碳达峰背景下河北省建筑碳排放影响因素研究

吴玉婷[1] 赵白雪[1] 钟 凯[2] 丁万星[1*通讯作者]

1.河北建筑工程学院 075000；2.大元建业集团股份有限公司张家口分公司 075000

摘 要：由于当前的形势和潜在的环境问题越来越严重，CO_2的排放越来越受到学术界和业内各方的重视，而建筑业作为一个高速发展的产业，其碳排放量是不容忽视的。河北省作为建筑大省，面临着巨大的减排压力。为了实现2030年我国碳排放达峰的目标，本文首先对现有的大量相关文献进行了收集和整理，从人口、经济、技术这三个维度入手选取对应的影响因素，在人口层面选择了河北省的常住人口数量和城镇化水平，经济层面选择了河北省人均地区生产总值和第三产业的增加值，技术层面选择了河北省单位建筑面积建筑碳排放量。然后，基于STIRPAT模型，利用SPSS软件对影响河北省建筑行业碳排放量的因素进行分析，寻找出河北省建筑碳排放的关键控制点，探寻河北省建筑减排合理路径和节能减排对策，为河北省建筑碳节能排放政策的制定提供参考。

关键词：建筑碳排放；STIRPAT模型；影响因素

1.引言

为了实现我国提出的“双碳”目标，中国所有的地区和行业内都必须有序开展节能减排工作，只有依靠大家共同的力量，才能尽快实现“双碳”目标。在中国的改革进程中，各个领域都取得了较大的发展，尤其是建筑业的快速发展，极大地改善了许多人的生活。任何事物都有两面性，建筑业的快速发展促进了中国经济的发展，但同时也带来了一系列环境污染问题。河北省作为中国最大的建筑省份之一，面临着巨大的减排压力。如何在保持河北省经济持续快速发展的基础上减少二氧化碳排放量是一个亟待解决的问题。

河北省全省生产总值由2015年的26398.4亿元攀升至2019年的35104.5亿元。2021年前三季度全省建筑业生产总值4418.9亿元，比上年同期增长10.8%，2021年全省建筑业生产总值6484.6亿元，比上年同期增长9.0%[1]。随着河北省建筑业的快速发展，河北省建筑行业所带来的碳排放问题也日益突出。根据《中国建筑能耗研究报告》(2018)，河北省碳排放总量9077万吨，全国排名第三[2]。可见，河北省目前正面临着经济快速发展与环境恶化之间的矛盾，从可持续发展的角度来讲，对河北省建筑行业碳排放问题进行研究有着十分重要的意义。

2.建筑碳排放的定义

建筑碳排放实际是指在建筑耗能过程中产生的温室气体。《京都议定书》中规定的温室气体主要有甲烷（CH4）、氮氧化物等五种[3]。然而，这五种温室气体在温室效应中所起的作用并不完全相同。在温室效应中，二氧化碳的作用占76%，甲烷占14.3%，氧化亚氮占7.9%，氟和其它气体占1.8%[4]。由此可见，二氧化碳对于温室效应的作用远远超过其余四种气体，因此，本研究主要计算二氧化碳的排放量，而不是其他四种。

按照使用性质的不同，通常可以将建筑物分为生产性建筑和非生产性建筑，非生产性建筑即民用建筑，包括非生产性的居住建筑和公共建筑两大类。本研究中所提到的建筑特指河北省民用建筑。在建筑行业中，绝大部分能源消耗和温室气体的排放都集中发生在建筑的运行阶段，因此本研究只对河北省民用建筑在运行阶段产生的二氧化碳排放量进行核算。

3.河北省建筑碳排放影响因素选取及相关数据分析

3.1 河北省建筑碳排放影响因素选取

在现有的文献中，影响建筑碳排放的较为宏观的因素大致包括人口因素、经济发展状况、城镇化程度和技术因素。微观层面和宏观层面是相对的，从更为细微角度分析了影响建筑碳排放的因素。本文从宏观层面出发，基于人口、经济和技术三个维度，整理了现有文献中影响建筑碳排放的因素，如表1所示。

表1 建筑碳排放宏观影响因素汇总清单

维度	宏观影响因素	文献来源
人口	人口数量	杨艳芳等（2016）[5]，张国兴等（2020）[6]
	城市人口数量	秦波等（2013）[7]
	建筑业从业人数	张小平等（2016）[8]，丁娟等（2014）[9]
	城镇化率	杨艳芳等（2016）[5]，张腾飞等（2016）[10]，张小平等（2016）[8]
经济	人均GDP	张国兴等（2020）[6]
	第三产业增加值	马晓明（2016）8
	居民人均收入	马晓明（2016）8
	建筑业生产总值	张小平等（2016）[8]，丁娟等（2014）[9]
	建筑产业规模	祁神军等（2013）[11]
技术	建筑能源消费强度	龙惟定等（2021）[12]祁神军等（2013）[11]
	碳排放强度	张小平等（2016）[8]
	建筑业技术装配率	张小平等（2016）[8]
	能源强度	邓吉祥等（2014）[13]
	单位建筑面积碳排放量	郭而郛等（2017）[14]

根据上述分析，本研究决定从人口维度选取河北省的常住人口和城镇化水平，经济维度选取人均GDP与第三产业增加值，而技术维度则选取单位建筑面积碳排放量。

3.2 河北省建筑碳排放影响因素的数据收集与整理

（1）人口维度、经济维度建筑碳排放影响因素相关数据的收集与整理

从建筑碳排放的产生来看，某地的建筑碳排放量主要是由实际居住在本地的居民产生的，因此本文选取河北省居民的常住人口数作为河北省建筑碳排放人口维度的影响因素。城镇化率也分为常住人口城镇化率和户籍人口城镇化率，河北省常住人口城镇化率同河北省建筑碳排放量的关系较为密切，本文选取河北省常住人口城镇化率作为影响因素。采用STIRPAT模型对影响因素进行分析时，各个变量之间是非线性关系，因此在选取经济维度的影响因素时，要排除人口维度的因素对经济的影响，选取人均经济指标能够排除这种影响，因此本研究选择河北省人均地区生产总值为经济维度的影响因素之一。在河北省的第三产业增加值中本文选取人均第三产业增加值作为影响因素，由于目前还不能收集到河北省人均第三产业的增加值，所以必须结合河北省的常住人口数来测算，河北省人均第三产业增加值等于河北省第三产业增加值除以河北省常住人口数。

表 2　河北省 2010–2019 年人口维度、经济维度建筑碳排放影响因素相关数据

年份	2010	2011	2012	2013	2014
常住人口（万人）	7193.60	7240.51	7287.51	7332.61	7383.75
城镇化率（%）	44.5	45.6	46.8	48.12	49.33
人均 GDP（元）	25308	29631	31770	33187	34260
第三产业增加值（亿元）	7060.0	8406.4	9243.8	9939.3	10567.3
人均第三产业增加值（万元）	0.98	1.16	1.27	1.36	1.43
年份	2015	2016	2017	2018	2019
常住人口（万人）	7424.92	7470.05	7519.52	7556.30	7591.97
城镇化率（%）	51.33	53.32	55.01	56.43	57.62
人均 GDP（元）	35653	38233	40883	43108	46348
第三产业增加值（亿元）	11778.4	13059.3	14732.8	16252.0	17988.8
人均第三产业增加值（万元）	1.59	1.75	1.96	2.15	2.37
数据来源于：2020 年《河北统计年鉴》					

（2）技术维度建筑碳排放影响因素相关数据的收集与处理

河北省建筑碳排放量包括公共建筑碳排放量和居民建筑碳排放量两部分。建筑在运行阶段产生的碳排放可以用公式（1）来计算：

$$E_i = \sum_{j=1}^{n} Q_{ij}\,\alpha_j\,\beta_j \qquad (1)$$

式中，E_i 代表第 i 年的河北省建筑碳排放量；j 代表建筑在运行阶段消耗的第 j 种能源，Q_{ij} 代表第 i 年建筑在运行阶段消耗的第 j 种能源的数量；n 代表建筑在运行阶段消耗了 n 种能源；α_j 为第 j 种能源的平均低位发热值；β_j 为第 j 种能源的缺省二氧化碳排放因子。《中国能源统计年鉴》中对批发业、零售业、餐饮业及其他行业的能源消费进行了统计，在该部分能源消耗量的基础上加上交通运输、仓储和邮政业消耗的电力，就得到公共建筑的能源消耗数量（李兆坚，2006）[15]，汇总上述两部分和居住建筑运行阶段的能源消耗即可得到河北省建筑的能源消耗量。本文以消耗的电量乘以《省级温室气体清单编制指南》中规定的河北省二氧化碳排放因子 1.246Kg/Kw.h，来计算由于电力消耗的碳排放量。相关的数据收集于整理如下表 3、表 4、表 5 所示。

表 3　河北省 2010–2019 年建筑运行阶段消耗的能源数量

年份	2010	2011	2012	2013	2014
原煤（10^4t）	1458.96	1348.32	1367.46	2012.88	1916.88
焦炭（10^4t）	1.14	1.14	1.15	0	0
汽油（10^4t）	193.25	215.1	223.22	253.19	224.3
煤油（10^4t）	5.1	6.29	5.95	15.12	15.52
柴油（10^4t）	472.85	526.97	532.19	577.78	571.43
液化石油气（10^4t）	77.87	85.26	82.12	54.57	56.74
天然气（10^8m^3）	7.58	9.15	19.02	19.92	24.8
电力（10^8Kwh）	469.84	532.09	585.43	651.19	693.7424
年份	2015	2016	2017	2018	2019
原煤（10^4t）	1844.31	1918.9	1703.14	1714.32	1203.99
焦炭（10^4t）	0	0	0	0	0
汽油（10^4t）	370.27	383.07	377.28	356.16	383.61
煤油（10^4t）	6.46	27.6	27.33	27.33	31.84
柴油（10^4t）	550.38	632.2	498.02	342.48	379.74
液化石油气（10^4t）	87.04	82.67	33.16	37.25	5.14
天然气（10^8m^3）	30.3	37.13	62.67	50.88	82.42
电力（10^8Kwh）	744.66	812.23	906.03	1037.8	1119.13
数据来源于 2020 年《河北统计年鉴》					

表 4　各种能源的平均低位发热值（单位：KJ/Kg）

能源	原煤	焦炭	汽油	煤油	柴油	液化石油气	天然气（KJ/m3）
平均低位发热量	20934	28470	43124	43124	42705	50242	38979
数据来源于《综合能耗计算通则（GB/T2589–2020）》							

表 5　各能源的缺省二氧化碳排放因子（单位：10–5Kg/KJ）

能源	原煤	焦炭	汽油	煤油	柴油	液化石油气	天然气	电力（Kg/Kw.h）
缺省二氧化碳排放因子	7.33	10.7	7.41	7.15	7.41	6.31	5.61	1.246
数据来源于《IPCC 国家温室气体排放清单指南》（2019）								

河北省单位建筑面积建筑碳排放量可以用公式（2）来计算：

$$K_i = \frac{E_i}{V_i} \qquad (2)$$

公式中，K_i 代表河北省第 i 年的单位建筑面积建筑碳排放量；E_i 代表河北省第 i 年的建筑碳排放，即表 13 所示的河北省 2010–2019 年建筑碳排放量；V_i 为河北省第 i 年的建筑面积。根据国家统计局的相关解释，区域房屋建筑面积等于竣工面积与施工面积之和，由于本研究只探究河北省民用建筑在运行阶段的碳排放量，因此本文中所提到的建筑面积单指竣工面积。

表 6　河北省 2010–2019 年建筑运行阶段的单位建筑面积碳排放量（E_i）（单位：万吨）

年份	2010	2011	2012	2013	2014
建筑运行阶段碳排放量（万吨）	4784.43	4917.17	5193.87	6381.4	6236.51
建筑面积（万平方米）	3614.66	5180.51	4894.56	4437.02	4037.56

单位建筑面积建筑碳排放量（Kg/m2）	1323.62	949.17	1061.15	1438.22	1544.62
年份	2015	2016	2017	2018	2019
建筑运行阶段碳排放量（万吨）	6713.39	7328.35	6954.88	6167.52	6191.87
建筑面积（万平方米）	4039.31	4287.78	3416.0	2390.41	8945.8
单位建筑面积建筑碳排放量（Kg/m2）	1662.01	1709.12	2035.97	2580.11	692.15

4.基于 STIRPAT 模型的河北省建筑碳排放影响因素分析

4.1 基于 STIRPAT 模型的河北省建筑碳排放影响因素分析模型建立

基于本文选用 STIRPAT 模型对影响因素进行分析，其表达式如下所示：

$I=aP^bA^cT^du$ （3）

式（3）中，I 为环境影响；P 为人口因素；A 为富裕程度；T 为技术因素；a 为模型的系数；b、c、d 为自变量指数；u 为残差。

为了方便计算，将公式（3）两边取对数，同时考虑到数据的代表性，本研究最终建立的河北省建筑碳排放影响因素 STIRPAT 扩展模型如公式（4）所示：

$\ln E = a + b\ln P + c\ln U + d\ln G + e\ln T + f\ln B + m$ （4）

式（4）中，E 代表河北省建筑碳排放量，P 代表河北省常住人口数量，U 代表河北省城镇化率，G 代表河北省人均 GDP，T 代表河北省人均第三产业增加值，B 代表河北省单位建筑面积建筑碳排放量；a 为常数系数项；m 为残差；b、c、d、e、f 分别为各因素的弹性系数，其数值越高，代表对应的影响因素对河北省建筑碳排放的影响程度越大。

4.2 基于 STIRPAT 模型的河北省建筑碳排放影响因素数据分析

从理论上来讲，本研究选取的影响河北省建筑碳排放的五个因素之间应该存在很强的相关性。为了验证影响因素之间是否存在相关性，本研究利用 SPSS 软件对影响因素进行相关性分析，结果如表 6 所示。

表 6　河北省建筑碳排放影响因素相关性分析

相关性						
		常住人口	城镇化率	人均 GDP	人均第三产业增加值	单位建筑面积建筑碳排放量
常住人口	皮尔逊相关性	1				
城镇化率	皮尔逊相关性	.995**	1			
人均 GDP	皮尔逊相关性	.987**	.984**	1		
人均第三产业增加值	皮尔逊相关性	.983**	.990**	.993**	1	
单位建筑面积建筑碳排放量	皮尔逊相关性	.407	.404	.306	.314	1
注：**. 在 0.01 级别（双尾），相关性显著。						

表 6 的结果显示，各个影响因素之间基本相关性显著，但单位建筑面积建筑碳排放与其余四个影响因素之间的相关性很弱，主要原因是紧凑型商品房的发展使照明、家电、空调等的使用减少，从而能够降低建筑碳排放量。线性回归分析计算结果如表 7 所示：

表 7　河北省建筑碳排放线性回归分析结果及多重共线性检验

系数 a								
模型		未标准化系数		标准化系数	t	显著性	共线性统计	
		B	标准错误	Beta			容差	VIF
	（常量）	-22890.907	84465.093		-.271	.800		
	常住人口数	-2.376	14.960	-.375	-.159	.881	.003	386.705
	城镇化率	1116.182	530.368	6.027	2.105	.103	.002	567.831
	人均 GDP	.415	.262	3.090	1.582	.189	.004	264.261
	人均第三产业增加值	-15285.726	4582.935	-7.983	-3.335	.029	.003	396.666
	单位建筑面积建筑碳排放量	-.355	.280	-.226	-1.266	.274	.453	2.205
a. 因变量：建筑碳排放量								

在多元回归分析中，如果自变量的方差膨胀系数（VIF）大于 10，则说明自变量之间存在多重共线性问题。从表 4-2 线性回归分析结果及多重共线性检验来看，有四个自变量的方差膨胀系数（VIF）都大于 10，由此说明，每个自变量之间都存在着很强的多重共线性关系，不能使用常见的最小二乘法 OLS 回归分析，需要采用岭回归对数据进行分析。

通过数据分析可知，当标准化系数和为 0.059，k=0.26 时，五个变量的岭回归系数都趋于稳定并且都大于零，因此，选择 k=0.26 作为岭值。运用 SPSS 编写一段语法，用岭回归拟合出回归方程。

首先在电脑安装 SPSS 的工作路径中找到“Ridge regression.sps”，然后在“out similar to REGRESSION output.”下合适的位置插入一句语法代码“compute ppp=2*(1-tcdf(abs(ratio),n-nv-1)).”后保存。新建一段语法，输入如下代码：

```
INCLUDE 'E:\spss\Samples\Simplified Chinese\Ridge regression.sps'.
RIDGEREG ENTER = P U G T B          *ENTER 后面是自变量.
/dep = E                            *dep 后面是因变量.
/start = 0                          *start 是 k 的起始值，默认 0.
/inc = 0.01                         *inc 是搜索步长，默认 0.05.
/stop = 1                           *stop 是 k 的终止值，默认 1.
/k = 0.26.                          *参数 k 默认 999，修改为 0.26.
```

运行上述代码即可得到岭回归结果，如表 8 所示：

表 8　河北省建筑碳排放影响因素岭回归分析结果

	非标准化系数 B	SE（B）	标准化系数 Beta.std	t	sig
P	.20166150	.01514806	.24656212	13.31269207	.00091605
U	28.93561794	1.57816683	.23594932	18.33495514	.00035400
G	.04070074	.00157659	.24002016	25.81564945	.00012749
T	-23.58697211	19.09772116	-.03594739	-1.23506736	.30471441
B	.88790414	.09648319	.22483513	9.20268259	.00271374
常数 C	27.57516158	85.53686212	.00000000	.32237752	.76832649
Mult R	R-Square	Adj R-Square	SE	F-value	Sig F
.9978950	.9957945	.9887852	213.1410483	142.0689151	.0009225

表 8 中，岭回归模型的决定系数 R^2=0.9957945>0.4，模型具有较高的拟合度。方差检验量 F=142.0689151，p=0.0009225<0.05，结

果具有显著性差异。

所以可以得出，河北省建筑碳排放影响因素分析模型如式（4–3）所示。

$$\ln E = 27.58 + 0.20\ln P + 28.94\ln U + 0.04\ln G - 23.59\ln T + 0.89\ln B \quad (5)$$

4.3 河北省建筑减排关键控制点的识别

由上述结果可以得出各影响因素的影响程度依次为：城镇化率（28.94），人均第三产业增加值（–23.59），单位建筑面积建筑碳排放量（0.89），常住人口数（0.20），人均 GDP（0.04）。

河北省城镇化率对建筑碳排放的影响最为显著，其系数达到了28.94，也就是说当河北省的城镇化率增加 1%时，其建筑碳排放量相应会增加百分之 28.94%。

此外，河北省单位建筑面积建筑碳排放量对于河北省建筑碳排放的影响程度为 0.89，即河北省的单位建筑面积建筑碳排放量增加1%时，其建筑碳排放总量增加 0.89%。总的来说单位建筑面积建筑碳排放量对于河北省的建筑碳排放总量影响程度较小，但是同样不容忽视。该指标能够较好地反映河北省建筑节能减排的技术水平，并且内在地包含了减排技术和减排政策。

河北省的常住人口数（0.20）对建筑碳排放的影响主要表现在：居住人数的增加会使建筑内的生产和生活活动增多，从而使总能耗上升，相应的建筑碳排放量也会增加。

人均 GDP（0.04）和人均第三产业增加值（–23.59）是经济维度的两个指标。由数据可以看出，人均第三产业增加值与建筑碳排放量呈负相关，说明河北省大力发展第三产业可以有效地降低河北省建筑碳排放量。人均 GDP 值的大小是由全社会的各个产业共同贡献的，能够较为综合地反映区域的生活水平和发展程度。想要通过经济维度来控制建筑碳排放，很明显不能采用降低人均 GDP 的方法，而应该选择一种更有利于经济可持续发展的解决办法。

因此，目前应该从人口、城镇化以及经济发展三个维度进行分析，制定对应的建筑节能减排对策。

5 河北省建筑减排合理路径和节能减排对策

5.1 基于人口发展视角河北省建筑节能减排对策建议

提高人口素质，增强低碳意识。河北省常住居民人数呈逐年上升趋势，目前河北省既要保持对人口规模的控制，又要坚持“绿色可持续发展”的思想，努力开展对人口素质和人口结构的优化，实现人口与低碳建筑的和谐发展。河北政府要加大对教育的投资力度，加大对教育的投资力度，增强人民的文化素质，增强低碳环保意识，从生活的小处做起，坚持低碳绿色生活。大量的研究显示，建筑物在使用过程中所产生的二氧化碳是建筑碳排放最主要的来源，这并不只是由于建筑物在使用期间必要的二氧化碳排放量更大，而且与使用者的日常生活习惯有很大的关系。比如在公共场所，因为公用空调所消耗的电费不是由自己负担，所以用户常常不注重温度的调节，冬季把空调的温度调得太高，夏季的时候，把室内的温度调得很低，有些空调用户习惯边开空调边开窗，这些都将造成大量的建筑碳排放。因此，建筑节能与减排是每个用户共同的责任。河北省可以通过推广低碳建筑来提高人们的低碳生活观念，促进人们低碳生活。比如，通过报纸、电视、网络等媒体，将低碳生活的宣传片向广大市民播放，让每个人都能了解到自己的行为对降低碳排放的重要性，从而增强人们的环保意识，树立低碳生活理念。

5.2 基于城镇化发展视角河北省建筑节能减排对策建议

城镇化率对于河北省居民的生活水平、加快河北省的经济结构转变具有重要的战略意义。但是不能为了降低建筑碳排放而盲目缩减城镇化率或降低城镇化水平。在河北省推动城镇化的进程中，既要注重数量，同时也要兼顾发展的质量，在城市化过程中加快推进产业节能建筑的转变，以减少建筑的二氧化碳排放量。因此，一方面我们要提高科技创新能力，河北省在推进城镇化发展的过程中，应当持续加大对基础性研究和科技创新的研发投入力度，并佐以一系列鼓励政策，支持高新技术产业发展、原始创新成果、新能源、生物技术和材料技术等尖端领域的建筑业创新，推动河北省建筑业由高能耗高碳排放向低能耗低碳排放的方向发展，降低建筑碳排放量；另一方面也要推进工业建筑转型，河北省在推进城市化的过程中，要积极发展节能类建筑，逐步淘汰高能耗的工业建筑，要充分发挥企业的积极性，鼓励和鼓励企业进行技术革新，推动工业建筑的转型升级。

5.3 基于经济发展视角河北省建筑节能减排对策建议

由于第三产业对于煤炭等化石能源的消耗量较低，被公认为低碳环保型产业，也是节能效果最好的产业。在既不能降低人均 GDP，又要达到减少建筑碳排放，保护环境的目的的情况下，改善产业结构，大力发展第三产业是比较理想的一种做法。首先，我们要做到以区域带动整体，建立特色发展模式。河北省各大城市在能源结构、产业结构、消费结构、技术投资等方面都有很大的不同，要发挥各自的优势，加强政府与企业的合作，建立具有地域特色的发展框架和多地区协同发展的格局。首先从消费结构、技术、能源、环境等方面对各大城市进行综合评价，挖掘技术、政策、市场、金融等方面的潜在优势，从而建立区域低碳发展模式。在区域发展的基础上，通过技术外溢，促进区域协调发展，从而达到节约能源、减少污染、提高经济发展水平的目的。其次，我们要调整投资结构，带动经济统筹发展。当前，河北省经济增长的主要推动力是投资，要从调整投资结构入手，实现经济结构的优化。一是要合理确定新的投资方向，以促进产业、区域和薄弱地方的发展为重点，促进产业结构、能源结构、要素投入结构和经济结构的调整，发展集约型经济；二是通过市场和公共政策的指导，促进资源的有效配置，以市场为导向，充分利用河北省每个市域的特点，实现产业的合理布局，同时注重与科技发展的结合，通过提高技术推动低碳经济的发展，从而实现低碳建筑发展。

6 结论

本文以河北省为例，分析了河北省民用建筑在运行阶段的建筑碳排放的影响因素。在对大量的文献资料进行研究和梳理的基础上本研究选用 STIRPAT 模型对各个影响因素进行分析，对河北省域内的建筑行业碳排放量进行测算，进而有针对性地提出降低河北省建筑碳排放的建议。希望对河北省建筑减排政策的指定提供参考，也为相同领域研究提供借鉴。

参考文献：

[1]河北统计局. 河北统计年鉴[M]. 北京：中国统计出版社，2020.

[2]中国建筑节能协会能耗统计专委会. 中国建筑能耗研究报告（2018）[R]. 上海：重庆大学建设管理与房地产学院.

[3]联合国气候变化框架公约参加国. 京都议定书[M]. 日本：，1997.

[4]政府间气候变化专门委员会. 气候变化 2007：联合国政府间气候变化专门委员会第四次评估报告[M]. 政府间气候变化专门委员会，2007.

[5]杨艳芳，李慧凤，郑海霞.北京市建筑碳排放影响因素研究[J].生态经济，2016，v.32；No.301（01）：72–75.

[6]张国兴，苏钊贤. 黄河流域交通运输碳排放的影响因素分解与情景预测[J]. 管理评论，2020，32（12）：283–294.

[7]秦波，戚斌.城市形态对家庭建筑碳排放的影响——以北京为例[J].国际城市规划，2013，v.28；No.133（02）：42–46.

[8]张小平，高苏凡，傅晨玲.基于 STIRPAT 模型的甘肃省建筑业碳排放及其影响因素[J].开发研究，2016（6）：171–176.

[9]丁娟，陈东景，赵斐斐.山东省建筑业碳排放量影响因子与发展预测[J].青岛大学学报：自然科学版，2014，27（4）：65–68

[10]张腾飞，杨俊，盛鹏飞.城镇化对中国碳排放的影响及作用渠道[J].中国人口·资源与环境，2016，v.26；No.186（02）：47–57.

[11]祁神军，张云波.中国建筑业碳排放的影响因素分解及减排策略研究[J].软科学，2013，27（6）：39–43

[12]龙惟定，梁浩.我国城市建筑碳达峰与碳中和路径探讨[J].暖通空调，2021，v.51；No.384（04）：1–17.

[13]邓吉祥，刘晓，王铮.中国碳排放的区域差异及演变特征分析与因素分解[J].自然资源学报，2014，29（02）：189–200.

[14]郭而郛，崔雅楠，王瀛，曹晨.绿色居住建筑全生命周期碳排放研究[J].中国建材科技，2017，0（5）：9–1215

[15]李兆坚，江亿.我国广义建筑能耗状况的分析与思考[J].建筑学报，2006（07）：30–33.

依托项目：河北省创新能力提升计划项目（项目编号：22557676D）

作者简介：吴玉婷（1991.05），女，汉，河北省张家口市，讲师，硕士研究生，建筑绿色化、智能化。