

[继电保护]

继电保护自动化测试软件功能与设计研究

文/李献澜 谷子健 孙畅岑
国网铁岭供电公司

探讨继电保护自动化测试软件功能设计，分析继电保护设备的工作原理，提出数据管理方案，确保测试数据准确性。在软件接口设计中，强调与各种测试设备的兼容性，提升用户操作便利性，规约引擎程序增强软件适用性，保证测试过程规范性。通过实验对比继电保护自动化测试系统与传统手动测试方法，验证自动化测试系统的有效性。

继电保护在电力系统中用于监测、保护设备，通过检测电流、电压等参数异常变化，及时切断故障设备，防止事故扩展造成设备损坏^[1]。电力系统规模不断扩大，复杂性也随之增加，继电保护作为电力系统安全重要组成部分，继电保护自动化测试不仅能够提高测试效率，降低人工成本，还能及时发现潜在设备故障，确保电力系统安全运行。

继电保护自动化测试软件功能设计

1. 继电保护自动化测试软件测试原理

继电保护自动化测试系统旨在确保电力系统中继电保护装置可靠性，该系统由硬件和软件两大部分组成，硬件部分主要包括以下三种设备。

1) PW测试主机作为系统核心，PW测试主机负责执行各项测试任务，提供数据采集功能。

2) 待测保护装置是系统测试对象，评估在不同工况下的性能表现。

3) 计算机用于运行测试软件，处理测试数据，与其他硬件进行交互，确保测试过程顺利进行，硬件组件共同构成继电保护自动化测试系统的物理基础，为软件运行提供支持^[2]。

软件部分由PW软件和自动化测试软件组成，PW软件提供诸多底层操作接口，用户通过接口进

行设备管理、数据分析、结果输出，PW软件灵活性使得其能够适应多种测试需求。

自动化测试软件是整个系统智能核心，负责实现测试过程自动化。自动化测试软件通过调用PW软件的接口，直接与PW软件的底层功能进行交互，对各种测试任务的控制，增强测试灵活性；自动化测试软件与MATLAB仿真引擎进行有效对接，读取用户准备仿真脚本文件，利用MATLAB构建各种仿真模型，自动化执行多轮连续仿真，提升测试效率，确保测试结果的准确性。在测试执行期间，MATLAB生成模型能够根据预设的脚本进行动态仿真，所需暂态波形也可以通过PW软件的接口输出，减少人工干预需求，提高测试可靠性，自动化测试原理图如图1所示。

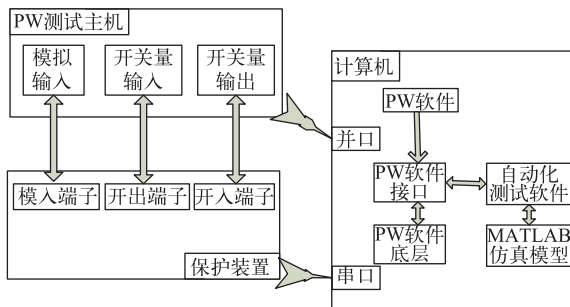


图1 自动化流程图

2. 管理测试数据

在继电保护自动化测试软件功能设计中，测试数据管理是重要模块，该模块确保测试结果的准确性，测试结果记录功能是测试数据管理核心，软件通过与测试设备实时连接，自动采集测试数据，如过电流、欠电压、过电压等测试项目的电压、电流值及其变化情况，数据将实时存储到数据库中，确保数据完整性^[3]。对于测试结果修改更新，软件应具备版本控制功能，确保数据的历史记录得到保留。每次修改都会生成新的版本，用户可以随时回溯查看之前的记录。软件应包括以下几个功能：

1) 统计分析。软件能够计算各项测试统计数据，如平均值、标准差等，为用户提供性能评估。对于过电流保护测试，系统自动生成一组数据的统计分析结果，帮助用户判断设备性能是否符合规范。

2) 趋势分析。通过对历史数据的趋势分析，软件帮助用户识别测试结果的变化趋势。如用户可以查看某一设备在过去几次测试中的过电压保护触发时间的变化，从而评估设备稳定性。

3. 测试软件接口

测试软件接口确保信息传递完整性，采用JSON格式进行数据传输，便于扩展，支持整型、浮点型、字符串和布尔型等常用数据类型，数据传输时需进行完整性校验和有效性校验，以下是典型测试功能数据接口示例。

```
test_id:TST-001,
test_type:过电流保护
parameters: 设定值1.2, 测试时间0.5, 测试次数10。
```

```
status: success
```

```
timestamp:2024-10-29T12:00:00Z
```

控制接口采用标准化命令字符串格式，确保指令可读性，接口应具备反馈机制，通过返回状态码和消息来指示操作结果。

启动测试命令：START_TEST；TST-001；过电流保护；

停止测试命令：STOP_TEST；TST-001；

查询状态命令：QUERY_STATUS；TST-001。

测试软件接口操作流程如图2所示。

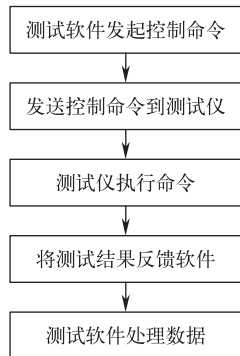


图2 测试软件接口流程图

4. 规约引擎程序

规约引擎程序主要功能是数据读取、命令执行和状态监控，规约引擎程序架构包括以下几个主要模块。

1) 通信模块负责与数字保护装置建立连接并维持通信，处理消息的发送和接收，包括数据帧的组装与解析。

2) 命令模块对数字保护装置命令发送，提供读取配置、复位设备、启动/停止测试等，处理命令返回状态，确保命令成功执行。

3) 数据处理模块负责从数字保护装置读取数据，将原始数据转换为易于理解格式。

4) 错误处理模块监测处理通信中错误，确保系统稳定性。

5) 用户接口模块提供用户友好的界面，用户输入命令、查看状态数据，提升用户体验。

规约引擎程序数据处理流程：

程序启动时，被测数字保护装置建立TCP/IP或串口连接，进行身份验证。

根据用户输入预定计划，发送数据读取请求，如读取设备电流、电压和频率数据，请求数据帧：01 03 00 00 00 06 CRC。

01是设备地址，03是功能码，00 00是起始地址，00 06是要读取的寄存器数量，CRC是校验码^[4]。

5. 继电保护自动化测试流程

测试人员在计算机上启动继电保护自动化测试软件，软件启动后，测试人员需要确保计算机与测量设备间通信正常，确保所有设备在同一网络环境中能有效连接，使用软件通信测试工具验证连接状态，保证数据传输稳定性。

在通信建立后，软件从指定的文件中心目录下

读取预先设置的脚本文件，脚本文件包含测试所需的各种参数设置。测试人员在实施测试前需仔细检查并调整这些参数，确保其符合测试标准。

测试人员在软件界面中选择“自动化测试”选项，软件自动识别仿真脚本文件，并根据文件中的信息准备相应的测试。测试人员点击“开始”按钮，系统自动执行测试，软件依据脚本文件中的指令逐步模拟不同的故障和运行条件，验证继电保护装置的响应能力。

测试完成后，系统自动停止测试，生成详细测试报告，具体流程图如3所示。

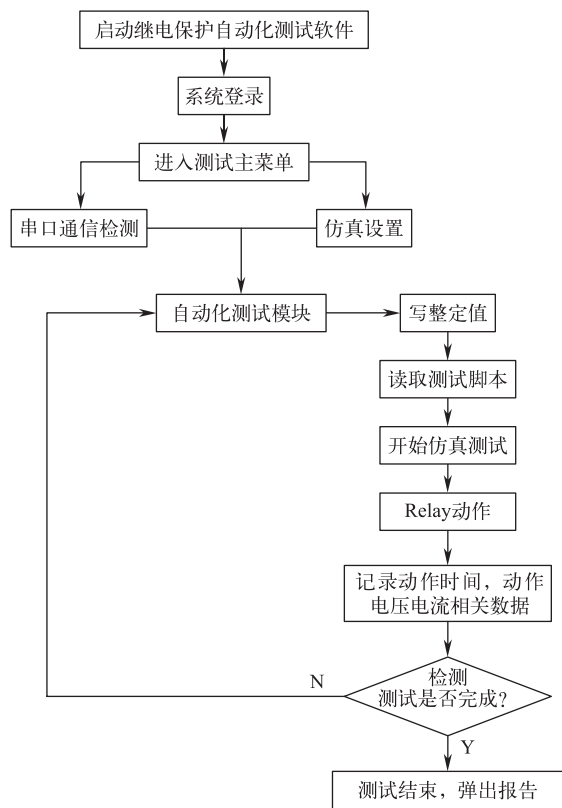


图3 继电保护自动化测试流程图

实验验证

1. 实验设置

本实验旨在比较继电保护自动化测试系统与传统手动测试方法的效果，通过对实际测试数据的对比，评估自动化测试在测试效率方面的优势，选取三种常见类型的继电保护装置进行测试，分别为过电流保护、欠电压保护和过电压保护，每种保护装置在相同的条件下进行手动测试和自动化测试，确

保数据可比性。在实验中，测试环境温度 $23\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，模拟正常工作环境温度，湿度 $45\pm 5\%$ ，减少环境因素对测试结果的影响。手动测试由两名经验丰富的技术人员进行，确保测试过程的专业性；自动化测试则由1名操作员负责系统的设置，为保证数据代表性，每种测试方式各进行5次，最终取其平均值进行对比分析，数据见表1。

表1 测试数据

测试项目	手动测试耗时/min	自动化测试耗时/min	效率提升(%)
过电流保护	25	12	52
欠电压保护	30	15	50
过电压保护	28	14	50

表1中对三种测试项目手动测试和自动化测试耗时进行记录，自动化测试在每种保护装置的测试中都减少耗时，效率提升幅度分别为52%、50%和50%，效率提升减少测试所需的时间，降低由于时间压力导致的测试错误，提升测试结果准确性^[5]。

2. 测试效率提升

通过实验数据分析，发现自动化测试系统在继电保护装置测试中提升整体测试效率，以下是各个测试项目具体结果分析。

过电流保护手动测试平均耗时25 min/次，由于手动测试需要经验丰富的技术人员进行多项操作，如设备设置、故障模拟和结果记录等，因此耗时较长，手动测试过程中技术人员需要逐项确认设备的状态，进行多次重复操作以确保测试的准确性，导致测试效率降低。

自动化测试平均耗时12 min/次，自动化测试系统能够通过预设的程序快速完成各项测试，无需人工干预，设备设置、故障模拟、数据记录均由系统自动完成，减少人工操作时间，测试速度提升。自动化测试相比于手动测试效率提升达52%，表明自动化系统的引入有效地缩短测试周期，使得测试人员能够在更短的时间内完成更多的测试任务。

欠电压保护测试手动测试平均耗时30 min/次，在欠电压保护的手动测试中，技术人员需要仔细设置和调整设备的电压水平，通过多次测试验证设备反应时间，导致较长的测试时间。

自动化测试平均耗时15 min/次，自动化测试通过设定电压参数并进行实时监控，实现快速测试流

程。在欠电压保护测试中，自动化测试实现50%效率提升，表明其在减少测试时间方面的有效性。

过电压保护测试手动测试平均耗时28 min/次，手动测试过程中，技术人员必须仔细监测设备在过电压条件下的表现，这一系列操作不仅繁琐，而且容易受到操作人员状态和环境因素的影响。

自动化测试平均耗时14 min/次，自动化测试系统能够快速输入设定参数并进行多次测试，利用自动化设备快速响应能力，提高测试准确性。

从以上数据可以看出，自动化测试不仅在测试速度上表现优异，还降低每次测试所需的时间，使得测试人员能够在更短的时间内完成更多的测试任务，提高工作效率，自动化测试能够减少人为因素对测试结果的影响，确保测试数据准确性。

结束语

对继电保护自动化测试软件功能设计进行探讨，涵盖测试原理、测试数据管理、软件接口、规约引擎程序和测试流程等多个方面，在测试原理部分阐明继电保护设备工作机制，为后续软件功能奠定理论基础，测试数据管理模块强调数据准确性，

为决策提供数据支持。规约引擎程序使软件能应对不同厂家继电保护设备，提升系统的适应性，测试流程标准化设计则为用户提供操作指导，确保测试过程一致性。通过实验验证，展示该软件在实际应用中效果，为电力系统安全运行提供保障。EA

(收稿日期：2024-12-10)

参考文献

[1] 杨浩，王飞鹏．智能变电站继电保护在线监测系统设计分析[J]．科技与创新，2024(21)：62-64.

[2] 王燕．电力系统自动化继电保护装置及其测试研究[J]．电器工业，2024(10)：77-81.

[3] 杜沛霖．继电保护自动化技术在电力系统中的应用[J]．集成电路应用，2024，41(10)：282-283.

[4] 张琼，周劭亮，辛海兰．继电保护装置自动化测试系统[J]．电子世界，2013(23)：57-58.

[5] 胡红兵，李丽君，韩民畴．继电保护装置自动化测试系统的设计与实现[J]．江苏电机工程，2013，32(2)：54-56.

(上接第 158 页)

表1 测试数据

指标名称	测试结果	说明
故障检测时间/s	0.018	平均时间，小于设定目标0.02 s
故障识别准确性 (%)	98.7	接近目标值99%
系统响应时间/s	0.043	平均时间，小于设定目标0.05 s
误报率 (%)	0.9	低于目标值1%

测试结果显示，数字化差动保护系统的性能在多数指标上达到或接近预定的目标值。故障检测时间和系统响应时间都优于预期，表明系统能够迅速识别并响应电力系统中的故障，确保电力系统的安全运行。故障识别准确性略低于目标值，可能原因包括故障信号模拟的复杂性或数据处理算法需要进一步优化。误报率低于1%，说明系统的稳定性和可靠性较高，误报情况较少，可以有效避免不必要的维护成本和操作中断^[2]。

结束语

研究基于数字化保护装置的发电机差动保护调

试技术不仅是对现有电力系统保护技术的一种必要补充，更是推动电力系统向更高安全性、可靠性和智能化发展的关键步骤。通过研究，可以系统地解决发电机保护在面对复杂电网环境和多变故障条件时的应对策略，确保电力系统的稳定运行，从而有助于提升整个社会的能源使用效率和可靠性。这一领域的进步不仅具有重要的学术价值，同时在工程应用方面也具有极高的实用价值，能够显著提升发电机及其相关电力设施的运维效率和经济性，进一步推动电力工业的现代化与国际化进程。EA

(收稿日期：2024-08-23)

参考文献

[1] 方军民，李辉亮，高迪军，等．抽水蓄能电站发电机变压器组差动保护配置探讨[J]．水电与抽水蓄能，2023，9(3)：101-105.

[2] 鲜为民．发电机差动保护动作原因及调试检修的注意事项[J]．中国科技投资，2020(25)：169-170.