

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2011.08.001

## 武器装备体系建设风险的风险因子模糊综合评价

曾平, 豆亚杰, 李孟军

(国防科技大学信息系统与管理学院, 长沙 410073)

**摘要:** 为实时、准确地评价和跟踪武器装备体系(system of system, SoS)建设过程中的风险, 对武器装备体系建设风险的风险因子进行模糊综合评价。分析武器装备体系建设风险的来源和成因, 并将武器装备体系建设风险评价划分为5级层次, 引入风险因子的概念, 建立武器装备体系建设风险评价模型, 对武器装备体系建设风险进行5级模糊综合评价。该模型客观合理, 为武器装备体系建设风险的评价提供了一种简单实用的方法。

**关键词:** 武器装备体系; 风险因子; 模糊综合评价

**中图分类号:** TJ03 **文献标志码:** A

## Risk Factor Fuzzy Integration Evaluation of Weaponry and Equipment System of Systems Construction Risk

Zeng Ping, Dou Yajie, Li Mengjun

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

**Abstract:** In order to evaluate and track the construction risk of weaponry and equipment system of systems (WESoS) timely and exactly, a fuzzy integration evaluation of the construction risk factor of WESoS is given. Analysis of the sources and elements of construction risk of WESoS, the construction risk of WESoS was divided into five grades. The concept of risk factor was introduced and a risk evaluation model was given, after that, the five grades fuzzy integration evaluation of WESoS construction risk based on the model was discussed. The model is of impersonality and in reason, which provided a simple and practical method for construction risk evaluation of weaponry and equipment system of systems.

**Keywords:** weaponry and equipment system of systems; risk factor; fuzzy integration evaluation

### 0 引言

随着军事、经济和高新技术的快速发展, 体系对抗逐渐成为高技术条件下现代战争的主要作战样式, 体系作战能力的强弱成了参战主体能否制胜的关键。武器装备体系(system of system, SoS)内部结构复杂度和体系整体规模日益增加, 导致武器装备体系建设涉及领域广, 建设周期长, 建设费用巨大。武器装备体系建设过程中有许多不确定的因素, 加大了建设过程中的风险和体系风险管理的难度。风险的存在会降低体系整体效能的发挥, 甚至引起武器装备体系建设失效, 因此研究武器装备体系建设风险具有重要的应用价值和现实意义<sup>[1-3]</sup>。

目前, 国内对于武器装备体系建设风险的研究处于起步阶段, 研究成果和可供参考的文献很少。因此, 笔者对武器装备体系建设风险评价进行研究, 以便能够实时、准确地评价、跟踪武器装备体系建设过程中的风险, 从而制定切实有效的风险控制策略, 为武器装备体系建设管理提供科学合理的决策支持。

### 1 武器装备体系建设风险来源和成因

Dr John Porter 等人从工程实践的角度, 认为体系中有5种风险位列前茅, 它们分别是: 综合集成、采购成本、可靠性、测试、总投入。体系风险产生的原因大约有以下10个方面: 组件的并行开发、灾难性意外的潜在可能性、冒险性的新方法、跨多个工程领域、部件和功能繁多、组建和功能上的重复、半自主行为、操作人员及自动控制系统、复杂非线性相互作用、与过去有关的不确定行为<sup>[4]</sup>。

武器装备体系建设进程立足于现有武器装备, 建设费用受预算限制, 建设目标在于提升体系整体作战效能<sup>[1-3]</sup>, 因此, 武器装备体系建设风险也表现出一些自身的特点, 即渐进性、相关性和整体性。从体系组织结构来看, 武器装备体系建设风险主要来源于武器装备的研制、采购、维修、保障以及退役报废等各个项目的风险, 体系风险和项目风险之间具有高低层级关系, 且各个项目风险之间互相作用, 紧密联系。

### 2 武器装备体系建设风险评价模型

Andrew P. Sage等人提出了体系风险管理的实

收稿日期: 2011-04-04; 修回日期: 2011-05-17

基金项目: “十一五”国防预研项目(513300102); 国家自然科学基金项目(70901074)

作者简介: 曾平(1987—), 男, 江西人, 硕士在读, 从事国防采办与体系工程研究。

施 5 步骤：定义风险、分析风险、计划风险、跟踪风险、解决风险，体系风险评价被描述为体系风险分析的主要内容<sup>[5]</sup>。目前，国内学者们对于武器装备体系建设风险管理的研究<sup>[6-7]</sup>多集中在单一项目的风险管理和评估，以及武器装备体系的自身结构和效能评估研究，即使构建体系建设风险评价的模型和方法<sup>[1]</sup>，也比较粗略，不够详细。因此，建立一个能够准确描述武器装备体系建设风险评价的模型，对于武器装备体系建设风险的管理和控制显得尤为重要。

根据武器装备体系建设风险的来源和成因，风险因子和指标集、子目标集的概念，参照狄鹏等人研究的评估模型<sup>[1]</sup>和李忠民等人构建的武器装备采办指标体系<sup>[8]</sup>，将武器装备体系建设风险评价划分为 5 级层次：第 1 层次为武器装备体系建设风险层；第 2 层次为武器装备体系建设项目风险层；第 3 层为项目子目标层；第 4 层为项目风险准则层，第 5 层为项目风险指标层，其结构如图 1。

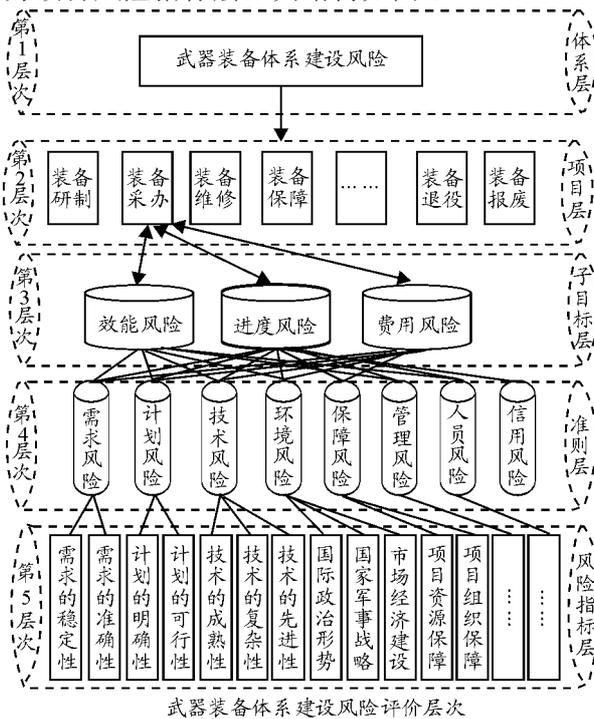


图 1 武器装备体系建设风险评价层次图

### 3 武器装备体系建设风险评价方法

从项目风险的定义来看，项目的风险  $R$  可以表示为项目“失败”的概率  $P$  和“失败”的后果  $C$  2 个变量的函数，概率的区间为  $[0, 1]$ ，0 为完全成功，1 为完全失败，其数学表达式为<sup>[9-10]</sup>：

$$R = f(P, C) \tag{1}$$

参考周林等给出的风险因子定义<sup>[6]</sup>，风险因子

$R_f$  就是项目风险的似然估计，于是便有

$$R_f = 1 - P_s C_s = 1 - (1 - P_s)(1 - C_s) = P_f + C_f - P_f C_f \tag{2}$$

式 (1)、式 (2) 中： $R$  为项目风险大小； $R_f$  为项目风险因子； $P_f$  为项目失败的概率； $P_s$  为项目成功的概率； $C_f$  为项目失败后果的影响程度； $C_s$  为项目成功后果的影响程度。如果当  $P_f$  和  $C_f$  的时候，式 (2) 可简化为：

$$R_f = P_f + C_f \tag{3}$$

风险因子的大小都会与下一级指标集合之间联系密切，并对上一级子目标集各个元素产生不同程度的影响。这些决定风险因子大小的指标集依据对风险“贡献”的程度，子目标集合依据被风险“影响”程度被设定为不同的权重。为了简单起见，笔者采用了量化标尺法，即将定性评价结果通过表 1 直接映射为 0~1 之间的值。定性评价级别推荐使用 5~9 个量化级别，可能时尽量使用 9 个等级。因为经过试验表明，在对不同物体进行辨识时，普通人能够区别的等级在 5~9 级之间。

表 1 定性指标量化标尺

等级	分数								
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
9	极弱	很弱	弱	较弱	一般	较强	强	很强	极强
7	极弱	很弱	弱		一般		强	很强	极强
5	极弱		弱		一般		强		极强

另外，还有把语言值量化为模糊数的标度量化方法，常用的方法有三角模糊数与梯形模糊数方法<sup>[11]</sup>，这种量化方法能够较好地避免丢失模糊信息，但计算过程较复杂，尤其是最后的排序，为了使模型简单实用，选择定量化标尺方法。

一般认为，风险强度与风险因子数值大小的关系符合规则 1。

规则 1：风险因子  $R_f > 0.9$  的为很高风险； $0.9 \geq R_f > 0.75$  的为高风险； $0.75 \geq R_f > 0.6$  为较高风险； $0.6 \geq R_f > 0.4$  为中等风险； $0.4 \geq R_f > 0.25$  为较低风险； $0.25 \geq R_f > 0.1$  为低风险； $R_f \leq 0.1$  为很低风险。

### 4 基于风险因子的模糊综合评价模型

#### 4.1 失败概率 $P_f$ 的估计

从准则层次<sup>[11]</sup>开始，以 A 风险为例，其中

$A \in \{\text{需求风险, 计划风险, 技术风险, 环境风险, 管理风险, 信用风险, } \dots\}$ , 进行 A 风险概率  $P_f$  的评估, A 风险概率  $P_f$  取决于 A 风险的指标影响程度, 假设指标集为  $a = \{a_1, a_2, a_3\}$ , 各指标被赋予不同的权重, 指标权重为  $W_a = \{W_{a_1}, W_{a_2}, W_{a_3}\}$ , 指标集对应的评价集  $V$  的量值向量可以参照表 1 中的定性指标量化标尺, 不妨设评价向量  $V = (v_1, v_2, \dots, v_5) = (0.1, 0.3, 0.5, 0.7, 0.9)$ ,  $V$  中 5 个量值描述如表 2。

表 2 指标集对 A 风险概率的影响程度的度量值统计

量值	指标 $a_1$	指标 $a_2$	指标 $a_3$
$v_1 = 0.1$	在指标 $a_1$ 上表现极弱	在指标 $a_2$ 上表现极弱	在指标 $a_3$ 上表现极弱
$v_2 = 0.3$	在指标 $a_1$ 上表现弱	在指标 $a_2$ 上表现弱	在指标 $a_3$ 上表现弱
$v_3 = 0.5$	在指标 $a_1$ 上表现一般	在指标 $a_2$ 上表现一般	在指标 $a_3$ 上表现一般
$v_4 = 0.7$	在指标 $a_1$ 上表现强	在指标 $a_2$ 上表现强	在指标 $a_3$ 上表现强
$v_5 = 0.9$	在指标 $a_1$ 上表现极强	在指标 $a_2$ 上表现极强	在指标 $a_3$ 上表现极强

参照表 2 的评价标准, 以文献[6]中专家打分方法, 请有关专家组成的风险评估小组对某装甲装备体系建设项目 A 风险的 3 个指标进行评价, 并选择出合理的量值。假设专家总人数为  $N$ , 打分表中第  $i$  个指标的第  $j$  个量级出现的专家个数为  $N_{ij} (i=1, 2, \dots; j=1, 2, \dots)$ , 则项目 A 风险的失败概率  $P_f$  为:

$$P_f = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (W_{a_i} \frac{N_{ij}}{N} v_j) = W_a \cdot E \cdot V^T \quad (4)$$

其中:  $E$  为  $\frac{N_{ij}}{N}$  元素组成的  $n \times m$  的矩阵。

### 4.2 风险后果影响程度 $C_f$ 的估计

准则层 A 风险发生后, 通常会对于目标层 A 的子目标  $H$  产生影响, 在设计武器装备体系建设风险评价层次结构中,  $H \in \{\text{性能, 费用, 进度}\}$ , 并根据装备采办项目风险评估的工程实践<sup>[12]</sup>, 风险后果影响程度  $C_f$  通常从性能、费用和进度 3 个方面进行衡量。这种估计的不确定因素很大, 需要用到模糊评价法。

同样, 设定失败后果影响的子目标集为  $H = \{H_1, H_2, H_3\}$ , 对各子目标赋予权重向量  $W_H = \{W_{H_1}, W_{H_2}, W_{H_3}\}$ 。子目标集  $H$  也有相应的评价集  $P$ , 量值向量  $P = (p_1, p_2, \dots, p_5) = (0.1, 0.3, 0.5, 0.7, 0.9)$ 。

表 3 给出了评价集  $P$  量值的描述。

表 3 子目标集对风险 A 后果影响程度的度量值统计

量值	子目标 $H_1$	子目标 $H_2$	子目标 $H_3$
$p_1 = 0.1$	对于子目标 $H_1$ 影响极弱	对于子目标 $H_2$ 影响极弱	对于子目标 $H_3$ 影响极弱
$p_2 = 0.3$	对于子目标 $H_1$ 影响弱	对于子目标 $H_2$ 影响弱	对于子目标 $H_3$ 影响弱
$p_3 = 0.5$	对于子目标 $H_1$ 影响一般	对于子目标 $H_2$ 影响一般	对于子目标 $H_3$ 影响一般
$p_4 = 0.7$	对于子目标 $H_1$ 影响强	对于子目标 $H_2$ 影响强	对于子目标 $H_3$ 影响强
$p_5 = 0.9$	对于子目标 $H_1$ 影响极强	对于子目标 $H_2$ 影响极强	对于子目标 $H_3$ 影响极强

和 A 失败概率  $P_f$  的专家打分评价模式类似, 从 3 个子目标的角度对失败结果影响程度进行衡量, 同样, 根据专家总人数  $N$  和打分表各项中出现的选中数  $M_{ij}$ , 得到和  $E$  矩阵类似的评判矩阵  $M$ 。对技术 A 风险的模糊综合评判矩阵  $B$  是  $P$  的模糊子集, 根据文献[13]给出的模糊综合评价方法, 于是有  $B = P \circ M$ , 对  $B$  矩阵进行归一化处理之后可得  $\hat{B}$ , 所以 A 风险对于因素集合的影响程度, 即失败后果影响程度  $C_f$  为:

$$C_f = \hat{B} \circ P^T \quad (5)$$

### 4.3 模糊综合评价流程

依据武器装备体系建设风险 5 级层次结构, 在对子目标失败概率  $P_f$  和风险后果影响程度  $C_f$  估计的基础上, 进行项目风险因子  $R_f$  的计算, 继而得出体系风险因子  $R_f$  的值, 所以武器装备体系建设风险评价的流程可以描述如图 2。

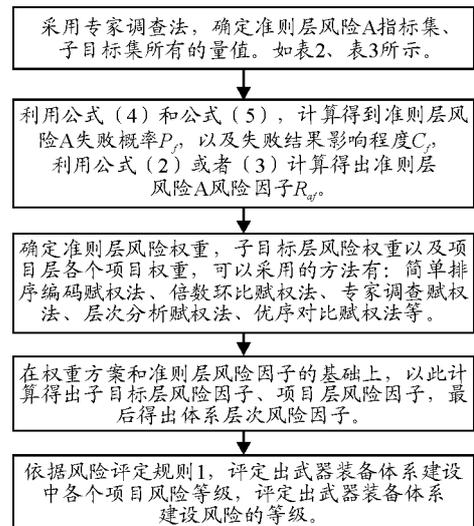


图 2 武器装备体系建设风险评价流程图