

Evaluation of Indoor Thermal Environment of Chinese Green Buildings Based on Questionnaire Survey and Subjective Satisfaction

Xiao Zhurong^{1*} Li Baoyu² Zhou Dongdong³

1. A Unit of the People's Liberation Army of China, Beijing;
2. Unit 96901 of the People's Liberation Army of China, Beijing;
3. Unit 63677 of the People's Liberation Army of China, Luoyang

Abstract: Due to the energy crisis and global warming, green buildings are booming in China, and people are paying more and more attention to the actual operating effects of green buildings, not just design. This article takes hot summer areas and warm winter areas as research objects to evaluate its indoor thermal comfort. First, the indoor objective thermal environment data of green buildings is continuously collected to obtain the actual thermal environment distribution, and new indicators are proposed to evaluate the indoor thermal environment of green buildings, namely satisfaction factor. It was found that the indoor temperature and humidity of most buildings were substandard. The new evaluation index clearly shows in mathematical form the percentage of indoor temperature and humidity of each green building away from the comfort zone under different standards for easy comparison. Secondly, people's subjective satisfaction survey on indoor thermal comfort of green buildings was also conducted, and 1,000 valid survey forms were recovered. Based

on the different evaluation results of subjective and objective thermal comfort, the comfortable temperature / humidity and thermal / humid comfort zones of different building climate zones were obtained through analysis. The results show that there are differences between the hot and humid comfort zones in different building climate zones, which is helpful to study the thermal comfort of green buildings in China and to formulate relevant codes.

Key words: Green Building; Thermal comfort; Subjective satisfaction; Regression analysis; Relevant codes

Received: 2020-02-25 ; Accepted: 2020-03-10 ; Published: 2020-03-12

基于问卷调查和主观满意度的中国绿色建筑室内热环境评价

肖祝融^{1*} 李宝瑜² 周冬冬³

1. 中国人民解放军某部, 北京;
2. 中国人民解放军 96901 部队, 北京;
3. 中国人民解放军 63677 部队, 洛阳

邮箱: 18901088121@126.com

摘要: 由于能源危机和全球气候变暖的现象, 绿色建筑在中国正在蓬勃发展, 人们越来越关注绿色建筑的实际运行效果, 而不仅仅是设计。本文以炎热的夏季地区和温暖的冬季地区为研究对象, 以评估其室内热舒适性。首先, 对绿色建筑的室内客观热环境数据进行连续收集, 以获得实际的热环境分布, 并提出

了新的指标来评估绿色建筑的室内热环境，即满意因子。结果发现，大多数建筑物的室内温度和湿度均未达到标准。新的评估指标以数学形式清楚地显示了不同标准下每个绿色建筑远离舒适区的室内温度和湿度的百分比，便于比较。其次，同时进行了人们对绿色建筑室内热舒适性的主观满意度调查表，回收了1000份有效调查表。基于主观和客观热舒适度的不同评估结果，通过分析获得了不同建筑气候区的舒适温度/湿度和热/湿舒适区。结果表明，不同建筑气候带的热湿舒适区之间存在差异，这有助于研究我国绿色建筑的热舒适性，并制定相关规范。

关键词：绿色建筑；热舒适性；主观满意度；回归分析；相关规范

收稿日期：2020-02-25；录用日期：2020-03-10；发表日期：2020-03-12

Copyright © 2019 by author(s) and SciScan Publishing Limited

This article is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>



1 研究背景

自1970年代以来，能源危机和全球变暖对所有发达国家和发展中国家构成了重大问题。作为重要的能源消耗产业，建筑业消耗了全球总能源的25%~40%，其中，公共建筑的能源消耗占城市建筑总能源消耗的21% [1]。决策者已经认识到建筑物在实现可持续发展和控制气候变化方面的重要性，并且世界各地正在采取各种举措来解决这一危机，例如开发建筑物、节能建筑和使用绿色基础设施。在这些节能措施中，全球范围内大力发展了绿色建筑。

绿色建筑被定义为可以节省资源、保护环境、减少污染、为人们提供健康、

适用和有效地使用空间，并在最大程度上实现人与自然和谐共处的高性能建筑 [2]。随着中国绿色建筑的稳步发展，整个社会对绿色建筑的概念、认识和需求都在逐步提高。人们越来越关注绿色建筑的实际运行效果，并关注运行阶段的绿色建筑是否真正达到了预期目标 [3]。这里的预期目标包括节能效果和热舒适性，而对于建筑用户而言，室内的热舒适性更为重要。

如今，由于主观调查的不确定性，除了主观满意度调查外，更多的研究是测量室内温度和湿度，以确定绿色建筑的室内温度和湿度是否符合标准 [4]。大多数研究都发现建筑物的室内环境质量已经达到标准。值得注意的是，欧洲和中国的室内环境已经很好地满足了区域或国家标准的舒适性要求 [5]。尽管如此，此项研究仍有数据缺乏和地区、个体差异的问题。

基于以上内容，本研究主要通过问卷调查的方式了解居民的满意度。通过测量绿色建筑物的室内温度和湿度来确定它们是否符合标准。因此，本文充分利用客观测量和总体调查的数据，并对绿色建筑的室内热湿环境做出更准确的判断。本文对中国两个气候区的 12 座绿色建筑进行了热舒适性研究，将客观测量数据的分析结果与主观满意度调查的结果进行了比较，并使用满意因子来解释比较调查结果。

2 调查方法

本节将介绍研究的准备工作和研究方法，包括建筑样本的选择、影响因素的确定、测量仪器的使用、室内温度和湿度评估指标的确定，调查问卷的确定。

案例选择的地区为中国，因为中国跨越纬度大，具有强烈的可比较性，而且室外气象条件的差异会导致室内热环境的显著差异。在华北地区有炎热的夏季和寒冷的冬季，四季分明，室内外温差较大，具有明显的可比性。严寒地区夏季对空调的需求较少，绿色建筑的促销较少。因此，在研究绿色建筑的室内热环境时，本文选择华北地区为冷区的代表。不考虑温带地区，因为它们的室外气象条件相对稳定，并且对空调和暖气的需求较少。另外，华中地区，冬季没有集中供热系统，它的气候特征与寒冷地区的差异比夏季炎热和冬季寒冷的地区更为明显。因此，华中地区也选取为研究地区。

为了研究上述问题, 本文选择了华北地区的7栋建筑物和华中地区的5栋建筑物, 以便在整个寒冷/炎热季节对室内目标热环境进行长期监测。所有选择的建筑物虽然具有不同的等级认证, 但为了做到研究样本的随机性, 本文不做区分。

热舒适度是在各种影响因素的综合作用下人体的主观感觉。国内外许多学者采用不同的方法, 如实验模拟和现场调查, 来研究人体热舒适度的敏感因素。目前, 公认的主要影响因素有六个, 包括四个环境因素, 即室内空气温度、室内空气相对湿度、平均辐射温度和气流速度。人类的两个因素是人体的新陈代谢率和衣服的隔热性。本文的研究对象是具有良好室内环境条件的绿色公共建筑, 需要采用的研究方法简单易行。因此, 没有特别考虑平均辐射温度和气流速度。另外, 体表温度是人们满意度调查中最常见的不满意因素之一, 定义为人体不希望的局部冷却, 因此本文也对体表温度进行了研究。

除上述因素外, 还普遍认为其他因素也会产生影响, 例如年龄、性别、气候和种族。很多学者从不同角度研究了这些因素对热环境的影响, 但结果略有不同, 这些因素可能与个体的行为和习惯会共同影响热舒适度和热感。由于本文的测试建筑物全部在中国, 因此只考虑了年龄, 性别和气候带。此外, 根据上述问题, 本论文试图从三者中判断三个因素对热舒适性和热感的影响。

连续测量的室内热环境参数包括室内空气温度和室内空气相对湿度。将获得的数据绘制在坐标图上, 并与温度和湿度的标准范围进行比较。所使用的数据采集仪器为HOBO温湿度自动计, 自动记录间隔为15分钟。热环境测试涵盖同一年的整个采暖季节和制冷季节。在每个建筑物的典型功能区域中选择测量点的位置, 例如开放式办公室区域, 私人区域、办公室、会议室等。由于大多数研究案例是办公楼, 因此大多数典型房间被选为开放式办公区域。在布局中, 测量点应距窗户1米以上, 以避免太阳辐射, 冷风穿透和其他因素的干扰。测量点的高度为1.1米, 这是安静地坐在办公室的正常高度。

目前, 广泛使用的热舒适性评价指标主要包括贝叶斯量表, ASHRAE热感觉量表, PMV和PMV-PPD。以上评价指标具有较强的主观性, 不同的人得出的评价结果也不同。因此, 本文需要更客观的评估指标。如果室内每个测量点的

温度和湿度在坐标图中绘制环境,很容易看到测量点是否在标准范围内。但是,很难确定测量点超出范围的距离与图中的标准范围有多远。因此,需要具体的数字来描述它。然后,通过考虑所有测量点的偏差值来评估室内环境的舒适度。

前文提到影响室内热舒适度的因素主要分为环境因素和人为因素。使用室内热环境参数的长期数据收集方法已经完成了环境因素,而问卷调查结合室内热环境参数测试可以完成人员主观问题和其他因素。室内热舒适性问卷调查有两种类型。第一类问卷调查是手动纸质问卷,它可以同时记录瞬时温度和湿度数据。第二类是电子问卷。调查期为2018年12月至2019年11月,共回收有效问卷1000张。这两种问卷的内容相同,由以下五个部分组成:

(1) 受试者的基本信息,例如性别、年龄、身体状况(主观)、工作类型、办公室状况等;

(2) 对受试者的主观热感和满意度评估,包括炎热和潮湿环境的主观感、体感温度、对整个办公环境的满意度等;

(3) 室内自然环境(包括自然采光)对受试对象的满意度,人工照明以及一些员工行为调查;

(4) 自然通风和遮阳的行为调整和满意度评;

(5) 对受试者在室内整体环境中的满意度评估综合考虑了生产力、热环境、声环境、光、通风环境的满意度。

在问卷的主要内容中,满意度和员工感觉的评价量表均显示七个等级。例如,当评估潮湿感和体感温度时,-3表示非常干燥/非常闷,+3表示非常潮湿/非常强。

收集问卷中每个指标的统计结果,以区分冬季和夏季与两个建筑气候区,获得每个满意度的平均值和中位数,并绘制箱形图和四分位数统计。使用SPSS软件进行上述统计计算。

3 调查结果

在本文中,主观的热舒适性满意度调查是在长时间打开空调的环境中进行的。无法判断男女对温度耐受性的主观感知是否会对热舒适性评估产生影响。

因此,在问卷调查中,对耐温性的主观感受进行了单独调查。由于测试的建筑物都是公共建筑物,主要是办公楼,因此室内人员趋于年轻。在调查地区,40岁以下的受试者分别占96%和82%。年龄分布相对集中,因此未考虑年龄与温度耐受性之间的关系。

将温度耐性类型、耐寒类型、耐热类型、温度不耐性类型(冷和热)分别设置为0、1、2和3点。计算了在相同室内热环境下,不同气候区域中不同性别的对象的温度耐受性的加权得分和AMV值。结果显示,寒冷地区的男性和女性在温度耐受性上几乎没有差异,并且在相同的热环境下其主观热感基本相同。

华中地区的男性更耐寒冷,女性更耐高温。在夏季,寒冷地区的妇女具有良好的耐寒性,并且当室内温度高于舒适温度(26摄氏度)时,主观热感高于舒适性。华中地区的女性具有更好的耐热性,并且当室内空气相对湿度较高(71.5%)时,热感比舒适感冷。这表明人员的温度承受能力与热感觉成反比。问卷中的室内热环境问题包括热感、湿度感和通风感。

总结了冬季和夏季不同气候带的热环境评估结果。夏季,华北地区的热感明显高于冬季的华中地区。华中地区的湿润感平均值高于华北地区,且评价结果更为集中。华北地区的平均体感温度较低,与华中地区的人相比,受试者感到更闷。冬季,华北地区的热感评价平均值较低,但分布较宽。与华北地区相比,华中地区的湿感评价平均值较大,分布范围较小;华中地区的体感温度平均值明显低于寒冷地区,分布范围更广。综上所述,在华北地区,冬季的热感和湿感有很大的个体差异。而在华中地区,冬季的热感和体感温度有很大的个体差异。在华中地区,人们在夏天会感到湿度较高,而冬天会感到气流速度过低,尽管其他感觉还是令人满意的。

通过客观测量,华中地区建筑物的大多数测量点都落在舒适区上方,并且夏季的室内环境倾向于具有高温和高湿度。但是,通过主观问卷对热环境进行评估的结果表明,对热感和湿感的评估大多在中等范围内。本文认为,造成这种情况的原因之一是人员的心理作用。

绿色建筑的使用者对绿色建筑有心理预期,这被称为“满意因素”,这意味着他们倾向于对绿色建筑给予更高的评价。“满意因子”的值表示建筑物用

户对绿色建筑物的热环境的耐受程度，值越高，人员的容忍度越大。同时，本文对满意度的评价设为-3到3。绝对值越小，满意度越高。因此，本文的满意因子值越接近1，人员的容忍度就越低。

根据问卷调查结果，计算出绿色建筑和常规建筑的满意因子。结果表明，尽管中国华北地区的普通建筑容忍度平均值为0.95，但华北地区的大多数绿色建筑的容忍度均远非1。因此，数值结果表明，绿色建筑的使用者具有更高的容忍度。

因此，建议在规定绿色建筑的室内舒适温度和湿度范围时，应分别调节不同气候区的建筑。本文将两个建筑气候区的操作舒适温度，相对湿度和舒适区与其他国内研究进行了比较。由于没有关于绿色建筑的研究，因此将其与常规建筑的相关参数进行比较。

与华北地区其他研究相比，华北地区夏季绿色建筑与常规建筑的舒适温度基本相同，但本文温度的舒适区较窄，这反映了对绿色建筑热舒适环境的更高要求。

华中地区的公共建筑和住宅建筑的夏季工作温度基本相同。这可能是由于在不同区域使用空调和设定温度习惯所致。武汉的受试者更习惯于在凉爽的房间里四处走动。当然，文献仅测试特定的建筑物或一定数量的房间，因此它们不具有代表性。

此外，与其他国家的研究相比，获得的舒适温度区也有所不同。在马来西亚进行的研究结果与本文中的华中地区的研究结果相近，这可能是因为气候相似且建筑用户全部为亚洲人。佐治亚州的舒适温度较低，但气候与中国的华中地区相似，这可能是由于不同种族的热感不同所致。

4 结论

为了探索研究绿色建筑室内热湿环境的新方法和评价指标，研究工作如下：本文测量了室内的温度和湿度，并进行了评估；然后，本文比较了问卷调查和主观满意度调查的结果，并使用了满意因子解释结果不一致的原因的因素；最后，结合实测数据和调查结果，通过计算得到不同气候区域的工作舒适温度/湿度和

热湿舒适区。

首先,结果表明,大多数建筑物的室内温度和湿度均未达到标准,偏差程度有所不同,但用户对室内环境普遍感到满意;其次,提出了描述绿色建筑舒适度的满意因子,以使绿色建筑使用者的客观指标更好地反映真实的主观感受;最后,设计标准可以利用本文获得的舒适的温度和湿度来减少客观测量与主观测量结果之间的差异。

将客观测量数据与主观满意度结果相结合以获得热/湿舒适区的方法也可以用于研究不同国家/地区其他建筑物的室内热舒适度。有助于提高室内温度和湿度范围的当地标准。

只有当标准更加准确并满足人们的舒适度要求时,设计的建筑物才能真正避免能源浪费并实现可持续发展。

参考文献

- [1] 白红艳. 绿色建筑设计理念与技术应用探讨 [J]. 居舍, 2019 (9): 99.
- [2] 陈军. 建筑设计中绿色建筑技术优化结合探讨 [J]. 城市建设理论研究, 2018 (20): 67. <https://doi.org/10.1007/s35152-018-0162-9>
- [3] 严一凯, 浅谈绿色建筑设计理念 [J]. 住宅科技, 2018, 38 (10): 47-51.
- [4] ChenX, XueP, LiuL, Outdoorthermalcomfortandadaptationinseverecoldarea: alongitudinalsurveyinHarbin, China [J]. BuildEnviron, 2018, 143: 548-560. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.07.041>
- [5] GengY, JiW, WangZ, et al. Areviewofoperatingperformanceingreenbuildings: energyuse, indoorenvironmentalqualityandoccupantsatisfaction [J]. EnergyBuild, 2019, 183: 500-514. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.11.017>