役年限都相对较长，因此在确定其经济寿命时就必须考虑到资金的时间价值和通货膨胀的影响[3-4]。如上所述，系统的 LCC 由两部分组成，其中采购费随着使用年限的增长年均费用逐渐减少，从这一点上看，装备的使用年限越长越好；但是，伴随着系统设备的老化，装备的耗损就会加速，促使其年均使用保障费用将迅速增加，如图2所示。这样就出现了一个年平均费用最少的使用年限 t^*，即经济寿命。单从经济角度上看，装备的服役年限多于或少于这一使用年限，都将是不合算的。研究防空导弹武

收稿日期：2001-06-18
作者简介：陈永革(1959-)，男，陕西周至人，副教授，主要从事军事装备学研究.

器系统经济寿命就是要确定出使装备年均总费用最少的服役年限,以达到节约使用经费的目的。

系统在寿命周期内年均费用—使用年限的关系如图 2 所示。由于武器系统的采购费用已知,所以在确定系统经济寿命时只需对使用保障费用做出预测,然后再综合得到年均总费用,使系统年均总费用最少的服役年限 t^* 即为装备的经济寿命。

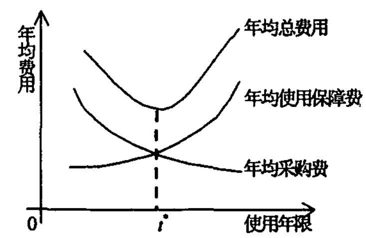

图 2　武器系统年均费用—使用年限关系

3　装备经济寿命的预测模型[5]

自 1982 年我国著名学者邓聚龙教授创立灰色系统理论以来,灰色理论很快便被科学界所接受,并得到迅速发展。灰色理论认为:1)任何随机过程都可看作是在一定范围、一定时区内的灰色过程;2)随机量可看作是在一定范围内变化的灰色量;3)任何无规则的原始数据经灰色生成后都可转变成较有规则的生成序列。

基于灰色理论的预测模型就是通过对原始数据的加工处理,发现、掌握系统的发展规律,从而对系统的未来状态做出科学的定量预测。

3.1　GM(1,1)模型

设有原始数列　$X^{(0)}=\{x^{(1)}(1),x^{(1)}(2),\cdots,x^{(1)}(n)\}$,其中 $x^{(0)}(j)\geqslant 0,j=1,2,\cdots n$。

原始数列作一次累加得 $X^{(0)}$ 的 1 - AGO 序列 $X^{(1)}$ 为

$$X^{(1)}=\{x^{(1)}(1),x^{(1)}(2),\cdots,x^{(1)}(n)\}$$

其中 $x^{(1)}(k)=\sum_{i=1}^{k}x^{(0)}(i)$

对 $X^{(1)}$ 建立白化方程:$\frac{\mathrm{d}X^{(1)}}{\mathrm{d}t}+aX^{(1)}=b$,式中,$-a$ 为模型的发展系数,反映了数据的发展态势,b 为灰色作用量,反映数据元素的变化关系。

设 $\hat{a}=[a,b]^{\mathrm{T}}$ 为参数列,且

$$Y=[x^{(0)}(2)x^{(0)}(3)\cdots,x^{(0)}(n)]^{\mathrm{T}}$$

$$B=\begin{bmatrix}\frac{-[x^{(1)}(1)+x^{(1)}(2)]}{2} & \frac{-[x^{(1)}(2)+x^{(1)}(3)]}{2} & \cdots & \frac{-[x^{(1)}(n-1)+x^{(1)}(n)]}{2}\\ 1 & 1 & \cdots & 1\end{bmatrix}^{\mathrm{T}}$$

则按最小二乘估计参数列 $\hat{a}$ 满足:　$\hat{a}=[B^{\mathrm{T}}B]^{-1}B^{\mathrm{T}}Y$

白化方程的解为:$\hat{x}^{(1)}(k+1)=\left[x^{(0)}(1)-\frac{b}{a}\right]e^{-ak}+\frac{b}{a}\quad k=1,2,\cdots,n$

还原初始值为:$\hat{x}^{(0)}(k+1)=\hat{x}^{(1)}(k+1)-\hat{x}^{(1)}(k)\quad k=1,2,\cdots n$

3.2　GM(1,1)模型的精度检验

记残差 $e(k)=x^{(0)}(k)-\hat{x}^{(0)}(k)\qquad k=1,2,\cdots,n$

$$S_1^2=\sum_{k=1}^{n}[x^{(0)}(k)-\overline{x^{(0)}}]^2/n\qquad S_2^2=\sum_{k=1}^{n}[e(k)-\bar{e}]^2/n$$

其中

$$\overline{x^{(0)}}=\sum_{k=1}^{n}x^{(0)}(k)/n\qquad \bar{e}=\sum_{k=1}^{n}e(k)/n$$

$$C=S_2/S_1,P=P\{e(k)-\bar{e}<0.674\,5S_1\}=\frac{m}{n}$$

式中 m 为满足条件 $|e(k)-\bar{e}|<0.674\,5S_1$ 的数据数。

模型的精度由 C 和 P 共同决定,如表 1 所示。

表 1　模型的精度等级

精度等级	好	合格	勉强	不合格
P	$P\geqslant 0.95$	$0.95>P\geqslant 0.85$	$0.8>P\geqslant 0.7$	$P<0.7$
C	$C\leqslant 0.35$	$0.35<C\leqslant 0.5$	$0.5<C\leqslant 0.65$	$C>0.65$

3.3 装备年均总费用

由于装备的服役期限比较长,因此需要考虑资金的时间价值,设折现率为 i,则装备在寿命周期内的总费用为

$$C = C_g + \sum_{j=1}^{n} C_j (1+i)^{-j} - C_r$$

式中:C_g——装备的采购费;

C_j——使用期第 j 年的使用保障费;

C_r——n 年后装备的残值;

则装备服役期间的年均总费用为

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

根据有限的已知数据,运用 GM(1,1)预测出未来几年的装备年均总费用,使年均总费用最小的服役年限即为装备的经济寿命。

4 算例

下面对某一工业设备的经济寿命进行预测,以说明该模型的运用。

已知某设备的初始采购费为 20 万元,使用 5 年来,其各年的使用保障费用及当年的残值如表 2 所示,取折现率为 $i=8\%$,试预测其经济寿命。

表 2 设备各年的使用保障费用

使用年数	1	2	3	4	5
费用(万元)	4.0	4.2	4.5	4.9	5.3
费用期初现值	3.704	3.601	3.527	3.602	3.607
设备残值(万元)	15	13.7	12.5	12	11.5
残值期初现值	13.888 5	11.745	9.922 5	8.82	7.454

解:

对于设备费用 $X^{(0)} = \{3.704, 3.601, 3.527, 3.602, 3.607\}$

对 $X^{(0)}$ 作 1—AGO 得 $X^{(1)} = \{3.704, 7.305, 10.877, 14.679, 18.086\}$

$$Y = [7.305, 10.877, 14.679, 18.086]^{\mathrm{T}}$$

$$B = \begin{bmatrix} -5.5045 & -9.091 & -12.788 & -16.3825 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}^{\mathrm{T}}$$

$$\hat{a} = (B^{\mathrm{T}}B)^{-1}B^{\mathrm{T}}Y = [-0.002\,606 \quad 3.555\,945]^{\mathrm{T}}$$

所以 GM(1,1)模型为

$$\frac{\mathrm{d}X^{(1)}}{\mathrm{d}t} - 0.002\,606X^{(1)} = 3.555\,945$$

白化方程的解为 $x^{(1)}(k+1) = 1\,368.152\,473 \times e^{0.002\,606k} - 1\,364.448\,4$

设备各年使用保障费的模拟值和残差如表 3 所示。

表 3 设备各年使用保障费的模拟值和残差

使用年数	1	2	3	4	5
费用期初现值	3.704	3.601	3.527	3.602	3.607
模拟值	3.704	3.570 2	3.579 6	3.588 9	3.598 3
残差 $e(k)$	0	0.030 8	−0.052 6	0.013 1	0.008 7

对模型进行精度检验得 $C=34.9\%$ $P=99.76\%$

对照表 1,可知预测等级为“好”。

同理可得,设备残值的 GM(1,1)模型为:$x_c^{(1)}(k+1) = -385.125 \times e^{-0.037\,033k} + 400.125$

对模型进行精度检验 $C_c=33.8\%$ $P_c=98.6\%$

对照表 1,知预测等级为“好”。

运用该模型预测出以后各年的使用保障费用及残值(期初现值),并换算成年均费用如表 4 所示。

表 4 设备经济寿命预测

使用年限	费用现值	残值现值	累计现金流	年均费用
1	3.704	13.888 5	9.815 5	10.6
2	3.601	11.745	15.56	8.726
3	3.527	9.922 5	20.909 5	8.114
4	3.602	8.82	25.614	7.73
5	3.607	7.454	30.587	7.66
6	3.607 7	6.762	34.887 6	7.547
7	3.617 1	5.91	39.356 4	7.56
8	3.626 5	5.165	43.727 9	7.6
9	3.636	4.512	48.016 9	7.68

由计算结果可知:该设备的经济寿命为 6 年。

5 结论

在使用保障费用数据有限的条件下,预测出武器系统,特别是复杂的防空导弹武器系统的经济寿命是十分困难的。鉴于装备的实际使用保障费是逐年增长的,本文利用灰色理论的原理和方法对这一问题进行了探讨,实例表明,用该方法预测装备的经济寿命切实可行。

另外,本文仅从经济角度出发,对预测导弹武器系统最佳服役年限问题提出了具体模型。在实际工作中,由于装备使用阶段各种因素的变化,其经济寿命与预测值可能会有所差别,因此也需要根据实际使用数据来修正其最佳的使用期限。

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] 赵英俊. 导弹武器装备最佳服役年限分析[J]. 空军导弹学院学报,1998,23(2).

[3] 傅家骥,仝允桓. 工业技术经济学[M]. 北京:清华大学出版社,1996.

[4] 赵国杰. 工程经济与项目评价[M]. 天津:天津大学出版社,1999.

[5] 傅 立. 灰色系统理论及其应用[M]. 北京:科学技术文献出版社,1992.

Application of Grey Theory to Decide the Economic Life of Air Defence Missle System

CHEN Yong - ge, YUAN Li - wei

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

Abstract: To decide the economic life of air defence missile system with definite data of operation and support cost, a prediction model based on gray system theory is presented. Finally, this model is used to decide the economic life of a set of given equipment, and the result is satisfactory.

Key words: grey theory; air defence missile; economic iife; life cycle cost