

Development and
Application of Urban Energy Internet

城市能源互联网 发展与实践

国网天津市电力公司 组编

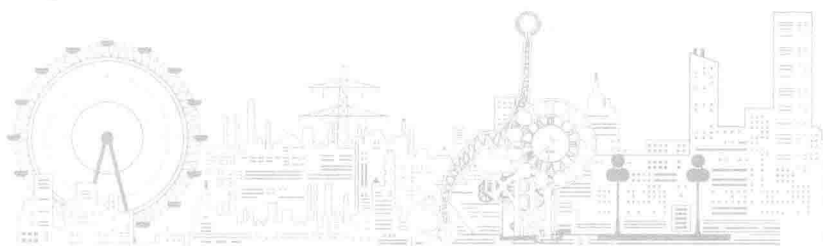


中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

Development and
Application of Urban Energy Internet

城市能源互联网 发展与实践

国网天津市电力公司 组编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书以当前城市发展与能源供给消费的矛盾为切入点,探索城市能源发展变革路径,在城市区域深化并实践全球能源互联网构想,提出城市能源互联网的基本理念,分析全球能源互联网与城市能源互联网的内在联系,提出城市能源互联网体系架构、关键技术、商业运营模式及实践路径,并总结国内外典型实践案例,提出城市综合能源发展思路,有效促进各类城市能源互联互通、协调发展、综合利用、优化共享。

本书可作为政府能源主管部门、电力及其他能源从业者、城市能源消费者的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

城市能源互联网发展与实践/国网天津市电力公司组编. —北京:中国电力出版社, 2017.8
ISBN 978-7-5198-0978-2

I. ①城… II. ①国… III. ①互联网络—应用—城市—能源发展—研究 IV. ①F407.2-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 166253 号

出版发行:中国电力出版社

地 址:北京市东城区北京站西街 19 号(邮政编码 100005)

网 址:<http://www.cepp.sgcc.com.cn>

责任编辑:崔素媛(010-63412392) 安 鸿

责任校对:郝军燕

装帧设计:赵姗姗

责任印制:蔺义舟

印 刷:北京博图彩色印刷有限公司

版 次:2017 年 8 月第一版

印 次:2017 年 8 月北京第一次印刷

开 本:710 毫米×980 毫米 16 开本

印 张:20.25

字 数:213 千字

定 价:88.00 元

版 权 专 有 侵 权 必 究

本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

本书编委会

主 任 钱朝阳

副 主 任 赵洪磊 张 全

委 员 庄 剑 唐志津 张 军 马 崇 何 勇

本书编写组

主 编 刘 聪

编写人员	王 哲	李盛伟	迟福建	李桂鑫	韩新阳
	魏联滨	王学军	李朝阳	徐 科	韩晓罡
	毛 华	刘树勇	范须露	高 尚	张 章
	张雪菲	徐 晶	冯瑛敏	赵 帅	张 东
	韩慎朝	咎晶晶	王第成	曹 旌	李振斌
	白翠芬	张 晨	柴玉凤	徐 晖	张源超
	杨 毅				

能源是经济社会发展的基石。当前，全球能源开发消费面临着供应短缺、环境制约、区域不平衡等严峻挑战。全球化石能源储量有限，具有不可再生性，剩余资源也仅够全球人类使用几十年，无法满足人类社会快速发展的需求；同时化石能源大规模开发利用对水质、土壤和大气等自然生态环境造成的污染与破坏，也在威胁着人类的生存环境。为此，在 2015 年 9 月的联合国发展峰会上，中国国家主席习近平发出了“探讨构建全球能源互联网，推动以清洁和绿色方式满足全球电力需求”的倡议，并在 2017 年 5 月的“一带一路”国际合作高峰论坛上进一步指出“要抓住新一轮能源结构调整和能源技术变革趋势，建设全球能源互联网，实现绿色低碳发展”。与此同时，中国的城市化进程不断加快，早在 2011 年 12 月，中国社会蓝皮书已公布中国城镇人口占总人口的比重超过 50%，标志着我国已进入工业化和城市化发展的重要时期，不仅能源需求具有刚性增长特征，治理由能源消费所造成的生态环境污染问题也摆在了城市发展的首要位置。因此，城市区域的能源供应与消费方式应探索一条创新之路。

在能源分布极度不均衡的现实条件下，城市区域往往处于能源供应消费链的末端，需要接纳大量的外来能源供应，全球能源互联网即为城市能源清洁、可靠供应的重要保障和必由之路。为了全球能源互联网在城市区域内的实施与发展，加快构建由特高压外部通道、综合能源网络、分布式能源等构成的城市能源互联网势在必行。城市能源互联网集成了最为关键的新能源技术、电网技术、信息技术、网络技术，不仅服务于大电网，而且服务于其他能源供应商和能源终端用户，可以解决精确供能、能源需求侧管理、电网自由接入、多能源互动以及分散储能等问题，保障大规模外来电力和风能、太阳能等清洁能源落得下、用得好，最终实现城市的可持续发展。

国网天津市电力公司自 2015 年以来，深入研究了城市各类能源供应、消费的安全性、经济性、便利性等因素，于 2016 年率先发布了《城市能源互联网发展白皮书（2016）》，建立了城市能源互联网的基本理念、组成架构和关键技术体系。在其指导下，国网天津经研院组建城市能源互联网发展研究实验室，开展关键技术理论及商业运营模式研究，国网天津节能公司承担多项综合能源及电能替代项目研究及实施，国网天津城西、城东等电力公司，注重工程落地实践，开发综合能源运行控制平台和综合服务平台。经过一年多的研究实践，城市能源互联网理念和内涵不断得到深化和发展，本书则是在以上工作的基础上，对现阶段城市能源互联网发展与实践进行了完整诠释。

全书共分为八章，第一章介绍城市能源发展现状与挑战，第二章阐述城市能源发展趋势，第三章提出城市能源发展理念，第四章论述

构建城市能源互联网体系架构及关键技术，第五章探讨城市能源互联网商业运营模式创新，第六章分析城市能源互联网实践路径，第七章介绍国内外城市能源互联网的典型实践，第八章对城市能源互联网进行总结与展望。

本书在编写过程中得到了许多同仁的支持和帮助，对本书所引用的公开发表的国内外有关研究成果的作者、设计单位、施工企业、监理企业等，在此表示衷心的感谢。

由于编者人员水平有限，书中难免存在疏漏与不足之处，恳请读者批评指正。

编 者

2017年7月

前言

第一章 城市能源发展现状与挑战	1
第一节 城市能源发展现状	2
一、城镇化进程加快	2
二、化石能源	6
三、可再生能源	14
四、电能	23
第二节 城市能源发展面临的挑战	27
一、城市能源需求巨大	27
二、城市能源资源匮乏	30
三、城市能源污染严重	33
四、城市能源协调不足	35
本章小结	37
第二章 城市能源发展趋势	38
第一节 能源供给发展趋势	39
一、供应结构日趋清洁化	39

二、供给方式日趋多元化	42
第二节 能源消费发展趋势	45
一、消费格局日趋低碳化	46
二、能源利用日趋高效化	49
本章小结	51
第三章 城市能源发展理念	52
第一节 综合能源发展思路	53
一、互联互通	53
二、综合利用	55
三、优化共享	56
第二节 城市能源互联网的基本理念	57
一、基本内涵	57
二、发展定位	61
三、思路及目标	62
本章小结	64
第四章 城市能源互联网体系架构及关键技术	65
第一节 体系架构	66
一、物理层	67
二、信息层	76
三、服务层	82
第二节 关键技术支撑体系	87
一、新能源分散式开发利用	88

二、城市基础能源系统优化	94
三、电动汽车智能充换电服务网络	100
四、智能配电网	106
五、高性能能源通信网	112
六、用户需求响应	118
七、综合能源大数据服务	124

本章小结	131
-------------------	------------

第五章 城市能源互联网商业运营模式创新	133
----------------------------------	------------

第一节 价值网模型	134
------------------------	------------

一、价值网模型的基础理论、发展及应用	134
二、利用价值网理论研究城市能源互联网的必要性	139
三、城市能源互联网价值分解	140
四、城市能源互联网价值构建	143

第二节 合作机制	149
-----------------------	------------

一、组织机制	149
二、市场机制	156
三、运行机制	165

第三节 商业运营模式创新	173
---------------------------	------------

一、能源互联网的商业运营发展趋势	173
二、需求侧商业运营模式	177
三、供给侧商业运营模式	191
四、综合服务平台	195

本章小结	202
第六章 城市能源互联网实践路径	203
第一节 政策引导	204
一、推进能源革命，加速市场开放	204
二、强化统一规划	207
三、加大财政资金和投融资支持	209
四、提高产业培育力度	213
第二节 实践路径	216
一、提高能源网络化水平	219
二、提高电网智能化水平	222
三、加快清洁能源开发利用	228
四、实施电能替代	233
五、推动商业模式创新	240
六、加快关键技术研发与应用	244
本章小结	251
第七章 城市能源互联网典型实践	252
第一节 国外能源互联互通发展实践	253
一、新加坡“滨海湾”计划	253
二、美国“FREEDM”计划	257
三、德国“E-Energy”计划	263
第二节 我国城市能源互联网发展实践	269
一、电网智能化项目	271

二、风光储输项目	279
三、能源网络化项目	284
四、商业模式创新项目	288
本章小结	293

第八章 城市能源互联网推动社会进步 294

第一节 推动能源产业变革 295

一、突破资源制约，提高可再生能源占比	295
二、突破环境制约，推动能源利用清洁化	296
三、突破供能制约，促进分布式能源消纳	298

第二节 引领能源技术进步 300

一、推动多种能源合作，提升相关产业协调发展	300
二、促进用能技术进步，提高综合能源利用效率	301

第三节 打造生态文明城市 303

一、推动环境和谐，促生态文明建设	303
二、改善环境质量，践行可持续发展	305

本章小结 306

参考文献 307

第一章

城市能源发展现状与挑战

能源资源是人类社会赖以生存和发展不可或缺的物质资源，是关系一个国家经济命脉的重要战略物资和社会经济发展的基础，在经济建设中具有举足轻重的地位。城市是一个国家的缩影，城市作为区域发展的中心，能带动区域经济发展，而区域经济水平的提高又可促进城市的发展；城市的发展会促使人类生产、生活方式、聚落形态及价值观等发生变化。随着我国城镇化水平的不断提高，有大规模的城镇基础设施需要建设，人们生活的需求也在不断提高，我国城镇化进程中会不可避免地面临着能源稀缺、环境污染等诸多挑战。



第一节 城市能源发展现状

一 城镇化进程加快

城镇化，从广义上讲是指居住在市、镇地区的人口占总人口比例的增长过程；是由于社会生产力的发展而引起市、镇数量增加及其规模扩大的过程；是人口向市、镇集中，市、镇物质文明和精神文明不断扩散，区域产业结构不断转换的过程。但是，城镇化不只是简单的农业人口转化为非农业人口，并向城镇集中和聚集的过程，而是城镇在空间数量上的增多，区域规模上的扩大，职能和设施上的完善，以及城镇的经济关系、居民的生活方式、人类的社会文明广泛地向农村渗透的过程。

（一）城镇化对我国经济社会的发展具有重要意义

推进城镇化的过程，就是不断推动社会经济和社会文明发展的过程。提高城镇化水平，可以改善城乡经济结构，拓展经济发展空间，有力地促进国民经济良性循环和社会协调发展。

1. 城镇化是现代化的必由之路

自工业革命以来，人类社会的经济发展史表明，国家要成功实现现代化，在发展工业的同时，必须注重城镇化发展。城镇化与工业化、农业现代化、信息化同步发展，是我国现代化建设的核心内容。工业化处于主导地位，是发展的动力；农业现代化是重要基础，是发展的根基；信息化具有后发优势，为发展注入新的活力；城镇化是载体和平台，承载着工业化和信息化的发展空间，带动着农业现代化加快发展。在现代化建设的过程



中,城镇化发挥着不可替代的融合作用。

2. 城镇化是促进社会全面进步的必然要求

城镇化作为人类文明进步的产物,既能提高生产效率,又能富裕人民、造福人民,全面提升人民生活质量。随着我国城镇经济的繁荣发展,城镇功能的完善,城镇公共服务水平和生态环境质量的提升,人们的物质生活会更加殷实充裕,精神生活会更加丰富多彩;随着我国城乡二元结构体制^①逐步破除,城市内部二元结构矛盾逐步化解,全体人民将共享现代文明成果。城镇化既有利于维护社会公平正义、消除社会风险隐患,也有利于促进人类的全面发展和社会的和谐进步。

推进我国城镇化进程是解决农业、农村、农民问题的重要途径,是推动区域协调发展的有力支撑,是扩大内需和促进产业升级的重要抓手,对全面建成小康社会、加快推进社会主义现代化建设具有重大的现实意义和深远的历史意义。

(二) 中国城镇化发展现状

新中国成立以来,社会主义制度下的城镇化经历了起步发展、波动发展、停滞发展、高速发展四个阶段,到现在城镇化处于平稳发展,中国2016年的城镇化率达到57.35%,而新中国刚成立时的城镇化率仅为10.64%。城镇化是区域和社会发展的结果,其发展水平在一定程度上反映了一个国家或地区整体经济和社会的发展程度。

国家统计局于2017年1月20日公布我国2016年多项宏观经济数据。数据显示,从城乡结构看,城镇常住人口79298万人,比上年末增加2182万人;乡村常住人口58973万人,比上年末减少1373万人;2016年地级及

^① 城乡二元结构体制是我国经济和社会发展中存在的一个严重障碍,主要表现为城乡之间的户籍壁垒,两种不同资源配置制度,以及在城乡户籍壁垒基础上的其他问题。



以上城市有 297 个,比上年末增加 2 个。1949~2016 年我国城镇化率的变化见表 1-1。

表 1-1 1949~2016 年中国城镇化率的变化

年份	1949	1954	1959	1964	1969	1974	1979	1984	1989
城镇化率 (%)	10.64	13.69	18.41	18.37	17.5	17.16	19.99	23.01	26.21
年份	1994	1999	2004	2009	2012	2013	2014	2015	2016
城镇化率 (%)	28.62	30.89	41.76	46.99	52.57	53.73	54.77	56.1	57.35

(三) 当前我国城镇化布局

在过去的 60 年里,经过新中国成立初期的新疆屯垦戍边、东北黑土地开发和“大三线”建设到“上山下乡”,再到改革开放的“孔雀东南飞”,我国的经济格局版图有很大调整。随着经济格局的变化,人口的空间聚集度进一步提升。按照国务院关于城市人口规模而划分的新标准,2014 年年底中国 50 万人口规模以上的中等城市超过 180 座,这是由于胡焕庸线^①以西地区有不少是新建的工矿型城市,人口聚集度相对提高。

我国目前基本形成了以陆桥通道(东起连云港,西至阿拉山口的运输大通道)、沿长江通道(从上海向西到安徽、湖北再到重庆、成都)为两条横轴,以沿海、京哈—京广(北京到哈尔滨和北京到广州铁路通道)、包昆(包头到昆明铁路通道)通道为三条纵轴,以轴线上若干城市群为依托、其他城市化地区和城市为重要组成部分的城市化战略格局。推进环渤海、长江三角洲、珠江三角洲地区的优化开发,形成 3 个特大城市群;推进哈长、

^① 胡焕庸线:中国地理学家胡焕庸在 1935 年提出的划分我国人口密度的对比线。这条线从黑龙江省黑河市到云南省腾冲,大致为 45° 直线。这条线在某种程度上也成为目前城镇化水平的分割线。这条线的东南各省区市,绝大多数城镇化水平高于全国平均水平;而这条线的西北各省区,绝大多数低于全国平均水平。



江淮、海峡西岸、中原、长江中游、北部湾、成渝、关中—天水等地区的重点开发，形成若干新的大城市群和区域性的城市群。

我国城市分为一、二、三线城市，城镇化率最高的是北上广深（即北京市、上海市、广州市、深圳市）四个特级城市，江浙沪（江苏省、浙江省、上海市的合称）是中国最富庶地区。一线城市基本集中在从北京到深圳的沿海城市；二线城市基本集中在一线城市往西的地区；三线城市在二线城市往西，其中分布在胡焕庸线以东的城镇数量约为 89.50%。

（四）当前我国城镇化发展对能源的影响

1. 城镇化率增加导致能源消费的增加

能源问题是影响我国经济社会发展的全局性、战略性问题。城镇化消耗大量能源，2016 年我国能源消费的 69.3% 被城市所消耗。2030 年我国的城镇化率将有望达到 65%，大约再有 3 亿人（占全球城市新增人口的 20%）进入城市。我国城市人均能源消费约为农村的 3 倍，城镇化率每增加 1%，相应需要新增 6000 万吨标准煤的能源消费。

2. 城镇开发速度超过人口城镇化的速度，造成资源浪费严重

城镇化的核心是人口的城镇化，然而我国城镇建设用地的增长速度已经远远超过了城镇人口的增长速度，前者约为后者的 1.5 倍，同时出现了城镇用地粗放、资源错配、资源开发时序混乱、资源浪费的现象。

3. 城市环境污染日益突出、生态服务功能日趋弱化

城镇基础设施供应与资源、环境等无法适应和匹配，导致大部分饮用水源受到污染。“垃圾围城”现象突出，无害化处理率很低。虽然各级政府在给排水、环保等城市基础设施方面的投资逐年增加，但资源和环境供应保障的缺口并没有相应地缩小。生态脆弱区域对都市区和产业人口密集区域发展所造成的影响越来越突出。产业和城市集聚区域的发展需要依靠更大范围内的生态服务功能的支撑。因此，城镇化的发展规模受到生态和环境承载力的制约。