

文章编号 :1001 - 2486(2005)03 - 0110 - 05

## 武器装备全寿命费用宏观控制的系统动力学模型\*

张 栋<sup>1</sup>, 罗 飞<sup>2</sup>, 罗小明<sup>2</sup>

(1. 总装备部后勤部营房局, 北京 100101; 2. 装备指挥技术学院, 北京 101416)

**摘 要** :以武器装备作战能力差距为牵引,以全寿命周期阶段对作战能力的影响为主要依据,建立了基于系统动力学的武器装备全寿命费用控制分析模型,客观、合理地描述了全寿命周期各阶段之间的相互影响,并对武器装备全寿命费用宏观费用控制问题进行了仿真实验分析。

**关键词** :武器装备;全寿命费用;系统动力学;控制;仿真

**中图分类号** :E917 **文献标识码** :A

## The Macroscopical Control of the Life Cycle Costs of the Equipments Based on System Dynamics' Model

ZHANG Dong, LUO Fei, LUO Xiao-ming

(1. The Barracks Bureau, Logistics Office of the General Armament Department, Beijing 100101, China;

2. The Academy of Equipment Command &amp; Technology, Beijing 101416, China)

**Abstract** :Based on the difference of the combat ability of equipments and the influence of life cycle phase on the combat ability of equipments, the system dynamics' model on macroscopical control analysis of the life cycle costs of equipments is set up, which describes the relations between all the phases of the weapons' life cycle objectively and soundly. By simulation experiment of macroscopical control analysis of the life cycle costs of equipments, some experimental conclusions have valuable reference to the construction and development of equipments.

**Key words** :equipment; life cycle costs; system dynamics; control; simulation

武器装备全寿命费用使用控制的不合理、不科学,已经成为制约我军武器装备发展的一个重要问题<sup>[1,2]</sup>。解决这一问题,必须加强武器装备全寿命费用宏观控制研究,建立健全适应武器装备全寿命周期费用管理的体制和运行机制,走出一条投入较少、效益较高的武器装备建设路子。

## 1 系统动力学方法及仿真实验步骤

系统动力学(SD, system dynamics)是一种以反馈控制理论为基础,以计算机仿真技术为手段的研究复杂社会经济系统的定量方法<sup>[3,4]</sup>。它将系统构成为结构与功能的因果关系图式模型,利用反馈、调节和控制原理进一步设计反映系统行为的反馈回路,最终建立系统动态模型,再经过计算机模拟,对系统内部信息反馈过程进行实验,以便更深入地了解系统的结构、功能和动态行为特性。系统动力学也被誉为“战略与策略实验室”。

运用SD方法,对武器装备的结构、功能及动态行为进行分析,其仿真实验的基本步骤如下:

## (1) 系统分析

系统分析是用系统动力学方法解决实际问题的第一步,其主要任务在于分析问题、剖析要因,主要工作有:①了解系统,调查搜集有关系统的情况与统计数据;②了解用户提出的要求、目的,并明确所要解决的问题;③分析系统的基本问题与主要问题、基本矛盾与主要矛盾、主要变量与变量;④初步划定系

\* 收稿日期:2004-12-06  
基金项目:全军军内科研计划项目(200316)  
作者简介:张栋(1970—),男,博士生。

统的界限,并确定内生变量、外生变量、输入量;⑤确定系统行为的参考模式。

## (2)系统结构分析

主要任务是处理系统信息,分析系统的反馈机制,主要工作有:①分析系统总体的与局部的反馈机制;②划分系统的层次与模块;③分析系统的变量与变量间关系,定义变量(包括常数),确定变量的种类及主要变量;④确定回路及回路间的反馈耦合关系;⑤初步确定系统的主回路及它们的性质;⑥分析主回路随时间转移的可能性。

## (3)建立数学规范模型

主要工作有:建立系统变量,即流位变量(level)、流率变量(rate)、辅助变量(auxiliary)、常量(const)之间的数学和逻辑关系,对变量进行参数估计和对初值、常量、表函数进行赋值。

## (4)模型模拟与政策分析

以系统动力学的理论为指导,进行模拟与政策分析,更深入地剖析系统,主要工作有:①寻找解决问题的决策,并尽可能付诸实施,取得仿真实验结果,获取更丰富的信息,发现新的矛盾与问题;②修改模型,包括结构与参数的修改。

## (5)模型的检验与评估

# 2 基于系统动力学的武器装备全寿命费用控制分析模型

## 2.1 全寿命费用控制分析的目标<sup>[5,6]</sup>

武器装备全寿命费用控制分析的目标主要有:

- (1)对一类武器系统结构优化过程的动态行为进行仿真实验,研究政策和策略的控制或作用效果;
- (2)描述在不同的发展战略与策略影响下,未来一段时期科研投入、武器装备补充和淘汰以及对装备体系作战能力影响的情况分析;

(3)以提高武器装备结构优化程度或水平为目标,分析不同的控制策略对整体优化的影响,寻求比较合理的政策方案。

## 2.2 因果关系分析<sup>[5-7]</sup>

以一类武器系统为例,其因果关系分析如图1所示。

图1是一个多重反馈回路,它建立的机制表征装备体系的作战能力在科研费用、采购费用、维修经费的共同作用下不断趋于期望目的值,差距逐渐逼近于零的过程,根据因果关系图中的收敛回路可以画出装备体系作战能力优化流程图。

## 2.3 装备体系优化的流程

流程图采用专门设计的符号,描述各种变量和因果关系反馈回路,可以简明地表示对象系统各要素之间的因果关系和系统结构,如图2所示。

3个流位变量和7个辅助变量如图2中方形和圆形标注;4个流率变量 $R_1, R_2, R_3, R_4$ 分别表示年规划科研项目完成率、采购速率、补充速率、淘汰速率。常量参数含义: $K_1$ 表示科研费用因子对年规划项目完成率的影响; $K_2$ 表示科研提高率对科研水平的影响因子; $K_3, K_4$ 分别表示科研水平对装备性能、装备研制生产周期的影响因子; $K_5$ 表示装备性能对装备作战能力的影响因子; $K_6$ 表示装备的实有数量对装备作战能力的影响因子; $K_7, K_8, K_9$ 分别表示差距对科研费用投入、采购费用投入、维修费用投入的影响因子; $K_{10}$ 表示维修费用对淘汰速率的影响因子; $K_{11}$ 表示装备研制生产周期对采购速率的影响因子; $ZJYQ$ 表示装备的战术技术性能指标要求对完成率的影响因子; $RYYZ$ 表示科研人员对年规划完成

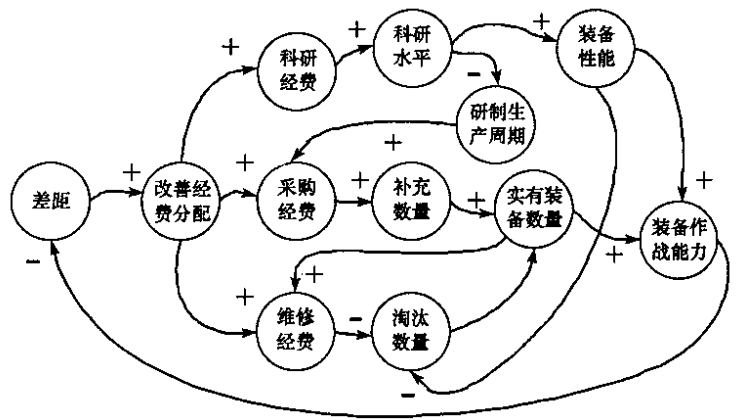


图1 一类武器装备作战能力优化控制的因果关系分析图

Fig.1 Causal analysis diagram for fighting efficiency optimizing control of one kind of weapons

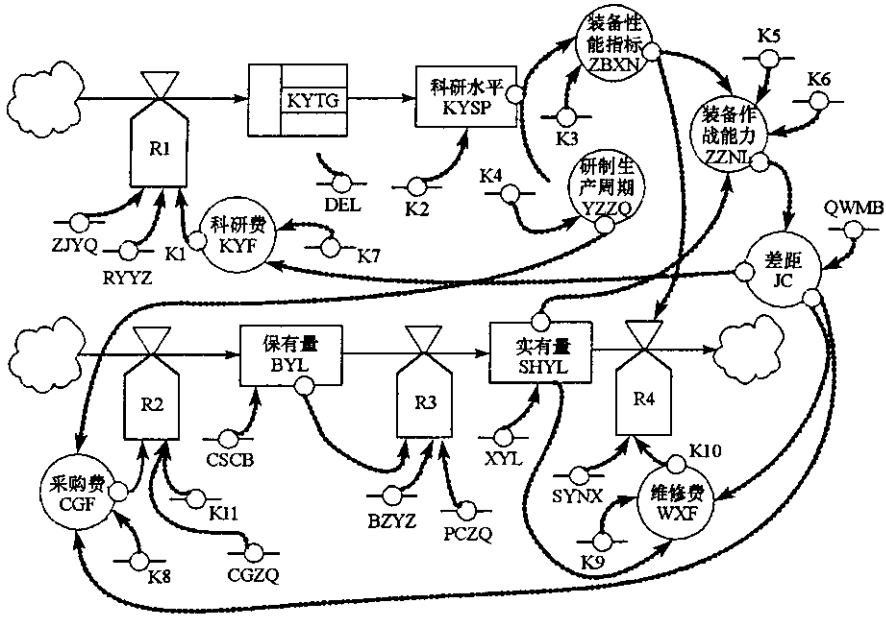


图 2 装备体系作战能力优化流程图

Fig.2 Flow chart for fighting efficiency optimizing of weapon system

率的影响因子,包括科研人员的素质、人员数量等;DEL表示延迟时间,从提高完成项目率到提高科研水平之间的延迟时间;QWMB表示期望达到的作战能力目标值;CSCB表示初始储备,装备形成规模的初始量;BZYZ表示综合保障因子,如使用培训、管理科学化等对补充速率的影响因子;CGZQ表示采购周期,即采购装备所需要的时间周期;PCZQ表示装备补充周期,从装备储备到装备统配,形成战斗力的时间;XYL表示装备的现役量,即编配数量;SYNX表示装备设计的使用年限;R1JB、R2JB、R4JB分别表示不存在差距的情况下基本完成率、基本采购速率、基本淘汰率;KYFJB、CGFJB、WXFJB分别表示不存在差距的情况下基本的科研费、基本采购费、基本维修费。

### 2.4 基于 DYNAMO 的数学模型<sup>[7-9]</sup>

流程图虽然能描述系统要素的因果关系和系统结构,但不能显示系统变量之间的定量关系,不能完全定量描述系统的动态行为,因此还要用结构方程式予以进一步描述。结构方程式是用专门的 DYNAMO 语言建立的方程。在 DYNAMO 中,凡是变量都带有时间下标:K、J 或 KL、JK,K 表示现在时刻,J 表示过去时刻,KL 表示从现在到未来这一小段时间,JK 表示从过去到现在的这一小段时间;另外在 DYNAMO 中,方程的最前面都有标志符号来说明该方程的性质,L 表示流位变量方程,R 表示流率方程,A 表示辅助方程,N 表示为流位变量赋初始值的方程,C 表示给常量赋值的方程,DELINF3 表示 3 阶信息延迟方程。

建立规范的数学模型如下:

- L KYSP.K = KYSP.J + DT \* ( KYTG.JK \* K2 )
- A KYTG.KL = DLINF( R1.K ,DEL )
- R R1.KL = R1JB + CJ \* KYF.K \* K1 \* RYYZ/ZJYQ
- A CJ.K = QWMB - ZZNL.K
- A ZZNL.K = ZBXN.K \* K5 \* SHYL.K \* K6
- A ZBXN.K = KYSP.K \* K3
- A KYF.K = KYFJB + CJ.K \* K7
- L BYL.K = BYL.J + DT \* ( R3.JK - R2.JK )
- N BYL.K = CSCB

$$R \quad R3.KL = BYL.K * BZYZ/PCZQ$$

$$R \quad R2.KL = R2JB + CGF.K * K11/CGZQ$$

$$A \quad CGF.K = CGJB + CJ.K * K8/YZZQ.K$$

$$A \quad YZZQ.K = KYSP.K * K4$$

$$L \quad SHYL.K = SHYL.J + DT * (R4.JK - R3.JK)$$

$$N \quad SHYL = XYL$$

$$R \quad R4.KL = R4JB + WXF.K * K10/(SYNX * ZBXN)$$

$$A \quad WXF.K = WXFJB + CJ.K * K9 * SHYL.K$$

## 2.5 模型的几点说明

(1)设置系数  $K1 \sim K11$  有两个原因:一是为了统一量纲,使两个不同领域内的量变成可以进行运算的相同量纲的量;二是为了协调数值的范围,使所使用的数值都在一个可以接受的范围内进行运算;

(2)常数项的确定,应该根据实际数据统计得出,否则影响计算结果及精确度;

(3)估计参数是个难点,可以利用其它的统计方法或者数值相关分析得出;

(4)该模型是三阶系统动力学模型,可能存在系统振荡问题,根据具体数值进行仿真实验时,要进行相应的调整或修改;

(5)进行系统设计时,可以用系数值作为控制变量,可以计算出用多长时间实现目标值,实现目标值需要投入多少费用总量,科研费、采购费、维修费等总量分别为多少和比例问题。

## 3 武器装备全寿命费用宏观控制仿真实验分析

基于 Windows 2000 操作系统和美国防务系统管理学院开发的费用分析策略评估(CASA: cost analysis strategy assessment)模型软件,利用 Visual Basic 6.0 对基于系统动力学的武器装备全寿命费用控制仿真实验平台进行了开发。

CASA 是一种基于全寿命费用的管理决策辅助工具<sup>[10]</sup>。CASA 以武器装备基本单元全寿命周期费用的预测控制为基础,同时还可以对结构单元和总量单元进行全寿命周期费用的预测、控制及灵敏度分析。研究和应用 CASA 软件总体设计思想,对研制适合我军武器装备特点的费用预测与控制分析软件系统具有建设性的意义。

通过该平台,可以对影响武器装备全寿命费用宏观控制的各种因素进行仿真实验,得到对武器装备建设与发展有价值的仿真结论(由于篇幅和保密的原因,本文对仿真实验所涉及的数据不再列出)。以下是部分仿真实验的结果。

图 3 显示了现有装备体系作战能力与期望目标值之间差距变化的过程,从仿真实验开始的 1000 逐渐变化到 0。然而,如果调整装备研制生产周期对采购速率的影响因子,增加因子的影响程度,就可以加快差距的变化,可以由原来的 23 年时间缩短到 20 年时间达到期望值。

图 4 中整个采购速率呈抛物线形状变化,从开始时的缓慢增长,逐渐到达最高点,随之又缓慢减小,整个系统处于平衡状态。在研制生产周期较长的情况下,如最下端一条曲线所示,采购速率变化十分平稳,是因为装备研制生产周期长,可供采购的装备相对较少,即使投入较多的采购费用,也不能得到较多装备,所以采购速率变化不快。随着装备研制生产周期的缩短,采购速率变化越来越快,如上端曲线所示。

## 4 结束语

本文结合武器装备全寿命周期费用宏观控制的特点,建立了系统动力学模型,并在 CASA 软件的基础上进行了仿真实验平台开发。通过仿真实验分析,可以得到许多对武器装备建设与发展有价值的实验结论。该仿真实验平台不仅可以用于武器装备全寿命费用的宏观控制,还可以作为制定武器装备建设规划计划的辅助决策工具,并提供相关的政策分析,因此具有较好的推广应用价值。

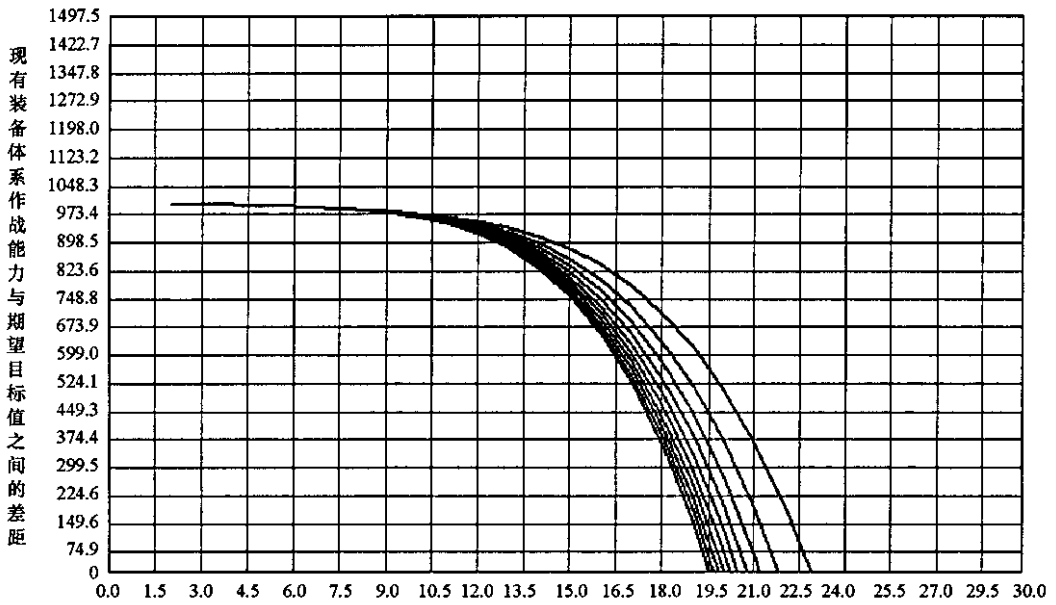


图3 K11变化引起JC的变化图

Fig.3 JC's changing diagram by K11's change

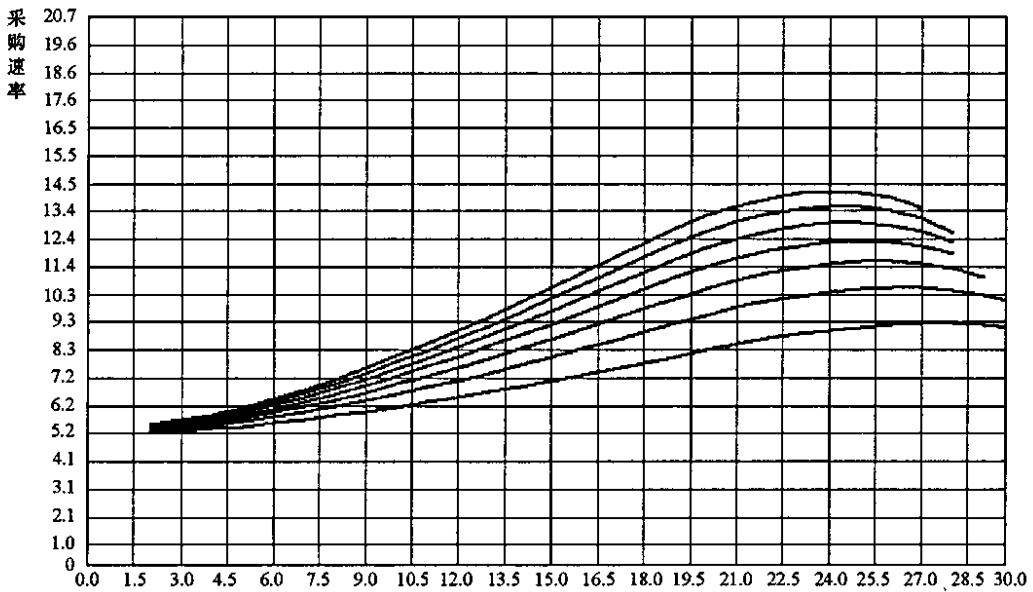


图4 K11变化引起R2的变化图

Fig.4 R2's changing diagram by K11's change

## 参考文献:

- [1] 李明, 刘澎, 等. 武器装备系统论证方法与应用[M]. 北京: 国防工业出版社, 2000.
- [2] 徐培德, 谭东风. 武器系统分析[M]. 长沙: 国防科技大学出版社, 2001.
- [3] 汪应洛. 系统工程理论、方法与应用[M]. 北京: 高等教育出版社, 1997.
- [4] 王可定. 计算机模拟及其应用[M]. 长沙: 国防科技大学出版社, 1997.
- [5] Gopal N. System Modelling and Analysis[M]. Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited, 1982.
- [6] 张金水. 经济控制论—动态经济系统分析方法与应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 1999.
- [7] 余汉评, 等. 装备实用技术经济分析[M]. 北京: 兵器工业出版社, 2000.
- [8] 朱松山, 唐大德, 等. 武器装备经济基本理论[M]. 北京: 国防工业出版社, 2002.
- [9] 任少龙, 等. 武器装备全寿命费用分析及管理措施研究[J]. 火力与指挥控制, 2002, 27(3).
- [10] Giordano N. Engineering, Logistics, and Field Support Center Cost Analysis Strategy Assessment (CASA) Training Practical Exercise[R]. U.S. Army Materiel Command, 2003.

