

# 寒冷区域冬季热舒适影响因素综述

张克歌 于航\*

同济大学机械与能源工程学院

**摘要:** 寒冷区域热舒适是热舒适研究中的一项重点议题。在经典和新型热舒适模型中,分析了包括环境、个体因素在内的各项因素对于热舒适的影响,但缺少对于寒冷区域热舒适影响因素的梳理。为此,结合国内对于寒冷区域热舒适的研究现状,对寒冷区域建筑内部热舒适影响因素从建筑设施、环境、个体三方面进行了较为全面的梳理与综述,从而对寒冷区域热舒适现状的改善提供参考。

**关键词:** 热舒适; 寒冷区域; 影响因素

**【DOI】** 10.12254/j.issn.2096-6539.2023.15.070

## 引言

20世纪20年代,出现了研究环境、生理、心理与热舒适之间联系的学科——人体热舒适,经过一个世纪的发展,不同学者从热舒适区间、热舒适模型、热舒适影响因素与改善方法等角度对人体热舒适展开了深入研究。营造一个什么样的环境、如何营造一个舒适的热环境成为热舒适研究的主要目的。随着气温的降低,“不舒适”现象的发生愈加频繁,人们更加趋向于选择减少外出,降低不舒适的概率。据统计,我国成人平均室内活动时间为1200min/d,并随气温降低逐渐增加<sup>[1]</sup>,因此室内热舒适是人体热舒适研究中的重要部分。寒冷区域作为“不舒适”现象频发地区,近年来国内外研究者对该区域的人体热舒适进行了测试与调研,并取得了丰富的研究成果。本文对寒冷区域的热舒适研究进行了整理与对比分析,归纳了寒冷区域室内热舒适的影响因素,为提升寒冷区域室内热舒适现状提供参考。

### 一、经典热舒适模型中的热舒适影响因素

Fanger提出的热舒适方程将人体蓄热量为0时的状态定义为热舒适状态,并引入人体热负荷TL描述人体热平衡的偏离程度,得到预测人体热感觉的PMV模型。该模型认为人体热舒适的影响因素有:空气温度、相对湿度、空气流速、平均辐射温度、人体代谢率和服装热阻<sup>[2]</sup>。但PMV代表的是同一环境下绝大多数人的感觉,且在实际应用过程中存在较大的预测误差。因此,在对热舒适的进一步研究中,de Dear提出适应性热舒适模型<sup>[3]</sup>,研究反馈循环作用下的人体热舒适。众多研究者也根据不同地域、季节的特点构建了对应的适应性热舒

适模型。随着互联网和计算机技术的发展,皮肤温度、调节行为作为重要的因子,被引入热舒适预测模型,对于热舒适影响因素的研究更加多样化、全面化,皮肤温度、核心温度、空气温度、相对湿度、空气流速、辐射均匀性及个人因素,如年龄、性别等均被视为影响人体热舒适的重要因素。

### 二、热舒适的研究方式

热舒适研究主要有三种形式:①问卷调查;②现场实测;③环境舱实验。

问卷调查通过受试者填写问卷或访谈,对热湿环境做出主观评价,同时记录受试者的个人信息及调节行为。通过问卷也可直接获取受试者认为造成自身不舒适的因素,如温度过低,湿度过高,风速过高等;现场实测使用测量温度、湿度、风度、空气品质的专业仪器,对空间内部的环境参数进行测量,通过对环境参数的记录与分析,与标准进行对比,对室内热舒适进行评价,或对围护结构的热工性能进行评估,提出改造策略。但这种方法并未考虑由于适应性、群体特点造成的主观感受差异。而单纯的问卷调查只能获取受试者主观认知中的不舒适因素,无法将主观热感知与环境参数进行关联分析,因此问卷调查通常与现场实测相结合。而环境舱实验通常在设定环境中进行,在特定的温度、湿度、风速下采集人体主观热舒适评价和生理参数,从而建立人体热舒适模型或热感觉模型,分析人体主观感受和生理参数与环境参数的关系。

### 三、热舒适影响因素

根据以上热舒适研究方法,经过文献阅读,发现冬季热舒适的影响因素可以分为三类:①建筑设施因素;②环境因素;③个体因素。

#### (一) 建筑设施因素——供暖设备

根据《民用建筑供暖通风与空气调节设计规范》<sup>[4]</sup>,对于累年日平均温度稳定低于或等于5℃的日数大于或等于90天的地区,尤其是幼儿园、养老院、中小学校、医疗机构等建筑设施,应设置供暖设施,并宜采用集中供暖。但受建筑条件限制,部分地区的住宅并无集中供暖,甚至并无供暖。农村住宅不提供集中供暖的较为普遍,如一项面对江苏徐州农村住宅的调研表明,由于缺乏集中供暖,住户只能采用局部供暖设备

(煤炉、电热毯、电暖器)进行供暖,无法为住户提供舒适的室内环境<sup>[5]</sup>。河北一不提供集中供暖的小学,虽然在上课期间开启空调进行加热,冬季室内空气温度也持续低于15℃,远低于设计规范。供暖设备的缺失不仅影响室内热舒适水平,同时也会导致学生学习效率的下降<sup>[6]</sup>。

不同供暖末端,对人体热舒适的影响也存在差异。河南焦作一项针对不同供暖末端住宅热舒适的调研表明,相较于散热器采暖,地暖采暖的用户更少产生“凉”及以下的感觉,这是因为地暖采暖可以营造更加均匀的室内环境,而散热器作用的区域比较有限,造成水平方向上的温度不均匀,从而影响人体热舒适<sup>[7]</sup>。同样的,东北地区的一项调研实测研究表明,虽然住宅内采用了传统火炕和土暖气进行供暖,但室内气温波动仍然较大,无法持续保证住户的热舒适<sup>[8]</sup>。

### (二) 建筑设施因素——围护结构热工性能

同样具有集中供暖设备,墙体材料和厚度以及气密性也会影响室内热舒适水平。一项对于同一地区不同档次住宅的热舒适调研发现,由于使用的建筑材料存在差异,采暖方式也有差别,高档住宅房间的稳定性更好,不同房间的温差也较小,更有利于提升人体热舒适<sup>[9]</sup>。但并非新建住宅围护结构的热工性能便会优于旧住宅。秦皇岛地区的一项实测表明,由于旧住宅的墙体厚,蓄热能力强,且内部空间较小,同样的供暖条件下,旧住宅内的热湿环境更稳定,温度也维持在较高水平,热舒适水平反而更高<sup>[10]</sup>,因此建筑围护结构及内部空间大小对于热舒适也有重要影响。

### (三) 环境因素——空气温度

对于无供暖设施或供暖设备供暖能力较低的建筑,室内存在低温问题,但一些有集中供暖的建筑,由于对用户供暖设备缺乏自主控制权,也会出现“过热”问题。河南焦作采用地暖进行供暖的住宅,部分用户的热感觉投票为“热”,说明存在供暖温度过高的问题<sup>[7]</sup>。而对于大型建筑,更加难以控制每一个房间的空气温度均在适宜范围内,河北地区一教学楼由于教室、方位、楼层的不同,部分教室存在过热现象,空气温度高达24.8℃,与此同时,也有一些教室内空气温度只有17.4℃<sup>[11]</sup>。河北地区某养老院冬季采用暖气片供暖,根据问卷调研分析结果,发现造成老年人不舒适的原因主要为:温度过高或过低,湿度过高或高低,房间温差较大<sup>[12]</sup>。同样,一项针对高校建筑的调研结果也表明建筑内部存在过热现象,由于空气温度较高,甚至有20%左

右的学生产生了“降低”温度的热期望<sup>[13]</sup>,这也体现了集中供暖的不足:无法保证所有供暖空间内部的温度处于适宜区间,可能会造成能源浪费。

### (四) 环境因素——相对湿度、通风

寒冷区域供暖的主要目的是提高室内空气温度,但温度提升的同时往往会带来“干燥”问题。此外,为了保持室内温度及其稳定性,冬季一般会降低开窗通风的频率,使人产生“闷”的不适感。一项对于被动房的调研实测结果显示,供暖造成了17%的湿度增加期望比例,使本就干燥的室内环境变得更加恶劣<sup>[14]</sup>。文献<sup>[15]</sup>则对比了供暖前、中、后三个时期的室内相对湿度值,在过度供暖的同时,相对湿度低至35.5%。虽然该研究表明热感觉投票与相对湿度无显著相关,但多项调研结果表明供暖房间内的相对湿度较低,住户感觉过于干燥<sup>[11, 13, 16]</sup>。文献<sup>[13]</sup>调研结果表明,供暖导致的室内干燥或引起皮肤、喉咙和嘴唇干燥,极大增加了不舒适感。一项对于老年活动中心的调研则表明,虽然室内气温升高,但老年人仍会产生不舒适的感觉,主要原因是湿度过低和缺少通风,此外还有温度分布不均的问题<sup>[17]</sup>。

### (五) 个体因素——适应性

除了受建筑设施和环境因素影响意外,热舒适评价还会受人体适应性影响。河南一项调研实测结果表明,受建筑围护结构的影响,室内空气温度随室外温度的变化产生剧烈波动,且受建筑条件限制,无法采用地暖的进行调节,住户采用局部取暖设备进行调节,但长久居住使住户已适应了当地气候<sup>[18]</sup>。甚至对于处于严寒地区的西藏,某些地区由于条件限制,并无集中供暖系统,但由于长期居住,居民已适应当地气候,服装一般也较厚,使得人们对于寒冷的耐受性更强<sup>[19]</sup>。

### (六) 个体因素——年龄、性别

由于热经历不同,不同年龄的受试者对于相同环境的热舒适感受也会存在差别,实际上,这也是热适应的一种体现。针对东北地区热舒适影响因素研究表明,年龄是影响热舒适感受的一个因素,老年组的热感觉投票值对气温更敏感,但老年组的可接受温度范围略微低于非老年组<sup>[16]</sup>。由于生理特点、活动强度的不同,男性和女性之间也会存在差异。一项针对性别差异的热舒适研究发现,女性的中性温度和可接受温度范围均高出男性,说明在同样的气候环境和建筑条件下,性别也会对热舒适造成影响<sup>[20]</sup>。

## 四、结论与展望

本文根据现有研究成果总结了国内寒冷区域建筑室内热舒适影响因素,研究内容包括建筑设施、环境、个体对热舒适的影响。可以得出以下主要结论:

1) 供暖是影响寒冷区域热舒适的重要因素,集中供暖建筑室内温度较高,稳定性较强,优于分散式供暖建筑;

2) 供暖过程中存在的供暖不足和供暖过度也会对热舒适产生影响,同时容易使室内相对湿度降低,使人产生“干燥”的不适感;

3) 建筑围护结构的热工性能对热舒适的影响体现在蓄热能力的强弱上,蓄热能力强、气密性好的建筑有助于提升和保持人的热舒适状态;

4) 长期居住会使人们对当地气候形成适应,居住时间越长可能会具有更强的适应性;男性和女性的生理差异及活动强度差异也会造成热舒适状态的不同。

相对而言,供暖是寒冷区域热舒适研究的重点,根据建筑类型和房间功能确定供暖形式和供暖强度不仅有助于提升建筑内部热舒适水平,还可以达到节能的目的。

### 参考文献

- [1] 王贝贝,王宗爽,赵秀阁,等.我国成人室内外活动时间研究[J].环境与健康杂志,2014,31(11):(945-948).
- [2] 朱颖心.建筑环境学 第4版[M].北京:中国建筑工业出版社,2016.
- [3] Dear R J D, Brager G S, Cooper D. Developing an Adaptive Model of Thermal Comfort and Preference - Final Report on RP-884[J].ASHRAE Transactions, 1997, 104(1).
- [4] 民用建筑供暖通风与空气调节设计规范 GB50736-2012[S].北京:中国建筑工业出版社,2012.
- [5] 舒欣,季翔.江苏寒冷地区住宅建筑节能研究[J].工业建筑,2012,42(05):(67-70+164).
- [6] 郝梦,任权.寒冷地区农村小学冬季室内热环境评价[J].城市建筑,2022,19(15):(159-162).
- [7] 杨璐璐,李梦,董梦如,等.寒冷地区住宅不同供暖末端人体热舒适现场研究;proceedings of the 第十六届国际绿色建筑与建筑节能大会暨新技术与产品博览会,中国江苏苏州,F,2020[C].
- [8] 邵腾,金虹.严寒地区乡村民居冬季室内热环境测试分析[J].建筑技术,2016,47(10):(883-886).
- [9] 何文芳,陈玉洁,王登甲,等.寒冷地区既有居住建筑室内热舒适分级研究——以西安为例[J].建筑科学,2019,35(10):(61-65+117).
- [10] 朱赛鸿,王公伯,姚胜.秦皇岛地区农村住宅冬季室内热舒适分析[J].建筑节能(中英文),2022,50(05):(91-98).
- [11] 梅兰,张晓云,杨薇.基于热舒适的张家口地区高校教学楼节能设计策略研究[J].河北建筑工程学院学报,2021,39(03):(75-78).
- [12] 王首一,王芸萱.寒冷地区养老建筑冬季热舒适调查[J].城市建筑,2019,16(23):(91-93).
- [13] 闫旭峰,雷勇刚,景胜蓝,等.寒冷地区高校教室冬季室内热环境与热舒适性分析[J].华侨大学学报(自然科学版),2022,43(02):(198-205).
- [14] 周涵宇,刘刚,王立雄,等.寒冷地区被动房冬季室内热舒适评价模型[J].重庆大学学报,2022,45(07):(61-69).
- [15] 卢毅.严寒地区供暖期间热环境与人体热舒适性研究;proceedings of the 2019供热工程建设与高效运行研讨会,中国江苏苏州,F,2019[C].
- [16] 郭飞,郭廓,张鹤子.寒冷地区采暖老年人热适应模型[J].低温建筑技术,2016,38(10):(126-129).
- [17] 魏欣桐,于戈,刘滢.基于热舒适的严寒地区老年人照料设施设计策略研究[J].建筑技艺,2019,12):(79-83).
- [18] 吴迪,张恒钰,唐丽,等.豫北道口镇传统砖木民居冬季热环境评价研究[J].工业建筑,2022,52(03):(85-91).
- [19] Yu W, Li B, Yao R, et al. A study of thermal comfort in residential buildings on the Tibetan Plateau, China[J].Build Environ, 2017, 119(71-86).
- [20] 刘李珉,夏博,韩飞.基于性别差异的寒冷地区高校学生公寓冬季热舒适性研究[J].建筑节能(中英文),2022,50(07):(136-141+146).

作者简介:张克歌(1999-),女,籍贯河南省禹州市,硕士,研究方向为热舒适。

基金项目:上海市2020年度“科技创新行动计划”社会发展科技攻关项目“南极科考智能人因健康支持系统研究”(项目编号:20dz1207200,子课题编号:20dz1207201)