

研究生教材

智能电网

促进节能与需求响应

The Smart Grid Enabling Energy Efficiency and Demand Response

【美】 Clark W. Gellings 编著

智能电网四川省重点实验室

肖先勇 汪颖 胡灿 等译



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

研究生教材

智能电网

促进节能与需求响应

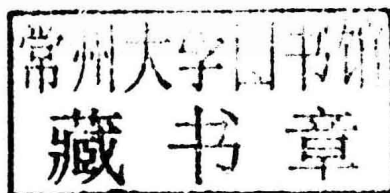
The Smart Grid Enabling Energy Efficiency and Demand Response

【美】 Clark W. Gellings 编著

肖先勇 汪颖 胡灿 译

杜新伟 李媛 蒋荣华

郭志忠 主审



 中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书从发电、输电、配电和用电等角度分析了通过智能电网促进节能的关键技术和要求,介绍了用电终端动态能量管理、能量端口等新技术,并对提高终端用电效率的政策、市场执行、节能技术、需求规划、需求评估等进行了较全面的分析,使读者不仅可掌握智能电网的概念、架构、技术创新等内容,还能较全面地掌握通过智能电网提高能源效率和促进节能的有关政策、技术要求、技术创新、市场行为、需求规划与评估等。

本书不仅可作为电气工程领域本科生、研究生的专业课、选修课教材,还可作为工程技术人员、研究人员、市场推广人员和管理人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

智能电网:促进节能与需求响应/(美)杰林思编著;肖先勇等译. —北京:中国电力出版社,2011.5

书名原文:Tha Smart Grid: Enabling Energy Efficiency and Demand Response

研究生教材

ISBN 978-7-5123-1639-3

I. ①智… II. ①杰… ②肖… III. ①智能控制-电力系统-研究生-教材 IV. ①TM76

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第080018号

北京市版权局著作权合同登记

图字:01-2010-4158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

*

2011年8月第一版 2011年8月北京第一次印刷
787毫米×1092毫米 16开本 12.5印张 296千字
印数0001—2000册 定价32.00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

©2009 by The Fairmont Press, Inc.. All rights reserved. No part of this publication may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopy, recording, or any information storage and retrieval system, without permission in writing from the publisher.

本书由北京版权代理有限公司代理

译者序

智能电网作为现代电力系统的重要发展理念，以低碳、高效、绿色、友好、智能为基本特点，以电网与自然、电网与环境、电网与社会的和谐发展，以及人类可持续发展为根本目标，已成为全球关注的热点和诸多国家的国家战略。尤其是自 2009 年以来，在中国、美国、欧洲等国家的积极推动下，全球掀起了智能电网发展热潮，迫切需要对智能电网的基本架构、关键技术创新，以及资源能源效率等关键基础性理论和技术进行深入研究和探索。

2009 年 5 月，国家电网公司正式提出了建设坚强智能电网的发展目标，同时，国内很多科研院所围绕智能电网的关键领域和技术问题开展了积极的探索。四川省电力公司与四川大学，结合四川汶川特大地震灾害给电网和社会造成的巨大影响，积极探索更加坚强、友好智能的电网。在四川省人民政府和四川省科技厅的大力支持下，于 2009 年 4 月正式成立了“智能电网四川省重点实验室”，迅速集中优势力量对智能电网展开了研究和探索，率先在高校本科生、研究生中开设了“智能电网与电能效率”新课程。正在积极组织 and 撰写教材的过程中，The Fairmont Press, Inc. 和 CRC Press, Taylor & Francis Group 出版了美国电力科学研究院专家 Clark W. Gellings, P. E. 编写的《The Smart Grid: Enabling Energy Efficiency and Demand Response》一书。该书以简洁而朴实的语言，较全面地介绍了当前智能电网的发展总体状况和可能的技术创新点；将促进节能和需求响应作为系统资源和发展策略，并对此进行了较深入的分析；围绕新的电力价值链中各环节的资源与能源效率问题展开了深入讨论；把智能电网与需求响应、电能转换与传输效率等有机结合起来，不仅使读者对智能电网有了较全面了解，更能使读者进一步认识到智能电网能给电力企业、电力用户和整个社会带来的好处，开阔了读者的视野。本书是译者所见到的智能电网领域中不可多得的、较有特色的著作，因此，希望能尽快将其翻译成中文，把这些理念推荐给广大使用汉语的专家、学者和工程技术人员。

全书分 13 章，主要内容包括智能电网基本概念与体系结构、智能电网与电能效率、电力需求响应和终端电能动态管理等。译者在翻译的过程中，尽量保持原书原文的意思，个别补充的地方也作了说明。本书由四川大学、智能电网四川省重点实验室肖先勇、胡灿、汪颖、李媛、蒋荣华等共同翻译，由肖先勇统稿，汪颖校核。在全书的翻译过程中，得到了哈尔滨工业大学博士生导师郭志忠教授的悉心指点，并对全书进行仔细审阅，提出了很多建设性意见。本书的出版还得到了四川省电力公司、四川电力科学研究院、四川大学的大力支持，同时还得到智能电网四川省重点实验室刘俊勇教授、甌威教授级高工、杨洪耕教授、李华强教授的大力帮助；智能电网四川省重点实验室的博士研究生马超、刘旭娜，硕士研究生李皖、黄静等同学参与了部分内容翻译，在此一并表示衷心的感谢。

由于时间紧迫，加之译者水平有限，书中难免存在不足和不妥之处，敬请广大读者批评指正。

本书名词

缩写	英文	中文
ADA	Advanced Distribution Automation	高级配网自动化
ANSI	American National Standards Institute	美国国家标准委员会
ASD	Adjustable Speed Drive	调速驱动装置
CCS	Carbon Capture and Storage	碳捕获与存储
CEIDS	The Consortium for Electric Infrastructure to Support a Digital Society	支撑数字化社会的电力基础架构联盟
CFL	Compact Fluorescent Lamp	紧凑型荧光灯
CH ₄	Methane	甲烷
CHP	Combined Heat and Power	热电联产
CO ₂	Carbon Dioxide	二氧化碳
CPP	Critical Peak Period	临界高峰期
CVR	Conservation Voltage Reduction	节能降压 (CVR 是出现峰荷时降低变电站母线电压以减少电力需求的电压控制策略)
DA	Distribution Automation	配网自动化
DC	Direct Current	直流
DER	Distributed Energy Resources	分布式能源
DG	Distributed Generation	分布式发电
DOE	U. S. Department of Energy	美国能源部
DR	Demand Response	需求响应
DSE	Distribution System Efficiency	配电系统效率
DSM	Demand - side Management	需求侧管理
E2I	Electricity Innovation Institute	(美) 电力创新研究院
EDF	Electricite de France	法国电力公司
EMCS	Energy Management Control System	能量管理控制系统
EMS	Energy Management System	能量管理系统
EPRI	Electric Power Research Institute	(美) 电科院
FACTS	FAC Transmission System	灵活交流输电系统
FD	Forced Draft	强迫通风
FERC	Federal Energy Regulatory Commission	(美) 联邦能源改革委员会
FSM	Fast Simulation and Modeling	快速仿真与建模
GE	General Electric	(美) 通用电气
GT	Gas Turbine	燃气轮机
GTO - PWM	Gate Turn - Off Thyristor Pulse - width Modulated	脉宽调制门极可关断晶闸管
HLA	High - Level Architecture	高级体系
HP	Horsepower	马力 (功率)

缩写	英文	中文
HPS	High - Pressure Sodium	高压钠灯
HPWH	Heat Pump Water Heater	热泵热水器
HRSG	Heat Recovery Steam Generator	余热锅炉
HVAC	Heating Ventilation and Air Conditioning	暖通空调
ID	Induced Draft	进气通风
IEA	International Energy Agency	国际能源机构
IECSA	Integrated Energy and Communications Architecture	集成电力和通信系统架构
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers	(美) 国际电气电子工程师学会
INA	Intelligent Network Agent	智能网络代理
IP	Internet Protocol	互联网协议
ISO	Independent System Operator	独立系统运营者
IT	Information Technology	信息技术
IUT	Intelligent Universal Transformer	智能通用变压器
KHz	Kilohertz	千赫 (kHz)
KWh	Kilowatt hour	千瓦时 (kW · h)
LCI	Load Commutated Inverter	负载换流逆变器
LED	Light - Emitting Diode	发光二极管
LEDSAL	Light - Emitting Diode Street and Area Lighting	发光二极管街道与区域照明
MGS	Modern Grid Strategy	现代电网策略
MH	Metal Halide	金属卤化物
MHz	Megahertz	兆赫兹 (MHz)
MW	Megawatt	兆瓦 (MW)
MW · h	Megawatt Hour	兆瓦时 (MW · h)
NAAQS	National Ambient Air Quality Standards	(美) 国家环境空气质量标准
NEMA	National Electrical Manufacturers Association	(美) 国家电气制造商协会
NERC	North American Electric Reliability Council	北美电力可靠性委员会
NETL	National Energy Technology Laboratory	(美) 国家能源技术实验室
NSR	New Source Review	新资源评论
PDA	Personal Digital Assistant	私人数字秘书
PHEV	Plug - In Hybrid Electric Vehicle	插电式混合动力汽车
PMU	Phasor Measurement Unit	相位测量单元
PV	Photovoltaics	光电 (光伏)
RF	Radio Frequency	无线电频率
ROI	Return on Investment	投资回报
RTOs	Regional Transmission Organizations	区域性输电机构
SHG	Self - Healing Grid	自愈电网
SMPS	Switched Mode Power Supply	开关电源

缩写	英文	中文
SQRA	Security Quality Reliability and Availability	安全优质可靠与可用性
TES	Thermal Energy Storage	储热器
TCP/IP	Transmission Control Protocol/Internet Protocol	传输控制协议/互联网协议
TOU	Time of Use	使用时间
TWh	Terawatt Hour	太瓦时（兆兆瓦时，万亿瓦时）
UML	Unified Modeling Language	统一建模语言
UPS	Uninterruptible Power Supply	不间断电源
V	Voltage	电压（伏特）
VFD	Variable Frequency Drive	变频驱动器
VRF	Variable Refrigerant Flow	变制冷剂流量
WAMS	Wide Area Monitoring System	广域测量系统
WEO	World Energy Outlook	世界能源展望

目 录

译者序

本书名词

第 1 章 智能电网概述	1
1.1 智能电网的概念	1
1.2 智能电网实现电联网	1
1.3 本地电网	3
1.4 电气化交通	4
1.5 集中式低碳发电	4
1.6 智能电网的属性	5
1.7 发展智能电网的原因	5
1.8 智能电网与绿色电网	8
1.9 智能电网的可选择愿景	10
1.10 结束语	17
参考文献	17
第 2 章 发电与输电节能	18
2.1 概述	18
2.2 发电厂厂用电	18
2.3 发电厂照明	19
2.4 发电厂空调与生活用水加热	21
2.5 电动机	25
2.6 美国电科院的示范	26
2.7 电力传输效率	28
2.8 节能降压策略	28
2.9 配电变压器效率	31
2.10 结束语	34
参考文献	34
第 3 章 终端用电节能	36
3.1 终端用电节能的概念	36
3.2 节能	36
3.3 节能的成本效益	37
3.4 节能的经济影响	37
3.5 期望的节能效果	38
3.6 更新的要求	38
3.7 节能的动力	39

3.8 关注的新焦点	41
3.9 节能技术的实施	43
3.10 节能评估	43
3.11 结束语	48
参考文献	49
第4章 智能电网演化完美电力系统	50
4.1 高尔文愿景——完美电力系统	50
4.2 完美电力系统结构概述	52
4.3 设备级完美电力系统	53
4.4 楼宇集成级完美电力系统	54
4.5 分布式电源级完美电力系统	55
4.6 完全集成级完美电力系统：智能电网	57
4.7 技术创新点	58
4.8 结束语	58
参考文献	59
第5章 直流配电与智能电网	60
5.1 交流电与直流电的发展历史	60
5.2 直流系统的优点和发展动力	64
5.3 直流供电设备与用电装置	65
5.4 数据中心与IT行业的负荷	69
5.5 未来社区的供配电系统	71
5.6 下一步的工作与研究内容	72
参考文献	73
第6章 智能电网 IntelliGrid 架构	74
6.1 概述	74
6.2 智能电网 IntelliGrid 架构的提出	75
6.3 现有 IntelliGrid 架构	76
6.4 基于 IntelliGrid 架构的智能电网	77
6.5 实现智能电网愿景的障碍	77
6.6 技术实现	81
6.7 结束语	83
第7章 动态能量管理系统	84
7.1 动态能量管理系统的概念	84
7.2 现有能量管理系统	88
7.3 需求响应技术的作用	90
7.4 现有需求响应的局限性与使用范围	91
7.5 分布式电源	91
7.6 动态能量管理系统与现有能量管理系统的差异	92

7.7 从集成角度评述动态能量管理运行	93
7.8 智能设备的关键特征	94
7.9 先进全楼宇控制系统的主要特征	94
7.10 动态能量管理系统的主要特性	95
7.11 结束语	96
参考文献	96
第8章 能量端口	97
8.1 能量端口的提出	97
8.2 能量端口的概念	101
8.3 能量端口的一般特性	101
8.4 结束语	105
参考文献	106
第9章 鼓励终端节能的政策与计划	107
9.1 问题的提出	107
9.2 正在实施的政策与计划	109
9.3 中东和北非的节能挑战	117
9.4 结束语	118
参考文献	118
第10章 市场执行	119
10.1 市场执行概述	119
10.2 用户接受度与响应的影响因素	123
10.3 计划规划	130
10.4 监测与评估	132
参考文献	134
第11章 终端用电节能技术选择	137
11.1 现有技术	137
11.2 工业领域的节能技术	143
11.3 电工技术	147
11.4 结束语	150
参考文献	150
第12章 需求侧规划	151
12.1 概述	151
12.2 需求侧规划的主要内容	153
参考文献	160
第13章 需求侧方案评估	161
13.1 需求侧方案评估的层次	161
13.2 需求侧评估所需信息	162
13.3 系统侧方案评估内容	163

13.4	评估结果的可移植性	163
13.5	对基础数据的要求	164
13.6	成本效益评估	164
13.7	非现值效益与成本分析	165
13.8	需求侧方案的相互作用	167
13.9	动态属性	167
13.10	需求侧方案的预测与推广	168
13.11	评估未来市场需求和用户参与率	169
13.12	用户与市场调查	170
13.13	促进用户接受的技术	170
13.14	计划实施问题	172
13.15	需求侧计划的实施进程	174
13.16	需求侧计划和活动的最佳性能监测与评估	175
13.17	监测和评估方法	175
13.18	计划监测与评估中的问题	176
13.19	监测与评估计划	177
13.20	解决与电网有关的需求侧规划问题	178
	参考文献	178
附录	名词索引	179
	参考文献 (补充)	185

智能电网概述

1.1 智能电网的概念

电力传输系统通常被认为是迄今为止人类所建造的最大且最复杂的一部机器，这部机器主要是由电力线、电力电缆、杆塔、变压器与断路器等部分构成。所有这些构成部分，按照某种方式相互连接起来，形成了一个完整的电力系统。早在 20 世纪 60 年代，电力行业就开始使用计算机技术。最初计算机在电力系统中的作用，主要是用以对电力系统进行监测和对部分电力系统进行控制。随着时间的推移，这种与传感器相结合的计算机控制技术的最新应用，在电力系统中已越来越多；但是，与期望的情况相比，这些应用仍然还存在很多不足。例如，区域电力系统的运行人员在控制中心最多能得到的系统运行状态是已延迟了 20s 以后的状态，并将这样的状态认为是“实时”的；然而，如果考虑到电力系统内的电磁脉冲的传播速度接近光速的事实，这种已延迟了 20s 的状态信息就不能被认为是实时的。

事实上，电力传输系统（包括输电系统和配电系统），从总体上来看，几乎就是一个机械系统，与经典机械系统相比，仅仅是采用了最新的传感器、少量的电子通信技术和少到几乎没有的计算机控制技术。过去的 25 年里，在西方国家，几乎所有除电力行业以外的其他行业都采用先进的传感器技术、通信技术和计算机技术来实现现代化，并且已使其生产力水平、生产效益、产品质量和服务质量以及环境性能等取得了巨大进步。

简而言之，智能电网就是按某种方式，通过采用先进的传感器技术、通信技术、计算机技术和控制技术等来提升整个电力传输系统的总体功能。先进技术的利用，使一个原本“笨拙”的系统变得“聪明”起来。对于电力系统而言，这种变化能优化几个功能（这几个功能通常是相互结合的），包括对集中式发电与储能、输电、配电、分布式电源和终端用电设备等的优化。通过这些优化，整个系统功能将达到最优目标，这些目标具体包括系统的可靠性、系统最优化或能量消耗最少、限制环境影响、资产管理、成本限制等。

1.2 智能电网实现电联网

电联网（ElectriNet）是将智能电网与集中式低碳发电、局域能源网、电气化交通等嫁接而得到的一个指导性概念（见图 1-1）。电联网基本理念认为，电力系统应进化为一个由电力系统、通信系统、互联网、电子商务系统等共同组成的高度互联、复杂

和互动的网络。与此同时, 向建立更具竞争性的电力市场的方向发展, 需要更加精细化的基础架构, 以支持电力价值链上各参与者和各环节之间大量存在的信息、经济与实物等的融合, 以完善或取代原有垂直化的集中式电力系统。这种新一代电力系统的基本架构——电联网, 将为多种多样的系统和设备提供无缝集成和互操作能力, 同时具有管理竞争性市场交易的能力。这些竞争性交易是在电力体制改革过程中出现的竞争性服务提供者之间所需的交易, 例如, 需求响应的参与、信息通报与通告、能量交易、辅助服务市场竞价等。



图 1-1 创造未来的电联网行动框架

实现电联网, 关键取决于智能电网 (IntelliGrid) (见第 6 章) 通信体系的建立。智能电网通信体系, 使电联网中的各组成设备能通过开发的基于代理 (智能体) 的软件系统实现互联互通, 这些基于代理 (智能体) 的软件系统能满足相关信息、经济和实物交易的需要, 以确保竞争性电力市场具有足够的可靠性、高效性、安全性和稳定性。另外, 所设计或采用的智能电网通信体系, 要求能支持多种运行标准, 包括满足对电网偶然性事件、实时定价和其他市场或系统条件等进行分析和响应的要求。建立这样的通信体系的目标是, 能同时考虑到对互操作性和灵活性的要求, 促进和确保竞争性电力市场交易能得以实现, 其中, 互操作性可通过采用开放的通信协议来实现, 而灵活性则可通过用户自定义的业务规则来实现, 通过这些业务规则, 能满足不同参与者各自独特的需要。

电联网为如何管理已有的和不断出现的新的分布式的、不同类型的通信网络和控制网络等提供了一种新理念。该理念主要是基于对分布式计算技术的集成, 如 Web 服务器、语义网和智能代理等的集成。所建立的智能电网通信体系, 准许未来的开发接入到该系统, 并以该系统为基础资源或设计平台, 可开发各种分布式应用软件系统, 同时, 考虑了互操作性的核心要求和对多运行标准 (业务规则) 的支持能力。该通信体系的目的是, 提供一种基础资源, 可作为一种路线图来使用, 以此去认识、利用和构建下一代基于代理 (智能体) 的软件系统, 并将其应用于电力价值链上各类交易系统中。

随着新技术的发展以及新市场参与者和竞争性市场环境的出现, 新的电力价值链正

在逐步形成。对电力而言，电力价值链的基本过程可简述如下：

首先，价值链开始于燃料或一次能源，这些燃料通过发电机将一次能源转换为电能；然后，发电机发出的电能经升压变压器升压，再经高压输电联网进行传输，电能传输到中压电网后，被降低到较低的电压等级；最后，分配给终端用户消耗。

在以上电力价值链中，为了将电能传递到用户，存在着大量业务服务。现有业务服务大多仅集中于电力供应方，其目的是确保竞争性趸售市场能得到交易层所需的售电量和容量，同时也鼓励发电资源能开放地、无差别地接入电网。事实上，在新的电力价值链上，用户侧或电力需求侧的相关业务服务，同样也特别值得关注。

技术进步及其导致的经济发展已打破了传统的电力价值链，并促进了分布式电源（Distributed Energy Resource, DER）等在电力系统中的应用。这些分布式电源有多种形式，主要包括分布式发电、分布式储能和插电式混合动力电动车（Plug-in Hybrid Electric Vehicle, PHEV）等。同时，在电力系统中，由于市场竞争的引入和电力体制改革的深入，围绕新的电力价值链上需求侧的需要，一种全新的能源服务与交易机制正在兴起。在这些能源服务中，有一种新的服务形式就是需求响应（Demand Response, DR）。通过提供需求响应服务，电力负荷和其他分布式电源能反向给电网提供电网所需发电容量，以响应系统在突发事件时对发电容量的需要，同时也可响应电力市场的价格信号，以维持市场平衡。需求响应是电力市场提供的诸多新兴电力服务中的一种。需求响应需通过多个业务系统以及实物资产之间的相互作用和综合来完成实物和经济交易。完整的服务机制由那些用以完成实物（电力）交易和经济交易的多种交易系统和电力资产之间进行互动和集成来实现。完整的需求服务需要具有与用户计费、用户设备管理、电力信息和各种增值服务（如在线抄表、电费管理、能源审计、能量信息、实时定价、采购等）等类似的要求。许多类似服务的提供，对不同系统的集成、自动业务处理、实物与经济交易的实现等有类似的要求。传递这些服务需要有相应的通信体系，该通信体系应是开放的、高度可扩展的、足够灵活的，并能满足供电方和用户自主地改变自身业务的需要。

通信体系应设计为，能实现分布式系统各节点与系统其他组成部分之间的通信，并满足交换决策信息的要求。该体系用于开发相关软件，可以完善现有配电系统和电力市场的通信体系。该体系由可重复使用的软件代理和相关硬件设备构成，这些硬件设备能实现多种接口与电力系统或电力市场内各种设备之间的互操作。软件代理的使用使系统节点之间具有互通信和互操作能力，同时考虑了特定业务和多行业参与者的技术要求，如电力用户、配电公司、输电公司、电力服务公司和电力市场经营者等的实际要求。

1.3 本地电网

本地电网容易实现电联网的基本功能。总体上，对电力系统的运行而言，通过对各种基本功能的组合，可使系统具有自检测性、自校正性和自愈性功能，并具有支撑系统内单个元件故障时整个系统不中断服务的能力。同样，本地电网在满足最小化

资源消耗和最小化环境影响的同时,可在合理的成本范围内满足用户的需要,从而提高生活质量和经济生产力水平。

本地电网具有就地提高能源资源的优化利用与能量管理的独立性、灵活性与智能性的能力,并可将本地电网集成为智能电网。本地电联网将能源资源和配电系统等在本地进行集成,这样的本地集成系统可以是一座工厂、一栋商业大楼、一座校园建筑群或一个居民住宅社区的配电系统。本地区域性电网又把不同的本地电网集成起来,通过智能电网技术发挥发电与储能的优点,促使电力系统能跨区域进行完全集成。本地电网能满足用户对供电独立性、方便性、美观性、环境友好服务和成本控制等方面不断增长的要求。

1.4 电气化交通

电联网的另一个基本组成部分是电气化交通——特别是电动汽车。在较短时期内,主要是指插电式混合动力汽车(Plug-in Hybrid Electric Vehicle, PHEV)的使用。插电式混合动力汽车已开始快速发展,这种新的混合动力汽车,同时具有可控制负荷和在线可控电力储存能力,会对电力系统产生深远影响。

插电式混合动力汽车提供了一种像运输燃料那样的、最具前途的、能使电力得到更重大应用的用电与储能新方式。

插电式混合动力车的发展,是以传统混合动力车十几年的发展经验为基础的,如丰田普锐斯(Toyota Prius)和福特爱仕(Ford Escape)等传统混合动力车的发展等,这些经验为新的混合动力汽车的发展奠定了基础。混合动力汽车采用电池与电动汽车发动机相组合的方式增强了汽车内燃机动力。为了实现这种技术集成,插电式混合动力车提高了用低成本、非用电高峰期电网为汽车电池充电的能力——使汽车能运行在相当于75美分/加仑,或比现有电价更便宜的成本上,而且,插电式混合动力车在充电时,从电网吸收的功率仅为1.4~2kW(大约相当于一台洗碗机的功率)。

广泛使用插电式混合动力车所面临的主要挑战是如何克服直接供电联网面临的问题,包括对本地电网技术规范的要求、大众化市场的发展以及降低电池成本的要求等。

1.5 集中式低碳发电

电联网的基本组成部分之一是集中式低碳发电。跨大区域的电力系统的完全集成,必然包括大型集中发电和大型集中储能的能力。电联网能使多个集中发电厂通过高压电网进行相互连接,这样的互联可实现灵活的远距离电力传输,优化发电资源配置,同时能通过坚强的骨干电网,以最有效的方式将电力传递到负荷中心。

成功实现电联网的前提是,实现几种先进技术的功能和可扩展目标,这些先进技术以降低二氧化碳排放为基础。与集中发电有关的其他先进技术,包括可再生能源的进一步利用,尤其是风能、太阳热能、太阳能光伏(PV)发电与生物质能发电、

利用报废核舰艇等用以发电,采用先进的轻水核反应堆、先进的高温高压燃煤发电技术,以及到2020年后,大量使用二氧化碳捕获与储存技术等。

1.6 智能电网的属性

为了通过智能电网技术来实现电联网,必须确保智能电网的以下属性。

- (1) 供电的绝对可靠性。
- (2) 优化利用大多数发电厂和储能资源。这些资源与分布式电源、可控或可调度的用户负荷进行优化组合,以确保用电成本最低。
- (3) 最小化电力生产和传输对环境的影响。
- (4) 减少发电厂厂用电,提高输电系统效率,提高终端用电效率和效力。
- (5) 提高供电系统和输电系统抵御来自物理的、网络的和自然灾害(如飓风、地震、海啸等)攻击的能力。
- (6) 确保所有用户所需的最优电能质量。
- (7) 监测电力系统中所有重要设备,使之能自动维护和自动停电保护。

1.7 发展智能电网的原因

美国国家电力系统正面临着前所未有的压力。例如,可能是由于某些特定的操作、维护和设备或系统性能等方面的原因,造成了2003年8月14日的美加大停电(译者注:“8.14”美加大停电)。因此,可以通过改进现有电力系统,使系统潜在威胁和停电事故的严重程度最小化。

原有的电力系统设计,使美国有些地方的电网相当脆弱。例如,北美电力系统是通过简单地连接原有本地电网的方式构成的,所有发电厂就地建设,原来的建设目标仅是满足本地居民、商业和工业用户的需要;在电力趸售市场背景下,发电企业,同时包括传统电网和独立发电企业,被鼓励将他们的电力销售给本供电区域以外的用户,以响应市场机会和市场需要。这样,输电系统承受的压力就远远超过了设计和建设的极限水平。这些制约是可以得到解决,但需要有足够的投资和大量输电领域的技术创新。

美国的电力传输系统(包括输电系统和配电系统),大多数采用的依然是20世纪40年代或50年代的技术。在1988~1998年期间,美国的电力需求量增长了30%,而电网的输电容量仅增加了15%。根据当时北美电力可靠性委员会(North American Electric Reliability Council, NERC)的可靠性评估结果,在2002~2011年的未来10年内,美国的电力需求量预计增长20%,但计划新增输电容量不到5%。另外,自1998年以来,美国电力系统的日趸售电量增加了约400%,导致输电阻塞明显(这样的输电阻塞是电力趸售市场面临的巨大瓶颈),从而增加了对输电系统的压力。

为了有效地抑制电力系统内可能发生的停电事故,已采取了很多有效措施,尤其是对于新技术的开发与利用,使电力系统更加可靠。为了支撑基础性高科技产业的发展,

局部地采用了电力敏感设备。许多新技术已得到了广泛应用,同时,还有一些新技术已经进入试验验证阶段。

此外,美国政府正努力增加可再生能源发电;但是,大型风场和太阳能发电资源等,大多处于远离负荷中心的地区,必须新建足够的输电线路才能使这些可再生资源真正成为有效的电源。

扩建输电系统和采用新技术都需要相关政府部门和电力行业之间进行紧密配合,具体而言,为了加速构筑智能电网,促进可再生能源发电的发展,降低发生区域性停电事故的风险,以下六个方面应给予重点考虑。

(1) 以区域为基础,协调其他资源,建设新的发电厂和输电设施。如果没有这样的协调,在本地电价水平高的地方,发电企业会努力新建电厂;然而,其实新建电力线路,能带来更低的电价。区域性输电组织(Regional Transmission Organization, RTO)和独立系统运营商(Independent System Operator, ISO)应被赋予相应的职责,并使之具有必要的权力去执行这样的协调发展规划。

(2) 执行技术需面向广域电网的运行。为了使区域性输电组织或独立系统运营商能运营大型跨区域系统,电网的一些重要设备必须是“可看得见的”——无论通过直接监测,还是通过计算机评估来使之变得可见。采用相角测量单元(Phaser Measurement Unit, PMU)的广域测量系统(Wide-Area Monitoring Systems, WAMS)现已用于实际电力系统进行直接测量。此外,为了进行系统状态估计(对无法直接监测的、电网可能出现的状态进行建模),有必要强制采用高级软件系统,当然还需扩大电力系统安全评估软件的应用。高级软件系统有助于系统运行人员防止系统发生安全性问题。

(3) 在系统安全评估软件能识别可能导致的停电事故的条件(称为“N-1”安全准则)的情况下,应高度重视系统运行演习,因为,电力系统的规划是以系统安全准则为基础的。有些地区已采用了约束更强的运行,如美国纽约。

(4) 电网的运行必须更加紧密地与电力市场运营进行协调,不仅是为了降低更多的停电风险,而且也是为了防止避免发生像美国加利福尼亚州已发生过的那种区域性的电价尖峰;尤其是,电价必须按照市场规则来确定,这些市场规则是为了保证系统潮流能按照更好的成本效益得到处理,同时避免发生系统输电阻塞。用户也需要用同样的方式,根据实际需要自动地降低负荷需求,以应对市场电价突变。

(5) 提高系统紧急运行水平,需要有清晰的职责划分,以便有效地处理系统紧急情况。系统运行人员也需进行更彻底的电网恢复和“黑启动”(停电后系统自恢复)等培训。为了避免整个区域性电网发生雪崩性或灾难性事故,对于保护的设置等问题,也需进行重新校验。

(6) 电力系统现有的信息系统和业务处理流程需要更新。电力系统运行中存在着诸多复杂的数据通信,尤其在系统发生紧急情况期间,许多信息需用先进的技术进行更新,同时,其信息流也需从根本上得到修订。

电力行业长期以来已提出了一套系统运行可靠性的黄金标准。随着时间的流逝,现有标准中存在的问题已警告人们,这些可靠性标准已不适时宜,除非采取措施制定更加