



# 长江流域城镇住宅采暖适宜 性技术体系研究报告

清华大学建筑节能研究中心  
2014.10.20

## 项目信息

项目资助号 R-1308-18696

Grant Number R-1308-18696

项目期 08/01/2013-08/01/2014

Grant period 08/01/2013-08/01/2014

所属领域: 暖通空调

Sector HVAC

项目概述: 本项目在能源基金会的资助下,通过大量调研实测,了解夏热冬冷地区采暖基本现状,并对不同情景进行情景分析,指出该地区适宜的技术及政策措施。

Project Discription: With the fund of Energy Foundation,this research find the basic status of Hot Summer and Cold Winter zone by a large scale of investigation and measurement. And through analyzing different scenario, the research try to point the appropriate technical and policy measures.

项目成员: 燕达, 胡姗, 郭偲悦, 崔莹

Project team: Da Yan, Shan Hu, Siyue Guo, Ying Cui

关键词: 夏热冬冷地区, 采暖, 情景分析

Key Word: Hot Summer and Cold Winter zone, heating, scenario analysis

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

根据解放初期制定的秦岭淮河供暖线，夏热冬冷地区冬季并没有市政规模的集中供热，然而该地区建筑保温隔热性能不受重视，围护结构热工性能相对北方较差，冬季室温远低于北方集中供热时室内温度。改革开放以来，该地区经济飞速发展，人民生活水平大幅提升，再加上近年来多次出现的极寒天气，该地区居民对于冬季提升室内舒适水平的呼声日益强烈。伴随着采暖需求的不断增加，夏热冬冷地区采暖能耗也逐年增长，如果不加以任何措施，必然会带来巨大的能源供应压力。因此，研究夏热冬冷地区采暖问题是目前建筑节能领域的重点之一。在满足居民需求的前提下，研究合理的技术手段及政策措施，使得在提高冬季室内舒适水平的同时尽可能减缓采暖能耗的增长，是本项目的重点和主要目标。

# Summary

With the develop of the economy and living standard in China, the heating problem of hot summer and cold winter climate zone in China has got more attention. In recent years, suggestions that district heating should be developed were made by many people, and some surveys by net show that more than 80% people are agree with these. But once the district heating had been developed, the energy use in this part should be aroused a lot. So how to improve the indoor thermal comfort as well as avoid a large increase in energy consumption through appropriate technic and policies, is in urgent need of solution.

# 目 录

第 1 章 引言 .....	9
1.1 课题背景 .....	9
1.1.1 夏热冬冷地区城镇住宅采暖能耗现状 .....	9
1.1.2 夏热冬冷地区城镇住宅采暖各方面态度 .....	10
1.2 文献综述 .....	11
1.2.1 夏热冬冷地区城镇住宅采暖现状研究 .....	11
1.2.2 夏热冬冷地区城镇住宅采暖相关技术研究 .....	12
1.2.3 总结与分析 .....	13
1.3 研究内容与技术路线 .....	13
1.4 本章小结 .....	14
第 2 章 夏热冬冷地区城镇住宅冬季采暖问卷调研 .....	15
2.1 夏热冬冷地区城镇住宅冬季采暖现状调研 .....	15
2.1.1 调研方法 .....	15
2.1.2 调研样本基本情况 .....	15
2.1.3 居民采暖方式调研结果 .....	17
2.1.4 采暖能耗及室内环境 .....	21
2.1.5 调研结论 .....	23
2.2 夏热冬冷地区居民采暖需求调研 .....	24
2.2.1 调研方法 .....	24
2.2.2 采暖模式的确定 .....	24
2.2.3 调研样本基本信息 .....	27
2.2.4 采暖人群分布变化趋势 .....	30
2.2.5 采暖模式相关性分析 .....	35
2.2.6 调研结论 .....	37
2.3 本章小结 .....	37
第 3 章 夏热冬冷地区城镇住宅冬季采暖实测案例 .....	38
3.1 测试方案 .....	38
3.2 典型案例分析 .....	39

3.2.1 热电联产集中供热案例 .....	39
3.2.2 水源热泵案例 .....	41
3.2.3 燃气壁挂炉+辐射地板采暖案例 .....	43
3.2.4 分体热泵空调案例 .....	45
3.2.5 局部电采暖案例 .....	46
3.3 典型案例总结与分析 .....	48
3.4 本章小结 .....	49
<b>第 4 章 夏热冬冷地区住宅发展大规模集中供热的适宜性分析 .....</b>	<b>50</b>
4.1 气候特征 .....	50
4.2 收费方式 .....	51
4.3 能源结构 .....	53
4.4 “热电联产”与“热电冷三联供”的适用性分析 .....	54
<b>第 5 章 各采暖技术发展现状、关键问题及改进措施 .....</b>	<b>56</b>
5.1 围护结构性能关键问题及改进方向 .....	57
5.1.1 换气次数 .....	58
5.1.2 体形系数 .....	60
5.1.3 外墙保温 .....	60
5.2 末端形式性能关键问题及改进方向 .....	64
5.2.1 送风末端 .....	64
5.2.2 地板辐射末端 .....	65
5.2.3 辐射板末端 .....	67
5.3 热源形式性能关键问题及改进方向 .....	67
5.3.1 热电联产供热 .....	68
5.3.2 土壤源\水源热泵系统供热 .....	68
5.3.3 空气源热泵 .....	68
5.4 小结 .....	69
<b>第 6 章 夏热冬冷地区城镇住宅采暖政策综述 .....</b>	<b>70</b>
6.1 政策现状 .....	70
6.1.1 “十二五”期间政策目标 .....	70
6.1.2 政策发展趋势 .....	70

6.1.3 地方政策 .....	76
6.2 政策建议 .....	77
<b>第 7 章 夏热冬冷地区城镇住宅采暖能耗预测及情景分析 .....</b>	<b>79</b>
7.1 TBPM 模型理念 .....	79
7.2 TBPM 模型-HSCW Heating 模块计算方法 .....	82
7.3 夏热冬冷地区城镇住宅采暖现状分析 .....	85
7.3.1 能耗总量及分布 .....	85
7.3.2 历史发展趋势 .....	87
7.3.3 现有情景 .....	87
7.4 情景分析 .....	88
7.4.1 基准发展情景 .....	88
7.4.2 集中采暖情景 .....	90
7.4.3 政策优化情景 .....	91
7.5 小结 .....	93
<b>第 8 章 夏热冬冷地区未来技术发展路线及政策措施 .....</b>	<b>95</b>
<b>参考文献 .....</b>	<b>98</b>





# 第1章 引言

## 1.1 课题背景

### 1.1.1 夏热冬冷地区城镇住宅采暖能耗现状

根据《民用建筑热工设计规范》(GB50176-93)规定,夏热冬冷地区是指最冷月平均温度 $0\sim 10^{\circ}\text{C}$ ,最热月平均温度 $25\sim 30^{\circ}\text{C}$ 的地区,包括上海、重庆、湖北、湖南、安徽、江西、江苏、浙江、四川等多个省市。该地区夏季炎热,冬季寒冷,设计需满足夏季防热要求,并适当兼顾冬季保温<sup>[1]</sup>。

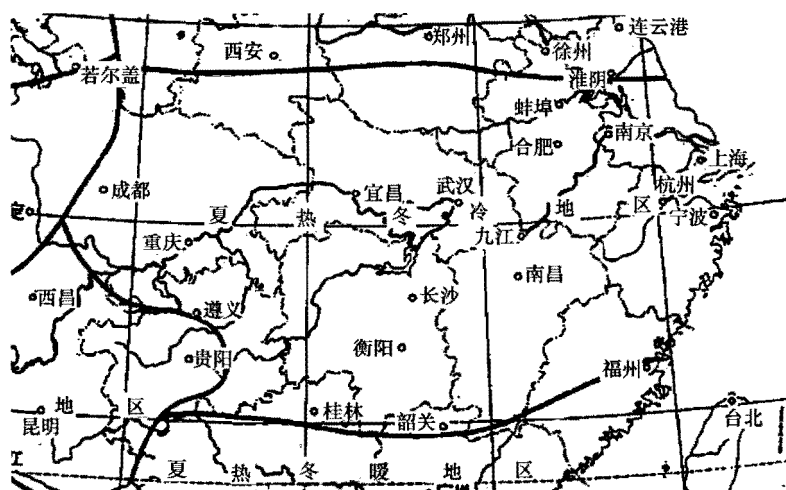


图 1.1 夏热冬冷地区范围

该地区面积约 180 万平方公里,人口 5.5 亿左右,国内生产总值约占全国的 48%,是一个人口密集、经济发达的地区<sup>[2]</sup>。根据解放初期制定的秦岭淮河供暖线,夏热冬冷地区冬季并没有市政规模的集中供热,然而该地区建筑保温隔热性能不受重视,围护结构热工性能相对北方较差,冬季室温远低于北方集中供热时室内温度。改革开放以来,该地区经济飞速发展,人民生活水平大幅提升,再加上近年来多次出现的极寒天气,该地区居民对于冬季提升室内舒适水平的呼声日益强烈。一项由人民日报微博发起的网络调查显示,83%的居民支持南方供暖,仅有 11%的人持反对态度,另有 6%的人表示无所谓<sup>[3]</sup>,由此可见,该地区居民对于冬季采暖的需求已经不容忽视。

伴随着采暖需求的不断增加,夏热冬冷地区采暖能耗也逐年增长。根据《中国建筑节能年度发展研究报告(2013)》<sup>[4]</sup>,2011 年城镇住宅总能耗为 1.53 亿 tce,

其中夏热冬冷地区城镇住宅采暖电耗在 1996 年时仅为 0.72 亿 kWh,到 2001 年时增长为 77 亿 kWh, 而到 2011 年时, 采暖电耗已经达到 414 亿 kWh, 2001 年到 2011 年十年间增长了 4.4 倍, 可以发现, 虽然目前夏热冬冷地区采暖电耗只占城镇住宅总能耗的 8%, 但是能耗增长迅速, 如果不加以任何措施, 必然会带来巨大的能源供应压力。因此, 关注夏热冬冷地区采暖问题, 如何在满足居民需求的前提下, 尽可能减缓采暖能耗的增长, 是目前建筑节能领域一个重点。解决采暖需求增长与能源供应压力之间的矛盾, 势在必行。

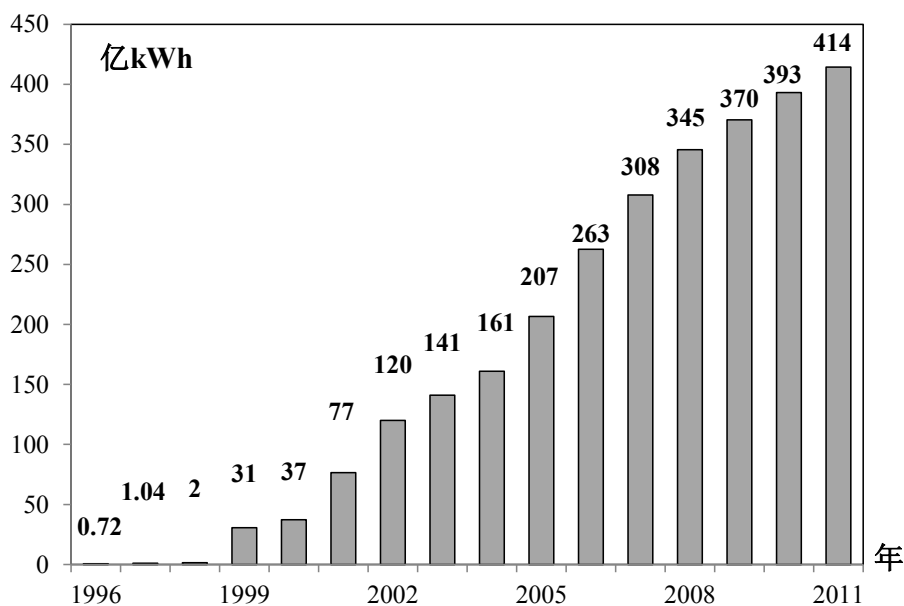


图 1.2 1996~2011 年夏热冬冷地区城镇住宅采暖能耗

### 1.1.2 夏热冬冷地区城镇住宅采暖各方面态度

针对夏热冬冷地区城镇住宅采暖问题, 社会各界都投入了较大的关注度, 然而对于该地区采暖到底应当如何发展, 特别是对集中供热在该地区是否适宜这一问题, 社会各界众说纷纭。

近年来的全国两会及各省市两会上, 多次有政协委员及人大代表提出在南方地区实施集中供暖的提案。如 2012 年的全国两会上, 张晓梅委员就提出南方地区冬天难过, 而分户采暖不仅浪费资源, 还不利于节能减排, 存在安全隐患, 因此建议将集中供暖向南方延伸, 并对居民提供供暖补贴<sup>[5]</sup>。还有委员认为冬季供暖可以吸引更多境外及外地优秀人才来当地工作<sup>[6]</sup>。

对于南方地区集中供暖这一问题，住房和城乡建设部副部长仇保兴曾公开表示不能把集中供热盲目地照搬秦岭淮河以南及西藏地区使用，这对能源消耗是一个巨大的威胁<sup>[7]</sup>。而国家发改委则保持了保守态度，其南方冬季采暖课题组负责人表示南方冬季采暖仍处于路径设计阶段<sup>[8]</sup>。

虽然如此，已有多个地方出台了支持集中供热的相关规范和政策。比较著名的是武汉在 2005 年开始启动的“冬暖夏凉”工程，其目标是到“十二五”末，集中供热制冷覆盖区域达 500 平方公里，服务人口 160 万人。而 2010 年 8 月颁布的《江苏省节约能源条例》也规定：“县级以上地方人民政府应当进行城市热力规划，推广热电联产、集中供热和集中供冷……新建的开发区和有条件的住宅区、城镇，应当集中供热。”<sup>[7]</sup>

同时，也有些地方政府负责人表明了对集中供暖的反对态度。如长沙市住建委主任、四川省住建厅厅长等人都表示根据当地气候特点的来看，该地并不适宜安装全面的集中供暖<sup>[9][10]</sup>。

分析各方观点，可以发现对于如何解决夏热冬冷地区采暖这一问题还没有一个统一的认识。然而基于前文所提到的该部分能耗占建筑能耗的重要地位，对夏热冬冷地区采暖问题进行深入的路径分析和设计就显得尤为重要。

## 1.2 文献综述

### 1.2.1 夏热冬冷地区城镇住宅采暖现状研究

目前已有较多学者针对夏热冬冷地区采暖现状如室内环境、采暖能耗、采暖方式等开展了相关调研与测试。

夏热冬冷地区平均采暖能耗大致为 4~5 kWh/(m<sup>2</sup>.a)。李哲<sup>[11]</sup>实测了苏州、上海两地共 14 个住户的冬季采暖能耗。实测发现冬季住户单位面积的采暖能耗平均值为 3.58 kWh/(m<sup>2</sup>.a)。最低仅为 0，而最高可以超过 14 kWh/(m<sup>2</sup>.a)，住户之间差异较大。李振海<sup>[12]</sup>等选取了上海市两户住宅进行了一年的跟踪实测，得到两户的采暖能耗分别为 5.33 kWh/(m<sup>2</sup>.a)与 1.85 kWh/(m<sup>2</sup>.a)。武茜<sup>[13]</sup>调查了杭州多个住宅小区，得到该地区单位面积采暖电耗根据建筑面积不同大致在 3 kWh/(m<sup>2</sup>.a)~4.2 kWh/(m<sup>2</sup>.a)，平均为 3.96 kWh/(m<sup>2</sup>.a)。

夏热冬冷地区冬季室内温度大约在 9~14℃。史洁<sup>[14]</sup>等实测了上海高层住宅室内温湿度，测试发现冬季室温大致在 10~13℃，室内环境处于 ASHRAE 给定的舒适区之外。Huibao Zhang<sup>[15]</sup>等对我国九个城市进行了冬季室内热湿环境的测试，其

中包括夏热冬冷地区的上海、长沙及重庆，得到这三个城市冬季室内平均温度为13.6℃、9.1℃及11.9℃。Hiroshi Yoshino<sup>[16]</sup>等对中国的室内环境及能耗状况进行了调研和测试，在夏热冬冷地区选择了上海、长沙及重庆三地。冬季室内温度大约在10~17℃。总体来说，夏热冬冷地区冬季室内环境较差，满意度较低<sup>[17]</sup>。

局部、间歇的采暖方式和多样化的采暖形式，是夏热冬冷地区住宅采暖的一大特点。多项研究表明，不同于北方地区冬季“全时间、全空间”的采暖模式，该地区居民多采用“部分时间、部分空间”的采暖模式<sup>[4][18~20]</sup>。而采暖技术多样化，是长江流域采暖又一特征，现有的采暖形式包括热泵型房间空调器、户式空调（水-空气系统）、户式空调（制冷剂系统）、辐射供暖、散热器、区域供热等<sup>[21]</sup>。居民自行选择采暖形式来满足其采暖需求。

### 1.2.2 夏热冬冷地区城镇住宅采暖相关技术研究

目前已有一些研究通过实际测试对不同采暖技术在该地区的应用情况进行了相关研究。

付祥钊、王子介、赵康等测试了空气源热泵-地板辐射供暖系统在夏热冬冷地区应用的运行参数、能耗等。付祥钊<sup>[22]</sup>测试案例表明，系统开机后需8小时室内温度才能从15℃上升到17℃，房间温度变化缓慢，而系统连续运行时书房温度平均16.1℃，客厅温度18.3℃，小时耗电量为18.65Wh/m<sup>2</sup>；王子介<sup>[23]</sup>测试案例表明，系统分时段连续运行时，每天开机6~12小时，供暖期（3个月）耗电量约7.3kWh/m<sup>2</sup>，而24小时连续运行时供暖期（90天）耗电量约52kWh/m<sup>2</sup>；赵康<sup>[24]</sup>等测试结果表明空气源热泵-地板辐射供暖系统运行时室内温度维持在16~18℃，折合整个采暖季单位面积电耗约为32kWh/m<sup>2</sup>。

周翔<sup>[25]</sup>等人对上海地区冬季采用分体热泵空调和燃气壁挂炉+地板供暖模式的住户进行了能耗、室内热环境及热舒适的调查和测试，使用分体热泵空调的住户供暖年耗电量仅为4kWh/m<sup>2</sup>，然而，冬季室内环境有待提高；而用燃气壁挂炉+地暖系统的住宅供暖天然气耗气量为6.1m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>·a)，冬季运行采暖设备时室内温度在16~22℃左右。

付玉<sup>[26]</sup>在实验室内对碳晶电热板及电暖器的室内温度场进行了测试，按照电热板铺设方式的不同，30min内平均温升为4~5.6℃，稳定时间80~90min，而电暖气30min平均温升4.1℃，稳定时间97min；其还计算了在上海地区应用局部辐射采暖、空调采暖和电暖气采暖三种采暖方式的采暖耗电量，年能耗量“电热板<空调<电暖气”，年耗电量“空调<电热板<电暖气”。

针对夏热冬冷地区围护结构性能，也有不少研究。

张小波<sup>[27]</sup>等利用正交实验原理分析了围护结构负荷的影响因素，得到了夏热冬冷地区外墙可不采取保温措施，冬季可适当降低设计室内温度的结论。刘倩<sup>[28]</sup>等通过模拟上海某节能建筑负荷，认为在保温层厚度到达一定时，再增加保温层厚度，节能潜力很小。而对于建筑气密性问题，钟珂<sup>[29]</sup>根据供暖房间的热损失分析认为，房间气密性应是夏热冬冷地区住宅选择供暖方式和设备时的重要判断依据。

### 1.2.3 总结与分析

通过阅读大量文献，可以总结出目前的研究现状：

- 1) 现有研究对于夏热冬冷地区的采暖现状已经有了基本的认识，然而对于该地区采暖未来发展方向的研究较少；
- 2) 缺乏各项采暖技术的实际采暖能耗、室内环境、居民感受的比较分析；
- 3) 对于采暖技术在长江流域的应用效果，多数分析结果基于实验条件，可能与实际有一定偏差；
- 4) 已有较多相关采暖技术性能的研究，然而对于该地区综合政策体系的分析较少；
- 5) 现有研究提出了较多该地区采暖时存在的问题，然而对于如何解决这些问题的研究较少。

## 1.3 研究内容与技术路线

基于上述背景及研究现状，就提出以下问题：在居民采暖需求增加和能源供应压力这个现实矛盾下，未来夏热冬冷地区城镇住宅采暖应当如何发展？本课题欲从技术及政策两方面回答该问题。

本研究技术路线如下：

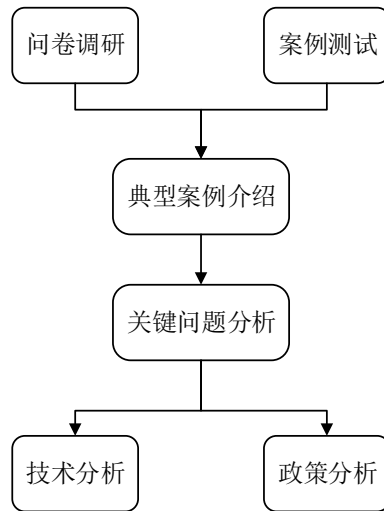


图 1.3 研究技术路线

为了解夏热冬冷地区城镇住宅冬季采暖基本现状，我们在该地区进行了大量的问卷调查和案例实测，包括对采暖方式的调研、集中采暖方式感受的调研、采暖需求发展趋势的调研等。并在多地选取住宅进行室内温湿度、二氧化碳浓度、电功率等的实测。基于大量实际数据，我们总结出几种典型模式，主要描述了其能耗水平、服务水平、用户感受等，并对不同采暖技术目前存在的关键问题进行了分析，并提出几种解决手段进行了改进效果的实测试验。最后根据实测调研结果，我们提出了夏热冬冷地区冬季采暖技术未来发展的方向，并进一步从政策侧面上指出了政府在该问题上的作用，通过各项政策来引导夏热冬冷地区采暖有更好的发展。

## 1.4 本章小结

本章阐述了夏热冬冷地区冬季采暖能耗的快速增长以及社会各界对该问题的关注度，而目前研究尚存在一定不足，说明研究夏热冬冷地区冬季采暖未来发展方向势在必行。最后根据我们的研究目的，提出了本课题欲解决的问题，并介绍了研究的技术路线。

## 第2章 夏热冬冷地区城镇住宅冬季采暖问卷调研

### 2.1 夏热冬冷地区城镇住宅冬季采暖现状调研

#### 2.1.1 调研方法

为切实了解夏热冬冷地区冬季采暖的详细情况，2013年寒假，本研究在夏热冬冷地区选取了上海、浙江、江苏、湖南、湖北、安徽、四川、重庆、江西等九个城市进行了大样本的问卷调研，并在部分住户家庭进行了室内热环境的测试。调研内容包括：1) 家庭基本信息：如建筑年代、家庭人口、家庭收入等；2) 家庭能耗状况：包括家庭全年用电量、用气量，以及逐月的能耗信息等；3) 采暖方式调研：包括采暖设备形式、采暖设备使用方式等；4) 开窗行为；5) 用户满意度等。

本调研主要目的在于了解夏热冬冷地区冬季采暖基本现状。

#### 2.1.2 调研样本基本情况

本次调研共回收问卷 834 份，其中有效问卷 819 份，其中各地区回收的问卷数如表 2.1 所示：

表 2.1 问卷分布情况

地区	数量	地区	数量
安徽	46	上海	195
湖北	57	四川	51
湖南	12	浙江	18
江苏	54	重庆	197
江西	189		

被调查家庭中，平均常住人口为 3.12 人，具体分布情况如图 2.1 所示：

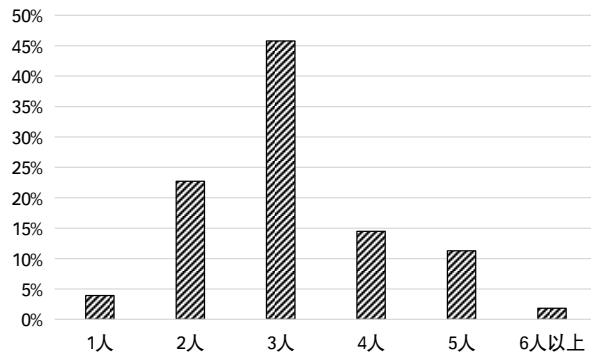


图 2.1 常住人口分布

调研的房屋绝大多数是多层楼房和高层楼房，前者占总样本数的一半以上，后者占总样本数的 40%。而建筑的建成年代主要是 2000 年以后建成的，约占总样本量的 63%。（图 2.2、图 2.3）

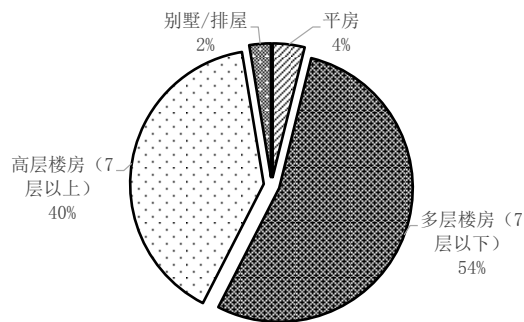


图 2.2 调研样本房屋类型

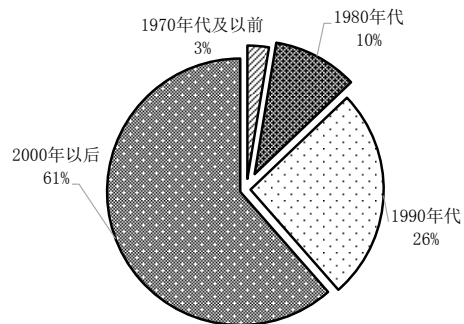


图 2.3 调研样本房屋建成年代



调研的房屋平均户均建筑面积为  $109.5\text{m}^2$ ，人均面积为  $35.1\text{m}^2$ ，面积最小的家庭建筑面积仅为  $18\text{m}^2$ ，而最大的房屋建筑面积可达  $500\text{m}^2$ 。（图 2.4）

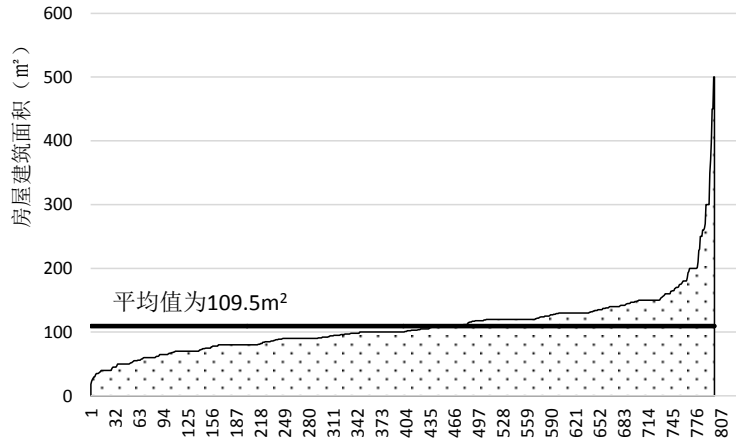


图 2.4 调研样本户均建筑面积

### 2.1.3 居民采暖方式调研结果

根据大规模的问卷调研，可以得到调研住户采暖设备拥有率的情况。调研结果发现，夏热冬冷地区居民较多使用分体空调加局部采暖设备共同使用的采暖形式，占到样本总量的 58%。其余的住户较多只有分体空调采暖或者只有局部采暖设备采暖，这两者和前一种形式加起来已经达到了样本量的 82%。值得注意的是，图 2.5 中集中系统包括区域集中供暖及户式集中采暖两种系统形式，户式集中采暖又包括了地板辐射供暖、暖气片、户式中央空调（即“一拖多”空调）。根据图 2.6 可以看到集中系统中户式中央空调是其中的主要形式。

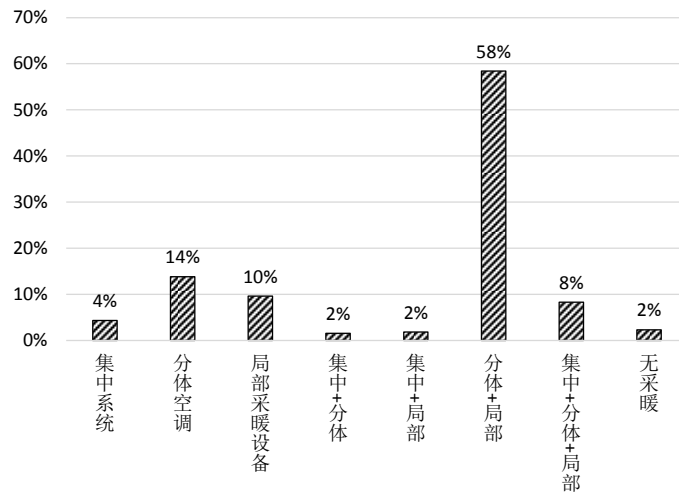


图 2.5 调研样本中住户采暖方式分布

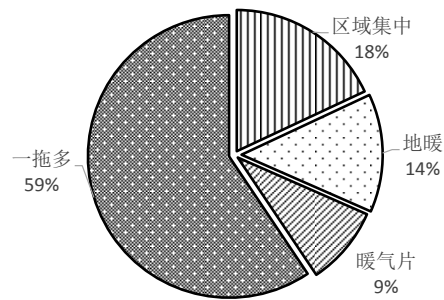


图 2.6 调研样本中不同集中系统分布

不同住户之间采暖季的时长与起止时间存在着较大的差异。调研结果显示，调研家庭的采暖季平均为 2.4 个月，采暖主要集中在 12 月中旬至 2 月中旬。夏热冬冷地区居民对于采暖需求的个体差异较大，有的居民 11 月就开始供暖，也有居民 1 月份才开始采暖，同样地，结束采暖的时间也各有不同。（图 2.7、图 2.8）

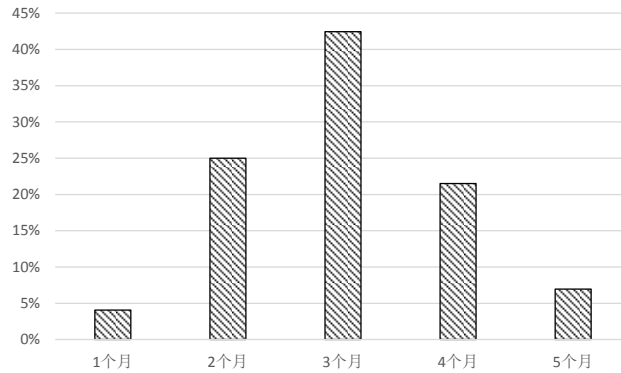


图 2.7 调研样本采暖季时长分布

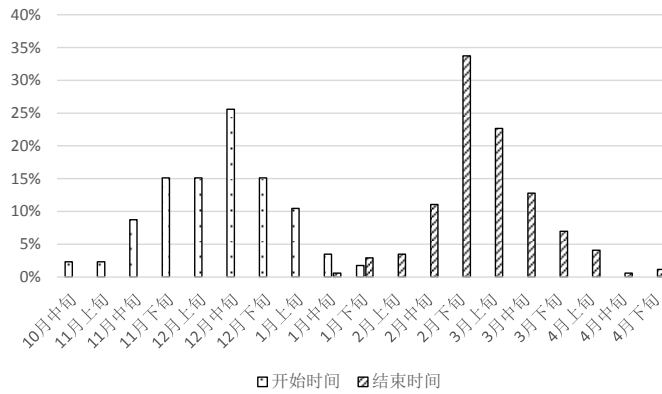


图 2.8 调研样本采暖季起止时间分布

调研发现，该地区居民采暖方式较多为“部分时间、部分空间”的使用模式。由于分体空调是该地区使用率最高的采暖设备，本研究主要分析了不同房间分体空调的启停方式。客厅和卧室的空调使用方式存在差异，对于客厅空调，有近 40% 的住户都选择了从来不开，而卧室开启率较高些，主要使用方式是定时开。其余的使用方式也较多是人在房间开，离开房间关或是觉得冷了开。可以发现夏热冬冷地区采暖较多是一种间歇的、局部的采暖方式。

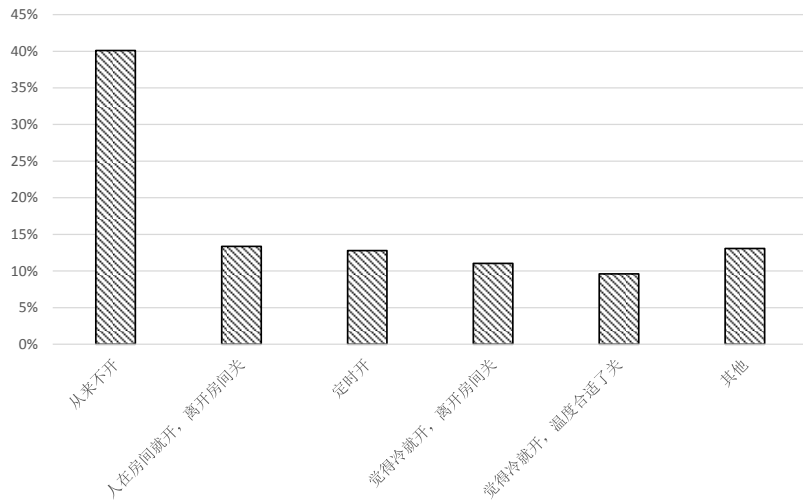


图 2.9 客厅空调启停方式分布

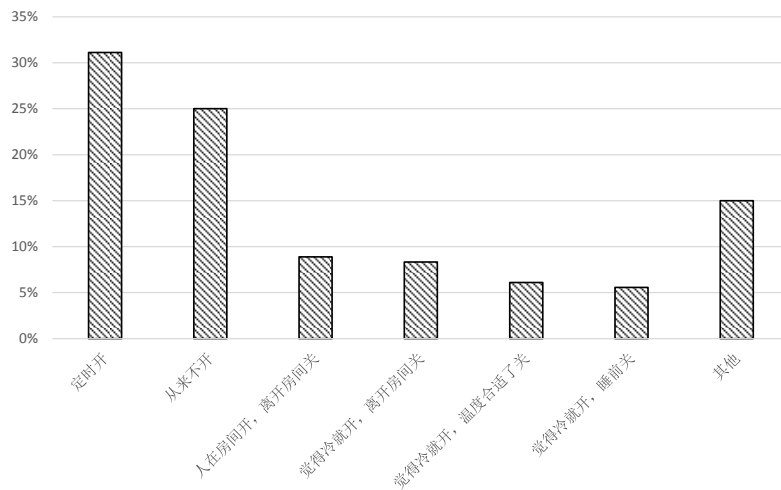


图 2.10 卧室空调启停方式分布

通过对住户的开窗行为进行调查，发现有较多住户冬季会开窗通风，基本不开窗的住户仅占总样本量的 16%，如图 2.11。进一步和住户的访谈发现，他们认为开窗可以有效改善室内环境、提升室内空气品质。由于夏热冬冷地区居民冬季较多有开窗通风的习惯，这一习惯与北方冬季采暖时非常不同，而住户的开窗行为也使得冬季采暖需热量增加。因此在考虑该地区采暖问题时考虑用户的开窗行为十分必要。

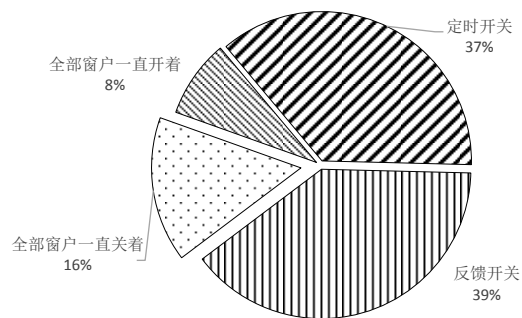


图 2.11 调研样本开窗行为分布

#### 2.1.4 采暖能耗及室内环境

问卷中调研了住户冬季及过渡季的电耗数据，此研究中认为冬季能耗减去过渡季能耗即为冬季采暖耗电量。由此种方法计算出绝大多数住户采暖季耗电量在 20 元/m<sup>2</sup> 以下，平均供暖电费为 2.2 元/m<sup>2</sup>，折合为电耗约为 3.14 kWh/(m<sup>2</sup>·a)。远低于我国北方地区的采暖能耗，也低于国外相同气候区的住宅冬季采暖能耗。

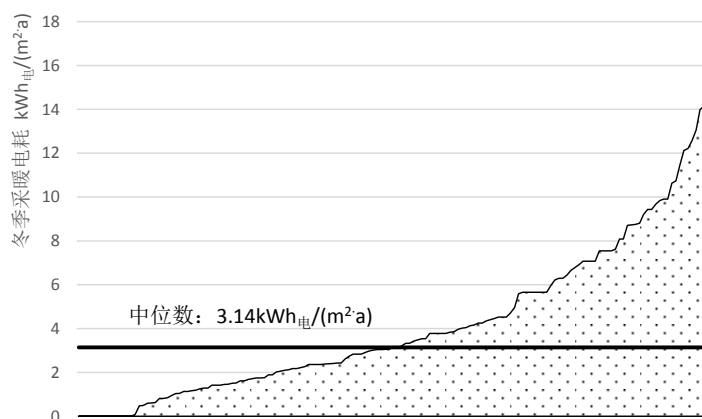


图 2.12 冬季采暖耗电量分布

本研究还对其中 367 个住户进行了室内热环境的实测，平均室内温度为 13.5℃。若测试家庭未开启采暖设备，房间温度平均为 12.6℃，而开启采暖设备的测试家庭房间温度相对较高，平均为 15.1℃。（图 2.13）

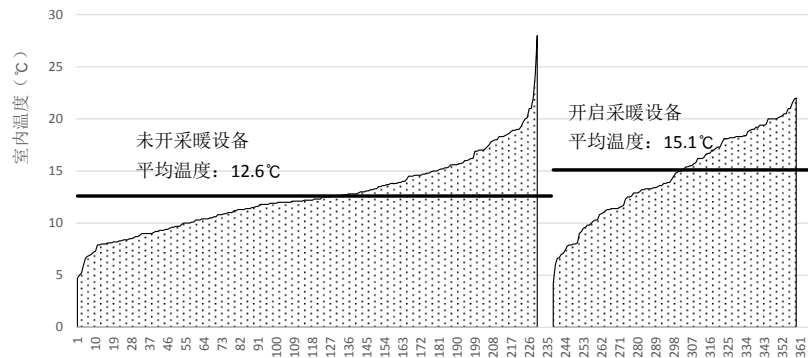


图 2.13 不同状态下房间温度

进一步分析不同采暖形式所能提供的室内环境及消耗的能耗水平。

按照住户采取的不同采暖系统形式，我们对调研样本进行分类。根据图 2.14 的调查结果，可以发现不同的采暖系统它们的能耗水平存在较为显著的差异，对于局部采暖设备，户均年采暖费用约为 209 元/年，而分体空调要高于局部采暖设备，需 321 元/年，户式中央空调采暖费用会略高于分体空调，大致需 361 元/年。不仅采暖系统之间存在差异，相同采暖形式下不同住户之间差异也较大。比如局部采暖形式下，采暖费用可从几十元到六百元不等。（图 2.14）

分析不同采暖形式所能提供的室内环境也可以得到相似的结论。此处的室内温度即为前述入户单点室内温度的测试结果，但刨去了未开启采暖设备的情况。同样可以得到结论，不同采暖系统形式下的室内温度均值存在显著的差异，而相同采暖系统形式下不同住户之间差异也较大。不同采暖形式的房间室内温度，局部采暖设备小于分体空调小于户式中央空调小于地板采暖和集中采暖，地板采暖和集中采暖平均室内温度都较高，都在 20°C 左右。（图 2.15）

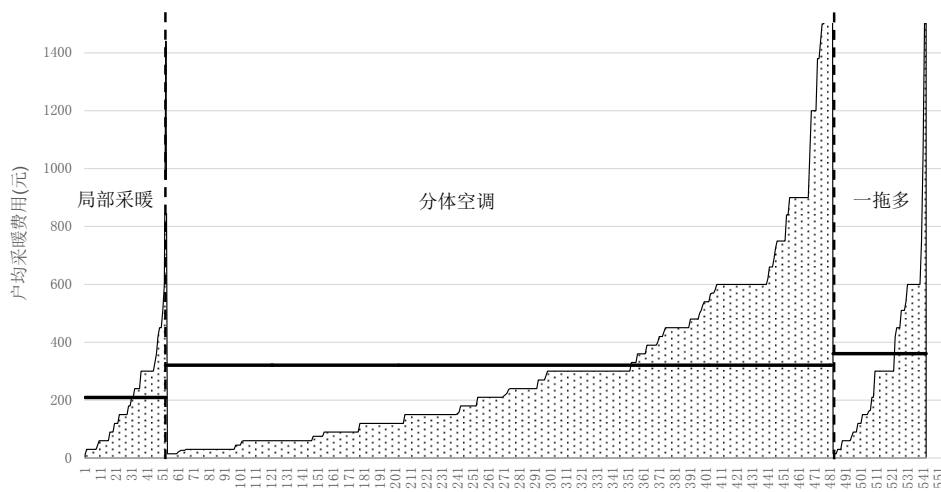


图 2.14 不同采暖形式下户均采暖费用

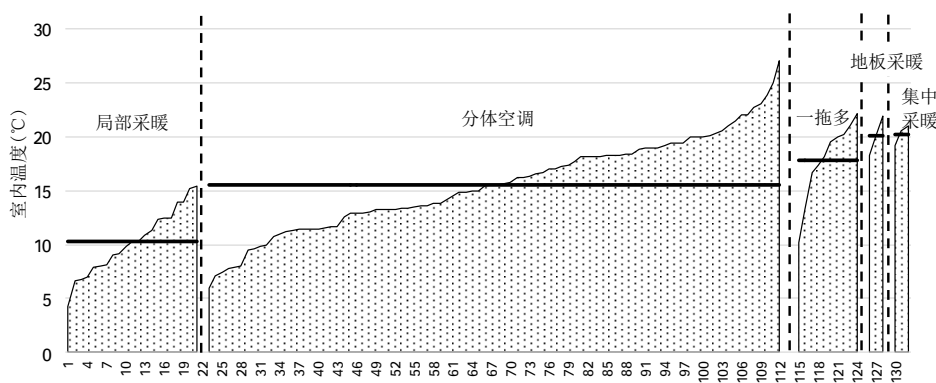


图 2.15 不同采暖形式下房间室内温度

### 2.1.5 调研结论

根据以上调研结果，我们可以得到夏热冬冷地区城镇住宅冬季采暖的基本现状有以下几点：

- 1) 该地区冬季采暖设备形式多样，主要以分体空调和局部采暖设备为主；
- 2) 采暖设备使用方式主要为“部分时间、部分空间”模式，住户通常根据自己的需求，在活动的房间间歇、局部地开启采暖设备，这与北方地区集中供暖“全时间、全空间”的采暖方式存在较大差异；
- 3) 较多住户有冬季开窗通风的习惯，认为开窗通风可以提高空气品质，是一种非常重要的基本需求；
- 4) 各住户冬季采暖能耗约为  $4 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ ，处于一个较低的能耗水平；

- 5) 实测住户室内温度平均为 13.5℃，不开启供暖设备时，冬季室内温度平均为 12.6℃，开启供暖设备时，室内温度为 15.1℃；
- 6) 不同采暖系统形式之间的能耗水平和室内温度存在较为显著的差异，而相同采暖系统形式下的能耗水平和室内温度个体差异也较大。

由上我们可以总结出，夏热冬冷地区冬季采暖具有间歇性、局部性、多样性这三个特点。

## 2.2 夏热冬冷地区居民采暖需求调研

### 2.2.1 调研方法

为进一步了解夏热冬冷地区冬季采暖的详细情况，2014 年寒假，本研究在夏热冬冷地区选取了上海、浙江、江苏、湖南、湖北、安徽、四川、重庆、江西等九个城市进行了大样本的问卷调研，并在部分住户家庭进行了室内热环境的测试。调研内容包括：1) 家庭基本信息：如建筑年代、家庭人口、家庭收入等；2) 采暖需求调研：包括居民目前的采暖模式、2020 年居民预期的采暖模式以及影响采暖模式选择的因素等；3) 对集中采暖的认识；4) 采暖设备使用方式等。第 4) 部分主要是为了对第 2) 部分的现有采暖模式选择进行校核。

本调研主要目的在于了解夏热冬冷地区冬季采暖未来发展趋势。

### 2.2.2 采暖模式的确定

首先，课题组根据以往调研测试案例结果，将夏热冬冷地区人群按照不同的采暖系统形式和使用方式分为 11 种模式。由于考虑到五年后采暖模式能耗的增长，现有和未来的采暖模式定义略有不同，我们暂且认为仅表现在能耗的差异上。模式具体的定义如表 2.2、表 2.3：

表 2.2 现有模式定义

模式	系统	使用方式	开启采暖时的室温	年采暖费用(元)
模式 1	无任何采暖设备	——	8~12℃	无
模式 2	局部采暖设备(如取暖器、电热毯等)	人在房间内感觉冷时才使用	10~12℃	50~100
模式 3	功率较大的局部采暖设备(如油汀)	人在房间内感觉冷时才使用	10~16℃	100~300
模式 4	分体空调	人在房间内感觉冷时才	14~18℃	100~300



		使用		
模式 5	分体空调	只要人在房间就开设备	14~18℃	400~600
模式 6	“一拖多”空调	人在房间内感觉冷时才使用	16~20℃	200~500
模式 7	“一拖多”空调	只要人在房间就开设备	16~20℃	500~700
模式 8	区域集中系统	人在房间内感觉冷时才使用	18~20℃	300~600
模式 9	区域集中系统	只要人在房间就开设备	18~20℃	600~1000
模式 10	燃气壁挂炉（地暖/暖气片）	人在房间就开，采暖季连续运行	18~22℃	1500~2500
模式 11	集中采暖	所有房间都采暖，采暖季连续运行	18~25℃	2500~3000

表 2.3 2020 年模式定义

模式	系统	使用方式	开启采暖时的室温	年采暖费用（元）
模式 1	无任何采暖设备	——	8~12℃	无
模式 2	局部采暖设备(如取暖器、电热毯等)	人在房间内感觉冷时才使用	10~12℃	50~150
模式 3	功率较大的局部采暖设备(如油汀)	人在房间内感觉冷时才使用	10~16℃	100~450
模式 4	分体空调	人在房间内感觉冷时才使用	14~18℃	100~450
模式 5	分体空调	只要人在房间就开设备	14~18℃	400~900
模式 6	“一拖多”空调	人在房间内感觉冷时才使用	16~20℃	200~750
模式 7	“一拖多”空调	只要人在房间就开设备	16~20℃	500~1050
模式 8	区域集中系统	人在房间内感觉冷时才使用	18~20℃	300~900
模式 9	区域集中系统	只要人在房间就开设备	18~20℃	600~1500
模式 10	燃气壁挂炉（地暖/暖气片）	人在房间就开，采暖季连续运行	18~22℃	1500~3000
模式 11	集中采暖	所有房间都采暖，采暖季连续运行	18~25℃	2500~3000

模式中的室内温度数据是根据多个案例测试结果总结而来，而各模式折算到一次能耗的采暖能耗如下图。值得注意的是，模式 11 的采暖费用并非和采暖能

耗直接相关，还包括运营公司收益、人工投入成本等。集中采暖模式的能耗是根据实际的集中采暖系统耗热量而来，和采暖费用并不呈对应关系。

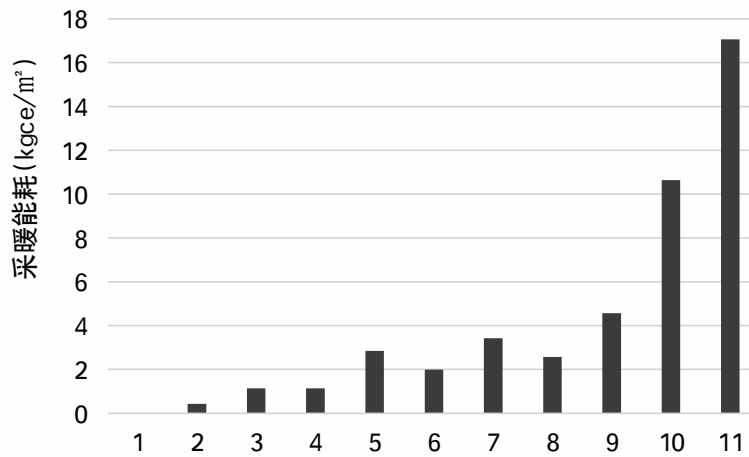


图 2.16 各模式采暖能耗

可以看到，各模式的采暖能耗逐渐增多，对于燃气壁挂炉为热源的系统以及集中供热系统能耗都要远高于其他模式。

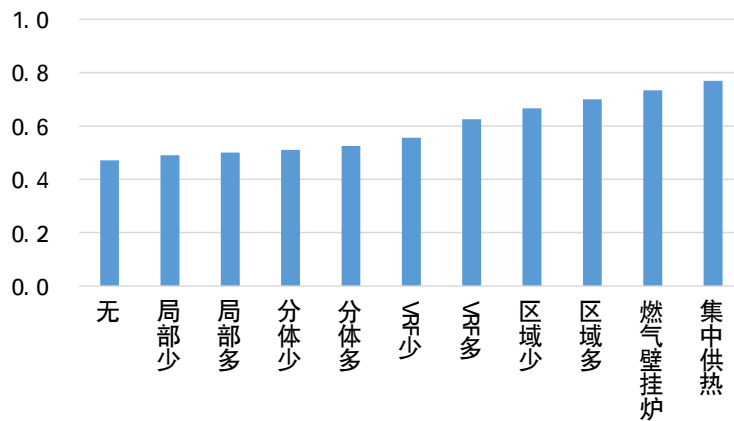


图 2.17 采暖模式满意度

而采暖模式满意度的调查结果显示，集中供热和燃气壁挂炉的满意度最高，但是其相比局部采暖甚至不采暖的满意度都没有高太多，不到 2 倍。汇总得到各个模式其能耗和满意度的关系如下：

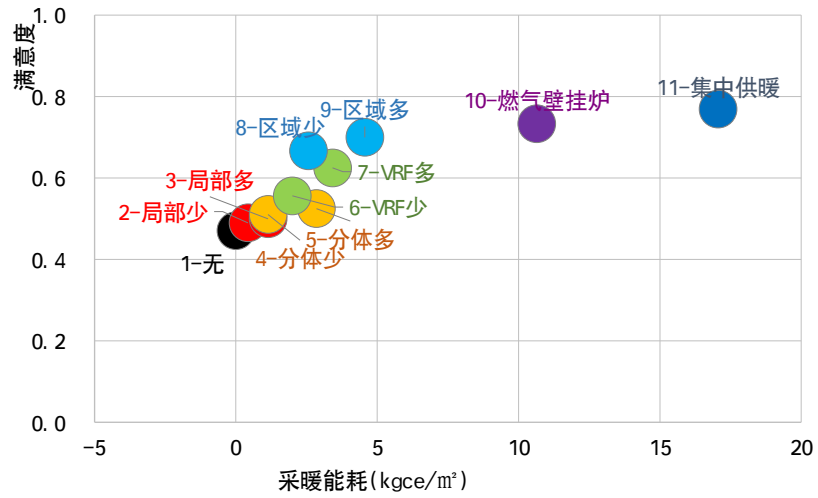


图 2.18 模式能耗与满意度的关系

### 2.2.3 调研样本基本信息

本次调研共回收有效问卷 910 份，其中各地区回收的问卷数如表 2.1 所示：

表 2.4 问卷分布情况

地区	数量	地区	数量
安徽	89	上海	76
湖北	99	四川	100
湖南	118	浙江	94
江苏	116	重庆	115
江西	100		

被调查家庭中，平均常住人口为 3.51 人，具体分布情况如图 2.1 所示：

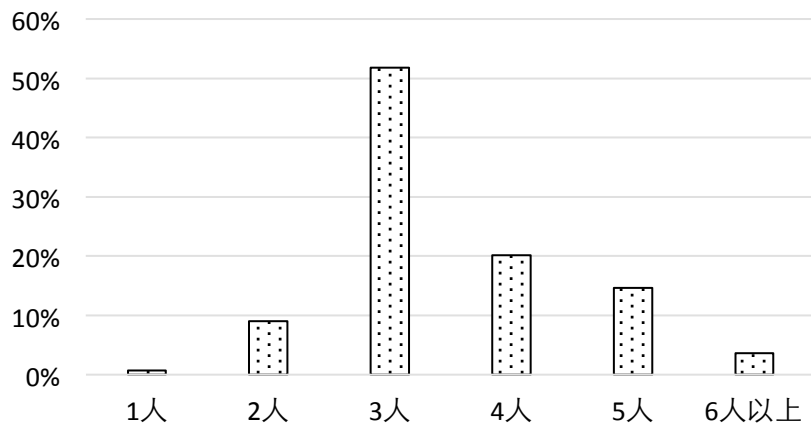


图 2.19 问卷 3 常住人口分布情况

调研的房屋绝大多数是多层楼房（7层及以下），占总样本数的一半以上，别墅和排屋相对较少。而建筑的建成年代主要是 2005 年以后建成和 1996~2005 年建成的，前者占总样本量的 50%。（图 2.20、图 2.21）

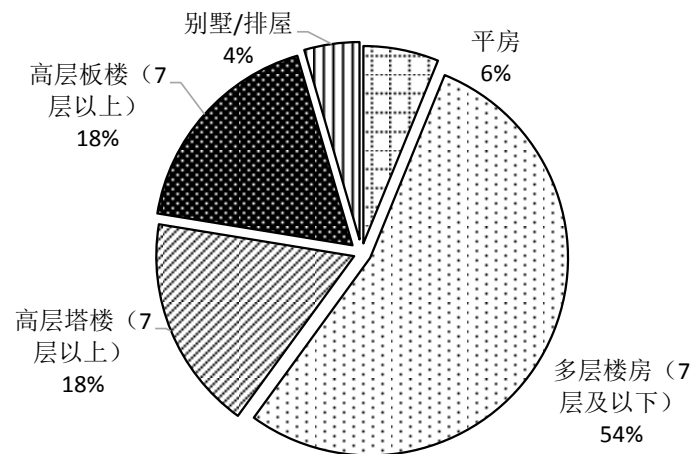


图 2.20 问卷 3 房屋类型

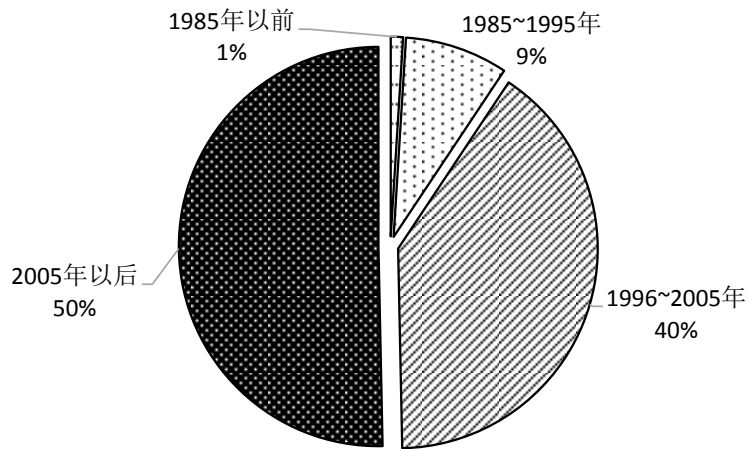


图 2.21 问卷 3 建筑建成年代

调研的房屋平均户均建筑面积为  $123.4\text{m}^2$ ，人均面积为  $35.2\text{m}^2$ 。（图 2.22）

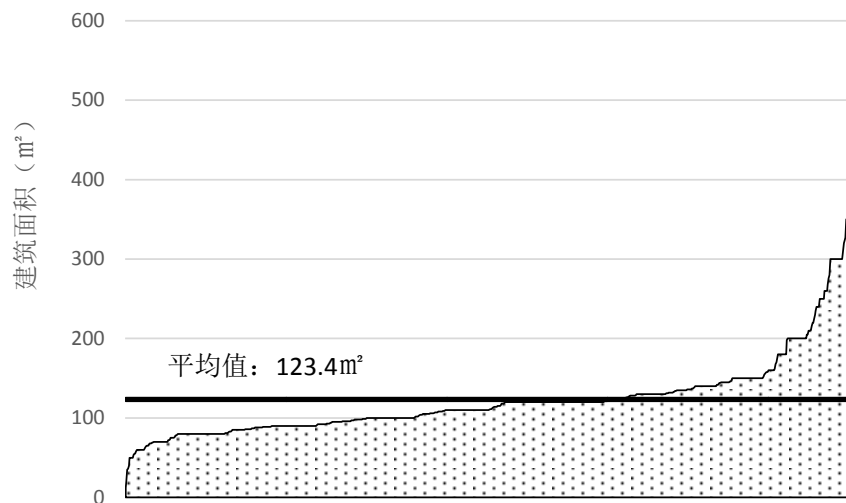


图 2.22 问卷 3 建筑面积分布

通过对住户家庭年收入水平的调研发现，该调研样本人群家庭年收入最大处于 10~20 万元之间，占到总样本数的进一半。其次为 5~10 万元的收入水平。总体来看，本调研样本的收入水平还是要高于一般的水准的。为了合理的分析该地区发展趋势，本研究根据统计年鉴的数据<sup>[30]</sup>对调研样本收入人群比例进行了修正，使得总体收入水平处于夏热冬冷地区平均水平。

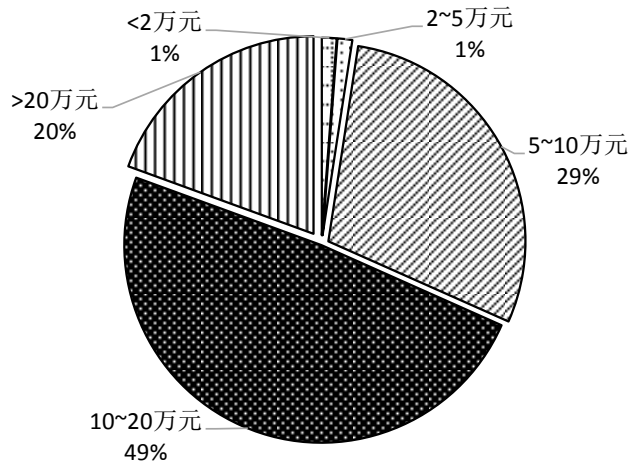


图 2.23 问卷 3 住户年家庭收入水平

#### 2.2.4 采暖人群分布变化趋势

通过调研目前最接近住户实际采取的使用频率最高的采暖方式的模式，以及 2020 年若住户重新改造，住户希望的采暖模式，就得到了从现状到 2020 年采暖模式人群分布变化的趋势。本研究调研结果发现，目前夏热冬冷地区采取最多的采暖模式是分体热泵空调（用的较少）和小功率的局部采暖设备两种方式，这一结论也和 2.1 节的问卷调研得到的结论一致。前者占总样本的 36%，后者占 26%。而 2020 年后，若按照居民需求发展，采暖人群分布比例产生了巨大的变化。较多住户都希望转变为模式 11 即集中供热模式，这个模式的比例达到了 17%，增长为原来的 8 倍。而其他模式以模式 5 为分界，模式 5 之前能耗低、服务水平也略低的采暖模式人群都相应减少，模式 5 之后能耗较高，服务水平也较高的采暖模式人群都略有增长。由此可以看出，夏热冬冷地区居民对采暖模式有改进需求，希望室内环境有所改善。（图 2.24）

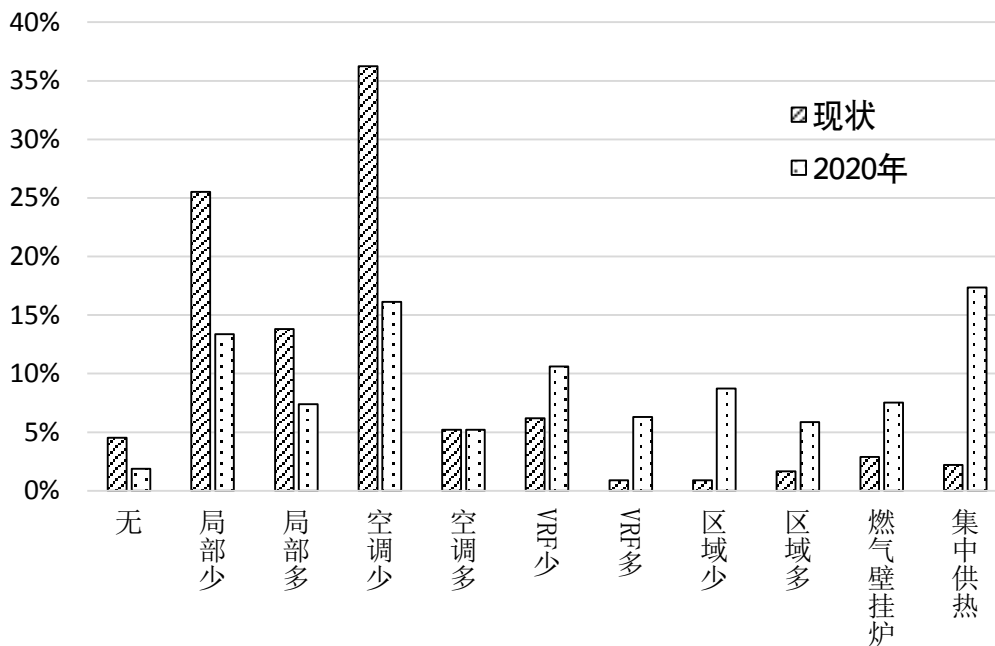


图 2.24 各采暖模式人群比例变化趋势

再对每一种采暖模式进行深入分析，分析了原有模式下人群的转移趋势。统计各原有采暖模式下，保持原有模式不变占原先采暖模式的比例，发现各采暖模式维持不变的比例呈现了“两端高，中间低”的情况（图 2.25），也就是说，高能耗高服务水平以及低能耗低服务水平的采暖模式都会有较高比例的人群选择不改变现有模式。课题组认为，该比例一定程度上反映了每种模式的住户满意度情况。由于靠前的几种模式虽然室内舒适水平一般，但是由于其经济性较高，而最后的几种模式虽然采暖费用较高，但是室内舒适度较前几种有较大改观，因此这些模式的住户满意度即维持不变的人群比例都会比中间几种模式要高些。

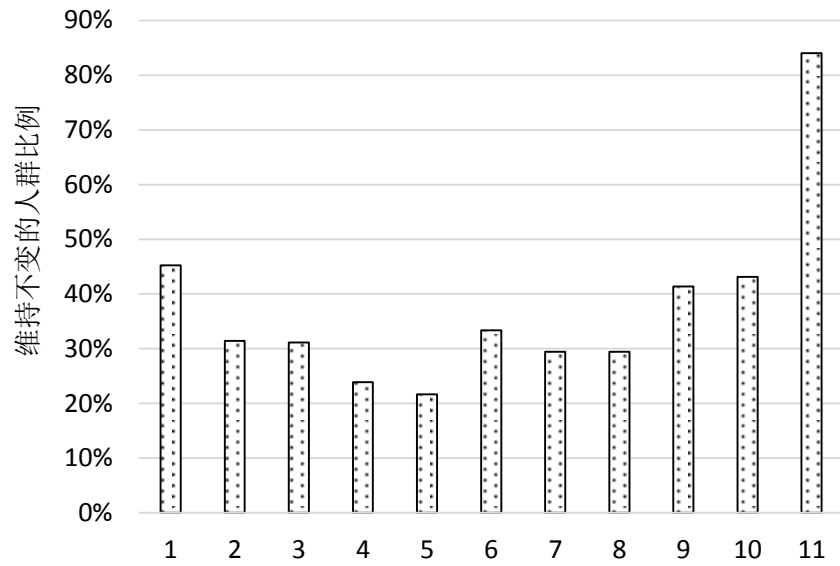


图 2.25 各采暖模式下维持不变的比例

分析住户选择未来采暖模式的主要考虑因素，其中舒适性、节能环保、经济因素是选择较多的因素。有 39% 的住户都认为舒适性是选择采暖模式时最重要的原因，因此造成了 2020 年集中供热模式的人群比例偏高。（图 2.26）

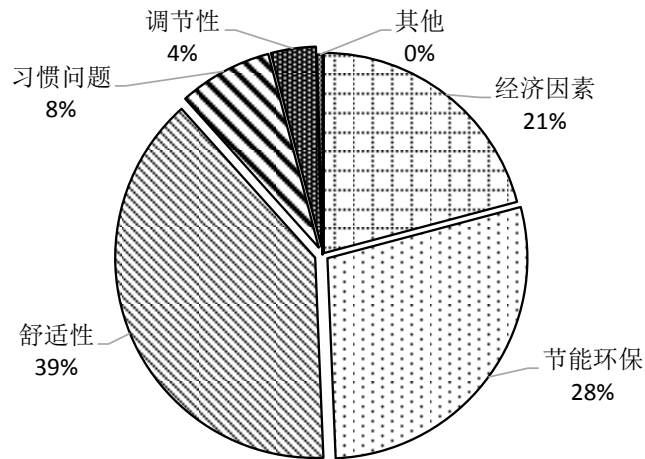


图 2.26 选择采暖模式时考虑因素

进一步分析不同特点人群的模式分布。



对于不同省份的居民采暖模式分布不同，现有模式下，上海、浙江两地的居民分体空调使用率会高些，湖北、江苏两地的燃气壁挂炉使用率比其他城市高些。总体来说，差异并不巨大。对于居民未来期望模式的分布，主要关注集中供热的人群比例。可以看到，浙江、湖北、江苏地区的居民会更倾向于集中供热系统，而这几座城市正是目前政府对集中供热较为推广的城市，如武汉的“冬暖夏凉”工程、《江苏省节约能源条例》、浙江也曾有多位院士联合上书建议集中供热。因此这可以证明，政策宣传对于居民意识以及居民采暖模式的选择会产生巨大的影响。

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
安徽	8%	12%	11%	47%	7%	6%	0%	2%	2%	1%	3%
湖北	8%	19%	12%	31%	5%	2%	2%	2%	3%	10%	5%
湖南	4%	20%	10%	34%	3%	7%	3%	3%	4%	8%	3%
江苏	3%	15%	8%	38%	11%	4%	3%	1%	3%	12%	3%
江西	1%	20%	9%	34%	15%	6%	0%	2%	5%	4%	4%
上海	1%	11%	8%	55%	8%	5%	3%	1%	1%	4%	3%
四川	6%	18%	12%	35%	4%	8%	5%	2%	3%	6%	1%
浙江	3%	16%	9%	56%	5%	7%	0%	0%	0%	3%	0%
重庆	6%	23%	10%	30%	2%	10%	1%	3%	5%	6%	3%

图 2.27 不同省份现有模式人群分布

图中不同深度表示的是人群比例的大小，人群比例较高的颜色较深。横轴为 11 种采暖模式，纵轴为不同特征的人群。下同。

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
安徽	6%	8%	4%	10%	11%	7%	10%	8%	7%	17%	12%
湖北	2%	9%	7%	12%	10%	7%	2%	9%	4%	16%	21%
湖南	1%	13%	6%	11%	3%	14%	4%	8%	8%	13%	20%
江苏	3%	9%	2%	10%	6%	5%	8%	8%	9%	20%	21%
江西	1%	8%	6%	8%	10%	8%	5%	12%	10%	16%	16%
上海	1%	3%	5%	14%	7%	14%	5%	11%	8%	16%	16%
四川	2%	10%	5%	15%	12%	12%	7%	9%	1%	14%	13%
浙江	3%	5%	7%	16%	3%	12%	2%	6%	4%	14%	27%
重庆	3%	11%	6%	17%	10%	9%	4%	9%	8%	7%	15%

图 2.28 不同省份 2020 年模式人群分布

研究背景提到过四川省政府曾公开表态过四川不适宜集中供暖，和江苏比较后发现两者未来人群分布变化存在巨大差异。江苏地区居民更倾向于集中供热等比较类似北方“全时间、全空间”采暖的模式。

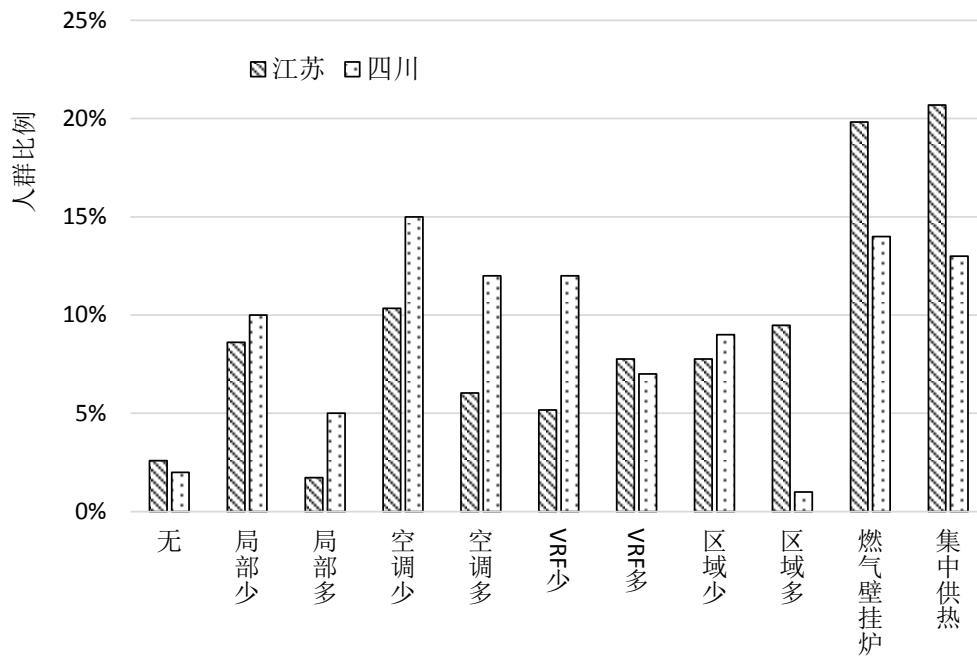


图 2.29 江苏和四川未来采暖模式比较

对于不同收入层次的居民模式分布的统计结果表明，居民现有的采暖模式与居民家庭收入存在非常大的关系。对于家庭年收入 2 万元以下的住户，超过半数的住户都采用的是局部电取暖设备，没有住户是模式 5 之后的采暖模式。而家庭年收入高于 20 万元的住户则燃气壁挂炉的模式比例较其他收入层次要高。再看居民期望 2020 年的模式，此时模式的选择和收入的关系并不是那么明显，但依然年收入最高的住户会更倾向于选择采暖费用高舒适度高的模式（图 2.30、图 2.31）。

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
<2万元	1	0%	55%	9%	36%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
2~5万元	2	0%	27%	18%	36%	9%	9%	0%	0%	0%	0%	0%
5~10万元	3	8%	26%	13%	34%	2%	5%	1%	1%	3%	4%	4%
10~20万元	4	3%	15%	9%	43%	9%	5%	2%	2%	2%	6%	2%
>20万元	5	4%	7%	6%	38%	8%	11%	2%	2%	8%	11%	2%

图 2.30 不同收入层次现有模式人群分布

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
<2万元	1	0%	9%	9%	18%	9%	0%	0%	18%	9%	9%	18%
2~5万元	2	0%	18%	9%	18%	0%	9%	9%	9%	9%	0%	18%
5~10万元	3	3%	12%	7%	16%	7%	13%	5%	8%	3%	9%	17%
10~20万元	4	2%	8%	4%	12%	9%	9%	5%	9%	8%	17%	16%
>20万元	5	2%	5%	5%	10%	7%	6%	6%	7%	8%	18%	26%

图 2.31 不同收入层次 2020 年模式人群分布

最后对不同年龄段的人群进行分析。不同年龄段对于未来采暖模式的期望不同。年龄较小的住户更倾向于集中供热形式，年龄较高的住户更倾向于选择比现有模式略改善的一拖多形式。（图 2.32 图 2.33）

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
15~20	1	14%	21%	14%	21%	0%	7%	0%	0%	14%	0%	7%
20~30	2	3%	22%	9%	40%	5%	6%	2%	2%	4%	5%	2%
30~40	3	5%	15%	10%	38%	7%	7%	2%	2%	2%	9%	4%
40~50	4	8%	12%	10%	39%	13%	6%	2%	1%	4%	5%	2%
50~60	5	0%	8%	23%	54%	0%	8%	0%	0%	0%	0%	8%

图 2.32 不同年龄段现有模式人群分布

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
15~20	1	14%	14%	14%	14%	7%	7%	0%	0%	7%	0%	21%
20~30	2	2%	10%	6%	13%	6%	10%	6%	9%	7%	14%	17%
30~40	3	2%	8%	5%	11%	9%	9%	6%	9%	6%	17%	19%
40~50	4	4%	9%	4%	17%	11%	6%	3%	9%	7%	12%	18%
50~60	5	0%	0%	15%	8%	15%	31%	0%	0%	8%	8%	15%

图 2.33 不同年龄段 2020 年模式人群分布

## 2.2.5 采暖模式相关性分析

此部分主要分析采暖模式的选择和各个影响因素变量的关系，影响因素包括住户年龄、受到的最高教育、职业、家庭人口等多个变量，目前模式以及住户期望的 2020 年模式作为独立变量与其进行相关性分析。本研究采用的是偏相关分析的研究统计方法，也即剔除其他相关因素影响，只分析单独两个变量之间相关性。若偏相关系数足够大，则说明该变量与模式的选择相关性很大，且显著性越小，偏相关系数越大，影响越大。若显著性小于 0.05，则认为该变量与模式选择有关。本研究使用 SPSS 统计软件进行相关性的分析。统计结果如表 2.5、表 2.6：

表 2.5 对现有模式的相关性分析

影响因素	偏相关系数	显著性
年龄	-0.017	0.609

最高教育	0.03	0.367
职业	-0.031	0.352
家庭人口	-0.005	0.881
18岁以下人员人数	0.08*	0.017
房屋类型	0.016	0.631
建筑面积	0.009	0.789
建成年代	0.083*	0.013
家庭年收入	0.132**	0
采暖季	0.068*	0.043
采暖费用	0.346**	0

注：\*，在 0.05 水平上显著相关；\*\*，在 0.01 水平上显著相关

表 2.6 对期望模式的相关性分析

影响因素	偏相关系数	显著性
年龄	-0.026	0.431
最高教育	0.017	0.606
职业	-0.071*	0.033
家庭人口	0.024	0.475
18岁以下人员人数	-0.029	0.382
房屋类型	-0.025	0.461
建筑面积	0.03	0.37
建成年代	0.001	0.966
家庭年收入	0.042	0.213
采暖季	-0.009	0.793
采暖费用	0.091**	0.006
目前模式	0.415**	0

注：\*，在 0.05 水平上显著相关；\*\*，在 0.01 水平上显著相关

统计发现，现有模式和 18 岁以下人员人数、建成年代、家庭年收入、采暖季长度、采暖费用都存在着相关性，而在这些相关因素中，家庭年收入、采暖费用这两个变量和现有模式存在显著的相关性。分析原因，家中有小孩的住户可能会选择更舒适的采暖模式，集中供热和地板采暖这些近几年开始流行的采暖方式更可能在新建建筑中安装，家庭年收入越高的住户采取高舒适度高采暖费用采暖模式的可能性更大，而采暖系统的不同形式会影响设备使用方式，因此现有采暖模式和采暖费用显著相关。

另外，期望模式和住户职业、采暖费用、目前模式存在相关性，其中采暖费用、目前模式和期望模式显著相关。采暖费用本身和目前模式十分相关，因此可以看到最主要影响住户对未来采暖模式选择的因素是其现有的采暖模式。

### 2.2.6 调研结论

根据夏热冬冷地区采暖居民未来采暖需求变化的调研，我们可以得到以下几点结论：

- 1) 该地区居民有改进采暖模式的需求，希望改善室内舒适水平；
- 2) 目前各采暖模式的整体满意度呈现“两边高，中间低”的特点，中间模式的住户较希望改变现状；
- 3) 政府相关政策会对住户采暖模式的选择产生明显的影响，在推广集中供热的地区，较多居民倾向于高能耗高舒适度的采暖模式；
- 4) 收入越高，年龄越小的住户采用集中供热的期望越高；
- 5) 现有模式和家庭年收入及采暖费用显著相关，而 2020 年的模式选择主要和住户现有的模式有关。

由上可以看出，未来夏热冬冷地区有改善采暖方式的要求，而不同特点的人群改进需求不同。

## 2.3 本章小结

在本章主要介绍了本研究进行的几项问卷调研，每份问卷目的不同：

- 1) 夏热冬冷地区城镇住宅冬季采暖现状调研，主要为了解采暖现状；
- 2) 夏热冬冷地区居民采暖需求调研，主要为了解没有任何外力作用下，该地区采暖未来可能的发展趋势，便于针对未来发展路线制定提供依据。

得到以下结论：

- 1) 夏热冬冷地区冬季采暖具有间歇性、局部性、多样性这三个特点；
- 2) 未来夏热冬冷地区有改善采暖方式的要求，而不同特点的人群改进需求不同。

## 第3章 夏热冬冷地区城镇住宅冬季采暖实测案例

### 3.1 测试方案

为进一步研究夏热冬冷地区的冬季采暖形式及现在存在的问题，课题组于2013年寒假、2014年寒假在夏热冬冷地区多个城市进行了整个采暖季的入户案例测试。测试对象位于上海、成都、南京、合肥等多地。所有住户除了实际测试之外，都进行了问卷调研及访谈。测试内容包括主要采暖设备用电量、各个房间及室外的温湿度、各个房间的二氧化碳浓度以及住户开窗行为等。问卷调研内容同2.1节。

测试对象详细信息如下：

表 3.1 测试案例信息

编号	时间	地点	采暖系统形式
1	2013	上海	燃气壁挂炉+地板采暖
2	2013	上海	户式中央空调
3	2013	上海	分体热泵空调
4	2013	上海	分体热泵空调
5	2013	南京	燃气壁挂炉+地板采暖
6	2013	南京	户式中央空调
7	2013	南京	电油汀
8	2013	南京	燃气壁挂炉+地板采暖
9	2014	合肥	地源热泵+风机盘管
10	2014	合肥	地源热泵+风机盘管
11	2014	合肥	地源热泵+风机盘管
12	2014	成都	燃气壁挂炉+地板采暖
13	2014	成都	燃气壁挂炉+地板采暖
14	2014	成都	分体热泵空调+电油汀
15	2014	上海	分体热泵空调
16	2014	上海	分体热泵空调

汇总课题组所有在夏热冬冷地区的测试调研案例，共有46户住宅的冬季室内情况的案例测试与访谈，本研究针对这些案例进行了汇总分析，并根据系统形式从这些测试案例中挑选了5个案例作为典型案例进行了深入分析。典型案例基本信息如下：

表 3.2 典型案例基本信息

	地点	测试时间	系统形式
案例 1	武汉	2013.12-2014.3	热电联产供热
案例 2	武汉	2013.1-2013.3	水源热泵+风机盘管
案例 3	上海	2012.12-2013.3	燃气壁挂炉+地板辐射末端
案例 4	上海	2013.12-2013.3	分体热泵空调
案例 5	南京	2013.1-2013.3	电采暖设备

## 3.2 典型案例分析

### 3.2.1 热电联产集中供热案例

案例 1 位于武汉市，采用的采暖形式为集中供热系统。该系统于 2012 年起正式供热。其采用某热电厂抽气作为热源，2013-2014 年采暖季供热面积为 92.9 万  $m^2$ 。供热时间为 11 月 15 日-3 月 15 日，部分用户可选择供热时间为 12 月 1 日-2 月 28 日。末端有地板辐射采暖与散热器两种形式可供用户自选。

末端收费方式可选择按面积收费或者按热量收费。根据武汉市物价局定价，按面积收费时热价为 8.5 元/ ( $m^2$ ·月)，若按热量收费热价为 0.33 元/kWh，也即对于 100  $m^2$  的住宅，一个冬季（采暖季 3 个月）的采暖费用为 2550 元（按面积收费）或者按实际耗热量收费。目前，绝大多数住户都选择了按面积收费这种方式。

比较北方的收费情况，北京的供暖价格会根据供暖方式而收取的费用不同，大致在 16.5 元/ $m^2$ ~30 元/ $m^2$  之间<sup>[31]</sup>。可见，武汉该集中供暖案例的采暖费用已经高于一些北京居民的采暖费用。而从采暖能耗的角度来比较，北京的冬季采暖需热量在 0.3GJ/ $m^2$  左右<sup>[32]</sup>，而武汉市冬季温度要高于北京市，然而该案例 2013~2014 年采暖季热源提供的总热量为 31.8 万 GJ，按照采暖面积 92.9 万  $m^2$  计算，实际住户的冬季耗热量为 0.34 GJ/ $m^2$ ，已经高于北京的采暖需热量，并显著高于夏热冬冷地区城镇住宅采暖耗热量的平均水平（图 3.1）。

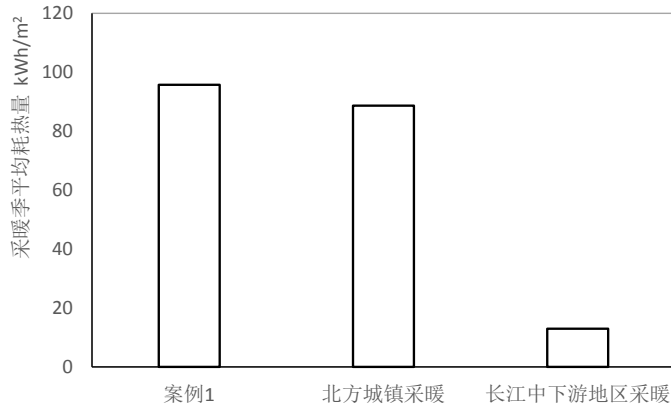


图 3.1 案例 1 采暖季平均耗热量比较<sup>[1]</sup>

2013 年 12 月~2014 年 3 月，本研究对其中某小区的住宅进行了入户测试。实测发现大部分住户室内温度都高于 20℃，维持在在 21℃~23℃之间。典型住户三个典型日的室内温度如图 3.2 所示。

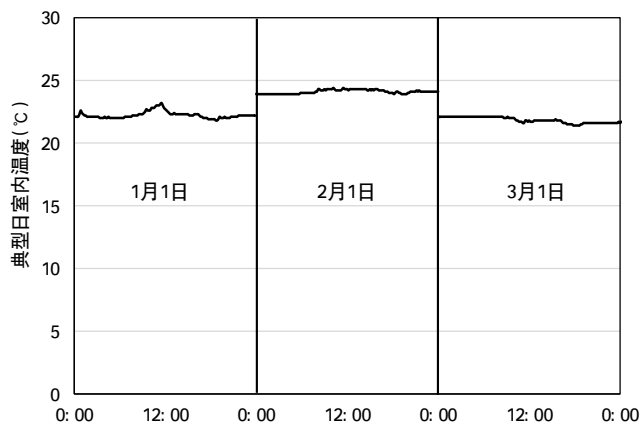


图 3.2 案例 1 典型住户典型日室内温度

该案例虽说住户的室内温度状况已经达到了北方供暖的水平，然而从能源消耗、经济状况来说，该案例的运行状况都比较差。整个供暖链涉及到热电厂、管网公司、管网周围楼盘开发商及住户等四方面。从热电厂角度来说，由于武汉供暖时间短，采暖设备每年闲置的时间较长，需要大量的设备维护，加之设备效率较低，导致经济效益不高，因此热电厂态度并不积极。从管网公司角度来说，管网公司以 45 元/GJ 的价格从热电厂买热，然后以 25.5 元/m²的热价供热给住户，管网公司表示运营至今一直在亏损。主要原因是因为采暖面积过小，管网公司希



望周围楼盘开发商都能入网，但是 180 元/m<sup>2</sup>的高入网费使得开发商不愿接入供暖网，采暖推行较为困难。管网公司供热能力为 1600 万 m<sup>2</sup>的采暖面积，其经济采暖面积为 500 万 m<sup>2</sup>，然而其目前实际供热面积仅为 400 万 m<sup>2</sup>。另外，管网公司还认为政府的支持力度不够。

实际住户的耗热量已高于北京居民的单位耗热量，一是由于上文提及的实际供热面积远小于其供热能力，负荷率偏低，因此整体效率较低，另外居民的生活方式也是非常大的一个影响因素。在该案例中，住户可选择是按面积收费还是按热量收费，实际上多数住户都选择了按面积收费，多数居民一到冬天就一直将采暖设备设至最大值，并不进行调节。并且在实际访谈中，住户表示在按照面积收费的情况下，采用集中供暖后由于“屋里比以前暖和”，开窗的时间比之前更多。根据 2.2 节的问卷调研结果也显示了相同的结论，多数住户选择按面积收费后整个冬天一直开着采暖设备。末端用户缺乏调节，居民趋于“全时间、全空间”的采暖模式，且维持着开窗通风的习惯，由此导致了该案例如此高的采暖耗热量。

### 3.2.2 水源热泵案例

案例 2 位于武汉市，采用的采暖形式是水源热泵小区供热系统。该小区于 2009 年 11 月建成，建筑面积约 50000 m<sup>2</sup>，共有 5 栋住宅楼，每栋楼 18 层，共 413 户，入住率为 85%左右。小区采用 2 台螺杆式水源热泵机组进行区域供冷供暖，水系统形式为一次泵定流量系统。末端为风机盘管形式，风机盘管末端安装电动阀可调节流量，住户可按照自身需求调节风机“高中低”三档风速。末端收费方式为按热量收费，即根据风机盘管“高、中、低”三档风速运行时长来收取不同费用，采暖费用 0.2 元/kWh。



图 3.3 案例 2 小区实景图

在 2013 年供暖期对该小区机组的进出口水温及流量、住宅楼的进出口水温及流量进行了实测，测试结果表明，系统 EER 约为 3.25，热泵机组 COP 为 5.37，输送系数为 8.25，机组的负荷率平均值为 0.81。

由于该案例中，采暖费用与耗热量直接挂钩，用户具有主动调节采暖末端的意识。住户大部分时间仅开启部分房间的采暖设备，且开启时长远低于全天 24 小时。

实测表明，供暖期平均耗热量为  $31.9\text{kWh/m}^2$ ，折合采暖能耗费用为 6.38 元/ $\text{m}^2$ ，也即对于  $100\text{m}^2$  的住宅，一个冬季的采暖费用为 638 元。同时，还在该小区进行了入户的测试，选取了 8 户住户测试了其室内温度情况。实测结果表明，用户平均冬季室内温度一般在  $15^\circ\text{C}$  左右，如图 3.4 所示，8 户住户除一户室内温度在  $10^\circ\text{C}$  左右，其余 7 户采暖期室内温度大多在  $13\sim 17^\circ\text{C}$  之间，而开启采暖后，室内温度可达到  $20^\circ\text{C}$  以上，如图 3.5 所示。

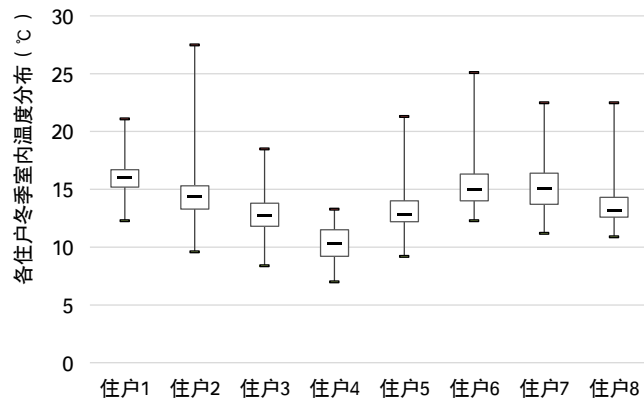


图 3.4 案例 2 住户采暖季室温分布

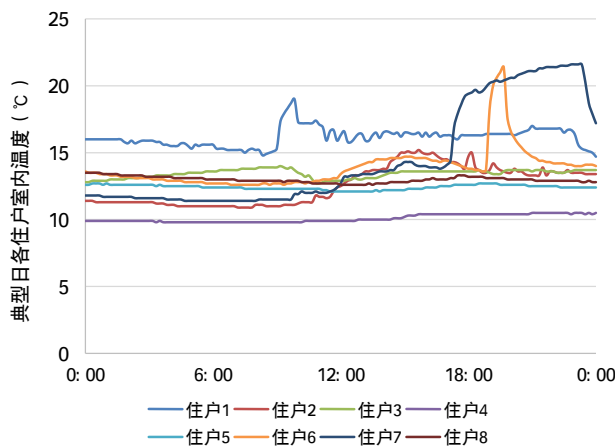


图 3.5 案例 2 住户典型日室内温度

绝大部分住户目前对冬季室内情况较为满意，且认为经济性较高。但也有住户感觉风机盘管的效果不太好，冬天室内没有“完全热起来”。

案例 2 的采暖能耗要低于案例 1 的采暖能耗，主要原因在于室内平均温度的巨大差异。集中供暖案例住户室内平均温度 20°C 以上，而案例 2 由于住户可自己调节末端风机盘管，且实际采暖费用和耗热量成正比，因此住户室内平均温度仅为 15°C 左右。

该案例目前最主要的问题是物业目前处于亏损状态。该小区 0.2 元/kWh 的热价是根据湖北省电力公司 2001 年出台的蓄能产品用电优惠政策计算的，即按居民分时电价：谷段 0.303 元/度、平段 0.563 元/度、峰段 0.96 元/度核算出来的。但省电力公司于 2010 年 6 月 21 日发文《湖北省电力公司关于停止蓄能产品用电、居民分时段用电优惠电价的通知》后，现在执行的分时电价为谷段 0.479 元/度、平段 0.928 元/度、峰段 1.61 元/度，电价比原核算电价增加 65%。由此可见电价的变动是造成亏损的主要原因之一。若按武汉市物价局制定的供热价格，按热量收费热价为 0.33 元/kWh 热量，因此，该案例较为合理的采暖费用应为 10.5 元/m<sup>2</sup>，也即对于 100 m<sup>2</sup> 的住宅，一个冬季的采暖费用为 1050 元。

### 3.2.3 燃气壁挂炉+辐射地板采暖案例

案例 3 位于上海市，采用的采暖形式为燃气壁挂炉+地板辐射供暖末端。该户住宅为 2009 年建成，建筑面积为 138 m<sup>2</sup>。家中有两个大人，一个小孩。该住宅的各个房间均装有控制面板，各个房间温度独立可调，但实际上，访谈中住户表

示一到冬天就一直开着，固定设置值 16℃。同时，住户在采用这一采暖设备后开窗明显减少。

2012-2013 年采暖季，该住户每个月采暖费用为 1000 元左右，采暖季三个月，也即采暖季费用为 3000 元，上海天然气价格为 2.5 元/m<sup>3</sup>，因此采暖季消耗的天然气 1200m<sup>3</sup>，折合每平米指标为 8.7m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>。而实测的室内温度在 15℃~17℃，二氧化碳浓度在 1000~1400ppm 左右。（图 3.7）

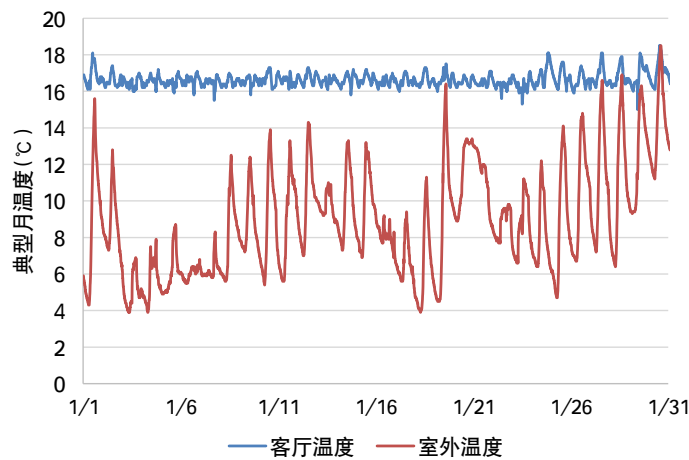


图 3.6 案例 3 住户典型月客厅温度及室外温度

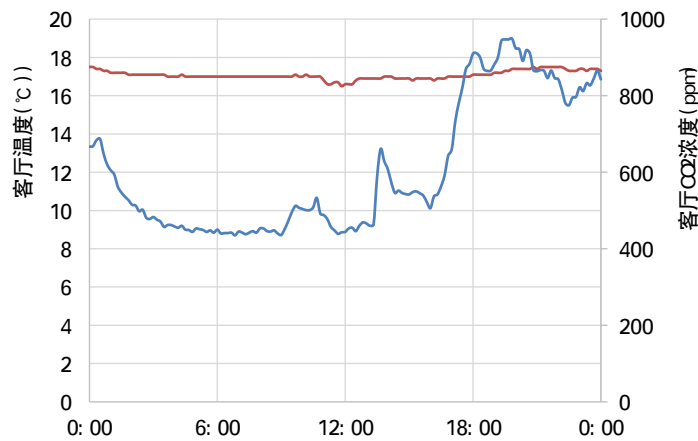


图 3.7 案例 3 典型日住户客厅温度与 CO<sub>2</sub> 浓度

住户表示，在采用这一采暖形式之后，冬季室内舒适度有了明显的提升；价格虽然较高但在自己可承受的范围内。但是，该住户的能耗已明显高于该地区平均水平，这主要是因为案例采用了“全部时间、全部空间”的采暖方式，这可能

与采用地板辐射方式的热惯性较大、采暖设备一旦关闭会需要很长时间才能重新加热房间有关。

造成该住户采暖能耗偏高的主要原因除了其 24h 开启采暖的使用习惯，还有一个很大的影响因素可能是邻室传热的影响。目前使用地板采暖的住户较少，在测试期间（即 2013 年冬季）住户周围邻居都未安装地板采暖，因此邻室传热损失严重，有研究表明，若楼板无保温，辐射地板向下热损失约占系统总热量的 19%<sup>[24]</sup>。而 2014 年冬季回访住户时，该住户表示采暖季费用减少了一半左右，其原因包括周围邻居也安装了地板采暖，以及两年的外温变化。可见邻室传热热损失对居民的采暖能耗产生很大影响。

### 3.2.4 分体热泵空调案例

案例 4 位于上海市，使用的采暖方式是分体热泵空调形式。该户住宅于 90 年代建成，建筑面积 42m<sup>2</sup>。住户在卧室安装了一台分体热泵空调。家中有住户两夫妻。住户表示采用的是“部分空间、部分时间”的采暖模式，也即觉得冷了开或是晚上睡觉前开。实测发现，住户较常开启空调的时间是早上和睡觉前，一般的空调作息是晚上感觉冷时开启空调，然后晚上睡前关闭空调，或是较冷时空调开整晚，第二天起床关闭空调。如图 3.8 所示。

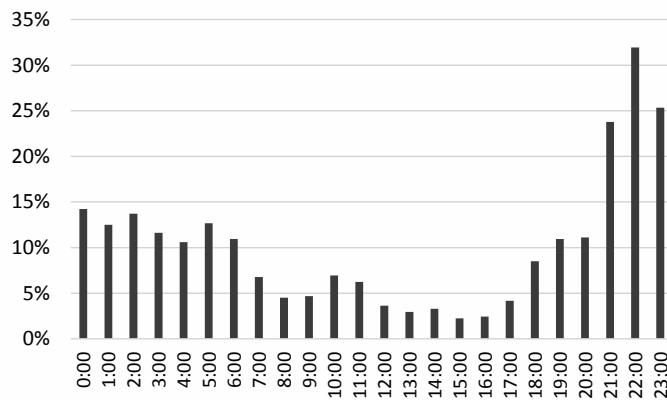


图 3.8 案例 4 不同时刻卧室空调使用率

实测在 2012~2013 年采暖季，该住户的冬季采暖电耗为 403kWh 电，折合到单位面积采暖电耗 9.6kWh/m<sup>2</sup>，采暖能耗强度虽然要高于之前调研所得到的能耗平均水平（4 kWh/m<sup>2</sup>），但是本研究认为这主要是由于该案例建筑面积较小，由于分体空调形式是按照房间采暖的，对于建筑面积较大的住户，若仅使用一台空

调取暖，则可能和该案例需要差不多的采暖电耗，但是折算到单位平米指标后就会使得能耗强度下降。因此，并不能单从面积指标上看，就认为该案例的采暖能耗偏高。

实测住户房间温度未采暖是 9~10℃，采暖后室内温度为 16~17℃。典型日卧室温度及空调功率如图 3.9 所示。

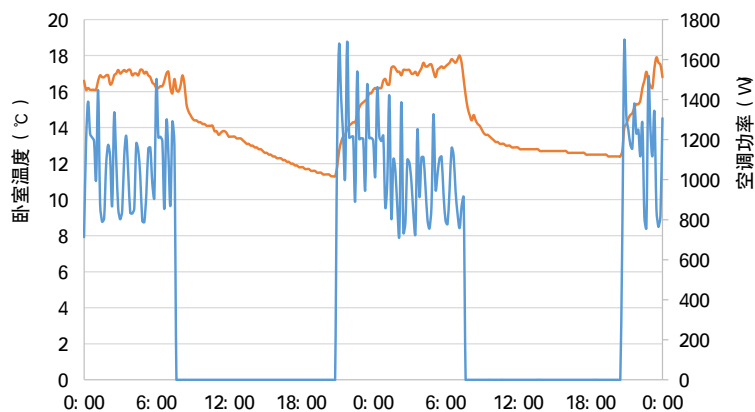


图 3.9 案例 4 典型日卧室温度及空调功率

分析认为，该案例采用了“部分时间、部分空间”的采暖方式，从单户能耗来看，代表了当前该地区一大部分家庭的采暖情况。在与住户的访谈中，该住户表示对现有的采暖形式并不太满意。主要原因是认为空气源热泵制热效果不好，加热时间较长，无法满足住户需求，且室内开启采暖设备后感觉较干。

### 3.2.5 局部电采暖案例

案例 5 位于南京市，使用的采暖形式为电油汀采暖。该户住宅为 90 年代建成，建筑面积 77 m<sup>2</sup>。家中只有两位退休老人，绝大部分时间都在家中。住户采用的电油汀局部取暖，客厅、卧室均装有油汀，但实际测试中我们发现住户仅客厅的油汀较常使用，但一天使用率最高的时刻油汀的开启频率也未超过 30%。住户较多的采暖作息是早上起床后开启客厅电油汀，中午感觉暖和了关闭油汀，晚上温度下降后再开启油汀，睡前离开客厅关闭电油汀。（图 3.10）

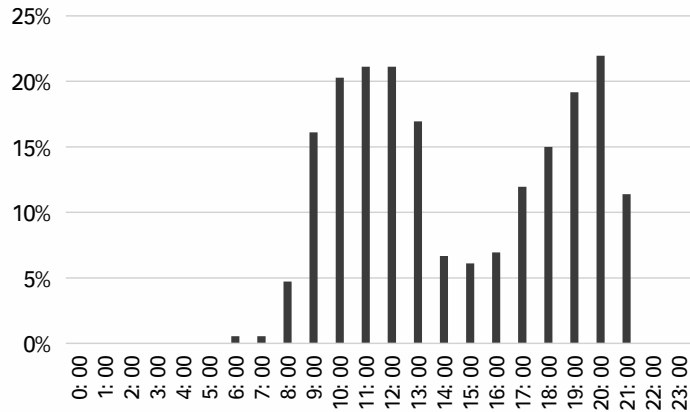


图 3.10 案例 5 不同时刻客厅油汀使用率

实测在 2012~2013 年采暖季，该户住宅冬季采暖电耗约为 120 kWh，折合单位面积采暖电耗为 1.6kWh/m<sup>2</sup>，约为 70 元/采暖季。住户室内温度约在 14~17℃，实测客厅温度和油汀功率如图 3.11 所示。

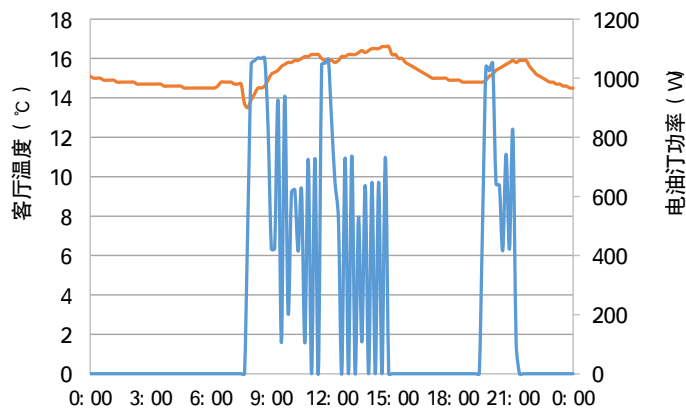


图 3.11 案例 5 典型日客厅温度与电油汀功率

该住户对室内情况较为满意，且认为经济性较好。与其他住户相比，该住户的室内温度并不高，且设备使用率很低，住户对冬季室内热环境的要求不高。然而需要注意的是，由于油汀是一种局部取暖设备，加热范围有限，因此实测的温度和测点与油汀的距离有关，因此从房间整体角度来说，油汀的舒适性、室内温度的均匀性都是较差的。

### 3.3 典型案例总结与分析

前文所述的五个案例使用了不同的设备形式与使用方式，冬季室内环境的舒适度、冬季采暖花费也有一定差别。

对 5 个案例进行综合比较，如表 3.3 所示。

表 3.3 案例综合比较

	案例 1	案例 2	案例 3	案例 4	案例 5
系统热源	热电厂余热	水源热泵	燃气壁挂炉	空气源热泵	电加热
末端形式	地板采暖或暖气片自选	风机盘管	地板采暖	上送风	辐射末端
开启采暖时的室温	20~25℃	20℃以上	16℃以上	15℃以上	15~17℃
采暖季平均室温	21℃	15℃	16℃	15℃	14℃
年耗热量（含输配）	95.8kWh/m <sup>2</sup>	31.9kWh/m <sup>2</sup>	83.3kWh/m <sup>2</sup>	18kWh/m <sup>2</sup>	1.7kWh/m <sup>2</sup>
采暖季采暖费用	25.5 元/m <sup>2</sup>	6.38 元/m <sup>2</sup>	21.7 元/m <sup>2</sup>	4.8 元/m <sup>2</sup>	0.9 元/m <sup>2</sup>
一次能耗效率 <sup>注1</sup>	1.73	1.29	0.93	0.85	0.40
建筑年代	2010 左右	2009 年	2000s	1990s	1990s
收费方式	按面积	按热量	按热量	按热量	按热量
采暖使用方式 <sup>注2</sup>	a	b	c	b	b
开窗方式 <sup>注3</sup>	i、iii	i、iv	ii、iv	i、iv	i、iv

注 1：定义一次能耗效率用以表征供热系统或设备的能源利用效率。一次能耗效率 = 供热热量/系统的一次能耗（电按照发电煤耗法计算，其他类型的一次能耗按照其热值计算）。折算系数参考《中国建筑节能年度发展报告 2011》<sup>[32]</sup>

注 2：采暖使用方式：a、一直最大程度地开启采暖设备；b、有人在家且觉得冷时开启设备，离开时关闭；c、整个冬季一直开启采暖设备，家中无人时调低温度。

注 3：开窗方式：i、每天保证一定时间的开窗通风；ii、较少开窗通风；iii、开采暖设备时开窗；iv、开采暖设备时不开窗。

案例 1 为热电联产集中供热配地板辐射或暖气片末端，按面积收费，这种采暖方式下，居民普遍倾向不对设备进行调节，室内温度较高，用户会保证一定开窗定时开窗换气，费用在入住住户可接受范围内，但耗热量过高。案例 2 为水源热泵系统配风机盘管末端，按热量收费，居民一般仅在有人时开启采暖设备，保证一定开窗定时开窗换气，但冬季有时采暖效果不佳。案例 3 为燃气壁挂炉配地板辐射末端，居民在冬季一直开启设备，但家中无人时会调低温度，开窗较少，耗热量较高。案例 4 使用分体空气源热泵，居民仅在有人且觉得冷时开启设备，保证一定开窗，但住户认为舒适性不够。案例 5 使用局部电采暖设备，仅在有人且觉得冷时开启，保证开窗，室内温度不高，但住户也较为满意。

由案例分析可发现，不同的设备形式对应着不同的使用方式，以及不同的室内舒适程度与采暖能耗。同时，对于不同人群，对采暖的需求不尽相同。大部分



居民倾向在有人在室内时开启采暖设备，而室内没有人时采暖设备不开启或关小。居民的使用方式与选用的设备系统有一定关联，系统的改变可能会造成采暖行为的变化。

综合分析，认为该地区住宅冬季采暖存在显著的多样性、局部性和分散性特点。

### 3.4 本章小结

本章从实测案例出发，介绍了夏热冬冷地区五个典型案例，包括热电联产集中供热系统、水源热泵系统、燃气壁挂炉地板辐射采暖系统、分体热泵空调、局部电采暖设备。通过实际案例可以得到以下结论：

- 1) 不同采暖方式对应着不同的使用方式，以及不同的采暖能耗及室内舒适水平；
- 2) 夏热冬冷地区冬季采暖具有采暖形式多样，住户采暖需求个体差异大，呈现多元化的特点；
- 3) 夏热冬冷地区采暖技术的选择应因地制宜、因人而异，并非所有人只能使用一种技术；
- 4) 按照北方模式的集中供热形式，由于末端缺乏调节措施及按面积收费的方式造成了严重的能源浪费，因此并不宜推广大规模集中供暖；
- 5) 居民的使用方式与选用的设备系统有一定关联，系统的改变可能会造成采暖行为的变化。

## 第4章 夏热冬冷地区住宅发展大规模集中供热的适宜性分析

前文已分析了夏热冬冷地区目前的居民冬季采暖模式。可以看出，该地区居民冬季采暖有自身特点，与北方居民有着较大的差异。那么，如果将北方的采暖模式直接复制到该地区究竟是否可行？本章综合北方严寒/寒冷地区与夏热风冷地区的差异，以及居民行为模式的不同，对大规模集中供热在夏热冬冷地区的适宜性进行了分析。综合认为，该地区并不适宜直接复制北方模式，发展大规模的集中供热。

### 4.1 气候特征

长江流域部分城市的冬季最冷月的平均温度如图 4.1 所示，与我国北方严寒、寒冷地区相比，长江流域的冬季室内外温差较小，寒冷时间较短，需要采暖的时间大约 2 个月，而严寒地区如哈尔滨全年有 6 个月需要供暖。哈尔滨、北京、上海、武汉和南京冬季采暖度日数和度小时数如表 4.1 所示：

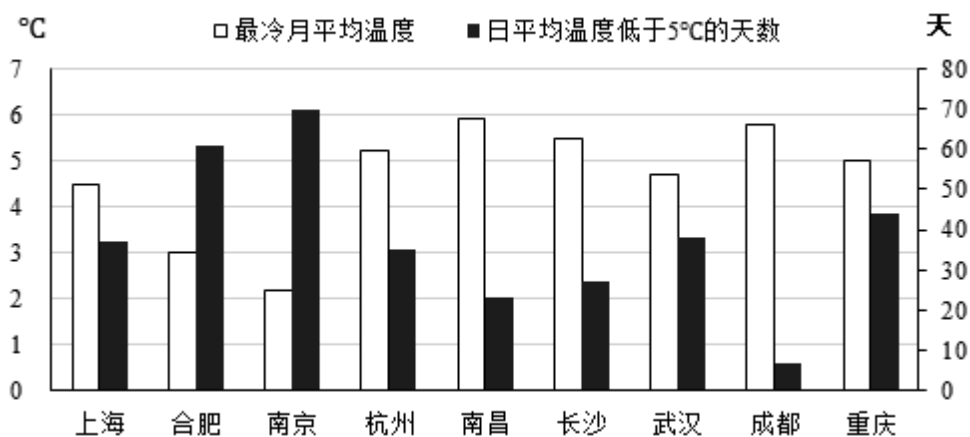


图 4.1 长江流域典型城市气象条件

表 4.1 几个城市采暖度日数和度小时数统计

	度日数	度小时数
哈尔滨	5418	131928

北京	2790	69156
南京	1936	47577
武汉	1628	40048
上海	1585	38679

集中供暖系统建设规模大、周期长、投资高，且只有配合长寒冷期连续供暖的使用特点，才能够发挥其能源利用理论效率高的优势。但如果在夏热冬冷地区使用集中供暖，便意味着除供暖期之外的 10 个月内，设备、运行人员都要闲置，使得集中供热管网设备的使用率非常低，设备折旧和人力成本相对变高，造成巨大的浪费。而分散式供暖具有建设规模小、周期短、投资较低的特点，其运行方式由用户自己管理，灵活方便。

夏热冬冷地区冬季室外温度一般不低于 0℃，室内外温差不大，基本在 10~15℃ 范围内。由于室内外温差相对较小，因而围护结构对热负荷的影响相对较小，而太阳辐射得热和室内得热的不同就容易造成各房间热负荷差异，因而独立调控就变得尤为重要。此时若没有完善的调节方式，极易出现“过热”现象。

另一方面，由于室外温度较高，在室内较为暖和的情况下，若没有较强的约束，居民会倾向开窗。在一些安装面积收费的集中供热小区访谈的过程中，就有部分居民表示，在自己搬入集中供热的小区后，由于是否开窗没有经济性差异，开窗时间明显增加。

## 4.2 收费方式

完善的分室调控技术必须与有效的计量收费机制相结合。相比较而言，夏热冬冷地区对分室独立控制的要求更高，因此一旦采用了大规模集中供热，对有效收费方式的需求也应当更为迫切。

但是，从北方“热改”的实际经验来看，更改收费方式并不容易。

目前，北方集中供热管理体制中，涉及全过程的商业与消费主体有电力公司、供热企业和终端用户。在管理体制上，目前的基本模式是“厂网分离”：热电联产热源电厂归电力公司管理；城市供热网（包括调峰热源、一次网、热力站）归供热企业管理；而二次网和终端服务则取决于终端用户方式。根据上述运行管理责任的划分，目前的经营核算模式为：供热企业根据热源电厂供出的热量支付电

厂热量费，再根据末端用户的供热面积收取供热费，其利润从按照面积收取的热费与按照热量支付给热源电厂的热费的差额中产生，如图 4.2 所示。

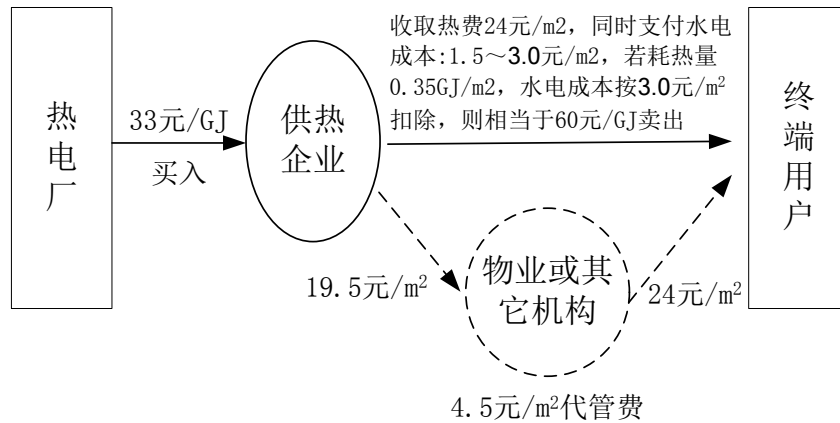


图 4.2 某热电联产集中供热运营管理示意图

目前的集中供热管理体制与“按照面积收费”的收费方式是一致的。供热企业增加效益的主要途径就是在满足末端供热质量的前提下，通过合理的运行调节减少供热量，降低过量供热，从而降低从电厂购买热量的费用和自管调峰热源的运行费，而按照面积从采暖末端收取的费用不变，由此产生利润。

而如果把“按面积收费”改为“按热量收费”后，供热企业会存在一定的经营性风险。对于供热企业来说，当采暖按面积收费时，只要保证一定的供热面积和一定的热费收缴率，全年就有稳定的收入，基本上不存在经营性的风险。经营收入的提高，就要靠供热面积的增加。而供热企业在改为按照热量计量收费后，经营收入将变成很不确定，使供热企业产生很大的危机感。当供热总面积不变时，如果按热量收费真的能刺激用户节能，总耗热量必然减小，供热公司的收益也会减少。

当按热收费后，由于各个用户要增加计量调控设备，各种维护、会引来大量的管理工作和费用支出，而热改却并未给供热企业带来太多的效益，甚至存在前述效益降低的风险，这也是供热企业抵制热改的原因。

供热改革举步维艰的另一个原因是我国供热系统终端的建筑状况、室内供热系统形式多种多样，而目前很难找到一种热计量方式完全解决所有问题。当一个热网中部分用户实行“按照热量收费”，部分实行“按照面积收费”时，供热企业对热网的运行调节就出现极大的困难：采用“按照热量收费”的末端应该保证

充分的压力、流量，以使各个末端用户在需要时能够得到足够的热量；而采用“按照面积收费”的末端，则需要维持传统的调节方法，在满足采暖的基本要求的前提下，尽可能降低压力、减少流量。一个管网同时按照这样两个彼此相反的目标进行调节，往往互相影响，甚至两类用户的两种调节目标都没达到。

### 4.3 能源结构

我国煤炭储量绝大部分集中于华北、西北地区，长久以来，北方供热能源都是以煤为主，通过“区域锅炉房集中供热”或“热电联产集中供热”方式，可以利用热电联产这种高效热源，也有助于提高燃煤效率和解决燃煤的污染。

我国北方城市很早就发展了大规模的集中供暖，其重要背景是当时只有燃煤可以利用作为供暖的热源，包括利用热电厂的余热进行热电联产供热，以及采用大型燃煤锅炉。由于中小型燃煤锅炉效率较低，且易造成环境污染，对附近居住区空气质量影响较大，因此在采用煤作为采暖能源时，除了煤气化，集中供热可能是唯一可以达到高效脱硫、除尘的目的和能源高效利用的方式。目前在我国北方，大规模集中供暖的热量来源主要有两种形式：一种是城市级别的城市热网，热源是燃煤或燃气的热电联产电厂排出的废热和大型燃煤或燃气锅炉房补热；另一种是在住宅小区或更大范围设置大型燃煤或燃气锅炉，通过集中供热管网将热量送到各座建筑，再送到各户。

而在我国长江流域的煤炭资源并不丰富，能源形式主要是天然气和电力，而且从避免污染的角度，许多城市还禁止大量使用燃煤。

燃气锅炉不同于燃煤锅炉，其效率只与锅炉的过量空气系数和排烟温度相关，而与锅炉容量的大小无关。设置大的燃气锅炉集中供热，一方面其锅炉效率并未能随着锅炉容量较高而有所升高，另一方面集中供热系统的热损失率却随着规模增大而迅速增加，导致能耗增加。采用分户的小型燃气热水炉为热源，也可以通过散热器或地板辐射方式进行采暖。大量实测结果表明由于这种采暖方式水温较低，燃烧温度低，因此大多数合格产品的实际能源转换效率可达90%以上，排放的 $\text{NO}_x$ 浓度也低于一般的中型和大型燃气锅炉，且不存在过量供热问题。因此，即使是在北方地区，天然气锅炉也是“适宜于分散，宜小不宜大”。

采用电采暖可以包括集中电热、各种分室电热与各种热泵。集中电热既设置大型电锅炉进行集中采暖的方式。这不仅将高品位电能转化为低品位热能，使得

高质能干低级活，同时还汇集了集中供热包括各种管网损失和过量供热损失在内的所有弊端。因此绝不是一种好的采暖方式。由于我国的电力大多数是依靠燃煤电厂产生，3份热量的燃煤才能产生一份热量的电力，而这种电锅炉直接把电力转换为热量，折合到一次能源，其效率仅有30%。或者说与燃煤锅炉相比，产生同样的热量所消耗的燃煤为锅炉的2~3倍。这一方式的能耗折合标煤大于40kg标煤/m<sup>2</sup>·年，能源利用率极不合理。采用集中电热的一个理由是为了改善电力负荷的峰谷差，削峰填谷。即便是这一理由，也不应采用集中电热锅炉，而是应考虑带有蓄能装置的分散分户方式，从而避免集中供热造成的各种损失。因此从电力合理利用，能源有效转换的各个角度看，任何采用集中直接电热锅炉采暖的方式都应该严格禁止。

#### 4.4 “热电联产”与“热电冷三联供”的适用性分析

“热电联产”在我国北方地区获得了很大的成功，是目前各种热源中能源转换效率最高的方式。但是，当把这一技术用到夏热冬冷地区时也出现了问题。

按照“热电联产”系统的设计规范要求，系统每年的运行小时数需在2000小时以上，否则设备利用率过低，经济性较差。而夏热冬冷地区需要供热的时间基本都小于2000小时，即难以满足经济性的要求。在对武汉市大规模集中供暖的系统运行人员访谈过程中，管网公司表示热价过高（45元/GJ，高于北方33元/GJ），且供热时间过短，难以获利；而热电厂人员则表示由于供暖时间短，也难以回收初投资，且每年需要大量投入进行设备维护。

此外，“热电联产”供热较为稳定，适宜于热负荷变化不大的供热需求。但如前文所示，夏热冬冷地区冬季室内外温差远低于北方，负荷变化较大，这就与热源的负荷特性并不匹配。同时，使用了“热电联产”之后，也需要面对集中供暖中原本存在的管网输配、末端不均等问题。

有一些观点认为，既然供暖时间短是制约“热电联产”的一个重要因素，那么就改成“热电冷三联供”，冬天供暖，夏天供冷，就可以解决问题了。但实际上，一旦采用集中供冷，会产生更大的问题。

北方的大型供热管网，供回水温差70K。而区域供冷供回水温差仅10K，即同样的循环水量可输送的冷量仅为供热时的七分之一。而实际建筑的冷负荷又往往大于热负荷（典型办公建筑：热负荷50W/m<sup>2</sup>，冷负荷100W/m<sup>2</sup>）。这就意味着同样的建筑规模时循环水量要增大14倍！因此供热管网与供冷管网的要求不同。

大型管网需要运行水泵驱动水的循环。对于供热系统，循环水泵电耗约为输送热量的 1%~1.5%，这部分电力转换为热量，释放到循环水中，成为供热热量。而区域供冷时，由于其温差减少到七分之一，循环水泵相对电耗就会增加 7 倍至 7%~10%。这部分电力又会转为热量，加热循环的冷水，从而损失 7%~10% 的冷量。日本新宿的集中供冷系统其循环水泵电耗就占总供冷量的 8%，输送管道损失冷量 10%。

建筑冷负荷中太阳照射、室内人员设备发热等因素造成的影响占 70% 以上，而室外空气状态的影响不到 30%。这样造成各建筑及各房间之间冷量需求极不同步。集中供冷时需求不同步的基尼系数高达 0.8 以上，在缺少完善的调节手段与机制时，就会造成严重的“过量供冷”。这种过量供冷会使得实际用冷量增加 1 倍以上。而采用完善的末端调节时，由于负荷的大范围波动，又导致输配系统和冷源的运行效率低下。

综上所述，无论是“热电联产”还是“热电冷三联供”，目前来看在夏热冬冷地区都不太适宜。

## 第5章 各采暖技术发展现状、关键问题及改进措施

综合前文分析，夏热冬冷地区住宅冬季采暖具有多样性、局部性和分散性的特点，认为该地区住宅冬季采暖的关键问题主要为围护结构性能、末端与热源三个方面，如图 5.1 所示。

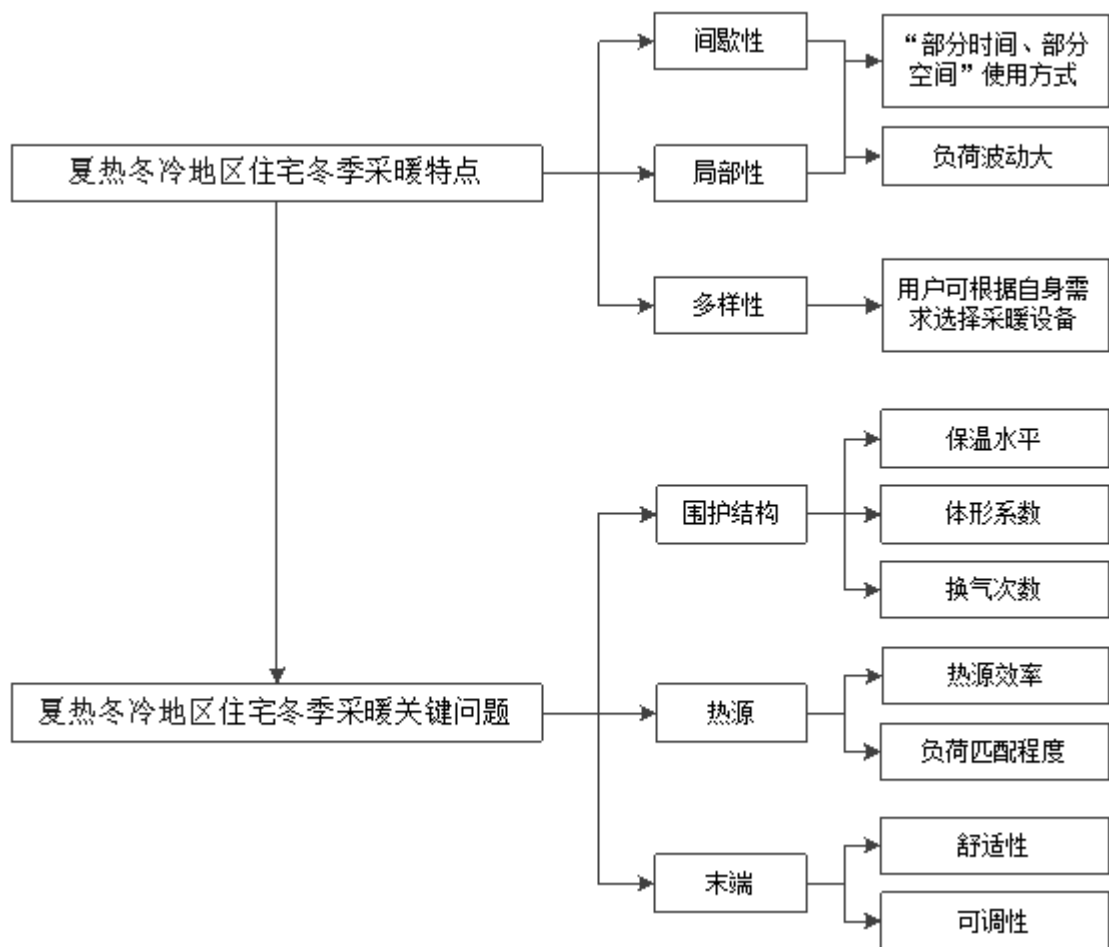


图 5.1 夏热冬冷地区冬季采暖特点与关键问题

### 1、围护结构性能方面。

房屋传热系数、换气次数、体形系数均与建筑耗热量直接相关。长江中下游地区冬季室外温度高于北方，但在采取相同的采暖措施时耗热量接近，其中一个重要的原因是目前该地区围护结构要求低于北方。但考虑建筑的整体能耗，该地区围护结构性能并非传热系数越低越好。

### 2、末端方面。



系统末端直接影响住户的舒适性，同时末端是否可调节会影响住户的使用习惯，这也会对能耗产生很大影响。若在开启采暖设备后需很长时间才会提升室内温度，则居民会放弃现有的“部分时间，部分空间”使用方式，这会大大提高该地区的采暖能耗。

### 3、热源方面。

系统的热源形式直接影响系统的能效比，同时也可能对住户舒适度产生影响。同时需考虑热源的负荷与住户的实际需求是否匹配，如果不是，则系统运行可能会出现较大问题。

## 5.1 围护结构性能关键问题及改进方向

建筑在室内外温度差的作用下，通过外墙、外窗以及屋顶进行室内外的热交换。同时，通过门窗缝隙的渗透、开窗通风或换气设备等方式，室内外之间会产生一定量的渗透通风、自然通风或机械通风。综合围护结构的影响换热通风换气的作用，可以得到，单位平米需要的采暖热量  $Q$  为[10]：

$$Q = (KF\Delta t + c_p\rho G\Delta t) / A$$

$$= \text{室内外平均温差} \times (\text{平均传热系数} \times \text{体形系数} + \text{换气次数} \times 0.335) \times \text{层高} \quad \text{W/m}^2$$

上式中，体形系数指建筑外表面与建筑体积之比。换气次数指每小时室内外通风换气量为几倍与室内空间的体积。平均传热系数指外窗、外墙和屋顶的平均传热系数。

由上式可得，建筑耗冷热量主要与室内外平均温差、平均传热系数、体形系数与换气次数相关，如图 5.2 所示。

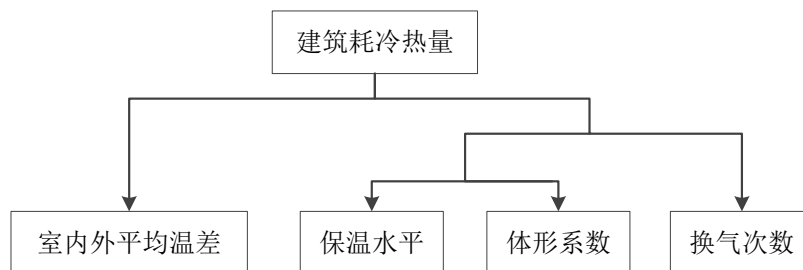


图 5.2 建筑耗冷热量与围护结构的关系

综上所述，围护结构对于建筑物的耗冷热量有着较大的影响，这一影响不仅与建筑的保温水平有关，也与建筑物所处的气候环境、建筑体型状况、通风状况息息相关。因此在考虑建筑围护结构相关情况时，应当综合考虑这些因素，选择最适宜的围护结构方案，减少建筑的耗冷热量。

相对而言，夏热冬冷地区需要进行冬季供热，但围护结构保温的效果不及北方地区明显。因此，在进行围护结构设计时，应充分考虑其特点，制定适宜的指导准则。

### 5.1.1 换气次数

换气次数是影响耗冷热量的重要因素，而由于采暖热量是由平均传热系数 $\times$ 体形系数与换气次数所共同决定，因此保温的贡献率与换气次数之间存在着一定的匹配关系。如果要降低采暖能耗，则也需要减少换气次数。

在上海地区，由于建筑气密性等级以及居民的开窗习惯，换气次数往往能够达到1次/h甚至更高，此时换气次数 $\times 0.335 = 0.335 \text{ W}/(\text{m}^3 \cdot \text{K})$ ，则当平均传热系数与体形系数之积大于 $0.335 \text{ W}/(\text{m}^3 \cdot \text{K})$ ，降低采暖能耗的关键为改善围护结构的保温，否则，就应当考虑降低换气次数了。同样考虑住宅建筑，当平均传热系数在 $1 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ 时，两者还在同一量级，继续加强保温还有一定作用，但是当平均传热系数降低到 $0.3 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ 时，平均传热系数与体形系数之积为 $0.09 \text{ W}/(\text{m}^3 \cdot \text{K})$ ，进一步做保温就没有什么意义了。图5.3为上海普通住宅建筑在300mm混凝土基础上不同保温厚度下的耗热量，换气次数取1次/h。可以看出由于生活习惯造成的换气次数的差异，平均传热系数的限值也会有差异。

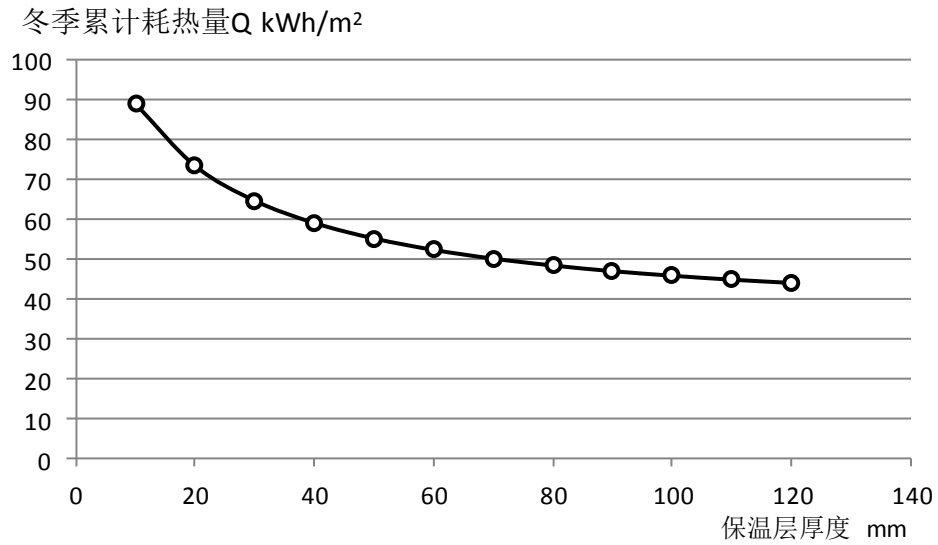


图 5.3 上海在不同保温层厚度下的耗热量

2014 年冬，本研究在上海、成都各选取三户住户采用鼓风门法对住宅气密性进行测试，结果如图 5.4 所示。从图中可以看出，多数住宅换气次数在 1~2 次/h，80 年代的老建筑其换气次数可高达 3.2 次/h。较差的气密性会导致较大的渗风量，从而显著提高采暖负荷。因此，提高气密性也是该地区提升围护结构性能的重要部分。

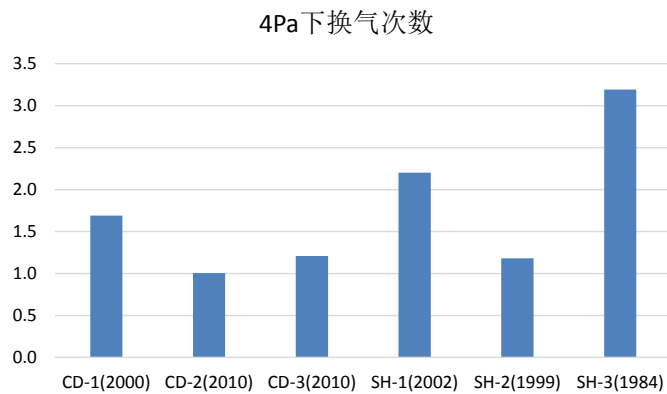


图 5.4 实测该地区住宅换气次数（鼓风门法，4Pa）

### 5.1.2 体形系数

建筑物的耗冷热量不仅与温差、保温水平和换气次数有关，也与建筑的形体密切相关，随着体形系数的增大，在其他技术相同时，耗热量也随之越大。

大型公寓式住宅的体形系数一般为 0.2~0.3，单体别墅的体形系数则可达到 0.7~0.9，相当于公寓式住宅的 3~4 倍。如图 5.5 所示为不同体形系数下不同传热系数的建筑耗热量。

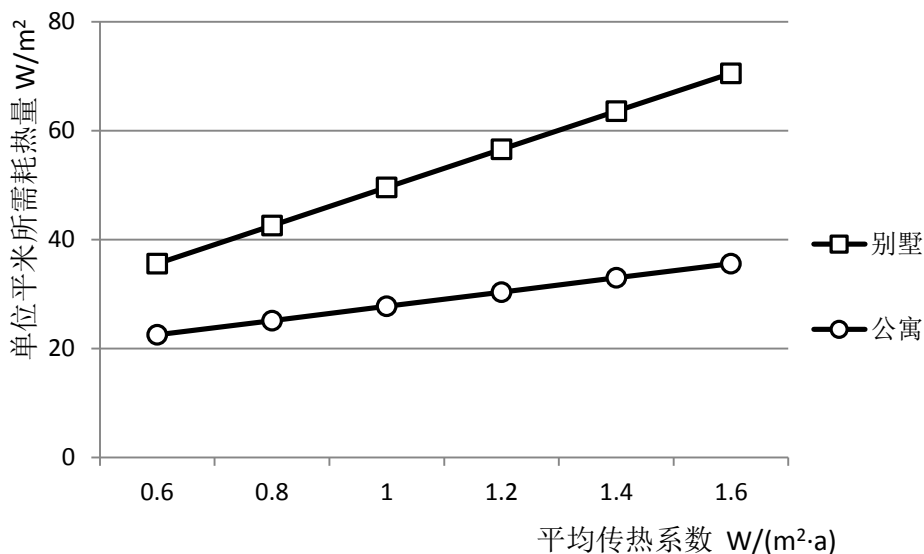


图 5.5 不同体形系数下不同围护结构水平的耗热量

从图中可以看出，由于体形系数的不同，同样的平均传热系数依然会造成极大的耗热量差异。目前由许多研究认为，我国目前的传热系数要求远低于国外水平，因此亟需加大此方面的力度。但国外的住宅多为别墅型，而我国以公寓式住宅为主。因此单纯从传热系数的角度认为我国建筑耗热量远大于国外住宅的看法并不合理。

### 5.1.3 外墙保温

现行《夏热冬冷地区居住建筑节能设计标准》<sup>[13]</sup>中，要求外墙的传热系数在  $1.5W/(m^2 \cdot K)$  (热惰性 $>2.5$ )。需要说明的是，目前有人认为保温应当越厚越好，传热系数越低，就表示建筑越节能。但事实上，考虑气候条件、居民使用方式等，

外墙传热系数在达到一定程度后，节能量会越来越小，在一定厚度之后继续增加保温可产生的节能效果有限。因此，应当详细论证该地区适宜的保温水平，确定合适的传热系数限值。同时保温的做法也十分重要。

### 5.1.3.1 不同生活模式对外墙保温的影响

生活方式的不同不仅会造成用能水平的不同，而且会围护结构保温所起的作用也产生差异。例如对于上海地区同一建筑对象，如果采取全时间全空间的采暖空调运行模式，提供恒定的通风换气，或是采用“部分时间 部分空间”的使用方式，如表 2 所示。在所示三种不同的围护结构保温水平下，其冬季采暖能耗如图 5.6 所示。可以看到由于生活模式的不同，不同围护结构保温的节能量差异很大。如在采用全时间全空间的使用模式 1 时，加强围护结构保温可以得到很大的节能量，但如果实际的使用模式是部分时间部分空间的模式 5 时，则三种不同围护结构保温水平下的全年采暖能耗差别却并不显著。

表 5.1 不同采暖模式

模式 1	全天 24 小时所有房间保持 18℃
模式 2	只要有人回家就采暖，保持为 18℃
模式 3	在有人的房间采暖，保持在 15℃ 以上
模式 4	在有人的房间采暖，睡前关空调，保持在 15℃ 以上
模式 5	在有人的房间采暖，睡前关空调，保持在 12℃ 以上

表 5.2 不同围护结构设定值

	外墙传热系数 W/(m <sup>2</sup> · K)	屋顶传热系数 W/(m <sup>2</sup> · K)	外窗传热系数 W/(m <sup>2</sup> · K)
较低标准	2	1.7	4.7
现有标准	1.5	1	3.2
较高标准	1	0.6	2.7

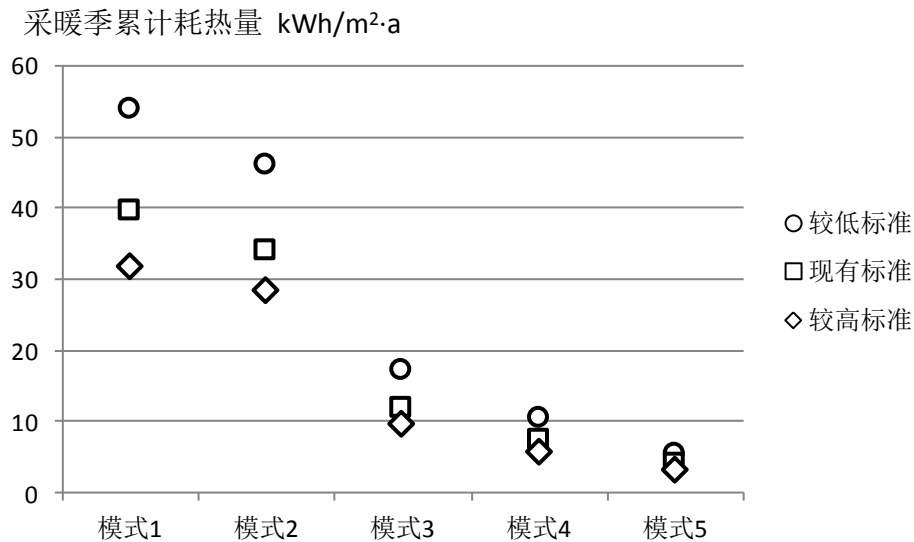


图 5.6 不同围护结构下不同采暖模式的能耗

由前文可得，目前我国长江中下游地区的采暖模式普遍为模式 3 至模式 5，如果全部变成模式 1，则其采暖能耗将变为目前的 6—8 倍，这将大大增加该地区的能源需求量，与我国的能耗上限无法匹配。因此我们在围护结构优化设计时应充分考虑实际的生活模式，并以此为出发点，合理制订相应的围护结构优化方案。

### 5.1.3.2 外墙保温全生命周期能耗核算

由于围护结构在建造过程中就需要耗费一定的能耗，如果围护结构起到的节能作用不能够抵消保温材料建造过程中的能耗，过度加强保温将得不偿失，因此考虑全生命周期的方法对围护结构的节能性进行评价也十分必要。

对于国内目前常用的聚苯乙烯泡沫塑料保温材料进行能耗分析。其中保温材料的生产能耗<sup>①</sup>为 90MJ/kg，密度为 22kg/m<sup>3</sup>[11]。采用 DeST-h 对上海地区不同的围护结构保温在采用连续采暖与间歇采暖的情况进行负荷计算，计算得到三种采暖方式的在上海地区的年节能量。以 20 年保温材料的使用期进行计算，即折合的年实际节能量=年节能量-建造能耗/20。以无保温层为基准案例计算不同保温层厚度的冬季采暖节能量，计算结果如图所示。图中模式与前文中的模式描述相同。

<sup>①</sup> 此处生产能耗包括材料在生产、运输等过程中的能源消耗。

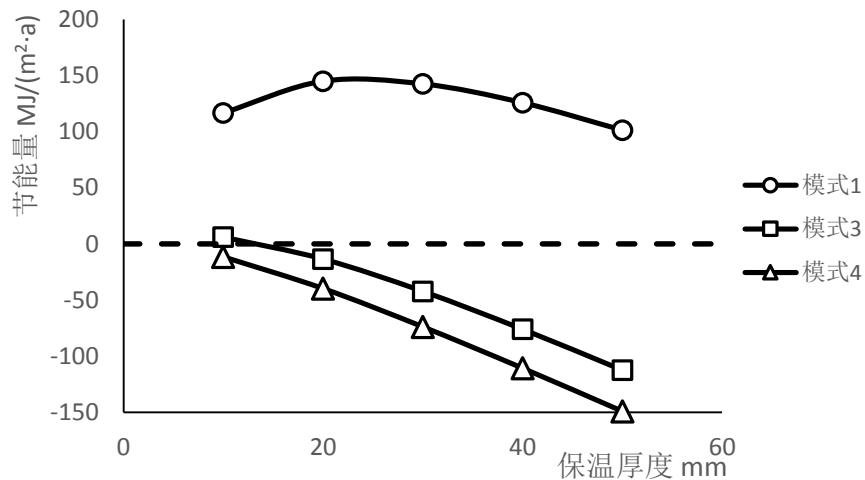


图 5.7 不同使用模式下不同保温材料厚度的全生命周期年节能量

从图中可以看出，对于“全时间、全空间”的采暖模式，在保温厚度为 50mm 时依然有节能量，但是在保温厚度为 20mm 时节能量最大。而在采取“部分时间、部分空间”的使用模式时，在采用 10mm 时可能还有一些节能量，但是当保温厚度进一步加大时，从全生命周期能耗的角度来看，可能就不节能了。因此在制定外墙保温厚度时，不能盲目增厚保温；同时降低保温材料的能耗也十分必要。

### 5.1.3.3 外墙外保温与内保温

目前外围护结构保温做法主要可以分为外保温与内保温两种保温方式。外保温是指在混凝土或砖墙的外表面贴附保温材料，而内保温是指在墙的内表面贴附保温材料，外保温墙体由于将墙体的热惯性包裹在保温中，因而在室内升温或降温过程中都需要完全加热或冷却围护结构，因此建筑物整体的热惰性更大；内保温墙体则在外墙内部温度变化较大，墙体内温度与室内温度存在较大的差别，室内升温或降温所造成的温度波动在外墙内部不那么明显。

北方冬季采暖室内外温差较大,这种情况下的冷桥是稳定的，加热围护结构所需要的热量占了热负荷的很大一部分，此时使用外保温可以减少加热外围护结构所需的热量，因此在北方地区外保温比较合适。

夏季或长江中下游地区冬季采暖时，由于室内外温差较小，负荷中很大一部分来自室内人员与设备散热，空调或采暖一般间歇运行，因此需要能够快起快停，

让室内的温度较快地产生变化，此时如果使用外保温，热惯性明显增大，会使室内温度变化减慢，而采取内保温，则可以较好的实现这一需求。

## 5.2 末端形式性能关键问题及改进方向

末端形式直接影响了住户的舒适性，同时其是否可调也会对住户的使用习惯产生影响。此处“可调”是指在调节末端后房间温度可以很快随调节发生变化，即末端的热惯性较小。

目前使用较多的末端形式有：送风末端、地板采暖、暖气片、辐射末端等。

### 5.2.1 送风末端

热风末端目前主要为上送风形式，如分体热泵空调、风机盘管系统等。这种末端形式目前住户满意度较差，主要原因在于末端气流组织问题。冬季供暖时由于热风密度较小，热风积聚在房间顶部难以下来，造成室内垂直方向上有明显的温度梯度，尽管房间顶部温度高，但人员活动区的温度却相对较低；另外，这种末端形式吹出的热风由于温度较高，相对湿度较低，吹在人体表面造成吹风感，使人感到干、不舒服等感觉。

对于热风末端的气流组织问题，目前主要有两种改善手段：一是在分体空调出风口加导引装置，将热风引入房间下部，这种直接对分体空调末端进行改装的解决手段，目前仍停留在专利技术阶段<sup>[37-38]</sup>，实际还未有实体化产品进入市场；二是在空调房间内安装空气循环扇<sup>[39]</sup>，加强室内空气对流，减小室内温度梯度，此种方法目前已在部分家庭使用，但普及率并不高。

在室内安装空气循环扇的实验结果表明，循环扇会对室内的气流组织产生一定影响。房间未开启循环扇时，室内垂直温度场有明显的分层，温度梯度 $2.5\text{m}>2\text{m}>1.5\text{m}>1\text{m}>0.5\text{m}>0.1\text{m}$ ，在某一典型时刻，2.5m高度处温度为 $25.7^{\circ}\text{C}$ ，0.1m高度处温度为 $14.2^{\circ}\text{C}$ ，房间顶部与房间底部温度相差 $11.5^{\circ}\text{C}$ ；开启循环扇后，2.5m高度处温度为 $24.7^{\circ}\text{C}$ ，0.1m高度处温度为 $17.6^{\circ}\text{C}$ ，房间顶部与房间底部温度相差减小为 $7.1^{\circ}\text{C}$ ，说明空气循环扇对室内温度分层的现象改善较为明显，如图 5.8、图 5.9 所示。虽然循环扇确实起到了使室内冷暖空气对流的作用，但是在实际使用中，循环扇仍存在一定问题，如噪声太大、有吹风感等问题，且必然需要消耗一定的电耗，因此发展前景依旧有待商榷。



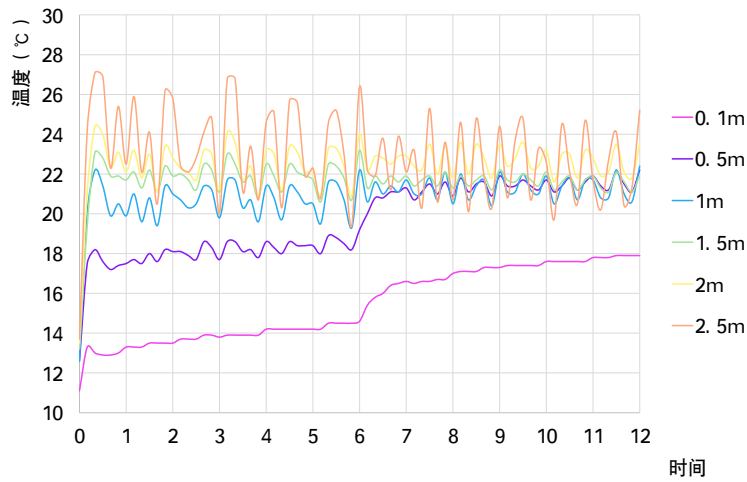


图 5.8 室内温度分层

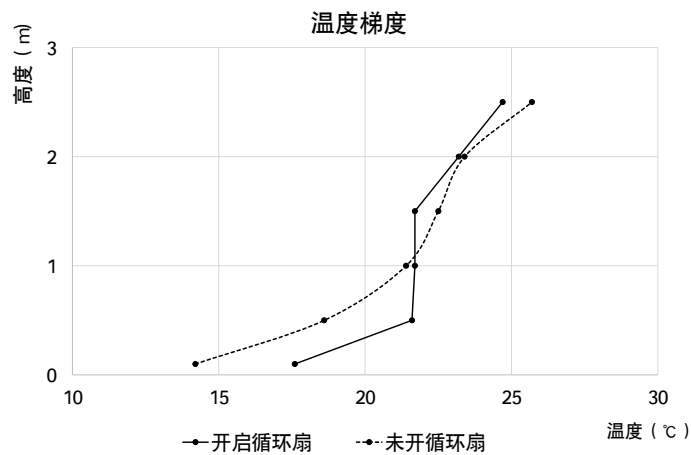


图 5.9 开启循环扇前后温度梯度

### 5.2.2 地板辐射末端

地板采暖由于室内舒适度较高，日前长江流域地区采用地板低温辐射采暖的用户逐渐增多，然而伴随着其较高的舒适水平，带来的是采暖能耗的增长。如第3章提到的燃气壁挂炉+地板辐射供暖案例。

地板低温辐射采暖使用了低温热源，本应是一种节能的技术，但现在的能耗却要高于常规的空调形式，主要原因有以下两个方面：

1) 大多数采暖住户采用的是“部分空间、部分空间”的采暖方式，因此辐射地板形式邻室传热损失严重，有文献指出，若楼板无保温，辐射地板向下热损失约占系统总热量的 19%<sup>[24]</sup>；

2) 现在多数的地板采暖住户都沿用了北方地区传统的地板采暖技术，采用的是混凝土型地板采暖，这种地板采暖热惰性较大，蓄能效果较好，较适宜北方连续采暖模式。然而间歇运行时，地板采暖稳定时间却较长。因此，虽然采暖住户有间歇采暖、按需求采暖的意愿，但是关闭地板采暖系统再次开启后室温需要较长时间才能达到适宜的温度，这使得现在较多的地板采暖用户的采暖模式转变为全时间的连续采暖。不利于实现夏热冬冷地区“部分时间、部分空间”的控制。

对于问题 1)，说明了做好辐射采暖地板与下层楼板之间的保温是非常必要的；对问题 2)，目前市场上存在新型轻薄型地板用于这一采暖末端。实测结果显示，混凝土地板采暖测试案例，房间空气温度从 13℃ 升温至 17℃，需 17.5 个小时，轻薄型辐射地板测试案例也需 3 个小时左右，若考虑能综合反映环境空气和壁面对人体热感受影响的操作温度，两种地板采暖的室内温度稳定时间可减少一半左右，然而再次情况下，轻薄型辐射地板仍需 2 个小时左右才能稳定，相比温度响应很快的对流热风末端形式，辐射末端形式在快速响应方面还是存在较大的劣势，如图 5.10 所示。因此，为避免用户转变为全时间的的生活方式，这种末端方式应进一步提高其启动速度。

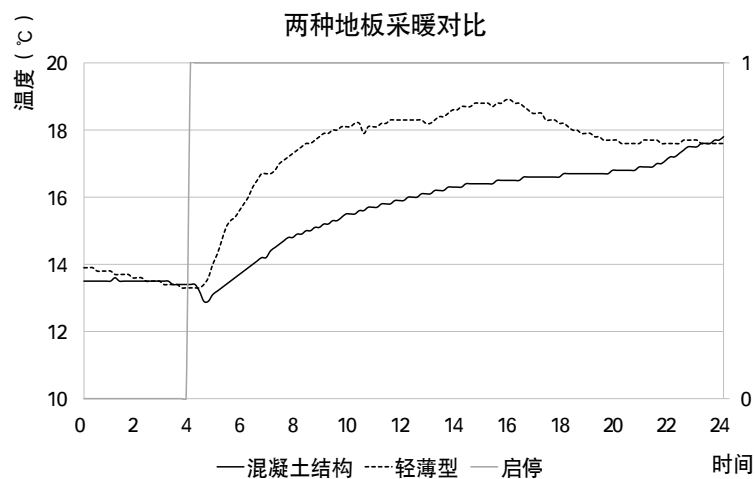


图 5.10 两种地板采暖形式启动后空气温度变化

### 5.2.3 辐射板末端

电采暖设备的辐射板末端形式能够快速提高周围空气温度，如图 5.11 所示。但是，这一末端可提升温度的空间范围有限，如图 5.12 所示。同时，这一末端存在低温烫伤、火灾等隐患，需要相应技术加以改善。

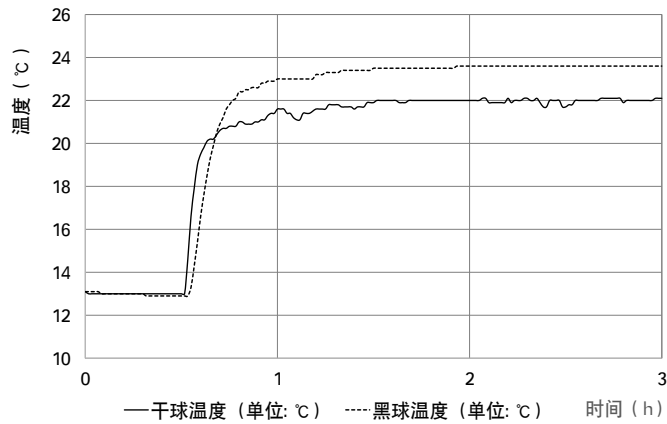


图 5.11 局部取暖设备周围 0.5m 处温度场

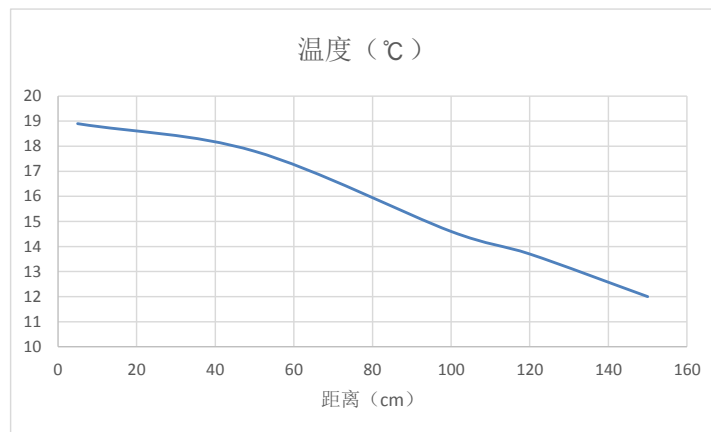


图 5.12 局部采暖设备加热范围

## 5.3 热源形式性能关键问题及改进方向

热源形式直接影响了系统能效，同时不同的热源特性也会对住户的舒适性产生影响。此外，由于长江中下游地区室内外温差较小，住户需求差异大，冬季采暖负荷逐日、逐时均有较大变化，而热源形式必须能与这一采暖特性相匹配。

目前使用较多的末端形式有：热电厂供热、土壤源\水源热泵系统、燃气壁挂炉、空气源热泵、电采暖等。

### 5.3.1 热电联产供热

在北方，热电联产是最为高效的供暖方式之一。若热电厂所供余热为为抽气所得，则相当于 COP 为 4.76 的热泵（大、中规模抽凝电厂）<sup>[11]</sup>。

如前文分析，尽管热电联产供热在北方地区取得了很好的节能效果，但是由于夏热冬冷地区与北方地区存在一定差异，热电联产的大集中供热系统在该地区并不适宜。因此，若要在该地区发展这一供热方式，或者是尝试让这一供热方式小规模使用以相对降低由于系统规模变大后产生的问题，或者尝试找到让夏热冬冷地区较好地采用大规模集中供热的方案。

### 5.3.2 土壤源\水源热泵系统供热

土壤源\水源热泵系统也被广泛认为是一种十分高效的热源方式。这一热源方式一般也需要在集中的系统中运行。与其他集中运行的热源相似，该热源需考虑集中系统的整体效率与输配系统的能耗影响。且因该地区并不适宜大规模集中供热，若要进行系统设计也应充分考虑系统的规模大小。

### 5.3.3 空气源热泵

空气源热泵是目前使用最多的热源形式。其优点在于冬夏两用，且能效相对较高。目前存在的问题主要为冬季的除霜问题、气温过低时效果不好与负荷匹配的问题。长江中下游地区冬季室外温度较低、湿度较大，机组冬季制热运行时，其蒸发器表面会逐渐结霜，霜层加厚会影响制热能力，除霜时需从室内取热，室温将降低 5~6℃<sup>[20]</sup>。室外温度过低时，这一热源形式的效果不佳。另一方面，由实际模拟计算可得，该地区最大热负荷可能高于最大冷负荷，如图 5.13 所示，机组若按夏季负荷选型可能不足以给住户采暖，因此在选型时应该充分考虑冬季制热要求。

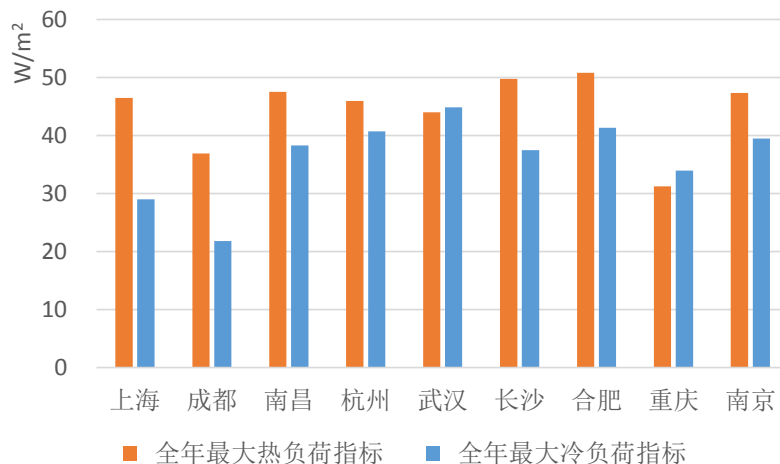


图 5.13 部分长江中下游地区城市冬夏最大负荷指标比较

## 5.4 小结

本章主要阐述了夏热冬冷地区住宅采暖相关技术的一些现有关键问题，并对其中一些提出了改进方向。对于围护结构性能来说，现有的关键问题是围护结构保温隔热性能太差，然而并不是保温做越厚越好，在该地区确定合适的保温水平，是非常重要的。对于采暖末端技术来说，现有的一些末端形式都存在一定问题，如分体空调的热风末端气流组织问题、地板辐射供暖末端的启停缓慢问题等。必须解决这些问题才可以提高夏热冬冷地区居民冬季采暖室内舒适水平。而从热源角度来说，除了考虑热源的效率之外，由于热源不同导致的系统差异、以及之后对人行行为模式的影响都更为重要。

总体来看，有以下三条结论：

- 1、目前该地区许多既有建筑围护结构性能较差，因此应增加适度保温，并提高新建建筑气密性，从根本上减少采暖需热量；
- 2、现有采暖技术仍存在各种问题，如何解决地板辐射供暖末端启动缓慢、热风末端温度梯度大、局部电取暖器低温烫伤等问题，应是采暖技术的发展重点；
- 3、现有热源往往仅考虑其热源效率，但是考虑到该地区采暖的实际特点，选择与发展符合现有居民采暖习惯的热源形式可能更为重要。

## 第6章 夏热冬冷地区城镇住宅采暖政策综述

### 6.1 政策现状

#### 6.1.1 “十二五”期间政策目标

“十二五”期间，中央政府从国家规划层面上出台了《“十二五”节能减排综合性工作方案》（2011.8 发布）、《“十二五”建筑节能专项规划》（2012.5 发布）等文件，明确了“十二五”期间的政策发展目标，和夏热冬冷地区城镇住宅采暖相关的政策主要可以分为以下五个：

##### 一、新建建筑节能

规划中提出，夏热冬冷地区全面执行新颁布的节能设计标准，即《夏热冬冷地区居住建筑节能设计标准》JGJ134-2010，执行比例达到 95%以上。

##### 二、既有建筑节能改造

规划中首次提出了夏热冬冷地区的既有居住建筑节能改造目标，规划明确，到“十二五”期末，夏热冬冷地区需既有居住建筑节能改造 5000 万平方米。

##### 三、节能家电推广

《“十二五”节能减排综合性工作方案》特意提及了“节能产品惠民工程”，规划指出，在“十二五”期间，民用领域重点推广高效照明产品、节能家用电器、节能与新能源汽车等，产品能效水平提高 10%以上，市场占有率提高到 50%以上。

“十二五”时期形成 1000 亿千瓦时的节电能力。

##### 四、可再生能源应用

规划中提出，全国新增可再生能源建筑应用面积 25 亿平方米，形成常规能源替代能力 3000 万吨标准煤。

##### 五、绿色建筑推进

规划中明确“十二五”期间，全国新建绿色建筑 8 亿平方米。规划期末，城镇新建建筑 20%以上达到绿色建筑标准要求。

#### 6.1.2 政策发展趋势

从以上五方面入手，列出从 2000 年至今以来的，主要相关的国家政策文件：

表 6.1 政策综述

名称	发布时	发布机构	政策簇
----	-----	------	-----

间			
(已废止)夏热冬冷地区居住建筑节能设计标准			
JGJ134-2001	2001.10	住建部	新建建筑节能
(已废止)房间空气调节器能效限定值及能效等级 GB 12021.3-2004	2005.3		节能产品技术
地源热泵系统工程技术规范 GB 50366-2005	2006.1	住建部	可再生能源利用
(已废止)绿色建筑评价标准 GB/T50378-2006	2006.6	住建部	绿色建筑
建设部、财政部关于推进可再生能源在建筑中应用的实施意见	2006.8		可再生能源利用
关于印发《可再生能源建筑应用专项资金管理暂行办法》的通知	2006.9	住建部、财政部	可再生能源利用
绿色建筑评价技术细则	2007.8	住建部	绿色建筑
绿色建筑评价标识管理办法	2007.8	住建部	绿色建筑
建筑节能工程施工质量验收规范	2007.10	住建部	新建建筑节能
(已废止)转速可控型房间空气调节器能效限定值及能源效率等级	2008.9		节能产品技术
“节能产品惠民工程”高效节能房间空调器推广实施细则	2009.5	发改委、财政部	节能产品技术
财政部 国家发展改革委关于开展“节能产品惠民工程”的通知	2009.5	发改委、财政部	节能产品技术
夏热冬冷地区居住建筑节能设计标准 JGJ134-2010	2010.3	住建部	新建建筑节能
房间空气调节器能效限定值及能效等级 GB 12021.3-2010	2010.6		节能产品技术
居住建筑节能监测标准	2010.7	住建部	新建建筑节能
可再生能源发展基金征收使用管理暂行办法	2011.11	发改委、财政部	可再生能源利用
关于居民生活用电实行阶梯电价的指导意见	2011.11	发改委	
夏热冬冷地区既有居住建筑节能改造技术导则	2012.10	住建部	既有建筑节能改造
关于印发可再生能源电价附加补助资金管理暂行办法的通知	2012.3	发改委、财政部	可再生能源利用
关于推进夏热冬冷地区既有居住建筑节能改造的实施意见	2012.4	住建部、财政部	既有建筑节能改造
夏热冬冷地区既有居住建筑节能改造补助资金管理暂行办法	2012.4	财政部	既有建筑节能改造
绿色建筑行动方案	2013.1	发改委、住建部	绿色建筑
转速可控型房间空气调节器能效限定值及能源效率等级 GB 21455-2013	2013.6		节能产品技术
关于建立健全居民生活用气阶梯价格制度的指导意见	2014.3	发改委	

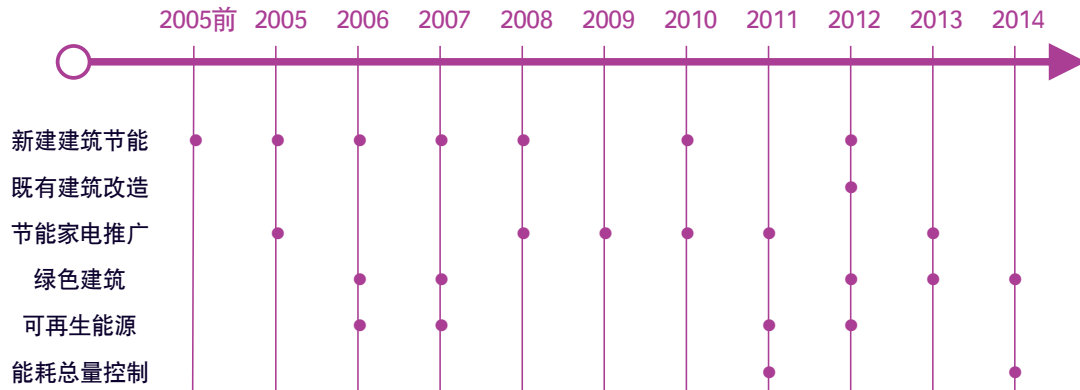


图 6.1 政策发展趋势

根据政策综述的结果，可以发现该地区住宅冬季采暖政策存在如下趋势：

#### 新建建筑节能要求进一步提高

近年来，建筑节能工作也由北向南开始推进，国家陆续颁布了针对夏热冬冷地区和夏热冬暖地区的建筑节能设计标准，目前正在实行的《夏热冬冷地区居住建筑节能设计标准》JGJ134-2010 及《夏热冬暖地区居住建筑节能设计标准》JGJ75-2012 都已将目标节能率提高至 50%，部分地方如上海、重庆等地已率先试行节能 65% 目标。

根据历年全国住房城乡建设领域节能减排专项监督检查建筑节能检查情况的通报的结果，可以发现随着标准的稳步落实，新建建筑节能工作取得了较大的成效，2013 年新建节能建筑 14.4 亿 m<sup>2</sup>，累计建成节能建筑 88 亿 m<sup>2</sup>，占城镇既有建筑总量的百分比为 30%，现有标准的设计阶段执行率及施工阶段执行率都已达到了 100%。

表 6.2 历年建筑节能检查结果汇总

年份	总建筑面 积 (亿 m <sup>2</sup> )	新建建 筑 (亿 m <sup>2</sup> )	设计阶 段执行 率 (%)	施工阶 段执行 率 (%)	新建节 能建筑 (亿 m <sup>2</sup> )	累计建成 节能建筑 (亿 m <sup>2</sup> )	占城镇既 有建筑总 量的百分 比 (%)
2005	164.5	15.9	—	—	—	—	—
2006	174.5	13.1	96	54	—	—	—
2007	184.8	16.1	97	71	—	21.2	11.7
2008	196.3	17.7	—	—	—	—	—



2009	209.8	20	99	71	9.6	40.8	21.7
2010	224.4	21.6	99.5	95.4	12.2	48.57	23.1
2011	240.4	23.4	100	95.5	13.9	—	24.6
2012	257.1	24.8	100	100	10.8	69	—
2013	—	—	100	100	14.4	88	30

### 首次提出夏热冬冷地区既有建筑的改造目标

针对夏热冬冷地区，《国务院关于印发“十二五”节能减排综合性工作方案的通知》（国发〔2011〕26号）首次明确提出夏热冬冷地区既有建筑节能改造目标，“十二五”期间完成夏热冬冷地区既有建筑节能改造5000万平方米。为落实该目标，2012年4月住房和城乡建设部和财政部联合发文《关于推进夏热冬冷地区既有居住建筑节能改造的实施意见》为改造工作的推进提出了具体实施意见，进一步地，财政部、住建部相继发布《夏热冬冷地区既有居住建筑节能改造补助资金管理暂行办法》、《夏热冬冷地区既有居住建筑节能改造技术导则》，明确了具体的财政补贴方案以及节能改造技术细则。国家政府投入了大量的资源和政府力量，推动夏热冬冷地区的围护结构优化设计及改造。具体补贴政策如下：

某地区分配补助资金额=所在地区补助基准×Σ（单项改造内容面积×对应的单项改造权重）。

地区补助基准按东部、中部、西部地区划分：东部地区15元/m<sup>2</sup>，中部地区20元/m<sup>2</sup>，西部地区25元/m<sup>2</sup>。

单项改造内容指建筑外门窗改造、建筑外遮阳节能改造及建筑屋顶及外墙保温节能改造三项，对应的权重系数分别为30%、40%、30%。

根据2013年建筑节能检查结果，夏热冬冷地区既有居住建筑改造面积已达1175万m<sup>2</sup>。

### 产品效率标准进一步提高，节能惠民工程推广高效节能产品

定速空调及变频空调的新标准陆续出台，从能效等级5级标准改为3级，节能评价值也同时提高，下表是几次标准更新后不同类型空调的节能评价值：

图 6.2 产品效率提高

		定速空调	单冷型变频空调	热泵型变频空调
类型	额定制	能效比 EER(W/W)	制冷季节能源消耗效率 SEER	全年能源消耗

	冷量 CC(W)	[W·h/(W·h)]				消耗效率 APF[W·h/(W·h)]
		GB12021.3-2004 中节能评价	GB12021.3-2010 中节能评价	GB21455-2008 中节能评价	GB21455-2013 中节能评价	GB21455-2013 中节能评价
整体式	——	2.90	3.10	——	——	——
分体式	CC ≤ 4500	3.20	3.40	4.50	5.00	4.00
	4500 < CC ≤ 7100	3.10	3.30	4.10	4.40	3.50
	7100 < CC ≤ 14000	3.00	3.20	3.70	4.00	3.30

可以看到，最新出台的《转速可控型房间空气调节器能效限定值及能源效率等级》GB 21455-2013 已将变频空调分成了单冷型变频空调及热泵型变频空调，充分考虑了两种变频空调节能评价指标的差异性。

2009年6月-2011年5月，中央财政实行高效节能定频空调补贴。对于高效节能空调器推广以下财政补助标准：

图 6.3 高效空调财政补助标准

额定制冷量 (W)	财政补助标准 (元/台(套))	
	能效等级1级	能效等级2级
额定制冷量 ≤ 2800	500	300
2800 < 额定制冷量 ≤ 4500	550	350
4500 < 额定制冷量 ≤ 7100	650	450
7100 < 额定制冷量 ≤ 14000	850	650

两年时间，中央财政累计安排补贴资金 146.43 亿元，推广高效节能定频空调超过 5000 多万台，直接拉动消费 1500 多亿元，实现年节电 100 亿千瓦时，产品寿命期内节电 800 亿至 1000 亿千瓦时。在惠民工程拉动下，高效节能空调的市场占有率从推广前的 5% 上升到 70% 以上，原 3 级、4 级、5 级低能效空调已全部停止生产，行业整体能效水平提高 24%，达到世界先进水平。此外，受政策调控

影响，高效定速空调的市场价格大幅降低，高效节能空调价格从推广前的 3000 至 4000 元下降到 2000 元左右部分型号的 1 级能效节能空调市场售价最低降至 1000 元左右，累计为老百姓节约购买费用 300 亿元，充分体现出惠民效果。

### **绿色建筑规模化推进，可再生能源应用**

已发布最新《绿色建筑评价标准》，明年 1 月 1 日起实施，此项新标准与旧标准存在以下不同：

1.将标准适用范围由住宅建筑和公共建筑中的办公建筑、商场建筑和旅馆建筑，扩展至各类民用建筑。

2.将评价分为设计评价和运行评价。

3.绿色建筑评价指标体系在节地与室外环境、节能与能源利用、节水与水资源利用、节材与材料资源利用、室内环境质量和运行管理六类指标的基础上，增加"施工管理"类评价指标。

4.调整评价方法，对各评价指标评分，并以总得分率确定绿色建筑等级。相应地，将旧版标准中的一般项改为评分项，取消优选项。

5.增设加分项，鼓励绿色建筑技术、管理的创新和提高。

6.明确单体多功能综合性建筑的评价方式与等级确定方法。

7.修改部分评价条文，并为所有评分项和加分项条文分配评价分值。

而对于可再生能源的应用，《关于印发<可再生能源建筑应用专项资金管理暂行办法>的通知》（财建〔2006〕460 号）中第四条规定可再生能源建筑应用专项资金支持以下 6 个重点领域：

(一)与建筑一体化的太阳能供应生活热水、供热制冷、光电转换、照明；

(二)利用土壤源热泵和浅层地下水源热泵技术供热制冷；

(三)地表水丰富地区利用淡水源热泵技术供热制冷；

(四)沿海地区利用海水源热泵技术供热制冷；

(五)利用污水源热泵技术供热制冷；

(六)其他经批准的支持领域。

其中地源热泵系统占了两项，因此可在适宜条件下选用可再生能源作为热源。

### **出台针对居民的阶梯电价、气价制度，建筑能耗标准即将出台**

陆续出台针对居民的阶梯电价、阶梯气价制度，减缓使用能耗，其中阶梯电价于 2011 年出台，用电量及电价设置为第一档为 80%居民用户的月均用电量、

第二档为 95%居民用户的月均用电量，提价标准每度电不低于 5 分钱、第三档为超出第二档的电量，提价标准为 0.3 元左右。而针对居民的阶梯气价 2014 年刚出台，其用气量的划分和用电量类似，而分档气价的设置为 1:1.2:1.5。

而本课题参与编制的《建筑能耗标准》是我国建筑节能事业从措施控制逐渐转变为措施控制与总量控制并重的关键标准，这一标准的编制对于我国建筑能源规划、建筑节能设计、优化运行管理、以及合同能源管理等都具有重大的技术支撑。

### 6.1.3 地方政策

目前夏热冬冷地区不同省份实行不同的居住建筑节能设计标准，各地当前居住建筑标准为：

图 6.4 各地当前居住建筑标准

地区	当前居住建筑标准
上海	《上海居住建筑节能设计标准》DGJ08-205-2011
江苏	《江苏省居住建筑热环境和节能设计标准（征求意见稿）》
安徽	《安徽省居住建筑节能设计标准》(DB34/1466-2011)
四川	《四川省居住建筑节能设计标准》DB51/5027-2012
重庆	《居住建筑节能 65%设计标准》（DBJ50-071-2010）
江西	《江西省居住建筑节能设计标准》DB36/J001-2012
湖南	《夏热冬冷地区居住建筑节能设计标准》（JGJ 134-2010）
湖北	《湖北省低能耗居住建筑节能设计标准》DB42/T 559-2013
浙江	《夏热冬冷地区居住建筑节能设计标准》（JGJ 134-2010）

各地标准可以分为三类，地标沿用国家标准，即《夏热冬冷地区居住建筑节能设计标准》(JGJ134-2010)；在国标基础上根据当地情况细化的地标；超前于国家标准，实行 65%节能标准。夏热冬冷地区不同省份的标准水平如下地图：

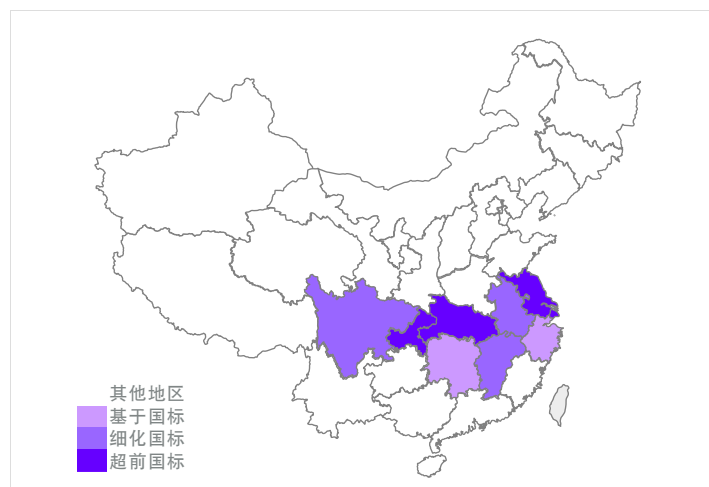


图 6.5 地方标准

各地方陆续颁布了满足国家标准或高于国家标准（节能 50%标准）的新建居住建筑节能设计标准，其中上海、江苏、重庆、湖北发布了“节能 65%”的设计标准。

## 6.2 政策建议

为此，我们提出以下政策建议：

### 一、将夏热冬冷地区冬季采暖节能工作纳入国家节能规划和建筑节能专项规划，明确发展方向

目前的国家规划缺乏对夏热冬冷地区城镇住宅冬季采暖的整体发展规划，虽然目前占全国能耗总量的比例还较小，但该地区采暖能耗增长迅速，因此该问题不容忽视。建议从中央政府层面对夏热冬冷地区冬季采暖制定详细的发展规划，明确降低夏热冬冷地区采暖能耗的重要性，研发相关标准及图集，并大力开展宣传普及工作，强调关注该部分用能的必要性。

### 二、严格控制夏热冬冷地区城市集中供热

目前某些地方政府大力推广城市集中供热，然而从负荷特性、能源结构、历史沿革等多方面因素考量，该地区都不适宜推行城市集中供热。因此，建议住房和城乡建设部出台相关政策，严格控制夏热冬冷地区安装城市集中供热系统，而对目前已安装城市集中供热系统的城市和地区，建议通过改变其收费方式，鼓励按照实际热量收费而非按照面积收费，并推广以室温调控为核心的末端通断调节与热分摊技术等手段，来保证末端充分的灵活性和使用者调节的自主性，改变在

集中供热系统下用户“全时间、全空间”的采暖方式，尽可能降低冬季采暖能耗。建议政府加强宣传推广，消除住户对于集中采暖的认识误区。

### **三、针对新建建筑，进一步提高居住建筑节能设计标准至“65%标准”，至2020年推进新建建筑实施率达到95%以上**

建议“十三五”期间，进一步加强新建居住建筑节能设计标准，从现有的50%目标节能率提升至65%目标节能率，至2020年末，推进新建建筑实施率达到95%以上。建议在有条件的大城市如上海、重庆等地启动节能75%的新建建筑节能设计标准。对于夏热冬冷地区普遍存在的气密性较差的问题，建议将气密性检验结果加入工程验收条件之一。

### **四、进一步加强财政补贴政策，同时用市场手段积极推进既有建筑节能改造**

我国以前对既有建筑的改造工作主要着重于北方严寒和寒冷地区，而近年来，建筑节能工作由北向南开始推进。“十二五”规划期间，国家政府首次明确提出夏热冬冷地区既有建筑节能改造5000万平方米的目标。建议政府进一步加强财政补贴政策，落实专项资金稳步到位，并通过合同能源管理等方法，以市场手段积极推进夏热冬冷地区既有建筑节能改造。建议在节能改造工程中重点关注建筑气密性及外窗保温性能的提高。

### **五、进一步合理推行和落实阶梯电价和气价，引导绿色节能的生活方式**

针对居民的阶梯电价及阶梯气价的相继出台，体现建筑节能工作从过程管理向结果管理的转变。针对居民生活用电的阶梯电价制度从2011年出台至今，已经取得了较为显著的效果，建议进一步落实阶梯电价的实施，并在全国范围内逐步实施阶梯气价，以此来引导居民绿色节能的生活方式。

### **六、推进房间空调器及多联式空调等采暖设备的制热能效等级，区分制冷制热指标**

建议逐步淘汰根据现有标准能效等级为3级的家电产品，并进一步提高定速空调及变频空调的节能评价指标。由于夏热冬冷地区居民冬季较多采用空调采暖，因此空调产品的制热能效指标非常重要，但目前房间空调器的产品标准仅以制冷能效比判断空调产品节能与否，未考虑单冷型房间空调器和热泵型房间空调器的能效指标差别，建议出台新的产品标准加以区分。

## 第7章 夏热冬冷地区城镇住宅采暖能耗预测及情景分析

### 7.1 TBPM 模型理念

建立基于技术、行为、建筑性能因素的建筑能耗分析模型（Technology, Behavior and Performance Model），主要目的是解决当前关于宏观建筑能耗分析模型直接从能耗强度出发，不能分析使用方式和技术因素对建筑能耗影响的问题。

宏观建筑能耗，由各类建筑用能的能耗强度（如单位面积采暖能耗，住宅户均能耗），以及其对应的宏观参数（如采暖面积，住宅户数）所决定。技术因素和使用与行为因素共同影响建筑能耗强度，且存在不同技术参数和行为方式的分布。如果直接以能耗强度作为输入参数，无法反应这两者对宏观能耗的影响，而政策措施、管理监督和技术手段，通常是作用于这两类因素以达到降低能耗强度目的（如图 7.1）。从现有的研究条件来看，各宏观计算模型能够用能耗强度结合宏观参数分析出建筑能耗总量；另外，还有一些建筑能耗模拟软件，能够分析技术参数（如围护结构性能、建筑形式）和使用与行为（空调使用方式、开窗方式）等对建筑能耗的影响，加上能耗实测的手段，可以对建筑能耗强度的影响因素从模拟到实测进行分析验证。在此基础上，通过对各项建筑能耗影响因素的分析，提出构建基于技术和使用与行为因素的能耗计算模型。

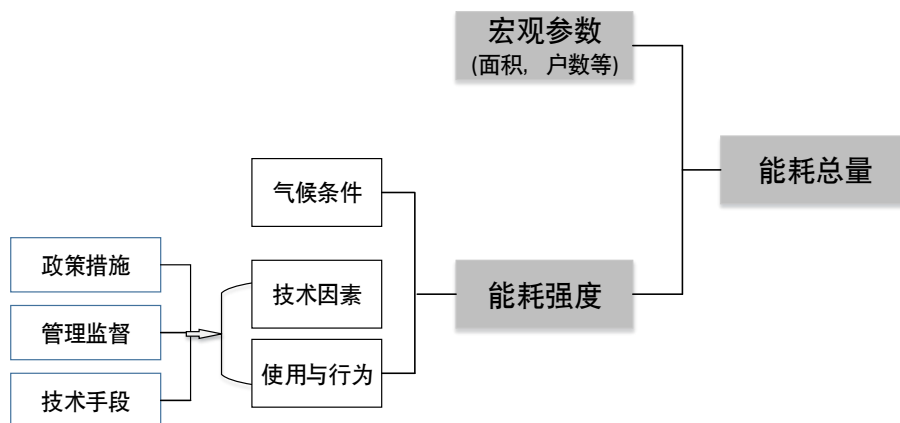


图 7.1 宏观建筑能耗计算影响因素

具体来看，对于中国建筑能耗数据及宏观用能分析，清华大学已做了较为全面的工作，在此基础上，TBPM 模型首先优化了 CBEM 模型中的各类建筑用能的分析指标和宏观参数，具体包括：

(1) 根据我国建筑能耗的特点，明确建筑用能分类。将建筑用能的分为北方城镇采暖用能、公共建筑(不含北方城镇采暖)用能(以下简称“公共建筑用能”)、城镇住宅(不含北方城镇采暖)用能(以下简称“城镇住宅用能”)和农村住宅用能等四类；

(2) 根据住宅用能以户为单元的特点，将已有模型的住宅能耗强度指标由单位面积指标改为户均指标；

(3) 对于北方城镇采暖用能，针对不同能源使用和管理主体提出单位面积需热量、过量供热率、热源能耗率和输配能耗指标，便于分析各项节能政策、技术措施的影响效果；

(4) 提出将公共建筑按照功能分为政府办公、商业办公、酒店(或旅馆)、商场、商铺、学校、医院和其他类建筑，以便于针对各类功能的公共建筑用能特点进行用能分析，并进一步提出相关节能政策或技术措施。

在此条件下，进一步构建技术因素和使用与行为因素分析模块。技术与行为因素的模块将照明、空调、采暖和电器等各项终端用能项的技术和行为影响因素作为输入参数，并考虑各项输入参数的分布特征分析建筑能耗强度。图 7.2 为 TBM 模型的框架结构。自下而上来看，对于北方城镇采暖用能，由技术参数和使用与行为参数确定建筑需热量、输配能耗和热源能耗率，最终确定单位面积采暖能耗强度；对于除北方城镇采暖外能耗，由空调、照明、生活热水等各个终端用能项的技术参数和使用与行为参数确定各个终端用能项的能耗强度，将各个终端用能项能耗强度加和，得到单位面积能耗强度(公共建筑)或户均能耗强度(住宅)。然后，由建筑能耗强度与对应的宏观参数确定各类建筑用能量，各类建筑用能的总量即为宏观建筑能耗总量。



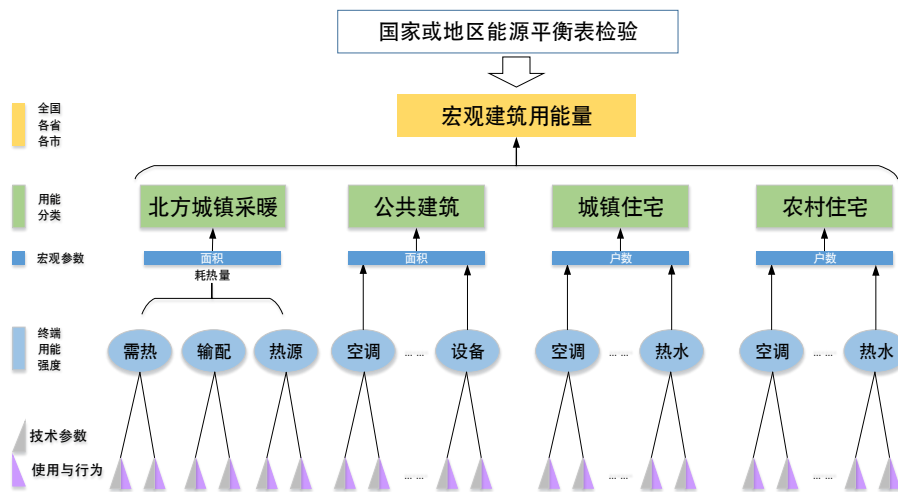


图 7.2 TBPM 模型框架结构

各类建筑能耗强度，将技术参数和使用与行为参数作为输入参数，并考虑其实际的分布情况。建筑能耗可以表示为（公式 7.1）：

公式 7.1

建筑能耗总量 = 宏观参数 × 能耗强度 = 宏观参数 × (技术参数 \* 使用与行为参数)

考虑各个建筑用能分类，建筑能耗可以表示为公式 7.2 到公式 7.6：

公式 7.2

北方城镇采暖能耗 = 北方城镇采暖面积 × 北方城镇采暖能耗强度

公式 7.3

公共建筑能耗 = 公共建筑面积 × 公共建筑能耗强度

公式 7.4

城镇住宅能耗 = 城镇住宅户数 × 城镇住宅能耗强度

公式 7.5

农村住宅能耗 = 农村住宅户数 × 农村住宅能耗强度

公式 7.6

中国建筑能耗总量 = 北方城镇采暖能耗 + 公共建筑能耗 + 城镇住宅能耗 + 农村住宅能耗

为保证模型分析的结论可靠性，一方面，根据实际调查与测试获得的各类建筑终端用能项的能耗量，以及建筑单位面积或户均能耗强度，检验通过技术参数和使用与行为确定的能耗强度；另一方面，通过宏观能源平衡表给出的能耗数据，检验模型计算得到的建筑能耗总量。

## 7.2 TBPM 模型-HSCW Heating 模块计算方法

根据前文所提到的，本研究将该地区采暖模式分为了 11 种模式，然而在 TBPM 模型中为了计算的简化，我们按照采暖系统形式进行分类计算，在每种采暖系统形式下区分采暖形式的不同，最后得到各部分的计算公式及方法如下。

公式 1：夏热冬冷地区采暖能耗 = 户均能耗 \* 户数

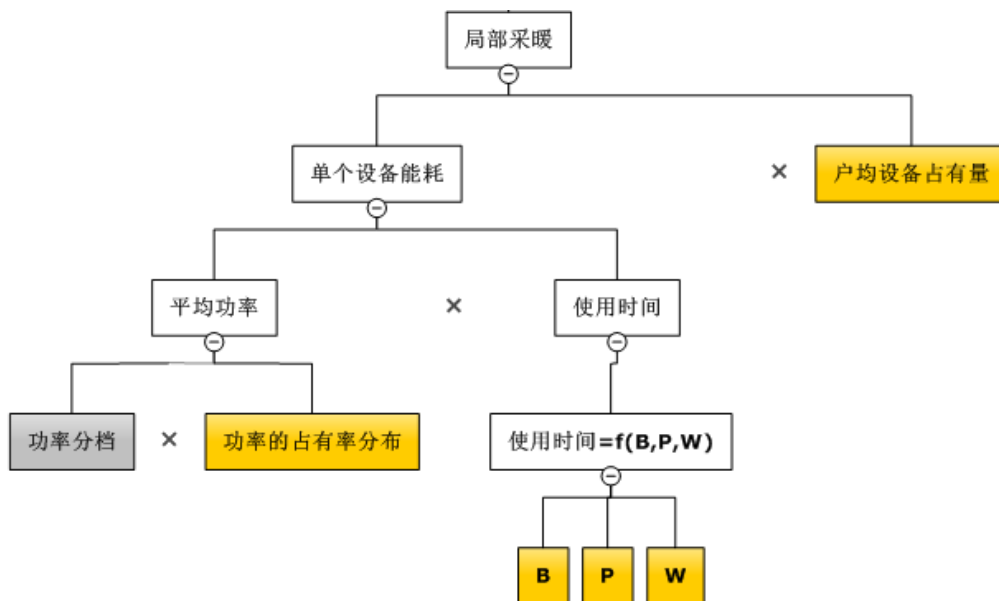
公式 2：户均能耗 = 各采暖方式户均能耗 × 各采暖方式分布

公式 3.1：局部采暖户均能耗计算方法如下：

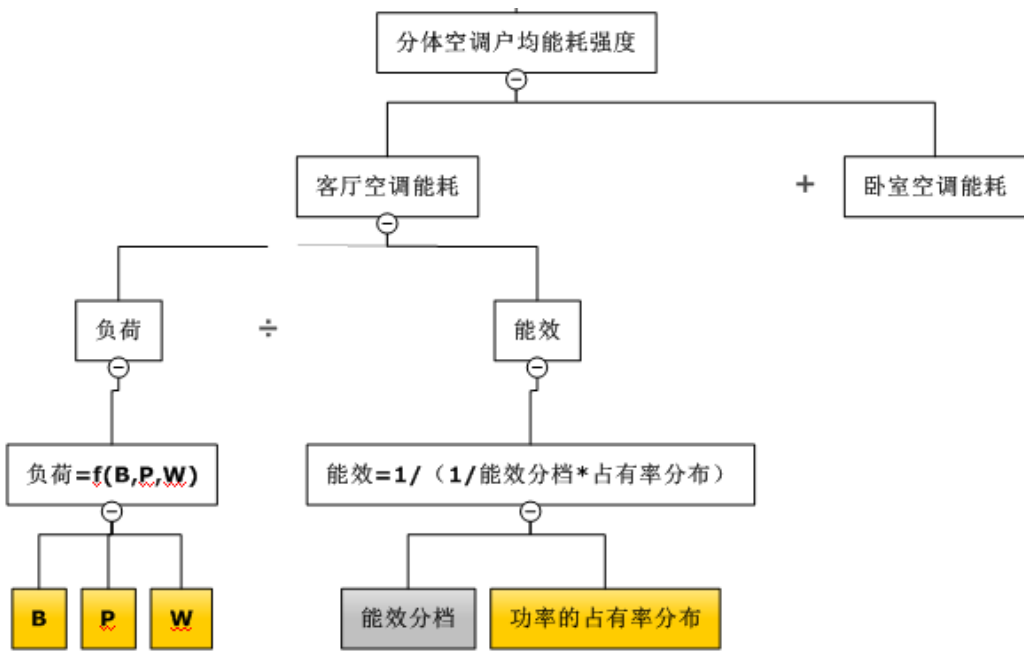
局部采暖户均能耗 = 单个设备能耗 × 户均设备占有量

单个设备能耗 = 平均单个设备功率 × 平均单个使用时间

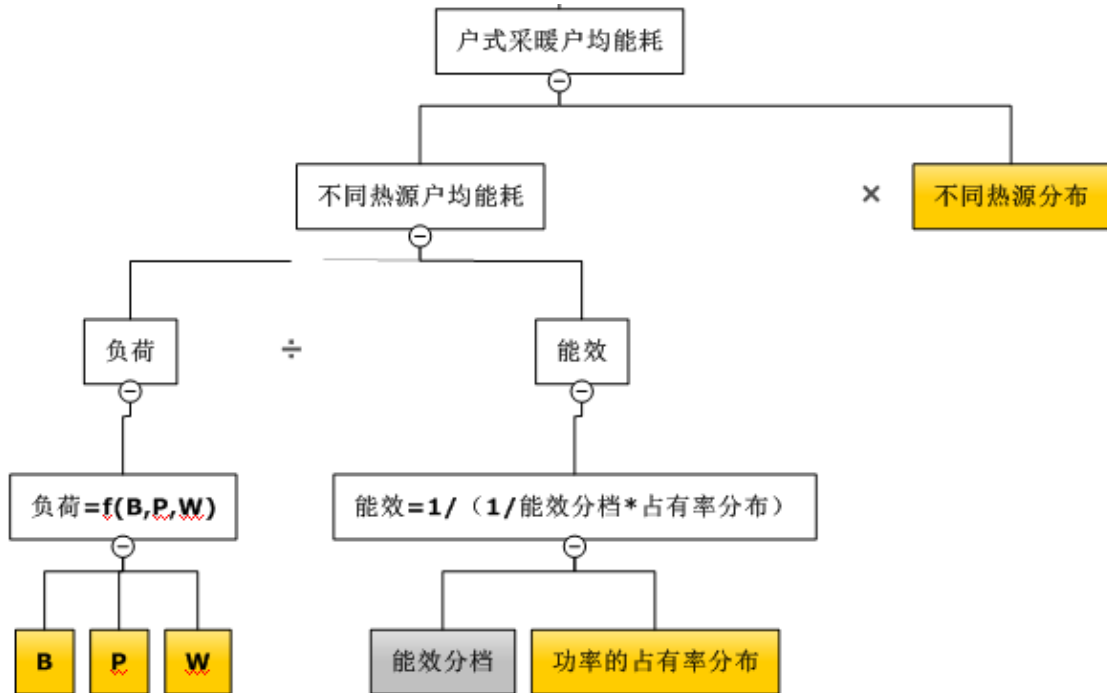
平均单个设备功率 = 功率分档 × 功率的占有率分布



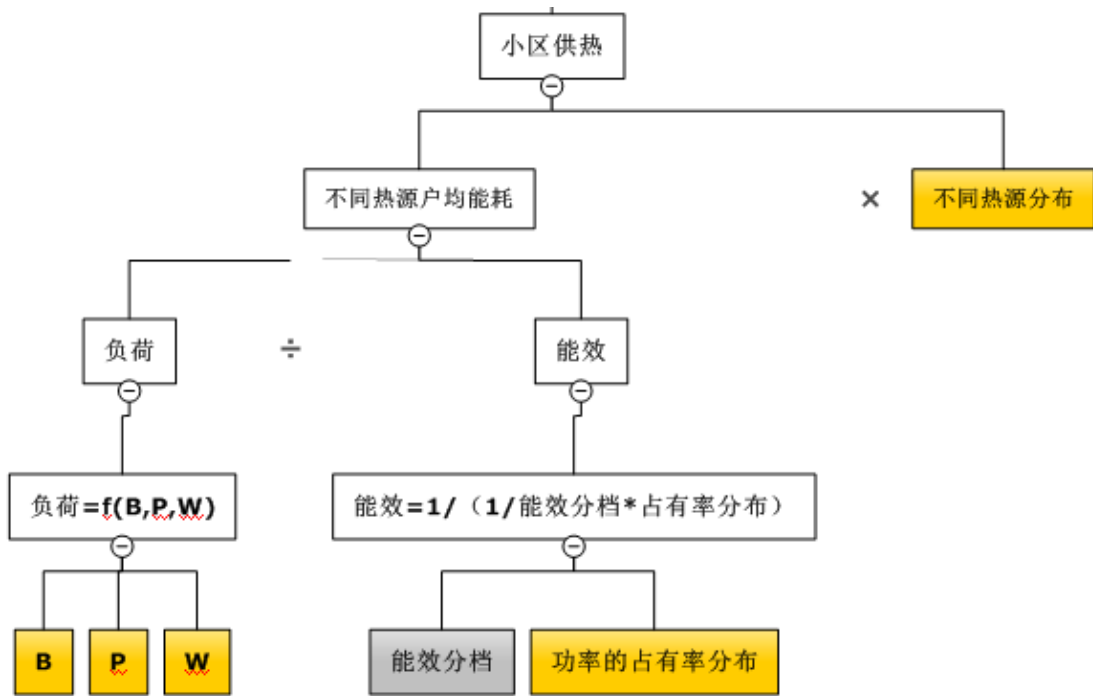
公式 3.2：分体空调户均能耗计算方法如下图



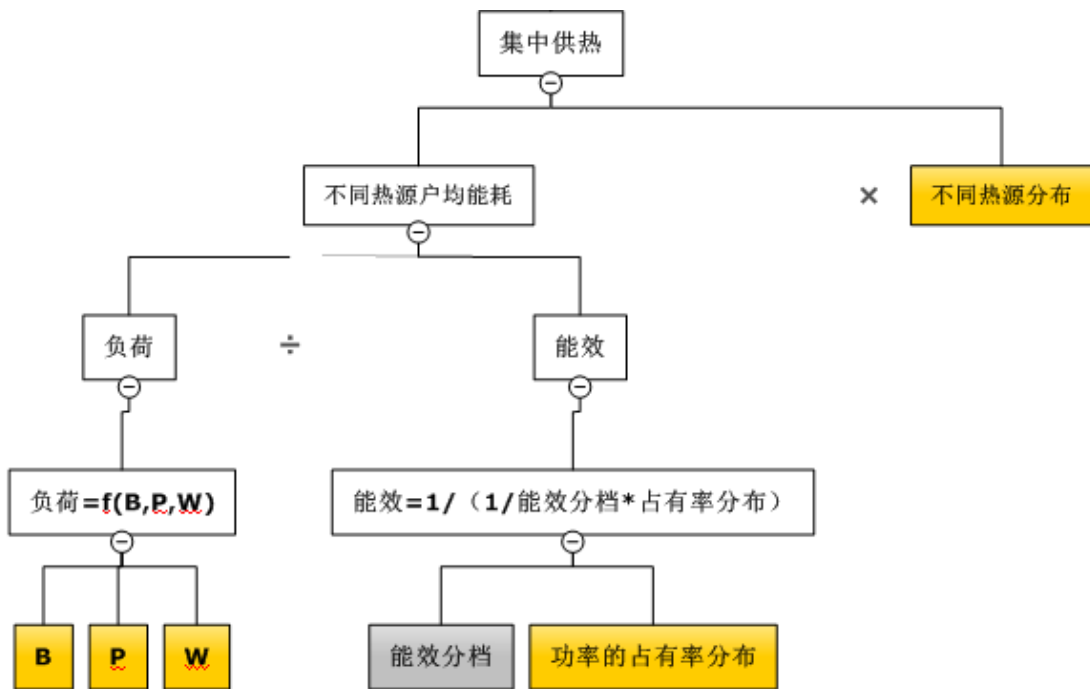
公式 3.3: 户式采暖户均能耗计算方法如下图



公式 3.4: 小区供热户均能耗计算方法如下图



公式 3.5：集中供热带户均能耗计算方法如下图



## 7.3 夏热冬冷地区城镇住宅采暖现状分析

### 7.3.1 能耗总量及分布

根据 TBPM 模型计算结果，2013 年夏热冬冷地区采暖能耗总量 693 万 tce。考虑不同系统形式的能耗，目前夏热冬冷地区采暖主要设备形式是局部采暖和分体空调，其对应的能耗分别为 176 万 tce 及 207 万 tce。值得一提的是，对于集中供热系统和燃气壁挂炉系统来说，其占有率较低，目前燃气壁挂炉占有率 2.9%，集中供热占有率 2.2%，然而他们在总能耗中却占了非常大的比例，约为三分之一。

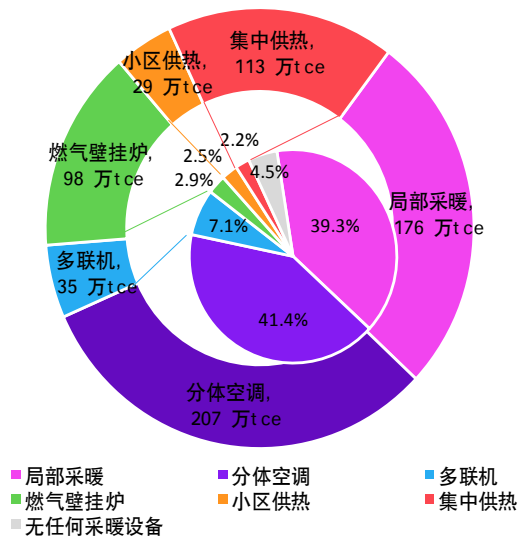


图 7.3 能耗总量分系统分布

考虑分省户均能耗，计算结果如下表，可以看到，安徽分省能耗最高，为 128 kgce/(hh·a)，重庆为 73 kgce/(hh·a)最低。此结果不仅与不同省份的气象参数有关，还和建筑性能分布、人行为分布等都存在着关系

表 7.1 分省户均能耗

分省户均一次能耗	
kgce/(hh·a)	
安徽	128
湖北	111

湖南	101
江苏	133
江西	90
上海	90
四川	89
浙江	75
重庆	73

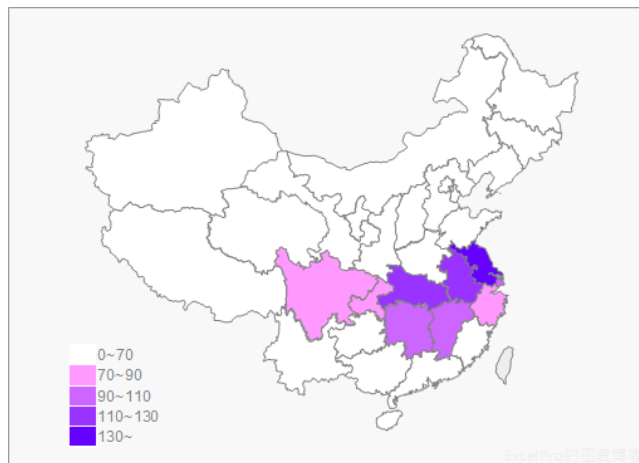


图 7.4 分省能耗

再考虑各省市的户数，可以得到该省份下的总能耗，计算结果如下图：

分省能耗（万tce）

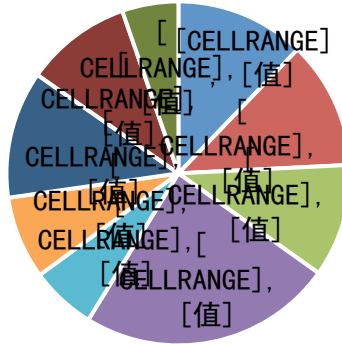


图 7.5 分省总能耗

### 7.3.2 历史发展趋势

2013 年夏热冬冷地区城镇住宅采暖一次能耗为 693 万 tce，为 1999 年的 107 万 tce 的 6 倍。如下图。

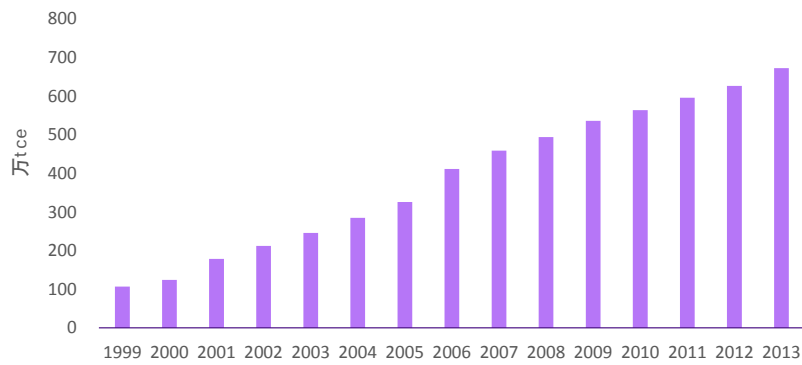


图 7.6 历史发展趋势

### 7.3.3 现有情景

综上所述,可以得到现有情景下整体平均能耗强度 71.7kgce/hh, 满意度 0.50。

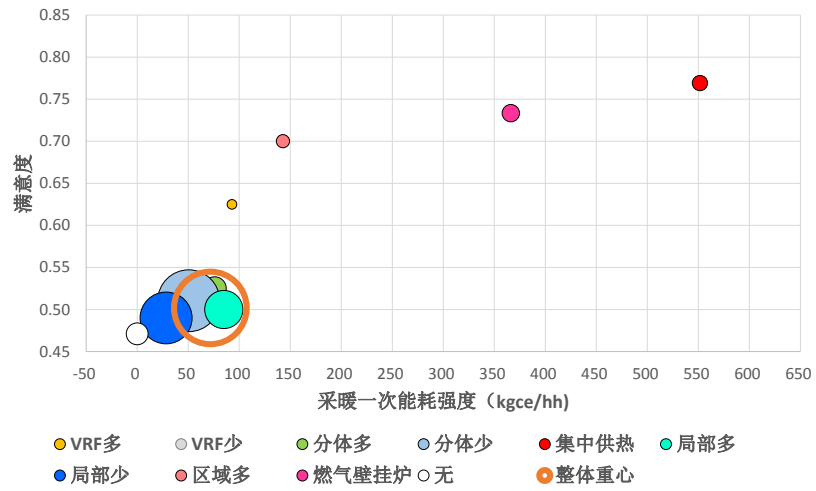


图 7.7 现有情景

## 7.4 情景分析

### 7.4.1 基准发展情景

根据调研结果，现有的以及 2020 年各采暖模式人群比例如 **Error! Reference source not found.**所示：



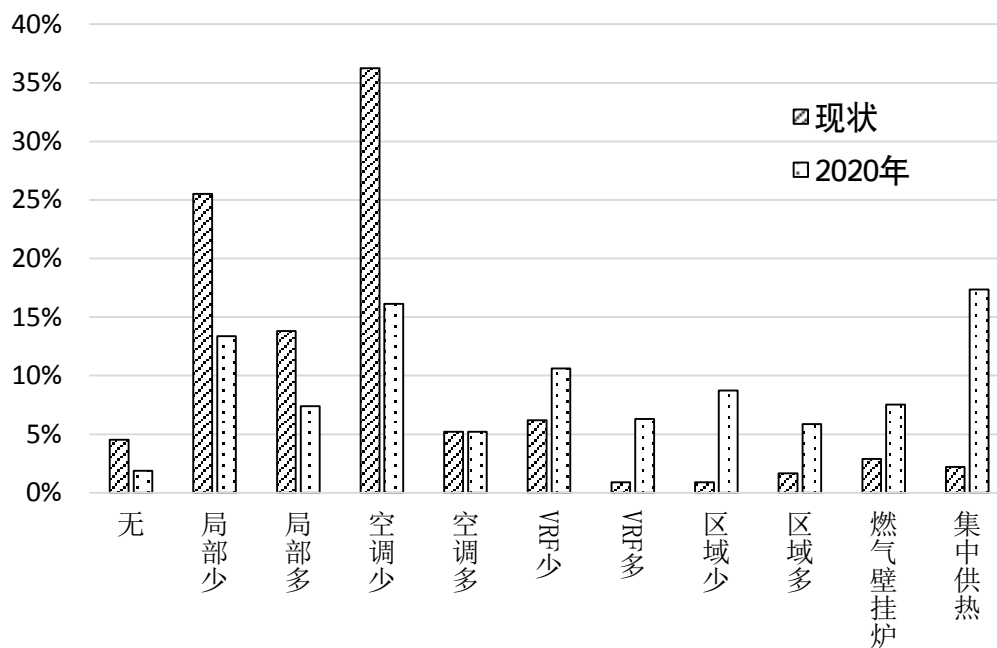
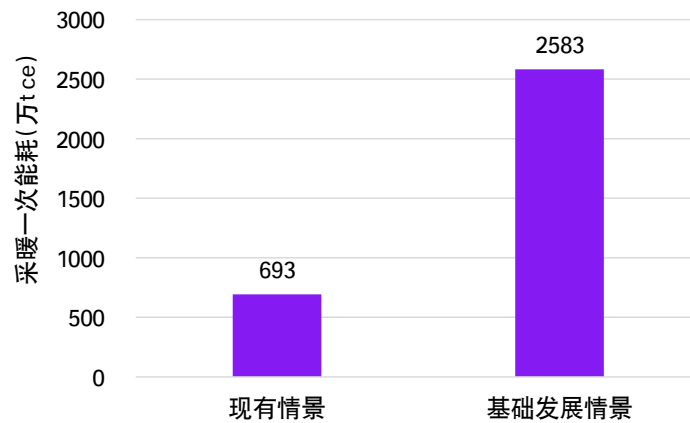
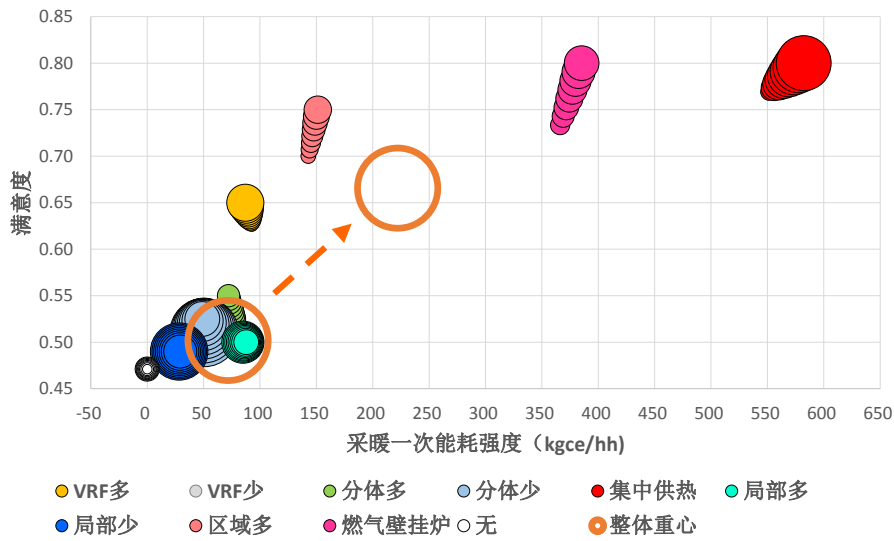


图 7.8 2020 年各采暖人群比例

调研出的 2020 年的人群比例是按照居民意愿发展的情景, 在本研究政策分析中课题组认为是未来的基准情景。该情景采暖能耗强度为 222.1kgce/hh, 是现有情景的 3.7 倍。2020 年城镇住宅建筑面积本研究以 80 亿  $m^2$  来计算, 那么, 未来基准情景下的采暖能耗可达到 0.26 亿 tce。这个能耗总量是非常惊人的, 因为三峡水电站一年的发电量也仅为 847 亿 kWh, 因此基准情景的采暖能耗是其年发电量的 0.7 倍。从结果可以说明, 如果不加以相关政策措施引导, 按照居民意愿来发展, 会对中国能源供应产生巨大的压力。



因此，政府需通过合理的政策引导措施，在提升夏热冬冷地区冬季室内环境的同时，尽可能减缓能耗的大幅增长。

#### 7.4.2 集中采暖情景

考虑一种极端情景。若夏热冬冷地区各地政府推进城市集中供热，假设有 80% 的人群采取集中采暖模式，该情景下整体平均能耗强度 487.7kgce/hh，满意度 0.76。在集中采暖情境下，平均满意度从 0.5 增长到 0.76；采暖能耗将大幅增长，变为现有情景能耗水平的 9 倍；这将对我国能源供应产生非常大的压力。

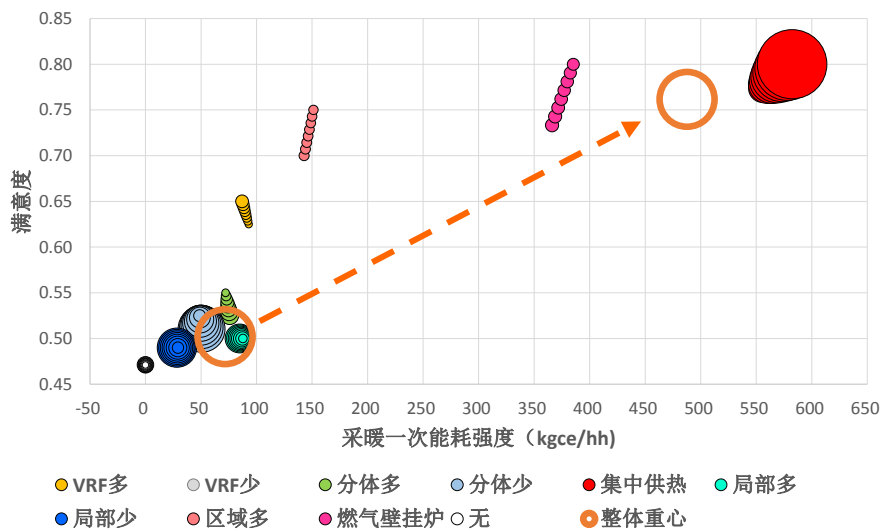


图 7.9 集中采暖情景气泡图

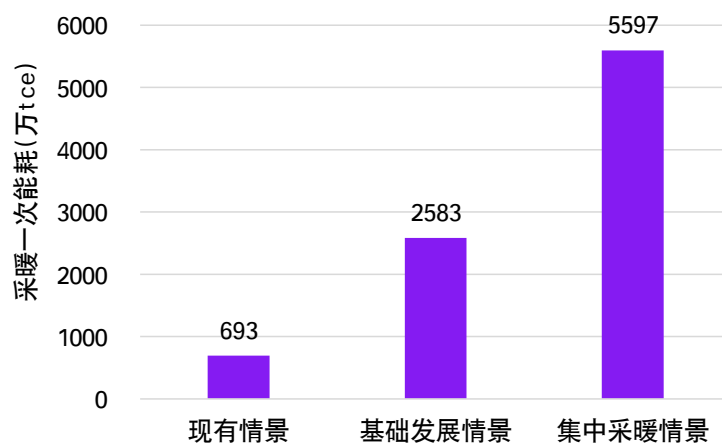


图 7.10 集中采暖情景与其他情景对比

### 7.4.3 政策优化情景

若采取前文所提的几项建议的政策进行情景分析，可得到政策优化情景下的设定如下表：

基础发展情景	政策优化情景
--------	--------

城镇家庭户数	1.16 亿户	1.16 亿户
采暖形式分布	根据调研得到居民预期	引导和控制集中采暖
人行为设定	根据调研得到居民预期	实施梯级电价和气价
采暖设备能效	采暖设备制热能效略有提高	进一步提高采暖设备制热能效等级
围护结构性能	节能建筑占建筑存量的 50%	提高新建建筑设计标准并推进既有建筑改造

对于控制集中采暖的详细说明：

夏热冬冷地区若采用集中供热系统，能耗会远高于一般分散采暖设备。综合考虑各方面原因，在夏热冬冷地区都不适宜推广集中供暖。因此政府应该控制集中供热。

基准情景的高能耗有很大原因是由于集中供热模式人群比例较高导致的，本部分政策措施主要针对的就是这部分人群。实施该政策后，原有的集中供热模式的人群因为已经采取了该系统，其采暖模式不发生变化。而对从其他模式转移到集中供热模式的人群，限制集中供热后，其无法采用集中供热系统，而转移到其他模式。为了估算该政策实施后的节能量，课题组根据居民的家庭收入不同，将这部分人群分配到其他模式上去。由于大部分人选择集中供热是由于对其不正确的认识和盲从，课题组假设家庭年收入较低的住户其实 2020 年并不会改变其采暖模式，只是对目前采暖模式并不满意导致的，实际上其经济能力可能不能让其改变采暖模式，但技术的发展已经可以满足其改善室内环境的需求。而对家庭年收入较高的用户来说，其有一定的经济能力，因此五年后该部分住户虽然不会改变模式为集中供热模式，也会改进其采暖模式。

该政策导致的采暖模式人群变化如 **Error! Reference source not found.**所示：

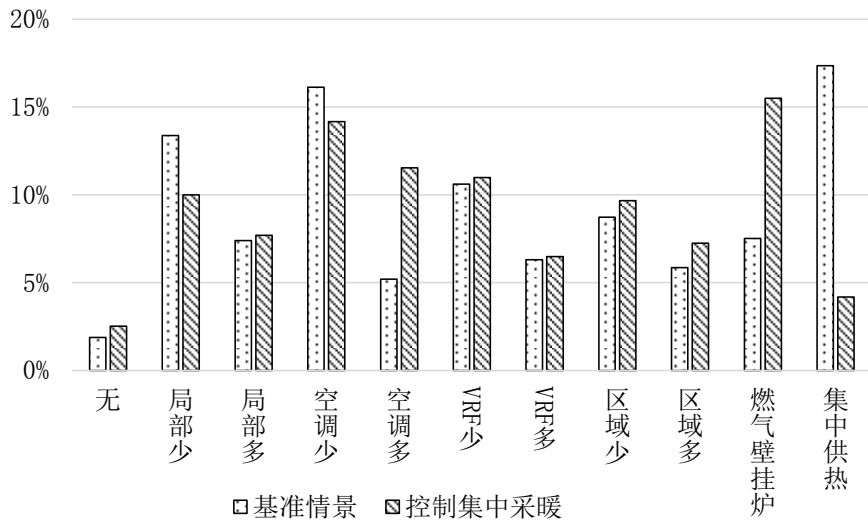


图 7.11 控制集中采暖后人群比例

政策优化情景下整体平均能耗强度 107.5kgce/hh，满意度 0.66。

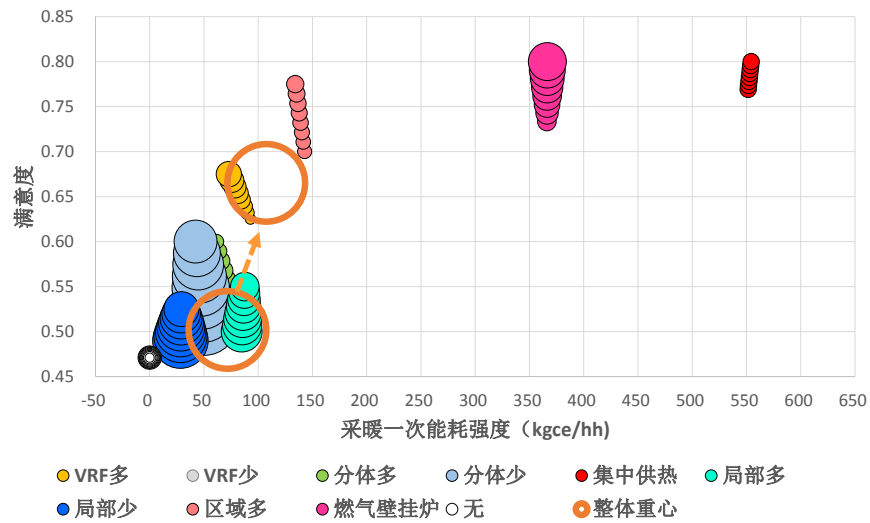


图 7.12 政策优化情景

通过技术创新及政策措施，可以降低采暖能耗。2020 年时采暖一次能耗仅为 0.11 亿 tce。

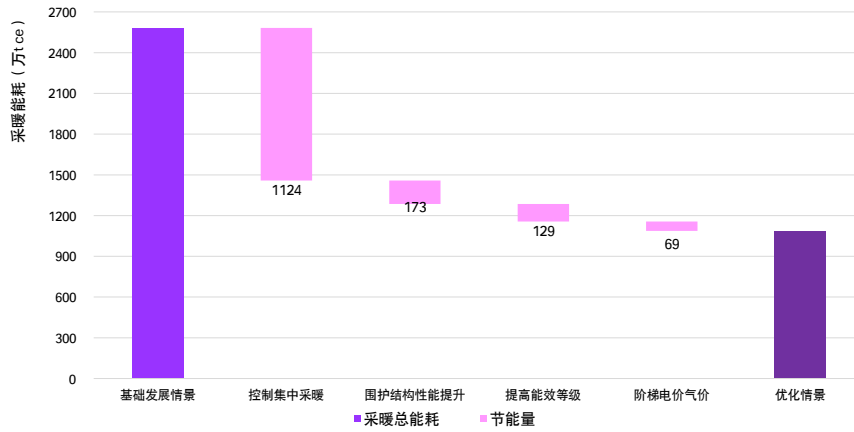
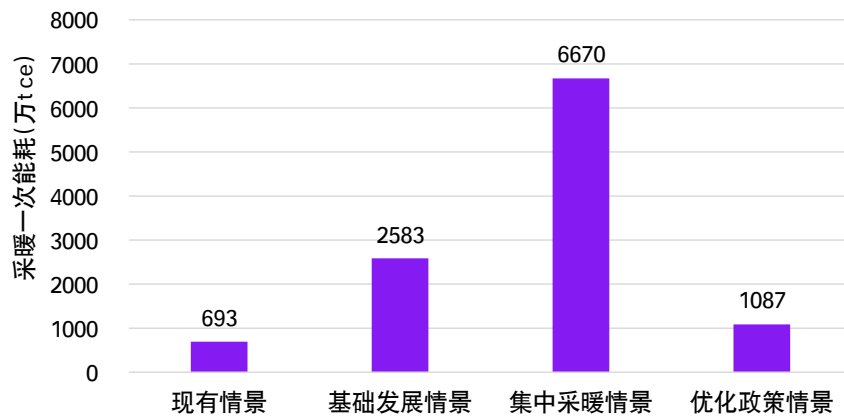
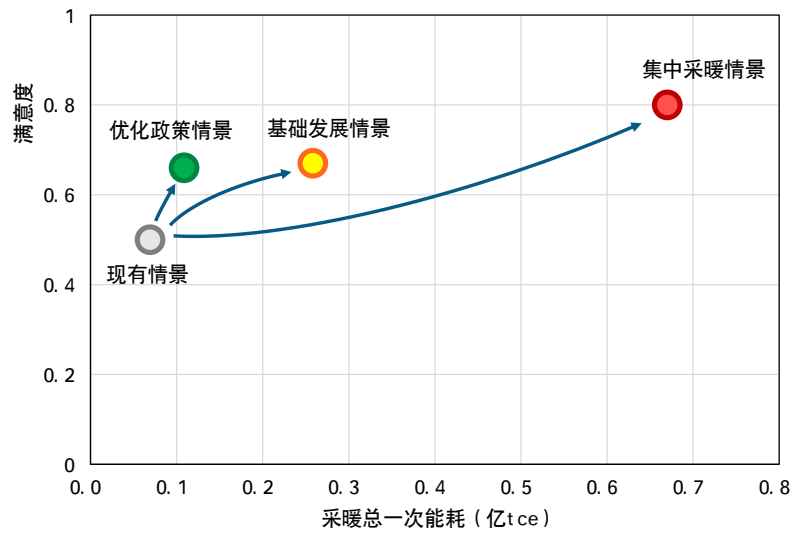


图 7.13 政策及技术措施瀑布图

## 7.5 小结

几种情景分析结果如下，可以看到集中采暖情景相比其他几种情景能耗大幅增长，高达 0.67 亿 tce。该情景虽然相比其他几种情景满意度确实有增长，但却付出了能耗的巨大代价。因此在能耗总量控制的大背景下，我们应该追求在不大幅提高能耗的情况下尽可能提升满意度，通过采取合理的技术措施及政策措施，可以达到较好的满意度的情况下，采暖能耗也不太高。





## 第8章 夏热冬冷地区未来技术发展路线及政策措施

根据解放初期制定的秦岭淮河供暖线，夏热冬冷地区冬季并没有市政规模的集中供热，然而该地区建筑保温隔热性能不受重视，围护结构热工性能相对北方较差，冬季室温远低于北方集中供热时室内温度。改革开放以来，该地区经济飞速发展，人民生活水平大幅提升，再加上近年来多次出现的极寒天气，该地区居民对于冬季提升室内舒适水平的呼声日益强烈。伴随着采暖需求的不断增加，夏热冬冷地区采暖能耗也逐年增长，如果不加以任何措施，必然会带来巨大的能源供应压力。因此，在满足居民需求的前提下，通过合理的政策措施，实现在提高冬季室内舒适水平的同时尽可能减缓采暖能耗的增长的目标，是目前建筑节能领域的重点问题之一。

基于大量实测调研数据，对夏热冬冷地区未来发展趋势进行情景分析，结果显示，如果按照现有政策体系发展，2020年该地区冬季采暖一次能耗将达到0.26亿tce，而如果80%的地区都推行城市集中供热，采暖一次能耗将高达0.67亿tce，但是通过合理的政策措施，可以有效降低夏热冬冷地区采暖一次能耗，2020年时采暖一次能耗仅为0.11亿tce。

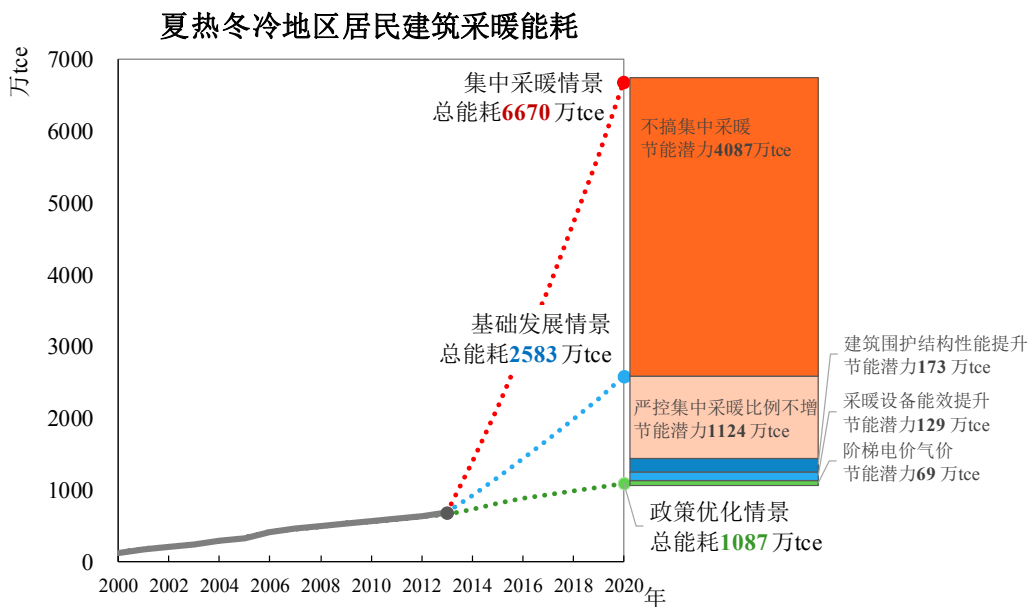


图 8.1 夏热冬冷地区居民建筑采暖能耗情景分析



[注]：集中采暖情景假设了80%的地区都实行了集中供热，而“不搞集中采暖”是指不在城市范围内全面推广集中供热系统；“严格控制集中采暖比例不增加”，是指在现有城市集中供热比例基础上不再增加。

为此，我们提出以下政策建议：

### **一、将夏热冬冷地区冬季采暖节能工作纳入国家节能规划和建筑节能专项规划，明确发展方向**

目前的国家规划缺乏对夏热冬冷地区城镇住宅冬季采暖的整体发展规划，虽然目前占全国能耗总量的比例还较小，但该地区采暖能耗增长迅速，因此该问题不容忽视。建议从中央政府层面对夏热冬冷地区冬季采暖制定详细的发展规划，明确降低夏热冬冷地区采暖能耗的重要性，研发相关标准及图集，并大力开展宣传普及工作，强调关注该部分用能的必要性。

### **二、严格控制夏热冬冷地区城市集中供热**

目前某些地方政府大力推广城市集中供热，然而从负荷特性、能源结构、历史沿革等多方面因素考量，该地区都不适宜推行城市集中供热。因此，建议住房和城乡建设部出台相关政策，严格控制夏热冬冷地区安装城市集中供热系统，而对目前已安装城市集中供热系统的城市和地区，建议通过改变其收费方式，鼓励按照实际热量收费而非按照面积收费，并推广以室温调控为核心的末端通断调节与热分摊技术等手段，来保证末端充分的灵活性和使用者调节的自主性，改变在集中供热系统下用户“全时间、全空间”的采暖方式，尽可能降低冬季采暖能耗。建议政府加强宣传推广，消除住户对于集中采暖的认识误区。

### **三、针对新建建筑，进一步提高居住建筑节能设计标准至“65%标准”，至2020年推进新建建筑实施率达到95%以上**

建议“十三五”期间，进一步加强新建居住建筑节能设计标准，从现有的50%目标节能率提升至65%目标节能率，至2020年末，推进新建建筑实施率达到95%以上。建议在有条件的大城市如上海、重庆等地启动节能75%的新建建筑节能设计标准。对于夏热冬冷地区普遍存在的气密性较差的问题，建议将气密性检验结果加入工程验收条件之一。

### **四、进一步加强财政补贴政策，同时用市场手段积极推进既有建筑节能改造**

我国以前对既有建筑的改造工作主要着重于北方严寒和寒冷地区，而近年来，建筑节能工作由北向南开始推进。“十二五”规划期间，国家政府首次明确提出

夏热冬冷地区既有建筑节能改造 5000 万平方米的目标。建议政府进一步加强财政补贴政策，落实专项资金稳步到位，并通过合同能源管理等方法，以市场手段积极推进夏热冬冷地区既有建筑节能改造。建议在节能改造工程中重点关注建筑气密性及外窗保温性能的提高。

#### **五、进一步合理推行和落实阶梯电价和气价，引导绿色节能的生活方式**

针对居民的阶梯电价及阶梯气价的相继出台，体现建筑节能工作从过程管理向结果管理的转变。针对居民生活用电的阶梯电价制度从 2011 年出台至今，已经取得了较为显著的效果，建议进一步落实阶梯电价的实施，并在全国范围内逐步实施阶梯气价，以此来引导居民绿色节能的生活方式。

#### **六、推进房间空调器及多联式空调等采暖设备的制热能效等级，区分制冷制热指标**

建议逐步淘汰根据现有标准能效等级为 3 级的家电产品，并进一步提高定速空调及变频空调的节能评价指标。由于夏热冬冷地区居民冬季较多采用空调采暖，因此空调产品的制热能效指标非常重要，但目前房间空调器的产品标准仅以制冷能效比判断空调产品节能与否，未考虑单冷型房间空调器和热泵型房间空调器的能效指标差别，建议出台新的产品标准加以区分。

并提出以下技术建议：

1. 适当提高围护结构保温性能，加强围护结构气密性
2. 保证末端充分的灵活性和使用者调节的自主性
3. 合理优化地水源热泵系统的设计方法，减少设备容余
4. 改善分体空调结霜和气流组织问题
5. 实现燃气地板采暖的快速启停
6. 局部采暖设备
  - a) 提高使用者的舒适度
  - b) 控制设备辐射温度，减少安全隐患

## 参考文献

- [1] 93 G B. 民用建筑热工设计规范 [S][D]. , 1993.
- [2] 2010 J G J. 夏热冬冷地区居住建筑节能设计标准 [S][D]. , 2010.
- [3] 王君平. 南方城市气温低且为湿冷 8 成网友支持集中供暖[N].人民日报, 2013-1-8.
- [4] 清华大学建筑节能研究中心. 中国建筑节能年度发展研究报告 2013[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2013
- [5] 雷辉. 全国政协委员提议将公共供暖延伸到南方[N].南方日报, 2012-3-2.
- [6] 吴洁瑾. 上海应尽早启动“冬季供暖” [N].东方早报, 2010-1-27
- [7] 彭利国. 供暖线上的“南北之战” [N].南方周末, 2012-12-21
- [8] 发改委:南方冬季采暖仍处于路径设计阶段, 中国网, 2013-1-15
- [9] 李奕. 省住建厅厅长: 四川全域集中供暖目前不具备条件[N].成都晚报, 2013-3-5
- [10] 陈勇. 超七成网友赞成集中供暖 长沙暂无全面供暖推行计划[N].长沙晚报 2013-1-9
- [11] 李哲. 中国住宅中人的用能行为与能耗关系的调查与研究[D]. 清华大学, 2012.
- [12] 李振海, 孙娟, 吉野博. 上海市住宅能源消费结构实测与分析[J]. 同济大学学报: 自然科学版, 2009, 37(3): 384-389.
- [13] 武茜. 杭州地区住宅能耗问题与节能技术研究 [D][D]. 杭州: 浙江大学, 2005.
- [14] 史洁, 苏伟, 吕晶, 等. 上海高层住宅室内热舒适研究[J]. 建筑热能通风空调, 2008, 27(1): 75-80.
- [15] Zhang H, Yoshino H. Analysis of indoor humidity environment in Chinese residential buildings[J]. Building and Environment, 2010, 45(10): 2132-2140.
- [16] Yoshino H, Yoshino Y, Zhang Q, et al. Indoor thermal environment and energy saving for urban residential buildings in China[J]. Energy and buildings, 2006, 38(11): 1308-1319.
- [17] Chen S, Yoshino H, Levine M D, et al. Contrastive analyses on annual energy consumption characteristics and the influence mechanism between new and old residential buildings in Shanghai, China, by the statistical methods[J]. Energy and Buildings, 2009, 41(12): 1347-1359.
- [18] 史洁, 瞿燕. 上海高层住宅能耗现状与节能潜力[J]. 建筑科学, 2010 (2): 52-58.
- [19] 钟婷, 龙惟定. 上海市住宅空调的相关调查及其耗电量的估算[J]. 建筑热能通风空调, 2003, 22(3): 22-24.
- [20] 李哲. 中国住宅中人的用能行为与能耗关系的调查与研究[D]. 清华大学, 2012.
- [21] 龙惟定. 夏热冬冷地区住宅供暖问题刍议[J]. 暖通空调, 2013 (6): 42-49.

- [22] 付祥钊, 林真国, 王勇, 等. 空气源热泵与地板供暖联合运行实验研究[J]. 暖通空调, 2005, 35(2): 100-103.
- [23] 王子介. 空气源热泵用于住宅地板辐射供暖的实测研究[J]. 暖通空调, 2003, 33(1): 8-11.
- [24] 赵康, 吴明洋, 佟振, 等. 长江流域住宅分散式供暖改造案例及分析[J]. 暖通空调, 2013 (6): 58-63.
- [25] 周翔, 张淇淇, 张静思, 等. 上海地区住宅冬季室内环境调研及热需求分析[J]. 暖通空调, 2013 (6): 64-67.
- [26] 付玉. 碳晶电热板用于室内局部辐射采暖的研究[D]. 哈尔滨工业大学, 2010.
- [27] 张小波, 张旭, 周翔, 等. 混合气候区住宅围护结构热工参数研究[J]. 建筑科学, 2012, 2.
- [28] 刘倩, 张旭. 上海某住宅建筑围护结构能耗模拟与节能性分析[J]. 建筑科学, 2008, 23(12): 24-26.
- [29] 钟珂, 王琦, 亢燕铭. 夏热冬冷地区冬季供暖方式的选择[J]. 暖通空调, 2005, 34(12): 70-73.
- [30] 盛来运, 张芑, 钟守洋. 中国统计年鉴 2011[J]. 2011.
- [31] 文静. 北京启动研究供暖价格调整方案[N]. 京华时报, 2013-11-2
- [32] 清华大学建筑节能研究中心. 中国建筑节能年度发展研究报告 2011[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2011
- [33] 2008 D B. 民用建筑节能现场检验标准[S][D]. , 2008.
- [34] Chen S, Levine M D, Li H, et al. Measured air tightness performance of residential buildings in North China and its influence on district space heating energy use[J]. Energy and Buildings, 2012, 51: 157-164.
- [35] 2010 J G J. 夏热冬冷地区居住建筑节能设计标准 [S][D]. , 2010.
- [36] 2008 G B T. 建筑外门窗气密, 水密, 抗风压性能分级及检测方法[D]. , 2008.
- [37] 黄振兴. 分体壁挂式空调冷(暖)气定点引导装置: 中国, CN201672638U[P]. 2010-12-15
- [38] 毕海云. 壁挂式空调热风导流装置: 中国, CN102128483A[P]. 2011-07-20
- [39] 杨德润, 张旭, 周翔, 叶蔚. 加强室内空气循环改善空调采暖房间温度分层实验研究[C]. 第十八届全国暖通空调制冷学术年会, 2012.