

# 中国城市低碳建筑的内涵与碳排放量的估算模型

张陶新, 周跃云, 芦 鹏

(中国社会科学院城市发展与环境研究所&湖南工业大学 全球低碳城市联合研究中心, 湖南 株洲 412007)

**摘要:** 提出并阐述了符合中国经济社会实际的城市低碳建筑概念及其内涵, 构建了建筑碳排放测算的数学模型, 运用该模型分析了中国城市建筑碳排放的现状, 分析表明该模型可以较好地测算建筑碳排放量, 是有助于低碳建筑发展决策的一个较好的工具。

**关键词:** 低碳建筑; 全生命周期; 碳排放

**中图分类号:** O029,F407

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1673-9833(2011)01-0077-04

## Estimation Model of Carbon Emission and Connotation of China's Urban Low-Carbon Building

Zhang Taoxin, Zhaou Yueyun, Lu Peng

(Institute of Urban and Environment Studies Chinese Academy of Social Sciences & Hunan University of Technology,  
Joint Research Centre of the Global Low-Carbon City, Zhuzhou Hunan 412007, China)

**Abstract:** Elaborates the concept and connotation of urban low-carbon buildings in line with China's economic and social reality, constructs an mathematical model for building carbon emission estimation, and analyzes the situation of carbon emission of China's urban buildings with the model. The analysis shows that the model can measure building carbon emissions and is a good tool for the decision-making of low carbon building development.

**Keywords:** low-carbon buildings; full life-cycle; carbon emission

随着经济的高速增长, 中国的城市建筑规模持续以5%~8%的速度增长, 每年新增10多亿平方米的新建筑(本文未注明出处的数据均来自于历年中国统计年鉴), 城市建筑碳排放已经成为中国碳排放的主要来源之一。低碳建筑可以减少碳排放, 是建筑行业未来发展的方向。目前, 国内外有关低碳建筑的研究很少, 对建筑碳排放量的测算分析更是缺乏。本文在界定城市低碳建筑概念内涵的基础上, 试图构建一个城市建筑碳排放量测算的数学模型, 对我国城市建筑碳排放进行测算, 为建筑业低碳化发展提供决策依据。

## 1 中国城市低碳建筑的界定

由于人类在发展过程中大量消耗化石能源使得二氧化碳排放量急速增加, 导致全球气候变暖, 自然灾害频发, 国际社会开始重新审视传统的发展观转而注重“低碳”发展。目前世界上提出的低碳的概念基本上是指在某一个时间达到较低的温室气体排放, 并以此衡量是否实现了“低碳发展”、“低碳经济”或“低碳城市”、“低碳社会”。无论是“低碳发展”、还是“低碳城市”, 其实质是指社会经济体系的构建和发展能够实现“低碳”排放。根据中国经济社会发展的实际,

收稿日期: 2010-10-20

作者简介: 张陶新(1964-), 男, 湖南华容人, 湖南工业大学研究员, 主要研究方向为可持续发展, 低碳经济, 收入分配,

E-mail: taoxinzhang108@sina.com

参考低碳发展的有关概念<sup>[1]</sup>及已有的研究成果<sup>[2]</sup>, 低碳建筑可以界定为:

低碳建筑是指在建筑的全生命周期过程中, 尽可能节约资源, 最大限度减少温室气体排放, 为人们提供健康、舒适和高效的生活空间, 实现建筑的可持续发展。

低碳建筑的内涵可从以下几个方面来理解:

1) 低碳建筑是一种新的建筑理念和新的建筑管理模式。低碳建筑与建筑节能理念有所区别, 建筑节能是前瞻情境性的增量节能, 低碳建筑是历史基准线性质的存量减排。低碳建筑与“生态建筑”侧重于从“整体”和“生态”的角度, 强调利用生态学原理和方法解决生态与环境问题不同, 也与“绿色建筑”侧重于从“环保”和“健康”的角度, 强调利用一切可能的行为手段来达到生态与环境保护的目的不同。低碳建筑侧重于从减少温室气体排放的角度, 强调采取一切可能的技术、方法和行为来减缓全球气候变暖的趋势。

2) 低碳建筑要求从建筑的全生命周期全程引入低碳理念, 通过合理的土地利用、材料选择、能源系统配置等来节约资源和减少碳排放, 以实现建筑业的可持续发展。低碳建筑强调在规划设计中充分考虑碳排放因素, 对建筑在全生命周期内的能源与资源消耗提出合理

的解决措施; 在施工过程中节约能源并减少碳排放; 在使用阶段为人们提供健康、舒适和低能耗低碳排放的生活空间; 在拆除以及处置的过程中减少碳排放。

3) 低碳建筑要因地制宜, 与当地的气候条件、地理环境、自然资源和人文发展水平相适应。随着中国城镇化的加速和人们生活品质的提升, 人们对建筑数量要求越来越多, 对建筑质量的要求越来越高, 需要通过合理的规划设计和先进的低碳建筑技术来协调, 以满足不断增长的建筑需求。

## 2 中国城市建筑碳排放的数学模型

### 2.1 城市建筑全生命周期碳排放

按照过程分析法的基本思路<sup>[3]</sup>, 建筑全生命周期可以分为建筑材料准备、建造、使用、拆除、处置和回收等6个阶段, 在6个阶段里都会产生碳排放。另外各种建筑设备的制造、建筑机械的制造、建材运输, 以及建筑所需的能源生产、加工、运输或输送等都要消耗能源, 这些能源消耗称为建筑间接能耗, 由此产生的碳排放不是在建筑运行和建筑材料准备、建筑施工等过程中发生的, 故称为建筑间接碳排放, 也需要将其摊派在建筑的6个生命阶段里去。图1表示了城市建筑全生命周期碳排放的具体情形。



图1 建筑全生命周期碳排放

Fig. 1 Carbon emissions of building full life-cycle

### 2.2 数学模型

从全生命周期的角度来看, 建筑碳排放量可用下式计算。

$$W = \sum_{i=1}^6 W_i, \quad (1)$$

式中:  $W$  为建筑全生命周期的碳排放总量;

$W_1$  为建筑材料准备阶段的碳排放量;

$W_2$  为建筑建造阶段的碳排放量;

$W_3$  为建筑使用阶段的碳排放量;

$W_4$  为建筑拆除阶段的碳排放量;

$W_5$  为废弃建材处置阶段的碳排放量;

$W_6$  为建筑回收利用阶段的碳排放量。

本文仅考虑建筑全生命周期中的能源消耗(简称能耗)所产生的碳排放, 因此

$$W = \sum_{i=1}^6 pE_i, \quad (2)$$

式中:  $E_i$  为建筑全生命周期第  $i$  个阶段能源消耗的总和, 采用宏观建筑全生命周期能耗模型来进行计算<sup>[4-5]</sup>;

$p$  为碳排放强度, 其计算公式为

$$p = (2.7412x + 2.1465y + 1.6423z) / (x + y + z), \quad (3)$$

式(3)中:  $x, y, z$  分别为当年当地煤炭、石油和天然气占一次能源消费总量的比重;  $x, y, z$  前面的系数分别为煤炭、石油和天然气的二氧化碳排放系数<sup>[6]</sup>。

## 3 应用

### 3.1 中国城市建筑全生命周期的能源消耗

1) 城市建筑材料准备阶段的能耗。根据《中国统计年鉴》, 通过统计钢材、水泥、砂石、木材、玻璃等几十种主要的建筑材料所在行业的能耗, 通过文献查找出建筑消耗某种建材的消费量与该种建材的总产量的比值, 由下面的公式估算中国建筑材料准备阶段的

直接能耗  $I_1$ 。

$$I_1 = \sum_i m_i Q_i,$$

式中:  $m_i$  为第  $i$  种材料在建筑中的消费比;

$Q_i$  为第  $i$  种材料生产的总能耗。

运用上面的公式计算出 2001—2007 年全国建筑材料准备阶段的直接能耗<sup>[7-8]</sup>, 然后乘以各年城市建筑面积占全国总建筑面积的比值即得到城市建筑材料准备阶段的直接能耗(见表 1)。

2) 城市建筑使用阶段的直接能耗。考虑到中国幅员辽阔、气候复杂等特点, 中国城市建筑运行使用过程中的能源消耗主要集中在北方(包括北京、天津、河北、山西、内蒙古、辽宁、吉林、黑龙江、山东、河南、陕西、甘肃、青海、宁夏、新疆)采暖能耗  $E_b$ 、长江流域(包括上海、安徽、江苏、浙江、江西、湖南、湖北、四川、重庆、福建)采暖能耗  $E_c$ 、住宅除采暖外能耗  $E_z$  和公共建筑除采暖外能耗  $E_g$  共 4 个方面, 这 4 个方面的能耗可由《中国能源统计年鉴》的有关数据计算得出<sup>[4]</sup>。

北方采暖能耗  $E_b$  和长江流域采暖能耗  $E_c$  的计算方法是类似的。首先在《中国能源统计年鉴》中的各省市地区实物平衡表中查找或计算: ①生活消费——城镇煤耗, ②供热煤耗, ③交通运输、仓储和邮政业, 批发、零售业, 住宿、餐饮业, 以及其它 3 项煤耗之和; 其次计算④热电联产供热用煤煤耗 = 热电联产单位面积供热量 × 集中供热面积 × 单位热量; 最后分省计算出①+②+③+④, 则分别得到  $E_b$  和  $E_c$ 。

住宅除采暖外能耗  $E_z$  的方法: 首先在《中国能源统计年鉴》中的各省市地区实物平衡表中的生活消费查找——①城镇电力, ②城镇天然气, ③北方城镇液化石油气和南方城镇液化石油气、煤炭; 然后计算①+②+③, 即可得到  $E_z$ 。

公共建筑除采暖外能耗  $E_g$  的计算方法: 首先在《中

国能源统计年鉴》中的各省市地区实物平衡表中查找①交通运输、仓储和邮政业——电力, ②批发、零售业和住宿、餐饮业——电力, ③其它——电力; 然后计算①+②+③, 就可得到  $E_g$ 。

城市建筑使用阶段的直接能耗  $I_3 = E_b + E_c + E_z + E_g$ , 计算结果见表 1。

3) 城市建筑建造与拆除阶段的直接能耗。将中国统计年鉴中所列的建筑业的能源消耗, 作为城市建筑系统在建造阶段的直接能耗  $I_1$  与拆除阶段的直接能耗  $I_4$  之和。

4) 城市建筑全生命周期总的间接能耗。上面的 1)、2) 和 3) 3 项仅计算了建筑的直接能耗, 并没有计算建筑全生命周期各个阶段所发生的间接能耗。建筑全生命周期总的间接能耗  $Q$  的计算公式为:

$$Q = \sum_{i=0}^t x_i y_i,$$

式中:  $x_i$  为第  $i$  种间接能耗在建筑中的消耗比;

$y_i$  为建筑全生命周期中第  $i$  种间接能耗总值。

考虑建筑间接能耗主要发生在交通运输、能源加工和机械制造行业中, 而交通运输行业总能耗中有 30% 的能源由建筑间接消耗, 能源加工行业总能耗中有 45.5% 的能源由建筑间接消耗, 机械制造行业总能耗中有 70% 的能源由建筑间接消耗<sup>[7]</sup>。由此可以计算出 2001—2007 年全国建筑全生命周期总的间接能耗, 然后乘以各年城市建筑面积(可以由历年中国统计年鉴得到)占全国总建筑面积(可以由历年中国统计年鉴得到)的比值即得到城市建筑未摊派的间接能耗(见表 1)。

5) 城市建筑总能耗  $E$ 。由于本文未考虑处置阶段和回收阶段所直接消耗的能源  $I_5$  和  $I_6$ , 因此城市建筑总能耗  $E = I_1 + I_3 + (I_2 + I_4) + Q$ , 由此计算得到 2001—2007 年中国城市建筑总能耗如表 1。

表 1 2001—2007 年中国城市全生命周期建筑能源消耗量(单位: 万吨标准煤)

Table 1 Energy consumption of China's urban building full life-cycle from 2001 to 2007

年份	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
建筑材料能耗	17 031.20	18 378.91	21 183.33	27 837.92	22 713.76	27 734.06	28 952.77
建筑建造与拆除能耗	1 432.96	1 452.80	1 610.10	1 771.90	3 259.0	34 09.30	4 031.40
建筑使用能耗	19 360.70	22 737.90	27 116.03	30 631.49	35 851.79	38 613.64	42 687.06
建筑拆除后的能耗	-	-	-	-	-	-	-
未摊派的间接能耗	11 147.93	12 068.98	12 834.27	14 892.18	11 566.94	13 102.49	12 877.96
城市建筑能耗	48 972.79	54 638.59	62 743.73	75 133.49	73 391.49	82 859.48	88 549.19
全国建筑能耗	62 439.7	68 865.45	80 241.2	96 715.31	105 492.75	-	-
全国总能耗	143 199	151 797	174 990	203 277	224 682	246 270	265 583
城市建筑能耗占全国建筑能耗比例/%	78.43	79.34	78.19	77.69	69.57	-	-
城市建筑能耗占全国能耗比例/%	34.2	35.99	35.86	36.96	32.66	33.65	33.34

由表1可知,城市建筑运行过程中的能耗以及建筑材料能耗占城市建筑总能耗的大部分。2001—2007年,建筑材料能耗占建筑总能耗比例增加了4.84个百分点,城市建筑使用过程中的能耗占城市建筑总能耗的比例增加了8.68个百分点。

### 3.2 中国城市建筑生命周期的碳排放

表2 2000—2007年每吨标准煤能源二氧化碳排放量

Table 2 Energy CO<sub>2</sub> emissions of per ton of standard coal from 2000 to 2007

年份	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
CO <sub>2</sub> 排放量	2.565 2	2.562 5	2.559 5	2.568 9	2.567 7	2.573 6	2.574 9	2.573 4

#### 2) 城市建筑全生命周期二氧化碳排放量

将表1的有关数据代入城市建筑二氧化碳排放量计算公式(2),可以得到2000—2007年城市建筑全生命周期二氧化碳排放情况(见表3)。由表3可知,从

表3 2000—2007年城市建筑全生命周期二氧化碳排放量

Table 3 CO<sub>2</sub> emissions of urban building full life-cycle from 2000 to 2007

年份	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
城市建筑 CO <sub>2</sub> 排放量	125 492.8	139 847.5	139 847.5	161 182.4	192 920.3	188 880.3	213 354.9	227 872.5

#### 1) 中国能源综合二氧化碳排放强度

采用《中国统计年鉴》的中国煤炭、石油和天然气占一次能源消费总量的比重数据,运用综合碳排放强度计算公式(4),可以计算出2000—2007年中国能源二氧化碳排放强度如表2。

2000年到2007年,城市建筑二氧化碳排放量总体增长了73.87%,年均增长8.22%。中国城市建筑全生命周期二氧化碳排放量逐年快速增加,面对全球气候变化的压力,中国城市低碳建筑建设非常必要。

## 4 结语

减少建筑领域的碳排放,是实现我国在2020年达到单位GDP二氧化碳排放量比2005年下降40%~45%的目标的重要途径之一,为此,需要对建筑的碳排放进行定量的测算。本文通过界定低碳建筑的概念内涵,从宏观方面出发,构建了建筑碳排放计算的数学模型。实例分析表明,该模型简单明了,是建筑碳排放宏观测算的一个较好的工具。

### 参考文献:

- [1] 刘卫东,陆大道,张雷,等.我国低碳经济发展框架与科学基础[M].北京:商务印书馆,2010.  
Liu Weidong, Lu Dadao, Zhang Lei, et al. Framework and Scientific Basis for the Development of Low-Carbon Economy [M]. Beijing: Commercial Press, 2010.
- [2] 李启明,欧晓星.低碳建筑概念及其发展分析[J].建筑经济,2010(2): 41-43.  
Li Qiming, Ou Xiaoxing. Analysis of the Definition and Development of Low Carbon Buildings[J]. Construction Economy, 2010(2): 41-43.
- [3] Carbon Trust. Carbon Footprint Measurement Methodology [EB/OL]. [2010-07-06]. [http://www.carbontrust.co.uk/Sitecollection Document s/Various/Methodology-Summary.](http://www.carbontrust.co.uk/Sitecollection%20Documents/Various/Methodology-Summary.pdf)

- [4] 陈伟珂,罗方.基于全生命周期理论的建筑能耗问题研究[J].建筑科学,2008(10): 23-27.  
Chen Weike, Luo Fang. Research on Building Energy Consumption Based on Whole Life Cycle Theory[J]. Building Science, 2008(10): 23-27.
- [5] 俞允凯.中国城镇建筑能耗现状、趋势与节能对策研究[D].西安:长安大学,2009.  
Yu Yunkai. The Current Situation and Tendency of Urban Architectural Energy Consumption and the Countermeasures of Energy Saving in China[D]. Xi'an: Chang'an University, 2009.
- [6] IPCC. Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories[M]. Bracknell: IPCC/OECD/IEA, UK Meteorological Office, 1996.
- [7] 李兆坚,江亿.我国广义建筑能耗状况的分析和思考[J].建筑学报,2006,53(7): 30-33.  
Li Zhaojian, Jiang Yi. Analysis of Generalized Building Energy Consumption in China[J]. Construction Journal, 2006, 53(7): 30-33.
- [8] 蒋明麟.建材工业节能[EB/OL]. [2010-10-26]. <http://www.counsellor.gov.cn/Item/4939.aspx>.  
Jiang Minglin. Energy-Saving of Building Materials Industry [EB/OL]. [2010-10-26]. <http://www.counsellor.gov.cn/Item/4939.aspx>.

(责任编辑:罗立宇)