

智能电网工程 应用与发展

主 编 刘 明 马晓久 王海静
副主编 拜克明 吴望阳 杨志勇 等
主 审 景 胜



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

智能电网工程 应用与发展

主 编 刘 明 马晓久 王海静

副主编 拜克明 吴望阳 杨志勇 等

主 审 景 胜



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

编写人员名单

主 审 景 胜

主 编 刘 明 马晓久 王海静

副主编 拜克明 吴望阳 杨志勇 司立国 周庆山
史辛琳

参 编 李广超 陈 彦 刘 红 拜 林 陈 瑛
周 琨 来沛剑 郭佳媚 徐 莉 朱宁辉

前言

preface



在 20 世纪，大电网作为工程领域的最大成就之一，体现了能源工业的战略布局，是实现各种一次能源转换成电力能源之后进行相互调剂、互为补充的迅速、灵活、高效和能源流通渠道。然而，世界能源体系正面临着抉择，目前全球能源供应和消费的发展趋势从环境、经济、社会等方面来看具有很明显的不可持续性。在当前世界能源短缺危机日益严重、电力系统规模的持续增长、气候环境变化加剧等因素的影响下，21 世纪电力供应面临一系列新的挑战。

因此，在欧盟、美国和中国等，政府、高校研究机构和企业共同参与，针对保证 21 世纪能源供应面临的技术问题、技术难点和技术路线开展了深入的研究，提出了智能电网的概念。目前，这些国家和地区将智能电网提高到国家战略的高度，将发展智能电网视为关系到国家安全、经济发展和环境保护的重要举措。智能电网是解决 21 世纪电力供应面临问题的有效途径。

本书在汇总智能电网各种资料的基础上，将“智能电网”这一概念从提出到明确过程中国内外所出现的类似概念进行了梳理，按照时间先后顺序进行了排列，明确“智能电网”这一概念并不是一蹴而就提出的，而是在大量工程实践的基础上逐步完善得到的，以加深对“智能电网”这一概念的理解。

本书依据国家电网公司所提出的“坚强智能电网”概念，按照发、输、变、配、用和调度与通信几个部分，分章进行阐述。每个部分从基本概念入手，以简明扼要的介绍，给出每部分在智能电网这个整体中的地位与作用；按照不同的组成分类，给出这一部分的全貌，让读者可以建立比较概括的整体架构；汇总了国内外相关领域的部分典型工程应用，

了解该领域的具体应用，将“智能电网”这一概念落实到工程人员所熟悉的具体工程应用；同时也给相关领域的科研人员，提供一个了解国外智能电网工程的窗口。在此基础上，结合国内相关政策，以及各种技术的优缺点，列举出了这些领域可能的发展趋势。

本书在介绍完智能电网概念和工程后，作为智能电网最终的服务对象——城市和地球，还介绍了智慧城市和智慧地球，描绘了智能电网在智慧城市和智慧地球中的应用前景和重要基础作用。

本书在编写过程中，借鉴了国内外智能电网相关领域的研究成果，朱宁辉博士提供了大量的资料，并参与了本书的编排和校正，在此一并感谢。

由于编者水平有限，因此本书不完善、不正确的地方在所难免，敬请读者见谅，并恳请读者给予批评指正。

编 者

2011年9月

目 录

contents



前言

第 1 章 智能电网概述	1
1.1 智能电网概念的提出	1
1.2 智能电网的不同定义	2
1.3 各国智能电网工程探索	7
第 2 章 智能发电	20
2.1 太阳能发电	21
2.2 风力发电	33
2.3 核电	43
2.4 海洋能发电	52
2.5 生物质能发电	61
2.6 水力发电	71
2.7 小型分布式发电	78
第 3 章 智能输电	80
3.1 特高压输电	80
3.2 灵活/柔性交流输电	89
3.3 柔性直流输电	94
3.4 新型输电	98
第 4 章 智能变电	113
4.1 智能变电系统概述	113
4.2 智能变电站的组成	114
4.3 智能交流变电站	118
4.4 智能直流换流站	137

第5章 智能配电	147
5.1 智能配电系统	147
5.2 配电网自愈控制	151
5.3 智能配电网核心——微型电网	155
5.4 高级计量体系（AMI）	164
5.5 高级配电自动化（ADA）	172
5.6 智能配电信息系统	177
5.7 国外智能配电网工程	178
5.8 国内智能配电网工程	179
5.9 智能配电网展望	180
第6章 智能用电	182
6.1 智能用电系统	182
6.2 智能小区	186
6.3 智能楼宇	200
6.4 智能家居	208
第7章 智能调度与通信	215
7.1 智能调度	216
7.2 智能调度工程应用	223
7.3 智能调度的发展方向	236
7.4 智能通信	237
第8章 智慧地球与智慧城市	249
8.1 智慧地球概念的提出	249
8.2 智慧地球的内涵	249
8.3 智慧城市	255
8.4 智慧城市与智能电网	257
8.5 国外智慧城市的探索	258
8.6 国内智慧城市探索	262
参考文献	265

第1章 智能电网概述

在 20 世纪，大电网作为工程领域的最大成就之一，体现了能源工业的战略布局，是实现各种一次能源转换成电力能源之后进行相互调剂、互为补充的迅速、灵活、高效和能源流通渠道。然而，世界能源体系正面临着抉择，目前全球能源供应和消费的发展趋势从环境、经济、社会等方面来看具有很明显的不可持续性。在当前世界能源短缺危机日益严重、电力系统规模的持续增长、气候环境变化加剧等因素的影响下，21 世纪电力供应面临一系列新的挑战。

因此，在欧盟、美国和中国等政府、高校研究机构和企业共同参与，针对保证 21 世纪能源供应面临的技术问题、技术难点和技术路线开展了深入的研究，提出了智能电网的概念。目前，这些国家和地区将智能电网提高到国家战略的高度，将发展智能电网视为关系到国家安全、经济发展和环境保护的重要举措。智能电网是解决 21 世纪电力供应面临问题的有效途径。

本章从智能电网概念的提出过程、智能电网的不同定义以及各国智能电网工程探索几个部分来对智能电网进行整体概念性描述。

1.1 智能电网概念的提出

智能电网作为 21 世纪全球各国解决电力问题的共同选择，并非一蹴而就提出的，而是经过很多国家在摸索过程中，不断完善各自对智能电网的需求，在此基础上加以总结和提升，最终形成较为统一的概念。在“智能电网（Smart Grid）”这一概念形成的过程中，出现一些影响较广的提法，具体如下：

(1) 1998 年 1 月 31 日，美国前副总统戈尔在加利福尼亚科学中心讲演时首次提出了“数字地球”的理念。随后，各个行业也纷纷提出自己的数字化理念，如“数字城市”、“数字水利”、“数字电网”等。

(2) 2000 年，清华大学卢强院士在国内首次提出了“数字电力系统（Digital Power Systems, DPS）”的概念，将 DPS 定义为：“它是某一实际运行的电力系统的物理结构、物理特性、技术性能、经济管理、环保指标、人员状况、科教活动等数字地、形象化地、实时地描述与再现”。从此中国揭开了数字化电网研究的序幕。

(3) 2001 年，美国电力科学研究（Electric Power Research Institute, EPRI）提出“智慧电网（Intelligrid）”的概念，并开始这方面的研究工作。

(4) 2003 年 6 月, 美国能源部发布“Grid 2030—电力的下一个 100 年的国家远景 (Grid 2030: A National Vision for Electricity's Second 100 Years)”的报告, 它描绘了美国未来电网的设想, 并确定了各项研发和试验工作的分阶段目标, 其下属的美国国家能源技术实验室 (DOE—National Energy Technology Laboratory, NETL) 提出了“现代电网 (Modern Grid)”的概念。

(5) 2003 年, 美国电网智能化联盟 (GridWise Alliance) 成立, 它由美国能源部牵头, 最初由 7 家电力公司组成, 旨在推动并优化电网的发展, 促进政府与企业的互动。目前, 该联盟已拥有 90 名成员, 代表了智能电网产业链上所有的利益相关者。

(6) 2004 年, 美国 Battelle 研究所和 IBM 公司先后提出了“Intelligent Grid”和“Intelligent Utility Network”的概念。

(7) 2005 年, “智能电网欧洲技术论坛”正式成立, 并提出了“智能电网 (Smart Grids)”的概念。该论坛包括了来自设备制造、电网运行、研究机构和监管部门的代表, 其主要目标是将当前的电网转换成为一个用户和运营商互动的服务网, 提高欧洲输配电系统的效率、安全性和可靠性, 并为分布式和可再生能源发电的大规模整合扫除各种障碍。

(8) 2006 年, “智能电网欧洲技术论坛”的顾问委员会提出了“未来欧洲智能电网的远景和战略 (Vision and Strategy for Europe's Electricity Networks of the Future)”, 之后又制定了战略研究议程, 用于指导欧盟及其各国开展相关项目, 促成智能电网的实现。

(9) 2006 年, 欧盟理事会发布能源绿皮书《欧洲可持续的、竞争的和安全的能源策略》(A European Strategy for Sustainable, Competitive and Secure Energy), 强调智能电网技术是保证欧盟能源的一个关键技术和发展方向。

(10) 2009 年 2 月 2 日, 中国能源问题专家武建东在《全面推互动电网革命拉动经济创新转型》的文章中, 明确提出中国电网亟须实施“互动电网”革命性改造。

(11) 2009 年 5 月 21 日, 国家电网公司在“2009 特高压输电技术国际会议”上提出“坚强智能电网”的概念。“坚强智能电网”以坚强网架为基础, 以通信信息平台为支撑, 以智能控制为手段, 包含电力系统的发电、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、友好互动的现代电网。

1.2 智能电网的不同定义

智能电网的概念首先是在欧美发达国家提出的。由于计算机、通信、电力电子

等新技术的飞速发展,社会各行各业都已经应用这些新技术提高行业的现代化水平。电力工业是一个传统的产业,已经经历了上百年的历史,而且欧美发达国家的电网设备已经进入老化的时期,迫切要求更新改造,而这些新技术的发展使得实现电网智能化成为可能;欧美很多国家都实施了电力的市场交易,电力市场的自由化迫切要求发电、电网、零售商和用户参与电力市场,用户要求实时报价,这就要求电网能够智能化以满足其对电网信息的需求;广大用户对可靠性和服务水平的要求不断提高,不进行电网的智能化改造就不可能提高供电的可靠性;同时分布式电源,特别是可再生能源的涌入要求电网实现智能化,以使其能随时与电网互联,满足其参与市场竞争的需求;特别是 2003 年美加大停电后,美国的政府机构、科研部门、大学开始注意到美国电网的脆弱性,开始研究如何提高电网的可靠性。基于以上几个方面的原因,欧美国家相继提出了各自智能电网的概念,随后中国也提出了符合中国国情的“坚强智能电网”。

1.2.1 IntelliGrid

“IntelliGrid”由美国电力科学研究院(EPRI)提出。定义为:由多个自动化的输电和配电系统构成,以协调、有效和可靠的方式运作。快速响应电力市场和企业需求;利用现代通信技术,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;具有快速诊断、消除故障的自愈功能。

美国电力科学研究院(EPRI)从 2003 年开始,历时 18 个月,研究了综合能源及通信系统体系架构 IECSA 项目(Integrated Energy and Communication Systems Architecture),并将未来电网定义为“智慧电网(IntelliGrid)”。

按照美国电力科学研究院的定义,未来的电网将是高速通信网络和电力网络的有机结合,形成一个统一的电力能源和通信系统,它对未来电力系统的描述可以概括为:电力系统包含大量的自动输电和配电系统,它们运行在一个高效、可靠且相互协调的模式下;系统能够以自愈的方式处理紧急情况,同时对能量市场和电力公司的业务需求能够给予快速响应;系统能够服务于数量巨大的用户,同时具备一个智能的通信基础设施以实现及时、安全、自适应的信息交换,从而保证为社会提供可靠而经济的能源。其目标是:

(1) 自愈(Self-Healing),在电网出现紧急状况前能自适应地解决问题,这是智能电网最重要的特点,因此也称其为自愈电网(Self-Healing Grid, SHG)。

(2) 交互(Interactive),电网与用户和市场的交互。

(3) 优化(Optimized),以使资源和设备得到最好的应用。

(4) 预测(Predictive),而不是被动地反应,在事故前预防紧急情况而不是事故后的解决问题。

(5) 分布式的资产和信息(Distributed assets and information),跨地理和组织

边界的分布式的资产和信息的管理。

(6) 集成 (Integrated), 将所有主要的信息进行集成和合并。

(7) 安全 (More Secure), 使电网面对所有攻击更加安全。

在这个目标下, 智能电网的主要组成部分有:

(1) 综合能源和通信系统, 是一个开放式的、基于标准的架构, 集成了数据通信网络和智能设备, 用来支持未来电力的交换, 所以未来的智能电网必然是建立在基于统一标准的高速通信系统之上的。

(2) 输配电系统的快速仿真和建模, 这是实现故障的定位和隔离、网络重构等自愈功能的基础。

(3) 用户管理系统, 把积极的电力用户集成到电网中, 使用户参与到输配电运行的辅助服务中来。

(4) 分布式电源管理系统, 把分布式电源集成到电网中, 使分布式电源能够提供更多的辅助服务。

(5) 高级的电力电子设备, 基于电力电子技术的 FACTS 技术参与到电网的动态管理中, 实现电网的自愈。

(6) 高级的传感器技术, 自动把分布式电源接入电网中, 使得参与者能够提供辅助服务。

(7) 电能质量优化和评估系统, 使电能质量得到优化和方便评估。

1.2.2 Modern Grid

“Modern Grid”由美国国家能源技术实验室 (DOE - NETL) 提出。定义为: 采用先进的传感技术、通信技术和控制技术来保证更为高效、经济和安全地发电、输电和供电的现代电网, 它集成了从发电、输电和配电以及用电设备领域的大量有益于社会的创新技术和手段, 以满足不断变化的未来社会需求。

美国国家能源技术实验室 (DOE - NETL) 是美国能源部下属的研究机构, 其内部成立了现代化电网计划团队, 该团队在美国召开了七次现代化电网区域首脑会议, 邀请来自政府、电力公司、区域输电组织、消费者和环境保护团体、大学、研究和机构的领导人共同讨论制定现代化电网构想的方法, 并于 2007 年 1 月发布了其关于未来电网的构想, 并称之为“现代化电网的系统化构想”。该构想由五个主要要素组成, 分别为关键成功因素、性能、主要特征、关键技术领域以及指标体系, 为现代化电网描绘了美好的前景。

随后该组织发起了“现代电网计划 (Modern Grid Initiative, MGI)”, 目的是对电网现代化目标进行细化, 并力争在全国范围内达成共识。计划流程包括: 制定现代电网的定义和愿景; 分析技术和研究差距; 确定技术和工艺需要; 引导先进的技术项目; 评估项目结果; 激励部署。

1.2.3 Smart Grids

“Smart Grids”由“智能电网欧洲技术论坛”的顾问委员会提出。定义为：智能电网集创新工具和技术、产品与服务于一体，利用高级感应、通信和控制技术，为客服的终端装置及设备提供发电、输电和配电一条龙服务，实现了与客户的双向交换，从而提供更多信息选择、更大的能量输出、更高的需求参与率及能源效率。

在欧洲，智能电网建设的驱动因素可以归结为市场、电网安全与电能质量、环境三方面。欧洲电力企业受到来自开放的电力市场的竞争压力，亟须提高用户满意度，争取更多用户。因此提高运营效率、降低电力价格、加强与客户互动就成为了欧洲智能电网建设的重点之一。与美国用户一样，欧洲电力用户也对电力供应和电能质量提出了更高的要求。而对环境保护的极度重视，使得欧洲智能电网建设比美国更为关注可再生能源的接入以及对野生动物的影响。

为此，2005年欧盟委员会启动了相关的研究与建设工作，提出了在欧洲要建设的智能电网的定义，并制定了“未来欧洲电网构想和战略”以及“未来欧洲电网战略研究计划”，提出了未来欧洲智能电网必须是灵活的（Flexible）、可接入的（Accessible）、可靠的（Reliable）和经济的（Economic）。

1.2.4 数字电力系统

“数字电力系统（DPS）”的概念最早由清华大学卢强院士于2000年提出。其定义为：某一实际运行的电力系统的物理结构、物理特性、技术性能、经济管理、环保指标、人员状况、科教活动等数字地、形象化地、实时地描述与再现。如果做到了这一点，就可以说我们建立了该实际电力系统的数字电力系统。

这一定义认为数字电力系统主要包括：

- (1) 管理和决策的科学化。
- (2) 安全稳定实时评估与改善。
- (3) 经济运行策略制定和实行。
- (4) 紧急控制的实施。
- (5) 最适合解裂方案的实施。
- (6) 快速恢复策略的制定。
- (7) 科学研究和系统规划设计。

卢强院士将一个实际的电力系统和一个数字电力系统对应起来，通过数字电力系统的实时仿真来实现对实际电力系统的控制。其所定义的数字电力系统及其功能都包含在“智能电网”的概念中，因此可以说，数字电力系统是智能电网的一个子集。

1.2.5 互动电网

“互动电网（Interactive Smart Grid）”的概念为武建东教授于2009年提出，认

为智能电网的含义已涵盖其中。其定义为：在开放和互联的信息模式基础上，通过加载系统数字设备和升级电网网络管理系统，实现发电、输电、供电、用电、客户售电、电网分级调度、综合服务等电力产业全流程的智能化、信息化、分级化互动管理，是集合了产业革命、技术革命和管理革命的综合性的效率变革。它将再造电网的信息回路，构建用户新型的反馈方式，推动电网整体转型为节能基础设施，提高能源效率，降低客户成本，减少温室气体排放，创造电网价值的最大化。

互动电网还可以通过电子终端将用户之间、用户和电网公司之间形成网络互动和即时连接，实现电力数据读取的实时、高速、双向的总体效果，实现电力、电讯、电视、智能家电控制和电池集成充电等的多用途开发，实现用户富裕电能的回售，可以整合系统中的数据，完善中央电力体系的集成作用，实现有效的临界负荷保护，实现各种电源和客户终端与电网的无缝互连，由此可以优化电网的管理，将电网提升为互动运转的全新模式，形成电网全新的服务功能，提高整个电网的可靠性、可用性和综合效率。

1.2.6 坚强智能电网

1.2.6.1 坚强智能电网的定义

“坚强智能电网”的概念于2009年5月21日国家电网公司在“2009特高压输电技术国际会议”上提出，并定义为：“坚强智能电网”以坚强网架为基础，以通信信息平台为支撑，以智能控制为手段，包含电力系统的发电、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、友好互动的现代电网。

1.2.6.2 坚强智能电网的目标

国家电网公司提出的目标是：建设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、互动化特征的统一坚强智能电网。

因此，“坚强”和“智能”是坚强智能电网的基本内涵。只有形成坚强网架结构，构建“坚强”的基础，实现信息化、数字化、自动化、互动化的“智能”技术特征，才能充分发挥坚强智能电网的功能和作用。特高压就为发展智能电网提供了坚实的基础。将要建设的坚强智能电网，是一个坚强可靠、经济高效、清洁环保、透明开放、友好互动的现代电网。

1.2.6.3 坚强智能电网实现的三要素

(1) 有足够的投资，在庞大的输电线上安装足够数量的传感器和可进行双向通信的智能电表，利用智能电表掌握整个系统的实时情况。

(2) 必须要有相当健全的通信系统、电子计算机系统，以及统一的通信系统标准。

(3) 计算机系统足够的运算能力,通过数据分析,以优化运行和管理。

1.2.6.4 坚强智能电网的四个特征

(1) 数字化:数字化电网、数字化电表、数字化用电设备。

(2) 信息化:市场信息、电网信息、用户信息、宽带通信形成的信息平台。

(3) 自动化:大电网安全稳定控制(高级智能调度),变电站自动化、用户用电系统智能控制。

(4) 互动化:电网、发电、用户以信息为基础的互动和决策。

1.2.6.5 坚强智能电网的五个内涵

(1) 智能(Smart):智能输电、智能配电、智能用电。

(2) 特高压(Ultra High Voltage):1000kV交流、 ± 800 kV、 ± 1000 kV直流构成的骨干网架。

(3) 坚强(Powerful):输电能力、资源优化配置能力、市场能力、各类电源适应能力、增值服务能力强大。

(4) 高效(Efficient):高效的电力输送、高效的市场运营、高效的电力使用和服务。

(5) 可靠(Reliable):在各种运行状况和自然灾害条件下,保障电网安全和用户供电。

1.2.6.6 坚强智能电网建设规划

国家电网按照统筹规划、统一标准、试点先行、整体推进的原则,加快建设由1000kV交流和 ± 800 kV、 ± 1000 kV直流构成的特高压骨干网架,在实现各级电网协调发展的同时,围绕发电、输电、变电、配电、用电、调度等主要环节和信息化建设等方面,分阶段推进“坚强智能电网”发展。到2020年,将全面建成统一的“坚强智能电网”,使电网的资源配置能力、安全稳定水平,以及电网与电源和用户之间的互动性得到显著提高,使“坚强智能电网”在服务经济社会发展中发挥更加重要的作用。

中国坚强智能电网的规划,共分三个阶段推进“坚强智能电网”的建设:

(1) 2009~2010年为规划试点阶段,重点开展规划、制定技术和管理标准、开展关键技术研发和设备研制,及各环节试点工作。

(2) 2011~2015年为全面建设阶段,加快特高压电网和城乡配电网建设。

(3) 2016~2020年建成统一的“坚强智能电网”。

1.3 各国智能电网工程探索

“智能电网”这一概念尚在讨论完善时,全球各国的智能电网工程随之展开,在智能电网的各个领域进行大胆的尝试,不断总结经验,根据实际运行效果充实

“智能电网”的内涵。在这一过程中,全球各国开展了大量的探索性应用工程,对其中影响较大的应用进行了整理。

1.3.1 欧洲智能电网工程

欧洲经济发展水平较高,其电网架构、电源布点、电源类型臻于完善,负荷发展趋于平缓,电网新增建设规模有限。面临的主要问题在于:一是各国电网运行模式不同,国家间电网互连需要解决一系列的问题;二是面临大力节能减排、发展低碳经济以满足《京都议定书》环保目标的压力。因此,欧洲智能电网建设更加关注可再生能源和分布式电源的接入,提高供电可靠性和电能质量、完善社会用户的增值服务。

2002年4月,欧盟委员会提出了“欧洲智能能源”计划,并在2003~2006年投资2.15亿欧元,支持欧盟各国和各地区开展旨在节约能源、发展可再生能源和提高能源使用效率的行动,更好地保护环境,实现可持续发展。

2005年,根据可再生能源和分布式发电的发展要求,欧洲智能电网技术论坛成立。该论坛发表的报告重点研究了未来电网的发展前景和需求,提出了智能电网的优先研究内容和欧洲智能电网的重点领域。在欧盟第五、第六研发框架计划的支持下,欧洲未来电网 Smart Grids (智能电网) 技术平台在2005年正式启动,适应智能电网的家用电器技术开发进程也随之启动。

1.3.1.1 可再生能源发电和分布式发电研究与应用工程

2006年,欧盟理事会能源绿皮书《欧洲可持续的、竞争的和安全的能源策略》明确指出,欧洲已经进入新能源时代,智能电网技术是保证电能质量的关键技术和发展方向。保证供电的持续性、竞争性和安全性是欧洲能源政策最重要的目标,也是欧洲电力市场和电网必须面对的新挑战。未来整个欧洲的电网必须向用户提供高度可靠、经济有效的电能,并充分开发利用大型集中发电机和小型分布式电源。

1. 可再生能源发电

目前,欧盟多个国家都在加快推动智能电网的应用和变革。与美国不同,欧洲智能电网主要侧重于清洁能源的利用,特别是将大西洋的海上风电、欧洲南部和北非的太阳能发电融入欧洲电网。同时,欧洲电网还将接入大量分布式微型发电装置——住宅太阳能光伏发电装置、家用燃气热电联产装置等,以实现可再生能源大规模集成性跳跃式发展。据测算,如果欧洲1.83亿用户全部接入智能电网,可以降低12%的电力消耗(18GW)。

欧盟各国的可再生能源发电比例已经从1997年的13.9%增加到2010年的22.1%。欧洲议会2009年通过了促进可再生能源利用的指令,规定到2020年欧盟地区的可再生能源供应量应达到全部能源供应量的20%。而欧盟15个成员国(EU15)(2004年前欧盟的15个成员国)的可再生能源工业的目标是2020年可再

生能源发电量达到总发电量的 33%。在一系列能源政策的引导下,欧洲确定了分布式发电的发展方向。与之相适应的研究重点集中在动力与能源转换设备、资源深度利用技术、智能控制和群控优化技术以及综合系统优化技术上。其中,与电网相关的研究主要针对分布式发电系统的电网接入研究,以及解决分布式发电与现有电网设施的兼容、整合和安全运行等问题。

在英国,智能电网的探索方向是可再生能源发电和智能配电。英国能源公司计划建设的 8.6GW 潮汐发电工程,将成为世界上最大的潮汐发电站,并计划于 2020 年把利用风力发电获得的电力直接输入城市电网。

2. 燃气热电联产

在欧洲智能电网技术课题中,家用燃气热电联产装置并网技术的发展,将促进燃气热电联产装置的普及。燃气热电联产装置的并网与太阳能光伏发电装置的并网有相似之处,两者均由电网末端向电网供电。燃气热电联产装置的优点在于,供电时间和功率更易控制。利用智能电网的信息交换功能,使用者可以规定家用热电联产装置向电网供电的时间和供电量。利用智能电网进行协调运行,能够实现双向的实时信息交换,更有利于提高电网的可靠性、电能质量和运行效率。

在英国电网中,典型的电能流向是从北向南,在低压用户端(电压为 400V)有一定数量的家庭使用燃气热电联产机组或太阳能光伏发电装置、风力发电装置。虽然原来的输电网仍然存在,但是新建的输电网更多是互动供电网络。互动住宅供电可以将住宅中剩余的电力逆向输入电网,这是英国电力法中已明确规定的运行方式。因此,电网公司面临着技术上的改进和创新(如需要双向保护等),这种互动供电给电网的稳定控制和调度造成很大困难,不但给电网技术、体系、市场、管理等方面造成影响,而且对传统的供电、发电、输电、配电也是一种挑战。

目前,英国政府鼓励家庭安装微型发电装置,如家用燃气热电联产装置。在利用燃料获得电能的过程中,通常需要先将燃料的化学能转换为热能。按照热力学原理,热能不可能全部转换为电能,发电过程必然产生副产品——热量。热电联产是对发电过程中产生的两种形式的能量——电能和热能均加以有效利用。家用燃气热电联产装置的典型运行方式是,将燃气转换为动力或直接发电,同时回收利用热能。因此,相对于大型发电设备而言,家用燃气热电联产装置的能源利用效率可以提高一倍左右。不过,目前英国家用燃气热电联产装置的安装数量仍然很少,还没有对英国电网运行造成明显影响。

与日本家用燃气热电联产机组主要采用内燃机为原动机的做法不同,欧洲的产品则更多使用外燃发动机为原动机,以斯特林循环为主,少量采用朗肯循环。采用外燃发动机的产品可以使用的燃料种类较多,维护工作量少,不少产品在 10 年或 10 年以上的使用期内无需维修。但是,这种产品的热电转换效率较低,通常为 15%~20%,结合热利用措施后,一般热利用效率约为 80%。2010 年,德国大众

和 LichtbLick 能源公司合作生产家用燃气热电联产机组, 该产品最突出的特点是采用了先进的烟气冷凝热回收技术, 热利用效率高达 94%, 机组的热电转换效率超过 20%。

1.3.1.2 智能家电研究与应用工程

智能电网的发展促使家用电器技术必须作出相应的发展, 未来家用电器必须具备与上位控制系统和互联网相连接的功能。用户能通过上位控制系统或互联网进行远程实时监控, 了解和控制家中各种电器的运行状态, 并根据需要在网上为电器选择运行模式和程序。据德国政府估计, 仅提高供电和用电效率这一项措施所节省的电力, 就等于 250 万户家庭 1 年的耗电量。

1. 智能家电开发项目

智能家电开发项目是欧洲智能能源项目的子课题之一, 是研究家用电器适应智能电网应用的技术发展课题, 希望通过家用电器的智能化管理实现全社会的低碳化。承担项目的机构有德国波恩大学、英国帝国理工学院、英国曼彻斯特大学以及家电制造企业和节能机构。

该项目的主要目标是深入分析技术问题、用户偏好、技术经济性以及实现与智能电网发展相适应的家用电器的 CO₂ 潜力, 促进家用电器制造商、当地能源系统制造商以及电力系统之间的协调发展, 提出智能家用电器开发模式和实施战略建议, 并确定统一的信息交换标准。

该项目实施完毕后, 获得了诸多成果。首先, 该项目明确了家用电器在较大规模的电网系统中进行智能化运行的设计要求; 其次, 评估了消费者对智能家用电器的喜好, 提出了促进消费者接受这类产品的建议; 第三, 确定了在风力发电比例较高的未来电网中实现供需平衡的目标, 对家用电器采用需求响应技术的经济效益进行了详细分析; 第四, 评估了智能家用电器与区域内可再生能源发电和热电联产发电进行互动的技术经济性; 第五, 对在欧洲各地不同应用条件下使用智能家用电器的技术经济性进行全面分析; 第六, 为有关各方提供了智能家用电器的发展模式和路线图, 包括引入智能电器的战略建议和实施相应奖励政策的建议。

2. 智能家电产品

很多家电生产企业很早就着手开发具有信息交换功能的家用电器, 这一理念同样符合现有智能电网对家用电器的要求。

意大利家电企业梅洛尼公司是最早开发利用公用通信网络、实现信息交换的家电企业。1995 年, 梅洛尼公司的分支企业——意黛喜公司成功开发出具有信息交换功能的洗碗机; 又在 1999 年展示了世界上第一台利用 GSM 无线网络连接互联网的洗衣机。梅洛尼公司在随后几年投入大量资金研究在线服务、智能家电产品联网, 以实现家电产品的信息化。

2009 年 10 月, 伊莱克斯公司、意黛喜公司、ENEL 以及意大利电信公司四家