

水轮发电机组振动故障诊断专家系统

唐明晰, 张昌期

(电力工程系)

提 要

本文提出一个基于知识库和专家系统技术的水轮发电机组振动故障诊断与咨询的专家系统。本系统应用关于水轮发电机组振动、振动试验、频谱分析和运行管理人员现场经验的知识,采用推理方法作出诊断,采用产生式专家系统结构,设计出一个推理控制程序。该系统由知识库、算法程序库和诊断咨询程序三个主要部分组成。程序的实现采用 MACLISP 语言,可在 IBM-PC 计算机上运行。

关键词: 水轮发电机; 故障诊断; 专家系统; 知识库; 产生式专家系统

中图分类号: TM312; TM307.1; TP306.3

水轮发电机组(以下简称机组)的振动问题,是水电厂运行中常见的故障之一。由于水电厂是水力、机械和电气三个部分组成的联合系统,而机组处于这个系统的中心,它本身又带有复杂的控制系统,这些特点导致机组振动故障诊断问题的复杂性。

应用知识工程和专家系统的技术,解决复杂系统的故障诊断问题的研究,已取得很大进展,目前已进入实用化的阶段^[1]。

因此,应用故障诊断专家系统来解决机组振动问题,将是一个很有希望的途径。为此,我们提出并研制了一个“水轮发电机组振动故障诊断专家系统”。

1 水轮发电机组振动问题的描述^[2,3]

机组故障诊断的过程可以简单地表述为:人机对话输入(或由传感器传送)机组振动信息,分析振动原因,找到振源,提出消振措施。其中最重要的一步,是寻找振源。

机组振源可归纳为来自水力、电气、机械三个方面,各种振源都各自具有固定的物理特征和振动规律。但某一机组产生振动,振源并非唯一的,而是由几个主要和次要振源共同作用,这就导致寻找振源工作的复杂性。

根据用户输入机组振动有关信息,本系统从下列四个方面进行推理和模式匹配:

a. 频谱分析 根据用户输入的振动示波图形或数组,系统可进行频谱分析与计算,

本文1987年1月25日收到。

求出基频和其他高阶频率。

b. 各振源频率期望值的计算与分析 对上述三方面机组振源中各种振源频率的理论计算,系统中都有计算程序和描述,而且都以一种框架形的结构记录在知识库中。如水轮机空腔汽蚀引起的尾水管压力脉动频率

$$f_1 = n / (60b),$$

式中 n 与 b 分别为机组转速和随水轮机型号及工作参数而变的系数。

c. 振动试验的结果分析与判断 进行各种振动试验的目的,是在分析振动规律的基础上确定或排除某一类振源的可能性。如进行转速试验以判断机械振源的可能性;进行励磁试验以判断电气振源的情况;负荷试验以判断水力振源的重要性等。本系统在总结前人处理振动问题生产实践经验的基础上,归纳出一套分析振动试验结果,进一步推理寻找振源的规则,存入知识库中。

d. 现场经验的分析与判断 除上述三种分析计算及判断外,还应考虑现场的现象和经验,如水轮机产生空腔汽蚀时,在尾水管旁会听到强噪音;机组轴线不直产生振动时,可查阅安装检修记录等。

本系统在以上四个方面的推理的基础上,作出综合分析和比较,诊断出可能振源,并提出消振措施的建议。

整个振动故障诊断过程,详细的推理结构框图如图1。

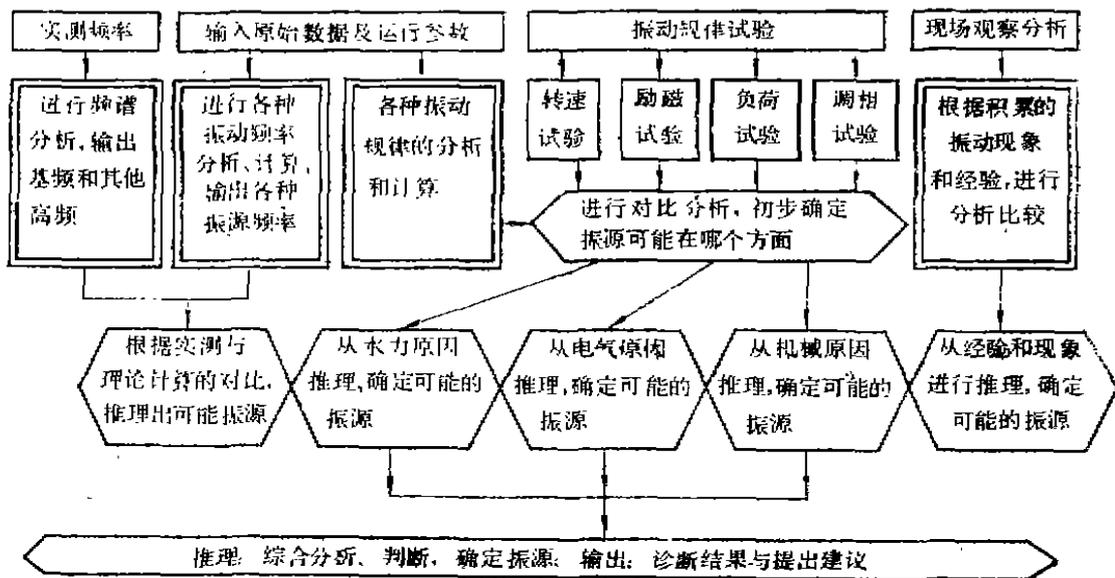


图1 诊断结构框图

2 知识的表达与规则库

知识获取、知识表达、知识利用(推理)和自然人机接口都是知识工程和专家系统的知

识处理技术,而好的知识表达又是构造高效率推理过程的关键。知识表达方式与专家系统本身的结构、所采用的语言(逻辑推理型语言或结构化语言)和所处理的问题的特点(符号型或数值型)有关,几乎所有的诊断专家系统,都是采用产生式系统的结构。产生式系统一般由三个部分组成:

- a. 一系列条件 \rightarrow 行动产生式(规则);
- b. 一个动态的数据结构(黑板);
- c. 一个确定后继规则使用的推理解释程序。

因此,诊断专家系统的知识表达主要为规则,即条件 \rightarrow 行动产生式。一般表示为:如果条件成立,则产生行动。

规则是推理的基础,由条件(原因)部分和行动(结论)部分组成。条件部分是一个包含常数和变量的一系列模式,当动态数据库(黑板)中的事实与一条规则的条件相匹配时,规则导致产生一系列的行动。这些行动包括对动态数据库的修改和补充等,也可以是由用户所定义的那些行动。这些规则都具有统一的形式,组合在一起就组成了知识库。

由于在诊断过程中,还需要进行一些数值计算,向用户显示一些波形和图象。因此,本系统对产生式规则的行动部分作了一些扩充,包括外部的函数或程序包和绘图包的某个过程,这样就可以将符号型推理和数值型的运算结合起来,增强了系统的功能。

知识的模块化将有助于加速推理过程,以得到迅速的反应。本系统的知识主要划分为三类,即:

- a. 关于频谱分析与振源仿真的知识;
- b. 关于振动试验及其规律分析的知识;
- c. 专家提供的关于判断振源的经验性和启发性的知识。

本系统的规则与变量均以字符串表示。这里列出系统知识库的两条简单规则的中文形式,作为推理和控制程序的示例。

规则60:

如果 信息来源于负荷试验,振动表现为顶盖上的垂直振动,振动剧烈,振动频率在 $n/(60b)$ 附近,某几个负荷区振动特别严重,则 记录可能的振源为水轮机空腔汽蚀引起的尾水管压力脉动。

转向规则181.

规则130:

如果 信息来源于转速实验,且振幅与转速平方成正比,振动频率为机组转速频率即 $n/60$,则 记录可能的振源为机组转动部分质量不平衡。

建议 进行静平衡或动平衡。

3 控制与搜索结构

产生式专家系统的推理控制与搜索,主要有正向推理与反向推理。正向推理是原因驱动的(或称数驱动),即从原因出发推导出结论。反向推理是由结果驱动的(或称假设驱动),

即从结论演绎出满足此结论的条件,推理的路径形成推理网络。在进行推理过程中,将所使用过的规则(匹配成功的)依次记录下来,便可向用户解释推理的路径。正向推理结构相对简单些,但反向推理具有提出假设并提醒用户去注意有关的因素,有针对性的要求提供信息的作用。本系统以采用正向推理方法为主,当正向推理不成功时,转向反向推理方法。

本系统的目标是使用户输入的信息与知识库中的产生式规则相结合,以寻求振动的原因,并给出建议的措施。因为系统是从用户使用方便出发的,不能要求用户以复杂的结构来输入信息,只能以一种简便的方式来回答计算机的提问。本系统为用户设置三种回答提问的方式,即“Y”,“N”和“?”,这里“?”意味着没有合适的信息或不知道。另外,在任何时候,用户可通过输入“WHY”来向计算机要求提供帮助或解释原因。

系统接受或通过提问获得信息后,便开始与知识库中的规则匹配,找到一条规则,其中的条件与系统目前获得的信息相匹配。例如,上面提到的规则130中包含三个条件,需要与信息相匹配。如果“信息来源于转速试验”这一条件为真,则程序将通过匹配或提问来证实其他条件是否为真。这个过程一直进行到推出一个完整的规则,得出最后决策为止。

本系统规则主要分为分析规则和综合规则两类,分装在知识库的不同地方。

规则以随机记录文件的形式存贮,以便进行随机修改。在零层控制流中的规则以循环链表的形式排列和链接,如果一个规则没有被完全匹配上,则控制将自动转回零层控制。用户可以在任一点进入这一控制层。程序根据用户提供的信息匹配零层控制流中的任一规则,上面列举的二个例子都属于零层控制流。如果这一层中的一条规则被匹配上,控制就转向子控制流。例如,对于规则60,如果五个条件均成立,则系统作下“振源可能属尾水管压力脉动”的记录,并转向子控制层的规则181。在子控制流中,推理过程继续进行,直到推出最后结论为止。

另一方面,如果没有可匹配的信息,则系统对用户提问,在零层控制的规则中依次进行。一旦某一条规则的提问得到回答,则匹配过程继续进行。

由于规则的条件部分都是“与”关系联接,每个条件都要满足。如果不满足则控制转向零层控制的下一个规则,再进行匹配。这个过程循环地进行到得出最后结论。如果所有的规则都搜索遍了,仍未得到决策,则系统通知用户,没有足够的信息可得出决策。

系统在推理过程中得到的中间结论和通过提问得到的信息,都将自动记录下来,以免重复提问用户已经回答过的问题。

本系统规则的行动部分具有下述几种功能:a.可能是最终的决策,提出建议;b.可能是中间结论,需要转向其他的规则;c.可能是调用外部函数或程序包,执行计算或绘图,或转向数据库管理程序和知识库查询程序。例如,在规则130中得出的是最终的决策,提出建议和措施;在规则60中则需要参考其他的规则。

规则的改变,可以使系统的推理路线发生变化,而不需要改造推理程序本身,这是专家系统技术的一个明显的优点,即便于系统的扩充。所以称之为知识增长型系统。

本系统的搜索始点是任意的,而且规则可以重复使用,所以本搜索是一种图搜索。

在搜索过程中，某些规则可能具有一些相同的条件。例如：规则 64 和规则 65 中，条件 1 是相同的，如果系统对规则 64 中的条件 1 提问，而得到的是否定的回答，那末在搜索规则 65 时，本系统能自动跳过规则 65，而不再提问规则 65 中的条件 1。如果再对条件 1 提问，显然是重复的，使用户产生厌烦。因此，在一条信息获得后就自动记录下来是非常重要的。本系统在程序中设置一个动态数组来进行信息的记录，凡已经在该数组中的信息便不再提问。

随着推理的进行，数组中的内容不断更新，它们又被称为“黑板”。上述推理方法的优点是速度快，又具有一定的灵活性。这种推理的方法也可以推广到不精确的推理过程中。在不精确的推理方法中规则的条件和行动部分都带有确定因子。如：

如果 $A(0.7)$ ，则 $B(0.5)$ ，

其中 0.7 与 0.5 分别表示 A 和 B 的可信度。

参 考 文 献

- 1 Nelson W R. *An Expert System for Diagnosis and Treatment of Nuclear Reactor Accidents. Proceedings of the National Conference on Artificial Intelligence*, 1982, 296~301
- 2 常近时, 寿梅华, 于希哲. 水轮机运行. 北京: 水利电力出版社, 1983.
- 3 张昌期主编. 水轮机——原理与数学模型. 武汉: 华中理工大学出版社, 1988.

An Expert System for Vibration Diagnosis of the Hydroelectric Generating Set

Tang Mingxi Zhang Changqi

Abstract

A vibration diagnosis and consultation expert system for hydroelectric generating set based on knowledge base and the technique of the expert system is proposed. With knowledge of the vibration of the generating set, the vibration test, spectrum analysis and field experience of the operating personnel, this system is designed to work by inference; An inferential control program is developed with an architecture of the generating type of the expert system; The system is made up of three main parts, namely, the knowledge base, the library of algorithm program and the diagnosis Consultation program; The language of MACLISP is used and the system can be operated on an IBM-PC computer.

Key words: Water turbine generators; Fault diagnosis; Expert system; Knowledge base; Generating type expert system