



建筑环境人体热适应 研究思路评介^{*}

华南理工大学 张宇峰[☆]

摘要 概述了近 40 年建筑环境人体热适应的几种研究思路,从不同角度探讨了主导研究思路存在的问题和不足,并对未来研究作出了展望。

关键词 热适应 概念框架 标准 方法论

Review and discussion on thermal adaptation research approaches in built environment

By Zhang Yufeng[★]

Abstract Outlines several approaches of the related studies in the recent 40 years. Discusses the problems of the main thermal adaptation approaches from various aspects and prospects the researches in the future.

Keywords thermal adaptation, conceptual framework, standard, methodology

★ South China University of Technology, Guangzhou, China

①

0 引言

笔者曾从热适应模型、气候室与现场研究三方面综述了建筑环境的人体热适应研究状况^[1]。但囿于所定形式和全面整理的需要,无法清晰展现其中的思路与脉络,而这正是科学研究最富生命力的灵魂,决定着对未知探索和本质把握的深入程度。本文在前文综述的基础上,结合笔者近期的思考探索与国内外同行的交流,尝试评介建筑环境人体热适应的主要研究思路,望抛砖引玉,供同行交流讨论。

1 研究思路概述

在不同地区、气候和建筑(尤其是自然通风建筑)的热舒适现场调研中,发现了中性温度的多样性,它表现为较宽温度范围内出现的舒适感(见图 1)以及舒适温度与实际平均温度的紧密关系(见图 2)。如此丰富的中性温度变化,大大超出了气候室研究建立的预期和原有标准划定的狭窄温度范围,是建筑环境人体热适应研究最为重要的事实依据。对此,国内外研究人员相继提出若干研究思路,力图从热适应角度寻求合理解释。

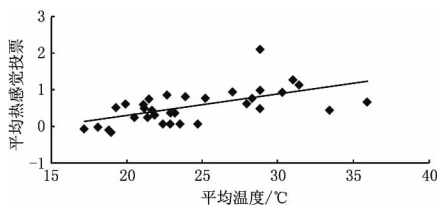


图 1 较宽温度范围内的舒适感^[2]

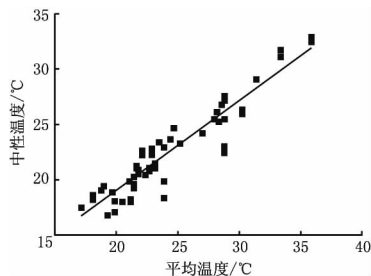


图 2 舒适温度与实际平均温度的紧密关系^[2]

1.1 Humphreys 和 Nicol

Humphreys 和 Nicol 研究思路的基本出发点

①☆ 张宇峰,男,1979 年 4 月生,博士研究生,工学博士,副教授
510640 华南理工大学亚热带建筑科学国家重点实验室建筑节能研究中心
(020) 87112304
E-mail: zhangyuf@scut.edu.cn
收稿日期:2010-08-18
修回日期:2010-10-11

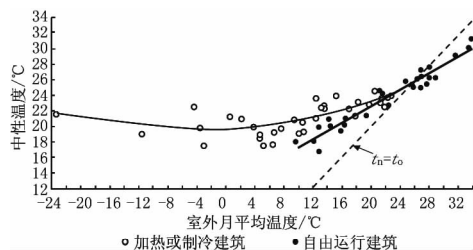
* 国家自然科学基金资助项目(编号:50708038,50838003),华南理工大学亚热带建筑科学国家重点实验室资助课题(编号:2008ZC18)

是“如果出现引发不适感的变化,人们会作出反应以维持舒适^[3]”。其中的反应即指适应,包含所有生理、心理、社会、技术、文化和行为上可能出现的适应性反应。

各种适应性反应受到诸如气候、富裕程度、文化、工作条件和社会背景等因素约束,由此呈现不同的适应形态。约束较少、适应机会较多的环境中,适应发挥强有力的作用,中性温度趋近于实际环境温度;相反,约束较多的环境适应机会不足,适应不充分或不完全(中性温度偏离实际环境温度)。

在 Humphreys 和 Nicol 的热适应假设中,人不再视为感受的被动接受者,而是处于与热环境主动交互的动态平衡中^[3]。人与其周围的物理和社会环境被视为动态系统,舒适和不适感具有动态特征,时间在热适应模型中发挥着重要作用。

Humphreys 和 Nicol 视适应过程为黑箱,即认为从实际应用考虑,舒适感与环境关系的内在机制不如其结果(不同环境约束所形成的中性温度)重要^[4]。他们通过大量数据分析确定用气候与建筑两个环境要素估计室内中性温度(见图 3)。



注:自由运行建筑是指未消耗能源用于加热或制冷的建筑。

图3 气候、建筑与中性温度的关系^[5]

在以上研究思路和适应假设指引下, Humphreys 和 Nicol 汇总欧洲热舒适现场研究数据,选用作业温度为室内热环境指标,采用 Griffiths 常数(用于刻画无适应发生时热感觉与环境作业温度的关系,取值为 0.5,即温度每变化 2 °C,热感觉变化 1 个标尺刻度,详见本文 2.4 节)计算中性温度,以常数项为 0.8 的滑动平均室外气温(体现时间对适应的作用,如室外气温发生突变,室内中性温度将随之改变,并在 3.5 天里完成一半的变化,即半衰期为 3.5 天)作为室外气候指标,确定了欧洲的适应控制算法^[6],并将其纳入欧洲标准(见图 4,图中 I, II, III 对应可接受度的三个类别)指导实际工程应用。

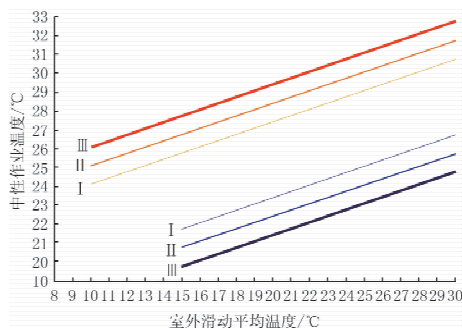


图4 欧洲标准 EN15251 用于无机机械制冷建筑设计用的可接受温度^[7]

1.2 Brager 和 de Dear

“人不再是给定热环境的被动接受者,而是通过多重反馈循环与人-环境系统交互作用的主动参与者^[8]”是 Brager 和 de Dear 研究思路的基本前提。其中,反馈视为适应发生机制的重要特征,并将适应明确分为行为调节、生理习服和心理适应三种模式。

Brager 和 de Dear 认为,只有将热平衡方法与适应方法的特征相结合,才能最终掌握实际建筑中所有影响人体热反应的因素^[8]。据此,他们尝试用 PMV 模型预测实际建筑的中性温度,而后将预测与实测间存留的差别用适应假设予以解释。行为调节反馈通过服装热阻和风速等参数的变化体现在 PMV 模型中,生理习服反馈经由气候室实验结果间的对比而忽略,心理适应反馈则被视为自然通风建筑中 PMV 模型出现偏离(见图 5)最有可能的解释。

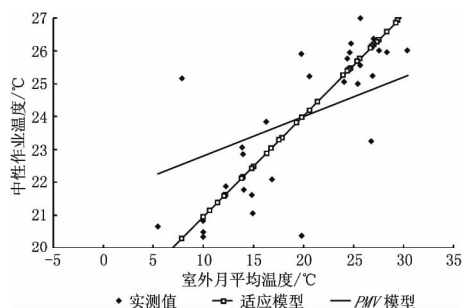


图5 自然通风建筑中性温度 PMV 预测值与实测值的差异^[9]

Brager 和 de Dear 对心理适应机制的表述以期望为核心。心理适应是指由热经历和热期望引起的热环境感知或反应的改变,以往在建筑中的热经历形成了对此建筑未来热性能期望的基准,包括感知控制的大量背景因素可能影响到热期望和热反应^[8]。

Brager 和 de Dear 汇总全球热舒适现场研究数据^[10],选用作业温度作为室内热环境指标,采用

分组平均和按样本量加权回归的方法计算中性温度,以室外月平均温度作为室外气候指标,建立了自然通风建筑的适应模型^[11],并将其纳入美国标准(见图6)指导实际工程应用。

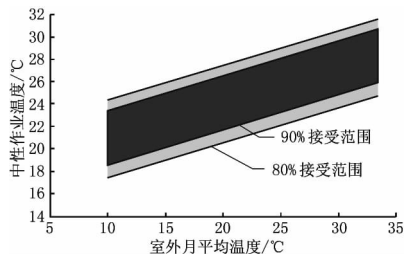


图6 ASHRAE Standard 55-2004 用于自然通风空间的可接受温度^[12]

1.3 Fanger 和 Toftum

Fanger 和 Toftum 以期望为适应要素,以期望因子修正 PMV 模型的简单形式建立适应模型。期望因子假定由气候和建筑两个环境要素决定,表征 PMV 模型无法考虑的所有心理适应影响,“以往在建筑中的热经历创造了对未来热性能期望的基准^[8]”是其可能的依据。包括 Fanger 和 Toftum 在内的许多研究人员^[13-17]尝试用现场实测数据检验模型的有效性,但结果不一。

1.4 清华大学

清华大学赵荣义和朱颖心带领的热舒适研究小组长期从事动态热环境下的人体热反应研究,在此基础上,他们指出气流动态特征是自然通风环境 PMV 模型失效的重要原因,其依据表述如下^[18-19]。

自然通风环境与空调环境的空气流动在湍流强度、功率谱密度等动态特征方面存在不同,而这些特征能够显著影响人体热反应。PMV 模型基于气候室实验建立,其气流动态特征与空调环境相近,由此造成 PMV 模型在自然通风环境中出现偏差。偏热环境下,富含动态特征的自然风能有效改善人体不适感,从而形成较高的中性温度。

人体对气流动态特征的感知被认为与适应有关,人作为自然界的产物,更加适应于富于变化的自然风气流^[18]。

2 研究思路探讨

以上研究思路在基本假设和关注要点上各具特色,是提出者们独立思考和勇于创新的结果。它们一经发表,便从未停止过质疑和讨论。期望因子因其随意和模糊性而饱受争议,Fanger 曾对欧美的适

应模型提出质疑,而 Humphreys 和 Nicol 与 Brager 和 de Dear 也一直在相互讨论中不断作出新的尝试和发展。基本观点的激烈交锋是研究领域充满活力的最佳体现,与发展成熟的领域不同,热适应领域所展现的百家争鸣、日新月异的图景中充满着向未知不断创新探索的机会。

2.1 适应性概念框架

上述几种研究思路从不同程度和角度考虑了热适应因素在人体热反应中的作用。

Humphreys 和 Nicol 的“反应”框架包罗万象,内容最为丰富。包括血管收缩扩张、出汗、战栗等熟知的反应和其他一切生理、心理、社会、技术、文化和行为等方面的人体热反应,统称为适应性反应。究其原因,避免狭窄定义引起质疑和拒绝是其一,并不深究框架内的机制和原理而仅关注结果是其二。由此造成的问题是,庞大而笼统的框架无从得到验证,研究结果与概念框架之间也时常出现矛盾。

Brager 和 de Dear 的概念框架较 Humphreys 和 Nicol 清晰、有条理,沿三条主线(行为、生理和心理)将适应分为三种反馈模式,每种模式包含的机制和过程又分别通过文献综述加以明确。与 Humphreys 和 Nicol 不同,Brager 和 de Dear 并未坚持原有框架的固定不变,而是积极通过与研究结果之间的反馈不断加以修正(如生理习服的忽略)。但相比之下,Brager 和 de Dear 的框架仍显宽泛,还有许多机制(如热经历和期望等)未能由文献或研究直接验证确认。

Fanger 和 Toftum 的框架建立在 Humphreys 和 Nicol 及 Brager 和 de Dear 框架的基础上。他们仅通过生活经验和简单推理筛选出重要适应因素,从而搭建出十分简洁的框架:气候与建筑—期望因子—热感觉。与 Humphreys 和 Nicol 及 Brager 和 de Dear 框架相比,其框架形式简单,容易加以验证。Fanger 和 Toftum 也力图通过验证弥补其框架的随意性,但目前的验证结果还无法得出定论。

清华大学的框架同样简洁明了:气流动态特征—传热与心理适应—热感觉,但其提出并非基于经验判断,而是长期研究成果的积累。同时,他们还在继续研究以进一步明确框架中的内部机制。

2.2 黑箱、灰箱和白箱

从热适应的表述状态和内在机理的角度,可将研究思路分为黑箱、灰箱和白箱三种。

Humphreys 和 Nicol 视适应过程和内在机理为黑箱,仅关注结果,即输入输出的关系,而对箱内的适应过程作笼统定性的判断和解释。与此不同,Brager 和 de Dear 借用环境心理学的研究成果,对箱内的适应过程作出反馈假设和系统分类,并从现场和气候室研究中寻求证据加以确认。但从研究结果看,Brager 和 de Dear 又与 Humphreys 和 Nicol 相同,仅给出输入输出的简单关系,而未能将箱内机理与输入输出之间建立联系,由此,可视之为灰箱。

Fanger 和 Toftum 的基本出发点与 Brager 和 de Dear 相似,视期望为关键适应要素,但他们对适应机理的把握则更进一步。虽然期望因子模型形式简单,略显粗糙,但此模型确实在适应机理与输入输出间建立了有机联系,由气候和建筑形成的适应性影响通过期望因子的改变而作用于热感觉。与此类似,清华大学以气流动态特征为关键参数,尝试从“物理—生理—心理”途径刻画内部机制,从而在输入输出之间建立完整通路。以上两种思路可视为白箱。

从现有热适应研究文献和现行标准看,黑箱与灰箱研究思路的认可程度较高,建立室内中性温度与室外温度的关系已成主流,而白箱思路的研究较少。但随着研究的推进和认识的深入,黑箱与灰箱思路存在的问题也越发明显。输入输出是黑箱与灰箱思路的关注重点,它们的合理确定是研究思路得以确立和避开内在机制研究的前提;而另一方面,如要论证输入输出选择的合理性,证明输入输出存在着必然的联系,又需要借助内在机制和原理的论证支持。这种对内在机制“欲罢不能,欲说还差”的矛盾状态,始终伴随着黑箱与灰箱研究思路的发展和实践,并由此引发了诸多问题。

2.3 研究对象(输出)

作业温度借助以往热舒适标准已在工程实践中广为人知,选择中性作业温度作为热适应的研究对象更多是从实际应用而非适应原理或假设考虑的结果。虽然 Humphreys^[20] 和 Brager 等人^[21] 曾采用相关分析结果比较简单指标(如空气温度、作业温度、黑球温度和新有效温度)和综合指标(如 PMV 和标准有效温度),发现前者与热感觉的相关性强于后者,但作业温度仍面临如下问题。

空气流动和湿度的影响如何考虑? 加大风速和降低湿度可缓解高温下的热感觉,这是从日常经验和稳态热舒适理论可推知的简单常识。但由于

选用作业温度作为研究对象,风速和湿度的所有影响都只能杂糅在结果中而无法显性体现。湿热地区与干热地区的结果会相差很大(见图 7),普遍使用风扇的人群会有更高的中性作业温度。

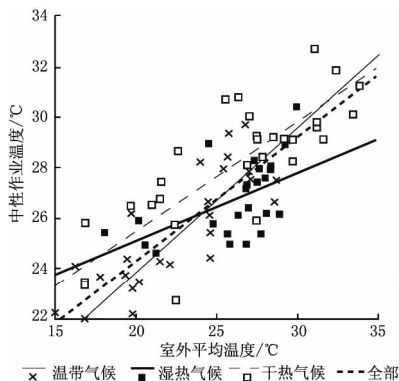


图 7 不同气候区热适应现场调研结果^[4]

由此可知,将在较大范围内变动的湿度和风速下的数据汇总,回归得到的作业温度结果将无法直接指导实际应用。Humphreys 等人认识到此问题,提出用风速补偿温度公式和新有效温度 ET^* (考虑湿度影响)修正中性温度来解决^[20]。

综合指标具有考虑因素全面、理论基础坚实的优点,采用综合指标作为目标势必会简化研究问题,突出未知适应性因素的影响。反之,采用简单指标会将问题复杂化,已知和未知因素的影响混杂在一起而无法分离。当然,综合指标面临着部分参数(新陈代谢率和服装热阻)测量不准的问题,这可能是它与热感觉的相关性弱于简单指标的主要原因。但此问题对于简单指标同样存在,就如空气流动和湿度的影响无法绕开一样,只能力求找到更为准确的测量方法来考虑。

从实际应用角度看,可接受温度范围较中性温度的意义更大、更具有指导价值。但目前其确定方法仍沿用稳态热舒适的研究结论,即视热感觉中间三个类别的投票为可接受的。无论从热适应概念框架还是研究结果看,都无法确认适应过程对此结论的影响,它在实际建筑中是否依然成立尚待进一步研究的确认。另外,以环境温度为对象会使标准在实践中与适应原理产生脱离(详见 2.9 节),热适应研究对象的确定应从实践和原理两方面综合考虑。

2.4 中性温度的计算方法

Humphreys 和 Nicol 与 Brager 和 de Dear 采用不同的方法计算中性温度,Humphreys 和 Nicol

对其方法的论证概述如下^[6]。

在自由运行建筑中,人们不断通过调整衣着和改变态度等适应于多变的室内环境,由此形成连续变化的中性温度。以往通过回归或 Probit 分析计算中性温度的方法都需要较大温度范围内的一定量数据。如果在调研期间,人们的适应水平发生了变化,计算的结果将是调研期间几天或几星期的平均值。而实际上,我们需要知道的是一群人在特定一天中的中性温度。应用 Griffiths 常数可对此进行合理计算。Griffiths 常数表征无适应发生时热感觉与温度的关系,据此可从任意温度的热感觉投票推知相应的中性温度,其中的假设是仅室内温度发生变化而人的适应水平不变。

显然,以上论证借用了诸多适应假设,如适应水平和中性温度随时间的连续变化等。这些假设与 Humphreys 和 Nicol 搭建的适应性概念框架一脉相承,对应其人与环境处于动态平衡和时间是热适应要素的观点。与研究对象的选择完全脱离适应机制的情况不同,中性温度计算方法的论证展现了另一种可能,即完全由假想的适应过程和机理出发确定具体的研究方法。当然,以上论证所依托的假设绝非不言自明,仍有待后续的验证。

2.5 环境要素(输入)

无论是 Humphreys 和 Nicol 还是 Brager 和 de Dear,在其构建的适应性概念框架中,气候和建筑仅是两个可能的环境要素。这些主导性要素的确立源于 Humphreys^[5]发现的气候、建筑与中性温度的密切关系(见图 3),并由 Brager 和 de Dear 进一步加以确认^[11](见图 5)。Humphreys 和 Nicol 指出,用气候与建筑两个环境要素估计室内中性温度能够达到满意的精度,且比 PMV 模型的估计更为精确^[3]。显然,气候和建筑作为主导要素具有一定偶然性和随意性,从估计精度加以论证更多体现的是实际考虑,而在适应原理或机制上的合理性探讨还一直缺失。

另一方面,气候表征指标的选择和论证在以试错法和统计分析的方式进行,如 Humphreys 等人对滑动平均温度系数的确定和对室外温度极值影响的分析^[20]。这种方式通过简单假设和推理初步确定若干可能指标,继而逐一加以检验,最终以与室内中性温度相关系数的高低为判据确定合理指标。显然,此方法受初期假设制约,同样具有很

的随意性。虽然统计分析提供了可量化对比的结果,但对比的依据欠缺论证和说明,对比的结果可能会因为对原始数据十分敏感而变得不稳定,无法确保最终选择的合理性。同样,无论是由机理解释结果还是由结果推知机理,气候表征指标的选择与适应机理间的联系仍十分微弱。

2.6 充分适应还是不充分适应

早期对适应模型的一个质疑是它是否意味着任何室内温度都可接受^[3]? Humphreys 和 Nicol 对此的答复是不同的环境约束和适应机会将形成不同水平(或程度)的适应。以图 8 为例,欧洲调研得到的中性温度与室内平均温度接近,为充分适应;而巴基斯坦的研究结果则出现明显偏离,为不充分适应。传统服饰限制、经济发展落后和环境调控手段单一等环境约束和适应机会缺乏是其可能原因。

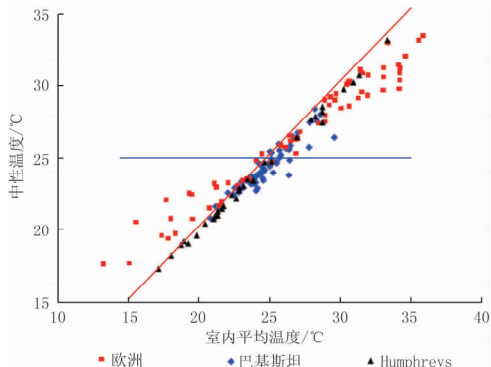


图 8 中性温度与室内平均温度的关系^[4]

理想地,中性温度与室内平均温度相等(如图 8 中的倾斜线)代表了最为充分发展的适应,与之对应,中性温度不随室内温度变化(如图 8 中的水平线)则代表了适应完全被束缚的情况。Humphreys 和 Nicol 曾就以上两种极端情况给出实例,前者如居住于精心设计的住宅中的富裕家庭,后者如一动不动的站岗士兵^[3]。现实世界中,人在实际建筑中的表现多在两种极端情况间徘徊,受或多或少的约束或机会影响,呈现出丰富多变的适应水平。适应水平对理解适应过程和指导适应性建筑设计具有重要的价值和意义。

与上述现象形成鲜明反差的是,黑箱与灰箱思路提供的建立室内中性温度与室外温度的方法(如图 3~6)恰恰遗失了适应水平的重要信息。同类型建筑在相同室外温度下的室内中性温度完全相同,前面提及的各种文化、经济和建筑技术上的环境约束影响消失殆尽。由此而言,确立气候和建筑两要素主导性作用的依据(图 3 和图 5)恰恰成为其无法

表征不同适应水平的有力证据。无论是室外气候指标和建筑分类,还是除气候和建筑以外的其他要素,都亟待今后继续研究探索。对此 Humphreys 和 Nicol 在确立气候和建筑两要素之初便有所认识^[3],但后期跟进的探讨和研究却十分欠缺。

2.7 适应模型的适用性问题一

明确内涵和外延是探讨适用性问题的基础。关于适应模型适用性的一个问题是,适应模型是否适用于涉及到的地区和建筑?

Humphreys 和 Nicol 与 Brager 和 de Dear 采用整合与回归分析的方法建立适应模型,并以大范围调研和大规模样本为依据,强调模型具有较大的适用范围和较强的适用性。在不确定单项研究结果间趋势与规律的相似性,以及建筑环境约束条件和适应机会的可比性时,将若干单项研究结果汇总作整合分析,可能将形成于不同环境的适应信息进行了平均,结果也仅能代表并适用于某种“假想平均”的情况^[1]。同时,以既有建筑的“平均表现”指导新建筑的设计,如何能期待更为优秀的适应性建筑出现?它们一旦出现,是否能被现有模型正确地理解和评价?

另外,以调研范围和样本量为依据说明适用性也欠缺说服力。相对于既有建筑存量,已调研建筑的数量仍很少,很难在统计学上证明其取样的代表性,也无法保证结果对所涵盖地区和建筑的适用性。事实上,在近期开展的现场研究中已发现偏离适应模型的现象^[22]。

Brager 和 de Dear 在将自然通风建筑的适应模型引入美国标准时,遇到两种不同的声音^[9]:一方支持成果应用范围外延,可用于指导如混合通风建筑和工位空调系统等提供个人控制的情况,另一方则坚持要求将模型严格限定于所调研的范围。由此争论引出的问题是:仅对适应机理(如个人控制、热经历和期望等)作出定性判断和说明而无量化验证,是否可构成适应模型应用外延的可靠基础?

2.8 适应模型的适用性问题二

由已知预测未知,由现在预测和指导将来,是适应模型的重要作用之一。与此相关的一个疑问是,适应模型是否适用于未来建筑?

Fanger 曾就此提出这样的质疑:“尽管适应模型能够很好地预测 20 世纪非空调建筑的热感觉,但其问题是,它是否适用于未来新形式的建筑,那里的使用者有着不同的服装和生活方式?”^[13]的

确,世界处于不断的发展和变化中,在服装样式、行为方式、生活习惯、文化特征与经济水平都可能出现变化的情况下,如何保证当前得到的规律不随时间发生改变?

Humphreys 和 Nicol 在长达 40 年时间跨度上的对比工作可视为对这一问题的直接解答。他们将 1978 年和 1998 年两次大规模收集的数据用相同的方法进行分析,得到的自由运行建筑的结果惊人地相似。据此他们认定,对于自由运行建筑,室内中性温度与室外温度的统计关系十分稳定,可以很有把握地建立并使用此关系作为适应性舒适标准。他们进一步推测说,这种稳定性可能源于气候对室内温度和服装变化的主导性作用^[23]。

虽然没有相似的研究提供相反的证据,但仍可通过分析质疑以上推测。显然,引起服装趋势变化的因素很多,如宗教信仰、流行时尚、新材料新工艺等,气候仅是其中之一。从另外的角度看,处于相似气候条件下的不同国家和地区,居民的服装习惯却可能千差万别。气候对服装变化有主导作用的推断过于牵强。同样,室内温度的影响因素除室外气候外,还包括建筑的设计风格、被动设计手法及其所提供的环境调节手段等,这些因素的变化在现实世界中十分丰富,不能简单地以自由运行与加热或制冷、自然通风与空调的形式加以区分。综合以上分析和 2.6、2.7 节可推知,Humphreys 和 Nicol 得到的惊人的相似可能是“假想平均”结果的近似稳定,而气候之外因素变化产生的影响则更多体现在被模型忽略的各种适应水平信息中。

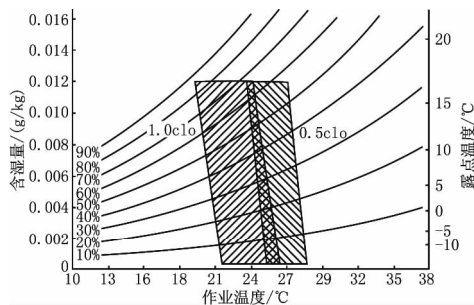
2.9 标准的探讨

Fanger 曾对适应模型提出质疑,认为它违反了人体工效学的实践原则,迫使人适应环境而非环境适应人。Humphreys 和 Nicol 对此的回答是,这是对适应方法的误解,好的适应性设计将提供充足的适应机会,并让环境由使用者控制而非由外部标准限定^[3]。

原有基于稳态(热平衡)模型的标准以环境温度为主要控制目标,提供可接受温度范围以指导建筑及其环境控制设备的设计运行,是环境适应人的典型思路。

与之不同,适应性研究强调人与环境的交互,既不是环境单方面适应人,也不是人单方面适应环境,而是由环境与人双方面协调,在充分调动人体适应

机能与反应的同时,通过建筑与环境的合理设计营造舒适环境。由此而言,如标准仍以环境温度为目标将无法充分体现适应性。虽然现行适应性舒适标准将原有的冬夏固定温度(见图 9)扩展成随室外温度变化的全年可变温度(见图 4 和图 6),可接受范围也有所扩展,但目标限定在温度上还是更多地强调了环境的单方面作用,能在多大程度上增加人与环境的交互还存有很大疑问。同时,标准还面临着以人充分适应环境为前提单方面放宽了环境的要求,而对适应水平未加指导和确认的潜在风险。



注:数据基于 ISO 7730 和 ASHRAE 55 标准;含湿量上限推荐值为 0.012 g/kg,下限无要求。

图 9 基于 PMV 模型的热环境要求^[12]

实际上,现行欧美标准中的适应模型大都是在未受原有热环境标准约束、保持某种“自然状态”运行的实际建筑的调研结果,与以往标准的脱离或对立创造出的丰富适应机会恰恰是确立适应模型的必要条件。将人视为精确运转的机器,强调在认识基础上的合理预测与严格控制,这是科学实证主义的主要思路,也是现行标准的主要特征。彻底改变标准机械式控制的指导思想,超越环境适应人的思路,寻找环境温度以外的着眼点,是未来适应性标准需要探索和实践的重要方向。从室内环境转移到建筑自身,强调建筑适应气候的被动式设计^[24],提供由使用者控制的工位空调,不再限定送风参数转而界定可控范围和方式^[3],是这一方向上的初步尝试。

另一方面,反观以往以稳态(热平衡)模型为基础的标准的实践效果,从适应性观点看,稳态模型能够考虑调整服装和改变风速等适应行为的影响。与之形成鲜明对照的是,以往标准实践产生的更多是恒温恒湿低风速的空调环境,而未能充分发挥以上适应行为的积极作用(日本是特例,在调整制服方面会主动作出尝试^[25])。在将研究成果向标准转化的过程中,如何在基本原理和实际可行性间取得平衡,如何确保关键要素和重要信息在工程应用中的有效

利用,是标准能否取得预期实践效果的重要内容。

2.10 方法论的探讨

近 40 年的热适应研究引入了行为、文化和社会学等丰富因素,专注于充满现实背景的实地调研,强调大规模的数据收集和统计分析的应用,这些都使得始于 20 世纪初期的热舒适研究焕然一新,呈现出崭新的目标、思路和方法。其中最重要的变化当属热适应研究在方法论上与以往稳态模型研究有了根本区别。

稳态模型研究采用心理物理学的基本观点,以“物理—生理—心理”为基本逻辑,认为给定的物理环境对应一定的生理状态,进而出现某种稳定的心理反应。研究将人视为受客观规律约束的“机器”,认为通过严格控制的实验室实验和物理刺激、生理和心理反应的准确测量,能够获得热感觉与物理环境、生理状态(生理热调节负荷)的确定对应关系。

热适应研究不再以心理物理学观点看待热舒适问题,而是更多借鉴环境心理学方法,采用格式塔心理学等有关知觉和行为的心理学说。研究认为人不再是“刺激—反应”的简单机器,而是与环境存在多种交互作用的主动者,人对物理刺激的感知受各种背景(如个人经历、文化特征、社会背景等)影响,这些影响只有通过实际建筑的现场研究才能获知。

以上两种研究在方法论上的区别,在一定程度上体现了心理学发展多学说共存的特征。自然科学和哲学的发展是现代心理学的重要推动力,心理物理学更多受到自然科学的影响,格式塔心理学则以理性主义为其哲学基础^[26]。正由于此,造成了以工程思维为主的热环境标准在对待稳态和适应模型态度上的显著差别。在气候室小样本实验中得到的稳态模型,仅经少量验证便被标准采纳,并将其适用范围扩展至全人类;而在实际建筑大样本调研中得到的适应模型,却被标准严格限定在所涉及的范围内。这一方面体现了自然科学及实证主义在现代文明中的主导优势地位,“只有建立在生理学乃至化学基础上的心理学才具有科学的正当性”^[27];另一方面也说明,建筑热环境领域缺少现代心理学观念,尤其是反对心理学“科学化”思潮的介入。

从另一个角度看,热适应研究所揭示的稳态模型存在的问题,也正是现代心理学观念与方法得以发挥作用、弥补自然科学和技术思维不足的地方。忽略人的行为主动性,视人为重复反应的机器或设

定固定不变的边界条件,往往会造成现代科技在实验与实践间的巨大反差。以建筑节能为例,一直被忽略的居民生活模式和文化理念,被证明是造成中外建筑能耗不同的主要原因^[28],而能源用户的“反弹”或“反馈”作用可能造成能源利用效率提高后社会总用能的的不降反升^[29]。

充分借鉴现代心理学说,寻找更为真实、富含各种背景信息的反应特征和规律,是未来热舒适研究更为可取的发展方向。人本主义心理学为我们提供了这样一种可能。“人本主义心理学家主张实证主义的方法应该与现象学及存在分析的方法结合起来,即将西方心理学中的两种传统研究范式——客观的实验范式和主观的经验范式加以整合。他们提出用更开阔的、更综合的、多学科的方法来研究人的整体及其独特性问题。他们认为,研究人类本性应该以现象学知识为开端,然后再采取客观的实验方法进行研究”^[26]。

热适应研究中的白箱思路可视为以上方法的一种尝试,它们一方面承认背景因素对行为和心理反应的影响,另一方面基于“物理—生理—心理”的逻辑搭建体系,将实验与调研相结合加以研究确认。除此之外,还有许多研究在认可已有适应假设和原理的基础上,努力尝试各种方法揭示适应的内在机制。比如 Humphreys 和 Nicol 等人描述了不同室内外温度下各种适应行为出现频率的变化特征^[30-33], Haldi 和 Robinson 建立了适应行为和热感知的反馈关联^[34-35], Nicol 和 Brager 等人尝试用不同的方法量化个人感知控制水平^[21,36], Chun 等人探索了热经历的测量与量化表征指标^[37],张宇峰等人将现场与气候室研究相结合寻找生理和心理适应的直接证据等^[38-40]。

3 结论与展望

热适应研究发展至今活跃着若干研究思路,它们在基本假设和关注要点上各具特色,是研究领域富有生命力的重要标志。

黑箱与灰箱研究思路成为当今主流,预示着热适应研究的开始而非结束。笔者借助前期不同研究思路间“碰撞的火光”,从多方面探讨黑箱与灰箱思路带来的问题和面临的困境,并尝试从适应原理和内在机制关系的角度寻其根源。

既想绕过机理研究仅关注结果,又要依赖原理和机制论证结果的合理性和可靠性,这种与原理和机制“若即若离”的矛盾体现在诸多问题上。远离适

应原理的探讨而关注于实际应用的便利,是选择中性作业温度作为研究对象的主要考虑,而这反过来又造成了结果的应用与原理的脱离;假想的适应过程被用于确定中性温度的计算方法中,但却未加验证;通过统计分析确定的环境要素与适应性概念框架无法对应,在适应水平信息的表征上与适应原理矛盾突出。在处理原理与机制的关系上所表现出的混乱与矛盾,是黑箱和灰箱思路问题的根源,也在很大程度上限制了现有适应模型的适用性。

突出人与环境交互、兼顾环境设备的控制与人的主动调节,是适应性标准与以往标准的最大不同。改变环境温度的单一目标,从环境约束和适应机会等角度重构标准的表述形式,是确保适应原理的有效实践和改变建筑设计师和设备工程师既定工程技术思维的重要途径。

近百年的热舒适研究前后呈现两个阶段,体现两种截然不同的方法论基础。稳态模型研究源自自然科学和经验主义,热适应研究贴近理性主义。充分借鉴现代心理学(如人本主义心理学)的观念和方法,是未来热舒适研究更为可取的发展方向。热适应研究领域中的白箱研究思路是这一方向上的初步尝试。

与现代心理学的发展相比,热适应研究还在蹒跚学步,其哲学思辨与体系建设亟待改进;而与当今科技和经济的发展相比,热适应研究步伐偏慢,紧迫性越发明显。恒温恒湿空调技术在发达国家的广泛普及,已在一定程度上造成人适应环境能力的退化,这反过来又促成人对环境控制的更高要求,环境控制系统和建筑设施日益增长的复杂性正源于使用者日益严格的期望的不断满足^[41]。在我国,伴随近年来的经济快速发展,城镇和农村居民向发达国家生活方式的转变加快,呈现出多种建筑形式多种适应状况并存的局面。能否抓紧时机探明热适应的变化规律和原理,通过标准与技术、实践与教育等手段有效引导可持续发展的建筑设计和生活方式,已成为我国目前建筑技术发展的当务之急。

参考文献:

- [1] 张宇峰,赵荣义. 建筑环境人体热适应研究综述与讨论[J]. 暖通空调,2010,40(9):38-48
- [2] Humphreys M A. Field studies of thermal comfort compared and applied[J]. J Inst Heat & Vent Eng, 1976,44(1):5-27
- [3] Humphreys M A, Nicol J F. Understanding the adaptive approach to thermal comfort [G] //

- ASHRAE Trans, 1998, 104(1): 991-1004
- [4] Nicol J F. Adaptive thermal comfort standards in the hot-humid tropics[J]. *Energy and Buildings*, 2004, 36(7): 628-637
 - [5] Humphreys M A. Outdoor temperatures and comfort indoors[J]. *Building Research and Practice*, 1978, 6(2): 92-105
 - [6] Nicol J F, Humphreys M A. Derivation of the adaptive equations for thermal comfort in free-running buildings in European standard EN15251[J]. *Building and Environment*, 2010, 45(1): 11-17
 - [7] CEN. CEN Standard EN15251 Indoor environmental parameters for design and assessment of energy performance of buildings—Addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics [S]. Brussels: CEN, 2007
 - [8] Brager G S, de Dear R J. Thermal adaptation in the built environment: A literature review[J]. *Energy and Buildings*, 1998, 27(1): 83-96
 - [9] de Dear R J, Brager G S. Thermal comfort in naturally ventilated buildings: Revisions to ASHRAE Standard 55 [J]. *Energy and Buildings*, 2002, 34(6): 549-561
 - [10] de Dear R J. A global database of thermal comfort field experiments[G]// *ASHRAE Trans*, 1998, 104(1): 1141-1152
 - [11] de Dear R J, Brager G S. Developing an adaptive model of thermal comfort and preference [G]// *ASHRAE Trans*, 1998, 104(1): 145-167
 - [12] ASHRAE. ASHRAE Standard 55-2004 Thermal environmental conditions for human occupancy[S]. Atlanta: ASHRAE, 2004
 - [13] Fanger P O, Toftum J. Thermal comfort in the future—Excellence and expectation[C]// *Conference Proceedings on Moving Thermal Comfort Standards into 21st Century*. Windsor, UK, 2001
 - [14] Ji X, Dai Z. Analysis and prediction of thermal comfort in non-air-conditioned buildings in Shanghai [C]// *Proceedings of the 10th International Conference on Indoor Air Quality and Climate*. Beijing, China, 2005
 - [15] Wong N H, Khoo S S. Thermal comfort in classrooms in the tropics[J]. *Energy and Buildings*, 2003, 35(4): 337-351
 - [16] Zhang G, Zheng C, Yang W, et al. Thermal comfort investigation of naturally ventilated classrooms in a subtropical region[J]. *Indoor and Built Environment*, 2007, 16(2): 148-158
 - [17] Zhang Y, Zhao R. Thermal comfort in naturally ventilated buildings in hot-humid area of China[J]. *Building and Environment*, 2010, 45(11): 2562-2570
 - [18] 欧阳沁. 建筑环境中气流动态特征与影响因素研究[D]. 北京: 清华大学, 2005
 - [19] 欧阳沁, 戴威, 周翔, 等. 自然通风环境下的热舒适分析[J]. *暖通空调*, 2005, 35(8): 16-19
 - [20] Humphreys M A, Rijal H B, Nicol J F. Examining and developing the adaptive relation between climate and thermal comfort indoors[C]// *Proceedings of Conference: Adapting to Change: New Thinking on Comfort*. Cumberland Lodge, Windsor, UK, 2010
 - [21] Brager G S, Paliaga G, de Dear R J. Operable windows, personal control, and occupant comfort[G]// *ASHRAE Trans*, 2004, 110(2): 17-35
 - [22] Farghal A, Wagner A. Studying the adaptive comfort model a case study in a hot dry climate, Cairo, Egypt [C]// *Proceedings of Conference: Adapting to Change: New Thinking on Comfort*. Cumberland Lodge, Windsor, UK, 2010
 - [23] Humphreys M A, Nicol J F. Outdoor temperature and indoor thermal comfort: raising the precision of the relationship for the 1998 ASHRAE database of field studies[G]// *ASHRAE Trans*, 2000, 106(2): 485-492
 - [24] Nicol J F, Humphreys M A. Adaptive thermal comfort and sustainable thermal standards for buildings[C]// *Conference Proceedings on Moving Thermal Comfort Standards into 21st Century*. Windsor, UK, 2001
 - [25] 何德功. 日本全民节能[J]. *瞭望*, 2007(30): 56
 - [26] 杨鑫辉. 新编心理学史[M]. 广州: 暨南大学出版社, 2003
 - [27] 华勒斯坦, 儒玛, 凯勒, 等. 开放社会科学[M]. 刘锋, 译. 北京: 生活·读书·新知三联书店, 1997
 - [28] 江亿. 建筑节能与生活模式[J]. *建筑学报*, 2007(12): 11-15
 - [29] Herring H. Energy efficiency—A critical view[J]. *Energy*, 2006, 31(1): 10-20
 - [30] Raja I A, Nicol J F, McCartney K J, et al. Thermal comfort: Use of controls in naturally ventilated buildings [J]. *Energy and Buildings*, 2001, 33(3): 235-244
 - [31] Nicol J F, Humphreys M A. A stochastic approach to thermal comfort—Occupant behavior and energy use in buildings[G]// *ASHRAE Trans*, 2004, 110(2): 554-568
 - [32] Tuohy P G, Rijal H B, Humphreys M A, et al. Occupant behavior in naturally ventilated and hybrid buildings[G]// *ASHRAE Trans*, 2009, 115(1): 16-27
 - [33] Rijal H B, Humphreys M A, Nicol J F. Understanding occupant behaviour: The use of controls in mixed-mode office buildings[J]. *Building Research and Information*, 2009, 37(4): 381-396
 - [34] Haldi F, Robinson D. On the unification of thermal perception and adaptive actions [J]. *Building and Environment*, 2010, 45(11): 2440-2457
 - [35] Haldi F, Robinson D. Interactions with window openings by office occupants [J]. *Building and Environment*, 2009, 44(12): 2378-2395
 - [36] Nicol J F, Kessler M R. Perception of comfort in relation to weather and indoor adaptive opportunities [G]// *ASHRAE Trans*, 1998, 104(1): 1005-1017
 - [37] Chun C, Kwok A, Mitamura T, et al. Thermal diary: Connecting temperature history to indoor comfort[J]. *Building and Environment*, 2008, 43(5): 877-885
 - [38] Zhang Y, Wang J, Chen H, et al. Thermal adaptation in built environment—A literature review, discussion and primary exploration[C]// *Proceedings of Conference: Adapting to Change: New Thinking on Comfort*. Cumberland Lodge, Windsor, UK, 2010
 - [39] 陈慧梅, 张宇峰, 王进勇, 等. 我国湿热地区人群基础热舒适反应研究(1): 实验方法与结果[J]. *暖通空调*, 2010, 40(3): 83-88
 - [40] 张宇峰, 陈慧梅, 王进勇, 等. 我国湿热地区人群基础热舒适反应研究(2): 研究结果的对比分析[J]. *暖通空调*, 2010, 40(4): 26-30
 - [41] de Dear R J, Auliciems A. Air conditioning in Australia II—User attitudes [J]. *Architectural Science Review*, 1988, 31(1): 19-27