



国际电气工程先进技术译丛

配电系统 分析与自动化

Distribution System Analysis and Automation

[美] 胡安 M. 赫尔斯 (Juan M. Gers) 著
孟晓丽 李蕊 译

 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



国际电气工程先进技术译丛

配电系统分析与自动化

Distribution System Analysis and Automation

[美] 胡安 M. 赫尔斯 (Juan M. Gers) 著
孟晓丽 李 蕊 译



机械工业出版社

在电力系统中,配电网是直接面向用户的末端环节,配电网的运行水平和供电能力直接影响供电质量和社会经济发展。本书主要介绍智能配电网概念和通信系统、配电自动化功能、配电高级分析、短路电流计算、可靠性分析、网络重构与供电恢复、电压无功控制、谐波分析、继电保护等以及智能电网的互操作和成熟度模型等内容。

本书可供从事配电网规划、分析与仿真以及与自动化相关的研究与开发的科研院所、公司及高校的工程师、学者、老师、学生等参考使用。

Distribution System Analysis and Automation, The Institution of Engineering and Technology, 1st edition, by Juan M. Gers, ISBN9781849196598.

Original English Language Edition published by The IET.

Copyright © 2014, All Rights Reserved.

This title is published in China by China Machine Press with license from the IET. This edition is authorized for sale in China only, excluding Hong Kong SAR, Macao SAR and Taiwan. Unauthorized export of this edition is a violation of the Copyright Act. Violation of this Law is subject to Civil and Criminal Penalties.

本书由 IET 授权机械工业出版社在中国境内(不包括香港、澳门特别行政区以及台湾地区)出版与发行。未经许可之出口,视为违反著作权法,将受法律之制裁。

北京市版权局著作权合同登记 图字:01-2014-2695 号。

图书在版编目(CIP)数据

配电系统分析与自动化/(美)赫尔斯(Gers, J. M.)

著;孟晓丽,李蕊译. —北京:机械工业出版社,2016.5

(国际电气工程先进技术译丛)

书名原文:Distribution System Analysis and Automation

ISBN 978-7-111-53394-8

I. ①配… II. ①赫… ②孟… ③李… III. ①配电系
统—自动化技术 IV. ①TM727

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 065357 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:付承桂 责任编辑:付承桂 任 鑫

责任校对:张 征 封面设计:马精明

责任印制:乔 宇

北京铭成印刷有限公司印刷

2016 年 7 月第 1 版第 1 次印刷

169mm×239mm·16 印张·352 千字

0001—2800 册

标准书号:ISBN 978-7-111-53394-8

定价:69.00 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

服务咨询热线:010-88361066

读者购书热线:010-68326294

010-88379203

封面无防伪标均为盗版

网络服务

机工官网:www.cmpbook.com

机工官博:weibo.com/cmp1952

金书网:www.golden-book.com

教育服务网:www.cmpedu.com

译者的话

本书中的大部分内容为配电系统的基本理论，也考虑了智能电网、分布式电源、成熟度模型等新的概念，可为电力行业以及从事配电系统自动化工作的人员提供参考。

全书共 12 章。第 1 章为智能电网概述，介绍了智能电网对配电系统可靠性、运行效率、资产效益等方面的益处以及供电可靠性指标。第 2 章为配电自动化功能，从 EMS/DMS 功能、GIS 系统、SCADA 以及 PMU 技术应用等方面进行了介绍。第 3 章为配电系统分析基础，包括基本的电路定律和定理、交流电路、标幺值概念和潮流计算等内容。第 4 章为短路电流计算，介绍了短路电流特性、整定计算以及对称分量法等。第 5 章为配电系统的可靠性，介绍了可靠性计算中的网络建模和网络约简方法。第 6 章为配电系统网络重构与供电恢复，重点介绍了不同目的下的馈线重构。第 7 章为电压/无功控制，介绍了利用调压器、电容器、VVC 等进行电压控制的方法。第 8 章为谐波分析，介绍谐波的基本概念。第 9 章为现代配电系统保护，介绍了线路、变压器保护的设定及整定方法，特别讲述了考虑分布式电源的继电保护。第 10 章为智能电网通信技术，对高级量测、通信标准、通信介质、信息安全进行了介绍，重点阐述了 IEC 61850 标准。第 11 章为电力系统中的互操作概念，简要介绍了信息交换过程、数据模型与标准、公共信息模型的实现。第 12 章为成熟度模型，介绍了成熟度模型在智能电网中的应用起源、过程、案例等。书中部分内容的表述与我国人员所熟知的不大相同，我们在翻译的过程中一方面尽量遵循原著，另一方面也尽可能按我国的习惯来表述，以便读者能准确理解原作者的意图。

非常感谢中国电力科学研究院配电研究所的高菲、李建芳、贾东梨、李雅洁、张瑜、张海、胡丽娟、何开元、张琳、赵珊珊、叶学顺、董伟杰、刁赢龙为本书翻译所做的贡献，也感谢中国农业大学唐巍教授对译稿提出的修改建议。

由于翻译时间有限，加之译者的知识有限，书中如有不当之处，敬请广大读者批评指正。

译者
2016 年 3 月

原 书 前 言

20 世纪末期，由于软硬件技术和通信技术的进步，以及电容器、开关、继电保护等馈线装置的技术发展，配电系统开始受到显著的关注。21 世纪初，配电自动化被归并到了涵盖发、输、配电领域的智能电网的大旗下。

本书素材来源于许多国际会议、电力公司的实际应用和个人研究，所涉及的主题既包括基本的概念，也包括最先进、实用的技术。

本书共 12 章。第 1 章为智能电网概览；第 2 章介绍配电自动化，其中有些内容在其他章节有详细阐述；第 3 章和第 4 章回顾了配电系统分析的基本概念，其中包括电力基本原理、网络及辐射状潮流计算、短路电流计算等。

第 5 章介绍可靠性概念；第 6 章是配电网络重构与供电恢复，这部分是配电自动化最核心的内容之一；第 7 章是利用电压调节装置和无功控制技术来实现电压调控，以保证全网节点电压合格。

谐波理论及谐波对配电系统的影响在第 8 章进行分析；第 9 章介绍现代配电系统保护；第 10 章与通信有关，其中包括了 IEC 61850 中的相关内容；第 11 章介绍互操作；第 12 章为成熟度模型。

各个章节中都包含很多实际应用考虑和用 Matlab 等实现的示例。

我本人当然期望本书能够给学生和从事配电自动化及智能电网领域工作的工程师们提供帮助，也可以作为他们研究的参考用书。

本书成稿过程中得到了几位同事的帮助，他们提出了一些非常有价值的建议。首先要感谢英国斯特拉思克莱德大学（Strathclyde University）的 K. L. Lo 教授将我引入配电自动化领域，并悉心指导了我在该领域的第一年的工作。感谢 Jose Munoz, Luis Aragon 和 Jmaes Ariza 在通信那章的贡献，以及 Andres Perez 在同步相量技术方面的帮助。尤其要感谢 Carlo Viggiano 帮助我组织了本书的素材，并在本书的立项过程给予了极大支持。我还要感谢 IET 的出版团队对本书的编辑。最后，感谢我的妻子与孩子们的耐心与理解，使得我能够从家务事中节省出时间来完成此书。

Juan M. Gers
Weston, 2013 年 10 月

目 录

译者的话

原书前言

第 1 章 智能电网概述	1
1.1 智能电网之于配电系统	1
1.2 智能电网的定义	3
1.3 智能电网对配电系统的益处	5
1.3.1 提高可靠性	5
1.3.2 提升系统效率	5
1.3.3 分布式能源	5
1.3.4 优化资产利用和高效运行	5
1.4 质量指标	5
1.4.1 系统平均停电持续时间 (SAIDI)	6
1.4.2 系统平均停电频率 (SAIFI)	6
1.4.3 用户平均停电持续时间 (CAIDI)	6
1.4.4 瞬时平均停电频率 (MAIFI) 和瞬时平均停电事件的发生频率 (MAIFI _E)	7
练习	9
第 2 章 配电自动化功能	10
2.1 电力系统自动化	11
2.2 EMS 功能范围	12
2.3 DMS 功能范围	13
2.4 DMS 功能	13
2.4.1 稳态性能提高类功能	13
2.4.2 动态性能提高类功能	15
2.5 地理信息系统	17
2.5.1 AM/FM 功能	18
2.5.2 数据库管理	18
2.6 通信选项	18

VI 配电系统分析与自动化

2.7 监控和数据采集	18
2.7.1 SCADA 功能	19
2.7.2 系统架构	22
2.8 同步相量测量技术及其在电力系统中的应用	24
2.8.1 定义	25
2.8.2 PMU 应用	25
第3章 配电系统分析基础	30
3.1 电路定律	30
3.1.1 欧姆定律	30
3.1.2 基尔霍夫电压定律	30
3.1.3 基尔霍夫电流定律	30
3.2 电路定理	30
3.2.1 戴维南定理	31
3.2.2 Y/ Δ 变换	31
3.2.3 叠加定理	31
3.3 交流电路	32
3.4 标么化	37
3.5 潮流计算	39
3.5.1 潮流方程	40
3.5.2 牛顿-拉夫逊法	41
3.5.3 节点类型	43
3.5.4 牛顿-拉夫逊法在潮流计算中的应用	44
3.5.5 解耦法	46
3.6 辐射状潮流概念	62
3.6.1 理论基础	62
3.6.2 配电网模型	63
3.6.3 节点和支路辨识	63
3.6.4 节点和支路辨识示例	64
3.6.5 辐射状潮流算法	65
练习	67
第4章 短路电流计算	68
4.1 短路电流特性	68

4.2 故障电流整定计算	74
4.3 对称故障计算	76
4.4 对称分量	77
4.4.1 建立序网络的重要性	80
4.4.2 基于对称分量法的不对称故障计算	81
4.4.3 系统等效阻抗	83
4.4.4 电流与电压信号在保护系统中的应用	84
练习	90
第5章 配电系统的可靠性	92
5.1 网络建模	92
5.2 网络约简	95
练习	96
第6章 配电系统网络重构与供电恢复	98
6.1 最优拓扑结构	98
6.2 遥控开关位置	103
6.2.1 提高可靠性	103
6.2.2 提高灵活性	106
6.3 以改善运行状况为目的的馈线重构	113
6.4 以恢复供电为目的的馈线重构	114
6.4.1 故障定位、隔离与供电恢复 (FLISR)	114
6.4.2 人工恢复和 FLISR 的对比	118
6.4.3 重构的约束条件	118
6.4.4 FLISR 集中智能控制中心	120
6.4.5 FLISR 分布式智能体	121
6.4.6 FLISR 就地智能	123
第7章 电压/无功控制	127
7.1 电压调节的定义	128
7.2 改善电压调节的方法	128
7.3 电压调节器	129
7.4 配电系统中的电容器应用	131
7.4.1 馈线模型	134

7.4.2 电容器的选址和定容	135
7.4.3 利用单个电容器组降损	136
7.4.4 利用双电容器组降损	137
7.4.5 利用三个电容器组降损	138
7.4.6 若干电容器组应用	139
7.4.7 电容器选址定容软件	139
7.5 含 VVC 装置的配电馈线建模	141
7.6 考虑 SCADA 的电压/无功控制	144
7.7 电压/无功控制的要求	144
7.8 综合电压/无功控制	145
练习	147
第 8 章 谐波分析	148
8.1 一般意义上的谐波	150
8.2 理论背景	150
8.3 谐波检测	151
8.4 并联谐振	152
8.5 串联谐振	153
8.6 谐波值验证	153
8.6.1 谐波限值	153
8.6.2 电压畸变限值	154
8.6.3 电流畸变限值	154
8.7 谐波检测	155
8.8 电容器的重估算和重定位	155
8.9 模型	157
8.9.1 谐波源	157
8.9.2 系统模型	157
8.9.3 负荷模型	157
8.9.4 支路模型	158
8.10 降容变压器	162
第 9 章 现代配电系统保护	165
9.1 过电流保护基础	165
9.1.1 保护配合原则	165

9.1.2 瞬时动作单元的整定标准	166
9.1.3 延时继电器的设定	167
9.1.4 通过软件设定过电流继电器	169
9.2 Dy 型变压器间协调	169
9.3 馈线保护设备	175
9.3.1 重合闸开关	175
9.3.2 分段器	181
9.3.3 熔断器	184
9.4 整定原则	188
9.4.1 熔断器间的协调	188
9.4.2 重合器和熔断器间的协调	189
9.4.3 重合器与分段器的协调	192
9.4.4 重合器-分段器-熔断器的协调	192
9.4.5 重合器和重合器的协调	194
9.4.6 重合闸继电器协调配合	194
9.5 考虑分布式电源的继电保护	195
9.5.1 短路水平	195
9.5.2 同步	195
9.5.3 过电流保护	195
9.5.4 自适应保护	196
练习	196
第 10 章 智能电网通信技术	199
10.1 ISO OSI 模型	199
10.2 电力系统的通信解决方案	200
10.2.1 高级量测体系中的通信解决方案	200
10.2.2 配电网通信技术	201
10.3 通信传输介质	202
10.3.1 有线和载波通信	202
10.3.2 无线通信	203
10.3.3 光纤通信	203
10.4 智能电网中的信息安全	203
10.5 IEC 61850	204
10.5.1 IEC 61850 的标准文档和功能	205

10.5.2 系统配置语言	211
10.5.3 GOOSE 消息的配置和验证	213
10.5.4 系统结构	215
10.5.5 系统验证测试	215
10.5.6 变电站 IT 网	216
10.5.7 过程总线	217
第 11 章 电力系统中的互操作概念	218
11.1 互操作需要的要素	218
11.2 信息交换过程	219
11.3 数据模型和国际标准	220
11.4 电力系统信息模型的实现	225
第 12 章 成熟度模型	227
12.1 智能电网成熟度模型定义	227
12.2 使用智能电网成熟度模型的好处	227
12.3 SGMM 的起源和构成	228
12.4 SGMM 的开发过程	229
12.5 SGMM 的级别和控制权	229
12.5.1 SGMM 成熟度级别	230
12.5.2 SGMM 领域	230
12.6 使用 SGMM 的结果与分析	232
12.7 SGMM 案例	232
参考文献	236

第 1 章 智能电网概述

智能电网（SG）是一个全新的概念，它包括发、输、配电的各个方面，目的是为了更可靠、更高效、更安全地为用户供电，实现电力公司与用户之间的通信，促进绿色能源和其他目标的发展。

当“智能电网”术语首次出现时，有些人联想到远程计量，后来被称为 AMR（自动抄表系统），而 AMR 的功能又可以涵盖在更广阔的领域内，再后来被称为 AMI（高级量测体系）。显然，计量系统是智能电网的要素之一，但并不是唯一的。智能电网的整体架构中包含了许多要素，本书将介绍那些与配电系统，特别是与配电系统的自动化（或配电自动化）有关的内容。

1.1 智能电网之于配电系统

配电系统多年来自主运行，只是偶尔手动设置改变，或者采用当前被称为就地智能的一种相当原始的自动化手段。实际上自动化首先在发电和输电系统中应用，后来逐渐在配电系统中普及。

就地智能的一个很好的例子是将其应用于自动重合器操作与分段器配合，局部故障后，重合器在锁定之前启动一系列重合操作。另一个很好的例子是电容器组的投切操作，它依赖于电压水平、功率因数、时间等就地信号。

近年来，为了应对提高电力系统的可靠性和效率的需求，更多的自动化功能被引入到配电系统中。

智能电网政策需求出自于 2007 年 12 月的《Energy Independence and Security Act》（EISA），向所有的利益相关者提供了对于配电自动化效益和挑战的较好理解。

智能电网发展背后的想法源于 20 世纪 80 年代，配电系统开始受到更多的关注，在那之前人们主要关注发电和输电系统。图 1-1 摘自于由 IEEE Spectrum 在 1982 年 4 月出版的 Arthur C. M. Chen 的“Automated Power distribution”一文，展示了预期的配电系统。这篇文章预期线路发生故障后，将会及时进行故障诊断和故障隔离，线路运维班组进行故障定位和故障修复的时间将会减少，其中还提到配电系统将会有更多的分布式发电接入，当时被称作分布式储能和发电（DSG）系统。文章最后强调了配电自动化对于维持可靠供电和减少运行成本的重要性。现在看到那时的愿景成为现实真的很有趣。

政府和电力公司为电网的发展和现代化奠定了基调，定义了智能电网所需的功能。根据美国能源部的《Modern Grid Initiative》报告，现代智能电网必须满足下列条件：

- 1) 激励消费者积极参与电网运行。

- 2) 能够自愈。
- 3) 抵抗攻击。
- 4) 提供高质量的电力来节省供电中断造成的收入减少。
- 5) 消纳所有的发电和储能设备。
- 6) 促进电力市场繁荣。
- 7) 运行更高效。
- 8) 提高间歇性电源的渗透率。

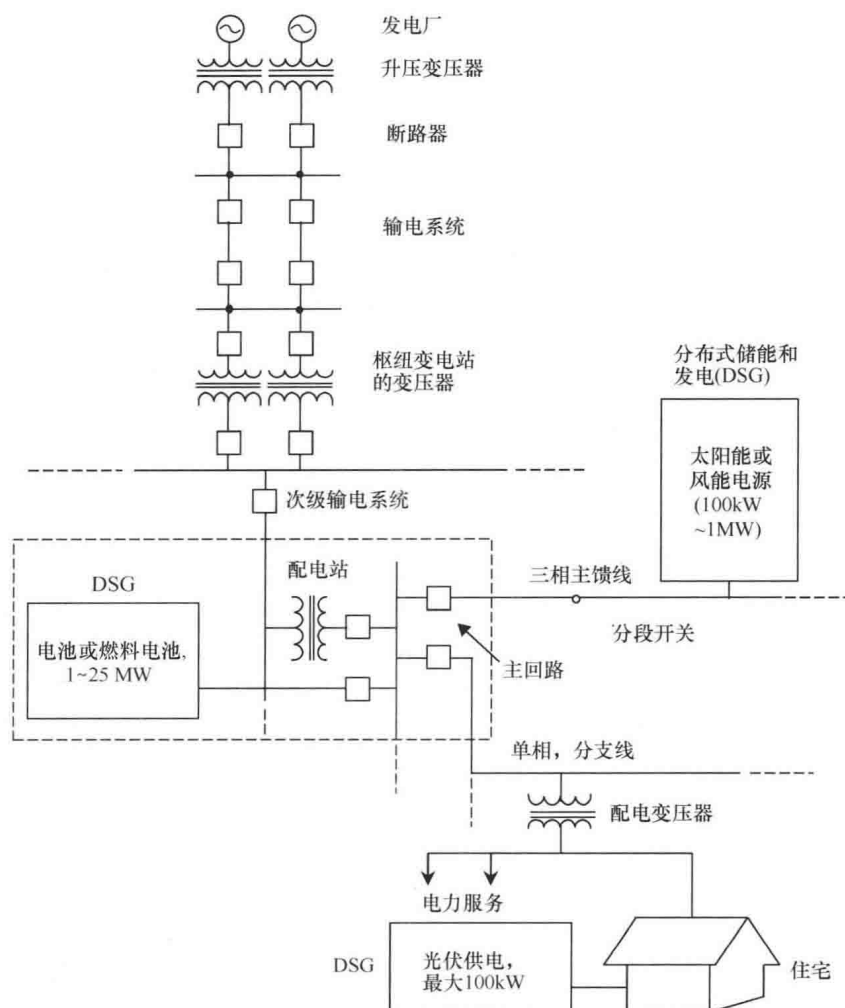


图 1-1 1982 年电力系统设想（摘自“Automated Power distribution”，IEEE Spectrum 1982 年 4 月出版）

为了实现上述智能电网的目标，特别是提高可靠性、安全性和效率，拥有成熟的数字技术是至关重要的。发展智能电网面临的重大挑战是成本控制、制定新标准和建立监管制度。互操作性标准无疑会实现包括分布式发电厂在内的高度互联系统运行。

实现智能电网和配电自动化面临的另一个难题是多个供应商提供的各种技术的巨大差异。对任何一个电力公司来说,在着手一个综合项目之前,需建立一个合适的发展路线。为了帮助建立这一计划,后面章节中对成熟度模型进行了讨论。

推广智能电网新技术将带来一些变化,例如,在配电馈线上接入小的发电厂将导致从两个方向产生短路电流,因此馈线将不再被认为是辐射式的;应该仔细校核重合闸特性以避免非同期合闸;同样,电动汽车充电站的接入将改变馈线的正常运行,这些都需要解决。

智能电网的巨大优势是允许电力公司与用户之间双向通信,这将在电力公司和用户之间建立更为友好和高效的关系。电力公司将能够监视和控制每个用户的小家电。反过来,用户将在获得用电水平、最新利率、负荷管理方案相关信息方面具有很大优势。这当然需要灵活、可靠、强大的通信系统作为保障。

1.2 智能电网的定义

智能电网有很多定义。每个电力公司都可能有自己的定义。

EPRI: The Intelligent Grid

“一个智能电力输送基础设施(智能电网),集成了先进的通信、计算机和电子技术来满足未来社会的电力服务需求。”

Xcel Energy: The Smart Grid

“虽然细节差异很大,但智能电网的一般定义是智能、自动平衡、自我监控的电网,以最少的人工干预接受任何能源(煤、太阳、风)并将其转换为消费者最终可以使用的能源(热、光、热水)。

它是一个允许社会优化使用可再生能源和减少对环境影响的系统。

它是一个有能力感知系统过载并通过改变供电路径消除过载、进而防止潜在停电的电网,它是一个能在用户与电力公司之间实现实时通信、基于环境和(或)价格偏好来优化消费者能源使用的电网。”

DOE(美国能源部)定义

“智能电网是一个自动、广泛的分布式能源传输网络,以电力和信息双向流动为特征,能够监控发电厂、客户偏好及单个电器等所有元器件。它将分布式计算和通信引入电网用以传送实时信息,实现设备层供电与需求之间的近乎瞬时平衡。

人们常常把智能电网和智能电表混为一谈。两者是否有同样的含义呢?不完全是。量测只是构成智能电网的成百上千种可能应用之一。一块智能电表就是一个很好的使能技术的例子,它可以通过双向通信获取数据用以支持分布式技术和消费者参与。”

BC 水电对智能电网的定义

“智能电网是一个现代的、智能的电力传输和分配系统,它集成了传统和先进的电力工程技术,用以提升电网性能、经济性和支持面向电力用户的各种功能。换句话说,是现代化和自动化的电能传输系统”。

总之，智能电网是指一个可持续发展的现代化电力网，集成信息与通信技术实现智能管理和操控发电、输电、配电、用电甚至电力能源市场。智能电网的组成部分如图 1-2 所示。

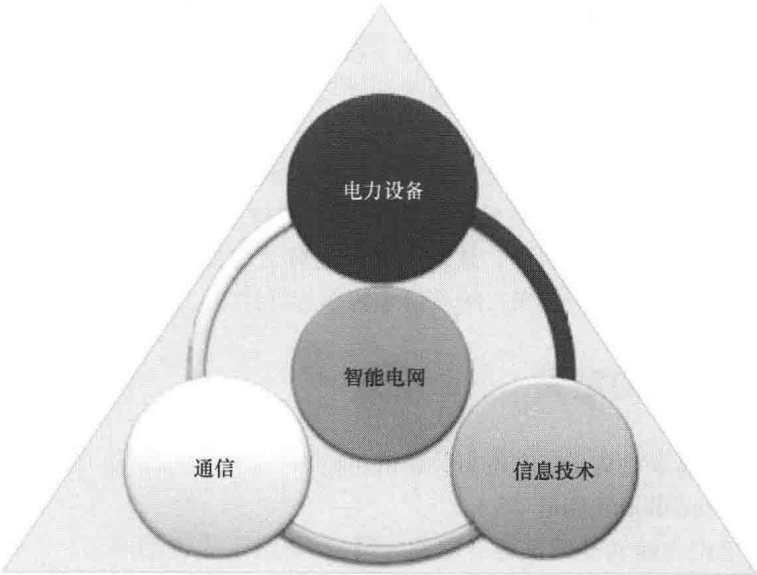


图 1-2 智能电网的概念

智能电网的概念包括许多或者几乎所有电力公司的组成要素以及这些要素之间的关系。图 1-3 包括其中的一些要素，比如智能电表、发电、输电、变电站及馈线。

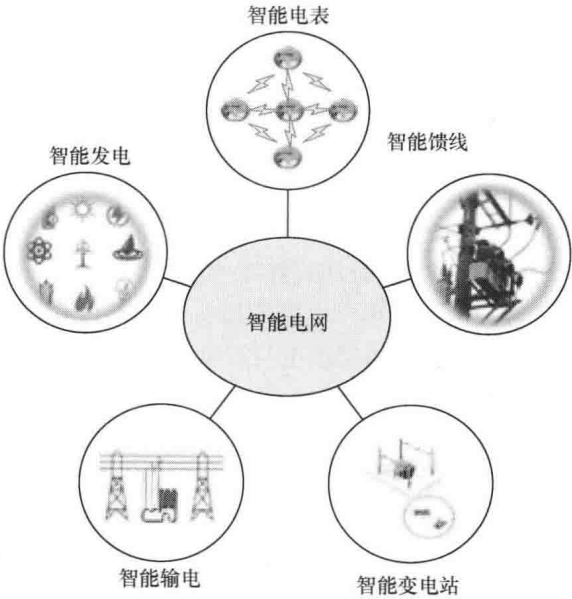


图 1-3 智能电网元件

1.3 智能电网对配电系统的益处

实现智能电网的好处有很多，可以概括为以下类别。

1.3.1 提高可靠性

智能电网可以显著降低电力扰动成本，这可以通过操作馈线开关进行系统重构来实现。通信和控制技术极大地促进了故障隔离和快速故障恢复。

1.3.2 提升系统效率

从技术和非技术手段两方面减少电力系统损耗，是世界上所有电力公司的目的。它不仅能降低电力需求，而且也有利于改善环境。降低系统损耗可以延缓电网建设，这将提供一个具有吸引力的回报投资。为了实现这一目标，需要配置电力电容器、电压调节器等设备以及制定合理的设计标准。

1.3.3 分布式能源

如今在用户侧建设发电厂越来越常见。这些电源被称为分布式发电或分布式能源。由于这些分布式能源能够减轻一些发电厂的污染水平，尤其是烧煤和燃油发电厂，因此获得了政府和环境监管机构的日益关注。分布式能源也有利于改善配电系统的运行条件，因为它们直接连接在用户侧，进一步改善了对电压的控制。

1.3.4 优化资产利用和高效运行

在正常和恶劣条件下，利用实时数据可以更有效地实现资产高效利用和减少停电成本，进而延长资产的使用寿命。

1.4 质量指标

供电质量指标，也称为可靠性指标，用来衡量电力系统的性能。提高电力系统的可靠性是智能电网最重要的目标。为了理解这些指标对于加强智能电网的重要性，本节将对这些指标的含义和应用进行解释说明。

与配电网可靠性相关的重要定义如下：

1) 故障：是电气系统的一种异常运行条件，电气系统通常会发生短路故障。它可由自然事件、恶劣天气条件、动物、设备故障、甚至破坏行为引起。故障可以分为自行恢复故障、临时故障和永久故障三类。自行恢复故障可以自我消除而无需任何外部干预。临时故障将通过断电清除故障，然后再重新通电。永久故障将一直持续到维修人员修复后。

2) 事故：意想不到的事件，如故障或开路。事故的另一个叫法是非计划事件。

3) 停电: 当一个设备出现断电时, 认为停电发生了。停电可以是计划内的, 也可以是计划外的。计划内停电是事前已知的 (如定期检修停电), 计划外停电是由事故引发的。不同的电力公司有不同的定义停电的准则, 有些电力公司规定超过 1min 的供电中断即为停电, 而另一些公司则规定 2min 或 5min 为停电。

4) 开路: 电路中的某个环节的负荷电流中断而没有引起故障电流通过。开路的一个例子是断路器误开断。

5) 瞬时停电: 通常指用户停电时间不超过 1min 的停电事件, 大多数瞬时停电是由重合闸或开关自动切换造成。多次重合闸操作将导致多次短瞬时停电。

6) 持续停电: 通常指用户停电时间超过 1min 的停电事件, 大多数持续停电是由开路和故障引起的。

对电力公司可靠性差的处罚是基于量化的可靠性指标。一些公司根据电网运行性能对员工支付奖金。工商业用户在建设新设施时会查询可靠性指标。大多数的监管机构建立了可靠性指标的目标, 如果电力公司没有实现目标 (可靠性指标数据高于规定目标) 时, 将会被处罚。衡量可靠性最重要的指标如下。

1.4.1 系统平均停电持续时间 (SAIDI)

SAIDI 定义为统计期内 (通常为一年) 用户平均停电持续时间。该指标计算方法: 用统计期内每次用户停电持续时间总和除以统计期内供电用户总数, 单位是 min。

该指标使电力公司能够给出同时停电的用户可能停电的时间 (通常是分钟级)。美国测试调查结果显示, SAIDI 平均为 90min 左右。

$$\text{SAIDI} = \frac{\sum \text{用户停电持续时间}}{\text{供电总用户数}} \quad (1-1)$$

1.4.2 系统平均停电频率 (SAIFI)

SAIFI 被定义为统计期内 (通常为一年) 单个用户平均停电次数。该指标计算方法: 用统计期内用户停电的总次数除以统计期内供电用户总数 (意思是指每个用户的停电次数, 而不是指停电量), 因此该指标的单位是 “每个用户的停电次数”。美国测试调查结果显示, SAIFI 平均为每年每个用户停电 1.2 次左右。

$$\text{SAIFI} = \frac{\text{用户停电总次数}}{\text{供电总用户数}} \quad (1-2)$$

1.4.3 用户平均停电持续时间 (CAIDI)

CAIDI 是 SAIDI 与 SAIFI 的比值, 表达式如下:

$$\text{CAIDI} = \frac{\sum \text{用户停电持续时间}}{\text{用户停电总次数}} \quad (1-3)$$

【例 1.1】表 1-1 摘录于某电力公司户用信息系统 (CIS) 数据库, 其中馈线 25 为 1500 个用户供电, 总负荷为 3MW。在这个例子中, 馈线 25 被认为是系统, 将对它的