

基于情景分析法的辽东湾新区区域建筑节能减排潜力预测研究

田川¹,冯国会¹,李帅²,李环宇¹

(1. 沈阳建筑大学市政与环境工程学院,辽宁 沈阳 110168;2. 国网辽宁省电力有限公司
经济技术研究院,辽宁 沈阳 110015)

摘要 目的 为实现新区规划阶段区域建筑节能减排,对辽东湾新区区域建筑节能及 CO₂ 减排潜力预测进行研究。方法 采用情景分析方法,建立 LEAP-Liaobin 模型,在基准情景和区域能源规划情景中预测能源消费和 CO₂ 排放。建立 ARIMA (1,1,1) 模型和 Logistic 模型并引入 LEAP 模型中的经济模块和人口模块。修正 LEAP 模型数据库,根据我国燃料热值计算基于燃料单位质量的碳排放质量系数。结果 区域能源规划情景与基准情景相比,2030 年一次能源消费减少 3.5 PJ,2010 至 2030 年累计减少 67 PJ。2010 至 2030 年 CO₂ 排放总量下降 7.17×10^5 t,能耗和 CO₂ 排放分别降低了 79% 和 45%。结论 在新区规划阶段对节能减排潜力进行准确预测能够有效实现区域建筑节能减排。修正模型提高了预测 GDP、人口数量和碳排放量的准确性。

关键词 区域能源规划;LEAP 模型;能耗;碳排放;情景分析

中图分类号 TU391

文献标志码 A

Forecasting of Energy Saving and Emission Reduction Potential Based on Scenario Analysis Model for Regional Buildings in New District of Liaodong Gulf

TIAN Chuan¹, FENG Guohui¹, LI Shuai², LI Huanyu¹

(1. School of Municipal and Environmental Engineering, Shenyang Jianzhu University, Shenyang, China, 110168;
2. Economic and Technological Research Institute of State Grid Liaoning Electric Power Co. Ltd., Shenyang, China, 110015)

Abstract: The potential of regional building energy conservation and CO₂ emission reduction in Liaobin coastal economic zone is studied. Based on scenario analysis method, LEAP-Liaobin model is established to predict energy consumption and CO₂ emission in the baseline scenario and community energy planning scenario. ARIMA (1,1,1) model and Logistic model are built and introduced into the economic module and population module in LEAP model. In order to modify

收稿日期:2020-10-22

基金项目:国家重点研发计划项目(2017YFB0604000)

作者简介:田川(1989—),男,博士,主要从事区域能源规划、能源互联网等方面研究。

LEAP model database, carbon emission mass coefficient on unit mass of fuel is calculated according to calorific value of fuel in China. The results show that compared with the baseline scenario, in the community energy planning scenario primary energy consumption will be reduced by 3.5×10^6 PJ in 2030, and by 67×10^7 PJ cumulatively from 2010 to 2030, and total CO₂ emissions will be reduced by 7.17×10^5 t. Energy consumption and CO₂ emissions will be reduced by 79% and 45%, respectively. In conclusion, the application of LEAP model to regional building energy conservation and emission reduction is scientific and effective. The accuracy of future GDP, population and carbon emission data prediction of the modified model is improved.

Key words: community energy planning; LEAP model; energy consumption; carbon emission; scenario analysis

中国城镇化快速发展带动了建筑规模的持续增长,建筑领域尤其是区域规划阶段的建筑节能减排已成为全社会节能减排的重要组成部分^[1-2]。为了提高能源规划中环境影响评价的科学性和准确性,国内外一些研究机构已经开发了可计算的一般均衡模型(CGE)、亚太综合模型(AIM)、综合能源系统优化模型(MARKAL)和长期能源替代规划系统模型(LEAP)模型^[3]。CGE模型对我国经济增长的数量和质量有着重要影响的系统性变化难以适用。AIM模型专注于能源技术的选择。MARKAL模型主要研究市场分布规律,其驱动因素是市场需求。这些模型在国内外得到了广泛的应用,但大多数集中在国家及省级层面^[4-7]中一个或几个研究规模普遍较大的部门,如交通部门、工业部门、建筑部门和电力部门^[8-13]等。相比之下,区域建筑层面,尤其是新区的节能减排鲜有研究,而且预测未来人口、GDP和建筑规模方面广泛使用的是相对不准确的线性模型。笔者采用情景分析法预测辽东湾新区区域建筑节能减排潜力。预测方法应用于该新区区域能源规划中将对盘锦乃至严寒地区区域建筑节能减排起到技术支撑与指导作用。

1 辽东湾新区区域建筑节能减排潜力预测模型的建立

情景分析是基于推测来描述组织环境未

来可能的状态,并从一些相关的单个预测集形成一个全面的预测。情景分析的整个过程就是识别影响研究对象发展的外部因素,模拟各种跨情景分析,预测各种可能出现在外部因素中的前景。

1.1 模型的选择

笔者主要研究区域建筑的节能减排潜力,模拟不同能源和环境技术的实施所引起的能耗的变化和CO₂排放量的减少。因此,需要建立以部门为研究单位的能源计量模型,且具有情景分析和仿真功能,能够预测能源需求,进行环境影响评价。笔者选择了LEAP模型。LEAP模型是斯德哥尔摩环境研究所开发的计量经济学、能源和环境情景分析模型。LEAP模型集需求、转型、环境影响、资源等模块于一体。根据资源、转型和需求的顺序,采用LEAP模型对区域能源需求、供需协调、环境影响评价进行分析。根据当前规划中的能源需求和未来规划中对社会经济发展的预测,该模型可以根据不同的能源应用技术,设计出不同发展形势下的能源消费模式。

1.2 情景设计

辽东湾新区成立于2005年12月5日,是辽宁省重点开发区和国家发展战略区域之一,规划总面积306 km²。辽东湾新区未来的能源消耗和碳排放情景主要基于两个假设进行场景设置:一是未来电气化和天然气的使用将会增加,清洁和高质量能源(电力和

天然气)的比例也会增加,能源利用效率也将提高;二是加强对化石燃料使用过程中产生的各种污染物的防治,降低大气污染物和温室气体排放强度。

1.2.1 基准情景

基准情景是指采用传统的能源规划方法,不采取任何进一步的节能减排政策或措施。新建筑设计严格执行《公共建筑节能设计标准规范》(GB50189—2015)第二阶段节能 50% 的标准。采用传统的负荷指标法计算区域建筑负荷,即居住建筑和公共建筑采暖热负荷指标分别为 45 W/m² 和 55 W/m²。集中供热系统采用煤等传统能源,采用热效率较高的燃煤锅炉,热效率接近 85%。

1.2.2 区域能源规划情景

更新国家和地方绿色建筑标准和建筑节能标准,提高采暖设备能效标准,鼓励热泵安装,加大清洁能源的推广力度,设置超过辽宁省的 CO₂ 排放目标即 2020 年碳排放比 2015 年低 18%。将电力部综合资源规划方法应用于辽东湾新区区域能源规划。太阳能、地热能、天然气、电能等优质能源取代煤广泛应用于建筑中。在能源供应可靠性、节能减排效益、能源利用效率等方面,在需求预测阶段提出了典型建筑分类简化法预测动态负荷。首先对园区内的建筑按功能进行分类,然后选取不同类型的典型建筑,建立典型建筑模型。通过典型建筑动态负荷预测,可以得到各类型建筑物以及整个区域的逐时负荷分布。在此基础上,提出一种集燃气内燃机、热泵、吸收式热泵于一体的洁净式热电联产系统,燃气内燃机作为能源系统的原动机,其所产生的全部电力用于驱动地源热泵供暖,采用吸收式热泵吸收内燃机尾部余热,其总效率约为 200%^[14]。

1.3 情景驱动因素

1.3.1 社会经济模块及修正

在 LEAP 模型中经济模块对能源需求和 CO₂ 减排的预测中发挥着重要作用。使用

发展规划政策或相似的区域经验来预测未来 GDP 的走势,这种方法相对简单但不准确。笔者引入 ARIMA 模型对区域未来 GDP 进行预测。为满足 ARIMA 模型的要求,利用 EViews 软件对季节因子和平稳性数据进行分析,发现其受历史因素影响较大,不需要季节分析,可以通过改变差异进行预测。

根据国家统计局统计^[15-16]得到盘锦市 1990 年至 2018 年的 GDP。GDP 呈上升趋势,可以通过 ARIMA 模型和时间序列算法进行预测。经过了原始数据对比与 ADF 单位根检验,确定原始数据为非平稳序列。对数据序列进行对数处理,然后进行一阶差分得到平稳时间序列。经过 ADF 根测试以及 AIC 准则和 DW 测试,确定模型为 ARIMA (1,1,1)。该模型的最小二乘估计结果为

$$Y_t = 470.9179 + 0.964976 Y_{t-1} + 0.468145 a_{t-1} \tag{1}$$

式中: y_t 为时间点 t 的值, a_{t-1} 为扰动项。

根据盘锦统计局统计 2010 年单位 GDP 能耗高于全国平均水平。在综合分析辽东湾新区发展状况及国内外发展环境的基础上,建立 ARIMA (1,1,1) 模型,对盘锦 GDP 和经济增长率 (RGDP) 进行分析和仿真计算,得到辽滨地区的 GDP 和 RGDP (见图 1)。2019 至 2030 年辽东湾新区 RGDP 接近 7%,到 2030 年,全区 GDP 将达到 270 亿元,相当于 2009 年 GDP 的 4 倍,人均国内生产总值达到 434 670 元,符合盘锦市工业发展“十三五”规划的要求。模型中引入 GDP 作为模型的外生变量。

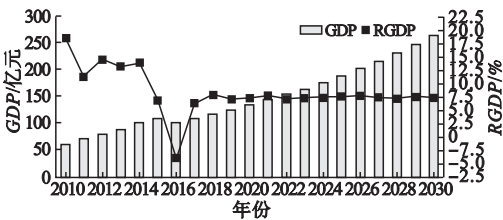


图 1 辽东湾新区 2010 至 2030 年经济增长情况
Fig. 1 Economic growth chart in new district of Liaodong gulf from 2010 to 2030

1.3.2 人口模块及修正

人口的增长必然会增加居民对生活能源的需求。人口预测系统中的数理统计方法有 Logistic 模型、灰色模型、莱斯利模型等。Logistic 模型在一定程度上反映了人口总量的增长,在短期预测方面更加准确。人口计算采用 Logistic 的人口增长迟缓模型。根据 Logistic 模型,人口增长受到自然资源、环境条件等环境因素的制约,人口总量不能超过最大容量。辽东湾新区的 Logistic 人口迟滞增长模型为

dx/dt = rx(1 - x/x_m), x(0) = x_0. (2)

x(t) = x_m / (1 + (x_m/x_0 - 1)e^-n) (3)

式中: $x(t)$ 为 t 年的人口; x_m 为最大人口量; x_0 为基准年的人口数量; r 为人口自然增长率。

人口规模是未来能源需求的主要驱动力。新引进人才增长率是城市自然人口增长率的 4~6 倍。新区的人才引进政策是人口大量增长的主要原因。参照该区 2010 至 2018 年的人口发展情况(见图 2),采用 Logistic 模型计算人口与人口增长率。2030 年人口将达到 62 116 人,2019 至 2030 年人口增长率接近 0.21%,符合盘锦市人口发展“十三五”规划的要求。其中,2014 年人口增长率快速增长,达到 81.94%,原因是新人才引进政策和园区建设加快。

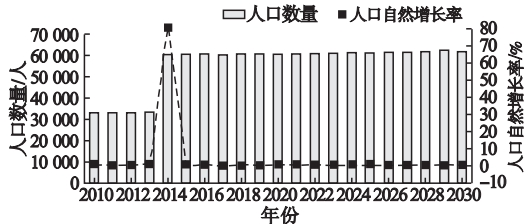


图2 辽东湾新区 2010 至 2030 年人口发展情况
Fig. 2 Population development chart in new district of Liaodong gulf from 2010 to 2030

1.3.3 建筑模块

LEAP-Liaobin 模型中建筑面积为

A_n = A_{pn} \times M_n. (4)

A_{pn} = A_{p0} \times \prod^n (1 + U_i). (5)

式中: A_n 为第 n 年的建筑面积, m^2 ; A_{pn} 为第 n 年的人均建筑面积, m^2 ; A_{p0} 为基准年人均建筑面积, m^2 ; U_i 为第 i 年人均建筑面积增速。

人均建筑面积是区域经济发展水平的标志。通过对园区 2010 至 2018 年建筑因素的分析,在情景中设定该区域人均建筑面积(见图 3),到 2030 年园区总建筑面积将达到 5 590 456 m^2 。建筑负荷是影响建筑能源供应策略和设备选型的重要指标。在基准场景中,采用传统的建筑负荷指标法计算区域建筑负荷。在区域能源规划场景中,提出了典型建筑分类简化法用于建筑动态负荷预测。该方法的负荷指标相当于《公共建筑节能设计标准规范》(GB50189—2015)第三阶段的节能标准。

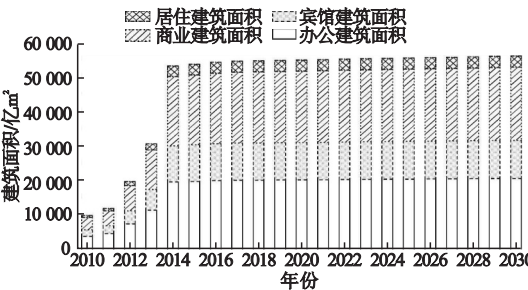


图3 辽东湾新区 2010 - 2030 年建筑规模发展情况
Fig. 3 Development chart floor area in new district of Liaodong gulf from 2010 to 2030

1.4 LEAP 能源需求与 CO₂ 排放模型修正

1.4.1 能源需求修正模型并计算

假设有 m 种能源和 n 个工业部门。各产业的能源需求是由经济活动水平和单位经济活动水平上的能源强度决定的。CO₂ 排放由能源需求和碳排放系数决定。

E_i^t = \sum_{j=1}^n A_j^t E_{ij}^t. (6)

E_j^t = \sum_{i=1}^n A_j^t E_{ij}^t. (7)

C = \sum_i \sum_j A_j^t E_{ij}^t f_{ij}. (8)

式中: E_i^t 为 t 时刻 i 种能源的总能耗; E_j^t 为 t 时刻 j 部门的综合能效; C 为 CO_2 排放; A_j^t 为 t 时刻 j 部门的活动强度,通常为该部门的产量; E_{ij}^t 为 t 时刻 j 部门的单位经济活动水平上的能源强度下的能源消耗强度; f_{ij} 为 j 部门 i 种能源的碳排放系数。

1.4.2 CO_2 排放修正模型并计算

辽东湾新区区域碳排放预测缺少适合中国环境的碳排放系数。笔者利用 IPCC 给出的基于能值的排放系数,根据我国燃料热值计算基于燃料单位质量的碳排放质量系数,为 LEAP 数据库提供更新。以原煤和天然气为研究对象。其中原煤的平均低位发热量为 20 908 kJ/kg,基于能值的 CO_2 排放系数为 94 600 kg/TJ,基于单位质量的 CO_2 排放系数为 1.978 kg/kg;天然气的平均低位发热量为 38 931 kJ/m³,基于能值的 CO_2 排放系数为 64 200 kg/TJ,基于单位质量的 CO_2 排放系数为 2.499 kg/m³ [15]。

2 结果与分析

2.1 能 耗

基准情景不同建筑能源需求如图 4 所示。到 2030 年在基准情景中区域能源需求将为 $1.1 \times 10^9 \text{ kW}\cdot\text{h}$,比 2010 年增加 $9.15 \times 10^8 \text{ kW}\cdot\text{h}$ 。2010 年至 2030 年的总能源需求为 $1.98 \times 10^{10} \text{ kW}\cdot\text{h}$ 。2010 年至 2015 年各类建筑的能源需求快速增长,2016 年至 2030 年增长趋势趋于放缓。商业建筑能源需求比例最大,累计 $7.6 \times 10^9 \text{ kW}\cdot\text{h}$ 。住宅建筑累计能源为 $9.5 \times 10^8 \text{ kW}\cdot\text{h}$,需求比例最小。

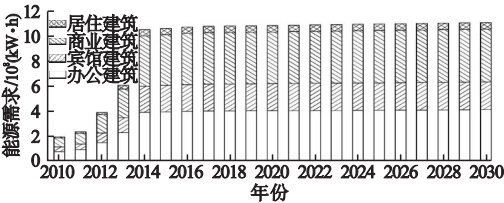


图4 基准情景不同建筑能源需求
Fig.4 Energy demand of different buildings in baseline scenario

图5为2010至2030年区域能源规划情景的能源需求情况。该情景的能源需求增长趋势与前一情景相似。从2010年到2015年,能源需求快速增长,然后增长趋势放缓。到2030年,区域能源需求将为 $4.6 \times 10^8 \text{ kW}\cdot\text{h}$,比2010年增加 $3.82 \times 10^8 \text{ kW}\cdot\text{h}$ 。2010至2030年能源需求总量为 $8.26 \times 10^9 \text{ kW}\cdot\text{h}$ 。商业建筑能源需求比例最大,累计 $3.57 \times 10^9 \text{ kW}\cdot\text{h}$ 。住宅建筑累计能源为 $3.93 \times 10^8 \text{ kW}\cdot\text{h}$,需求比例最小。

从2010年到2015年,该区建筑的能源需求快速增长,但在中期内增速放缓,到2015年达到平稳水平。区域建筑能源需求的主要驱动因素是能效提升,而非建筑面积的整体增长。建筑面积的增长受限于人口的数量,而经济因素在能源需求的增长中起着重要的作用,建筑面积的增速跟不上GDP的增速。

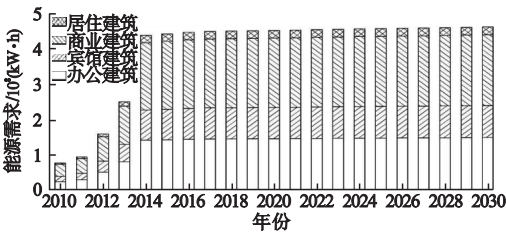


图5 区域能源规划情景不同建筑能源需求
Fig.5 Energy demand of different buildings in community energy planning scenario

图6为2010年至2030年两种情景的一次能源消费对比。2010年区域能源规划情景一次能源消费为141 PJ,基准情景为498 PJ。2030年区域能源规划情景一次能源消费为820 PJ,基准情景一次能源消费为4.4 PJ。区域能源规划情景与基准情景相比,2030年一次能源消费减少3.5 PJ,2010至2030年累计减少67 PJ。相比于基准情景,区域能源规划情景2010至2030年总能耗降低79%。

短期来看,建筑发展是能源消费增长的一个最重要的驱动因素。然而长期来看,能

源效率和建筑方面的积极政策、措施和技术改进将在降低能耗方面发挥更重要的作用。

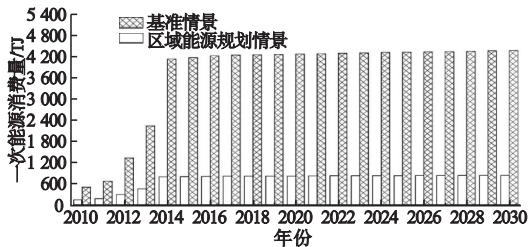


图6 两种情景一次能源消费对比

Fig. 6 Primary energy consumption in two scenarios

2.2 CO₂ 排放

在基准情景中,碳排放变化到2030年,辽东湾新区区域CO₂排放量将为 9.252×10^4 t,比2010年增加 3.602×10^4 t。2010至2030年CO₂排放总量为 1.59×10^6 t。通过实地测试和计算,获得了2010至2015年区域能源规划情景中CO₂排放量。

在区域能源规划情景中,碳排放变化到2030年,辽东湾新区区域CO₂排放量将为 5.17×10^4 t,比2010年增加 2.47×10^4 t。2010至2030年CO₂排放总量为 8.73×10^5 t。2030年区域能源规划情景与基准情景相比CO₂排放少 4.08×10^4 t,2010至2030年CO₂排放总量下降了 7.17×10^5 t,排放水平降低45%,超过辽宁省CO₂排放的目标。图7为2010年至2030年CO₂排放量变化。

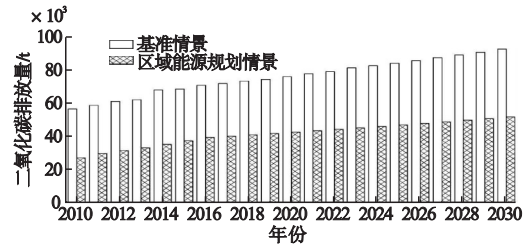


图7 两种情景碳排放量

Fig. 7 Carbon emission in two scenarios

从图7可以看出,从2010年到2015年,两种情景下的碳排放都在迅速增加,当时区域正在建设中,因此,这一增长的主要驱动力是区域建设。2014年基准情景和区域能源规划情景的CO₂排放量均大幅上升,这与该

年人口激增有关。但区域能源规划情景的CO₂排放量增长相对于基准线情景较慢,说明人口是短期内影响CO₂排放的关键因素,人口对区域能源规划情景的影响弱于基准情景。然而长期来看,CO₂排放增加的主要驱动力是能源结构,而不是GDP增长、人口规模变化、产业结构调整、能源技术进步和能效提高。同时,基准情景的CO₂排放量增长速度快于区域能源规划情景。

由于区域能源规划情景的负荷指标相当于《公共建筑节能设计标准规范》(GB50189—2015)第三阶段的节能标准,而在基准情景中实施了第二阶段节能50%的标准,因此更严格的能效标准有助于降低能耗同时减少CO₂的排放。从情景分析中可以看出,两种情景的CO₂排放量由于能源类型结构的变化而有所不同。然而天然气等优质能源与煤炭相比在价格上存在竞争劣势,天然气的采暖价格高于煤炭。因此,应该使用政策、补贴或其他奖励措施来刺激能源供应者使用天然气等清洁能源。更重要的是,清洁能源技术,如地源热泵,太阳能热水和太阳能供热等也应该被鼓励。在相同的建筑能耗下,清洁能源所占比例越高,碳排放越低。

3 结 论

(1)在LEAP-Liaobin模型的社会经济模块和人口模块中引入ARIMA(1,1,1)模型和Logistic模型进行修正,并根据我国燃料热值计算基于燃料单位质量的碳排放质量系数,为LEAP数据库提供更新,提高了模型预测精度。

(2)在基准情景中2010年至2030年的总能源需求为 1.98×10^{10} kW·h;在区域能源规划情景中为 8.26×10^9 kW·h。区域能源规划情景与基准情景相比,2030年一次能源消费减少3.5 PJ,2010至2030年累计减少67 PJ。区域能源规划情景相比于基准情景,2010至2030年总能耗降低79%。

(3) 在区域能源规划情景中,2030年 CO_2 排放量为 $5.17 \times 10^4 \text{ t}$;在基准情景中,辽东湾新区 CO_2 排放量为 $9.252 \times 10^4 \text{ t}$ 。区域能源规划情景与基准情景相比2010年至2030年 CO_2 排放总量下降 $7.17 \times 10^5 \text{ t}$,排放水平下降45%。

(4) 区域建筑能源需求的主要驱动因素是能效的提高;区域建筑碳排放量短期内驱动因素为建筑部门,长期内的驱动因素为政策部门,即能源效率和建筑方面的积极政策、措施和技术改进。

参考文献

- [1] ZHANG Y, YAN D, HU S, et al. Modelling of energy consumption and carbon emission from building construction sector in China, a process-based LCA approach [J]. Energy policy, 2019, 134: 110949. 1–110949. 9.
- [2] QUADRELLI R, PETERSON S. The energy-climate challenge: recent trends in CO_2 emissions from fuel combustion [J]. Energy policy, 2007, 35: 5938–5952.
- [3] TOSHIHIKO N. Energy-economic models and the environment [J]. Progress in energy and combustion science, 2004, 30(4): 417–475.
- [4] ZHOU N, FRIDLEY D, KHANNA N Z, et al. China's energy and emissions outlook to 2050: perspectives from bottom-up energy end-use model [J]. Energy policy, 2014, 53: 51–62.
- [5] HUANG Y, JEFFREY B Y, PENG C Y. The long-term forecast of Taiwan's energy supply and demand: LEAP model application [J]. Energy policy, 2011, 39(11): 6790–6803.
- [6] 曹倩. 陕西省节能减排潜力、地区效率差异及其收敛性研究[D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2020.
(CAO Qian. Research on potential of energy conservation and emission reduction, regional efficiency difference and its convergence in Shaanxi province [D]. Xi'an: Xi'an University of Architecture and Technology, 2020.)
- [7] 童思聪, 王晓璐. 长三角城市群节能减排效率及影响因素分析[J]. 上海节能, 2020(2): 109–115.
(TONG Sicong, WANG Xiaolu. Analysis on the efficiency of energy conservation and emission reduction and its influencing factors in the Yangtze river delta urban agglomeration [J]. Shanghai energy conservation, 2020(2): 109–115.)
- [8] DHAKAL S. Implications of transportation policies on energy and environment in Kathmandu Valley, Nepal [J]. Energy policy, 2003, 31(14): 1493–1507.
- [9] ATES SA. Energy efficiency and CO_2 mitigation potential of the Turkish iron and steel industry using the LEAP (long-range energy alternatives planning) system [J]. Energy, 2015, 90: 417–428.
- [10] MALLA S. Household energy consumption patterns and its environmental implications: assessment of energy access and poverty in Nepal [J]. Energy policy, 2013, 61: 990–1002.
- [11] ZHANG QY, TIAN WL, WEI YM, et al. External costs from electricity generation of China up to 2030 in energy and abatement scenarios [J]. Energy policy, 2007, 35: 4295–4304.
- [12] 刘家鹏, 孙世清. 河北省钢铁行业能源效率及节能减排潜力分析: 基于超效率 DEA-Tobit 模型研究[J]. 河北科技大学学报(社会科学版), 2019, 19(4): 22–27.
(LIU Jiapeng, SUN Shiqing. Analysis of energy efficiency and energy saving and emission reduction potential of Hebei iron and steel industry: research based on super efficiency DEA-Tobit model [J]. Journal of Hebei university of science and technology (social sciences), 2019, 19(4): 22–27.)
- [13] 冯玮. 垃圾焚烧发电的温室气体减排潜力研究[D]. 太原: 太原理工大学, 2019.
(FENG Wei. Research on greenhouse gas mitigation potential of municipal solid waste incineration for power [D]. Taiyuan: Taiyuan University of Technology, 2019.)
- [14] 冯国会, 田川, 刘建宇, 等. 辽滨新城商服核心区能源系统规划的研究[J]. 建筑节能, 2014, 42(11): 27–30.
(FENG Guohui, TIAN Chuan, LIU Jianyu. et al. Energy system planning of commercial and service core area of Liaobin coastal economic zone [J]. Building energy efficiency, 2014, 42(11): 27–30.)
- [15] 李德英, 王艺霖, 邓琴琴, 等. 近零能耗建筑围护结构节能适宜性评价体系研究[J]. 沈阳建筑大学学报(自然科学版), 2020, 36(1): 131–139.
(LI Deying, WANG Yilin, DENG Qinqin, et al. Energy efficiency technology suitability evaluation research on building envelope system of near zero energy [J]. Journal of Shenyang jianzhu university (natural science), 2020, 36(1): 131–139.)
- [16] 国家统计局. 中国能源统计年鉴 2017 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2017.
(National Bureau of Statistics. China energy statistical yearbook 2017 [M]. Beijing: China Statistics Press, 2017.)
(责任编辑: 徐玉梅 英文审校: 唐玉兰)