

预制装配式建筑物化阶段碳排放评价研究

孙艳丽¹, 刘娟¹, 夏宝晖¹, 刘尚来²

(1. 沈阳建筑大学商学院, 辽宁 沈阳 110168; 2. 美国圣马特奥学院, 美国 圣马特奥 94403)

摘要 目的 对预制装配式建筑与传统建筑在物化阶段碳排放的差异进行分析, 评价前者的减排情况, 为制定建筑减排方案提供依据. 方法 根据预制装配式建筑物化工厂生产、物流运输、装配施工三个分阶段碳排放的影响因素, 构建预制装配式建筑物化阶段的碳排放评价指标体系, 并根据层次模糊综合评价法, 构建了评价模型. 结果 以沈阳市洪汇园项目为例, 根据综合评价结果可以得到, 该项目碳排放处于中等水平. 结论 采用预制装配式建造方式, 能有效地降低建筑物化阶段的碳排放量, 但是目前的技术和施工所达到的碳减排效果有限, 还未真正发挥预制装配式建筑的环保作用, 为了更有效地发挥其碳减排价值, 还需各方对物化各阶段采取有效的碳减排控制和管理手段.

关键词 装配式建筑; 物化阶段; 碳排放; 评价

中图分类号 TU201.5; X822

文献标志码 A

Study on Carbon Emission Evaluation of Prefabricated Building at Materialization Stage

SUN Yanli¹, LIU Juan¹, XIA Baohui¹, LIU Shanglai²

(1. School of Business, Shenyang Jianzhu University, Shenyang, China, 110168; 2. College of San Mateo, San Mateo, USA, 94403)

Abstract: In order to analyze the reduction of carbon emission of prefabricated buildings, and provide a basis for the formulation of building emission reduction plans, the difference of carbon emission between prefabricated buildings and traditional buildings at the materialized stage is analyzed. According to the carbon emission factors of prefabricated buildings in factory production stage, logistics transport stage and assembly construction stage, the carbon emission evaluation index system of prefabricated buildings during the materialization stage is established. And according to the FHAP (Fuzzy Hierarchy Comprehensive Evaluation), the evaluation model is constructed. Taking Shenyang Honghuiyuan Project as an example, and according to the comprehensive evaluation results, the carbon emission of this project is at a moderate level. The prefabricated construction method can effectively reduce the carbon emission during the materialization of buildings. However-

收稿日期: 2017-10-27

基金项目: 国家十三五重点研发计划项目(2016YFC071402); 辽宁省自然科学基金项目(201801491); 辽宁省社科规划基金项目(L18BJY030); 沈阳市社会科学规划基金项目(17107)

作者简介: 孙艳丽(1971—), 女, 副教授, 主要从事资源环境管理方面研究.

er,current technology and construction have achieved limited carbon reduction,it has not really played the role of prefabricated buildings in environmental protection. In order to give full play to the value of which building,it is necessary for all departments to formulate effective carbon emission reduction control and management measures for each stage of materialization.

Key words: prefabricated building; materialization stage; carbon emission; evaluation

碳排放指因人类生产、消费及相关活动所造成的温室气体排放量^[1]. 2014 年,联合国政府气候变化专门委员会(IPCC)第五次《综合报告》中指出,全球平均气温比 20 世纪上涨 0.69 ℃^[2]. 在能源消耗方面,根据 2014 年《中国统计年鉴》的数据,建筑业煤炭消耗量约为 7519.6 万 t(标准煤),其消耗量比上年增长 1.77%. 与建筑建造相关的能源消耗占每年能源消耗总量的 20% ~ 30%^[3-4],物化阶段(生产阶段+运输阶段+建造阶段)能源消耗占建筑全生命周期能源消耗的 12%^[5-6]. 在资源消耗方面,根据发达国家的经验,材料节约达 20%,水资源节约达 60%^[7-11]. 我国预制装配式建筑的发展处于初级阶段^[12-14],与发达国家相比,还存在技术、成本、评价、标准及管理等众多方面的困难^[15].

建筑物化阶段作为建筑全生命周期碳排放量最大的阶段^[16-18],对该阶段进行有效的评价,从而制定相应的碳减排措施对于建筑碳减排具有极其重要的实践意义. 但是目前的碳排放评价多偏重于定性研究或定量研究的某一种,并未将二者很好结合,基于此,笔者针对目前预制装配式建筑碳排放评价存在的不足,采用定性定量相结合的方法,针对物化阶段进行碳排放评价研究,为后续碳减排措施的制定提供有效的理论依据.

1 预制装配式建筑碳排放评价模型的建立

1.1 评价指标选取的原则

碳排放指标应从碳源和碳排放影响因素的角度出发进行设置,同时还需要反应出预

制装配式建筑物化阶段所使用到的资源、能源及施工生产过程中的建筑废弃物. 评价指标的设置应遵循污染防治、易量化、易测量、科学性与动态性相结合的原则.

1.2 构建评价指标体系

笔者从节能减排、环境保护、资源节约的角度出发,对预制装配式建筑物化阶段的碳排放评价体系进行研究,针对预制装配式建筑项目物化阶段的影响因素进行分析,从投资额度、资源利用、能源利用、土地、施工和废弃物等维度选取本研究的评价指标,分层次的构建了预制装配式建筑物化阶段的碳排放综合评价指标体系,具体指标层次见表 1.

1.3 评价指标权重的计算

根据层次分析法采用特征根法进行指标权重的计算,分别求得预制装配式建筑物化阶段各指标的权重排序情况,结果见表 1.

1.4 综合评价模型的建立

1.4.1 综合评价模型建立的步骤

(1)建立模糊因素集

影响因素即综合评价的因素集 U :

$$U = \{u_1 \quad u_2 \quad \cdots \quad u_n\}. \tag{1}$$

式中: $u_i (i = 1, 2, \cdots, n)$ 表示各影响因素,笔者选取 19 个因素作为预制装配式建筑碳排放评价的因素集.

(2)建立综合评价集

综合评价集是评价者对评价对象做出的可能评价结果的组合. 笔者以《绿色建筑评价标准》和《装配式建筑评价标准》为基础,分析预制装配式建筑的特点,将预制装配式建筑物化阶段碳排放评价分为 A、AA、AAA 三个等级,即:

$$V = \{v_1 \quad v_2 \quad v_3\} = \{A \quad AA \quad AAA\}. \tag{2}$$

表1 各级指标权重

Table 1 Index weights at all levels

准则层	准则权重	指标	指标权重	子指标	子指标权重	总权重 W_i
资源与能源利用 B_1	0.750	投资额度 C_1	0.061 4	投资额度 D_1	1	0.046 1
		资源消耗量 C_2	0.413 4	主要材料 D_2	0.75	0.232 5
				次要材料 D_3	0.25	0.077 5
		能源消耗量 C_3	0.231 9	电 D_4	0.444 4	0.077 3
				柴油 D_5	0.222 2	0.038 6
				汽油 D_6	0.222 2	0.038 6
				煤 D_7	0.111 2	0.019 3
		临时用地 C_4	0.231 9	土地 D_8	1	0.173 9
		能源的节约 C_5	0.061 4	电能的节约 D_9	0.4	0.018 4
				燃油的节约 D_{10}	0.2	0.009 2
				燃煤的节约 D_{11}	0.1	0.004 6
				土地的节约 D_{12}	0.1	0.004 6
				清洁能源、再生能源的使用 D_{13}	0.2	0.009 2
				人员组织 D_{14}	0.166 7	0.020 8
施工与生态环境 B_2	0.250	施工组织 C_6	0.5	新技术、新工艺的应用 D_{15}	0.333 3	0.041 7
				是否有先进施工机械的使用 D_{16}	0.333 3	0.041 7
				施工组织的设计和管理 D_{17}	0.166 7	0.020 8
		废弃物 C_7	0.5	建筑废弃物量 D_{18}	0.5	0.062 5
				建筑废弃物回收利用 D_{19}	0.5	0.062 5

(3)单因素模糊评价

单因素模糊评价需要针对具体的一个因素进行问题分析,指单独从一个因素出发进行评价.单因素模糊评价是综合评价的基础和关键,通常单因素模糊评价是通过调查分析的方式得到的.

(4)权重的确定

笔者采用 AHP 层次分析法计算各指标的权重,记作 W_i :

$$W = (w_1 \quad w_2 \quad \cdots \quad w_i), 0 \leq w_i \leq 1,$$
$$\sum_{i=1}^n w_i = 1.$$

(3)

(5)模糊综合评价

一级评判为

$$C_i = W_{ci} \times R_{ci}.$$

(4)

式中: C 为一级模糊综合隶属度值.

二级评判为

$$B_i = W_{Bi} \times R_{Bi}.$$

(5)

式中: $R_{B1} = [C_1 \quad C_2 \quad C_3]^T$;
 $R_{B2} = [C_5 \quad C_6 \quad C_7]^T$.

三级评判为

$$A = W \times R, R = [B_1 \quad B_2]^T.$$

(6)

式中: A 为预制装配式建筑物化阶段碳排放的模糊综合评价结果.

1.4.2 综合评价指标的评价基准

预制装配式建筑物化阶段碳排放评价以我国现有相关标准为基础进行研究,在应用绿色建筑、低碳建筑等相关研究成果的基础上^[15-16],结合《装配式建筑评价标准》、《装配式建筑消耗量定额》建立预制装配式建筑物化阶段的评价标准.具体标准见表2.

评判方式采用比值的形式,用 N_i 表示:

$$N_i = X_i / S_i.$$

(7)

式中: X_i 为实际值; S_i 为标准值.

需要注意的是任何指标的最高分值为1.笔者的研究目标之一是为了更好地评价预制装配式建筑的碳排放情况,为了更加准确的反应各指标与传统现浇建筑的碳减排差异,文中标准值的选取以现浇建筑为标准进行.笔者采用0-1打分法,依据上述评价基

准构建模糊矩阵.

表2 综合评价指标评价基准

Table 2 Evaluation benchmark of comprehensive evaluation index

指标	子指标	达到 A 级评判标准	达到 AA 级评判标准	达到 AAA 级评判标准
投资额度	投资额度	比传统建筑高	和传统建筑持平	比传统建筑低
资源消耗量	钢材	比传统建筑高	和传统建筑持平	比传统建筑低
	混凝土	比传统建筑高	和传统建筑持平	比传统建筑低
	电能消耗量	比传统建筑高	和传统建筑持平	比传统建筑低
能源消耗量	柴油消耗量	比传统建筑高	和传统建筑持平	比传统建筑低
	汽油消耗量	比传统建筑高	和传统建筑持平	比传统建筑低
	煤炭消耗量	比传统建筑高	和传统建筑持平	比传统建筑低
临时用地	土地	无土地节约	有用地节约,但节约水平一般	节约水平显著
	电能的节约	节省率<20%	节省率20%~40%	节省率>40%
	燃油的节约	节省率<20%	节省率20%~40%	节省率>40%
能源的节约	燃煤的节约	节省率<20%	节省率20%~40%	节省率>40%
	土地的节约	没有节约	节约水平一般	节约水平显著
	再生能源的使用	偶尔	有时	经常
施工组织	人员组织	一般	好	很好
	新技术、新工艺的应用	从不	偶尔	经常
	先进施工机械的使用	从不	偶尔	经常
	低碳施工组织设计	一般	好	很好
废弃物	建筑废弃物量	比传统建筑多	和传统建筑相当	比传统建筑少
	建筑废弃物回收利用	占总量20%	占总量20%~40%	占总量40%以上

1.4.3 综合评价的等级划分

通过文献研究法、调查研究法和专家咨询法,进行评价等级的划分,采用 A、AA、AAA 来进行综合评价的等级划分,综合评分为 0~1,具体分值分别为 A: <0.5, AA: 0.5~0.75, AAA: >0.75.

2 预制装配式建筑物化阶段碳排放量计算

碳排放直接测量成本高、监测难度大、设备要求高^[12-15],所以通过能源消耗量计算碳排放量是简单易行的方法之一.笔者以《工程消耗量定额》为参考依据,结合国内外建筑项目碳排放的相关研究成果,在借鉴工程造价计量思路的基础上,统计工程所产生的碳排放量 P 主要来自于构件生产的耗能和耗材、构件运输过程中的能耗、施工现场机械台班耗能所产生的碳排放量,具体计算式如下:

$$P = P_1 + P_2 + P_3.$$

式中: P_1 为工厂生产阶段的碳排放量; P_2 为

物流运输阶段的碳排放量; P_3 为装配安装阶段的碳排放量.

2.1 工厂生产阶段碳排放计算

工厂生产阶段碳排放量计算式为

$$P_1 = \sum_{i=1}^n p_i = r_i \times q_{i1} \times (1 - a_{i1}) . \quad (9)$$

式中: i 为建筑材料和机械的种类数; p_i 为种材料的碳排放量; r_i 为第 i 种材料的碳排放因子; q_{i1} 为第 i 种材料的消耗量; a_{i1} 为第 i 种材料的回收系数.

2.2 物流运输阶段碳排放计算

预制装配式建筑物化阶段的物流运输过程中的碳排放量的计算主要需要考虑构件装载、运输、卸载三个过程.所以物流运输阶段的碳排放量也是计算的重点内容,具体计算如下:

$$P_2 = P_{21} + P_{22} + P_{23}.$$

式中: P_{21} 为构件装载阶段的碳排放量; P_{22} 为构件运输阶段的碳排放量; P_{23} 为构件卸载阶段的碳排放量.

$$P_{21} = \sum_{i=1}^n q_i r_i p_i . \quad (11)$$

式中: q_i 为第 i 种机械每台班所消耗的能源量; r_i 为第 i 种机械碳排放因子; p_i 为第 i 种机械台班数.

在物流运输阶段需要主要考虑将预制构件和机械设备等运送至施工现场相应的交通工具消耗能源所产生的碳排放量. 笔者根据案例的实际情况,将采用公路运输的方式进行计算:

$$P_{22} = \sum_{i=1}^n q_i s_i r_i .$$

(12)

式中: q_i 为第 i 种交通工具公里耗油量; s_i 为第 i 种交通工具公里数; r_i 为第 i 种交通工具所消耗能源的碳排放因子.

构件卸载阶段碳排放量的计算与构件运输阶段类似,将不再赘述.

2.3 装配施工阶段碳排放计算

装配施工阶段的能源消耗主要来源于构件吊装和连接两个过程中施工机械设备所产生的能耗:

$$P_3 = \sum_{i=1}^n q_i r_i p_i .$$

(13)

式中: q_i 为第 i 种机械每台班所消耗的能源量; r_i 为第 i 种机械台班数量; p_i 为第 i 种机械台班的碳排放因子.

3 实证研究

3.1 项目背景

洪汇园项目位于辽宁省沈阳市于洪区.

项目所在地地势开阔,交通运输便捷. 为建筑材料和机械设备的运输提供了方便. 项目采取预制装配式建造和传统现浇建造相结合的方式进行. 在工厂预先完成相关构件的生产工作,然后进行构件的现场安装(4 层及以上部分).

3.2 项目碳排放综合分析和评价

3.2.1 项目碳排放分析

(1)项目投资额度分析

投资额度以每建筑平方米的建设成本进行计算:

$$p_{\text{投资}} = p_0 \times S.$$

(14)

式中: p_0 为单位建筑面积建设投资,即单位建筑面积建设成本; S 为项目建筑面积.

该项目 7 号楼的装配式建筑面积是 6 483.2 m²,按照《预制装配式建筑消耗量定额》混凝土高层住宅项目进行计算,项目 PC 率(预制构件总体积与总混凝土体积的比值)为 40% 左右,则建设成本按照 2 134 元/ m²计算. 其投资额度比现浇建筑高,根据《预制装配式建筑消耗量定额》,成本增加 14% ~ 16% .

(2)材料消耗情况分析

材料消耗量根据调研获取相关数据,根据项目的《结算文件》和预制构件厂的《材料清单》进行统计,笔者将材料消耗按照主要材料和次要材料分类分析. 为了更好地统计分析项目的碳排放情况,将资源消耗量折算到单位面积上进行分析,结果见表 3.

表 3 项目材料消耗量
Table 3 Material consumption in the project

统计项目	钢材/kg	混凝土/m ³	木材/kg	水/m ³	保温材料/kg	砌体/m ³	防水涂料/m ²	砂浆/kg
预制部分消耗总量	330 009. 77	2 189. 03	33 636. 33	3 310. 24	8 275. 61	16. 02	763. 49	18 686. 85
现浇部分消耗总量	63 817. 90	446. 20	17 390. 32	892. 40	4 118. 76	9. 15	160. 17	21 051. 44
预制部分单方消耗量	61. 81	0. 41	6. 3	0. 62	1. 55	0. 003	0. 143	3. 5
现浇部分单方消耗量	55. 78	0. 39	15. 2	0. 78	3. 6	0. 008	0. 14	18. 4
单方节省量	- 6. 03	- 0. 02	8. 9	0. 16	2. 05	0. 005	- 0. 003	14. 90
消耗总量	393 827. 67	2 635. 23	51 026. 65	4 202. 64	12 394. 37	25. 17	923. 67	39 738. 29

在主要材料中木材消耗量有显著的减少,但是钢材消耗量和混凝土消耗量均比现

浇建筑高,其总体处于降低的情况.在次要材料中除防水涂料外,其他次要材料均有不同程度的降低.

(3)机械耗能情况分析

机械耗能分别来自于构件厂加工构件的能耗、运输的能耗以及建筑现场施工的能耗.将能源消耗量折算到单位建筑面积上进行分析,结果见表4.

表4 项目能源消耗量
Table 4 Project energy consumption

统计项目	耗电量/(kW·h)	耗柴油量/kg	耗煤量/kg
预制部分消耗总量	23 759	1 121. 21	6 353. 53
现浇部分消耗总量	8 409. 14	503. 4	0
预制部分单方消耗量	4. 45	0. 21	1. 19
现浇部分单方消耗量	7. 35	0. 44	0
单方节省量	2. 9	0. 23	- 1. 19
消耗总量	32 168. 13	1 624. 62	6 353. 53

预制装配式建筑耗电量和耗油量都有所减少,节省率分别达到39%和52%.但是煤炭消耗量却有所增加,其耗煤量的增加主要来自于构件生产厂商蒸汽锅炉对构件的养护工作.

(4)临时用地情况分析

件厂采用的是标准化和信息化的管理手段,不仅提高了构件的标准和构件的质量,还有效地提升了构件生产的效率.针对构件安装而言,对构件和施工机械进行了合理的安置,避免了不必要的场内二次搬运.有效地避免了运输过程中二次碳排放的产生.

洪汇园项目4层以下部分依旧采用现场浇筑的方式进行.现场增加了预制构件存放仓库,但是其他建筑材料的用量相对减少,综合实际情况,临时用地没有明显的改变和节约,基本与现浇建筑临时用地情况类似.

(5)施工组织情况分析

(6)建筑废弃物情况分析

针对项目设计而言,洪汇园公租房项目采用的是设计、施工和装修一体化的建造方式.针对构件生产而言,项目构件的生产在构

预制装配式建筑的废弃物主要来源于混凝土、保温板、砂浆、钢材和木材.木材主要是木模板,采用的是统一归类,不与其他固体废弃物一起堆放.除此之外,还包括其他少量的固体废弃物,但其所占比例极低,忽略不计,笔者只计算混凝土、保温板和砂浆等废弃物.将废弃物量折算到单位建筑面积上进行分析,结果见表5.

表5 建筑废弃物量
Table 5 Construction waste volume

统计项目	钢材	混凝土	保温板	砂浆
预制部分废弃物总量	3 630. 59	54 885. 95	747. 47	160. 17
现浇部分废弃物总量	1 189. 86	15 662. 73	354. 67	697. 90
预制部分单方消耗量	0. 68	10. 28	0. 14	0. 03
现浇部分单方消耗量	1. 04	13. 69	0. 31	0. 61
单方减少量	0. 36	3. 41	0. 17	0. 58
废弃物总量	4 820. 45	70 548. 68	1 102. 15	858. 07

预制装配式建筑废弃物减少量明显,其中砂浆减少最多,达到95%;其次是保温板

和钢材,分别是55%和35%;混凝土减少量相对较少(25%).其总的节省率为28%.施

工现场对钢材进行了回收,其他混凝土、保温板和砂浆等几乎无回收利用情况。

3.2.2 碳排放综合评价

(1)一级评判

一级评判是低系统、小层次的评判。

①投资额度

投资额度的权重为 $W_{C1} = 1$, 则 $C_1 = W_{C1} \times R_{C1} = [1 \ 0 \ 0]$ 。

②资源消耗量

资源消耗量的权重为 $W_{C2} = [0.75 \ 0.25]$, 则

$C_2 = W_{C2} \times R_{C2} = [0 \ 0 \ 1]$ 。

③能源消耗量

能源消耗量的权重为 $W_{C3} = [0.444 \ 4 \ 0.222 \ 2 \ 0.222 \ 2 \ 0.111 \ 1]$, 则

$C_3 = W_{C3} \times R_{C3} = [0.111 \ 1 \ 0.222 \ 2 \ 0.666 \ 6]$ 。

④临时用地

临时用地的权重为 $W_{C4} = 1$ 。则 $C_4 = W_{C4} \times R_{C4} = [0 \ 1 \ 0]$ 。

⑤能源的节约

能源的节约的权重为 $W_{C5} = [0.4 \ 0.2 \ 0.1 \ 0.1 \ 0.2]$, 则

$C_5 = W_{C5} \times R_{C5} = [0.3 \ 0.5 \ 0.2]$ 。

⑥施工组织

施工组织的权重为 $W_{C6} = [0.166 \ 7 \ 0.333 \ 3 \ 0.333 \ 3 \ 0.166 \ 7]$, 则

$C_6 = W_{C6} \times R_{C6} = [0 \ 0.833 \ 3 \ 0.166 \ 7]$ 。

⑦废弃物

废弃物的权重为 $W_{C7} = [0.5 \ 0.5] \times \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} = [0.5 \ 0.5 \ 0]$ 。

(2)二级评判

与一级指标相比,二级评判是对指标进行较大系统和较高层次的评判。

①资源和能源利用

资源和能源利用的权重为 $W_{B1} = [0.061 \ 4 \ 0.4134 \ 0.231 \ 9 \ 0.231 \ 9 \ 0.061 \ 4]$, 则

$B_1 = W_{B1} \times R_{B1} = [0.457 \ 6 \ 0.314 \ 1 \ 0.228 \ 3]$ 。

②施工和生态环境

施工和生态环境的权重为 $W_{B2} = [0.5 \ 0.5]$, 则

$B_2 = W_{B2} \times R_{B2} = [0.25 \ 0.666 \ 7 \ 0.166 \ 7]$ 。

通过二级评判得到了资源与能源利用、施工组织与生态环境的综合评分。根据最大隶属度的原则,资源和能源的碳排放综合得分为0.457 6,根据等级划分,评分结果为A;施工和生态环境的碳排放综合得分为0.666 7,根据等级划分,评分结果为AA。

(3)三级评判

三级评判是对指标最高系统、最大层次的评判,进行三级评判可以得到预制装配式建筑物化阶段碳排放综合评价结果。

预制装配式综合评价的权重为 $W = [0.457 \ 6 \ 0.666 \ 7]$, 通过二级评判得到预制装配式建筑物化阶段碳排放三级评价的模糊矩阵 R 为

$R = [B_1 \ B_2]^T = \begin{bmatrix} 0.457 \ 6 & 0.314 \ 1 & 0.228 \ 3 \\ 0.25 & 0.666 \ 7 & 0.166 \ 7 \end{bmatrix}$ 。

则 $A = W \times R = W \times [B_1 \ B_2]^T = [0.376 \ 1 \ 0.588 \ 2 \ 0.215 \ 6]$ 。

根据最大隶属度原则,预制装配式建筑物化阶段碳排放评价得分为0.588 2,根据等级划分标准得出沈阳市洪汇园项目的评价结果为AA。可以看出,沈阳市洪汇园项目碳排放处于中等水平。

4 结 语

笔者以建立的预制装配式建筑物化阶段碳排放评价模型和碳排放核算方法为基础,以沈阳市洪汇园项目为例,进行了项目物化阶段碳排放评价研究,得到洪汇园项目碳排放属于AA级别。同时将该项目与传统建筑(现浇部分)进行比较,分析其碳排放差距,

项目管理者 and 施工设计人员可根据比较结果,针对物化各阶段碳排放的来源和碳排放的特点,进行物化阶段碳排放的控制和管理。

参考文献

- [1] 刘燕. 基于全生命周期的建筑碳排放评价模型[D]. 大连:大连理工大学,2015.
(LIU Yan. A full life cycle based carbon emission assessment model[D]. Dalian: Dalian University of Technology,2015.)
- [2] XIE Rui,ZHAO Guomei,ZHU Bangzhu,et al. Regional transfer of haze pollutants embodied in China's foreign trade and factors affecting it: a GERIO-based empirical analysis [J]. Emerging markets finance and trade, 2016, 52 (6):1335 - 1347.
- [3] 国家统计局能源统计司. 中国能源统计年鉴2016[R]. 北京:中国统计出版社,2016.
(Energy Statistics Department of the National Bureau of statistics. China Energy Statistics Yearbook 2016 [R]. Beijing: China Statistics Press,2016.)
- [4] TONG Y, YIN Y, QIAN L, et al. Analysis of the characteristics of hazy phenomena in Nanjing area [J]. China environmental science, 2011, 27(5):584 - 588.
- [5] 聂祚仁. 碳足迹与节能减排[J]. 中国材料进展,2010(2):60 - 63.
(NIE Zuoren. Progress of carbon footprint and energy saving and emission reduction of [J]. Chinese materials,2010(2):60 - 63.)
- [6] 刘美霞,武振,王洁凝,等. 住宅产业化装配式建造方式节能效益与碳排放评价[J]. 建筑结构,2015,45(12):71 - 75.
(LIU Meixia,WU Zhen,WANG Jiening,et al. Housing industrial assembly mode of building energy efficiency and carbon emissions evaluation [J]. Building structure, 2015, 45 (12): 71 - 75.)
- [7] 付欣,李丽红,雷云霞. 推动沈阳市现代建筑产业发展的原则与建议[J]. 辽宁经济,2015(3):63 - 65.
(FU Xin,LI Lihong,LEI Yunxia. Promote the development of modern construction industry in Shenyang city,the principles and recommendations of [J]. Liaoning economy, 2015 (3): 63 - 65.)
- [8] Department of Trade and Industry. Energy white paper our energy future-creating a low carbon economy [R]. London: The Stationery Office, 2003.
- [9] 陈志恒. 日本低碳经济战略简析[J]. 日本学刊,2010(4):53 - 56.
(CHEN Zhiheng. Low-carbon economy strategy of Japan [J]. Japanese studies,2010(4):53 - 56.)
- [10] Office of Integrated Analysis and Forecasting. The American clean energy and security act of 2009[R]. Washington D C: Energy Information Administration,2009.
- [11] European Commission. Communication from the Commission-Europe 2020 [S]. Brussels: European Commission,2010.
- [12] 李滨. 我国预制装配式建筑的现状与发展[J]. 工程科技,2014(7):114 - 115.
(LI Bin. Status and development of prefabricated architecture in China [J]. Engineering science and technology,2014(7):114 - 115.)
- [13] 薛明凯. 浅谈预制装配式建筑的发展状况[J]. 四川建材,2016,42(8):69 - 70.
(XUE Mingkai. Brief discussion on the development of prefabricated and assembled architecture [J]. Sichuan building materials,2016, 42(8):69 - 70.)
- [14] 国滨. 我国预制装配式建筑的现状与发展[J]. 房地产导刊,2016(7):100.
(GUO Bin. Current situation and development of prefabricated building [J]. Real estate guide,2016(7):100.)
- [15] 刘晓明. 基于生命周期评价的建筑碳减排对策研究[D]. 邯郸:河北工程大学,2012.
(LIU Xiaoming. Research on carbon emission reduction based on life cycle assessment [D]. Handan: Hebei University of Engineering, 2012.)
- [16] YOU F,HU D,ZHANG H,et al. Carbon emissions in the life cycle of urban building system in China-a case study of residential buildings [J]. Ecological complexity,2011,8(2):201 - 212.
- [17] DEEPAK S. An integrated life cycle assessment model: energy and greenhouse gas performance of residential heritage buildings, and the influence of retrofit strategies in the state of Victoria in Australia[J]. Energy and building, 2011(5):29 - 35.
- [18] BLENGINI G A,CARLO D T. The changing role of life cycle phases,subsystems and materials in the LCA of low energy buildings[J]. Energy and building,2010(6):869 - 880.