

# 数字化智能变电站继电保护装置自动测试系统研究

加依达尔·金格斯<sup>1</sup>, 谭金龙<sup>1</sup>, 南东亮<sup>1</sup>, 韩伟<sup>2</sup>, 杨飞<sup>3</sup>, 王畅<sup>1</sup>

(1. 国网新疆电力有限公司电力科学研究院, 新疆 乌鲁木齐 830011;

2. 国网河南省电力公司电力科学研究院, 河南 郑州 450052;

3. 国网辽宁省电力有限公司, 辽宁 沈阳 110002)

**摘要:** 智能变电站继电保护装置对电力系统的稳定运行具有重要的意义。分析数字化智能变电站继电保护装置自动测试系统的关键技术, 并对自动测试系统的设计思路和流程进行探讨分析, 供电力系统工作人员参考, 并减轻工作量。

**关键词:** 数字化智能变电站; 继电保护; 自动检测

中图分类号: TM732

DOI: 10.19768/j.cnki.dgjs.2021.22.040

## Research on Automatic Test System of Relay Protection Device in Digital Intelligent Substation

JAYDAR · Jingus<sup>1</sup>, TAN Jinglong<sup>1</sup>, NAN Dongliang<sup>1</sup>, HAN Wei<sup>2</sup>, YANG Fei<sup>3</sup>, WANG Chang<sup>1</sup>

(1. State Grid Xinjiang Electric Power Research Institute, Urumqi 830011, China;

2. State Grid Henan Electric Power Research Institute, Zhengzhou 450052, China;

3. State Grid Liaoning Electric Power Supply Co., Ltd., Shenyang 110002, China)

**Abstract:** The relay protection device in intelligent substation is of great significance to the stable operation of the power system. The key technology of automatic test system for relay protection device in digital intelligent substation is analyzed, and the design idea and process of automatic test system are discussed and analyzed, which can be used as a reference for power system staff and reduce the workload.

**Key words:** digital intelligent substation; relay protection; automatic detection

## 0 引言

随着电子技术、计算机技术、通信技术的飞速发展, 人工神经网络、遗传算法、进化规模、模糊逻辑等人工智能技术相继在继电保护领域研究应用, 继电保护技术向计算机化、网络化、一体化、智能化和数字化方向发展<sup>[1-2]</sup>。电网数字化继电保护的运行检修管理日益标准化和规范化, 各电压等级、各类型保护设备的定检作业基本已形成标准的作业指导书。

但是在实际的数字化保护定检作业过程中, 目前的继电保护测试仪在自动生成检测项目、自动执行并生成测试报告方面还存在一定的功能欠缺, 导致作业指导书上的每个测试项目主要还是依靠人工完成, 包括试验前定值核对、试验接线、测试仪试验菜单选择、试验参数设置等, 项目测试完毕, 工作人员还需手动查看保护动作报文, 判断分析测试结果的正确性, 并加以记录整理。过多的人机交互操作不仅增加了现场人员的工作量, 也给测试过程的

标准化和规范化引入了很大的不确定性和安全隐患。在这种需求背景下, 降低基层班组定检作业工作量, 提高检验工作效率, 同时保证现场作业的安全性和定检作业的规范性, 开展数字化保护智能自动测试系统的研究势在必行。

数字化保护智能自动测试系统是一套完整的数字化继电保护闭环自动测试系统, 其目的是为继电保护装置检验提供一个自动化、规范化、标准化和高效率的解决方案。国外测试仪器厂家推出了各种数字化保护试验装置, 其自动化测试系统只实现了基本功能的测试, 并没有完成真正意义上的闭环自动测试, 即只能做到局部自动化。为此, 本文充分利用先进的计算机软件开发技术, 总结各级继电保护测试专业技术人员的工程实践经验, 在开放性平台上实现数字化智能变电站继电保护的闭环自动测试, 以大幅度降低现场定检工作的工作量, 提高定检工作效率, 并保证定检作业的标准化、规范化和流程化。数字化智能变电站继电保护装置自动测试系统, 建立在深入调研电力现场测试日常工作流程和操作习惯的基础上, 严格按照智能保护装置的检验规程和标准来执行开发, 确保适应现场实际应用环境。

## 1 自动测试系统整体架构

### 1.1 系统硬件架构设计

系统在硬件架构上主要包括测试端、交换机、测试

收稿日期: 2021-07-10

作者简介: 加依达尔·金格斯(1993—), 研究方向为电力系统继电保护; 谭金龙(1989—), 研究方向为电力系统继电保护; 南东亮(1985—), 硕士, 高级工程师, 研究方向为电力系统运行控制与继电保护。

仪、数字保护装置。测试端与测试仪、数字保护装置通过交换机形成通信链路，数字保护测试仪和被测数字保护装置间通过光纤连接。测试端安装数字化保护智能自动测试系统，所有自动测试的控制均在测试端上完成。系统整体架构如图 1 所示。

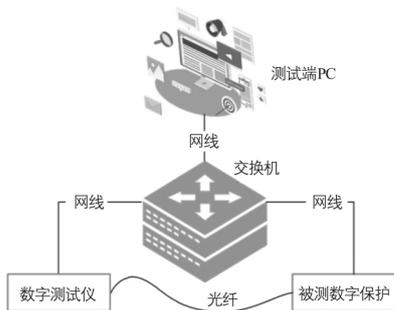


图 1 硬件架构图

### 1.2 软件结构框架设计

测试终端（测试端）上安装的数字化保护智能自动测试系统软件结构框架设计如图 2 所示<sup>[3]</sup>。该系统软件设计为二次开发部分和闭环自动测试部分。

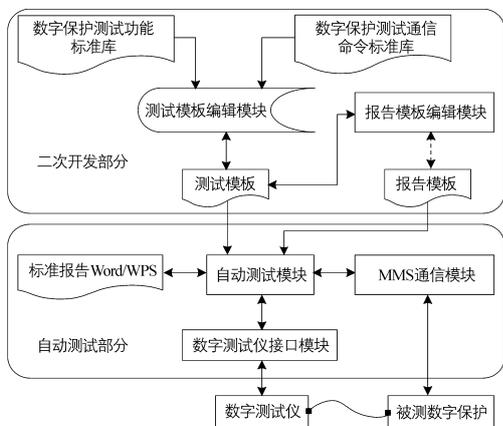


图 2 软件框架图

二次开发部分包括测试模板编辑模块和报告模板编辑模块。测试模板编辑模块根据数字保护装置的测试试验要求，编写测试模板；报告模板编辑模块根据测试模板编辑报告格式。

闭环自动测试部分以自动测试模块为核心，包括数字测试仪接口模块、MMS 通信模块。自动测试模块根据测试模板和报告模板进行自动测试，通过调用测试仪控制接口模块与数字保护测试仪完成通信，输出测试故障；通过调用 MMS 通信模块与数字保护装置完成通信，实现数据的读取和通信命令的执行。

## 2 闭环自动测试部分设计研究

### 2.1 测试仪控制接口的设计研究

综合研究分析国内外继电保护测试仪厂家测试仪软件

的设计和实现，从测试原理出发，研究各种测试仪软件保护功能测试单元模块，包括测试方法的实现、故障参数的设置、测试结果参数的展示。根据分析结果，形成测试功能数据接口规范和测试仪控制接口程序规范。

#### 2.1.1 测试功能数据接口规范

基于各种测试仪软件保护功能测试单元模块的故障参数设置、测试结果参数的展示，抽象分析并得到测试功能数据接口，建立测试功能数据接口规范。采用 XML 文件技术，使用面向对象的结构化的信息描述方式，将各种保护的测试功能标准数据接口规范保存到一个文件，形成基础测试功能单元的功能数据接口库。测试功能数据接口库描述了各种继电保护测试功能，包括测试功能的名称、标志、故障参数、通用参数、结果参数的描述，其中每个参数需要定义名称、ID、单位、数据类型、数值、缺省值等属性。测试功能数据接口库文件规范化继电保护测试功能的定义是装置测试方案二次开发平台的基础。

#### 2.1.2 测试仪控制接口程序规范

基于各种测试仪软件保护功能测试单元测试流程，抽象分析并得到测试仪软件保护功能模块的通用测试过程，包括测试调用流程设计和测试仪接口程序接口设计，如图 3 所示。

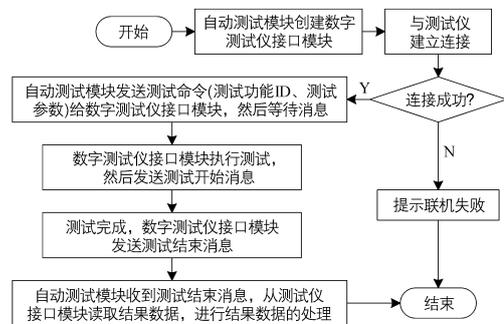


图 3 测试流程图

基于图 3 所示测试流程，用软件接口函数的方式来描述这些测试功能。

- (1) 测试仪设置函数：设置测试仪的 IP 地址、端口号。接口程序根据 IP 地址和端口号实现与测试仪的链接。
- (2) 测试函数：传入测试功能的 ID 和故障参数，完成驱动测试仪测试。
- (3) 停止测试函数：停止驱动测试仪的故障输出。
- (4) 获取报告函数：取得本次测试的报告数据。
- (5) 获取异常信息函数：获取测试过程中各种异常信息文本。
- (6) 绑定消息接收窗口句本：为接口程序绑定测试消息接收窗口。接口程序在执行测试过程中，使用 Windows 消息来通知自动测试模块测试状态变化相关消息发送至此窗口。消息包括联机成功、联机失败、测试开始、测试完成、测试异常消息等。

为了方便调用和测试功能的调试，测试仪控制接口组

件为 COM 组件，接口模块开放 COM 接口，供自动测试模块调用，实现数字保护装置的各种测试功能。

### 2.2 MMS 通信模块设计研究

完成与被测智能保护装置的通信，实现数据的读写操作和输出控制操作。规约引擎程序开放标准程序控制接口，供自动测试程序调用。MMS 通信模块的设计包括调用流程设计、通信命令文件设计、接口设计。

#### 2.2.1 调用流程设计

自动测试程序与 MMS 通信模块间采用异步调用模式，调用关系流程如图 4 所示。

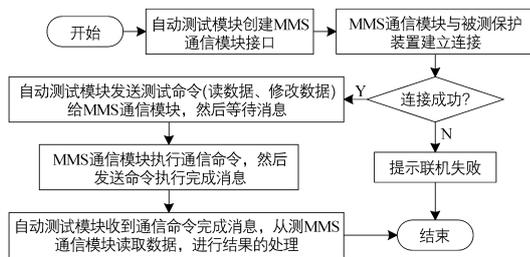


图 4 通信模块执行图

通信过程中异常处理如下：自动测试模块根据异常的严重程度进行测试流程的调整，比如重复执行多次通信命令、停止测试并播放警告音乐。通信命令文件保存了 MMS 规约模块支持的全部通信命令，通信命令配置文件的名称为 Commissionaire.xml。

#### 2.2.2 MMS 通信模块接口设计

基于自动测试与 MMS 通信模块的通信流程，MMS 通信模块必须具备以下功能。

- (1) 加载规约模板和设备点表，实现与装置连接。
- (2) 执行规约过程，实现与装置的通信操作。
- (3) 以树状目录和表格方式显示设备点表数据。
- (4) 可以编辑点表数据，实现对装置数据的修改。
- (5) 在报文监视界面，监视发送和接收的报文数据。
- (6) 提供 COM 接口函数。
- (7) 设置通信方式的参数。

规约引擎程序开放的接口包括命令控制接口、数据访问接口。命令控制接口包括定值的读取和修改、压板的投退、控制字的读取和修改、保护测量值的读取、装置参数的读取和修改。数据访问接口实现读取被测数字保护装置的各种数据集数据、保护动作报告数据、告警报告数据等。

### 2.3 装置测试方案编辑技术研究

智能变电站继电保护装置自动测试系统要实现对保护装置的自动测试，生成标准格式的测试报告，就需要设计文件格式，用于描述装置的测试流程、测试方法和报告格式。本文定义这种文件为装置测试方案。装置测试方案开发技术是可以根据装置的检验规程和标准编辑装置测试方案的。装置测试方案包括测试模板和报告模板两部分。

基于以上分析，设计测试子模板技术。测试子模板，对基础测试功能的抽象包括测试参数数据接口和测试项目自定义两部分。测试子模板的实例化为智能分析被测装置的设备数据模型明细，根据分析结果从子模板库中智能匹配子模板，自动形成装置测试方案，如图 5 所示。

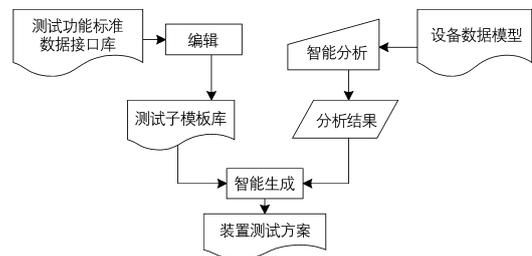


图 5 装置测试方案智能生成技术原理图

对于同类型不同型号的装置或同型号不同版本的装置，如果测试方案相同，只是设备数据模型不同，那么传统的方式是根据新的设备数据模型重新编辑一个测试模板。基于此，本文提出数据模型替换技术，解决这个问题。

设备数据模型替换技术，只要将现有的装置测试方案的设备数据模型替换为新的设备数据模型，就能生成新的装置测试方案，具体过程设计如下。

(1) 基于现有模板的设备数据模型中各数据集的数据以及新设备数据模型文件数据集的数据，通过智能匹配算法建立数据间的映射关系。

(2) 修改数据间的映射对应关系。

(3) 根据对应关系，将源数据集中每个数据对象的 name、ID 等旧数据，映射到新建立的数据集中。

(4) 搜索测试模板的故障计算公式、脚本等，根据映射关系，将源数据的 ID 替换为新数据的 ID。

设备数据模型替换技术，可大幅度提高测试模板生成的效率。

## 3 自动测试技术研究

研究开发的自动测试软件模块，根据测试方案中的测试项目顺序，依次执行各测试项目的测试；调用测试仪控制软件控制测试仪输出测试量，采集被测装置的动作行为；调用规约引擎程序完成与被测装置的通信，实现各种通信命令的操作，获取通信命令操作结果；根据结果自动判断测试是否合格；根据检验规范和标准的要求，将试验参数数据、试验结果数据填写到试验报告模板中，形成标准格式的试验报告；根据测试模板中的提示信息，提示用户进行相应的操作或录入相应的数据；可以导出/打印报告及报告相关的图形曲线，设置报告的显示比例；自动测试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，从而保证真实性；自动测试主程序的报告包括系统测试记录库、

XML 格式报告数据、Word 标准报告三种。自动测试软件模块用于现场检验,是执行自动测试,形成标准测试报告的程序,其利用测试模板和报告模板进行测试。通过测试控制中心所提示的信息,试验人员能轻松方便地进行自动测试。

自动测试模块的功能设计如下。

(1) 执行现场测试控制流程,管理现场测试过程,主要控制测试执行的顺序和跳转、测试项目的使能、测试项目的选择和取消选择。

(2) 根据测试模板中的要求,提示用户录入定值数据,自动测试模块根据这些数据自动完成故障的计算。

(3) 根据测试模板中的接线提示信息、安全措施、危险点等,提示用户执行相关的操作。

(4) 调用数字测试仪器接口模块完成电气量测试功能,调用测试参数计算脚本,计算测试功能参数数据。

(5) 调用 MMS 通信模块完成保护通信命令的执行。

(6) 自动将试验参数数据、试验结果数据填写到试验报告模板,形成标准格式的试验报告。

(7) 测试模板中的提示信息,提示用户进行相应的操作或录入相应的数据。

(8) 可以导出/打印报告及报告相关的图形曲线,设置报告的显示比例。

(9) 自动测试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,从而保证真实性。

(10) 自动测试主程序的报告包括系统测试记录库、XML 格式报告数据、Word 标准报告三种。系统测试记录库为自动测试程序在测试过程中,保留任何一次操作的全部信息,包括测试参数、测试结果数据及评估、测试开始和结束的时间。用户可以查看一个测试项目的整个测试过程;XML 格式报告数据表示采用 XML 文件格式保存,报告文件包含测试方案全部内容和最终的测试结果数据。XML 格式报告中的每个数据在系统中都有唯一的标示,方便外部系统访问。所谓 Word 标准报告,是指自动测试程序在测试过程中根据 Word 报告模板形成的报告,此报告为标准格式的报告。

(11) 自动测试程序能够实时保存当前的测试状态,在下次进入时自动恢复到上次退出系统的状态,即使断电,操作系统突然中断,也不会造成试验数据的丢失。

(12) 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,那么填写到报告中的结果数据也为相应的颜色。

(13) 在测试控制时,有“从此项目往下测试”“测试选中的单个项目/单个项目集”“测试全部不合格项目”三种控制方式。

(14) 测试完成后,系统对报告进行相应的调整,以保持报告的规范化和简洁。对于报告中有数据映射关系的位

置,如果测试时没有进行相关项目的测试,那么没有数据填写到相应的位置,调整时使用指定的字符串(例如“—”或者“/”)填写到相应的位置,替换的字符串用户可以配置;对于一个项目分类,如果其下的所有项目都没有测试,那么可以将这个项目分类在报告中对应的段落全部删除,使报告保持简洁。

(15) 可以导出报告到指定的位置。

## 4 数字化智能变电站继电保护自动测试系统的实现探讨

该系统充分利用先进的计算机软件开发技术,总结各级继电保护测试专业技术人员的工程实践经验,在开放性平台上实现数字化智能变电站继电保护的闭环自动测试,不仅大幅度降低了现场定检工作人员的工作量,提高了定检工作的效率,而且也保证了定检作业的标准化、规范化和流程化<sup>[4]</sup>。

自动测试智能作业系统采用“测试模板”技术,结合测试仪标准控制接口技术和 MMS 保护通信技术,实现数字化保护的闭环自动测试。现场检验时,测试人员只需建立任务并启动测试,系统自动完成保护定值的召唤,自动实现保护逻辑测试项目中的故障计算,自动控制测试仪输出电压电流等信号到保护装置,完成保护的逻辑功能检测,同时自动跟踪保护动作事件报文,记录测试结果,执行结果判断,并自动填写测试报告。

(1) 系统具有良好的可操作性与实用性,能实际应用于现场工作,提高现场工作的效率与规范性。

(2) 系统具有广泛的兼容性,提供标准的测试仪接口规范,利用统一的客户端软件实现与不同测试仪的通信与控制,能够适应不同厂家不同型号数字化变电站保护测试仪的接入。

(3) 通过测试方案开发平台编制的测试模板以作业指导书为依据,保证其现场开放性、适应性。当作业指导书的相关要求、保护功能或屏内接线等出现变更情况时,依据权限,用户通过测试模板开发工具可以很方便地修改、完善、配置测试模板。

## 5 结语

数字化智能变电站继电保护自动测试系统实现了数字化保护设备现场校验的闭环自动测试。一方面通过自动获取保护行为信息并根据行为信息自动判断检验结果,实现工作人员的少参与、零干预、低工作量、高工作效率的目标;另一方面通过“测试模板”的手段,引入了专业测试技术人员丰富的工程经验积累,并结合软件技术对现场测试工作加以指导,不仅大大减轻了现场测试人员的工作量,提高了工作效率,更重要的是保证了测试流程的标准化和规范化,减少了由于人为因素而带来的各

(下转第 122 页)

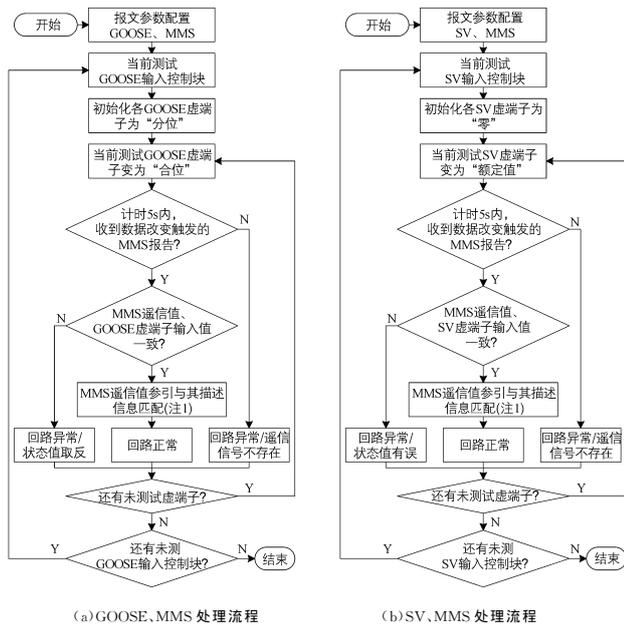


图2 智能变电站三遥信号的传输流程

多个智能变电站的验收中，相较于传统的远动信息核对方式，可大幅节省时间。各站采用新的自动化手段后，每个远动信息的平均验收时间与人工核对的对比见表1。

表1 远动信息快速核对系统使用前后核对时间对比

站名	远动信息数量 / 个				人工平均每点 核对时间 / s	自动平均每点 核对时间 / s
	遥信	遥测	遥控	总计		
板桥 330kV 变电站	7433	613	214	8260	131.19	278.2
塞上 330kV 变电站	4339	793	189	5321	129.90	269.4
鲁家窑 330kV 变电站	5482	754	282	6518	130.90	267.4
沙坡头 750kV 变电站	4918	673	245	5836	140.03	275.9
杞乡 750kV 变电站	2818	424	134	3376	133.30	281.1
平均	4399	586	192	5178	139.61	275.42

由表1可看出，应用变电站远动信息快速核对系统后，平均每个远动信息的验收时间缩短至130s左右。对于一个普通的330kV变电站，集中监控主站所需的遥信、遥测、遥控、遥调信息数量约不低于5000个，由此可推断采用该系统后能为远动信息核对节省大量时间。

#### 4 结语

通过分析变电站远动信息自动核对的研究现状，本文设计了一种远动信息快速核对系统。该系统的模拟主站采用安全稳定的Linux操作系统，通过SCD文件获取IED

模型，远动信息点表以Excel格式导入。模拟主站与监控后台、远动装置通过MMS通信协议进行通信，通过接收远动装置转发的IEC104“四遥”信息，实现远动监控信息的快速校核。

#### 参考文献

- [1] 罗华峰, 陆承宇, 宣晓华, 等. 基于全景信息扫描的智能变电站远动装置遥信配置快速校核技术[J]. 浙江电力, 2018, 37(2): 42-47.
- [2] 韩伟, 石光, 李斌, 等. 智能变电站远动快速对点系统模块化设计[J]. 电网与清洁能源, 2017, 33(5): 57-62.
- [3] 王冬青, 李刚, 何飞跃. 智能变电站一体化信息平台的设计[J]. 电网技术, 2010, 34(10): 20-25.
- [4] 刘亮华. 电力远动测试系统的研究与开发[D]. 长沙: 中南大学, 2008.
- [5] 刘连浩, 刘亮华, 沈增晖. 基于IEC104规约的电力远动测试系统的设计与实现[J]. 现代计算机(专业版), 2008(5): 107-109.
- [6] 曹璠月. 变电站自动对点系统软件设计与实现[D]. 成都: 电子科技大学, 2015.
- [7] 彭志强, 张小易. 智能变电站远动功能测试技术分析[J]. 电力与能源, 2014, 35(4): 445-448, 454.
- [8] 陆承宇, 阮黎翔, 杜奇伟, 等. 智能变电站远动信息快速校核方法[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(11): 128-133.
- [9] 朱虫. 电力远动测试系统基本功能及其在规约分析中的应用[J]. 科技创新导报, 2013(8): 111.
- [10] 董自丹. 对电力远动自动化测试系统的分析与探讨[J]. 通信电源技术, 2012(4): 115-116.
- [11] 赵龙, 岳义博. 大型储能电站智能辅助调试系统的设计及应用[J]. 华电技术, 2019, 41(11): 53-56.
- [12] 王利平, 庞晓艳, 朱雨, 等. 基于物联网和移动互联的二次设备运维技术研究与应用[J]. 中国电力, 2019, 52(3): 177-184.
- [13] 郭健生, 吴文宣, 王云茂, 等. 基于TinyXML的智能变电站SCD文件的解析[J]. 电力与电工, 2011, 31(3): 7-10.
- [14] 赵晓东, 周立军. 继电保护带电检测和故障诊断系统设计[J]. 电工技术, 2018(13): 64-66, 69.
- [15] 张天际, 张朋, 耿少博, 等. 基于装置仿真的远动信息自动对点系统的设计与实现[J]. 电力信息与通信技术, 2019, 17(10): 38-43.
- [16] 王春华. 智能变电站过程层网络报文特性分析[J]. 电子测试, 2018(24): 105-106.

(上接第119页)  
种测试问题。

#### 参考文献

- [1] 李干. 智能变电站故障紧急处置系统的设计与实现[D]. 成都: 电子科技大学, 2019.

- [2] 张著韬. 继电保护装置智能化测试系统研究与设计[D]. 上海: 上海交通大学, 2016.
- [3] 陈潇. 智能站保护测控装置标准化信息的自动测试系统设计与应用研究[D]. 广州: 东南大学, 2019.
- [4] 鲁普天. 智能变电站继电保护装置自动测试系统设计与实现研究[J]. 通讯世界, 2017(10): 191-192.