



国家标准《民用建筑室内热湿环境评价标准》介绍^{*}

重庆大学 李百战[☆] 景胜蓝

中国建筑科学研究院 王清勤

中国建筑设计研究院 潘云钢

重庆大学 喻 伟

摘要 该标准考虑到我国不同地域气候差异明显的特点及人员的行为和生理调节等热适应性,制定了建筑室内热湿环境参数的分区域、分等级的评价标准。介绍了该标准的编制背景、民用建筑室内热湿环境的等级划分及评价方法、基本参数的测量条件及测点要求等主要技术内容。

关键词 室内热湿环境 评价标准 民用建筑 热舒适 参数测量

Explanation of the *Evaluation standard for indoor thermal environment in civil buildings*

By Li Baizhan[★], Jing Shenglan, Wang Qingqin, Pan Yungang and Yu Wei

Abstract Considering the obvious climatic difference among different regions and the thermal adaptability of human behavior and physiology adjustment, the standard establishes the zoning and classifying evaluation guideline of indoor thermal environment parameters. Presents the main technological contents of the standard including the compilation background, criteria and evaluation methods of indoor thermal environment, measurement conditions and measuring point requirements of the basic parameters of indoor thermal environment.

Keywords indoor thermal environment, evaluation standard, civil building, thermal comfort, parameter measurement

[★] Chongqing University, Chongqing, China

①

0 引言

根据住房和城乡建设部建标[2008]102号文《2008年工程建设标准规范制订、修订计划(第一批)》的要求,《民用建筑室内热湿环境评价标准》(以下简称《标准》)列入国家标准编制计划,由主编单位重庆大学和中国建筑科学研究院会同国内有关单位共同编制。自2008年开始,编制组总结了我国科研和实践的经验,经过广泛的调查研究,参考有关国际标准和国外先进标准,在全国范围针对

民用建筑室内热环境进行了大样本现场调研测试和实验室实验研究,并广泛征求了国内建筑设计、施工、科研、高校等相关单位和专家的意见和建议,在此基础上完成了《标准》的编制工作。《标准》(送审稿)于2011年12月11日通过审查,审查委员一致认为该标准填补了我国民用建筑室内热湿环境评价标准的空白,提出的非人工冷热源热湿环境评价方法为国内外首创。经住房和城乡建设部批准,

^{*} 国家自然科学基金重点项目“建筑热环境动态调节与控制的理论与方法”(编号:50838009),“十一五”国家科技支撑计划重大项目“建筑室内热湿环境控制与改善技术研究”(编号:2006BAJ02A09),住房和城乡建设部标准定额司《民用建筑室内热湿环境评价标准》制订项目(编号:2008-1-26)

①[☆] 李百战,男,1957年10月生,博士,教授,博士生导师,院长
400045 重庆大学B区城市建设与环境工程学院
(023) 65127531

E-mail: baizhanli09@gmail.com

收稿日期:2012-11-07

修回日期:2012-12-10

《标准》自 2012 年 10 月 1 日起实施。本文对《标准》的主要内容和编制思路进行介绍。

1 基本规定

1.1 评价对象

民用建筑室内热湿环境的评价宜以建筑物内主要功能房间或区域为对象,也可以单栋建筑为对象。当建筑中 90% 以上主要功能房间或区域满足某评价等级条件时,判定该建筑达到相应等级。适用于居住建筑和办公建筑、商店建筑、旅馆建筑、教育建筑等的室内热湿环境评价。

1.2 评价阶段

民用建筑室内热湿环境的评价可分为设计阶段的评价(简称“设计评价”)和使用阶段的评价(简称“工程评价”)。

设计评价应在建筑的施工图设计完成后进行,申请设计评价的建筑应提供下列材料:

1) 相关政府部门的审批文件,如立项批文、规划许可证、建筑红线图等;

2) 施工图设计文件,包括各有关专业(主要是建筑和暖通空调专业)的施工图纸、计算书等;

3) 施工图设计审查合格的证明文件,如施工图设计文件审查记录和审查报告等。

工程评价应在建筑投入正常使用一年后进行,申请工程评价的建筑除应提供设计评价所需材料外,尚应提供工程竣工验收资料和室内热湿环境运行资料。

1.3 室内热湿环境划分

民用建筑室内热湿环境应区分人工冷热源热湿环境与非人工冷热源热湿环境。人工冷热源热湿环境指使用供暖、空调等人工冷热源进行热湿环境调节的房间或区域。非人工冷热源热湿环境指未使用人工冷热源,只通过自然调节或机械通风进行热湿环境调节的房间或区域。室内热湿环境的划分主要考虑了我国不同地区的经济发展情况及实际建筑的不同情况和使用要求。

1.4 评价等级

室内热湿环境评价等级分为Ⅰ级、Ⅱ级和Ⅲ级三个等级。民用建筑室内热湿环境细分为三个等级,目的是为了根据建筑的使用要求、气候、适应性等条件,合理控制室内热湿环境,鼓励营造舒适、节能的室内热湿环境。

2 评价方法

2.1 人工冷热源热湿环境评价

2.1.1 一般要求

人工冷热源热湿环境的温度、湿度、空气流速等参数满足设计要求,并应符合现行国家标准 GB 50019—2003《采暖通风与空气调节设计规范》的规定。

建筑围护结构内表面应无结露、发霉等现象。采用集中空调的建筑,新风量应符合国家现行有关标准的要求。

2.1.2 评价方法

对于人工冷热源热湿环境,设计评价的评价方法应按表 1 选择,工程评价的评价方法宜按表 1 选择。当工程评价不具备表 1 的条件时,可采用由第三方进行大样本问卷调查的方法评价。采用计算法进行人工冷热源热湿环境等级评价时,对于设计评价,应按其整体评价指标进行等级判定;对于工程评价,应按其整体指标和局部评价指标进行等级判定,且所有指标均应满足相应等级要求。

表 1 人工冷热源热湿环境的评价方法

冬季评价条件		夏季评价条件		评价方法
空气流速 $v_a/(m/s)$	服装热阻 I_{cl}/clo	空气流速 $v_a/(m/s)$	服装热阻 I_{cl}/clo	
≤ 0.20	≤ 1.0	≤ 0.25	≥ 0.5	计算法或图示法
> 0.20	> 1.0	> 0.25	< 0.5	图示法

1) 计算法

整体评价指标应包括预计平均热感觉指数(PMV)、预计不满意者的百分数(PPD);局部评价指标应包括冷吹风感引起的局部不满意率(LPD_1)、垂直空气温差引起的局部不满意率(LPD_2)和地板表面温度引起的局部不满意率(LPD_3)。根据表 2 和表 3 中人工冷热源热湿环境各评价等级对应的整体评价指标及局部评价指标来判定室内热湿环境是否达到相应等级。

表 2 整体评价指标

等级	整体评价指标	
Ⅰ级	$PPD \leq 10\%$	$-0.5 \leq PMV \leq +0.5$
Ⅱ级	$10\% < PPD \leq 25\%$	$-1 \leq PMV < -0.5$ 或 $+0.5 < PMV \leq +1$
Ⅲ级	$PPD > 25\%$	$PMV < -1$ 或 $PMV > +1$

表 3 局部评价指标

等级	局部评价指标		
Ⅰ级	$LPD_1 < 30\%$	$LPD_2 < 10\%$	$LPD_3 < 15\%$
Ⅱ级	$30\% \leq LPD_1 < 40\%$	$10\% \leq LPD_2 < 20\%$	$15\% \leq LPD_3 < 20\%$
Ⅲ级	$LPD_1 \geq 40\%$	$LPD_2 \geq 20\%$	$LPD_3 \geq 20\%$

2) 图示法

为便于使用,《标准》给出了人工冷热源热湿环境评价的图示法。人体代谢率为 1.0~1.3 met,

服装热阻为 0.5 clo 和 1.0 clo 的室内热湿环境可采用图示法进行等级评价(见图 1,2)。采用图示

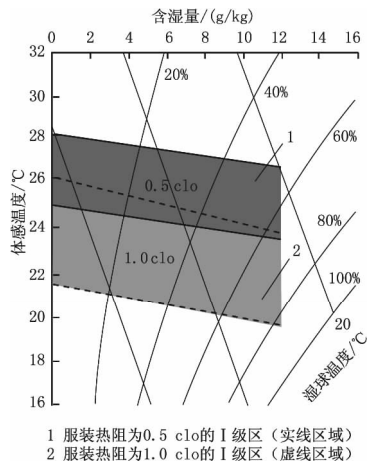


图 1 人工冷热源热湿环境舒适区范围

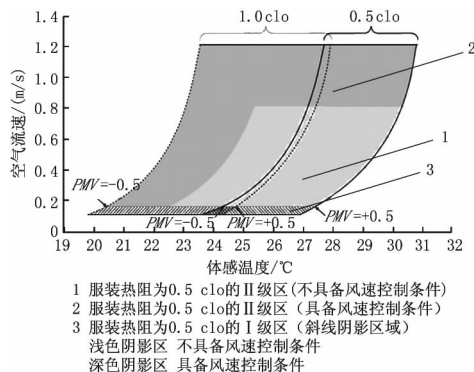


图 2 抵消空气温度上升需要的空气流速

法评价时,应先根据图 1 判断室内热湿环境等级,当室内热湿环境不满足图 1 的要求时,再根据图 2 判定其等级。对于其他服装热阻所对应的评价等级,体感温度上下限按线性插值确定。空气流速影响人体和环境之间的对流换热,从而影响人体热舒适。在夏季,提高空气流速可以提高人们所能接受的空气温度上限。图 2 参考 ASHRAE 55 标准^[1],给出了不同衣着条件下,提高空气流速后体感温度的上限值。

2.2 非人工冷热源热湿环境评价

2.2.1 一般要求

对于非人工冷热源热湿环境,其建筑围护结构内表面也应无结露、发霉等现象,并采取合理的自然通风等有效措施。

2.2.2 评价方法

1) 计算法

重庆大学课题组应用自动控制原理,在稳态热

平衡的 PMV-PPD 模型基础上提出了用于实际建筑热湿环境评价的适应性平均热感觉指标 (APMV) 模型^[2-4]。

稳态热平衡的 PMV 模型可用图 3 表示。预

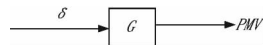


图 3 稳态模型框图

计平均热感觉指数 (PMV) 可用式 (1) 表示:

$$PMV = G\delta \quad (1)$$

式中 G 为人体感受量; δ 为物理刺激量。

热湿环境的刺激会引起人体生理、心理和行为的适应性调节,从而形成负反馈,其过程可反映于适应性平均热感觉指标 (APMV) 模型当中,如图 4 所示。

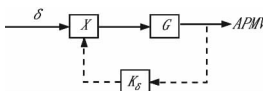


图 4 适应性模型框图

预计适应性平均热感觉指标 (APMV) 可根据下式计算:

$$APMV = \frac{PMV}{1 + K_{\delta} \frac{PMV}{\delta}} = \frac{PMV}{1 + \lambda PMV} \quad (2)$$

式中 K_{δ} 为大于 0 的系数,取决于气候、季节、建筑形式及功能、社会文化背景以及其他瞬时物理环境中的相关因素; λ 为自适应系数, $\lambda = K_{\delta}/\delta$ 。

《标准》规定采用算法对非人工冷热源热湿环境进行评价时,利用式 (2) 计算求得 APMV 值,并根据表 4 来判定室内热湿环境等级。式 (2) 中的

表 4 非人工冷热源热湿环境室内热湿环境评价等级

等级	评价指标
I 级	$-0.5 \leq APMV \leq 0.5$
II 级	$-1 \leq APMV < -0.5$ 或 $0.5 < APMV \leq 1$
III 级	$APMV < -1$ 或 $APMV > 1$

自适应系数取值见表 5。自适应系数 λ 与当地的气候类型、人的适应性等因素有关,需要在不同类型建筑中通过大样本的热湿环境测试和热舒适问卷调查统计分析得到。《标准》编制组在全国各典型气候区典型城市对居住建筑、商店建筑、旅馆建筑、办公建筑和教育建筑的非人工冷热源室内热湿环境进行了现场调查测试,获得问卷 2 万余份,采用数理统计方法,利用自适应模型进行回归分析,获得了典型气候区不同类型建筑在偏热和偏冷环境中的自适应系数 λ 。

表 5 自适应系数取值

建筑气候区	居住建筑、商店建筑、 旅馆建筑及办公室	教育建筑及 会议室
严寒、寒冷地区	$PMV \geq 0$	0.24
	$PMV < 0$	-0.50
夏热冬冷、夏热冬 暖、温和地区	$PMV \geq 0$	0.21
	$PMV < 0$	-0.49

2) 图示法

《标准》规定不同气候区非人工冷热源室内热湿环境的Ⅰ级和Ⅱ级评价等级所对应的体感温度范围如图 5 和图 6 所示。图 5 和图 6 是编制组根据对全国 5 个建筑气候区 14 个典型城市民用建筑(不包括阳光房、窑洞等特殊类型建筑)室内外热湿环境的大量现场调查^[5-10]和测试结果并结合实验室研究成果得到的^[11-15]。在评价非人工冷热源室内热湿环境时,根据建筑所处地区选择相应的图,

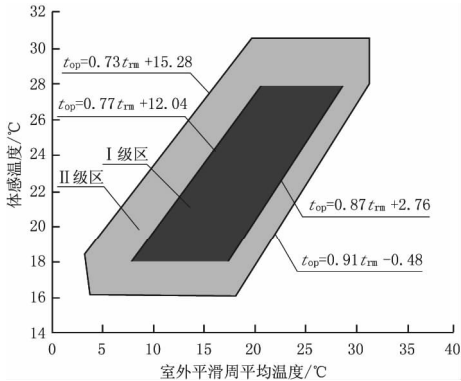


图 5 严寒及寒冷地区非人工冷热源热湿环境体感温度范围

$$t_{rm} = (1 - \alpha)(t_{od-1} + \alpha t_{od-2} + \alpha^2 t_{od-3} + \alpha^3 t_{od-4} + \alpha^4 t_{od-5} + \alpha^5 t_{od-6} + \alpha^6 t_{od-7}) \tag{3}$$

式中 t_{rm} 为室外平滑周平均温度,℃; α 为系数,取值为 0.8; $t_{od-1}, \dots, t_{od-7}$ 分别为评价日前 1, ..., 7 天的室外日平均温度,℃。

图 5 和图 6 规定的室内体感温度Ⅰ级上下限分别为 28℃和 18℃。Ⅱ级下限为 16℃,适用于冬季服装较厚、人在室内和室外衣着变化不大的情况;Ⅱ级上限为 30℃,适用于具备局部控制室内空气流速条件,并且室内空气流速可以适当提高的非人工冷热源热湿环境。

表 6 室内热湿环境基本参数测量仪器

测量参数	测量仪器	测量范围	最低精度
空气温度 t_a	膨胀式、电阻式、热电偶式温度计	-10~50℃	±0.5℃
平均辐射温度 $\overline{t_r}$	球形黑球温度计、椭球形黑球温度计、双球辐射温度计、等温温度计	-10~50℃	±2℃
平面辐射温度 t_{pr}	反射-吸收盘、等温盘净全辐射表	-10~50℃	±0.5℃
表面温度 t_t	接触式温度计、红外辐射计	-10~50℃	±1℃
体感温度 t_o	球形黑球温度计、椭球形黑球温度计	-10~50℃	±2℃
相对湿度 φ	干湿球温度计、露点式湿度计、氯化锂湿度计、电容式湿度计等	10%~100%	±5%
空气流速 v_a	叶片风速计、风杯风速计、热线风速计等	0.05~3 m/s	±(0.05 m/s+0.05 v_a)

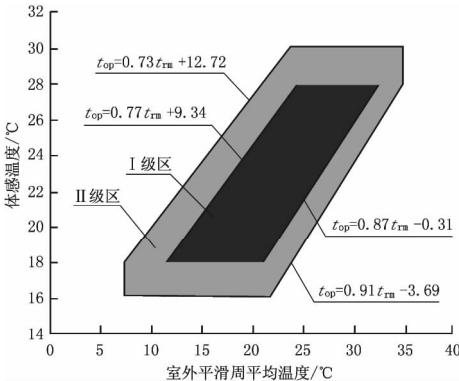


图 6 夏热冬冷、夏热冬暖、温和地区非人工冷热源热湿环境体感温度范围

由评价日的室外平滑周平均温度确定室内体感温度各等级范围,通过与室内体感温度值比较确定室内热湿环境等级。严寒地区和寒冷地区、夏热冬冷地区、夏热冬暖地区、温和地区的划分按现行国家标准 GB 50176—1993《民用建筑热工设计规范》^[16]执行。

图 5 和图 6 中Ⅰ级区为深灰色区域,对应 90%以上人群满意的环境;Ⅱ级区为浅灰色区域,对应 75%~90%人群满意的环境。图 5 和图 6 的横坐标是室外平滑周平均温度,它是指连续 7 天室外日平均温度的指数加权值。根据调研结果,横坐标采用室外平滑周平均温度比采用室外月平均温度作为室外气候参数更符合实际情况。

室外平滑周平均温度按式(3)计算:

3 基本参数测量

3.1 基本参数和测量仪器

室内热湿环境测量的基本参数和测量仪器应符合表 6 的规定。测量仪器的响应时间不应过长,其中空气流速测量仪器的响应时间不得长于 0.5 s。仪器测量范围基于目前国内民用建筑大量测试研究结果,并考虑相关仪表量程选型规定得出;精确度决定测量结果的准确性,最低精确度必须满足。

3.2 测量条件

《标准》规定冬季测量时,不宜在晴天天气条件下进行,且室内外温差不应小于设计温差的50%。夏季应在室内外温度差和湿度差不小于设计值的50%且晴天或者少云天气条件下进行测量。测量除符合本标准规定的要求之外,尚应符合国家现行相关测试标准的规定。

3.3 测点位置和数量

3.3.1 测点位置

测点位置应选择室内人员的工作区域或者座位处,并应优先选择窗户附近、门进出口处、冷热源附近、风口下和内墙角处等不利地点。测点与墙的水平距离应大于0.5 m。

3.3.2 测点高度

房间或区域环境参数分布均匀时,空气温度、空气流速、相对湿度、平均辐射温度、平面辐射温度的测量高度,坐姿时应距离地面0.6 m,站姿时应距离地面1.1 m。房间或区域环境参数分布不均匀时,空气温度、空气流速、相对湿度、平均辐射温度、平面辐射温度、体感温度的测量高度,坐姿时应分别距离地面0.1,0.6,1.1 m,站姿时应分别距离地面0.1,1.1,1.7 m,取不同高度测量值的加权平均值。

对某个环境参数均匀与否的判断标准如下:若一段时间内某参数单个测试值与平均值的偏差小于表6中对应的测量精度乘以表7中的X因子,则对该参数而言该测试环境即为均匀稳定环境,否则为非均匀环境。

表7 各测量参数 X 因子

参数	X 因子
空气温度	3
平均辐射温度	2
辐射温度不对称性	2
平均空气流速	2
水蒸气分压力(相对湿度)	2

坐姿时,计算空气垂直温差应分别测量距离地面0.1 m和1.1 m处的空气温度;站姿时,应分别测量距离地面0.1 m和1.7 m处的空气温度。

坐姿和站姿时,确定吹风感应分别测量1.1 m和1.7 m高度处(人体头部/肩区域)的空气参数值,若脚踝和下腿区域没有覆盖物,应加测0.1 m处的空气参数值。

3.3.3 测点数量

房间或区域面积小于等于16 m²的,测点应选

在测试房间的中心;房间或区域面积大于16 m²但小于等于30 m²的,应选择测试区域对角线上的两个等分点作为测点;房间或区域面积大于30 m²但小于等于60 m²的,应选择测试区域对角线上的三个等分点作为测点;房间或区域面积大于60 m²的,应选择测试区域两个对角线上的五个等分点作为测点。

3.4 测量时间

3.4.1 测量周期

测量周期宜为24~48 h,测量时间间隔应小于30 min,取测量时间段内最不利时刻的值。测量周期内周围环境应完整变化一个周期(昼夜),即测量时间应在24 h以上;同时,测量也无须无限进行下去,在周围环境完整变化两个周期(48 h)以内即可。测量时间间隔小于30 min可以较为准确地反映被测环境的变化规律。在评价民用建筑室内热湿环境时应针对最不利的工况进行,因此,被测参数取测量时间段内最不利时刻的值。

3.4.2 测量仪器响应时间

测量时应在被测环境中测试仪器读数趋于稳定后再进行记录。测量空气温度、相对湿度、平均辐射温度与平面辐射温度的时间至少应为3 min,最长不超过15 min,取测量时间段内至少18个时间点的算术平均值作为测试值。对于供冷或者供暖辐射地板表面温度,测量时间宜按空气温度的时间平均方法进行处理。测量空气流速的时间应为3 min,取测量时间段内至少18个时间点的算术平均值作为测试值。测量瞬时速度的时间应为2 s。

4 结语

《标准》考虑了我国地域广阔、气候差异明显等特点,充分考虑了人员的行为和生理调节等热适应性,制定了适合中国国情的建筑室内热湿环境参数的分区域、分等级的评价标准,为创建舒适、适宜、节能的室内热湿环境提供了有力的科学依据。希望《标准》的实施对全面提高和改善我国的建筑室内热湿环境质量,实现建筑的节能减排及促进建筑行业的可持续发展起到推动作用。

5 致谢

《标准》编制得到了《标准》评审委员会、《标准》编委会及国内相关单位和重庆大学的大力支持,在此表示衷心感谢。

参考文献:

- [1] ANSI/ASHRAE. ANSI/ASHRAE Standard 55-2010 Thermal environmental conditions for human occupancy[S]. Atlanta:ASHRAE,2010
- [2] 姚润明. 室内气候模拟及热舒适研究[D]. 重庆:重庆建筑大学,1997
- [3] Yao Runming, Li Baizhan, Liu Jing. A theoretical adaptive model of thermal comfort—adaptive predicted mean vote (aPMV) [J]. Building and Environment,2009,44(10):2089-2096
- [4] Yao Running, Liu Jing, Li Baizhan. Occupants' adaptive responses and perception of thermal environment in naturally conditioned university classrooms [J]. Applied Energy,2010,87(3):1015-1022
- [5] Li Baizhan, Tan Meilan, Liu Hong, et al. Occupant's perception and preference of thermal environment in free-running buildings in China[J]. Indoor and Built Environment,2010,19(4):405-412
- [6] 刘红,郑文茜,李百战,等. 夏热冬冷地区非采暖空调建筑室内热环境行为适应性[J]. 中南大学学报:自然科学版,2011,42(6):1805-1812
- [7] 刘红,李百战,马晓磊. 夏热冬冷地区非采暖空调室内可接受温度范围[J]. 土木建筑与环境工程,2011,33(4):127-133
- [8] Li Baizhan, Yu Wei, Liu Meng, et al. Climatic strategies of indoor thermal environment for residential buildings in Yangtze River Region, China [J]. Indoor and Built Environment, 2011, 20(1): 101-111
- [9] 金振星. 不同气候区居民热适应行为及热舒适区研究[D]. 重庆:重庆大学,2011
- [10] Liu Jing, Yao Runming, Wang Juan, et al. Occupants behavioral adaptation in workplaces with non-central heating and cooling systems[J]. Applied Thermal Engineering,2012,35(3):40-54
- [11] Zheng Jie, Chen Liang, Li Baizhan. Indoor thermal comfort studies based on physiological parameter measurement and questionnaire investigation [J]. Journal of Central South University of Technology, 2006,13(4):404-407
- [12] Zheng Jie, Zhang Yu, Yao Runming. Impact of indoor thermal comfort on physiological parameters of human body[J]. Journal of Central South University of Technology,2009,16(s1):24-27
- [13] Li Baizhan, Li Wenjie, Liu Hong, et al. Physiological expression of human thermal comfort to indoor operative temperature in the non-HVAC environment [J]. Indoor and Built Environment, 2010,19(2):221-229
- [14] 谈美兰,李百战,李文杰,等. 夏季空气流动对人体热舒适性的影响[J]. 土木建筑与环境工程,2011,33(2):70-73
- [15] Liu Hong, Tan Qing, Li Baizhan, et al. Impact of cold indoor thermal environmental conditions on human thermal response[J]. Journal of Central South University of Technology,2011,18(4):1285-1292
- [16] 中国建筑科学研究院. GB 50176—1993 民用建筑热工设计规范[S]. 北京:中国计划出版社,1993