



区域建筑负荷与能耗 预测研究综述

同济大学 潘毅群[☆] 郁丛 龙惟定 陈蔚镇

摘要 从区域建筑负荷与能耗的影响因素和预测方法两方面阐述了区域建筑负荷与能耗预测的研究现状。影响区域建筑负荷与能耗的因素包括单体建筑能耗影响因素和区域特有的影响因素(城市形态与微气候)。基本预测方法有自上而下方法和自下而上方法。自下而上方法较为常见,在应用时需引入同时使用系数,并结合情景分析方法。由于没有成熟的区域建筑负荷与能耗预测软件,目前主要有两种预测方法:基本模型方法,如基于实际调研获得的统计模型和利用 GIS 技术建模等;考虑微气候与城市形态的影响,通过能耗模拟软件与其他工具耦合进行模拟。考虑到我国建筑的特点,可采用自下而上方法与情景分析方法结合进行区域建筑负荷与能耗预测。

关键词 区域能耗 负荷预测 情景分析 城市形态 微气候 区域建筑

Review of district building load and energy consumption prediction

By Pan Yiqun[☆], Yu Cong, Long Weiding and Chen Weizhen

Abstract Elaborates the current research status from the aspects of influence factors and prediction methods of the district building load and energy consumption prediction. The influence factors include the factors of monomer building energy consumption and the factors of regional characteristics (urban morphology and micro-climate). The basic prediction methods include the top-down method and the bottom-up method. The bottom-up method is widely used by introducing simultaneous coefficient and combining with scenario analysis method. Due to the lack of mature district building load and energy consumption prediction software, there are two prediction methods at present: 1) the basic modeling methods, i. e. statistical model based on practical investigation and GIS technology; 2) the integrated simulation method combined with energy simulation software and other tools by considering the micro-climate and the influence of urban morphology. Considering the characteristics of buildings in China, the bottom-up method combining with the scenario analysis method can be used to predict the district building load and energy consumption.

Keywords district energy consumption, load prediction, scenario analysis, urban morphology, micro-climate, district building

★ Tongji University, Shanghai, China

0 引言

就能源规划而言,不仅要考虑单体建筑,区域尺度上特有的影响因素同样不能忽视。这里所指的区域尺度为占地面积数 km^2 以下、建筑面积百万 m^2 以下的园区、社区、街区、成片开发区或小城镇等。合理的区域建筑负荷与能耗预测需综合考虑能源、环境、城市形态、人员行为等各方面因素。建筑负荷与能耗预测是区域能源规划的关键环节,

也是估算和分析区域碳排放和城市热岛效应的重要基础。

建筑负荷包括冷热负荷、电负荷和生活热水负

☆ 潘毅群,女,1970年12月生,博士,教授,博士生导师
201804 上海嘉定区曹安公路4800号同济大学机械与能源工程学院 A437

(0) 13301856961

E-mail: yiqunpan@tongji.edu.cn

收稿日期:2014-11-19

修回日期:2015-01-08

荷。其中电负荷预测对电网规划、发电设备选型及电力检修等至关重要,冷热负荷预测则主要影响区域供热供冷系统的设计与设备选型。在规划阶段的系统设计及选型中往往针对各类负荷考虑一定的富余系数,以保证系统的安全运行。建筑能耗通常指民用建筑末端设备的运行能耗。需将供能(电、热、冷)设备、输配系统、末端设备(空调和供暖末端)与建筑各类负荷相匹配后方能进行能耗计算。建筑能耗预测是区域能源规划的重要基础,可在规划阶段预测目标区域各类参数信息和耗能情况,通过比较不同情景下的能耗模拟结果选用较节能的供能方案。

本文分析城市和区域尺度上影响区域建筑负荷与能耗的 2 个重要因素——城市形态和局部区域微气候,同时介绍自上而下方法、自下而上方法和情景分析方法等常用的区域负荷与预测方法。本文主要讨论区域建筑能耗及负荷预测,不包含交通能耗。

1 区域能耗影响因素

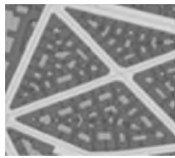


区域能耗可以看作单体建筑能耗的集成。影响单体建筑能耗的因素对区域能耗来说依旧发

挥类似作用,如建筑物理特性、室内照明和设备用能、系统运行方式、系统效率和能源类型等。然而,上升至区域层面上还需结合来自于城市和区域尺度上的特有因素的影响,如城市形态和微气候等。

1.1 城市形态与区域能耗

不同的城市形态对区域能耗有不同程度的影响。各类街区的建筑物相互遮挡面积、绿化覆盖面积、建筑物层高、建筑密度及容积率等因素差异较大。这些因素会间接影响区域能耗,如街区尺度越大、建筑密度越低则相应的居民生活和交通能耗越高。表 1 中列举了巴黎 3 种典型的城形态与能耗,传统庭院式城市形态的建筑密度较高,日光接受率较低,该形态下单位面积年能耗为 0.21 GJ/(m²·a);现代纹理城市形态则具有高日光接受率和低建筑密度,单位面积年能耗为 0.36 GJ/(m²·a);各个因素均处于中等水平的当代庭院式城市形态的单位面积年能耗为 0.20 GJ/(m²·a)。现代纹理城市形态所需能耗为同等面积下当代庭院式城市形态的 1.8 倍。可见,城市形态对区域能耗的影响是不可忽视的。

表 1 巴黎 3 种典型城市形态与能耗^[1]

	城市形态		
	传统庭院式	现代纹理	当代庭院式
出现时间	18—19 世纪	1918—1980 年	1980—2000 年
分布情况			
特点	高建筑密度,自然通风条件好,日光接受率低	高日光接受率、低体形系数,自然通风条件差,低建筑密度	中等建筑密度,中等自然通风条件
单位面积年能耗/(GJ/(m ² ·a))	0.21	0.36	0.20

LSE (London School of Economics and Political Science) 城市研究团队和 EIFER (European Institute for Energy Research) 研究团队于 2011 年发布了一个关于能耗与城市形态的研究报告。该报告调研了伦敦、巴黎、柏林和伊斯坦布尔 4 个城市的能耗及建筑类型,并建立典型模型进行比较后得出:4 个城市的独立式住宅供热能耗均最高,其余类型建筑每个城市情况不一,但总体来讲,高层住宅、板楼和联排住宅的供热能耗相差不大(见图 1)^[2]。

MIT (Massachusetts Institute of

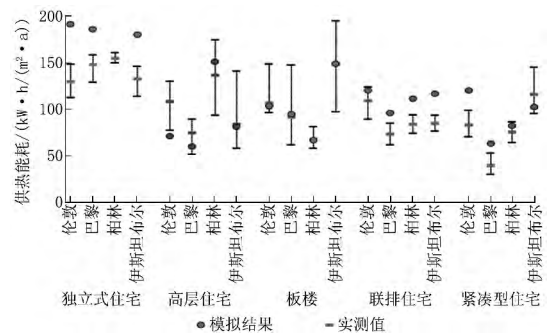


图 1 城市类型与供热能耗

Technology) 研究团队和清华大学研究团队编写了

一个用于能耗及城市形态估算和展示的软件 Energy Proforma,应用该软件可以得到基于能源导则的低碳形态下的运行、交通、建材等能耗(如图2所示)^[3]。图中交叉口密度是指区域内的交叉口数量,反映了社区的步行便利程度,越大说明步行越便利。从图2可以看出,基于能源导则下的各个项目能耗均低于传统形态下的能耗,且小尺度下的节能设计方案比普通花园塔楼更为节能。

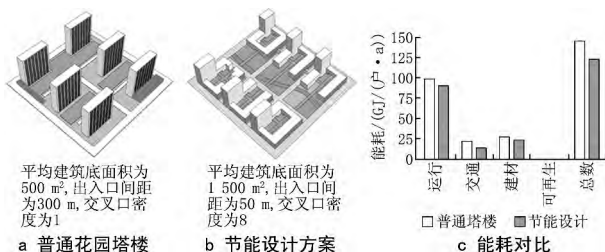


图2 形态与能耗对比

此外,国内外还有一些学者对城市空间布局及微环境进行了相关研究。虽然研究结论不一,但是都不同程度揭示了城市形态对能耗的影响。Ewing等人从三方面阐述了居住能耗和城市形态的关系,研究主要集中在能源转换过程中的损失、不同住宅类型的能源需求及考虑城市热岛效应的建筑供暖和制冷需求^[4]。Numan等人研究了海湾地区建筑设计和城市布局对居住建筑节能的影响,分析了不同建筑围护结构参数、平面布局、建筑朝向、玻璃窗面积和建筑遮挡物情况下的建筑能耗;然后进行了参数敏感性分析,将各参数对建筑一次能耗的影响程度进行了排序^[5]。Wong等人重点比较了不同气温条件对新加坡地区建筑能耗的影响,为达到这个目标,研究者进行了32个案例的模拟,同时考虑了不同城市形态下的建筑密度、高度和绿地密度,结果表明绿地密度对建筑能耗的影响最大,可使气温降低2℃左右,这将导致建筑能耗降低4.5%^[6]。

1.2 微气候与区域能耗

微气候是指在具有相同大气候特点的范围内,由于局部地区地形、方位、土壤条件和植被不一致,使得局部地区具有独特的气候状况。局部地区微气候的特点主要表现在个别气象要素(温度、湿度和风速)的剧烈变化及特殊天气现象(雾、露和霜)的差异。

微气候在一定程度上会影响建筑能耗,如植被

可以起到调温的作用,风场流动可以影响自然通风。研究微气候与区域能耗之间的关系主要有2种方法:实地观测方法与模型方法。

Santamouris等人采用实地观测方法,利用雅典市市区和郊区的30个测量站及10个城市街道峡谷的实测数据进行研究,得出雅典市的平均热岛强度超过10℃,城市建筑的冷负荷加倍,峰值电力负荷增加2倍;环境空气温度升高导致空调机组的COP下降25%;冬季热岛效应使建筑热负荷减少30%;由于街道峡谷内风速降低,自然通风的利用潜力也大大降低,与不受任何遮挡的情况相比,空气流量下降至原来的1/10^[7]。

在模型方法中,至今还没有软件专门用于评估城市微气候对建筑能耗的影响。Bouyer等人提出采用CFD软件和建筑能耗软件耦合的办法来解决该问题,该耦合方法完成了Solene软件和Fluent软件之间的数据交互,将Fluent软件计算出的表面传热系数、空气温度和空气湿度传送给Solene软件;在Solene软件中计算墙体表面温度、总辐射换热量和潜热热流量并传送给Fluent软件。从计算结果可以看出,该方法用于评估特定城市布局情况下的建筑能耗具有较高的计算精度。其最大缺点是大大延长了计算时间。图3为一个小区的温度场模拟结果,可以看出小区内夏季平均温度在27~31℃之间,比较均匀^[8]。Yang等人考虑了多

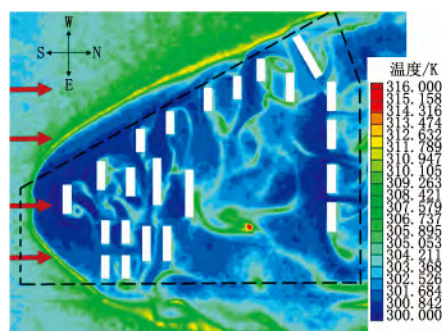


图3 温度场CFD模拟结果

个微气候因素(如太阳辐射、长波辐射、空气温度、空气湿度),将微气候模型ENVI-Met(如图4所示)导入EnergyPlus软件,采用区域能耗评价综合模拟方法量化微气候对能耗的影响^[9]。

2 区域负荷与能耗预测基本方法

区域建筑负荷和能耗预测有2类基本方法:自上而下(top-down)方法和自下而上(bottom-up)方

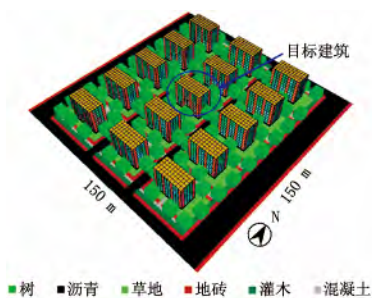
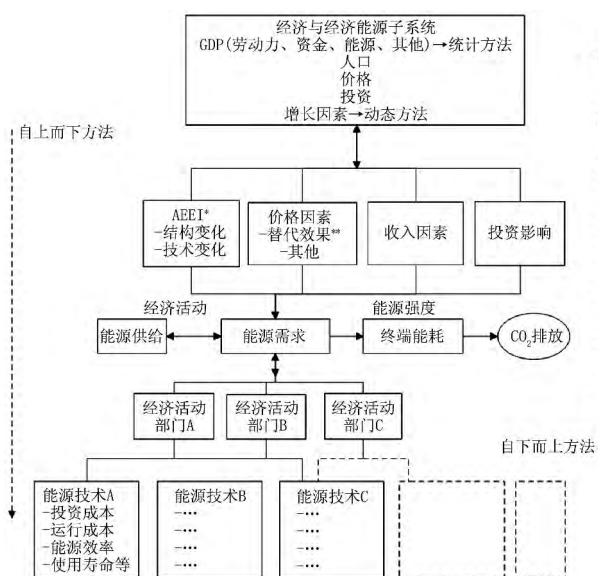


图 4 ENVI-Met 模型图

法,如图 5 所示^[10]。自上而下方法是先估算总体建筑能耗,再进行时间和空间的降尺度分析;而自下而上方法是先计算单个建筑的逐时能耗,再放大到区域尺度。自下而上方法的模型可以分为 3 种:物理模型、统计模型和混合模型(物理模型与统计模型结合)。表 2 给出了自上而下方法与自下而上方法(物理模型、统计模型)的特点比较。当进行区域建筑负荷和能源模拟缺乏建筑细节和资料等,使得很多参数不确定或者未知时,需要进行定性分



* AEEI(autonomous energy efficiency improvement),非政府和市场引导性的自主能效提升,例如制冷机组的 COP 提升、照明光源的能效提升等。
**采用其他替代能源时价格因素的影响,例如用燃气替代电、用可再生能源替代传统能源。

图 5 自上而下与自下而上方法^[11]

表 2 自上而下模型与自下而上模型的优势与局限^[11]

	自上而下模型	自下而上统计模型	自下而上物理模型
优点	<ol style="list-style-type: none"> 1) 着重于能源与经济的相互影响 2) 可模拟分析一定能源需求下不同经济变量之间的关系 3) 无需详细的技术描述 4) 可模拟分析不同社会成本效益的能源和排放政策与情景的影响 5) 基于宏观经济数据 	<ol style="list-style-type: none"> 1) 考虑宏观经济和社会经济的影响 2) 可确定典型的终端能耗 3) 易于开发和和使用 4) 不需要详细数据(只需能耗账单数据和简单的调查信息) 	<ol style="list-style-type: none"> 1) 详细描述现今和未来的技术 2) 采用可物理测量的数据 3) 能使政策制定更有效地针对能耗 4) 评估和量化能源供给和消耗中不同技术组合的影响 5) 估计给定需求下成本最低的技术措施组合
局限	<ol style="list-style-type: none"> 1) 根据以往的能源经济的相互影响来预测未来趋势 2) 缺乏技术细节 3) 不适用于分析特定的技术政策 4) 假设市场是高效的且没有效率差异 	<ol style="list-style-type: none"> 1) 不能提供很多的数据,灵活性较差 2) 分析节能措施效果的能力有限 3) 依赖于历史能耗数据 4) 需要大样本 5) 多重共线性 	<ol style="list-style-type: none"> 1) 缺乏对市场活动的描述 2) 忽略能源消耗与宏观经济活动之间的关系 3) 需要大量的技术数据 4) 不能在模型内定义人们的行为模式(但可以通过外部假设定义)

析,可通过设定可能发生的几种情景,采用情景分析(scenario analysis)方法进行分析。区域建筑采用自上而下方法或自下而上方法估算负荷和能耗时,若有需要,可采用情景分析方法进行分析。

2.1 自上而下方法

自上而下方法通常依据国家能源消耗和碳排放的历史时间序列数据,从宏观层面研究能源与经济之间的内在关系,其模型可以分为经济自上而下模型和技术自上而下模型。

用自上而下方法分析区域建筑负荷与能耗,通常是把某个区域内所有建筑作为一个耗能源,而非具体到单栋建筑末端设备的能耗。依据建筑行业的长时间变化或变迁确定其对能耗的影响,用来决定能源供给量。参数包括宏观经济学指标(GDP、

就业率和价格指数)、气象参数、新建/拆迁率、设备所有权评估和建筑数量等。

2.2 自下而上方法

与自上而下方法相反,自下而上方法考虑了温湿度、建筑性能、末端设备和运行特点等细节,以具有代表性的典型建筑能耗为基础,预测和模拟区域、地区乃至国家尺度的建筑能源需求。自下而上方法模型可分为 3 种:物理模型、统计模型和混合模型。

物理模型是指搭建各类建筑(办公楼、商场、宾馆、住宅等)的典型建筑模型(prototype model),模拟得到各类建筑的能耗强度(EUI),再根据每类建筑的面积估算得到区域建筑的总能耗。典型模型是非常有用的工具,可分析各种节能技术的效果,为决策者制定能源政策与技术应用提供支持。典

型模型的建立需要确定建筑几何外形和布局、围护结构热工参数、内部负荷、新风参数、室内设定参数、室外气象参数等,还需结合调研数据进行假设或情景分析,如运行时间表的设定等。一般采用详细的建筑逐时能耗模拟软件(如 DOE-2, eQUEST, ESP-r 或 EnergyPlus 等)建立典型模型,计算逐时耗电量及其他终端能耗,从而分析计算能源费用和碳排放量。统计模型是基于回归分析的模型,由单体建筑能耗推算区域建筑能耗和碳排放量。这种模型的技术细节和灵活性较差,因此对节能措施效果的估计能力有限。混合模型则是物理模型与统计模型的结合。

物理模型也需要用到统计数据,如人均生活热水用量等;混合模型在更为基本的层次将建筑物理与统计方法相结合,如基于 17 000 个家庭的能耗数据建立的加拿大混合住宅终端能耗和碳排放模型(CHREM)即为典型的混合模型。CHREM 由物理模型和神经网络模型组成,其中神经网络模型用于估算家用电器和照明的全年耗电量和生活热水量,供热和供冷负荷的估算则由通过 ESP-r 软件搭建的详细能耗模型来完成。

图 6 所示为自下而上物理模型的具体步骤。

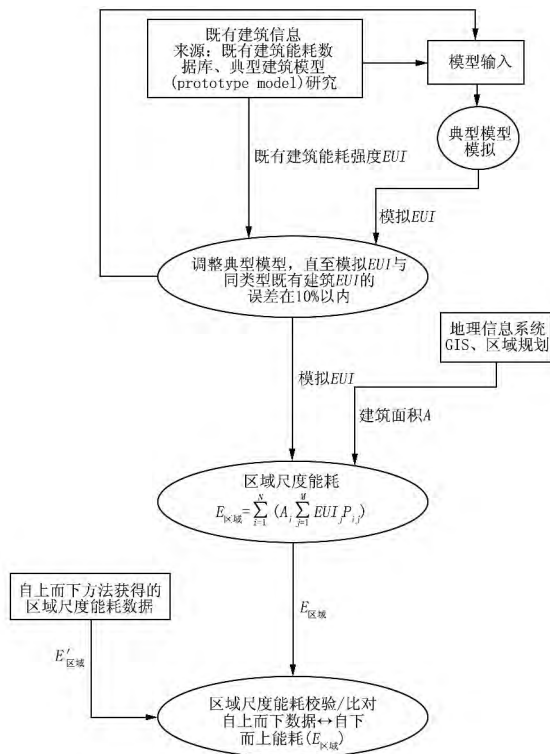


图 6 自下而上物理模型方法的计算与校验流程

2.3 区域负荷与能耗预测中的情景分析

在进行区域负荷与能耗模拟时,常常无法对区域内的每一幢建筑进行详细建模。由于缺乏详细参数,很多参数不确定或者未知,需要进行定性分析,可通过设定可能发生的几种情景,采用情景分析方法进行分析。情景是指对未来情形以及能使事态由初始状态向未来状态发展的一系列事实的描述。情景分析方法是在对经济、产业或技术的重大演变提出各种关键假设的基础上,通过对未来详细、严密的推理和描述来构想未来各种可能的方案。图 7 所示为区域建筑负荷与能耗预测的情景分析方法。

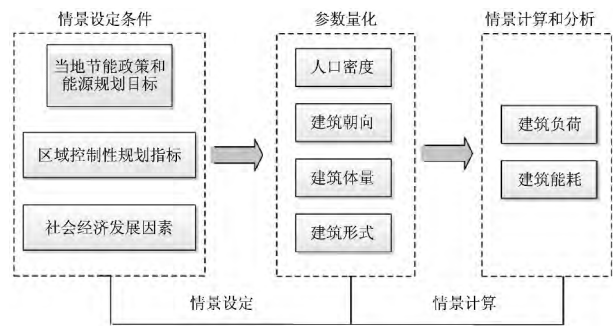


图 7 区域建筑负荷与能耗预测的情景分析方法

情景分析需要首先明确情景具备的特点,并对这些特点进行完整的定性描述,包括社会经济发展状况、人文发展状况、当地的节能政策、区域控制性规划指标、获得能源和资源的途径和限制条件等。然后根据定性描述构筑的框架对一些关键因素设定量化指标。对于区域建筑负荷与能耗预测来说,需要设定的参数包括区域内的人口密度、区域建筑的朝向、区域建筑的体形系数、区域建筑的占地面积和体量等。根据这些参数的量化数值,分析计算不同情景下的建筑冷热负荷和建筑能耗。

例如根据住房和城乡建设部提出的居民住房标准和上海市现有人均住房面积分析,可以设定低线、中线和高线 3 种情景,见表 3。

表 3 住宅建筑面积增长率情景设计

情景设置	
情景 A	2005—2020 年人均住宅建筑面积增长率为 1.2%, 2020 年人均住宅建筑面积为 30.8 m ²
情景 B	2005—2020 年人均住宅建筑面积增长率为 2.2%, 2020 年人均住宅建筑面积为 35.7 m ²
情景 C	2005—2020 年人均住宅建筑面积增长率为 3%, 2020 年人均住宅建筑面积为 40.4 m ²

对于住宅通常需要设定几种人口密度分布情景,如图 8 所示。

其他类型的建筑(如办公楼、宾馆、商场等)也

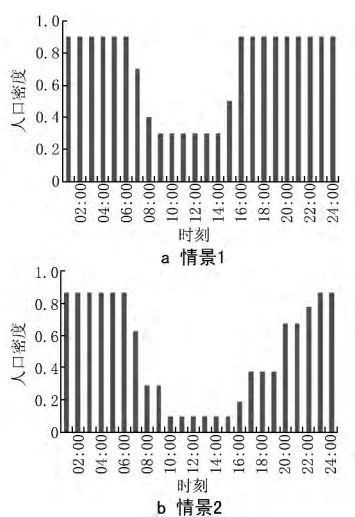


图 8 2 种常见的住宅人口密度分布情景

需根据情况设定不同的人员密度分布情景。

建筑形状多种多样,有矩形、L形、H形、T形、弧形、梯形、不规则形状等。根据相关调研,矩形建筑占绝大多数,因此典型建筑模型通常设为矩形。矩形建筑的体形系数为

$$T = \frac{1}{h} + \frac{2}{a} + \frac{2}{b} \quad (1)$$

式中 T 为建筑体形系数; h 为建筑高度; a 为建筑长度; b 为建筑宽度。

建筑体形系数可以首先按照《公共建筑节能设计标准》《夏热冬冷地区居住建筑节能设计标准》或《夏热冬暖地区居住建筑节能设计标准》中的规定设定范围,然后在设定的范围内选取几种可能的情景进行模拟计算。

住宅的朝向与地区有关,如北京最佳朝向为南偏东 30° 以内和南偏西 30° 以内,适宜的朝向为南偏东 45° 以内和南偏西 45° 以内,不宜朝向为北向和西北向;上海最佳朝向则为南至南偏东 15° ,适宜的朝向为南偏东 30° 以内和南偏西 15° 以内,不宜朝向为北向和西北向。例如某居住小区的建筑朝向可以设置成如表 4 所示的 3 种情景。

表 4 区域建筑朝向情景设定

情景设定	
情景 A	基准朝向(当地推荐朝向为最佳朝向)
情景 B	正南朝向
情景 C	与小区道路一致的朝向

预测和模拟区域建筑能耗可能还需对区域能源供给方式进行情景设定,例如某综合性住宅小区的能源供给方式可能有 3 种情景:1) 分散式空调

系统——分体式热泵机组;2) 集中系统——区域供冷及供热;3) 复合系统——集中区域供冷供热系统+分散式空调系统。通过情景设定,可以模拟分析不同能源供给情景下的区域建筑能耗。

3 区域建筑负荷与能耗预测应用实例

目前尚没有成熟的专用区域建筑负荷与能耗预测软件。而软件开发的主要困难是如何将地理信息、区域环境分析工具以及能耗模拟软件很好地进行耦合。因为区域负荷与能耗预测不仅需考虑单体因素,区域影响也至关重要。影响区域建筑群的负荷与能耗的因素很多,包括地理位置、微气候(通风、采光、热岛效应等)、建筑类型、人员行为模式等。现有的环境分析软件大部分研究的模拟时间尺度较短(数小时到几天),在实现较长时间尺度模拟研究中,通常采用的方法是对几个典型气象日进行微气候模拟,再将模拟结果输入到气象数据生成软件,插值生成长时间尺度气象数据,然后导入建筑能耗模型计算能耗。这种方法的可靠性与精度不能得到保证。以上原因使得开发区域建筑能耗软件存在一定难度。

通常情况下,基本方法仍然适用:如结合调研得到的能耗数据建立统计模型;利用自下而上方法借助 GIS(地理信息系统)技术获得区域能耗需求等。在考虑微气候和城市形态对区域能耗的影响时,则需采用能耗模拟软件与其他空间分析工具耦合处理。

Bouyer 等人提出采用 CFD 软件和建筑能耗软件耦合^[8];Yang 等人采用 ENVI-Met 软件与 EnergyPlus 软件耦合,其中考虑了微气候因素,如太阳辐射、长波辐射、空气温度、空气湿度^[9];Tarabieh 等人利用能耗模拟和空间分析工具分析校园建筑的能耗,其中考虑了区域内建筑的空间相对位置,该研究为建筑群性能模拟提出了一套实验准则,将区域性能参数分为建筑群分布形状、朝向和位置,通过对性能指标参数进行规范化处理,得到城市校园的能耗性能指标^[12];Ratti 等人用 LT (Lighting and Thermal) 模型与 DEMs 模型相耦合来模拟不同城市空间结构下的建筑能耗,采用城市光栅模型评估了建筑体形系数和建筑立面 6 m 范围内的特征面积对伦敦、图卢兹和柏林 3 个城市能耗的影响^[13]。

对于某些特定区域的负荷和能耗预测,可以通

过整合实际调研所得能耗数据,分析归纳出适用于该区域的模型方法。Corgnati 等人针对意大利托里诺的 140 栋建筑,假设供暖度日数和供暖季节步长与能耗线性相关,引入了典型传统供热需求系数。该方法适用于建筑群的长期评价^[14]。Fracastoro 等人针对意大利皮埃蒙特和伦巴第的能耗统计数据建立了居住建筑的能耗分布评价方法。该研究给出了总的主要能耗需求的统计信息(类型、气候区等)^[15]。Theodoridou 等人调查了希腊居住建筑群与能耗之间的关系和节能潜力^[16]。Caldera 等人根据 50 幢建筑的相关数据得出了能源需求与区域供热、建筑年代之间的简单线性关系,并对热物理特征作了统计学分析^[17]。Howard 等人采用多元线性回归方法评价了纽约的建筑能源强度,认为建筑能效比建筑年代和建筑类型更能影响能源需求^[18]。

GIS 技术可以把地图和地理分析功能与一般的数据库集成到一起,从而可以更直观地获取其中的重要信息。Dall 等人利用 GIS 平台建立了城市尺度的建筑性能数据库,该数据库信息可用于建筑群和样本建筑的能耗审计^[19]。Heiple 等人在 GIS 框架下根据建筑类型及面积为相应地块赋值,模拟了典型单体建筑的逐时和季节负荷特性^[20]。

20 世纪 90 年代,英国剑桥大学建筑系马丁建筑与城市研究中心建立了以建筑光环境和建筑热环境为计算对象的 LT 模型,并开发了相应软件。该模型可以根据建筑所在地的气候条件,通过建筑设计及被动式技术手段的选择,实现对自然资源的充分利用,同时减少对能源的依赖。国内也有相关应用,如姚润明等人运用 LT 方法对单栋建筑和群体建筑进行综合能效规划设计,根据城市建筑群布局,采用 Matlab 图像处理技术,获取 LT 能量计算所需要的朝向、方位、城市高度角等参数,再将 LT 所计算的建筑能耗(照明、供暖空调能耗)反映在建筑规划图中^[21]。

4 国内常用区域建筑负荷预测方法及存在问题

国内目前常用的区域建筑负荷预测方法有面积指标法和软件模拟法。

使用面积指标法,在区域建筑负荷估算时将各功能建筑的最大负荷值叠加,往往造成负荷估算偏大,系统容量与输送系统配置过大,方案初投资、全生命周期运行费用偏高,运行效率低,造成浪费。并

且这是一种静态的方法,不能反映区域中负荷的时间变化特性,单纯采用冷热负荷估算指标来估算区域内各单体建筑、建筑群的负荷,确定冷热源系统形式、规模、配置及输配系统,其分析基础就显得比较薄弱^[22]。对于一般的单体建筑来说,按面积指标估算负荷对设备选型和运行节能没有太大的影响;但是对于冷热电三联供系统这样设备较多、控制过程复杂、存在相互耦合特性、常常考虑间歇运行的系统,需要确定负荷的逐时值。如果得不到相对准确的逐时负荷值,就会对设备的选型和系统运行方案的选择给予误导,造成很大程度的浪费^[23]。

使用软件模拟时,通常对区域内各建筑单体进行模拟,再推及整个区域。虽然可以模拟计算动态的负荷,但在区域建筑规划初期,区域内单体建筑的具体方案通常没有形成,建筑的具体设计、使用情况、内扰变化规律等都是不确定的。在这种情况下,很难通过常用的动态负荷模拟软件建立模型计算负荷。而且,在规划阶段,对区域内各单体建筑进行模拟,工作量很大^[24]。

根据我国现有建筑情况,我国城市人均用地面积达到 133 m²,远高于发达国家与发展中国家的人均水平,但几乎有一半土地是非宜居的。我国的建筑特点是体量大、密度大,空间利用不合理,土地利用率低。又因为房地产泡沫影响,某些区域大量住房空置,使得城市中心“空心化”。据调查,我国 660 多个城市连续 6 个月以上电表读数为零的空置房达 6 540 万套。因此,在我国,区域负荷采用从单体到区域的方法预测往往不准确。

我国的区域建筑负荷预测,可采用统计模型与物理模型相结合的自下而上方法,并加入情景分析法。其中典型模型库的建立非常重要,基于大量的调研、实测和统计数据,以期能够代表我国各个气候区域各类典型建筑的情况。再结合应用情景分析法,对可能发生的各种情景进行模拟分析,以合理预测各种情景下的区域建筑负荷与能耗。

5 结论

本文从区域能耗影响因素、区域建筑负荷与能耗预测方法两方面阐述其研究现状:1) 区域建筑负荷与能耗预测不仅要考虑区域内单体建筑情况,还需考虑到区域特有因素的影响。其中,城市形态与区域微气候是区域规划决策中需重点考虑的因素。2) 区域建筑负荷与能耗预测基本方法主要有

2 种——自上而下方法和自下而上方法。自下而上方法较为常见,在应用该方法时需引入同时使用系数,并结合情景分析方法。3) 由于没有成熟的区域建筑负荷与能耗预测软件,目前主要有 2 种预测方法。一是采用基本方法建模,如基于实际调研获得的统计模型和利用 GIS 技术建模等;二是考虑微气候与城市形态的影响,采用能耗模拟软件与其他工具耦合的方法进行模拟。

考虑到我国建筑的特点,可采用自下而上方法与情景分析方法相结合进行区域建筑负荷预测,建立典型建筑模型库,开发适用于我国的区域建筑负荷预测软件。

参考文献:

- [1] Philipp R, Pablo V G, Ricky B, et al. Cities and energy: urban morphology and heat energy demand [R],2011;4
- [2] Serge Salat. Energy loads, CO₂ emissions and building stocks: morphologies, typologies, energy systems and behavior [J]. Building Research & Information,2009, 37(5/6):598-609
- [3] Dennis F, Christopher Z. Clean energy urban design: the Energy Proforma in practice and policy[R],2015: 2-31
- [4] Ewing R, Rong F. The impact of urban form on U. S. residential energy use[J]. Housing Policy Debate, 2008, 19(1): 1-30
- [5] Numan M Y, Almaziad F A, Al-Khaja W A. Architectural and urban design potentials for residential building energy saving in the Gulf region [J]. Applied Energy,1999,64(1/2/3/4): 401-410
- [6] Wong N H, Jusuf S K, Nedyomukti I S, et al. Evaluation of the impact of the surrounding urban morphology on building energy consumption [J]. Solar Energy,2011,85(1): 57-71
- [7] Santamouris M, Papanikolaou N, Livada I, et al. On the impact of urban climate on the energy consumption of buildings[J]. Solar Energy, 2001, 70 (3): 201-216
- [8] Bouyer J, Inard C, Musy M. Microclimatic coupling as a solution to improve building energy simulation in an urban context[J]. Energy and Buildings, 2011, 43(7): 1549-1559
- [9] Yang X, Zhao L, Bruse M, et al. An integrated simulation method for building energy performance assessment in urban environments[J]. Energy and Buildings, 2012, 54(11): 243-251
- [10] 潘毅群,李玉明,刘羽岱,等. 实用建筑能耗模拟手册 [M]. 北京:中国建筑工业出版社,2013:115-118
- [11] Kavacic M, Mavrogianni A, Mumovic D, et al. A review of bottom-up building stock models for energy consumption in the residential sector [J]. Building and Environment,2010,45(7):1683-1697
- [12] Tarabieh K A, Malkawi A M. Building an urban energy performance framework: integrating spatial analysis and building simulation tools for campus planning [J]. Building Simulation,2007(1/2/3):1839-1845
- [13] Ratti C, Baker N, Steemers K. Energy consumption and urban texture[J]. Energy and Buildings, 2005, 37(7): 762-776
- [14] Corgnati S P, Corrado V, Filippi M. A method for heating consumption assessment in existing buildings: a field survey concerning 120 Italian schools[J]. Energy and Buildings, 2008, 40(5): 801-809
- [15] Fracastoro G V, Serraino M. A methodology for assessing the energy performance of large scale building stocks and possible applications[J]. Energy and Buildings, 2011, 43(4): 844-852
- [16] Theodoridou I, Papadopoulos A M, Hegger M. Statistical analysis of the Greek residential building stock [J]. Energy and Buildings, 2011, 43(9): 2422-2428
- [17] Caldera M, Corgnati S P, Filippi M. Energy demand for space heating through a statistical approach: application to residential buildings [J]. Energy and Buildings, 2008, 40(10): 1972-1983
- [18] Howard B, Parshall L, Thompson J, et al. Spatial distribution of urban building energy consumption by end use[J]. Energy and Buildings, 2012, 45(2): 141-151
- [19] Dall G, Galante A, Torri M. A methodology for the energy performance classification of residential building stock on an urban scale [J]. Energy and Buildings, 2012, 48(5): 211-219
- [20] Heiple S, Sailor D J. Using building energy simulation and geospatial modeling techniques to determine high resolution building sector energy consumption profiles [J]. Energy and Buildings, 2008, 40(8): 1426-1436
- [21] 姚润明,李百战, Koen S. 能效建筑规划设计方法 [J]. 建筑学报,2004(8):62-64
- [22] 沈钢,由世俊,吴文忠. 区域能源需求预测[J]. 暖通空调,2011,41(7):58-60,140
- [23] 林欢欢,黄锦涛,王耀文,等. 基于负荷曲线的楼宇热电冷联产系统方案及运行模式分析[J]. 沈阳工程学院学报:自然科学版,2010(3):193-197
- [24] 韩传忠,端木琳,舒海文,等. 区域供冷负荷预测模型的建立[J]. 建筑热能通风空调,2012(1):9-11,85