

继电保护自动测试系统的研究

韩民畴，王成勇

(国电南瑞科技股份有限公司，江苏 南京 210061)

**摘 要：**从继电保护设备检验测试的需求和原理出发，运用现有的计算机软件及互联通讯等相关技术，设计了一种通用的继电保护自动测试系统，并以 NSR600RF-D 系列保护装置的常见检测项目为例，具体阐述了该系统的设计思路和操作流程。经实践证明，该系统可以完成常见的线性度测试、开入测试、开出测试、定值校验测试、保护逻辑测试等功能，满足继电保护产品的测试需要，大大提高了测试的效率和质量。

**关键词：**继电保护；自动测试系统；闭环测试

0 引言

随着微机型继电保护设备在电网中普遍应用，对该设备的系统测试、出厂测试、现场安装调试检验和定期检验成为了其运行和维护的比较频繁的一项重要任务。虽然日前各种测试仪及相关的配套软件已达到了实用化的水平，但在测试过程中仍然需要人工频繁地设定各项具体试验参数，远没有达到自动化的水平。本文基于现有的软件技术、现场条件、测试仪技术、通讯协议等诸方面因素，主要对继电保护自动测试系统进行探索。

1 自动测试的系统结构

自动测试系统区别于传统的保护测试系统，增加了PC机与保护设备之间的数据通讯。通过标准的通讯协议实现控制保护设备进行信号复归、定值整定等操作，并可以实时的从保护设备处获取到故障报告、扰动数据、定值传输数据的报文，实现了数据共享，闭环测试<sup>[1]</sup>。进而基于更全面更动态的数据，测试平台可以自动生成更科学和完整的测试报告。如图 1 所示。

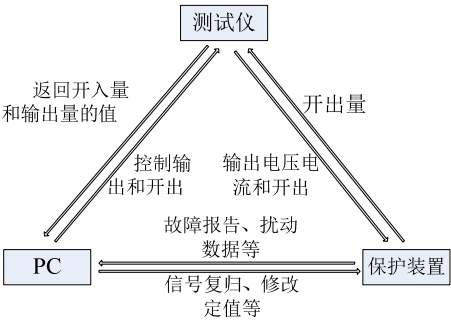


图 1 系统运行拓扑图

2 系统构架及功能设计

自动测试系统是一个复杂的系统,按照各自的功能不同，可将其分成不同的组件模块，同时从逻辑上依据数据的传递进行不同层面的切分，定义了基本框架和功能模块<sup>[2]</sup>，如图 2 所示。

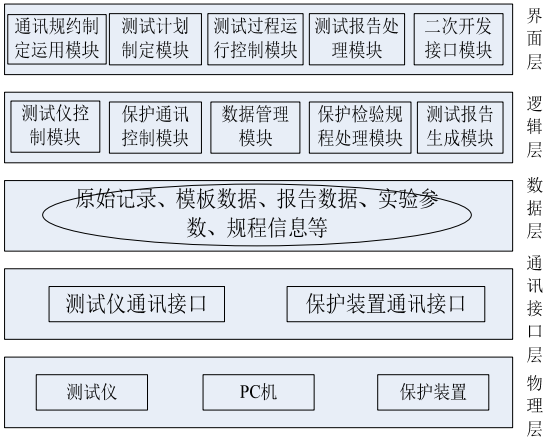


图 2 系统构架图

2.1 界面层

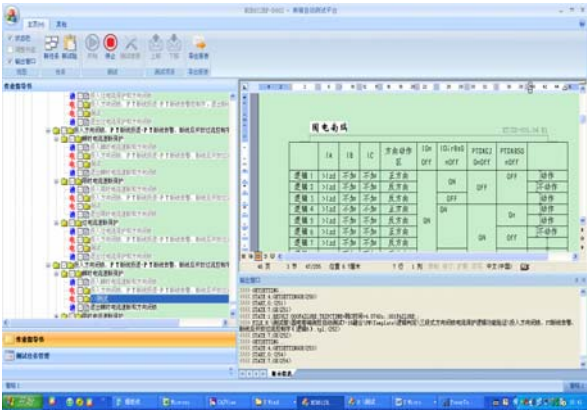


图 3 软件界面图

界面层注重人性化设计,在功能的划分和界面显示上应合理布局,给用户提供一个简洁、美观、实用、便捷的操作平台,软件界面如图3。

**通讯规约制定运用模块:**本模块的主要功能是实现通讯方式的选则和建立、通讯规约的制作和导入、通讯过程的监视和调试。

**测试模板制定模块:**本模块主要用来制定测试计划,并用XML这种计算机专用的数据描述语言来存储测试计划,编写试验中的每一步测试过程。如测试环境的初始化、压板投退、测试量的输出过称、试验结果判断、检验结束后环境复归等各个步骤都要能在此模块中进行设置。并提供复制、粘贴、导入导出等批量处理的功能。自动测试平台能够根据测试模板指导测试人员进行试验或者自动进行试验。

**自动测试模块:**此模块主要实现对测试过程进行管理。包括测试任务的导入,测试项目和测试方式的选择等。其中测试项目应能有一个树形结构图,可以方便的选择各个层次的实验项目。测试方式也应包括全部测试(中间不中断)、遇不合格数据中断测试、手动中断测试、仅测所选项目、测试全部不合格项目和从所选项目向下测试等基本模式,而且中断后应有画面和声音提示。测试过程中应有测试状态监视界面,能够实时显示测试过称中的测量量、开入开出、时间等相关数据。测试中还应可以临时修改测试项目的参数而且不影响测试模板中的参数,以方便测试模板的调试。测试结束后应有测试结果汇总信息,方便调试查询。测试项目的不同测试状态用不同的颜色显示,例如没有测试状态为黑色、测试不合格状态为红色等。如果测试项目测试不合格,填写到报告中的结果数据也为相应的颜色。

**测试报告处理模块:**此处可完成对测试报告的简单处理,如报告的修改、复制、保存、上传等,也应有对测试报告操作权限的设定功能,对不同的测试人员提供不同的使用权限,保证测试内容的客观性、真实性和完整性。

**二次开发接口模块:**此模块主要提供二次开发的接口,如脚本语言、组态工具等,使自动测试系统更加灵活、更加易于扩展。常见的有Perl、Tcl、Ruby和Lua等。

## 2.2 逻辑层

逻辑层中包含了所有本系统的核心模块,每个模块都是按面向对象的程序设计思想对其功能进行

封装,被上层的界面层的操作来调用,其结果返回给界面或是存入数据库中。此方案中逻辑层包括测试仪控制模块、保护通讯控制模块、数据管理模块、测试过程运行控制模块、测试报告生成模块。各模块的功能和相关注意点如下:

**测试仪控制模块:**此模块要寻求闭环测试和非闭环测试之间的平衡点,并有所侧重。既要突出自动测试的特性,又不能丢失了源有控制平台的通用性。

**保护通讯控制模块:**本模块可以将报文的制作和解析,以及一系列通讯过程如修改定值,遥控操作等封装起来,作为为EXE的COM程序,开放COM标准接口,供客户端程序调用。也可以通过多线程的方式与其他模块配合。此模块应开辟足够的内存来存储收到的报文供解析之用。此模块应具有独立性,能单独的进行通讯过程的调试、监视和规约分析,并能提供标准的数据接口,以便他处用。

**数据管理模块:**本模块主要用于存储和管理测试模板参数、试验结果信息、报告信息等数据,以及在分析报告和填写报告数据时从其中调出数据。在数据不是很多的情况下可以不用数据库。

**测试过程运行控制模块:**本模块的主要是协调各模块完成自动化测试。本模块调用测试模板中的相关数据,依据测试过程的设定,通过标准数据接口与测试仪控制模块和保护通讯控制模块相互配合,实现定值修改、测试量输出控制、测试数据返回和测试结果判断等自动测试相关过程,并将实验数据写入测试报告中。此模块要注意与其他模块的配合,由于程序的复杂性,最好使用多线程设计。

**测试报告生成模块:**本模块用来生成测试报告或报告模板。本方案选择用书签的方式将测试数据插入到相应表格中。

## 2.3 数据层

数据层即数据存储部分,根据配置的不同,可使用系统自带的单机型数据库,或者使用联机的远程Oracle数据库。如果数据不是很多也可以不用数据库。自动测试过程中的数据一般有原始记录、模板数据、报告数据、实验参数、规程信息等。

## 2.4 通讯接口层

**测试仪通讯接口:**测试仪通过数据接口(网口、USB口)等与PC通讯。测试仪软件运行过程的共同点是连接测试仪、下载测试参数、进行测试、测试完成后读取测试结果数据。下载参数数据和读取

的结果数据依据继电保护数据接口描述来定义。所以，软件控制接口就只需要定义测试过程中相关的操作即可，包括读取通讯接口配置参数、设置通讯接口配置参数、下载参数、开始测试、停止测试、读取报告数据、指定测试异常信息接受和处理的对象等。可采用 COM 组件技术[3]来实现测试仪控制软件接口，从而实现继电保护测试仪控制接口标准化。

保护装置通讯接口：现在的保护装置一般都可以用串口和以太网进行通讯，所用规约也多为 103 规约和 61850 规约。不同装置在规约的实现上会有一些差别，但大的结构是类似的。

## 2.5 物理层

本层包含自动化测试过程中所用到的所有物理部件和装置，目前主要包括测试仪、PC 机、交换机和保护装置。今后可能还会包括开入开出装置、模拟断路器等智能装置。可以用一个软件平台同时控制多个装置进行测试。

# 3 自动测试系统的几个重要问题分析

## 3.1 测试模板的制定和一般测试流程分析

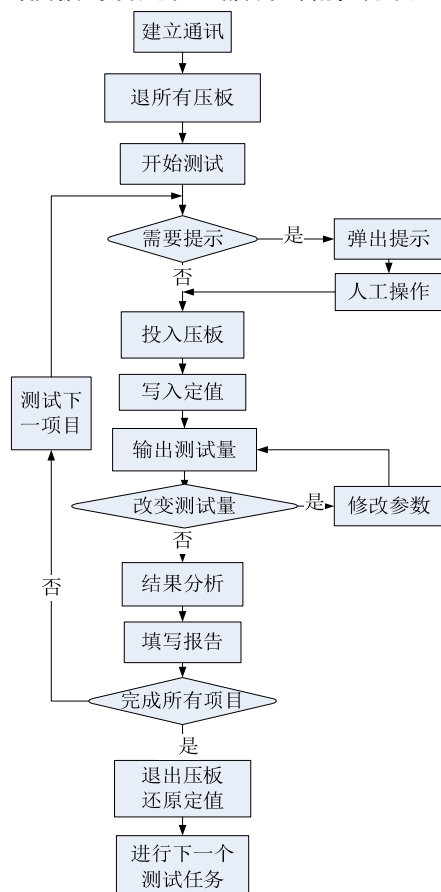


图 4 测试流程图

测试模板针对具体的保护型号，依据检验规程/标准（或者作业指导书）定制而成，描述了保护装置的标准测试流程以及各测试项目的测试方法的详细描述，测试模板采用 XML 文件格式保存。现在以过流保护为例介绍自动测试的一般流程，如图 4 所示。

首先建立和保护装置的通讯，然后退出保护的所有压板，接着进入过流保护定值扫描的测试任务，其中又分 A 相、B 相、C 相三个测试项目。先做 A 相，看是否需要人工操作的步骤如更换接线方式、修改一些只能在保护装置上就地修改的装置等。如果有则弹出提示窗口，提示测试员进行相关操作。如果没有则向下经行过流压板的投入，定值的写入（如电流定值 5A，时间定值 0s），然后输出测试量（测试量是依据测试模板中设定的测试数据而输出的，本测试项目是 A 相电流递变，始值 4.75A，终值 5.25A，当保护动作，测试仪收到接点变位则停止输出，返回动作电流）。输出停止后自动测试软件汇总测试过程中的相关数据，依据事先配好的判别方案来判断实验结果是否满足要求（如动作值误差在一定范围内且动作报文是相应的保护事件）。接着将测试数据填入实验报告，不合格的数据会被标为红色。A 相测完后会按同样的步骤测 B、C 相。完成 ABC 相测试后推出过流压板进行下一个测试任务的测试。

## 3.2 接口的标准化

继电保护自动测试系统采用平台化的设计思想，每个层次都有标准的数据接口和程序控制接口。

系统采用抽象分析的手法，建立继电保护测试功能数据接口标准，各测试功能包含功能标示、测试参数数据接口、结果数据接口三个部分，并采用 XML 标准格式文件来保存这些接口数据[4]。这就使继电保护工作元件测试的参数数据实现了标准化。

测试仪接口程序采用 COM 软件实现方式，开放标准的测试仪控制软件接口，从而实现测试仪软件接口的标准化。只要测试仪厂家实现标准 COM 接口，就能够在自动测试系统中使用其继电保护测试仪进行测试，从而解决电力用户单位购买多家继电保护测试仪导致测试软件不能通用的问题。

## 3.3 规约引擎技术

进行数据和控制命令的交互规则。各保护生产厂家设备的规约都不相同，例如北京四方的保护装置使用北京四方 2000 规约，南瑞、南自虽然都是

103 规约,但是都是在标准 103 上进行扩展,都有各自的特点。因此,要实现闭环自动测试,必须解决通讯规约的问题,因此提出规约引擎技术。规约引擎技术分析规约实现的共性,根据这些共性抽象出相应的软件接口,从而实现规约报文解析和制造、规约过程的控制、规约通讯方式的配置等。

通讯规约引擎程序为 EXE 的 COM 程序,开放 COM 标准接口,供客户端程序调用。规约引擎程序执行规约模板使用规约模板编辑平台开发,实现各种规约的模拟。同时规约引擎程序具有规约监视、规约分析的功能。

保护通讯控制模块是一个独立的模块,自身可以实现许多功能,并可以开放出接口供非自动化测试的其他场合使用。具体可扩展的功能如规约模拟、规约测试功能、通道监听、报文解析功能等。

### 3.4 自动测试程序权限控制

自动测试程序具有权限控制的功能。系统将测试过程中的操作(例如:修改试验参数、修改试验模板、取消测试项目、增加测试项目)开放出来,通过权限功能来实现测试流程控制。自动测试程序开放现场测试、现场测试管理两种权限。具有现场测试权限的人员只能够使用自动测试程序完成测试,不能够修改试验结果数据,只有在全部的试验项目校验合格后才能归档试验报告。现场测试时也存在例外情况,例如,现场测试时因为测试条件不具备导致一些测试项目不能够做,就必须由具有现场测试管理权限的人员来取消这些项目,并在试验报告中给出取消的原因。这样就保证了测试按照规程和标准去执行。自动测试程序原始报告数据和标准报告数据都不能修改,对于标准 Word 报告,系统加密并锁定 Word 报告文件,从而保证测试报告的真实性和完整性。

### 3.5 自动测试系统的扩展

此系统使用统一的测试方案开发平台程序、规约模板开发平台程序、自动测试程序、通讯规约引擎程序和智能测试报告生成程序。此系统是一个针对测试的通用平台,只要开发不同类型的测试仪器接口程序和不同规约的通讯接口,就能够利用此系统进行自动测试;只要为不同的现场设备编写规约模板,就能够实现闭环测试。

现在的自动测试系统具有很好的二次开发平台,之后可以向以下几个方面扩展:

1) 基于测试逻辑和通讯方式之间的相对独立

性,故只要编写不同的通讯模板(如 103 或 61850 的通讯模板)就可以实现不同通讯模式下的测试;

2) 可以开入开出装置、模拟断路器等其他智能装置集成在闭环测试中;

3) 基于通讯模块的进一步完善,可以对保护装置或后台经行虚拟仿真,形成虚拟装置和虚拟测试;

4) 利用现有的计算机网络条件及技术,实现远程试验。在现有自动测试系统中加入远程通讯控制系统,在远程设置工作站,通过电力系统的内部通讯网络,联接到现场测试的上位机,实现测试计划的远程传送和远程执行,并让现场的控制上位机回传结果。甚至加入摄像,语音,文件传输功能,实现远程调试;

5) 基于现有自动测试系统测试仪控制接口的标准化,将来可以用同一个自动测试软件与昂立、博电、DK51 等不同测试仪进行通讯;

6) 由于现有的测试仪暂态模拟能力不足,将来可以将 MATLAB 仿真引擎与自动测试系统连接,提高测试仪暂态输出能力;

7) 本系统的解决方案日前还只是针对单台保护设备的自动测试,而将来需要考虑一种系统级的,比如对一条线路上的所有保护设备进行并发自动化测试的解决方案。

## 4 结论

现在电网迅速发展,保护装置等电力设备的测试日趋重要,测试工作也日益繁重,测试要求也越来越高。自动化测试技术对提高测试任务的工作效率、降低测试工作的技术门槛、扩展测试工作的测试方法、减少测试中人为的出错等都具有重要意义。随着自动测试技术的进一步深入研究,随着电网的智能测试与检测的发展,自动测试技术会越来越显示出其社会效益。

### 参考文献:

- [1] 郑三立,范瑜,黄梅,等.微机闭环测试继电保护装置的预仿真[J].电工技术学报,2004,19(5): 97- 101.
- [2] 陈跃飞,朱宗毅,李俊庆.继电保护自动测试系统软件的开发[J/DB/OL].Fujian Power and Electrical Engineering.2005 年第 4 期.
- [3] 李现勇.Visual C++串口通信技术与工程实践[M].北京:人民邮电出版社,2002..
- [4] 胡峪,刘静.VC++高级编程技巧与示例[M].西安:西安电

子科技大学出版社,2001

统产品的测试; E-mail: hmc19861103@sina.com;

王成勇 (1987—), 男, 江苏人, 助理工程师, 从事电力系

统产品的测试, E-mail: yaandyong@163.com。

---

**作者简介:**

韩民畴 (1986—), 男, 海南人, 助理工程师, 从事电力系