

京津冀地区城镇居民建筑能耗预测实证研究

赵丽坤 朱建奇

北方工业大学 土木工程学院, 北京 100144

[摘要]作为三大耗能行业之一,建筑节能减排是中国能源结构调整背景下确定的新的发展战略,通过研究分析可持续发展低碳清洁绿色环保道路对改善我国生态环境,促进我国资源利用效率提升等诸多方面也具有显著积极影响。本文基于2000-2020年中国能源统计年鉴相关数据,对京津冀地区城镇居民建筑能耗现状、影响因素进行了系统分析。基于京津冀地区关键影响因素,应用情景分析法,设置基准情景和高速情景,对三个地区城镇居民建筑能耗进行了科学预测。应用能源平衡表、能耗模型、岭回归模型对京津冀地区城镇居民建筑综合能耗和影响能耗的关键影响因素进行了分析,并通过情景预测对其2030年建筑能耗进行了预测。研究发现:(1)近20年,京津冀地区城镇居民建筑能耗呈现持续增长现象。2005年起,天津、河北省增长速度加快,河北省增长速度最快。(2)常住人口是影响京津冀地区城镇居民建筑能耗的关键因素;第三产业经济活动对天津市、河北省的城镇居民建筑能耗影响大于北京市。(3)在基准情景下,京津冀地区居民建筑能耗未来发展比较平稳,而在高速情景下,居民建筑能耗未来发展比较快速甚至翻倍,因此需要进一步促进我国建筑领域资源利用效率的提升,同时降低其污染物排放量,并且对我国民用建筑带来的能耗进行切实有效的控制,尽可能抑制其增速,构建适宜的能源应用。

[关键词]京津冀;城镇居民;建筑能耗;情景分析法;岭回归分析;预测

DOI: 10.33142/aem.v4i3.5603

中图分类号: X32

文献标识码: A

Empirical Study on Building Energy Consumption Prediction Of Urban Residents in Beijing Tianjin Hebei Regions

ZHAO Likun, ZHU Jianqi

School of Civil Engineering, North University of Technology, Beijing, 100144, China

Abstract: As one of the three major energy consuming industries, building energy conservation and emission reduction is a new development strategy determined under the background of China's energy structure adjustment. Through research and analysis, the sustainable development of low-carbon, clean and green road also has a significant positive impact on improving China's ecological environment and promoting the efficiency of China's resource utilization. Based on the relevant data of China's energy statistical yearbook from 2000 to 2020, this paper systematically analyzes the current situation and influencing factors of building energy consumption of urban residents in Beijing, Tianjin and Hebei. Based on the key influencing factors in Beijing, Tianjin and Hebei, the building energy consumption of urban residents in three regions is scientifically predicted by using the scenario analysis method and setting the benchmark scenario and high-speed scenario. Using energy balance table, energy consumption model and ridge regression model, this paper analyzes the comprehensive energy consumption of urban residents in Beijing Tianjin Hebei region and the key influencing factors affecting energy consumption, and forecasts the building energy consumption in 2030 through scenario prediction. The study found that: (1) In recent 20 years, the building energy consumption of urban residents in Beijing, Tianjin and Hebei has shown a sustained growth. Since 2005, the growth rate of Tianjin and Hebei Province has accelerated, and the growth rate of Hebei Province is the fastest. (2) The resident population is the key factor affecting the building energy consumption of urban residents in Beijing Tianjin Hebei region; The impact of economic activities of the tertiary industry on the building energy consumption of urban residents in Tianjin and Hebei Province is greater than that in Beijing. (3) Under the benchmark scenario, the future development of residential building energy consumption in Beijing, Tianjin and Hebei is relatively stable, while under the high-speed scenario, the future development of residential building energy consumption is relatively rapid or even doubled. Therefore, it is necessary to further promote the improvement of resource utilization efficiency in China's construction field, reduce its pollution emissions, and effectively control the energy consumption brought by China's civil buildings to curb its growth as much as possible, Build appropriate energy applications.

Keywords: Beijing Tianjin Hebei; urban residents; building energy consumption; scenario analysis; ridge regression analysis; forecast

引言

对能源消耗量情况进行分析,能够发现其消耗量逐年递增,到2020年止,其已经从2000年的14.7亿标准煤提高49.8亿标准煤。其中,城镇居民建筑能耗增长迅速^[1],北方

地区约占全国建筑能耗20%^[1]。当前我国正在积极推进节能减排政策,因此在这一情况下,通过何种方式尽可能促进居民建筑提高能源利用效率,降低能耗对相应国家号召,促进我国走绿色环保的可持续发展道路具有显著意义。

Streimikiene^[2]、Gesche^[3-4]、KoenSteeemers^[5]、ScottKelly^[6]等学者通过对立陶宛,荷兰,英国、德国和美国城镇居民建筑能耗调查研究发现,社会经济水平、人口数量、家庭收入、居民行为和家庭能源模式、采暖周期长短等是影响建筑能耗的关键因素。可以通过提高设备节能标准、立法、免税等来实现建筑节能减排。国内学者应用粗糙集理论^[8]、岭回归分析模型^[9]、调查分析法^[10]、STIRPAT模型^[11]等理论和方法,对全国或重庆市、天津市等地区城镇居民建筑能耗进行了研究,发现人口数量、建筑新旧程度、家庭收入、居民生活水平、居民文化水平和家庭能换模式等是影响建筑能耗的重要因素,其中居民生活水平是最关键因素。

此次研究地点选择在京津冀地区,对该区域内城镇居民建筑的综合能耗情况以及导致对其产生影响的關鍵影响因素进行系统分析,并对2030年建筑能耗进行预测。本研究可以为京津冀地区节能减排相关政策制定和能源结构转型提供参考依据。

1 预测数据来源

就建筑能耗而言,实际上包含了从开始进行建筑建设直至其最终拆除期间产生的全部能耗,此次在研究时,主要是对狭义层面的建筑能耗情况进行研究,也就是对其运行过程产生的能耗情况进行分析。此次研究中涉及到的城镇居民建筑总能耗包括城镇居民生活能耗与城镇公共建筑能耗两部分。主要指的是建筑运行能耗,具体包括取暖,炊事,照明,制冷,生活热水以及家用电器的能耗。对我国统计局公开数据库进行查阅后发现目前尚未关于城镇居民建筑能耗方面的统计信息,此次主要是根据研究地区在统计年鉴中涉及到的能源平衡表实物量数据,通过折算,获得相应的建筑能耗值。

(1) 公共建筑能耗数据:来源于“京津冀统计年鉴中能源平衡表实物量”中涉及到的关于住宿餐饮业、批发零售业以及其他分项中对各类煤炭资源、电力以及热力等的能源消耗量进行统计得到。

(2) 城镇居民生活能耗数据:从数据表中所涉及到的生活消费分项(城镇部分)对对各类煤炭资源、电力以及热力等的能源消耗量进行统计得到。

为了消除京津冀不同地区数据统计路径等外在因素对统计结果的影响,此次研究中使用的建筑能耗数据均参照的是中国能源统计年鉴对研究地区能源平衡表实物量作为参考标准,热力系数确定为2.5。

根据我国现行《综合能耗计算通则》GBT2589-2008中的内容,综合能耗实际上是指在统计报告期间,通过规定的计算方式和单位对用能单位使用各种能源使用的实际实物消耗量进行折算和计算的总和。本文为便于进行比较分析,以建筑综合能耗表示城镇居民建筑运行能耗的统计结果进行相应研究分析工作。

计算综合能耗的公式为(1),式中E代表的是综合能耗,n代表的是消耗的能源品种数,ei代表的是在生产服务活动中消耗的第i种能源的实物量,pi代表的是第i种能源对应的折算系数,根据能量当量值或者能源等价值进行折算处理。

$$E = \sum (ei \times pi) \quad (1)$$

不同能源折算系数如表1。

表1 各类能源折标煤系数

能源名称	折标煤系数
原煤	0.7143kgce/kg
洗精煤	0.9000kgce/kg
其它洗煤	0.5400kgce/kg
型煤	0.6072kgce/kg
焦炭	0.9714kgce/kg
焦炉煤气	0.5714kgce/m ³
汽油	1.4714kgce/kg
柴油	1.4571kgce/kg
液化石油气	1.7143kgce/kg
天然气	1.3300kgce/m ³
热力	0.03412kgce/kg

本文选取2000-2020年,共20年内相关数据作为研究样本。根据近几年在《中国电力年鉴》中在主要电力技术经济指标一项下规定的发电标准煤耗确定电力折标煤系数,详细参考数据如表2。

表2 2000-2020年电力折标煤系数

年份	电力折算系数	年份	电力折算系数	年份	电力折算系数
2000	3.63	2007	3.32	2014	3.00
2001	3.57	2008	3.22	2015	2.97
2002	3.56	2009	3.20	2016	2.94
2003	3.55	2010	3.12	2017	2.91
2004	3.49	2011	3.08	2018	2.85
2005	3.43	2012	3.05	2019	2.90
2006	3.42	2013	3.02	2020	2.87

基于能源平衡表中所示数据计算京津冀地区的城镇居民建筑产生的能耗情况,2000、2005、2010、2015、2020年京津冀地区建筑能耗数据如表3所示,其变化趋势如图1。

表3 京津冀地区城镇居民建筑能耗(万吨标准煤)

省份	2000	2005	2010	2015	2020	累计能耗
北京	1126	2053	2819	3543	4317	42095
天津	666	866	1296	1809	2639	20457
河北	1280	1521	2380	3495	4296	36162

2 预测方法

2.1 情景分析法

情景分析法实际上是因为无法对未来发展实际情况进行确定,因此根据既往发展经验和趋势以及当前实际发展情况,对未来进行假设、预估和模拟从而得到未来可能达成的情景,然后对研究目标受到不同情况的作用情况进行分析。该方法相较于传统预测方法而言,主要是针对研究目标受到可能的未来发展道路的影响情况进行分析,更具有现实意义。

2.2 岭回归分析

岭回归属于有偏估计方法范畴,其实际上是当前提出

的一种针对变量共线性问题进行解决的专用方法。详细分析流程如下：

先将方程进行岭回归拟合处理获得岭迹图。

基于岭迹图情况选择适宜的 K 值，然后根据该数值在模型中展开相应回归分析。

对模型拟合情况进行分析获得相应方程，在上述过程中，如何得到适宜的 K 值极为重要，通常情况下，在确保各因素处于稳定状态后，K 值的高低会直接影响分析的准确度，准确度和 K 值呈负相关^[24]。在对模型结果进行岭回归分析时，需要遵循下式标准评估其合理性：首先，各变量对应系数的 t 统计量均需通过显著性检验，其越显著代表合理性越高。其次，需保证 $adj-R^2$ 接近 1，与 1 越接近代表其合理性越高，拟合结果越好。最后，F 统计量对应的 p 值尽可能小于 1% 的置信度，此时代表方程具有较高重要性。

本文通过岭回归分析，对京津冀三个地区城镇居民建筑能耗影响因素进行剖析，并将其研究结果作为能耗预测中情景假设依据。

3 岭回归分析

3.1 分析指标

此次研究中在确定分析指标时，参考了当前国内外有关影响建筑能耗的因素以及预测结果等研究成果，考虑当前京津冀地区实际能耗消耗情况和 IPAT 模型所具有的特点，结合数据的可得性以及可对比性等诸多因素，在经济、人口以及技术三个维度进行数据获取，最终选择五个指标，分别是出地区生产总值、常住人口数、万元地区生产能耗值、城镇居民人均消费支出以及第三产业增加值，将其作为影响地区能耗的因素展开相应分析，详细情况如表 4。

表 4 京津冀地区城镇居民建筑能耗影响因素清单

一级指标	二级指标	指标来源
人口因素 A	常住人口总量 (万人)	Kelly, 2011 ^[12]
经济因素 P	人均 GDP	周伟等, 2013 ^[14]
	城镇居民人均消费水平 (元)	申立银, 朱梦成等 ^[15]
	第三产业增加值 (万元)	Yan, 2017 ^[16]
	第三产业比率	周尔佳, 蔡伟等 ^[17]
技术因素 T	城镇供暖面积 (万平方米)	刘秀丽, 2015 ^[18]
	万元地区生产能耗值 (吨标准煤/万元)	邓瑛鹏, 2017 ^[19]

根据上述因素构建以下 STIRPAT 模型：

$$\ln E = a + b \ln P + c \ln C + d \ln T + f \ln S + g \ln G \quad (2)$$

其中，E 表示的是京津冀地区各省城镇居民建筑的总能耗量，P 表示的是常住人口总量，C 表示的是城镇地区的居民人均消费支出，T 表示的是第三产业增加值，S 表示的是城镇集中供热面积，G 表示的是万元地区生产能耗，b 表示的是常住人口总量对应的弹性系数，c 表示的是城镇地区居民人均消费支出对应的弹性系数，d 表示的是第三产业增加值对应的弹性系数，f 表示的是城镇集中供热面积对应的弹性系数，g 表示的是万元地区生产能耗值对应的弹性系数，a 为常数项。

3.2 分析结果

选择 2003-2020 年京津冀地区统计年鉴中的人口数

量、人均消费支出、生产能耗等相关数据，应用 STIRPAT 模型^[13]和岭回归分析，北京市、天津市和河北省城镇居民建筑能耗预测结果分别如表 5、表 6、表 7 所示。

表 5 北京市岭回归分析结果

	非标准化系数 标准化系数			t	p	R ²	调整 R ²	F
	B	标准误	Beta					
常数	-0.047	0.884	-	-0.054	0.017	0.962	0.943	F(5, 10)=50.432
lnP	0.374	0.122	0.179	3.053	0.012			p=0.000
lnC	0.109	0.033	0.14	3.346	0.007			
lnT	0.11	0.011	0.216	10.099	0.001			
lnS	0.275	0.064	0.301	4.274	0.002			
lnG	-0.088	0.038	-0.127	-2.342	0.041			
				因变量:	lnE			

* p<0.05 ** p<0.01

将 lnP, lnC, lnT, lnS, lnG 当做模型中的自变量，以 lnE 为因变量对其展开岭回归分析，当 K 值等于 0.120 时，根据表中数据可得 R² 值等于 0.962，即 lnP, lnC, lnT, lnS, lnG 可以解释 lnE 的 96.2% 变化原因。

$$\ln E = -0.047 + 0.374 \times \ln P + 0.109 \times \ln C + 0.110 \times \ln T + 0.275 \times \ln S - 0.088 \times \ln G \quad (3)$$

分析发现，北京市城镇居民建筑能耗的影响因素依次为：人口因素、城镇集中供热面积、第三产业增加值、城镇人居消费以及万元地区能耗。

表 6 天津市岭回归分析结果

	非标准化系数 标准化系数			t	p	R ²	调整 R ²	F
	B	标准误	Beta					
常数	0.834	0.456	-	1.83	0.097	0.991	0.986	F(5, 10)=220.173
lnP	0.398	0.067	0.202	5.976	0.0002			p=0.000
lnC	0.151	0.01	0.213	15.054	0.0004			
lnT	0.08	0.005	0.192	17.031	0.0096			
lnS	0.129	0.011	0.194	11.579	0.00057			
lnG	-0.163	0.028	-0.18	-5.855	0.00083			
				因变量:	lnE			

* p<0.05 ** p<0.01

将 lnP, lnC, lnT, lnS, lnG 当做模型中的自变量，以 lnE 为因变量对其展开岭回归分析，当 K 值等于 0.090 时，根据表中数据可得模型 R² 值等于 0.991，即代表 lnP, lnC, lnT, lnS, lnG 可以解释 lnE 的 99.10% 变化原因。

$$\ln E = 0.834 + 0.398 \times \ln P + 0.151 \times \ln C + 0.080 \times \ln T + 0.129 \times \ln S - 0.163 \times \ln G \quad (4)$$

分析发现，对天津市城镇居民建筑能耗的影响因素依次为：人口因素、万元地区能耗，城镇居民人均消费支出，

城镇供热面积和第三产业增加值。

表 7 河北省岭回归分析结果

	非标准化系数 标准化系数			t	p	R ²	调整 R ²	F
	B	标准误	Beta					
常数	-16.512	3.018	-	-5.471	0.032	0.967	0.95	F(5, 10)=57.989
lnP	2.327	0.344	0.232	6.763	0.0003			p=0.000
lnC	0.132	0.037	0.16	3.551	0.0051			
lnT	0.062	0.027	0.103	2.246	0.0496			
lnS	0.181	0.027	0.269	6.707	0.0002			
lnG	-0.229	0.074	-0.202	-3.087	0.0126			
				因变量:	lnE			

* p<0.05 ** p<0.01

从上表可知,将 lnP, lnC, lnT, lnS, lnG 当做模型中的自变量,以 lnE 为因变量对其展开岭回归分析,当 K 值等于 0.110,根据表中数据可得模型 R² 值等于 0.967,即代表 lnP, lnC, lnT, lnS, lnG 可以解释 lnE 的 96.67% 变化原因。

$$\ln E = -16.512 + 2.327 \times \ln P + 0.132 \times \ln C + 0.062 \times \ln T + 0.181 \times \ln S - 0.229 \times \ln G \quad (5)$$

分析发现,对河北省城镇居民建筑能耗的影响最大的依次是人口因素和万元地区生产能耗,影响最小的是第三产业增加值。

4 情景预测

4.1 情景设定

情景设定从本质上来讲是对将来可能出现的情况做一个设定,居民建筑能耗受市场经济发展和政策调控的双重影响,因此这从这两个方面设置场景,上文所选定的五个关键因素中,每个地区的影响因素权重有所不同,因此综合考虑不同地区的不同情况,设定两个情景:基准情景和高速情景。

基于京津冀地区城镇居民建筑能耗岭回归分析结果,为北京、天津和河北省分别设置不同情景分析参数,如表 8。

表 8 京津冀情景分析参数

	人口数量	城镇人均消费支出	第三产业增加值	城镇供热面积	万元地区生产能耗
北京	39.1%	11.4%	11.5%	28.8%	9.2%
天津	43.2%	16.4%	8.7%	14%	17.7%
河北	79.4%	4.5%	2.1%	6.2%	7.8%

北京市情景设置:

(1) 人口数量:基于北京市的“十三五规划”和《北京市 2016 到 2030 规划》中的内容可知,到 2019 年,常住人口数量控制在不超过 2300 万人,对其 2020 年实际情况进行分析,其实际常住人口数量为 2189 万人,并且在 2020 年后一直保持稳定。在 2002 年到 2012 年期间,北京市尚实行计划生育政策,城镇人口年平均增长率为 3.82%,而在 2012 年之后,二胎政策开放,但社会逐步进入老龄化阶段,依据上述政策,北京市 2012-2020 年人口增速为 1.95%。因此,设定基准情景下,北京市 2020—2030

年人口年均增速为 1.95%;高速情景下,北京市 2020—2030 年人口年均增速为 3.82%。

(2) 城镇人均消费支出:2020 年北京市城镇人均消费支出为 41726 元,在 2002 年到 2012 年期间,北京市城镇人均居民消费支出年平均增长率为 10.18%,而在 2012 年到 2020 年期间北京市年平均增长率为 6.88%。因此设定基准情景下,北京市 2020-2030 期间城镇人均消费支出年平均增长率为 6.88%。而在高速发展情景下,北京市在 2020-2030 年期间城镇人均消费支出年平均增长率为 10.18%。

(3) 第三产业增加值:在 2002 年到 2012 年期间,北京市第三产业比重年增长率为 1.05%。而 2012-2020 年期间北京市第三产业比重年增长率为 0.89%。因此,设定在基准情景下,北京市 2020-2030 期间第三产业比重年增长率为 0.89%。而在高速发展情景下,北京市在 2020-2030 年间,其在第三产业比重的年增长率等于 1.05%。把当地 GDP 数值和所得到的第三产业比重相乘所得结果即为对未来第三产业增加值的预测值。

(4) 城镇供热面积:北京市在 2020 年的城镇集中供暖面积等于 89566 万平方米。在 2002 年到 2012 年期间,北京市城镇供热面积年平均增长率为 11.57%。而在 2012 年到 2020 年期间年平均增长率为 4.50%。因此,设定在基准情景下,北京市在 2020-2030 期间城镇供热面积平均增长率为 4.50%。而在高速发展情景下,北京市 2020-2030 年间该指标的年均增长率等于 11.57%。

(5) 万元地区生产能耗:北京市万元地区在 2020 年的生产能耗值等于 0.24 吨标准煤/万元。在 2002 年到 2012 年期间,北京市的万元地区生产能耗值年平均下降率为 9.58%。而在 2012 年到 2020 年期间北京市的万元地区生产能耗值年平均下降率为 7.76%。并且万元地区生产能耗是五个关键因素中影响最小的。因此,设定在基准情景下,北京市在 2020-2030 期间万元地区生产能耗值年平均下降率为 7.76%。但在经济迅速发展的背景下,预计在 2020-2030 年期间,北京市万元地区的生产能耗值年平均降低率等于 9.58%。

天津市情景设置:

(1) 人口数量:在基准情景下,在 2020-2030 年期间天津市在的人口年均增速等于 1.79%。该市在 2002-2012 年期间的人口增长率等于 3.46%。

(2) 城镇人均消费支出:设定在基准情景下,天津市 2020-2030 期间城镇人均消费支出平均增长率为 7.45%。而在高速发展情景下,天津市在 2020-2030 年期间其在该指标上的年均增长率等于 9.72%。

(3) 第三产业增加值:假定在基准情景下,天津市在 2020-2030 期间第三产业比重年增长率为 0.11%。而在高速发展情景下,2020-2030 年期间第三产业比重年增长率为 4.52%。

(4) 城镇供热面积:设定在基准情景下,天津市 2020-2030 期间其在该指标上的年均增长率等于 9.67%。但在经济迅速发展的背景下,预计其在 2020-2030 年平均

增长率为 12.13%。

(5) 万元地区生产能耗：设定在基准情景下天津市在 2020-2030 期间万元地区生产能耗值年平均下降率为 6.87%。而在高速发展情景下 2020-2030 年期间万元地区生产能耗值年平均下降率为 7.98%。

河北省情景设置参考以上方法，数据如下：

(1) 人口数量：在基准情景下，河北省在 2020-2030 年人口年均增速为 0.62%。在高速发展情景下，其在这一段时间内的人口年均增长率等于 0.79%。

(2) 城镇人均消费支出：设定在基准情景下，河北省在该指标上的年均增长率等于 8.31%。但在经济迅速发展的背景下，其在 2020-2030 年平均增长率则可达到 10.42%。

(3) 第三产业增加值：设定在基准情景下，在 2020-2030 期间第三产业比重年增长率为-0.14%但在经济迅速发展的背景下，其在 2020-2030 年平均增长率则可达到 4.32%。

(4) 城镇供热面积：设定在基准情景下，河北省在 2020-2030 期间城镇供热面积平均增长率为 10.83%。而在高速发展情景下，该指标在 2020-2030 年的平均增长率则可达到 12.84%。

(5) 万元地区生产能耗：假定基准背景下，河北省在 2020-2030 期间万元地区生产能耗值年平均下降率为 3.77%。而在高速发展情景下 2020-2030 年期间万元地区生产能耗值年平均下降率为 6.87%。

将上述京津冀三个地区的情景设置整理，如下表 9。

表 9 京津冀情景设置

	人口数量		城镇人均消费支出		第三产业增加值		城镇供热面积		万元地区生产能耗	
	高速	基准	高速	基准	高速	基准	高速	基准	高速	基准
北京	3.82%	1.95%	10.18%	6.88%	1.05%	0.89%	11.57%	4.50%	9.58%	7.76%
天津	3.46%	1.79%	9.72%	7.45%	0.11%	4.52%	12.13%	9.67%	7.98%	6.87%
河北	0.79%	0.62%	10.42%	8.31%	4.32%	0.14%	12.84%	10.83%	6.87%	3.77%

4.2 实证分析

基于前文所述情景分析结果，以及计算得到的年平均增长率或者是下降率数值对发展到 2030 年时可能的城镇人均消费支出，万元地区增加值，人口，集中供热面积以及第三产业增加值进行估计，所得结果如表 10 所示，因此受到文章字数限制，此次仅对几个代表年份数据进行展示。

表 10 京津冀三个省份情景数据

情景	年份	P	C	S	T	G
北京基准	2020	2189	41726	29879	74709	0.21
	2025	2300	68705	47699	93103	0.14
	2030	2300	95826	76146	116026	0.09
北京高速	2020	2189	41726	29879	74709	0.21
	2025	2930	87332	77288	99404	0.12
	2030	3534	141509	166820	123878	0.07

情景	年份	P	C	S	T	G
天津基准	2020	1800	28461	13357	48041	0.34
	2025	1967	55771	19073	76216	0.24
	2030	2150	81687	27234	120915	0.17
天津高速	2020	1800	28461	21225	48041	0.34
	2025	2035	63625	65575	91029	0.22
	2030	2224	101190	202599	161369	0.14
河北基准	2020	7591	26173	17387	101371	0.72
	2025	8146	39010	22140	169516	0.66
	2030	8400	58142	28192	283471	0.54
河北高速	2020	7591	26173	17387	101371	0.72
	2025	8009	45511	69638	195778	0.51
	2030	8330	74691	181487	358227	0.35

然后在京津冀三个省份建筑能耗模型中带入前文所得结果对其能耗值进行计算，详细结果如表 11：

表 11 京津冀城镇居民建筑能耗预测值

省份	情景	2025	2030
北京	基准情景	5258	6318
	高速情景	6433	8790
天津	基准情景	2909	3695
	高速情景	3451	4836
河北	基准情景	6216	8193
	高速情景	7134	10719

在前文所做的情景预测中，根据五个影响因素对京津冀三个省份居民城镇建筑能耗的影响，分别设定相应的年平均增长速率，通过比较分析所得到的预测结果，能够看出所得结果之间差异显著，这一结果证明因为各因素对不同省份的影响程度不同，而且受到外界政策变化以及社会发展情况不同的影响，京津冀地区的居民城镇建筑能耗水平存在显著差异。三个城市中。人口均为关键因素中影响最大的，其余几个关键因素比重均有所不同，因此在后续的政策调控以及规划中均有所差异化，需根据不同地区具体情况进行分析并提出相关建议。

5 结论

在此次研究中，先根据综合能源表对我国北方地区各省份的建筑能耗总量情况进行计算，然后以京津冀三个省份为研究对象，选择 STIRPAT 模型对其进行着重分析，明确其影响其能耗的关键因素，然后通过情景分析对京津冀地区未来的能耗做了预测。在模型中将经济因素选择为城镇集中供热面积、城镇居民人均消费支出以及第三产业增加值；人口因素选择为常住人口数目；技术因素选择为万元地区能耗值。然后通模型对京津冀地区建筑能耗产生影响的各个因素进行岭回归进行分析发现：在上述影响因素中，对城镇居民建筑能耗的影响最为显著的为人口因素，其中其对应系数在北京地区的数值为 0.374，代表在该地区人口每提高 1%能够让该地区居民建筑能耗提高 0.374%。城镇集中供热面积对于城镇居民建筑能耗的影响居于第二，

影响相对较小的为城镇人居消费、第三产业增加值以及万元地区能耗。因此,北京市首先要控制未来人口发展,尽可能按照基准情景所设定参数来调整人口政策,在控制的同时改善老龄化情况;城镇供热继续大力推广清洁能源,供热节能改造以传感器、数据采集设备、数据传输设备等组成供热物联网为支撑,为运行管理人员提供智能化决策支持,有效降低运行能耗。

对天津市能耗情况进行分析,对城镇居民建筑能耗的影响最为显著的为人口因素,其中其对应系数在天津地区的数值为0.398,代表在该地区人口每提高1%能够让该地区居民建筑能耗提高0.398%。其与几个因素对城镇居民建筑能耗的影响程度从高到低分别是万元地区能耗,城镇居民人均消费支出以及城镇供热面积。但是该地区城镇建筑能耗受到第三产业增加值的影响相对较小,其对应的系数等于0.08,即该指标提高1%时,将会使得其建筑能耗提高0.08%。因此天津市未来除了要控制常住人口数目以外,继续按照“双控”政策进行对于万元地区能耗的控制,有效降低建筑能耗。

对于河北省来说,对城镇居民建筑能耗的影响最为显著的依旧是人口因素,其中其对应系数在河北省的数值为2.327,代表在该地区人口每提高1%能够让该地区居民建筑能耗提高2.327%。万元地区能耗对于城镇居民建筑能耗的影响居于第二,对应系数等于-0.229,即代表当该指标数值降低1%时,该地区建筑能耗会提高0.229%。第三产业增加值对当地能耗的影响效果最小,其对应系数等于0.062,即代表当该指标数值提高1%时,其建筑能耗增加0.062%。但由于未来疫情常态化,河北省常住人口必然增多。因此河北省应加大其余几个因素的调节。

在我国当前发展背景和趋势下,未来京津冀地区的居民建筑能耗将会依旧保持不断提高的趋势,因此找到对建筑能耗具有显著影响的驱动因素,对实现节能减排十分重要。通过情景分析法预测结果显示,在两种情景下,京津冀地区依旧会保持居民建筑能源消耗量逐渐提高的发展趋势,实际上并不利于当地节能减排事业的推进。因此,要想实现节能减排目标,并且确保经济发展状况良好,需要进一步促进建筑领域在节能减排方面的发展,在未来需要加强对民用建筑运行能耗的增长速度的管控。

基金项目:北京市自然科学基金资助项目(9202006);北方工业大学毓秀人才项目(216051360020XN225/004)。

[参考文献]

[1]清华大学建筑节能研究中心.中国建筑节能年度发展研究报告[M].北京:中国建筑工业出版社,2019.
 [2]Dalia Štreimikien. Residential energy consumption trends, main drivers and policies in Lithuania[J]. Elsevier Ltd,2014(35):11-12.
 [3]Jones R V, Fuertes A, Lomas K J. The socio-economic, dwelling and appliance related factors affecting electricity consumption in domestic buildings[J]. Renewable & Sustainable Energy Reviews, 2015, 43(43):901-917.

[4]Huebner G M, Hamilton I, Chalabi Z, et al. Explaining domestic energy consumption -The comparative contribution of building factors, socio-demographics, behaviours and attitudes[J]. Applied Energy, 2015(159):589-600.
 [5]Steevers K, Young Yun G. Household energy consumption: a study of the role of occupants[J]. Build Res Inform, 2009, 37(5):625-37.
 [6]Kelly S. Do homes that are more energy efficient consume less energy[J]. a structural equation model of the English residential sector. Energy, 2011, 36(9):5610-20.
 [7]Fan, J. -L.; Yu, H.; Wei, Y. -M. Residential energy-related carbon emissions in urban and rural China during 1996-2012: From the perspective of five end-use activities [J]. Energy and Buildings, 2015(96):201-209.
 [8]景真燕.城市住宅碳排放影响因素分析及改进对策研究[D].重庆:重庆交通大学,2016.
 [9]蔡伟光.中国建筑能耗影响因素分析模型与实证研究[D].重庆:重庆大学,2011.
 [10]卢志强.天津市住宅能耗影响因素的分析研究[D].天津:天津大学,2012.
 [11]胡浩.基于STIRPAT模型的民用建筑能耗宏观影响因素研究[D].安徽:安徽建筑大学,2015.
 [12]Kelly S. Do homes that are more energy efficient consume less energy[J]. a structural equation model of the English residential sector. Energy, 2011, 36(9):5610-20.
 [13]黄振华.基于STIRPAT模型的重庆市建筑碳排放影响因素研究[D].重庆:重庆大学,2018.
 [14]周伟,米红,余潇枫,等.人口结构变化影响下的城镇建筑能耗研究[J].中国环境科学,2013,33(10):1904-1910.
 [15]申立银,朱梦成,吴雅,等.中国居住建筑碳排放效率测度[J].城市问题,2019(10):53-62.
 [16]Ma M, Yan R, Cai W. A STIRPAT model-based methodology for calculating energy savings in China's existing civil buildings from 2001 to 2015[J]. Nat Hazards, 2017(87):1765-1781.
 [17]周尔佳,蔡伟,邵鼎煜,等.宁波市既有居住建筑能耗调查与碳排放量测算[J].节能,2019,38(11):21-24.
 [18]刘秀丽,杨翠红,汪寿阳.实施民用建筑节能标准的经济和环境影响测算研究[J].建筑节能,2011,39(7):70-77.
 [19]邓瑛鹏.重庆市城镇建筑能耗测算研究[J].中国高科技,2017,1(5):26-28.
 作者简介:赵丽坤,女,北方工业大学,工程管理;朱建奇(1997.4-),北方工业大学,工程管理。