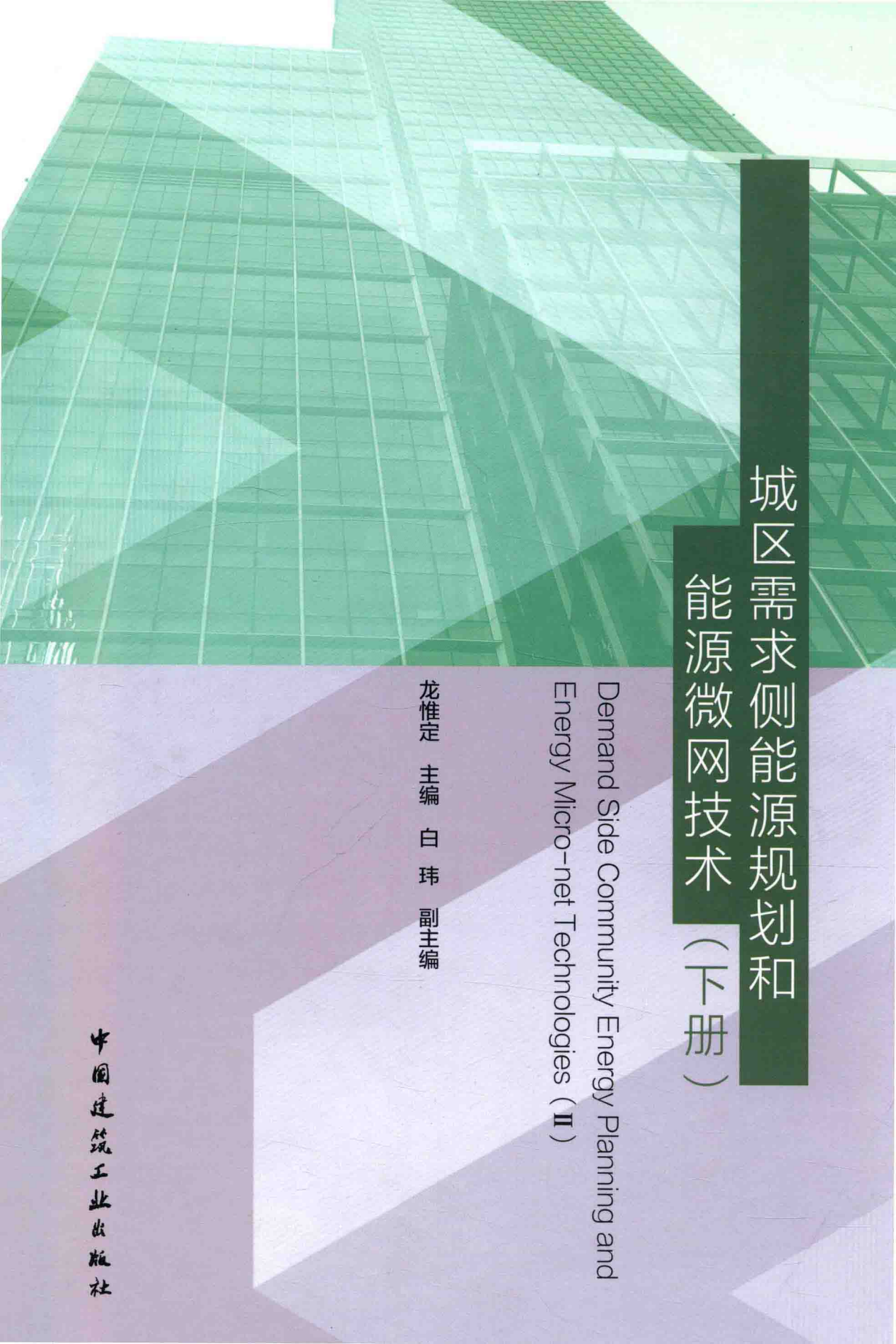




城区需求侧能源规划和 能源微网技术 (下册)

Demand Side Community Energy Planning and
Energy Micro-net Technologies (II)

龙惟定 主编 白玮 副主编

中国建筑工业出版社

城区需求侧 能源规划和能源微网技术 (下册)

Demand Side Community Energy Planning and Energy Micro-net Technologies (II)

龙惟定 主 编
白 玮 副主编

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

城区需求侧能源规划和能源微网技术 (下册)/龙惟定主编.
北京: 中国建筑工业出版社, 2016. 11
ISBN 978-7-112-19752-1

I. ①城… II. ①龙… III. ①城市规划-能源规划-研究-中国
IV. ①F426. 22

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 210806 号

本书针对实际工程中的问题, 提出需求侧能源规划的概念及其方法论 (即目标设定、资源分析、需求预测、规划协调、系统优化、影响评价六步法), 提出基于可再生能源的能源微网构建方法。书中关于城区产业结构绿色评价的方法、目标设定的 KPI 指数、负荷预测方法、建筑节能作为能源供应的资源、热电联产+热泵的系统配置、集成未利用能源的能源总线等内容, 都具有创新性, 并已经在国内一些城区能源规划和能源系统的工程实践中得到应用。本册主要包括分布式能源与城区能源微网技术。本册中还附有国内外能源规划和能源系统的实例。

本书可供新建和改造城区的决策者、管理者、投资人、规划师、能源规划专业人员、项目经理、能源供应商、运行管理人员以及高校相关专业的教师和学生等参考。

* * *

责任编辑: 张文胜 姚荣华

责任设计: 李志立

责任校对: 王宇枢 刘 钰

城区需求侧能源规划和能源微网技术 (下册)

Demand Side Community Energy Planning and Energy Micro-net Technologies (II)

龙惟定 主 编

白 玮 副主编

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

北京科地亚盟排版公司制版

北京圣夫亚美印刷有限公司印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 17¼ 字数: 429 千字

2016 年 10 月第一版 2016 年 10 月第一次印刷

定价: 52.00 元

ISBN 978-7-112-19752-1
(29288)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

本书编委会

主 编：龙惟定

副主编：白 玮

编 委（以姓氏拼音排序）：

樊 瑛 冯小平 黄子硕 蒋 骞 梁 浩

刘魁星 刘志渊 马宏权 马素贞 潘毅群

寿青云 于 航 苑 翔 张蓓红 张改景

赵英汝 周 辉

序 一

本书是龙惟定教授近年来和他的同仁团队所关注的能源互联网技术的研究课题。能有那么多的专家学者致力于这一课题研究，是值得欣慰的。

进入 21 世纪以来，新的科技革命和产业革命的车轮开始加速前进，从低碳经济理论，到第三次工业革命理论，再到德国人提出的工业革命 4.0 理论，直至 2015 年李克强总理在政府工作报告中提出“互联网+”。能源互联网被预言可能是 21 世纪推动我国能源革命最重要技术之一。分布式在终端用户侧的智能微网是能源互联网的基本结构，通过智能电网将这些微网有机连接、集中调配。在能源互联网中，智能微网与大电网形成互补关系，减少可再生能源的不稳定性对大电网的冲击，是能源生产实现供需平衡、最优化配置不可或缺的部分。

在城区尺度上的需求侧能源规划，强调不仅仅从供应的角度、从传统能源生产、转化与供给角度满足增长的能源需求，还充分考虑与当地资源特点相结合的可再生能源、分布式供能、集中利用未利用能源的总能系统，这是一个寻求节能、环保、经济最优，追求经济发展与资源平衡的方案，大有开发实践的前景。

本书提供了丰富的理论和详实的案例，是国内迄今为止全面阐释城区需求侧能源规划的思路、方法以及智能微网构建的第一部著作，对于我们成功迈进能源互联网时代具有相当的启迪和引领作用。希望本书的出版能给我们在建筑节能以至能源革命事业上带来新的变化！



2016 年 6 月于上海

序 二

龙惟定教授是我大学时代的老同学。20 世纪 60 年代中期，我们同在清华大学土木建筑系学习，我学的是建筑学专业，他学的是暖通空调专业，但住在同一栋楼，因此也相当熟悉。我后来主要从事建筑技术科学的研究与教学，与他更有许多交集。2012 年，我主持中国科学院咨询项目“推行绿色建筑，促进节能减排，改善人居环境”，龙教授也是咨询课题组骨干成员之一。我们的报告上报国务院后，得到当时国务院几位高层领导的高度重视，并作出重要批示。2013 年，国家发展和改革委员会与住房和城乡建设部出台“绿色建筑行动方案”前，国家发展和改革委员会有关负责人还专门征求了我们课题组的意见。我与龙教授就曾出席与国家发展和改革委员会的座谈会。此后，我们又数次在有关绿色建筑与生态城市的论坛上，作为特邀嘉宾共同出席。因此，我对他的研究工作，还是比较了解的。光阴荏苒，转眼间我们已从青葱少年走近古稀之年。龙惟定教授已经退休，本可安享晚年，但他仍在孜孜以求，不断开拓新的研究领域。获悉他与其同事和学生共同完成的新作《城区需求侧能源规划和能源微网技术》即将付梓出版，感到非常高兴。我们这一代人，历经动荡和坎坷，但仍然不忘肩负的责任，追求梦想的实现，诚属难能可贵也。

中国正处在城镇化的关键时期，面临人口、资源和环境的多重压力，其中能源是最重要的资源。能源是维系人类活动之动力，是保持城乡活力的源泉，是我们须臾不可或缺、弥足珍贵之物。但人类目前正面临化石能源日益匮乏且过度依赖不可再生能源会带来环境恶化后果的危机。因此，人类不得不日益倚重太阳能、风能、地热能等可再生或洁净能源，而这些能源都属于分布式能源，必须分布式地来加以利用。另一方面，建筑的运行能耗比高达 25%，是耗能大户，而建筑物又是分布式的，因此，推行绿色建筑与生态城市，利用建筑物作为分布式能源利用之载体和产生能源的工作站，无疑是人类解决能源与环境危机的根本出路之所在。绿色建筑、储能技术、能源微网与相关能源规划相结合，是大有前途的事业。过去的城市规划，往往不够重视能源规划，或者是建筑规划与能源规划形成“两张皮”。目前强调多规合一，理应将能源规划作为城市规划的一项重要专业规划予以高度重视。过去的城市开发中，即使将电力、燃气和热力供应规划作为城市规划的组成部分，但终端建筑通过提高能效、改善用能方式、利用可再生能源和利用被动式技术等所节约的能源，却没有进入规划范畴。这必然造成城市用能不合理、甚至能源浪费的后果。本书提出的需求侧能源规划的方法是解决这一问题的很好的尝试。

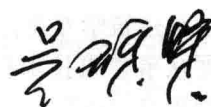
本书的另一个主题是能源微网技术。在第三次工业革命的大背景下，未来的城市能源系统，需要产能、供能、用能、蓄能和节能的相互协调，通过能源互联网，融合电力网、热力网和信息网，把分散的用能和分布式的产能互相连通、实现资源共享。本书提出的能源微网技术，将有望改变城市中传统的大集中、大一统、大规模的供能用能模式

和单向管理架构，为最大限度地利用可再生能源，降低城市、区域与建筑能耗提供新思路。

相信本书的出版对城市管理者、规划师、建筑师和能源工程师都极具参考价值，对我国的城镇化和建筑节能事业将会起到有力的推动作用。

中国科学院院士

华南理工大学亚热带建筑科学国家重点实验室教授



前言

读者在拿到这本书时可能会产生一个疑问：不是都在说“供给侧改革”吗？为什么会出这么一本“需求侧”能源规划的书？

首先要介绍一下写这本书的初衷。近年来随着城镇化进程的加速，笔者接触到许多城市和城区开发中的能源规划项目，发现多数的能源规划思路是秉承供应侧规划的可靠性原则，即能源供应必须保证最大负荷和极端条件下的用能。这一指导思想，在以大型制造企业为供能对象的工业化时代，因为负荷稳定，所以没有什么问题。但在我国新型城镇化的新常态下，供能对象已经变为服务业、轻制造业、先进制造业和居民生活，都是以建筑为依托，因此，城区供能对象主要是建筑的冷热电的需求。建筑用能负荷呈现出不稳定的特点，不仅是时间上的不稳定，而且是空间分布上的不稳定，从而带来城区能源系统一系列的问题：

第一，因为能源系统是政府投资，因此，以“安全可靠”的名义尽量扩大产能、争取更多预算，就成了城区建设各利益相关方的共同目的，也为项目决策和审批部门提供了权力寻租的空间。

第二，为了达到争取更大政府投资的目的，在技术上就得算“大”负荷、做“大”系统、选“大”设备、建“大”能源站，有的能源站在设计中就考虑一部分站房面积作为房产出租的需要，而且把所有基础设施，包括站房、管沟等全部计入成本（这些其实已经在土地出让的配套费中涵盖了），加之我国新建园区由于产业定位和规划导向的失误，迟迟形不成规模，导致这些“大”系统长期在极低负荷下运行，长期亏损，没有回报，要靠国家“输血”补贴，成为投资“黑洞”。

第三，我国能源业长期在垄断机制下运转，形成庞大的利益集团。任何新技术，只要触动利益，就很难行得通。分布式能源的电力上网难、利用地表水的热泵项目审批难、可再生能源弃风弃光严重而煤电优先等现象，使得区域能源系统中新技术推广举步维艰，也严重挫伤投资者的积极性。

第四，新建建筑中越来越多地采取高于国家标准的节能措施，但到了园区层面的能源规划中，负荷预测却沿用指标法。这种数十年不变的冷热负荷指标，将终端节能的努力顷刻化为乌有，用户的节能并不能转化为能源系统的节能。甚至出现用户端越节能，区域能源系统越不节能的悖论。

第五，能源市场机制的不健全导致投资商、供应商为扩大自己的利润空间，而选择仅以新能源技术（如热电联产技术）为点缀。例如，只用极小比例的热电联产，大部分负荷由燃气直燃机和燃气锅炉承担，致使综合能源效率远低于电动空调能效；再如，以“以热定电”的名义，尽量放大热需求，从而增加发电量，以分布式能源的名义建小发电厂。

第六，行政公权力介入区域能源供应商与用户之间的市场关系，“保证用户接入”成为园区行政部门与供应商合资经营的重要承诺，并计入园区行政部门的出资份额；以前，

园区行政部门会用“红头文件”的形式强制用户接受供冷供热价格和收费方式，现在，遇到供能收费纠纷，既当裁判员又当运动员的园区行政部门则采取回避和不作为。

总体而言，由于系统规划沿用了供应侧规划的思路、系统配置沿用了单体建筑空调设计的方法，国内建成的城区能源系统在用能合理性和运行经济性方面只能找到个别成功案例。造成这些问题，除了体制机制上的原因之外，主要是供应侧能源规划的思路完全不能适应当前城镇开发和节能减排的形势。

所谓“供应侧”能源规划，有如下特点：

(1) 我国现有的城市规划体系中供应侧能源规划主要是城市供电、供热和供气规划，各自孤立地考虑需求，造成负荷的重复计算。当前国内出现的产能过剩、发电运行小时数达历史最低、大规模弃风弃光的现象，正源于规划高估需求、产能不适应需求变化。

(2) 基于可靠性原则的供应侧能源规划高估负荷。在城区开发之初，入住率低、负荷小，供大于求，能源供应商的利益得不到保证。为了利益最大化，供应商就采用各种措施鼓励能源消费。而到了城区比较成熟，入住率比较高，原来规划的供应量满足不了需求时，能源供应商则采取扩容和扩建的措施，扩大供给、满足需求。扩建后，又开始新一轮鼓励消费、扩大需求的循环。这样周而复始，造成资源的浪费和用能的不合理，形成“消费—供应—扩大消费—扩大供应”的恶性循环。

(3) 重能源生产、轻能源管理。能源的生产/转换/消费三大环节以及能源消费的产业/交通/建筑三大耗能领域的横向之间缺乏内在联系，纵向上也缺乏全过程的系统性指导。能源和城市的各行业主管部门之间缺乏联动，更缺乏城市节能的顶层设计。

(4) 在需求侧，建筑节能、可再生能源和未利用能源的利用是分散的或者是用户的个体行为，而且不为供应侧接受和认可，更没有作为资源进入能源规划。因此，在高密度城市中，可再生能源利用只能局限在路灯、部分卫生热水供应等很窄的范围内，无法发挥规模效应，成了形象“点缀”或“景观”工程；而建筑节能的成果完全被淹没在供应侧的粗放化负荷和需求预测之中。

需求侧能源规划，则是遵循“综合资源规划”(Integrated Resources Planning, IRP)原则，将需求侧的节能视为供应侧的资源，在能源领域，就是将节能视为煤、石油、天然气、核能和可再生能源之外的第六大能源。而需求侧能源规划的原则，正顺应了供给侧结构性改革的要求。即从提高城区能源供应的质量出发，推进能源结构调整，矫正要素配置扭曲，扩大有效供给，提高能源供给结构对需求变化的适应性和灵活性，提高综合能源效率，更好地满足生产和消费的需要，促进经济社会持续健康发展。

笔者在2011年出版的《低碳城市的区域建筑能源规划》(中国建筑工业出版社)一书中已经提出了需求侧能源规划的思想，当时更多地局限于概念的阐述和理论的分析。经过5年多的研究和实践，使需求侧能源规划的体系更加完善，技术路线更加清晰。需求侧能源规划的方法论可以归纳成所谓“六步法”，即：目标设定、资源分析、需求预测、规划协调、系统优化、影响评价。作者团队对这六个方面都有比较深入的研究，并在一些工程实践中得到应用，取得了很好的效果。在国家提出供给侧改革的背景下，我们觉得有必要将需求侧能源规划的思想和方法提供给业界一同分享，因此，萌生了编写本书的愿望，在中国建筑工业出版社的支持下，经过一年多的努力，终于将本书呈现给大家。希望需求侧能源规划的理念和方法在实践中得到进一步的完善和提高。

这里，可以举出国际上的两个典型案例，来说明供应侧能源规划与需求侧能源规划之间的差别：

2014 年俄罗斯索契冬奥会是典型的供应侧能源规划。2009 年时，索契市的电力负荷为 424MW，而预计冬奥会能源需求将新增 360MW，于是在 2012 年建成一个天然气联合循环热电联产的阿德勒斯卡亚热电厂（370MW），机组效率达到 52%，供热能力为 227Gcal/h，同时扩容电力网络 2.5 倍。热电厂通过 2km 长、公称直径为 700mm 的供热管网向竞技场、奥林匹克公园以及周边住宅区供热^①。但是，冬奥结束之后，这一能源系统出现了产能过剩，运行时间不足等问题。所以，俄罗斯政府不断地在索契举办各种国际性赛事和大型活动，力图提高场馆利用率、释放能源系统产能。

而 2012 年英国伦敦夏季奥运会则具备需求侧能源规划的特点。组织方首先订立了以 2006 年英国建筑规范为基准线，到 2013 年要实现减少 CO₂ 排放 50% 的目标（最后实现 47%）。根据这个目标提出 3 项措施：①要求所有场馆在 2006 年标准的基础上再节能 15%；②整个奥林匹克园区通过提高热电冷联供系统的能量转换和输配效率，至少减少 20% 的 CO₂ 排放；③整个奥林匹克园区安装现场可再生能源发电系统，至少相当于 20% 的 CO₂ 排放（最后未能完全实现）。为此，相关部门编写了设计导则，将上述目标列入招标书和设计任务书，组织多次相关方的研讨会和报告会。并要求设计单位完成任务后，按照导则规定的统一的模型和计算方法交出项目的碳减排报告。在终端节能的基础上再来规划奥运园区能源系统，设置 2 个能源中心，共 3 台 3.3MW 的燃气发动机，热电冷联供。场馆设计充分考虑设施的可持续应用。主体育场采用可拆卸的装配式钢结构，在关闭幕式时可容纳 8 万人，奥运会后经简单改造成为伦敦一家英超俱乐部的主场，可容纳 3 万观众。能源中心由政府授予 40 年特许经营权，交由民营公司投资、建设、运营、管理^②。

上述两个案例的区别十分明显，供应侧能源规划是从顶到底的模式，能耗做加法；需求侧规划是从底到顶的模式，将终端节能作为替代资源，从而实现能耗的少增加即增量节能。但伦敦和索契也有共同点，即能源系统均采用大集中的供能方式。如阿德勒斯卡亚热电厂的供水温度 115℃，设计管道压降 1.6MPa，牺牲了压力也牺牲了能源品位；伦敦的区域能源管网总长 40km，在供冷时会有较大损失。可见，以建筑供冷供热为目的的需求侧能源规划，还需要能源系统的优化。

由此引出本书的第二个主题，即能源微网技术。

对以供冷供热为目的的城区能源系统究竟是不是节能，一直是国内有争议的问题。赞成者认为区域供冷供热可以体现规模效益，能源中心可以采用能效很高的大型设备，特别是可以节省人力资源、减少用地、变分散排放为集中排放，从而改善环境、减缓热岛效应；反对者则认为，由于城区建筑负荷的波动性和不稳定性，区域供冷供热系统的系统效率不可能在高效率点运行，大型设备的高效率也完全不能被体现出来。而常规区域供冷供热系统相当于将一台就近安装的分体空调室外机，生生安装到数百米甚至数公里之外。分布式能源热电联产作为冷热源用，综合一次能效率 70%，供暖比不上燃气锅炉（90%），

① International District Energy Association, District energy heats up Winter Olympics in Sochi Olympic Park. <http://www.districtenergy.org/>.

② Dan Epstein etc., The Olympic Park Energy Strategy, Olympic Delivery Authority, Oct. 2011. <http://london2012.com/learninglegacy>.

供冷更比不上电力驱动的制冷机。两种看法都有一定道理，但也都有片面性。要使城区能源系统扬长避短，发挥优势，补足短板，必须要有创新的思维。本书依据“互联网+”的思想，提出城区能源微网的整体解决方案。

城区能源微网有核心层、框架层和管理层三个层次，是集成了可再生能源和清洁能源的现场发电系统、分布式热泵、能源总线、蓄冷蓄热、网络技术、物联网和云计算技术的综合性能源系统，可以使能源效率和经济效益均达到最佳。能源微网的技术优势和发展潜力已逐渐为业内所接受，并已经在好几个开发项目中得到应用。

本书在负荷预测、负荷平准化、与城市设计的关联、燃料电池应用、产业的绿色指数、热电联产+热泵的系统构成、能源总线、城市更新中的能源系统以及城区能源微网的构建等方面，都提出了一些创新性的技术方案。

本书集结了近 20 位专家学者的智慧，可以说是知识传播的一次“众筹”。各章的主要作者是：

(上册)

- 第 1 章 龙惟定，马素贞
- 第 2 章 龙惟定
- 第 3 章 龙惟定
- 第 4 章 张蓓红，周辉，潘毅群
- 第 5 章 梁浩
- 第 6 章 张改景，潘毅群，张蓓红
- 第 7 章 潘毅群，苑翔
- 第 8 章 潘毅群
- 第 9 章 龙惟定，马宏权，白玮，赵英汝，刘魁星
- 第 10 章 樊瑛，张改景，蒋骞，刘魁星，梁浩
- 第 11 章 于航，黄子硕

(下册)

- 第 12 章 龙惟定
- 第 13 章 赵英汝，龙惟定
- 第 14 章 龙惟定，马宏权
- 第 15 章 白玮，刘魁星，龙惟定
- 第 16 章 于航，刘志渊
- 第 17 章 白玮，马宏权
- 第 18 章 马宏权，冯小平
- 第 19 章 张改景
- 第 20 章 白玮，蒋骞，于航
- 第 21 章 刘魁星，寿青云

本书由白玮、龙惟定统稿。

这一作者团队，很庞大，也有很强的实力，其中有的已经是国内外知名的专家。但实事求是地说，正因为作者队伍人数众多，使本书的完整性、系统性会打一点折扣。而工程经验的积累是一件好事，但也会带来一些片面性。书中多处出现内容重复、转换参数不一

致、名词术语不统一、变量符号不一样等问题。但为了保持某一主题论述的体系，我们没有大动干戈地做调整。回过头来审视本书，还是充满遗憾。因此，我们特别希望能听到读者对本书的意见，能够使本书进一步得到充实和提高。需求侧能源规划的方法论还需要在实践中不断完善，能源微网系统更需要在工程项目的应用中发挥其效能，即使在国际上目前也并未见到需求侧能源规划的文献，国外对能源微网的研究也刚起步，与我们处于同一起跑线。特别是，国外没有像中国这样的开发规模和实践机会。因此，本书试图起到抛砖引玉的作用，希望有更多的第一线的决策者、管理者、投资人、规划师、能源工程师、项目经理、能源供应商、运行管理人员以及高校相关专业的教师和学生加入到研究和实践的行列中来，使体现中国特色的需求侧能源规划和能源微网技术能在中国城镇化进程中发挥更大的作用，并能推广到国际上去。

本书分上、下两册。上册主要是需求侧能源规划的理论、方法、步骤和应用；下册主要是能源微网技术的理论、方法、分析和技术方案。并对能源微网的经济技术特点进行了分析。另外，还给出国内外的能源规划和能源系统的典型案例。上、下册要结合起来阅读。

本书得到全球环境基金（GEF）和世界银行（World Bank）的“基于需求侧节能的综合能源规划实施路径研究”技术援助项目（由住房和城乡建设部主持），以及住房和城乡建设部科技计划项目“基于分布式能源和可再生能源的建筑智慧能源微网发展路径研究”的支持；本书得到法国电力、新奥智能能源、中节能城市节能研究院、江苏紫融能源投资有限公司、江苏特克诺节能技术有限公司、意大利克莱门特集团、美国江森自控、苏州必信空调有限公司、华东建筑设计研究总院、悉地国际设计顾问有限公司、上海誉德集团、美国 SOM 建筑设计咨询有限公司等单位提供技术资料，法国电力（EDF）中国研发中心的专家还为本书（下册）撰写了第 21 章的第 4 节；中国建筑工业出版社的张文胜先生、姚荣华女士为本书的出版付出了大量的辛劳。在此一并表示由衷的感谢。



目 录

上篇 分布式能源与城区能源微网

第 12 章 城区能源系统和分布式能源	3
12.1 分布式能源的发展历程	3
12.2 我国城区为什么要发展分布式能源?	11
本章参考文献	12
第 13 章 绿色生态城区的能源微网	13
13.1 能源互联网概念	13
13.2 绿色生态城区的能源微网结构	15
13.3 基于燃料电池的能源微网	19
13.4 基于可再生能源的电动汽车充电系统	29
本章参考文献	35
第 14 章 能源微网的核心层——现场发电系统	37
14.1 热电联产系统存在问题解析	37
14.2 现场发电系统(包括可再生能源发电)的设备	42
14.3 现场发电系统(包括可再生能源发电)的并网和配电	54
14.4 高效的热电联供+热泵(CHP+HP)系统	63
14.5 热电联供+热泵系统的配置方法	67
本章参考文献	75
第 15 章 能源微网的框架层——热泵能源总线系统	77
15.1 作为智能电网备份的热泵系统	77
15.2 能源总线系统	87
15.3 炆网(Anergy Grid)	98
本章参考文献	103
第 16 章 能源微网的管理层——泛在能源管理系统	104
16.1 能源微网管理系统的构成	104
16.2 能源微网能量管理系统的分层结构	106
16.3 微网管理系统的功能和任务	106
16.4 微网能源管理策略	109
16.5 UGCCNet 简介	111
本章参考文献	116
第 17 章 绿色生态城区分布式能源的经济学问题	117
17.1 投资绿色生态城区的分布式能源能否赢利	117
17.2 城区分布式能源的投融资和运营模式	123

17.3 怎样设计多赢的能源定价和收费机制	131
17.4 政府应该怎样鼓励分布式能源的发展	137
17.5 城区能源经营者应如何平衡发展	140
17.6 普通用户如何考虑自己的利益	147
本章参考文献	149
第 18 章 分布式能源系统的优化运行	151
18.1 燃气轮机的运行特性	151
18.2 燃气内燃机的运行特性	156
18.3 燃气轮机与燃气内燃机对比分析	159
18.4 吸收式冷水机组运行特性	161
18.5 锅炉运行特性	164
18.6 热泵系统运行特性	168
18.7 分布式能源系统管网特性	170
18.8 城区能源系统的运营优化	172
本章参考文献	175
下篇 国际经验和国内案例	
第 19 章 绿色生态城区标准现状调研	179
19.1 国际经验: 美国的 LEED ND	179
19.2 国际经验: 英国的 BREEAM Communities	184
19.3 国际经验: 日本的 CASBEE UD	188
19.4 国际经验: 德国的 DGNB	192
19.5 国际经验: 新加坡的 GREEM MARK-districts	195
19.6 国际经验: 其他评价标准	197
19.7 中国的评价指标	197
19.8 体系对比	202
本章参考文献	205
第 20 章 国际案例	206
20.1 瑞典案例	206
20.2 美国案例: 芝加哥湖畔改造项目能源规划	213
20.3 日本案例	216
本章参考文献	223
第 21 章 国内案例	225
21.1 能源总线技术集成与应用的崇明岛东滩案例	225
21.2 泰州医药城能源微网项目案例	231
21.3 常州紫融分布式能源站案例	238
21.4 从能源需求出发的城市能源规划——上海临港案例	244
21.5 上海崇明陈家镇低碳能源规划	248
附录 1 部分彩色插图	257
附录 2 上册目录	260

上篇 分布式能源与城区能源微网

第 12 章 城区能源系统和分布式能源

12.1 分布式能源的发展历程

12.1.1 什么是城区能源系统？

国际城区能源协会（IDEA）的定义是：城区能源系统是在能源中心生产蒸汽、热水和冷水，通过地下管道输送至单栋建筑，用以供暖、生活热水和空调（狭义理解）。

在维基百科上的定义是：可持续的城区能源系统是从可再生能源或高效的热电联产满足当地城区的能源需求的方法。它可以看作分布式发电概念的发展。系统基于城区供热、城区供冷，加上通过专用电缆相互联网的电力系统（称作“发电岛”），从而避免了大电网的输送损失，提高了稳定性（广义理解）。

前一种定义，侧重于区域供冷供热（District Cooling & Heating, DHC），后一种定义，侧重于热电联供或冷热电三联供（Combined Heating & Power, CHP 或 Combined-Cooling Heating & Power, CCHP）。

联合国环境署（UNEP）以世界上 40 多个城市的成功经验，归纳城区能源系统的优点，见表 12-1。

城区能源系统的优点和相关案例 表 12-1

优点		案例
1	减少化石燃料的使用，可以有 30%~50% 的 CO ₂ 减排量	• 从 20 世纪 90 年代开始，丹麦由于城区供热，全国有 20% 温室气体减排量 • 巴黎将城区能源技术作为其到 2050 年减碳 75% 计划中的核心战略。仅垃圾焚烧热电联产项目每年即可减排 80 万 t • 东京由于用区域供冷供热取代单独供冷和供热，每年减少 44% 的一次能源消耗，减少 50% 的 CO₂ 排放
2	减少室内和室外的污染物排放	• 瑞典哥德堡在 1973~2010 年间将城区供热面积增加 1 倍，使其 CO₂ 排放减少一半，NO_x 和 SO₂ 排放下降更为显著 • 瑞典全国城区供热中燃油比例从 1983 年的 90% 下降到 2014 年的 10%，其碳排放强度也同步下降 • 中国鞍山市通过将分散热网联网，并利用 1GW 的钢铁厂余热，预期每年减少煤炭用量 1200 万 t
3	提高能源效率	• 德国法兰克福对其 12000 幢既有建筑做围护结构改造，从而使城区能源系统的运行成本大大降低，远远超过建筑节能改造的成本 • 荷兰鹿特丹设定建筑能耗限额，从而使城区能源降低的成本超过节能改造的成本 • 芬兰赫尔辛基的热电联产能源站一次能源效率高达 93% • 日本热电联产的高效率使其减少了天然气的进口 • 阿联酋迪拜的城区供冷系统与其他供冷方式相比减少 50% 的电耗 • 印度古吉拉特国际金融城，通过城区供冷系统可以降低 65%~80% 的供冷电力需求