

兼顾节能效益的建筑室内热舒适温度调整研究

蒋志恒, 张明媛, 袁永博

(大连理工大学, 辽宁 大连 116024)

摘要: 各气候区居民对室内热舒适的要求随其穿着习惯、对热环境的适应能力等而异, 采暖或制冷温度应有所差别, 然而现有建筑节能设计标准按统一标准提供室温控制建议。采用ISO7730的PMV热舒适模型分析各气候区的合理参数, 计算得到室内热舒适温度, 并通过与实测值比较验证理论计算的合理性; 在此基础上, 分别计算按既有统一室温建议与热舒适温度控温的热舒适性和能耗, 提出冬季适当提高采暖温度以提升热舒适度、夏季适当提高制冷温度以实现热舒适度和节能双赢的调整建议。

关键词: 热舒适; PMV; 能耗; 温控建议

中图分类号: F407.9 文献标识码: A 文章编号: 1002-851X(2016)03-0084-05

DOI: 10.14181/j.cnki.1002-851x.201603084

Study on Indoor Thermal Comfort Temperature Adjustment with Consideration of Energy-saving Benefit

JIANG Zhiheng, ZHANG Mingyuan, YUAN Yongbo

(Dalian University of Technology, Dalian 116024, China)

Abstract: Residents of each climate zone have different requirements for indoor thermal comfort due to different wearing habits and the ability to adapt to the thermal environment, but the existing standards offer the same room temperature control suggestions. The paper uses the PMV thermal comfort model of ISO7730 to analyze the reasonable parameters of each climate zone, calculate the indoor thermal comfort temperature, and verify the rationality of theoretical calculation by comparison with the measured values. On this basis, calculates thermal comfort and energy consumption by existing room temperature suggestions and thermal comfort temperature control, finds that increase heating temperature in winter to improve the thermal comfort and increase refrigeration temperature in summer to achieve the thermal comfort are win-win situation.

Keywords: thermal comfort; PMV; energy consumption; temperature control suggestions

1 引言

一直以来, 建筑能耗在社会总能耗中占有较大比重。随着人们对居室舒适要求的不断提高, 在暖通空调等设备大量应用的同时, 建筑运营阶段能耗有增大趋

势, 通常要占建筑全生命周期能耗的50%以上, 因此, 该阶段的建筑节能政策十分重要^[1]。在我国, 由于多数人口分布于寒冷气候带或夏热冬冷气候带, 冬季采暖、夏季制冷会产生大量的能源负荷, 是影响建筑运营阶段能耗的重要因素。根据我国相关建筑节能设计标准, 冬季18℃、夏季26℃的住宅室温控制建议基本上被全国各地采纳, 然而, 各气候区人们的穿着习惯、对热环境的适应能力不同, 对室内热舒适的要求也应该不同。因此, 按照统一的标准制定住宅室温控制建议并不够恰当。这一问题也引起了专家学者的注意, 诸多专家

作者简介: 蒋志恒, 男, 生于1990年, 福建宁德人, 硕士研究生, 研究方向: 建筑节能。

张明媛, 女, 生于1981年, 辽宁抚顺人, 副教授, 研究方向: 防灾管理。

收稿日期: 2015-07-08

学者通过现场研究的方式分析部分地区的室内热舒适温度,确实获得了更为准确的分析结果,但这也意味着要花费大量的人力和时间,即该方法的成本较高,难以在全国范围内采纳进行。因此,通过理论计算确定各气候区的室内热舒适温度是节约时间和人力成本的方向之一。

目前,在室内热舒适度的计算理论中,丹麦Fanger教授提出的PMV指标被认为是迄今为止最全面的评价热环境的指标^[2],为此,本文采用PMV热舒适模型,根据ISO7730提供的方法^[3]理论计算各气候区的室内热舒适温度。

2 各气候区室内热舒适温度计算

2.1 研究对象

鉴于我国南北方居民的家居穿着差异较大,且空调在住宅建筑中已较为普及,故本文将研究对象设定为各气候区的空调住宅。

2.2 参数确定

在PMV热舒适模型中,考虑6个与热舒适相关的参数:人体代谢产热量、服装热阻、人体周围环境温度、环境平均辐射温度、空气相对湿度和相对风速。关于热舒

适性参数,有以下几点说明:

①根据以往研究,环境平均辐射温度通常与环境温度相差不大,且为避免采用黑球温度计进行现场测量的不便,本文假设环境平均辐射温度等于环境温度($t_r=t_a$),用于计算最舒适环境温度和舒适环境温度区间。

②居民在居室内通常是坐着休息或从事轻体力活动,对应的人体代谢率分别为1.0met和1.2met。

③鉴于各气候区人们冬夏季的穿着习惯,本文通过网上问卷调查及访问,获得各气候区冬季和夏季室内穿着习惯。在此基础上,主要参考ISO 7730-2005(现行国际标准)计算组合服装热阻,如表1所示。本文认为人们在居室中坐着休息时,服装热阻计算还应考虑与人体接触的座椅的热阻。因此,对初步计算得到的组合服装热阻进行修正,可以得到包含座椅热阻在内的服装热阻值,列于表1的括号内。

④空气相对湿度的确定主要参考《中国建筑热环境分析专用气象数据集》,同时考虑到室内湿度通常略高于室外湿度,由此取与各气候区内主要省份的平均值相近的数值,如表2所示。

⑤对于室内风速,就不同气候区而言,考虑到严寒

表1 各气候区冬季和夏季室内服装热阻

服装热阻 气候区	冬季		夏季	
	居室穿着习惯	组合服装热阻 (clo)	居室穿着习惯	组合服装热阻 (clo)
严寒地区	内裤、长袖秋衣秋裤、厚毛衣、毛裤、袜子、针织拖鞋(木椅铺棉垫)	0.93 (1.03)	内裤、短裤、短袖T恤、薄底凉拖鞋(木椅)	0.26 (0.27)
寒冷地区	内裤、短袖T恤、秋裤、毛衣、长裤、袜子、针织拖鞋(木椅铺棉垫)	0.75 (0.85)	内裤、短裤、短袖T恤、薄底凉拖鞋(木椅)	0.26 (0.27)
夏热冬冷地区	内裤、长袖秋衣秋裤、厚毛衣、长裤、厚棉袜、厚棉拖鞋(沙发)	0.99 (1.14)	内裤、短裤、短袖衬衫、薄底凉拖鞋(沙发铺竹片)	0.21 (0.26)
夏热冬暖地区	内裤、长袖秋衣秋裤、薄线衣、长裤、袜子、厚棉拖鞋(木椅)	0.76 (0.77)	内裤、短裤、背心、薄底凉拖鞋(木椅)	0.15 (0.16)
温和地区	内裤、长袖秋衣秋裤、薄线衣、长裤、袜子、针织拖鞋(木椅)	0.75 (0.76)	内裤、短裤、背心、薄底凉拖鞋(木椅)	0.15 (0.16)

表2 各气候区室内相对湿度和风速

室内工况 气候区	冬季		夏季	
	相对湿度 (%)	风速 (m/s)	相对湿度 (%)	风速 (m/s)
严寒地区	70	0.1	60	0.15
寒冷地区	45	0.1	70	0.15
夏热冬冷地区	80	0.15	75	0.25
夏热冬暖地区	80	0.2	85	0.25
温和地区	75	0.2	65	0.3

表3 met=1.0时热舒适温度

舒适温度		气候区	严寒地区	寒冷地区	夏热冬冷地区	夏热冬暖地区	温和地区
凉舒适温度(°C) PMV=-0.75	冬		19.8	21.6	19.3	22.3	22.5
最舒适温度(°C) PMV=0	冬		22.6	24.2	22.0	24.5	24.6
	夏		27.6	27.3	27.8	28.3	28.9
暖舒适温度(°C) PMV=0.75	夏		29.1	28.9	29.3	29.5	30.1

表4 met=1.2时热舒适温度

舒适温度		气候区	严寒地区	寒冷地区	夏热冬冷地区	夏热冬暖地区	温和地区
凉舒适温度(°C) PMV=-0.75	冬		18.2	20.2	18.1	20.4	20.6
最舒适温度(°C) PMV=0	冬		21.4	23.2	21.3	23.1	23.3
	夏		26.4	26.2	27.1	27.4	28.0
暖舒适温度(°C) PMV=0.75	夏		28.4	28.2	28.8	28.9	29.5

地区和寒冷地区的窗户面积小,且密闭性优于其它地区,因此其室内风速也略小于其它地区;就不同季节而言,由于夏季开窗通风的情况较多,因此夏季室内风速要大于冬季,如表2所示。

2.3 热舒适温度计算

根据ISO 7730-2005,模拟计算热舒适温度。由于在大多数室内活动中,人体机械效率几乎为零,因此本文在模拟时设定 $\eta=0$ 。就热舒适的PMV值设定而言,Fanger结合ASHRAE的7点标度法,将PMV值设置在-3~+3之间,分别表示:冷、凉、稍凉、热中性、稍暖、暖、热的人体实际热感觉^[4];ISO7730中推荐PMV值为-0.5~0.5;我国PMV的推荐值为-0.75~0.75^[5]。如图1所示,由于PMV值与预测不满意百分数PPD之间存在一定的关系,而在我国PMV推荐值条件下,PPD $\leq 17\%$,即预测对热舒适温度感觉不满意的人数少于17%,故本文在模拟计算时,参考我国的PMV推荐值。

出于节能考虑,冬季室内温度宜舒适偏凉,夏季则宜舒适偏暖。因此,除计算PMV=0时的舒适温度外,对冬季PMV=-0.75和夏季PMV=0.75时的热舒适温度也进行了计算。met=1.0即坐着休息时,服装热阻需要考虑座椅的热阻;当met=1.2时,人员处于活动状态,此时,服装热阻不包含座椅的热阻。由此计算得到人体代谢率分别为1.0met和1.2met时的热舒适温度,如表3和表4所示。将人体代谢率分别为1.0met和1.2met下的热舒适温度取平均,即可得到不同PMV值条件下的舒适温度。

对于冬季,热舒适温度区间=[凉舒适温度,最

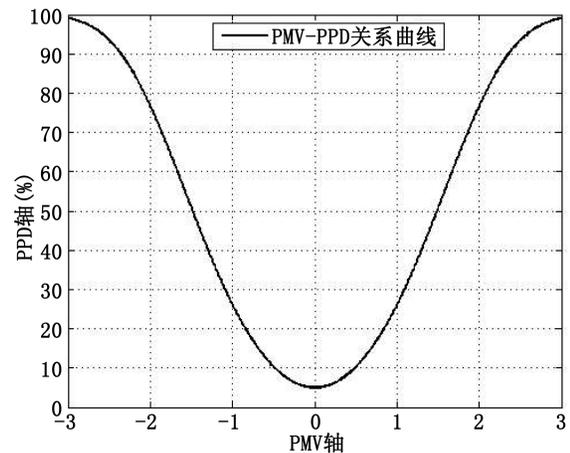


图1 PMV-PPD关系曲线图

适温度];对于夏季,热舒适温度区间=[最舒适温度,暖舒适温度]。以严寒地区冬季为例,热舒适温度的下限为:(19.8+18.2)/2=19°C,热舒适温度的上限为:(22.6+21.4)/2=22°C。由此得到不同气候区冬季和夏季的热舒适温度区间,如表5所示。

表5 不同气候区冬季和夏季的热舒适温度区间

气候区	冬季(°C)	夏季(°C)
严寒地区	19~22	27.0~28.7
寒冷地区	20.9~23.7	26.7~28.5
夏热冬冷地区	18.7~21.6	27.4~29.0
夏热冬暖地区	21.4~23.8	27.8~29.2
温和地区	21.6~23.9	28.5~29.8

2.4 计算结果检验

为了检验理论计算结果与实际情况是否相符,本文

将分析结果与现有文献中部分城市的实测数据进行比较^[6-11], 比较结果如表6所示。

对比文献报道中收集的部分城市的实测数据, 可以看出: 本文的理论计算与实测数据之间的偏差在-1.3~2.5℃之间, 其中冬季计算偏差在-1.3~2.5℃之间, 夏季计算偏差在-0.1~1.4℃之间。

对于处于寒冷地区的天津, 其负偏差最大为-1.3℃, 这可能与天津实际相对湿度偏低有关。本文寒冷地区的冬季室内相对湿度取平均值45%, 而天津冬季室内相对湿度低于该平均值, 约为30%左右。由于干燥, 室内空气的蓄热能力降低, 因此需要更高的温度来达到舒适, 故其热舒适性计算的实测值高于理论值。

对于处于夏热冬冷区的重庆, 其正偏差最大, 为2.5℃, 其原因可能在于: 重庆多山, 风力受到遮挡, 致使室内风速偏低; 同时, 由于草木茂盛, 重庆全年空气相对湿度较大。室内风速对热舒适度的影响较为明显, 低风速加上空气潮湿, 使得重庆需要更低的室内温度就能满足舒适要求。因此, 其热舒适温度的实测值低于夏热冬冷地区的平均水平。

总体而言, 本文的计算结果与部分城市实测数据偏差较小, 且偏差最大的重庆的实际舒适温度也在计算舒适温度范围内。由此可以认为本文的计算结果可信。各建筑气候区不同季节的热舒适温度区间不同, 特别是夏季, 热舒适温度区间基本上高于建筑设计标准建议的26℃, 即现有制冷温度建议条件下, 体感偏凉, 带来了不

必要的能源浪费, 因此在拟订建议、制定政策时, 可提高其制冷温度界限。

3 兼顾建筑节能效益的热舒适温度调整建议

3.1 计算条件

为了便于说明, 本文利用谐波反应法对各气候区住宅中最常见的卧室进行能耗分析。卧室尺寸为3.3m×4.5m×2.8m, 其中, 南向为9.24m²加气混凝土外墙, 内外抹灰, 其余均为内墙。南墙上设有外窗, 严寒和寒冷地区, 外窗取1.2m×1.5m塑钢中空玻璃窗; 夏热冬冷、夏热冬暖及温和地区, 外窗则取1.5m×1.8m。各气候区冬夏季室外平均温度如表7所示。

根据表6和表7, 分别计算各气候区卧室在冬季和夏季的小时能耗。其中: (1) 冬季PMV=-0.75、PMV=0、室温=18℃; (2) 夏季PMV=0.75、PMV=0、室温=26℃。

3.2 计算结果及调整建议

谐波反应法在建筑负荷计算中的应用相当成熟, 其总公式可表示为:

$$CLq(t) = \frac{1}{v_f} \cos(\omega_n t - \phi_n - \xi_f)$$

式中: CLq(t) 为t时刻的建筑负荷; v_f 和 ξ_f 分别为板壁的放热衰减系数和延迟时间。

由于其计算过程十分复杂, 具体的计算步骤参见文件^[12]。本文利用鸿业负荷计算软件, 基于谐波反应法对建筑负荷进行模拟计算。

表6 理论计算与实测数据对比表

气候区	代表地区	理论计算热舒适温度(℃)	实测热舒适温度(℃)	偏差(℃)
严寒地区(冬季)	哈尔滨	22 (19~22)	21.9	0.1
寒冷地区(冬季)	天津	23.7 (20.9~23.7)	25.0	-1.3
寒冷地区(夏季)	北京 天津	26.7 (26.7~28.5)	26.7	0
			26.4	0.3
夏热冬冷地区(冬季)	重庆	21.6 (18.7~21.6)	19.1	2.5
夏热冬冷地区(夏季)	上海 长沙	27.4 (27.4~29.0)	26.5	0.9
			27.5	-0.1
夏热冬暖地区(冬季)	—	23.8 (21.4~23.8)	—	—
夏热冬暖地区(夏季)	广东	27.8 (27.8~29.2)	26.4	1.4
温和地区(冬季)	—	23.9 (21.6~23.9)	—	—

表7 各气候区冬夏季室外平均温度

气候区	严寒地区	寒冷地区	夏热冬冷地区	夏热冬暖地区	温和地区
冬季(1月)	-20	-5	1	10	2
夏季(7月)	28	32	33	33	24

注: 数据来自《中国统计年鉴2014》

各气候区冬季和夏季卧室小时能耗结果分别如图2、图3所示。在严寒及寒冷地区，由于冬季利用暖气采暖，没有新风负荷和湿负荷，因此，其采暖热负荷要低于其他地区利用空调采暖消耗的空调热负荷。

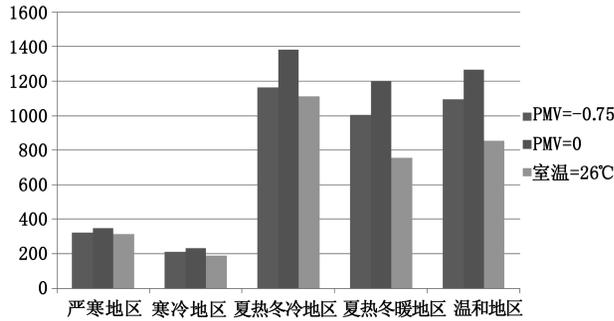


图2 各气候区冬季卧室小时能耗

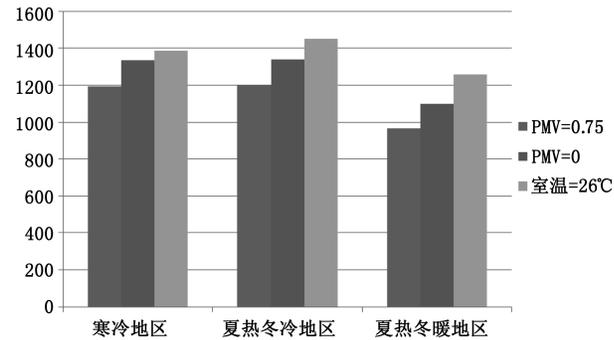


图3 各气候区夏季卧室小时能耗

由图2可见，严寒和寒冷地区冬季为暖气采暖，故对室内进行定热舒适度控制和定温控制的能耗差异很小；相比之下，其他地区冬季利用空调采暖，由于新风和湿负荷的作用，室内定热舒适度控制和定温控制之间的能耗差异增大。经计算，当冬季室内按18℃进行定温控制时，其能耗比热舒适度按PMV=-0.75控制时节约16.2%，但此时各气候区室内的平均热舒适度PMV=-1.71，室内环境较冷，舒适度较差。建筑节能首先应该满足舒适需求，在冬季时有必要增加能耗投入，适当提高采暖温度以获得更高的热舒适性。

在严寒及温和地区，由于夏季室外热环境较好，故不考虑其夏季空调制冷。根据计算结果，夏季时寒冷、夏热冬冷及夏热冬暖地区的室内按热舒适度PMV=0.75进行控制，其能耗比以26℃进行定温控制时平均减少18.1%。由此可见，夏季空调系统以定热舒适度进行控制，更有利于节能。

4 结 语

(1) 通过与既有现场研究得到的热舒适温度比较，验证了本文利用理论计算确定的各气候区室内热舒适

温度的合理性，从而为热舒适温度的确定提供了可行的方法。

(2) 目前全国通行的冬季18℃、夏季26℃的住宅室温控制建议不甚合理，冬季时应以舒适为出发点，适当提高采暖温度提升热舒适度；而夏季时则应对空调系统以定热舒适度控制，适当提高制冷温度，实现热舒适度和节能的双赢。

(3) 考虑到自然环境差异和人们穿着习惯的不同，各气候区的建筑节能设计标准中给出的室温控制建议应该有所区别，以便对地方性节能设计标准的制定形成更强更有针对性的指导。▲▲

参考文献

- [1] 王建声, 段永辉, 杨明宇. 浅谈我国建筑节能的管理现状与对策[J]. 建筑经济, 2006 (4) : 87-89.
- [2] 王海英, 胡松涛. 对PMV热舒适模型适用性的分析[J]. 建筑科学, 2009 (6) : 108-114.
- [3] ISO International Standard 7730. Ergonomics of the thermal environment-Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria[M]. Geneva: International Standard Organization, 2005.
- [4] 曹俊周, 周永凯. Fangr热舒适方程及其应用[J]. 北京服装学院学报, 1989 (2) : 96-101.
- [5] 曾光, 田永铮, 赵华, 等. 环境因素及综合因素对PMV指标的影响分析[J]. 建筑节能, 2007 (3) : 11-16.
- [6] 王昭俊, 张志强, 廉乐明. 热舒适评价指标及冬季室内计算温度探讨[J]. 暖通空调, 2002 (2) : 26-28.
- [7] 叶晓江, 周正平, 连之伟, 等. 不同城市自然通风建筑热舒适状况研究[J]. 建筑节能, 2007 (4) : 55-57.
- [8] 王昭俊, 方修睦, 廉乐明. 哈尔滨市冬季居民热舒适现场研究[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2002 (4) : 500-504.
- [9] 朱能, 吕石磊, 刘俊杰, 等. 人体热舒适区的实验研究[J]. 暖通空调, 2004 (12) : 19-23.
- [10] 李百战, 刘晶, 姚润明. 重庆地区冬季教室热环境调查分析[J]. 暖通空调, 2007 (5) : 115-117.
- [11] 金玲, 孟庆林, 赵利华, 等. 粤东农村住宅室内热环境及热舒适现场研究[J]. 土木建筑与环境工程, 2013 (2) : 105-112.
- [12] 曹叔雄. 房间热过程和空调负荷[M]. 上海: 上海科学技术文献出版社, 1990.