

文章编号: 1003- 207(2009)04- 0148- 07

研发项目过程风险管理方法综合集成问题研究

王长峰^{1,2}

(1. 北京邮电大学经济管理学院, 北京 100876; 2. 华中科技大学公共管理学院, 湖北 武汉 430074)

摘要: 针对研发(R&D)项目过程风险特征, 重点研究和提出了解决研发(R&D)项目过程风险的/模糊-事件树-故障树综合集成定量方法, 并采用算术平均数方法和加权几何平均数方法修正了/模糊-事件树与/模糊-故障树综合集成问题。通过实证研究表明, 该定量方法能够有效地解决研发项目过程风险实际问题。

关键词: 研发(R&D)项目; 过程风险; 集成; /模糊-事件树-故障树

中图分类号: F8301.9 **文献标识码:** A

1 引言

过程风险是研发项目过程管理的一个重要内容, 也是一个复杂巨系统, 因为其具有涉及面广、环节多、耗费资金多、研制和生产周期长、不确定性因素多、经济风险和技术风险大、系统操作复杂等特点。因此, 所面临的风险种类繁多、各种风险之间的相互关系错综复杂。因为该系统不仅受到主客观不确定性因素的影响, 缺少大量统计数据而使得概率精确、量化的足够信息; 而且又由于人的自信度、相关失效、共同失效等造成系统不确定性, 从而在大型复杂系统中导致各个底事件发生的概率具有模糊性。因此, 针对研发项目过程风险, 所采用的单一定量方法都有一定的局限性, 已不能足以解决上述问题, 所以, 只有将几种定量方法综合集成, 才能克服彼此之间的局限性, 发挥综合集成方法的优势, 达到综合集成方法的功能倍增性。目前, 用这种集成方法来解决研发项目过程风险问题很少见于文献。

国外风险管理研究^[12, 13]首先从分析企业的风险着手, 探讨风险费用的处理以及风险发生后如何迅速恢复企业财务的稳定、企业的活力以及对资源的有效利用。文献^[14-16]认为, 开始这些国家只是研究企业经营管理中的风险问题, 但是, 文献^[17, 18]意识到: 随着项目管理技术的发展, 风险管理逐渐被列入项目管理的行列, 形成了项目风险管理, 乃至形成

了成熟的项目风险管理学科。Katrina R Hampton, P. E 的论文(2003)^[19]指出, 项目风险管理正在向多种学科综合集成研究风险的方向发展。

国内项目风险管理的研究起步较晚, 起源于 20 世纪 80 年末期, 相继出现了一些有关文献^[1-3], 但仅仅停留在对项目风险的定性描述上。针对重大研发项目, 国内与国外先进项目风险管理理论与方法相比具有较大差距, 其过程风险管理更是处于起步阶段, 主要表现在长期处于以经验为主的状态, 缺乏先进理论指导。张健壮(1996)的文献^[2]/卫星发射风险因素分析、王晓辉(2001)的文献^[3]/核电工程的项目风险管理、吴力凡(2001)的文献^[4]/造船中回避风险提高效益的措施、陈刚(2001)的文献^[5]/船舶结构碰撞与搁浅风险分析研究综述等都是对风险进行了一些定性描述。张怀强(2002)的文献^[6]/武器系统研制进度风险分析方法研究只是对项目进度采用了瑞利分布的概率统计方法进行了定量研究。

本文提出采用/模糊-事件树-故障树综合集成定量方法来研究和解决研发项目复杂系统中过程风险概率问题, 主要研究内容为研发项目过程风险中/模糊-事件树与/模糊-故障树定量方法的接口结合集成问题, 并采用上述方法尝试解决研发项目过程系统风险与评估的实际问题。

2 /模糊-事件树-故障树综合集成过程风险管理模型建立

2.1 /模糊-事件树-故障树综合集成定性机理分析

综合集成定性分析机理是基于模糊数学和模糊

收稿日期: 2008- 05- 05; 修订日期: 2009- 07- 10

基金项目: 国防科工委/十五重点基金项目(072003A001)

作者简介: 王长峰(1965-), 男(汉族), 湖北省清河县人, 北京邮电大学经济管理学院教授, 项目管理博士(后), 研究方向: 项目风险与应急管理理论与实践1

集合理论的故障树分析方法, 是由定性到定量两种方法的综合集成, 是解决重大研发项目复杂巨系统过程风险最有效的方法。

故障树分析(FTA)是一种由结果到原因的演绎逻辑方法, 并且广泛应用于复杂可靠性分析中。然而, FTA 的顶端事件的选择是随意, 而又缺少明确的规则。事件树分析(ETA)是一种由原因到结果的演绎逻辑方法, 并且应用于连续操作系统的可靠性分析中。然而, ETA 的精确量化是困难的。因此, FTA 和 ETA 的结合^[7]对于克服彼此的缺点, 提高系统可靠性分析的质量, 无疑是一种最好的途径。

2.1.1 FTA 和 ETA 结合的基础

FTA 和 ETA 是彼此既相对又互补的。ETA 是一种由原因到结果的演绎逻辑方法, FTA 是一种由结果到原因的演绎逻辑方法, 前者适用于宏观分析, 而后者适用于微观分析。

ETA 的故障事件连续结果的结合是 FTA 的顶端故障; ETA 的每一种故障事件连续结果是 FTA 的中间故障。ETA 明确为 FTA 提供顶端事件和中间事件。FTA 的是系统深层次的故障机理, 并且准确地做出了 ETA 的事件连续的量化值。

2.1.2 FTA 和 ETA 结合的过程

1 定义 ETA 的初始事件, 寻找 ETA 的顶端次序, 建立 ETA, 并且发现事件连续结果; ° 对事件连续结果进行分类, 确定分别顶端和中间故障建立和估计 FTA; » 为 ETA 提供顶端和中间故障发生的概率, 并且量化 FTA。

2.1.3 FTA 和 ETA 结合的应用范围

FTA 和 ETA 的结合适用于复杂系统的可靠性分析, 特别适用于操作事件连续的复杂系统。而且也在其他复杂工程系统的可靠性分析中, 特别是风险分析中起着重要的作用。

2.2 / 模糊- 故障树0综合集成定量分析方法^[7- 14]研究

/ 模糊) 故障树0综合集成定量分析一般包括计算顶事件发生的概率和底事件概率重要度分析, 从而根据顶事件发生的概率找出顶事件对应的关键元件或者薄弱环节, 进而降低顶事件发生概率提供了有效的改进途径; 同时, 根据底事件概率重要度的大小确定系统的关键元件或者薄弱环节, 从而有针对性地改进系统中的关键元件。

2.2.1 故障树事件模糊隶属度函数的确定

定义 1 模糊数 M 为实数域 R 上的凸模糊集, 其隶属度函数 L(x) 满足:

(1) $\max L(x) = 1, x \in R$; (2) L(x) 是逐段连续的

定义 2 设 L、R 为模糊数的参照函数或者基准函数, 称模糊数 M 为 L- R 型模糊数。模糊数的基准函数:

若 L(x) 或者 R(x) 满足:

(1) $L(x) = L(-x)$, 或者 $R(x) = R(-x)$

(2) $L(0) = 1$, 或者 $R(0) = 1$

(3) L(x) 在 $[0, +\infty]$ 上为减函数, 或者 R(x) 在 $[0, +\infty]$ 上为减函数

则称 L(x) 或者 R(x) 为模糊数的基准函数或者参考函数。

设 L、R 为模糊数的基准函数, 如果

$$L_M(x) = \begin{cases} L(\frac{m-x}{A}), & x \in [m-A, m], A > 0 \\ 1, & x = m \\ R(\frac{x-m}{B}), & x \in [m, m+B], B > 0 \end{cases}$$

则称模糊数 M 为 L- R 型模糊数, 记作 $M = (m, A, B)_{LR}$, 称 L、R 分别为左、右基准函数, A、B 分别为左、右分布。如图 1 所示。

对于线性型参照函数或者基准函数, 当 $x \in [m-A, m]$ 和 $x \in [m, m+B]$ 时, 如果 $L=0$, 那么在 $(m-A, m+B)$ 区间之外的数值不属于该模糊数; 对于正态型和尖型参考函数或者基准函数, 隶属函数曲线沿函数变量向 $-\infty$ 和 $+\infty$ 无限延伸, 说明整个数轴上的任何数总有一定程度隶属于该模糊数。因此, 在选择参照函数时, 除非底事件发生的概率绝对落在某个范围内, 此时应该选择线性型参照函数或者基准函数; 否则, 以选取正态型和尖型参考函数或者基准函数为宜, 本文选取正态型参考函数进行计算。

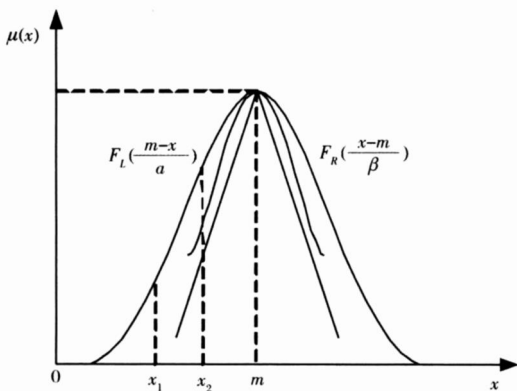


图 1 L2R 为模糊数的基准函数分布图

2.2.2 模糊算子的选取

模糊集的运算是通过对隶属度函数取/与0和/或0的模糊二元运算,称为模糊算子。模糊算子的选取与扩散性问题密切相关,模糊算子的选择应该满足计算结果不确定性小为准则。在工程项目实际应用中,要根据实际情况选取不同的算子。一般情况下,选取 Zedeh 算子 C(min)和 D(max),计算的结果不确定性程度最大;选取强化积算子(Drastic Product)和强化算子(Drastic Sum),计算的结果不确定性程度最小;选取其它算子,计算的结果不确定性程度介于二者之间;但是,计算复杂性要大的多,甚至不能实现。

2.2.3 计算顶事件模糊概率

本文计算顶事件模糊概率采用/与0、/或0和/非0门结构函数的原理和方法。

假设部件 i 的模糊故障概率 K 已知,则根据扩张原理可得顶事件发生的模糊概率的隶属度函数为:

$$L_{P_T}(y) = \begin{cases} \sup_{x \in S^{-1}(y)} \min[L_{X_1}(x), \dots, L_{X_n}(x)], & \text{if } 5^{-1}(y) \in X \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

其中, 5(X) 为故障树的结构函数, $L_{X_i}(x)$ (i = 1, 2, ..., N) 为部件 x_i 发生模糊概率的隶属度函数, $L_{P_T}(y)$ 为顶事件发生的模糊概率的隶属度函数, N 为部件数。

在实际应用中,由于实际系统的复杂性导致故障树结构函数 5(X) 的难度很大,要计算得到顶事件模糊概率的精确隶属度函数非常困难。因此,一般利用模糊数区间运算法则来分别计算每一个最小割集的模糊概率隶属度函数,最后再计算顶事件发生的模糊概率的隶属度函数。

故障树经过建造、分析、规范化后,可以成为仅仅含有底事件、结果事件和/与0、/或0和/非0门三种逻辑门的故障树。

假定 P_{x_i} 是模糊变量 x_i 的发生概率,则:/与0门结构函数 $P_T^{AND} = \prod_{i=1}^n P_{x_i}$; /或0门结构函数 $P_T^{OR} = 1 - (1 - P_{x_1})(1 - P_{x_2}) \dots (1 - P_{x_n}) = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - P_{x_i})$; /非0门结构函数 $P_T^{NEG} = 1 - P_{x_i}$ 。

所以,/与0、/或0和/非0门底事件发生概率可能性分布如下:

设 L、R 为模糊数的基准函数,如果

$$LM(x) = \begin{cases} L(\frac{m-x}{A}), & x \in [m, A], A > 0 \\ 1, & x = m \\ R(\frac{x-m}{B}), & x \in [m, B], B > 0 \end{cases}$$

则称模糊数 M 为 L- R 型模糊数,记作 $M = (m, A, B)_{LR}$,称 L、R 分别为左、右基准函数, A、B 分别为左、右分布。则 K- 截集为: $(P^k)_K = [L_k, R_k]$ 。

所以,/与0门结构函数:

$$P_Y = (m_Y, A, B)_{LR} = (m_{x_1}, A_1, B_1)_{LR} \wedge (m_{x_2}, A_2, B_2)_{LR} \wedge \dots \wedge (m_{x_n}, A_n, B_n)_{LR}$$

/或0门结构函数:

$$P_Y = (m_Y, A, B)_{LR} = (1, 0, 0) - [((1, 0, 0) - (m_{x_1}, A_1, B_1)_{LR}) \vee ((1, 0, 0) - (m_{x_2}, A_2, B_2)_{LR}) \vee \dots \vee ((1, 0, 0) - (m_{x_n}, A_n, B_n)_{LR})]$$

/非0门结构函数:

$$P_Y = (m_Y, A, B)_{LR} = (1, 0, 0) - (m_{x_i}, A_i, B_i)_{LR}$$

由于 P_{x_i} (i = 1, 2, ..., n) 为 L- R 型模糊数,所以可以按着 L- R 型模糊数运算法则,求出顶事件发生故障概率的可能性分布。

2.2.4 计算底事件模糊重要度

底事件模糊概率重要度分析采用中值法。假定基本事件故障数据的可能性函数为有正有界闭模糊数。且设正模糊数 M 为有界闭模糊数的充要条件为:

$$M = \begin{cases} 1, & x = m \\ L(x), & x < m \\ R(x), & x > m \end{cases}$$

其中 L(x) 为增函数,右连续, $0 \leq L(x) < 1$ 且 $\lim_{xy \rightarrow -} L(x) = 0$; R(x) 为减函数,左连续, $0 \leq R(x) < 1$ 且 $\lim_{xy \rightarrow +} R(x) = 0$ 。

定义 1 设 $A_1 = \int_0^m L(x) dx$, $A_2 = \int_m^1 R(x) dx$, $A = A_1 + A_2$,存在点 m_c 使得经过该点为分界线,模糊数曲线下的左右两部分面积相等。称 m_c 为该模糊数 M 的中位数。中位数的计算分为三种情况:

- (1) $A_1 > A_2$, 则 $0 < m_c < m$, 模糊数 M 的中位数 m_c 满足 $A_1 = \int_0^{m_c} L(x) dx = \frac{A}{2}$;
- (2) $A_1 = A_2$, 则 $m_c = m$;
- (3) $A_1 < A_2$, 则 $m < m_c < + \infty$, 模糊数 M 的中位数 m_c 满足 $A_1 = \int_0^{m_c} R(x) dx = \frac{A}{2}$ 。

定义 2 设 m_{1c} 和 m_{2c} 分别为有界闭模糊数 M

和 M_2 的中值, 如果 $m_{1e} > m_{2e}$, 则 $M_1 > M_2$; 如果 $m_{1e} = m_{2e}$, 则 $M_1 = M_2$; 如果 $m_{1e} < m_{2e}$, 则 $M_1 < M_2$ 。

设故障树的结构函数为 $5(x_1, x_2, \dots, x_n)$, x_i 故障数据的可能性分布为有界闭模糊数, 记为 \bar{x}_i , 则顶事件相应故障数据的可能性分布为:

$$\bar{T} = 5(\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_n) = (m_T, L_T(x), R_T(x))$$

且仍为有界闭模糊数, 其中位数为 m_{Te} ;

$$\bar{T}_i = 5(\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_{i-1}, 0, \bar{x}_{i+1}, \dots, \bar{x}_n) = (m_{Ti}, L_{Ti}(x), R_{Ti}(x))$$

其中位数为 m_{Tie} 。

定义 3 称 $S_{T_i} = m_{Ti} - m_{Tie} > 0$ 为部件 x_i 的模糊重要度。

如果 $S_{T_i} \setminus S_{T_j}$, 则认为部件 x_i 比部件 x_j 重要, 也就是部件 x_i 对系统的影响大于部件 x_j 对系统的影响。因此, 如果要改进系统, 提高系统的可靠性, 则首先应该考虑改进部件 x_i 。

2.3 / 模糊) 事件树0综合集成定量分析方法研究

/ 模糊) 事件树0定量分析一般是根据原事件的模糊成功和失效的概率计算出每一个分支的事件的模糊成功和失效的概率, 然后, 根据损失程度, 确定重大风险事件, 并且确定系统的关键元件或者薄弱环节, 从而有针对性地改进系统中的关键元件。一般步骤为: 1) 根据确定的事件树, 确定事件的隶属度函数 $L_A(x)$; 2. 确定每一个分支的事件的模糊成功和失效的概率; 3. 确定并计算最终事故后果以及发生的事件概率。对于事件树中顶事件模糊概率的计算, 当模糊数的扩展程度相对较窄时, 可分别运用乘法法则和加法法则。设事件树中某一失效路径的

失效概率为: $P_Y = \prod_{i=1}^n P_i$, 由模糊数的乘法法则, 可以得到: $P_Y(x) = (m_Y, 5_Y, B_Y)$ 。

2.4 / 模糊) 事件树与模糊) 故障树0综合集成定量分析模型

模糊) 事件树与模糊) 故障树的综合集成基本模式见图 2 所示。

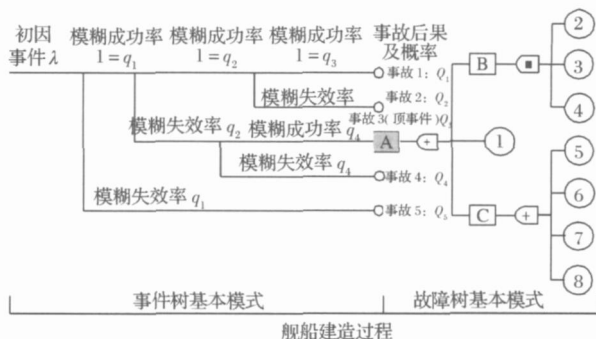


图 2 模糊) 事件树与模糊) 故障树的集成基本模式

由图 2 可知, 根据现场人员提供的基本事件的模糊概率, 通过采用模糊) 事件树计算得出的顶事件 i 的模糊概率与通过采用模糊) 故障树计算得出的顶事件 i 的模糊概率存在着一定的差距。

设计针对同一底(顶)事件 i , 由模糊) 事件树计算得出的顶事件 i 的模糊概率为 q_i^1 , 由模糊) 故障树计算得出的顶事件 i 的模糊概率为 q_i^{11} 。

由于参照函数为正态型函数:

$$\begin{cases} L(\frac{m-x}{A}) = \exp[-\frac{(m-x)^2}{A^2}], x \in [m, A] > 0 \\ R(\frac{x-m}{B}) = \exp[-\frac{(x-m)^2}{B^2}], x > m, B > 0 \end{cases}$$

所以, 用 Q 表示底事件 i 发生的概率, 为正态模糊数, 隶属函数为:

$$L_Q(x) = e^{-\frac{(x-q_i)^2}{R^2}}, (q_i > 0, 0 < x < 1, 0 < R)$$

式中, q_i 为 Q 的均值, R 为 Q 的偏差度, 表示模糊性程度。

因为 $F_L(\frac{q_i - x}{R}) = K$ 和 $F_R(\frac{x - q_i}{R}) = K$, 所以模糊数 Q 的截距区间为:

$$Q_K = [q_i - R \sqrt{-\ln K}, q_i + R \sqrt{-\ln K}] = [L_{iK}, R_{iK}], (0 < L_{iK} < R_{iK}), \text{见图 3(a) 所示。}$$

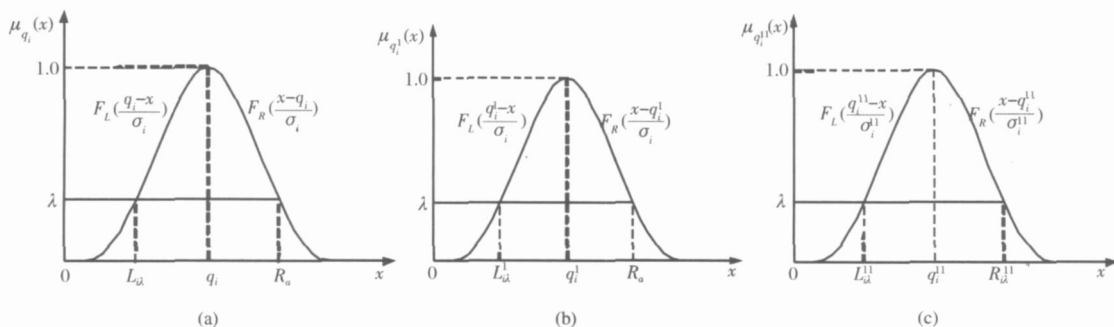


图 3 模糊数的截距区间正态型函数

对于同一个底(顶)事件 i , 设 Q^I 表示底事件 i 发生的概率, 为正态模糊数, 所以, 模糊数 Q^I 的截距区间为: $Q_k^I = [q_i^I - R^I \sqrt{-\ln K}, q_i^I + R^I \sqrt{-\ln K}] = [L_{k^I}, R_{k^I}]$, ($0 < L_{k^I} < R_{k^I}$), 式中, q_i^I 为 Q^I 的均值, R^I 为 Q^I 的偏差度, 表示模糊性程度, 见图 3(b) 所示。设 Q^{II} 表示底事件 i 发生的概率, 为正态模糊数, 所以, 模糊数 Q^{II} 的截距区间为: $q_{k^{II}} = [q_i^{II} - R^{II} \sqrt{-\ln K}, q_i^{II} + R^{II} \sqrt{-\ln K}] = [L_{k^{II}}, R_{k^{II}}]$, ($0 < L_{k^{II}} < R_{k^{II}}$), 中, q_i^{II} 为 Q^{II} 的均值, R^{II} 为 Q^{II} 的偏差度, 表示模糊性程度, 见图 3(c) 所示。

针对底(顶)事件 i 计算出来的均值 q_i 具有不同的值, 采用算术平均数方法和加权几何平均数方法来修正/模糊-事件树 θ 与/模糊-故障树 θ 集成的底(顶)事件 i 发生的概率。

方法一: 算术平均数方法
设:

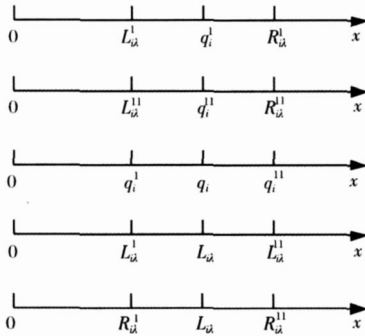


图 6 修正的底(顶)事件 i 发生的概率图示

$$\text{计算公式: } q_i = q_i^I + \frac{1}{2}(q_i^{II} - q_i^I), L_{k^I} = L_{k^I} + \frac{1}{2}$$

$$(L_{k^I} - L_{k^I}), R_{k^I} = R_{k^I} + \frac{1}{2}(R_{k^I} - R_{k^I})$$

因此, 模糊数 Q 的截距区间为:

$$Q_k = [q_i - R \sqrt{-\ln K}, q_i + R \sqrt{-\ln K}] = [L_k, R_k], (0 < L_k < R_k)$$

方法二: 加权法与几何平均法
设: 集成后的均值为:

$$q_i = w_1 q_i^I + w_2 q_i^{II}, w_1 + w_2 = 1$$

$$\text{求出 } q_i^I \text{ 和 } q_i^{II} \text{ 的几何平均值: } b_i = \left(\frac{q_i^I q_i^{II}}{F_1} \right)^{\frac{1}{2}}, i = 1, 2$$

$$\text{求出 } q_i^I \text{ 和 } q_i^{II} \text{ 的权系数: } w_j = \frac{b_j}{\sum_{k=1}^2 b_k}, j = 1, 2$$

因此, 处理后的模糊数 Q 的截距区间(模糊区

间)为:

$$Q_k = [q_i - R \sqrt{-\ln K}, q_i + R \sqrt{-\ln K}] = [L_k, R_k], (0 < L_k < R_k)$$

选择方案:

由于在所有变量都不相等的情况下, 算术平均数大于几何平均数。算术平均数和几何平均数两者所存在的差异性表明: 无论是采用哪种方法修正, 其结果都是跟实际情况存在误差的; 当采用加权几何平均数平均方法, 得到的模糊概率比实际数值偏小; 当采用算术平均数平均方法, 得到的模糊概率比实际数值偏大。

因此, 经过修正的底(顶)事件 i 发生的概率比较接近于实际发生的概率, 其计算结果的精度也比较高。选择哪种方法来处理集成问题, 要取决于决策者对过程风险的偏好态度。偏好态度属于冒险的人, 采用几何平均数计算方法; 偏好态度属于保守的人, 采用算术平均数计算方法。

3 实证研究

以舰船建造过程某系统风险为故障顶事件建立故障树, 并且分析和研究/模糊-故障树-事件树 θ 综合集成方法的可靠性和风险性分析与评估。通过采用故障树分析法与事件树分析法相结合, 经过现场技术人员的经验建立了故障树, 见图 7 所示。

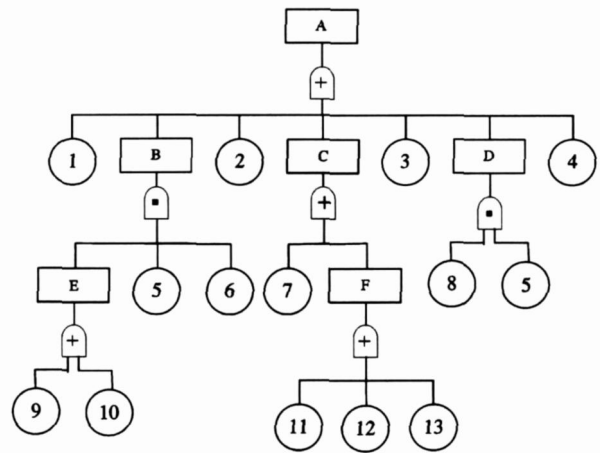


图 7 某系统重大风险 A 故障顶事件的故障树

根据上行法则, 求出故障树的 9 个最小割集, 并且造成了故障树顶事件最薄弱的环节, 分别为: {1}, {2}, {3}, {4}, {5}, {6}, {9}, {10}, {8, 5}。

3.1 选择现场专家组对/某个故障顶事件和底事件 θ 的过程风险可能性、严重性做出判断, 并填写舰船建造过程风险顶事件表

对舰船建造过程某系统风险为故障顶事件进行现场调查,假设模糊)事件树与模糊)故障树针对该顶事件估计的模糊概率的数据是一样的,根据现场相关人员给出的基本事件故障率的均值m和置信区间上、下限A,B,得表1所示。以过程风险识别和分析的关键事件为顶事件分析引起顶事件的中间事件、底事件,以及相应模糊概率、严重性和可控性。

表1 基本事件故障率列表

风险识别		风险评估	
底事件名称	基本事件	m	A,B@10 ⁻³
顶 事 件	底事件1	01	01 556
	底事件2	01	01 556
	底事件3	01	01 556
	底事件4	01	01 556
	底事件5	0005	21 278
	底事件6	01	02 112
	底事件7	01	01 556
	底事件8	01	01 556
	底事件9	01	01 556
	底事件10	01	02 112
	底事件11	01	01 556
	底事件12	01	01 556
	底事件13	01	01 556

3.2 根据底事件的特征,确定符合底事件实际情况的基准隶属度函数或者参照隶属度函数。

设P_i的隶属函数为:

$$L_{P_i} = \begin{cases} L_i[(m-x)/A] = 1/[1+(m-x)/A], & x \leq m \\ R_i[(x-m)/B] = 1/[1+(x-m)/B], & x > m \end{cases}$$

假定P_i的隶属函数是对称的并且与均值m_i相差50%的点x的隶属度为0.1,则有:

$$A = B, \\ 1/[1+(m_i-x)/A] = A(A+0.5m) = 0.1$$

可以求得A=B=0.0556m_i,并根据均值m_i求出A=B,见表1所示。

3.3 选取模糊算子

选取准则:模糊算子的选取与扩散性问题密切相关,模糊算子的选择应该满足计算结果不确定性小为准则。本文选取 Zedeh 算子 C (min) 和 D

(max)作为模糊算子。

3.4 根据底事件或者最小割集的模糊概率,计算顶事件的模糊概率

计算顶事件模糊概率的原理和方法采用/与0、/或0和/非0门结构函数的原理和方法。

设各个基本事件相互独立,那么,顶事件A的真值函数为:

$$\text{因为 } F = 11 + 12 + 13, C = 7 + F, E = 9 + 10, B = E + 5 + 6, D = 8 @ 5$$

所以顶事件A的真值函数: A = 1 + B + 2 + C + 3 + D + 4

相应的模糊形式为:

$$P_A = P_1 \oplus P_B \oplus P_2 \oplus P_C \oplus P_3 \oplus P_D \oplus P_4, P_B = P_E \oplus P_5 \oplus P_6, P_C = P_7 \oplus P_F, P_D = P_8 \oplus P_5, P_E = P_9 \oplus P_{10}, P_F = P_{11} \oplus P_{12} \oplus P_{13}$$

根据模糊算子,则有:

$$P_A = \text{OR}(P_1, P_B, P_2, P_C, P_3, P_D, P_4), P_B = \text{OR}(P_E, P_5, P_6), P_C = \text{OR}(P_7, P_F), P_D = \text{AND}(P_8, P_5), P_E = \text{OR}(P_9, P_{10}), P_F = \text{OR}(P_{11}, P_{12}, P_{13})$$

通过计算,可得模糊算子结果见表2所示。

表2 模糊算子计算结果

P _A	(6.09@10 ⁻³ , 0.127, 6.09@10 ⁻³) _{LR}
P _B	(2.943@10 ⁻³ , 0.054, 2.943@10 ⁻³) _{LR}
P _C	(1.5523@10 ⁻³ , 0.0394, 1.5523@10 ⁻³) _{LR}
P _D	(0.00556@10 ⁻³ , 0.00005, 0.00556@10 ⁻³) _{LR}
P _E	(1.6458@10 ⁻³ , 0.0298, 1.6458@10 ⁻³) _{LR}
P _F	(1.616@10 ⁻³ , 0.0297, 1.616@10 ⁻³) _{LR}

因此,顶事件的K截集模糊数表达式为: F_n^A = [(m_n-A)+AK,(m_n+B)-BK]。

$$\text{即: } F_n^A = [0.021 + 0.00609K, 0.133 - 0.00609K]$$

F_n^A = [0.021+0.00609K,0.133-0.00609K]为一个区间数,K赋予不同的数值,就可以得到不同的置信区间。见表3所示,隶属度函数曲线见图10所示。

表3 F_n^A = [0.021+0.00609K,0.133-0.00609K] 置信区间

K	上限	下限	均值m	置信上限A	置信下限B
0	0.121	0.133	0.1270	0.006	0.006
0.1	0.122	0.132	0.1270	0.005	0.005
0.2	0.1227	0.1317	0.1270	0.0043	0.0043
0.3	0.1228	0.1312	0.1270	0.0042	0.0042
0.4	0.1234	0.1306	0.1270	0.0036	0.0036
0.5	0.1240	0.1299	0.1270	0.003	0.003
0.6	0.1246	0.1293	0.1270	0.0024	0.0024
0.7	0.1253	0.1287	0.1270	0.0017	0.0017
0.8	0.1258	0.1281	0.1270	0.0012	0.0012
0.9	0.1265	0.1275	0.1270	0.0005	0.0005
1.0	0.1270	0.1270	0.1270	0	0

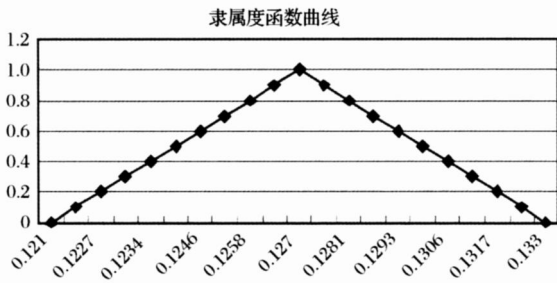


图 8 隶属度函数曲线

当模糊性概率变为明确的概率时,也就是 $K=1.0$ 时, $F_A = 0.127$, 那么,该系统发生风险的概率为 12.7%;当模糊性概率由明确变为模糊时,也就是 $K=0$ 时, F_A 的模糊数区间为 $[0.121, 0.133]$, 那么,该系统发生风险的概率应该在 $[12.1\%, 13.3\%]$ 之间变化。

3.5 底事件模糊重要度分析))) 中值法计算模糊重要度。

由于顶事件的中位数为 0.127, 舰船建造过程某系统重大风险为故障顶事件的故障树中的 9 个最小割集, 分别为: $\{1\}$ 、 $\{2\}$ 、 $\{3\}$ 、 $\{4\}$ 、 $\{5\}$ 、 $\{6\}$ 、 $\{9\}$ 、 $\{10\}$ 、 $\{8, 5\}$;

那么, 各个最小割集的中位数分别为: 0.01、0.01、0.01、0.01、0.005、0.02、0.01、0.02、0.00005; 对应的模糊重要度分别为: 0.117、0.117、0.117、0.117、0.122、0.107、0.117、0.107、0.12695; 通过计算可以得出:

- A. 最小割集 $\{8, 5\}$ 的模糊重要度为 0.12695;
- B. $\{5\}$ 的模糊重要度为 0.122;
- C. $\{1\}$ 、 $\{2\}$ 、 $\{3\}$ 、 $\{4\}$ 、 $\{9\}$ 的模糊重要度为 0.117;
- D. $\{6\}$ 和 $\{10\}$ 的模糊重要度为 0.107。

因此, 控制和监督部件的次序依次为: $\{8, 5\}$ 、 $\{5\}$ 、 $(\{1\}$ 、 $\{2\}$ 、 $\{3\}$ 、 $\{4\}$ 、 $\{9\})$ 和 $(\{6\}$ 和 $\{10\})$ 。

3.6 结果分析

通过计算顶事件和底事件的大小, 就可以依次找出与 $\{8, 5\}$ 、 $\{5\}$ 、 $(\{1\}$ 、 $\{2\}$ 、 $\{3\}$ 、 $\{4\}$ 、 $\{9\})$ 和 $(\{6\}$ 和 $\{10\})$ 相对应的部件(零部件), 并加以控制。实际实施过程中, 由于采用了上述方法, 根据顶事件和底事件的模糊概率, 制定过程风险行动管理计划, 找出相应的部件、组件、零件或者薄弱环节, 并对过程风险进行了控制, 解决了实际问题。

4 结语

本文通过研究研发(R&D)项目过程复杂系统

的特征, 针对其模糊性和复杂性, 研究建立了/模糊-故障树-事件树0综合集成定量模型, 并采用算术平均数方法和加权几何平均数平均法修正了集成问题; 同时, 将研究方法应用于舰船建造过程某系统风险与评估, 结果表明, 该方法能够很好地解决舰船建造过程风险实际问题, 取得了明显的效果。经过研究, 该方法也比较适宜研发项目、软件开发类项目, 不仅有效而且可行。

然而, 对于有关研发项目模糊)故障树底事件概率相关问题研究, 由于研究人员现场缺少或没有足够的底事件发生故障的相关信息, 其概率通常是一种模糊概率。模糊概率的精确程度要取决于人员的经验、知识结构, 以及人的自信度; 因此, 底事件概率直接影响着导致系统发生故障的顶事件发生的概率, 从而, 也直接影响着人们采取何种措施和方法来处理系统的关键部件或者薄弱环节。底事件概率的精确性对于处理系统故障, 采取相应的防范措施起到至关重要的作用。

因此, 基于不同人员的自信度的水平对于底事件的概率的估计将会对顶事件起着决定性的作用, 底事件的概率是确保系统安全、可靠, 并能确定系统故障、风险诊断推理的瓶颈问题, 因此, 对系统发生故障问题的研究还需未来进一步分析和研究。

参考文献:

- [1] 张青晖, 沙基昌. 风险分析综述[J]. 系统工程与电子技术, 1996, (2): 42- 45
- [2] 张健壮. 卫星发射风险因素分析[J]. 航天工业管理, 1996, (4): 36- 38
- [3] 王晓辉, 徐元辉. 核电工程的项目风险管理[J]. 高技术通讯, 2001, (9): 28- 30
- [4] 吴力凡. 造船中回避风险提高效益的措施[J]. 造船技术, 2001, (5): 1- 3
- [5] 陈刚. 船舶结构碰撞与搁浅风险分析研究综述[J]. 造船技术, 2001, (5): 57- 61
- [6] 张怀强. 武器系统研制进度风险分析方法研究[J]. 海军工程大学学报, 2002, (2): 22- 25
- [7] 江荣汉. 事件树与故障树相结合的系统可靠性分析法[J]. 湖南大学学报, 1995, (1): 103- 108
- [8] 李廷杰. 故障树分析中的模糊概率重要度[J]. 系统工程理论与实践, 1990, (1): 33- 35
- [9] 李青, 陆廷金. 模糊重要度分析方法的研究[J]. 模糊系统与数学[J]. 2000, (1): 89- 93
- [10] 华小洋, 胡宗武, 范祖尧. 模糊故障树分析方法[J]. 机械强度, 1998, (1): 35- 40.
- [11] 王永传, 庄钊文. 一种基于修正模糊算子的模糊故障

- 树分析方法[J]. 模糊系统与数学, 2000, 14(3): 80-86.
- [12] 蔡晨, 王长峰, 等. 舰船建造过程风险识别与分析实施, 国防科工委十五重点基础研究课题[R], 2004, 28-44.
- [13] 王长峰. 重大研发项目过程管理综合集成与过程风险管理模式研究[D]. 中国科学技术大学, 博士论文, 2004年, 115-140, 186-193.
- [14] Chang, S. Y., Chang, C. T.. A fuzzy logic based fault diagnosis strategy for process control loops[J]. Chemical Engineering Science, 2003, (58): 395 - 3411.
- [15] Ward, S., Chapman, C.. Transforming project risk management into project uncertainty management[J]. International Journal of Project Management, 2003, (21): 97-105.
- [16] Sharratt, P. N., Choong, P. M.. A lifecycle framework to analyse business risk in process industry projects[J]. Journal of Cleaner Production, 2002, (10): 479 - 493.
- [17] Jiang, J., Klein, G.. Software development risks to project effectiveness[J]. The Journal of Systems and Software, 2005, (52): 3-10.
- [18] Kraft, M. E. A., Myrick, P. E.. Myrick freeman introduction: economic and political issues in risk analysis[J]. Risk Analysis, 2005, (3): 278-281.
- [19] Katrina R Hampton, P. E., An integrated risk analysis methodology in a multidisciplinary design environment [D]. 2003, 128-130.

Research On the Integration and Intelligentization Models of the Process Risk Management for the Research and Development Project

WANG Changfeng^{1,2}

(1 School of Economics and Management, Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876, China;

2. College of Public Administration, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: Based on the analysis of the characteristics in the process risk management of projects, the author has focused on the FuzzyETA (event tree analysis)FTA (fault tree analysis) method applied in the process risk management of R&D projects. The author has analyzed the possibility of an integration of EAT- FAT, and solved the problems in the integration of FuzzyEAT and FuzzyFAT by applying arithmetic average and geometric average, thus solving managerial problems in the process risk management of projects with reliable and effective process risk management guidance. The results are practical guides and importance references for the management of large R&D projects for the Chinese military equipment investments.

Key words: R&D projects; process risk; integration and intelligentization; FuzzyETAFTA theory