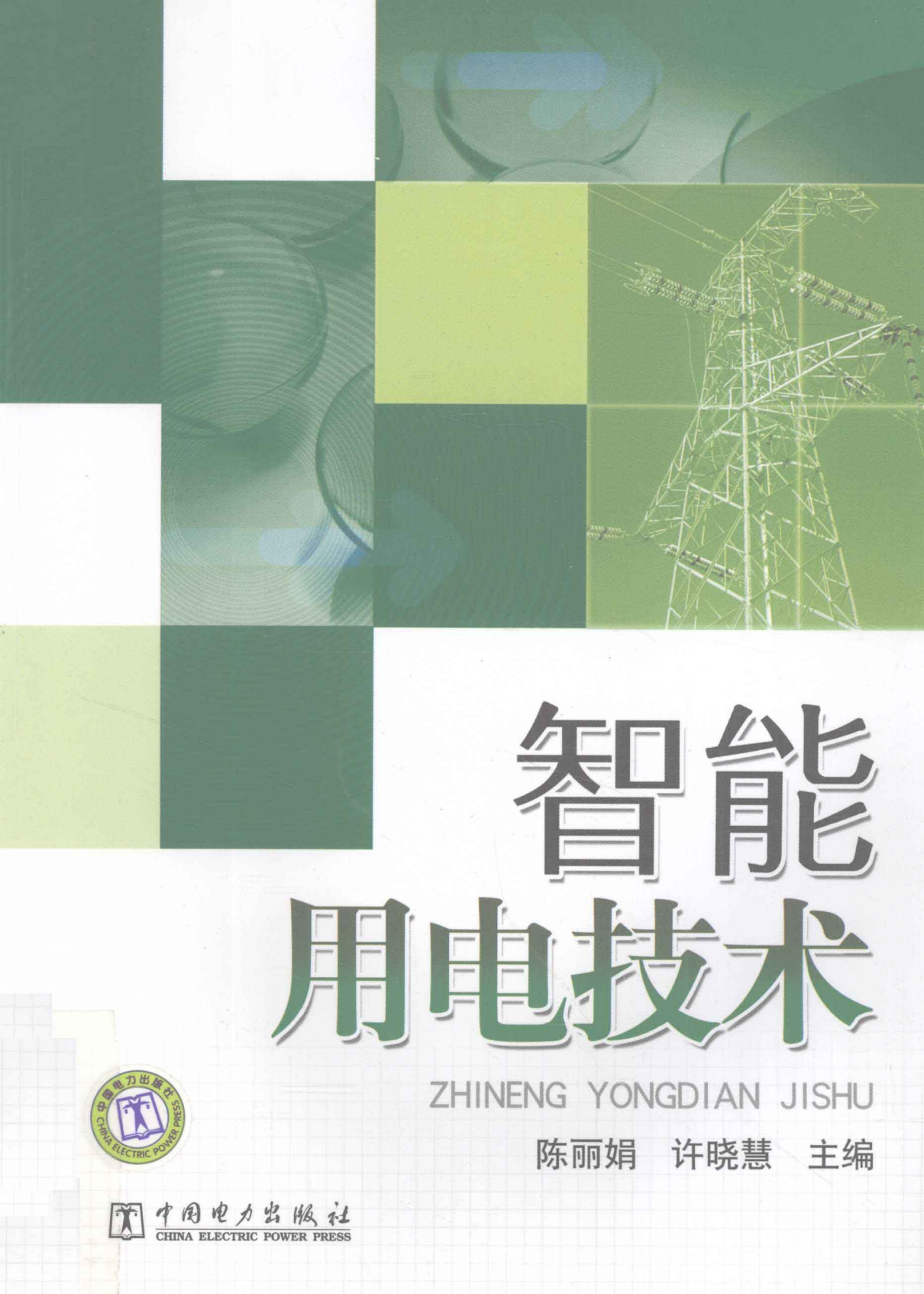




智能 用电技术

ZHINENG YONGDIAN JISHU

陈丽娟 许晓慧 主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

东南大学科技出版基金资助

智能用电技术

ZHINENG YONGDIAN JISHU

陈丽娟 许晓慧 主编

朱金大 丁孝华 张 浩
李 捷 沈秋英 李 伟 参编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书在我国建设统一坚强智能电网的背景之下,把范围锁定在用电领域,全面介绍了智能用电体系及其相关技术。涉及面较广泛,内容新颖、前沿,既有理论知识,也有工程实践;既涵盖了国外的研究成果,也汇聚了国内的最新发展。

全书共有七章,主要包括:概述,智能用电体系,智能电能表,高级量测体系,电动汽车及充电设施,四网合一,智能用电信息互动。

本书可供从事智能电网、智能用电研究和建设的人员参考,也可供电气工程和系统科学专业的师生学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

智能用电技术/陈丽娟,许晓慧主编. —北京:中国电力出版社, 2011

ISBN 978 - 7 - 5123 - 2023 - 9

I. ①智… II. ①陈…②许… III. ①用电管理—智能技术
IV. ①TM92

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 163503 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>)

北京博图彩色印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2011 年 11 月第一版 2011 年 11 月北京第一次印刷

710 毫米×980 毫米 16 开本 17 印张 293 千字

印数 0001—3000 册 定价 39.00 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

前 言

当前，世界各国为应对气候变化、保障能源安全，日益重视发展清洁能源和提高能源利用效率，世界能源发展呈现出清洁化、低碳化、高效化的新趋势。欧美等发达国家普遍加快了新能源、新材料、信息网络技术、节能环保等高新技术研究和新兴产业的发展。作为实现低碳电力的基础与前提，智能电网技术近年来在很多国家得到快速发展，并有力促进了电网的智能化。智能电网已成为未来电网发展趋势。

我国电力工业也面临着新的形势，能源发展格局、电力供需状况、电力发展方式正在发生着深刻变化。面对新形势和新挑战，国家电网公司以奉献清洁能源、促进经济发展、服务社会和谐为基本使命，提出建设涵盖电力系统的发电、输电、变电、配电、用电和调度各个环节的统一坚强智能电网，努力实现我国电网从传统电网向高效、经济、清洁、互动的现代电网的升级和跨越，积极促进清洁能源发展，为实现经济社会又好又快发展提供强大支撑。智能用电服务作为统一坚强智能电网重要环节，是建设坚强智能电网的着力点和落脚点，直接面向社会、面向客户，是社会各界感知和体验统一坚强智能电网建设成果的主要途径，在建设统一坚强智能电网中具有十分重要的地位和作用。

本书围绕智能用电展开，通过对国内外发展概况的分析，系统地阐述了智能用电体系的架构和内容，并深入分析了智能电能表、高级

量测体系、电动汽车及充电站、四网合一、用户互动等方面的内容。全书内容新颖，表达生动，对我国智能用电的发展具有深刻而又长远的指导意义。

本书经东南大学电气工程学院院长黄学良教授审阅，提出了很多宝贵的意见和建议，在此表示衷心的感谢。本书在编写过程中还得到了许庆强、徐敏锐、冯泽龙、陈刚等同事的帮助和支持，提出了许多宝贵的意见，在此一并表示衷心感谢。

由于编者水平有限，书中不妥和错误之处在所难免，恳请广大读者提出宝贵意见（电子邮箱：guccichen@163.com）。

编 者

2011 年 7 月

目 录

前言

1	概述	1
1.1	智能电网的发展	1
1.1.1	美国智能电网	1
1.1.2	欧洲智能电网	5
1.1.3	亚洲智能电网	10
1.2	智能用电的发展	17
1.2.1	智能用电技术	17
1.2.2	国外现状	18
1.2.3	国内现状	20
1.2.4	智能用电的发展意义	21
1.3	国内外对比分析	22
1.3.1	智能电网比较	22
1.3.2	智能用电比较	22
2	智能用电体系	24
2.1	背景	24
2.2	体系发展目标	26
2.3	体系架构	27
2.4	体系内容	29
2.4.1	用电信息采集	29

2.4.2	用户用能服务	31
2.4.3	智能量测管理	32
2.4.4	分布式电源管理	33
2.4.5	充放电与储能管理	33
2.4.6	营销业务管理	33
2.4.7	辅助分析与决策	34
2.4.8	用电地理信息	35
2.4.9	信息共享平台	35
2.4.10	通信与安全保障体系	36

3 智能电能表 38

3.1	智能电能表的定义	38
3.2	智能电能表主要功能	39
3.3	智能电能表主要国外生产商	47
3.4	智能电能表管理系统	50
3.4.1	IBM 智能电能表解决方案	50
3.4.2	Google 公司的 PowerMeter	51
3.4.3	国家电网公司电力用户用电信息采集系统	56
3.5	各国智能电能表应用情况	58
3.6	智能电能表的集中检定配送	61
3.6.1	背景与现状	62
3.6.2	实施方法	70
3.6.3	预期效果	101

4 高级量测体系 103

4.1	AMI 的概念	103
4.2	AMI 的功能	103
4.3	AMI 的组成	105
4.3.1	智能电能表	105
4.3.2	通信网络	105
4.3.3	量测数据管理系统	107
4.3.4	用户户内网络	108

4.4 AMI 案例——电力用户用电信息采集系统	109
4.4.1 系统功能	109
4.4.2 系统架构	110
4.4.3 系统组成	112
4.4.4 系统建设方案	118
4.4.5 系统高级应用	121
4.5 高级量测体系对电力营销的影响	128
4.5.1 实现电力营销管理的创新	130
4.5.2 提升电力营销管理效率	132
4.5.3 提高客户服务质量	136
4.5.4 提供高级增值业务	138

5 电动汽车及充电设施 139

5.1 电动汽车发展情况	139
5.1.1 电动汽车的分类	139
5.1.2 国外发展情况	141
5.1.3 国内发展情况	145
5.2 电动汽车能源供给方式	147
5.2.1 电池更换方式	147
5.2.2 快速充电方式	147
5.2.3 慢速充电方式	147
5.3 电动汽车充电设施技术	148
5.3.1 电动汽车的关键部件	148
5.3.2 电动汽车动力电池	149
5.3.3 充电系统	151
5.4 电动汽车充电站	152
5.4.1 交流充电桩	153
5.4.2 立体充电站	153
5.4.3 平面充电站	154
5.4.4 电动汽车及充电站监控系统	157
5.5 电动汽车及充电设施相关技术标准	158
5.5.1 国际相关标准	158

5.5.2	国内相关标准	159
5.5.3	国家电网公司企业标准	161
5.6	电动汽车运营模式	162
5.6.1	主要运营模式	162
5.6.2	政府主导型	162
5.6.3	研制企业主导型	162
5.6.4	关联企业主导型	162
5.6.5	专门企业主导型	163
5.6.6	各种运营模式的优缺点分析	163
5.7	电动汽车充电对电网的影响	164
5.7.1	对电网峰谷调节的影响	164
5.7.2	对电网电能质量的影响	165
5.7.3	对配网规划的影响	165
5.8	政策支持	165
6	四网合一	171
6.1	背景	171
6.2	现有网络现状	172
6.2.1	现有网络的发展基础	172
6.2.2	现有网络的不足	185
6.3	基于电力网构建“四网合一”网络	192
6.3.1	建设目标及原则	192
6.3.2	总体架构	194
6.3.3	四网合一网络方案	195
6.4	光纤复合低压电缆 (OPLC) 技术	197
6.4.1	技术简介	197
6.4.2	技术优势	197
6.4.3	应用范围	197
6.4.4	典型方案	198
6.5	无源光网络 (EPON) 技术	202
6.5.1	技术简介	202
6.5.2	技术优势	204

6.5.3	应用范围	204
6.5.4	典型方案	204
6.6	四网合一网络运营模式探讨	207
6.6.1	统一运营模式	207
6.6.2	分离式运营模式	208
6.6.3	总体盈利方式介绍	208
6.7	关键技术	210
6.7.1	四网合一网络标准及规范研究	210
6.7.2	四网合一线缆研究	210
6.7.3	四网合一网络数据和业务模型研究	211
6.7.4	终端设备研究	214
6.7.5	运营系统的开发	218
6.7.6	政策需求	219
6.8	电力光纤到户试点应用	220
7	智能用电信息互动	222
7.1	国内外现状	222
7.2	信息互动体系	223
7.3	互动类型	225
7.3.1	居民互动	225
7.3.2	大用户互动	243
参考文献		260

概 述

1.1 智能电网的发展

随着全球环境压力的不断增大，各国对环境保护、节能减排和可持续性发展的要求日益提高，同时随着电力市场化进程的不断推进以及用户对电能可靠性和质量要求的不断提升，均要求未来的电网必须能够提供更加安全、可靠、清洁、优质的电力供应，能够更加适应客户的自主选择需要，能够适应多种能源类型发电方式的需要。为此，以美国和欧盟为代表的多个国家和组织从各自的情况出发，不约而同地提出要建设灵活、清洁、安全、经济、友好的智能电网，并且出台不同的政策和战略促进智能电网的研究、建设和发展。

1.1.1 美国智能电网

根据美国 2007 年 12 月通过的《能源独立和安全法案》（EISA）第 1305 节的描述，智能电网是一个涵盖现代化发电、输电、配电、用电网络的完整的信息架构和基础设施体系，具有安全性、可靠性和经济性三个特点。通过电力流和信息流的双向互动（two-way），智能电网可以实时监控、保护并自动优化相互关联的各个要素，包括高压电网和配电系统、中央和分布式发电机、工业用户和楼宇自动化系统、能量储存装置，以及最终消费者和他们的电动汽车、家用电器等用电设备，以实现更智慧、更科学、更优化的电网运营管理，并进而实现更高的安全保障、可控的节能减排和可持续发展的目标。

1.1.1.1 驱动因素

（1）提高电网系统的自愈能力。美国现有电力网络沿袭自工业化时代，设

施陈旧老化,并且与数字信息技术严重脱节。2003 年发生美加大停电事故后,美国电力行业就已经下定决心对电网进行一番彻底的改造,提高电网运营的可靠性。对复杂大电网的安全稳定控制,即所谓的自愈能力,是其智能电网发展最初的驱动因素。

(2) 通过智能电网建设将美国拉出金融危机的泥潭。为刺激美国经济的复苏,智能电网成为美国总统奥巴马上台后实施的能源战略中的重要组成部分,是奥巴马政府刺激美国经济振兴的核心主力和新一轮国际竞争的战略制高点。目前美国大约有 1.5 亿块电能表,如果包括计算机、变压器、传感器和网络系统的投资在内,智能电网建设将拉动超过 1 万亿美元以上的投资。再加上智能电网之后的超导电网改造和可再生能源领域的变革,美国的电网变革将衍生成为一场跨行业、跨越式的新技术革命,它将引起电力、IT 等行业的深度裂变,同时导致建筑业、汽车业、新材料行业、通信行业等多个产业的重大变革,并催生出一系列新兴产业,创造数以万计的就业机会。

(3) 提高能源利用效率。美国的电力线路损失将近总发电量的 6%,智能电网可以使得电网在需要的时间和地点有效生产并配送理想数量的电力,使消费者的行为变得更加有效。

1.1.1.2 研究概况

美国对智能电网的研究起步相对较早,研究过程如图 1-1 所示。

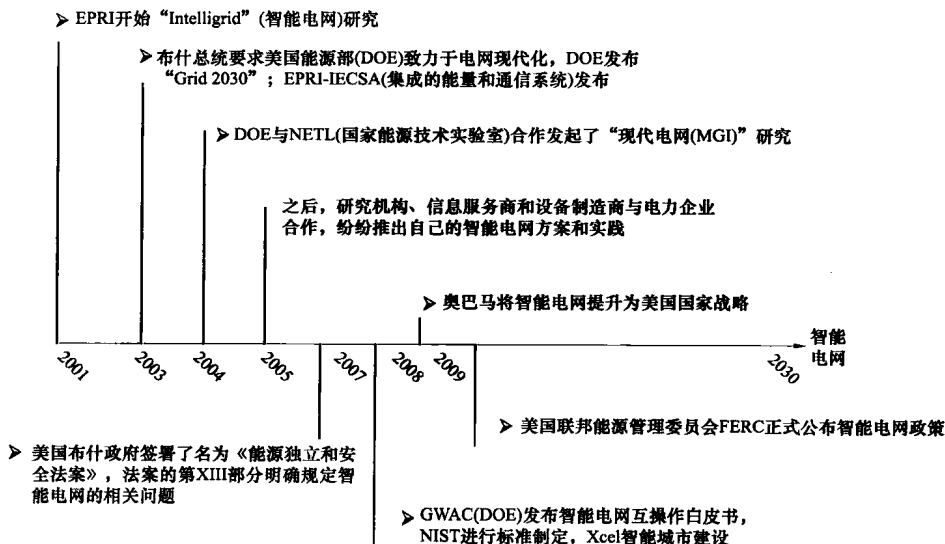


图 1-1 美国智能电网研究概况

1.1.1.3 政策支持

- 电网 2030 规划

2003 年 2 月,美国时任总统布什提出“电网 2030 规划”,指出要建设现代化电力系统,以确保经济、安全,同时促进电力系统自身的安全运行。该规划的主要内容有:为所有用户提供高度安全、可靠、数字化的供电服务,在全国实现成本合理、生产过程无污染、低碳排放的供电,建设经济实用的储能设备,建成超导材料的骨干网架。

- 能源独立与安全法案 2007

为有效促进智能电网建设,美国于 2007 年 12 月颁布《能源独立与安全法案 2007》,确立了国家层面的电网现代化政策,设立新的专责联邦委员会,并界定其职责与作用,建立问责机制,同时建立激励机制,促进股东投资。

- 奥巴马政府施政计划

美国总统奥巴马为振兴经济,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,智能电网是其中的重要组成部分。

(1) 2009 年 1 月,奥巴马政府将智能电网作为其新能源经济“救市计划”中至关重要的组成部分,并制定了雄心勃勃的短期和长期目标:到 2012 年,实现可再生能源发电占到总发电量的 10%,到 2025 年,这一数字将达到 25%。美国白宫的《复苏计划尺度报告》称,将铺设或更新 3000 英里输电线路,在未来三年内为美国家庭安装 4000 万个智能电能表。在随后于 2 月颁布的总投资达 7870 亿美元的“美国经济重建和再投资计划”(The American Recovery and Reinvestment Act)中,联邦财政在清洁能源和效能项目上的投入超过 400 亿美元,智能电网获得了其中投入最大的一笔资金 110 亿美元。

(2) 2009 年 4 月,美国副总统拜登又公布了一项总数约 40 亿美元的智能电网投资资助计划,以协助电网管理者转变运行方式、增加储能,以及加快风能、太阳能等可再生资源与电网的集成。其中,智能电网拨款项目(Smart Grid Investment Grant Program)总投资 33.75 亿美元。根据计划,能源部将为智能电网技术开发项目提供 50 万~2000 万美元不等的资助,为智能监控仪器开发项目提供 10 万~500 万美元不等的资助。该项目还将为电力公用事业和其他机构实施智能电网技术的投资计划提供最高 50% 的资金匹配。

(3) 2009 年 5 月,能源部又宣布对参与智能电网建设的硬件和软件企业提供 1000 万美元资助,智能电网投资项目资助最多可达 2 亿美元,较原来提高 10 倍。智能电网示范项目的资助也从 4000 万美元提高到 1 亿美元。

(4) 2009 年 10 月 27 日, 美国总统奥巴马宣布将斥资 34 亿美元改造现有电网系统, 使其“更智能、更强大、更安全”。这将是美国政府有史以来针对电网改造拨出的最大一笔投资。奥巴马将智能电网同上个世纪初美国建设高速公路网相比, 称其为美国建设新能源经济的重大举措。34 亿美元将分配给 100 家电力公司、城市、私人企业和其他组织, 分布在除阿拉斯加外的 49 个州。资金将在两个月内发放, 全部工程有望 3 年内完成。新计划将建设 700 家自动变电站, 替换 20 万台变压器, 将智能电能表增加 1800 万个, 使全美总数达到 4000 万个, 足以覆盖 1/4 到 1/3 的美国家庭。政府的投资还将刺激美国民间配套投资 47 亿美元, 使得总投资达到 81 亿美元。

(5) 美国能源部对全美 32 项智能电网示范计划 (Smart Grid Demonstration Projects) 发放 6.2 亿美元的开发经费。能源部确定了三个示范领域。一是智能电网地区示范, 对智能电网成本和收益进行量化, 验证技术可行性和新的商业模式。二是公用事业规模储能示范, 包括与先进蓄电池系统、超级电容器、飞轮和压缩空气储能系统相关的技术, 风电和光伏发电集成和电网阻塞疏导的应用。三是电网监控示范, 鼓励高分辨率同步相量测量单元 (PMU) 的安装和联网。能源部规定, 上述每个示范项目必须与拥有电网设施的电力公用事业机构合作开展, 鼓励由产品和服务供应者、终端用户、州和市级政府组成联合开发团队, 同时项目承担方须分担至少 50% 非联邦资金。

(6) 2010 年 4 月 8 日, 美国能源部宣布提供 9500 万美元用于培训智能电网员工。美国国家乡村电力合作协会最近的一份研究报告显示, 美国 61% 的电力主管都已超过 50 岁, 并将在未来 5 ~ 10 年内退休。目前看来, 培训教育工作成为阻碍美国智能电网发展的主要绊脚石。2010 年, 美国相关报告均显示, 消费者对智能电网技术及智能电能表都缺乏相应知识, 而这也是美国政府和相关行业需要努力的方向。

1.1.1.4 建设现状

2006 年, 美国 IBM 公司与全球电力专业研究机构、电力企业合作开发了智能电网解决方案。电力公司可以通过使用传感器、计量表、数字控件和分析工具, 自动监控电网, 优化电网性能、防止断电、更快地恢复供电, 消费者对电力使用的管理也可细化到每个联网的装置。2009 年 2 月, IBM 与地中海岛国马耳他签署协议——双方将建立一个“智能公用系统”, 以实现该国电网和供水系统的数字化, 其中包括在电网中建立一个传感器网络。IBM 将提供搜集分析数据的软件, 帮助电厂发现机会, 降低成本及碳排放量。

谷歌宣布了一个与太平洋煤气和电力公司 (PG&E) 的测试合作项目。2008 年 9 月, 谷歌与通用电气对外宣布共同开发清洁能源业务, 核心是为美国打造国家智能电网, 同时强调, 21 世纪的电力系统必须结合先进的能源和信息技术, 而这正是通用电气和谷歌的优势领域。2009 年 2 月, 谷歌开发成功利用电能表节约电费的应用软件 PowerMeter, 并在员工家庭试用。该公司还向美国议会进言, 要求在建设智能电网时采用非垄断性标准。

美国能源部西北太平洋国家实验室正在协助建立电网智能化联盟并进行实地示范, 如完成的高级需求响应网络太平洋西北电网智能化试验台。在该项目中, 通过英维思控制器 (Invensys Controls) 将家庭网关设备连接到装有 IBM 软件的新型高级仪表和可编程恒温器上, 将 112 个家庭与实时电力价格信息联系起来。最终结果表明, 参与者节约了约 10% 的能源费用, 并且需求响应良好。

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, 家庭用户可以和电网互动, 了解实时电价, 合理安排用电; 同时电网还可以根据实际情况进行电力的实时调配, 提高供电可靠性。

加州已完成第一阶段试验性 200 万户小区高级量测体系 (Advanced Metering Infrastructure, AMI) 的安装, 初步分析显示, 节省电力可达 16% ~ 30%。

1.1.2 欧洲智能电网

1.1.2.1 驱动因素

(1) 环境及气候问题。化石燃料发电会排放出二氧化碳、二氧化硫、氮氧化物和其他污染物, 温室气体引起气候变化, 这是人类面临的最大的环境挑战之一。欧洲需要研究出最经济的技术和措施, 以达到京都议定书和后京都议定书的目标。对环境保护的极度重视以及日益增长的可再生能源并网发电的挑战, 使得欧洲更为关注可再生能源的接入。发展可再生能源和分布式发电, 促进智能电网建设是欧洲应对环境问题的基本战略。

(2) 电力供应安全。由于化石燃料日益减少, 威胁电力的安全供应; 同时, 人们对电能可靠性、供电质量, 以及发电和输电容量的要求不断增长。欧洲输配电系统基础设施正日益老化, 越来越威胁到电网安全、可靠和高质量供电, 需要在考虑电网新功能和新的挑战下重新设计电网。

(3) 欧洲内部电力市场现状。电力市场不断发展, 市场监管框架不断完善, 在促进经济发展的同时, 也影响着欧盟的竞争战略。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。不断加剧的竞争

鼓励电力工业提高效率，发展和创新技术，人们期望欧洲内部市场能带来各种益处，如更多选择的服务方案和更低的电价。因此提高运营效率、降低电力价格、加强与客户互动等因素要求欧洲进行智能电网建设。

1.1.2.2 研究概况

欧洲智能电网的研究相对美国稍晚一些，其研究概况如图 1-2 所示。

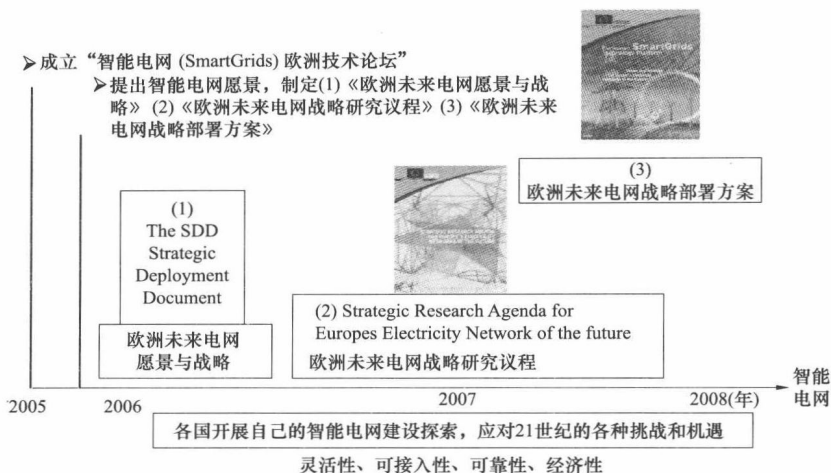


图 1-2 欧洲智能电网研究概况

1.1.2.3 政策支撑

为促进智能电网的规划与发展，2004 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，2005 年欧盟成立了智能电网技术平台 (Smart Grids European Technology Platform)，又先后发布了《欧洲未来电网愿景与战略》(2006)、《欧洲未来电网战略研究议程》(2007)、《欧洲未来电网战略部署方案》(2008) 三份重要文件。而 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》明确强调，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。

2009 年初，欧盟有关圆桌会议进一步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。以英法德为代表的欧洲北海国家，2010 年 1 月正式推出了联手打造可再生能源超级电网的宏伟计划，该工程将把苏格兰、比利时以及丹麦的风力发电、德国的太阳能电池板与挪威的水力发电站连成一片。包括德国、法国、比利时、荷兰、卢森堡、丹麦、瑞典、爱尔兰和英国在内的欧洲 9

国,还希望在未来10年内建立一套横贯欧洲大陆的高压直流电网,这是实现欧盟承诺的关键步骤之一。

2009年10月,欧盟公布了战略能源技术计划(SET-Plan)路线图,旨在加速低碳技术发展和大规模应用,其中将智能电网作为第一批启动的六个重点研发投资方向之一,从电网的技术、规划架构、需求侧参与和市场设计四个方面,提出了2010~2020年智能电网技术发展路线。其战略目标是:到2020年实现35%的电力输配来自于可再生能源,到2050年实现完全除碳化;将各国电网纳入一个基于市场的泛欧大电网中;保障为所有消费者提供高质量电力,并使其主动参与提高能源效率;发展电气化交通等新领域。为此,公共和私营部门应投入经费20亿欧元。

欧盟委员会号召其成员国利用信息与交流技术(Information and Communications Technology)提高能效,应对气候变化,促进经济恢复。智能电网技术可以帮助欧洲在未来12年内减少排放15%,这将成为欧盟完成2020年减排目标的关键。同时要求各成员国同意统一的欧洲智能测量标准,主动与其他成员国合作,推动技术创新和示范工程建设,实现信息共享。

1.1.2.4 建设现状

(1) 欧盟。“欧盟科技框架计划”是欧盟成员国共同参与的重大科技研发计划,以研究国际前沿和科技难点为主要内容。欧盟在第五、第六和第七科技框架计划“能源、环境与可持续发展”主题下,支持了一系列与电力电网技术有关的研究项目。① 欧盟第五科技框架计划(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元件和新结构的起点。② 欧盟第六科技框架计划(FP6,2002~2006)有超过一百家机构(包括电力公司、设备制造商、高校和研究机构等)参与了电网项目,其间总预算达3400万欧元。③ 第七科技框架计划(FP7,2007~2013)下的部分项目,已经在智能电网的框架下开展了一些初步研究工作(包括主动配电系统、微电网和虚拟能源市场等)。

(2) 丹麦。丹麦是世界上可再生能源发展最快的国家之一,可再生能源比例从1980年3%的比例跃升到如今的70%,其中风力发电占全国总发电量的近20%,预计到2025年可达到50%。因此,将电网打造成为世界最先进的、能够适应大规模可再生能源的电网成为丹麦重要目标,为此丹麦已经开展一系列