

DOI: 10.7667/PSPC160553

智能变电站继电保护装置自动测试平台的研究和应用

李保恩

(许继电气股份有限公司, 河南 许昌 461000)

摘要: 为了提高智能变电站继电保护装置测试效率和测试脚本的重用性, 提出一种基于分布式设计、测试功能可扩展的继电保护自动测试平台解决方案。在分析智能变电站继电保护装置特点和测试平台需求的基础上, 提出以数字化测试仪为主要平台的自动测试系统的设计方案, 通过分布式设计架构实现测试功能扩展。通过测试脚本中语义及语法规则以及特征字典定义, 实现虚拟化测试脚本编辑和生成, 测试执行时通过对虚拟化测试脚本信息二次映射, 生成具有一定对象、可执行实例化测试脚本, 提高测试脚本的重用性。实际应用效果表明, 该系统可提高继电保护装置测试效率, 允许测试脚本跨装置重用, 提高自动测试平台的实际使用价值。

关键词: 智能变电站; 继电保护; 数字化测试仪; 测试脚本; 重用性

Research and application of automatic test platform for intelligent substation relay protection device

LI Baoen

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

Abstract: In order to improve the testing efficiency and the reusability of the test script, a relay protection automatic test platform based on distributed design and test function is proposed. On the basis of the analysis of intelligent substation relay protection device characteristics and test platform requirement, this paper proposes a design scheme which takes digital tester for main platform of automatic test system and implements test function expansion through a distributed architecture. Through the semantic and grammatical rules and feature dictionary definition in test scripts, virtual test script editing and generating are realized. When the tests are performed, an instantiation test script with a certain object and performability is generated by virtual test script information secondary mapping to improve the reusability of test script. The practical application results show that the system can improve the testing efficiency of relay protection device, allow the test script to be reused across devices, and increase the practical application value of the automatic test platform.

Key words: intelligent substation; relay protection; digital tester; test script; reuse

0 引言

随着智能变电站的推广和应用, 基于 IEC61850 标准的继电保护装置在电力系统承担越来越重要的角色, 促进了智能电网的建设和发展^[1-2]。智能变电站继电保护装置在模拟量采样和保护跳闸方式的改变, 直接影响到继电保护装置的研发、生产、调试和运行等多个环节^[3-4]。

基于 IEC61850 标准的继电保护装置信息交互标准化为继电保护测试及校验带来便利的条件, 同时对新测试仿真设备提出了特殊的要求^[5-6]。数字化测试仪的出现满足其测试基本要求, 同时非电气量的故障数据仿真方式提高了测试设备电力故障仿真的精度, 利于自动化测试技术的应用。

基于 IEC61850 标准的继电保护自动测试系统成为各方关注焦点之一, 数字化测试设备厂家开发自动测试系统因存在对继电保护装置信息模型认识所限^[7-8], 可适用的被测对象有限, 测试脚本易用性、重用性较低, 需进一步改进和提高。本文提出以数字化测试仪为故障仿真设备, 设计一套基于分布式结构的自动化测试平台, 定义一套完整而准确描述的语言, 通过信息模型的特征化和测试脚本的实例化, 提高了测试脚本的重用性。

1 系统原理及功能

与传统继电保护装置相比, 智能变电站继电保护装置虽然在采样和跳闸方式有所变化, 但其在电力系统中的作用以及继电保护装置检测方法没有发

生根本的变化^[9-10]。作为智能变电站继电保护装置的自动测试平台，其测试原理必须遵循继电保护装置使用要求和相关规程的要求，其测试原理没有发生变化。

由于智能变电站继电保护装置采样环节的变化，简化了数字化测试仪硬件结构，提高了电力故障仿真数据精度和仿真模型数据的复杂性，这对丰富自动测试平台功能有极大帮助。

自动测试系统除了电力系统故障仿真功能外，基于 IEC61850 标准继电保护装置的自动测试系统还应包含以下功能。

- ① 具备 IEC61850-9-1、IEC61850-9-2 和 FT3 格式报文输出能力。
- ② 具备闭环测试能力。
- ③ 具备 IEC61850 信息解析功能。
- ④ 测试脚本重用性。测试脚本以保护功能为对象，允许同一测试脚本可在不同类型装置同类保护测试中共用。
- ⑤ 继电保护动作时间的测试。
- ⑥ 测试过程透明化。

为了从更广的角度检测继电保护装置的性能，增加通过继电保护装置产生的录波数据的分析，判断继电保护动作时间及动作量是否符合规程及设计要求。

2 系统整体框架

根据继电保护装置测试的原理，该系统的硬件结构框架如图 1 所示。系统中使用数字测试仪将电力系统故障仿真数据上送给继电保护装置模拟量采用数据通道，实现数字化条件下的电力系统的故障仿真功能。

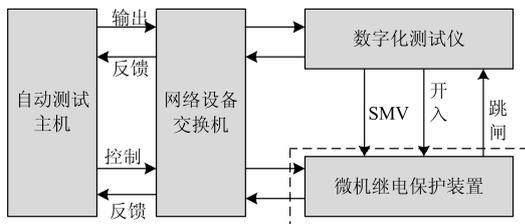


图 1 硬件结构框图

Fig. 1 Block diagram of hardware

自动测试主机任务为控制数字测试仪故障输出，通过 IEC61850 服务模型，实行对装置定值和功能压板的控制，并负责收集保护装置发出跳闸报文(GOOSE)时间检测。

考虑到自动测试系统可扩展性以及软件可维护性，将自动测试系统的软件划分 4 个部分来设计。

图 2 为自动测试系统软件结构框图。

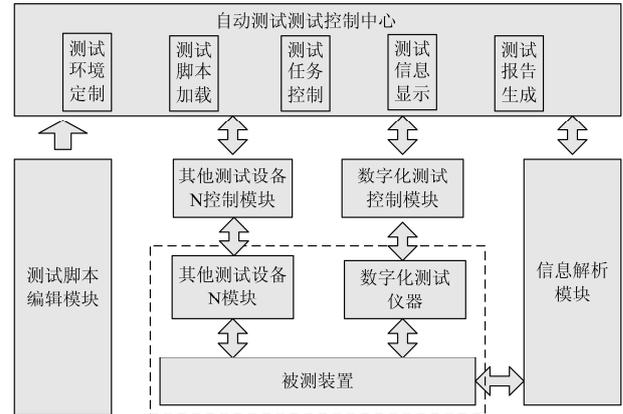


图 2 软件结构框图

Fig. 2 Software structure diagram

自动测试系统的软件包括以下 4 个部分。

① 自动测试控制平台。负责自动测试环境定制、测试任务的生成、执行和管理的工作，是自动测试系统的控制中心。

② 测试模型构建模块。负责测试脚本的编辑、修改和生成，并将测试脚本以文件方式保存。

③ 装置信息解析模块。负责装置 IEC61850 的通信以及实现对继电保护装置信息解析和控制，并将相关信息提供给自动测试控制平台使用。

④ 数字化测试仪控制模块。其任务是控制数字化测试仪输出并获取数字化测试仪的测试返回结果，提供自动测试控制平台使用。

3 测试脚本的设计

测试脚本是自动测试系统业务模型的载体和测试过程中判据的来源，测试脚本的内容与测试逻辑密切相关。测试脚本的重用性高低决定了测试脚本的价值，也是自动测试系统优劣关键衡量指标。

基于测试脚本的可靠性和可读性的考虑，测试脚本采用文本文件描述，以数据特征字典和功能特征符结合描述语言，实现测试逻辑指令和测试数据的描述。通过特征逻辑符和特定的语法规则而生成的测试脚本，可以实现需要的测试逻辑描述。在测试执行时通过测试脚本的数据特征字典由虚拟化信息转变成实例化的装置信息，保证测试脚本重用性的实现。

3.1 测试脚本语言规则

为了描述测试脚本中测试数据模型和测试逻辑，对测试脚本中相关的特征进行约定，具体约定如表 1。

除了对基本特征符号进行语义约定，还规定一

定语法规则，通过语义和语法规则的结合，可丰富地表达测试脚本中基本操作语句和测试判据语句，从而为测试脚本的执行奠定基础。语句类型如表 2。

表 1 特征符定义表

Table 1 Characteristic definition table

特征符	含义
“;” or “#”	每一行开头采用时，表示注释行
“ ”	一级分隔符，因果关系
“,”	二级分隔符，并列关系
“:”	表示从属关系
“[]”	每行开头采用，代表本行数据类型
“=”	相应值
“{}”	在“=”表示成组的值
“()”	内部表示可选填写数值单位
“_”	数值范围

在语法规则上，约定测试脚本一行文本代表测试脚本一个条件操作或一个测试判决。

“[定值整定]DZ:电流 I 段定值=1.3(A)”语意为:定值整定操作,定值:电流 I 段定值设置为 1.3 A。

“[保护出口]YX:过流 I 段保护动作=出口, OpTim=20~30(ms)”语意为:动作出口判据,遥信:过流 I 段保护状态出口,且出口动作时间范围 20~30 ms。

表 2 语句类型表

Table 2 Statement type table

语句类型	含义
软压板	软压板控制信息
开入量	开关量输入信息
定值整定	修改定值信息
保护出口	保护出口信息判据
故障量	故障量信息判据
测试仪	测试仪反馈信息判据
故障简报	故障简报信息判据
故障录波	故障录波信息判据

测试脚本的类型和测试系统结构相关，并与测试内容相关，表 2 列出系统使用到的测试语句类型及含义。

语句类型的定义要遵循一定原则进行设计，这些原则包括：

① 操作语句仅一个执行对象。

② 判据语句仅一个判据来源对象。

③ 语句表达要完整准确。操作语句的因果关系完整，判据语句要准确而完整。

基于此考虑，测试脚本应由专门工具编辑生成，脚本编辑工具设计必须充分满足 3 个基本要求。另

外，考虑到基于字符串描述的测试脚本，虽然很容易被解释和理解，但如果在测试脚本编辑工具不进行约束和控制，其编写出脚本差异性较大，且可能存在无法被测试脚本解析器识别的情况，因此，在测试脚本编辑工具中，所有的字符串不采用输入法直接生成，而采用在选择项目中进行指定方式，有效避免测试脚本无规则生成，保证测试脚本解析器正常工作，为测试脚本到测试数据的转化奠定必要的基础。

3.2 虚拟测试脚本的实例化

通过测试脚本编辑工具生成的测试脚本，从测试脚本中有关描述信息无法确定测试脚本真实唯一的信息，即测试脚本中数据是虚拟化的，需要将测试脚本中所涉及的特征信息实例化到具体设备对象和相应信息模型上，虚拟化测试脚本才具备指导测试过程功能。

从继电保护装置自动测试原理角度看，测试脚本应该包括以下几个相关设备相关信息：

① 被测试继电保护装置；

② 数字化测试仪；

③ 其他可扩展的设备控制对象。

其中①和②是继电保护装置自动测试系统的基本设备，而其他可扩展设备由于没有明确的功能，暂不可以考虑。因此，虚拟测试脚本的实例化主要包括被测试继电保护装置的特征信息和数字化测试仪特征信息的实例化两方面的内容。

3.2.1 继电保护装置特征信息实例化

通过专用测试脚本编辑工具生成的测试脚本，在语句表达上完整且准确，但由于没有和被测装置信息模型建立任何的联系，此时测试脚本中数据是虚拟且无意义，无法作为指令集的载体提供给测试脚本执行程序实际执行。因此，将虚拟化测试脚本实例化是测试脚本执行的关键步骤。

基于 IEC61850 标准的继电保护装置与信息解析主站采用 MMS 报文方式，作为信息解析主站，保护装置信息模型可以直接从 SCD 进行导入生成，但在信息解析主站内存中装置的信息是以数据条目方式存在，当然这种数据条目的数据与装置信息模型的索引之间存在一对一映射关系。数据条目方式下装置单个信息点就可以追加一个特征字或数据字典描述方式，这在信息解析主站的配置工具上是可以实现的。

虚拟化测试脚本中与装置相关信息是特征字数据字典，数据字典定义是按照保护功能为对象的，其覆盖装置信息模型的多个方面，如遥信、遥控、保护事件等。在单个装置信息模型中，通过准确信

息类型以及唯一数据字典，可在装置信息模型中直接检索到唯一对应信息。

测试脚本加载时，先由脚本解析器读取测试脚本，并根据被测装置数据模型，由数据字典信息描述模型转变含有具体保护装置信息的测试数据模型，从而实现虚拟化测试脚本的实例化过程。实例化后的测试脚本含有被测装置信息模型中的具体信息，为测试过程中测试操作和测试判据提供准确信息模型数据，保证测试脚本作为测试指令集载体功能的实现。

图 3 是虚拟化测试脚本实例化的过程。通过虚拟化测试脚本的设计，一是可以保证测试脚本是基于保护功能为对象实现；二是测试脚本关联不是继电保护装置的具体信息，而是数据字典特征信息，可重用性好；三是通过测试脚本中试验条件可根据装置模型进行简化，而测试判据不允许简化，可大大增强测试脚本面临不同继电保护装置信息模型时的灵活性和原则性。

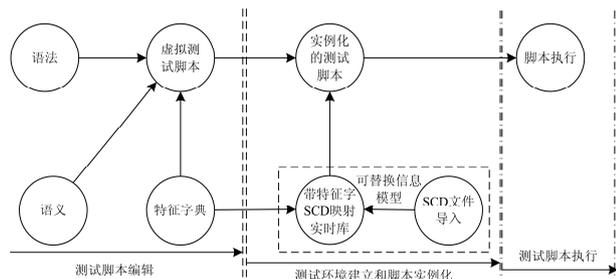


图 3 继电保护特征信息实例化流程图

Fig. 3 Flow chart of the characteristic information of relay protection

3.2.2 数字化测试仪关键信息实例化

在继电保护装置的自动测试系统中，数字化测试仪主要承担两个任务，即故障仿真输出和保护装置跳闸节点或 GOOSE 跳闸信号检测，前者为测试操作条件，后者为测试判决。

为了实现测试脚本跨装置的使用，将与被测装置相关的配置信息和实际仿真数据隔离，配置信息仅在测试开始进行一次性加载，而故障数据只有在配置进行加载完毕后，在测试过程中加载和使用。

数字化测试仪故障仿真是以光信号方式输出数字量，因存在多个通道同时输出且受制于硬件的约束，其输出的通道数量是有限的，因此数字化测试仪输出时除了仿真数据，还存在输出通道配置信息，而通道配置信息与被测装置对象密切相关。测试脚本的跨装置的使用，要求将数字化测试仪的输出故障数据和通道配置信息隔离开，测试脚本只包括与

输出故障有关的信息，而通道配置信息可在测试开始时选择装置对象时进行通道配置文件的关联。

故障输出数据可采用故障模板和故障数据相结合模式，故障模板指定故障输出数据格式和基本数据，而故障数据则用来调整故障模板关键数据，以实现数字化测试仪故障数据控制的灵活性，减少故障仿真数据信息的大小。

GOOSE 相关其他配置也可配置信息中，这些配置信息和装置模式配置是密切相关的，被测装置一旦确定，配置信息无法进行修改和调整，故在测试时进行一次性加载即可，而 GOOSE 跳闸对象也采用特征描述，使用时进行实例化处理方式。

3.3 测试脚本执行流程

测试脚本的执行流程是继电保护装置自动测试逻辑实现流程。完整的测试脚本的执行流程应包括两个阶段。

1) 测试环境定制。测试环境定制包括 3 个部分内容。

① 测试平台的定制。继电保护装置自动测试平台基于测试分布式设计思想而设计，自动测试平台子模块是可扩充的，一方面测试子模块个数需要根据实际测试需要进行配置，另一方面测试主模块和各从模块之间数据信息的交换需要合适配置参数，以保证测试过程中主模块与从模块信息交互的正确性。

② 子模块配置参数。各子模块的启动也需要配置一定的参数，如装置信息解析模块需要配置装置数据库信息，尽管这些装置数据库信息可以通过 SCD 文件导入而生成。信息解析模块数据库是虚拟测试案例实例化过程中关键步骤所需的信息。

③ 选择被测装置对象和数字化测试仪通道配置信息。被测装置对象是测试环境定制中子模块配置参数中以 SCD 导入方式而完成，而数字化测试通道配置信息与被测装置密切相关。

2) 测试脚本的执行

① 加载测试脚本。加载测试脚本本质上通过语法规则的定义，将解析测试脚本全部信息解析到内存中。

② 测试脚本实例化。通过被加载测试脚本的特征信息，以一定的规则和被选择测试装置对象和数字化测试仪配置参数进行检索匹配，生成具有实际指定信息模型的实例化测试脚本。实例化测试脚本是指导后续测试过程的关键信息和命令集。

③ 测试脚本执行。测试脚本的执行是指主模块将有关执行命令传递给从模块进行执行，同时通过从模块中获取反馈信息。测试脚本在完成实例后进

行测试逻辑控制和流程控制, 执行过程就是对测试中操作步骤按照前后逻辑关系进行执行, 并在测试操作完成后进行测试判据的检查, 并给出相应测试数据或测试结果。

4 结论

本文通过对智能变电站继电保护装置的特点和测试要求的分析, 提出以数字化测试仪为平台的自动测试系统, 设计了一套基于智能变电站继电保护装置的保护逻辑功能测试的自动测试系统。

该系统采用分布式设计方法, 为系统功能的扩展提供了方便, 同时降低测试主模块与设备模块信息交互实现难度。通过信息特征数据字典、功能特征符的定义和语法规则约定, 采用专用编辑工具生成虚拟化测试案例, 降低了测试脚本与继电保护装置信息模型的耦合度。通过测试时加载继电保护装置信息模型, 并完成虚拟化测试脚本的实例化过程, 提高测试脚本的重用性。

该系统应用表明, 随着智能变电站继电保护装置的应用, 以信息交换为实现手段的自动测试系统将有效简化继电保护装置测试过程, 拓宽继电保护的测试范围, 提高测试规范性和透明性, 降低继电保护装置测试成本, 具有良好的推广应用前景。

参考文献

- [1] 姚致清. 继电保护测试发展方向的思考[J]. 继电器, 2008, 36(11): 76-79.
YAO Zhiqing. Some thought about development target of testing for relay protection equipment[J]. Relay, 2008, 36(11): 76-78.
- [2] 徐天奇, 尹项根, 游大海, 等. 兼容 IEC61850 标准的智能电子设备测试[J]. 电力自动化设备, 2009, 29(3): 132-137.
XU Tianqi, YIN Xianggen, YOU Dahai, et al. IED test compatible with IEC61850 standard[J]. Electric Power Automation Equipment, 2009, 29(3): 132-137.
- [3] 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 Zhongan, SHEN Quanrong, WANG Yanguo, et al. Electrical power system intelligence installment automated test system design[J]. Automation of Electric Power Systems, 2009, 33(8): 77-79.
- [4] 陈德辉, 王丰, 杨志宏. 智能变电站二次系统通用测试平台方案[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(1): 139-143.
CHEN Dehui, WANG Feng, YANG Zhihong. Unified test platform for smart substation secondary system[J].

- Power System Protection and Control, 2016, 44(1): 139-143.
- [5] 应站煌, 胡建斌, 赵瑞东, 等. 继电保护装置自动测试系统研究和设计[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(17): 143-146.
YING Zhanhuang, HU Jianbin, ZHAO Ruidong, et al. Research and design of relay protection equipment automated test system[J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(17): 143-146.
- [6] 王忠, 张晓莉, 李忠安, 等. 继电保护装置自动测试系统设计[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(5): 130-135.
WANG Zhong, ZHANG Xiaoli, LI Zhongan, et al. Design of automatic test system for relay protection device[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(5): 130-135.
- [7] 浮明军, 刘昊昱, 董磊超. 智能变电站继电保护装置自动测试系统研究和应用[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(1): 40-44.
FU Mingjun, LIU Haoyu, DONG Leichao. Research and application of relay protection automatic test system for smart substation[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(1): 40-44.
- [8] 张晓莉, 刘慧海, 李俊庆, 等. 智能变电站继电保护自动测试平台[J]. 电力系统自动化, 2015, 39(18): 120-125.
ZHANG Xiaoli, LIU Huihai, LI Junqing, et al. Automatic test platform in smart substation for relay protection[J]. Automation of Electric Power Systems, 2015, 39(18): 120-125.
- [9] 温东旭, 杨辉, 王旭宁, 等. 电力保护装置保障性自动测试方案研究与实践[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(10): 135-138.
WEN Dongxu, YANG Hui, WANG Xuning, et al. Research and practice on the scheme of automatic testing of power protection device security[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(10): 135-138.
- [10] 董磊超, 刘昊昱, 浮明军. 智能变电站间隔层设备自动测试系统研制[J]. 电力系统自动化, 2015, 39(5): 147-151.
DONG Leichao, LIU Haoyu, FU Mingjun. Development of automatic test system for bay level equipment of smart substations[J]. Automation of Electric Power Systems, 2015, 39(5): 147-151.

收稿日期: 2016-04-19; 修回日期: 2016-07-01

作者简介:

李保恩(1963-), 男, 本科, 高级工程师, 研究方向为智能变电站继电保护装置新技术的应用。E-mail: 13903990150@139.com

(编辑 葛艳娜)