

高犁 陈杨 周敏 李显忠 编著

智能电网下的 电力营销新型业务

ZHINENG DIANWANG XIAD
DIANLI YINGXIAO XINXING YEWU



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

智能电网下的 电力营销新型业务

高犁 陈杨 周敏 李显忠 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书以当前供电企业在电力营销领域开展的各项新型业务为出发点,总结梳理智能电网技术在用电服务领域应用中的新成就。内容涵盖节能服务与需求侧响应、电动汽车智能充换电服务、分布式电源接入服务、高级量测体系的建设与运维、客户智能用电服务等知识。

本书可供从事电力营销工作人员全面了解智能电网下的电力营销新型业务,也可作为供用电技术、自动化、计算机、工业用电等专业有关教师和学生的教学、自学或培训参考书。

图书在版编目(CIP)数据

智能电网下的电力营销新型业务 / 高犁等编著. —
北京:中国水利水电出版社, 2014. 1
ISBN 978-7-5170-1725-7

I. ①智… II. ①高… III. ①电力工业—市场营销学
IV. ①F407.615

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第020829号

书 名	智能电网下的电力营销新型业务
作 者	高 犁 陈 杨 周 敏 李显忠 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	三河市鑫金马印装有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 14印张 332千字
版 次	2014年1月第1版 2014年1月第1次印刷
印 数	0001—3000册
定 价	48.00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

智能电网是保障电力可靠供应、接纳可再生能源、发展低碳经济、促进节能减排的物质基础。智能用电是智能电网的终端环节，与社会大众密切相关，是电网与用户联系的桥梁，是提升营销业务水平、开展双向互动服务、促进分布式能源接入、扩大电动汽车应用、提高能源终端利用效率的重要手段。

随着智能用电服务体系的建设，集中抄表、缴费和售电、电动汽车充放电、分布式电源管理、需求响应、能效测评等电力营销新型业务的大量涌现，要求各级供电公司重构其组织机构、重建业务流程，顺应智能电网发展的需要。本书尝试梳理供电企业在电力营销领域开展的各项新型业务，探讨智能电网技术驱动下的电力营销业务发展趋势。

本书编写人员来自于长期从事电力营销管理的一线专家和丰富科研教学经验的教师。通过深入供用电生产一线，在收集大量最新技术资料的基础上梳理和总结智能电网下的各项电力营销新型业务。相信本书的出版对于从事智能用电、节能服务、需求侧管理、电能计量、客户服务等电力营销专业人员具有较高的参考价值。

全书由高犁、陈杨、周敏、李显忠编著，国网四川省电力公司电力营销部高级工程师牟昊任主审，国网四川省电力公司技能培训中心胡永红副教授参加审核。全书共九章，第一章和第二章由高犁编写；第四章和第五章由陈杨编写，第六章和第八章由周敏编写；第七章由李显忠编写；第三章和第九章由高犁和陈杨共同编写。在编写过程中收集和参阅了各方面的资料，得到不少同志的大力支持和帮助，在此，谨向他们致以衷心的感谢。

本书的出版获国家电网四川省电力公司 2012 年科技项目经费支持。

由于水平有限，时间仓促，书中缺点和错误之处敬请广大读者批评指正。

作 者

2013 年 10 月

目 录

前言

第一章 概述	1
第一节 智能电网基础	1
第二节 智能用电技术	10
第二章 电力需求侧管理与响应	16
第一节 电力需求侧管理机制	16
第二节 电力需求侧管理的实施	23
第三节 电力需求侧市场	30
第四节 电力需求侧竞价	34
第五节 可中断负荷调度与运营	37
第三章 合同能源管理与节能服务	41
第一节 合同能源管理	41
第二节 绿色照明	45
第三节 高效电动机	52
第四节 高效变压器	56
第五节 蓄能技术	59
第四章 电动汽车智能充换电服务	68
第一节 电动汽车的历史沿革和现状	68
第二节 电动汽车的结构和工作原理	72
第三节 电动汽车充放电技术	76
第四节 电动汽车充电管理业务	82
第五节 电动汽车运营模式	85
第五章 分布式电源接入服务	92
第一节 分布式发电	92
第二节 光伏发电并网	96
第三节 分布式光伏发电并网业务	104
第六章 用电信息采集系统的建设和调试	108
第一节 采集对象及分类	108
第二节 用电信息采集系统的构成	113
第三节 用电信息采集系统建设	121
第四节 用电信息采集系统安装调试	126

第七章 用电信息采集系统的应用	131
第一节 用电信息采集系统的基本功能	131
第二节 用电信息采集系统的运行	136
第三节 用电信息采集系统的营销业务应用	142
第四节 用电信息采集系统的检定	158
第八章 高级量测体系建设	161
第一节 高级量测体系概述	161
第二节 高级量测体系构成及应用	162
第三节 AMI 应用	168
第四节 智能电表	170
第九章 客户智能用能服务	179
第一节 智能园区	179
第二节 智能小区	189
第三节 智能楼宇	203
第四节 智能家居	206
参考文献	215

第一章 概 述

第一节 智能电网基础

电网已成为工业化、信息化社会发展的基础和重要组成部分，同时，电网也在不断吸纳工业化、信息化成果，使各种先进技术在电网中得到集成应用。电力技术的发展，使电网逐渐呈现出诸多新特征，如自愈、兼容、集成、优化，而电力市场的变革，又对电网的自动化、信息化水平提出了更高要求。

近年来，通信、计算机、自动化等技术在电网中得到广泛深入的应用，并与传统电力技术有机融合，极大地提升了电网的智能化水平。传感器技术与信息技术在电网中的应用，为系统状态分析和辅助决策提供了技术支持，使电网自愈成为可能。调度技术、自动化技术和柔性输电技术的成熟发展，为可再生能源和分布式电源的开发利用提供了基本保障。通信网络的完善和用户信息采集技术的推广应用，促进了电网与用户的双向互动。随着各种新技术的进一步发展、应用并与物理电网高度集成，智能电网应运而生。

2003年，美国电力科学研究院首先提出了《智能电网研究框架》，能源部（DOE）随即发布 Grid 2030 计划。2006年，欧盟智能电网技术论坛推出了《欧洲智能电网技术框架》。2009年4月，美国总统奥巴马将智能电网提升为美国国家战略。

2009年3月初，我国国家电网公司首次在公开场合提出了“建设坚强智能电网”，全面拉开了中国智能电网前期研究序幕。2009年5月，国家电网公司在北京召开的“2009特高压输电国际会议”上正式发布了中国建设坚强智能电网的理念：立足自主创新，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、自动化、互动化特征的坚强智能电网的发展目标。2009年8月，国家电网公司启动了智能化规划编制、标准体系研究与制定、研究检测中心建设、重大专项研究和试点工程等一系列工作，按照“统一规划、统一标准、统一建设”的原则和“统筹规划、统一标准、试点先行、整体推进”的工作方针，稳步、有序地推进智能电网各项建设任务。

在2010年3月召开的全国“两会”上，温家宝总理在《政府工作报告》中强调：“大力发展低碳经济，推广高效节能技术，积极发展新能源和可再生能源，加强智能电网建设。”这标志着智能电网建设已成为国家的基本发展战略。2011年初，国务院将智能电网写入新能源产业“十二五”规划，将智能电网作为发展整个新能源产业链条的重要支撑产业，其重要性不言而喻。

一、智能电网的定义

智能电网（The Smart Grid）是将先进的传感量测技术、信息通信技术、分析决策技术、自动控制技术和能源电力技术相结合，并与电网基础设施高度集成而形成的新型现代化电网。智能电网是自动的和广泛分布的能量交换网络，它具有电力和信息双向流动的特点，同时它能够监测从发电厂到用户电器之间的所有元件。智能电网将分布式计算和提供

实时信息的通信的优越性用于电网，并使之能够维持设备层面上即时的供需平衡。

2003年7月，美国能源部《Grid 2030》一文的副标题即豪迈地写到“电力第二个百年的国家愿景”，文中给未来电网的定义是“全自动的能量投送网络，监控每一位客户和节点，电力流、信息流可在网络任意节点之间双向流动”。这句话不仅仅说出了智能电网的本质，还描绘了未来社会电力服务的美好图景。

我国的智能电网是在传统电网的基础上发展起来的，是以特高压电网为基础的多学科、多领域、多层次的一种电网模式。智能电网与传统电网相比有明显的完善，主要表现在通信技术、量测技术、设备技术、控制技术和决策支持技术等方面。国家电网公司提出了建设坚强智能电网，它是以特高压电网为骨干网架、各级电网协调发展的坚强网架为基础，以通信信息平台为支撑，具有信息化、自动化、互动化特征，包含电力系统的发电、输电、变电、配电、用电和调度六大环节，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，具有坚强可靠、经济高效、清洁环保、透明开放和友好互动内涵的现代电网。“坚强”与“智能”是现代电网的两个基本发展要求。“坚强”是基础，“智能”是关键。强调坚强网架与电网智能化的高度融合，是以整体性、系统性的方法来客观描述现代电网发展的基本特征。

坚强智能电网的内涵包括坚强可靠、经济高效、清洁环保、透明开放和友好互动五个方面。坚强可靠是指具有坚强的网架结构、强大的电力输送能力和安全可靠的电力供应；经济高效是指提高电网运行和输送效率，降低运营成本，促进能源资源和电力资产的高效利用；清洁环保是指促进可再生能源发展与利用，降低能源消耗和污染物排放，提高清洁电能终端能源消费中的比重；透明开放是指电网、电源和用户的信息透明共享以及电网的无歧视开放；友好互动是指实现电网运行方式的灵活调整，友好兼容各类电源和用户的接入与退出，促进发电企业和用户主动参与电网运行调节。

为实现清洁能源的开发、输送和消纳，电网必须提高其灵活性和兼容性。为抵御日益频繁的自然灾害和外界干扰，电网必须依靠智能化手段不断提高其安全防御能力和自愈能力。为降低运营成本，促进节能减排，电网运行必须更为经济高效，同时须对用电设备进行智能控制，尽可能减少用电消耗。分布式发电、储能技术和电动汽车的快速发展，改变了传统的供用电模式，促使电力流、信息流、业务流不断融合，以满足日益多样化的用户需求。智能电网是我国电网发展的必然趋势，它将谱写电网建设的新篇章。我国智能电网建设全景图如图1-1所示。

二、智能电网是经济、技术发展的必然选择

1. 强化电力资源优化配置能力需要坚强的智能电网

我国能源资源与能源需求呈逆向分布，能源资源主要分布在北部、西部和西南地区，79.7%的煤炭保有储量分布在山西、陕西、内蒙古、宁夏、新疆和黑龙江等西部和北部地区，近70%的水资源分布在西南地区（川、渝、云、贵、藏），风能资源主要分布在东北、西北、华北及沿海地区，太阳能资源主要分布在西藏、青海、新疆和内蒙古等北部和西部地区。我国的经济发达地区基本集中在东部沿海地区，电力需求旺盛，但东部地区受土地、环保、运输等因素的制约，已不适宜大规模发展燃煤电厂。能源资源与能源需求分布不平衡的基本国情，要求我国必须在全国范围内实行能源资源优化配置。

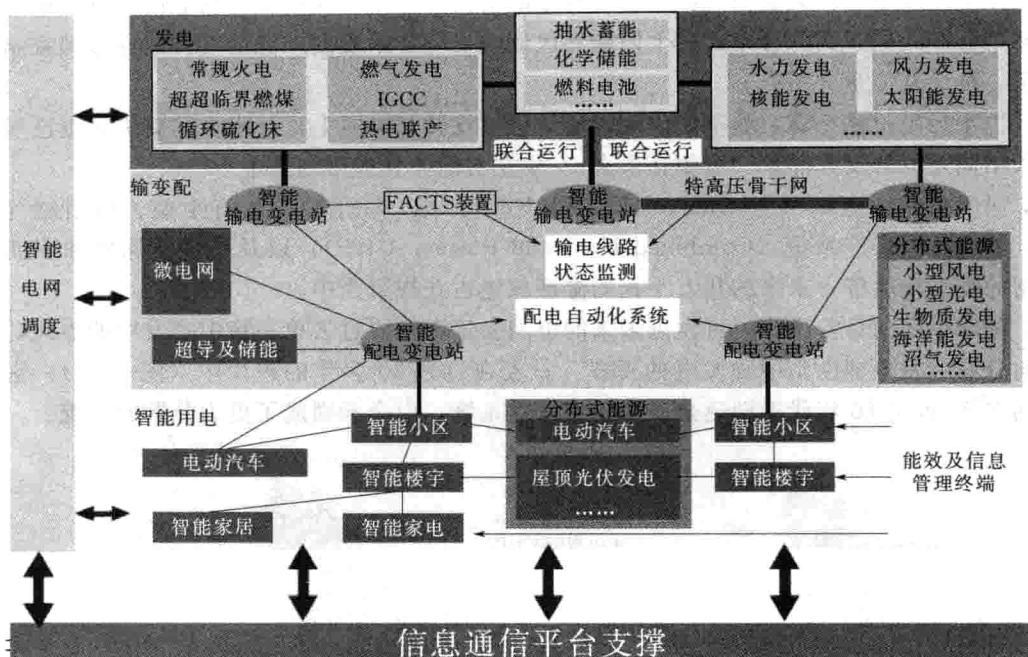


图 1-1 我国智能电网建设全景图

要从根本上解决我国电力供应紧张的局面，必须加快发展坚强智能电网，实施电力的大规模、远距离、高效率输送，形成全国范围的资源优化配置格局，显著提高电网的输送能力和运行控制的灵活性，最大限度发挥电网优化配置资源的作用。智能电网的建设将形成结构坚强的受端电网和送端电网，电力承载能力显著加强，形成“强交、强直”的特高压输电网络，实现大水电、大煤电、大核电、大规模可再生能源的跨区域、远距离、大容量、低损耗、高效率输送，显著提升电网大范围能源资源优化配置能力。

2. 实现大系统的安全稳定运行，降低大规模停电的风险需要智能电网

近年来世界上大面积连锁停电频繁发生，损失巨大。以 2003 年美国东北地区大停电为例，给这个区域所造成的经济损失约 60 亿美元，充分暴露了基于资源大范围全局优化理念而发展起来的大型互联同步电网的脆弱性。一般的观点是，提高系统的全局可视化程度和预警能力，使用较好的、灵巧的和快速的控制实现自愈，是增强电网的可靠性和避免事故扰动引起系统崩溃的关键。进而考虑到复杂大电网对自然灾害和人为有选择性的恶意攻击是脆弱的（对后者尤为脆弱），未来的电网会成为更鲁棒的、自治的和自适应的基础设施，能够通过自愈的响应减小停电范围和快速恢复供电。

3. 分布式电源的大量接入和充分利用需要智能电网

基于能源安全和可持续发展的考虑，世界上许多国家已把发展可再生能源技术提升到国家战略的高度，投入大量的资金，以期夺取技术制高点。美国总统奥巴马更认为，“引领世界创造清洁能源经济的国家将引领 21 世纪的全球经济”。

分布式发电是靠近它服务负荷的小规模电力发电技术，它能够降低成本、提高可靠

性，减少排放量和扩大能源选择。在可再生的清洁能源中，太阳能和风能由于其在地理上天然的是分布式的，因此分布式的太阳能和风能的发电技术受到广泛的重视。许多国家制定政策，推广其大量应用。

由于风电价格下降，其推广应用的前景已被认知。事实上，技术上的新进展也已展示了太阳能发电的良好前景，可望在未来 10 年左右能够具有市场竞争力。

属于分布式电源（Distributed Energy Resources, DER）的还有小型、微型燃气轮机，如冷热电联产系统（Combined Heat and Power, CHP），以及小规模储能和下面将介绍的需求响应等，未来的几万千瓦的微型核电也在视野当中。

随着技术的日益进步，可预见未来的电网会逐渐摆脱过去单一集中式发电的模式，而转向分布式发电辅助集中式发电的模式。丹麦在过去 20 多年的进程中（图 1-2），它的电网在 20 世纪 80 年代中期还是一个集中式的系统，而今天则成了更为分散的系统。

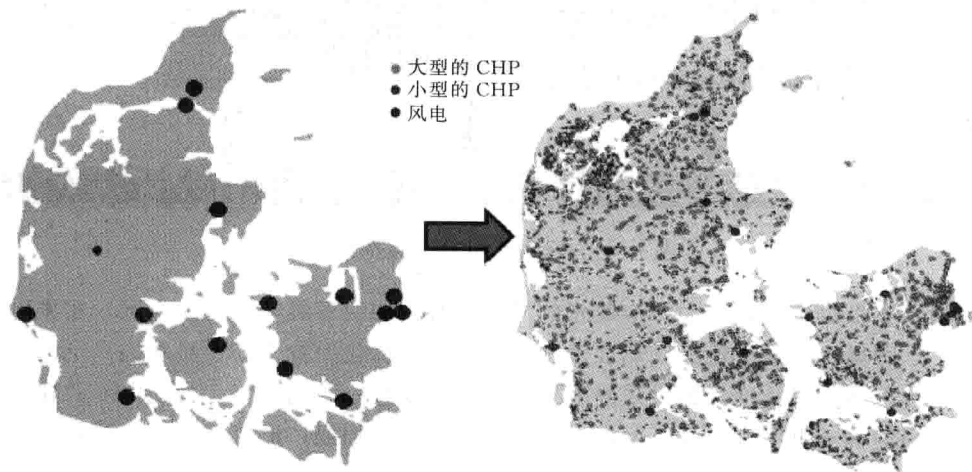


图 1-2 丹麦发电行业在过去 20 多年的演变

（此图来源为丹麦能源局）

当大量的分布式电源集成到大电网中时，多数是直接接入各级（如 110kV 及其以下电压等级的）配电网，使得电网自上而下都成了支路上潮流可能双向流动的电力交换系统，从而出现了如何处理数以万计的分布式电源和应对其发电的不确定性和间歇性，以确保电网的可靠性和人身与设备安全的问题。然而，现时的配电网络是按单向潮流设计的，不具备有效集成大量分布式电源的技术潜能。

4. 峰荷问题和需求侧管理需要智能电网

由于现时还没有经济有效的大容量存储电能的手段，致使电的发生和消费必须随时保持平衡。而电力负荷是随时间而变化的，譬如，在炎热夏天的下午，当无数商业和住宅的空调开到最大时，用电需求会大幅增高，以致到达全年负荷功率最大值（称之为全年的“峰荷”）。为满足供需平衡，电力设施必须根据全年的峰荷来规划和建造。

由于系统处于峰荷附近的时间每年很短，所以电力资产利用率低下。美国现实电网资产的利用系数约为 55%，而发电资产利用率也不高（图 1-3），其中占整个电网总资产

75%的配电网资产的利用率更低,年平均载荷率仅约44%,即一年内只有少数时间资产是被充分使用的(如图1-3所示,一年中仅有5%的时间,即438h,其载荷率超过75%),浪费了大量的固定资产投入,不符合可持续发展的要求。

调查表明:我国目前10kV配电资产利用率比美国还低,多数城市10kV配电线路和变压器的年平均载荷率低于30%;基于电网出现一个主要元件故障后还可保证安全的条件下,峰荷时的线路载荷率全部在50%以下。解决上述问题的办法之一,是缩小负荷曲线峰谷差。

同时为了应对电网偶然事件和电力负荷的不确定性,电力系统必须随时保持(10%~13%)发电容量裕度(又称旋转备用),以确保可靠性和峰荷需求,这也增加了发电成本和对发电容量的需求。

幸运的是,现实系统中存在着大量能与电网友好合作的负荷。如空调、电冰箱、洗衣机、烘干机和热水器等,它们在电力负荷高峰(电价高)的时段可以暂停使用,而适当平移到供电不紧张(电价低)的时段再使用,帮助电网实现电力负荷曲线的削峰和填谷。如图1-4所示,在美国典型峰荷日的峰荷时刻,居民用电功率占到峰荷的30%,而其中

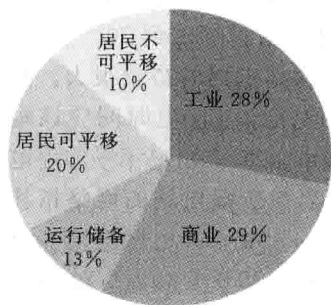


图 1-4 美国典型峰荷日峰荷期间各类负荷所占比重

好合作的2/3,即20%属于可与电网友好合作的负荷,其值超过占峰荷13%的旋转备用容量。如果能够提供相应的技术支撑,通过电力公司与终端用户的互动(需求侧响应或用电管理),则可实现电力负荷曲线的削峰填谷。

削峰填谷不仅可以显著地提高资产利用率,减少对系统发电和输配电总容量的需求,同时也会带来发电效率的提高和网损的降低。而要调动电力用户同电网友好互动的积极性,需要开发高级的配电市场,实行分时或实时电价,使消费者不仅可以从中获利,而且感到舒适和方便。

我国城市中居民用电功率在年典型峰荷日的峰荷时大多占到峰荷的15%~20%,其中约有1/2是可以与电网友

好合作的。应该注意到,如果能消减6%~8%的峰荷,其所节约的电力资产额也是十分巨大的。更何况,商业用户和工业用户负荷均具有与电网友好合作的潜力。这种需求侧用户与电网之间的友好合作,在必要时也可取代旋转备用,支持系统的安全运行。比如,在2008年年初的一天下午,美国得克萨斯州经历了风力发电突然的、未预料到的急剧下降:在3h里发电下降130万kW。此时一个紧急启动的需求响应程序,使大型工业和商业用户在10min内恢复了大部分失去的供电,起到了对此类间歇性电源波动性缓冲的作用。这一紧急需求响应程序可实施的前提是电网公司与用户之间预先签订了协议。

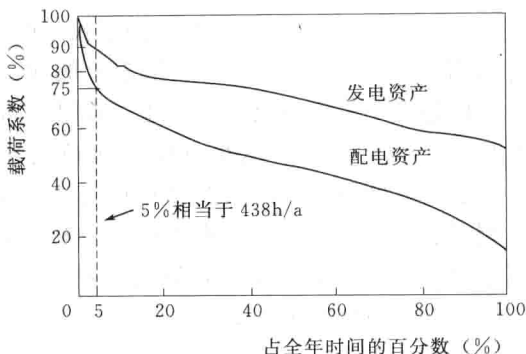


图 1-3 美国电力资产利用率曲线
(此图来源为美国能源部报告《Grid2030》)

5. 提高供电可靠性、提高电能质量, 节能降损和环保需要智能电网

近 20 年, 通信和信息技术得到了长足的发展, 数字化技术及应用在各行各业日益普及。美国在 20 世纪 80 年代, 内嵌芯片的计算机化的系统、装置和设备, 以及自动化生产线上的敏感电子设备的电气负载还很有限。而在 20 世纪 90 年代这部分用电就大约占到了总负荷的 10%。今天, 这部分电力负荷的比重已升至 40% 以上, 预计 2015 年将超过 60%。它对电网的供电可靠性和电能质量提出了很高的要求。

调查表明, 每年美国企业因电力中断和电能质量问题所耗掉的成本超过 1000 亿元, 相当于用户每花 1 美元买电, 同时还得付出 30 美分的停电损失。其中, 仅扰动和断电 (不计大停电) 每年的损失就达 790 亿美元。表 1-1 给出了美国电力科学院 (Electric Power Research Institute, EPRI) 对未来 20~30 年用户对供电可靠性需求的预测。目前的电网不仅满足不了数字化社会的这些需要, 而且它在数字化技术的自身应用方面也相对落后, 特别是在配电网方面, 尽管通信技术和信息技术的进步已经使得对电力系统的实时监控和资产管理进一步扩展到配电网日益经济可行。

表 1-1 美国 EPRI 对未来 20~30 年用户对供电可靠性需求的预测

对可靠性的要求	目前占总用户比率	未来 20~30 年占总用户比率	对可靠性的要求	目前占总用户比率	未来 20~30 年占总用户比率
99.999 9	8~10	60	99.999 999 9	0.6	10

随着产业结构的调整和产业的升级, 我国会有日益增多的数字化企业对供电可靠性和电能质量提出更高的要求。

众所周知, 用户电能质量问题多起源于配电网, 而事实上, 配电网也是提高用户供电可靠性的瓶颈。调查表明, 我国 10kV 以下电网对用户停电时间的影响占到 70%~80%。而与此同时, 如上所述, 我国城市 10kV 电网的载荷率低下, 亦即电网的裕量很大。照理说我国城市 10kV 配电网的裕量大, 其供电可靠性应该高 (即用户处停电时间应该短), 但事实并非如此。调查数字显示, 即使减去计划停电时间, 我国大城市用户年平均停电时间也大多在 1h 以上, 多数为几个小时, 甚至更长。而日本东京由于配电网的网络拓扑结构灵活和实现了配电自动化, 其用户的年平均停电时间仅为 2~5min; 在电网出现一个主要元件故障后还可保证安全的条件下, 峰荷时的线路载荷率可达 75%~85% (如前所述我国该值小于 50%)。

三、智能电网的特征

智能电网的“智能化”包括三大方面: 信息化、自动化和互动化。信息化指实时和非实时信息高度集成、共享与利用; 自动化指电网运行实现自动控制; 互动化则将实现电源、电网、用户的互动协调。实质上来说, 与传统电网相比, 智能电网即为“下一代电网”。

智能电网包括八个方面的主要特征, 这些特征从功能上描述了电网的特性, 而不是最终应用的具体技术, 它们形成了智能电网完整的景象。

1. 智能电网是自愈电网

自愈指的是把电网中有问题的元件从系统中隔离出来并且在很少或不用人为干预的情

况下可以使系统迅速恢复到正常运行状态，从而几乎不中断对用户的供电服务。从本质上讲，自愈就是智能电网的“免疫系统”。这是智能电网最重要的特征。

自愈电网进行连续不断的在线自我评估以预测电网可能出现的问题，发现已经存在的或正在发展的问题，并立即采取措施加以控制或纠正。自愈电网确保了电网的可靠性、安全性、电能质量和效率。自愈电网将尽量减少供电服务中断，充分应用数据获取技术，执行决策支持算法，避免或限制电力供应的中断，迅速恢复供电服务。基于实时测量的概率风险评估将确定最有可能失败的设备、发电厂和线路；实时应急分析将确定电网整体的健康水平，触发可能导致电网故障发展的早期预警，确定是否需要立即进行检查或采取相应的措施；和本地和远程设备的通信将帮助分析故障、电压降低、电能质量差、过载和其他不希望的系统状态，基于这些分析，采取适当的控制行动。

自愈电网经常应用连接多个电源的网络设计方式。当出现故障或发生其他的问题时，在电网设备中先进的传感器确定故障并和附近的设备进行通信，以切除故障元件或将用户迅速地切换到另外的可靠的电源上，同时传感器还有检测故障前兆的能力，在故障实际发生前，将设备状况告知系统，系统就会及时地提出预警信息。

2. 智能电网激励和促进用户参与

在智能电网中，用户将是电力系统不可分割的一部分。鼓励和促进用户参与电力系统的运行和管理是智能电网的另一重要特征。从智能电网的角度来看，用户的需求完全是另一种可管理的资源，它将有助于平衡供求关系，确保系统的可靠性；从用户的角度来看，电力消费是一种经济的选择，通过参与电网的运行和管理，修正其使用和购买电力的方式，从而获得实实在在的好处。

在智能电网中，用户将根据其电力需求和电力系统满足其需求能力的平衡来调整其消费。需求响应（Demand Respond）计划将满足用户在能源购买中有更多选择的基本需求，减少或转移高峰电力需求的能力使电力公司尽量减少资本开支和营运开支，通过降低线损和减少效率低下的调峰电厂的运营，同时也提供了大量的环境效益。

在智能电网中，和用户建立双向实时的通信系统是实现鼓励和促进用户积极参与电力系统运行和管理的基础。实时通知用户其电力消费的成本、实时电价、电网目前的状况、计划停电信息以及其他一些服务的信息，同时用户也可以根据这些信息制定自己的电力使用方案。

3. 智能电网将抵御攻击

电网的安全性要求一个降低对电网物理攻击和网络攻击的脆弱性并快速从供电中断中恢复的全系统的解决方案。智能电网将展示被攻击后快速恢复的能力，甚至是对那些决心坚定和装备精良的攻击者展示。智能电网的设计和运行都将阻止攻击，最大限度地降低其后果和快速恢复供电服务。智能电网也能同时承受对电力系统的几个部分的攻击和在一段时间内多重协调的攻击。

智能电网的安全策略将包含威慑、预防、检测、反应，以尽量减少和减轻对电网和经济发展的影响。不管是物理攻击还是网络攻击，智能电网要通过加强电力企业与政府之间重大威胁信息的密切沟通，在电网规划中强调安全风险，加强网络安全等手段，提高智能电网抵御风险的能力。

4. 智能电网提供满足 21 世纪用户需求的电能质量

电能质量指标包括电压偏移、频率偏移、三相不平衡、谐波、闪变、电压骤降和突升等。由于用电设备的数字化对电能质量越来越敏感,电能质量问题可以导致生产线的停产,对社会经济发展具有重大的损失,因此提供能满足 21 世纪用户需求的电能质量是智能电网的又一重要特征。但是电能质量问题又不是电力公司一家的问题,因此需要制定新的电能质量标准,对电能质量进行分级,因为并非所有的商业、企业用户和居民用户,都需要相同的电能质量。

电能质量的分级可以从“标准”到“优质”,取决于消费者的需求,它将在一个合理的价格水平上平衡负载的敏感度与供电的电能质量。智能电网将以不同的价格水平提供不同等级的电能质量,以满足用户对不同电能质量水平的需求,同时要将优质优价写入电力服务的合同中。

5. 智能电网将减轻来自输电和配电系统中的电能质量事件

通过其先进的控制方法监测电网的基本元件,从而快速诊断并准确地提出解决任何电能质量事件的方案。此外,智能电网的设计还要考虑减少由于雷电、开关涌流、线路故障和谐波源引起的电能质量的扰动,同时应用超导、材料、储能以及改善电能质量的电力电子技术的最新研究成果来解决电能质量的问题。

智能电网将采取技术和管理手段,使电网免受由于用户的电子负载所造成的电能质量的影响,将通过监测和执行相关的标准,限制用户负荷产生的谐波电流注入电网。除此之外,智能电网将采用适当的滤波器,以防止谐波污染送入电网,恶化电网的电能质量。

6. 智能电网将容许各种不同类型发电和储能系统的接入

智能电网将安全、无缝地容许各种不同类型的发电和储能系统接入系统,简化联网的过程,类似于“即插即用”,这一特征对电网提出了严峻的挑战。改进的互联标准将使各种各样的发电和储能系统容易接入。从小到大各种不同容量的发电和储能系统在所有的电压等级上都可以互联,包括分布式电源,如光伏发电、风电、先进的电池系统、即插式混合动力汽车和燃料电池。商业用户可以安装自己的发电设备(包括高效热电联产装置)和电力储能设施,将更加容易和更加有利可图。在智能电网中,大型集中式发电厂包括环境友好型电源,如风电和大型太阳能电厂和先进的核电厂将继续发挥重要的作用。加强输电系统的建设使这些大型电厂仍然能够远距离输送电力。同时,各种各样的分布式电源的接入一方面减少对外来能源的依赖,另一方面提高供电可靠性和电能质量,特别是对应对战争和恐怖袭击具有重要的意义。

7. 智能电网将使电力市场蓬勃发展

在智能电网中,先进的设备和广泛的通信系统在每个时间段内支持市场的运作,并为市场参与者提供了充分的数据,因此电力市场的基础设施及其技术支持系统是电力市场蓬勃发展的关键因素。

智能电网通过市场上供给和需求的互动,可以最有效地管理如能源、容量、容量变化率、潮流阻塞等参量,降低潮流阻塞,扩大市场,汇集更多的买家和卖家。用户通过实时报价来感受到价格的增长从而将降低电力需求,推动成本更低的解决方案,并促进新技术的开发,新型洁净的能源产品也将给市场提供更多选择的机会。

8. 智能电网优化其资产应用，使运行更加高效

智能电网优化调整其电网资产的管理和运行以实现用最低的成本提供所期望的功能。这并不意味着资产将被连续不断地用到其极限，而是有效地管理需要什么资产以及何时需要，每个资产将和所有其他资产进行很好的整合，以最大限度地发挥其功能，同时降低成本。智能电网将应用最新技术以优化其资产的应用。例如，通过动态评估技术以使资产发挥其最佳的能力，通过连续不断地监测和评价其能力使资产能够在更大的负荷下使用。

智能电网通过高速通信网络实现对运行设备的在线状态监测，以获取设备的运行状态，在最恰当的时间给出需要维修设备的信号，实现设备的状态检修，同时使设备运行在最佳状态。系统的控制装置可以被调整到降低损耗和消除阻塞的状态。通过对系统控制装置的这些调整，选择最小成本的能源输送系统，提高运行的效率。最佳的容量、最佳的状态和最佳的运行将大大降低电网运行的费用。此外，先进的信息技术将提供大量的数据和资料，并将集成到现有的企业范围的系统中，大大加强其能力，以优化运行和维修过程。这些信息将为设计人员提供更好的工具，创造出最佳的设计，为规划人员提供所需的数据，从而提高其电网规划的能力和水平。这样，运行和维护费用以及电网建设投资将得到更为有效的管理。

智能电网的愿景，在智能化及诱人的视野方面是极不寻常的。它将像互联网那样改变人们的生活和工作方式，并激励类似的变革。但实现智能电网，由于其本身的复杂性和涉及广泛的利益相关者，需要漫长的过渡、持续的研发和多种技术的长期共存。短期内，可以着眼于实现一个较为智能的电网。它利用已有的或不久的将来就可配置的技术，使目前的电网更有效；在提供优质电力的同时，也提供相当大的社会效益。

智能电网与传统电网的功能比较见表 1-2。

表 1-2 智能电网与传统电网的功能比较

特 征	目 前 电 网	智 能 电 网
使用户能够积极参与电网优化运行	用户无信息，只能被动地参与系统的运行	消费者拥有信息，并可介入和积极参与系统的运行——需求响应和分布式能源
容纳全部发电和储能选择	中央发电占优，对分布式发电接入电网有许多障碍	有大量带有“即插即用”设施的分布式电源（发电和储能）辅助集中发电
使新产品、新服务和新市场成为可能	有限的趸售市场，未很好的集成——用户只有有限的机会	建立成熟的、很好集成的趸售电力市场，为消费者扩大新的电力市场
为数字经济提供电能质量	关注停运——对电能质量问题响应很慢	保证电能质量，有各种各样的质量/价格方案可供选择，并可快速的解决问题
优化资产利用和高效运行	很少把运行数据同资产管理结合起来——竖井式的业务进程	极大地扩展了电网运行参数和健康状态的采集，使决策科学化
预测并对系统干扰做出响应（自愈）	为防止设备损毁而做出响应，扰动发生时只关注保护资产	自动检测所存在的问题并做出响应——聚焦于防止和最小化对消费者的影响
袭击和自然灾害发生后迅速恢复运行	对恐怖的恶意外行为和自然灾害脆弱	遇到攻击和自然灾害时，具有快速恢复供电能力

第二节 智能用电技术

智能电网在国内外的应用已经取得了很好的效益。欧美等国的应用偏重于配电、用电领域。美国在伯德爾（Boulder）建设全世界第一个“智能电网”示范城市，并在纽约启动以超导输电为基础的 ProjectHydra 计划；欧洲各国逐步推广了智能化电表网络，并大规模推广了分布式发电。中国目前的智能电网应用不仅在输电、配电全面开展，也在用电等领域全面实践。

智能电网可以接入小型家庭风力发电和屋顶光伏发电等装置，并推动电动汽车的大规模应用，从而提高清洁能源消费比重，减少城市污染。智能电网可以促进电力用户角色转变，使其兼有用电和售电两重属性；能够为用户搭建一个家庭用电综合服务平台，帮助用户合理选择用电方式，节约用能，有效降低用能费用支出。

智能电网的建设将推动智能小区、智能城市的发展，提升人们的生活品质，实现与电力用户“电力流、信息流、业务流”的双向互动的智能用电。家庭智能用电系统既可以实现对空调、热水器等智能家电的实时控制和远程控制；又可以为电信网、互联网、广播电视网等提供接入服务；还能够通过智能电能表实现自动抄表和自动转账交费等功能。

电力企业为了达成智能用电的发展目标，必须建设和完善智能双向互动服务平台和相关技术支持系统，全面提升电力公司与用户双向互动用电服务能力，构建智能用电服务体系，实现营销管理的现代化运行和营销业务的智能化应用。

一、智能用电是智能电网建设的重要内容

智能电网的建设重点是电网智能化，智能电网的核心特征：信息化、自动化、互动化，层层递进，最终实现电网智能化。在科技创新、电力市场化改革两大因素的推动下，我国的智能电网建设已经全面转向电网智能化的六大方面，即智能发电、智能输电、智能化变电站、智能配电网、智能用电、智能调度。

利用现代通信技术、信息技术、营销技术，构建智能用电服务体系是智能电网的重要工作之一。智能用电是依托智能电网和现代管理理念，利用高级计量、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、数据实时采集、收费方式多样、服务高效便捷，构建智能电网与电力用户电力流、信息流、业务流实时互动的新型供用电关系。

智能用电将供电端到用户端的所有设备，通过传感器连接，形成紧密完整的用电网络，并对信息加以整合分析，实现电力资源的最佳配置，达到降低用户用电成本、提升供电可靠性、提高用电效率的目的，从而带动智能家居、智能交通、智能社区、智能城市的发展。

1. 用户侧分布式电源广泛应用

用户侧光伏发电、风能发电、生物质发电等分布式电源具有数量多、范围广、容量小、随机性、间歇性等特点，其大规模应用将给用电服务带来很大影响。

（1）对电能质量、供电可靠性和电力安全的影响。分布式电源的间歇性和随机性会引起配电网电压波动和闪变，加大电压调整的难度，导致一些负荷节点的电压质量超标；分

布式电源中不适当的逆变器控制策略会产生不平衡电压和谐波污染,对电气设备产生不良影响。分布式电源并网运行,会因安装地点、容量和接入方式不合理,与继电保护配合不恰当等因素,导致供电可靠性降低。如果对分布式电源的管理和监控不到位,会给安全检修、用户用电安全等带来隐患。

(2) 对计量和通信的影响。分布式电源的应用将改变传统用户侧电能计量的方式,需要增加具备直流计量、双向计量等功能的智能电能表,掌握更为全面和准确的电能信息,满足不同时段不同结算电价的计量计费新要求。双向计量和信息采集、监控要求的提高,需要通信信道提供更高的带宽和更快的响应时间,鉴于此,现行通信信道的建设水平有待进一步提高。

(3) 对微电网发展的影响。随着分布式电源的增多,用户侧小型分布式电源构成微电网,在维持自身运行的同时实现与配电网的互联,这种微电网的控制、保护、能量管理和能量储存等技术 with 常规技术相比有较大不同,微电网形成后将引起用户侧网络结构的改变,从而引起传统用电服务模式的改变。

(4) 对电力交易的影响。分布式电源的大规模应用将对电力交易格局产生深远的影响,将促使电网企业和用户之间形成新型的供用电关系,即用户可以从电网企业购电,也可以用自己拥有的分布式电源向电网企业有偿提供削峰、紧急功率支持等服务。

2. 电动汽车及储能装置迅猛发展

电动汽车及储能装置将迅猛发展,数量众多的电动汽车及储能装置的充放电应用将对配电网设备容量配置、电网负荷产生较大影响。

(1) 对配电设备的影响。电动汽车及储能装置的大范围使用,充放电的随机性将引起负荷的瞬变,给配电容量配置、配电线路选型、继电保护配合等带来很大困难,直接影响配电设备使用的经济性、安全性和寿命。为满足充电高峰时集中短时充电功率的需求,需要提高配电设备的容量等级,而在充电需求低谷时,会因配电设备的利用率不高,造成资源浪费。如何合理设置充电站点,对电动汽车及储能装置充电时间进行科学管理,采用合理有效的技术及经济手段,协调电动汽车的有序充放电,是智能用电服务需要解决的新问题。

(2) 对电网负荷的影响。电动汽车是一种耗能装置,同时也是一种储能装置,通过制定有效的充放电策略,合理安排时间,可起到削峰填谷及后备应急的作用。当电网处于用电低谷时,通过对大量的电动汽车及储能装置进行供电,可填补低谷;当电网电力供应紧张或发生供电故障时,通过储能装置向电网供电,可起到后备电源的作用。如何制定优化的电动汽车及储能装置充放电策略,发挥其平衡电网负荷的功效,是智能用电服务面临的挑战。

3. 终端能源综合利用效率亟待提高

目前,我国电力用户用电效率、发电和供电设备利用效率较低,同时用电峰谷差不断拉大,节能潜力很大。如何利用经济、技术等手段,落实需求侧管理相应策略,充分调动发电企业、电网企业、用户等各方积极性,优化用电方式,提高终端用电效率,提高发电设备利用效率,改变仅仅依靠扩大电厂、电网建设满足用电增长的模式,是智能用电服务面临的新任务。