

文章编号:1671-7848(2011)01-0156-05

## 闪光焊机液压伺服系统故障诊断的研究

陈章位, 王学孔

(浙江大学 流体传动及控制国家重点实验室, 浙江 杭州 310027)



**摘 要:** 为了提高闪光焊机液压伺服系统故障诊断的准确性、实时性, 在对液压伺服故障机理分析的基础上, 运用计算机技术、数字信号处理技术、模糊故障诊断理论, 设计出焊机液压故障诊断系统。对液压伺服系统模糊故障诊断算法进行了研究, 并将其应用到焊机液压故障诊断系统。实际故障诊断结果表明, 故障诊断系统能准确判断出液压伺服系统的故障部位、故障类型、故障严重程度, 这为现场排除故障提供了依据, 缩短了故障诊断时间, 具有实际工程应用价值。

**关 键 词:** 模糊故障诊断; 液压伺服系统; 故障机理; 闪光焊机

**中图分类号:** TP 273; TP 393 **文献标识码:** A

## Fault Diagnosis for Hydraulic Servo System of the Flash Welding Machine

CHEN Zhang-wei, WANG Xue-kong

(The State Key Lab of Fluid Power Transmission and Control, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

**Abstract:** To improve the accuracy and instantaneity of the fault diagnosis of the flash welding machine hydraulic servo system, the fault diagnosis system is designed, based on the analysis of the failure mechanism and applying the computer technology, the digital signal processing technology and the fuzzy fault diagnosis theory. The fuzzy fault diagnosis algorithm of the hydraulic servo system is researched, and applied it into the fault diagnosis of the flash welding machine hydraulic servo system. The actual fault diagnosis results show that the fault diagnosis system can diagnose the position, the type and the size of the faults, providing the bases for fault-shooting for the working site, shortening the fault-shooting time. So it has practical project values.

**Key words:** fuzzy fault diagnosis; hydraulic servo system; failure mechanism; flash welding machine

### 1 引 言

MIEBACH(米巴赫)闪光焊机是宝钢冷轧厂酸洗机组生产线上的关键设备, 其焊接过程为: 在压紧缸压紧带钢后, 先由比例阀控制顶锻机架快速行走, 在引弧之前, 比例阀切断, 伺服阀投入工作, 完成一次闪光、二次闪光、加速闪光等工序, 最后加上顶锻压力顶锻带钢, 完成整个焊接过程。由此可见, 焊机液压伺服系统在保证焊接质量、减少带钢的断带率起着关键的作用, 其运行正常与否, 将直接影响整个酸洗机组生产线正常生产。

由于该液压系统是一个结构复杂且精度高的机、电、液综合系统, 一旦发生故障, 依靠现场人员经验检测故障效率不高, 严重影响正常生产。因此研制一套闪光焊机液压伺服系统故障诊断系统是非常必要的。

本文对模糊故障诊断算法进行了研究, 在此基础上, 应用了计算机技术和数字信号处理技术对建

立了焊机液压伺服状态监测与故障诊断系统。

### 2 液压伺服系统故障机理分析

液压伺服系统一般由伺服阀、执行机构以及一些辅助的元件组成。

各主要元件常见的故障, 见表1。

表1 主要元件常见故障

Table1 Common faults of the main components

故障类型	故障原因	故障现象	故障特点
伺服阀	喷嘴堵塞	油液污染	系统零偏增大、系统不稳定 突变故障
	滑阀卡滞	油液污染、滑阀变形	输出恒定流量, 系统压力降低 突变故障
	泄露	刃边磨损、径向主阀芯磨损	零偏增大, 增益下降, 压力降低 缓变故障
减压阀	卡死	油液污染, 阀芯变形	不起减压作用 突变故障
	泄露	锥阀与阀座接触不良	二次压力升高 突变故障

收稿日期: 2009-06-16; 收修定稿日期: 2009-09-21

项目基金: 宝山钢铁股份有限公司(08-109102-015)

作者简介: 陈章位(1965-), 男, 浙江义乌人, 教授, 博士生导师, 主要从事振动控制, 信号处理, 嵌入式系统开发等方面的教学与科研工作。

续表			续表
故障类型	故障原因	故障现象	故障特点
溢流阀	阀芯卡滞	压力波动	突变故障
	密封不良, 滑阀变形或拉毛		
执行机构	锥阀、阀座接触不良, 密封破坏	漏油严重	突变故障
	供油流量过小、运动部件摩擦过大	运动件出现爬行现象	突变故障
	卡死	径向不平衡或油液污染	执行机构不受控制

从表 1 可以看出, 对于伺服阀、减压阀、溢流阀卡死等突变故障, 故障特征明显, 诊断方法较多; 对于伺服阀泄漏、传感器输出漂移等缓变小幅度故障, 传统方法不能有效分离环境干扰和缓变故障, 需采取鲁棒、模糊故障诊断等策略。

3 液压伺服系统模糊故障诊断算法分析<sup>[48]</sup>

1) 液压伺服系统模糊故障诊断的模型 设液压伺服系统中所有可能的故障原因集合为  $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_n\}$ , 其中,  $n$  为故障原因种类的总数; 由  $m$  个故障原因引起的各种征兆集合为  $X = \{x_1, x_2, \dots, x_m\}$ , 其中,  $m$  为故障征兆种类的总数。

由于液压伺服系统故障征兆的模糊性, 因此需要通过建立隶属函数来表征各种征兆隶属于各种故障原因的程度。

当得到一故障征兆群样本为  $\{x_1, x_2, \dots, x_m\}$ , 同时得出样本各个分量对故障征兆的隶属度  $\mu_{x_i}(x_i)$  于是故障征兆就可利用模糊向量表示为

$$X = \{\mu_{x_1}(x_1), \mu_{x_2}(x_2), \dots, \mu_{x_m}(x_m)\} \tag{1}$$

同理, 故障的原因用模糊向量表示为

$$Y = \{\mu_{y_1}(y_1), \mu_{y_2}(y_2), \dots, \mu_{y_n}(y_n)\} \tag{2}$$

因为故障原因与征兆之间存在因果关系, 所以根据模糊推理原则可以得到模糊关系式:

$$Y = X \circ R \tag{3}$$

式中,  $R$  为模糊关系矩阵, 表示为

$$R = \begin{pmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ r_{m1} & r_{m2} & \cdots & r_{mn} \end{pmatrix} = (r_{ij})_{m \times n} \tag{4}$$

矩阵元素  $r_{ij}$  表示第  $i$  种征兆对第  $j$  种故障原因的隶属度, 即  $r_{ij} = \mu_{y_j}(x_i)$ 。

其中, “ $\circ$ ” 是模糊算子, 在不同条件下可表示不同的逻辑运算, 常用的有 4 种模型 (“ $\wedge$ ” 代表取小, “ $\vee$ ” 代表取大, “ $\cdot$ ” 代表乘, “ $\oplus$ ” 代表加):

①  $M(\wedge, \vee)$

即:  $y_j = \bigvee_{i=1}^m (x_i \wedge r_{ij}), j = 1, 2, \dots, n$

比较适用于单项主要症状就认为是综合特征的情况, 因为其结果只是由指标最大者决定, 其余指

标在一定范围内变化并不影响评判结果。

②  $M(\cdot, \vee)$

即:  $y_j = \bigvee_{i=1}^m (x_i \cdot r_{ij}), j = 1, 2, \dots, n$

可用于  $M(\wedge, \vee)$  模型的评判结果不可区别的失效情况, 因为用 ( $\cdot$ ) 运算, 较取 ( $\wedge$ ) 要“精细”一些, 多少反映了非主要症状的作用。

③  $M(\cdot, \oplus)$

即:  $y_j = 1 \wedge \sum_{i=1}^m (x_i r_{ij}), j = 1, 2, \dots, n$

是综合评判模型, 因为它按照各症状在总评因素中所起作用的大小均衡兼顾, 同时考虑了所有因素的影响。

④  $M(\wedge, \oplus)$

即:  $y_j = 1 \wedge \sum_{i=1}^m (x_i \wedge r_{ij}), j = 1, 2, \dots, n$

与  $M(\cdot, \vee)$  类似, 都属于“主要症状突出型”。

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。

由以上可知, 对于液压伺服系统故障征兆向量  $X$  已知, 又根据故障统计数据及液压系统故障诊断专家的经验已事先构造好了的模糊关系矩阵  $R$ , 就可以求得故障原因向量  $Y$ , 进而对各种故障原因进行分析与综合得出故障诊断结果。

2) 液压伺服系统故障诊断矩阵的建立 液压伺服系统模糊逻辑诊断的成功依赖于建立故障与原因之间的从属关系, 构造出相应的诊断矩阵。诊断矩阵建立的流程, 如图 1 所示。

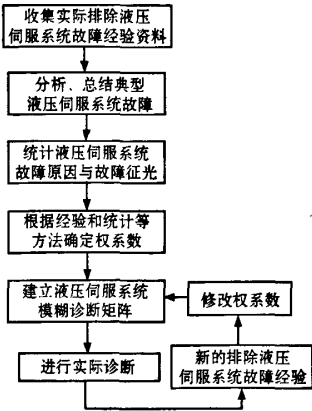


图 1 诊断矩阵建立流程

Fig. 1 The procedure of establishing the diagnosis matrix

目前确定隶属函数主要有以下 3 种途径:

- ① 根据调查统计结果得出隶属函数。
- ② 根据实际系统问题的性质, 选用某些典型函

数作为隶属函数。

③根据主观认知或者专家经验,给出隶属函数的具体数值。

具体的隶属函数确定方法有模糊统计实验法、加权统计法、二元对比排序法、动态信号分析法等。

3) 液压伺服系统模糊逻辑诊断原则 液压伺服系统模糊诊断过程中主要有以下 3 种诊断原则:

①最大从属原则 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  $\mu_{A_1}(u), \mu_{A_2}(u), \dots, \mu_{A_n}(u)$ , 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  $\mu_{A_i}(u_0) = \max(\mu_{A_1}(u_0), \mu_{A_2}(u_0), \dots, \mu_{A_i}(u_0))$ , 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, 在计算机上实现容易。

②阈值原则 规定一个阈值水平  $\lambda \in [0, 1]$ , 记  $\alpha = \max\{\mu_{A_1}(u), \mu_{A_2}(u), \dots, \mu_{A_i}(u)\}$ , 若  $\alpha < \lambda$ , 则作“拒识”判定, 说明故障信息不足, 在诊断人员补足信息之后再重新诊断,  $\alpha > \lambda$ , 则认为诊断可行, 如果共有  $\mu_{A_1}(u), \mu_{A_2}(u), \dots, \mu_{A_i}(u) \geq \lambda$ , 则判定  $u$  归属于  $A_1 \cup A_2 \cup \dots \cup A_i$ 。

③择近原则 设给定论域  $U$  上  $n$  个模糊子集(模糊模式) $A_1, A_2, \dots, A_n$ 。若被识别的对象本身也是模糊的, 或者说被识别对象  $B$  是状态论域  $U$  上的另一模糊子集时, 若有  $0 \leq i \leq n$ , 使得  $N(B, A_i) = \max_{1 \leq j \leq n} N(B, A_j)$ , 则认为  $B$  与  $A_i$  最贴近,  $B$  应化归为模式  $A_j$ , 这个原则就称为择近原则。

## 4 故障诊断系统软硬件组成

1) 系统硬件 故障诊断系统硬件组成, 如图 2 所示。

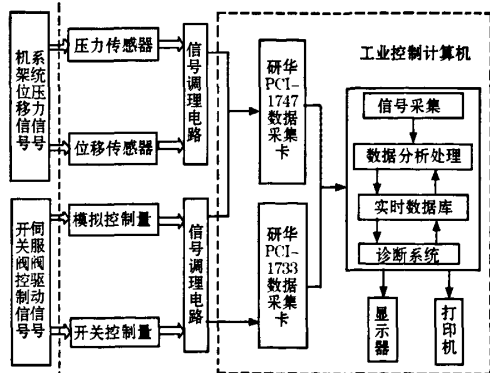


图 2 故障诊断系统硬件组成

Fig. 2 Hardware components of the fault diagnosis system

该系统主要由以下元器件组成:

①压力传感器 (HYDAC 贺德克 EDS344-3 系列)。

②位移传感器。

③模拟信号前置处理电路板、数字信号前置处理电路板。

④研华 PCI-1747 模拟信号数据采集卡、研华 PCI-1733 数字信号数据采集卡。

⑤研祥工业控制计算机、显示器、打印机等。

其中, 模拟信号前置处理电路板具有隔离、抗混叠滤波、信号调理功能; 数字信号前置处理电路板具有光电隔离、保护数据采集卡功能。

PCI-1747 数据采集卡具有 316 位高分辨率, 250 ks/s 采样率, 自动校准功能, 64 路单端输入或 32 路差分输入, 单极性/双极性输入范围, 1 K 片上 FIFO 缓存 PCI 总线接口等特性; PCI-1733 数据采集卡具有 32 路隔离数字量输入通道, 高电压隔离 (2 500 V DC), 中断能力, 用于隔离输入通道的 D 型接口。

以上所述系统硬件是整个故障诊断系统的基础, 其性能的好坏直接影响到故障诊断的准确性、可靠性、实时性, 所以选择和设计合适的系统硬件至关重要。

2) 系统软件 故障诊断系统软件采用 Visual C# 编写。

C# 是由 Microsoft 开发的一种新型编程语言, 继承了 C++ 的强大功能, 同时又和 VB 一样简单。它具有简单、现代、面向对象、类型安全、版本控制、兼容和灵活<sup>[9]</sup>等重要特点。

本故障诊断系统软件包括以下功能模块:

测点综视图模块, 测点细节图模块, 故障分析模块, 焊接数据报表模块, 参数设置模块。

测点综视图模块 显示整个焊机液压伺服系统原理图以及各测点分布位置, 从而可以直观了解整个液压伺服系统的工作状态。

故障诊断系统软件的组成, 如图 3 所示。

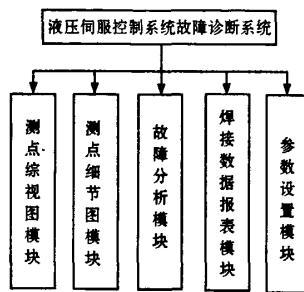


图 3 故障诊断系统软件组成

Fig. 3 Software components of the fault diagnosis system

测点综视图窗，如图 4 所示。

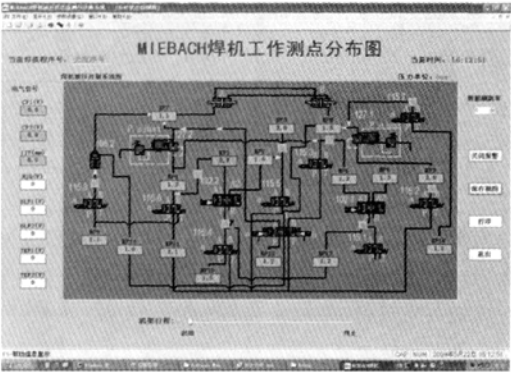


图 4 测点综视图窗口

Fig. 4 Window of integrated view of the measuring point

测点细节图模块 显示各个测点时域波形，从而可直观了解各测点细节状态。

故障分析模块 根据实时采集到系统的状态参数，结合模糊诊断规则和液压伺服系统模糊故障诊断矩阵，诊断出闪光焊机液压伺服系统可能故障，如图 5 所示。



图 5 故障分析窗口

Fig. 5 Window of the failure analysis

焊接数据报表模块 综合各测点采集到的参数值，显示各测点综合波形，为离线人工故障诊断提供直观的分析依据。

参数设置模块 设置压力传感器参数，硬件接口参数，征兆与原因之间的权系数参数设置等。

5 模糊故障诊断算法在本系统中的应用

液压伺服系统模糊故障诊断的实质是 在分析液压系统故障现象和故障原因的基础上，由征兆推出故障原因。

在使用模糊诊断方法中，主要是靠经验和模糊统计构成液压伺服系统模糊诊断矩阵，再根据模糊逻辑合成算法进行判定。

通过现场实际运行过程的数据以及专家经验，构建了一个合理可行的液压伺服系统模糊矩阵，见

表 2。

表 2 焊机液压伺服系统模糊矩阵(部分数据)

Table 2 The fuzzy matrix of the hydraulic servo system of the welder (partial data)

故障征兆	故障原因					
	伺服阀 滑阀 卡滞	插装阀液 卡死	油泵 故障	主油路回 油单向 阀故障	减压阀液 故障	液压缸 卡死
伺服阀出口压力异常	0.45	0.56	0.30	0.05	0.00	0.60
伺服阀进口压力异常	0.10	0.05	0.85	0.01	0.01	0.01
液压缸不动作	0.20	0.30	0.45	0.10	0.01	0.85
主油路回油压力过高	0.10	0.10	0.20	0.90	0.10	0.30
先导控制油控制压力 过高	0.11	0.10	0.50	0.10	0.85	0.10

由于故障征兆、原因较多,表中只列举一小部分数据进行分析。表中将征兆集中的单因素与原因集中的单因素之间的模糊联系设定一个评价集对应取[0,1]中间的任何值,定量处理,见表 3。

表 3 模糊关系定量对照表

Table 3 Quantitative fuzzy relation table

模糊关系 评价集	无关系	轻微	一般	较大关系	很大关系	直接关系
量化	0.00 ~ 0.10	0.11 ~ 0.30	0.31 ~ 0.50	0.51 ~ 0.80	0.81 ~ 0.99	1

以后随着闪光焊机液压伺服系统的运行,不断总结出更加切合实际需求的定量数据信息,再修正液压伺服系统模糊诊断矩阵,以期其能更好地与闪光焊机液压伺服系统实际运行状态相适应,增加诊断的准确性,降低谎报率。

根据数据采集卡采集到的焊机液压伺服系统状态参数并根据专家经验和长期现场故障统计数据可得到症状向量  $X$ ;

$$X = [0.1 \quad 0.3 \quad 0.7 \quad 0.1 \quad 0.1]$$

焊机液压伺服系统模糊矩阵  $R$  为

$$R = \begin{bmatrix} 0.45 & 0.56 & 0.30 & 0.05 & 0.00 & 0.60 \\ 0.10 & 0.05 & 0.85 & 0.01 & 0.01 & 0.01 \\ 0.20 & 0.30 & 0.45 & 0.10 & 0.01 & 0.85 \\ 0.10 & 0.10 & 0.20 & 0.90 & 0.10 & 0.30 \\ 0.11 & 0.10 & 0.50 & 0.10 & 0.85 & 0.10 \end{bmatrix}$$

根据实际焊机液压伺服系统特点,本诊断系统采用算法是最大从属原则进行诊断,“○”算子采用  $M(\cdot, V)$  算法模型,因此可得到:

$$Y = X \circ R =$$

$$[0.07 \quad 0.09 \quad 0.595 \quad 0.09 \quad 0.085 \quad 0.255]$$

分析以上计算的数据,则可得出焊机液压伺服系统最有可能发生故障的部位为液压泵故障,其次为液压缸卡死,最不可能发生的故障为伺服阀滑阀卡滞,这与本焊机液压伺服系统故障诊断系统实际诊断结果相同。

## 6 结 语

本文所述焊机液压伺服系统状态监测与故障诊断系统,应用了计算机技术、数据采集与信号处理技术、模糊故障诊断理论对故障诊断系统进行设计与实现。通过对焊机液压伺服系统故障机理进行分析,结合模糊故障诊断理论得出焊机液压伺服系统模糊故障矩阵,运用模糊推理规则,从液压伺服系统故障征兆推测出液压伺服系统故障原因。通过试验仿真和实际系统运行证明,本焊机液压伺服系统状态监测与故障诊断系统能较准确诊断出液压系统故障所在,为现场故障排除提供依据,缩短了排除故障的时间,提高了生产效率。因此,该故障诊断系统在实际生产中具有应用价值。

### 参考文献 (References):

- [1] 嵇国光. 液压系统故障诊断与排除[M]. 北京:海洋出版社, 1994. (Ji Guoguang. Fault diagnosis and removal for hydraulic system[M]. Beijing: Ocean Press, 1994.)
- [2] 杨光琴. 多传感器航空液压系统信息融合故障诊断研究[D].

(上接第 61 页)

## 5 结 语

用模糊逻辑系统逼近移动机械手的不确定项所设计的鲁棒自适应模糊控制器,不依赖于系统的动力学模型和斜对称性,实现了非完整移动机械手所有位形的轨迹跟踪,为移动机械手控制提供了一种无模型鲁棒自适应控制方法,该控制方法对其他系统的无模型自适应控制也有借鉴意义。

### 参考文献 (References):

- [1] Xie Z, Ming A, Li Z. Harbin: Adaptive robust trajectory and force tracking control of constrained mobile manipulators[C]. 2007.
- [2] Li Z, Li Z, Ge S S, et al. Singapore Robust adaptive control of coordinated multiple mobile manipulators[C]. 2007.
- [3] Wen J D. On trajectory and force tracking control of constrained mobile manipulators with parameter uncertainty[J]. Automatica, 2002, 38(9): 1475-1484.
- [4] Mazur A, Arent K. Trajectory tracking control for nonholonomic mobile manipulators[J]. Robot Motion and Control, 2006, 335: 55-71.

(上接第 151 页)

### 参考文献 (References):

- [1] Chen J, Patton R J, Zhang H Y. Design of unknown input observer and robust fault detection filters[J]. International Journal of Control, 1996, 63(1): 85-105.
- [2] 刘春生, 胡寿松. 一类基于状态估计的非线性系统的智能故障诊断[J]. 控制与决策, 2005, 20(5): 557-561. (Liu Chunsheng, Hu Shousong. Intelligent nonlinear fault diagnosis based on state estimator[J]. Control and decision, 2005, 20(5): 557-561.)
- [3] Ogaji S O T, Marinai I, Sampath S, et al. Gas-turbine fault diagnostics: a fuzzy-logic Approach [J]. Applied Energy, 2005, 82(1): 81-89.
- [4] Mendonca L F, Sousa J, Sa da Costa J M G. Fault accommodation of an experimental three tank system using fuzzy predictive control

北京:北京航空航天大学, 2003. (Yang Guangqin. The research of the multi-sensor information fusion fault diagnosis system of the aviation hydraulic[D]. Beijing: Beijing University of Aeronautics and Astronautics, 2003.)

- [3] 黄志坚. 轧机液压故障诊断与监测研究[D]. 北京:北京航空航天大学, 2003. (Huang Zhijian. Research of fault diagnosis and monitoring of hydraulic system of rolling Mill[D]. Beijing: Beijing University of Aeronautics and Astronautics, 2003.)
- [4] 李士勇. 模糊数学及其应用[M]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社, 1983. (Li Shiyong. Fuzzy mathematics and its application [M]. Harbin: Harbin Institute of Technology Press, 1983.)
- [5] 吴今培. 模糊诊断理论及其应用[M]. 北京:科学出版社, 1995. (Wu Jinpei. Fuzzy diagnosis theory and its application [M]. Beijing: Science Press, 1995.)
- [6] 季长印, 高渊庆, 方涓. 设备故障诊断的模糊综合决策法[J]. 中国机械工程, 1999, 10(8): 872-873. (Ji Changyin, Gao Lanying, Fang Mei. Fuzzy comprehensive decision method of the equipment fault diagnosis [J]. China Mechanical Engineering, 1999, 10(8): 872-873.)
- [7] Antoine G. A fuzzy logic based diagnoses system for the on-line supervision of an anaerobic digester pilot-plant [J]. Biochemical Engineering J, 1999, 3: 171-183.
- [8] Vadiiee N. Fuzzy rule based expert systems[M]//vadiiee N, Ross T. Fuzzy logic and control: software and hardware applications. Englewood Cliffs, N J: Prentice Hall, 1993.
- [9] 刘亚秋, 梁心东, 蒋力. C#程序设计与应用[M]. 北京:电子工业出版社, 2002. (Liu Yaqiu, Liang Xindong, Jiang li. C# program design and application [M]. Beijing: Electronics Industry Press, 2002.)

- [5] 荆学东, 尚久浩. 应用旋量理论建立闭链机器人的动力学方程[J]. 机械科学与技术, 2003, 22(1): 58-60. (Jing Xuedong, Shang Jiuhao. A new method for establishing the dynamic equation of a closed-chain manipulator based on screw theory[J]. Mechanical Science and Technology, 2003, 22(1): 58-60.)
- [6] 理查德摩雷, 李泽湘, 夏恩卡萨斯特里, 等. 机器人操作的数学导论[M]. 北京:机械工业出版社, 1998. (Richard M. Murray, Zexiang Li, S. Shankar Sastry, et al. A mathematical introduction to robotic manipulation [M]. Beijing: China Machine Press, 1998.)
- [7] Abo-shanab R F A. Dynamic modeling and stability analysis of mobile manipulators with application to heavy duty hydraulic machines [D]. Canada: The University of Manitoba, 2003.
- [8] 王红旗. 非完整移动机械手非线性控制研究[D]. 北京:北京理工大学, 2009. (Wang Hongqi. Research on nonlinear control of nonholonomic mobile manipulator[D]. Beijing: Beijing Institute of Technology, 2009.)
- [9] 斯洛汀. 应用非线性控制[M]. 北京:机械工业出版社, 2004. (Jean-Jacques E Slotine. Applied nonlinear control[M]. Beijing: China Machine Press, 2004.)
- [10] 闵颖颖, 刘允刚. Barbalat 引理及其在系统稳定性分析中的应用[J]. 山东大学学报(工学版). 2007, 37(1): 51-55. (Min Yingying, Liu Yungang. Barbalat Lemma and its application in analysis of system stability[J]. Journal of Shandong University (Engineering Science), 2007, 37(1): 51-55.)
- [11] Wang L. Stable adaptive fuzzy control of nonlinear systems[J]. Transactions on Fuzzy Systems, 1993, 1(2): 146-155.

[C], 地点: Fuzzy Systems, 2008. FUZZ-IEEE 2008. IEEE International Conference on, 2008.

- [5] Persis C D, Isidori A. A geometric approach to nonlinear fault detection an isolation [J]. IEEE Trans Automat Contr, 2001, 46(6): 853-865.
- [6] Jiang B, Staroswiecki M, Cocquemont V. Fault diagnosis based on adaptive observer for a class of nonlinear systems with unknown parameters [J]. Int. J. Control, 2004, 77(4): 415-426.
- [7] Jiang B M, Cocquemont V. Fault accommodation for a class of nonlinear systems [J]. IEEE Trans On Automatic Control, 2006, 51(9): 1578-1583.
- [8] Stevens B L, Lewis F L. Aircraft control and simulation [M]. 2nd ed. Hoboken, NJ: John Wiley, 2003.
- [9] Brockhaus R. 飞行控制 [M]. 北京:国防工业出版社, 1999. (Brockhaus R. Flight control [M]. Beijing: National Defense Industry Press, 1999.)

作者: [陈章位](#), [王学孔](#), [CHEN Zhang-wei](#), [WANG Xue-kong](#)  
作者单位: [浙江大学流体传动及控制国家重点实验室, 浙江, 杭州, 310027](#)  
刊名: [控制工程](#) [ISTIC](#) [PKU](#)  
英文刊名: [CONTROL ENGINEERING OF CHINA](#)  
年, 卷(期): 2011, 18(1)

## 参考文献(9条)

1. [刘亚秋;梁心东;蒋力](#) [C#程序设计与应用](#) 2002
2. [Vadiee N](#) [Fuzzy rule based expert systems](#) 1993
3. [Antoine G](#) [A fuzzy logic based diagnoses system for the on-line supervision of an anaerobic digester pilot-plant](#) 1999
4. [季长印;高澜庆;方涓](#) [设备故障诊断的模糊综合决策法](#)[期刊论文]-[中国机械工程](#) 1999(08)
5. [吴今培](#) [模糊诊断理论及其应用](#) 1995
6. [李士勇](#) [模糊数学及其应用](#) 1983
7. [黄志坚](#) [轧机液压故障诊断与监测研究](#) 2003
8. [杨光琴](#) [多传感器航空液压系统信息融合故障诊断研究](#) 2003
9. [嵇国光](#) [液压系统故障诊断与排除](#) 1994

本文链接: [http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical\\_jczdh201101037.aspx](http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_jczdh201101037.aspx)