

学校编码: 10384

分类号\_\_\_\_\_密级\_\_\_\_\_

学 号: 23220081153378

UDC\_\_\_\_\_

基于模糊理论的武器装备故障诊断方法研究

陈 虎

指导教师

王周敬 教授

厦门大学

厦 门 大 学

硕 士 学 位 论 文

基于模糊理论的武器装备  
故障诊断方法研究

A Study of Military hardware Fault Detection and Diagnosis

Based on Fuzzy Sets Theory

陈 虎

指导教师姓名: 王周敬 教授

专 业 名 称: 系 统 工 程

论文提交日期: 2011 年 5 月

论文答辩时间: 2011 年 月

学位授予日期: 2011 年 月

答辩委员会主席: \_\_\_\_\_

评 阅 人: \_\_\_\_\_

2011 年 5 月

## 厦门大学学位论文原创性声明

本人呈交的学位论文是本人在导师指导下,独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考其他个人或集体已经发表的研究成果,均在文中以适当方式明确标明,并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范(试行)》。

另外,该学位论文为( )课题(组)的研究成果,获得( )课题(组)经费或实验室的资助,在( )实验室完成。(请在以上括号内填写课题或课题组负责人或实验室名称,未有此项声明内容的,可以不作特别声明。)

声明人(签名):

年 月 日

## 厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文（包括纸质版和电子版），允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

1. 经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，  
于 年 月 日解密，解密后适用上述授权。

2. 不保密，适用上述授权。

（请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此声明栏不填写的，默认为公开学位论文，均适用上述授权。）

声明人（签名）：

年 月 日

## 摘 要

自有了工业生产以来就产生了设备故障诊断这一课题，但故障诊断技术作为一门学科是 20 世纪 60 年代以后为了适应工程实际需要而形成和发展起来的。原始的故障诊断由于设备的简单性和技术水平限制，维修人员主要依靠感官、经验和简单仪表来进行，随着传感器和计算机技术的发展，故障诊断技术涌现了各种方法，这些技术也广泛应用于国防工业和武器装备。但很多事物具有亦此亦彼的特征，也即具有模糊性，故障诊断领域同样如此。装备运转过程中，运行状况由无故障状态到故障状态是一个渐变过程，在此期间即非“完好”，也非“故障”。1965 年，美国学者 Zadeh 提出了模糊集理论，人们就开始用这种理论研究故障诊断。以模糊集表示模糊语言能够准确描述具有模糊特征的征兆和故障，更符合事物的客观实质。因此，研究模糊理论在武器装备的故障诊断具有十分重要的现实意义。

本文对武器装备智能故障诊断领域进行了一些探讨和研究，主要工作如下：

1. 分析了故障诊断技术的发展和现状，研究了现代大型复杂的武器装备系统及其故障的特点。
2. 探讨了武器装备的各种故障诊断方法，按照权威分类，将故障诊断技术分为基于数学模型、基于信号处理和基于人工智能的三大故障诊断方法，并重点阐述了智能故障诊断的主要方法。
3. 对基本的模糊理论进行了概述，研究了基于模糊关系矩阵和基于模糊规则的故障诊断方法，并用实例应用验证了方法可行。其中，针对复杂武器装备系统多征兆多故障的特征，将基于模糊关系矩阵的故障诊断方法和基于模糊规则的故障诊断方法相结合使用，首先过滤极小可能性的故障原因，再利用模糊规则推理得出最终诊断结果，然后用实例来阐明该诊断方法的有效性。
4. 研究了模糊理论在某自行火炮系统炮闩部件故障诊断中的应用，建立了模糊诊断模型和过程，并用实际数据进行了验证。

**关键词：**武器装备；故障诊断；模糊理论；模糊关系矩阵；模糊规则

## ABSTRACT

Since the industrial production appears, there emerges the topic of equipment fault diagnosis, and the fault diagnosis technology forms and develops since 1960s in order to adapt to the engineering practical needs. For the simplicity of the equipment and the equipment technical level limit, the maintenance personnel mainly rely on the senses, experience and the simple instrument for fault diagnosis. As the development of sensors and the computer technology, fault diagnosis technology has emerged various approaches, which is also widely used in national defense industry and military hardware. But many things exist the characteristics of fuzzy, which is the same as in fault diagnosis field. In the process of equipment operation, trouble-free state to fault state is a gradual process, during which neither "intact" nor "fault". Zadeh proposes fuzzy theory in 1965, which is used to research the fault diagnosis. The fuzzy language is expressed with fuzzy set, which is more accuracy to describe the fuzzy characteristics of signs and fault, and more suitable to express the objective essence of things. Therefore, it is a great meaning to research the application of fuzzy theory on the fault diagnosis of military hardware.

This article mainly investigates fault diagnosis field of military hardware, the main jobs are list as follows:

1. We analyze the current situation of the fault diagnosis technique, and study the modern large-scale complex system of military hardware and its fault features.
2. Various fault diagnosis methods of military hardware are discussed, the fault diagnosis technique can be divided into three fault diagnosis methods according to the authoritative classification: mathematical model, signal processing, artificial intelligence. Besides, the method of intelligent fault diagnosis is mainly expounded.
3. The basic fuzzy theory is summarized, and fault diagnosis methods based on fuzzy relation matrix and fuzzy rules are researched. An illustrative numerical example is proposed to verify the feasibility of this approach. Aiming at the characteristic of multi-signs and multi-fault on complex weapons systems, we combine the two fault diagnosis methods based on the fuzzy relation matrix and fuzzy rules, respectively. Firstly, filtering tiny possibility of fault; then, the final diagnosis is obtained utilizing the fuzzy rule reasoning; finally, an example is presented to illustrated the effectiveness of the diagnosis method.

4. The applications of fuzzy theory on fault diagnosis of self-propelled guns cannon bars components are studied, and the models of fuzzy diagnosis are established. Finally, the actual data is furnished to demonstrate the method.

**Keywords:** Military hardware, Fault diagnosis, Fuzzy theory, Fuzzy relation matrix, Fuzzy rules

厦门大学博硕士学位论文摘要库

# 目 录

<b>第一章 绪论</b> .....	1
1.1 引言 .....	1
1.2 故障诊断.....	1
1.2.1 故障诊断的由来与发展历史 .....	2
1.2.2 智能故障诊断技术的发展现状 .....	2
1.3 论文研究的主要内容和结构 .....	3
<b>第二章 装备故障诊断基础知识</b> .....	5
2.1 故障诊断的一般概念 .....	5
2.2 大型复杂武器装备系统故障的特点 .....	7
2.3 故障诊断基本方法 .....	8
2.3.1 基于数学模型的方法 .....	8
2.3.2 基于信号处理的方法 .....	9
2.3.3 基于人工智能的方法 .....	10
2.4 本章小节 .....	12
<b>第三章 模糊数学的理论知识</b> .....	14
3.1 模糊理论的背景 .....	14
3.2 模糊集合的基本概念 .....	15
3.3 推广模糊集的相关知识 .....	17
3.3.1 区间值模糊集 .....	17
3.3.2 三角模糊数 .....	18
3.4 模糊关系与模糊矩阵 .....	19
3.5 隶属度函数的确定 .....	20
3.5.1 建立隶属度函数的方法 .....	21
3.5.2 常用的隶属度函数 .....	22

3.6 本章小节 .....	24
<b>第四章 模糊理论在装备故障诊断中的应用 .....</b>	<b>25</b>
4.1 基于模糊关系的故障诊断方法 .....	25
4.1.1 诊断推理过程 .....	25
4.1.2 模糊关系矩阵 .....	26
4.1.3 模糊关系诊断模型 .....	27
4.1.4 诊断结果的确定原则 .....	29
4.1.5 算例分析 .....	30
4.2 基于模糊规则的故障诊断方法 .....	32
4.2.1 事实性知识的模糊描述 .....	32
4.2.2 模糊规则 .....	33
4.2.3 模糊推理 .....	33
4.2.4 模糊规则推理与模糊关系矩阵诊断的结合 .....	35
4.2.5 算例分析 .....	36
4.3 模糊理论在火炮武器系统炮门部件故障诊断中的应用 .....	38
4.3.1 诊断对象研究 .....	38
4.3.2 模糊诊断过程 .....	41
4.4 本章小结 .....	44
<b>第五章 全文总结和研究展望 .....</b>	<b>45</b>
5.1 工作总结 .....	45
5.2 研究展望 .....	46
参考文献 .....	47
攻读硕士学位期间发表的论文 .....	51
致 谢 .....	52



## CONTENTS

<b>CHAPTER 1 INTRODUCTION</b> .....	<b>1</b>
<b>1.1 Significance of Reseach</b> .....	<b>1</b>
<b>1.2 Fault Detection and Diagnosis</b> .....	<b>1</b>
1.2.1 Origin and Development of Fault Diagnosis .....	2
1.2.2 Current Situation of Intelligence Fault Diagnosis .....	2
<b>1.3 Structure and Layout</b> .....	<b>3</b>
<b>CHAPTER 2 BASIC OF MILITARY HARDWARE FAULT DIAGNOSIS</b> .....	<b>5</b>
<b>2.1 Definition on Fault Diagnosis</b> .....	<b>5</b>
<b>2.2 Features of Large-scale Complex System of Military Hardware</b> .....	<b>7</b>
<b>2.3 Fault Diagnosis Methods</b> .....	<b>8</b>
2.3.1 Method of FD Based on Mathematical Model .....	8
2.3.2 Method of FD Based on Signal Processing .....	9
2.3.3 Method of FD Based on Artificial Intelligence .....	10
<b>2.4 Summary</b> .....	<b>12</b>
<b>CHAPTER 3 FUZZY SETS THEORY</b> .....	<b>14</b>
<b>3.1 Origin and Development of Fuzzy Sets</b> .....	<b>14</b>
<b>3.2 Concept of Fuzzy Sets</b> .....	<b>15</b>
<b>3.3 Generalized Fuzzy Sets</b> .....	<b>17</b>
3.3.1 Interval-valued Fuzzy Set .....	17
3.3.2 Triangular Fuzzy Numbers .....	18
<b>3.4 Fuzzy Relation and Fuzzy Matrix</b> .....	<b>19</b>
<b>3.5 Confirm the Membership Function</b> .....	<b>20</b>
3.3.1 Establish the Method of Membership Function.....	21

3.5.2 Normal Membership Function.....	22
<b>3.6 Summary .....</b>	<b>24</b>
<b>CHAPTER 4 THE APPLICATIONS OF MILITARY HARDWARE</b>	
<b>FAULT DIAGNOSIS BASED ON FUZZY SETS THEORY .....</b>	<b>25</b>
<b>4.1 Method of FD Based on Fuzzy Relation.....</b>	<b>25</b>
4.1.1 Diagnosis Inference Process .....	25
4.1.2 Fuzzy Relation Matrix .....	26
4.1.3 Model of Fault Diagnosis Based on Fuzzy Relation .....	27
4.1.4 Principle of Assure Diagnosis results .....	29
4.1.5 Example and Analysis.....	30
<b>4.2 Method of FD Based on Fuzzy Rules.....</b>	<b>32</b>
4.2.1 Factual Knowledge Description.....	32
4.2.2 Fuzzy Rules .....	33
4.2.3 Fuzzy Inference .....	33
4.2.4 Combination Fuzzy Relation with Fuzzy Rules .....	35
4.2.5 Example and Analysis.....	36
<b>4.3 The Applications of Fuzzy Theory on fault Diagnosis of Self-propelled Guns</b>	
<b>Cannon Bars Components.....</b>	<b>38</b>
4.3.1 Study of Diagnosis Object .....	38
4.3.2 Process of Fuzzy Diagnosis .....	41
<b>4.4 Summary .....</b>	<b>44</b>
<b>CHAPTER 5 CONCLUSION AND PROSPECTS .....</b>	<b>45</b>
<b>5.1 Conclusion of Paper .....</b>	<b>45</b>
<b>5.2 Further Reseach .....</b>	<b>46</b>
<b>REFERENCE .....</b>	<b>47</b>
<b>LIST OF THE PUBLISHED(PUBLISHING) PAPERS .....</b>	<b>51</b>
<b>ACKNOWLEDGEMENT.....</b>	<b>52</b>

厦门大学博硕士学位论文摘要库

## 第一章 绪论

### 1.1 引言

以高技术为先导的科学技术的发展，促使武器装备不断向着大型化、高速化、自动化和高精度的方向发展，其结构越来越复杂，规模越来越庞大，功能越来越多，性能指标也越来越高<sup>[8]</sup>。现代大型武器装备集机械、液压、电子、计算机、自动控制等技术于一体，机械、电路和液压一体化系统是其重要组成部分，由程控计算机和指令系统控制武器系统的各项操作。

如今，武器的更新换代和集成自动化满足了现代战争对武器装备的特殊需求，但同时装备使用维护和故障诊断也提出了更高的要求<sup>[9]</sup>。上世纪末的几场局部战争也充分表明，要想打赢未来高技术战争，不仅要使武器装备具有高的战技术性能，而且必须保障武器装备保持良好战技术性能，在遇故障时能快速准确的诊断和排除。

装备智能故障诊断的意义在于：

**（一）高效确保装备完好率。**及早快速发现实装训练和实际作战中武器装备的潜在故障，做出准确无误的判断并将其及时排除，防患于未然，确保武器系统的生存能力和可靠性。

**（二）提高装备保障能力。**传统的故障诊断方法主要依赖于修理人员的经验，因人员和知识的有限性，常无法及时发现并排除故障，影响训练和作战使用；同时智能诊断技术可用来训练维修保障人员，提高整体的修理技能和保障能力。

**（三）节约经费开支。**大型武器装备造价高，返回原厂修理费用十分高，智能诊断方法将大大提高部队自行故障诊断的能力，又可避免维修错误操作对实装的损害，从而降低了诊断成本，节省了经费开支<sup>[9]</sup>。

### 1.2 故障诊断

### 1.2.1 故障诊断的由来与发展历史<sup>[7][8]</sup>

故障诊断(Fault Detection and Diagnosis,FDD)始于机械设备的故障诊断,其全名为状态监测与故障诊断。在工程技术领域中,对机械设备的运行状态进行诊断的技术至今已有很长的历史,可以说几乎与机器的发明同时产生的<sup>[7]</sup>。综观其发展的历史过程,可以将它划分为4个阶段:

(1) **原始诊断阶段(19世纪末20世纪初):**这是故障诊断技术的产生阶段。诊断结果在很大程度上取决于领域专家的感官和专业经验,对诊断信息只作简单的数据处理。

(2) **基于材料寿命分析与估计的诊断阶段(20世纪初至60年代):**由于可靠性理论的产生和应用,使得人们能够依靠事先对材料寿命的分析与估计以及对设备材料性能的部分检测来完成诊断任务。

(3) **基于传感器与计算机技术的诊断阶段(20世纪60年代中期):**传感器技术的发展,使得对各种诊断信号和数据的测量变得容易,而计算机的使用弥补了人类在数据处理上的低效率。因此以传感器技术和动态测试技术为手段,以信号处理和建模处理为基础的现代诊断技术在工程中已得到广泛的应用。

(4) **智能化诊断阶段:**随着计算机技术的发展以及智能技术的应用,诊断技术已经进入一个新的阶段,既智能化诊断阶段。基于知识的方法无需系统的定量数学模型,可以充分利用专家诊断知识和诊断对象的信息,特别适用于非线性系统和复杂大型系统。

### 1.2.2 智能故障诊断技术的发展现状

智能故障诊断是人工智能在故障诊断领域的应用,是基于领域专家经验知识的设备故障诊断技术。与传统的故障诊断技术相比,智能故障诊断的优越性在于:综合了多个专家的最佳经验,功能水平可以达到甚至超过专家的水平,并可实现人机联合诊断,能够对多故障、多过程和突发性故障进行快速分析诊断。

智能故障诊断的发展历史虽然短暂,但在电路与数字电子设备、机电设备、军事设备等方面,已经取得了令人瞩目的成就。

在电路和数字电子设备方面，麻省理工大学研制了用于模拟电路操作并演绎出故障可能原因的电路系统；美国宇航局研究中心研制了飞行器故障诊断专家系统；美国海军人工智能中心开发了用于诊断电子设备故障的州 ATE 系统；波音航空公司研制了诊断微波模拟接口的系统；意大利米兰工业大学研制了用于汽车启动器电路故障诊断的系统。

在机电设备方面，日本日立公司研究的用于核反应堆的故障诊断系统；法国 CGE 研究中心研制的旋转机械故障诊断专家系统；美国通用电气公司研制的用于内燃电气机车故障诊断的专家系统；哈尔滨工业大学和上海发电设备成套设计研究所联合研制了汽轮发电机组故障诊断专家系统 MMMD-2；清华大学研制的用于锅炉设备故障诊断的专家系统。

在军事设备方面，智能故障诊断技术应用较多的领域是导弹武器系统，比较有代表性的是美国佛罗里达空军基地研制开发的系统 EMMA 和美国马里兰大学计算机系研制开发的系统 AMM<sup>[6]</sup>。

### 1.3 论文研究的主要内容和结构

本学位论文一共包括五章，各章的主要内容和结构安排如下：

#### (1) 第一章 绪论

本章分析了武器装备故障诊断的意义，阐述了故障诊断技术的发展阶段和智能故障诊断技术的研究现状，然后介绍了本论文的主要研究工作以及内容的组织结构和章节安排。

#### (2) 第二章 装备智能故障诊断基础知识

本章介绍了武器装备故障诊断的一般概念，重点分析了大型武器装备系统的故障特点，并对故障诊断的各种方法进行了介绍。

#### (3) 第三章 模糊数学的理论知识

本章本论文的基础部分，阐述了模糊理论中模糊数、区间模糊数和三角模糊

数的基本知识以及建立隶属度函数的方法，重点介绍了模糊关系和模糊矩阵。

(4) 第四章 模糊理论在装备故障诊断的应用

本章对基于模糊关系矩阵的诊断方法和基于模糊规则的诊断方法进行了研究，分析两种方法的优缺点。为解决多征兆多故障诊断的“虚假”原因的问题，也介绍了两种方法合并的一种新方法，并用实例验证了方法可行性。最后，研究了模糊理论在某自行火炮炮闩部件故障诊断中的应用，建立和阐述了具体的模糊诊断模型和过程，并在实际诊断中进行应用。

(5) 第五章 全文总结和研究展望

本章总结全文的主要工作以及展望以后的研究工作。

## 第二章 装备故障诊断基础知识<sup>[5]</sup>

### 2.1 故障诊断的一般概念

为了进行诊断问题的研究，首要问题是对诊断对象的认识。虽然实际诊断对象总是千差万别的，但从系统论的角度来看又有许多本质的共性。

**定义 2.1** 元素是指构成复杂装备的最基本的、具有相对独立功能的结构。

**定义 2.2** 联系是指装备元素之间的关系。

复杂武器装备作为一个系统，是由有限的、完成特定功能的零部件按一定的方式和要素聚合而成，零部件是构成装备的元素。

关于“系统”一词，有着各种不同的定义，但不论哪一种定义都有“相互作用的若干元素的整体”之意。这里我们仍用以下定义。

**定义 2.3** 系统是由若干个相互关联、相互制约的元素组成的具有某种特定功能的整体。

**定义 2.4** 武器装备系统的层次性是指装备系统到元素之间的纵向可分解性。

较低层的元素可以聚合成较大的高层元素，以此类推，直至最高层元素，也就是原级系统。一般来说，一个复杂装备系统可以分解为系统级、子系统级、……、部件级和元件级等多个层次。图 2-1 是某型导弹系统的部分层次分解示意图，系统级是实现它总体设计功能；系统级在结构上可分解为战斗部、控制系统、弹体和发动机系统等子系统；控制子系统由惯性测量组合、弹上二次电源和弹载计算机等组成。

正确从结构或功能上分解诊断对象，可以准确描述智能诊断系统中的静态知识，同时为领域知识库的分层、分块管理提供基础。



Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to [etd@xmu.edu.cn](mailto:etd@xmu.edu.cn) for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库