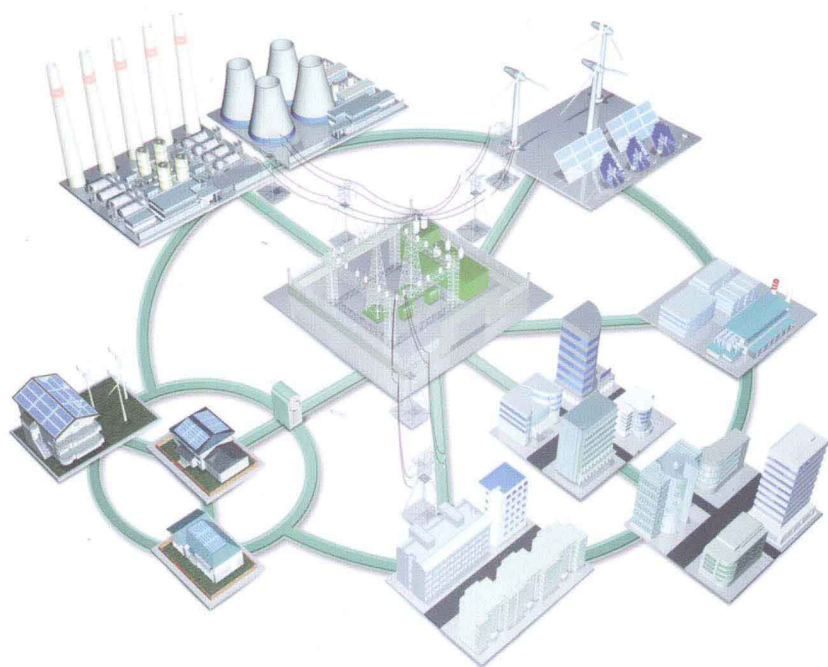


智能电网架构下的 供电服务支撑系统

李功新 主 编

杨成月 刘金长 郑佩祥 刘 升 副主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

智能电网架构下的 供电服务支撑系统

主 编 李功新

副主编 杨成月 刘金长 郑佩祥 刘 升

编 写 林杨宇 苏雪源 李超英 熊宜红

赵丙镇 雷龙武

主 审 孙云莲



中国电力出版社

CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书是在国家电网电力科学研究院依托福建省电力有限公司智能电网建设成果的基础上编写的,介绍了国家电网公司智能电网建设的最新理论与应用成果。在介绍智能电网基本概念及世界各个经济体智能电网研究现状的基础上,对面向智能配电网的供电服务支撑体系进行了描述,重点介绍了全息全景智能配电生产管理的关键技术、面向智能配电网的配电运行分析内容与方法,以及智能配电网的供电可靠性评估等智能电网建设不可或缺的内容。同时,介绍了物联网这项新技术在智能配电网中的应用,并着力介绍了国家电网电力科学研究院和福建省电力有限公司联合研制开发的营配供电服务一体化系统、智能营配综合管理系统、电动汽车运营系统以及基于 GIS 的城市电网空间规划系统和基于知识管理的配电协同设计平台系统。本书以广博的视角,前沿的理念,详细介绍了智能电网架构下的供电服务体系,实用性和可推广性强。

本书可作为电网调度、电力系统自动化和电力信息通信运行的管理人员、电网规划设计人员、电力工业安全管理人员,以及从事电网自动化和信息通信研发的科研院所和高等院校研究人员参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

智能电网架构下的供电服务支撑系统/李功新主编. —北京:
中国电力出版社, 2013. 11

ISBN 978 - 7 - 5123 - 4950 - 6

I. ①智… II. ①李… III. ①供电—工业企业—商业服务—研究—中国 IV. ①F426. 61

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 227920 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

*

2013 年 11 月第一版 2013 年 11 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 13 印张 285 千字

定价 34.00 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

前言

2009年5月,国家电网公司提出了“坚强智能电网”发展规划,标志着我国智能电网建设正式全面启动。根据国家电网公司部署,2009~2010年为建设统一坚强智能电网规划的试点阶段,重点是做好电网智能化规划工作,制定相应的技术标准和管理规范、研究关键技术、研发智能化设备等,全面开展试点工作。福建省厦门市作为国家电网公司4个智能电网建设的试点城市之一,福建省电力有限公司协同国家电网电力科学研究院厦门亿力吉奥信息科技有限公司,在智能电网建设中进行了有益的尝试,并取得丰硕的建设成果,于2010年顺利通过国家电网公司专家组评审。

在智能电网建设过程中,国家电网电力科学研究院充分发挥自身优势,将智能电网的理论和概念,结合先进的GIS技术,落实到供电服务体系建设中,研制开发了配电网调控一体化、95598呼叫中心、配电网监测和运行分析等供电服务系统,为智能电网的建设提供了很好的支撑平台,全面提升了配电网供电服务能力,并为全国其他省区智能电网建设提供了很好的范本。为了固化智能电网先进的研究成果,推广在智能电网建设过程中的成功经验,我们特别编写了本书,供相关从业人员参考。

本书在介绍智能电网基本概念及世界各个经济体智能电网研究现状的基础上,对面向智能配电网的供电服务支撑体系进行了描述,并重点介绍了全息全景智能配电生产管理的关键技术、面向智能配电网的配电运行分析内容与方法,以及智能配电网的供电可靠性评估等智能电网建设不可或缺的内容。同时,介绍了物联网这项新技术在智能配电网中的应用,并着力介绍了国家电网电力科学研究院在福建省电力有限公司智能电网建设中,以建设坚强智能电网为依据所研制开发的营配供电服务一体化系统、智能营配综合管理系统、电动汽车运营系统以及基于GIS的城市电网空间规划系统和基于知识管理的配电协同设计平台系统。

本书由李功新任主编,由杨成月、刘金长、郑佩祥、刘升任副主编,参与编写的还有林杨宇等。本书由孙云莲主审,她对本书的科学性、先进性和可推广性提出了很多具有建设性的意见,在此表示诚挚的感谢。

本书的理论及基本概念部分是在查阅大量的国内外文献资料基础上形成的,由于资料繁杂庞大,加上编者时间有限,参考文献有挂一漏万的可能,如有遗漏,可与我们联系,并在此对所有为本书做出贡献的学者和研究人员表示感谢。同时由于编者水平和时间有限,不足之处在所难免,欢迎广大读者批评指正。

编者

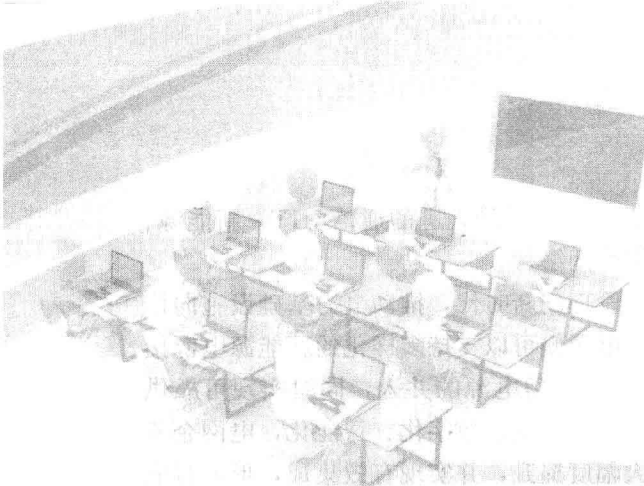
2013年5月

目 录

前言

第 1 章 智能电网概述	1
1.1 智能电网的概念	1
1.2 国内外智能电网建设介绍	5
1.3 福建省智能电网建设与发展	17
第 2 章 面向智能配电网的供电服务支撑系统概述	20
2.1 智能配电网	20
2.2 高级配电自动化	22
2.3 高级量测体系	27
第 3 章 全息全景智能配电生产管理	32
3.1 配电生产管理系统	32
3.2 电网 GIS 建设	42
3.3 电网 GIS 平台架构	46
3.4 全息全景智能配电生产管理应用	54
第 4 章 面向智能配电网的配电运行分析	61
4.1 配电网运行与分析	61
4.2 配电网运行分析系统	70
4.3 配电网线损分析	80
第 5 章 智能配电网的供电可靠性建设	84
5.1 配电网可靠性概述	84
5.2 配电系统可靠性评估体系	87
5.3 供电可靠性建设	92
第 6 章 物联网技术在智能配电网建设中的应用	103
6.1 电力物联网概述	103
6.2 基于物联网技术的电力设备状态监测	108
6.3 基于物联网技术的配电设备在线监测系统	113
6.4 智能移动作业平台系统	120
6.5 基于物联网技术的电力系统车辆运行管理系统	124

6.6	智能电网传感网络应用系统一体化管理平台	128
6.7	配电网数字化地面标识	132
第7章	营配供电服务支撑	136
7.1	智能营销与大营销体系建设	136
7.2	营配供电服务一体化系统	139
7.3	智能营配综合管理系统	165
7.4	电动汽车运营系统解决方案	172
第8章	基于GIS的配电网辅助设计与规划	178
8.1	城市电网规划特点	178
8.2	城市电网规划的主要内容	180
8.3	基于GIS的城市电网计算机辅助规划系统	183
8.4	案例介绍	187
参考文献		200



第 1 章

智能电网概述

1.1 智能电网的概念

虽然世界各国对智能电网并没有一个统一的定义，但随着智能电网研究和建设进程的推进，逐步形成了以下具有代表性的智能电网定义。

美国能源部《Grid 2030》中对智能电网概念的解释是：一个完全自动化的电力传输网络，能够监视和控制每个用户和电网节点，保证从发电厂到终端用户整个输配电过程中所有节点之间的信息和电能的双向流动。

美国电力科学研究院对 IntelliGrid（智能电网）概念的解释是：一个由众多自动化的输电和配电系统构成的电力系统，以协调、有效和可靠的方式实现所有的电网运作；具有自愈功能；快速响应电力市场和企业业务需求；具有智能化的通信架构，实现实时、安全和灵活的信息流，为用户提供可靠、经济的电力服务。

欧洲技术论坛对智能电网概念的解释是：一个可整合所有连接到电网用户（发电机或电力用户）所有行为的电力传输网络，以有效提供持续、经济和安全电能。

2009 年 5 月，国家电网公司宣布启动“坚强智能电网”建设规划，针对目前国内电网及经济现状与发展，给出了我国智能电网的定义及核心内容。国家电网公司对智能电网概念的解释是：以坚强网架为基础，以信息通信平台为支撑，以智能控制为手段，包括电力系统的发电、输电、变电、配电、用电和调度各个环节，覆盖所有电压等级，实现“电力流、信息流、业务流”的高度一体化融合，是坚强可靠、经济高效、清洁环保、透明开放、友好互动的现代化电网。

同时，国家电网公司提出了符合中国国情的智能电网发展目标：以特高压电网为骨干网架，各级电网协调发展，具有信息化、数字化、自动化、互动化特征的统一的坚强智能电网。并指出智能电网的核心内容是：以先进的计算机、电子设备和智能元器件为基础，通过引入通信、自动控制和其他信息技术，创建开放的系统和共享的信息模式，整合系统数据、优化电网管理，使用户之间、用户与电网公司之间形成网络互动和即时连接，实现数据读取的实时、双向和高效，将大大提升电网的互动运转，提高整个电网运行的可靠性和综合效率。

从以上文字描述可以知道，智能电网实际上是将世界最先进的通信、IT、新能源、新材料、新设备等与传统电力系统融合的现代电力网络。

智能电网的建设将开辟传统电力行业生产与管理的新时代，推动电力基础设施向信息化与现代化方向发展。具体说来，智能电网在电源侧可以支持多样化的新能源电源接入，改变传统电网仅有的单一集中发电模式，方便各类电源的并入，同时实现可靠供电；而对供电企业而言，其生产、运行将全部实现可视化、数字化、智能化，电网企业的规划、调度、交易、生产等综合业务水平将大幅度提升，并实现有效集成，形成智能的电能流、信息流网络。在用户侧，智能电网的建设则可以使用户能够与电网进行双向

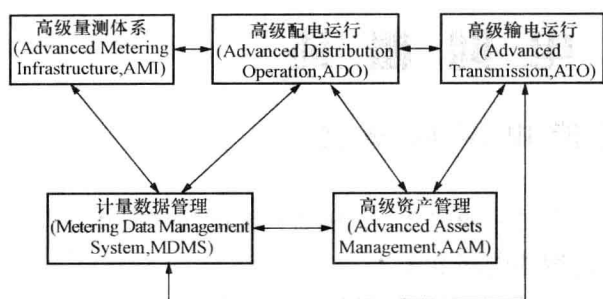


图 1-1 智能电网的技术组成

通信，电网根据运行信息和用户需求实时调整供电，为用户提供高效、优质的服务。

综上所述，智能电网以信息的广泛采集与及时输送为基础，其建设贯通整个电力系统的相关领域、企业和用户，需要实现彼此之间的充分协调。智能电网的组成如图 1-1 所示。

1.1.1 我国智能电网建设的主要内容

1. 建设坚强的特高压骨干网架

国家电网公司提出全面建设以特高压电网为骨干网架、各级电网协调发展的坚强智能电网是符合中国国情的智能电网建设目标。

我国幅员辽阔，各地能源分布特点不同，而整个国家正处在经济快速发展之中，电力的供应和保障是关键。国家电网公司意图通过建设一个统一的、共同的平台对全国电网进行全面的协调、规划和调度，形成以大型能源基地，如火电、水电、风电、核电等为依托的由 1000kV 交流、直流和 $\pm 800\text{kV}$ 构成的特高压电网，形成电力“高速和高等级电压公路”，促进大煤电、大水电、大核电、大型可再生能源基地的集约化发展，在全国范围内实现资源优化配置。同时，通过国家高级调度中心建设、大电网运行控制技术和灵活输电等智能电网技术和装备的研发和应用，保障在长距离、大负荷输电的情况下电网的稳定性。

2. 支持“即插即用”的分布式电源接入

在世界能源短缺和环境保护的前提下，新能源的开发与利用是今后能源发展的必然趋势，因此，智能电网的目标之一是兼容性，即既能支持大电源的集中式接入，又能够接纳更多的分布式清洁能源接入，如光伏发电、风电、小水电等。但分布式电源的并网运行对配电网的潮流控制及保护、规划等都提出了新的要求，智能电网建设必须提供新的保护方案、电压控制技术和智能仪表来满足双向潮流的需要。

集中和分布式能源同时接入将提高电力系统的效率，提供对电网峰荷电力的支持；分布式电源可以构成微网，便与管理；同时，当大电网遭到严重破坏时，这些分布式电

源也可自行形成孤岛,向医院、交通枢纽和广播电视等重要用户提供应急供电。

3. 高级配电自动化

智能电网建设中配电网的智能化建设至为关键。从目前国内外电网现状看,配电网的灵活性、自动化控制和运行水平还有待提高。

高级配电自动化是整个智能电网建设的重要组成部分,它包含配电网的监视与控制、配电系统的自动化管理功能和与用户的交互,以实现负荷的管理以及电价进行实时、分时、阶梯定价及与用户形成互动。高级配电自动化通过与智能电网的其他组成部分协同运行,既可降低线损,提高资产使用率,也可辅助优化人员调度和维修作业的安排等。

4. 基于物联网概念的可通信和远程管理的电力设备传感器网络

在目前的电网设备中,除了部分二次设备可以实现远程操作外,大部分电力设备之间的信息传输是单向方式,而未来智能电网将会以电力物联网的形式,形成一种新的设备通信和交互机制,实现电力设备间的信息交互,以此来大幅度提高电网的智能性和可靠性。

电力物联网的建设,使得电力企业和用户之间能够实现双向的数据传输和控制,实现智能电网的互动性,能够实行动态的浮动电价制度,合理用电;同时可以利用传感器网络对发电、输电、配电、供电等关键设备的运行状况进行实时监控,提高用电的可靠性和安全性;而且在遇到电力供应高峰期时,能够在不同区域间进行及时调度,平衡电力供应缺口,从而达到对整个电力系统运行的优化管理,提高电网运行的稳定性和可靠性。

5. 更为先进和全面的实时电网监测与控制

智能电网需要建立涵盖从发电、输电网到配电网的电网实时监控系统,以便通过传感器实现实时(秒到毫秒级延迟)、全面地监视全电网状态,监控电网运行。

通过建立电力物联网系统和更为先进的自动控制系统,电网运行信息能够通过被集成的数据采集与监视(Supervisory Control and Data Acquisition, SCADA)系统,形成自动、实时的电力生产信息,提高电网电力控制能力,解决预测、检测和修复电力系统的安全运营问题,从而可以通过完善的智能电网监控和调度,尽早地发现故障,以便采取正确的措施来快速地隔离问题,避免代价高昂的断电现象,保障电网安全和用电的可靠性,实现电网的自愈功能。

分布式电源的接入使电力系统的管理和控制更加复杂,需要建立集成及分散的决策机制,即将智能集成技术引入电网,从而实现电网管理的优化,大幅度减少断电等故障的发生。

6. 实现用户互动的终端解决方案

智能电网区别于传统电网的另外一个特点是“互动性”,即与终端电力用户之间实现双向互动,获得最优化合理的供用电方案,极大地改变现有的用电及管理行为,提升客户满意度。

与用户进行互动的最基本要求是:供电企业能够实时采集和跟踪客户端的用电信

息, 从而进行负荷控制, 采取最经济、稳定的供电方案; 同时智能终端设备能够将实时电价、电量等信息传导给用户。因此, 在智能电网的建设中, 智能计量装置的开发与应用将成为实现供用电双方互动的基础设备。通过智能计量装置, 供电企业能够实时采集客户信息, 并通过智能计量装置集成的管理软件对获取的数据进行分析, 掌握负荷信息, 对配电作出调节; 根据用电信息, 供电企业可以计算实时电价及预测电价的走势, 以选择用电时间, 并通过用户终端智能家用电器来调节用电的方案。

1.1.2 智能电网的特点

从国内外研究资料 and 智能电网发展来看, 智能电网应有如下一些特点:

1. 自愈和自适应

通过实时监控电网的运行、设备状态及用电信息, 及时发现、快速诊断和消除故障隐患, 在尽量少的人工干预下, 快速隔离故障、实现自我恢复, 也就是自愈功能, 从而避免大面积停电的发生, 提高电网的安全性和可靠性。

2. 互动性

通过智能终端设备和管理系统实现电力公司与客户的智能互动, 从而以最佳的电能质量和供电可靠性满足客户的需求。实现电力系统运行与电力市场无缝衔接, 同时满足分布式能源的并网要求, 通过市场交易行为来更好地激励电力市场主体参与电网的安全管理, 提升整个电力系统的安全运行水平。

3. 安全可靠

现代化的电网在建设时必须要考虑最好的安全性和可靠性, 开展提高电网安全性和可靠性的一系列研究, 以有效抵御自然灾害、外力破坏和网络攻击, 保证人身、设备和电网的安全。

4. 兼容性

能够实现大规模集中发电、分散式的分布式发电和储能单元兼容。传统的电力网络主要面向远端集中式发电, 而智能电网可实现面向在绿色能源发展模式下的包括集中式发电在内的多种不同类型发电, 比如分布式发电单元及储能装置。

5. 集成性

通过实现不断的流程优化、信息整合来实现涵盖整个电力系统的生产、运营, 如企业管理、生产管理、调度自动化和电力市场管理业务的集成, 形成全面的高级辅助决策支持体系, 不断提升整个电力企业的管理效率。

6. 经济高效

智能电网可优化整个电力系统的资源配置, 提高设备的安全使用容量和利用率, 快速实现不同区域间的及时调度, 平衡电力供应缺口, 满足更先进电力市场的竞争要求, 实行动态的浮动电价和实时电价制度, 实现整个电力系统优化运行。

1.1.3 实现智能电网正常运行所需的关键技术

1) 智能配电网技术: 配电网的现代化建设是智能电网实现的关键;

2) 新型的输电网络技术: 新型的输电网络技术可以提高电能传输能力和减少损耗, 如气体绝缘输电线路 (GIL), 超导性、高运行温度、柔性交流输电 (FACT) 技术等;

3) 通信技术: 通信技术可帮助保障网络自动化、在线服务、有功运行、需求响应和需求侧管理 (DSM);

4) 电力电子技术: 电力电子技术可以改善供电质量, 同时满足采用新能源的分布式发电需求;

5) 静态储能装置等。

实现智能电网运行需要采用许多新技术, 新的特高压电网输电技术可增加电能传输能力并减少能量损耗, 提高供电效率, 而电力电子技术则可改善供电质量并满足新能源分布式发电需求。通信、测量技术在不同程度上为电力系统发展打开新的通道。

1.2 国内外智能电网建设介绍

1.2.1 国外发达经济体智能电网发展现状

在美国和欧洲, 已经有大量的电力企业在如火如荼地开展智能电网建设与实践工作, 内容覆盖发电、输电、配电和售电等各环节。这些电力企业通过促成 IT 技术与电力企业具体生产和业务的有效结合, 使智能电网建设在企业生产经营过程中切实发挥作用, 并最终达到提高运营绩效的目的。

1. 美国

2003 年, 美国电力科学研究院 (EPRI) 将未来电网定义为“智能电网”, 同年 6 月, 美国能源部输配电办公室发布了一份名为“Grid 2030——电力的下一个 100 年国家设想”的报告。这份报告可谓是美国电力改革的纲领性文件, 描绘了美国未来电力系统的设想, 并确定了各项研发和试验工作的分阶段目标。

2004 年, 美国 Battelle 研究所和 IBM 公司先后提出了“智能电网”(Grid Wise 和 IUN: Intelligent Utility Network) 发展思路, 其中 IBM 智能电网的发展思路主要是解决电网安全运行、可靠性问题, 从其在 2004 年发布的《建设智能电网创新运营管理——中国电力发展的新思路》白皮书中可以看出, 解决方案主要包括以下几个方面:

- 1) 通过传感器连接资产和设备提高数字化程度;
- 2) 数据的整合体系和数据的收集体系;
- 3) 进行分析的能力, 即依据已经掌握的数据进行相关分析, 以便优化运行和管理。

IBM 的方案提供了一个大的框架, 通过对电力生产、输送、零售各个环节的优化管理, 为相关企业提高运行效率及可靠性、降低成本描绘了一个蓝图, 这是 IBM 的市场推广策略。

美国地域广阔, 其电网是一个庞大而复杂的系统, 包括集中式发电企业、输电网络和配电网络, 承载和持续保持着 8.5 亿 kW 电力的供求平衡。2009 年, 美国电网的供电可靠率已达到了 99.97%, 每年停运的时间约为 160min。

目前美国电网需依赖智能电网处理以下问题:

1) 电能质量有待提高。美国因为电力中断和电能储运的损失每年耗资超过 1500 亿美元。对公司或产业消费者而言, 每年平均 2.5h 的电力中断会带来相当大的经济损失。

对于普通消费者来说,电力质量引起的可能只是灯光闪烁或灯光变暗,但对于依赖高品质电力的高科技制造业和关键基础设施来说,这些事件则会破坏正常运营并可能带来数百万的经费花费。

2) 对电网峰负荷管理效率低。峰负荷是指一天、一季或一年之内最高的电力需求时段。电力需求表现为周期性和多变性,为满足这种需求的变化,电力成本也不断变化。但由于发电企业需求管理的工具有限,因此电力供应必须不断跟踪需求进行调整。此外,电网必须不断保持超额供应的缓冲储备,从而导致效率低、排放高和更高的成本。

3) 难以管理和处理复杂的信息。例如,接到消费者电话通知电力企业才能发现停电状况。此外,消费者很少了解电力如何定价以及不同时段具有不同价格等方面的信息。这些也是限制提高效率、节约能源和需求响应的因素。

4) 使用可再生能源的挑战。可再生能源发电由于其特点会产生比较大的波动(如风能和太阳能)。现有电网对可再生能源发电的支持水平,使超过大约 20% 的能量难以确定。

5) 对分布式发电支持不足。由于现有电网是以发电厂为中心、输送电流到最终用户的单向设计,因此为支持小型分布式发电,它必须升级到支持双向电流的设计。添加如屋顶太阳能或微型风力发电等分布式发电单元,对现有的电网来说,管理更为困难。

6) 插件式混合动力车的部署对电网压力大。在未来几十年,插件式混合动力车的部署是电力系统面临的主要压力。由于插件式混合动力车周期充电的特性,对现有的电网来说,不仅成本高昂而且技术实现也比较困难。

智能电网是将数字电子与计算机等技术应用到电力系统的生产、销售及管理部门,即运用 IT 技术自动控制电力供求平衡的现代电网。它并非仅利用某一项具体的技术,而是由一系列提高电网性能、可靠性和可控性的现代 IT 技术组成。其中许多技术已在其他行业应用,比如电信业和制造业,近年来它们运用数字技术进行现代化,提高了生产效率,产生新的发展机会和获得更强的生产力。相比这些行业,电力行业已然落后,就美国而言,还有许多发电厂仍然在应用 20 世纪 60 年代和 70 年代的设计与运行管理模式。

从目前研究看,智能电网技术可以提高以下几方面的潜在的经济效益和环境效益:增加可靠性,提高资产利用率,更好地适应可再生能源的并网应用和集成以及插件式混合动力车的接入,减少发电企业的运营成本,减少家庭和企业的用电支出,提高系统效率和效用,降低温室气体排放。主要表现在以下三个方面:

(1) 提高电力生产和供应的效率和效用,降低环境压力 智能电网通过提高能源效率和采用储能装备等措施能够使潜在的温室气体排放量减少一半以上,比如通过对分布式发电系统更好地管理和应用使得电能传输损耗减少;通过电力物联网实现对所有设备的实时监控,通过对设备情况的更好把握,使发电企业设备的重要部分保持高效率运作;通过用电信息的实时全面采集,使得电力企业能够利用需求反馈管理高峰负荷,从

而替代常规的旋转备用；全面的信息化管理可以提高电力价格的透明度，帮助客户了解电力企业生产的真实成本；为消费者提供持续的电力使用直接反馈，使得消费者可以根据价格和消费信息及时作出用电调整，达到合理及绿色用电的目的。如果智能电网方案实施，到 2030 年预计可以减少每年 3100 万 t 到 1.14 亿 t 的二氧化碳排放量。

(2) 分布式可再生能源的集成 美国电力科学研究院估计，通过应用大量分布式可再生能源产生的电能，未来不仅可以减少环境压力，还可以使得能源使用可持续化。

智能电网中两个关键技术（控制技术和智能计量装置）的发展可以更好地集成可再生能源，支持分布式发电：控制技术使分布式可再生能源发电的集成更安全和更可靠；智能计量装置能够更准确地计算分布式发电，使得网络计量更具吸引力，同时对不稳定的可再生能源电力具备全网响应和调度能力。而需求侧的合理响应能够缓冲电力供应的变化。智能电网提供插件式混合动力汽车分布式能源存储和配套服务，能够提供更好的定价机制和需求方管理，可以减少输电阻塞，也使得更多规模发电企业的可再生能源项目方便接入电网。

(3) 插件式混合动力电动汽车得以应用 汽车尾气是美国温室气体最大的排放源之一，插件式混合动力汽车的排放要比应用汽油内燃发动机的传统汽车低许多。美国电力科学研究院估计，通过启用智能电网应用插件式混合动力汽车，在 2030 年可以减少相当于每年 1000 万 t 到 6000 万 t 二氧化碳的温室气体排放，而对电网本身不会造成过大的压力。智能电网可以实现插件式混合动力汽车的智能充电功能，通过实时价格和全系统范围的价格信号，插件式混合动力汽车可以做到选择在非高峰期充电，避免昂贵的使用成本和减少发电厂峰谷时的负担。单车到电网，插件式混合动力汽车的应用可以起到调节电网电力的功能，且部分替代依赖化石燃料发电。

美国 PJM（宾夕法尼亚—新泽西—马里兰互联电网）公司在 2006 年底完成了一个战略发展项目，从多个维度对自身的发展进行了规划。主要包括：实现企业经营的信息化，电网资产可以支持自动化运行，打通能源价值链各环节并实现业务的综合集成，建设新的控制中心；组建智能电网工作组，为 PJM 区域内的输电资产所有者建设智能电网做好规划和建设方案。PJM 智能电网包含两个方面，即技术构成与业务构成。其中 PJM 的业务构成主要包括系统运行、市场运行、电网规划与企业管理等四个部分，从 PJM 智能电网设计内容来看，实际上它涵盖 PJM 业务的方方面面。同时通过实现此类业务信息与企业后台管理环节的有效集成与共享，智能电网还能够帮助建成信息化电力企业。

2008 年，美国科罗拉多州的波尔得（Boulder）宣布成为全美第一个智能电网城市，每户家庭都安装了智能电能表，人们可以很直观、方便地了解实时电价，从而把洗衣服、熨衣服等家务安排在电价低的时间段。智能电能表还可以帮助人们优先使用风电和太阳能等清洁能源。同时，通过智能电能表变电站可以收集到每家每户的实时用电情况，一旦有问题出现，可以重新配备电力。美国其他多个州也已经开始设计智能电网系统，近两年，推广互动电网技术的可能将超过 10 个州。

在美国白宫 2009 年 1 月 25 日发布的《复苏计划尺度报告》中，从节能减排、降低

污染角度提出绿色能源环境气候一体化振兴经济计划，其中智能电网是重要组成部分，内容包括将铺设或更新 3000 英里输电线路，并为 4000 万美国家庭安装智能电能表。美国于 2009 年 6 月公布了一项简称为“IEEEP2030”的智能电网标准和互通原则，这个标准的核心就是推动电力工程、通信和信息技术的交融。

厂商方面，GE、IBM、Siemens、Google、Intel 等信息产业龙头都已经投入了智能电网的研究和相关业务，其中 Google 已宣布了一个与太平洋煤气和电力公司（Pacific Gas & Electric, PG&E）的测试合作。2008 年 9 月 Google 与 GE 联合发表声明对外宣布，他们正在共同开发清洁能源业务，核心是为美国打造国家智能电网。21 世纪的电力系统必须结合先进的能源和信息技术，而这正是 GE 和 Google 的优势领域。目前美国大约有 1.3 亿块电能表，倘若包括计算机、传感器和网络系统的投资在内，实现市场转型，这项改革将拉动超过万亿美元以上的投资，对美国的信息产业发展也是一个巨大的机会。

2. 欧洲

欧盟为应对气候变化、对能源进口依赖日益严重等挑战，同时为能向客户提供可靠便利的能源服务，着手制定了一整套能源政策。这些政策覆盖电力系统的发电侧、输送侧以及需求侧等系统各方面，对于推动整个电力产业领域的现代化发展，为客户提供可持续发展的能源，形成低能耗的经济发展模式起到重要作用。

欧洲智能电网技术主要包括网络资产、电网运行、需求侧和计量、发电和电能存储四个方面。

欧洲很重视环境保护和可再生能源发电的发展，在这种能源政策的引导下，可再生能源发电正在大力发展；欧盟理事会能源政策的中心目标是发展风能、水能、太阳能和生物质能等可再生能源。其电力发展模式是向分布式发电、交互式供电的分散智能电网过渡，特别强调对环境的保护和可再生能源发电的发展。因地理环境不同，欧洲智能电网考虑的不是电网的大容量和超高压发展方向，关注更多的是智能电网中分布式能源的接入技术等其他方向。对其而言，未来的电网必须建立在电网信息化管理系统之上，特别是低压供电电网的信息化控制、流量平衡控制、网内分布式能源智能管理与控制系统、智能保护系统等，其电网的发展目标是可靠、高效和灵活。欧洲未来电网模式如图 1-2 所示。

2006 年欧盟理事会的能源绿皮书《欧洲可持续的、竞争的和安全的电能策略》（A European Strategy for Sustainable, Competitive and Secure Energy）明确强调欧洲已经进入一个新能源时代，欧洲能源政策最重要的目标必须是供电的可持续性、竞争性和安全性，从而需要通过制定一系列政策和技术实施来实现，欧洲电力市场和电网必须面对这些新的挑战。未来整个欧洲电网必须向所有用户提供高度可靠、经济有效的电能，充分开发利用大型集中新能源发电和小型分布式电源。智能电网技术是保证欧盟电网电能质量和安全可靠性的一个关键技术和发展方向。

实际上欧洲电网属于分布发电与交互式供电的发展模式，更适宜建立智能电网，因此，智能电网在意大利、英国、法国、德国等都有潮流性发展趋势。2001 年意大利的

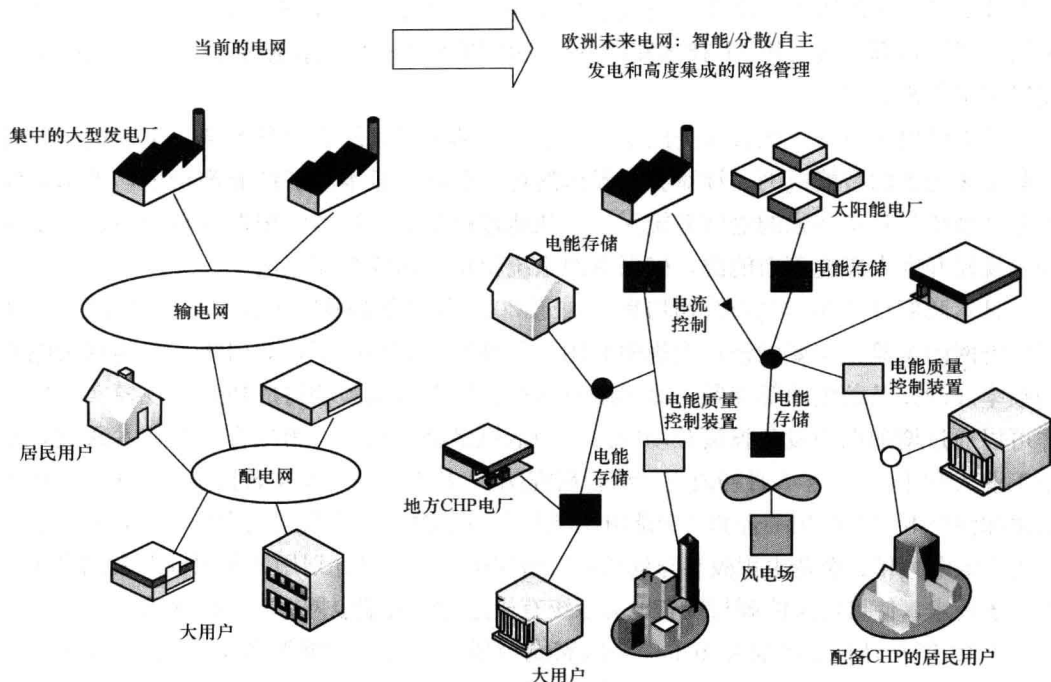


图 1-2 欧洲未来电网模式示意图

(注：CHP, Combined Heat and Power, 热电联产)

电力公司就安装和改造了 3000 万台智能电能表，建立起了智能计量网络，欧洲其他国家也正在将智能网络作为一项技术革命进行推广。

智能电网是为满足欧洲未来供电网需要而进行的大胆尝试，其特性有以下四点：

- 1) Flexible (柔性的)，满足用户需要；
- 2) Accessible (易接入的)，目前欧洲提倡并鼓励用户安装太阳能等清洁能源发电装置，因此电网必须保证所有用户的连接畅通；
- 3) Reliable (可靠的)，保障和提高供电的安全性和质量；
- 4) Economic (经济的)，通过改革及竞争调节实现最有效的能源管理。

欧洲智能电网的研究与应用主要涉及以下几个方面：智能配电结构；智能运行，电能和用户之间的适应性；智能电网管理；智能电网的欧洲互用性；智能电网的断面潮流问题。

3. 日本

日本能源大部分依靠进口，2007 年日本的能源自给率只有 4%，即使把核电作为本国能源，自给率也只有 18%。因此，日本一直致力于加强核电开发来提高能源自给率和实现低碳。随着环境保护的要求越来越高，近年日本在发展核电的同时也在积极引进可再生能源。

2002 年日本公布了可再生能源的利用比率标准 (Renewals Portfolio Standard, RPS)，按照电力的供给量决定各电力公司必须引进可再生能源的比例。然而，如果电

力系统引进大量的可再生能源，可能会引发电力调度、电力系统过电压等一系列问题。解决这些问题都需要运用 IT 技术建设的智能电网来最有效地控制储能装置、调整系统输出功率等来实现。

日本政府通过深入比较与美国电力工业特征的不同，结合自身国情，决定构建以对应新能源为主的智能电网。针对美国提出的智能电网，日本经济产业部指出，美国脆弱的电网系统与日本坚强的电网系统无法单纯地进行比较，日本将根据自身国情，主要围绕大规模开发太阳能等新能源，确保电网系统稳定，构建智能电网。

日本政府计划在与电力公司协商后，于 2010 年开始以孤岛模式进行大规模地构建智能电网的试验，主要验证在大规模利用太阳能发电的情况下，如何统一控制剩余电能和频率波动以及蓄电池等课题。日本政府期待智能电网试验获得成功并大规模实施，这样可以通过增加电力设备投资拉动内需，创造更多就业机会。为配合企业技术研究，东京工业大学于 2009 年 3 月初成立“综合研究院”，其中，赤木泰文教授主持的关于可再生能源如何与电力系统相融合的“智能电网项目”备受瞩目。除东京电力公司外，东芝、日立等 8 家电力相关企业也积极参与到该项目研究中。该项目计划用 3 年时间开发出高可靠性系统技术，使可再生能源与现有电力系统有机融合的智能电网模式得以实现。

2010 年 6 月日本政府发布了作为国家能源战略方针的“能源基本计划”，提出了到 2030 年 12 月底实现将现在的能源自给率和化石燃料的自主开发比率翻一番的目标，可再生能源和智能电网被作为达成这一目标的重要手段之一。

日本管辖能源政策的经济产业省组织了各种委员会和研讨会，在大量引进利用可再生能源客户的前提下，构筑“日本型智能电网”，为实现“新一代能源的社会系统”，发表了以下的构想和技术方案：

- 1) 新一代输配电网：通过新一代智能输配电系统的研究与实现，进行系统控制技术、光伏发电相关技术及孤岛型微网的试点试验等；
- 2) 热能及未利用能源的有效利用：构筑热电融合的控制系统，根据实证试验取得的数据进行系统改良，确立最佳的运营技术和方法；
- 3) 区域能源管理：建立由实证试验数据基础上的区域能源管理系统（Energy Management System, EMS），并对其效果进行验证；
- 4) 智能电能表：推行智能电能表，使得消费电量实现网络监测及可视化，从而进行与电费价目联动的实证试验；
- 5) 蓄电复合系统：通过实证试验，开发可设置在用户端的蓄电池并积累实验数据；
- 6) 智能住宅与智能家电：对应智能住宅与智能家用电器的智能化运用的连接设备及数据的标准化研究；
- 7) 零能耗建筑（Zero-Energy Building, ZEB）：在节能法规中强化建筑物的节能标准；
- 8) 新一代汽车：到 2020 年末，实现新车销售中约一半为新一代节能汽车；
- 9) 智能电网的国际标准化：设立专门委员会推进国际标准化；
- 10) 智能电网项目的国外展开：与美国合作构筑新墨西哥州能源管理系统（日美智

能电网共同实证试验项目)。

4. 韩国

2008年8月,韩国提出了低碳、绿色增长的国家愿景,2009年2月就出台了“绿色增长国家战略”,将发展智能电网作为实现经济低碳、绿色增长的核心与关键。此举是为了应对气候变化、保障能源安全、实现可持续发展的积极透明、综合高效的绿色发展。

韩国电力系统的输配电业务目前均由韩国电力公司(KEPCO)负责管理,绝大部分电力供应也由韩国电力公司提供。在韩国能源构成中,煤电占38%、核电占37%、天然气发电占18%、石油发电占6%,以及占1%的可再生能源发电。虽然韩国的石油消费比例持续降低(从20世纪80年代的61.1%降低到2008年的41.8%),但是,目前韩国经济高速发展与国内能源资源匮乏之间的矛盾日益突出。能源匮乏与经济之间的矛盾,发展与环境的矛盾,是韩国积极推动智能电网发展的最重要原因。具体而言,韩国发展智能电网主要有以下四方面原因:

1) 促进可再生能源发展,保障能源安全。韩国是世界第10大能源消费国,96%能源需要进口,进口额持续上升。

2) 增加劳动就业机会,创造经济发展新引擎。

3) 积极应对气候变化。截至2007年底,韩国是世界第16大温室气体排放国,其中84.7%的二氧化碳排放来自能源行业。韩国政府希望通过提高可再生能源开发利用,促进电动汽车普及,有效降低温室气体排放。

4) 提高能源资源利用效率。韩国的能源利用率偏低,2007年其能源强度(也称为“单位产值能耗”)为0.479t标煤/1000美元,远高于同期的美国(0.294)、英国(0.187)和日本(0.144)。韩国政府希望通过推广节能技术、需求侧响应技术等,提高能源利用效率。

韩国智能电网发展的特点集中体现在政府主导、顶层设计、法律环境、政策支持、市场开发和国际合作等六方面。

韩国选择了5个极具发展潜力的领域作为智能电网的建设重点,分别是智能网络、智能场所、智能交通、智能能源、智能供电服务。

韩国计划到2030年用在智能电网上的投资约为27.5万亿韩元,约合1617亿元人民币,其中政府出资约占总投资的9.8%。济州岛智能电网示范工程的总投资为2372亿韩元,约合15亿元人民币,其中政府投资约占总投资的28%。

韩国在法律上先行营造支持智能电网发展的环境,2009年12月29日,韩国国会通过了《绿色增长基本法》,明确了韩国绿色增长的基本理念、原则、战略、绿色增长委员会的作用等,同时提出了实现绿色增长、绿色生活、低碳社会和实现可持续发展的基本原则和措施。该法案明确提出“促进绿色发展是国家的第一优先课题”。《绿色增长基本法》出台后,韩国加快制定《智能电网建设及使用促进法案》。该法案主要包括智能电网发展规划、基础设施建设、投资回收和税收优惠、技术研发、信息监管和信息安全等。

韩国同时加大对智能电网发展的投资和财税政策支持。2009年1月6日,韩国政府出台了名为“绿色新措施”的经济刺激等一系列方案,从财政、金融和税收等方面支