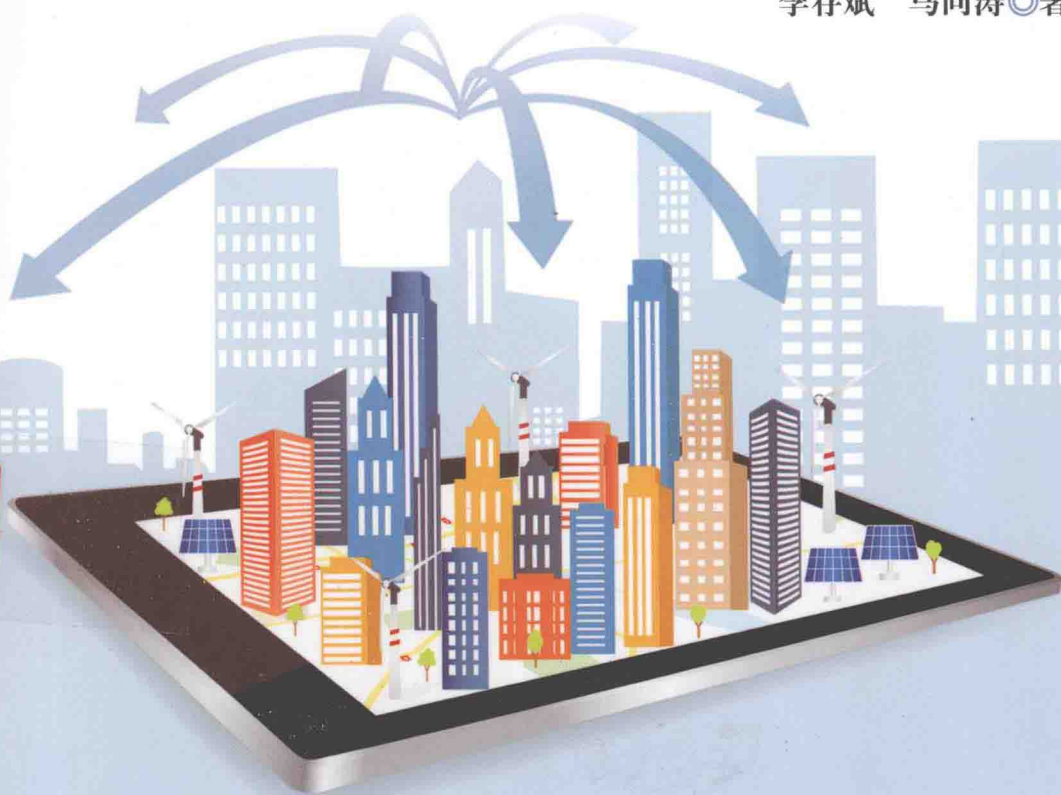


风险元传递理论专著系列
国家自然科学基金资助项目

智能电网运营风险元传递 理论与应用

李存斌 马同涛◎著



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

风险元传递理论专著系列
国家自然科学基金资助项目

智能电网运营风险元传递 理论与应用

李存斌 马同涛◎著



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书是国家自然科学基金项目“智能电网运营风险元扰动与传递理论模型及其应用(71271084)”的主要研究成果之一,是作者在出版《项目风险元传递理论与应用》、《电力风险元传递理论与应用》、《多项目风险元传递理论与应用》专著的基础上,将风险元传递理论应用到智能电网运营管理中,提出的智能电网运营风险管理的新思路和新方法。本书创新了风险元传递理论,提出了风险元驱动概念,建立了智能电网运营风险元驱动体系,针对不同的风险元驱动因素(市场价格驱动、发电侧经济驱动、输配安全驱动、减排政策驱动等)、不同风险元传递路线(关系型、层次型、树型、链型、网络型和混沌型等),建立了较为完善的智能电网运营风险元传递系统理论和方法。

本书可供电力企业或从事智能电网项目建设和运营管理的相关管理人员和相关理论研究人员参考使用,也可供高校管理类本科生、研究生参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

智能电网运营风险元传递理论与应用/李存斌,马同涛著.
—北京:中国电力出版社,2016.12
ISBN 978-7-5198-0102-1

I. ①智… II. ①李… ②马… III. ①智能控制-电网-运营管理-风险管理-研究 IV. ①TM76

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 295379 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)

北京九天众诚印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2016 年 12 月第一版 2016 年 12 月北京第一次印刷

710 毫米×980 毫米 16 开本 19.5 印张 362 千字

定价 68.00 元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签,刮开涂层可查询真伪
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

序

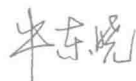
2005年，李存斌教授提出“风险元传递理论”，随后他带领的科研团队对这一理论及其在不同领域的应用进行了系统而深入的研究。2005年，李存斌教授负责申报了国家自然科学基金项目“广义项目风险元传递理论模型及其应用”并获得批准。三年内发表了29篇学术论文；出版了《项目风险元传递理论与应用》专著1部；开发了软件1套。2010年，国家自然科学基金委员会管理科学部组织的结题项目绩效评估中，该项目被评为“优”。2008年，李存斌教授申报了华北电力大学“211工程”资助项目“信息化环境下供电风险传递理论与应用研究”并获得批准。三年的研究期限内，李存斌教授带领的科研团队发表电力风险元传递方面的学术论文25篇，其中被SCI收录2篇，被EI收录15篇；出版了《电力风险元传递理论与应用》专著1部；开发了电力风险元传递理论与应用方面的软件系统一套并获软件著作权证书。2010年，李存斌教授再次成功申报了国家自然科学基金项目“信息化环境下企业项目链风险元传递理论模型研究”。在四年的研究期限内，发表中文核心期刊及以上学术论文53篇（其中被SCI收录5篇、被EI收录12篇、国家自然科学基金委管理科学部认定A级期刊论文5篇）；出版了《多项目风险元传递理论与应用》专著1部；开发了企业项目链风险元传递模型的软件系统1套；培养硕士和博士研究生12人。

2012年，李存斌教授获批国家自然科学基金资助面上项目“智能电网运营风险元扰动与传递理论模型及其应用”，近四年来结合国内外智能电网建设及运营管理中的风险元传递问题进行了系统深入的研究，发表核心期刊及以上学术论文60余篇，其中被SCI收录6篇，被EI收录20篇。从2012年开始，李存斌教授致力于将风险元传递理论研究成果推广、转化和应用于电网企业的工作，开展了“基于物联网的重要用户供用电安全及支持技术研究与应用”、“供用电安全风险传递及预警技术研究”、“电网运营风险元传递理论模型及其应用”等项目的研究工作，并起草了60余万字的研究报告。这些项目的研究成果在电网企业得到了应用。本书是这些成果的系统总结，也是“风险元传递理论与应用”方面的第4部专著。

在本书中，针对智能电网运营风险管理进行了以下几个方面的研究与探索：①提出了风险元驱动概念，并建立了智能电网运营风险元驱动体系；②围绕智能电网风险元驱动因素（市场价格驱动、发电侧经济驱动、输配安全驱动、减排政策驱动等），结合风险元传递路线维（包括关系型、层次型、树型、链型、网络型和混沌型传递等）、风险元传递方法维进行了深入研究，并建立了模型；③提出了智能电网利益链风险元传递研究思路，创新性地提出以“利益链”视角来进行风险元传递研究，扩展了风险元传递理论的边界。本书按照智能电网风险元驱动因素分章节进行阐述，思路清晰、结构合理、层次分明、由浅入深、理论深入、应用翔实，形成了智能电网运营风险元传递的系统理论和方法。

本书的出版，有利于在智能电网运营管理中控制和规避风险，有利于电力行业经营管理者的科学决策，有利于智能电网的高效运营，有利于减少电网事故发生，对于提高智能电网运营各参与方的风险预警能力、增强风险抵御能力，以及完善和丰富智能电网风险管理的知识体系具有理论上的创新和实际应用价值。到目前为止，风险元传递理论已经在国家电网公司、部分电力施工企业、生产企业和软件开发企业得到应用，可以预计，该理论将得到越来越广泛的应用。

华北电力大学经济与管理学院院长、博士生导师、教育部长江学者特聘教授



2016年11月

前言

本书是国家自然科学基金项目“智能电网运营风险元扰动与传递理论模型及其应用(71271084)”的主要研究成果之一,是在已发表的60余篇相关学术论文的基础上,经过系统归纳、整理和编撰而成的。针对智能电网运营管理,本书提出了风险元驱动概念,并建立了智能电网运营风险元驱动体系,围绕智能电网风险元驱动因素,结合风险元传递路线维、风险元传递方法维进行了深入研究,形成了智能电网运营风险元传递的系统理论和方法。

本书共分为7章,第1章绪论,在阐述智能电网内涵和特点、智能电网运营风险研究的背景和意义的基础上,提出了智能电网运营风险研究的思路创新;第2章智能电网风险元传递理论基础,在阐述风险元传递结构、供电风险元传递路径和方法的基础上,给出了智能电网运营风险元驱动体系;第3~6章分别详细阐述了智能电网环境下市场价格驱动、发电侧经济驱动、输配安全驱动和减排政策驱动的风险元传递模型及应用;第7章给出了智能电网运营风险元传递理论前瞻性课题展望。

参加“智能电网运营风险元扰动与传递理论模型及其应用”基金项目的研究人员有董军、刘吉成、瞿斌、王辉、周景、王钊等老师,还有博士研究生马同涛、李小鹏、蔺帅帅、李鹏、李贤、陆龚曙、张成松、庆格夫、张建业、常昊、陈宏义、赵坤、刘赞奇、李书科、苑嘉航、孙宝军等,硕士研究生陈文俊、徐亮、殷婷婷、熊雪琴、武敏霞、周小萌、祁之强、冯霞、柴玉凤、李锦贤、黄洵斌、宋易阳、高坡、卢世成、曾钦顺、马晨昊、黎翡娟、李亚等。这些研究生参照基金项目的研究内容,通过发表学术论文、撰写毕业论文等方式进行深入研究,为本书的写作提供了很好的素材。在本书的写作过程中,马同涛、李小鹏和蔺帅帅做了大量具体工作。

同时,华北电力大学经济与管理学院院长、博士生导师牛东晓教授对本书给予了大力支持和帮助,提出了不少宝贵意见和建议,最后为本书起草了序。

对于上述为基金项目的研究、为本书的编撰和出版付出劳动和做出贡献的所有人员一并表示衷心的感谢。

企盼本书的出版对于广大读者有所裨益，如能抛砖引玉，激起广大读者对于电力风险研究和管理的兴趣，作者将如愿以偿、倍感欣慰。由于编撰和整理书稿的时间仓促，难免存在不妥之处，恳请读者批评和斧正，欢迎各位同仁来信共勉。

华北电力大学 李存斌

(E-mail: lcb999@263.net; QQ: 844933566)

2016年11月

目 录

序

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 智能电网的内涵及特点	1
1.1.1 智能电网的定义	1
1.1.2 智能电网的结构特征	3
1.1.3 智能电网的运营方式	5
1.2 智能电网运营风险研究的背景和意义	6
1.2.1 智能电网运营风险的研究重点	6
1.2.2 能源互联网发展对智能电网运营管理的影响	8
1.2.3 中国电力体制改革对智能电网运营管理的影响	9
1.2.4 新形势下智能电网运营风险研究的意义	11
1.3 智能电网运营风险管理研究综述	11
1.3.1 智能电网下电力系统运营风险管理研究	12
1.3.2 智能电网下可再生能源接入影响	12
1.3.3 智能电网运营风险管理其他相关研究	13
1.3.4 国外关于智能电网运营管理风险的相关研究	13
1.4 智能电网运营风险研究的思路创新	14
1.4.1 风险元传递理论的特点及发展历史	14
1.4.2 风险元传递理论在智能电网运营风险研究中的优势	16
第 2 章 智能电网风险元传递理论	18
2.1 风险元传递的定义和分类	18
2.1.1 风险元传递的定义	18
2.1.2 风险元的分类	19
2.2 风险元的定量表示与度量	20
2.2.1 风险元的定量表示方法	20
2.2.2 风险元的传统度量方法	21

2.2.3	风险元的扩展度量方法	22
2.3	风险元传递的结构	24
2.3.1	风险元传递基本结构	24
2.3.2	供电风险元传递的三维结构模型	25
2.4	供电风险元传递路径	26
2.4.1	关系型风险元传递	27
2.4.2	链型风险元传递	29
2.4.3	层次型风险元传递	30
2.4.4	树型风险元传递	30
2.4.5	网络型风险元传递	30
2.4.6	混沌型风险元传递	31
2.5	供电风险元传递方法与模型	32
2.5.1	供电风险元传递优化法	33
2.5.2	供电风险元传递智能解析法	33
2.5.3	供电风险元传递统计模拟法	34
2.6	智能电网运营风险元驱动体系	35
2.6.1	风险元驱动概念	35
2.6.2	智能电网运营风险元驱动体系结构	36
2.6.3	智能电网运营风险元驱动体系的理论价值	36
第3章	智能电网环境下市场价格驱动风险元传递模型及应用	39
3.1	智能电网电力价格风险概述	39
3.1.1	智能电网电价体系结构	39
3.1.2	智能电网电价风险元特点	39
3.1.3	智能电网电价驱动风险元传递模型综述	40
3.2	基于系统动力学的智能电网售电价格风险元传递模型	42
3.2.1	售电价格波动影响效应传递机制的系统动力学建模	42
3.2.2	售电价格波动影响效应风险元传递模拟分析应用算例	48
3.2.3	售电价格波动影响效应的分析与政策建议	54
3.3	智能电网下考虑峰谷分时电价的电网企业收益风险 元传递模型	57
3.3.1	分时电价条件下电网收益风险分析	57
3.3.2	电网企业实行峰谷分时电价的风险元传递模型	60

3.3.3	峰谷分时电价风险元传递模型算例分析	64
3.4	智能电网下分时电价售电风险型决策模型	68
3.4.1	分时电价售电风险型决策指标体系构建	68
3.4.2	基于突变理论的配电网分时电价售电决策模型	77
3.4.3	分时电价售电风险型决策模型算例分析	80
第4章	智能电网环境下发电侧经济驱动风险元传递模型及应用	84
4.1	智能电网发电侧经济驱动风险概述	84
4.1.1	智能电网发电侧经济驱动风险元特点	84
4.1.2	智能电网发电侧经济驱动风险元传递模型综述	85
4.2	风电投资项目前期经济评价及风险元传递模型及应用	86
4.2.1	风电项目投资风险因素	87
4.2.2	风电项目投资风险元传递模拟过程	88
4.2.3	风险模拟实例分析	91
4.2.4	分析与建议	94
4.3	智能电网发电投资项目风险元传递模型	96
4.3.1	智能电网投资项目层次型风险元传递数学描述	96
4.3.2	基于遗传算法与神经网络的智能电网发电项目风险 元传递优化模型	97
4.3.3	智能电网发电投资项目风险元传递优化模型算例分析	101
4.4	智能电网发电侧战略投资利益风险优化模型	104
4.4.1	基于 CVaR 投资组合优化模型	104
4.4.2	基于 CVaR 的电力投资组合优化分配模型	107
4.4.3	基于 CVaR 的电力投资组合优化分配模型算例分析	108
4.5	智能电网发电侧经济运行利益风险优化模型	109
4.5.1	建模背景及假设	110
4.5.2	风-火并网发电经济运行优化目标	110
4.5.3	竞争性市场环境下竞价上网模型	111
4.5.4	优化约束条件	112
4.5.5	和声搜索算法求解	113
4.5.6	算例分析	115
4.6	智能电网下发电侧运营管理风险元传递模型	117
4.6.1	智能电网下发电侧运营管理风险分析	118

4.6.2	模型建立	120
4.6.3	算例分析	124
第5章	智能电网环境下输配安全驱动风险元传递模型及应用	127
5.1	智能电网环境下输配安全驱动风险元传递概述	127
5.1.1	智能电网输配电风险元分析	127
5.1.2	智能电网环境下输配安全驱动风险元传递的理论框架	128
5.2	智能电网输电安全风险元传递研究	129
5.2.1	基于模糊数相似度的电网自然灾害风险评价方法	129
5.2.2	基于前景理论的智能输电系统改进灰靶风险决策模型	136
5.2.3	智能电网信息安全风险元传递评估模型	145
5.2.4	基于熵权模糊集理论的电网企业信息安全风险评估	153
5.2.5	基于分形特征的输配电系统多目标分割模型	159
5.3	智能电网运行风险元传递研究	166
5.3.1	基于模糊数相似度的智能电网运营风险综合评价模型	166
5.3.2	配电网运行风险的动态评估组合模型	173
5.3.3	考虑信息不确定性的智能电网调度决策风险传递模型	182
5.3.4	基于马田系统和灰色累积前景理论的变压器区间数维修 风险决策	190
5.4	智能电网下购电风险元传递研究	203
5.4.1	考虑风险元传递的智能电网购电模型	205
5.4.2	考虑风险的智能电网购电模型	206
5.4.3	约束条件	209
5.4.4	多目标粒子群优化算法 (MOPSO)	209
5.4.5	算例分析	212
5.5	智能电网下电力用户风险元传递模型及应用	214
5.5.1	基于粗糙集的传递模型构建	214
5.5.2	应用实例	216
5.6	基于智能用电互动平台的未确知风险元传递模型及应用	219
5.6.1	未确知风险元基本操作	220
5.6.2	基于未确知风险元的递归神经网络预测模型	221
5.6.3	应用实例	224
第6章	智能电网环境下减排政策驱动风险元传递模型及应用	229
6.1	智能电网减排风险概述	229

6.1.1	碳排放交易政策对市场主体的影响分析	229
6.1.2	碳排放交易机制的利益动机及效果	230
6.1.3	智能电网减排政策驱动风险元传递模型综述	231
6.2	碳排放交易机制驱动运营风险元传递模型	232
6.2.1	碳排放交易下发电企业利益最优模型	232
6.2.2	优化约束条件	235
6.2.3	基于双层主从决策的多目标规划模型	235
6.2.4	碳排放交易机制驱动风险元传递模型算例仿真及 政策分析	237
6.2.5	环境政策利益分析	240
6.3	考虑成本、排污及风险的微电网运营风险优化模型	241
6.3.1	考虑经济、环境、风险多目标的智能电网下微电网运营 风险优化建模	241
6.3.2	小生境多目标粒子群优化算法	246
6.3.3	考虑成本、排污及风险的微电网运营风险优化模型 仿真分析	248
6.4	发电权交易影响效应的风险元传递模型	252
6.4.1	智能电网下发电权交易的特点及交易方式	252
6.4.2	发电权转让方风险元传递模型	253
6.4.3	发电权受让方风险元传递模型	254
6.4.4	发电权交易影响效应的风险元传递模型实例分析	255
第7章	智能电网运营风险元传递理论前瞻性研究	258
7.1	利益链视角下的智能电网运营风险元传递研究	258
7.1.1	利益链视角下智能电网运营风险研究概述	258
7.1.2	智能电网利益链理论	261
7.1.3	利益链视角下智能电网运营风险研究的主要内容	269
7.1.4	智能电网利益链风险元传递的研究技术路线	273
7.2	电力信息深度融合风险元传递研究	276
7.2.1	电力信息深度融合风险元传递研究背景及意义	276
7.2.2	电力信息深度融合风险元传递研究主要内容	279
7.2.3	技术路线	286
	参考文献	289



第1章 绪 论

随着全球能源枯竭与环境问题的日益突出,智能电网因其可靠、安全、经济、高效、环境友好和使用安全等特点,一经提出便成为全球研究的焦点。本章主要介绍了智能电网的定义、结构特征及运营方式,在此基础上分析了智能电网运行风险研究的意义;通过对国内外智能电网运营风险管理研究的综述,结合风险元传递理论,提出了以风险元角度研究智能电网运营风险的新思路。

1.1 智能电网的内涵及特点

1.1.1 智能电网的定义

随着全球温室效应、大气环境污染等问题的日益突出,国际社会对于碳排放比例较大的电力行业更加关注。电力行业要摆脱高排放、高污染的现状,就必须对能源结构进行优化,实现可再生能源、绿色能源对化石能源的逐步替代。现有的电网技术在可再生能源的大量兼容并网及智能化用电等方面还有一定的差距,因此,建设一个整合先进测控技术、信息技术、人工智能技术、通信技术于一体的现代电网技术体系,使电力在生产、传输、变电、配电、储存、销售、服务等环节都能够大幅度减少能耗,让用户能够享受智能化用电的便捷,最终实现电力系统的可持续发展是智能电网的建设思想^[1-3]。

智能电网(Smart Grid)就是实现电网的智能化,也被称为“电网2.0”,它建立在集成的、高速双向通信网络的基础上,通过先进的传感和量测技术、先进的控制方法及先进的决策支持技术的应用,实现电网可靠、安全、经济、高效、环境友好和使用安全的目标。智能电网与传统电网相比具有自愈性强、用户激励性好、抵御攻击能力强、电能质量高、可再生能源兼容性强、电力资产运行高效等特点。

智能电网是下一代电力系统的必然发展方向,世界各国根据自身电网所处发

展阶段,从21世纪初开始陆续提出智能电网概念并开展了相关研究。2001年美国电科院(EPRI)最早提出“智能电网”,并开展相关研究工作;2003年,EPRI正式将未来电网定义为智能电网;2004年,美国Battelle研究所与IBM公司提出了“智能化电网”概念;2009年1月,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^[4]。欧洲各国在智能电网方面也做出了探索,于2005年正式成立的“智能电网欧洲技术论坛”提出了智能电网概念,认为智能电网的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和大规模整合扫除各种障碍^[5]。

与具有单向通信、集中发电、辐射状拓扑网络特点的传统电网相比,我国建设的智能电网是在传统电网基础上充分利用信息、量测、设备、控制、决策支持等智能化技术,以建设距离长、容量大的特高压为基础,在发电、输电、变电、配电、调度、服务和用户终端等方面实现信息化、互动化与自动化的一种电网模式^[6]。

作为拥有世界最大的能源系统的国家,我国在智能电网方面进行了大量的前瞻性研究。国家电网公司在现有智能电网理论的基础上,结合我国电力系统自身特点,提出了坚强智能电网的概念。坚强智能电网在特高压输电网基础上,协调各个级别的区域电网,在现代通信技术的帮助下,对发电、输电、变电、配电、用电等环节进行自动化调度,将“业务流、信息流、电力流”融合在一起,实现信息化、互动化、自动化输电的目标。中国电力科学研究院将智能电网定义为利用先进的传感技术、测控技术、通信技术、可嵌入式技术等,依托坚强的特高压物理网络,形成的一个高度集成、高度自动化、高度智能化的新型电网。它可以满足社会的智能化用电需求,可以为社会节约能源,可以为可再生能源、分布式能源提供接入服务,可以为用户提供稳定、增值的用电服务,促进低碳经济的快速发展^[7-8]。

在进行理论研究的同时,国家电网公司也陆续开展了智能电网的项目实践。2005年,国家电网公司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;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,并制订了详尽的实施计划;2009年5月21日,在特高压输电技术国际会议上,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,初步提出了智能电网的内涵。

我国能源专家武建东提出了“互动电网”概念,互动电网以智能电网技术为依托,借助先进的通信技术和信息化技术,将各种信息高度集成和共享,在用户

与电网公司、用户与用户之间建立信息共享通道,实现他们之间的互动与数据传输功能。“互动电网”可以扩展实现电力网、电视网、电信网、智能家居、智能化储电等增值服务。强大的数据通信和处理能力将大大提升电网的可靠性、智能性、友好性,优化电网系统的管理功能,形成一个全新的智能用电环境。“互动电网”可以解决3个难题:通过技术升级和创新大大提升原有电力生产设备的能源利用效率,降低碳排放量;通过为大量的可再生能源和绿色能源提供接入服务,优化能源结构,降低化石能源发电的市场份额;为用户提供互动、友好的用电服务体系,满足用户的个性化需求,降低用户用电成本。武建东先生提出的“互动电网”概念为智能电网的发展和扩展描绘了未来,同时为国家今后的能源战略提出了希望。

可以看到,智能电网的概念没有统一的认识,但是“创新现有电网技术,实现智能化、低碳化的用电环境”是世界各国学者的共识,智能电网的建设需要朝着这个目标努力。另外,智能电网的建设不会是同一模式,各个国家的电力市场环境存在差异性,也决定了各国的智能电网建设将呈现多样化的特征。

关于智能电网的具体内涵,美国能源部《Grid 2030》将智能电网定义为“一个完全自动化的电力传输网络,能够监视和控制每个用户和电网节点,保证从电厂到终端用户整个输配电过程中所有节点之间的信息和电能的双向流动。”欧洲技术论坛将智能电网定义为“一个可整合所有连接到电网用户行为的电力传输网络,以有效提供持续、经济 and 安全的电力。”中国电力科学研究院则将其定义为:以物理电网为基础(中国的智能电网以特高压电网为骨干网架、以各电压等级电网协调发展的坚强电网为基础),将现代先进的传感测量技术、通信技术、信息技术、计算机技术和控制技术 with 物理电网高度集成而形成的新型电网。国家电网公司公布了对智能电网内涵的定义,即统一坚强智能电网是以坚强网架为基础,以通信信息平台为支撑,以智能控制为手段,包含发电、输电、变电、配电、用电和调度6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,坚强可靠、经济高效、清洁环保、透明开放、友好互动的现代电网^[9]。

1.1.2 智能电网的结构特征

由于各国对智能电网内涵的认知存在差异,对智能电网特征的表述也有所不同。美国提出智能电网的特征包括更可靠、更坚强、更经济、更高效、环境更友好、使用更安全。欧盟提出智能电网的特征包括高灵活性、高可接入性、高可靠性、高经济性。从上述两者关于智能电网核心特征表述来看,高可靠性和高经济性是其共同点^[10]。我国提出的坚强智能电网主要解决基础设备安全性低、化石能源依赖性强和环境污染严重等问题,其特征主要体现在坚强可靠、高效、环境

友好三个方面^[11-12]。

(1) 坚强可靠，是指电网在经受各种扰动（故障、拓扑变更、发电和负荷波动）后仍能可靠运行。提高电网的坚强程度主要通过加强物理电网建设和提高电网控制水平来实现。

(2) 高效，是指提高化石能源使用效率，减少化石能源使用量，降低对化石能源的依赖性。主要有两个途径：一是开源，即通过支持可再生能源大规模接入，减少化石能源使用；二是节流，指在能源转化、传输和使用等环节（即发、输、配、用）中，通过提高效率、减少损耗，减少化石能源使用量，主要措施包括采用新技术、新设备降低损耗，通过调整运行方式降低网络损耗，通过合理调整发电计划提高系统整体的能源转化效率，等等。

(3) 环境友好，是指在能量转化和传输过程中减少含碳气体排放量，尽量降低对环境的不良影响。其主要手段是：扩大风力、太阳能等可再生能源利用的比例；加强对传统燃煤、燃油电厂的排放治理，进行相应的技术革新和改造。

另外，统一坚强智能电网在技术上包含四个基本特征，即信息化、数字化、自动化、互动化。其中：信息化是指实时和非实时信息的高度集成、共享和利用；数字化是指电网对象、结构及状态的定量描述和各类信息的精确高效采集与传输；自动化是指电网控制策略的自动优选、运行状态的自动监控和故障状态的自动恢复等；互动化是指电源、电网和用户资源的友好互动和协调运行。

智能电网主要特征包括：具有自愈能力、具有高可靠性、资产优化管理、经济高效、与用户友好互动、兼容大量分布式电源。智能电网的技术优势为更多分布式绿色能源入网提供了便利，使得智能电网清洁能源的可持续发展优势更加突出^[13]，如图 1-1 所示。

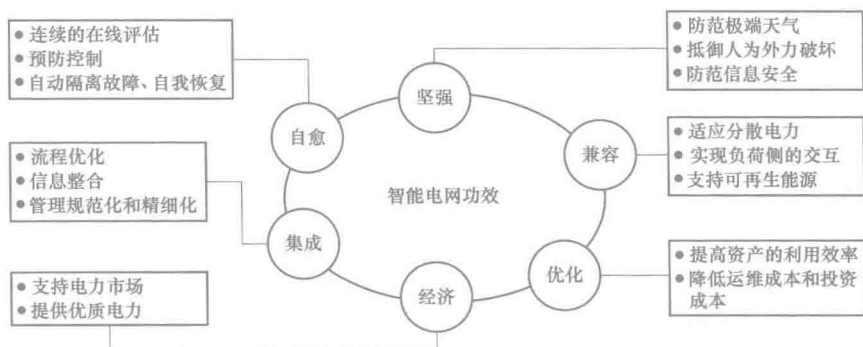


图 1-1 智能电网主要特征

1.1.3 智能电网的运营方式

由于智能电网整合了先进的信息、控制及通信技术来动态管理电网供需,因此能为各类互动项目的成功实施提供强有力的技术支持。智能电网特别强调与用户的互动,包括信息互动与电能互动,具体是指用户可以利用门户网站、数字电视、智能交互终端、能源接入终端、电话、手机等设备,实现能量流、信息流、业务流的双向交互。例如,用户可根据自身的用电状况、电价标准、能效分析等信息,实现各类智能家居设备远程控制和管理;或者用户可快速响应市场变化,实现分布式电源、电动汽车、储能装置等新能源、新设备的即插即用。

智能用电互动技术可以确保电力用户享受到智能化、多样化等优质服务,同时又能提高电力企业对电力用户的有效管理与控制,提高能源利用效率和减少能源浪费。智能用电互动技术可以充分考虑客户个性化、差异化的服务需求,实现能量、信息和业务的双向交互。目前智能用电互动技术主要包括自动需求响应、用户用能互动管理、分布式电源互动管理、电动汽车互动管理等方面。

自动需求响应是指电力终端用户改变固有用电方式,以响应电价实时变化,或在高批发市场电价、电力系统可靠性受到威胁的情况下通过减少用电量获得经济补偿。根据美国能源部(Department of Energy, DOE)的研究报告,美国的需求响应主要有两种实现形式:基于激励的需求响应和基于时间的电价策略。其中,基于激励的需求响应包括以下几种选择:①直接负荷控制;②可中断或缩减电价;③需求侧竞价或回买计划;④紧急需求响应计划;⑤容量市场计划;⑥辅助服务市场计划。基于时间的电价策略包括以下几种选择:①分时电价;②尖峰电价;③实时电价。

用户在参与分布式能源项目时,可以决定投资和安装何种分布式发电设备,如屋顶太阳能光伏发电、小型冷热电联产系统或储能装置[如插件式混合动力电动汽车(Plug-in Hybrid Electric Vehicle, PHEV)],并根据实时电价信息来决定何时启动或关闭这些设施。例如,在电价较高时断开电网供电并启动分布式发电设备,在电价较低时将PHEV接入电网充电,以充分发挥各类需求侧资源在削峰填谷方面的积极作用。

综上所述,与智能用电互动业务相关的技术涵盖高级计量、智能电表、双向通信、智能家居、互动平台、分布式电源接入和电动汽车能量转换等方面。用户用电互动需求架构图如图1-2所示。