

Morden Distribution Automation Systems

现代配电

自动化系统

刘健 沈兵兵 赵江河
陈勇 徐丙垠 刘东 编著
汪晓岩



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

现代配电自动化系统

刘 健 沈兵兵 赵江河 陈 勇 徐丙垠 刘 东 汪晓岩 编著

内 容 提 要

配电自动化是提高供电可靠性的重要手段，也是智能电网的重要组成部分。本书结合现代科学技术的进步和我国实际情况，对现代配电自动化系统的关键技术进行比较系统的论述，内容包括配电网架和配电设备、配电自动化系统的组成及其功能、配电自动化通信系统、馈线自动化、配电自动化高级应用、配电自动化系统测试技术、智能配电网等。

本书对于指导我国配电自动化建设具有一定的参考价值，适合于从事配电自动化规划设计、研究开发、工程建设、运行维护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

现代配电自动化系统 / 刘健等编著. -- 北京 : 中国水利水电出版社, 2013. 1
ISBN 978-7-5170-0540-7

I. ①现… II. ①刘… III. ①配电自动化—自动化系统 IV. ①TM76

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第008833号

书 名	现代配电自动化系统
作 者	刘健 沈兵兵 赵江河 陈勇 徐丙垠 刘东 汪晓岩 编著
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	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京市北中印刷厂
规 格	184mm×260mm 16开本 12.25印张 290千字
版 次	2013年1月第1版 2013年1月第1次印刷
印 数	0001—5000册
定 价	38.00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

配电网自动化是提高供电可靠性的重要手段，也是智能电网的重要组成部分。在 20 世纪末到 21 世纪初，也曾掀起了一轮配电自动化试点建设的热潮，但是许多早期建设的配电自动化系统主要由于存在技术和管理两方面的原因，没有发挥应有的作用。

经过近十年的探索与实践，目前配电自动化技术已经比较成熟，通信技术取得了革命性进展，电力企业已经制订了配电自动化设计、建设、运行和维护等一系列标准和规范。随着智能电网的建设，配电自动化系统又迎来了新的建设高潮。

笔者长期从事配电网相关研究，曾亲历了上一轮配电自动化试点建设的浮躁，也有幸参加了新一轮配电自动化建设，深刻地感觉到作为科技工作者肩上责任之重大，并且衷心希望配电自动化系统能够健康发展并发挥出应有的作用。

本书结合现代科学技术的进步和我国实际情况，对现代配电自动化系统的关键技术进行了比较系统的论述。主要内容包括配电网架和配电设备、配电自动化系统的组成及其主要功能、配电自动化通信系统、馈线自动化、配电自动化高级应用、配电自动化系统测试技术、智能配电网等。

本书共 8 章。第 1 章、第 2 章的 2.1 节和 2.2 节、第 5 章的 5.1 节和 5.2 节、第 7 章由陕西电力科学研究院刘健总工程师执笔；第 2 章的 2.3 节由珠海许继电气有限公司陈勇高级工程师执笔；第 3 章的 3.1 节、3.2 节、3.4 节和 3.5 节由南瑞科技股份有限公司沈兵兵教授执笔；第 3 章的 3.3 节和第 5 章的 5.3 节由山东科汇电气股份有限公司徐丙垠教授执笔；第 4 章由国网电力科学研究院汪晓岩教授执笔；第 6 章由陕西电力科学研究院刘健总工程师和上海交通大学刘东研究员共同执笔；第 8 章由中国电力科学研究院赵江河教授执笔。

作者感谢国家电网公司科技部、生技部、智能电网部、农电部和各网省公司，以及相关科研单位、高等学校和制造企业对本书相关工作的大力支持和帮助，感谢中国电力科学研究院盛万兴教授、徐石明教授、范明天教授、

苏剑高级工程师、梁英高级工程师，国网电力科学研究院沈浩东教授、顾欣欣教授、吴琳高级工程师，清华大学曾嵘教授、董新洲教授、王宾副研究员、施慎行助理研究员，河海大学陈星莺教授、西安交通大学张保会教授、索南加乐教授、宋国兵教授，华北电力大学张建华教授、黄伟教授，西南交通大学何正友教授等同行学者与作者团队的交流、讨论和无私教诲。书中不妥之处也希望广大读者批评指正。

作者

2012 年秋

目 录

前言

第 1 章 概述	1
1.1 配电自动化的基本概念.....	1
1.2 配电自动化的意义.....	2
1.3 配电自动化与其他系统的关系.....	3
1.4 配电自动化的发展趋势.....	3
第 2 章 配电网架和配电设备	5
2.1 输配电系统.....	5
2.2 典型配电网架.....	7
2.3 典型配电设备.....	13
第 3 章 配电自动化系统的组成及其功能	38
3.1 配电自动化系统的组成.....	38
3.2 配电自动化主站.....	39
3.3 配电自动化终端.....	47
3.4 配电自动化系统与其他相关系统的信息交互和互动化应用.....	64
3.5 配电自动化系统实现形式.....	69
第 4 章 配电自动化通信系统	73
4.1 配电自动化通信技术.....	73
4.2 配电自动化对通信系统的基本要求.....	76
4.3 配电自动化通信系统的性能指标.....	78
4.4 配电自动化通信系统的参考标准.....	82
4.5 配电自动化通信系统的典型实现方式.....	83
4.6 配电自动化通信系统的安全防护.....	88
第 5 章 馈线自动化	91
5.1 自动化开关相互配合的馈线自动化.....	91
5.2 集中智能馈线自动化.....	98
5.3 小电流接地故障定位技术.....	106

第 6 章 配电自动化高级应用	112
6.1 配电网潮流计算	112
6.2 配电网简化建模与分析	123
6.3 配电网短期负荷预测	135
6.4 配电网重构	146
6.5 配电网不良数据辨识与网络结线分析	152
6.6 具有估计功能的模拟量—状态量混合曲线生成器	154
第 7 章 配电自动化系统测试技术	159
7.1 主站注入测试法	159
7.2 二次同步注入测试法	162
7.3 可控 10kV 馈线短路试验测试法	163
7.4 系统测试方法的比较	164
第 8 章 智能配电网	165
8.1 智能配电网的基本特征	165
8.2 从配电自动化到智能配电网的发展历程	172
8.3 智能配电网发展中的关键技术	181
参考文献	186

第 1 章

概述

配电自动化是提高供电可靠性、扩大供电能力、提高供电质量、实现配电网高效经济运行的重要手段。国外的配电自动化技术经历了基于自动化开关设备相互配合的馈线自动化系统（FA），基于通信网络、馈线终端单元和后台计算机网络的配电自动化系统（DAS），以及集成了配电网数据采集和监控（SCADA）、配电网分析应用、基于地理信息系统的停电管理、需求侧负荷管理等功能的配电管理系统（DMS）等 3 个阶段，目前已被广泛应用。

我国自 20 世纪 90 年代后期也开展了配电自动化工作，但由于存在技术和管理两方面的原因，当时建设的配电自动化系统大多没有发挥应有的作用。其中，技术方面的问题主要包括早期配电网架存在缺陷且配电设备陈旧落后，配电自动化技术和相关系统、装置不够成熟，供应商和运行单位的实施力量不足；管理方面的问题主要包括配电自动化的相关标准和规范十分匮乏且出台严重滞后，造成配电自动化建设缺乏有效的指导，有关单位对开展配电自动化工作的复杂性认识不足，应用主体不明确，后期运行和维护工作跟不上。

经过十几年的探索与实践，目前我国配电自动化从理论到技术都已经比较成熟，指导配电自动化系统建设、验收和运行维护的相关标准和规范也相继推出，实现配电自动化已成为当前智能电网建设的重要组成部分。

1.1 配电自动化的基本概念

配电自动化系统是一项综合了计算机技术、现代通信技术、电力系统理论和自动控制技术的系统工程，其中涉及一系列相关术语。

(1) 配电自动化（Distribution Automation，简称 DA）。配电自动化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，实现对配电网（含分布式电源、微网等）的监测与控制，并通过与相关应用系统的信息集成，实现配电网的科学管理。

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

(3) 配电 SCADA（Distribution SCADA，简称 DSCADA）。是配电自动化主站系统的基本功能。DSCADA 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。

(4) 馈线自动化 (Feeder Automation, 简称 FA)。利用自动化装置 (系统), 监视配电路 (馈线) 的运行状况, 及时发现线路故障, 迅速诊断出故障区域并将故障区域隔离, 快速恢复对非故障区域的供电。

(5) 配电自动化主站系统 (Master Station System of Distribution Automation)。配电自动化主站系统 (即配电主站) 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拓扑分析应用等扩展功能, 并具有与其他应用信息系统进行信息交互的功能, 为配电网调度指挥和生产管理提供技术支撑。

(6) 配电终端 (Remote Terminal Unit of Distribution Automation System)。配电终端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 (即 FTU, 馈线终端)、配电变压器监测终端 Transformer Terminal Unit (即 TTU, 配变终端)、开关站和公用及客户配电所的监控终端 Distribution Terminal Unit (即 DTU, 站所终端) 等。

(7) 配电子站 (Slave Station of Distribution Automation System)。为优化系统结构层次、提高信息传输效率、便于配电通信系统组网而设置的中间层, 实现所辖范围内的信息汇集、处理或配电网区域故障处理、通信监视等功能。

(8) 信息交互 (Information Exchange)。为扩大配电信息覆盖面、满足更多应用功能的需要, 配电自动化系统与其他相关应用系统间通过标准接口实现信息交换和数据共享。

(9) 多态模型 (Multi-context Model)。针对配电网在不同应用阶段和应用状态下的操作控制需要, 建立的多场景配电网模型, 一般可以分为实时态、研究态、未来态等。

1.2 配电自动化的意义

(1) 提高供电可靠性。及时了解配电网的运行状况, 在发生故障时迅速进行故障定位, 采取有效手段隔离故障以及对非故障区域恢复供电, 从而尽可能地缩短停电时间, 减少停电面积和停电用户数。

(2) 提高设备利用率。基于多分段多联络和多供一备等接线模式, 在发生故障时采取模式化故障处理措施, 发挥多分段多联络和多供一备等接线模式提高设备利用率的作用。

(3) 经济优质供电。通过对配电网运行情况的监视, 掌握负荷特性和规律, 制定科学的配电网重构方案, 优化配电网运行方式, 达到降低线路损耗和改善供电质量的目的。

(4) 提高配电网应急能力。在因恶劣天气、输电线路故障等造成母线失压而在高压侧不能恢复全部用户供电的情况下, 生成负荷批量转移策略, 将受影响的负荷通过中压配电网安全地转移到健全的电源点上, 从而避免长时间大面积停电。

(5) 通过对配电网运行情况的长期监视和记录, 掌握负荷特性和发展趋势, 为科学开展配电网规划和建设与改造提供客观依据。

(6) 提高供电企业的管理现代化水平和客户服务质量。

1.3 配电自动化与其他系统的关系

配电自动化涉及面很广，信息量巨大。它不但有自己实时信息采集的部分，还有相当多的实时、非实时和准时实时信息需要从其他应用系统中去获取。例如，从调度自动化系统中获取主网变电站信息，从电力 GIS 系统中获取配电线路拓扑模型，从生产管理系统 (PMS) 中获取配电设备参数，从用电营销系统中获取用户信息等。因此，配电自动化主站系统与其他相关系统的接口问题十分突出和必要。

如果按照传统的做法，各系统之间需要做一对一的接口，不但接口数量多且实现形式多样，数据流纵横交错，尤其是日后维护工作量巨大且十分困难。

IEC 61968 (DL/T 1080) 标准为电力企业内部各应用系统间的信息共享提供了接口规范和实现机制。运用信息交换总线，采用标准的接口，可将若干个相对独立的、相互平行的应用系统整合起来，在每个系统继续发挥自身作用的同时，进行信息交换并实现更多应用功能。

遵循 IEC 61968 (DL/T 1080)，基于信息交互总线的配电自动化系统与其他系统的互联关系如图 1.1 所示。

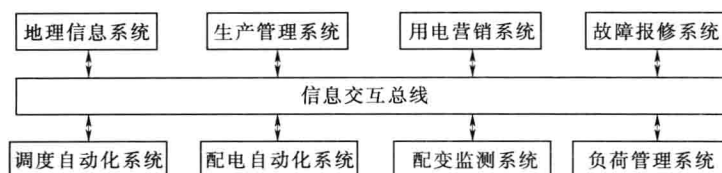


图 1.1 基于 IEC 61968 的配电自动化系统与其他系统的互联关系

1.4 配电自动化的发展趋势

根据对国内外发展动态的研究，配电自动化技术的发展呈现下列趋势：

(1) 多样化。尽管配电自动化技术的发展经历了 3 个阶段，但是从欧美和日本等国家的应用情况看，各个阶段的技术都在使用，并且各有其适应范围。在我国，随着智能电网建设的开展，配电自动化再度兴起，针对不同城市（地区）、不同供电企业的实际需求，配电自动化系统的实施规模、系统配置、实现功能上不尽相同，在 Q/GDW 513—2010《配电自动化主站系统功能规范》中推荐了简易型、实用型、标准型、集成型和智能型等 5 种配电自动化系统的实现形式及对应功能。因此，配电自动化技术及其实现形式的多样化是发展趋势之一。

(2) 标准化。配电自动化是个复杂的系统工程，信息量大面广，涉及多个应用系统的相互接口和信息集成。为了促进支持电力企业配电网管理的各种分布式应用软件系统的应用间集成和规范各个系统间的接口，国际电工委员会 (IEC) 制订了 IEC 61968 (配电管理的系统接口) 系列标准。因此，支持基于 IEC 61968 标准的信息交互也成为配电自动化

的发展趋势之一。

(3) 自愈。配电自动化是智能配电网 (Smart Distribution Grid, 简称 SDG) 的重要组成部分, 而自愈是智能电网的重要特征。因此, 自愈技术也是配电自动化的发展趋势之一。自愈的含义不仅仅是在故障发生时自动进行故障定位、隔离和健全区域恢复供电, 更重要的是能够实时检测故障前兆和评估配电网的健康水平, 在故障实际发生前进行安全预警并采取预防性控制措施, 避免故障的发生, 或使配电网更加健壮。

(4) 经济高效。经济高效也是智能电网的重要特征。因此, 支撑经济高效的配电网也是配电自动化的发展趋势之一。与发达国家相比, 我国配电网的设备利用率还普遍较低, 尽管在城市中已经基本建成了“手拉手”环状网, 但是为了满足 $N-1$ 安全准则, 其最大利用率仍不超过 50%。多分段多联络和多供一备等接线模式有助于提高设备利用率, 但是还必须在发生故障时采取模式化故障处理措施。

(5) 适应分布式电源接入。随着智能电网建设, 光伏发电、风电、小型燃气轮机、大容量储能系统等分布式电源都有可能分散接入配电网, 一方面对配电网的短路电流、潮流分布、保护配合等带来一定影响, 另一方面又能在故障时支撑有意识孤岛供电, 增强应急能力。因此, 适应分布式电源接入并发挥其作用也是配电自动化的发展趋势之一。

第 2 章

配电网架和配电设备

2.1 输配电系统

电力系统是一个由电能生产系统（发电）、输送与分配系统（输电、变电与配电）、消费系统（用电负荷）和相应的辅助设施（如继电保护、安全自动装置、调度自动化系统等）组成的控制系统。

电力系统中的输电、变电和配电系统组成电力网络，它包括输电网与配电网两部分。

2.1.1 输电系统

输电系统包括变电所和输电线路。变电所是连接电力系统的中心环节，用以汇集电源、升降电压和分配电力。大型坑口电厂、水电厂和核电厂都需要通过输电线路构成电力网，实现电力安全可靠和经济合理的远距离传输。我国的煤炭资源主要分布在华北、内蒙古和西北地区。水电资源集中于西南、西北地区，而电力负荷则主要集中在东部沿海地区。超高压、特高压交流输电和直流输电工程建设，极大地促进了我国输电技术的发展。

电力网络一般采取分层结构，由不同电压等级的网络互联而成。与电源连接的 220~1000kV 以上电压等级的远距离输电干线常常采用双回线和多回线进而构成一级主干输电网络。位于负荷中心的城市网络，是以 110~220kV 电压等级为主，汇集多个电源的环形网作为二级送电网络。35kV 及以下电压等级的配电网可采用简单的开式网络，复杂的闭式网络、网格式网络等。

2.1.2 配电系统

配电网是电力系统向用户供电的最后一个环节，一般指从输电网接受电能，再分配给终端用户的电网。配电网由配电线路、配电变压器、断路器、负荷开关等配电设备，以及相关辅助设备组成。配电网直接关系到用户安全可靠供电及负荷增长的需要，是电力系统的重要组成部分。配电网及其相关的自动装置、测量和计量仪表，以及通信和控制设备共同构成配电系统。

配电网按电压等级分类，可分为高压配电网、中压配电网和低压配电网。通常把 110kV 和 35kV 级称为高压配电网，10kV 级称为中压配电网，0.4kV 级称为低压配电网。

由高压配电线路和配电变电所组成的向用户提供电能的高压配电网的功能是从上一级电源接受电能后，可以直接向高压用户供电，也可以通过变压后为下一级中压配电网提供

电源。部分大中城市高压配电网与高压输电网电压等级相同。

由中压配电线路和配电变电所（配电变压器）组成的向用户提供电能的中压配电网的功能是从输电网或高压配电网接受电能后，向中压用户供电，或向各用电小区负荷中心的配电变电所（配电变压器）供电，再经过变压后为下一级低压配电网提供电源。

由低压配电线路及其附属电气设备组成的向用户提供电能的低压配电网的功能是以中压（或高压）配电变压器为电源，将电能通过低压配电线路直接配送给用户。

配电网中的典型配电设备见表 2.1。

表 2.1 典型配电设备

配电设备分类	配 电 设 备
变电所配电设备	断路器、隔离开关、电缆、互感器、二次设备（继电保护及二次回路设备）、自动的装置，以及其他设备
线路设备	架空线路、电缆线路、配电变压器、电力电容器、自动的装置，以及其他设备
开闭所和配电室设备	断路器、负荷开关、隔离开关、电缆、互感器、二次设备、自动的装置，以及其他设备

配电系统的基本特点见表 2.2。

表 2.2 配电系统的基本特点

配电网	基 本 特 点
网络结构	配电网正常运行时呈辐射状的拓扑结构，线路功率具有单向流动的特性，分支线路多。中性点主要采用非有效接地方式，在发生单相接地时，仍允许供电一段时间。近年来，随着城市电缆线路的增加，一些城市配电网采用中性点经小电阻接地方式
线路参数	配电网中支路的 R/X 比值较大，使得在输电系统中以小 R/X 比为前提的算法不再适用。一般情况下，我国配电线路中的三相电抗值也不相等，造成配电系统三相参数不对称
负荷	三相负荷不平衡，集中负荷和大量沿线分布式负荷并存，对分布式负荷需要采用适当的方法进行等效分析计算
配网参数信息	配电网经常发生变更，其参数信息一般保存在基于地理信息系统 GIS 的配电生产管理系统中，需要保证配电网的实际情况和系统数据一致性

2.1.3 输配电系统的中性点接地方式

我国电力系统常用的接地方式有中性点直接接地、中性点经消弧线圈接地、中性点经电阻接地以及中性点不接地等，其中中性点经电阻接地方式按接地电流又分为高阻接地和低阻接地。上述接地方式归结为 3 类接地系统，即中性点有效接地系统、中性点非有效接地系统和谐振接地系统。3 种接地方式的比较见表 2.3。

其中，220kV 和 110kV 采用中性点有效接地，部分变压器中性点采用不接地方式。3~66kV：采用中性点不接地，经消弧线圈接地，电阻接地。380/220V：采用中性点直接接地。

表 2.3

常用中性点接地方式的比较

中性点接地方式 比较项目	不接地	消弧线圈接地	电阻接地	直接接地
单相接地电流	很小	最小	1~10A (高阻), 100~1000A (低阻)	最大
单相接地 非故障相电压	等于或略大于 $\sqrt{3}$ 倍 相电压	$\sqrt{3}$ 倍相电压	$0.8\sim\sqrt{3}$ 倍相电压	<0.8 倍相电压
弧光接地过电压	最高达 $\sqrt{3}\sim 3.5$ 倍 相电压	可抑制在 2.5 倍相电压以下	可抑制在 2.8 倍相电压 以下	最低
操作过电压	最高可达 4~4.5 倍 相电压	一般不大于 4 倍相电压	较低	最低
变压器采用分级绝缘 可能性	不可	一般不可	一般不可	可以
高压电器绝缘	全绝缘	一般全绝缘, 电缆允许 I 类 绝缘	一般全绝缘, 电缆 允许 I 类绝缘	可降低 20%
重复故障可能性	大	小	较小	最小
继电保护	分立元件灵敏度 不易满足, 单片机 式可满足	采用 LH 系列和 ML 系列 均可满足继保要求	灵敏度高, 可用简单 零序电流保护, 推荐 单片机系列	灵敏度最高
运行维护	简单	采用自动调谐产品简单, 采用非自动调谐产品复杂	相对简单	简单
综合技术装备水平	简单	较高	低阻最高、高阻较高	简单
人身设备安全	好	最好	低阻差、高阻较好	差
接地装置投资	最小	中等	低阻高、高阻中等	小
综合费用	最低	中等	低阻高、高阻中等	低

2.2 典型配电网架

配电网的典型网架结构主要有辐射状架空网、“手拉手”环状架空网、多分段多联络网、单射电缆网、双射电缆网、对射电缆网、多供一备电缆网、单环电缆网、双环电缆网等。

2.2.1 辐射状架空网和单射电缆网

辐射状架空网由若干互不连接的辐射状架空馈线构成, 每条辐射状架空馈线都是以变电站一个 10kV 出线开关为电源点, 呈树枝状布置的馈线。

辐射状架空馈线也可以采用分段开关分为许多馈线段, 但是辐射状架空馈线间相互不连接, 因此没有联络开关。辐射状架空馈线不存在线路故障后的负荷转移, 可以不考虑线路的备用容量, 每条馈线均可满载运行, 因此辐射状架空馈线的导线截面可以采用由电源向末梢递减的策略。

当分布式电源接入辐射状架空馈线后, 若这些分布式电源的容量普遍很小, 一般仍可

以将其当做辐射状架空馈线看待，但当存在较大容量分布式电源接入时，则应将该分布式电源与来自变电站的电源同等对待，网架结构也变化为另一种形式。

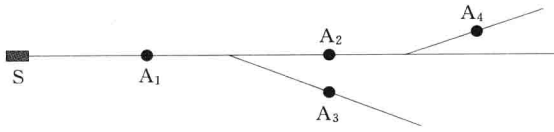


图 2.1 一条典型辐射状架空馈线

辐射状架空网的缺点很明显，当线路故障时，故障区段下游部分线路将停电；当电源故障时，将导致整条线路停电，供电可靠性差。

图 2.1 所示为一条典型辐射状架空馈线，其中矩形框代表变电站出线开关，圆形圈代表馈线开关。

关，圆形圈代表馈线开关。

单射电缆网的构成与辐射状架空网类似，只是其馈线开关一般由环网柜构成，图 2.2 所示为一条典型的单射电缆馈线，其中矩形框代表变电站出线开关，圆形圈代表环网柜开关。

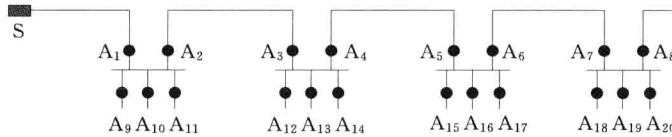


图 2.2 一条典型单射电缆馈线

2.2.2 “手拉手”环状架空网和单环电缆网

“手拉手”环状架空网由两条辐射状架空馈线通过联络开关（常分）相互连接构成，如图 2.3 所示。其中 A₁₁ 为联络开关；矩形框代表变电站出线开关；圆形圈代表馈线开关，实心代表合闸状态，空心代表分闸状态。

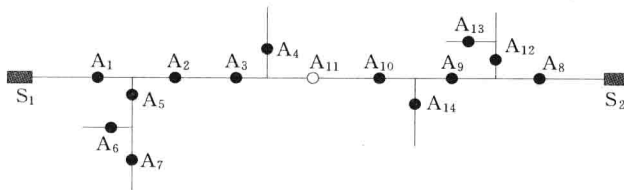


图 2.3 典型的“手拉手”环状架空网

由图 2.3 可见，“手拉手”环状架空网是指其主干线呈“手拉手”状，但是馈线上仍可存在分支。“手拉手”环状架空网的一条馈线上发生永久性故障后，可将故障区域周边开关分断以隔离故障，然后由故障所在馈线的电源恢复故障区域上游健全部分供电，再令联络开关合闸，由对侧馈线电源恢复故障区域下游健全部分供电。因此，“手拉手”环状架空网的供电可靠性较辐射状架空网要高。

因为“手拉手”环状架空网存在线路故障后的负荷转移问题，因此必须考虑线路的备用容量，为了满足 N-1 安全准则，每条馈线必须留有对侧馈线全部供电能力作为备用容量，因此利用率最高只能达到 50%，也即每条馈线不能满载运行，主干线导线截面也不

能采用由电源向末梢递减的策略。

单环电缆网的构成与“手拉手”环状架空网类似，只是其馈线开关一般由环网柜构成，图 2.4 所示为一个典型的单环电缆网。其中矩形框代表变电站出线开关；圆形圈代表环网柜开关，实心代表合闸状态，空心代表分闸状态。

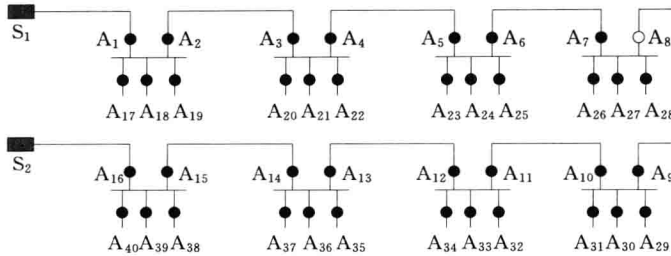


图 2.4 一个典型单环电缆网

2.2.3 多分段多联络状网

为了提高配电设备的利用率，可以采用多分段多联络接线模式。 N 分段 N 联络接线模式的结构特征为：一条馈线分为 N 段，各馈线段分别经过联络开关与各不相同的备用电源联络。架空馈线和电缆馈线都可以构成多分段多联络状网。

对于图 2.5 (a) 所示为一个 2 分段 2 联络网，它由 3 条馈线构成，每条馈线分为两段，每一段分别与不同的馈线联络。图 2.5 (b) 所示为 2 分段 2 联络网的另一种典型构

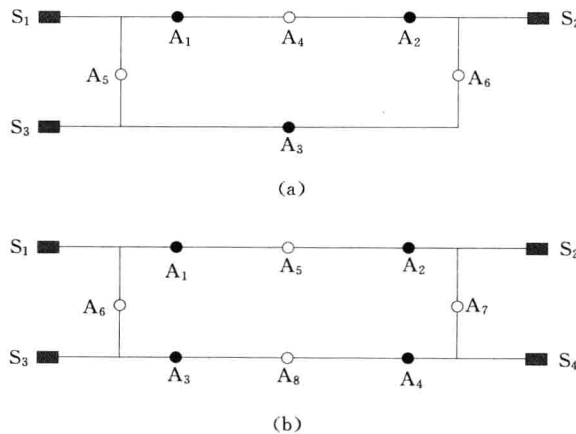


图 2.5 2 分段 2 联络配电网

成，它由 4 条馈线构成，每条馈线分为两段，每一段分别与不同的馈线联络。图 2.5 中矩形框代表变电站出线开关；圆形圈代表馈线开关，实心代表合闸状态，空心代表分闸状态。

对于 2 分段 2 联络配电网，若某一个电源点发生故障（这是影响最为严重的一种故障），其故障处理过程为：直接跳开该电源所带线路的变电站出线开关将线路隔离，然后跳开线路上的分段开关将线路分为 2 段，再合上各馈线段对应的联络开关，分别由每个备

用电源恢复其中一段线路的供电。因此，2分段2联络配电网中的每一条馈线只需要留有对侧线路负荷的1/2作为备用容量就可以满足 $N-1$ 准则要求，因此2分段2联络配电网的最大利用率可以达到67%。

图2.6(a)所示为一个3分段3联络网，它由4条馈线构成，每条馈线分为3段，每一段分别与不同的馈线联络。图2.6(b)所示为3分段3联络网的另一种典型构成。图2.6中矩形框代表变电站出线开关；圆形圈代表馈线开关，实心代表合闸状态，空心代表分闸状态。

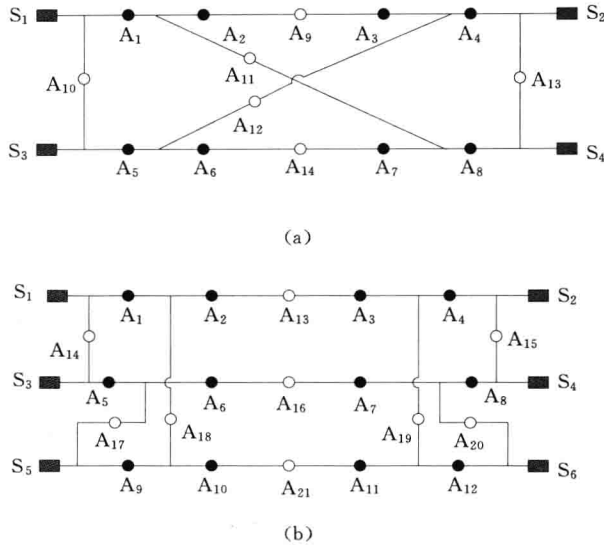


图 2.6 3 分段 3 联络配电网

对于3分段3联络配电网，若某一个电源点发生故障（这是影响最为严重的一种故障），其故障处理过程为：直接跳开该电源所带线路的变电站出线开关将线路隔离，然后跳开线路上的两个分段开关将线路分为3段，再合上各馈线段对应的联络开关，分别由每个备用电源恢复其中一段线路的供电。因此，3分段3联络配电网中的每一条馈线只需要留有对侧线路负荷的1/3作为备用容量就可以满足 $N-1$ 准则要求，因此3分段3联络配电网的最大利用率可以达到75%。

一般地，对于 N 分段 N 联络配电网，每条馈线只需要留有对侧线路负荷的 $1/N$ 作为备用容量就可以满足 $N-1$ 准则要求，因此 N 分段 N 联络配电网的最大利用率可以达到 $[N/(N+1)]\%$ 。显然，“手拉手”环状网可以看做是 N 分段 N 联络配电网当 N 取1时的特例。

N 分段 N 联络配电网的最大利用率如表2.4所示。

需要特别注意以下两点。

(1) N 分段 N 联络配电网的网架结构仅仅为提高线路利用率奠定了基础，还必须在故障处理过程中采取相应的模式化故障处理步骤才能真正发挥其提高线路利用率的作用，这将在本书5.2节论述。