



“十三五”科学技术专著丛书

本书由中央高校项目基本科研业务费专项资金（2017MS169）资助

区域能源互联网规划、 商业模式与政策保障机制

陈娟 鲁斌 齐玮 著

QYU NENGYUAN HULIANWANG GUIHUA

SHANGYE MOSHI YU ZHENGCE BAOZHANG JIZHI

非
外
借



北京邮电大学出版社
www.buptpress.com



“十三五”科学技术专著丛书

本书由中央高校项目基本科研业务费专项资金(2017MS169)资助

区域能源互联网规划、商业模式 与政策保障机制

陈娟 鲁斌 齐玮 著



北京邮电大学出版社
www.buptpress.com

内 容 简 介

本书针对我国城市化进程中普遍出现的空间紧凑和功能集中的区域,系统地研究了区域能源互联网规划问题。

全书共分10章:第1章,绪言;第2章,区域能源互联网规划的基本理念;第3章,区域能源互联网规划条件分析;第4章,区域能源互联网规划基础:区域负荷预测;第5章,区域能源互联网构建与优化;第6章,区域能源互联网布局规划;第7章,区域能源互联网商业模式;第8章,区域能源互联网政策保障机制;第9章,区域能源互联网规划决策支持系统及应用;第10章,结论与展望。

本书可供从事区域能源互联网研究的科研人员、工程技术人员以及高等院校相关专业的研究生阅读和参考。

图书在版编目(CIP)数据

区域能源互联网规划、商业模式与政策保障机制 / 陈娟,鲁斌,齐玮著. -- 北京:北京邮电大学出版社,2019.8

ISBN 978-7-5635-5800-1

I. ①区… II. ①陈… ②鲁… ③齐… III. ①互连网络—应用—能源规划—研究—中国
IV. ①F426.2-39

中国版本图书馆CIP数据核字(2019)第165613号

书 名: 区域能源互联网规划、商业模式与政策保障机制

作 者: 陈娟 鲁斌 齐玮

责任编辑: 刘 颖

出版发行: 北京邮电大学出版社

社 址: 北京市海淀区西土城路10号(邮编:100876)

发 行 部: 电话: 010-62282185 传真: 010-62283578

E-mail: publish@bupt.edu.cn

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京玺诚印务有限公司

开 本: 787 mm×1 092 mm 1/16

印 张: 11.75

字 数: 292千字

版 次: 2019年8月第1版 2019年8月第1次印刷

ISBN 978-7-5635-5800-1

定 价: 49.00元

• 如有印装质量问题,请与北京邮电大学出版社发行部联系 •

此为试读,需要完整PDF请访问: www.ertongbook.com

前 言

化石燃料的枯竭及其长期以来被大规模使用所引发的全球气候变化问题,使人们认识到以石油、煤炭为核心的能源消费结构和以供给为核心的能源发展模式仍未改变,气、热、电各种能源形势始终无法实现多能互济的协同,“能源竖井”难以打破。然而以能源新技术和信息技术深入结合为特征的能源互联网,被认为是未来解决能源危机和环境危机问题的关键所在。能源互联网是以新能源技术和信息技术深入结合为特征的一种新的能源利用体系,借助信息和通信技术以及坚强的智能电网,为用户提供清洁、便利的能源,并使用户可以参与能源的生产、消费与优化的全过程。

我国正处于工业化、城市化进程的中后期,人口众多,未来建筑能耗将超越工业能耗成为城市的主要能耗,到2025年,中国人口超过百万的城市将达221个。工业化和城市化的快速推进显现出资源的相对不足,实现能源资源的永续利用和经济社会可持续发展的唯一路径是节能,提高能源基础设施承载能力,提升能源系统运行效率,转变居民用能消费习惯,加快清洁能源替代,合理优化能源系统的综合配置,因此能源互联网势在必行。

本书正是在此背景下,结合在我国城市中普遍出现的空间紧凑和功能集中的区域,对区域能源互联网的规划问题进行了探讨。区域正成为能源消费和温室气体排放的主要载体,区域用能效率的提高,建立绿色低碳、适应气候变化的区域能源系统,对实现城市可持续发展具有重要的理论意义和实际应用价值。

本书对区域能源互联网规划问题展开了系统研究,建立了区域能源互联网的规划体系,对规划的关键问题、重要影响因素进行了系统阐述,给出了具有通用性的区域能源互联网模型架构和优化算法,提出了基于“站-网”的区域能源互联网布局方法,研究了区域能源互联网商业模式和政策保障机制,通过设计实现的决策支持系统,为区域能源互联网的规划提供科学的参考依据。

目 录

第 1 章 绪言	1
1.1 研究背景	1
1.2 研究意义	2
第 2 章 区域能源互联网规划的基本理念	4
2.1 区域能源互联网	4
2.1.1 区域能源系统特征	5
2.1.2 区域能源系统的综合价值	6
2.2 区域能源互联网规划	17
2.2.1 区域能源互联网规划的内涵	17
2.2.2 国内外能源规划相关研究	19
2.2.3 与分布式能源系统相关的研究	21
2.2.4 能源互联网相关研究	23
2.3 本书研究思路及主要内容	24
第 3 章 区域能源互联网规划条件分析	26
3.1 区域气候因素	26
3.1.1 能源系统规划的气候适应性	26
3.1.2 能源系统气候区划	27
3.2 资源条件	32
3.2.1 天然气	32
3.2.2 太阳能	34
3.2.3 风能	37
3.2.4 地热能	38
3.2.5 生物质能	41
3.2.6 潮汐能	42
3.2.7 能源资源的互补性	43
3.3 区域环境因素	45
3.3.1 碳排放影响	45
3.3.2 空气质量影响	46
3.4 建筑类型与功能因素	46

3.4.1	建筑类型的影响	46
3.4.2	区域功能的影响	47
3.4.3	建筑布局与热岛效应	48
3.5	社会发展水平	49
3.5.1	宏观经济	49
3.5.2	城镇化水平	50
3.5.3	政策因素	51
第4章	区域能源互联网规划基础:区域负荷预测	55
4.1	建筑负荷影响因素与特性分析	55
4.1.1	建筑负荷影响因素	55
4.1.2	建筑负荷特性	56
4.2	负荷预测方法	57
4.2.1	单位面积指标法	57
4.2.2	数据外推预测法	58
4.2.3	数值模拟法	59
4.2.4	情景分析法	62
4.3	区域负荷预测	62
4.3.1	简单叠加法	63
4.3.2	区域负荷预测模型	63
4.3.3	同时利用系数	64
4.4	仿真算例分析	65
4.4.1	单体建筑负荷预测	65
4.4.2	区域负荷预测	69
第5章	区域能源互联网构建与优化	70
5.1	区域分布式能源系统的一般结构	70
5.2	区域能源互联网信息物理融合模型	71
5.2.1	多智能体的内涵及其结构	71
5.2.2	基于多智能体的区域能源互联网模型架构	72
5.2.3	路由 Agent 和能源管理 Agent	74
5.3	区域能源互联网的双层优化	76
5.3.1	区域能源互联网双层优化内涵	77
5.3.2	决策优化层	78
5.3.3	系统优化层	83
5.4	算例仿真分析	89
5.4.1	算例决策层优化分析	89
5.4.2	算例系统优化层分析	91
5.4.3	算例系统优化结果	92

第 6 章 区域能源互联网布局规划	98
6.1 区域能源互联网布局基本理论	98
6.1.1 管网布局优化概述	98
6.1.2 图论概述	99
6.2 区域能源互联网布局模型	102
6.2.1 能距	103
6.2.2 基于能距的中位点	104
6.2.3 基于能距的 P 中位模型	104
6.3 区域能源互联网布局规划算法	105
6.4 仿真算例分析	107
6.4.1 算例简介	107
6.4.2 仿真结果与分析	109
第 7 章 区域能源互联网商业模式	113
7.1 商业模式的内涵	113
7.2 传统能源商业模式	114
7.2.1 石油企业商业模式	115
7.2.2 煤炭企业商业模式	115
7.2.3 天然气行业商业模式	116
7.2.4 电力行业商业模式	117
7.3 合同能源管理模式	119
7.3.1 节能效益分享型	120
7.3.2 节能量保证型	120
7.3.3 能源费用托管型	121
7.4 综合能源服务公司模式	122
7.5 虚拟电厂模式	123
7.6 在“互联网+”环境下的商业模式	125
7.6.1 四种典型互联网商业模式	126
7.6.2 在“互联网+”环境下的电力商业模式创新	127
7.7 区域能源互联网多层商业模式	128
7.7.1 物理层商业模式	129
7.7.2 信息层商业模式	130
7.7.3 服务层商业模式	131
7.7.4 支撑区域能源互联网的市场机制	132
第 8 章 区域能源互联网政策保障机制	135
8.1 能源政策的理论依据和作用机制	135
8.1.1 能源政策的理论依据	135

8.1.2	能源政策系统的构成	137
8.1.3	能源政策的作用机理	141
8.1.4	能源政策的发展趋势	143
8.2	中国能源政策体系	145
8.2.1	中国能源政策的发展历程	145
8.2.2	中国能源政策体系	146
8.3	区域能源互联网政策保障机制	150
8.3.1	现有主要能源互联网政策	150
8.3.2	区域能源互联网政策保障机制	152
8.3.3	促进区域能源互联网政策落实的建议	155
第9章	区域能源互联网规划决策支持系统及应用	157
9.1	REI-DSS 系统设计目标	157
9.2	REI-DSS 系统结构框架	159
9.2.1	可视化人机交互系统	156
9.2.2	决策功能应用系统	160
9.3	REI-DSS 功能模块设计	162
9.3.1	因素功能模块	162
9.3.2	预测功能模块	163
9.3.3	系统功能模块	163
9.3.4	布局功能模块	163
9.4	REI-DSS 案例应用研究	164
9.4.1	案例介绍	164
9.4.2	案例 REI-DSS 仿真应用	165
9.4.3	案例仿真结果分析	173
第10章	结论与展望	175
10.1	结论	175
10.2	展望	176
	参考文献	178

第1章 绪 言

伴随经济的不断发展,世界能源消费总量持续增长,能源已经成为国家或地区的战略资源,能源技术革命将引发新工业革命已成为共识。美国著名学者杰里米·里夫金指出,化石燃料的逐渐枯竭及其造成的环境污染问题,使基于化石燃料大规模利用的工业模式正在走向终结,而以新能源技术和信息技术深入结合为特征的一种新的能源利用体系——能源互联网正在形成。

中国人口众多,工业化和城市化的快速推进显现出资源的相对不足,实现能源资源的永续利用和经济社会可持续发展的唯一路径是节能,提高能源基础设施承载能力,提升能源系统运行效率,转变居民用能消费习惯,加快清洁能源替代,合理优化能源系统的综合配置,因此能源互联网势在必行。

1.1 研究背景

我国能源消费总量从1978年的5.7亿吨标准煤增加至2014年的42.6亿吨标准煤,年均增长率为5.7%;1980年我国碳排放量约占全球的1%,2015年我国碳排放量约占全球的29%,2006年开始我国成为全球最大的碳排放国。虽然我国人均累积排放低于发达国家水平,但是以煤炭和石油为主的能源消费结构,给能源革命和碳减排带来了巨大挑战。近年来,全国大范围、高频率出现“雾霾”天气,使得发达国家在二百年工业化进程中分阶段出现的环境问题,正在我国现阶段集中出现。

由于能源革命的紧迫性和气候环境问题的严峻性,我国节能减排刻不容缓。2014年,国家主席习近平就推动我国能源生产和消费革命,提出从能源消费、能源供给、能源技术、能源体制和能源安全五个方面进行能源革命。2015年,国家主席习近平进一步指出中国将加大控制温室气体排放力度,争取到2020年实现碳强度降低40%~45%的目标。2016年末我国参与签署的全球气候协议《巴黎协定》正式生效,为实现全球气候变化的控制目标,发展高效清洁能源和提高能源效率成为能源供给侧与需求侧面临的主要任务。对包含新能源、化石能源在内的电力网络、热力网络、能源输送网络以及数据网络进行整合优化是实现世界能源可持续发展的必然之路,能源与信息融合是解决能源危机和环境危机问题的有效途径。2014年,我国提出了能源生产与消费革命的长期战略,并以电力线系统为核心尝试全球能源互联网的布局。2016年3月,国家电网发起成立了全球首个能源互联网合作与协调组织,即全球能源互联网发展合作组织。2016年2月,国家发展改革委、国家能源局、工业和信息化部联合制定了《关于推进“互联网+”智慧能源发展的指导意见》,明确了能源互联网

的建设目标:2016—2018年,着力推进能源互联网试点示范工作,建成一批不同类型、不同规模的试点示范项目;2019—2025年,着力推进能源互联网多元化、规模化发展,初步建成能源互联网产业体系,形成较为完备的技术及标准体系并推动实现国际化。

在全球城市化进程中,城市能源消耗成为能源消耗的集中领域,世界能源消耗的2/3源于城市,主要包括建筑、交通和工业三大领域能耗,而这其中建筑能耗占城市能耗的60%。我国正处于工业化的中后期和快速的城市化阶段,产业结构的调整、经济增长方式的转变、城市功能的变化和规模的扩大等一系列改变将使城市能耗出现建筑能耗增长、工业能耗下降的趋势。此外,气候变暖导致我国不同气候区普遍出现了采暖能耗和空调能耗组成的建筑总能耗的显著增加。我国从热工和建筑能耗角度,对单体建筑的节能规范设计制定了一些规范和标准,但是这些要求具有普适性和一般性,对建筑的能源利用针对性并不强。建筑能源利用的无规划状态引发了城市负荷的集中释放、热岛效应的产生、有害气体的多点排放扩散和可再生能源在城市建筑能源上的较低利用水平。

传统的分产分供能源利用模式存在终端用户一次能源利用率低的问题,而分布式能源系统通过减少能源中间环节损耗,按照能量品位的高低进行梯级利用,在用户端实现能源的温度对口,大大提升了能源利用效率。在欧盟及美国、日本等国家,分布式能源系统已有相当的规模,被作为能源互联网的原型进行即插即用的下一代电力系统研究。分布式能源系统被认为是对传统能源供给最有效率和可行的替代,以天然气为能源输入的冷热电联供分布式能源系统是最早开发应用并已趋于成熟的技术。发达国家近30年来建筑物能效大大提高,得益于分布式能源系统发挥了“吃干榨净”的高效利用模式,公共建筑一次能源的终端利用效率提高到70%以上。我国也指出新能源革命从“分”开始。为了应对能源危机,新能源技术得到了大力发展,特别是太阳能、风能、生物质能等可再生能源具有取之不尽和节能环保的特点,普遍受到了高度重视,随着技术水平的提高,被广泛使用。可再生能源的利用受到其波动性和不可控性的影响,然而能源互联网为可再生能源的有效利用提供了解决方案。

能源互联网的提出使能源生产、转换、配置、消费等一系列能源技术、能源管理、能源供应都向着更加多元化、清洁化、高效化的方向发展。在我国能源革命和地区环境双重压力下,结合我国社会发展、经济结构和城市化演变进程中出现的能源消耗特征,在集中区域规划绿色低碳、适应气候变化和可持续发展的区域能源互联网是用能效率提高、碳排放减少和空气环境质量改善的关键保障。

1.2 研究意义

2017年我国城镇化率达到58.52%,相比2010年提高了8.57%,这意味着我国正进入以城市人口为主体的社会发展新阶段。我国城镇化进程中表现出大片老城区区域的改造和新城镇、住宅区的大规模建设,城市普遍出现空间布局紧凑化、组团化、功能集中化、网络化的发展模式,这些紧凑型、组团化、网络化和功能集聚的城市建筑集中群被称为区域。如果城市是宏观体,单体建筑是城市的微观体,那么这些集中型区域就是城市的中观体,成为能源消费和温室气体排放的主要载体。在2015年国际能源协会第106届年会上,联合国能源规划署举行全球“城市区域能源倡议”北美启动会,发布了《城市区域能源:激发和释放潜在的

能源效率新能源的潜力》的报告,阐明了区域能源系统在全球能源变革中的重要作用。因此,探讨区域能源互联网规划、运行与构建问题,不仅符合我国可持续发展能源体系建立的长期目标,而且有助于实现我国节能减排的短期目标。本研究在方法、技术体系上进行了创新,研究内容具有现实应用价值,具体表现如下。

① 规划是开发建设最直接的依据,我国针对大量已有和新建的园区、街区、建筑集群等城市中心观层面区域的能源规划缺失。本研究从区域能源系统提出区域层面的能源规划,有益于能源规划纵向体系的延伸,依托能源互联网发展理念,对区域层面能源互联网进行规划体系与方法上的创新。区域是现代城市发展中具有一定特征的社会共同体,是城市总体规划的实践基础,也是能源系统在基层的实践载体。因此,区域能源互联网规划有助于改变长期以来我国城市总体规划与能源规划的相互独立,为二者的有效衔接提供积极借鉴,促进区域能源、环境、社会、经济之间的充分协调发展。

② 区域作为一种具有集约型、混合型、功能型的现代城市形态,表现出空间结构上的紧凑型、高密度型和高容积型特征。区域的能源需求类型和需求负荷趋于多样化,能源消耗排放的不确定性增强,对能源的集成利用、综合利用和清洁利用要求愈加强烈,区域层面的能源互联网规划面临着更大难度的挑战。因此,在区域层面上实现产能、输能、蓄能、用能和节能等一系列环节的构建,有助于为能源系统的低碳化发展提供可借鉴的指导。

③ 区域能源互联网将是一个由物质、能量、信息深度耦合的复杂网络,它不仅涉及性质各异的子系统、多个能源环节,还与区域的社会、经济、资源、气候、环境形势等紧密相关。时间、地理、能量、信息、社会的多域与多层次耦合性决定了区域能源互联网规划研究的充分性和技术方法创新的必要性。现有研究以分布式能源系统具体应用进行系统设计为主,缺少区域分布式能源系统的顶层规划研究,本书探索多维度下的分布式能源系统规划,统筹考虑多层次因素的影响,为能源系统的现实应用提供决策指导。

④ 在我国能源消费、供给、技术、体制等一系列环节能源革命中,区域能源互联网的科学规划将发挥一定的双向作用力价值。一方面,能源革命中能源价格的市场化、能源运行机制的开放化,为区域能源互联网的构建提供了发展机遇,能源系统的应用边界条件降低,精细化管理的落实更具有原动力。另一方面,区域能源互联网的规划落实为能源供给方提供了新的业务机遇,为能源需求方创造了参与能源市场的机会,促进了能源革命在能源供需领域的双向开展。

⑤ 全球能源互联网发展理念已形成共识,区域能源互联网将成为城市能源互联网、省级能源互联网、全球能源互联网的基本构成单元。区域能源互联网的规划、构建与运行将实现区域能源清洁化、智能化、低碳化和互联网化的转型升级,为实现更大范围的能源资源优化配置,能源利用效率的提高,能源结构的优化,以及能源、信息的互联互通提供借鉴与参考。

第 2 章 区域能源互联网规划的基本理念

美国学者里夫金对能源互联网的构想是希望借助信息和通信技术(Information and Communication Technology, ICT)以及智能电网,将各类分布式发电设备、储能设备和可控的负荷有机结合,从而为用户提供清洁、便利的能源,并让用户可以参与能源的生产、消费与优化的全过程。人们对于能源互联网的界定目前还没有形成共识,这里我们将其理解为综合运用先进的电力电子技术、信息技术和智能管理技术,将大量由分布式能量采集装置、分布式能量储存装置和各种类型负载构成的新型电力网络,与天然气网络、交通网络等系统紧密耦合而成的,实现能量双向流动的能量对等交换与共享网络。鉴于电能优异的传输效率和颇具规模的电力传输网络,能源互联网必将是以大电网为“主干网”,以分布式能源系统、微网等单元为区域能源互联网的广域网。区域能源互联网(Regional Energy Internet, REI)载体是面向区域建筑运行能源需求的区域分布式能源系统。

2.1 区域能源互联网

在“精明增长”和“新城市主义”的现代城市发展理念下,城市普遍出现了人口集中、建筑集中、功能集中的紧凑型区域发展模式,它们以成片的建筑群、街区、园区出现。广义上的区域能源包括了区域内工业、交通、建筑的能源总消耗;狭义上的区域能源则指与建成环境,即建筑直接相关的能源消耗。建筑能耗又有两层内涵:一是指建筑在使用中产生的能耗,包括满足供暖、通风、空调、照明、电器、动力、热水、设备等需求的能耗;二是除建筑物的使用能耗外,还包括了建筑材料生产过程及建筑过程中产生的能耗。然而建筑物拥有较长的使用寿命,运行能耗在整个建筑寿命周期的能耗中占有较高的比例,可以达到 85%。区域由于建筑使用主体的不同,承载功能亦不同,我国目前的功能型区域类型可以细分为教育集聚区、公寓住宅集中区、产业园区、商业集中区、办公写字楼集聚区等,在发展模式上单一功能与综合功能并存。如果没有使用者的差异,所有的建筑和区域都是一样的。区域类型与功能的多样化使区域对能源品种的需求数量、时间、类型和模式等有了不同的要求,负荷敏感度影响因子的变化也不同。

相比传统供冷供热系统,作为区域能源互联网载体的分布式能源系统具有多种能源资源输入和多种用能输出形式,可能会使供能的稳定性、效率性、品位性等方面受到波动,能源互联网则通过把能量流和信息流耦合,利用通信技术、控制技术和信息技术等手段有效地协调,提高能源利用效率,为能源系统的稳定、高效运行提供了思路。具有能源互联网属性的

分布式能源系统并不是多种能源的简单叠加,它涉及系统产能、换能、蓄能、用能等各个环节,以及系统内冷、热、电等多元能源流的互动与耦合,通过信息融合技术的互联互通,按照不同的能源品位进行综合互补利用,协调控制好各能量环节间的配合与转换,实现能源网络与系统价值的最大化。

2.1.1 区域能源系统特征

国际分布式能源联盟(WADE)指出,分布式能源系统是一种新型的能源系统,一般建于用户侧,可以由热电联产、可再生能源系统和能量循环系统组成,是一种高效、可靠和环保性能更优的能源系统。分布式能源系统的类型多样,如小规模、小容量、模块化的可以独立输出冷、热、电能的风能、太阳能、地热能、燃料电池等系统,以及将高品位能源用于发电,利用发电机组排放的低品位能源进行制冷或供热的冷热电联供系统。可再生能源利用技术的发展,丰富了分布式能源系统中的可利用能源类型,系统构建正在从以常规能源天然气联供系统为主,向多类型可再生能源与常规天然气联供系统相结合的综合性能能源系统发展。分布式能源采用天然气、可再生能源等清洁能源为燃料,较之传统的集中式能源系统将更加环保。本书认为作为区域能源互联网的分布式能源系统是一种分布在用户端的能源综合利用系统,以冷热电联产技术为基础,结合本地可再生能源和未利用能源,与大电网和天然气管网组网运行,向一定区域内的用户同时提供冷、热、电的能源服务。区域能源互联网具有以下特征。

(1) 低碳能源系统

区域能源互联网对系统中可以利用的各类清洁能源资源,包括常规化石能源天然气,太阳能、风能、生物质、地热能等可再生能源进行资源整合,按照一定的系统目标进行综合优化利用,发挥能源资源之间的互补性。系统的阶梯用能方式,以及对未利用能源的充分利用,在减少能源消费总量的同时,使区域能源互联网碳排放减少,充分发挥环境友好性。

(2) 柔性、灵活的能源系统

区域能源互联网是一个由多因素深度耦合的复杂网络。传统的分布式能源系统在运行中出现了供能强度低、供能不稳定、供能效率低等状况,一些建成项目甚至在运营中出现了停运的尴尬局面,究其主要原因是系统的柔性能力不足,灵活调整能力不够,而能源互联网为解决系统的柔性化问题提供了思路与办法。一方面,通过构建区域能源互联网,实现区域能源生产、供给、输送、消费等一系列环节的“无缝式”连接,提高区域能源网络的快速自适应调节能力。另一方面,通过能源互联网将系统外的常规电源、储能等具备补充辅助性能的灵活性资源实现连接,建立区域能源的外部协调辅助资源网络。区域能源互联网更加强调区域“源-网-荷-储”的协调性和整体性,区域能源网络内外的双层互联互通,将使区域能源互联网具备充分的柔性 with 灵活调节能力。

(3) 具有网络基础设施属性

我国关于城市能源的规划主要涉及能源供需总量平衡的战略能源规划和城市能源基础设施建设的专项规划,如电力规划、热力规划和燃气规划,但这些专项规划之间缺乏一定的

协调性。区域能源互联网拥有无形网络和有形网络,前者由能量流与信息流构成,后者则由嵌入区域的能源生产中心、能源存储中心、能源输配管网和能源消费中心组成。区域能源互联网的“供-需-储-配”有形网络的设计连接需要依据区域的各项条件进行提前规划,并与区域发展规划相衔接。我国 2015 年《公共建筑设计标准》中也已经提出公共建筑的可再生能源利用设施设计规划应与建筑主体工程设计同步。

与传统单层能源网络相比,区域能源互联网的双层网络既需要物理设备的网络连接,又需要信息流、能量流的连接与传输,在节点的数量、质量、结构和形式上都更为复杂,互联互通的要求更高,网络经济效益将更加明显。

(4) 综合能源系统

综合能源系统被认为是下一代智能的能源系统,是能源领域的未来发展趋势,它采用系统化、集成化和精细化的方法设计、运行和管理整个能源系统的能量生产、传输、存储和使用,在整合特定区域范围内多种供能资源基础上,满足电力、热力等多种用能需求。区域能源互联网通过对能源的生产、传输、分配、转换、存储、消费等环节进行优化协调后所形成的能源产供销一体化的能源网络,开放性、互联性促进了能源系统内源、网、荷、储的深度融合与紧密互动,通过多能源类型的结合实现综合能源利用效率的提升与污染物排放的减少。区域能源互联网是一种科学合理用能、综合集成配能、梯级利用产能、网络优化输能、实现节能减排的综合能源系统网络。

2.1.2 区域能源系统的综合价值

在气候变化、能源革命、低碳经济的发展趋势下,区域分布式能源系统的综合价值影响着区域能源互联网的整体规划及架构。能源系统的综合价值体现在系统可能对用户产生的价值、对公用事业部门产生的价值,以及对社会产生的价值。

用户价值是指区域分布式能源系统能源效率的提高、自主灵活用能、可获得的各类补贴、可获取的税收优惠和可参加碳交易的收益。公用事业部门价值则来源于区域分布式能源系统在用户侧构建后,减少了公用事业基础设施投资、降低了电力输配网损、促进了智能电网的架构、拓展了终端侧用能管理辅助业务等。区域分布式能源系统的社会价值体现在:一是对可再生能源的充分利用,由此对一次能源结构调整的促进,以及系统低碳排放的环保价值;二是促进国内分布式能源系统设备相关产业的发展和弹性能源价格机制的形成。分布式能源系统的综合价值将根据影响因素的变化,表现出动态性调整,例如针对 2020 年前发展包括可再生能源的 12 000 MW 分布式能源项目,美国内华达州进行的系统效益成本分析显示,当分布式能源系统总量较小时,系统综合价值并不具有明显优势,但当分布式系统发电量比率为 15% 时,系统的能源效益、容量效益和排放效益都将大大提高,综合价值优势明显。系统综合价值的动态变化会受到系统的经济收益、技术性能和社会环境价值的共同影响。

1. 经济收益

区域能源系统的经济收益由三方面决定,即系统成本、系统收益以及可能获得的各类型补贴与优惠,如图 2-1 所示。

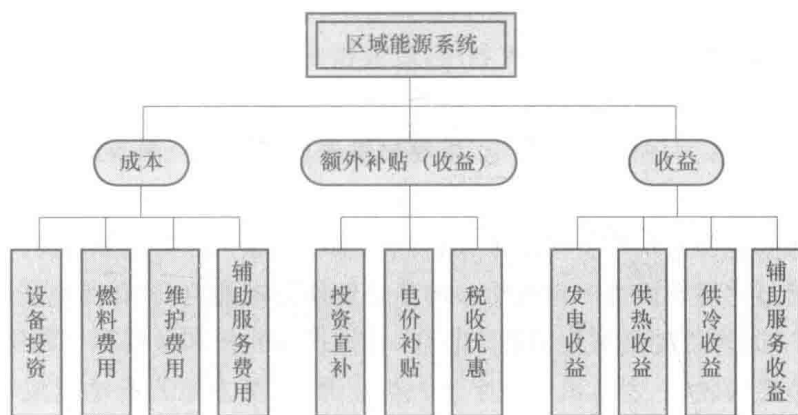


图 2-1 区域能源系统经济收益的影响因素

系统年化成本主要有系统的期初投资、燃料费用、设备的维护费用和提供辅助服务发生的成本。系统运行年收益有发电收益,包括并网后的多余上网电量收益、供热收益、制冷收益和提供辅助服务获得的收益。此外,区域分布式能源系统根据政府政策的制定,还可能获得直接的政府投资补贴、电价补贴和税收优惠等。

区域分布式能源系统的规模与集成程度不同,区域功能及建筑物类型的差异,又会进一步影响系统的经济成本和收益,具体表现在五个方面。一是系统的运行时间决定着项目投资的回收期、运行成本、维护成本和系统关键设备的使用寿命期限。二是系统使用燃料价格的高低和燃料占总成本比重产生的影响。我国天然气价格存在的地区性差异,使系统经济收益有着不确定性。此外,我国实施的天然气价格改革允许供需双方在一定范围内进行价格的自主协商,非居民用天然气定价的市场化程度提升,这对天然气分布式能源系统将产生重要影响。三是不同建筑物对冷、热、热水等需求负荷大小及时间分布不同,负荷的匹配性对系统能效和运行的经济性也有影响。四是区域分布式能源系统的集成化程度不同,系统的利用效率和节能性不同,因此系统成本收益也会不同。区域分布式能源系统的规模和集成程度要远远超过单一楼宇分布式能源系统,针对地域资源条件和建筑物类型特点,系统规划中的燃料使用、运行优化对策不同,系统的利用效率、柔性化的应变能力和节能性就不同,成本和收益自然也就有所差异。五是电价的影响。能源系统输出主要满足用户需求,系统电价取决于用户用电价格,我国现行电价制度是按不同类型用户制订价格,不同类型用户电价相差近 66%,此外,对传统以电制冷或热的替代,以及在可并网条件下,系统上网电量电价的高低也成为影响经济性的因素。

2. 技术性能

分布式能源系统的技术性能及发展空间对系统自身的发展有着根本性影响。随着技术的发展,分布式能源系统的集成化程度越来越高,特别是在能源互联网发展趋势下,技术进步与创新对区域分布式能源系统规划的影响更加明显,分布式能源系统的发展和优势也随着技术的进步更多元化。区域能源互联网涉及供能技术、储能技术和信息技术。

(1) 供能技术

区域能源互联网供能技术包括发电技术、并网技术以及供热与供冷技术。

① 发电技术

作为布置在用户侧、实现能源梯级利用、最大程度减少污染物排放的能源系统,其发电系统在一次能源采用上主要以清洁能源为主,目前比较常见的发电方式有:天然气发电、燃料电池发电、风力发电、太阳能光伏发电、生物质发电、地热发电、潮汐能发电等。

a. 天然气发电

天然气分布式能源系统主要采用燃气轮机和燃气内燃机作为其原动力。

燃气轮机通过将燃料燃烧时释放出来的热量转换为动能,再转化为电能输出以供应用。按照输出功率不同,燃气轮机有重型燃气轮机、轻型燃气轮机和微型燃气轮机。微型燃气轮机发电包括微型燃气轮机、发电机和数字电力控制器等,其发电具有输出成本较低、单机容量大、安装时间短、启动快、运行成本低和寿命较长的特点。尽管燃气轮机的发电效率并不是最高,但其产生的废热烟气温度可达 $450\sim 550\text{ }^{\circ}\text{C}$,通过综合利用余热,可大幅度提高能源利用率,最高可达 80% 以上,在天然气分布式能源系统中应用较为广泛。作为一类新型的小型分布式能源系统和电源装置微型燃气轮机的发展历史较短,相关技术主要被欧美国家垄断。近年来,我国对微型燃气轮机发电机组的设计、制造、应用技术进行了大量的研究工作,设备的国产化将进一步降低分布式能源系统的成本。

燃气内燃机是一种传统的能源利用设备,制造工艺的不断改进,新材料和新技术的应用,使现代燃气内燃机的可靠性大大提高。燃气内燃机突出的优势是结构紧凑、尺寸小、单位成本低、操作简单、发电效率高、启动快、适应性好。燃气内燃机的发电效率一般在 $35\%\sim 45\%$,使用功率范围宽,同一型号的内燃机可以适应各种不同用途的需要。正常情况下,燃气内燃机仅在 $3\sim 6\text{ s}$ 的时间内即可启动,并能迅速达到最大功率。我国内燃机生产的技术限制较小,国内外差距主要在曲轴加工、气缸及活塞的加工方面。

b. 燃料电池发电

燃料电池可以用天然气、石油液化气、煤气等作为燃料,是直接将化学能转化为电能的装置。燃料电池按电解质种类又可分为碱性燃料电池(AFC)、磷酸盐燃料电池(PAFC)、熔融碳酸盐燃料电池(MCFC)、固体氧化物燃料电池(SOFC)、质子交换膜燃料电池(PEMFC)等,其中碱性燃料电池和质子交换膜燃料电池属于 $70\sim 80\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的低温型电池,磷酸盐燃料电池属于 $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的中温型电池,熔融碳酸盐燃料电池和固体氧化物燃料电池属于超过 $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的高温型电池。燃料电池发电具有效率高且不易受负荷变化影响、清洁无污染、噪音低、安装周期短、安装位置灵活的特点。我国在质子交换膜燃料电池、熔融碳酸盐燃料电池方面和固体氧化物燃料电池技术上都有一定的技术实力和技术创新。

c. 风力发电

风力发电技术是将风能转化为电能的发电技术。风力发电的输出功率由风能的大小决定。风力发电技术是目前新能源开发技术中相对比较成熟的技术。典型的分布式风力发电系统的构成如图 2-2 所示。

风力发电因不消耗化石燃料,利用可再生风能资源,不产生温室气体的优点,在全球范围得到积极发展。对于高风速区域(年平均风速大于或等于 6 m/s),通过规划大型风力发电机组,采用集中式发电,实现风能向电能的转换。对于年平均风速为 $3\sim 5\text{ m/s}$ 的低风速

区域,一般采用更具有灵活性的中小型风力发电机,在中小城镇、社区、别墅庭院、度假村、海岛等区域应用广泛。

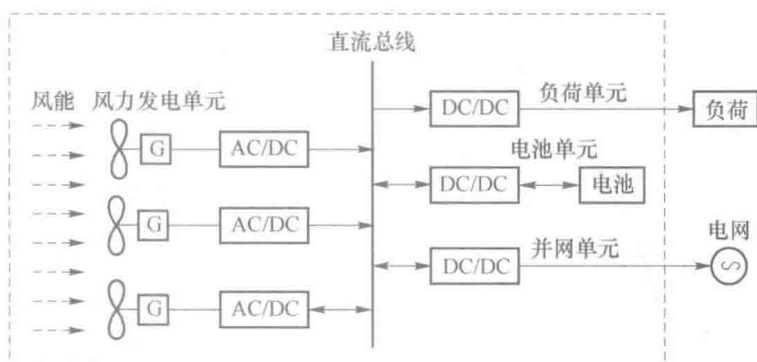


图 2-2 分布式风力发电系统的构成

d. 太阳能发电

太阳能发电分为太阳能热发电和太阳能光发电。太阳能热发电是先将太阳能转化为热能,再将热能转化为电能;太阳能光发电是将太阳能直接转变成电能的一种发电方式,光伏发电是太阳能发电最主要的利用方式。光伏发电是太阳能电池在太阳光的照射下,通过光电转换装置,将太阳光能直接转化为电能。光伏发电系统主要由光伏电池阵列、逆变器、监控系统和变压器组成,如图 2-3 所示。

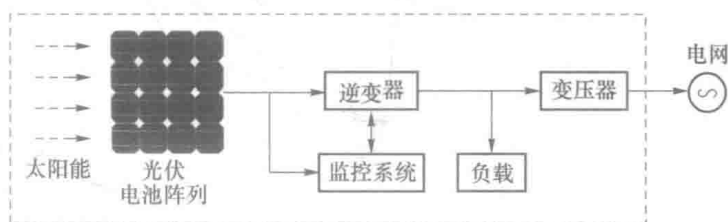


图 2-3 光伏发电原理

太阳能电池板的质量和成本直接决定着光伏发电系统的质量和收益,太阳能电池主要有晶体硅电池和薄膜电池两类。晶体硅电池因具有良好的能量转换效率和使用寿命,在光伏发电系统中普遍使用。多晶硅电池比单晶硅电池转换效率低、使用寿命短,但价格便宜;单晶硅光电转换效率最高可达 23%,使用寿命最高可达 25 年,但其制造成本高。太阳能光伏发电系统不消耗燃料、充分利用可再生太阳能、无转动部件、维护简单且费用低,因此应用范围十分广泛。

e. 生物质发电

生物质发电起源于 20 世纪 70 年代,自 1990 年以来,生物质发电在欧美许多国家开始大力发展。

我国生物质及垃圾发电装机容量逐年增加,2005 年装机容量为 2 GW,2014 年装机容量为 10 GW,年均复合增长率达 19.58%。生物质发电方式有直燃发电、混燃发电、气化发电、垃圾焚烧发电等。直燃发电技术是基于传统的内燃机发电技术,通过改型设备,将生物质原料作为替代燃料,直接燃烧进行发电。混燃发电是将生物质与煤等其他燃料混烧进行