

# 基于熵权—双基点研制 技术风险评估方法研究

迟宝山<sup>1</sup>, 李永泰<sup>2</sup>, 李 军<sup>2</sup>

(1.装甲兵工程学院 训练部; 2.装甲兵工程学院 机械工程系, 北京 100072)

**摘 要:** 分析了装备研制技术风险的含义, 根据技术风险的特点建立了方案论证阶段评价技术风险的指标体系。在技术风险综合评价中引入熵理论确定各评价指标的权重, 克服了传统评价方法中主观确定权重的缺陷, 并通过实例验证了基于熵权双基点的评价模型的可用性。

**关键词:** 装备研制; 技术风险; 熵; 双基点

中图分类号: F406.3

文献标识码: A

文章编号: 1001-7348(2006)10-0131-03

## 0 前言

随着先进技术的不断更新, 武器装备研发项目面临着越来越多的技术风险, 风险损失程度日趋严重。如何对技术风险进行评价对项目风险管理有至关重要的意义, 目前, 技术风险评价的方法比较多, 主要有主观评分法、决策树法(Decision Tree Analysis)、层次分析法(AHP, the Analytical Hierarchy Process)、模糊风险综合评价(Fuzzy Comprehensive Evaluation)、故障树分析法(FTA, Fault Tree Analysis)和蒙特卡罗模拟法(Monte Carlo Simulation)等, 但是受主观因素影响比较大。本文引入熵理论确定权重, 很好地避免专家反复打分对评价结果造成的影响。

## 1 技术风险概述

### 1.1 技术风险的定义

技术风险定义为研制项目在规定时间内、在一定的经费保障条件下达不到战术技术指标要求的可能性, 或者说研制计划的某部分出现意想不到的结果从而对整个系

统效能产生有害影响的概率及后果。技术风险主要取决于技术复杂程度、科研储备能力、研制人员的素质以及科技管理水平等。这里给出技术风险的数学描述:

$$R=f(S_i, P_i, C_i)$$

式中  $R$  为风险,  $S_i$  为第  $i$  个风险事件,  $P_i$  为第  $i$  个风险事件发生的可能性,  $C_i$  为第  $i$  个风险事件产生的后果<sup>[1,2]</sup>。

对于武器装备研制项目本身来说, 风险主要包含技术风险、进度风险、费用风险、管理风险和環境风险等, 风险之间相互影响, 相互转化。这里不考虑管理风险和環境风险的影响, 一般认为管理体制比较完善成熟, 环境相对平稳。主要是技术、进度和费用的风险之间的关联较大, 而其中的技术风险是大型装备研发项目最主要、最关键的风险, 也是引发进度和费用风险的主要因素。

### 1.2 技术风险评估指标

评价指标体系是评价技术风险大小的参考依据, 技术风险评估指标有概率性指标和后果性指标, 概率性指标有技术成熟性、复杂性、先进性、充裕性和标准化 5 类, 后果性指标有效能、进度和费用 3 类<sup>[3]</sup>。下面

给出各类指标的具体含义:

(1) 技术成熟性指标: 拟采用的关键技术是否是现有技术? 新技术是否经过预研? 预研情况如何? 新技术处于预研的哪个阶段? 技术储备如何? 新技术在储备技术基础上的改进程度如何?

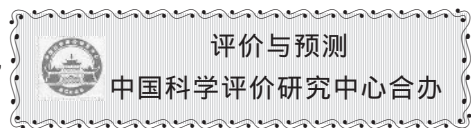
(2) 技术复杂性指标: 新技术涉及的知识广度和深度如何? 新技术能否容易为研制人员掌握并应用于装备研制中? 装备分系统或装置的结构复杂程度如何? 人机接口设计的友好程度如何? 技术演示与验证是否需要专用设备、工具? 该项技术同其它技术之间的关联性如何? 该项技术的成功是否强烈依赖于其它技术的进一步发展?

(3) 技术先进性指标: 技术在国际、国内、军内、兵器行业、本部门本地区的领先地位如何? 技术的有效寿命如何? 技术的发展潜力、生命力如何? 技术的创新程度如何?

(4) 充裕性指标: 网络计划中该项技术的进度指标规定的合理性、充裕性, 是否需要增加工时或变更进度计划? 进度计划的弹性有多大? 关于该项技术的费用计划是

收稿日期: 2005-11-21

作者简介: 迟宝山(1958-), 男, 吉林长春人, 教授, 研究方向为装备研制项目风险管理研究; 李永泰(1975-), 男, 内蒙古乌兰察布人, 硕士研究生; 李军(1963-), 男, 四川人, 教授。



评价与预测  
中国科学评价研究中心主办

否合理、充裕? 费用计划变更的程度有多大? 是否有应急的储备金?

(5) 标准化指标: 标准化、通用化、互换性要求的严格程度及标准化分析的充分性; 采用的标准和规范的等级, 比如国际标准、国标、军标、军工企业标准或内部协议等; 设备、部件与同类武器装备相比通用化、组合化、系列化程度, 接口、材料、工艺的标准化程度, 标准件的数量等。

(6) 效能指标。效能指标是指技术风险发生后可能引起效能指标偏离原指标的程度, 偏离越大, 技术风险就越大。

(7) 进度指标。装备研制中的某个设计环节中拟采用某项新技术部分所需的工时占总工时的比例。所占的比重越大, 说明该项技术所需工时就越多, 技术若失败则可能导致进度滞后的可能性就越大。

(8) 费用指标。装备研制中的某个设计环节拟采用新技术部分所需的费用占总费用的比例。比例越大说明技术引起的总费用的风险就越大。

通过以上对各评价指标的分析, 为了对技术风险定量的分析, 建立了技术风险评价指标等级表, 如表 1。

## 2 基于熵权—双基点的技术风险评价模型

### 2.1 熵的概述

“熵”(Entropy) 是一个热力学概念, 它描述了分子运动的无序运动程度和混乱程度。

1948 年申农 (C.E.Shannon) 把熵引入信息论, 建立了信息熵的概念, 用来度量系统状态混乱或无序程度。同时, Shannon 定义了一个对离散信息源“产生”的信息量进行度量的公式:

$$H = -k \sum_{i=1}^n f_i \log_2 f_i$$

式中, H 是 Boltzmann 的 H 定理中的 H, H 的值是用二进位表示信息的不确定程度<sup>[7]</sup>。

### 2.2 双基点的概念

双基点指理想点和反理想点。在多目标决策中, 理想点是各个指标最大评分值构成的向量, 反理想点是各个指标最小评分值构成的向量。在武器装备研制风险评估中, 通过计算各种方案的风险与由双基点确定的两种假想方案风险的“距离”的大小, 进一步计算出各种方案在评价中的优属度, 根据优属度最大原则, 求得方案的风险大小排序。优属度最大说明该方案在武器装备研制项目中存在的风险大, 优属度最小则方案的风险小。

### 2.3 熵权—双基点评价模型

熵权—双基点法是将各指标的熵权  $w_j$  作为一个影响因素(权重)加入到评价矩阵 X 中, 形成规格化矩阵 A。由于加入了熵权  $w_j$ , 所以规格化矩阵 A 中包含了样本数据所含信息量的因素, 能更加客观地反映对各方案的评价, 进而使最终的评估结果更加客观。熵权双基点法的计算步骤如下。

(1) 由专家根据评价指标体系给每个评

价指标的评分值, 得到原始的评价矩阵 X。

$$X = \begin{bmatrix} X_{11} & X_{12} & \dots & X_{1n} \\ X_{21} & X_{22} & \dots & X_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ X_{m1} & X_{m2} & \dots & X_{mn} \end{bmatrix}$$

式中, m 为评价方案数, n 为评价指标个数,  $x_{ij}$  为第 i 个评价方案在第 j 个评价指标的评分值。

(2) 确定权重。用功效系数法对 X 做标准化处理, 本文中是评价各个指标的风险值, 要求风险越小越好, 因此为损失性指标, 标准化公式如下:

$$x_{ij} = \frac{\max_i(x_{ij}) - x_{ij}}{\max_i(x_{ij}) - \min_i(x_{ij})}, j = 1, 2, \dots, n$$

标(即数值越小越好的指标)。

定义第 j 个评价指标的熵值为:

$$H_j = -K \sum_{i=1}^m f_{ij} \ln f_{ij}, j = 1, 2, \dots, n$$

$$\text{式中, } f_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}}, \text{且 } K \text{ 为波尔兹曼常数, } K$$

$> 0$ , 取  $K = \frac{1}{\ln m}$  (见差异性系数), 并假定, 当  $f_{ij} = 0$  时,  $f_{ij} \ln f_{ij} = 0$ 。即  $H_j$  为第 j 个指标的熵值。  $H_j$  越大, 表示 m 个方案在第 j 个指标中所包含的信息量越大; 反之, 表示所包含的信息量越小。

$$\text{指标权重 } w_j = \frac{g}{n} = \frac{1 - H_j}{\sum_{j=1}^n g - \sum_{j=1}^n H_j}$$

标准化矩阵, 加入熵权  $w_j$ , 得到规格化属性矩阵 A:

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} w_1 x_{11} & w_1 x_{12} & \dots & w_1 x_{1n} \\ w_1 x_{21} & w_1 x_{22} & \dots & w_1 x_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ w_1 x_{m1} & w_1 x_{m2} & \dots & w_1 x_{mn} \end{bmatrix}$$

式中  $a_j = w_j x_{ij}$ 。

(3) 确定理想点与反理想点, 熵权双基点法是从加熵权的规格化属性矩阵中确定理想点与反理想点。

理想点为  $p^+ = (p_1^+, p_2^+, \dots, p_n^+)$ , 式中  $p_j^+ = \max\{a_{ij} | i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n\}$

反理想点为  $p^- = (p_1^-, p_2^-, \dots, p_n^-)$ , 式中  $p_j^- = \min\{a_{ij} | i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n\}$

表 1 技术风险评价指标等级

指标	0.1	0.3	0.5	0.7	0.9
技术复杂性	技术呈现稍微的复杂性	技术呈现一定复杂性	技术呈现较大的复杂性	技术呈现明显大的复杂性	技术呈现绝对大的复杂性
技术成熟性	经过工业化生产	经过小批量生产	制造过样机	经过试验室阶段	处在试验室阶段
技术先进性	军内先进	国内先进	填补国内空白	世界先进	世界首创
充裕性	充裕性微小, 进度或费用计划可调整幅度不超过 1%	一定的充裕性, 进度或费用计划可调整幅度 1% ~ 5%	较大的充裕性, 进度或费用计划可调整幅度 5% ~ 10%	明显的充裕性, 进度或费用计划可调整幅度 10% ~ 25%	绝对大的充裕性, 进度或费用计划可调整幅度超过 25%
标准化	自拟标准	符合军用标准	符合专业标准	符合国家标准	符合国际标准
性能	对技术性能影响最小或无影响	技术性能下降很小	技术性能有某种程度的下降	技术性能显著下降	技术性能指标不能达到
费用	费用有些变动但不超过预算估计	费用估计超出预算的 1% ~ 5%	费用估计增加 5% ~ 20%	费用估计增加 20% ~ 50%	费用增加估计超过 50%
进度	对进度影响极小, 可忽略不计, 有松弛时间保证	部分进度延后 < 10%, 需对进度计划作调整	进度延后时间 10% ~ 30%	进度延后时间 30% ~ 50%	进度拖延超过 50%, 并影响系统的里程碑进度

定性语言描述介于以上二者之间赋值 0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8

(4) 计算被评价对象到理想点  $p^+$  的距离

$d_i^+$ :

$$d_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (a_{ij} - p_j^+)^2}, i=1, 2, \dots, m$$

$$d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (a_{ij} - p_j^-)^2}, i=1, 2, \dots, m$$

(5) 计算各类方案风险的优属度:

$$u_i = \frac{1}{1+d_i^+/d_i^-} = \frac{d_i^-}{d_i^-+d_i^+}, i=1, 2, \dots, m$$

根据优属度大小排序, 优属大的方案风险就大, 优属度小的方案风险就小<sup>[4-6]</sup>。

### 3 实例

某型武器装备研制项目在方案论证阶段提出 4 种方案 A、B、C 和 D, 其评价指标有技术方案、工业基础、费用和进度。第  $i$  个方案的第  $j$  个评价指标值为  $x_{ij}$  ( $0 \leq x_{ij} \leq 1$ ), 它通过专家依据表 1 进行打分得到表 2, 以 A 方案为例, 指标值的含义是在 A 方案中, 属于技术方案、工业基础、费用和进度的风险值为 0.16、0.30、0.34 和 0.12。

表 2 原始数据

评价指标 方案	技术 方案	工业 基础	费用	进度
A	0.16	0.30	0.34	0.12
B	0.08	0.34	0.30	0.22
C	0.14	0.24	0.24	0.26
D	0.06	0.12	0.16	0.52

本文中, 对于研制项目来说属于“损失型指标”, 即产生的风险越小越好。对原始数据经过上述方法计算可得表 3。

表 3 标准化数据及熵权

评价指标 方案	技术 方案	工业 基础	费用	进度
A	0.818	0.182	0	1
B	1	0	0.154	0.462
C	1	0.167	0.167	0
D	1	0.870	0.783	0
熵值	0.997	0.575	0.580	0.450
权重	0.002	0.304	0.301	0.393
理想点	0.002	0.265	0.235	0.393
反理想点	0.001	0	0	0

表 4 对各种方案风险的综合评价结果

方案	A	B	C	D
优属度	0.558	0.326	0.128	0.474
排序	1	3	4	2

结果分析: 从表 4 中按名次排列的结果可以看出, 在武器装备研制项目 4 个方案的风险评价中, A 方案的风险优属度得分最高, 为 0.558。如果按照对项目的不利影响程度(风险的大小)来排序, 则说明 C 方案的风险最小。因此, 军方在采取研制方案时优先考虑 C 方案。从以上分析可以看出, 对武器装备研制项目的方案进行风险综合评估时, 熵权—双基点法克服了传统评估方法中主观确定权数的缺陷, 使评估的结果更加科学、客观。

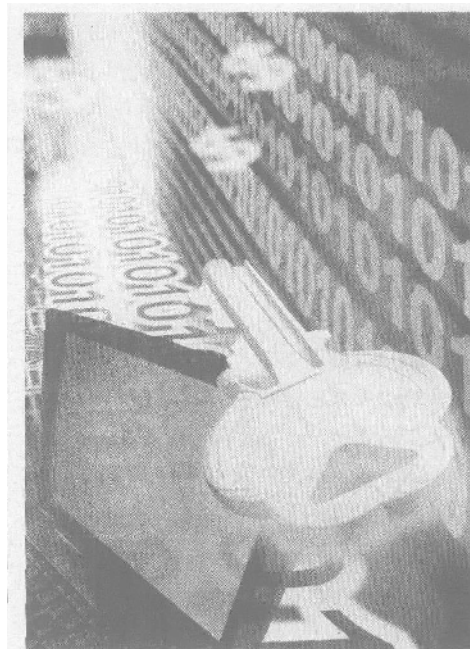
参考文献:

- [1] 吕建伟, 刘中华, 高杰. 舰船研制的技术风险分析[J]. 海军工程大学学报, 2000, (2): 97-99
- [2] 程军伟, 迟宝山, 刘维平. 装备采办中的技术风险评估研究[D]. 硕士论文. 装甲兵工程学院,

2003.

- [3] 吕建伟. 装备研制的风险管理方法探讨[J]. 系统工程与电子技术, 2002, (5): 8-10.
- [4] 宋春雳, 冉伦, 李金林. 熵权双基点法在武器装备研制风险评估中的应用[J]. 北京理工大学学报(社会科学版), 2003, 5, (5): 77-79.
- [5] 李刚, 孟遂民, 秦红玲. 基于熵权的料场方案模糊多属性优选研究[J]. 水力发电, 2005, 31, (5): 25-17.
- [6] 狄鹏, 黎放, 胡剑. 熵值双基点多目标决策法在 AIP 选型中的应用[J]. 船海工程, 2005, (3): 16-18.
- [7] 邱苑华. 现代管理决策理论方法与实践[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2004.

(责任编辑: 汪智勇)



## Technology Risk Assessment Based on the Method of Entropy-Weighted Double Base Points

Abstract: The meaning of equipment development technology risk has been analyzed, the appraisal technology risk target system has been established according to the technology risk's characteristics. In the article, the entropy theory is introduced in the technical risk measure, and the measurement method of technology risk is established based on the Entropy-weighted Double Base Points, which overcomes the drawback that weights are subjectively decided in traditional assessment methods. And the usability of the comprehensive appraisal method is verified through the example.

Key words: equipment development; technology risk; entropy; double base points