

公共机构建筑主动式与被动式能源 供应技术评价体系指标研究

王宏伟¹,戴鹏飞¹,张芸粟²,刘雨萌¹

(1. 沈阳建筑大学市政与环境工程学院,辽宁 沈阳 110168; 2. 沈阳城市建设学院市政与环境工程系,
辽宁 沈阳 110167)

摘要 目的 构建公共机构建筑主动式与被动式能源供应技术方案的评价指标,确定我国辽宁省、广东省、青海省,北京市、上海市典型省市中公共机构建筑适宜推行的主动能源与被动能源联合供应技术方案. 方法 基于我国的31个省(自治区、直辖市)资源能源、技术水平、经济情况、环境影响几个方面的数据统计,采用熵权法分别计算地热能与主动能源和太阳能与主动能源这两种联合供应技术方案的评价体系的权重,分析典型省市适宜推行的主被动能源联合供应方案. 结果 选取的典型省市中,适宜推行地热能与主动能源方案的为北京市、上海市;适宜推行太阳能与主动能源方案的为北京市,广东省、青海省. 结论 建立的公共机构建筑主动式能源与被动式能源评价体系,能够为公共机构建筑节能提出科学可行的方案.

关键词 公共机构;被动式能源;主动式能源;评价体系;熵权法

中图分类号 TU391 文献标志码 A

Research on Indicators in Passive and Active Energy Supply Technology Evaluation System for Public Building

WANG Hongwei¹, DAI Pengfei¹, ZHANG Yunli², LIU Yumeng¹

(1. School of Municipal and Environment Engineering, Shenyang Jianzhu University, Shenyang, China, 110168;
2. Department of Municipal and Environmental Engineering, Shenyang Urban Construction University, Shenyang,
China, 110167)

Abstract: The evaluation index of active and passive energy supply technology schemes for public institutions are established in order to determine these schemes in five typical provinces or cities directly in China, including Beijing, Liaoning, Shanghai, Guangdong and Qinghai. Based on the data investigation and calculation of energy resources, technology level, economic situation and environmental impact of 31 provinces autonomous regions, municipalities directly under the central government in the country, the weights of the evaluation systems for two kinds of joint supply schemes were calculated by the entropy weight method. These two schemes are geothermal energy/active energy

收稿日期:2019-06-27

基金项目:国家重点研发计划项目(2017YFB0604000);辽宁省自然科学基金项目(20170540747)

作者简介:王宏伟(1964—),女,教授,博士,主要从事可再生能源利用技术方面研究.

and solar energy/active energy. Then the suitable active and passive energy joint supply schemes in five typical provinces were analyzed. Among the five selected typical provinces or cities, Beijing and Shanghai are suitable for implementing geothermal energy and active energy schemes; the provinces suitable for carrying out solar energy and active energy programs are Beijing, Guangdong and Qinghai. The establishment of active energy and passive energy evaluation system for public buildings can provide scientific and feasible programs for energy conservation in all provinces.

Key words: public institution; passive energy; active energy; evaluation system; entropy method

随着我国近年来公共机构建筑规模的持续增长导致了能源消耗和二氧化碳排放量的提升.公共机构建筑指各级政府机关,医院,学校三类代表性的建筑^[1-3].我国公共机构建筑既是能源消费的重要主体,也是节能工作一个重要领域.使用单一的化石能源并不能完美高效地解决公共机构建筑能耗高,能源利用率较低的现状.因此,在我国开展公共机构建筑的被动式能源应用是具有必要性的.目前,我国诸多公共机构建筑利用被动式能源为建筑供能.但对于公共机构建筑主动式能源与被动式能源供应技术的评价体系,国际国内尚无成型的研究成果.在相关的区域能源规划评价体系和清洁能源的利用评价体系方面,国内外已有成熟的研究成果.在区域能源评价方面,英国的 BREEAM 评价体系,美国的 LEED 评价体系,日本的 CASBEE 评价体系,多国联合开发的 GBTOOL 评价体系,这些评价体系已经投入使用,并取得良好的效果^[4].清洁能源利用方面,E. Annett^[5]对风能、光伏发电、水电等清洁能源及发电技术做出可持续性综合评价.H. A. Naim^[6]从发电成本、CO₂排放量、能源效率、装机容量、占地面积等几个方面对不同清洁能源技术做出评价.周胜^[7]、顾树华^[8]、李建中等^[9]结合我国国情,采用不同方法从资源、经济价值、生产等角度构建了清洁能源评价综合体系.笔者构建了两种主动能源与被动能源联合供应技术方案,并建立了评价体系.应用熵权法^[10]进行赋权计算,为适宜推行的主动能源与被动能源联合供应技术方案提出科学依据.

1 公共机构建筑主动能源与被动能源供应技术的评价体系的基本概念

1.1 主动与被动能源的定义

主动能源:利用相关技术开采的煤、石油、天然气归结为主动式能源.故笔者将天然气、煤炭作为主动能源为公共机构建筑供能.

被动式能源:指不需要主动加热或制冷,依靠被动收集或储存的能量使建筑物维持一定的温度的可利用能源,如太阳能,地热能,风能等.笔者将太阳能和地热能作为被动式能源为公共机构建筑供能.

1.2 能源供应方案的确定

当主动式能源与被动式能源两类能源同时为公共机构建筑供能时存在两种情况:①主动式与被动式能源在同一系统中耦合供能,两类能源协调供应对于同一建筑物进行能源供应.②主动式与被动式能源在不同系统中协调供能,即两类能源各自为一套能源供应系统提供能量,两种供能系统同时为一所建筑物供能.由于建筑物的供能系统都离不开电能的支持,因而在能源供应方面均会使用电能,电能属于二次能源,故能源规划方案确定时,将电能转换为初始的煤炭这一化石能源.结合笔者选取的主被动能源种类,确定两种能源供应方案(见表1).

表1 能源供应方案

Table 1 The Energy supply programme

方案编号	能源方案组合形式
1	地热能+主动能源(煤炭和天然气)
2	太阳能+主动能源(煤炭和天然气)

两种供应方案中,被动能源的利用多采用浅层地热能,以地源热泵^[11]的形式为建筑物供能;太阳能多采用光伏发电^[12]、太阳能热水系统^[13]为建筑物供能.主动能源利用天然气这一清洁能源,与热电联产结合的方式,同时为建筑物供热和供电.若再结合制冷过程,则成为天然气冷热电三联供^[14-15]的形式,为建筑物供能.

2 公共机构建筑主动能源与被动能源供应技术的评价体系的建立

2.1 评价指标的确定

两种能源供应方案的指标层如图1所示.

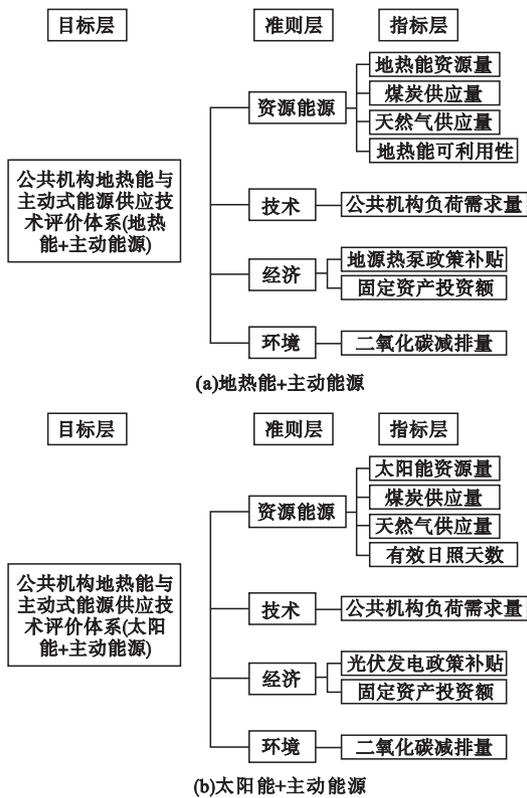


图1 公共机构建筑主动式能源与被动式能源供应技术评价体系

Fig.1 Evaluation system of active energy and passive energy supply technology in public building

根据我国公共机构建筑的用能特点,能

源配置方案等相关影响因素,建立公共机构建筑主动能源与被动能源供应技术的评价体系.在设置资源能源、技术、经济、环境4个一级指标下设立若干二级指标.对于两种主被动能源供应方案的评价体系中,二级指标被动能源资源量指标分别选取的是地热能资源量和太阳能资源量.资源可利用性指标分别选取的是地热能可利用性和有效日照天数.

2.2 评价指标的解释

2.2.1 资源能源类指标

(1)方案1:地热能+主动能源

地热能资源量:指浅层地热能的热容量,根据《浅层地热能的勘查评价规范》(DZ/T 0225—2009)和中国地质调查局相关技术要求计算出省会城市的单位面积地热能容量,再与全省的面积结合,估算出该省的地热能容量.天然气供应量:将国家统计局的《中国能源统计年鉴》^[16]中各省市的年天然气的消费量作为评价天然气供应能力的评价指标.煤炭消耗量:各省的年煤炭总消费量,该指标数值越大,表示该省主动能源的供应能力越强.

地热能可利用性:由于我国各省的气候分区和地质条件的不同,个别地区存在全年冷热负荷不平衡现象,导致浅层地热能开发利用受到一定客观因素的限制.因而,选取地热能可利用性作为评价各省地热能实际利用情况的指标.根据国家发展和改革委员会、国家能源局2017年1月发布的《地热能十三五规划》中的全国各地区浅层地热能利用面积统计,依据各省的浅层地热利用情况,采用自然断点法将全国各省份的浅层地热能可利用性分为5个等级进行评价(见表2).

表2 地热能可利用性评分

Table 2 Geothermal energy availability score

等级	得分
I	1
II	3
III	5
IV	7
V	9

(2) 方案2:太阳能+主动能源

方案2主动能源资源量的评价指标选取与方案1相同.被动能源资源量及可利用性的指标选择:太阳能资源量和有效日照时长.

太阳能资源量:根据中国气象局发布的《太阳能资源评估方法》(QX/T—89—2018),将太阳能的年日照辐射量作为指标评价依据,对省市的太阳能资源量的评估.

有效日照天数:由于我国各省地理位置和气候不同,太阳能的利用受天气制约,稳定性受到一定的影响.所以选取全年的有效日照天数,作为评定太阳能资源可利用性的指标对太阳能的稳定程度进行评价.

2.2.2 技术类指标解释

公共机构建筑负荷需求量:指各省公共机构建筑全年负荷的需求总量.利用DesT软件模拟,估算各省公共机构建筑的供暖负荷,制冷负荷,用电负荷等,计算出负荷的需求总量.换算成等效电负荷.反映该省份进行能源联合供应方案的技术难易程度.负荷需求量越大,说明对主被动能源方案的推行的技术要求越高,难度越大,反之越小.

对于方案1和方案2的评价体系,均采用公共机构建筑负荷需求量作为技术类的二级指标.

2.2.3 经济类指标解释

政策补贴:能源供应方案1中地热能的补贴,参考各省对采用利用地源热泵工程的政策补贴,包括地埋管,水源热泵,地源热泵的补贴,一般按照热泵的利用面积进行补贴;能源供应方案2中太阳能的补贴,参考各省份对太阳能光伏发电的补贴政策,以光伏发电系统的发电量进行补贴.

固定资产投资额:反映各省市对第三产业的投资(包括公共事业)水平.第三产业的投资额越高,代表该省在公共机构建筑的投

入就越大,对主动式与被动式能源联合供应方案的经济支持就越大.对于方案1和方案2的评价体系,均采用固定资产投资额作为经济类下二级指标.

2.2.4 环境类指标解释

二氧化碳减排量:指各省公共机构建筑采用主被动能源联合供应方案后,每年预计减少的二氧化碳排放量,根据MARKAL模型^[17]计算出各省公共机构建筑使用地热能与主动能源联合供应的方案预计的被动能源替代率^[18],与该省公共机构建筑能源负荷需求总量的乘积,根据ipcc碳排放系数^[19],计算出二氧化碳的减排.方案1和方案2均采用二氧化碳减排量作为环境类指标.

3 权重的计算

3.1 评价方法的确定

由于公共机构建筑的主被动能源联合供应技术的发展,仍属于推行阶段.许多客观数据无法获取.采用主观赋权的方法如层次分析法,无法客观准确地为公共机构建筑主被动能源的推行提供有利的方案.而采用熵权法这一客观赋权法,准确度高,说服力强,在指标的收集和设立方面尽可能选取可计算可收集的指标,使评价体系更加完善、科学.

熵权法计算步骤:

(1)构建决策矩阵

选取 m 个对象 n 个评价指标构建矩阵

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & \cdots & x_{1j} \\ \vdots & & \vdots \\ x_{i1} & \cdots & x_{ij} \end{bmatrix}. \quad (1)$$

式中: x_{ij} 为第 i 个对象的第 j 个指标的数值($i=1,2,\dots,m;j=1,2,\dots,n$).

(2)标准化处理

对于正向指标,其值越大越优,处理方法为

$$x_{ij}^* = \frac{x_{ij} - x_{ij\min}}{x_{ij\max} - x_{ij\min}}. \quad (2)$$

对于负向指标,其值越小越优,处理方法为

$$x_{ij}^* = \frac{x_{ij\max} - x_{ij}}{x_{ij\max} - x_{ij\min}} \quad (3)$$

式中: x_{ij}^* 为各指标数据的标准化处理结果.

(3) 计算比重

$$p_{ij} = \frac{x_{ij}^*}{\sum_l x_{ij}^*} \quad (4)$$

式中: p_{ij} 为第 j 项指标下第 i 个样本值占该指标的比重.

(4) 计算熵值

$$e_j = \frac{1}{\ln m} \sum_l p_{ij} \ln p_{ij} \quad (5)$$

式中: e_j 为第 j 项指标的熵值.

(5) 计算熵权

$$w_j = \frac{1 - e_j}{\sum_l (1 - e_l)} \quad (6)$$

式中: w_j 为第 j 项指标的权重.

3.2 权重计算

以地热能与主动能源联合供应方案为例,在收集我国31个省(自治区、直辖市)的各项指标统计数据的基础上,进行权重的计算.笔者根据建筑热工分区选取了5个典型省市的指标数据统计结果进行展示(见表3).

表3 全国5个典型省份、直辖市各项指标统计结果

Table 3 The basic data of five typical provinces and municipalities

省市	地热能资源量/ 10^{15} kJ^{-1}	煤炭供应量/万吨	天然气供应量/亿 m^3	地热能可利用性/分	公共机构建筑负荷需求量/ $10^{10} (\text{kW}\cdot\text{h})$	政策补贴/亿元	固定资产投资额/亿元	CO_2 减排量/ 10^9 t
北京市	1.94	847.62	164.17	9	4.66	35	7958.42	9.71
辽宁省	20.87	16 943.71	30.81	9	6.52	50	4 089.81	6.70
上海市	0.99	4 625.62	80.81	5	0.49	60	6 211.42	1.02
广东省	19.59	16 135.29	124.74	3	7.55	40	24 953.82	41.8
青海省	2.64	1 962.43	14.65	1	0.48	0	2 450.86	0.795

首先从统计的5个省市的基础数据中筛选出各项指标的最大值与最小值,其中公共机构建筑负荷需求量为逆向指标,其余指标

均为正向指标,运用式(2)、式(3),计算出5个省市各项指标标准化的结果,构建数据的标准化矩阵.

$$x_{ij} = \begin{bmatrix} 0.027\ 856 & 0.020\ 619 & 1 & 1 & 0.789\ 78 & 0.437\ 5 & 0.258\ 33 & 0.194\ 168 \\ 0.322\ 44 & 0.413\ 824 & 0.186\ 283 & 1 & 0.699\ 88 & 0.625 & 0.102\ 154 & 0.130\ 772 \\ 0.013\ 134 & 0.112\ 911 & 0.491\ 366 & 0.5 & 0.991\ 149 & 0.75 & 0.188\ 04 & 0.010\ 744 \\ 0.302\ 521 & 0.394\ 076 & 0.759\ 412 & 0.25 & 0.650\ 101 & 0.5 & 0.944\ 44 & 0.871\ 101 \\ 0.038\ 811 & 0.047\ 853 & 0.087\ 681 & 0 & 0.992 & 0 & 0.035\ 989 & 0.005\ 994 \end{bmatrix}$$

在构建标准化矩阵基础上,运用式(4)计算第 i 项指标下第 j 个样本值占该指标比

重,对于评价体系指标计算,有8项二级指标,31个省市作为样本,故 $i=8, m=31$.

$$p_{ij} = \begin{bmatrix} 0.004\ 80 & 0.001\ 98 & 0.130\ 58 & 0.081\ 63 & 0.033\ 66 & 0.037\ 43 & 0.019\ 84 & 0.023\ 30 \\ 0.055\ 58 & 0.039\ 87 & 0.024\ 32 & 0.081\ 63 & 0.029\ 83 & 0.053\ 47 & 0.007\ 84 & 0.015\ 69 \\ 0.002\ 26 & 0.010\ 87 & 0.064\ 16 & 0.040\ 81 & 0.042\ 24 & 0.064\ 17 & 0.014\ 42 & 0.001\ 28 \\ 0.052\ 15 & 0.037\ 97 & 0.099\ 16 & 0.020\ 40 & 0.027\ 71 & 0.042\ 78 & 0.072\ 53 & 0.104\ 54 \\ 0.006\ 69 & 0.004\ 61 & 0.011\ 44 & 0 & 0.042\ 26 & 0 & 0.002\ 76 & 0.000\ 71 \end{bmatrix}$$

将相关参数带入式(5),计算出各项指标的熵值.地热能资源量: $e_1=0.824$;煤炭供

应量: $e_2=0.889$;天然气供应量: $e_3=0.913$;地热能可利用性: $e_4=0.873$;公共机构建筑

负荷需求量: $e_5 = 0.984$; 政策补贴: $e_6 = 0.863$; 固定资产投资额 $e_7 = 0.905$; CO_2 减排量 $e_8 = 0.894$; 将结果带入式(6), 计算出各项指标的熵权(见表4)。

表4 地热能与主动能源联合供应方案指标权重

Table 4 Index weight of geothermal energy and active energy joint supply scheme

一级指标		二级指标	
名称	权重	名称	权重
资源能源	0.586	地热能资源量	0.206
		煤炭消耗量	0.102
		天然气供应量	0.129
		地热能可利用性	0.149
技术	0.018	公共机构建筑负荷需求量	0.018
经济	0.272	政策补贴	0.16
		固定资产投资额	0.111
环境	0.124	二氧化碳减排量	0.124

由表4可知,各个指标的权重值依次排序为:地热能资源量权重(0.206) > 政策补贴权重(0.160) > 地热能可利用性权重(0.149) > 天然气供应量权重(0.129) > 二氧化碳减排量权重(0.124) > 固定资产投资额权重(0.111) > 煤炭消耗量权重(0.102) > 公共机构建筑负荷需求量权重(0.018), 因为各省公共机构建筑的负荷需求量差异不大,技术的推行难度大致处于同一水平,所以技术指标在准则层指标中的权重相对较低.同时,资源能源与经济所占比重较高的原因为,各地的地热能资源量及主动能源的供应能力不同,影响着能源供应的稳定性.此外,政策的补贴和财政投入也是制约地热能与主动能源联合供应方案的关键因素.因此,在公共机构建筑进行地热能与主动能源联合供应方案的推广时,应因地制宜,考虑当地的经济及政策的情况。

太阳能与主动能源联合供应方案指标权重的计算方法和地热能与主动能源联合供应方案计算方法相同,计算结果如表5所示。

表5 太阳能与主动能源联合供应方案

Table 5 Index weight of solar and active energy joint supply scheme

一级指标		二级指标	
名称	权重	名称	权重
资源能源	0.538	太阳能资源量	0.079
		煤炭消耗量	0.148
		天然气供应量	0.188
		有效日照时长	0.123
技术	0.027	公共机构负荷需求量	0.027
经济	0.256	政策补贴	0.113
		固定资产投资额	0.143
环境	0.18	二氧化碳减排量	0.180

3.3 能源方案决策分析

利用综合得分评估计算模型

$$Z_i = \sum_{j=1}^8 X_{ij}^* w_j \quad (7)$$

式中: Z_i 为得分值; X_{ij}^* 为各省市第 j 项指标的标准化值; w_j 为第 j 项指标的权重。

利用式(7)对列举的5个省市两种主被主动能源联合供应方案进行综合评价(见表6)。

表6 能源方案综合评价表

Table 6 Comprehensive evaluation form for energy solutions

省市	地热能 + 主动能源	太阳能 + 主动能源
北京市	0.581	0.544
辽宁省	0.527	0.323
上海市	0.558	0.344
广东省	0.527	0.555
青海省	0.138	0.542

4 结论

(1) 公共机构建筑地热能与主动能源联合供应方案的推行预测结果,北京市、上海市适宜;辽宁省、广东省较为适宜;青海省不适宜。

(2) 公共机构建筑太阳能与主动能源联合供应方案的推行预测结果,北京市,广东

省、青海省适宜;辽宁省,上海市较为适宜。

(3)公共机构建筑主动式能源与被动式能源评价体系的建立,能够为各省公共机构建筑的节能事业提出科学可行的方案。

参考文献

- [1] 梁俊强.大型公建节能的政策导向[J]. 建设科技,2008(2):80.
(LIANG Junqiang. Policy orientation of large-scale public construction and energy conservation [J]. Building science and technology, 2008(2):80.)
- [2] 毛庆一.中国2007年终端能源消费和能源效率[J]. 节能与环保,2009(176):14-17.
(MAO Qingyi. China's final energy consumption and energy efficiency in 2007[J]. Energy saving and environmental protection, 2009(176):14-17.)
- [3] 池墨.政府机关电能何以浪费惊人[J]. 中国老区建设,2008(8):24.
(CHI Mo. Why is the power of government agencies wasting amazing[J]. Construction of old areas in China, 2008(8):24.)
- [4] 章国美,时昌法.国内外典型绿色建筑评价体系对比研究[J]. 建筑经济,2016,37(8):76-80.
(ZHANG Guomei, SHI Changfa. Comparative study on the typical green building assessment system at home and abroad [J]. Construction economy, 2016, 37(8):76-80.)
- [5] ANNETT E, VLADIMIR S, TIM J E. Assessment of sustainability indicators for renewable energy technologies[J]. Renewable and sustainable energy reviews, 2009(13):1082-1088.
- [6] NAIM H A, MARIA G C. Multi-criteria assessment of new and renewable energy power plants[J]. Energy, 2002, 27(8):739-755.
- [7] 周胜,张希良.可再生能源综合评价体系探讨[J]. 规划与评价,2004,10(3):48-51.
(ZHOU Sheng, ZHANG Xiliang. Integrated renewable energy assessment approach [J]. Planning and assessment, 2004, 10(3):48-51.)
- [8] 顾树华,周庐萍.清洁能源资源评价体系与方法[J]. 中国人口·资源与环境,1999,9(2):46-50.
(GU Shuhua, ZHOU Luping. Evaluation system and method of clean energy resources [J]. China population resources and environment, 1999, 9(2):46-50.)
- [9] 李建中,谢威,武铁梅.模糊综合评价在绿色能源评价中的应用研究[J]. 水电能源科学,2010,13(6):165-168.
(LI Jianzhong, XIE Wei, WU Tiemei. Application of fuzzy comprehensive evaluation in green energy assessment [J]. Water resources and power, 2010, 13(6):165-168.)
- [10] 赵兴旺,梁吉业.一种基于信息熵的混合数据属性加权聚类算法[J]. 计算机研究与发展,2016,53(5):1018-1028.
(ZHAO Xingwang, LIANG Jiye. An attribute weighted clustering algorithm for mixed data based on information entropy [J]. Journal of computer research and development, 2016, 53(5):1018-1028.)
- [11] 白亚娟.地下水热泵系统的性能分析及经济性评价[D]. 西安:西安科技大学,2009.
(BAI Yajuan. Performance analysis and economic evaluation of groundwater source heat pump system [D]. Xi'an: Xi'an University of Science and Technology, 2009.)
- [12] 张琳.分布式光伏发电在城市建筑中的应用及可行性探讨[J]. 上海建设科技,2019(4):8-11.
(ZHANG Lin. Design application and feasibility of distributed photovoltaic power generation in urban buildings [J]. Shanghai construction technology, 2019(4):8-11.)
- [13] 刘国松.新型太阳能热水系统的市场推广研究[D]. 天津:天津大学,2007.
(LIU Guosong. Research in market promotion of new solar water heating system [D]. Tianjin: Tianjin University, 2007.)
- [14] 逢律.燃气热电(冷)联供的技术经济分析与评价[D]. 北京:北京建筑大学,2017.
(PANG Lü. Technical and economic analysis and evaluation of gas-fired thermoelectric (cold) co-supply [D]. Beijing: Beijing Jianzhu University, 2017.)
- [15] 中国地质调查局.水文地质手册[M]. 北京:地质出版社,2012.
(China Geological Survey. Handbook of Hydrogeology [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2012.)
- [16] 国家能源统计司.中国能源统计年鉴(2017)[M]. 北京:中国统计出版社,2018.
(National Energy Statistics Division. China Energy Statistics Yearbook (2017) [M]. Beijing China Statistics Press, 2018.)
- [17] CHEN COLLIN G, WU. Application of MARKAL model to energy switch and pollutant emission in Shanghai [J]. Shanghai environmental sciences, 2002, 21(9):515-519.
- [18] 刘天杰.区域能源系统评价体系研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学,2018.
(LIU Tianjie. Research on evaluation system of district energy system [D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2018.)
- [19] 刘娜.建筑全生命周期碳排放计算与减排策略研究[D]. 石家庄:石家庄铁道大学,2014.
(LIU Na. Research on carbon emission calculation and emission reduction strategies of building based on life cycle assessment [D]. Shijiazhuang: Shijiazhuang Railway University, 2014.)
- (责任编辑:徐玉梅 英文审校:唐玉兰)