

重庆地区居住建筑室内热环境的 节能调控策略分析^{*}

重庆大学 喻伟[☆] 李百战 李楠 刘猛
英国雷丁大学 姚润明

摘要 结合重庆地区典型气象年的气象参数,分析了重庆地区居住建筑室内热环境的舒适现状;基于该地区的气象特征,研究了各种建筑节能技术的适用性,得出了重庆地区建筑室内热环境的节能调控策略;实测数据在一定程度上证明了所提出的节能调控策略的有效性和科学性。基于典型气象参数的建筑室内热环境的节能调控策略的提出,有利于建筑的热工设计和寻求设备的经济运行方式。

关键词 室内热环境 建筑节能 住宅 调控策略

Analysis of energy efficiency control strategies for indoor thermal environment of residential buildings in Chongqing

By Yu Wei[★], Li Baizhan, Li Nan, Liu Meng and Yao Runming

Abstract With the typical meteorological parameters, analyses the comfort status of indoor thermal environment of residential buildings in Chongqing. Based on the local meteorological characteristics, studies the practicability of various building energy efficiency technologies, acquires the energy efficiency control strategies of building indoor thermal environment and proves their effectiveness and rationality using the measured data. The energy efficiency control strategies of building indoor thermal environment based on the typical meteorological parameters is conducive to the building thermal design and in seeking the economic operation modes of equipment.

Keywords indoor thermal environment, building energy efficiency, residential building, control strategy

★ Chongqing University, Chongqing, China

①

0 引言

重庆地区是我国人口密集、房地产业发展迅速的重要区域。10 年来建筑业发展非常迅速,社会经济水平显著提高,当地居民对健康舒适的室内环境需求不断提高,住宅空调的安装与使用日益普及,建筑能耗急剧增长,直接威胁到城市能源系统的安全,影响城市的正常运转,建筑节能在该区域具有特殊的紧迫性^[1-2]。

重庆地区属于夏热冬冷地区,该区域潮湿期

长,住宅供暖、空调、除湿与通风需求并存,大多数住宅冬、夏室内热环境很差,影响居住者的身体健康。随着经济的发展和重庆地区人民生活水平的显著提高,人们对室内环境要求也越来越高,形成了对高效、节能的建筑室内热环境控制策略的广泛需求^[3-4]。为此急需基于重庆地区气候与资源特

^{*} 国家科技支撑计划课题“建筑能耗统计方法与能效标识技术研究”(编号:2006BAJ01A13),国家自然科学基金重点项目(编号:50838009)

①[☆] 喻伟,男,1983 年 2 月生,博士研究生

400030 重庆市沙坪坝区沙正街 174 号重庆大学城市建设与环境工程学院

(O) 13594093200

E-mail: yuweixsq@126.com

收稿日期:2009-07-14

修回日期:2009-09-24

点,确定该地区住宅低能耗热环境控制的基本原则和策略。

建筑室内热环境的调控,应尽可能优先利用各类自然环境条件,而不是直接考虑利用机械方式和人工制取方式。尽可能利用自然环境条件,也就是采用被动调控方式,一方面可以很大程度地减少对机械方式和人工制取方式的依赖,减少矿物能源的消耗,缓解日益严峻的能源环境问题;另一方面,采用自然环境条件可以更好地与自然和谐,提高建筑物的服务水平和人体的舒适水平^[5-6]。所以,在充分利用自然气候资源的基础上,提出减少能源消耗的室内热环境调控策略,是本文研究的着手点。

1 重庆地区热环境现状分析

1.1 重庆地区气象参数分析

图 1 为重庆市典型年各月气象数据^[7],图 1a 中红色线条区域代表典型年干球温度逐时变化范围,蓝色线条代表日平均温度变化曲线,绿色线条区域为 ASHRAE 标准中推荐的热舒适温度范围^[8]。由图 1 可知,重庆市年平均气温 18.4℃,最热月平均气温 28.1℃,最冷月平均气温 8.1℃。全年最高气温达到 37.7℃,最低气温在 2.0℃以上。平均相对湿度多在 70%~80%之间,属高湿区。夏季午后直至夜晚,居室内气温往往超过 34℃,有的高达 39~40℃,尤其是连续高温天气时夜里室内令人难以入眠。冬季室内外气温相差无几,最冷月室内气温低于 10℃的时间占总时间的比例为 78%,平均温度只有 8.5℃。重庆地区全年风速大多数时间都小于 3 m/s,致使居民在很多时候

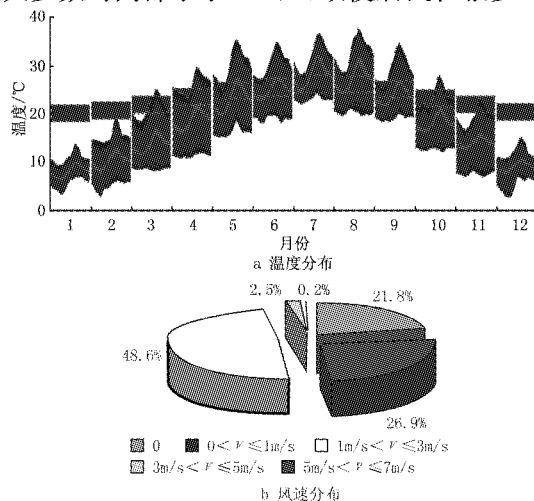


图 1 重庆市典型年气象数据

感觉闷热。加之目前建筑设计时对自然环境因素考虑较少,未能充分利用自然气候资源,该地区住宅热环境质量较差^[9]。

1.2 重庆地区住宅舒适现状分析

以重庆常见的板式 5 层住宅楼为例进行分析,层高 3 m,每层 4 户,户型相同,每户户内面积均为 110 m²,建筑方位为坐南朝北。建筑围护结构严格按照《重庆市居住建筑节能 65% 设计规范》(DBJ 50-071-2007)^[10]的要求确定,并且各项设置也严格满足规范中的要求。

假设住宅内全年不进行空调供暖,并且全年都有居民处于建筑中,对应的人体能量代谢率一般按静坐休息或从事轻体力活动考虑,取其平均值 63.965 W/m² (1.1 met) 进行计算^[11]。ISO 7730 标准以操作温度给出了冬季热舒适区域温度范围为 $t_0 = 20.0 \sim 24.0$ ℃,夏季为 $t_0 = 23.0 \sim 26.0$ ℃^[12];根据 Humphreys 理论,将操作温度等同于空气温度进行计算^[13]。结合重庆地区典型气象年的气象参数,可计算出住宅室内空气温度在 20~26℃ 以外的不舒适时间段,如图 2,3 所示。

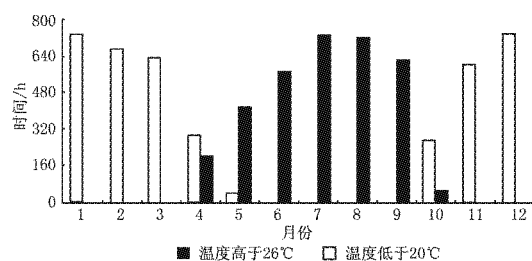


图 2 重庆地区不舒适时间统计

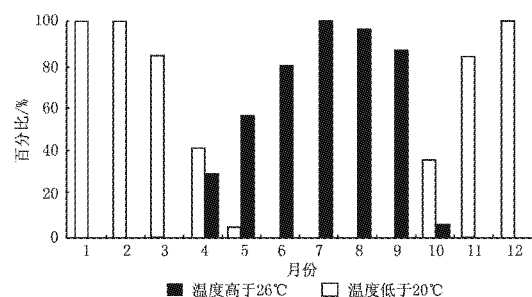


图 3 重庆地区不舒适时间所占百分比统计

由图 2 可知,住宅内全年 12 个月中因温度超过 26℃ 而感觉不舒适的时间为 3 390 h,因温度低于 20℃ 而感觉不舒适的时间为 4 022 h,不舒适时间总计 7 421 h,占全年总时间的 84.7%。由图 3

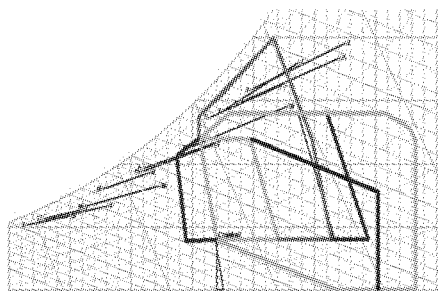
可知,不舒适时间所占百分比为 100% 的月份有 4 个,占总月份的 33%,不舒适时间所占百分比超过 50% 的月份有 11 个,占总月份的 92%。其中,11 月至次年 3 月有超过 80% 的时间存在过冷情况,需要考虑供暖;10 月有 1/3 的时间存在过冷情况,4 月过冷、过热情况各占 1/3 的时间,属于过渡季节。而 5—9 月有超过 50% 的时间存在过热情况,需要考虑供冷。

从以上的分析可知,重庆地区住宅热环境质量较差,加之目前建筑设计中对自然环境因素考虑较少,未能充分利用自然气候资源;因此,在重庆地区寻找一种居住建筑室内热环境结合自然气候资源的低能耗调控策略是势在必行的。

2 重庆地区居住建筑的节能调控技术适用性分析

居住建筑热湿状况是建筑室内热环境影响因素和室外气候组成要素之间相互作用的结果。建筑物借助围护结构使其与外部环境隔开,从而创造出适宜的室内热环境状况。

结合重庆地区的典型气象参数,当室内人员的能量代谢率 M 取 1.1 met,服装热阻 I_{cl} 为 0.5 clo (过渡季和夏季人们一般着装)时,根据 Arens^[14] 的研究结果,结合自然状态下房间风速限制在 2 m/s,可以将重庆地区自然通风情况下的舒适区扩展到更宽的温湿度范围,如图 4 所示。



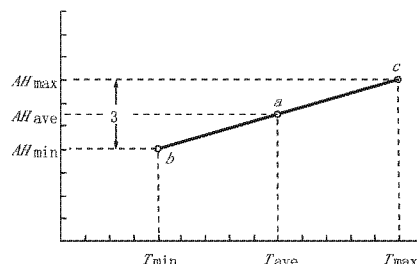
注:图中黄色线框区域为不采取调控技术的舒适区域;紫色线框区域为采用自然通风后的舒适区域;红色线框区域为采用围护结构蓄热与夜间通风技术后的舒适区域;浅红色细实线线框区域为采用被动式太阳能供暖技术后的舒适区域;蓝色线框区域为采用间接蒸发制冷技术后的舒适区域;深褐色线框区域为采用直接蒸发制冷技术后的舒适区域;其他区域需要采用主动调控策略。

图 4 重庆地区建筑节能调控策略

同时,根据国外相关研究结果可得出采取被动式太阳能供暖、围护结构蓄热、蒸发制冷等建筑节能技术后的舒适范围,统一表示在图 4 中^[15-20],那么根据重庆地区全年的温湿度变化范围就可判断

出此区域适用的建筑节能调控技术,同时也可得出采取调控技术后感觉舒适的热湿参数范围。

由图 4 可知,在被动式调节手段所能控制的区域外,应采用主动式调节手段。首先大致确定各月的调节方式,方法参考文献[20]。图 5 为数据处理示意图,先由各月平均最高温度和其对应的相对湿度确定点 c ,由各月平均最低温度和其对应的相对湿度确定点 b ,连接 b, c 两点得到的线段即为该月的气候线;最后计算 bc 线段处于各气候控制区的长度,并确定其时间利用率。



$T_{\min}$ 各月平均最低温度 $T_{\max}$ 各月平均最高温度 T_{ave} 平均温度
 $AH_{\min}$ 各月平均最低温度对应的相对湿度 $AH_{\max}$ 各月平均最高温度对应的相对湿度 AH_{ave} 平均相对湿度

图 5 数据处理示意图

现以图 4 为例说明如何确定各调节技术的时间利用率。从图 4 可以看出,重庆全年处于热舒适区的时间非常短,仅在 4,5,10 月有少量时间点处于热舒适区,分别占各月总时间的 12.12%,13.33% 和 9.09%,室内热环境非常差。采用自然通风技术后,落在热舒适区域的时间明显增加,自然通风的时间利用率明显增大。处于过渡季的 5 月和 9 月变化较大,5 月的热舒适时间比例由 13.33% 上升到了 79.31%,9 月的热舒适时间比例由 0 上升到了 89.65%。此外,采用自然通风技术后,6—8 月的热舒适时间比例分别变为 76.31%,34.88% 和 30.95%。因此,利用自然通风来改善重庆地区的室内热环境,降低建筑全年能耗是可行的^[21-22]。

同理可得出重庆地区居住建筑室内热环境在不同季节需着重考虑的建筑节能调控技术,如表 1 所示。

由表 1 可知,在重庆地区居住建筑全年室内节能调控策略为:

1) 10 月中下旬至次年 4 月上旬为主动供热季节,这一时期内,仅仅利用被动供暖方式无法实现室内的热舒适要求,必须采取主动供热方式进行连续供热。

表 1 重庆地区节能分析

月份	被动式太阳能供暖	围护结构蓄热	围护结构蓄热+夜间通风	自然通风辅助机械通风	间接蒸发冷却	主动供热	主动供冷
1						√	
2						√	
3	√					√	
4	√		√			√	
5		√	√	√	√		
6				√			√
7				√			√
8				√			√
9				√			
10	√		√	√		√	
11						√	
12						√	

2) 4 月中下旬、10 月上旬为被动供热季节,这一时期内,可以采用被动供暖方式实现室内的热舒适要求,主要的被动供暖方式是被动式太阳能供暖、围护结构蓄热+夜间通风。

3) 5 月、9 月为被动空调季节,这一时期内,可以采用被动空调方式实现室内的热舒适要求,主要的被动空调方式是自然通风,其次是围护结构蓄热、围护结构蓄热+夜间通风、间接蒸发冷却等。

4) 6—8 月为主动空调季节,这一时期内,需要采用主动空调方式,部分时间可以采用被动空调方式,主要的被动空调方式是自然通风。

3 重庆地区典型户型住宅实验测试分析

由表 1 可知,自然通风在重庆地区 5—10 月都具有一定的适用性,所以重庆地区住宅室内热环境的节能调控策略主要考虑自然通风,下面就以自然通风为例,对此节能调控技术在重庆地区应用的有效性进行分析。

为实地分析自然通风改善住宅室内热环境的效果,笔者在 6 月份对重庆某学生公寓进行了实验测试。该学生公寓为 12 层居住建筑,测试房间位于 9 层,该房间有一面南外墙,为 240 mm 厚砖墙,一面南外窗,为落地窗形式,尺寸为 2.1 m×0.9 m,门和窗为对开形式,房间的尺寸(开间×进深×层高)为 4.2 m×5.7 m×3.3 m。

为全面评价室内热环境状况,分别计算门窗开启和关闭时的 PMV 及 PPD。重庆 6 月份已比较炎热,因此室内人员一般习惯穿 T 恤、长裤或短裤、凉鞋,根据文献[8],服装的基本热阻 I_{cl} 取为 0.5 clo,即 $0.0775 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ 。计算结果见表 2。

由表 2 可知,重庆地区在 6 月份的阴雨天气中,门窗关闭和开启两种情况下室内 PMV 值相差

表 2 6 月各测试地点平均 PMV 和 PPD 值

测试时间	门窗状态	PMV	PPD/%	PPD 改变 百分比/%
08:30—10:00	开启	1.234	36.9	16.1
	关闭	1.539	53.0	
10:30—14:00	开启	0.962	24.5	23.3
	关闭	1.442	47.8	
14:30—20:00	开启	0.031	5.0	18.3
	关闭	0.932	23.3	

较大,因此采用自然通风来改善住宅的室内热环境状况有一定的效果,尤其在阴天或者雨天效果明显,但在晴天温度较高的中午和下午,有必要采用主动调节的手段来改善室内热环境。此结论与根据表 1 得出的重庆地区居住建筑 6 月份的室内热环境调控策略一致。

4 结论与建议

本文首先结合重庆地区典型气象年的气象参数,分析了重庆地区居住建筑室内热环境的舒适现状,得出了该地区住宅热环境质量较差的结论;加之目前建筑设计时对自然环境因素考虑较少,未能充分利用自然气候资源。因此,本文在此基础上找到了一种重庆地区居住建筑室内热环境结合自然气候资源的低能耗调控策略:被动式太阳能供暖+主动供暖+自然通风+围护结构蓄热+夜间通风+主动空调。

通过实测数据分析了本文提出的重庆地区居住建筑室内热环境的调控策略(针对 6 月份)的适用性和有效性,同时也说明该调控策略有一定的科学性。

本文所做的研究还比较粗糙,在以后的研究中应加强分析各种高能效被动式热环境调控技术的结合方法及其相互影响;综合考虑各种节能调控技术的影响因素,充分利用室内外条件来组织和诱导

实现居住建筑室内热环境的被动调节,通过更全面的分析来寻找更多的节能调控技术以优化设计;应在考虑加强被动调控技术改善居住建筑室内热环境的同时,进行住宅高能效的被动与主动供暖、通风、降温、除湿的结合点和结合方法的研究。

另外,研究中虽然有基于某项节能调控技术应用效果的定量分析及评价,但还不全面,因此,后期有必要深入定量剖析各种建筑节能调控技术改善室内热环境的应用潜力和效果,完善居住建筑室内热环境节能控制策略,为建筑的热工设计和寻求设备的经济运行方式提供依据。

参考文献:

- [1] 中国城市科学研究会. 绿色建筑 2008[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2008:8-20
- [2] 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 2008[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2008:45
- [3] Li Baizhan. Sustainable urbanisation; energy and environment in Chongqing [J]. Journal of Chongqing University; English Edition, 2005, 4(4):5-10
- [4] Yao Runming, Li Baizhan. Simulation for passive building design and thermal comfort in South China [C] // PLEA 2000; Design with the Environment International Conference on Passive and Low Energy Architecture. France, 2002:22-24
- [5] Li Baizhan. Innovative use of strategic energy design tools in building design in China [J]. Journal of Chongqing University; English Edition, 2003, 2(10): 61-64
- [6] Yao Runming, Li Baizhan, Liu Jing. A theoretical adaptive model of thermal comfort—adaptive predicted mean vote (APMV) [J]. Building and Environment, 2009,44: 2089-2096
- [7] 中国气象局气象信息中心气象资料室,清华大学建筑技术研究中心. 中国建筑热环境分析专用气象数据集[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2005
- [8] ASHRAE. ANSI/ASHRAE Standard 55—2004 Thermal environmental conditions for human occupancy[S]. Atlanta: ASHRAE,2004
- [9] 李百战,彭绪亚,姚润明. 改善重庆住宅热环境质量研究[J]. 建筑热能通风空调,1999,18(3):6-8
- [10] 重庆市建设技术发展中心. DBJ 50-071—2007 重庆市居住建筑节能 65%设计规范[S]. 重庆:重庆市建设委员会,2007
- [11] 王小兵,黄晨,叶剑军,等. 某生态建筑 PMV 现场测定分析及测定方法探讨[J]. 建筑热能通风空调,2007,26(2):83-87
- [12] ISO. ISO 7730 moderate thermal environment—determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort [S]. Monolingual,1984
- [13] Humphreys M. Outdoor temperatures and comfort indoors [J]. Building Research and Practice, 1978,6(2):92-105
- [14] Arens E, Zeren L, Gonzalez R, et al. A new bioclimatic chart for environment design [C] // Building Energy Management, Conventional and Solar Approaches, Proceedings of the International Congress. Portugal, 1980
- [15] ASHRAE. ASHRAE/IES Standard 90. 1—1989 User's Manual[S],1989
- [16] Givoni B. Climate consideration in building and urban design [M]. Van Nostrand Reinhold, 1998
- [17] Givoni B. Man, climate and architecture [M]. 2nd Ed. London: Applied Science Publishers, 1976
- [18] 刘加平. 建筑物理[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2000
- [19] Watson D, Lab K. Climatic design; energy-efficient building principle and practices [M]. New York: McGraw-Hill, 1983
- [20] 杨柳. 建筑气候分析与设计策略研究[D]. 西安:西安建筑科技大学,2003
- [21] 沈艳. 重庆自然通风建筑室内热环境实测与模拟分析[D]. 重庆:重庆大学,2008
- [22] 李楠,李百战,沈艳,等. 住宅建筑自然通风对室内热环境的影响[J]. 重庆大学学报:自然科学版,2009,32(7):736-742

• 简讯 •

关于 2009 年度第一批绿色建筑评价标识项目名单的公告

根据《绿色建筑评价标识管理办法》(建科[2007]206号)、《绿色建筑评价标准》(GB/T50378—2006)和《绿色建筑评价技术细则》(建科[2007]205号),住房和城乡建设部组织开展了 2009 年度第一批绿色建筑评价标识项目评价工作。经过评审、公示,山东交通学院图书馆和上海市建筑

科学研究院绿色建筑工程研究中心办公楼两个项目获得“绿色建筑评价标识”,这两个项目的标识星级分别为两星和三星。

(本刊摘自: http://www.mohurd.gov.cn/gsgg/gg/jsbgg/200910/t20091023_196155.htm)