

doi: 10.7690/bgzd.2015.08.005

# 基于系统六元理论的仿真概念模型描述方法研究

唐 凯, 柏彦奇

(军械工程学院装备指挥与管理系, 石家庄 050003)

**摘要:** 依据系统六元抽象理论, 以战术级装备保障为例, 建立装备保障系统到概念模型的六元模型。将系统范畴、要素、结构、状态、运行和功能 6 个方面分别映射为装备保障仿真概念模型的任务空间、仿真实体、实体关系、实体状态、实体行为和实体交互, 形成规范统一的、便于军事领域人员与仿真技术人员理解和使用的装备保障仿真概念模型描述内容体系框架。结果表明: 该研究能进一步规范装备保障仿真概念模型的描述, 为装备保障系统概念模型的开发提供可供参考的模型。

**关键词:** 装备保障; 概念建模; 系统六元; 系统分析

**中图分类号:** TJ03 **文献标志码:** A

## Research on the Simulation Conceptual Model Description Method Based on System Six-view Theory

Tang Kai, Bai Yanqi

(Department of Equipment Command & Management Engineering, Ordnance Engineering College, Shijiazhuang 050003, China)

**Abstract:** According to the system six-view theory, the six-view conceptual model of equipment support system is developed by taking tactical equipment technical support for example. The system category, elements, structure, state, operation and function of the equipment support system have been abstract to the task space, simulation entity, entity relation, entity state, entity behavior and entity interaction of the equipment support simulation conceptual model. Through that, it forms the description frame of the equipment support simulation conceptual model for the understanding and using of the specific personnel. The result shows that, the research can further standardize the description of the equipment support simulation conceptual model and provide a reference model for developing the equipment support simulation conceptual model.

**Keywords:** equipment support; conceptual modeling; system six-view; system analysis

### 0 引言

概念模型是对真实世界的首次抽象, 是“连接真实世界与仿真世界的桥梁”<sup>[1]</sup>, 其完备性和规范性是保证装备保障仿真应用的关键。

在许多系统论的专著中, 很少关注和论述系统状态问题; 而在系统控制论中, 系统状态则是人们关注和研究的重要方面。系统六元抽象理论借鉴系统控制论对系统状态的研究, 将系统状态作为系统论不可或缺的重要内容之一, 将传统的五元分析, 即系统功能、组元、结构、运行与环境分析, 扩展为系统的范畴、要素、结构、状态、运行和功能的六元分析。系统六元抽象理论产生于系统仿真建模方法的研究, 当从系统的 6 个方面进行分析后, 能与面向对象的仿真模型产生严格的映射关系<sup>[2]</sup>。因此, 扩展系统状态的分析后, 将系统的运行定义为系统状态的更新, 使系统分析和系统设计具有可操作性。笔者以战术级装备保障为例, 运用系统六元抽象理论<sup>[2-5]</sup>, 开展概念模型描述方法的研究。

### 1 系统六元抽象建模方法

笔者从系统范畴、系统要素、系统结构、系统状态、系统运行和系统功能 6 个方面对系统进行分析, 即系统六元抽象理论的思想来源。系统概念的五要素与六元抽象描述的具体对应关系如图 1。

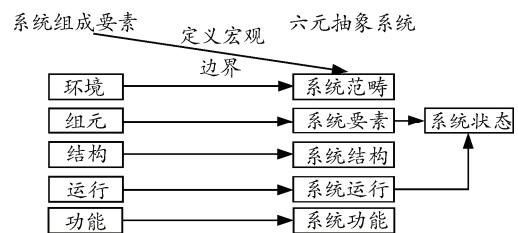


图 1 系统概念与六元抽象描述

美国国防部发布的建模与仿真主计划 (modeling and simulation master plan, MSMP) 中, 主要内容之一就是任务空间概念模型 (conceptual models of the mission space, CMMS) 作为作战仿真需求的一种描述规范。随着仿真技术研究的不断深入, 运用系统论的观点可以发现: 基于 EATI 的概

收稿日期: 2015-03-22; 修回日期: 2015-05-04

作者简介: 唐 凯(1986—), 男, 河南人, 硕士, 助理工程师, 从事装备指挥与管理研究。

念模型虽然构建了实体、行为、任务和交互 4 类描述视图对仿真系统进行描述，但是并没有完整地定义和描述清问题域，而且对于对象系统的分解也存在不妥之处。系统六元抽象理论认为：对于系统的研究应从系统的范畴、要素、结构、状态、运行和功能 6 个方面来加以分析，才能完整地描述系统。而且在基于 EATI 的建模方法中将任务定义为一组行为也是不妥的，任务是通过具体的行为来完成的，在对任务的描述中，用一组行为来描述则显得更加妥当，而在仿真模型中，任务应作为一种交互来描述则显得比较合理。

基于上述分析，可以认为系统六元抽象分析方法是 EATI 建模方法的进一步完善。系统相似性原理<sup>[6-7]</sup>认为：“系统仿真模型与实际的对象系统应具有某种或某些方面的相似性，如结构上的、功能上的等等”。依据系统六元抽象理论<sup>[2-5]</sup>，建立了 6 种相似性关系来描述系统，如图 2 所示。

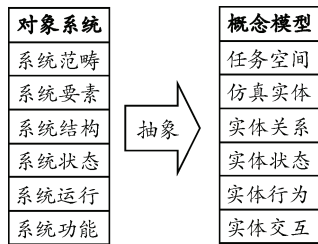


图 2 对象系统与概念模型的相似性关系

## 2 装备保障仿真概念建模分析

### 2.1 装备保障仿真概念模型任务空间

任务空间是对研究装备保障系统范畴的抽象。它是对装备保障系统所处环境和模型描述范围的界定，涵盖了装备保障活动相关的事物。在描述装备保障系统时首先要确定装备保障系统的边界，使模型在满足仿真目的的前提下所包含的元素最少。

#### 2.1.1 装备保障任务空间分析

在确定任务空间研究领域后，可以从系统的任务概述、系统环境 2 个方面对所涉及的任务空间进行分析。

1) 任务概述。主要描述装备保障系统任务的相关信息，如保障任务、相关实体、时间、地点和目的等，其实质上是对装备保障任务的一个说明性的解释，目的在于明确概念模型所涉及的领域信息。

2) 系统环境。系统环境分析的依据主要来源于作战仿真想定，是作战系统所处的外在环境的统称，在文中特指装备保障环境。按照装备保障环境性质

可以将其分为自然环境、社会环境、电磁环境和核生化环境<sup>[8]</sup>。具体内容如图 3 所示。

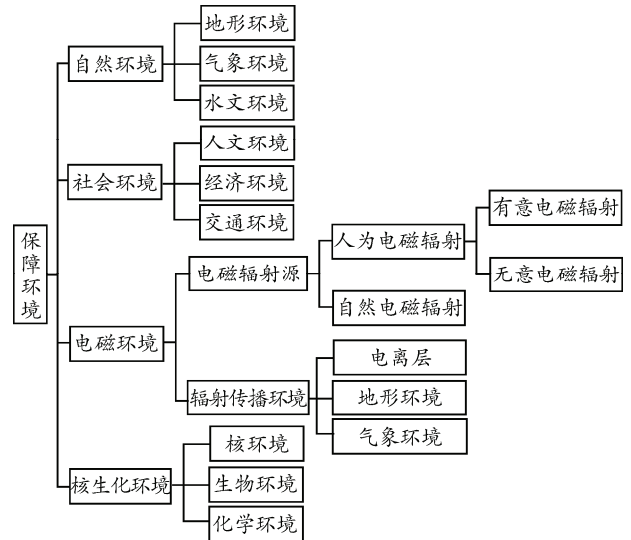


图 3 保障环境分类

#### 2.1.2 装备保障任务空间数据表

装备保障任务空间是概念模型描述的第一项内容，它简明扼要、概括性地定义了概念模型涵盖的领域范围，其描述内容一般应包括如表 1 所示的任务空间分量。

表 1 任务空间数据

任务空间分量	取值示例
等级	战术级
部队类型	陆军
参战部队	红方：1 个师(×个机步团、×个高炮团、×个防空团)；蓝方：×个机步团
保障分队	前进保障群、机动保障群、基本保障群各 1 个
保障区域	××作战区域，以(×××××，×××××)为中心××公里范围
分辨率	参战部队：从团到营；保障部队：从群到队
任务	负责全师作战部队装备的抢救与抢修，实施弹药补给和维修器材的保障
时间	××年××月××日×：××：××—××月××日××：××：××
保障环境	自然环境：……；社会环境：……；电磁环境：……；核生化环境：……

### 2.2 装备保障仿真概念模型仿真实体

仿真实体是对装备保障系统组成元素的抽象。仿真实体是依据概念建模的需要，将装备保障系统中具有一定的相似性的元素抽象而成的实体。对实体的描述主要包括实体名称、实体类型、实体属性和实体操作等。

#### 2.2.1 装备保障仿真实体分析

对于仿真实体的选取要严格按照概念模型构建的需求，依据任务空间约定的描述粒度进行抽象。按照实体具有自主能动性与否，可以将实体分为主

体和非主体。

主体是具有一定的自我意志，能够自主采取行动的对象统称。按照对主体的定义，可以理解为具有自主能动性的保障机构和保障人员。保障主体是保障活动的具体实施者，没有保障主体，一切保障活动也就无从谈起。

与主体相对应的是非主体，在保障活动中，非主体主要指保障主体所触及或指向的一切事物、过程和现象的总称，是保障主体实践活动和认识行动的对象<sup>[9]</sup>。由此推知，装备保障主体在保障活动中自身需要的资源和提供给保障对象的资源，如装备、器材等均可看作是非主体的范畴。在任务执行过程中，非主体能够改变自身状态影响保障活动的执行。

### 2.2.2 装备保障仿真实体数据表

以某机步师的保障力量为例，构建的装备保障仿真实体的数据表如表 2 所示。

表 2 装备保障仿真实体数据

实体名称	实体类型	实体属性	实体操作
火炮修理组	抢修分队	组成：机械维修车	原件修理
		数量：×台	换件修理
		∴	拆并修理
			后送修理
轮式车辆 抢修车	抢修组	数量：××	机动
		速度：××	展开
		展开时间：××	维修
		∴	撤收
∴	∴	∴	∴

### 2.3 装备保障仿真概念模型实体关系

实体关系是对装备保障系统结构的抽象，它反映了装备保障系统的组成结构及运行关系。在对实体关系分析时，要以单个实体为源，分析与之存在联系的其他实体。

#### 2.3.1 装备保障实体关系分析

结合部队的编制和执行任务时的实体之间的相互作用，装备保障系统中的实体关系可划分为静态结构关系和动态交互关系。

静态结构关系指的是分类关系和组合关系。图 4 所示为对抢修装备的分类关系描述。

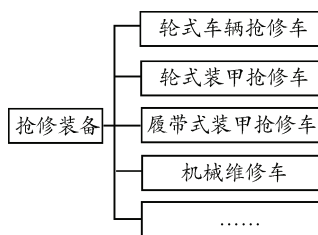


图 4 抢修装备分类关系

具体到装备保障系统，装备保障力量的编成及各保障群的编成也是组合关系的一种体现，如图 5、图 6 所示。

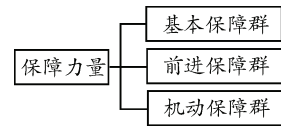


图 5 装备保障力量编成

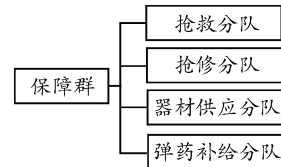


图 6 保障群编成

动态交互关系指的是装备保障系统运行过程中，由于保障任务的执行而引起的保障实体之间的交互，主要表现为指挥、指导、协同和支援等关系，如图 7 所示。

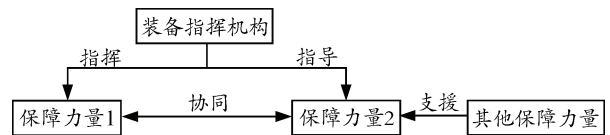


图 7 动态交互关系

#### 2.3.2 装备保障实体关系数据表

对于实体关系的分析结果，可以用表格的形式进行描述。如表 3 所示的保障实体分类关系数据表和表 4 所示的组合关系数据表。

表 3 保障实体分类关系数据

一级节点	二级节点	三级节点	四级节点	五级节点		
装备保障力量	装备	抢修装备	轮式车辆	—		
			抢修车	—		
			轮式装甲	—		
			抢修车	—		
			履带式装	—		
		甲抢修车	—			
						—
						—
						—
				抢救装备	—	—

表 4 保障实体组合关系数据

一级节点	二级节点	三级节点	四级节点
装备保障力量	前进保障群	抢修分队	—
		抢救分队	—
		器材供应分队	—
		弹药补给队	—
	基本保障群	—	—
	机动保障群	—	—

由于动态交互关系的存在是基于保障任务的，对于关系的描述可以通过矩阵的形式进行描述，如表 5 所示。

表 5 动态交互关系矩阵

交互实体	指挥机构 1	保障力量 1	保障力量 2	其他保障力量
指挥机构 1	—	指挥 指导	指挥 指导	—
保障力量 1	指挥 指导	—	协同 支援	支援
保障力量 2	指挥 指导	协同 支援	—	支援
其他保障力量	—	支援	支援	—

### 2.4 装备保障仿真概念模型实体状态

实体状态是对装备保障系统状态，也即是实体动态属性的抽象。它是仿真实体对不同事件响应结果的记录，是描述装备保障活动运行的基本参数。

#### 2.4.1 装备保障实体状态分析

实体状态是对系统状态的抽象，是系统状态的基本状态参数，但不是系统状态的全部。系统状态的其他参数可以由实体状态定义的基本参数以函数的形式产生。

状态向量在一定的范围内随时间变化，可以分为静态实体和动态实体。状态向量是不随时间而变化的实体，称为静态实体(static entity)，如与装备保障实体相关的地形、地物等相关自然因素。状态向量  $X$  是随时间而变化的实体，即可以表示为时间  $t$  的函数  $X(t)$ ，称为动态实体(dynamic entity)。这 2 类实体都是系统分析所要研究的对象，但是从本质上来讲，任何系统都是处于绝对运动之中的，因此对于任何实体的描述都可以看作是动态实体的描述。为了能够准确地表达装备保障仿真的需求，状态变量的选取一定要能够表征所研究系统的基本特征和行为<sup>[9]</sup>。

#### 2.4.2 装备保障实体状态数据表

对于装备保障系统中实体状态的分析可以用表 6 所示的形式予以描述。

表 6 实体状态

内容	描述
实体标志	实体名称
实体类型	按照级别、功能、特征等进行分类的属性
实体实力	人员、装备数质量信息
实体任务	描述实体执行的任务和程度
空间属性	实体所处的空间的位置和实体大小
运动属性	实体运动特性的相关指标

### 2.5 装备保障仿真概念模型实体行为

实体行为是对装备保障系统运行的抽象描述，是离散或连续的时间点内所对应的状态序列的总

和，是实体状态转移变化的真正动因和依据。

#### 2.5.1 装备保障实体行为分析

根据描述粒度的不同，实体行为分为作业和动作<sup>[5]</sup>。

作业：一项作业定义为一个具体任务被执行的过程，是具有明确行动意图的<sup>[5]</sup>。

动作：一个动作定义为作业实施过程中的步骤或工序，是系统中的原子操作<sup>[5]</sup>。作业由实体的一个或多个动作构成。

一个完整的行为描述应包括基本定义、执行实体、入口条件、结束条件、中断条件、分支条件以及影响因子等内容。具体的行为元素描述见表 7。

表 7 完整行为的描述内容

行为元素	描述
基本定义	行为的定义
执行实体	动作或作业的相关执行实体
入口条件	初始化条件
结束条件	终止作业或动作的条件
中断条件	中断行为执行的条件
分支条件	行为向其他状态转移的条件
影响因子	影响行为进程的因素

#### 2.5.2 装备保障实体行为数据表

以装备保障抢修分队接到命令后对受损装备前出抢修为例，建立对实体行为的分析数据表，如表 8 所示。

表 8 抢修行为描述

仿真实体	实体行为	实体作业	实体动作	激励条件
装备抢修分队	装备抢修	前出抢修	派遣	受领任务
			机动	派遣完成
			抢修	机动完成
			撤收	维修完成
			归建	撤收完成
			待命	归建完成

行为是状态转移的表现形式，表 9 是装备抢修分队进行装备抢修时构建的状态转移矩阵。

表 9 抢修分队状态更新矩阵

初始状态	更新状态						
	待命	机动	维修	撤收	隐蔽	转移	归建
待命	—	受领任务	命令	命令	敌袭	命令	命令
机动	命令	—	机动完成	—	敌袭	命令	命令
维修	维修完毕	维修完毕	—	维修完成	敌袭	命令	命令
撤收	撤收完毕	—	维修任务	—	敌袭	撤收完毕	—
隐蔽	敌情解除	敌情解除	—	—	—	命令	—
转移	命令	—	维修任务	—	敌袭	—	—
归建	—	—	—	—	—	—	—

## 2.6 装备保障仿真概念模型实体交互

实体交互是对装备保障系统功能的抽象。在装备保障系统中，行为的本质是改变实体的状态，而交互则是引起这一变化的真正诱因。笔者把一组具有特定含义相互关联的影响因素称之为一个交互<sup>[5]</sup>。

### 2.6.1 装备保障系统实体交互分析

交互发生在一定的时域、空域内，伴随着实体交互的产生，实体之间必定有物质、能量以及信息的流动，并最终导致实体状态的变化，从而影响实体的行为。按照交互改变实体状态的性质，可以将交互分为物理交互和信息交互<sup>[5]</sup>。

物理交互是对物理作用的量化描述，是某一实体通过对目标实体的外部作用，从而引起目标实体物理状态的改变。

对于装备保障系统而言，物理交互主要指的是装备抢修、装备抢救和器材供应等行为结果，这些结果能够引起保障对象，即作战实体状态的变化，如数量、质量、位置、甚至结构等的变化。

信息交互是对指挥控制信息和反馈信息的量化描述。在装备保障系统中，信息交互的主要表现形式是作战文电，按照信息流动的方向及产生的作用，可以将信息分为上行信息和下行信息。

图 8 所示为一个典型的信息交互的过程。命令从指挥实体流向执行实体，从而促使执行实体进行相应的动作而改变自身的状态。同时，报告从执行实体反馈到指挥实体，指挥实体则通过交互参数感知战场的态势变化，更新自身状态。

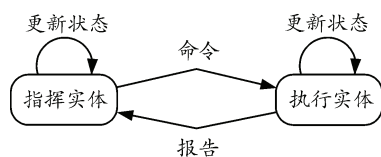


图 8 信息交互过程

### 2.6.2 装备保障系统实体交互数据表

为了清楚地描述装备保障系统实体交互，可分别设计物理交互数据表和信息交互数据表。

物理交互数据表如表 10 所示。

表 10 物理交互数据

物理交互名称	触发实体	接收实体	交互参数
装备抢修结果	××修理分队	××炮兵分队	火炮代码、数量等
弹药供应结果	××供应分队	××炮兵分队	弹药代码、数量等
器材供应结果	××供应分队	××坦克团	器材代码、数量等

信息交互数据表如表 11、表 12 所示。

表 11 上行信息交互数据

上行信息	信息正文
维修报告	××时对××装备进行修理，更换 XX 种器件，修理完毕
弹药接收报告	××时××分，××作战部队收到上级补充××弹药××发
⋮	⋮

表 12 下行信息交互数据表

下行信息	信息正文
装备抢修命令	××时间出发，沿××路线，于××时间前到达××地点，对××部队××装备实施维修保障
装备抢救命令	××时间出发，沿××路线，于××时间前到达××地点，送修损坏装备，沿××路线返回
弹药补给命令	××时间前向××地域××作战部队补给××弹种××类××发
器材供应命令	××时间开始，××时间前向××地点的××部队补充××器材××

## 3 结束语

笔者在对装备保障系统主要活动进行分析的基础上，运用系统六元抽象理论建立了装备保障系统到概念模型的六元映射，构建了装备保障仿真概念模型的完整的描述框架，形成了装备保障仿真概念模型的数据表，给人以直观的印象。使得装备保障仿真概念模型的开发提供了可供参考的模型。

### 参考文献：

- [1] 刘洁, 柏彦奇, 孙海涛. 概念模型建模方法研究[J]. 长春理工大学学报: 自然科学版, 2007, 30(3): 126-130.
- [2] 柏彦奇. 联邦式作战仿真[M]. 北京: 国防大学出版社, 2001: 70-108.
- [3] 翟怀宇. 基于系统六元抽象的作战系统仿真建模方法研究[D]. 石家庄: 军械工程学院, 2011: 10-19.
- [4] 刘洁. 基于 MDA 的联邦式建模仿真技术研究[D]. 石家庄: 军械工程学院, 2009: 33-40.
- [5] 刘占伟. 基于系统六元抽象的作战仿真想定描述方法研究[D]. 石家庄: 军械工程学院, 2012: 24-57.
- [6] 李习彬. 系统工程: 理论、思想、程序与方法[M]. 石家庄: 河北教育出版社, 1991: 30-36.
- [7] 许国志. 系统科学[M]. 上海: 上海科技教育出版社, 2000: 27-29.
- [8] 薛青, 汤再江, 郑长伟, 等. 装备作战仿真基础[M]. 北京: 国防工业出版社, 2010: 119-143.
- [9] 俞康伦. 装备保障系统运行理论研究[D]. 石家庄: 军械工程学院, 2002: 28-34.