

文章编号: 1001-0920(2003)03-0300-04

## 基于仿真的装备管理概念下的协同决策研究

田松<sup>1</sup>, 张凤鸣<sup>1</sup>, 苏恩泽<sup>2</sup>, 惠晓滨<sup>1</sup>

(1. 空军工程大学 工程学院, 陕西 西安 710038; 2. 空军指挥学院 装备与后勤管理系, 北京 100089)

**摘要:** 基于仿真的装备管理(SBMM)是一种将建模与仿真(M&S)技术强健、协同地应用于武器系统全寿命过程的先进管理方法,是M&S工具和资源跨管理职能部门、跨管理项目、跨管理阶段的集成。指出SBMM概念下的决策是跨寿命周期的协同决策,主要通过组织人员集成、信息集成和过程集成的综合作用而实现。提出协同决策框架,分析具体决策点的协同决策过程。

**关键词:** 基于仿真的装备管理; 协同决策; 建模与仿真; 集成

中图分类号: TP391.9

文献标识码: A

## Research on collaborative decision-making with the conception of simulation-based material management

TIAN Song<sup>1</sup>, ZHANG Feng-ming<sup>1</sup>, SU En-ze<sup>2</sup>, HUI Xiao-bin<sup>1</sup>

(1. Engineering College, Air Force University of Engineering, Xi an 710038, China; 2. Department of Equipment and Logistics Management, Air Force College of Commanding, Beijing 100089, China)

**Abstract:** Simulation-based material management is an advanced management approach which applies the modeling and simulation (M&S) technology in a robust and collaborative way to the entire life cycle of the weapon system. It is an integration of M&S tools and resources across management functional departments, programs and phases. The decision-making with the conception of simulation-based material management is shown to be the collaborative decision-making across the life cycle of the weapon system. The collaborative decision-making is realized by capitalizing on the synergy of the integration of organization, the integration of information and the integration of process. A framework of collaborative decision-making is presented, with the analysis of the collaborative decision-making process at the specific decision-making point.

**Key words:** Simulation-based material management; Collaborative decision-making; Modeling and simulation; Integration

### 1 引言

武器装备是部队战斗力的重要组成部分。随着以信息技术为代表的高新技术的发展,武器装备逐渐趋于信息化、智能化和体系化。目前,我军正面临新的军事斗争的挑战,同时大量高新技术不断应用

于军事领域,不仅提高了武器装备的性能,而且极大地改变了传统的作战概念与样式,这些都给当前装备管理工作提出了新的要求。

当前在我军装备管理工作中存在一些突出问题: 1) 装备在研制过程中,局限于传统的、顺序的研

收稿日期: 2002-01-21; 修回日期: 2002-05-13。

基金项目: 空军拔尖人才资助项目(0643)。

作者简介: 田松(1976—),男,四川绵竹人,博士生,从事信息系统工程与智能决策、装备管理的建模与仿真等研究;张凤鸣(1963—),男,重庆梁平人,教授,博士生导师,从事信息系统工程与智能决策、装备管理与C<sup>3</sup>I等复杂系统  
的研究。

制过程, 在装备研制早期难以充分考虑测试、使用、维护等方面的因素, 无法做到“系统的综合”; 造成了装备可靠性、维修性与保障性差, 使用、维护费用偏高, 列装后长时间不能形成战斗力的严重后果; 2) 装备研制过程中, 各职能部门、研制阶段都强调自身的特殊性, 自成体系, 忽视了标准化、可重用性和互操作性, 从而使资源不能共享, 重复建设过多, 造成了极大的浪费, 且使装备从研制到装备部队的时间大大延长; 3) 装备管理过程中缺乏必要的辅助决策手段, 从而使装备管理工作的风险过高。

信息技术、M&S 技术以及先进制造技术的迅速发展, 为解决上述问题提供了良好的契机。基于仿真的装备管理(SBMM)正是应新形势下装备管理工作要求而生的新型装备管理模式, 将信息技术、M&S 技术、智能决策技术以及先进制造技术融为一体, 为装备全寿命过程中的所有管理决策提供及时、全面、有效的支持。

## 2 基于仿真的装备管理

### 2.1 装备管理

装备管理是一项复杂的系统工程, 贯穿于装备从论证研制到退役的全寿命过程。管理者通过行使计划、组织、人事、领导和控制等职能, 对装备全寿命过程中涉及到的信息、资源、人员等进行合理的配置和控制, 在相应的决策点作出合理的决策, 使军事用户获得满意的武器装备。

传统装备管理的核心内容是工程学科的综合应用、严格分阶段审查以及性能、费用、进度的综合权衡。对于装备寿命周期过程中的各具体决策点, 主要采用学科领域专家的经验与成熟的定性定量决策模型相结合的方式决策。决策者在进行性能、费用、进度的综合权衡和风险分析时, 其工作目标是本阶段既定任务的完成, 而较少考虑其他阶段中的相关要素对决策方案的影响。事实上, 其他管理阶段对决策方案的评估和确定是有一定影响的, 特别是后期的生产及使用保障过程对系统研制早期的决策有着重要影响。目前仿真技术主要用于支持系统设计冻结以后的部分决策问题, 包括装备性能测试与评估、作战训练等, 其潜力尚未得到充分发挥。

### 2.2 基于仿真的装备管理

#### 2.2.1 概念

SBMM 是一种将 M&S 技术强健、协同地应用于武器系统全寿命过程的先进管理方法, 是 M&S 工具和资源跨管理职能部门、跨管理项目、跨管理阶段的集成<sup>[1]</sup>。它试图将武器系统全寿命过程中所有

的职能部门、管理项目、管理阶段集成为一个协调、有序的系统, 使之能最大限度地满足用户需求, 提高装备的军事效能, 降低系统开发的风险和成本。SBMM 既是一种武器系统管理新模式, 也是一个迭代式的武器系统演化开发过程, 是系统工程理论与方法的发展。

SBMM 区别于传统装备管理模式的特征主要有<sup>[2]</sup>:

1) 采用跨职能部门、多学科的综合产品组(IPT)的组织模式;

2) 将装备全寿命过程中产生的各类信息、模型和知识集成起来, 形成了一个分布式的产品信息库;

3) 一种集成化的产品与过程开发方法, 其产品开发过程是一个循环迭代、螺旋式上升的过程。

#### 2.2.2 基于仿真的装备管理与决策

西蒙认为: 管理就是决策。装备管理的本质就是对装备全寿命过程中发生的一系列活动进行合理的决策。目前 M&S 技术已成为辅助决策的重要手段, 其应用范围也逐渐从单纯的性能测试扩展到从需求确定、方案论证到使用保障的装备全寿命过程<sup>[3]</sup>。SBMM 实质上就是利用 M&S 技术来建立一个数字化的全寿命周期管理支撑环境, 通过协同决策来实现基于模型和仿真的武器装备全寿命周期管理。协同决策主要通过以下方式实现<sup>[4]</sup>: 1) 最大限度地利用相关的装备管理信息, 简化获取、管理和评估那些信息的过程; 2) 减少决策的时间和费用; 3) 在付诸实施之前允许对决策流程进行全面的评估, 以使风险最小; 4) 跨所有管理层次的开放式通信。

应当特别指出: 现代武器装备是复杂的非线性系统, 其研制开发本质上是一个非线性复杂系统的求解问题, 而初始条件的选择对于非线性系统的求解十分重要, 因此早期决策对于装备研制开发极为关键。SBMM 可在装备全寿命过程的早期阶段对设计、制造和使用保障等概念进行更加准确、可理解的评估, 以便更好地指导决策并进一步降低风险。在系统付诸硬件生产和关键决策被冻结之前, 在一个完全虚拟的环境中对装备的生产、制造、使用保障过程进行仿真, 将后续过程的信息提前反馈到系统设计阶段, 为系统优化设计和决策提供良好支持。

## 3 协同决策

### 3.1 协同决策框架

SBMM 运用 IPT 的组织形式, 利用 M&S 和信息融合等技术来完成装备管理信息的非线性集成, 积极推行集成产品与过程开发(IPP)的产品开发

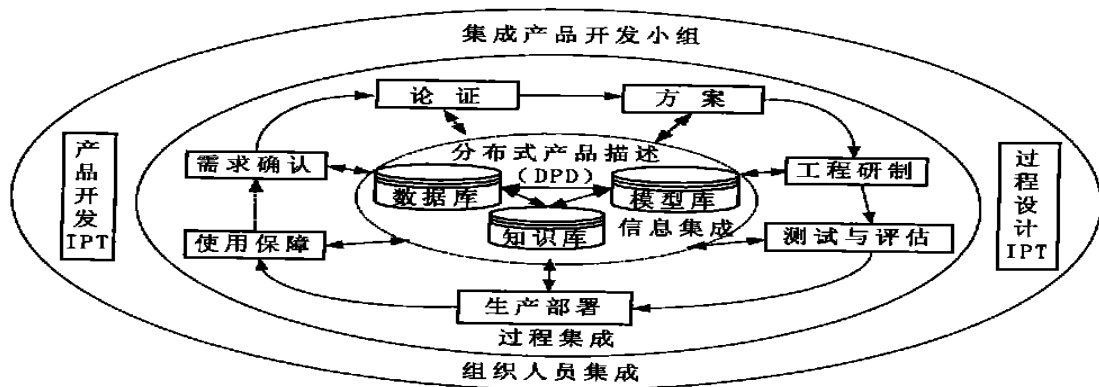


图1 协同决策框架

模式, 最终实现装备的全系统质量和跨装备寿命周期的协同决策。组织人员集成是保证, 信息集成是基础, 过程集成是目标。SBMM 概念下的协同决策通过组织人员集成、信息集成和过程集成的综合作用而得以实现, 其实现框架如图1所示。

### 3.1.1 组织人员集成

SBMM 运用跨学科的 IPT 组织形式, 将所有与装备全寿命过程相关的人员(特别是军事用户) 包括到集成产品开发小组中; 采用协同论解决问题的方法, 要求 IPT 成员必须以统一产品概念模型为一致性准则, 通过交流和共享产品信息, 协调多方案源、多数据源和多知识源的冲突, 提高组织工作效率, 体现小组合作、信任和共享的价值, 最终实现跨职能部门的协同决策<sup>[5]</sup>。计算机支持协同工作(CSCW) 以及群决策技术的发展为组织人员集成提供了有力的支持。群决策技术是实现协同决策的一种重要形式, IPT 成员将注意力集中于一个决策点, 从不同学科知识的角度对备选方案进行评估, 然后利用专家打分法或头脑风暴法对各种评估结果进行综合评定, 确定满意方案。

### 3.1.2 信息集成

在传统装备管理模式, 装备管理信息是多源、相对分散的, 决策者容易在主观上将这些信息独立处理、存储和利用, 往往局限地利用本部门、本阶段的信息来进行决策, 通常这些信息对于决策问题而言是不完备的。即使各职能部门、各管理阶段内部的信息化程度很高, 但从系统的角度审视这些信息, 本质上也是一些“信息孤岛”。

SBMM 冲破“信息孤岛”的束缚, 利用信息技术、M&S 技术将这些信息综合起来, 实现了装备管理信息的非线性集成, 产生了大量的辅助决策信息。这些集成后的信息主要表现为分布式产品描述

(DPD), 是一种以产品为中心的分布式信息的集合, 通过网络技术互联, 形成逻辑上统一的关于产品的描述<sup>[4]</sup>。DPD 主要由3类信息组成: 产品数据、产品模型和过程模型。由这些信息构成的数据库、模型库和知识库成为协同决策支持库的主体。“三库”对于具有一定访问权限的 IPT 成员而言, 是透明、一致、可理解、可扩充和可剪裁的。

### 3.1.3 过程集成

SBMM 突破了传统管理模式顺序、串行的研制开发过程, 提倡以 M&S 技术为支撑, 以并行、迭代、柔性的思想指导武器系统的研制开发, 其概念下的装备研制开发过程是一个螺旋式上升的迭代开发过程, 经过多个开发周期的反复权衡、迭代优化, 最终生产并交付完全满足用户需求的武器装备。具体过程如图2所示, 其底部的单前期过程就是图1中的信息集成和过程集成。SBMM 将系统开发过程划分为3个阶段: 虚拟领域、半虚拟领域和真实领域, 每个子阶段都经历了传统管理模式下的所有过程。在进入下一阶段之前, 系统设计必须通过严格的审查并提交相应的技术文档, 阶段审查以 DPD 中的“三库”系统是否能够完全支持该阶段所有决策点的决策为主要依据。

装备在这3个阶段中的状态分别以虚拟样机、物理样机和真实装备的形式来表示。虚拟领域中的系统开发主要以质量功能部署(QFD)、CAx、虚拟制造、虚拟战斗场景等 M&S 技术为支撑, 力图在计算机上开发出基本满足用户需求的数字化产品模型, 即虚拟样机。当虚拟样机已足够成熟时, 即数字化产品模型已基本满足用户需求时, 则需要辅以一定的物理原型对数字化产品模型进行校验和验证(VV), 这是半虚拟领域的主要工作。一旦在半虚拟

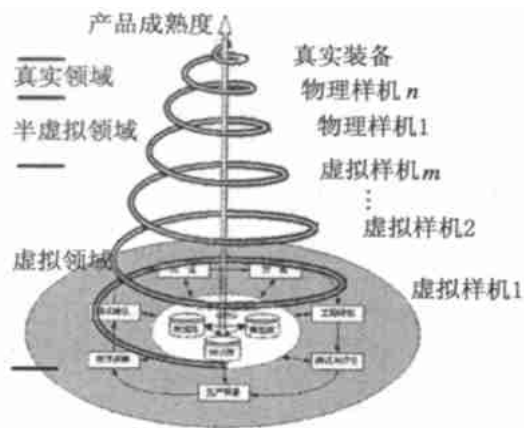


图 2 武器装备的迭代开发过程

领域的迭代设计过程结束,则可进入实际的生产部署和使用保障过程,即真实领域。真实领域的主要目的是评估系统的可制造性、可装配性、可靠性、可保障性以及战备完好率,进一步改进和提高系统的操作程序和应用战术。因此,系统设计经过在虚拟领域、半虚拟领域和真实领域的多次往复循环,逐渐趋于成熟,并最终收敛于用户满意的武器装备。

就决策而言,螺旋式迭代开发过程的实质就是系统全面地考虑系统开发过程中所有人员、过程、信息和资源之间的内在联系,充分利用与具体决策点相关的所有信息和资源以支持决策,而不受传统职能部门、开发阶段、开发项目的限制。

### 3.2 具体决策点的协同决策过程

针对装备全寿命管理过程中的每个决策点,其协同决策过程如图 3 所示。IPT 成员根据具体决策点的实际情况,通过分析系统环境和约束条件,拟定初步的备选方案;然后通过人机接口访问相应的管理库系统,由管理库系统调用与该决策点相关的、装备全寿命过程中产生的数据、模型和知识,结合决策者自身的经验、知识和直觉判断,对所有的备选方案进行全面的风险分析和评估,在多个备选方案中找出满意方案。在 SBMM 概念下,方案评估过程就是将备选方案的条件置于 SBMM 迭代开发过程中,以考察各方案对装备性能、费用、进度的综合影响。通过以上对协同决策过程的分析可以看出,该决策过程区别于传统装备管理决策过程的特征是:协同决策过程中的决策支持信息来自于装备全寿命过程,不受职能部门、管理项目、管理阶段的限制;采取适当的方式使决策者及时、准确地获取其所需的决

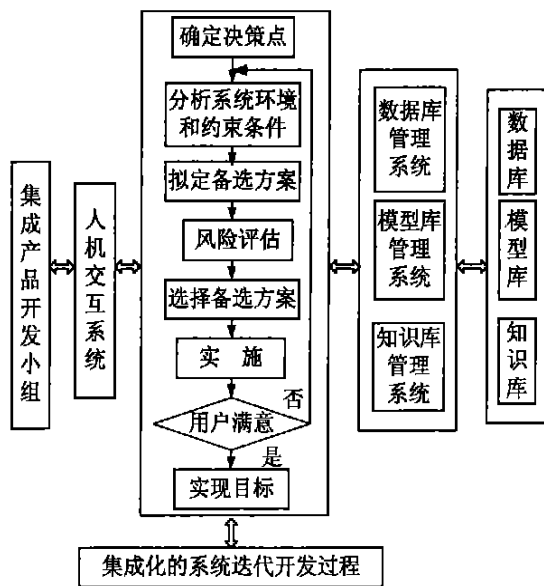


图 3 具体决策点的协同决策过程

策支持信息。

下面以歼击机使用保障(O&S)费用模型的决策问题为例来说明协同决策过程。首先参考国内外同代歼击机的 O&S 费用模型和具体参考数据,利用多元线性回归法、灰色预测法等技术归算出 O&S 费用模型的框架和参数取值范围;然后由多个领域专家(费用分析师、系统工程师、战斗人员、维护保障人员等)从各自领域的实践经验出发,共同协商,综合权衡,提出 O&S 参考费用模型的多个备选方案;第三步可利用 QFD 技术全面理解用户需求并将其映射为具体的工程技术指标,再通过 CAx、虚拟制造等技术构建虚拟样机,并将虚拟样机投入到虚拟战斗场景中,由计算机生成兵力(CGF)使用和维护虚拟的装备,生成具体的 O&S 费用数据。最后以实际费用数据与备选费用模型的拟合程度为主要依据,以性能、费用、进度三坐标综合优化为准则来评估各备选方案,从中选出满意方案,并进一步修正费用模型中的具体参数。

由于保障要素(如备件等)对 O&S 费用的影响尤为突出,因此在半虚拟领域阶段可辅以一定的保障要素物理原型进行作战仿真试验,生成更为精确的 O&S 费用数据,进一步修正费用模型的参数。当装备在部队列装后,通过实际的作战训练和维护保障,可提供最为真实的 O&S 费用数据,并最终确定费用模型的参数。

(下转第 308 页)

(3.4) 和定理 3 条件 1), 对某一  $k \geq 0$  有

$$\begin{aligned}
V(q(r_{k+1})) &= H_k q(r_k)^2 \\
H_k^{-2} q(r_k)^2 &= V(q(r_k))
\end{aligned} \tag{3.10}$$

而对任意的  $r \in [r_k, r_{k+1}), k \in Z^+$ , 又由定理 3 的条件 2) 得

$$\begin{aligned}
V(q(r)) &= q(r)^T q(r) = \\
&e^{A(t-\tau_k)} x(\tau_k) + \int_{\tau_k}^t e^{A(t-\tau)} d\tau B u(\tau)^2 + \\
&u(\tau)^2 - 2e^{2A\alpha} x(\tau_k)^2 + \\
&(2\alpha^2 e^{2A\alpha} B^{-2} + 1) u(\tau_k)^2
\end{aligned} \tag{3.11}$$

定义映射  $f: C[R^+, R^+]$ , 满足

$$\begin{aligned}
f(\rho) &= \\
\rho_{\max} \{2e^{2A\alpha}, 2\alpha^2 e^{2A\alpha} B^{-2} + 1\}
\end{aligned} \tag{3.12}$$

于是由式(3.11) 得

$$\begin{aligned}
V(q(r)) &= f(V(q(r_k))) \\
r &\in [r_k, r_{k+1})
\end{aligned} \tag{3.13}$$

特别当  $r = r_{k+1}$  时, 由式(3.11) 的推导, 显然有

$$V(q(r)) = V(q(r^-)) \tag{3.14}$$

至此定理 1 的所有条件均得到满足, 运用 HDS 有界性定理 1, 即可得 HDS(3.1) 具有  $\Omega$ -一致有界性。

### 4 结 语

本文从连续系统的角度出发, 提出并证明了 HDS 有界性定理, 并以数字反馈采样控制系统为例, 应用 HDS 有界性定理得到其一致有界的充分条件, 从而对 HDS 理论作了适当的补充。

### 参考文献(References):

[1] Ye H, Michel A N, Hou L. Stability theory for hybrid dynamical systems[J]. *IEEE Trans on Automatic Control*, 1998, 43(4): 461-474.

[2] 黄琳. 稳定性理论[M]. 北京: 北京大学出版社, 1992.

[3] 宠特里雅金. 常微分方程[M]. 上海: 上海科技出版社, 1962.

[4] Michel A N, Hu B. Towards a stability theory of general hybrid dynamical systems[J]. *Automatica*, 1999, 35(3): 371-384.

(上接第 303 页)

### 4 结 语

SBMM 是新形势下解决我军装备管理问题的新方法, 是支持装备管理决策的有效手段, 通过组织人员集成、信息集成和过程集成的综合协同作用, 实现装备的全寿命质量和跨寿命周期的协同决策。当前我国大型武器系统的研制开发一般都遵循传统的分阶段管理模式, 仅有少量重点型号工程正逐渐向项目管理模式过渡, 这是由我国的现实国情决定的<sup>[6]</sup>。在我国广泛推行 SBMM 的管理模式, 将是一项长期、渐进的工作。应当首先转变管理观念, 改变以往各管一摊、各自为政的思想, 提倡跨管理部门、跨管理层次的信息交流和共享, 协同合作是解决问题的合理途径; 其次, 应尽快建立相应的数据交换、信息格式和仿真的标准, 解决不同管理阶段、不同管理项目的互操作性问题, 为协同决策奠定基础; 还应在仿真基础设施建设方面加强力度, 在各个子系统、子阶段内部首先实现相应的仿真和自动化, 这是实现 SBMM 迭代开发过程的基础。在新思想、新管理模式和新技术的推动下, 我军装备管理水平必然会上一个新台阶。

### 参考文献(References):

[1] Michael V R Johnson, Mark F Mckeon, Terence R Szanto. *Simulation-based Acquisition: A New Approach* [M]. Fort Belvoir Defense Systems Management College, 1998.

[2] Wayne J Davis. Simulation-based acquisition: An impetus change[A]. *Proc of the 2000 Winter Simulation Conference*[C]. Orlando: 2000.1061-1067.

[3] 曾天翔, 殷云浩, 夏伟. 美国防务采办改革对航空武器装备发展的影响[R]. 航空信息研究报告, HY99001, 1999. 10-13.

[4] Simulation Based Acquisition Functional Description-Version 1.1[R]. NDIA SBA Industry Steering Group, 1999.

[5] Fricke E, Negele H, Schropfer L, et al. Modeling of concurrent engineering processes for integrated systems development[A]. *Proc of 17th Digital Avionics Systems Conference*[C]. Bellevue, 1998, B13: 1, 3-8.

[6] 李伯虎, 柴旭东, 毛媛. 现代仿真技术发展中的两个热点—ADS, SBA[J]. 系统仿真学报, 2001, 13(1): 101-105. (Li Bo-hu, Chai Xu-dong, Mao Yuan. Two focuses in the development of contemporary simulation technology [J]. *J of System Simulation*, 2001, 13(1): 101-105.)