



ZHINENG DIANWANG JICHU

# 智能电网基础

何光宇 孙英云 编著



中国电力出版社  
[www.cepp.com.cn](http://www.cepp.com.cn)

ZHINENG DIANWANG JICHU

# 智能电网基础

何光宇 孙英云 编著



中国电力出版社

[www.cepp.com.cn](http://www.cepp.com.cn)

## 内 容 提 要

本书结合国内外智能电网的研究情况,对智能电网做了较为全面的介绍,对什么是智能电网,为什么要建设智能电网,建设智能电网面临的主要障碍,智能电网与新能源革命、低碳经济的关系等问题做了较深入的剖析,并就智能电网相关政策及主要技术,智能电网的实现做了较深入的探讨。最后,从企业、社会组织、政府三个层面介绍了智能电网的一些实践情况。本书内容涉及面广,语言通俗易懂,介绍深入浅出,便于读者学习、掌握。

本书一方面是对国内外现有智能电网研究的较全面的总结,具有内容新、资料全的特点;另一方面,也是作者在此方面研究与实践的初步总结。本书可供从事智能电网研究和应用的人员参考,也可供高等院校相关专业师生学习参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

智能电网基础/何光宇,孙英云编著. —北京:中国电力出版社,2010

ISBN 978-7-5083-9847-1

I. ①智… II. ①何…②孙… III. ①智能控制—电力系统—研究 IV. ①TM76

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第225138号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路6号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

\*

2010年1月第一版 2010年1月北京第一次印刷

710毫米×980毫米 16开本 13.5印张 230千字

印数0001—3000册 定价 28.00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

## 向我课题组青年学者们发表的网上讲演（代序）

我组青年学者们：

我们知道，电力混成控制系统的动作（Action）是由事件驱动的（Event driven），它的终极目标是使事件集合（Event set）化为空集（Null set or empty set）。就是说由事件所激发的控制决策（Control strategy）不为别的，只为使它们（Events）自己被“消灭”。

请诸位仔细查一查，so far 世间有谁给予如此复杂的非线性大系统的控制理论和方法以这样简洁的阐释（Elucidation），使之成为一种方法论（Methodology），一种适合一切复杂系统多目标趋优化控制的方法论？这样，实际上就形成了一个电力大系统优化调度学的清华学派。我们每天都在谈科技创新，殊不知创新已发生在我们之间，我们身边。这可能就是人们常谈的“当局者迷”的现象吧。

青年朋友们，有了这种方法论加上专用光纤通信网和有关设备，我们就能够把一个广域电力系统控制得如同一台智能广域机器人（Smart Wide Area Robot, S-WAR）一样。这不是一场“聪明的（Smart）”“战争（WAR）”，而是电力调度学的一场革新，如果我们不想轻易地用“革命”这个分量很重的词的话。

这种新思维、新理论、新方法、新实践发源于中国并非偶然，因为我国电力系统发展速度之快在世界电力发展史上绝无先例。现在我国一年的装机容量的增加就相当于英国不是 20 年而是 100 年的总和。

让我们把这场“智能战争（S-WAR）”进行到底，让它遍及全世界电力系统的调度和控制系统吧。

这就要看你们的了，我的青年朋友们。

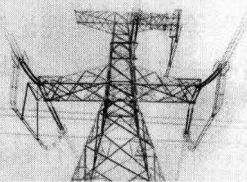
Yours senior friend

卢 强

2009. 10 于清华园



# 前 言



电力系统发展至今已有一百多年的历史，但和通信网络日新月异的变化相比，电力系统却几乎仍和几十年前一样，其调度和控制模式也没有发生太大的改变。这并不说明电力系统已经完美到不需要变化了，而是由于电力系统特有的保守性使得新技术应用于电力系统的速度较为迟缓。

进入新世纪以来，资源和环境的双重压力使人们开始审视电力系统在节能减排方面的巨大潜力，同时，20世纪90年代国际上相继出现的大停电事故也暴露了传统电力系统在调度和控制上的不足之处。为此，国内外研究者纷纷提出对下一代电力系统的展望。在中国，1999年清华大学提出“数字电力系统”的概念；2005年国家电网公司实施“SG186”工程；同年，中国南方电网公司开展了“数字南方电网规划”研究；2007年10月，华东电网正式启动了智能电网可行性研究项目。在美国，美国电力科学研究院在2001年提出“Intelligrid”的概念，并在2003年将未来电网定义为智能电网（IntelliGrid）；同年6月，美国能源部发布“Grid2030”设想。在欧洲，1998~2002年实施的欧盟第5框架计划，开设了“欧洲电网中的可再生能源和分布式发电整合”专题；2005年，“智能电网（SmartGrids）欧洲技术论坛”正式成立，并提出了智能电网（SmartGrids）概念，之后又制定了相应战略研究议程（Strategic Research Agenda, SRA），致力于促成智能电网的实现。

综上所述，智能电网可看作是下一代电力系统的代名词。如果按照正常发展的话，智能电网应该在今后的几年间逐渐成熟并走入我们的生活。但从2008年开始的金融危机加速了智能电网发展过程。以美国为代表的西方国家迫切需要一个能够引领经济走出泥潭的“助推器”。智能电网发展前景广阔，对经济拉动作用巨大，对缓解资源和环境的压力也有着不可估量的价值。这些特点使得智能电网成为“经济助推器”的最好选择。因此，智能电网在技术尚未完全成熟的情况下就走入了公众的视野，同时也面临着许多现实的问题。

本书作者从1999年起一直在卢强院士的指导下开始数字电力系统和数字

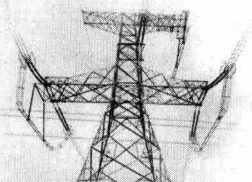
电网方面的研究，并先后完成了“数字南方电网规划”、“上海电网 AEMS 与混成控制”等项目，在理论和工程实践两方面都积累了一定的经验。与此同时，作者也一直跟踪这一领域国内外最新的研究成果，在这个过程中，作者逐渐形成了对智能电网的一些粗浅心得和想法。本书就是这些经验和心得的一个初步总结，希望能对同行起到抛砖引玉的作用，这也是本书立意所在。

在本书的编写过程中，何光宇博士负责编写第 1、2、3、6、8 章，孙英云博士负责编写第 4、5、7 章，博士研究生王彬为本书绘制了部分插图。另外，和华东电网公司李瑞庆主任，IBM 中国研究院尹文君博士、孙福杰博士等的讨论，给了作者较大启发，在此表示感谢。

由于时间仓促，兼之作者水平所限，书中错漏之处在所难免，还望读者批评指正。

作者谨识

2009.10 于清华园



# 目 录

向我课题组青年学者们发表的网上讲演（代序）

前言

<b>1 国内外智能电网研究</b> .....	1
1.1 概述 .....	1
1.1.1 美国智能电网发展历程 .....	2
1.1.2 欧洲智能电网发展历程 .....	3
1.1.3 中国智能电网发展历程 .....	4
1.2 美国能源部：Modern Grid Strategy .....	5
1.2.1 核心价值 .....	5
1.2.2 主要特性 .....	6
1.2.3 关键技术领域 .....	7
1.2.4 面临障碍 .....	8
1.3 智能电网欧洲技术论坛：Smart Grids .....	9
1.3.1 核心价值 .....	10
1.3.2 关键特性 .....	11
1.3.3 关键技术领域 .....	13
1.4 电网智能化联盟：GridWise .....	13
1.4.1 核心价值 .....	14
1.4.2 主要特性 .....	14
1.4.3 关键技术领域 .....	15
1.5 美国电科院：Intelligrid 与 IntelliGrid Architecture .....	16
1.5.1 Intelligrid 简介 .....	16
1.5.2 IntelliGrid Architecture 简介 .....	17
1.6 中国国家电网公司：统一坚强智能电网 .....	21
1.6.1 概念与特征 .....	21

1.6.2	驱动力	21
1.6.3	建设方法	23
1.6.4	建设计划	23
1.7	清华大学：数字电力系统与数字电网	24
1.8	其他探索	26
1.8.1	IBM: Intelligent Utility Network	26
1.8.2	武建东：互动电网	27
<b>2</b>	<b>理解智能电网</b>	<b>28</b>
2.1	什么是智能电网	28
2.1.1	智能电网生态圈	28
2.1.2	智能电网核心价值及其度量	31
2.1.3	智能电网愿景：为什么、是什么与怎么样	32
2.1.4	国家和社会层面的思考	34
2.1.5	智能电网所能具有的最高智能形式	36
2.2	为什么需要建设智能电网	37
2.2.1	电力用户的理由——更高可靠性、更高电能质量、更多选择	38
2.2.2	电网企业的理由——更安全、运行成本更低	40
2.2.3	发电企业理由——吸纳更多可再生能源	41
2.2.4	国家和社会层面理由——提高能效、能源更安全、环境更友好	41
2.3	智能电网发展面临的障碍与应对措施	44
2.3.1	新技术研发与应用方面	44
2.3.2	电网企业动力方面	44
2.4	相关问题	46
2.4.1	新能源革命及其与智能电网的关系	46
2.4.2	低碳经济及其与智能电网的关系	48
2.4.3	我国建设智能电网的特殊问题	51
<b>3</b>	<b>智能电网相关政策</b>	<b>53</b>
3.1	影响智能电网的能源政策分析	53
3.1.1	能源补贴与费用分摊	54
3.1.2	能耗标识	55
3.1.3	碳排放权	55
3.1.4	碳税	56
3.2	联合国：应对气候变化	57

3.2.1	概述 .....	57
3.2.2	《联合国气候变化框架公约》 .....	58
3.2.3	《京都议定书》 .....	59
3.3	英国：低碳经济 .....	60
3.3.1	碳排放目标 .....	61
3.3.2	国家战略：英国低碳转换计划 .....	61
3.4	日本：能源安全 .....	62
3.4.1	实施综合资源战略，力保石油安全 .....	62
3.4.2	实现非石油能源多元化，大力发展核电、天然气与新能源 .....	63
3.4.3	节能提效 .....	64
3.4.4	转向智能电网 .....	64
3.5	美国：能源新政 .....	65
3.5.1	能源新政的初期框架 .....	65
3.5.2	能源新政的核心框架：转向智能电网 .....	66
3.6	中国政府：中国特色的能源发展之路 .....	67
3.6.1	能源中长期发展规划（2004~2020年） .....	67
3.6.2	能源科技中长期发展规划 .....	67
3.6.3	可再生能源中长期发展规划 .....	68
3.6.4	核电发展规划 .....	69
3.6.5	节能减排综合性工作方案 .....	70
<b>4</b>	<b>智能电网相关技术之一——一次与二次侧新技术</b> .....	<b>72</b>
4.1	先进发电与储能技术 .....	72
4.1.1	风力发电 .....	72
4.1.2	太阳能发电 .....	76
4.1.3	清洁煤发电技术 .....	78
4.1.4	其他新能源发电技术 .....	81
4.1.5	储能技术 .....	83
4.2	能够降低损耗的输配电技术 .....	88
4.2.1	特高压输电技术 .....	88
4.2.2	高温超导输电技术 .....	90
4.3	电力电子技术 .....	91
4.3.1	电力电子技术概述 .....	91
4.3.2	电力电子技术在新能源接入方面应用 .....	95

4.3.3	电力电子技术在智能输配电领域的应用	96
4.3.4	电力电子技术在智能用电领域的应用	103
4.4	二次侧方面新技术	105
4.4.1	先进传感技术	105
4.4.2	WAMS	108
4.4.3	AMI	113
4.5	智能电网信息支撑平台	115
4.5.1	统一数据共享平台	116
4.5.2	自适应通信平台	133
4.5.3	信息安全	138
<b>5</b>	<b>智能电网相关技术之二——控制与管理新技术</b>	140
5.1	适应智能电网的管理调度模式	140
5.1.1	虚拟发电厂	140
5.1.2	微电网	141
5.1.3	需求侧管理	143
5.2	智能调度中心技术	145
5.2.1	电网全运行状态的实时精确估计	146
5.2.2	多指标自趋优的控制策略	148
5.3	智能用电管理技术	149
5.3.1	智能家用电器	149
5.3.2	用户能量管理系统	150
5.3.3	电动汽车接入	153
5.4	智能电网实现面临的主要技术挑战	154
<b>6</b>	<b>智能电网的实现</b>	156
6.1	智能电网实现关键	156
6.2	智能电网架构	157
6.2.1	IECSA 项目简介	158
6.2.2	IECSA 用例：典型需求	159
6.2.3	IECSA 环境：一组具有共性的需求	160
6.2.4	公用服务、公用信息模型和通用接口	162
6.2.5	存在的问题	164
6.3	智能电网互操作标准框架	165
6.3.1	标准化简介	165

6.3.2	智能电网互操作所涉及的标准 .....	166
6.3.3	NIST 智能电网互操作性标准框架 (Release 1.0) .....	170
6.4	优化控制: 电力混成控制论与先进调度自动化系统 .....	171
6.4.1	现有电力调度自动化系统的局限性 .....	171
6.4.2	电力系统混成控制论简论 .....	173
6.4.3	AEMS: 实现电网目标趋优运行 .....	175
6.5	其他关键技术 .....	177
6.5.1	智能电网基础量测设施与动态 SCADA 系统建立 .....	177
6.5.2	新型状态估计系统 .....	177
6.5.3	电力系统运行评估指标体系 .....	178
6.5.4	机器智能与人的智能结合 .....	178
<b>7</b>	<b>智能电网实践 .....</b>	<b>180</b>
7.1	企业层面的智能电网实践 .....	180
7.1.1	智能电网成熟度模型 .....	180
7.1.2	用户能量管理系统的实践 .....	181
7.1.3	智能电网城市 .....	184
7.1.4	华东电网高级调度中心 .....	185
7.2	组织和独立研究机构层面的智能电网实践 .....	186
7.2.1	Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) .....	186
7.2.2	International Electrotechnical Commission (IEC) .....	187
7.2.3	Electric Power Research Institute (EPRI) .....	188
7.3	政府层面的智能电网实践 .....	192
7.3.1	德国 MEREGIO 项目 .....	192
7.3.2	特高压电网的建设 .....	193
<b>8</b>	<b>展望 .....</b>	<b>195</b>
	<b>参考文献 .....</b>	<b>198</b>



## 1.1 概述

进入 21 世纪以来,随着社会和经济的发展、技术的进步以及人类社会对电力依赖程度的加大,智能电网的概念应运而生,并在近两年成为全球电力行业研究和探讨的热点。

目前,全球各国已经在智能电网概念、技术研究和工程实践中开展了大量工作,主要研究机构和研究项目如图 1-1 所示。

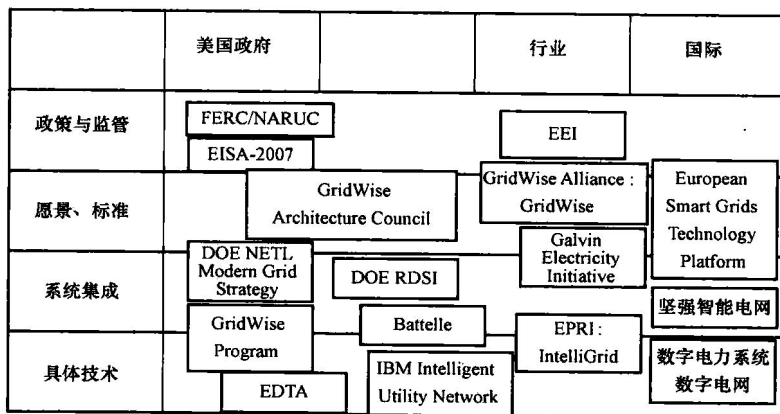


图 1-1 智能电网领域主要研究机构和研究项目

图 1-1 中包括一些研究机构和具体的研究项目,具体说明如下:

- FERC/NARUC: 美国联邦能源管理委员会与全国公用事业管理机构主管协会的简称,美国智能电网建设的主要推动者,目前这两个机构已经开展合作性对话,以推进智能电网的进程。

- EISA-2007: 能源独立与安全法案 2007,该法案首次提出了在美国建设智能电网的计划,并指定美国能源部总体协办此方面工作。

- EEI: 爱迪生电气学会,已将智能电网实现列为学会目标之一。

- GridWise Architecture Council: 电网智能化架构委员会,2004 年成立,目标是定义一个可互操作、互动通信的智能电网整体框架。

- GridWise Alliance 与 GridWise: 电网智能化联盟, 2003 年成立, 现有 90 个会员, 其提出的智能电网愿景称为 GridWise。

- European Smart Grids Technology Platform: 智能电网欧洲技术论坛, 其提出的智能电网愿景称为 Smart Grids。

- DOE NETL 与 Modern Grid Strategy: DOE NETL 是美国能源部 (DOE) 国家能源技术实验室的简称, 现代电网战略 (Modern Grid Strategy) 是其承担的项目, 项目的目标就是设定美国智能电网愿景, 其提出的智能电网愿景称为 Smart Grid。

- DOE RDSI: RDSI 是 Renewable and Distributed Systems Integration 的简称, 致力于解决可再生能源与分布式发电系统集成问题, 美国能源部项目。

- Galvin Electricity Initiative: 高尔文电力行动计划, 由摩托罗拉公司前首席执行官罗伯特·高尔文 (Robert Galvin) 于 2005 年启动, 该计划寻求建立能够经受自然灾害、减少恐怖袭击可能造成的损坏、环境友好、能提高燃料效率的电力系统。

- GridWise Program: GridWise 联盟与美国能源部合作项目, 拟通过实时控制技术对电力基础设施进行改造。

- Battelle: Battelle 研究院, 提出了名为 Intelligent Grid 的智能电网愿景。

- EPRI 与 IntelliGrid: EPRI 是美国电力研究院简称, IntelliGrid 是一个以该院为主开展的智能电网研究项目; 2003 年, EPRI 将未来电网定义为 IntelliGrid。

- EDTA: 电力传动运输协会简称, 发布了能源安全的电力传动公路地图, 详细阐述了在电力传动和能源储存中对发展先进技术的需求。

- IBM Intelligent Utility Network: IBM 在智能电网实现方面提出的解决方案。

- 坚强智能电网: 中国国家电网公司提出的智能电网愿景。

- 数字电力系统与数字电网: 国内外最早提出的关于智能电网愿景, 由清华大学卢强院士 1999 年提出, 2000 年见诸于文献。

以上是目前在智能电网领域的主要研究机构或主要研究项目。对其中主要研究项目, 本章后续各节将予以重点介绍。在介绍开始前, 我们先简单回顾美国、欧洲和中国智能电网发展历程。

### 1.1.1 美国智能电网发展历程

2001 年, 美国电科院 (EPRI) 最早提出 “Intelligrid” (智能电网), 并开始研究; 2003 年, 美国电科院将未来电网定义为智能电网 (IntelliGrid)。

2003年6月,美国能源部发布“Grid2030——电力的下一个100年的国家设想”报告。报告可谓是美国电力改革的里程碑式文件,它描绘了美国未来电力系统的设想,并确定了各项研发和试验工作的分阶段目标。

2003年,电网智能化联盟(The GridWise Alliance)由美国能源部牵头成立,最初由7家电力公司组成,旨在推动并优化电网系统发展,促进政府与企业间互动。目前,Gridwise Alliance已有90名成员,代表了智能电网产业链中所有的利益相关者。

2004年,美国 Battelle 研究所和 IBM 公司先后提出了“智能化电网”(IntelligentGrid, Intelligent Utility Network-IUN)。

2004年,GridWise 架构委员会成立,其目标是定义一个可互操作、互通通信的智能电网整体框架。

2007年,《能源自主与安全法案2007》通过。法案规定美国能源部负责智能电网的总体工作,并指派 NIST 制定相关标准和协议框架。

2008年,美国科罗拉多州的波尔得(Boulder)成为全美第一个智能电网城市。

2008年9月,Google与通用电气联合发表声明对外宣布,他们正在共同开发清洁能源业务,核心是为美国打造国家智能电网。

2009年1月25日,美国白宫最新发布的《复苏计划进度报告》宣布,将铺设或更新3000英里输电线路,并为4000万美国家庭安装智能电表——美国行将推动智能电网的整体革命。

2009年5月21日,美国众议院能源和商业委员会通过《美国清洁能源和安全法案》,这个法案的第一章就明确规定,美国要发展智能电网,提高电力传输效率。

### 1.1.2 欧洲智能电网发展历程

随着低碳发电技术的发展和需求侧管理效率的大幅提高,用户与电网互动变得日益重要。传统电网结构按满足大型化石燃料发电厂的远距离输电要求而设计,已不能适应这一变化,以用户为中心的网络结构正朝我们走来。这些根本性的改变,会给电网设计和控制带来巨大影响。

1998~2002年实施的欧盟第5框架计划(EU's Fifth Framework Programme<sup>①</sup>, FP5),开设了“欧洲电网中的可再生能源和分布式发电整合”专

<sup>①</sup> Framework Programme 是欧盟指导研发的重要文件,由欧洲委员会提出,欧洲理事会和欧洲议会采纳。FP从1984年开始实施,每次历时5年,最后一年和下一年的第一年重叠。

题, 内含 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五大类。这些项目被认为是发展互动电网第一代构成元件和新结构的起点。这些项目中有许多于 2001 年开始实施, 并已成功达到了预期效果。

2004 年 12 月, 在“国际可再生能源和分布式能源整合会议”上, 电力工业和相关研究机构建议成立“未来电网欧洲技术论坛”(欧洲委员会下有近 30 个欧洲技术论坛)。随后, 欧洲委员会研究总局 (EC Directorate General for Research) 为该技术论坛制定了基本理念和指导原则。

2005 年, “智能电网 (SmartGrids) 欧洲技术论坛”正式成立, 并提出了智能电网 (SmartGrids) 概念。论坛包括了来自制造、输配电系统运行、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一个用户和运营者互动的服务网, 以提高欧洲输配电系统的效率、安全性及可靠性, 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。

2006 年 4 月, “智能电网欧洲技术论坛”的顾问委员提出了 SmartGrids 的愿景, 之后又制定了战略研究议程 (Strategic Research Agenda, SRA), 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。

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。

### 1.1.3 中国智能电网发展历程

我国在数字化电网和智能电网方面也进行了大量的前瞻性研究:

1999 年, 清华大学提出“数字电力系统”<sup>[1]</sup>的理念, 揭开了数字电网研究工作的序幕。

2005 年, 国家电网公司实施“SG186”工程, 开始进行数字化电网和数字化变电站的框架研究和示范工程建设。

2005 年, 中国南方电网公司委托清华大学开展“数字南方电网”<sup>[2]</sup>研究。

2007 年底, 清华大学完成了上海电网第一阶段 AEMS (先进能量管理系统) 与混成自动控制系统建设。

2007 年 10 月, 华东电网公司正式启动了智能电网可行性研究项目, 并规划了从 2008 年至 2030 年的“三步走”战略。2008 年, 华东电网公司全面启动了以高级调度中心项目群为突破的第一阶段工作, 以整合提升调度系统、建设数字化变电站、完善电网规划体系、建设企业统一信息平台为 4 条主线, 力争到 2010 年全面建成华东电网高级调度中心, 使电网安全控制水平、经营管

理水平得到全面提升。

2009年2月28日,作为华北电网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在北京通过专家组的验收。

2009年3月26日,由美国电气制造商协会、中国电力企业联合会和中国电器工业协会联合主办的智能电网标准与技术研讨会在北京举行。中美两国专家针对美国、IEC和中国的智能电网标准、技术和应用等问题展开研讨。

2009年5月21日,在2009特高压输电技术国际会议上,中国国家电网公司发布了建设以信息化、自动化、互动化为特征的“坚强智能电网”的研究成果。

## 1.2 美国能源部: Modern Grid Strategy<sup>[3]</sup>

什么是智能电网?这不是一个很容易回答的问题。智能电网涵盖了较多内容,简短的定义不能使我们对其有一个清晰认识。应该说,智能电网不是一件事物,而是一个愿景,一个必须从它的核心价值、主要特性、关键技术领域等多方面来进行描述的愿景。在下面1.2.1~1.2.3节中,我们将对此进行介绍;在1.2.4节中,我们将对现代电网战略所面临的风险作简要叙述。

### 1.2.1 核心价值

智能电网建设价值何在?这是一个仁者见仁、智者见智的问题。

为此,2005年至2007年间,美国能源部国家能源技术实验室现代电网战略项目组召开了一系列地方性会议,就此进行研讨。经广泛研讨,最终就智能电网的核心价值达成了共识。即智能电网应可带来如下6方面价值:

(1) 更可靠。一个可靠的电网,无论何时何地,都可为其用户提供合格电能。

(2) 更坚强。一个安全电网不用付出太大代价即可承受住物理或网络攻击。面对自然灾害,安全电网将受到更少损害,且很快可以恢复。

(3) 更经济。一个经济电网可以以公平合理的价格与充足的供应来保证供需平衡。

(4) 更高效。一个高效电网将运用多种策略,来控制成本、最小化网损、高效发电,并可通过给客户id提供能源管理手段来优化资产利用率。

(5) 环境更为友好。一个环境友好的电网可通过效率提升和可再生能源利用来减少对环境的负面影响。

(6) 使用更安全。一个安全电网对公众和电网工作人员,都不会带来任何

伤害。

### 1.2.2 主要特性

拥有以上核心价值的智能电网，需要具备哪些主要特性呢？

2008年6月19日~6月20日，美国能源部国家能源技术实验室召开了“智能电网实现”研讨会，与会者几乎囊括了美国主要的智能电网研究机构，包括GridWise Alliance和EPRI等。经广泛研讨，与会者认为，为实现以上核心价值，美国智能电网应具备的主要特性为：

(1) 与电力用户互动。智能电网通过给消费者提供信息、控制权与选择权，促使他们参加新的“电力市场”。而对电网调度员而言，这些消费者可看作是电网日常运行中可供“调度”的资源。这些“消息灵通”用户，可基于本身需求与电网满足其需求的能力，主动调整其消费行为。

(2) 适应多种电源送电需求。基于支持即插即用的统一互操作标准，通过简单的互联操作，智能电网可无缝集成各种类型、各种容量的发电与储能系统。虽然系统中有数量众多的微型分布式电源（如电动汽车），大电厂（包括风电场、太阳能电厂和先进核电厂等环境友好电源）仍将占据主导地位。

(3) 支持新型电力市场。智能电网将买家与卖家联系在一起——从消费者到趋优输电商。它将支持新型电力市场，包括消费者侧的家庭能量管理系统，以及允许消费者和第三方在电力市场中交易电能的各种技术。智能电网支持跨区的电力交易。

(4) 满足高质量电能需求。智能电网将监控、诊断和快速响应电能质量不合要求的情况，从而大大减少由于电能质量不足而导致的商业损失。

(5) 优化资产利用，提高运行效率。智能电网将提高功率因数，降低系统损耗，大力提升停电管理性能。它也将提供给规划人员与工程师足够知识适时建造刚好满足需要的电网，延长资产使用寿命，实现状态检修，对工作队伍进行更有效地管理。这样，随着运行、检修与资产费用减少，电力价格也将不断下降。

(6) 自愈。电网可自己“治愈”自己：通过连续不断地评估从而发现、分析问题，有问题时再采取正确措施来消除它，需要时还可快速恢复电网中某些部件。这就意味着即使出现对人来说太快或太大的问题，电网也可妥善应对。

(7) 反外力破坏和攻击。智能电网将纳入系统级解决方案，减少物理和网络漏洞，并可从崩溃中快速恢复。这一能力会对可能的攻击者形成威慑，也将减少自然灾害对电网造成的伤害。