电力保护装置保障性自动测试方案研究与实践

温东旭，杨 辉，王旭宁，郑运召，应站煌

(许继电气股份有限公司，河南 许昌 461000)

摘要：为了提高保护装置生产效率、降低生产成本，根据保护装置测试流程及现有技术条件，提出了一种高效的自动测试方案。基于现有保护装置测试案例，结合计算机技术归纳出自动测试种类；基于测试用例可重用的基本思想，利用特征字映射方式，提出了可重用的测试用例编写方法。在测试仪及 IO 卡的配合下，实现了保护装置功能测试的自动化。方案实施结果表明，该方案较大地提高了测试效率，实现了重复性劳动自动化处理的基本需求。同时，自动生成测试报告，供归档管理，提高管理的电子化水平，提高了管理质量。

关键词：自动测试；保护装置；测试仪；数字化；保障性

Research and practice on the scheme of automatic testing of power protection device security

WEN Dongxu, YANG Hui, WANG Xuning, ZHENG Yunzhao, YING Zhanhuang

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

Abstract: In order to improve production efficiency and reduce production costs of relay protection device, according to the test process and the existing technical conditions, this paper proposes an efficient automatic test scheme. Based on the existing protection device test cases and the computer technology, it sums up the automatic test categories; based on the basic idea about reusable test cases, it proposes the compiling method of reusable test cases using the mapping mode of tagged word. It realizes the automation for the functional test of the protection device with the cooperation of tester and IO card. Implementation results show that the scheme proposed greatly improves the test efficiency and realizes the basic needs of repetitive work automation processing. At the same time, it automatically generates test reports for the filing management and improves the electronic level of management and the management quality.

Key words: automatic test; protection device; testing instrument; digitization; security

中图分类号： TM774 文献标识码：A 文章编号： 1674-3415(2015)10-0135-04

0 引言

目前保护装置研发中测试任务繁重，特别是产品升级时，即使修改个别代码也需要对装置进行全面的测试，以保障产品其他功能不受影响，达到严格控制产品研发质量的目的。而传统方式下人工测试方法受限于个人素质以及人力资源本身的限制，产品研发的测试任务不能及时完成，间接对产品的研发进度形成影响。

研发性测试主要依靠人工测试完成，产品软件升级时，一般由研发测试组完成内部测试，在内部测试没有发现问题的情况下，申请提交测试部门，测试部门完成全面测试后，进入产品发布或软件发布。对于同种型号保护装置来说，研发产品内部测试使用测试方法基本相同，常规测试方法和测试原理也一样，测试的重复性较大，可以通过设计自动测试系统，来完成研发测试中保障性测试项目[1-2]。

1 自动测试方案

1.1 硬件自动测试与软件功能自动测试

自动测试应包含硬件测试部分和软件测试部分。硬件部分测试包含电源测试，开入回路测试，开出回路测试，逻辑回路测试，面板按键测试，面板指示灯测试等；软件部分测试包含定值功能测试，各种保护功能测试，与主站配合的各种监视与控制功能测试，以及相关辅助功能测试[3]。

其中硬件自动测试部分在生产流程中相对独立，属于自动生产线的一部分，需要有传送带、机器臂、装置夹具等配套设备来完成。这里仅探讨一下软件测试部分的自动测试方案。

1.2 保护装置软件功能测试方案

为了达到目的，我们首先要明确需要测试的内容及测试范围。像说明书的检查，装置界面的显示情况等，不应包含在自动测试范畴。自动测试解决的大工作量事件，目的在于大幅度降低整体工作量，但并不能够将工作量降为零[4]。

根据现有保护装置测试情况，我们将能够实现自动测试的内容归为以下几种：

(1) 保护功能相关测试。输入一定的保护动作与不动作条件，检测测试结果的正确性。

(2) $3U_0/3I_0$ 功能测试。输入零序电压/零序电流实部、虚部，测试其输出结果、输出角度的正确性。

(3) 定值功能测试。测试装置出厂的定值初始值，最大值、最小值验证，调取、修改定值及切换定值区等。

(4) 积分电度测试。输入电流、电压和施加时间，输出积分电度计算量。

(5) 开入量测试。输入开入量，通过主站获取结果。

(6) 测量量测试。输入给定的遥测量值，通过主站获取结果。

(7) 遥测门槛值测试。输入门槛值及变化测量量，通过主站获取测试结果。

(8) 遥测零死区测试。输入超零死区模拟量值，通过主站获取测试结果。

(9) 遥测品质测试。输入无效模拟量或越限值，通过主站获取测试结果。

(10) 遥测周期测试。输入一定的遥测量值，判断周期时间及值的准确性。

(11) 遥控测试。首先控制闭锁条件，然后从主站下发遥控命令，判断闭锁条件与测试结果。

(12) 压力测试。模拟雪崩事件，给定输入遥信量个数及发生次数等，进行大数据量测试。

(13) 装置失电测试。反复切断电源测试，判断装置重启后与失电前数据的一致性。

根据以上测试需求，我们可以构成如图 1 所示的闭环测试环境。

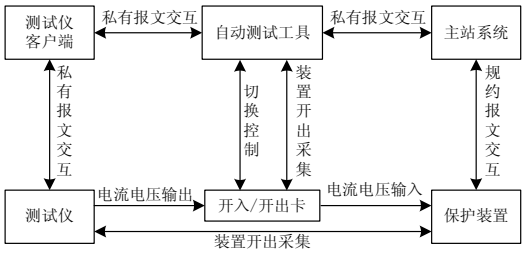

图 1 自动测试系统闭环测试框架

Fig. 1 Closed loop testing framework of automatic test system

以往测试中，保护装置的输入条件分别来自于测试仪和主站系统。对测试仪的控制是由测试仪客户端发起的测试用例，主站下发命令及监视信息都是由人来完成的，同时测试仪有测试报告输出。

在自动测试中，我们增加一个自动测试工具和一个开入开出卡(以下简称 IO 卡)的配合。这样我们形成了如图 1 所示的多环、闭环测试。自动测试工具负责同时与测试仪客户端、主站系统、IO 卡通信。自动测试时[5]：

(1) 由自动测试工具配置测试用例，一般测试仪有自己的测试用例，因此在自动测试工具的测试用例中应包含对应测试仪的测试用例。

(2) 主站系统自动导入装置点表信息，含测试用例中映射的特征码。

(3) 自动测试工具调入测试用例进行自动测试，通过与测试仪客户端交互，启动测试仪的测试用例；通过与 IO 卡交互，控制保护装置的输入信息；通过与主站系统及测试仪客户端的交互获取测试过程及测试结果。

(4) 测试数据整理入库，形成测试报告。

该方案中，在测试非数字化保护装置时，测试仪采用常规测试仪，保护装置与主站系统间通信采用 IEC103 或 IEC104 等协议转换；在测试数字化保护装置时，测试仪采用数字化测试仪，装置需要输入 SV 及 GOOSE 信息时，测试仪与装置间采用跳过 IO 卡，直接连线方式，进行电压、电流、闭锁信号等数字信息输入。因此该方案适用所有类型的保护装置，不局限于非数字化装置或数字化装置。

2 方案实践

2.1 保护功能自动测试

这里我们以最为复杂的保护功能的自动测试为例，来说明该方案的可行性。针对保护功能的测试总结为以下几方面[6]：

(1) 投入条件：如软压板、定值、控制字、硬压板、开入等。

(2) 精度测试：①最大最小定值、中间定值的精度(1.025 倍可靠动作，0.975 倍可靠不动作)；电压、电流、方向、滑差闭锁条件的精度(电压精度也是 2.5%；方向的精度是±3°；滑差是±10%或±0.2 Hz/s)；②1.2 倍定值的出口时间、报文时间。

(3) 报告检查：报文显示、故障量值、录波、相对时间和绝对时间、故障序号等是否正确。

(4) 闭锁功能：闭锁条件下的各种功能测试。

(5) 逻辑功能：连续保护动作，前一个动作是后一个的前提，阶段性的组合功能。

针对此种复杂逻辑，我们需要提炼、支持各种测试用例，来适应不同的需求。因此，测试用例应该是多样化，可编辑的。同时测试用例也应该是可序列化的，可循环或多次调用的。

测试用例的编辑如图 2 所示。针对保护测试用例的编辑应作如下定义：

(1) 定义一组定值、压板、控制字等输入。

(2) 定义与之相对应的测试仪的测试用例。

(3) 定义与之相对应的输出结果。

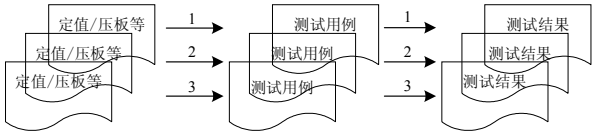

图 2 测试用例编辑

Fig. 2 Test case editing

检测方案：通过主站系统的通信规约与装置通信，进行定值、软压板、控制字的控制；通过 IO 卡对硬压板进行控制；使用测试仪客户端编辑测试仪的测试用例；启动相对应的测试用例；主站系统反馈结果与测试仪客户端反馈结果为测试判据，进行正确性判断。闭锁逻辑测试为单独的测试用例。采用较多的测试用例来实现各种测试。

2.2 保护功能测试用例编写

这里描述的测试用例编写是自动测试功能实现的测试用例，而并不是测试仪所用的测试用例。这里的测试用例与测试仪的测试用例唯一对应，测试仪的测试用例编写不在本文探讨范围内。这里还是以保护功能测试为例，来分析测试用例的编写方式[7]。

我们可以约定测试用例采用文本方式体现，文件后缀名如“.tcase”，方便阅读及编辑。可以约定如下：

(1) ;或#

每行开头采用时，表示注释行。

(2) |

一级分割符，表示有顺序关系。靠前的最先发生，依次类推逐步发生。

(3) ,

二级分隔符，表示并列关系。

(4) ：

表示从属关系。

(5) []

每行开头采用时，括号内的内容为类型。

(6) =

表示有相应的值。

(7) {}

在“=”后使用，表示成组的值。

(8) ()

内部表示可选的填写数值单位。

由此我们可以编辑出保护测试的测试用例，这里仅举例说明问题，不一一列举了，如下：

[软压板]YK: 过流 I 段软压板=投入|YX:过流 I 段软压板

表示要投入“过流 I 段软压板”，并判断其状态是否正确返回到主站。

[定值整定]DZ: 电流 I 段定值=1.3(A)

表示要通过主站整定定值“电流 I 段定值”为 1.3 A。

[保护出口]YX: 过流 I 段保护动作=出口，OpTim=20~30(ms)

表示动作出口判断，动作时间范围是 20~30 ms。

我们还可以设定开入量、故障量、测试仪、故障简报、故障录播、IO 采集等类型的用例语句。

3 应用分析

本方案的实施，很大程度上提高了研发及生产过程中的自动化程度。经过试运行后经验总结分析，原本需要一周左右的测试项目，采用该自动测试系统后，仅需要半天时间即可完成所有测试项目，测试内容还较原来全面。由此可见效率提高了 10 倍之多。

本方案具备以下特点：

重复性工作固定化，形成与装置无关的测试用例模板库，固化模板，把人员从繁琐的重复性的劳动中解放出来，降低人工成本。

多重化模板，采用二级模板处理办法，将测试归类处理，细分到最小单位，然后可以任意组合，形成测试序列，也可以单独测试。

接线方式工装化，同型号接线，采用工装的套件来减少接线，达到测试零接线，更换工装插板即可。

测试工作流程化，从无序的测试流程，规整为有序的，规范的测试流程，同时给系统的全面测试提供保障。

测试过程自动化，根据编辑好的测试用例，在无人工干预的情况下可以完成单装置的全面测试，达到高度自动化效果。

测试水平拔高，工装测试方式节省出来的时间，可以让测试人员由原来的技术含量较低的接线工作转变为设计复杂测试用例的设计人员，提高测试质量。

在实施过程中，根据保护装置的不同，采用不

同的测试仪来完成自动测试，分为数字化测试仪和常规测试仪两种。在常规装置测试时，我们采用博电 PW336 测试仪进行配合测试。采用自主研发的测试屏进行系统组装，采用工装套件接线方式，免配线；在数字化装置测试时，采用许继 DRT802 数字化测试仪，采用光纤网络，如果装置为全数字化装置则不需要小信号输入源，针对过渡期的半数字化设备，即采样采用常规采样，其余全部采用光纤网络通信的半数字化设备，测试仪同时提供小信号输出。

本方案设计的测试用例是抽象化的与装置无关的，因此测试用例是不区分装置类型，直接可重用的。主站系统采用自主研发的 CSU 通信主站，可支持不同规约输入，支持不同规约模型导入，仅需少量配置即可配合自动测试系统完成自动测试。

4 结语

本文从测试需求展开分析，闭环自动测试框架展开探讨，以具体测试案例进行分解，最终以应用分析来总结方案特点。针对保护装置研发的自动测试研究具有积极意义，在自动化程度逐步提高的当今社会，自动测试系统势在必行。

随着智能变电站的自动化程度进一步提高，智能化生产、智能化调试、智能化运维、智能化检修必然会提上日程。本自动测试方案属于智能化生产的一部分，是智能变电站自动化程度再一次提升的开端。

参考文献

[1] 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.

[2] 郑新才, 丁卫华, 韩潇, 等. 基于测试模板的继电保护装置自动测试技术研究与实现[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(12): 69-76.
ZHENG Xincai, DING Weihua, HAN Xiao, et al. Research and realization of autotest technology for protection relays based on test template[J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(12): 69-76.

[3] 赖擎, 华建卫, 吕云, 等. 通用继电保护自动测试系统软件的研究[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(3): 91-94.
LAI Qing, HUA Jianwei, LÜ Yun, et al. Research on general relay protection auto-test system software[J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(3): 91-94.

[4] 邵风瑞, 王命延. 继电保护测试系统组态软件的应用[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(6): 72-75.
SHAO Fengrui, WANG Mingyan. Configuration-based software protection test platform[J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(6): 72-75.

[5] 胡再超, 姚亮, 张尧. 智能继电保护装置的自动测试方法[J]. 江苏电机工程, 2013, 32(1): 53-55.
HU Zaichao, YAO Liang, ZHANG Yao. An autotest method of intelligent relay protection equipment[J]. Jiangsu Electrical Engineering, 2013, 32(1): 53-55.

[6] 贺春, 李亚萍. 基于 61850 的继电保护测试框架[C] // 2008 中国电力系统保护与控制学术研讨会论文集, 电力系统保护与控制杂志社. 2008 年 10 月 19-23 日, 烟台, 中国, 2008.
HE Chun, LI Yaping. Test frame of relay protection based on 61850[C] // Proceedings of the 2008 Chinese Conference on Power System Protection and Control, Power System Protection and Control Press. October 19-23, 2008, Yantai, China, 2008.

[7] 胡巍威. 测试用例的生成与管理[D]. 成都: 电子科技大学, 2013.
HU Weiwei. Test case generation and management[D]. Chengdu: University of Electronic Science and Technology of China, 2013.

收稿日期：2014-07-31； 修回日期：2014-10-20

作者简介：

温东旭(1977-)，男，本科，工程师，从事电力系统自动化领域的研究与开发工作；E-mail: dongxuw@xjgc.com

杨 辉(1977-)，女，本科，助理工程师，从事电力系统自动化领域的研究与开发工作；E-mail: huiy@xjgc.com

王旭宁(1984-)，男，硕士研究生，工程师，从事电力系统自动化领域的研究与开发工作。E-mail: wangxuning@xjgc.com

(编辑 张爱琴)