

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2010.05.026

## 基于模糊理论的装甲车辆自动装弹机故障树分析

汪名杰, 杨玲

(蚌埠坦克学院 数理室, 安徽 蚌埠 233050)

**摘要:** 在研究装甲车辆自动装弹机可靠性的基础上, 提出模糊故障树分析方法。对模糊故障树分析的理论基础进行分析, 根据模糊运算法则和模糊门运算法则, 求解出事件发生概率的取值空间, 使结果更接近实际情况。实验表明, 该方法可解决经典方法难以精确赋值的缺点, 可将现场少量实验数据与工程技术人员的经验相结合, 在可靠性工程研究中有广泛的应用前景。

**关键词:** 自动装弹机; 可靠性; 模糊故障树分析

**中图分类号:** N941 **文献标识码:** A

## Fault Tree Analysis of Armored Vehicle Autoloader Based on Fuzzy Theory

WANG Ming-jie, YANG Ling

(Staff Room of Mathematics & Physics, Bengbu Tank Institute, Bengbu 233050, China)

**Abstract:** On the basis of researching the reliability of armored vehicle autoloader, put forward the fuzzy fault analysis method. Analyze the concept basis of fuzzy fault tree analysis. According to the fuzzy calculation rules and fuzzy portal calculation rules, calculate exact value of the event occurrence probability, then ensure that the result more practical. The test shows that the method can resolve the traditional method can not acquire exact value, combine the local test data with engineer experience, which can be widely used in reliability engineering research.

**Keywords:** Autoloader; Reliability; Fuzzy fault tree analysis

### 0 引言

故障树分析可依据系统的结构或功能关系, 利用倒立的树状图形, 采用演绎的方法把故障传递的逻辑关系表示出来, 可逐级分析系统发生故障的原因, 并对系统进行故障概率的计算, 以便采取相应措施, 提高系统的可靠性。传统的故障树分析把事件发生的概率处理成精确值, 这需要大量的统计数据。在装甲车辆自动装弹机可靠性研究中, 难以获取确定事件发生概率所需的大量数据, 给装甲车辆自动装弹机可靠性的分配带来困难。在实际应用理论研究中, 模糊分析方法能充分考虑数据的不完备性及环境的模糊性, 在充分利用现有统计数据的同时, 一定程度上允许描述误差的存在, 具有较大的灵活性和适应性。故在装甲车辆自动装弹机的可靠性研究中提出模糊故障树分析方法, 求解事件发生概率的取值空间, 并得出故障概率的隶属函数曲线, 使结果更接近实际情况。

### 1 模糊故障树分析的理论基础

采用模糊数来给定故障事件发生的概率, 可以同时处理不确定性问题的 2 个方面, 即随机性和模糊性。

#### 1.1 模糊理论

1) 模糊数: 模糊数  $\tilde{A}$  是论域  $R$  在  $(-\infty, +\infty)$  上的连续模糊子集, 其凸隶属函数满足  $\max_{x \in R} \mu_{\tilde{A}}(x) = 1$ , 且对任意  $\lambda \in [0, 1]$ ,  $\tilde{A}_\lambda$  为一闭区间, 即  $\tilde{A}_\lambda = [a_\lambda, b_\lambda]$ 。如果模糊数  $\tilde{A}$  的隶属度满足:

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \begin{cases} 1 & a \leq x \leq b \\ L(x) & x < a \\ R(x) & x > b \end{cases} \quad (1)$$

式中:  $L(x)$  为一增函数, 右连续,  $0 \leq L(x) < 1$ ,  $\lim_{x \rightarrow -\infty} L(x) = 0$ ;  $R(x)$  为一减函数, 左连续,  $0 \leq R(x) < 1$ ,  $\lim_{x \rightarrow +\infty} R(x) = 0$ 。

则称模糊数  $\tilde{A}$  为  $L-R$  型模糊数。

在工程中, 模糊数隶属度为 1 的数通常只取一点, 因此可用  $(m, \alpha, \beta)$  表示  $L-R$  型模糊数:

$$\tilde{A} = (m - \alpha, m, m + \beta) \quad (2)$$

其中,  $m$  为  $\tilde{A}$  的均值,  $\alpha, \beta$  分别为  $\tilde{A}$  的左右分布参数。当  $\alpha, \beta = 0$  时,  $\tilde{A}$  不是模糊数,  $\alpha, \beta$  分布越大,  $\tilde{A}$  越模糊。

2) 常用的  $L-R$  型模糊数参照函数为:

收稿日期: 2009-12-30; 修回日期: 2010-03-10

作者简介: 汪名杰 (1963-), 男, 安徽人, 副教授, 蚌埠坦克学院数理室主任, 从事常微分方程的特征值、军事数学应用研究。

线性型: 
$$\begin{cases} L(x) = \max\left\{0, 1 - \frac{m-x}{\alpha}\right\}, \text{当 } x < m, \alpha > 0 \\ R(x) = \max\left\{0, 1 - \frac{x-m}{\beta}\right\}, \text{当 } x > m, \beta > 0 \end{cases} \quad (3)$$

正态型: 
$$\begin{cases} L(x) = \exp\left[-\left(\frac{m-x}{\alpha}\right)^2\right], \text{当 } x < m, \alpha > 0 \\ R(x) = \exp\left[-\left(\frac{x-m}{\beta}\right)^2\right], \text{当 } x > m, \beta > 0 \end{cases} \quad (4)$$

尖型: 
$$\begin{cases} L(x) = \frac{1}{1 + \frac{m-x}{\alpha}}, \text{当 } x < m, \alpha > 0 \\ R(x) = \frac{1}{1 + \frac{x-m}{\beta}}, \text{当 } x > m, \beta > 0 \end{cases} \quad (5)$$

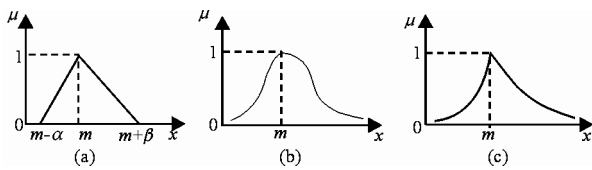


图 1 线性型、正态型、尖型模糊隶属函数的曲线

从图 1 可以看出：线性型参照函数在“完全属于”和“不完全属于”之间的中介状态是线性变化的。当  $x \leq m - \alpha$  和  $x \geq m + \beta$  时， $\mu = 0$ ，说明在区间之外的数值完全不属于该模糊数。而其它的 2 种类型隶属函数曲线的两端延伸至无穷远，说明数轴上的任何数总在一定程度上隶属于该模糊数。在选择参照函数时，除非有绝对的把握认为事件发生的概率在某个范围之内而选择线性型参照函数，否则选择尖型和正态型为好。

3) 模糊数的运算：对于 2 个  $L-R$  型模糊数  $M = (m, \alpha, \beta)$  和  $N = (n, \gamma, \delta)$ ，扩展运算如下：

$$(m, \alpha, \beta)_{LR} + (n, \gamma, \delta)_{LR} = (m+n, \alpha+\gamma, \beta+\delta)_{LR} \quad (6)$$

$$(m, \alpha, \beta)_{LR} - (n, \gamma, \delta)_{LR} = (m-n, \alpha+\delta, \beta+\gamma)_{LR} \quad (7)$$

$$(m, \alpha, \beta)_{LR} \cdot (n, \gamma, \delta)_{LR} = (mn, m\gamma+n\alpha, m\delta+n\beta)_{LR} \quad (8)$$

$(m > 0, n > 0)$

若事件发生的概率是用模糊数  $\tilde{P}_i$  表示的，则或门模糊算子记为：

$$\tilde{P}_{OR} = 1 - \prod_{i=1}^n [1 - \tilde{P}_i] = \left[1 - \prod_{i=1}^n (1 - (m_i - \alpha_i)), 1 - \prod_{i=1}^n (1 - m_i), 1 - \prod_{i=1}^n (1 - (m_i + \beta_i))\right] \quad (9)$$

### 1.2 故障树分析

#### 1) 故障树建立

以某型坦克自动装弹机的旋转输弹机不旋转为顶事件建立故障树，如图 2。

装甲车辆自动装弹机是一个复杂的机电一体化

系统，其电气系统控制着机械部件的运动，机械部件的工作又决定着电路下一步的状态。故装甲车辆自动装弹机的故障模式大致可分为机械故障模式和电气故障模式 2 类。但在实际中通过分析统计发现：自动装弹机机械执行部件的故障发生率相对于控制电路部分要少，而且故障发生后也较容易发现和排除。所以，对装甲车辆自动装弹机的故障分析主要针对控制电路的电气故障。

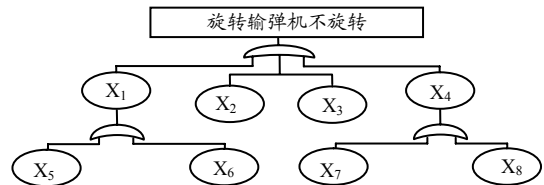


图 2 旋转输弹机不旋转故障树

在图 2 中， $X_1$  表示  $J_{11}$  没有闭合； $X_2$  表示电机本身故障； $X_3$  表示装弹机按钮故障； $X_4$  表示旋转输弹机没有解锁； $X_5$  表示  $J_{11}$  本身故障； $X_6$  表示  $J_{11}$  没有接通； $X_7$  表示  $XS-DT_2$  本身故障； $X_8$  表示  $XS-DT_1$  故障。（其中， $J_{11}$ 、 $XS-DT_2$  和  $XS-DT_1$  均为继电器）。

#### 2) 确定故障树真值的模糊形式

根据旋转输弹机不旋转故障树，采用模糊算子描述基本事件的逻辑关系，生成旋转输弹机不旋转故障树真值函数的模糊形式和模糊算子表达式，见表 1。

表 1 真值函数及其模糊形式

真值函数	模糊形式
$X_1 = X_5 + X_6$	$\tilde{P}_{X_1} = \tilde{P}_{X_5} + \tilde{P}_{X_6}$
$X_2 = X_2$	$\tilde{P}_{X_2} = \tilde{P}_{X_2}$
$X_3 = X_3$	$\tilde{P}_{X_3} = \tilde{P}_{X_3}$
$X_4 = X_7 + X_8$	$\tilde{P}_{X_4} = \tilde{P}_{X_7} + \tilde{P}_{X_8}$
$T = X_1 + X_2 + X_3 + X_4$	$\tilde{P}_T = \tilde{P}_{X_1} + \tilde{P}_{X_2} + \tilde{P}_{X_3} + \tilde{P}_{X_4}$

## 2 模糊故障率的求解

### 2.1 求解均值

设顶事件（旋转输弹机不旋转）发生的概率为  $F_i$ ，故障树中各事件发生的概率用模糊数来表示。根据模糊运算法则和模糊门运算规则，确定顶事件发生的概率。假定事件发生的概率  $F_i$  的参照函数为正态对称型，其隶属函数如式 4，且与均值相差  $\pm 40\%$  的点的隶属度为 0.08，则：

$$\exp\left[-\left(\frac{m_i - x}{\alpha_i}\right)^2\right] = \exp\left[-\left(\frac{0.4m_i}{\alpha_i}\right)^2\right] = 0.08$$

(下转第 96 页)

和，其表达式为：

$$V_{\text{利润}} = V_{\text{平均}} + V_{\text{激励}} = C \times K_{\text{平均}} + V_n$$

式中， $n$  表示激励利润的等级， $V_n$  表示  $n$  等级所对应的激励利润数值。

### 3 结论

市场经济条件下，利润率是维护市场物价稳定和对放开的价格进行必要调控的有效手段。该利润率方案以激励思想贯穿始终，强调利润水平与创造效益的一致性，强调循序渐进，增强方案的可行性，采用因素调节利润率，改变军方在军用软件定价中的被动局面和促进军用软件产业的良性发展，实现了以下功能：1) 设计同一软件时，成本较低的承制单位较成本较高的承制单位获得更多的利润；2) 承

\*\*\*\*\*

(上接第 82 页)

参照某坦克可靠性审查报告中关于分布  $\alpha_i$  和  $\beta_i$  的值，可求出均值  $m_i$ ，见表 2。

表 2 底事件的均值和左右分布

符号	基本事件	均值 $m_i$	分布 $\alpha_i \beta_i$
$X_2$	电机故障	0.003 19	0.000 80
$X_3$	装弹机按钮故障	0.001 59	0.000 40
$X_5$	J <sub>11</sub> 故障	0.007 87	0.001 98
$X_6$	J <sub>11</sub> 没有接通	0.000 79	0.000 20
$X_7$	XS-DT <sub>2</sub> 故障	0.002 07	0.000 52
$X_8$	XS-DT <sub>1</sub> 故障	0.002 07	0.000 52

#### 2.2 求出系统模糊故障率函数

根据式 (9)、表 1 真值函数和表 2 中的数据，计算中间事件和顶事件发生概率的模糊数为：

$$\tilde{p}_{X_1} = (m_{X_1}, \alpha_{X_1}, \beta_{X_1}) = (0.006 48, 0.002 19, 0.002 19)$$

$$\tilde{p}_{X_2} = (m_{X_2}, \alpha_{X_2}, \beta_{X_2}) = (0.003 19, 0.000 80, 0.000 80)$$

$$\tilde{p}_{X_3} = (m_{X_3}, \alpha_{X_3}, \beta_{X_3}) = (0.001 59, 0.000 40, 0.000 40)$$

$$\tilde{p}_{X_4} = (m_{X_4}, \alpha_{X_4}, \beta_{X_4}) = (0.005 17, 0.002 13, 0.002 13)$$

$$\tilde{p}_T = (m_T, \alpha_T, \beta_T) = (0.008 88, 0.003 28, 0.003 28)$$

从计算结果来看，旋转输弹机不旋转发生的概率均值为 0.008 88，从中间事件的模糊数来看，中间事件  $X_1$  发生的概率比其它事件发生的概率都高，也就是说旋转输弹机不旋转的主要因素。所以要降低旋转输弹机不旋转概率，要提高  $X_1$  可靠性，而影响  $X_1$  的主要原因是中间事件  $X_5$ ，也就是  $J_{11}$ ，所以应提高  $J_{11}$  的可靠性。考虑旋转输弹机不旋转故障的随机不确定因素和模糊不确定因素时，且故障概率均值隶属度为 0.08 时，旋转输弹机不旋转的隶属

制单位在降低成本方面做出的努力越大、效果越明显，获得的利润越多；3) 利润率调整后的价格低于一般或标准价格，军方从中节约了经费；4) 利润水平基本上反映了软件的创新程度和所产生的效益。

### 参考文献：

[1] 国家计委、财政部、总参谋部、国防科工委联合发布. 军品价格管理办法[S]. 1996.

[2] 曲炜, 郑绍钰. 军事装备采办概论[M]. 北京: 解放军出版社, 2003.

[3] 叶成鑫, 戴荫堂. 调控价格的重要形式: 差率和利润率[J]. 价格与市场, 1996(3): 43.

[4] 王猛. 装备软件寿命周期内计价项目及经费效益探讨[J]. 中国物价, 2007(6): 36.

[5] Vapnik V. An. Overview of statistical learning theory[J]. IEEE Trans Neural Networks, 1999(10): 988-999.

函数曲线 (如图 3)。

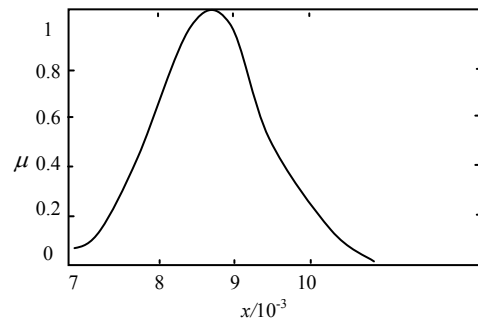


图 3 旋转输弹机不旋转隶属函数曲线

如图 3，在给定隶属度的情况下，旋转输弹机不旋转故障概率的变化范围，参照这一概率变化范围，在可靠性分配时可以提供故障概率依据。

### 3 结束语

对旋转输弹机不旋转变一事件进行故障树分析，在各底事件故障率为模糊数的基础上应用模糊数理论做了定量运算。该方法既可以解决经典方法难以精确赋值等缺点，又可将现场和少量实验数据与工程技术人员的经验结合起来，因此在可靠性工程上具有广泛的应用前景。

### 参考文献：

[1] 赵炜霞, 王瑞林, 王丽. 枪械产品故障树的模糊分析[J]. 火力与指挥控制, 2007, 32(6): 105-107.

[2] 钟雷, 何清华, 王玉岩, 等. 故障树分析在提高武器装备可靠性中的应用[J]. 兵工自动化, 2008, 27(1): 16-18.

[3] 刘少辉, 林少芬, 江小霞, 等. 基于模糊故障树分析法的舵机液压系统可靠性研究[J]. 船舶工程, 2008, 30(5): 27-29.