

1 绪 论

随着现代工业及科学技术的迅速发展，特别是计算机技术的发展，现代设备的结构越来越复杂，自动化系统的规模越来越大。一个大型的设备系统往往由大量的工作部件组成，不同的部件之间互相关联，紧密耦合。这一方面提高了系统的自动化水平，为生产带来了可观的经济效益，另一方面，由于影响系统运行的因素骤增，使其产生故障或失效的潜在可能性越来越大。一个部件的故障常常会引起链式反应，导致整个系统甚至整个生产过程不能正常运行乃至瘫痪。

例如，1984 年 12 月位于印度博帕尔市的美国碳化物公司农药厂发生毒气泄漏事件，造成 2000 多人死亡，20 多万人受害，成为世界工业史上最大的恶性事故；1986 年 1 月 28 日，美国挑战者号航天飞机由于固体燃料助推火箭密封泄漏而引起燃料箱爆炸，7 名宇航员全部遇难，总计损失达 12 亿美元；1986 年 4 月 27 日，前苏联切尔诺贝利核电站因四号发动机剧烈振动，致使反应堆厂房的结构遭到破坏，引起反应堆放射性物质泄漏，2000 余人死亡，几万居民撤离，损失达 30 亿美元，并且还污染了周边的一些国家；1988 年，我国某厂 20 万 kW 发电机组在运转中突然严重损坏，造成了巨大的经济损失等。

这些灾难性的事件无时无刻不在提醒人们，现代设备系统运行的安全性和可靠性已成为人类必须解决的刻不容缓的问题。近几十年来，故障诊断技术日益受到各国政府和科研人员的高度重视，得到了迅速发展，并在汽车发动机、机床、机器人、核反应堆、造纸机、导航系统、水轮机、感应电动机、工程液压机、飞机、船舶等各个领域取得了大量的应用成果。

1.1 设备故障诊断技术的发展历史

设备故障诊断技术起源于 19 世纪产业革命时期。综观其发展的历史过程, 可以将它按以下四个阶段划分。

1.1.1 原始诊断阶段

19 世纪末至 20 世纪初 这是故障诊断技术产生阶段 个体专家依靠感官获取设备的状态信息, 并凭借其经验作出直接判断。由于这种方法的简便性, 在一些简单设备的故障诊断中显得经济实用。

1.1.2 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。

1.1.3 基于传感器与计算机技术的诊断阶段

这也是目前所处的比较成熟的发展阶段。开始于 20 世纪 60 年代中期 由于传感器技术的发展 使得对各种诊断信号和数据的测量变得容易 计算机的使用 弥补了人类在数据处理上的低效率和不足。这种建立在信号测试基础上的诊断技术, 目前广泛应用于军备、钢铁、船舶、核设备等许多领域。

1.1.4 智能化诊断阶段

它是目前刚刚发展起来且远未达到完善的阶段。人工智能技术的发展 特别是专家系统在故障诊断领域中的应用 为设备故障诊断的智能化提供了可能性, 也使诊断技术进入了新的发展阶段。原来以数值计算和信号处理为核心的诊断过程被以知识处理和知识推理为核心的诊断过程所代替。目前已有了一些较成功的系统。故障智能诊断是当前诊断技术的发展方向 为此 人们对基于知识的诊断技术和诊断系统进行了深入的研究。

就世界范围来看, 美国是最早研究故障诊断技术的国家。早在 1967 年, 在美国宇航局和海军研究所的倡导和组织下, 成立了美国机械故障预防小组 (MFPG), 开始有计划地对故障诊断技术

分专题进行研究。30多年来已召开数十次学术交流大会。在此期间,很多学术机构、政府部门以及高等院校和企业公司都参与或进行了与本企业有关的故障诊断技术研究,并取得了大量的成果。目前美国的故障诊断技术在航空航天、军事、核能等尖端技术领域仍处于领先地位。

英国对设备故障诊断技术的研究始于20世纪60年代末、70年代初以R. A. Collacott博士为首的英国机器保健中心,在宣传、培训、咨询及诊断技术的开发方面做了大量的工作,并取得了很好的效果。目前,英国在摩擦磨损、汽车、飞机发动机监测和诊断方面具有领先优势。

日本的诊断技术研究始于20世纪70年代中期,1971年新日铁以丰田利夫教授为首率先开展对故障诊断技术的研究,到1976年已达到实用的阶段。尽管日本的起步较晚,但发展很快,其作法是密切注视世界各国的发展动向,特别注意研究美国故障诊断技术的发展,积极引进消化最新技术。目前,日本在钢铁、化工、铁路等民用工业的诊断技术处于领先地位。

故障诊断技术的研究在我国起步较晚,在20世纪70年代末期开始。广泛的研究则从20世纪80年代开始发展起来,随后在各领域分别确定了设备诊断的目标、方向和试点单位。特别指出,尽管我国设备诊断技术的研究起步较晚,但发展还是比较快的。目前,故障诊断技术在我国化工、冶金、电力、铁路等行业得到了广泛的应用,取得了可喜的成果。在基于知识的设备故障诊断技术的研究方面也取得了长足的进展。

应当看到,诊断技术发展的历史并不长,诊断理论的诸多问题还未得到解决,特别是基于人工智能技术的故障智能诊断理论,远未达到成熟阶段,尚有许多问题有待于研究。

1.2 故障诊断的方法综述

故障诊断是一门综合性技术,它涉及现代控制论、信号处理与模式识别、计算机科学、人工智能、电子技术、统计数学等学科。现

代故障诊断技术已有 30 多年的发展历史，但作为一门综合性的新学科——故障诊断学——还是近些年发展起来的。从不同的角度出发有多种故障诊断分类方法，这些方法各有特点。概括地讲，故障诊断方法可以分成两大类：基于数学模型的故障诊断方法和基于人工智能的故障诊断方法。每类又包含若干具体的诊断方法，如图 1-1 所示。

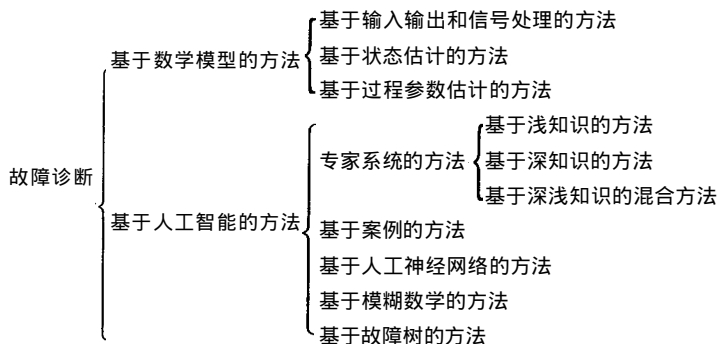


图 1-1 故障诊断方法分类示意图

1.2.1 基于数学模型的故障诊断方法

1.2.1.1 基于直接测量系统输入输出及信号处理的方法

该诊断方法是直接测量被诊断对象有关的输出量，如果输出超出正常变化范围，则可以认为对象已经或将要发生故障。这种方法简单，但容易出现故障的误判和漏判。另一种较为可行的方法是用一定的数学手段描述输出在幅值、相位、频率及相关性上与故障源之间的联系，通过分析及处理这些量，来判断故障的位置。常用的方法有谱分析法、概率密度法、相关分析法等。

1.2.1.2 基于状态估计的方法

被诊断过程的状态直接反映系统的运行状态，通过估计出系统的状态并结合适当模型则可进行故障诊断。首先重构被诊断过程的状态，并构成残差序列，残差序列中包含各种故障信息。基于这个序列，通过构造适当的模型并采用统计检验法，才能把故障从中检测出来并做进一步的分离、估计和决策。状态估计的方法通

常是状态观测器及滤波器。

采用状态估计方法的前提条件是：

- (1) 过程数学模型知识 结构及参数；
- (2) 噪声的统计特性；
- (3) 系统可观测或部分可观测；
- (4) 方程解析应有一定精度；
- (5) 在许多场合下将模型线性化并假设干扰为白噪声。

1.2.1.3 基于过程参数估计的方法

基于过程参数估计的诊断方法与基于状态估计的诊断方法不同 它不需要计算残差序列 而是根据参数变化的统计特性来检测故障的发生 而后进行故障分离、估计和分类。由于可以建立故障与过程参数的精确联系，因此这种方法比基于状态估计的方法更有利于故障的分离。最小二乘法简单实用，是参数估计的首选方法。

采用参数估计方法的前提条件是：

- (1) 需要建立精确的数学模型；
- (2) 需要有效的参数估计方法；
- (3) 被控过程的充分激励；
- (4) 选择适当的过程参数；
- (5) 必要的统计决策方法。

基于数学模型的故障诊断方法，其优点是能深入系统本质的动态性质和实现实时诊断 缺点是当系统模型未知、不确定或具有非线性时，这种方法不易实现。

1.2.2 基于人工智能的故障诊断方法

1.2.2.1 基于专家系统的方法

基于专家系统的诊断方法是故障诊断领域中最为人瞩目的发展方向之一 也是研究最多、应用最广的一类智能诊断技术。它大致经历了两个发展阶段 基于浅知识 领域专家的经验知识 的故障诊断系统和基于深知识 诊断对象的模型知识 的故障诊断系统。

A 基于浅知识的诊断方法

浅知识是指领域专家的经验知识。基于浅知识的故障诊断系统通过演绎推理或产生式推理来获取诊断结果，其目的是寻找一个故障集合使之能对一个给定的征兆（包括存在的和缺席的）集合产生的原因做出最佳解释。基于浅知识的故障诊断方法具有知识表达直观、形式统一、模块性强、推理速度快等优点，但也具有较大的局限性，如知识集不完备，对没有考虑到的问题系统容易陷入困境；对诊断结果的解释能力弱等。

B 基于深知识的诊断方法

深知识则是指诊断对象的结构、性能和功能的知识。基于深知识的故障诊断系统要求诊断对象的每一个环节具有明确的输入输出表达关系，诊断时首先通过诊断对象实际输出与期望输出之间的不一致，生成引起这种不一致的原因集合，然后根据诊断对象领域中的第一定律知识（具有明确科学依据的知识）及其他内部特定的约束关系，采用一定的算法，找出可能的故障源。这种方法具有知识获取方便、维护简单、完备性强等优点，但搜索空间大、推理速度慢。近年来发展了基于经验知识和模型知识相结合的故障诊断方法。

C 基于浅知识和深知识的混合诊断方法

对于复杂设备系统而言，无论单独使用浅知识还是深知识，都难以很好地完成诊断任务，只有将两者有机地结合起来，才能使诊断系统的性能得到优化。因此，为了使故障智能诊断系统具备与人类专家能力相近的知识，研制者在建造智能诊断系统时，越来越强调不仅要重视领域专家的经验知识，更要注重诊断对象的结构、功能、原理等知识，研究的重点是浅知识与深知识的集成表示方法和使用方法。事实上，一个高水平的领域专家在进行诊断问题求解时，总是将他具有的深知识和浅知识结合起来，完成诊断任务。一般优先使用浅知识，找到诊断问题的解或者是近似解，必要时用深知识获得诊断问题的精确解。

近年来发展的基于浅知识和深知识相结合的诊断推理方法

有 Gallanti 和 Fink 提出的集成诊断模型 ,Peng 的层次因果模型等。

1.2.2.2 基于案例的诊断方法

基于案例的推理方法能通过修订相似问题的成功结果来求解新问题。它通过将获取新知识作为案例来进行学习,不需要详细地诊断对象模型。在这种推理方法中,主要的技术包括:案例表达和索引、案例的检索、案例的修订、从失败中学习等。基于案例的诊断方法的原理是,对于所诊断的对象,根据其特征从案例库中检索出与该对象的诊断问题最相似匹配的案例,然后对该案例的诊断结果进行修订作为该对象的诊断结果。

基于案例的诊断方法适用于领域定理难以表示成规则形式,而易表示成案例形式并且已经积累了丰富的案例的领域(如医学诊断等)。它的局限性是:传统的基于案例的诊断方法难以表示案例之间的联系;对于大型案例库进行检索非常费时,并且难以决定应选择哪些症状及它们的权重;基于案例的诊断方法难以处理案例修订时的一致性检索(特征变量间的约束关系),难以对诊断结果加以解释。

1.2.2.3 基于人工神经网络的方法

近年来神经网络以其独特的容错、联想、推测、记忆、自适应、自学习和处理复杂多模式等优点,在许多学科中掀起了研究的热潮。同样在故障诊断领域,其发展前景也是十分乐观的。

在知识获取上,神经网络的知识不需要由知识工程师进行整理、总结以及消化领域专家的知识,只需要用领域专家解决问题的实例或范例来训练神经网络;在知识表示方面,神经网络采取隐式表示,在知识获取的同时,自动产生的知识由网络的结构和权值表示,并将某一问题的若干知识表示在同一网络中,通用性强,便于实现知识的自动获取和并行联想推理。在知识推理方面,神经网络通过神经元之间的相互作用来实现推理。目前在许多领域的故障诊断系统中已开始应用 如在化工设备、核反应堆、汽轮机、旋转机械和电动机等领域都取得了较好的效果。由于神经网络从故障

事例中学到的知识只是一些分布权重，而不是类似领域专家逻辑思维的产生式规则，因此诊断推理过程不能够解释，缺乏透明度。

1.2.2.4 基于模糊数学的方法

许多被诊断对象的故障状态是模糊的，诊断这类故障的一个有效的方法是应用模糊数学的理论。

基于模糊数学的诊断方法不需要建立精确的数学模型，适当地运用隶属函数和模糊规则，进行模糊推理就可以实现模糊诊断的智能化。但是，对于复杂的诊断系统，要建立正确的模糊规则和隶属函数是非常困难的，而且需要花费很长的时间。对于更大的模糊规则和隶属函数集合而言，难以找出规则与规则之间的关系，也就是说规则有“组合爆炸”现象发生。另外由于系统的复杂性、耦合性，由时域、频域特征空间至故障模式特征空间的映射关系往往存在着较强的非线性，这时隶属函数形状不规则，只能利用规范的隶属函数形状来加以处理，如用三角形、梯形或直线等规则形状来组合予以近似代替，从而使得非线性系统的诊断结果不够理想。

1.2.2.5 基于故障树的方法

故障树方法是由计算机依据故障与原因的先验知识和故障率知识自动辅助生成故障树，并自动生成故障树的搜索过程。诊断过程从系统的某一故障开始，沿着故障树不断提问“为什么出现这种现象？”而逐级构成一个递阶故障树，通过对此故障树的启发式搜索，最终查出故障的根本原因。在提问过程中，有效合理地使用系统的实时动态数据将有助于诊断过程的进行。

基于故障树的诊断方法类似于人类的思维方式，易于理解，在实际中应用较多，但大多与其他方法结合使用。

1.3 故障智能诊断系统发展的现状

1.3.1 故障智能诊断系统的发展现状

故障智能系统的发展历史虽然短暂，但在电路与数字电子设备、机电设备、军事设备等方面已取得了令人瞩目的成就。

在电路和数字电子设备方面 MIT研制了用于模拟电路操作

并演绎出故障可能原因的 EL 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 IN-ATE 系统；波音航空公司研制了诊断微波模拟接口 MSI 的 IMA 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。

由于机电设备在整个生产领域中占有极其重要的地位，所以有关机电设备的故障智能诊断问题一直受到研究人员的关注，出现的智能诊断系统也比较多。如日本日立公司研究了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 DIVA；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 CATS-1；华中理工大学研制的用于汽轮机组工况监测和故障诊断的智能系统 DEST；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的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 等等。

在军事设备方面，故障智能诊断技术应用较多的领域是导弹武器系统，较有代表的系统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。EMMA 并不是独立的诊断系统，而是将人工智能技术用于改进现有导弹自动测试设备（ATE）的专家系统。它可以自动接收测试设备的数据，用测试结果作为专家系统的推理基础，完成故障隔离。EMMA 分别用于导弹系统麻雀 III BAIM-7 和 GBU-15 的战地级维护。AMM 是为美国海军地面武器中心开发的用于导弹维护的专家系统，它由一个知识库和一个控制结构组成。知识库按递阶方式(hierarchically 组织，包括测试、文本和图表。控制结构在知识测试过程中为技术人员提供指导，并推荐下一步应进行的测试。

1.3.2 现有故障智能诊断系统存在的问题

与传统的故障诊断方法相比，故障智能诊断方法具有以下优点：

(1) 能够模拟人脑的逻辑思维过程，可解决需要进行复杂推理的复杂诊断问题。

(2)可以储存和推广领域专家宝贵的经验和知识,更有效地发挥各种专门人才的作用,使一般的维修人员也能掌握复杂设备的故障诊断知识。

(3)故障智能诊断系统在某些方面比人类专家更可靠,更灵活,可以在任何时候、任何条件下提供高质量服务,不受外界干扰。

(4)故障智能诊断系统具有人机合作完成诊断任务的功能,它可以在诊断过程中实现人机交互,通过人的参与使得诊断的结果更加准确。

(5)故障智能诊断系统便于用户对知识库的修改和完善。先进的故障智能诊断系统还具有学习的功能,能够在诊断过程中自动完善知识库,提高系统的诊断能力。

在 20 世纪 80 年代,故障智能诊断系统被认为是诊断技术的重要发展方向,这是因为,一方面故障智能诊断具有以上这些传统诊断方法无可比拟的优点,另一方面,复杂设备的故障诊断在很大程度上需要依赖专家的经验知识。因此国内外专家学者陆续开发了一大批基于知识的故障诊断系统,各种诊断方法和技术也在诊断系统中得到了应用。但是,从已取得的研究成果来看,目前的故障智能诊断系统还存在许多尚需进一步解决的问题。下面从诊断知识的角度给予分析。

1.3.2.1 知识库庞大

传统的故障智能诊断系统大都采用产生式规则来表达专家的经验知识。为了使诊断系统达到高效、实用的目标,必然需要大量的专家经验知识,以防知识库不完备时效率急剧下降,这样做的结果致使系统的知识库非常庞大。在一些系统中虽然采用了元知识控制等推理控制策略,但组合爆炸的问题仍然不可避免。为此,有些诊断系统将领域级知识和专家经验知识分层分块,便于知识的管理和诊断效率的提高。

1.3.2.2 解决问题能力的局限性

由于受系统中知识的限制,大多数诊断系统只能解决狭窄的

专家知识领域以内的问题，而对其他领域的知识一无所知。一旦出现的问题超出诊断系统知识领域的边界，系统的工作性能就会急剧恶化，而系统本身并不能判断什么时候或什么情况下遇到了超过系统能力的问题。

1.3.2.3 深浅知识结合能力差

近来国外专家在对诊断与维修领域的专家系统研究中 越来越多地强调使用深知识。如 Davis关于电器设备故障诊断用结构与原理的方法研究 ,Chandrasekara 等人研究的从医疗诊断领域中的深层知识进行编译诊断知识等。然而他们在如何将领域问题的基本原理与专家经验知识结合得更好方面所做的工作还很少，使得这些系统不能具备与人类专家能力相似的知识或能力，影响了系统发挥更大的效能。

1.3.2.4 自动获取知识能力差

知识获取长期以来一直是专家系统研制中的‘瓶颈’问题 对于故障智能诊断系统来说也是如此。目前多数的诊断系统在自动获取知识方面表现的能力还比较差，限制了系统性能的自我完善、发展和提高。虽然一些系统或多或少地加入了机器学习的功能，但基本上不能在运行的过程中发现和创造知识，系统的诊断能力往往仅局限于知识库中原有的知识。目前一些研究人员已开始将人工神经网络技术应用于各类诊断系统，以提高系统的学习能力。

1.3.2.5 容错能力差

故障智能诊断系统的知识大都是集中存放于知识库，在结构上是将知识库与推理机分开的，它们在知识表示上基本上是采用局部表达方式。所以现有的诊断系统虽然具有一定的冗余容错能力，但仍然达不到令人满意的程度。一些研究者已开始利用面向对象技术来解决这一问题。

1.3.2.6 对不确定性知识的处理能力差

诊断系统中往往存在大量的不确定性信息，这些信息或是随机的 或是模糊的 或是不完全的。如何对不确定性知识进行表达和处理，始终是诊断领域研究的热点问题。虽然有很多不确定性

理论在实际的故障诊断专家系统中得到了较好的应用，但是这一问题仍未得到十分有效的解决，在有效、合理、使用的不确定性知识处理方面存在着巨大的研究潜力。

总之，故障智能诊断系统无论在理论上还是在系统开发方面都已取得了很大的进步，但真正投入使用并且功能完善的系统并不多，大多数研究成果仍然停留在实验室阶段。造成这种理论与实践脱节有两个方面的原因，一方面是由于理论研究所限定的条件与实际应用时的情况相差甚远，另一方面是由于对诊断对象缺乏深刻的认识和研究，而且作为人工智能技术本身也有待于进一步发展和完善。

1.4 故障智能诊断系统的发展趋势

随着知识工程的发展以及数据库、虚拟现实、神经网络等技术的日新月异，必然引起故障智能诊断系统的在各个方面的不断发展。其发展趋势可概括为以下几点。

1.4.1 多种知识表示方法的结合

在一个实际的诊断系统中，往往需要多种方式的组合才能表达清楚诊断知识，这就存在着多种表达方式之间的信息传递、信息转换、知识组织的维护与理解等问题，这些问题曾经一直影响着对诊断对象的描述与表达。近几年在面向对象程序设计技术的基础上，发展起来了一种称为面向对象的知识表示方法，为这一问题的解决提供了一条很有价值的途径。

在面向对象的知识表示方法中，传统的知识表示方法如规则、框架、语义网络等可以被集中在统一的对象库中，而且这种表示方法可以对诊断对象的结构模型进行比较好的描述，在不强求知识分解成特定知识表示结构的前提下，以对象作为知识分割实体，明显要比按一定结构强求知识的分割来得自然、贴切。另外，知识对象的封装特点，对于知识库的维护和修正提供了极大的便利。随着面向对象程序设计技术的发展，面向对象的知识表示方法一定会在故障智能诊断系统中得到广泛的应用。

1.4.2 经验知识与原理知识的紧密结合

为了使故障智能诊断系统具备与人类专家能力相近的知识，研制者在建造智能诊断系统时，越来越强调不仅要重视领域专家的经验知识（浅知识）更要注重诊断对象的结构、功能、原理等知识（深知识）忽视任何一方面都会严重影响系统的诊断能力。

关于深浅知识的结合问题 目前较普遍的作法是 这两类知识可以各自使用不同的表示方法，从而构成两种不同类型的知识库，每个知识库有各自的推理机，它们在各自的权力范围内形成子系统，两个子系统再通过一个执行器综合起来构成一个特定诊断问题的专家系统。这个执行器记录诊断过程的中间结果和数据，并且还负责经验与原理知识之间的“切换”。这样在诊断过程中，通过两种类型知识的相互作用，使得整个系统更加完善，功能更强，可以解决那些无经验知识可用情况下的问题，即使遇到知识表示范围以外的问题，系统的性能也不至于显著下降。关于这种结合的详细结构图已在第 3 章中给出。

1.4.3 诊断系统与神经网络的结合

神经网络理论为故障智能诊断系统的发展开辟了崭新的途径。用神经网络技术建立诊断系统，不需要组织大规模的产生式规则 也不需要树搜索 系统可以自组织、自学习 并可进行模糊推理，这对用传统人工智能方法建立专家系统最感困难的知识获取和推理等问题提供了新的解决办法。

神经网络实现的是右半脑直觉形象思维的特性，而专家系统理论与方法实现左半脑逻辑思维的特性，二者有着很强的互补作用。然而目前神经网络无论在理论上还是在应用上都还处于发展阶段。在理论上，无论神经网络模型还是训练算法都还不成熟。反向传播训练算法尽管在一些领域获得成功，但还存在收敛速度太慢、有时会遇到局域极小等问题，对于大样本也很难收敛。在应用上，基于并行分布式处理的神经网络是前向进行的，对于以目标驱动的反向推理还显得无能为力。其次，由于信息的分布性，无法知道对一个输入模式，系统是如何响应的，因此神经网络缺乏推理

解释能力。此外，神经网络完全依靠样本学习，没有归纳、类比这样高层逻辑模型支持，使得神经网络知识获取显得教条化。神经网络的成功不是一朝一夕的事情，需要有关学科的密切配合，目前人们正朝着这一目标迈进，前景是光明的。

1.4.4 虚拟现实技术将得到重视和应用

虚拟现实技术 VIRTUAL REALITY 简称 VR 是继多媒体技术以后另一个在计算机界引起广泛关注的研究热点，它有四个重要的特征，即多感知性 (multi-sensory)、存在感 (presence)、交互性 (interaction) 和自主性 (autonomy)。从表面上看，它与多媒体技术有许多相似之处，如它们都是声、文、图并茂，容易被人们所接受；都可以用于娱乐、教育、训练等方面。但是虚拟现实技术是人们通过计算机对复杂数据进行可视化、操作以及交互的一种全新的方式 与传统的人机界面如键盘、鼠标器、图形用户界面等相比，它在技术思想上有了质的飞跃。应用该技术后，用户、计算机和控制对象被视为一个整体，通过各种直观的工具将信息进行可视化，用户直接置身于这种三维信息空间中自由地操作、控制计算机。

虚拟现实技术在军事、教育、航天以及娱乐等领域有着及其广泛的应用前景，受到了各国的普遍重视，已研制出一些实际应用系统。由于虚拟现实技术可以解决智能系统中许多至今无法解决的困难问题，所以由此带来的影响是及其深刻的。可以预言，随着虚拟现实技术的进一步发展和在故障智能诊断系统中的广泛应用，它将给故障智能诊断系统带来一次技术性的革命。

1.4.5 数据库技术与人工智能技术相互渗透

人工智能与数据库技术是计算机科学的两大重要领域，越来越多的研究成果表明，这两种技术的相互渗透将会给故障智能诊断系统带来更广阔的应用前景。

人工智能技术多年来曲折发展 虽然成果累累 但比起数据库系统却相形见绌。其主要原因在于缺乏像数据库系统那样较为成熟的理论基础和实用技术。人工智能技术的进一步应用和发展越来越表明，结合数据技术可以克服人工智能不可跨越的障碍，这也

是智能系统成功的关键。

对于故障诊断系统来说，知识库一般比较庞大，因此可以借鉴数据库关于信息存储、共享、并发控制和故障恢复技术，改善诊断系统的性能。如数据库的基本范例（输入、检索、更新等）可作为新的知识库范例，数据库的基本目标（共享性、独立性、分布性）可作为新的知识库基本目标，数据库的三级表示与设计方法可用作新的知识库设计方法等。

2 故障智能诊断系统的理论基础

目前,复杂设备的种类繁多,结构各异,工作方式不一。不同的诊断领域所采取的诊断对策也不相同。对于某一个领域或一类设备非常有效的诊断方法,对另一个领域、另一类设备则可能完全不适用。这说明不同诊断领域、不同类型设备系统所需的诊断理论和方法具有明显的特殊性。这显然是由于对于不同的诊断领域,在智能诊断问题的描述、诊断知识的组织与使用、诊断知识的学习、诊断信息的获取方式以及诊断任务的性质、故障的特点等诸多方面不同因素所引起的。

虽然如此,但是不难发现,无论哪个领域的诊断对象,事实上都可以看作是一个系统,智能诊断的目的都是通过使用领域知识,进行诊断推理,识别系统状态,查明故障原因,这是故障智能诊断的实质。不同的诊断对象总是具有许多共性的地方,抛开具体的诊断领域和对象,建立广泛统一的故障智能诊断系统有关的概念,将使智能诊断的研究更加系统化和理论化。

2.1 故障智能诊断系统的概念

2.1.1 复杂设备的层次结构

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,但从系统论的角度来看又有许多本质的共性。

定义 2.1 元素是指构成复杂设备的最基本的、具有相对独立功能的结构。

定义 2.2 联系是指设备元素之间的关系。

复杂设备作为一个系统,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,零部件是构成复杂设备的元素。

关于“系统”一词,有着各种不同的定义,但不论哪一个定义其

中都有“相互作用的若干元素的整体”之意。这里我们采用以下的定义。

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 设备系统的层次性是指从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 直至最高层的元素，也就是原级系统。一般来说，一个复杂设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 是某导弹系统的部分层次分解示意，系统级是实现它的总体设计功能；系统级在结构上可分解为战斗部、控制系统、发动机系统、弹体等子系统 控制子系统由惯性测量组合、弹上二次电源、弹载计算机等组成……。

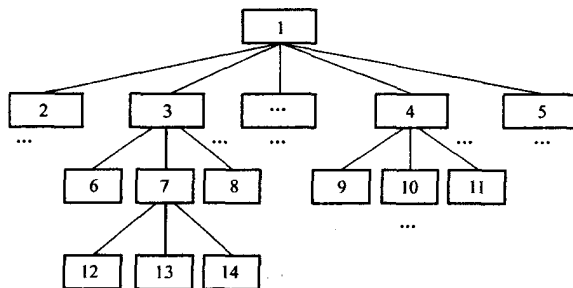


图 2-1 某导弹系统的层次分解

- 1—导弹系统；2—战斗部 3—控制系统；4—发动机系统；
5—弹体；6—惯性测量组合；7—弹上二次电源；
8—弹载计算机；9—FG0-11 发动机；10—FG04-11 起旋发动机；
11—FG05-11 分离发动机；12—线路板 YZ1；
13—线路板 YZ2；14—线路板 YZ3

正确地 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。