

文章编号: 1001- 2486(2009) 03- 0110- 06

# 武器装备需求问题框架及特性分析\*

段采宇, 张维明, 余 滨

(国防科技大学 信息系统与管理学院, 湖南 长沙 410073)

**摘要:** 针对武器装备需求内涵模糊的问题, 建立武器装备需求问题框架并分析需求的相关本质特性。提取武器装备需求的关键影响要素, 提出武器装备需求问题框架——包括需求关键影响要素、影响要素属性、影响要素之间的关系; 采用高阶逻辑的规则, 分析了武器装备需求及需求映像的特性, 包括武器装备需求充分性、前提合理性、实现可行性、必要性和层次性, 以及武器装备需求映像充分性、必要性和指导性。以假定的一个城市导弹防御系统的需求研究为例检验了方法的可行性和有效性。

**关键词:** 武器装备; 武器装备需求; 武器装备需求映像; 问题框架; 关键要素

**中图分类号:** TP302. 1; E96 **文献标识码:** A

## Analysis of Problem Frame and Properties Materiel Requirements

DUAN Cai yu, ZHANG Wei ming, YU Bin

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

**Abstract:** In order to extropolate what are involved in materiel requirements, problem frame for materiel requirements is provided and substantive properties which belong to materiel requirements are rigorously analyzed based on key artifacts, which are distilled from the wide variations in the use of terms. Problem frame for materiel requirements focuses on the key artifacts, their attributes, and relationships at a general level. By using higher-order logical notational conventions, formal analyses are made, describing the relations that materiel requirements and their reflection must satisfy. Adequacy, precondition, feasibility, necessity, and hierarchy of materiel requirements are included. Adequacy, necessity, and guidability of materiel requirements reflection are also included. Finally, an example about the presumed urban antimissile defense system shows that the approach is highly feasible, effective and promising.

**Key words:** weapon materiel; materiel requirements; materiel requirements reflection; problem frame; key artifacts

在遇到一个问题时, 人们通常需要先认识这个问题, 然后根据认识来寻求解决问题的科学方法。在武器装备需求相关研究论著<sup>[1-8]</sup>上, 没有针对性对一些看似常识性的、关于武器装备需求的本质内涵的问题进行澄清, 例如: 武器装备建设(不是训练、条令等方面)可以解决哪些问题? 武器装备需求具备哪些特性?

事实上, 软件需求工程领域也遇到类似问题。Michael Jackson 在文献[9]中首次提出软件作用的环境、需求和软件的关系(即“环境, 软件+需求”), 认为软件能够起作用的客观问题是需求的真正内涵; 文献[10]提出一个关于软件需求及规格的参考模型。借鉴 Jackson 及其合作者的研究思想, 本文提取了影响武器装备需求的 5 个关键要素, 研究建立了武器装备需求问题框架, 并选择高阶逻辑分析了武器装备需求相关特性。

### 1 武器装备需求问题框架

定义 1 系统(System)是具有关联的一组元素构成的一个整体。

定义 2 环境(Environment)是系统周围的事物、条件或状态。

定义 3 现象(Phenomenon)是客观存在的事物, 或事物在发展、变化中所表现的外部形式。

\* 收稿日期: 2008- 10- 08

基金项目: 国家部委基金资助项目

作者简介: 段采宇(1977-), 男, 讲师, 博士。

定义4 控制(Control)表示客观世界中一部分(例如:武器装备)对某些现象的支配或约束作用。

以众多的相关术语和概念为条件,提取出武器装备需求的5个关键影响要素,建立武器装备需求问题框架(如图1所示)来描述武器装备需求问题。

1.1 武器装备需求问题框架的要素

武器装备需求问题框架涉及5个要素:

(1)要素1——武器装备(Weapon Materiel: WM)

武器装备简称“装备”(Materiel: M),是作战单元

用以实施和保障作战行动所使用的各种设备、器械和供应品。它是客观存在的物理实体。图1中用实线矩形表示。WM控制的现象集简记为  $P_{WM}$ 。

(2)要素2——问题领域(Problem World: PW)

问题领域是军事人员已经认识的客观世界,涉及战争形态、作战对象、作战环境、作战样式、作战流程、科学技术等。人的认知能力是不断发展的。图1中用实线云图表示。PW控制的现象集简记为  $P_{PW}$ 。

(3)要素3——武器装备需求(Materiel Requirements: MR)

武器装备需求是希望被发现识别的、存在于问题领域的一些属性特征,是WM作战应用中达到预期目标产生的结果。需求具有主观性、模糊性等特点。图1中用虚线椭圆表示。MR控制的现象集简记为  $P_{MR}$ 。

(4)要素4——技术资源(Technological Source: TS)

技术资源是实现特定WM所需关键技术的集合。它包括已有和将来一定时期内可预测的资源,涉及相关领域的研究现状和科技发展现状,是不断发展的。图1中用实线云图表示。TS控制的现象集简记为  $P_{TS}$ 。

(5)要素5——武器装备需求映像(Materiel Requirements reFlection: MRF)

武器装备需求映像是为了满足MR的相关人员、使用目的的多样性要求,从多层次、多角度、多方面对MR及相互关系的一种系统的描述。图1中用文档符号表示。MRF控制的现象集合简记为  $P_{MRF}$ 。

1.2 武器装备需求问题框架的关系

武器装备需求问题框架涉及5个关系:

(1)关系1——共用现象集 a(Shared Phenomena a: SPa)

SPa是军事人员期望WM对PW作用的结果,  $P_{MR}$ 是  $P_{PW}$ 的子集(图1中用虚线箭头表示),即

$$SPa \subset P_{MR} = P_{PW} \cap P_{MR} \tag{1}$$

(2)关系2——共用现象集 b(Shared Phenomena b: SPb)

SPb是WM控制的、在WM对外接口与PW共用(图1中用实线表示)的现象集,则

$$SPb \subset P_{WM} \tag{2}$$

(3)关系3——共用现象集 c(Shared Phenomena c: SPc)

SPc是技术人员期望WM具备的系统特征,  $P_{WM}$ 是  $P_{TS}$ 的子集(图1中用虚线箭头表示),即

$$SPc \subset P_{WM} = P_{WM} \cap P_{TS} \tag{3}$$

(4)关系4——共用现象集 d(Shared Phenomena d: SPd)

SPd是同时存在于MRF、TS中的现象的集合(图1中用实线双向箭头表示),即

$$SPd = P_{TS} \cap P_{MRS} \tag{4}$$

(5)关系5——共用现象集 e(Shared Phenomena e: SPe)

SPe是同时存在于MRF、MR中的现象的集合(图1中用实线双向箭头表示),即

$$SPe = P_{MR} \cap P_{MRS} \tag{5}$$

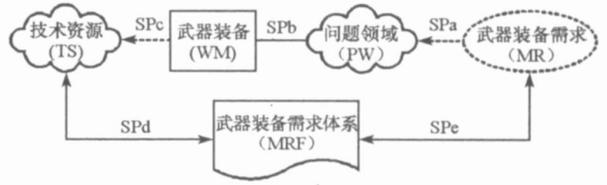


图1 武器装备需求问题框架

Fig. 1 Problem frame for materiel requirements

### 1.3 武器装备需求问题公设

军事人员、技术人员在描述问题时通常采用基于各自领域基本术语的语言。为此,引入一个公设:公设(武器装备需求问题公设):环境范畴的要素的描述基于军事领域基本术语;系统范畴的要素的描述技术领域基本术语;军事领域、技术领域中存在通用的(或者可以相互理解的)一些基本术语。

问题框架的5个要素归为两组——环境范畴的要素(PW、MR和MRF)和系统范畴要素(MRF和WM、TS)。为了研究方便,作以下标记: $e$ 表示环境控制的现象集,基于军事人员掌握的军事领域术语描述; $e_v$ 表示环境控制的且对系统可见的现象集,技术人员易理解; $e_h$ 表示环境控制的但对系统隐藏的现象集,技术人员难理解; $s$ 表示系统控制的现象集,基于技术人员掌握的技术领域术语描述; $s_v$ 表示系统控制的且对环境可见的现象集,军事人员易理解; $s_h$ 表示系统控制的但对环境隐藏的现象集,军事人员难理解。

“环境”范畴是“系统”范畴以外的,因此 $e \cap s = \phi$ ,其中 $e = e_h \cup e_v$ 、 $s = s_h \cup s_v$ 。武器装备需求问题框架中的5个关系,有:① $SPa \subset e$ ; ② $SPc \subset s$ ; ③ $SPb \subset SPd \subset s_v$ ; ④ $SPe \subset e_v$ 。

PW控制环境现象;MR约束军事人员期望的所有可能的环境现象,比PW的约束更强,即

$$P_{MR} \subset P_{PW} \subset e \quad (6)$$

TS控制系统现象;WM约束技术人员期望的所有可能的系统现象,比TS的约束更强,即

$$P_{WM} \subset P_{TS} \subset s \quad (7)$$

MRF同时属于环境范畴、系统范畴,是基于军事领域、技术领域通用术语表示的模型或指标,即

$$P_{MRS} \subset SPe \cup SPd \subset e_v \cup s_v \quad (8)$$

## 2 武器装备需求基本性质

### 2.1 武器装备需求的充分性

武器装备能够作用到的客观世界的问题是武器装备需求的本质。

如果考虑WM与TS结合,令 $WM' = WM \wedge TS$ ,那么 $WM'$ 描述了在TS约束下所有可能的系统现象的集合。需求的本质表述为“如果 $WM'$ 实现PW中某些现象,那么这些现象就是MR”。逻辑上描述为

$$\forall es. PW \wedge WM' \rightarrow MR \quad (9)$$

式(9)说明:武器装备需求包括所有同时存在于环境、系统中现象。也即问题领域中任意现象,如果在武器装备中会发生,它就是武器装备需求。式(9)表示的特性称为武器装备需求的充分性。

由此,给出武器装备需求的定义。

定义5 武器装备需求是基于特定时期内的技术资源可以实现的、军事领域内的任意期望和要求。

### 2.2 武器装备需求的前提合理性

武器装备需求的充分性(式(9))具有实际意义,则

$$\exists es. PW \wedge WM' \rightarrow MR \quad (10)$$

由式(10),而且 $s_h$ 现象不会出现在PW中,可知

$$\exists e_h e_v s_v. PW \quad (11)$$

式(11)说明:环境中必须存在与 $s_v$ 相对应的现象集( $e$ )。这个特性称为武器装备需求的前提合理性。

式(11)包含三个方面:(1)在军事领域内,存在某些作战要求(或期望);(2)在技术领域内,存在满足这些作战要求的某些技术条件;(3)军事人员清楚这些技术条件可能产生的军事能力。

### 2.3 武器装备需求的实现可行性

由式(10),而且 $e_h$ 现象不会出现在 $WM'$ 中,可知:

$$\exists e_v s_v s_h. WM' \quad (12)$$

式(12)说明:系统中必须存在与 $e_v$ 相对应的现象集( $s$ )。这个特性称为武器装备需求的实现可行

性。

式(12)包含三个方面:(1)在技术领域内,存在某些技术条件(或能力);(2)在军事领域内,存在这些技术条件可以解决的某些作战应用期望;(3)技术人员清楚这些作战应用期望对技术的要求。

## 2.4 武器装备需求的必要性

考虑同时满足武器装备需求的前提合理性、实现可行性的现象,则“ $\exists e_s. PW \rightarrow \exists e_s. PW \wedge WM'$ ”;如果武器装备需求能够被技术人员所理解,那么它只能在  $e_v$  中考虑。因此,可知:

$$\forall e_v. (\exists e_s. PW) \rightarrow (\exists e_s. PW \wedge WM') \quad (13)$$

式(13)说明:环境中对系统可见的任意现象( $e_v$ ),如果它与关于领域问题的假定( $PW$ )相一致,那么就与技术资源的实现能力( $WM'$ )具有一致性。式(13)表示的特性称为武器装备需求的必要性。

式(13)包含三个方面:(1)武器装备需求必须是技术人员易理解的环境现象;(2)在军事领域内,存在与武器装备需求一致的作战要求;(3)在技术领域内,存在与武器装备需求一致的技术实现能力。

## 2.5 武器装备需求的层次性

从  $PW$ 、 $WM$  和  $TS$  三个层次考虑,可以将武器装备需求划分为作战需求、系统需求和技术需求。

定义6 武器装备作战需求是指在特定条件下,武器装备必须完成的作战任务或达到的作战目标。

定义7 武器装备系统需求是指面向指定作战目标,武器装备必须具备的系统特征或达到的物理条件。

定义8 武器装备技术需求是指面向特定的功能领域和规定的系统目标,技术领域必须具备的条件。

由武器装备需求的前提合理性(式(11)),可知

$$\forall s. WM \rightarrow \exists e. PW \quad (14)$$

由武器装备需求的实现可行性(式(12)),可知

$$\forall s. TS \rightarrow \exists s. WM \quad (15)$$

由式(14)、式(15),可知

$$\forall s. TS \rightarrow \exists e. PW \quad (16)$$

由武器装备需求的充分性(式(9))、必要性(式(13)),可知

$$\forall s. WM \rightarrow \exists s. TS \quad (17)$$

由武器装备需求的充分性(式(9))、必要性(式(13)),可知

$$\forall e. PW \rightarrow \exists s. WM \quad (18)$$

由式(17)、式(18),可知

$$\forall e. PW \rightarrow \exists s. TS \quad (19)$$

式(14)~式(19)的含义:作战需求牵引系统需求,系统需求牵引技术需求;技术实现是系统实现的前提,系统实现是作战需求实现的前提;作战需求牵引技术发展方向,同时新兴技术推动作战需求的发展。

## 3 武器装备需求映像基本性质

### 3.1 武器装备需求映像的充分性

针对  $WM$ ,  $MRF$  是  $PW$  的代理,与  $MR$  的特性相同。逻辑上描述为

$$\forall e_s. PW \wedge MRF \rightarrow MR \quad (20)$$

式(20)说明:  $MR$  包括同时存在于  $PW$ 、 $MRF$  中所有现象。即:  $PW$  控制的任意现象,若存在于  $MRF$  中,则它就存在于  $MR$  中。式(20)换言之:针对技术人员而言,武器装备需求映像代表武器装备需求。

针对  $MR$ ,  $MRF$  是  $TS$  的代理,与  $WM$  的特性相同。逻辑上描述为

$$\forall e_s. TS \wedge MRF \rightarrow WM \quad (21)$$

式(21)说明:  $WM$  包括同时存在于  $TS$ 、 $MRF$  中所有现象。即:  $TS$  控制的任意现象,若存在于  $MRF$

中,则它就存在于WM中。式(21)换言之:针对军事人员而言,武器装备需求映像代表武器装备。

式(20)和式(21)共同表示的特性称为武器装备需求映像的充分性。

由此,给出武器装备需求映像的定义:

定义9 基于相关人员易理解的语言,系统的描述武器装备需求及关系的模型(或指标)构成一个有机整体,如果它能充分反映武器装备需求且能有效指导武器装备建设,那么它就是武器装备需求映像。

### 3.2 武器装备需求映像的前提合理性

对军事人员而言,需要给出系统可见的环境现象( $e_v$ )。根据式(20),MRF与MR具有一致性,可知对“MRF中任意系统现象( $s$ ),PW内必然存在相应的环境现象( $e$ )”(即:  $\forall s. MRF \rightarrow \exists e. PW$ ),则

$$\forall e_v. (\exists e_{sh}. PW) \rightarrow (\exists s. MRF) \wedge (\forall s. MRF \rightarrow \exists e_{sh}. PW) \quad (22)$$

式(22)说明:环境中对系统可见的任意现象( $e_v$ ),如果它与PW一致,那么MRF中存在与之相对应的系统现象( $s$ ),而且它们都与PW一致。式(22)表示的特性称为武器装备需求映像的前提合理性。

式(22)包含四个方面:(1)MRF中任意环境现象,技术人员都容易理解;(2)在军事领域内,存在与这些环境现象相一致的作战要求;(3)MRF中存在满足这些作战要求的系统现象;(4)MRF中的任意系统现象,都存在相对应的作战要求。式(22)换言之:武器装备需求映像必须与武器装备需求一致。

### 3.3 武器装备需求映像的实现可行性

对技术人员言,需要给出环境可见的任意系统现象( $s_v$ )。根据式(21),MRF与WM具有一致性。可知对“MRF中任意环境现象( $e$ ),WM内必然存在相应的系统现象( $s$ )”(即:  $\forall e. MRF \rightarrow \exists s. WM'$ ),则

$$\forall s_v. (\exists e_{sh}. WM') \rightarrow (\exists e. MRF) \wedge (\forall e. MRF \rightarrow \exists s_{sh}. WM') \quad (23)$$

式(23)说明:系统中对环境可见的任意现象( $s_v$ ),如果它与WM'一致,那么MRF中存在与之相对应的环境现象( $e$ ),而且它们都与WM'一致。式(23)表示的特性称为武器装备需求映像的实现可行性。

式(23)包含四个方面:(1)MRF中任意系统现象,军事人员都容易理解;(2)技术领域内存在与这些系统现象相一致的目标武器装备;(3)MRF中存在与目标武器装备相一致的环境现象;(4)MRF中任意环境现象,都存在相对应的目标武器装备。式(23)换言之:武器装备需求映像必须与目标武器装备一致。

式(22)和式(23)共同表示的特性称为武器装备需求映像的必要性。

### 3.4 武器装备需求映像的指导性

MRF与MR具有一致性,军事人员通过MRF对武器装备研制人员提出要求,逻辑上描述为

$$\forall e. (\exists s. MRF) \rightarrow (\exists s. WM') \wedge (\forall s. WM' \rightarrow MRF) \quad (24)$$

式(24)说明:环境中的任意现象( $e$ ),如果MRF存在相应的系统现象( $s$ ),那么技术人员建设的目标武器装备(WM')存在与之相对应的系统现象( $s$ ),而且这些系统现象都与MRF的特性是一致的。

式(24)表示的特性称为武器装备需求映像的指导性。

式(24)包含四个方面:(1)MRF来源于军事领域中反映作战要求的环境现象;(2)MRF中存在满足这些作战要求的系统现象;(3)技术领域内存在与MRF中系统现象一致的目标武器装备;(4)目标武器装备的任意系统现象,都与MRF的系统现象一致。式(24)换言之:目标武器装备必须与武器装备需求映像一致。

## 4 应用示例

以假定的一个城市导弹防御系统的需求研究进行简单示例说明:PW是城市防空;MR是成功防御包括中程、远程战术弹道导弹的空袭;WM是由导弹预警卫星、大型相控阵雷达、城市防空指挥控制平台、战术数据链、某型防空导弹系统等装备构成的一个回路系统;TS是形成WM所需关键技术的集合,例如导弹预警红外监视技术、星间数据传输技术、信息融合技术、数据链技术、辅助决策技术等。

由“武器装备需求问题公设”可知,城市导弹防御系统起作用的环境控制的现象集合( $e$ )、城市导弹防御系统控制的现象集合( $s$ )是需求研究的边界,需求研究中只需要考虑这两类现象,简单列举如下:

- $e_h$ : 作战流程; 防空成功; 防空失败。
- $e_v$ : 导弹尾焰; 导弹反射雷达电波; 摧毁离城区 50km 的导弹; 摧毁离城区 500km 的导弹。
- $s_v$ : 探测红外信号; 发射雷达信号; 接受反射的雷达信号; 拦截距离城区 50km 内的导弹。
- $s_h$ : 系统的物理结构; 防空武器装备软件配置; 防空武器装备内部交互的各种数据。

分析  $e$  和  $s$  可知:  $s$  中不存在与  $e_v$  中“摧毁离城区 500km 的导弹”对应的现象,不满足式(13)所示的武器装备需求的必要性,因此“摧毁离城区 500km 的导弹”不能作为城市导弹防御系统的需求。

$e \cap s = \phi$ , 军事人员往往关心  $e$ , 技术人员往往关心  $s$ 。而且,技术人员难以理解  $e_h$  中“作战流程”、“防空成功”、“防空失败”; 军事人员难以理解  $s_h$  中“系统的物理结构”、“防空武器装备软件配置”、“防空武器装备内部交互的各种数据”(而且,需求论证阶段通常不重点关注  $s_h$  中现象)。为了避免出现作战需求与系统实现相脱节,需要用军事人员、技术人员可以相互理解的语言表达 MRF(即只描述  $e_v$  和  $s_v$  中现象)。

按照式(22)所示的武器装备需求映像的前提合理性, MRF 中可包括“导弹尾焰”、“导弹反射雷达电波”和“摧毁离城区 50km 的导弹”。按照式(23)所示的武器装备需求映像的实现可行性, MRF 中可包括“探测红外信号”、“发射雷达信号”、“接受反射的雷达信号”和“拦截距离城区 50km 内的导弹”。

按照式(22)、式(23)的要求,形成 MRF: 探测可疑红外信号,一旦探测到来袭弹道导弹发出的尾焰,通过发射、接收弹道导弹反射的雷达信号来精确感知目标,将来袭导弹在距离城区 50km 处摧毁。

## 5 结束语

建立武器装备需求问题框架,科学认识需求问题,有助于武器装备需求开发:

- (1) 式(9)把 WM 作用到的 PW 作为 MR 立足点,有助于相关人员正确认识 MR;
- (2) 式(13)有助于正确评价军事人员提出的 MR,避免实际项目中获取一些错误特性的情况;
- (3) 从 PW、WM 和 TS 三个层次划分武器装备需求,有助于相关人员分工合作、理清关系。
- (4) 式(20)、式(21)、式(22)和式(23)有助于正确划分军事人员、技术人员在武器装备需求开发时的工作职责——军事人员对式(20)、式(22)的命题负责,技术人员对式(21)、式(23)的命题负责。

在此基础上,逐步建立军事需求工程的基础理论,是我们当前和即将开展的工作。

## 参考文献:

- [1] DoD Architectures Working Group. DoD Architecture Framework Version 1.0[R]. DoD, 2004.
- [2] CJCSI 3170.01E. Joint Capabilities and Integration Development System [S]. Organization of the Joint Chiefs of Staff, 2005.
- [3] 王书敏, 贾现录. 武器装备作战需求论证中的系统理论与方法[J]. 军事运筹与系统工程, 2004, 18(2): 18-21.
- [4] 沈如松, 张育林. 基于 UML 和 Petri 网的武器装备需求分析方法[J]. 系统工程理论与实践, 2006, 26(1): 136-140.
- [5] 李宗勇, 王智学, 陈彬, 等. 基于目标的 C<sup>4</sup>ISR 系统需求行为建模[J]. 系统工程与电子技术, 2007, 29(10): 1669-1673.
- [6] 罗爱民, 黄力, 罗雪山. C<sup>4</sup>ISR 体系结构产品设计研究[J]. 国防科技大学学报, 2006, 28(5): 133-136.
- [7] 段采宇, 张维明, 余滨. C<sup>4</sup>ISR 需求模型化框架[J]. 国防科技大学学报, 2007, 29(5): 122-127.
- [8] 张维明, 段采宇. C<sup>4</sup>ISR 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.
- [9] Jackson M. The Meaning of Requirements [J]. Annals of Software Engineering Special Issue on Software Requirements Engineering, 1997: 5-22.
- [10] Gunter C A, Gunter E L, Jackson M, et al. A Reference Model for Requirements and Specifications [J]. IEEE Software, 2000, 17(3): 37-43.