

清华大学公共管理学院产业发展与环境治理研究中心（CIDEG）

应急课题

# 居民生活碳排放与城市发展： 来自中国城市的证据

## 结题报告

郑思齐（清华大学房地产研究所）

曹静（清华大学经济管理学院经济系）

Matthew E. Kahn（Department of Economics, UCLA）

二〇〇九年十一月

# 目录

## 研究计划执行情况概述

1. 课题申请书的主要内容 .....	5
2. 评审专家对研究计划书的意见与研究计划调整情况 .....	5
3. 研究计划执行情况 .....	6
4. 研究成果的获奖情况及社会影响 .....	7
5. 自我评价与进一步研究建议 .....	7

## Executive Summary

Research Context and Research Questions .....	9
Some Basic Theories .....	11
Inter-city Study .....	14
Intra-urban Study .....	24

## 结题报告正文

1. 研究背景与研究问题 .....	27
1.1 研究背景 .....	27
1.2 研究问题 .....	29
2. 基础理论研究 .....	31
2.1 城市发展的环境影响：构成要素与中国现状 .....	32
2.1.1 城市发展造成环境影响的构成要素 .....	32
2.1.2 中国城市二氧化碳排放问题的现状与挑战 .....	32
2.2 城市发展环境影响的理论基础与研究角度 .....	36

2.2.1 理论基础——“环境库兹涅茨曲线” .....	36
2.2.2 方法借鉴——城市环境质量的界定与主要评价方法.....	39
2.2.3 研究角度的选择：从消费角度研究碳排放问题.....	41
2.3 城市发展的环境影响机制：从消费角度的研究.....	42
2.3.1 收入增长的环境影响.....	42
2.3.2 人口增长的环境影响.....	48
2.3.3 城市空间蔓延的环境影响.....	52
2.3.4 总结：城市发展各方面对碳排放的影响.....	55
2.4 居民生活碳排放与城市发展关系的研究思路.....	57
3.实证研究.....	58
3.1 实证研究思路.....	58
3.2 基础数据.....	60
3.3 实证研究 I：251 个城市居住碳排放估计与城市间差异性分析 .....	61
3.3.1 估算方法与结果.....	61
3.3.2 相关关系分析：人均居住碳排放的计量模型分析.....	70
3.3.3 结论与政策含义.....	75
3.4 实证研究 II：74 个城市居民生活碳排放与城市发展.....	77
3.4.1 数据概述、估算方法与结果.....	78
3.4.2 居民生活碳排放与城市发展模式的讨论.....	92
3.4.3 结论与政策含义.....	97
3.5 实证研究 III：低碳生活的特征探索——基于北京市社区层面的研究.....	99
3.5.1 估算方法与结果.....	99
3.5.2 相关关系研究：北京社区生活碳排放的影响因素分析.....	107
3.5.3 结论与政策含义.....	112
3.6 主要实证研究结论及其政策含义.....	115

3.6.1 主要实证研究结论.....115

3.6.2 城市和区域发展政策的初步评价.....117

**附录：三篇学术论文**

1. 走向低碳生活：中国城市居住碳排放的估算与分析 郑思齐，曹静，霍焱
2. The Greenness of China: Household Carbon Dioxide Emissions and Urban Development Siqi Zheng, Rui Wang, Edward L. Glaeser and Matthew E. Kahn
3. 低碳生活的特征探索——基于 2009 年北京市“家庭能源消耗与居住环境”调查数据的分析 霍焱，郑思齐，杨赞

# 研究计划执行情况概述

## 1. 课题申请书的主要内容

课题组于 2008 年 2 月向 CIDEG 中心提交了课题申请书《城市增长的环境影响》。在申请书中，我们提出了研究目标和研究问题。

研究目标是：第一，尝试去量化城市增长的环境影响，特别是交通量、居民能源消耗、土地消耗、环境质量和温室气体排放，以及这些环境影响在城市间的差异性；第二，基于上述数据分析，讨论在快速城市化的进程中，哪些公共政策能够有效减缓这些环境影响。

更具体的，我们的主要研究问题是：

第一，中国快速城市化进程是否显著增加了能源消耗和环境影响？具体程度如何？

第二，我们是否能够在城市增长的众多特征中，寻找到哪些特征对能耗和环境的影响最大，怎么样的发展模式是更加绿色的？根据这个思路，我们计划建立一个“绿色城市指数”（Green City Index, GCI），作为一个城市中人均温室气体排放的度量。

第三，中国在目前所处的城市化阶段，哪些公共政策能够减缓这些缓解影响？我们能够从其他的发达国家和发展中国家学到什么？

我们在课题申请书中提出了两个层面的分析方法，第一个层面是家庭层面，分析家庭特征和城市特征对于家庭各类能源消耗量的影响；第二个层面是城市层面，主要分析城市特征对于一个城市中家庭平均能耗的影响。

## 2. 评审专家对研究计划的意见与研究计划调整情况

CIDEG 学术委员会对我们提交的课题申请书进行了评议。主要的评议意见如下：

1. 城市化过程中的环境变化是当前环境政策关注的重点问题。但是，城市污染具有面源污染特征，因此直接治理污染源不具备可行性。只能通过改变城市居民行为的方式加以解决。因此，了解城市生活中污染产生的决定因素，从控制这些决定因素入手是解决城市污染的必由之路。本项目建议书中提出的微观研究方法（着眼于城市家庭消费行为的研究）具有重要的应用价值和科学价值。
2. 建议书中所列的经济计量学的研究方法为城市化的环境影响研究提供了一个独特的视角，数据来源和方法是可行的。

3. 本项目的特色在于综合了对家庭层面的微观分析与对城市层面的宏观分析。前者更加有特色，值得深入研究，可以把主要精力放在前者。
4. 建议书中提出要对各类能源消耗进行分析，包括土地、空气污染、碳排放等。建议集中精力。建立“绿色城市指数”是一个有意义的想法，目前绿色城市指标的计算主要是考虑温室气体排放量，当然它与其他能耗的相关性很强。可以考虑集中精力研究温室气体排放。

根据专家委员会评议意见，以及我们研究小组的内部讨论，我们决定进一步细化和聚焦研究方向和问题。首先，从大类上讲，城市能源消耗的两大部门是产业（Industry）和家庭（Households），前者已经有很多学者研究，而后者被关注的程度低。考虑到我们在数据和研究方法上的优势，决定将研究重点放在家庭部门，即居民生活；第二，如果分析各类能源消耗，的确面铺的太广，作为一个一年期的课题，会难以聚焦。实际上，各类环境影响都来自于对能源的消耗，而能源消耗与碳排放之间存在着密切的正相关关系。同时，碳排放也是目前全球的热点问题。因此我们决定将研究重点放在碳排放方面，定量计算城市居民生活的碳排放，分析城市间的差异性，以及城市发展特征对碳排放的影响，从而得到若干公共政策含义。

在上述考虑下，我们将研究题目改为《居民生活碳排放与城市发展：来自中国城市的证据》。

### 3. 研究计划执行情况

在研究过程中，我们课题组的三位学者紧密合作，密切交流，取长补短，共同推进课题研究工作。

2008年9月至2008年12月。我们的主要工作是收集和阅读文献，进一步明确研究思路和研究步骤。2008年11~12月，郑思齐访问UCLA，与Matthew E. Kahn教授和Rui Wang教授进行学术交流，深入就本课题研究进行了探讨。

2009年1月至2009年4月。我们的主要工作是收集微观分析所需的家庭层面数据，以及城市层面变量，进行模型构建和估计工作。

2009年5月至2009年9月。我们的主要工作是撰写学术论文。2009年9月，Matthew E. Kahn教授到清华大学做学术访问两周，将我们的学术论文在多个学术会议上进行宣讲（包括CIDE中心组织的环境学术会议），得到了许多有益的修改意见。Kahn教授在CIDE中心开展了一次学术报告会。

到目前为止，本课题形成了三篇学术论文：

- [1]. 郑思齐, 曹静, 霍焱. 走向低碳生活: 中国城市居住碳排放的估算与分析. (拟投稿《中国软科学》, 中文核心期刊, 清华大学社科类重点期刊)
- [2]. Siqu Zheng, Rui Wang, Edward L. Glaeser and Matthew E. Kahn. The Greenness of China: Household Carbon Emissions and Urban Development. NBER Working Paper 15621. Available at: <http://www.nber.org/papers/w15621> (拟投稿 Journal of Economic Geography, SSCI 杂志)
- [3]. 霍焱, 郑思齐, 杨赞. 低碳生活的特征探索——基于 2009 年北京市“家庭能源消耗与居住环境”调查数据的分析. 《城市与区域规划》, 2010 年 1 期。

上述论文均在合适的位置标注了“清华大学公共管理学院产业发展与环境治理研究中心”。

#### 4. 研究成果的获奖情况及社会影响

郑思齐, 曹静和霍焱的《走向低碳生活: 中国城市居住碳排放的估算与分析》一文, 在 2009 中国房地产学术研讨会(中山大学, 2009 年 5 月)上获得优秀论文二等奖。

Siqu Zheng, Rui Wang, Edward L. Glaeser 和 Matthew E. Kahn 的“*The Greenness of China: Household Carbon Emissions and Urban Development*”一文, 入选 NBER(美国经济研究局)工作论文系列。同时, 我们被邀请在经济学家的学术论坛 Vox 上发表简短版(见 <http://www.voxeu.org/index.php?q=node/4502>)。这篇论文还被《纽约时报》(New York Times) 引用(见: <http://freakonomics.blogs.nytimes.com/2010/01/06/chinas-greenest-cities-and-its-brownest-no-match-for-san-diego/>)。郑思齐被邀请在《21 世纪经济报道》上撰写时评, 介绍论文研究成果(见 [http://epaper.21cbh.com/html/2010-01/11/node\\_3.htm?hop9azsxs6](http://epaper.21cbh.com/html/2010-01/11/node_3.htm?hop9azsxs6))。上述热门网站的转载, 引起了较大的反响。

霍焱, 郑思齐和杨赞的论文《低碳生活的特征探索——基于 2009 年北京市“家庭能源消耗与居住环境”调查数据的分析》是基于 2009 年暑期调查完成的。霍焱同学用这次调查所完成的调查报告(本篇论文的雏形), 获得了 CIDEG 中心“低碳生活在我身边”学生调查竞赛的第一名。

#### 5. 自我评价与进一步研究建议

本研究选题新颖, 是国际学术界的研究前沿, 在中国快速城市化的大背景下也具有很重要的现实意义。通过本课题对中国城市居民碳排放的总量、人均规模和影响因素的分析, 在展示中国 200 余个城市居民生活碳排放构成的全貌, 揭示居民家庭行为与能源消耗和碳排放的因果关系机理、城市发展模式与碳排放之间关系等方面形成了一系列创新性成果,

能够为分析和评估城市环境方面的公共政策提供建议和支持。课题组圆满完成了计划研究内容，很好地达到了预期研究目标，形成了一定的社会影响力。

进一步研究建议包括：将更多的居民家庭特征(特别是对于能源消费态度等主观特征)、城市发展和城市空间结构特征引入模型分析，从而为城市规划和管理政策提供更具有指导性的支持；比较不同发展阶段、产业结构和公共政策下，各个城市中居民生活和产业碳排放的相对关系和发展趋势，从而对未来城市碳排放总量的走势做出更有效的预测；对区域发展政策和城市发展政策在能源消耗和碳排放方面的影响做更为细致的评估。



# Household Carbon Dioxide Emissions and Urban Development: Evidence from Chinese Cities

## Executive Summary

Siqi Zheng, Jing Cao and Matthew E. Kahn

### Research Context and Research Questions

Over the last 20 years, the dominant geographical trends in China have been urbanization and regional migration. There has been a massive relocation of labor from rural agricultural to urban areas. Significant regional migration has moved the population from interior provinces to the coastal region. Between 1978, when the reform started, and 2008, the urban population in China more than tripled from 170 million to 607 million. The urbanization level increased from 17.9% to 45.7%. This large scale labor mobility was enabled by the urban housing and job market liberalization since 1980s. Along with such rapid urbanization, the rural-urban income gap has widened, reflecting increasing returns to skill in the urban sector.

The rapid urban growth, while offering private benefits to new urbanites, may impose social costs such as lowering environmental quality in Chinese cities, as well as in the whole world. The ongoing combination of fast economic growth, urbanization and industrialization in China has profound environmental implications. We already know that the environmental deteriorations in many Chinese cities have raised grave concerns about long-term sustainable urban development. For instance, only 1 percent of the country's urban population lives in cities with annual average PM10 levels below 40  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (The World Bank, 2007). In this research, we focus on Chinese urban households' carbon footprint, mostly in residential and transportation sectors.

Today, per capita carbon emissions in the US are about five times the per capita emissions in China. If China's per capita greenhouse gas emissions rose to US levels, then global carbon emissions would increase by more than 50%. While 40% of US emissions are associated with residential and personal transportation, a much smaller share of Chinese emissions come from these sectors. But the household's share of total per-capita carbon emissions will surely grow as China changes from a manufacturing economy to a service economy, and as China's urban population continues to grow fast and the urban residents become richer and richer. China will consume more electricity and the demand for private transportation services will increase. Those

will definitely increase urban households' carbon footprint.

Using several city-level and micro data sets discussed below, this research aims to estimate per capita household carbon dioxide emissions in a large number of Chinese cities. We will measure the impacts of urban development on such carbon footprints, and discuss what the “greenest” urban growth patterns are.

While this project only focuses on one type of environmental consequences (carbon dioxide emission) of urban growth in China, we believe that our results can help people to understand the big picture of urban growth's environmental impacts in Chinese cities, since carbon dioxide emissions and other pollutants (air pollution, etc.) are both highly correlated with energy consumption. In one of our papers (Zheng, et. al., 2009), we calculate our carbon index with an air pollution index (measured by small particulate matter, PM<sub>10</sub>) for 35 major cities and find they have a high positive correlation coefficient of 0.33. In the colder northern cities, people burn coal to produce home and office heating creating both particulates and carbon dioxide emissions.

Our research objectives are twofold. First, we attempt to quantify the per capita household carbon dioxide emission (or other equivalent measures) in a number of Chinese cities, as well as in a number of communities within a particular city. Second, we examine how such carbon footprint varies across cities. In this way, we are able to identify how urban growth patterns affect household carbon emissions. Then we try to evaluate current public policies with respect to their environmental impacts, and seek effective public policies to mitigate greenhouse gas emissions during this fast urbanization period.

Specifically, our research questions are:

- (1) What are the household carbon dioxide emission levels for Chinese cities? Who are the “greenest” cities and who are the “brownest” ones?
- (2) Are we able to identify, among various urban growth patterns of so many Chinese cities, which one is more carbon-intensive, and which one is greener?
- (3) At the current urbanization phase in China, what are the effective public policies to mitigate the greenhouse gas emissions in the residential sector? What can we learn from other industrialized and developing countries?

Three empirical papers have been done to answer the above questions. The first two are inter-city

studies and the third one is an intra-urban community-level study within Beijing metropolitan area. Below we first lay out some basic theories which are the foundations of our empirical studies. We then summarize the data, methodology and main results of the empirical studies.

The two inter-city papers apply similar methodologies and obtain similar results. They use different data sets. One use high-quality micro household energy consumption data of more than 25,000 urban households in 74 Chinese cities, the other one use city-level aggregate energy consumption statistics in 251 Chinese cities. Here we mainly summarize the first paper in details. Then we briefly introduce the main results of the intra-urban community-level study.

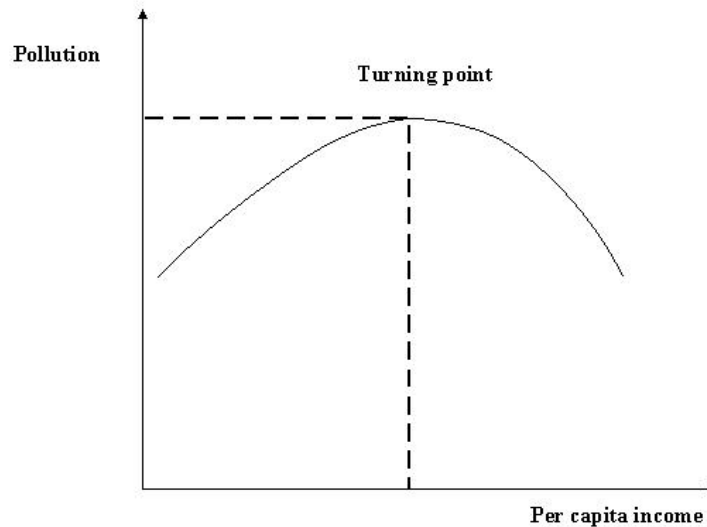
## **Some Basic Theories**

Does urban growth hurt or help the environment? The answer, in a nutshell, is “both”. Why do some growing cities suffer environmental degradation while others are able to preserve or even enhance their environmental quality? In recent years much work in environmental economics has focused on this question. Here we briefly draw on this literature to convey what is and is not known about the environmental consequences of urban growth. Generally, economists tend to be optimistic. They have a fair amount of faith in humanity’s ability to respond to incentives to economize on polluting activities. In contrast, many ecologists and environmentalists remain worried about such environmental impacts. Though the theories below are about general environmental quality and are not limited to greenhouse gas emissions, the basic principles are applicable to analyze carbon footprint of urban residents. We will highlight the specific features of greenhouse gas – its externality beyond city limits and resulted free-rider problem – in appropriate places.

### ***Environmental Kuznets curve***

The economists’ main contribution to analysis of growth’s environmental consequences is the concept of the environmental Kuznets curve (EKC) (Figure 1). This hypothesis posits that economic development is both a foe and a friend of urban environmental quality. Economic development – especially in poorer cities – often leads environmental quality to decline, but continued development can help middle-income and richer cities solve many pollution related problems. Why? Because as income grows, consumption and production patterns become increasingly “green” while the prospects for greener governance improve. EKC tells us growth has two faces – that is, first deteriorating and then improving as per capita income growth. Many studies have identified environmental indicators that fit the EKC pattern in the fifteen years since

it was introduced.



**Figure 1. Environmental Kuznets curve**

But environmentalists have raised a number of important objections to the optimism implicit in the EKC. For example, some argue that even if the EKC is correct, it provides little hope to poor cities that may be trapped for a long time on the wrong side of the curve. The EKC may also have little relevance in many important areas, such as pollution problems that involve externalities on a global scale, such as the greenhouse gas emission we are studying in this research. Actually we do not find significant EKC in our study of household CO<sub>2</sub> emission. Moreover, by focusing on changes in income, the EKC gives an incomplete picture of urban growth and its impact on environmental quality.

### ***Income growth and the Environment***

Income growth is accompanied with per capita consumption growth, and thus increases each household's carbon footprint. On the other side, income growth can also enhance urban sustainability by promoting changes in urban consumption and production patterns. Richer urbanites, for example, are more likely to purchase green products and amenities, such as newer vehicles that pollute less per mile. In addition, as wage and education rise, a city's industrial composition often changes. Heavy manufacturing tends to be priced out of richer cities, giving way to relatively low-pollution industries, such as services and finance. Those effects will result in decreasing per capita carbon footprint.

Income growth also affects the prospects for greener urban governance. Economic development can potentially increase both the demand for and supply of environmental regulation. As residents become wealthier, they have an increased desire to live in a high quality of life area. As a result politicians have stronger incentives to invest in green policies. They also have greater access to policy resources as a city's income grows.

### ***Population growth and the environment***

In many developing nations, such as China, cities act as magnets, drawing people out of the countryside to urban jobs. Inevitably, a growing urban population consumes more resources and generates increased waste and carbon dioxide emissions. In the absence of effective policies to counteract these effects, fast-growing cities in developing countries experience sharp increases in all types of pollution, and also contribute more and more greenhouse gas emissions to the world.

Population growth can also contribute to urban environmental problems in other ways. Growth often increases urban income inequality and ethnic heterogeneity. In a highly diverse city, different interest groups may disagree over what is “good public policy” and who should pay for these policies.

### ***Spatial growth and the environment***

Unorganized urban expansion – urban sprawl – is proved to be harmful for the urban environment. For instance, in the United States, the fastest growth is taking place in low-density, car-friendly metropolitan areas. According to U.S. census data, in 2000, across all metropolitan areas in the United States, 53 percent of employed heads of households lived in detached homes and commuted to work in private vehicles. Large houses, long commutes and heavy congestion all contribute to heavy carbon footprint. Environmentalists argue that this suburban sprawl is socially costly.

### ***Beyond city limits: Greenhouse gas emission***

While continuing to grapple with local environmental problems, many cities also expect to face new challenges as a result of climate change. Industrial and residential activities are highly concentrated in urban areas. Cities account for more than 80% of total carbon dioxide emissions, so cities play a major role in increasing the risk of climate change by generating greenhouse gases. Since reducing emissions is costly, and the benefits of doing so are shared with the rest of the world, each city has few incentives to limit greenhouse gas production on its own. This is a classic example of the free-rider problem.

Will urban growth simply exacerbate the problem of climate change, or can it help address this challenge? In the short run, it seems likely to make the problem worse. Urban growth fosters economic development by encouraging trade and specialization. As income rises, households consume more energy at home, at work, and on the road. However, urban growth can also have potentially offsetting effects. For example, urbanization can reduce population growth at the national level and facilitate emission-reducing technological advance. Does this suggest that greenhouse gas production is likely to follow the pattern of EKC? We need to find more empirical evidence on this issue.

### **Inter-city Study:**

**The Greenness of China: Household Carbon Dioxide Emissions and Urban Development (Siqi Zheng, Rui Wang, Edward L. Glaeser and Matthew E. Kahn, NBER working paper 15621. Available at : <http://www.nber.org/papers/w15621>)**

In this paper, we calculate household carbon emissions using several data sources including the Chinese Urban Household Survey. This survey provides information on energy usage for 25,000 households across 74 cities. Relative to US households, transportation represents a smaller share of Chinese urban household emissions and household heating represents a much larger share – a poorer country can do without air conditioning and cars, but not without winter warmth.

Urban infrastructure is long-lived, and decisions made decades ago still shape older cities like London and New York. Today, China is making choices over investments in roads, public transit, electricity generation and housing that will have implications for resource consumption and greenhouse gas production for decades. The combination of irreversibility of investment, and China's vast size, makes its current regional development decisions relevant for long-term global carbon emissions.

China currently has three significant regional policies, which support growth in the Northeast, the Western hinterland and the Beijing-Tianjin-Bohai Sea region. Relative to the average city's household, carbon emissions are 69% higher in the Northeast, 40% higher in the Beijing-Tianjin-Bohai Sea region and 17% lower in the West. These findings suggest that regional development policies that favour growth in the Northeast and in the greater Beijing areas are likely to increase China's overall residential carbon emissions.

### ***Measuring greenhouse gas emissions in China's major cities***

We estimate how much carbon dioxide emissions a standardized Chinese household produces per

year if it resides within one of China's 74 cities, including all the 35 major cities plus some cities that have enough sample observations. We focus on the effect of four major household sources of carbon dioxide emissions, as measured in tons of carbon dioxide. These four are:

- Transportation
- Residential electricity consumption
- Residential heating
- Domestic fuel.

The following equation provides an accounting framework for organizing our empirical work.

$$\text{Emissions} = \gamma_1 * \text{Transportation} + \gamma_2 * \text{Electricity} + \gamma_3 * \text{Heating} + \gamma_4 * \text{Domestic Fuel} \quad (1)$$

First, transportation represents energy use from a vector of activities including liters of annual gasoline consumed for households who own a car. Transportation also includes miles travelled on cabs, and the energy use of buses and subways. All forms of transportation energy uses are multiplied by an emissions factor vector. For example, each liter of #93 gasoline consumed produces 2.226 Kg of carbon dioxide.

Second, we examine carbon dioxide emissions from residential electricity consumption. Total carbon dioxide produced as a byproduct of electricity generation depends on a region's power plant emissions factor. This is defined as  $\gamma_2$ . Regions that use more coal for power generation have a higher emissions factor.

Third, our focus on residential heating highlights the fact that winter temperatures in China's cities differ greatly. Northern cities are much colder than southern cities. In cities north of the Huai River and Qinling Mountains, heat is provided publicly through a system that provides a fixed amount of heating between November 15 and March 15. This "centralized heating system" prevents individual households from controlling the indoor temperature themselves. Southern cities, however, are not entitled to centralized heating. Given this, we assume that energy usage for heating is proportional to the floor area of the home. This sector creates high level of emissions because of heating's main energy source is coal (Almond et. al., 2009).

Fourth, domestic fuels include three components: coal, liquefied petroleum gas, and coal gas. Coal is inexpensive, but it is carbon intensive. A byproduct of using it is elevated ambient air pollution level such as sulfur dioxide, and particulates. Liquefied petroleum gas and coal gas are extracted from petroleum oil and coal, and are much cleaner and less carbon intensive.

### ***China's greenest cities based on the household CO2 metric***

To measure the carbon emissions of our 74 Chinese cities based on carbon dioxide emissions, we use the estimated city-specific energy consumptions for seven energy types for a standardized household and then convert that energy use into carbon dioxide emissions. The standardized household is defined as a household with an annual income of 40,000 Yuan or \$5,714, three members and a household head of 45 years old, which are the means of these three variables of the whole sample. By predicting the carbon dioxide emission of a standardized household, we are able to answer: “if a household moved from city A to city B, would aggregate carbon emissions rise or fall?”

To provide one salient example, in equation (5) we report our estimates based on the Shanghai sample of 1,018 households.

$$\text{Log}(\text{Electricity Use}) = 3.58 + 0.33 * \text{Log}(\text{Income}) + 0.10 * \text{Household Size} - 0.0005 * \text{Age} \quad (2)$$

(0.29)            (0.03)            (0.02)            (0.001)

Standard errors are reported in parentheses. In this regression, the R-squared is 0.199. We take these regression coefficients and predict the annual electricity consumption for a household living in Shanghai, with an income of 40,000 Yuan, 3 members and a household head of 45 years old. The result is 1494.9 kilowatt hours (kWh). We then multiply this number by the electricity conversion factor in Shanghai (0.8154 tCO<sub>2</sub>/mWh), which is  $\gamma_2$  in Equation (1). This yields a prediction for the standardized household equal to 1.219 tons of carbon dioxide emissions.

In Table 1 we rank China’s 74 major cities by total carbon emission per standardized household. China’s major cities’ household carbon emissions are dramatically lower than in the US. Glaeser and Kahn (2010) report that in the cleanest cities of San Diego and San Francisco, a standardised household emits around 26 tons of CO<sub>2</sub> per year – albeit with a much higher standard income of \$62,500. Shanghai’s standardized household, meanwhile, produces 1.8 tons of carbon and Beijing’s standardized household produces 4.0 tons. Even in China’s brownest city, Daqing, a standardized household emits only one-fifth of the carbon produced by one in America’s greenest cities.

**Table 1: Overall 2006 Green City Ranking**

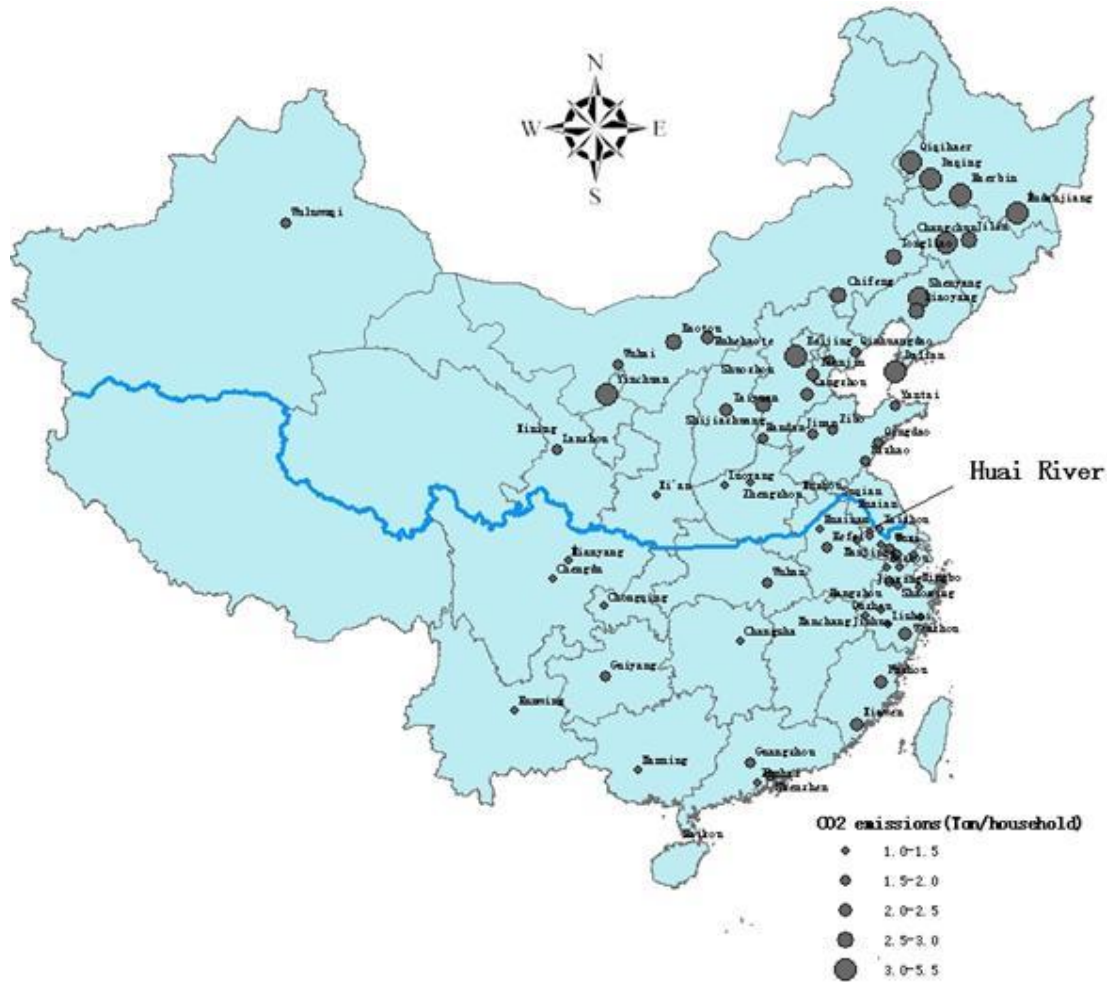
Rank	City	Electricity	Coal	LPG	Coal gas	Car	Taxi	Bus	Rail	Heating	Total CO <sub>2</sub>	Standard error
1	Huaian	0.879	0.098	0.082	0.016	0.120	0.011	0.023			1.230	0.090
2	Suqian	0.865	0.218	0.117		0.000	0.006	0.026			1.231	0.073
3	Haikou	0.983	0.007	0.176	0.015	0.000	0.006	0.065			1.252	0.124
4	Nantong	1.062		0.036	0.164	0.000	0.007	0.012			1.281	0.080



5	Nanchang	0.978		0.141	0.048	0.000	0.007	0.130			1.305	0.138
6	Taizhou	1.069	0.041	0.076	0.016	0.094	0.006	0.005			1.307	0.142
7	Zhenjiang	1.098	0.067	0.036	0.064	0.030	0.009	0.027			1.331	0.118
8	Shaoxing	1.170	0.048	0.066	0.052	0.002	0.006	0.021			1.365	0.115
9	Xining	0.878	0.250	0.020	0.012	0.000	0.019	0.175		0.016	1.371	0.198
10	Xuzhou	0.946	0.070	0.046	0.112	0.172	0.010	0.040		0.006	1.401	0.172
11	Shuozhou	0.594	0.255	0.046	0.060	0.083	0.016	0.015		0.357	1.426	0.113
12	Yangzhou	1.123	0.033	0.063	0.083	0.113	0.009	0.019			1.443	0.325
13	Quzhou	1.115	0.030	0.189	0.068	0.006	0.007	0.037			1.452	0.278
14	Luoyang	0.905	0.155	0.127	0.027	0.040	0.010	0.038		0.189	1.491	0.169
15	Chengdu	1.243	0.016	0.005	0.232	0.007	0.012	0.007			1.522	0.097
16	Nanning	1.079	0.001	0.220	0.002	0.117	0.009	0.097			1.524	0.073
17	Mianyang	1.157		0.001	0.209	0.153	0.012	0.027			1.558	0.135
18	Changzhou	1.224	0.009	0.106	0.053	0.131	0.010	0.041			1.574	0.100
19	Jinhua	1.154	0.046	0.167	0.002	0.233	0.008	0.016			1.626	0.094
20	Huzhou	1.330	0.014	0.194	0.008	0.026	0.007	0.059			1.638	0.100
21	Lishui	1.308	0.018	0.197		0.110	0.005	0.013			1.651	0.108
22	Ningbo	1.328	0.004	0.213	0.011	0.058	0.006	0.050			1.670	0.142
23	Chongqing	1.396			0.229	0.000	0.014	0.039	0.004		1.681	0.342
24	Zhuhai	1.197		0.345	0.002	0.026	0.010	0.148			1.726	0.027
25	Wuxi	1.461		0.071	0.123	0.023	0.010	0.060			1.748	0.044
26	Zhengzhou	0.984	0.185	0.053	0.109	0.000	0.006	0.057		0.363	1.757	0.071
27	Taizhou	1.359	0.008	0.256	0.004	0.117	0.007	0.009			1.761	0.157
28	Hefei	1.360	0.069	0.101	0.064	0.000	0.044	0.138			1.776	0.064
29	Lanzhou	0.573	0.029	0.047	0.067	0.000	0.016	0.077		0.976	1.785	0.081
30	Shanghai	1.219		0.007	0.235	0.130	0.014	0.118	0.074		1.796	0.066
31	Guangzhou	1.315		0.213	0.052	0.056	0.008	0.127	0.055		1.827	0.138
32	Rizhao	1.060	0.092	0.065		0.222	0.013	0.060		0.318	1.831	0.102
33	Zibo	0.998	0.169	0.119	0.024	0.034	0.021	0.062		0.441	1.870	0.120
34	Jiaxing	1.286		0.187	0.009	0.373	0.007	0.028			1.890	0.088
35	Huainan	1.008	0.144	0.056	0.085	0.480	0.063	0.058			1.895	0.091
36	Nanjing	1.293	0.003	0.097	0.051	0.318	0.009	0.096	0.032		1.899	0.045
37	Hangzhou	1.650	0.006	0.132	0.026	0.000	0.006	0.087			1.907	0.045
38	Wuhan	1.526	0.016	0.133	0.092	0.065	0.011	0.069	0.003		1.915	0.100
39	Yantai	0.969	0.142	0.069	0.067	0.017	0.019	0.022		0.629	1.934	0.066
40	Wulumuqi	0.509		0.027	0.086	0.000	0.024	0.177		1.128	1.951	0.091
41	Handan	0.998	0.029	0.008	0.222	0.004	0.013	0.068		0.633	1.974	0.215
42	Guiyang	1.433	0.201	0.016	0.118	0.141	0.010	0.073			1.993	0.076
43	Qingdao	1.205	0.248	0.060	0.067	0.000	0.020	0.053		0.388	2.041	0.123
44	Xi'an	0.871	0.072	0.037	0.101	0.605	0.018	0.104		0.246	2.055	0.101
45	Changsha	1.204	0.028	0.193	0.044	0.505	0.021	0.088			2.083	0.095

46	Shenzhen	1.491		0.261	0.012	0.263	0.010		0.112		2.149	1.601
47	Kunming	1.003	0.033	0.068	0.106	0.814	0.005	0.138			2.167	0.133
48	Jinan	1.099	0.373	0.062	0.030	0.084	0.017	0.085		0.436	2.185	0.060
49	Tangshan	0.865			0.232	0.405	0.017	0.058		0.625	2.203	0.076
50	Cangzhou	0.868		0.185	0.020	0.023	0.029	0.014		1.087	2.226	0.080
51	Suzhou	1.424	0.016	0.068	0.077	0.718	0.008	0.033			2.344	0.167
52	Wenzhou	2.057		0.286	0.001	0.000	0.015	0.051			2.410	0.090
53	Wuhai	0.536	0.632	0.045	0.017	0.089	0.014	0.093		1.008	2.435	0.155
54	Qinhuangdao	0.841	0.096	0.076	0.089	0.253	0.017	0.096		0.977	2.447	0.157
55	Taiyuan	0.939	0.027	0.012	0.237	0.027	0.013	0.086		1.107	2.449	0.171
56	Fuzhou	2.124		0.201	0.025	0.060	0.006	0.054			2.470	0.076
57	Huhehaote	0.747	0.105	0.066	0.073	0.014	0.034	0.077		1.468	2.584	0.115
58	Xiamen	2.035	0.001	0.152	0.021	0.326	0.007	0.171			2.713	0.069
59	Tongliao	1.448	0.063	0.162		0.000	0.058	0.019		0.972	2.722	0.073
60	Shijiazhuang	1.110	0.044	0.091	0.099	0.000	0.019	0.048		1.313	2.724	0.069
61	Jilin	0.983		0.198	0.016	0.000	0.030	0.204		1.512	2.944	0.126
62	Chifeng	0.873	0.161	0.085		0.025	0.020	0.031		1.802	2.998	0.089
63	Tianjin	1.551	0.063	0.014	0.070	0.553	0.018	0.087	0.017	0.690	3.063	0.071
64	Changchun	0.914	0.010	0.003	0.126	0.004	0.024	0.056	0.006	1.938	3.080	0.069
65	Liaoyang	0.962		0.139	0.024	0.173	0.026	0.028		1.885	3.237	0.052
66	Baotou	0.698	0.102	0.054	0.053	0.174	0.021	0.072		2.134	3.309	0.084
67	Dalian	0.904		0.015	0.191	0.000	0.040	0.071	0.007	2.143	3.371	0.068
68	Haerbin	1.157		0.027	0.236	0.000	0.021	0.057		2.009	3.508	0.285
69	Shenyang	0.974		0.009	0.099	0.000	0.028	0.082		2.337	3.528	0.060
70	Yinchuan	0.675	0.019	0.059	0.036	0.338	0.034	0.095		2.287	3.543	0.146
71	Qiqihaer	0.765		0.054	0.115	0.000	0.018	0.041		2.620	3.614	0.085
72	Beijing	1.558	0.145	0.049	0.084	0.650	0.018	0.138	0.049	1.306	3.997	0.192
73	Mudanjiang	1.047	0.136	0.081		0.353	0.040	0.017		3.154	4.827	0.107
74	Daqing	0.998		0.233	0.003	0.000	0.026	0.137		3.719	5.115	0.056
	<i>Mean</i>	<i>1.122</i>	<i>0.093</i>	<i>0.102</i>	<i>0.077</i>	<i>0.135</i>	<i>0.016</i>	<i>0.067</i>	<i>0.036</i>	<i>1.228</i>	<i>2.177</i>	<i>0.134</i>

Note: The units are tons of carbon dioxide per household per year.



**Figure 2. Carbon dioxide emissions per household in 74 Chinese cities**

Figure 2 shows the per household carbon dioxide emissions in each of the 74 cities. High levels of carbon emissions are particularly common in the north, which reflects the cold temperatures and government heating policy. Coastal cities also have higher emissions, perhaps because they are somewhat more developed. Eight of the ten greenest cities in our sample are located just south of the centralized heating border in the coastal provinces. These cities are not entitled to winter heating services and their summers are not exceptionally hot. Daqing, China's oil capital, has dramatically higher carbon emissions than any other city.

The Chinese heating system is coal-based and highly subsidized. Most of the heat is derived from coal-fired heat-only boilers or combined heat and power generators, which are inefficient in energy usage compared to electric, gas and oil heating systems in industrial countries (Yi Jiang 2007). If China's home heating system were to be dramatically changed, perhaps using far less carbon intensive energy sources, then this could certainly change the rankings of cities.

The results reported in Table 1 are measured in tons of carbon dioxide per household. We use an estimate of \$35 per ton as the marginal social cost of one ton of carbon dioxide. This is a conservative estimate relative to the Stern report (2008), which suggests a cost of carbon dioxide that is twice this amount. This value lies in the middle of the range reported by Metcalf (2007).

We estimate that moving the average household from the greenest city to the brownest would cause a social externality of \$136.5 per year – roughly 2.5% of a year’s income. If the northern cities substitute away from coal for home heating, or if the richer cities invest more in subways or other forms of transit, this gap could narrow.

### ***Understanding Cross-City Differences in Carbon Emissions***

Table 2 reports the correlation between our carbon emissions estimates and city-level attributes including population, population growth, income, temperature and urban form. Population is positively correlated with emissions from use of taxis, buses and electricity (Figure 3). Unsurprisingly, larger cities tend to be more transit oriented and less dependent on cars. Population density is associated with lower levels of emissions from taxi use and buses. This may indicate shorter average travel distance or much effect urban public transportation. Just as in the U.S., compact development leads to lower carbon emissions.

There is a positive correlation between city-level income and carbon emissions (Figure 4), even holding individual income constant. Higher income cities have higher emissions from electricity, driving, and subways but lower emissions from taxis. One explanation for the link between city-level income and emissions for a standardized household is that there is mismeasurement in individual income and that city-level income is correlated with unobserved household prosperity. A second explanation is that there is a social multiplier in certain types of energy use. A third explanation is that higher income cities have built infrastructure that is complementary with greater use of energy.

Figure 5 shows the strong correlation between January temperature and carbon emissions, which reflects both the natural tendency of colder places to require more heat and the home heating rules that provide heat only to northern cities. The temperature effect of January comes primarily from its impact on household heating emissions – one degree higher in January temperature corresponds to 0.111 ton less CO<sub>2</sub> emissions from heating. There are offsetting effects from the other energy sources.

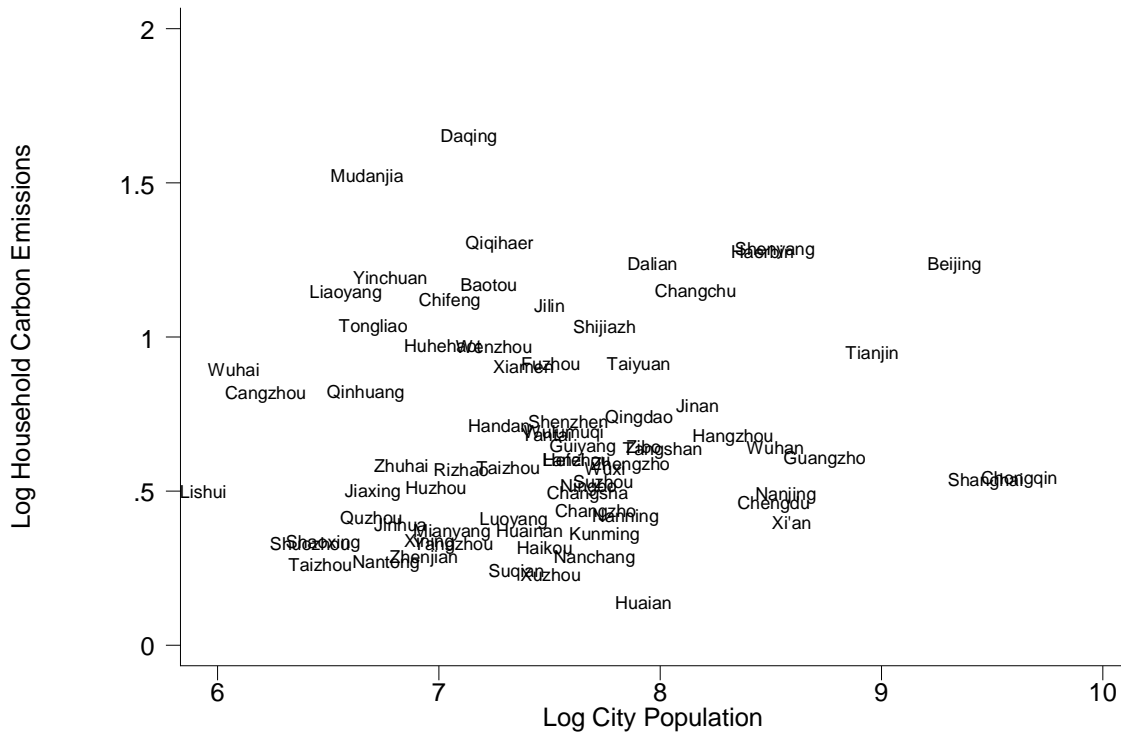
**Table 2:**

**Explaining Cross-City Variation in the Standardized Household’s Carbon Production**

	Electricity	Heating	Car	Taxi	Rail	Bus	TOTAL
Log( <i>CINCOME</i> )	0.439 (3.40***)	1.065 (1.08)	1.420 (1.88*)	-1.377 (-4.96***)	3.188 (2.00*)	-0.455 (-1.22)	0.440 (3.24***)
Log( <i>POP</i> )	0.067 (1.95*)	-0.028 (-0.13)	-0.083 (-0.36)	0.153 (1.79*)	0.535 (1.08)	0.491 (4.47***)	0.054 (1.46)
<i>JAN_TEMP</i>		-0.111 (-4.41***)					-0.033 (-8.8***)
<i>JULY_TEMP</i>	0.031 (2.64***)						
<i>DENSITY</i>			0.257 (0.61)	-0.424 (-2.75***)	-0.66 (-0.7)	-0.837 (-4.01***)	
constant	-5.898 (-5.06***)	-11.72 (-1.22)	-17.822 (-2.21**)	10.085 (3.41***)	-41.273 (-2.58**)	0.238 (0.06)	-4.291 (-3.08***)
obs	74	35	74	74	10	73	74
R2	0.436	0.394	0.05	0.27	0.91	0.317	0.598

\* The dependent variable is measured in tons of carbon dioxide emission of standardized household. The unit of analysis is one of the 74 cities. T-statistics are reported in parentheses.

\* indicates significance at the 10% level, \*\* at the 5% level and \*\*\* at the 1% level.



**Figure 3: The Cross-City Relationship between City Population and Household Carbon Emissions**

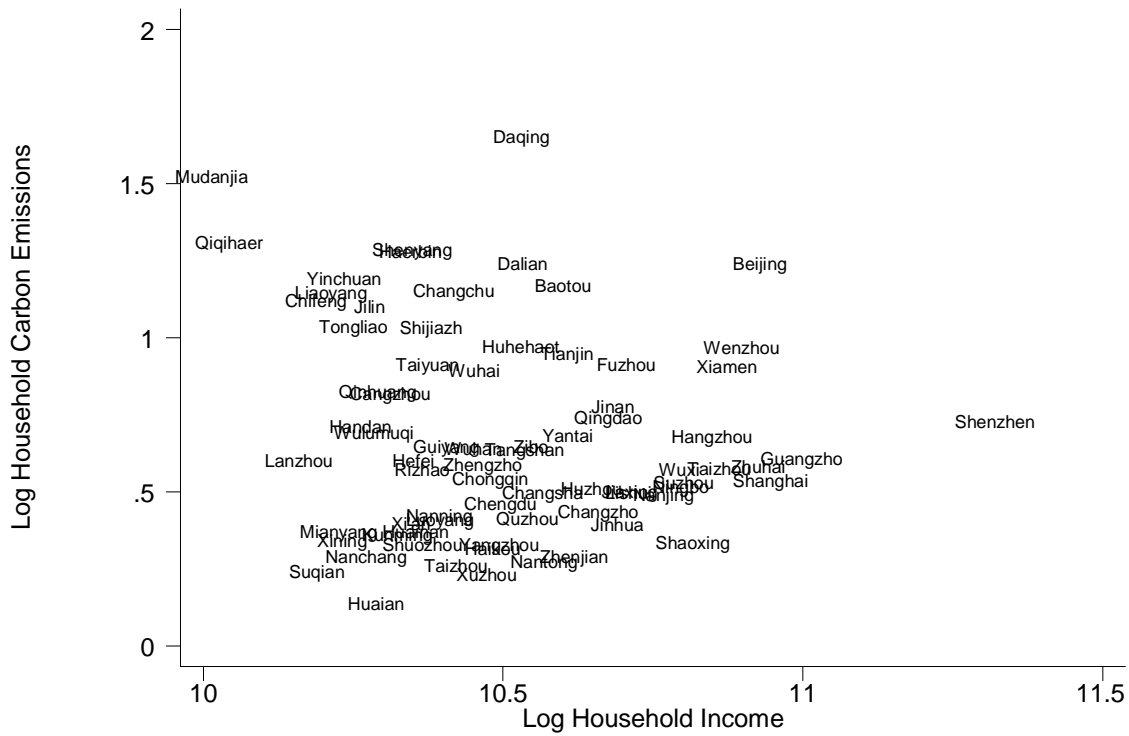


Figure 4: The Cross-City Relationship between City Income and Household Carbon Emissions

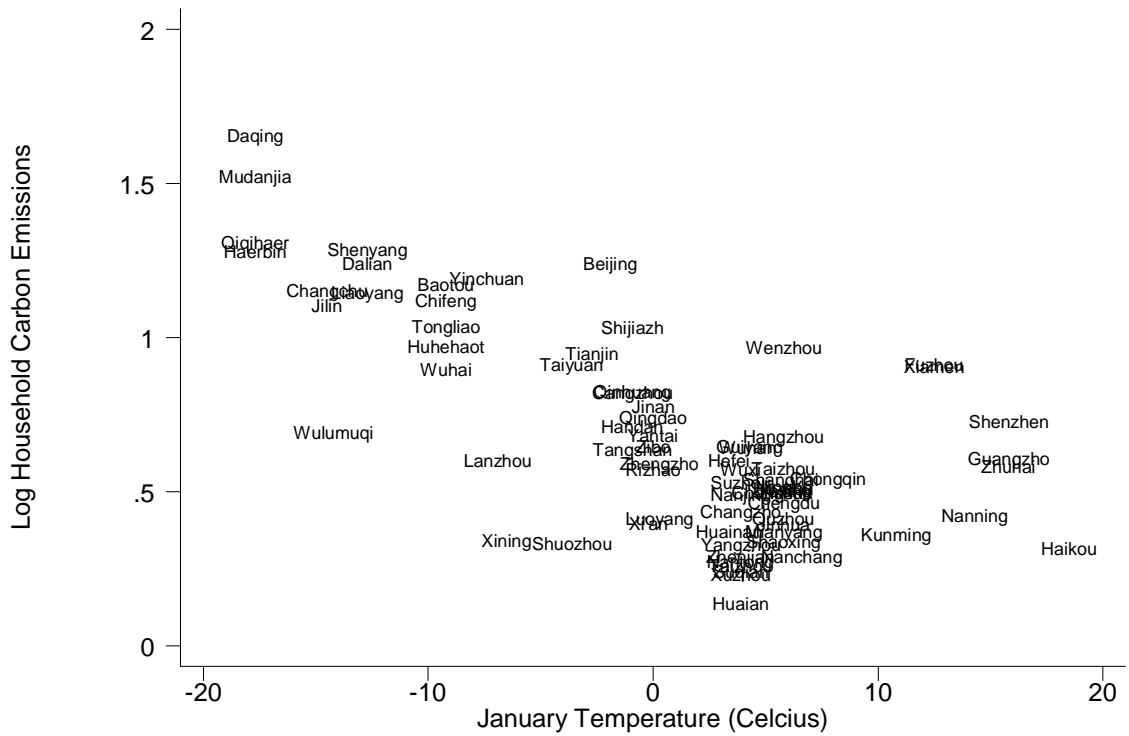


Figure 5: The Cross-City Relationship between Winter Temperature and Household Carbon Emissions

## ***China's regional development policies***

Unlike the US, China's government is pursuing a well defined set of regional growth policies. If successful, these policies will affect China's overall carbon emissions. In China, there are at least three significant programs that are intended to bolster the growth of particular regions.

- The Western Development Program launched in 1999 gives infrastructure aid and support for industrial adjustment to western and inland provinces.
- The Northeast Revitalization Program focuses on reinventing the declined cities in the Northeast (Liaoning, Jilin and Heilongjiang).
- A third program is targeted at the development of Beijing-Tianjin- Bohai Sea region. This program intends to expedite the development of this northern mega-region to catch up the Yangtze and Pearl River Deltas in the south.

To assess the carbon production consequences of these program would require a detailed model of how each of these program will influence the spatial distribution of Chinese urban growth. To begin to address this topic, we calculate the regional household carbon emissions factor by taking population weighted averages of our household carbon production measures reported in Table 1.

The weighted average of residential emissions in the Western region is 1.9 tons per household relative to 2.3 tons in the rest of the country. The weighted average residential emissions in the cities impacted by northeastern regional development are 3.5 tons per household. Emissions are 2.0 tons per household outside that region.

Finally, the weighted average emissions in the cities inside the Beijing-Tianjin-Bohai Sea region are 2.9 tons per household, as opposed to 2.1 tons outside that region. The Northeast Revitalization Program and the development program of Beijing-Tianjin-Bohai Sea region seem to be trying to bolster growth in areas that have particularly high levels of residential carbon emissions. The Western Development Program is encouraging the developments in the areas with slightly low levels of residential carbon emissions.

## ***Conclusion***

We have used individual and institutional data to measure household carbon emissions across a sample of 74 Chinese cities. We have found that the "greenest" cities based on this criterion are Huaian and Taizhou while the "dirtiest" cities are Daqing and

Mudanjiang. However, even in China's brownest city, Daqing, a standardized household emits only one-fifth of the carbon produced by a standardized household in San Diego, America's greenest city.

We find that some of the patterns of carbon emissions within China replicate findings that hold in the United States and elsewhere. If economic growth takes place in compact, public transit friendly, cool summer, warm winter cities, then the aggregate carbon emissions will increase less than if economic growth takes place in "car dependent" cities featuring hot summers and cold winters and where electricity is produced using coal fired power plants.

China is pursuing major regional growth initiatives. Our results highlight the presumably unintended adverse carbon consequence of encouraging growth in the North.

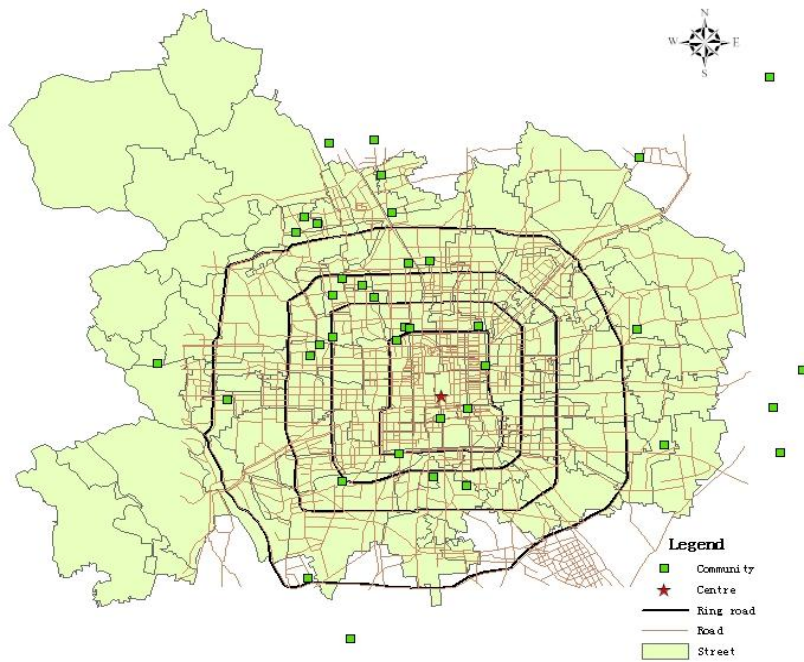
## **Intra-urban Study:**

### **Low-carbon Communities and Its determinants (brief summary)**

Recently, "low-carbon communities" have drawn great interests from both the academia and the industry in China. Taking advantage of a uniquely-designed household survey in Beijing residential communities, we estimate the residential and personal transportation carbon dioxide emissions of 826 urban households in 38 residential communities (the spatial distribution of 38 communities are shown in Figure 6).

We consider five sources of carbon dioxide emissions: household electricity, home heating, residential cooking fuels, private car and taxi use. Unfortunately, we are not able to get access to public transportation energy consumption data. We find that on average, each household emit 7.4 ton CO<sub>2</sub> per year. Table 3 and Figure 7 lists the components of this total number.

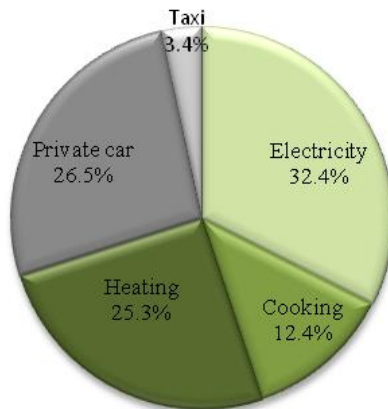




**Figure 6 Spatial distribution of 38 residential communities surveyed in Beijing**

**Table 3 Carbon dioxide emissions from households in Beijing**

Terms		Descriptive statistics of carbon dioxide from household living (Ton/household)			
		Mean	Std.eva	Max	Min
Residential	Electricity	2.403	1.812	17.195	0.057
	Central heating	2.401	1.042	10.434	0.169
	Cooking	0.956	1.105	8.516	0.011
private transportation	Private car	4.104	3.655	29.489	0.084
	Taxi	0.502	0.922	11.655	0.019
Total carbon dioxide emission		7.399	4.717	40.947	0.437



**Figure 7 Composition of carbon dioxide emissions from households in Beijing**

We use regressions to explore how household characteristics, housing attributes and community attributes affect per household residential carbon dioxide emissions. We find that the emissions rise with household income, household size and household head's age. The income elasticity is about 0.13. Households with more electronic appliances and relying more on air-conditioners in summer have higher emissions. Homeowners have higher emissions than renters. Households living in larger homes consume more energy and are thus less "green". Interestingly, high-density communities (high FAR) with energy-saving building structure can effectively reduce per household carbon dioxide emission.

We use the two-stage Heckman model to examine the carbon dioxide emissions from private car driving. We find that richer households, households with kids, and those who live further away from CBD are more likely to purchase a car. Given a household owns a car, its gas consumption and carbon dioxide emission is highly correlated with commuting time. The elasticity of commuting time with respect to carbon dioxide emissions is 0.14. Therefore, urban sprawl may bring environmental costs for the city, and better jobs-housing balance may reduce car driving and related greenhouse gas emissions. The above results confirm that compact city is good for saving energy and reducing residential carbon footprint.

# 结题报告正文

## 1.研究背景与研究问题

### 1.1 研究背景

**1.气候变化已经成为全球各界关注的焦点问题，中国正在积极承担温室气体减排的国际责任。**

全球气候变化已经逐步变成全球科学界、政界、商界关注的重要问题之一。2007年11月，政府间气候变化专门委员会(IPCC)发布的第四次评估报告指出，在现有的减缓政策和可持续发展实践的基础上，全球温室气体排放量在未来几十年仍将持续增长。IPCC预测从2000年到2030年，全球温室气体排放量将增长25-90%，而每10年全球气温将增长0.2℃（其中，二氧化碳的过量排放所带来的气候影响程度高达80%）。

气候变暖将在全球范围内对包括水资源、耕地资源在内的自然生态系统，农牧业、工业等产业以及人居环境造成各种直接或间接的影响；世界各国正在通过减少温室气体排放的方式，联手应对气候变暖日益严重的威胁。而作为一个发展中国家，一个能源生产消费大国和二氧化碳排放大国，中国正在积极承担二氧化碳减排的国际责任。中国政府在哥本哈根气候变化大会前夕，向国际社会做出了负责任的郑重承诺：到2020年中国单位GDP的CO<sub>2</sub>排放比2005年下降40%~45%。目前中国政府已经采取了各项政策措施，如：加快产业结构调整，推动技术进步，提高能源利用效率；发展低碳能源和可再生能源，改善能源结构；开展植树造林，加强生态保护；实行计划生育，减缓人口增长；加强法制建设，开展全民教育等，以降低二氧化碳的排放水平。

### **2.城市既是经济增长的引擎，也是能源消耗和碳排放的主角。**

一个国家碳排放的水平与其城市化进程息息相关。城市是人口、建筑、交通、工业、物流的集中地，也自然成为高耗能和高碳排放的集中地。第二届全球大城市气候峰会公布，全球大城市消耗的能源和温室气体排放量分别占全球总量的75%和80%。

而在中国，2007年，中国人口的44.9%集中在城市，而城市创造了整个国民经济总量的88%。同时，集中于城市的二三产业和城市居民的碳排放占有所有碳排

放的 86%（终端需求角度）<sup>1</sup>，全世界可吸入颗粒物浓度最高的 15 个城市中有 8 个在中国（世界银行，2004）<sup>2</sup>。

目前中国正处于快速城市化时期，城市化率以每年 1 个百分点左右的速度上升，产业结构重新布局，能源消耗日益增大，实现经济平稳较快增长和环境影响之间的平衡和优化，已经成为学者和公共政策制定者的关注焦点。

### 3.中国城市中居民生活部门对碳排放的贡献预计将日益提升，但学者对其的关注和研究仍很缺乏。

温室气体减排无法仅依赖工程技术手段——二氧化碳与传统污染物不同，目前尚无成本有效的末端治理手段，碳捕捉和掩埋的成本仍十分高。另外一个至关重要的因素是转变人们能源消费的动机和行为，从源头上减少能源消耗。

城市中的两大部门是产业（Industry）和家庭（Households）。通过转变传统的城市发展模式——包括产业发展模式和生活模式，以应对全球变暖的挑战将取得重大的效果。Glaeser 和 Kahn（2008）的研究显示，美国城市居民生活的碳排放已经占城市碳排放总量的 40%。尽管目前中国的这一比例低于美国（估计在 20%左右），但国际经验表明，随着产业结构逐步从工业向服务业转型，以及人均收入水平的上升，居民生活碳排放在城市碳排放总量中的比重会逐渐增加。这意味着中国城市居民生活部门对总体碳排放的贡献将日益提升。

尽管哥本哈根气候大会的最终结局并不尽如人意，但是低碳生活的理念却已经深入人心，这也意味着如何选择一种“绿色生活方式”将是未来城市发展以及人居生活方式必须考量的内容。然而，目前对于中国城市碳排放的经济学研究仍然较少，对碳排放的估算和分析主要是从产业角度出发，缺乏从区域和城市角度，特别是居民生活角度出发的微观研究。

本课题组利用自身在居民家庭能源消耗和家庭特征方面的微观数据优势，对中国 200 余个城市的居民生活碳排放总量、构成和人均量进行了细致的估计，在展示中国 200 余个城市居民生活碳排放构成的全貌，揭示居民家庭行为与能源消耗和碳排放的因果关系机理、城市发展模式与碳排放之间关系等方面形成了一系列创新性成果，能够为分析和评估城市环境方面的公共政策提供建议和支持。

---

<sup>1</sup> 碳排放为 2005 年数据，根据《中国能源统计年鉴》中能源平衡表的终端需求数据计算得到。

<sup>2</sup> 见 <http://news.bbc.co.uk/2/hi/asia-pacific/7498198.stm>。这八个城市是：天津、重庆、沈阳、郑州、济南、兰州、北京、太原。

## 1.2 研究问题

从学术角度而言，本课题是在城市经济学领域目前的一个前沿问题——“城市增长的环境影响”中的一个具体研究。

大规模的城市化进程为城市带来繁荣与发展（主要体现在经济发展、人口增长和空间拓展三个方面）的同时，也消耗了大量的资源，不可避免的对环境产生各种内部和外部的影响。

对于内部的影响（如固体废弃物、污水、噪音和大气污染等），通过有效的内部市场机制，可以使之伴随着城市发展水平的提高而得到改善——这正是我们的基础理论研究中“环境库兹涅茨曲线”的核心问题。但城市化所造成外部影响——典型的如温室气体排放导致全球气候变暖——却因为当地城市居民不能有效感知，无法通过市场机制得到有效解决。城市发展以各种形式所消耗的绝大多数能源都会最终以碳排放的形式对全球气候产生影响。本课题研究将以此为切入点，研究城市发展的各个方面（收入增长、人口增长和空间拓展）对环境所造成的外部影响（即碳排放）问题。

城市碳排放主要来源于产业和居民生活两大部门。我们将研究的重点集中于城市居民生活碳排放，是基于研究价值和我们的优势两个方面的考虑：

1. 理论价值——弥补对于中国城市中居民生活碳排放研究的不足。目前在中国，碳排放的经济学研究主要集中在产业领域，探讨了经济增长、产业结构、产业政策激励、能源使用效率等因素与产业碳排放的关系，但是针对居民生活碳排放的相关研究尚很缺乏。但如前所述，这部分的重要性将随着产业结构转型和居民生活水平的上升而日益提高。因此我们的研究将能够弥补这方面的不足，且容易形成创新性成果。

2. 我们的优势——郑思齐一直从事城市经济学和住房经济学的研究，在居民家庭行为方面有较好的研究积累；Matthew E. Kahn 一直从事城市经济学和环境经济学的交叉研究，前不久刚针对美国城市开展了居民生活碳排放的分析，形成了具有影响力的论文，这为我们的研究提供了很好的方法支持；曹静一直从事环境经济学研究，对于碳排放计算有较好的经验。另外，我们具有很好的数据优势——能够使用国家统计局住户调查（约 25,000 个微观家庭样本）的能源消耗微观数据，并收集了 200 余个城市的城市特征和能源消耗数据，这为我们开展居民家庭能源消耗和碳排放的微观行为研究提供了很好的数据条件。

本课题将重点解决以下三个问题：

1. 中国 200 余个城市居民生活碳排放的总量和人均值估算。致力于回答的问题是：中国城市居民生活碳排放的图景是怎么样？谁是最“绿色”的城市？

2. 中国城市居民生活碳排放与城市发展特征间的关系研究。致力于回答的问题是：各种城市特征如何影响居民生活碳排放？什么样的城市发展模式是最为“绿色”的？

3. 城市和区域发展政策的初步评价。致力于回答的问题是：不同的城市和区域发展政策，对于碳排放会有怎么样的影响？从环境效果而言，哪些是更有效的政策？

## 2. 基础理论研究

本课题研究的理论基础建立在城市经济学领域“城市发展的环境影响”的一系列理论研究之上。在这一理论框架之中，课题组从消费角度分析城市在不断发展的过程中，其主要三种趋势——收入增长、人口增长以及城市空间蔓延——会对环境造成哪些直接或间接的影响，进而着重归纳出城市发展过程中哪些因素会对城市居民碳排放产生影响，及其影响机理。我们会聚焦在从消费角度的研究。

在这一较为宏观、全面的理论框架中探究居民生活的碳排放问题，我们需要注意以下三点问题：

首先，城市化进程对整体环境以及碳排放量造成的影响并不是绝对的，在分析时要把握其对环境的有益（正向）和有害（负向）影响，综合分析；

其次，城市化进程主要体现在三个方面，即经济的增长——人均收入的增加、城市人口的增长和城市空间的拓展（城市蔓延）；每个方面都会对环境造成相应影响，也会不同程度的影响城市居民生活的碳排放水平，需要逐一分析其对环境可能产生的各种影响，以全面把握；

最后，理论分析需要与实证研究相结合，通过实证研究验证理论推论并得出具体的参数估计值，定量把握具体的规律。

具体而言，本部分对于“城市发展的环境影响”这一理论框架的搭建和分析主要涉及以下三部分内容：

1. 城市发展对于环境影响的直观结果有哪些，即环境影响的构成要素；这一部分将重点阐述中国在二氧化碳排放问题方面的现状及挑战。

2. 城市发展的环境影响的理论基础及研究角度的选择：涉及到如何评价城市的环境质量的问题（不同背景的学者用什么样的方法评价一个城市的“绿色”水平）；这一领域最为基础的“环境库兹涅茨曲线”理论；以及本课题选择从消费角度研究的主要原因。

3. 从消费角度研究城市发展的环境影响机制——全面分析和总结城市发展三大趋势（收入增长、人口增长和空间拓展）对环境造成的各种影响，并重点关注其中对二氧化碳排放造成的影响。

理论基础中的以上三部分内容都与本课题的研究问题有直接的联系，在最后也会集中总结并阐述我们实证研究的主要思路。

## 2.1 城市发展的环境影响：构成要素与中国现状

### 2.1.1 城市发展造成环境影响的构成要素

上文在已经介绍过，城市发展对环境的影响可以分为内部影响与外部影响两大类，从发达国家的城市化进程中的直观结果来看，环境影响的构成要素具体体现在如下几个方面：

1) 城市内部的环境污染问题：大气污染、噪声污染、固体废弃物污染和水污染；

2) 城市外部的全球性问题：温室气体大量排放导致气候变暖。

世界各地的城市因为其所在国家的监管政策和各自城市化水平的不同，都在不同程度上存在着上述各种环境问题。而中国城市的快速发展以及公共服务设施的不足已经给中国制造了巨大的环境压力，发达国家在一百多年里面陆续出现的环境问题，在中国三十年里就集中出现。

因为本课题重点关注城市环境问题中的外部性问题即温室气体排放问题，所以下文将重点阐述中国二氧化碳排放问题的现状及面临的挑战。

### 2.1.2 中国城市二氧化碳排放问题的现状与挑战

#### 1、中国的二氧化碳排放问题现状

中国是全球二氧化碳（CO<sub>2</sub>）排放大国<sup>3</sup>。自 2003 年以来，中国二氧化碳排放的增长速度大大加快，超过了 GDP 的增速，2003 年和 2004 年的平均增长速度更是超过 18%，达到近 20 年来中国碳排放平均增长速度的最高水平。直到十一五期间节能减排政策开始实施起，其增速才降到 2007 年的 7%。尽管如此，我国 2008 年的化石燃料排放产生的二氧化碳高居 75.46 亿吨，约占全世界碳排放的 24%，已经超过美国成为全球第一（图 2-1 显示了最新公布的 2008 年各主要国家碳排放量）；同时，即使中国人多基数大，其人均碳排放在 2008 年也已经超过世界平均水平<sup>4</sup>——如图 2-2 所示，2008 年的中国人均碳排放量（5.67 吨每人）已经超过世界平均水平（4.74 吨每人）。

<sup>3</sup> 碳排放包括二氧化碳和其他碳化合物，其中二氧化碳占主体，也是导致全球变暖的主要成分。故本文中的“碳排放”主要指二氧化碳。

<sup>4</sup> 数据源自 BP（英国石油公司）、USGS（美国地质勘探局）和 WSA（世界钢铁协会）的统计结果。



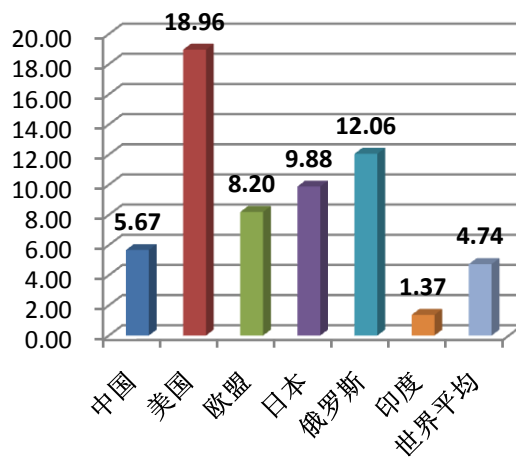
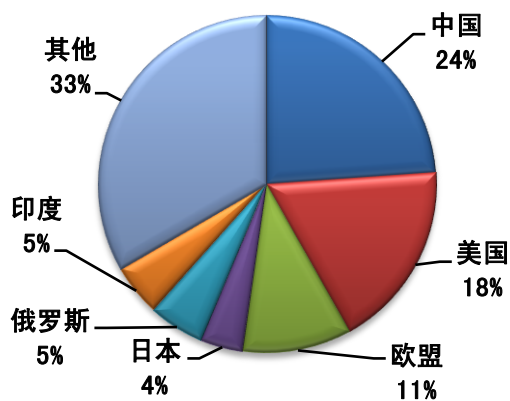


图 2-1 2008 年全球主要国家碳排放比重

图 2-2 2008 年全球主要国家人均碳排放量

根据世界能源机构的预测（如表 2-1 所示），到 2030 年中国的温室气体排放总量将达到世界 27%。

表 2-1 主要国家温室气体排放增长率预测

	排放总量 (百万吨 CO <sub>2</sub> )			百分比 (%)		
	2005 年	2015 年	2030 年	2005 年	2015 年	2030 年
美国	5783	6465	7025	22	19	17
加拿大	583	694	758	2	2	2
欧盟	3864	4004	4094	15	12	10
中国	5101	8632	11449	19	25	27
印度	1148	1805	3314	4	5	8
俄罗斯	1501	1794	1972	6	5	5

CO2 Emissions Projections, 2005-2030

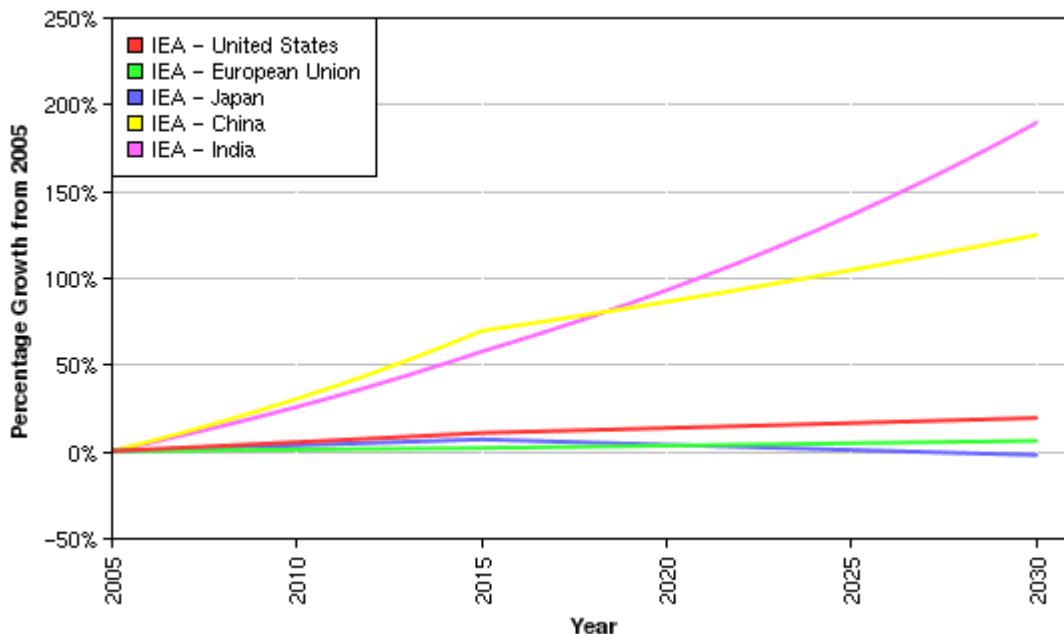


图 2-3 主要国家温室气体排放增长率预测

从上图可以看出，代表中国未来温室气体排放增长趋势的是图中的黄色折线，该趋势线反映了今后各年以 2005 年排放量为基数的百分比增长，中国在 2005—2015 年的增长将是世界上最高的，但 2015 年后的增长率将进一步放缓，但总体仍然较高的增长速度。预计到 2030 年，中国的温室气体排放量将达到 2005 年的 2.25 倍。

## 2、中国二氧化碳减排面临的现实挑战

前文在背景中已经介绍了中国政府在应对全球气候变暖问题中积极承担二氧化碳减排的责任，但结合中国的现实，我国在二氧化碳减排方面所面临的挑战主要来自四个方面：

**第一，能源结构：**中国是世界上少数几个以煤为主的国家，在 2005 年全球一次能源消费构成中，煤炭仅占 27.8%，而中国高达 68.9%。与石油、天然气等燃料相比，产生单位热量燃煤引起的二氧化碳排放比燃用石油、天然气分别高出约 36% 和 61%。由于调整能源结构在一定程度上受到资源结构的制约，以煤为主的能源供给和消费结构在未来相当长的一段时间将不会发生根本性的改变，使得中国在降低单位能源的二氧化碳排放强度方面比其他国家面临更大的困难。

**第二、社会经济发展水平：**世界各国的发展历史和趋势表明，人均二氧化碳排放量、商品能源消费量和经济发达水平有显著正相关关系。中国是正处于工业

化初期的发展中国家，经济增长方式粗放、能源结构不合理、能源技术装备水平低和管理水平相对落后，导致单位 GDP 能耗和主要耗能产品能耗都高于主要能源消费国家平均水平。在目前的技术水平下，达到工业化国家的发展水平意味着人均能源消费和二氧化碳排放必然达到较高的水平，世界上目前尚没有既有较高的人均 GDP 水平又能保持很低人均能源消费量的先例。未来随着中国经济的发展，能源消费和二氧化碳排放量必然还要持续增长，减缓温室气体排放将使中国面临开创新型、可持续发展模式的挑战。

**第三、温室气体排放总量：**中国的温室气体排放总量比较突出，而且其中“内涵能源”比例较大。从历史累计量看，中国自 1850 年到 2004 年，消耗化石燃料排放出的二氧化碳只占同期世界排放量的 8.09%，人均二氧化碳排放量居世界第 92 位。但中国人口占世界 20%，目前的温室气体排放总量仅次于美国，并有可能在 2010 年前后超过美国。同时，“内涵能源”量较大也是造成中国的温室气体排放总量较大的原因之一。所谓“内涵能源”，是指产品上游加工、制造、运输等全过程所消耗的总能源。鉴于中国当前的经贸结构，必然存在巨大的“内涵能源”出口净值。根据估算，2006 年中国产品出口造成二氧化碳排放约 19.8 亿吨，在当年全国化石燃料燃烧二氧化碳排放总量中占 35%，其中净出口对应的二氧化碳排放约 8.2 亿吨，约占总量的 14.5%。

**第四、锁定效应：**所谓“锁定效应”，是指基础设施、建筑物、机器设备、以及个人大件耐用消费品等，其使用年限都在 15 年乃至 50 年以上，其间不大能轻易废弃，即技术与投资都会被“锁定”。中国在积极发展电力的过程中，如果未能避免传统燃煤发电技术的弊端，则这些电站 50 年后还会像现在这样较多地排放碳。届时，中国必然已正式承担减排义务，将相当被动。如何在发展过程中，超前运筹，避免锁定效应的束缚和后患，是一项紧迫而现实的挑战。

## 2.2 城市发展环境影响的理论基础与研究角度

### 2.2.1 理论基础——“环境库兹涅茨曲线”

首先，研究城市发展的环境影响，最为基础的理论就是“环境库兹涅茨曲线”。

从宏观变化趋势而言，城市发展对城市环境会产生两种相反的效应，即规模效应（size effect）和质量效应（quality effect）。伴随着经济增长，消费和生产的规模会扩大，能源消耗和碳排放量也随之增加；同时，人们对环境的偏好也逐渐上升，加上公共政策的激励，生产者和消费者都会更偏好更“绿色”的技术、设备和产品，这又会减少能源消耗和碳排放量。描述这种城市经济发展对于环境造成的影响的最为经典的理论就是“环境库兹涅茨曲线（EKC）”。

如图 2-4 所示的倒 U 型曲线即城市环境库兹涅茨曲线（EKC），它是一个动态的、描述人均收入与城市环境质量（或污染程度）关系的曲线——随着城市人均收入的增加，城市环境质量将会经历先恶化再改善的过程。从当前的研究结果来看，它的结论既适用于同一时期的不同城市的情况，也适用于同一城市不同时期的变化情况。城市经济学家的大量研究也主要集中在消费者、生产者和政府对经济增长的反应方面。

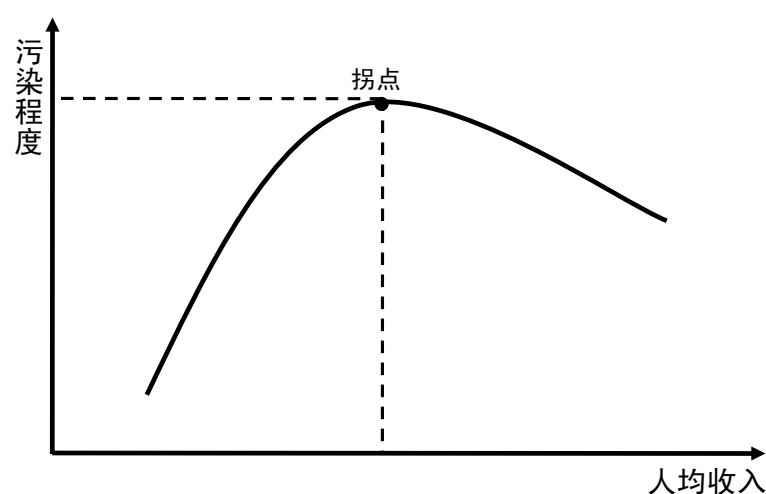


图 2-4 环境库兹涅茨曲线

可以说，环境库兹涅茨曲线（EKC）的基本思想就是，在城市经济增长的最初阶段，随着经济的发展，由于生产和消费规模的扩大，污染水平会上升；但当经济发展的一定程度时，生产和消费将逐步向更为绿色的模式发展，并随之给政策制定者带来更多的压力和资源来执行能够减少污染的监管政策，这样的作用将降低污染水平。

曲线所反映出的本质是城市经济增长所造成的规模效应和质量效应的相对

强弱决定了城市环境的发展趋势——当质量效应占主导时，环境库兹涅茨曲线出现拐点，即环境污染程度随着城市经济增长而开始下降，城市会变得更加“绿色”。

作为描述城市经济发展的环境影响最为基础经典的一种理论，环境库兹涅茨曲线在学界引发的广泛研究和争议在一直进行着。下文针对这些内容进行简要的总结，梳理关于“环境库兹涅茨曲线”的起源、移动、争议以及现实存在的客观必要条件。

### 1. 环境库兹涅茨曲线起源

20 世纪 90 年代，人们争论北美自由贸易协定对环境的影响时，使得环境库兹涅茨曲线初露端倪。关于该协定对于各国的影响（尤其是墨西哥的影响）是有着相矛盾的结论。有些人认为由于比较优势的作用（土地成本、人力成本以及环境监管力度不同），导致棕色工业（dirty industries）大量进入墨西哥，会引起该地区环境质量下降；而普林斯顿的两位经济学家则认为，随着墨西哥经济发展与收入增加，会通过引进清洁技术以及国民（尤其是高收入群体）影响政府出台的环保政策来加大环境保护的力度从而提高环境质量。而且格罗斯曼和克鲁格利两位经济学家在 1995 年，利用全球环境监测系统数据库中二氧化硫和悬浮颗粒的跨国数据，回归得到了 EKC 的倒 U 型形状；而且他们还指明，倒 U 型曲线的顶点——即环境改善的收入拐点——应该落在 6000—8000 美元之间，这一数据也成为了后来的研究者衡量环境污染的基础。

### 2、环境库兹涅茨曲线移动

世界银行提出，随着技术的进步与监管机制的完善等原因，环境库兹涅茨曲线会朝着左下方移动：环境的变化将提前迎来拐点且每种收入水平下的环境问题都得到减缓。具体而言，环境库兹涅茨曲线之所以会移动与两个方面密不可分：市场的力量和政府的作用。其中市场主要通过价格和技术来影响环境库兹涅茨曲线的形状和位置；而政府方面，随着收入的提高，城市居民会更加关注环境质量也促使了更为“绿色”的环保政策出台，同时企业对政府实行“绿色”政策的预期也会影响其自身的发展方式进而减轻对环境的污染。此外，一些突发事件——如大规模的环境灾难和严重的环境问题能够激发民众采取或支持成本高昂的环保行为，也会利于曲线向左下方移动。

### 3、对环境库兹涅茨曲线假说的反驳

尽管环境库兹涅茨曲线让人们能够对未来环境质量改善有了一定信心，但是

曲线本身是存在一定的局限和问题的。

首先，环境库兹涅茨曲线是假设过去的污染物在未来可以消除的基础上得到的，因此当考虑环境的不可逆性的时候（如：物种灭绝等）就不能成立；其次，环境库兹涅茨曲线假说会使得目前大量的处在拐点左侧的城市（众多发展中国家的城市）产生短期环境恶化的结果，而且这些城市由于经济发展水平普遍较低（即与拐点的距离较远）因而会在不短的时间内面对环境恶化的问题；再次，“污染天堂”（Pollution Heaven）假说反应的是富裕城市将灰色工业等高污染的产业转移到贫困城市的现象，尽管这种移动所带来的不一定是零和博弈，但是依然会加剧城市间环境质量不平等的程度，会对贫困地区产生负面影响。

最后，没有跨境外部性的因素——支持者所列举的两个经典案例中的污染物：“噪音污染”和“含铅汽油”都是不具有跨境外部性的；但是诸如酸雨、温室气体这种具有很强跨境负外部性的污染物，显然会由于它们对政府不具有足够的激励作用（如：中国的酸雨对韩国产生了影响，那么中国显然不会为这种影响而花钱去治理酸雨）而产生很大的环境成本。

#### 4. 环境库兹涅茨曲线的作用和成立前提

环境库兹涅茨曲线的作用在于打消了那些认为随着收入增加，环境污染程度就一定增加的人们的想法，说明了在一定情况下，城市经济是可以和城市环境协调发展的。但是，在这个过程中是需要市场的作用和政府的作用对其产生影响的，而并不是一种自发的行为。

环境库兹涅茨曲线存在的前提条件有以下三点：

（1）与环境污染有关的商品市场的建立与完善。比如，化石燃料（汽油）这一环境品具有很好的市场，这样才能通过市场的供求关系等因素取得环境库兹涅茨曲线的效果；但是诸如酸雨、温室气体等还不具有这样的市场机制，就无法得到环境库兹涅茨曲线的效果。

（2）环境污染相关的商品合理定价，并非由于政府压力而被扭曲。这里主要是政府不会通过颁布保护政策等形式过多地干预市场，从而压低价格。比如当前国内的汽油价格保护和水价格补贴等；合理的定价会促进保护并抑制消费的增长。

（3）政府在充分信息披露基础上的有效管理。即使收入的增长会使人们对环境监管更加关注，但只有当人们愿意表达这种关注，政策制定者也采取了有效的监管时，才能起到真正的作用，达到环境库兹涅茨曲线的效果

以上三点问题也正是本课题在进行城市居民生活碳排放的相关研究中需要重点关注的问题——一些研究城市内部环境问题的经典理论和假设对于碳排放这一外部性问题可能并不适用。下文将继续基础理论的总结，借鉴目前学术界从不同角度对城市环境质量评价的分析方法。

### 2.2.2 方法借鉴——城市环境质量的界定与主要评价方法

要判断城市发展对环境造成的影响，首先要解决的就是城市环境如何衡量的问题。不同专业背景的学者从不同的角度来处理这一问题，当今学术界最具代表性的三种衡量城市环境的方法分别为：

1. 生态学家所倡导的“生态印迹”方法；
2. 公共卫生学家所采用的“公众健康法”；
3. 经济学家所使用的“差别补偿法”。

在本课题的研究中，对城市环境质量的评价和测算对以上三种方法均有应用，下文将分别对其进行阐释并简要评论。

#### 1、“生态印迹”方法（Ecological Footprints）

生态学家强调城市生态指标的重要性，主要关注人们消费了多少，作为城市消费和生产的副产品的二氧化碳排放量又是多少。“生态印迹”方法先衡量出一个给定实体消耗的资源 and 产生的废弃物，并将这些数据转化为支持这些活动所必需的陆地和海洋的面积。其目的是衡量自然资本随时间的变化。

2002年由瓦克纳格尔领导的研究小组以人类最为显著的六大方面活动（种植业、养殖业、林业、采矿和渔业、基础设施建设以及化石燃料的消耗）的数据为基础，度量全球的消费。计算得出了承载人类活动以及消耗掉这些活动产生的废弃物所需要的土地面积：“1961年的人类负荷是地球生物圈承载力的70%，1999年为120%”。

“生态印迹”这种方法的优点在于，把每人每天的生活需求转换成了对自然资源的需求——通过生态印迹需求与自然生态系统的承载力（也称为生态足迹供给）进行比较即可以定量的判断某一国家或地区目前可持续发展的状态，以便对未来人类生存和社会经济发展做出科学规划和建议。

#### 2、“公众健康法”（Public Health）

公共健康专家主要关注空气污染、污水以及其他能造成疾病的环境因素会对人们的健康带来什么样的影响。所以提出的这种方法认为，一个城市中，如果与

环境有关的健康问题超过平均水平，或者日趋严重，就认为该城市的环境质量在下降，应当列为“棕色城市”。如果一个城市和环境有关的疾病的发病率较低，我们就称其为“绿色城市”。

这一方法的研究对象是，计算出在污染减少的情况下，城市居民的健康会得到多大的改善，或者在污染水平上升大的情况下，人们会受到多大的伤害。然而在实际应用的过程中却很难有合适的机会，因为其需要研究区域内的污染水平有一个突然和意想不到的改变方能真正实现准确测量和对比。但这种方法最大的优势是为衡量环境问题的成本提供了框架——将环境问题的成本转化为相应的货币成本以进行比较和评估。

### 3、“差别补偿法”（Differentiated Compensation）

经济学家的角度是，比较同一时点的不同城市或同一城市不同时点的房价，来评估一个城市的环境质量。类似于同类商品中质量更好则价格更高一样，一个地区的房价高说明这里适合居住，部分原因是其周边的环境好。如果一个地区和环境质量差，现有的居民会迁出这个城市，而潜在的居民根本就不会进入该城，结果导致该城市的房价下降。与此同时，能够提供好的生活质量的地区会有大量人口涌入，从而抬高土地价格（同时降低当地的工资）。价格会一直调整直至最终居住在环境质量好的城市和环境质量差的城市没有什么差别为止。为了维持这一状况，生活质量较低的城市必须比生活质量较高的城市提供更低的房租和更好的工资——即“差别补偿”。

这种方法的优点在于，以“显示偏好”为基础得出对城市生活质量的排序：通过收集市场数据，可以直观地了解到城市居民愿意怎样权衡市场消费和当地非市场化的公共物品，比如气候和污染。

但这种方法仍有其局限性：一是市场上的房地产价格是由供求双方所决定的，最终的价格不仅反映需求，同样反映供给，当某一地区的房价因为供不应求而升高时，采用此时的房价就无法客观地评价不同地区的城市环境质量；二是只有当城市居民了解、关心环境问题并有意愿为之支付更多时，这种方法方有效。

### 4、评价方法总结：全面考虑，构建“绿色城市指数”

上述的每种衡量环境质量的方法都有其不同的侧重点，也不可避免的存在各自的优缺点。比如，生态印迹法适用于判断一个城市对当地和全球环境的影响；公众健康法则适用于描述环境威胁的不同影响；而差别补偿法适用于在当地尚未出现严重后果的环境风险时更为适用。



针对城市环境质量，不同出发点的方法会产生不同的结论：一个生态印迹较小的城市，可能到处充斥着滋生疾病的垃圾；一个拥有充足的绿色花园的城市，可能产生大量的二氧化碳和其他气体，使得城市的气候发生变化。最近的 30 年来，后一种情况在美国的很多大城市非常普遍——城市的环境状况不断改善，但整体的资源消耗和城市交通的二氧化碳排放量也在一直增加。

城市发展的环境影响分为内部和外部两部分，在对城市环境进行评价的时候，必须区分当地环境指标和全球环境指标，哪个更为重要——所以有学者提出，将不同的指标综合成“绿色城市指数”：给予不同指标以权重并加总成为单一“绿色城市指数”（Green City Index），可以更加严谨地解决这一问题。综合运用三种标准——基于生态、公众健康和经济标准——能够更好的描述这些效应，为城市的发展对环境的影响做出更为确切的描述和评价。

### 2.2.3 研究角度的选择：从消费角度研究碳排放问题

目前国际上对碳排放量的估算一般从生产和消费两个角度进行。从《能源统计年鉴》上的能源平衡表上，就能够体会出两种计算方法的差异。从生产角度计算时，通常是从各个产业出发，追溯其生产产品所消耗的能源以及造成的碳排放；从消费角度计算时，是从家庭和产业出发，追溯其所消耗的产品在制造过程中所消耗的能源及产生的碳排放。在一个封闭的经济体中，两种计算方法得到的结果应该是相同的。在开放的经济体中有可能存在差异，因为一国生产的产品并不一定都被本国家庭消费。

我们的课题是分析居民生活的碳排放问题，因此应该从消费角度着手估计。首先明确产生能源消耗和碳排放的居民生活的几大类活动，如家庭电器、供暖、炊事、居民交通。居民交通又可细分为公共交通（地铁和公交车）和私人交通（私家车与出租车）。然后，计算每类活动所消耗的能源和产生的碳排放。

我们选择从消费角度计算，也有如下的考虑：中国作为发展中国家，正处在工业化发展中期，以大量能源消耗及温室气体排放为代价来促进经济的快速增长是目前中国经济发展的重要特点；此外，中国目前仍处于全球经济链条的低端位置，其生产产品大量出口而被其它世界国家所消费，奥斯陆国际气候和环境研究中心称，中国目前有三分之一的温室气体排放与出口有关，中国气候变化高级谈判代表李高也曾指出，中国温室气体排放中有 15%—25% 与出口商品有关，因此商品消费国应更多承担商品生产过程中的碳排放问题的责任。从消费角度的研究能够更准确地反映一个国家需要为减排所尽的义务。

## 2.3 城市发展的环境影响机制：从消费角度的研究

### 2.3.1 收入增长的环境影响

总体而言，收入增长对环境造成的影响有两种力量：其一是单纯来自市场的力量——不考虑政府的干预，收入增长会改变城市的消费和生产模式，影响对绿色产品的供给和需求，以此提高城市发展的可持续性；其二是市场之外的力量，即政府的环境监管——收入增长将促进政府对环境的治理，从经济意义上来说，经济的发展会提高对于环境监管的需求和供给。

与此同时，两种力量也都会在不同程度上对城市居民的碳排放造成影响——下文将分别对这两方面进行分析。

#### 1、收入增长过程中市场力量对环境的影响

收入增长最能体现出城市发展对城市环境产生的两种对冲效应：规模效应——城市经济增长增加了消费和生产的数量（比如提高了居民对于汽车的支付能力，更多的汽车会对环境造成更加严重的影响）；质量效应——经济增长同时也提高了消费者购买的商品和生产者使用的技术的质量（比如传统产品向绿色产品的转化会降低能耗，提高对环境的友好程度）。规模效应会降低发展的可持续性，而质量效应会增加可持续性。

实证研究的结果表明，随着收入的增长，质量升级起到了主要作用，从而使城市环境得到改善，变得更加“绿色”。也就是说，综合考虑，收入增长将会对城市环境造成有益的影响，有利于促进碳排放水平的降低。

##### （1）收入增长对环境的负面影响：规模效应——以交通为例

收入的增长，会刺激城市居民的消费，从而使得城市的生产和消费数量和规模不断增长，消耗更多的资源，使得城市的生态印迹增大，也导致城市的总体碳排放水平提高。

在此以交通方面的实证研究为案例，说明收入增长对环境的负面影响。

随着家庭收入的增长，人们使用的公共交通就会减少，因为公共交通的速度一般来说都要比轿车慢，因而导致私家车的拥有量有显著的上升：课题组成员 Kahn 教授，通过运用世界发展指标数据库中的跨国数据，以 1996 年 158 个国家的数据为基础研究发现，汽车拥有量的收入弹性为 0.91。也就是说，人均收入增长 10%，汽车拥有的比率增长 9% 多一点。收入增长对汽车拥有率影响最为疯狂的例子就是北京，伴随着经济的快速增长，北京市的汽车拥有量每年增加 15%—20%，1997 到 2003 年，北京市的汽车总量从 100 万辆翻了一番，达到 200 万

辆。

此外，不仅仅是汽车数量的问题，Kahn 教授一项针对美国都市区家庭的研究显示，家庭年均收入每上涨 10%，家庭年均驾驶里程数会上升 14%。

由此，通过交通方面的这一案例可以看出：收入增长所导致的车辆数量和行驶里程的增多，都将大大提升由于燃料消耗和汽车尾气所产生的碳排放量。

## **(2) 收入增长对环境的正面影响：促进绿色产品的需求和供给**

### **1) 需求：收入增长和受教育水平的提高促进居民对绿色商品和服务的需求**

随着城市经济的发展，两个因素会推动更加富裕的城市倾向于需求绿色的商品和服务：收入的增长和受教育程度的提高。

其中，收入的增长为人们的“绿色消费”提供物质基础保障；而受教育程度的提高会通过：a. 影响人们的需求层次（从生理需求向更高层次需求，如身体健康等发展）；b. 使人们拥有更为客观、长期和耐心的判断与选择（比如购买一次性支出大，但使用成本低环保的汽车）等两方面的作用，促进人们的主观的绿色消费意识。

而绿色消费本身就是环境友好的，有利于降低城市碳排放的水平，收入的增长进而以市场机制为基础，通过改变人们的生产和消费模式，最终影响城市环境质量，降低碳排放水平。

### **2) 现实：“搭便车”现象使得收入增长无法直接转化为更多的绿色支出**

但是，必须指出，人们并不会因为有钱就自发的选择消费更为绿色的产品，而是因为受教育程度提高使得人们意识到消费更为绿色的产品确实能够为其带来更大的收益；并且收入的提高保证了自己对更高价格绿色产品的支付能力。一般而言，只有当消费者认为消费高质量的产品对自身有好处时，他们才会购买。

作为个体消费者，并非都会从整个环境问题的角度来考虑自己的消费选择，很多人还是会选择购买传统商品而将节约的钱财用于他处——由此就会产生“搭便车”的问题。这也说明环保政策应该设计相应的激励机制和宣传措施：使消费者能够切实得到消费绿色产品的明显收益（比如食用绿色蔬菜对自身的健康更有帮助）；或者倡导绿色消费使之成为一种习惯——比如令拥有绿色产品成为社会所追求的潮流来鼓励人们更多的消费绿色产品。

### 3) 供给：在需求的刺激下，生产者转向更为绿色的供给

随着需求的日益提高，市场的有效供给也会随之发生改变，供应方会不断增加市场上绿色以及低碳产品的制造和供给。

在人们对绿色产品需求日益提高的时，生产商就可以通过对绿色需求的深入研究来供给绿色产品。比以房地产开发商为例，开发商如果调查到市场不再需要更大的房子，而是需要更为绿色的空间时，就会主动放弃建造高密度的开发模式，提高更为节能的小户型的供应比例。同时当他意识到自己物业周边的环境为其房地产带来的升值，将胜过保护和改善周边自然环境的成本时，也会促进其有更强的动力去保护物业周边的自然资源；同样，如果汽车制造商调查到市场由于燃油税和碳税的增长使得环保汽车的需求上升时，就会主动减少 SUV 的生产，转而向混合动力车方向发展。两个现实的例子将分别从居住和交通的角度降低城市居民的碳排放水平。

总而言之，收入增长和受教育程度提高会激励人们消费更绿色的产品，在市场需求的刺激下，生产者也就供给相应的更为绿色的产品——关于这一方面，我们可以从有关大城市产业构成演变的实证研究中找到支持。

图 2-5 是 Kahn 教授 2008 年针对美国大都市区的一项研究结果，可以很明显的看出，从 1970 年到 2000 年间，美国大都市区的就业趋势经历了由制造业主导向服务业主导的转变。

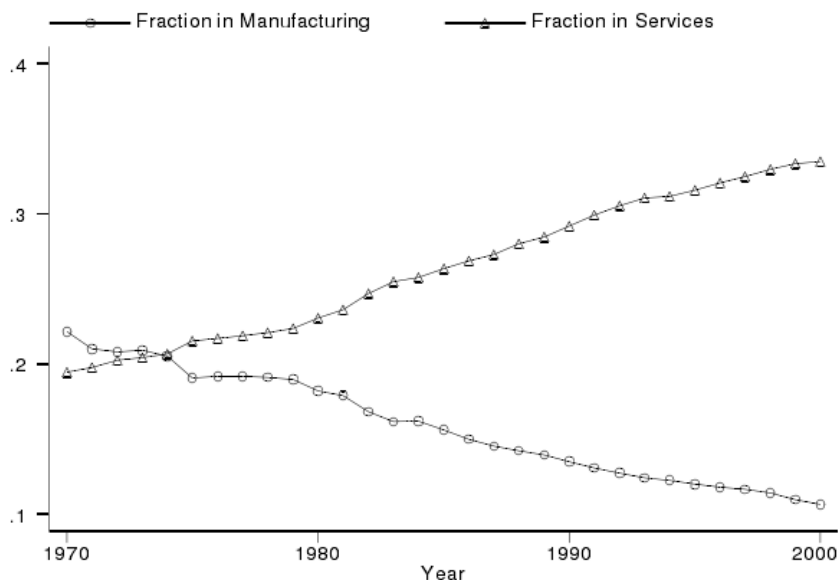


图 2-5 1970—2000 年美国大都市区的就业趋势

总之，伴随着收入增长，市场的力量促进了大城市的产业结构调整，减轻了

对环境的污染，改善了城市的环境质量，降低了城市的碳排放水平。

以上从城市经济发展的收入增长角度阐释了城市是如何在市场机制的作用下，增加了对绿色商品的需求和供给，从而为降低城市碳排放水平做出贡献。下文将从政府环境治理的角度来探讨收入增长对于城市环境及居住碳排放水平的影响。

## 2、收入增长过程中政府环境监管对环境的影响

尽管上文中提到了很多的市场力量，但仅靠市场自身运作去创造一个绿色城市几乎是不可能的：市场失灵和外部性的存在，决定了需要市场之外的力量——政府监管，来弥补市场本身的缺陷。伴随人均收入的增加和城市的不断繁荣，政府环境监管的供给和需求都在增加，同时也为包括二氧化碳减排在内的环境治理措施提供了充足的资源。

### (1) 前提：政府环境监管的必要性

现实条件下，因为以下四种原因而使得政府的干预对于环境治理非常必要：

- a. 信息的不对称：一个城市中，很多居民往往不能及时意识到污染的发生，或者不明白这种污染会造成何种后果（温室气体排放就具有这样的特点）；
- b. 交易成本的存在：确认污染和同污染方协商都是需要成本的；
- c. 环境影响的外部性：考虑污染的同时必须要考虑负的外部性问题，而城市居民很难对与城市内部污染问题相比更不明显的碳排放等外部性问题有效感知（这是温室气体排放最典型的特征）；
- d. 产权界定不明确：很多情况下，私有产权不存在，产权公有的全球气候变化、城市空气、街道和公园往往都面临着“公地的悲剧”。

### (2) 收入增长提高了对政府监管的供给和需求有益于环境的改善

#### 1) 需求：教育水平的提高和其他力量共同促进对环境治理的需求

随着受教育水平的提高，城市经济增长主要通过以下四方面原因促进城市居民提高对环境治理的需求。

第一，受教育程度高的人需求层次提高，城市居民更加关注的不仅仅是温饱，而是生活质量，由此也就促使居民更多的关注并寻求解决环境问题。

第二，高学历的人往往更有耐心、更愿意支付应对长期环境威胁的高成本投资。

第三，受教育程度高的人对环境问题的关注更加深入，更喜欢对环境问题进行深入的研究和分析。

第四，受教育程度高的城市居民对参与政治活动的积极性更高，美国有研究表明，学历的高低与是否参与投票有正相关关系——课题组成员 Kahn 教授通过将美国的选举数据和受教育数据（普查区和全国范围）结合分析，得出结论：大学毕业生比例较高的地区支持环保的可能性更大。

此外，即使平均教育水平不变，城市经济的发展同样会通过其他的方式增加对绿色政策的需求。在此列举以下三点现实原因：

a. 社区环境直接影响私人住房的市场价值：随着收入的增加，更多的人会拥有私人住房。房主的增加会对保护周边环境的质量有很强的激励——如果周围的环境质量下降就会影响到自己房屋的价格。

b. 企业为赢得高技能和有创造力的员工而提倡环境监督：高技能和有创造力的工人流动性很强，企业为赢得这些员工不仅需要提供高的薪酬，还必须为其提供高品质的生活。

c. 旅游行业代表提倡环境保护：在很多后工业城市，旅游部门成为了一个日益扩大的雇主，为保证自身行业的长期盈利以及可持续发展，旅游产业的相关人士也会积极推进城市的环境保护政策。

## 2) 供给：政府在绿色治理方面的供给

拥有着税收、监管和规划权利的政府，在城市的绿色治理和发展的过程中能起到至关重要的作用。政府是否愿意从事环境保护工作，取决于对当权者的激励程度以及他们所掌握资源的多少。城市发展带来的经济增长使得富裕的城市更有可能听取专家必要的意见，设计有效的政策。

美国学者波特尼在 2003 年的研究，通过对比美国不同发展模式（随意蔓延还是精明增长）城市的数据，已经得出结论：富裕地区的政府更有可能执行绿色政策。

波特尼构建了三十个地区的绿色政策指标，对那些采取了“精明增长”策略的城市进行了总结。其所构建的指标包括：城市是否再开发棕色地带、是否对有利环境的交通基于税收优惠、是否限制停车场的面积、是否购买和租赁节能汽车、生态工业园的建立、产业集群的发展等。以这些指标为基础，波特尼计算了

美国 24 个城市的“可持续性得分”。他计算得出美国西雅图、思科茨代尔、圣何塞等 7 个最具可持续发展潜力的城市。

Khan 教授结合美国 1990 年的普查数据，通过对比波特尼所评出的“精明增长”的城市和美国其他的城市，可以得出两类城市具有明显的差别：执行绿色政策的城市更富裕，受教育程度也更高。

在绿色政策城市中，32.3%的成年人拥有大学文凭，而棕色政策城市中这一比例仅为 22.6%。绿色政策城市的平均贫困率为 11.7%，而棕色政策城市为 17%。这些精明增长的城市，其人口密度比那些“棕色政策城市”高 90%，且精明增长城市中乘用公共交通工具上下班的工人比例为 14.9%，而后者仅为 7.8%。

这些巨大的差别说明：富裕地区的政府更有可能执行绿色政策；同样验证了教育在促进环保的过程中起到了重要的作用。这些都证明了收入增长通过政府治理对环境产生的有益影响。

具体在实施层面，以美国的政策为例，政府实行环境治理政策有以下四个方面，主要是针对城市内部的一些问题所施行的相关政策，但在治理碳排放问题上也会产生一定的帮助。

**a. 空气质量：**政府监管可以通过影响本地经济活动的规模和技术的使用来影响城市空气的质量。比如美国实行的高汽油税可以在短期内减少汽油的消费量，从长期看来也会鼓励汽车生产商投资于更节约燃料的技术；以美国 1970 年颁布的《清洁空气法》为例，其主要关注减少新增投资所产生的排放量——实行新的资源效率标准使得电力部门的热能锅炉在生产每兆瓦时电所排放的氮氧化物由最初的 6 磅，降到 80 年代的 4.09 磅，90 年代降到 3.55 磅。

旨在治理空气质量的高汽油税政策因为降低了汽油的消费量而直接降低了消耗汽油产生的碳排放量，而其间接影响是促进了清洁能源和技术的发展，常用影响也将有益于

**b. 水质：**自从美国 1972 年执行《清洁水法》以来，在原来污染地区的河流中，适合游泳的河段增加了 12527 英里，适合垂钓的河段增加了 16727 英里。改善水资源需要大量的资源，富裕的城市可以在主要水库的周围建立保护区，以此来保障城市的供水。同时，富裕城市除了投资较好的基础设施之外，还可以通过对消费者消费的每加仑水收费的方式来激励对谁的保护。

**c. 固体废弃物：**富裕城市人均制造的垃圾比贫困城市要多，但受到固体废弃物的污染却比较少，原因就在于富裕城市拥有有效处理这些垃圾的资源。

**d. 城市土地管理：**城市土地的使用政策对环境的可持续性有非常重要的影响。保护城市周边的空地已解决搭便车的问题；通过区域规划来最小化负外部性；以及通过恢复过去造成的破坏——富裕的政府在这三方面都能起到积极的作用。

对土地的管理最能体现出一个城市的可持续发展规划，从而有助于在源头控制城市的碳排放水平。

### 3、小结：收入增长对城市碳排放的影响

综合以上的分析论述，收入增长对环境造成的影响有两种力量：

其一是市场的力量——收入增长会改变城市的消费和生产模式：一方面其不利影响是收入增长带来的消费规模效应将提高对自然资源的消耗，另一方面质量效应也会提高城市居民对市场上绿色产品的供给和需求，从而对环境产生有利影响。

其二是市场之外政府的环境监管——经济的发展会提高对于环境监管的需求和供给。富裕而受教育更多的居民呼吁政府施行环境监管，而因为环境治理的高成本，富裕的政府也拥有更充分的资源实施环境治理和监管，从而改善城市环境。

综合这两方面影响，收入增长对城市居民碳排放的影响也各有利弊。因为收入增长而产生的消费规模效应将令城市消耗更多的资源（比如更大的住房面积、汽车数量和行驶里程的增高）而提高碳排放的水平。但同时收入增长使得城市居民有能力和意识消费“低碳产品”，对高质量生活的追求使得居民更关注城市环境，对城市环境监管的政策也更加支持；而政府因为有更充足的资源执行低碳政策、推动低碳规划和低碳经济，都将降低城市居民的碳排放水平。

下文将转向城市发展的第二个主要方面：人口的增长，探讨其对于环境影响以及城市居民生活碳排放的利与弊。

#### 2.3.2 人口增长的环境影响

城市人口增长是城市环境质量下降的重要驱动因素。随着更多的人进入城市，城市内部的空气污染、水污染和固体垃圾等问题日益严重，同时也会因为各种消耗量的增大而产生更多的碳排放。新移民并不仅仅曾讲了城市经济活动的规模，也加重了城市基础设施的负担。结果就是，无论从生态印迹还是从公众健康的角度来看，城市居民的碳排放量持续上升而可持续性下降。

但事实上，大城市的人口聚集和不断增长对环境的影响并不是单一的，某种程度上仍有其益处，下文将分别分析其有利和不利影响。



## 1、人口增长对环境的有利影响：大城市的优势

1) **规模经济，降低成本：**大城市能够提供持久的优势，更为重要的是，在发展“绿色”的环保投资时，可以利用规模经济的优势，比如交通、排水和供水系统。城市中的许多基础设施工程需要大量的前期投资，可是为新进入的居民提供服务的边际成本却很低。一个居民主要集居在大城市的国家提供这些基础服务的平均成本要比人口散居在许多小城市的国家的成本低。

2) **多元化劳动力市场，有利于控制长期人口的增长：**多元化经济有利于妇女参加工作，从而使家庭规模变小。从美国的数据来看，城市化和人口增长之间存在负相关关系。通过对 110 个国家的数据研究发现，一个国家 1965 年城市居民占总人口的比例（表征城市化程度的指标），和 1965-1995 年该国人口增长的百分比之间的相关系数为-0.64。

3) **大规模人口的聚集有利于知识溢出和技术进步：**大城市作为人口的聚集地，一个突出的优势是其可以发挥其集聚优势促进产业的发展和技术的进步，同时孕育出更多的科技创新和政策创新。这些创新也会促进一些清洁技术和新能源的发明和应用，从而能够有助于城市碳排放量的降低。

在一些实证研究中也已经证明，技术的进步除了能够完全抵消人口增长带来的环境问题之外，有时还可以使环境得到改善。

## 2、人口增长对环境的不利影响：大城市的风险与人口增长的问题

### (1) 大城市所面临的风险

a. 人口的聚集增大了公众健康危险——最直观的一点就是比较容易传播疾病。与投资组合理论的“不要把鸡蛋放在一个篮子里”恰恰相反，大城市聚集了大量的人口。由此也使得大城市如果爆发大规模的传染性疾病将蒙受重大损失。

b. 少数的大城市很难实现促进城市间竞争从而不利于可持续发展。当城市人口集居在一个或少数几个大城市时，居民就很难“用行动进行选择”；政府也因此缺乏改善环境以吸引流动人才的动力。所以，从这一角度而言，大规模的人口聚集如果都集居在少数城市将不利于环境的可持续发展。

### (2) 人口增长与对环境问题的影响

伴随着人口的增长，城市会面临更严峻的挑战，首先主要探讨了大城市的人口增长如何影响城市内部的三个主要的环境问题：空气污染、水污染和固体废弃物；随后通过其他非环境指标分析人口增长对环境产生的其他影响。

**a. 空气污染：**根据世界银行 1995 年的数据，空气中微粒和二氧化硫的含量与城市的规模呈正相关关系。

世界银行的研究者也已经证明，除了城市人口外，城市的气候、治理和收入水平等在决定当地空气污染水平都起到了很重要的作用。美国的情况说明了这一点：洛杉矶盆地是美国污染水平最严重的地方，但在过去的 25 年内，洛杉矶在治理环境污染方面取得了非常突出的成就：每年臭氧（烟雾的主要成分）的浓度超过国家 1 小时臭氧标准的天数从 20 世纪 80 年代早期的 150 天，降到 2005 年的 20-30 天。而美国经济分析局的数据也表明，洛杉矶的人口从 1980 年到 2000 年增加了 29%。这一实例也向我们说明，技术的进步除了能够完全抵消人口增长带来的环境问题之外，还能够使环境得到改善。

课题组成员 Kahn 教授利用美国环保署的年度数据库中的相关数据，研究了人口增长与环境污染之间的关系。研究结果表明：人口每增加 10%，粉尘颗粒的浓度就增加 4.4%。但是，如果控制人口因素不变，粉尘的浓度每年会下降 2.6%。这可能是由于对污染的监管或者采用更清洁的技术的结果。其所得出的结论是：城市人口增长确实使得污染水平有所上升，但是技术的进步能够在一定程度上抵消这种影响。

**b. 水污染：**人口增长对当地的基础服务也会有破坏性的影响，比如清洁的水。随着较贫困的人口流入城市，他们增加了对基础服务的需求，但通常却没有足够的为这些基础服务支付的能力。当现存的基础服务负担太重时，其质量就必然会下降——由此产生的直接后果就是严重的公众健康问题。超过 50 种的疾病都是由于基础卫生设施较差引起的，比如：痢疾、蛔虫病、结膜炎等。相反，良好的卫生设施能极大的改善公众的健康水平。20 世纪 80 年代，在巴西努力使城市居民或得高质量的水后，15 岁以下孩子死于水传染病的人数降低了 50%。

同时，一个不可忽视的问题就是直接的水污染——大量的污水和其他废弃物被排到当地的水中。过去，当城市人口较少时，这可能是有效处理废弃物的方法。如冷水、深水和快速流动的水等自然资源可以用以处理废弃物。但是在一个快速发展、人口剧增的城市，这些自然资源的承载能力已经远远被超过了。

**c. 固体废弃物：**发展中的城市随着人口的增多不可避免地会产生更多的废弃物，而且在收入没有很大增长的情况下，发展中的城市经常缺乏有效处理这些废弃物的方法，造成固体废弃物污染日益加剧，对环境造成严重影响。

#### **d. 碳排放**

以上三方面主要分析了人口增长直接对城市内部环境问题所造成的影响。下

面将从其他的角度，探讨人口增长对城市环境以及碳排放水平的长远影响。

**第一，新增人口将增加环境负担，提高城市碳排放水平。**城市新增人口的消费模式和生活方式的改变将为环境增添新的负担。城市化后新增城市居民消费模式的改变会对环境增加新的负担：当贫穷的农村居民移居到大城市、当贫穷的国家的居民移民大于富裕国家之后，他们的消费模式就会改变。随着这些移民的收入增加，其消费也会增多，虽然对于他们自身是生活的改善，但是对环境来说却是一种损失。类似同于本地人口随收入增长而增加消费，城市新增的外来人口在改善自身环境的同时也消耗掉了更多的资源，增加了城市居民生活碳排放的水平。

**第二，人口增长导致的城市多样化会使得城市难于实行环境治理：**城市人口的增长不仅增加了城市的规模，也将导致城市文化的多样化。作为大城市的典型特征，多元化对于城市而言，其代价是使得城市更加难于治理。比如，在一个人们又不同的职业，不同的计划和不同的住宅区的多元化的城市，公共交通投资很少能获得全面的支持。所以随着人口规模的不断扩大，当城市人口的增长使得民族和人们的经济状况出现多样化时，采取绿色政策想要获得支持就会更加困难。在美国，几乎所有的城市都会面临这样的困境——因为城市居民互相都是陌生人，而经济状况和民族成分更加复杂的城市一般来说社会凝聚力和社会资本水平都比较低。

1999 和 2003 年由美国学者 Alesina 等人开展的研究分别发现，较多元化的社区的公共物品的攻击水平相对较低；民族成分复杂的区域，政府在教育、道路和下水道等的投资都较少。可以说人口增长对城市环境而言一个间接的影响是通过多元化导致城市环境治理政策变得相对难于执行，从而使得低碳经济或技术的采用收到一定的阻碍。

### **3、小结：人口增长对城市碳排放的两重效果**

以上述分析为基础，可以得出城市的人口增长对于环境的有益影响主要体现在长远的方面：大城市可以利用规模经济优势保障城市的环保投资；城市人口的聚集降低了人口长期的膨胀速度。这两方面都有助于降低城市居民生活的碳排放水平。

但同时人口增长对城市造成的负担却是直接且严峻的——虽然因为技术进步并没有导致空气质量恶化——因人口不断增多而对城市基础设施造成的巨大压力，对土地、水等自然资源的大量消耗，以及随之产生的更多的固体废弃物，都将导致城市内部的环境问题恶化，城市本身的“生态印迹”的进一步增大，对环境造成损害。除此之外，伴随新增城市人口消费模式的改变所增加的额外消耗

以及城市多元化难于实行环境治理等间接因素，从长远角度来说都不利城市居民碳排放量的降低。

正如 Glaeser 和 Kahn 2008 年对美国 66 个大都市区的研究所发现的，随着城市人口的不断增大，新增人口的人均碳排放量要高于存量人口，因此城市增长会导致更高的碳排放水平。

### 2.3.3 城市空间蔓延的环境影响

下文主要探讨城市增长的第三大趋势——空间拓展的环境影响，即通常所谓的“空间蔓延”(urban sprawl)。“蔓延”指居住和就业都向人口密度低的区域转移——正如美国大都市区在二战以后主要的发展都集中在郊区——1940 年，48% 的美国人口居住在大都市区，其中 68% 的人口居住在都市区的中心城市；到 1990 年，前一个数字上涨到了 78%，而后者却下降到 40%。

这种“空间蔓延”增加了对土地的消费和车辆的使用，从而增加了二氧化碳的排放量，同时也要求建设更多的道路，由此会以引发更多的碳排放以及对城市可持续性发展的挑战。

#### 1. 如何解释空间蔓延

居住和就业的郊区化促使了过去 100 年城市的蔓延趋势，而政府的一些政策也为这种蔓延提供了便利。

##### 1) 居住和就业郊区化的综合作用

其最初的动力主要是来自于 a. 交通技术的革新（汽车的速度更快但价格更加低廉）大幅度降低了都市区的交通成本；b. 寻求高质量的生活和公共服务（郊区拥有比市区中心更大、更新的房屋；市中心的房屋破旧且犯罪率高，公共服务质量差），使得人们逐渐举家前往城郊。随着工作也向郊区转移，就业的向外蔓延进一步加剧了居住的蔓延——最终形成了全面的城市郊区化。

##### 2) 政府政策推波助澜

需要指出的是，在这个过程中，政府的交通政策同样也起到了非常重要的作用。在美国，一个最典型的例子就是 1956 年的《联邦资助高速公路法》——拨款修建了美国 20 世纪中期的高速公路。根据相关的研究显示，如果没有修建这些高速公路，1950-1990 年间，中心城市的人口将会增长 6%；然而事实是在 1950—1990 年，尽管美国全国的人口增长了 64%，美国中心城市的总人口数量却下降了 16%。

## 2. 城市蔓延的对碳排放的有利影响：减缓了交通拥堵所造成的碳排放

城市蔓延除了能够为城市居民提供更舒适私人的生活环境之外，其仅有的对整体城市环境的有益影响可能就是通过减缓拥堵而降低了因为交通拥堵所可能产生的碳排放。

下文中通过课题组成员 Kahn 教授 2009 年的一份针对城市蔓延的环境影响研究来说明这一问题。

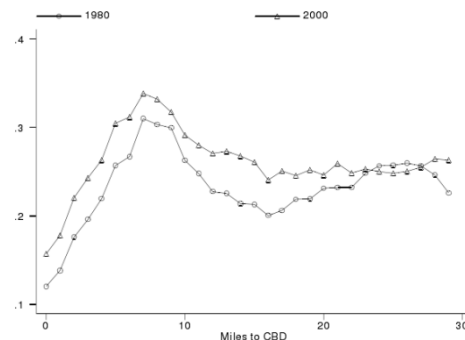
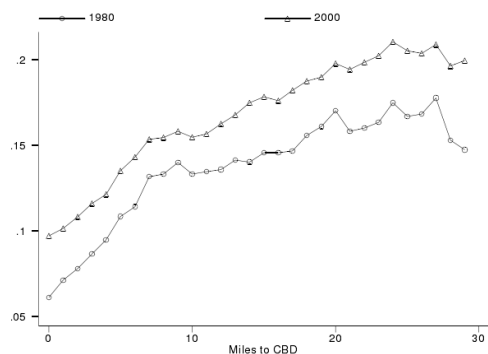


图 2-6 美国 100 个都市区居民的通勤时间对比 图 2-7 洛杉矶等大城市居民的通勤时间对比

两幅图中，横轴均表示城市居民居住地距离 CBD 的距离（英里）；纵轴表示其单程通勤时间在 45 分钟以上的人所占的比例。图 6 的研究对象为全部 100 个都市区的城市工人，而图 7 则主要针对芝加哥、洛杉矶、纽约等三个大城市。

对比可以发现最大的不同在于大城市的郊区化减缓了交通的拥堵，居住、就业的郊区化让大城市工人的通勤时间不再随着距离 CBD 的距离而单调增长（图 6 中的普通城市正是如此），而是在距离 CBD 8—20 英里的范围内通勤时间变短。

所以可以这种空间蔓延的郊区化减缓了原本单中心城市中的交通拥堵情况，降低了因为拥堵而产生的碳排放。

## 3. 城市蔓延的对环境的不利影响：私家车的使用及土地的消耗

郊区的发展会带来一系列的环境问题，包括空气污染、温室气体的排放、生活环境的破坏、日益严重的水污染以及对空地的破坏。下文将集中探讨其中最主要的两个方面：交通方面——汽车使用量的增加；以及对自然资源——土地和水的消耗方面。

### 1) 汽车使用量的增加：直接和间接的损害

**直接的碳排放：车辆增多，对燃料的消耗和碳排放增多：**以美国为例，根据数据统计，1950-1994 年，在人口增加 50% 的情况下，美国人每年驾驶的里程数

却增加了 140%。这种急剧上升趋势背后有两大主要因素：一是经济的增长——课题组成员 Kahn 教授此前根据 1995 年美国国民交通局的数据，进行的一项针对美国都市区家庭的研究显示，家庭年均收入每上涨 10%，家庭年均驾驶里程数会上升 14%。二是因为郊区的发展。Kahn 教授 2000 年的研究同样表明，就平均水平而言，规模和收入水平相当的家庭，住在郊区的年均驾驶量比住在中心城市的多 31%。

同样，城市向外扩散程度的不同也会导致城市居民的年均驾驶量有很大差别。根据 Bento 等人 2005 年的研究显示，如果亚特兰大的布局可以像波士顿那样紧凑，那么其每年的驾驶量将会减少 25%。同样，这也意味着其汽油消耗量的不同。跨国研究表明：正在蔓延的城市，比如休斯顿和菲尼克斯，如果它们能变得像华盛顿特区那样紧凑，那么汽油的消耗量会降低 20-30%。

这些汽油消耗将会因为大量的碳排放而对环境造成影响，而且城市中心区和城郊居民这种汽油消耗量的差别并不仅仅因为郊区居民比中心城市或城市周围附近的居民开车时间多，它们还反映出郊区居民和城市居民经常选择不同类型的汽车。美国 2001 年进行的针对全国家庭旅行调查显示，19.1%的郊区家庭拥有该 SUVs，但是城市家庭中这一数据仅为 12.1%。较富裕的人们住在郊区是已知的事实，但是即使是收入水平一样，郊区居民拥有 SUVs 的可能性也要比居住在中心城市同样的家庭高。

**间接的环境损害：城市蔓延所引发的新建道路的环境成本巨大。**城市的蔓延同时也意味着道路的修建。这是汽车使用量增加对环境产生的间接影响——随着驾驶量的增加会增大对新的道路的需求，而道路工程本身的环境成本非常大。

如同 Otto 等人在美国国家资源环保署的报告中所揭示的那样：“城市的蔓延同样会威胁到谁的质量。流经道路和停车场的雨水会把大量有毒的垃圾冲入河流、湖泊和海洋……作为城市蔓延的猪还要特征的不透水地面——道路、停车场、车道和车——取代了草地和森林，雨水再也没办法伸到低下去补充地下水的储量。”

可以说，这种土地使用方式的转变所导致的后果是增加了土地的侵蚀程度，并增大河流的最大流量，导致洪灾等自然灾害的危险增加。

## 2) 对土地的消耗量增加

城市向外蔓延的第二个重要影响就是人均土地消耗量的增加。基于美国房地产专题数据库的数据显示，在同一个都市区且收入相同的人群中，郊区业主比中心城市业主的外部空间大 35%，室内空间大 6%。城市郊区化的结果将直接导致空地的大幅度减少。美国 1982 年—1992 年，城市和郊区的发展使得美国的农用

耕地减少了 400 万英亩。如果中国城市也经历如此无限制的郊区化，那么对耕地造成的损失将引起极大的社会问题。

#### **4. 小结：城市蔓延对碳排放的负面影响**

虽然郊区化改善了郊区居民的通勤情况（减缓了城市拥堵），有些研究也可能显示，城市的蔓延对城市的可持续性并没有负面影响；比如，因为技术的进步，虽然蔓延导致私家车辆使用的增多，但却没有恶化当地的空气质量。

但蔓延的城市会使得城市在快速增长的同时，其生态印迹要比不蔓延的情况下增加的更快。一个显然的证据来自课题组成员 Kahn 教授 2009 年初的研究：郊区居民的驾驶里程比市中心多 31%。同样收入水平的家庭，居住在城市郊区会比居住在城市中心产生更多的碳排放，这是因为郊区住房密度低、面积大以及郊区居民由于通勤距离长且更多地使用私家车。Reid Ewing 和 Fang Rong (2008) 认为城市不进行紧凑型发展而实行盲目扩张是导致生活能源消耗过高，碳排放量增加的重要原因。

#### **2.3.4 总结：城市发展各方面对碳排放的影响**

总结上文分别从城市增长三个方面对环境影响（特别是对碳排放影响）的分析，汇总得到如下表格，为课题的实证研究提供理论基础：

表 2-2 城市发展的碳排放影响汇总

城市发展趋势	对环境及碳排放产生的影响	
	有利影响（减少碳排放）	不利影响（增加碳排放）
1. 收入增长	<p>1. 人的层次：随着收入和教育水平提高，对绿色产品的需求增加，有能力和意识消费更多的“低碳产品”，对城市环境监管的需求增加；</p> <p>2. 资源的层次：因为许多环境治理措施成本高昂，除了民众的支持外，富裕的城市能够有充足的资源保证其有效执行环境治理措施。</p>	<p>1. 人均消费量上升，释放的二氧化碳也随之增加；</p> <p>2. 对汽车的保有量和行驶里程均大幅上升，加剧交通拥堵和空气污染，增大了城市碳排放量。</p>
2. 人口增长	<p>1. 规模经济优势，降低了环保投资的成本；</p> <p>2. 多元化劳动力市场，减缓人口增长，长远有利于碳排放总量的增长，益于可持续发展；</p> <p>3. 人的聚集和交流增多，人才和技术的进步会更快，会发明和创造出更多的环保技术和策略。</p>	<p>1. 新增人口的消费规模效应会使碳排放总量增加；</p> <p>2. 加重资源消耗，恶化空气污染、水污染及固体废弃物污染等环境问题；</p> <p>3. 多元化导致城市难于施行环境治理，长远不利于碳减排。</p>
3. 城市蔓延	<p>1. 改变了城市的单中心结构，缓解拥堵，减少了因为拥堵而产生的碳排放。</p>	<p>1. 汽车使用量以及行驶里程增加，增大了燃油消耗和碳排放量；</p> <p>2. 土地消耗量增多，城市生态印迹扩大。</p>



## 2.4 居民生活碳排放与城市发展关系的研究思路

本部分从理论角度探讨了城市发展对城市碳排放水平的影响，为我们开展下一步针对不同城市之间的城市间居民生活碳排放问题提供了思路。在进行城市居民生活碳排放水平估算和差异性分析时，需要注意以下一些城市特征和能够对居民生活碳排放造成影响的关键因素：

1. 城市地理和自然环境：城市的气候（主要考虑温度的影响，冬夏季的温度水平）以及其地理位置等固定因素——在中国一个必须考虑的问题就是南北城市的集中供暖差异，因为只有北方城市通过燃煤等方式集中供暖，对其城市居民生活碳排放水平将产生很大影响。

2. 城市社会经济特征：一个非常关键因素的就是城市的经济发展水平，体现为城市的总体收入和居民的人均收入两个指标——都将对城市居民生活的碳排放水平产生很大的影响。

3. 城市的人口特征：城市的总体人口数量将是影响碳排放水平的重要因素；同时，在深入分析家庭的碳排放水平时，还需要微观样本能够反映出每个家庭的人口数量和组成。

4. 城市的空间特征：城市的空间结构也会对城市居民生活的碳排放水平造成影响——可以用结合人口密度等指标来衡量城市的空间特性；更微观层面，需要从城市之间碳排放总量的对比深入到单独针对一个城市的内部空间展开具体分析，例如对于社区层面的分析和比较。

以上是基于理论分析得到的，关于下一步居民生活碳排放与城市发展关系研究的简要思路，在全面开展的研究中，将会利用计量经济方法对这些因素进行更加具体的分析。下文即将深入介绍和总结课题组的实证研究成果。

### 3. 实证研究

#### 3.1 实证研究思路

从最终使用的角度看，碳排放可以分为产业、居住和交通（含产业交通和居民交通）三个主要组成部分。城市居民生活碳排放又可大致分为居住与居民交通两大部分。其中，居住碳排放主要包括电力、供暖和炊事（包括三种主要燃料：煤炭，煤气和液化石油气）三个主要组成部分；而居民交通碳排放包括私人交通（私家车、出租车）和公共交通（公共汽车、轨道交通）两个主要部分。

本课题的实证研究按照以下的层次展开：

##### 1. 城市间研究

- (1) 估算若干城市的居民生活碳排放（以人均或户均为单位）及其构成。
- (2) 在城市层面建立方程，估计各种城市特征对居民生活碳排放及其子项的影响力度。
- (3) 讨论实证结果的政策含义——区域和城市发展政策对于城市碳排放的影响。

受到数据可得性的制约，在这部分研究中，我们又走了两种路径。最理想的当然是用城市中居民家庭的微观数据，但是我们只能够获得 2006 年全国 74 个城市（含 35 个大中城市）的约 25,000 户居民家庭微观数据样本，能够用于计算居民生活碳排放的各项构成（含居住和居民交通），但城市的数量较少。幸运的是，我们能够从各类统计年鉴中得到 1999—2006 年 251 个地级及地级以上城市的居住能源消耗数据，通过一些加工处理可以得到居住碳排放（缺少居民交通的信息）估计值。这个样本的城市数量很多，且有时间序列，方便于更为准确的开展城市间比较研究。因此，这部分有两个相对比较独立的实证研究：

A. 74 个城市居民生活碳排放与城市发展（实证研究 I）

B. 251 个城市居住碳排放估计与城市间差异性分析（实证研究 II）

我们还将这两个研究中都计算了的部分——居住碳排放——进行了比较，两种途径的计算结果高度相关，相关性系数在 0.9 以上，这说明它们的计算结果是可靠的。

图 3-1 反映了上述研究思路。

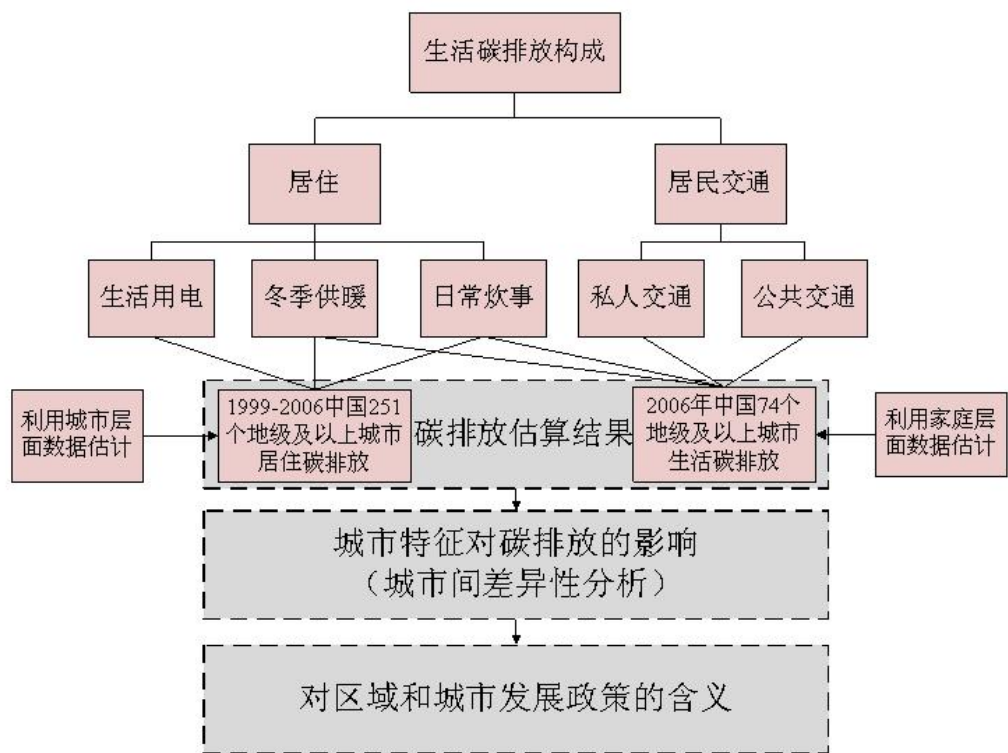


图 3-1 本课题研究层面及研究范围示意图

## 2. 城市内部研究

在进行城市间研究时，每个城市实际上被简化为一个点，城市内部的空间结构被忽略了。但实际上，城市空间结构——居住与就业的空间分布，以及交通组织对于居民生活能源消耗和碳排放有重要影响。比如，郊区的房子往往要比城区的房子宽敞，这必然带来能源消耗的增加；住在郊区的家庭往往有更大的概率拥有私家车，而且开车的路程长，交通碳排放也会更高。因此，本课题还深入到城市内部，在社区的层面进行碳排放及其影响因素的分析，这里称之为实证研究 III。

这部分研究是利用清华大学房地产研究所于 2009 年 9 月开展的北京市社区住户“家庭能源消耗与居住环境”调查数据，估算北京市 38 个社区 826 个居民家庭生活碳排放及其子项；并探索了住宅社区的区位选址、建筑结构形式、家庭社会经济特征及能源消费偏好等因素对社区低碳性的影响力度。

### 3.2 基础数据

基础数据主要包含两大类：（1）各类能源消耗情况，按各类能源的计量单位估计；（2）能源消耗转化为碳排放的转化因子。表 3-1 列出课题组每项研究所用的具体数据及其来源情况，对于数据的处理、筛选和分析将在下文具体研究内容中逐一展开。

表 3-1 居住碳排放估算所用数据及其来源

分项研究	基础数据	数据来源
<b>I. 251 个城市居住碳排放估计与城市间差异性分析</b>	居民生活用电量 城市人均住宅建筑面积 住宅集中供暖面积 煤气家庭用量 液化石油气家庭用量  我国七大电网单位发电量碳排放系数  单位面积供暖（含集中供暖、分散供暖两种方式）碳排放系数  上述各能源“平均低位发热量” “潜在排放因子”	《城市统计年鉴》     国家发展与改革委员会气候变化协调委员会 清华大学建筑节能研究中心   IPCC2006
<b>II. 74 个城市居民生活碳排放与城市发展（25,000 家庭样本）</b>	除研究一的基础数据外，还有： 2006 年 25000 家庭的居住与交通能源消耗数据 10 城市地铁运行电力消耗数据 公交车人均能耗数据	《2006 年中国城市住户调查》， 中国国家统计局城市司住户处  国家发展与改革委员会 《城市统计年鉴》及清华大学交通研究所
<b>III. 低碳生活的特征探索——基于北京市社区层面的研究（38 住宅小区 826 家庭）</b>	除研究一的基础数据外，还有： 家庭私家车汽油支出 家庭出租车支出 家庭煤炭、煤气、液化石油气用量  汽油价格 出租车单价  汽油消耗碳排放系数	北京市社区住户《家庭能源消耗与居住环境》调查数据—— 清华大学房地产研究所，2009 年 9 月  国家发展与改革委员会   IPCC2006

### 3.3 实证研究 I：251 个城市居住碳排放估计与城市间差异性分析

课题组的第一项研究估算了中国 1999—2006 年间 251 个地级及地级以上城市的居住碳排放及其子项（电力、供暖和炊事）的数值，并建立计量经济模型分析居住碳排放的空间变化和城市间差异，以及城市发展和居住特征与碳排放的内在关系。研究表明，城市气候条件、地理位置、人口规模、住房质量、住房面积和冬季供暖方式等因素均对人均居住碳排放有显著的影响。这些实证研究结果能够为城市规划和城市管理者提供信息支持，辅助“低碳城市”或“低碳经济模式”等相关政策的制定。

城市居民生活碳排放可大致分为居住与居民交通两大部分。鉴于数据可得性的限制，本项实证研究部分主要集中在居住碳排放，其中又包含电力、供暖和炊事三个主要组成部分。

#### 3.3.1 估算方法与结果

##### 1. 中国城市居住碳排放估算方法介绍

城市居住碳排放主要由电力、供暖和炊事三部分构成。对于每个城市，我们首先计算三个分项各自的碳排放量，然后加总得到城市居住碳排放总量。

对于每个分项，我们均采用下面的公式计算碳排放量：

$$\text{碳排放量} = \text{能源消耗量} \times \text{单位能源的碳排放量} \quad (1)$$

如果某分项包含一种以上的能源，则分别计算各种能源的碳排放量然后进行加总。

单位能源的碳排放量又由下式得出：

$$\text{单位能源的碳排放量} = \text{平均低位发热量} \times \text{潜在排放因子} \quad (2)$$

能源的“平均低位发热量”和“潜在排放因子”则来自 IPCC2006 国家温室气体清单导引（Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories）中所提供的数据<sup>5</sup>。

具体而言，每一分项的估算方法如下：

##### (1) 中国城市居民生活用电碳排放

---

<sup>5</sup>平均低位发热量是指单位质量的能源在恒容条件下，在过量氧气中燃烧，其燃烧产物组成为氧气、氮气、二氧化碳、二氧化硫，液态水以及固态灰时放出的热量中，去掉高位发热量中（煤中原有的水和煤中氢燃烧生成的水）的气化热后得到的平均发热量；潜在排放因子是指某燃烧过程每单元活动量向大气排放污染物数量。

## 1) 估算公式

生活用电碳排放=居民生活用电量×单位发电量碳排放系数

## 2) 指标解释

**居民生活用电量**，即家庭一年内所消耗的生活用电的合计量，其中宏观层面（城市层面）数据来自《城市统计年鉴》；微观数据（家庭层面）数据来自国家统计局的城市居民调查。

**单位发电量碳排放系数**，即发电厂在电力生产过程中，单位发电所消耗化石燃料产生的碳排放量。我国按照区域划分为七大电网，且不同电网的发电方式和生产效率等方面存在差异（如：华北电网更多依靠化石燃料作为主要发电能源，因此其碳排放系数较高；西北电网的发电方式中，风力发电相对占有较大比重，而风力发电过程中不产生碳排放），因此其单位发电所产生的碳排放量也不尽相同。本课题组收集了 2006 年国家发展与改革委员会气候变化协调委员会公布的有关七大电网的单位发电量的碳排放转化因子的相关数据，来反映碳排放的空间差异性（由于数据可得性的限制，本课题仅考虑单位发电量的碳排放转化系数在空间上的差异，而由于技术进步等因素所导致的该指标在时间维度上的变化则未做考虑；此外，我们认为单位发电量的碳排放转化系数在空间上差异仅表现在七大电网所辖区域之间，而七大电网各自所辖区域内城市的单位发电量碳排放转化系数认为无差异。

表 3-2 2006 年中国七大电网单位发电量碳排放转化系数表

电网名称	单位	碳排放系数
华北电网	tCo2/MWh	0.8687
东北电网	tCo2/MWh	0.7946
华东电网	tCo2/MWh	0.8154
华中电网	tCo2/MWh	0.7156
西北电网	tCo2/MWh	0.6315
南方电网	tCo2/MWh	0.6968
海南电网	tCo2/MWh	0.7628

表 3-3 中国七大电网所辖主要省、自治区及直辖市

电网名称	所辖主要省、自治区及直辖市
华北电网	天津、河北、山西
东北电网	辽宁、吉林、黑龙江
华东电网	上海、江苏、浙江、安徽、福建
华中电网	湖北、湖南、江西、河南、四川、重庆
西北电网	陕西、甘肃、宁夏、青海、新疆、西藏
南方电网	广东、广西、云南、贵州
海南电网	海南

## (2) 中国城市冬季供暖碳排放估算方法介绍

### 1) 估算公式

冬季供暖碳排放=住宅集中供暖面积×集中供暖单位面积碳排放系数+住宅分散供暖面积×分散供暖单位面积碳排放系数。

### 2) 指标解释

住宅集中供暖面积和住宅分散供暖面积(即城市住宅总面积减去集中供暖面积)。我国按照建筑供暖方式可以划分为三个主要区域：北方城镇地区、夏热冬冷地区以及夏热冬暖地区。其中，北方城镇地区全部住宅供暖，且主要以集中供暖方式为主，分散供暖方式为辅；夏热冬冷地区全部为分散供暖；夏热冬暖地区不进行供暖。因此，住宅集中供暖面积和住宅分散供暖面积与以上地区对应。三个主要区域所对用的省、自治区和直辖市如下：

1) **北方城镇地区**：内蒙古、辽宁、吉林、黑龙江、青海、新疆、北京、天津、河北、山西、陕西、甘肃、宁夏、山东、河南。

2) **夏热冬冷地区**：上海、江苏、浙江、安徽、江西、湖北、湖南、贵州、重庆以及福建、四川的部分地区。该部分地区全部为分散供暖，其供暖能源主要为电、木炭(属可再生能源)等，其中供暖所消耗的电计入居民生活用电部分，此处不单独进行计算；木炭等其组成为木材，属可再生能源，不产生碳排放，因此不进行计算。

3) **夏热冬暖地区**：广西、广东、海南、云南以及福建、四川的部分地区。该部分地区不需供暖方面的能源能耗。

表 3- 4 2006 年中国北方城镇集中/分散供暖碳排放转化系数表

北方城镇集中供暖碳排放系数		
地区名称	单位	碳排放系数
内蒙古	Kgc/m <sup>2</sup>	14.6
辽宁	Kgc/m <sup>2</sup>	9.5
吉林	Kgc/m <sup>2</sup>	12.4
黑龙江	Kgc/m <sup>2</sup>	15.5
青海	Kgc/m <sup>2</sup>	12.4
新疆	Kgc/m <sup>2</sup>	7.4
北京	Kgc/m <sup>2</sup>	7.7
天津	Kgc/m <sup>2</sup>	7.3
河北	Kgc/m <sup>2</sup>	8.2
山西	Kgc/m <sup>2</sup>	7.9
陕西	Kgc/m <sup>2</sup>	7.4
甘肃	Kgc/m <sup>2</sup>	8.8
宁夏	Kgc/m <sup>2</sup>	9.1
山东	Kgc/m <sup>2</sup>	6.7
河南	Kgc/m <sup>2</sup>	8.6
北方城镇分散供暖碳排放系数		
地区名称	单位	碳排放系数
北方城镇	Kgc/m <sup>2</sup>	18.8

### (3) 中国城市居民日常炊事碳排放估算方法介绍

#### 1) 估算公式

日常炊事碳排放=炊事能源消耗量×单位能源的碳排放量

如果某分项包含一种以上的能源，则分别计算各种能源的碳排放量然后进行加总。

单位能源的碳排放量又由下式得出：

单位能源的碳排放量 = 平均低位发热量×潜在排放因子

#### 2) 指标解释

炊事能源消耗量，即为家庭一年内炊事能源消耗合计量，包括家庭煤炭、煤气和液化石油气等三项基本炊事能源。



#### (4) 小结

总体而言，电力、供暖和炊事的碳排放计算基础数据来源、计算方法和若干假设见下表。

表 3-5 居住碳排放数据来源、计算方法和假设条件

分项名称	基础数据	计算方法	假设
电力	“居民生活用电量”（《城市统计年鉴》），我国七大电网单位发电量碳排放系数（国家发展与改革委员会气候变化协调委员会）	用电量×该电网单位发电量的碳排放	单位发电量碳排放系数在各电网之间存在差异，电网内部无差异。
供暖	“住宅集中供暖面积”，“城市人均住宅建筑面积”（《城市统计年鉴》），单位面积供暖（含集中供暖、分散供暖两种方式）碳排放系数（清华大学建筑节能研究中心）	住宅集中供暖面积×集中供暖单位面积碳排放系数+（城市人均住宅建筑面积×市辖区年末总人口—住宅集中供暖面积）×分散供暖单位面积碳排放系数	北方地区城市住宅全部采暖，集中供暖单位面积碳排放系数省内无差异，分散供暖单位面积碳排放系数北方地区无差异；其它地区采暖不计入该分项。
炊事	“煤气家庭用量”，“液化石油气家庭用量”（《城市统计年鉴》），上述能源“平均低位发热量”，“潜在排放因子”（IPCC2006）	能源消耗量×平均低位发热量×潜在排放因子	平均低位发热量、潜在排放因子全国无差异。

## 2. 中国城市居住碳排放及构成的估算结果

### (1) 中国城市居住碳排放总体变化趋势及构成

本项研究对象为我国 251 个地级以上城市的市辖区，时间跨度为 1999-2006 年。从城市层面居住碳排放总量的变化情况来看，1999—2006 年我国主要城市居住碳排放总量整体保持快速增长，过去的八年间我国城市居住碳排放总量快速增长，其年均增长率达到 10.6%，并于 2006 年达到 46604.38 万吨（见下图 3-2）。

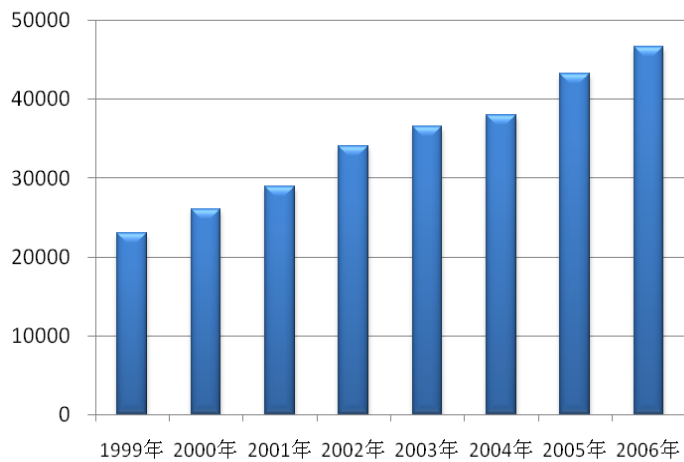


图 3-2 1999—2006 年中国城市居住碳排放总量

在此以 2006 年为例，给出估算结果的若干统计量。

从 2006 年我国城市居住碳排放的构成情况来看（图 3-3），电力消耗产生碳排放与供暖消耗产生碳排放分别占总居住碳排放量的 46.2% 和 48.4%，是居住碳排放的两个主要组成部分；而炊事产生碳排放仅为 5.4%，比重很小。

表 3-6 2006 年中国 256 个城市居住碳排放估算结果统计

分项名称	样本数	城市碳排放量总量均值（标准差） （万吨）	城市人均碳排放量均值（吨/人）			
			均值	标准差	最大值	最小值
电力	256	70.58 (151.25)	0.143	0.188	1.659	0.004
供暖 (仅北方城市)	104	185.90 (197.22)	0.578	0.489	2.538	0.052
炊事	256	8.50 (18.01)	0.018	0.024	0.200	0.001

注：由于部分城市成立时间较晚、统计信息缺失等原因，导致少数城市一些时间段的数据缺失。

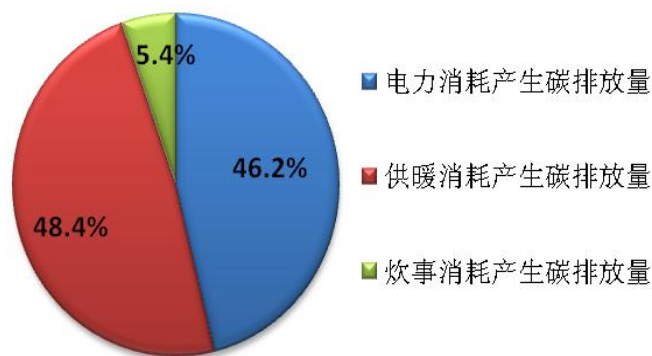


图 3-3 2006 年中国城市居住碳排放构成

## (2) 中国城市居住碳排放的空间分布特点

基于上述对我国 251 个城市居住碳排放的估算, 我们下面对居住碳排放的城市间差异进行分析。图 3-4 反映了该研究选取的 251 个样本城市的分布, 以及这些城市 2006 年人均居住碳排放的相对大小。

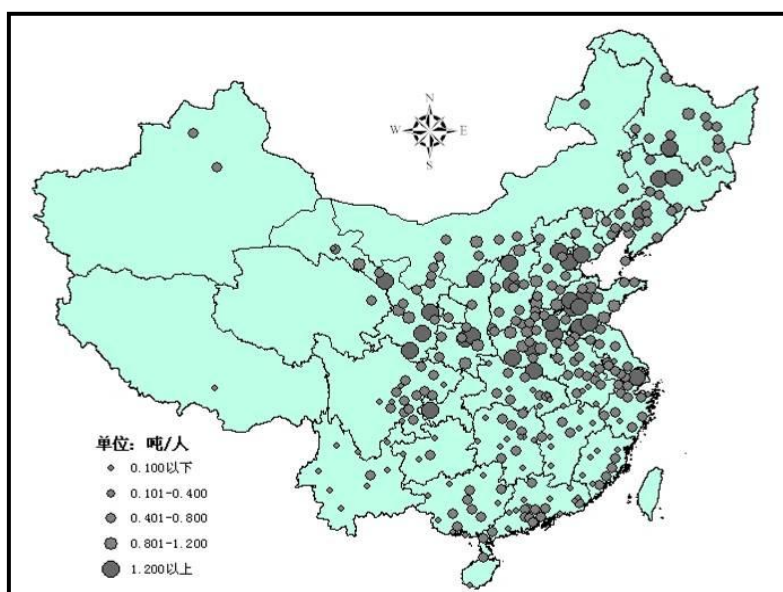


图 3-4 2006 年中国城市居民人均居住碳排放

能够看出, 北方城市的人均居住碳排放明显要高于南方城市, 这是由于北方城市冬季供暖的缘故。同时, 沿海城市的人均居住碳排放也明显高于内陆城市, 这主要归因于沿海城市经济较为发达, 人均收入水平较高, 因此人均能源消耗量也比较高。具体而言, 我国北方城市的供暖碳排放占碳排放总量的 75.9%, 是城市居住碳排放的主要构成部分。正是因为这个原因, 北方城市的人均居住碳排放量远高于全国平均水平, 分别为南方的夏热冬冷地区和夏热冬暖地区的 3.4 倍和

2.6 倍（见图 3-5）。

如果按照都市圈进行划分，可以看到京津冀都市圈和珠三角都市圈人均居住碳排放量均超过全国平均水平，但背后的原因稍有差异（见图 3-5）。京津冀都市圈处在北方地区，冬季温度较低，供暖所需能源量较大，其供暖碳排放量占总量的 63.6%；珠三角都市圈处在夏热冬暖地区，夏季温度较高，以空调为主的电力消耗较大，其用电碳排放量占总量的 90.8%，是该都市圈中城市人均居住碳排放量高于全国平均水平的关键因素。

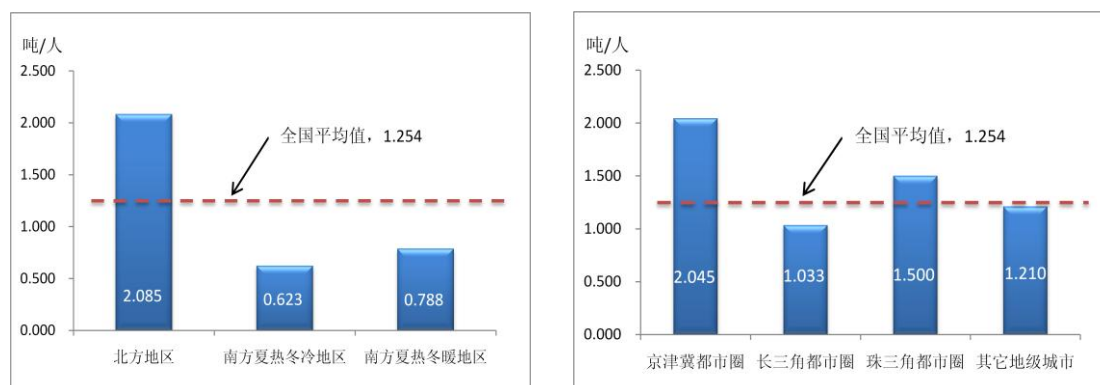


图 3-5 中国各区域居民人均居住碳排放比较

### 3. 居住碳排放强度的城市间差异分析

在评价城市居民居住碳排放水平高低时，应考虑该城市的居民生活水平。本研究计算了“居住碳排放强度”指标，即：

$$\text{居住碳排放强度} = \frac{\text{人均居住碳排放量 (千克)}}{\text{人均年可支配收入 (千元)}}$$

该指标反映每 1000 元人均可支配收入的居住碳排放量，即图 3-6 中每个城市点与原点连线的斜率。居住碳排放强度越低，城市生活的“低碳”水平越高。可以看出，接近碳排放强度中位数水平的城市为衡水、海口、遂宁等，为每年每 1,000 元收入产生 20.6 千克碳排放；接近碳排放强度 10 分位水平的城市为铜陵、南平、达州等，为每年每 1,000 元收入产生 5.7 千克碳排放；接近碳排放强度 90 分位水平的城市为兰州、聊城、平顶山等，为每年每 1,000 元收入产生 95.1 千克碳排放。位于碳排放强度 90 分位以上水平的城市，要么是经济发展水平高，居民生活丰富且能耗大的城市，如：北京、天津，要么是人口收入低，资源富裕，能源成本低的城市，如：朔州、榆林；而位于碳排放强度 10 分位以下水平的城

市，往往是处在南方地区（尤其是西南地区），如：丽江、曲靖；这主要是因为该部分地区冬季无供暖消耗且气候相对适宜（即冬季温度较高、夏季温度较低）。

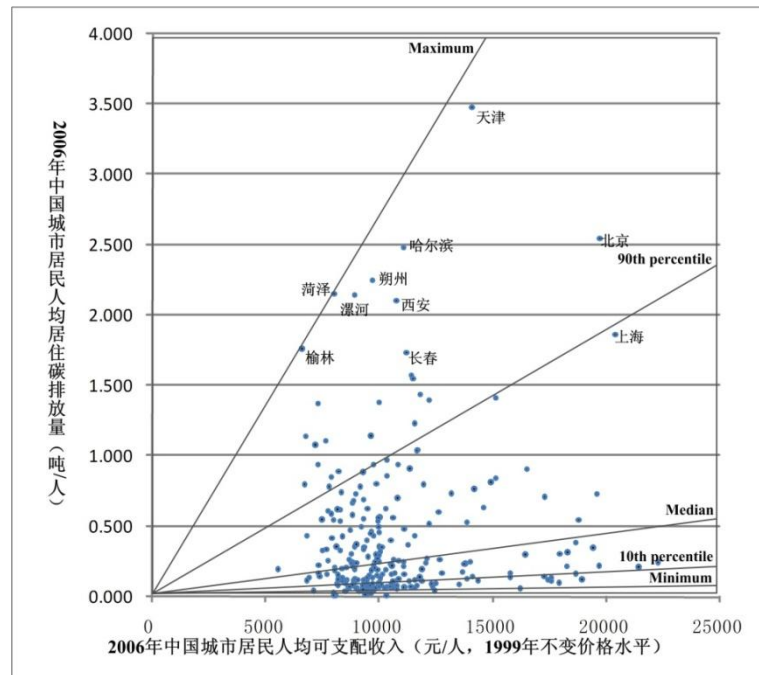


图 3-6 2006 年中国城市居住碳排放强度

这里再分别考察居住碳排放中最大的两个组成部分——用电碳排放和供暖碳排放——的碳排放强度。图 3-7（左）描述了人均用电碳排放与人均可支配收入间的关系。接近用电碳排放强度中位数水平的城市为呼和浩特、遵义等，为每年每 1,000 元收入产生 9.0 千克碳排放；接近用电碳排放强度 10 分位水平的城市为晋城等，为每年每 1,000 元收入产生 3.5 千克碳排放；接近用电碳排放强度 90 分位水平的城市为襄樊、吉林等，为每年每 1,000 元收入产生 23.0 千克碳排放。可以看出，位于用电碳排放强度 90 分位以上水平的城市，其经济发展水平和人均收入水平较高，这就促使居民消耗更多的电器设备（包括夏季更多的使用空调、冬季使用各类保暖设备等），并随之带来更多碳排放的产生；此外，上述城市的行政级别也相对较高，省会城市比例较大，因此更多的电网基础设施建设以及供电方面的政策性倾斜可能也是导致其人均居民生活用电较高，人均用电碳排放较高的原因。而冬季温度与夏季温度对于城市供暖碳排放强度的影响并不显著。

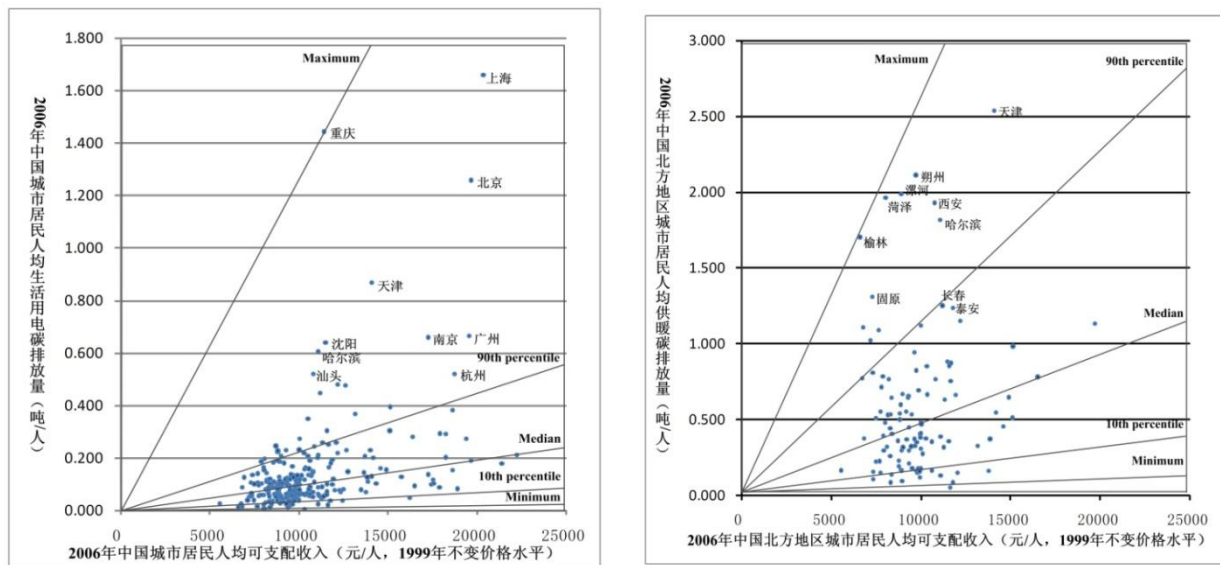


图 3-7 2006 年中国城市人均用电碳排放强度及人均供暖碳排放强度

图 3-7（右）描述了供暖碳排放强度在不同城市间的差异。由于只有北方地区城市冬季需要供暖，图 3-7（右）中仅保留北方城市。接近供暖碳排放强度中位数水平的城市为包头等，为每年每 1,000 元收入产生 43.5 千克碳排放；接近供暖碳排放强度 10 分位水平的城市为银川、秦皇岛等，为每年每 1000 元收入产生 15.8 千克碳排放；接近供暖碳排放强度 90 分位水平的城市为吉林、长春等，为每年每 1,000 元收入产生 114.8 千克碳排放。可以看出，位于供暖碳排放强度 90 分位以上水平的城市，其冬季供暖方式中集中供暖比重远低于平均水平，如：榆林、菏泽；而位于供暖碳排放强度 10 分位以下水平的城市，如：克拉玛依，往往集中供暖比重较高，这可能预示着分散供暖的能源效率偏低，而冬季温度对于城市供暖碳排放强度的影响并不显著。

### 3.3.2 相关关系分析：人均居住碳排放的计量模型分析

为了更深入地理解人均居住碳排放及其子项与城市发展特征和居住模式等内在关系，我们利用 251 个城市 1999—2006 的平板数据，运用计量经济学的方法分别估计人均居住碳排放，以及其中两个主要组成部分——人均用电碳排放和人均供暖碳排放的多元线性回归方程。在自变量中，选择了城市特征、住房特征和居民特征等三个方面的 12 个变量（见表 3-7）。

首先，城市所处的地理位置和气候条件对居住碳排放有着重要的影响。本研究选择北方城市的哑变量和一月及七月的气温作为反映上述影响的自变量。这是因为只有北方城市冬季供暖，而冬季和夏季的气温通过影响城市居民的能源消耗

行为而影响居住能耗水平。

除了上述自然和地理因素等人为不可控因素外，城市社会经济特征对人均居住碳排放的影响才是我们更为感兴趣的。我们选择城市人均收入的对数值及其二次项和三次项、城市人口密度的对数值、城市家庭规模以及集中供暖比重等等。考虑到住房质量对居住碳排放的影响，我们选择城市平均房龄来近似反映住房存量的新旧程度从而考察房龄对住宅耗能及其碳排放的影响以及选择城市人均居住面积的对数值来考察居住质量和生活质量对住宅耗能及其碳排放的影响，同时控制了城市用电、供暖等能源价格对能源使用及碳排放的影响。由于人均居住碳排放总量及其子项受上述变量的影响规律及影响程度不同，因此我们将分别展开讨论。

表 3-7 计量模型中的变量

被解释变量		
人均居住碳排放量对数值 (LCPC, 吨/人)	人均生活用电碳排放量对数值 (LELECPC, 吨/人)	人均供暖碳排放量对数值 (LHTCPC, 吨/人)
解释变量		
城市特征变量	居住特征变量	居民特征变量
人口密度对数值 (LDENSITY, 万人/ 平方公里)	人均居住面积对数值 (LUNITSIZE, 平方 米/人)	人均可支配收入的对数值 (LINCPC, 元/人)
1月平均温度(JAN, 摄氏 度)	平均房龄(HAGE, 年)	人均可支配收入二次方的对 数值 (LINCPC2, 元 <sup>2</sup> /人)
7月平均温度(JULY, 摄氏 度)	城市用电、供暖等能源价格变 量对数值 (LPRICE, LPELECT, LPHEAT)	
集中供暖比重 (CENTRALHT, %)		人均可支配收入三次方的对 数值 (LINCPC3, 元 <sup>3</sup> /人)
北方城市(哑变量) (NORTH)		
		家庭规模(HSIZE, 人/户)

### 1. 人均用电碳排放

在人均用电碳排放方程中，我们控制了北方城市的哑变量和一月及七月的气温。控制北方城市的哑变量是因为北方城市冬季供暖，因此用电取暖的比重较小，耗电也会较少。在一月气温较低，或七月气温较高的城市，居民会使用更多的用电设备（电热毯等）取暖或较长时间采用空调制冷，故碳排放量也会较高。下面表 5 所列的四个方程都验证了这些分析结果。

方程(1)在控制城市空间位置及气候条件后得到该变量的弹性是1.421,即人均收入增加10%,人均用电碳排放会增加14.2%,这意味着伴随着收入水平的上升,城市居民对居住质量和生活质量的要求也在显著提高,会带来更多家用电器设备的使用,导致人均耗电量及其碳排放量的上升。我们加入人均可支配收入对数值的二次项和三次项后(方程2),发现一次项和三次项显著为负而二次项显著为正,存在着一定的S型曲线关系,即当居民生活水平较低时,用电碳排放增长缓慢,当居民生活水平得到一定程度提高后,用电碳排放迅速增长直至人均收入水平达到较高水平用电碳排放随之下降。

在控制了收入后,城市人口密度显著为正(方程(3)),也就说明随着城市集中程度的加深,城市基础设施的负担会加重,进而增加人均用电碳排放总量。此外,住宅质量对于用电碳排放也有显著影响(方程(4)),也就是说年代较为久远的住宅,其保温隔热性能差,节能技术含量高的电备使用率也会较低,因此人均用电碳排放较大。随着居民对生活质量要求的提高,居民将使用更多地家用电器、消耗更多的电来保证日常生活<sup>6</sup>。

当我们考察人均居住面积对用电碳排放的影响时,发现该变量对用电碳排放有显著的负向影响(见方程(3)和方程(4))。这表明经济发展水平较高的城市往往存在房价较高,居民住房支付能力较低而人均居住面积较小的现象。由于数据可得性,本研究中我们并未采用购买力平价指数等价格指数对城市居民的购买力进行调整,这也成为本研究的局限之处,我们将在后续研究中进行完善。

## 2. 人均供暖碳排放

在供暖碳排放的回归方程中我们只考虑北方城市,且只与冬季气温有关,所以仅控制一月气温。冬季越冷的城市,人均供暖能耗和碳排放偏高。在方程(5),人均供暖碳排放的收入弹性仅为0.465,说明人均收入水平的提高对供暖耗能及其碳排放量的上升所产生的影响程度不大,这一方面是因为城市居民的供暖需求较为刚性,另一方面也与目前集中供暖方式无法实现户内调节有关,也由于上述原因导致供暖碳排放与人均收入并不存在倒U型关系(方程(6))。

---

<sup>6</sup>我们在敏感性分析中引入城市人均电视拥有量和人均空调拥有量来考察居民的家用电器使用水平对人均用电碳排放的影响,发现两者在95%置信区间下均显著为正,说明生活水平的提高以及对居住质量要求的提高让居民更多地使用家用电器,从而消耗更多电并产生更多的碳排放。



在方程（7）和（8）中，我们加入城市人口密度变量，其在 90%的置信度下显著为正。城市的规模越大，城市基础设施的负担会加重，供暖的要求也增加。同样，由于目前的供暖方式主要与住房面积有关，人均居住面积具有正弹性，即人均住房面积增加 10%，供暖碳排放会增加 5.5~8.4%。与用电碳排放相似，住房质量对供暖碳排放也具有显著影响（方程（8））。年代较为久远的住宅，保温隔热性能较差，能源利用率较低，人均供暖碳排放较大。

表 3-8 模型回归结果（1）

EQU: 自变量	(1) LELECPC	(2) LELECPC	(3) LELECPC	(4) LELECPC
LINCPC	1.42 <sup>***</sup> (21.77)	-66.18 <sup>***</sup> (-3.00)	1.51 <sup>***</sup> (20.94)	1.46 <sup>***</sup> (14.44)
LINCPC2		7.34 <sup>**</sup> (2.96)		
LINCPC3		-0.27 <sup>**</sup> (-2.85)		
JAN	-0.032 <sup>***</sup> (-13.75)	-0.31 <sup>***</sup> (-13.36)	-0.04 <sup>***</sup> (-11.66)	-0.03 <sup>***</sup> (-5.52)
JULY	0.072 <sup>***</sup> (9.68)	0.07 <sup>***</sup> (9.21)	0.06 <sup>***</sup> (7.14)	0.05 <sup>***</sup> (4.48)
LDENSITY			0.13 <sup>***</sup> (3.41)	-0.12 <sup>*</sup> (-2.03)
LUNITSIZE			-0.34 <sup>***</sup> (-4.35)	-0.66 <sup>***</sup> (-4.70)
LPELECT			0.48 <sup>**</sup> (3.17)	-0.13(-0.55)
NORTH			-0.07(-1.24)	0.02 (0.25)
HAGE				0.07 <sup>***</sup> (6.99)
Constant	-16.61 <sup>***</sup> (-28.35)	190.42 <sup>**</sup> (2.92)	-17.86 <sup>***</sup> (-23.42)	-14.68 <sup>***</sup> (-13.26)
Observations	1897	1897	1796	653
R <sup>2</sup>	0.428	0.433	0.437	0.518

*t* statistics in parentheses

\*  $p < 0.10$ , \*\*  $p < 0.05$ , \*\*\*  $p < 0.01$  (下同)

除上述因素外，供暖方式对碳排放的影响也很明显。根据我们收集的资料，集中供暖的单位面积平均碳排放量为 35.1 千克，而分散供暖则达到 69.0 千克，这主要是由于前者具有较好的规模效应和较高的能源效率。方程（7）—（8）的估计结果也验证了这一点，集中供暖能够有效地降低人均供暖碳排放水平。

表 3-9 模型回归结果 (2)

	人均供暖碳排放			
EQU: 自变量	(5) LHTCPC	(6) LHTCPC	(7) LHTCPC	(8) LHTCPC
LINCPC	0.465 <sup>***</sup> (4.10)	80.27(0.82)	0.712 <sup>***</sup> (6.10)	0.959 <sup>***</sup> (5.04)
LINCPC2		-9.42(-0.86)		
LINCPC3		0.37(0.90)		
JAN		-0.01(-1.70)	-0.01 <sup>***</sup> (-3.37)	-0.01(-1.47)
CENTRALHT		-1.23 <sup>***</sup> (-9.83)	-0.92 <sup>***</sup> (-7.45)	-0.58 <sup>**</sup> (-3.22)
LDENSITY			0.43 <sup>***</sup> (7.91)	0.09 <sup>*</sup> (0.97)
LUNITSIZE			0.84 <sup>***</sup> (6.10)	0.55 <sup>**</sup> (2.33)
LPHEAT			0.10 <sup>*</sup> (2.41)	-0.02 (-0.30)
HAGE	0.0117 <sup>***</sup> (3.31)			0.04 <sup>**</sup> (2.74)
Constant	-4.565 <sup>***</sup> (-4.53)	-230.07(-0.79)	-9.47 <sup>***</sup> (-9.73)	-11.01 <sup>***</sup> (-7.32)
Observations	796	796	794	299
R <sup>2</sup>	0.327	0.407	0.471	0.370

## 3. 人均居住碳排放总量

表 3-10 模型回归结果 (3)

	人均居住碳排放			
EQU: 自变量	(9) LCPC	(10) LCPC	(11) LCPC	(12) LCPC
LINCPC	1.134 <sup>***</sup> (18.35)	-35.98 (-1.72)	1.22 <sup>***</sup> (19.43)	1.24 <sup>***</sup> (12.479)
LINCPC2		3.91 (1.66)		
LINCPC3		-0.14 (-1.55)		
JAN	-0.0139 <sup>***</sup> (-4.82 )	-0.01 <sup>***</sup> (-4.46)	-0.02 <sup>***</sup> (-5.34)	-0.01 <sup>**</sup> (-2.32)
JULY	0.0839 <sup>***</sup> (11.62 )	0.08 <sup>***</sup> (11.20 )	0.07 <sup>***</sup> (9.57)	0.06 <sup>***</sup> (5.68)
LUNITSIZE			-0.03 (-0.46)	-0.49 <sup>***</sup> (-3.57)
LDENSITY			0.20 <sup>***</sup> (5.64)	-0.09 <sup>***</sup> (-1.63)
LPRICE			0.12 (0.98)	-0.35 <sup>***</sup> (-1.80)
NORTH	1.803 <sup>***</sup> (36.61)	1.81 <sup>***</sup> (36.77 )	1.84 <sup>***</sup> (36.33)	1.56 <sup>***</sup> (19.58)
HAGE				
Constant	-14.29 <sup>***</sup> (-25.57)	102.62 (1.66)	-15.21 <sup>***</sup> (-23.94 )	-12.75 <sup>***</sup> (-13.63 )
Observations	1899	1899	1796	653
R <sup>2</sup>	0.676	0.678	0.685	0.713

在此简要分析人均居住碳排放总量与各项影响因素间的内在关系：

北方城市、一月和七月气温的影响与预期符合。在城市社会经济特征中，我们首先在自变量中加入人均收入的对数值，发现碳排放总量的收入弹性为 1.134，处于用电和供暖的两个弹性之间。弹性超过 1，意味着中国城市中人均居住碳排放的增长速度会超过人均收入的增长速度。经研究，我们发现人均居住能源消耗及其碳排放与收入之间并不存在倒 U 型的二次曲线关系，这与大部分国际文献对二氧化碳排放的环境库兹涅茨曲线的研究结果是一致的。可能的原因是，二氧化碳排放具有较强的全球负外部性，居民对本地二氧化碳排放的感知程度很低。

同时，城市集中程度的增大（这里表现为城市人口密度的增加）会加重城市基础设施的负担，进而增加人均居住碳排放总量。房龄与人均居住碳排放正相关，其原因前已述及。从这个意义上来说提倡小户型是符合节能减排目标的。对城市危旧住房的改造和建筑节能技术的推广应用，也会有助于降低人均碳排放水平。但人均居住面积对居住碳排放的影响与其对用电碳排放的影响相似，这也成为我们进一步研究中所需完善的地方。

### 3.3.3 结论与政策含义

#### 1. 研究的主要结论

目前对中国各行业和各地区产业碳排放的经济学分析已经较多，但对居住碳排放的研究还很少，而随着城市居民收入的上升，以及居住、出行和社会活动的日益多元化，居住碳排在碳排放总量中的比重会逐渐上升。课题组的此项研究从这一角度切入，收集了中国 1999—2006 年间 251 个地级及以上城市居住能源消耗的数据和碳排放的各项转化因子，计算得出各城市居住碳排放及其子项（电力、供暖和炊事）。这些信息和数据能够为本领域的后续研究提供很好的基础。

课题组的在这一部分的实证研究表明：

1. 城市地理和自然环境对居住碳排放有较大的影响。温度适宜程度越高的城市（冬季气温高或夏季气温低），居住碳排放量越小。北方城市的碳排放水平明显高于南方城市，这是由于仅在北方有常规的冬季供暖。尽管我们无法改变城市的空间位置及气候条件，但这些发现有助于帮助我们更好理解城市自身特征、能源需求与碳排放之间的关系，有利于各城市制定符合其自身城市特征的低碳规划方案。

2. 除了自然和地理条件以外，城市社会经济特征对人均居住碳排放也有较大影响。目前人均碳排放的收入弹性已经超过 1，尤其是用电的碳排放几乎超过

50%左右，表明居住碳排放的增长速度比收入增长速度要快，因此我国居民的碳排放将随着人们生活水平的上升快速增加。我们的研究没有包括机动车的碳排放，而这方面的排放目前也呈指数上升，可见在未来居民生活方式的改变对降低我国碳排放起着非常重要的作用。

3、城市集中程度的增大会将加重基础设施的负荷，同时也会使城市居民生活方式更加多元化，这都增加了人均碳排放水平。

4、住房年代越久远，人均碳排放量也越高。

5、集中供暖比重较高的城市，人均碳排放水平明显较低。

## 2. 政策含义

以上研究结论对于政策方面的启示有如下几点：

1. 应当适度控制城市人口扩张速度；

2. 提倡小户型符合节能减排的目标；

3. 加快改造城市危旧住房、推广建筑节能技术应用以及优化北方地区城市冬季供暖方式都能显著提高能源使用效率，并有效降低人均碳排放水平。

综上所述，本课题的这些研究成果有助于我们更好地理解怎样的城市发展特征和居住特征具有更强的低碳性，以及居住碳排放的空间差异和城市间差异，能够为城市规划和城市管理者提供信息支持，辅助“低碳城市”相关政策的制定。

### 3.4 实证研究 II：74 个城市居民生活碳排放与城市发展

仅在城市层面估算居住碳排放是不够的，因为这样无法充分了解家庭行为特征对碳排放的影响。所以，在上述第一项研究的基础上，课题组继续搜集掌握更加微观的家庭个体数据，先在一个城市中估计各类家庭特征对家庭生活碳排放的影响，在此基础上，估算一个标准家庭在不同城市的碳排放水平，并分析这种差异性的来源。

在此项研究中，课题组利用国家统计局城市司住户处的 2006 年“中国城市住户调查”所提供的中国 74 个城市（包括 35 个主要城市（直属中央政府的直辖市，省会城市和准省会城市））25,000 个家庭的能源消耗数据，计算家庭的碳排放量。

我们的研究分为三个步骤。第一，利用这套难得的微观数据，我们在各个城市的层面上建立行为方程，考察各项能源消耗与家庭特征（收入、家庭人口和户主年龄）的关系。之后，我们定义了一个“标准家庭”，它的三项指标取值是全部样本的均值水平，我们用这些行为方程来估计这与一个标准家庭在不同城市的各项能耗。之所以不简单地计算每个城市每项能耗的户均值，而引入标准家庭的概念，是希望排除人口分布在城市间的系统性差异。例如，北京的收入水平肯定高于廊坊，因此人均碳排放也必然高于廊坊，但这并不是我们最想了解。我们希望知道，如果一个相同的家庭，从 A 城市搬迁到了 B 城市，它的碳排放会增加还是减小？利用标准家庭的概念，我们就能够剥离出在排除了个体因素后，城市因素对于居民碳排放的“纯”影响。第二，我们利用转换因子，将每个城市标准家庭的上述能耗项目转化为碳排放量（例如 1 升 93 号汽油会产生 2.226 千克的碳排放）。这些转换因子来自于不同的地方，包括国家发改委、清华大学低碳经济研究院、清华大学建筑技术系等等。将各分项相加，得到各个城市中标准家庭的碳排放总量，依此对 74 个城市按照从最“绿色”（Green，碳排放最小）到最“棕色”（Brown，碳排放最大）进行了一个排名。第三，我们再去分析标准家庭碳排放在各个城市间为什么会存在差异，我们尝试用城市收入水平、人口、人口密度、气温等等因素去解释城市间的差异性，并探讨一些城市发展政策可能会带来的环境影响。

### 3.4.1 数据概述、估算方法与结果

#### 1. 数据概述

本项研究的数据在上文中已有所介绍：第一来源是由中国国家统计局组织的“2006年中国城市住户调查”（Urban Household Survey, UHS, 下同）。该项调查的目标人群是居住在城市和城镇多于一年半的家庭；调查所采集的数据主要用于估算城市消费支出在 GDP 和 CPI 中的组成；同时，这项调查也提供了表征城市经济和人口统计的变量，如家庭平均收入，家庭规模和户主年龄。课题组在这项研究中采用的 UHS 年度数据包括 74 个城市的 25,300 个样本：我们利用这些微观样本计算由家庭用电、私家车、出租车和三种主要燃料的使用所产生的家庭的居住碳排放量。

至于家庭所使用的公共交通所产生的碳排放量，《中国城市统计年鉴》为我们提供了城市水平的数据，比如公交汽车和地铁能源消耗数据——由于目前中国的家庭的私家车拥有率较低，所以计算平均家庭的公共交通使用量是很重要的。我们掌握了 2006 年所有拥有地铁的城市（10 个）的电力消耗量，在公交汽车的计算上，把燃料消耗转化成碳排放是很直接的。对于采用电力的地铁系统，将能源消耗转化成碳排放需要电力转化为碳排放的转化因子数据。

为了将其转化成吨二氧化碳这个常用测量单位，我们需要知道和电力生产及统一供暖相关的潜在排放因子。这些数据来自不同的来源。局域电网的排放因子来自于国务院国家发展研究中心的气候变化部门，集中供暖的能源消耗来源于清华大学环境工程与建筑科学系。下表 3-11 列出了关键变量的名称、定义、均值和标准差；表 3-12 中，列出了部分城市主要数据的描述性统计结果。研究中定义“标准家庭”为年收入 4 万元，或 5700 美元，在 2006 年消耗 1700 千瓦时的电，出租车消费为 130 元——各数值取全样本的均值。

表 3-11 统计信息摘要及定义

变量名称	定义	单位	均值	标准差
<b>家庭层面变量</b>				
<i>ELECQ</i>	2006 年家庭用电消费量	kWh	1,699	1,089
<i>CAR_USE</i>	哑元变量: 其中 1 代表 2006 年拥有私家车; 否则为 0		0.164	0.370
<i>CARQ</i>	2006 年私家车的燃料消费量	L	178.8	202.9
<i>TAXIQ</i>	2006 年乘坐出租车的燃料消费量	L	13.2	21.2
<i>COAL_USE</i>	哑元变量: 其中 1 代表 2006 年用煤作为家用燃料; 否则为 0		0.092	0.289
<i>COALQ</i>	2006 年家庭用煤的消耗量	kg	760.4	654.7
<i>LPG_USE</i>	哑元变量: 其中 1 代表 2006 年用液化石油气作为家用燃料; 否则为 0		0.419	0.493
<i>LPGQ</i>	2006 年家用液化石油气的消耗量	kg	82.9	55.4
<i>COALGAS_USE</i>	哑元变量: 其中 1 代表 2006 年用煤气作为家用燃料; 否则为 0		0.582	0.493
<i>COALGASQ</i>	2006 年家用煤气的消耗量	m <sup>3</sup>	252.9	189.5
<i>HHSIZE</i>	家庭规模	人	2.9	0.8
<i>AGE</i>	户主年龄	年	50.5	11.9
<i>INCOME</i>	家庭年收入	元/家	39,639	23,056
<i>HSIZE</i>	房屋面积	平方米	74.271	33.789
<b>城市层面变量</b>				
<i>CINCOME</i>	城市平均家庭	元	37977	10273
<i>POP</i>	城市人口	1000 人	2,556	2,652
<i>DENSITY</i>	城市人口密度	1000 人 /km <sup>2</sup>	13.4	5.3
<i>JAN_TEMP</i>	一月平均气温	°C	0.46	8.66
<i>JULY_TEMP</i>	七月平均气温	°C	27.21	2.65

城市	样本量	平均收入 (元)	平均用电量 (kWh)	私家车 拥有率 (%)	汽油 用量 (L)	打车平均 消费 (元)	普通巴士 行驶里程 (1000km)	绿色燃料 巴士 行驶里程 (1000km)	地铁 耗电量 (1000 kWh)	取暖面积 (m <sup>2</sup> )	煤使 用率 (%)	平均 用煤 (kg)	液化 石油气 使用率 (%)	液化 石油气 用量 (kg)	煤气 使用率 (%)	煤气 用量 (m <sup>3</sup> )	住房 面积 (m <sup>2</sup> )
北京	2081	55,718	2286.2	23.0	309.3	255	758,835	174,926	244,907	222,180	7.4	1159.9	22.1	97.2	74.8	233.6	65.8
天津	1554	40,441	2151.4	11.0	204.1	176	356,505	2,119	54,741	109,680	8.8	808.2	7.9	73.9	90.9	148.5	76.1
石家庄	301	32,201	1470.7	7.3	126.5	120	75,785	29,466		38,280	5.3	1150.6	53.2	85.4	53.2	340.0	68.4
唐山	200	37,647	1137.7	16.0	199.4	165	117,915			21,640	0.0	0.0	0.0		100.0	406.6	68.9
秦皇岛	200	29,472	1132.1	23.5	141.5	103	39,075			9,120	4.5	1411.1	65.0	76.2	39.0	368.3	73.4
邯郸	200	28,633	1121.4	12.0	88.3	75	63,023			10,030	9.5	396.4	10.0	28.8	95.0	361.8	93.0
沧州	150	30,080	1152.5	18.0	69.8	134	19,217			5,830	4.0	1200.0	92.0	83.1	38.0	112.0	70.4
太原	310	32,039	1293.2	8.1	159.7	102	99,683			37,850	3.2	528.0	7.1	83.8	92.9	447.6	85.3
朔州	150	31,747	853.6	26.0	74.4	95	4,977			2,470	22.0	1597.0	48.7	60.2	57.3	131.1	72.9
呼和浩特	400	37,383	1293.2	11.8	188.8	189	10,200	44,200		12,030	9.0	1377.0	45.8	72.4	53.0	247.3	75.5
包头	400	40,109	1361.4	19.0	111.9	209	39,962	13,945		23,680	10.8	1215.0	37.5	67.2	42.5	242.3	85.9
乌海	150	34,596	1162.8	65.3	64.4	135	20,548			2,600	31.3	1567.9	27.3	54.4	13.3	214.8	75.9
赤峰	200	26,572	1141.7	16.5	59.2	103	16,803	1,183		12,210	8.5	1386.5	89.0	46.5	1.5	42.7	72.9
通辽	150	28,275	1680.5	26.7	75.7	193	7,983			4,660	8.7	1923.8	78.0	85.1	5.3	60.8	65.8
沈阳	502	31,190	1343.2	4.0	241.7	180	196,410	54,695		117,776	0.4	175.0	5.8	69.3	95.6	175.7	68.8
大连	508	37,514	1242.8	3.0	147.2	239	207,842		17,987	60,350	0.2	1275.0	11.4	56.9	94.1	344.0	71.2
辽阳	200	27,259	1182.8	5.5	60.7	124	18,774			12,630	3.5	62.7	56.0	102.7	63.0	87.6	77.5

表 3-12 2006 年城市层面数据汇总（部分）



## 2. 总体估算方程

我们的研究集中在家庭碳排放的四种主要来源：交通、居民用电、居民采暖和燃料消耗。下方程为我们的实证研究提供了理论框架：

$$\text{碳排放} = r_1 * \text{交通} + r_2 * \text{用电} + r_3 * \text{采暖} + r_4 * \text{燃料消耗} \quad (3)$$

我们的主要方法是对每个标准家庭在各个城市估计方程 (3)，进而得出其碳排放量。在该方程中，第一个变量“交通耗能”是以有车家庭每年的汽油消耗量这个变量为代表——同时，交通也包括家庭坐出租车行使的公里数和乘公交汽车和地铁的能源消耗。这些形式的能源使用量乘以用  $r_1$  表示的排放因子：比如每升 93 号汽油燃烧生成 2.226 千克的  $\text{CO}_2$ ，就能够计算出其碳排放量。

方程第二项代表居民用电产生的  $\text{CO}_2$  排放。在美国，Glaeser and Kahn (2010) 发现，可能由于空调的广泛使用，夏季高温和电量消耗有着密切关系。为了把用电量转化成碳排放，我们必须使用区域发电厂的平均碳排放因子，方程中以  $r_2$  表示——其含义是每千瓦时电力消耗产生的  $\text{CO}_2$  排放量。相比燃烧煤的发电厂，燃烧天然气的发电厂和依靠新能源如风力水力或太阳能发电的发电厂的排放因子较小。

需要注意的是，大部分中国城市由于地理位置和可用于获得能量的自然资源不同采用的排放因子不同，比如一些大部分电力来源于发电厂的地区所采用的排放因子就较低。所以在计算过程中，我们采用最近的地区发电厂的碳排放因子，利用方程 (1) 计算家庭碳排放。

同时，需要注意我国南北城市的冬季温度有很大不同——北方城市比南方城市寒冷许多。在我国的北方城市，由统一的系统在 11 月 15 日至 3 月 15 日集中供暖。集中供暖的碳排放影响也是我们下文中具体研究的一项内容。

在“秦岭——淮河”以北的城市在冬天的月份中连续获得供暖补助，南方的城市则无权获得中央供暖。当采用集中供暖时每个家庭无法控制室内温度。根据这几项，我们认为供暖所使用的能源消耗和家庭的室内面积成比例，因此我们用家庭面积间接计算得到供暖能耗和碳排放。这一项产生了较高的碳排放主要是因为供暖的主要来源是煤。(Almond et. al., 2009)

方程中的第四项是燃料消耗所产生的排放量，这一部分有时也被用于家庭取暖。家庭燃料消耗具体包含三个方面：煤、液化石油气和煤气。煤比较便宜，但是含碳量较高，而且还会增加空气中二氧化硫排放量和空气微粒的含量；液化石油气和煤气是从煤和石油中提炼出来的，更加洁净而且含碳量较低。

### 3. 第一步：家庭层面的回归结果

为了估算方程（3）的各组成部分，我们分别对每个城市进行对用电和汽油消费等能产生碳的活动消费进行回归，对这些城市的分别回归让我们可以预测标准家庭在这 74 个城市中的能源消耗。这个过程产生了数目繁多的回归系数，但总体而言这些回归系数在地区间的量级是相似的。

我们首先利用家庭微观样本，使用一般线性模型估算中国家庭能源消耗的决定因素：基于城市固定影响和人口数量回归了交通行为能源消耗量、家庭用电量、取暖能源消耗量和燃料消耗量。表 3-13 给出了含城市固定影响的方程（将 74 个城市的所有样本放在一起回归）。

表 3-13 家庭层面的能源消耗方程

			Heckman Two Step		Heckman Two Step		Heckman Two Step		Heckman Two Step		
Dependent variable	log( <i>ELEC</i> <i>Q</i> )	log( <i>TAXI</i> <i>Q</i> )	<i>CAR_USE</i>	log( <i>CA</i> <i>RQ</i> <i>/CAR_U</i> <i>SE=1</i> )	<i>COAL_US</i> <i>E</i>	log( <i>COAL</i> <i>Q</i> <i> COAL_U</i> <i>SE=1</i> )	<i>LPG_USE</i>	log( <i>LPGQ</i> <i> LPG_USE=</i> <i>1</i> )	<i>COALGAS_</i> <i>USE</i>	log( <i>COAL</i> <i>GASQ</i> <i>/COALGA</i> <i>S_USE=1</i> )	log( <i>H</i> <i>SIZE</i> ) <sup>c</sup>
Model	OLS <sup>a</sup>	OLS <sup>a</sup>	Probit <sup>b</sup>	a	Probit <sup>b</sup>	a	Probit <sup>b</sup>	a	Probit <sup>b</sup>	a	OLS <sup>a</sup>
log( <i>INCOME</i> )	0.289 (39.21***)	1.929 (54.95***)	0.630 (34.16***)	0.768 (9.40***)	-0.448 (-23.83***)	0.169 (2.17**)	-0.240 (-17.46***)	-0.082 (-2.08**)	0.354 (25.46***)	-0.070 (-0.59)	0.265 (61.36***)
<i>HHSIZE</i>	0.06 (11.77***)	-0.287 (-11.83***)	0.044 (3.39***)		0.153 (11.23***)		0.039 (3.82)		-0.030 (-2.91)		0.025 (8.26***)
<i>AGE</i>	0.0009 (2.62***)	-0.018 (-11.37***)	-0.021 (-23.90***)		0.011 (11.69***)		-0.004 (-6.14**)		0.008 (11.48***)		0.0003 (1.53)
constant	3.988 (51.1***)	-13.642 (-36.75***)	-6.702 (-34.90***)	-2.689 (-2.59**)	2.288 (11.71***)	5.283 (9.39***)	2.389 (16.33***)	3.829 (16.44***)	-3.789 (-25.54***)	5.184 (3.01**)	1.367 (29.83***)
City fixed effects	yes	yes	--		--		--		--		yes
Obs	25328	25328	25328		25328		25328		25328		25328
Significance	R <sup>2</sup> : 0.22	R <sup>2</sup> : 0.234	rho: -0.558 sigma: 1.764 lambda: -0.984		rho: -0.398 sigma: 1.330 lambda: -0.529		rho: 0.961 sigma: 1.314 lambda: 1.262		rho: -0.364 sigma: 0.917 lambda: -0.335		R <sup>2</sup> : 0.222

<sup>a</sup> t-statistics in parentheses.

<sup>b</sup> z-statistics in parentheses.

<sup>c</sup> for estimating heating. \* indicates significance at the 10% level, \*\* at the 5% level and \*\*\* at the 1% level.

(1) 在家庭用电消费中，我们对下述方程进行估计：

$$\text{Log(Electricity)} = \text{City Fixed Effects} + b_1 * \text{Log(Income)} + b_2 * \text{Household Size} + b_3 * \text{Age of Household Head} + U \quad (4)$$

分析的单位是“城市 k 中的家庭 j”——注意回归系数并没有城市的特定标志；表 3-13 中显示了回归的结果：我们考虑了城市的固定影响但假设家庭人口对城市间能源消耗有着相同的边际效应。我们最后的估计放松了这一假设，在每个城市中有不同的收入弹性值。

出租车和供暖的估计方法与用电方程类似。

(2) 我们估计其他能源消费时采用 **Heckman** 两步回归法。我们的家庭样本中对于某种特定燃料花费有些为零：比如，在北京，我们估算出私家车拥有率为 23%——这意味着，在这个相对较富裕的城市中 77% 的家庭消耗汽油量为零升，另外 23% 则会消费一定数量的汽油。在上海，私家车拥有率由于人口密度大和车牌配额政策则更低（16.4%）。同样的问题也出现在家庭对三种燃料（煤、液化石油气、煤气）的消费上，很多家庭这三种燃料的消费都为零。在这种情况下，如果仍然用 OLS 方法进行估计，会得到有偏误的结果，Heckman 两步估计能够较好的处理这类归并数据的问题。

1) 第一部采用 **Probit** 二元选择估计：

$$\text{Prob(Own a car)} = f(b_1 * \text{Log(Income)} + b_2 * \text{Household Size} + b_3 * \text{Age of Household Head}) \quad (5)$$

2) 在第二阶段，我们估计：

$$\text{Log(fuel consumption | consumption} > 0) = c_1 * \text{Log(Income)} + e \quad (6)$$

由于每个城市中样本量很小，使我们在第二个方程中剔除了年龄和家庭规模这两个变量。

估算结果显示，出租车能源消耗的收入弹性大于 1，为奢侈品；同时私家车拥有和汽油消费收入弹性也较大。用电花费的收入弹性系数为 0.29。较富裕的中国城市家庭已经在能源使用上更上一层楼，从原来烧煤转为用更清洁能源，如电力和天然气。这些中国城市的结果和环境库兹涅茨曲线是相吻合的（Pfaff et. al. 2004）：富人消费更洁净的能源，尽管消费量增大，但是仍会降低当地的空气污染。煤和液化石油气是低级能源，随着收入的升高使用量会降低，而更清洁的煤气随着收入增长而使用量升高。煤气通过管道直接入户，但液化石油气并没有这

么方便，烧煤则更具污染性。

#### 4. 第二步：不同城市标准家庭碳排放水平计算

为了中国 74 个城市的家庭碳排放，我们采用对每个城市已估计出的七种能源消耗的方程来计算标准家庭的能源消耗，并将其转化为二氧化碳排放量。本课题研究的“标准家庭”定义为年收入为 4 万元或 5714 美元，家庭人数 3 人，户主年龄为 45——这几个值取全样本的均值。通过对标准家庭二氧化碳排放的估计，我们可以回答出“如果一个家庭从城市 I 搬到城市 J，总碳排放会升高还是降低？”

如前所述，之所以不简单地计算每个城市每项能耗的户均值，而引入标准家庭的概念，是希望排除人口分布在城市间的系统性差异。例如，北京的收入水平肯定高于廊坊，因此人均碳排放也必然高于廊坊，但这并不是我们最想知道的。我们希望知道，如果一个相同的家庭，从 I 城市搬迁到了 J 城市，它的碳排放会增加还是减小？利用标准家庭的概念，我们就能够剥离出在排除了个体因素后，城市因素对于居民碳排放的“纯”影响。

##### (1) 计算方法及过程举例

###### 1) 家庭用电

基于方程 (3)，我们分别估计了 74 个城市家庭的用电量，举一个典型例子，方程 (7) 是我们对上海 1018 个家庭的估计：

$$\begin{aligned} & \text{Log(Electricity Use)} \\ & = 3.58 + 0.33 * \text{Log(Income)} + 0.10 * \text{Household Size} - 0.0005 * \text{Age} \end{aligned} \quad (7)$$

在该回归中， $R^2$  值为 0.199。我们用这些回归系数估计了一个年收入 4 万元，三口人，户主年龄为 45 岁的家庭在上海的年用电花费——结果是 1494.9 千瓦时。然后将这个数字乘以上海的电力碳排放转化因子(0.8154 tCO<sub>2</sub>/mWh)——即方程 (3) 中的  $r_2$ ，就得出了在上海居住的标准家庭每年排放 1.219 吨二氧化碳。

电力转化因子（发电厂的碳排放因子， $r_2$ ）是根据中国地区的不同而不同的关键因素。七大电网（大陆六个区域电网和海南电网）支撑了中国大部分的电力消费。区域电网的基准排放因子（at both operating margin and build margin）近些年由国家发改委国家协调委员会气候变化部门估计——这里估算所用的参数与第一项研究相同。

## 2) 私家车和出租车的使用

对于私家车，我们对每个城市采取 Heckman 两步回归模型来预测城市标准家庭的燃料花费（当观察值缺失时认为其为零），举北京的私家车使用为例，选择方程为：

$$\begin{aligned} \text{Prob}(\text{Owning a car}) \\ = f(-8.84 + 0.81 * \text{Log}(\text{Income}) - 0.003 * \text{Household Size} \\ - 0.015 * \text{Age of household head}) \end{aligned} \quad (8)$$

假设该家庭有车，消耗方程则为：

$$\text{Log}(\text{Car Fuel Use} | \text{Car ownership} = 1) = 4.52 + 0.27 * \text{Log}(\text{Income}) \quad (9)$$

在上面 Heckman 两步估计中，共有 2081 个观察值。从第一步回归中我们得到标准家庭有车的概率为 18.4%。采用这两个方程，我们预测出在北京，一个标准家庭的期望汽油花费为每年 292.2 升。然后将燃油花费用标准的转化方法转化为碳排放量。我们采用了同样的方法分别估算了标准家庭在 74 个城市中使用出租车产生的碳排放量。

## 3) 公共汽车和地铁碳排放：

UHS 没有提供家庭使用公共交通系统的公里数和能源消耗的可靠数值。为了克服这个问题，我们采用了中国城市年鉴中的汇总数据和其他数据来源。年鉴提供了城市标准公共汽车、LPG 公共汽车和 CNG 公共汽车的总数量。我们假设公共汽车的出车率为 90%，每辆汽车每天大约行驶 150 公里。一个标准公共汽车每百公里消耗柴油 25 升。而 LPG（或 CNG）公共汽车行使相同距离大约消耗标准车四分之三的燃料。然后我们计算每个城市公共汽车燃料总消耗量，再除以城市的总家庭数目。利用标准的转化因子将每个家庭燃料消耗转化为每个家庭碳排放量。

目前中国只有十个城市有地铁线路：北京、上海、广州、深圳、天津、大连、长春、南京、武汉和重庆。在地铁电力消耗上没有官方统计数据，我们只能依靠私人统计的政府数据。我们仍然遵循城市公共汽车碳排放的计算方法。对每个城市，我们计算地铁系统总电力消耗再除以城市家庭数，这就得出了城市家庭平均用于地铁的电力消耗。我们然后采用地区专用转化因子估算每个城市地铁用电碳排放。来源于交通方面的碳排放量是私家车、出租车、公共汽车和地铁的汇总。

## 4) 燃料和供暖碳排放

我们应用 Heckman 两步回归来估计标准家庭的燃料使用产生的碳排放量。对于三种形式的燃料煤、液化石油气、煤气，我们首先估计标准家庭使用概率，然后在使用该能源的基础上估算使用量。我们计算每种燃料消耗的期望值，然后乘以标准转化因子来预测总碳排放量。

由于很多北方家庭仍然采用集中供暖，在 UHS 数据中除了上述三种类型的燃料没有取暖花费的记录。在市场上采取集中供暖时，由于国家提供免费的定量的集中供暖没有热量表，对每个家庭的能源使用，最好的计量方法就是住房面积。清华大学环境工程与建筑科学系为我们提供了对每个省给定室外温度对每平方米居住面积供暖所产生的 CO<sub>2</sub> 排放量。

我们用这个转化因子乘以家庭平均住房面积的预测值。使用 UHS 中每个家庭居住面积的数据，我们以住房面积为被解释变量、收入和人口特征变量为解释变量对每个城市进行分别回归。利用这个回归，我们预测标准家庭的期望居住面积，再乘以每省供暖的转化因子来预测 74 个城市的总碳排放量。

## (2) 计算结果汇总：基于标准家庭 CO<sub>2</sub> 排放量的中国环保城市排名

综合方程 (3) 中的各个组成部分，我们就可以根据每标准家庭碳排放总量来给中国的 74 个主要城市排序，结果见表 3-14——其前 9 列列出了我们估算的 74 个城市标准家庭碳排放的组成部分，单位为“吨 CO<sub>2</sub>”。

表 3-14 2006 年中国城市居民生活碳排放排名

排名	城市	电力	煤	液化石油气	煤气	私家车	出租车	公交车	地铁	取暖	总和	标准差
1	淮安	0.879	0.098	0.082	0.016	0.120	0.011	0.023			1.230	0.090
2	宿迁	0.865	0.218	0.117		0.000	0.006	0.026			1.231	0.073
3	海口	0.983	0.007	0.176	0.015	0.000	0.006	0.065			1.252	0.124
4	南通	1.062		0.036	0.164	0.000	0.007	0.012			1.281	0.080
5	南昌	0.978		0.141	0.048	0.000	0.007	0.130			1.305	0.138
6	台州	1.069	0.041	0.076	0.016	0.094	0.006	0.005			1.307	0.142
7	镇江	1.098	0.067	0.036	0.064	0.030	0.009	0.027			1.331	0.118
8	绍兴	1.170	0.048	0.066	0.052	0.002	0.006	0.021			1.365	0.115
9	西宁	0.878	0.250	0.020	0.012	0.000	0.019	0.175		0.016	1.371	0.198
10	徐州	0.946	0.070	0.046	0.112	0.172	0.010	0.040		0.006	1.401	0.172
11	朔州	0.594	0.255	0.046	0.060	0.083	0.016	0.015		0.357	1.426	0.113
12	扬州	1.123	0.033	0.063	0.083	0.113	0.009	0.019			1.443	0.325
13	衢州	1.115	0.030	0.189	0.068	0.006	0.007	0.037			1.452	0.278

14	洛阳	0.905	0.155	0.127	0.027	0.040	0.010	0.038		0.189	1.491	0.169
15	成都	1.243	0.016	0.005	0.232	0.007	0.012	0.007			1.522	0.097
16	南宁	1.079	0.001	0.220	0.002	0.117	0.009	0.097			1.524	0.073
17	绵阳	1.157		0.001	0.209	0.153	0.012	0.027			1.558	0.135
18	常州	1.224	0.009	0.106	0.053	0.131	0.010	0.041			1.574	0.100
19	锦化	1.154	0.046	0.167	0.002	0.233	0.008	0.016			1.626	0.094
20	湖州	1.330	0.014	0.194	0.008	0.026	0.007	0.059			1.638	0.100
21	丽水	1.308	0.018	0.197		0.110	0.005	0.013			1.651	0.108
22	宁波	1.328	0.004	0.213	0.011	0.058	0.006	0.050			1.670	0.142
23	重庆	1.396			0.229	0.000	0.014	0.039	0.004		1.681	0.342
24	珠海	1.197		0.345	0.002	0.026	0.010	0.148			1.726	0.027
25	无锡	1.461		0.071	0.123	0.023	0.010	0.060			1.748	0.044
26	郑州	0.984	0.185	0.053	0.109	0.000	0.006	0.057		0.363	1.757	0.071
27	泰州	1.359	0.008	0.256	0.004	0.117	0.007	0.009			1.761	0.157
28	合肥	1.360	0.069	0.101	0.064	0.000	0.044	0.138			1.776	0.064
29	兰州	0.573	0.029	0.047	0.067	0.000	0.016	0.077		0.976	1.785	0.081
30	上海	1.219		0.007	0.235	0.130	0.014	0.118	0.074		1.796	0.066
31	广州	1.315		0.213	0.052	0.056	0.008	0.127	0.055		1.827	0.138
32	日照	1.060	0.092	0.065		0.222	0.013	0.060		0.318	1.831	0.102
33	淄博	0.998	0.169	0.119	0.024	0.034	0.021	0.062		0.441	1.870	0.120
34	嘉兴	1.286		0.187	0.009	0.373	0.007	0.028			1.890	0.088
35	淮南	1.008	0.144	0.056	0.085	0.480	0.063	0.058			1.895	0.091
36	南京	1.293	0.003	0.097	0.051	0.318	0.009	0.096	0.032		1.899	0.045
37	杭州	1.650	0.006	0.132	0.026	0.000	0.006	0.087			1.907	0.045
38	武汉	1.526	0.016	0.133	0.092	0.065	0.011	0.069	0.003		1.915	0.100
39	烟台	0.969	0.142	0.069	0.067	0.017	0.019	0.022		0.629	1.934	0.066
40	乌鲁木齐	0.509		0.027	0.086	0.000	0.024	0.177		1.128	1.951	0.091
41	邯郸	0.998	0.029	0.008	0.222	0.004	0.013	0.068		0.633	1.974	0.215
42	贵阳	1.433	0.201	0.016	0.118	0.141	0.010	0.073			1.993	0.076
43	青岛	1.205	0.248	0.060	0.067	0.000	0.020	0.053		0.388	2.041	0.123
44	西安	0.871	0.072	0.037	0.101	0.605	0.018	0.104		0.246	2.055	0.101
45	长沙	1.204	0.028	0.193	0.044	0.505	0.021	0.088			2.083	0.095
46	深圳	1.491		0.261	0.012	0.263	0.010		0.112		2.149	1.601
47	昆明	1.003	0.033	0.068	0.106	0.814	0.005	0.138			2.167	0.133
48	济南	1.099	0.373	0.062	0.030	0.084	0.017	0.085		0.436	2.185	0.060
49	唐山	0.865			0.232	0.405	0.017	0.058		0.625	2.203	0.076
50	沧州	0.868		0.185	0.020	0.023	0.029	0.014		1.087	2.226	0.080



51	苏州	1.424	0.016	0.068	0.077	0.718	0.008	0.033			2.344	0.167
52	温州	2.057		0.286	0.001	0.000	0.015	0.051			2.410	0.090
53	乌海	0.536	0.632	0.045	0.017	0.089	0.014	0.093		1.008	2.435	0.155
54	秦皇岛	0.841	0.096	0.076	0.089	0.253	0.017	0.096		0.977	2.447	0.157
55	太原	0.939	0.027	0.012	0.237	0.027	0.013	0.086		1.107	2.449	0.171
56	福州	2.124		0.201	0.025	0.060	0.006	0.054			2.470	0.076
57	呼和浩特	0.747	0.105	0.066	0.073	0.014	0.034	0.077		1.468	2.584	0.115
58	厦门	2.035	0.001	0.152	0.021	0.326	0.007	0.171			2.713	0.069
59	通辽	1.448	0.063	0.162		0.000	0.058	0.019		0.972	2.722	0.073
60	石家庄	1.110	0.044	0.091	0.099	0.000	0.019	0.048		1.313	2.724	0.069
61	吉林	0.983		0.198	0.016	0.000	0.030	0.204		1.512	2.944	0.126
62	赤峰	0.873	0.161	0.085		0.025	0.020	0.031		1.802	2.998	0.089
63	天津	1.551	0.063	0.014	0.070	0.553	0.018	0.087	0.017	0.690	3.063	0.071
64	长春	0.914	0.010	0.003	0.126	0.004	0.024	0.056	0.006	1.938	3.080	0.069
65	辽阳	0.962		0.139	0.024	0.173	0.026	0.028		1.885	3.237	0.052
66	包头	0.698	0.102	0.054	0.053	0.174	0.021	0.072		2.134	3.309	0.084
67	大连	0.904		0.015	0.191	0.000	0.040	0.071	0.007	2.143	3.371	0.068
68	哈尔滨	1.157		0.027	0.236	0.000	0.021	0.057		2.009	3.508	0.285
69	沈阳	0.974		0.009	0.099	0.000	0.028	0.082		2.337	3.528	0.060
70	银川	0.675	0.019	0.059	0.036	0.338	0.034	0.095		2.287	3.543	0.146
71	齐齐哈尔	0.765		0.054	0.115	0.000	0.018	0.041		2.620	3.614	0.085
72	北京	1.558	0.145	0.049	0.084	0.650	0.018	0.138	0.049	1.306	3.997	0.192
73	牡丹江	1.047	0.136	0.081		0.353	0.040	0.017		3.154	4.827	0.107
74	大庆	0.998		0.233	0.003	0.000	0.026	0.137		3.719	5.115	0.056
	平均值	1.122	0.093	0.102	0.077	0.135	0.016	0.067	0.036	1.228	2.177	0.134

我们发现中国城市家庭的碳排放水平要比美国小很多。74 个城市平均的标准家庭年碳排放是 2.2 吨，北京是 4.0 吨，上海是 1.8 吨。其中最“棕色”的城市大庆的年碳排放（5.1 吨），也不足美国最“绿色”的城市圣地亚哥（26 吨）的 1/5（美国的数据来自 Kahn 教授和 Glaeser 教授完成的一篇类似论文，见 <http://www.nber.org/papers/w14238>）。这与工程师的发现是一致的。在中国的城市里，绝大多数居民住在高层或多层的单元房中，私家车拥有率虽然在快速增长，但在众多中等和小城市中并不很高。而在美国，大部分人住在郊区的独立式住宅中，面积远远大于我们的单元房，私家车拥有率通常在 80% 以上，每天需要长时间的通勤上下班。另外，许多西方人所追求的“过度”舒适的生活，也造成了高

企的碳排放水平（许多人都体会过，在那里夏天时室内空调有多么冷）。

从比例上看（图 3-8），居民用电和冬季供暖是生活碳排放中的两个最大的组成部分，分别占到总量的 39% 和 43%。相比之下，居民交通碳排放仅占 9%，这主要是由于中国城市中公共交通使用率较高，这些大容量的交通方式降低了人均能耗。冬季供暖存在一个特殊的制度特征。以秦岭淮河来划分，中国的南方城市不存在系统性的集中供暖，而北方城市的集中供暖是非常刚性的——每年的 11 月 15 日至次年的 3 月 15 日，而且每家每户很难独立调节室内温度。正因为如此，在我们的计算中也只有北方城市存在供暖碳排放。

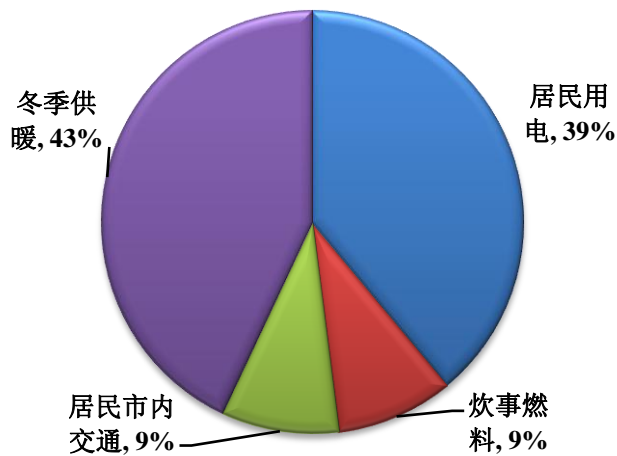


图 3-8 城市家庭生活碳排放构成

从生活碳排放的角度，哪些城市是最“绿色”的城市？为了回答这个问题，我们按照标准家庭的碳排放水平将这 74 个城市排了个序。图 3-9 显示了这 74 个城市的空间分布和它们各自的居住碳排放水平。一眼看上去，能够发现两个很明显的特征：第一，北方城市的户均碳排放水平明显高于南方城市，这正是源于南北方截然不同的供暖体制。第二，东部沿海城市的户均碳排放水平高于内陆城市，这主要源于东部城市居民较高的收入和消费水平。

按照标准家庭居住碳排放水平，最“绿色”的五个城市是，淮安、宿迁、海口、南通和南昌；而最“棕色”的五个城市是，大庆、牡丹江、北京、齐齐哈尔和银川。很有趣的是，许多绿色城市都接近秦岭淮河这条供暖分界线，处于南侧。这很容易理解：这些城市冬天没有集中供暖，而夏天的空调耗电也不如最南方的城市那么高。

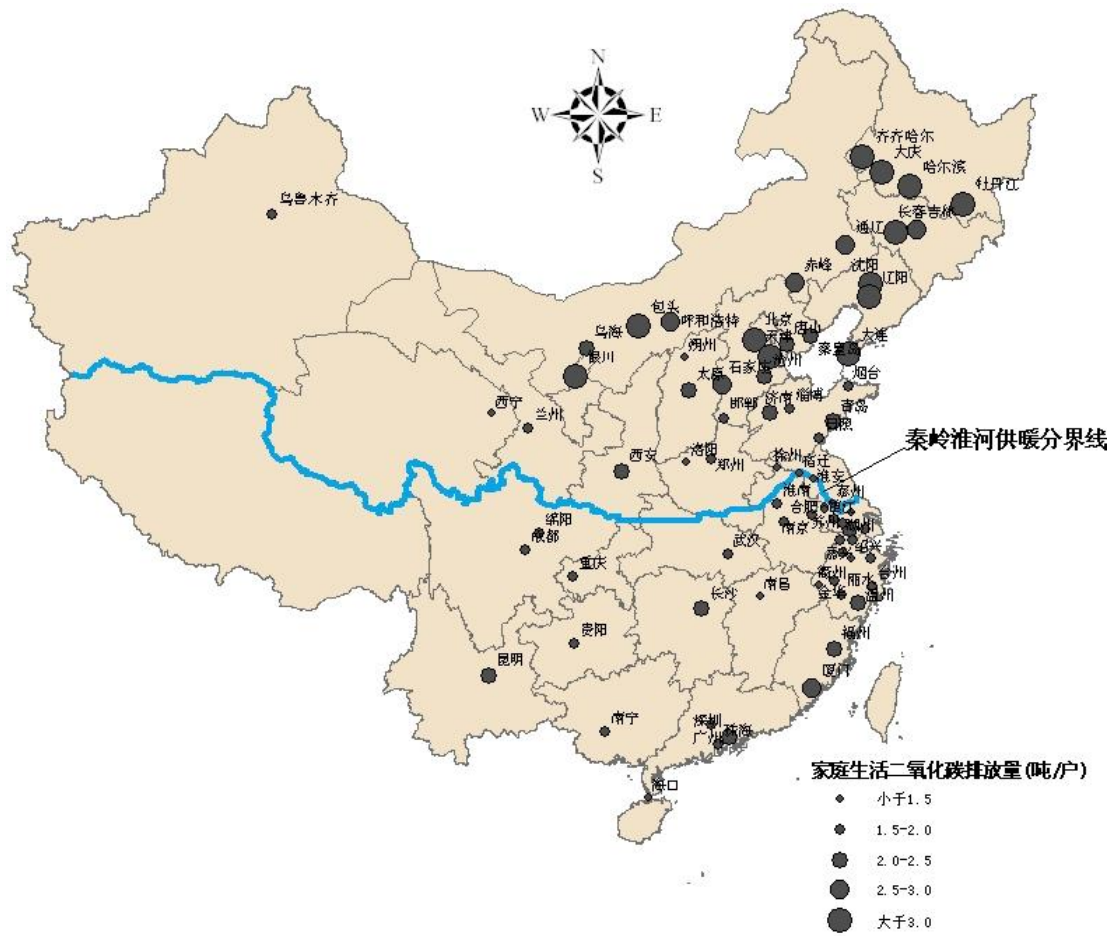


图 3-9 中国 74 城市标准家庭二氧化碳排放量

我国的供暖系统靠燃煤取暖并且受国家很大的补助。大部分热量来源于燃煤锅炉或热电联产, 这些方式与工业国家电力、燃气和燃油供暖系统(T.J. Wang et al., 2000; Yi Jiang, 2007)相比能源的利用效率较低。如果我国的家庭供暖系统能够有较大的转变, 或许采用含碳量较低的能源, 那么这肯定会改变目前城市的排名。

我们估计出每吨二氧化碳的边际社会成本为 35 美元。这个与 the Stern report (2008)相比是个相对保守的估计, 该报告中认为每吨二氧化碳的成本为上述值的两倍。上述值也是 Metcalf (2007)报告所得出范围的中值。

基于我们对家庭碳排放空间差异的估计, 我们发现标准家庭从最绿色城市搬到最不绿色城市会引起每年 136.5 美元的社会外部性。这大约是标准家庭年收入的 2.5%。如果北方城市不采用煤给家庭取暖, 或者富裕城市兴建地铁或其他形

式的交通系统，差距则会变小；相反的，收入的增长会导致能源消费的差异进一步扩。

城市的碳排放仅仅是城市绿色与否的其中一个指标，但却是一项最可能影响城市外部和其他居住区的指标。Zheng, Kahn and Liu (2009)采用 hedonic 模型对中国 35 个主要城市进行了排序。生活质量指标其中一项就是城市空气质量，用空气微粒 PM10 量测。我们检验了这 35 个城市 PM10 的水平和家庭碳排放的相关性。这两组数据有着 0.33 的正相关性，在较冷的北方城市，人们燃煤为家庭和办公室取暖既产生了空气微粒又产生了二氧化碳。

### 3.4.2 居民生活碳排放与城市发展模式的讨论

#### 1. 城市家庭碳排放的收入弹性估计

我们在对每个城市中的家庭样本进行各种能源消耗模型估计时，自变量包括收入、家庭人口和户主年龄。这实际上就求得了每个城市家庭的私家车油耗、出租车油耗、公交车和地铁油耗、电、煤、液化石油气、煤气的收入弹性，而且这些收入弹性在城市间是变化的（收入弹性的表格略，见附件论文）。这些收入弹性具有很强的经济意义，反映出随着收入的增长，这些不同类别的能源消耗将会遵循如何的发展路径。

城市间家庭收入和能源消耗的关系有着显著的差异。比如，上海的私家车燃料花费（在有车的情况下）的收入弹性是北京的两倍。用电花费的收入弹性北京为 0.163，上海为 0.171，而淄博则为 0.445。假设今后时间断面的收入弹性和 2006 年相同的话，我们可以用回归的估计结果，预测正在进行的经济发展是如何影响中国不同城市的能源消耗的——比如，淄博的经济发展会比北京消耗更多的电力。

#### 2. 未来碳排放水平的预测

在以上的基础上，课题组采用收入弹性对 20 年后中国城市的家庭碳排放进行一个粗略的预测。我们对 2026 年的收入和人口水平做一些假设——这些假设来源于国内的权威机构：（1）中国城市人均收入在未来 20 年会增加 200%，即城市收入以 5.6% 的年增长率增长。（数据来源：中国社科院数量经济与技术经济研究所）（2）中国城市化率从 2006 年 43.9% 增长到 2026 年的 62%，这样城市人口在未来二十年大约增长 40%（数据来源：中国科学院）

利用这些预测基础，我们采用现有的能源消耗数据来估算 2026 年的碳排放量。我们将所有子项的碳排放加总在一起，利用所有城市的微观家庭样本运行如下回归：

$$\text{Emissions} = a_i * \text{Log}(\text{Income}) + b_i * \text{Household Size} + c_i * \text{Age} + d_i * \text{Log}(\text{City Population}) + e_i * \text{January Temperature} \quad (10)$$

回归系数  $a_i$ ,  $b_i$  和  $c_i$  随城市的不同而不同。我们首先用该方程估算标准家庭 2006 年在 74 个城市的碳排放量, 然后对每个城市 2026 年碳排放作出预测, 预测时标准家庭的年收入设为 12 万元(按照上述预测增长率增长)或 1.75 万美元, 家庭规模 3 人, 假设城市人口也像上述预测增长率那样增长。2026 年预测的标准家庭碳排放在表 7 中第 3 列显示。所有的城市在 2026 年碳排放水平都会升高, 从 2006 年到 2026 年, 家庭碳排放平均增长 26%。这个相对保守的增长显示了经济更加发达的中国对全球碳排放只产生了适度的影响。当然, 这种粗略的预测具有很大的局限性, 实际上是假设现有的消费行为和习惯保持不变。

表 3-15 2026 年主要城市标准家庭碳排放水平预测

City	CO2 emission in 2026 (tons)	City	CO2 emission in 2026 (tons)	City	CO2 emission in 2026 (tons)
北京	5.250	无锡	2.425	济南	4.931
天津	5.272	徐州	1.601	青岛	4.720
石家庄	5.282	常州	2.083	淄博	5.234
唐山	4.439	苏州	2.250	烟台	4.103
秦皇岛	5.018	南通	1.574	日照	5.331
邯郸	5.473	淮安	1.595	郑州	5.851
沧州	5.776	扬州	1.808	洛阳	6.110
太原	4.496	镇江	1.634	武汉	2.921
朔州	4.701	台州	1.555	长沙	2.656
呼和浩特	6.526	宿迁	1.461	广州	2.711
包头	6.681	杭州	2.738	深圳	3.062
乌海	8.136	宁波	2.263	珠海	2.546
赤峰	7.361	温州	3.708	南宁	2.289
通辽	8.050	嘉兴	2.267	海口	2.171
沈阳	4.249	湖州	2.260	重庆	2.629
大连	4.461	绍兴	1.899	成都	2.367
辽阳	4.694	锦化	2.040	绵阳	1.853
长春	5.863	衢州	1.907	贵阳	2.542
吉林	6.184	泰州	2.474	昆明	2.056
哈尔滨	6.672	丽水	2.292	西安	4.123
齐齐哈尔	5.976	合肥	2.381	兰州	3.705
大庆	7.973	淮南	1.841	西宁	6.627
牡丹江	6.474	福州	3.572	银川	4.702
上海	2.361	厦门	3.592	乌鲁木齐	3.429
南京	2.238	南昌	1.946		

### 3. 标准家庭碳排放与城市发展特征的相关关系研究

表 3-16 显示了我们所计算的各个城市中“标准家庭”碳排放和城市属性的相关关系。城市属性包括人口、收入、冬季和夏季温度、城市空间密度等。我们对标准家庭碳排放总量及其各子项都进行了回归分析，主要结果是：

(1) 城市人口与用电碳排放、出租车碳排放、公交车碳排放呈显著的正相关关系。在大城市中，人们使用公共交通的概率更高，这一结果与之前许多学者的研究相一致。图 3-11 反映了标准家庭碳排放与城市人口的关系，呈弱正相关性。

(2) 人口密度与出租车碳排放、公交车碳排放呈显著负相关关系。平均每平方公里增加 1,000 人（约 19% 的样本标准差）会减少家庭出租车碳排放 0.424 吨，减少公交车碳排放 0.837 吨。这可能是由于较短的平均出行距离或更有效的城市交通系统——如同美国的情况，紧凑型城市的发展有助于降低交通碳排放水平。

表 3-16 不同城市标准家庭碳排放水平的差异性分析

	电力	供暖	私家车	出租车	地铁	公交车	所有
Log(CINCOME)	0.439 (3.40***)	1.065 (1.08)	1.420 (1.88*)	-1.377 (-4.96***)	3.188 (2.00*)	-0.455 (-1.22)	0.440 (3.24***)
Log(POP)	0.067 (1.95*)	-0.028 (-0.13)	-0.083 (-0.36)	0.153 (1.79*)	0.535 (1.08)	0.491 (4.47***)	0.054 (1.46)
JAN_TEMP		-0.111 (-4.41***)					-0.033 (-8.8***)
JULY_TEMP	0.031 (2.64***)						
DENSITY			0.257 (0.61)	-0.424 (-2.75***)	-0.66 (-0.7)	-0.837 (-4.01***)	
constant	-5.898 (-5.06***)	-11.72 (-1.22)	-17.822 (-2.21**)	10.085 (3.41***)	-41.273 (-2.58**)	0.238 (0.06)	-4.291 (-3.08***)
obs	74	35	74	74	10	73	74
R2	0.436	0.394	0.05	0.27	0.91	0.317	0.598

\* The dependent variable is measured in tons of carbon dioxide emission of standardized household. The unit of analysis is one of the 74 cities. T-statistics are reported in parentheses.

\* indicates significance at the 10% level, \*\* at the 5% level and \*\*\* at the 1% level.

(3) 在控制个人收入的情况下，城市收入水平和碳排放之间仍然存在显著的正相的关系（图 3-11）。富裕的城市在用电、私家车、地铁上的碳排放量较高

而在出租车上的碳排放量较低；一个可能的解释是在某种能源的使用上存在社会乘数（Social Multiplier）；另外一种解释是富裕的城市建造了需要消耗更多能源的基础设施。所以当我们预测中国在经济快速增长过程中的能源消耗路径时，我们既要从家庭微观层面，还要从城市层面来解释收入效应。

图 3-12 显示了一月温度和碳排放量的强负相关性，在这个关系中，供暖碳排放起到了主导作用。首先，只有寒冷的北方有供暖系统，第二，在北方，越寒冷的地方，单位供暖面积所消耗的能源越多。一月温度上升一个标准差（8.66 度）会减少 0.29 吨二氧化碳排放。其中最主要的影响是家庭供暖碳排放，一月温度每升高一度，供暖产生的碳排放会减少 0.111 吨，其他能源的碳排放也会降低。

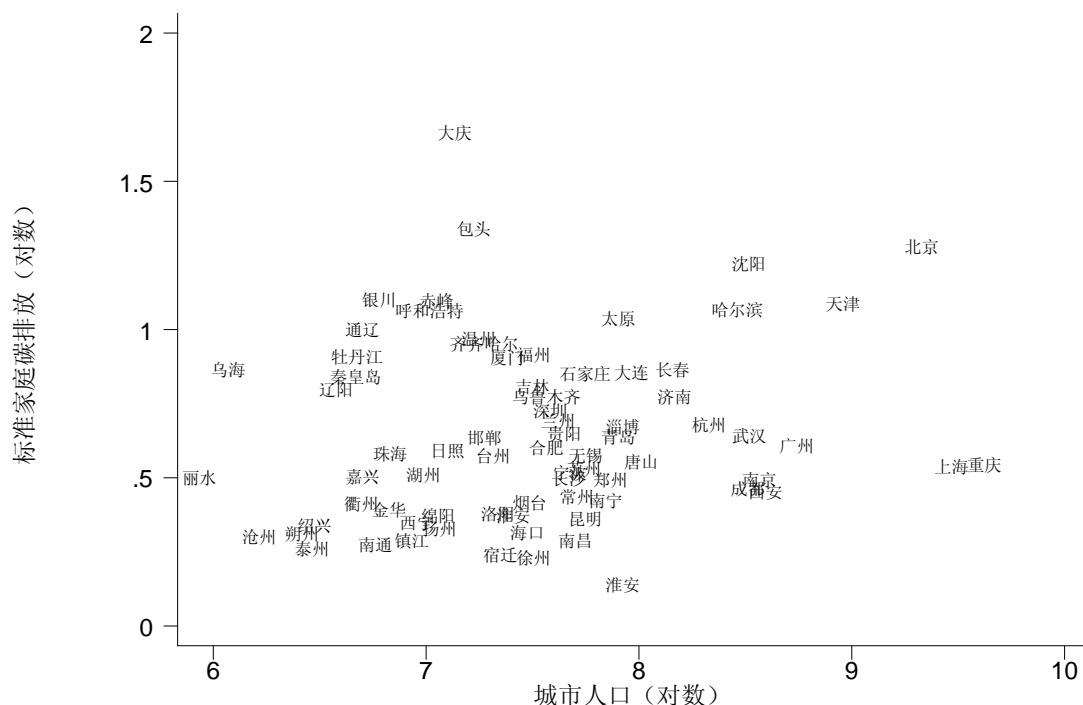


图 3-10 城市人口与标准家庭碳排放水平的关系

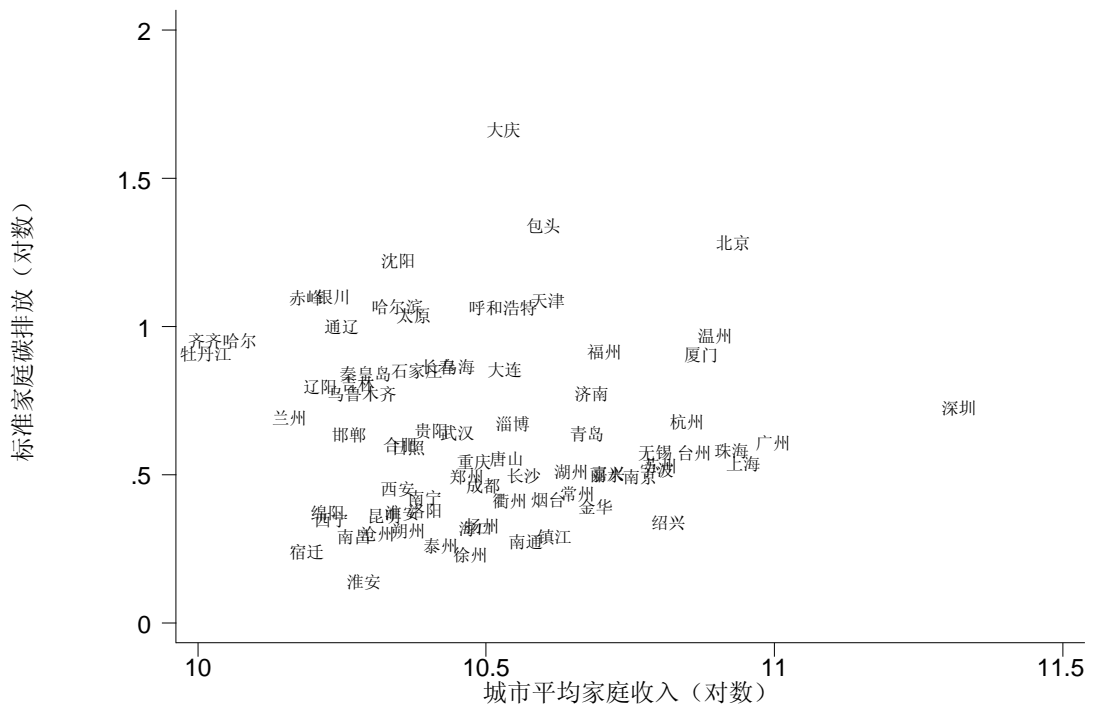


图 3-11 城市收入与标准家庭碳排放水平的关系

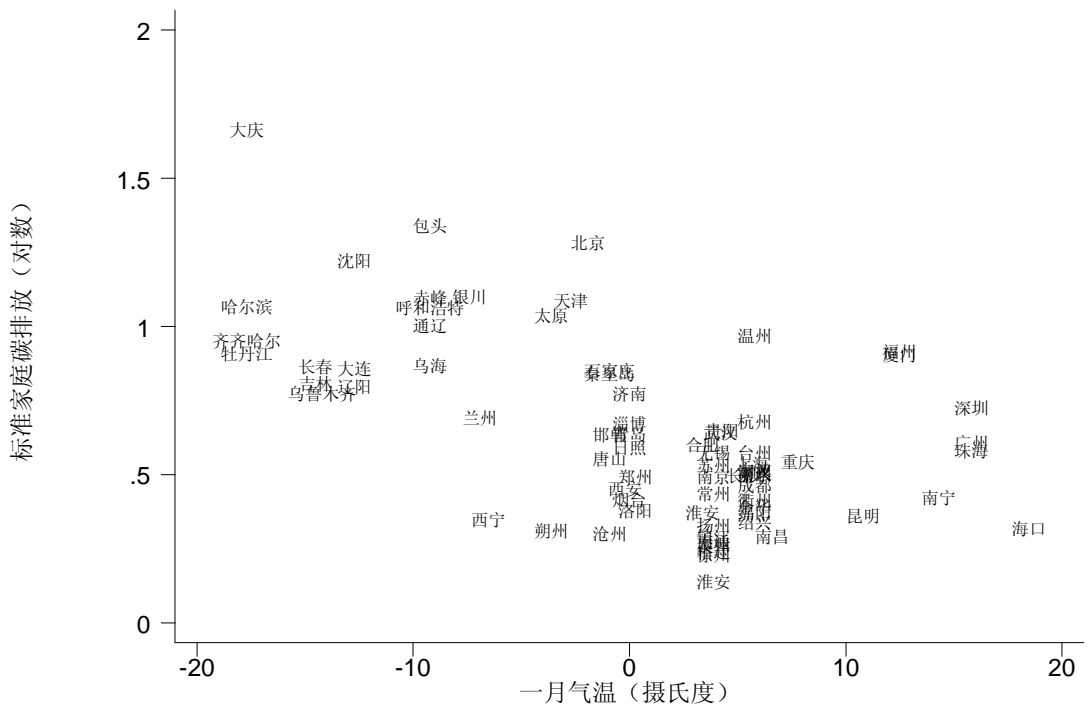


图 3-12 城市冬季温度与标准家庭碳排放水平的关系



#### 4. 中国区域发展政策的环境影响

我国政府正在推行的一些显著影响区域经济增长的区域发展政策，可能会对城市居民生活碳排放水平有显著影响。这里我们主要分析三个重要的政策：

1. 西部大开发：1999年提出的西部大开发计划对西部和中部各省的基础设施建设和工业调整给与了援助和支持 (Chow (2002: 174))。

2. 振兴东北：我国的东北部（辽宁，吉林和黑龙江）老工业基地在建国初期曾经由于发展重工业而获益；但目前东北面临着高失业率，落后的工业和基础设施和不足的社会保障等问题(Saich 2001: 149)。西部大开发计划面向城市也面向乡村地区，但振兴东北计划则集中于振兴衰退的城市。

3. 着眼于京津环渤海地区的区域发展计划旨在加速该地区的发展，使其逐步追赶上长江三角洲和珠江三角洲。2008年奥运会建造了大规模的基础设施并改善了环境，中央的政策导向必然会继续吸引物质和人力向该地区转移(Ades and Glaeser, 1995)。

为了全面评估这些区域发展计划会对碳排放有怎样的影响，我们需要更详细的模型来估算每个计划对中国城市增长的空间差异分布的影响。这里我们只是做一个初步的尝试。我们对每个区域内城市家庭碳排放的水平采用人口数量加权平均的方法计算出区域家庭碳排放水平：加权平均后西部地区的家庭碳排放为 1.9 吨/户；东北部加权平均碳排放为 3.5 吨/户；京津环渤海地区的城市的加权平均碳排放为 2.9/户，而全国其他地区为 2 吨/户。可以看出，振兴东北计划和环渤海地区的发展计划如果吸引更多的人从全国的其他地区流入这些区域，会带来整体碳排放水平的增加；而西部开发大计划则会形成更低的碳排放水平。当然，值得指出的是，我们这里仅是针对居住碳排放而言，更全面的评估还应该包含产业碳排放。这些初步的分析反映了区域政策的环境成本，即它们的外部性。这些外部性需要在评估这些政策时充分进行考虑。

#### 3.4.3 结论与政策含义

不同城市的人均居住碳排放有很大的差异，这与城市的地理位置（包括温度差异）、基础设施水平、居民生活质量和习惯、城市发展政策等许多因素有关。城市中的建筑和各项基础设施都有很长的寿命，因此，今天城市发展和建设的决策会影响到未来几十年甚至上百年的城市形态。目前中国正处于快速城市化的阶段，在道路、轨道交通、电力和房地产上进行着巨额的投资。这些投资的不可逆性以及城市形态的路径依赖，都意味着中国城市今天的发展方向会对全球的温室气体排放产生长远的影响。

课题组的这项研究利用中国统计局的大样本微观数据，估算了中国 74 个城市的居民家庭碳排放水平及其构成，并讨论其在空间上的差异性，得到了一些有趣的结果。我们发现中国碳排放的一些模式遵循了在美国和其他地方发现的一些规律：如果经济发展呈紧凑型，公共交通方便，凉爽的夏季和温暖的冬季，那么碳排放总量就会较低；而在依赖汽车的城市，酷暑寒冬，并且电力来源于燃煤发电厂，那么碳排放量就会较高。

我们发现中国城市家庭的碳排放水平要比美国小很多。74 个城市平均的标准家庭年碳排放是 2.2 吨，北京是 4.0 吨，上海是 1.8 吨。其中最“棕色”的城市大庆的年碳排放（5.1 吨），也不足美国最“绿色”的城市圣地亚哥（26 吨）的 1/5。

中国城市之间碳排放的外部性差异较大。在每吨二氧化碳的成本为 35 美元的情况下，中国标准家庭由大庆搬往淮安每年大约会降低 136.5 美元的外部成本，对于一个年收入为 4 万元或 5800 美元的家庭来讲，这是相对较高的。这种差异主要和气候、集中供暖政策、区域电网的排放因子和城市发展模式相关。

我们预测了 2026 年中国城市的标准家庭碳排放水平；并初步评估了中国目前正在实施重要的区域发展计划对居民家庭碳排放的影响，总体来看，鼓励北方发展的计划（振兴东北和发展京津环渤海地区）可能会造成不利于二氧化碳减排的环境后果。

上述研究发现让我们感受到，中国当前快速的城市化和经济增长有着广泛的环境影响。许多学者已经分析了经济增长和产业结构转型对产业能耗和碳排放的影响，我们的研究着重关注了居住方面。对微观数据的分析让我们能够更深入地将人们的居住和交通行为与能源消耗相关联，同时多城市的分析也允许我们去观察居住碳排放的空间分布格局。这样，经济发展的区域不平衡性和人口迁移所带来的环境成本就能够被评估。

### 3.5 实证研究 III：低碳生活的特征探索——基于北京市社区层面的研究

课题组所进行的前两项研究都是城市层面的研究，着眼于居民生活碳排放量的城市间差异性分析，不同的是使用的数据稍有差别。但正如基础理论研究部分所论述的，城市空间结构也会对居民生活碳排放产生显著影响。这意味着，家庭在城市内部的选址行为，以及城市内部各类公共设施、就业和居住的空间分布，会影响居民生活碳排放水平。因此，有必要深入到城市内部开展研究。城市内部的社区作为城市的基本构成单元，是居民居住、生活的主要活动场所，也自然成为生活能耗及其碳排放的主要来源——社区的低碳发展可以通过改变城市传统的生活模式来推动整个城市的低碳发展。因此，实现低碳社区是推动整个城市低碳发展的重要手段。

目前，低碳社区已经成为国内外学术界和产业界的关注热点，但现有研究还主要集中在阐述低碳社区的理念及设计原则，而对于哪些因素影响社区的低碳性以及社区是否能够达到低碳的效果，仍缺乏相关的实证研究。本课题从这一角度切入，在第三项研究中利用微观样本数据，估算北京市 38 个社区 826 个居民家庭生活碳排放及其子项；并估算从住宅社区的区位选址、建筑结构形式、家庭社会经济特征及能源消费偏好等因素对社区低碳性的影响力度，旨在为未来的低碳社区建设提供实证支持。

#### 3.5.1 估算方法与结果

##### 1. 数据概述、调研方法与数据分析

###### (1) 调研方法及抽样方式

课题组的本项实证研究是基于清华大学房地产研究所于 2009 年 9 月开展的北京市社区住户“家庭能源消耗与居住环境”的调查数据而完成的。我们以北京市住宅社区的家庭为调研对象，采用非概率抽样的配额抽样方法获取样本，并尽量保证样本的均匀性。调研中，我们从社区的住房类型和社区所在行政区的人口规模这两个维度，建立配额特征矩阵。其中，住房类型关注三类：房改房、商品房以及经济适用房。资料显示，目前北京市的存量住房中，三者的比例大致为 4：5：1。社区所在行政区的人口规模则是参考北京市统计局公布的 2007 年各区常住人口密度以及常住人口总量的统计数据，将北京市划分为四个圈层，在第一圈层（宣武区、东城区、西城区、崇文区）、第二圈层（朝阳区、海淀区、石景山区、丰台区）以及第三圈层（通州区、大兴区、顺义区、昌平区）中按照人口数量确定配额比例 2：8：3。总计抽样 38 个小区，考虑到不同类型住房空间分布不均匀性，具体配额如表 3-17 所示。

表 3-17 社区抽样调查配额分配表 (单位: 个)

	第一圈层	第二圈层	第三圈层	总数
房改房	6	21	8	35
商品房				
经济适用房	0	1	2	3
总数	6	22	10	38

调研问卷中的家庭信息,我们采用调研员入户访谈的方式获得;而社区信息,我们则直接从居委会、建设部门、物业公司获取。

### (2) 调研数据基本结果统计

本次调研共回收样本 950 份,但为增加研究结论的合理性,我们结合研究目的对样本进行筛选,并最终获得 826 份有效样本。筛选数据过程中主要剔除了以下几类样本:用电花费不明确或缺省的样本;除去用电花费以外,家庭消耗其他能源但花费不明确或缺省的样本;家庭拥有私家车数量不为零,但平均月汽油花费为零、不明确或缺省的样本以及家庭收入缺失的样本。下面给出调查问卷中有关家庭社会经济学特征、住宅社区基本特征以及家庭基本能源消耗量的统计值(表 3-18)。

### (3) 主要变量的相关性分析

变量间的相关性分析,可以帮助我们找到变量之间,在统计结果上所表示出来的相关性,并为后续的实证研究,提供重要基础。本研究从家庭特征和小区特征两个方面出发,分别选取若干主要变量进行相关性分析,旨在为后续实证研究做出基础性工作。其中,家庭特征中,本研究选择家庭收入、户主年龄、家庭规模和住房面积等四个变量;小区特征中,本研究选择小区容积率以及小区距临近主要公交站点、地铁站点和大型购物中心距离等四个变量。

**家庭特征变量的相关性分析:** 家庭收入与户主年龄具有 10% 的负相关性,即随着户主年龄的增长,家庭收入有所降低(现实情况可能是随着年龄增大,家庭收入呈现倒 U 型的二次曲线变化,即我们的样本统计结果说明,目前北京市家庭收入正处该二次曲线的向下发展阶段)。我们认为,这可能是与抽取家庭中,户主年龄偏大(平均为 46 岁),且其中达到退休年龄的样本较大,达到 21.7%,高于 2008 年北京市 17.3% 的平均水平。此外,家庭收入和家庭规模均与住房面积显著正相关,相关系数分别达到 32.2% 和 25.7%,这说明家庭规模的增大,提高了居民的住房需求,而家庭收入的增加,有助于实现不断提高的住房需求。

需要注意的是，上述变量间显著的相关性，可能会使变量在实证模型中相互干扰而影响模型回归结果（我们在后续实证研究中发现，当同时放入家庭收入和住房面积时，家庭收入对碳排放的影响结果即发生显著变化）。

表 3-18 北京市家庭基本信息统计

变量类型	变量名称	变量单位	样本量	平均值	标准差	最大值	最小值
家庭基本能源消耗	生活用水	吨/年	818	164	160	1757	15
	生活用电	度/年	826	2766	2086	19794	66
	煤气	立方米/年	78	500	374	2500	50
	液化石油气	千克/年	64	218	188	1154	31
	天然气	立方米/年	653	484	540	3902	5
	私家车	元/年	393	11693	10411	84000	240
	出租车	元/年	417	3100	5696	72000	120
家庭社会经济特征	家庭年收入	元/户	826	12.6	15.5	120.0	2.4
	户主年龄	年	826	46	14	89	20
	家庭人数	人/户	825	3.13	1.10	12.00	1.00
	全职工作人数	人/户	823	1.71	0.96	12.00	0.00
	住宅建筑面积	平方米	825	90.8	38.8	370.0	6.0
	单程通勤时间	分钟	607	34	27	180	1
	私家车拥有量	辆	393	1.18	0.43	3.00	1.00
住宅社区基本特征	容积率	—	38	3.1	3.1	18.5	0.3
	绿化率	%	38	30%	14%	60%	5%
	房龄	年	38	13	10	51	3
	与临近大型公交车站距离	千米	38	5.0	4.9	20.7	0.2
	与临近轨道交通距离	千米	38	3.2	4.4	20.5	0.2
	与临近三级甲等医院距离	千米	38	3.6	3.9	21.2	0.3
	与临近大型超市距离	千米	38	4.7	5.2	21.9	0.3

**小区特征变量的相关性分析：**我们重点关注的是住宅小区周边公共服务设施的空间匹配程度。由城市规划和城市经济学理论可知，公共服务设施（如：公共交通设施、大型购物中心等）与住宅小区的空间匹配程度越高（即两者间距离越

近), 则该住宅小区所在区位的土地稀缺性越强, 因此在空间上表现为住宅小区的容积率越高(小区容积率与距临近主要公交站点、地铁站点和大型购物中心距离这三个变量, 分别达到 23.6%、29.4%和 24.6%的负相关程度)。此外, 可以发现, 不同公共服务设施也是集中分布在以住宅小区为圆心的一定范围内。其中, 小区距临近主要公交站点距离与距临近地铁站点距离这两个变量, 具有 71.1%的强正相关性, 这种空间的分布特点, 使得居民在选取公共交通出行时, 会相应产生对这两种出行工具的替代选择。因此, 我们在后续的实证研究中, 将两者合并为“小区距临近公共交通设施”这一变量放入模型之中。此外, 小区距临近主要公交站点距离、小区距临近地铁站点距离分别与小区距临近大型购物中心距离达到 71.1%和 77.1%的强正相关性。

表 3-19 主要变量间相关性分析表

家庭特征变量	家庭收入	户主年龄	家庭规模	住房面积
家庭收入	1.000	—	—	—
户主年龄	-0.100	1.000	—	—
家庭规模	0.086	0.089	1.000	—
住房面积	0.322	0.008	0.257	1.000

小区特征变量	小区容积率	小区距临近主要公交站点距离	小区距临近地铁站点距离	小区距临近大型购物中心距离
小区容积率	1.000	—	—	—
小区距临近主要公交站点距离	-0.236	1.000	—	—
小区距临近地铁站点距离	-0.294	0.711	1.000	—
小区距临近大型购物中心距离	-0.246	0.771	0.603	1.000

#### (4) 家庭冬季供暖及日常通勤的描述性分析

家庭冬季供暖和日常通勤所产生的能源消耗是家庭能耗的重要组成部分。因此，对于家庭冬季供暖和日常通勤的主要方式，以及能源消耗偏好进行描述性分析，可以帮助我们找到家庭行为的基本规律。本研究将以调研数据为基础，分别对家庭冬季供暖和日常通勤进行描述性分析。

北京市家庭冬季供暖主要由集中供暖和分散供暖两种方式构成。集中供暖作为现代化城市的重要基础设施之一，是城市公共事业的重要组成部分，也成为我国北方地区常见的一种供暖形式。分散供暖则是一种可根据居民采暖需求，对采暖强度进行灵活调节的供暖方式，按照分散供暖的能源消耗类型的差异，可以分为燃气供暖和电供暖等。

图 3-13（左）所示，北京市有 77.7% 和 21.7% 的家庭，分别采用集中和分散的供暖方式采暖，而分散供暖方式中，采用燃气供暖和电供暖分别占 16.5% 和 5.2%，另有 0.6% 的家庭冬季不进行采暖。正如上文所述，集中供暖主要由城市供暖系统完成，其供暖标准（包括供暖周期、供暖温度等）相对固定。而采用分散供暖的家庭则可根据其自身采暖需求及时调节供暖强度，具有较强的灵活性。本研究针对采用分散供暖的家庭进行相关分析，发现冬季采暖偏好越强的家庭，其供暖周期和每日供暖时间越长，供暖设定温度越高（如图 3-13 右），即三个反映家庭冬季采暖偏好的重要指标具有一致性结果。对于每个指标来说，又有如下结论：采用分散供暖的家庭，其供暖周期和每日供暖时间均普遍少于采用集中供暖的家庭（74% 的家庭供暖周期不足 120 天<sup>7</sup>，更是有 31% 的家庭供暖周期不足 90 天；每日供暖时间平均为 15.1 小时，远低于集中供暖的 24 小时），这主要与分散采暖成本较高有关。但是，采用分散供暖的家庭，其室内温度设定值普遍高于集中供暖 16 度的最低标准<sup>8</sup>，达到 20.5 度的平均水平，且波动范围较小，集中在 19-22 度之间。

---

7 集中供暖周期为当年的 11 月 15 日至次年的 3 月 15 日，合计 120 天。

8 北京市目前的冬季集中供暖室内最低温度标准仍为 16 度，但新的《北京市供热管理办法(草案)》将上调该标准至 18 度，以提高北京市居民的冬季供暖水平。该新办法将于 2010 年 4 月 1 日起实施。此外，2009 年冬季，北京市将按照新办法进行演练，以确保明年居民供暖最低室温达到 18℃ 标准。

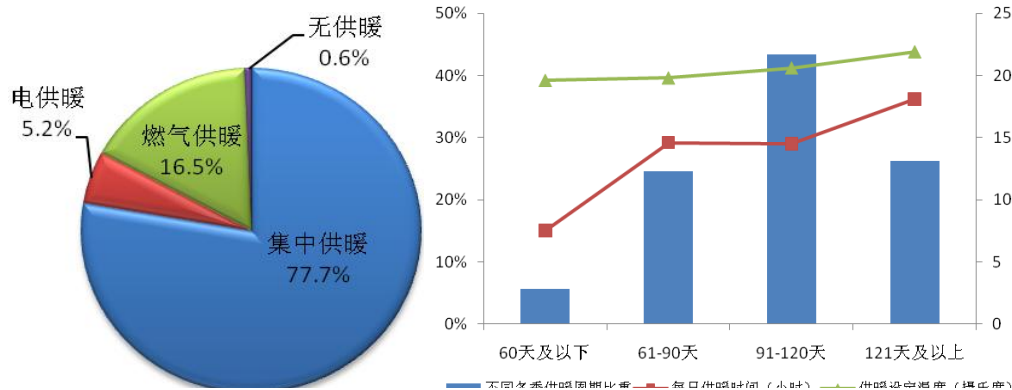


图 3-13 北京市家庭冬季主要供暖方式及其基本特征

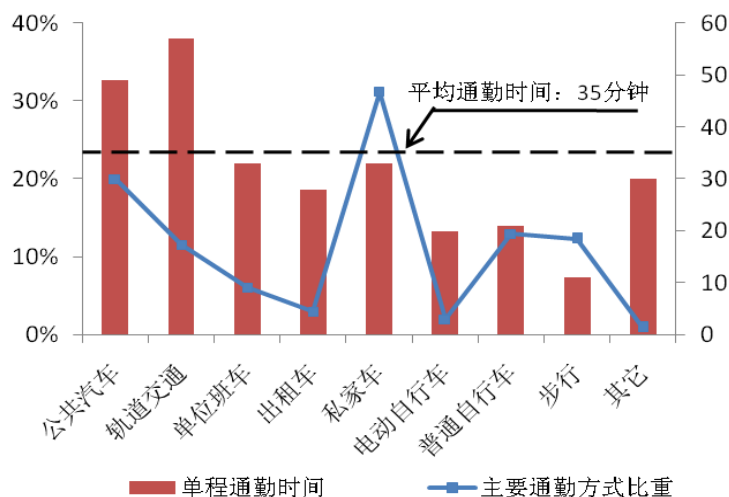


图 3-14 北京市家庭日常通勤方式及通勤时间

家庭日常通勤的能源消耗是生活能耗中的重要组成部分。图 3-14 所示，公共交通（本研究主要指公共汽车和轨道交通）满足了北京市 31.5%家庭的通勤需求。然而，采用公共交通通勤的家庭，其单程通勤时间分别达到 49 分钟和 57 分钟，远高于 35 分钟<sup>9</sup>的平均水平。随着收入水平的提高，北京市居民选择私人交通（本研究主要指私家车和出租车）通勤的比例也在逐渐上升，并在 2008 年达到 34.2%，其中又以私家车出行为主，占 31.2%。两类出行方式的单程通勤时间分别为 28 分钟和 33 分钟，低于公共交通的通勤时间。北京市居民选择电动自行车、普通自行车和步行等“绿色”出行方式进行通勤的家庭比重为 27.3%。而采用上述方式通勤的家庭，其居住地与工作地距离较近，因此单程通勤时间也较

<sup>9</sup> 清华大学可持续交通课题组研究显示，2006 年北京市居民平均通勤时间（单程）为 43 分钟。本调研时间为 2009 年 9 月，可以看到，随着北京市公共交通体系的不断完善和私家车拥有量的不断上升，北京市家庭平均通勤时间有所缩短，达到单程平均 35 分钟的水平。



短（分别为 20 分钟、21 分钟和 11 分钟）。

## 2. 北京市家庭生活碳排放估算方法

具体生活碳排放的估算公式以及所用转化因子取值原理与上述两项研究一致，在此不再赘述，以表格的形式简明地针对北京市各社区家庭生活碳排放的基础数据及方法。

表 3-20 北京市家庭生活碳排放基础数据及估算方法

家庭生活碳排放					
居住碳排放			私人交通碳排放		
分项名称	基础数据	估算方法	分项名称	基础数据	估算方法
生活用电	“家庭生活用电量”（微观调研数据），“华北电网单位发电量碳排放系数”（国家发展与改革委员会气候变化协调委员会）	家庭生活用电量 × 单位发电量碳排放系数	私家车	“家庭私家车汽油支出”（微观调研数据），“汽油价格”（国家发展与改革委员会），“汽油消耗碳排放系数”（IPCC2006）	私家车汽油支出 ÷ 汽油单价 × 单位油耗碳排放系数
冬季供暖	“家庭住宅建筑面积”（微观调研数据），“集中供暖单位面积碳排放系数”（清华大学建筑节能研究中心）	家庭住宅建筑面积 × 集中供暖单位面积碳排放系数	出租车	“家庭出租车支出”（微观调研数据），“出租车单价”（国家发展与改革委员会），“出租车百公里耗油量、空驶率”（全国水平）“汽油消耗碳排放系数”（IPCC2006）	出租车所需费用 ÷ 出租车单价 ÷ 出租车百公里耗油量 ÷ (1 - 空驶率) × 单位油耗碳排放系数
日常炊事	“家庭煤炭、煤气、液化石油气用量”（微观调研数据），“单位能源碳排放系数”（IPCC2006）	家庭炊事能源消耗量 × 单位能源碳排放系数（包括煤炭、煤气和液化石油气）			

## 3. 北京市家庭生活碳排放估算结果

家庭生活碳排放可大致分为居住和居民交通两大部分。鉴于碳排放估算方法的限制，此项研究主要集中研究家庭的居住碳排放和居民交通中的私人交通部分，公共交通碳排放仍有待后续研究。其中，家庭居住碳排放主要由生活用电、冬季供暖和日常炊事三个部分组成，而居民私人交通碳排放则主要包含私家车和出租车两个部分。具体来说，我们利用北京市 38 个住宅小区（图 3-12）的 826 个家庭的微观样本数据，估算得到 2008 年北京市家庭生活碳排放及其子项的相关数

据。表 3 给出了估算结果的若干统计量。

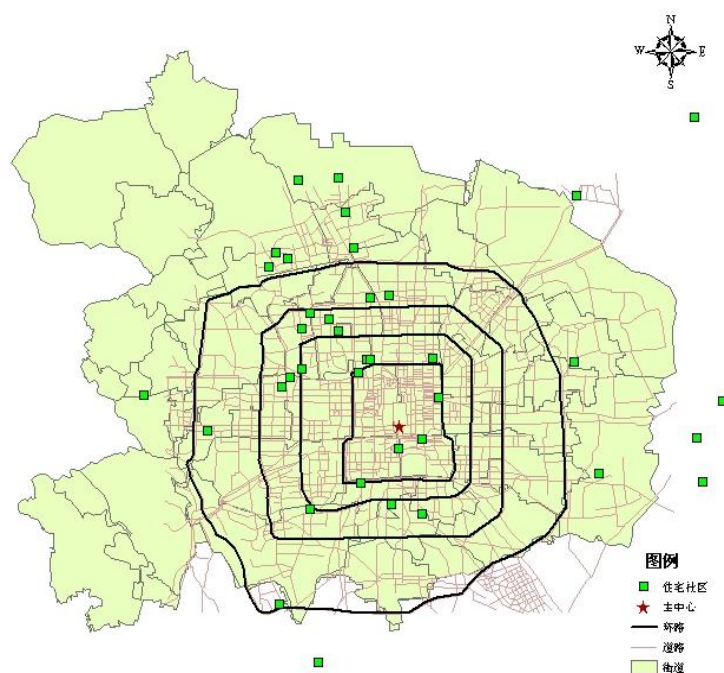


图 3- 15 住宅社区空间分布图

从 2008 年北京市家庭生活碳排放的构成情况来看（图 3-16），居住能源消耗所产生的碳排放占生活碳排放的 70.1%，居民私人交通能源消耗所产生的碳排放别占生活碳排放总量的 29.9%。在居住碳排放中，生活用电和冬季供暖分别占 46.2% 和 36.0%，是两个主要组成部分，日常炊事产生的碳排放占余下的 17.8%，比重相对小。在私人交通碳排放中，私家车汽油消耗又以 88.6% 成为主要组成部分，出租车汽油消耗所产生的碳排放仅占私人交通 11.4%。

表 3- 21 北京市家庭生活碳排放估算结果统计

分项名称		样本量	家庭生活碳排放量统计值（吨/户）			
			均值	标准差	最大值	最小值
居住	生活用电	826	2.403	1.812	17.195	0.057
	集中供暖	643	2.401	1.042	10.434	0.169
	日常炊事	795	0.956	1.105	8.516	0.011
私人交通	私家车	393	4.104	3.655	29.489	0.084
	出租车	417	0.502	0.922	11.655	0.019

生活总量	826	7.399	4.717	40.947	0.437
------	-----	-------	-------	--------	-------

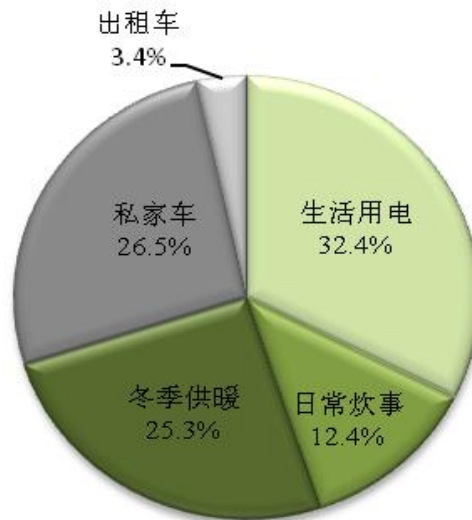


图 3-16 北京市家庭生活碳排放构成图

### 3.5.2 相关关系研究：北京社区生活碳排放的影响因素分析

#### 1. 北京社区生活碳排放影响因素的描述性分析

基于上述对北京市 38 个社区，826 个家庭的生活碳排放估算结果，我们对居民家庭生活碳排放及其子项的影响因素进行分析。根据理论研究，我们认为家庭社会经济特征、能源消费偏好等主观因素以及住宅建筑结构形式、社区公共服务设施等客观因素对家庭生活碳排放产生主要影响。

图 3-17 显示，随着收入增长，居民对于居住质量和生活质量的要求也会相应提高，这会导致居民消耗更多的生活能源和更多的使用私人交通出行，并产生更多碳排放。此外，家庭能源消费偏好的差异，也会对居住碳排放产生显著影响，我们发现，家庭夏季使用空调时的设定温度越低，表明居民对空调的依赖程度越高，这会带来更多的用电消耗及其碳排放。值得一提的是，家庭空调设定温度在 26 度左右时的用电碳排放开始低于平均值，这说明我国政府出台的空调使用控温标准具有较强的节能减排效果。

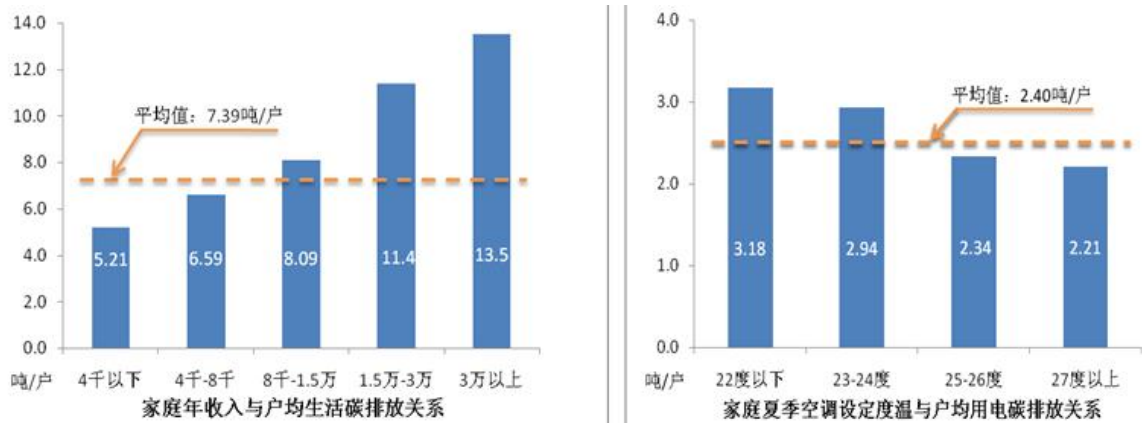


图 3-17 北京地区生活碳排放与家庭收入及能源消费偏好关系图

当然，我们研究的重点是住宅特征与社区特征对于生活碳排放的影响。我们发现，保温隔热性能更好的建筑结构形式可以减少家庭居住能源消耗及其碳排放。例如，采用砖混结构形式的住宅，其居住碳排放仅为采用钢筋混凝土结构形式住宅的 79.4%。当然，住宅社区至周边公共服务设施的距离越近，即两者的空间匹配程度越高，会提高社区对公共服务设施的可达性，减少居民私家车出行而降低碳排放。本研究主要考虑城市公共交通（轨道交通和主要公交车站）以及大型购物中心对拥有私家车的家庭所产生私人交通碳排放的影响。我们将上述公共服务设施的空间信息输入 GIS，并形成上述公共交通站点与住宅社区的最短距离（见图 4）。我们发现，社区周边 0.5 公里内存在公共交通站点（轨道交通或主要公交车站）时，居民使用私家车所产生的碳排放仅为不存在时的 85.7%；而社区周边 0.8 公里内存在大型购物中心时，居民使用私家车所产生的碳排放也仅为不存在时的 76.4%（见图 3-18）。

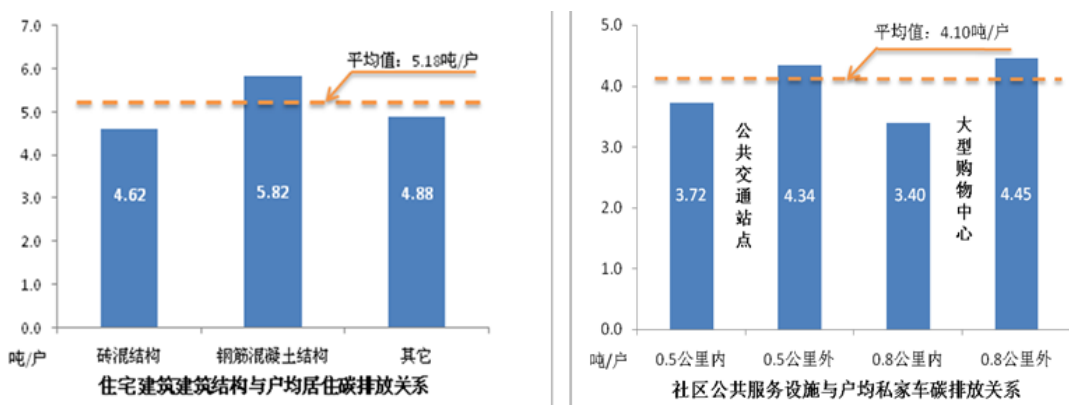


图 3-18 北京市家庭私人交通碳排放与住宅结构形式及社区公共服务设施关系图

<sup>10</sup> 王轶军，郑思齐，龙奋杰在《城市公共服务的价值估计、受益者分析和融资模式探讨》一文中，在回归分析公共基础设施对住宅价格和土地价格的影响时，选择项目所在位置距公共基础设施距离是否在 0.5 公里或 0.8 公里的哑元变量引入。

## 2.社区生活碳排放的计量模型分析：变量的选择

为了更深入地分析社区低碳性效果的影响因素及各因素的影响强度，本部分运用计量经济学的方法分别估计户均生活碳排放中的两个重要子项——户均居住碳排放和户均私人交通碳排放的多元线性回归方程。选择了家庭社会经济特征、家庭行为偏好、住宅特征和社区特征等四个方面的共 14 个变量作为可能的解释变量（见表 3-22），分别建立计量经济模型，分析上述因素对户均居住碳排放和户均私人交通碳排放的影响。

表 3- 22 计量模型中的变量

变量名称	变量含义	变量单位	样本均值	标准差
家庭生活碳排放				
LRESIDENTIALC	户均居住碳排放对数值	吨/户	5.193	2.499
LCARC	户均私家车碳排放对数值	吨/户	4.168	3.858
LTAXIC	户均出租车碳排放对数值	吨/户	0.529	1.068
家庭社会经济学特征				
LINCOME	家庭年收入对数值	元/户	125942	154605
HHSIZE	家庭人口规模	人/户	3.13	1.10
AGE	家庭户主年龄	年	46	14
RETIRE	家庭户主是否退休（哑元变量）	是/否		
TV	家庭是否拥有电视（哑元变量）	是/否		
OVEN	家庭是否拥有烤箱（哑元变量）	是/否		
家庭行为偏好特征				
AIR_T	夏季空调设定温度	摄氏度	26	2
HTYPE	住宅租买选择变量（哑元变量）	是/否		
住房特征				
LSIZE	家庭住宅建筑面积对数值	平方米/户	90.8	38.8
HAGE	社区房龄	年	13	10
BRICK	住宅是否为砖混结构（哑元变量）	是/否		
CENTRALHT	住宅是否采用集中供暖(哑元变量)	是/否		
社区特征				
PLOT_RATIO	社区容积率	比值	3.1	3.1
LPUBLICT	社区至邻近公共交通设施距离对数值	公里	2.9	4.0
LMARKET	社区至邻近大型购物中心距离对数值	公里	4.7	5.2

### 3.北京社区居住碳排放的计量模型分析

在居住碳排放方程中，首先考察家庭社会经济特征和行为偏好对居住碳排放的影响。方程（1）中，我们加入了家庭基本特征三个变量，来考察其对居住碳排放的影响。首先，户均居住碳排放的收入弹性为 0.13，即家庭总收入每上升 10%，将增加 1.3% 的居住碳排放。这说明随着收入水平的提高，居民会相应提高其居住舒适程度，并由此增加能源消耗及其碳排放，但是收入对居住碳排放的影响幅度较小，说明家庭居住能耗量总体较为稳定。此外，家庭规模的增大将伴随更多的能源消耗，并提高家庭居住碳排放水平；而户主年龄偏大的家庭中往往存在退休人员（两者的相关系数为 73%），他们会更多呆在家中，并由此带来居住能耗及其碳排放的上升。家庭规模和户主年龄两个变量对居住碳排放的影响均在 99% 置信区间下显著为正。方程（2）中引入家庭是否拥有空调和电烤箱（两者均拥有较大功率）的哑变量，来考察家用电器拥有情况对居住碳排放的影响，发现两者均在 99% 置信区间下均显著为正。其中，家庭是否拥有空调这一变量的结构系数为 0.37，即拥有空调的家庭要多产生 1.4 吨的二氧化碳排放，这主要是与北京地区的气候条件有关（北京地区夏季气温较高，家庭对空调的依赖较强；北京地区冬季气温较低，家庭利用空调来对温度标准较低的集中供暖进行补充）。

我们进一步控制家庭社会经济特征的变量后，发现家庭行为偏好对居住碳排放产生显著影响（见方程（3））。我们首先考察家庭夏季空调使用偏好对居住碳排放的影响，发现家庭夏季空调设定温度越低，其对空调的依赖程度越高、使用偏好越强，这会带来更多的居住能耗及其碳排放。此外，我们认为买房家庭相对租房家庭会更多考虑长期居住的需要，并随之添置更多的家用设备，由此带来更多能源消耗及其碳排放。最后，我们还考察了家庭能源消费结构（即能源的绿色程度）对居住碳排放的影响，并发现将煤气作为主要炊事燃料的家庭，其居住碳排放相对较低，这主要与煤气较为“绿色”有关<sup>11</sup>。家庭行为偏好的三个主要变量对居住碳排放的影响均在 99% 置信区间下显著成立。

除了家庭社会经济特征和偏好外，住房特征和社区特征也是我们非常感兴趣的。当我们考察居住面积对居住碳排放的影响时，发现该变量对居住碳排放有显著的正向影响，且居住碳排放的住房面积弹性为 0.57，即住房面积增加 10%，户均居住碳排放会增加 5.7%，这主要与两个方面有关：一是北京市近八成家庭采用集中供暖方式进行冬季采暖，而集中供暖的热量消耗与住房面积密切相关；二是随着住房面积的提高，家庭往往会添置更多的家用电器，这两个因素都将导致

---

<sup>11</sup> 煤气的潜在排放因子（Default Carbon Content），即产生单位热量的碳排放量最低，为 12.1TC/TJ，低于其它两种能源：液化石油气为 17.2 TC/TJ，天然气为 15.3 TC/TJ。

居住能耗及其碳排放量的上升,而房龄对居住碳排放的影响并不显著(方程(4));此外,我们进一步考察社区特征对家庭居住碳排放的影响(方程(5))。砖混结构作为一种保温隔热性能较好的建筑结构形式,可以有效地减少室内外的热量交换,并显著降低居住能耗及其碳排放,可以看到,采用该建筑结构形式的家庭会减少1.1吨二氧化碳的排放。此外,我们还考察了住宅社区的建筑密度(容积率)对居住碳排放的影响,发现该变量在95%置信区间下显著为负,我们认为,容积率较低的住宅社区,其住房往往有更多部分直接暴露在外,这就增加了室内外的热量交换,并带来更多居住能耗及其碳排放。最后,我们还考察了冬季供暖方式对居住碳排放的影响。尽管集中供暖的单位面积能耗量低于分散供暖,但是其每天二十四小时不间断供暖的特点,以及其无法灵活调节供暖标准的局限性,使得其能耗量高于分散供暖。因此采用集中供暖方式的社区家庭会消耗更多居住能源,并产生更多碳排放,这一结果在99%置信区间下显著成立。

表 3-23 居住碳排放模型回归结果

EUQ: Variables	RESIDENTIAL CO2 EMISSIONS REGRESSION RESULTS				
	(1) LRESIDENTIALC	(2) LRESIDENTIALC	(3) LRESIDENTIALC	(4) LRESIDENTIALC	(5) LRESIDENTIALC
LINCOME	0.133*** (5.88)	0.105*** (4.76)	0.098*** (4.48)	-0.001 (-0.04)	-0.022 (-1.10)
HHSIZE	0.076*** (4.87)	0.077*** (5.14)	0.067*** (4.49)	0.027** (1.99)	0.038*** (2.91)
AGE	0.006*** (4.96)	0.004*** (3.62)	0.005*** (3.55)	0.003*** (3.05)	0.002** (1.97)
D_AIRC		0.371*** (4.50)			
D_OVEN		0.156*** (4.11)			
AIRC_T			-0.029*** (-3.70)		
D_HTYPE			0.284*** (5.64)		
D_COALGAS			-0.148*** (-2.62)		
LSIZE				0.571*** (16.8)	0.643*** (19.3)
HAGE				-0.001 (-0.30)	
BRICK					-0.066** (-2.15)
PLOT_RATIO					-0.011** (-2.56)
D_CENTRALHT					0.314*** (8.88)
Constant	0.96012	-0.548** (-2.04)	0.521 (1.63)	-1.203*** (-4.92)	-1.438*** (-6.11)
Observations	825	825	783	824	779
R <sup>2</sup>	0.1	0.15	0.16	0.34	0.43

#### 4.家庭私家车碳排放的计量模型分析

家庭通常选择使用公共交通(如:公共汽车、轨道交通)或者私人交通(如:私家车、出租车)等方式出行。目前,北京市的私人交通(特别是私家车)正处于高速发展阶段,这除了汽车工业受到国家重点扶持以外,更是与城市空间蔓延

所带来的长距离出行需求有关。特别是随着收入水平的提高，居民具有更强的支付能力来消费私人交通。因此，本研究将北京市家庭私家车碳排放（出租车碳排放仅占总量的 3.4%，比重较低）作为研究重点，采用 Heckman 两步法建立计量经济模型，考察家庭私家车碳排放的主要影响因素。

我们首先利用 Probit 二元离散选择模型考察影响家庭是否购买私家车的因素（见方程（1）），并发现如下主要结论。从家庭社会经济特征的角度来看，随着收入水平的提高，居民往往追求更为舒适的出行方式，因此购买私家车的概率则更大；此外，我们还引入家庭是否拥有未成年人这一变量来考察其对家庭是否购买私家车的的影响，并发现家庭拥有未成年人，会带来更多的接送其往来于学校之间的出行需求，因此更有可能购买私家车。上述结果均在 99% 置信区间下显著为正。当然，家庭所在社区的空间位置也会对家庭是否选择购买私家车产生重要影响。家庭距主中心（天安门）距离越远，其居住地与就业地的空间匹配程度往往越低，这也就增加了居民的通勤需求；此外，家庭距主中心（天安门）距离越远，其周边公共服务设施的配套程度相对较低，这也就增加了居民的非通勤需求（如：社区距购物中心，医院，公园等距离越远，居民出行的距离越长，非通勤时间也就越长），因此，家庭拥有私家车的的可能性也会显著提高。

表 3-24 私家车碳排放模型回归结果

EUQ: Variables	家庭私家车碳排放计量模型结果	
	(1) PROBIT	(2) LCARC
LINCOME	0.960 <sup>***</sup> (12.40)	-0.003 (-0.03)
D_CHILD	0.456 <sup>***</sup> (4.21)	
LD_CENTER	0.290 <sup>***</sup> (3.73)	
LC_TIME		0.14 <sup>***</sup> (2.72)
Constant	-12.04 <sup>***</sup> (-13.02)	1.042 (0.76)
Observations	769	433

在对影响家庭是否购买私家车的主要影响因素进行回归分析后，我们进一步对已经拥有私家车的家庭所产生碳排放，建立计量经济模型，并发现如下结论（见方程（2））。当家庭已购买私家车后，收入水平对其出行频率和出行距离，以及由此带来的私家车汽油消耗量及其碳排放量的影响并不显著，也就说明家庭购买私家车后的出行相对稳定，并不因收入水平的变化而带来显著变化。当我们进一步引入家庭通勤时间这一变量时，发现其对家庭私家车碳排放的影响，在 99% 置信区间下显著为正。此外，通勤时间的碳排放弹性为 0.14，也就是说家庭通勤



时间增长 10%，将增加 1.4%的碳排放量。这就说明，家庭居住地与就业地之间的空间匹配程度所带来的通勤时间的差异，会对家庭私家车油耗量及其碳排放量产生显著影响。特别是随着北京市城市空间的不断发展，“职住分离”的程度可能会不断加深，这无疑会带来更多的家庭私家车的使用。

### 3.5.3 结论与政策含义

课题组利用清华大学房地产研究所于 2009 年 9 月开展的北京市社区住户“家庭能源消耗与居住环境”调查数据，估算得到北京市家庭生活碳排放及其子项（居住和私人交通）。这些信息和数据能够为本领域的后续研究提供很好的基础。

课题组通过在这项研究的实证部分，从社区家庭社会经济特征、能源消费偏好以及社区的区位条件、建筑结构形式等方面，分别对家庭居住碳排放和私人交通碳排放建立回归方程，分析上述特征的影响力度。

在居住碳排放的回归结果中，我们发现：a.随着收入水平、人口规模和户主年龄的增大，家庭会消耗更多能源并增大碳排放；b.更多电器设备的购置（如：空调、电烤箱等）也会显著提高家庭碳排放水平；c.家庭夏季空调的设定温度越低，即对空调的依赖程度越高，也会带来更多的生活用电消耗及其碳排放；d.住房的租买选择也会通过影响家庭能源消费偏好对居住碳排放产生影响，买房家庭比租房家庭会更多考虑长期居住的需要，而添置更多的家用设备，这会带来更多的能源消耗和居住碳排放。e.在住房特征和社区特征方面，家庭住房面积的碳排放弹性始终保持在 0.5 以上，说明家庭住房面积增加 10%，将带来超过 5%的户均居住碳排放，因此控制单套住房面积，推广小户型建设可以有效降低碳排放；f.社区住房采用保温隔热性能更好的砖混结构形式可以有效降低家庭碳排放量，因此，推广建筑节能技术均可通过提高能源使用效率而减少碳排放。

在家庭私家车碳排放的回归结果中，我们利用 Heckman 两步法建立计量经济模型，分别考察家庭是否购买私家车的影响因素，以及已经购买私家车的家庭的碳排放影响因素，主要结论如下：a.随着收入水平的提高，居民往往追求更为舒适的出行方式，因此购买私家车的概率则更大；b.拥有未成年人的家庭，往往具有更多的接送其往来于学校之间的出行需求，因此更有可能购买私家车；c.家庭居住地距主中心（天安门）距离越远，往往具有更高的通勤与非通勤需求，这也会显著提高家庭拥有私家车的可能性。d.通勤时间对家庭私家车碳排放的影响显著为正，且弹性系数为 0.14，也就是说家庭通勤时间增长 10%，将增加 1.4%的碳排放量。这说明家庭居住地与就业地空间匹配程度的降低所带来的通勤时间的增加，会对家庭私家车油耗量及其碳排放量产生重要影响。特别是随着北京市城市空间的不断发展，“职住分离”的程度可能会不断加深，这无疑会带来更多

的家庭私家车的使用。

综上,课题组本研究的成果有助于学者们更好地理解怎样的家庭特征和社区特征会增强社区的低碳效果,并且能够为城市规划和城市管理者提供信息支持,辅助“低碳社区”的建设与发展。

### 3.6 主要实证研究结论及其政策含义

上文深入地介绍了课题组针对“城市居民生活碳排放水平与城市发展”这一问题所开展的各项研究，逐一介绍了其研究的方法、内容以及主要的结论和政策含义。这里进行简要的总结：

#### 3.6.1 主要实证研究结论

##### 1. 城市居民生活碳排放估算结果

(1) 从城市层面进行估算，1999—2006 年我国主要城市居住碳排放总量整体保持快速增长，过去的八年间我国城市居住碳排放总量快速增长，其年均增长率达到 10.6%，并于 2006 年达到 46604.38 万吨。

(2) 城市层面的估算显示，在居住碳排放中，电力消耗产生碳排放与供暖消耗产生碳排放分别占总居住碳排放量的 46.2% 和 48.4%，是居住碳排放的两个主要组成部分；而炊事产生碳排放仅为 5.4%，比重很小。

(3) 从空间分布上看，北方城市的人均居住碳排放明显要高于南方城市（北方城市的人均居住碳排放量远高于全国平均水平，分别为南方的夏热冬冷地区和夏热冬暖地区的 3.4 倍和 2.6 倍），这是由于北方城市冬季供暖的缘故；沿海城市的人均居住碳排放也明显高于内陆城市，这主要归因于沿海城市经济较为发达，人均收入水平较高，因此人均能源消耗量也比较高。

(4) 从居住碳排放强度（每 1000 元人均可支配收入的居住碳排放量）上看，位于碳排放强度 90 分位以上水平的城市，要么是经济发展水平高，居民生活丰富且能耗大的城市，如：北京、天津；要么是人口收入低，资源富裕，能源成本低的城市，如：朔州、榆林；位于碳排放强度 10 分位以下水平的城市，往往是处在南方地区（尤其是西南地区），如：丽江、曲靖；这主要是因为该部分地区冬季无供暖消耗且气候相对适宜（即冬季温度较高、夏季温度较低）。

(5) 利用微观家庭数据可以计算各个城市中标准家庭的生活（含居住与居民交通）碳排放水平。我们发现中国城市家庭的碳排放水平要比美国小很多。74 个城市平均的标准家庭年碳排放是 2.2 吨，北京是 4.0 吨，上海是 1.8 吨。其中最“棕色”的城市大庆的年碳排放（5.1 吨），也不足美国最“绿色”的城市圣地亚哥（26 吨）的 1/5。

(6) 如果用每个城市标准家庭碳排放水平对城市的“绿色”程度进行排序，最“绿色”的五个城市是，淮安、宿迁、海口、南通和南昌；而最“棕色”的五个城市是，大庆、牡丹江、北京、齐齐哈尔和银川。很有趣的是，许多绿色城市

都接近秦岭淮河这条供暖分界线，处于南侧。这很容易理解：这些城市冬天没有集中供暖，而夏天的空调耗电也不如最南方的城市那么高。

(7) 从北京市社区层面的估计显示，北京市居民家庭平均每户生活碳排放 7.4 吨，标准差 4.7 吨。居住能源消耗所产生的碳排放占生活碳排放的 70.1%，居民私人交通能源消耗所产生的碳排放别占生活碳排放总量的 29.9%。在居住碳排放中，生活用电和冬季供暖分别占 46.2% 和 36.0%，是两个主要组成部分，日常炊事产生的碳排放占余下的 17.8%，比重相对小。在私人交通碳排放中，私家车汽油消耗又以 88.6% 成为主要组成部分，出租车汽油消耗所产生的碳排放仅占私人交通 11.4%。

## 2. 居民生活碳排放与城市/社区/家庭特征间的关系

(1) 城市地理和自然环境对居住碳排放有较大的影响。温度适宜程度越高的城市（冬季气温高或夏季气温低），冬季的采暖能耗越低，其居住碳排放量越小。北方城市的碳排放水平明显高于南方城市，这是由于仅在北方有常规的冬季供暖。例如，利用微观家庭样本的计算表明，一月温度和碳排放量的强相关性，一月温度每增长 8.66 度会减少 0.29 吨二氧化碳排放。一月温度影响的主要是家庭取暖碳排放，一月温度每升高一度，由于取暖产生的碳排放会减少 0.111 吨，其他能源的碳排放也会降低。

(2) 城市特征和居住特征对居民生活碳排放也有较大影响，例如城市收入、城市人口、城市人口密度、住宅质量、人均住宅面积等。

a. 城市人均收入：251 个城市的分析表明，人均碳排放的收入弹性已经超过 1，尤其是用电的碳排放几乎超过 50% 左右，表明居住碳排放的增长速度比收入增长速度要快。用电碳排放方面，人均收入增加 10%，人均用电碳排放会增加 14.2%——随着收入水平的上升，城市居民对居住质量和生活质量的要求显著提高，带来更多家用电器设备的使用，导致人均耗电量及其碳排放量的上升。但对于供暖而言，人均供暖碳排放的收入弹性仅为 0.465，说明人均收入水平的提高对供暖耗能及其碳排放量的上升所产生的影响程度不大。

b. 城市人口：利用家庭微观样本的研究表明，城市人口与用电碳排放、出租车碳排放、公交车碳排放呈显著的正相关关系。在大城市中，人们使用公共交通的概率更高，这一结果与之前许多学者的研究相一致。但是城市居民生活碳排放与城市人口之间只呈弱的正相关性。

c. 城市人口密度：用家庭微观样本的研究表明，人口密度与出租车碳排放、公交车碳排放呈显著负相关关系。这可能是由于较短的平均出行距离或更有效的

城市交通系统——如同美国的情况，紧凑型城市的发展有助于降低交通碳排放水平。251 个城市的分析表明，城市人口密度对用电和供暖碳排放的影响其在 90% 的置信度下显著为正。说明随着城市人口的增长和城市规模的不断扩大，城市基础设施的负担会加重，进而供暖和人均用电碳排放量都明显上升，城市居民生活的碳排放水平显著上升。

c. 住宅质量（房龄）：住宅质量对于用电和供暖碳排放都有显著影响，年代较为久远的住宅，其保温隔热性能差，节能技术含量高的电备使用率也会较低，因此人均用电和供暖所导致的整体生活碳排放量较大。

d. 人均住房面积：人均住房面积增加 10%，供暖碳排放增加 5.5~8.4%。

e. 供暖方式：集中供暖的单位面积平均碳排放量为 35.1 千克，而分散供暖则达到 69.0 千克。

（3）社区的空间区位对于交通碳排放有较大影响。具体表现在：

a. 家庭所在社区的空间位置也会对家庭是否选择购买私家车产生重要影响。家庭距主中心(天安门)距离越远，其居住地与就业地的空间匹配程度往往越低，周边公共服务设施的配套程度也相对较低，家庭拥有私家车的可能性也会显著提高。

b. 通勤时间的碳排放弹性为 0.14，也就是说家庭通勤时间增长 10%，将增加 1.4%的碳排放量。这就说明，家庭居住地与就业地之间的空间匹配程度所带来的通勤时间的差异，会对家庭私家车油耗量及其碳排放量产生显著影响。

（4）家庭社会经济特征对居住生活碳排放有重要影响：

a. 家庭微观样本的分析表明，随着收入水平、人口规模和户主年龄的增大，家庭会消耗更多能源并增大碳排放；

b. 家庭中更多电器设备的购置（如：空调、电烤箱等），会显著提高家庭碳排放水平；

c. 家庭对待能源的态度也会影响碳排放。例如，家庭夏季空调的设定温度越低，即对空调的依赖程度越高，会导致更多的生活用电消耗及其碳排放。

### 3.6.2 城市和区域发展政策的初步评价

本课题的研究对于评价城市内部和区域的“低碳”生活水平和“低碳”发展政策优劣有很大的借鉴意义，能够为一些城市及区域发展政策以及城市规划方案的制定提供实证支持。这里举一些简要的例子。

(1) 中国实施了一系列的区域发展战略，最有代表性的是西部大开发、振兴东北和环渤海经济圈的建设。通过我们的测算发现，类似的，我们也可以评估一下这些区域发展战略的环境影响。我们的计算结果表明，振兴东北计划和环渤海地区的发展计划如果吸引更多的人从全国的其他地区流入这些区域，会带来整体碳排放水平的增加；而西部开发大计划则会形成更低的碳排放水平。当然，值得指出的是，我们这里仅是针对居住碳排放而言，更全面的评估还应该包含产业碳排放。这些初步的分析反映了区域政策的环境成本，即它们的外部性。这些外部性需要在评估这些政策时充分进行考虑。

(2) 在城市发展政策方面，有以下几点值得注意：

a. 城市应适度控制城市人口扩张速度，避免城市的蔓延式发展——建设紧凑型的城市更利于城市居民生活碳排放的降低；

b. 在城市的住房供应方面，控制单套住房面积，推广小户型建设可以有效降低碳排放；

c. 加快改造城市危旧住房、推广建筑节能技术应用以及优化北方地区城市冬季供暖方式都能显著提高能源使用效率，并有效降低人均碳排放水平。

(3) 在城市空间规划方面，应注意居住与就业的空间匹配，并使大型居住区与公共设施更加匹配，这样可以降低私家车拥有率和减少私家车出行的次数（选择步行或其它方式出行），或减少私家车行驶距离，从而降低汽油消耗及其碳排放。“职住分离”程度的加大会带来更多的家庭私家车的使用，特别值得关注。

## 主要参考文献:

- [1]. Ades, Alberto F & Glaeser, Edward L, 1995. "Trade and Circuses: Explaining Urban Giants," *The Quarterly Journal of Economics*, MIT Press, vol. 110(1), pages 195-227
- [2]. Agras, J, and Chapman, D. A. 1999. Dynamic Approach to the Environmental Kuznets Curve Hypothesis. *Ecological Economics*, Vol.28. No.2.
- [3]. Almond, Douglas, Yuyu Chen, Michael Greenstone and Hongbin Li. 2009. Winter Heating or Clean Air? Unintended Impacts of China's Huai River Policy. *American Economic Review* vol. 99(2), pages 184-90
- [4]. Auffhammer, M., Carson, R T. 2008. Forecasting the Path of China's CO<sub>2</sub> Emissions Using Province Level Information, *Journal of Environmental Economics and Management* 55(3): 229-247.
- [5]. Brown, M. A., Logan, E., 2008. The Residential Energy and Carbon Footprints of the 100 Largest Metropolitan Areas, Georgia Institute of Technology School of Public Policy, Working Paper 39.
- [6]. Chow, Gregory C. 2002. *China's Economic Transformation*. Malden, Mass: Blackwell.
- [7]. China Energy Databook(version 7), Energy Analysis Department, Environmental Energy Technologies Division, Lawrence Berkeley National Laboratory, October, 2008.
- [8]. Community Energy: Urban Planning for a Low Carbon Future. [http://www.tcpa.org.uk/press\\_files/pressreleases\\_2008/20080331\\_Energy\\_Guide](http://www.tcpa.org.uk/press_files/pressreleases_2008/20080331_Energy_Guide)
- [9]. China Energy Databook, version 7, Energy Analysis Department, Environmental Energy Technologies Division, Lawrence Berkeley National Laboratory, October, 2008.
- [10]. Cooper, John. 2003. "Price Elasticity of Demand for Crude Oil: Estimates for 23 Countries." *OPEC Review* 27, no. 1: 1-8.
- [11]. Dasgupta, Susmita, and others. 2002. "Confronting the Environmental Kuznets Curve." *Journal of Economic Perspectives* 16, no.1:147—68
- [12]. David, C. 2005. Identity and Lifestyle in the Residential Environment. Conference "Doing, thinking, feeling home: the mental geography of residential environments", Delft 14/15 October.
- [13]. Dieleman, F.M., M. Dijst and Burghouwt, G. 2002. Urban Form and Travel Behaviour: Micro-level Household Attributes and Residential Context. *Urban Studies*, Vol.39, No.3.
- [14]. Edward, L.G. and Kahn, M.E. 2008. The Greenness of Cities: Carbon Dioxide Emissions and Urban Development. Harvard University, WP 7.
- [15]. Elizabeth A. Stanton. Greenhouse Gases and Human Well-Being: China in a Global Perspective.
- [16]. Erling, H. and Ingrid, T.N. 2005. Three Challenges for the Compact City as a Sustainable Urban Form: Household Consumption of Energy and Transport in Eight Residential Areas in the Greater Oslo Region. *Urban Studies*, Vol.42, No.12.
- [17]. Ewing, Reid and Fang Rong. 2008. The Impact of Urban Form on U.S. Residential Energy Use, *Housing Policy Debate* 19(1)
- [18]. Glaeser, Edward L, and Matthew E. Kahn 2008. The Greenness of Cities. NBER Working Paper #14238.
- [19]. Golob, T. F., Brownstone, D., 2005. The Impact of Residential Density on Vehicle Usage and Energy Consumption, University of California Energy Institute, Policy & Economics Paper

EPE-011.

- [20].Holtz-Eakin, Douglas and Thomas M. Selden. Stoking the Fires? CO2 Emissions and Economic Growth. *Journal of Public Economics* 57.1 (1995): 85-101.
- [21].Huang, J-P. 1993. "Industry Energy Use and Structural Change: A Case Study of the People's Republic of China," *Energy Economics* 15(2): 131-136.
- [22].IPCC2006 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories ,  
<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/invs1.html>
- [23].Jiang, Yi. 2007. "Promoting Chinese Energy Efficiency." *China and the World*
- [24].Kahn, M.E. 2000. The Environmental Impact of Suburbanization. *Journal of Policy Analysis and Management*, Vol.19, No.4.
- [25].Kahn, Matthew. E., 2006 *Green Cities: Urban Growth and the Environment*, Brookings Institution Press, Washington, DC.
- [26].Li, J.H. 2001. Regional Ecological Carrying Capacity and Sustainability Development. *China Population Resources and Environment*, Vol.11, No.3.
- [27].Liu, X.R., Wang, R.S. and Yang, J.X. 2003. Importance of Sustainable Household Consumption Research in China. *China Population, Resources and Environment*, Vol.13, No.1.
- [28].Lorna, A.G., David L.G. and Carmen, D. 2000. Energy Efficiency and Consumption – The Rebound Effect – A Survey. *Energy Policy*, No.28.
- [29].Mao, H.Y. 2003. Regional Carrying Capacity in Bohai Rim. *ACTA Geographic Science*, Vol.56, No.3.
- [30].Martine, J. 1996. The Sustainable Use of Space: Advancing the Population/Environment Agenda. Unpublished paper.
- [31].Metcalf, G., 2007. A Proposal for a U.S. Carbon Tax Swap. Brookings Institution. Hamilton Project Working Paper.
- [32].Naughton, Barry. 2007. *The Chinese Economy: Transition and Growth*. Cambridge, Mass: the MIT Press.
- [33].Pfaff, Alexander. S. P., Shubham. Chaudhuri, and H. Nye. 2004. "Household Production and Environmental Kuznets Curves: Examining the Desirability and Feasibility of Substitution." *Environmental and Resource Economics* 27.2: 187–200.
- [34].Planning Policy Statement: Planning and Climate Change –Supplement to Planning Policy Statement 1,  
<http://www.communities.gov.uk/publications/planningandbuilding/ppscclimatechange>
- [35].Ragnar, L. and Arnulf, G. 1993. *Energy and lifestyle*. UNIESCO.
- [36].Rommel, C.G. 1997. Socio-Economic and Spatial Indicators for Household Energy for A Tropical Urban Community in Urban Manila. *Building Research and Information*, Vol.25, No.2.
- [37].Sternier, Thomas. 2003. "Policy Instruments for Road Transportation. Policy Instruments for Environmental and Natural Resource Management." *Resources for the Future Press*, Washington, D.C.
- [38].Saich, Tony. 2001. *Governance and Politics of China*. New York: Palgrave.
- [39].Shi, Xiaoyu and Karen R. Polenske, *Energy Prices and Energy Intensity in China A Structural Decomposition Analysis and Econometrics Study*



- [40].Sinton, J.E. and Levine, M.D. 1994. "Changing Energy Intensity in Chinese Industry: The Relative Importance of Structural Shift and Intensity Change," *Energy Policy* 22(3): 239-258.
- [41].Sinton, J.E. and Fridley, D.G. 2000. "What Goes Up: Recent Trends in China's Energy Consumption," *Energy Policy* 28: 671-687.
- [42].Stern, N., 2008. *The Economics of Climate Change*. *American Economic Review* 98(2): 1-37.
- [43].Seryak, J. and Kissock, K. 2003. *Occupancy and Behavioral Affects on Residential Energy Use*. <http://www.sbse.org/awards/docs/2003/Seryak1.pdf>.
- [44].Shui, B. and Hadi, D. 2005. *Consumer Lifestyle Approach to Us Energy Use and the Related CO2 Emissions*. *Energy Policy*, No.33.
- [45].Stern, D.I. 2004. *The Rise and Fall of the Environmental Kuznets Curve*, *World Development* Vol.32, No.8.
- [46].Tang, W.S. 2000. *Chinese Urban Planning at Fifty: An Assessment of the Planning Theory Literature*. *Journal of planning literature*, Vol.14, No.3.
- [47].Van Raaij, W. F. and Verhallen, T.M.M. 1983. *A Behavioral Model of Residential Energy Use*. *Journal of Economic Psychology*, No.3.
- [48].Wei, Y.M., Liu, L.C., Fan, Y. and Wu, G. 2007. *The Impact of Lifestyle on Energy Use and CO2 Emission: An Empirical Analysis of China's Residents*. *Energy Policy*, No.35.
- [49].Wouter, P., Linda, S., Charles, V. and Gerwin, W. 2003. *Household Preferences for Energy-Saving Measures: A Conjoint Analysis*. *Journal of Economic Psychology*, No.24.
- [50].Wang, T.J., L.S. Jin, Z.K. Li, and K.S. Lam. 2000. "A modeling study on acid rain and recommended emission control strategies in China." *Atmospheric Environment* 34(26): 4467-4477.
- [51].Xu, T. 2003. *Family Green Consumption and Sustainable Development*. *Liaoning Urban Environmental Technology*, Vol.23, No.5.
- [52].Zheng, Siqi, Matthew E. Kahn and Hongyu Liu. *Towards a System of Open Cities in China: Home Prices, FDI Flows and Air Quality in 35 Major Cities*. *Regional Science and Urban Economics*, 40, 2010: 1-10
- [53].丁丁,周同.我国低碳经济发展模式的实现途径和政策建议[J].环境保护与循环经济,2008(03)..
- [54].于娟,彭希哲.碳税循环政策对中国农村能源结构调整的作用——基于 CGE 模型的政策讨论.世界经济文汇.2007(06)
- [55].辛章平,张银太.低碳经济与低碳城市[J].城市发展研究.2008(04).
- [56].辛章平,张银太.低碳社区及其实践[J].城市问题.2008(10).