

专家系统在舰船动力工程中的应用

徐宜桂 曹跃云 (海军工程学院)

〔提要〕 本文初步探讨了专家系统在舰船动力工程中的应用, 并就建造论证设计和故障诊断型专家系统作了较全面阐述, 以期为提高和保证动力装置的战技性能寻求一种有效的手段。

主题词 专家系统 应用 船舶动力装置

一 前 言

专家系统是一种汇集了专家智慧和知识的计算机软件系统, 它通过模拟专家的智能, 去解决以往需要人脑才能解决的属于符号、推理和基于经验性质的思考问题。建造和应用专家系统, 首先是领域专家的知识, 经验提炼出来, 以一定的方式存入计算机, 形成知识库, 然后, 采用合适的控制策略, 按输入的原始数据, 选择适当的规则进行推理、演译, 从而作出判断和决策, 十多年来, 专家系统用于医疗、气象、交通、军事等部门, 产生了巨大的经济和社会效益。

动力装置是舰船的“心脏”, 其战术技术性能直接影响到舰船能否完成其规定使命, 而提高和保证装置的战术、技术性能, 需要解决大量非数据计算性的推理和经验性问题。专家系统恰恰正是处理这些问题的强有力手段; 其次, 应用专家系统还可缓和装置的先进技术和人员操作水平之间的矛盾, 相当于专家亲临现场指导, 为机电管理人员充当有力的助手, 保证装置先进战技性能的最大发挥。

在舰船动力工程中应用专家系统, 可解决论证设计, 故障诊断、适时维修、运行控制和人员培训问题。本文仅就专家系统如何用于动力装置的论证设计和故障诊断作些初步探讨。

二 专家系统在动力装置论证设计中的应用

1. 动力装置论证设计的特点

舰船动力装置的论证设计是一项非常复杂的创造性工作, 涉及许多非数据计算性的问题, 如装置热线图的选择、主机、锅炉类型和结构形式的确定等等, 它们无法用数字模型来加以描述, 只能依靠知识和经验, 通过思考、推理和判断来加以解决。许多计算工作, 亦是在分析推理的基础上进行的。以往, 尽管亦采用优化技术, 计算机辅助设计等先进手段, 但设计方案在概念、技术等决策性问题上却摆脱不了设计人员的主观因素, 而且是否达到了本

领域内专家的最高水平不得而知。建造论证设计型专家系统正是为了解决这一问题。

2. 论证设计系统关注的核心任务

论证设计专家系统关注的核心问题，是论证设计过程中的概念决策、技术决策和目标决策。概念决策主要体现在初始方案论证设计阶段。技术决策则讨论特殊的技术问题，如主机、锅炉关键部位材料的选择、装置主要部件的形状、容积、重量等等。目标决策是根据舰船动力领域专家的经验知识和启发性知识，在各种支持资源的支持下，通过分析、推理来完成。

3. 系统的知识库和知识技术

根据设计型专家系统“设计—评价—再设计”的组织结构和舰船动力装置论证设计的特点，建立彼此独立而又形式基本相同的初始设计知识库、评价和决策知识库、再设计知识库，可望提高问题求解的效率，初始设计知识库主要包括根据舰船使命对装置的要求，提出初始设计方案所需的专家的经验性知识和启发式知识。评估和决策知识库主要包含反映方案整体性能的多层次指标，各阶段指标的合理取值范围、加权系数和隶属度等。再设计知识库则是根据评价过程提供的方案修改信息，对方案施加有关操作的知识规则库，重新选择新的设计参数，进行正确的综合设计，且能反映各设计参数间相互影响，相互制约的关系。

设计型专家系统中的知识可采用产生式表示方法，如：

IF〔（功率大）（负荷变化范围大）（辅机）〕Then（拟用多级高速汽轮机作原机）

当此规则在设计过程中被控制系统调用之后，即对存有设计过程中所需公共信息上的信息进行操作，若规则的所有前提均能满足，则控制系统执行其结论部分的动作，并将此新的

信息存入数据库中。另外，在这种类型的专家系统中还常采用框架的表示模式。

4. 系统的求解策略

如何模仿专家的思路，有效地利用支持资源，进行正确的决策，是专家系统的关键问题之一，鉴于动力装置论证设计工作的具体特点，可以采用能够实现局部反复决策和全局反复决策的求解策略，如图 1 所示。

整个论证设计任务可分为四个部份：装置部份、锅炉部份、主机部份、总体性能评估部份。在设计中，首先经过“设计—评价—再设计”的内部反复过程，多次可得到对锅炉或主机合理的性能要求。在锅炉、主机方案设计完成后，即可对装置进行总体战技性能的综合评估，以确定装置是否完全满足设计要求，如不满足，则还须系统根据专家的启发性经验和

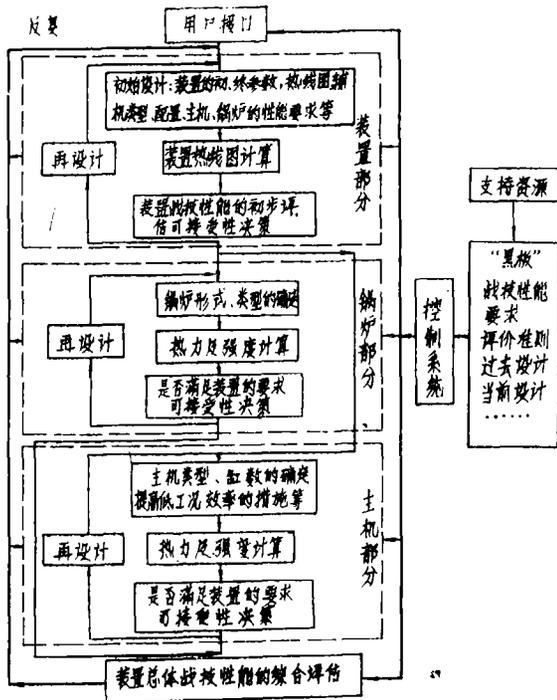


图 1 装置论证设计的求解策略

知识, 确定对主机、锅炉或是装置部份的方案进行再次重新设计。

显然, 采用这种将问题分成若干子问题, 分层设计, 反复决策的求解策略, 既可保证总体性能最优, 又可提高设计效率。

三 专家系统在舰船动力装置故障诊断中的应用

1. 故障诊断和专家系统

专家系统因擅长处理推理、判断等类问题, 故在故障诊断中得到了广泛的应用, 如美国Texas州发电厂汽轮机组监控用的PDS系统, GE公司研制的内燃、电力机车排除故障辅助系统CAST—1 GE & G Idaho公司研制的核反应堆故障诊断与处理系统REACTOR等。

舰船动力装置是一个非常复杂的系统, 可能发生的故障种类和原因相当复杂, 而装置的战斗使命又要求装置尽量不发生故障或发生故障后能够立即排除, 因而建立动力装置的故障诊断系统非常必要。

2. 故障诊断系统的组成和诊断模型

故障诊断型专家系统的基本组成如图2所示。其中原级系统 (metalevel System) 主要用于管理目标级系统 (object-level System) 的活动。目标级系统主要负责实施诊断。推理机是一组程序, 用来控制、协调整个系统。“黑板”则用于控制各知识源的激活和相互通讯。

建立诊断型专家系统首先要考虑的就是诊断模型。考虑到舰用动力装置的故障特点, 笔者认为可采用征兆分析法和综合信号分析法等层次诊断模型〔4〕。

征兆分析法是利用故障逐层传播时所给出的一些外部特征 (也既征兆) 来确定在故障分级中相互有因果关系的两层故障中哪一种低层故障引起了上层的某一故障。图3即为舰用汽轮机典型故障的征兆分析法实例。

图3中从系统级故障到子系统级故障的过程也可以理解为寻找故障成因的过程。图中绘出的六个征兆 S_1 — S_6 为:

- S_1 : 真空度突降。
- S_2 : 真空度逐渐下降且冷凝器汽水传热温差和凝水过冷度增大。
- S_3 : 机内出现不大的金属声和响声。
- S_4 : 振幅不稳并有随转速升高而增大的趋势。
- S_5 : 整个舰艇尾部都振动并随转速的升高而增强。
- S_6 : 振幅随转速升高而急剧增大。

征兆分析方法特别适用于已有大量使用和维修经验的舰用动力装置。通过在实验室内人为地设置故障并获取相应的征兆可使诊断型专家系统的诊断水平逐步提高。

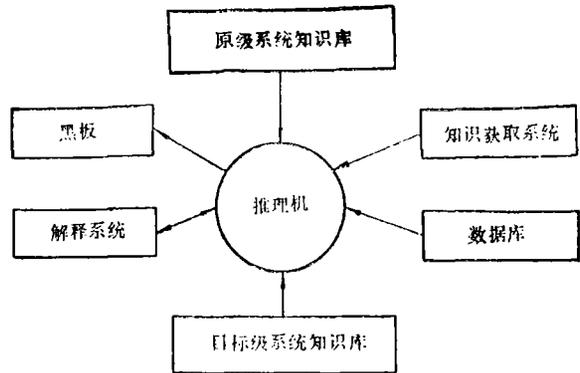


图2 诊断型专家系统组成示意图

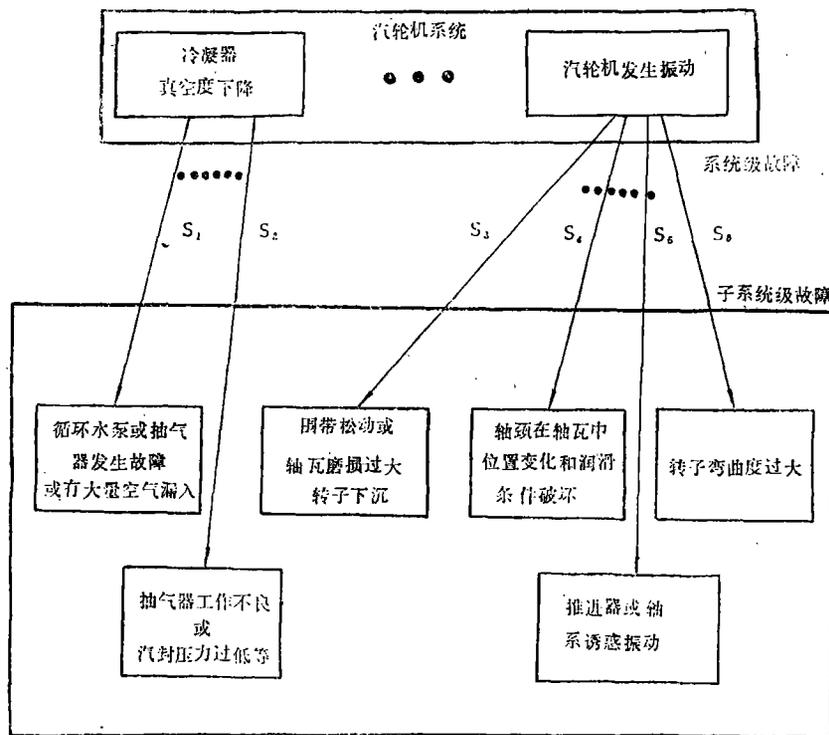


图 3 汽轮机故障征兆分析法实例

综合信号分析方法则是另一条途径。这种方法的基本思想就是对检测得到的各种信号实时地进行模态分析，以识别当前状态。它特别适用于故障征兆较少的一些部件的故障诊断。对已经采用微机集控和即将采用微机集控的舰船动力装置，采用综合信号分析的诊断方法来建立诊断型专家系统实现起来比较方便。

3. 诊断型专家系统的知识表示

诊断型专家系统中，仍可采用产生式规则来表述知识，其形式为：

IF (系统级故障 i) Then (子系统级故障 j) (CF_{ij})

这里 CF_{ij} 是可信度。这条规则说明，如果在系统级发生了故障 i ，则在 CF_{ij} 的可信度下断定子系统发生了故障 j 。当然，子系统的故障也可能是由更低一层的某些故障所引起的。这些规则可以用网络图表示，这种网络称为推理网络。例如：“01”型汽轮机主机支撑轴承和推力轴承温度过高这个故障的有关知识可用图4表示。

4. 诊断型专家系统的推理机

诊断型专家系统的推理机主要是根据获取的故障现象，利用知识库中的知识（即推理网络）按一定的推理方式来找寻故障发生的位置，判断故障的类型及其产生的原因。

文献[3]中给出了反向推理机示意图，在诊断型系统中，可以用图5表示。

对于舰艇动力装置这样的大型机电系统，其故障与故障成因之间的关系非常复杂，常需使用一些不精确的或不完善的、甚至是不可靠的资料来进行诊断工作。此时，可采用不精确推理的求解策略。常用的不精确推理方法有用于医疗咨询系统 mycin 的推理方法和主观

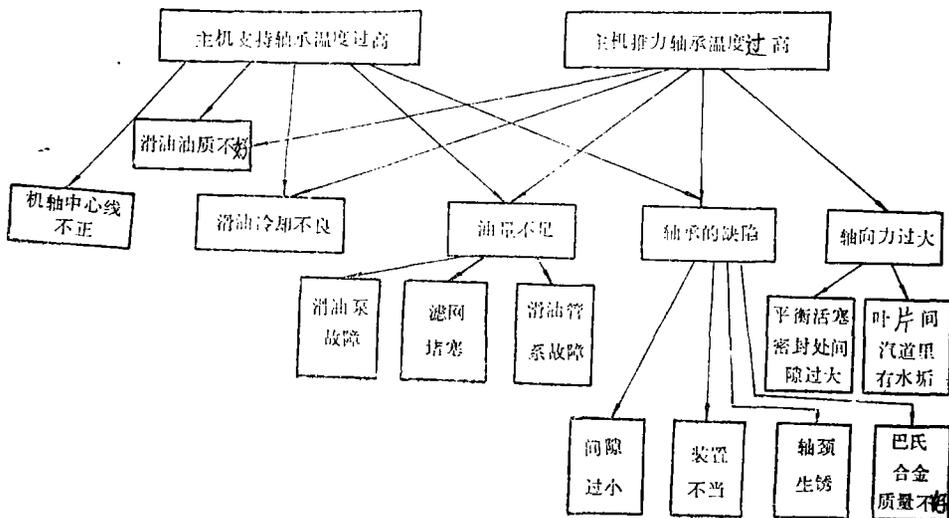


图 4 汽轮机故障推理网络实例

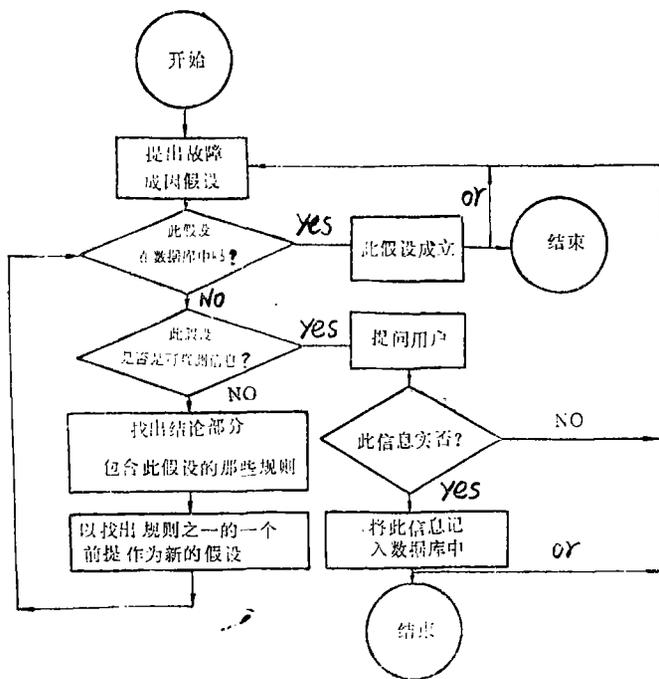


图 5 推理机示意图

Baye's方法。此时,还可采用模糊推理的方法。这一方法曾在我国大型汽轮机组振动的工况监视与故障诊断系统中得到应用,并取得成功^[5]。模糊推理方法是按最大隶属度原则归类的模式识别方法。首先,由以大量实践为基础所获得的资料确定每个征兆群诊断为各个故障成因的“关联”程度,也即各征兆群对某故障成因的隶属度。然后,按最大隶属度原则判断各征兆(故障)的成因。设 A_1, A_2, \dots, A_m 为征兆论域 U 上的 m 个故障成因(模糊子集),

$\mu_{A_1}(u), \mu_{A_2}(u), \dots, \mu_{A_m}(u)$ 为相应的 m 个故障成因的隶属函数。则对征兆论域 U 中的任一征兆 u_0 , 如果

$$\mu_{AR}(u_0) = \max_{1 \leq i \leq m} \mu_{A_i}(u_0)$$

则认为 u_0 相对隶属于 A_R , 也即该故障的原因为 A_R 。

四、结束语

随着我军对积极防御战略方针的进一步理解和认识, 海军主力战斗舰艇远离基地, 在大洋中进行战斗训练的机会增加。这就对舰艇动力装置的战技性能和可靠性提出了更高的要求。因此, 建造设计型专家系统和诊断型专家系统无疑是非常重要的。

建造专家系统不是件轻而易举的事, 它不仅需要丰富的有关专业的判断、推理和各种启发性的经验, 而且还要求在实际应用中能够经受住各种情况的考验并不断修改、更新, 完善其性能。

考虑到各系统的知识获取部分和解释部分基本相同, 故本文对此未加赘述。

本文承蒙胡德明、张俊迈副教授的指点, 作者深表感谢。

参 考 文 献

- [1] F·Hayes—Roth: 建立专家系统, 四川科学技术出版社, 1986, 11.
- [2] 赵瑞清: 专家系统原理, 气象出版社, 1987.2.
- [3] 华中工学院机械设计教研室: 机械CAD及专家系统论文集, 1987.5
- [4] 郑小军等: 设备诊断专家系统的层次诊断模型, 华中工学院学报, 5(2)1987
- [5] Proceedings of CSMDT'86 Conference, 沈阳, 1986.6.

新产品新技术信息

№.R88—32 轴流式风机 研究所配备有从叶栅吹风到大型风机试验台等先进设备, 有装备精良的试制工厂和力量雄厚的生产协作厂。可以承接各种用途的风机、压气机的设计、试验及供货。其性能参数范围为: 单转子压比2.7~9.0; 效率0.86~0.90; 流量1200~6000m³/min; 风机寿命可大于10万小时。压气机、风机可制成部分或全部静叶可调, 有宽广的稳定工作范围。可广泛用于钢铁冶金、石油催化裂化装置、煤气输送增力装置等。可根据用户需要提供鼓风机站的设计及成套设备供货, 包括动力设备,

进气过滤、消音、管网、装置的自动调节及监控、保安系统, 并承接安排、调试及技术服务。也可提供特殊用途的轴流、离心通风机、鼓风机。

№.R88—33 工业汽轮机设计和制造 承担适合中、小型电站, 自备电站及化工系统的水泵、风机等使用的中、小型工业汽轮机, 功率为1500~6000千瓦(包括背压式、抽、凝式等)的整套设备的设计、制造、调试、安装以及一、二、三类压力容器的设计等任务。

Application of Expert Systems in Marine Power Engineering

Xu Yigui, Cao Yueyun

(Naval Academy of Engineering)

Abstract

In this paper, the authors make a exploratory study of the application of expert systems in marine power engineering and give a relatively comprehensive exposition on the design and creation of a failure diagnosis type expert system, which can serve as an effective means for ensuring and enhancing power plant tactical combat performance.

Key words: expert system, application, marine power plant

New Trends in Naval Gas Turbine Development

Luo Fengbiao

(China State Shipbuilding Corporation)

Abstract

This paper describes the present status of high-efficient, low-fuel-consumption naval gas turbines in UK, USA and West Germany with main emphasis on ICR (Intercooler Recuperative Cycle) naval gas turbines.

Key words: naval gas turbine, intercooler, recuperative cycle, information