

故障诊断专家系统在水电厂的应用

邢立坤 汪 军 徐 洁

(国网电力科学研究院/南京南瑞集团公司 南京 518055)

摘 要 水电机组故障诊断技术是水电厂开展状态检修的基础。水电机组作为大型旋转机械,其振动可以反映机组大部分故障。专家系统是人工智能领域应用比较成熟的技术,现在故障诊断专家系统已在国内水电厂逐步推广。本文在水电机组状态监测的基础上,针对水电机组的振动故障,提出一种基于产生式规则的专家系统。它主要由知识库、推理机、数据库、人机接口等部分组成。最后,利用实际数据进行诊断和分析,并根据机组检修情况对诊断结果进行验证,证明专家诊断系统能够给检修人员提供机组故障产生的可能原因和部位,对机组检修起到一定的指导作用。

关键词 水电机组; 状态检修; 故障诊断; 专家系统

Application of Fault Diagnosis Expert System to Hydropower Plant

XING Li-kun WANG Jun XU Jie

(State Grid Electric Power Research Institute, Nanjing 210003, China)

Abstract The fault diagnosis technology of hydropower units is the basis of condition based maintenance of hydroelectric power plant. As a kind of large rotating machinery, the vibration of Hydropower units can reflect most of the units fault. Eexpert system is a relatively mature technology in the field of artificial intelligence, and the fault diagnosis expert system is gradually applied to hydroelectric power plant in domestic. Basing on the condition monitoring of hydropower units, a fault diagnosis expert system based on production rules for the vibration fault of hydroelectric unit is put forward. The system mainly consists of knowledge base, inference engine, database, human-computer interface and other components. Finally, get the diagnosis results with actual data, and then validate the diagnosis results based on the maintenance report of the hydropower units. The conclusion proved that the diagnostic results of expert system can provide may causes and locations of faults to the staff, and can provide some guidance for the maintenance of Hydropower units.

Keywords hydropower units; condition based mintenance; fault diagnosis; expert system

1 引 言

水电机组是水电厂运行的重要设备,其工作状态是否稳定对整个电力系统的安全运行有很大的影响。另外,先进可靠的故障诊断技术是开展状态检修,发展“无人值班(少人值守)”管理模式,实现决策智能化,建设智能化水电厂的基础。所以,在水电厂状态监测基础上,开展水电机组故障诊断技术的研究,很有必要。

水电机组的振动故障是最常见、最主要的故障形

式。有资料表明,水电机组所发生的70%~80%的故障都能通过水电机组的振动反映出来^[1]。利用监测装置获取的振动等信号对水电机组故障进行诊断,是一种研究较多和比较实用的方法。因此,对水电机组振动故障诊断技术的研究,具有很大的实际意义,有利于推动状态检修工作的开展。

2 水电机组振动故障与征兆

2.1 水电机组振动原因

水轮发电机组是涉及机械、电气和水力的复杂系

作者简介: 邢立坤, 硕士, 主要从事水电厂故障诊断和状态检修方面的研究, E-mail: kunlixing@126.com; 汪军, 硕士, 高级工程师(研究员级), 长期从事水电自动化研究和管理工作; 徐洁, 硕士, 高级工程师(研究员级), 主要从事水电厂自动化、工程实施及管理等方面的研究。

统, 其振动故障既有单独部件或部位的振动, 也有不同部件或部位之间的耦合振动, 振动故障比较复杂。目前, 一般把引起水电机组的振动原因归为: 机械、电气和水力三个方面的原因^[2,3]。

机械因素引起的振动主要原因有: 转子不平衡; 导轴承间隙过大; 机组轴线弯曲; 紧固零部件松动; 推力轴承调整不良等。

电气因素引起的振动主要原因有: 发电机转子不圆; 转子绕组匝间短路; 定子铁芯松动; 分瓣机座合缝处铁芯间隙大; 定、转子间隙不均匀等。

水力因素引起的振动主要原因有: 卡门涡列; 尾水管涡带; 空化空蚀; 压力管道压力脉动等。

2.2 水电机组振动故障与征兆

故障诊断是利用水电机组运行的各种监测数据和其他信息来识别机组的状态, 分析故障发生的原因, 并确定故障发生的部位和严重程度, 从而确定机组是否需要检修及何时检修^[4]。水电机组故障主要是通过测试在不同运行工况各个部位的振动频率、振动幅度和相位来判定故障产生的主要原因和部位。

本文提出的专家系统采用的特征频率有 $1/6 \sim 1/2f_0$ 、 $1f_0$ 、 $2f_0$ 、100 Hz 频率、高频 (大于300 Hz) (f_0 为机组转频) 等。

(1) 若振动频率主要为 $(1/6 \sim 1/2)f_0$, 则可能是由尾水管涡带引起;

(2) 机组转频反映的故障一般是由转子不平衡、导轴承间隙过大、主轴密封润滑不良、转子绕组匝间短路等原因引起;

(3) 机组 $2f_0$ 振动频率幅值过大, 一般是由机组轴线异常、主轴法兰螺栓松动引起的;

(4) 100 Hz 振动频率是发电机电流频率 (50 Hz) 的两倍, 则可能是定子铁芯组合缝松动、发电机负序电流引起;

(5) 若振动频率 $f > 300$ Hz, 是由水轮机空化气蚀所引起。

3 水电机组故障诊断专家系统

3.1 水电机组故障诊断专家系统

专家系统的故障诊断方法就是根据专家的经验、知识以及大量的故障信息知识, 设计出一个替代人类专家进行故障诊断的系统^[5]。水电机组故障诊断专家系统由知识库、推理机、数据库、解释器、人机交互等部分构成。故障诊断专家系统基本结构如图1所示。

其中, 知识库和推理机是专家系统的核心。

水电机组故障诊断专家系统由知识库、推理机、数据库、解释器、人机交互等部分构成。其中, 知识库和推理机是专家系统的核心。

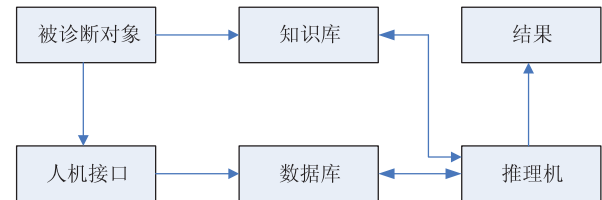


图1 专家系统基本结构

知识库用于存储各种专家知识及故障信息, 具有通用性添加、修改、删除等功能。推理机从数据库读取数据, 按照知识库中的规则进行推理, 得到推理结果。数据库用于存放来自状态监测的数据以及中间过程数据, 包括用户输入的信息、推理的中间结果、推理过程的记录等。解释器主要完成获取知识库中故障信息, 根据推理机提供的诊断结果输出用于人机界面显示的各种信息。人机交互界面主要提供结果输出、报表生成等功能接口。

3.2 知识表示

知识表示就是将知识编码成为一种数据结构, 是知识的符号化和形式化过程。常用的知识表示有逻辑表示法、产生式规则表示法、框架表示法、故障表示法等多种方法^[6], 水电机组故障诊断专家系统采用知识的产生式规则来表示知识。

产生式规则是一种可以表示征兆与故障之间因果关系的知识表示形式。一条规则一般由IF、THEN两部分组成。IF、AND部分是规则的条件部分, 规则的条件部分可以是多个子句的逻辑组合; THEN部分是规则的结论部分, 可以是一个结论或多个结论。知识的产生规则表示能够有效的表达领域内的知识, 对知识进行合理的组织和管理, 具有自然性、模块性、有效性、清晰性的优点。这种方法很适合故障诊断专家系统的知识, 是电力系统用的比较多的一种方法。

在应用中, 以尾水管涡带振动过大规则为例:

```

IF 水导摆度报警或尾水管压力报警
  且 频率以低频为主 (涡带频率/转频>1/3)
THEN 尾水管涡带振动过大
规则可信度cre=0.8
  
```

3.3 推理机

推理机是实施问题求解的核心执行机构, 它实际上是对知识进行解释的程序, 根据知识的语义, 对按

一定策略找到的知识进行解释执行,并把结果记录到动态数据库中。推理模块的工作流程为:先由数据库中提取特征征兆作为推理的初始事实,根据所提供的知识模块信息,读取相应规则,进行规则匹配;如果成功则将规则结论作为新的事实用作下一回合的推理,如此重复直到得出最终结论为止;并每个故障发生概率的形式返回诊断结果。推理机工作流程如图2所示:

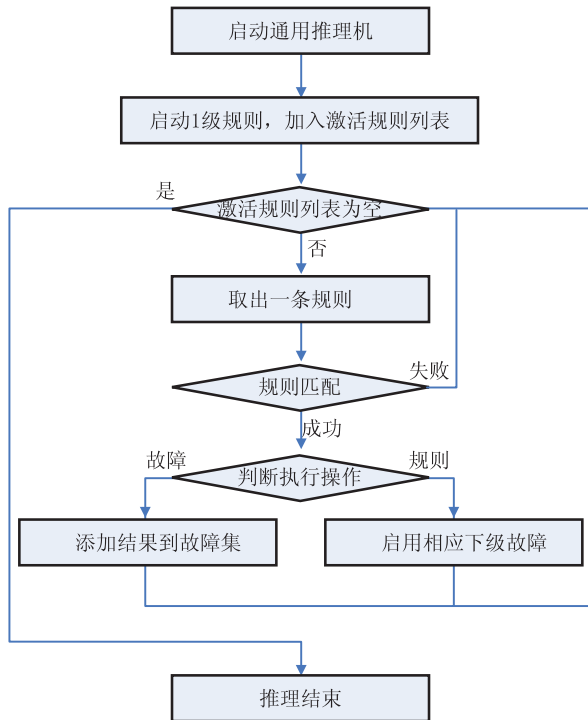


图2 专家系统推理机流程图

4 应用及分析

某电厂1号机组为混流式发电机组,立轴半伞式结构,额定水头31.9 m,额定功率35 MW,最大功率42.47 MW,额定转速200 r/min。根据相关标准及电厂实际情况,机组各导轴承X/Y向摆度限值为350 μm ,上、下机架X/Y径向水平振动限值为90 μm 。

机组在额定功率运行时,下导摆度严重超标,峰值超过460 μm ,其他部位如上导、水导、顶盖等部位振动摆度值均正常。对下导X向摆度波形进行分析,得到下导波形频率特征向量,将其和机组关键部位振动摆度特征值归一化后作为水电机组故障诊断专家系统的输入,进行诊断,得到诊断结果,如表1所示。

表1 下导X向摆度特征频率表

特征频率	$(1/6-1/2)f_0$	f_0	$2f_0$	100Hz	>300Hz
幅值/ μm	1.9648	429.9346	35.429	0.4466	0.0

示。专家系统诊断结果如表2所示。

专家系统选用的下导波形的特征频率中,以转频和二倍转频为主,其他成分很小,不足以引起机组有大的振动和摆度变化。机组下导轴心轨迹是椭圆形(图3),下导波形接近正弦波(图4),根据这些信息,推断下导轴承摆度过大主要应该是机械因素引起的。

电厂在检修时分别对机组在不同工况下的振动摆度、空蚀磨损等内容进行了试验测试,针对机组振动摆度方面的问题主要做了以下处理:检修时发现下导轴承支柱螺栓松动,对其进行了紧固;推力头镜板和推力瓦有明显划痕,且镜板有变色现象,将推力头与推力瓦进行了返厂精加工;另外,还对上、下机架进行了加固。对机组进行以上内容进行处理后,各处振动摆度均正常,各导轴承瓦温度稳定,机组运行稳定性大大提高。

表2 专家系统故障诊断结果表

编号	故障名称	故障概率
1	导轴承不对中	0.2354
2	主轴密封润滑不良	0.2107
3	转子绕组匝间短路	0.1959
4	转子不平衡	0.1794
5	上机架刚度或支撑不足	0.1786
6	推力轴承润滑不良	0.0794

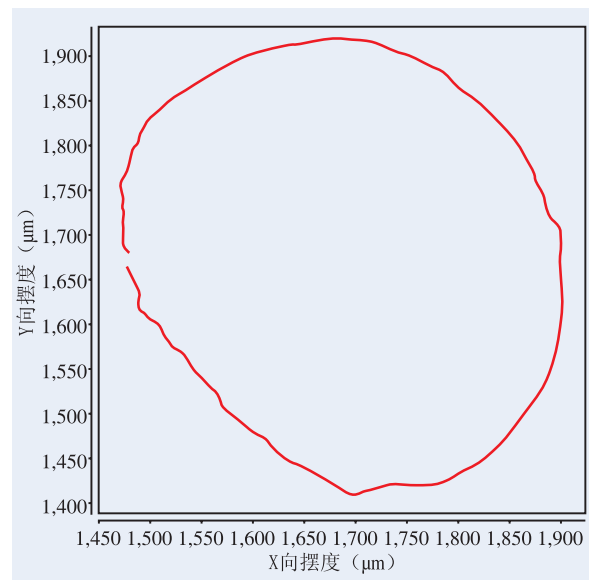


图3 下导轴心轨迹图

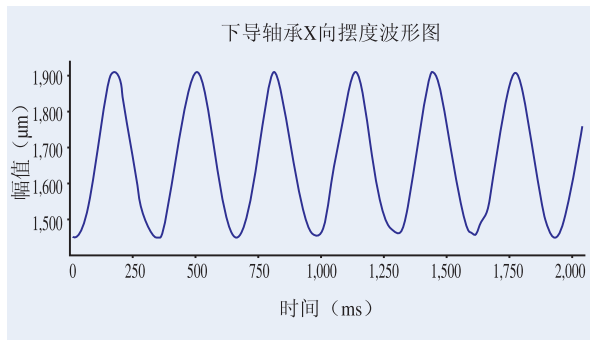


图4 下导X向摆度波形图

根据振动频谱、波形等信息以及检修处理结果进行人工分析,认为机组下导摆度增大是由机械部分不平衡所引起,主要是机组轴线问题和下导轴承间隙松动所致。机组推力轴承在上、下导轴承之间,由于推力轴承的镜板和推力瓦不平,引起机组轴线异常,下导轴承受到的径向受力增加,引起下导轴承径向摆度增加。并且,下导由于轴承的支撑较弱(下导轴承支撑螺栓松动),致使下导瓦间隙变大,摆度增大情况进一步加剧。

5 结 语

本文采用基于产生式规则的专家系统对水电机组振动故障进行诊断,能够反映机组的异常,初步确定引起机组振动异常的大致部位和可能原因,为状态检修决策提供技术支持和培训新人员都会起到良好的作用,提高了水电机组运行的安全可靠性和经济效益,具有一定的意义。

但是,故障诊断专家系统还存在一些问题,不能够准确的定位故障。如本文中机组摆度过大的原因,专家系统的结论没有能完全准确反映实际故障的原因。这主要是因为专家系统应用时间不长和对水电机组实际运行故障处理认知的局限性所致。如何将人类专家丰富的现场经验融入到故障诊断专家系统中是一个值得深入研究的问题,也是提高专家系统诊断准确性的必由之路。只有通过调研故障处理的实践经验,不断充实和完善专家系统知识库,才能使故障诊断结论与实际运行情况很好的结合,实现水电厂的状态检修和安全、经济运行。

参 考 文 献

- [1] 王海. 水轮发电机组状态检修技术 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2004.
- [2] 夏松波, 黄文虎, 徐世昌等. 大型水轮发电机组振动监测与故障诊断问题的探讨 [J]. 机械强度, 1987, 3: 1-5.
- [3] 沈东, 褚福涛, 陈思. 水轮发电机组振动故障诊断与识别 [J]. 水动力学研究与进展, 2000, A辑15(1):129-133.
- [4] 瞿墨, 赖旭, 盛旺. 水电机组状态检修现状分析 [J]. 中国电力, 2007, 40(10): 20-23.
- [5] 陈卫钢, 周建中, 常黎. 基于专家系统的水电机组振动故障诊断研究 [J]. 华中科技大学学报(自然科学版), 2002, 30(6): 102-104.
- [6] 刘晓亭, 冯辅周. 水电机组运行设备监测诊断技术及应用 [M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2010.
- [7] 钟秉林, 黄仁. 机械故障诊断学 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2007.
- [8] 盛兆顺, 尹琦岭. 设备状态监测与故障诊断技术及应用 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2009.