

PEIDIAN XIANLU ZIDONGHUA
SHIYONG XINJISHU

NEW

配电线路自动化 实用新技术

汪永华 刘军生 编著



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



配电线路自动化 实用新技术

汪永华 刘军生 编著

PEIDIAN XIANLU ZIDONGHUA
SHIYONG XINJISHU



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书共分 10 章,有配电线路自动化、配电线路及一次设备、配电网自动化通信、配电网馈线自动化技术、配网防火墙技术、小电流接地选线装置、配电网自动化监控终端与系统、配电自动化主站及子站系统、馈线自动化工程应用实例、智能电网技术等内容。

本书可作为高等院校相关专业师生的参考用书,可供从事配电线路自动化的设计、运行与维护的技术人员和管理人员阅读,也可供从事配电自动化的科研和设备制造的技术人员阅读。

图书在版编目 (CIP) 数据

配电线路自动化实用新技术/汪永华,刘军生编著. —北京:
中国电力出版社, 2015. 7

ISBN 978-7-5123-7697-7

I. ①配… II. ①汪…②刘… III. ①配电线路-自动化技术
IV. ①TM726

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 095197 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

北京丰源印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2015 年 7 月第一版 2015 年 7 月北京第一次印刷

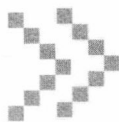
787 毫米×1092 毫米 16 开本 12.75 印张 277 千字

印数 0001—3000 册 定价 36.00 元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签,刮开涂层可查询真伪
本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究



随着我国市场经济的不断发展, 社会对电力供应的依赖性越来越强, 电力中断给用户造成的损失也越来越大, 配电网自动化工程已经全面展开, 争取为用户提供更加安全可靠的供电服务。配电线路自动化是配电网自动化建设中首先实现的基本功能, 它的主要作用是在线路发生故障时, 迅速判断、隔离故障区段并恢复非故障线路的供电。因此, 它具有在短期内大幅度提高供电可靠性, 降低经营成本的意义。由于我国不同地区间的地理环境和经济发展水平差距较大, 供电部门能投入的资金水平及用户对供电可靠性的要求和停电造成的损失也不相同。因此, 供电部门在进行配电线路自动化项目规划的时候, 应该根据本地区经济发展水平和自动化改造的主要目的, 综合考虑设备改造需要投入资金的规模, 期望得到的可靠性改善程度及所能产生的社会 and 经济效益, 通过对工程建设的成本收益进行详细的评估, 选择切合实际的配电线路自动化模式, 以保证配电网的自动化建设在各个阶段都能持续良好地发挥作用。不计成本、盲目追求绝对高的供电可靠性在经济和技术上都是不现实的。

配电线路自动化是一项投资大、范围广、技术构成复杂、实现周期长的系统工程, 是有关配网规划、设计、建设和运行等各方面的系统工程。当今的电力系统中对配电线路自动化程度要求越来越高, 特别是现在配电系统联网规模越来越大。在配电系统中引入微电子技术、软件技术、网络技术的控制系统势在必行。这样的控制系统可靠性高, 易于安装维护, 节能, 占用空间少, 动作迅速。集成化、智能化和综合化是未来馈线自动化的发展趋势。

希望本书能对广大读者有所帮助, 也诚挚希望各方专家学者共同关注我国馈线自动化的发展和技术走向, 探讨实施过程中遇到的问题, 以促进馈线自动化技术的快速发展, 提高配电网自动化系统的投入产出比, 使配电网自动化系统既适应我国国情又能创造出巨大的效益, 全面推动配电网自动化系统的技术进步。

本书由汪永华、刘军生编著, 参加本书编写的人员还有宁飞、王正风、金明、余茂全、王松、王文林等, 全书由汪永华负责统稿。

本书在编写过程中, 参考和引用了有关书籍的部分内容及相关标准和厂家的技术资料, 特别是威瀚北京公司提供了大量的技术资料, 谨向他们表示衷心的感谢。由于馈线自动化涉及面广(计算机、通信电子、网络、地理信息、开关、电源等), 并且在实施过程中仍面临一些技术难点问题, 加之编者水平有限, 不妥和疏漏之处在所难免, 恳请广大读者批评指正。

编者

2015年6月



前言

第1章

配电线路自动化

- 1.1 配电自动化 1
- 1.2 配电自动化系统构成 3
- 1.3 馈线自动化概述 4
- 1.4 国内外馈线自动化发展现状 6
- 1.5 馈线自动化实现条件及方式 9

第2章

配电线路及一次设备

- 2.1 配电线路及其接线方式 12
- 2.2 配电网主要开关设备 14
- 2.3 环网柜 20
- 2.4 高压电缆分接箱 22

第3章

配电网自动化通信

- 3.1 配电网自动化通信概述 25
- 3.2 配电自动化通信方式 26
- 3.3 配电网自动化通信系统的层次结构及组成 38
- 3.4 IEC 60870-5-104 通信规约 40

第4章

配电网馈线自动化技术

- 4.1 馈线自动化模式 49
- 4.2 故障定位技术 52

第5章

配网防火墙技术

- 5.1 配网防火墙概念 63
- 5.2 一层(用户)防火墙 67
- 5.3 二层(支线)防火墙 70
- 5.4 三层(干线)防火墙 74

	5.5 防火墙工作情况与通信状况关系	77
	5.6 配网防火墙扩展层	79
第6章	小电流接地选线装置	
	6.1 小电流接地选线概述	81
	6.2 基于能量法的小电流接地选线	81
	6.3 基于暂态信号的选线方法	85
	6.4 基于信号注入的选线方法	92
	6.5 基于灰色关联的选线方法	95
	6.6 分层小电流接地选线方法	99
第7章	配电网自动化监控终端与系统	
	7.1 配电网自动化监控概述	101
	7.2 配电网自动化监控终端	102
	7.3 新型高压计量监测装置	112
第8章	配电自动化主站及子站系统	
	8.1 配电自动化主站系统设计要求及结构	116
	8.2 配电自动化主站主要功能	118
	8.3 配电自动化子站系统	125
	8.4 配电网地理信息系统	129
第9章	馈线自动化工程应用实例	
	9.1 常见的馈线自动化应用	133
	9.2 威瀚公司馈线自动化应用实例	134
第10章	智能电网技术	
	10.1 智能电网概述	154
	10.2 智能配电	156
	10.3 智能变电站	177
	10.4 智能调度	190
参考文献		195

配电线路自动化

1.1 配电自动化

1.1.1 配电系统自动化概述

电力系统是由发电、输电、变电、配电、用电等环节组成的电能生产、传输、分配和消费的系统。供配电是直接面向电力用户的环节，由一次设备（包括馈线、降压变压器、断路器、互感器、避雷器、绝缘子、母线和各种开关等）、继电保护、自动装置、测量和计量仪表及通信和控制设备构成一个配电系统，按一定的规则运行，以高质量的电能持续地满足电力用户需求。配电网是指 35kV 及以下的电网，我国把 35、20、10kV 的电网称为中压配电网，把 380、220V 的电网称为低压配电网。相对于输电网而言，配电网具有设备多、T 节点多、线路分布稠密、负荷随意性大等特点。

配电网是连接具体用户和供电企业的纽带，配电网的质量、可靠性、经济性均关系到每个电力用户、供电企业的经济利益和生产、生活安全稳定，既是经济问题，又是社会问题。近年来，国家加大了城市网和农网改造的力度，使配电网的线路和设备质量有了明显的改善，同时也为提高配电网的自动化程度创造了条件。

西方发达国家早在 20 世纪 70 年代就提出了配电网自动化的概念，80 年代末开始推广应用配电自动化技术。90 年代以来，欧美一些国家先后开放电力市场，实行电力私有化，由于国内各电力企业忙于进行体制转换，因此配电自动化技术实施一度放缓。目前，为了降低运营成本，改进供电可靠性，提高供电质量，提高售电量和增加经济效益，各电力企业正加紧开展配电自动化的试点工作，并进行了实用化推广。配电自动化成为电力自动化的一门热点技术。

所谓配电系统自动化，就是利用现代电子、计算机、通信及网络技术，将配电网在线数据和离线数据、配电网数据和用户数据、电网结构和地理图形进行信息集成，构成完整的自动化系统，实现配电网及其设备在正常运行及事故状态下的监测、保护、控制，实现用电和配电管理的现代化。配电自动化是现代信息技术在配电网控制与管理中的应用，它是一个综合性的计算机系统，系统的数据、信息应该共享，各项功能之间应该互相配合。

配电自动化系统 (Distribute Automation System, DAS) 又称为 DA/DMS 系统。其中，DMS (Distribution Management System) 是配电管理系统，DA (Distribution

Automation) 是配电自动化。

配电管理系统是指用现代计算机、信息处理及通信等技术和相关设备对配电网的运行进行监视、管理和控制。它是配电自动化系统的神经中枢,是整个配电自动化系统的监视、控制和管理中心。配电管理系统的主要功能有数据采集和监控(Supervisory Control And Data Acquisition, SCADA)、配电网运行管理、用户管理和控制、自动绘图/设备管理/地理信息系统(AM/FM/GIS)等。

配电管理系统是配电技术中更新最快的一个领域,其内容包括数据采集与监控系统、馈线自动化系统、地理信息和设备管理系统、故障报修应答系统、自动抄表系统等。这些系统通常有不同的组合,并可与离线的管理信息系统集成。未来的配电自动化系统发展的趋势是:发展建立在开放式计算机平台上的综合配电自动化系统,以实现配电系统的数据采集监视、无功自动调节、故障隔离、设备管理、负荷控制及用电管理等功能。同时,还可以与其他离线的管理系统和信息系统交换共享信息资源。

配电自动化发展到今天,其内容可以分为四个方面:①馈线自动化(FA),即配电线路自动化;②用户自动化,这与用户需求管理含义是相通的;③变电站自动化,它常常是输电和配电的结合部,因此,这里是指变电站自动化中与配电相关的部分;④配电管理自动化,其中包括网络分析。

目前,在我国,一般可将配电网综合自动化分为电能管理自动化、设备管理自动化、线路运行管理自动化、变电站综合自动化等内容。

1.1.2 配电自动化的功能

根据配电自动化系统发挥的作用,配电自动化的功能可归纳为以下几项内容,即配电网数据采集与监控、故障管理(包括故障定位、隔离及自动恢复供电功能)、电压及无功管理、负荷管理、图形资料系统(AM/FM/GIS)、自动抄表及用电管理等。

根据功能的实时性进行划分,把配电网在线实时监测、控制及调节功能称为配电自动化功能,而把离线的用于维护用电的住处管理功能称为配电管理功能。

配电自动化的作用包括:

(1) 减少停电时间,提高供电可靠性。据统计,故障和计划检修是造成停电的两个主要原因。传统电网结构一般采用辐射状配电方式,线路中间没有分段开关,在线路上某一处发生故障或进行线路检修时,会造成全线停电。现在城市供电网的发展方向是采用环网“手拉手”供电方式,并用负荷开关将线路分段,这样首先可以做到分段检修,避免因线路检修造成全线停电,而利用馈线自动化系统,实现线路故障区段的自动定位、隔离及健康线路的自动恢复供电,可缩小故障停电范围,大量减少用户的停电时间,提高供电可靠性。

(2) 提高供电质量。馈线自动化系统可以实时监视线路电压的变化,自动调节变压器输出电压或投切无功补偿电容器组,保证用户电压质量。

(3) 改善用户服务质量。改善故障时对用户的应答能力,迅速处理用户申诉,为用户查询及电费计量提供方便,提高用户的服务质量和用户的满意度,可以多售电,提高

电力企业的经济和社会效益。

(4) 降低电能损耗。优化网络结构及无功配置,合理配置电力用户的线路负荷,加强电力企业的用电管理,使变压器、线路能够经济运行,减少配电变损、线损和管理损耗,提高电力企业的利润率。

(5) 提高设备利用率,延长基本建设投资周期,减少备用容量。有效地调整负荷,削峰填谷,提高设备利用率。

(6) 提高电力企业决策能力,节省总体投资。实施配电自动化,既能够迅速、实时地获得配电网线路和厂站设备的运行状态与用户用电负荷情况,进行实时故障分析和运行调整优化,还能够全面有效地对历史数据进行综合分析,为电力企业管理者提供检修、扩容、设备改造所需要的科学依据,提高决策的准确性和合理性,减少投资的盲目性,降低电力企业的运行维护费用。

虽然进行配电自动化建设的投资是比较大的,但从长远来看总体上可节省投资,提高电力企业的管理质量和社会、经济效益。

1.2 配电自动化系统构成

配电自动化系统是利用现代计算机及通信技术,将配电网的实时运行、电网结构、设备、用户以及地理图形等信息进行集成,构成完整的自动化系统,实现配电网运行监控及管理的自动化、信息化。配电网自动系统主要由数据采集和监控系统、地理信息系统(Geographic Information System, GIS)、需方管理系统组成,其中数据采集和监控系统由进线监控、变电所自动化系统、馈线自动化(Feeder Automation, FA)系统、变压器巡检与无功补偿四部分组成,配电自动化系统如图 1-1 所示。

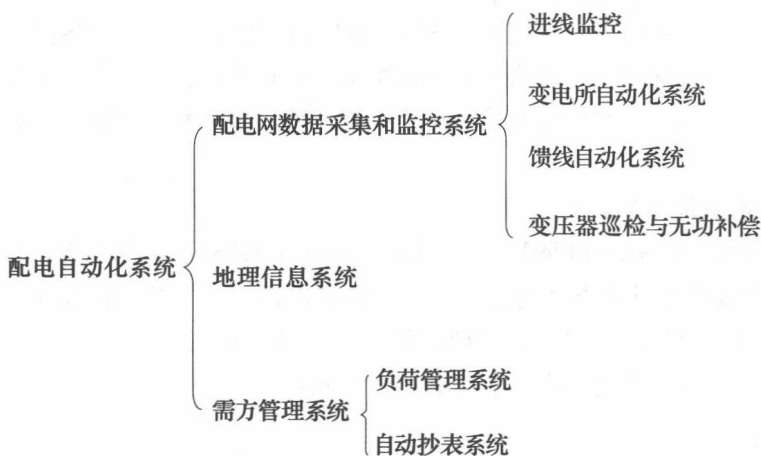


图 1-1 配电自动化系统结构

1. 数据采集和监控系统

数据采集和监控系统简称 SCADA 系统,调度值班人员通过该系统,对配电网进行

监视、控制与协调，因此，又将其称为配电网调度自动化系统；同时，它还是实现各种配电网运行自动化高级应用功能的基本平台。

(1) 变电所自动化系统 (Substation Automation, SA)。变电所自动化系统完成变电所保护、监控及远动功能。SA 系统的继电保护及重合闸、备用电源自投、低周低压减载等自动控制功能实际上是不依赖于上级主站独立运行的；它与 DMS/SCADA 系统的联系，体现在为 SCADA 系统提供变电所实时运行信息，并接受远程控制调节命令上。经过多年的发展，变电所自动化技术已比较成熟，形成了一个相对独立的技术领域。

(2) 馈线自动化系统。馈线自动化系统以 SCADA 监控功能为基础，完成中压电网的自动故障定位、隔离及恢复供电功能。

(3) 变压器巡检与无功补偿。变压器巡检是指对配电网中的箱式变压器、变电台区的参数进行监测，控制无功补偿电容器的自动投切，从而提高供电质量，降低线损。

(4) 进线监控。进线监控可以实现对配电网进线变电站的开关状态，包括母线电压、电流，有功功率、无功功率及电度量的实时监测。

2. 需方管理系统

需方管理系统是电力的供需双方共同对用电市场进行管理，以达到提高供电可靠性、减少能源消耗，降低供电成本的目的，需方管理系统包括负荷管理系统和自动抄表系统。

(1) 负荷管理系统 (Load Management, LM)。负荷管理系统简称 LM 系统，主要是在 SCADA 监控功能基础上，完成负荷管理功能。

(2) 自动抄表系统 (Automatic Meter Reading, AMR)。自动抄表系统简称 AMR 系统，主要完成远方读表及计费管理功能。SCADA 系统可以从 AMR 系统获取用户负荷运行状态数据。在我国，地级城市供电公司的地区调度中心（简称地调）负责 35kV 及以上高压配电网的统一调度管理，而中、低压配电网的运行管理由供电公司下属的各个区级供电部门负责。根据这一管理体制，电网调度自动化系统也分为两级建设。地区调度自动化系统接入所辖 35kV 以上的高压变电所的信息，监控范围是包括 220kV 变电所在内的整个高压配电网；区级调度自动化系统，负责中、低压配电网的监控。以上两级调度自动化系统的基础都是数据采集与监控子系统，分别称为地调 SCADA 系统与配调 SCADA 系统。

3. 地理信息系统

地理信息系统 (Geographic Information System, GIS)，简称 GIS，是对一个地理区域上的配电设备及其生产技术进行管理。GIS 可以作为一个独立的系统运行，完成一些离线的配电网管理功能（如设备管理功能），也可以与 SCADA 系统交换数据，实现更为完善的配电管理自动化功能（如停电管理功能）。

1.3 馈线自动化概述

1. 馈线自动化的意义

在配电网自动化中，馈线自动化是配电网自动化的主要环节，是实现配电网自动化

的重要保证。它对于配电网自动化系统的安全可靠及稳定运行有着最为直接的影响和作用,也是进行配电网安全可靠供电的最直接与最有效的方法。配电网馈线自动化实现的过程,主要就是通过使用计算机信息技术及现代通信、电子技术等现代化先进技术手段,帮助配电网自动化系统的主站或者是由馈线自动化系统,独立地进行配电网运行故障检测、定位及隔离、重构等工作。目前,在我国电力系统的配电网自动化系统中,主要是通过使用馈线测控终端进行配电网开关及重合器、配电网环网柜等配电网系统一次设备,实现配电网系统运行数据及信息的采集与控制,因此,在实现配电网馈线自动化过程中,馈线测控终端及通信、配电一次设备等问题是实现馈线自动化的关键环节,其对于馈线自动化的实现有着非常重要的影响和作用。馈线自动化是电力系统发展的必然趋势,实现馈线自动化的意义在于:①电网正常运行时,通过监视配网运行工况,优化配网运行方式;②当配网发生故障或异常运行时,能迅速查出故障区段及异常情况,快速隔离故障区段,即时恢复非故障区域用户的供电,缩短用户的停电时间,减少停电面积;③合理控制无功负荷和电压水平,改善供电质量,达到经济运行的目的;④合理控制用电负荷,提高设备利用率,实现节能降耗。

2. 馈线自动化的主要功能

在配电网自动化系统中,馈线自动化不仅可以实现对配电网馈线运行状态的监测控制,而且还可以实现对馈线运行过程中的故障问题进行检测、定位及隔离处理等,实现馈线负荷运行的重新优化配置,保证配电网系统的安全可靠供电运行。此外,在电力系统运行过程中,配电网自动化中的馈线自动化系统与功能,还可以在配电网馈线超负荷运行的状态下,进行系统切换操作控制,并且实现对系统调度操作的正常计划布置,通过馈线开关实现远方控制操作,并对于操作控制进行统计和记录实现。总的来说,馈线自动化主要实现以下功能。

(1) 配电网的数据采集与监控。在配电网处于正常状态或者故障状态下,采用“四遥”(遥测、遥信、遥控、遥调)等方式,通过通信网络,可迅速获得现场的模拟量数据(遥测)、开关量数据(遥信),并根据运行工况,向现场设备发出投入、切除(遥控)命令,对线路的电能量数据属性(电压、电流、有功、无功、功率因素等)进行适当的调节(遥调),从而实现对线路的监控与管理。

(2) 故障的自动隔离与供电可靠恢复。该功能是配电网自动化最重要的功能,也是配电网安全、高效、可靠运行的重要保证。当线路发生瞬时故障时,馈线自动化系统能够准确判别此故障性质,保证线路正常供电。当线路出现永久故障时,能够迅速识别,并加以定位,从而有效地隔离故障线路,恢复线路正常供电。本书的第4章和第5章,主要讨论的就是永久性故障定位与隔离的理论算法与实现方法,并以实际案例加以说明。

(3) 无功补偿控制。配电网在正常运行时,往往会受到外界的影响,电网的运行参数发生波动。为了进一步保证配电网的运行质量,馈线自动化系统可以通过无功补偿和调压的方法提供配电网供电质量,这对于配电网长期可靠运行具有重大意义。

综上所述,我们可以发现,馈线自动化系统在配电网自动化系统中所承担的功能是

非常重要的，实现馈线自动化是配电网自动化关键的一环，也是配电网安全、可靠、高质量运行的重要保证。

1.4 国内外馈线自动化发展现状

1.4.1 国外发展现状

国外馈线自动化的研究起步较早，最早起始于 20 世纪 70 年代，欧美等国家和地区开展配电监控终端的早期目标是缩短馈线停电时间。到 20 世纪 90 年代，美国的配电网自动化技术已达到相当高的水平。其中，最典型的例子就是美国纽约长岛照明公司于 1993 年投运的配电网自动化系统，系统涉及 750 条馈线，100 多万用户，该系统的使用使受主线路故障影响的用户减少 25%，即总计约 24 万用户可实现在 1min 内完成故障区间隔离和非故障区间的自动化恢复送电，该系统代表着当时这一领域的国际最高水平。相对于美国、英国等发达国家，日本配电网自动化的发展途径有所不同。日本的具体方案是在配电线路上安装柱上开关与重合器、分段器及变电站馈线开关的保护相互配合，相辅相成。其中，柱上开关具有判别故障及按时限顺序合闸功能。而欧洲配电网自动化系统的实施进程则不如美国、日本那么快，如意大利国家电力公司在 20 世纪 80 年代初才研究自动控制变电站设备，到 80 年代末才开始研究基于电网数据传输的配电网自动化系统的工业性开发。

馈线自动化发展大致分为三个阶段，见表 1-1。

表 1-1 馈线自动化的三个阶段

	第一阶段	第二阶段	第三阶段
主要特征	基于自动化开关设备相互配合	基于 FTU 和通信网络	高级应用
主要功能	故障隔离和健全区域恢复供电	远方监控	配电管理系统和人工智能
主要设备	重合器、分段器	FTU、通信网络、配电自动化计算机系统	FTU、通信网络、配电自动化计算机系统、高级应用软件

注 FTU 为馈线终端单元 (Feeder Terminal Unit)。

第一阶段约在 20 世纪 70 年代，该阶段是基于自动化开关设备相互配合的配电网馈线自动化阶段，其主要设备为重合器和分段器，不需要建设通信网络和计算机系统，其主要功能是在故障时通过自动化开关设备相互配合实现故障隔离和健全区域恢复供电。

第二阶段约在 20 世纪 80 年代初期，配电网馈线自动化大量投入，负荷控制开始发展。该阶段是基于通信网络、FTU 和后台计算机网络的配电网馈线自动化系统，它在配电网正常运行时，也能起到监视配电网运行状况和遥控改变运行方式的作用，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。

第三阶段约在 20 世纪 80 年代后期，由于微机和各种通信技术的发展，分布式实时网络的出现，使配电网综合自动化成为可能。该阶段是在第二阶段的配电网馈线自动化系统的基础上增加了闭环控制功能，由计算机自动完成故障处理等功能。该阶段的另一

个特征是形成了集配电网 SCADA 系统、配电地理信息系统、需方管理、调度员仿真调度、故障呼叫服务系统和工作票一体化管理的综合自动化系统。

自进入 21 世纪以来,为了解决能源安全与环保问题、应对气候变化,确保电力供应的安全性和可靠性、增强电力企业的竞争力,世界上很多国家和地区相继开展了智能电网的相关研究,其中最具代表性的是美国与欧洲。近年来,美国的电力企业和研究机构在智能电网领域开展了一系列研究与实践。美国科罗拉多州的博尔德市,从 2008 年开始建设全美国第一个“智能电网”城市,其主要技术路线包含构建配电网实时高速双向通信网络;建设具备远程监控、实时数据采集通信及优化性能的“智能”变电站;安装可编程家居控制装置和自动控制家居功能的管理系统;整合基础设施,支持小型风电和太阳能发电、混合动力汽车、电池系统等分布式能源和储能设施的建设。欧洲智能电网更加关注可再生能源接入和分布式发电,其建设智能电网的重点是提高运营效率,降低电力价格,加强与用户互动,同时重视环境保护,关注可再生能源的接入及对生态环境的影响。

从以上分析的国外配电自动化的研究现状可以看出,国外配电网自动化的实现,大致是先实现馈线自动化,然后建立通信信道和配电自动化主站系统,再完善各项的功能,向着以坚强、自愈、兼容、经济、集成和优化等为主要特征的智能电网方向发展。

1.4.2 国内发展现状

我国配电网自动化工作开始于 20 世纪 80 年代,标志是石家庄市和南通市各自引进了一套日本户上制作赠送的配电网自动化环路设备,该设备可完成故障隔离功能。配电网自动化开展于 20 世纪 90 年代,其标志是陆续在一些省会城市建设局部范围的配电网自动化试点。其主要功能包括馈线自动化、开闭所自动化、配电地理信息系统、故障报修等,并实现了各个子系统之间的信息实时共享、功能相互共享的一体化综合化的配电网自动化系统。

我国的配电网架构相对其他国家比较薄弱,普遍采用辐射状配电网架构,馈线分段数较少并且分段不够合理。尽管有较多配电网具备了“手拉手”的联络线,但是馈线的备用容量和供电能力不足,线路设备的功能分散且可靠性较差,配电节能降损潜力巨大,同时存在多点分散通信瓶颈。随着社会经济的高速发展和综合国力的不断增强,我国电力行业紧密跟踪欧美等发达国家和地区电网向智能化发展的趋势,着力技术创新,重视研究与实践,在智能电网的发展模式、理念和基础理论、技术体系及智能设备等方面开展了大量卓有成效的研究和探索。结合我国发展低碳经济的新形势、新挑战,针对智能电网建设的重点领域,智能电网的研究与实践日益得到政府高度重视和全社会的关注。2010 年的政府工作报告明确提出要“加强智能电网建设”,由此可以说明,建设智能电网在我国已形成共识。

通过建设坚强智能电网,提高电网大范围优化配置资源能力,实现电力远距离、大规模输送,满足经济快速发展对电力的需求;同时为了弥补我国发电能源分布和经济发展不平衡的基本国情,我国有必要对可再生能源进行集约型开发,实现远距离、大规模

的运输和高效利用,从而改善我国的能源结构,提高能源的利用率。除此之外,我国还可以实现将各种集中式、分布式电源、用电设施和储能装置等进行标准化并网接入,采用智能化手段控制电网的运行情况,通过采取这些措施来提高我国电力系统的资产运营效益和有限的能源利用率。

1.4.3 未来发展趋势

自愈是智能配电网的重要特征,也是其建成的重要标志,更是目前配电网的未来发展趋势。配电网自愈是指配电网的自我预防和自我恢复的能力,这种能力来源于对电网重要参数的监测和有效的控制策略。其中,自我预防是通过系统正常运行时对电网进行实时评价和持续优化来完成的,而自我恢复是电网经受到扰动或发生故障时,系统自动进行故障检测、隔离并恢复供电来实现的。

配电网自愈控制(Self-healing Control, SHC)是指通过共享和调用一切可用的电网资源,实时预测配电网存在的各种安全隐患和即将发生的扰动事件,采取配电网在正常运行下的优化控制策略和非正常情况下的预防校正、紧急恢复和检修维护等控制策略,使得配电网尽快从非正常运行状态转化为正常运行状态,应对电网可能发生的各种事件及事件组合,防止或遏制电力供应的重大干扰,以减少配电网运行时的人为干预,降低配电网经受扰动或故障时对电网和用户的影响。配电网自愈控制有着十分重要的意义,它不仅是应对不断增长的负荷需求和分布式电源接入问题的有效解决方案,同时还是预防和避免大停电事故发生的有效控制手段。

1. 配电网自愈控制的功能

配电网自愈控制的基本原则是不间断供电。首先要通过配电网运行优化和预防校正控制来避免事故的发生;若事故已经发生,则要通过紧急恢复控制和检修维护控制,使得故障损失最小化。如果停电事故导致了电网瘫痪,就意味着自愈控制的失败。

智能配电网自愈控制应具有以下功能。

(1) 正常运行时,有选择性、有目的地进行优化控制,改善电网运行性能,提高电网稳定裕度和抵御扰动的能力。

(2) 把预防控制作为主要控制手段,及时发现、诊断和消除故障隐患。

(3) 具有故障情况下维持系统连续运行的能力,不造成系统运行损失,并且通过自愈修复功能,从故障中恢复。

2. 配电网自愈控制的体系架构

自愈控制体系结构包括了配电网的一次系统和二次系统,涉及多个领域,规模十分庞大,具有海量数据。因此,需要将调度系统、继电保护、测量控制装置和通信网络等相关内容有序组织,形成一个有机的整体,各部分之间协调工作,才能促使城市电网始终向着优于当前运行状态的新状态转移,具备自愈力以保持健康状态。为了支持配电网自愈,相应的硬件体系要求比较完善。

(1) 数据采集子系统。下游系统就是数据采集子系统,数据采集装置包括传感器、PMU(同步相量测量装置,Phasor Measurement Unit)、电气测量装备和线路运行状态

监测设备等，在线采集得到一手数据，通过数据采集服务器送到主交换机，送达自愈控制系统。

(2) 配电网自愈控制系统。硬件体系架构最重要的部分是自愈控制系统。这是整个自愈能够正常工作的核心组成部分，包括 SCADA 服务器、自愈控制服务器和数据库服务器三个部分，对采集来的信息进行处理，全面准确地进行分析。配电网自愈控制系统主要涉及两个关键环节：预防性自愈控制分析和校正性自愈控制分析。

(3) 人工控制操作站。自愈控制系统分析得到的结果再通过主交换机送到调度员工作站、自愈控制工作站和大屏幕控制器，给人工调度相应的数据和反馈。人工控制操作站可以在人为的干预下进行操作和分析，对特殊情况给予及时的支持和援助。

(4) 通信子系统。自愈控制系统分析的结果通过通信子系统送到网络应用服务器，送给保护执行装置、控制装置或送达外网和其他电网进行交流。配电网需要借助有效的通信手段将控制中心的控制命令准确地传送到远方终端单元，同时将远方设备的运营状况的数据信息收集到控制中心。

(5) 维护开发子系统。通过维护开发子系统，维护开发服务器进行维护开发、更新升级和保持自愈控制系统的可靠工作。通过系统维护开发工作站，给自愈控制系统增添或剔除冗余、失效的部分。

自愈控制是智能配电网的关键技术，是随着配电网的信息、通信等各项技术不断完善和发展而发展的技术。智能配电网最突出的特点就是主动自愈控制，而未来智能配电网发展的最高目标是无缝自愈控制。本书对智能配电网自愈控制技术的特点和类型进行了理论研究，分析了如何运用各种先进的支撑技术实现具有准确率高、自适应强、经济性好、安全可靠和智能化程度高等的智能配电网自愈控制技术。应用智能配电网自愈控制技术将使电网的供电可靠性明显提高，停电时间显著减少。

1.5 馈线自动化实现条件及方式

1.5.1 馈线自动化的实现原则及技术难点

1. 实现原则

配电网自动化规划应遵循以下原则。

(1) 配电网自动化规划应该与配电网架及配电设备规划相结合，配电设备需要具备自动化的条件。

(2) 配电网自动化建设必须始终以提高供电可靠性为主要目标，切忌盲目求全，主站建设以实现 SCADA、馈线自动化为核心，根据实际情况适当建设高级应用功能。

(3) 不应片面追求全面实现“三遥”，对于不具备“三遥”条件的区域可以先行建设“一遥”或“二遥”系统。

(4) 通信网络建设宜采用主干通信网络和分支通信网络相结合的原则，避免单个主干网络过于庞大，应以某个变电站或大型开闭所（配电室）供电半径范围为界限，便于

维护与管理。

(5) 系统建设预留标准接口, 便于条件成熟时与相关自动化系统集成, 综合利用、共享信息, 避免自动化“孤岛”现象。

2. 技术难点

配电网一次设备、配电终端和配电主站制造水平的不断提高, 为配电网自动化的建设奠定了良好的设备基础。配电网分析与优化理论的研究为配电网自动化的建设奠定了良好的理论基础。随着城乡配电网的建设与改造的推进, 配电网网架结构逐步趋于合理, 这为进一步发挥配电网自动化系统的作用提供了条件。但目前配电网自动化系统建设还存在很多难点: ①测控对象多; ②终端设备工作环境恶劣、可靠性要求高; ③通信系统复杂; ④工作电源和操作电源获取困难; ⑤我国目前配电网现状落后。

1.5.2 馈线自动化实现方式

馈线自动化的实现方式有以下两种。

(1) 就地分布式。依靠智能配电开关设备(重合器和分段器等)间的相互配合来实现故障区域自动隔离和健全区域自动恢复供电的功能。

(2) 远方控制方式。通过通信网络及配电子站把户外分段开关处的柱上 FTU 和配电网控制中心的 SCADA 计算机系统连接起来, 由计算机系统完成故障定位, 然后以遥控方式隔离故障区域, 恢复非故障区域供电。

以分布式为主、集中式为辅, 两者相结合是当前馈线自动化的主流。

1. 就地分布式的馈线自动化

(1) 重合器。重合器是一种自身具有控制及保护功能的开关设备, 能进行故障电流检测和按预先整定的分合操作次数自动完成分合操作, 并在动作后能自动复位或闭锁。重合器的功能: 当线路发生故障后, 重合器通过检测确认为故障电流时将自动跳闸, 并按预先整定的动作顺序及时间间隔进行若干次合、分循环操作。重合器的时间-电流特性曲线 TCC 指重合器的开断时间与开断电流之间的关系曲线。

(2) 分段器。分段器是一种与电源侧前级开关(重合器或断路器)配合, 在失压或无流的情况下自动分闸的开关设备。分段器与重合器的主要区别是不能开断短路电流, 但是能在线路短路时承受短路电流的力效应和热效应。分段器的关键部件是故障检测继电器, 根据判断故障方式的不同, 分段器可分为过流脉冲计数型分段器和电压-时间型分段器两类。

2. 远方控制式的馈线自动化

远方控制式的馈线自动化系统建立在计算机监控系统和通信网络的基础上, 其所需用的主要设备是具有数据采集和通信能力的馈线终端单元 (FTU), 其功能如下。

(1) 在正常情况下, 远方实时监视馈线开关的状态和馈线电流、电压情况, 实现线路开关的远方合闸和分闸操作。

(2) 在负荷不均匀时, 通过负荷均衡化达到优化运行方式的目的。

(3) 在故障时获取故障记录, 并自动判别和隔离馈线故障区段及恢复对非故障区段

的供电。

随着计算机软硬件技术的发展,将会有越来越多的自动化技术应用于配电网中,配电网自动化技术会逐步成熟,为配电网安全高效的运行提供技术保证。随着电力市场的实行,供电企业对配电网运行的安全性和经济性要求越来越高,配电网自动化是解决这一需求的必由之路。我们相信配电网自动化建设必将为我国的配电网发展做出巨大贡献。