

系统动力学在防空系统中的应用研究

申卯兴, 刘 铭, 闻宏伟
(空军工程大学 导弹学院, 陕西 三原 713800)

摘 要:基于对系统动力学的深入分析和认识,结合防空系统的特征探讨了该学科在军事防空系统应用的基础与可能性,并进行了一些基本的研究,指出了若干应用领域,为防空系统工程研究指出了一条具有良好前景的研究途径。

关键词:防空系统;非线性性;计算机仿真;系统动力学

中图分类号:E816;N94 **文献标识码:**A **文章编号:**1009-3516(2003)03-0040-04

被称之为“战略实验室”,“管理系统实验室”,“社会经济系统实验室”^[1-2]的系统动力学(System Dynamics)自从20世纪70年代产生以来在工业、农业、经济、城建规划、人类环境等“本征性系统”中得到了成功的应用。系统动力学是面对复杂的社会发展,以高度概括抽象地建立变量,通过分析各个变量间的因果反馈关系,通过计算机模拟,对社会发展趋势进行有效的分析研究和预测,并对一些疑难现象进行揭示的一门非线性科学,它是研究复杂系统的有力工具。由于其诞生在社会经济领域的背景等原因,以前少用于军事领域。然而,以其学科的理论基础及其思想方法的本质及军事系统的特性来看,它应能在军事系统得到广泛的应用。近年来,已有不少专家学者进行了有意义的探讨和研究^[3-6,10],并提出了一些有意义的思考,显示了良好的效果。在高技术条件下的防空体系的研究中,在空袭与防空的作战研究中,特别是在防空战略学的相关研究中^[4],系统动力学一定也是一个强有力的研究工具,并能形成一个有特色的研究范畴。

1 防空系统中的非线性性

现代高技术条件下的空袭与反空袭的作战已经成为系统与系统的对抗,使得作战成为一种交互式系统的演化过程,海、陆、空、天、电的多维化及现代作战模式的变革,已经使得现代战争具有许多新的特征,使战争成为复杂系统之间的综合实力的较量,影响和决定战争的行为变量也就随之越来越呈现出强烈的非线性性。具体地讲,无论是在防空战略层、战役层还是战术层,无论从战争的全局还是局部都客观地存在着各种复杂的相互影响的关系,而这些关系很难看成是一些简单的容易认识的关系,而常呈现出一些非线性性、非结构性、因果性和多重反馈性,战争中的人流、物流、能量流、信息流等等,有的可以量化,有的很难量化。在防空系统的建设中,同样面临着非常多的非线性问题。正是这些特征给军事运筹学研究提出了不少新的研究课题或新的难题。然而,这些现象恰恰是系统动力学所研究对象的特征。系统动力学的思想理论与方法为军事运筹与系统工程学研究提供了一种良好的途径。

2 系统动力学研究方法

系统动力学以反馈理论、控制理论、非线性系统理论、大系统理论、信息论、系统学等为其基础理论,以系统结构、自动控制、信息传递等为认识问题的出发点,坚持结构方法、功能方法、历史方法统一的思想方法论,坚持定性与定量相结合的原则,来分析研究解决多维、非线性、高阶次、多重反馈、复杂、时变系统问题,甚或有周期性、可产生混沌分形的问题(周期3产生混沌)。它是凭借计算机工具解某种复杂系统问题的方法

收稿日期:2002-07-20

基金项目:国家高等学校骨干教师计划资助项目(GG-1105-90039-1004)

作者简介:申卯兴(1961-),男,陕西合阳人,教授,主要从事防空作战决策分析及其理论与方法研究。

学,与之配套使用的是专用计算机语言 DYNAMO。

利用系统动力学研究复杂系统的基本思想是:首先确定研究对象,明确所研究系统的构成要素并区分系统边界;接着根据系统结构及其特征确定系统的变量(通常有四类:状态变量——具有累积效应的可以独立表征系统的某一要素的状态变量;速率变量——决定状态变量变化规律即对状态变量变化起调节作用的变量;辅助变量——状态变量与速率变量之外的其它变量;参数——直接影响系统行为的各种参数和常数);然后建立系统动力学模型(通常有:系统参数表,系统因果关系图,DYNAMO 系统流图,DYNAMO 方程,有时还包括参数的数学模型等);再通过计算机仿真运行并视情况修改系统模型,直到满意;最后分析仿真结果,得到相关结论。系统动力学通过模型进行计算机仿真的结果都可以用预测一定时期内各种变量随时间变化的曲线(响应曲线)来表示或以数据表格形式表示。利用系统动力学研究问题的基本步骤通常为:①明确系统目标与问题;②因果关系分析(反馈环行为分析);③建立 SD 模型,包括关系流图、DYNAMO 方程;④进行计算机仿真;⑤作结果分析;⑥模型的修正或验证;⑦编写相关报告作出相关的政策建议。在整个研究解决问题的过程中,坚持一个观点:决定系统的发展演化的是内部结构及其反馈机制与内外动力及其制约因素的一定作用的有机体存在的必然结果。

在建立 SD 模型时,构成复杂逻辑过程的最基本的构件是事物发展的一阶正反馈、一阶负反馈、二阶负反馈等基本回路。如:社会人口数 P 变化的一阶正反馈关系的流图、反馈回路及响应曲线^[10-11]依次如图 1 的(a)、(b)、(c)所示。

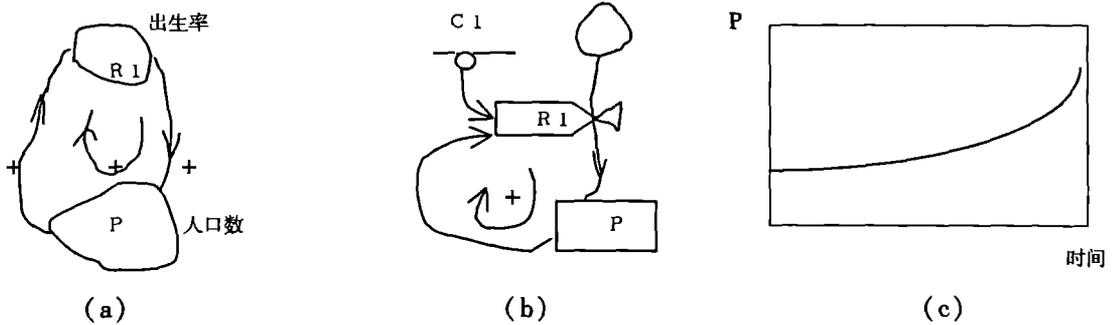


图1 人口变化的SD模型

上述一阶正反馈的仿真程序(DYNAMO 方程)如下:

$$L P. K = P. J + DT * (R1 - 0)$$

$$N P = 100$$

$$R R1. KL = P. K * C1$$

$$C C1 = 0.02$$

3 防空系统中 SD 研究的思考

3.1 防空作战战斗力的一阶动力学机制

在防空战争中,如果把总战斗力记作 I,作战中战斗力的战损率记为 R1,作战中的战斗力差记为 D,则可以建立如图 2 的反映防空作战中战斗力变化的一阶负反馈模型(从左到右依次为因果流图、SD 反馈回路、DYNAMO 仿真源程序)。这个刻画与 Lanchester 方程的描述是相通的。

$$L I. K = I. J + DT * (R1. JK - 0)$$

$$N I = X$$

$$C X = 1\ 000$$

$$R R1. KL = D. K / Z$$

$$A D. K = Y - I. K$$

$$C Y = 6\ 000$$

$$C Z = 5$$

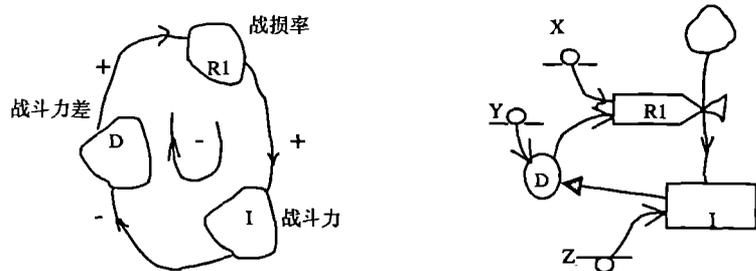


图2 防空作战战斗力的一阶SD模型

3.2 防空作战战斗力的二阶动力学机制

在防空作战中,对敌方投入的战斗力的变化分析可以用 SD 来研究,设我雷达对目标的发现率为 R1,敌进入战场的战斗力为 G,我导弹对目标的摧毁率为 R2,敌余存战斗力为 I,敌方期望(获胜)战斗力与剩余战斗力之差 D。那么,我们可以建立如图 3 所示的二阶负反馈的 SD 模型来研究敌方战斗力的变化规律。同样,也可以对我方有关实力的变化进行研究,或者更具有意义的是将空袭与防空的战场看作一个系统来研究,可以建立用于战场发展趋势分析的 SD 模型等。

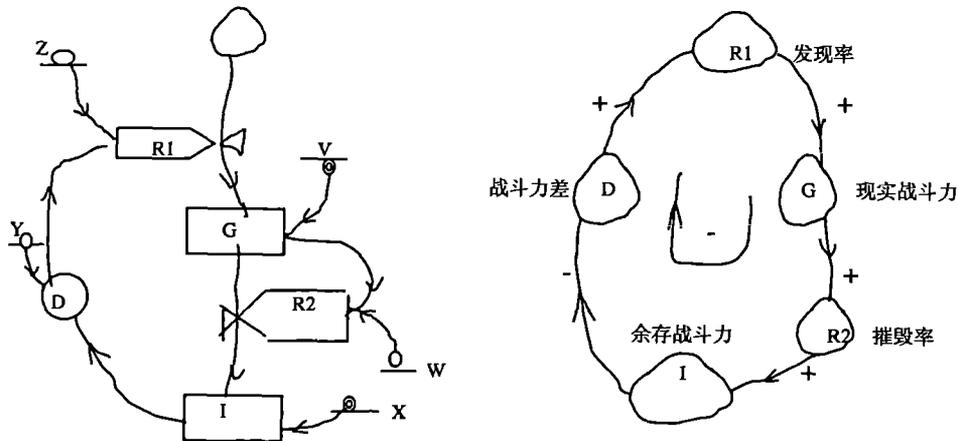


图 3 防空作战战斗力的二阶 SD 模型

图 3 所示的二阶负反馈回路的 DYNAMO 仿真源程序如下:

```

L G. K = G. J + DT * (R1. JK - R2. JK)      N G = V
C V = 1 000                                R R1. KL = E. K/Z
A D. K = Y - I. K                          C Z = 5
C Y = 6 000                                R R2. KL = G. K/W
C W = 10                                    L I. K = I. J + DT * (R2. JK - 0)
N I = X                                      C X = 1 000
    
```

3.3 防空战略作战的势差理论研究^[4]

简单地讲,所谓防空战略作战的势差理论,就是针对在防空战略势战律指导下的军事活动,无论是对于指挥防空战略作战还是对于进行防空战略体系建设,都应着眼于“势差”,利用系统控制原理,通过对势差的分析、优化、设计而获得理想的目标。通常,人们主要关心的是有效势与理想势所形成的势差 $\Delta U_{y,i} = U_y - U_i$ 以及敌我双方的有效势所形成的势差。然而,这些无不有赖于社会状况的状态,其决定因素之间存在着非常复杂的因果关系、反馈关系和非线性关系。从轮廓上简单地讲,文献[4]给出了战略势建设的思想:战略系统的状态决定系统的势,经过势的建设使系统得到扩充,得到新的系统的势,以新旧系统势的差作反馈信息对系统进行建设,直到系统的平稳发展或适应。这样,可以通过对势差 $\Delta U_{..}$ 的正负分析,利用系统控制原理进行势的分析研究,从而,制订或寻求方法来促进势的建设。利用 SD 的思想观念,我们可以用二阶负反馈回路来分析势的消涨。这只要在图 3 中以 G 表示现实势,以 R1 表示势的暴露率,以 R2 表示势的削减率,以 I 表示势的剩余量,以 D 表示势差 $\Delta U_{..}$,则可以得到研究战略势的建设的 SD 模型。

3.4 其他相关的思考点

实际上,在许多方面都可以考虑利用 SD 的思想、观点、方法,并在相关的防空军事理论的指导下,结合其他技术、方法进行有效的分析认识,以期收到新的突破点。如:在防空部队自身建设、战斗力的增长、作战指挥效能评估、备件的库存管理,后勤服务系统的相关管理、装备论证中有关性能的分析与发展预测的机理研究、军队院校管理、防空体系的建设、防空作战仿真、防空战略系统的思想建设、防空战役组织的结构体系研究、甚至防空作战的相关战术运用研究等,都可能是 SD 的用武之地,可能收到意想不到的效果。这些都有待于我们不断的探索和深入的研究。

4 结束语

系统动力学是建立在系统工程的理论基础上的,在一定程度上讲,是在一般系统论的思想方法基础上的,其技术思想是依据系统的整体性和层次性,采用由上到下、由粗到细的步骤来分解系统、来认识系统的。在高技术条件下的防空作战系统中,无论是战略战役还是战术中都存在着许多的这类性质的问题有待于我们去研究,系统动力学的应用,对于防空作战理论研究、对于防空运筹研究、对于防空系统工程研究都无疑是一个良好的技术途径。

参考文献:

- [1] 李后强. 非线性系统、人地协同论与系统辩证论[J]. 世界科技研究与发展,1996,10(5):27-30.
- [2] 李一智,林毅和. 系统动力学[M]. 株州:中南工业大学出版社,1987.
- [3] 申卯兴,系统动力学及其在军事领域的应用简介[R]. 西安:空军工程大学导弹学院,1999.
- [4] 申卯兴. 防空战略作战的势差理论[A]. 军事斗争准备与军事系统工程[C]. 北京:军事科学出版社,2001.
- [5] 王可定. 作战模拟理论与方法[M]. 长沙:国防科技大学出版社,1999.
- [6] 逯兆乾,刘树海. 炮兵战场态势量化及指挥效能评估的新途径[A]. 21世纪——军事运筹研究与创新[C]. 西安:西北工业大学出版社,2001.
- [7] Jay W Forrester,系统原理[M]. 王洪斌. 北京:清华大学出版社,1986.
- [8] 王其藩. 系统动力学[M]. 北京:清华大学出版社,1986.
- [9] 俞金康. 系统动力学原理及其应用[M]. 北京:国防工业出版社,1993.
- [10] 汪应洛. 系统工程理论方法与应用[M]. 北京:高等教育出版社,1992.
- [11] Forrester, Jay W. World Dynamics [M]. Cambridge, Mass. : Wright - Allen Press, Inc, 1971.
- [12] Forrester, Jay W. Collected Paper of Jay W Forrester [M]. Cambridge, Mass. : Wright - Allen Press, Inc. , 1975.
- [13] Qifan Wang, George P, Richardson, et al. THEORY AND APPLICATION OF SYSTEM DYNAMICS[M]. Beijing: New Times Press, 1987.

(编辑:田新华)

Researches on the Applications of System Dynamics in Air Defense System

SHEN Mao - xing, LIU Ming, WEN Hong - wei

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

Abstract: Some basic discussions and researches are introduced by System Dynamics (SD) based on the characteristics of modern air defense system and the delving of the essence of SD. These worthy explorations and researches demonstrate a wide and promising way to get an insight into the air defense system engineering. And some application fields are considered at the same time.

Key word: air defense system; nonlinearity; computer simulation; system dynamics