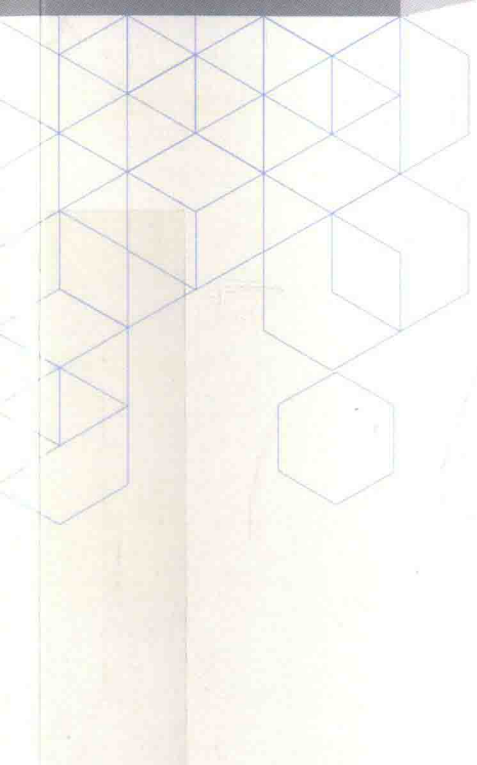




Guideline for Demand Side
Community Energy Planning

城区需求侧能源规划 实施指南

于 航 黄子硕 潘毅群 等著
龙惟定 主审



中国建筑工业出版社

城区需求侧 能源规划实施指南

Guideline for Demand Side Community Energy Planning

于 航 黄子硕 潘毅群 等著
龙惟定 主审

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实施指南/于航, 黄子硕, 潘毅群等著. —北京: 中国建筑工业出版社, 2018. 10
ISBN 978-7-112-22222-3

I. ①城… II. ①于… ②黄… ③潘… III. ①城市规划-能源规划-中国-指南 IV. ①F426. 22-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 101953 号

责任编辑: 张文胜

责任校对: 李美娜

城区需求侧能源规划实施指南

Guideline for Demand Side Community Energy Planning

于 航 黄子硕 潘毅群 等著

龙惟定 主审

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京海淀三里河路 9 号)

各地新华书店、建筑书店经销

北京科地亚盟排版公司制版

北京建筑工业印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 24 $\frac{1}{4}$ 字数: 604 千字

2018 年 8 月第一版 2018 年 8 月第一次印刷

定价: 75.00 元

ISBN 978-7-112-22222-3

(32104)

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)

本书作者

主 编：于 航

副主编：黄子硕 潘毅群

成 员（以姓氏拼音为序）：

陈蔚镇 黄子硕 景 锐 李 渊 李雨桐

林美顺 刘海静 刘俊跃 刘魁星 刘志渊

潘毅群 寿青云 于 航 张改景 张蓓红

赵英汝

序

由于航教授领衔的研究团队，历时两年半，完成了由住房和城乡建设部主持的、世界银行/全球环境基金中国城市建筑节能和可再生能源应用技术援助项目中的“基于需求侧节能的综合能源规划路径实施路径研究”项目。通过对城区能源系统国内外相关研究的总结，结合我国城市建设的实际，提出了可以普遍推行的城区能源规划模式，构建了在该模式下进行城区能源规划的方法论。现在，将研究成果总结成一份指南和八份研究报告汇集成册并付梓，是我国能源规划技术研究领域的一件很有意义的大事。与此同时，我也完成了作为住房和城乡建设部项目办顾问的工作。通过这段时间的研究与实践，提高了我们对需求侧能源规划的认识，也明确了进一步研究的方向。

曾经在几个场合说过“智慧城市的核心是智慧能源”这样的话。最近读了2016年出版的《Smart Energy in the Smart City: urban planning for a sustainable Future》（智慧城市中的智慧能源）一书，从理论上佐证了这个观点。书中指出^①，现代城市系统是一个复杂系统，它有两个熵：一个是由于城市系统自身的运转，及其子系统之间的相互作用，会逐渐从简单趋向复杂、从有序趋向无序，称为“演化熵”（entropy of evolution）。为了保证城市系统运转的持续发展，需要外部提供能量（能源和资源）。所以另一个熵关系到其能量的利用，是城市有序发展之必须，称为“发展熵”（entropy of development）。两个熵有很强的关联。只有用正确的方式使用能源，才能避免能源的浪费，提高能源利用效率，使发展熵最小。而能源系统内部的循环闭合、阶梯利用，才可能使演化熵最小。反之，如果城市不能通过能源的利用使其各个子系统运转有序，反而在系统中出现一系列的能量耗散，系统就会产生一系列的失常，使演化熵增大。

举例来说，城市道路系统上，车辆总是在逐渐增加，如果不重视这些车辆的能源利用效率，只是一味增加能源供应，或者不断增加道路面积，其结果就是污染增加、交通拥堵、城市失序、熵增变大。而如果将能源效率因素放进城市规划的考量：设计更合理的交通路线、鼓励能效更高的公共交通、鼓励效率更高的小排量车型、发展可再生能源充电的电动车、利用智能技术引导提高行车效率等，可以使发展熵增为最小，从而使城市交通更加有序。我们常说：“城市让生活更美好”，也可以加上一句：“智慧能源让城市更美好”。

所以，智慧能源是智慧城市的核心。有了能源的保障，城市才能正常运转，城市的各个子系统才能有序运行。否则，智慧城市的信息和通信（ICT）的基础设施就成了摆设。

那么，什么是城市的智慧能源呢？简单来说，城市智慧能源有三个关键词，首先是“知道”（know），即能源系统能够知道城市内外发生的一切，知道这些活动和事件的能源需求；其次是“响应”（response），能源系统能够迅速满足能源需求；第三是“确定”

^① Rocco P, Romano F. Smart Energy in the Smart City: Urban Planning for a Sustainable Future [M]. Switzerland: Springer International Publishing, 2016.

(determine)，能源系统能够确定用最恰当、最经济和最有效率的方式满足能源需求。怎么来实现这三个关键词呢？就需要有能源规划。

有人会说，能源规划？早就有啊。哪个城市的建设、哪个城区的开发，少得了石油、煤炭、天然气和电力的规划？没错，我们有这些规划。但这些规划与智慧能源的三个关键词相去甚远。它们都是属于从顶到底的规划，基于可靠性的规划原则，从供应侧出发。首先规划要预测（forecasting）可能出现的最大负荷，供应能力要覆盖多项最大负荷的叠加。这种规划理念在工业化时代基本可以满足城市发展的需要。因为传统制造业和重化工业的工艺用能负荷是稳定的，而且很多工艺用能需求是不能中断的，如果不能保证供能的可靠性，甚至可能发生机毁人亡的重大事故。但在信息时代的现代城市中，以先进制造业和现代服务业为主的产业结构是严重依赖建筑环境的，这些产业的能耗中，建筑能耗占据了主要的份额。而城市中居民生活质量的提高，也对建筑和交通用能提出越来越高的需求。建筑环境和交通用能的负荷受诸多因素影响，是不稳定负荷，按照传统规划思路，供应必须满足最大负荷。这使得城市供能系统要么供大于求，造成能力的放空和能源的浪费；要么为了短时间的高峰负荷不断地增加供能能力，造成资本和资源的浪费。加上各能源品种的供应是来源于各大型能源公司，其能源规划是各自为政、考虑各自的利益最大化，实际上是人为的信息孤岛，造成能源负荷的重复计算，用户对能源供应的品种、品质、价格没有选择。所以，这样的能源系统既不“知道”需求，也不可能“确定”最合理的供能方式，它对需求的“响应”就是用增加供能能力的办法。电力系统一直推行需求侧管理政策，试图解决这样的问题，但只对单一电力能源有效，只是“让利”给终端用户。

我国新型城镇化进程中，城市能源出现了许多新的机制：

（1）城区能源系统建设的 PPP 模式：2013 年国务院关于加强城市基础设施建设的意见中明确指出“在保障政府投入的基础上，充分发挥市场机制作用，鼓励社会资金参与城市基础设施建设”。近年来多数新建城区的区域能源系统是由第三方企业或与政府授权企业的合资公司来进行投资。为保证投资收益，不可能再沿用负荷最大化和大马拉小车的技术方案。

（2）能源产品收费的市场化机制：城区的供冷供热和部分低压供电的产品价格是由供应者与用户通过议价决定的，以前为强制用户接入和强制定价发文件背书的做法已经行不通了。经营者就必须靠良好的服务和产品的性价比来赢得用户，能源系统必须有高运行效率。

（3）能源互联网机制：利用可再生能源就地产能、资源共享、多能互补、能源系统去中心化，这些都是能源互联网理念。这些理念要求城区能源系统必然是多能源系统，需要系统集成和优化管理。城区的能源管理成为能源服务，需要更多地利用物联网和大数据等新技术。

（4）能耗和碳排放的总量控制：“十三五”开始，国家实行能源消费和污染排放的总量控制，并且设定了能耗和碳排放的达峰目标。因此，实现城区特定的能耗总量目标、并在城区各个能耗领域和各种能耗场景中进行权衡和协调，就成了规划者的重要任务。

这些新机制，都是过去的供应侧能源规划无法适应的，需要能源规划从供应侧向需求侧转移，需要变“从顶到底”为“从底到顶”，需要从单一能源转向多能源集成，需要将需求侧所采取的一系列节能措施当作资源看待，需要迅速匹配需求侧的变化，需要能源规

划与城市规划很好地融合。总之，需要需求侧能源规划。

近年来，国内新建园区、开发区相继兴建一批区域能源系统和分布式能源热电联产系统。但除了个别典型（如江苏泰州的国家医药产业园）之外，鲜有既节能又有经济性的案例，引起业内外对区域能源系统乃至对分布式能源的质疑。我认为问题主要出在其能源规划上。“经”是好的，被和尚念歪了。这其中有几个非常突出的问题：

（1）城区开发缺乏总体发展的战略，往往在产业结构不确定的情况下先定规模，先圈地。总体规划好高骛远、大而不当。对区域能源系统的选择要么根据先入为主的主观意愿，要么对各种系统形式无所适从，要么根据“权威”的意见或根据别人的经验而规避决策的责任。由于数年前所有基础设施项目都是由政府财政投资，而近年来在一些 PPP 项目中，投资方往往带有国企、央企背景，需要以投资作为企业绩效，因此相应的能源系统的规模越大，预算也越大。由于对分布式能源还没有明确的用地和投资指标的标准，投资企业往往把拿地、政府公关和政府补贴作为其投资回报。由于决策失误，很多开发区长时间空置，造成能源系统负荷不足、能效极低、系统运行经济性很差。

（2）沿用供应侧能源规划的思路和方法论，单一能源，缩小了的中心化高度集中系统，带有明显的独家利益考量。比如，在提出分布式能源热电联产系统方案时，燃气供应单位往往尽量缩小发电规模、放大辅助燃气供冷供热系统，以增加燃气供应量；电力相关单位往往尽量放大发电规模，做成实质上的小型电厂。

（3）沿用建筑暖通空调设计的方法。比如，负荷用指标估算、中心化的供冷供热机房、大型制冷机和锅炉。或者把热电联产系统当作冷热源，发电不出机房、冷热长距离管道输送。对电力和供冷供热两种产品都是扬短避长。由于管网设计是按米计费，因此加大管径、增加路由，也是常见的设计手法。

（4）能源管理系统的欠缺，是运行能效和经济性双低的重要原因。所谓“智慧”能源，要实现“知道—响应—确定”的功能，当然需要有一个“聪明”的大脑。但目前大多数区域能源系统都没有智慧能源管理系统。每一个可行性研究和方案都强调能源管理系统的重要性，但真正实施的却主要是演示系统。大屏幕、中央控制室、能源系统运行的动画演示，这些成了能源中心的标配，但仅此而已。能源管理系统需要有大数据、传感器物联网、智能计量、各种算法的支撑。其实好的能源管理系统完全不需要大屏幕和中控室，在平板电脑甚至手机终端上就可以轻松实现智能管理。但这方面的研究还远远不够。

（5）需求侧能源规划还没有进入城市规划体系，还处于城市开发中的一个盲区。在一个利益多元的城区开发项目中，很难将规划的目标和行动变成所有利益相关者的共识。目前，更多的需求侧能源规划还仅限于能源系统的规划。也就是说，如果城区需要建集中的能源系统，那么开发者找人来做系统规划（实际是一个工程设计）；如果某个投资者想投资某个园区的能源系统，那么投资者找人来做能源方案（实际是融资中的“故事”）；如果某个城区需要申报某种示范项目，那么开发者需要有一个相应的能源规划。总之，需求侧能源规划目前还只能发挥应景、点缀和外在形象的功能。能源在智慧城市中的核心地位也远远没有得到体现。

世界银行和 GEF 支持的这个研究，在一定程度上填补了需求侧能源规划在研究上的空白，并在研究成果中有一些创新的亮点：

（1）适应城区能源规划实现能耗总量控制的目标，提出如何建立建筑能耗基准线的方

法。在此基础上,能源规划应利用“反推”(backcasting)的方法,确定能耗需求和配置能源系统。即从能耗基准线反推出各类建筑的负荷,从而决定采取何种建筑节能措施、能源系统应有什么样的效率。

(2) 对于能源规划中非常重要的负荷预测环节,建立了对当地既有建筑进行建筑信息和历史能耗的数据挖掘,和利用能耗模拟软件建立典型建筑模型相结合的方法。

(3) 结合城市的控制性详细规划,分析了影响城区建筑能耗的规划因素,提出能够实现被动式节能的城市规划技术路径。

(4) 基于博弈论原理,提出城区多能源系统优化配置的技术路径和算法,为城区能源系统的规划提供了很好的工具。

(5) 基于能源互联网资源共享的理念,对适于城区分布式水源热泵系统的能源总线系统的设计技术问题,做了深入研究,为能源总线设计提供了很好的方法。

(6) 燃料电池用于建筑供能和区域热电联供,是分布式能源中的重要组成,但国内一直未予重视。书中对燃料电池技术用于城区分布式能源系统做了详尽的可行性研究。可喜的是,国内已经有开发项目在酝酿之中。

(7) 根据国内外的法规和经验,阐述了需求侧能源规划与城市规划各阶段的关系,提出了需求侧能源规划文本的范式。

(8) 根据大量实际案例,总结出在旧城改造和城市更新中既有能源系统改造的方法,初步探索了城市更新中需求侧能源规划的原则和方法。

本书还有一大特色,在第1~6章的需求侧能源规划指南里,涵盖了规划各步骤,并分别按照城市总体规划—控制性详规—能源系统规划的城市规划程序给出相应阶段可操作的具体做法。因此,本书不但适合直接从事能源规划的专业人士,也适合城市规划、建筑以及城区开发的决策者和投资人阅读。

本书的编写团队是分别来自于同济大学、上海建筑科学研究院、深圳建筑科学研究院、厦门大学的学者和专家,有的已经在需求侧能源规划领域积累了一定经验。2017年第4期的《暖通空调》杂志上也曾设“需求侧能源规划”的专栏,发表了反映本项目部分成果的6篇论文。同时,作为世界银行/GEF项目的示范,有更多的单位和专家付出努力,如陕西西咸新区沣西新城管委会、湖南株洲职教城管委会、中国华电工程(集团)有限公司、新奥集团、山西省规划设计研究院等,他们从实践角度,对本书的出版做出了贡献。

我觉得本书的出版,一是可以厘清对区域能源规划、对分布式能源和对区域能源系统的认识误区;二是作为深入研究需求侧能源规划方法、推动需求侧能源规划融入城市规划体系的新的起点。希望有更多的专家学者开展需求侧能源规划的研究,并在实践中不断总结和提高。



2018年6月26日

前 言

在绿色生态发展目标的引导下，城区能源利用形态正在发生着变化，主要体现在以下几个方面：一是随着绿色建筑、生产工艺改造以及节能电器的推广，单位建筑面积或者单位产品的能耗强度下降，同时由于生活水平的提高，非生产性能源需求的总量仍在增加；二是热泵、热电联产以及光伏光热等设备技术性能不断提高，价格不断降低，利用范围更加广泛，用户端制冷、制热及供电技术更加多样化；三是可再生能源与化石能源综合利用的综合能源系统增加，出现了孤岛型能源系统。

城区能源利用形态的变化导致能源供应难以精准满足需求侧个性化需求，能源供需的不平衡、不匹配不利于能源利用效率的提升，也影响能源建设项目的经济性。通过顶层规划的引导，优化城市能源系统各供用能活动之间的互动是需求侧能源规划的目的。以分布式能源系统建设为例，将多个地块的能源利用行为整体考虑有助于提高能效和系统经济性，为了解决用地、政策、权属、法律地位等诸多方面的问题，需要借助宏观层面的顶层设计进行协调，甚至于政策强制力的保障。

城区需求侧能源规划从需求侧出发，基于对用户需求特征的分析，采用系统的观点将城区能源转换、分配及利用作为一个整体进行统筹考虑，以明确城区能源利用引导和管控的要点以及相应的政策诉求。通过减少需求（减需）、提升效率（提效）以及增加本地可再生能源利用（开源）来促进节能减排目标的实现。需求侧能源规划在“减需”、“提效”以及“开源”三个方面的内涵如下：

1. 减需

减少城区冷、热、电、燃料需求有两个可行途径。第一个途径是降低能量需求强度，主要措施包括：（1）通过合理的空间规划（如建筑间距、朝向、表皮颜色等）、用地规划（如职住平衡、混合用地等），减少建筑、交通的能量需求；（2）绿色建筑、被动式建筑等低能耗建筑的规划建设；（3）节能意识和行为的培养，杜绝能量浪费；（4）高能效标准的交通工具、家用电器、办公设备以及生产设备的普及；（5）规划区域内工商企业、行业能效标准的提高。第二个途径是通过用地规划控制，减少规划区内高耗能产业的比重，减少能源用户以减少能源消耗。目前，第一个途径已经在较多的规划项目中得到体现，第二个途径只在能源利用受到特殊限制的某些特定区域开展。

2. 提效

随着分布式能源系统的应用以及能源转换利用技术的进步，城区低品位能源、可再生能源的利用引起广泛关注。由于低品位能源和可再生能源资源的供需存在空间及时间分布上的不平衡性，忽略用能单元之间联系的能源系统独立设计并不能完全发挥出资源的价值。通过城区整体优化设计，将多个用能、产能对象综合考虑，构建集中与分布式协同、可再生能源与化石能源相融合的区域能源系统，以充分利用本地可再生能源，提高能源综合利用效率。城区供用能整体优化需要城区需求侧能源规划予以保障。

城区需求侧能源规划的实施路径为：(1) 通过构建城区能量系统优化分析模型，确定城区能源系统的最优形态；(2) 基于能源系统最优形态，在用地、政策以及管理机制方面做出相应的安排。为了促进能效目标的实现，可通过制定规划控制指标以及重要的能源设施建设规划来推动城区能源系统最优形态的实现。

3. 开源

城区余废热、浅层地热、太阳能、生物质能以及风能等资源的利用不仅可以丰富城区能源供应渠道，还有利于减少城区能源利用导致的温室气体和污染物排放。这些靠近用户的能源资源可以通过热泵、太阳能光电光热以及生物质燃料发电等方式进行利用。通过用户需求与当地可再生能源资源的综合分析，得到本地资源经济化利用的资源量和利用方式。基于资源潜力分析的结果，制定城区可再生能源以及低品位能源资源利用的规划方案，通过控制指标以及设施建设促进该类能源资源的利用。

城市规划是城市建设管理的主要手段，将能源供给与利用活动纳入城市规划管理体系，使其具有公共政策的属性，快速推动城市综合能源规划工作的普遍开展，对节能减排、降低碳排放起到综合协调和指导作用。

按照我国现有的城市规划体系，城市开发建设主要分为总体规划、控制性详细规划和修建性详细规划等几个主要阶段。相应的，城区能源规划在不同阶段也有不同的任务。本书分别介绍了对应城市总体规划阶段、详细规划阶段及能源系统规划设计阶段的需求侧能源规划核心内容的编制方法。

本指南分为两部分，第1篇介绍城区开发不同阶段能源规划的核心内容及编制方法，分为规划指标设定、能量需求预测与分析、城区能源资源条件分析、能源系统优化配置、规划方案综合评价及规划实施管理共6章。本书介绍的方法大部分经过多个实际项目的检验，对于部分新方法首先在第1篇中简要介绍思路，在第2篇的专题研究中进行详细介绍。本书对相对成熟的方法没有做重复性介绍，将有限的篇幅重点放在介绍最新的研究成果上。

本书是世界银行全球环境基金技术援助项目“基于需求侧节能的综合能源规划实施路径研究”(1-A-CS-014)研究成果的总结，全书由于航教授主持编写并统稿，黄子硕参与编写了第1、4、6、10、13章，潘毅群、刘海静、林美顺参与编写了第2、8、9章，张蓓红、张改景参与编写了第3、7章，李雨桐、李渊、刘俊跃参与编写了第1、5、14章，陈蔚镇参与编写了第9章，刘魁星参与编写了第11章，寿青云参与编写了第6、13章，景锐、赵英汝参与编写了第12章。本书由龙惟定教授主审，在项目研究过程中得到中国城市建筑节能和可再生能源应用项目管理办公室执行主任田永英博士的指导和支持，在此一并致谢！

目 录

第1篇 规划编制

第1章 能源规划指标设定	3
1.1 总体规划阶段能源规划指标设定	3
1.2 控制性详细规划阶段能源规划指标设定	3
1.3 能源系统的关键性能指标	8
1.4 本章小结	9
本章参考文献	9
第2章 能源需求分析与预测	10
2.1 城区负荷/能源需求预测方法	10
2.2 城区详细规划阶段负荷预测与特征分析	13
2.3 城区建筑形态规划指标与负荷特征分析	16
2.4 能源系统规划阶段负荷预测与分析	19
2.5 本章小结	21
本章参考文献	21
第3章 能源资源潜力分析	22
3.1 能源资源潜力评估的流程	22
3.2 城市总体规划阶段能源资源评估	23
3.3 城市详细规划阶段能源资源分析	26
3.4 能源系统规划阶段能源资源分析	32
3.5 本章小结	34
本章参考文献	34
第4章 能源系统综合优化	35
4.1 控制性详细规划阶段供用能系统优化	35
4.2 能源系统方案优化	42
4.3 能源微网和能源总线	43
4.4 本章小结	50
本章参考文献	50
第5章 能源规划方案的成本效益分析	51
5.1 能源规划成本效益及环境分析的背景	51
5.2 能源规划成本效益分析框架	52
5.3 不同能源利用技术的成本效益分析方法	54
5.4 本章小结	58

本章参考文献	58
第 6 章 城区需求侧能源规划实施保障	60
6.1 需求侧能源规划编制评估	60
6.2 需求侧能源规划编制的制度保障与组织机制	63
6.3 推动需求侧能源规划方案实施的政策机制	67
6.4 需求侧能源规划实施后评估与规划调整机制	69
6.5 本章小结	70
第 2 篇 专题研讨	
第 7 章 城区建筑能源需求基准线制定方法	73
7.1 引言	73
7.2 国外建筑能耗标准调研	73
7.3 国内能耗限额标准调研	76
7.4 城区建筑能耗基准线制定	89
本章参考文献	95
第 8 章 能源需求预测模型	96
8.1 引言	96
8.2 城区建筑群负荷预测的特点	96
8.3 城区建筑群负荷预测方法综述	98
8.4 区域建筑群负荷预测	103
8.5 案例应用	112
8.6 结论与展望	117
本章参考文献	117
第 9 章 社区形态与能源消耗	119
9.1 引言	119
9.2 影响建筑能耗的各项因素	122
9.3 社区形态与建筑能源的相关研究	129
9.4 社区形态与能耗的研究方法	142
9.5 案例研究 1	149
9.6 案例研究 2	166
9.7 结论与展望	176
本章参考文献	177
第 10 章 面向城区需求侧能源规划的能源系统优化模型研究	183
10.1 引言	183
10.2 城区能源系统	183
10.3 不同阶段的能源规划	185
10.4 面向规划控制指标制定的能源规划模型	188
10.5 案例研究	204
10.6 小结	219

本章参考文献	219
第 11 章 能源总线系统设计	222
11.1 能源总线系统	222
11.2 能源总线系统设计	227
11.3 室外输配管网系统设计	235
11.4 能源总线系统运行方案	255
11.5 能源总线系统技术经济分析	269
11.6 工程案例分析	274
11.7 小结	278
本章参考文献	279
第 12 章 城区能源微网中燃料电池的适用性分析	281
12.1 引言	281
12.2 不同尺度的能源微网	281
12.3 燃料电池技术	283
12.4 燃料电池在公共建筑中的应用分析	285
12.5 案例研究	298
12.6 结论	308
本章参考文献	309
第 13 章 国内外城区能源规划政策梳理及分析	312
13.1 引言	312
13.2 国外城区能源规划和评价体系	313
13.3 我国能源规划相关法规标准体系	320
13.4 需求侧能源规划国内外对比分析	322
13.5 结论和建议	326
本章参考文献	336
第 14 章 旧城改造与城市更新中的能源系统改造方法与策略	337
14.1 引言	337
14.2 旧城改造与城市更新的概念、分类及发展历程	337
14.3 城市更新中能源系统改造过程中的问题	340
14.4 改造策略、方法流程与技术看案	346
14.5 案例研究	359
14.6 结论与展望	364
本章参考文献	365
附录 典型建筑模型	367

第 1 篇 规划编制

第 1 章 能源规划指标设定

1.1 总体规划阶段能源规划指标设定

能源规划涉及规划的方法、时机和数量，也就是在什么时候、采用什么方法，达到什么数量。城市能源规划需要解决的核心问题是当前供给与需求的矛盾、当前供给与未来需求的矛盾，即能源供给的安全保障问题^[1]。

近年来，节能减排工作的重要性日益凸显，能源规划的重点逐渐由能源供给保障向高效、清洁、低碳供能的目标转移。城市总体规划阶段的能源规划在城市发展建设中以宏观调控、综合协调为主，综合考虑经济、社会、环境及资源约束，提出城市能源消费的宏观目标。

常用的能源指标有单位产值能耗、人均能耗、分部门能耗、能源消费弹性系数及各类能源消费的结构比例等，多基于统计数据结合趋势外推或者技术经济模型分析得到，技术分析模型有 CGE 模型、AIM 模型、MESSAGE 模型、LEAP 模型、Markal 模型等，通常需结合情景分析法，即通过对国民经济产值、人口、交通、经济等因素的一系列假设，预测能源需求，分析能源的供需平衡，运用数学规划、比较分析等优化手段完成能源资源开发与设施建设方案规划。

城市总体规划是城市未来一段时期内开发建设的依据，能源消费目标的设定可以为区域或城市的能源发展战略提供依据。

1.2 控制性详细规划阶段能源规划指标设定

1.2.1 控制性详细规划阶段能源规划的特点

控制性详细规划（简称控规）以城市总体规划或分区规划为基础，通过量化指标对总规中的原则、意图和宏观控制转化为对用地的三维空间定量、微观的控制^[2]。控规既要继承落实并且深化总体规划意图，又要对地块建设提出直接开发建设的要求。作为城市规划的中观环节，控制性详细规划具有宏观与微观、整体与局部的双重属性。

控规阶段的能源规划具有承上启下的特征：发展目标中既包含对总规阶段目标的延续和落实，制定片区能源发展的总体目标；又需要细化到每一地块上的具体目标，给出达成区域层面能源发展目标的实施路径，实现微观层面的引导控制，也便于规划的落地与管理。此外，控规阶段还涉及能源基础设施的规划设计和能源系统的初步配置，这就要求在制定目标时不仅涉及能源消费的结果（能耗），还要对能源的瞬时需求（负荷）作出规定。

控规作为管理城市空间的政策，已经对地块尺度上的建筑开发类型、规模、容量进行了规定。此阶段对于建筑的用能特点和用能规律已经有了大致的了解，便于测算用能总量和负荷特征，为目标的分解和细化提供了可能和便利。

1.2.2 能源规划指标体系的构建

近年来，低碳和生态发展逐渐成为广泛的共识，城市规划人员已经开展了大量低碳规划方面的研究与探索工作，低碳相关的创新性指标也被引入控规。

能源是经济社会发展的物质基础，各项活动都要消费能源，低碳发展的核心要素是能源的节约和清洁化利用。参考生态城市与低碳规划的研究成果，可构建出控制性详细规划阶段的能源规划指标库，见表 1-1。对于特定的规划对象，这些指标并非都是必需的，在使用时可根据需要和实际情况选择适宜的指标，构建适用于规划对象的能源规划指标体系。

控规阶段能源规划指标库 表 1-1

面向对象	指标分类	指标	单位	适用情况	赋值方式	类型
区域层	总量指标	能源消费总量	tce		上限	约束
	效率指标	单位工业增加值能耗	tce/万元	工业型园区	上限	引导
	效率指标	人均能耗	tce/人		上限	引导
	效率指标	地均能耗	tce/km ²	工业型园区	上限	引导
	效率指标	集中供冷供热率	%	涉及集中供冷供热时	下限	引导
	结构指标	可再生能源比例	%		下限	引导
	结构指标	清洁能源比例	%		下限	引导
	结构指标	煤炭消费比例	%	煤炭消费比重较大时	上限	约束
	创新指标	能耗监测覆盖率	%		下限	引导
	创新指标	绿色建筑比例	%	涉及绿色建筑规划时	下限	引导
地块层	效率指标	单位产品能耗	kgce/t	工业型园区	上限	引导
	效率指标	单位建筑面积能耗	kW/m ²		上限	约束
	效率指标	建筑节能率	%		下限	引导
	效率指标	集中供冷供热率	%	涉及集中供冷供热时	下限	引导
	结构指标	可再生能源利用率	%		下限	引导
	结构指标	分项可再生能源利用率	%		下限	引导
	结构指标	清洁能源利用率	%		下限	引导
	负荷指标	电负荷密度	W/m ²	涉及能源基础设施规划	上限	引导
	负荷指标	热负荷密度	W/m ²	涉及能源基础设施规划	上限	引导
	负荷指标	冷负荷密度	W/m ²	涉及能源基础设施规划	上限	引导
	负荷指标	热水负荷密度	W/m ²	涉及能源基础设施规划	上限	引导
	创新指标	地块混合度	—	涉及集中供能系统时	推荐	引导
	创新指标	能耗监测覆盖	%	—	下限	引导
	创新指标	绿色建筑星级	—	涉及绿色建筑规划时	下限	引导

能源规划指标体系分为总体目标与局部目标，即城市层面的整体控制目标和分解到地块层面的单元控制目标。城市层面的整体控制目标，包含能源总量、能源效率、能源结构目标，是城市总体能源规划目标的延续。能源总量，主要控制一定时期、一定区域内的各