

文章编号: 1003-8728(2000)01-0053-04

(52) 142-145



冯辅周

抽水蓄能机组状态监测分析诊断系统的设计

冯辅周¹, 褚福磊¹, 张正松¹, 陈伟¹, 李承军²¹清华大学摩擦学国家重点实验室, 北京 100084 ²广州抽水蓄能水电厂 610017

摘 要:介绍了广州蓄能水电厂 1 号机组状态监测分析诊断系统 (PSTA-I 系统) 的功能及结构形式; 系统设计所遵循的基本原则; 系统监测模块的设计; 系统中的若干种分析方法的选用原则及特点; 独特的帮助模块的设计及诊断模块的设计原则与特点; 最后简单总结了系统的改进及未来发展的趋势。

关键词:抽水蓄能机组; 状态监测; 故障诊断;

中图分类号:TK730.7 **文献标识码:**A

TK730.7

引 言

PSTA-I 系统是一套对抽水蓄能机组运行状态进行在线监测、报警、分析和诊断的系统。根据多方面的调研, 经过几种方案的技术、性能、经济比较之后, 最后确定系统采用基于 IPC 的数据采集系统及上、下位机网络通信的结构形式, 由传感器、信号处理与采集装置 (下位机)、上位机三部分组成, 系统传感器测点布置的选择、分析方法的选用、机组结构部件的划分、软件模块的划分等设计工作充分体现了系统设计的针对性、可靠性、开放性、可扩展性等原则, 充分考虑与广蓄现有的 SCADA 系统的结合。而且这种结构形式允许用户根据实际情况, 采用单上位机-单下位机结构, 或多上位机-单下位机, 或单上位机-多下位机, 或多上位机-多下位机模式, 多上位机结构还可提供更丰富的人机交换界面。采用网络通信方式, 上、下位机之间可以相隔千米, 从而为系统的管理和使用提供了充足的便利。系统可对机组关键部位的摆度、振动、温度、压力脉动等状态信息进行采集和存储, 通过监测、分析、诊断等服务功能, 获取有关机组状态的详细信息, 为电厂对机组设备按状态实施检修和预测性维护提供坚实的技术手段^[10]。

1 系统设计的基本原则

(1) 针对性

在充分分析了抽水蓄能机组设备运行特点和常见故障的基础上, 有针对性地进行了传感器类型及测点位置的选择、^[2,4~10]分析方法的选用、^[9,10]软件模块的划分等方面的工作, 从而保证了系统在运行时的实用性。

(2) 可靠性

信号的可靠性是决定设备状态监测与故障诊断系统的功能能否真正实现的关键因素。因此在系统设计初期, 我们

就非常重视系统的可靠性, 具体体现在以下两个方面: ①充分重视传感器的选择、安装、接线、防干扰、标定、调试等各个环节, 并注重硬件设计、制作工艺上的可靠性要求; ②软件上充分考虑数据的管理、存储、传输、特征提取算法, 软件系统的内存冲突管理、中断冲突管理等方面的可靠性。

(3) 开放性

在当今开放的信息时代, 任何一个系统的生命力与它本身的开放性是紧密相关的。在设计 PSTA-I 系统时, 我们就把它当作一项产品, 而不仅仅是一个科研课题, 考虑到将来产品的推广、升级换代, 因而特别注重系统的开放性: ①硬件系统设计中的板级单位的开放性, 可以随社会硬件资源的发展不断地升级换代; ②机组状态数据对第三方的开放性, 有利于检验各种分析方法和结论的正确性, 同时实现数据共享, 增进各方面专家之间的交流与合作。

(4) 可扩展性

系统在硬件、软件方案上都充分考虑了将来需求的发展, 因此系统采用了基于 IPC 的数据采集系统及上、下位机的网络通信的结构形式, 它保证系统可在将来与企业级的设备运行保障信息集成管理系统 (MIS 系统) 及其它社会服务体系相连接。

(5) 便于用户的 GUI 设计

在系统设计阶段, 充分考虑了用户需求, 考虑怎样才能让用户方便、简单地使用该系统等, 因此我们研制成功的系统不仅界面图文并茂、直观、友好, 操作方便, 而且还为用户提供了全方位的帮助系统, 例如: 使用帮助、领域专门知识帮助、诊断思路引导等, 使用操作简单, 学习起来也非常容易。

2 状态监测模块的设计

状态监测是系统的最基本模块, 要求通过监测特征参量

收稿日期: 1999-03-20

作者简介: 冯辅周 (1971-), 男 (汉族), 湖北黄冈县人, 清华大学讲师, 博士研究生

实时地反映机组的全局和局部状态。为了保证状态监测的实时性,状态监测的数据直接来自下位机传送的数据,而不是从数据库中获得的数据。该模块设计成三种形式:全局监测、局部监测和趋势监测。从监测类型来看,有测点参量监测和趋势参量监测。全局监测设计成机组结构的图形界面直接测点参量监测和全局测点数据变量表监测,如图 1、2,监视此图用户可以直观、明了地读出机组上所有测点当前时刻的测量值。有时用户在总体监测图中发现机组某个或几个测点的信号参量数值异常,为进一步跟踪监测,用户可以切换到相应的局部监测图,图 3 即为导轴承部件的局部监测。该监测界面为用户提供了细化的、聚焦于局部某几个测点的当前信号状态的参量值,而且能够以综合“虚拟仪表”的形式给出,如图中棒图显示,这也充分体现了“Software is Instrument”的未来测控趋势。正是基于这种思想,系统把机组按结构划分为 5 个局部监测模块:机组轴承、过流部件、结构振动、电机振动、推力轴承部件。这样的划分不仅仅是因为用户非常注重这些部位的工作状态,符合直觉反应,更因为各部件多个通道信息的融合可以全面地反映该部件是否按照设计功能在正常地工作。图 4 所示的趋势监测图反映了机组某几个测点参量在一段时间内的变化趋势。

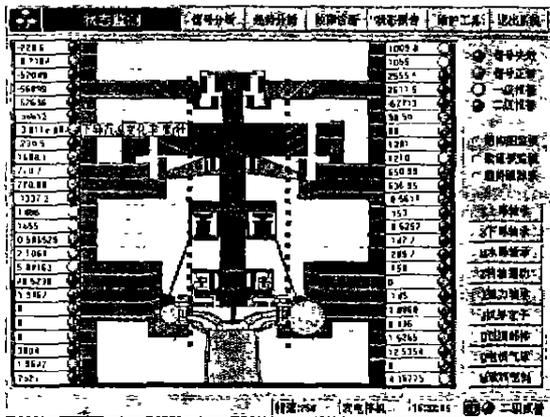


图 1 基于机组整体结构的监测界面

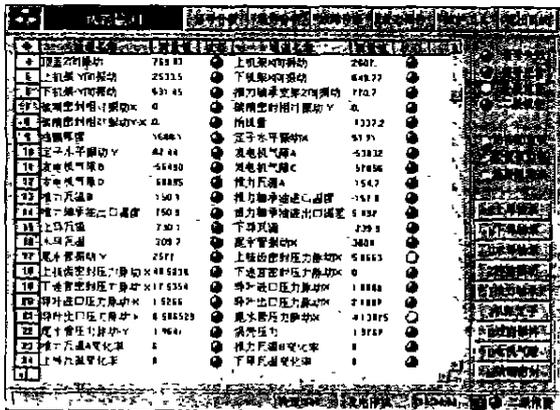


图 2 各测点数据监测表

状态监测的另两个特点是:

(1) 报警级别与报警形式的设计:信号状态设计成四种级别:二级报警、一级报警、正常、失效。分别用不同颜色的信号灯来指示:绿色信号灯表示信号状态正常,黄色信号灯表示一级报警,红色信号灯表示二级报警,蓝色信号灯表示信号失效(通道故障或信号不可信)。报警形式设计成视觉和听觉两种形式,听觉报警设计成语音报警,视觉报警设计成报警指示灯的形式,即当系统测试到的数据有超标(超过预选给定的阈值)时,就在上位机屏幕上以综合状态报警指示灯的形式给出报警信息。另外,为了适应将来水电厂无人值班的发展趋势,还应该有通向远程值守人员的报警方式。

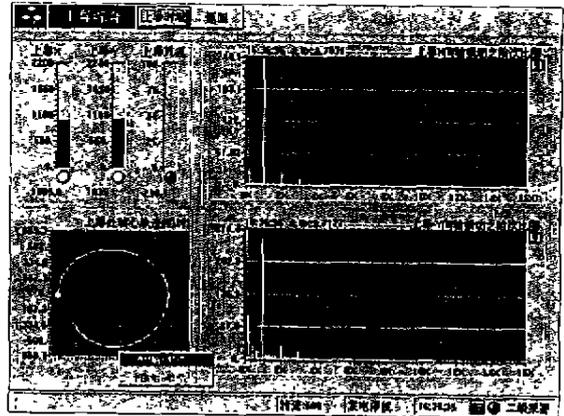


图 3 导轴承状态监测

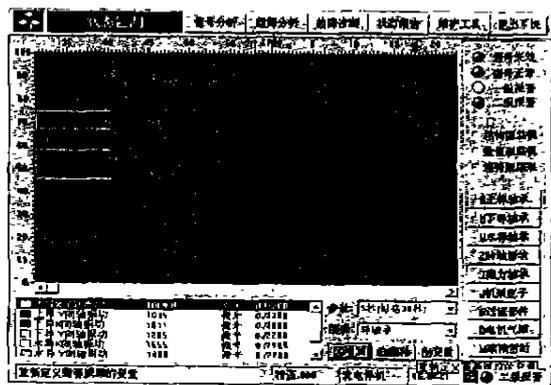


图 4 状态趋势监测

(2) 状态监测的实时性:当用户使用上位机进行信号分析、诊断或其它工作时,机组的状态监测仍然不被中断,因为状态监测模块被设计成一个独立的线程,总在不停地接收信息,实时地给出机组状态的初步评价,以便有报警情况发生时,及时向用户报警。

3 系统分析模块的设计

PSTA-I 系统中分析模块是一个功能很强大的模块,它集成了信号处理领域的多种分析处理方法,同时结合了水轮

机组常用的分析手段和方法,并且借鉴了国内外大型监测、诊断系统的许多常用分析功能^[9,9]。该模块共含有若干种分析方法,有的方法仅用在机组某些特定部位的分析诊断过程中,有的方法同时用在若干种不同部件状态的分析与诊断中。在方法的选择上,我们充分考虑分析诊断的需要,真正做到注重各种分析方法的适用范围和条件,注重现场工程师使用的方便性,做到了方法“少而精、实用”的目的。

3.1 分析模块的基本要求与设计指导思想

用户对系统提出的功能要求是:除了常规的报警、监测功能外,应该能分析确诊水轮机组运行过程中可以出现的 17 种典型故障。这 17 种典型故障分别是:泄水锥松动、尾水管涡带振动大、导水机构传动件松动、调速器故障引起接力器抽动、大轴密封润滑不良、大轴密封偏磨或过度磨损、水轮机迷宫环碰磨、大轴弯曲或法兰不对中、大轴法兰螺丝松动、上、下、水导轴承间不对中、导轴承支撑部件有松动或裂纹、上、下导轴承间隙调整不当、推力轴承润滑不良、推力轴承弹性油箱状态恶化、转子动平衡不良、电磁拉力不平衡、定子叠片松动。我们在确诊这些典型故障时,有时需要利用信号的一些时域特征,如幅值平均值、最大峰峰值等参量来判别,这些量要利用信号的时域波形分析来获得;有时可能需要利用信号的一些频域特征,如某些特征频率点上的幅值、某个频段上的能量分布等来判别故障状态,这就需要应用功率谱分析方法。另外还有一些旋转机械故障诊断中用得最多的分析方法,如轴心轨迹分析法、相位分析、趋势分析等。因此分析诊断这 17 种故障所需的方法必须包含在该系统中。另外还要结合水轮机组的日常维护、试验等过程,把用户需要用于分析、比较的方法也包含在该系统中,如 Event Log 报警事件记录等。

因此,系统设计了以下多种分析方法供用户自由选用:时域信号图,功率谱图,阶次比分析图,相位分析图,轴心轨迹图,多轴心轨迹图,波德图,极坐标图,级联图,瀑布图,中间轴线图,凝聚函数分析图,传递函数分析图,互相关分析图,相干分析图,电机气隙图,以及推力轴承起机停机过程的温度变化趋势分析图,起、停机趋势分析图和历史趋势分析等方法,文^[10]详细介绍了以上各种分析方法的原理、应用及特点。利用该模块可以对数据库中任意选定的数据进行上述一种或多种方法的分析。关于系统分析函数的设置,其考虑的出发点是:水泵水轮机的振动部位广泛,其主要激振分别来自机械因素、电磁因素和水力激振,还有来自其它机组及辅机的激振。其信号类型有:周期信号、随机信号,信号反映了机组由于电磁、转子、水流所引起的多种激振源的强迫振动,亦可能有自激振动。为实现对机组状况的系统性研究,向现场的工作技术人员提供一套完整的分析工具,对系统监测信息进行深入、全面的分析,找出机组潜在问题的本质原因,信号分析模块也将机组结构划分为五个部件:机组轴承、过流部件、结构振动、电机振动、推力轴承部件,分别向用户全方位地提供了既有通用分析工具又有专用分析工具的若干种分析方法,达到利用各种方法、从不同角度对系统的运行状况及各倍频信号进行灵活分析的目的,而且

还可根据用户的具体要求,为不同的机组部件增加新的信号分析方法,这也就是所谓的“组态”概念,即通道可分配给不同的部件,每个部件又可由用户定义相应的分析方法,使得分析方法的使用非常灵活。

3.2 环境参量跟踪提示

进入分析模块后,就可以看到一个跟踪显示当前数据的环境参数窗口,是系统的一个特色,表述了当前信号数据与系统环境参量密切相关的思想,为领域专家使用分析方法给出了确定的边界和实时的环境提示,有利于正确进行故障诊断和推理。环境参数窗口的数据随着数据包的选择而更换的,环境参量包括:转速、时间、记录号、导叶开度、流量、有功、无功、发电状态开关、水泵状态开关、拖动开关、被拖动开关、推力油位高低开关、励磁开关、电机出口开关以及检修状态开关等。这些环境参量与具体的故障有着直接的联系,如励磁开关、电机出口开关、功率大小等对振动信号分析中的电磁激振频率确认有直接的关系;工况、导叶开度、流量和转速对分析水力激振也有直接帮助。

4 充分方便于用户的帮助模块设计

帮助模块在设计时考虑了三个层次,相应地划分为三部分:操作帮助;分析方法帮助;诊断时的领域专门知识帮助,如图 5。“操作帮助”可在线地向用户解释各项操作的任务及目的,提示用户



图 5 帮助模块构成图

当前所在的模块,当前鼠标所指命令即将进行何种操作等,这一点是一般软件设计时都能考虑到的问题;“分析方法帮助”可解答用户在使用各种分析方法时遇到的疑难问题,提供给当前所选用分析方法的定义、理论、公式及特点,并且提示用户,通过使用这种方法,可提取出信号中哪些数值型特征参量等;“领域专门知识帮助”则结合了故障机理、诊断流程为用户提供分析、确认故障的思路,它提供了有关被分析对象的结构、功能、技术要求等初始知识以及有关对象的故障机理、征兆、一般故障实例及文献。领域专家对设备对象的了解和独到的启发式经验知识是十分宝贵的,为了把它们继承下来或者说是实现信息共享,特别提出领域专门知识帮助的概念,这对于初学者和运行工程师很有益处。PSTA-I 系统在广州抽水蓄能水电厂安装后的实践证明,这种由浅入深、适应不同层次用户需求的、全面的帮助模块大大地方便了用户,深受用户的欢迎。

5 诊断模块的设计

PSTA-I 系统的故障诊断模块是专为诊断抽水蓄能机组常见故障和典型故障设计的。该故障诊断系统可以诊断用户在需求分析中提出的 17 种故障^[10]。诊断模块设计成一个在线式且与监测系统紧密联系的通用诊断平台,适合用户构建各类立式水轮机组的故障诊断系统,图 6 给出了诊断模块的基本界面形式。该设计具有以下特点:

(1) 知识的表达方式直观、简单、易懂,它使得知识库的构建、编辑、修改方便。

(2) 推理机制多样化。除了基于知识库的产生式规则逻辑推理外,还有基于模式识别原理的模糊聚类算法推理,以快速确定主要可疑故障集、缩小故障的查找范围。

(3) 便于机器学习和知识库的扩充。知识库的编辑界面就是一个知识的扩充和修改入口,频谱编辑模块是基于算法进行机器学习的标准故障基准谱获取的模块。

(4) 知识库的开放性。系统知识库对用户是全开放的,用户不仅可以从诊断界面上形象、直观地得到知识库的全部信息和结构,而且还可以将知识库的各种变量定义和规则打印成专门的文本,用来阅读研究。

(5) 含有多种诊断方法,可分为详细诊断、自动诊断和咨询诊断方式。详细诊断针对 17 种故障作一次巡检,做一次 17 个项目的健康体检;自动诊断是当报警发生后,针对引起报警的可能故障原因,进行诊断;咨询诊断是就用户需要的或者怀疑的故障进行诊断确认,可为用户提供故障的分析思路。

(6) 系统具有解释功能:诊断结果的解释是帮助用户对诊断过程的理解,对结果信服和建立信心的需要,解释包含三项内容:一是给出得到诊断结果的事实证据;二是给出诊断推理适用的模型或规则;三是给出诊断过程中各个概念或故障机理的解释。

(7) 诊断结果的输出功能:诊断结果的输出有 CRT 显示外,可以把直接诊断结论、结果解释及所用到的规则等合并存储、打印输出诊断报告。要求系统使用人员仔细阅读诊断报告,并可附上自己的意见。



图 6 系统可诊断的 17 种故障

6 结束语

系统安装在广州蓄能水电厂 1 号机组上之后,根据用户的要求,先后进行了多次形式及功能上的修改,以适应现场工程师的习惯和厂方新的功能要求,如先后增加了打印 Event Log 事件记录日志,适应厂方新近推广的 ABC 管理体制的修改等,根据广东省电力局的要求,最近又为系统扩展了远程数据传输等功能,在不久的将来,系统还将结合 INTERNET 和社会声讯寻呼系统对远方值守人员进行声讯传唤。

总之,PSTA-1 系统适应了水电厂水力机组运行特性及设备故障特点,满足了水电厂机组安全经济运行的需要,为电厂

按状态维修实施预测维修制度,实现高效维护管理集成化打下了基础。该系统硬件设备可靠性好,软件设计技术先进,系统不仅功能完备,可靠性高,适用性强,而且具有基于领域专家知识的诊断专家系统。实践证明,“一切为了用户,实际问题”的系统设计指导思想是正确的、可行的、成功的。

[参考文献]

- [1] Chang ChengSong, Zhang Wei. An Introduction of the Condition Monitoring, Analysis and Diagnosis System of a 300MW Pumped Storage Power Unit[A]. ISROMAC-7.22-26th[C]. February, 1998,363~372
- [2] Working Group 02 of Study Committee 11. Monitoring and Diagnostic Expert System for Hydro Generators [A]. ELECTRA, No 163[C]. Dec. 1995,56~63
- [3] Talas P, et al. Analysis of the Dynamic Behavior of Rotating Machines by Direct Measurement of Air Gap Vibrations[A]. Proceedings of EPRT[C]. 1984,331~347
- [4] Walter T, et al. Diagnosing Vibration Problems in Vertical Mounted Pumps[J]. Journal of Vibration, Acoustics, Stress and Reliability in Design, Transaction of ASME. 1988,110(2):172~177
- [5] Egusquiza E, et al. Fault Detection in Hydropower Plants [A]. IMEKO Congress[C]. Turin, Italy, 1994,2,1231~1236
- [6] 张伟等. 300MW 抽水蓄能机组振动状态监测、分析、诊断系统的研究[J]. 清华大学学报(自然科学版),1998,38(4):108~112
- [7] 刘晓亭,李启章. 水轮机现场测试手册. 北京,水利水电出版社,1992
- [8] 张正松等. 旋转机械振动监测与故障诊断. 北京,机械工业出版社,1991
- [9] 严可国等编. 大型旋转机械监测保护故障诊断系统[M]. 北京,美国本特利内华达公司北京办事处,1994
- [10] 张伟. 抽水蓄能机组状态监测、分析、诊断系统研究[D]. 北京,清华大学,1998

(下转第 160 页)