

夏热冬冷地区典型城市住宅供暖模式选择研究

董旭娟¹, 闫增峰¹, 王智伟², 阮 丹¹, 赵 星¹

(1. 西安建筑科技大学建筑学院, 陕西 西安 710055; 2. 西安建筑科技大学环境与市政工程学院, 陕西 西安 710055)

摘要: 针对夏热冬冷地区住宅供暖的现状问题, 通过实地测试、问卷调查等方法, 对四个典型城市进行了测试与统计分析, 获得了城市住宅供暖方式使用的现状资料. 并从地域气候条件、住宅建筑围护结构性能、居民行为特征、供暖经济投入及室内舒适度等方面分析了影响供暖方式选择的相关因素及作用机理, 研究结果表明夏热冬冷地区住宅供暖已成为必然趋势. 进而建立了以舒适度和经济性为双目标的 C-E 供暖模式选择方法, 并提出了适宜于夏热冬冷地区既有住宅和新建住宅供暖模式选择的策略.

关键词: 夏热冬冷地区; 住宅; 供暖方式; C-E 模式选择

中图分类号: TU832.1

文献标志码: A

文章编号: 1006-7930(2014)06-0865-06

我国夏热冬冷地区面积约 180 万 km², 人口 5.5 亿左右, 国内生产总值约占全国的 48%, 按照现行供暖标准, 该地区不属于供暖地区. 但在夏季闷热、冬季阴冷的气候条件下, 冬季室内热舒适性很差. 夏热冬冷地区冬季寒冷天气大约 2~3 个月, 历史最冷月室内平均气温 0~6℃. 近年来, 越来越多的居民自行采用各种户式供暖设备, 使得供暖、空调能源消耗急剧上升. 开展夏热冬冷地区住宅供暖模式选择研究, 有利于住户对供暖方式的合理选择, 优化和提高建筑供暖效率. 以该地区典型城市为样本, 以采暖期最冷月为测试时间段, 先后对成都市、武汉市、南昌市、合肥市等四个城市的住宅冬季供暖模式进行实地调查测试, 掌握了夏热冬冷地区供暖模式相关的大量数据和资料, 在对获得数据进行分析研究的基础上提出该地区供暖模式选择的方法及建议.

1 夏热冬冷地区供暖方式现状分析

1.1 供暖方式现状

供暖模式研究建立在实地测试基础上, 采用典型城市行政分区随机抽样问卷调查的方法对该地区供暖方式进行研究, 各城市调研的小区数量均在 100 个以上, 按照使用不同供暖方式的户数比例进行统计计算, 典型城市住宅供暖方式如表 1 所示. 由表可见, 在该地区冬季不采暖的住户平均为 12.04%, 主要集中在老旧小区和还建住房小区, 以生活比较节约的退休老年人和租住户为主. 这说明大部分居民有供暖需求并已经开始采取各种供暖措施.

表 1 供暖方式统计结果(%)

Tab.1 The statistical results of heating mode(%)

供暖方式	成都市	武汉市	南昌市	合肥市	平均
空调(电暖辅助)	81.02	70.00	73.04	68.22	73.07
天然气壁挂炉	0.87	2.28	0.94	6.56	2.66
户式中央空调	0.23	0	0.75	0.52	0.38
热电厂余热	0	7.86	0.75	14.20	5.70
水源热泵	5.86	2.83	7.62	0	4.07
土壤源热泵	0.46	0.17	0	0	0.16
其它供暖	0.56	7.10	0	0	1.92
不采暖	11.00	9.76	16.9	10.5	12.04
合计	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

分析表明夏热冬冷地区供暖方式呈多样化的特点. 其中以分体空调加取暖器辅助供暖为主, 占 73%. 使用分体空调可以根据自身的热感觉分室分时进行调节, 使用较为方便且间歇使用时较为节能. 与空调相比取暖器的使用频率在老旧小区中相对更高, 但取暖器的安全系数低, 且不能完全满足冬季供暖需求, 一般作为辅助供暖设备和分体空调配合使用, 使用者以老年人为主. 天然气壁挂炉加末端地辐射供暖(或散热器)的供暖方式舒适性较好, 但该供暖方式的成本在各城市都相对较高, 所以总体的使用率并不高. 以地源热泵为热源的供暖系统由于其 70%左右的能量来源于土壤, 30%左右的能量来自于电力, 节能、环保又高效, 在住户各房间设有手动精确调温装置, 用户可根据自身需求调节温度, 但该供暖方式的初建费用高, 目前在各城市主要是以示范项目和少部分单位集资建房小区中使用.

收稿日期: 2014-02-08

修改稿日期: 2014-12-5

基金项目: “十二五”国家科技支撑计划项目(2011BAJ03B06); 2011 年陕西省科技统筹创新工程计划项目(2011KTCQ03-07)

作者简介: 董旭娟(1984-), 女, 博士研究生, 主要研究方向为绿色建筑. E-mail: 313434159@qq.com

在多种供暖方式中,分体空调的使用比例占 73%,一般每户安装 2~3 台,其数量主要与户型的大小有关.从图 1 空调使用时长分析结果来看,空调供暖为间歇性且每天使用时长较短.在以空调供暖的住户中不常开启空调的主要是生活比较节约,且对当地的气候适应性较强的人群;亦有部分住户认为空调的吹风感较强,并使室内空气干燥,感觉不舒适.

1.2 供暖方式特点

- (1) 住宅供暖需求迫切:夏热冬冷地区典型城市供暖方式统计分析表明,88%的居民有供暖需求并已经开始采取各种供暖措施.结合住户问卷调查的分析结果,均表明该地区住宅供暖很有必要.
- (2) 自主供暖较为普遍:该地区冬季供暖方式呈多样化特点,约为 76%的家庭采用自主供暖,且每天供暖时长与时段差异性较大,故室内热环境差异大,总体能耗比较高.
- (3) 集中供暖未普及:集中供暖的小区所占比例很小.使用热电厂余热、燃煤锅炉、地源热泵等为热源的集中供暖或局部集中供暖更有利于提高能源利用率,但在调查小区中仅占 10%左右.
- (4) 可再生能源应用未推广:以地源热泵、水源热泵以及太阳能等可再生能源为热源的供暖方式虽已开始受到重视,但目前使用比例极低,约占 5%.

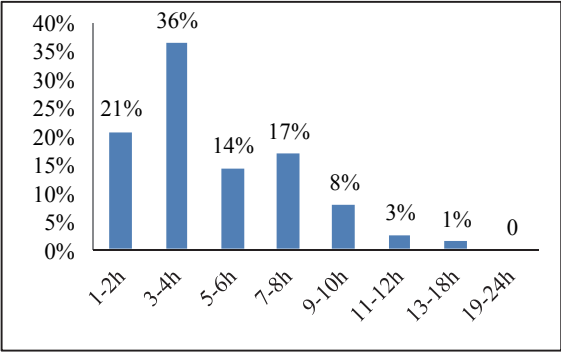


图1 空调使用时长分析
Fig.1 Analysis on time length as air conditioning in use

2 供暖方式选择的影响因素分析

无论是集中供暖还是局部供暖,无论使用何种热源,不同的供暖方式各有其利弊,在选择时不但要考虑自身优缺点,还要综合分析地域气候条件、住宅围护结构性能、居民行为特征、供暖经济投入及舒适度等相关因素.

2.1 地域气候条件研究

对典型城市测试温度的分析见表 2,该地区累年日平均温度稳定低于或等于 5℃的日数为 60 至 89 d,以及累年日平均温度稳定低于或等于 5℃的日数不足 60 d,但累年日平均温度稳定低于或等于 8℃的日数大于或等于 75 d,满足《民用建筑供暖通风与空气调节设计规范》GB 50736-2012 中宜设置供暖设施地区的条件^[1].夏热冬冷地区的气候特点是夏季酷热,冬季湿冷,空气湿度较大,近年来,专家和该地区居民都表达了强烈的供暖需求.2013 年 1 月,住房和城乡建设部就倍受关注的南方供暖问题作出正式回应,认为当室外温度低于 5℃时,如没有供暖设施,我国南方部分地区的室内温度低、舒适度差,这些地区应逐步设置供暖设施.

室外温度及其变化规律是影响供暖方式选择的重要因素,年温度变化决定着供暖期的长短,日温度变化影响着供暖时段与时长.由表 3 典型城市各月平均气温分布可见,平均温度≤5℃的月数均少于平均温度≥25℃的月数,表明需要夏季制冷的时间更长.

表2 典型城市测试温度分析				
Tab.2 Test and analysis of temperature of typical city				
气象参数	成都	武汉	南昌	合肥
采暖期室外平均温度/℃	6.28	4.46	5.23	3.58
日最低气温≤0℃的天数/d	13	44	19	49
日平均气温≤5℃的天数/d	--	59	18	72
日最低气温≤5℃的度日数/d	--	856	239	1080
历史极端最低气温/℃	-5.90	-18.1	-9.3	-20.6
测试日平均温度/℃	8.09	8.72	7.35	5.70
测试日最低温度/℃	4.40	6.10	4.80	1.20
日较差/℃	3.69	2.62	2.55	4.50
测试温度≤5℃的时段/个	15	0	13	79
测试温度≤5℃的时长/h	3.75	0	3.25	19.75

表3 典型城市月平均气温(℃)												
Tab.3 Monthly average temperature of the typical city												
城市	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
成都	5.5	7.5	12.1	17.0	20.9	23.7	25.6	25.1	21.2	16.8	11.9	7.3
武汉	3.0	5.0	10.0	16.1	21.3	25.7	28.8	28.3	23.3	17.5	11.1	5.4
南昌	5.0	6.4	10.9	17.1	21.8	25.7	29.6	29.2	24.8	19.1	13.1	7.5
合肥	2.1	4.2	9.2	15.5	20.6	25.0	28.3	28.0	22.9	17.0	10.6	4.5

注:上表中字体加粗的数字分别为≤5℃和≥25℃的月平均气温.

对图 2 连续两日典型城市室外温度测试分析表明, 各城市最低温度时段均出现在 2:00~8:00 之间, 温度 $\leq 5^{\circ}\text{C}$ 的时长除合肥外均不超过 4 小时, 此时段正是人们睡觉时段, 对热舒适不太敏感. 而在人们主要活动的 10:00~22:00 温度基本在 8°C 以上.

夏热冬冷地区的这种气候特征更适合于间歇式供暖模式, 该供暖模式在满足室内热舒适的前提下具有节能优势.

2.2 住宅建筑围护结构性能研究

住宅建筑的形式、材料、结构、面积及布局等对其热工性能均有一定的影响, 尤其是外围护结构性能对冬季供暖方式的合理选择及能耗高低影响重大.

(1) 老旧住宅热工性能: 所调研的四个城市, 2000 年之前的老旧住宅的围护结构热工性能普遍很差. 墙体一般采用 240 mm 厚黏土实心砖或页岩砖、灰砂砖, 窗户主要为铝合金单层普通窗玻, 屋面没有保温隔热构造, 阳台均不做保温隔热措施.

(2) 新建住宅热工性能: 新建住宅墙体主要使用 EPS、胶粉聚苯颗粒、硅酸盐板等材料做外保温, 屋顶设厚度为 20~30 mm 高强度珍珠岩板、乳化沥青珍珠岩板、复合硅酸盐板、EPS 板等保温层, 窗户基本采用塑钢或彩铝中空双层窗. 此类新建住宅与老旧住宅相比, 同样不供暖情况下, 室内温度可相差 $3\sim 6^{\circ}\text{C}$.

2.3 居民冬季在室行为特征研究

研究发现, 由于夏热冬冷地区夏季高温高湿、冬季湿寒阴冷, 居民习惯于全年开窗通风换气, 这种行为会直接影响室内热环境. 同时, 问卷调查统计显示该地区居民冬季在室内穿衣状况为很厚(穿棉衣)和较厚(毛衣加外套)的比例占 74%. 根据表 4 对居民的生活习惯、工作规律、在室时间与行为活动特征等因素的分析, 在夜晚和上午需要室内温度较高, 而此时段正好是室外温度最低时, 因此需要有供暖才能满足舒适性.

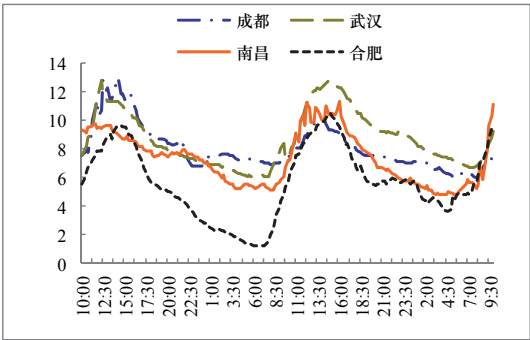


图2 典型城市室外温度分析
Fig.2 Analysis of typical city outdoor temperature

表4 居民冬季在室行为分析
Tab.4 Residents' indoor behavior analysis in winter

时段	6:30~7:30	7:30~12:30	12:30~13:30	13:30~18:30	18:30~22:30	22:30~6:30
各城市平均室外温度	4.97	7.24	10.36	9.9	7.47	6.22
在室人员	全家人员	老年和幼儿	部分人员	少数人员	全家人员	全家人员
活动量	较小	小	较大	较大	大	很小
衣着	少	多	较多	较多	较少	睡眠
热舒适需求度	要求高	要求较高	一般	一般	要求较低	要求较高
热舒适满足度	很低	低	高	较高	一般	低

2.4 供暖方式经济投入分析

夏热冬冷地区目前使用的各种供暖方式, 均是在住宅建成使用后自行安装, 没有考虑综合投入. 当考虑了系统初次投资、设备保养和运行费、多年使用系统投资费用后, 由表 5 几种常用供暖方式的经济投入分析可见, 分体空调由于受行为节能影响较大, 其综合经济性优于其他各种供暖方式. 同时, 分体空调具有冬季供暖与夏季制冷的双重性能, 更便于间歇式供暖的控制.

表5 供暖方式的经济投入分析
Tab.5 Analysis of heating modes economic investment

采暖方式	分体空调	热电联产	天然气壁挂炉	地源热泵	集中供热	不采暖
初投资/元·m ²	10~12.5	65~70	155	180~200	25~28	0
一个供暖期的设备保养运行费/元·m ²	6~7.5	5~7	7~10	4.5~10	21	0
五年系统投资和运行费总和/元·m ²	40~50	60~75	115~120	225~300	130~132	0
平均费用/元·m ²	45	67.5	117.5	262.5	131	0
以最高费用为基数的相对运行费/%	17.1	25.7	44.8	100	49.9	0

2.5 供暖舒适度分析

通过对夏热冬冷地区供暖方式的热源及其最常用的室内末端的性能分析, 并根据问卷调查结果对其舒

适性进行分析,由表 6 可见,地板辐射供暖的舒适性最高,其次为散热片,也有少数认为不供暖可以满足舒适要求.而目前使用量最大且费用最低的分体空调供暖舒适性较差,表明现状的家庭自主供暖并不能很好满足舒适要求.

表6 供暖方式的舒适度分析
Tab.6 Comfort analysis of heating modes

采暖方式 最常用的室内末端	分体空调	热电联产 散热片	天然气壁挂炉 风机盘管	地源热泵 地板辐射	集中供热 散热片	不采暖
供暖速度	快	一般	快	慢	一般	--
室外环境对供暖的影响	影响大	无影响	影响大	无影响	无影响	--
房间温度分布	垂直温差大 水平不均匀	垂直较均匀 水平较均匀	垂直温差小 水平较均匀	足暖顶凉 水平均匀	垂直较均匀 水平较均匀	--
舒适性问卷调查比例	39.3	66.7	56.8	84.1	66.7	21.6
以最高比例为基数的相对舒适度/%	46.8	79.3	67.5	100	79.3	25.6

3 供暖模式选择与建议

综合各种供暖模式及其影响因素,以现状使用比例、相对舒适度、相对经济性为主要指标,对比分析可得出各种供暖热源及其最常用末端的使用性价比,以此作为供暖方式选择的判断指标.

表7 供暖方式的对比选择
Tab.7 Selection and comparison of heating modes

采暖方式	分体空调	热电联产 散热片	天然气壁挂炉 风机盘管	地源热泵 地板辐射	集中供热 散热片	不采暖
现状使用比例/%	73.07	5.70	2.66	4.23		12.04
相对舒适度 C/%	46.8	79.3	67.5	100	79.3	25.6
相对经济性 E/%	17.1	25.7	44.8	100	49.9	0
性价比	2.74	3.09	1.51	1.00	1.59	--
相对性价比/%	70.3	100	48.9	32.4	51.5	--

由表 7 可见,除舒适度最低的不供暖方式之外,供暖方式选择的顺序可为:热电联产的散热片供暖、分体空调、集中供热的散热片供暖、天然壁挂炉锅炉、地源热泵的地板辐射供暖.

3.1 双目标 C-E 供暖模式选择方法研究

根据各种供暖方式室内末端的供暖舒适度分析和问卷统计分析结果,以最高比例为基数计算出各种供暖方式的相对舒适度 C;根据供热各种方式运行总费用,以最高费用为基数计算出各种供暖方式的相对运行费 E.按相对舒适性和相对经济性建立双目标 C-E 供暖模式选择图,并如图 3 按坐标相对值分别对舒适度和经济性进行区域划分,将其分为低、中、高区,可由使用者预先设定 C-E 目标进而选择供暖模式.

此方法是建立在对夏热冬冷地区供暖现状的大量调查测试及问卷数据统计分析的基础上,并经验证与实际情况相符.双目标 C-E 供暖模式可进一步按表 8 选择.

根据调查分析与研究结果,夏热冬冷地区供暖期短、供暖负荷小且波动大,其供暖模式要因地制宜针对不同建筑特点采用分散、小区集中供暖的方式.

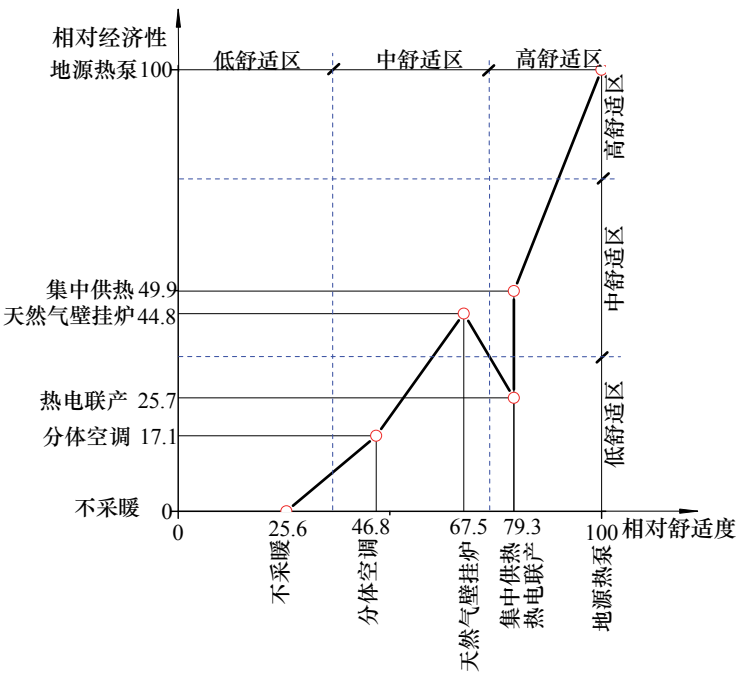


图3 双目标C-E供暖模式选择图

Fig.3 Double target C-E heating mode selection chart

3.2 供暖模式选择建议

3.2.1 既有住宅适宜分户独立供暖

对于既有建筑, 由于自主供暖设施及小区供暖系统改造难度大, 应结合住宅节能改造, 采用以电能为主的分户式独立供暖, 便于间歇式控制。

(1) 分体空调: 该供暖模式在夏热冬冷地区非常普遍, 部分是和电暖配合使用。该供暖模式经济性好, 也较符合该地区间歇式供暖需求, 适宜于地域环境适应性强以及对供暖要求不高的人群。

(2) 户式中央空调: 该供暖模式比较适宜户型较大的住户, 需要较好的经济条件。不宜大范围推广使用。

(3) 燃气壁挂炉: 该供暖模式舒适性好, 适宜于对热舒适要求高的住户。同时由于管线铺设最好与室内装修同时进行, 故比较适宜于新建住宅。

3.2.2 新建住宅推广小区局部供暖

对于新建住宅小区, 要进行建筑节能设计, 提高围护结构保温性能, 禁止或限制以煤和电作为热源, 宜以小区为单位进行小区局部集中供暖。

(1) 地源或水源热泵: 适宜于地热丰富, 且地质条件适合开发利用的地区, 属于国家鼓励推广使用的可再生能源, 建议室内末端采用风机盘管的供暖模式。

(2) 热电厂余热: 该供暖模式比较适宜于附近有热电厂余热可利用的新建小区住宅, 室内末端可采用低温地板辐射供暖。

(3) 太阳能辅助局部供暖: 该系统由太阳能集热板、热能储水器、热能转化器、壁挂炉辅助加热构成, 该系统冬天可补充建筑物取暖用热的 50% 以上的热量作为供暖热源, 为室内地板供暖系统供热, 储热水箱加大可全天候使用热水。该供暖模式可在太阳能丰富地区大面积推广使用。

3.2.3 鼓励可再生能源供暖

鼓励夏热冬冷地区充分利用可再生能源供暖, 可再生能源供暖系统主要包括太阳能供暖系统、空气源热泵供暖系统、地源热泵供暖系统和水源热泵供暖系统。这些供暖方式对环境的污染小, 节能效果显著, 且热效率高, 清洁干净。

4 结论

本文通过对夏热冬冷地区典型城市住宅供暖的现场测试与对比分析, 首次获得该地区供暖模式统计结果及其特点。并在综合分析该地区地域气候条件、住宅围护结构性能、居民行为特征、供暖经济投入及室内舒适度的基础上得出如下结论:

夏热冬冷地区供暖方式具有多样化的特征。该地区住宅供暖已成为迫切需求, 约 88% 的居民已开始采取措施供暖, 且以家庭自主供暖为主, 占到 76%; 集中或局部集中供暖所占比例很小, 约占 10%; 以可再生能源为热源的供暖方式仅占 5% 左右, 还需要进一步推广。

在综合分析了影响供暖方式选择的五个相关因素的基础上, 提出了以相对舒适性和相对经济型为双目标的 C-E 供暖模式选择方法, 该方法具有较好的直观性和可操作性。

基于供暖模式的大量调查测试及问卷数据分析研究, 建议既有住宅采用分户独立供暖, 新建住宅推广小区集中供暖, 并应鼓励可再生能源供暖。同时, 增强建筑围护结构的热工性能, 是降低供暖能耗的最有效途径。

参考文献 References

[1] 中国建筑科学研究院. GB50736-2012 民用建筑供暖通风与空气调节设计规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2012.
China Academy of Building Research. GB50736-2012 Design code for heating ventilation and air conditioning of civil buildings[S]. Beijing: China Building Industry Press, 2012.

[2] 中国建筑科学研究院. JGJ134-2010 夏热冬冷地区居住建筑节能设计标准[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2010.
China Academy of Building Research. JGJ134-2010 Design standard for energy efficiency of residential buildings in hot summer and cold winter zone[S]. Beijing: China Building Industry Press, 2010.

表8 双目标C-E供暖模式选择表

Tab.8 Double target C-E heating mode selection table

C-E	低舒适度	中舒适度	高舒适度
高费用			地源热泵 地板辐射
中费用		天然气壁挂炉 风机盘管	集中供热 散热片
低费用	不采暖	分体空调	热电联产 散热片

- [3] 李亚亚. 夏热冬冷地区居住建筑冬季室内热舒适研究—以杭州、合肥为例[D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2013.
LI Yaya. The indoor thermal environment in winter of the residential for the hot summer and cold winter context—take Hangzhou, Hefei for example[D]. Xi'an: Xi'an University of Architecture and Technology, 2013.
- [4] 刘雪辉. 水源热泵技术集中供热在陕南居住建筑中的应用研究[D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2012.
LIU Xuehui. Study on water-source heat pump system heating of residential buildings in the southern of Shaanxi[D]. Xi'an: Xi'an University of Architecture and Technology, 2012.
- [5] SIMONEA A, KOLARIKA J, IWAMATSU T, et al. A relation between calculated human body energy consumption rate and subjectively assessed thermal sensation[J]. Energy and Buildings, 2011, 43: 1-9.
- [6] TIWARI R, PANDEY M, SHARMA A. An approach to human adaptability towards its built environment: A review[J]. Energy and Power Engineering, 2010, 2: 90-94.

Study on selection of typical city residential heating mode in hot summer and cold winter zone

DONG Xujuan, YAN Zengfeng, WANG Zhiwei, RUAN Dan, ZHAO Xing

(1. School of Arch., Xi'an Univ. of Arch. & Tech., Xi'an 710055, China
2. School of Envi. & Muni. Eng., Xi'an Univ. of Arch. & Tech., Xi'an 710055, China)

Abstract: Based on the status quo of hot summer and cold winter zone residential heating problems, through on-the-spot test, and by means of questionnaire survey, four typical cities in the area were tested and analyzed. Information on the using status of residential building heating mode has been obtained. This paper has analyzed the choice of building heating mode and mechanism from the regional climate conditions, the fender structure of housing building performance, residential behavior and the economic investment. The results show that hot summer and cold winter zone residential heating has become an inevitable trend. A heating mode selection method, with comfort and economy C-E heating mode selection method as dual goals was established. Based on this, the heating mode selection strategies suitable for both existing residential and new residential in hot summer and cold winter zone are presented.

Key words: hot summer and cold winter zone; residential; heating mode; C-E mode selection

(本文编辑 桂智刚)

(上接第 864 页)

Based on Harris-Zhang Zhengyou plane calibration method of camera calibration algorithm

LU Ying^{1,2}, WANG Huiqing², TONG Wei², LI Junjie²

(1.School of Architecture, Xi'an Univ. of Arch.& Tech., Xi'an 710055,China;
2.School of Information and Control Engineering, Xi'an Univ. of Arch.& Tech.,Xi'an 710055,China)

Abstract: In order to improve the accuracy of binocular camera parameter calibration, on the basis of the Zhang's calibration approach, Harris algorithm was adopted to extract angles point of the black and white chessboard.The internal angle points in pixel coordinates is made accurate to sub-pixel accuracy.Finally this paper uses the internal and external parameters of binocular camera by linear relationship .The experimental result compares with the Zhang's calibration approach in cvFindChessboardCorners(), which show that the method is accurate, effective which improves the precision of black and white chessboard form an internal angle detection and calibration precision.The result can be applied to the binocular vision system.

Key words: camera calibration; Harris; chessboard; angular point extraction

(本文编辑 沈波)