

基于模糊故障树的民航运输机着陆防滞 刹车系统故障诊断研究

丰世林

Fault diagnosis of aero-transport landing gear antiskid Brake
system based on fuzzy fault tree

FENG Shi-lin

(中国民航飞行学院 航空工程学院, 四川 广汉 618307)

摘要:起落架着陆防滞刹车系统是民航运输机的重要子系统之一,其可靠性的 高低直接关系到民航运 输机起降的安全。本文将模糊数学和故障树分析方法相结合,首先建立民航运输机着陆防滞刹车系统故障 树,然后采用模糊数学的方法计算出顶事件故障概率。结果表明,该方法可以较好的解决故障树分析中部分 事件故障判据及数据的模糊性问题,为该系统的 使用维修和保养提供依据。

关键词:着陆防滞;刹车系统;模糊故障树

中图分类号:TH165+.3 文献标识码:B 文章编号:1000-4858(2010)05-0077-04

1 引言

模糊故障树分析就是在传统故障树分析法的基础上,运用故障树的定义、构造和分析的方法,考虑到某些模糊事件和某些事件信息表达的模糊性,采用模糊概率,运用模糊数学的方法和知识进行顶事件发生的特征量和底事件的重要度的计算。

进行故障诊断时,诊断的过程按故障树分析法进行,诊断的运算采用模糊数学方法来实现。故障树的模糊分析可减少获取事件发生概率精确值的难度,同时能结合工程中的实际经验和判定构造模糊数的隶属函数,较准确的把它们描述出来。

2 模糊故障树相关知识

2.1 模糊数与隶属函数

模糊数定义:模糊数 \bar{A} 为实数域 R 上的正规凸模糊集,若其隶属函数满足

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

液体。

5 结束语

由上述可知,这种增压器利用主换向阀控制增压缸的运动(同时输出增压后的油液),增压缸的运动控制行程控制换向阀的换向,行程控制换向阀的换向又控制着主换向阀的换向(利用油源压力偏置小腔和采

式中:

$L(x)$ 为增函数,右连续,

$$0 \leq L(x) \leq 1, \lim_{x \rightarrow -\infty} L(x) = 0$$

$R(x)$ 为减函数,左连续,

$$0 \leq R(x) \leq 1, \lim_{x \rightarrow +\infty} R(x) = 0$$

则称模糊数 \bar{A} 为 L-R 型模糊数, $L(x)$ 、 $R(x)$ 称为模糊数的左、右参照函数。工程中,模糊数隶属度为 1 的数通常只有一点,因此模糊数 \bar{A} 可表示为:

$$\bar{A} = (\alpha, m, \beta)$$

其中, m 是模糊数 \bar{A} 的均值,对应隶属度为 1 的数, α 、 β 分别为左右分布;当 α 、 β 为零时, \bar{A} 不是模糊数。分布 α 、 β 越大, \bar{A} 越模糊。

隶属度 $\mu_{\bar{A}}(x)$ 是 0 到 1 之间的一个数,它表示元素 x 对子集 \bar{A} 的隶属程度。

收稿日期:2009-11-05

作者简介:丰世林(1976—),男,四川泸州人,讲师,硕士,主要从事飞行器设计及飞行器故障诊断方面的科研和教学工作。

用差动的原理)的方式,形成了控制上的封闭循环,从而实现了自动连续增压的功能。

参考文献:

- [1] 官忠范. 液压传动系统[M]. 北京:机械工业出版社,2004.
- [2] 李壮云. 液压元件与系统[M]. 北京:机械工业出版社,2006.

常用的L-R参照函数有线性、正态性、尖性。针对线性,函数在“完全属于”和“完全不属于”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 $[m - \alpha, m + \beta]$ 区间之外的数值完全不属于该模糊数。而其他两种类型的隶属函数曲线两端延伸至无穷远,说明整个数轴上的任何数总在一定程度上隶属于该模糊数(见图1)。

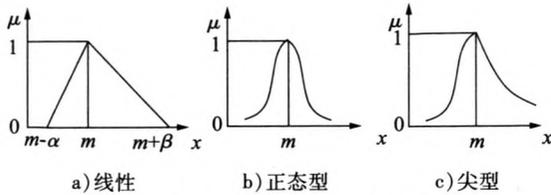


图1 模糊隶属函数的曲线

准确地确定隶属函数,可以采用统计的方法,也可以根据专家和操作人员的经验。实际计算中,可先选择有代表性的隶属函数,然后确定其参数。

2.2 模糊数运算法则

设模糊数 \tilde{A}_1 和 \tilde{A}_2 分别用 (a_1, m_1, b_1) 和 (a_2, m_2, b_2) 表示,则其运算法则为:

① 模糊数加法

$$\tilde{A}_1 \tilde{+} \tilde{A}_2 = (a_1, m_1, b_1) \tilde{+} (a_2, m_2, b_2) = (a_1 + a_2, m_1 + m_2, b_1 + b_2)$$

② 模糊数减法

$$\tilde{A}_1 \tilde{-} \tilde{A}_2 = (a_1, m_1, b_1) \tilde{-} (a_2, m_2, b_2) = (a_1 - a_2, m_1 - m_2, b_1 - b_2)$$

③ 模糊数乘法

$$\tilde{A}_1 \tilde{\times} \tilde{A}_2 = (a_1, m_1, b_1) \tilde{\times} (a_2, m_2, b_2) = (a_1 a_2, m_1 m_2, b_1 b_2)$$

④ 模糊数除法

$$\tilde{A}_1 \tilde{\div} \tilde{A}_2 = (a_1, m_1, b_1) \tilde{\div} (a_2, m_2, b_2) = (a_1/a_2, m_1/m_2, b_1/b_2)$$

2.3 故障树分析的模糊算子

传统的故障树分析中,对于给定的故障树,其结构函数为 $\varphi(x)$,顶事件发生的概率可通过底事件的概率和结构函数来唯一确定。模糊故障树也是这样,在模糊运算法则的基础上,定义模糊算子如下:

① 与门结构

$$\begin{aligned} \bar{F}_s^{and} &= \prod_{i=1}^n \bar{F}_i = \bar{F}_1 \cdot \bar{F}_2 \cdot \dots \cdot \bar{F}_n \\ &= [\prod_{i=1}^n (m_i - \alpha_i), \prod_{i=1}^n m_i, \prod_{i=1}^n (m_i + \beta_i),] \end{aligned}$$

② 或门结构

$$\begin{aligned} \bar{F}_s^{or} &= 1 - \prod_{i=1}^n (1 - \bar{F}_i) \\ &= \{ 1 - \prod_{i=1}^n [1 - (m_i - \alpha_i)], 1 - \prod_{i=1}^n (1 - m_i), \\ &\quad 1 - \prod_{i=1}^n [1 - (m_i + \beta_i)] \} \end{aligned}$$

根据上两式所得到的与门结构和或门结构的模糊算子,则可由故障树的模糊结构函数计算出系统顶事件发生的概率,即系统的不可靠度。

3 民航运输机着陆防滞刹车控制系统原理

防滞刹车系统的功用是飞机在着陆滑跑过程中使用刹车压力围绕着临界刹车压力的变化规律变化,以获得高的刹车效率。目前主要有惯性防滞刹车系统和电子式防滞刹车系统。

图2所示为惯性防滞刹车系统,在着陆滑跑过程中使用刹车时,从刹车部分输出的油液,经防滞活门进入刹车作动筒。当刹车压力过大而使机轮脱胎时,机轮便具有较大的负角加速度,传感器感受到机轮的负角加速度以后,将防滞活门线圈的电路接通,打开回油路,堵住来油路。刹车作动筒内的刹车压力迅速降低。待解除脱胎,机轮恢复正常滚动后,电磁力消失,活门在弹簧力作用下恢复原位。重新打开来油路,关闭回油路,刹车压力重新增大。

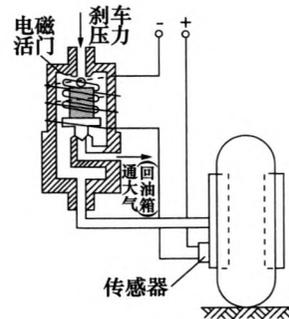


图2 惯性防滞刹车系统

图3所示为电子式防滞刹车系统原理图,该系统采用滑移率控制式防滑刹车系统,该系统由机轮刹车

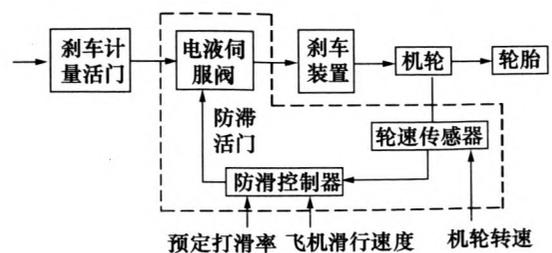


图3 电子式防滞刹车系统

调节系统和防滑控制系统两部分组成,虚线部分是防滑控制系统,其余为机轮刹车调节系统。

轮速传感器感受机轮滚动速度,送到防滑控制器;防滑控制器根据轮速、飞机滑行速度计算机轮的滑移率,滑移率的计算公式就是:飞机滑行的速度 $V_{机}$ 与机轮的旋转线速度 $V_{轮}$ 之差与飞机滑行的速度 $V_{机}$ 的百分比。

$$\text{滑移率 } \varphi = \frac{v_{机} - v_{轮}}{v_{机}} \times 100\%$$

当滑移率等于0时,飞机没有脱胎;而滑移率等于1时,飞机处于完全脱胎状态,滑移率等于15%~20%时,刹车效率最高。

根据实际计算出的滑移率与理想滑移率比较,发出控制信号到电液伺服阀(防滑活门);电液伺服阀根据防滑控制器的控制信号,连续控制供向刹车装置的油液压力,使机轮的滑移率等于理想滑移率,从而达到最高的刹车效率。

电子式防滑刹车系统除具有正常防滑控制作用外,还具有锁轮保护,接地保护和人工刹车功能。

4 民航运输机着陆防滑刹车控制系统故障树

根据运输机着陆防滑刹车控制系统原理和某民航B737飞机起落架着陆防滑刹车系统统计分析,得出运输机起落架着陆防滑刹车控制系统故障树如图4所示:

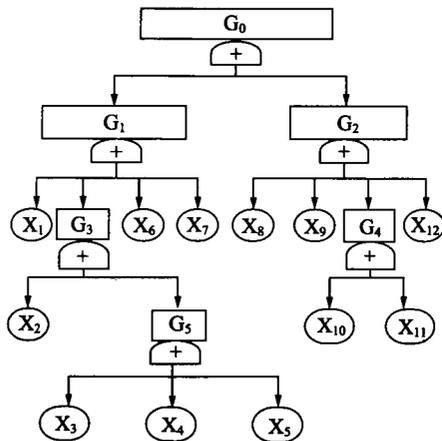


图4 着陆防滑刹车系统故障树

上图中, G_i 代表中间事件, x_i 代表底事件,中间事件的含义如表1,底事件的含义如表2。

故障树中各事件发生的概率用故障数来表示。

根据有关实验数据、历史统计资料和现场数据(民航某公司2004年到2008故障报告统计资料),得到该故障树的基本事件故障率的均值 m 和置信上下限 α, β 如表2所示:

表1 中间事件的含义

G_1	防滑失效	G_4	刹车装置故障
G_2	不刹车	G_5	刹车盘卡住
G_3	刹车装置卡死		

表2 底事件及其参数列表

事件号	底事件	m	$\alpha \beta$
X_1	机轮磨损	3.0×10^{-5}	1.668×10^{-5}
X_2	轮毂卡住	1.2×10^{-5}	0.667×10^{-5}
X_3	轮毂变形大	1.3×10^{-5}	0.723×10^{-5}
X_4	刹车盘磨损	2.5×10^{-5}	1.39×10^{-5}
X_5	刹车盘氧化	1.5×10^{-5}	0.834×10^{-5}
X_6	轮速传感器故障	1.0×10^{-5}	0.556×10^{-5}
X_7	防滑控制器故障	1.0×10^{-5}	0.556×10^{-5}
X_8	刹车计量活门故障	1.2×10^{-5}	0.667×10^{-5}
X_9	刹车作动筒故障	2.5×10^{-5}	1.39×10^{-5}
X_{10}	液压系统漏油	2.8×10^{-5}	1.11×10^{-5}
X_{11}	刹车盘碎裂	0.5×10^{-5}	0.278×10^{-5}
X_{12}	液压转换阀故障	0.5×10^{-5}	0.278×10^{-5}

根据图4,运用故障树分析法得出:

$$\begin{aligned} \tilde{G}_5 &= \tilde{x}_3 + \tilde{x}_4 + \tilde{x}_5 & \tilde{G}_2 &= \tilde{x}_8 + \tilde{x}_9 + \tilde{G}_4 + \tilde{x}_{12} \\ \tilde{G}_4 &= \tilde{x}_{10} + \tilde{x}_{11} & \tilde{G}_1 &= \tilde{x}_1 + \tilde{G}_3 + \tilde{x}_6 + \tilde{x}_7 \\ \tilde{G}_3 &= \tilde{x}_2 + \tilde{G}_5 & \tilde{G}_0 &= \tilde{G}_1 + \tilde{G}_2 \end{aligned}$$

实际计算过程中,模糊故障树也可以简化成由最简与门和或门组成的模糊故障树,然后运用2.3节的①式和②式计算模糊故障树的中间事件和顶事件故障率。

现以事件 G_4 的计算为例,介绍模糊故障树的或门计算过程:

$$\begin{aligned} \tilde{G}_4 &= \tilde{x}_{10} + \tilde{x}_{11} \\ &= \left\{ \begin{aligned} &1 - [1 - (m_{10} - \alpha_{10})][1 - (m_{11} - \alpha_{11})], \\ &1 - (1 - m_{10})(1 - m_{11}), \\ &1 - [1 - (m_{10} + \beta_{10})][1 - (m_{11} + \beta_{11})] \end{aligned} \right\} \\ &= (1.112 \times 10^{-5}, 2.5 \times 10^{-5}, 3.888 \times 10^{-5}) \end{aligned}$$

根据计算,得出故障树中各中间事件和顶事件的故障模糊数(表3)。

先导式水压溢流阀内泄漏量的研究

胡志威¹, 聂松林², 阮俊¹, 胡臻¹

Research on inner-leakage of water hydraulic piloted relief valve

HU Zhi-wei¹, NIE Song-lin², RUAN Jun¹, HU Zhen¹

(1. 华中科技大学 机械科学与工程学院, 湖北 武汉 430074; 2. 北京工业大学 机电学院, 北京 100124)

摘要:由于海淡水特殊的理化特性, 先导式水压溢流阀更容易产生泄漏。该文对先导式水压溢流阀的内泄漏机理进行了探讨, 并对影响内泄漏量的因素进行了分析。结果表明, 主阀口泄漏量 Δq_1 与先导阀口泄漏量 Δq_2 呈非线性关系, 溢流阀的内泄漏量以主阀口泄漏为主; 主阀芯半锥角 α 的增大会导致 Δq_1 增大, 主阀芯上下作用之比 G 的增大会导致 Δq_1 的增大, 较小的主阀阻尼可以减小先导式水压溢流阀的泄漏量。

关键词: 先导式水压溢流阀; 内泄漏量; 主阀芯半锥角; 主阀阻尼

中图分类号: TH137 文献标识码: B 文章编号: 1000-4858(2010)05-0080-04

0 前言

先导式水压溢流阀在纯水液压传动中应用广泛, 可以作为安全阀和卸荷阀防止系统过载损坏, 也可以作为调压阀和稳压阀调定系统压力。内泄漏量是先导式水压溢流阀的一个重要性能参数。对安全阀和卸荷阀而言, 泄漏量的大小影响其动作响应时间和压力超调量; 对调压阀和稳压阀而言, 泄漏量的大小决定其调压范围, 泄漏量太大甚至会导致系统不能建立起压力。

相对于传统矿物油而言, 海淡水的粘度低, 约为液压油的 1/40, 在相同阻尼缝隙情况下的泄漏量比液

油大得多。同时, 海淡水的更易产生腐蚀、气蚀、拉蚀侵蚀等问题都使内泄漏量成为研制先导式水压溢流阀面临的关键技术问题。

收稿日期: 2009-11-23

基金项目: 国家自然科学基金(50675074, 50775081); 高技术研究发展计划(2006AA09Z238); 教育部“新世纪优秀人才计划”(NCET-07-0330); 北京市属市管高等学校人才强教计划资助项目(20090203)

作者简介: 胡志威(1986—), 男, 湖北天门人, 硕士研究生, 主要研究方向为流体传动与控制。

表3 各中间事件及顶事件模糊数

	$m - \alpha$	m	$m + \beta$
G_5	2.353×10^{-5}	5.3×10^{-5}	8.247×10^{-5}
G_4	1.112×10^{-5}	2.5×10^{-5}	3.888×10^{-5}
G_3	2.886×10^{-5}	3.7×10^{-5}	10.114×10^{-5}
G_2	2.977×10^{-5}	6.7×10^{-5}	10.423×10^{-5}
G_1	5.106×10^{-5}	8.0×10^{-5}	17.894×10^{-5}
G_0	8.083×10^{-5}	14.7×10^{-5}	28.317×10^{-5}

从中间事件发生概率(表3)的模糊数来看, 模糊故障树同一层中的事件 X_1 、 G_5 、 X_{10} 发生的概率 P_{X_1} 、 P_{G_5} 、 $P_{X_{10}}$ 比较高。因此着陆防滞刹车系统中要特别重视: X_1 - 机轮磨损、 G_5 刹车盘卡住、 X_{10} 液压系统漏油。

即重视机轮、刹车盘和刹车液压系统的设计、使用、维护和保养。

5 结论

本文采用模糊故障树分析法来研究民航运输机着陆防滞刹车系统。通过建立防滞刹车系统故障树模型, 采用模糊数学的方法计算出顶事件的概率。上述方法为民航运输机起落架防滞刹车系统的设计、维护和保养提供了较好的依据。

参考文献:

- [1] 董玉革 机械模糊可靠性设计[M]. 北京: 机械工业出版社, 2000.
- [2] 刘国良, 廖力清 飞机防滑刹车系统的工作原理与性能评估[J]. 飞机设计, 2006, (4).
- [3] 任仁良, 张铁纯, 涡轮发动机飞机结构与系统[M]. 北京: 兵器工业出版社, 2006.