

doi:10.11835/j.issn.1674-4764.2014.05.006

办公建筑物化阶段 CO₂ 排放研究

罗智星, 杨 柳, 刘加平

(西安建筑科技大学 建筑学院, 西安 710055)

摘 要: 建筑物化阶段的 CO₂ 排放时间集中、绝对量大, 是建筑节能减排的研究重点。构建了办公建筑物化阶段 CO₂ 排放的计算模型, 包括建材、设备生产与运输的 CO₂ 排放, 以及施工过程的 CO₂ 排放。利用该计算模型, 分析计算了 78 栋办公建筑物化阶段的 CO₂ 排放量。平均来看, 物化阶段的碳排放量为 326.75 kg/m²; 随着建筑高度的增加单位面积碳排放明显增加, 超高层建筑的单位面积碳排放量是多层建筑的 1.5 倍; 土建工程的碳排放量占到物化阶段的 75% 左右, 而钢筋、混凝土、砂浆、墙体材料的碳排放量占到了土建工程的 80% 以上。分别以建筑层数和建材用量为自变量做了办公建筑物化阶段 CO₂ 排放量的预测模型, 通过统计学的分析对比, 发现以钢筋、混凝土和墙体材料为自变量的预测公式可以很好地预测建筑物化阶段的碳排放。

关键词: 办公建筑; CO₂ 排放; 生命周期评价; 物化阶段

中图分类号: TU023 文献标志码: A 文章编号: 1674-4764(2014)05-0037-07

Carbon Dioxide Emissions of Office Buildings at Embodied Stage

Luo Zhixing, Yang Liu, Liu Jiaping

(Architecture School, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710055, P. R. China)

Abstract: The building embodied stage is the LCA research focus due to large and intensive CO₂ emissions. In order to establish the CO₂ emissions calculating model during the embodied stage, CO₂ emissions load in the process of building materials, equipments manufacturing, transporting and construction should be included. CO₂ emissions during building embodied stage of 78 office buildings were analyzed by this model. On average, the amount of carbon emission during embodied stage is 326.75 kg/m². The carbon emission in per unit area increase with the growth of building height and that of super high-rise buildings is 1.5 times as much as multi-story buildings. Carbon emission of civil work accounted for about 75% of the total amount during embodied stage, and the carbon emissions of rebar, concrete, mortar and wall materials accounted for over 80% of the carbon emission of civil work. According to the statistic of prediction model dependent on building story and amount of building materials, the CO₂ emissions during building embodied stage could be precisely predicted on basis of the independent variables including concrete and wall materials respectively.

Key words: office building; carbon dioxide emissions; LCA; embodied stage

人类活动对气候所造成的影响已被公认为是对地球的一种巨大威胁。在此背景下, 节约能源、减少

以 CO₂ 为代表的温室气体排放已成为全球尤其是中国关注的重大问题。从世界范围来看, 建筑业约

收稿日期: 2014-03-10

基金项目: 国家自然科学基金创新研究群体基金(50921005); 国家杰出青年科学基金(51325803)

作者简介: 罗智星(1984-), 男, 博士生, 主要从事绿色建筑设计与建筑节能研究, (E-mail)allexa@qq.com。

消耗了 30%~40% 的能源,产生了 40%~50% 的温室气体^[1]。因此,研究建筑产业如何降低温室气体的排放不仅是建筑界热门的环保课题,更是一种必须承担的国际责任。

建筑的生命周期包括了物化阶段、使用阶段和拆除阶段^[2]。其中建筑物化阶段是指建筑在投入使用之前,形成工程实体所需要的建筑材料生产、构配件加工制造以及现场施工安装过程^[2]。建筑物化阶段的 CO₂ 排放包含了:1) 建筑材料(包括建筑管道、设备等)生产制造、运输中产生的碳排放,即隐含碳排放;2) 建筑施工过程的因使用能源而产生的直接碳排放。据研究,建筑物化阶段的 CO₂ 排放占建筑生命周期 CO₂ 排放量的 5%~20% (按建筑寿命 50 a 计算)^[3-9]。虽然比例不大,但由于我国建筑建设量大,且物化阶段的 CO₂ 排放主要集中在 1~2 a 的建设期内,排放的绝对量相当可观^[10]。从宏观角度看,中国建筑业所使用的资源占全国资源利用量的 40%~50%,所消耗的能源约占全社会总能耗的 30%^[11]。建筑业的隐含碳排放占有部门隐含碳排放的 26.47%^[12]。办公建筑是较为普遍的公共建筑,对于能源和环境的影响较大,是能源和资源的消耗大户,因此定量的研究办公建筑的物化阶段 CO₂ 排放有着较强的代表性。

1 办公建筑物化阶段 CO₂ 排放计算模型

1.1 办公建筑物化阶段 CO₂ 排放的功能单位

功能单位(Functional Unit)是指用来作为基准单位的量化的产品系统性能^[13]。功能单位的基本作用是为有关的输入和输出提供参照基准,以保证 LCA 结果的可比性。功能单位的定义遵循 2 个基本原则:1) 功能单位必须可测量。2) 一个系统可能同时具有若干种功能,研究中选择那一种取决于研究的目的和范围^[14]。

建筑物规模不一、物化阶段材料和机械的使用量相差很大将直接导致碳排放差别很大因此,仅给出建筑物总的碳排放缺乏可比性,需要建立一个横向可比较的评价指标。用单位建筑面积的碳排放作为评价办公建筑物化阶段 CO₂ 排放指标可以有效消除由于建筑物规模等因素不同所带来的影响,使得评价结果之间具有一致性和可比性。因此,办公建筑物化阶段 CO₂ 排放的功能单位为单位建筑面积的 CO₂ 排放量(kg/m²),即 LCCO_{2M}。

1.2 计算模型

在办公建筑物化阶段,主要碳排放源有 2 个:1)

建材的生产、建材的运输、建筑设备的生产所产生的隐含碳排放;2) 建材、设备运输过程和建造施工、装修施工中使用的化石燃料与电力所产生的直接碳排放。因此,建筑物化阶段的 CO₂ 排放量的计算模型为

$$TLCCO_{2M} = TLCCO_{2ma} + TLCCO_{2tr} +$$

$$TLCCO_{2co} \quad (1)$$

其中:TLCCO_{2M}为办公建筑物化阶段 CO₂ 排放量,kg;TLCCO_{2ma}为办公建筑建材、设备生产的 CO₂ 排放量,kg;TLCCO_{2tr}为办公建筑建材、设备运输的 CO₂ 排放量,kg;TLCCO_{2co}为办公建筑施工过程的 CO₂ 排放量,kg。

$$TLCCO_{2ma} = \sum_{i=1}^n (Q_i \times N_j) \quad (2)$$

其中:Q_i为某种建筑材料(包括土建、电气、给排水、装修材料与暖通空调设备等)生产的 CO₂ 排放量,kg/“单位”;N_i为某种建筑材料的数量,“单位”(kg 或 m² 或 m³)。

$$TLCCO_{2tr} = \sum_{i=1}^n (T_i \times M_i \times L_i) \quad (3)$$

其中:T_i为某种运输方式单位距离重量的 CO₂ 排放量,kg/(t·km⁻¹);M_i为某种建筑材料的总重量,t;L_i为某种建筑材料的运输距离,km。

$$TLCCO_{2co} = \sum_{j=1}^m | \sum_{i=1}^n (Q_{pj,i} \times M_{j,i}) | \quad (4)$$

其中:Q_{pj,i}为建筑物第j个施工过程中处理第i种建筑材料的 CO₂ 排放量,kg/“单位”;M_{j,i}为建筑物第j个施工过程中处理第i种建筑材料的数量,“单位”(kg 或 m² 或 m³)。

建筑物化阶段功能单位的计算模型为

$$LCCO_{2M} = \frac{TLCCO_{2M}}{A} \quad (5)$$

其中A为建筑物的总建筑面积,m²。

对于某一指定的办公建筑,其 LCCO_{2M} 计算结果越小说明此办公建筑单位面积 CO₂ 排放量越小,由此对环境的影响也就越少。

2 办公建筑物化阶段 CO₂ 排放的解析

为了较为准确、详细、全面的了解中国办公建筑物化阶段 CO₂ 排放特点,研究收集整理了大量的办公建筑工程量数据。经过筛选,作为研究用的样本量为 78 栋办公建筑(全部为钢筋混凝土结构),其中多层建筑(24 m 以下)19 栋,高层建筑(24~100 m)44 栋,超高层建筑(100 m 以上)15 栋。

2.1 建筑材料的 CO₂ 排放清单

研究详细统计了各样本物化阶段各部分的 CO₂ 排放量,其中土建工程的建筑材料 CO₂ 排放数据库

利用了笔者的相关研究成果^[6,15](如表1),安装工程与装修工程所涉及的材料 CO₂ 排放数据取自台湾地区的相关数据库^[16]。

表1 部分土建工程材料 CO₂ 排放数据

材料类别	CO ₂ 排放
砂	3.19 kg/m ³
石	4.00 kg/m ³
钢材	894.75 kg/t
普通硅酸盐水泥 P·O	685.74 kg/t
C30 混凝土	301.97 kg/m ³
KP1 砖	74.64 kg/百块
加气混凝土砌块	117.66 kg/百块

2.2 各分项工程 CO₂ 排放量解析

建筑的建造过程主要包括了土建工程、安装工

程与装修工程,其中安装工程又包括了给排水工程、电气工程、暖通工程等。

不同建筑高度的各分项工程的单位面积 CO₂ 排放量与其所占的百分比如表2所示。从中可以发现,随着建筑的高度增加各分项工程的 CO₂ 排放量都在增加,总体来说超高层办公建筑的 CO₂ 排放量约为多层建筑的 1.5 倍、高层建筑的 1.3 倍。这是因为土建工程占到了整个建筑形成阶段的主要部分,平均达到了约 75%,而随着建筑高度的增加土建部分的 CO₂ 排放量也大大增加;同时,由于建筑高度的增加,建筑安装工程与建筑施工工程的数量和难度也在增加,这些部分的 CO₂ 排放量增加更为明显。同时可以发现,建筑装修工程的 CO₂ 排放量与所占的百分比变化不大,这说明装修工程的 CO₂ 排放量与建筑高度变化并无太大关系。

表2 各分项工程的单位面积 CO₂ 排放量与其所占的百分比

	多层		高层		超高层		加权平均	
	单位面积 CO ₂ 排放量/(kg·m ⁻²)	百分比/%	单位面积 CO ₂ 排放量/(kg·m ⁻²)	百分比/%	单位面积 CO ₂ 排放量/(kg·m ⁻²)	百分比/%	单位面积 CO ₂ 排放量/(kg·m ⁻²)	百分比/%
土建工程	215.93	79.39	239.25	78.04	280.51	69.83	241.50	76.32
给排水工程	2.02	0.74	2.59	0.85	7.45	1.85	3.39	1.07
电气工程	2.22	0.82	3.45	1.13	9.99	2.49	4.41	1.39
暖通工程	4.35	1.60	6.82	2.22	21.47	5.34	9.04	2.86
装修工程	28.93	10.63	30.15	9.83	36.62	9.12	31.10	9.83
建筑施工	18.54	6.82	24.30	7.93	45.66	11.37	27.00	8.53
合计	271.99	100	306.56	100	401.70	100	316.44	100

2.3 土建工程的建材使用量与 CO₂ 排放量解析

从以上分析结果可以看出,土建工程的 CO₂ 排放量约占整个建筑形成阶段 CO₂ 排放量的 76.32%,因此这一部分需要重点研究。

2.3.1 建筑材料使用量与 CO₂ 排放量分析

土建工程的建筑材料使用量与 CO₂ 排放量的分析数据如表3所示。从表中可以发现如下趋势,建筑越高,其钢与混凝土的用量就越大,超高层办公建筑的单位面积用钢量比多层建筑高出近 40%,而混凝土的用量更是高出了 60%。这是因为钢筋作为钢混结构主要的结构材料,越高的建筑其结构强度的要求就越大,因此会大量增加钢材的用量;而混凝土则为建筑结构的抗压材料,随着建筑高度的增加建筑梁柱的截面积也大幅增加,因而混凝土的增量更大。由于钢筋与混凝土都是钢混结构建筑中最为主要的

建材,换算成 CO₂ 排放量后,可以发现高层建筑二者的 CO₂ 排放量是多层建筑的 1.2 倍,而超高层建筑更是多层建筑的 1.5 倍。

从平均值的分析来看钢、砼、砂浆和墙材四类建筑材料的 CO₂ 排放量约占整个土建工程 CO₂ 排放量的近 90%。但是如果比较不同建筑高度与此四者 CO₂ 排放量总和的话,可以发现其差别减小了:高层建筑四者的 CO₂ 排放量是多层的 1.1 倍,而超高层建筑是多层的 1.25 倍。这主要是因为随着建筑高度的增加砂浆与墙材的用量在减少,这一趋势与钢、混凝土的变化趋势相反。砂浆与墙材的用量减少的原因在于,高层、超高层办公建筑为了立面造型和减轻自重的要求,窗墙面积比更大,更多地使用玻璃幕墙等轻质材料。

表 3 建筑材料使用量与 CO₂ 排放量分析

	多 层		高 层		超高层		加权平均	
	建材用量	单位面积 CO ₂ 排放量/(kg·m ⁻²)	建材用量	单位面积 CO ₂ 排放量/(kg·m ⁻²)	建材用量	单位面积 CO ₂ 排放量/(kg·m ⁻²)	单位面积 CO ₂ 排放量/(kg·m ⁻²)	百分比/%
钢/kg	53.18	47.58	64.51	57.72	72.6	64.96	56.64	22.43
砼/m ³	0.36	97.08	0.43	116.92	0.58	157.52	119.89	47.48
砂浆/kg	65.55	44.95	54.36	37.28	39.49	27.08	37.19	14.73
墙材/m ³	0.462	15.54	0.437	14.69	0.214	7.19	13.45	5.33
模板/m ²	0.85	0.29	1.03	0.35	1.35	0.46	0.36	0.14
门窗/m ²	0.3	8.21	0.34	9.73	0.45	19.08	11.16	4.42
保温材料/m ³	0.01	2.28	0.01	2.56	0.02	4.21	2.81	1.11
其它材料		9.57		10.85		13.46	11.04	4.37
合计		225.5		250.1		293.96	252.54	100

2.3.2 主要建筑材料 CO₂ 排放量比例分析 结合 2.3.1 与 2.2 节的统计结果后,可以得到整个建筑形成阶段各分项工程与主要建筑材料 CO₂ 排放量的比例图(如图 1)。这张分析图可以清晰的看出主要建筑材料在整个建筑形成阶段 CO₂ 排放量的最大部分。

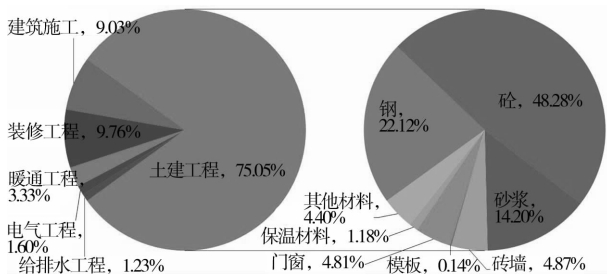


图 1 建筑形成阶段各分项工程与主要建筑材料 CO₂ 排放量的比例图

2.4 建筑层数与建筑材料 CO₂ 排放量相关性分析

为了确定土建部分的 CO₂ 排放量与哪些土建建材相关性更大,研究使用了统计分析软件 SPSS 进行了相关性的研究。如表 4 所示,从分析的结果来看,两种建筑材料 CO₂ 排放量、4 种建筑材料 CO₂ 排放量都与建筑层数的显著性水平 α 都为 0,说明有显著的相关性;但是钢、混凝土二者 CO₂ 排放量与建筑层数的相关性更为显著,其 Pearson 相关系数达到了 0.909。

表 4 建筑层数与建筑材料 CO₂ 排放量相关性分析

	建筑层数	钢、混凝土的 CO ₂ 排放量/(kg·m ⁻²)	钢、混凝土、砂浆、墙材的 CO ₂ 排放量/(kg·m ⁻²)
Pearson 相关性	1	0.909**	0.810**
显著性(双侧)		<0.001	<0.001
N	78	78	78

续表 4

	建筑层数	钢、混凝土的 CO ₂ 排放量/(kg·m ⁻²)	钢、混凝土、砂浆、墙材的 CO ₂ 排放量/(kg·m ⁻²)
Pearson 相关性	0.909**	1	0.877**
显著性(双侧)	<0.001		<0.001
N	78	78	78
Pearson 相关性	0.810**	0.877**	1
显著性(双侧)	<0.001	<0.001	
N	78	78	78

** : 在 0.01 水平(双侧)上显著相关。

3 办公建筑物化阶段 CO₂ 排放量的预测

通过以上分析与解析,已经发现了主要建筑材料的 CO₂ 排放量与建筑的层数有较强的相关性,那么有一个问题:主要建筑材料的使用量、建筑层数是否与建筑物化阶段的 CO₂ 排放量有关;是否能用它们间的相关性预测建筑物化阶段的 CO₂ 排放量。

3.1 建筑层数与办公建筑物化阶段 CO₂ 排放量的预测

从表 2 和表 3 都可以发现这样的规律:随着建筑高度的增加,办公建筑物化阶段各分项工程单位面积的 CO₂ 排放量都有所不同。基于此,研究将 78 个建筑样本的统计资料逐一精算,检验建筑层数与物化阶段单位面积的 CO₂ 排放量的相关性。由于样本的物化阶段单位面积的 CO₂ 排放量符合正态分布,因此仅需要检验其线性相关性,如表 5 所示。从相关性分析的结果可以确定二者有较强的相关性,其 Pearson 相关系数达到了 0.883。

在确定了建筑层数与办公建筑物化阶段 CO₂ 排放量显著相关后,将精算结果绘制成散点图,并做一次线性回归分析,如图 2 所示。从图中可以看出物化阶段单位面积的 CO₂ 排放量随着建筑层数的增加而上升;而相同高度的建筑也会因个案间的差异有不同的分布情况,但其差异并不大,样本的多元性和代表性由此可见。通过回归分析的结果看以发现回归方程的确定性系数 R² 值达到了 0.78,说明用建筑层数来预测办公建筑物化阶段 CO₂ 排放量是有较大信度的。

表 5 建筑层数与办公建筑物化阶段单位面积的 CO₂ 排放量线性相关性

	建筑层数	物化阶段单位面积的 CO ₂ 排放量/(kg·m ⁻²)
Pearson 相关性	1	0.883**
显著性(双侧)		0.000
N	78	78
Pearson 相关性	0.883**	1
显著性(双侧)	<0.001	
N	78	78

** : 在 0.01 水平(双侧)上显著相关。

考虑到个案的 CO₂ 排放量略有差别,假如将相同层数的建筑 CO₂ 排放量取平均值,便可以将差异程度缩小而更具代表性。因此,将平均计算后的结果绘成散点图,并作回归分析,如图 3 所示。通过回归分析的结果看以发现回归方程的确定性系数 R² 值达到了 0.90,显示了此回归方程的预测性达到了相当高的信度。

表 6 4 类建材与物化阶段总 CO₂ 排放量的相关性

	CO ₂ 排放量	钢材	砼	砂浆	墙材
Pearson 相关性	1	0.586**	0.705**	0.098	0.391**
显著性(双侧)		0.000	0.000	0.394	0.000
N	78	78	78	78	78
Pearson 相关性	0.586**	1	0.421**	-0.151	-0.103
显著性(双侧)	0.000		0.000	0.187	0.368
N	78	78	78	78	78
Pearson 相关性	0.705**	0.421**	1	-0.417**	-0.192
显著性(双侧)	0.000	0.000		0.000	0.092
N	78	78	78	78	78
Pearson 相关性	0.098	-0.151	-0.417**	1	0.248*
显著性(双侧)	0.394	0.187	0.000		0.029
N	78	78	78	78	78
Pearson 相关性	0.391**	-0.103	-0.192	0.248	1
显著性(双侧)	0.000	0.368	0.092	0.029	
N	78	78	78	78	78

** : 在 0.01 水平(双侧)上显著相关。

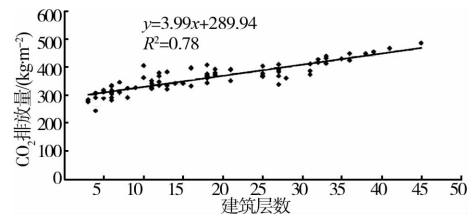


图 2 办公建筑物化阶段 CO₂ 排放量散点分布与回归分析图(78 样本)

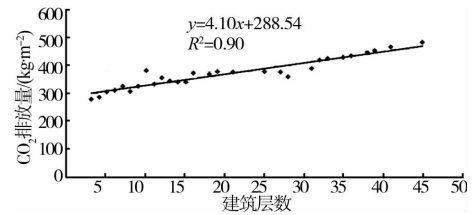


图 3 办公建筑物化阶段 CO₂ 排放量散点分布与回归分析图(均值)

经过以上分析,最终得到了建筑层数与办公建筑物化阶段 CO₂ 排放量预测方程为

$$LCCO_{2M} = 4.1H + 288.54 \quad (6)$$

其中 H 为建筑的层数。

3.2 建筑材料使用量与办公建筑物化阶段 CO₂ 排放量的预测

这里所指的建筑材料是土建工程中最主要的 4 类建材,即钢材、混凝土、砂浆和墙材。前面的分析表明土建工程部分的 CO₂ 排放量占到了办公建筑物物化阶段的 75% 以上,而此 4 类建材又占到了土建工程的 90% 以上。因此,这 4 类建材是办公建筑

物化阶段 CO₂ 排放量最大的排放源,可能与全部的 CO₂ 排放量有着紧密的联系。假如可以通过这 4 类建材的使用量来预测物化阶段的 CO₂ 排放量那将大大简化评价的复杂程度。

首先利用线性相关性的双变量分析来确定这 4 类建材与物化阶段总 CO₂ 排放量的相关性,如表 6 所示。从表中可以看出钢材、混凝土、墙材与总 CO₂ 排放量的显著性 α 皆为 0,说明这 3 类建材与总 CO₂ 排放量显著相关;而砂浆与总 CO₂ 排放量的显著性 α 为 0.394,说明它们彼此相关性很弱。而从 Pearson 相关系数来看混凝土与总 CO₂ 排放量相关性最强,其次为钢材,再次为墙材。

确定了钢材、混凝土、墙材与总 CO₂ 排放量有显著的相关性之后,就可以以这 3 类建材的使用量作为自变量,来预测物化阶段总 CO₂ 排放量。统计软件分别试验了 3 组预测变量,如表 7 所示,可以发现这 3 类建筑同时为自变量的情况下,其调整 R^2 最大,说明该回归模型可解释的变异占总变异的的比例最大。其预测方程为

$$LCCO_{2f} = 1.58x_1 + 378.97x_2 + 64.57x_3 + 94.19 \quad (7)$$

其中: x_1 为钢材的使用量, kg; x_2 为混凝土的使用量, m³; x_3 为墙材的使用量, m³。

该回归方程的方差分析显著概率值为 4.24×10^{-36} 远小于 0.01,显示了此回归方程有相当程度的预测能力;同时 x_1 、 x_2 、 x_3 的 P 值分别为 3.63×10^{-13} 、 4.29×10^{-25} 、 3.21×10^{-23} 都远小于 0.05,说明它们对 $LCCO_{2f}$ 有显著的影响。

表 7 3 组预测变量的确定性系数与误差分析表

模型	R	R ²	调整 R ²	标准估计的误差
1	0.705a	0.497	0.490	35.667
2	0.886b	0.784	0.778	23.511
3	0.946c	0.895	0.891	16.526

a 为预测变量:(常量), 砼; b 为预测变量:(常量), 砼, 墙材; c 为预测变量:(常量), 砼, 墙材, 钢材。

3.3 两种预测方法的准确性分析

将实际统计的 78 个样本的相关数据代入式(6)和式(7),其计算结果与实际统计结果的比较如图 4 所示。从图中可以发现利用式(4)~(7)的预测结果比利用式(4)~(5)的预测结果更为接近于实际统计结果,利用建筑层数预测的结果与实际结果的标准差为 23.36 kg/m²,而利用建筑材料使用量的预测结果比实际结果的标准差为 16.09 kg/m²。

导致以上分析的结果是因为利用建筑层数预测

的 CO₂ 排放量显示的是统计数据平均值;而利用建筑材料使用量预测的 CO₂ 排放量显示的是统计数据的各样本值。

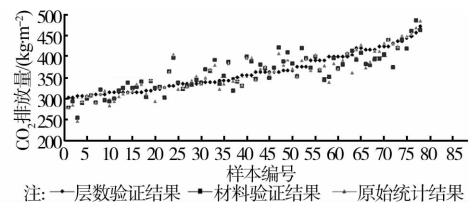


图 4 预测结果与实际结果的对比分析图

4 结 论

办公建筑物化阶段的 CO₂ 排放是办公建筑生命周期 CO₂ 排放的重要组成部分,可以占到生命周期 CO₂ 排放的 5%~20%。因此通过解析办公建筑物化阶段的 CO₂ 可以得到以下结论:

1)随着建筑层数(或高度)的增加,办公建筑物化阶段的 CO₂ 排放明显增加,超高层办公建筑物化阶段的 CO₂ 排放量约为多层建筑的 1.5 倍、高层建筑的 1.3 倍。

2)在物化阶段中,土建工程所排放的 CO₂ 比例最大,约为 75%;随着建筑高度的增加土建部分的 CO₂ 排放量也大大增加;安装工程与施工工程的 CO₂ 排放量随着建筑高度的增加而增加的趋势更明显;但是装修工程的 CO₂ 排放量与建筑高度变化的相关性较小。

3)钢、砼、砂浆和墙材 4 类建筑材料的 CO₂ 排放量约占整个土建工程 CO₂ 排放量的近 90%,也是物化阶段最主要的排放建筑材料。

4)通过统计学的方法,得到了建筑层数与办公建筑物化阶段 CO₂ 排放量的预测公式;也得到了钢材、混凝土、墙材等 3 种建材与办公建筑物化阶段 CO₂ 排放量的预测公式。

致谢:感谢“陕西省重点科技创新团队:低能耗建筑设计(2012KCT-11)创新团队对本文的支持!

参考文献:

- [1] Asif M, Muneer T, Kelley R. Life cycle assessment: a case study of a dwelling home in Scotland [J]. Building and Environment, 2007, 42(3): 1391-1394.
- [2] Sharma A, Saxena A, Sethi M, et al. Life cycle assessment of buildings: A review [J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2011, 15: 871-875.

- [3] Blengini G A. Life cycle of buildings, demolition and recycling potential; a case study in Turin, Italy [J]. Building and Environment, 2009, 44(2): 319-330.
- [4] Junnila S, Horvath A. Life-cycle environmental effects of an office building [J]. Journal of Infrastructure Systems, 2003, 9(4): 157-66.
- [5] Kofoworola O F, Gheewala S H. Environmental life cycle assessment of a commercial office building in Thailand [J]. International Journal of Life Cycle Assessment, 2008, 13(6): 498-511.
- [6] 罗智星. 办公建筑生命周期 CO₂ 排放评价研究[D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2011.
- [7] 尚春静, 储成龙, 张智慧. 不同结构建筑生命周期的碳排放比较[J]. 建筑科学, 2011, 27(12): 66-70.
Shang C J, Chu C L, Zhang Z H. Quantitative assessment on Carbon emission of different structures in building life cycle [J]. Building Science, 2011, 27(12): 66-70.
- [8] Hondo H. Life cycle GHG emission analysis of power generation systems; Japanese case [J]. Energy, 2005, 30(11/12): 2042-2056.
- [9] Tae S, Shin S, Woo J, et al. The development of apartment House life cycle CO₂ simple assessment system using standard apartment houses of south korea [J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2011, 15: 1454-1467.
- [10] Ge J, Yan Y, Lu J, et al. Chinese energy/CO₂ intensities based on 2002 input-output table and life cycle assessment of residential building by accumulative method [J]. Lowland Technology International, 2010, 12(1): 14-22.
- [11] 吴星. 建筑工程环境影响评价体系和应用研究[D]. 北京: 清华大学, 2005.
- [12] 陈红敏. 包含工业生产过程碳排放的产业部门隐含碳研究[J]. 中国人口、资源与环境, 2009, 19(3): 25-30.
Chen H M. Analysis on embodied CO₂ emissions including industrial process emissions [J]. China Population Resources and Environment, 2009, 19(3): 25-30.
- [13] Singh A, Berghorn G, Joshi S, et al. Review of life-cycle assessment applications in building construction [J]. Journal of Architecture Engineering, 2011, 17: 15-23.
- [14] Basbagill J, Flager F, Lepech M, et al. Application of life-cycle assessment to early stage building design for reduced embodied environmental impacts [J]. Building and Environment, 2013, 60: 81-92.
- [15] 罗智星, 杨柳, 刘加平, 等. 建筑材料 CO₂ 排放计算方法及其减排策略研究[J]. 建筑科学, 2011, 27(4): 1-8.
Luo Z X, Yang L, Liu J P, et al. Research of CO₂ emissions calculation method and CO₂ reduction strategies of building materials [J]. Building Science, 2011, 27(4): 1-8.
- [16] 陈新欣. 办公大楼设备管线 CO₂ 排放量评估[D]. 台湾: 成功大学, 2008.

(编辑 王秀玲)

《土木工程与环境工程》2015 年征订启事

《土木工程与环境工程》是重庆大学主管、主办的学术期刊,是中国科学引文数据库(CSCD 核心数据库)、中文核心期刊要目总览等收录期刊,被 Elsevier Scopus 数据库、日本科学技术振兴机构中国文献数据库等国际数据库收录,为中国精品科技期刊、中国高校优秀科技期刊。

《土木工程与环境工程》主要报道土木工程、市政与环境工程、暖通工程与建筑物理、建筑材料等学科领域的最新研究成果,以促进学术交流、培育土木建筑和环境工程方面的高级人才、推动土木建筑学科繁荣发展为目标。

《土木工程与环境工程》的主要读者对象为:土木建筑与环境工程领域的科研人员及工程技术人员、相关专业大专院校师生、相关政府部门及事业单位从业人员。

《土木工程与环境工程》为双月刊,双月出版,大 16 开本,144 页,每期定价 20.00 元(含邮寄费),全年共 120.00 元,国内外公开发售,邮发代号:78-48,各地邮局、本编辑部均可订阅。欢迎国内外读者订阅!

在线投稿: <http://qks.cqu.edu.cn/cqdxbcn/ch/index.aspx>

地址:重庆市沙坪坝区沙正街 174 号重庆大学期刊社

邮编:400044

电话:023-65111322;023-65111863

E-mail: xuebao@cqu.edu.cn