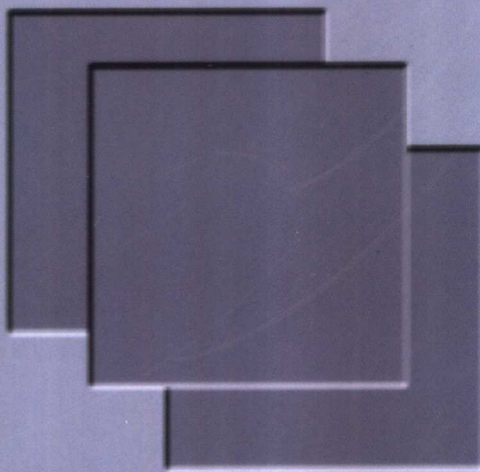




全国高职高专电气类精品规划教材

# 配电网及其自动化

主编 杨武盖 路文梅 郑志萍



中国水利水电出版社  
[www.waterpub.com.cn](http://www.waterpub.com.cn)

全国高职高专电气类精品规划教材

---

# 配电网及其自动化

主编 杨武盖 路文梅 郑志萍



中国水利水电出版社  
[www.waterpub.com.cn](http://www.waterpub.com.cn)

## 内 容 提 要

本教材系统介绍了配电网自动化所包括的各方面知识。主要内容包括：配电网自动化概述；配电自动化的通信方式；配电自动化元件和设备；配电网故障线路的自动隔离及恢复系统；开闭所和变电站自动化；配电网数据采集与监控系统；配电地理信息系统；配电网负荷控制和远方自动抄表技术；配电网管理自动化系统。

本教材可作为电力系统及其自动化专业、供用电专业及其他相关专业的高年级学生的专业课教材，也可供相关岗位的工程技术人员阅读。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

配电网及其自动化/杨武盖, 路文梅, 郑志萍主编.

北京: 中国水利水电出版社, 2004.8

全国高职高专电气类精品规划教材

ISBN 7-5084-2219-8

I. 配... II. ①杨...②路...③郑... III. 配电系  
统一自动化技术—高等学校: 技术学校—教材

IV. TM727

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 064237 号

书 名	全国高职高专电气类精品规划教材 <b>配电网及其自动化</b>
作 者	主编 杨武盖 路文梅 郑志萍
出版 发行	中国水利水电出版社 (北京市三里河路 6 号 100044) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 63202266 (总机)、68331835 (营销中心)
经 售	全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京市兴怀印刷厂
规 格	787mm×960mm 16 开本 11.5 印张 225 千字
版 次	2004 年 8 月第 1 版 2004 年 8 月第 1 次印刷
印 数	0001—4100 册
定 价	19.00 元

凡购买我社图书, 如有缺页、倒页、脱页的, 本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

# 序

教育部在《2003-2007年教育振兴行动计划》中提出要实施“职业教育与创新工程”，大力发展职业教育，大量培养高素质的技能型特别是高技能人才，并强调要以就业为导向，转变办学模式，大力推动职业教育。因此，高职高专教育的人才培养模式应体现以培养技术应用能力为主线 and 全面推进素质教育的要求。教材是体现教学内容和教学方法的知识载体，进行教学活动的基本工具；是深化教育教学改革，保障和提高教学质量的重要支柱和基础。因此，教材建设是高职高专教育的一项基础性工程，必须适应高职高专教育改革与发展的需要。

为贯彻这一思想，2003年12月，在福建厦门，中国水利水电出版社组织全国14家高职高专学校共同研讨高职高专教学的目前状况、特色及发展趋势，并决定编写一批符合当前高职高专教学特色的教材，于是就有了《全国高职高专电气类精品规划教材》。

《全国高职高专电气类精品规划教材》是为适应高职高专教育改革与发展的需要，以培养技术应用为主线的技能型特别是高技能人才的系列教材。为了确保教材的编写质量，参与编写人员都是经过院校推荐、编委会答辩并聘任的，有着丰富的教学和实践经验，其中主编都有编写教材的经历。教材较好地反映了当前电气技术的先进水平和最新岗位要求，体现了培养学生的技术应用能力和推进素质教育的要求，具有创新特色。同时，结合教育部两年制高职教育的试点推行，编委会也对各门教材提出了

满足这一发展需要的内容编写要求，可以说，这套教材既能适应三年制高职高专教育的要求，也适应两年制高职高专教育的要求。

《全国高职高专电气类精品规划教材》的出版，是对高职高专教材建设的一次有益探讨，因为时间仓促，教材可能存在一些不妥之处，敬请读者批评指正。

**《全国高职高专电气类精品规划教材》编委会**

2004年8月

# 前

# 言

随着经济的快速发展和人民生活水平的提高,在对电力需求量迅速增大的同时,对供电的质量和可靠性也提出了越来越高的要求。因此,配电网的建设和改造,配电管理手段的更新,自动化技术的引进就成为近年来我国电力建设的重要内容。城乡电网建设和改造的顺利进行,为配电网自动化的实施奠定了网络基础,计算机、网络和通信技术的飞速发展又为配电自动化水平的提高提供了技术的支持。作为电力系统自动化或供用电专业的一名大专生应该对电力系统中的自动化技术有一定的认识和理解,因此,本门课是电力系统及自动化专业的一门重要专业课程。

本教材主要介绍了配电网自动化系统的基本概念及组成。阐述了配电网通信系统、配电变电站自动化系统、馈线自动化、配电 SCADA 系统、负荷控制系统、远方抄表系统、地理信息系统及配电管理系统的基本构成及原理。还重点介绍了配电自动化系统所用到的新元件、新设备,如重合器、分段器、FTU、TTU、区域站等。通过这门课程的学习可以使学生对配电自动化系统有个较深入的了解,为了方便教学,本教材每章后面都附有习题与思考题。

本教材由福建水利电力职业技术学院杨武盖、郑志萍,河北工程技术高等专科学校路文梅三位老师编写。本书在编写过程中还得到福建水利电力职业技术学院电气系高汝武主任和黄庆丰老师的大力支持,并得到了福建省仙游县电力公司薛文先同志的热心帮助,在此向他们表示感谢。

配电网自动化是一项正在发展的新技术,限于编者的学识,书中的错误之处在所难免,敬请读者批评指正。

编者

2004年8月

# 目 录

序

前言

<b>第 1 章 绪论</b> .....	1
1.1 配电网简介 .....	1
1.2 配电网自动化概述 .....	6
1.3 配电网自动化的发展 .....	11
习题与思考题 .....	14
<b>第 2 章 配电自动化的通信系统</b> .....	15
2.1 配电自动化通信系统的层次 .....	15
2.2 配电网自动化对通信系统的要求 .....	17
2.3 通信系统的组成和分类 .....	18
2.4 配电网自动化的多种通信方式 .....	20
2.5 配电网自动化系统通信方案 .....	34
习题与思考题 .....	36
<b>第 3 章 变电站自动化系统</b> .....	38
3.1 远动终端的发展 .....	38
3.2 RTU 的主要功能和结构 .....	39
3.3 RTU 的各输入输出通道 (模块) .....	43
3.4 RTU 的数据处理 .....	50
3.5 配电变电站中 RTU 需考虑的问题 .....	52
3.6 变电站综合自动化系统 .....	53
习题与思考题 .....	58
<b>第 4 章 配电网馈线自动化设备</b> .....	59
4.1 负荷开关和高压熔断器 .....	59
4.2 重合器 .....	61

4.3	分段器	75
4.4	配电网自动化系统远方终端单元	79
	习题与思考题	94
<b>第 5 章</b>	<b>馈线自动化的实现</b>	<b>96</b>
5.1	当地控制方式的馈线自动化	96
5.2	远方控制方式的馈线自动化	106
5.3	两种馈线自动化方式的评价及拓展	108
	习题与思考题	110
<b>第 6 章</b>	<b>配电 SCADA 系统</b>	<b>111</b>
6.1	概述	111
6.2	配电 SCADA 系统的基本组织模式	113
6.3	配电 SCADA 系统的平台	118
	习题与思考题	127
<b>第 7 章</b>	<b>配电网负荷控制和管理</b>	<b>128</b>
7.1	负荷控制和管理意义	128
7.2	负荷控制的方法	129
7.3	负荷集中控制的信号传输技术	130
	习题与思考题	141
<b>第 8 章</b>	<b>远程抄表与自动计费系统</b>	<b>142</b>
8.1	抄表技术概述	142
8.2	远程自动抄表技术	144
	习题与思考题	154
<b>第 9 章</b>	<b>配电地理信息系统</b>	<b>156</b>
9.1	地理信息系统	156
9.2	配电地理信息系统	158
9.3	配电地理信息系统与配电 SCADA 系统的集成	162
	习题与思考题	163
<b>第 10 章</b>	<b>配电管理系统</b>	<b>164</b>
10.1	配电管理系统体系结构	164



10.2 配电生产管理系统 .....	167
10.3 客户关系管理系统 .....	171
习题与思考题 .....	173
<b>参考文献</b> .....	<b>174</b>

## 绪 论

**【教学要求】** 掌握配电网的概念、特点及接线方式，理解配网自动化及其相关概念和术语，熟悉配电网自动化所包含的内容，理解实施配网自动化的目的和意义，了解配网自动化的发展情况。

### 1.1 配电网网络简介

#### 1.1.1 配电网定义及特点

在现代电力系统中，大型的发电厂往往远离负荷中心，发电厂发出的电能，一般要通过高压或超高压输电网络送到负荷中心，然后在负荷中心由电压等级较低的网络把电能分配到不同电压等级的用户。这种在电力网中与输电网络和用户相连，主要起分配电能作用的网络就称为配电网。从广义上讲，110kV 及以下线路和设备构成的电力网均可称为配电网。

在我国按电压等级来分，配电系统可分为高压配电网（35~110kV）、中压配电网（6~10kV）和低压配电网（220~380V），如图 1-1 虚线框内所示，虚线框外部为发电厂及输电网络。本书将讨论的主要是指 10kV 及以下的中低压配电系统及其自动化。

配电网按供电区的功能来分，又可分为城市配电网、农村配电网、工厂配电网等。不同的供电区配电网的特点也就不尽相同，总体来说配电网的特点一般有：深入城市中心和居民密集点；传输功率和距离相对输电网来说一般不大；供电容量、用户性质、供电质量和可靠性要求千差万别，各不相同。因此，在实施配电自动化的过程中要了解负荷的性质、负荷的数量以保证各负荷不同的供电可靠性；在结构上，配电网最大的特点是作为电力网的末端而直接和用户相连，配电网结构的合理与否、



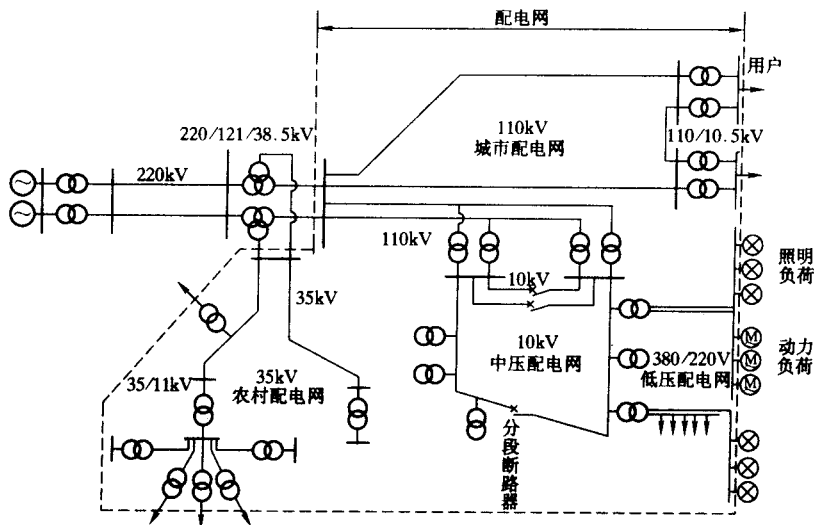


图 1-1 输电网与配电网示意图

自动化水平的高低直接影响到用户的用电质量和可靠性。

我国配电网的另一重要特点是中性点不接地，在发生单相接地时仍允许供电一段时间。因此，我国在实施配电网自动化的过程中不能直接引进国外设备，而必须结合我国的实际情况逐步加以改进。

### 1.1.2 我国配电网建设情况

受计划经济体制的影响，我国的电力工业过去长期以来存在重发、轻供、不管用的情况，我国与发达国家相比较，对发电、输电、配电投资的比例见表 1-1 所示，

表 1-1 1995 年各国发电、  
输电、配电投资比例表

国别	发电投资:输电投资:配电投资
美国	1.00:0.43:0.70
英国	1.00:0.45:0.78
日本	1.00:0.47:0.68
法国	1.00:0.67:1.60
中国	1.00:0.23:0.20

发达国家都是电网（包括输电与配电）投资大于电源投资，且配电网投资又明显大于输电网投资；我国刚好相反，电网投资不到电源投资的一半，且配电网投资又小于输电网投资。这种投资比例不合理的后果，使配电网的建设和技术发展受到限制，特别是中低压配电网在建设方面存在无序和不合理等问题，并且供电可靠性差、设备落后、自动化水平低。



对此,我国国家电力公司从1998年起对我国城乡电网开始进行大规模的建设与改造,投入了2800亿资金,主要建设、改造了从低压380V到高压110kV(部分220kV)的配电网。不仅在设备上进行了大量的技术改造和更新,选用了新型的配电设备,例如真空、六氟化硫型开关设备、调度自动化设备、自动控制测量装置等(将在后面的章节中对一些新型设备进行介绍)。在城市配电线路绝缘化率方面也有了很大的提高,已达到60%以上。以往在城市配电网中,10kV馈线自变电站或配电站引出后是采用裸导线(钢芯铝绞线)沿城市街道架空架设,再引至柱上变压器降至0.4kV向千家万户供电,现在则采用绝缘导线来代替裸导线,以提高运行的可靠性和安全性;架空杆型以往多数为木质电杆,现在则以预制钢筋混凝土杆为主;在一些发达城市,如北京、天津、上海等城市市区还将大部分架空线改为电缆转入地下,入地率已达50%~70%。到2000年度城市高压配电网整体供电能力增长了40%~50%,中低压配电网的供电能力增长了25%。

### 1.1.3 配电网接线方式

配电网的接线是由高、中、低压配电路和联系它们的变、配电所组成的。不管是农村配电网还是城市配电网,其接线方式根据供电可靠性的要求基本上可分为有备用和无备用两大类型。无备用的接线方式,当任一回线故障就会使该回线用户停电。有备用的接线方式,符合 $N-1$ 原则的可靠性要求,一回线故障不会造成对用户停电。实际网络接线按体系结构可归纳为树状、放射形接线和环网接线两种基本接线方式及它们的改进,如“手拉手”供电接线和双回路T接线。图1-2为各种接线示意图。

现代大、中城市的配电网,大部分从220kV及以上电网取得电源,再以110kV及以上线路伸入市区,在负荷密集、用电量很大的一些市区,已改用220kV线路伸入市区的供电方式。这部分电网,也就是我们所说的高压配电网,由于可靠性要求很高,一般采用的接线方式为建于城市外围的架空线双环网。而建于市区负荷中心的降压变电站再将高压降为10kV或0.4kV电压后向用户供电,这部分电网一般由10kV线路、配电所、开闭所、箱式配电所、柱上变压器等组成,也就是我们所重点要讨论的中压配电网,它主要是分布面广的公用电网。目前在国内外城市配电网10kV供电中压网络实际接线方式除上述几种接线方式外,还有环形接线,其典型接线见图1-3所示。

环形接线的线路可采用电缆线路,也可采用架空线路。如各市的新工业开发区、新住宅小区都趋向于采用敷设在电缆沟内的10kV电缆向环网柜或箱变供电,即采用由环网柜构成的环形接线方式,见图1-3(b);而市区的中压架空配电网一般为沿



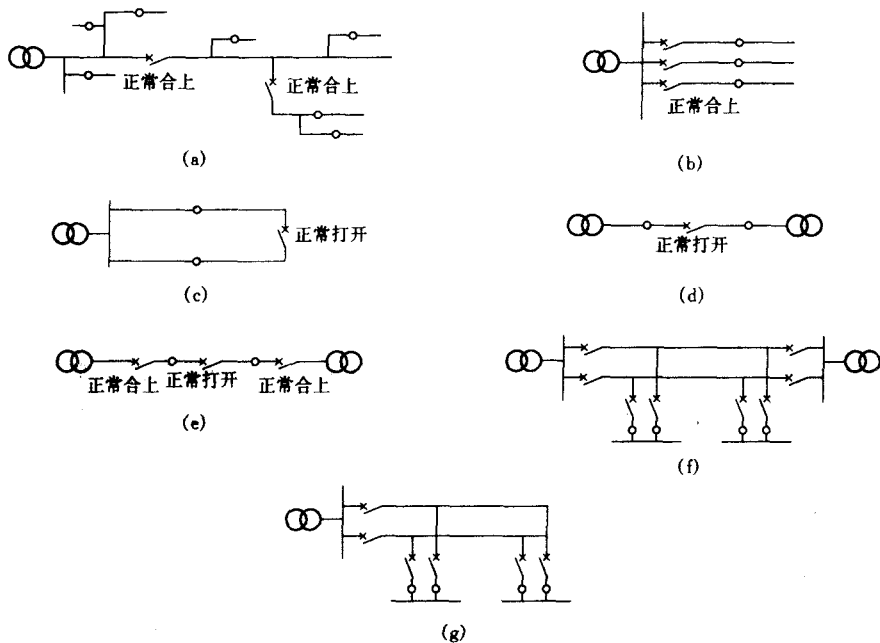


图 1-2 国内城市配电网中 10kV 中压网络接线方式

⊙—变电站；○—各降压变电单元

- (a) 树状网络；(b) 放射形网络；(c) 同一变电站二馈线“手拉手”；  
 (d) 不同变电站二馈线“手拉手”；(e) 二馈线“手拉手”加分段开关；  
 (f) 双回路 T 接线（双电源）；(g) 双回路 T 接线（单电源）

道路架设的环形布局网络，在道路交叉口连接，全网在适当地点用杆架开关分断，形成多区段、多连接的开环运行网络，见图 1-3 (a)。图中每条架空线分段是为了故障或检修时，不会造成全线停电。若配置自动化装置，可立即自动操作，隔离故障段，对非故障段恢复供电。

对于低压配电网，由于低压负荷分散，进户点多，多以架空线为主，并与中压线路合杆架设。城区的低压供电，需要时可采用电缆，其接线如下：①设置若干配电所（或箱式变电所）；②自配电所低压侧以大截面电缆将电源引入低压开关箱和接户线分支箱，再分别接至负荷点，按需要组成有备用的接线。图 1-4 为一放射式低压配电网示意图。

当前我国的城网和农网中几种可优先采用的接线方式比较如下：

(1) 树状和放射形接线。此类接线简单、实用、投资低、建设周期短。缺点是供电可靠性低，当线路或开关故障时，将使整条线路停电。树状网络适用于城市中一般

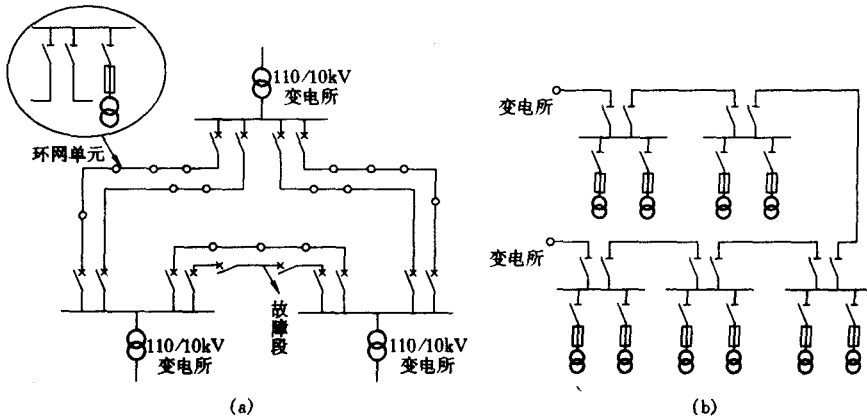


图 1-3 典型接线图

(a) 架空双环网接线示意图；(b) 环网柜接线示意图

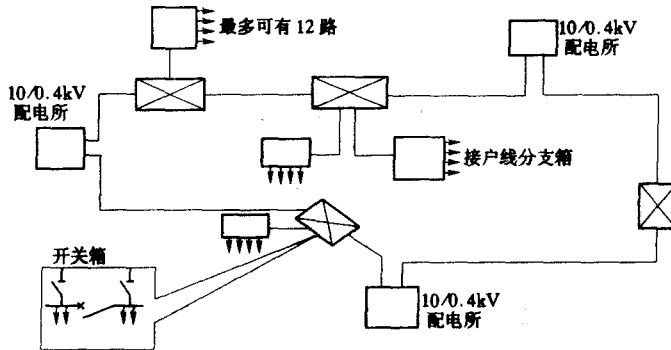


图 1-4 放射式低压配电网示意图

负荷的供电和农村用户的供电。为减少事故和检修时的停电范围，可在主干线路上装分段开关将主干线路分段，或在个别分支线装分支开关，这样当分支线故障和检修时不会影响主干线和其他分支线。对放射形接线，当线路发生故障或者需要检修时，该线路所带负荷将中断。因此只适用于城市一般用户的供电，可以采用双回路供电来提高供电可靠性。

(2) “手拉手”供电接线。“手拉手”供电方式是近几年我国供电网广泛采用的一种供电方式，实际上是将以往的放射形接线改造成双电源供电，中间以联络开关将两段线路连接起来。如图 1-2 (c) ~ 图 1-2 (e) 所示。在正常运行时联络开关打开，以减少短路电流和可能出现的环流等，当线路失去一端电源时，可以合上联络开关，



从另一端电源对失去电源线路上的柱上变压器和高压用户供电。

(3) 双回路 T 接线。双回路 T 接线有两种方式,一种是单电源双回路 T 接,如图 1-2 (f) 所示;另一种是双电源双回路 T 接,如图 1-2 (g) 所示。双回路 T 接线实际上是对树状和放射形接线的一种改进,为了改善树状和放射状接线的供电可靠性,利用中压 10kV 线路有同杆架设双回路的可能性而采取双回路 T 接,对任一 T 接的配电站来讲,即使是单电源,由于有双回路供电亦可视为双电源。当是双电源时,则供电可靠性又有进一步改善,同时运行方式亦可根据需要而灵活多变。但是为了在线路故障或一侧电源失去时,仍能保证用户供电,应考虑在正常运行时,线路和配电变压器均留有足够的备用容量并在变电站或配电站设置备用电源自动投切装置。

(4) 环形接线。环形接线方式在国外城网中早已应用,每一街区沿街道敷设中压电缆接入每一幢沿街道建筑物的地下环网柜,正常时开环运行,一侧电源或电缆线路故障时自动切换。整个城网按街区形成一个个小环网。满足同样的供电可靠率,环形供电比双回路供电在经济上有较大的优势。

(5) 国外其他的一些接线方式,如网孔形接线、 $4 \times 6$  网络接线等,有些方式具有相当的技术和经济优势,这里不作详述,读者可参考有关书籍。

当然,在一个中压配电网中,并不需要全部采用架空线路或电缆线路。接线也不一定全部采用一种形式,而要结合负荷情况从实际出发。各种接线方式都免不了故障时要停电,只是时间长短、范围大小不一而已,要解决这个问题,尽量提高供电的质量,除了要对配电网的接线方式按照配网自动化实施的技术要求进行合理选择、优化改进外,还必须发展运动装置和智能元件,提高配电网的自动化水平。

## 1.2 配电网自动化概述

### 1.2.1 定义

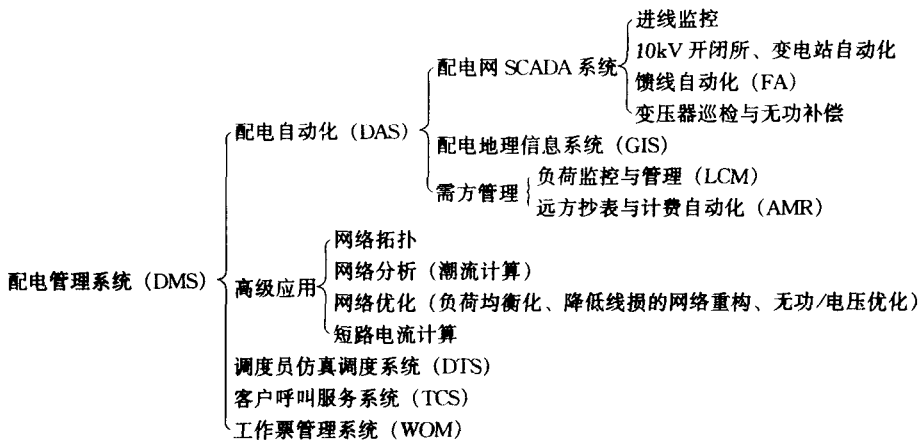
配电网自动化这一术语于 20 世纪 90 年代由美国提出。但由于各国配电网的发展速度、经历不同,因此目前国际上尚无统一的定义,综合各国的情况并参阅有关资料配电网自动化的定义可概括如下:配电网自动化是运用计算机技术、自动控制技术、电子技术、通信技术及新的高性能的配电设备等技术手段,对配电网进行离线与在线的智能化监控管理,使配电网始终处于安全、可靠、优质、经济、高效的最优运行状态。

### 1.2.2 配电网自动化的内容

为了与输电网自动化的能量管理系统 (EMS) 相对应,通常又把上述的这种能



对变电、配电和用电过程进行监视、控制和管理综合配电网自动化系统，称为配电网管理系统（Distribution Management System，简称 DMS）。它所包括的内容有：



### 1. 配电自动化系统

配电自动化系统（Distribution Automation System，简称 DAS）是配电网管理系统中最主要的内容，它是一种可以使配电企业在远方以实时方式监视、协调和操作配电设备的自动化系统。它包括以下几个部分：

(1) 配电 SCADA 系统，即配电网数据采集和监控系统，它采集安装在各个配电设备处的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，它一般包括数据库管理、数据采集、数据处理、远方监控、报警处理、历史数据管理以及报表生成等功能。SCADA 包括配电网进线监控、配电变电站自动化、馈线自动化和配变巡检及低压无功补偿四个部分。其中，配电网进线监控是完成对配电网进线变电所开关位置、保护动作信号、母线电压、线路电流、有功和无功功率以及电度量的监视。馈线自动化（Feeder Automation，简称 FA）是指在正常情况下，远方实时监视馈线分段开关与联络开关的状态和馈线电流、电压情况，并实现线路开关的远方合闸和分闸操作以优化配网的运行方式，从而达到充分发挥现有设备容量的目的；在故障时获取故障信息，并自动判别和隔离馈线故障区段以及恢复对非故障区域供电，从而达到减小停电面积和缩短停电时间的目的；在单相接地等异常情况下，对单相接地区段的查找提供辅助手段。开闭所和配电变电站自动化（Substation Automation，简称 SA）是完成对配网中 10kV 开闭所、小区变的开关位置，保护动作信号、小电流接地选线情况，母线电压，线路电流，有功和无功功率以及电量的远方监视，开关远方控制，变压器远方有载调压等。变压器巡检是指对配电网中箱式变、变台的参数进行远





方监视以及对补偿电容器进行自动投切和远方投切等。

(2) 需方管理 (Demand Side Management, 简称 DSM), 是指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, 减少能源消耗及供需双方的费用支出目的。其内容包括负荷监控和管理以及远方抄表与计费自动化两个方面。其中, 负荷监控和管理 (Load Control Management, 简称 LCM), 是根据用户情况进行综合分析, 确定最优运行和负荷控制计划, 对集中负荷及部分工厂用电负荷进行监视、管理和控制, 通过合理的电价结构引导用户转移负荷, 平坦负荷曲线, 降低运行成本, 实现负荷均衡化。远方抄表与计费自动化 (Automatic Meter Reading, 简称 AMR) 是指通过各种通信手段读取远方用户电表数据, 并将其传送至控制中心, 自动生成电费报表或曲线等, 它还能实现复费率和各项统计功能, 提高营业管理现代化水平。

(3) 地理信息系统 (Geographic Information System, 简称 GIS), 是将配电网设备的地理位置与一些属性数据库 (如用户信息、需方管理上报的实时数据等) 结合, 以便操作和管理人员更加直观地进行配电网的动态分析和运行管理。其内容主要包括: 设备管理、用户信息系统、SCADA 功能及故障信息显示等。其中, 设备管理 (Facilities Management, 简称 FM) 是指将变电站、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, 便于进行设备及其静态信息的查询、统计。用户信息系统 (Customer Information System, 简称 CIS) 是指借助 GIS 系统, 对大量用户信息, 如用户名称、地址、账号、电话、用电量和负荷、供电优先级、停电记录等进行处理, 便于迅速判断故障的影响范围, 而用电量和负荷的统计信息还可作为网络潮流分析的依据。SCADA 功能及故障信息显示, 是指 GIS 通过调用 CIS 和 SCADA 功能迅速查明故障区域, 对网络结构和供电、停电范围进行分析, 选择合理的操作顺序和路径, 并自动显示故障处理过程的进展信息。此外, GIS 还可具有辅助配电网发展规划设计等功能。

## 2. 配电网高级应用软件

配电网高级应用软件 (Distribution Performance Analysis System, 简称 DPAS) 能使调度员有能力对各种运行方式下配电网的运行情况进行分析。其内容包括网络潮流分析、网络拓扑优化 (如负荷均衡化、面向降低线损的网络重构、电压、无功综合优化等), 通过以上手段可以达到降低运行成本、减少线损、改善电压质量等目的。此外, 还包括故障情况下的短路电流计算等。

## 3. 调度员仿真调度系统

调度员仿真调度系统 (Dispatcher Training System, 简称 DTS) 是指通过应用软件对配电网的调度操作进行仿真, 用模拟的操作代替真实的操作, 用潮流计算的结果代替真实的操作结果。利用仿真调度功能, 可以对某些特定的运行状况进行仿真或进