上海地区住宅冬季供暖现状调查与测试研究*

清华大学　郭偲悦☆　燕　达　彭　琛　崔　莹　朱安东

摘要　通过 2012 年冬季实际案例测试及 2013 年冬季问卷调研，从供暖设备形式、室内热环境、供暖能耗、开窗行为及居民满意度等方面对当前上海地区的供暖现状进行了详细深入的分析，以期为该地区的冬季供暖技术改进与政策制定提供相关依据。

关键词　夏热冬冷地区　住宅　供暖方式　供暖能耗　室内环境　满意度

Status investigation and test on heating of residential buildings in winter in Shanghai

By Guo Siyue★, Yan Da, Peng Chen, Cui Ying and Zhu Andong

Abstract　Based on an actual case measurement in the winter of 2012 and a questionnaire survey in the winter of 2013, analyses in detail the heating status in Shanghai from the aspects of heating facility forms, indoor thermal environment, energy consumption of heating, opening behavior of windows and occupants' satisfaction, in order to supply some foundations for the improvement of heating technology and the development of policy.

Keywords　hot summer and cold winter zone, residential building, heating mode, energy consumption of heating, indoor environment, satisfaction

★ Tsinghua University, Beijing, China

①

0　引言

随着上海地区居民生活水平的不断提高，该地区冬季室内温度较低的问题引起广泛重视。如何提高上海地区冬季居住建筑的室内舒适度，同时符合我国当前建筑节能技术路线和用能上限的要求，是目前亟需解决的问题。

已有学者对上海地区冬季供暖能耗和室内环境进行了研究。李振海等人对上海地区 2 个家庭进行了实际测试，得到其供暖能耗(以电量计)分别为 5.33 kW·h/(m²·a)和 1.85 kW·h/(m²·a)[1]。Zhu Panyu 等人利用 EnergyPlus 软件对实际调研得到的供暖模式进行了模拟分析，并计算负荷，得到冬季供暖耗热量约为 5.3 kW·h/(m²·a)，折合耗电量约为 2.8 kW·h/(m²·a)[2]。武茜在杭州对部分住户进行了冬季供暖能耗调研，得到杭州市冬季供暖能耗(以电量计)约为 3.96 kW·h/(m²·a)[3]。有研究者在与上海地区气候情况相近的美国北卡罗来纳州进行了实际测试，得出 3 户住户的供暖能耗(以标准煤计)分别为 12.3，13.1，5.6 kg/(m²·a)[4]。日本东北大学 2002—2003 年在与上海地区气候情况相近的九州地区进行了调研，得到的供暖耗热量为 0.048 GJ/m²[5]。而我国北方地区集中供暖的能耗(以标准煤计)为 16.4 kg/m²[6]。

Chen Shuqi 等人对我国不同气候区的城市冬季能耗进行了调研，得到上海地区冬季使用供暖设备的频率达 82%[7]。Yoshino 等人对我国的室内

* “十二五”国家科技支撑计划“建筑节能技术支撑体系研究”项目——“建筑节能基础数据的采集与分析和数据库建立”(编号：2012BAJ12B01)

①☆ 郭偲悦，女，1990 年 1 月生，在读硕士研究生
100084　清华大学建筑节能研究中心
(010) 62789761
E-mail：guo-cy12@mails.tsinghua.edu.cn
收稿日期：2014-02-17
修回日期：2014-04-26

环境和能耗状况进行了调研，得到上海地区近80%的用户拥有单独的供暖设备，客厅的温度约为12～17 ℃，卧室的温度约为 14～21 ℃[8]。Zhang Huibo 等人对我国住宅的温度进行了研究，测试得到上海地区冬季室内平均温度为 13.6 ℃[9]。万旭东等人对上海地区某住户进行了实测，得到冬季室内温度约为 15 ℃，供暖设备使用时间主要集中在12 月和 1 月[10]。史洁等人对上海市高层住宅的室内热环境进行了调研，结果显示大部分住户采用普通分体式热泵空调供暖，35%的住户会采取其他设备辅助供暖；从 10 月下旬到第二年 4 月均有用户供暖，时间较为分散；室内温度一般为 10～14 ℃[11]。

综合以上文献可知，上海地区冬季室内温度较低，且冬季供暖能耗水平较低。要切实解决该地区的冬季供暖问题，需根据实际的供暖情况确定适合的技术方案。因此需完整、详细地探明该地区的供暖现状。现有研究结果大部分是通过大样本问卷得到的，供暖能耗大部分是根据冬季能耗与过渡季能耗直接相减得到的，很少进行实际供暖设备的耗电量与温度测试，也很少与用户进行深入交流，且对分散、局部供暖方式缺乏定量描述。

本文结合实际案例测试和问卷调研，综合各方面因素，对上海地区冬季供暖方式和能耗进行研究。

1 调研方法

为了解该地区冬季供暖的详细情况，于 2011 年 12 月至 2012 年 3 月，在上海地区随机选择 14 户住户进行冬季热泵空调使用测试。实测内容包括住户的总耗电量、各热泵空调的耗电量、各房间的温湿度等。通过测试可以得到典型住户的冬季供暖能耗、热泵空调使用方式及室内热环境情况。同时也对住户的冬季供暖方式进行了访谈，访谈内容包括住户的供暖设备使用方式、开窗习惯、对室内环境的满意度、对室内环境的期望及对集中供暖的看法等。

为了对该地区的总体供暖情况有一定认识，于 2013 年 1 月在上海地区针对供暖能耗、供暖形式、供暖期界定、供暖设备使用方式、开窗行为、室内热环境及对室内环境的满意度等进行了问卷调研，共发放 200 份问卷，回收有效问卷 195 份，并对其中的 55 户住户进行了入户测试。有效问卷要求回答人生活在上海地区，且回答了 95% 以上的问题。入户测试包括温湿度与二氧化碳浓度的测试。

两者结合可提供一个较为完整与清晰的上海地区冬季供暖现状，便于对测试结果进行进一步分析，为下一步研究提供相应基础。

2 供暖设备形式及运行方式

问卷调研结果显示，上海地区冬季供暖形式多种多样。在案例测试中，虽然案例家庭均装有分体热泵空调，但实际的使用方式和能耗各不相同，结果如表 1 所示。

表 1 案例测试中不同住户的供暖方式

住户编号	供暖方式	供暖电耗/(W/m^2)1)
SH－1	完全使用空调	1.33
SH－2	一般不使用，很冷才开空调	0.53
SH－3	主要使用空调和电暖气	4.19
SH－4	完全使用空调	2.78
SH－5	主要使用小太阳取暖器，基本不使用空调	0.91
SH－6	客厅使用空调和电暖气，卧室使用电热毯	1.58
SH－7	卧室使用电火箱和电热毯，客厅使用空调	1.28
SH－8	完全使用空调	4.37
SH－9	使用空调、电暖气和电热毯	
SH－10	主要使用空调和电暖气	
SH－11	一般不使用空调，经常使用电热暖手宝	
SH－12	基本使用空调，老人使用电暖气	
SH－13	孩子使用空调，大人使用电热暖手宝	
SH－14	长住的大人使用电热毯，其他人使用空调	

1) 供暖电耗＝供暖设备耗电量(折算到单位面积)÷(有人在家的天数×24 h/d)。

根据问卷调研结果得到住户供暖方式分布情况，如图 1 所示。可以看出分体空调和局部供暖设备共同使用是该地区最常见的供暖方式。

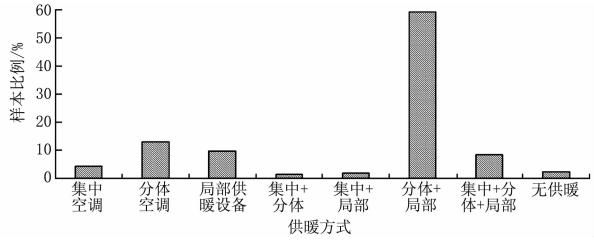
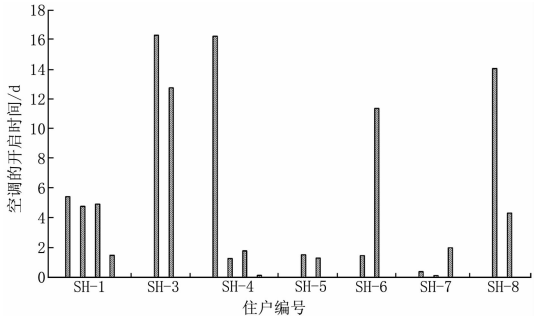


图 1 问卷调研得到的住户供暖方式分布情况

根据实际测试可以发现，在实际使用过程中，几乎不存在整个供暖季空调一直使用的情况。在进行测试的 90 d 供暖期中，绝大部分住户的空调使用时间在 5 d 以内，最长的也没有超过 20 d(如图 2 所示)；开启空调的总时间约占家中有人时间的 20%(如图 3 所示)。



注:图中每个柱子代表 1 台

图 2　案例测试中各热泵空调开启时间

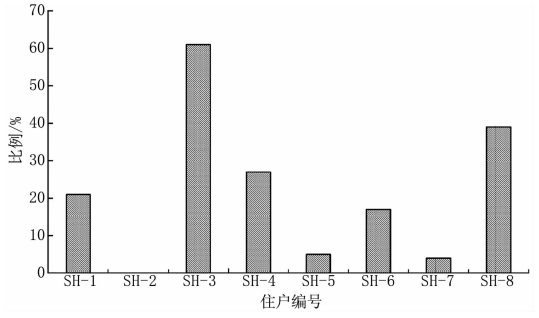


图 3　各用户热泵空调使用时间占家中有人时间的比例

图 4 为其中一户住户整个供暖期的空调开启情况。图中白色部分表示家中无人,浅粉色部分表

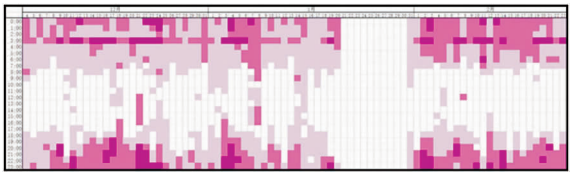


图 4　典型案例各热泵空调使用情况

示家中有人但未开空调,粉色部分表示家中有人且开了 1 台空调,深粉色部分表示家中有人且开了 2 台空调。该住户仅使用热泵空调供暖,共有 3 台空调,但其中 1 台整个供暖期均未开启。从图中可以看出,该住户即使家中有人,也有很多时间没有使用供暖设施,且不存在全部空调同时开启的情况。结合其他的调研与访谈,笔者认为该住户的使用模式代表了上海地区很大一部分住户的实际使用情况。

通过调研发现,各住户的供暖时长与供暖设备的起止使用时间也存在较大差异,结果如图 5,6 所示。可以看出,各住户对供暖期的时间界定存在较大差异。

通过调研发现,上海地区超过 85%的住户在客厅与主卧使用空调的方式集中在 5～6 种使用方

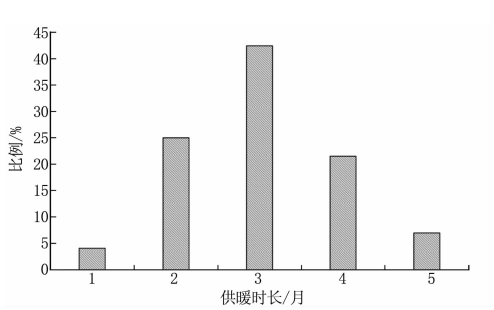


图 5　调研得到的供暖季时长分布

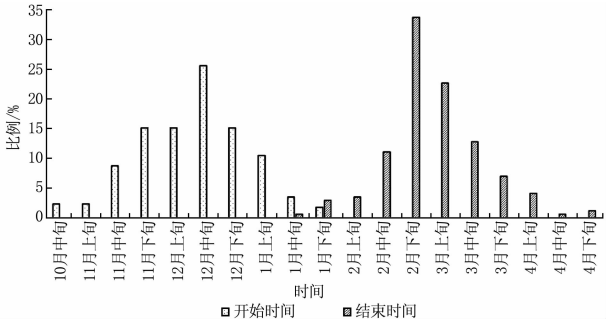


图 6　调研得到的供暖起止时间分布

式中,如图 7,8 所示。

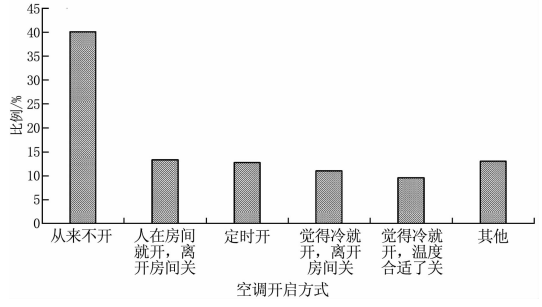


图 7　客厅空调开启方式分布

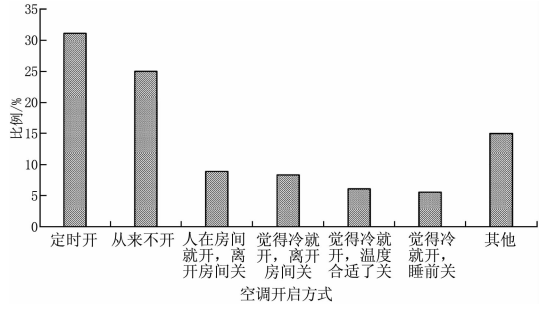


图 8　卧室空调开启方式分布

3　室内热环境和供暖能耗

根据测试结果,上海地区住宅的室内温度在供暖设备运行时为 15～18 ℃,供暖设备关闭时为 8～16 ℃。案例测试得到的室内温度分布如图 9 所示。

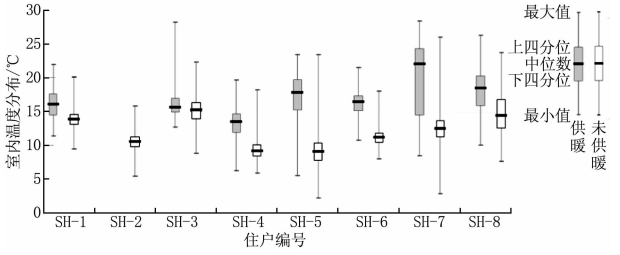


图 9 案例测试室内温度分布

2013 年冬季入户单点温度测试结果表明，测试家庭的室内平均温度为 15.4 ℃。将室内温度根据供暖设备状态进行区分，结果如图 10 所示。可以看出，未开启供暖设备的房间温度较低，平均为 13.9 ℃；开启供暖设备的房间温度较高，平均达到 20.0 ℃。

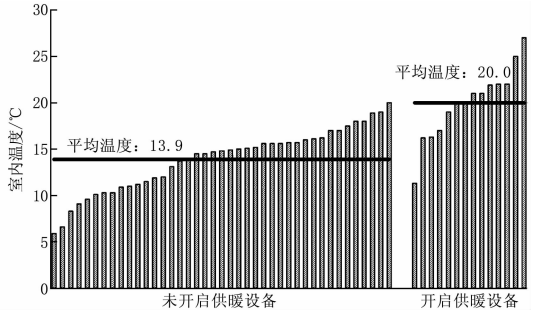


图 10 大规模入户调研得到的室内温度分布

根据案例测试，各住户的供暖能耗如图 11 所示，8 户住户的平均供暖能耗（以电量计）为 3.7 kW·h/(m²·a)。而根据问卷调研，上海地区绝大部分住户每年用于供暖的电费在 20 元/m² 以下，平均供暖电费为 2.2 元/m²，折合成耗电量约为 3.14 kW·h/(m²·a)，如图 12 所示。

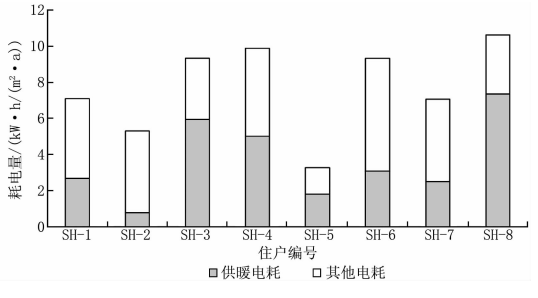


图 11 案例测试得到的供暖能耗

可以看出，本测试和问卷调研得到的冬季供暖能耗与其他文献中得到的供暖能耗接近，远低于我国北方地区的供暖能耗，也低于其他国家相近气候区的住宅供暖能耗。

4 居民开窗行为

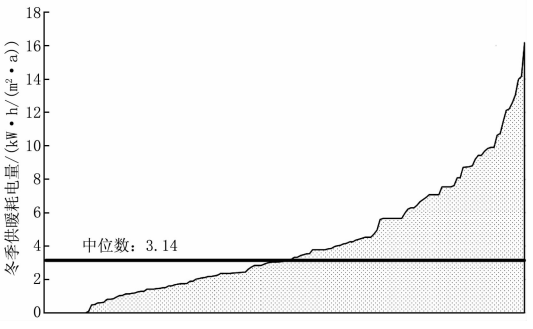


图 12 调研得到的供暖耗电量

调研结果显示，上海地区绝大部分住户在冬季有开窗的习惯。在访谈过程中，不少居民表示无法接受一天的开窗时间少于 0.5 h。案例测试和问卷调研得到的基本不开窗的住户比例仅分别为 14%和 16%，各类开窗行为方式如图 13，14 所示，即约有 85%的住户保持着冬季开窗的习惯，这与北方地区大部分住户冬季很少开窗的行为模式存在较大差异。

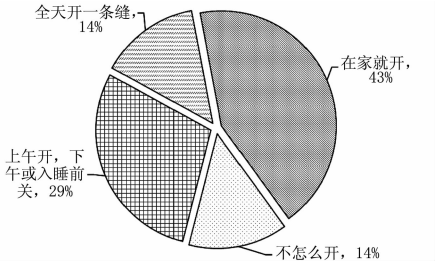


图 13 案例测试得到的各住户开窗习惯

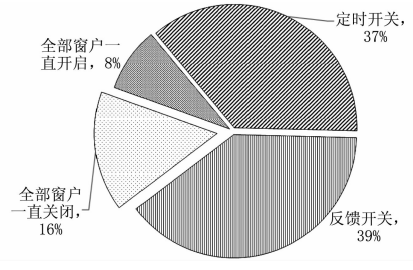


图 14 调研得到的住户开窗习惯

5 结论

本文通过案例测试和问卷调研，对上海地区城镇住宅的冬季供暖问题进行了分析，研究内容包括该地区住宅的供暖设备形式及运行方式、冬季室内热环境状况、供暖能耗、居民冬季开窗行为及居民对供暖方式和室内环境的满意度。研究发现，上海地区住宅的供暖具有以下特点：

1）冬季供暖设备形式以分体空调和局部电供

暖为主,各住户供暖能耗(以电量计)约为 4 kW·h/(m²·a),远低于国外相同气候区,也大大低于我国北方供暖能耗。

2) 不开启供暖设备时,冬季室内温度平均为 14 ℃,较低时会低于 5 ℃;开启供暖设备时,室内温度为 15～18 ℃。

3) 供暖设备使用方式主要为"部分时间、部分空间"的模式,住户通常根据自己的需求,在活动的房间开启供暖设备,这与北方地区集中供暖"全时间、全空间"的运行方式存在较大差别。

4) 大部分居民冬季有开窗通风的习惯,并且认为开窗通风是非常重要的基本需求。

综上所述,上海地区冬季供暖热环境存在提升的必要与空间。考虑到我国当前建筑节能路线及建设"两型社会"的需求,应在该地区提倡"部分时间、部分空间"的供暖方式,并对供暖能耗加以控制。因此,最直接提升该地区冬季室内供暖质量的方式应当是发展灵活、分散、可调节的供暖设备,对分体热泵空调和局部供暖设备进行改进,以解决该地区冬季住宅室内热环境存在的问题。

参考文献:

[1] 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

[2] Zhu Panyu, Aklan A, Leao E B, et al. Indoor thermal simulation of residential buildings with real thermal environment in Shanghai[C]//第 7 届国际绿色建筑与建筑节能大会论文集. 北京:中国城市科学研究会,2011:147-151

[3] 武茜. 杭州地区住宅能耗问题与节能技术研究[D]. 杭州:浙江大学,2005

[4] 格林逊. 美国和中国住宅能耗比较[D]. 北京:清华大学,2011

[5] Xie Jingchao. The feasibility study of energy saving based on long-term field measurement of residential energy consumption and numerical calculation[R]. Sendai: Laboratories for Sustainable Configuration, Tohoku University Graduate School of Engineering Research Branch, City of Architecture Specializing in Urban, Japan Tohcku University, 2006

[6] 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

[7] Chen Shuqi, Li Nianping, Yoshino Hiroshi, et al. Statistical analysis on winter energy consumption characteristics of residential buildings in some cities of China[J]. Energy and Buildings, 2011, 43(5): 1063-1070

[8] Yoshino Hiroshi, Yoshino Yasuko, Zhang Qingyuan, et al. Indoor thermal environment and energy saving for urban residential buildings in China [J]. Energy and Buildings, 2006, 38(11): 1308-1319

[9] Zhang Huibo, Yoshino Hiroshi. Analysis of indoor humidity environment in Chinese residential buildings [J]. Building and Environment, 2010, 45(10): 2132-2140

[10] 万旭东,谢静超,赵耀华,等. 不同城市住宅热湿环境及能耗的调查实测结果分析[J]. 节能技术,2008,26(1):68-74

[11] 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

[12] 江亿,彭琛,燕达. 中国建筑节能的技术路线图[J]. 建设科技,2012(17):12-19

[13] 中国城市能耗状况与节能政策研究课题组. 城市消费领域的用能特征与节能途径[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2010