PEIDIAN ZIDONGHUA XITONG SHIYONG JISHU

配电自动化系统实用技术

◎ 陈彬 张功林 黄建业 编

机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

配电自动化系统实用技术

陈　彬　张功林　黄建业　编

机 械 工 业 出 版 社

本书紧密结合配电自动化生产实际，贯彻电网公司全寿命周期管理理念，共分10章，详细地介绍了配电自动化系统（含主站、子站、终端）的规划建设、设计选型、安装调试、系统验收、运行管理、检测试验各个环节的内容，并阐述了当下供电企业一线技术人员和管理人员所关心的配电网系统故障特征与处理技术、配电网继电保护配置原则与典型模式。本书最后以国内外配电自动化工程实例和智能配电网工程实例来介绍实际应用。

本书可作为供电企业从事配电系统和配电网自动化系统运行和维护的技术人员和管理人员的培训教材，也可供从事配电网运行、调度、设计、试验等工作的技术人员参考。

（责任编辑邮箱：jinacmp@163.com）

图书在版编目（CIP）数据

配电自动化系统实用技术/陈彬，张功林，黄建业编. —北京：机械工业出版社，2015.8（2018.1重印）

ISBN 978-7-111-50935-6

Ⅰ.①配… Ⅱ.①陈… ②张… ③黄… Ⅲ.①配电自动化 Ⅳ.①TM76

中国版本图书馆CIP数据核字（2015）第168095号

机械工业出版社（北京市百万庄大街22号 邮政编码100037）

策划编辑：吉 玲 责任编辑：吉 玲 崔利平 任正一

版式设计：霍永明 责任校对：陈延翔

封面设计：张 静 责任印制：孙 炜

保定市中画美凯印刷有限公司印刷

2018年1月第1版第2次印刷

184mm×260mm·17.5印张·424千字

标准书号：ISBN 978-7-111-50935-6

定价：39.80元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务 网络服务

服务咨询热线：010-88361066 机 工 官 网：www.cmpbook.com

读者购书热线：010-68326294 机 工 官 博：weibo.com/cmp1952

010-88379203 金 书 网：www.golden-book.com

封面无防伪标均为盗版 教育服务网：www.cmpedu.com

前　言

配电网是从电源侧（输电网和发电设施）接受电能，并通过配电设施就地或逐级分配给各类用户的电力网络。作为电力系统的末端直接与用户相连起分配电能作用的网络，配电网直接影响着电力用户所获得电能的供电可靠性、电能质量和服务水平。配电网是由配电网络（其中包括馈线、降压变压器、各类开关等配电设备）、继电保护、自动化装置、测量及计量仪表、通信设备所构成的一个配电系统。从广义上讲，配电网可包括0.4～110kV各电压等级的电网。目前，我国的配电自动化主要适用于中压配电网（包括20kV、中压以及6.6kV等级）。

配电自动化（Distribution Automation）是以一次网架和设备为基础，以配电自动化系统为核心，综合利用多种通信方式，实现对配电系统的监测与控制，并通过与相关应用系统的信息集成，实现配电系统的科学管理。实施配电自动化的目的是改善和提高供电企业对配电网的调度、运行和生产的管理水平。配电自动化的实现，不但配电网调度和相关生产运行人员可以具备有效的工具和科学的手段来管理配电网，而且在加强安全防护、减轻劳动强度、优化工作流程及数据分析应用等方面发挥积极的作用。它将有利于提高供电可靠性、提高供电质量、提高服务水平及提高企业的经济效益。利用自动化装置或系统，监视配电线路的运行状况，及时发现线路故障，迅速诊断出故障区间并将故障区间隔离，快速恢复对非故障区间的供电。

我国从20世纪90年代后期开始开展配电网自动化的试点建设，现在已由探索和试点阶段走向实用阶段。随着配电网建设改造和配电自动化系统建设工作的大规模开展，供电企业一线技术人员和管理人员对这方面技术需求日益提高，因此亟需出版一本全面介绍配电自动化系统实用技术的工程应用类书籍。

本书共分10章，详细地介绍了配电自动化系统（含主站、子站、终端）的规划建设、设计选型、安装调试、系统验收、运行管理、检测试验各个环节的内容，并阐述了当下供电企业一线技术人员和管理人员所关心的配电网系统故障特征与处理技术、配网继电保护配置原则与典型模式。本书最后以国内外配电自动化工程实例和智能配电网工程实例来介绍实际应用。

本书由国网福建省电力有限公司电力科学研究院陈彬高工主编并负责全书内容的修改、审定工作，张功林工程师执笔第4章、第9章、第10章和第7章部分内容，黄建业工程师执笔第2章、第8章和第7章部分内容，其他章节由陈彬高工执笔。感谢福州大学电气工程与自动化学院硕士研究生高源、章德华认真细致地完成了书稿的部分插图绘制和文字编校工作。作者还对书中所列参考文献的作者表示感谢。

限于作者水平，书中不妥和错误之处在所难免，诚望读者批评指正。

编　者

目　录

前言

第 1 章　绪论 …… 1

1.1　配电自动化的概念与系统构成 …… 1

1.1.1　配电自动化的概念 …… 1

1.1.2　配电自动化系统的构成 …… 5

1.2　配电自动化的现状与发展 …… 9

1.2.1　国外配电自动化的现状与发展 …… 9

1.2.2　国内配电自动化的现状与发展 …… 14

1.3　配电自动化系统的实现方式 …… 15

1.3.1　简易型 …… 16

1.3.2　实用型 …… 17

1.3.3　标准型 …… 17

1.3.4　集成型 …… 18

1.3.5　智能型 …… 19

第 2 章　配电自动化系统规划建设 …… 21

2.1　建设原则 …… 21

2.1.1　总体原则 …… 21

2.1.2　配电主站建设原则 …… 22

2.1.3　配电子站建设原则 …… 23

2.1.4　配电终端建设原则 …… 24

2.1.5　信息交互建设原则 …… 25

2.1.6　安全防护建设原则 …… 25

2.1.7　馈线自动化建设原则 …… 26

2.2　实施条件 …… 26

2.2.1　对配电设备的要求 …… 26

2.2.2　对配电网络的要求 …… 26

2.2.3　对通信通道的要求 …… 27

2.3　规划要求、步骤与内容 …… 29

2.3.1　规划总体要求 …… 29

2.3.2　规划实施步骤 …… 29

2.3.3　面向配电自动化的配网现状分析内容 …… 31

2.3.4　面向配电自动化的配电网架与设备优化规划内容 …… 32

2.3.5　配电自动化系统各组成部分规划内容 …… 33

2.3.6　投资估算与效益分析内容 …… 35

第 3 章　配电自动化系统设计选型 …… 38

3.1　一次设备的特性与选型 …… 38

3.1.1　断路器 …… 38

3.1.2　隔离开关 …… 44

3.1.3　负荷开关 …… 46

3.1.4　熔断器 …… 51

3.1.5　电流互感器 …… 55

3.1.6　电压互感器 …… 59

3.2　配电自动化主站 …… 62

3.2.1　架构设计 …… 62

3.2.2　功能要求 …… 63

3.2.3　软硬件配置 …… 80

3.2.4　技术要求 …… 82

3.3　配电子站 …… 83

3.3.1　架构设计 …… 83

3.3.2　功能要求 …… 84

3.3.3　软硬件配置 …… 84

3.3.4　技术要求 …… 84

3.4　配电终端 …… 85

3.4.1　构成设计 …… 85

3.4.2　基本要求 …… 86

3.4.3　馈线终端 …… 87

3.4.4　站所终端 …… 91

3.4.5　技术要求 …… 91

3.5　故障指示器 …… 92

3.5.1　构成设计 …… 93

3.5.2　基本要求 …… 95

3.5.3　技术要求 …… 95

3.6　用户分界开关 …… 100

3.6.1　构成设计 …… 100

3.6.2　基本要求 …… 101

3.6.3　技术要求 …… 101

3.7　信息交互 …… 103

3.7.1　架构设计 …… 103

3.7.2　与配电生产管理系统的交互 …… 104

3.7.3　与调度自动化系统的交互 …… 105

3.7.4　与营销相关应用系统的交互 …… 105

3.7.5　技术要求 …… 105
3.8　安全防护 …… 107
3.8.1　架构设计 …… 107
3.8.2　子站终端要求 …… 109
3.8.3　纵向通信要求 …… 109
3.8.4　主站要求 …… 110
3.8.5　横向边界要求 …… 110
3.9　通信系统 …… 111
3.9.1　架构设计 …… 111
3.9.2　骨干层通信 …… 112
3.9.3　接入层通信 …… 113
3.9.4　技术要求 …… 120
3.9.5　通信网络管理系统 …… 121
3.10　馈线自动化 …… 123
3.10.1　馈线自动化对网架和设备的要求 …… 124
3.10.2　馈线自动化模式 …… 125
3.10.3　技术要求 …… 130
第4章　配电自动化系统安装调试 …… 131
4.1　主站安装 …… 131
4.1.1　作业前准备 …… 131
4.1.2　作业过程与内容 …… 132
4.2　主站调试 …… 134
4.2.1　作业前准备 …… 134
4.2.2　作业过程与内容 …… 135
4.3　终端安装 …… 135
4.3.1　作业前准备 …… 135
4.3.2　作业过程与内容 …… 136
4.4　终端调试 …… 138
4.4.1　作业前准备 …… 138
4.4.2　作业过程与内容 …… 138
4.5　系统联调 …… 139
4.5.1　作业前准备 …… 139
4.5.2　作业过程与内容 …… 141
第5章　配电自动化系统验收 …… 144
5.1　验收的形式与原则 …… 144
5.1.1　验收形式 …… 144
5.1.2　验收原则 …… 145
5.2　工厂验收 …… 145
5.2.1　验收条件 …… 145
5.2.2　验收内容 …… 146
5.2.3　验收流程 …… 148
5.2.4　评价标准 …… 149
5.2.5　质量文件 …… 149
5.3　现场验收 …… 150
5.3.1　验收条件 …… 150
5.3.2　验收内容 …… 150
5.3.3　验收流程 …… 151
5.3.4　评价标准 …… 151
5.3.5　质量文件 …… 152
5.4　实用化验收 …… 153
5.4.1　验收条件 …… 153
5.4.2　验收内容 …… 153
5.4.3　验收流程 …… 154
5.4.4　评价标准 …… 154
5.4.5　质量文件 …… 154
第6章　配电自动化系统运行维护管理 …… 156
6.1　总体要求 …… 156
6.2　管理职责 …… 156
6.3　运行管理 …… 157
6.3.1　制度与人员要求 …… 157
6.3.2　运行维护要求 …… 157
6.3.3　缺陷管理 …… 158
6.3.4　检修管理 …… 159
6.3.5　投运和退役管理 …… 160
6.3.6　软件管理 …… 160
6.4　检验管理 …… 160
6.5　技术管理 …… 161
6.6　通信通道管理 …… 161
6.7　运行考核考评管理 …… 162
第7章　配电自动化系统检测 …… 164
7.1　检测对象与种类 …… 164
7.2　主站检测 …… 164
7.2.1　测试环境 …… 164
7.2.2　软硬件配置 …… 165
7.2.3　测试项目与方法 …… 166
7.3　配电自动化终端检测 …… 172
7.3.1　测试环境 …… 172
7.3.2　软硬件配置 …… 173
7.3.3　实验室测试项目与方法 …… 174
7.3.4　现场检验项目与方法 …… 184
7.4　系统检测 …… 185
7.4.1　测试环境 …… 185
7.4.2　软硬件配置 …… 187

7.4.3 测试项目与方法 …… 188
7.5 物理仿真检测 …… 190
7.5.1 测试环境 …… 191
7.5.2 软硬件配置 …… 191
7.5.3 测试项目与方法 …… 192
第 8 章 配电系统故障特征与处理技术 …… 198
8.1 配电系统中性点接地方式 …… 198
8.1.1 中压配电网中性点接地方式 …… 198
8.1.2 低压配电网中性点接地方式 …… 201
8.2 短路故障 …… 203
8.2.1 短路故障特征分析 …… 203
8.2.2 短路故障定位算法 …… 205
8.2.3 非故障区段供电恢复 …… 208
8.2.4 紧急状态下大面积断电快速恢复 …… 210
8.3 单相接地故障 …… 211
8.3.1 单相接地故障特征 …… 211
8.3.2 单相接地故障选线算法 …… 219
第 9 章 配网继电保护配置原则与典型模式 …… 224
9.1 配电网继电保护配置原则及其整定方法 …… 224
9.1.1 配电网继电保护配置原则 …… 224
9.1.2 配电网继电保护整定方法 …… 224
9.2 配电网继电保护典型模式介绍 …… 229
9.3 配电网继电保护典型模式保护原理及其配置方式 …… 231
9.3.1 基于断路器和分界开关的两级电流保护方式 …… 231
9.3.2 基于断路器和分界开关的三级电流保护方式 …… 233
9.3.3 基于集中监控的馈线自动化保护方式 …… 234
9.3.4 基于开关重合模式的馈线自动化保护方式 …… 235
9.3.5 基于智能分布式终端的快速保护方式 …… 238
9.3.6 基于差动保护的快速保护方式 …… 239
第 10 章 实例分析 …… 240
10.1 国内 A 市实用型配电自动化工程 …… 240
10.1.1 区域概况 …… 240
10.1.2 网架建设 …… 240
10.1.3 设备改造 …… 241
10.1.4 主站建设 …… 242
10.1.5 配电自动化终端建设 …… 245
10.1.6 通信系统建设 …… 245
10.2 国内 B 市集中型配电自动化工程 …… 246
10.2.1 区域概况 …… 246
10.2.2 网架建设 …… 247
10.2.3 设备改造 …… 247
10.2.4 主站改造 …… 248
10.2.5 配电自动化终端建设 …… 249
10.2.6 通信系统建设 …… 251
10.2.7 信息交换总线建设 …… 253
10.2.8 停电管理系统建设 …… 255
10.3 日本配电自动化工程 …… 260
10.3.1 日本配电自动化通信方式 …… 260
10.3.2 日本配电自动化系统软件功能 …… 261
10.3.3 日本配电自动化发展历程 …… 261
10.3.4 日本配电自动化带来的效益 …… 262
10.4 韩国配电自动化工程 …… 263
10.4.1 韩国配电自动化设备简介 …… 263
10.4.2 韩国配电自动化通信方式 …… 263
10.4.3 韩国配电自动化系统软件功能 …… 264
10.4.4 韩国配电自动化带来的效益 …… 264
10.4.5 韩国配电自动化发展历程 …… 264
10.5 美国博尔德市智能配电网工程 …… 265
10.5.1 博尔德市未来电网的特征 …… 265
10.5.2 博尔德市智能电网 …… 266
参考文献 …… 267

第1章 绪　论

1.1 配电自动化的概念与系统构成

1.1.1 配电自动化的概念

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、用电等设备和技术组成的一个将一次能源转换为电能的统一系统。一般而言，电能是不能大量长期存储的，其生产和消费的过程是在同一瞬间完成的，即发电、变电、输电、配电各环节和用电是同步进行的。电力系统各环节示意图如图 1-1 所示。

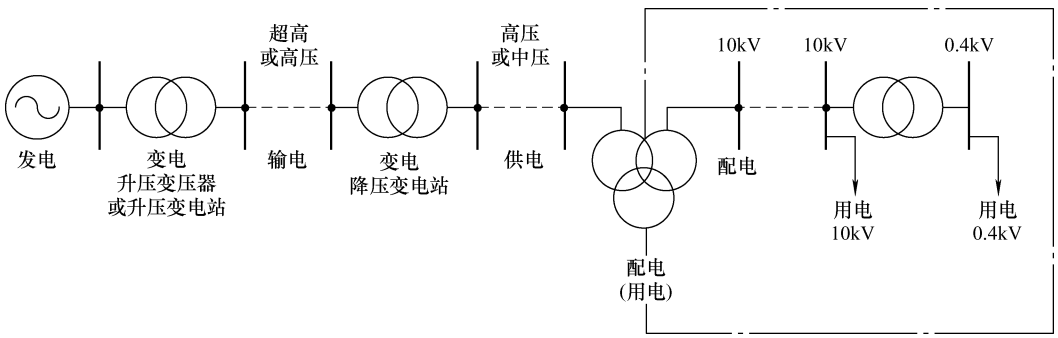


图 1-1　电力系统各环节示意图

电能转换过程示意图如图 1-2 所示。



图 1-2　电能转换过程示意图

其中，配电网是从电源侧（输电网和发电设施）接受电能，并通过配电设施就地或逐级分配给各类用户的电力网络。作为电力系统的末端直接与用户相连起分配电能作用的网络，配电网直接影响着电力用户所获得电能的供电可靠性、电能质量和服务水平。配电网是由配电网络（其中包括馈线、降压变压器、各类开关等配电设备）、继电保护、自动化装置、测量及计量仪表、通信设备所构成的一个配电系统。从广义上讲，配电网可包括 0.4 ~

110kV 各电压等级的电网。目前，我国的配电自动化主要适用于中压配电网（包括 20kV、中压以及 6.6kV 等级）。

配电自动化（Distribution Automation）是以一次网架和设备为基础，以配电自动化系统为核心，综合利用多种通信方式，实现对配电系统的监测与控制，并通过与相关应用系统的信息集成，实现配电系统的科学管理。实施配电自动化的目的是改善和提高供电企业对配电网的调度、运行和生产的管理水平。配电自动化的实现，不但配电网调度和相关生产运行人员可以具备有效的工具和科学的手段来管理配电网，而且在加强安全防护、减轻劳动强度、优化工作流程及数据分析应用等方面发挥积极的作用。它将有利于提高供电可靠性、提高供电质量、提高服务水平及提高企业的经济效益。利用自动化装置或系统，可监视配电线路的运行状况，及时发现线路故障，迅速诊断出故障区间并将故障区间隔离，快速恢复对非故障区间的供电。

1. 配电自动化系统

配电自动化系统（Distribution Automation System）是实现配电网的运行监视和控制的自动化系统，具备配电 SCADA、馈线自动化、配电网分析应用及与相关应用系统互连等功能，主要由配电主站、配电终端、配电子站（可选）和通信通道等部分组成。

（1）配电 SCADA

配电 SCADA（Supervisory Control and Data Acquisition）系统也称 DSCADA，指通过人机交互，实现配电网的运行监视和远方控制，为配电网的生产指挥和调度提供服务。DSCADA 采集安装在各个配电设备处的配电终端单元上报的实时数据，并使调度员能够在控制中心遥控现场设备，它一般包括数据采集、数据处理、远方监控、报警处理、数据管理以及报表生成等功能。DSCADA 包括配电网馈线监控、开闭所及配电站自动化、配变巡检及无功补偿等。

配电网馈线监控一般完成变电站向配电网供电的中压线路的出线开关位置、保护动作信号、母线电压、线路电流、有功和无功功率以及电能量的监控。这些数据通常可以采用转发的方式从地区调度或市区调度自动化系统中获得。

开闭所及配电站自动化（Distribution Substation Automation，DSA）利用计算机技术、现代电子技术、通信技术和信号处理技术，实现对开闭所或配电站的主要设备和配电线路的自动监视、测量、控制和保护，以及与配电网调度的通信等综合性的自动化功能。

配变巡检及无功补偿是指对配电网柱上变压器、箱式变压器、配电站内的变压器等的参数进行远方监控和低压补偿电容器的自动投切和远方投切等，从而达到提高供电可靠性和供电质量的目的。

（2）馈线自动化

馈线自动化（Feeder Automation）是利用自动化装置或系统，监视配电线路的运行状况，及时发现线路故障，迅速诊断出故障区间并将故障区间隔离，快速恢复对非故障区间的供电。馈线自动化包括故障诊断、故障隔离和恢复供电系统，馈线数据检测和电压、无功控制系统。主要是在正常情况下，远方实时监视馈线分段开关与联络开关的状态及馈线电流、电压情况，并实现线路开关的远方分合闸操作，以优化配电网的运行方式，从而达到充分发挥现有设备容量的目的；在线路发生故障时，能自动记录故障信息、自动判别和隔离馈线故障区段以及恢复对非故障区段的供电，从而达到减小停电面积和缩短停电时间的目的。上述

过程无需人工参与，由配电自动化系统自动完成。

馈线自动化有两种模式，

1）就地型：不需要配电主站或配电子站控制，通过终端相互通信、保护配合或时序配合，在配电网发生故障时，隔离故障区域，恢复非故障区域供电，并上报处理过程及结果。就地型馈线自动化包括重合器方式、智能分布式等。

2）集中型：借助通信手段，通过配电终端和配电主站/子站的配合，在发生故障时，判断故障区域，并通过遥控或人工隔离故障区域，恢复非故障区域供电。集中型馈线自动化包括半自动方式、全自动方式等。

（3）配电网分析应用

配电网分析应用可实现配电网运行、调度和管理等各项应用需求，支持通过信息交互总线实现与其他相关系统的信息交互；提供丰富、友好的人机界面，可以实现网络拓扑、潮流分析、短路电流计算、负荷模型的建立和校核、状态估计、负荷预测、供电安全分析、网络结构优化和重构、电压调整和无功优化、培训仿真等应用功能；供配电网运行人员对配电线路进行监视和控制，完成对配电网运行状态的有效分析，实现配电网的优化运行。

（4）与相关应用系统互联

通过标准化的接口适配器完成与上一级电网调度（一般指地区电网调度）自动化系统和生产管理系统（或电网 GIS 平台）互联的需要，实现上一级电网和配电网图模向配电网自动化系统的导入。通过信息交互总线向相关应用系统提供配电网图形、网络拓扑、实时数据、准实时数据、历史数据、配电网分析结果等信息，也可从上一级调度自动化系统、配电生产管理系统、配电地理信息系统、营销管理信息系统、95598 系统等相关应用系统获取信息。

配电自动化系统与其他系统数据交互类型见表 1-1。

表 1-1 配电自动化系统与其他系统数据交互类型

序号	数据类型	数据流向	用途
1	输电网及高压配电网的网络拓扑、变电站图形、设备参数等	来自调度自动化系统	图形、模型补充
2	输电网及高压配电网的实时数据、历史数据等	来自调度自动化系统	监测数据、统计数据源
3	变电站馈线开关遥控命令	去往调度自动化系统	控制数据
4	配电网络图、电气接线图、单线图、地理图、线路地理沿布图	来自配电地理信息系统	图形来源
5	网络拓扑、馈线模型、拓扑和设备数据	来自配电地理信息系统	模型、数据库来源
6	配电网实时运行数据、事项告警、统计计算数据、历史数据	去往配电地理信息系统	数据显示、统计来源
7	配电网设备参数信息（台账）、生产计划数据等	来自配电生产管理系统	参数数据库、补充数据来源
8	配电网实时运行数据、统计计算数据、历史数据	去往配电生产管理系统	数据显示、统计来源
9	公变和专变运行数据、停电信息	来自营销管理信息系统	实时、准实时数据来源
10	配电网实时运行数据、统计计算数据、历史数据	去往营销管理信息系统	数据统计来源

（5）配电主站

配电主站（master station of distribution automation system）是配电自动化系统的核心部

分，主要实现配电网数据采集与监控等基本功能和电网分析应用等扩展功能。配电主站是实现配电网运行、调度和管理等各项应用需求的主要载体，应构建在标准、通用的软硬件基础平台上，具备可靠性、可用性、扩展性和安全性，并根据各地区的配电网规模、实际需求和应用基础等情况合理配置软件功能，采用先进的系统架构，具有一定的前瞻性，满足调控合一要求和智能配电网发展方向。

（6）配电子站

配电子站（slave station of distribution automation system）为优化信息传输及系统结构层次、方便通信系统组网而设置的中间层，定位在变电站或大型开关站中，负责辖区内配电终端的数据集中与转发，实现所辖范围内的配电网信息汇集、处理以及故障处理、通信监视等功能。包括通信子站和监控子站。

目前，国内新建子站基本为通信子站，将其作为主站系统与终端之间的一层设备。它作为中继节点，一方面，完成数据的分层集中与中转，使终端数据与自动化主站完成数据交换，实现数据的上传下达，另一方面，通信子站包括通信控制器，具备对多介质网络完成协议转换的功能；通信子站不承担配网自动化的应用功能。监控子站除了具备通信子站的基本功能外，在所辖区域内的配电线路发生故障时，子站应具备故障区域自动判断、隔离及非故障区域恢复供电的能力，并将处理情况上传至配电主站；还具备信息储存和人机交互功能。

（7）配电终端

配电终端（remote terminal unit of distribution automation system）是安装于中压配电网现场的各种远方监测、控制单元的总称，主要包括配电开关监控终端（Feeder Terminal Unit，FTU，即馈线终端）、配电变压器监测终端（Transformer Terminal Unit，TTU，即配变终端）、开关站和公用及用户配电所的监控终端（Distribution Terminal Unit，DTU，即站所终端）等。随着配电自动化技术的发展，其他类型配电终端还包括配电线路分段控制器、分支分界控制器、带通信故障指示器等。

其中，馈线终端（FTU）是安装在配电网馈线回路的柱上等处并具有遥信、遥测、遥控等功能的配电终端；站所终端（DTU）是安装在配电网馈线回路的开关站、配电室、环网柜、箱式变电站等处，具有遥信、遥测、遥控等功能的配电终端；配变终端（TTU）是用于配电变压器的各种运行参数的监视、测量的配电终端。

（8）配电线路故障指示器

配电线路故障指示器（distribution line fault indicator）是安装在配电线路上用于检测线路短路故障和单相接地故障、并发出报警信息的装置。

其中，可利用无线或光纤等通信方式进行的故障信息传输的配电线路故障指示器又称为带通信故障指示器，一般由两部分组成，一部分是有通信功能的故障指示器探头，另一部分是通信终端（通信集中器）。故障指示器探头检测短路故障或接地故障，发出故障指示信号，通过短距离通信系统上传至通信终端（通信集中器）；通信终端（通信集中器）接收探头的数据信息，进行分析、编译，并向主站系统转发。带通信功能的故障指示器根据使用场合分为架空线型故障指示器和电缆型故障指示器，可选择带有电流测量或（和）温度测量功能。

（9）信息交互

遵循 IEC61970、IEC61968 标准，实现相关应用系统间的信息交互（information ex-

change)。信息交互基于消息传输机制，实现实时信息、准实时信息和非实时信息的交换，支持多系统间的业务流转和功能集成，完成配电自动化系统与其他相关应用系统之间的信息共享。信息交互宜遵循 IEC61968 的标准构架和接口方式。信息交互必须满足电力二次系统安全防护规定，采取安全隔离措施，确保各系统及其信息的安全性。

2. 配电网地理信息系统

配电网地理信息系统（Geographic Information System，GIS）是利用现代地理信息系统技术，将配电网络、用户信息及地理信息、配电网实时信息进行有机集成，并运用于整个配电网的生产和管理过程的系统。包括配电电网建模系统、配电生产管理系统、配电生产 WEB-GIS 管理系统、优化改进信息管理系统和配调管理系统。GIS 是使电力系统数据信息管理达到可视化的重要组成部分，在降低信息维护成本、提高配电网信息共享的灵活性等方面为供电企业带来较大利益和诸多便利。但随着应用的逐步深入，供电企业的生产管理对配电地理信息系统的要求也越来越高，需要不断扩展系统功能并提高智能化程度。

配电地理信息系统构建的基础是建立配电网信息结构模型。其信息可以分为两大类：一类是围绕配电网设备的各种信息，另一类是围绕用户的各种信息。这两类信息互相联系并且具有层次性，配电网信息结构模型如图 1-3 所示。

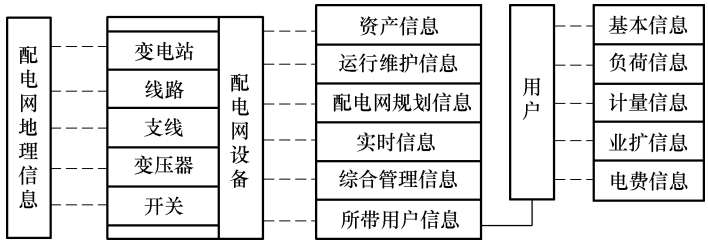


图 1-3 配电网信息结构模型

配电网地理信息系统包括设备管理（Facilities Management，FM）、用户信息系统（Customer Information System，CIS）以及停电管理系统（Outage Management System，OMS）。FM 是指将开闭所、配电站、箱式变、馈线、变压器、开关、电杆等设备的技术数据反映在地理背景图上。CIS 是指对大量用户信息，如用户名称、地址、用电量和负荷、供电优先级、停电记录等进行管理，便于判断故障影响范围。OMS 是指接到停电投诉后，查明故障地点和影响范围，选择合理的操作顺序和路径，并自动将有关处理过程信息转给用户投诉电话应答系统。将 DSCADA 和 GIS 结合，可在地理背景图上直观、在线、动态地分析配电网运行情况。

配电自动化系统和配电网地理信息系统一起构成配网管理系统（Distribution Management System，DMS）。

1.1.2 配电自动化系统的构成

以某供电企业的配电网自动化系统组成结构和配电网自动化系统典型结构逻辑图为例，如图 1-4 和图 1-5 所示，配电自动化系统主要由配电主站、配电终端、配电子站（可选）和通信通道组成。其中，配电主站是数据处理/存储、人机联系和实现各种应用功能的核心；配电终端是安装在一次设备运行现场的自动化装置，根据具体应用对象选择不同的类型；配电子站是主站与终端的中间层设备，一般用于通信汇集，也可根据需要实现区域监控功能；通信通道是连接配电主站、配电终端和配电子站之间实现信息传输的通信网络。配电自动化系统通过信息交互总线，与其他相关应用系统互连，实现更多应用功能。

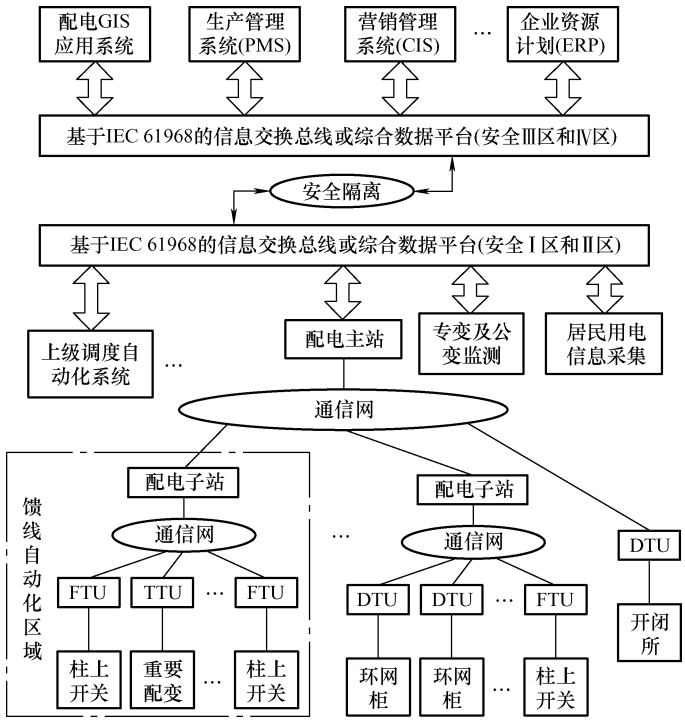


图 1-4　配电网自动化系统组成结构

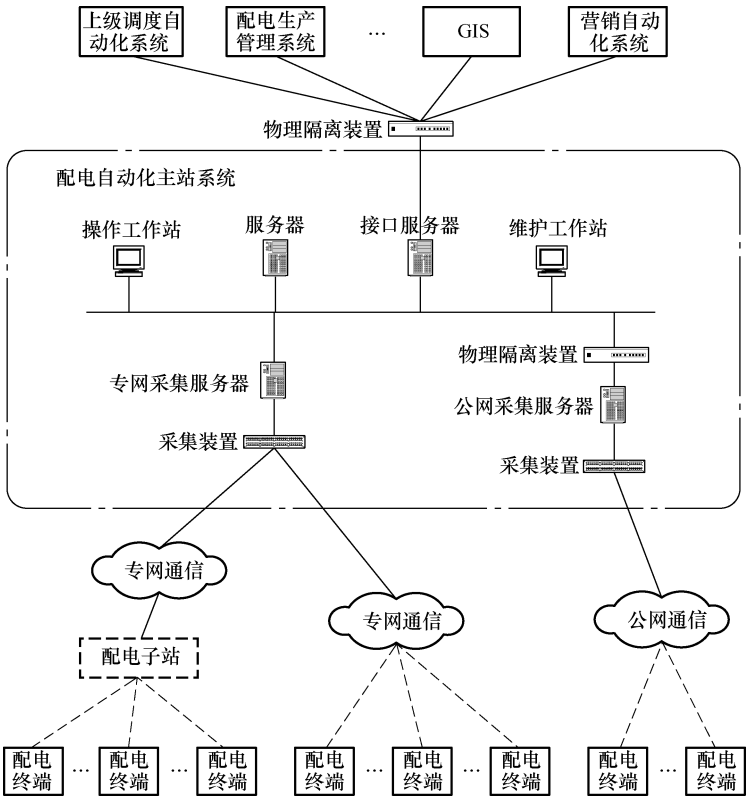


图 1-5　配电网自动化系统典型结构逻辑图

配电主站主要由计算机硬件、操作系统、支撑平台软件和配电网应用软件等组成，通过基于 IEC 61968 的信息交换总线或综合数据平台与上级调度自动化、专变及公变监测系统、居民用电信息采集系统等实时/准实时系统实现快速信息交换和共享；与配电 GIS、生产管理、营销管理、ERP 等管理系统接口，扩展配电管理方面的功能，并具有配电网的高级应用软件，实现配电网的安全经济运行分析及故障分析处理功能等。图 1-6 为配电主站系统硬件构成。

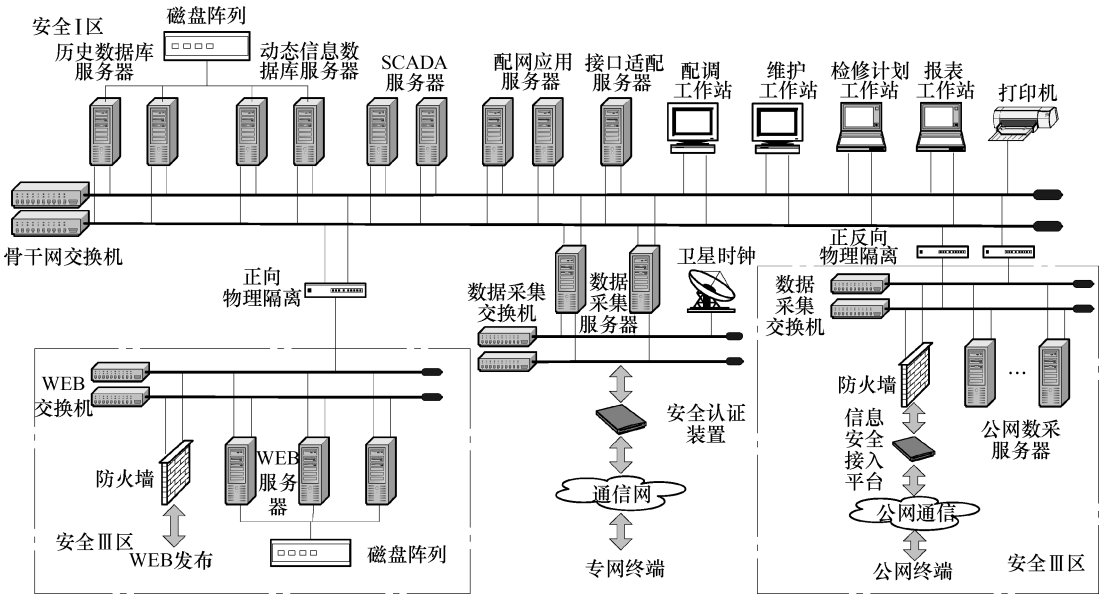


图 1-6　配电主站系统硬件构成

站所终端、馈线终端和配变终端应具备数据采集、事件记录、时间校对、远程维护、参数设置、数据存储、自诊断和自恢复以及通信、电源管理等功能；馈线终端和站所终端应具备接受远方控制以及判断线路相间故障的能力；馈线终端、站所终端和故障指示器应具备后备电源，保证在主电源失电的情况下能够维持一定时间的工作。

配网通信系统的主要功能是提供通道，将主站或子站的控制命令准确地传送到为数众多的配电终端，并且将反映远方设备运行情况的数据信息收集到主站或子站，从而实现主站与各子站及远方终端之间的互相通信，传递数据信息、设备状态、控制命令等功能。配电通信系统可利用专网或公网，配电主站与配电子站之间的通信通道为骨干层通信网络，配电主站（子站）至配电终端的通信通道为接入层通信网络。多种配电通信方式综合应用示意图如图 1-7 所示。

信息交互宜采用面向服务架构，在实现各系统之间信息交换的基础上，对跨系统业务流程的综合应用提供服务和支持。接口标准宜遵循 IEC61968-1 中信息交换模型的要求。配电网自动化系统与相关应用系统的信息交互如图 1-8 所示。

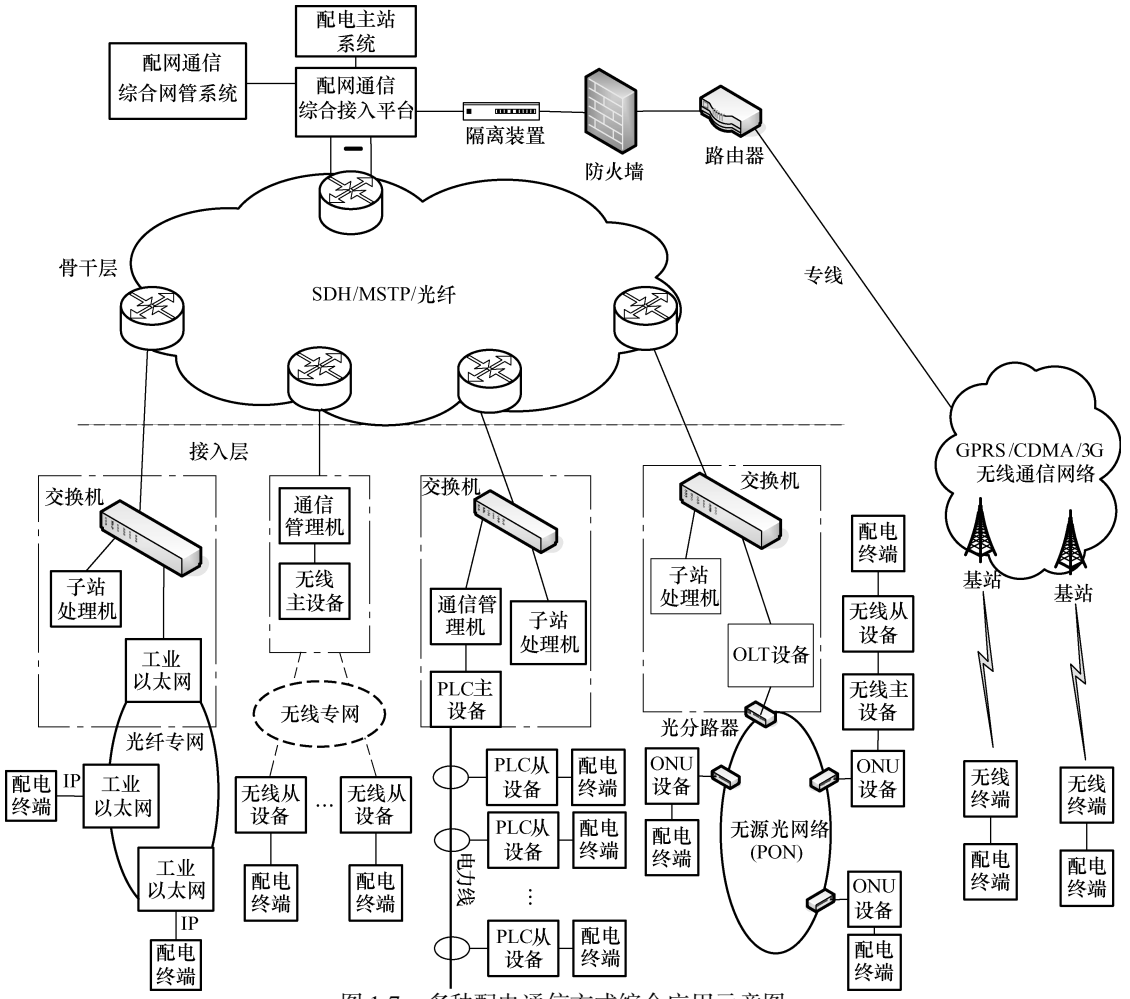


图 1-7　多种配电通信方式综合应用示意图

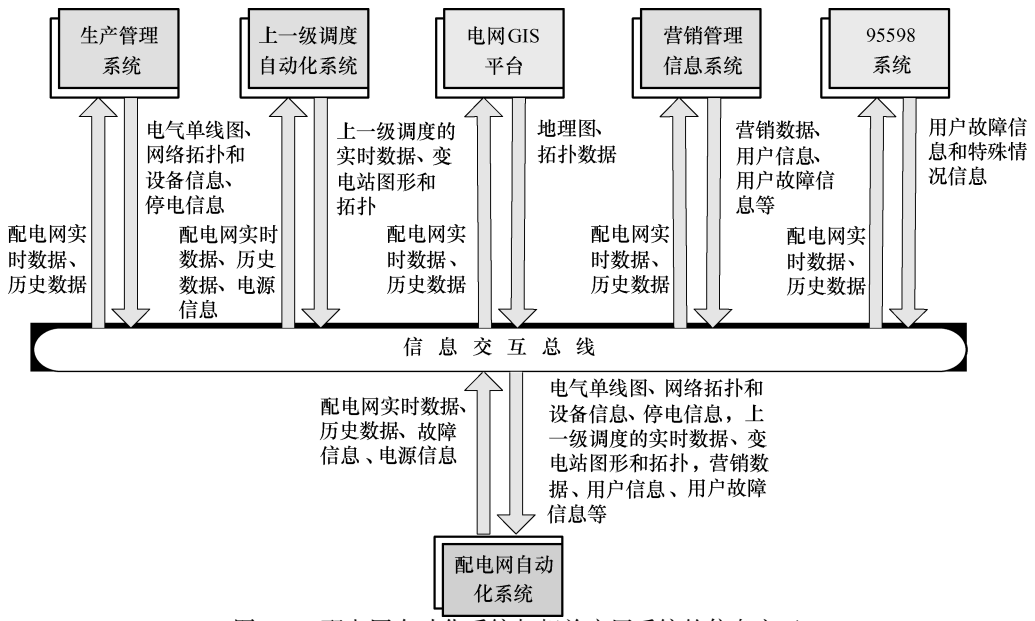


图 1-8　配电网自动化系统与相关应用系统的信息交互

1.2 配电自动化的现状与发展

1.2.1 国外配电自动化的现状与发展

1. 概述

20 世纪 30 年代英国研发出用时延开关来控制用户负荷的装置，从那时起配电自动化发展大致经历了三个阶段。第一阶段：20 世纪 50 年代应用了自动隔离故障区间的时限装置，通过装置的相互配合识别故障地点和在重要线段进行故障自动隔离，并对健全区域恢复供电，这一时期可称为局部自动化阶段，以日本东芝公司的重合器与电压时间型分段器配合模式和美国 Cooper 公司的重合器与重合器配合模式为代表。第二阶段：20 世纪 70 年代，各种远程监控开关装置和电量自动测量装置投入使用，特别是随着计算机和数据通信技术的发展，形成了包括远程监控、故障隔离、负荷管理等功能的配电自动化技术，它是一种基于通信网络、馈线终端单元和后台计算机网络的实时应用系统，在配电网正常运行时，能起到监视配电网运行状况和遥控改变运行方式的作用，出现故障时能够及时察觉，并由调度员通过遥控隔离故障区域和恢复健全区域供电。第三阶段：20 世纪末期，随着负荷密集区配电网规模和网格化程度的快速发展，仅凭借调度员的经验调度配电网越来越困难，同时为进一步提高用户的电能质量，开始研发地理信息系统并应用于配电自动化，建立了自动绘图、设备管理、地理信息系统（AM/FM/GIS），实施离线的配电管理系统（DMS）与在线的实时系统的数据集成，进入了运行监控结合设备及需求侧负荷管理（DSM）的综合性自动化发展阶段。国外知名公司，如 ABB、SIEMENS、GE、SNC、ASC 等都有自己的 DMS 产品，并且得到广泛的应用。

配电自动化是在不断的发展中逐步完善的。由于各国国情不同，国外配网自动化在建设理念、发展进程和建设模式上存在差异。按照配电自动化技术研究和工程应用的水平，主要可分为发达国家、次发达国家和发展中国家三类。发达国家以美国、欧洲和日本等国家为代表，次发达国家以新加坡、韩国等国家为代表，发展中国家以印度、泰国等国家为代表。

2. 发达国家的配电网自动化

（1）美国配电网自动化

20 世纪 90 年代美国提出配电自动化这一术语，其重心在于减少停电时间，改善对客户的服务质量，提高供电可靠性，增加用户的满意度。

美国的配电网线路多为放射型结构，电压等级为 14.4kV，采用中性点接地方式。线路上多采用智能化重合器与分段器相配合，并大量采用单相重合闸，提高供电的可靠性。线路重合器直接采用高压合闸线圈，并且有多次重合功能，各级重合器之间利用重合次数及动作电流定值差异来实现配合，在无人变电站增设了可靠的通信及检测装置，可准确地反映变电站的运行工况。美国配电自动化发展大致经历了三个阶段：第一阶段实现故障自动隔离，进行自动抄表；第二阶段从 20 世纪 80 年代中期开始，进行了大量的配电自动化的试点工作及馈线自动化、营业自动化、负荷控制的试点工作，但大部分为各自独立的新时期自动控制系统；第三阶段从 20 世纪 90 年代中后期开始，由于计算机及网络通信技术的发展，以及电力工业的市场化改革，以配电管理系统、配电自动化、用户自动化为主要内容的综合自动化成

为配电网自动化的发展应用方向。图 1-9 所示为美国长岛电力公司配电网馈线自动化系统示意图。

美国配电自动化发展较早，其主要的经验是：配电自动化主要目的是提高供电可靠性。美国社会发展水平较高，配电网管理水平较好，对供电可靠性要求较高且效应十分明显。设备水平较高，实现免维护。

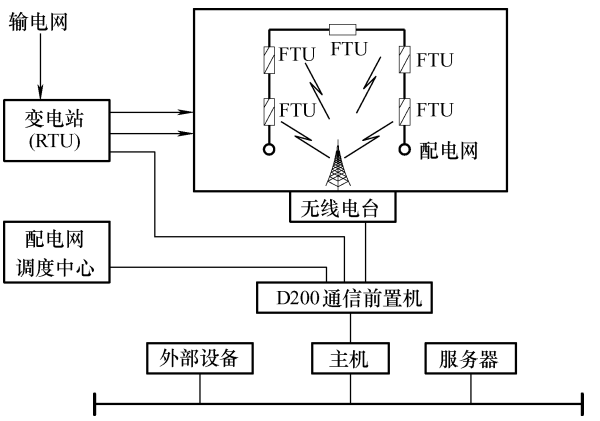


图 1-9　美国长岛电力公司配电网馈线自动化系统示意图

（2）欧洲配电网自动化

欧洲配电网自动化发展较早，20 世纪 30 年代英国就开发出用时间开关控制用户负荷的装置。德国在 20 世纪中叶就开始了对配电网自动化的研究，其供电可靠性一直处于世界的前列。

1）英国配电网自动化。

英国的配电线路和美国一样，以放射状为主，电压等级在中压，中性点接地，其配电网自动化的重心在于提高供电可靠性。

英国电力公司为了提高供电可靠性，对配电网自动化一直持积极态度。英国东方电力公司是英格兰和成尔士地区最大的电力公司之一，运行和维护了大不列颠的最大电网。东方公司的电网自 1995 年以来已经改造成为英国最可靠的电网之一，为了提升公司的市场竞争力，1997 年东方电网根据当时的二次配电网，进行工程“ARC”（自动化和遥控）建设。公司选择在电网关键点的电线杆上安装自动重合闸装置，并与选择电网的开断点一起实现监控（采用新型的地面安装式环网柜），通过使用远动系统解决电网的供电可靠性问题。公司在调研的基础上，采用了施耐德提出的分步阶段实施的规划方案，较快地收回投资，产生效益，并有计划地选择多家设备厂家的产品进行配电网自动化建设，如施耐德电气公司的远动设备和环网柜，FKI Whipp 公司和 Bourne 公司提供柱上自动重合闸装置，ABB 提供户内开关装置等，经过两年的改造，完成了东方电网名为“ARC”的项目，实现了两大目标：每百户平均断电次数（Customer Interruption，CI）减少 15%，用户平均断电分钟数（Customer Minute Lost，CML）减少 30%。

2）德国配电网自动化。

德国配电网普遍采用环式供电，德国电网结构相对稳定，电力系统供电可靠性已经达到了很高的水平，客观上对配电自动化的需求较少，诸如提高运行管理水平，优化网络结构所带来的效益对于德国电网而言并不明显，因此其配电网建设的主要目标不在于电网的扩张，而是在网络关键点实现配电网自动化，以减少投资并较大幅度地减少恢复供电的时间。

德国配电公司在经历了多年的快速发展历程后，面临成本压力，为了降低线损和维修费用，目前的主要工作不是电网的扩张，更多的是电网结构优化、改造和老旧设备的拆除等。在电网规划和优化的各个环节中计算机专业软件得到了广泛的应用，例如，采用可靠性计算方法，支持规划人员在满足目标情况下进行决策。此种方法不仅在规划中得到广泛应用，同时在网络设计、网络运作（开关状态计算、故障判断管理、以可靠性为中心的检修维护）、