

城市节能

同济大学 龙惟定[☆] 范蕊

住房和城乡建设部科技发展促进中心 梁浩

摘要 随着我国进入快速城市化的历史阶段,很多单体建筑节能设计无法解决的问题,如城市交通能耗的降低、既有建筑的节能改造、城市能源系统的低碳化、城市能流的合理化等,都需要从城市或城区层面统筹协调。将城市能源供应分成三个层次,即城市、社区和终端,又可以分成生产、输配和用户三个环节。同时将城市能源消耗分成生产性能耗和消费性能耗两部分,以及产业、交通、建筑三个领域,分别分析了它们的能耗特点和节能措施,并提出了城市节能的关键性能指标。

关键词 城市 节能 生产性能耗 消费性能耗 关键性能指标

Urban energy efficiency

By Long Weiding[★], Fan Rui and Liang Hao

Abstract As China enters the historical period of rapid urbanization, numerous problems that cannot be resolved by single building energy efficiency design, such as energy consumption reduction of urban transport, energy efficient renovation of existing buildings, the city's low-carbon energy system, and the rationalization of urban energy flow etc. would require co-ordination at the level of city or community. The urban energy supply can be divided into three levels, namely, urban, community and end user, or into three segments i.e. production, utility distribution and customers. Treats the urban energy consumption as two parts—one for productive purpose and the other for consumptive purpose—and three sectors of industry, transport and buildings. Analyses their characteristics of energy consumption and energy saving measures and proposes the key performance indicators of urban energy efficiency.

Keywords city, energy efficiency, productive energy consumption, consumptive energy consumption, key performance indicator

★ Tongji University, Shanghai, China

①

1 城市化与能耗和碳排放

城市是人口、建筑、交通、工业、物流的集散地。全世界 100 万人口以上的大城市从 1950 年的 75 个增加到 2011 年的 447 个;全球前 100 个大城市的平均人口也从 200 万增加到 760 万^[1]。全球城市的一次能源需求量占总能源需求量的 67%,与能源消耗有关的温室气体排放量占世界总排放量的 71%^[2]。我国 287 个地级以上城市的能耗占全国总能耗的 56%,CO₂ 排放量占全国总排放量的 59%^[3]。我国所有的 600 多个城市贡献了 75% 的一次能源需求,到 2030 年这一数字有望提高到 83%,碳排放比例达到 85%。

中国正处于快速城市化时期,2010 年的城市化率已经达到 49.7%,预计 2030 年将达到 65%。

此期间将有相当于整个美国的 3 亿多人口从农村移居城市,中国的城市人口有望达到 10 亿。到 2025 年,中国将出现 15 个平均人口达 2 500 万的超大城市,或 11 个总人口在 6 000 万以上的城市群^[4]。这在世界城市化进程中都是史无前例的。

与此同时,国家发改委制订了两横三纵的城市化战略布局,即中国将构建以陆桥通道、沿长江通道为两条横轴,以沿海、京哈京广、包昆通道为三条纵轴,以主要的城市群地区为支撑,以轴线上其他城市化地区和城市为重要组成的城市化战略格局。

①[☆] 龙惟定,男,1946 年 11 月生,硕士研究生,教授,博士生导师
200092 上海市四平路 1239 号同济大学中德工程学院
(021) 65986960
E-mail:weidinglong163@163.com
收稿日期:2011-12-16

2011年6月初,国家发改委正式发布了《全国主体功能区规划》,将国土空间划分为优化开发、重点开发、限制开发和禁止开发四类,确定主体功能定位,明确开发方向,控制开发强度,规范开发秩序,完善开发政策,逐步形成人口、经济、资源环境相协调的空间开发格局。

诺贝尔经济学奖得主斯蒂格利茨(Joseph E. Stiglitz)说过,“中国的城市化与美国的高科技发展将是深刻影响21世纪人类发展的两大关键(The urbanization in China and the high-tech development in the United States will be the two keys to influence the human development in the 21st century deeply)”^[5]。根据预测,到2020年中国将达到城市化高峰,今后10年将是中国快速城市化,以及经济转型、结构调整的关键时期。由于人口迅速向城市集聚,带来了能源、环境、社会安全、基础设施和公共服务设施的巨大投资和消费需求。中国的城市化将面临很大的能源挑战,中国城市的能源消耗特点是:

1) 几乎所有城市的能耗构成都以传统制造业能耗为主。我国尚处于工业化中期,多数城市还要依赖传统制造业拉动当地经济。

2) 几乎所有城市都以燃煤发电的电力为主要能源,能源禀赋是高碳的。

3) 除了北方城市的集中供热,城市规划中都没有建筑能源规划的位置。

4) 几乎所有城市都采取蔓延式的城市发展策略(环线交通、摊大饼式扩张),这种以汽车交通为导向(COD)的规划理念使交通能耗迅速增长。

5) 内需不足,服务业发展水平低、居民消费水平低,形成炎夏和寒冬时冲击式的用能负荷,对能源供应安全造成威胁。

6) 巨大的能源需求潜力,尤其是城市生活能耗(urban life energy),即消费性的建筑能耗和交通能耗。

7) 我国高人口密度和高建筑密度的城市形态,使得低能量密度和低品位的可再生能源应用十分困难。

8) 民用建筑能源消费结构的二元化可以总结为三个“并存”——低能耗和低环境品质并存,能源浪费和能源贫困并存,大处浪费和小处节约并存。

这些特点是发达国家在城市化进程中所未曾

遇到过的,也是中国的城市化进程中必须面对的巨大压力。

2 从建筑节能走向城市节能

我国城市建设呈现如下特点:

1) 建筑越来越高。在世界上已建成的100栋超高层建筑中,中国(包括香港)占了34栋;而在世界上在建的最高的前100栋超高层建筑中,中国也有34栋入围^[6]。各城市竞相争夺高度冠军,希望建立自己的城市地标。

2) 建筑规模越来越大。现在新建和正在规划中的园区和开发区,达到数百上千 km^2 规模的不在少数。例如,重庆两江新城达1200 km^2 ,天津滨海新区2200 km^2 ,四川天府新区1578 km^2 ,兰州秦王川新区规划控制范围806 km^2 ,等等。这些新建城区正在填满城市群内部的空隙,而轨道交通又弥合了空间距离,势将突破行政区划的疆界,逐渐形成事实上的超级巨型城市,其中如长三角、珠三角、京津唐和成渝等城市群,人口甚至可能过亿。

3) 城市面貌的改变越来越快。许多城市开展旧城改造和市中心再造,已不再局限于单栋建筑的建造,而是成片开发,建设数十万甚至上百万 m^2 的城市综合体。城市更新的速度甚至是以数年为周期。

新建建筑的节能,本质上是增量节能,即“少增加”,是在假设不采取任何节能措施的情景下,以计算得到的能耗增加值作为基准,然后预计在采取一定节能措施条件下可能少增加多少能耗,它并不是在原有基础上的“减少”。在如此巨大的建筑规模面前,单栋建筑的节能形单影只,能够降低的能耗与巨大的投入相比只是杯水车薪,并不能实现任何实质性的节能。许多区域开发项目,仅其中一两栋建筑堆砌各种节能技术作为示范,更不能发挥任何积极的作用。实现温室气体减排,要求在某个基准线上排放量有实质性的减少。这需从城市或城区层面统筹协调,实现整个城市的节能。例如,城市交通能耗的降低、既有建筑的节能改造、城市能源系统的低碳化、城市能流的合理化,这些都是单体建筑节能所无法解决的。

城市的能源消费是直接能耗,而城市的土地利用则产生间接能耗。这种间接能耗的降低要通过规划节能得以实现。通过城市规划和能源规划可

以完成下述任务:

- 1) 设定城区节能减排的战略目标和关键性能指标(key performance indicator);
- 2) 紧凑型、集约型的城市形态,合适的人口密度和科学的交通路由可以降低交通能耗;
- 3) 通过城市(城区)的气候设计(climate design)技术调整建筑布局 and 气流通道,充分利用天然采光、自然通风等被动式技术;
- 4) 通过负荷测绘(load mapping)技术调整建筑功能布局,降低负荷集中度;
- 5) 集成应用低能量密度的可再生能源和低品位的未利用能源(untapped energy),提高有限资源的利用效率;
- 6) 将无碳的虚拟能源(即用户端的节能)作为替代资源;
- 7) 在城区层面合理利用低碳的分布式能源;
- 8) 通过热回收和协同(synergy)技术实现园区层面有碳的传统能源的梯级利用;
- 9) 利用城区能源系统的负荷参差率和同时利用系数降低负荷和需求;
- 10) 城区能源系统的运营机制设计。

城市(或城区)的定义已经成了著名的难题。对城市的定义方法不外乎以下几种:

第一,以居民人数作为标准。海南省三沙市是国务院于2007年11月批准设立的县级市,管辖位于中国南海,隶属海南省的西沙、南沙、中沙三个群岛及周围海洋,面积260万 km^2 ,相当于中国领土的1/4,但人口只有260余人,是中国现在人口最少的城市。而根据国家统计局发布的第六次全国人口普查主要数据公报,重庆市常住人口为28 846 170人,为中国人口最多的城市。显然,居民人数无法决定是城市还是城区。

第二,以居民密度作为标准。在全球人口最稠密的城市排行前20名中,中国有5个城市“榜上有名”,分别是深圳、台北、上海、北京、天津,而深圳以17 150人/ km^2 的人口密度排在全球第5位,为中国人口密度最大的城市^[7]。如果以人口密度为标准,恐怕中国的很多村庄都可以变身为大城市。

第三,以地理界线和行政区划的建制和规定作为标准。在中国这是最简单的方法。上千 km^2 可以只是一个“区”,数十 km^2 也可以是一个“市”。而且中国的城市还有行政级别:副省级市、地级

市……;厅局级区、处级区……。

但是,如果考虑到设置区域能源系统,这样的区划都无法适用。城市热电厂的热电联供系统合适的供热半径为10 km,因此一座热电厂的供热覆盖范围最大为200 km^2 。而对于分布式能源和区域供冷系统,因为供冷温差小,合适的供冷半径仅为1 km,所以一座能源站能够覆盖的供冷范围大约为2 km^2 。此外,人可接受的最大步行距离约为800~1 000 m,因此一个无汽车的步行社区覆盖面积大约为0.32~0.5 km^2 。在区域能源系统的能源规划中,可以根据系统规模决定区域的大小。

本文论述的城市能源分别涉及城市/城区/终端(urban-community-end use)三个层面,以及生产/转换/用户(production-utility-customer)三个环节(见图1)。三个层面分别都有这三个环节的

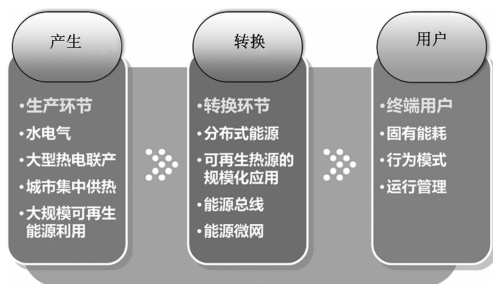


图1 城市能源的三个环节

任务,但能源的生产环节主要集中在城市层面;能源的转换环节则主要集中在城区层面,即将一次能源转换成二次能源(电、热、冷),将高品位能源(电、热)转换成与用户需求对位的能源(热、冷),或者将低品位热源(来自可再生能源和未利用能源)提升成与用户需求对位的能源;而对于终端用户,则主要是能源的合理利用(见表1)。本文将主要关注城区和终端的层面。

3 城市节能特点

从终端用能的特点来看,城市能源利用可以分成三大领域和两大部分。三大领域分别是产业、交通、建筑;两大部分是生产性能耗和消费性能耗。

中国尚处于工业化中期,城市能耗以传统制造业的工业能耗为主;发达国家,尤其是金融中心城市,城市能耗以建筑能耗为主(见图2)。

由图3四个城市中各产业占国内生产总值(GDP)的比例可以看出,纽约、伦敦、东京这三大

表 1 三个层面的三个环节

	生产(P)	转换(U)	用户(C)
城市(city)	发电、热电联产 大规模光伏、光热系统 大规模风力发电 生物质热电联产	高压直流输电 智能电网	需求侧管理 虚拟电厂 能耗计量与监测平台
城区(community)	分布式能源	热电冷联供 区域供冷供热 智能微电网 热泵技术集成应用低品位能源	虚拟能源 电动车充电 能耗分户计量与监测 能源管理
终端(end use)	光伏、光热、建筑光伏一体化(BIPV)	高效率用能设备 燃料电池 微型、小型热电冷联产 热泵技术	能源管理 系统调适 围护结构节能 行为节能

这充分表明现代城市能耗有以下几个特点：

1) 传统制造业发展到现代制造业,工艺能耗转化为建筑环境保障能耗。最典型的如半导体、生物制药、航空航天工业等,室内环境品质的改善能够提高现代制造业的产品附加值、降低能耗强度。

2) 现代服务业的发展使室内环境成为安全运营的关键因素,最典型的如数据中心、网络中心,同时也是提高白领工人工作效率的主要因素之一。

3) 全球化分工和集约化生产提高了资源配置效率,例如 iPhone 手机的零配件来自十余家国际知名厂商,而装配在中国,最后再配送到世界各地销售。与传统的“一站式”生产相比,工艺能耗转移为物流和交通能耗。

4) 随着人们可支配收入的增加和社会保障体系的健全,人们用于衣食住行的能源消费,即所谓“城市生活能耗(urban life energy)”将逐步增加。这是一种刚性需求。

5) 电动汽车和电动自行车的普及以及充电基础设施的缺乏,使得交通能耗向建筑的插座能耗转化。

6) 地铁轻轨等大容量快速交通系统(MRT)因为沿线站点和隧道环境保障的需要,使得人均交通能耗降低而建筑能耗增加。

7) 现代服务业为主的城市,城市能耗以建筑能耗为主;居民生活水平比较高的大都市,交通能耗的比例也比较大。

因此,在城市能源消耗结构中,建筑和交通能耗的比例增长、产业能耗的比例下降是城市化进程中的规律。尤其是建筑能耗在总能耗中所占的比例应该是经济发展的晴雨表。从宏观经济角度看,建筑能耗在总能耗中的比例越大,经济发展就越合理、健康,人民生活水平就越高。

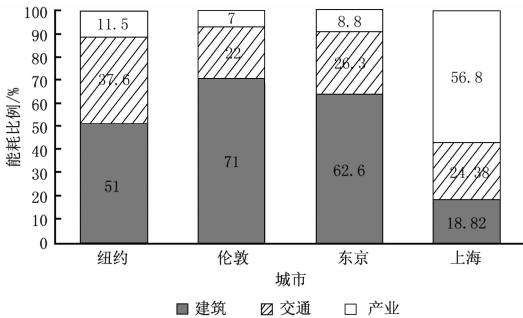


图 2 四个城市能耗比例

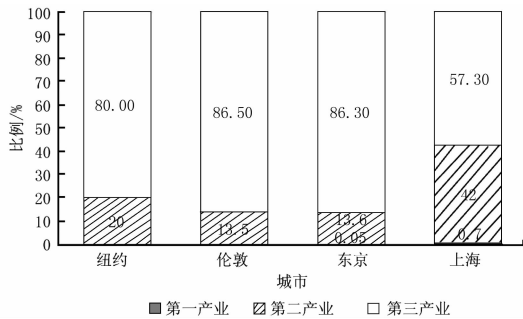


图 3 四个城市 GDP 中的三次产业所占比例

金融中心城市的经济结构中服务业(第三产业)都占 80% 以上,而上海的服务业比例还不到 60% (2010 年数据)。

由图 4 可以看出,这四个城市中上海的人均生活能耗最低。

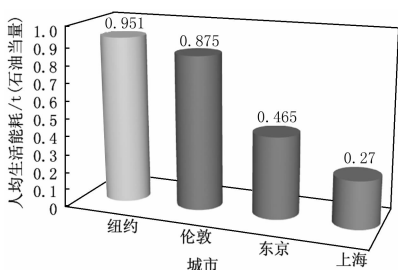


图 4 四个城市人均生活能耗比较

另一方面,错误的规划指导思想会造成单一用途社区、低密度社区、汽车依赖型社区,就业的分散、市中心空心化,以及人为造成富人区和穷人区的空间割裂。这些都会使城市蔓延式(摊大饼式)

扩张,交通能耗日益增加、交通拥堵日趋严重、社会矛盾加剧。

在研究城市节能时可将能耗分成两大部分,即生产性能耗和消费性能耗(见表 2)。

表 2 城市能耗两大部分的内容和节能措施

生产性能耗	消费性能耗
• 包括产业、国际城际交通、物流、工业建筑、商用建筑、非公益性公共建筑的能耗 • 创造价值,可以用单位 GDP 能耗来衡量 • 通过产业结构调整、提高产品附加值、采用先进工艺和规模化生产、提高劳动生产率等实现节能减排	• 包括公益性建筑、行政建筑、居住建筑、城市公交、公交车和私家车的能耗 • 对于用财政支出的公益性和行政建筑以及公车消费,应加以限制 • 对于住宅和私车消费,应以引导 • 所有公共服务不以盈利为目的 • 本着“以人为本”的宗旨,解决能源消费中的民生问题

生产性能耗可以通过 GDP 能耗来控制。各行各业都有行业的产值能耗标准,没有必要一刀切地规定室温、能耗量等限额。例如硬性规定五星级酒店夏季室温不得低于 26℃,会降低这类酒店的服务质量,也不符合国际上酒店行业的通行标准。国外建筑能耗的统计又细分为公共建筑(public building)、商用建筑和居住建筑。其中商用建筑能耗应归于生产性能耗,居住建筑能耗应归于消费性能耗。而公共建筑能耗中,一部分经营性的建筑如火车站、航站楼等仍具有商用建筑属性,而像医院、学校等具有公益性的建筑的能耗,则应归于消费性能耗范畴。

4 生产性节能

生产性能耗的降低可以有效地降低企业的生产成本或经营成本,所以,生产性节能应该成为企业自觉的行动。在城区层面,应该控制产业结构和产业的入门标准,并通过合同能源管理为企业提供服务。

在城区层面,应该通过能源规划,采取以下节能措施。

1) 制订城区的生产性节能目标,即单位国内生产总值能耗。有三种方法:

① 根据城区的主导产业,了解国内外相关产业的人均产值和单位 GDP 能耗,再根据总体规划中城区该产业就业人数得出 GDP 和总能耗。

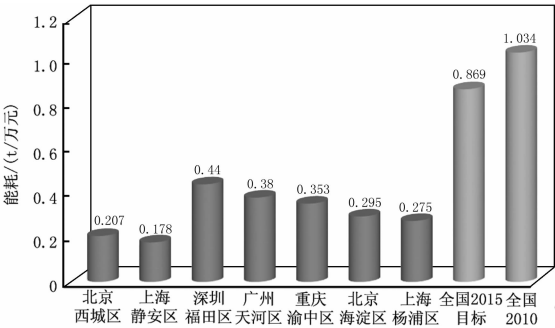
② 了解国内外功能相近的城区、开发区、产业园区的地均产值水平和单位 GDP 能耗,再根据总体规划中城区土地面积得出 GDP 和总能耗。

③ 了解国内外功能相近的城区、开发区、产业园区的单位 GDP 能耗,再根据园区的定位确定 GDP 能耗水平。

各类产业的人均产值是一个不确定的变数,与产业性质、产品附加值、员工素质、创新程度、工艺革新、所处地区等有密切关系。例如在 IT 行业

中,人均产值最高的谷歌公司达到了人均 120 万美元,而上海市 2009 年 IT 产业的人均产值为 114.6 万元人民币;上海以高科技为主的张江高科技园区人均产值为 95.7 万元,以传统制造业为主的松江出口加工区人均产值反而达到了 165.9 万元。因此,根据主导产业人均产值预测 GDP 时,首先要高于当地同产业的水平(否则失去投资价值),其次要考虑产业成熟的渐进性和当地员工素质,不要为降低 GDP 能耗而放大人均 GDP。而单位 GDP 能耗值,可在当地相关产业能耗水平基础上降低,或根据产业性质,在当地预测未来总的 GDP 能耗水平基础上降低某个百分比。

从图 5 可以看出,北京的西城区、上海的静安区都是第三产业产值占 90%左右的城区,几乎没有传统工业;其他几个城区的第三产业产值所占比例也在 70%以上。以第三产业为主的规划城区可以以这些区域作为参照,制订生产性节能目标。



注:除上海市为 2009 年数据外,其余均为 2010 年数据。资料来源于统计年鉴和各地统计公报。

图 5 全国主要城区的万元 GDP 能耗

地均产值是衡量土地利用效率的重要指标。我国 54 个国家级经济技术开发区每 km² 的 GDP 产出超过 9 亿元,单位土地面积 GDP 产值位列全国第一的上海漕河泾新兴技术开发区达 275.9 亿元/km²,广州天河 CBD 核心区超过 100 亿元/

km²;上海陆家嘴金融贸易区是我国资本密集度最高的地区,平均每 km² 吸纳的国内外银行资本逾 117 亿美元。

产业结构的调整和优化对城市节能至关重要。城市应优先发展服务业和高附加值产业。产业结构调整的关键是市民素质的提高。瑞典的马尔默市,原先是瑞典的主要工业城市,集中了航运、物流、造船、汽车、机械加工等工业,2000 年后实现彻底转型,传统制造业全部转移,变成以金融、IT、咨询等为主的知识密集型城市,并成为绿色、生态、低碳城市的典范,被联合国评为宜居城市。马尔默市的成功在很大程度上得益于其城市中有 32% 的人具有研究生以上的学历。因此,发展何种产业,能够产生多大效益,必须根据自身条件和城市发展战略确定。部分中心城市可以发展成为国际的或地区的服务业集聚区或金融和商贸中心。

2) 以园区为整体实现化石燃料能源梯级利用。工业园区各种工艺过程产生的余热、废热,在一家企业内部可能无法充分利用,但在整个园区层面上可以实现能源的梯级利用、能量回收和企业间的交叉利用(见表 3)。

表 3 能源梯级利用

温度等级	适用装置和热媒	利用形式
1 500 ℃	内燃机	发电
1 100 ℃	燃气轮机	发电
700 ℃	汽轮机	发电
500 ℃	蒸汽	工业、吸收式制冷
300 ℃	蒸汽	工业、吸收式制冷
100 ℃	高温热水	区域供热、吸收式制冷
80 ℃	中温热水	建筑供热、供热水、吸收式制冷
50 ℃	低温热水	建筑空调供热、供热水
20 ℃	常温水	冷却水、热泵

3) 传统产业的转型。中国不可能像发达国家那样,将传统制造业和高能耗高污染产业统统转移到欠发达国家,因此,要降低能耗和减少碳排放,传统制造业必须实现企业自身的根本转型。

① 从单纯产品制造向研发和营销的两头服务延伸;

② 从简单的劳动力密集型产品向高端、高技术含量和高附加值的个性化产品转变;

③ 企业技术改造,采用高效先进工艺(例如富氧燃烧技术、Co-fire 技术、冷凝锅炉等);

④ 提高工业生产效率,降低人均能耗和单位产品能耗;

⑤ 发展技术服务,如创意、策划、咨询、设计、项目管理等,以及相应的金融服务;

⑥ 生产过程的全球化,以及相应的物流、外包等产业的发展;

⑦ 建立与结构调整相适应的人才培养和人员培训机制。

5 消费性节能

所谓“城市生活能耗”本质上是一种消费。内需不足一直是困扰我国经济发展的负面因素。2010 年,我国消费占 GDP 的比例仅为 37.3%,比 2009 年(52.5%)有明显下降。而美国尽管遭遇金融危机,2010 年其国内消费仍占 GDP 的 81%^[8],2009 年欧盟占 81.9%^[9]。

在经济学中,消费是指利用社会产品来满足人们各种需求的过程。人们的衣食住行各方面都离不开能源,因此,所有不直接创造价值的城市生活能源消费都会形成消费性能耗。

“需求”这个词在英文里有“demand”和“need”两重含义。美国心理学家马斯洛将人的需求分为 5 个层次,即生理的需求、安全的需求、社交的需求、受尊重的需求、自我价值实现的需求。

前三种需求是人生存所必需的最基本的需求,即“need”。能源消费的一个方面就是要满足多数人的最基本的需求,即满足“need”。人体对“冷耐受”的下限温度和“热耐受”的上限温度分别为 11 ℃和 32 ℃。在我国多数气候区仅靠非耗能措施(例如自然通风和增添衣物)是不可能长时间维持健康环境的。我国行业标准 HJT 351—2007《环境标志产品技术要求——生态住宅(住区)》中要求,“不遇到寒流等特殊情况,生态住宅的卧室、起居室、书房、卫生间的室内空气温度不低于 18 ℃,厨房、采暖楼梯间和采暖走廊不低于 16 ℃”。因此,为满足冬夏维持适宜的室温、洗热水澡,以及快捷地解决一定距离的交通,就成为人的基本需求。这样的能源消费问题就是一个民生问题。

“demand”有合理的和不合理的两类,带有很强的个性化色彩。由于能源这种公共资源具有稀缺性和外部性的特点,不可能满足所有人的 demand。美国以全世界 1/20 的人口,消耗了全世界 1/5 的能源,它可以以全世界的资源来满足一己的需求,中国不可能复制美国的发展模式。

因此,城市消费性节能的基本原则是,在满

足基本需求的前提下,抑制公款支出的过度消费,引导个人支出的合理消费,同时提供消费性节能必需的基础设施和基本条件,在全社会倡导节能理念。

各种调查表明,我国大部分政府办公建筑的单位建筑面积能耗并不高,但存在两方面问题:一是人均建筑面积过大(我国公务员人均办公面积世界第一^[10]),因此政府办公建筑能耗总量很大;二是浪费现象严重,有些办公建筑中为少数主要领导配备酒店式的住宿设施,使用率不高,造成浪费。

近年来,各地通过调研和分析,已经或正在制订当地的机关办公建筑能耗定额,可以作为政府办公建筑的节能目标和节能限定值。

另一方面,公务车的消费涉及公车改革。这项改革开展十多年来举步维艰。近日国家出台了《党政机关公务用车选车型目录管理细则》,对政府采购大排量汽车作了限制。汽车排量是影响能耗的重要因素之一,但更重要的是汽车年行驶里程,即使用强度。在目前情况下,一个城市到底有多少公车都是一笔糊涂账,更遑论公车如何使用了。比较现实的办法是限制车辆的每百公里油耗。限制公务车单位油耗在 11 L/(100 km)以下可以作为

城市节能权宜之计的目标。总之,公务车问题不解决,城市节能就始终是一句空话。

2000—2009 年,上海人均住宅电力消耗的平均增长率为 10.4%,此期间上海人均 GDP 从 3 万元人民币增长到 7.9 万元人民币,年均增长 11.4%。住宅电力消费弹性系数为 0.91。可见,上海住宅电力消耗的增长速度低于经济增长速度,比较正常。

从表 4 可以看出,美国家庭电力消耗是上海的 5.5 倍,美国家庭能源费开支是上海的 11.5 倍。美国可以靠全世界的资源,甚至靠借贷来维持高消费和高能耗,而中国的资源、环境承载力和能源安全的大环境都不允许中国走美国那样的能耗路径。但 13 亿人的基本需求又必须满足。因此,城市住宅的节能策略是控制能耗增长的弹性系数和能耗总量。即通过不断提高新建建筑的节能设计标准,通过对既有建筑进行节能改造、提高各种家用耗能设备的能效、倡导和鼓励行为节能等,将能耗增长的弹性系数降低到 0.5 以下,并保持城市住宅能耗总量的低增长或零增长。也可以考虑在城市层面通过生产性节能,将一部分生产性能耗转移到住宅的建筑能耗中,保持总能耗的低增长或负增长。

表 4 上海与美国住宅用能情况的比较

	上海(2004)	美国(2005)	上海与美国之比
住宅空调普及率	96.8%	82.3%	1.18/1
每户年平均耗电	2 081 kW·h	11 476 kW·h	1/5.51
平均每户空调耗电	645 kW·h	2 822 kW·h	1/4.4
每人年均可支配收入	16 683 元人民币	31 318 美元	1/15.4
住宅电费	0.61 元/(kW·h)	0.1 美元/(kW·h)	1/1.35
平均每户年能源费	1 854 元人民币	1 810 美元	1/8
能源费在可支配收入中的比例	11.1%	5.8%	
平均每户电力空调消费	575 元人民币	276 美元	1/11.5
平均每户供暖消费		534 美元	
空调供暖费用在可支配收入中的比例	2.4%	2.6%	

注:资料来源于上海市建筑能耗统计分析研究报告(上海市建设交通委员会,2006 年 9 月)和 2005 Residential Energy Consumption Survey (USDOE, <http://www.eia.doe.gov/>)。

绿色建筑的理念涵盖了规划选址、建筑、节能、室内环境品质、水环境和绿色材料等多个领域,从单一建筑节能发展为“四节一环保”。绿色建筑非常契合低碳生态城市的发展目标,既节能减排,又以人为本。新建建筑应该都是绿色建筑,绿色建筑的技术措施将逐渐融入建筑设计标准之中。

从图 6 可以看出,近年上海居民生活能耗中汽油消耗(即交通能耗)增长的弹性系数要远高于电

力消耗(即建筑能耗)增长的弹性系数,而且交通能耗在人均生活能耗中的比例已近 1/4。上海每百户居民家庭的私人汽车拥有量仅为 17 辆,只有北京的一半,东莞的 1/4,还有很大的增长空间。而现在对建筑节能比较重视,对交通节能似乎还没有什么有效的措施。

消费性交通节能的主要措施是:

1) 发展紧凑型城市和混合社区,就近居住和就业。

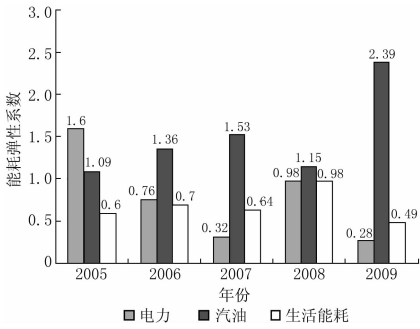


图 6 上海市居民生活能耗增长的弹性系数

- 2) 提高公交车出行比例,减少私人轿车使用。
- 3) 降低私人轿车拥有量。

- 4) 鼓励使用小排量汽车、混合动力汽车和电动汽车。
- 5) 增加万人公交车拥有量和地铁里程。
- 6) 发展更加舒适和便捷的快速公共交通,提高公交车对私人汽车的竞争力。
- 7) 发展信息通信技术(ICT),减少交通出行,缓解交通拥堵。

显然,降低交通能耗是一项系统工程,需要在总体规划、交通规划等各个环节共同努力。

城市节能的主要措施以及各利益相关方所发挥的作用可以归结为表 5。

表 5 城市节能的关键性能指标

关键性能指标			利益相关方影响		
			城市	社区	用户
能源供应侧	中长期战略发展	可再生能源在最终能源消费中的比例	强	中	弱
		最终能源消费中的碳足迹	强	中	弱
		城市人口密度和紧凑度	强	弱	弱
能源需求侧	生产性	能源成本	中	弱	弱
		单位 GDP 能耗	强	强	弱
		单位 GDP CO ₂ 排放量	强	强	弱
		第二产业中先进制造业占 GDP 比例	强	强	弱
		第三产业中现代服务业占 GDP 比例	强	强	弱
		传统产业中能源效率的提高	中	强	弱
		地均能耗	强	中	弱
		地均碳排放	强	中	弱
		公共服务	强	强	弱
	消费性	控制建设规模	强	中	中
		废弃物回收利用	强	中	中
		可再生能源的集成应用	中	强	中
		公务车能耗	强	中	弱
		能源基础设施	强	强	弱
		建筑	强	强	强
		公共机构建筑能源消耗满足能效定额	强	强	弱
		新建建筑中绿色建筑比例	强	强	中
		比国家节能设计标准更高的地方标准	强	强	中
	交通	建筑暖通空调照明系统能效的提高	中	中	强
		建筑可再生能源利用	中	中	强
		使用高效率的家电	中	中	强
		每万人公共交通拥有量	强	强	弱
		平均每人地铁里程数	强	中	弱
		每人公里能耗	中	弱	强
		每人公里碳排放	中	弱	强
		公交车出行率	中	中	强
		慢速交通(步行/自行车)出行率	中	强	强
	行为	媒体对节能减排的公益性宣传力度	强	强	中
		市民对节能减排的参与程度	中	中	强
		企业对节能减排的主动性	中	强	强
		休闲娱乐的碳排放量	中	强	强

6 结语

城市能流分输入和输出两侧,即能源供应侧和能源消耗侧。城市能源供应可分成三个层次,即城市、社区和终端,又可以分成生产、输配和用户三个环节。而城市能源消耗侧可分成生产性能耗和消

费性能耗两大部分,以及产业、交通、建筑三个领域。本文通过分析其能耗特点和提出相应节能措施,得到城市节能的关键性能指标,将在我国快速城市化阶段发挥积极的作用。

(上接第 8 页)

参考文献:

- [1] UN Habitat. Cities and climate change, global report on human settlements 2011 [EB/OL]. <http://www.unhabitat.org/categories.asp?catid=555>
- [2] International Energy Agency. The world energy outlook 2008[EB/OL]. <http://www.iea.org/weo/2008.asp>
- [3] 中国科学院可持续发展战略研究组. 2009 中国可持续发展战略报告——探索中国特色的低碳道路[M]. 北京:科学出版社,2009
- [4] 麦肯锡全球研究院(MGI). 迎接中国 10 亿城市大军 [EB/OL]. [2008]. <https://solutions.mckinsey.com/InsightsChina/Default/zh-hans/aboutus/news.aspx>
- [5] People's Daily Online. China to push forward urbanization steadily [EB/OL]. [2005 - 05 - 12]. http://english.peopledaily.com.cn/200505/12/eng20050512_184776.html
- [6] Council on Tall Buildings and Urban Habitat. Tallest database[EB/OL]. <http://buildingdb.ctbuh.org/>
- [7] 2010 全球人口最稠密城市排行榜[EB/OL]. [2010-01-20]. <http://www.chinacity.org.cn/csph/csph/51435.html>
- [8] 2010 年美国三大需求对 GDP 的贡献率和对经济增长的拉动分析[EB/OL]. [2011-08-07]. <http://hi.baidu.com/notheal/home>
- [9] 居民收入和消费占 GDP 比重过低[EB/OL]. [2010-11-18]. <http://www.swpx.js.cn/csllj/ShowArticle.asp?ArticleID=17286>
- [10] 中国公务员人均办公面积“世界第一”! [EB/OL]. [2009-10-12]. <http://71bbs.people.com.cn/archiver/?tid=74281.html>