

基于多层状态空间的后勤保障评价结构

孙延东^{1,2}, 田建锋¹

(1. 空军工程大学 导弹学院, 陕西 三原 713800; 2. 空军后勤部, 北京 100035)

摘要:针对后勤保障的特点,提出多层状态空间的评价方法。建立了反馈网络式定量关系模型,有效解决此类方案的结构化建模与选优问题。通过系统仿真,证明此方法是合理有效的。

关键词:后勤保障;多层状态空间;系统动力学

中图分类号: O22 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-3516(2007)04-0088-04

根据大系统控制理论,系统存在不同状态阶段,不同状态阶段之间又存在联系,这就构成了不同层次、不同级别的状态空间。后勤保障系统是保障要素经过综合和优化的整体,是一个复杂的多层次系统。本文基于多层状态空间理论,对后勤保障的要素及其层次结构进行分析和建模,以探索军事系统优化的另一途径,为解决类似军事系统评价及建模提供一种新的思路。

1 后勤保障的多层状态空间结构

根据后勤保障的整体性与层次性,应用系统动力学理论,将结构分成体系、系统、子系统等层次,后勤保障构成要素从相互分离、弱关联性、延迟性、树式结构趋向于层次网络化结构。对其评价结构的研究,是非结构化向结构化转换,或定性分析向定量分析转换的过程,是系统理论^[1-4]在军事上的创新过程。后勤保障系统从本质上说是体系内部相互作用,内部与外部相互作用的网络系统,即 $[C, C_{ij}]$ 系统。 C 是子系统及其基本要素, C_{ij} 是指子系统或要素间的相互影响、相互作用, C_{ij} 可以物质的、能量的、信息的。 C_{ij} 从质到量都是 i, j, t 的函数,即特定的时间、特定的主客体,就有特定的 C_{ij} ,且 $C_{ij} \propto (i, j, t)$ 的分布形式是复杂多样的,具有复杂高阶非线性特征。通过信息流和物流的反馈结构形成网络式结构,归纳为如下两步:

第一步 把系统 S 划分成若干个(P 个)相互关联的子系统 S_i ,即

$$S = \{S_i \in S | 1 \leq i \leq p\} \quad (1)$$

式中: S 为代表整个系统; S_i 为代表子系统, $i = 1, 2, \dots, p$,各子系统之间的相互关系可以通过关系矩阵反映出来。

第二步 对子系统的描述。子系统由基本单元、反馈环路组成,包含3种基本变量:状态变量(L)、速率变量(R ,或决策变量)和辅助变量(A)。这3种变量分别由状态方程、速率方程和辅助方程表示。它们与其他一些变量方程、函数和常数描述系统的复杂动态关系。根据系统动力学模型变量与方程的特点,定义变量并给出数学描述:

$$\dot{L} = PR; \quad \begin{bmatrix} R \\ A \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} W_1 \\ W_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} L \\ A \end{bmatrix} = W \begin{bmatrix} L \\ A \end{bmatrix} \quad (2)$$

式中: L 为状态变量矢量; R 为速率变量矢量; A 为辅助变量矢量; \dot{L} 为纯速率变量矢量; P 为转移矩阵; W 为关系矩阵。

P 阵的作用在于把时刻 T 的速率变量转移到下一个时刻 $T+1$ 上去。通常纯速率 \dot{L} 仅为各速率 R 的线

收稿日期:2006-10-17

基金项目:军队科研基金资助项目

作者简介:孙延东(1963-),男,山东济南人,博士生,主要从事军事装备管理研究。

性组合,一般 P 阵是一个常值阵。 W 阵反映了变量 R 与 L 之间,以及 A 本身在同一时刻上的各种非线性关系。

按照结构要素的联系方式,把后勤保障系统划分为多级层次的结构。系统模型是由低级层次往高级层次逐渐展开而建立,不同等级层次之间,既存在联系,又有属性的差异。

图1中, L 为状态变量, R 为速率变量, A 为辅助变量, C 为常数, M 为物质链, I 为信息链,Loop 为反馈回路,Out Var 为外生变量。

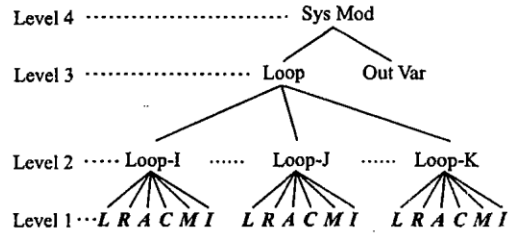


图1 多层结构关系图

2 多层状态结构的3种形式

多层状态结构存在3种形式,即链式结构、并联结构和网络结构,如图2所示。系统中状态(L)的改变、速率(R)形成都是系统状态变化的机制。机制的正常作用靠两种系统流来维系,即物流和信息流,决策结构形式根据具体物流和信息流的连通置定。

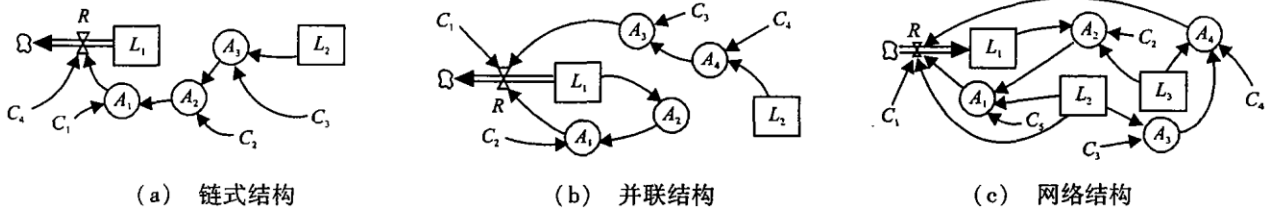


图2 多层状态结构的3种形式

系统反馈结构的复杂程度,取决于后勤保障系统状态变量设置的多少,也取决于系统本身的反馈结构形式,链式、并式和网式结构构成递次复杂形式。

3 因果链和反馈环

后勤保障系统的多层状态空间结构是高阶系统,高阶系统的行为表现为复杂关系。一个高阶系统可以分解成若干低阶子系统,模型的低阶子系统主要是一阶正反馈系统,一阶负反馈系统和二阶负反馈系统,如图3、图4所示。

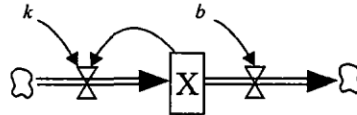


图3 一阶正反馈系统

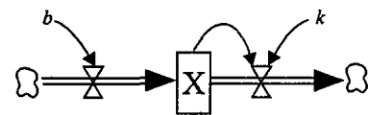


图4 一阶负反馈系统

3.1 一阶正反馈系统

一阶正反馈系统的行为是单调地指数式地趋于无穷,指数增长的时间形式,其一阶增长模型由下面的方程给出:

$$\dot{x} = kx - b, k > 0 \tag{3}$$

其解为

$$x(t) = [x(0) - b/k]e^{kt} + b/k \tag{4}$$

当 $b < 0$ 时,由于 $x(0) \geq 0$,系统行为呈指数增长;当 $b = 0$ 时,方程变为 $\dot{x} = kx$;当 $b > 0$ 时,系统行为呈3种模式:① $x(0) > b/k$,指数增长行为;② $x(0) = b/k$,恒值行为;③ $x(0) < b/k$,指数崩溃行为。

3.2 一阶负反馈系统

一阶负反馈系统的行为特征是寻的,其微分方程为

$$\dot{x} = -kx + b, k > 0 \tag{5}$$

其解为

$$x(t) = [x(0) - b/k]e^{-kt} + b/k \tag{6}$$

当 $b < 0$ 或 $b = 0$ 时,系统呈指数衰减模式,当 $b > 0$ 时,系统行为呈3种模式:① $x(0) > b/k$,渐近衰减行

为; ② $x(0) = b/k$, 恒值行为; ③ $x(0) < b/k$, 渐近增长行为。

3.3 二阶及高阶反馈系统

后勤保障系统是由多个反馈环路相互耦合而成的复杂系统, 通过各个反馈环路相互作用、相互制约而产生整体效应。其行为特征取决于反馈环的极性, 即正反馈环的行为表现为指数增长或指数崩溃, 负反馈环表现为寻的, 只是其行为方式更为复杂。多层系统结构具有高阶性和复杂性, 借助因果关系图, 构建由若干正、负反馈环路连接而成的复杂系统。

4 多层状态空间定量关系

设状态变量集合为: $L = [l_1, l_2, \dots, l_n]^T$, 速率变量为: $R = [r_1, r_2, \dots, r_m]^T$, 则有:

$$\frac{dL}{dt} = R \text{ 或 } L_t = L_0 + \int_{t_0}^t R dt \quad (7)$$

由于 R 是状态 L 控制量 U 以及参数 P 的非线性函数, 因此式(7)通常不可能有解析解。为此采用数值解法, 即假定 L 在 $[t + \Delta t]$ 内不变, 用数值积分原理, 将式(7)写成:

$$X(t + \Delta t) = X(t) + \Delta t R \quad (8)$$

Δt 用 DT 表示, $L(t + \Delta t)$, $L(t)$ 分别为现在时刻、前一时刻状态值, 即 Level(now) 和 Level(past), R 为流入 R_{in} 流出 R_{out} 的净速率, 有

$$\text{Level}(\text{now}) = \text{Level}(\text{past}) + D_t(R_{in} - R_{out}) \quad (9)$$

或表示成

$$\text{Level} = \text{integ}(R_{in}, R_{out}, \text{Initial Level}) \quad (10)$$

R 变量是多种因子共同作用的结果, 这些因子可以是状态变量、中间变量、常量等, 设多种因子为 k_1, k_2, \dots, k_n , 则 R 与 k_1, k_2, \dots, k_n 之间存在多种复杂关系, 根据后勤保障系统具体情况设定:

$$\text{“相加”关系: } R = k_1 + k_2 + \dots + k_n \quad (11) \quad \text{“相乘”关系: } R = k_1 * k_2 * \dots * k_n \quad (12)$$

$$\text{“函数”关系: } R = F(k_h, k_i, k_j) \quad (13) \quad \text{“加权”关系: } R = W_1 k_1 + W_2 k_2 + \dots + W_n k_n \quad (14)$$

$$\text{“均值”关系: } R = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n W_i k_i \quad (15) \quad \text{“泛函”关系: } R = J[f_h(k_h), f_i(k_i), \dots, f_j(k_j)] \quad (16)$$

5 多层状态空间评价结构建模

分几步进行: ①划定后勤保障系统的边界。选择适当状态变量, 确定内生变量、外生变量和输入量。建立评价的多指标体系, 次级指标可选择如装备输送率、装备修复率、保障半径、保障单位数、信息分发率及准确率等。②分析系统的因果关系。根据内部诸要素之间的相互关系, 确立因果关系图, 隔离和分析反馈环路。包括主层次、次层次及相互之间的关系。③建立模型。在定性分析基础上辅以定量分析, 以结构方程式确定各反馈环中 L 变量、 R 变量以及 R 方程、 A 方程等。仿真环境采用 Vensim^[5] (Ventana Simulation Environment)。④仿真试验。利用原始数据及归一化相关数据进行多方案仿真实验, 绘制结果曲线图。⑤系统修正。内容包括: 修改模型的结构、参数; 调整运行策略; 重新确定系统边界; 使模型构造充实与简化。⑥对策分析。包括反馈主环路转移分析, 作战想定分析, 初始数据设定, 仿真结果分析, 参数灵敏度分析, 决策点及其相应对策分析等, 具体模型及仿真参见文献[7]。

6 结束语

本文提出的后勤保障多层状态空间评价结构较好地解决了后勤系统评价及优化问题, 其特点是将后勤保障系统通过层次化网络化建模, 以物流、信息流方式融入到作战体系中。曾经进行过 Vensim 模型仿真试验, 证实此方法合理有效, 具有较好的理论价值和应用价值。

参考文献:

- [1] 涂序彦. 大系统控制论[M]. 北京:国防工业出版社,1994.
- [2] 王其藩. 高级系统动力学[M]. 北京:清华大学出版社,1996.
- [3] Forrester J W. 系统原理[M],王洪斌. 北京:清华大学出版社,1986.
- [4] 苏懋康. 系统动力学原理及应用[M]. 上海:上海交通大学出版社,1988.
- [5] 复旦大学. Vensim User Guide[M]. 上海:复旦大学 SD 研究室,2000.
- [6] 黄建新,娄寿春,张志峰. 基于数据法的装备维修保障系统效能评估模型[J]. 空军工程大学学报:自然科学版,2006,7(1):39-41.
- [7] 田建锋. 防空体系优化研究[D]. 三原,空军工程大学导弹学院,2002.
- [8] 杨建军. 油料调运过程的数学建模[J]. 空军工程大学学报:自然科学版,2005,6(5):91-94.
- [9] 杨 懿,武 昌,齐胜利. 基于突变理论的维修保障系统效能评估研究[J]. 空军工程大学学报:自然科学版,2005,6(5):27-31.

(编辑:田新华)

Evaluation Framework of Logistics Supply Based on Multi-layer State Space

SUN Yan-dong^{1,2}, TIAN Jian-feng¹

(1. Air Force Logistics Department of Beijing Military region, Beijing 100035, China; 2. The Missile Institute, Air Force Engineering University, Sanyuan 713800, Shaanxi, China)

Abstract: Considering the characteristic of logistics supply, this paper proposes a new evaluation method based on the idea of multi-layer state space, and establishes a feedback network mathematical model. In this way, the problems of integrate modeling and system optimizing can be solved effectively. Practice proves that the method is reasonable and effective.

Key words: logistics supply; multi-layer state space; system dynamics

(上接第83页)

Optimization Research on Air-ground Cooperative Engagement Pattern

LIU Yi; LI Ling-peng, LI Wei-min, LEI Zhong-yaun

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

Abstract: Based on the analysis of the cooperative engagement of SAM troops and air arm, the selection and optimization method of air-ground cooperative engagement is put forward. Firstly, the overall combat efficiency under different cooperative engagements is calculated and the best pattern is selected. Secondly, the adjusting plan is given according to the strength ratio between enemy and ourselves, and simultaneously the relevant mathematic models are given. This method is proved to be effective by a certain example. The method can provide reference for the decision-making of air-ground cooperative engagement.

Key words: cooperative engagement; pattern; optimization; mathematical model