

文章编号: 1001-0920(2011)04-0530-05

## 软件项目风险应对措施优选的区间模型及其算法

杨莉<sup>1,2</sup>, 李南<sup>1</sup>

(1. 南京航空航天大学 经济与管理学院, 南京 210016; 2. 江苏技术师范学院 计算机工程学院, 江苏 常州 213001)

**摘要:** 针对软件项目风险应对计划中风险应对措施的优选问题, 提出一种区间优化模型. 该模型基于项目视角, 以风险应对成本和风险水平最小化为目标, 结合考虑风险管理者的风险偏好, 选出满意的风险应对措施组合. 考虑到风险概率和风险损失等参数难以给出精确值, 模型采用区间数来表示风险概率和风险损失信息. 针对模型的求解, 利用区间数距离定义和区间数排序规则, 给出一种迭代求解算法. 案例分析表明了该模型和算法的有效性和可操作性.

**关键词:** 软件项目风险管理; 风险应对措施优选; 风险应对成本; 风险水平; 区间数距离

中图分类号: TP311

文献标识码: A

## Interval model and its algorithm for optimal selecting of software project risk response actions

YANG Li<sup>1,2</sup>, LI Nan<sup>1</sup>

(1. College of Economics and Management, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China; 2. College of Computer Engineering, Jiangsu Teachers University of Technology, Changzhou 213001, China. Correspondent: YANG Li, E-mail: yldelight@163.com)

**Abstract:** For the optimal selecting problem of risk response actions in software project risk planning stage, an interval model is proposed, which selects the satisfactory combination of risk response actions according to the minimum of risk response cost and risk level, combined with decisionmaker's risk preference, from the whole project perspective. Due to gain the exact value of risk probability and risk loss with very difficulty, the model denotes the parameters by interval numbers. Then, an iterative algorithm based on the definition of interval distance and the method of interval numbers ranking is given to solve the model. A case analysis shows the effectiveness and the maneuverability of the model and the algorithm.

**Key words:** software project risk management; optimal selecting of risk response actions; risk response cost; risk level; interval number distance

### 1 引言

在软件行业, 软件项目进度延期、预算超支、不能满足用户需求, 最后导致项目失败的现象十分普遍, 其中一个主要原因是缺乏风险管理. 因此, 将风险管理引入软件开发是非常必要的. 软件项目风险管理主要包括风险识别、风险评估、风险应对计划和风险监控<sup>[1-2]</sup>. 风险应对计划是针对风险识别和风险评估的结果, 为消除或减少风险事件造成的不良后果而制定的一系列风险应对措施<sup>[3]</sup>. 实施风险应对措施需要花费一定的成本, 而项目会受到资源、资金和时间等约束, 因此制定风险应对计划时必须从项目总体考虑, 应与风险事件的严重程度和风险应对措施的实施

成本相适应, 还要得到项目所有利益相关者的认可<sup>[3]</sup>. 风险应对计划通常是对一系列风险应对措施进行比较选优, 最终确定满意的风险应对措施组合. 对此, 文献[4]从利润最大化角度研究了在风险应对计划阶段, 如何优选风险应对措施, 并给出了一个基于成本考虑的软件项目风险缓解策略优选模型. 但该模型中风险概率和风险损失等参数都是用确定数值来表示, 而实际过程中, 由于软件项目的不确定性和复杂性以及人脑思维的模糊性, 加上相关历史项目数据的缺乏, 导致很难得到确定数值; 另外, 该模型以风险应对措施组合的总成本与期望风险损失之和最小化为目标, 这种仅以货币值作为决策依据的模型, 并不能反映风险管理者的真正目的和决策偏好.

收稿日期: 2010-01-05; 修回日期: 2010-04-28.

基金项目: 国家自然科学基金项目(60572170).

作者简介: 杨莉(1977—), 女(回族), 讲师, 博士生, 从事管理科学与工程的研究; 李南(1956—), 女, 教授, 博士生导师, 从事管理科学与工程、工业工程等研究.

基于上述问题, 本文在文献[4-7]的基础上, 结合模糊理论, 用区间数表示风险发生概率和风险损失等参数, 综合考虑风险应对成本和项目风险水平, 并结合管理者的风险偏好, 构建软件项目风险应对措施优选的多目标区间模型. 根据区间数的距离测度和区间数排序规则, 给出该模型的一种迭代求解算法. 最后, 通过实际项目的案例分析验证了该方法的有效性与可操作性.

## 2 研究思路与问题描述

风险应对计划是以项目工作分解结构为基础的. 项目工作分解结构是由项目组成员依据软件过程说明书和需求分析说明书, 以可交付成果为导向, 将项目分解为一系列明确定义的元素集. 风险管理小组对元素集进行风险识别和风险评估, 包括标识出每个元素可能出现的风险事件, 风险发生概率及其可能对哪些元素造成损失(用货币度量). 风险应对计划以上述风险分析结果为基础, 依据历史项目数据和专家经验, 从降低风险概率和减少风险损失角度, 针对标识出的风险事件给出多项风险应对措施, 估算出每项应对措施的实施成本(用货币度量), 分析并量化实施每项应对措施对项目造成的影响. 实施每项应对措施会影响一个或多个风险事件的风险量(风险概率与风险损失乘积). 因为有些应对措施在减少某一风险事件的风险量时, 会增大其他风险事件的风险量, 所以会出现风险应对措施的实施成本与其减少的风险量之间存在等于、大于或小于的关系, 甚至有风险应对措施会增加项目风险量的情况. 制定风险应对计划是以项目组织可接受的风险水平为主要依据, 项目组织的抗风险能力决定了项目团队能承受多大的项目风险, 同时也决定了项目组织对于项目风险应对措施的选择. 项目组织抗风险能力包括项目管理者承受风险的心理能力、项目组织具有的资源 and 资金能力等<sup>[3]</sup>. 本文的模型以这一依据为出发点, 从项目总体考虑, 实现用尽可能少的风险应对成本将项目风险降低到项目组织可接受的风险水平.

## 3 模型建立

设软件项目工作分解结构元素集为  $\{w|w=1, 2, \dots, W\}$ , 风险事件集为  $\{r|r=1, 2, \dots, R\}$ . 每个风险事件有唯一的风险源, 而每个风险源可以产生多个风险事件, 风险事件之间相互独立. 风险源可分为内部风险源和外部风险源. 内部风险源是指项目工作分解结构元素集, 它是项目团队可以控制的; 外部风险源是指项目团队以外的因素, 如商业环境、经济环境等不受项目团队控制的因素. 本文仅讨论内部风险源, 并定义内部风险源集为  $\{s|s=1, 2, \dots, S\}$  (可

知  $s=w$ ).

定义风险概率矩阵为  $P = (p_{rs})_{R \times S}$ , 元素  $p_{rs} = [p_{rs}, \bar{p}_{rs}]$ , 表示由风险源  $s$  导致风险事件  $r$  发生的概率; 风险损失矩阵为  $M = (m_{rw})_{R \times W}$ , 元素  $m_{rw} = [m_{rw}, \bar{m}_{rw}]$ , 表示风险事件  $r$  对项目工作分解元素  $w$  造成的风险损失(用货币度量). 风险损失矩阵度量了风险事件对项目的不利影响. 定义风险量矩阵为  $G = P'M = (g_{sw})_{S \times W} = \sum_{r=1}^R (p_{sr}m_{rw})_{S \times W}$ , 元素  $g_{sw}$  表示

风险源  $s$  对项目工作分解元素  $w$  造成的风险量. 在未实施任何风险应对措施的情况下, 项目初始风险量为

$$\text{PRE}_0 = \sum_{s=1}^S \sum_{w=1}^W g_{sw} = \sum_{s=1}^S \sum_{w=1}^W \left( \sum_{r=1}^R p_{sr}m_{rw} \right). \quad (1)$$

项目风险分析之后, 风险管理人员给出风险应对措施集  $\{a|a=1, 2, \dots, A\}$ , 同时估算实施每项风险应对措施需要花费的成本  $C_a$ , 则有风险应对措施的实施成本向量  $C = \{c_1, c_2, \dots, c_A\}$ . 记  $X = \{x_1, x_2, \dots, x_a\}$  且  $x_i \in \{0, 1\} (i=1, 2, \dots, a)$  为措施选择向量.  $x_a = 1$  时, 表示选择风险应对措施  $a$ ;  $x_a = 0$  时, 表示不选择. 于是可得风险应对措施组合的实施成本为

$$\text{RAC}(X) = \sum_{a=1}^A c_a x_a = CXe. \quad (2)$$

其中:  $C$  为风险应对措施的实施成本行向量,  $e$  为单位列向量.

记  $v_{rsa}$  为实施风险应对措施  $a$  后对风险概率矩阵  $P$  中元素  $p_{rs}$  的影响值, 则实施所有风险应对措施后对元素  $p_{rs}$  的影响向量为  $v_{rs} = \{v_{rs1}, v_{rs2}, \dots, v_{rsA}\}$ ;  $u_{rwa}$  为实施风险应对措施  $a$  后对风险损失矩阵  $M$  中元素  $m_{rw}$  的影响值, 则实施所有风险应对措施后对元素  $m_{rw}$  的影响向量为  $u_{rw} = \{u_{rw1}, u_{rw2}, \dots, u_{rwA}\}$ . 令

$$Xv_{rs} = \prod_{a=1, x_a \neq 0}^A v_{rsa} x_a,$$

它表示实施风险应对措施组合的风险概率影响值. 记风险概率矩阵  $P$  的影响函数为

$$f(p_{rs}, Xv_{rs}) = \min \left( 1, p_{rs} \left( \prod_{a=1, x_a \neq 0}^A v_{rsa} x_a \right) \right),$$

实施风险应对措施组合后的风险概率矩阵为  $F_P(X) = (f(p_{rs}, Xv_{rs}))_{R \times S} = (f_{rs})_{R \times S}$ . 令

$$Xu_{rw} = \prod_{a=1, x_a \neq 0}^A u_{rwa} x_a,$$

它表示实施风险应对措施组合的风险损失影响值. 记风险损失矩阵  $M$  的影响函数为

$$h(m_{rw}, Xu_{rw}) = m_{rw} \left( \prod_{a=1, x_a \neq 0}^A u_{rwa} x_a \right),$$

则实施风险应对措施组合后的风险损失矩阵为

$H_M(X) = (h(m_{rw}, Xu_{rw}))_{R \times W} = (h_{rw})_{R \times W}$ . 可得实施风险应对措施组合后的项目风险量为

$$PRE(X) = \sum_{s=1}^S \sum_{w=1}^W (F_P(X)' H_M(X)) = \sum_{s=1}^S \sum_{w=1}^W \left( \sum_{r=1}^R f_{sr} h_{rw} \right). \quad (3)$$

定义实施风险应对措施组合后的项目风险应对成本为  $TRC(X) = RAC(X) + PRE(X)$ . 定义实施风险应对措施组合后的风险率为  $RL(X) = PRE(X)/RAC(X)$ . 风险率可以反映整个项目的风险水平. 综合考虑项目风险应对成本和风险率, 建立如下多目标优化模型:

$$\begin{aligned} & \text{Min} \begin{cases} P_1 [TRC(X)], \\ P_2 [RL(X)]; \end{cases} \\ & \text{s.t. } X_{ii} \in \{0, 1\}, \forall i \in A. \end{aligned} \quad (4)$$

其中:  $P_1$  和  $P_2$  表示优先等级,  $P_1 > P_2$ . 模型输出为根据项目风险应对成本和风险率最小化排序的风险应对措施集. 选择风险应对措施组合时, 可结合管理者的风险偏好, 以  $RL$  大于某一指定阈值为决策依据.

#### 4 求解算法

**定义 1**<sup>[8]</sup> 称  $a = [a, \bar{a}] = \{x | a \leq x \leq \bar{a}, x \in R\}$  为一个区间数. 设  $a = [a, \bar{a}]$ ,  $b = [b, \bar{b}]$ , 则区间数有以下运算规则<sup>[9]</sup>:

- 1)  $a + b = [a, \bar{a}] + [b, \bar{b}] = [a + b, \bar{a} + \bar{b}]$ .
- 2)  $a - b = [a, \bar{a}] - [b, \bar{b}] = [a - \bar{b}, \bar{a} - b]$ .
- 3)  $\lambda a = \begin{cases} [\lambda a, \lambda \bar{a}], & \lambda \geq 0; \\ [\lambda \bar{a}, \lambda a], & \lambda < 0. \end{cases}$

**定义 2**<sup>[10]</sup> 设两区间数  $a = [a, \bar{a}]$ ,  $b = [b, \bar{b}]$ , 定义

$$\begin{aligned} d^2(a, b) &= \int_{-0.5}^{0.5} \left\{ \left[ \frac{a+\bar{a}}{2} + x(\bar{a}-a) \right] - \left[ \frac{b+\bar{b}}{2} + x(\bar{b}-b) \right] \right\}^2 dy = \\ & \left( \frac{a+\bar{a}}{2} - \frac{b+\bar{b}}{2} \right)^2 + \frac{1}{12} [(\bar{a}-a) - (\bar{b}-b)]^2. \end{aligned}$$

称  $d(a, b) = \sqrt{d^2(a, b)}$  是  $a$  与  $b$  之间的距离.

下面给出区间数排序规则<sup>[10]</sup>. 设有  $n$  个区间数  $a_1, a_2, \dots, a_n$ . 首先确定一个最大目标数  $\text{Max}$  或最小目标数  $\text{Min}$ , 即

$$\text{Max} = \sup \left( \bigcup_{i=1}^n S(a_i) \right), \text{Min} = \inf \left( \bigcup_{i=1}^n S(a_i) \right),$$

其中  $S(a_i)$  是区间数  $a_i$  的支集. 然后根据定义 2 给出排序函数

$$D^2(a, M) = \left( \frac{a+\bar{a}}{2} - M \right)^2 + \frac{1}{12} (\bar{a}-a)^2,$$

其中  $M$  是  $\text{Max}$  或  $\text{Min}$ .

再依据  $D_{\text{Max}}(a) = \sqrt{D^2(a, \text{Max})}$  或  $D_{\text{Min}}(a) = \sqrt{D^2(a, \text{Min})}$ , 区间数排序规则为: 若  $D_{\text{Max}}(a_i) <$

$D_{\text{Max}}(a_j)$ , 则  $a_i > a_j$ ; 若  $D_{\text{Max}}(a_i) = D_{\text{Max}}(a_j)$ , 则  $a_i = a_j$ ; 若  $D_{\text{Max}}(a_i) > D_{\text{Max}}(a_j)$ , 则  $a_i < a_j$ . 当取  $D_{\text{Min}}(a)$  时, 情况正好相反.

根据目标函数(4)排序风险应对措施, 需进行  $A-1$  次迭代, 每次迭代从剩余未选措施中选出风险应对成本和风险率最小的措施. 具体实现步骤如下:

1) 未选择任何应对措施时, 计算  $PRE_0$ .

2) 对剩余未选措施集, 以  $P$  和  $M$  为基础, 分别计算采取每项措施后的  $F_P(X)$ ,  $H_M(X)$ ,  $TRC(X)$  和  $RL(X)$ ; 然后根据区间数排序规则选出  $TRC(X)$  最小的措施. 若存在  $TRC$  相等的多个措施, 则从中选出  $RL$  最小的措施, 并令  $P = F_P(X)$ ,  $M = H_M(X)$ .

3) 判断剩余未选措施集是否为空. 若为空, 则转步 4); 否则, 转步 2).

4) 计算结束, 所得输出即为按  $TRC$  和  $RL$  最小化排序的风险应对措施集.

#### 5 应用案例

以某城市医保报销系统项目为例, 说明模型的应用. 已知该项目工作分解结构如表 1 所示. 风险管理小组基于表 1 进行风险分析, 得出该项目可能存在的风险事件集为: 需求定义不明确 ( $r_1$ ), 开发工具包不合适 ( $r_2$ ), 技术理解存在误差 ( $r_3$ ), 模块接口设计不合理 ( $r_4$ ), 数据库结构定义不合适 ( $r_5$ ), 图形界面定

表 1 某医保报销系统工作分解结构

工作分解元素	内容	工作分解元素	内容
1.0	医保报销系统	1.3	编码
1.1	初步设计	1.3.1	功能模块编码
1.1.1	技术可行性分析	1.3.2	模块接口编码
1.1.2	市场分析	1.3.3	应用编码
1.2	详细设计	1.4	集成
1.2.1	功能模块设计	1.5	测试
1.2.2	模块接口设计	1.6	运行与维护
1.2.3	应用设计	1.6.1	用户培训
		1.6.2	维护

表 2 项目工作分解元素可能出现的风险事件及发生概率

风险事件	工作分解元素(风险源)	风险发生概率
$r_1$	1.1	0.28, 0.32
$r_2$	1.1.1	0.03, 0.07
$r_3$	1.2	0.08, 0.12
$r_4$	1.2.2	0.28, 0.32
$r_5$	1.2.3	0.17, 0.23
$r_6$	1.2.3	0.28, 0.32
$r_7$	1.3	0.08, 0.12
$r_8$	1.3.1	0.28, 0.32
$r_9$	1.3.2	0.12, 0.18
$r_{10}$	1.3.3	0.17, 0.23
$r_{11}$	1.4	0.17, 0.23
$r_{12}$	1.6.1	0.17, 0.23

义太复杂( $r_6$ ), 代码有重大错误( $r_7$ ), 关键开发人员流失( $r_8$ ), 人员缺乏经验( $r_9$ ), 编码中出现逻辑错误( $r_{10}$ ), 局部测试性能不合格( $r_{11}$ ), 培训水平不满足要求( $r_{12}$ ).

风险事件的风险概率矩阵  $P$  和风险损失矩阵  $M$  分别如表2和表3所示. 表3中损失值用货币表示, 单位为百元. 针对上述风险分析, 风险管理小组给出风险应对措施及实施成本(单位为百元), 如表4所示.

**表3 风险事件发生时可能对项目工作分解元素造成的损失**

风险事件	工作分解元素	风险造成的损失
$r_1$	1.0	95, 105
	1.2	18, 22
$r_2$	1.3	47, 53
	1.6.2	47, 53
$r_3$	1.3	28, 32
	1.4	18, 22
	1.6	18, 22
$r_4$	1.4	6, 14
	1.5	3, 7
$r_5$	1.4	18, 22
	1.5	18, 22
$r_6$	1.0	195, 205
	1.6	28, 32
$r_7$	1.0	45, 53
	1.5	28, 32
$r_8$	1.3	38, 42
$r_9$	1.3.2	28, 32
$r_{10}$	1.4	28, 32
	1.6.2	3, 7
$r_{11}$	1.6.2	32, 38
$r_{12}$	1.6.1	3, 7
	1.6.2	6, 14

**表4 风险应对措施集及其实施成本估算**

序号	风险应对措施	实施成本
1	减少医保报销系统的需求	37.5
2	设计阶段聘请设计顾问	6.25
3	对项目分阶段实施中间测试	10
4	设计阶段搜集相关信息	2.5
5	对设计性能进行检查	2
6	通过用户调查优化图形界面设计	2.5
7	聘请有关专家改善图形界面设计	5
8	对代码的系统性能进行检查	5
9	编码阶段增加开发人员	7.5
10	详细检查测试设计文档	1.25
11	编码阶段使用合适的开发工具和开发过程	12
12	集成阶段前对代码的关键部分进行测试	0.5
13	培训阶段聘请专业人员对用户进行培训	2.5
14	编辑一部详尽的用户指南	1.25

通过查找风险数据库, 风险管理小组给出实施每项风险应对措施对  $P$  和  $M$  造成的影响, 如表5所示.

**表5 风险应对措施对矩阵  $P$  和  $M$  的影响**

风险应对措施	影响类型	工作分解元素	风险事件	影响值
1	$P$	1.1	$r_1$	0.9
	$P$	1.2	$r_3$	1.5
	$P$	1.2.1	$r_4$	0.8
	$P$	1.2.3	$r_5$	0.8
	$P$	1.2.3	$r_6$	0.7
	$P$	1.3.3	$r_{10}$	0.8
	$P$	1.6.1	$r_{12}$	0.8
	$M$	1.3	$r_2$	0.4
2	$P$	1.1	$r_1$	0.2
	$P$	1.1.1	$r_2$	0.8
	$P$	1.2	$r_3$	1.5
	$P$	1.2.1	$r_4$	0.2
	$P$	1.2.3	$r_5$	0.4
	$P$	1.2.3	$r_6$	0.6
3	$P$	1.3	$r_7$	0.2
	$P$	1.3.3	$r_{10}$	0.2
4	$P$	1.2	$r_3$	2.0
	$P$	1.2.1	$r_4$	0.6
	$P$	1.2.3	$r_5$	0.7
	$P$	1.2.3	$r_6$	0.9
	$P$	1.3.3	$r_{10}$	0.8
	$M$	1.3.2	$r_9$	0.67
5	$P$	1.2	$r_3$	1.3
	$P$	1.2.3	$r_5$	0.5
	$P$	1.2.3	$r_6$	0.6
6	$P$	1.1	$r_1$	0.9
	$P$	1.2.3	$r_6$	0.3
7	$P$	1.2.3	$r_6$	0.2
	$P$	1.3	$r_7$	0.1
8	$P$	1.3.3	$r_{10}$	0.2
	$M$	1.0	$r_7$	0.4
	$M$	1.4	$r_{10}$	0.0
	$M$	1.6.2	$r_{11}$	0.43
	$P$	1.3	$r_7$	1.1
9	$P$	1.3.1	$r_8$	0.8
	$P$	1.3.3	$r_{10}$	1.1
10	$P$	1.4	$r_{10}$	0.1
11	$P$	1.1.1	$r_2$	0.2
	$P$	1.2	$r_3$	1.5
	$P$	1.3	$r_7$	0.7
	$P$	1.3.3	$r_{10}$	0.7
12	$P$	1.3	$r_7$	0.3
	$P$	1.3.3	$r_{10}$	0.3
	$M$	1.5	$r_7$	0.0
13	$M$	1.4	$r_{10}$	0.0
	$P$	1.6.1	$r_{12}$	0.3
14	$M$	1.6.2	$r_{12}$	0.4

表5中措施1对 $P$ 中元素 $p_{1,2}$ 的影响值为0.9, 实施措施1后,  $P$ 中相应值为 $(0.28, 0.32) \times 0.9 = (0.252, 0.288)$ ; 措施1对 $M$ 中元素 $m_{2,9}$ 的影响值为0.4, 实施措施1后,  $M$ 中相应值为 $(47, 53) \times 0.4 = (18.8, 22.2)$ .

根据文中给出的求解算法, 用Matlab进行编程得到案例结果如表6所示. 项目初始风险量 $PRE_0 = [138.49, 196.09]$ , 在没有实施风险应对措施(RAC)时,  $RAC_0 = 0$ , 项目初始风险应对成本 $TRC_0 = [138.49, 196.09]$ . 根据表6结果可以分析出, 刚开始投入RAC时, PRE, TRC和RL的下降幅度比较明显. 随着RAC增加到20.5单位时, TRC首先出现上升趋势, 而PRE和RL仍处于下降趋势. 这表明风险应对措施的実施成本大于其减少的风险量, 但整个项目风险水平仍处于下降趋势. 继续增加RAC到46.25单位时, PRE和RL开始上升, 且TRC仍保持上升趋势, 说明风险应对措施不但花费成本, 而且同时增加整个项目的风险量, 使得项目风险水平上升. 分析结果表明, PRE, TRC和RL的下降空间是有限的, 且下降速率不同. 可见实施风险应对措施并不是越多越好, 单纯从某一角度考虑选择应对措施组合也不够全面, 而应综合考虑多方面因素.

表6 风险应对措施排序列表

风险应对措施	PRE	RAC	TRC	RL
7	88.54, 135.42	5	93.54, 140.42	17.71, 27.08
2	60.48, 99.17	11.25	71.73, 110.42	5.38, 8.81
8	46.58, 75.98	16.25	62.83, 92.23	2.87, 4.68
6	40.81, 68.93	18.75	59.56, 87.68	2.18, 3.68
10	38.70, 65.55	20.0	58.70, 85.55	1.94, 3.28
12	38.30, 64.76	20.5	58.80, 85.26	1.87, 3.16
14	37.65, 62.92	21.75	59.40, 84.67	1.73, 2.89
13	36.97, 60.97	24.25	61.22, 85.23	1.52, 2.51
5	36.39, 60.59	26.25	62.64, 86.84	1.39, 2.31
9	34.27, 57.92	33.75	68.02, 91.67	1.02, 1.72
3	34.20, 57.77	43.75	77.95, 101.52	0.78, 1.32
4	41.80, 71.51	46.25	88.05, 117.76	0.90, 1.55
11	48.86, 82.18	58.25	107.11, 140.43	0.84, 1.41
1	61.48, 104.95	95.75	157.23, 200.70	0.64, 1.10

设决策者希望用不超过40个单位的费用将项目风险水平降至 $[1, 2]$ , 则根据表6, 可选择的风险应对措施组合为: 7, 2, 8, 6, 10, 12, 14, 13, 5, 9.

## 6 结 论

在软件项目风险管理初期, 风险管理人员如何根据风险分析结果, 制定出一个好的风险应对计划, 不仅能有效地帮助项目团队节约风险管理资金, 提高项目团队应对风险能力, 而且直接关系到软件项目的成败. 对此, 本文基于风险应对成本和风险率最小化, 综合考虑决策者风险偏好, 构建了软件项目风险应对措施选择的多目标区间优化模型. 考虑到实际过程中软件项目的不确定性, 模型采用区间数来表示风险概率

和风险损失等难以获得精确值的参数, 使得模型具有实用性和可操作性. 实例分析表明, 该模型为制定风险应对计划和风险管理资金预算提供了有效的量化分析工具.

## 参考文献(References)

- [1] Boehm B W. Software risk management: Principles and practices[J]. IEEE Software, 1991, 8(1): 32-41.
- [2] 潘春光, 陈英武, 汪浩. 软件项目风险管理理论与方法研究综述[J]. 控制与决策, 2007, 22(5): 481-486.  
(Pan C G, Chen Y W, Wang H. Overview of the study on theories and methods of software project risk management[J]. Control and Decision, 2007, 22(5): 481-486.)
- [3] 邱苑华. 现代项目管理学[M]. 北京: 科学出版社, 2007: 208-209.  
(Qiu W H. Modern project management[M]. Beijing: Science Press, 2007: 208-209.)
- [4] 潘春光, 陈英武. 基于CMMI的软件项目风险缓解策略优化模型研究[J]. 计算机科学, 2007, 34(4): 279-281.  
(Pan C G, Chen Y W. Research on the optimization model of risk reduction actions in the CMMI-based SPRM[J]. Computer Science, 2007, 34(4): 279-281.)
- [5] 潘春光. 软件项目风险计划与过程控制模型研究[D]. 长沙: 国防科学技术大学信息系统与管理学院, 2006.  
(Pan C G. Research on the models of risk planning and process control of software project[D]. Changsha: College of Information System and Management, National University of Defense Technology, 2006.)
- [6] Ben-David I, Raz T. An integrated approach for risk response development in project planning[J]. J of the Operational Research Society, 2001, 52(1): 14-25.
- [7] Ben-David I, Rabinowitz G, Raz T. Economic optimization of project risk management efforts[EB/OL]. (2002-09). <http://www.fisher.osu.edu/fin/faculty/Ben-David/articles/BDRR2002>.
- [8] 史加荣, 刘三阳, 熊文涛. 区间数线性规划的一种新解法[J]. 系统工程理论与实践, 2005, 25(2): 101-106.  
(Shi J R, Liu S Y, Xiong W T. A new solution for interval number liner programming[J]. Systems Engineering-Theory & Practice, 2005, 25(2): 101-106.)
- [9] 曹炳元. 应用模糊数学与系统[M]. 北京: 科学出版社, 2005.  
(Cao B Y. Application fuzzy mathematics and systems[M]. Beijing: Science Press, 2005.)
- [10] 刘华文. 基于距离测度的模糊数排序[J]. 山东大学学报: 理学版, 2004, 39(2): 30-36.  
(Liu H W. Ranking fuzzy numbers based on a distance measure[J]. J of Shandong University: Natural Science, 2004, 39(2): 30-36.)