

弹道导弹防御系统反导作战的SD模型研究

申卯兴, 郭岗, 商长安, 陈杰生

(空军工程大学防空反导学院, 陕西西安, 710051)

摘要 弹道导弹防御系统作为反导作战的主要平台, 作战能力如何越来越被关注。利用系统动力学(SD)理论通过作战模拟的方法进行弹道导弹防御系统反导作战的研究是一种有效的途径。给出了反导作战效能评估的SD模型框架, 分析了反导作战中诸要素的影响关系, 建立了反导作战SD模型, 并进行了模型的仿真实验, 结果分析和建模案例表明了SD理论研究反导作战的可行性和有效性。

关键词 弹道导弹防御系统; 反导作战; 系统动力学; 模型; 效能评估

DOI 10.3969/j.issn.1009-3516.2013.03.008

中图分类号 TN81 **文献标志码** A **文章编号** 1009-3516(2013)03-0033-04

Study of System Dynamics Model of Anti-TBM Operation of Ballistic Missile Defense (BMD) System

SHEN Mao-xing, GUO Gang, SHANG Chang-an, CHEN Jie-sheng

(Air and Missile Defense College, Air Force Engineering University, Xi'an 710051, China)

Abstract: As the sole supporter of anti-TBM operation, the operational effectiveness of ballistic missile defense (BMD) system attracts more and more attention. The operation simulation by using the theory of System Dynamics (SD) is a feasible study method for the anti-TBM operational effectiveness of the ballistic missile defense (BMD) system. The SD model structure of the anti-TBM operational efficiency assessment is given, and the influence relations among the factors are analyzed. The SD model of the anti-TBM operation is built, the model simulation experiment is executed. And the simulation result is analyzed. The modeling example shows that SD for the anti-TBM operational study is feasible and effective.

Key words: ballistic missile defense (BMD) system; anti-TBM operational; system dynamics; model; efficiency assessment

反导作战是攻防系统武器装备的一种体系对抗。作战体系是一个由多个相互关联、相互制约, 并具备一定作战功能的子系统构成的有机整体, 力量交错, 信息流、火力流交织, 指控系统节点繁多等等, 它与战场环境、武器配置、作战方式以及人员编制等都有着重大关系, 形成一个复杂的大系统这样就

很难对其效能给出一个定量、合理的评价。利用建模与仿真的手段通过作战模拟对其进行深入系统的分析是一种行之有效的研究途径。系统动力学(System Dynamics, SD)作为一个新的重要的国防系统分析方法^[1-5], 是一种有效的作战模拟手段, 专门用于研究复杂大系统的动态特性。

收稿日期: 2012-11-05

基金项目: 航空科学基金资助项目(20120196003)

作者简介: 申卯兴(1961—), 男, 陕西合阳人, 教授, 博士生导师, 主要从事防空反导决策分析与战略势战研究。

E-mail: smxy@sina.com

1 反导作战效能评估的SD建模分析

1.1 信息化条件下的反导作战过程

弹道导弹起飞,穿过大气层后,预警卫星捕获导弹目标,并发出初步预警信息;通过跟踪其弹道,初步判定导弹的飞行方向和弹头落点及识别真假目标,并向可能受到攻击的地区及其防御系统发出预警信号;目标指示雷达调转天线方向捕获跟踪目标,精确测定真目标弹道并预测命中点和落点;制导雷达收到信息后,捕获并跟踪目标,计算射击诸元,发射并引导导弹拦截目标,进行射击效果评估。

1.2 反导作战效能评估的SD模型框架

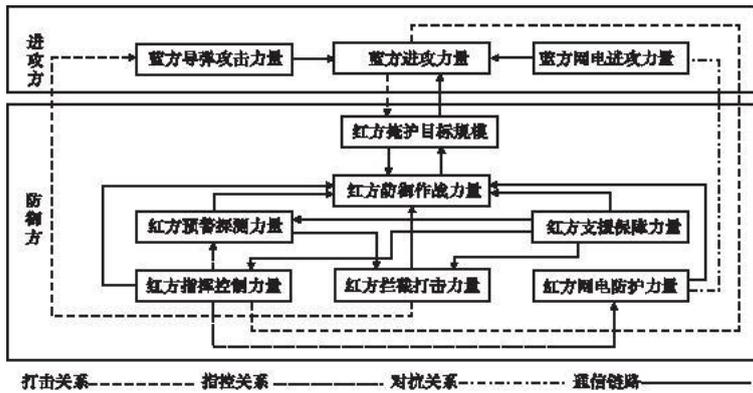


图1 反导作战攻防对抗的结构关系图

Fig.1 Framework of the anti-TBM confront system

1.3 反导作战效能评估的SD建模分析

本文SD模型的建模目的^[10]在于通过建模与仿真深入探究网电攻击下弹道导弹防御系统反导作战的特征与规律。为此,图2中蓝方攻击作战能力→红方拦截打击能力→红方防御作战能力→红方防御目标数→蓝方攻击作战能力和蓝方攻击作战能力→红方网电防护能力→蓝方网电进攻能力→蓝方攻击作战能力2条回路是本文要研究的主要回路。

在结构关系分析的基础上,进行模型的因果关系分析,可得图2的弹道导弹防御系统反导作战的因果回路图。该回路图刻画的是弹道导弹防御系统正在进行的反导作战,其中所涉及的能力指数均是作战力量在交战中的实时反映。变量间的关系由图中所示的因果链来表示,因果链的极性由箭头上的+或-表示:+表明箭头指向的变量随箭头源发的变量的增加而增加,或减少而减少;“-”表明变量间的关系与此成反比关系。

运用系统动力学理论研究问题必须首先对研究的问题进行系统分析^[6-7],而后划定模型的界限。对弹道导弹防御系统反导作战进行研究,应从进攻方与防御方军事对抗的角度进行考虑。弹道导弹防御系统包含4大系统:预警探测系统、指挥控制系统、拦截打击系统、支援保障系统,因此对应4种能力:预警探测能力、指挥控制能力、拦截打击能力、支援保障能力。由于网电空间对抗的兴起,网电空间^[8-9]已经成为与陆、海、空、天同等重要的作战空间,反映在信息化战场对抗的各个环节之中,所以,在现代反导防御作战中必须考虑攻防对抗中的信息对抗,包含蓝方的网电进攻能力和红方的网电防护能力。具体的作用关系见图1。

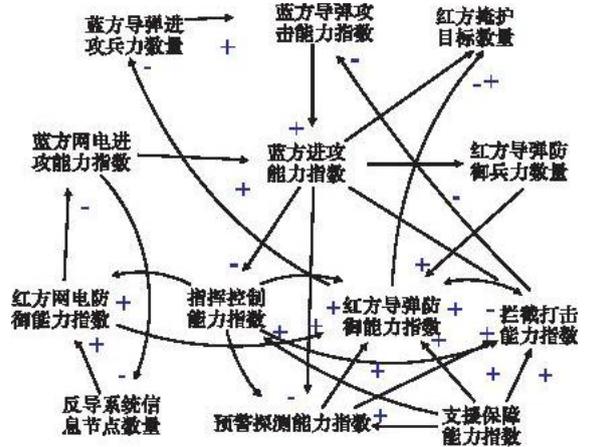


图2 弹道导弹防御系统反导作战的因果回路图

Fig.2 Causality diagram of the anti-TBM defense system

1.4 反导作战效能评估的SD模型

根据以上分析,在Vensim仿真环境下^[12],建立反导作战效能评估的SD模型,见图3。

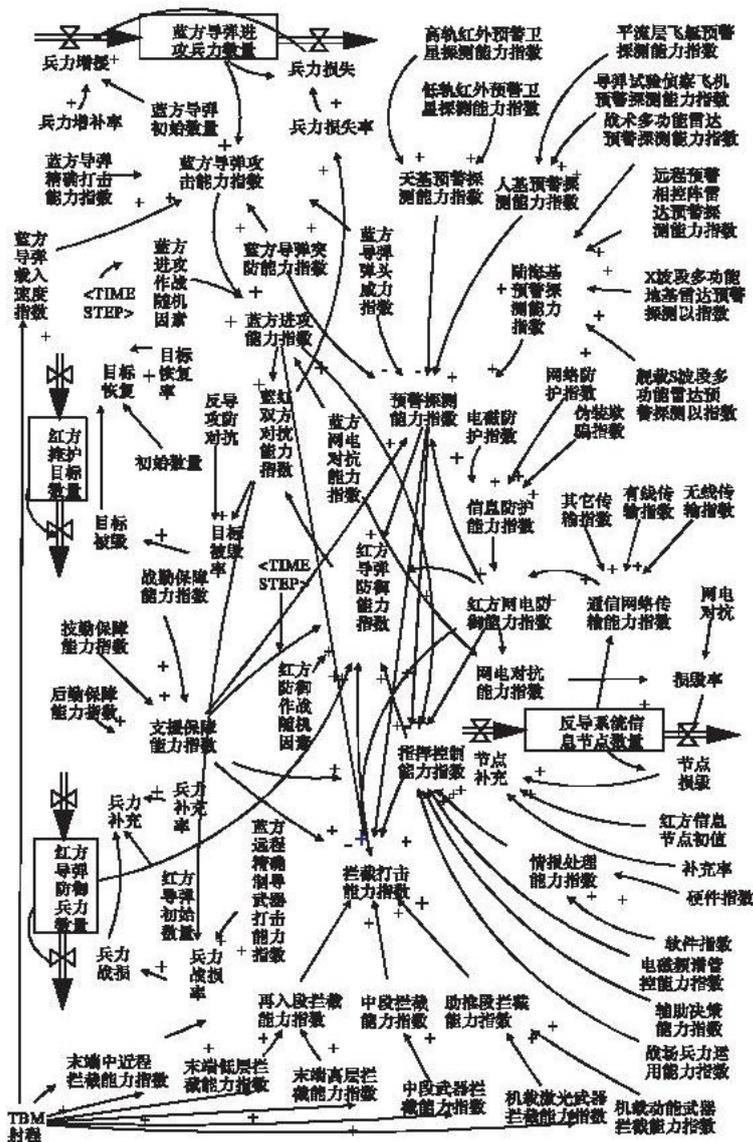


图 3 弹道导弹防御系统反导作战的因果回路图

Fig. 3 Causality diagram of the anti-TBM defense system

考虑到模型的应用目的,对一些次要因素加以适当简化。模型中共有各类变量 66 个,其中状态变量 4 个,速率变量 8 个,其它为辅助变量或常量,并含有 2 个表函数。模型以回路分析的结果为基础,设定多重反馈回路。模型中各项能力指数均作归一化处理。模型采用全透明方式,具备一定的可扩展性,变量采用汉化变量名,增强了模型的易读性,可以较为清晰地反映出变量间的相互关系。主要变量的数学模型如下:

红方掩护目标数量 = INTEG (目标恢复 - 目标被毁, 初始数量);

蓝方导弹进攻兵力数量 = INTEG (兵力增援 - 兵力损失, 蓝方导弹初始数量);

红方导弹防御兵力数量 = INTEG (兵力补充 - 兵力战损, 红方导弹初始数量);

反导系统信息节点数量 = INTEG (节点补充 -

节点损毁, 红方信息节点初值)。

运算符 INTEG 为积分运算符, 对各 L 变量产生直接影响的是其对应的速率 R 变量, 如目标恢复、目标被毁等等。鉴于 SD 模型中, 对模型动态行为起主要作用的是 L 变量, 这里重点描述了水平变量 (L 变量), 其它变量 (如 R 变量和辅助变量等) 的运算由于篇幅的原因, 在此不再详述。

2 仿真分析

2.1 模型的参数设置

模型设置参数的前提是红方在信息化装备上与蓝方存在一定差距, 参数设定红蓝双方对抗持续 20 d, 从第 1 d 开始红蓝双方就展开全面对抗。主要采取 3 个对策序列分别调整模型参数进行仿真。实验分别是: 初始阶段 (弹道导弹防御系统不具备有

关能力,如末端高层反导能力、中段反导能力等);中级阶段(具有初步的天地一体预警探测能力和一体化的区域反导作战能力);高级阶段(具备了天地一体的预警探测能力、形成了较完善的3段4层反导能力)。

对策序列设置的实质是进行仿真设计,每个对策序列都有SD模型中相应的参数调整,具体调整的参数包括:红方拦截打击能力指数、预警探测能力指数、指挥控制能力指数、网点防御能力指数,蓝方导弹攻击能力指数、网电进攻能力指数等。

2.2 模型的仿真实验分析

由于反导作战效能SD模型中参数众多,选取红方掩护目标数量、反导信息系统节点数量这2个重要变量在上述3种对策条件下的仿真结果做比较,见图4~5。

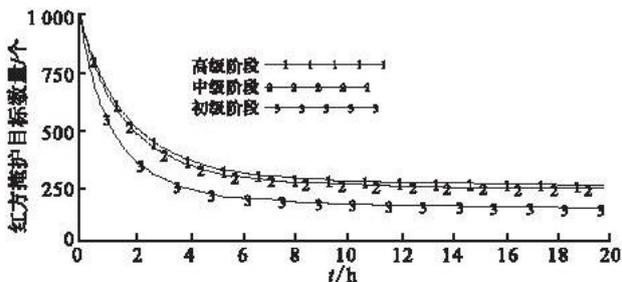


图4 弹道导弹防御系统掩护目标数量动态行为的比较

Fig.4 Compare of dynamic behavior of the defend targets number

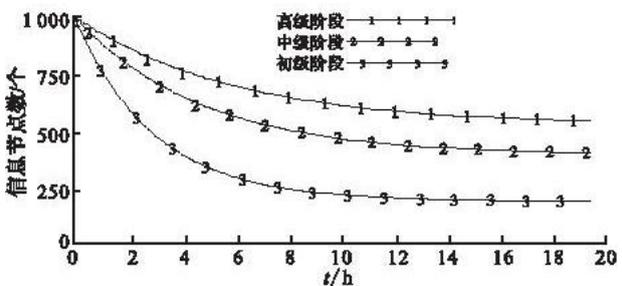


图5 弹道导弹防御系统信息节点数量动态行为的比较

Fig.5 Compare of dynamic behavior of the information node number

通过对图4、图5所给出的各参数动态行为的比较,得到以下结论:

1)随着时间的增加即攻击过程的进行,弹道导弹防御系统掩护目标的数量以及信息节点数量逐渐减少,减少到某一数值后保持稳定,此时蓝方弹道导弹攻击停止或弹道导弹发射完毕。这说明:随着时间的不断推移,红方保卫目标的受损程度以及系统本身的受损程度逐渐增大。

2)随着弹道导弹防御系统能力的加强,保卫目标的数量不断增加,系统本身受损程度也在不断减弱。尤其在中级阶段,具有初步的天地一体预警探测能力和一体化的区域反导作战能力后,弹道导弹防御系统的作战效能提升较大,保卫目标的数量也

出现跃增,自身抗攻击能力也出现突变。

3)从红方保卫目标的数量进行分析,3种对策序列下动态行为模式的趋势大致一致,从初始保卫目标的1000个,到最后的200个左右。这说明应提前在已有的核心保卫目标中遴选最核心的目标进行重点保卫。

此外,还可以利用SD模型仿真的优势,使模型在极端条件下运行,考察某一分系统能力缺失(即体系存在“短板”的情况)对反导作战的影响。仿真结果验证了反导攻防对抗是体系对抗的本质特征。

在对策序列3中,设置预警探测各分系统因某种原因导致能力水平显著下降,并选取红方掩护目标数量参量在该情况下的结果对比。仿真结果说明,一旦预警探测系统无法实现全程预警,对弹道导弹威胁目标的探测能力降低,直接影响防御一方的反导作战效能,会导致体系整体作战能力的显著下降。

另外,在某一对策序列中,用仿真考察某一分系统能力提升对反导作战的影响,在对策序列2中,提升了系统的网电防护能力。

提升反导系统本身的信息对抗能力后,在遭受网电攻击的情况下,反导信息节点数量有明显增加,这也提示我们在反导装备建设中应高度重视网电攻防能力。

3 结语

本文应用系统动力学研究弹道导弹防御系统这一复杂大系统的体系作战效能,出于篇幅和建模目的的考虑,在建模时进行了适当简化。该模型较深刻地表现系统内部复杂的因果关系和逻辑结构,符合战争复杂性的要求。用系统动力学模型进行防空反导作战过程描述和效能评估,以其良好的适用性拓展了反导作战效能评估的研究方法,是一个有益的尝试。

参考文献(References):

- [1] 申卯兴,刘铭,闻宏伟.系统动态学在防空系统中的应用研究[J].空军工程大学学报:自然科学版,2003,4(3):40-43.
SHEN Maoxing, LIU Ming, WEN Hongwei. Researches on the applications of system dynamics in air defense system [J]. Journal of air force engineering university; natural science edition, 2003, 4(3):40-43. (in Chinese)

(下转第41页)