

水力机械试验台测控系统技术研究

刘永

天津市国威给排水设备制造有限公司

DOI:10.12238/hwr.v9i1.6038

[摘要] 进入21世纪后,中国凭借在水电领域的深厚积累与持续创新,逐步确立在全球水电设备研发领域的核心地位,正稳步从水电大国转型为水电强国。随着白鹤滩、乌东德等世界级大型水电机组的相继投产运行,如何全面与准确地测试这些机组的综合水力特性及水力稳定性,确保在复杂工况下的高效和稳定运行,已经成为行业内亟待解决的关键问题。因此,本文深入研究水力机械试验台的测控技术,通过开发一套集高精度测量与高稳定性控制于一体的测控系统,为水力机械的性能评价与优化设计提供坚实的技术支撑。

[关键词] 水力机械; 试验台; 测控技术; 数据采集; 控制系统

中图分类号: U260.14+6 **文献标识码:** A

Research on Measurement and Control Technology of Hydraulic Machinery Test Stand

Yong Liu

Tianjin Guowei Water Supply and Drainage Equipment Manufacturing Co., Ltd.

[Abstract] After entering the 21st century, China has gradually established its core position in the global hydropower equipment research and development field with its profound accumulation and continuous innovation in the hydropower field, and is steadily transforming from a hydropower power to a hydropower powerhouse. With the successive commissioning and operation of world-class large-scale hydropower units such as Baihetan and Wudongde, how to comprehensively and accurately test the comprehensive hydraulic characteristics and hydraulic stability of these units to ensure efficient and stable operation under complex working conditions has become a key issue that urgently needs to be solved in the industry. Therefore, this article delves into the measurement and control technology of hydraulic machinery test benches, and provides solid technical support for the performance evaluation and optimization design of hydraulic machinery by developing a measurement and control system that integrates high-precision measurement and high stability control.

[Key words] hydraulic machinery; Test bench; Measurement and control technology; Data collection; Control system

引言

全球水电设备研发正呈现出技术不断创新、规模持续扩大的趋势,各国纷纷加大投入,提升水电利用效率与环保性能。中国是水电大国,近年来在水电发展上取得一定成就,但也面临着机组大型化、复杂化带来的技术挑战与环境保护的双重压力。在此背景下,水力机械试验台作为评估水力机械性能的关键设备,其重要性日益凸显。通过研究测控技术,不仅有助于提升水力机械综合性能评价的准确性,还能推动水力机械研发与生产的智能化进程,进而确保水电站的安全高效运行,提升整体经济性^[1]。

1 水力机械试验台测控系统理论基础

1.1 测控系统基本原理

水力机械试验台测控系统的理论基础是确保整个系统能够精确、高效地运行的关键所在。测控系统包括测量技术基础、控制技术基础以及数据采集与处理技术等多个方面。测量技术基础涉及对水力机械性能参数的准确测量,包括压力、流量、转速、扭矩等关键指标,这要求测量设备具备高精度和高灵敏度,确保数据的准确性。控制技术基础关注如何通过合理的控制策略,实现对水力机械试验过程的精确调控,包括对试验条件的设定、调整以及对试验过程中异常情况的及时响应与处理。数据采集与处理技术是将测量得到的原始数据进行有效的收集、存储、处理与分析,提取出有价值的信息,为水力机械性能的评价与优化提供科学依据。

1.2 综合测试系统概述

水力机械试验台测控系统的理论基础中,综合测试系统占据重要地位。综合测试系统是一种集成多种测试技术与手段,能够对水力机械进行全面、系统测试的复杂系统。不仅涵盖测试的对象、内容与目的,还明确测试过程中所需采用的仪器、设备及方法。在功能方面,综合测试系统能够实现对水力机械各项性能参数的精确测量与实时监测,包括压力、流量、转速、振动、噪声等关键指标。综合测试系统通常由多个模块组成,包括数据采集模块、信号处理模块、控制执行模块及数据分析模块等,这些模块之间通过高效的架构设计与数据传输机制相互协作,共同支撑起整个测试流程。在水力机械试验中,综合测试系统以其全面性、准确性及高效性,为试验数据的获取与分析提供强有力的支持,有效提升水力机械性能评估的精度与效率^[2]。

2 水力机械试验台测控系统

2.1 系统需求分析

水力机械试验台测控系统的设计与实现,首先,需要对其进行详尽的系统需求分析。试验台的基本功能与要求包括模拟真实工况下的水力机械运行环境,对水力机械的各项性能参数进行精确测量与记录,以及根据试验结果进行性能评估与优化建议。要求试验台具备高度的模拟精度、测量准确性及数据可靠性。测控系统的性能指标具体体现在数据采集的精度与实时性、控制系统的响应速度与稳定性、数据处理与分析的效率与准确性等多个方面。这些指标直接决定测控系统能否满足试验台对水力机械性能全面、准确评估的需求。此外,用户需求与期望也是系统需求分析中不可忽视的一环。用户期望测控系统能够提供直观易用的操作界面,便于试验人员快速上手并高效完成试验任务。同时,系统应具备高度的可扩展性与灵活性,适应未来可能出现的新试验需求与技术升级。综合考虑试验台的基本功能与要求、测控系统的性能指标以及用户需求与期望,才能为测控系统的设计与实现奠定坚实的基础。

2.2 系统设计

在水力机械试验台测控系统的设计中,系统总体架构设计是首要任务,决定系统的整体框架与功能布局。系统总体架构设计需要充分考虑试验台的实际需求,确保各功能模块之间的数据流通与控制指令的准确传递。测试系统设计是整个测控系统的核心,负责完成对水力机械各项性能参数的精确测量与记录。在硬件设计方面,数据采集卡作为连接传感器与计算机的关键设备,需要具备高速、高精度的数据采集能力。传感器根据试验需求,选用能够准确测量压力、流量、转速、振动等参数的型号,确保测量数据的准确性。软件设计方面,数据采集模块负责将传感器采集到的原始数据进行实时采集与存储。数据计算模块基于采集到的数据,进行必要的计算与分析,得出水力机械的性能参数。交互模块提供直观易用的操作界面,方便试验人员监控试验过程、设置试验参数及查看试验结果。

控制系统设计同样至关重要,负责实现对试验过程的精确控制。在硬件设计方面,PLC控制器是控制系统的核心,需具备强

大的数据处理与逻辑控制能力。远程IO模块用于连接各类执行机构,如阀门、电机等,实现远程控制。软件设计方面,操作界面组态需要根据试验流程与控制需求,设计直观、易操作的界面,方便试验人员实时监控与控制试验过程。控制逻辑设计基于试验台的运行逻辑与试验需求,编写相应的控制程序,确保试验过程的准确执行。通过合理的系统设计与软硬件配置,水力机械试验台测控系统能够实现对水力机械性能的全面、准确评估,为水力机械的研发与优化提供有力支持^[3]。

2.3 关键技术

在水力机械试验台测控系统中,关键技术决定了系统的性能与可靠性。高精度数据采集技术是测控系统的基础,直接关系到试验数据的准确性与可靠性。为了实现高精度数据采集,系统需采用高分辨率、低噪声的数据采集卡,以及高精度、高稳定性的传感器。这些设备能够捕捉水力机械运行过程中的微小变化,确保采集到的数据真实反映机械性能。同时,数据采集过程中还需考虑信号的滤波与去噪,进一步提高数据的准确性。

实时控制技术与算法是测控系统的核心,负责根据试验需求,对水力机械进行精确的控制与调节。实时控制技术需具备高速、准确的响应能力,能够实时跟踪水力机械的运行状态,并根据预设的控制策略,及时调整试验条件。算法方面,需采用先进的控制算法,如PID控制、模糊控制、神经网络控制等,以适应不同试验场景下的控制需求。这些算法能够实现对水力机械性能的精确调控,提高试验的精度与效率。

数据处理与误差分析技术是确保试验结果准确性的关键。在数据采集完成后,需对原始数据进行预处理,包括数据清洗、异常值检测与剔除等,提高数据质量。随后,利用统计学方法与误差分析技术,对处理后的数据进行深入分析,评估试验结果的可靠性与准确性。有助于发现试验过程中的潜在问题,为后续的性能优化提供依据。

人机交互界面设计是测控系统的重要组成部分,直接关系到试验人员的操作体验与工作效率。直观、易用的操作界面能够降低试验人员的操作难度,提高试验效率。在设计人机交互界面时,需要充分考虑试验流程与控制需求,合理布局界面元素,确保试验人员能够快速上手并高效完成试验任务。同时,界面还需具备良好的反馈机制,能够实时显示试验状态与控制结果,帮助试验人员实时监控试验过程,确保试验的顺利进行。

3 水力机械试验台测控系统实现

3.1 硬件实现

在水力机械试验台测控系统的硬件实现过程中,测试系统硬件搭建是首要步骤。为了确保数据采集的高精度与实时性,选用高性能的PXIe-1092机箱,该机箱具备出色的扩展性与稳定性,能够满足复杂测试环境的需求。同时,配置高分辨率、低噪声的数据采集卡,确保对水力机械各项性能参数的精确测量。传感器作为测试系统的“眼睛”,选型与安装至关重要。根据试验需求,精选能够准确测量压力、流量、转速、振动等关键参数的传感器,并进行精密的安装与校准,确保测量数据的准确性。

在控制系统硬件搭建方面,选用性能稳定、控制精度高的S7-300PLC控制器作为核心,该控制器具备强大的数据处理与逻辑控制能力,能够满足复杂控制策略的需求。同时,配置ET200M远程IO模块,实现对阀门、空压机、导叶开度电机等的远程控制。执行机构根据PLC控制器的指令,精确调节试验条件,确保试验过程的顺利进行。在执行机构的控制上,采用先进的控制算法与策略,实现对水力机械性能的精确调控,提高了试验的精度与效率。硬件实现过程中,注重系统的安全性与可靠性。通过对硬件设备的严格筛选与测试,以及对系统架构的合理设计,确保测控系统在复杂工况下的稳定运行,为后续的试验提供了坚实的基础^[4]。

3.2 软件实现

在水力机械试验台测控系统的软件实现过程中,测试系统软件开发是核心环节。选择了LabVIEW功能强大的图形化编程平台,利用其模块化的开发方式,实现数据采集模块、数据计算模块以及交互模块的快速开发。数据采集模块通过配置数据采集卡的相关参数,实现对传感器信号的实时采集与存储,确保数据的完整性与准确性。数据计算模块则基于采集到的数据,利用预设的算法与公式,进行了水力机械性能参数的计算与分析,为后续的性能评估与优化提供了数据支持。交互模块设计直观、易用的操作界面,实现试验人员与测控系统之间的便捷交互,使得试验过程更加高效、可控。

在控制系统软件开发方面,选用WINCC这一专业的工业自动化软件平台,利用其强大的操作界面组态功能,设计清晰、直观的控制界面。该界面不仅能够实时显示试验状态与控制结果,还能够根据试验需求,快速调整控制参数,实现对试验过程的精确控制。控制逻辑的实现与调试是控制系统软件开发的关键环节,人们根据试验流程与控制需求,编写了相应的控制程序,并通过多次调试与测试,确保了控制逻辑的准确性与稳定性。软件实现过程中,注重代码的复用性与可维护性,通过对功能模块进行良好的封装与注释,提高代码的可读性与可扩展性,为后续的系统升级与维护提供便利。

3.3 系统集成与调试

在水力机械试验台测控系统的实现过程中,系统集成与调试是确保系统稳定运行与功能实现的关键步骤。首先,进行软硬件的集成工作。硬件方面,将数据采集卡、传感器、PLC控制器、远程IO模块以及执行机构等关键设备按照设计要求进行连接与配置,确保硬件系统的完整性与可靠性。软件方面,将基于

LabVIEW的测试系统软件与基于WINCC的控制系统软件进行集成,实现数据采集、计算分析、控制执行以及人机交互等功能的无缝对接^[5]。

系统调试与优化是确保系统性能与稳定性的重要环节。通过对系统进行全面的调试,包括数据采集的精度与实时性测试、控制逻辑的准确性与稳定性验证,以及人机交互界面的流畅性与易用性评估等,发现并解决了系统中存在的问题与不足。同时,人们还对系统进行了优化,包括调整数据采集卡的采样率、优化控制算法、改进人机交互界面布局等,进一步提高了系统的性能与用户体验。

功能测试与验证是确保系统满足试验需求的关键步骤。根据试验流程与控制需求,设计了详细的测试用例,对系统的各项功能进行了全面的测试与验证。通过测试,人们确认了系统能够准确采集水力机械的性能参数、实时显示试验状态与控制结果、根据预设的控制策略精确调节试验条件,以及提供直观易用的操作界面等。这些功能的实现,为后续的试验提供了有力的支持与保障。

4 结语

综上所述,水力机械试验台测控技术作为水力机械研发与性能评估的重要手段。通过综合运用高精度数据采集、实时控制、数据处理与误差分析以及人机交互等关键技术,成功实现水力机械试验台测控系统的设计与实现。该系统不仅具备高性能、高稳定性与易用性等,还能够为水力机械的研发与优化提供准确和可靠的试验数据支持。

[参考文献]

- [1]田子轩,孙江,魏秀峰.水力机械试验台流量标定系统优化及应用[J].机械设计,2024,41(S2):142-145.
- [2]江振瑜,祝宝山.水泵水轮机飞逸工况下转轮内部流动分析研究[J].水电能源科学,2022,40(11):181-184+72.
- [3]陈铁军,祝宝山,王正伟,等.水力机械综合试验台水力循环系统模块化设计[J].实验技术与管理,2017,34(04):89-93+98.
- [4]周同旭,韩頔,王修礼,等.基于NI的高精度水力机械试验台测试系统设计[J].电气传动,2016,46(12):66-68+76.
- [5]周同旭,李雅洁,王柏柏,等.基于WinCC和PLC的水力机械试验台电气控制系统[J].电气传动,2016,46(01):63-66.

作者简介:

刘永(1971—),男,汉族,湖南人,本科,副高级工程师,研究方向:阀门、倒流防止器等给排水设备开发。