

文章编号: 1671-6612 (2020) 05-565-06

夏热冬冷地区学校建筑室内温度调查研究

郑敏¹ 李百毅² 赵华堂³ 廖佳琳²

(1.四川省建筑科学研究院有限公司 成都 610000;

2.西南交通大学建筑与设计学院 成都 610000;

3.四川省产品质量监督检验检测院 成都 610000)

【摘要】 学生 1/3 的时间在学校中度过, 室内热环境质量关乎学生的健康、幸福感以及成绩, 因此学校建筑的室内环境热舒适性尤为重要。世界各地气候差异较大, 且人体在自然条件下可以通过调节生理、心理以及行为来适应或改变热环境, 导致被调查者对热环境的敏感程度和主观热感觉存在差异, 为了更好地研究非稳态工况下人体的热反应, 针对夏热冬冷地区学校建筑, 主要从室内热环境的温度方面进行适宜室内环境指标文献调研。以 03 年至今夏热冬冷地区以及国外相似气候区关于学校建筑室内环境的文献和规范为分析资料, 以主观实地调研成果和客观的规范指标区间值结合分析, 总结出适应于夏热冬冷地区学校室内热环境各项指标舒适范围值, 夏季与冬季热舒适温度分别应集中在 24.4~29°C、15.8~24.6°C。为以后制定夏热冬冷地区学校建筑室内环境参数指标规范提供有利的理论依据, 进而改善学校建筑的室内热环境质量, 提高室内环境热舒适度。

【关键词】 夏热冬冷地区; 学校建筑; 室内热环境; 热舒适温度范围

中图分类号 TU111.19+1 文献标识码 A

Investigation on Indoor Temperature of School Building in Hot Summer and Cold Winter Area

Zheng Min¹ Li Baiyi² Zhao Huatang³ Liao Jialing²

(1.Sichuan Institute of Building Research, Chengdu, 610000; 2.Southwest jiaotong university, Chengdu, 610000;

3.Sichuan Institute of Product Quality Supervision and Inspection, Chengdu, 610000)

【Abstract】 Students spend 1/3 of their time in the school, the quality of indoor thermal environment of classroom is related to the health, happiness and performance of students. Therefore, the thermal comfort degree of indoor environment of the school building is particularly important. Climates around the world vary greatly, and the human body can adapt or change the thermal environment by adjusting physiology, psychology, and behavior under natural conditions, resulting in differences in the sensitivity and subjective thermal perception of the respondents to the thermal environment. In order to research the thermal response of the human body under non-steady-state conditions, taken the school buildings in hot summer and cold winter areas as research object, this paper conduct a literature survey mainly on the suitable temperature indicator of indoor thermal environment. The literature and norms of school building indoor environment in hot summer and cold winter areas and foreign similar climate regions from

作者简介: 郑敏 (1976-), 女, 博士, 高级工程师, E-mail: 894248768@qq.com

通讯作者: 赵华堂 (1962-), 男, 硕士, 高级工程师, E-mail: sczhaot@163.com

收稿日期: 2020-08-17

2003 to present is taken as analysis data, combined analysis of subjective field survey results and objective normative index interval values, the comfort range values of the various indicators of the indoor thermal environment of the regional school in hot summer and cold winter area can be concluded out: the thermal comfort temperature in summer and winter area should be concentrated at 24.4 ~29°C and 15.8 ~24.6°C respectively. This study will provide a favorable theoretical basis for the future formulation of school building indoor environmental parameter index specifications in hot summer and cold winter areas, thereby improving the indoor thermal environment quality of school buildings and improving the thermal comfort of the indoor environment.

【Keywords】 Hot summer and cold winter area; School building; Indoor thermal environment; Thermal comfort temperature range

0 前言

学生大部分时间在学校度过,室内环境质量(IEQ)直接影响着学生的身心健康、舒适感以及成绩^[1]。教室室内环境过冷或者过热,会加剧身体的热应激反应,导致学生生病或者表现不佳^[2]。经过 Anderson 和 Hoshiko 等人研究发现,过高的室内温度会影响学生的健康,增加如中暑、呼吸和心血管疾病所导致的住院和死亡风险^[3,4]。室内环境质量不仅影响学生的健康,还可能影响学生的学习能力以及学习成绩。Corgnat 等人分析了采暖期意大利教室的室内环境参数,表明热舒适性可能会影响学生的理解力、注意力和学习水平^[5]。Mendell 和 Heath 发现,温度高于 24°C 会降低学生的执行力,温度低于 22°C 会降低学生手指的灵活性和速度^[6]。谢琳娜测量分析了西安某大学教室的环境参数,指出脑力劳动在 25°C 时工作效率最高,在低于 18°C 或者高于 28°C 的环境中,学生的注意力低下,学习效率急剧下降^[7]。相关文献表明,教室环境质量与学生的表现相关,升高的教室温度会降低学生的舒适性以及对学业成绩产生负面影响,温度和湿度超过舒适范围会降低学生的注意力^[6,8]。良好的室内环境质量可以提高学生的表现,降低健康风险。

研究室内热环境的文献很多,大都是关于办公室、住宅等建筑类型的研究,采集数据是以成年人为对象。相较于办公室等建筑,学校建筑是特别的存在,它的主要使用者是未成年人,与成人相比,学生的代谢率较高,热损失速率更快,对温度变化不那么敏感,而且对更高的温度更敏感^[9,10]。近年来学校建筑研究的数量有所增加,主要表现在理论方法、教育水平和气候带上的差异^[11]。按照所处气候带进行大致分类,关于亚热带国家的研究数量最多,其次是温带国家^[12]。中国幅员辽阔,自北向南

横跨寒温带、中温带、暖温带、亚热带、热带等气候带,按照柯本气候分类法,我国夏热冬冷地区所对应的气候类型为亚热带季风性湿润气候,属于湿润性温和型气候区冬干温暖型气候^[13]。《民用建筑热工设计规范》^[14]将我国分为五个气候区:严寒地区、寒冷地区、夏热冬冷地区、夏热冬暖地区和温和地区。夏热冬冷地区纬度在北纬 25° ~34°,位于我国中部的长江流域及其周围广大地区,大致范围为南岭以北,陇海线以南,四川盆地以东,包括重庆、上海、湖北、四川、贵州、安徽、等 16 个省、市、自治区。该地区夏季闷热,冬季湿冷,昼夜温差小,年降水量大,日照偏小。春末夏初该地区多阴雨天,常伴有大雨或者暴雨。夏季太阳辐射强烈,黄梅季节持续阴雨,因空气中水蒸气含量过高,易造成潮湿闷热。冬季空气温度低,阴雪绵绵,日照不足,日照率远低于北方,由东向西急剧减少,易感到潮湿阴冷^[15]。

在我国夏热冬冷地区,许多学者对学校建筑的室内热环境进行了研究。罗明智等人研究了夏季重庆某高校自然通风教室的热环境^[16];李百战等人调查分析了冬季重庆无供暖教室的室内热环境^[17];叶晓江等人研究了不同城市自然通风建筑的热舒适状况^[18];刘晶对夏热冬冷地区自然通风教学楼热环境进行了研究^[19]。此外,国外学者在与我国夏热冬冷地区气候相似的国家及地区进行了学校建筑室内热环境研究,例如,De Dear 等人在澳大利亚的中小学进行了适应性热舒适研究^[20];Zaki 等人以夏季马来西亚和日本的三所大学为调查对象进行适应性热舒适研究^[21];Munonye 和 Ji 评估了尼日利亚暖湿气候下自然通风学校的热环境感知^[22];Aghniaey 等人对美国一所大学的空调教室进行了热舒适性评价^[23]。

目前,国际上通用的预测和评价室内热环境的

标准, 如 ASHRAE 55-2017 和 ISO 7730 等, 都是基于热感觉处于中性热舒适, 并且主要适用于稳态工况下, 根据越来越多的现场研究测试表明, 在自然通风或者非空调建筑内, 这类模型不能准确预测出人体的热反应。我国夏热冬冷地区夏季闷热高湿、冬季阴冷潮湿, 大多数情况属于非稳态工况, 在此情况下人体为了达到舒适的状态, 会积极主动从生理、心理和行为上对热环境进行调节, 此时所预测的人体热反应会与实际情况存在差异^[14]。因此有必要对夏热冬冷地区学校建筑的室内热环境进行研究, 提高非稳态工况下预测人体热反应的准确度。本文以 2003 年至今夏热冬冷地区以及国外相似气候区关于学校建筑室内热环境的文献为分析资料, 同时参阅国内外关于室内热环境的规范, 将文献中的研究数据与规范值进行对比分析。本文将室内热环境指标分为温度、湿度、风速三个方面, 对室内热环境现状以及规范值按照指标范围、前置条件等进行列表分析, 总结适用于夏热冬冷地区学校室内热环境各项指标舒适范围值, 为以后相关规范的修订提供参考与理论依据, 进而提高学校建筑的室内环境热舒适度, 确保学生的身心健康。

1 室内热环境物理参数适宜范围值研究

通过收集资料、整理和总结现有的国内外规范及研究文献, 对比分析规范中的室内热环境参数标准值和文献中的参数建议值, 最终获得一个适合于夏热冬冷地区学校室内热环境参数指标的舒适区间值, 为以后制定夏热冬冷地区学校建筑室内环境

参数指标规范提供有利的理论依据。

1.1 室内温度现状值

对于室内热湿环境来说, 室内温度是影响人体在室内环境的舒适程度的重要参数之一。在同一个空间的不同位置, 室内温度是存在差异的, 造成差异的原因与建筑外的气候环境、建筑本身的围护结构以及建筑使用的设备有关。这些差异会使室内产生水平和垂直方向的温度差, 若在有着明显温度差的室内活动, 对温度比较敏感的头、腹部和脚踝三个垂直点能同时感受到温度差异, ASHRAE 55-2017^[24] 中规定坐着的人员头部和脚踝水平之间的空气温差不得超过 3°C, 站立人员不得超过 4°C, 较大的垂直温差可增加人体对环境的不适感, 因此垂直温差更能影响室内环境人体的舒适度^[18]。

样本选取了室内外调研数据均保留的比较完整的文献。通过观察表格中提取的数据, 可以看出室内温度随室外温度的变化而变化, 国内外夏季室内温度平均值分布在 24~30°C 不等; 国内 6、7 月份室内温度偏高, 平均值 ≥ 30°C, 而在 1、2 月份室内温度最低, 平均值分布在 9~12°C 不等; 相较于国内, 国外夏季室内温度较低, 平均值 ≤ 30°C, 马来西亚地区温度稍高, 平均值在 32°C 左右, 在降温季节室内温度平均值比中国高, 维持在 21°C 左右。因此, 可以确定室内温度的变化主要取决于室外空气温度。对比室内外温度的变化可以发现室内温度普遍高于所对应的室外温度, 这也是与室内人群行为活动有着密不可分的关系。

表 1 学校建筑样本室内温度值

Table 1 Indoor temperature values of school building samples

研究人员	室内环境现状	前置条件	调查时间	备注
De Dear R, Kim J, Candido C, et al	夏季 (12-1 月): 19.5~26.68°C; 平均 22.58°C; 标准偏差为 2.2°C	澳大利亚地区中小学教室; 空间热调节方式: 开闭窗户和吊扇	2013	—
Yun H, Nam I, Kim J, et al	冬季到夏季: 22.0~28.7°C; 平均 24.4°C	韩国地区幼儿园教室; 一楼自然通风教室	2013	室外温度: 17.6~30.4°C; 平均 24.9°C
Deng S, Lau J	全年: 最低温度 19.6°C, 最高温度 24.9°C; 平均气温为 22.4°C; 标准偏差为 0.8°C	美国中西部地区高中小 学教室; 暖通空调教室	2015-2017	—
Munonye C, Ji Y	雨季到旱季 (10-5 月): 22.5~35.6°C, 标准偏差为 1.7°C; 平均 29.1°C	尼日利亚地区小学教室; 自然通风教室	2017-2018	室外温度: 23.0~37.4°C, 标准偏差为 1.7°C; 平均 29.6°C

Ismail Z S,	学校 (夏季)	平均值	室内温度范围	马来西亚沙阿兰地区学		
Darus F M,	学校 A	32.5°C	30.4~34.9°C	前教育教室; 开窗自然	2012	—
Salleh N M, et al	学校 B	30.8°C	28.9~32.6°C	通风与吊扇机械通风		

续表 1 学校建筑样本室内温度值

研究人员	室内环境现状				前置条件	调查时间	备注
Aghniaey S,							
Lawrence T M,	春末、夏季和秋季的降温季节: 21.0~27.0°C				美国地区高校教室; 空调教室	2016-201	室外温度: 20.0~33.0°C
Sharpton T N, et al						7	
罗明智, 李百战, 徐小林	夏季 (8 月): 31.6~34.4°C; 平均 33.2°C				重庆地区教室; 自然通风	2003	室外温度: 38~42°C
	月份	最大值	最小值	平均值			室外温度
吴婧	6 月	37.1	28.6	32.3	重庆地区高校教室; 自然通风	2005	25.1~38.2°C;
	7 月	39.2	29.6	34.9			27.8~39.2°C;
	9 月	25.9	24	25			21~25.4°C
谢琳娜, 刘加平	夏季 (7 月): 最高温度: 36°C				西安高校教室; 自然通 风	2006	—
	月份	最大值	最小值	平均值			室外温度:
刘晶	7 月	38.1	29.7	34.1	重庆地区高校教室; 自然通风	2005-200	27.8~39.2°C;
	2 月	12.9	8.9	12.2		6	9.0~11.4°C。
李百战, 刘晶, 姚润明	冬季 (12-1 月) 室内空气温度平均值: 13.43°C				无供暖教室; 自然通风	2005-200	
	时间	最大值	最小值	平均值			室外温度:
冯劲梅	冬季	16.9	8.3	11.5	上海地区教室	2005-200	-0.1~9.4°C;
	初夏	28.6	17.4	23		6	21.9~28.6°C
张樱子, 刘加平	夏季 (7 月): 27~33°C				自然通风教室	2007	室外温度: 24.1~32.3°C
	工况	冬季 (°C)		夏季 (°C)			
曹晓庆	自然	10.3±0.5		32.4±1.3	重庆大学城环实验大楼 一间设置为自然环境, 一间设置为空调环境	2007-200	—
	空调	15.8±0.6		26.3±0.5		8	
	吹风	—		31.4±1.9			
叶晓江, 陈焕新等	10 月~1 月: 8.9~23.1°C; 平均温度: 15.3±3.8°C				武汉高校教室; 冬季	2007-200	室外温度: 0~21.4°C
	月份	最大值	最小值	平均值			室外温度:
李文杰	6、7	31.7	23.9	27.8	重庆大学城环实验大楼 二楼背阴面; 自然通风	2008-200	24.4~35.1°C;
	1	11.9	6.2	9.3		9	5~12.4°C
喻琴燕	10~30°C				无空调环境	2010	—
谭青	夏季: 24.8~38.2°C (平均温度: 30.7°C)				重庆大学教室;	2011	—

1.2 室内温度规范值

根据现行关于教学楼室内温度要求的各类规范统计, 国内规范夏季室内温度给出的最低值为 22℃, 最高值为 28℃, 冬季室内温度最低值为 12℃ (非空调房间) 和 16℃ (空调房间), 最高值为 26℃; 国外规范夏季室内温度给出的最低值为 23℃, 最高值为 28℃, 冬季室内温度最低值为 19℃, 最高值为 26℃。国内规范夏季室内舒适温度在 24~28℃, 冬季适宜温度在 16~24℃, 而对于由采暖系统的房间来说, 室内设计温度值在 16~22℃ 之间; 国外规范夏季室内舒适温度在 23~26℃, 冬季适宜温度在 20~24℃。研究文献对于夏季室内可接受温度的给出的最低值为 19.5℃, 最高值为

31.5℃; 冬季温度最低值为 14.04℃, 最高值为 24.2℃。统计后, 夏季可接受范围值为 25~30℃, 冬季可接受温度值为 15~24℃。通过与国内外规范的标准值 (夏季 24~28℃, 冬季 16~24℃, ASHRAE 55 23~26℃) 对比, 可以发现实际调研得出的数据人体可接受温度范围要宽于标准值, 这与人体自我调节能力有不可或缺的关系, 根据“适应性理论”, 人不是热环境的被动接受者, 而是根据自我需求通过调整生理、心理和行为来改变或适应环境。对标准值和实测建议值进行整合, 夏季热舒适温度集中在 24.4~29℃, 冬季室内热舒适温度集中于 15.8~24.6℃。

表 2 学校建筑室内温度规范值

Table 2 Values of indoor temperature in school buildings in related standards

规范名称	指标范围	前置性条件	备注	
ASHRAE Standard 55-2017	工况			
	自然 (图形法)	夏季 (°C) 23.5~28.0 冬季 (°C) 19.0~26.0	热舒适度 II 级	—
《室内空气质量标准》 GB/T18883-2002	空调	夏季 (°C) 23.0~26.0 冬季 (°C) 16~24	夏季空调、冬季采暖 房间	—
	《全国民用建筑工程设计技术 措施—暖通空调·动力》	冬季 (°C) : 16~18 夏季 (°C) : 26~28	空调系统的教室	—
《民用建筑供暖通风与空气调 节设计规范》GB50736-2012	冬季 (°C) : 22~24 夏季 (°C) : 24~26	热舒适度 I 级	人员长期逗留 区域空调 房间。	—
	冬季 (°C) : 18~22 夏季 (°C) : 26~28	热舒适度 II 级	夏季非空调房间应 取室外空气平均值 +1.5K	—
《民用建筑热工设计规范》GB 50176-2016	冬季 (°C) 采暖房间: 18 夏季 (°C) 空调房间: 26			—

2 结语

学生每天在学校度过的时间不低于 8 小时, 学校建筑的热不适会降低学生的注意力, 影响学生的健康以及成绩, 因此通过研究室内热环境, 探究可接受温度范围和中性温度来提高室内热舒适性是很重要的。通过对夏热冬冷地区学校建筑室内热环境的现场研究成果和现行国内外室内热舒适标准的数据整理和分析, 总结出夏热冬冷地区教学建筑室内热舒适温度的分布范围, 夏季热舒适温度集中

在 24.4~29℃, 冬季室内热舒适温度集中于 15.8~24.6℃, 为以后制定夏热冬冷地区学校建筑室内环境参数指标规范提供有利的参考和理论依据, 进而提高学校建筑的室内环境热舒适度。

参考文献:

- [1] Mendell M J, Eliseeva E A, Davies M M, et al. Do classroom ventilation rates in California elementary schools influence standardized test scores? Results from a prospective study[J]. Indoor Air, 2016,26(4): 546-557.
- [2] Kruger E L, Zannin P H. Acoustic, thermal and luminous

- comfort in classrooms[J]. *Building and Environment*, 2004,39(9):1055-1063.
- [3] Anderson B, Dominici F, Wang Y, et al. Heat-related emergency hospitalizations for respiratory diseases in the Medicare population[J]. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 2013,187(10): 1098-1103.
- [4] Hoshiko S, English P, Smith D, et al. A simple method for estimating excess mortality due to heat waves, as applied to the 2006 California heat wave[J]. *International Journal of Public Health*, 2010,55(2):133- 137.
- [5] S P Corgnati, M Filippi, S Viazzo. Perception of the thermal environment in high school and university classrooms: subjective preferences and thermal comfort[J]. *Building and Environment*, 2007,42(2): 951-959.
- [6] Mendell M J, Heath G A. Do indoor pollutants and thermal conditions in schools influence student performance? A critical review of the literature[J]. *Indoor Air*, 2005,15(1),27-52.
- [7] 谢琳娜,刘加平. 普通教室的热环境特性及热工设计问题[J]. *山西建筑*,2006,(3):174-175.
- [8] Zeiler W, Boxem G. Effects of thermal activated building systems in schools on thermal comfort in winter[J]. *Building and Environment*, 2009,44(11): 2308-2317.
- [9] Humphreys M A. A study of the thermal comfort of primary school children in summer[J]. *Building and Environment*, 1977,12(4),231-239.
- [10] McCullough E A, Eckels S, Harms C A, et al. Determining temperature ratings for children's cold weather clothing[J]. *Applied Ergonomics*, 2009,40(5): 870-877.
- [11] Zomorodian Z S, Tahsildoost M, Hafezi M, et al. Thermal comfort in educational buildings: A review article[J]. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 2016:895-906.
- [12] Singh M K, Ooka R, Rijal H B, et al. Progress in thermal comfort studies in classrooms over last 50 years and way forward[J]. *Energy and Buildings*, 2019: 149-174.
- [13] 朱耿睿,李育. 基于柯本气候分类的1961-2013年我国气候区类型及变化[J]. *干旱区地理*,2015,38(6):1121-1132.
- [14] GB50176-2016, 民用建筑热工设计规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社,2016.
- [15] 刘晶. 夏热冬冷地区自然通风建筑室内热环境与人体热舒适的研究[D]. 重庆:重庆大学,2007.
- [16] 罗明智,李百战,徐小林. 重庆夏季教室热环境研究[J]. *重庆建筑大学学报*,2005,(1):88-91.
- [17] 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.
- [18] 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.
- [19] 刘晶. 夏热冬冷地区自然通风建筑室内热环境与人体热舒适的研究[D]. 重庆:重庆大学,2007.
- [20] De Dear R, Kim J, Candido C, et al. Adaptive thermal comfort in Australian school classrooms[J]. *Building Research and Information*, 2015,43(3):383-398.
- [21] Zaki S A, Damiati S A, Rijal H B, et al. Adaptive thermal comfort in university classrooms in Malaysia and Japan[J]. *Building and Environment*, 2017:294- 306.
- [22] Munonye C, Ji Y. Evaluating the perception of thermal environment in naturally ventilated schools in a warm and humid climate in Nigeria[J]. *Building Services Engineering Research and Technology*, 2020: 0143624420911148.
- [23] Aghniaey S, Lawrence T M, Sharpton T N, et al. Thermal comfort evaluation in campus classrooms during room temperature adjustment corresponding to demand response[J]. *Building and Environment*, 2019,148:488-497.
- [24] ASHRAE (2017) ANSI/ASHRAE Standard 55-2017: thermal environmental conditions for human occupancy. American Society of Heating Refrigerating and Air-conditioning Engineers (ASHRAE)[S]. Atlanta, GA.