



国家电网公司
电力科技著作出版项目



智能用电 与现代量测技术

主 编 章 欣
副主编 杨湘江 徐英辉
张兴华 杜新纲
周昭茂



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

国家电网公司电力科技著作出版项目

智能用电 与现代量测技术

章 欣 主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

为配合智能电网建设工作开展,介绍用电信息采集技术进展情况,特编写本书。全书共分十章,主要内容包括概述、用电信息采集技术、电能计量技术、先进量测技术、智能电力需求侧管理、客户侧分布式电源、智能用电系统中的通信技术、智能用电信息安全防护技术、智能用电技术的典型应用方案、智能用电的技术标准体系及关键设备。本书结构清晰、内容丰富,理论与应用相结合,突出了对先进技术的介绍。

本书可供电网建设、研究和工程技术人员使用,也可供电力相关教学参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

智能用电与现代量测技术/章欣主编. —北京:中国电力出版社, 2011. 12

ISBN 978 - 7 - 5123 - 2494 - 7

I. ①智… II. ①章… III. ①用电管理 - 智能技术②电子测量设备 IV. ①TM92②TM93

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 263815 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>)

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2012 年 5 月第一版 2012 年 5 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 15 印张 346 千字

印数 0001—3000 册 定价 36.00 元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失
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

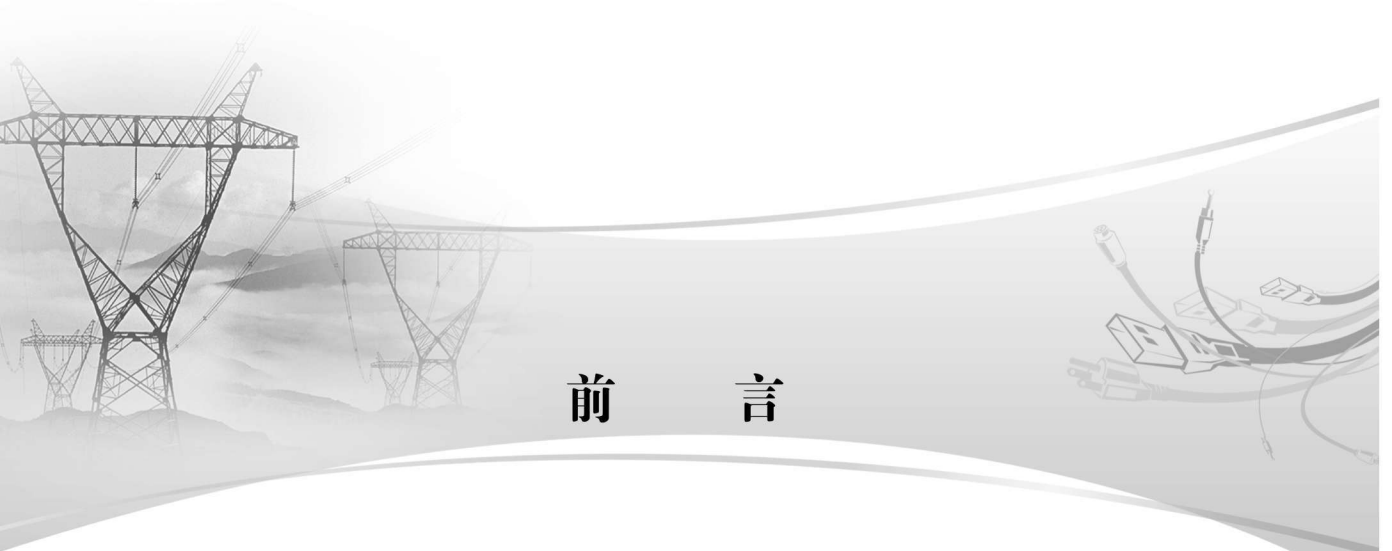
编 委 会

主 编 章 欣

副主编 杨湘江 徐英辉 张兴华 杜新纲 周昭茂

参 编 (按姓氏笔画排列)

王红梅	王 鹤	吕英杰	刘 宣	刘 鹰
闫华光	巫钟兴	杨 林	李涛永	李德智
吴守建	阿辽沙·叶	陈 昊	苗常海	范 滢
林繁涛	郑安刚	孟 静	赵 兵	钟 鸣
郜 波	姜洪浪	祝恩国	夏旭丰	唐 悦
彭楚宁	葛得辉	蒋利民	童瑞明	熊素琴



前 言

智能用电与现代量测技术是智能电网的基础支撑技术。发电、输电到供配电，最终目的是保证对万千用户安全、可靠供电，方便电力企业与电力用户间的信息互动及提高电力的利用效率，从而实现节能减排，保护人类生存环境，使社会得以持续快速发展。

我国从1996年开始推广应用具有通信功能的三相多功能电能表，亦即国际上目前推出的智能电能表，应用技术比国外早了十多年。1988年开始推广应用电力负荷监控技术。目前，电力用户用电信息采集系统技术得到全面推广应用，在国际上处于领先地位。

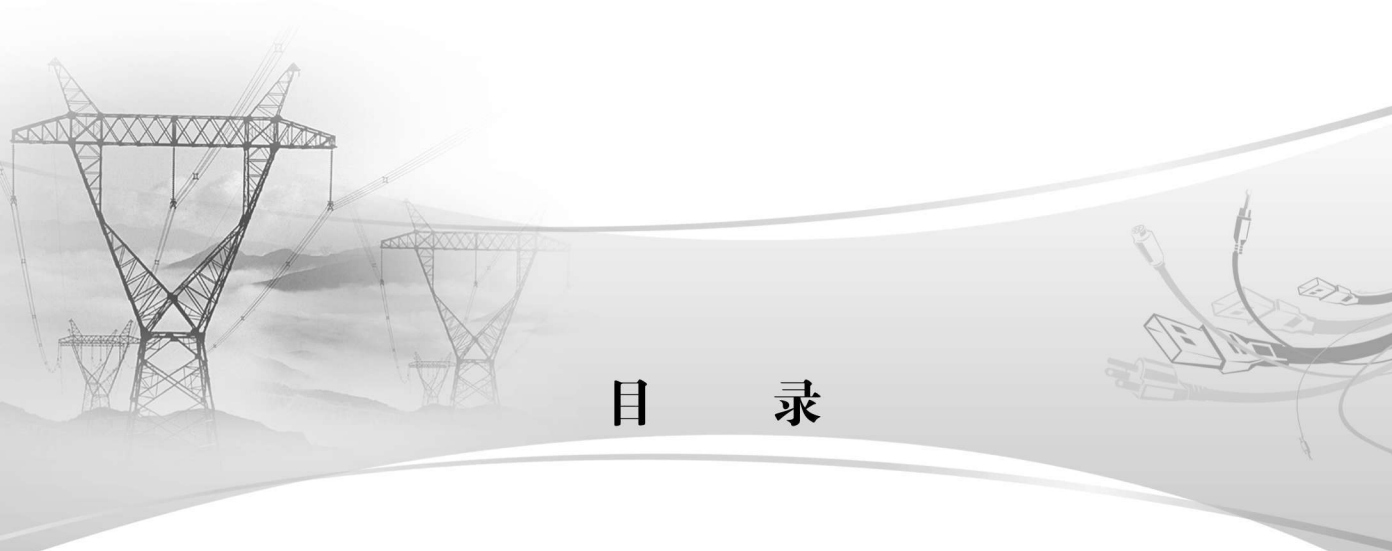
近几年提出的先进量测技术、结合我国国情的智能电力需求侧管理技术在实际应用中取得了良好的效果。通信网络技术和信息安全技术的设计应用等对推动我国智能用电、指导电力用户科学用电、提高电能利用效率、实现全社会节能减排具有重要的现实意义。

本书总结了我国近20年来智能用电技术从研究到推广应用的丰富理论和实践经验，介绍了一般电能计量装置原理，智能电能表的原理、生产、应用以及先进的现代量测技术。本书内容从国际上的电力负荷控制技术到国内无线双向电力负荷监控技术，再到电力用户用电信息采集系统，从国际上电力需求侧理念到智能电力需求侧管理技术在我国的研究应用，内容丰富、翔实。本书可作为高等学校相关专业教学参考用书，可供电力系统从事智能用电业务的管理人员和相关技术人员参考使用。

本书的出版得到了中国电力科学研究院科技专著出版基金资助。

由于技术迅猛发展，加之编者水平有限，书中疏漏和不妥之处在所难免，敬请广大读者批评指正。

编 者
2012.1



目 录

前言

▶▶ 第一章 概述	1
第一节 智能电网	1
第二节 智能用电	4
▶▶ 第二章 用电信息采集技术	10
第一节 电力负荷管理技术	10
第二节 远方集中抄表技术	21
第三节 电能信息采集与管理技术	25
第四节 配电网自动化技术	29
▶▶ 第三章 电能计量技术	37
第一节 电能计量装置	37
第二节 电能表	42
第三节 互感器	55
第四节 二次回路	61
▶▶ 第四章 先进量测技术	65
第一节 虚拟仪器技术	65
第二节 软测量技术	69
第三节 网络化测量技术	74
第四节 智能传感器技术	78
▶▶ 第五章 智能电力需求侧管理	83
第一节 电力需求侧管理	83
第二节 电力需求侧管理主要内容	85
第三节 智能电力需求侧管理概述	103
第四节 智能电力需求侧管理技术支持系统	110
第五节 智能电力需求侧管理技术应用	112

▶▶ 第六章 客户侧分布式电源	115
第一节 分布式电源	115
第二节 客户侧分布式电源和智能用电的相互关系	122
第三节 客户侧分布式电源并网检测技术	128
▶▶ 第七章 智能用电系统中的通信技术	150
第一节 电力线载波通信技术	150
第二节 无线通信技术	158
第三节 光纤专网	174
第四节 新型电力特种光缆技术在智能用电领域中的应用	189
▶▶ 第八章 智能用电信息安全防护技术	191
第一节 智能用电信息安全防护的意义	191
第二节 信息安全的基本概念	192
第三节 智能用电信息安全防护技术应用	195
▶▶ 第九章 智能用电技术的典型应用方案	206
第一节 电动汽车充电设施	206
第二节 智能家居	210
第三节 智能楼宇	214
第四节 智能小区	216
▶▶ 第十章 智能用电的技术标准体系及关键设备	226
第一节 智能用电技术标准体系	226
第二节 智能用电关键设备研制	230



第一章 概 述

第一节 智 能 电 网

一、智能电网的提出

近年来，随着科技进步、能源发展格局的变化，经济社会发展对电能的依赖程度日益增强。电力行业的发展正面临着前所未有的机遇和挑战，其中包括全球变暖、化石能源日益枯竭和生态文明意识的提升以及可再生能源等分布式发电资源数量不断增加，社会对供电安全可靠、电能和服务质量的要求逐步提高。因此，依靠现代信息、通信和控制技术，积极发展智能电网以适应可持续发展的要求，成为国际电力行业积极应对未来挑战的共同选择。

智能电网是随着技术发展和业务需要而逐步形成的。1998年1月，欧盟第5次框架计划（FP5）（1998~2002）中的“欧洲电网中的可再生能源和分布式发电整合”专题下包含了50多个项目，分为分布式发电、输电、储能、高温超导体和其他整合项目5大类，其中多数项目于2001年开始实施并达到了预期目的，被认为是发展互动电网第一代构成和新结构的起点。同年，美国电力科学研究院（Electric Power Research Institute, EPRI）提出复杂交互式网络/系统（CIN/SI）项目研究，其成果也可以看作美国智能电网的雏形。

2008年全球金融危机之后，创造新的经济增长点与增加就业岗位成为主要发达国家发展智能电网的经济动因。特别是美国奥巴马政府将智能电网改造列入美国经济复苏计划后，智能电网（smart grid）成为近年来国际上关于电网未来发展态势的研究热门，北美洲和欧洲已经形成了强大的研究群体，在开展智能电网的研究和实践。

2009年5月20日，国家电网公司在特高压输电技术国际会议上正式宣布全面启动智能电网的研究和建设，并发布了已经取得的成果。在我国，智能电网建设包括发电、输电、变电、配电、用电和调度六个环节，其中智能用电是重要环节之一。从现实意义上讲，智能用电是改变终端用能方式，实现国家能源战略目标的客观要求。通过坚强的电网和智能化的营销手段，加强用户与电网之间的信息集成共享和实时互动，进一步改善电网运营方式，不仅能够有效改变终端用户用能方式，提高清洁电能终端能源消费中的比重，而且能促进节能减排，提高能源利用效率，实现国家能源可持续发展的战略目标。

二、智能电网的发展

智能电网是在电网基础设施和高速集成的双向通信网络基础上，通过先进的传感和量测技术、自动控制技术以及分析决策技术建成的安全、可靠、经济、高效、环境友好的新型现

代化电网。

电网的智能化主要体现在几个方面：① 可观测，即通过采用先进的量测和传感技术实现对电网的测量；② 可控制性，即对观测对象状态进行有效控制；③ 实时分析和处理，即从数据的收集到信息的提升实现智能化决策；④ 自适应和自愈，即自动优化调整和故障自我恢复。智能电网的目的就是提高电网在安全、灵活、自愈、互动、经济、兼容、清洁等方面的水平。智能电网已成为当今各国能源战略规划的重要支撑。

目前，欧洲、美国、日本等世界发达国家和地区已经启动智能电网建设，其中最具代表性的是美国与欧洲。由于智能电网建设是一项复杂的系统工程，世界各国根据本国的国情、电力工业特点和发展水平，对智能电网的定义、所制定的发展技术路线和重点也有所不同。对复杂大电网的安全稳定控制要求，即自愈能力要求，是美国智能电网发展最初的驱动力；严格的温室气体排放政策推动分布式能源和可再生能源接入研究，则是欧洲智能电网发展的主要驱动力之一。

1. 美国

1998 年，美国电力科学研究院（EPRI）提出复杂交互式网络/系统（CIN/SI）项目研究；2001 年，EPRI 提出了“Intelli-grid”未来电网发展的概念；美国能源部（Development of Energy, DOE）2003 年发布“Grid 2030”设想；2004 年启动电网智能化（grid-wise）项目；2006 年，美国能源部（DOE）与美国国家能源技术实验室（National Energy Technology Laboratory, NETL）发起现代电网（MGI）的研究。

2008 年，美国科罗拉多州的波尔得（Boulder）成为美国第一个智能电网城市。该市为每户家庭安装智能电能表，使用户可以直观地了解当时的电价，并据此调整用电时间，如用户可以将洗衣等事项安排在电价低的时间段。此外，智能电能表还可以帮助用户优先使用风电和太阳能等清洁能源。同时，变电站可以收集到每家每户的用电情况。一旦有出现问题，可以重新配备电能。

2008 年 9 月，Google 与通用电气共同开发清洁能源业务，为美国打造国家智能电网。2008 年 10 月，美国成立了专门的智能电网工作组，工作组与美国国家标准与技术研究院（NIST）和 EPRI 合作制定智能电网标准，并致力于研究适应最新智能电网技术的家电。2009 年，奥巴马政府将智能电网建设提升为国家战略，美国白宫发布的《复苏计划尺度报告》宣布：将铺设或更新 3000mile（1mile 约 1.609km）输电线路，并为 4000 万美国家庭安装智能电能表。2009 年 4 月，NIST 在美国能源部的协助下，启动了制订智能电网相关标准的程序，美国能源部宣布政府将投资 34 亿美元用于资助智能电网技术的开发。2009 年 5 月，美国能源部颁布了包括控制系统互操作性、安全使用智能电网、先进表计、建筑自动化、发电和配电、信息安全和家庭网络等涉及智能电网的 16 项标准。

2010 年 1 月，NIST 公布了新一代输电网“智能电网”的标准化框架，明确了 75 个标准规格、标准和指导方针。该框架把智能电网定义为由发电站、输电网、配电网、管理者、供应商、一般客户和市场 7 个领域组成，并要求此后美国的智能电网相关设备及装置必须符合该框架中的标准规格，该框架的特点是重视相互连接性和安全性。2010 年 9 月，公布了《网络安全指南（初稿）》。

美国的智能电网计划又被称为统一智能电网 (unified national smart grid), 是指将基于分散的智能电网结合成全国性的网络体系, 即以可再生能源为基础, 实现美国发电、输电、配电和用电体系的优化管理。该计划的发展重点在配电和用电侧, 包括可再生能源和分布式电源并网技术, 同时发展智能电能表, 使用户可以根据需要在不同电价时段使用电力, 推动可再生能源发展。其计划可分为 3 个阶段: 2009 年, 各州政府计划并着手发展智能电网; 2010 ~ 2020 年, 家电设备能通过有线或无线方式远距离操作; 到 2030 年, 各种电气设备都能自行控制负荷量。

2. 欧洲

2005 年, 欧洲成立智能电网欧洲技术论坛, 将智能电网上升到战略高度展开研究。

对于智能电网, 欧洲最早采用 smart grid 一词, 目前已被全世界接受。欧洲在 2006 年推出了《欧洲智能电网技术平台: 欧洲未来电网的远景和策略》、《欧洲未来电网的战略研究议程 (SRA)》和《欧洲未来电网发展策略》等研究报告, 这些报告全面地阐述了欧洲智能电网的发展理念和思路。

2006 年, 欧盟理事会发布的能源绿皮书《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) 强调智能电网技术是保证欧盟电网电能质量的一个关键技术和发展方向。欧盟第 7 个框架协议 (FP7, 2007—2013) 确定能源研究领域为智能电力网络, 目标是提高欧洲电气系统和网络效率、安全性和可靠性。2009 年初, 欧盟明确要依靠智能电网技术将北海和大西洋的海上风电、欧洲南部和北非的太阳能发电融入欧洲电网, 以实现可再生能源大规模集成的跳跃式发展。

欧洲各国正在积极开展智能电网建设实践。意大利电力公司至 2008 年累计安装 3180 万只智能电能表, 覆盖面达到 95%。法国电力公司 (EDF) 计划将使用的 2700 万只普通电能表全部更新为智能电能表; 2009 年秋, 法国推出将再生能源纳入智能电网的计划。德国制订了 “E-Energy” 计划, 总投资 1.4 亿欧元, 计划从 2009 ~ 2012 年, 在全国 6 个地区进行智能电网实证实验。2010 年 1 月, 以英国、法国、德国为代表的欧洲北海国家推出了联手打造可再生能源超级电网的宏伟计划, 将把苏格兰、比利时以及丹麦的风力发电、德国的太阳能与挪威的水力发电站联网。

欧洲智能电网的研究主要涉及以下几个方面: ① 智能配电结构; ② 智能运行, 强调电能和用户适应性; ③ 智能电网管理; ④ 智能电网的欧洲互用性; ⑤ 智能电网的断面潮流问题。未来欧洲电网一个最为突出的特点是在供电线路上发挥用户的积极作用。

3. 中国

目前, 国内电网企业、科研院所在智能电网相关技术领域已经开展了大量的研究和实践。

2007 年, 华东电网公司在国内率先开展了以提升大电网安全稳定运行能力为目的的智能电网可行性研究。2008 年, 启动了以高级调度中心项目群为突破的第一阶段工作。

2008 年, 华北电网公司开始进行智能电网相关的研究和建设, 致力于打造智能调度体系, 搭建智能电网信息架构, 研发清洁能源关键技术, 为建设智能输电网奠定基础。2009 年 2 月, 作为华北公司智能化电网建设的一部分——华北电网稳态、动态、暂态三位一体安

全防御及全过程发电控制系统通过专家组验收。

2009年初,在借鉴欧美智能电网研究和实践经验的基础上,国家电网公司启动了一系列有关智能电网的重要课题研究。在2009年5月召开的“特高压输电技术国际会议”上,国家电网公司提出了智能电网的定义,即坚强智能电网是以坚强网架为基础,以通信信息平台为支撑,以智能控制为手段,包含发电、输电、变电、配电、用电和调度6大环节,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,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。与此同时,国家电网公司公布了规划试点、全面建设、引领提升3个阶段的建设方案,确定了智能电网的发展方向。

中国电力科学研究院(以下简称中国电科院)、天津大学等科研机构 and 高校也相继成立了智能电网研究机构,对相关技术领域开展研究和探索。各网省电力公司也陆续启动了本地区智能电网发展规划的编制以及试点工程的建设工作。

第二节 智能用电

一、智能用电概念与特征

国家电网公司在其智能用电体系研究报告中给出了智能用电的概念和特征。

1. 概念

智能用电依托坚强电网和现代管理理念,利用高级量测、高效控制、高速通信、快速储能等技术,实现市场响应迅速、计量公正准确、数据采集实时、收费方式多样、服务高效便捷的要求,构建电网与客户能量流、信息流、业务流实时互动的新型供用电关系。

2. 特征

智能用电的主要特征为技术先进、经济高效、服务多样、灵活互动、友好开放。

- (1) 技术先进。自主创新并消化吸收计量、控制、通信、储能、超导等新技术。
- (2) 经济高效。推动可再生能源利用并提高能源效率。
- (3) 服务多样。满足客户多元化、个性化需求。
- (4) 灵活互动。实现电能、信息和业务的双向交互。
- (5) 友好开放。充分利用电网资源为客户提供增值服务。

二、智能用电的发展

1. 智能用电建设面临的形势

随着经济社会的发展、科学技术的进步、人民生活水平的提高,特别是资源节约型、环境友好型社会建设的推进,以及智能电能表、智能用电交互终端等新技术和新产品的出现,传统用电服务模式将发生较大变化。

(1) 客户侧小容量分布式电源发展态势迅猛。随着国家能源结构调整的加速,利用新能源和可再生能源进行分布式发电越来越受到重视。未来大范围、小容量的分布式电源接入电网后,因其存在随机性、间歇性等特点,对电网调度、配网规划、电能质量、网络线损、供电可靠性等都将产生重大影响。合理接纳小容量分布式电源接入,并优化控制其发电运行、解决影响电网安全稳定运行的问题是智能电网时代电网企业面临的新课题。

(2) 大范围应用储能设备成为新趋势。随着小容量分布式电源的迅速发展, 储能设备将得到更加广泛的运用。优化电动汽车、储能设备的充放电策略, 安排好充放电时间, 发挥其对电网的削峰填谷功能, 提高配电系统运营效率和可靠供电水平是智能电网时代电网企业面临的新课题。

(3) 提高效率并优化资源配置成为全社会共识。当前, 社会各界对节能减排、保护环境意识不断增强。如何优化配置发、供、用电三方资源, 利用经济和技术手段充分调动各方积极性, 提高设备利用效率和运营效率及用电效率, 改变片面依靠电厂、电网建设满足用电增长的模式是智能用电建设中电网企业面临的新任务。

(4) 客户对供电服务的要求越来越高。客户对电网企业的服务理念、服务方式、服务内容和质量不断提出新的要求, 希望能够降低用电成本, 更加安全可靠地用电, 享受个性化、多样化、便捷化、互动化的服务。因此, 进一步丰富服务渠道、拓展服务内涵、改变服务模式、提升服务效率是电网企业面临的新挑战。

2. 国外发展现状

目前, 世界发达国家基于发展新能源、节能减排、提高电网运营效率、改善供电服务质量等需要, 陆续开展了智能用电服务的研究和实践。

(1) 明确了智能用电服务发展目标。2006 年, 欧盟理事会发布了能源绿皮书《欧洲可持续的、竞争的和安全的电能策略》, 提出智能用电服务方面的目标: ① 以客户为中心, 提供高附加值的电力服务, 满足灵活的能源需求; ② 将分布发电和可再生能源集成到电网中, 进行本地能源管理, 减少浪费和排放; ③ 通过自动电能表管理系统, 实现当地用电需求调整和负荷控制; ④ 通过开发和使用新产品、新服务, 实现对需求自由化的响应。2009 年, 美国发布了智能电网建设发展评价指标体系, 提出智能电网的 6 个特性: ① 基于充分信息的客户参与; ② 能够容纳所有的发电和储能装置; ③ 允许新产品、新服务和新市场的引入; ④ 根据客户需求提供不同的电能质量; ⑤ 优化资产利用效率和电网运行效率; ⑥ 电网运行更具柔性, 能够应对各类扰动袭击和自然灾害。

(2) 拟定了一系列智能用电服务实施计划。2008 年, 法国电力公司拟定将法国目前使用的 2700 万只普通电能表全部更换为智能电能表, 使客户能自动跟踪自己的用电情况并能进行远程控制。2009 年, 美国发布《复苏计划尺度报告》, 智能电网是其中的重要组成部分, 包括为 4000 万美国家庭安装智能电能表, 实现远程管理及读表等功能; 地中海岛国马耳他公布了和 IBM 达成的建立一个智能公用系统的协议, 计划把马耳他 2 万只普通电能表替换成互动式电能表, 实现电厂能实时监控用电, 并制定不同的电价来奖励节约用电的客户。根据英国政府披露的计划, 到 2020 年, 每个英国家庭都必须安装智能电能表, 实现远程抄表和对设备用电的动态控制, 而且客户可以将利用风力或太阳能所发的电“卖”给电网, 以降低能源耗用量。

(3) 开展了系列负荷响应控制尝试。2001 年, 意大利的电力公司改造和安装 3000 万台智能电能表, 建立起了智能化计量网络。2006 年, 美国能源部启动电网智能化工程: 一方面是让客户自主设定电器设备的使用功率和时间, 从而节省电费。目前, 华盛顿奥林匹克半岛共有 200 多个家庭安装了热水器自动调温器, 这些调温器与安装了专门软件能接入互联网

的网盒进行无线通信,每五分钟监控一次电力消耗。另一方面是监控地区电网的使用情况,实现用电自动化。2008年,美国科罗拉多州的波尔得市宣布成为全美第一个智能电网城市,通过为全部家庭安装智能电能表,客户可以获得电价信息调整用电时间,并可优先使用风电和太阳能等清洁能源;变电站则可以采集到每户的用电信息,并且在问题发生时重新配备电力。截止到2008年底,全美国有42个州进行了智能电能表的试点和安装。法国超过1000万客户可以通过网站、E-mail、电话、专用的电子接收装置获得最大关键峰荷电价信息以调整用电方式。

欧美国家近几年开展的智能用电服务以自动抄表和用电信息采集、用电设备自动控制为主,并开始分布式能源接入研究实践。而根据各国对智能电网功能描述,目前已经得到国际认同、涉及智能用电服务的功能主要有:①广泛的客户参与;②提高能源利用效率、减少浪费;③分布式能源接入;④资产优化配置,提高资产利用效率;⑤提高电力供应质量,提供高附加值的服务。

3. 国内发展现状

国内开展智能用电服务的体系性研究虽然稍晚,但在智能用电服务相关技术领域开展了大量的研究和实践。用电领域一些研究应用已经达到国际先进水平,用电服务领域智能化应用研究也正在积极探索。

(1) 智能用电的发展基础。

1) 电力用户信息采集系统深化应用研究。从20世纪70年代末期开始,我国开始电力负荷管理技术研究和应用。随着技术进步和营销信息化工作的推进,负荷管理系统、集中抄表系统、配网公用变压器综合测控系统等覆盖率逐年提高、应用范围逐步扩大,在国家电网公司系统营销、安全生产和经营管理中已经发挥了积极作用。同时,我国就上述系统已经建立了相应的技术标准体系。

根据《国家电网公司“十二五”电力营销发展规划》的总体目标要求,要全面建设电力用户用电信息采集系统,3~5年内实现国家电网公司系统范围内电力用户的全覆盖、全采集,用电信息采集系统包括负荷管理系统、集中抄表系统和配网公用变压器综合测控系统等。

2008年10月起,国家电网公司营销部牵头全面启动电力用户用电信息采集系统建设。对用电信息采集系统的建设现状及需求进行分析,同时对用电信息采集系统建设中有关安全防护技术、通信技术、终端设备、电能表技术、主站技术、终端应用软件、通信接口规范、运行维护管理模式、检验体系框架、系统应用的营销业务流程以及系统可提供的增值服务内容等进行了详细地梳理和研究,形成了用电信息采集系统功能规范和标准化设计方案(包括系统数据模型设计、系统功能规范设计、系统主站及终端软件设计、电能表和采集终端接口设计、系统通用建设技术方案设计、通信规范设计等标准化设计方案)。2009年9月已经完成了上述标准的审核和验收,并已正式发布。

国际上现有的智能电网技术应用主要是在配、用电领域,在用电系统中主要是以家庭安装智能设备为主,而我国是以工业用户的负荷管理起步。与先进国家相比,我国的远程用电信息自动采集技术(包括电力需求侧管理技术)研究和实践有很好的基础。

与智能电网的发展需求相比较,我国用电信息采集系统建设最缺乏的是在电网运行中与用户用电设备和用电行为的交互,没有在供电网络上发挥用户的积极作用,没有让用户起到用电终端和能源提供端的双重作用,尚不能够实现电力运行和环境保护等多方面的收益。

2) 营销服务管理自动化水平逐年提高。近年来,国内的电网公司统筹规划,逐步构建集约化、标准化的营销业务组织模式以及一体化的营销自动化系统,统一开发了营销信息化系统,实现了营销业务的标准化应用。以提高经济效益、提供优质服务为中心的电力营销信息化系统支撑着电力营销全业务处理与管理,其应用横向涵盖了电力营销的所有业务和服务节点,并将通过与电网企业其他信息系统和企业外部系统的横向集成,实现信息共享,为实现智能用电奠定了坚实基础。

但由于营销服务和其他各专业应用系统多是基于本专业的需求,存在不同的平台、不同的应用系统、不同的数据格式,信息资源分散,横向不能集成共享,难以从全部业务流程的角度来考虑数据的使用,以实现能量流、信息流、业务流的高度一体化从而实现对用户的双向互动支持。

3) 有序用电管理和需求侧响应实践。以电力负荷管理系统为支撑,在用电紧张时期开展有序用电工作和可中断负荷电价实践。

2004年以来,电力供应紧张地区的网省公司依托行政手段和电力负荷管理系统信息开展各级有序用电预案科学编制并可靠实施,减少了拉闸限电,保障了电网安全运行、经济发展和社会稳定。

我国河北、江苏、福建、上海等地在需求侧响应方面进行了开拓性实践:在系统高峰期实施可中断负荷电价,通过经济手段引导客户避峰,取得了明显的经济和社会效益。其中,补偿成本由电网公司根据电力负荷管理系统中的用户实际负荷曲线进行核算。

提高电能在终端消费的比重和终端用电效率是实现与用户互动的重要环节。电网公司积极向客户提供能源使用咨询和服务,开展电力客户能效测评和能效项目效果测量、核证技术研究和实践。

4) 分布式能源和储能装置的接入研究实践。随着光伏发电、冷热电三联供等分布式能源技术的进步,社会可持续发展目标的提出,《可再生能源法》、《可再生能源中长期发展规划》等政策法规的出台,以及在“光明工程”先导项目和“送电到乡”工程等国家项目的有力拉动下,我国各种形式及新能源发电技术的推广和应用发展迅猛。由于新能源的发展和接入方式的不同以及电价政策的调整,电网既要满足系统接入侧的不同需求,也要满足需求侧的不同需求。

为满足分布式能源并网需求,国家电网公司提出重点研究潜力最大的风力发电和太阳能光伏发电及其并网技术。目前,已经开展了风电监控及并网控制等技术、分布式能源并网逆变器性能测试技术研究。近几年来,先后完成了多个光伏发电系统并网测试与验收等工作。正在开展小型分布式能源光伏并网逆变器检测方法及检测系统研究和参与《光伏并网发电专用逆变器技术要求和试验要求》的制定。

《国家电网公司“十二五”科技发展规划》,将“电能利用和电能储存技术”列为电网前瞻性关键技术之一,编制并实施《能源转换关键技术研究——储能关键技术》研究框架。

目前,已经开展了储能设备——电池特性、电动汽车充电站设计与接入、钠硫电池储能和液流电池储能等储能技术研究。

5) 智能家居——家庭能源管理技术。中国电力科学研究院从 20 世纪 90 年代初就开始致力于载波技术研究,分别完成了利用窄带载波技术、宽带高速载波技术以及能穿透变压器的工频载波技术进行电能采集系统产品的研制并投入生产。2003 年与沈阳供电公司合作构建了基于电力线载波的智能家居与数字化社区系统。而利用无线通信技术将居民用电设备联网的组网技术研究也处于起步阶段。

(2) 国家电网公司在智能用电方面已经开展的研究。

1) 智能用电服务研究报告编制。根据统一部署,国家电网公司营销部专门成立了智能用电服务研究小组,由营销部牵头,营销部、部分网省公司、中国电科院、国网电力科学研究院(以下简称国网电科院)、国网信通公司等部门和单位参加,组成专门工作组开展工作。2009 年 4 月,工作组采取集中和分散工作相结合的方式,完成了《坚强智能电网(用电环节)报告》,形成了“一个目标、两个平台、三个阶段、四个原则、五个特征、十大任务”的战略框架,明确了智能用电服务的发展路线和重点工程,制定了总体发展目标和分阶段发展目标,并对社会效益和公司效益进行了初步分析评估。

2) 智能电网建设正式启动。2009 年 3 月和 4 月,国家电网公司科技部牵头,政策研究室、专业部室、中国电科院、国网电科院等部门和单位组成工作组,分别起草了《国家电网公司智能电网发展战略》、《智能电网体系研究报告》、《智能电网关键技术研究框架编制》。其中,对智能用电环节相关内容均进行了论述。

2009 年 5 月 20 日,国家电网公司在“特高压输电技术国际会议”上正式宣布全面启动智能电网的研究和建设,并发布了已经取得的成果。

2009 年 6 月,国家电网公司科技部正式立项的科技项目《智能电网标准体系研究》启动,由中国电科院牵头,国内重点高校、科研机构组成的项目组开展研究。项目组针对智能用电的特性和技术需求,按照信息化、自动化、互动化要求,将智能用电划分为双向互动服务、智能用电小区、电动汽车、客户侧分布式电源、节能与需求侧管理以及其他 6 个专业方向,选择与实现电力双向互动营销相关的支撑技术标准,以双向互动和提高服务能力为核心选择相关标准进行梳理。目前已经完成了 IEC、国家核心标准和国家电网公司企业智能用电服务标准的梳理分析,并根据与智能用电服务需求比较结果,提出了缺失标准和建议补充标准。

2009 年 9 月,国家电网公司正式批复了《智能电表关键技术研究》等一批关于智能用电环节方面的科技项目立项以及风力发电技术研究中心、太阳能发电技术研究中心和智能用电技术研究检测中心建设。

国家电网公司智能电网工作部牵头组织中国电科院、国网电科院、信通公司共同编写的《智能电网关键设备研制规划》已经形成,该报告对智能用电服务环节的关键设备需求进行了专题描述。

国家电网公司营销部牵头、中国电科院组织编写的企业标准《智能电表技术标准》经专家论证,已经发布。

为了有效指导智能用电服务工作的开展，统一思想认识、统一技术路线、统一业务功能、统一建设标准、统一组织实施，国家电网公司营销部组织编写了《智能用电服务系统建设导则》。

2009 年底开始，各网省公司也陆续启动了包括智能用电服务在内的本地区智能电网发展规划的编制工作以及试点工程的建设工作。

3) 智能用电试点建设取得突破。2010 年，国家电网公司智能用电试点建设取得突破。建成电动汽车充换电站 87 座，充电桩 7031 个。制定《智能用电服务系统技术导则》，明确了各系统功能定位、业务关联、技术架构及发展方向。梳理了智能用电小区功能需求，制定了关于推进智能用电小区试点建设指导意见，完成智能小区试点建设工作。

第二章 用电信息采集技术

我国的用电信息采集技术经历了电力负荷控制、电力负荷管理、远方集中抄表、用电信息采集、电能信息采集与管理等不同发展阶段。从最初通过采集大用户的用电负荷信息，实现有序用电管理，到目前通过采集关口、配电变压器和各种类型用户的用电信息，实现了数据采集、管理、监测、控制、综合应用等多种管理。

第一节 电力负荷管理技术

一、电力负荷管理技术发展概况

(一) 国外电力负荷管理技术发展概况

电力工业生产包括发电、输电、供电、配电、用电等过程，这些在同一时间完成的生产过程需要保持稳定，但用电环节因人们日常生活、工业生产、天气环境等因素的变化会发生较大波动，日用电负荷曲线如图 2-1 所示。电力设备既要满足最大负荷的需要，又要随时根据电力负荷的变化不断调整发电设备的出力，甚至启停发电机组和投切输变电设备改变电网运行方式以确保电力用户用电，因而给发电设备和电网

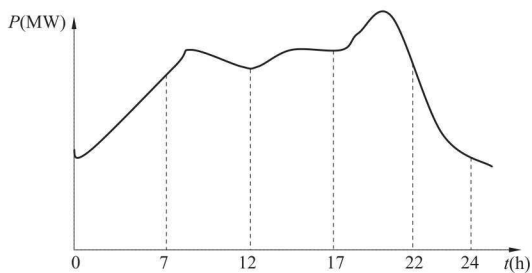


图 2-1 日用电负荷曲线

运行带来安全隐患，降低了发输电设备的工作效率，影响了电力企业的经济效益。

20 世纪 30 年代，欧洲工业国家为调整用电负荷曲线，开始实施鼓励晚间用电政策，用户在负荷低谷时用电的电价为白天高峰时电价的 $1/4 \sim 1/3$ 。采用钟控的技术措施在设定的不同时间段接通不同的计费电能表，不同的电能表记下用户在不同时间内消费的电能量，然后根据各个时间段的电价分别计算电费。钟控方式在满足电力用户需求的同时，降低了用户的用电费用，售电量亦明显增加，取得了很好的经济效益；同时提高了低谷负荷和用电量，降低了峰负荷，使电网峰谷差减小 20% 左右，避免尖峰负荷的出现，大大提高电网的安全运行水平。

随着电子开关钟的大量普及，开关钟的时间调整（包括走时累计误差、冬夏时制调整）需要花费大量人力和时间的缺点也逐渐暴露出来。20 世纪 40 年代，法国首先研制出由电子