DOI:10.3969/j.issn.1001-5485.2013.01.015 2013,30(01):76-79

水电机组性能参数综合测试系统综述

潘熙和[1],黄业华[1],程远楚[2]
(1.长江科学院 武汉长江控制设备研究所,武汉 430010;2.武汉大学 动力与机械学院,武汉 430072)

摘要:介绍了水电机组性能参数综合测试系统,7个子功能装置及其分析平台。阐述了该系统能实现对水电机组性能指标(安全性、稳定性、可靠性、经济性)的全面科学评价,彻底改变我国水电机组关键监测设备依赖进口的现状,提高我国水电机组监测仪器设备的自主创新能力与装备水平,支撑科技创新,服务国民经济与社会发展。

关 键 词:子装置;分析平台;同步采样;性能参数;综合测试
中图分类号:TV734;TM312 **文献标志码**:A **文章编号**:1001-5485(2013)01-0076-04

1 研究背景

水电机组在运行过程中会产生一系列问题,如机组会产生振动和摆动;水轮机会产生空蚀;发电机局部放电和气隙会影响发电机的电气和机械性能;机组运行需要获取状态与能效之间的关系,以指导其优化运行;水电机组控制系统的参数优化需要水轮机调节系统和发电机励磁系统的测试装置支撑。以下"7+1"系统就是为解决以上这些问题而提出的水电机组性能参数综合测试系统,其测试内容涵盖了机组重要的性能参数。

水电机组性能参数综合测试系统由水轮机空化与压力脉动监测装置、发电机局部放电监测装置、发电机气隙监测装置、机组能量效率监测装置、机组振动与摆度监测装置、水轮机调节系统性能参数测试与仿真装置、发电机励磁系统性能参数测试与仿真装置7个子装置和1个将各子装置同步采集数据进行集成的水电机组性能参数综合测试分析平台构成,如图1所示。

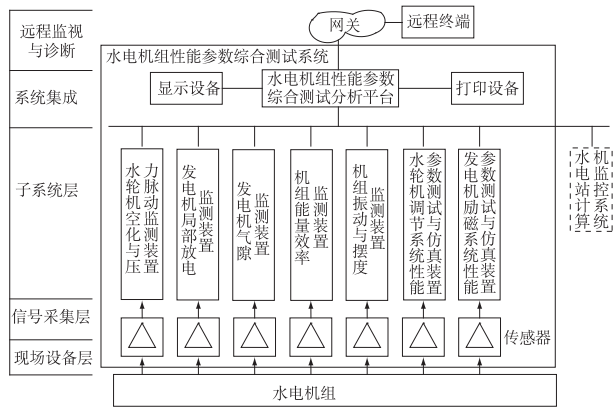


图1 水电机组性能参数综合测试系统结构图

Fig.1 Structure of the integrative testing system for the performances of hydropower generating unit

2 水电机组性能参数综合测试的国内外现状及发展趋势

2.1 国内外现状

随着水轮机状态监测与故障诊断越来越受重视,国内外在设备状态监测与分析系统方面开展了大量的工作,取得了丰硕的成果,研究了许多各具特色的产品,并成功应用到工业现场。国外故障诊断技术开始于20世纪60年代初,美国率先开展设备故障诊断技术。国内的故障诊断技术研究开展得比较晚,是通过首先引进国外先进技术,然后进行自我消化、吸收逐步发展起来的。20世纪90年代至今,国内开发的监测诊断系统在功能与实用性上已接近国际水平,适应了我国的发展需要。

2.2 与国外的差距

(1)应用基础理论和技术研究不够深入。缺乏对水电机组研究、设计、制造、安装、运行、维护等方面专家知识的全面收集,不能对水电机组的性能进行科学的评价。

(2)现有的监测与分析系统重点放在机组振动摆度、定转子间气隙和磁场强度、发电机局部放电等专项监测与分析上,国内对定转子间气隙和磁场强度、发电机局部放电和水轮机空蚀与脉动监测的技术不成熟,均为进口产品。

收稿日期:2012-09-26
作者简介:潘熙和(1965-),男,湖北阳新人,教授级高级工程师,主要从事电站控制设备的研究,(电话)027-82604195,13908638208(电子信箱)panxihe@sina.com。

目前国内外许多大、中型水电站都安装了状态监测与分析系统，可为电站机组的状态监测与故障诊断以及维护决策等提供了支撑，但是水电站设备状态监测与分析系统仍然存在很多问题，具体表现在：

（1）机组监测项目不完整，且独立布置，各系统之间信息不能共享，导致不能进行机组状态的综合分析。水电站设备繁多，且相互耦合形成一个有机整体，机组监测项目存在时标不统一、数据不同步等问题，这使得专家对电站设备进行综合分析时，需要查询多个系统的数据，存在很大的困难与不便。

（2）有些系统平台落后，无法实现远程状态监测与故障分析；部分系统虽然实现了状态的远程监视与分析，但由于远程系统与现场监测装置缺乏交互，未能实现真正的远程分析与诊断，降低了设备诊断分析的效率。

（3）目前故障诊断系统的智能化水平低，几乎都无法实现对设备健康状况的自动评估，故障自动识别准确率低，因此目前水电站的设备健康状况评估仍然主要由运行人员通过设备运行分析来完成。

2.3　发展趋势

由于引起水电机组故障原因的多样性、交叉性，单一的监测方法和对单个子系统的监测分析不能充分准确地预测某一个故障，需要多种监测技术复合应用，建立水电机组的综合监测和分析系统，即建立起各分系统的联系，对各分系统间的信息进行共享与融合，达到提高综合分析的能力。随着水电设备检修体制的改革，实施水电机组性能参数的综合测试与分析，实现机组的故障预测与诊断，进而实施“状态检修”已成为水电机组运行维护技术发展的必然趋势。

3　系统开发的必要性和意义

3.1　国产化的需要

目前，有关水轮机空化与压力脉动监测、发电机气隙监测、发电机局部放电监测的相关装置主要依靠进口，价格昂贵，有必要进行该项目的研究和产品的国产化。水电设备应用单位多次在行业会议上呼吁：能否开发水电机组参数与性能综合测试分析系统，替代高价的相关进口产品，并希望在某些技术层面有所突破。

3.2　水电机组安全、高效运行的需要

水电能源是我国能源战略中不可缺少的重要组成部分。水力机组是水电站和泵站的关键设备，运行状态直接影响到水电厂与泵站的安全运行。为保证水力机组的安全稳定和高效运行，需要开发水电机组性能参数综合测试系统，增强水电机组运行的安全性与经济性。

3.3　社会发展与技术进步的需要

随着水电机组检修、维护、运行、管理方式的变化，随着水电机组状态监测和故障诊断技术的进步，水电设备维修方式正在逐渐从过去的以时间为基础的定期“预防性维修”向今天的以状态监测为基础的“预测性维修”方式过渡。因此，实施水电机组的状态监测和故障诊断，并在此基础上对水电机组实施“状态检修”已成为水电机组运行维护技术发展的必然趋势，所以需要引入强有力的水电机组性能参数综合测试系统。

3.4　国家水利水电相关政策的需要

本系统研究紧扣《国家中长期科学和技术发展规划纲要（2006—2020 年）》的战略重点“水资源优化配置与综合开发利用”，通过产、学、研、用相结合，实现自主开发和集成创新。南水北调工程大量的梯级泵站系统将陆续投运，泵站系统安全运行牵涉到国家民生问题。本系统可用于泵站水力机组参数与性能综合监测分析，提高泵站运行的安全性，为南水北调泵站系统安全运行管理起到重要的技术保障作用。

3.5　市场需求

市场调研表明，对于水电机组性能参数综合测试系统，科研机构、高等院校、水电机组检测试验单位、大中小型水电厂、泵站主管部门、水电主机及辅机制造厂均表示有设备购置的需求。

4　系统各功能子装置介绍

4.1　7 个功能子装置介绍

该系统研究的 7 个功能子装置的主要构成和内容如表 1。在这里有必要谈谈水轮机调节系统监测装置和发电机励磁系统监测装置。由于水轮机调节系统和发电机励磁系统经常需要在设备投入到现场前进行各项仿真及模拟试验，并自动生成试验结果，以检验调速器和励磁装置的各种性能指标，实现对调速器和励磁装置的相关性能鉴定，所以，子装置 6 和子装置 7 常常将实时仿真功能硬件一并进行开发。因此，子装置 6 要进行调节系统数学模型的建立和仿真试验软件开发，解决非线性实时仿真

表 1 七个子装置介绍[2-5]

Table 1 Seven sub-function devices of the system[2-5]

子装置名称	主要构成	主要研究内容
1. 水轮机空化与压力脉动监测装置	超声、压力、水声等传感器；高速数据采集与信号处理模块。	空化噪声及传播特性；空化与压力脉动关系；空化部位与程度的检测方法。
2. 发电机局部放电监测装置	局部放电传感器、电压互感器；高速数据采集与信号处理模块。	通过耦合电容器提取局部放电的脉冲电流信号；开发专用的智能化局部放电监测模块；实现对局部放电信号的综合分析及评价。
3. 发电机气隙监测装置	气隙专用传感器、键相传感器；数据采集与信号处理模块。	通过专用的气隙传感器采集发电机气隙信号；开发专用的发电机气隙监测模块；实现发电机气隙动态监测和评估。
4. 机组能量效率监测装置	流量、水头、功率等测量模块；分析软件模块。	机组能量效率监测方案和计算模型的研究；机组能量效率监测装置的硬件及软件设计。
5. 机组振动与摆度监测装置	振动、摆度、功率传感器及测量与分析模块。	解决多装置、多系统间的同步采样问题。
6. 水轮机调节系统性能参数测试与仿真装置	仿真测试仪前置机；仿真测试仪上位机。	水轮机调节系统试验装置硬件的开发；调节系统数学模型的建立；仿真试验软件开发。
7. 发电机励磁系统性能参数测试与仿真装置	仿真测试仪前置机；仿真测试仪上位机。	发电机励磁系统试验装置硬件的开发；发电机励磁系统数学模型的建立；仿真试验软件开发。

问题；子装置 7 要进行发电机励磁系统数学模型的建立和仿真试验软件开发，解决励磁功率单元在线监测与实时仿真问题。[1]

4.2 水电机组性能参数综合测试分析平台

水电机组性能参数综合测试分析平台主要工作是研发平台的应用软件，以达到水电机组性能参数综合测试和分析的目的。平台主要应用软件功能模块有：实时状态监测模块、信号分析模块、性能评价模块、故障分析模块、趋势分析与预测模块、实用计算模块、决策报告模块和远程信息交互模块等。

研发水电机组性能参数分析与评估系统，通过对水电机组多参数在线同步测量，能够快速、准确、同步地从各子系统中按预先约定采集所需的基本数据，并实现如下功能：①在 7 个子装置的基础上建立综合分析平台，开发水电机组性能参数综合测试分析系统；②开发相应的软件包——各子模块的通讯方法、通讯协议，多系统集成数据条件下的采集、存储、表达方式，相关特征值提取；③开发相应的界面程序——多系统集成数据的动态特性及指标分析、频谱分析、小波分析、小波分解、EMD 分解等；④根据农村小水电建设与长远规划的要求，在该平台上开发支持机组远程监视与诊断的系统软件。[6]

机组远程监视与诊断系统是综合测试分析平台的一个扩展功能。该系统主要解决以下问题：

（1）小水电装机容量小，地处边远地区，技术与管理相对较为薄弱，该系统能满足综合自动化提出的更高的要求。

（2）基层组织人员少、技术力量弱，且工作任务繁重，一旦发生故障，很难准确地发现故障源，甚至对故障的描述也做不到全面准确。

（3）针对农村小水电技术力量薄弱的现状，研究机组远程监视与诊断技术，集成机组远程诊断与控制功能，以提高中小型水电站及泵站运行的安全性和稳定性。

4.3 系统开发的关键技术及创新点

整个系统开发具有多装置、多参数的同步采集、数据集成、信息融合、综合评价的分析平台，其关键技术及创新点有：

水电机组多装置的数据集成与信息融合；

宽谱特性的噪声信号处理技术；

发电机气隙与局部放电专用传感器；

不同型式引水系统的水电机组流量测量方案和计算模型；

高精度与快速响应的可控三相大功率电源；

各类机型的水轮机、发电机非线性数学模型的建立与实施；

水电机组多参数同步采样与分析系统；

水电机组参数与性能综合评价方法。

5 结 语

有关水电机组性能参数综合测试系统的各子装置，目前国内外已有部分成熟产品，如机组振动与摆度监测装置；有的产品只能引用进口，如发电机局部放电装置；有的产品目前功能并不完善，如机组能量效率监测装置；也有的产品目前技术水平不高，如水轮机调节和发电机励磁系统的测试装置。因此，有必要进行国产化开发水电机组性能参数综合测试系统的各子装置。

另外，水电机组性能参数综合测试分析平台是建立在所研发的 7 个子装置和机组监控系统等各子系统之上的大规模信息融合与分析系统；在物理上，它主要由高性能计算机系统及连接到各子系统的通讯网络组成；对多来源、多时标和异构数据实现集成与融合；通过研发的应用软件达到水电机组性能参数综合测试和分析的目的。综合测试分析平台的建

立,能实现多参数、多装置的同步采样,能进行相关性分析,能为机组运行维护“状态检修”技术提供有力的支撑,对机组性能指标(安全性、稳定性、可靠性、经济性)进行全面科学的评价。

进行水电机组性能参数综合测试系统的国产化开发,能彻底改变我国水电机组关键监测仪器设备依赖进口的现状,提高我国水电机组监测仪器设备的自主创新能力与装备水平,实现水电机组状态监测与性能评估质的飞跃。

由于水电机组性能参数综合测试系统由“7 + 1”构成,对于用户的产品购置,应该说,针对不同层次的用户,可以提供不同配置乃至不同档次的子装置组合,或购置单功能子装置,或购置部分功能子装置,或购置全部功能子装置,也可购置“7 + 1”全系统。

参考文献:

[1] 潘熙和,贾宝良,吴应文. 我国水轮机调速技术最新进展与展望[J]. 长江科学院院报,2007,24(5):79 - 84. (PAN Xi-he, JIA Bao-liang, WU Ying-wen. Progress and Prospect of Domestic Turbine Control Technology [J]. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute, 2007, 24(5): 79 - 84. (in Chinese))

[2] 魏　炜,黄成军. 发电机局部放电在线监测系统[J]. 华东电力,2002,(4):22 - 24. (WEI Wei, HUANG Cheng-jun. On-line Monitoring System for Partial Discharge of Motor[J]. East China Electric Power, 2002, (4):22 - 24. (in Chinese))

[3] 田　浩,于石生. 水轮机空化的超声监测技术研究[J]. 无损检测,2003,25(5):250 - 252. (TIAN Hao, YU Shi-sheng. Research on Ultrasonic Detection of Hydraulic Turbine Cavitation[J]. Nondestructive Testing, 2003, 25(5): 250 - 252. (in Chinese))

[4] 黄天戍, 向继东, 任清珍. 一种新型的水电机组振动摆度在线状态监测仪[J]. 工业仪表与自动化装置, 2003, (5):51 - 54. (HUANG Tian-shu, XIANG Ji-dong, REN Qing-zhen. A New On-line Condition Monitor Designed for Vibration and Throw under Generating Sets [J]. Industrial Instrumentation & Automation, 2003, (5): 51 - 54. (in Chinese))

[5] 冯东云,倪效勇. 现场可编程门阵列技术在水轮发电机组流速测量中的应用[J]. 电力系统自动化,2004,28(14):85 - 89. (FENG Dong-yun, NI Xiao-yong. Application of FPGA in Measuring the Flow Velocity of Hydroelectric Generating Set[J]. Automation of Electric Power Systems, 2004, 28(14): 85 - 89. (in Chinese))

[6] 康　睿. 水电机组状态监测方法与信号预处理研究[D]. 西安:西安理工大学,2007. (KANG Rui. Study on Method of Monitoring the Condition of Hydropower Units and Signal Preprocessing[D]. Xi'an: Xi'an University of Technology, 2007. (in Chinese))

(编辑:刘运飞)

An Integrative Testing System for the Performance Indexes of Hydropower Generating Units

PAN Xi-he[1], HUANG Ye-hua[1], CHENG Yuan-chu[2]

(1. Wuhan Changjiang Control Equipment Research Institute, Yangtze River Scientific Research Institute, Wuhan 430010, China; 2. School of Power and Mechanical Engineering, Wuhan University, Wuhan 430072, China)

Abstract: An integrative testing system for the performance indexes (security, stability, reliability, and economy) of hydropower generating units is presented. The system consists of 7 sub-function devices and an analysis platform. The 7 sub-function devices are respectively responsible for the monitoring of cavitation and pressure fluctuation of hydroturbine, partial discharge of generator, air gap of generator, energy efficiency of power units, vibration and throw of power units, as well as the testing and simulation of hydroturbine's governing system performance, and the testing and simulation of generator's excitation system performance. With this system, the performance indexes could be comprehensively and scientifically evaluated. China's dependence on the import of crucial monitoring equipment for hydropower unit can be changed thoroughly. Our innovation ability and the level of monitoring equipment for hydroelectric generating sets can be improved.

Key words: sub-device; analysis platform; synchronous sampling; performance index; integrative testing