

文章编号:1001-2486(2011)06-0163-06

武器装备体系能力多视图模型研究*

程 贲¹, 鲁延京¹, 葛冰峰¹, 谭 旭²

(1. 国防科技大学 信息系统与管理学院, 湖南 长沙 410073;

2. 深圳信息职业技术学院 计算机应用系, 广东 深圳 518029)

摘要:针对武器装备体系能力概念抽象、关系复杂特点导致建模困难、重用性差、语义不一致等诸多问题,提出了一种基于本体的能力多视图模型构建方法,建立了6个能力视图的元模型。该方法首先明确能力领域问题,确定武器装备体系能力领域核心本体及构建原则,然后采用形式化方法描述本体,建立核心本体的关系模型,最后面向能力视图内容建立元模型,通过视图工具和数据管理工具开发视图产品。以装甲装备体系能力建模为例,展示了方法的应用。

关键词:武器装备体系;能力视图;本体;元模型

中图分类号:E917 **文献标识码:**A

Capability Views Model for Weapon System-of-systems

CHENG Ben¹, LU Yan-jing¹, GE Bing-feng¹, TAN Xu²

(1. College of Information System and Management, National Univ. of Defense Technology, Changsha 410073, China;

2. Department of Computer Application, Shenzhen Institute of Information Technology, Shenzhen 518029, China)

Abstract: Poor reusability, semantic inconsistency and difficult implementation really exist in weapon system of systems capability (WSOSC) modeling due to capability concept and complicated relationships. To solve this problem, an ontology-based capability views construction method and six capability meta-models were proposed. The first step is to determine capability domain problems and specify core ontology of WSoSC domain and its building guidance. Next is to describe ontology in formal way and construct their relationships. The final step is to develop meta-model and create views production using relative tools. Armored equipment system-of-systems capability views were built as an illustration based on previous approach.

Key words: weapon system of systems; capability views; ontology; meta-model

武器装备体系是在国家安全战略和军事战略指导下,由功能上相互联系、性能上相互补充的各种武器装备系统,按照一定结构综合集成的更高层次的武器装备系统。在军事领域,能力是指在规定的条件和标准下,装备或军事组织具有的完成一组任务并达到预期效果的本领。武器装备体系能力是指在给定条件下,武器装备体系具备的执行一组任务达到预定效果,完成使命任务的本领。武器装备体系的能力既包括体系内单个装备或几个装备组合具有的能力,也包括武器装备体系整体提供的能力。

随着“基于能力”的思想提出,对武器装备体系能力的研究受到人们的广泛关注^[1]。美军传统防务理论中,“基于威胁”思想是以特定威胁和

想定为背景,通过开展有针对性的分析,确定军队建设、装备发展的目标和方向。在未来联合作战背景下,该思想不能完全适应作战环境与任务高度不确定、装备技术快速发展的形势,因此才有了“基于能力”思想的提出。“基于能力”思想,把能力作为一个重要的分析层面,通过能力的协调发展来获得“决策优势”,以之对抗现实存在或潜在的各种威胁;同时,也以能力为目标指导联合作战部队的转型,推动武器装备的建设与发展。

1 相关工作

近年来,由澳大利亚、加拿大、新西兰、英国、美国5国建立的技术合作项目(The Technical Cooperation Program, TTCP),就体系能力展开了

* 收稿日期:2011-03-30

基金项目:国家自然科学基金资助项目(71031007, 70901074, 70971131, 71001104);广东省自然科学基金资助项目(10451802904005327)

作者简介:程贲(1982—),男,博士生。

专题研究,探索了能力建模、基于能力的评估、基于能力的规划等问题^[2-3]。多视图建模是体系能力建模的常用方法,美国最新的国防部体系结构框架 2.0^[4]中新增了能力视图的内容,同时一改原先以视图产品为核心的理念,采用以数据为中心的思想,综合运用本体技术,目的是为了更地实现视图产品底层数据的管理及非同源视图产品数据的集成,增强模型的互操作性和重用性。MODAF1.2 中也包含了能力视图,建模过程中同样采用了本体技术^[5]。在国内,赵青松研究了武器装备体系能力的形式化描述和能力空间的结构问题^[6],鲁延京研究了基于复杂关系分析的体系能力建模问题^[7],董庆超提出一种面向 C⁴ISR 能力分析的领域特定描述语言构建方法^[8],张维明提出基于本体的 C⁴ISR 能力需求开发建模^[8]。

在此背景下,本文采用基于本体的多视图建模方法研究了武器装备体系能力建模问题,提出了基于本体的能力视图构建方法,建立了 6 个能力视图的元模型,并以装甲装备体系能力建模为例,展示了方法的应用。

2 能力多视图模型的构建

2.1 能力多视图模型构建流程

视点(Viewpoints),也称视角,是利益相关者对武器装备体系关注点的体现,武器装备体系能力视图,是在能力视点下,展示能力需求、体系已具备的能力、能力部署时间以及能力内部之间的逻辑关系等信息,反映了不同用户对武器装备体系能力的不同兴趣点。能力视图的用户通常包括高层决策者、体系顶层设计规划人员、装备论证人员、作战人员、工业部门(装备制造方)、大型项目的管理方等。高层决策者和顶层设计人员关心整个体系需要具备和发展哪些能力、完成使命任务要求能力达到什么水平;作战人员和装备论证人员关注哪些武器装备或武器装备集合能够提供这些所需的能力,工业部门和大型项目管理方关注项目进展与能力变化之间的对应关系。借鉴文献[8]中基于本体的 C⁴ISR 需求建模过程,我们提出基于本体的武器装备体系能力视图构建过程,该过程包含 5 个步骤,确定能力领域本体及相互关系、建立能力视图元模型是重点。

步骤 1:明确领域问题,确定领域本体构建原则

能力领域需要回答的问题和领域本体构建原则取决于能力视图用户关心的问题,如①完成作战任务需要哪些能力;②未来要发展的能力集合,

以及这些能力达到的水平;③能力空间中各项能力的关系^[6];④按照组织的装备编配情况,该组织具备了哪些能力;⑤大型项目的进展对能力的影响等。每个能力视图产品的功能正是回答用户关心的问题。领域本体的构建需要涵盖这些问题的答案。

步骤 2:明确核心本体,分析核心本体间关系。

通过对视图功能描述性文字的分析、提取确认视图核心概念,统一概念的语义。多用户对同一概念有相同或基本一致的理解是建立视图模型的基础,统一语义可以通过建立术语表和概念的实例来实现。本体间关系包括泛化、继承、聚合、组合、关联等。对本体进行分类时要按照内部紧耦合,外部松耦合的原则。

步骤 3:核心本体及关系形式化描述,建立核心本体关系模型。

采用形式化方法描述核心本体及关系,建立核心本体及关系模型是为了方便计算机处理及验证。本体描述语言采用特定的形式化语言对本体模型进行描述,现有的本体描述语言有 XML、RDF/RDFS、DAML + OIL、OWL、UML 等。步骤 2 和步骤 3 之间存在多次迭代。

步骤 4:面向能力视图的内容,结合核心本体模型,建立各能力视图元模型。

元模型是模型的模型,能力视图元模型是视图的概念模型,建立在能力领域核心本体形式化描述及关系分析基础上。元模型定义了体系能力建模的数据元素,为在体系能力描述的内部和之间的语义一致性建立了基础,使体系描述的集成和联合成为可能。

步骤 5:视图产品开发。

通过上述 5 步,对能力视图中的主要元素、相互关系及数据组织有了清晰的认识,在此基础上采用视图产品开发工具和底层数据管理工具,开发能力视图产品建模工具,以图形化方式展示各个能力视图产品。

2.2 能力视图的核心本体及关系分析

能力视图的用户包括高层决策者、体系顶层设计人员、装备论证人员、作战人员、工业部门、大型项目的管理方等,因此体系能力视图中的核心概念是多部门人员共同协商的结果。经过分析,能力视图中涉及 5 个核心概念,分别是能力、装备、任务、项目和组织。其中,能力定义为

$$Capability = (Cid, Cname, Cattributeset, Crelationship, Cdescription) \quad (1)$$

Cid 是能力唯一的标识符, *Cname* 是能力名称, 用自然语言表示, 同一项能力可以有多个名称。 *Cattributeset* 表示刻画该项能力的属性及度量单位集合。对于抽象的能力, 其取值为空。 *Crelationship* 表示能力之间的关系, 本文定义了3种能力间关系: 泛化关系、组合关系、依赖关系。 *Cdescription* 是用自然语言对能力的详细描述。能力的定义中包含3个约定: ①如果某项能力具有度量指标, 则该项能力为非抽象能力, 不能继续分解, 如果某项能力度量指标为空, 则该项能力可能可以继续分解成子能力的集合。②包含泛化关系或组合关系的能力集合形成层次结构, 包含依赖关系的能力集合可能构成网状关系。③能力视图中的能力可以是目前已经达到的能力, 也可以是规划中的能力, 规划中的能力反映了对能力的需求。关于能力、能力间关系、能力空间等相关内容论述可以参见文献[6]。

装备定义为

$$Materiel := (Mid, Mname, Mindexset, (2) Mcapability, Mlifetime, Mdescription)$$

其中, *Mid* 是装备的唯一的标识符, 用于计算机读取, *Mname* 是装备名称, 用自然语言表示, *Mindexset* 表示装备的关键性能参数、战技指标的集合。 *Mcapability* 是装备能力属性的取值集合, 是能力集合中多个概念的实例集合。 *Mlifetime* 是装备的启用时间及寿命, 对于实体装备可以采用设计寿命, 对于军事信息系统在环境因素未发生变化或没有出现版本更新之前, *Mlifetime* 为无穷大。 *Mdescription* 是采用自然语言对装备其他内容的解释。

任务, 是为完成作战使命或非军事行动的目的统称。顶层任务能够分解直至原子任务。任务定义为

$$Task := (Tid, Tname, Trelationship, (3) Tcapreq, Tdescription)$$

其中, *Tid* 表示任务的唯一标识符, *Tname* 表示任务名称, *Trelationship* 标识任务之间的关系, 本文只考虑一种关系——组成关系。组成关系表示一项任务(父任务)由几项任务(子任务)组成。 *Tcapreq* 表示完成该项任务的能力需求, 是包含能力及相应取值的集合。 *Tdescription* 表示使用自然语言对任务的详细描述。

项目负责研制装备, 使武器装备体系具备新的能力或达到预期效果的活动。项目用(4)式定义。其中 *Pid* 表示项目的编号, 是项目的唯一标识符, *Pname* 表示项目名称, *Pmilestone* 表示项目

的里程碑, 是项目的关键时间节点集合, *Pmaterial* 表示该项目研制的装备集合, *Pdescription* 是对项目的详细描述。

$$Project := (Pid, Pname, Pmilestone, (4) Pmaterial, Pdescription)$$

组织, 是装备的使用者和任务的执行者, 组织用(5)式表示, *Oid* 是组织的唯一标识符, *Oname* 是组织名称, *Osubjection* 是组织的隶属关系, 从下级组织指向上级组织, 根据隶属关系, 各级组织构成层次结构。 *Omaterial* 是组织装备配置情况, 包括配备装备的名称和数量, *Odescription* 是对组织的说明, 用自然语言表示。

$$Organization := (Oid, Oname, (5) Osubjection, Omaterial, Odescription)$$

体系能力模型(SoSCM)5个核心本体间的关系如图1所示。能力是整个模型的核心, 装备提供能力, 项目研制的成果是提供新装备, 从而生成新的能力, 组织通过配备装备获取能力, 组织完成任务与否取决于组织具有的能力。

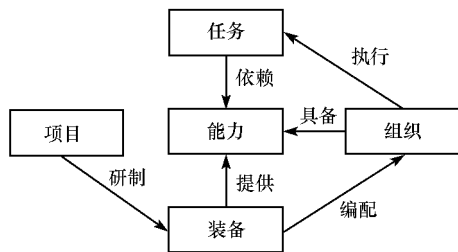


图1 体系能力模型核心本体及关系模型
Fig.1 Core concepts & its relationships of SoSCM

2.3 能力视图的元模型

能力构想描述高层决策者对能力整体发展的蓝图。能力演化视图主要面向装备论证人员、工业部门和大型项目管理人员, 反应装备的退役、项目进展带来新装备引入对体系能力的影响。能力列表和能力关系是能力视图的基础, 其中各项能力及关系来自于高层决策者和作战人员对能力的理解, 其他能力视图中引用的能力均来自能力列表。能力—作战活动视图和能力—组织视图面向作战人员。以能力为核心, 根据能力模型中核心本体及相互关系, 构建武器装备体系6个能力视图模型, 如表1所示。

模型1 能力构想视图元模型

能力构想视图根据组织的使命任务, 描述组织的发展目标、发展规划等。该视图在较高层次上为体系能力的发展提供战略背景, 所涉及的能力用术语表示。视图明确描述在将来某一阶段组织的发展构想、组织的预期目标、可度量的收益、

组织的任务以及获得的相关能力。能力构想视图的元模型如图 2(a) 所示。

表 1 能力视图名称及说明

Tab.1 Capability views list and descriptions

标注	名称	说明
CV-1	能力构想视图	根据组织发展目标、研制计划情况,构想能力发展蓝图
CV-2	能力演化视图	反映能力随着时间的推移的变化情况
CV-3	能力列表视图	按照泛化关系描述各项能力
CV-4	能力关系视图	按照组成、关联关系描述各项能力
CV-5	能力—作战活动映射视图	描述标准作战活动和抽象能力之间的联系
CV-6	能力—组织映射视图	反映组织在不同阶段具备的能力状况

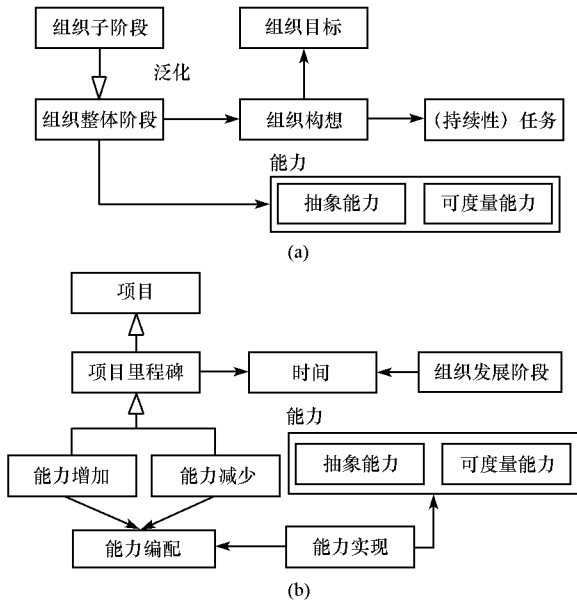


图 2 能力构想视图元模型和能力演化视图元模型

Fig. 2 Meta-model of CV-1&CV-2

模型 2 能力演化视图元模型

能力演化视图反映随着时间演化,新的能力出现、原有能力的消失或能力水平的变化。新的能力出现依赖于项目中新装备的研制,能力的消失是由于装备的退役或失效。能力演化模型中未考虑因作战原因造成装备损耗造成的能力水平下降或消失。模型 2 与模型 6 联系紧密,不同之处在于模型 2 以能力为视点,而模型 6 以组织与能力间关系为视点。能力演化视图元模型如图 2(b) 所示。

模型 3 能力列表元模型

能力列表是将能力按照泛化关系进行组织,最终形成多棵树状结构的能力集合。这里,将具有度量指标的能力称为可度量能力,抽象能力的

度量指标为空。抽象能力之间,抽象能力与可度量能力之间可以构成泛化关系,可度量能力之间不构成泛化关系。若能力列表中某项能力节点具有度量指标,即 $CAPABILITY.Metrics \neq \emptyset$, 则该项能力在能力列表中没有子能力。能力列表的元模型如图 3(a) 所示,根据能力是否具有度量指标,将能力集合分成抽象能力和具体能力,依据能力之间的泛化关系形成能力结构。可度量能力拥有定性或定量的能力属性,同时可以表明相关的外界环境因素。构建能力列表是在视图中定义了标准的能力名称和相关属性,可在其他视图产品中重用。能力列表中的能力是与时间无关的概念,可以是体系目前具备的能力,也可以是未来发展的能力。

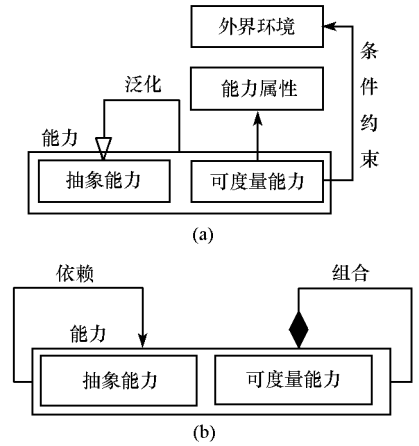


图 3 能力列表和能力关系视图的元模型

Fig. 3 Meta-Model of CV-3 & CV-4

模型 4 能力关系视图 CV-4

能力关系视图是描述能力间组成关系和依赖关系的视图。这里的组合关系、依赖关系和 UML 中的组合、依赖(关联)有相同的语义^[10],能力关系视图的元模型如图 3(b) 所示。关联关系和依赖关系对能力是否可度量没有限制。分析能力之间的关系,是为了发现能力之间联系紧密、相互影响的能力簇,为新装备研制能力方案分析提供支持。

模型 5 能力—作战活动映射视图元模型

能力—作战活动映射视图,反映为完成作战活动需要的能力支撑集合。该视图中的作战活动是标准作战活动,选取的能力是抽象能力。选择标准作战活动和抽象能力是保证模型具有一定抽象性,回避了不必要的细节。该视图假设所有任务总能够分解成标准作战活动的集合。能力到作战活动的元模型如图 4(a) 所示。

模型 6 能力—组织映射视图 CV-6

CV-6 描述组织在各阶段,依据装备的编配方

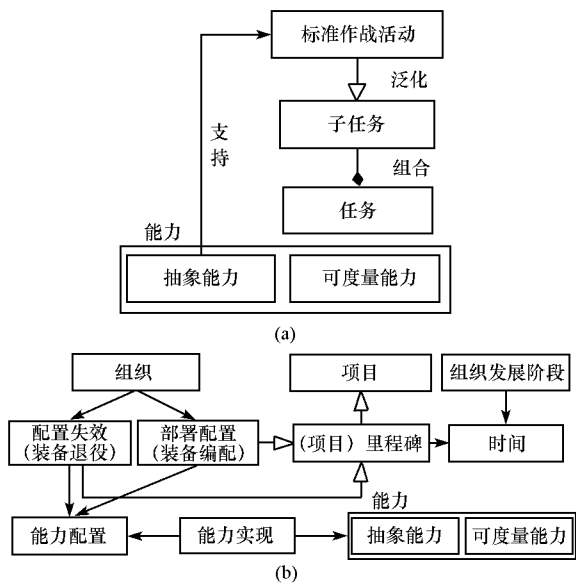


图 4 能力—作战活动映射视图和能力—组织映射视图的元模型

Fig. 4 Meta-model of CV-5&CV-6

案,具备的能力水平。该视图反映随着装备研制项目进展,装备编配方案调整及其相应能力的变化。该视图的元模型如图 4(b)所示。组织发展阶段和项目里程碑都与时间关联,在每个里程碑对应的时间点有相应新装备的研制或原有装备的退役,从而使组织的装备编配方案发生变化,能力

也随之发生相应的变动。

3 示例

以装甲装备体系的能力建模为例演示上述方法,限于篇幅,仅展示装甲装备体系能力列表、能力演化视图的构建过程。装甲装备体系是以装甲兵武器装备为主体,作战中与装甲装备协同的多种保障装备、信息装备共同组成的装备的组合。根据能力视图构建流程,首先明确能力领域的问题,确定本体构建的准则。装甲装备体系能力视图,服务于高层决策者、装甲装备论证人员、装备管理人员及装备研制项目的管理人员,帮助用户明确装甲装备体系的发展构想、装甲装备目前已具备的能力和未来发展能力,现有的研制项目对能力的提升及能力缺口等。因只讨论能力列表和能力演化视图,涉及的核心本体包括:能力、装备、项目。核心本体的形式化表述及关系模型可参见第 2 节,能力视图的元模型如图 2(b)和图 3(a)所示。能力列表中的能力项是由装备论证人员提供,来源包括个人经验、历史能力描述文档、能力发展构想等,通过泛化关系将装甲装备体系能力分解成树状结构的能力列表,如图 5 所示。

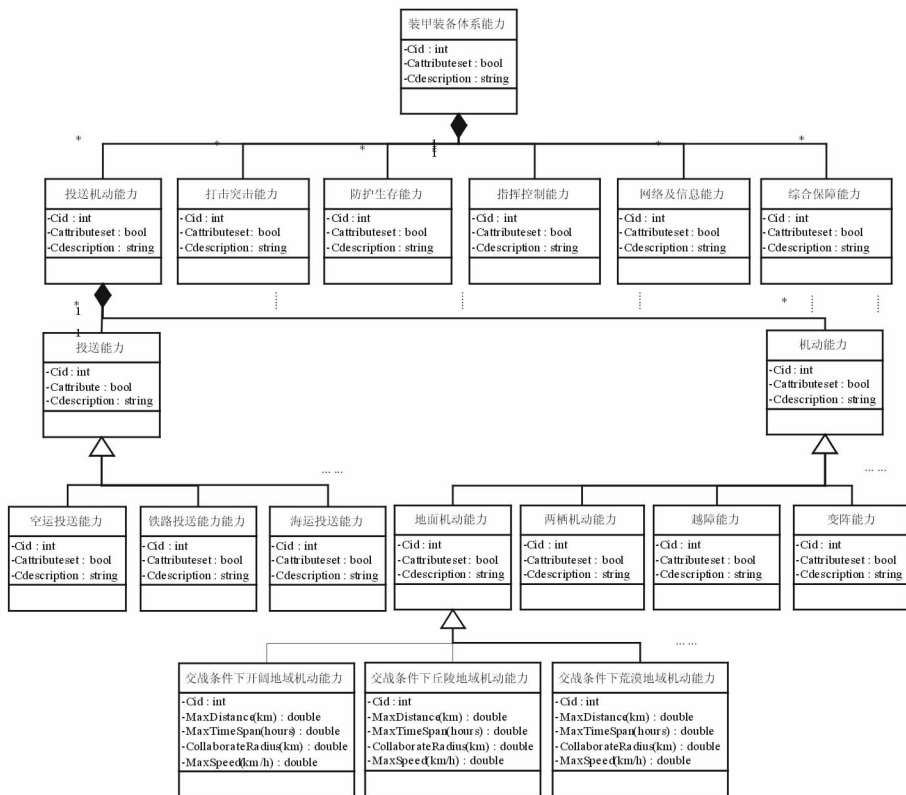


图 5 装甲装备体系能力列表

Fig. 5 Armored equipment system-of-systems capability list

图 6 展示了投送能力中空投能力的演化。演化视图涉及 3 类核心概念:能力、装备、项目,视图中的时间点选自能力构想中的时间点。该视图涉及两类映射,一是装备或装备组合到能力列表的映射,二是项目到装备的映射。按照限定时间内能够最大投送装甲车辆的数量,将空投能力分为 3 个等级。X 型运输机编队的投送能力为 20 辆,该系列装备的使用寿命为矩形框 1 所跨的时间间隔。X+型运输机编队的投送能力能同时满足 20 辆、50 辆两种投送需求,项目 1 研制的装备提供小规模的投送能力,项目 2 研制的运输装备同时提供 50 辆、90 辆的投送能力,矩形框 3、4 的起始位置表示装备的预期列装时间。从图 6 可以发现项目 3 应该提前进度,因为矩形框 2 和矩形框 3 之间存在空白区域,表示这段时间不具备空投能力。



图 6 装甲装备体系能力演化视图(部分)

Fig.6 Armored equipment system-of-systems capability evolution (partial)

4 结束语和讨论

本文研究了武器装备体系能力建模问题,提

出了基于本体的能力视图构建方法,建立了 6 个能力视图的元模型,并以装甲装备体系能力建模为例,展示了方法的应用。基于体系能力视图的能力需求获取、能力差距分析、能力评估、能力规划等是下一步研究的内容。

参考文献:

[1] DoD Quadrennial Defense Review Report[R]. Washington D. C. : DoD, 2001.

[2] TTCP JSA-TP3. Guide to Capability-based Planning [R]. 2008: 1 -14.

[3] Bernier F, Couture M, Dussault G, et al. CapDEM-toward Capability Engineering Process[R]. DRDC Ottawa, 2005.

[4] DoD. Department of Defense Architecture Framework 2.0 [S]. 2009.

[5] MOD. MODAF Handbook v1. 2. 003[S]. 2008.

[6] 赵青松,谭伟生,李孟军. 武器装备体系能力空间描述研究[J]. 国防科技大学学报, 2009, 31(1): 135 -140.

[7] Lu Y J, Chang L L, Yang K W, et al. Study on System of Systems Capability Modeling Framework Based on Complex Relationship Analyzing[C]//Proceedings of IEEE Conference on Systems Engineering, San Diego, CA ;2010:23 -28.

[8] 董庆超,王智学,朱卫星. 面向 C⁴ISR 能力分析的领域特定描述语言[J] 系统工程理论与实践,2011, 31(3): 552 -560.

[9] 张维明,段采宇. C⁴ISR 需求开发新途径:基于本体建模[J]. 国防科技大学学报,2007, 29(6): 86 -92.

[10] UML 2. 1. 2 Infrastructure Specification & Superstructure Specification [S]. 2007.

(上接第 162 页)

参考文献:

[1] 陈贵荣,常文森,尹力明. 磁悬浮列车悬浮电磁铁设计研究[J]. 国防科技大学学报, 1993, 15(4): 10 -15.

[2] 陈贵荣. 磁悬浮列车电磁铁的磁场饱和与承载能力分析[J]. 机车电传动, 1998, (3): 15 -17.

[3] 兴涛,杨建波,郭永献. U 型磁铁磁路分布与气隙磁感应强度[J]. 机械设计与制造,2008 (7): 82 -83.

[4] 罗芳,张昆仑. 磁悬浮列车 U 型悬浮电磁铁电磁力的数值计算与分析[J]. 机车电传动, 2002 (3): 32 -35.

[5] 倪鸿雁. 磁悬浮列车悬浮电磁铁电磁场三维有限元分析[J]. 铁道机车车辆,2005, 25(5): 40 -42.

[6] 刘少克,倪鸿雁,张葵葵. 中低速磁悬浮列车电磁铁滚动情况下的受力特性研究[J]. 城市轨道交通研究, 2007: 22 -25.

[7] 冯慈璋. 电磁场[M]. 北京:人民教育出版社, 1980.

[8] Masski F, Takeshi M. Total Test Operation of HSST-100 and Planning Project in Nagoya [C]//14th International Conference Magnetically Levitated Systems. 1995: 129 -133.

[9] 上海市电子电气技术协会. 常用电工材料手册[M]. 上海:

上海科学技术出版社, 1992.

[10] Deodhar A, Bawab S. Development and Validation of a Dynamic Model of the Maglev Transportation System at Old Dominion University [C]//The 20th International Conference on Magnetically Levitated Systems and Linear Drives, Dec 15 -18, 2008, San Diego, California, USA.

[11] Davey K, et al. The Old Dominion University/American Maglev Demonstration System[M]. American Maglev Technology. 2001.

[12] 闫宇壮,李云钢,程虎. 电动电磁混合磁浮悬浮稳定性及技术特性分析[J]. 中国电机工程学报, 2007, 27(6): 53 -56.

[13] 李云钢,常文森,闫宇壮. 美国新型结构磁悬浮交通技术分析[比较][J]. 机车电传动, 2006(3): 6 -9.

[14] Nozaki Y, Koseki Y, Masada E. Multipurpose Design Optimization of Linear Induction Motors for EMS Type Maglev Vehicles [C]//The 18th International Conference on Magnetically Levitated Systems and Linear Drives, Shanghai, China; 834 -842.

[15] 崔鹏. 低速磁浮列车车辆导向动力学研究[D]. 长沙:国防科学技术大学, 2010.

[16] 谢云德. EMS 型磁浮列车系统动力学建模与仿真的研究[D]. 长沙:国防科学技术大学, 1998.