

Research Progress of Building Life Cycle Carbon Emission Assessment*

Zhao Liu[#], Yunfeng Deng, Xiaotao Wang

China Quality Certification Centre (CQC), Beijing
Email: [#]liuzhao@cqc.com.cn

Received: Jun. 17th, 2013; revised: Jun. 28th, 2013; accepted: Jul. 2nd, 2013

Copyright © 2013 Zhao Liu et al. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Abstract: The construction industry is the main area of energy consumptions and greenhouse gas emissions in the world. It is of important significance to assess the life cycle carbon emission from buildings for reducing their environmental impacts. In this paper, the carbon emission status and the related policies and regulations of buildings are firstly introduced and then the assessment method, underlying database and main related standards of building lifecycle carbon emissions at home and abroad are reviewed. Furthermore, the paper summarizes the existing problems of lifecycle carbon emissions from buildings in China and presents the research directions and emphasis according to the national conditions and the international experiences in the field.

Keywords: Building; Life Cycle Assessment; Carbon Emission

国内外建筑生命周期碳排放评价研究进展*

刘 昭[#], 邓云峰, 王晓涛

中国质量认证中心, 北京
Email: [#]liuzhao@cqc.com.cn

收稿日期: 2013年6月17日; 修回日期: 2013年6月28日; 录用日期: 2013年7月2日

摘 要: 建筑业一直是全世界能源消耗和温室气体排放的主要领域, 评价建筑生命周期碳排放对研究建筑环境影响、减轻环境污染具有重要意义。本文概述了国内外建筑碳排放情况及相关政策规范, 介绍了目前建筑生命周期碳排放评价方法、相关基础数据库及主要依据标准, 通过借鉴国际建筑领域的相关经验, 总结了我国建筑生命周期碳排放评价存在的问题, 并提出了今后建筑生命周期碳排放评价中的研究重点。

关键词: 建筑; 生命周期评价; 碳排放

1. 引言

自工业化时代以来, 由于人类活动造成的温室气体(GHG)排放增加导致大气温室气体(GHG)浓度显著增加, 其造成的严重环境后果已成为国际社会普遍关注的焦点。

在各领域中, 建筑的建造、运行维护以及拆除处

置等过程会消耗大量的自然资源并产生废弃物, 因此建筑业一直是全世界能源消耗和温室气体排放的主要领域。根据联合国政府间气候变化专门委员会(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)第四次评估报告及联合国环境规划署(United Nations Environment Programme, UNEP)的统计, 建筑行业消耗了全球大约 30%~40%的能源, 并排放了几乎占全球 1/4 的温室气体^[1,2]。

*基金项目: “十二五”国家科技支撑计划项目“碳排放和碳减排认证认可关键技术与示范”(项目编号: 2011BAC04B00)。

[#]通讯作者。

美国、英国、德国、法国、日本等发达国家是全球温室气体排放的主要国家和地区,建筑行业在这些国家和地区的温室气体排放总量中都占有相当大的比例。据统计,美国 2008 年建筑 CO₂ 排放量占美国当年 CO₂ 排放的 39%^[3,4];英国 2000 年建筑温室气体排放为 7500 万吨,占到 50%^[5];德国 2007 年的 CO₂ 排放总量为 841.2 百万吨/年,建筑 CO₂ 排放比例达到 15% 左右。针对建筑领域给环境带来的沉重负面影响,各国出台了相应的技术和政策来控制建筑碳排放。英政府于 2007 年推出了“可持续住宅规范”^[6],2002 年德国开始实行新的建筑节能规范《EnEV2002》^[7],2007 年法国新政府制订了“GRENELLE 法令”,确定法国建筑中长期减排目标。另外,日本也于 2007 年出台《东京节能办法 2007》。这些发达国家应对气候变化的相关技术和政策对全球应对气候变化行动发挥着重要的影响和作用。

在我国,伴随着工业化与城镇化的发展,建筑业与工业、交通运输业并列成为三大耗能大户。其中,建筑消耗了社会总能耗的 25%~28%,其碳排放量更是占到社会总排放量的 40% 左右^[5]。国家政府部门均十分重视建筑节能减排方面的工作。住房和城乡建设部、国家发改委、国家财政部均针对建筑碳减排出台了《绿色建筑评价标准》、《绿色节能建筑行动方案》以及一系列“十二五”规划,为建筑生命周期碳排放评价提供了有力的政策支持。

生命周期评价被誉为是二十一世纪最有效的环境管理工具。作为一种评估产品从原材料的获取、产品的生产直至产品使用后的处置(从摇篮到坟墓)整个生命周期对环境影响的技术和方法,它于 1990 年便成为评价建筑碳排放的重要工具^[8],对研究建筑环境影响、减轻环境污染具有重要意义。鉴于建筑业给资源和环境带来的双重压力,对建筑生命周期碳排放评价的研究已成为国内外建筑领域的重要方向。

目前,国外在生命周期碳排放评价方面已经开展了大量研究。世界上研究建筑物生命周期评价的机构和组织集中在欧盟、北美、日本等发达国家。1995 年, Suzuki^[9]利用日本的产业平衡表计算了住宅建筑的 CO₂ 排放和全生命周期能耗;同期, Adalberth^[10]给出了计算建筑物全生命周期不同阶段能耗的计算公式;2008 年,德国的可持续建筑协会(DGNB)提出了可持续建筑评估技术体系,首次对建筑的生命周期碳排放

量提出完整明确的计算方法^[11]。与此同时,国内学者也开始关注建筑生命周期碳排放研究。2002 年,张又升对建筑物全生命周期中的碳排放进行了整理计算,同时针对性地给出碳减排对策^[12];黄国仓^[13]针对具体的办公建筑进行了碳减排的计算与分析研究;近年来,蔡向荣等^[5]从全生命周期角度出发,对建筑的能源消耗和碳排放进行了分析;刘君怡^[14]对建筑生命周期中建造及使用两阶段的碳排放做了量化分析,给出了典型的计算公式,对建筑碳排放研究提供了重要参考依据。

2. 国际建筑生命周期碳排放评价研究进展

2.1. 国际建筑生命周期碳排放研究现状

建筑生命周期能耗研究始于二十世纪 90 年代。随着近年来国际社会对全球环境和能源问题的持续关注,特别是对碳排放的关注,建筑全生命周期能耗和碳排放的研究也越来越多。

目前,国际上建筑生命周期能耗和碳排放研究主要具有以下特点:

1) 阶段划分:对于建筑全生命周期各个阶段的划分,从最初主要集中在建材生产阶段和运行阶段,扩展到对施工建造阶段,维护更新阶段和拆除阶段等各阶段的能耗和碳排放研究,以及对于建筑拆除后建材回收潜力的研究。通常研究中将建筑生命周期划分为建造阶段(包含建材生产、运输以及施工过程),运行阶段(包含运行,维护,更新等)和拆除阶段。也有研究划分为建材生产阶段,施工建造阶段、运行阶段、拆除阶段以及建材的回收利用阶段。不同研究中对于建筑生命周期的边界以及阶段的划分不尽一致,这也导致了各个案例研究的结果不具备很好的可比性。

2) 研究范围:主要针对单体建筑的生命周期能耗和碳排放。部分研究亦将建筑周围的环境,如道路以及基础设施等的能耗和环境负荷包含在内。

3) 数据来源:研究中使用的建材等环境负荷的数据来源主要有当地调研的能耗和环境负荷数据以及 LCA 评价分析软件(SIMPRO、ALF、EcoQuantum、ATHENA、Ecoinvent 和 BEDEC 等)的数据库数据。缺少数据的则直接采用其他文献的研究成果。运行能耗数据一方面来源于对实际建筑运行中的能耗调研结果,如能耗账单的统计或者能耗监测数据,另一方面

则主要通过能耗模拟软件的计算,比如 DOE2、eQuest、Ecotect、EnergyPlus、ENORM 等,主要包含采暖,空调,通风,电器,生活热水等能耗。

2.2. 国际建筑生命周期评价标准和工具

在建筑生命周期研究中,各国出台了多项评价体系及标准对建筑生命周期各阶段的碳排放进行计算和评价。如美国的绿色建筑评估体系(Leadership in Energy and Environmental Design, LEED)、英国建筑研究院绿色建筑评估体系(Building Research Establishment Environmental Assessment Method, BREEAM)、德国绿色建筑评估体系(Deutsche Gesellschaft für nachhaltiges Baues e. v, DGNB)、日本建筑物综合环境性

能评价体系(Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency, CASBEE)、韩国的绿色建筑评价标准等。其中 LEED 是目前世界各国建筑环保评估、绿色建筑评估及建筑可持续性评估标准中最完善、最有影响力的评估标准,已成为世界各国建立各自绿色建筑及可持续性评估标准的范本。各项评价体系及标准的适用性及特点归纳如下(表 1)。

通过对国外各个国家在建筑领域节能减排政策法规、生命周期碳排放计算方法及标准等方面的研究,我们发现,目前国际上建筑节能工作的现状和挑战,首先就是本评价地标识开始进入国际化的竞争阶段,包括美国的 LEED、英国 BREEAM、日本的 CASBEE 和澳大利亚的绿色星级评价等。同时,各个

Table 1. International standards and tools for building life cycle assessment
表 1. 国际建筑生命周期评价标准和工具

标准及工具	主要特色	应用对象	数据来源和特点	开发机构
美国 LEED	最完善、最有影响力的评估标准,绿色建筑及可持续性评估标准的范本。	建筑整体性能评价	从可持续建筑场址、水资源利用、建筑节能与大气、资源与材料、室内空气质量等方面对建筑进行综合考察,评判其对环境的影响,通过评估的建筑,按评估分数高低分为白金、金、银、铜 4 个认证级别,以反映建筑的绿色水平。	美国绿色建筑协会
英 BREEAM	在能源部分的 Ene01 条专门针对建筑运行阶段的二氧化碳排放进行计算和评价的条款	运行阶段的碳排放评价	根据建筑运行能耗需求、能源消耗和总的二氧化碳排放量来进行评价。将建筑这三方面的性能与国家平均水平比较并计算得分,并根据各因素的权重计算总分进行评价。	英国建筑研究院所 (BRE)
德国 DGNB	对建筑的碳排放量提出完整明确的计算方法,在此基础上提出碳排放度量指标计算方法	建材生产、建造、运行、拆毁处置的碳排放评价	1) 材料生产与建造:考虑原料提取,材料生产,运输,建造等各方面过程中的碳排放量。2) 使用期间能耗:区分不同能源种类计算其一次性能源消耗量并折算出相应的二氧化碳排放量。3) 维护与更新:计算所有建筑使用周期内(50 年)需要更换的材料设备的种类体积,对比相关数据库,得到建筑在使用寿命周期内维护与更新过程中的碳排放量数据。4) 拆除和重新利用:将建筑达到使用寿命周期终点时所有建筑材料和设备分为可回收利用材料和建筑垃圾进行分别计算。	德国可持续建筑协会 (DGNB)
日本 CASBEE	在 2010 版里,为了明确表示 LCCO ₂ 的性能,加入了基于 BEE 的综合评价,对应 LCCO ₂ 的大范围变化,用绿一星到绿五星 5 个等级对参评建筑进行碳排放评价	建材生产、建造、运行、拆除处置	全生命周期碳排放计算模型基于一个参照建筑,以及目标建筑与参照建筑在服务年限、材料回收和利用以及运营阶段的节能量变化来确定。建筑材料的二氧化碳碳排放计算根据不同类型和结构的建筑材料数量的统计数据 and 建材的碳排放因子数据的计算而得。施工、运营、翻新及拆除阶段的建筑材料二氧化碳排放由日本建筑师协会的全生命周期评价工具计算。运行阶段则使用统计数据确定建筑的主要能耗,继而确定运营阶段每平方米建筑面积的标准碳排放单元。	日本可持续建筑协会 (JSBC)
韩国《绿色环境评价标准》	包括土地的利用、交通、能源、材料及资源、水资源、环境污染、有机管理、生态环境和室内环境等方面的评价	材料、能源室内环境的碳排放评价	在能源部分包含了建筑物能源的节约和减少 CO ₂ 的排放;在材料部分包含了使用绿色环境认证的可循环使用的材料,标注材料的 CO ₂ 排放量;在室内环境部分包含了 CO ₂ 的排出计量等要求。	韩国建筑部和建设交通部

评价标准在碳排放方面都在补充和完善相应的评价条款和评价方法,目前欧盟(英、德、瑞等)以及日本已经将生命周期碳排放纳入到绿色建筑标识的评估方法当中,碳量化及减碳量成为绿色建筑评估的重要组成部分。

3. 我国建筑生命周期碳排放评价研究进展

3.1. 我国建筑生命周期碳排放评价研究现状

我国建筑碳排放研究起步较晚,正处于探索阶段。近年来,随着国家节能减排工作的大力推进,减少建筑领域的碳排放已经成为实现我国在 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^[15]。在这样的局势下,如何衡量建筑碳排放也就成为首要解决的问题。

3.1.1. 生命周期评价范围的确定

根据不同的研究目的和研究内容,建筑全生命周期的评价范围各有不同。尚春静和张智慧(2010)^[16]认为,建筑生命周期系统边界内部应包含形成建筑实体和功能的一系列中间产品和单元过程流组成的集合,但对于由于使用各种家用电器设备而导致的能源消耗与碳排放不应包含在内。黄志甲等(2011)^[17]将住宅建筑生命周期划分为建筑材料生产运输阶段、施工与安装阶段、日常使用阶段、维护修缮阶段、拆除阶段、废弃处理阶段这 6 个阶段;张智慧等(2010)^[16]将建筑的生命周期概括为物化阶段、使用阶段和拆除处置 3 个阶段;Chen 等(2011)^[18]将建筑的全生命周期分为更为详细的建设施工、装修、室外设施建设、运输、运行、废物处理、物业管理、拆卸和废弃物处置 9 个阶段;而刘君怡等(2010)^[14]在研究低碳住宅技术的 CO₂ 减排效用时,仅选择了在建筑全生命周期中能耗所占比例最高的运行阶段和建造 2 个阶段进行量化分析。

3.1.2. 生命周期评价模型的建立

由于生命周期的划分方式、考虑因素、建筑类型、数据清单情况等的不同,国内生命周期碳排放评价模型也各自有别。

尚春静和张智慧建立的建筑生命周期碳排放核算模型,以生命周期各个阶段内温室气体的排放量与其全球变暖影潜能值的乘积之和作为生命周期碳排放指数来衡量碳排放^[16];燕艳建立了建筑 LCA 能耗和

CO₂ 排放量计算模型。其认为,建筑的生命周期碳排放包括建材生产阶段、运输阶段、建造施工阶段、使用阶段和拆除废弃阶段碳排放之和^[19]。魏小清建立的生命周期碳排放计算模型包括了建筑材料生产阶段、建筑施工阶段、运营管理、拆除阶段、废旧建材处置阶段、建筑回收利用节约六个阶段的能耗,根据能耗的结果转化为碳排放量^[20]。黄志甲等针对住宅建筑建立了住宅建筑全生命周期 CO₂ 排放计算模型。该模型包括了住宅建筑生产运输阶段、施工阶段、日常使用阶段、维护修缮阶段、拆除阶段和废弃物处理阶段的 CO₂ 排放量^[17]。赵艳华利用英国 Boustead(4.0)模型对建筑施工及建材生产中的能源使用量及能源使用情况进行分析,根据环境影响指标计算出建筑物的环境影响^[21]。张智慧和吴星利^[22]用 BEPAS 评价模型评价建筑物的环境影响。该模型从建筑设备运行、建筑材料和建筑场地三个方面来研究建筑的环境影响。

3.1.3. 数据质量和不确定度的考虑

建材、能耗等的的数据质量和可靠度直接关系到建筑生命周期碳排放的结果和质量。而国内在数据质量和不确定度分析的研究上几乎是一片空白。目前文献报道中只有冯勇等在对房地产项目生命周期碳排放研究中讨论了数据的重要性、完整性和真实性,依据 ISO14064,重点对数据质量的不可控性、收集的差异性 & 数据质量的不确定性做了相关分析^[23]。

3.2. 我国建筑基础数据库

我国建筑基础数据库主要有中国材料环境数据库 Sinocenter、中国建筑环境负荷评价体系(Building Environmental Load Evaluation System, BELES)、中国生命周期基础数据库(Chinese Life Cycle Database, CLCD)和 CTC-绿色建材评价系统等。

Sinocenter 是北京工业大学开发的、基于 ISO 14040 的技术框架和我国实际情况建立的一套包含 50,000 条关于水泥、涂料、钢铁等建筑材料数据记录的 LCA 数据库。数据来源于实际调研及行业统计。目前已经形成为商业数据集,可按材料种类独立销售 & 使用。

BELES 数据库由清华大学建筑技术科学系开发,可对建筑生命周期的能耗、资源消耗及多种污染物排放进行分析和评价。基于 BELES 平台,清华大学建

筑技术系已完成了多项科研项目和课题。

CLCD 是由四川大学建筑与环境学院和亿科环境共同开发生命周期基础数据库，数据来自行业统计与文献，包含资源消耗以及与节能减排相关的多项指标。它是国内目前唯一可公开获得的综合性 LCA 基础数据库，已应用于认证领域。

CTC 由成都亿科环境科技有限公司开发，是我国第一个对绿色建材在基本性能、环境协调功能性、环境安全性和生命周期环境影响四个方面进行综合、定量、科学的评价的软件。该评价软件的评价参数能够及时地根据国家的相关政策法规进行修订，具有较强的实效性和较大的推广应用价值。

由以上介绍可知，各种数据库本身数据边界、数据来源、数据的时效性等均有差异，而这些差异对建材的碳排放计算结果一定会有不同程度的影响。因

此，如何保证数据的有效性、合理性以及时效性等问题是非常重要的。不同地区的案例，在进行建材 LCA 的评价时，应当优先选择当地的数据进行分析计算；采用不同的数据来源时，应该注意数据的本地化差异和合理的转化，以保证结果的合理性。

3.3. 我国建筑碳排放评价标准

我国建筑碳排放相关的标准主要分为定性评价和定量评价两类。其中，定性评价的标准有：《绿色建筑评价标准》(GB/T50378-2006)、《香港建筑环境评估标准(HK-BEAM)》。定量评价的标准有：《建筑工程生命周期可持续性评价标准》、《香港建筑物(商业住宅或公共用途)的温室气体排放及减除的审计和报告指引》、《中国绿色低碳住区技术评估手册》。主要标准的特点归纳如下(表 2 和表 3)。

Table 2. Standards for building carbon emission assessment of China (qualitative assessment)
表 2. 我国建筑碳排放评价标准(定性评价)

标准分类	标准名称	开发机构	评价对象	评价指标体系	评价方法
定性评价	绿色建筑评价标准	原建设部和质检总局	住宅建筑和公共建筑，包括建筑群或建筑单体	六类指标：节地与室外环境、节能与能源利用、节水与水资源利用、节材与材料资源利用、室内环境质量和运营管理	绿色建筑应满足标准中住宅建筑或公共建筑中所有控制项的要求，并按满足一般项数和优选项数的程度，划分为 1、2、3 星级，3 星为最高级别。
	香港建筑环境评估标准(HK-BEAM)	香港理工大学	新修建筑物和现有建筑物	三个方面：全球环境问题和资源利用，地区问题，室内环境问题。评价体系包括 15 个评估指标，87 个标准；涵盖了全球、本地和室内 3 个环境课题。	采取自愿评估的方式，对建筑物性能进行独立评估，并通过颁发证书的方式对其进行认证。满足标准或规定的性能标准即可获得“分数”，评分分为优秀，很好，良好和符合要求级。

Table 3. Standards for building carbon emission assessment of China (quantitative assessment)
表 3. 我国建筑碳排放评价标准(定量评价)

标准分类	标准名称	评价对象	评价内容	评价边界	数据来源	报告形式
定量评价	建筑工程生命周期可持续性评价标准	包括建筑物的建造、使用和维护、拆除处置活动以及用于建造建筑物的建筑材料和结构配件。	建筑工程系统的输入和输出及其导致的直接环境影响以及潜在的环境影响	建筑材料生产、构配件加工制造、运输、施工与安装、使用期建筑物运行与维护、循环利用、拆除与处置	根据工程量清单、施工方案、建筑设备规格、建筑图设计参数以及日常运行的水、电、气、热数据来确定生命周期各阶段的数据用量。	评价报告应包括清单数据汇总表、特征化数据汇总表、环境影响值以及建筑工程可持续性指标等
	香港建筑物(商业住宅或公共用途)的温室气体排放及减除的审计和报告指引	商业或住宅用途的建筑物，及大部分作公共用途的建筑物，包括学校、社区中心、运动场馆等。	审计温室气体排放情况，并通过乘以相应的全球变暖潜能值，将其换算成二氧化碳当量，作为定量碳审计结果。	建筑物边界通常和有关建筑物的工地范围相同。若多幢建筑物相邻或者共用服务设施，可选择为该组建筑物作集体碳审计	建筑物的实地调研：水、电、煤气费等。相关系数由相应的机构提供；如电力排放系数由电力公司提供、煤气的排放系数由煤气公司提供。	审计基础资料部分，数据测量及计算部分和分析建议部分。

4. 开展建筑生命周期碳排放定量评价 存在问题及分析

4.1. 评价方法不统一

在国内建筑生命周期碳排放定量评价中,对于评价指标的选取、评价范围的确定以及碳排放计算方法学上的问题尚未达成共识。比如对于评价指标的选取,为了消除建筑规模和使用年限对评价结果造成的影响,有研究者选用单位建筑面积的年碳排放量作为评价指标,碳排放量以所有产生的温室气体折算为CO₂当量表示^[10],而有的研究者直接使用单位建筑面积年CO₂排放量LCCO₂^[11],还有研究者建议应该使用人均碳排放指标和建筑用能过程碳减排效率进行评价,以将建筑碳排放评价落实到对“人的排放”的评价上。另外,对于生命周期阶段的划分和碳排放的计算,各研究也不尽相同。这都会对计算结果产生较大的影响,使得不同方法得到的碳排放量数据没有可比性。

4.2. 标准适用性不强

我国现阶段的建筑碳排放相关的标准较少。《建筑工程生命周期可持续性评价标准》和《香港建筑物(商业住宅或公共用途)的温室气体排放及减除的审计和报告指引》是现阶段的建筑碳排放计算的主要标准。现有标准中有关建筑废弃物处置阶段的碳排放内容几乎空白,对于建筑生命周期碳排放量化的适用性不强,无法满足全生命周期碳排放计算需求。因此,还需进一步的研制并完善建筑生命周期碳排放评价的专用标准。

4.3. 数据库不完善

建筑生命周期碳排放评价中不可避免的要用到建材、部品的基础数据库,我国现在建筑碳排放相关的数据库还基本处于自己研发自己用的阶段,存在数据库不完善、不统一的问题,不利于建筑碳排放研究的进展。

5. 总结及展望

本文对国内外建筑碳排放情况进行了综述,介绍了目前建筑碳排放评价的评价方法、现行标准及数据

库情况,总结并分析了我国建筑生命周期碳排放评价存在的问题。

总的来说,建筑生命周期评价工作是一项复杂而又庞大的工作。对于我国现阶段的碳排放研究机制,首先应该制定出适合国情且统一的建筑生命周期碳排放计算方法,制定和完善国内建筑碳排放相关数据库,提出适宜可行的建筑生命周期碳排放的评价方法,继而通过借鉴国外碳排放评价的经验,加快我国碳排放评价和碳交易市场建设的进程。考虑到不同国家的能源结构,与我国整体能源结果相似的国家的相关经验尤其值得借鉴和学习。

参考文献 (References)

- [1] B. Metz, O. R. Davidson, P. R. Bosch, R. Dave and L. A. Meyer. IPCC, 2007: 决策者摘要. 气候变化 2007: 减缓. 政府间气候变化专门委员会第四次评估报告第三工作组的报告[R]. 剑桥, 纽约: 剑桥大学出版社.
- [2] UNEP. World Business Council for Sustainable Development (WBCSD). deT'Serclaes, 2007.
- [3] Energy Information Administration. Commercial Buildings Energy Consumption Survey (CBECS). <http://www.eia.doe.gov/emeu/cbecs/contents.html>
- [4] Energy Information Administration. Residential Buildings Energy Consumption Survey (RECS). <http://www.eia.doe.gov/emeu/recs/contents.html>
- [5] 蔡向荣, 王敏权, 傅柏权. 住宅建筑的碳排放量分析与节能减排措施[J]. 防灾减灾工程学报, 2010, 30: 428-431.
- [6] Department for Communities and Local Government. Code for sustainable homes. London: Department for Communities and Local Government, 2006.
- [7] 《德国节能规范》(Energieeinsparverordnung) [S]. 2002.
- [8] J. A. Fava. Will the next 10 years be as productive in advancing lifecycle approaches as the last 15 years? The International Journal of Life Cycle Assessment, 2006, 11(S1): 6-8.
- [9] M. Suzuki, T. Oka and K. Okada. The estimation of energy consumption and CO₂ emission due to housing construction in Japan. Energy and Buildings, 1995, 22(2): 165-169.
- [10] K. Adalberth. Energy use during the life cycle of buildings: A method. Building and Environment, 1997, 32(4): 317-321.
- [11] 朱洪祥. 德国 DGNB 可持续建筑评估认证体系[J]. 建设科技, 2010, 18: 78-79.
- [12] 张又生. 建筑物生命周期二氧化碳碳减量评估[D]. 台湾国立成功大学, 2002.
- [13] 黄国仓. 办公建筑生命周期节能与二氧化碳减量评估之研究[D]. 台湾国立成功大学, 2006.
- [14] 刘君怡. 夏热冬冷地区低碳住宅技术策略的 CO₂ 减排效用研究[D]. 华中科技大学, 2010.
- [15] 张陶新, 周跃云, 芦鹏. 中国城市低碳建筑的内涵与碳排放量的估算模型[J]. 湖南工业大学学报, 2011, 25(1): 77-80.
- [16] 尚春静, 张智慧. 建筑生命周期碳排放核算[J]. 工程管理学报, 2010, 24(1): 7-12.
- [17] 黄志甲, 赵玲玲, 张婷, 刘钊. 住宅建筑生命周期 CO₂ 的核算方法[J]. 土木建筑与环境工程, 2011: 103-105.
- [18] G. Q. Chen, H. Chen, Z. M. Chen, et al. Low-carbon building assessment and multi-scale input-output analysis. Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation, 2011, 16 (1): 583-595.

国内外建筑生命周期碳排放评价研究进展

- [19] 燕艳. 浙江省建筑全生命周期能耗和 CO₂ 排放评价研究[D]. 浙江大学, 2011.
- [20] 魏小清. 基于生命周期理论的大型公共建筑能耗分析与评价[D]. 湖南大学, 2010.
- [21] 赵艳华. 城市典型建筑代谢及生命周期评价研究[D]. 新疆农业大学, 2007.
- [22] 张智慧, 吴星. 基于生命周期评价理论的建筑物环境影响评价系统[J]. 城市环境与城市生态, 2004, 17(5): 27-29.
- [23] 冯勇, 历美飞, 刘洋. 房地产项目建设周期碳排放认证实践[J]. 建设科技, 2012: 74-81.