

正能城市：概念与评价指标研究

眭纪刚¹, 马金平²

(1. 中国科学院 科技政策与管理科学研究所, 北京 100190; 2. 武汉科技大学 管理学院, 湖北 武汉 430081)

摘要:提出并论证了“正能城市”的概念,从能的量值、能的形式和能效提升三方面对其内涵作了深入阐述。举例说明正能城市的形态,指出其与传统资源型城市和低碳城市的区别。同时建立了正能城市的评价指标体系,从总量指标、结构指标、效率指标和政策指标等方面评价城市的正能程度。最后给出了建设正能城市的若干建议。

关键词:正能城市;可再生能源;低碳;评价指标

DOI:10.6049/kjbydc.2011100402

中图分类号:F291.1

文献标识码:A

文章编号:1001-7348(2012)13-0107-05

0 引言

城市是现代社会经济活动的中心,城市能源问题关系到区域经济发展水平和生态环境。目前,我国绝大部分城市的能源结构以煤炭和石油等化石能源为主,且低效污染的利用方式占很大比重,带来严重的环境污染和能源安全问题。随着我国经济的持续快速发展,城市的能源消耗也迅速增长,能源已成为制约我国众多城市发展的重要因素之一。要解决城市的能源和环境问题,必须走可持续发展的道路,而新能源的开发利用已成为最有效的途径之一。此外,提高能效也是实现节能的重要途径。

基于此,很多城市提出了建设低碳城市、绿色城市的目标^[1]。本文探讨的“正能城市”概念,则是在低碳、绿色的基础上对城市建设提出的更高要求。要实现“正能城市”目标,首先必须明确它的概念内涵,其次要建立一套客观完整的评价指标体系,在此基础上才能探索其建设途径,这也正是本文研究目的所在。

1 正能城市的概念界定

1.1 正能城市的提出

“正能”(Positive Energy)的概念来源于建筑领域。如果一个建筑产生的能源大于其消耗的能源,则被称为正能建筑。早在2000年悉尼奥运会期间,奥林匹克大道上就安装了19座多功能塔,其上装有1524块高效率的太阳能电池板,每年可发电16万kW。除满足

自身用电需求和路灯照明外,多余的电出售(输送)给当地电网,初步实现了“正能建筑”的功能。

此概念可推广到城市。如果某城市生产的能源大于其消耗的能源,而且能源形式以可再生能源为主,则可称为正能城市。与传统资源型城市不同,正能城市虽然也对外输出能源(电力),但能源形式以可再生能源为主,而非传统的石油和煤炭等化石能源。而且正能城市内部的能耗体现出低碳、绿色、环保等特征。这种城市既拥有丰富的能源,又不会在能源开发利用过程中造成环境破坏,从而实现城市的可持续发展。其发展形态兼具资源型城市和低碳城市的特征,为资源型城市的创新发展提供了新模式。

1.2 正能城市的内涵

通过上述描述可以看出,“正能”是一个系统概念,评价某个城市或区域是否为正能城市或正能区域,应从能的量值、能的形式和能效提升3个方面加以判断:

(1)能的量值:指某城市或区域在一定时间内(自然年度)所生产的总能量值应大于消耗总能量值,即 $E_g - E_c > 0$ 。其中: E_g 指某城市或区域在一定时间内所生产的总能量; E_c 指该城市或区域在一定时间内所消耗的总能量。

(2)能的形式:清洁能源,包括水力发电、风力发电、太阳能、生物能(沼气)、海潮能等可再生能源和核能,以及传统能源的清洁技术。

(3)能效提升:对能源的使用效率应处于高水平,在工业生产、生活、交通等方面使用多项节能减排新技

收稿日期:2012-02-08

基金项目:河北省建设科学技术研究计划项目(Y100531301)

作者简介:眭纪刚(1978—),男,陕西大荔人,博士,中国科学院科技政策与管理科学研究所副研究员,研究方向为科技与创新政策;马金平(1978—),男,湖北仙桃人,博士,武汉科技大学管理学院副教授,研究方向为企业管

术。

正能城市必须完全满足上述3个方面的要求。特别需要指出的是,不能狭隘地将正能城市简单理解为“能量产出大于自身消耗的城市”,它所生产的能源还必须尽可能清洁,并尽可能地被高效利用。这是正能城市与传统资源型城市最根本的区别所在。

1.3 正能城市案例

目前真正接近正能城市形态的只有阿联酋的马斯达尔(Masdar)。马斯达尔城要达到的环保目标非常明确——零碳、零废物和可持续发展。虽然阿联酋是世界第五大石油出口国,但马斯达尔不会使用一滴石油,却能完全实现能源自给自足。整个城市100%的能源将由可再生能源提供,城市周边的沙漠中将布满无数太阳能光电板和反光镜,城市大部分建筑的屋顶都将用于收集太阳能。此外还有风能收集、利用设施,这样就能充分利用丰富的沙漠阳光和海上风能资源,太阳能提供的电能还将用于制冷系统驱动和海水淡化加工厂运转。马斯达尔的总部大厦目标是世界上第一个正能建筑,作为整个城市建设的重要示范。该建筑除了强调用水只需同级大楼的30%,还可以自行生产能源,减少对外部电力的依赖,多余电力甚至还可以提供周边建筑物使用。整个城市的绿色建筑将大大降低对电力的需求,预计每日全城电力仅需200MW,仅为现有同等规模城市的1/4。全城禁止汽车通行,改以大众运输工具作为交通方式。长程运输以联结马斯达尔及阿布达比的轻轨电车为主;中程交通将利用轨道或磁悬浮建立个人快速运输系统(Personal Rapid Transit);而短程部分则以兴建步道,鼓励步行。城市的主导产业将以环保相关产业为主,包括绿色运输、废弃物管理、饮用水和污水处理、绿色建筑与工业材料、生物多样性、气候变迁研究、再生能源及绿色金融机构等。

2 正能城市评价指标体系

“正能城市”是一个全新概念,没有经验可循。低碳城市建设和评价指标体系的一些研究成果可以为正能城市评价指标体系的建立提供借鉴^[2-4]。但正能城市与低碳城市的内涵不同,建设目标也不同,因此最后的评价指标体系必然有很大的区别。

2.1 正能城市评价指标选取

一个城市能否建设成为正能城市,取决于其在能源禀赋、能源利用技术水平及能源消耗方式3个方面是否具备发展潜力;同时还要考察城市向正能发展所付出的努力,及其对生态环境的影响。为了能够真实、全面地勾画出城市能源生产与消耗的状态和特点,为建设正能城市提出可行的方案,本文将依据正能城市的定义,从能的量值、能的形式和能效提升3个角度来选取评价指标。

2.1.1 能的量值:总量指标

总量指标只设一项,即能源生产与消耗比。该指标由能源生产总量与能源消耗总量的比值求得。如果大于1,则表示城市的能源供给大于消耗,反之则反。显然,该指标属于正向指标,其值越大,城市的正能综合评分越高。

2.1.2 能的形式:结构指标

结构指标主要由城市各种能源消耗量的结构比例组成,它可以用来判断城市能源消耗的可持续性和环境友好性。各项具体指标说明如下:

(1)化石能源消耗比:化石能源消耗量和能源消耗总量的比值。其中,化石能源包括煤炭、石油和天然气。由于化石能源属于不可再生能源,且在消耗过程中一般产生较多的温室气体甚至空气污染物。因此,该指标的方向为负。

(2)清洁煤消耗比:清洁煤消耗量与煤炭总消耗量的比值。尽管清洁煤也属于不可再生能源,但其利用过程污染少,碳排放低,所以该指标方向为正。清洁煤源自煤炭资源,也属于化石能源。在化石能源消耗比中已经包含了其消耗量,这里单独设置该指标的目的在于反映城市在清洁利用能源方面的努力。

(3)核能消耗比:核能消耗量与能源消耗总量的比值。核能的利用虽然存在较大风险,但其清洁性和零碳排放性使之成为未来十分重要的新能源之一。因此本文将它作为正能城市评价的正向指标。

(4)可再生能源消耗比:可再生能源消耗量与能源消耗总量的比值。可再生能源污染小且能源开发具备可持续性,是城市能源发展规划的重点。该指标将对正能城市评价有较大影响。

2.1.3 能效提升:效率指标

效率指标中的第一类是碳生产力指标,包括单位GDP能耗、工业增加值能耗、第三产业产出能耗。碳生产力被认为是衡量能耗效率的核心指标。单位GDP能耗指标将能源消耗(及其碳排放)与GDP产出直接联系在一起,能够直观地反映社会经济整体能源利用效率的提高。此外,考虑到我国工业能耗在总能耗中所占比重最大,特选取工业增加值能耗作为评价对象;而选择第三产业产出能耗则是考虑到第三产业在未来的巨大发展潜力。

效率指标的第二类与居民社会生活相关,本文选择年人均生活能耗指标来衡量。年人均生活能耗指标不但综合了“居民生活能耗”和“政府生产能耗”,还能间接反映城市建筑能耗与交通能耗情况。居民生活能耗是居民在一定时期内因衣食住行和享受服务最终耗费的能源,政府生产能耗是指政府部门为全社会(包括居民住户)提供公共服务和公共产品所耗费的能源。这两个指标可以根据居民最终消费支出占GDP的比重与单位GDP能耗的比值加以核算。效率指标的第三类还应反映能源供给与转换效率,它包括能源生产

成本、化石能源发电效率与产热效率指标。在对能源生产成本进行评价时,一般需要对能源的开采费用、利用能源的设备费用、运输费用进行综合的经济评估。太阳能、风能不需要任何开采成本即可得到,但各种化石燃料需要勘探、开采等各种复杂的过程,需大量开采成本。利用能源的设备费用正好与能源的开采费用相反:利用太阳能、风能、海洋能的设备费用远高于利用化石燃料的设备费用。运输费用与损耗是能源利用中需要考虑的一个问题:太阳能、风能和地热能很难输送出去,而煤、油等化石燃料容易从产地输送至用户。能源转换技术也是影响能源供给效率的重要因素。能源加工转换效率是能源系统流程中的一个生产环节,提高能源加工转换效率意味着以较少的一次能源投入生产较高的二次能源产出,这是节能减排和建设正能城市的一个重要方面。

效率指标最后还应考虑能源消耗对环境的影响及主要应对措施。使用能源应尽可能采取各种措施来防止环境污染。正能城市的一个核心内容是发展低碳经济。因此,可选取碳排放系数、空气污染指数、碳汇密度、温室气体捕获与封存比例来加以衡量。

2.1.4 综合影响:政策指标

政府的相关能源政策对正能城市的能源量值、能的形式和能效提升都有影响,因此将政策指标作为综合性指标单列。政策指标共设 4 项具体指标:再生能源生产补贴、新能源研发投入、清洁煤技术研发投入和电力存储技术研发投入。

为了保证能源生产结构的合理性,政府需要出台

有关经济政策进行正确的引导。再生能源生产补贴将有利于调动社会可再生能源的投资开发积极性。能源开发技术的研发投入是能源供给政策支持的另一重要内容。新能源开发、清洁煤技术、电力储存技术等研发工作需要大量的投入,且前期产出往往远低于投入,因而需要政府出台相关的支持政策。新能源研发投入指标反映政府在核能、可再生能源等领域的投入。清洁煤技术研发投入则专指政府在煤炭清洁利用方面的研发支持水平。此外,由于在多数情况下,用户对能源的使用不是均匀分布的,如白天用电多,深夜用电少,冬天需要取暖,夏天需要制冷。因此,能量利用中储能是很重要的因素,能源应在不用时储存起来,需要时又能立即供应。在储能方面,化石燃料容易做到,太阳能、风能、海洋能则较难做到。因此,电力存储技术研发投入的政策支持就显得十分必要。

2.2 正能城市综合评价

2.2.1 指标体系构建

依据前文对正能城市评价指标的选取说明,本文将正能城市评价指标体系分为三级,分别为主题层、副主题层和指标层(见表 1)。在副主题层,设置总量指标、结构指标、效率指标和政策指标 4 项主题。其中,总量指标反映能的量值状态,结构指标反映能的形式状态,效率指标则反映能效提升方面的结果;政策指标对正能城市建设有综合影响,属于综合性指标。

2.2.2 指标正向化和无量纲化处理

在前文构建的评价指标中,由于指标数值和方向不同,必须进行指标的正向化和无量纲化处理。

表 1 正能城市评价指标体系

主题层	副主题层	指标层	计算说明	指标方向
正能城市综合评价指标体系	总量指标	能源生产与消耗比	能源生产总量/能源消耗总量	+
		化石能源消耗比	化石能源消耗量/能源消耗总量	-
	结构指标	清洁煤消耗比	清洁煤消耗量/煤炭总消耗量	+
		核能消耗比	核能消耗量/能源消耗总量	+
		再生能源消耗比	再生能源消耗量/能源消耗总量	+
		单位 GDP 能耗	万吨标煤/万元	-
		工业增加值能耗	万吨标煤/万元	-
	效率指标	第三产业产出能耗	万吨标煤/万元	-
		年人均生活能耗	吨标煤/人	-
		能源生产成本	元/吨标煤	-
		化石能源发电效率	发电量/化石能源投入量	+
		化石能源产热效率	产热量/化石能源投入量	+
		碳排放系数	碳排放量/能源消耗量	-
		空气污染指数	以 SO ₂ 、NO ₂ 、PM10 为监测对象	-
		温室气体捕获与封存比	碳捕获量/碳排放量	+
		碳汇密度	碳汇量/面积	+
		政策指标	再生能源生产补贴	可再生能源生产补贴/经济部门总补贴
新能源研发投入	新能源 R&D/社会总 R&D 投入		+	
清洁煤技术研发投入	清洁煤技术 R&D/社会总 R&D 投入		+	
电力存储技术研发投入	电力存储技术 R&D/社会总 R&D 投入		+	

注:在计算能源的产量(包括经转换形成的电量、热量)、消耗量或投入量时,单位统一为吨标煤当量

逆向指标正向化最常见的方法是将指标取倒数,这种方法使得一些接近 0 的指标值之间的差距扩大,而远离 0 的指标值之间的差距缩小,从而不能真实反映原指标值的分布情况,并会使综合评价结果不准确。本文采用式(1)中的正向化方法。这种线性变换不会改变指标值的分布规律,是比较好的变换方法。其中, x_{ij} 为第 i 个被评价城市的第 j 项评价指标值, x'_{ij} 为正向化处理后的指标值,该指标数值越大,城市正能水平就越高。

$$x'_{ij} = \max_{1 \leq i \leq n} \{x_i\} - x_{ij} \quad (1)$$

然后,对各指标进行无量纲处理。指标的线性无量纲化方法有多种,比较常用的有标准化法、极值法、线性比例法、归一化法等。根据前文选取的评价指标特点和计算的方便,本文选择线性比例法,并令 $M_j = \max x'_{ij}$ (为避免混淆,这里的 x'_{ij} 代表经过正向化处理后的指标值以及本来就为正向指标的值),即 M_j 为同一指标不同城市取值中的最大值。令:

$$x^*_j = \frac{x'_{ij}}{M_j} \quad (2)$$

其中, x^*_j 即为无量纲化后的指标数值,它的取值范围为 $(0, 1]$, 即有最大值 1, 无固定的最小值。

2.2.3 指标权重确定

评价指标的权重是对各个评价指标在整个评价指标体系中相对重要性的数量表示,科学合理地确定指标权重是整个方法的核心环节。由于各评价指标在指标体系中的作用和地位不同,需要根据各指标对上一级指标的影响程度赋予其权重。

确定权重的方法很多,如专家咨询法、层次分析法、秩和比法、相关系数法、主成分分析法和因子分析法等,但各种方法均有其优缺点。目前最为常用的方法是专家咨询法和层次分析法。尽管这两种方法受人为因素影响较大,主观性强,但鉴于目前有关正能城市的评价还只是初步尝试,有关数据的收集还十分欠缺,因此这两种简单易行的方法倒不失为比较合理的选择。

2.2.4 综合评价

本文采用线性加权法和(式 3)来综合评价正能城市水平,式中 S_i 表示第 i 个城市的正能发展水平综合评价值, x^*_j 即为无量纲化后的指标数值, ω_j 为相应指标权重。

$$S_i = \sum_j x^*_j \omega_j \quad (3)$$

因为 $\sum \omega_j = 1$, 而 $x^*_j \in (0, 1]$, 所以 S_i 的值也介于 $(0, 1]$ 之间,越接近 1, 则正能城市发展水平越高。显

然,这样的评价结果没有给出正能城市的临界水平值,即我们不能依据 S 值的大小来判断某个城市是否已经实现“正能”,因为没有具体参照值。

到目前为止世界上真正实现“正能”的城市还极少,只有少数国家在个别规模较小的城镇试点建设(如前述马斯达尔)。基于此,本文对正能城市的界定也使用了较为抽象的语言,比如“能效提升”这个概念。能效要提升到哪个程度才能满足“正能”的要求,并没有绝对的标准。但这些理论研究的不足并不影响本研究结论对实践的指导意义,因为至少我们可以通过评价体系断定哪些城市更接近“正能”,而哪些城市还需要作出更多努力,包括应该如何努力。

3 对我国正能城市建设的启示

我国一些可再生能源丰富的区域已具备建设正能城市的基础,上述概念、指标和案例研究为其进一步发展提供了启示和借鉴。

(1)调整能源结构,大力发展可再生能源。可再生能源将对城市的能源供应和城市可持续发展带来深远的影响。城市发展可再生能源,一是缓解城市能源紧张,二是提高城市环境质量,三是有利于城市可持续发展。要建设正能城市,就必须在城市规划中纳入能源规划,并把可再生能源发展作为规划的重点内容。

目前我国可再生能源发展面临的主要问题在于:生产成本较高,市场竞争力弱;发展可再生能源的政策措施不配套;技术研发投入不足,自主创新能力较弱。但随着越来越多的国家采取鼓励可再生能源的政策和措施,可再生能源的生产规模和使用范围正在不断扩大。在 2008 年的 4 万亿投资计划中,新型清洁能源的投资计划如天然气、核能、水能已经成为优先发展的目标。2009 年我国可再生能源在一次性能源消费结构中所占的比例已从 2008 年的 8.4% 提升至 9.9%^[5]。

(2)优化产业结构,向低能耗产业转变。产业结构对能源消耗总量和经济能耗强度有直接影响。国家发展改革委发布的 2010 年电力运行情况显示,2010 年全社会用电量 41,923kW·h。其中,第一产业用电比重为 2.3%;第二产业用电比重为 74.7%;第三产业用电比重为 10.7%;城乡居民生活用电比重为 12.2%。3 个产业中真正消耗大量能源的是第二产业中的工业制造业和交通运输业等,而第三产业单位产值消耗的能源非常有限^[6]。产业结构调整是节能减排最直接也是最有效的举措,能耗的大幅降低将为正能城市建设带来十分积极的影响。

(3)在城市建设中推广被动式正能量建筑。城市建筑除了大规模采用节能材料,降低建筑能耗之外,还应在建筑设计与制造上创新,使城市建筑不仅仅满足节能的要求,还能实现能量生产。被动式正能量屋的设计与建造就是基于这样的思想。这种建筑不仅能降低能源使用量,免去了高额能耗费用的负担,还能产生能量,将剩余的电能传输到区域电网。被动式正能量屋最主要的能量来源是阳光。坐北朝南的设计保证了充足的阳光摄取,而良好的隔热系统更是建筑的核心,以最大限度减少热量损失,降低取暖能耗。通过屋顶覆盖的太阳能电池板给供暖、照明、电器、热水提供电力,其产生的能量 80%用于冬季取暖和电器使用,而剩余的 20%足以满足夏天的需求^[7]。

(4)发展公共交通,提倡低碳交通。私人小汽车的增长,对城市能源消耗和环境质量都带来了负面影响,其占用空间、能耗、噪音和空气污染都高出公共交通工具很多倍^[8]。小汽车的过度发展导致能源的非经济利用,不利于城市的环境质量。因此,城市应通过各种宏观政策调控来引导小汽车的使用(出行时间、区域等),并推行有利于小汽车共用系统实施的政策。同时,还应加快推进电动汽车发展,以满足绿色经济发展需要。

电动汽车将在未来发挥协调电力供需的储能器作用,如在风力发电强风期进行充电。此外,还要倡导居民步行、骑自行车等生活方式。

参考文献:

- [1] 戴亦欣. 中国低碳城市发展的必要性和治理模式分析[J]. 中国人口·资源与环境,2009(3):12-18.
- [2] 刘志林,戴亦欣,董长贵,等. 低碳城市理念与国际经验[J]. 城市发展研究,2009(6):1-12.
- [3] 沈露莹. 发展低碳经济构建低碳城市——以上海市为例[J]. 社会科学,2010(10):43-49.
- [4] 付允,刘怡君,汪云林. 低碳城市的评价方法与支撑体系研究[J]. 中国人口·资源与环境,2010(8):44-47.
- [5] 中投顾问. 2010—2015年中国可再生能源市场投资分析及前景预测报告[R]. 2010.
- [6] 王赢政,周瑜瑛,邓杏叶,等. 低碳城市评价指标体系构建及实证分析[J]. 统计科学与实践,2011(1):48-50.
- [7] 吴波. 丹麦首座被动式正能量屋可生产能量[N]. 科技日报. 2010-6-28.
- [8] 沈清基. 中国城市能源可持续发展研究:一种城市规划的视角[J]. 城市规划学刊,2005(6):41-47.

(责任编辑:陈晓峰)

Positive Energy City: Concept and Evaluation Index

Sui Jigang¹, Ma Jinping²

(1. Institute of Policy and Management, Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100190, China;

2. School of Management, Wuhan University of Science and Technology, Wuhan, 430081, China)

Abstract: this paper puts and arguments the concept of positive energy city, and expounds its connotation from the magnitude, form and efficiency of energy. And takes an example to explain the feature of positive energy city, and distinguish it from the traditional resource based city and low carbon city. Meanwhile, an index is set up to evaluate whether a city is positive energy. Finally, some policy and suggestion are put for the development of positive energy city.

Key Words: Positive Energy City; Renewable Energy; Low Carbon; Evaluation Index