

高温气冷堆示范工程反应堆保护系统调试工具 研发与应用

雷川[✉], 程鹏, 张智军

(华能山东石岛湾核电有限公司, 山东 荣成 264312)

摘要: [目的]为克服反应堆保护系统调试技术存在的不足,以提高反应堆保护系统调试效率和质量。[方法]设计了一套专用于高温气冷堆示范工程反应堆保护系统的自动化调试工具。该工具采用了先进的技术,能够自动化地完成反应堆保护系统的调试,可以大大提高调试效率和质量。[结果]阐述了高温气冷堆示范工程反应堆保护系统调试工具的研发与应用,介绍了调试工具的研发过程、难点及内容,以及信号输出、信号采集、数据处理、信息显示等自动调试功能的设计思路、实现方式及成果,经过高温气冷堆示范工程反应堆保护系统功能和性能验证方面的实际调试与应用。在调试过程中,该工具能够快速准确地发现和解决问题,证明了该工具的有效性和可用性。[结论]自动化调试工具可以提高反应堆保护系统调试的效率和质量,提高了反应堆保护系统的可靠性和安全性。同时,还需要继续研究和改进自动化调试工具,以适应反应堆保护系统不同的调试需求。

关键词: 核电厂; 高温气冷堆; 反应堆保护系统; 调试工具; 调试效率

中图分类号: TL4; TP36

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2023)06-0153-07

开放科学(资源服务)二维码:



R&D and Application of Commissioning Tools for Reactor Protection System of High-Temperature Gas-Cooled Reactor—Pebble-Bed Module

LEI Chuan[✉], CHENG Peng, ZHANG Zhijun

(Huaneng Shandong Shidao Bay Nuclear Power Co., Ltd., Rongcheng 264312, Shandong, China)

Abstract: [Introduction] This article aims to overcome the shortcomings of commissioning techniques for reactor protection systems and improve the efficiency and quality of reactor protection system commissioning. [Method] A set of automation commissioning tools was specifically designed for the reactor protection system of the HTR-PM. The tools which adopted advanced technology could automatically complete the commissioning of the reactor protection system, and could greatly improve the efficiency and quality of commissioning. [Result] This article mainly elaborates on the R&D and application of the commissioning tools for the reactor protection system of HTR-PM (High-Temperature Gas-cooled Reactor—Pebble-bed Module). It introduces the R&D process, difficulties, and contents of the commissioning tools, as well as the design ideas, implementation methods, and results of automatic commissioning functions such as signal output, signal acquisition, data processing, and information display. Through the actual commissioning and application of the reactor protection system of the HTR-PM in terms of function and performance verification, these tools are able to quickly and accurately identify and solve problems during the commissioning process, demonstrating the effectiveness and usability of the tools. [Conclusion] The results show that automatic commissioning tools can improve the efficiency and quality of reactor protection system commissioning, and enhance the reliability and safety of the reactor protection system. At the same time, further research and improvement of automatic commissioning tools are still needed to meet the different commissioning needs of the reactor protection system.

Key words: nuclear power plant; high temperature gas-cooled reactor; reactor protection system; commissioning tools; efficiency of commissioning

2095-8676 © 2023 Energy China GEDI. Publishing services by Energy Observer Magazine Co., Ltd. on behalf of Energy China GEDI. This is an open access article under the CC BY-NC license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).

收稿日期: 2022-11-09 修回日期: 2023-03-01

基金项目: 中国华能集团科技项目“高温堆示范工程调试关键技术研究”(HNKJ15-H19)

0 引言

随着我国核电机组技术的不断发展和成熟,核电厂的建设和调试工作变得越来越重要。在核电厂系统设备的调试阶段,反应堆保护系统作为反应堆安全的中枢神经系统,具有极其重要的作用。传统的反应堆保护系统调试方式中,使用单个信号模拟工具只能模拟单个信号,反应堆保护系统在正常运行工况下需要模拟几十个以上的信号变量,同时反应堆保护系统的输出控制信号较多,其输出变化结果需要一个一个测量确认,因此存在效率低下、人力物力消耗大、信号稳定性难以保证等问题,这对于高温气冷堆示范工程的反应堆保护系统调试来说尤为突出。在现有的核电厂反应堆保护系统调试工具不适用于高温气冷堆示范工程调试的背景下,为了高效、高质量地完成高温气冷堆示范工程反应堆保护系统的调试,研发了一套用于高温气冷堆示范工程的反应堆保护系统的自动化调试专用工具。文章将介绍这套专用工具的研发目的、思路、功能和优点,以期为核电厂建设和调试工作提供有益参考。

1 研发目的及思路

1.1 研发目的

为了克服高温气冷堆示范工程反应堆保护系统调试技术的不足,需要一套专门用于反应堆保护系统的自动化调试工具。该调试工具基于反应堆保护系统功能和设备的特点而设计,具备可编程及扩展性,不仅可以用于高温气冷堆反应堆保护系统的调试,还可以通过适应性改造实现其他堆型反应堆保护系统功能和性能的验证。

1.2 研发难点

本调试工具的研发存在两大难点:(1)在各功率平台下,如何实现一键自动化进行反应堆保护系统逻辑、系统性能的自动调试及结果判断功能;(2)如何准确地实现反应堆保护系统中特有变量(如变化率)自动调试功能。针对此类变量的自动化调试,在以往的核电厂反应堆保护系统调试中没有实际应用经验,调试工具的软件功能需要进行大量的修改和测试,功能的研发和应用过程也面临较大的挑战。

1.3 研发思路

为了实现反应堆保护系统的调试功能,借鉴现

有类似工具的经验,确定了调试工具的功能研究方向^[1]主要为:反应堆保护系统调试工具可以根据预先设计的程序,为反应堆保护系统模拟就地仪表和系统接口信号,并自动调整各模拟信号的幅值和开关量信号触点的状态,同时实时监测反应堆保护系统的输出控制信号,通过调试工具专用的开发软件对数据进行分析^[2],从而综合评价反应堆保护系统的逻辑和性能是否达到了系统设计的需求。

1.3.1 运行过程要求

1)根据预先编制好的手动或自动运行程序脚本,自动化调试工具为反应堆保护系统 4 个测量通道输入模拟的保护监测变量信号,以及接口操作信号。

2)反应堆保护系统接收自动化调试工具输出的 4 个测量通道模拟信号进行隔离、处理,并根据模拟的保护监测变量信号条件进行逻辑符合,形成堆堆、联锁、专设触发信号,并产生动作指令驱动信号。

3)自动化调试工具采集反应堆保护逻辑符合输出的动作指令驱动信号,与预期的设计结果进行对比,并对结果进行记录和分析评价,判断结果是否正确,以确定是否继续进行下一步调试流程。

1.3.2 功能需求

1)自动化调试工具能够为反应堆保护系统机柜提供足够的模拟量输入信号,能够模拟不同功率平台下的保护变量并稳定运行,输出的模拟信号应具有足够的精度,并且能够满足与反应堆保护系统变量实际输入信号的程序范围,输出的模拟信号可以按设定的变化率变化,模拟反应堆保护变量变化率信号的特性,同时具有正/负变化率输出调整的功能,其变化率的输出特性可通过公式修改,且满足反应堆保护系统设计文件的要求。

2)自动化调试工具应具备可扩展性和可靠性(包括硬件、软件),可以通过扩展硬件和软件功能,满足反应堆保护系统的设计优化的要求,并具备长时间连续稳定运行的能力,反应堆保护系统 4 个测量通道的模拟信号一致性和同步性能好。

3)人机界面友好,交互能力强,试验结果和综合评价分析结果直观充分,当出现调试结果不一致时,能够记录详细的过程,以供问题分析。

2 实现过程

自动化调试工具基于 PCI 总线架构设计^[3],运行

于 Windows 操作系统上, 与反应堆保护系统输入输出接口相互连接, 如图 1 所示。通过自动化调试工具的人机交互界面进行自动化调试操作, 将信号采集板和信号输出板卡的信号调理成符合需求的标准信号, 实现对信号变量保护变量整定值判断、逻辑运算、变量的监视及强制等功能, 自动执行调试试验测试、记录测试数据, 最终形成数据分析报告和报表。

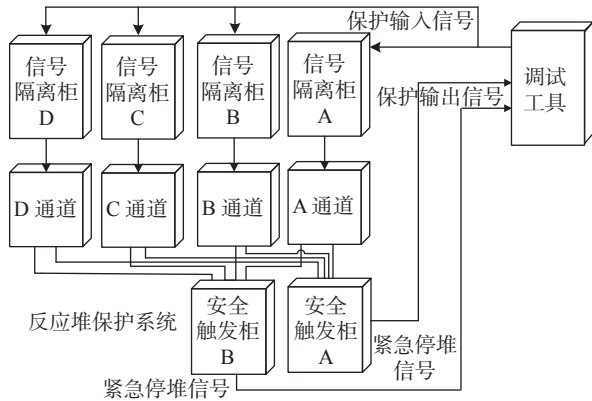


图 1 自动化调试工具连接示意图

Fig. 1 Connection diagram of automatic commissioning tools

2.1 信号输出

自动化调试工具信号输出功能由 AO 调理模块、DO 调理模块、NI 数据采集模块、预制电缆、接线端子实现。为了满足反应堆保护系统输入信号的数量要求, 自动化调试工具信号的输出数量留有足够的余量, 并具备硬件扩展能力。同时自动化调试工具可以输出标准的有源/无源 4~20 mA 模拟信号、开关量信号, 模拟不同功率平台下反应堆运行的各变量参数, 可根据不同的设计要求实现模拟量和开关量信号变化的功能。自动化调试工具输出的模拟信号可以根据需要设定变化率的速率, 能够模拟核功率变化率等变化信号, 同时具有正/负变化率输出调整的功能, 最终通过硬接线的方式输入反应堆保护系统中进行数据处理和逻辑判断。

2.2 信号采集

信号采集部分主要由信号 NI 数据采集模块^[4]、DI 调理模块、预制电缆、接线端子组成。自动化调试工具接收反应堆保护系统输出的控制指令信号, 通过硬接线的方式接入调试工具的接线端子, 传送至信号调理模块, 再通过预制电缆传输数据至数据采集模块, 并送至主控计算机内进行工程量数据转换, 最后对所采集的工程量数据与预期数据的一致

情况进行分析。

2.3 数据处理

2.3.1 软件设计

自动化调试工具基于 Windows 操作系统平台, 定制了专用自动化调试软件和监视调试软件, 通过数据库与配置管理、用户管理、调试脚本管理、调试结果查询等辅助软件模块进行通信, 以实现调试工具的自动化调试功能。在调试工具与反应堆保护系统接口连接正常的情况下, 工具上电后各采集板卡会实时采集反应堆保护系统输出的所有控制信号状态。自动化调试工具的程序框图如图 2 所示, 打开自动化调试专用程序, 打开主菜单后导入基本配置信息, 在主界面打开“自动测试”导入调试脚本, 选择需要进行的调试功能, 点击“开始”按钮进入自动调试状态, 若调试结果与设计预期一致, 则继续进行下一步直到所有测试结果满足预期为止; 若调试结果与设计预期存在偏差, 则系统弹出错误代码, 自动调试过程暂停, 由调试操作人进行问题排查及处理。

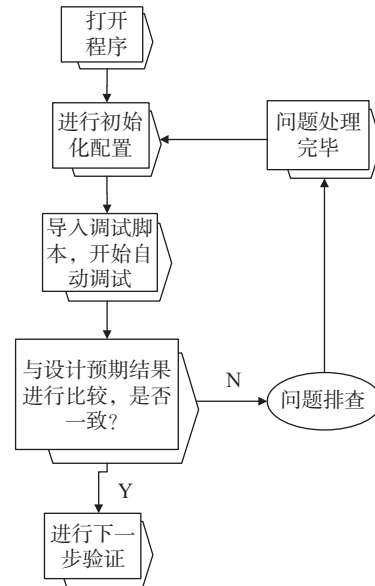


图 2 自动化调试程序框图

Fig. 2 Block diagram of automatic commissioning program

自动化调试软件程序, 可以进行手动和自动调试功能的调用, 程序可实现调试装置运行脚本的导入, 运行脚本可以根据用户需求编制, 调试装置运行脚本后, 可实现信号自动模拟变化、自动发送和接收判断等功能^[5]。解决在各功率平台下, 实现一键自动化进行反应堆保护系统逻辑、系统性能的自动调试及结果判断功能^[6]。

根据设计要求的变化率计算公式,反推变化率变量的输出变化特性,软件中包含用于模拟信号变化的特有输出模块^[7],结合专用软件程序中的自动调试功能,准确地实现反应堆保护系统中特有变量(如变化率)的自动调试。

2.3.2 偏差的处理

以反应堆保护系统紧急停堆功能的调试的温度信号为例,系统设计要求温度保护变量出现两个及以上信号超过保护变量整定值时,产生紧急停堆信号。假设自动化调试工具模拟两个及以上温度信号超过紧急停堆保护变量整定值,使反应堆保护系统产生紧急停堆输出指令信号,自动化调试工具接收到所有的紧急停堆输出信号后,在设定的时间范围内,将接收到的所有信号状态与紧急停堆预期信号状态进行逐一比较,当所有信号状态一致且稳定时,判断温度保护变量引起的反应堆保护系统紧急停堆功能满足要求,否则出现偏差报警提示^[8],暂停自动调试过程。

2.3.3 响应时间的实现

以反应堆保护系统紧急停堆响应时间的调试温度信号为例,温度保护变量出现两个及以上信号超过保护变量整定值时刻起,直到产生紧急停堆信号输出时刻的时间间隔需要满足系统设计的性能要求^[9]。假设自动化调试工具模拟两个及以上温度信号超过紧急停堆保护变量整定值时,调试工具自动记录该时刻的时间 t_1 ,当反应堆保护系统产生紧急停堆输出指令信号时,自动化调试工具记录接收到所有的紧急停堆输出信号状态时刻的时间 t_2 ,自动计算时间差 $\Delta t = t_2 - t_1$ ^[10],获得温度保护变量引起的紧急停堆功能响应时间的测量值,将经计算所得的实际响应时间 Δt 与紧急停堆设计预期响应时间进行比较,当 Δt 小于设计预期值时,判断温度保护变量引起的反应堆保护系统紧急停堆响应时间的性能满足要求,否则出现偏差报警提示,自动调试过程暂停。

2.4 信息显示

2.4.1 上位机画面功能

基于 Windows 操作系统的上位机画面^[11],使用人员可以直观地监视自动调试的实时过程。每次在进行自动调试工作开始之前,需要在上位机屏幕上进行初始化配置,此时调试工具中的所有输出信号将恢复至初始状态,初始化结束后,使用人员通过选

择需要验证的系统功能对反应堆保护系统进行自动化调试验证,使用人员可以在进行验证之前,选择每一组合逻辑或性能验证的间隔时间,并可以选择出现偏差报警后的自动处理流程^[12],包括等待、暂停、继续及停止。

2.4.2 上位机与模块的连接实现

在上位机上安装了 LabVIEW 运行环境^[13]以及 WinPcap、DAQPilot 及 NI MAX 软件驱动。如图 3 所示,通过 PCI 总线与数据采集模块进行数据通信^[14]。同时,通过 RS232 串口通信的方式使主控计算机控制器对采集模块继电器进行通信^[15],以实现继电器切换的控制功能。当主控计算机、上位机及采集模块上电时,LabVIEW 运行环境及相关驱动将自动运行并建立数据通信^[16],便可正常使用自动化调试工具的自动调试功能。

2.5 硬件布置实现

为实现高温气冷堆反应堆保护系统的自动化调试工具经济实用、接口简单、集成度高、便于操作和维护、便携移动的特点,专门为调试工具的机箱、NI 主控计算机、NI 数据采集模块、信号调理模块、空气开关、预制电缆、接线端子、显示器的布局进行了详细设计^[17],如图 4 所示,其特征不在于 NI 数据采集模块与 NI 主控计算机通过插槽直接相连进行数据交换;信号调理模块与 NI 数据采集模块通过预制电缆连接进行数据传输,信号调理模块通过接线端子与外部系统或设备相连,发送和接收信号;显示器键盘、鼠标和 NI 主控计算机通过串口连接^[18],置于机箱顶部可移动位置,用于人机交互操作;配置万向轮位于机箱底部^[19],便于移动。

3 工程应用

高温气冷堆示范工程调试人员,根据高温气冷堆示范工程设备布置和系统特点,针对反应堆保护系统自动化调试方面的需求,研究并搭建了自动化调试平台^[20],以此提高调试效率和准确性。使用自动化调试专用工具,调试人员完成了高温气冷堆反应堆保护系统的所有功能调试,并针对 1、2 号高温气冷堆示范工程反应堆保护系统共计完成 8 个调试试验项目。调试使用过程中,自动化调试专用工具的实施效果良好,发现并解决了多项高温气冷堆示范工程反应堆保护系统的设计、安装和设备缺陷问

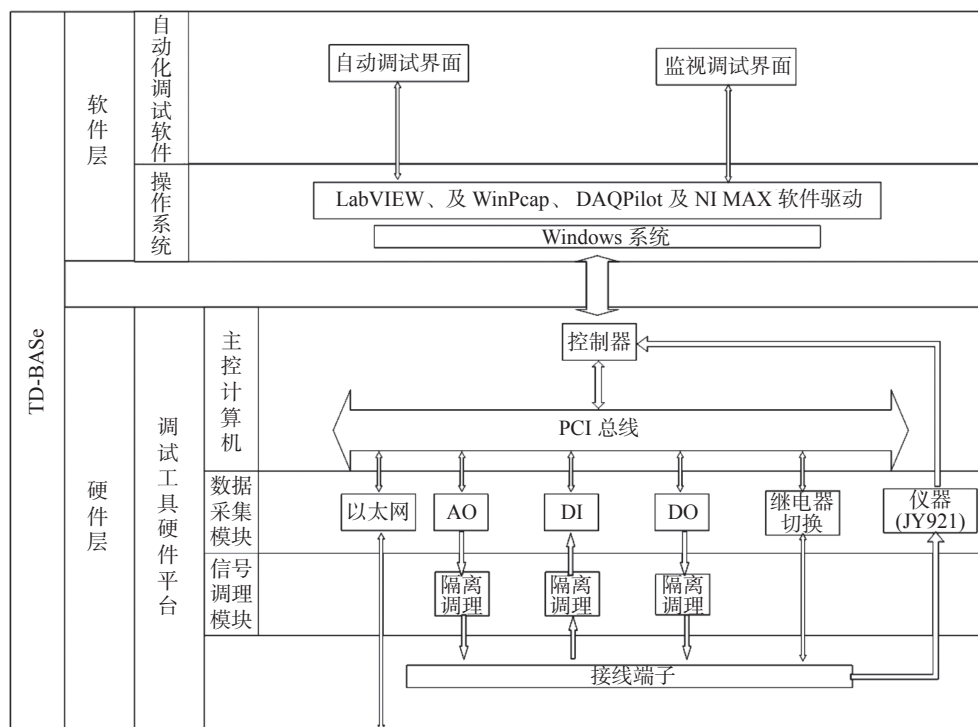


图 3 自动化调试工具通信结构框图

Fig. 3 Communication structure block diagram of automatic commissioning tools

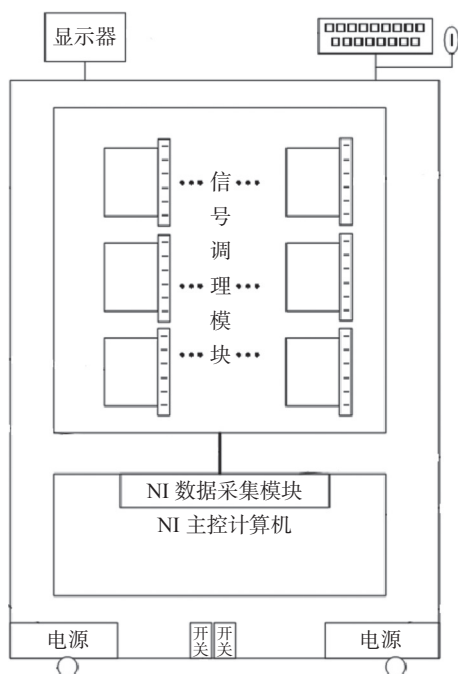


图 4 自动化调试工具硬件示意图

Fig. 4 Hardware diagram of automatic commissioning tools

题, 为后期高温气冷堆示范工程反应堆保护系统正常可靠地运行奠定了坚实的基础, 保证了反应堆装料后的安全运行。这一系列工程应用实践证明了该

自动化调试平台的性能稳定和可靠性, 为类似项目的实施提供了可靠的参考和指导。

4 结论

自动化调试工具作为高温气冷堆反应堆保护系统专用的调试工具, 具有以下特点和优势。首先, 该工具具有经济实用的特点, 使用成本低, 且可以满足高温气冷堆反应堆保护系统功能和性能的验证要求。其次, 接口简单, 集成度高, 便于操作和维护, 可以根据需要扩充和减少相应的设备和软件需求, 便于后续反应堆保护系统的调试和应用。此外, 该工具还具有便携移动和能自动完成预订功能的特点, 方便调试工作的实施和管理。最重要的是, 应用实践证明该自动化调试工具性能优异, 能大幅提升高温气冷堆示范工程反应堆保护系统调试的工作效率, 同时提高了调试过程中的稳定性和安全性。因此, 该自动化调试工具是高温气冷堆反应堆保护系统调试的理想选择, 具有广泛的应用前景和市场潜力。

参考文献:

[1] 姚伟, 郭云生, 王岩, 等. 福清核电反应堆保护系统仿真软件开发 [J]. 核电子学与探测技术, 2015, 35(5): 468-472. DOI: 10.

- 3969/j.issn.0258-0934.2015.05.012.
- YAO W, GUO Y S, WANG Y, et al. The development of simulation software of the RPR system of Fuqing nuclear power plant [J]. *Nuclear electronics & detection technology*, 2015, 35(5): 468-472. DOI: 10.3969/j.issn.0258-0934.2015.05.012.
- [2] 鄢小安, 张知行. 基于LABVIEW的振动数据采集与分析系统设计 [J]. *林业机械与木工设备*, 2021, 49(10): 18-24,31. DOI: 10.3969/j.issn.2095-2953.2021.10.003.
- YAN X A, ZHANG Z X. Design of vibration data acquisition and analysis system based on LABVIEW [J]. *Forestry machinery & woodworking equipment*, 2021, 49(10): 18-24,31. DOI: 10.3969/j.issn.2095-2953.2021.10.003.
- [3] 韩强. 基于PCI Express总线架构的多处理器模块设计 [J]. *信息通信*, 2018(5): 137-139. DOI: 10.3969/j.issn.1673-1131.2018.05.065.
- HAN Q. Design of a multi-processor module based on the PCI Express bus architecture [J]. *Information & communications*, 2018(5): 137-139. DOI: 10.3969/j.issn.1673-1131.2018.05.065.
- [4] 贾宏宇. 基于NI数采模块的测井数据采集控制系统 [J]. *仪表技术*, 2004(5): 15-16. DOI: 10.3969/j.issn.1006-2394.2004.05.003.
- JIA H Y. A well logging data acquisition and control system based on NI DAQ modules [J]. *Instrumentation technology*, 2004(5): 15-16. DOI: 10.3969/j.issn.1006-2394.2004.05.003.
- [5] 李红霞, 霍雨佳, 陈静, 等. 保护测量通道响应时间自动测试功能设计 [J]. *核动力工程*, 2015, 36(2): 66-67. DOI: 10.13832/j.jnpe.2015.02.0066.
- LI H X, HUO Y J, CHEN J, et al. Functional design for online automatic test of response time in protection and measurement channels [J]. *Nuclear power engineering*, 2015, 36(2): 66-67. DOI: 10.13832/j.jnpe.2015.02.0066.
- [6] 王海稳, 曲俊海, 夏明. 高性能控制系统调试装置 [J]. *电脑开发与应用*, 2005, 18(7): 38-39. DOI: 10.3969/j.issn.1003-5850.2005.07.019.
- WANG H W, QU J H, XIA M. High performance control system debugging device [J]. *Computer development & applications*, 2005, 18(7): 38-39. DOI: 10.3969/j.issn.1003-5850.2005.07.019.
- [7] 郝丽, 赵伟. 基于LabVIEW实现信号模拟输出的两个关键问题 [J]. *电气电子教学学报*, 2010, 32(3): 16-19. DOI: 10.3969/j.issn.1008-0686.2010.03.007.
- HAO L, ZHAO W. The discussion of two key issues in analog output with LabVIEW [J]. *Journal of electrical & electronic education*, 2010, 32(3): 16-19. DOI: 10.3969/j.issn.1008-0686.2010.03.007.
- [8] 卢献军, 黄成强. 数控系统中“位置偏差过大”报警信号的分析与处理 [J]. *职业*, 2008(3): 78. DOI: 10.3969/j.issn.1009-9573.2008.03.050.
- LU X J, HUANG C Q. Analysis and processing of "excessive position deviation" alarm signal in numerical control system [J]. *Occupation*, 2008(3): 78. DOI: 10.3969/j.issn.1009-9573.2008.03.050.
- [9] 汪绩宁, 周爱平, 鄢永学, 等. 核电厂反应堆保护系统紧急停堆响应时间分析及测试 [J]. *核动力工程*, 2012, 33(2): 5-10. DOI: 10.3969/j.issn.0258-0926.2012.02.002.
- WANG J N, ZHOU A P, QIE Y X, et al. Analysis and test of respond time of nuclear power plant digital control system to reactor trip [J]. *Nuclear power engineering*, 2012, 33(2): 5-10. DOI: 10.3969/j.issn.0258-0926.2012.02.002.
- [10] 刘洋, 廖良记, 张向科. 数字化反应堆保护系统响应时间的评价方法研究 [J]. *中国核电*, 2020, 13(5): 606-610. DOI: 10.12058/zghd.2020.05.606.
- LIU Y, LIAO L J, ZHANG X K. A response time evaluation method of reactor protection system implemented by DCS [J]. *China nuclear power*, 2020, 13(5): 606-610. DOI: 10.12058/zghd.2020.05.606.
- [11] 薛得凤. 基于图形化编程语言Labview的一种虚拟仪器的实现 [J]. *自动化与仪器仪表*, 2003(5): 24-26. DOI: 10.3969/j.issn.1001-9227.2003.05.009.
- XUE D F. One virtual instrument based on Labview [J]. *Automation and instrumentation*, 2003(5): 24-26. DOI: 10.3969/j.issn.1001-9227.2003.05.009.
- [12] 尤兵. 福清核电数字化反应堆保护系统T2试验装置的开发 [J]. *中国核工业*, 2017(增刊1): 261-268. DOI: 10.3969/j.issn.1007-8282.2017.z1.036.
- YOU B. Development of T2 test device for Fuqing nuclear power digital reactor protection system [J]. *China nuclear industry*, 2017(Suppl. 1): 261-268. DOI: 10.3969/j.issn.1007-8282.2017.z1.036.
- [13] 郭洁, 王召巴. 基于LabVIEW的串行通信接口设计与实现 [J]. *机械工程与自动化*, 2008(5): 57-59. DOI: 10.3969/j.issn.1672-6413.2008.05.021.
- GUO J, WANG Z B. Design and realization of serial communication interface based on LabVIEW [J]. *Mechanical engineering & automation*, 2008(5): 57-59. DOI: 10.3969/j.issn.1672-6413.2008.05.021.
- [14] 高丽珍, 张晓明. 基于PXI总线高速数据采集板的设计 [J]. *科技情报开发与经济*, 2006, 16(19): 204-205. DOI: 10.3969/j.issn.1005-6033.2006.19.120.
- GAO L Z, ZHANG X M. Design of high-speed data acquisition board based on PXI bus [J]. *Sci-tech information development & economy*, 2006, 16(19): 204-205. DOI: 10.3969/j.issn.1005-6033.2006.19.120.
- [15] 李玲. 智能分析仪器串口通信软件的设计与实现 [D]. 西安: 西北大学, 2010. DOI: 10.7666/d.y1678857.
- LI L. Design and implementation of serial communication software for intelligent analytical instruments [D]. Xi'an: Northwest University, 2010. DOI: 10.7666/d.y1678857.
- [16] 施雅婷, 郭前岗, 周西峰. 一种改进的LabVIEW串口通信系统的实现 [J]. *电子测试*, 2010(8): 64-69. DOI: 10.3969/j.issn.1000-8519.2010.08.013.

- SHI Y T, GUO Q G, ZHOU X F. Implementation for improved serial communication system based on LabVIEW [J]. *Electronic test*, 2010(8): 64-69. DOI: [10.3969/j.issn.1000-8519.2010.08.013](https://doi.org/10.3969/j.issn.1000-8519.2010.08.013).
- [17] 华能山东石岛湾核电有限公司, 华能集团技术创新中心有限公司. 一种用于高温气冷堆安全级控制系统的自动化调试装置: 201922181598. X [P]. 2020-12-15.
Huaneng Shandong Shidao Bay Nuclear Power Development Co., Ltd., Huaneng Group Technology Innovation Center. An automated debugging device for safety-grade control system of high-temperature gas-cooled reactor: 201922181598. X [P]. 2020-12-15.
- [18] 丁巧芳. 计算机串口信号采集卡的制作 [J]. *产业与科技论坛*, 2017, 16(13): 48-49. DOI: [10.3969/j.issn.1673-5641.2017.13.026](https://doi.org/10.3969/j.issn.1673-5641.2017.13.026).
- DING Q F. Production of computer serial port signal acquisition card [J]. *Industrial & science tribune*, 2017, 16(13): 48-49. DOI: [10.3969/j.issn.1673-5641.2017.13.026](https://doi.org/10.3969/j.issn.1673-5641.2017.13.026).
- [19] 程保山. 万向轮定位技术 [J]. *机器人技术与应用*, 2009(5): 35-37. DOI: [10.3969/j.issn.1004-6437.2009.05.016](https://doi.org/10.3969/j.issn.1004-6437.2009.05.016).
- CHENG B S. Omni-wheel positioning technology [J]. *Robot technique and application*, 2009(5): 35-37. DOI: [10.3969/j.issn.1004-6437.2009.05.016](https://doi.org/10.3969/j.issn.1004-6437.2009.05.016).
- [20] 宫成军, 王超然, 王旭, 等. 安全级数字化仪控系统调试创新实践 [J]. *科技视界*, 2019(16): 20-21. DOI: [10.19694/j.cnki.issn2095-2457.2019.16.008](https://doi.org/10.19694/j.cnki.issn2095-2457.2019.16.008).
- GONG C J, WANG C R, WANG X, et al. Innovative practice of commissioning on safety class 1E digital control system [J]. *Science & technology vision*, 2019(16): 20-21. DOI: [10.19694/j.cnki.issn2095-2457.2019.16.008](https://doi.org/10.19694/j.cnki.issn2095-2457.2019.16.008).

作者简介:



雷川

雷川 (通信作者)

1987-, 男, 高级工程师, 自动化学士, 主要从事核电站仪控调试方向工作 (e-mail) leichuan@sdwgs.chng.com.cn。

程鹏

1987-, 男, 高级工程师, 华北电力大学自动化学士, 主要从事核电站仪控调试工作 (e-mail) chengpeng@sdwgs.chng.com.cn。

张智军

1985-, 男, 工程师, 哈尔滨工程大学热能与动力工程学士, 主要从事核电站仪控调试方向工作 (e-mail) zhangzhijun@sdwgs.chng.com.cn。

项目简介:

项目名称 高温堆示范工程调试关键技术研究**承担单位** 中国华能集团**项目概述** 项目主要为了克服高温气冷堆示范工程反应堆保护系统调试技术的不足, 研发一套用于高温气冷堆反应堆保护系统的调试工具和方法, 还可以通过适应性改造实现其他堆型反应堆保护系统功能和性能的验证。**主要创新点** (1) 该工具具有经济实用、接口简单、集成度高、便于操作和维护、便携移动以及能自动完成预订功能的特点; (2) 可根据需要扩充和减少相应的设备和软件需求, 便于扩展应用; (3) 能大幅提升核电厂调试的工作效率。

(编辑 赵琪)