

# 基于知识的故障诊断方法综述

朱大奇<sup>1</sup>, 于盛林<sup>2</sup>

(1. 安徽工业大学 电气信息学院, 安徽 马鞍山 243002, 2. 南京航空航天大学 测试工程系, 江苏 南京 210016)

**摘要:** 在简单介绍故障诊断理论的基础上, 重点评述了基于知识的故障诊断方法发展状况, 将其分为5大类, 即专家系统故障诊断方法; 模糊故障诊断方法; 故障树故障诊断方法; 神经网络故障诊断方法和数据融合故障诊断方法。对每类方法均介绍了它的诊断原理与步骤, 分析了它的特点及局限性, 最后指出了这一领域中有待进一步研究的若干问题和发展趋势。

**关键词:** 故障诊断; 专家系统; 模糊诊断; 故障树; 神经网络; 数据融合

**中图分类号:** TP274.5; TP18; TH137.3

**文献标识码:** A

## Survey of knowledge-based fault diagnosis methods

ZHU Da-qi<sup>1</sup>, YU Sheng-lin<sup>2</sup>

(1. School of Electrical Engineering & Information, Anhui University of Technology, Ma'anshan 243002, China; 2. Department of Measurement Engineering, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China)

**Abstract:** Reviews the state of the fault diagnosis methods based on the brief introduction the fault diagnosis theory was introduced. First, the fault diagnosis methods are classified into five categories: expert system fault diagnosis; fuzzy fault diagnosis; fault tree fault diagnosis; neural network fault diagnosis and data fusion fault diagnosis. Then the step of every fault diagnosis methods is presented, the most important peculiarity and their limitations in each category are introduced and analyzed. Finally, further problems to be studied in this field and the development trends are pointed out.

**Key words:** fault diagnosis; expert system; fuzzy diagnosis; fault tree; neural network; data fusion

## 引言

目前, 故障诊断技术已成为一个十分活跃的研究领域。所谓故障, 广义的讲, 可以理解为任何系统的异常现象, 使系统表现出所不期望的特性。故障诊断技术主要包含三方面的内容: 故障检测、故障隔离、故障辨识。所谓故障检测是判断系统中是否发生了故障及检测出故障发生的时刻; 故障隔离就是在检测出故障后确定故障的位置和类型; 故障辨识是指在分离出故障后确定故障的大小和时变特性。从本质上讲, 故障诊断技术是一个模式分类与识别问题, 即把系统的运行状态分为正常和异常两类, 而异常的信号样本究竟又属于哪种故障, 这又属于一个模式识别的问题。近几十年来, 故障诊断技术得到了深入广泛的研究, 提出了众多可行的方法。文献[1~3]给出了较为详细的评述。

现有的故障诊断方法, 概括起来可分为三大类<sup>[2-4, 29]</sup>, (1) 基于信号处理的方法; (2) 基于解析模型的方法; (3) 基于知识的诊断方法。所谓基于信号处理的方法, 通常是利用信号模型, 如相关函数、频谱、自回归滑动平均、小波变换等, 直接分析可测信号, 提取诸如方差、幅值、频率等特征值, 从而检测出故障。所谓基于解析模型的方法, 是在明了诊断对象数学模型的基础上, 按一定的数学方法对被测信息进行处理诊断, 它可分

收稿日期: 2002-01-11

基金项目: 国家自然科学基金(59677021); 安徽省教委科研基金(2002KJ044)

作者简介: 朱大奇(1965-), 男, 安徽安庆人, 安徽工业大学电气信息学院副教授, 博士研究生。

为状态估计法、等价空间法和参数估计法<sup>[3]</sup>。目前此种方法得到了深入的研究;但在实际情况中,常常难以获得对象的精确数学模型,这就大大限制了基于解析模型诊断方法的使用范围和效果。近年来,人工智能及计算机技术的飞速发展,为故障诊断技术提供了新的理论基础,产生了基于知识的故障诊断方法,此方法由于不需要对象的精确数学模型,而且具有某些“智能”特性,因此是一种很有生命力的方法。基于知识的故障诊断方法主要可以分为:专家系统故障诊断方法;模糊故障诊断方法;故障树故障诊断方法;神经网络故障诊断方法和数据融合故障诊断方法等。

## 1 专家系统故障诊断方法

### 1.1 专家系统故障诊断方法原理

专家系统故障诊断方法,是指计算机在采集被诊断对象的信息后,综合运用各种规则(专家经验),进行一系列的推理,必要时还可以随时调用各种应用程序,运行过程中向用户索取必要的信息后,就可快速找到最终故障或最有可能的故障,再由用户来证实。此种方法国内外已有不少应用<sup>[5-15]</sup>。专家系统的故障诊断方法可用图1的结构来说明:它由数据库,知识库,人机接口,推理机等组成。其各部分的功能为:

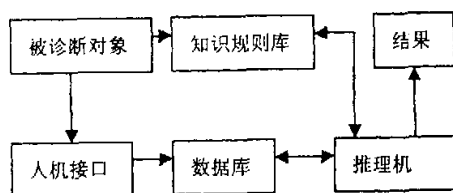


图1 故障诊断专家系统结构图

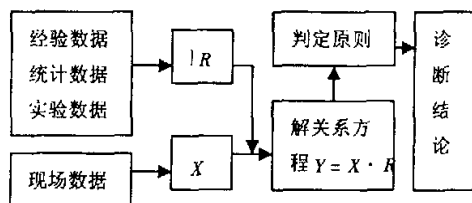


图2 模糊故障诊断方法

数据库:对于在线监视或诊断系统,数据库的内容是实时检测到的工作数据;对于离线诊断,可以是故障时检测数据的保存,也可是人为检测的一些特征数据。即存放推理过程中所需要和产生的各种信息。

知识库:存放的知识可以是系统的工作环境,系统知识(反映系统的工作机理及结构知识);规则库则存放一组组规则,反映系统的因果关系,用来故障推理。知识库是专家领域知识的集合。

人机接口:人与专家系统打交道的桥梁和窗口,是人机信息的交接点。

推理机:根据获取的信息综合运用各种规则进行故障诊断,输出诊断结果。是专家系统的组织控制结构。

### 1.2 专家系统故障诊断局限性

专家系统故障诊断其根本目的在于利用专家的领域知识、经验为故障诊断服务。目前在机械系统、电子系统及化工设备故障诊断等方面<sup>[4-15]</sup>已有成功的应用。但专家系统的应用依赖于专家的领域知识获取。知识获取被公认为专家系统研究开发中的“瓶颈”问题;另外,在自适应能力、学习能力及实时性方面也都存在不同程度的局限<sup>[7]</sup>。

## 2 模糊故障诊断方法

故障诊断是通过研究故障与征兆(特征元素)之间的关系来判断设备状态。由于实际因素的复杂性,故障与征兆之间的关系很难用精确的数学模型来表示,随之某些故障状态也是模糊的。这就不能用“是否有故障”的简易诊断结果来表达,而要求给出故障产生的可能性及故障位置和程度如何。此类问题用模糊逻辑能较好的解决。这就产生了模糊故障诊断方法。

### 2.1 模糊故障诊断原理

模糊故障诊断典型方法是模糊故障向量识别法<sup>[16-21]</sup>,其诊断过程如图2。

a) 建立故障与征兆之间的模糊关系矩阵  $R$ ,也叫隶属度矩阵。矩阵中的每个元素的大小表明了它们之间的相互关系的密切程度。

$$R = \{\mu_R(x_i, y_j); x_i \in X; y_j \in Y\} \quad (1)$$

式中:  $Y = \{y_1, y_2, y_3, \dots, y_n\} = \{y_i | i = 1, 2, \dots, n\}$  表示可能发生故障的集合,  $n$  故障总数;  $X = \{x_1, x_2, \dots, x_m\} =$

$\{x_i | i = 1, 2, \dots, m\}$ 表示由上面这些故障所引起的各种特征元素(征兆)的集合,  $m$ 为各种特征元素(征兆)总数。

b) 测试待诊断对象待检状态的特征参数,提取特征参数向量矩阵  $X$ 。

c) 求解关系矩阵方程  $Y = X \cdot R$ , 得到待检状态的故障向量  $Y$ , 再根据一定的判断原则, 如最大隶属度原则、阈值原则或择近原则等, 得到诊断结果。

另外一种模糊故障识别方法是模糊聚类分析<sup>[22]</sup>。它是将模糊集划分成不同水平的子集, 然后通过聚类分析判断故障最可能属于的子集。从而给出诊断结果。

## 2.2 模糊故障诊断的特点及局限性

模糊故障诊断方法是利用集合论中的隶属函数和模糊关系矩阵的概念来解决故障与征兆之间的不确定关系, 进而实现故障的检测与诊断。这种方法计算简单, 应用方便, 结论明确直观。在模糊故障诊断中, 构造隶属函数是实现模糊故障诊断的前提, 但由于隶属函数是人为构造的, 含有一定的主观因素; 另外, 对特征元素的选择也有一定的要求, 如选择得不合理, 诊断精度会下降, 甚至诊断失败。

## 3 故障树故障诊断方法<sup>[23~28]</sup>

### 3.1 故障树诊断原理(FT)

故障树(FT)模型是一个基于被诊断对象结构、功能特征的行为模型, 是一种定性的因果模型, 以系统最不希望事件为顶事件, 以可能导致顶事件发生的其他事件为中间事件和底事件, 并用逻辑门表示事件之间联系的一种倒树状结构。它反映了特征向量与故障向量(故障原因)之间的全部逻辑关系。图3即为一个简单的故障树。图中顶事件: 系统故障, 由部件A或部件B引发, 而部件A的故障又是由两个元件1, 2中的一个失效引起, 部件B的故障是在两个元件3, 4同时失效时发生。

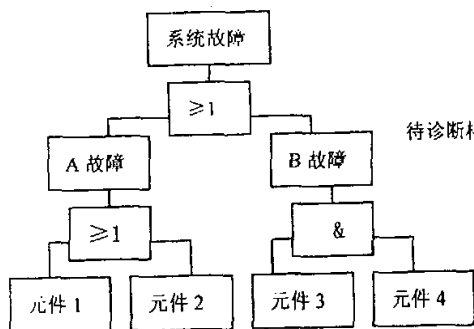


图3 简单故障树

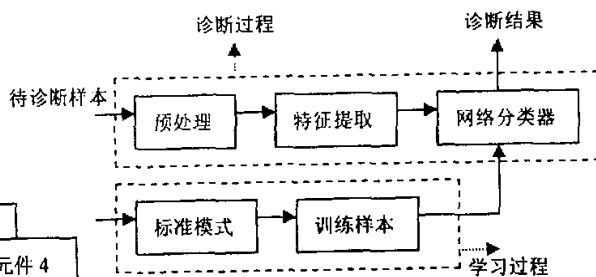


图4 神经网络故障诊断原理

### 2.2 故障树诊断法步骤

- 选择合理的顶事件。一般以待诊断对象故障为顶事件。
- 建造正确合理的故障树。这是诊断的核心与关键。
- 故障搜寻与诊断。根据搜寻方式不同, 又可分为逻辑推理诊断法和最小割集诊断法。

### 3.3 逻辑推理诊断法

此种故障搜寻法, 采用从上而下的测试方法, 从故障树顶事件开始, 先测试最初的中间事件, 根据中间事件测试结果判断测试下一级中间事件, 直到测试底事件, 搜寻到故障原因及部位。

### 3.4 最小割集诊断法

所谓割集是指故障树的一些底事件集合, 当这些底事件同时发生时, 顶事件必发生; 而最小割集是指割集中所含底事件除去任何一个时, 就不再成为割集了。一个最小割集代表系统的一种故障模式。故障诊断时, 可逐个测试最小割集, 从而搜寻故障源, 进行故障诊断。

### 3.5 故障树诊断的局限性

故障树法对故障源的搜寻, 直观简单, 它是建立在正确故障树结构的基础上的。因此建造正确合理的故

障树是诊断的核心与关键。但在实际诊断中这一条件并非都能得到满足,一旦故障树建立不全面或不正确,则此诊断方法将失去作用。

## 4 神经网络故障诊断方法

对于故障诊断而言其核心技术是故障模式识别,而人工神经网络由于其本身信息处理特点,如并行性、自学习、自组织性;联想记忆功能等,使其能够出色地解决那些传统模式识别方法难以圆满解决的问题,所以故障诊断是人工神经网络的重要应用领域之一。目前神经网络是故障诊断领域中的一个研究热点。已有不少应用系统的报道<sup>[29~40]</sup>。

总的来说,神经网络在设备诊断领域的应用研究主要集中在两个方面:一是从模式识别的角度应用它作为分类器进行故障诊断;二是将神经网络与其它诊断方法相结合而形成的复合故障诊断方法<sup>[29~30,37]</sup>。

### 4.1 模式识别的神经网络故障诊断

模式识别的神经网络故障诊断过程,主要包括学习(训练)与诊断(匹配)两个过程。其中每个过程都包括预处理和特征提取两部分。具体诊断过程如图 4。

a) 学习过程:是在一定的标准模式样本的基础上,依据某一分类规则来设计神经网络分类器,并用标准模式训练。

b) 诊断过程:是将未知模式与训练的分类器进行比较来诊断未知模式的故障类别。

①预处理:一般来说,首先要对映射得到的样本空间数据进行预处理,主要是通过删除原始数据中的无用信息得到另一类故障模式,由样本空间映射成数据空间。在数据空间上,通过某种变换(如对模式特征矢量进行量化、压缩等)使其有利于故障诊断。

②特征提取:对要诊断的对象从获得的数据来看,一般可看作一组时间序列。通过对该时间序列的分段采样,可以将输入数据映射成样本空间的点。这些数据可能包含故障的类型、程度和位置等信息。但从样本空间看,这些特征信息的分布是变化的,因此,一般不能直接用于分类,需经合适的变换来提取有效的故障特征。而所提取的这些特征对于设备的参数应具有不变性。常用特征提取方法有:傅立叶变换、小波变换、分形维数等。

③网络分类器:常用于故障诊断分类的神经网络有:BP 网络、双向联想记忆(BAM)网络、自适应共振理论(ART)、B 样条网络等。详细诊断方法见文献[8,29~30]。

### 4.2 神经网络与其它故障诊断方法的结合

利用各种诊断方法的优点,将其它诊断方法与神经网络相结合,可以得到效率更高的复合故障诊断方法。如将神经网络与专家系统相结合的诊断方法;模糊神经网络故障诊断系统和神经网络数据融合故障诊断系统等,都显示出其特别的诊断特性。

### 4.3 神经网络故障诊断的局限性

神经网络故障诊断虽然有它独特的优越性,但也存在一些困难。主要表现在三方面:一是训练样本获取困难;二是忽视了领域专家的经验知识;三是网络权值形式表达方式难以理解。

## 5 数据融合故障诊断方法

数据融合就是利用计算机对来自多传感器的信息按一定的准则加以自动分析和综合的数据处理过程,以完成所需要的决策和判定。目前数据融合在军事领域中已有广泛的应用,但在设备故障诊断中的应用还是近年来的事情<sup>[41~53]</sup>。数据融合应用于故障诊断的起因有三个方面:一是多传感器形成了不同通道的信号;二是同一信号形成了不同的特征信息;三是不同诊断途径得出了有偏差的诊断结论。融合诊断的最终目标是综合利用各种信息提高诊断准确率。目前,数据融合故障诊断方法主要有 Bayes 推理、D-S 证据推理及神经网络数据融合等。

### 5.1 贝叶斯定理数据融合故障诊断<sup>[8,41~42]</sup>

贝叶斯定理法是基于概率统计的推理方法。它以概率密度函数为基础,综合设备的各种信息,来描述设

备的运行状态,进行故障分类。具体步骤如下:

a) 先验概率假设:设备运行过程是一个随机过程,各类故障出现的概率一般是可以估计的。这种根据经验知识对故障所作出的概率估计称为先验概率。记为  $P(w_i)$ ,  $i=1,2,\dots,n$ ,  $P(w_0)$  表示正常工作的概率。对一故障样本  $X$  (由多传感器对被诊断对象测试而得),  $P(X/w_i)$ , 表示输入模式为  $i$  类故障的条件概率密度函数,其中  $i=1,2,\dots,n$ 。

b) 后验概率计算:根据贝叶斯公式有:

$$P(w_i/X) = \frac{P(X/w_i)P(w_i)}{\sum_{j=0}^n P(X/w_j)P(w_j)} \quad (2)$$

式中:  $X=[x_1, x_2, \dots, x_n]$  为输入模式样本;  $P(w_i/X)$  称为已知样本条件下  $w_i$  (某故障模式) 出现的概率。称为后验概率。

c) 故障判定:根据极大后验概率判定逻辑  $P(w_i/X) = \max\{P(w_i/X)\}$  时,  $X \in w_i$ , 即  $X$  属于故障模式  $w_i$ 。

### 5.2 D-S 证据推理数据融合故障诊断<sup>[42-46]</sup>

D-S 证据理论是针对事件发生后的结果(证据),探求事件发生的主要原因(假设)。对于具有主观不确定性判断的多属性诊断问题, D-S 证据理论是一个融合主观不确定性信息的有效手段。在设备故障诊断中,若干可能的故障产生一些症状,每个症状下各故障都可能有一定的发生概率, D-S 证据理论中,用信度函数表达概率大小,通过多传感器测试被诊断对象,得出每一传感器在某症状下属于各类故障的信度函数,然后利用 D-S 组合规则进行信息融合,得到融合后症状分别属于各类故障的信度函数,最后根据一定的判定准则确定故障类型,其融合诊断过程如图 5。

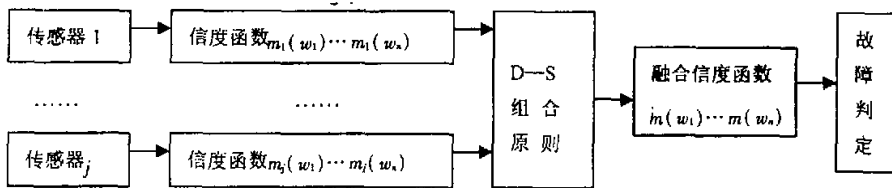


图5 D-S 故障融合

#### a) 各传感器信度函数确定

它是通过测试被诊断对象的症状参数,通过一定的数据变换(如小波变换、概率统计、隶属函数等),得到各传感器测得症状属于各类故障的信度函数  $m_j(w_1) \dots m_j(w_i) \dots m_j(w_a)$   $m_j(\theta)$ , 信度函数  $m_j(w_i)$  表示,传感器  $j$  测得的属于故障  $w_i$  的信度函数,  $m_j(\theta)$  为不确定信度函数。

b) D-S 组合规则对两个独立可信度函数  $m_1$  和  $m_2$ , 存在于一个公共的辨识框架  $\Theta$ , 再假设可以将  $\Theta$  划分为分别运用于两个可信度函数的不同子集  $\{A_1 \dots A_k\}$  和  $\{B_1 \dots B_k\}$ 。D-S 组合为:

$$m(A) = \frac{\sum_{A_i \cap B_j \neq \emptyset} \{m_1(A_i)m_2(B_j)\}}{1 - \sum_{A_i \cap B_j = \emptyset} m_1(A_i)m_2(B_j)} \quad A \neq \Phi \quad (3)$$

$$m(A) = 0 \quad A = \Phi \quad (4)$$

在故障诊断中  $\Theta$  是故障样本集;  $m(A)$  为融合故障信度函数。

#### c) 故障判定原则

故障决策一般遵守四条规则:一是信度函数值最大原则;二是信度函数值阈值原则;三是最大最小信度函数之差阈值原则;四是不确定性信度函数最小阈值原则。

### 5.3 神经网络数据融合故障诊断方法<sup>[47-53]</sup>

神经网络数据融合,是将神经网络(如 BP 网)引入数据融合之中,同时结合模糊集合论进行故障判断。其具体过程为:通过多传感器测试被诊断对象,求出每一传感器在某症状下对故障集中各类故障的隶属度

值,将所有传感器的故障隶属度值矢量作为神经网络的输入,网络输出即为融合后该症状属于各类故障的隶属度值矢量,最后利用基于规则的判定原则进行故障决策,其融合诊断过程如图 6。

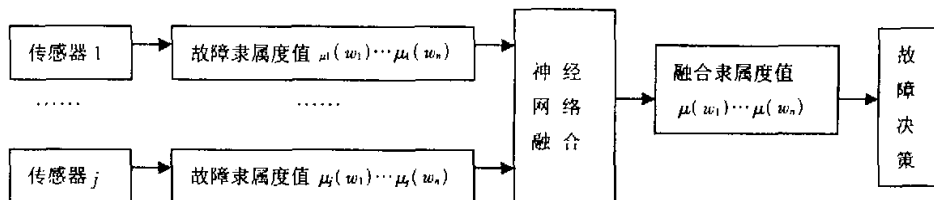


图 6 神经网络数据融合故障诊断

#### a) 各传感器故障隶属度值确立

通过传感器测试待诊断对象的症状参数,经过一定的变换处理,得到各传感器所测症状属于各类故障的隶属度值 $\mu_j(w_1)\cdots\mu_j(w_i)\cdots\mu_j(w_n)$ ;图 6 中的 $\mu_j(w_i)$ 表示传感器  $j$  测得症状属于故障  $w_i$  的隶属度值; $n$  为故障的类型总数。

#### b) 神经网络融合

先用标准样本对神经网络进行训练,其样本由实验测定,然后将各传感器的故障隶属度矢量作为训练后网络的输入,输出即为融合后的故障隶属度矢量。

#### c) 故障决策

类似于 D-S 融合诊断的判定原则。

### 5.4 数据融合故障诊断优越性及局限性

数据融合故障诊断在提高诊断准确率上有它独特的优点。但也有它的局限性。如贝叶斯方法中先验概率难以确定,D-S 证据理论中故障信度函数的确定也必然存在人为因素,而神经网络数据融合,不仅存在故障隶属度值确定的困难,而且存在训练样本难以获取的问题。

## 6 小 结

近些年来,由于计算机技术、信号处理、人工智能、模式识别技术的发展,促进了故障诊断技术的不断发展。特别是基于知识的故障诊断方法得到广泛的研究。目前基于知识的故障诊断研究主要集中在以下几个方面:

(1) 将一些新的理论引入故障诊断之中,如基于进化算法的故障诊断<sup>[54-55]</sup>,基于 Agent 故障诊断<sup>[56]</sup>等。随着新理论不断发展,这方面的工作仍是故障诊断的重要内容之一。

(2) 将几种诊断方法融合到一起的集成故障诊断研究。如将小波变换、模糊数学,神经网络综合到一起的故障诊断方法<sup>[57-58]</sup>;由于每种方法都有其优点和不足,这种集成故障诊断方法必然有其独特的优点。这也是有待深入研究的内容之一。

(3) 另外,随着人工智能的发展,人们越来越意识到操作人员的常识及人的自然智能的优越性,在故障诊断系统中适当考虑人的作用会降低故障误报率和漏报率。

(4) 故障诊断是一门实用性很强的技术,因此只有在实际应用中才能体现它的价值。目前在理论研究方面虽有不少进展,但真正在工程实践中成功应用的实例还较少。因此,如何将先进的故障诊断理论与方法应用到实际中去还有待深入的研究。

#### 参考文献:

- [1] 叶银忠,潘日芳. 动态系统故障检测及诊断方法[J]. 信息与检测,1985,14(6):27-34.
- [2] 轩建平,张华. 基于动力模型的故障检测与诊断理论和方法综述[J]. 振动工程学报(增刊),1998. 4-7.
- [3] 张萍,周东华. 动态系统的故障诊断方法[J]. 控制理论与应用,2000,17(2):153-158.
- [4] 金宏. 导航系统的精度及容错性能研究[D]. 北京:北京航空航天大学,1998.

- [5]杨叔子. 基于知识的故障诊断技术[M]. 北京:清华大学出版社, 1993.
- [6]张雪江. 机械设备故障诊断系统知识自动获取及更新的研究[D]. 南京:东南大学, 1997.
- [7]吴今培. 智能故障诊断与专家系统[M]. 北京:科学出版社, 1999.
- [8]虞和济, 陈长征, 张省. 基于神经网络的智能诊断[M]. 北京:冶金工业出版社, 2000.
- [9]杨良才. 动态系统故障诊断的新方法—专家系统[J]. 信息与控制, 1998, 17(5): 26-31.
- [10]Pazzani M J. Failure-Driven learning of fault diagnosis heuristics[J]. IEEE Trans on systems, Man and cybernetics, 1998, 17(3): 380-384.
- [11]Huang C Y, Stengel R F. Failure Model determination is a knowledge based control system[J]. Proceedings of American control conference. American, 1987, 1642-1649.
- [12]Youn W C, Hammen J M. Aiding the operator during novel fault diagnosis[J]. IEEE Transaction. on system. Man and cybernetics, 1998, 18(1): 142-147.
- [13]Su Y L, Govindaraj T. Fault diagnosis is a large dynamic system: Experiments on a training simulator[J]. IEEE Transaction on systems, Man and cybernetics, 1986, 16(1): 129-141.
- [14]张雪江. 汽轮发电机组故障诊断专家系统知识处理技术的研究[J]. 振动工程学报, 1996, 9(3): 230-236.
- [15]王魁舵. 基于专家系统和神经网络的机车电路故障诊断系统研究[J]. 北方交通大学学报, 1996, 20(4): 495-501.
- [16]张鸣柳. 变压器油气体色谱分析中以模糊综合评判进行故障诊断的研究[J]. 电工技术学报, 1998, 13(1): 51-54.
- [17]许飞云. 基于行为的智能化故障诊断理论和方法研究[D]. 南京:东南大学, 1996.
- [18]Tsukamoto Y, Terano T. Failure diagnosis by using fuzzy logic[A]. Proceedings. IEEE decision & control[C], New Orleans, England, 1987: 1390-1395.
- [19]杨苹, 吴捷. 变权重模糊综合评判模型及其在故障诊断中的应用[J]. 控制理论与应用, 2000, 17(5): 707-710.
- [20]Zhao Z Y. Introduction to fuzzy theory and neural networks and their application[M]. Tsinghua University Press, 1996. 165-169.
- [21]Ruckley J J and Hayashi Y. Neural Nets for Fuzzy systems, Fuzzy sets and systems[M]. 1995, 71: 265-276.
- [22]顾家柳. 旋转机械故障振动诊断技术展望[A]. 第二届全国机械设备故障诊断会议论文集[C]. 北戴河, 1988, 45-51.
- [23]Juan A Carrasco. An algorithm to find minimal cuts of coherent fault-trees with event-classes[J]. IEEE Transactions on reliability, 1999, 48(1): 31-41.
- [24]纪常伟. 基于故障树和神经网络的故障诊断技术研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学, 1995.
- [25]朱大奇, 刘文波, 于盛林. 基于虚拟仪器的光电雷达电子部件性能检测和故障诊断系统[J]. 航空学报, 2001, 22(5): 468-470.
- [26]程明华, 姚一平. 动态故障树在软硬件容错计算机系统中的应用[J]. 航空学报, 2000, 21(1): 34-37.
- [27]张建刚. 模糊树模型及其在复杂系统辨识中的应用[J]. 自动化学报, 2000, 26(3): 378-381.
- [28]Kiran K V and Joanne B D. Automatic synthesis of fault trees for computer-based systems[J]. IEEE Transactions on Reliability, 1999, 48(4): 394-401.
- [29]闻新. 控制系统的故障诊断和容错控制[M]. 北京:机械工业出版社, 1998.
- [30]何飞勇. 基于神经网络提高故障诊断精度策略研究[D]. 南京:东南大学, 1997.
- [31]Licmg jing. Using Neural Networks and Fuzzy Theory in Failure Diagnosis Expert system[A]. ICTD'95 1995; JILIN China: 27-30.
- [32]Naidu S R. Use of Neural Networks for Sensor Failure detection is a Control System[J]. IEEE Control Systems Magazine 1990, 49(2): 225-231.
- [33]Sorsa T, Hei Kki N. Networks in process Fault Diagnosis[J]. IEEE Transactions on system, Man, and cybernetics, 1991, 21(4): 815-825.
- [34]Vaidynathan R and Venkatadubramawan V. Process Fault detection and diagnosis Using Neural Networks-2, Dynamic processes [A]. Artificial Intelligence Annual Meeting[C]. Chicago IL, NOV(1990).
- [35]钮永胜, 赵新民. 采用基于神经网络的时间系列预测器的故障诊断新方法[J]. 仪器仪表学报, 1998, 19(4): 383-387.
- [36]师汉民, 陈小平. 人工神经网络及其在机械工程领域中的应用[J]. 中国机械工程, 1997, 8(2): 5-10.
- [37]杨一平, 戴汝为. 神经网络专家系统及其在反应堆事故诊断中的应用[J]. 电子学报, 1990, 18(6): 62-67.
- [38]陈长征. 融合多层感知器故障诊断方法[J]. 振动工程学报(增刊), 1998. 56-59.
- [39]林京. FUZZY ART 及其在故障诊断中的应用[J]. 西安交通大学学报, 1999, 33(5): 88-92.
- [40]张义忠, 冯振声. 基于神经网络电子装备故障诊断的仿真研究[J]. 计算机仿真, 2000, 17(4): 39-42.

- [41] Gros X E. and Lowden D W. Bayesian approach to NDT data fusion[J]. Non - Destructive Testing and condition monitoring, 1995, 37(5): 462 - 468.
- [42] Luo R C and Key M G. Multisensor Integration and Fusion in Intelligent systems[J]. IEEE Transaction on systems, Man and cybernetics, 1989, 19(5): 901 - 931.
- [43] Bogler P L. Shafer - dempster reasoning with application to multisensor target identification system[J]. IEEE Transaction System, Man and cybernetics. 1987, SMC - 17: 968 - 977.
- [44] 韩静, 陶云刚. 基于 D—S 证据理论和模糊数学的多传感器数据融合方法[J]. 仪器仪表学报, 2000, 21(6): 644 - 647.
- [45] 徐从富, 耿卫东, 潘云鹤. 面向数据融合的 DS 方法综述[J]. 电子学报, 2001, 29(3): 393 - 396.
- [46] 朱大奇, 于盛林. 基于证据理论的电机故障诊断方法研究[J]. 华中科技大学学报, 2001, (12): 58 - 61.
- [47] 罗志增, 蒋静萍. 应用模糊信息融合实现目标物的分类[J]. 仪器仪表学报, 1999, 20(4): 401 - 404.
- [48] 覃祖旭. 智能、信息及其在导航系统中应用[D]. 北京: 北京航空航天大学, 1995.
- [49] 何友. 多传感器信息融合及应用[M]. 北京: 电子工业出版社, 2000.
- [50] 朱大奇, 于盛林. 电子电路故障诊断的神经网络数据融合算法[J]. 东南大学学报, 2001(12): 87 - 91.
- [51] 王建波, 于达仁. 液体火箭发动机故障诊断的信息融合技术[J]. 航空动力学报, 2001, 16(1): 38 - 40.
- [52] Abide M A, Gonzalez R C. Data Fusion in Robotics and machine Intelligence[M]. American Academic press, 1992.
- [53] Luo R C and Scherp R S. Dynamic multisensor data fusion system for intelligent robots[J]. Journal of Robotics and Automation. 1998, 4(4): 386 - 396.
- [54] 文福拴, 韩祯祥. 只利用断路器信息诊断电力系统故障的高级遗传算法[J]. 电工技术学报, 1996, 11(2): 58 - 63.
- [55] 陈小平. 进化计算及其应用研究[D]. 南京: 南京航空航天大学, 2001.
- [56] 吴伟蔚, 杨叔子. 故障诊断 Agent 研究[J]. 振动工程学报, 2000, 13(3): 393 - 399.
- [57] Feng YouPing, Huang Xiyue. Fault diagnosis multi - agent reconfigure according to the model of immune idiotypic network regulation theory and behavioral petri nets techniques based on workflow management[A]. Second international symposium on intelligent and complex system[C]. 2001. 10, Wuhan, China.
- [58] 高文胜, 严璋. 自适应小波分类网络在充油电力设备故障识别中的应用[J]. 电工技术学报, 1998, 13(6): 54 - 58.
- [59] 杨莉, 严璋. 基于概率推理和模糊数学的变压器综合故障诊断模型[J]. 中国电机工程学报, 1998, 20(7): 19 - 23.

#### (上接 196 页)

- [2] Sayles R S and Thomas T R. The Spatial representation of roughness by means of the structure function: A Practical Alternative to correlation[J]. Wear, 1976, (42): 263.
- [3] Dong W P, Sullivan P J and Stout K J. Comprehensive Study Of Parameters For Characterising 3 - D Surface Topography I, II, III, IV[J]. Wear. 1992, (159): 161.
- [4] 刘小君, 刘焜, 丁曙光, 赵小勇. 表面形貌摩擦学功能表征参数的研究[J]. 合肥工业大学学报, 1998, (6): 68.



# 基于知识的故障诊断方法综述

作者: [朱大奇](#), [于盛林](#)  
作者单位: [朱大奇\(安徽工业大学电气信息学院, 安徽马鞍山, 243002\)](#), [于盛林\(南京航空航天大学测试工程系, 江苏, 南京, 210016\)](#)  
刊名: [安徽工业大学学报\(自然科学版\)](#)   
英文刊名: [JOURNAL OF ANHUI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY \(NATURAL SCIENCE\)](#)  
年, 卷(期): 2002, 19 (3)  
被引用次数: 241次

## 参考文献(59条)

1. [叶银忠;潘日芳 动态系统故障检测及诊断方法](#) 1985 (06)
2. [轩建平;张华 基于动力模型的故障检测与诊断理论和方法综述](#) 1998 (z1)
3. [张萍,王桂增,周东华 动态系统的故障诊断方法](#)[期刊论文]-[控制理论与应用](#) 2000 (2)
4. [金宏 导航系统的精度及容错性能的研究](#)[学位论文] 1998
5. [杨叔子 基于知识的故障诊断技术](#) 1993
6. [张雪江 机械设备故障诊断系统知识自动获取及更新的研究——MFD-2、MFD-3诊断系统的研制](#)[学位论文] 1997
7. [吴今培 智能故障诊断与专家系统](#) 1999
8. [虞和济;陈长征;张省 基于神经网络的智能诊断](#) 2000
9. [杨良士 动态系统故障诊断的新方法—专家系统](#) 1998 (05)
10. [Pazzani M J Failure - Driven learning of fault diagnosis heuristics](#) 1998 (03)
11. [Huang C Y;Stengel R F Failure Model determination is a knowledge based control system](#) 1987
12. [Youn W C;Hammen J M Aiding the operator during novel fault diagnosis](#) 1998 (01)
13. [Su Y L;Govindaraj T Fault diagnosis is a large dynamic system: Experiments on a training simulator](#) 1986 (01)
14. [张雪江 汽轮发电机组故障诊断专家系统知识处理技术的研究](#) 1996 (03)
15. [王飏舵 基于专家系统和神经网络的机车电路故障诊断系统研究](#) 1996 (04)
16. [张鸣柳 变压器油气体色谱分析中以模糊综合评判进行故障诊断的研究](#) 1998 (01)
17. [许飞云 基于行为的智能化故障诊断理论和方法的研究](#)[学位论文] 1996
18. [Tsukamoto Y;Terano T Failure diagnosis by using fuzzy logic](#) 1987
19. [杨苹,杨俊华,吴捷 变权重模糊综合评判模型及其在故障诊断中的应用](#)[期刊论文]-[控制理论与应用](#) 2000 (5)
20. [Zhao Z Y Introduction to fuzzy theory and neural networks and their application](#) 1996
21. [Ruckley J J;Hayashi Y Neural Nets for Fuzzy systems](#) 1995
22. [顾家柳 旋转机械故障振动诊断技术展望](#) 1988
23. [Juan A Carrasco An algorithm to find minimal cuts of coherent fault - trees with event - classes](#) 1999 (01)
24. [纪常伟 基于故障树和神经网络模型的航天器故障诊断技术研究](#)[学位论文] 1995
25. [朱大奇,刘文波,陈小平,于盛林 基于虚拟仪器技术的光电雷达电子部件性能检测及故障诊断系统](#)[期刊论文]-[航空学报](#) 2001 (5)
26. [程明华,姚一平 动态故障树分析方法在软、硬件容错计算机系统中的应用](#)[期刊论文]-[航空学报](#) 2000 (1)
27. [张建刚,毛剑琴,夏天,魏可惠 模糊树模型及其在复杂系统辨识中的应用](#)[期刊论文]-[自动化学报](#) 2000 (3)

28. [Kiran K V;Joanne B D Automatic synthesis of fault trees for computer- based systems](#) 1999(04)
29. [闻新 控制系统的故障诊断和容错控制](#) 1998
30. [何永勇 基于神经网络提高故障诊断精度策略的研究——旋转机械故障诊断理论、方法及系统的研究](#)[学位论文] 1997
31. [Licmg jing Using Neural Networks and Fuzzy Theory in Failure Diagnosis Expert system](#) 1995
32. [Naidu S R Use of Neural Networks for Sensor Failure detection is a Control System](#) 1990(02)
33. [Sorsa T;Hei Kki N Networks in process Fault Diagnosis](#) 1991(04)
34. [Vaidynathan R;Venkatadubramawan V Process Fault detection and diagnosis Using Neural Networks - 2, Dynamic processes](#) 1990
35. [钮永胜, 赵新民, 孙金玮 采用基于神经网络的时间序列预测器的传感器故障诊断新方法](#)[期刊论文]-[仪器仪表学报](#) 1998(4)
36. [师汉民, 陈吉红, 阎兴 人工神经网络及其在机械工程领域中的应用](#)[期刊论文]-[中国机械工程](#) 1997(2)
37. [杨一平, 戴汝为 神经元网络专家系统及其在核反应堆事故诊断中的应用](#)[期刊论文]-[电子学报](#) 1990(6)
38. [陈长征 融合多层感知器故障诊断方法](#) 1998(z1)
39. [林京 Fuzzy ART及其在故障诊断中的应用](#)[期刊论文]-[西安交通大学学报](#) 1999(5)
40. [张义忠, 冯振声, Meng Cheng 基于神经网络的复杂电子装备故障诊断系统的仿真研究](#)[期刊论文]-[计算机仿真](#) 2000(4)
41. [Gros X E;Lowden D W Bayesian approach to NDT data fusion](#) 1995(05)
42. [Luo R C;Key M G Multisensor Integration and Fusion in Intelligent systems](#) 1989(05)
43. [Bogler P L Shafer - dempster reasoning with application to multisensor target identification system](#) 1987
44. [韩静, 陶云刚 基于D\\_S证据理论和模糊数学的多传感器数据融合算法](#)[期刊论文]-[仪器仪表学报](#) 2000(6)
45. [徐从富, 耿卫东, 潘云鹤 面向数据融合的DS方法综述](#)[期刊论文]-[电子学报](#) 2001(3)
46. [朱大奇, 徐振斌, 于盛林 基于证据理论的电机故障诊断方法研究](#)[期刊论文]-[华中科技大学学报\(自然科学版\)](#) 2001(12)
47. [罗志增, 蒋静萍 应用模糊信息融合实现目标物体的分类](#)[期刊论文]-[仪器仪表学报](#) 1999(4)
48. [覃祖旭 智能、信息融合及其在导航制导系统中的应用](#)[学位论文] 1995
49. [何友 多传感器信息融合及应用](#) 2000
50. [朱大奇, 于盛林 电子电路故障诊断的神经网络数据融合算法](#)[期刊论文]-[东南大学学报\(自然科学版\)](#) 2001(6)
51. [王建波, 于达仁 液体火箭发动机泄漏故障诊断的信息融合技术](#)[期刊论文]-[航空动力学报](#) 2001(1)
52. [Abide M A;Gonzalez R C Data Fusion in Robotics and machine Intelligence](#) 1992
53. [Luo R C;Scherp R S Dynamic multisensor data fusion system for intelligent robots](#) 1998(04)
54. [文福拴;韩祯祥 只利用断路器信息诊断电力系统故障的高级遗传算法](#) 1996(02)
55. [陈小平 进化计算及其应用研究](#)[学位论文] 2000
56. [吴伟蔚, 杨叔子, 吴今培 故障诊断Agent研究](#)[期刊论文]-[振动工程学报](#) 2000(3)
57. [Feng YouPing;Huang Xiyue Fault diagnosis multi- agent reconfigure according to the model of immune idiotypic network regulation theory and behavioral petri nets techniques based on workflow management](#) 2001

58. 高文胜;严璋 [自适应小波分类网络在充油电力设备故障识别中的应用](#) 1998 (06)
59. 杨莉, 尚勇, 周跃峰, 严璋 [基于概率推理和模糊数学的变压器综合故障诊断模型](#) [期刊论文]-[中国电机工程学报](#) 2000 (7)

#### 本文读者也读过(2条)

1. 王荣杰, 胡清, Wang, Rongjie, Hu, Qing [基于知识的故障诊断方法的发展现状与展望](#) [期刊论文]-[微计算机信息](#) 2006, 22 (7)
2. 何敏, 张志利, 刘辉, 赵锴, 张永鑫, He Min, Zhang Zhili, Liu Hui, Zhao Kai, Zhang Yongxin [故障诊断技术方法综述](#) [期刊论文]-[国外电子测量技术](#) 2006, 25 (5)

#### 引证文献(139条)

1. 卢利虹, 魏庆涛, 徐智超, 刘君霞 [一种基于领域知识的电机故障模糊预测模型](#) [期刊论文]-[大连交通大学学报](#) 2015 (2)
2. 王玫, 邱长军, 周范能 [机械故障诊断方法及应用研究](#) [期刊论文]-[中国设备工程](#) 2013 (06)
3. 王珉, 胡芑庆, 杨思峰, 秦国军 [基于故障仿真的故障知识库应用研究](#) [期刊论文]-[宇航学报](#) 2010 (04)
4. 郭小娟, 张庆荣 [基于专家系统和MapInfo的电路故障诊断技术研究](#) [期刊论文]-[微型机与应用](#) 2010 (07)
5. 肖晶, 吴学智 [一种基于神经网络的故障诊断新方法研究](#) [期刊论文]-[舰船电子工程](#) 2010 (01)
6. 马乐瑶 [校园网智能故障诊断方法综述](#) [期刊论文]-[电脑知识与技术](#) 2010 (31)
7. 钱虹, 茅大钧, 李超, 贺国梁 [报警触发式磨煤机出口温度高故障自诊断定位系统](#) [期刊论文]-[上海电力学院学报](#) 2010 (01)
8. 靳亚超 [基于危险模式免疫算法及其在电机故障诊断中的应用研究](#) [学位论文] 硕士 2009
9. 齐丽彬, 刘晓义 [基于支持向量机的模拟电路故障诊断研究](#) [期刊论文]-[自动化仪表](#) 2008 (09)
10. 翁永前 [基于免疫原理的网络故障检测系统模型的研究](#) [学位论文] 硕士 2008
11. 项荣杰 [基于人工免疫模型的故障诊断及系统研究](#) [学位论文] 硕士 2006
12. 吴小娟 [基于EMD的故障特征信息提取研究](#) [学位论文] 硕士 2006
13. 顾燕萍, 俞金寿 [DCS故障诊断专家系统的开发](#) [期刊论文]-[化工进展](#) 2004 (06)
14. 王萍, 陈星 [远程故障诊断软件设计](#) [期刊论文]-[电子测量技术](#) 2004 (06)
15. 王昌荣, 赵玉龙, 蒋有才 [故障预测技术在武器装备中的应用及发展](#) [期刊论文]-[价值工程](#) 2015 (05)
16. 崔鹏, 王哲嵘, 陈娇 [校区污水处理厂安全评价分析](#) [期刊论文]-[大科技·科技天地](#) 2011 (03)
17. 闫纪红, 王伟, 卢磊 [基于人工免疫的故障诊断模型自动更新算法](#) [期刊论文]-[计算机集成制造系统](#) 2011 (04)
18. 刘帆, 解仑, 王志良, 郑雪峰 [面向航天器在轨管理的混合智能诊断系统设计](#) [期刊论文]-[飞行器测控学报](#) 2009 (01)
19. 王耘, 胡树根, 邓文才 [基于BP神经网络的电动助力转向器在线故障诊断研究](#) [期刊论文]-[汽车工程](#) 2008 (12)
20. 邵延峰, 薛红军 [故障树分析法在系统故障诊断中的应用](#) [期刊论文]-[中国制造业信息化](#) 2007 (01)
21. 曲飞, 吴敏, 曹卫华, 何勇 [基于支持向量机的高炉炉况诊断方法](#) [期刊论文]-[钢铁](#) 2007 (10)
22. 陈鑫远 [基于人工免疫理论的智能故障诊断方法研究](#) [学位论文] 硕士 2007
23. 李玉荣, 牛玉广, 马华杰 [基于CLIPS的锅炉故障诊断专家系统应用研究](#) [期刊论文]-[广东自动化与信息工程](#) 2006 (01)
24. 孔庆宇, 霍景河, 王渊 [基于知识的主流故障诊断技术研究](#) [期刊论文]-[四川兵工学报](#) 2015 (9)

25. [习伟, 李鹏, 郭晓斌, 许爱东, 蒋愈勇, 张利强, 吴玉生](#) [多维时间序列关联分析方法在电力设备故障预测中的应用](#) [期刊论文]-[电网与清洁能源](#) 2014(12)
26. [杨贺](#) [模拟电路故障诊断方法的研究](#) [期刊论文]-[读写算-素质教育论坛](#) 2014(19)
27. [刘云海, 赵国军, 陈乐玲, 徐航](#) [电梯智能故障处理系统](#) [期刊论文]-[轻工机械](#) 2013(02)
28. [孟晓红, 周永涛, 王炜](#) [一种基于指数分布的装备剩余寿命预测模型研究](#) [期刊论文]-[中国修船](#) 2012(05)
29. [吴玉彬, 张合新, 吕永佳](#) [基才层次故障树的地面电源诊断优化方法研究](#) [期刊论文]-[电子设计工程](#) 2011(17)
30. [刘海波](#) [轨道车辆转向架电机轴承在线故障诊断系统开发](#) [学位论文] 硕士 2010
31. [蒋磊, 陈昶](#)  
[, 秦寅, 蔡文超, 张星, 孙晖](#) [基于知识的燃气轮机故障诊断系统的研究与开发](#) [期刊论文]-[船舶](#) 2009(02)
32. [孙由啸, 王军峰, 冯博](#) [基于故障树的模糊推理机制在提梁机故障诊断中的应用](#) [期刊论文]-[石家庄铁路职业技术学院学报](#) 2009(04)
33. [应立军, 周书武, 元琳, 王景元](#) [08-32捣固车电气系统在线监测与故障诊断系统](#) [期刊论文]-[交通运输工程学报](#) 2004(04)
34. [柴敏, 杨悦, 徐小辉, 王敏, 杨小燕](#) [面向故障诊断的航天器遥测数据降维分析技术](#) [期刊论文]-[火箭与制导学报](#) 2014(01)
35. [王玉银](#) [舰艇装备故障诊断专家系统设计](#) [期刊论文]-[舰船电子工程](#) 2012(05)
36. [戴学标](#) [基于模糊逻辑理论的X线电视系统智能故障诊断的设计与应用](#) [学位论文] 硕士 2011
37. [郭小林, 王家序, 肖科, 李敏](#) [新型少齿差减速器传动系统可靠性分析及结构集成设计](#) [期刊论文]-[机械传动](#) 2010(07)
38. [黄学卫, 杨智, 黄松华](#) [基于模糊规则的某型船舶柴油机故障诊断专家系统](#) [期刊论文]-[造船技术](#) 2010(06)
39. [孙雅因, 杨晓东](#) [模拟电路故障诊断方法综述](#) [期刊论文]-[电子质量](#) 2009(02)
40. [韩洪伟, 李钊, 李建军, 李俊山](#) [某型对抗装备故障诊断系统设计研究](#) [期刊论文]-[无线电工程](#) 2008(11)
41. [乔斯敏, 王晖, 廖建新](#) [SCP软件故障诊断模型研究](#) [期刊论文]-[计算机工程与设计](#) 2008(23)
42. [徐济仁, 刘敬芝, 牛纪海, 江从俊](#) [电子设备故障诊断技术综述](#) [期刊论文]-[电子工艺技术](#) 2008(05)
43. [沈岩](#) [基于现场总线的涂料生产监控及故障检测系统](#) [学位论文] 硕士 2006
44. [胡善伟](#) [NAMP计算机虚警在非航电系统中的分析和控制](#) [期刊论文]-[电子科技](#) 2014(04)
45. [张宁, 徐玉明, 於正前](#) [触发式智能型故障自诊断定位系统在600MW火电机组中的应用](#) [期刊论文]-[自动化与仪器仪表](#) 2013(01)
46. [和德明](#) [变频器故障诊断技术研究与分析](#) [期刊论文]-[电子世界](#) 2012(14)
47. [嵇斗, 王向军, 张民](#) [基于支持向量机的电路故障诊断模型](#) [期刊论文]-[微计算机信息](#) 2007(01)
48. [甄洪梅](#) [烟气轮机转子系统故障诊断方法的研究](#) [学位论文] 硕士 2007
49. [马岚, 王厚军](#) [使用表达式分析的通用故障诊断系统设计与实现](#) [期刊论文]-[中国测试技术](#) 2006(02)
50. [陆春月, 王俊元](#) [机械故障诊断的现状与发展趋势](#) [期刊论文]-[机械管理开发](#) 2004(06)
51. [曾儒伟, 许诚, 曾亮](#) [故障诊断方法发展动向](#) [期刊论文]-[航空计算技术](#) 2003(03)
52. [孙培峰](#) [基于inernet的远程发动机故障诊断技术实现](#) [期刊论文]-[浙江水利水电专科学校学报](#) 2003(02)
53. [路亚峰, 张涛, 张贤, 杨和平, 王旭东](#) [机载电子设备故障诊断专家系统的设计与实现](#) [期刊论文]-[电子测量技术](#) 2010(01)
54. [张晶](#) [某型自行火炮综合电气系统故障诊断专家系统](#) [期刊论文]-[兵工自动化](#) 2010(03)

55. 钱虹, 茅大钧, 叶建华, 薛阳, 杨旭红 [火电厂磨煤机出口温度异常分析和故障诊断系统](#)[期刊论文]-[自动化仪表](#) 2009(07)
56. 刘力田, CHENG Guang-tao, 程广涛, 司爱威, 张威 [车辆装备电器与电控装置故障诊断专家系统研究](#)[期刊论文]-[军事交通学院学报](#) 2008(02)
57. 陈晓梅 [伺服机构单元测试仪故障诊断设备研究与开发](#)[学位论文]硕士 2008
58. 陈媛, 赵明富, 黄贤英 [生物法废气处理远程故障诊断系统设计](#)[期刊论文]-[微计算机信息](#) 2007(16)
59. 姚宝成 [改进的D-S证据理论及其在故障诊断中的应用](#)[学位论文]硕士 2007
60. 汪年平, 周俊 [强制循环水冷式冷却系统的故障诊断](#)[期刊论文]-[上海工程技术大学学报](#) 2014(03)
61. 杨维 [燃料电池单片电压巡检系统设计与故障诊断研究](#)[学位论文]硕士 2007
62. 张涛 [非法计算故障的检测技术研究](#)[学位论文]硕士 2007
63. 褚东升, 滕梓洁, 张玲 [基于滤波器的一类带乘性噪声系统的执行器故障检测与估计方法](#)[期刊论文]-[中国海洋大学学报\(自然科学版\)](#) 2013(06)
64. 李杨 [智能楼宇空调系统故障预测与诊断的研究](#)[学位论文]硕士 2010
65. 王秋彦, 鞠建波, 宋振宇 [故障诊断技术研究现状及发展趋势](#)[期刊论文]-[电子测量技术](#) 2009(04)
66. 安少辉 [数据挖掘在网络故障诊断中的应用](#)[学位论文]硕士 2007
67. 石磊 [网络故障定位与检测技术研究](#)[学位论文]硕士 2006
68. 师会超 [轨道交通自动门智能故障诊断技术研究 with 系统开发](#)[学位论文]硕士 2006
69. 孙丰涛, 张承慧, 崔纳新, 杜春水 [变频器故障诊断技术研究 with 分析](#)[期刊论文]-[电机与控制学报](#) 2005(03)
70. 李登, 尹亚兰, 朱文秀 [复杂电子装备智能故障诊断技术研究](#)[期刊论文]-[舰船电子工程](#) 2013(02)
71. 陈晨 [含有未知输入干扰的故障诊断方法研究](#)[学位论文]硕士 2010
72. 林波 [基于观测器方法的系统故障诊断技术的研究](#)[学位论文]硕士 2010
73. 金鑫, 任献彬, 周亮 [智能故障诊断技术研究综述](#)[期刊论文]-[国外电子测量技术](#) 2009(07)
74. 吕成岭 [基于支持向量机的故障诊断方法研究](#)[学位论文]硕士 2009
75. 杨兴 [通用性故障诊断专家系统平台的研制——人工神经网络信息融合方法](#)[学位论文]硕士 2007
76. 吴卫玲 [机载设备故障诊断方法的研究](#)[期刊论文]-[航空计算技术](#) 2003(02)
77. 殷明 [基于数据融合的汽车柴油发动机故障诊断技术研究](#)[学位论文]硕士 2009
78. 谈才军 [神经网络在化工过程故障诊断中的应用研究](#)[学位论文]硕士 2005
79. 陈特放, 于天剑, 陈雅婷, 成庶 [基于盲反卷积去噪的机车走行部齿轮箱故障诊断](#)[期刊论文]-[计算机测量与控制](#) 2014(06)
80. 孙雅因, 杨晓东 [模拟电路故障诊断方法综述](#)[期刊论文]-[电子质量](#) 2009(02)
81. 门义举 [GARMIN G1000排故专家系统开发](#)[学位论文]硕士 2009
82. 张作良 [基于小波变换和神经网络的电压型变频器故障诊断系统](#)[学位论文]硕士 2008
83. 李涵武 [汽车发动机电子控制系统故障诊断技术研究](#)[学位论文]硕士 2006
84. 马乐瑶 [校园网络故障客户端辅助诊断技术研究](#)[学位论文]硕士 2011
85. 付强 [基于多级信息融合的三轴精密测试转台故障诊断系统研究](#)[学位论文]博士 2006
86. 陈东用 [基于遗传规划的多级智能诊断模型研究](#)[学位论文]硕士 2006
87. 张还 [PLC控制网络的远程电气故障诊断](#)[学位论文]硕士 2005
88. 张金春, 曹彪, 张继军 [机载设备PHM适用性分析与系统框架设计](#)[期刊论文]-[四川兵工学报](#) 2014(10)



89. [荣莉莉, 鲁荣辉](#) [基于故障树的应急预案诊断方法研究](#)[期刊论文]-[情报学报](#) 2012(10)
90. [李亚琼](#) [电站化学水处理系统状态维修决策研究](#)[学位论文]硕士 2007
91. [陈一楠](#) [基于模糊理论的滚动轴承故障诊断的研究与应用](#)[学位论文]硕士 2007
92. [赵娟](#) [基于T-S模糊模型的故障诊断方法研究](#)[学位论文]硕士 2006
93. [文正其](#) [电力机车电气系统故障诊断专家系统研究与设计](#)[学位论文]硕士 2011
94. [白玲](#) [大气数据系统故障诊断专家系统研究](#)[学位论文]硕士 2008
95. [袁媛](#) [基于粗糙集的故障诊断专家系统](#)[学位论文]硕士 2005
96. [孔志高](#) [TJWX-2006型微机监测系统设计](#)[学位论文]硕士 2011
97. [安治永, 李应红, 苏长兵](#) [航空电子设备故障诊断技术研究综述](#)[期刊论文]-[电光与控制](#) 2006(03)
98. [张东斌](#) [基于VC的大型故障树分析软件研究](#)[学位论文]硕士 2005
99. [姚瑶](#) [基于可拓理论的机械设备故障诊断方法研究](#)[学位论文]硕士 2013
100. [樊彬彬](#) [基于专家知识的盾构故障诊断系统研制](#)[学位论文]硕士 2008
101. [谢芳芳](#) [基于支持向量机的故障诊断方法](#)[学位论文]硕士 2006
102. [杨亚伟](#) [基于KPCA法的定风量空调系统传感器故障诊断](#)[学位论文]硕士 2010
103. [马硕, 焦现炜, 田柯文, 吕世乐, 赵阳, 郑善军](#) [故障预测技术发展分类](#)[期刊论文]-[四川兵工学报](#) 2013(02)
104. [吴向群](#) [不确定推理在医学诊断预处理系统中的应用](#)[学位论文]硕士 2006
105. [彭强](#) [复杂系统远程智能故障诊断技术研究](#)[学位论文]博士 2004
106. [何向东](#) [铁路车站计算机联锁故障诊断专家系统研究](#)[学位论文]硕士 2008
107. [杜洁](#) [基于故障树技术的铁路信号设备故障诊断专家系统的实现方法研究](#)[学位论文]硕士 2009
108. [邓小方](#) [基于知识和经验的诊断系统](#)[学位论文]硕士 2005
109. [王冰泉](#) [信息融合技术在故障诊断系统中应用的研究](#)[学位论文]硕士 2005
110. [于长龙](#) [某型自动舵故障检测系统设计及实现](#)[学位论文]硕士 2009
111. [许弋慧](#) [空调机组故障诊断中多未知模态检测方法的研究](#)[学位论文]硕士 2013
112. [严子深](#) [基于误差流理论\(SOV\)的机械加工误差诊断系统研究](#)[学位论文]硕士 2005
113. [张亮](#) [采用量子进化算法学习的贝叶斯网络及其应用研究](#)[学位论文]硕士 2011
114. [郝爱国](#) [故障树定量计算算法研究及计算机实现](#)[学位论文]硕士 2005
115. [崔世蒙](#) [飞行器液压舵面作动机构故障诊断研究](#)[学位论文]硕士 2011
116. [刘永安](#) [智能故障诊断专家系统开发平台——数据融合算法](#)[学位论文]硕士 2007
117. [张书胜](#) [齿轮箱远程诊断系统的研究与实现](#)[学位论文]硕士 2005
118. [李克](#) [设备远程监测与故障诊断系统的研究与实现](#)[学位论文]硕士 2005
119. [刘宇](#) [远程监控技术的研究与应用](#)[学位论文]硕士 2006
120. [楼厦](#) [基于微粒群算法人工神经网络故障诊断的研究及应用](#)[学位论文]硕士 2006
121. [崔宝](#) [基于支持向量机燃气轮机启动系统故障诊断方法研究](#)[学位论文]硕士 2011
122. [陈兴龙](#) [煤气鼓风机组状态监测与智能诊断系统的研制](#)[学位论文]硕士 2008
123. [朱大奇, 刘永安](#) [故障诊断的信息融合方法](#)[期刊论文]-[控制与决策](#) 2007(12)
124. [刘伟](#) [深水半潜式钻井平台动力定位控制系统研究](#)[学位论文]硕士 2013
125. [金临一](#) [烧结异常诊断专家系统及其关键技术研究](#)[学位论文]硕士 2011
126. [杨庆飞](#) [灰库过程控制中的故障诊断与分析](#)[学位论文]硕士 2007

127. [王卫群](#) [汽车变速器故障诊断专家系统研究](#)[学位论文]硕士 2006
128. [王其军](#) [瓦斯监测系统故障智能诊断技术研究](#)[学位论文]博士 2007
129. [崔广亮](#) [氧化铝生产焙烧过程计算机监控系统的设计与开发](#)[学位论文]硕士 2007
130. [何富君, 刘小磊, 卢晓昭, 塔月月](#) [传感器的故障诊断技术研究](#)[期刊论文]-[科学技术与工程](#) 2010(26)
131. [王新](#) [交-交变频调速系统的新型控制方法及其故障诊断研究](#)[学位论文]博士 2005
132. [王进波](#) [基于Fuzzy理论的空调系统故障诊断及控制的研究](#)[学位论文]硕士 2005
133. [周津慧](#) [重大设备状态检测与寿命预测方法研究](#)[学位论文]博士 2006
134. [尹永浩](#) [基于网络的电站锅炉给水泵状态监测与故障诊断系统的开发](#)[学位论文]硕士 2005
135. [虞国全](#) [基于支持向量机的智能故障诊断技术研究](#)[学位论文]硕士 2007
136. [孙红春](#) [抽油杆缺陷检测及模式识别的研究](#)[学位论文]博士 2008
137. [颜秉勇](#) [非线性系统故障诊断若干方法及其应用研究](#)[学位论文]博士 2010
138. [陈明](#) [智能故障诊断方法的若干研究](#)[学位论文]硕士 2006
139. [孙秋野](#) [考虑不确定信息的配电系统分析及故障诊断方法研究](#)[学位论文]博士 2007

本文链接: [http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical\\_hdyjxyxb200203007.aspx](http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical_hdyjxyxb200203007.aspx)