



ZHINENG YONGDIAN XIAOQU
GUANJIAN JISHU JI GONGCHENG ANLI

智能用电小区

关键技术及工程案例



主 编 何建军
副主编 徐瑞林 陈 涛 徐 鑫



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

智能用电小区

关键技术及工程案例

主 编	何建军		
副主编	徐瑞林	陈 涛	徐 鑫
参 编	张晓勇	李志勇	刘永相
	杨 帆	韩 亮	杨 晞
	刘志宏		



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

智能用电小区建设的目的是为了提高电网智能化水平,提升用电服务质量。编写本书,旨在让人们了解智能用电小区的概念以及相关技术,更好地理解与支持智能用电小区的建设。

全书共8章,内容主要包括智能电网与智能用电小区概况、智能用电小区的关键技术基础,高级量测技术与体系、智能用电小区通信系统、双向互动服务系统、电动汽车充放电控制与管理系统、小区配电自动化系统以及智能用电小区工程案例。

本书通俗易懂、图文并茂、内容全面、资料翔实,可作为从事智能电网与智能用电小区研究与建设的技术人员和相关专业学生的参考用书,也可作为了解智能用电小区知识的普及读物。

图书在版编目(CIP)数据

智能用电小区关键技术及工程案例/何建军主编. —北京:中国电力出版社, 2011. 9

ISBN 978 - 7 - 5123 - 2149 - 6

I. ①智… II. ①何… 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 197439 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](http://www.cepp.sgcc.com.cn))

北京市同江印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2012 年 1 月第一版 2012 年 1 月北京第一次印刷

710 毫米×980 毫米 16 开本 14.5 印张 194 千字

印数 0001—3000 册 定价 30.00 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

随着全球资源与环境问题的日益突出，新能源的开发与全球范围内的节能减排面临着新的挑战。依靠现代通信、信息、计算机、微电子和电力电子技术，提高现有电网的智能化水平，建设智能电网是电力工业积极应对未来资源与环境问题的必然选择。

随着 2009 年哥本哈根气候变化会议的召开，“低碳经济”与“智能电网”成为热点问题，世界各国也出台了相关政策，智能电网的建设也在全球范围内拉开了帷幕。2009 年 5 月在北京召开的“2009 特高压输电技术国际会议”上，国家电网公司正式发布了“坚强智能电网”发展战略。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。同时，国家电网公司也开展了智能电网的试点建设，首批智能用电小区的智能建设也开始启动，在北京、重庆、上海、河北廊坊首先进行智能用电小区试点建设工程。

智能用电小区试点工程是国家电网公司为了研究智能电网先进技术如何应用于居住区，提高人民的生活水平，以及探索智能用电小区建设模式，提高电网智能化水平，提升用电服务质量而进行的一项尝试，为在全国范围内实现“友好互动、清洁环保、安全可靠”为特征的智能用电小区奠定基础。

随着首批智能用电小区示范工程逐渐投入运行，人们也越来越深入地了解智能电网与智能用电小区，体验到智能电网给人们生活带来的便捷以及对生活质量的提高。

重庆市智能用电小区示范工程于 2010 年 6 月竣工，涉及住户 1334

户。为了让社会公众更好地了解智能用电小区，让专业技术人员更多地了解智能用电小区的相关技术，本书以通俗易懂的语言、图文并茂的方式介绍了智能用电小区的有关概念与相关技术，系统地介绍了智能用电小区发展以及不同时期智能用电小区的含义，介绍了智能用电小区建设中涉及的各种技术，包括通信技术、高级量测技术体系、配电自动化、双向互动服务系统、电动汽车充电设施管理系统等，最后对重庆市智能用电小区示范工程的建设情况进行了介绍。

我们衷心希望通过本书，能让更多关心智能电网与智能用电小区发展的人士了解智能用电小区建设的意义与相关技术，共同为智能用电小区的推广作出贡献，推进智能电网的建设，共同创造中国电力工业灿烂的明天。

编 者

2011 年 9 月

目 录

前言

第 1 章 智能电网与智能用电小区概况	1
1.1 智能电网的概念与机遇	2
1.1.1 智能电网的特征	2
1.1.2 各国智能电网	4
1.1.3 发展智能电网的意义及智能电网带来的机遇	11
1.2 智能用电小区概况	15
1.2.1 智能用电小区的提出	15
1.2.2 智能用电小区的内涵与特点	18
1.2.3 智能用电小区的发展动态	20
1.2.4 智能用电小区的建设情况	21
1.3 智能用电小区与智能电网	25
1.3.1 智能用电小区的新内涵和功能	25
1.3.2 智能电网下的智能用电小区关键技术	25
1.3.3 智能电网与智能用电小区的效益	28
第 2 章 智能用电小区关键技术基础	30
2.1 传感与测量技术	30
2.1.1 智能仪表	31
2.1.2 电网设备的在线监测	45
2.1.3 广域测量系统 (WAMS)	45
2.2 通信技术	47
2.2.1 光纤通信技术	48

2.2.2	电力线通信技术	55
2.2.3	局域网技术	58
2.2.4	短距离无线通信技术	65
2.2.5	接入网技术	70
2.3	智能控制技术	73
2.3.1	高级控制技术进展	74
2.3.2	高级控制技术的发展方向	77
2.4	智能用电小区系统构成	78
2.4.1	系统功能需求	78
2.4.2	系统整体结构	79
第3章	高级量测技术与体系	81
3.1	高级量测体系（AMI）的基本概念	81
3.1.1	AMI的概念	81
3.1.2	AMI的应用价值	83
3.1.3	AMI的需求准则	85
3.2	高级量测体系结构	86
3.2.1	AMI的技术需求	86
3.2.2	AMI的体系结构	92
3.2.3	AMI主要支撑技术	95
3.3	高级量测技术现状	101
3.3.1	国外发展现状	101
3.3.2	国内发展现状	101
3.3.3	我国发展AMI的展望	102
第4章	智能用电小区通信系统	104
4.1	通信系统需求	104
4.1.1	通信系统基本需求	104

4.1.2	智能用电小区对通信系统的要求	107
4.2	通信系统网络架构	109
4.2.1	功能架构	109
4.2.2	系统架构	112
4.3	通信系统关键技术	114
4.3.1	光纤复合低压电缆	114
4.3.2	以太网方式的无源光网络	115
4.3.3	电力线通信技术	119
4.3.4	RS-485 总线技术	122
4.4	通信系统信息安全	123
4.4.1	信息安全基础	123
4.4.2	智能用电小区中的通信系统信息安全	130
4.5	通信应用的实现	131
4.5.1	用电信息采集	131
4.5.2	智能家居	135
4.5.3	三网融合	135
4.5.4	电动汽车充电桩	136
4.5.5	物业管理系统	137
4.5.6	配电自动化	137
4.5.7	智能用电服务互动平台	138

第5章 双向互动服务系统

5.1	双向互动服务系统建设的必要性	139
5.1.1	电力机制改革的引入	139
5.1.2	95598 互动服务系统建设的必要性	140
5.1.3	95598 互动服务系统的建设现状	141
5.2	传统互动系统功能需求	142

5.2.1	系统建设意义	142
5.2.2	系统建设目标	143
5.2.3	系统功能需求	145
5.3	智能用电小区 95598 网上互动服务系统	146
5.3.1	智能家电管理业务	147
5.3.2	智能用电小区客户互动业务	150
5.3.3	智能用电服务互动系统构成	150
第 6 章	电动汽车充放电控制与管理系统	152
6.1	充放电技术	153
6.1.1	电动汽车充电装置	153
6.1.2	电动汽车充电方式	154
6.1.3	电动汽车充电技术的发展展望	157
6.2	充放电管理系统	157
6.2.1	硬件方案	159
6.2.2	软件方案	163
6.3	充放电管理模式对电网的影响	166
6.3.1	充电设施对配电网电能质量的影响	166
6.3.2	充电机谐波分析理论	168
6.3.3	电能质量改善方法	171
第 7 章	小区配电自动化系统	175
7.1	配电自动化功能需求	175
7.1.1	配电自动化发展概况	175
7.1.2	配电自动化功能需求	177
7.2	关键技术分析	179
7.2.1	SCADA 系统	179
7.2.2	配电自动化终端	181

7.2.3	配电自动化通信技术	184
7.2.4	配电自动化通信规约	188
7.2.5	高级配电自动化	189
7.3	智能用电小区配电自动化关键技术实施	190
7.3.1	智能用电小区配电自动化功能需求	190
7.3.2	智能用电小区配电自动化系统实施	191
第8章	智能用电小区工程案例	192
8.1	富抱泉小区与加新沁园小区示范工程概况	192
8.2	总体方案	195
8.3	主要功能	195
8.4	系统结构	197
8.5	详细技术方案	198
附录	中英文术语对照	217
参考文献		221

智能电网与智能用电小区概况

在现代电网的发展过程中，各国结合其电力工业发展的具体情况，通过不同领域的研究和实践，形成了各自的发展方向和技术路线，也反映出各国对未来电网发展模式的不同理解。2003 年的美加大停电引起了世界各国对电力工业发展的新思考，如何提高大电网的安全稳定性、提高电网的稳定监控和决策水平，使电网具有自愈（Self Healing，SH）能力，并优化电能资源配置成为目前电力行业的研究重点。与此同时，现代通信、信息、计算机、微电子和电力电子技术的迅速发展及其在电网中的应用，为电网自动化提供了有力工具。在这内、外两方面因素的推动下，新型智能电网（Smart Grid）概念被提出，并迅速得到广泛的关注，建设与发展智能电网已在世界范围内达成共识。

早在 20 世纪末，美国电力科学研究院（Electric Power Research Institute，EPRI）就提出了针对灾变防御的自愈电网概念。在美国国防部的支持下，美国电力科学研究院在 1999 ~ 2003 年开发了电力基础设施战略防护系统，成为自愈电网的前期工作；2003 ~ 2004 年，美国电力科学研究院完成了综合能源及通信体系结构（Integrated Energy and Communications System Architecture，IEC SA）的开发，并随后拓展成为智能电网体系结构（IntelliGrid Architecture），可认为是智能电网的前期工作和基础。2003 年，美国能源部（Department of Energy，DOE）发布了 Grid 2030 计划，即通过采用先进的材料技术、超导技术、电力电子技术，充分研究广域测量技术、实时仿真技术、存储技术、可再生能源发电技术、

控制技术，以构建全美骨干电网、区域性电网、地方电网和微电网等多层次的电力网络，争取到 2030 年建成完全自动化、高效能、低投资、安全可靠和能够灵活应变的输配电系统，以保障大电网的安全性和稳定性，提高供电质量与可靠性。2005 年，欧洲成立“智能电网技术论坛”，将智能电网的建设与发展上升到战略地位。2006 年，欧洲“智能电网技术论坛”推出了《欧洲智能电网技术框架》，提出智能电网技术是保证欧洲电网电能质量的一个关键技术和发展方向。我国明确提出智能电网的概念虽然较晚，但之前在相关技术领域展开了大量的研究和实践。1999 年，我国就已经提出“数字电力系统”的概念，2007 年 10 月，华东电网正式启动了智能电网可行性研究项目，计划建成具有自愈能力的智能电网，这些都为我国今后的智能电网建设与发展、并取得世界领先性成果奠定了基础。

1.1 智能电网的概念与机遇

智能电网是当今世界能源产业发展变革的最新动向，代表着电网未来发展的方向。建设智能坚强电网已经得到世界范围内的认可与重视。但是由于各国国情和发展状况的不同，对智能电网的概念和特征的认识也不完全一致，到目前为止，世界范围内尚无对智能电网的统一定义。例如，美国在未来一段时间内智能电网的建设主要围绕配电网的智能化开展，欧洲是以新能源发电与节能减排为基础，推广相关电网建设。而我国则是在特高压骨干网的基础上，全面推广电网的智能化进展，提高电网的智能化水平。目前对于智能电网各国虽未有统一的定义，但一致认为智能电网是一个中长期的目标。

1.1.1 智能电网的特征

针对目前欧美以及国内专家对智能电网的研究，智能电网需要具备



以下特征。

1. 电网的自愈能力

通过实时采集电力系统的动态信息，及时发现并快速诊断可能存在的隐患，预测故障及其可能引发的系统震荡和级联事件，进行风险评估并且采取预防和矫正控制手段，如将大电网按照风险程度适当区分等级；当故障发生后，迅速把电网中有问题的元件从系统中隔离出去，并自动进行必要的事故控制和恢复控制，保证用户供电的连续性，防止大面积停电的发生。

2. 电网的互动性

与传统的“单向电网”相比，智能电网将实现需求侧响应功能，鼓励用户参与电力系统的运行和管理。电力供应方与用户间建立双向实时的通信系统，可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、停电计划信息以及其他一些服务的信息，从而使用户可以根据这些信息制订自己的电力使用方案，有助于平衡供求关系，确保系统的可靠性。

3. 电网的安全性

智能电网的安全策略包含应付威慑，实现预防、检测和反应，以尽量避免和减轻事故对电网和经济的影响。智能电网需要通过加强电力企业与政府之间的密切沟通，并且在电网规划中强调防范安全风险，加强电网运行安全和网络安全等手段，提高智能电网抵御风险的能力。

4. 提供优质电能

新型的智能电网能够根据不同的用户负载，对电能质量进行分级和价格联动，为用户提供优质的电能。

5. 电网的高效性

通过高速通信网络实现对运行设备的在线状态监测，获取设备的运行状态，提高单个资源的利用效率，整体优化调整电网资产的管理和运行，实现最低的运行维护成本及投资。

6. 电网的市场化

智能电网通过市场上供给和需求的互动，将形成更为紧密与高效的市场行为模式；通过有效的市场设计可以提高电力系统的规划、运行和可靠性管理水平，从而促进电力市场的自由买卖以及公平竞争。

7. 电网的兼容性

随着各种新能源的出现，基于不同类型新能源的微电网也随之而出，微电网的安全可靠接入是未来智能电网的主要特点之一，因此未来的智能电网需要打破传统单一的远端集中式发电，而实现集中发电与分散发电的兼容。各种可再生能源分布式发电和储能系统以“即插即用”的形式接入，扩大了系统运行调节的可选资源范围，满足电网与自然环境的和谐发展。

8. 电网的多元化

以输配电网为物理实体，以集成、高速、双向的通信网络信息系统为平台的智能电网，将电力系统的监视、控制、维护、能量调度、配电管理、市场运营、企业资源计划等系统统一集合在智能电网大平台上，在此基础上实现各种业务的交互与集成。

9. 电网的经济性

智能电网通过电网自身自动化水平的提高，提高电网的经济性，保障电网节能减排的实施，从而实现低碳电网。

1.1.2 各国智能电网

目前，世界各国的智能电网建设正处在初始阶段。由于不同国家的经济与发展条件不同，各国都结合本国的特点来规划和发展智能电网，因此其发展重点和步骤也不相同。

1. 美国智能电网的内涵

在过去 30 年间，虽然信息技术、通信技术发生了翻天覆地的变化，但日渐老化的美国电网并没有跟上技术变革的步伐，同时用户也对电力



供应提出了越来越高的要求，国家安全、环保等各方面政策都对美国电网的建设和管理提出了更高的标准。为了争取更多用户，在市场竞争中取胜，美国各电力企业纷纷提高服务水平，加强与用户的交互，提供更多产品供用户选择，最好地满足不同类型用户的需求。此外，近几年随着科学技术的发展，在电力技术、信息技术与基础材料领域的研究中，出现了不少可以明显改善电网可靠性、效率等运行指标的技术。这些技术的推广应用为电网运行管理水平的提高创造了条件。

为了解决电网存在的问题，美国电力行业目前普遍公认的解决方案是建设一个基于全新技术和架构的“智能电网”，利用日新月异的信息技术对电网进行彻底改造，以期建成一个高效能、低投资、安全可靠、灵活应变的电力系统。

2001年，美国电力科学研究院创立了智能电网联盟，推动“IntelliGrid”研究。IntelliGrid项目有两个目标：①分析出电力系统运行的商业需求，包括现在、未来的各种需求；②以基于这些分析得出的电力系统的需求作为基础，提出支撑未来电力系统的信息需求系统，使用战术性的方法来建立一个战略视图，以战略的高度建立一个不依赖于具体技术的视图框架。这两个目标明确了未来电力系统是一个融合两种基础设施（电力输送基础设施和信息基础设施）的能源系统。这两种基础设施的融合表明，未来的能源系统必须在两个方面同时进行。

为了使美国电网实现现代化，保证经济安全和国家安全，美国能源部于2003年发布了“Grid 2030”，对美国未来电网远景进行了阐述。美国能源部于2004年又进一步发布了《国家输电技术路线图》，为实现“Grid 2030”进行战略部署。在这两份文件以及工业界的指导下，2004年，在美国能源部支持下，电网智能化项目Gridwise启动，其目标包括：①利用信息技术对能源系统进行升级换代；②通过发展和部署技术方案，为所有参与者创造商业价值；③通过在电力网络中融合信息技术，促进电力更加稳定与可靠，更富有灵活性和自适应性；④鼓励用户参与

电网，并从中获利。智能电网联盟成员包括：跨国技术公司，有 AREVA、GE、IBM；电力公司和电网运营商，有美国电力公司（AEP）、巴纳维亚电力管理局、美国 PJM 公司及法国电力集团（EDF）等；研究机构，有 EPRI、巴特尔纪念研究院（Battelle Memorial Institute）和科学应用国际公司等。

2005 ~ 2006 年，美国能源部与国家能源技术实验室（National Energy Technology Laboratory, NETL）合作，发起了“现代电网”倡议，任务是进一步细化电网现代化愿景和计划，并在全美范围内达成共识。“现代电网”倡议创立一个全国范围内共享的关于现代电网主要特性及关键技术领域的一个蓝图。这个蓝图分析了电网的性能和技术缺点，提出了现代电网的国家级概念，鼓励工业界对现代电网的认可并协调区域技术的集成项目。“现代电网”倡议还建立了现代电网的视图，提出了现代电网的目标、性能、主要特征、关键技术以及评价体系等。它符合美国能源部的使命，并和其他一些工业界的努力和行动形成互补，如美国电力科学研究院领导的 IntelliGrid 项目、Galvin Electricity Initiative、智能电网应用协会，还有其他致力于提高国家电网性能的机构。同时，美国能源部又成立了电网智能化架构委员会（GridWise Architecture Council）。该委员会既不是一个设计团队，也不是标准制定实体，它的主要工作是将合适的实体组织起来，促进各电力公用事业单位之间在电力系统方面的互操作性，为互操作概念和标准的发展提供参考准则，为智能电网的实现提供工业层面上的指导和必要的工具。

国际电工委员会（IEC）于 2008 年底筹建了 SG3 智能电网战略工作组，以制定智能电网的相关标准，推进智能电网的进程，促进各国在智能电网发展过程中的一致性。智能电网战略工作组于 2009 年 4 月底在法国巴黎召开了首次会议，会议的目的是系统研究现有标准，提出智能电网的标准研究框架。会后战略工作组已开始与 IEC 各专业委员会联系，首先提出与智能电网有关的标准列表，经初步评估和分析后征集各专业



委员会意见，并将在9月的会议上研究讨论建立智能电网标准框架。

2009年1月，美国白宫发布的《复苏计划尺度报告》宣布：将铺设或更新3000mile（约4828m）输电线路，并为4000万美国家庭安装智能电能表。2009年4月，奥巴马政府公布了40亿美元智能电网技术投资计划，计划划拨约40亿美元的刺激资金用于开发新的电力传输技术，其中，34亿美元用于智能电网技术开发，6亿~15亿美元用于智能电网的演示项目。2009年6月，美国又公布了一项简称为“IEEE P2030”的智能电网标准和互通原则，其核心就是推动电力工程、通信和信息技术的互动。

2009年4月，美国National Grid向马萨诸塞州公共事业部提交了一个持续两年、总投资达5700万美元的智能电网示范工程项目。该项目将包含新英格兰地区的15 000个用户，为所有用户安装智能电能表、可编程的恒温器，提供电子账单，并在一些变电站接入可再生能源，以及集成分布式电源和即插即用混合电动汽车。

2. 欧洲智能电网

智能电网成为欧洲电网的发展趋势，有其独特的发展背景。首先，欧洲各国电力系统经过逾百年的长期发展，欧洲各国的电力系统已走完了以外延扩张为主的发展阶段，早已具备了可以满足经济社会运转需求的较为充裕的输配电供应能力，对电力行业的要求转向了更加高效、灵活、环保，且有利于市场化等方面。其次，欧洲各国的能源政策更加强调对环境的保护和可再生能源发展，尤其是风能、太阳能和生物质能等可再生能源发展是近年来欧盟委员会能源政策的基本着力点和中心目标。因此，基于可再生能源的分布式电源发展成为欧洲电力市场的必然。最后，欧洲天然气管网发达、应用广泛且已市场化，为基于天然气的分布式发电技术的广泛应用提供了良好的能源供应基础和市场基础。

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。2006年欧盟理事会的能源绿皮书《欧洲可持