



清华大学

Tsinghua University



ENERGY FOUNDATION

能源基金会

家用热水器绩效统一评 价方法研究

*Research of the Evaluation System for
Household Water Heaters*

清华大学

2015.9.16

项目信息

项目资助号

Grant Number

21578

项目期

Grant period

2014.7.1 ~ 2016.6.30

所属领域:

Sector

建筑节能

项目概述:

Project Discription

目前中国市场中家用热水器产品主要有四种类型：电热水器、燃气热水器、太阳能热水器、热泵热水器，几种产品同时并存但能效水平参差不齐, 差距较大, 其中电热水器市场份额约为 50%，一次能源效率最低。当前面临的突出问题主要包括：

- 不同类型热水器产品能效不可比
- 没有统一的技术评价体系
- 消费者无法判断市场中产品的效率高低
- 国家还没有相应的产业调整策略和推动措施

因此，迫切需要从全局出发，统一考核体系，大力调整产品结构，淘汰高耗能产品，鼓励推广高效节能产品，服务于节能技术升级和节能环保目标的实现。

一方面从技术基础研究出发，制定统一的热水器能效评价体系和计算方法，明确各类产品的能效水平，提出适合我国国情的热水器技术发展路线图；另一方面，根据分析结果，结合国家和地区的节能环保任务，进一步提出当前我国热水器产业结构调整方案，制定国家或地方推动政策，限制淘汰高耗能产品，推广高效节能产品，实现技术升级；并指导消费者选择购买适合自己家庭使用习惯的热水器，理性引导消费。

国际上，随着全球气候变化的加剧和节能环保工作的深入，世界各国更加重视技术升级和产品结构合理化。欧盟和澳大利亚等开展了限制淘汰电热水器的法规，2011年美国将水加热技术作为统一的研究对象，建立了适合多种热水器的评价体系，并出台了相关鼓励政策。

项目成员：

Project team:

表 1 项目主要研究人员表

| 序号 | 姓名 | 工作单位 | 职称 |
|----|-----|--------|----|
| 1 | 李俊明 | 清华大学 | 教授 |
| 2 | 解国珍 | 北京建筑大学 | 教授 |
| 3 | 李红旗 | 北京工业大学 | 教授 |

| | | | |
|----|-----|-----------------|--------|
| 4 | 巫江红 | 华南理工大学 | 教授 |
| 5 | 成建宏 | 中国标准化研究院资源与环境分院 | 研究员 |
| 6 | 李燕 | 中国标准化研究院资源与环境分院 | 助理研究员 |
| 7 | 刘猛 | 中国标准化研究院资源与环境分院 | 助理研究员 |
| 8 | 刘伟 | 中国标准化研究院资源与环境分院 | 助理研究员 |
| 10 | 戴世龙 | 中国制冷空调工业协会 | 教授 |
| 11 | 申隽 | 国际铜业协会广州办事处 | 经理/工程师 |
| 12 | 赵凯 | 国际铜业协会北京办事处 | 总监/工程师 |
| 13 | 张秀平 | 合肥通用机械研究院 | 教授 |
| 14 | 王汝金 | 合肥通用机械研究院 | 工程师 |
| 15 | 钟瑜 | 合肥通用机械研究院 | 工程师 |
| 16 | 杨一凡 | 中国制冷协会 | 教授 |
| 17 | 张明圣 | 全国冷冻标准化技术委员会 | 教授 |
| 19 | 王雷 | 中国家电协会 | 教授 |
| 20 | 吴尚杰 | 中国家用电器研究院 | 教授/副院长 |
| 21 | 陈伟升 | 中国电器科学研究院 | 教授/副院长 |
| 22 | 8人 | 生产部门专家 | |

关键词：

Key Word:

热水器；能源消耗；典型家庭用水模式

本报告由能源基金会资助。

报告内容不代表能源基金会观点。

This report is funded by Energy Foundation.

It does not represent the views of Energy Foundation.

摘要

中国家用热水器产品主要包括电加热热水器、太阳能热水器、燃气热水器、热泵热水器，绩效评价是按照各自的标准进行计算评价的，不利于各类热水器作统一评价。这会导致消费者选择产品时很容易产生困惑，亦不利于规范市场竞争和产品的技术升级。为了更加客观地对多种热水制备系统绩效进行统一的评价，因此开展了本研究。

本报告包括对研究工作的总结，其中用户用水模式调研分析、现有热水器绩效的地区影响分析与建立统一评价系统的分析等。通过在线调查，获得了覆盖全国（除西藏）30个省、市及地区的1277份有效问卷，该研究给出了基于调查分析建立的家庭典型用水模式，其中被调查家庭基本用水活动的热水使用率、热水设备选用、用水时间、用水方式以及用水频率等。对四类家用热水器全年能耗的计算进行了分析，并将计算结果折算为标准煤，进行统一的比较。并且基于结果分析，对采用一次能源消耗来统一评价热水制备系统绩效，进行了全面的可行性比较，给出了上述分析的原因及结果。

清华大学李俊明教授、中国标准化研究院成建宏研究员、北京建筑大学解国珍教授承担了本研究。参与研究的主要人员有：清华大学马少娟、刘国微、王吉、刘纳，北京建筑大学王蓉、李小双。

Summary

In Chinese market, there are 4 kinds of household water heaters, including electrical water heater, natural gas water heater, solar water heater, and heat pump water heater, it is necessary to build a unified evaluation method to evaluate their energy efficiency. A unified evaluation method will help us to establish a general standard for the performance evaluation for all kind of the water heaters. This report presents some research results on the evaluation. The water heaters include electrical storage water heater, solar water heater, gas water heater, air source heat pump water heater.

The research was based on survey of the heat water users from 30 provinces of China, and obtained 1277 questionnaires. It established a prediction of the custom for hot water use of the China. The energy consumption and the environmental effect were analyzed for the 4 kinds of the water heaters.

The researchers involving this project are as following: Professor Jun-Ming Li, Tsinghua University, Professor Jianhong Cheng, China National Institute of Standardization, Professor Guozhen Xie, Beijing University of Civil Engineering and Architecture, Ms. Shaojuan Ma, Mr. Guowei Liu, Mr. Ji Wnag and Dr Liu Na, Tsinghua University.

目录

| | |
|------------------------------|----|
| 第1章 绪论 | 1 |
| 1.1 国际热水器市场的政策..... | 1 |
| 1.2 国内热水器的发展..... | 2 |
| 1.3 研究意义与方法..... | 3 |
| 第2章 家庭式用热水量调查报告 | 5 |
| 2.1 基本概念..... | 6 |
| 2.1.1 家用热水设备..... | 6 |
| 2.1.2 典型用水模式..... | 6 |
| 2.1.3 城镇和乡村..... | 6 |
| 2.1.4 建筑热工分区..... | 8 |
| 2.2 家庭热水使用模式调研..... | 8 |
| 2.2.1 用水活动的理论分析..... | 9 |
| 2.2.2 影响因素的理论分析..... | 11 |
| 2.2.3 问卷设计..... | 14 |
| 2.2.4 调研理论与方法..... | 15 |
| 2.2.5 执行策略..... | 18 |
| 2.3 样本评估..... | 19 |
| 2.3.1 有效性处理..... | 19 |
| 2.3.2 误差评估及处理..... | 19 |
| 2.3.3 样本质量评估..... | 21 |
| 2.4 中国家用热水器典型使用模式..... | 23 |
| 2.4.1 家庭背景分析..... | 24 |
| 2.4.2 家庭用水模式分析..... | 28 |
| 2.4.3 中国家用热水器典型使用模式..... | 40 |
| 2.5 家庭式用热水量..... | 44 |
| 第3章 热水器能耗计算方法 | 50 |
| 3.1 电热水器能耗计算..... | 50 |
| 3.2 燃气热水器能耗计算..... | 52 |
| 3.3 电辅助太阳能热水器能耗计算..... | 53 |
| 3.4 空气源电辅助热泵热水器能耗计算..... | 57 |
| 第4章 能耗计算结果及分析 | 59 |
| 4.1 标准煤消耗的对比..... | 59 |
| 4.2 一次能源的消耗的对比..... | 62 |
| 第5章 热水器能效状况 | 68 |

| | |
|--------------------------------|-----------|
| 5.1 电热水器能效及环境影响 | 68 |
| 5.2 燃气热水器能效及环境影响 | 70 |
| 5.3 电辅助太阳能热水器能效及环境影响 | 72 |
| 5.4 空气源热泵热水器能效及环境影响 | 73 |
| 第 6 章 环境影响评价结果及分析 | 76 |
| 第 7 章 结论 | 79 |
| 致谢 | |
| 参考文献 | |

第1章 绪论

随着全世界范围内能源供应局势日益紧张，以及公众对于安全和环保要求的不断提高，节能产品受到了越来越多的重视。在家电耗能中占较大比重的是采暖、热水器和空调等。尤其热水器作为家用电器中的耗能大户，因此近几年来针对热水器节能的研究不断的在发展。

节能环保是热水器行业发展研究的方向，目前市面上普遍使用的四种热水器（电热水器、燃气热水器、太阳能热水器、热泵热水器）中，电热水器和热泵热水器使用二次能源电能进行供热，其中尤以电热水器能耗最高。我国电力主要由火电厂生产，也就是说运用电热水器加热的能量转换过程是：热能在火电厂中转化为电能，经过长距离输送，在消费者家中将电能转化为热能，这中间会浪费很多的资源。因此从节能的角度出发，逐步淘汰电热水器的大范围使用是有效的节能手段。考虑到特殊情况的存在，在其他热水器的使用受到限制的情况下，可以保留电热水器的使用。

1.1 国际热水器市场的政策

随着能源消耗、环境污染的问题的日益严重，全球的热水制备系统行业是在满足舒适、便捷等基础需求的前提下，其技术是朝着更为节能环保的方向发展。国内外相关部门也采取不同的政策促进节能环保的热水器在市场中扩展消费。

欧盟在 2005 年，发布了节能产品的生态设计要求，即 **EuP** 指令，在 2007 年，制定淘汰电加热热水器路线；在 2011 年，逐步淘汰带电辅助加热的太阳能热水器；在 2013 年，欧洲市场上禁止销售电加热热水器，只允许存在冷凝式燃气热水器、带冷凝式燃气热水器辅助加热的太阳能热水器和空气源热泵热水器销售。

从 1978 年起，美国联邦政府开始全力推动太阳能的利用，联邦政府对装设太阳能系统的住宅补助 50% 的费用；从 1980 年以后财政部制定了能源设备的减税办法；从 2001 年开始美国节能法规定，购置空气源热泵热水器、太阳能热水器等节能环保设备，居民该项支出额的 30% 可以抵所得税，还根据不同地区的能源使用

方式及生活方式，推广太阳能热水器或者热泵热水器的使用。

日本在 1973 年第一次石油危机爆发后，逐渐淘汰燃油热水器，推广使用适于本地实情的燃气热水器。1995 年日本制定了“绿色政府行动计划”，要求新建建筑物要有效地利用太阳能；随着燃气热水器技术的进一步发展，为了更加安全环保的使用热水器，从 2011 年起对每台冷凝式热水器给予 2 万日元的补助，并要求到 2013 年实现本国生产的热水器全部为冷凝式产品。2006 年，日本政府对热泵热水器的补贴预算高达 125 亿日元，比 2004 年增长了 55 亿日元。到 2010 年，日本计划全国热泵热水器的使用量要达到 520 万台。

各个国家都在采取不同的措施来推广使用燃气热水器、太阳能热水器和热泵热水器从而淘汰电热水器，而我国热水器市场中占主导地位的是电热水器。由于环保节能观念的越来越普及，更多的绿色节能产品越来越受到市场的青睐，在政府提倡的节能减排可持续发展政策中，逐步淘汰电热水器将提上日程，但是目前还没有充分详细的数据标定各种热水器的能耗和污染的等级并统一分析，该报告就是针对全国不同地区的环境差异，详细的计算出在不同季节各种热水器的能耗和污染的情况，并统一分析及对比，为政策的制定实施提供详实的理论依据。

1.2 国内热水器的发展

近几年来国内随着热水器在工业与民用建筑中的广泛应用，热水器技术与设备得到了很大的发展。在各种因素的影响下，各种热水器(储水式电热水器、燃气热水器、太阳能热水器、空气源热泵热水器)获得不同程度的发展，且具有各自的发展特色和技术优势。在 2012 年热水器市场相比较家用电器行业整体发展的低谷，仍然实现了销售量 1700 万台的成绩，保持了 10%左右的平稳增长^[1]。据了解，2013 年前三季度，热水器产品的零售量同比增加 5.0%，达到了 2126 万台，其中燃气热水器获得的增幅最大，但电热水器仍然是占有市场的主流^[2]。

热水器的快速发展，无论是电热水器、燃气热水器还是空气源热泵热水器都已经实行了能效等级标识制度。标准推出是可以影响整个热水器市场的，虽然电热水器和燃气热水器的相关标准在一定程度上对提升电/燃热水器产品的能耗水平

起到了一定积极得推动作用,但是对于 2013 年 10 月开始实施的《热泵热水机(器)能效限定值及能效等级》标准中,普通家用空气源热泵热水器设定了“静态加热式 COP \geq 3.4、循环加热式 COP \geq 3.7”的最低能效门槛,而市场上在售的空气能热水器产品所标示的能效,都能够达到甚至超过国家的最低能效要求^①,不能够有效的促进热泵热水器技术的发展及市场的节能要求。

热水器标准能耗计算方法中只针对一种工况下的能耗计算是不够全面的,因为全国各个地区用热量不同,使用时工况不同,而能效等级标识仅仅针对各自的水器之间的比较,并没有将不同热水器之间的能耗对比。为此消费者在面对市场上产品各自的节能宣传时,很容易被误导,例如电辅助太阳能热水器是比较节能,但是在南方某些地区全年少见阳光,电辅助使用时间远远超过太阳能使用时间,这回会造成资源的闲置和能源的浪费;空气源热泵热水器是市场上节能减排的新宠,但是在较为寒冷的东北地区,由于产品技术问题从能耗上来说它的消耗可以达到甚至超过电热水器的耗能。

节能减排的呼声日益高涨,国内外对于节能产品生态设计要求不断的提高,可以预见的是,在未来高耗能产品将不被鼓励生产和使用。热水器产品能效等级的进一步提升将是必然,统一能效评价体系将是最迫切的需求。目前市场上的热水器花样繁多,计算能源消耗有很多不同的方法,但是缺少有效统一的计算及评价方法,这将会影响到整个热水器行业的技术发展,不利于节能减排政策的制定实施。

1.3 研究意义与方法

在现行国家标准中,不同类型的水器采用不同的能效指标,而不同类型热水器的能效指标也往往不能准确比较热水器在不同地区的实际能效水平。热水器在不同地区不同季节实际能效与额定能效存在较大差距,而厂家在宣传时又往往只宣传较高的能效值,造成消费者的困惑和市场的混乱,不利于热水器市场的规范

^① 2014 年国家出台空气能热水器标准, <http://www.chinairm.com>

竞争和技术升级，因此统一家用热水制备系统的能耗标识，使热水器能耗有更加清晰地等级划分，满足消费者和市场的需求。

通过深入挖掘影响家庭热水使用模式的各方面因素，以调研为手段，抽样调查的地理范围为中国大陆，不包括港澳台。研究所指的家用热水设备为所有能为家庭提供高于环境温度水温的热水设备。主要包括锅、热水器、集中供热、电热水壶以及过水热等。研究所指的生活热水主要包括洗浴、洗脸、洗手、洗脚、做饭、洗菜、洗碗以及洗衣服使用的热水，不包括采暖。从家庭热水设备的拥有情况、用水方式、用水量和用水时间规律等多个角度探讨家用热水设备典型用水模式：典型用水模式是指由人口、地域、资源、社会、经济和历史以及其包含的各因素等决定的家庭热水使用的来源、使用时间、使用频率、使用和使用方式等，具有地域及时代的特征和规律。计算出该模式下的用热量；根据建筑热工分区的供水平均温度计算不同季度所需的加热量；从而计算出单个家庭热水使用的耗能量。在这种典型用水模式下，对比不同地区典型家庭使用不同热水设备的能耗情况。

第2章 家庭式用热水量调查报告

国内目前对用水模式研究的主要目的有研究管网用水变化规律^[3]；生活用水结构、节水器具的节水效率以及再生水的使用需求和意愿^[4]；分质供水以及水价的制定^[5]等。关于现阶段用水模式的研究，其对象主要为自来水，数据来源有：统计局发布数据、调研数据、用电磁水表、远传水表远传测数据^[6]。主要数据分析方法有：描述性统计、参数假设检验、回归分析、因子分析、主成分分析、聚类分析、相关性分析和不确定性分析等。

分析工具主要有：Swarm 软件^[7]、SPSS 软件^[8]等。这些研究与用能的研究是分离的，目前专门研究家庭热水设备用水模式的学术著作还没有。国外早在上个世纪八十年代就开始了关于家庭用能的研究。比较典型的是 1981 年美国的市场调查杂志上，David J. Fritzsche^[9] 分析了家庭能耗与家庭背景因素之间的关系。他站在家庭生命周期角度分析得出，家庭收入及家庭成员工作人数控制家庭能源消耗。家庭能耗与家庭规模、年龄分布、性别、职业、收入、消费行为、孩子的数、季节气候、住房及搬家、种、婚姻等均有一定程度的相关性。Marvel Lang 和 James .C. Smith. ^[10]在 1982 年耗时两年做了对于家庭用能的相关研究，其研究方法主要是抽样调查，样本分析及对比研究。调查用以确定在密西西比州的人口之间的社会地位的差异，家庭能源成本的差异，以及社会经济、社会地位的差异对能源消费行为的影响。Koen-Steemers 和 GeunYoungYun 的研究使用的调查的数据是由美国能源部（RECS）在 2001 年做的，该数据集由确切的总能消耗信息和住宅的相关的特征的以及住户的信息，包括 50 个国家地区收集的 4822 套住房，包括哥伦比亚特区的国家。家庭特点以及与户主和相关的信息的了解采用个人采访，能源消耗由能源供应部门提供数据信息，数据包括气候，建筑，居住者的行为、社会经济特点、系统及其能耗。能源署基于实际总能耗、燃料类型以及气候的分析研究得出加热和冷却是占能源需求的最大的部分^[11]。2011 年 9 月 25 日中国代表团到德国波恩大学考察的报告资料显示，家用技术已作为一门学科在那里发展，他们拥有家用设备测试设备，有在实际生活中冰箱能源消耗的模型，对洗碗机、洗衣烘干两用机这类的小设备已有标准或发展后的新标准^[12]。国外的这

些研究较好体现了家庭用能领域的研究特色和方向，主要从总体的、宏观的以及系统的角度来考虑家庭能耗状况^[13-14]。

2.1 基本概念

2.1.1 家用热水设备

本文所指的家用热水设备是：锅、热水器、集中供热、电热水壶和过水热等可以由自己决定开闭的能提供高于环境温度的热水设备。其中，锅是指可以用燃料、燃气或者电作为加热能源，使水变热为家庭所用的器具。热水器指的是电热水器（即热式、储水式）、燃气热水器（快速式、储水式）、太阳能热水器、热泵热水器和厨宝；集中供热指的是安在使用者家庭中并由自己控制何时使用何时关闭或者有统一开闭时间的小区热水供应系统；电热水壶是指一种用于自助烧开水的电烧水设备，一般有水沸自动开关或水沸报警装置；过水热主要是北方采暖家庭通过换热器用供暖热水的热将生活用水由较低温度加热到较高温度，水质可供家庭所有生活热水使用。

2.1.2 典型用水模式

典型用水模式是指由人口、地域、资源、社会、经济和历史以及其包含的各因素等决定的家庭热水使用的来源、使用时间、使用频率、使用和使用方式等，具有地域及时代的特征和规律。

2.1.3 城镇和乡村

一方面，由于本课题利用调研的方式对全国家庭的热水设备的使用情况进行了解，调研必须具有全面性、代表性，城镇和乡村是目前家庭的主要聚集形态，即调研要包含各地区城乡家庭且城乡比例要接近目前的城市化率；另一方面，本研究亦对城乡之间、不同发达程度地区之间的热水使用状况的异同点进行分析了解。基于这两点原因，就有必要将城镇和乡村的概念界定清楚，以便于后续研究。

《统计上划分城乡的规定》规定以我国的行政区划为基础，以民政部门确认的居民委员会和村民委员会辖区为划分对象，以实际建设为划分依据，将我国的地域划分为城镇和乡村。实际建设是指已建成或在建的公共设施、居住设施和其

它设施。城镇包括城区和镇区。城区是指在市辖区和不设区的市，区、市政府驻地的实际建设连接到的居民委员会和其他区域。镇区是指在城区以外的县人民政府驻地和其他镇，政府驻地的实际建设连接到的居民委员会和其他区域。与政府驻地的实际建设不连接，且常住人口在 3000 人以上的独立的工矿区、开发区、科研单位、大专院校等特殊区域及农场、林场的场部驻地视为镇区。乡村是指本规定划定的城镇以外的区域。^[15]

（1）城镇

根据政治地位、经济实力、城市规模、区域辐射力等将城市划分为一线城市、二线城市、三线和四线城市及其他地区。在探究具体划分前，需要将这里表达的两个词“城市”和“城镇”的含义讲清楚。第一，基于《统计上划分城乡的规定》中“以我国的行政区划为基础，以民政部门确认的居民委员会和村民委员会辖区为划分对象，以实际建设为划分依据，将我国的地域划分为城镇和乡村”的规定，可以确定这里的“城镇”与划分一、二、三、四线城市的“城市”相比包括的范围大，但由于三、四线城市的兜底性，导致这两者阐述的范围基本相当。第二，由于这是相对概念意义上的划分，并且随着时间的变化可能会逐渐变化，官方并没有给出相关定论，但基于此种划分有一定的合理性、有助于理解及简化研究结构，因此我们采用这种形式的划分。结合众多关于一线、二线、三线和四线城市划分的说明，本文的具体划分结果如下所示：

a 一线城市

一线城市指的是在全国政治、经济等社会活动中处于重要地位并具有主导作用和辐射带动能力的大都市。其主要体现在城市发展水平、综合经济实力、辐射带动能力、对人才吸引力、信息交流能力、国际竞争能力、科技创新能力、交通通达能力等各层面，一线城市在生产、服务、金融、创新、流通等全国社会活动中起到引领和辐射等主导功能。中国的一线城市是：北京、上海、广州、深圳。

b 二线城市

二线城市指对本国的经济和社会具有较大影响作用的大都市，相对于一线城市影响小些，主要是地域性影响。在城市规模、基建、文化、消费等层面，二线城市一般均领先于本区域其他城市。主要二线城市由除京沪穗深四大一线城市以

外的省会城市、直辖市、副省级城市、经济特区、计划单列市、国务院批准的“较大的市”构成。

c 三、四线城市

三、四线城市是指除了上述一、二线城市的其他城市。

(2) 乡村

针对城市来说，乡村是以从事农业为主要生活来源、人口较分散的地方。一般认为乡村的人口密度低，聚居规模较小，以农业生产为主要经济基础，社会结构相对较简单、类同，居民生活方式及景观上与城市有明显差别。

2.1.4 建筑热工分区

我国地域辽阔，不同气候区的室外气候环境有较为明显的差异，划分建筑热工分区的目的是为了保证建筑热工方面的设计与各地区气候相适应，保证室内基本的热环境要求的同时也较好的符合国家节能排政策，提高经济能源效益。原则上讲，不同气候地区因其室外温湿度等情况的不同会导致家庭用水习惯及偏好的不同，故本文研究的热水设备使用模式较为关注气候地区间热水使用模式的异同点。建筑热工设计分区是根据建筑热工设计的要求进行的气候分区。主要依据以空气温度为主的因素考虑气候的情况。以全国各地区最冷月（1月）和最热月（7月）的平均空气温度为主要的分区指标，以该地区累年日平均温度 $\geq 25^{\circ}\text{C}$ 和 $\leq 5^{\circ}\text{C}$ 的天数作为辅助的主要的考虑因素和指标，将全国31个省、市及地区划分为5个典型气候区域，按照纬度的变化依次为：严寒地区、寒冷地区、夏热冬冷地区、温和地区和夏热冬暖地区^[16]。

2.2 家庭热水使用模式调研

科学的调研不是随意的调查，对于全国范围的样本总体如此巨大的家庭调查，本研究只能采用抽样调查的方式。调研方案及执行的科学性直接决定了调研获取样本的科学性、代表性和说服力度。为使调研样本家庭能在全国家庭中具有更强的代表性，调研结果能更好的推及全国范围家庭的情况，本章主要做了如下几方面的工作：基于对家庭热水使用活动及其影响因素的分析设计本调研使用的调查

问卷；利用对样本总体分析，基于抽样调查基本理论确定的合理的抽样方案；结合抽样方案及调研手段制定有力的调研执行策略，以尽力避免调研误差源的干扰，保证调查的顺利的进行；最后使用软件 SPSS（Statistical Product and Service solutions）描述性统计分析结果对调研所得的有效样本进行代表性检查和结构性检查的质评估。

2.2.1 用水活动的理论分析

主要针对洗浴、洗脸、洗手、洗脚、做饭（煮饭、洗菜、洗碗）和洗衣服这六项终端生活用水活动进行逐个研究分析，结合各用途、用水历史发展情况，在理论上探讨现阶段基本生活用水的用水、用水方式、温度及时间规律。为初期问卷的设计以及后续相关分析奠定理论基础。

（1）洗浴

随着生活水平的提高，家庭生活中人们的洗浴方式逐渐由用锅烧水用盆洗，变为公共浴池洗浴，再变为在家庭浴室中洗浴。目前，在家庭中洗浴主要分为淋浴和浴缸洗浴，家庭中无浴缸及淋浴或条件不容许的家庭还有用盆用毛巾擦洗等方式。很多书中关于洗浴温度的说法各执一词，这里列出其中的三种说法，第一种是按照洗浴温度，洗浴共分为四类：热浴（50℃左右）、温浴（20~40℃）、冷浴（5~20℃）以及冷热交替浴，并且不同的洗浴类型有不同的效果，诸如去除污垢和汗液、消除疲劳、促进血液循环等^[17]。第二种是洗澡水的温度超过正常的体温，即 37℃，称为热水浴；低于人体的温度，高于皮肤的温度，即 33℃，叫做温水浴。水温在 34℃~36℃，利于去垢止痒；37℃~39℃，利于消除疲劳；40℃~45℃能舒筋活血，发汗镇痛。洗澡水的温度可因时制宜，例如冬天可选择热水浴，夏天可选用温水浴^[18]。第三种与第二种较为相似，其表述为，热水浴：温度大约为 38℃~40℃，用手试一下，感觉略有点烫为宜。温水浴：温度在 35℃左右，用手试，感到稍热。这是一种比皮肤温度略高，比体温略低，非常适合泡澡的温度。冷水浴：水温大约是 20℃，是三者中健身效果最明显的一种^[19]。关于洗浴时长，各种研究及说法之间的差别比较大。一般来说，洗澡以洗净皮肤为宜，时间过长，不利于身体健康。最佳洗澡时间为 15 至 30 分钟；有研究表明 10 分钟时间是最适宜的时间长度，不能超过 20 分钟^[20]；但还有研究表明，健康人如在温度为 35 摄氏度的水中浸泡 2

小时，出浴后尿就会增多，心脏供血能力增强，体重平均轻 0.5 千克。常泡温水浴，还可使食欲增加，面色变得更红润。由于生活水平的不同，洗澡的方式和频率会有所不同，洗澡的方式、频率、时间和时长也会随着季节、地域的变化而不同，人们洗澡时对水的压力、温度及洗澡时长等的偏好，洗澡时开关水阀的习惯、家人洗浴的频率的一致性，这些都决定了家庭洗浴热水使用的多少、能耗集中程度等。

（2）洗脸、洗手和洗脚

洗脸、洗手和洗脚是通过清洁使得皮肤处于尽可能无污染和无侵害的状态中，为皮肤提供良好的生理条件。一般洗脸频率为日至少 1 次，正常为 2~3 次，还可能更多。洗脸次数多少及习惯会因性别、年龄阶段、职业、受教育水平、地区以及季节等的不同而不同。洗脸的合适水温应在 34℃左右，略高于皮肤温度，但低于体温。洗脸用水有三种方式：用盆洗、水龙头冲洗以及两种结合。洗手次数区别于洗脸，多于洗脸次数，频率和次数多少及习惯会因性别、年龄阶段、职业、受教育水平以及职业等的不同而不同。正常上班工作的家庭及人员可能有较大部分的洗手次数不在家里，并且使不使用热水也因人、因地、因时而异。洗手的三种方式与洗脸的相同。洗脚的频率一般为一天 1 次，也有可能因性别和地域的不同使得频率更高或更低。洗脚的方式也有三种，与洗手洗脸相同。

（3）做饭

做饭用水包括煮饭、洗菜和洗碗用水，其时间一般比较集中和固定。用水能在三餐时间前后，大部分家庭的规律有相似性，并且养成习惯后就会基本稳定。不同地区、职业及年龄的家庭之间在做饭的用水时间及习惯方面可能会有较大区别，但对于单个核心家庭、联合家庭、二人从业家庭及退休家庭等大部分家庭而言，这些用水时间是相对有周期规律的。其用水的时间和主要受家庭成员在家吃饭次数、人数及用能意识有关。洗菜和洗碗也分三种方式：盆洗、水龙头流动冲洗以及这两种结合的方式。洗碗还分手洗和洗碗机洗。做饭、洗菜和洗碗的用水还和生活水平有关，因为这与每餐做菜数以及占用的餐具数有关。

（4）洗衣服

洗衣服的方式主要有：手洗、洗衣机洗和送洗衣店洗。在家庭中完成的主要

洗衣服方式为手洗和洗衣机洗。洗衣活动具有一定的规律性，使得洗衣机的使用时间有其特定规律。至于用不用热水也会因地区、季节或者性别而异，也可能与洗衣机的全自动与否有关。用水的多少可能会与家庭洗衣机的类型有关（波轮还是滚筒）。另外洗衣频率及用水的大小还受家庭成员构成的影响，有需要照顾的老人和小孩的家庭会有较高的洗衣服频率和较大的洗衣服用水。生活水平不仅决定衣物的多少和需要干净的程度，也对家庭洗衣用水的多少有着较大的影响，洗衣店的出现使得生活水平较高的家庭或者有些地区、季节自己不洗衣服或少洗衣服，比如在北方严寒的冬季，羽绒服、大衣等较厚重的衣物即是如此，自己洗费劲可能还洗不好，不如交给专业的洗衣店洗。

（5）其他卫生活动

家庭其他需要使用热水的活动主要涉及家庭卫生打扫、宠物及洗车等，这与生活水平、家庭居住面积、个人习惯以及所处年龄阶段等相关，变动情况较大。鉴于调研内容太大，亦考虑到被调查者的心理承受能力以及其他综合原因，本次调查主要关注前述家庭基本活动的用水情况。

2.2.2 影响因素的理论分析

为了全面考虑影响家庭用水模式的各因素，更好地解释探讨家庭热水设备典型使用模式，本文主要从家庭的本质属性、影响家庭热水使用的直接和间接因素、家庭热水及热水设备的供求博弈和影响消费者家庭行为的内外在因素这四个角度出发来考虑搜索影响典型用水模式的因素。

（1）家庭属性

家庭活动行为主体属性主要包括三个方面：自然属性，社会属性，精神属性^[21]。

自然属性，是指家庭的规模、代数、年龄构成、男女比例和民族等，它们决定家庭热水使用的最基本特点，类型是相对固定的几种形式。不同类型的家庭用水模式有不同的特点；相同类型的家庭的用水模式也会因社会属性和精神属性的不同而有较大差异。

社会属性，是指家庭成员从事的职业、经济收入状况等，它们决定了家庭的作息规律或时空分布，影响家庭的用水时间和用水。其中收入又与职业存在一定相关性，因此职业发展阶段决定了其特有的收入层次水平及作息时间规律。这里

指的收入为城镇家庭的月可支配收入以及农村家庭的月纯收入。

精神属性，是指家庭的受教育程度、用水习惯和节能意识。影响并关系到家庭热水设备使用是否存在不合理或浪费现象。受教育程度会对科学使用以及节能意识的普及起到一定的积极作用。但也有研究表示实际的节能节水与受教育程度呈现负相关关系。

（2） 直接间接影响

人们所有的活动都直接或间接的受到自身或外界的某些因素的影响，一系列的研究^[22]已指出了关于用水行为直接或间接驱动力的一个范围。直接影响因素主要包括：气候/季节的变化、家庭特征（人口、户规模、代数、男女比例、年龄、受教育）、经济（可支配月收入/月纯收入）、居住特点（住房大小、热水设备方便程度）、水资源丰富程度；间接影响因素包括：意识（能源危机意识、节能意识）、对供水方的信任、对周围消费者的信任^[23]、周围人的影响和水价。

（3） 供求博弈

产品、水资源和能源等的供应方和需求方在不断博弈中寻找平衡点，以期获得更多利益的同时也使得社会资源的利用得到不断的优化。根据家庭能源的供求理论以及代谢理论^[24]。首先，国家整体经济的增长，尤其是 21 世纪以来，尤其是“十一五”期间我国 GDP 年均实际增长率达到了 11.2%，家庭收入的普遍增加，人们生活水平的普遍提高，热水设备的使用需求更加广泛；其次，家庭规模的小和住房条件的改善等使得对热水设备的数量需求增大，需求的逐渐加大使得自 1987 年鼎新生产出第一代热水器的形“过热宝”后热水设备和产品技术升级不断的加快，技术升级使得产品价格降低，使更多的家庭有能力支付热水使用支出的所带来的花费，提高了人们的生活质；另外，产品的多样化使得不同类型热水设备适用于气候不同的全国各个地区；不同地区、不同职业的人们有着不同的作息时间，导致了不同家庭或家庭成员热水使用需求时间的不同；用水用能量需求的剧增，引起了能源资源系统峰值时间供应的问题。从供求博弈观点来分析，家用热水设备典型使用模式是一个综合的辩证的发展的问题，不同的时代背景存在着不同的问题，不仅要从各影响因素分离的角度进行讨论，更要从现阶段各因素整体影响的效果来系统的分析。

(4) 内在外在因素

1) 内在因素

现实生活中，消费者的行为表现千差万别，生理及心理活动与特征作为内在因素决定着消费者的行为^[25]。能源资源的消费情况也不例外。生理因素主要是指消费者的生理特征、生理活动等，主要包括人体的年龄、性别以及适应性等方面的内在特征，消费者的一个行为都是以生理活动为基础的，并且通过生理机能的整体协调运动产生和完成的。生理因素的差异可以引起不同的消费需求。以日常洗澡为例，老年人由于活动远远小于年轻人使得其洗澡的频率低于年轻人，因而对水的需求也更少。另外，儿童的洗衣频率一般要高于成年人。心理因素主要包括认识、情感和意志。认识事物的过程是人们的大脑对客观事物的属性及其规律反映的过程；情感过程是指人们在认识客观事物的过程中自觉或不自觉的参杂在其中的情绪和情感的体验；意志过程表现为消费者根据对消费对象感性或者理性的认识自觉或凭直觉确定购买目标，并据此调节购买以及使用行为。这三个心理过程相互联系并共同作用于消费者的生活以及各方面的行为和偏好。通过对一系列的文献研究，作者发现并预测可能对家庭典型用水模式有影响的意识及心理因素主要为，日常消费观念、人们的能源危机意识、人们对周围人是否节能节水的信任和对热水使用的满意度。能源危机意识在一定程度上体现了人们的节能意识，能源危机意识强烈就更有可能去节能节水；在能源危机意识一致的情况下，相信周围的人机构和机构用能用水尽节约的人比不相信的人能更好的去节能，这样人们对加强水资源管理及节约使用的要求日益增长，节约意识也会越来越强；否则，虽有能源危机意识，但依然会放任自流。因为人们会有这样的心理，别人都不节水节能而只有我节省，在经济允许的条件下没有必要；自己贡献的这一点力对国家及世界的“节能排”总体微乎其微，甚至微不足道。基于上述分析，对于践行节能节水，主要在于点滴的积累，在于全社会和大家的一起努力，少投机分子。有道是“不积跬步，无以至千里；不积小流，无以成大海”，了解中国家庭目前的节能意识等的情况，采取一定措施避免出现或导致社会心理学上的对冲行为。

2) 外在因素

个人内在因素通过其生理及心理活动决定了行为的基础，具有一定的主观性，

但也具有一定的客观性，因为与个人相关的各种客观事物即外部因素也通过心理活动间接影响着人们的行为。外部因素主要可分为自然环境因素和社会环境因素。其中自然环境因素包括：气候条件、资源状况；社会环境因素包括：人口环境状况、社会群体环境以及经济政策环境。另外，由于先天遗传因素及后天所处社会环境的不同，人们意识心理活动的特点和风格上的差异也逐渐明显，进而做出不同的价值观选择和行为表现。在生活用水的需求上，这种差异主要体现在国家、地区、家庭及家庭成员之间生活偏好的不同，从而导致的习惯上的用水时间、用水和用水观念等的不同，也产生了不同的用水模式。

按照上述考虑思路和分析，为研究家庭用水模式，把影响家庭用水模式的因素分成两类：一类是需要用调查问卷获得的，主要有家庭热水来源，热水使用频率、时间、方式、温度，一天内使用的人数，用水，用水时长；家庭日常消费观念，热水使用的满意度，能源危机意识，对周围人节能节水的信任度；家庭常住人口数，男女比例，代数组成，收入，主要收入者年龄、职业及受教育程度，家庭所在地点，城乡，民族等。另一类数据是不需调查，直接对各官方数据进行收集整理就可以获得。作为背景因素，本研究主要对全国及地区家庭人口、受教育程度、年龄、户规模、人口代数、月可支配收入、住房类型及面积和民族发展等做以官方数据调研。

2.2.3 问卷设计

(1) 信度及效度理论

调查所获得单个问卷数据必须保证最主要的两点，一是信度，二是效度。信度是在类似环境中提供一致的测数据，答案的差异来自回应者的差异，而不是受其他因素导致的回答的差异或者变化，即偏离事实。保证信度需要做到三点：筛选性提问；回应类型标准化（封闭型问题）；对不同的群体设计不同的问题，以避免理解的差异。效度是答案符合问题所要测的对象，使回应者的报告尽准确。效度保证需要做到：编写能被所有回应者理解的问题；少细节，选择易回忆问题；社会可接受性，易出现明显与社会道德、价值观相关的问题时，注意用词，以防回应者顾忌而不讲客观事实，主观臆断^[26]。

(2) 设计原则和架构

1) 设计原则

根据保证信度和效度需要做的事情以及其他研究工作者的调查方法和经验，本次调查问卷的设计和执行主要遵循如下七个原则：

- a 问题简单、无歧义、易理解；
- b 在被调查者可承受的范围内，尽可能保证调查因素的全面性；
- c 题目及选项设计流畅，符合人们的惯性思维，少被调查者的思考时间；
- d 必要时对相关题目及选项做以说明；
- e 作答方式简单。基本全为封闭式问题，只需点选复选框，唯一需要填写的是个人信息，以区别奖励身份；
- f 比较处的参照标准明确确定，不含糊；
- g 问题客观、无社会偏见。

2) 架构

本研究调查问卷题目和选项的主要由三个部分组成，第一部分为各热水使用活动使用热水的情况，第二部分为意识调查，第三部分为被调查家庭基本信息调查。

3) 调研

2.2.4 调研理论与方法

社会调查分为普查和抽样调查。普查涉及的范围广、对象多，因而具有工作大、耗用时间多、费用昂贵、调查项目少但结果准确的特点；对应的，抽查就可以省力、节财、速度快，适用范围广而且可以获得大的丰富的资料^[27]。根据他们各自的特点，本次调查采用抽样调查。抽样调查的定义有不同的版本，其中，罗纳德·扎加等的定义是抽样调查是从一个定义清楚的总体所抽取的样本中收集信息（通常使用问卷）的方法^[28]。郭强等的定义是抽样调查也称抽查，是指从调研总体中抽选出一部分要素作为样本，对样本进行调查，运用数理统计的原理，根据抽样所得的指标（实际观察数值）来推断总体响应指标，已达到对总体的认识的一种专门性的调查活动^[29]。

(1) 抽样理论

根据抽选样本的方法，抽样调查可以分为概率抽样和非概率抽样两类。概率

抽样是按照概率论和数理统计的原理从调查研究的总体中，根据随机原则来抽选样本，并从数上对总体的某些特征做出估计推断，对推断出可能出现的误差可以从概率意义上加以控制^[30]。概率抽样具体分为如下几种方法，简单随机抽样法、系统抽样法、分层抽样法、整群抽样法、多阶段抽样法、等距抽样、双重抽样、按规模大小成比例的概率抽样和任意抽样。其中，简单随机抽样是按等概率原则从含有 N 个元素的总体中直接抽取 n 个元素组成样本 ($N > n$)^[31]。

非概率抽样是根据人们的主观经验或其他条件来抽取样本，因此这种抽样估计总体情况的准确度就依赖于调查者的经验等，不可避免的会有些偏差。其中有偶遇抽样、判断抽样、定额抽样和雪球抽样等抽样方法，但是由于非概率抽样调查对总体的代表性不好，故一般正式调查不采用，在这里也就不再过多赘述^[32]。

(2) 抽样方案

由于本次调查区域广泛，受到建筑热工分区界限不够明确，一线城市、二线及其他地区难以详细划分等的制约，无法根据相关条件对全国进行分层抽样。因此只能采用随机抽样的方法，抽样的标志为：统计局现行行政区划（31个省、自治区、直辖市）。由于抽样方法选择的限制，就决定了抽样误差的大小，故在此没有必要计算相关误差。

a 样本总体及样本框

本次调查的目的是中国家用热水设备典型用水模式，研究范围为中国大陆，故本次抽样样本总体为中国大陆所有家庭。样本框是中国行政区划的 31 个省、市及地区划分的所有家庭。依据抽样框直接抽取单个家庭。

b 样本数量

1) 样本数量计算

基于本课题研究的目的是，主要对家庭典型用水模式进行研究，重点在于推算总体比例；由于调研问题较多，可借鉴经验较少。综合考虑，我们采用简单随机抽样中推算总体比例的样本规模计算公式 (2-1) 来计算所需样本规模。

$$n = \frac{t^2 \times p \times (1-p)}{e^2} \quad (2-1)$$

式中 n ——初始样本 (个)；

e ——容许的抽样误差 (%)；

t ——置信度对应的临界值；

p ——总体的成数 (%)。

按照统计局发布的数据，2011 年农村家庭计算机拥有率为 17.96%，城镇居民计算机拥有率为 81.88%，并呈逐年增长趋势。保守估计 2012 年农村家庭计算机拥有率 25%，城镇 85%。2010 年人口普查城市化率为 49.68%，按平均增长率估算 2012 年城市化率为 52%，根据全国农村和城镇占比情况，故实际拥有计算机的家庭占比为 $85\% \times 52\% + 25\% \times 48\% = 56.2\%$ ，因此总体成数为 56.2%。我们要求估计值的置信度为 95%，即调查可信度为 95%。查表得 $t=1.96$ ；容许的抽样误差设为 10%；根据 (2-2) 式计算初始样本：

$$n_1 = \frac{t^2 \times p \times (1-p)}{e^2} = \frac{1.96^2 \times 0.562 \times (1-0.562)}{0.1^2} = 95 \quad (2-2)$$

由于调查对象为全国的家庭，总体相对于样本很大，我们需要根据总体的大小对样本进行调整，调整样本 $n_2 = n_1 N / (N + n_1) \approx n_1 = 95$ ；由于本次调查不是简单随机抽样调查，为保证精确度我们的，我们将设计效应值定为 2，即 $B=2$ ，调整样本为 $n_3 = B n_2 = 2 \times 95 = 190$ ；我们还需根据回答率来调整样本，由于我们采用的是网络调研，自愿填答，但也有看到了不愿填答的情况出现，根据其他调查的经验，假设我们的回答率是 90%，即 $r=0.9$ ， $n_4 = n_3 / r = 190 / 0.9 = 211$ ；最后，根据样本的代表性来调整样本，我们至少要保证五个建筑热工分区的代表性，即 $R=5$ ，故 $n_f = n_4 R = 211 \times 5 = 1055$ 。

表 2-1 样本需求数

| 地区 | 样本数 (个) | 地区 | 样本数 (个) | 地区 | 样本数 (个) | 地区 | 样本数 (个) |
|----|------------|-----|------------|----|------------|----|------------|
| 全国 | 1160 | 黑龙江 | 37 | 河南 | 73 | 贵州 | 30 |
| 北京 | 20 | 上海 | 25 | 湖北 | 48 | 云南 | 35 |
| 天津 | 11 | 江苏 | 71 | 湖南 | 53 | 西藏 | 2 |
| 河北 | 58 | 浙江 | 56 | 广东 | 89 | 陕西 | 31 |

| | | | | | | | |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|
| 山西 | 30 | 安徽 | 54 | 广西 | 37 | 甘肃 | 20 |
| 内蒙古 | 24 | 福建 | 33 | 海南 | 7 | 青海 | 4 |
| 辽宁 | 43 | 江西 | 33 | 重庆 | 29 | 宁夏 | 5 |
| 吉林 | 25 | 山东 | 86 | 四川 | 73 | 新疆 | 19 |

为避免调查中可能出现不可预知的情况以及照顾样本地区面积较小家庭数较少的地区，决定另外增加 10%左右的样本^[33]作为可能出现问题的保障和补偿，以保证最终的抽样效果。故总体最终需要获得被抽样家庭的数至少为 1160 个。

2) 样本数量

根据抽样框对各地区家庭的样本数进行简单随机分配，得出各省市实际样本需求数如表 2-1 所示。其中需求样本家庭最多的省为广东省，89 个样本；其次为山东省 86 个家庭样本。样本需求较少的为西、青海、宁夏及海南，均在 10 个以内。从热工气候分区来讲，温和地区样本需求最少，其主要包括四川省东南部，贵州省西南部及云南省。虽然需求样本少，但这些地区相对于东部发达地区较为偏远落后，因此这部分样本家庭数据的获得对本课题的调研是一个很大的挑战。

2.2.5 执行策略

网络站点自主在线调查为主，现场问答式调查为辅：

- (1) 主要是在网络上推广，人们看到消息后自愿进行在线填答问卷；
- (2) 对没有电脑或者不会使用电脑的家庭实施现场问答式实地调研；
- (3) 填答者推荐填答。

赢得合作动机，为了赢得合作，我们主要做了在调研说明中明确了如下五项工作和内容：

- a 调查目的；
- b 引起被调查者的兴趣；
- c 被调查者的收益；
- d 确保所填信息的保密；
- e 调查方是谁。

2.3 样本评估

2.3.1 有效性处理

首先剔除未填答完整的问卷，其次利用问卷设计时设置的基本问题作为隐形逻辑判断标准逐一判断被调查者是认真填答还是随意填写，各问题及选项表达含义详见附录所示。如下七项内容即为衡和判定问卷是否有效的卧底：

(1) 答案选项一致程度较高；

(2) 家庭常住人口数不小于一般洗澡人数及家庭常住人口中女性人数，即第 75 题的值大于第 3 题及第 76 题的值；

(3) 一般的洗澡、洗脸、洗脚、做饭和洗衣服的时间不可能常性的在凌晨 1:30~5:30 期间，即第 4、26、39、48、62 题不可能存在第 2~5 选项，但不排除有些地区有些家庭状况有些活动可能存在 2~5 选项；

(4) 洗澡频率高的月份与洗澡频率低的月份最多容许有 2 个重合，并且处于在频率高低的转换月份，即第 7 题和第 13 题的选项要符合上述相关要求，不能连续重合两个及以上选项；

(5) 洗澡频率高的季节的洗澡频率要高于洗澡频率低的洗澡频率，即第 8 题的选项中频率值要大于第 14 题的选项中频率的值；

(6) 洗衣服频率高的月份与洗衣服频率低的月份最多容许有 2 个重合，并且处于在频率高低的转换月份，即第 64 题和第 65 题要符合上述相关要求；

(7) 洗衣服频率高的季节的洗衣服频率要高于洗衣服频率低的洗衣服频率，即第 66 题的选项中频率值要大于第 67 题的选项中频率的值。

根据如上七条基本逻辑判定，如违反七条中的任何一条的即作为废卷处理。将获得了覆盖全国（除西藏外）30 个省、市及地区的 1501 份完整问卷过有效性检查及筛选，最终得到有效问卷 1277 份。

2.3.2 误差评估及处理

调研所产生的误差主要来自于抽样误差和非抽样误差，我们采用的网络调研与其他调研方法的误差来源及类型相比，有优于其他方法的之处，也有不足之处。如下做以详细分析。抽样误差是指当调查结果与实际情况出现差异时用样本估计

总体值而产生的误差。所有的抽样都必然存在着抽样误差，通常使用样本均值与总体均值以及样本标准差与总体标准差之间的差异来衡抽样误差的大小。按照误差性质分，一种称为系统误差，通常是由于主观因素破坏了随机原则而产生了误差，由调查方法所决定；另一种是代表性误差，是由于随机的抽样导致的偶然性误差^[34]。由于不管是计算误差还是计算方差等都是为了比较选择较好方案、度量工具或者选取参赛选手、生产线等问题，故在这里计算标准误差并无太大意义，唯一值得进行标准误差计算的理由就是为后续研究提供参照。本次调查为不重复抽样，利用 SPSS 得出本次调研总体标准差 $\sigma=3.436$ ，由于相对于样本总体来说，抽去的样本数很小，故 $N \approx N-n$ ，带入 (2-3) 式^[35-36]计算得出本次调研抽样平均误差为 $\mu=0.096$ 。

$$\mu = \sqrt{\frac{\sigma^2}{n} \times \frac{N-n}{N}} \approx \sqrt{\frac{3.436^2}{1285}} \times 1 = 0.09 \quad (2-3)$$

调研结束后衡误差的大小可以用样本本质评估指标来评定，详细情况在此不做赘述，下一小节有较为详细说明。

非抽样误差是指不是由于抽样引起的，包括引起调研误差的其他所有因素。传统调研的非抽样误差众多，可以说每一个环节都可能产生，从抽样框、调查过程、回答率、收回率、回答误差以及人力将调查结果的电子化等。调查过程多少都会受到调查者自身主观的引导或者误导，传统形式的调查容易使得被调查者产生防范心理而导致被调查者难以按照真实情况作答。利用人力将调查结果转化为电子数据将会产生不可避免的错误，这些都将影响最终的调研原始数据及分析结果的真实性和完整性，并且需要花费大的人力、物力和财力以保证上述各个环节的顺利实施。相对于传统调研的上述几个弱点，网络调查有明显的区别与传统调查的特点，有着传统调查不可比拟的优势。首先，从节省人力、物力和财力方面来讲，网络调研需要人员的活动小，需要的物质化资源少，因此相对花费较少；其次，它避免调查过程中调查者对被调查者的干扰，调查过程中只需将过研究的书面材料给予被调查者即可，被调查者接收到的信息标准、一致；另外，由于被调查者出于自愿，故被调查者防范意识及抵触心理降低，可以较为真实作答；最后，网络调

研的调研结果本就是电子形式，不需要在转化，少了数据转换及录入过程中可能产生的错误。

根据相关研究结果，按照网络调研的不同环节，主要有三点非抽样误差：一是抽样框误差；二是无回答误差；三是计误差。根据上述三点，我们都有不同的策略应对。第一，我国网民数已超过 5.38 亿^[37]；另外我们采取了对于不上网或不会上网家庭的询问式调查；还有部分人群填写的是自己家庭情况，但因家庭无互联网而在单位填写。上述三个措施基本上避免了抽样框误差。第二无回答误差，我们在网站程序制定时，设定只要有一道题没有回答将不能提交问卷，并且给予提示，直到填答完所有题目，故第二种误差的问题就完全解决了。第三计误差，这个是在任何调查中都无法避免的，由于缺乏验，也无相关可借鉴验，本次调查家庭总用水一题答案水区间段太少，不够细化，应该在 9 立方米以上用水量再多分几个区间段。但是由于人们对家庭活动用水总量不可能非常准确的回答，因此属于一个半定性半定量意义的问题，加之我们只在总体上把握考虑其统计数的意义，因此这个问题对我们研究家庭典型用水模式的研究本身影响不大。^[38]

2.3.3 样本质量评估

调研结束后，需对采用多种评估指标评估样本与总体的相似性，观察抽取的样本的结构特征与总体各项指标的一致性。对于本次调研结果，我们主要进行代表性检查和结构性检查^[39]。针对本次调研，按照实际样本需求收集完问卷后，除对各地区样本数进行对比观察其代表性外，还要依据问卷中家庭主要收入者年龄占比评估样本结构质量。根据调查前的要求，代表性检查和结构性检查基本满足预期标准。具体对比要素如表 2-2 所示。

表 2-2 地区样本数评估

| 地区 | 样本个数(个) | 实际数量(个) | 变动数量(个) | 变动百分比 |
|----|---------|---------|---------|--------|
| 全国 | 1160 | 1277 | 117 | 10.1% |
| 北京 | 20 | 47 | 27 | 135.0% |
| 天津 | 11 | 17 | 6 | 54.5% |

| | | | | |
|-----|----|----|----|--------|
| 河北 | 58 | 88 | 30 | 51.7% |
| 山西 | 30 | 33 | 3 | 10.0% |
| 内蒙古 | 24 | 16 | -8 | -33.3% |
| 辽宁 | 43 | 36 | -7 | -16.3% |
| 吉林 | 25 | 23 | -2 | -8.0% |
| 黑龙江 | 37 | 36 | -1 | -2.7% |

表 2-2 地区样本数评估(续)

| 地区 | 样本个数(个) | 实际数量(个) | 变动数量(个) | 变动百分比 |
|----|---------|---------|---------|---------|
| 上海 | 25 | 29 | 4 | 16.0% |
| 江苏 | 71 | 81 | 10 | 14.1% |
| 浙江 | 56 | 53 | -3 | -5.4% |
| 安徽 | 54 | 47 | -7 | -13.0% |
| 福建 | 33 | 52 | 19 | 57.6% |
| 江西 | 33 | 32 | -1 | -3.0% |
| 山东 | 86 | 111 | 25 | 29.1% |
| 陕西 | 31 | 29 | -2 | -6.5% |
| 甘肃 | 20 | 14 | -6 | -30.0% |
| 青海 | 4 | 4 | 0 | 0.0% |
| 西藏 | 2 | 0 | -2 | -100.0% |
| 陕西 | 31 | 29 | -2 | -6.5% |
| 甘肃 | 20 | 14 | -6 | -30.0% |
| 青海 | 4 | 4 | 0 | 0.0% |
| 宁夏 | 5 | 4 | -1 | -20.0% |
| 新疆 | 19 | 45 | 26 | 136.8% |

从 31 个省、市及地区的样本评估结果来看，整体数量较好的满足了要求。从各地区分别来看，北京、河北、福建、山东、四川和新疆地区样本家庭比预期多了 20.0% 以上；内蒙古、辽宁、安徽、海南和甘肃五省比预期少了 20.0%~30.0% 的样本。综合看来，同一热工气候分区样本予以替补可满足本调研对样本的需求。

样本的结构性检查结果如表 2-3 所示，各个年龄阶段的家庭样本数和实际状况稍有偏差，但基本满足了本研究对各年代出生及思想观念家庭的用水习惯偏好等要求，年龄的结构性检查效果较好，可以较好的满足研究需求。另外，我们对家庭民族、职业情况的调查显示，被调查者家庭来自按统计局划分的 19 个行业，除汉族外，还包括蒙古、回、满、彝、维吾尔和苗等少数民族。

表 2-3 年龄样本数评估

| 出生年代 | 年龄 | 需求数 (个) | 需求比例 | 实际数量 | 实际比例 | 数量变动 | 比例变动 |
|--------|---------|---------|------|------|-------|------|-------|
| 90 年前后 | ≤28 岁 | 190 | 18% | 239 | 18.6% | 49 | 0.6% |
| 80 年前后 | 29~38 岁 | 264 | 25% | 269 | 20.9% | 5 | -4.1% |
| 70 年前后 | 39~48 岁 | 359 | 34% | 503 | 39.1% | 144 | 5.1% |
| 60 年前后 | 49~58 岁 | 211 | 20% | 229 | 17.8% | 18 | -2.2% |
| 50 年前后 | ≥59 岁 | 32 | 3% | 37 | 2.9% | 5 | -0.1% |

2.4 中国家用热水器典型使用模式

对于家用热水设备典型用模式的分析主要分为三个层面，第一，基于各家庭热水使用活动和设备的总体情况分析；第二，探究不同城市级别和建筑热工分区

的典型用水模式的异同点；第三，挖掘家庭基本主客观情况与典型用水模式的相关性以及影响趋势。其中，按照地区发达级别将全国细分为三个类型，即一线城市及周边地区、二线城市及周边地区和三线城市及其他地区；按照建筑热工分区将全国划分的五个分区，即严寒、寒冷、夏热冬冷、温和和夏热冬暖地区。具体见绪论基本概念界定内容部分。主要利用 SPSS 软件对获得的 1277 份有效问卷数据进行描述统计分析、方差分析以及相关性分析。最终使用归纳总结法得出典型家庭及热水设备典型用水模式。

研究各地区典型模式的异同点主要使用单因素方差分析 ANOVA 观察其多重检验结果，ANOVA 主要用来推断多个总体均值有无差异。方差分析的基本过程^[40]为先建立基本假设： H_0 ：总体均值相等； H_1 ：至少有一对总体均值不相等。然后将总离差分解为组间离差和组内离差并构造 F 统计。在给定的显著性水平下查得临界值，当 $F <$ 临界值时，接受原假设；当 $F >$ 临界值时，拒绝原假设。另外，还需检验方差的齐性，故在这里还要用到 Levene 方差齐性检验和 Tamhane's T2 非齐性检验。

研究家庭背景因素与典型用水模式的相关性及影响趋势主要使用 Spearman 等级相关性分析，相关性分析是对变量之间的相关关系的分析，其任务是对变量之间是否存在必然的联系并变动的方向做出真实的判断，测定变量之间联系的密切程度，并检验联系的有效性。

2.4.1 家庭背景分析

本次调查涵盖了 70.8% 的城镇地区和 29.2% 的乡村地区。其中一线城市及周边地区家庭占比 8.7%、二线城市及周边地区 42.9%，其余为 48.4% 的家庭为三线城市及其他地区。各建筑热工分区中严寒地区、寒冷地区、夏热冬冷地区、温和地区和夏热冬暖地区样本家庭数分别为 12.3%、32.0%、36.4%、6.2% 和 13.1%。

(1) 基本状况

根据统计局第六次人口普查数据，家庭人口为三人户的家庭占比 26.9%；两人户的家庭为 24.4%；四人户的家庭占比 17.6%。本次调查得到的家庭户人口数占比情况如图 2-1 所示。其中，三人户家庭占比最多，为 40.0%；其次为四人户家庭的

28.1%；两人户家庭占比为 10.4%。其中，两人户的家庭主要由一代人组成；三人户和四人户主要由两代人组成；五人和六人户的家庭主要由三代人组成。

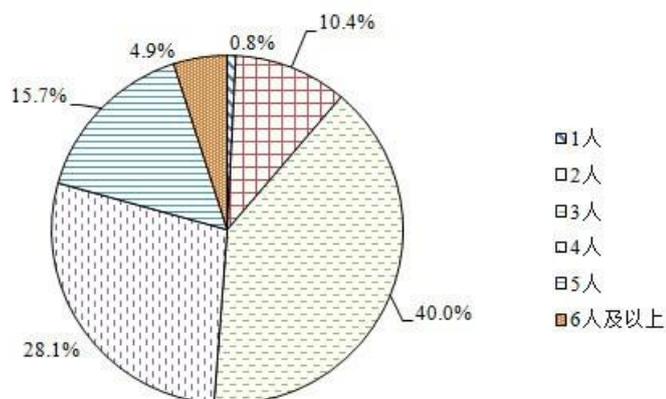


图 2-1 家庭人口情况图

根据家庭代数与家庭收入关系的分析，目前由一代人组成的家庭主要收入者多为 80 后；两代人和三代人组成的家庭中，主要收入者年龄多为四、五十岁；四代人组成的家中除 40~50 岁人群作为家庭主要收入来源者外，80 后已成为家庭的主要经济来源者。本次调查中，家庭主要收入来源者来自各行各业。其中，从事农、林、牧、渔业，制造业，建筑业，信息传输、计算机服务和软件业，批发与零售业，居民服务和其他服务业，教育和公共管理与社会组织这 8 个职业的家庭相对较多。家庭主要收入来源者的受教育状况中受过高等教育的家庭数与受过初等教育的家庭数基本相当。

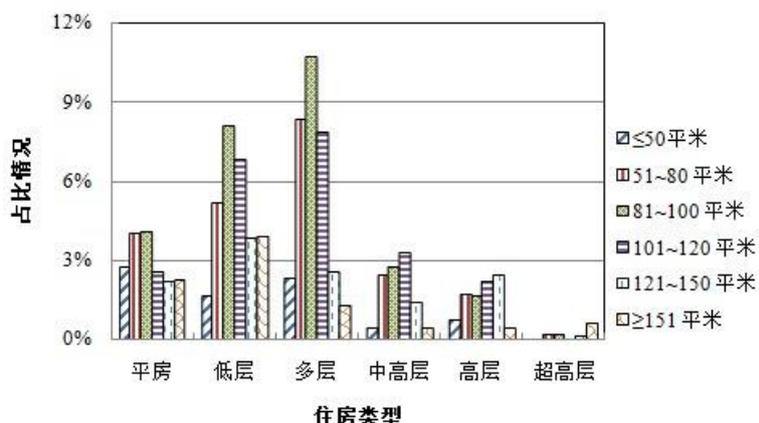


图 2-2 家庭住房情况图

被调查者家庭住房情况如图 2-2 所示。其中，33.0%的家庭住房为 4~6 层的多层，27.0%的家庭居住面积为 81~100 m²。

(2) 消费观念

本次被调查家庭的消费观念情况如图 2-3 所示，61.2%的家庭的日常消费观念为适度消费类型；9.3%的家庭的消费观念较为超前；其余家庭较为保守。

利用 SPSS 软件中的 Spearman 等级相关性分析得知，家庭月可支配收入越高、住房类型越现代化的家庭，其消费观念越趋于超前。家庭月可支配收入和住房类型在一定程度上反映了家庭的经济状况，也可以说，家庭经济条件越好的家庭的观念越趋于适度或超前的消费，人们的担忧越少，能更好的利用资金享受生活。家庭常住人口数和人口代数越多、家庭年龄越大的家庭消费观念越趋于保守，随着社会经济文化的快速发展，人们的生活要求越来越高，而那些人口多、老少抚养比例较高的家庭经济负担较重，生活需要考虑因素较多，并且需要留一部分资金用于庞大家庭的应急等，如果不额外增加收入来源，这样的家庭消费观念日趋保守。另一方面，由于现阶段人们思想观念的开放，并受保险行业的逐渐跟进以及房地产泡沫的影响，大多数家庭消费观念逐渐转向或不得不转向适度性消费。

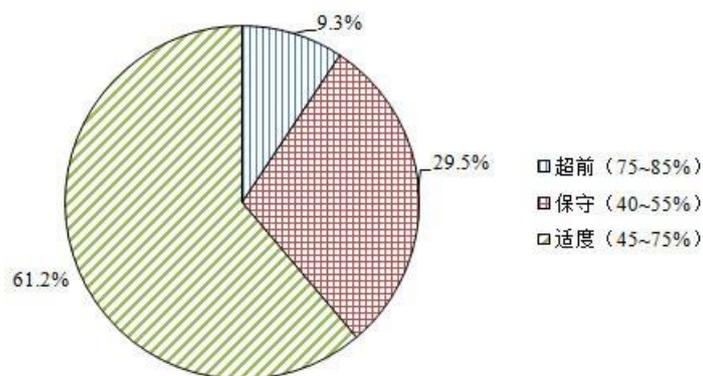


图 2-3 消费观念情况图

(3) 能源危机意识

家庭能源危机意识情况见图 2-4 所示。有 28.7%的家庭认为在百年内能源可能会枯竭；超过 57.0%的家庭认为 100 年后或更长时间能源可能会枯竭；有 13.9%的家庭认为能源不会枯竭。能源危机意识与家庭常住人口数、人口代数之间存在相

关性，家庭常住人口数和人口代数越多的家庭能源危机意识越弱。这说明一个较为普遍的问题，现阶段家庭规模较大、人口数较多的家庭思想观念较为落后，主要由于经济问题等导致受教育等条件有限，沿袭旧的没有更新的能源意识，认识能源问题没有现代核心结构家庭清晰。

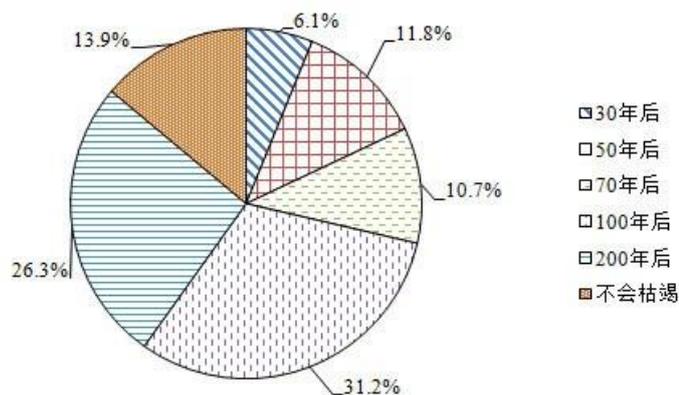


图 2-4 能源危机意识情况图

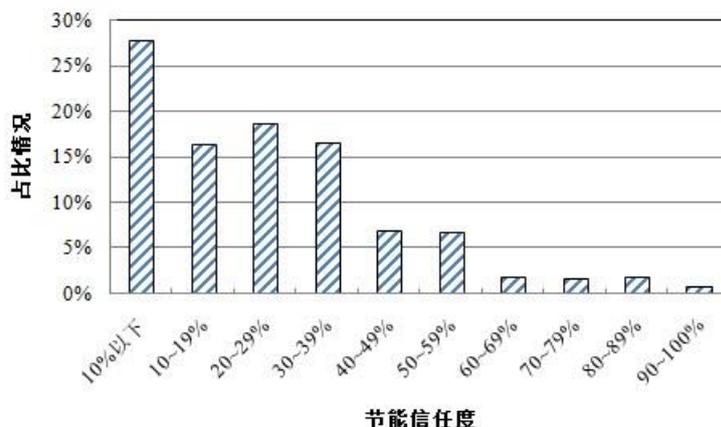


图 2-5 对周围人群节能信任度情况图

(4) 信任度

对周围家庭节能实际行动的信任度情况见图 2-5 所示。全国接近 80.0%的家庭认为周围人真正践行节能的占比不足 40.0%；甚至有 27.9%的家庭认为周围家庭真正做到行动节能的不足 10.0%。

家庭对周围人群节能的信任度与家庭人口代数、年龄、月可支配收入、受教育水平以及住房类型均存在相关性。主要表现为家庭人口代数越多、年龄越大、月可

支配收入越多、受教育水平越高、住房类型越现代化的家庭对周围人群的节能信任感越强烈。从另一个方面可以解释为家庭人口代数越少、年龄越小、月可支配收入越少、受教育水平越低、住房类型越古老的家庭对周围人群的节能信任感越弱。仔细分析这主要是人们对社会不公平的感知而导致的信任感缺失。因为家庭规模大、经济条件等较好的家庭的各种需求多，用能设备必然多，耗能也较大，即便有节能的意愿，但是鉴于经济上可以支付的起，节不节能只是思想上是否有所约束和自觉，落实到行动有相当大的惰性阻力。那些家庭人口代数越少、年龄越小、月可支配收入越少、受教育水平越低、住房类型越古老的家庭本来用能就少，还要承受同样的能源价格上涨，担负同样的节能排责任。人们就必然产生对用能较多家庭是否真正落实节能行动怀疑，导致对周围家庭的信任度较低。

(5) 热水使用满意度

家庭热水使用满意度情况如图 2-6 所示，有 45.9% 的家庭感觉目前使用热水方面的情况还不错，有一定的幸福感。热水使用率越高、平均每次用水量越多、用水频率越高的家庭热水使用满意度越低。另外，用水方式、温度等也会影响热水使用的满意度值。这在一定程度上要求企业能研发出更加舒适、更加贴合消费者使用的热水设备、供水系统及供水方案来满足家庭消费不断增长的需求和更高的要求。

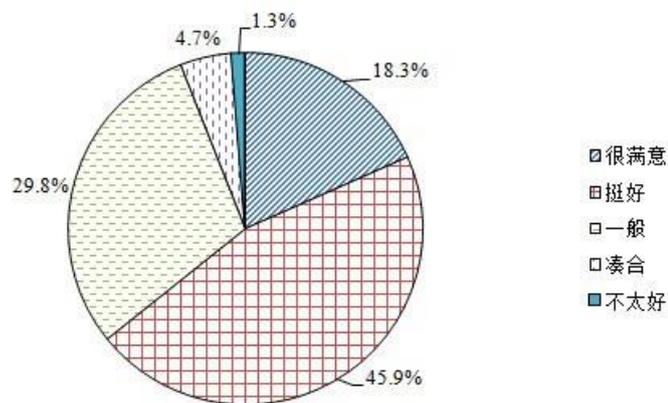


图 2-6 热水使用满意度情况图

2.4.2 家庭用水模式分析

对家庭用水模式的分析主要分三个方面：一是分析洗澡、洗脸、洗手、洗脚、做饭洗菜、洗碗及洗衣服活动的热水设备使用及偏好等情况。二是基于各地区家庭

情况分析热水使用及偏好的异同点。三是分析热水使用偏好与家庭背景因素的相关性。热水使用及偏好的重点为：各项家庭活动的热水使用率、热水设备使用、用水时间、用水方式以及用水频率等情况。

(1) 热水使用率

调研数据显示，全部家庭成员都使用热水洗澡的家庭占比最多，为 84.3%；其次是洗脚，占比为 64.8%；然后是洗脸，占比为 28.0%；排在最后的是洗手。家庭洗手、洗脸、洗脚和洗澡活动使用热水的情况如图 2-7 所示。其中，目前洗手会使用热水的家庭接近 84.0%。相比之下，只有不足 1%的家庭洗澡不使用热水；不足 3%的家庭洗脚不使用热水；5.6%的家庭洗脸不使用热水。家庭洗手、洗脸、洗脚和洗澡的热水使用率主要与家庭消费观念、对周围家庭节能的信任度、月可支配收入以及家庭住房类型有较为显著的相关性。消费观念越保守的家庭其家庭成员洗脚时的热水使用率越高。对周围家庭节能信任度越高，家庭成员洗脸、洗脚时的热水使用率越高。家庭住房类型越现代化的家庭，家庭成员洗澡时的热水使用率越低；洗脸的热水使用率越高。需要解释的一点是家庭月可支配收入越高洗澡热水使用率越低，这可能主要是由于收入越高的家庭更有条件，也会更加注重冷水浴的保健作用的原因。

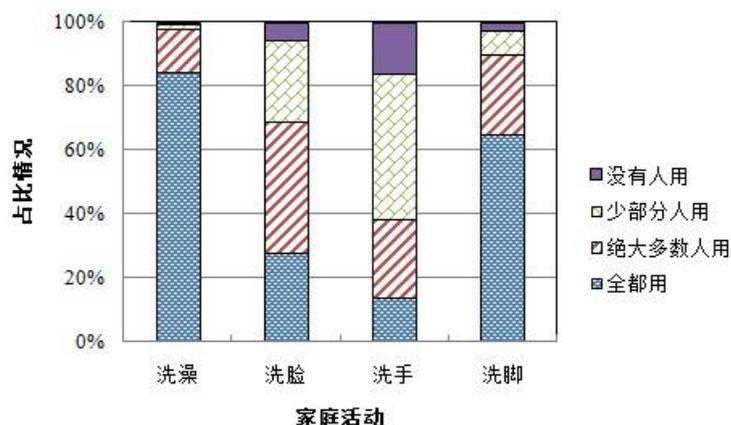


图 2-7 中国家庭活动热水使用率情况图 (1)

家庭做饭、洗碗、洗菜和洗衣服活动使用热水的情况如图 2-8 所示。目前，有超过 85.7%的家庭做饭会使用热水，与有 72.8%的家庭洗菜会使用热水相比，洗碗

使用热水家庭超过其近 18 个百分点。洗衣服使用热水的家庭占比约为 75.0%，其中什么时候都使用热水和大多数时间使用热水的家庭占比共为 15.0%。

家庭做饭和洗衣服热水使用率主要与家庭月可支配收入、家庭住房类型有较为显著的相关性。家庭月可支配收入越高，做饭、洗衣服热水使用率越高。家庭住房类型越现代化的家庭，洗澡热水使用率越低；而做饭、洗衣服热水使用率越高。各级城市及周边地区中，家庭洗澡和洗脸的热水使用率无本质区别，但一线城市及周边地区家庭洗澡热水使用率高于二、三线城市及其他地区。其中一线城市及周边地区家庭成员洗澡全都使用热水的家庭占 87.7%；二线城市及周边地区家庭 84.9%；三线城市及周边地区家庭 83.2%。一线城市及周边地区洗手和洗脚的热水使用率较低。一线城市及周边地区超过 28.0%的家庭表示洗手一般不使用热水；三线城市及其他地区这一比例为 16.2%；而二线城市及周边地区仅有 13.6%。一线城市及周边地区有 7.0%的家庭洗脚不使用热水；二线城市及周边地区只有约 1.0%的家庭不使用热水。一线地区在做饭和洗衣服过程中热水使用率最低。有超过 28.0%的家庭什么时候做饭都不使用热水；洗菜时不使用热水的家庭超过了 40.0%；有 9.0%左右的家庭什么时候洗碗都不使用热水。一线城市及周边地区洗衣服不用热水的家庭接近 40.0%。

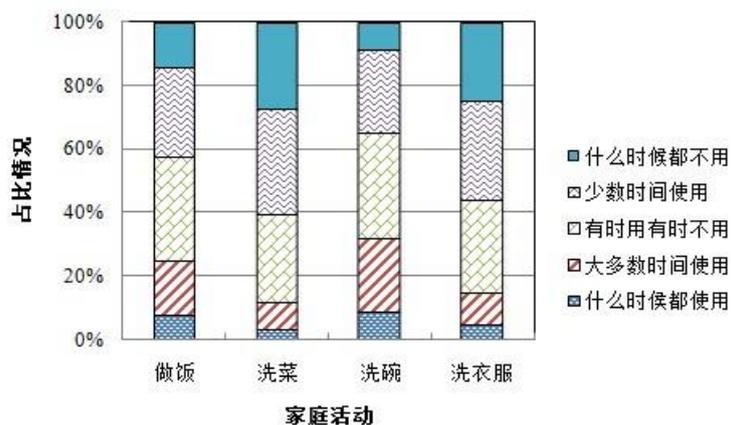


图 2-8 中国家庭活动热水使用率情况图 (2)

各建筑热工分区中，严寒地区家庭成员全部使用热水洗澡的家庭占比最多，为 88.0%；夏热冬暖地区最少，占比为 78.5%。随着家庭地理位置由北往南，家庭洗脸使用热水率占比先增大后小：夏热冬冷地区家庭洗脸基本都会用到热水，而夏热

冬暖地区有 63.0%家庭洗脸不使用热水或只有少部分人使用热水。家庭洗手热水使用率随着气候区由北往南的转变越来越小，夏热冬暖地区只有 18.3%的家庭的成员都使用或绝大多数人使用热水。夏热冬暖地区家庭洗脚热水使用率明显低于其他地区，这一地区只有 33.1%的家庭的成员洗脚时全部都使用热水。夏热冬暖地区做饭不使用热水的家庭最多，占比为 32.5%；寒冷地区不使用热水的家庭最少，为 7.6%。随着纬度的变化，从严寒地区到夏热冬暖地区，家庭洗衣服不使用热水的占比由 12.0%增至 54.4%，一半以上时间洗衣服使用热水的家庭占比由 63.9%降至 16.6%。

(2) 热水设备使用情况

各活动使用的热水来自于不同的热水设备，各用途的热水来源情况如图 2-9 所示，目前家庭热水主要来源为热水器、用锅烧水和电热水壶。其中家庭使用热水器作为热水来源的家庭超过 90.0%，用锅烧水的家庭占比为 42.4%；用电热水壶烧水的家庭占 39.6%。各热水设备的使用中，热水器最多的被使用于洗澡；用锅烧水最多的用来做饭；电热水壶最多的也是用来做饭，但洗脸洗手、洗脚和洗衣服使用其作为热水来源或来源之一的家庭占比基本相当，均在 24.0%左右；其余热水来源基本上可以称作补充热水来源，占比很小，均在 6.5%以下。

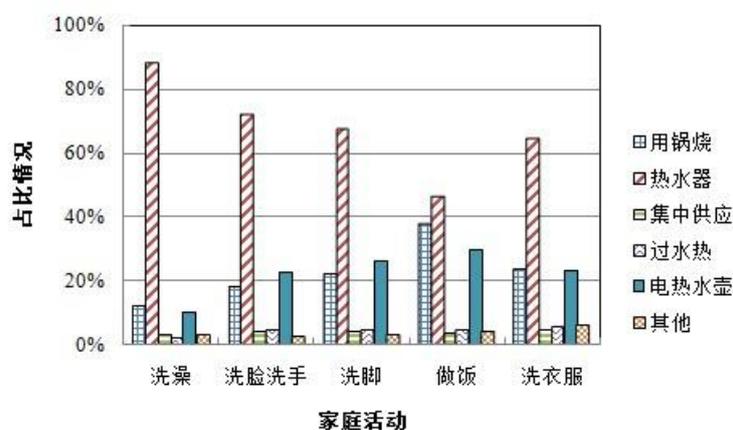


图 2-9 中国家庭活动热水来源情况图

调查数据显示，在用锅烧水、热水器、小区集中供应热水、过水热、电热水壶以及其他热水设备这六种热水来源中，32.0%中国家庭使用其中一种热水设备或热水来源作为家庭基本活动热水的来源，有 43.5%的家庭拥有其中两种作为家

庭基本活动热水来源，其余家庭拥有三种或三种以上热水来源。随着城市级别降低和地区纬度的升高，单个家庭中热水设备种类逐渐显现向多样化发展趋势。

88.4%的家庭的洗澡热水供应来源之一为热水器，而其中有 82.4%的家庭将热水器作为洗澡热水唯一来源。超过 60.0%的家庭的洗澡、洗脸洗手、洗脚、洗衣服用的热水是通过热水器获得的；而在做饭用热水来源中，中国家庭选择用锅烧水、热水器以及电热水壶作为热水来源的占比差异较小，为 40.0%左右。

(3) 用水时间分布情况

a 日使用时间

使用热水的家庭一天 24 小时用水时间分布如图 2-10 所示。一天中，用水高峰时间点为早上 8:00，中午 12:00，晚上 9:00。在早上 8:00 左右主要进行的活动为洗脸和做饭；中午 12:00 主要为做饭；晚上 9:00 进行的热热水活动主要为洗澡、洗脸、洗脚及洗衣服。

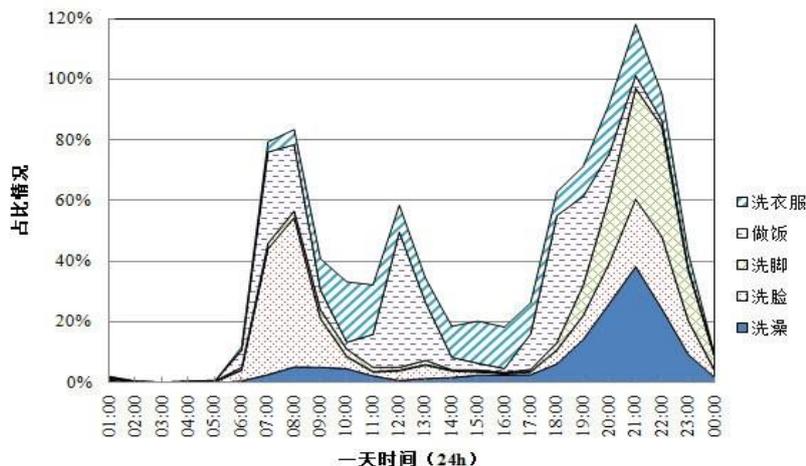


图 2-10 中国家庭热水使用日时间分布图

家庭用水时间分布的堆积面积图显示，以洗澡、洗脸、洗脚、做饭和洗衣服这几项活动为主的家庭活动用水时间主要有三个峰值时间段，按照时间顺序依次为早上 6:00~9:00，中午 11:00~13:00，晚上 17:00~23:00。其中晚间的高峰期的热水使用活动最多，且家庭用热水活动由做饭逐渐转到洗澡、洗脸、洗脚、洗衣服等活动。

b 一周时间分布情况

在洗澡、洗脸、洗脚、做饭和洗衣服这五项活动使用热水的家庭中，按工作日和周末区分，一周内活动时间分布情况如图 2-11 所示。可以明显看出，家庭各

项活动多在工作日的家庭很少，均在 5.0%~8.0%；绝大部分家庭活动在周末和工作日无区别，尤其是洗脸和洗脚，约有 90.0%的家庭在周末和工作日无区别。在周末进行洗澡和洗衣服这两项活动的家庭比例较其他活动多，分别占 30.7%和 45.9%。

各级城市及周边地区中，一线城市及周边地区生活节奏相对较快，人们的生活也较为丰富，而二、三线城市及其他地区时间观念较弱，故各活动在周末和工作日频率上显出与二、三线城市及其他地区的差异。其中，一线城市及周边地区的洗澡、洗脸、洗手、洗脚更接近周末和工作日无区别；其次是三线城市及其他地区；二线城市及周边地区虽偏向周末和工作日无区别但较其他地区更趋近多在周末。一线城市及周边地区做饭偏向于周末更多。

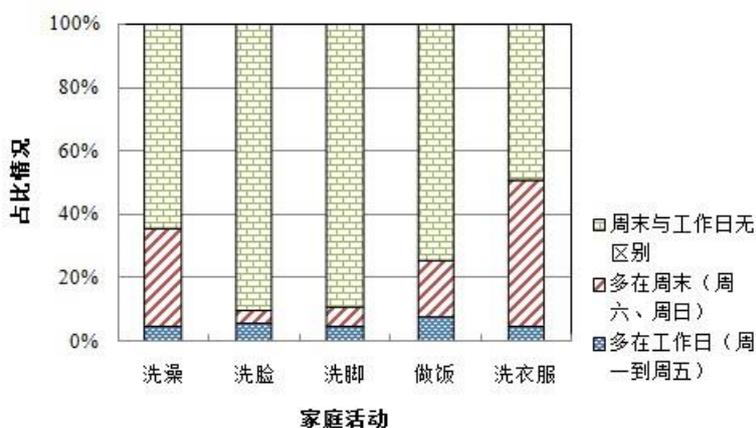


图 2-11 中国家庭热水使用一周时间分布图

c 年时间分布

一年中洗脸、洗手、洗脚和做饭的频率基本没有变化的家庭所占比例均超过了 60.0%，分别为 79.6%、61.9%、68.8%和 77.7%。在洗澡和洗衣服使用热水的家庭中，有 33.6%的家庭在全年各季节洗澡的频率基本没有变化，有 43.8%的家庭在全年各季节洗衣服的频率基本没有变化。在洗澡和洗衣服频率有变化的家庭中，全年的频率变换规律如图 2-12 所示。在图中可以看出，洗澡和洗衣服频率在一年中的变化规律较为相似，5 月份至 9 月份频率较高，11 月份到次年 3 月份频率较低。4 月和 10 月是频率高低曲线的交点，是频率高低的过渡点。虽然洗澡与洗衣服的频率变化规律相似，但是洗澡的频率变化程度较洗衣服明显。例如，超过 80%的家庭在 7 月份洗澡频率较高，但只有 50%左右的家庭 7 月份洗衣服的频率较高。

(4) 用水方式

a 洗澡

我国目前的洗澡方式以淋浴为主。在洗澡使用热水的家庭中，一年中频率有变化的家庭在洗澡频率较高时，使用淋浴方式洗澡的家庭占比为 95.1%；洗澡频率较低时，采用淋浴方式的家庭占比为 83.5%，浴缸洗浴的家庭占比为 11.3%。洗澡频率基本无变化的家庭中，93.7%的家庭使用淋浴，4.7%的家庭用盆擦洗。

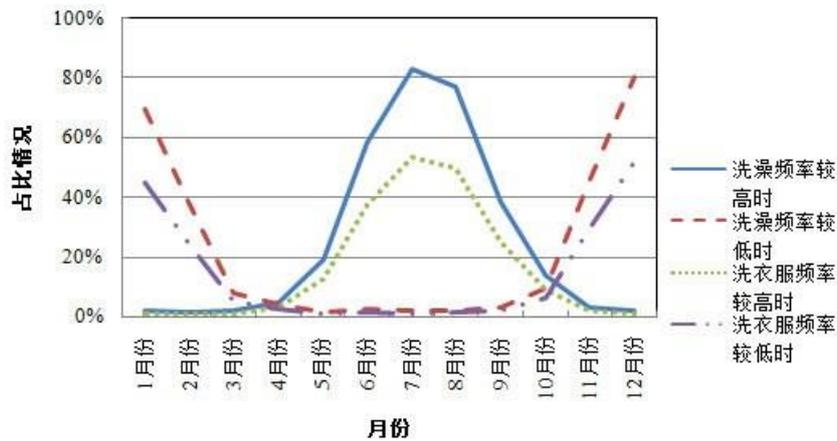


图 2-12 洗澡和洗衣服频率年时间变化情况分布图

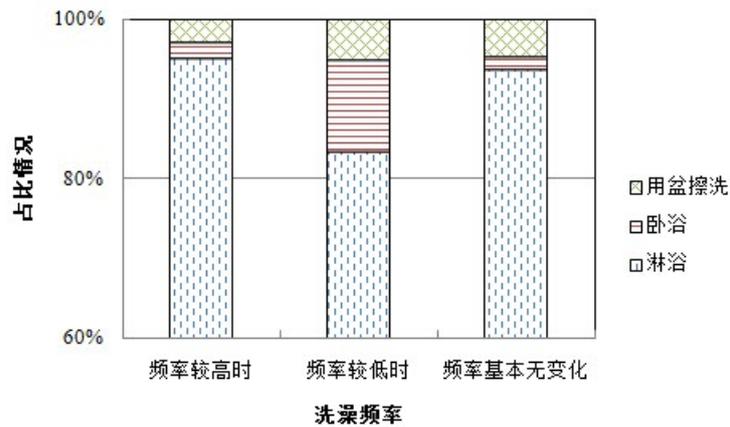


图 2-13 中国家庭洗澡方式占比情况图

一线城市及周边地区基本无用盆擦洗家庭，三线城市及其他地区用盆擦洗的家庭占比为 4.3%。

b 洗衣服

目前我国洗衣服主要采用的方式为手洗、机洗以及两种方式结合的形式。在洗衣服会使用到热水的家庭中，除前三种方式外，其余洗衣服方式只占总体的 7.4%。中国家庭洗衣服方式情况如图 2-14 所示。其中，手洗与机洗结合的家庭最多，占比为 37.8%；其次为机洗，占比为 32.8%；大多数时间送洗衣店洗的家庭占比最少，只占 0.7%。三线城市及周边地区纯手洗衣服的家庭所占比例最高，超过 20.0%；一线城市及周边地区最低，占比为 14.0%。

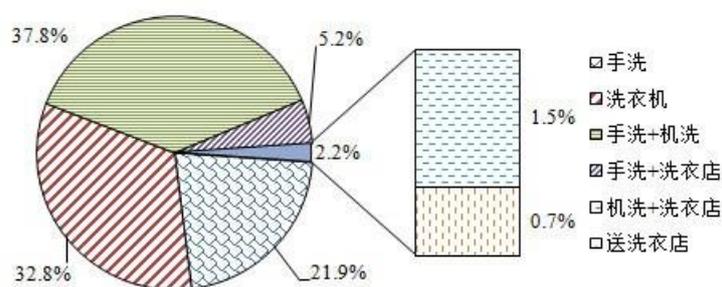


图 2-14 中国家庭洗衣服方式占比情况图

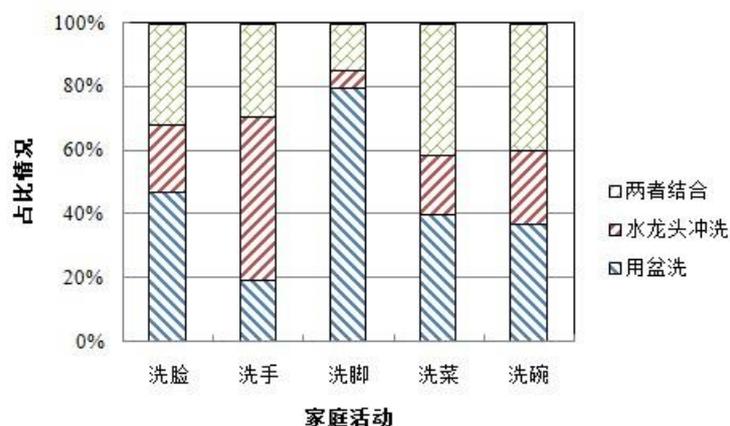


图 2-15 中国家庭其他活动用水方式占比情况图

各建筑热工分区中，夏热冬暖地区的家庭中，主要纯用手洗和洗衣机洗衣服的家庭均较其他地区多，占比分别为 24.9%和 49.7%。寒冷地区洗衣服主要用手洗+机洗的家庭占比为 41.9%，这一数值较其他地区高。夏热冬冷地区家庭使用手洗

+洗衣店方式洗衣服的最多，占比为 6.0%。温和地区采用机洗+洗衣店方式的家庭占比最多，为 8.9%。随着纬度的降低，洗衣方式愈趋于单纯。

c 其他活动

中国家庭洗脸、洗手、洗脚、洗菜和洗碗的用水方式如图 2-15 所示。在各活动使用热水的家庭中，洗脸、洗手和洗脚的用水方式之间均有明显差异，其中有 79.6%的家庭洗脚使用盆；51.2%的家庭大部分时间洗手使用水龙头冲洗；而 46.8%的家庭大多数时间用盆洗脸，32.1%的家庭使用两者结合的方式洗脸。中国家庭洗菜、洗碗具有基本相似的用水式，主要为用盆洗以及水龙头与盆结合的方式。用盆洗菜和洗碗的方式分别占中国使用热水做饭家庭的比例为 40.1%和 36.9%；两者结合的方式分别占 41.4%和 39.9%。各建筑热工分区中，寒冷地区用盆洗手家庭占比最大，为 21.8%，直接用水龙头冲洗的家庭占比最小，为 52.0%。夏热冬冷地区与夏热冬暖地区用盆和水龙头结合洗手的家庭占比约为 30.2%，严寒地区用两者结合的方式洗手的家庭占比最少，为 24.5%。各建筑热工气候区中，纬度越低的地区家庭洗脚方式越多的接近用水龙头直接冲洗或盆和水龙头两者结合的方式。严寒地区家庭洗菜时使用盆洗的占比最多，为 46.2%；温和地区家庭用两者结合的方式最多，占比为 45.6%。

(5) 用水频率及偏好

a 洗澡

洗澡频率情况如图 2-16 所示。在使用热水洗澡的中国家庭中，一年中洗澡频率有变化的家庭洗澡频率较高时，56.1%的家庭一天洗澡 1 次，24.3%的家庭一天 2 次；洗澡频率低时，主要有两种类型洗澡频率的家庭，一种家庭 2~4 天洗 1 澡，占 53.8%；另一种家庭一周洗一次，占 27.6%。洗澡频率基本无变化的家庭中，洗澡频率分布情况与洗澡频率较高时的情况较为类似，但也综合有洗澡频率低时的特点，主要表现出有两个峰值，一个是 49.9%的家庭习惯的一天洗一次澡；另一个是 7.0%家庭的一周洗一次澡。其中，洗澡频率较低的月份，各级别城市中一线城市及周边地区平均洗澡频率约为 2~3 天一次。其他地区为 3~4 天一次。各建筑热工分区中，夏热冬暖地区平均洗澡频率最高，约为 2~3 天一次；其他地区中，温和地区与夏热冬冷地区基本相当，平均 3 天一次；严寒地区与寒冷地区平均约为 4

天一次。66.2%的家庭洗澡频率会发生改变，在洗澡频率会发生改变的家庭中，洗澡时长、喜欢的温度以及用水在不同的家庭有着不同的习惯。有 29.4%的家庭在洗澡频率高和洗澡频率低的月份洗澡花费的时间基本一致，59.0%的家庭洗澡频率高的月份花费的洗澡时间也较长，其余 11.6%的家庭洗澡频率低的月份洗澡花费的时间也短。不足 1.0%的家庭洗澡花费时间较短的月份洗澡用水也较少，11.9%的家庭在洗澡花费时间较长的月份洗澡用水也较多。有 31.0%的家庭不管洗澡花费时间长短洗澡用水基本不变。

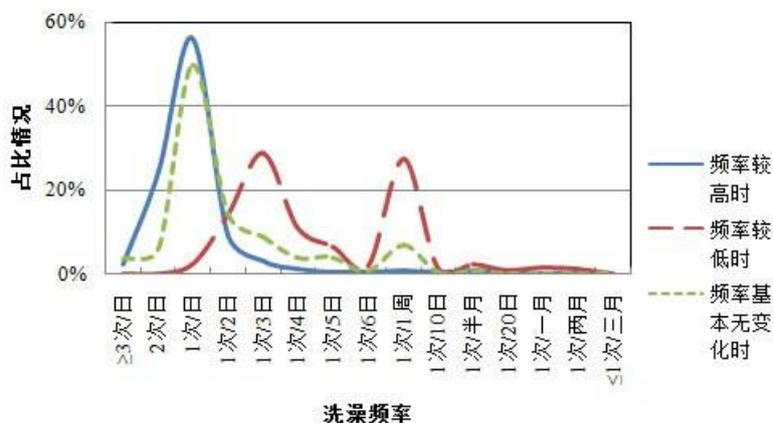


图 2-16 中国家庭洗澡频率分布情况图

洗澡花费时间与偏好温度的关系如图 2-17 所示。在洗澡花费时间较长时，58.0%的家庭喜欢温和一点的温度，有超过 9.0%的家庭喜欢凉一点的温度；洗澡时间较短时，66.0%的家庭喜欢偏热一点的温度。洗澡频率基本无变化的家庭中，57.8%的家庭洗澡时喜欢温和一点温度。

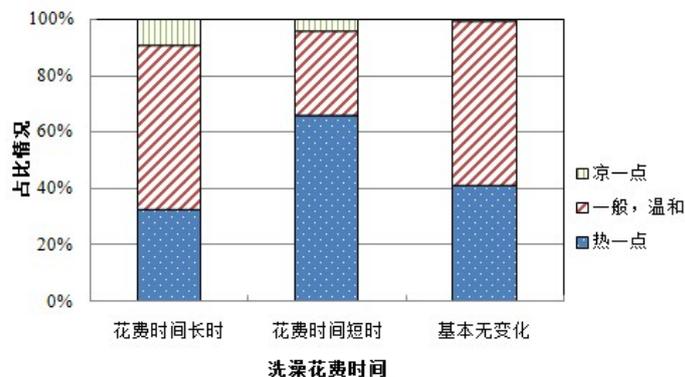


图 2-17 中国家庭洗澡温度的分布情况图

如果借用热舒适度来表达喜欢的平均热舒适温度，用 1 代表热一点，2 代表温和，3 代表凉一点，中间的任一点都代表一个衡温度的数值指标，那么一年中家庭洗澡频率有变化的家庭中，洗澡频率高的时候整体平均需要的温度指标为 1.8，洗澡频率较低时需要的温度指标为 1.4；一年中家庭洗澡频率基本无变化的家庭中，偏好的洗澡温度指标为 1.6。根据第二章关于洗澡的研究，温和的温度略低于皮肤温度，约为 3~37℃，这里取中间值 35℃为大多数人认为的温和温度；热浴温度为 40℃左右，这里取 40℃。即一年中家庭洗澡频率有变化的家庭中，洗澡频率高的时候整体平均需要的温度更接近于温和，平均约为 36℃；洗澡频率较低时需要的温度偏热一点，平均约为 38℃；一年中家庭洗澡频率基本无变化的家庭中，喜欢的洗澡温度介于热一点和温和之间，平均约为 37℃。一线城市及周边地区平均洗澡时间为 20 分钟，二线及周边城市平均为 25 分钟，三线及其他地区平均为 22 分钟。洗澡频率较高的月份，每次洗澡花费时间在 30 分钟之内的家庭随着纬度而降低逐渐增多；洗澡时间在 30 分钟以上的家庭，夏热冬暖地区最少，占比为 6.6%；严寒地区最多，占比为 32.0%。洗澡频率较低时，全国平均洗澡时间为 29 分钟；其中，夏热冬暖地区家庭花费时间最少，为 21 分钟；严寒地区与寒冷地区花费时间相对较多，为 34 分钟；夏热冬冷地区和温和地区平均约花费 36 分钟。洗澡频率四季无变化的家庭平均花费洗澡时间为 24 分钟。其中，夏热冬暖地区平均花费时间最短，为 16 分钟；严寒地区与寒冷地区相对较长，为 31 分钟；夏热冬冷地区和温和地区平均约为 22 分钟。

b 洗衣服

在四分之三使用热水洗衣服的家庭中，洗衣服频率一年 12 个月有变化的家庭占比约为 56.0%。洗衣服频率的情况如图 2-18 所示。洗衣服频率较高时，有 52.4% 的家庭天洗一次衣服；频率较低时，有 29.8% 的家庭一周洗一次衣服，21.7% 的家庭三天一次。一年 12 个月洗衣服频率基本无变化的家庭中，56.3% 的家庭 1~3 天洗一次衣服，22.1% 的家庭一周洗一次。洗衣服频率在一年中有变化的家庭中，频率较高时，各地区平均为 1~2 天洗一次衣服。频率较低时，夏热冬暖地区家庭洗衣服的频率最高，约为 2 天一次；夏热冬冷地区次之，为 3 天一次。洗衣服频率

一年中基本无变化的家庭中，夏热冬暖和夏热冬冷地区洗衣频率较高，为 1~2 天一次；其他地区平均约为 3 天一次。

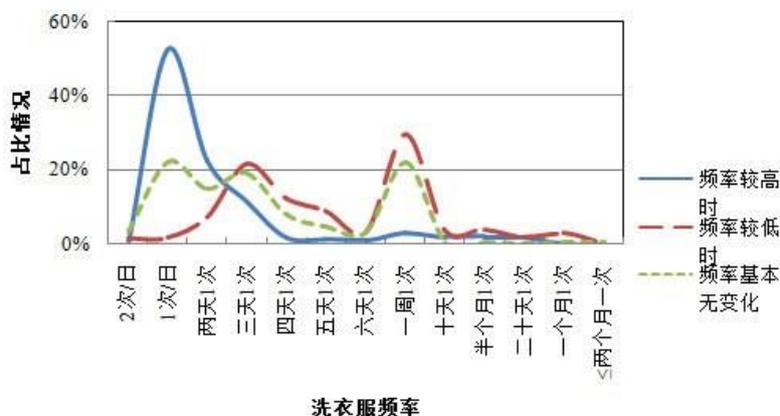


图 2-18 中国家庭洗衣服频率分布情况图

c 其他活动

在其他活动使用热水的中国家庭中，75.3%的家庭平均天洗手 3~6 次，9.5%的家庭每天洗手次数超过 9 次甚至更多。其中，一线城市及周边地区平均洗手频率为 5.1 次/日，二、三线城市及周边地区为 4.6 次/日。夏热冬冷地区平均日洗手频率最低，平均为 4.5 次，寒冷地区和夏热冬暖地区最高，但也只是稍高一点，日约为 4.9 次。64.4%的家庭习惯天洗脸 3 次；16.6%的家庭洗脸次数为 4 或更多；只有 3.2%的家庭每天只洗 1 次脸。天洗 1 次脚的家庭占比为 79.2%；一天 2 次或超过 2 次的家庭占为 6.8%；5.0%的家庭两天洗 1 次脚；其余家庭为三天或更长时间洗 1 次脚。在使用热水做饭的 85.7%的中国家庭中，有 51.5%的中国家庭一天做三次饭，一天做两次饭的家庭占比为 28.7%；一天做一餐的家庭为 10.7%；天做饭四次或以上的家庭不足 1.0%。分别有 33.3%、47.3%和 55.5%一线城市及周边地区、二线城市及周边地区、三线城市及其他地区家庭每日做三次饭。

(6) 用水量

洗澡频率一年 12 个月有变化的家庭中，洗澡花费时间较长的月份平均每次用水为 36.3 L，花费时间较短的月份平均每次用水为 41.0 L；洗澡频率较高的月份平均月洗澡用水为 2895.8 L，洗澡频率较低的月份平均月洗澡用水为 591.2 L。洗澡频率无变化家庭中，平均每次洗澡用水为 34.8 L；月平均洗澡用水为 1999.1 L。中

国家家庭洗澡平均年用水为 19.7 吨，中国家庭平均年洗澡用热水为 18.8 吨。全国家庭年洗澡共用热水为 78.5 亿吨。

中国家庭每次洗脸、洗手平均用水分别为 2.0 L、1.5 L，年均用水分别为 7.8 吨、10.3 吨，年均用热水分别为 5.2 吨、4.8 吨。全国年洗手、洗脸使用热水分别为 21.7 亿吨和 20.1 亿吨。洗脚平均用水分别为 2.4 L，年均用水为 2.8 吨，年均用热水为 2.5 吨。全国家庭年洗脚使用热水为 10.4 亿吨。做饭时，煮饭、洗菜和洗碗平均每次用水分别为 2.7 L、3.1 L 和 3.3 L；家庭年均用水为 2.1 吨、2.4 吨和 2.5 吨；家庭年均用热水分别为 944.7 L、1050.2 L 和 1112.1 L。家庭煮饭、洗菜和洗碗活动的年总用水平均为 6.9 吨，热水为 3.1 吨。全国家庭年做饭使用热水为 12.9 亿吨。洗衣服频率较高的月份，中国家庭平均月洗衣服用水为 684.7 L，洗衣服频率较低的月份平均月洗衣用水为 235.6 L。中国家庭年平均洗衣服用水为 6.0 吨，家庭年平均洗衣服用热水为 2.0 吨。全国家庭年洗衣用水量总为 25.1 亿吨，热水使用为 8.4 亿吨。

根据调查数据，目前 58.3% 的中国家庭在洗澡、洗脸、洗手、洗脚、做饭（包括煮饭、洗菜、洗碗）及洗衣服这六项基本活动中都使用热水。提供热水的设备主要为各类型的水热器、电热水壶和锅。各设备使用峰值时间主要为一年 12 月中的 5~9 月，这 5 个月份中一天中的用热水高峰时间点为早上 8:00，中午 12:00，晚上 9:00。现阶段，超过 83.5% 的绝大多数中国家庭使用淋浴方式。洗澡频率一年间有变化的家庭中，洗澡频率较高时一天洗 1~2 次澡；洗澡频率较低时 2~4 日洗一次。洗澡频率无变化的家庭中，一般一天洗 1 次。我国洗衣服主要采用的方式为手洗、机洗以及两种方式结合的形式；一般洗衣服频率为 1~3 天或一周一次。洗手主要采用水龙头冲洗，一天 3~6 次。洗脚主要采用盆洗，一般一天 1 次。洗脸一般一天 3 次，多以用盆以及用盆和水龙头结合方式。一般家庭一天做 3 次饭。中国家庭洗澡、洗脸、洗手、洗脚、做饭（包括煮饭、洗菜、洗碗）及洗衣服这六项活动年热水使用共 130.3 亿吨，其中洗澡用热水占比为 60.2%。

2.4.3 中国家用热水器典型使用模式

探究中国家庭普遍的用水模式，揭示受错综复杂因素影响背后的相对恒定的热水使用规律，以促成对热水设备使用模式的分析与设定。尽管家庭的背景因素

纷繁复杂，人们的思想意识千变万化，但过基于全国家庭状况数据统计分析，再使用归纳法总结出家庭用水模式，继而得出家用热水设备典型用水模式。研究热水设备典型用水模式的意义主要有三点：一是在于提高能源使用效率^[41-42]，尤其是在高峰和低谷时间段；二是为家用物联网技术发展提供热水供应部分的理论支持；三是在物联网的基础上监测供应能源，尤其在负荷变动较大时。因为家庭热水的使用与家庭生活的状态息息相关，为建立我国家庭热水设备典型用水模式，理论上首先要对我国家庭的典型情况予以归纳分类，然后根据不同典型家庭情况建立不同的用水模式，即设备的使用模式。严格意义上来讲，使用模式和用水模式的时间是有前后之分的。

(1) 典型家庭

结合我国目前及今后家庭的发展状况选取典型家庭，为建立我国家庭典型用水模式以及后续能耗计算工作的进行奠定基础。根据统计局发布的人口普查及调查数据和本章第一小节的分析，本文依据研究目的将我国家庭分为四类典型家庭：一是独立核心家庭；二是辅助家庭；三是夫妻家庭；四是其他家庭。其中，独立核心家庭是指以一对夫妻和一个子女组成的 3 人家庭，夫妻双方均为上班，孩子上学或上班，无保姆。在正常工作日工作时间无人在家活动。辅助家庭是指有老人或小孩的家庭，需要有人专职在家照顾或者一般时间有人在家活动。夫妻家庭是指只有一对夫妻（包括各年龄阶段）生活的家庭，无小孩、无老人。其他家庭是指一对夫妻多个孩子、单亲家庭或者独身家庭。由于夫妻家庭和其他家庭这两种家庭情况较为复杂，为简化影响因素以便于建立用水模式，并且其用水习惯和偏好基本可归为前两种家庭类型的情况，故本章后续内容暂不做讨论。下文中主要讨论独立核心家庭和辅助家庭的情况。

(2) 典型用水模式

虽然被调查家庭的类型众多，但根据本章前两节对调研数据的分析，各地区洗澡、洗脸、洗手、洗脚、做饭洗菜、洗碗及洗衣服活动的热水使用率、热水设备使用、用水时间、用水方式以及用水频率等情况虽有差异，但表现出了趋势的统一性。故以上述分析建立家庭典型用水模式。家庭一天内的用水活动情况为：有 2 人洗澡，平均花费时间为 25 分钟；做饭为三早、中、晚三餐；人洗脸 3 次、

洗手 5 次、洗脚 1 次；家庭洗衣服一次。核心家庭典型用水模式一天内活动的时
间为：早上洗脸时间为

7:00~9:00, 中午为 12:00~14:00, 晚上为 20:00~23:00; 早上做饭时间为 6:00~9:00,
做午饭时间为 11:00~14:00, 做晚饭时间为 17:00~20:00; 洗衣服时间为晚上
18:00~22:00; 洗澡和洗脚时间分别为 19:00~23:00 和 20:00~23:00。

除洗衣服时间外, 辅助家庭用水时间情况与独立核心家庭基本一致。其洗衣
服时间分布在一天中的早上 7:00 至晚上 23:00 之间的所有时刻, 其中较为主要的
时间段为 9:00~11:00, 14:00~17:00, 18:00~22:00; 最高峰的时间为早上 10:00 左右。

故中国家庭的典型用水模式可以由在独立核心家庭基本用水活动及用水时间
的基础上叠加上午和下午两个洗衣服时间段的用水情况得到。基本用水模式为独
立核心家庭用水模式。在此, 将独立核心家庭设定为典型家庭。

(3) 中国家庭热水器典型使用模式

家庭提供热水的设备主要为各类型的水热水器、电热水壶和锅。其中, 有超过
90.0%的家庭使用热水器作为热水来源。故在此依据调研结果可以较好的建立热水
器典型用水模式。热水器的用水模式主要涉及使用热水的用途、用水时间、用水
和用水温度。根据前述分析结果, 由于严寒地区横跨五个时区, 东西部作息时差
较为明显, 本研究主要以东部地区家庭情况为典型做以分析, 西部地区理论上比
东部地区时间晚 2 个小时。本文就依据典型家庭一天内的典型用水活动情况、各
活动的用水时间和用水等建立热水器用水模式。

表 2-4 家庭活动一次用水平均值 (单位: L)

| 地区 | 洗澡 | 洗脸 | 洗手 | 洗脚 | 做饭 | 洗衣服 |
|-------|------|-----|-----|-----|------|------|
| I 区 | 41.1 | 2.2 | 1.7 | 2.5 | 9.3 | 48.2 |
| II 区 | 38.4 | 2.0 | 1.5 | 2.4 | 8.8 | 41.0 |
| III 区 | 36.6 | 1.9 | 1.4 | 2.4 | 9.0 | 43.2 |
| IV 区 | 36.2 | 2.3 | 1.8 | 2.5 | 10.4 | 43.3 |
| V 区 | 42.5 | 2.1 | 1.6 | 2.4 | 9.8 | 36.8 |

用水活动描述主要为: 有 2 人洗澡; 做早、中、晚三餐; 人洗脸 3 次、洗手 5
次、洗脚 1 次; 洗衣服 1 次。用水峰值时间为: 早上洗脸时间为 7:00~8:00, 中午

为 12:00，晚上为 22:00；早上做饭时间为 7:00~8:00，做午饭时间为 12:00，做晚饭时间为 18:00 至 19:00；洗衣服时间为晚上 20:00；洗澡时间为 21:00；洗脚时间为 22:00。

根据调研数据，为更好的考虑和比较不同地区不同热水器（尤其是热泵热水器）的运行及能耗情况，本文以建筑热工分区为划分标准建立家庭热水器的使用模式。综合考虑^[43]，为使表格和文字表述简洁易懂，下文中将建筑热工分区的五个分区严寒地区、寒冷地区、夏热冬冷地区、温和地区和夏热冬暖地区分别用 I 区、II 区、III 区、IV 区和 V 区表示。各建筑热工气候分区家庭各活动平均每次用水情况如表 2-4 所示。根据典型家庭一天内洗脸、洗脚、做饭、洗澡和洗衣服的活动进行的时间及用水，去除没有热水活动的时间段，使用热水器提供热水的典型家庭用水模式如表 2-5 所示。因为洗手时间相当灵活，故未列在内。

表 2-5 热水器典型使用模式

| 时间 | 用途 | 用水量 (L/min) | | | 用水温 度(°C) | 供水量 (L) |
|-------|--------|-------------|---------|------|--------------|----------------------------------|
| | | 夏季 | 过渡 季 | 冬季 | | |
| 7:00 | 洗脸、做饭 | 4.0 | 6.0 | 8.0 | 42.0 | 16.0 15.0 15.0 17.0 16.0 |
| 8:00 | 洗脸、做饭 | 4.0 | 6.0 | 8.0 | 42.0 | 16.0 15.0 15.0 17.0 16.0 |
| 12:00 | 洗脸、做饭 | 4.0 | 6.0 | 8.0 | 42.0 | 16.0 15.0 15.0 17.0 16.0 |
| 18:00 | 做饭 | 4.0 | 6.0 | 8.0 | 42.0 | 9.0 9.0 9.0 10.0 10.0 |
| 19:00 | 做饭 | 4.0 | 6.0 | 8.0 | 42.0 | 9.0 9.0 9.0 10.0 10.0 |
| 20:00 | 洗衣服 | 6.0 | 8.0 | 10.0 | 42.0 | 50.0 40.0 45.0 45.0 40.0 |
| 21:00 | 洗衣服、洗澡 | 8.0 | 10.0 | 12.0 | 42.0 | 130.0 120.0 120.0 115.0 120.0 |
| 22:00 | 洗脸、洗脚 | 3.0 | 4.0 | 6.0 | 42.0 | 14.0 13.0 13.0 14.0 14.0 |

由于季节关系，热水使用率和使用必然存在差异。从表中可以看出，本文将热水使用模式分为三个模式：夏季模式、过渡季模式和冬季模式。一天中三个模式运行单位时间供 42.0°C 的热水不同，体现了用水需求的不同。另外各建筑热工

气候分区各时间段的供水需求按时间分布情况如表右侧数据所示，各区大致相同但也有一定的差异。

2.5 家庭式用热水量

根据调研结果及热水设备典型用水模式为基础，在寿命周期内以单个家庭为单位，计算不同地区使用不同类型热水器的典型家庭热水使用、耗能以及节能潜力，为热水器产业的技术发展及政策制定提供更为详细的数据基础。

为了使民用建筑热工设计与地区气候相适应，保证室内基本的热环境要求，符合国家节约能源的方针，国家标准规定，根据最冷月平均温度、最热月平均温度等主要和辅助指标将全国分为：严寒地区、寒冷地区、夏热冬冷地区、夏热冬暖地区和温和地区。

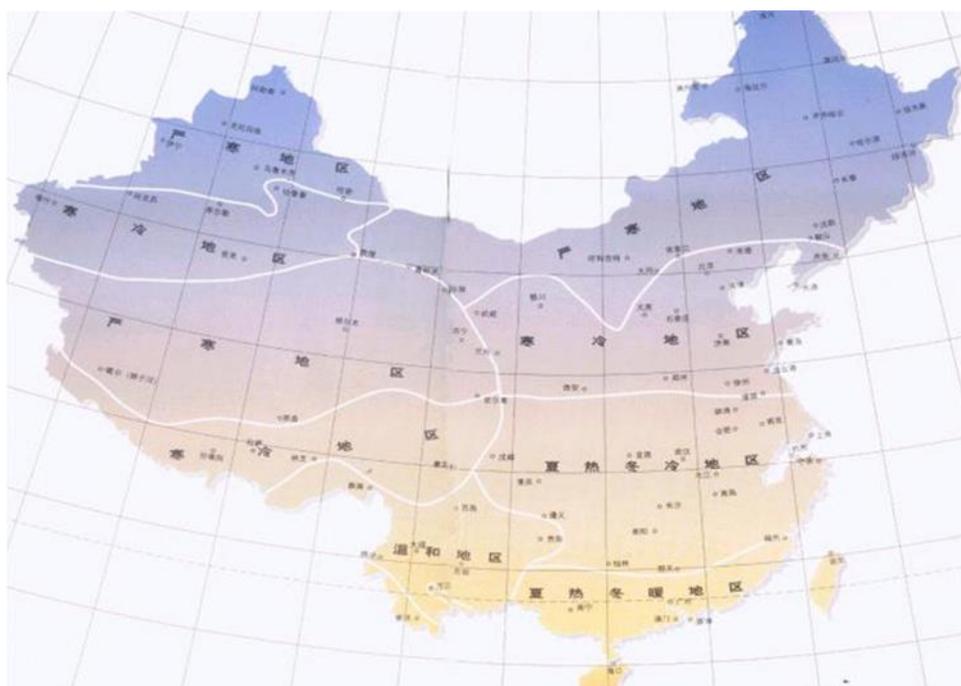


图 2-19 建筑热工设计分区示意图

由于热水器的能效水平受室外环境影响较大，且用户用水习惯也会因地区气候差异有所不同，进而影响到对热水器能效的计算，因此对热水器能耗的计算中需要针对不同建筑热工设计分区的气候条件特点分别进行计算。为使表格和文字

表述简洁易懂，下文中将严寒地区、寒冷地区、夏热冬冷地区、夏热冬暖地区和温和地区分别用 I 区、II 区、III 区、IV 区和 V 区表示。

表 2-6 建筑热工设计分区及设计要求

| 分区 | 分区指标 | | 设计要求 |
|-------------------|--|---|----------------------------|
| | 主要指标 | 辅助指标 | |
| 严寒地区 (I 区) | 最冷月平均温度 $\leq -10^{\circ}\text{C}$ | 日平均温度 $\leq 5^{\circ}\text{C}$ 的天数 $\geq 145\text{d}$ | 必须充分满足冬季保温要求，一般可不考虑夏季防热。 |
| 寒冷地区 (II 区) | 最冷月平均温度 $0^{\circ}\text{C} \sim -10^{\circ}\text{C}$ | 日平均温度 $\leq 5^{\circ}\text{C}$ 的天数 $\geq 90\text{d} \sim 145\text{d}$ | 应满足冬季保温要求，部分地区兼顾夏季防热。 |
| 夏热冬冷地区 (III 区) | 最冷月平均温度 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ ，最热月平均温度 $25^{\circ}\text{C} \sim 30^{\circ}\text{C}$ | 日平均温度 $\leq 5^{\circ}\text{C}$ 的天数 $0\text{d} \sim 90\text{d}$ ，日平均温度 $\geq 25^{\circ}\text{C}$ 的天数 $40\text{d} \sim 110\text{d}$ | 必须满足夏季防热要求，适当兼顾冬季保温要求。 |
| 夏热冬暖地区 (IV 区) | 最冷月平均温度 $0^{\circ}\text{C} \sim -10^{\circ}\text{C}$ ，最热月平均温度 $25^{\circ}\text{C} \sim 29^{\circ}\text{C}$ | 日平均温度 $\geq 25^{\circ}\text{C}$ 的天数 $100\text{d} \sim 200\text{d}$ | 必须充分满足夏季防热要求，一般可不考虑冬季保温要求。 |
| 温和地区 (V 区) | 最冷月平均温度 $0^{\circ}\text{C} \sim -13^{\circ}\text{C}$ ，最热月平均温度 $18^{\circ}\text{C} \sim 25^{\circ}\text{C}$ | 日平均温度 $\leq 5^{\circ}\text{C}$ 的天数 $0\text{d} \sim 90\text{d}$ | 部分地区考虑冬季保温要求，一般可不考虑夏季防热。 |

该研究根据使用热水情况将我国家庭分为四类典型家庭：独立核心家庭、辅助家庭、夫妻家庭和其他家庭。其中独立核心家庭是指以一对夫妻和一个子女组成的 3 人家庭，夫妻双方均为上班族，孩子上学或上班，无保姆。在正常工作日工作时间无人在家活动的家庭。根据调研数据分析，家庭使用热水主要用于洗澡洗脸、

洗手洗脚、做饭洗菜、洗碗及洗衣服等活动，根据这些活动的热水使用率、热水设备使用、用水时间、用水方式及用水频率等指标，结合不同的建筑热工设计分区，给出了典型家庭的热水器典型使用模式、各地区不同工况的供水温度、天数和具体时间划分如表 2-7 所示。根据报告分析结果，中国家庭年均各种用途热水用量，如

表 2-8 所示。

表 2-7 各气候分区不同工况供水温度和时间情

| 季节 | 地区 | I 区 | II 区 | III 区 | IV 区 | V 区 |
|-----|--------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------|
| 夏季 | 供水平均温度 | 15℃ | 16℃ | 20℃ | 18℃ | 22℃ |
| | 年运行时长 | 92 天 | 122 天 | 122 天 | 122 天 | 213 天 |
| | 时间 | 6 月~8 月 | 6 月~9 月 | 6 月~9 月 | 6 月~9 月 | 4 月~10 |
| 过渡季 | 供水平均温度 | 10℃ | 10℃ | 12℃ | 12℃ | 17℃ |
| | 年运行时长 | 91 天 | 91 天 | 91 天 | 121 天 | 61 天 |
| | 时间 | 5 月、9 月、10 月 | 4 月、5 月、10 月 | 4 月、5 月、10 月 | 4 月、5 月、10 月、11 月 | 3 月、11 月 |
| 冬季 | 供水平均温度 | 4℃ | 4℃ | 5℃ | 5℃ | 12℃ |
| | 年运行时长 | 182 天 | 152 天 | 152 天 | 122 天 | 91 天 |
| | 时间 | 11 月、12 月、1 月~4 月 | 11 月、12 月、1 月~3 月 | 11 月、12 月、1 月~3 月 | 12 月、1 月~3 月 | 12 月、1 月、2 月 |

表 2-8 中国家庭年均各种用途热水用量及每日有效次数

| 地区 | 季节 | 洗澡 (L) | 次 数 | 洗 脸 (L) | 次 数 | 洗 手 (L) | 次 数 | 洗 脚 (L) | 次 数 | 做饭 (L) | 次 数 | 洗 衣 服 (L) | 次 数 |
|----------|---------|-----------|--------|---------------|--------|---------------|--------|---------------|--------|-----------|--------|--------------------|--------|
| I 区 | 夏季 | 41.1 | 2 | 2.2 | 3 | 1.7 | 5 | 2.5 | 1 | 9.3 | 3 | 48.2 | 1/3 |
| | 过渡 季 | 41.1 | 2 | 2.2 | 3 | 1.7 | 5 | 2.5 | 1 | 9.3 | 3 | 48.2 | 1/3 |
| | 冬季 | 41.1 | 2 | 2.2 | 3 | 1.7 | 5 | 2.5 | 1 | 9.3 | 3 | 48.2 | 1/3 |
| II 区 | 夏季 | 38.4 | 2 | 2 | 3 | 1.5 | 5 | 2.4 | 1 | 8.8 | 3 | 41 | 1/3 |
| | 过渡 季 | 38.4 | 2 | 2 | 3 | 1.5 | 5 | 2.4 | 1 | 8.8 | 3 | 41 | 1/3 |
| | 冬季 | 38.4 | 2 | 2 | 3 | 1.5 | 5 | 2.4 | 1 | 8.8 | 3 | 41 | 1/3 |
| III 区 | 夏季 | 36.6 | 2 | 1.9 | 3 | 1.4 | 5 | 2.4 | 1 | 9 | 3 | 43.2 | 2/3 |
| | 过渡 季 | 36.6 | 2 | 1.9 | 3 | 1.4 | 5 | 2.4 | 1 | 9 | 3 | 43.2 | 2/3 |
| | 冬季 | 36.6 | 2 | 1.9 | 3 | 1.4 | 5 | 2.4 | 1 | 9 | 3 | 43.2 | 2/3 |
| IV | 夏季 | 36.2 | 2 | 2.3 | 3 | 1.8 | 5 | 2.5 | 1 | 10.4 | 3 | 43.3 | 2/3 |

| | | | | | | | | | | | | | |
|---|-----|------|---|-----|---|-----|---|-----|---|------|---|------|-----|
| 区 | 过渡季 | 36.2 | 2 | 2.3 | 3 | 1.8 | 5 | 2.5 | 1 | 10.4 | 3 | 43.3 | 2/3 |
| | 冬季 | 36.2 | 2 | 2.3 | 3 | 1.8 | 5 | 2.5 | 1 | 10.4 | 3 | 43.3 | 2/3 |

表 2-8 中国家庭年均各种用途热水用量及每日有效次数（续）

| 地区 | 季节 | 洗澡 (L) | 次数 | 洗脸 (L) | 次数 | 洗手 (L) | 次数 | 洗脚 (L) | 次数 | 做饭 (L) | 次数 | 洗衣服 (L) | 次数 |
|----|-----|-----------|----|-----------|----|-----------|----|-----------|----|-----------|----|------------|-----|
| V区 | 夏季 | 42.5 | 2 | 2.1 | 3 | 1.6 | 5 | 2.4 | 1 | 9.8 | 3 | 36.8 | 2/3 |
| | 过渡季 | 42.5 | 2 | 2.1 | 3 | 1.6 | 5 | 2.4 | 1 | 9.8 | 3 | 36.8 | 2/3 |
| | 冬季 | 42.5 | 2 | 2.1 | 3 | 1.6 | 5 | 2.4 | 1 | 9.8 | 3 | 36.8 | 2/3 |

表 2-9 中国家庭年均各种用途热水用量

| 地区 | 季节 | 总用热水 量 (L) | 地区 | 季节 | 总用热水 量 (L) |
|------|-----|---------------|-----|-----|---------------|
| I区 | 夏季 | 13227 | IV区 | 夏季 | 18406 |
| | 过渡季 | 13083 | | 过渡季 | 18255 |
| | 冬季 | 26166 | | 冬季 | 18406 |
| II区 | 夏季 | 16198 | V区 | 夏季 | 33150 |
| | 过渡季 | 12082 | | 过渡季 | 9493.6 |
| | 冬季 | 20181 | | 冬季 | 14163 |
| III区 | 夏季 | 17580 | | | |
| | 过渡季 | 13113 | | | |

| | | | | | |
|--|----|-------|--|--|--|
| | 冬季 | 21903 | | | |
|--|----|-------|--|--|--|

第3章 热水器能耗计算方法

为了便于计算，提出如下简化条件。

- 1) 用户使用的水均由热水器提供；
- 2) 热水器使用范围不包括采暖，仅用于洗浴、洗手、洗脸、洗脚、做饭、洗菜、洗碗、洗衣服等生活用水。
- 3) 同类热水器热效率为统一固定值，根据现行国家标准确定。
- 4) 热水器进出口水温为统一固定值。
- 5) 根据最新标准制定的要求，热水器出口水温为 45℃或 55℃，因此要分别计算两种出口温度下热水器的能效水平，并进行比较。

3.1 电热水器能耗计算

电热水器一般分为储水式热水器和快热式热水器，本文以储水式热水器为算例。因为经过对市场产品的调研统计，储水式电热水器额定容量多在 100 L 以下。根据互联网消费调研中心最新的网络调查^②，到 2013 年 1 月，中国电热水器市场上容量为 60 L 的产品仍然最受消费者的关注，因此本文选取 60 L 为储水式电热水器的额定容量。

表 3-1 储水式电热水器 24 h 能耗系数等级^[44]

| 额定容量 C_R (L) | 24 h 固有能耗限定值(kW h) |
|----------------------|--------------------|
| $0 < C_R \leq 30$ | $Q = 0.024C + 0.6$ |
| $30 < C_R \leq 100$ | $Q = 0.015C + 0.8$ |
| $100 < C_R \leq 200$ | $Q = 0.008C + 1.5$ |
| $C_R > 200$ | $Q = 0.006C + 2.0$ |

根据现行国家标准《GB/T20289-2006 储水式电热水器》的规定，取储水式电热水器的加热效率为 A 级产品标准最低值，即加热效率 $e=0.96$ 。

根据热水器 24 h 能耗限定值要求（表 3-1），取热水器水箱实际容量 $C=C_R$ ，可

^② 源于互联网消费调研中心：<http://zdc.zol.com.cn/356/3561651.html>

得对于 $C_R=60$ L 的储水式热水器，24h 固有能耗限定值 $Q=1.7\text{kW h}$ 。

另外根据 24 h 固有能耗系数 ε 的定义 $\varepsilon=Q_{pr}/Q$ ，同样取 A 级产品最低要求的取值，则可以得到算例热水器的 24 h 固有能耗为： $Q_{pr}=\varepsilon Q=1.02\text{ kW h}$ 。

表 3-2 储水式电热水器 24 h 能耗系数等级^[44]

| 能耗等级 | 24 h 能耗系数 ε |
|------|------------------------------|
| A | $\varepsilon \leq 0.6$ |
| B | $0.6 < \varepsilon \leq 0.7$ |
| C | $0.7 < \varepsilon \leq 0.8$ |
| D | $0.8 < \varepsilon \leq 0.9$ |

根据以上数据准备，可计算不同建筑热工设计分区使用该储水式电热水器的全年能耗并将其折算为标准煤，根据表 2-6 所示全年工况计算热水器全年加热量 Q （单位 kJ）：

$$Q = cm \sum_i t_i (T_{out} - T_{ini}) \quad (3-1)$$

式中：

c 为水的比热容，取为 $c=4.2\text{ kJ}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$ ；

m 为家庭日均用热水量，已有 $m=100\text{ kg}$ ；

T_{out} 为热水器出口水温，按照新国标制定要求取 55°C 进行计算；

T_{ini} 为表 2-7 中各建筑热工设计分区的供应平均温度，即热水器入口水温；

t_i 为各分区不同入口水温对应的全年运行时间，单位为天。

因储水式电热水器将水加热至指定温度后会有保温工作，因此不考虑漏热影响，漏热损失可视作 24 h 固有能耗。

将热水器全年加热量转化为耗电量 W （单位 kW h）：

$$W = 365Q_{pr} + Q/3600e \quad (3-2)$$

当电热水器出口水温分别为 45°C 和 55°C 时，得到各建筑热工设计分区的耗能量的计算结果如表 3-3 所示。

表 3-3 出口水温分别为 45℃和 55℃各建筑热工设计分区耗能

| 地区 | 储水式电热水器用电量 (kW·h) | |
|-------|-------------------|----------|
| | 出水温度 55℃ | 出水温度 45℃ |
| I 区 | 2913.921 | 2370.043 |
| II 区 | 2639.133 | 2140.853 |
| III 区 | 2000.901 | 2002.245 |
| IV 区 | 2596.932 | 2083.566 |
| V 区 | 2296.219 | 1766.634 |

3.2 燃气热水器能耗计算

燃气热水器亦有多种分类，本文选取家用燃气快速热水器作为算例。通过市场产品调研，燃气快速热水器额定容量多在 8 L-24 L 之间，本文选取额定容量为 10 L 的家用燃气快速热水器作为算例。由于燃气快速热水器即开即用，因此不考虑热水器散热问题。

表 3-4 家用燃气快速热水器能效等级^[45]

| 热负荷 | 最低热效率值/% | | |
|-----------|----------|----|----|
| | 能效等级 | | |
| | 1 | 2 | 3 |
| 额定热负荷 | 96 | 88 | 84 |
| ≤50%额定热负荷 | 9 | 84 | — |

由电热水器计算可知家庭全年使用燃气快速热水器所需的加热量。根据现行国家标准《家用燃气快速热水器和燃气采暖热水炉能效限定值及能效等级》(GB 20665-2006)，燃气快速热水器能效等级和热效率值见表 3-4。取 1 级能效产品最低标准，可得燃气快速热水器热效率值为 $e=0.96$ 。

由表 3-4 取天然气平均低位发热量为 $q=38931\text{kJ/m}^3$ ，根据下式将热水器全年加

热量转化为天然气耗气量 V (单位 m^3):

$$V = Q/eq \quad (3-4)$$

将其折算为标准煤耗量 H (单位: t),

$$H = 1.33V/1000 \quad (3-5)$$

当出口水温分别为 45°C 和 55°C 时, 得到各建筑热工设计分区的计算结果, 如表 3-5。

表 3-5 出口水温分别为 45°C 和 55°C 各建筑热工设计分区耗能

| 地区 | 燃气热水器用燃气量 (m^3) | |
|-------|----------------------------|-------------------------|
| | 出水温度 55°C | 出水温度 45°C |
| I 区 | 235.03 | 184.73 |
| II 区 | 209.62 | 163.54 |
| III 区 | 196.07 | 150.72 |
| IV 区 | 205.71 | 158.24 |
| V 区 | 177.91 | 128.94 |

3.3 电辅助太阳能热水器能耗计算

在太阳能热水器的实际使用过程中, 受天气影响较大, 只有太阳能式的热热水系统在阴雨天往往无法达到正常使用要求。根据现行国家标准^③对家用太阳热水系统的分类, 本文选取太阳能加辅助能源式太阳能热水器作为算例, 辅助能源选择为电加热方式, 热水器结构型式为紧凑式。

^③ 《家用太阳热水系统热性能试验方法》(GB/T 18708-2002)

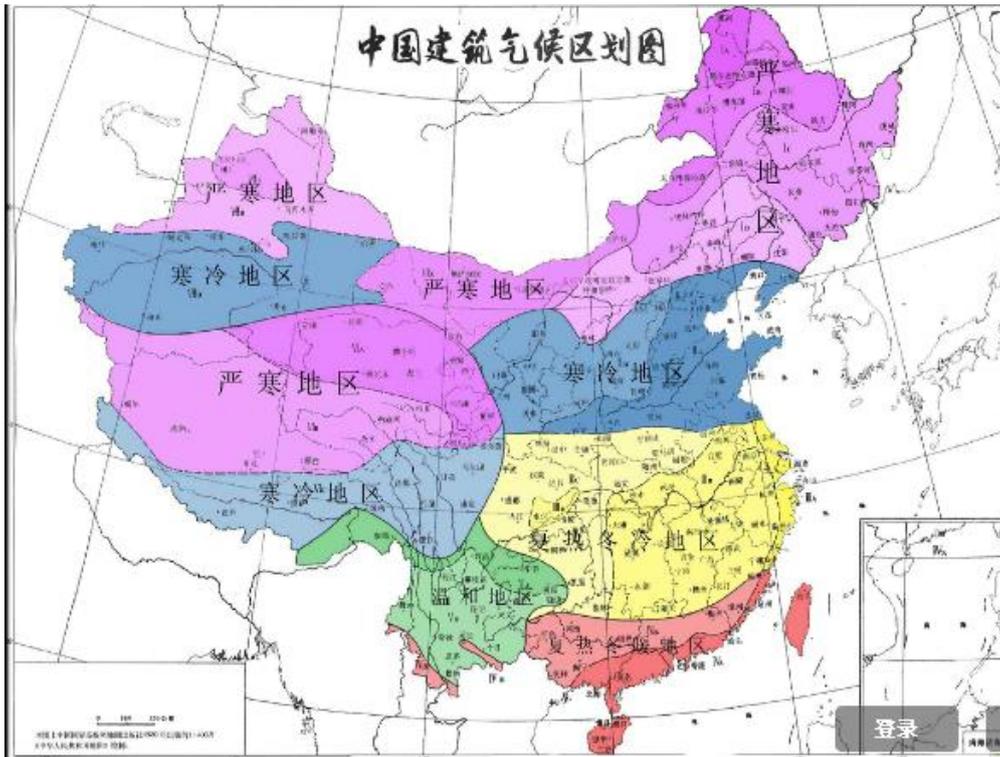


图 3-1 建筑气候分区与建筑热工分区

我国幅员辽阔，有着非常丰富的太阳能资源，根据《建筑气候区划标准》的划分，全国可以分为七个区域，这与建筑气候分区不同。其中七个分区的日照时间及日照百分率可以总结如表 3-6 所示。其中各个地区的雨、雪、雾以及沙尘暴等天气在全年中所占的天数，如表 3-7 所示。

表 3-6 建筑气候区日照时间及辐射强度

| 地区 | 日照时数 (h) | | 年日照比例 | | 年太阳能总辐射照度 (W/m^2) | |
|-----|----------|------|-------|-----|-----------------------|-----|
| | 最小 | 最大 | 最小 | 最大 | 最小 | 最大 |
| i | 2100 | 3100 | 0.6 | 0.7 | 140 | 200 |
| ii | 2000 | 2800 | 0.4 | 0.6 | 150 | 190 |
| iii | 1000 | 2400 | 0.3 | 0.5 | 110 | 160 |
| iv | 1500 | 2600 | 0.35 | 0.5 | 130 | 170 |
| v | 1200 | 2600 | 0.3 | 0.6 | 140 | 200 |
| vi | 1600 | 3600 | 0.4 | 0.8 | 180 | 260 |
| vii | 2600 | 3400 | 0.6 | 0.7 | 170 | 230 |

表 3-7 建筑气候区阴雨天天数

| 地区 | 雨 (d) | | 雪 (d) | | 雾 (d) | | 沙 尘 暴 (d) | | 合计 | | 无日照全年比例 | |
|-----|-------|-----|-------|-----|-------|-----|-----------|----|-----|-----|---------|------|
| | 最小 | 最大 | 最小 | 最大 | 最小 | 最大 | 最小 | 最大 | 最小 | 最大 | 最小 | 最大 |
| i | 60 | 160 | 5 | 60 | 0 | 0 | 0 | 0 | 65 | 220 | 0.18 | 0.60 |
| ii | 60 | 100 | 0 | 15 | 0 | 0 | 1 | 10 | 60 | 125 | 0.16 | 0.34 |
| iii | 150 | 200 | 1 | 14 | 0 | 0 | 0 | 0 | 151 | 214 | 0.41 | 0.59 |
| iv | 120 | 200 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 120 | 200 | 0.33 | 0.55 |
| v | 100 | 200 | 0 | 15 | 0 | 100 | 0 | 0 | 100 | 315 | 0.27 | 0.86 |
| vi | 20 | 180 | 5 | 100 | 0 | 0 | 0 | 10 | 25 | 290 | 0.07 | 0.79 |
| vii | 10 | 120 | 1 | 100 | 0 | 0 | 40 | 40 | 11 | 260 | 0.03 | 0.71 |

根据表 3-6 和表 3-7 日照时间和辐射以及雨雪天的比例,可以选择各个地区的比例,因为 i 区、ii 区、vi 区、vii 区的太阳能比较充足,所以选择地加热比例是最小值,而 iii 区、iv 区、v 区的太阳能匮乏的地区,因此选择加热比例中较大的值,可以得出表 3-8。

表 3-8 建筑气候分区的日照比例

| 地区 | 包含的地区 | 季节 | 需要加热天数比例 | 季节天数 (d) | 电加热天数 (d) |
|------|-----------------|-----|----------|----------|-----------|
| I 区 | i 区、vi 区、vii 区 | 夏季 | 0.03 | 92 | 3 |
| | | 过渡季 | 0.03 | 91 | 3 |
| | | 冬季 | 0.03 | 182 | 5 |
| II 区 | ii 区、vi 区、vii 区 | 夏季 | 0.03 | 122 | 4 |
| | | 过渡季 | 0.03 | 91 | 3 |
| | | 冬季 | 0.03 | 152 | 5 |

表 3-8 建筑气候分区的日照比例（续）

| 地区 | 包含的地区 | 季节 | 需要加热天数比例 | 季节天数 (d) | 电加热天数 (d) |
|----|-------|-----|----------|----------|-----------|
| Ⅲ区 | iii区 | 夏季 | 0.7 | 122 | 85 |
| | | 过渡季 | 0.7 | 91 | 64 |
| | | 冬季 | 0.7 | 152 | 106 |
| Ⅳ区 | iv区 | 夏季 | 0.65 | 122 | 79 |
| | | 过渡季 | 0.65 | 121 | 79 |
| | | 冬季 | 0.65 | 122 | 79 |
| Ⅴ区 | v区 | 夏季 | 0.86 | 213 | 184 |
| | | 过渡季 | 0.86 | 61 | 53 |
| | | 冬季 | 0.86 | 91 | 79 |

将建筑气候分区和建筑热工分区，进行比较可以看出，Ⅰ区是ⅰ区、ⅵ区、ⅴ区；Ⅱ区是ⅱ区、ⅵ区、ⅶ区；Ⅲ区是ⅲ区；Ⅳ区是ⅳ区；Ⅴ区是ⅴ区。其中Ⅰ区、Ⅱ区是太阳能比较充裕的地区，为了保守计算，因此Ⅰ区中ⅰ区、ⅵ区、ⅴ区选取日照时间比例较小的比例，可得表 3-8。仍以额定容量为 60 L 的电辅助加热太阳能热水器为算例，根据国家标准^④，当出口水温度分别为 45℃和 55℃时，得到各建筑热工设计分区的计算结果，如表 3-9 所示。

表 3-9 出口水温分别为 45℃和 55℃各建筑热工设计分区耗能

| 地区 | 太阳能热水器用电量 (kW·h) | |
|----|------------------|----------|
| | 出水温度 55℃ | 出水温度 45℃ |
| Ⅰ区 | 432.232 | 448.549 |
| Ⅱ区 | 425.357 | 440.304 |
| Ⅲ区 | 1513.261 | 1856.500 |
| Ⅳ区 | 1484.623 | 1818.311 |

^④ 《家用太阳能热水系统技术条件》(GB/T 19141-2011)

| | | |
|----|----------|----------|
| V区 | 1575.629 | 2032.669 |
|----|----------|----------|

3.4 空气源电辅助热泵热水器能耗计算

多种类型的热泵热水器中,本文选取额定容量为 100 L 的循环加热式空气源热泵热水器作为算例,家庭全年使用空气源热泵热水器所需热水量仍同表 2-9。根据《热泵热水器年度能源消耗的计算》^[46]的计算将各个地区的运行工况分为低温运行工况、最小运行工况、名义工况、最大运行工况,其中这四种工况中若是低温运行工况视为电加热方式。根据建筑热工设计分区的温度分布将全年分为四种工况并确定各工况下使用天数,如表 3-10 所示。

表 3-10 建筑热工设计分区的 COP 及天数

| 地区 | 工况 | 天数 | COP | 所需加热热量 (kJ) |
|-------|-----|-----|------|-------------|
| I 区 | 最大 | 0 | 5.52 | 0.00 |
| | 名义 | 92 | 4.1 | 1895089.10 |
| | 最小 | 91 | 2.96 | 2108801.59 |
| | 电加热 | 182 | 0 | 4779950.27 |
| II 区 | 最大 | 6 | 5.52 | 110400.30 |
| | 名义 | 171 | 4.1 | 3174716.39 |
| | 最小 | 114 | 2.96 | 2768499.89 |
| | 电加热 | 74 | 0 | 1780558.72 |
| III 区 | 最大 | 12 | 5.52 | 27856.70 |
| | 名义 | 195 | 4.1 | 1712722.86 |
| | 最小 | 141 | 2.96 | 3516444.27 |
| | 电加热 | 16 | 0 | 371422.68 |
| IV 区 | 最大 | 16 | 5.52 | 264759.16 |
| | 名义 | 300 | 4.1 | 6256976.20 |

| | | | | |
|--|-----|----|------|------------|
| | 最小 | 48 | 2.96 | 1166592.00 |
| | 电加热 | 0 | 0 | 0.00 |

表 3-10 建筑热工设计分区的 COP 及天数(续)

| 地区 | 工况 | 天数 | COP | 所需加热热量 (kJ) |
|-----|-----|-----|------|-------------|
| V 区 | 最大 | 0 | 5.52 | 0.00 |
| | 名义 | 365 | 4.1 | 4686939.19 |
| | 最小 | 0 | 2.96 | 1962126.14 |
| | 电加热 | 0 | 0 | 0.00 |

电加热部分参考电热水器的计算方法，其余根据现行国家标准《家用和类似用途热泵热水器》^[47]（GB/T 23137-2008）考虑散热影响，根据该标准对热泵热水器的保温性能要求，每天热水器工作后降低温差幅度在 10℃ 以内，因此在计算时每天工作温差设定为 10℃，如此假设则各建筑热工设计分区计算结果相同。

则由下式计算热泵热水器全年耗电量 W （单位 kW h）：

$$W = \frac{Q}{3600COP} = \frac{365cm\Delta t}{3600COP} \quad (3-6)$$

表 3-11 出口水温分别为 45℃ 和 55℃ 各建筑热工设计分区耗能

| 地区 | 热泵热水器用电量 (kW·h) | |
|-------|-----------------|----------|
| | 出水温度 55℃ | 出水温度 45℃ |
| I 区 | 810.063 | 810.063 |
| II 区 | 697.984 | 697.984 |
| III 区 | 250.146 | 250.146 |
| IV 区 | 128.883 | 128.883 |
| V 区 | 124.001 | 124.001 |

第4章 能耗计算结果及分析

4.1 标准煤消耗的对比

为了将不同类型热水器的用能情况进行统一比较，就需要统一的标准，因此将热水器消耗的不同能源进行统一折算^[48]。

我国能源以煤为主，根据国家标准规定，计算综合能耗时，各种能源折算为标准煤当量，因此就需要知道各种能源折算成“吨标准煤”的折算系数。到目前为止，标准煤的热当量值并没有统一的国际标准，我国国标^[49]规定 1 kg 标准煤（1 kgce）即低位发热量等于 29.3 MJ（7000 kcal）的燃料。将其他能源换算为标准煤当量采用折算系数法，计算公式为：折算标准煤系数=每千克某种能源平均低位发热值（4.18 kJ）/每千克标准煤热值（7000×4.18 kJ）。

其中，电力折算系数分为两种：一个指标是当量折算系数，它是指燃料按照当量热值（理论发热量）与标准煤发热量的比；另一个指标是等价折算系数，它是指二次能源的等价热值（包含了加工转化的能源消耗）与标准煤热值之比，因此电力等价折算系数会随着发电煤耗的变化而变化，随着发电系统效率的提高、每年发电煤耗的不断下降，电力等价折算系数也会不断下降。

表 4-1 各种能源参考热值及折标准煤系数表^[50]

| 能源名称 | 平均低位发热量 | 折标准煤系数 |
|--------|--------------------------------------|--|
| 天然气 | 38931 kJ (9310 kcal) /m ³ | 1.3300 kgce/ m ³ |
| 热力（当量） | | 0.03412 kgce/10 ⁶ J (0.14286 kgce/1000 kcal) |
| 电力（当量） | 3600 kJ (860 kcal) /kW h | 0.1229 kgce/kW h |
| （等价） | 按 2012 年火电发电标准煤耗 计算 | 0.3050 kgce/kW·h |

注：折标准煤系数单位中 kgce 即千克标准煤

从两种系数的对比中可以看出，电力当量折算系数将电能作为普通热能对待，

忽略了电能作为二次能源产生过程中将热能转化为电能的巨大能量损失，也无法体现电能相对热能的高品质特性，因而无法客观地评价不同热水器厂家产品的能耗水平，也不利于行业内节能减排的发展。根据中国能源统计年鉴最新数据，取中国 2012 年火电厂发电煤耗作为电力折算等价系数，其值为 0.3050 kgce/kW·h。对比可见，至 2012 年，电力等价系数仍为电力当量系数（0.1229 kgce/kW·h）的 2.5 倍，如果不同厂家采用不同的标准计算热水器的使用能耗，将极大地影响不同热水器产品能效比较，造成不必要的市场误导和混乱，因此有必要选取统一的折算系数进行计算。

为保证比较的客观和准确的对比，本文对于燃气式热水器均采用天然气折标准煤系数 1.3300 kgce/m³，对于电热水器或带电辅助加热的热水器均采用最新的电力等价折标准煤系数 0.3050 kgce/kW·h（根据 2012 年火电厂发电煤耗确定）来对热水器耗电耗气两方面的能耗进行统一折算，并进行评价比较。

根据热水器能耗的计算可以得出如图 4-1 和图 4-2 所示。

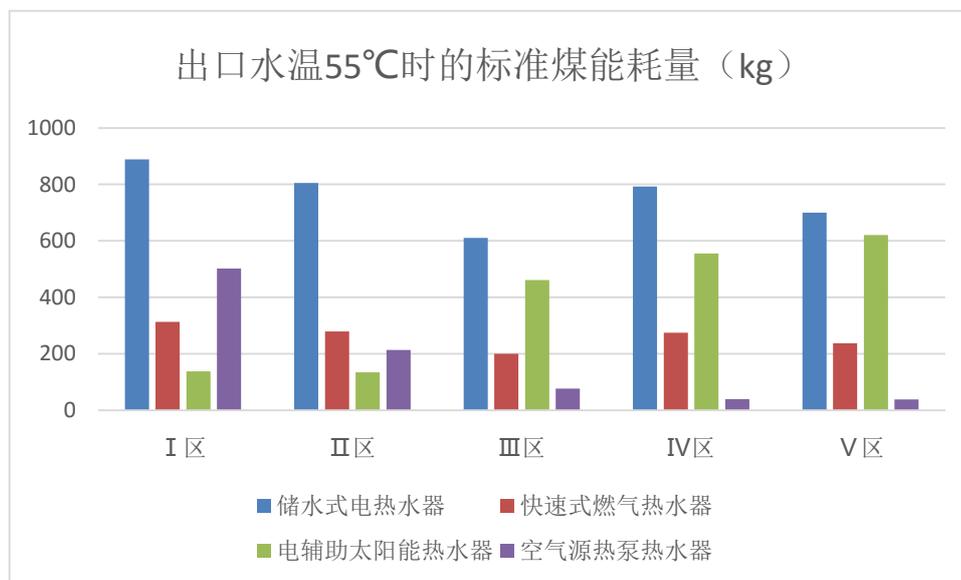


图 4-1 各个地区不同热水器 55°C 出水口温度的标准煤耗量

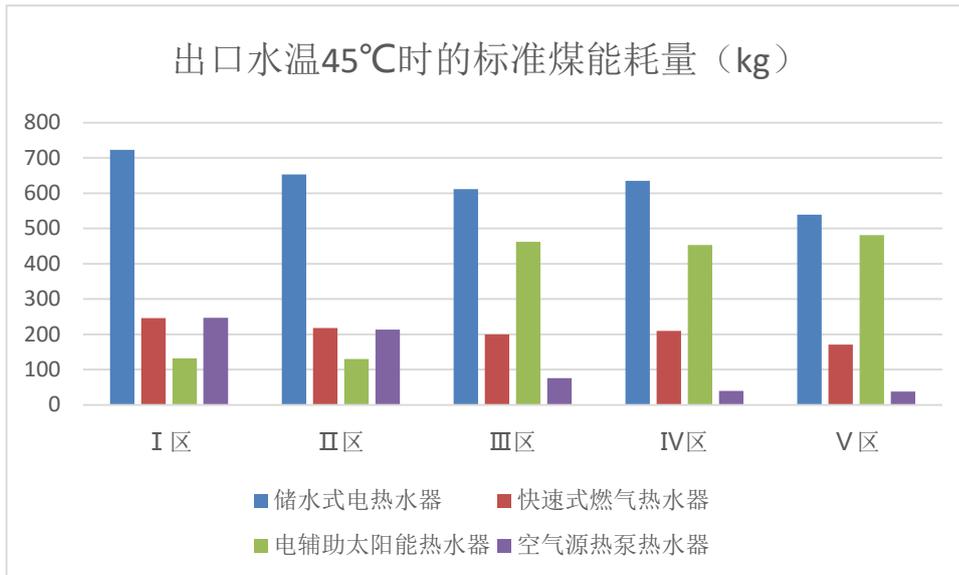


图 4-2 各个地区不同热水器 45°C 出水口温度的标准煤耗量

表 4-2 与电热水器消耗标准煤的百分比

| 出口水温 55°C 时的标准煤的百分比 | | | | |
|---------------------|---------|----------|-----------|----------|
| 地区 | 储水式电热水器 | 快速式燃气热水器 | 电辅助太阳能热水器 | 空气源热泵热水器 |
| I 区 | 100% | 35% | 15% | 56% |
| II 区 | 100% | 35% | 17% | 26% |
| III 区 | 100% | 34% | 74% | 10% |
| IV 区 | 100% | 35% | 70% | 5% |
| V 区 | 100% | 34% | 89% | 5% |
| 出口水温 45°C 时的标准煤的百分比 | | | | |
| 地区 | 储水式电热水器 | 快速式燃气热水器 | 电辅助太阳能热水器 | 空气源热泵热水器 |
| I 区 | 100% | 34% | 18% | 34% |
| II 区 | 100% | 33% | 20% | 33% |
| III 区 | 100% | 33% | 76% | 12% |
| IV 区 | 100% | 33% | 71% | 6% |
| V 区 | 100% | 32% | 89% | 7% |

根据消耗的标准煤量可以看出,当热水器出水口温度降低 10℃时,电热水器、燃气热水器节能更明显,节约能耗的 20%左右。电热水器无论是在出水温度是 55℃还是 45℃都是各个地区最高的耗能,能耗最低的是电辅助太阳能热水器和空气源热泵热水器,其中前者在严寒和寒冷地区更节能,是该地区电热水器的消耗标准煤的 15%~20%,后者在南方三个地区更节能,是电热水器消耗标准煤的 5%~12%。

以每个地区的电热水器消耗的标准煤为基数,其他热水器的标准煤消耗的百分比,如表 4-2 所示。

按照全国热水器保有量约 2.1 亿台^[51],按照出水温度 55℃计算,假设全部使用电热水器则消耗 1.47~1.87 亿吨标准煤,燃气热水器消耗 0.50~0.66 亿吨标准煤,电辅助太阳能热水器消耗 0.29~1.30 亿吨标准煤,热泵热水器消耗 0.08~1.05 亿吨标准煤。

4.2 一次能源的消耗的对比

文献^[52]中给出了由 2002 年我国火力发电基本情况和实际输出输送效率计算得到的单位电能力初级资源能耗;在文献^[53]和文献^[54]中则分别给出了我国每单位电能造成的主要污染物排放量。但是该分析都是建立在一次能源原煤的生命周期评价的基础之上的,即从采煤过程中的污染物排放、运输工具产生的排放到工业锅炉中燃烧产生的消耗和排放等角度分析,着眼点在于火力发电,因为未考虑到我国的电力结构。

文献^[55]指出不同的电力结构对于生命周期评价的结果有着较大的影响,因此采用该文献中中国 2010 年电力结构预测 CH2010 作为实际分析时的电力结构。根据该电力结构,火力发电(主要是燃煤发电,燃油发电及燃气发电可忽略不计)在电力结构中占比为 70.3%,因此将前述分析结果乘以 0.703,即可作为用户使用的 1 kW·h 电能的全生命周期过程中所消耗的其他能源和污染物排放指标。文献^[54]中给出了一次能源天然气在生产和运输过程中造成的污染物排放;

文献^[56]中给出了天然气开采即生产时的总能耗情况。考虑到天然气的运输依

靠输气管道，视为既有基础建设，如需考虑运输过程的额外能耗则应当分析输气设备的损耗维护等价的一次能源消耗，因此本文不考虑天然气运输过程中造成的能耗。由此得用户使用 1 m³ 天然气的使用过程中所消耗的其他能源和污染物排放指标。根据以上计算整理得到的结果，分析四种热水器使用过程中所消耗的能源和污染物排放情况。

表 4-3 天然气及中国电力结构下单位电能生命周期内能耗

| | 电能 (kg/kW h) | 天然气 (kg/m ³) |
|-----|-----------------------|--------------------------|
| 原煤 | 0.58 | 1.18×10 ⁻³ |
| 原油 | 1.44×10 ⁻² | 3.27×10 ⁻² |
| 天然气 | 9.69×10 ⁻⁴ | 1.32 |

注：天然气的单位为 m³

表 4-4 天然气及中国电力结构下单位电能生命周期内污染物排放

| 污染物 | 电能 (kg/kW h) | 天然气 (kg/m ³) |
|-----------------|-----------------------|--------------------------|
| CO ₂ | 1.07 | 7.48×10 ⁻² |
| SO ₂ | 9.93×10 ⁻³ | 1.91×10 ⁻⁴ |
| NO _x | 6.46×10 ⁻³ | 1.87×10 ⁻⁴ |
| CO | 1.55×10 ⁻³ | 7.23×10 ⁻⁶ |
| 固体废物 | — | 5.76×10 ⁻³ |
| NM VOC | 4.87×10 ⁻⁴ | — |
| NO ₂ | 1.80×10 ⁻³ | — |
| As | 2.00×10 ⁻⁶ | — |
| Cd | 1.27×10 ⁻⁸ | — |
| Cr | 1.69×10 ⁻⁷ | — |
| Hg | 8.78×10 ⁻⁸ | — |
| Ni | 2.50×10 ⁻⁷ | — |
| Pb | 1.76×10 ⁻⁶ | — |
| V | 2.88×10 ⁻⁶ | — |
| Zn | 2.40×10 ⁻⁶ | — |

注：NM VOC 即非甲烷挥发性有机化合物

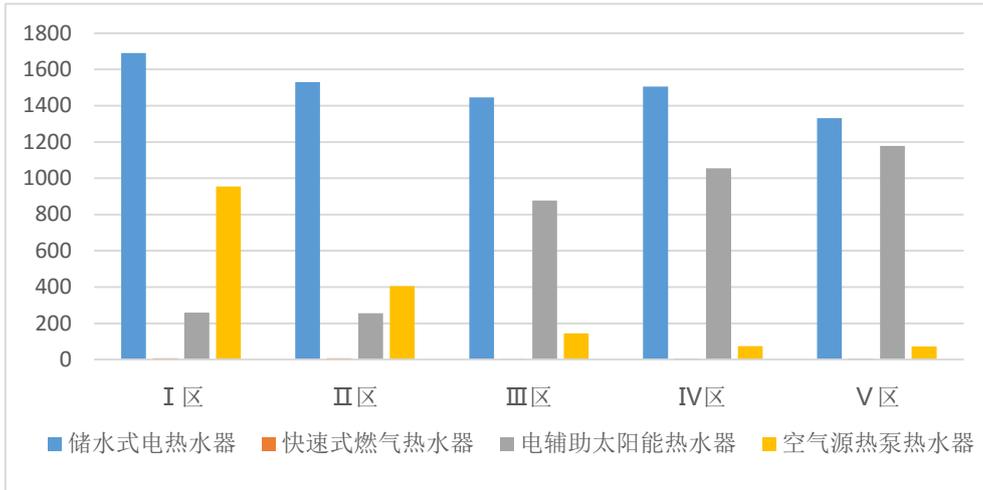


图 4-3 出水温度是 55°C 时原煤消耗(kg)

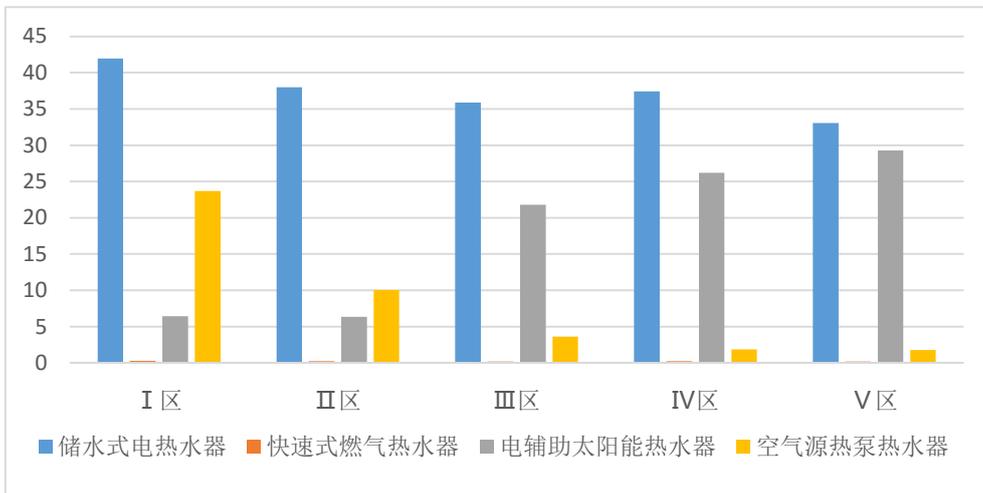


图 4-4 出水温度是 55°C 时原油消耗(kg)

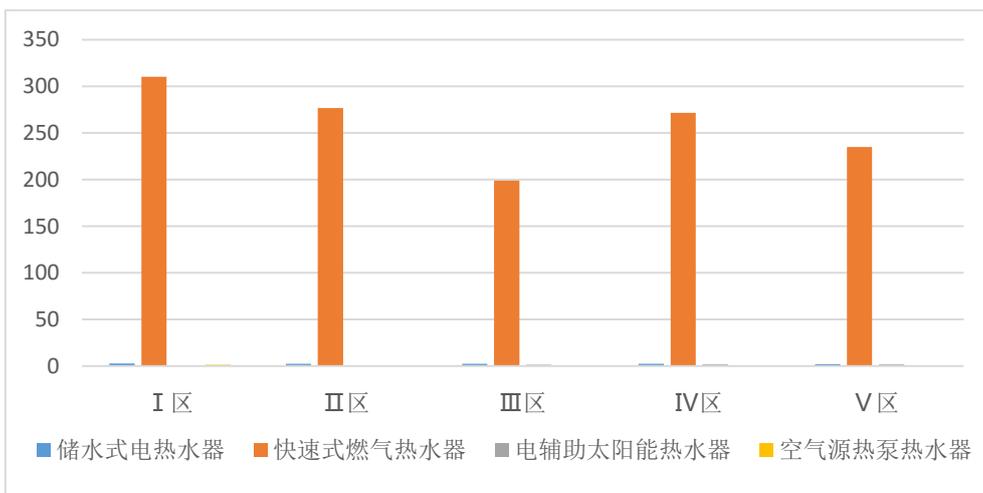


图 4-5 出水温度是 55°C 时天然气消耗 (m³)

表 4-5 热水器一次能源消耗中的主要排放(kg)

| 热水器种类 | 地区 | CO ₂ | SO ₂ | NO _x | CO | 烟尘 | NO ₂ |
|-----------|-------|-----------------|-----------------|-----------------|------|-------|-----------------|
| 储水式电热水器 | I 区 | 3117.90 | 28.94 | 18.82 | 4.52 | 58.86 | 5.25 |
| | II 区 | 2823.87 | 26.21 | 17.05 | 4.09 | 53.31 | 4.75 |
| | III 区 | 2667.07 | 24.75 | 16.10 | 3.86 | 50.35 | 4.49 |
| | IV 区 | 2778.72 | 25.79 | 16.78 | 4.03 | 52.46 | 4.67 |
| | V 区 | 2456.95 | 22.80 | 14.83 | 3.56 | 46.38 | 4.13 |
| 快速式燃气热水器 | I 区 | 252.61 | 0.04 | 0.04 | 0.00 | 0.02 | 0.00 |
| | II 区 | 225.30 | 0.04 | 0.04 | 0.00 | 0.02 | 0.00 |
| | III 区 | 161.86 | 0.03 | 0.03 | 0.00 | 0.01 | 0.00 |
| | IV 区 | 221.10 | 0.04 | 0.04 | 0.00 | 0.02 | 0.00 |
| | V 区 | 191.21 | 0.03 | 0.03 | 0.00 | 0.02 | 0.00 |
| 电辅助太阳能热水器 | I 区 | 479.95 | 4.45 | 2.90 | 0.70 | 9.06 | 0.81 |
| | II 区 | 471.13 | 4.37 | 2.84 | 0.68 | 8.89 | 0.79 |
| | III 区 | 1618.18 | 15.02 | 9.77 | 2.34 | 30.55 | 2.72 |
| | IV 区 | 1945.59 | 18.06 | 11.75 | 2.82 | 36.73 | 3.27 |
| | V 区 | 2174.96 | 20.18 | 13.13 | 3.15 | 41.06 | 3.66 |
| 空气源热泵热水器 | I 区 | 1759.94 | 16.33 | 10.63 | 2.55 | 33.23 | 2.96 |
| | II 区 | 746.84 | 6.93 | 4.51 | 1.08 | 14.10 | 1.26 |
| | III 区 | 267.66 | 2.48 | 1.62 | 0.39 | 5.05 | 0.45 |
| | IV 区 | 137.90 | 1.28 | 0.83 | 0.20 | 2.60 | 0.23 |
| | V 区 | 132.68 | 1.23 | 0.80 | 0.19 | 2.50 | 0.22 |

根据能源折算系数，以出口水温度 55℃来进行计算为例。其中的计算结果是电热水器都是各个地区最高的耗能，能耗最低的是电辅助太阳能热水器和空气源热泵热水器，其中前者在严寒和寒冷地区更节能，后者在其他三个地区更节能。

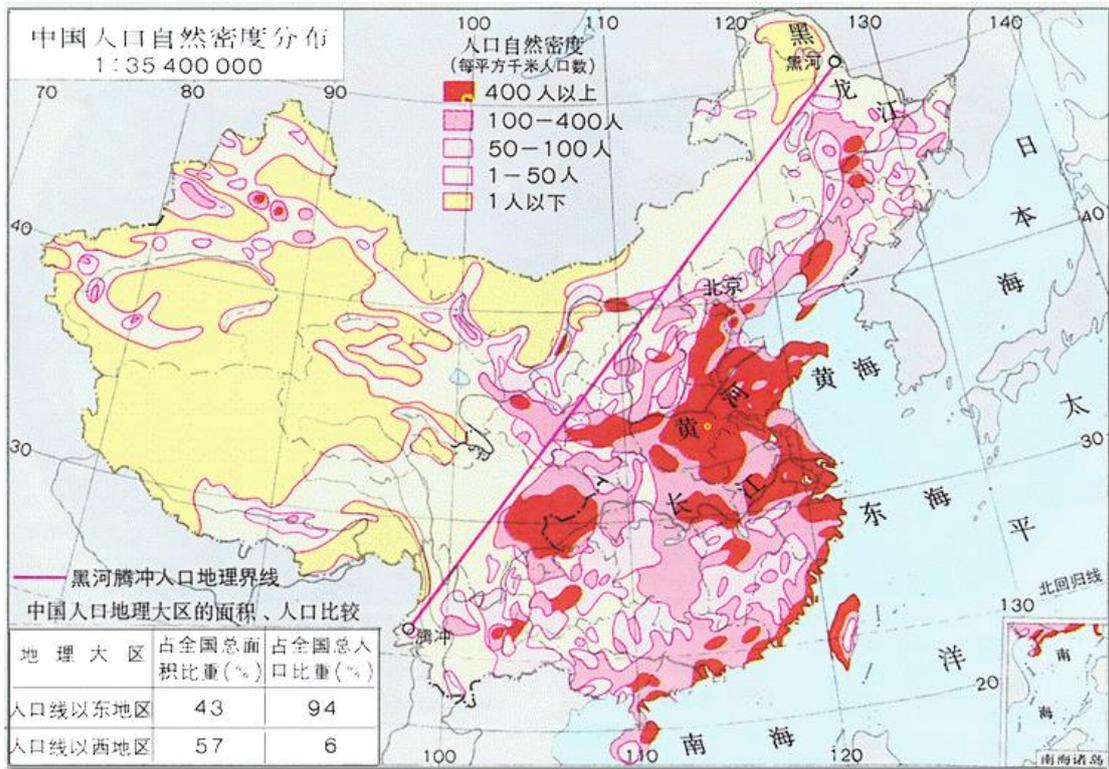


图 4-6 中国人口自然密度分布



图 4-7 各地区大概的面积比

按照中国人口自然密度分布^[57]在建筑热工分区上加权平均，黑河腾冲人口地

理界线将全国的人口分为 6% 和 94%，根据经纬度为方格，通过对不规则图形的方格划分填补，得出 I 区、II 区约占全国面积 1/2、1/4 而占全国人口的 36%、17%，III 区、IV 区和 V 区约占全国面积的 1/8、1/24、1/24 而占全国人口的 28%、10%、9%。假设热水器所占比例与人口所占比例相同，根据全国有 2.3 亿台热水器，其中电热水器保有量 9167 万台、燃气热水器保有量 1.14 亿台^[51]计算，将电热水器换成热泵热水器，将大概节约 0.5 亿吨标准煤，将燃气热水器换成热泵热水器可以节约大概 0.1 亿吨标准煤。每年节省的 0.5 亿吨标准煤相当于 1.64 万亿度电，并且一年可以减少大概 1.8 亿吨 CO₂、169 万吨 SO₂、109 万吨 NO_x 的排放。

第5章 热水器能效状况

5.1 电热水器能效及环境影响

2012 年储水式电热水器产量 2424 万台，同比提高 16.5%^[51]，2013 年全国国家用电热水器累计总产量 3369 万台，同比增长 18.15%^[58]。

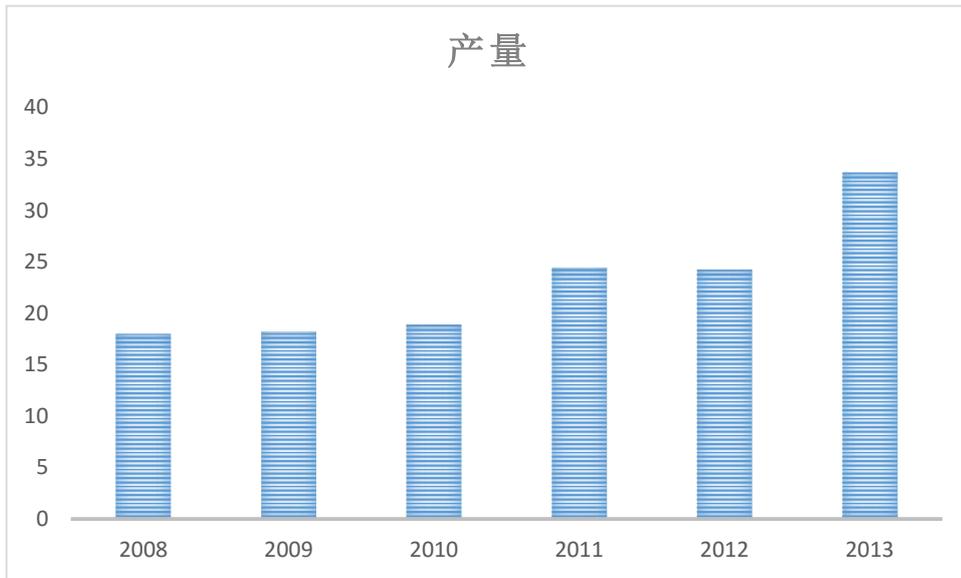


图 5-1 储水式电热水器产量（百万台）

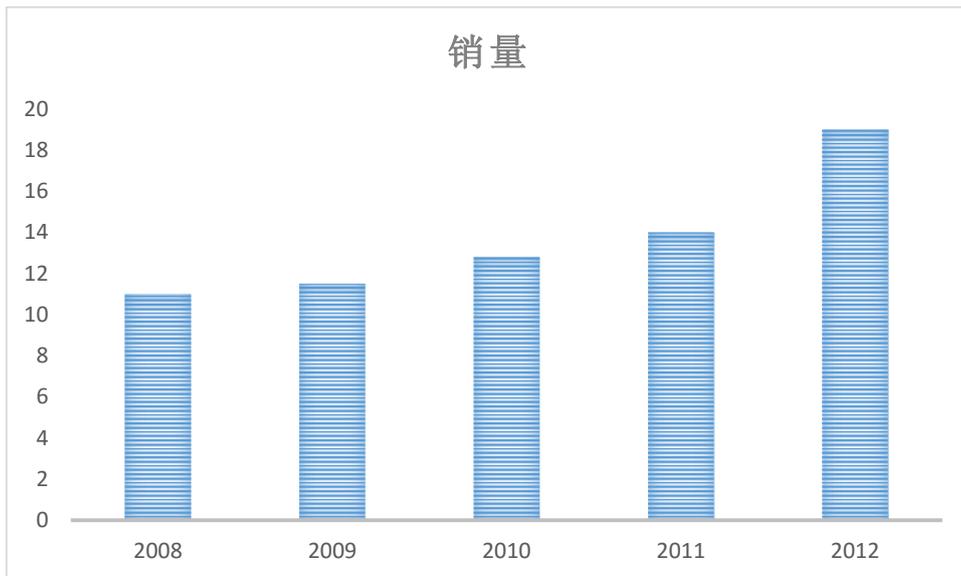


图 5-2 热水器国内销量（百万台）

2013年8月热水器总销量为181.14万台，同比增长7.67%，2012年我国储水式电热水器国内销量为1903万台，同比增长45%。

2012年储水式电热水器的全国保有量为9167万台，同比增长15%。

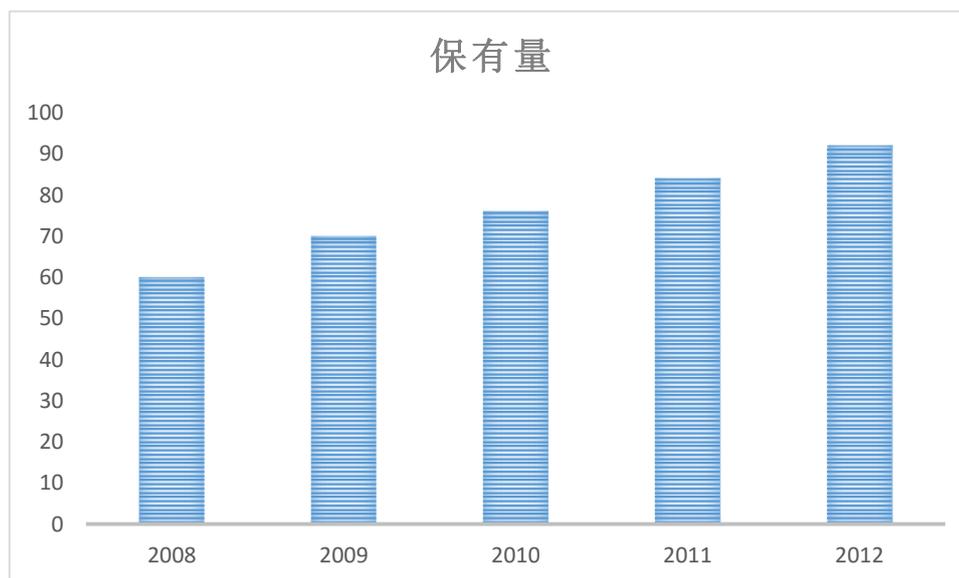


图 5-3 储水式电热水器的全国保有量（百万台）

全国居民“阶梯电价”已于2012年7月1日在全国范围内实施。截至2012年8月7日，全国29个省区市均已对外公布执行方案，九成提高了首档电量标准。阶梯式电价是指把户均用电量设置为若干个阶梯分段或分档次定价计算费用。对居民用电实行阶梯式递增电价可以提高能源效率。通过分段电量可以实现细分市场的差别定价，提高用电效率。总体来说，70%到80%的居民包括低收入和生活困难家庭的电费支出将保持基本稳定，不会发生改变。只是用电量超过了国家规定的起步用电量，它才会有一个递增。阶梯电价实施后，消费者用电越多，电价就越高，进而促进了消费者节能意识的加强，节能型家电也将受到普遍的关注。再加上节能补贴政策的实施，一些节能产品将更受消费者青睐。2012年6月到2013年6月的财政补贴政策中，电热水器没有纳入补贴范围，这对电热水器市场构成了负面影响。由于电热水器的高耗能、高排放，在低碳节能的大趋势下，其未来的生存空间开始受到挤压。

按销量统计，2012年储水式电热水器节能产品所占比例为90.8%，其中1级占45.0%，4、5级产品占1%左右。根据型号统计，2012年储水式电热水器的24h固有能耗系数在0.50~0.90区间内，平均值为0.71；2012年该场频热水输出率在

0.55~0.92，平均值为 0.64。而在能耗计算时，均采用一级的产品进行计算，也就是加热效率为 0.96，24 h 固有能耗系数取的是 $\epsilon \leq 0.6$ 高于平均值。

因此电热水器仍有节能的潜力，2012 年 10 月 31 日，中国家用电器协会发布了《中国急用热水器产业技术路线图》（2012 版）。这是家用热水器领域的首份技术路线图，规划了 2012 年到 2013 年间电热水器、热泵热水器及太阳能热水器产业的技术走向。其中指出，节能减排有两个重点的方向：一是提高电热水器的能源效率；二是推动热泵热水器、太阳能热水器及组合能源产品等可再生能源、新能源产品的发展，实现产品的升级。

若将储水式电热水器采用加热效率为 0.96，24 h 固有能耗系数取的是 $\epsilon \leq 0.6$ 计算，与平均消耗相比，全年将会节约大概 1109 亿度电，约 3384 万吨的标准煤，减少 1.2 亿吨 CO_2 、110 万吨 SO_2 、72 万吨 NO_x 及 224 万吨烟尘的排放。

5.2 燃气热水器能效及环境影响

2012 年家用燃气快速热水器（以下简称燃气热水器）产量为 1221 万台，同比下降 26%。2013 年 1-12 月全国家用燃气热水器累计总产量 1202 万台，同比增长 7.01%^[58]。

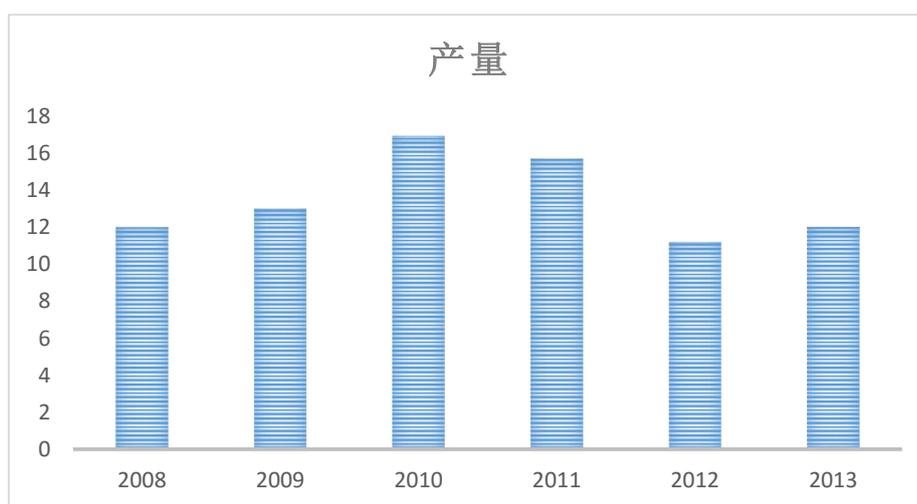


图 5-4 燃气热水器产量 (百万台)

2013 年 8 月燃气热水器总销量为 134.77 万台，同比增长 10.24%，2012 年燃

气热水器国内销量为 998 万台，同比提高 7.1%。

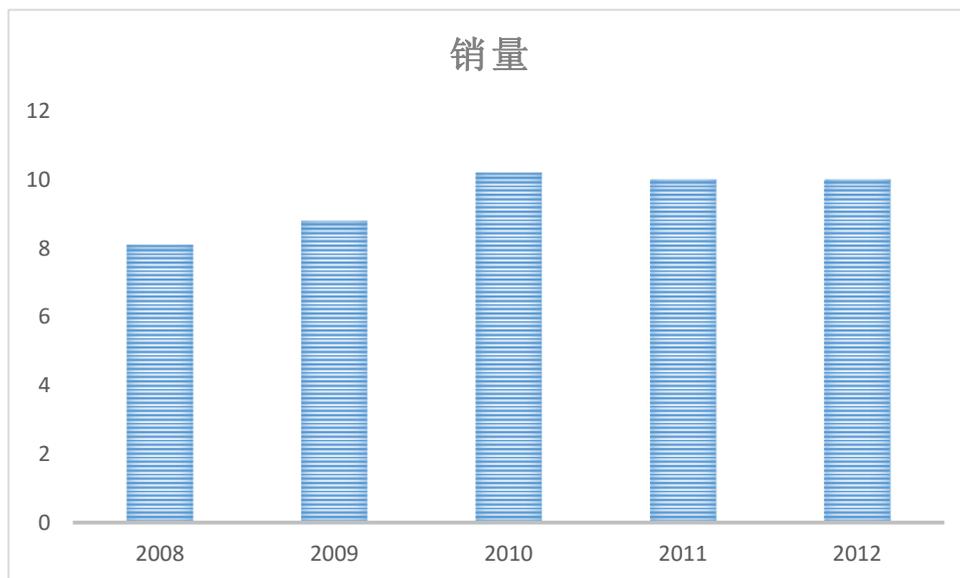


图 5-5 燃气热水器总销量（百万台）

2012 年燃气热水器的全国保有量为 1.14 亿台，同比增长 7.3%。

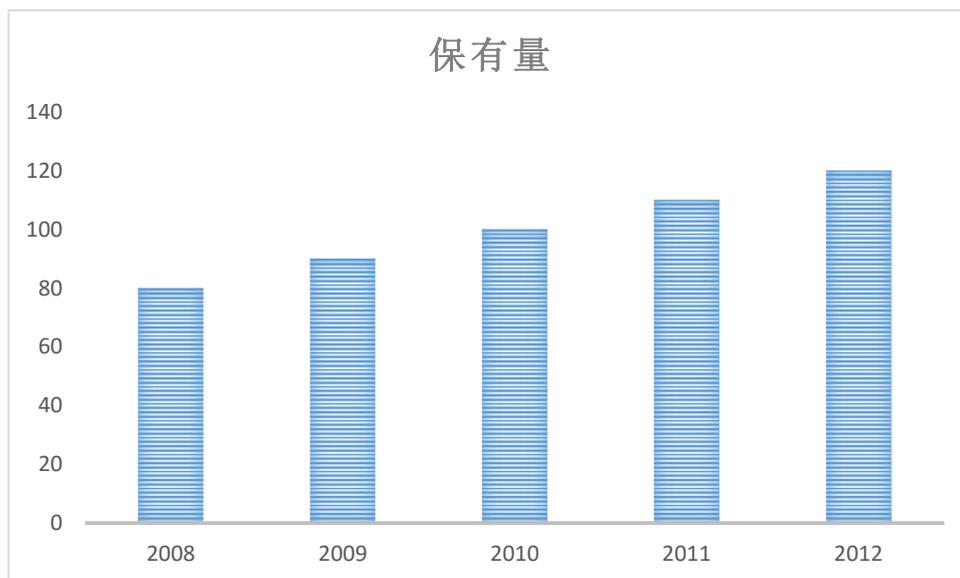


图 5-6 燃气热水器的全国保有量（百万台）

中国燃气热水器市场份额近年来都保持加大幅度的增长，尤其是在一二级城市的市场，在房地产的高增长的带动下，燃气热时期产品快速增长。同时在家电下乡政策的拉动下，燃气热水器在一些燃气管网铺设较完善、经济较发达地区的三四级市场也得以部分覆盖。燃气热水器要持续增长，尤其在城镇市场能够广泛普及，先决条件就是要有广泛的燃气覆盖率。而全国的城镇燃气发展“十二五”

规划提出，到“十二五”期末，城市的燃气普及率达到 94%以上，县城及小城镇的燃气普及率达到 65%以上。这也意味着城市燃气热水器更新换代市场将进一步撬动，在城镇市场也将进一步的得以推广普及。

根据统计数据，2012 年燃气热水器中节能型产品所占比例为 89.4%。其中，1 级产品占比为 27.3%，节能型产品所占比例同比提高 1.0%。按销量统计情况，2012 年节能型产品所占比例为 93.5%。其中，1 级产品占比为 11.2%，3 级产品占比 6.5%。根据燃气热水器型号统计情况，热水器产品 2012 年额定热负荷热效率在 84%~103% 区间内，额定热负荷平均热效率为 89.8%。

若将燃气快速热水器热效率值提升至 96%，则 1.14 亿台的水热水器将节约大概 10.5 亿立方米的天然气，约 140 万吨标准煤，减少 115 万吨 CO₂、203 吨 SO₂、200 吨 NO_x 及 98 吨烟尘的排放。若将全国的水热水器换成燃气热水器，可节省约 4999 万吨标准煤，减少大概 2.7 亿吨 CO₂、271 万吨 SO₂、176 万吨 NO_x 及 551 万吨烟尘的排放

5.3 电辅助太阳能热水器能效及环境影响

有数据^[59]显示，太阳能热水器在整体市场规模零售量结构中占比微小，仅达 1%。据太阳能协会公布的最新数据显示，全国太阳能热水器的产量以每年 30% 的速度增长，2009 年太阳能热水器年产量突破 4000 万平方米。中商情报网研究数据表明，2012 年中国太阳能热水器产量约为 4968 万平方米（2484 万台）^[60]。

随着全球传统能源供应的日趋紧张，太阳能产业尤其备受青睐。然而，在国内近 6000 家太阳能热水器企业中，真正拥有自主研发能力和规模化生产的企业不足 20 家，其余多为一些地方小品牌和杂牌企业，甚至不少是家庭作坊式的小企业。这些小企业迫于生存和竞争压力，生产工艺落后、质量管理混乱、产品检验也有所疏漏，甚至有偷工减料、低价倾销等严重影响行业声誉的行为，致使太阳能市场秩序混乱不堪，存在诸多隐患，部分企业甚至面临生存危机。

目前太阳能热水器行业标准只有屈指可数的 GB/T19141-2003《家用太阳能热水系统技术条件》、GB/T18708-2002《家用太阳能热水系统热性能试验方法》等，

一方面国家标准太低，比如国标只规定了热水器内胆的承压能力，没有对耐腐蚀性做出规定，而焊缝处特别容易腐蚀漏水;另一方面行业标准缺失，比如国标对室外管路没有做出相关规定，而冬天管路被冻坏的情况时有发生。电辅助太阳能热水器在 I 区、II 区的消耗线相比较最小，若是这两个区域所有的热水器都换成电辅助太阳能热水器，则全年将会节约大概 1283 亿度电，约 3913 万吨的标准煤，减少 1.2 亿吨 CO₂、105 万吨 SO₂、68 万吨 NO_x 及 213 万吨烟尘的排放。

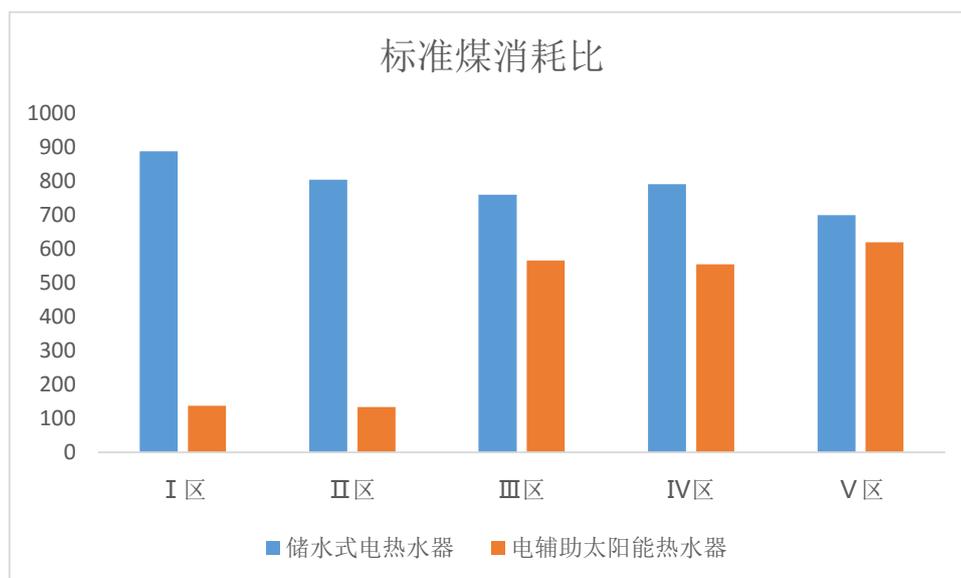


图 5-7 标准煤消耗对比 (kg)

5.4 空气源热泵热水器能效及环境影响

2012 年，家用型热泵热水器产量超过 60 万台，销量约为 59 万台，产销量基本持平。2012 年市场产销量比 2011 年略有增长。2012 年热泵热水器国内保有量约为 230 万台，相比 2011 年提高了近 33%。2015 年 1 月 1 日，《热泵热水机(器)能源效率标识实施规则》(修订)正式实施。其中根据国标^[61]对检测的性能系数、制热量、制冷量作了规定。

表 5-1 能源效率等效指标

| 制热量(kW) | 型式 | 加热方式 | 能效等级 (W/W) | | | | | |
|------------------|-----|------------|------------|-----|-----|-----|-----|-----|
| | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | |
| H<10kW | 普通型 | 一次加热、循环加热式 | 4.6 | 4.4 | 4.1 | 3.9 | 3.7 | |
| | | 静态加热式 | 4.2 | 4.0 | 3.8 | 3.6 | 3.4 | |
| | 低温型 | 一次加热、循环加热式 | 3.8 | 3.6 | 3.4 | 3.2 | 3.0 | |
| H≥10kW | 普通型 | 一次加热、循环加热式 | 4.6 | 4.4 | 4.1 | 3.9 | 3.7 | |
| | | 循环加热 | 不提供水泵 | 4.6 | 4.4 | 4.1 | 3.9 | 3.7 |
| | | | 提供水泵 | 4.5 | 4.3 | 4.0 | 3.8 | 3.6 |
| | 低温型 | 一次加热、循环加热式 | 3.9 | 3.7 | 3.5 | 3.3 | 3.1 | |
| | | 循环加热 | 不提供水泵 | 3.9 | 3.7 | 3.5 | 3.3 | 3.1 |
| | | | 提供水泵 | 3.8 | 3.6 | 3.4 | 3.2 | 3.0 |

该报告是采用额定容量为 100 L 的循环加热式空气源热泵热水器作为算例, 以《热泵热水器年度能源消耗的计算》^[46] 的计算方法为根据, 得到的标准煤能耗与电热水器能耗的比, 如图所示。

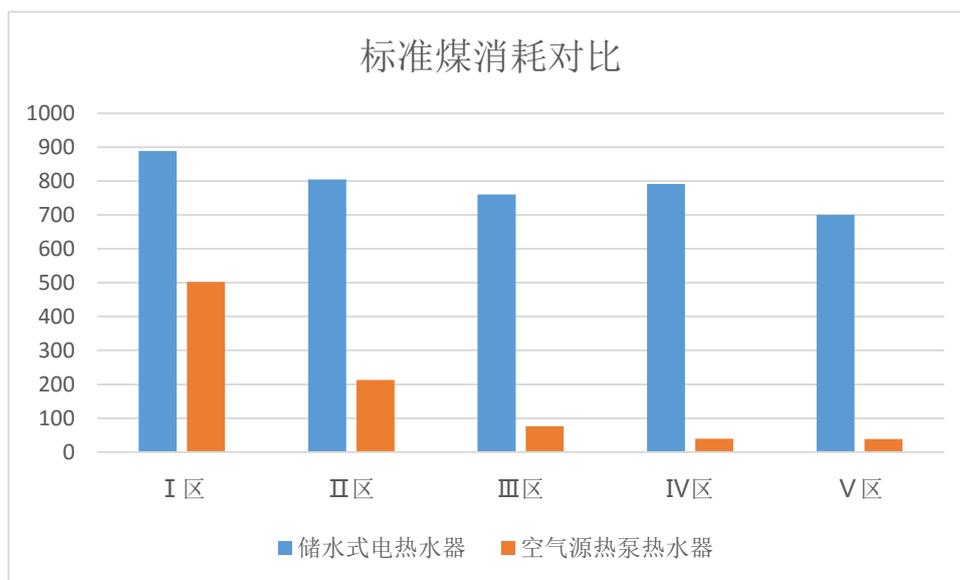


图 5-8 与电热水器标准煤消耗比 (kg)

若将热水器均换成热泵热水器，则全年节省约 6544 万吨标准煤相当于 2145 亿度电，并且一年可以减少大概 2.2 亿吨 CO₂、185 万吨 SO₂、120 万吨 NO_x 及 375 万吨烟尘的排放。

第6章 环境影响评价结果及分析

根据以上计算整理得到的结果，分析四种热水器使用能源情况，标准煤评价体系可以得出在 I 区、II 区推荐使用太阳能热水器，在 III 区、IV 区、V 区推荐使用热泵热水器。则全年可以节约标准煤 8567 万吨，减少大概 2.4 亿吨 CO₂、211 万吨 SO₂、138 万吨 NO_x 及 430 万吨烟尘的排放。

表 6-1 出水口温度 55°C 时标准煤消耗

| 出口水温 55°C 时的标准煤能耗量 (kg) | | | | |
|-------------------------|---------|----------|-----------|----------|
| 地区 | 储水式电热水器 | 快速式燃气热水器 | 电辅助太阳能热水器 | 空气源热泵热水器 |
| I 区 | 889 | 313 | 137 | 502 |
| II 区 | 805 | 279 | 134 | 213 |
| III 区 | 760 | 261 | 566 | 76 |
| IV 区 | 792 | 274 | 555 | 39 |
| V 区 | 700 | 237 | 620 | 38 |

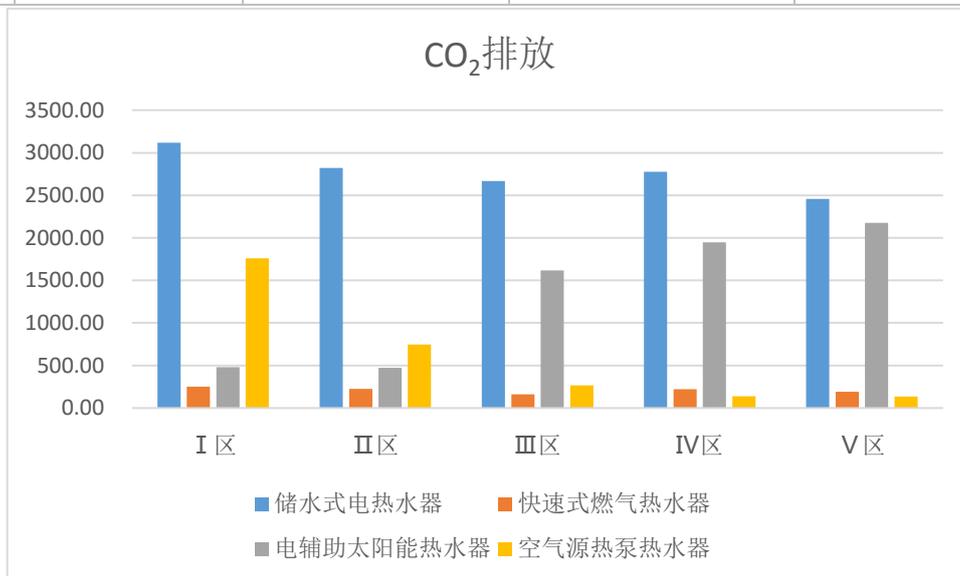


图 6-1 全年各个地区一台热水器 CO₂ 排放量 (kg)

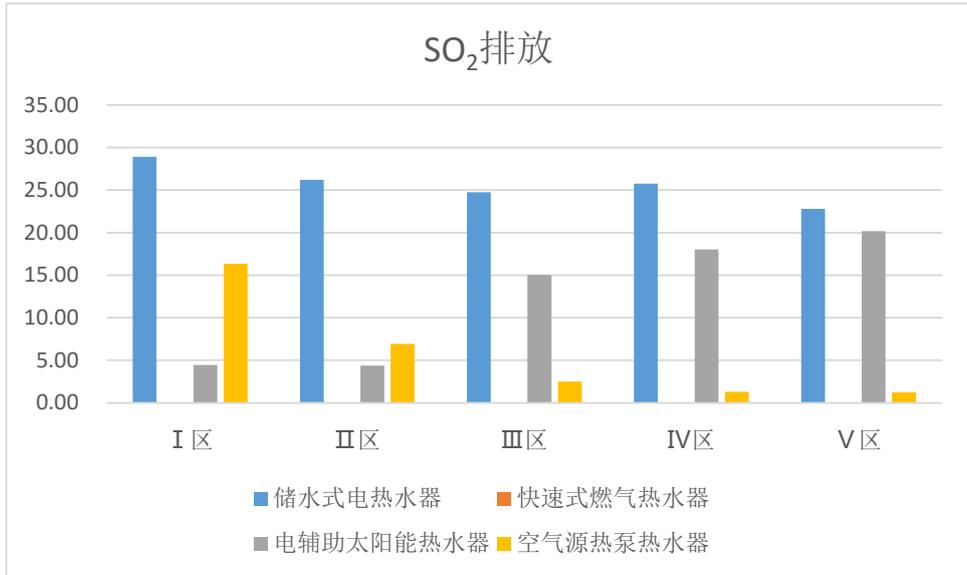


图 6-2 全年各个地区一台热水器 SO₂ 排放量 (kg)

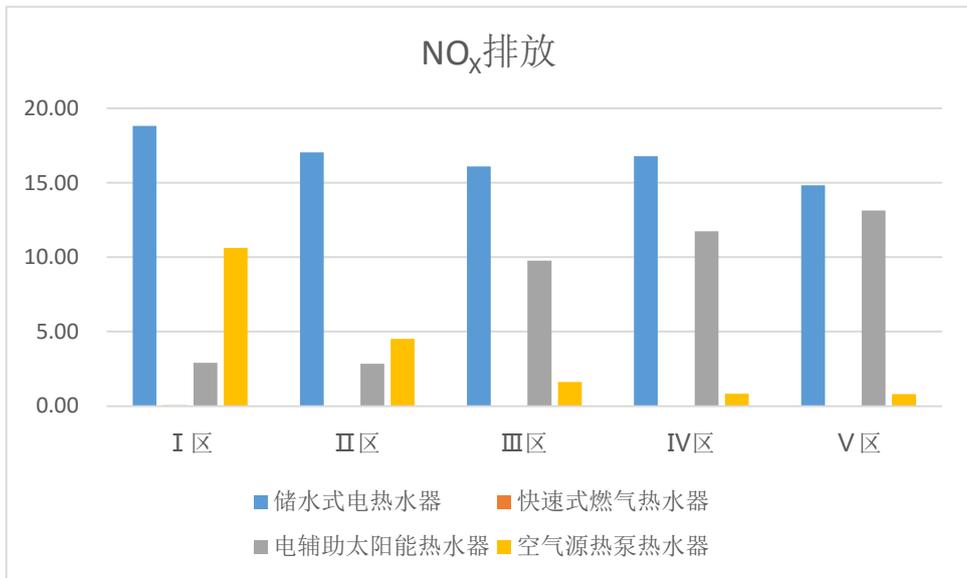


图 6-3 全年各个地区一台热水器 NO_x 排放量 (kg)

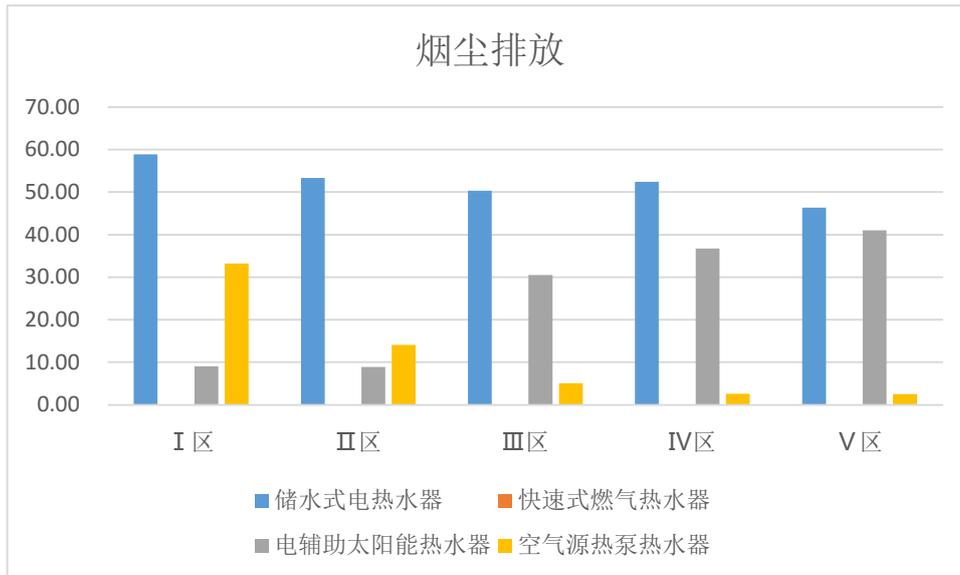


图 6-4 全年各个地区一台热水器烟尘排放量 (kg)

而在一次能源的标准比较结果中，可以得出燃气热水器在天然气的开采和使用过程排放较少，因此推荐使用燃气热水器。若将热水器全部替换成燃气热水器，可节省约 500 万吨标准煤，减少大概 2.7 亿吨 CO₂、271 万吨 SO₂、176 万吨 NO_x 及 551 万吨烟尘的排放。

总结可得，热水器市场的节能减排方向，一是提高每种热水器的效率，从而节约能源。二是在现有的技术条件下，因地制宜在不同地区推荐更加节能减排的热水器来使用。例如从节约能源的角度，可在 I 区、II 区有条件的地区推荐使用太阳能热水器，而在 III 区、IV 区、V 区推荐使用热泵热水器；从减少排放的角度，可在全国范围内推广使用燃气热水器。

第7章 结论

基于中国家庭典型用热水模式调研，计算分析了与热水制备系统能耗及环境效应，探讨了建立热水制备系统统一绩效评价体系的可行性。主要结论如下：

(1) 从能源开采、储运及使用过程对家用热水器进行能耗与环境评价，可以全面反映其能源消耗及污染物排放情况，可作为热水器绩效统一评价的基础。

(2) 单纯热水器使用过程耗电量评价，若以中国燃煤火力发电为主的能源结构为前提，一次能源消耗水平和污染物排放水平均较高，而将燃气转化为电能进行评价将体现不出天然气的清洁特点。以热水器使用过程折算标准煤消耗为基准的评价方法，则体现不出一一次能源开采及运输过程的耗能及污染物排放。

(3) 针对中国式家庭用水模式提出了较为详尽的热水器计算方法，分析了热水器绩效的情况。有鉴于国家标准尚在不断更新与提升，以现行国家标准为基础所进行的计算以及由此得出的结论，需根据标准的完善过程进一步更新。

报告中给出的计算分析结果，有待于标准制定过程依据实测数据进一步验证完善。

致谢

感谢国际铜业协会(ICA, China), 珠海格力电器股份有限公司与能源基金(EF)对本研究的资助。

参考文献

- [1] 张艳丽.2013 年热水器行业整体发展概况[J].2013 热水器年会专刊.
- [2] 翟聪,高敏.热水器整体市场增幅只能和速热产品成亮点-2014 年前三季度市场盘点[J].家用电器(绿色电器),2014,11.
- [3] 顾月红,葛朝霞,薛梅,宋颖玲.北京市生活用水年预报模型.河海大学学报(自然科学版).2008, 36 (1):19~22
- [4] 杨晓荣,梁勇.城市居民节水行为及其影响因素的实证分析—以银川市为例.水资源与水工程学报. 2007 ,18(2):44~47
- [5] 周春应.基于 ELES 模型的生活水价与城镇居民承受能力研究—以江省为例.资源科学.2010, 32 (2): 296~302
- [6] 侯煜堃,赵春会,俞国平,李福平.自来水用户用水模式的确定方法研究.中国给水排水.2008,24 (15):63~68
- [7] 褚俊英,陈吉宁,王灿.城市居民家庭用水规律模拟与分析.中国环境科.2007,27 (2):273~278
- [8] 徐辉.北京市城市居民生活用水影响因素跟踪调查分析.首都师范大学[硕].2012:33
- [9] DavidJ.Fritzsche.An Analysis of Energy Consumption Patterns by Stage of Family Life C-ycle. Marketing Research (JMR).1981:227~232.
- [10] Marvel.Lang,James.C.Smith.Social Statusand Differential Impacts of Ener-gy Costs on Fa-milies in Mississippi.WashingtonD.C. 1982
- [11] Koen Steemers,Geun YoungYun,Household energy consumption:a study of t he role of occupants. Building Research & Information. 2009, 37:625~637
- [12] University of Bonn.Study Tour to Europe for China Delegation.Germany.2011.
- [13] Lukas G. Swana, V. Ismet Ugursala, Ian Beausoleil-Morrisonb. Occupant r elated householdenergy consumption in Canada: Estimation using a bott-om up neural-network technique. Energy and Buildings.2011, 43 :326~337

- [14] B. Ndoye, M. Sarr. Analysis of domestic hot water energy consumption in large buildings under standard conditions in Senegal. Building and
- [15] 中华人民共和国统计局.统计上划分城乡的规定（国务院于2008年7月12日国函[2008] 60号批复）
- [16] GB 50176-1993,民用建筑热工设计规范[S].
- [17] 梅奥医学.生老病死的密码：揭开活到120岁的健康秘诀.朝华出版社.2007:188
- [18] <http://zhidao.baidu.com/question/3573994.html>
- [19] <http://www.douban.com/group/topic/9367345/>
- [20] 卢先,李浩,崔天红.中医保健全书.天津科技翻译出版公司.1995:960
- [21] 彭先见,龙恩深.城镇家庭终端用能约束模型研究.制冷与空调.2012,26(2):126~131
- [22] 刘长松.北京市城镇家庭生活用能碳排放基本格局与政策涵义.郑州航空工业管理学院学报.2011,29(6):44~50
- [23] Bradlev Jorgensen,Michelle Gravmore and Kevin o' Toole.家庭用水行为综合模型研究.中国环境管理.2011,3:59~65
- [24] 刘晶茹,王如松,王震,杨建新.中国城市家庭代谢及其影响因素分析.生态学报.2003, 23 (12): 2672 ~2676
- [25] 胡峰.城市居民生活用水需求影响因素研究——以南通市为例.浙江大学[硕].2006
- [26] Floyd J.Fowler, Jr. Survey Research Methods (3rd edition).Sage Publications.Inc.2002.
- [27] 风笑天.现代社会调查方法.华中科技大学出版社.2005:10~13
- [28] (美)罗纳德·扎加,约翰尼·布莱尔.沈崇麟[译].抽样调查设计导论(第2版).重庆大学出版社.2007:3
- [29] 郭强,董明伟.抽样调查手册.中国时代经济出版社.2004:4
- [30] 董海军.社会调查与统计.武汉大学出版社.2009:123~124
- [31] 李元授,邹振宇.公关与交际.华中科技大学出版社.2005:63~70

- [32] 李松.社会调查方法.西北农林科技大学出版社.2011:54~56
- [33] 张友琴,胡荣.社会调查研究的理论与方法.厦门大学出版社. 1995:42~72
- [34] 王正强.抽样误差分析.计与测试技术.2005,32(1):25~26
- [35] 刘开宇.浅谈概率抽样中的抽样误差问题.现代交际.2012, 336:114
- [36] 万勇,张建萍.随机抽样误差与样本大小的分析.山东师大学报(自然科学版). 1995,10(1): 24~26
- [37] 中国互联网络信息中心(CNNIC).第30次中国互联网络发展状况统计报告.2012
- [38] 叶燕.网上调查的非抽样误差分析.统计与预测.2001,101:48~49
- [39] 国家统计局企业调查总队.工业抽样调查理论与实践.中国统计出版社.2001:213
- [40] 许承德,王勇.概率论与数理统计,科学出版社.2001:169~187
- [41] A. Kohlia, S.J. Komisar, C.E. Montenegroc.Maximizing domestic water accessibility: A s-tatistical model. Desalination. 2009 ,248 :530~536
- [42] 艾欧史密斯(中国)热水器有限公司上海分公司.A.O.史密斯商用模块化热水设备.上海节能.2011,1:35~39
- [43] R. Barthel,S. Janisch,N. Schwarz,A. Trifkovic,D. Nickel,C. Schulz,W. M-auser. An integra-ted modelling framework for simulating regionalscale a-ctor responses to global change in the water domain. Environmental Modelling & Software.2008, 23 :1095~1121
- [44] GB/T 20289—2006, 储水式电热水器[S].
- [45] GB 20665-2006,家用燃气快速热水器和燃气采暖热水炉能效限定值及能效等级[S].
- [46] 热泵热水器年度能源消耗的计算[S].
- [47] GB/T 23137-2008,家用和类似用途热泵热水器[S].
- [48] 贾共鹏. 能源折算标准系数的合理选择[J]. 冶金能源,2011,01:3-4.
- [49] GB 2589-2008, 综合能耗计算通则[S].
- [50] 中国能源统计年鉴-2013: <http://free.xiaze.com/nianjian/zgnytnj2013/>.

- [51] 中国标准化研究院, 中国用能产品能效状况白皮书(2013) [M], 北京: 中国质检出版社, 中国标准出版社.
- [52] 袁宝荣, 聂祚仁, 狄向华, 左铁镛. 中国化石能源生产的生命周期清单(II)——生命周期清单的编制结果[J]. 现代化工, 2006, 04: 59-61.
- [53] 马明珠, 张旭. 空调冷热源生命周期成本评估[J]. 煤气与热力, 2008, 06: 32-35.
- [54] 狄向华, 聂祚仁, 左铁镛. 中国火力发电燃料消耗的生命周期排放清单[J]. 中国环境科学, 2005, 05: 632-635.
- [55] 黄志甲, 张旭. 空调热源的寿命周期评价[J]. 暖通空调, 2005, 04: 18-21.
- [56] 袁宝荣, 聂祚仁, 狄向华, 左铁镛. 中国化石能源生产的生命周期清单(I)——能源消耗与直接排放[J]. 现代化工, 2006, 03: 59-62+64.
- [57] 胡焕庸. 中国人口之分布[J]. 地理学报, 1935, 02 (02) .
- [58] 2014-2018年中国电热水器产业运营态势与投资战略研究报告. 产业信息网. <http://www.chyxx.com/data/201402/229901.html>
- [59] 太阳能行业遇冷亟待新标准促进发展. 中国机电网. <http://solar.cheaa.com/2015/0126/434608.shtml>
- [60] 2013-2018年中国太阳能热水器市场调查报告. 中商情报网. <http://www.askci.com/news/201308/13/1316144533128.shtml>
- [61] GB29541-2013. 热泵热水机(器)能效限定值及能效等级[S].