

# 社区能源综合规划及其方法初探<sup>\*</sup>

同济大学 于 航<sup>☆</sup> 黄子硕<sup>△</sup> 彭震伟

**摘要** 社区能源规划是低碳生态城市规划建设的重要内容之一。基于社区能源规划的已有研究和实践,阐述了能源规划的主要任务和内容。通过社区能源规划与一次能源规划的对比分析,指出社区能源规划是对一次能源规划的补充和延伸,可视为二次能源规划,即社区能源综合规划。总结了近年来国内外社区能源规划的计算工具及其结构特点,对比分析了社区能源规划中自上而下与自下而上两种工作模式的特点,指出两种模式的融合将有助于推动社区能源规划的广泛实施。

**关键词** 社区能源规划 二次能源规划 计算模型 规划模式 节能

## Discussion about community energy planning and its operation method

By Yu Hang<sup>★</sup>, Huang Zishuo and Peng Zhenwei

**Abstract** Community energy planning (CEP) is one of the important contents during the construction planning of low-carbon city. Based on the current discussion about CEP, expounds the main tasks and contents of CEP. Comparing CEP with the first energy planning (traditional urban energy planning), indicates that CEP is the supplementation and extension of the first energy planning. CEP may be regarded as a secondary energy planning, i. e., community comprehensive energy planning. Summarizes the calculation tools for CEP and their structural features at home and abroad. Compares and analyses the features of two modes, including up-bottom and bottom-up. Points out that a new CEP model, which is a blend of the two modes, is helpful to promoting the widespread implement of CEP.

**Keywords** community energy planning, secondary energy planning, calculation model, planning method, energy saving

★ Tongji University, Shanghai, China

①

### 0 引言

社区节能减排不仅要降低用能个体(如建筑)的碳排放,也需要考虑通过系统综合优化的方法降低整体(社区)的碳排放。国际能源署建筑和社区节能项目(IEA-ECBCS)的研究指出,社区能源系统整体优化所产生的节能潜力远大于单个用能对象节能改造所产生的节能效果<sup>[1]</sup>。因此,如何通过社区能源规划对社区范围内的能源资源实施有效调控已经引起众多学者的关注。本文对国内外社区能源规划的研究成果进行了归纳总结,为深入研究提供参考。

### 1 社区能源综合规划的概念

社区能源规划(community energy planning)一词来源于国外,原指通过对社区空间设计和市政设施规划的优化来促进能源的有效利用。加拿大、英国、丹麦等国对社区能源规划进行了较早的探索和实践<sup>[2]</sup>。国内区域能源规划和低碳生态城区规划研究的重点是实现城区能源系统效率最大化的方法,以及利用可再生能源、清洁能源替代传统的化石能源减少社区碳排放的策略<sup>[3]</sup>。

社区能源规划研究涉及到社区开发的各个阶段,各阶段能源规划内容如图 1 所示。在低碳生态

<sup>\*</sup> 国家科技支撑计划课题子课题(2013—2016):村镇宜居社区建设支撑体系规划技术研究(编号:2013BAJ10B01-02),高密度区域智能城镇化协同创新中心 2013 年第一批课题:面向区域能源规划的能流模型构建研究(编号:CIUC20130003)

①☆ 于航,女,1964 年 5 月生,博士,教授,博士生导师

△ 黄子硕(通信作者)

201804 上海市曹安公路 4800 号同济大学宿舍楼 15 号楼 427 室

(0) 18217528553

E-mail:zzujianhuan@163.com

收稿日期:2014-04-08

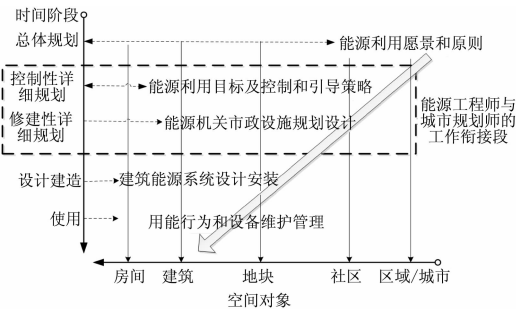


图 1 社区能源规划在各个时空阶段的规划重点示意图

城市建设的背景下,总体规划中一般都包含节能低碳的要求。在详细规划阶段,针对社区整体和各个分地块设定具体的节能目标,提出控制和引导策略是该阶段能源规划的主要目的,也是将低碳目标落实到规划地块和具体项目的重要依据。在后续开发建造阶段的主要目标是建筑节能。在社区的运营使用阶段强调用户的行为节能和能源系统设备的运营维护。

社区能源规划可归结为 3 个 W 问题<sup>[4]</sup>:

- 1) When: 设施建设的时间进度,在什么时候进行相关的建设。
- 2) Where: 在什么位置进行相关设施建设。
- 3) What: 建设什么样的能源设施,选择多大的容量,能源设施包括锅炉、热电联产机组、制冷机

表 1 社区能源规划与一次能源规划的对比

能源规划	能源生产	能源消费	能源运输	时空尺度
一次能源规划	矿藏开发,火电、水电、核电、风电等电厂建设	化石燃料需求,电力需求	公路、铁路、水运运输,长距离燃气管网,国家电网骨干网	国家、地区、城市等 10 km 以上空间尺度。10 年或者 20 年中长期能源战略规划
社区能源规划(二次能源规划)	热量、冷量、燃料、部分电力生产	冷量、热量、电力及燃料	城市市政热力管网、配电网络、燃气输配管网	城区、社区、相邻建筑等 10 km 以下的空间尺度。较短期限内能源设施建设规划

如图 2 所示,社区能源综合规划是在一次能源规划的基础上,对用户侧的能源转换利用行为进行

房、房间空调器、太阳能光伏板、太阳能集热器、小型风电设备、地源热泵、输配管网和换热设备等能源利用相关设施。

2 与一次能源规划的对比

一次能源规划基于能源供给必须满足能源需求的理念,规划的重点在于通过统筹协调获得足够的能源供应渠道,并规划建设相应的能源设施,保证城市能源安全<sup>[5]</sup>。各类能源(燃气、电力、热力)由对应的能源部门分项规划建设,满足社区内各类用户的能源需求。一次能源规划一般不考虑不同能源种类间的相互替代,也较少考虑城市内部可再生能源资源的综合利用,通过对一次能源的开发、调运的合理规划,以经济合理的手段解决能源供需矛盾。

社区能源规划可视为建立在一次能源规划基础上的基于需求侧的二次能源规划,是对一次能源规划的补充和延伸。规划对象是可直接供给用户侧使用的冷、热、电等二次能源。通过对靠近用户的二次能源的生产、输配方案的综合规划,满足用户的能源需求。二次能源的生产是指将化石燃料、太阳能等可再生能源资源转换为用户可以直接使用的冷(热)量、电力、家用燃料等能源产品。社区能源规划与一次能源规划的对比见表 1。

的合理应用降低社区碳排放。

3 社区能源综合规划在城市规划中的地位

一次能源规划通过统筹协调,将所需的燃气、电力等能源输入城市,驱动城市的正常运转,为城市的发展提供能源安全的保证。通过上文的对比分析可以看出,社区能源综合规划通过对社区用户侧的能量需求进行综合管理,为能源的高效利用提供保证。

如图 3 所示,社区能源综合规划的实质是将城市总体节能减排目标分解落实到具体的地块和具体的项目建设中。将总体目标分解细化是实现城市节能减排总目标的根本保证,有助于切实降低能源利用所产生的碳排放。社区能源综合规划针对各用能对象设定能效提升、可再生能源利用、污染

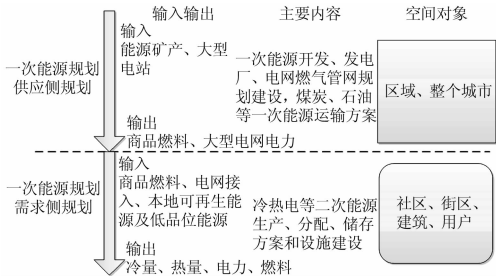


图 2 二次能源规划与一次能源规划的衔接

具体详细的指导和约束,用能主体通过能源转换设备将商品燃料、电力等转化为满足生产生活需要的冷量、热量、电力等二次能源,并通过低碳节能技术

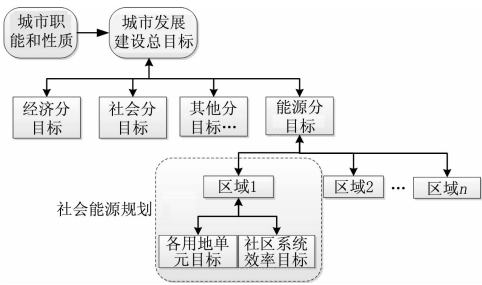


图3 社区能源综合规划在城市规划中的功能和定位

物排放的量化指标,给出实现方法和措施,对社区用户侧的能源利用进行引导和约束。

4 二次能源规划的工作模式

4.1 自上而下的模式

该模式是通过城市规划的驱动力实现社区能源规划的目的。城市详细规划文件是城市建设和发展的总依据,是指导城市各项建设工作的法定文件,具有普遍性和强制性。在城市详细规划中增加社区能源结构优化、节能技术应用、绿色建筑的相关内容可以有力推动低碳社区的建设工作,实现社区能源规划的目的。通过城市规划学者的努力,在现有的城市规划体系中,增加节能减排的内容,利用规划文件的强制性和普遍性推动社区能源利用

的低碳化<sup>[6-9]</sup>。通过“目标—政策和策略—措施”的方式,自上而下推动社区采用高效节能的技术,增加可再生能源利用,减少化石能源消耗。

4.2 自下而上模式

该模式是由从事建筑节能技术研究的学者构建社区能源系统优化模型,通过定量化计算分析,确定社区能源供应系统中各类能源适宜的结构和数量,选择社区能源系统集中(分散)的结构形式以及技术方案。这种基于工程技术发展水平制定社区能源规划目标和政策的模式即为自下而上的工作模式。

5 社区能源规划模型

国外学者将社区能源规划的研究重点放在区域能源系统优化分析模型的开发及对应的计算机工具软件的编制,Goncalo Mendes 等人对用于社区能源系统综合规划的模型和工具进行了总结和讨论<sup>[4]</sup>。笔者分析了几种目前社区能源系统技术经济模型(又称为自下而上模型 bottom-up model),包括 HOMER, DER-CAM, EAM, MARKAL/TIMES, RETScreen, H2RES 等,对其开发机构、模型特点、应用时使用者主观性对结果的影响等进行了汇总和比较,结果见表2。

表2 社区能源系统综合优化计算软件比较

软件名称	优化目标	求解方法	计算类型	计算时间段	分析对象	主观性	开发者
HOMER	最小现金流	对比、解释	模拟	1 a,步长可选	社区	高	美国可再生能源实验室
DER-CAM	最小成本	MILP	情景分析/模拟	1 a,逐时	社区	中等	美国劳伦斯伯克利实验室
EAM	最小成本	MINLP	情景分析/模拟	1 a,逐时	社区	中等	东京大学
MARKAL/TIMES	最小成本	MILP	情景分析/模拟	长期,50 a,自定义	多种	高	国际能源署
RETScreen	最小成本	对比、解释	情景分析	长期,50 a,逐月	多种	高	加拿大环境资源部
H2RES	可再生能源最大化	能量平衡	情景分析/模拟	无限制,逐时	社区和区域	高	南斯拉夫扎格拉布大学
EnergyPLAN	最小成本	解释	情景分析	1 a,逐时	区域	高	丹麦奥尔堡大学
SynCity	费用、碳排放多目标	MILP	情景分析	逐时,自定义	区域、社区	较低	英国帝国理工未来实验室

这些可用于社区能源系统优化的计算机工具模型结构如图4所示。按照能源生产、分配和消费环节进行划分,结合模型内置的能源转换利用技术库,在冷、热、电等需求确定的情况下,使用者从技术库中选择一种或几种技术进行组合形成技术方案,通过模型模拟计算比较,获得较优的社区能源供应系统。

由于区域能源系统建模对象是一个复杂的热力系统,具有多维度、内部关系复杂、系统庞大等特征,对于不同对象所涉及的能量系统特点不同,基于能源设备构建的能源系统模型不能完全反映出对象能量利用的本质特点。特别是在规划阶段的初期,由于能源供需及转换能力的不确定性,在相关要素发生变化时须重新构建模型,因此该类模型

存在通用性和灵活性不足的问题。此外,因该项工作专业性强,要求使用者具有丰富的能源规划经验和能源技术基础,大大增加了使用难度,一般用户很难利用这些技术分析软件。

6 社区能源规划的新模式展望

城市规划具有公共政策的属性,具有强制性和法律效力,相对于具体的节能减排技术,更能在宏观方面发挥其公共政策的作用,作为一种有效的调控工具,对节能减排,降低碳排放起到综合协调、上层指导的作用。因此,以社区能源系统模型定量计算为支撑,将社区能源系统分析的结果按照当前城市规划的模式融入到城市详细规划文件中,充分发挥城市规划文件普遍性和强制性的优势。这种自上而下与自下而上相融合的模式将有助于更好地

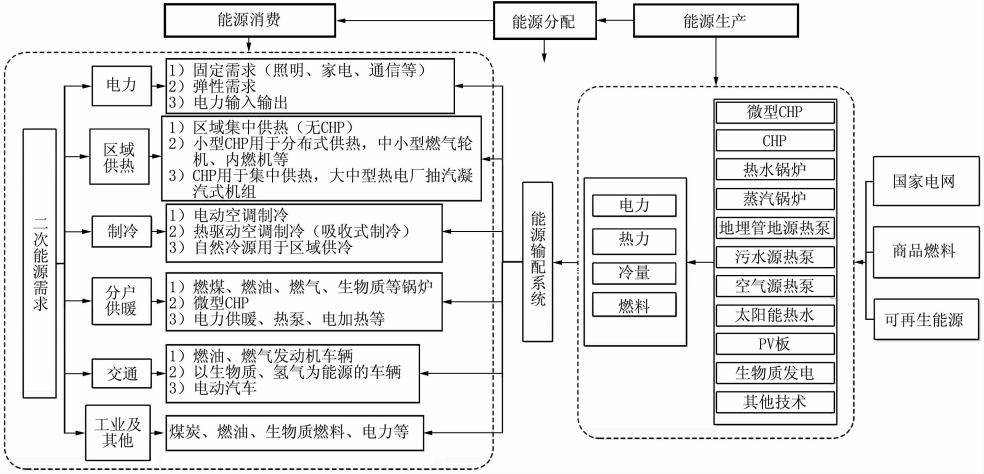


图 4 社区能源规划模型结构示意图

解决社区能源规划问题。

两种模式融合的关键是社区能源系统分析的模型,应具有较好的普遍性,其分析过程和结果应具有足够的健壮性。该模型应能从能量转换利用的本质出发,将能源转换传输利用技术进行数学抽象,结合情景分析获得理论上最优的能流图或烟流图。基于这种理论能流图,探讨并确定对应环节的能量转换利用效率参数。在情景分析时,通过调整关键参数,观察能流图结构的演化和输出数值的变化范围。基于完全抽象化、理论化的模型架构,可以减少输入数据的量,简化分析过程,更适于早期规划阶段应用。

因此,构建适应于城市详细规划阶段应用的社区能源系统规划分析模型仍具有重要意义。

参考文献:

[1] IEA ECBCS Annex 49: Low exergy systems for high performance buildings and communities [R/OL]. [2013-10-22]. <http://www.ecbcs.org/annexes/annex49.htm>

[2] Natural Resources Canada, Community Energy Planning

Guide[R/OL]. [2014-03-18]. [http://www.nrcan.gc.ca/sites/www.nrcan.gc.ca/files/canmetenergy/files/pubs/CommunityEnergyPlanning\\_Guide\\_en.pdf](http://www.nrcan.gc.ca/sites/www.nrcan.gc.ca/files/canmetenergy/files/pubs/CommunityEnergyPlanning_Guide_en.pdf)

[3] 龙惟定. 绿色生态城区的智能能源微网[J]. 暖通空调, 2013, 43(10): 39-45

[4] Mendes G, Ioakimidis C, Ferrao P. On the planning and analysis of integrated community energy systems: a review and survey of available tools[J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2011, 15(9): 4836-4854

[5] 邱大雄. 能源规划与系统分析[M]. 北京:清华大学出版社, 1995

[6] 徐彦峰. 能源规划在城市规划中的功能定位及编制思路[C]// 和谐城市规划——2007 中国城市规划年会论文集, 2007: 1183-1190

[7] 叶祖达. 低碳生态空间: 跨维度规划的再思考[M]. 大连: 大连理工大学出版社, 2011

[8] 黄聪健. 区域分布式综合能源系统视角下的控制性详细规划编制研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2012

[9] Marlena Rogowska. District energy within the planning context: exploring the barriers and opportunities for district energy and community energy solutions in Ontario, Canada [D]. Canada: Ryerson University, 2013