1 绪 论

1.1 配电自动化系统组成

电力工业是国民经济发展的基础环节，安全可靠的电能供应直接关系到国民经济各行各业的发展。电力系统是由发电、输电、变电、配电和用电各个环节形成的有机整体，由于电能具有不能大量储存的特点，电力系统运行必须保持发电量和用户负荷的平衡。长期以来，由于电力系统受当时发展条件的限制，配电系统成为电力系统运行的瓶颈。但是，近年来随着国家对城乡电网改造力度的加大，极大地推动了配电网的发展。

电力用户对供电可靠性、电能质量和服务水平的要求不断提高，城乡电网改造为供电企业的配电自动化系统建设打下了较好的基础，配电自动化技术在全国范围的实践也使得这项技术逐步走向成熟，形成了一些行业标准，建设了一批样板工程。

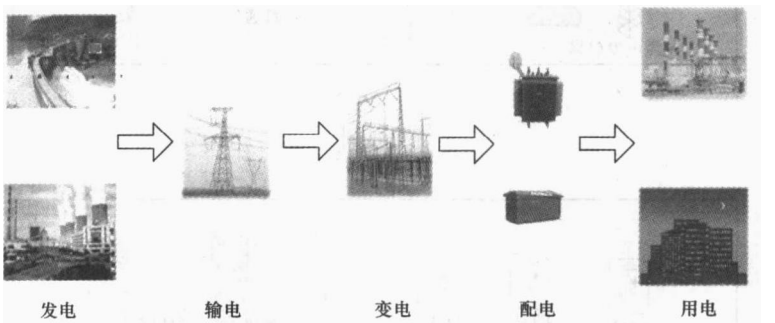


图 1－1 电能转换过程

图 1－1 描述了电能转换过程，首先通过火电厂或水电厂等不同类型的发电厂将机械能或化学能等一次能源转化为二次能源得到电能，在传输电能的过程中，将电能通过升压变电站升压至超高压，由输电系统进行远距离传输，到了城市附近要通过降压变电站降压到中压，进入配电网向城市供电，再将中压降压至生活用电送到千家万户或厂矿企业。

配电自动化的主要研究对象是配电网络及用电环节电能传输的过程。根据 DL/T 814—2002 《配电自动化系统功能规范》，配电自动化系统的定义是应用现代电子技术、通信技术、计算机及网络技术，将配电网实时信息、离线信息、用户信息、电网结构参数和

需要全本请访问 www.ertongbook.com

地理信息进行安全集成，构成完整的自动化及管理系统，实现配电网正常运行及事故情况下的监测、保护、控制和配电管理。

配电自动化系统是将实时的配电自动化与配电管理集成为一体的系统。配电自动化系统应与地区电网调度自动化、负荷管理、变电站自动化、用电管理、用户服务和管理信息等系统有机集成，以实现信息源唯一、资源共用、信息共享以及图形数据同步更新。

实施配电自动化系统应坚持统筹兼顾、统一规划，分析现状、优化设计，远近结合、分步实施，充分利用现有设施、改造建设等原则。

1.1.1 业务逻辑分析

配电自动化系统实现对配电网一次设备的有效监控及其优化运行分析，实现配电网故障诊断、隔离及非故障区域恢复供电的业务逻辑，如图 1－2 所示。

从业务逻辑分析来看，配电自动化系统共有四个层次，研究对象是配电网一次系统；终端层由配电自动化的终端设备组成实现与变电站自动化接口构成配电自动化站端系统完

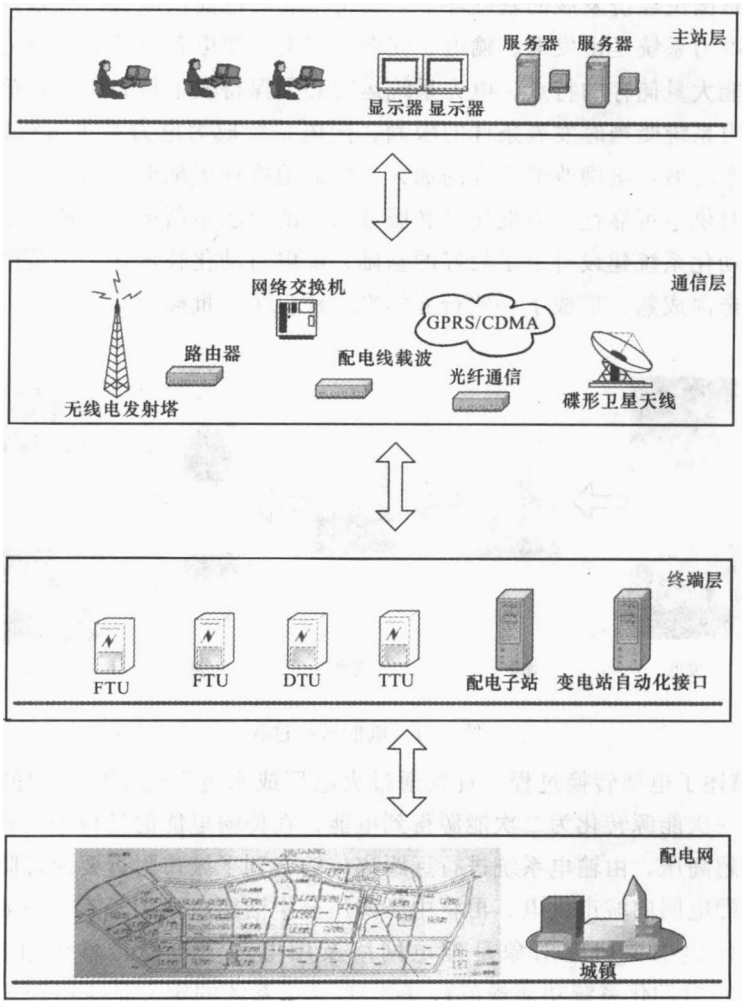


图 1－2 配电自动化系统业务逻辑示意图

成对配电网一次系统的信息采集与控制；配电自动化通信层是站端系统与主站系统互联的桥梁；配电自动化主站系统实现分析决策与管理的功能。

配电自动化系统终端层的馈线终端装置 FTU（Feeder Terminal Unit）、配电变压器监控终端 TTU（Transformer Terminal Unit）以及配电站／开闭所监控终端 DTU（Distribution Terminal Unit）分别对柱上开关、配电变压器、配电站、开闭所进行信息采集，并将信息通过各种通信方式上传到配电子站，在配电子站中进行数据处理及通信支持并与变电站自动化系统进行有效集成。配网通信层由光纤、专线电缆、10kV 配电线载波通信以及基于 GPRS 和 CDMA 的无线通信等多种方式构成，配电自动化系统的终端层通过通信层与配电自动化主站进行信息交换。在配电自动化主站中实现控制与决策功能，主要进行 SCADA（Supervisory Control and Data Acquisition）处理、DA（Distribution Automation）处理、在线 DMS（Distribution Management System）应用分析、离线 DMS 应用分析，同时还要实现与供电企业信息管理系统 MIS（Management Information System）及电能量采集系统 TMR（Tele - Meter Reading）的接口。

1.1.2 功能分析

《配电自动化系统功能规范》比较全面地阐述了适合中国国情的配电自动化系统的功能，IEC 61968 DMS 接口标准对配电自动化及配电管理系统的接口和建模做了详细规定，该国际标准将在今后的几年内出齐。本书根据这两个标准结合多个国内用户的实际需求，对配电自动化系统的功能简要地用表 1 - 1 描述。

表 1 - 1　　配电自动化系统主要功能

功能模块	描　　述	相关数据资源
监控数据采集业务	主站从厂站接收遥测、遥信数据，主站向厂站发送遥控、遥调数据	上行远动数据、下行远动数据
配电网络实时计算业务	进行配电网的在线网络分析，进行配电网的实时优化计算分析	实时数据、网络拓扑数据、计算信息
FTP 服务	远程维护时内部机器间传递文件等	主站系统程序文件
拨号诊断服务	用于开发商或本系统人员远程维护	主站系统程序文件
移动告警服务	把告警信息发给操作员的 BP 机或手机等移动设备	告警数据
故障处理业务	进行故障定位、隔离及非故障区域恢复供电	上行远动数据、下行远动数据、网络拓扑数据、故障信息、处理策略
配网 DTS 业务	进行调度员培训，对配网的故障预演及事故仿真	实时数据或历史数据、设备信息
SCADA/GIS 图形及拓扑维护业务	将配电网图形在 GIS 系统与 SCADA 系统中保持一致，同步更新	空间数据及 GIS 图形、历史数据、网络更新信息
客户查询业务	客户查询配电管理、用电信息业务	设备管理数据、空间数据及 GIS 图形、网络更新信息、业扩需求信息

功能模块	描　　述	相关数据资源
运行计划与优化业务	通过对运行方式和运行工况的计算，优化运行方式降低网损	网络拓扑数据、实时数据或历史数据、计划信息、优化计算信息
图资管理	在地理信息系统基础上对配电系统的设备及图形进行管理，在线 DMS 应用和其他 DMS 应用中都是基础功能	设备管理数据、空间数据及 GIS 图形、设备信息、网络拓扑
配电工作管理	对配电业务流程进行管理，对配网设备建设及维护	设备管理数据、空间数据及 GIS 图形、网络扩展信息、管理信息
配网扩展规划	对配网的扩容及线路扩展进行规划	历史数据、设备管理数据、空间数据及 GIS 图形、网络扩展信息
读表及负荷管理	用户抄表及大用户负荷管理	网络拓扑数据、实时数据或历史数据、负控信息
对主站系统外提供的 WEB 服务	经过配电通信网为上级或同级控制中心、部门提供电网接线图的 Web 浏览	电网接线图及其相关数据
上级或同级 EMS 系统与 DMS 之间的系统互联	接收上级或同级 EMS 系统的控制命令，并发送实时数据	配电中心间的交换数据
向供电企业管理系统提供配电数据	向供电企业管理系统提供配电系统的设备及运行等数据	历史数据

1.2 配电自动化系统试验的内容及组织

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各种测试，即配电自动化系统试验。通过配电自动化系统试验的有效组织能起到以下作用：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。

本节概述配电自动化系统试验的内容、组织及质量保证的各个阶段。

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三个阶段，在每个阶段都有各自不同的测试与运行过程，如图 1－3 所示。

在产品研制阶段，对配电终端产品进行功能验证和型式试验，主站产品在开发的过程中要进行软件单元测试和软件系统集成测试。

在市场认可阶段，进行产品技术鉴定，取得入网许可证。

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 FAT（Factory Acceptence Test） **，现场投运前要进行现场试验** SAT（Site Acceptence Test）.

在三个阶段的每一个测试项目都必须有完整的测试计划，要明确初始条件，严格测试

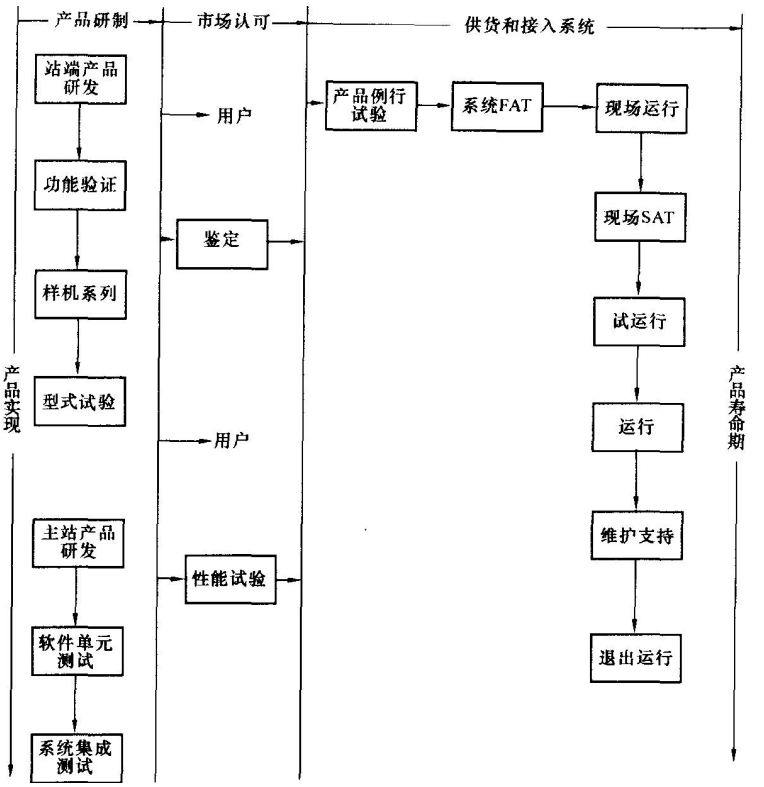


图 1-3 配电自动化系统的产品生命期

过程，并对测试结果进行有效评估。

1.2.1 系统试验的内容

1. 配电终端产品

配电终端产品的测试内容主要包括功能验证、型式试验和例行试验。

功能验证是配电终端产品根据设计要求对需要完成的功能进行验证，包括验证单个产品模块或组成系统的性能是否满足要求，验证在不同参数下的产品功能，以及验证与不同参数下的其他产品的兼容性。

配电终端产品功能验证的内容如图 1-4 所示。

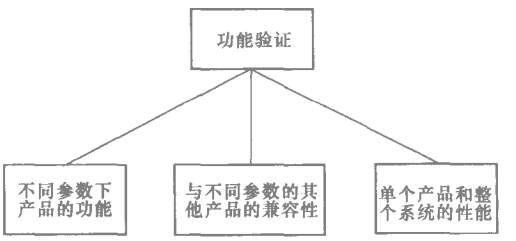


图 1-4 配电终端产品功能验证

终端产品型式试验是对配电终端产品的全系列产品在电磁兼容、环境气候以及机械强度等各种试验条件下进行测试，来验证功能的正确度。配电终端产品型式试验的内容如图 1-5 所示。

配电终端产品例行试验是对配电终端产

需要全本请访问 www.ertongbook.com

品在出厂前进行功能性试验、绝缘测试以及老化试验，来验证产品的出厂质量。配电终端产品例行试验的内容如图 1－6 所示。

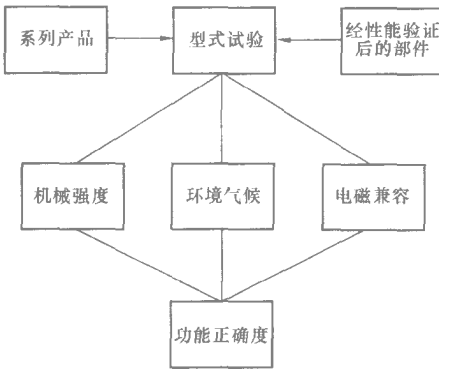


图 1－5　配电终端产品型式试验

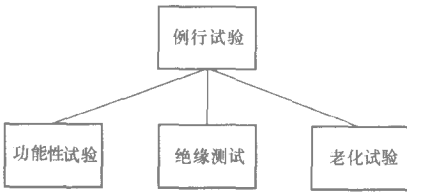


图 1－6　配电终端产品例行试验

2. 配电主站产品

根据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。主站系统的测试过程应该遵守 IEEE std 1012—1986 软件动态测试标准。

软件测试任务的分类如图 1－7 所示。

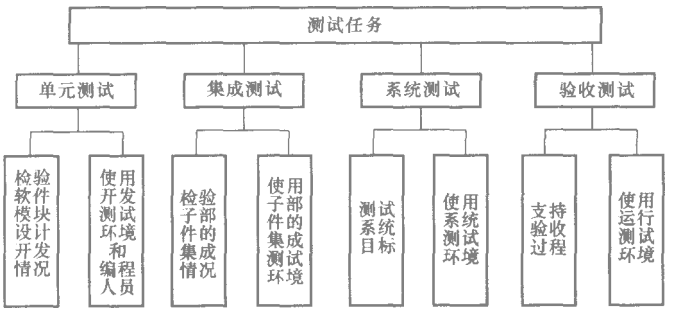


图 1－7　软件测试任务的分类

单元测试的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。集成测试的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。系统测试和验收测试主要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。

按照产生测试数据的来源，主站软件测试可分为白盒测试和黑盒测试。

（1）黑盒测试。一种以需求和功能规范及界面为基础的测试方法，这种测试方法无需了解整件内部结构，一般对编译完成的执行代码进行测试，通过给定的输入／输出响应来验证软件的功能。

（2）白盒测试。一种以程序为基础或以程序和需求相结合为基础的测试方法，这种方

法必须了解程序的结构而不考虑程序的功能。白盒测试一般由开发软件的研发单位组织，对软件系统源代码的质量进行测试，一般通过专用的软件测试工具来完成。

各种测试方法在配电自动化系统中的应用如图 1－8 所示。针对模块设计的单元测试以白盒测试方法为主，针对子系统设计的集成测试以黑盒结合白盒测试方法为主，针对系统设计和用户协议／需求的系统测试和验收测试以黑盒测试方法为主。

3. 配电自动化系统

从配电自动化系统应用角度来看测试过程，在第 2、3 章中分别研究主站系统与站端系统的单元测试及集成测试，在第 4 章中研究配电自动化主站及站端构成的完整系统的系统级测试，以及面向用户现场的验收测试，在产品的不同阶段可分为 FAT 和 SAT 测试。

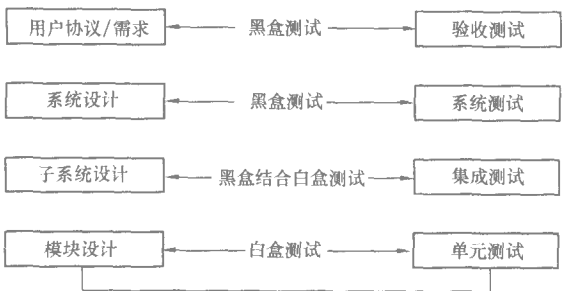


图 1－8　测试方法在配电自动化系统中的应用

FAT 和 SAT 都要进行功能测试、性能测试、稳定性测试和安全性测试等。

功能测试是按照配电自动化系统功能规范及有关技术协议文件进行功能验证，具体验证协议中各种功能的完成情况。

性能测试是按照验收准则结合系统配置进行性能指标测试，这部分主要对系统各项功能的技术指标的实现情况进行测试，对每项指标都要测试足够长的时间，一般连续测试时间不少于 20min。

稳定性测试主要测试系统运行的稳定性，在 FAT 中应连续测试 72h 以上，在 SAT 中投入试运行后在设定的工况下连续测试三个月，系统不能出现影响正常运行、降低实时性与可靠性等方面的故障。

安全性测试考虑系统对各种操作的检查、闭锁、记录、权限管理、密码认证、有效性审核、内部误操作、外部恶意攻击、病毒预防检测过滤等方面的防护机制与效能。随着与其他系统的互联以及因特网的融入，系统的安全性显得越来越重要。

1.2.2　系统试验的组织

测试前，需要准备好测试系统，配备测试仪器仪表及测试软件，配备足够的测试人员，针对测试过程编写测试计划或测试大纲。在测试计划中要明确编写目的，测试背景、测试内容、进度安排、测试设计说明及评价准则等。

在测试过程中必须严格执行测试计划，测试记录要完备，不能有漏项。

测试计划中要阐述编写的目的、背景，测试内容要列出每一项测试项目的名称、进度安排以及测试的具体内容。

测试的条件要写明测试工作对资源的要求，包括所用到的设备及软件，如测试驱动程序、测试监控程序、仿真程序等。

测试过程要说明测试的控制方式，测试中所使用的输入数据，预期的输出数据，完成

此项测试的每一个步骤和控制命令。

测试评价准则中要说明所选择的测试用例能够检查的范围及其局限性，说明用来判断测试工作是否能通过的评价尺度，如合理的输出结果类型、测试输出结果与预期输出之间的容许偏离范围、允许中断或停机的最大次数等。

测试之后，要对测试内容与结果进行分析，形成测试分析报告，在测试分析报告中要明确编写目的、背景、测试概要、分析摘要及评价。

测试分析报告中的测试概要部分要用表格形式列出每一项测试标识符及其测试内容，并指明实际进行的测试工作内容与测试计划中预先设计内容之间的差别，并说明做出这种改变的原因。把本项测试中实际得到的动态输出结果同动态输出的要求进行比较，陈述其中的各项发现。

测试功能的结论说明系统经过一项或多项测试已证实的能力以及经测试证实的配电自动化系统缺陷和限制，说明每项缺陷和限制对配电自动化系统性能的影响，并说明全部测得的性能缺陷的累积影响和总影响。对每项缺陷提出改进建议，评价中说明该项系统功能的开发是否已达到预定目标，能否交付使用。

2 配电自动化终端装置试验

2.1 概　　述

配电自动化终端装置，是指用于配电网监控的馈线终端装置 FTU、配电变压器监控终端 TTU、开闭所远方监控终端 DTU 和配电子站（有时也被称为站控终端）。

馈线终端装置 FTU 用于配电网中柱上开关和开关柜设备的监控，具有遥信、遥测、遥控和故障电流检测等项功能。

配电变压器监控终端 TTU 用于配电变压器检测或控制，具有对配电变压器的各种运行参数的监视、测量及控制等项功能。

开闭所远方监控终端 DTU 用于配电网中开闭所、配电所及环网柜等设备的监控，并具有遥信、遥测、遥控和故障电流检测等项功能。

配电子站安装在中压变电站内，具有遥信、遥测、遥控、故障电流检测、通信转发以及故障处理等项功能。

上述四种配电终端中，站控终端安装在户内，其运行环境、试验标准与远程监控终端装置 RTU（Remote Terminal Unit）相当；其他三种终端均安装在户外或简易的遮蔽场所，运行环境恶劣，而且终端分布点多面广，因此，在温度适应性、防磁、防振、防潮、防雷、电磁兼容性等方面有更高的要求，在产品选件、定型、生产加工和出厂等过程中，需要高性能的器件、先进的生产加工设备和先进的加工工艺，同时需要各阶段的严格测试和试验，以保证生产出合格的产品供电力用户使用。

在本章中将阐述配电终端的功能、型式试验、出厂例行试验及现场接口试验。

2.2 配电终端装置的功能

2.2.1 馈线终端装置 FTU

FTU 由线路测控单元、电源部分、通信模块和密封机箱构成，安装在户外运行，完成一次开关设备的监测与控制功能。

FTU 主要功能包括：

（1）采集馈线故障电流并向中压监控单元（配电子站）或主站发送。

（2）采集并向远方发送状态量，状态变位优先传送。

（3）采集正常交流电流并向远方传送。

（4）接收并执行遥控命令或当地控制命令，以及返送校核，与各种类型重合器、断路器和负荷开关配合执行操作。

（5）具有后备电源或外接电源的接口，其容量应能维持配电终端正常工作不小于 8h（特殊情况由厂家和用户协商确定）。当主电源故障时，能自动投入。

（6）采集和监测装置主要部件及后备电源的状态，故障时能传送报警信息。

（7）交流电源失电后，能对开关进行不少于分、合各一次操作。

（8）具有程序自恢复功能。

（9）在当地或远方能进行参数设置。

2.2.2 配电子站

配电子站主要由主控单元、电源部分、信号采集处理单元、通信单元及结构安装部分组成。其中主控单元主要完成通信处理及转发功能，负责与信号采集处理单元通信，负责辖区域的故障识别或上报主站集中处理；电源部分负责向站控终端设备提供工作电源及后备电源；信号采集处理单元完成变电站或开闭所三遥功能采集执行及短路故障信号采集；通信单元主要完成通信介质及协议的转换。

配电子站的主要功能包括：

（1）收集馈线配电终端故障电流或故障信息，完成故障识别，或向主站转发由主站识别故障区段，并进行故障处理；

（2）向馈线终端装置发送遥控命令或转发主站遥控命令，实现故障隔离和恢复供电功能；

（3）采集变电站内的开关状态量及保护动作信息并转发主站，或从站内 RTU 收集开关状态量及保护动作信息并转发主站，并且优先向主站传送状态量变位信息；

（4）实现对变电站电压、电流、有功功率、无功功率、功率因数、直流量的采集并向主站转发，或者从站内 RTU 收集变电站电压、电流、有功功率、无功功率、功率因数、直流量向主站转发；

（5）接收并执行上级主站的遥控命令或者电容器投切及返送校核；

（6）采集或收集事件顺序记录并向主站传送；

（7）采集或收集脉冲量并向主站传送；

（8）接收并执行对时命令（或者 GPS 对时）；

（9）具有程序自恢复功能；

（10）具有设备自诊断或者远方诊断功能；

（11）具有通道监视的功能；

（12）具有后备电源，并在主电源失电时自动投入。

2.2.3 配电变压器监控终端 TTU

TTU 主要用来采集配电变压器的基本数据，为配电网及配电变压器的优化分析及经济运行决策提供基本信息。

TTU 的基本功能包括：

（1）采集功能。实时采集公用变压器的各项运行参数，包括电压、电流、有功功率、频率、有功电量、无功电量、功率因数、频率、变压器油温等。定时采集考核表的用电量和脉冲量。

（2）数据存储功能。终端设备能存储一定期限的日数据以及月统计数据。

（3）运行参数远方设置功能。终端能够接收主站下发的各种运行参数，并按照该运行参数进行统计分析。终端的时钟和基本参数可远方设置、查询。

（4）告警功能。具备当线路缺相、过流时产生告警信号的功能。

（5）电源失电保护功能。具备失电数据保护功能，记录的数据能永久保存，不丢失。

（6）通信。终端提供 RS485 通信接口和 RS232 通信接口，其中 RS485 通信接口向上接主站，向下接集中器； RS232 通信接口适用于各种情况下的系统组网，可连接音频调制解调器、GPRS 调制解调器、无线电台和光调制解调器等，还可用于现场测试和采集终端数据。

（7）自诊断、自恢复功能。具备自诊断功能，具备软件自恢复功能。

（8）远方控制（可选项）。在主站远方控制现场开关的分合。

（9）遥信、脉冲采集（可选项）。终端可接遥信，脉冲采集为终端采集电能表的脉冲输出，并将脉冲转换为电量定点保存。

（10）无功投切（可选项）。终端输出接点能带动接触器，控制当地电容器的投切。

（11）统计分析功能（可选项）。统计分析的信息包括：终端记录如电压、电流、油温异常运行记录；缺相记录如停电记录；极值记录如电压、电流、功率、需量、油温（或环境温度）的极值记录以及供电可靠率、电压合格率、三相不平衡率等统计信息。

2.3 配电终端装置型式试验

配电终端的型式实验可以验证终端装置的硬件和软件设计是否满足各种强电磁环境下的工作要求，是取得电力系统入网许可证的必要条件，我国的电力主管部门自 20 世纪 90 年代开始在远动终端和变电站自动化系统中强制推行入网许可证以来，有效地提高了终端产品的产品质量。配电终端的入网许可证也是在 20 世纪 90 年代后期开始实行的，由于配电终端工作在恶劣的户外环境下，在温度范围和湿热试验等方面的型式试验都比常规的户内使用终端设备有更高的要求。

2.3.1 型式试验依据标准

配电终端型式试验依据的标准主要包括：

GB 4208—1993 外壳防护等级（IP 代码）

GB/T 15153.1—1998 远方设备及系统第二部分：工作条件第 1 篇：电源和电磁兼容性（idt IEC 870—2—1 ： 1995）

IEC 1000—4—2：1995 电磁兼容性（EMC）—第 4 部分：试验和测试技术第 2 单

需要全本请访问 www.ertongbook.com

元　静电放电的抗扰性试验

IEC 1000—4—3：1995　电磁兼容性（EMC）—第 4 部分：试验和测试技术第 3 单元　辐射电磁场的抗扰性试验

IEC 1000—4—4：1995　电磁兼容性（EMC）—第 4 部分：试验和测试技术第 4 单元　电快速瞬变脉冲群的抗扰性试验

IEC 1000—4—5：1995　电磁兼容性（EMC）—第 4 部分：试验和测试技术第 5 单元　浪涌的抗扰性试验

IEC 1000—4—11：1995　电磁兼容性（EMC）—第 4 部分：试验和测试技术第 11 单元　电压跌落、短时中断和电压变化的抗扰性试验

IEC 1000—4—12：1995　电磁兼容性（EMC）—第 4 部分：试验和测试技术第 12 单元　阻尼振荡波抗扰性试验

IEC 61334—3—1：1998　配电线载波配电自动化—第 3－1 部分：信号要求—频带和输出电平

DL/T 630—1997　交流采样远方终端技术条件

DL/T 634—1997　远方设备及系统第 5 部分：传输规约第 101 篇：基本远动任务的配套标准（neq IEC 870—5—101：1995）

IEC 870－2－2：1996　远动设备及系统第 2 部分：工作条件第 2 篇：环境条件（气候、机械和其他非电影响因素）

IEC 62334—5—1：2001　Distribution automation using ditribution line carrier systems communication protocols

DL/T 721—2000　配电网自动化系统远方终端

DL/T 814—2002　配电自动化系统功能规范

GB/T 13850—1998　交流电量转换为模拟量或数字信号的电测量变送器

GB/T 13729—2002　远动终端通用技术条件

DL/T 630—1997　交流采样远动终端技术条件

IEC 60870—1　远动设备及系统　总则一般原理和指导

IEC 60870—4　远动设备及系统　性能要求

IEC 60870—5　远动设备及系统　传输规约

IEC 60870—5—101　远动设备及系统　传输规约　基本远动任务配套标准

IEC 60870—5—103　远动设备及系统　传输规约　保护设备信息接口的标准

IEC 60870—5—104　远动设备及系统　传输规约用 IEC 60870—5—101 标准传输的网络访问

IEC 61850　变电站通信网络和系统

2.3.2　型式试验环境及仪器

1．试验条件

（1）测量和试验的条件应不超过下列范围：

1）环境温度为 15～35℃；

2）相对湿度为 45% ~ 75%；

3 大气压力为 86 ~ 106kPa。

（2）电源要求。

1）配电终端运行所需要的电源可由以下几种方式提供：

a. 直接接到市电交流 220V 上；

b. 连接到电压互感器上（或电流互感器上）；

c 在原电源维修或故障情况下，为维持配电终端的正常运行，由后备电源供电。

2）交流电源：电压标称值为单相 220V 或 110V（100V）；标称电压容差为 -20% ~ +20% 标称频率为 50Hz，频率容差 5%；电压波形为正弦波，谐波含量小于 10%。

3）直流电源：电压标称值为 24V 或 48V；标称电压容差为 -20% ~ +15%；电压纹波小于 5%。

2. 检测设备

配电终端性能测试设备的连接如图 2-1 所示，其中方框内表示被测配电终端，测试设备包括计算机、通信终端各 1 台；交流信号源（三相交流测试电源）、直流信号源、状态量输入模拟器各 1 台；遥控量执行指示器 1 套；数字万用表 1 台；三相标准功率表、标准功率因数表各 1 块。

用测试软件模拟主站系统对终端设备进行测试，测试软件包含规约通信软件以及基本终端性能监控功能软件。

计算机通过通信终端与配电终端相连，并通过需要测试的通信规约进行通信，在配电终端设备的交流模拟量输入口加上交流信号源，在直流模拟量输入口加上直流信号源，在

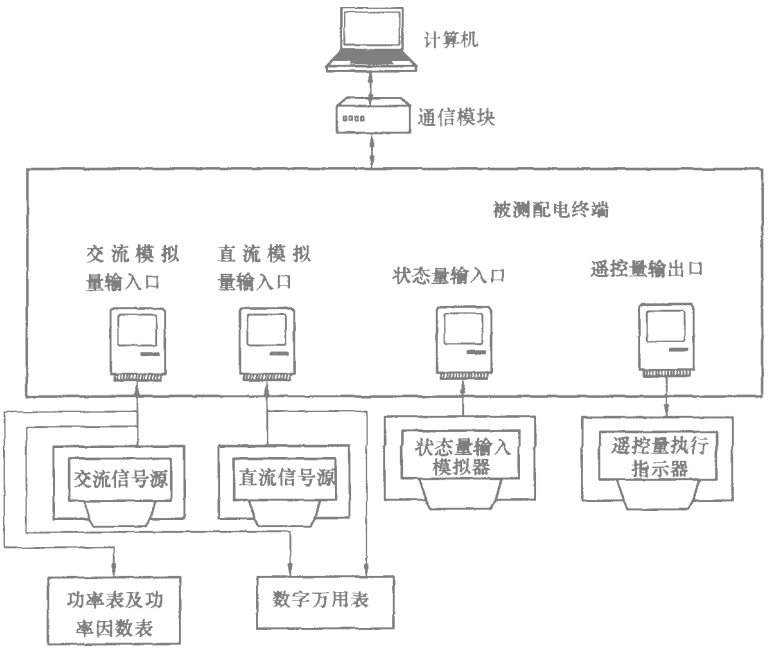


图 2-1 配电终端性能测试设备的连接示意图

状态量输入口加上状态量输入模拟器，在遥控量输出口加上遥控量执行指示器来显示执行结果。在交流模拟量输入口和直流模拟量输入口还分别接上数字万用表、三相标准功率表和标准功率因数表，以便对输入信号与配电终端采集的信号进行对比检测。

为了测试其他性能还需要绝缘耐压装置、机械震动装置、各种高频干扰发生装置，其中包括电磁波室、交流磁场线圈、兆欧表、低温箱、高温箱、工频耐压测试仪、静电放电装置、脉冲群试验仪、冲击试验发生器、交变湿热箱、浪涌信号发生器、三相精密测试电源和电能表现场校验仪。

2.3.3 型式试验内容及方法

型式试验可以有效地验证终端装置硬件和软件的设计质量，型式试验的内容包括结构及机械性能测试、环境影响测试、功能测试、基本性能测试、安全性能测试及电磁兼容测试。

以下所列指标是以 0.5 级为例叙述。

1. 结构及机械性能测试

结构及机械性能测试是为了验证配电终端的防尘、防潮、防锈、防腐蚀能力以及受到运输振动或其他振动之后不影响其正常工作的能力。

根据 DL/T 721—2000 《配电网自动化系统远方终端》，配电终端在室内安装应达到 IP51 级，室外安装应达到 IP55 级。

在正常试验大气条件下，对设备施加如下振动：

(1) 频率 f 为 2～9Hz 时，振幅为 0.3mm；

(2) 频率 f 为 9～500Hz 时，加速度为 $1m/s^2$；

(3) 在三个互相垂直的轴线上依次进行扫频；

(4) 每轴线扫频循环 20 次。

振动之后，检查设备的外观应无松动和损坏，各项性能指标应满足技术指标要求。

2. 环境影响测试

环境影响测试是为了验证配电终端在不同的温度和湿度条件下正常工作的能力，其测试的相关指标按 IEC870—2—2 中的有关规定执行。

工作场所无爆炸危险，无腐蚀性气体及导电尘埃，无严重霉菌存在，无剧烈振动冲击源。接地电阻应小于 4Ω。温度和湿度分级如表 2－1 所示。

表 2－1　　工作场所温度和湿度分级

级　别	温　度		湿　度		大气压力 (kPa)
	范围 (℃)	最大变化率 (℃/min)	相对湿度 (%)	最大绝对湿度 (g/m^3)	
C1 (3K5)	－5～45	0.5	5～95	29	70～106
D1	－25～70	0.5	10～100	29	
D2	－40～85	1.0	10～100	35	
CX	特　定				

注　CX 级别根据需要由用户和厂家协商确定。

按照表 2－1 所示的温度等级，并按 GB/T13729—2002 中规定的试验方法分别在常温、高温、低温、交变湿热条件下进行测试，记录交流工频电量的输出偏差，并测试状态输入量、遥控、直流输入模拟量和SOE 站内事件分辨率。

计算高温、低温时交流工频电量的改变量要求在以下规定的范围内：

（1）常温。

1）基本误差：电压、电流为 0.5%；

2）有功功率、无功功率为 1%。

（2）高温（D1 级为 +70℃，D2 级为 +85℃）。

1）基本误差：电压、电流为 1%；

2）有功功率、无功功率为 2%。

（3）低温（D1 级为 －25℃，D2 级为 －40℃）。

1）基本误差：电压、电流为 1%；

2）有功功率、无功功率为 2%。

（4）交变湿热。

1）试验后基本误差：电压、电流为 0.5%；

2）有功功率、无功功率为 1%。

3. 功能测试

功能测试是对配电终端的基本功能进行功能验证，根据图 2－1 构建一个测试系统，分别对配电终端进行以下十种基本功能测试。

（1）信息采集和处理功能。在状态量输入模拟器上拨动任何一路试验开关，则在终端显示屏或维护笔记本上应观察到对应遥信位的变化，且与拨动的开关状态一致，重复上述试验 10 次以上。采集开关的正常电流和故障电流，实现电流量的测量和越限监测。采集交流输入电压，监视开关两侧馈线的供电状况。

（2）遥控功能。在维护笔记本上进行遥控操作，遥控量执行指示器应有正确指示，重复上述试验 100 次以上。模拟开关动作和遥控返校失败，检查遥控执行的正确性。

（3）设置功能。在维护笔记本上进行各种参数的设置操作，包括保护动作时限、保护闭锁、故障电流定值、当地及远方动作闭锁，各种线路拓扑参数的设置等。

（4）保护功能。配电终端应具有的保护功能可作为可选功能来测试，通过继电保护测试仪测试配电终端的过流及速断保护功能。

（5）闭锁功能。配电终端具有继电保护及功率方向等闭锁功能，维护笔记本上进行闭锁参数的设置后，测试闭锁的效果。

（6）时间记录及上报功能。将脉冲信号模拟器的两路输出信号接至配电终端的任意两路遥信输入端（具有 SOE 功能），对两路脉冲信号设置一定的时间延迟，该值不大于 10ms（可调）。启动脉冲模拟器工作，这时在显示屏上显示出遥信名称、状态及动作时间，其中开关动作的正确性和时间应符合 SOE 站内分辨率的要求。重复上述试验 5 次以上。

（7）电源失电保护。监控终端应有备用电源，主电源失电后至少能维持连续 24h 工作，验证主电源失电后 24h 配电终端是否能正常工作。

（8）通信功能。被测配电终端与模拟主站连接好通电后，在主站屏幕上校对遥测数据及遥信状态等。

（9）故障区段自动隔离和故障后网络重组功能。开关控制终端检测到故障信息立即上报，开关控制终端根据命令或自身设定程序完成故障区段自动隔离和故障后网络重组功能.

（10）自诊断、自恢复功能。监控终端应有自测试、自诊断功能，发现终端的内存、时钟、I/O等工作异常应记录。应有上电软件自恢复功能。

4 基本性能测试

基本性能测试是测试配电终端的各种技术指标，在其他各种电磁兼容测试及环境测试中都要被反复地进行。

（1）基本误差极限。利用如图 2－1 所示的配电终端测试方法对测量误差范围进行测试，在常温下要求电压、电流在 0.5％以内；有功功率、无功功率在 1％以内。

（2）影响量产生的测量偏差。改变被测量频率及谐波变化量，测量频率及谐波，要求频率允许偏差小于 0.5％，谐波允许偏差不大于 2％。

（3）电源、电压影响。改变被试配电终端的电源电压，在额定电压的 －20％～＋20％范围波动，测试交流工频电量的输出值，测试状态输入量、遥控、直流输入模拟量和 SOE 站内分辨率；要求电压、电流误差不大于 1％，功率误差不大于 2％。状态输入量、遥控、直流输入模拟量和 SOE 站内分辨率正常。

（4）过量输入。

1）连续过量输入测试：交流输入电压连续施加标称值的 150％时要求误差小于 0.5％，电流连续施加标称值的 200％时要求误差小于 0.75％。

2）短期过量输入测试：交流输入电压连续施加标称值的 200％，施加时间不大于 1s 的过量输入后，恢复标称值输入时，要求误差小于 0.5％。交流输入电压连续施加标称值的 2000％，施加时间不大于 1s 的过量输入后，恢复标称值输入时，要求误差小于 0.5％。

（5）功耗。对于装置电源取自电压互感器的配电终端 FTU，要用伏安法测试其整机的功耗，输入回路功耗不大于 0.25VA。

（6）连续通电稳定性试验。在常温下，电源电压为额定值，连续通电 72h，而且在 72h 期间每 8h 抽测一次，检查遥测的准确度、 SOE 站内分辨率、脉冲输入计数的正确性。

5．安全性能试验

（1）绝缘电阻。利用兆欧表测定配电终端的绝缘电阻：

1）在额定电压不大于 60V 时，正常条件下 10MΩ，湿热条件下 0.5 MΩ；

2）在额定电压大于 60V 时，正常条件下 10MΩ，湿热条件下 1.0 MΩ。

（2）工频耐压。对于交流工频输入量的频率变化、波形畸变、功率因数变化、不平衡电流、被测量超量限、三相功率测量元件之间相互作用、配电终端装置自热等影响引起的被测量误差改变量的测试，按 DL/T 630—1997 中 5.4.4 的规定进行。

配电终端电源、输入、输出回路应能承受额定频率为 50Hz 持续时间 1min 的试验，其基本功能及性能应符合要求。工频耐压试验电压值见表 2－2。

表 2-2　　工频耐压试验电压值

额定电压（V）	工频试验电压值（kV）	额定电压（V）	工频试验电压值（kV）
30	1.0	127	1.5
60	1.0	250	2.0

6. 电磁兼容试验

电磁兼容测试是测试配电终端在不损失有用信号所包含的信息条件下，信号与干扰共存的能力，也就是测试配电终端在各种电磁干扰情况下正常工作的能力。

为了更有效地通过电磁兼容试验，在硬件软件设计时要采取主动型预防措施，对于传导干扰的抑制通常使用滤波器、非线性器件及光电耦合器件，对于辐射干扰的抑制通常通过封堵电磁波可通过的缝隙、孔洞，减弱长导线的天线效应来进行。印制板布线要注意布线的间距与边距，要注意电源回路和信号输入回路的信号调理设计，在软件设计时要注意各种防飞措施等等，同时还要注意到机械性能的加强以及防潮措施。

电磁兼容试验的具体内容如下：

(1) 电压跌落和短时中断试验。电压跌落和短时中断试验是测试配电终端在电源电压波动的情况下正常工作的能力。被试配电终端的电源电压偏差 ΔU 为 100%，电压中断 0.5s 并重复试验 3 次（每次间隔时间为 10s），终端设备应能正常工作。测试工频电量的输出值并测试状态输入量、遥控、直流输入模拟量和 SOE 站内分辨率，计算电源电压突降和电压中断干扰引起的工频电量的改变量，应不大于准确等级指数的 200%，其他各项指标满足基本性能测试（1）、(2)、(3)、(4)、(5)　的要求，同时要求不发生误动作或损坏。

(2) 静电放电抗扰性试验。静电放电抗扰性试验测试配电终端抗静电的能力，静电放电试验的主要参数如表 2-3 所示。

表 2-3　　静电放电试验的主要参数

试　验　项　目	级　　别	试验值（接触放电）（kV）
静电放电	2	4
	3	6
	4	8

注　1. 2 级：安装在具有防静电设施的专用房间内的控制中心或被控站的设备和系统。

2. 3 级：安装在具有湿度控制系统的专用房间内的控制中心或被控站及配电终端的设备和系统。

3. 4 级：安装在不加控制环境中的控制中心或被控站和配电终端的设备。

按静电放电试验的主要参数规定，操作人员在通常可接触到的被试配电终端装置的点上和表面上加 ±8kV 的静电，进行静电放电试验。

在施加静电放电干扰的情况下，测试交流工频电量引起的工频电量的改变量，并测试状态输入量、遥控、直流输入模拟量和 SOE 站内分辨率满足基本性能测试（1）、（2）、(3)、(4)、(5）的要求，同时不发生误动作或损坏。

(3) 辐射电磁场抗扰性试验。辐射电磁场抗扰性试验测试配电终端对空间电磁场的敏感程度。辐射电磁场产生的主要危害是对弱信号电路和放大电路，对模拟电路影响大而对

需要全本请访问 www.ertongbook.com