

城市家庭能耗直接碳排放影响因素 ——以厦门岛区为例

叶红^{1,*}, 潘玲阳¹, 陈峰¹, 汪凯¹, 黄少鹏^{2,3}

(1. 中国科学院城市环境研究所, 厦门 361012; 2. 西安交通大学全球变化研究院, 西安 710049;
3. Department of Geological Sciences, University of Michigan, Ann Arbor, MI 48109-1005, USA)

摘要: 在全球城市化迅速推进的过程中, 城市碳排放已经成为影响全球变化不可忽视的一部分, 同时也成为制约城市可持续发展重要因素之一。家庭能耗碳排放是城市碳排放的一个组成部分, 分析它的各种影响因素对于控制它对局域乃至全球气候变化的负面影响具有重要的意义。以厦门岛区为例, 通过社会问卷设计和调查, 应用数理统计方法对最终收回的 340 份有效问卷进行城市家庭能耗的影响因子分析, 结果表明, 2007 年厦门岛区平均家庭能耗直接碳排放量为 1218.2 kg/(户·a), 电力消耗直接碳排放是厦门岛区主要的家庭能耗直接碳排放方式, 电力消耗直接碳排放量是瓶装液化石油气与代用天然气使用直接碳排放总量的近 5 倍。通过单因素方差分析与多元逐步回归方程得到, 与住区自然环境与家庭耗能倾向相比, 家庭社会情况是影响家庭能耗直接碳排放最为重要的因子, 其对家庭能耗直接碳排放变化的解释能力为 17.9%。通过主成分分析得到, 家庭住宅面积对家庭能耗直接碳排放的影响最为显著, 家庭住宅面积对公共因子的贡献率达到了 0.829。研究旨在为城市节能减排和可持续发展提供第一手资料、为城市住区形态的合理设计和规划提供科学依据。

关键词: 城市家庭; 能耗; 直接碳排放; 社会问卷

Direct carbon emission from urban residential energy consumption: a case study of Xiamen, China

YE Hong^{1,*}, PAN Lingyang¹, CHEN Feng¹, WANG Kai¹, HUANG Shaopeng^{2,3}

1 Institute of Urban Environment, Chinese Academy of Sciences, Xiamen 361012, China

2 Research Institute of Global Changes, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China

3 Department of Geological Sciences, University of Michigan, Ann Arbor, MI 48109-1005, USA

Abstract: Carbon emission from urban metabolism constitutes a substantial component of anthropogenic greenhouse gas emission, which is at least partially responsible for the recent global warming. Part of urban carbon emission comes from residential energy consumption. Given the ongoing urbanization trend and strict emission-reduction requirement, a good understanding of the urban residential energy consumption direct carbon emission (URECDCE) is of great importance to the sustainability of social and economic developments in China. We conducted a survey on residential energy consumption in the island districts of Xiamen in SE China in 2008. This study is based on 340 valid responses to the survey. The analysis shows (1) residential electricity consumption is the most important source of URECDCE; (2) in terms of URECDCE, social economic situation is more important than the natural setting of building and the energy consumption tendency; and (3) among six social economic variables surveyed, family size is the most important factor affecting family energy consumption. The survey provides the first-hand data for design and planning for urban energy saving, emission reduction, and scientific development.

基金项目: 中国科学院知识创新工程重要方向资助项目 (KZCX2-YW-BR-03); 中国科学院知识创新工程重要方向资助项目 (KZCX2-YW-450-40); 中国科学院知识创新工程青年人才领域前沿资助项目 (0714151d40)

收稿日期: 2009-06-03; 修订日期: 2009-10-12

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: hye@iue.ac.cn

Key Words: urban household; energy consumption; direct carbon emission; social questionnaire

城市化是人类改造自然生态系统强度最大、最直观且不可逆转的过程。城市化迅速推进的过程中伴随着城镇人口的急剧增加、土地利用和土地覆被格局的剧烈变化、以及城市社会特征差异的显著变化等,所有这些都在渗透着城市对全球环境的影响。

碳代谢是城市生态中最重要的元素代谢。虽然城市仅占地球表面积的约 0.4%,但在其间所进行的人类活动是造成近一个世纪以来大气圈二氧化碳等温室气体含量急剧增加的重要原因,全球 78% 与能源消耗有关的二氧化碳是通过城市排放的,所以控制城市的二氧化碳排放是缓解全球气候变暖危机的关键。因此在全球广泛关注气候变化的背景下,城市碳排放过程也就成为了研究重点^[1]。中国居民生活能源消费占终端能源消费比例,仅次于工业部门。1990 年中国生活能源消费总量为 15799 万 t 标准煤,而 2007 年生活能源消费总量已增加至 26790 万 t 标准煤,是 1990 年的 2.17 倍^[2]。随着我国经济的发展,城市化进程的迅速推进,人民生活水平的提高以及产业结构的调整,城市生活能耗消费量将不断提高,进而导致城市家庭能耗碳排放对环境造成的胁迫效应更加显著。

目前关于城市碳排放的研究主要侧重于人类活动过程导致的自然原料碳代谢过程、城市土地利用及覆被变化对于碳排放的影响^[3];以及基于碳排放过程的碳足迹测算^[4],如对石油能源、建筑材料的耗费、食品的使用等城市代谢过程导致的碳排放进行的分析^[5];此外,也有学者对城市人居环境的碳排放进行了分析^[6-9],如对家庭能耗碳消费的家庭社会情况影响机制开展的研究^[10],有分析表明,家庭能源消费与家庭人口特征、经济水平、社会地位、地理位置及电器拥有情况等诸多因素有关^[11-12],另外还有些研究侧重于建筑物特征对于家庭能耗的影响^[13-14]。但是综合家庭住宅的自然环境以及家庭社会情况等人文因素,明晰这些因子对家庭能耗碳排放的影响程度的分析还较少。

本文从影响家庭能耗直接碳排放的自然环境因子(家庭住区环境)和社会人文因子(家庭社会情况与耗能倾向)入手,以社会问卷的方式获取第一手调查资料,全方位分析城市家庭能源直接碳排放的影响机制,以期对低碳生态型城市发展战略提供理论依据,促进城市可持续发展。

1 研究区概况

改革开放以来,厦门城市发展迅速。厦门市的城市化率 1984 年为 36.51%,而 2007 年达到了 68.26%,在 23a 间城市化率增长了近一倍。伴随着城市化进程的迅速推进,厦门家庭能源利用强度和能源结构都发生了重大的变化。如图 1 所示,从 1998 年至 2006 年,电力、瓶装液化石油气以及管道空混气消费量增加迅速。8a 间,居民液化石油气的使用量从 1.92 万 t 增长至 5.15 万 t,增长了近 1.7 倍;居民用电量从 50217 万 kW·h 增长到 180728 万 kW·h,增长了 2.6 倍。管道空混气(以下称代用天然气)在 1997 年下半年开始在厦门投入使用,从 1997 年至 2006 年,其使用量从 36.2 万 m³ 增长到 1466 万 m³,增长了近 40 倍^[15]。

本文以厦门市的厦门岛区作为案例,一方面厦门岛区是厦门市城市化最高的区域,2007 年城市化率接近 100%,高于全国大多数区域,因此分析厦门岛区家庭碳排放的影响因素有助于理解城市化进程中家庭能耗碳排放的变化规律和影响机制;另一方面,由于厦门岛区是典型的沿海城市区域,以厦门岛区为案例进行的分析结果将为探究全球 50% 位于海岸带的城市家庭能耗碳排放与生态环境的相互关系提供研究依据。

2 研究途径和方法

2.1 问卷调查及数据预处理

本次研究以社会问卷调查的方式,对厦门岛区居民家庭不同种类能源的终端消费量,包括电力、瓶装液化石油气、代用天然气、煤炭等的住户耗能情况以及厦门岛区不同住区的建筑物特征、建筑物环境、家庭耗能倾向、家庭社会条件等情况进行了调查。家庭问卷调查包括问卷设计和调查实施两个过程,以客观控制、全面控制和超前控制为质量控制原则,保证数据的真实性和代表性^[16]。问卷设计包括“初步设计—预调查—修改”3 个过程。

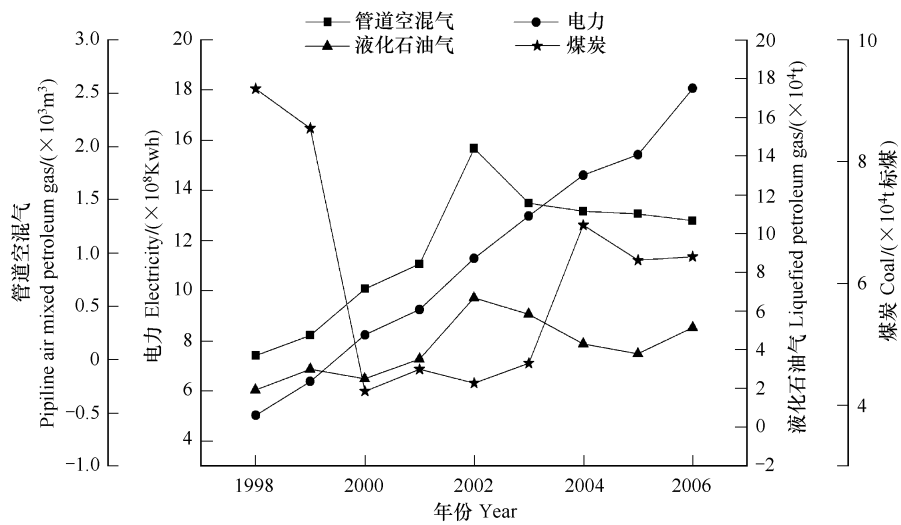


图1 厦门市居民能耗变化
Fig. 1 Residential energy consumption in Xiamen

首先结合文献调研和专家意见,以研究目的为核心,设计了“厦门市人居环境与城市居民家庭能源消费的关系”调查问卷,其中包括家庭基本社会情况、家庭能源消费现状、居住环境(家庭住宅所在建筑物自身环境与建筑物环境)以及家庭耗能倾向等各个方面。在进行了预调查的基础上对调查问卷选项进行了修改和完善,并在2008年6—10月正式实施社会调查。调查样本采用分层随机取样法确定,参照厦门岛区居民住宅建筑年代的比例,确定样本中不同建筑年代居民的数量,然后在厦门岛区15个街道随机抽取调查样本。调查方式为面对面式,保证了数据来源的真实性。

根据调查问卷设置家庭能耗以及与之相关的四类影响主变量,即住宅所在建筑物特征(以下简称建筑物特征)、建筑物环境、家庭耗能倾向以及家庭社会情况等。四类主因素由多个次因素组成,四类主因素的结构组成列于表1。在对数据进行处理前,首先针对四类主因素的特点,给予次因素实施编码,以建筑物环境为例,次因素编码设置见表2。接着对问卷中次因素的编码值进行无量纲化处理(表2),根据次因素数据特点,本研究通过线性无量纲化法(极值法),即利用次因素指标与指标列最大值的比值计算次因素指标的无量纲

表1 社会调查问卷变量结构表
Table 1 Variable Structure of Questionnaire

主因素 Principle factor	次因素 Secondary factor	主因素 Principle factor	次因素 Secondary factor	主因素 Principle factor	次因素 Secondary factor	主因素 Principle factor	次因素 Secondary factor
建筑物特征	建筑年代	建筑物环境	建筑物周围绿地面积	耗能倾向	注意使用节能家用电器及燃具的程度	家庭社会情况	人口数
	建筑结构						家庭成员平均年龄
	朝向						
	住宅通风条件		建筑物周围水体面积		夏天使用空调设定室内达到的理想温度		
	建筑物屋面颜色						住房面积
	外墙颜色						
	外墙表面粗糙度		社区人口密度		为了抵抗高温,提高居住舒适度,愿意投入的改善资金		
	外墙隔热保温效果						
	住宅外窗颜色						年收入
	外窗隔热保温效果		居住地空气质量				

化值^[17]。由于不确定次因素对于主因子的贡献量,所以使用相同的权重对次因素进行加权平均得到主因素值。为了更好地分析四类主因素的构成对家庭能耗直接碳排放的影响,本研究还根据主因素值进行了分组归类。

表 2 建筑物环境编码

Table 2 Construction environment codes

因素 Factors	编码 Codes
建筑物周围绿地面积 Greenland area	1(0.2):很小; 2(0.4):较小; 3(0.6):一般; 4(0.8):较小大 5(1.0):很大
建筑物周围水体面积 Water area	1(0.2):很小; 2(0.4):较小; 3(0.6):一般; 4(0.8):较大; 5(1.0):很大
社区人口密度 Community population density	1(0.2):很高; 2(0.4):较高; 3(0.6):一般; 4(0.8):较低; 5(1.0):很低
居住地空气质量 Air quality	1(0.2):很差; 2(0.4):较差; 3(0.6):一般; 4(0.8):较好; 5(1.0):很好

注:括号内的值为无量纲化值

本项研究共调查了 500 户家庭,获得有效问卷 340 份。其中 20 世纪 80 年代前的住宅 33 份,20 世纪 80 年代住宅 43 份,90 年代住宅 119 份,2000 年后住宅 145 份。与厦门岛区住宅总的建筑年代分布格局较为一致,并且样本在厦门岛区 15 个街道分布较为均匀(图 2),符合统计原则。

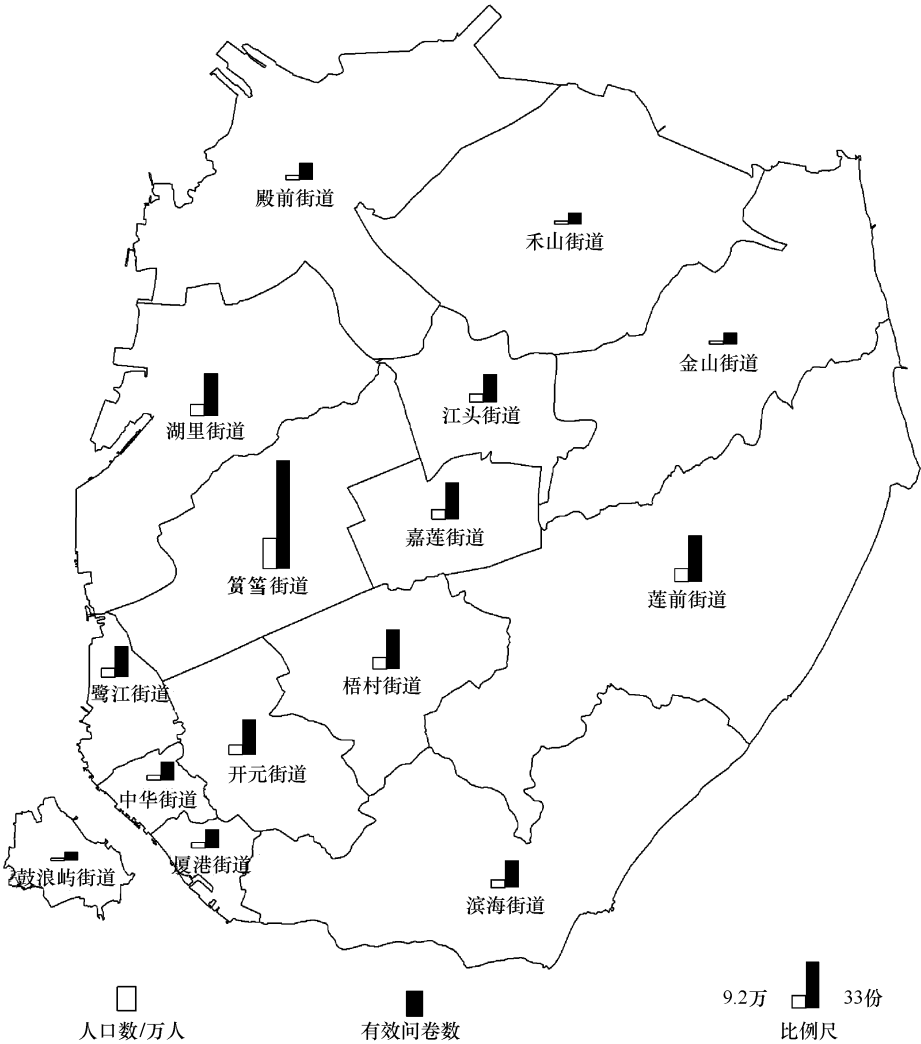


图 2 厦门岛区 15 个街道人口数与有效问卷数分布

Fig. 2 Populations and valid questionnaires distribution among 15 streets in Xiamenisland

2.2 数据处理和分析方法

根据问卷调查数据和家庭能源碳折算参数,建立“厦门岛区居民家庭能源直接碳排放”数据库,在 Microsoft Excel 2007 上完成。居民家庭能源直接碳排放的影响因素采用单因素方差分析、多元逐步回归以及主成分分析方法,在 SPSS 16.00 上实现。

2.2.1 家庭能源消耗直接碳排放计算

厦门岛区家庭能源消耗(以下称能耗)方式主要是电力和炊事燃料,而主要的炊事燃料为瓶装液化石油气及代用天然气。本次调查厦门岛区家庭能耗直接碳排放的计算方法如下式:

$$CF_{EN} = CF_{EL} + CF_{LPG} + CF_{SNG} + CF_{COAL} \quad (1)$$

式中, CF_{EN} 为家庭能耗直接碳排放; CF_{EL} 为家庭电力消耗直接碳排放; CF_{LPG} 为家庭瓶装液化石油气消耗直接碳排放; CF_{SNG} 为家庭代用天然气消耗直接碳排放; CF_{COAL} 为家庭煤炭消耗直接碳排放。

家庭燃料和煤炭直接碳排放通过不同品种能源的物质质量、能值转换系数和碳排放系数折算而得,计算公式为:

$$C_e = \sum_i^n (W_{ei} \times G_{ei} \times I_{ei} \times \alpha) \quad (2)$$

式中, C_e 为能源直接碳排放; W_{ei} 为能源 i 的消费量(kg 或 m^3); G_{ei} 为能源 i 的能值转换系数(MJ/Tt 或 MJ/ Mm^3),即单位物质质量能源的能值(厦门岛区瓶装液化石油气的能值转换系数为 111MJ/ m^3 ;代用天然气的能值转换系数为 45.72MJ/kg;厦门市煤炭的能值转换系数 29.31MJ/kg); I_{ei} 为能源 i 的碳排放系数(kgC/GJ),即单位焦耳能源的含碳量,为 IPCC 缺省数据^[18],C 含量参数为 27.63 kgC/GJ; n 为本研究为 3,包括煤炭、瓶装液化石油气和代用天然气; α 为单位转换系数。

在计算电力使用直接碳排放时,考虑到电使用过程并无碳消费,电是煤炭等生产的二次能源,因此依据电力产生过程中作为原材料投入的煤炭等能源的碳含量,计算电力消耗的碳排放,计算公式为:

$$C_{electricity} = (W_{electricity} \times W_{coal} \times G_{coal} \times I_{coal}) / (1 - 8\%) \quad (3)$$

式中, $W_{electricity}$ 为电消费量(kwh); W_{coal} 为单位电生产的煤炭投入量(kg/kwh); G_{coal} 为煤炭的能值转换参数(MJ/Tt)(厦门岛区电消费主要来源于火力电输入。火力发电的煤炭投入量根据 2007 年中国能源平衡表折算得出^[19]); I_{coal} 为煤炭 C 含量参数(kgC/GJ); 8% 为在电的 C 含量参数计算中,考虑电传输过程中的能量损失情况,将电网能量损失率设置为 8%。

2.2.2 家庭能源碳排放影响因子分析

单因素方差分析能测试某一个控制变量的不同水平是否给观察变量造成了显著差异和变动,本研究首先通过单因素方差分析方法来分析影响家庭能源碳排放的可能影响因子,接着应用多元逐步回归方法分析并结合单因素方差分析得到的结果得出家庭能源碳排放的显著影响因素。在此选用双对数方程对家庭能源碳排放及可能影响因素进行多元逐步回归,如公式(4)所示。逐步回归分析方法是以一个自变量开始,对要引入自变量的方差贡献进行显著性检验,将检验结果显著的自变量按其其对因变量作用的大小逐个引入方程。新的变量一经引入,由于各变量之间的相互关系,原有的变量可能变为不显著,再次对已进入的自变量逐个检验,进一步弃除不显著因子,保留显著因子。用逐步回归分析方法研究家庭住宅所在建筑物特征等 4 个自变量对家庭能耗碳排放的影响,其结果比其他相关回归分析意义更显著,保证了所建立的最优方程中的自变量对因变量的贡献都是显著的^[20]。

$$\ln y = \beta_0 + \beta_1 \ln x_1 + \beta_2 \ln x_2 + \beta_3 \ln x_3 + \beta_4 \ln x_4 \quad (4)$$

式中, x_1 和 x_2, x_3, x_4 分别表示建筑物特征、建筑物环境、耗能倾向、家庭社会情况。 β_0 为常数, $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$ 为回归系数。研究中将这几个变量取对数,可以消除异方差,使得变量之间的拟合效果更好,而且回归方程中的系数反映的是解释变量与被解释变量之间的弹性关系。

3 结果与分析

3.1 被调查家庭基本情况

通过 2.1 的方法对建筑物特征、建筑物环境、家庭耗能倾向以及家庭社会情况进行次因素编码,并根据这些次因素编码值的加权平均值进行无量纲化处理。以建筑物环境为例,它的无量纲化值(0—1)的理论解释为:如果建筑物周围绿地面积、水体面积越大,而社区的人口密度越小,居住地空气质量越好,那么建筑物环境无量纲化值越高,反之亦然。

从 340 份问卷中得到的家庭住宅建筑物特征、建筑物环境、家庭耗能倾向以及家庭社会情况变量的构成以及四类主变量的分布特征如图 3 所示。340 户家庭的住宅所在建筑物特征变量值落在 0.55—1 的区间内,变量值可分为 7 组,其中变量 0.67 与 0.74 组所占的比例最大,为 60%。建筑物环境变量值分布较分散,共有 11 个变量组,最小为 0.37,最大为 1,变量值分布在 0.61—0.9 区间的家庭数量较多,而其他建筑物环境的变量值所占的比例很小,呈现出建筑物环境变量值较大的家庭所占的比例明显高于变量值较低的家庭的现象。与建筑物环境变量值相比,耗能倾向变量值的分布较集中,340 户家庭的耗能倾向变量值落在 8 个组内,小于建筑物环境变量的变化区间,但是与建筑物环境的变量值分布特点有着相似的地方,即他们也表现出变量值大的家庭所占的比例较大。家庭社会情况变量值的分布表现为正态分布,变量值落在 0.45—1 区间内,共 9 组,变量值为 0.67 的家庭所占比例最大,其他变量组的家庭比例以它为中心逐渐减小。

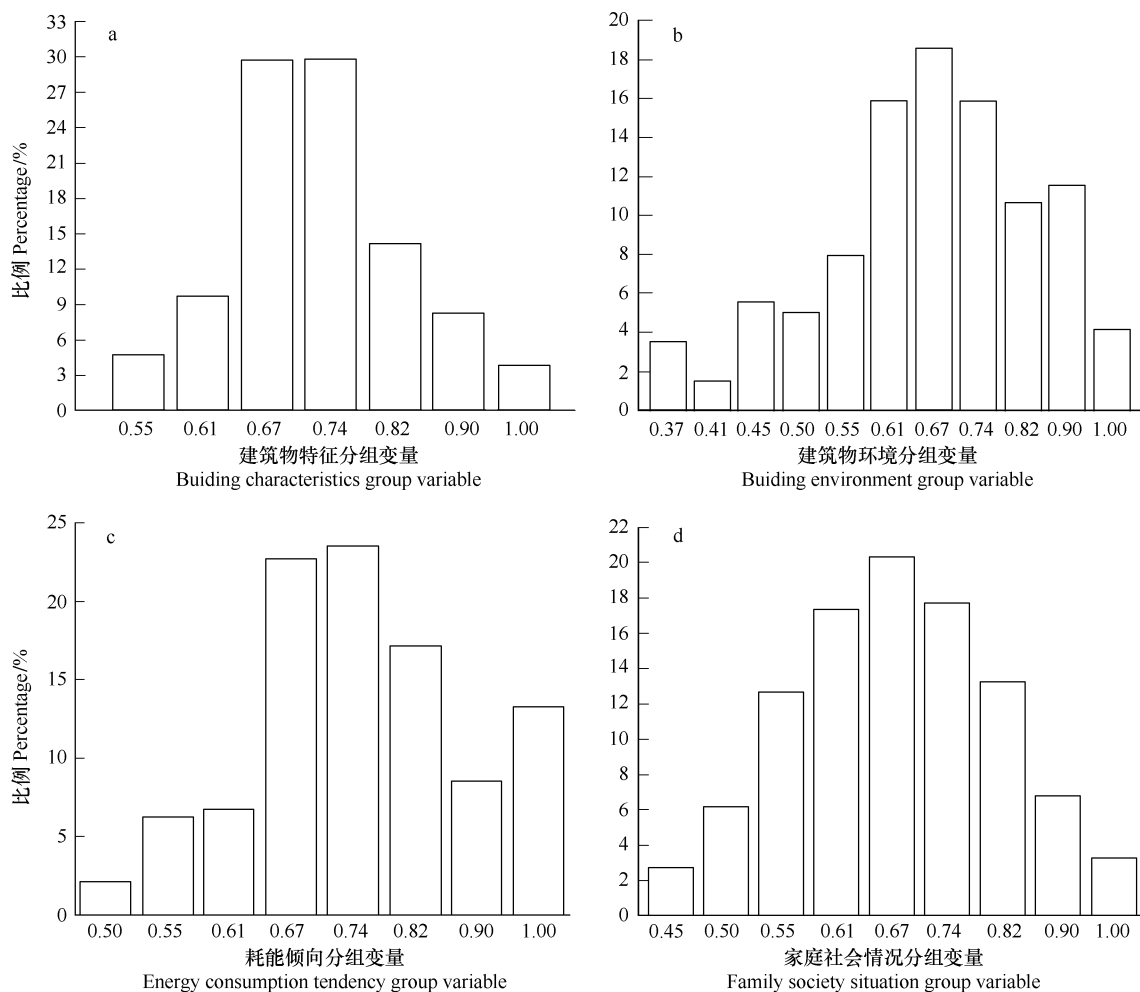


图3 被调查家庭基本情况统计

Fig. 3 Summary of Questionnaires

3.2 家庭能耗碳排放基本情况

厦门岛区居民的主要能耗方式为电力和液化石油气的耗用,其中液化石油气主要由代用天然气、瓶装液化石油气组成。被调查的 340 户家庭中,炊事燃料使用代用天然气的户数为 199 户,使用瓶装液化石油气有 123 户、使用电力的有 18 户,与厦门岛整体炊事燃料使用情况较为接近。

从调查问卷统计得出厦门岛区家庭电力消费量平均为 932.08MJ/(户·a),液化石油气及代用天然气消费量为 616.93MJ/(户·a),总的家庭能耗直接碳排放量为 1218.2kg/(户·a)。液化石油气、代用天然气以及电力碳排放分别占能耗直接碳排放量的 7.9%、9.0% 与 83.1%,电力碳排放是主要的家庭能源碳排放方式(图 4)。

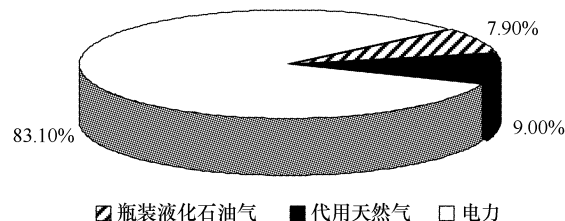


图 4 厦门岛区家庭终端能耗碳排放比例

Fig. 4 Composition of residential energy consumption in Xiamen island district in 2007

3.3 家庭能耗影响因子

根据上述 3.1 节和 3.2 节中已获得厦门岛区家庭能耗基础数据以及家庭所在建筑物特征、建造物周围环境、家庭社会情况以及家庭耗能倾向社会调查状况,本研究按照 2.2.2 的方法分别进行四类主因子对于家庭总能耗直接碳排放的单因素方差分析,结果见图 5。

住房建筑物特征主变量 7 个分组变量之间相伴概率为 0.244,通过了 0.05 显著性水平检验,表明不同建筑物特征家庭能耗碳排放之间不存在显著的差异($F = 1.329, P = 0.000$)。

相似地,家庭耗能倾向分组变量之间相伴概率为 0.737,也通过了 0.05 显著性水平检验,因此家庭耗能倾向 7 个分组变量之间的家庭能耗直接碳排放也不存在显著差异($F = 0.591, P = 0.000$)。

与建筑物特征、家庭耗能倾向相比,建筑物环境分组变量之间相伴概率为 0.013,未通过 0.05 显著性水平检验,表示拒绝零假设,说明建筑物环境 11 个分组变量中至少有一组和其他 10 组有明显的区别,也有可能 11 个分组变量之间都存在显著的区别($F = 2.30^{**}, P = 0.000$)。从最小显著差异法(LSD)多重比较的结果表明,建筑物环境分组变量 0.55 组与 0.5 组($\text{sig} = 0.034$)、0.74 组($\text{sig} = 0.005$)、0.9 组($\text{sig} = 0.004$),变量 0.61 组与 0.74 组($\text{sig} = 0.001$)、0.9 组($\text{sig} = 0.001$)家庭的能耗直接碳排放存在显著差异,因此推断家庭住宅所在建筑物周围自然环境是影响家庭能耗直接碳排放的主要因素。不同建筑物环境的家庭能耗直接碳排放的差异既表现在液化石油气、代用天然气消耗直接碳排放上也体现在电力消耗碳排放上。

对家庭社会情况进行的单因素方差分析,得出不同社会情况的家庭能耗直接碳排放存在显著的差异($F = 2.048^{**}, P = 0.000$)。家庭社会情况分组变量之间相伴概率为 0.04,小于显著性水平 0.05,即家庭社会情况 9 个分组变量中至少有一组和其他 8 组有明显的区别,或者 9 个分组变量之间都存在显著的区别。从 LSD 多重比较的结果也证实了以上的结论,即家庭社会情况变量 1.0 组与 0.45 组($\text{sig} = 0.021$)、0.5 组($\text{sig} = 0.028$)、0.55 组($\text{sig} = 0.008$),变量 0.74 组与 0.55 组($\text{sig} = 0.032$)、0.61 组($\text{sig} = 0.025$)的家庭能耗直接碳排放有着显著的差异。家庭社会情况变量值高的家庭能耗直接碳排放相应较高,而且不同家庭社会情况能耗直接碳排放的差异主要体现在液化石油气及代用天然气消耗直接碳排放上。

通过不同类型家庭间的比较,得到厦门岛区居民家庭能耗直接碳排放的差异特征,得出建筑物环境和家庭社会情况为家庭能耗直接碳排放的两个影响因素。但是,由于单因素分析没有考虑主变量之间可能存在的相互作用关系,因此通过单因素分析得到的两个影响因素对于家庭能耗直接碳排放的机制尚不是很明确。比如建筑物环境和家庭社会情况之间就可能有着内在的联系,在相当大程度上,住宅小区的档次是家庭社会经济条件的反映。

为了更好地探究 4 个主变量对于家庭能耗直接碳排放的影响水平,根据方程(4),对建筑物特征(x_1)、建筑物环境(x_2)、耗能倾向(x_3)和家庭社会情况(x_4)4 因素进行多元逐步回归分析。分析结果,仅有家庭社会情况被选入回归方程,回归方程($F = 11.15$)及回归系数均在 99% 置信度下显著,家庭社会情况因素对家庭能

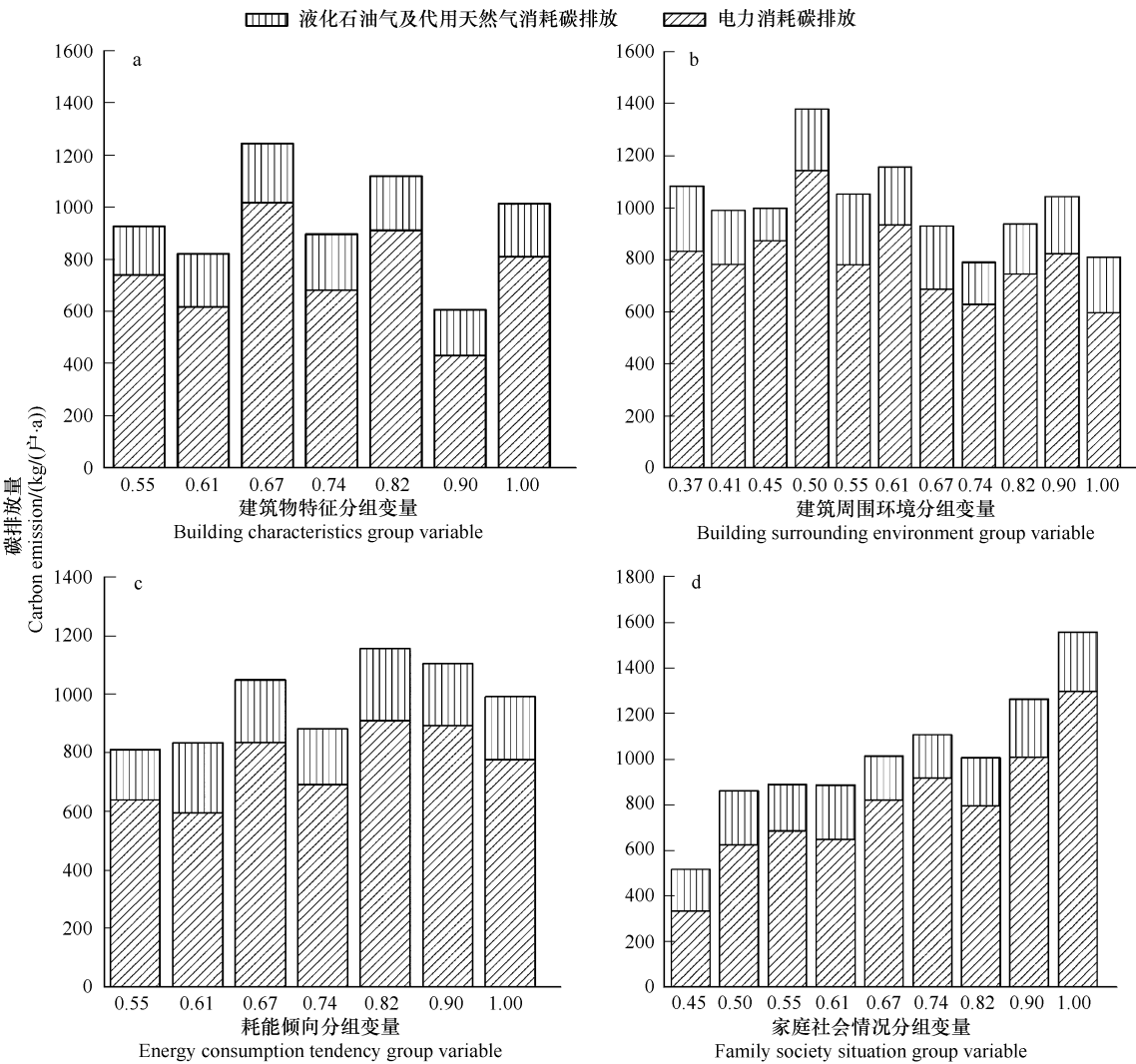


图5 不同类型家庭能耗直接碳排放

Fig. 5 Residential Energy Consumption Carbon Emission among different Households Groups

源直接碳排放变化的解释能力为 17.9% ($R^2 = 0.179$),其回归方程为: $\ln y = 6.412 + 0.582 \ln x_4$,按标准回归系数实值顺序将影响因素列于表 3。逐步回归结果进一步证实了家庭社会情况对于家庭能耗直接碳排放的影响作用,但是由于家庭社会情况因素对家庭能耗直接碳排放变化解释能力较低(仅解释了 17.9%),因此除了家庭社会情况外,可能存在其它因素影响家庭能耗直接碳排放。

表 3 家庭能耗碳排放影响因子逐步回归分析

Table 3 Stepwise Regression for Residential Energy Consumption Carbon Emission

自变量 Independent variable	偏回归系数 Partial regression coefficient	标准误差 Standard error	标准回归系数 Standard regression coefficient	t	P
常数项 Constant term	6.412	0.195		32.801	0
x_4	0.582	0.174	0.179	3.34	0.001

3.4 家庭能耗直接碳排放的家庭社会情况主导因子分析

从 3.3 中已经明确家庭社会情况为家庭能耗直接碳排放的主要影响因素,为了进一步分析家庭社会情况次因素对于家庭能耗直接碳排放的贡献,本研究对家庭社会情况中的 6 个次因素即住宅面积、家庭人口数、家庭人口平均年龄、职业、学历、收入进行了他们对于家庭能耗直接碳排放贡献的主成分分析。分析结果表明,

家庭能耗直接碳排放受到住宅面积和家庭人口数的显著影响。从表 4 可以看出由家庭人口数和家庭住宅面积组成的公共因子解释了 42.74% 的方差,但是住宅面积对公共因子的贡献率(0.829)大于家庭人口数的贡献率(0.792),所以相对于家庭人口数,住宅面积是影响家庭能耗直接碳排放的更为重要因素。

4 讨论与结论

城市家庭能耗是城市能源消耗的重要组成部分,由此引起的碳排放是城市可持续发展的重要影响因素之一。从分析中可以看出,厦门岛区的电力能耗是重要的家庭能耗组成部分,虽然 2009 年更加洁净、能值更高的液化天然气开始在厦门岛区使用,将替代部分家庭炊事燃料,但是从厦门市电力消耗的趋势预测,照明、空调制冷等电器使用仍将是厦门市未来很长时间家庭耗能的主要方式,而且伴随城市的快速发展,厦门岛区电力消耗水平将不断增加,这些也将加剧厦门岛区能耗碳排对区域环境的负面效应。

相比较家庭住宅建筑物特征、建筑物环境,以及家庭耗能倾向,家庭社会情况这一人文因素是家庭能耗直接碳排放的最为重要的影响因子,并且家庭社会情况对家庭能耗的作用主要体现在对炊事燃料使用的影响上,造成这种结果的原因主要在于以下两个方面,一是不同社会情况的家庭利用的炊事燃料存在较大差异;二是厦门岛区不同社会情况的家庭在外用餐的次数存在较大不同。因此有些家庭能耗碳消费可能转移到家庭外排放,所以综合城市其他耗能部门的碳排放状况,将有助于完善家庭能耗碳排放影响因素分析。

家庭社会情况中的住宅面积与人口数量两因子解释了家庭社会情况对家庭能源直接碳排放贡献的主要部分,并且住宅面积是导致家庭能耗直接碳排放发生变化最为重要的因素。随着城市的迅速发展以及人们生活质量的提高,城市居民住宅面积整体呈增加趋势。由本文的研究结果可以得出,城市住宅面积的增大是造成城市家庭能源消耗过程向大气增加 CO₂ 排放的主要原因,所以城市发展过程中人们对于宽敞住宅面积的追求与城市家庭能耗碳排放之间存在着尖锐矛盾,而解决这对矛盾将成为关系城市可持续发展的重要环节。目前政府在城市规划和城市建设中提倡以中小户型住宅建设为主,这不仅是解决居民居住问题的重要举措,而且在一定程度上对减少城市住宅能耗碳排放,改善城市局域气候环境有着积极的促进作用。

研究发现,家庭社会情况中的住宅面积和家庭人口数在不同家庭之间差异较大,单位面积单位人口家庭能耗碳排放是否与家庭总能耗有着不同的影响机制,是值得继续开展的研究工作。

本研究采用了社会问卷调查的方法对能耗直接碳排放进行了统计分析,但是本次研究仅对城市化程度最高的厦门岛区 70021 家庭户中的 500 户进行了调查,并对获取的 340 份有效社会调查问卷进行了分析,因此如果能进一步扩充样本数量,将更加有益于结论的完善。

致谢:感谢熊永柱博士后、刘勇博士、李祥余博士生、章洲注册城市规划师、注册工程监理师的帮助。

References:

[1] Grimm N B, Faeth S H, Golubiewski N E, Redman C L, Wu J G, Bai X M, Briggs J M. Global change and the ecology of cities. Science, 2008, 319: 756-760.

[2] National Bureau of Statics. China Statistical Yearbook 2008. <http://www.stats.gov.cn/tjsj/ndsj/2008/indexch.htm>.

[3] Christen K. The carbon footprint of transportation fuels. Environmental Science and Technology, 2007, 41: 6636.

表 4 家庭能耗直接碳排放影响因子的载荷矩阵
Table 4 Component matrix for residential energy consumption carbon emission

项目 Items	第一主成分 First principle component	第二主成分 Second principle component
住房面积 Residential area	0.829	-0.041
家庭人口数 Family size	0.792	-0.024
职业 Occupation	0.069	0.75
年龄 Average age of family members	-0.137	0.59
年收入 Annual Income	0.038	0.278
文化程度 Education degree	-0.107	-0.506
特征值 Eigenvalues	1.366	1.26
信息百分比 Information percentage	42.74%	19.49%

- [4] Kenny T, Gray N F. Comparative performance of six carbon footprint models for use in Ireland. *Environmental Impact Assessment Review*, 2009, 29: 1-6.
- [5] Luo T W, Ouyang Z Y, Wang X K, Miao H, Zheng H. Dynamics of urban food carbon consumption in Beijing households. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(12): 3252-3258.
- [6] Weber C L, Matthews H S. Quantifying the global and distributional aspects of American household carbon footprint. *Ecological Economics*, 2008, 66: 379-391.
- [7] Hughes L, Bohan K, Good J. Calculating residential carbon dioxide emissions — a new approach. *Energy Policy*, 2005, 33: 1865-1871.
- [8] Kadiana R, Dahiya R P, Garg H P. Energy-related emissions and mitigation opportunities from the household sector in Delhi. *Energy Policy*, 2007, 35: 6195-6211.
- [9] Bina S, Dowlatabadi H. Consumer lifestyle approach to US energy use and the related CO₂ emissions. *Energy Policy*, 2005, 33: 197-208.
- [10] Sudhakara R B, Srinivas T. Energy use in Indian household sector — An actor-oriented approach. *Energy*, 2009, 34: 992-1002.
- [11] Piyush T. Architectural, demographic, and economic causes of electricity consumption in Bombay. *Journal of Policy Modeling*, 2000, 22(1): 81-98.
- [12] Vringer K, Aalbers T, Blok K. Household energy requirement and value patterns. *Energy Policy*, 2007, 35: 553-566.
- [13] Nilssen P A. Household energy use and the environment — a conflicting issue. *Applied Energy*, 2003, 76: 189-196.
- [14] Genjo K, Tanabe S, Matsumoto S, Hasegawa K, Yoshino H. Relationship between possession of electric appliances and electricity for lighting and others in Japanese household. *Energy and Buildings*, 2005, 37: 259-272.
- [15] Xiamen Bureau of Statics. *Yearbook of Xiamen Special Economic Zone 1986, 1990-2007*. Beijing: China Statistics Press, 1987, 1991-2008.
- [16] Wang Y. Quality control of Questionnaire. *Business Economics and Administration*, 2003, 138(4): 25-27.
- [17] Ma L P. Standardization of statistical data — dimensionless method. *Beijing Statistics*, 2000, 121: 34-35.
- [18] Houghton J T, Meira F L G, Lim B, Treanton K, Mamaty I, Bonduki Y, Griggs D J, Callender B A. Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Workbook. <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/guidelin/ch1wb1.pdf>.
- [19] National Bureau of Statics. *China Energy Statistical Yearbook 2007*. Beijing: China Statistics Press, 2008: 78.
- [20] Damondar N G. *Essentials of econometrics*. Beijing: Mechanical Industry Press, 2006: 182-214.

参考文献:

- [2] 国家统计局. 中国统计年鉴 2008. <http://www.stats.gov.cn/tjsj/ndsj/2008/indexch.htm>.
- [5] 罗婷文, 欧阳志云, 王效科, 苗鸿, 郑华. 北京城市化进程中家庭食物碳消费动态. *生态学报*, 2005, 25(12): 3252-3258.
- [15] 厦门市统计局. *厦门经济特区年鉴 1986, 1990 — 2007*. 北京: 中国统计出版社, 1987, 1991-2008.
- [16] 王瑛. 问卷调查的质量控制. *商业经济与管理*, 2003, 138(4): 25-27.
- [17] 马立平. 统计数据标准化——无量纲化方法. *北京统计*, 2000, 121: 34-35.
- [19] 国家统计局. 2007 中国能源统计年鉴. 北京: 中国统计出版社, 2008: 78.
- [20] 古亚拉提. *经济计量学精要*. 北京: 机械工业出版社, 2006: 182-214.