

现代电力系统测试技术丛书

配电自动化系统 测试技术

刘健 刘东 张小庆 陈宜凯 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

现代电力系统测试技术丛书

配电自动化系统 测试技术

刘健 刘东 张小庆 陈宜凯 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

配电自动化系统测试技术对于保障配电自动化系统建设质量和实用化水平具有重要意义。本书结合作者长期从事配电自动化系统测试的实际经验，系统地阐述了配电自动化系统测试的方法和技术，给出了大量测试案例，并对经测试发现的配电自动化系统典型缺陷进行了分析。

本书共分7章，主要内容包括：绪论、配电自动化系统主站测试技术、配电自动化系统终端测试技术、配电自动化系统故障处理性能测试技术、主站注入法测试配电自动化系统主站故障处理性能用例、配电自动化系统故障处理性能的现场短路试验测试技术、配电自动化系统常见缺陷分析等。

本书适合从事配电自动化系统研究开发、产品制造、试验测试、运行维护等的技术人员和管理干部阅读，也可供大专院校电力系统自动化和供用电技术专业的教师、研究生和高年级学生参考。

图书在版编目（C I P）数据

配电自动化系统测试技术 / 刘健等著. -- 北京 :
中国水利水电出版社, 2015. 6
(现代电力系统测试技术丛书)
ISBN 978-7-5170-3273-1

I. ①配… II. ①刘… III. ①配电系统—自动化系统—系统测试 IV. ①TM727

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第121353号

书 名	现代电力系统测试技术丛书 配电自动化系统测试技术
作 者	刘 健 刘 东 张小庆 陈宜凯 著
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (发行部)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	北京时代澄宇科技有限公司
印 刷	北京纪元彩艺印刷有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 9.5印张 225千字
版 次	2015年6月第1版 2015年6月第1次印刷
印 数	0001—3000册
定 价	40.00元

凡购买我社图书，如有缺页、倒页、脱页的，本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

前 言

故障处理是配电自动化系统的重要功能，在曾经的配电自动化试点热潮中，由于缺乏有效的测试手段，故障处理功能在验收时未作严格测试，仅依靠长期运行等待故障发生才能检验故障处理过程，导致问题不能在早期充分暴露并得到解决，严重影响了实际运行水平，动摇了运行人员对配电自动化系统的信心，导致许多配电自动化系统逐渐废弃不用甚至闲置成为摆设，造成了巨大的浪费。

在新的配电自动化系统建设中，配电自动化系统测试技术得到了充分重视，涌现出了一些新的测试技术和工具，有力地保障了配电自动化系统工程的建设质量，已经通过测试的配电自动化系统在提高配电网供电可靠性方面已经发挥了不可替代的作用。

全书共分为7章。其中第1章~第3章由上海交通大学刘东教授著写；第4章和第7章由陕西电力科学研究院刘健教授著写；第5章由陕西电力科学研究院刘健教授和陈宜凯高级工程师共同著写；第6章由陕西电力科学研究院张小庆高级工程师著写。

在本书著作过程中国家电网公司李龙处长、林涛高级工程师、刘日亮高级工程师，中国电力科学研究院赵江河教授、国家电网电力科学研究院沈兵兵教授、西安交通大学张保会教授、宋国兵教授，许继集团赵奕高级工程师等同行学者与作者团队进行了大量交流、讨论，并给予作者团队无私指导，在此对他们表示衷心感谢。

由于配电自动化系统测试技术是一个不断进步的领域，新方法、新手段、新工具不断地涌现，本书难以将所有新进展全部纳入，不足和疏误之处在所难免敬请广大读者批评指正。

刘 健
2014 年冬于西安

目 录

前言

第1章 绪论	1
第2章 配电自动化系统主站测试技术	4
2.1 配电自动化系统主站测试需求	4
2.2 配电自动化系统主站验收测试方法	8
2.3 本章小结	25
第3章 配电自动化系统终端测试技术	26
3.1 配电自动化系统终端测试需求	26
3.2 配电自动化系统终端型式试验与例行试验	26
3.3 配电自动化系统终端信息安全测试	34
3.4 本章小结	42
第4章 配电自动化系统故障处理性能测试技术	43
4.1 配电自动化系统故障处理性能的实验室测试方法	43
4.2 主站注入测试法	49
4.3 二次同步注入测试法	52
4.4 主站与二次协同注入测试法	54
4.5 几种测试方法的比较	57
4.6 现场测试应用	57
4.7 本章小结	59
第5章 主站注入法测试配电自动化系统主站故障处理性能用例	60
5.1 架空配电网基本故障处理测试用例	60
5.2 电缆配电网基本故障处理测试用例	76
5.3 架空配电网容错故障处理测试用例	83
5.4 电缆配电网容错故障处理测试用例	90
5.5 模式化接线架空配电网故障处理测试用例	97
5.6 模式化接线电缆配电网故障处理测试用例	101
5.7 配电网大面积断电快速恢复测试用例	106
5.8 本章小结	108
第6章 配电自动化系统故障处理性能的现场短路试验测试技术	109
6.1 基本原理	109
6.2 瞬时短路故障测试方法	113

6.3	永久短路故障测试方法	114
6.4	10kV 短路试验安全防护	115
6.5	本章小结	116
第7章	配电自动化系统常见缺陷分析	117
7.1	利用历史曲线发现缺陷	117
7.2	与状态量采集有关的缺陷	124
7.3	与遥控有关的缺陷	128
7.4	与故障处理有关的缺陷	129
7.5	本章小结	132
附录	国家电网公司配电自动化系统基本功能测试表（工程验收前开展）	133
参考文献		142

第 1 章 绪 论

配电自动化是一个系统工程，其主站、终端以及通信各个环节有机联系构成整体，任何一个局部存在的质量问题或者技术缺陷都可能引起整个系统不能正常运行，我国在 20 世纪 90 年代后期开展了配电自动化试点工程，其中许多早期建设的配电自动化系统没能发挥应有的作用，主要原因在于，当时配电自动化技术和产品不够成熟、管理措施跟不上；同时，缺少有效的测试方法和相应的工具也是影响配电自动化系统建设质量和实用化的重要原因。

继电保护和调度自动化系统能够可靠运行，实用化程度高，不仅在于相关技术与产品不断成熟，而且与运行单位和开发厂商长期以来积累下一套行之有效的技术保障与试验手段，并形成了齐全的规章制度与严格的考核制度密切相关。

配电自动化技术源自于继电保护和调度自动化技术，并具有更高的技术集成性，同时运行条件更为恶劣，如馈线自动化技术需要综合应用故障检测、通信以及远动等多种技术才能实现相应功能。因此，为了保证系统的可靠运行，配电自动化需要对系统测试采取更为严格的要求，2004 年中国电力出版社出版了《配电自动化系统试验》^[1]系统地介绍了配电自动化的系统测试与试验技术，并提出了配电自动化产品的全生命周期测试理念。但是，多年以来，运行单位对于配电自动化的测试技术与管理的重视程度不够。可喜的是，2009 年启动的新一轮配电自动化试点工程对于验收测试高度重视，涌现出了一些新的测试技术和工具^[32,34]，有力地保障了配电自动化系统的工程建设质量。

由于配电自动化系统具有涉及面广和集成度高等特点，为了保证配电自动化产品在其形成的各个阶段的产品质量，需要在各个阶段进行多种测试，即配电自动化系统测试。配电自动化系统的产品生命期可以大致分为产品研制、市场认可及供货与接入系统 3 个阶段，在每个阶段都有各自不同的测试与运行过程。在供货与接入系统阶段，配电终端产品在生产过程中要进行例行试验，整个系统要进行出厂试验（Factory Acceptance Test, FAT），现场投运前要进行现场试验（Site Acceptance Test, SAT）。配电自动化系统测试能为广大电力用户提高应用系统的产品质量；为生产制造厂家缩短应用系统的开发周期，节约应用系统的开发成本，减少现场的服务时间；可以推动配电自动化系统的实用化，促进技术进步，提高应用水平。

故障处理是配电自动化系统的重要功能，也是提高配电网供电可靠性的主要手段。但是在 20 世纪末到 21 世纪初的配电自动化试点热潮中，由于缺乏测试手段，故障处理功能在验收时未作严格测试，仅依靠长期运行等待故障发生才能检验故障处理过程，导致问题不能在早期充分暴露并得到解决，严重影响了实际运行水平，动摇了运行人员对配电自动化系统的信心，导致许多配电自动化系统逐渐废弃不用甚至闲置成为摆设，造成了巨大的

浪费。

在新的配电自动化系统建设中，国家电网公司非常重视配电自动化系统测试技术研究，开发出配电自动化系统测试成套设备，推出了设置各种故障现象的运行场景，并经过快速仿真计算后模拟配电终端与主站交互数据，从而对主站的故障处理性能进行测试的配电自动化系统主站注入测试法，并研制出由配电网运行场景仿真器、仿真实时数据库、规约解释器和图形化人机界面组成的配电自动化系统主站注入测试平台；推出了在模拟故障区段上游的各个配电自动化终端二次同步注入模拟故障的短路电流波形，对配电自动化系统主站、子站、终端、通信、开关、继电保护等各个环节在故障处理过程中的相互配合进行测试的方法，并研制出二次同步配电网故障发生器和测试指挥控制平台；推出了主站注入与二次注入同步协调测试法，能够有效减少测试中所需的设备和人员数量；还推出了能够直接在 10kV 馈线上模拟故障的可控 10kV 短路试验法，并研制出成套测试设备。

上述新技术和新设备能够较好地解决配电自动化系统故障处理测试问题，在测试中能够模拟各种故障现象和场景，因此在测试时能检验配电自动化系统的故障处理性能，而不必依靠长期运行等待故障发生才能检验，对于配电自动化系统项目验收和确保其实用可靠运行具有重要意义，对于配电自动化系统缺陷排查和运行维护也提供了辅助工具，有助于促进我国配电自动化领域健康发展，也使配电自动化系统提高供电可靠性的作用切实发挥出来。

国家电网公司应用这些配电自动化系统测试技术，对公司建设的所有配电自动化系统工程验收进行基本功能测试，截至 2014 年年底，已经完成了北京城区、天津城南、上海浦东、重庆（渝中区、江北区、南岸区）、厦门、福州、杭州、宁波、温州、绍兴、丽水、嘉兴、南京、无锡、苏州、南通、扬州、太原、西安、郑州、鹤壁、长沙、湘潭、武汉、西宁、兰州、石家庄、唐山、大连、沈阳、合肥、成都、南昌、哈尔滨、长春、吉林、青岛、济南、枣庄、潍坊、济宁、威海、烟台、东营、淄博、莱芜、临沂、泰安、滨州、日照、菏泽、聊城、德州、乌鲁木齐、银川、石嘴山、南通、中卫等城市配电自动化试点项目的工程验收测试。

本书结合作者长期从事配电自动化系统测试的实际经验，系统地阐述了配电自动化系统测试的方法和技术，给出了大量测试案例，并对经测试发现的配电自动化系统典型缺陷进行了分析。本书各章节的组织结构如图 1-1 所示。

第 1 章绪论阐述了本书的研究背景及意义，并给出全书的总体结构体系。

第 2 章阐述了配电自动化系统主站测试技术，介绍了配电自动化系统主站测试需求及验收测试方法。

第 3 章阐述了配电自动化系统终端测试技术，介绍了配电自动化系统终端测试需求、配电自动化系统终端型式试验与例行试验及配电自动化系统终端信息安全测试。

第 4 章阐述了配电自动化系统故障处理性能测试技术，介绍了配电自动化系统故障处理性能的实验室测试方法、主站注入测试法、二次同步注入测试法、主站与二次协同注入测试法，并对几种测试方法进行了比较，最后针对现场测试应用进行了详细说明。

第 5 章阐述了主站注入法测试配电自动化系统主站故障处理性能用例，包括：架空配电网基本故障处理测试用例、电缆配电网基本故障处理测试用例、架空配电网容错故障处

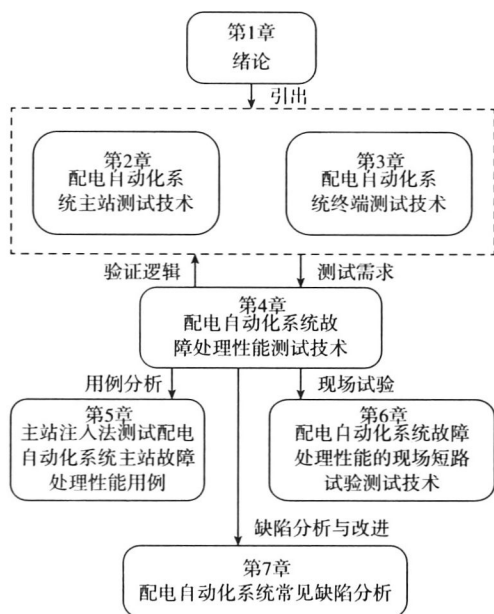


图 1-1 组织结构

理测试用例、电缆配电网容错故障处理测试用例、模式化接线架空配电网故障处理测试用例、模式化接线电缆配电网故障处理测试用例、配电网大面积断电快速恢复测试用例。

第 6 章阐述了配电自动化系统故障处理性能的现场短路试验测试技术，讲述了其基本原理，介绍了瞬时短路故障测试方法与安全保护技术以及永久短路故障测试方法与安全保护技术。

第 7 章阐述了配电自动化系统常见缺陷分析技术，介绍了利用历史曲线发现缺陷的方法以及与状态量采集有关的缺陷、与遥控有关的缺陷、与故障处理有关的缺陷等类型缺陷的分析方法。

最后，在附录中给出了国家电网公司配电自动化系统基本功能测试表。

在本书中，配电自动系统主站可简称为主站，配电自动化系统终端可简称为配电终端或终端。

第2章 配电自动化系统主站测试技术

本章从一般软件系统的测试分类出发，介绍软件测试的各种测试内容以及测试模型，并针对配电自动化系统的特点探讨了配电自动化系统主站的测试需求与内容。

2.1 配电自动化系统主站测试需求

2.1.1 软件测试的分类

软件测试有着各式各样的说法，关于软件测试的分类框架，普渡大学的 Aditya P. Mathur 教授在文献 [2] 中分别从测试设计的依据、测试所在的生命周期、测试活动的目标、被测软件制品特点以及测试过程模型 5 个方面对软件测试的类型进行了归纳与分类。

2.1.1.1 测试设计的依据

根据测试设计的依据，软件测试的类型有黑盒测试、白盒测试、基于模型或规范的测试、接口测试。

(1) 黑盒测试 (Black - Box Testing)^[3] 把程序看作一个不能打开的黑盒子，不考虑程序内部逻辑结构和内部特性的情况下，测试程序的功能。测试要在软件的接口处进行，它只检查程序功能是否按照规格说明书的规定正常使用，程序是否能接收输入数据而产生正确的输出信息，以及性能是否满足用户的需求，并且保持数据库或外部信息的完整性。通过测试来检测每个功能是否都能正常运行，因此黑盒测试又可称为从用户观点和需求出发的测试。

(2) 白盒测试 (White - Box Testing)^[3] 是指在测试活动中基于源代码进行测试的用例设计和评价。一般包含静态测试和动态测试，其中静态测试通过人工的模拟技术对软件进行分析和测试，不要求程序实际执行；动态测试是指输入一组预先按照一定测试准则设计的实例数据驱动运行程序，检查程序功能是否符合设计要求，发现程序中错误的过程。

(3) 基于模型或规范的测试^[2] 是指对软件行为进行建模以及根据软件的形式化模型设计测试的活动，在测试过程中需要首先对需求进行形式化定义。

(4) 接口测试 (Interface - Testing)^[3] 的目的是测试系统相关联的外部接口，测试的重点是要检查数据的交换以及传递和控制管理过程。

2.1.1.2 测试所在的生命周期

根据测试所在的生命周期，软件测试的类型有单元测试、集成测试、系统测试、回归测试以及非正式验收测试，本书主要介绍非正式验收测试。

非正式验收测试过程分为 Alpha 测试和 Beta 测试^[3]。其中 Alpha 测试是用户在开发环境下所进行的测试，或者是内部开发的人员在模拟实际环境下进行的测试。Alpha 测试没有正式验收测试那样严格，在 Alpha 测试中，主要是对用户使用的功能和用户运行任务进行确认，测试的内容由用户需求说明书决定。进行 Beta 测试时，各测试员应负责创建自己的测试环境，选择数据，决定要研究的功能、特性和任务，并负责确定自己对于系统当前状态的接受标准。

2.1.1.3 测试活动的目标

针对特定的目标，软件测试可以分为：功能测试、性能测试、压力测试、安全保密测试、可靠性测试、容错性测试、鲁棒性测试、GUI 测试、操作测试、入侵测试、验收测试、兼容性测试、一致性测试、外设配置测试、外国语言测试等。

(1) 功能测试用于考察软件对功能需求完成的情况，应该设计测试用例使需求规定的每一个软件功能得到执行和确认。

(2) 性能测试检验软件用于考察是否达到需求规格说明中规定的各类性能指标，并满足一些与性能相关的约束和限制条件。

(3) 压力测试^[3]即强度测试，是指模拟巨大的工作负荷来测试应用程序在峰值情况下如何执行操作。在实际的软硬件环境下，压力测试主要是以软件响应速度为测试目标，尤其针对在较短时间内大量并发用户访问时软件的抗压能力。

(4) 容错性测试包括两个方面：一方面是输入异常数据或进行异常操作，以检验系统的保护性，如果系统的容错性好，系统只给出提示或内部消化掉，而不会导致系统出错甚至崩溃；另一方面是灾难恢复性测试，通过各种手段，让软件强制性地发生故障，然后验证系统已保存的用户数据是否丢失，系统和数据是否能尽快恢复。

2.1.1.4 被测软件制品特点

针对不同被测软件制品而进行的特定软件测试分类，例如：针对应用程序组件的组件测试；针对客户/服务器的 C/S 测试；针对编译器的编译器测试；针对设计的设计测试；针对编码的编码测试；针对数据库系统的事务流测试；针对面向对象软件的 OO 测试；针对操作系统的 OO 测试；针对实时软件的实时测试；针对需求的需求测试；针对 Web 的 Web 服务测试。

2.1.1.5 测试过程模型

1. 常用测试过程模型

目前存在着各种测试模型，所谓测试模型是软件开发全部过程、活动和任务的结构框架，是把多种测试方式集成到软件的生命周期中的一个完整过程。常用的测试过程模型有：瀑布测试模型、V 测试模型、快速原型模型、螺旋测试以及敏捷测试等。

(1) 瀑布测试模型 (Waterfall Model)。1970 年由 W·Royce 提出，该模型给出了固定的顺序：对需求规格说明、设计、编码与单元测试、集成与子系统测试、系统测试、验收测试、培训和交付、维护等生存期活动，从上一个阶段向下一个阶段逐级过渡，如同流水下泻，最终得到所开发的软件产品，投入使用。在瀑布模型中，软件开发的各项活动严格按照线性方式进行，当前活动接受上一项活动的工作结果，实施完成所需的工作内容。当前活动的工作结果需要进行验证，如果验证通过，则该结果作为下一项活动的输入，继续

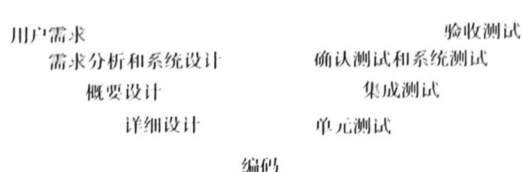


图 2-1 V 测试模型

进行下一项活动，否则返回修改。

(2) V 测试模型 (V Model)。该测试模型是软件开发瀑布测试模型的变种，它反映了测试活动与分析和设计的关系，如图 2-1 所示，从左到右，描述了基本的开发过程和测试行为，非常明确地标明了测试过程中存

在的不同级别，并且清楚地描述了这些测试阶段和开发过程期间各阶段的对应关系，左边依次下降的是开发过程各阶段，与此相对应的是右边依次上升的部分，即各测试过程的各个阶段。

V 测试模型是在快速应用开发 (Rapid Application Development, RAD) 模型基础上演变而来，由于将整个开发过程构造成一个 V 字形而得名。V 测试模型强调软件开发的协作和速度，将软件实现和验证有机地结合起来，在保证较高的软件质量情况下缩短开发周期。

(3) 快速原型模型 (Rapid Prototype Model)。快速原型模型的第一步是建造一个快速原型，实现客户或未来的用户与系统的交互，用户或客户对原型进行评价，进一步细化待开发软件的需求。通过逐步调整原型使其满足客户的要求，开发人员可以确定客户的真正需求。第二步则在第一步的基础上开发客户满意的软件产品。

(4) 螺旋测试模型 (Spiral Model)。1988 年，Barry Boehm 正式发表了软件系统开发的螺旋测试模型，将瀑布测试模型和快速原型模型结合起来，强调了其他模型所忽视的风险分析，螺旋测试模型采用一种周期性的方法来进行系统开发，以进化的开发方式为中心，在每个项目阶段使用瀑布模型法，这种模型的每一个周期都包括需求定义、风险分析、工程实现和评审 4 个阶段，由这 4 个阶段进行迭代。软件开发过程每迭代一次，软件开发又前进一个层次。在最后阶段测试，人员关注的是系统测试和验收测试。

(5) 敏捷测试 (Agile testing)。敏捷测试强调从客户的角度来测试系统，重点关注持续迭代的测试新开发的功能，而不再强调传统测试过程中严格的测试阶段，尽早开始测试，一旦系统某个层面可测，比如提供了模块功能，就要开始模块层面的单元测试，同时随着测试深入，持续进行回归测试保证之前测试过内容的正确性。

2. 常用测试模型的特点

以上几种常用测试模型的主要特点如下：

(1) 瀑布测试模型由于开发的模型为线性，用户只有等到整个过程的末期才能见到开发成果，从而增加了开发的风险，早期的错误可能要等到开发后期的测试阶段才能发现，进而带来严重的后果。

(2) V 测试模型使用户能清楚地看到质量保证活动和项目同时展开，项目一启动，软件测试的工作也就启动了，避免了瀑布模型所带来的误区——软件测试是在代码完成之后进行。V 测试模型具有面向客户、效率高、质量预防意识等特点，能帮助我们建立一套更有效的、更具有可操作性的软件开发过程。

(3) 快速原型模型可以克服瀑布测试模型的缺点，减少由于软件需求不明确带来的开发风险。快速原型模型的关键在于尽可能快速地建造出软件原型，一旦确定了客户的真正

需求，所建造的原型将被丢弃。因此，比起原型系统的内部结构，更重要的是必须迅速建立原型，随之迅速修改原型，以反映客户的需求。

(4) 采用螺旋测试模型需要具有相当丰富的风险评估经验和专门知识，在风险较大的项目开发中，如果未能够及时标识风险，势必造成重大损失，另外，过多的迭代次数会增加开发成本，延迟提交时间。

(5) 敏捷测试是一个持续的质量反馈过程，测试中发现的问题要及时反馈给产品经理和开发人员，测试人员不仅要全程参与需求、产品功能设计等讨论，而且要面对面地、充分地讨论并参与代码复审。

瀑布测试模型由于其滞后的测试响应，一般不太常用，快速原型模型、螺旋测试模型。敏捷测试可以将测试反映的问题或者用户的需求迅速地反映到软件开发中，目前在软件开发中比较常用，一般在软件开发商的内部质量控制中使用。V 测试模型由于其质量保证活动和项目开发活动同时展开，不仅可以应用到软件开发商的内部质量控制，同时也可以提供给软件使用者实现外部质量控制，因此非常适合配电自动化系统这样的大型软件系统的质量保证过程。

2.1.2 配电自动化系统主站的测试任务

2.1.2.1 配电自动化系统主站的组成

1. 软件系统

配电自动化系统主站是一个大型的应用软件系统，典型的配电自动化系统主站软件由基础软件、平台支撑软件和应用软件 3 部分组成。基础软件包括操作系统、商用数据库管理系统、基础 GIS 平台等。平台支撑软件包括实时数据库管理系统、网络通信、系统管理、进程管理、应用管理、报文管理、打印管理、制表管理等。应用软件包括数据采集、SCADA 处理、人机界面、配电故障处理、GIS 应用、WEB 应用、配电高级应用、接口等。

2. 硬件设备

配电自动化系统主站的硬件设备主要包括 UNIX 服务器、UNIX 工作站、PC 工作站、存储设备以及集线器、交换机、路由器等网络设备。配电自动化系统主站的网络类型采用双以太网局域网，网络协议采用 TCP/IP 或 DECnet 等，由主系统信息处理网、数据采集网以及与其他系统通信网 3 个双以太网构成。在主系统信息处理网中，服务器包括 DMS 应用服务器、SCADA 服务器、历史数据服务器、DTS 服务器、WEB 服务器等；工作站包括调度员工作站、远程维护工作站、报表工作站、配电工作管理 workstation 等，其中磁盘阵列用于存储历史数据。在数据采集网中，由数据采集服务器、终端服务器和网络交换机组成，其中终端服务器用于连接串行通信的配电终端设备，网络交换机用于连接网络型的配电终端设备。在与其他系统通信网中，由通信服务器和网络交换机或路由器组成，完成与 SCADA/EMS 系统以及其他的信息管理系统接口与互联。

2.1.2.2 配电自动化系统主站的测试过程

根据 V 测试模型的测试过程，针对配电自动化系统主站产品软件开发过程的需求分析、系统设计和具体编程的不同阶段，测试的内容包括：单元测试、集成测试、系统测试和验收测试。配电自动化系统主站的测试过程遵守 IEEE Std 1012—2012 软件动态测试标准。

(1) 单元测试。其目的是检验软件模块的设计开发情况，主要由编程人员和测试人员通过开发测试环境进行测试。按照设定好的最小测试单元进行按单元测试，主要是测试程序代码，为的是确保各单元模块被正确的编译，单元的划分按不同的软件有所不同，比如有具体到模块的测试，也有具体到类、函数的测试等。

(2) 集成测试。其目的是检验各个子部件软件模块的集成情况，重点是测试子部件的接口功能，使用子部件的测试环境进行测试。经过了单元测试后，将各单元组合成完整的体系，主要测试各模块间组合后的功能实现情况，以及模块接口连接的成功与否，数据传递的正确性等。是软件系统集成过程中所进行的测试，其主要目的是检查软件单位之间的接口是否正确。

(3) 系统测试。经过了单元测试和集成测试以后，要把软件系统搭建起来，按照软件规格说明书中所要求，测试软件功能等是否和用户需求相符合，在系统中运行是否存在漏洞等。

(4) 验收测试。主要用于测试系统目标和支持验收过程、使用系统及实际运行测试环境。当用户在拿到软件时，会根据需求以及规格说明书来做相应测试，以确定软件是否满足需求。

基于 V 测试模型的测试任务中，软件设计实现的过程同时伴随着质量保证活动，需求分析、定义和验收测试等主要工作是面向用户，要和用户进行充分的沟通和交流，也可以和用户一起完成。概要设计、详细设计以及编码工作在开发组织内部进行，主要是由工程师、技术人员完成。配电自动化系统主站测试，单元测试采用白盒测试方法较多，到了集成、系统测试，更多是将白盒测试方法和黑盒测试方法结合起来使用，形成灰盒测试方法，而在验收测试过程中，由于用户一般要参与，使用黑盒测试方法。

在 V 测试模型中，需求分析和功能设计与验收测试相对应，测试目标的确定、测试用例 (Use Case) 准备以及测试活动的策划，需要在需求分析、产品功能设计的同时进行，这样产品的设计特性、用户的真正需求才可以在测试和设计两个方面得以实现。本章的重点在于配电自动化的验收测试，因此主要采用黑盒测试方法，具体测试的内容包括：功能测试、性能测试、压力测试、一致性测试、安全保密测试、可靠性测试等。这些测试内容将对配电自动化系统的运行进行测试，以确认是否满足用户的需求和相关标准，对配电自动化系统主站的可靠性的提高有很大帮助。

2.2 配电自动化系统主站验收测试方法

配电自动化系统主站的验收测试主要考察系统的整体性能指标，测试内容包括：配电自动化系统主站的功能测试、性能测试、压力测试、一致性测试、可靠性测试、安全保密测试。功能测试是根据技术协议来测试产品的每个功能是否都能正常使用、是否达到了产品规格说明书的要求；在性能指标测试中除了考察配电自动化系统主站的基本时间响应指标和容量指标外，还对系统的负载率和软件的编程质量进行了考核；压力测试采用雪崩测试用例模型，主要目的是考察系统应对突发事件时处理能力；一致性测试主要测试配电自动化系统主站与配电终端通信规约以及信息交换的模型和消息是否满足一致性；可靠性测

试目的是考察系统的容错能力，特别是网络、数据库和采集系统的备份；安全性测试考察系统的抗病毒能力、防入侵和安全权限以及灾难恢复的能力。

2.2.1 功能测试

功能测试包括用户界面测试，各种操作的测试，不同的数据输入、逻辑思路、数据输出和存储等的测试。

1. 功能测试的步骤

功能测试的步骤如下：

- (1) 按照系统给出的功能列表，逐一设计测试案例。
- (2) 运行测试案例。
- (3) 检查测试结果是否符合业务逻辑。
- (4) 评审功能测试结果。

功能测试应注意整体性和重点性，整体上要着重考察是否符合相应的配电自动化标准对于功能的要求，重点考察每个功能是否都能正常使用，每项功能是否符合实际要求，功能逻辑是否清楚，是否符合使用者习惯；系统的各种状态是否按照业务流程而变化，是否能保持稳定，是否支持各种应用的环境和多种硬件周边设备，与外部应用系统的接口是否有效；软件系统升级后，是否能继续支持旧版本的数据等。

2. 功能测试的内容

配电自动化系统主站的功能测试包括：配电自动化系统主站 SCADA 系统功能测试，配电自动化系统主站 FA（Feeder Automation）系统功能测试，配电自动化系统主站 DMS（Distribution Management System）系统功能测试，配电自动化系统主站与其他系统接口功能测试。配电自动化系统主站功能测试是在配电终端或子站仿真测试工具接入的情况下测试主站功能，终端仿真测试工具测试配电自动化系统主站结构如图 2-2 所示。

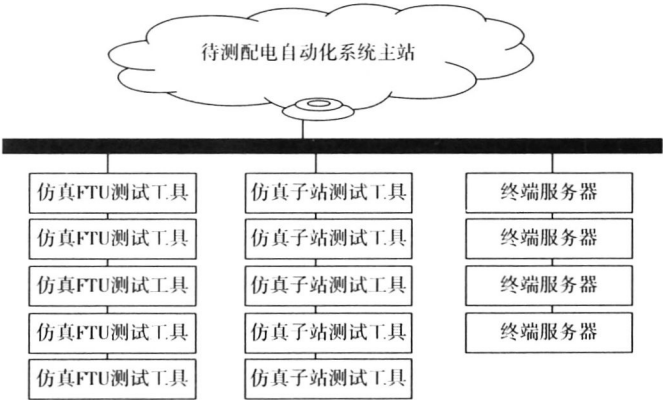


图 2-2 终端仿真测试工具测试配电自动化系统主站结构图

利用终端仿真测试工具可以较好地测试各种工况下的系统功能和性能指标，终端仿真测试工具仿真 FTU（Feeder Terminal Unit）功能，子站测试工具可以仿真子站功能，可以多机对时协同工作，主要功能如下：

- (1) 提供网络与串口数据两种接口方式。
- (2) 提供快捷的生成大量 FTU 功能。

- (3) 提供雪崩测试入口。
 - (4) 多机协同工作，用于共同完成系统容量测试与雪崩测试。
 - (5) 可以根据各种典型情况建立、编辑、修改、保存、查询各种典型测试方案。
 - (6) 可以产生各种遥测、遥信实时变化数据流，遥测与遥信的变化规律可根据典型方案生成或者由用户自定义遥测与遥信之间的算术关系、逻辑关系和时序关系。
 - (7) 可以仿真产生开关事故跳闸、保护动作、冲击负荷跳变、潮流分布变化等各种典型配电网事故的实际过程以及电网的正常变化过程，并可仿真产生自动化装置异常而出现的误遥信，例如接点抖动、批量遥信、错误遥测、死数据、跳变数据、零漂、非线性、通信异常等现象。
 - (8) 可以仿真变电站的遥控、遥调操作，并将相应的操作结果仿真显示。
- 一个典型的配电自动化系统主站的功能测试报告如表 2 - 1 所示。

表 2 - 1 配电自动化系统主站功能测试报告样表

单位名称		生产厂商	测试地点	测试时间
测试依据		DL/T 814—2013 《配电自动化系统技术规范》 Q/GDW 382—2009 《配电自动化技术导则》 Q/GDW 567—2010 《配电自动化系统验收技术规范》 Q/GDW 513—2010 《配电自动化主站系统功能规范》		
测试结论	序号	测试项目	测试结果	结论
	1	数据采集		
	2	数据处理		
	3	系统建模		
	4	馈线故障处理		
	5	多态模型管理		
	6	状态估计		
	7	潮流计算		
	8	告警服务		
	9	解合环分析		
	10	负荷转供		
	11	负荷预测		
	12	系统运行状态管理		
	13	网络重构		
	14	配网调度运行支持应用		
测试人员				
报告编写人				
校核人				
负责人				
测试时间				

2.2.2 性能测试

性能测试的目的在于评估系统的能力，识别系统中的弱点，实现系统优化以及验证系统的稳定性及可靠性。

配电自动化系统主站软件性能测试需要测试在获得定量结果时计算的精确性；测试在有速度要求时完成功能的时间；测试软件系统完成功能时所处理的数据量；测试软件各部分工作的协调性，如高速操作、低速操作的协调性；测试软件/硬件中因素是否限制了产品的性能；测试产品的负载潜力及程序运行时占用的空间。

配电自动化系统主站性能指标测试主要测试各种功能可以量化的技术指标，包括：时间响应性指标、容量指标以及系统负载率指标。配电自动化系统主站性能指标可以采用配电终端仿真环境^[1]进行测试，为了更好地完成配电自动化系统主站特定功能的测试，建立配电终端仿真环境，用计算机来仿真配电自动化的 FTU（Feeder Terminal Unit）、TTU（Transformer Terminal Unit）、DTU（Distribution Terminal Unit）及配电子站等站端系统的运行。配电终端仿真环境详细介绍参见文献 [1]。

1. 时间响应性指标测试

配电自动化系统主站的时间响应性指标见表 2-2，表中所列指标主要是指通过仿真测试终端模拟发送数据的测试环境下的时间指标，不包括通信系统的时间延迟。

表 2-2 配电自动化系统主站时间响应性指标 ^[15]			
配电自动化系统主站性能指标	状态响应时间	配电自动化系统主站性能指标	状态响应时间
实时信息变化响应时间	≤1s	单个馈线故障处理响应时间	≤5s
遥控输出响应时间	≤2s	单次状态估计计算时间	≤15s
SOE 等终端事项信息时标精度	≤10ms	单次潮流计算时间	≤10s
事故画面推出时间	≤10s	单次转供策略计算时间	≤5s
85% 画面调用响应时间	≤3s	负荷预测计算时间	≤15min
单次网络拓扑着色时延	≤2s	单次网络重构计算时间	≤5s

计时工具可以采用数字式毫秒计，也可以考虑采用编制相应的测试软件，在全网统一对时之后，通过记录与各个测试项目相对应的时间报文的时间差自动记录响应时间。

为减少试验结果的离散性，一般采用测试 10 次以上，去除最大、最小值，再取平均值的方法。

2. 容量指标测试

容量包含两个方面的要求：一是能够接入配电终端数量是否满足设计的要求；另一个是接入量测数量是否满足设计的要求。配电自动化系统主站的容量指标如表 2-3 所示。

表 2-3 配电自动化系统主站容量指标 ^[15]			
配电自动化系统主站性能指标	容量	配电自动化系统主站性能指标	容量
可接入实时数据容量	≥200000	历史数据保存周期	≥3 年
可接入终端数	≥2000	可接入工作站数	≥40
可接入子站数	≥50	可接入分布式数据采集片区	≥6
可接入控制量	≥6000		