

[文章编号]1002-8528(2013)12-0022-06

建筑施工阶段温室气体排放核算框架研究

陈康海¹, 李丽娟¹, 廖国维² (1. 广东工业大学 土木与交通工程学院, 广州 510006; 2. 广东电白建设集团有限公司, 广州 510630)

[摘 要] 建设项目施工过程中会排放出大量温室气体, 因此施工建造阶段是建筑全生命周期排放评估中的重要组成部分。本文基于建筑全生命周期理论(Life Cycle Assessment, LCA), 结合绿色施工评价框架和施工管理技术, 以施工单位为主体界定了施工阶段温室气体排放核算范围; 以施工单元过程为核心, 施工项目分级与集成为辅助, 建立了其清单分析过程; 并在以上工作基础上, 构建了施工阶段温室气体排放核算数学模型, 最终确立了施工阶段温室气体排放核算框架, 为客观鉴别施工活动的碳排放情况奠定了基础。

[关键词] 施工阶段; 全生命周期理论(LCA); 温室气体; 排放量

[中图分类号] P463.3

[文献标识码] A

Study on Accounting Framework for Greenhouse Gas Emissions in the Construction Stage

CHEN Kanghai¹, LI Lijuan¹, LIAO Guowei² (1. Faculty of Civil and Transportation Engineering, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510006, China; 2. Guangdong Dianbai Construction Group, Guangzhou 510630, China)

[Abstract] A large amount of greenhouse gases will be emitted during the construction of a construction project, and therefore, construction stage is an important part of the assessment on emissions during the construction life cycle. Based on Life Cycle Assessment (LCA) theory on buildings, this paper defined with construction unit as the subject the scope of accounting of greenhouse gas emissions in the construction stage with consideration of green construction assessment framework and construction management technology, established an analysis process for its list with construction unit as the core and gradation and integration of construction project as a complement, constructed a mathematical model for accounting of greenhouse gas emissions in the construction stage based on the above efforts, and finally determined the accounting framework of greenhouse gas emissions in the construction stage, laying a foundation for objective identification of carbon emissions in the construction activities.

[Keywords] construction stage; Life Cycle Assessment (LCA) theory; greenhouse gases; emissions

0 引 言

由于温室气体(Greenhouse Gas, GHG)过度排放引起的全球变暖问题已成为国际社会普遍关注的焦点, 哥本哈根会议后, 各国政府都在积极采取应对措施以期减缓全球化的温室问题。建筑物作为 1 项产品从其原材料生产、运输、施工安装、运营使用到拆除处理整个全生命周期内都会排放出大量温室气体, 致使建筑领域一直是世界能源消耗和温室气体排放的主要门户之一。联合国政府间气候专门委员会(IPCC)在第 4 次评估报告^[1]中指出, 2004 年建筑领域的 CO₂ 的排放量达到 3 Gt, 这还不包括建筑领

域电力使用的碳排放总量, 如果叠加建筑电力使用的碳排放, 其总量将高达 8.6 Gt, 几乎占了全球各行业温室气体排放总量的 1/4。其中, 施工安装阶段温室气体排放是建筑全生命周期排放量的重要组成部分, 具有高强度和集中排放的特点, 在建设期间需要消耗大量的资源, 使用大量的施工机械设备和运输设备, 并在短期内排放出大量温室气体, 对建筑物全寿命温室气体排放的计算已成为国内外研究的焦点。例如, 燕艳计算杭州市丁兰中学工程全寿命周期能耗, 得出建筑单位面积施工能耗为 107.2 MJ/m², 单位面积施工 CO₂ 排放量为 9.0 kg/m², 建造期考虑各种因素折算为 1 年; 该中学使用阶段年平均单位面积能耗和 CO₂ 排放量分别为 552.2 MJ/m²和 43.8 kg/m²^[2], 可见仅 1 年建造时间(不包括施工建筑材料损耗和施工运输能耗)的能耗和 CO₂ 排

[收稿日期] 2013-05-06

[修回日期] 2013-06-06

[作者简介] 陈康海(1988-)男, 在读硕士研究生

[联系方式] lilj@gdut.edu.cn

放可占使用阶段年均单位面积排放的 1/5。所以施工阶段温室气体排放计算在建筑全生命周期碳排放评估中占有重要地位,也是实施建筑工程施工低碳化的必经之路^[3]。

迄今为止,对建筑能耗和建筑全生命周期碳排放方面的研究主要集中在建筑物使用阶段,很少考虑施工阶段的碳排放,在实际计算中主要采用比较粗糙的方法进行估计,以至于欠缺在施工安装工程方面完善的温室气体清单分析和全面性的排放量计算考察。归结起来有 2 方面的原因,一方面原因是研究人员的侧重点有所不同;另一方面,也有人认为该阶段的碳排放所占总量的百分比不高,没有必要进行详细的清单分析和完整的计算。由于施工阶段温室气体排放集中,对环境影响较大,条款式的绿色施工定性评价框架很难反映实际情况。本文基于全生命周期理论(Life Cycle Assessment, LCA),通过对建筑工程施工阶段进行清单分析,建立了一个完整的施工阶段碳排放模型,可以客观鉴别施工活动的碳排放情况,为建筑行业建设项目评估决策提供参考,有效指导低碳施工。本文的主要内容为:1) 阐述建筑 LCA 理论;2) 界定建筑施工阶段 GHG 排放核算的目标与范围;3) 建立建筑施工阶段 GHG 排放核算清单分析;4) 构建了符合建筑施工阶段实际的 GHG 排放计算模型。

1 建筑 LCA 理论

全寿命周期评价(LCA)概念萌芽于可口可乐公司 20 世纪 60 年代到 70 年代初针对包装品的资源和环境状况分析,国际环境毒理学和化学学会于 1990 年率先科学地阐述了生命周期评价的概念,将其内容定义为产品、工艺过程或活动的整个生命周期,即原料的开采、加工、产品制造、运输和分配、使用重新利用、维持、循环以及最终处理^[4]。随后,国际标准化组织也对该理论开展深入的研究,将其概念定义为:对产品系统整个生命周期的输入、输出及潜在环境影响的汇集和评价^[5-6]。国际标准化组织很快将生命周期评价纳入其 ISO 14000 系列之中。以上 2 个国际组织虽然对生命周期评价理论概念定义的文字表述有所不同,但是基本理论框架和概念核心是一致的,都认为生命周期评价作为一种科学系统的评价方法,其主要作用是用来评估某一过程或者是产品、服务等从其原材料生产到被废弃全过

程中对环境所造成的负荷,这个环境负荷值有可能是正的,也有可能是负的。其工作框架分为 4 个部分^[7],如图 1 所示:目标与范围的界定(Goal and Scope Definition)、清单分析(Inventory Analysis)、影响评价(Impact Assessment)和解释说明(Interpretation)。该理论早在 1990 年便被引进建筑行业,并逐渐成为了评价建筑环境负荷的 1 种重要理论工具。

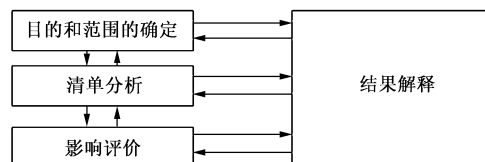


图 1 LCA 理论框架图

LCA 理论应用于建筑行业首先要对建筑生命周期进行划分,再进行下一步的研究。清华大学的尚春静指出建筑全生命周期涵盖了原材料的开采,建筑材料、设备生产和构件加工制造、建筑工程施工安装、运行维护及拆除处置等阶段,核算建设工程项目全过程的碳排放应该基于建筑产品的整个生命周期,更形象地把该过程比喻为建筑产品“从摇篮到坟墓”的全生命周期^[8]。刘念雄则提出更为清晰的生命周期划分:建材准备、建造施工、建筑使用和维护、拆卸 4 个阶段^[9]。生命周期阶段划分是为了更准确地定义所研究的目标与范围,本文研究对象建筑工程施工阶段并不是从建筑项目全生命周期进行温室气体排放定量评价,而是利用全生命周期评价理论框架对由承包单位根据其施工方案和工艺而进行的活动及所造成材料能源损耗进行温室气体排放评价,不考虑设计阶段和使用维护阶段等活动造成碳排放。

2 范围与目标

根据项目研究的应用计划和决策者的信息需求,确定项目的评价目标,并依据所确立的评价目标界定项目的边界范围^[10],这是项目全生命周期研究的第一步,也是最关键的工作,直接对整个评价工作程序以及最终结果准确度产生影响。所以,对施工阶段温室气体进行核算,首先对施工阶段目标与范围的进行界定确认。评价目标在引言部分已经阐述,在此不再累述,下面主要讨论施工阶段系统边界的定义与确定。

以往绿色节能评价的建筑全寿命周期一般以时间顺序为节点划分阶段范围,即建材生产阶段、交通运输、施工安装阶段、使用维护阶段和拆除清理阶段,共5个阶段,如图2所示。在此基础上分析每个阶段的温室气体排放情况,然后综合计算得出建筑全寿命周期的总排放量。以时间为节点划分阶段的优点是建筑全寿命周期各阶段物质流和能量流的分析比较清晰,范围的划定比较明了。

从工程项目管理的角度来看,工程建设项目生命周期是指从项目的构思到整个项目竣工验收交付使用为止所经历的全部时间,它被划分为概念、规划设计、实施和收尾4个阶段^[11]。其中规划设计阶段包括设计准备和设计阶段,是从项目批准立项到现场开工为止,其设计文件完整地表现建筑物外形、内部空间分割和结构体系,同时也确定了建筑物将采用的材料。而实施阶段即是施工阶段,从项目现场开工到工程竣工并通过验收为止,其主要任务是通过一定的施工技术将设计阶段的“蓝图”兑现为建筑实体,施工方决定建设项目的施工组织和管理,因此施工机械的选择、施工材料的损耗和施工区域布置方案直接反映施工方的能力水平,也决定了施工阶段的环境影响负荷。本文通过量化施工阶段温室气体排放,旨在指导施工建造活动,使安装施工阶段低碳化,该阶段实施主体以施工方为首,其制定施工方案、选择施工工艺和管理施工区域等因素均会影响施工气体排放情况,所以将温室气体排放研究范围限定于建筑项目实施阶段,其执行主体为施工单位,如图2即施工安装阶段。

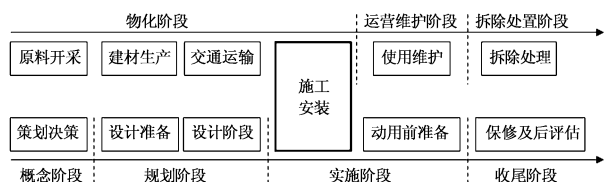


图2 建筑全生命周期阶段活动图

施工阶段温室气体排放是指把施工承包商在施工建造阶段的所有与项目有关的活动看作1个系统,该系统由于能源消耗向外界排放的温室气体总量。定义施工阶段从施工准备开始至交付使用前进行的,涉及场地平整、土石方工程、基础工程、主体结构工程、设备安装工程、装饰装修工程、完工场地清理等施工内容需进行的各种施工活动、办公及后勤

服务等环节。

综上所述,对施工过程的温室气体排放量计算范围做出以下的界定。

1) 资源和材料的消耗: 主要包括施工阶段由于施工方案和工艺所确定的、非投入于结构中的钢材、木材和混凝土等施工辅助材料。施工材料损耗以及辅助工程材料消耗并不是由建筑设计所确定,而是由施工方案和工艺水平所决定,且其损耗量的大小是衡量施工低碳化的一个重要方面^[12]。所以,本文亦将这类型材料资源消耗的温室气体排放影响因素纳入计算范围。

2) 能源消耗: 主要包括施工机械、设备运行、现场运输等所消耗的汽油、柴油和电力等。Chen,等指出建筑在施工安装过程中的碳排放囊括了材料消耗、设备以及生活工作区域的能源消耗^[13]。因此,可以把施工现场划分为施工区、生活区和办公区3个部分,分别明细其温室气体排放情况。

3) 温室气体。东京协议^[14]把温室气体定义为6种: CO_2 、 N_2O 、 CH_4 、HFC、PFC和 SF_6 ,并公布了各种温室气体的全球变暖潜能值GWP。 CO_2 数值为1,但是其排放量最大,以往大部分学者只考虑计算 CO_2 的排放量,目前越来越多的学者注重各种温室气体的综合计算。表1为温室气体全球变暖潜能值。图3为建筑施工阶段GHG排放核算系统边界。

表1 全球变暖潜能值GWP

温室气体	GWP值 ^[14] /(kgCO_2/kg)		
	20 a	50 a	100 a
CO_2	1	1	1
N_2O	72	25	7.6
CH_4	289	298	153
HFC	3 830	1 430	435
PFC	8 630	12 200	1 820
SF_6	16 300	22 800	32 600

3 清单分析

清单分析(Life Cycle Inventory, LCI)是一份关于生命周期过程物质和能量流的数据化的阶段,又可称为编目和列表分析,系对产品、工艺过程或活动在其整个生命周期内的能量与原料需求量(即输入)以及向外部环境排放物(即输出)等进行以数据为基础的量化描述过程,其实质是活动过程数据的收集、整理与分析^[8-15]。

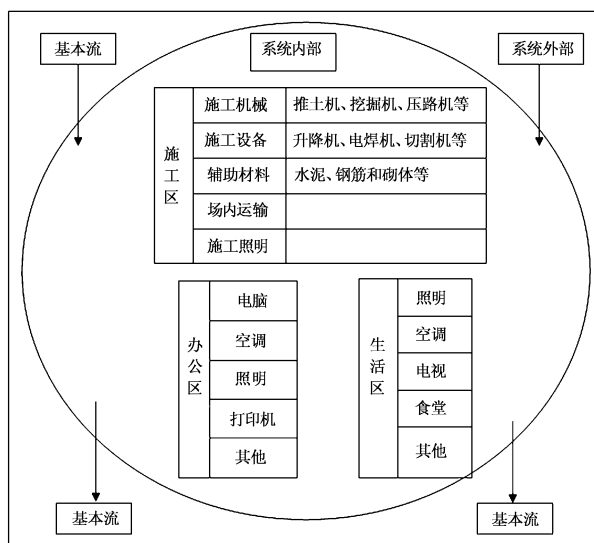


图 3 建筑施工阶段 GHG 排放核算系统边界

3.1 施工项目 GHG 排放核算分级与集成

整个施工作业现场可以分为施工区、生活区和办公区 3 个区域,按照空间维度细分温室气体排放的来源,一一进行清单分析。建筑使用阶段清单分析有比较多的研究,也相对完善成熟^[8,10],生活区和办公区可以遵循建筑使用运营阶段的评价框架进行清单分析。下面以施工区为主,进行施工项目清单分析的探讨。

绘制施工项目 GHG 排放核算分级—集成图有助于梳理清单分析其中的逻辑关系。工程项目施工是 1 个各项技术、工序的综合体,它可以由大到小分解为若干有内在逻辑关系的单项工程、单位工程和分部工程^[16],甚至可以细致到单元工程。施工项目的组合性质决定其 GHG 排放计算也应该时分部组合而成的,它既反映了项目 GHG 排放量的清单分析过程,亦能反映出 GHG 排放的组合过程。以此,能更好理清施工项目的清单分析,也有利于 GHG 排放的计算。图 4 为本文进行的施工项目 GHG 排放核算分级—集成图。

3.2 单元工序 GHG 清单分析

清单分析的核心是建立以单元功能过程的输入以及输出,采用基于工序的环境因素识别方法^[17],其建立于全生命周期理论和施工过程分析法(Construction Process Analysis, CPA),把建设项目的施工过程理解为一组技术和组织相互关联的动态过程单元,通过工作分解体系(Work Breakdown

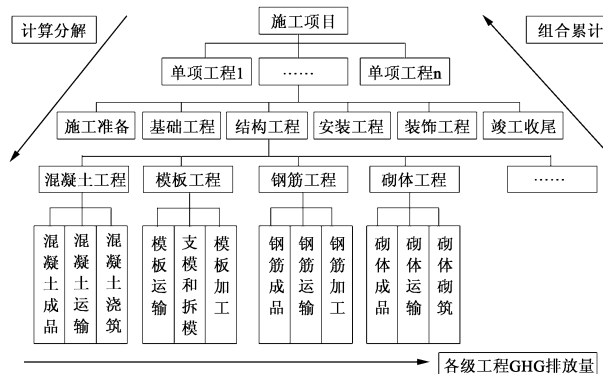


图 4 施工项目 GHG 排放核算分级—集成图

System, WBS) 将施工过程细分单元化^[18],分解为可交付成果的作业单元工序,以反映组成该施工过程涵盖的所有工作任务,再对每 1 单元过程的详细分析,识别施工过程温室气体的环境影响作用过程。以施工项目全过程为系统分析对象,本文定义了以施工单位为主体的从施工准备阶段开始到竣工收尾阶段为温室气体环境影响生命周期分析的计算框架边界。利用单元分解,具体的施工过程被划分为一系列有序连接的单元工序,这样,每个单元工序就是温室气体环境影响作用分析与识别的基本对象。然后以过程分析的方法采集投入到每个单元工序中的能源、机械和设备等,输入向环境产出的温室气体,从而完成 1 个单元过程的投入产出分析,并按照研究系统与各个单元过程或活动的内在逻辑关系,建立完整的数据清单,为温室气体排放定量化的分析提供基础条件。其单元工序 GHG 清单分析图如图 5 所示。

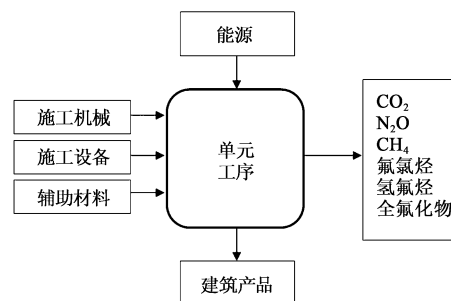


图 5 单元工序 GHG 清单分析图

施工项目单元工序的确定,是在施工项目 GHG 排放核算分级—集成图基础上进行确认与分析的,例如混凝土工程包括了混凝土基础分部工程、混凝土结构子分部工程等,由模板分项工程、钢筋分项

工程和混凝土分项工程组成。框架柱的施工工序为: 柱子钢筋加工、连接和绑扎, 柱子模板加工和搭建, 柱子混凝土浇筑、振捣和养护, 以每个施工工序为单元过程确认其施工机械、施工设备和辅助材料的使用条目, 确定能源的输入, 再分析其 GHG 排放数据情况。地下室的施工工序为: 桩基础、土方开挖、垫层、基础底板防水、地下室底板、地下室墙柱、墙体防水和回填土, 同样以每个工序为 1 个单元进行 GHG 清单分析。施工准备阶段、基础工程到竣工收尾等几个阶段各自所包含的单元过程和工序的描述采取类似的分析方法, 但是由于施工项目的复杂性和多样性, 整个施工项目是包含了许多各有特点的单元工序, 每个阶段单元过程划分深度、空间范围和时间范围是各不相同的。

1 个项目包含了众多的单元工序, 对每个单元工序进行分析是不切合实际的, 也是没有意义的, 必须对框架核算单元采取适当的筛选删减的措施: 1) 必须限定于施工阶段温室气体排放量计算范围之内; 2) 符合项目核算预期应用目标; 3) 根据项目研究的局限性, 建立必要的假设条件; 4) 把具有重复性或相似性的单元过程进行删减或合并; 5) 设置能耗最低计算标准, 对能耗不大的单元过程进行删减。

3.3 清单分析的输入输出

在数据收集中, 能源和资源的输入是较为容易收集的, 也是可完整得到的, 可以通过现场统计或者查阅工程概预算文件得到信息。同时, 施工机械设备能源消耗的输入也可以依据《广东省建设施工接卸台班费用定额》或《全国统一施工机械台班费用定额》对各个单元工序中实际台班能耗进行列项分析, 即可一一得到各项机械设备在一个单元工序所消耗的能源。由于我国建筑 LCI 数据库还未完善, 输出的数据量化有一定的难度, 可以通过现场测量、调查和实验等方法来获取, 也可以通过文献的查阅来获取。

施工阶段 GHG 排放核算是建立在科学的 GHG 排放因子基础上, 排放因子的选择对计算结果有直接的影响, 施工阶段主要涉及到能源消耗、电力消耗和建筑材料等方面的 GHG 排放因子。目前, 关于非上路施工设备 GHG 排放和油耗量之间的数据是有限的, 施工设备的 GHG 排放因子也相对缺乏, 一般采用较为通用的固定和移动设备不同类型燃油的 CO₂ 排放因子, 例如香港 2008 年统计调查的固定和

移动设备 CO₂ 排放因子, IPCC 国家温室气体清单指南中也提供机械使用能源碳排放系数, 见表 2^[19]。电力排放因子是依据其发电方式所生产的发电量和相应的碳排放量得到的, 所以不同区域的能源结构导致不同的电力排放因子, 国家机构测定数据见表 3^[20]。针对建筑材料的 GHG 排放因子各研究机构已多有详细论述, 各类型施工辅助材料排放因子选用研究机构建筑材料碳排放研究即可。

表 2 机械使用能源的 CO₂ 排放因子

能源类别	单位	热值 /(kcal/kg)	热值转换 /TJ	碳排放系数 /(T-C/TJ)	碳氧化率	CO ₂ 排放量 /kg-CO ₂ /kg
煤	kg	7 000	2.93 × 10 ⁵	29.45	0.99	3.16
柴油	kg	8 800	3.68 × 10 ⁵	20.2	0.99	2.701
汽油	kg	7 800	3.27 × 10 ⁵	18.9	0.99	2.24

表 3 电力排放因子

测定机构	排放因子	均值
中国工程院	0.26	
国家环境局温室气体控制项目	0.286	0.274 7
国家科委气候变化项目	0.278	

4 计算模型

建筑施工阶段的能耗或排放一般研究采用的方法是用施工工艺的工程量与该工艺完成单位工程量施工的能耗或排放量相乘来进行估算^[10, 21]。此阶段的温室气体排放量计算可依据单元工序 GHG 清单分析图和施工项目 GHG 排放核算分级一集成图的思路, 在对施工项目分解的基础上, 全面考察计算 GHG 排放量。

4.1 单元工序 GHG 排放计算

各施工单元过程的 GHG 排放主要来自各种施工机械设备, 如挖土机、升降机和电焊机等, 还有为完成一道工序所消耗辅助材料的环境气体排放影响因素。本文基于单元工序清单分析输入输出的基础上, 构建一个单元工序的 GHG 排放计算公式如下:

$$E_u = \sum_i^n \sum_{j=1}^6 M_i \mu_{ij} GWP_j \quad (1)$$

式中 E_u 为完成 1 个单元工序所产生的 GHG 排放总量; M_i 为 1 个单元工序中消耗(输入)的 n 个能源和资源类型的第 i 种, 包括施工机械设备消耗的汽油、柴油和电力等, 还有辅助材料的输入量; μ_{ij} 为第 i 种能源或资源的第 j 种温室气体(CO₂、CH₄、HFC、

PFC 和 SF_6) 的排放因子; GWP_j 为第 j 种温室气体的全球变暖潜能值, 具体数据见表 1。

4.2 施工项目 GHG 排放计算

在单元工序 GHG 排放计算的基础上, 依据施工项目 GHG 排放核算分级—集成图可以分层依次计算出各单项、分项和分部工程的 GHG 排放总量, 最终各单项工程排放量叠加求和可得施工项目总 GHG 排放量 E_c 。同时利用施工项目 GHG 排放核算分级—集成图也可以计算出各项能源或资源在该项目施工期间的排放情况。

4.3 建筑施工阶段 GHG 排放计算

整个建筑施工阶段分为了施工区、生活区和办公区 3 个区域, 按照空间维度细分温室气体排放的来源, 一一进行清单分析计算。施工项目总 GHG 排放量 E_c 即为施工区域的排放总量, 定义生活区域排放总量为 E_l , 办公区域为 E_o 。目前, 针对建筑运营使用阶段的 GHG 排放计算已多有详细论述^[10], 生活区 E_l 和办公区 E_o 的计算依照已有研究即可, 本文在此不作深入讨论。那么, 建筑施工阶段 GHG 排放总量 E_t 计算公式如下。

$$E_t = E_c + E_l + E_o \quad (2)$$

5 结 论

大力推行低碳建筑, 全面核算建筑全生命周期温室气体排放, 完善我国碳排放交易市场, 是实现我国各行各业节能减排的重要部分。建筑工程施工活动短时间集中向环境排放出大量温室气体, 其温室气体排放核算必定是建筑全生命周期活动低碳化不可忽视的阶段, 也是实现低碳施工的关键技术。本文结合绿色施工评价框架和施工管理技术, 基于建筑全生命周期理论 (Life Cycle Assessment, LCA), 以施工单位为主体界定了施工阶段温室气体排放核算范围; 以施工单元过程为核心, 施工项目分级与集成成为辅助, 建立了其清单分析过程; 并在以上工作基础上, 构建了施工阶段温室气体排放核算数学模型, 最终确立了施工阶段温室气体排放核算框架。以期以上框架能客观鉴别施工活动的碳排放情况, 为实现施工项目低碳化提供科学的依据。

[参考文献]

[1] 政府间气候变化专门委员会, 气候变化 2007 综合报告[R].

瑞典: TERI 出版社 2008.

- [2] 燕艳. 浙江省建筑全生命周期能耗和 CO_2 排放评价研究[D]. 浙江: 浙江大学 2011.
- [3] 陈康海, 李丽娟. 低碳建筑发展分析与探讨[C]//第十二届全国现代结构工程学术研讨会暨第二届全国索结构技术交流会论文集 2012.
- [4] 龚志起, 张智慧. 生命周期评价和管理与建筑业可持续发展[J]. 青海大学学报 2004 22(2): 26-29.
- [5] 中国标准研究中心. GB/T 24041-2000 环境管理—生命周期评价—目的与范围的确定和清单分析[S]. 北京: 中国标准出版社 2000.
- [6] ISO 14040. Environmental Management—Life Cycle Assessment—Principles and Framework [S]. Switzerland: International Standard Organization 1997.
- [7] 陈亮, 刘玫, 黄进. GB/T 24040-2008《环境管理 生命周期评价原则与框架》国家标准解读[J]. 标准科学 2009 4(2): 76-80.
- [8] 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.
- [9] 刘念雄, 汪静, 李嵘. 中国城市住区二氧化碳排放量计算方法[J]. 清华大学学报(自然科学版) 2009 49(9): 1433-1436.
- [10] 汪静. 中国城市住区生命周期 CO_2 排放量计算与分析[D]. 北京: 清华大学 2009.
- [11] 曹小琳, 景星蓉. 建筑工程定额原理与概预算[M]. 北京: 中国建筑工业出版社 2011.
- [12] 李小冬, 王帅, 张智慧, 等. 施工阶段环境影响因素的定量评价[J]. 清华大学学报(自然科学版) 2009 49(9): 1484-1487.
- [13] Chen GQ, Chen H, Chen ZM, et al. Low-carbon building assessment and multi-scale input-output analysis [J]. Commun Nonlinear Sci Numer Simulat 2010 16(6): 58-64.
- [14] IPCC climate change 2007: Synthesis report [C]//Contribution of Working Groups iii and ii to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. 2007.
- [15] 戴宏民, 戴佩华. 生命周期评价数据收集及清单分析研究[J]. 重庆工商大学学报(自然科学版) 2003 20(3): 1-3.
- [16] 李思堂, 李惠强. 大型项目建设初始能耗计算研究[J]. 建筑技术 2006 37(2): 150-152.
- [17] 张智慧, 吴凡, 沈永明. 建筑施工阶段环境影响评价[J]. 环境与可持续发展 2007 4(6): 51-53.
- [18] 李小冬, 孔祥勤, 冉旭. 桩基础施工过程对环境影响的研究[J]. 安全与环境学报 2010 10(3): 81-84.
- [19] IPCC2006. 2006 年 IPCC 国家温室气体清单指南[M]. 日本: 日本全球战略研究所 2006.
- [20] 张春霞, 章蓓蓓, 黄有亮, 等. 建筑物能源碳排放因子选择方法研究[J]. 建筑经济 2010 10(10): 106-109.
- [21] 顾道金, 朱颖心, 谷立静. 中国建筑环境影响的生命周期评价[J]. 清华大学学报(自然科学版) 2006 46(12): 1953-1956.