

# 中国住宅建筑使用阶段碳排放的因素分解实证

胡文发, 郭淑婷

(同济大学 经济与管理学院, 上海 200092)

**摘要:** 根据住宅建筑碳排放的特点, 通过完善和扩展 Kaya 公式, 引入对数平均分解指数法, 提出住宅建筑使用阶段碳排放因素分解的实证模型. 根据 1995—2008 年中国建筑能源消耗的统计数据, 分析居民消费水平、能源结构、能源消费强度、户均建筑面积、人口密度等因素对住宅建筑使用阶段碳排放变化的影响, 提出住宅建筑使用阶段碳排放的正向驱动和负向驱动因素及其规律, 为控制建筑节能提供建议.

**关键词:** 住宅建筑; 二氧化碳; 排放控制; 因素分析; 分解

**中图分类号:** TU 111.19

**文献标识码:** A

## An Empirical Discussion on Factorial Decomposition of Carbon Emission from Chinese Residential Buildings During Operation

HU Wenfa, GUO Shuting

(College of Economics and Management, Tongji University, Shanghai 200092, China)

**Abstract:** In order to analyze patterns of carbon dioxide emission from houses, an empirical model is proposed for decomposition of factors which influences carbon emissions from post-occupancy of houses based on the optimization and expansion of Kaya equation, and the modification of logarithmic mean division index. The factors of consumption level, energy structure, energy consumption intensity, household size and population density are discussed from Chinese statistic data of building energy consumption from 1995 to 2008. The factors of accelerating the growth of carbon emissions, and restraining the carbon emissions, are presented as well as carbon emission tendency. Several feasible proposals to control carbon emission from houses are also discussed in the end.

**Key words:** houses; carbon dioxide; emission control; factor analysis; decomposition

暖问题再次成为全球瞩目的焦点, 引起了国际社会对“低碳”的广泛关注, 这次会议标志着全球进入了以低能耗、低污染、低排放为基础的低碳时代. 对于节能减排, 很多国家纷纷做出承诺, 中国承诺到 2020 年单位国内生产总值二氧化碳排放量比 2005 年下降 40%~45%. 在我国, 建筑物总能耗占社会总能耗的 25%~28%, CO<sub>2</sub> 排放量占社会总排放量的 40% 左右<sup>[1]</sup>. 因此建筑节能减排对发展低碳经济、控制全球气候变暖具有更深远的意义, 同时是低碳社会对于建筑业发展的时代要求.

住宅建筑的特点是生命周期很长, 其使用阶段的 CO<sub>2</sub> 排放量占到建筑生命周期 CO<sub>2</sub> 排放量的 60%~80%<sup>[3]</sup>, 因此住宅建筑使用阶段的节能减排对改善环境具有很重要的作用. 近年来, 很多学者对住宅的能源消耗和碳排放进行了分析研究, 但是大部分学者的研究主要聚焦于对住宅建筑的能源消耗与碳排放进行测度和评价<sup>[1-3]</sup>, 而忽略了对影响住宅建筑碳排放的各因素进行研究分析. 基于以上分析和住宅建筑的特点, 本文采用对数平均分解法 (logarithmic mean weight division index, LMDI) 对住宅建筑使用阶段的碳排放进行因素分解, 定量衡量各因素对住宅单元碳排放的影响, 进而就住宅建筑在使用阶段如何进行节能减排提出一些建议.

## 1 住宅建筑使用阶段碳排放的分解模型

在碳排放领域, Kaya 恒等式是应用较为广泛的因素分解模型<sup>[4-5]</sup>, 其表达式为

$$C = \frac{C}{E} \cdot \frac{E}{GDP} \cdot \frac{GDP}{P} \cdot P \quad (1)$$

式中:  $C$  为二氧化碳排放总量;  $E$  为一次能源消费总量;  $GDP$  国内生产总值;  $P$  国内人口总量. 其中  $C/E$  为能源的碳排放强度,  $E/GDP$  为  $GDP$  的能耗强度,

2009 年举行的哥本哈根气候大会使全球气候变

GDP/ $P$  为人均 GDP。

基于 Kaya 恒等式原理,综合考虑各种因素相互关系及对建筑物碳排放的影响,提出以户为单位的住宅建筑在使用阶段碳排放的因素分解模型,表达式如下:

$$C_R = \sum_{i=1}^n C_{Ri} = \sum_{i=1}^n \frac{E_{Ri}}{E_R} \cdot \frac{C_{Ri}}{E_{Ri}} \cdot \frac{E_R}{M_R} \cdot \frac{M_R}{P} \cdot \frac{P}{A_R} \cdot \frac{A_R}{H_R} \cdot H_R \quad (2)$$

式中: $C_R$  为住宅建筑使用阶段碳排放总量; $C_{Ri}$  为住宅建筑使用阶段  $i$  种能源的碳排放量; $E_R$  为住宅建筑使用阶段能源的消费量; $E_{Ri}$  为住宅建筑使用阶段  $i$  种能源的消费量; $M_R$  为居民消费支出; $P$  为人口数; $A_R$  为住宅建筑面积; $H_R$  为居民户数。

假设  $S_{Ri} = E_{Ri}/E_R$  为住宅建筑使用阶段第  $i$  种能源在能源消费总量中所占的比例,即住宅建筑使用阶段的能源消费结构因素; $F_{Ri} = C_{Ri}/E_{Ri}$  为住宅建筑使用阶段消费单位  $i$  种能源的碳排放量,即能源碳排放强度因素; $I_R = E_R/M_R$  为住宅建筑使用阶段居民的平均单位消费性支出所包含的能源消耗,即住宅建筑使用阶段生活能源消费强度因素; $G_R = M_R/P$  为平均每人在日常生活中的消费额,即居民消费水平因素; $D_R = P/A_R$  为单位住宅建筑面积容纳的人口数量,即人口密度因素; $K_R = A_R/H_R$  为平均每户拥有的建筑面积,即户均建筑面积因素。则可以得到使用阶段住宅单元的碳排放量为:

$$U_R = \frac{C_R}{H_R} = \sum_{i=1}^n \frac{E_{Ri}}{E_R} \cdot \frac{C_{Ri}}{E_{Ri}} \cdot \frac{E_R}{M_R} \cdot \frac{M_R}{P} \cdot \frac{P}{A_R} \cdot \frac{A_R}{H_R} = \sum_{i=1}^n S_{Ri} F_{Ri} I_R G_R D_R K_R \quad (3)$$

由此可知,使用阶段住宅单元的碳排放量  $U_R$  的变化因素为  $S_{Ri}, F_{Ri}, I_R, G_R, D_R, K_R$ 。

第  $t$  期相对于基期(以上标  $O$  表示)使用阶段住宅单元碳排放量变化可以表示为

$$\Delta U_R = U_R^t - U_R^O = \sum_{i=1}^n S_{Ri}^t F_{Ri}^t I_R^t G_R^t D_R^t K_R^t - \sum_{i=1}^n S_{Ri}^O F_{Ri}^O I_R^O G_R^O D_R^O K_R^O = \Delta U_{RS} + \Delta U_{RF} + \Delta U_{RI} + \Delta U_{RG} + \Delta U_{RD} + \Delta U_{RK} + \Delta U_{rsd} \quad (4)$$

$$V_R = \frac{U_R^t}{U_R^O} = V_{RS} V_{RF} V_{RI} V_{RG} V_{RD} V_{RK} V_{rsd} \quad (5)$$

式中: $\Delta U_{RS}, V_{RS}$  为住宅建筑使用阶段的能源结构因素; $\Delta U_{RF}, V_{RF}$  为能源碳排放强度因素; $\Delta U_{RI}, V_{RI}$  为住宅建筑使用阶段生活能源消费强度因素; $\Delta U_{RG}, V_{RG}$  为居民消费水平因素; $\Delta U_{RD}, V_{RD}$  为人口密度因素; $\Delta U_{RK}, V_{RK}$  为户均建筑面积因素; $\Delta U_{rsd}, V_{rsd}$  为分解余

量。 $\Delta U_{RS}, \Delta U_{RF}, \Delta U_{RI}, \Delta U_{RG}, \Delta U_{RD}, \Delta U_{RK}$  分别为各因素变化对使用阶段住宅单元碳排放变化的贡献值。 $V_{RS}, V_{RF}, V_{RI}, V_{RG}, V_{RD}, V_{RK}$  分别为各因素变化对使用阶段住宅单元碳排放的贡献率。

采用对数平均权重分解法(LMDI)对住宅单元碳排放进行因素分解,结果如下:

$$\begin{aligned} \Delta U_{RS} &= \sum_{i=1}^n W_i \ln \frac{S_{Ri}^t}{S_{Ri}^O}; & \Delta U_{RF} &= \sum_{i=1}^n W_i \ln \frac{F_{Ri}^t}{F_{Ri}^O}; \\ \Delta U_{RI} &= \sum_{i=1}^n W_i \ln \frac{I_{Ri}^t}{I_{Ri}^O}; & \Delta U_{RG} &= \sum_{i=1}^n W_i \ln \frac{G_{Ri}^t}{G_{Ri}^O}; \\ \Delta U_{RD} &= \sum_{i=1}^n W_i \ln \frac{D_{Ri}^t}{D_{Ri}^O}; & \Delta U_{RK} &= \sum_{i=1}^n W_i \ln \frac{K_{Ri}^t}{K_{Ri}^O} \quad (6) \end{aligned}$$

其中: $W_i = \frac{U_{Ri}^t - U_{Ri}^O}{\ln \left( \frac{U_{Ri}^t}{U_{Ri}^O} \right)}$ , 因此

$$\begin{aligned} \Delta U_{rsd} &= \Delta U_R - (\Delta U_{RS} + \Delta U_{RF} + \Delta U_{RI} + \Delta U_{RG} + \Delta U_{RD} + \Delta U_{RK}) = U_R^t - U_R^O - \sum_{i=1}^n W_i \ln \frac{U_{Ri}^t}{U_{Ri}^O} = \\ U_R^t - U_R^O - \sum_{i=1}^n (U_{Ri}^t - U_{Ri}^O) &= 0 \quad (7) \end{aligned}$$

对式(5)两边取对数,可以得到

$$\ln V_R = \ln V_{RS} + \ln V_{RF} + \ln V_{RI} + \ln V_{RG} + \ln V_{RD} + \ln V_{RK} + \ln V_{rsd} \quad (8)$$

比较式(4)和式(8),设  $\frac{\ln V_R}{\Delta U_R} = \frac{\ln V_R - \ln V_R^O}{V_R - V_R^O} =$

$\frac{1}{W} = W'$ , 则可得到

$$\begin{aligned} V_{RS} &= \exp(W' \Delta U_{RS}) & V_{RF} &= \exp(W' \Delta U_{RF}) \\ V_{RI} &= \exp(W' \Delta U_{RI}) & V_{RG} &= \exp(W' \Delta U_{RG}) \\ V_{RD} &= \exp(W' \Delta U_{RD}) & V_{RK} &= \exp(W' \Delta U_{RK}) \\ V_{rsd} &= \exp(0) = 1 \end{aligned} \quad (9)$$

## 2 中国住宅建筑使用阶段碳排放的因素分析

### 2.1 住宅建筑的基础数据

住宅使用阶段的能源种类主要有电力、煤炭、煤油、液化石油气、天然气和煤气。本文对中国住宅使用阶段的总的碳排放量采用下面公式进行估算:

$$C_R = \sum_{i=1}^n C_{Ri} = \sum_{i=1}^n E_{Ri} \eta_i \lambda_i \quad (10)$$

式中: $C_{Ri}$  为住宅建筑使用阶段  $i$  种能源的碳排放量; $E_{Ri}$  为住宅建筑使用阶段  $i$  种能源的消费量; $\eta_i$  为  $i$  种能源的折标准煤系数; $\lambda_i$  为  $i$  种能源的碳排放系数; $\eta_i, \lambda_i$  的取值见表 1。其中电力的碳排放系数是不确定的,其碳排放系数会因上游发电行业的电力结

构和发电燃料结构的差异而发生变化. 因此采用公式(11)对电力碳排放系数进行估计.

$$\lambda_e^t = \sum_{j=1}^n E_j^t \lambda_j / T_e^t \quad (11)$$

式中:  $\lambda_e^t$  为第  $t$  年的电力碳排放系数;  $E_j^t$  为第  $t$  年第  $j$  种发电能源的消耗量;  $\lambda_j$  为第  $j$  种发电能源的碳排放系数;  $T_e^t$  为第  $t$  年电力生产总量.

表 1 各种能源折标准煤系数和碳排放系数

Tab.1 Conversion factors from physical unit to coal equivalent and coefficient of carbon emissions

能源	煤炭	煤油	液化石油气	天然气	煤气	电力(等价)
$\eta_i$	0.714 3	1.471 4	1.714 3	1.330 0	0.571 4	0.404 0
$\lambda_i$	0.755 9	0.571 4	0.504 2	0.448 3	0.354 8	

注: 各种能源的折标煤系数取自《中国能源统计年鉴 2009》所附的“各种能源折标准煤参考系数”. 各种能源的碳排放系数取自《2006 年 IPCC 国家温室气体清单指南》.

表 2 中国 1990 年、1995~2008 年的住宅使用阶段碳排放因素分析的基础数据

Tab.2 Data for decomposition of carbon emissions from residential buildings during operation

年份	消费总量/ 10 <sup>7</sup> t	煤炭/ 10 <sup>7</sup> t	煤油/ 10 <sup>7</sup> t	液化石油气/ 10 <sup>7</sup> t	天然气/ 10 <sup>7</sup> t	煤气/ 10 <sup>7</sup> t	电力/ 10 <sup>7</sup> t	住宅户数/ 10 <sup>7</sup> 户	人口/ 10 <sup>7</sup> 人	1990 年不变生活 消费支出/10 <sup>7</sup> 元	住宅建筑 面积/10 <sup>7</sup> m <sup>2</sup>
1990	14.73	11.93	0.15	0.27	0.25	0.18	1.94	28.83	114.33	94 509	1911.33
1995	15.34	9.66	0.09	0.92	0.25	0.35	4.06	31.66	121.12	154 704	2378.22
1996	16.72	10.29	0.10	1.21	0.27	0.29	4.58	32.17	122.39	170 975	2480.51
1997	15.82	8.74	0.09	1.27	0.28	0.37	5.06	32.66	123.63	180 844	2596.17
1998	13.88	6.35	0.09	1.32	0.32	0.45	5.35	33.21	124.76	193 697	2715.53
1999	14.44	6.01	0.10	1.51	0.35	0.50	5.98	33.77	125.79	209 923	2834.03
2000	15.17	5.65	0.11	1.69	0.43	0.55	6.75	34.55	126.74	228 710	2936.65
2001	16.17	5.59	0.11	1.72	0.59	0.73	7.43	35.11	127.63	244 858	3044.50
2002	17.05	5.43	0.09	2.00	0.68	0.77	8.08	35.72	128.45	264 911	3218.22
2003	18.74	5.84	0.08	2.22	0.76	0.80	9.04	37.09	129.23	284 432	3331.66
2004	19.89	5.84	0.04	2.31	0.89	0.85	9.96	37.04	129.99	309 696	3469.24
2005	21.91	6.24	0.04	2.28	1.05	0.89	11.41	37.92	130.76	338 897	3681.09
2006	25.63	7.17	0.03	2.50	1.37	1.02	13.54	37.41	131.45	377 322	3827.71
2007	29.27	6.97	0.03	2.81	1.90	1.14	16.41	37.34	132.13	419 268	3943.70
2008	30.20	6.53	0.02	2.50	2.26	1.13	17.76	37.14	132.80	457 960	4054.05

注: 根据《中国统计年鉴 1995—2010》, 其中居民消费支出数据按 1990 年不变价格折算, 住宅建筑面积=城镇人均住宅建筑面积×城镇人口+农村人均住宅建筑面积×农村人口.

基于表 2 的数据, 根据公式(6), (9)和(10), 以 1990 年为基年可以计算得出 1995—2008 年中国住宅建筑使用阶段碳排放的因素分解值, 计算结果如表 3 和图 1, 2 所示.

由图 1, 2 可知:

(1) 1995—2008 年间使用阶段住宅单元的碳排放量总体在不断增加. 其中 1996—1998 年间住宅单元碳排放量呈现短期的下降趋势, 并在 1998 年达到最低值. 但是自 1998 年之后, 住宅单元碳排放量呈现逐年增加的趋势, 1998—2004 年间缓慢增长, 2004 年以后, 其数值猛增. 2003—2005 年的年增长率接近于 10.00%, 而 2006 年、2007 年的年增长率更是超过了 15.00%.

计算整理后, 可以得到住宅建筑使用阶段碳排放因素分析的基础数据, 见表 2.

根据表 2 可以计算得出住宅建筑使用阶段各种能源消费在总能源消费中的比重, 即能源结构. 根据公式(10)可以计算得出住宅使用阶段的碳排放和户均碳排放.

## 2.2 分解结果及因素分析

除电能外, 住宅建筑使用阶段各能源的碳排放强度  $F_{R_i}$  是固定不变的. 而以煤炭为主要发电燃料的火力发电在近 14 年间稳占总发电量的 80% 左右, 故基于公式(6), (9), (11)得到:  $\Delta U_{RF} \rightarrow 0, V_{RF} \rightarrow 1$ , 可见  $F_{R_i}$  对碳排放的影响很小. 因此影响住宅建筑使用阶段单元碳排放的因素主要为能源结构、能源消费强度、居民消费水平、人口密度和户均建筑面积.

(2) 居民消费水平是促进住宅建筑使用阶段户均碳排放量增长的主导因素. 1990—2008 年, 人均消费支出从 826.61 元上升至 3448.44 元(均按 1990 年不变价格计算), 增幅达 3.17 倍, 年均增长率为 8.26%, 增幅与增长率均高于其他因素. 能源消费结构也是正向驱动碳排放的因素. 由表 1 可知, 能源结构从以煤炭为主逐渐向燃气、电力等二次能源过渡. 其中变化最大的是电能, 其在总能源中的比例从 1990 年的 13.00% 增加至 2008 年的 58.80%. 另一正向因素是户均建筑面积. 户均建筑面积从 1990 年的 66.30 m<sup>2</sup> 增大到 2008 年的 109.16 m<sup>2</sup>, 年均增长率达到 2.81%, 其对住宅单元碳排放的贡献值是不断增大的.

表 3 1995—2008 年中国住宅建筑使用阶段碳排放的因素分解值

Tab.3 Decompositions of carbon emissions per set of residential building for China, 1995—2008

年份	住宅单元碳排放		消费水平		能源结构		户均建筑面积		能源消费强度		人口密度	
	$\Delta U_R$	$V_R$	$\Delta U_{RG}$	$V_{RG}$	$\Delta U_{RS}$	$V_{RS}$	$\Delta U_{RK}$	$V_{RK}$	$\Delta U_{RI}$	$V_{RI}$	$\Delta U_{RD}$	$V_{RD}$
1995	0.023	1.053	0.192	1.545	0.045	1.107	0.055	1.133	-0.200	0.636	-0.071	0.851
1996	0.063	1.147	0.242	1.690	0.052	1.118	0.070	1.163	-0.215	0.628	-0.089	0.825
1997	0.046	1.106	0.259	1.770	0.065	1.155	0.082	1.199	-0.262	0.561	-0.103	0.796
1998	-0.002	0.996	0.271	1.878	0.076	1.194	0.090	1.233	-0.334	0.460	-0.113	0.768
1999	0.023	1.053	0.311	2.019	0.089	1.222	0.104	1.266	-0.361	0.441	-0.132	0.742
2000	0.043	1.099	0.353	2.183	0.099	1.245	0.112	1.282	-0.386	0.426	-0.147	0.721
2001	0.060	1.139	0.387	2.321	0.102	1.248	0.124	1.308	-0.395	0.424	-0.164	0.701
2002	0.086	1.200	0.432	2.495	0.111	1.265	0.145	1.359	-0.418	0.413	-0.191	0.667
2003	0.128	1.298	0.482	2.663	0.124	1.287	0.149	1.355	-0.424	0.423	-0.213	0.648
2004	0.165	1.384	0.539	2.882	0.137	1.308	0.176	1.413	-0.451	0.412	-0.238	0.626
2005	0.224	1.521	0.611	3.135	0.158	1.343	0.204	1.464	-0.471	0.415	-0.279	0.594
2006	0.356	1.827	0.736	3.473	0.190	1.380	0.257	1.544	-0.491	0.436	-0.328	0.574
2007	0.491	2.141	0.868	3.839	0.236	1.441	0.301	1.593	-0.518	0.448	-0.374	0.560
2008	0.522	2.213	0.939	4.172	0.253	1.469	0.328	1.647	-0.566	0.423	-0.396	0.548

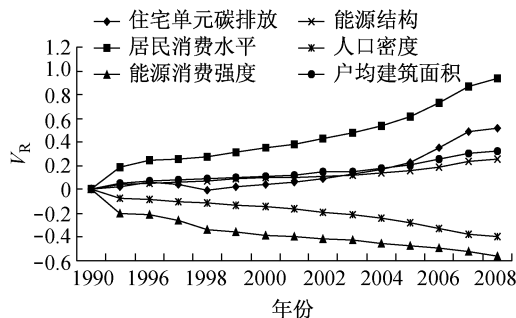


图 1 1995—2008 年各因素对使用阶段住宅单元碳排放量的贡献值

Fig.1 Decomposition of carbon emissions per household difference for China, 1995—2008

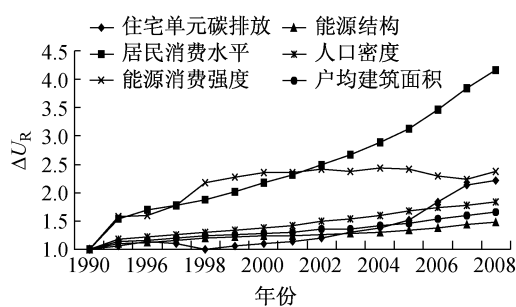


图 2 1995—2008 年各因素对使用阶段住宅单元碳排放变化的贡献率

Fig.2 Decomposition of carbon emissions per household ratio for China, 1995—2008

(3) 能源消费强度是抑制户均碳排放量的主要因素。随着我国城乡家庭消费恩格尔系数的持续降低,住宅使用阶段能量占总消费支出的比例逐年递减,使得能源消费强度抑制住宅单元碳排放的贡献值不断增加。但是近年来,与居民消费支出的正向贡献值相比,能源消费强度的负向贡献值的增长

趋势明显趋缓。抑制住宅使用阶段碳排放量的另一因素是单位住宅建筑面积人口数。从 1990—2008 年,人均住宅建筑面积从 16.72 m<sup>2</sup> 上升到 30.53 m<sup>2</sup>,年均增长率达 3.40%。特别是 2004 年以来,人口密度因素对碳排放的抑制作用呈现明显增强趋势。

以上各因素可分为两类:正向驱动因素(居民消费水平、能源消费结构、户均建筑面积)和负向驱动因素(能源消费强度、人口密度)。作为正向驱动因素居民消费支出对使用阶段住宅单元碳排放的贡献率呈指数增长,尤其自 2002 年之后,其正向贡献率远高于负向驱动因素的贡献率,成为促进住宅单元碳排放增长的主要因素。能源消费结构和户均建筑面积两个因素对于促进碳排放的贡献率呈现逐年增大的趋势。而作为负向驱动因素的能源消费强度对住宅单元碳排放的贡献率在 1995—2007 年间呈现“增强—减弱”的倒“U”形态,在 2002 年之前呈现增长趋势,在 2002—2007 年呈现减弱趋势,而 2007 年之后形态趋缓。其中在 1997—2002 年间能源消费强度的负向贡献率高于居民消费支出的正向贡献率,并在 1998 年达到两者贡献率间差值最大,达到住宅单元碳排放的最低值。人口密度对住宅单元碳排放的负向贡献率逐年增加,是重要的抑制因素。

### 3 结论与对策

本文基于扩展的 Kaya 恒等式及 LMDI 方法所建立的住宅使用阶段碳排放的因素分解模型,定量分析了各因素对碳排放的影响。通过分析,可以得到以下结论:

近14年来,中国住宅建筑使用阶段住宅单元碳排放量的变化依次呈现“下降→上升→快速上升→缓慢上升”。其转变点分别出现在1998年、2004年和2007年。2007年后碳排放增速有放缓趋势,但仅是减小了碳排放的增长速度,还远没有实现碳排放量的减少。在这一过程中,居民消费水平一直是正向驱动碳排放的主导因素。同时以电为主的能源消费结构和户均建筑面积对于碳排放的促进作用在不断加强。而能源消费强度是抑制住宅单元碳排放的主要因素,但是近年来,其抑制作用在减弱。而住宅使用阶段的人口密度对于抑制碳排放的作用在不断加大,是使我国近几年住宅单元碳排放增速趋缓的重要因素。

居民消费水平是衡量人们生活质量的指标,因此不能通过减弱它来实现碳排放的减缓。同时能源消费强度的减少是人们生活条件得以改善的体现,故也不能通过加强它的抑制作用来降低碳排放。基于以上分析,本文就实现住宅建筑使用阶段碳减排提出以下建设性对策:

(1) 加强住宅中太阳能、地热能等新能源的利用,改变以电能为主的能源消费结构,可极大地缓解住宅建筑使用阶段的碳排放。

(2) 积极发展核电、水电、风电、太阳能发电等新能源发电形式,降低火力发电在电力结构中的比例,减少电力的碳排放系数。

(3) 推广中小户型住宅建设,减少住宅能耗碳排放。在城市规划和建设中,中小户型住宅的建设不仅可以解决居民的居住问题,而且对于降低碳排放有着积极的促进作用。

(4) 加大人均住宅建筑面积,减小人口密度。由

于我国人口众多,人口密度大,人均住宅建筑面积较发达国家仍有很大的差距,因此住宅建筑人口密度的下降仍有很大的空间。

(5) 推行节能住宅,减少使用阶段能源消耗,提高建筑能效。在住宅建设中充分利用自然能源,提高建筑维护结构的保温隔热性能,同时采用高性能的设备和设施,不断提高能源利用率,降低对矿物燃料的消耗量和依赖性,实现住宅的节能性,以有效地减少碳排放。

## 参考文献:

- [1] 蔡向荣,王敏权.住宅建筑的碳排放量分析与节能减排措施[J].防灾减灾工程学报,2010,30(增刊):428.  
CAI Xiangrong, WANG Minquan. Carbon emission analysis of residential buildings and energy saving measures[J]. Journal of Disaster Prevention and Mitigation Engineering, 2010, 30 (suppl): 428—431.
- [2] Greening A Lorna, Ting Michael, Krackler J Thomas. Effects of changes in residential end-uses and behavior on aggregate carbon intensity: comparison of 10 OECD countries for the period 1970 through 1993[J]. Energy Economics, 2001, 23(2): 153.
- [3] 靳俊书.基于碳排放的居住建筑节能研究[D].西安:长安大学建筑工程学院,2010.  
JIN Junjie. Energy efficiency in residential building research based on carbon emissions[D]. Xi'an: Chang'an University. School of Civil Engineering, 2010.
- [4] Kaya Yoichi. Impact of carbon dioxide emission on GNP growth: interpretation of proposed Scenarios [R]. Paris: Presentation to the Energy and Industry Subgroup, Response Strategies Working Group, IPCC, 1989.
- [5] Ang B W, Zhang F Q, Choi K H. Factorizing changes in energy and environmental indicators through decomposition [J]. Energy, 1998, 23(6): 489.