基于统一建模的继电保护测试装置开发研究

王治国[1]，李兴建[1]，王言国[1]，沈全荣[1]，秦宇飞[2]，于 哲[1]，李忠安[1]

（1.南京南瑞继保电气有限公司，江苏 南京 211102；2.华北电力大学控制科学与工程学院，北京 102206）

摘要：提出了通过统一测试模型配置文件快速建立装置整机测试模型，并由主程序按照测试模型来执行测试的继电保护测试装置系统架构思想，开发了嵌入式继电保护测试装置和测试模型组态软件。该装置具有体积小，I/O 扩展灵活，测试方便快捷等优点，为继保测控装置的批量生产测试提供了统一的自动化测试平台。该装置不仅规范了产品测试程序，降低了测试工作复杂度，而且大大提高了测试效率，确保了产品测试品质。该思想已在 HELP2000 继保测试装置上成功应用，表明该装置具有一定的推广使用价值。

关键词：统一测试模型；测试标准化；整机测试；继电保护

Research on the development of relay protection tester based on unified building mode

WANG Zhi-guo[1]，LI Xing-jian[1]，WANG Yan-guo[1]，SHEN Quan-rong[1]，QIN Yu-fei[2]，YU Zhe[1]，LI Zhong-an[1]

（1. Nanjing NARI-Relays Electric Co. Ltd，Nanjing 211102，China；

2. School of Control Science and Engineering，North China Electric Power University，Beijing 102206，China）

Abstract：This paper brings forward the system construction of relay protection tester，which builds integrated test model quickly by means of a unified test model configuration file，and executs test by the main program in accordance with the test model. The embedded relay tester and test model configuration software are developed. The tester has the features of samll size，I / O expansion flexibility，fast and convenient testing，etc. It provides a unified automated testing platform for mass production of protection and control devices. It not only standardizes product testing procedures and reduces the complexity of testing，but also greatly improves the test efficiency and ensures the quality of product. The idea has been put into use on HELP2000 successfully，and actual use shows that the tester has certain promotional value.

Key words：unified test model; standardized test; integrated test; relay protection

中图分类号： TM77 文献标识码：A 文章编号： 1674-3415(2010)19-0180-05

0 引言

继电保护是电力系统安全稳定运行的一级保护者，它的误动、拒动都会对电力系统的安全稳定运行带来巨大的危害。如何全面、准确、快速发现及定位继电保护装置中隐藏的软硬件错误，以保证继电保护装置的速动性、选择性、灵敏性和可靠性是继电保护的生产、运行人员必须面对的重要问题[1-2]。

而今，电力系统日趋复杂化和智能化，微机型智能继电保护测控装置的种类也日益多样化。元件保护，线路保护，辅助保护，智能配网终端及用于测量控制的各类测控装置可以说层出不穷。面对众多的继保测控装置，如能提供统一的整机自动测试平台，构建实时仿真测试环境，实现真正的全闭环测试，不仅可以避免人为因素对测试过程的干扰，排除测试的随机性和盲目性，降低冗余，减少遗漏；而且能规范产品测试程序，降低测试工作复杂度，大大提高测试工作效率，确保产品测试品质[3-6]。

电力系统继电保护测试装置的发展经历了模拟仪器组合型，集成电路型，微机型三个发展阶段。目前，微机型继电保护测试装置已成为市场发展的主流，并在新技术的促进下，向着智能化，模块化，高精度，低损耗的方向发展[6-7]。本文在研究国内各类继电保护测试装置的基础上并结合生产实际，提出了通过继保测控装置统一测试模型配置文件快速建立装置整机测试模型，并由主程序按照测试模型来执行测试的继保测试装置系统架构思想；开发了嵌入式继电保护测试装置各类 I/O 插件和整机测试模型组态软件。它不仅能对各类继电保护测控装置实现真正的全闭环测试、而且向用户提供详细的整机测试报告。该测试装置的突出优点是：硬件配置自由灵活，I/O 点数完全不受限制；并可根据不同

的测试目的，快速组态，进行二次开发。

1　系统设计

1.1 功能设计

测试功能定位。根据不同的测试目的，可将测试装置分为软件逻辑功能诊断性测试和硬件检测性测试两种类型。

软件逻辑功能诊断性测试：系统通过 103 通用分类服务功能自动修改装置保护定值，完成保护装置的全部保护逻辑功能试验验证，同时检测保护装置的全部硬接点动作情况和软报文动作情况，最后给出装置的各项保护逻辑功能测试报告。优点：既检测装置的保护逻辑功能，又检测装置的全部硬接点，测试较为全面；缺点：测试时间稍长，不利于批量测试。

硬件检测性测试：系统通过 103 通用分类服务功能自动修改装置保护定值，并完成保护装置的部分保护逻辑功能测试以用于检测保护装置的全部硬接点动作，最后给出装置的整机硬件测试报告。优点：测试时间较短，有利于装置大批量测试；缺点：装置保护逻辑功能不能进行全部测试。

无论是软件逻辑功能性测试还是硬件检测性测试，都是通过开发人员修改装置整机测试模型配置文件来实现的。系统读取被测装置的测试模型配置文件并根据测试模型中的测试内容将命令下发给模拟量输出插件、开关量输出插件。之后，系统一方面通过串口或网络接收装置发出的保护动作报文，另一方面通过 CAN 总线接收开入插件传来的装置硬接点动作信息。系统根据这些信息并依据测试模型中的判断标准来判断装置的硬件及保护逻辑动作是否正确。

1.2 硬件架构

HELP2000 采用基于 CAN&对时总线的硬件架构。所有插件均通过 CAN 总线与 CPU 插件通信(液晶显示面板采用 485 总线)。HELP2000 具有以下插件：CPU 插件，模拟量输出插件，开入插件，开出插件，模拟断路器插件，对时插件，条码扫描插件，机箱扩展插件，液晶显示面板，总线背板组成，详见图 1。模拟量输出插件、开入插件、开出插件、模拟断路器插件均可根据被测装置实际信号量的多少，来安排插在总线背板上的插件数量。如果现场需求的输入输出信号超过一台机箱的插件配置，那么还可以通过机箱扩展插件来扩展机箱，从而让 HELP2000 提供更多的输入输出信号来满足实际测试需求。总之 HELP2000 模块化的硬件设计思想使其具有极强的扩展性能。

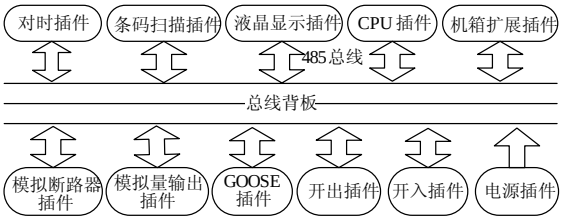

图 1 基于 CAN&对时总线的 HELP2000 硬件架构

Fig.1 HELP2000 hardware construction based on CAN& time-setting bus

CPU 插件采用 Motorola 公司具有良好发展前景的 MPC5200 作为控制器。基于 PowerPC 内核的 MPC5200 是一种低功耗、处理速度达 760 MIPS 的嵌入式处理器。MPC5200 系列内部采用了双处理器结构，有一个专门负责通信的协处理器，并通过双端口内存与主处理器通信，从而使主处理器负荷大幅度下降。其芯片内部含有丰富的实用型外设，支持以太网、CAN、USB、PCI、SPI 和串行接口等；同时还支持 DDR 存储器，并集成了一个双精度的浮点单元(FPU)，因此 MPC5200 用于 CPU 板开发十分方便。HELP2000 CPU 插件提供了丰富的数字接口：两个网络接口，支持网络 103 规约，GOOSE 报文及 FTP 和后台连接功能；一个对时口，支持 B 码和分脉冲对时方式；一个 485 口，支持串口 103 规约和 MODBUS 规约；一个 232 串口，支持南瑞继保 DBG2000 协议。

模拟量输出插件采用 TI 公司推出的 32 位定点 DSP 控制器 TMS320F2812，其频率高达 150 MHz，大大提高了控制系统的控制精度和芯片处理能力。TMS320F2812 芯片基于 C/C++ 高效 32 位 TMS320C28x DSP 内核，并提供浮点数学函数库，从而可以在定点处理器上方便地实现浮点运算。模拟量输出插件具有 16 路高精度模拟量输出，通过总线背板上的 CAN 总线与主 CPU 进行通信。

开入、开出插件，模拟断路器插件、条码扫描插件均采用 Philips 公司推出的一个支持实时仿真和跟踪的 16/32 位 ARM7TDMI-S^{TM} CPU，并带有 128/256 k 字节(kB)嵌入的高速 Flash 存储器的 LPC2119。128 位宽度的存储器接口和独特的加速结构使 32 位代码能够在最大时钟速率下运行。由于 LPC2119 有多个 32 位定时器、4 路 10 位 ADC、2 路 CAN、PWM 通道、46 个 GPIO 以及多达 9 个外部中断，因此 LPC2119 特别适合工业控制系统。

开入插件有 36 路开入，由开入插件引出的 24 V+ 电源经装置动作空接点闭合后返回到开入插件，经光电耦合后交由 LPC2119 处理。开入插件正确地捕

获被测装置接点动作信息后，通过总线背板上的 CAN 总线将开入信息交由主 CPU 插件处理；开出插件有 32 路空接点开出，通过 CAN 总线接收来自主 CPU 的开出命令，根据设定时间，通过控制继电器的开与闭，来进行开出与否。

模拟断路器插件对各种保护装置提供模拟断路器功能，同时对外提供两对信号量切换通道和一个继电器触点控制。

条码扫描插件通过总线背板上的 CAN 总线与主 CPU 进行通信，负责整个测试流程的信息扫描，如测试工程师的工号条码，装置条码等。在整机测试结束后，系统以装置条码号为名形成一份完整的整机测试报告并保存在内存中。

对时插件对内通过总线背板上的 CAN 总线和对时总线向装置自身提供对时服务；对外向被测试装置提供 B 码和分脉冲对时。

2 统一整机测试模型设计

基于模块化的 I/O 插件设计为统一测试所有继电保护装置提供了最大可能，硬件实现已不再困难，继电保护测试装置的好坏关键在于系统软件设计。各类继电保护测控装置，如果每一种装置都对应一个测试子程序，那么程序开发量将十分庞大，且程序不利于扩展和维护。那么，如何提供一个高效的系统软件架构，是开发人员所面临的一项重要课题[8]。

本文提出的基于统一测试模型配置文件的继电保护测试装置开发思想，使得为继保测控装置自动化测试提供统一的整机测试平台，并快速地进行二次开发成为可能。通过对南瑞继保的继保测控装置的通讯规约，通讯方式，装置类型，电流电压类型，装置硬接点类型等进行归类分析及整理，找出各装置的共性与个性，设计了继保测控装置的统一整机测试模型，该模型主要有模型基本设置信息，装置测试信息，测试项目三个模块组成；同时，考虑到测试模型的易读性和易编辑性，该模型采用文本文件的形式来表现。图 2 为现实世界电力系统各种继保测控装置和本文提出的整机测试模型框架。

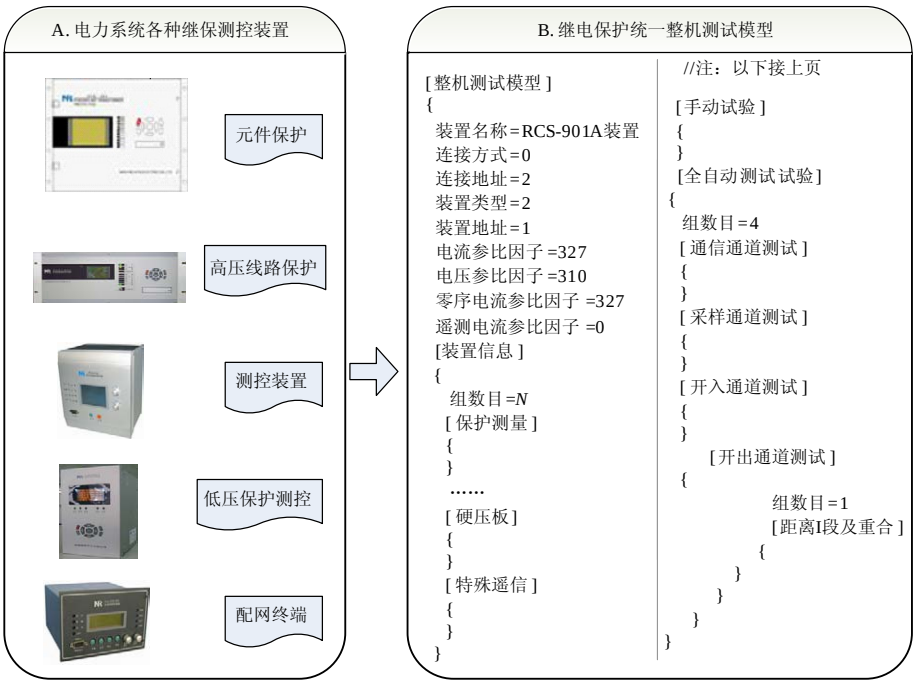

图 2 现实世界电力系统各种保护测控装置与整机测试模型

Fig.2 All kinds of protection, control and monitoring units in real world and integrated test model

2.1 基本设置模块

根据装置的通讯方式，连接地址，装置类型，装置地址，电流参比因子，电压参比因子，零序电流参比因子，遥测电流参比因子形成统一测试模型配置文件的基本设置信息，见图 2。该信息主要向测试模型提供一些常用及可变信息。

2.2 装置信息模块

主要包含被测装置的保护动作信息，压板信息，告警信息，模拟量信息，遥控信息，通信信息等。下面以南瑞继保 RCS-901A 高压线路保护装置 103 规约信息文本为例，来简要讲解硬压板信息的编写。如要测试装置硬压板的好坏，则需将被测装置的硬

压板信息按照统一的格式写到硬压板类别中。如下所示：

[硬压板]
{
　条目数目=*N*
　1,12,11,0,178,11,"高频保护",
　2,12,1,0,178,1,"距离保护",
　3,12,8,0,178,8,"闭重三跳",
　.....
　N,12,42,0,178,42,"检修压板",
}

上面的压板信息可解释为：序号，组号，条目号，不用，FUN 号，INF 号，条目信息描述。HELP2000 根据装置信息形成装置初始数据库，用于判断处理装置上送的报文信息。

2.3 测试项目模块

(1) 手动实验。该模块主要向操作者提供开出量和模拟量输出，供其进行必要的手动测试试验。

(2) 全自动测试试验。全自动测试试验是本系统开发的重点。它包含以下四个半自动测试试验：通信信道测试试验，采样通道测试试验，开入通道测试试验和开出通道测试试验，详细测试任务见图 3。

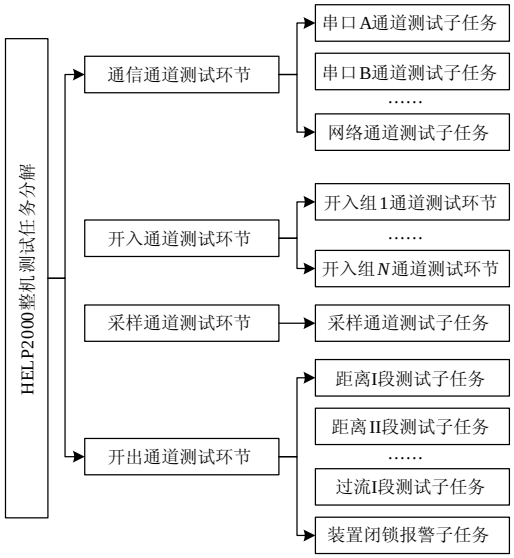

图 3 整机测试任务分解

Fig.3 Integrated test task decomposition

通信通道测试试验。系统根据测试模型所设置的通讯介质：如串口通信，以太网通信，光纤通信等来调用不同的测试子程序，如在设定的测试时间内，系统收到被测装置发送来的报文，则测试通过，反之则测试失败。本系统开发有串口 103 规约通讯模块，网络 103 规约通讯模块，MODUSE 规约通讯模块，通过物理切换及装置定值的自动修改，完成对被测装置通讯口及其规约的测试。

采样通道测试试验。系统通过模拟量输出插件将模拟量小信号通过装置自身的模拟量小信号调试口输入（装置需具备模拟量小信号输入口），在设定的时间内系统通过 103 规约通用分类服务功能读取装置的模拟量。系统将读到的模拟量数据与实际输出量进行比较，如在设定误差范围内，则判测试通过，反之则判失败。

开入通道测试试验。系统根据整机测试模型配置文件中设定的开出量参数（何时开出，持续时间）通过开出插件给被测装置开出量，可通过修改开出持续时间来测试装置的遥信分辨率。系统将装置上送的开入变位报文与整机测试模型配置文件设计的开入变位逻辑进行比较，如一致则认为正确，否则则认为该开入通道有问题。

开出通道测试试验。系统根据被测装置整机测试模型配置文件中的测试项目确定输出量，如故障量的大小，角度，频率及何时投上哪些功能压板并持续多长时间等。如做过流一段，系统自动投上过流 I 段压板，再输出故障量。故障发生后，系统一方面通过网络或串口接收装置上送的动作变位报文；另一方面通过 CAN 总线接收 HELP2000 开入插件上传的装置硬接点的动作信息，最后系统将接收到的报文与被测装置测试模型配置文件设计的动作逻辑进行比较，如一致则该保护逻辑测试通过，否则测试失败。

3 整机测试模型组态软件设计

HELP2000 优秀的系统架构思想赋予其程序设计和整机测试模型配置文件可以分工进行，同时开发，有效缩短了装置开发周期。开发人员通过建立装置整机测试模型配置文件来不断增加 HELP2000 所测装置型号。整机测试模型配置文件是按照一定格式和要求进行书写的文本文件（见图 2），进行二次开发相当方便。为方便开发人员进行装置测试模型配置文件开发及文件的上传下载，利于 Visual C++6.0 开发了整机测试模型组态工具，软件界面见图 4。该工具提供了各类继电保护测控装置整机测试模型配置文件二次开发模板，并具有测试功能模块编辑，文本格式自动校验功能，同时利用 HELP2000 开放的 FTP 功能进行整机测试模型配置文件的上传下载，极大地方便了用户操作。

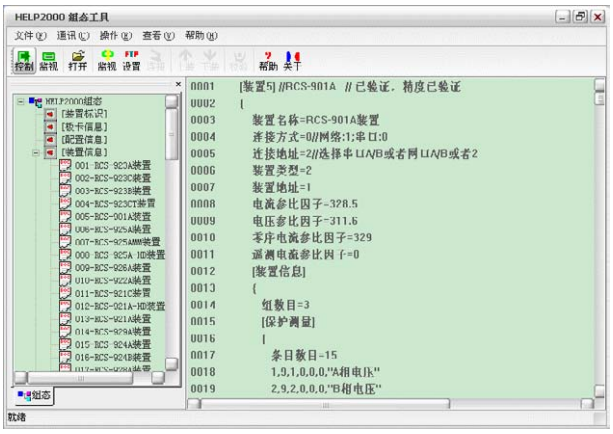

图 4 整机测试模型组态工具

Fig.4 Integrated test model configuration tool

4 系统应用

整机测试是以整台继电保护装置为测试对象的一种测试理念，它既关注被测装置保护动作时硬接点动作的正确与否，同时也关心保护动作时通信报文的正确与否，任何一项测试不过，整机测试结果都判为失败，并给出提示。在整机测试的四个环节中，采样通道测试环节和开入通道测试环节依赖于通信通道测试环节，如通信通道环节测试失败，那么采样信道和开入信道测试将失败。为提高测试效率，系统在通信通道测试环节结束后作出判断，如通信通道测试全部失败，则直接退出测试并给出简报，提示操作者检查通讯测试线连接情况，HELP2000 整机测试流程见图 5。

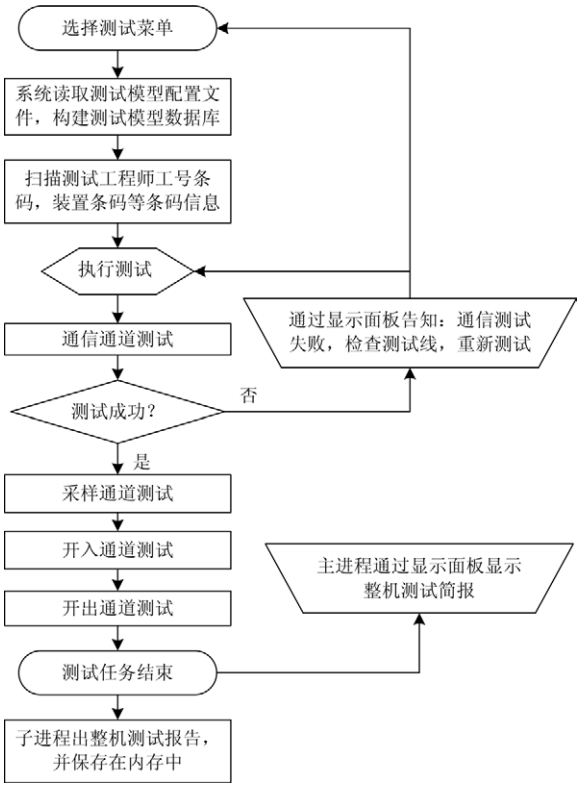

图 5 整机测试流程图

Fig.5 Integrated test flow chart

整机测试只需操作者按照要求接好测试线，构成闭环测试系统（闭环测试线连接见图 6），操作者进入 HELP2000 测试菜单选择测试装置类型，并按照系统提示扫描条码信息后确认执行即可。系统将自动执行以上四个测试环节，并根据这四个测试环节的测试数据形成一份完整的整机测试报告，保存在内存中。该测试报告可通过整机测试报告管理软件下载，以供日后查阅。

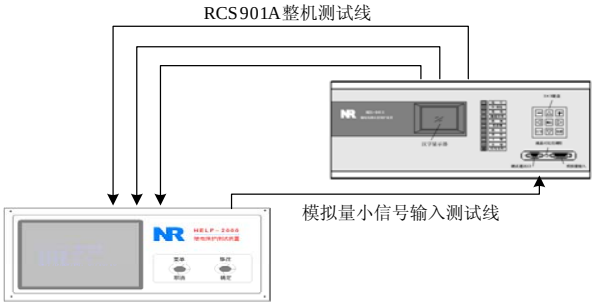

图 6 整机测试接线示意图

Fig.6 Integrated test connection sketch map

5 结论

通过统一测试模型配置文件快速建立装置整机测试模型，并由主程序按照测试模型来执行整机测试的继保测试装置系统架构思想，将程序开发与装置整机测试功能开发完全独立，实现了系统功能化、结构模块化，更加有利于开发人员专注于各项系统功能的实现，同时更加有利于装置功能的二次开发与系统维护。这种开发思想具有普遍地借鉴意义。

基于这种设计理念开发的继电保护测试装置 HELP2000 为继保测控装置的批量生产测试提供了统一的自动化测试平台，不仅规范了继电保护产品测试程序，而且大大降低了测试工作复杂度，提高了测试工作效率，确保了产品测试质量。实际应用表明，该装置具有一定的市场推广使用价值。

参考文献

[1] 周森，郑玉平，刘晗，等. IEC60870-5-103 规约在微机型继电保护测试系统中的应用[J]. 继电器，2005，33（23）：16-18.

（下转第 189 页 continued on page 189）

83-87.
[7] 陈忠仁，吴维宁，张勤，等. 调匝式消弧线圈自动调谐新方法[J]. 电力系统自动化，2005，29（24）：75-78.
CHEN Zhong-ren，WU Wei-ning，ZHANG Qin，et al. New automatic tuning method for multi-tap arc-suppression coil[J]. Automation of Electric Power Systems，2005，29（24）：75-78.
[8] 陈忠仁，董浩斌，李景禄. 调气隙式自动消弧装置测量原理研究[J]. 电力自动化设备，2003，23（10）：25-27.
CHEN Zhong-ren，DONG Hao-bin，LI Jing-lu. Study on measuring principle of adjusting gapped-core type automatic arc suppression device[J]. Electric Power Automation Equipment，2003，23（10）：25-27.
[9] 陈芳靖，陈忠仁，桂存兵. 基于模块化结构的消弧接地一体化装置研制[J]. 电力系统保护与控制，2008，36（23）：56-59.
CHEN Fang-jing，CHEN Zhong-ren，GUI Cun-bing. Development of an incorporate device of arc-suppression coil and grounding fault line selection[J]. Power System Protection and Control，2008，36（23）：56-59.
[10] 裴善鹏，连鸿波，李万彬，等. 快速调匝式消弧线圈及接地选线一体化装置研究[J]. 现代电力，2006，23（1）：20-24.
PEI Shan-peng，LIAN Hong-bo，LI Wan-bin，et al. Research on the incorporate device of quick multi-tap arc-suppression coil and detection of earth fault feeder[J]. Modern Electric Power，2006，23（1）：20-24.
[11] 蔡旭，李仕平，杜永忠，等. 变阻尼调匝式消弧线圈及接地选线装置[J]. 电力系统自动化，2004，28（10）：85-90.
CAI Xu，LI Shi-ping，DU Yong-zhong，et al. An integrated controller of multi-tap arc-suppression with variational damp and detection of earth fault feeder[J]. Automation of Electric Power Systems，2004，28（10）：85-90.
[12] 潘贞存. 消弧线圈自动跟踪补偿与接地选线定位技术的研究[D]. 济南：山东大学，2006.
PAN Zhen-cun. Study on auto-tuning of arc suppression coil and gound fault detection for non-effective grounded power system[D]. Jinan：Shandong University，2006.

收稿日期：2009-10-26；　修回日期：2010-01-05

作者简介：
丛　伟（1978-），男，博士，副教授，从事电力系统继电保护与自动装置的研究；E-mail：weicong@sdu.edu.cn
李盼盼（1983-），男，硕士研究生，从事电力系统继电保护装置开发研究；
李洪涛（1965-），男，高级工程师，从事电力系统运行工作。

（上接第 184 页　continued from page 184）

ZHOU Sen，ZHENG Yu-ping，LIU Han，et al. Application of IEC60870-5-103 standard in the field of the testing of microprocessor-based protective relay[J]. Relay，2005，33（23）：16-18.
[2] 包文娟，朱桂荣. 微机继电保护测试系统的研制[J]. 自动化与仪器仪表，2006（5）：66-68.
BAO Wen-juan，ZHU Gui-rong. Development of computer relay protection test system[J]. Automation & Instrumentation，2006（5）：66-68.
[3] 李刚毅，金蓓弘. 自动化回归测试的技术和实现[J]. 计算机应用研究，2006（2）：186-189.
LI Gang-yi，JIN Bei-hong. Techniques and realization of automated regression testing[J]. Application Research of Computer，2006（2）：186-189.
[4] 李忠安，沈全荣，王言国，等. 电力系统智能装置自动化测试系统的设计[J]. 电力系统自动化，2009，33（8）：77-80.
LI Zhong-an，SHEN Quan-rong，WANG Yan-guo，et al. Automated testing system for IED[J]. Automation of Electric Power Systerms，2009，33（8）：77-80.
[5] 刘斌，高小鹏，陆民燕，等. 嵌入式软件可靠性仿真测试系统研究[J]. 北京航空航天大学学报，2000，26（4）：490-493.
LIU Bin，GAO Xiao-peng，LU Min-yan，et al. Study on reliability simulation testing system for embedded software[J]. Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics，2000，26（4）：490-493.
[6] 张超，廖碧莲. 继电保护测试技术现状及其发展[J]. 江西电力，2006，31（5）：4-6.
ZHANG Chao，LIAO Bi-lian. Status and developments of relay protection testing technology[J]. Jiangxi Electric，2006，31（5）：4-6.
[7] 赵志民，秦立军，刘世民，等. 继电保护测试技术的现状与发展[J]. 现代电力，2002，19（1）：43-48.
ZHAO Zhi-min，QIN Li-jun，LIU Shi-min，et al. Status and development of relay protection testing technology[J]. Modern Electric Power，2002，19（1）：43-48.
[8] 高天德，杨小丽. 基于配置文件的自动化测试软件设计方法[J]. 测控技术，2009，28（6）：69-74.
GAO Tian-de，YANG Xiao-li. Design of auto-test software based on configuration files[J]. Measurement & Control Technology，2009，28（6）：69-74.

收稿日期：2009-10-23；　修回日期：2009-11-27

作者简介：
王治国（1977-），男，工程师，硕士，研究方向为电力系统继电保护及自动化测试；E-mail：wzgnow@163.com
李兴建（1977-），男，工程师，硕士，研究方向为电力系统继电保护仿真测试；
王言国（1977-），男，系统分析师，工程硕士，研究方向为软件工程。