

模糊逻辑诊断方法在液压系统故障诊断中的应用

汤 峰¹, 陈跃华²

(1.安徽交通职业技术学院 汽车与机械工程系 安徽 合肥 230051; 2.福建路桥公司 福建 福州 350001)

摘 要: 从模糊数学的基本理论出发, 论述了铣刨机液压系统状态监测与故障诊断的原则和方法, 为计算机辅助故障诊断, 缩短诊断时间, 提高准确性, 提供了一条可行的途径。

关键词: 铣刨机 液压系统 故障诊断 模糊诊断

中图分类号: U415.5

文献标识码: B

文章编号: 1000-033X(2007)05-0056-03

Application of Fuzzy Theory in Fault Diagnosis for Hydraulic System

TANG Feng¹, CHEN Yue-hua²

(1.School of Automobile and Mechanical Engineering, Anhui Communication Vocational & Technical College, Hefei 230051, Anhui, China; 2.Road & Bridge Co. of Fujian, Fuzhou 350010, Fujian, China)

Abstract: From the fuzzy mathematics elementary theory this paper discusses the cold milling machine hydraulic system condition examination and the fault diagnosis principle and the method. It provides one feasible way for the computer assistance fault diagnosis.

Key words: cold milling machine; hydraulic system; fault diagnosis; fuzzy diagnosis

0 引言

在科技高速发展的今天, 先进的机械设备不再是一个简单的机械物理运动的载体, 而是一个集机械、电子、计算机、液压等为一体的大型复杂设备。液压系统以其结构轻巧、传动比大等特点广泛应用于工程机械中。对工程机械的液压系统进行状态监测, 可以了解和掌握工程机械运行过程中的状态, 以便早期发现故障, 查明原因, 提高工程机械工作的安全性和可靠性, 改善工程机械运行状况, 最大限度地提高工程机械的使用效率。

1 液压系统故障的模糊性

机器在运行过程中的动态信号(振动、噪声、压力、温度、流量等)携带了有关机器状态的丰富信息。经典的诊断方法是通过信息处理, 从时域和频域上得到反映不同物理意义的特征参量, 如均值、方差、自相关函数、幅度、相位等。然而, 用这些参数来识别和评价机器所处的状态或故障存在着不确定现象, 这种不确定现象主要表现在随机性和模糊性2个方面。由于偶然因素干扰造成的不确定性称为随机性; 另一种不确定性的原因是由于事物内涵的多义性引起的, 称为模糊性。由于工程机械的运行工况复杂, 影响因素众多, 同

一种故障往往有不同的表现, 同一种症状又常常是几种故障共同作用的结果, 严格说来检测量与故障特征之间, 故障特征与故障源之间都是一种非线性映射。此外, 在状态监测中设备状态从正常到异常一般都有一个渐变过程, 这时由于征兆的非典型表现也会出现判断的多义性。因此, 过去处理这类问题主要是依靠经验方法而无法纳入严格的数学分析范畴进行量化处理, 因而很多问题不能很好地解决。随着模糊数学的产生及在工程领域的广泛应用, 使得长期以来人们的故障诊断经验得以数学化地表达, 并能够在计算机中进行处理, 从而使计算机也能像人脑那样接受和处理模糊信息, 对模糊事物进行推理、判断并做出决策^[1-3]。

液压设备故障的模糊现象到处可见, 如系统油温过高、容积效率太低、液压泵温升过高、液压马达转速太慢等的故障症状都是模糊的。从故障原因的角度看, 液压元件质量差、油液不干净、维护保养不良、元件使用时间过长等也是模糊的, 液压元件损坏的程度和产生故障所涉及的范围也是模糊的。

2 模糊诊断基本方法

2.1 隶属函数

传统的故障诊断技术中, 都是以布尔逻辑为基础,

即只存在2种可能性,当事件发生时用“1”表示,当事件未发生时用“0”表示。这种描述方法盲目地将具有模糊性质的事件划分成绝对的“是”与“非”,抛弃了事物中介过渡的信息,造成了信息的损失。模糊数学将0、1二值逻辑推广到可取 $[0, 1]$ 闭区间中任意值的连续逻辑,此时的特征函数称为隶属函数 $u(x)$,它满足 $0 \leq u(x) \leq 1$ 。可见,模糊集合是用隶属函数描述的。隶属函数确立的合理性,直接影响研究对象的客观性^[1]。

2.2 模糊关系矩阵

模糊诊断的方法是通过某些征兆的隶属度来求出各种故障原因的隶属度。设用一个集合来定义一个系统中所有可能发生各种故障原因,这个集合用欧氏向量 Y 来表示

$$Y=(y_1, y_2, \dots, y_n) \text{ 或 } Y=(y_j, j=1, 2, \dots, n)$$

其中 n 表示故障种类的总数。

同样,由于这些故障原因所引起的各种症状也被定义为一个集合,并用一个欧氏向量 X 来表示

$$X=(x_1, x_2, \dots, x_m) \text{ 或 } X=(x_j, j=1, 2, \dots, m)$$

其中 m 表示各种症状的总数。

根据模糊数学原理可以得到,故障原因的模糊子集合与它们的各种症状的模糊子集合之间有下列的逻辑关系

$$Y=X \circ R$$

其中“ \circ ”是模糊算子,在不同条件下可表示不同的逻辑运算,常用有4种模型: $M(\cdot, \cdot)$, $M(\cdot, \cdot)$, $M(\cdot, \oplus)$ 和 $M(\cdot, \cdot)$ 。在实际应用时,一般可先用 $M(\cdot, \cdot)$ 和 $M(\cdot, \cdot)$ 。若所得数值偏小,则改用 $M(\cdot, \oplus)$,否则用 $M(\cdot, \cdot)$ 。

值得注意的是:对于同一种评判现象,在同样的 X 、 R 下,按各种模型计算的结果有所不同,但在实际应用中,综合评判的最后结果 Y 的绝对大小没有多大意义,有意义的是不同对象间的比较,即相对大小。

R 是体现诊断专家经验知识的模糊诊断矩阵

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2n} \\ \dots & \dots & \vdots & \dots \\ r_{m1} & r_{m2} & \dots & r_{mn} \end{bmatrix}$$

它表示故障原因和特征之间的因果关系,有 $0 \leq r_{ij} \leq 1$ ($i=1, 2, \dots, m; j=1, 2, \dots, n$)。矩阵元素 r_{ij} 表示第 i 种症状 x_i 对第 j 种原因 y_j 的隶属度。

可见有了诊断矩阵 R ,则依据观察到的征兆向量 X

并选定合适的逻辑算子“ \circ ”之后,即可通过求解模糊关系方程得到原因向量 Y 。

2.3 模糊诊断原则

(1) 最大隶属原则

设给定论域 U 上 n 个模糊子集(模糊模式) A_1, A_2, \dots, A_n 。其隶属函数分别是 $u_{A_1}(u), u_{A_2}(u), \dots, u_{A_n}(u)$ 。对于 U 上的任一元素 u_0 (u_0 为一具体识别对象),若有 $i=1, 2, \dots, n$,使 $U_{A_i}(u_0) = \max [u_{A_1}(u_0), u_{A_2}(u_0), \dots, u_{A_n}(u_0)]$ 。则认为元素 u_0 相对隶属于 A_i ,判决 u_0 归属于 A_i 所代表的那个模式,称此原则为最大隶属原则。

最大隶属原则是一种直接的状态识别方法。其优点是简单易行,在计算机上实时性好,缺点是概括的信息量太少,完全不考虑其余一切隶属度较小的因素对诊断判决应起的作用,而且当最大隶属度值与其他隶属度值之间的差距不是较大时,难以做出可靠的诊断结论^[5]。

(2) 阈值原则

为了描述模糊集和普通集的相互转换,引入一个置信水平或称阈值。一般根据数理统计或经验,设定一个置信水平(或阈值向量), $[0, 1]$,记 $a = \max [u_{A_1}(u_0), u_{A_2}(u_0), \dots, u_{A_n}(u_0)]$ 。若 $a < a$,则作“拒识”的判决,说明提供的故障信息(症状群)不足,在诊断人员补足信息后再重新诊断;若 $a \geq a$,则认为诊断可行。

这种方法可以弥补最大隶属原则的不足,能够较早地发现输入信息不足,而且可能会表现为不只一个原因。在应用中常常将最大隶属原则与阈值原则结合使用。例如当 $a < a$ 时拒判,而当 $a \geq a$ 时,按最大隶属原则判决。

3 铣刨机液压系统的状态监测与故障诊断

对液压系统本身工作参数的监测主要包括压力、流量、温度、泄漏量、污染度。而对于铣刨机液压系统工作参数的监测,一般应包括执行元件的运行速度、位置、输出力(力矩)、振动、噪声等。

3.1 故障征兆严重度的量化

故障征兆严重程度是人们对故障现象的模糊化认识。对其模糊语言的描述可采用模糊分段评分的方法作定量处理,见表1。

3.2 铣刨机液压系统故障诊断的程序框图

铣刨机液压系统故障诊断的程序框图见图1。

3.3 诊断实例

下面以铣刨机行驶液压系统的温度监测参数为

表1 故障征兆严重程度定量处理

症状描述	正常	轻微	比较严重	严重	很严重	非常严重
量化	0.00	0.05~0.25	0.20~0.55	0.60~0.75	0.80~0.95	1.00

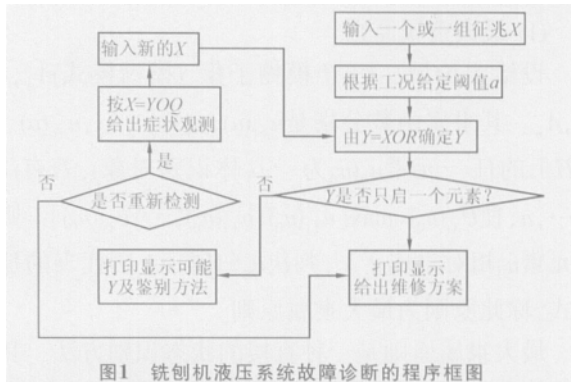


图1 铣刨机液压系统故障诊断的程序框图

例,说明铣刨机液压系统状态监测与故障诊断的实现过程。铣刨机液压油的温度在工作过程中,会发生升高的现象。液压油温度升高后,会造成一系列的问题,如行走系统驱动力不足、系统工作能力下降等。所以,检测铣刨机的液压油温度是必要的。

如果液压油温较高,可能的几种故障为:散热器散热不良、油泵磨损和油箱的油面太低。铣刨机检测到的状态参数为:油泵的压力低、油泵的温度较高、油箱油量和马达转速略低。则征兆与故障的关系矩阵R见表2所示。

表2 征兆与故障的关系矩阵

状态量	故障原因		
	散热器散热不良	油泵磨损	油箱的油面太低
泵压力低	0.5	0.9	0.2
泵温度高	0.4	0.8	0.2
油箱油量低	0.6	0.0	0.9
马达转速低	0.4	0.4	0.2

根据铣刨机监测到的状态参数确定症状向量为

$$X=(0.6 \ 0.5 \ 0.2 \ 0.2)$$

$$Y=Y \circ R=(0.6 \ 0.5 \ 0.2 \ 0.2) \circ \begin{bmatrix} 0.5 & 0.9 & 0.2 \\ 0.4 & 0.8 & 0.2 \\ 0.6 & 0.0 & 0.9 \\ 0.4 & 0.4 & 0.2 \end{bmatrix} =$$

$$(0.5 \ 0.6 \ 0.2)$$

即故障原因向量中元素的隶属度为 $\mu_{y1}=0.500$ $\mu_{y2}=0.600$ $\mu_{y3}=0.200$ 。

由于故障原因向量中元素的隶属度 μ_{y1} μ_{y2} 之间的差距不大,难以做出可靠的诊断结论,为了克服缺点,可以采用连乘法。首先把诊断矩阵中的零元素都改为

一个较低值(如0.10 0.05),然后按列把有关元素值连乘,再看各原因列所得乘积值的相对大小,最后其中最大者可看作诊断结论。进一步计算可得

$$\mu_{y1}=\mu_{11} \times \mu_{21} \times \mu_{31} \times \mu_{41}=0.048$$

$$\mu_{y2}=\mu_{12} \times \mu_{22} \times \mu_{32} \times \mu_{42}=0.029$$

$$\mu_{y3}=\mu_{13} \times \mu_{23} \times \mu_{33} \times \mu_{43}=0.007$$

求 μ_{y1} μ_{y2} μ_{y3} 的相对大小得

$$\mu_{y1}=\frac{\mu_{y1}}{\sum_{i=1}^3 \mu_{yi}}=0.570 \quad \mu_{y2}=0.32 \quad \mu_{y3}=0.090$$

所以,最可能发生的故障为散热器散热不良,其次可能发生的故障为泵磨损,不太可能发生的故障为液压油油箱油面低。从上面介绍的最大从属原则法可以看出,只要建立诊断矩阵,就可以利用这种方法非常容易地模仿人的思维方式对故障进行识别,识别的精度受以下方面的制约:

(1) 正确的隶属度。隶属度的正确与否,直接决定了识别矩阵中故障模式的正确性,因此,选择合适的隶属函数以求出正确的隶属度是进行正确的关键。

(2) 正确的识别方法。对于不同的故障模式,采用不同的识别方法,其识别结果是有一定的差异的,因此在具体的识别过程中,应根据实际情况,选择正确的识别方法,最好建成一个识别方法库,以便在不同的场合可以灵活地对识别方法进行选择。

4 结语

本文利用模糊数学理论确定状态参数与故障原因的模糊关系矩阵,运用模糊推理理论对铣刨机液压系统故障进行预测和诊断。在这种方法中,状态参数与故障原因之间的模糊关系矩阵R是由许多专家意见的综合,并且在今后的实践中,它能够不断地修正和完善,这大大提高了诊断的准确性。因此,这种方法对于铣刨机的智能化发展有一定的促进作用。

参考文献:

- [1] D L Hall J Llinas. An introduction to multisensor data Fusion [J] Proceeding of the IEEE, 1997, 85(1):6-23.
- [2] 李士勇. 工程模糊数学及应用 [M] 哈尔滨工业大学出版社, 2004.
- [3] 吴今培. 模糊诊断理论及其应用 [M] 科学出版社, 1995.
- [4] 屈梁生, 何正嘉. 机械故障诊断学 [M] 上海科学技术出版社, 1986.
- [5] 钟秉林, 黄仁. 机械故障诊断学 [M] 机械工业出版社, 1997.

收稿日期 2006-05-31

[责任编辑: 林荣安]