基于不完全语言信息的航天研制项目风险决策

杨亚琴 周荣喜

(北京航空航天大学 经济管理学院，北京 100191) (北京化工大学 经济管理学院，北京 100029)

邱菀华

(北京航空航天大学 经济管理学院，北京 100191)

摘 要：针对航天研制项目风险管理的复杂性，提出了一种基于现代多属性语言决策方法的航天研制项目风险评价模型.给出了不完全语言信息下基于不确定扩展有序加权平均算子的决策方法.将项目风险标度进行了拓展，一方面使得风险度量更加准确；另一方面能够很好地与决策模型中的语言信息合理匹配.以航天研制项目风险决策为例说明了该方法的实用性和有效性，为项目风险评价提供了一种新思路.

关 键 词：风险决策；不完全语言信息；航天研制项目；不确定扩展有序加权平均算子

中图分类号：TH 166

文献标识码：A **文 章 编 号**：1001-5965(2008)12-1433-04

Risk decision for the development of the aerospace project based on the incomplete linguistic information

Yang Yaqin

(School of Economics and Management, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100191, China)

Zhou Rongxi

(School of Economics and Management, Beijing University of Chemical Technology, Beijing 100029, China)

Qiu Wanhua

(School of Economics and Management, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100191, China)

Abstract: For the complexity of aerospace project development, its risk evaluating model was proposed on the basis of modern multiple attribute linguistic decision method. The method of decision based on uncertain extended ordered weighed averaging (UEOWA) operator was given under incomplete linguistic information. The scale of risk measure was extended, on the one hand which can measure accurately the risk, on the other hand which can match with linguistic information of decision model in reason. The example of risk decision for aerospace project development was presented to show the feasibility and effectiveness of this method. It can offer a new method for the evaluation of project risk.

Key words: risk decision; incomplete linguistic information; aerospace project development; uncertain extended ordered weighed averaging(UEOWA) operator

航天研制项目具有涉及面广、系统环节多、耗费资金多、参与人员多、研制周期长、系统操作复杂、涉及新技术多、包含未知因素多等特点，只要有一个环节的质量关把不好，就有可能出现航天器性能降低，研制周期延长，整个项目的投资增加等问题.因此，对航天研制项目进行有效风险管理

收稿日期：2007-12-09

基金项目：国家自然科学基金资助项目(70701003)

作者简介：杨亚琴(1965—)，女，陕西宝鸡人，副教授，yaqinyang514@sohu.com.

显得尤其重要.通常,项目风险管理过程依次分为风险识别、风险评估、风险应对和风险监控[1],其中风险评估是风险决策的关键.文献[2]通过统计分析对影响航天项目研制的主要风险因素进行归纳和分类,并做了初步评估和排序.文献[3]介绍了概率风险评估的基本思想和具体实施过程,并探讨了在我国航天系统安全性分析中使用的可行性.由于航天研制项目风险管理等客观事物的复杂性和不确定性,以及人类思维的模糊性,当专家知识决策受一些主、客观因素制约时,他们所给出的评估信息往往是不完全的.针对此类决策问题,不少学者进行了深入研究,提出了不完全信息下的语言多属性决策理论与方法[4-8].本文试图利用该方法对航天研制项目风险进行相对精确的定量决策.

1 基于不确定算子的多属性决策方法

1.1 不确定扩展的有序加权平均算子

定义 1[4] 设 $\tilde{\mu}=[s_a,s_b]$,$s_a,s_b\in\overline{\tilde{S}}$,$s_a$ 和 s_b 分别是 $\tilde{\mu}$ 的下限和上限,则称 $\tilde{\mu}$ 为不确定语言变量.

设 $\tilde{S}$ 是所有不确定语言变量的集合.对任意两个语言变量 $\tilde{\mu}=[s_a,s_b]$,$\tilde{v}=[s_c,s_d]\in\tilde{S}$,$\beta,\beta_1,\beta_2\in[0,1]$,定义它们的运算法则如下:

1) $\tilde{\mu}\oplus\tilde{v}=[s_a,s_b]\oplus[s_c,s_d]=[s_a\oplus s_c,s_b\oplus s_d]=[s_{a+c},s_{b+d}]$;

2) $\beta\tilde{\mu}=\beta[s_a,s_b]=[\beta s_a,\beta s_b]=[s_{\beta a},s_{\beta b}]$;

3) $\tilde{\mu}\oplus\tilde{v}=\tilde{v}\oplus\tilde{\mu}$;

4) $\beta(\tilde{\mu}\oplus\tilde{v})=\beta\tilde{\mu}\oplus\beta\tilde{v}$;

5) $(\beta_1+\beta_2)\tilde{\mu}=\beta_1\tilde{u}\oplus\beta_2\tilde{u}$.

其中"$\oplus$"表示一种加法运算.

定义 2[4] 设 $\tilde{\mu}=[s_a,s_b]$,$\tilde{v}=[s_c,s_d]\in\tilde{S}$,且设 $l_{ab}=b-a$,$l_{cd}=d-c$,则 $\tilde{\mu}\geqslant\tilde{v}$ 的可能度定义如下:

$$p(\tilde{\mu}\geqslant\tilde{v})=\max\left\{1-\max\left(\frac{d-a}{l_{ab}+l_{cd}},0\right),0\right\} \tag{1}$$

依据定义 2,显然有 $p(\tilde{\mu}\geqslant\tilde{v})+p(\tilde{v}\geqslant\tilde{u})=1$.特别地,$p(\tilde{\mu}\geqslant\tilde{u})=1/2$.

定义 3[4] 设不确定扩展的有序加权平均算子 $f:\tilde{S}^n\to\tilde{S}$,若

$$f_w(\tilde{\mu}_1,\tilde{\mu}_2,\cdots,\tilde{\mu}_n)=w_1\tilde{v}_1\oplus w_2\tilde{v}_2\oplus\cdots\oplus w_n\tilde{v}_n \tag{2}$$

其中 $\boldsymbol{w}=(w_1,w_2,\cdots,w_n)$ 是与 f 相关联的加权向量,$w_j\in[0,1]$,$j\in\mathbf{N}$,$\sum_{j=1}^{n}w_j=1$,$\tilde{\mu}_i\in\tilde{S}$,且 $\tilde{v}_j$ 是一组不确定语言变量 $\tilde{\mu}_i(i\in\mathbf{N})$ 中第 j 个最大的元素,则称函数 f 是不确定扩展的有序加权平均算子.

1.2 决策方法

下面基于不确定扩展的有序加权平均算子给出一种多属性决策方法.具体步骤如下:

1) 对于某一多属性决策问题,设 X 和 U 分别为方案集和属性集.决策者给出方案 $x_i\in X$ 在属性 $u_j\in U$ 下的语言评估 r_{ij},并得到评估矩阵 $\tilde{\boldsymbol{R}}=(\tilde{r}_{ij})_{n\times m}$,且 $\tilde{r}_{ij}\in\tilde{S}$.

2) 利用式(3)对方案 i 的属性值进行比较,建立相应的可能度矩阵 $\boldsymbol{P}^{(i)}$,并求得其相应的排序向量:

$$\boldsymbol{v}^{(i)}=(v_1^{(i)},v_2^{(i)},\cdots,v_n^{(i)})$$

$$v_i^{(k)}=\frac{1}{n(n-1)}\left(\sum_{j=1}^{n}p_{ij}^{(k)}+\frac{n}{2}-1\right)$$

$$i\in\{1,2,\cdots,n\} \tag{3}$$

3) 利用向量 $\boldsymbol{v}^{(i)}$ 对评估矩阵 $\tilde{\boldsymbol{R}}$ 中第 i 行的语言评估信息进行排序,然后利用不确定扩展的有序加权平均算子进行集结,得到决策方案 x_i 综合属性评估值 $\tilde{z}_i(\boldsymbol{w})(i\in\mathbf{N})$,其中

$$\tilde{z}_i(\boldsymbol{w})=f_w(\tilde{r}_{i1},\tilde{r}_{i2},\cdots,\tilde{r}_{im})$$

4) 利用可能度公式(1),算出各方案综合属性值 $\tilde{z}_i(\boldsymbol{w})(i\in\mathbf{N})$ 之间的可能度:

$$p_{ij}=p(\tilde{z}_i(\boldsymbol{w})\geqslant\tilde{z}_j(\boldsymbol{w}))\qquad i,j\in\mathbf{N}$$

并建立可能度矩阵:

$$\boldsymbol{P}=(p_{ij})_{n\times n}$$

5) 利用式(3)求得可能度矩阵 $\boldsymbol{P}$ 的排序向量 $\boldsymbol{v}=(v_1,v_2,\cdots,v_n)$,最后,按其分量大小对方案进行排序,即得最优方案.

2 航天研制项目风险决策

2.1 航天研制项目风险分析

航天研制项目开发过程中面临许多不确定性因素,这些因素概括起来主要是技术因素、费用因素、时间因素、人力管理因素,当然亦涉及社会因素、文化因素、政治因素、经济因素、政策因素、法规因素、环境因素等方面.正是这些因素变化使项目开发具有风险.为了获得实际中各种风险源对航天项目研制的影响,文献[2]搜集了国内外453个航天项目研制故障案例,并进行了归纳分类,统计结果见表1.

表 1 国内外航天项目风险案例统计结果

风险种类		发生次数	发生概率
技术风险	设计	159	0.351
	工艺	48	0.106
	元器件	66	0.146
	设施	28	0.062
	材料	11	0.042
管理风险	组织	2	0.004
	计划	1	0.002
	协调调度	59	0.130
人力风险	责任心	59	0.130
	能力	12	0.026
环境风险	政治	1	0.002
	自然	7	0.015
合计		453	1.00

文献[2]根据历史数据和专家经验,将航天项目风险等级分为高风险、较高风险、中等风险、低风险 4 个标度,文献[9]则将风险分为 5 个标度:很低,低,中等,高,甚高.实际项目风险管理中,往往很多风险介于某两个相邻标度之间.因此,本文考虑将其进行拓展为 11 个标度:极高,很高,高,较高,稍高,中等,稍低,较低,低,很低,极低.一方面,这种标度划分能够克服风险评级的标度不够精确而带来的不足;另一方面,使得风险评价标度与决策模型中的语言标度进行匹配.具体实施时可以就项目单一属性,也可以就多个属性,如费用、进度、质量等方面对项目风险的影响因素进行有机结合,综合评价.

2.2　航天研制项目风险决策算例

某航天研制项目现有 4 个备选方案 $x_i(i=1,2,3,4)$ 可供选择.决策者利用语言评估标度:$S=\{s_{-5},s_{-4},\cdots,s_4,s_5\}=\{$极高,很高,高,较高,稍高,中等,稍低,较低,低,很低,极低$\}$.依据上述 12 个因素(属性)$u_j(j=1,2,\cdots,12)$,分别为设计、工艺、元器件、设施、材料、组织、计划、协调调度、责任心、能力、政治、自然等,对这 4 个方案进行评估.评估结果(用决策矩阵表示)如表 2 所示,试确定最佳方案.

表 2　决策矩阵 $\tilde{R}$

x_i	u_j					
	$j=1$	$j=2$	$j=3$	$j=4$	$j=5$	$j=6$
$i=1$	$[s_{-4},s_{-2}]$	$[s_3,s_4]$	$[s_0,s_2]$	$[s_2,s_3]$	$[s_0,s_1]$	$[s_{-3},s_{-2}]$
$i=2$	$[s_{-2},s_0]$	$[s_0,s_1]$	$[s_3,s_4]$	$[s_1,s_3]$	$[s_3,s_4]$	$[s_{-2},s_0]$
$i=3$	$[s_{-3},s_{-2}]$	$[s_1,s_2]$	$[s_2,s_4]$	$[s_3,s_5]$	$[s_2,s_4]$	$[s_{-4},s_{-3}]$
$i=4$	$[s_{-5},s_{-3}]$	$[s_4,s_5]$	$[s_1,s_3]$	$[s_{-1},s_1]$	$[s_1,s_3]$	$[s_{-1},s_1]$
x_i	u_j					
	$j=7$	$j=8$	$j=9$	$j=10$	$j=11$	$j=12$
$i=1$	$[s_1,s_2]$	$[s_{-3},s_{-1}]$	$[s_{-1},s_0]$	$[s_0,s_2]$	$[s_2,s_3]$	$[s_3,s_4]$
$i=2$	$[s_{-1},s_0]$	$[s_{-2},s_{-1}]$	$[s_{-3},s_{-2}]$	$[s_1,s_2]$	$[s_2,s_4]$	$[s_1,s_2]$
$i=3$	$[s_3,s_4]$	$[s_{-1},s_1]$	$[s_{-3},s_{-1}]$	$[s_3,s_5]$	$[s_3,s_4]$	$[s_2,s_3]$
$i=4$	$[s_0,s_2]$	$[s_{-1},s_0]$	$[s_{-2},s_{-1}]$	$[s_2,s_3]$	$[s_3,s_5]$	$[s_2,s_3]$

1) 显然,根据表 2 可得到评估矩阵

$$\tilde{\boldsymbol{R}}=(\tilde{r}_{ij})_{n\times m}$$

下面直接进行第 2)步.

2) 利用式(1)对表 2 中每个方案所在的行中各不确定语言数据进行两两比较,得到可能度矩阵,如 $\boldsymbol{P}^{(1)}$:

$$\boldsymbol{P}^{(1)}=\begin{bmatrix}
0.5 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.333 & 0 & 0.25 & 0 & 0 & 0 & 0\\
1 & 0.5 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0.5\\
1 & 1 & 0.5 & 0 & 0.667 & 1 & 0.333 & 1 & 1 & 0.5 & 0.5 & 0\\
1 & 0 & 1 & 0.5 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0.5 & 0\\
1 & 0 & 0.333 & 0 & 0.5 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0.333 & 0 & 0\\
0.667 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0.5 & 0 & 0.333 & 0 & 0 & 0 & 0\\
1 & 0 & 0.667 & 0 & 1 & 1 & 0.5 & 1 & 1 & 0.667 & 0 & 0\\
0.75 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.667 & 0 & 0.5 & 0.25 & 0 & 0 & 0\\
1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0.75 & 0.5 & 0 & 0 & 0\\
1 & 0 & 0.5 & 0 & 0.667 & 1 & 0.333 & 1 & 1 & 0.5 & 0 & 0\\
0 & 0 & 0.5 & 0.5 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0.5 & 0\\
1 & 0.5 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0.5
\end{bmatrix}$$

根据式(3)计算得到可能度矩阵 $\boldsymbol{P}^{(i)}(i=1,2,3,4)$ 的排序向量:

$\boldsymbol{v}^{(1)}=(0.0461,0.1061,0.0947,0.1061,0.0770,0.0568,0.0889,0.00543,0.0625,0.0833,0.1023,0.1212)$;

$\boldsymbol{v}^{(2)}=(0.0606,0.0795,0.1187,0.0991,0.1187,0.0606,0.0669,0.0543,0.0417,0.0934,0.1130,0,0934)$;

$\boldsymbol{v}^{(3)}=(0.0492,0.0720,0.1023,0.1124,0.1052,0.0417,0.1010,0.0644,0.0568,0.1124,0.1061,0.0846)$;

$\boldsymbol{v}^{(4)}=(0.0417,0.1225,0.0941,0.0650,0.0941,0.0676,0.0795,0.0644,0.0492,0.1010,0.1199,0.1010)$.

3) 利用向量 $\boldsymbol{v}^{(i)}(i=1,2,3,4)$ 中的分量分别对表2中第 i 行的所有不确定语言数据 $\tilde{r}_{ij}(j=1,2,\cdots,12)$ 按下降序排列，再利用不确定扩展的有序加权平均算子(假设其加权向量 $\boldsymbol{w}=(0.10,0.06,0.10,0.05,0.10,0.08,0.10,0.05,0.12,0.06,0.08,0.10)$)对其进行集结，得

$$\tilde{z}_1(\boldsymbol{w})=f_w(\tilde{r}_{11},\tilde{r}_{12},\cdots,\tilde{r}_{1,12})=0.10\times[s_3,s_4]\oplus 0.06\times[s_3,s_4]\oplus 0.10\times[s_2,s_3]\oplus 0.05\times[s_2,s_3]\oplus 0.10\times[s_0,s_3]\oplus 0.08\times[s_1,s_2]\oplus 0.10\times[s_0,s_2]\oplus 0.05\times[s_0,s_1]\oplus 0.12\times[s_{-1},s_0]\oplus 0.06\times[s_{-3},s_{-2}]\oplus 0.08\times[s_{-3},s_{-1}]\oplus 0.01\times[s_{-4},s_{-2}]=[s_{-0.08},s_{1.3}]$$

类似可得

$$\tilde{z}_2(\boldsymbol{w})==[s_{0.04},s_{1.37}]$$

$$\tilde{z}_3(\boldsymbol{w})==[s_{0.63},s_{2.12}]$$

$$\tilde{z}_4(\boldsymbol{w})==[s_{0.17},s_{1.76}]$$

4) 利用可能度公式(1)，算出各方案综合属性值 $\tilde{z}_i(\boldsymbol{w})(i=1,2,3,4)$ 之间的可能度 $p_{ij}=p(\tilde{z}_i(\boldsymbol{w})\geqslant\tilde{z}_j(\boldsymbol{w}))$，$i,j=1,2,3,4$，并建立可能度互补矩阵：

$$\boldsymbol{P}=\begin{bmatrix}0.5 & 0.4649 & 0.2593 & 0.3805\\ 0.5351 & 0.5 & 0.2877 & 0.4110\\ 0.7407 & 0.7123 & 0.5 & 0.6635\\ 0.6159 & 0.5890 & 0.3365 & 0.5\end{bmatrix}$$

5) 利用公式(3)求得可能度矩阵 $\boldsymbol{P}$ 的排序向量 $\boldsymbol{v}=(0.2172,0.2279,0.3015,0.2533)$，按其分量大小对方案进行排序，得 $x_3\succ x_2\succ x_4\succ x_1$，故最优方案为 x_3.

3 结束语

本文通过对项目风险标度进行拓展，尝试利用不完全语言信息的现代多属性决策方法对航天研制项目风险进行决策. 该方法为航天研制项目风险决策提供了一种新途径. 本文的决策方法只有一个决策者，还可以考虑推广到群决策的情况. 此外，对于航天研制项目风险决策的实际应用可以取文献[2]中风险发生的概率为权重进行加权，亦可考虑权重为不确定性语言的情况.

参考文献(References)

[1] 邱菀华. 现代项目风险管理方法与实践[M]. 北京：科学出版社，2003：3
Qiu Wanhua. Method and practice of modern projects risk management[M]. Beijing: Science Press, 2003: 3(in Chinese)

[2] 符志民，李汉铃. 航天研发项目风险分析、等级评估及相关性研究[J]. 系统工程与电子技术，2005，27(1)：52－59
Fu Zhimin, Li Hanling. Risk analysis, evaluation and correlation study for aerospace research and development project [J]. Systems Engineering and Electronics, 2005, 27(1): 52－59(in Chinese)

[3] 顾基发，赵丽艳. 航天系统安全性分析的概率风险评估方法[J]. 系统工程与电子技术，1999(8)：28－31
Gu Jifa, Zhao Liyan. Introduction of probabilistic risk assessment approach to analyze the safety of space systems [J]. Systems Engineering and Electronics, 1999(8): 28－31 (in Chinese)

[4] 徐泽水. 不确定多属性决策方法及应用[M]. 北京：清华大学出版社，2004
Xu Zeshui. Uncertain multiple attribute decision making: methods and application[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2004(in Chinese)

[5] 王坚强. 一种信息不完全确定的多准则语言群决策方法[J]. 控制与决策，2007，22(4)：394－398
Wang Jianqiang. Group multi-criteria linguistic decision-making method with incomplete certain information[J]. Control and Decision, 2007, 22(4): 394－398(in Chinese)

[6] Herrera F, Herrera-Viedma E. Linguistic decision analysis: Steps for solving decision problems under linguistic information[J]. Fuzzy Sets and Systems, 2000, 115(1): 67－82

[7] Wu Z B, Chen Y H. The maximizing deviation method for group multiple attribute decision making under linguistic environment[J]. Fuzzy Setsand Systems, 2007, 158(14): 1608－1617

[8] Xu Zeshui. An interactive procedure for linguistic multiple attribute decision making with incomplete weight information[J]. Fuzzy Optimization and Decision Making, 2007, 6(1): 17－27

[9] 项目管理协会. 项目管理知识体系指南[M]. 第3版. 卢有杰，王勇，译. 北京：电子工业出版社，2005
Project Management Institute. A guide to the project management body of knowledge[M]. 3rd Edition. Translated by Lu Youjie, Wang Yong. Beijing: The Publishing House of Electronics Industry, 2005(in Chinese)

(责任编辑：文丽芳)