

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2010.02.002

武器装备体系能力形式化描述研究

李善飞, 鲁延京, 杨克巍, 谭跃进

(国防科学技术大学 信息系统与管理学院, 湖南 长沙 410073)

摘要: 针对目前武器装备体系能力描述精确性及规范性存在的不足, 在深入研究武器装备体系能力、能力指标体系、能力关系以及能力层次结构等相关内容基础上, 提出一种基于本体理论的武器装备体系能力形式化描述方法。并以空战武器装备体系超视距空战能力为例, 对其进行形式化描述。实例研究表明, 该方法可大大提高武器装备体系能力描述的精确性, 为今后能力分析提供精确可靠的基础数据。

关键词: 武器装备体系; 能力; 形式化; 本体; 超视距作战

中图分类号: N941.4 **文献标识码:** A

Research on Capability Formalization Description of Weapon Equipment System

LI Shan-fei, LU Yan-jing, YANG Ke-wei, TAN Yue-jin

(School of Information System & Management, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China)

Abstract: Aiming at the lacking of accuracy and criterion of current weapon equipment system description, proposed the method of noumenon-based weapon equipment system formalization description, on the basis of researching on the weapon equipment system capability, capability index system, relations of capabilities, capability hierarchy structure etc. And taking the beyond-the-horizon air combat capability of air battle weapon equip system as example to carry out formalization description. The example shows that the method can improve the accuracy of weapon equipment system capability description. Furthermore, it can provide basic data for the capability analysis for the future.

Keywords: Weapon equipment system; Capability; Formalization; Noumenon; Beyond-the-horizon campaign

0 引言

上世纪 90 年代开始, 国内外开始关注体系 (system of systems, SoS)^[1-2]这类复杂巨系统, 并以体系工程 (system of systems engineering, SoSE)^[3,4]方法来解决体系在规划、分析、组织、集成等方面面临的复杂性挑战。随着未来战场不确定性的增加及信息技术的发展, 美军在 2004 年提出了“基于能力的规划” (Capability-Based Plan, CBP)^[5], 代替传统的“基于威胁评估” (Threat-Based Plan, CBP), 并特别关注于体系的构建^[6]。能力是 CBP 的核心内容, 描述了武器装备体系完成一系列使命任务的本领。在 CBP 中, 能力对武器装备的建设与发展具有举足轻重的作用。

从需求角度, 武器装备体系能力来源于使命任务^[7]。从体系结构角度, 武器装备体系能力来源于构成体系的武器装备的性能因素和体系的结构组成 (类型、数量等)^[8]。武器装备体系能力描述武器装备体系具备的固有静态属性, 具有客观性与不可否认性。由于武器装备体系能力的获取依赖于领域知识, 又具有主观性和不确定性。故需要开展武器装备体系能力规范化研究。目前, 多采用面向对象

及结构化方法对武器装备体系能力描述。

形式化描述方法是基于数学的方法来描述目标系统属性的技术, 采用形式化方法对武器装备体系能力进行规范化可弥补上述不足。故提出了一种基于本体理论的武器装备体系能力形式化描述方法。

1 武器装备体系能力

1.1 武器装备体系能力内涵

美军《DoD体系结构框架》1.0版^[10]和《联合能力集成与开发制度手册》(JCIDS Manual, CJCSM 3170.01) 中认为, 对能力的定义需要明确两点: 能力的定义必须包含必要的属性以及对效力适当的评价方法 (例如时间、距离、结果、规模、完成的困难); 能力的定义应该容易认知, 不能影响到决策过程和任务的执行; 其定义应该详细到一定粒度, 以便可以对能力的完成情况进行评估。即能力的描述至少应包括: 1) 能力概念描述; 2) 能力指标体系描述; 3) 能力层次描述; 4) 能力关系描述。

1.2 武器装备体系能力指标体系

武器装备体系能力具有抽象性, 使得评价武器装备体系能力不能用某一项内容、某一项指标进行

收稿日期: 2009-09-01; 修回日期: 2009-10-13

基金项目: “十一五”武器装备预先研究项目(513300102); 国家自然科学基金项目体系需求分析中的导向性涌现研究 (70901074)

作者简介: 李善飞 (1987-), 男, 江苏人, 国防科学技术大学在读硕士研究生, 从事体系需求建模技术、系统管理与系统集成技术研究。

衡量, 而是利用多个指标进行评价。评价武器装备体系能力所使用的多个指标的集合称为武器装备体系能力指标体系。

建立武器装备体系能力指标体系的目的: 1) 能够对武器装备体系能力进行定性和定量的综合检验与评价; 2) 根据检验与评价结果, 对武器装备体系能力进行总体和局部的比较分析, 以便找出差距, 确定能力发展方案; 3) 为改进武器装备体系能力评价方式方法, 提高武器装备体系能力分析的效益, 提供科学的定性和定量分析依据。

1.3 武器装备体系能力层次结构

武器装备体系、武器装备系统和武器装备单元完成的使命(作战)任务呈现出层次性, 因而武器装备体系能力也呈现出层次特性。伴随着使命任务的逐层细化分解, 武器装备体系被分解成一系列完成相对单一使命任务的不同层次的系统。在分解过程中, 武器装备体系能力作为完成使命任务所具备的本领同时, 也被细化分解到装备系统的功能层次, 最终形成武器装备体系能力的层次结构, 如图 1。层次结构是武器装备体系能力最主要的结构特点。

武器装备体系构建过程是自顶向下的能力分解过程和自底向上的能力聚合过程的统一。在武器装备体系发展过程中, 首先, 根据未来作战需要将使命任务进行分解获得武器装备体系能力, 然后, 将

能力进行逐层细化分解到装备系统及装备单元的功能需求, 以牵引武器装备的发展。另一方面, 在武器装备体系构建中, 要完成能满足功能需求的武器装备单元和装备系统, 在此基础上, 通过能力聚合、演化过程实现武器装备体系整体能力。

1.4 武器装备体系能力关系

武器装备体系能力是武器装备体系能力之间相互作用、相互影响的状态。能力的发展变化会导致该能力同其他能力原有关系的改变; 而一能力和其他能力关系的变化也会引起该能力的相应变化。

能力之间的关系是客观存在的, 符合客观规律, 自然也就存在着强弱之分、动静之别。借鉴统一建模语言^[11](Unified Modeling Language, UML)中对关系的划分, 并依据关系的强弱、动静来总结武器装备体系能力关系, 将其划分为关联关系、分解关系、聚合关系、协作关系及依赖关系等五类关系。

美海军远程作战能力^[12]可分解为一系列子能力, 其中包括两栖作战能力、直接攻击能力等。而两栖作战能力又可以分解为一系列子能力, 其中包括两栖攻击能力、两栖奇袭能力等。后者分解关系的层次要低于前者分解关系, 前者是高层次的分解, 后者是低层次或者更细层次的分解。这种分解关系或聚合关系间的层次关系, 使得武器装备体系能力呈现出层次状结构。

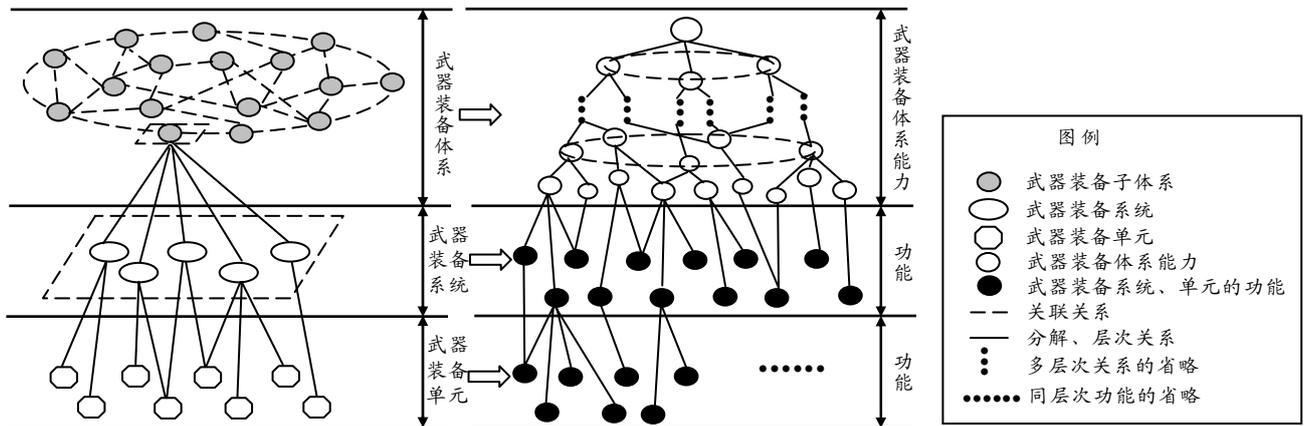


图 1 武器装备体系能力层次结构

2 武器装备体系能力的形式化描述

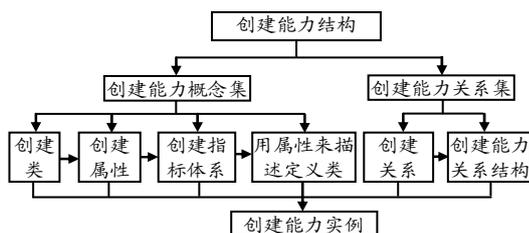


图 2 武器装备体系能力形式化描述过程

领域本体^[13-14]是对给定领域中存在的概念的特征化描述, 即对领域内大量的术语及术语间关系的描述。采用领域本体中的概念集和关系集对武器装备体系能力进行形式化描述^[15], 其描述过程如图 2。

2.1 能力结构的描述

能力结构的形式化描述如下:

$$C_S = \{\Omega, R\}$$

其中,

1) Ω 表示武器装备体系能力概念集是有限集;

2) $R = \{R^2, R^3, \dots, R^n, R(2), R(3), \dots, R(m)\}$ 表示武器装备体系能力关系集。式中 $R(i) \subseteq R(i-1) \times R(i-1), i=2, 3, \dots, m, R(i)$ 为*i*阶关系,当*i*=2时表示二阶关系, R^i 为*i*元关系($i=2, 3, \dots, n$)。其中,一阶关系即二元关系(简称“关系”)应用最广,记为 $R^2 \equiv R(1)$ 。二阶关系是关系的关系,以此类推^[16]。

武器装备体系由性能各异、品种多样、型号搭配的武器装备实体组成,这些实体系统关联方式具有多样性和差异性,其组成体系的结构非常复杂,而能力作为体系的固有属性在复杂的武器装备体系结构下也是错综复杂的,在实际研究中考虑到研究的复杂性,高阶关系保留到二阶,三阶以上的略去。

2.2 能力概念集的描述

能力概念集包括分类概念、属性、实例等。分类概念指领域中的一类对象,在这里代表武器装备体系中各不同的能力类和关系类,属性反映分类概念的特征,实例指分类概念所描述的一个具体对象。

1) 类(Class)的描述

针对能力分类概念的形式化描述如下:

$$OC = \{OC_ID, OC_Name, OC_Property, OC_Index, OC_Father_Nodes\}.$$

其中: OC_ID 代表能力类的唯一标识, OC_Name 代表能力类的名称; $OC_Property$ 代表能力类拥有的

属性, OC_Index 代表对该类评价的度量指标, OC_Father_Nodes 代表该类父能力类的集合,通过记录每个能力类的父能力类,容易建立能力的层次结构。

2) 属性(Property)的描述

属性主要用来描述类应具有的特征,具有限制类和实例的功能,某些类具有某一属性,另外一些类不具备这一属性。一个属性必须有相应的属性值。武器装备体系能力属性的形式化描述为:

$$OC_Property = \{OC_Property_ID, OC_Property_Name, OC_Property_Val\}.$$

其中: $OC_Property_ID$ 代表类属性的唯一标识, $OC_Property_Name$ 代表类属性的名称, $OC_Property_Val$ 代表对类属性值的描述。

3) 指标(Index)体系的描述

能力的指标体系是能力的评价标准。可通过指标评价能力是否达到预期目标以及下一步能力发展的方向。能力指标的形式化描述为:

$$OC_Index = \{OC_Index_ID, OC_Index_Type, OC_Index_Name, OC_Index_Level, OC_Index_Model, OC_Index_ChildID, OC_Index_Description\}.$$

其中: OC_Index_ID 代表度量指标的唯一标识, OC_Index_Type 代表度量指标的类型; OC_Index_Name 代表度量指标的名称, OC_Index_Level 代表度量指标在该类型中所属的级别层次, OC_Index_Model 代表度量指标数据计算模型的描述, $OC_Index_ChildID$ 代表该度量指标包含的子度量指标, $OC_Index_Description$ 代表度量指标的相关说明。

2.3 能力关系集的描述

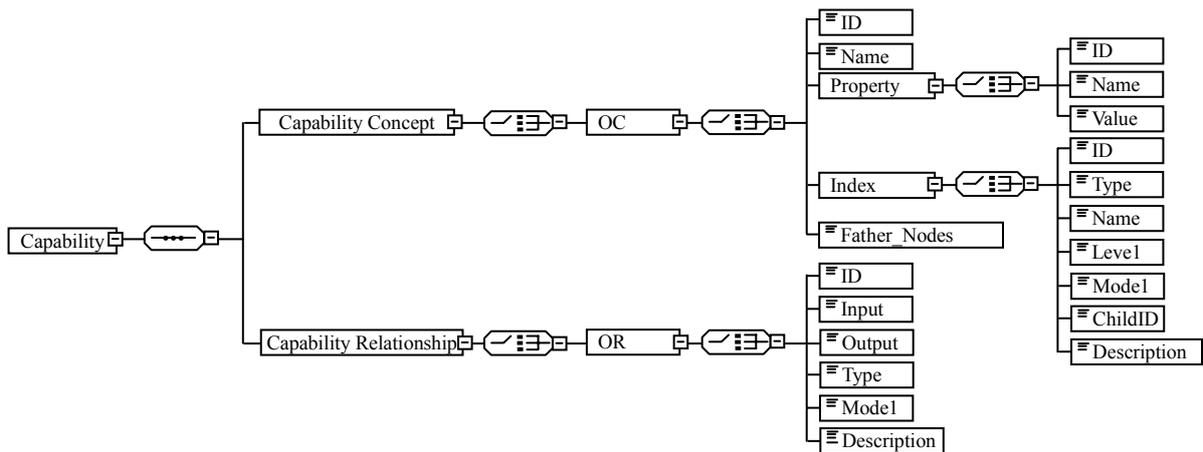


图 3 基于 XML 的武器装备体系能力描述结构

武器装备体系能力关系的形式化描述为:

$$OR = \{OR_ID, OR_Input, OR_Output, OR_Type, OR_Model, OR_Description\}.$$

其中: OR_ID 代表关系类的唯一标识, OR_Input 代表输入参数集合, OR_Output 代表输出参数集合,

OR_Type 代表关系的类型, OR_Model 代表关系作用机制的模型, $OR_Description$ 代表对关系的描述。

在上述描述中, OR_Model 为能力关系作用机制的模型,它表示在 OR_Input 为输入参数下,经过关系作用后产生的可能输出是什么,且该输出以

OR_Output参数形式表达。在实际中, OR_Model是很难获得的。考虑到能力关系的复杂性及不确定性, OR_Model可以是数学模型、仿真模型等。

输入参数集合有2种形式: 能力的集合和关系的集合。当输入参数集是能力的集合时, 关系表示的是一阶关系或*i* (*i*=2,3, ..., *n*)元关系; 当输入参数集是关系的集合时, 关系表示的是*i* (*i*=2,3, ..., *n*)阶关系。图3给出了基于XML的武器装备体系能力的描述结构。

3 能力描述的实例

以空战武器体系超视距空战能力为例^[8], 使用文中所提方法对其形式化描述, 如图4。

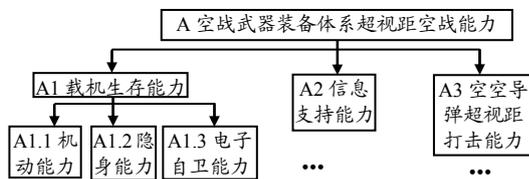


图4 空战武器装备体系超视距空战能力层次结构图

3.1 空战武器体系超视距空战能力的描述

载机生存能力={A1, 载机生存能力, 载机生存能力的属性, 载机生存能力的度量指标, A}; 载机生存能力的属性={{P1, 能力的名称, 载机生存能力}, {P2, 能力编号, A1}, ...}。

空战武器装备体系超视距空战能力指标体系如表1, 其中载机生存能力度量指标的描述为: 载机生存能力度量指标={{1.1, 载机生存能力度量指标, 机动能力度量指标, 一级, $\sum_{j=1}^n \alpha_j 1.1.i_j$, 1.1.1、1.1.2、1.1.3、1.1.4、..., 载机生存能力度量指标的一部分}, {1.1.1, 载机生存能力度量指标, 发动机最大推力, 二级, 30t, 无, 机动能力度量指标的一部分}, ...}。

载机生存能力的OWL描述为:

```
<owl: Class rdf: ID="能力"/>
```

```

<rdfs: SubClassOf>
<owl: Restriction>
  <owl: OnProperty rdf: resource="#唯一标识"/>
  <owl: AllValuesFrom rdf: resource="&xsd; string"/>
<owl: minCardinality>1</owl: minCardinality>
<owl: maxCardinality>1</owl: maxCardinality>
</owl: Restriction>
</rdfs: SubClassOf>
<rdfs: SubClassOf>
<owl: Restriction>
  <owl: OnProperty rdf: resource="#名称"/>
  <owl: AllValuesFrom rdf: resource="&xsd; string"/>
</owl: Restriction>
</rdfs: SubClassOf>
</owl: Class>
<owl: ObjectProperty rdf: ID="Contain1">
<rdfs: domain rdf: resource="#能力">
<rdfs: range rdf: resource="#能力属性">
</owl: ObjectProperty>
<owl: ObjectProperty rdf: ID="Contain2">
<rdfs: domain rdf: resource="#能力">
<rdfs: range rdf: resource="#度量指标">
</owl: ObjectProperty>
.....
<owl: DataTypeProperty rdf: ID="唯一标识"/>
<owl: DataTypeProperty rdf: ID="名称"/>
<owl: Class rdf: ID="能力属性"/>
<owl: Class rdf: ID="度量指标"/>
.....
<能力 rdf: ID="载机生存能力">
  <唯一标识 rdf: datatype="&xsd; string">A1</唯一标识>
  <名称 rdf: datatype="&xsd; string">载机生存能力</名称>
</能力>
<能力属性 rdf: ID="载机生存能力属性">
  .....
</能力属性>
.....

```

3.2 空战武器体系超视距空战能力关系的描述

表1 空战武器装备体系超视距空战能力指标体系

名称	数据计算模型	类型	数据计算模型	一级指标	数据计算模型	二级指标	数据计算模型
空战武器装备体系超视距空战能力度量指标体系	$\prod_{i=1}^n i^{\beta_i}$	1 载机生存能力度量指标	$\prod_{i=1}^3 1.i^{\beta_i}$	1.1 机动能力度量指标	$\sum_{j=1}^n \alpha_j 1.1.i_j$	1.1.1 发动机最大推力	30 t
						1.1.2 最大过载	8 g
						1.1.3 翼载荷	360 kg/m ²
				1.2 隐身能力度量指标	...	1.1.4 雷达反射截面积	5 m ²
				1.3 电子自卫能力度量指标

关系 (A1, A1.1) = {R1, A1、A1.1, 无, 分解关系, A1 ⊃ A1.1, A1.1 是由 A1 分解得到的相对具体的能力}; 关系 (A1, A1.2) = {R2, A1、A1.2,

无, 分解关系, A1 ⊃ A1.2, A1.2 是由 A1 分解得到的相对具体的能力}; 关系 (A1, A1.3) = {R3, A1、A1.3, 无, 分解关系, A1 ⊃ A1.3, A1.3 是由 A1 分

解得到的相对具体的能力};关系(A1, A1.1, A1.2, A1.3)={R4, A1、A1.1、A1.2、A1.3, 无, 分解关系, A1 ⊃ A1.1、A1 ⊃ A1.2、A1 ⊃ A1.3, A1.1、A1.2、A1.3 是由 A1 分解得到相对具体的能力};关系(R1, R2, R3, R4)={R5, R1、R2、R3, R4, 二阶关系, R1 ∪ R2 ∪ R3 ⇒ R4, R1、R2、R3 是 R4 的部分}等。空战武器装备体系超视距空战能力指标如表 1。

载机生存能力关系的 OWL 描述为:

```

<owl: Class rdf: ID="关系">
  <rdfs: SubClassOf>
    <owl: Restriction>
      <owl: OnProperty rdf: resource="#唯一标识"/>
      <owl: AllValuesFrom rdf: resource="&xsd; string"/>
      <owl: minCardinality>1</owl: minCardinality>
      <owl: maxCardinality>1</owl: maxCardinality>
    </owl: Restriction>
  </rdfs: SubClassOf>
  <rdfs: SubClassOf>
    <owl: Restriction>
      <owl: OnProperty rdf: resource="#输入参数集"/>
      <owl: AllValuesFrom rdf: resource="&xsd; string"/>
    </owl: Restriction>
  </rdfs: SubClassOf>
  .....
</owl: Class>
<owl: DataTypeProperty rdf: ID="唯一标识"/>
<owl: DataTypeProperty rdf: ID="输入参数集"/>
<owl: DataTypeProperty rdf: ID="输出参数"/>
<owl: Class rdf: ID="关系的类型"/>
<owl: Class rdf: ID="作用机制"/>
<owl: DataTypeProperty rdf: ID="关系描述"/>
<owl: ObjectProperty rdf: ID="Contain1">
  <rdfs: domain rdf: resource="#关系">
  <rdfs: range rdf: resource="#关系的类型">
</owl: ObjectProperty>
<owl: ObjectProperty rdf: ID="Contain2">
  <rdfs: domain rdf: resource="#关系">
  <rdfs: range rdf: resource="#作用机制">
</owl: ObjectProperty>
.....
<关系 rdf: ID="载机生存能力关系 ( A1, A1.1 )">
  <唯一标识 rdf: datatype="&xsd; string">R1</唯一标识>
  <输入参数集 rdf: datatype="&xsd; string">A1、A1.1</唯一标识>
  .....
</关系>
.....

```

4 结束语

通过实例验证, 证明该方法完全可用于能力描述, 可提高武器装备体系能力描述的精确性与规范性, 并为今后能力分析提供精确、可靠的基础数据。

参考文献:

- [1] Mark W. Maier. Architecting Principles for system of systems[J]. Proc 6th Annu Symp INCOSE, 1996: 567-574.
- [2] 李英华, 申之明, 蓝国兴. 军兵种武器装备体系研究[J]. 军事运筹与系统工程, 2002(3): 50-52.
- [3] Office of the Under Secretary of Defense. System of Systems Systems Engineering Guide: Considerations for Systems Engineering in a System of Systems Environment[R]. USA: DOD, 2006.
- [4] Mo Jamshidi. SYSTEMS OF SYSTEMS ENGINEERING Principles and Applications[M]. Boca Raton: CRC Press, 2009.
- [5] Committee on Naval Analytical Capabilities and Improving Capabilities-Based Planning[M]. Naval Analytical Capabilities: Improving Capabilities-Based Planning. Washington, DC: The National Academies Press, 2005: 2-3.
- [6] R. Youssef, B. Kim, J. Pagotto, A. Vallerand, S. Lam, and P. Pace. Toward an Integrated Executable Architecture and M&S Based Analysis for Counter Terrorism and Homeland Security, No. 0704-0188[R]. Defence R&D Canada Ottawa Future Forces Synthetic Environment, 2006.
- [7] 陈绣锦, 李孟军, 杨克巍, 等. 基于 QFD 的武器装备体系能力分析过程[J]. 兵工自动化, 2009, 28(1): 32-35.
- [8] 傅攀峰, 罗鹏程, 周经伦. 空战武器体系超视距空战能力指标研究[J]. 系统工程与电子技术, 2004, 26(8): 1072-1075.
- [9] 鲁延京. 基于能力的武器装备体系需求视图产品研究[D]. 湖南: 国防科学技术大学, 2006.
- [10] DoD Architecture Working Group. DoD Architecture Framework Version 1.0[R]. US Department of Defense, 2004.
- [11] Martin Fowler. UML Distilled: A Brief Guide to the standard object modeling language[M]. 3rd Edition. New Jersey: Addison-wesley professional, 2003: 1.
- [12] John K. Love. An Analysis of the Twenty-Nine Capabilities of the Marine Corps Expeditionary Unit (Special Operations Capable)[D]. Kansas: US Army Command and General Staff College, 1998.
- [13] Marek Obitko. Ontologies Description and Applications[R]. Prague: Gerstner Laboratory for intelligent Decision Making and Control Czech Technical University, 2001.
- [14] 邓志鸿, 唐世渭, 等. Ontology 研究综述[J]. 北京大学学报, 2002, 38(5): 730-738.
- [15] Lsrael Mayk, Azad M. Madni. The Role of Ontology in System-of-Systems Acquisition, No. 0704-0188[R]. Santa Monica: Intelligent Systems Technology Inc, 2006.
- [16] 谭跃进, 陈英武, 易进先. 系统工程原理[M]. (第 1 版). 湖南: 国防科技大学出版社, 1999: 39.
- [17] 李进, 王书敏. 炮兵武器装备信息化程度评估模型[J]. 四川兵工学报, 2008(1): 60-62.