

绿色建筑碳排放计算研究进展

刘 睿, 翟相彬, 许 燕

(华北电力大学 经济管理学院, 北京 102206)

摘要:建筑碳排放量是绿色建筑评价的重要指标之一。计算绿色建筑在施工及运行中的碳排放具有重要意义。在对美国堪萨斯大学 K. Y. G. Kwok 教授等人研发出的绿色建筑碳排放计算器介绍的基础上,对碳排放与绿色建筑之间的关系进行定性分析,并对碳排放计算器计算原理进行了阐述。最后,根据我国的实际情况修改碳排放计算器中的碳排放参数及应用全寿命周期理论来测算材料的碳排放量,为将其应用在国内绿色建筑碳排放计算上提供理论支持。

关键词:碳排放计算;绿色建筑;计算应用

中图分类号: TU111.19 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-1807(2014)10-0124-04

不同的国家有着不同的绿色建筑评价标准。例如,美国绿色建筑委员会(USGBC)创立的 Leadership in Energy and Environmental Design(LEED)就是被美国、加拿大、墨西哥和意大利采用的一种绿色建筑评价标准。Building Research Establishment Environment Assessment Methods (BREEAM)和 Green Mark(GM)则分别是英国和新加坡的绿色建筑评价标准。这些评价标准对于建筑等级的评价主要是基于能源和水的利用效率、户外绿地的保护及面积、室内环境的质量等方面^[1]。依据评价标准对建筑进行评级和打分,最后评判出绿色建筑的等级。在美国绿色建筑评价标准 LEED 中规定,首先,建筑师需要提交文件来证明被评价对象的绿色理念及在建筑中有节能设备的应用;然后由 USGBC 的监管人员根据《绿色建筑设计和施工参考指南》对这些在建筑中涉及的理念及应用的设备打分;最后,根据被评价对象的得分来确定其在 LEED 中的对应等级。与标签式的认证体系不同,这种打分体系并不能准确的告诉我们绿色建筑节约了多少能源,所以建筑的使用者和所有者很难去接受他们所有的建筑对环境造成了不良影响以及建筑商为了减轻建筑对环境的影响向他们额外收取的费用。如果这些房屋的所有者和使用者不能承认他们的建筑对于环境的影响,那么他们就不会知道如何减少他们建筑的碳足迹。因此,建筑物的碳排放量应该是评价绿色建筑等级过程中必须考

虑的一个重要指标。

1 研究目标

绿色建筑的设计和施工过程中涉及到了许多碳排放源,如建筑围栏的建造,能源和水的消耗等都应该算是绿色建筑中的碳排放^[2]。本文的目的在于确定绿色建筑评价标准与碳排放量之间的关系,并在此基础上对堪萨斯大学基于新加坡 GM 标准开发的绿色建筑碳排放计算器进行介绍。新加坡绿色建筑的 GM 评价标准包含了建筑能源消耗的各个方面,例如 HVAC 系统,电气设备以及灯光等^[3]。除了能源的使用外,由于水资源在供应环节产生了大量的碳足迹,因此水资源的消耗也是此次研究关注的重点。与此同时,GM 评价标准中也涉及到了对碳排放抵消活动的评价,例如绿色围墙及屋顶,还有可再生能源^[4]。

该碳排放计算器是依托于网络的计算器。计算器的使用者可以是建筑师、绿色建筑评价机构,如住房和城乡建设部、新加坡建筑和管理学院及美国建筑委员会。

2 研究方法

相关机构通常会根据绿色建筑评价标准对建筑物进行打分,例如美国绿色建筑委员会将《绿色建筑设计和施工参考指南》作为 LEED 的评分指南。然而,这些指南并未涉及建筑物水资源节约问题,绿化及其他在室内的能源消耗活动。本文介绍的碳排放

收稿日期: 2014-07-09

基金项目: 教育部人文社会科学规划基金项目(13YJA630057);教育部归国留学人员基金。

作者简介: 刘睿(1969—),女,安徽合肥人,华北电力大学经济管理学院,副教授,管理学博士,研究方向:绿色建筑,节能减排,BIM 技术。

计算器会根据 LEED 评价标准计算建筑能源消耗量的方法对这一问题进行补充,最终绿色建筑的能源消耗量会通过碳排放因子转换为碳排放量。

3 基于网络的碳排放计算器

在绿色建筑的基本信息中包含房屋的规格等数据,信息的使用者可以通过这些基本信息了解绿色建筑使用者的数量、平均情况下来访者的数量、水龙头的类型及数量、厕所的数量、家用电器及电脑的数量以及绿色建筑的结构和使用的材料等^[5]。例如在 LEED、GM、BREEAM 等绿色建筑评价标准中,建筑的基本信息会被用作打分的依据,从而确定建筑的“绿色”等级。同样,碳排放计算器也需要输入绿色建筑的基本信息来计算绿色建筑的碳排放量。

图 1 中展示的录入界面是由 Adobe DreamweaverCS5 中利用 PHP 脚本制作而成。如图 2 所示,

录入的变量会储存在由美国堪萨斯大学设立的 MYSQL 数据服务器中。碳排放因子、设备功效、太阳能转化率及灌溉量等其他信息将与围墙、窗户等变量一并储存在 MYSQL 数据库中。在数据录入界面录入数据后,计算器会提示使用者进入数据提交成功界面,在此根据 GM 评价标准对各个部分的碳排放量进行加总,如图 3 所示。

Building Type Non-Residential

Area of Building (m²)

How many floors are there in the building?

Operating Hours (Hours/year)

Occupancies:

Female FTE

Male FTE

图 1 碳排放计算器房屋基本信息录入界面

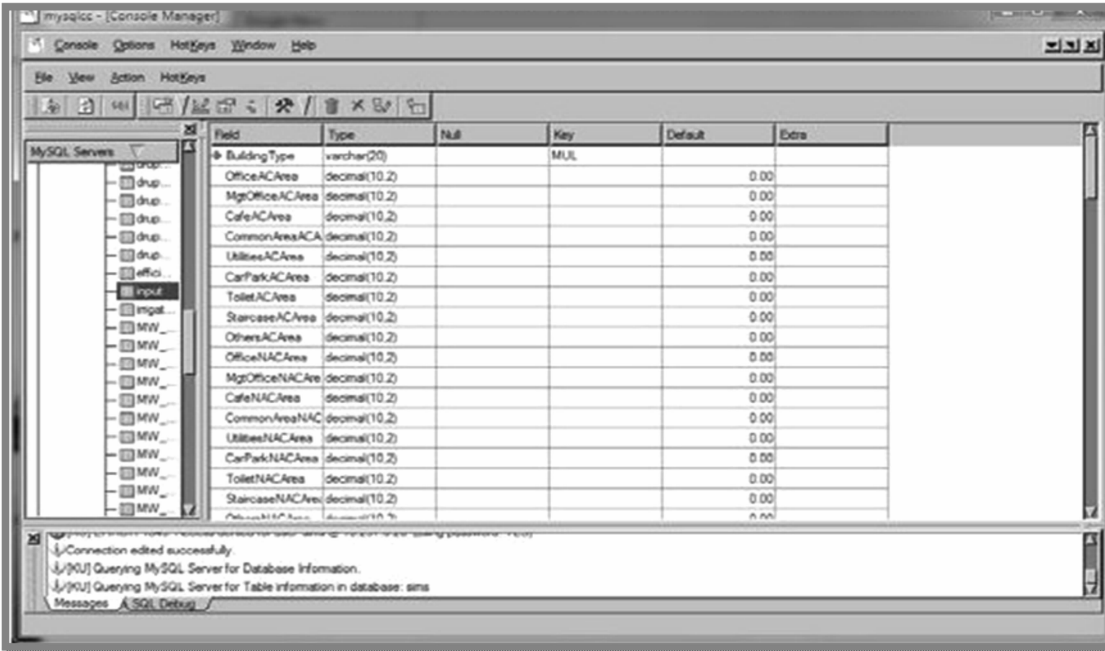


图 2 MYSQL 数据服务器界面图

The point gain in Section 1-8 is 2. The carbon emissions in Section 1-8 is 2440497031.14. The point gain in Section 1-9 is 907185.25041556. The point gain in Section 1-10 is 0.030394204491628. The point gain in Section 2-22 is 10. The carbon emissions in Section 2-22 is 0. The carbon emissions saving in Section 2-22 is 8954066.4748518. The point gain in Section 3-1 is 219. The carbon emissions in Section 3-1 is 282091.57009346. The point gain in Section 3-2 is 5. The carbon emissions in Section 3-2 is 27146. The point gain in Section 3-3 is 1. The carbon emissions saving in Section 3-3 is 11645603.828685. The point gain in Section 4-1 is 2.

图 3 碳排放计算器结果输出图

4 计算器对绿色建筑碳排放的计算

4.1 暖通空调

暖通空调系统由中央加热系统、通风系统(通风、自然通风)和空调系统构成。其中,加热系统一般由

锅炉、窑炉和热泵三部分组成。暖通空调系统对空调能耗的研究是建立在假设单位窗面积的 HVAC 系统能耗相同的条件下的,进而对该地区的电力估计采用基本能耗方程,转换电力消耗的碳排放因子为 $0.536\text{ kg/kWh}^{[6]}$ 。

4.2 通风

通风系统是暖通空调系统的一个子系统,用于实现建筑物内的空气循环。目前,通风系统可以分为机械通风系统、自然通风系统和混合通风系统三种^[7]。其中,机械通风系统利用空气处理单元(AHU)来实现空气流通。AHU 是由金属过滤器制成的,用于安装在建筑物的屋顶;它有类似风扇的扇型叶片,能够使新鲜空气通过空气过滤器进入室内,与此同时将室内有异味的污浊空气过滤到建筑物外部。

根据通风系统的设计通风量和运行时间就可以计算出能量消耗。通风系统的平均通风量在 $900\sim1300\text{ 立方米/(小时}\cdot\text{平方米)}$ 。计算公式如下:

$$E = Q \times T \times 3.676 \times 10^{-4}$$

其中: E 为通风系统运行一次的能源消耗量(单位: kWh); Q 为通风系统的设计通风量(单位: m^3/h); T 为通风系统年运行时间(单位: h)。

4.3 电梯

电梯的能耗在建筑能耗中占得比重很大。根据 Al-Sharif 对某一建筑物电梯能耗成本的研究可以知道电梯能耗成本可达建筑总能耗成本的 $5\%\sim10\%$ 。电梯的驱动系统和运行速率是影响能源效率的主要因素;同样的研究也表明,高效的液压系统和变频调速系统对能源效率的影响最大。

估计电梯的能耗相对比较简单,只要根据电梯电机的定额功率、每天开启的次数以及每次开启运行的时间就可以算出电梯的能耗。建筑师或者工程公司都应该能够找到这方面的数据。下面列出了计算电梯能源消耗的方程:

$$E = (R \times ST \times TP) / 3600$$

其中: E 为电梯每天的能量消耗,单位: KWH/Day ; R 为电梯点击的定额功率,单位: KW ; ST 为电梯每天的开启次数; TP 为电梯的每次运行时间。

4.4 自动扶梯

碳排放计算器依据研究人员对美国檀香山国际机场自动扶梯的能耗因素进行分析、估计,进而确定自动扶梯的能耗数据。该研究主要针对的是 15 马力的电动扶梯,这个扶梯由一个每上升二十英尺就向下倾斜的三阶段电梯控制器控制。自动扶梯需要根据乘客的数量以及给定时间内的各种负载状况进行选

择。控制器安装后需试运行 6 天(140 个小时),若无故障后,6 天后正常运行。自动扶梯受控主要是指自动扶梯的运行速度受控,应根据扶梯运行当天的客流量和运行时间确定扶梯的运行速度;扶梯正常运行是指扶梯的运行速度不受客流量大小的影响。

自动扶梯能耗的计算是以美国檀香山国际机场相类似的建筑为基础的,其平均能耗功率为每运行年(运行一年的总小时数)为 2.574 kW ,能耗动能是每运行年为 2.623 kW 。

4.5 耗水量

耗水量可以检测碳排放量,于是成为了绿色建筑认证的一个重要指标。自来水的处理过程需要用到电动水泵、电动混响器等电力设备和燃料设备。

利用碳排放计算器计算出水的碳排放因子的方法借鉴了美国绿色建筑委员会 2009 年颁布的《绿色建筑设计和施工参考指南》^[8]。用水量的确定方法来源于 LEED 评价标准,在确定用水量的过程中需要数名全职员工(FTE)的参与,全职员工要求包括男性用户、女性用户、男性观众、女性观众;还应包括水龙头的类型、小便池的类型以及厕所的类型等,以此在操作过程中确定建筑运行的常规耗水量。

除了用户的耗水量外,小区的绿化灌溉用水也应该被计入耗水量。利用 LEED 评价标准中的计算器来估算灌溉用水量。计算灌溉用水量的过程中需要输入喷头的类型、植物的类型以及建筑物周围和内部的绿化面积大小。用户用水量的碳排放量计算由用户用水量乘以每年的用水量和水的碳排放系数 0.8603 (每立方米的水水排放 0.8603 kg 的 CO_2)。

4.6 绿化节能

随着施工现场或者在附近绿色屋顶、绿色墙壁以及绿色场地等绿化量的不断增加,建筑节能的概念被引入。通过绿色屋顶、树木对建筑屋顶和路面的遮阳作用来降低建筑物屋顶和路面的表面温度,从而减少建筑的夏季的冷负荷。在冬季,土壤中的水分可以调节配有绿色屋顶的建筑的温度。因此,绿化是大多数绿色建筑评价标准中的重要指标,根据能源使用来缓解估算节省的碳排放量。

美国环保局通过对建于芝加哥市政厅顶部的 20300 平方英尺 的粗放与集约混合的绿色屋顶研究发现,这个屋顶每年节省 9270 kWh 的冷负荷以及 7.4 亿 Btu 的热负荷。美国环保局还针对多伦多和加利福尼亚州圣塔巴巴拉的绿色屋顶进行了相似的研究。多伦多的建筑绿色屋顶 32000 平方英尺 ,每年节省 6% 的制冷带来的能源成本,以及 10% 的制热带来的

能源成本;然而在美国圣巴巴拉分校,同等面积的绿色屋顶每年可节省 10% 的制冷带来的能源成本和 10% 的制热带来的能源成本。这项研究表明,在低纬度地区,制冷所消耗的能源比高纬度地区少。

5 结论

文中提到的碳排放计算机涵盖暖通空调的能耗、电梯的能耗、自动扶梯的能耗、抵消可再生能源的能耗,通过选择节能的墙体材料、绿化灌溉以及用户的用水量、混凝土使用量以及水处理量来节省能耗。这些都是绿色建筑碳排放源的主要组成部分,并受到绿色市场的引导。与其他的计算器不同,电力碳排放因子、水的碳排放因子等碳排放因子都应该根据项目所在地区的具体情况而定,以得更精确的结果。

尽管碳排放计算器已经在主要的碳排放过程中做出了重大贡献,但是仍然需要对碳排量计算模型进行调整,在计算中考虑更多的因素,以适合其他类似于美国 LEED 评价体系的绿色建筑评价标准。如照明用电的能量消耗应该列入碳排放计算器的考虑范围,因为许多商业建筑在非办公时间没有关掉照明灯,这样浪费了大量的能源。此外,办公室和家庭中的计算机、手机、平板电脑、电视机、游戏机、打印机等电子设备耗电量也很大。

为了进一步改进碳排放计算器并适应我国绿色建筑特点,全寿命周期(LCA)和资源循环分析都应该用来对所有的建筑材料进行分析,并通过实验测试,利用相同的方法测试出不同材料的碳排放量^[9]。实验室测试将建立行业内部或外部其他材料的环境

影响研究和测试框架。此外,我国的混凝土、木材、钢铁、石膏、地毯、铝结构这六种应用最普遍的建筑材料的碳排放因子与美国并不相同。由于碳排放因子具有地域性的特点,计算器在我国绿色建筑应用的过程中应根据实际情况修改排放因子系数。

参考文献

[1] 卜一德. 绿色建筑技术指南[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2008:27—28.

[2] 薛志峰,江亿. 超低能耗建筑技术及应用[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2005:99—100.

[3] 于萍,陈效逯,马禄义. 住宅建筑生命周期碳排放研究综述[J]. 建筑科学,2011,27(4):9—12.

[4] BUILDING AND CONSTRUCTION AUTHORITY. BCA Green Mark: Certification Standard for New Buildings GM Version 3. 0[S]. Singapore: Building and Construction Authority,2010:71—72.

[5] K Y G KWOK, C STATZ, B WADE, WAI K OSWALD CHONG. Carbon Emission Modeling for Green Building: A Comprehensive Study of Calculations [C]//ICSDEC. ASCE2013. 2012:118—126.

[6] IPCC. Climate Change 2001: The Scientific Basis[R]. Cambridge:Cambridge University Press,2001:109—112.

[7] GB/T50378—2006,绿色建筑评价标准[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2005:12—13.

[8] USGBC. Green Building Design and Construction Reference Guide,2009 Edition[M]. Washington, DC: United States Green Building Council,2009:47—48.

[9] 张智慧,尚春静,钱坤. 建筑生命周期碳排放评价[J]. 建筑经济,2010(2): 44—46.

Advance Research of Green Building Carbon Emission Calculation

LIU Rui, ZHAI Xiang-bin, XU Yan

(School of Economics and Management, North China Electric Power University, Beijing 102206, China)

Abstract: Building carbon emissions is an important indicator of green building evaluation. Calculate the carbon emissions of green building in the construction and operation period of great importance. On the basis study of the green building carbon calculator from University of Kansas professor KYGKwok, the paper introduce the relationship between carbon emissions and expound green building with carbon emissions calculator principles. Finally, according to China's actual conditions, the paper modify carbon calculator carbon emission parameters and application life-cycle theory to measure the carbon emissions of materials for their application in domestic carbon emissions calculations provide theoretical support of green building.

Key words: carbon emission calculation; green building; computing applications