

继电保护装置自动测试系统研究和设计

应站煌, 胡建斌, 赵瑞东, 李保恩

(许继电气股份有限公司, 河南 许昌 461000)

摘要: 介绍继电保护产品人工测试的现状和缺点, 分析继电保护装置的研发和生产领域各自测试特点和要求。针对生产领域继电保护产品的测试特点, 从继电保护装置测试的需求和原理出发, 提出基于分布式智能化自动测试系统。该系统采用分布体系结构和模块化设计思想, 实现装置闭环性的自动测试; 采用开放式结构, 方便测试系统的扩展。实际应用表明, 该系统的应用提高了继电保护测试工作的效率, 保证了检验结果的可靠性。

关键词: 继电保护; 自动测试; 可编程控制器; 测试仪器; 数据库

Research and design of relay protection equipment automated test system

YING Zhan-huang, HU Jian-bin, ZHAO Rui-dong, LI Bao-en

(XJ Electric Co., Ltd, Xuchang 461000, China)

Abstract: The paper introduces the status quo and shortcomings of the relay protection product manual test, and analyzes the test characteristics and requirements of the relay protection installation in research and development field. In view of the test characteristics of relay protection products, the automated test system based on distributional intellectualization is proposed according to the test demand and theory of relay protection installation. The system realizes the installation closed-loop test automation by adopting the distribution architecture and the modulation design concept, and facilitates the expansion of test system by using the open style structure. The practical application indicates that the proposed system enhances the efficiency of relay protection test and guarantees the reliability of test results.

Key words: relay protection; test automation; programmable controller; measuring instrument; database

中图分类号: TM76 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2010)17-0142-05

0 引言

继电保护系统在保护电力系统安全、稳定运行方面起着至关重要的作用。伴随着计算机技术、通信技术、信息技术的飞速发展, 许多新技术在数字化保护设备中得到了应用和尝试, 这些保护装置功能变得复杂化, 由于保护装置的嵌入式系统自身的一些特点, 这直接导致保护装置的测试成本和测试难度也越来越大, 这些变化给继电保护装置的测试和校验带来巨大的挑战。

近年来, 微机型继电保护测试仪已广泛应用于继电保护装置测试, 提高了继电保护装置测试水平, 但在实际应用时, 需要测试人员对保护原理和微机型继电保护测试仪有比较深入的理解, 在测试过程中需要根据测试功能不同相应调整测试参数, 测试完成后要分析测试数据整理成检验报告, 存在测试不规范、测试范围覆盖有限和测试效率低下等诸多

问题, 给继电保护装置产品质量控制和电力系统安全运行带来隐患。

本文针对继电保护装置测试的现状, 特别是继电保护装置研发领域和生产领域各自的测试特点, 结合人工测试方式下出现的问题和解决办法, 在生产领域测试中引入自动测试概念和自动测试工具, 明确自动化测试系统具备的基本目标和系统设计时遵循的原则, 提出通用化、实用化的智能闭环自动测试系统解决方案。

1 自动测试系统基本要求

1.1 继电保护装置测试的现状和特点

目前, 国内继电保护产品检测主要依据 IEC60255 系列标准和 GB/T14047 国家标准进行^[1]。继电保护装置从研发到使用一般要经四个阶段的测试: 研发测试、入网测试、生产检测和现场校验等几个过程。按照测试内容和测试要求可以简单分为

研发测试和生产检测类。

在研发测试阶段, 基于电力系统继电保护安全性考虑和嵌入式系统的特殊性, 研发过程继电保护产品测试极为严格, 一般以组建实时仿真系统, 对装置进行自动化、实时的系统测试。测试内容包括:

①装置的全面的性能检测, 包括动作性能、动作原理、时间参数和功能性检测。

②装置电磁兼容性测试, 包括快速瞬变、静电放电、辐射电磁场等检测内容。

③装置温升、绝缘、机械、电源影响等其他相关性试验。

④装置的软件和硬件稳定性测试。

在生产和现场检测中, 测试任务主要是检测装置的硬件、动作性能、保护功能以及其他一般性检测项目。测试内容包括:

①装置的保护硬件常规检测;

②装置的软件动作性能参数检测;

③装置的时间同步功能检测;

④装置通信协议检测, 检测装置信息远传功能。

研发测试目标是验证装置研发中硬件和软件设计是否符合继电保护产品标准, 一般是以产品型号为单位, 检测设备专用化和检测自动化程度高, 检测项目多且周期长; 生产测试目标是装置产品设计不存在缺陷的情况, 针对具体装置进行产品硬件和软件等相关常规检测, 以保证出厂产品的质量和正常使用。检测项目相对稳定, 检测要求统一。两者相辅相成, 缺一不可, 共同构成完整继电保护装置检测流程。

生产过程的测试中测试项目标准化、测试要求统一和测试工作量巨大, 因此生产检测具备引入自动测试系统的基本条件和现实意义。

1.2 自动测试系统优势和要求

在测试过程中引入自动化工具进行自动化测试是一种非常高效实用的方法^[2]。自动化测试具备测试可重复性, 保证测试工作的可追溯性; 自动化测试可以利用其系统具备多种测试手段的优势, 拓展测试覆盖范围, 保证测试的完整性; 自动化测试中测试任务自动生成和报告的自动生成, 减少人工因素干扰, 排除测试随机性和重复测试, 可提高测试效率和测试的可靠性。

为了有效解决人工测试时因人工因素干扰带来测试可靠性和测试效率低下, 自动化测试必须满足以下基本要求:

①测试标准化。所有测试项目和测试要求由测试开发人员进行制定且必须符合规程标准的规定, 测试执行人员只能执行测试流程不能修改测试流

程。

②闭环性自动测试。测试执行人员只需要提供继电保护装置配置信息或型号, 系统就能够自动选定测试方案, 自动设定测试项目故障参数; 测试结果判断必须依据装置反馈信息和其他仪器返回信息作为判断依据, 形成闭环性测试。

③报告标准化。系统在测试完成后能够自动生成标准格式的试验报告, 根据要求生成相关格式电子文档。

④测试提示信息具体化。系统能根据装置基本信息生成测试方案, 能提供测试试验接线基本信息和其他必要的试验信息。

⑤测试过程透明化。系统具备多种界面显示手段, 提供测试过程每个节点执行过程和执行结果, 在测试不合格时, 系统能够显示测试失败具体的原因。

⑥自动测试系统具备良好的可扩展性。

2 系统设计和组成

2.1 总体设计

系统采用对象化设计思想, 按照分布式的设计模式特点, 将智能自动测试系统划分成测试方案设计系统、测试数据库和自动测试系统三个部分, 而自动测试系统由测试主控制平台、继电保护测试仪控制模块、装置规约解析模块、开入开出通信模块、卫星时钟同步模块以及其他设备接口模块组成。其系统组成图如图 1 所示。

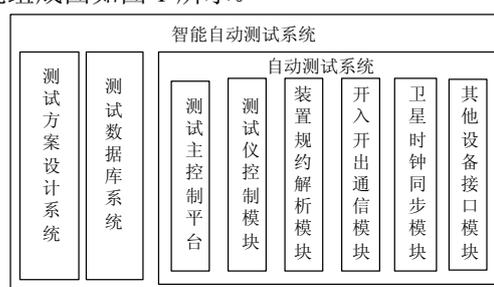


图 1 系统组成图

Fig.1 System diagram

测试方案设计系统针对具体的保护型号, 依据测试规程/标准定制而成, 主要工作包括设定标准测试的试验项目, 设置标准测试装置保护定值和测试流程中应用参数, 设立测试项目测试结果判断逻辑条件。测试方案设计系统主要任务就是编制测试方案和整理相关参数。

测试数据库系统主要任务是将测试方案数据化方式保存, 提供给自动测试系统有关测试数据和相关测试实例。

自动测试系统主要是利用测试数据库中测试方案中信息和数据，结合具体装置信息，完成继电保护自动测试、测试结果评估和测试报告生成，并在测试过程中提供有效测试失败的具体原因，承担是整个系统中自动测试任务的执行工作。智能自动测试系统中三个子系统关系图如图 2 所示。

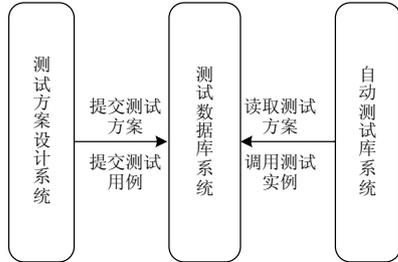


图 2 子系统关系图

Fig.2 Subsystem diagram

2.2 自动测试系统组成和各模块功能

自动测试系统硬件结构如图 3 所示，它主要由测试控制计算机、微机继电保护测试仪、可编程控制器、卫星时钟同步装置和继电保护装置构成。

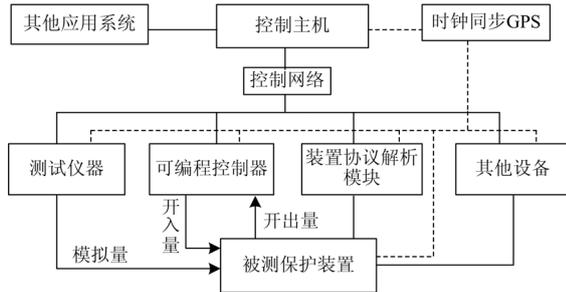


图 3 系统硬件结构图

Fig.3 System hardware structure

与系统硬件结构相对应，自动测试系统的软件结构如图 4 所示，自动测试系统的软件模块包括自动测试控制平台、测试仪控制模块、保护规约解析模块、可编程控制器通信模块以及其他测试模块。

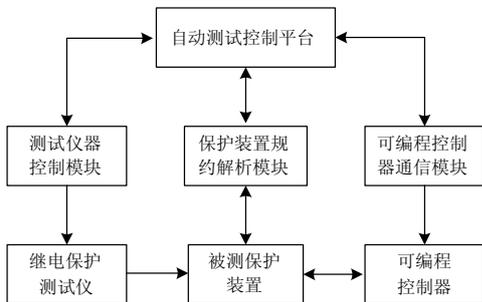


图 4 系统软件结构关系图

Fig.4 System software and structural relationship

2.2.1 自动测试控制平台功能

测试控制计算机是整个控制系统的核心硬

件^[3]，它通过网络和系统中其他硬件进行信息交互，控制继电保护测试仪向保护装置输出模拟量，接收保护装置信息解析模块上送的保护动作信息并通过其完成对保护装置的控制，控制可编程控制器输出保护测试的开入量命令，检验保护装置继电器开出触点动作。

自动测试控制平台执行具体的测试功能，控制平台采用界面友好的 Windows 操作系统，提供友好的人机界面。控制平台主要任务：自动测试系统系统配置，测试用例和测试方案的读取，测试过程信息监视，测试结果分析和处理以及测试报告生成、保存和打印。具体工作流程为：根据装置的具体信息，选择自动测试方案，通过网络命令驱动其他程序模块控制相应的硬件，配合完成保护功能测试，并依据测试方案结合其他模块反馈测试数据，完成测试结果判断和测试报告形成。

2.2.2 系统其他模块功能

保护规约解析模块实现被测装置定值的读取反馈信息、保护模拟量的信息、保护动作报文的上送、保护硬压板和其他遥信变位报文的读取和解析，并通过标准统一信息交换方式上报自动测试控制平台，接受自动测试平台的控制命令，实现自动测试控制平台对被测保护装置定值的修改、信号复归、远方遥控、时钟同步以及其他辅助性控制功能。

测试仪控制模块实现对测试仪器的控制功能，接受自动测试控制平台发出控制参数及命令类型，向保护装置输出模拟量，完成向保护装置输出模拟量完成保护功能的测试，并及时将测试仪器反馈信息以标准统一格式上报到自动测试控制平台。

可编程控制器通信模块根据自动测试控制平台发过来的命令，控制可编程控制器输出开关量信号，实现保护装置硬压板的投退和保护开关量输出功能，读取可编程控制器内基于保护装置继电器开出触点检测输入的采样数据，上送自动测试控制平台，为保护动作触点判断提供连续有效开入量采样数据。时钟同步装置负责自动测试系统各组成模块所在主机、保护测试仪、保护装置时钟的统一。

2.3 测试流程设计

本系统在设计时充分考虑系统使用时具体的情况，将智能测试系统分为两个子系统，即测试方案设计系统和自动测试系统。测试方案设计系统主要负责测试方案的设计，即测试开发流程，而自动测试系统完成测试执行流程。两者构成一个完整测试流程，如图 5 所示。

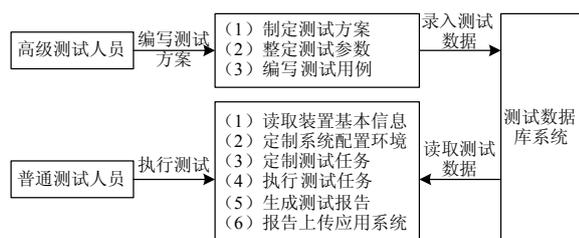


图 5 测试流程

Fig.5 Test process

测试开发流程主要任务：制定测试方案、整定测试参数、编写和提交测试用例和录入自动测试数据库系统。普通测试人员的测试执行流程主要包括：①读取装置基本信息；②根据装置实际情况和测试系统硬件配置，定制系统配置环境；③读取测试方案有关数据，定制测试任务并初始化测试数据；④启动测试任务并完成测试；⑤测试任务结束，生成测试报告并核对；⑥打印报告并将测试报告上传到其他应用管理系统中，恢复装置被测前状态。

3 关键问题讨论及解决

3.1 自动测试平台下接口问题

作为通用化和智能化的自动测试系统，其系统本身必须具有良好的可扩展性，必须适应不同类型被测装置及不同功能模块。如本系统中装置规约解析模块，目前使用的网络 IEC-8705-103 规约，随着 61850 规约普遍推广，自动测试系统也必须具备 61850 规约解析功能，以满足保护装置升级换代测试的需要。

从自动测试系统软件模块结构关系图中可以看出，自动测试平台通过测试仪控制模块、保护装置规约解析模块和可编程控制通信模块来完成整个装置的测试。为了保证自动测试系统中硬件选型具有更多的余地，降低自动测试系统应用成本，扩大自动测试系统应用范围，必须解决自动测试平台和测试仪控制模块接口、自动测试平台和保护装置规约解析模块接口、自动测试平台和可编程控制器通信模块之间接口问题。因此，需要统一自动测试系统中同类功能模块和自动测试平台信息交换格式。

测试仪控制模块实现对测试仪器的控制，不同测试仪厂家的测试仪控制程序不一致，为了保证自动测试平台在不改变程序源代码的前提下，实现自动测试控制平台和不同测试仪厂家的测试仪控制模块进行信息交互，必须明确自动测试平台和不同厂家测试仪控制模块信息交换标准的格式，即在协议上约定信息交互的方式。只要信息交换的格式符合标准格式，自动测试平台就可以弱化对微机继电保

护测试仪器的硬件要求。本系统在统一信息交互格式基础上，实现了北京博电 PW30 系列和成都天进 MP3000 系列微机继电保护测试仪器在本系统中相互替代，有效降低本系统对硬件模块的要求。

在保护装置规约解析接口方面，可以采用 COM 组件方式进行设计或者模块化设计方式两种方式。在 COM 组件方式下，对于不同保护装置通信规约，统一规约解析组件的初始化函数和规约解析模块与自动测试平台信息交互接口标准化，就可以满足自动测试平台对于信息交换标准化的要求。在模块化设计方式下，不同的保护装置规约设计成独立运行模块，各规约模块和外部信息交互遵循相同接口标准，其运行和退出由自动测试平台控制。本系统采用模块化设计方式。

可编程控制器通信模块设计则以简洁为原则，不同可编程控制器其功能基本相同，在选定可编程控制器厂家时，其信息交换方式是唯一的，因此基本上不存在自动测试平台和 PLC 可编程控制器通信模块间接口问题。如果采用其他相同功能的硬件，只要两者通信模块和自动测试平台信息交互方式和信息格式完全一致，可以方便进行硬件互相替代。

综上所述，通过模块化设计和组件技术运用，提高本系统测试功能可扩展性，可以根据测试项目的需要，通过添加新的硬件模块和接口模块，可以低成本实现系统测试功能的扩展。

3.2 保护出口继电器触点采样时间要求

保护装置的保护动作出口继电器触点动作情况是自动测试系统必测项目之一。按照保护动作继电器触点类型可以分为常开瞬动型、常开保持型、常闭瞬动型和常闭保持型四类触点。对于保持型触点，可编程控制器开关量输入采样功能可满足要求，但对于瞬动型触点，可编程控制器输入采样功能的实现取决于瞬动型触点接通时间和可编程控制器扫描周期。当可编程控制器扫描周期不大于瞬动型触点接通时间，可编程控制器可以实现对瞬动型触点输入采样。可编程控制器扫描周期和系统硬件配置及用户程序指令的多少密切相关^[4]，但一般不大于 10 ms，而瞬动型触点导通时间一般在 50~100 ms 之间，远远大于可编程控制器扫描周期。因此，可编程控制器扫描周期不会对瞬动型节点采样产生影响。

虽然可编程控制扫描周期不会对瞬动型触点采样产生影响，但考虑到可编程控制采样数据是以通信方式上传，如果不对采样数据进行特殊处理，上位机在瞬动触点导通期间得到触点状态采样目标就难以实现。自动测试系统要求将保护动作前和保护动作后出口继电器触点通断情况进行对比，并以此

作为该系统中出口继电器触点检测判断依据之一。因此必须实现上位机得到采样周期小于 50 ms 的可编程控制器采样数据。

对于可编程控制器来说，只要采样周期不小于 2 倍扫描周期，数据采样是可以实现的。利用可编程控制器中数据转存和逻辑控制功能，将每 50 ms 一次采样数据寄存到连续但不相同数据缓冲区^[5]。通过采样周期时间的整定和通信协议最大传送报文长度，上位机只需要在给定的时间内进行一次性读取多次采样数据即可。上位机读取采样数据后，根据可编程控制器采样数据转存的原则和逻辑，将已接收到的采样数据进行采样时序的还原。这样对于上位机来说，可以连续不断地得到 50 ms 采样周期采样数据，满足控制系统对数据采样的特殊需要，且相对占用系统的资源可以接受，不会影响整个系统稳定性。

实践证明，该方法在保证上位机得到数据采样的连续基础上，降低上位机网络流量和系统运行占用资源，提高整个测试系统的稳定性和可靠性。

3.3 组态化保护配置模式下测试方案的设计问题

目前保护装置的研发和设计与以前相比，在设计模式发生比较大的变化，特别一段时期以来，各地对保护装置的功能要求不一样，这对生产厂家保护软件设计提出更高的要求。为了解决该问题，部分厂家实现同一型号继电保护装置下实现保护功能的可配置性，这对自动测试系统的测试方案制定提出挑战。如果针对每一种型号保护装置下各种配置模式都进行测试方案的制定，这对测试方案的开发设计人员是一个考验。

通过对装置保护功能的可配置性的分析，可以得到一个结论：无论装置保护功能怎么配置，其功能不可能超出研发时软件和硬件设计所允许的最大化配置，包括保护功能、装置定值。因此在测试方案设计时，可以按照装置最大化配置功能进行设计。在面临具体配置的装置测试时，可以通过装置保护配置文件或其他有效装置信息和最大化配置的装置测试方案中有关数据，进行保护功能测试项目、装置定值进行逻辑上“与”处理，动态决定装置测试项目、有关测试装置定值以及其他关键参数，以此解决装置保护功能可配置化带来测试方案制定工作量巨大的问题。

4 结语

本文对继电保护装置自动化测试特点和要求进行分析，并在此基础上开发一套基于生产测试领域

的通用智能化的自动测试系统，该系统有效解决传统人工测试模式下测试工作繁琐、测试质量易受人因因素干扰等缺点，提高测试效率和测试可靠性。使用自动测试系统后，相同类型装置测试时间由原来人工测试方式两天缩短为两个小时，极大地提高了生产效率。

该系统应用表明，自动测试系统等其他自动测试工具在测试领域的应用，扩大继电保护装置测试范围和满足一些特殊测试的需要，将测试人员从繁琐机械测试解脱出来，使测试人员有更多的时间投入到专业领域研究，产生良好经济效益和社会效益。

参考文献

[1] 姚志清. 继电保护测试发展方向的思考[J]. 继电器, 2008, 36 (11): 76-78.
YAO Zhi-qing. Some thought about development target of testing for relay protection equipment[J]. Relay, 2008, 36 (11): 76-78.

[2] 李忠安, 沈全荣, 王言国, 等. 电力系统智能装置的自动化测试系统设计[J]. 电力系统自动化, 2009, 33 (8): 77-79.
LI Zhong-an, SHEN Quan-rong, WANG Yan-guo, et al. Electrical power system intelligence installment automated test system design[J]. Automation of Electric Power Systems, 2009, 33 (8): 77-79.

[3] 张丽娟, 宗国萍, 等. 继电保护装置智能测试系统的软件设计[J]. 微计算机信息, 2009, 25 (10): 312-314.
ZHANG Li-juan, ZONG Guo-ping, et al. Protective relay test system for intelligent software design[J]. Micro Computer Information, 2009, 25 (10): 312-314.

[4] 廖运初. 《可编程序控制器应用技术》[M]. 重庆: 重庆大学出版社, 2007.
LIAO Yun-chu. Programmable controller application technology[M]. Chongqing: Chongqing University Publishing House, 2007.

[5] 鹿麟, 符仲恩. 基于 PLC 的发电机故障录波系统[J]. 微计算机信息, 2006, 30 (16): 207-209.
LU Lin, FU Zhong-en. Generator fault recorder system based on PLC[J]. Micro Computer Information, 2006, 30 (16): 207-209.

收稿日期: 2010-01-04; 修回日期: 2010-01-19

作者简介:

应站煌 (1975-), 男, 工程师, 长期从事电力系统变电站自动化研究和应用工作; E-mail: yingzhanhuang@xjgc.com

胡建斌 (1975-), 男, 工程师, 从事电力系统数字化变电站研究和应用工作;

赵瑞东 (1974-), 男, 工程师, 从事电力系统自动化产品设计和检测工作。