

基于 T-S 模糊故障树的混凝土 泵车泵送液压系统故障诊断

唐宏宾^{1,2}, 吴运新²

(1. 长沙理工大学 汽车与机械工程学院, 长沙 410004; 2. 中南大学 机电工程学院, 长沙 410083)

摘 要: 针对混凝土泵车泵送液压系统结构复杂,故障发生概率、故障机理和故障程度具有模糊性的特点,提出了基于 T-S 模糊故障树的泵送液压系统故障诊断方法。该方法用模糊数描述液压元件和系统的故障概率,解决了故障概率的不确定性;用 T-S 模糊门描述事件间的联系,解决了故障机理和事件联系的模糊性;用模糊数描述故障的严重程度,考虑了故障程度对系统的影响。将该方法运用到了混凝土泵车泵送液压系统的故障诊断中,取得了较好的效果。

关键词: T-S 模糊故障树; 混凝土泵车泵送液压系统; 故障诊断; 模糊数

中图分类号: TG156

文献标志码: A

文章编号: 1001-3695(2012)02-0561-04

doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2012.02.042

Fault diagnosis of hydraulic system of concrete pump truck based on T-S fuzzy fault tree analysis

TANG Hong-bin^{1,2}, WU Yun-xin²

(1. College of Automobile & Mechanical Engineering, Changsha University of Science & Technology, Changsha 410004, China; 2. College of Mechanical & Electrical Engineering, Central South University, Changsha 410083, China)

Abstract: According to the characteristics of complicated structure as well as fuzzy failure probabilities, mechanism and degree of the hydraulic system of concrete pump truck, this paper proposed a fault diagnosis method of hydraulic system based on T-S fuzzy fault tree analysis. This method described failure probability of hydraulic components and system with fuzzy numbers, solved the problem of uncertainty of failure probability. It described connection between events using T-S fuzzy gate, solved the problem of fuzziness of connection between failure mechanism and events. It described failure degree with fuzzy numbers, considered the influence of failure degree on system. Applications of this method in fault diagnosis of hydraulic system are introduced in combination with an example of failure analysis of hydraulic system.

Key words: T-S fuzzy fault tree; hydraulic system of concrete pump truck; fault diagnosis; fuzzy number

0 引言

故障树分析是进行大型复杂系统可靠性和安全性分析的有效工具,传统的基于概率论和布尔代数的故障树分析方法已经在液压系统的故障诊断中得到了广泛应用^[13]。

然而,传统的故障树分析方法存在以下不足:a)底事件的故障概率需精确已知;b)事件之间的联系需精确已知;c)故障发生的严重程度无法描述^[4,5]。上述三点不足给故障树的建立和定量分析带来困难,从而限制了故障树分析在液压系统故障诊断中的应用。模糊理论具有处理模糊和不精确信息的优点,将故障树分析方法与模糊理论相结合,既汲取了故障树分析推理严密、分析透彻的优点,又充分考虑到了液压系统的故障发生概率、事件联系和故障程度具有模糊性的特点,是进行液压系统故障诊断的有效方法^[69]。

混凝土泵车泵送液压系统结构复杂,层次性、逻辑性、模块性强,引起系统故障的底事件发生概率、故障联系和故障程度

又具有一定的模糊性和不确定性。因此,本文将模糊理论与故障树分析方法相融合,提出了基于 T-S 模糊故障树的泵送液压系统故障诊断方法。

1 T-S 模糊故障树分析的基本理论

1.1 模糊数

进行模糊故障树分析时,用模糊数来描述故障概率和故障程度。定义模糊数 $A = (m, \alpha, \beta)$,式中, m 为模糊数 A 的均值; α, β 分别为置信上、下限,当 α, β 为0时, A 不是模糊数而是确定数, α, β 越大, A 越模糊。若 A 的隶属函数满足:

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

则称模糊数 A 为 $L-R$ 型模糊数, $\mu_A(x)$ 为 A 的隶属函数。本文选用图1所示的梯形隶属函数来描述模糊数 A ,其表达式为

收稿日期: 2011-07-17; **修回日期:** 2011-08-24 **基金项目:** 国家“863”计划资助项目(2008AA042801, 2008AA042802); 湖南省重点学科建设项目和长沙理工大学重点学科建设项目(08-007)

作者简介: 唐宏宾(1979-),男,河南新乡人,讲师,博士研究生,主要研究方向为液压系统故障诊断技术研究(thb-fly@163.com);吴运新(1963-),男,广东兴宁人,教授,博士,主要研究方向为结构动力学、高性能铝材制备、智能故障诊断等。

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0 & 0 \leq x \leq m-a-b \\ \frac{x-(m-a-b)}{b} & m-a-b < x \leq m-a \\ 1 & m-a < x \leq m+a \\ \frac{(m+a+b)-x}{b} & m+a < x \leq m+a+b \\ 0 & x > m+a+b \end{cases} \quad (2)$$

其中: m 为模糊数支撑集的中心, a 为支撑半径, b 为模糊区。显然, $a=0$ 时, 梯形隶属函数变为三角形隶属函数, $b=0$ 时, 模糊数变为确定数。用该梯形隶属函数描述的模糊数 A 可简写为

$$A = (m-a-b, m-a, m+a, m+a+b) = (c, d, e, f) \quad (3)$$

设 A 、 B 分别为梯形模糊数, 则有如下的运算法则:

$$A \oplus B = (c_A, d_A, e_A, f_A) \oplus (c_B, d_B, e_B, f_B) = (c_A + c_B, d_A + d_B, e_A + e_B, f_A + f_B) \quad (4)$$

$$A \ominus B = (c_A, d_A, e_A, f_A) \ominus (c_B, d_B, e_B, f_B) = (c_A - c_B, d_A - d_B, e_A - e_B, f_A - f_B) \quad (5)$$

$$A \otimes B = (c_A, d_A, e_A, f_A) \otimes (c_B, d_B, e_B, f_B) = (c_A c_B, d_A d_B, e_A e_B, f_A f_B) \quad (6)$$

采用模糊数来描述事件发生的概率时, 既能减少获取事件发生概率精确值的难度, 又能结合工程技术人员的实际经验来构造模糊数的隶属函数。假设通过统计得到某个元件的故障概率为 m , 则可认为该元件的故障概率为模糊数 m , 即当该元件的历史数据丰富时, 可认为其故障概率是确定的, 支撑半径 a 和模糊区 b 均为 0; 而当该元件的历史数据不充足, 故障概率不能精确确定时, 可结合现场人员的实际经验来确定合适的支撑半径 a 和模糊区 b 。

采用模糊数来描述故障的严重程度时, 可用区间 $[0, 1]$ 上的模糊数来描述, 如故障程度可用语言信息描述为小、中、大或无故障、轻微故障、严重故障等, 可分别用模糊数 0、0.5、1 来描述。

1.2 T-S 模糊故障树

T-S 模型是由一系列 if-then 模糊规则组成的万能逼近器, T-S 模糊故障树是用 T-S 模糊门代替传统故障树分析中的逻辑门来描述事件间的联系。

T-S 模糊门如图 2 所示, 假设底事件 $x_1, x_2, \dots, x_n$ 和顶事件 Y 的故障程度分别用模糊数 $(x_1^1, x_1^2, \dots, x_1^{k_1}), (x_2^1, x_2^2, \dots, x_2^{k_2}), \dots, (x_n^1, x_n^2, \dots, x_n^{k_n})$ 和 $(y^1, y^2, \dots, y^{k_y})$ 描述, 其中

$$\begin{cases} 0 \leq x_1^1 < x_1^2 < \dots < x_1^{k_1} \leq 1 \\ 0 \leq x_2^1 < x_2^2 < \dots < x_2^{k_2} \leq 1 \\ \dots \\ 0 \leq x_n^1 < x_n^2 < \dots < x_n^{k_n} \leq 1 \\ 0 \leq y^1 < y^2 < \dots < y^{k_y} \leq 1 \end{cases} \quad (7)$$

则 T-S 模糊门可表述如下:

已知规则 $l(l=1, 2, \dots, m)$, 如果 x_1 的故障程度为 $x_1^{i_1}, x_2$ 的故障程度为 $x_2^{i_2}, \dots, x_n$ 的故障程度为 $x_n^{i_n}$, 则 Y 的故障程度为 y^1 的可能性为 $P^l(y^1), Y$ 的故障程度为 y^2 的可能性为 $P^l(y^2), \dots, Y$ 的故障程度为 y^{k_y} 的可能性为 $P^l(y^{k_y})$ 。其中: $i_1=1, 2, \dots, k_1, i_2=1, 2, \dots, k_2, \dots, i_n=1, 2, \dots, k_n; m$ 为规则总数, $m=k_1 k_2 \dots k_n$ 。

假设底事件各种故障程度的模糊概率分别为 $P(x_1^{i_1}), P(x_2^{i_2}), \dots, P(x_n^{i_n})$, 则规则 l 执行的可能性为

$$P_o^l = P(x_1^{i_1}) P(x_2^{i_2}) \dots P(x_n^{i_n}) \quad (8)$$

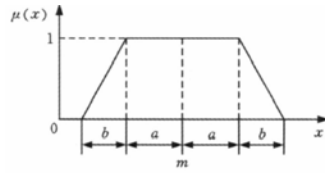


图1 模糊数的梯形隶属函数

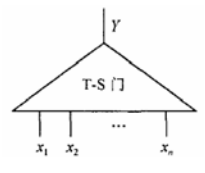


图2 T-S模糊门

因此, 顶事件不同故障程度的模糊概率为

$$\begin{cases} P(y^1) = \sum_{l=1}^m P_o^l P^l(y^1) \\ P(y^2) = \sum_{l=1}^m P_o^l P^l(y^2) \\ \dots \\ P(y^n) = \sum_{l=1}^m P_o^l P^l(y^n) \end{cases} \quad (9)$$

若已知底事件的故障程度为 $x' = (x'_1, x'_2, \dots, x'_n)$, 则由 T-S 模型可求出顶事件不同故障程度的模糊可能性为

$$\begin{cases} Q(y^1) = \sum_{l=1}^m \beta_l^*(x') P^l(y^1) \\ Q(y^2) = \sum_{l=1}^m \beta_l^*(x') P^l(y^2) \\ \dots \\ Q(y^n) = \sum_{l=1}^m \beta_l^*(x') P^l(y^n) \end{cases} \quad (10)$$

其中: $\beta_l^*(x') = \prod_{j=1}^n \mu_{x_j}^{ij}(x'_j) / \sum_{l=1}^m \prod_{j=1}^n \mu_{x_j}^{ij}(x'_j)$ 。式中, $\mu_{x_j}^{ij}(x'_j)$ 为第 l 条规则中 x'_j 对应模糊隶属度。因此, 由底事件的模糊概率并根据 T-S 模糊门, 由式(9)可求得顶事件不同故障程度的模糊概率; 由底事件的故障程度并结合 T-S 模糊规则, 由式(10)可求得顶事件不同故障程度的模糊可能性。

1.3 T-S 模糊故障树分析步骤

利用 T-S 模糊故障树进行故障诊断的流程如图 3 所示。

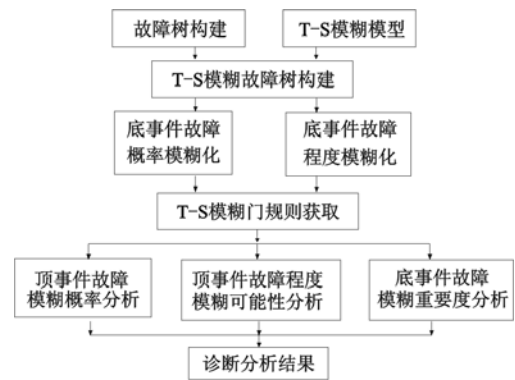


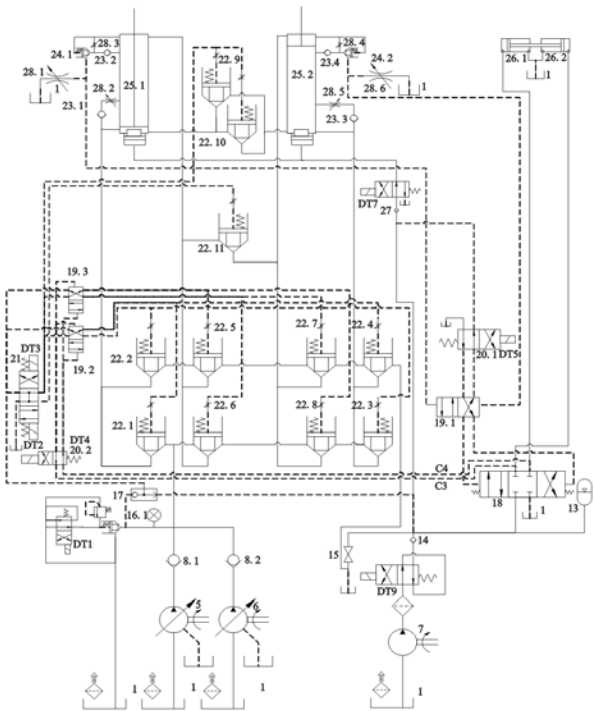
图3 T-S模糊故障树分析流程

2 泵送液压系统 T-S 模糊故障树建立

某企业生产的大排量泵车泵送液压系统原理如图 4 所示^[10]。从图中可知, 该系统主要由主回路和分配阀回路两部分组成。主回路由主油泵 5、主油泵 6、单向阀 8、高压过滤器 9、电磁溢流阀 10、梭阀 17、电磁换向阀 21、插装阀 22. 122. 11 和主油缸 25 组成。分配阀由齿轮泵 7、电磁换向阀 11、溢流阀 12、蓄能器 13、单向阀 14、摆缸四通阀 18 和摆阀油缸 26 组成。

对于混凝土泵车的泵送液压系统来说, 泵送主回路无压力是一种常见故障, 也是最不希望发生的故障之一。因此, 本文选择了泵送主油路无压力为顶事件, 通过对液压系统工作原理

的分析,构建了泵送主油路无压力的 T-S 模糊故障树,如图 5 所示。图中各事件的名称如表 1 所示。



1.油箱 2.液位计 3.空气滤清器 4.油温表 5.柱塞泵 6.齿轮泵 8.单向阀 9.高压过滤器 10.电磁溢流阀 11.电磁换向阀 12.溢流阀 13.蓄能器 14.单向阀 15.球阀 16.压力表 17.梭阀 18.摆缸四通阀 19.小液控阀 20.电磁换向阀 21.电磁换向阀 22.插装阀 23.单向阀 24.螺纹插装阀 25.主油缸 26.摆阀油缸 27.电磁阀 28.压差信号阀

图4 大排量泵送系统液压回路

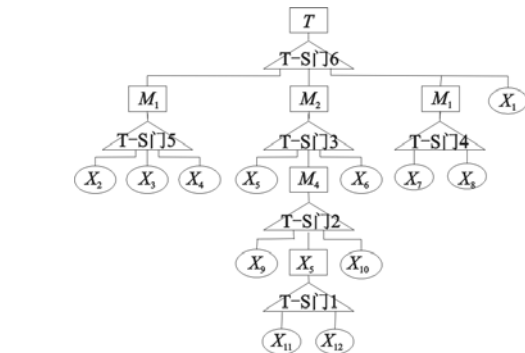


图5 T-S模糊故障树

表 1 事件列表

序号	事件代号	事件名称	序号	事件代号	事件名称
1	T	泵送主油路无压力	10	x_4	换向溢流阀不带电
2	M_1	电气故障	11	x_5	主溢流阀故障
3	M_2	液压阀故障	12	x_6	插装阀故障
4	M_3	液压泵故障	13	x_7	柱塞泵故障
5	M_4	插装阀控制油路故障	14	x_8	齿轮泵故障
6	M_5	无换向压力	15	x_9	电磁阀故障
7	x_1	主油缸故障	16	x_{10}	液控阀故障
8	x_2	主油泵电比例阀不带电	17	x_{11}	换向溢流阀故障
9	x_3	主溢流阀不带电	18	x_{12}	换向四通阀故障

x_1 、 x_5 、 x_6 、 x_7 、 x_8 、 x_9 、 x_{10} 、 x_{11} 、 x_{12} 、 T 、 M_2 、 M_3 、 M_4 、 M_5 、 M_6 分别为液压元件和液压局部系统故障,其常见故障程度为(0,0.5,1)。其中,0表示无故障,系统能够正常工作;0.5表示轻度故障,系统不能完全正常工作;1表示严重故障,系统不能工作。当故障程度为区间[0,1]上的其他值时,可按隶属函数进行划分,结合图 1 所示的梯形隶属函数,参数选为 $a=0.1$ 、 $b=0.3$ 。

同理, x_2 、 x_3 、 x_4 、 M_1 分别为电气元件和电气系统故障,其常见故障程度为(0,1),隶属函数的参数选为 $a=0.25$ 、 $b=0.5$ 。

根据专家经验和现场的实际测试分析数据,得到六个 T-S 模糊门的规则如表 27 所示。

表 27 中的每一行代表一条模糊规则,如表 2 的第一行代表的规则为:如果 x_{11} 为 0, x_{12} 为 0,则 M_5 为 0 的可能性为 1,为 0.5 的可能性为 0,为 1 的可能性为 0。

表 2 T-S 门 1 规则

规则	x_{11}	x_{12}	M_5		
			0	0.5	1
1	0	0	1	0	0
2	0	0.5	0.2	0.6	0.2
3	0	1	0	0	1
4	0.5	0	0.2	0.6	0.2
5	0.5	0.5	0.2	0.2	0.6
6	0.5	1	0	0	1
7	1	0	0	0	1
8	1	0.5	0	0	1
9	1	1	0	0	1

表 3 T-S 门 2 规则

规则	M_5	x_9	X_{10}	M_4		
				0	0.5	1
1	0	0	0	1	0	0
2	0	0	0.5	0.2	0.6	0.2
3	0	0	1	0	0	1
4	0	0.5	0	0.2	0.6	0.2
5	0	0.5	0.5	0.2	0.2	0.6
6	0	0.5	1	0	0	1
7	0	1	0	0	0	1
8	0	1	0.5	0	0	1
9	0	1	1	0	0	1
...	...	...	...	...	...	...
27	1	1	1	0	0	1

表 4 T-S 门 3 规则

规则	M_4	x_5	x_6	M_2		
				0	0.5	1
1	0	0	0	1	0	0
2	0	0	0.5	0.2	0.6	0.2
3	0	0	1	0	0	1
4	0	0.5	0	0.2	0.6	0.2
5	0	0.5	0.5	0.2	0.2	0.6
6	0	0.5	1	0	0	1
7	0	1	0	0	0	1
8	0	1	0.5	0	0	1
9	0	1	1	0	0	1
...	...	...	...	...	...	...
27	1	1	1	0	0	1

表 5 T-S 门 4 规则

规则	x_7	x_8	M_3		
			0	0.5	1
1	0	0	1	0	0
2	0	0.5	0.2	0.5	0.3
3	0	1	0	0	1
4	0.5	0	0.1	0.6	0.3
5	0.5	0.5	0	0.2	0.8
6	0.5	1	0	0	1
7	1	0	0	0	1
8	1	0.5	0	0	1
9	1	1	0	0	1

表 6 T-S 门 5 规则

规则	X_2	X_3	X_4	M_1	
				0	1
1	0	0	0	1	0
2	0	0	1	0	1
3	0	1	0	0	1
4	0	1	1	0	1
5	1	0	0	0	1
6	1	0	1	0	1
7	1	1	0	0	1
8	1	1	1	0	1

表 7 T-S 门 6 规则

规则	M_1	M_2	M_3	X_1	T		
					0	0.5	1
1	0	0	0	0	1	0	0
2	0	0	0	0.5	0.3	0.6	0.1
3	0	0	0	1	0	0	1
4	0	0	0.5	0	0.2	0.6	0.2
5	0	0	0.5	0.5	0.1	0.5	0.4
6	0	0	0.5	1	0	0	1
7	0	0	1	0	0	0	1
8	0	0	1	0.5	0	0	1
9	0	0	1	1	0	0	1
...	...	...	...	...	...	...	...
54	1	1	1	1	0	0	1

其他规则亦可用类似的方法描述。根据表 27 中列出的规则,结合 T-S 模型算法即可进行泵送液压系统的故障诊断。

3 泵送液压系统模糊故障树分析诊断

3.1 泵送液压系统故障模糊概率分析

某混凝土泵车制造企业为本文的研究提供了底事件的故障概率数据,经过模糊化处理后如表 8 所示。

表 8 故障模糊概率

事件编号	模糊概率均值	梯形模糊数
x_1	0.057	(0.051, 0.055, 0.059, 0.063)
x_2	0.0332	(0.0272, 0.0312, 0.0352, 0.0392)
x_3	0.028	(0.022, 0.026, 0.030, 0.034)
x_4	0.027	(0.021, 0.025, 0.029, 0.033)
x_5	0.0142	(0.0082, 0.0122, 0.0162, 0.0202)
x_6	0.0192	(0.0132, 0.0172, 0.0212, 0.0252)
x_7	0.0258	(0.0198, 0.0238, 0.0278, 0.0318)
x_8	0.0067	(0.0007, 0.0047, 0.0087, 0.0127)
x_9	0.0017	(0.0011, 0.0015, 0.0019, 0.0023)
x_{10}	0.0017	(0.0011, 0.0015, 0.0019, 0.0023)
x_{11}	0.0175	(0.0115, 0.0155, 0.0195, 0.0235)
x_{12}	0.0017	(0.0011, 0.0015, 0.0019, 0.0023)

表 8 中的故障概率为各底事件故障程度为 0.5 和故障程度为 1 的总和,假设两种不同程度的故障发生的概率相同。根据表 2 中 T-S 门 1 的规则和表 38 中的 x_{11} 、 x_{12} 的故障概率数据,利用式(3)(11)可得中间事件 M_5 故障程度为 0.5 和故障程度为 1 的概率分别为

$$P \ Y_1 = 0.5 = \sum_{i=1}^9 P_0^i P^i (M_5 = 0.5) =$$
$$P_0^2 P^2 (M_5 = 0.5) + P_0^4 P^4 (M_5 = 0.5) +$$
$$P_0^5 P^5 (M_5 = 0.5) = (0.00375, 0.0051, 0.00642, 0.00774)$$
$$P \ Y_1 = 1 = \sum_{i=1}^9 P_0^i P^i (M_5 = 1) =$$
$$P_0^2 P^2 (M_5 = 1) + P_0^3 P^3 (M_5 = 1) + P_0^4 P^4 (M_5 = 1) +$$
$$P_0^5 P^5 (M_5 = 1) + P_0^6 P^6 (M_5 = 1) + P_0^7 P^7 (M_5 = 1) +$$
$$P_0^8 P^8 (M_5 = 1) + P_0^9 P^9 (M_5 = 1) =$$
$$(0.00756, 0.0102, 0.01284, 0.01548)$$

可见,中间事件 M_5 故障程度为 0.5 和故障程度为 1 的概率仍是一个梯形模糊数,其与底事件 x_{11} 、 x_{12} 的故障概率为同一个数量级,且中间事件 M_5 出现故障程度为 1 的概率大于底事件 x_{11} 、 x_{12} 的故障概率,这与实际情况相符。

利用相同的方法,可求得顶事件故障程度为 0.5 和故障程度为 1 的概率分别为 $P \{T = 0.5\} = (0.023, 0.027, 0.031, 0.035)$ 、 $P \{T = 1\} = (0.139, 0.169, 0.199, 0.229)$

计算结果与该企业统计的混凝土泵车泵送液压系统泵送主油路无压力的故障概率吻合,这验证了本文提出的 T-S 模糊

故障树算法的正确性。

3.2 泵送液压系统故障模糊可能性分析

利用本文提出的方法还可以计算当底事件出现不同程度的故障时,顶事件出现不同程度故障的模糊可能性。

假设各底事件的故障程度分别为 $x_1 = 0.1$ 、 $x_2 = 0$ 、 $x_3 = 0$ 、 $x_4 = 0$ 、 $x_5 = 0$ 、 $x_6 = 0.2$ 、 $x_7 = 0.2$ 、 $x_8 = 0$ 、 $x_9 = 0$ 、 $x_{10} = 0$ 、 $x_{11} = 0.3$ 、 $x_{12} = 0$ 。由式(2)可算得表 2 中底事件 x_{11} 、 x_{12} 的隶属度,见表 9。

表 9 故障程度隶属度

规则	隶属度	
	X_{11}	X_{12}
1	1/3	1
2	1/3	0
3	1/3	0
4	2/3	1
5	2/3	0
6	2/3	0
7	0	1
8	0	0
9	0	0

因此 T-S 模糊门 1 中各规则的执行度 $\beta_1^* = \frac{1}{3}$ 、 $\beta_4^* = \frac{2}{3}$,其余均为 0。根据式(10)可计算出中间事件 M_5 不同故障程度的模糊可能性为

$$Q(M_5 = 0) = \beta_1^* + 0.2\beta_4^* = 0.467$$
$$Q(M_5 = 0.5) = 0.6\beta_4^* = 0.4$$
$$Q(M_5 = 1) = 0.2\beta_4^* = 0.133$$

从中可知,当换向溢流阀出现轻微故障、换向四通阀无故障时,出现严重故障的可能性也很小,这与实际情况相符。

用 M_5 的模糊可能性代替其隶属度,可以得到顶事件出现不同程度故障的模糊可能性分别为

$$Q(T = 0) = 0.3265, Q(T = 0.5) = 0.111, Q(T = 1) = 0.5625$$

由此可见,当泵送液压系统的多个关键元件(主油缸、插装阀、柱塞泵、换向溢流阀)同时出现轻微故障时,系统发生严重故障的可能性较大。因此,多个液压元件出现复合故障对系统的影响较大,应引起足够的重视。

4 结束语

a)将 T-S 模糊模型与故障树分析相结合,提出了基于 T-S 模糊故障树的液压系统故障诊断方法。该方法用模糊数描述事件的故障概率,解决了故障概率的不确定性;用 T-S 模糊门代替传统故障树分析中的与、或门描述事件间的联系,解决了故障机理和事件联系的模糊性;用模糊数描述故障的严重程度,考虑了故障程度对系统的影响。该方法既汲取了故障树分析推理严密、分析透彻的优点,又充分考虑到液压系统的故障具有模糊性的特点,是进行液压系统故障诊断的有效方法。

b)以混凝土泵车泵送液压系统为研究对象,介绍了 T-S 模糊故障树分析的应用,计算得到了顶事件故障的模糊概率和发生不同程度故障的模糊可能性。结果表明,该方法拓宽了故障树分析在液压系统故障诊断中的应用范围,在液压系统故障诊断中有较好的前景。

参考文献:

[1] ALIREZA E, SEYED G M. FPGA-based Monte Carlo simulation for fault tree analysis[J]. Microelectronics Reliability, 2004, 44(6): 1017-1028.

(下转第 568 页)

4 系统性能测试

在实验室搭建的建筑用电设备物联网系统平台上,对该空调故障诊断系统的性能进行了测试。该平台包括房间 XX301、XX302、XX303、XX304、XX305,各房间内有灯、空调、水泵等用电设备。在此,本文只对空调设备进行故障诊断。各房间内均设置有房间控制器、环境模块、与空调设备对应的空调无线测控模块;房间 XX304 内有一台管理计算机,对整个系统进行监测和管理。

测试实验时正值夏天,已知室外环境温度为 32℃,为了使室内达到一定的舒适度,将空调的温度设定为 26℃。下面进行空调的制冷性能测试,检查系统是否能正常诊断出空调设备的故障。

a) 环境模块采集房间环境参数,空调无线测控模块采集空调的运行状态及参数等,通过无线传感器网络与房间控制器进行通信。房间控制器通过以太网将信息上传给管理计算机;管理计算机以数据库的形式对上传的信息进行存储和管理。

b) 提取数据库中的各空调设备的运行状态和参数,提取各房间温度数据,分别对各组数据进行故障分析。故障诊断的结果是房间 XX301 的空调设备出现了不制冷的故障,房间 XX302、XX303、XX304、XX305 的空调设备正常工作。

c) 管理计算机的诊断界面上具体显示出诊断结果,房间 XX301 的空调设备发出报警信号,并显示故障类型为③。设备故障状况总览如图 4 所示,系统故障信息列表如图 5 所示。

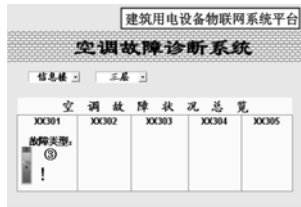


图4 设备故障状况总览



图5 系统故障信息列表图

还对空调设备易出现的其他故障进行了测试。测试表明,该故障诊断系统能有效地对空调设备的运行状态进行监控,及时诊断出故障,诊断误差率为 2%,具有很高的可靠性。

5 结束语

本文提出了一种基于物联网和数据融合的空调故障诊断系统及方法。在建筑用电设备物联网环境下应用这种基于数据融合的空调故障诊断方法,克服了传统诊断方法模型难以精确建立的不足,完全基于数据库中的测量数据。若将其应用于建筑物内,特别是在大型的建筑物、超高层建筑内,具有快速便捷的特点和非常高的时效性。同时,本系统也存在不足,比如无线网络的稳定性需要提高、异常数据不能完全剔除等,在下

一步的研究工作中将着重解决这些问题。

参考文献:

[1] 周东华,叶银忠. 现代故障诊断与容错控制[M]. 北京:清华大学出版社,2000.

[2] 冯志红,林志贵,房伟,等. 多信息融合电路故障诊断系统设计与开发[J]. 计算机工程与应用,2009,45(2):92-94.

[3] FRANK P M. Fault diagnosis in dynamics systems using analytical and knowledge-based redundancy: a survey and some new results[J]. Automatica,1990,26(3):459-474.

[4] 周东华,胡艳艳. 动态系统的故障诊断技术[J]. 自动化学报,2009,35(6):748-758.

[5] BEARD R V. Failure accommodation in linear systems through self-reorganization[D]. Cambridge: Massachusetts Institute of Technology,1971.

[6] MEHRA R K, PESCHON J. An innovation approach to fault detection and diagnosis in dynamics systems[J]. Automatica,1971,7(5):637-640.

[7] WILLSKY A S. A survey of design methods for failure detection in dynamic systems[J]. Automatica,1976,12(6):601-611.

[8] HIMMELBLAU D M. Fault detection and diagnosis in chemical and petrochemical process[M]. Amsterdam: Elsevier Press, 1978.

[9] PATTON R J, FRANK P M, CLARK R N. Issues of fault diagnosis for dynamic systems[M]. London: Springer-Verlag, 2000.

[10] ISERMANN R, BALLE P. Trends in the application of model-based fault detection and diagnosis of technical processes[J]. Control Engineering Practice,1997,5(5):709-719.

[11] WANG Hong, DALEY S. Actuator fault diagnosis: an adaptive observer based approach[J]. IEEE Trans on Automatic Control, 1996,41(7):1073-1078.

[12] 孙卫祥,陈进,伍星,等. 基于信息融合的支撑座早期松动故障诊断[J]. 上海交通大学学报,2006,40(2):239-242.

[13] SAUTER V L. Intuitive decision-making[J]. Communications of the ACM,1999,42(6):109-115.

[14] QUTEISHAT A, LIM C P. A modified fuzzy min-max neural network with rule extraction and its application to fault detection and classification[J]. Applied Soft Computing,2008,8(2):985-995.

[15] SINHA D, LAPLANTE P. A rough set-based approach to handling spatial uncertainty in binary images[J]. Engineering Applications of Artificial Intelligence,2004,17(1):97-110.

[16] SHEN Bin, ZHANG Gui-qing, ZHANG Lin. Multi-agent system design for room energy saving[C]//Proc of the 5 th IEEE International Conference on Industrial Electronics and Applications.2010:73-76.

[17] LIU Hai-long, ZHANG Gui-qing, SHEN bin, et al. Wireless sensor networks design for multi-agent systems[C]//Proc of the 8th World Congress on Intelligent Control and Automation.2010:5968-5972.

(上接第 564 页)

[2] SOHN S D, SEONG P H. Quantitative evaluation of safety critical software testability based on fault tree analysis and entropy[J]. Journal of Systems and Software,2004,73(2):351-360.

[3] 李彦锋,杜丽,肖宁,等. 汽车驱动桥系统模糊故障树分析研究[J]. 西安交通大学学报,2009,43(7):110-114.

[4] 宋华,张洪钺,王行仁. T-S 模糊故障树分析方法[J]. 控制与决策,2009,20(8):854-859.

[5] 姚成玉,赵静一. 基于 T-S 模型的液压系统模糊故障树分析方法研究[J]. 中国机械工程,2009,20(16):1913-1917.

[6] 徐进永,罗士军,张子达. 基于模糊故障树分析法的装载机液压系统故障诊断系统[J]. 吉林大学学报:工学版,2007,37(3):567-

574.

[7] 姚成玉,赵静一. 液压系统模糊故障树分析方法研究[J]. 中国机械工程,2007,18(14):1656-1659.

[8] DONG Y H, DONG D T. Estimation of failure probability of oil and gas transmission pipelines by fuzzy fault tree analysis[J]. Journal of Loss Prevention in the Process Industries,2005,18(2):83-88.

[9] FRAGISKOS B, CHRISTINA G. Investigating the cause of biosensor SNR decrease by means of fault tree analysis[C]//Proc of IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference. 2004:1465-1470.

[10] 易秀明,王尤毅. 混凝土泵车[M]. 长沙:三一重工股份有限公司,2007:85-89.