

不同偏好的音乐对人体热反应影响研究

李志权, 童力*, 张晓霞, 胡松涛

(青岛理工大学 环境与市政工程学院, 青岛 266525)

摘要: 为研究不同热环境下听不同偏好的音乐对人体热反应的影响, 通过控制环境温度和声音种类 2 个变量, 分析了主观评价、心率、血压和额头温度的变化, 并且对主观评价与生理参数进行相关关系分析。结果表明, 不同温度环境下听喜欢的音乐对室内人员舒适度、情绪和心血管调节有积极作用; 额头温度会受到音乐的影响, 且随着环境温度的不断升高影响程度逐渐减小; 热-音乐耦合环境下, 不同偏好的音乐会削弱额头对热环境的感知敏感性, 听不喜欢的音乐比听喜欢的音乐削弱程度大。研究成果将为更好地利用音乐作为情绪调节和热感知调控的工具提供科学依据, 并对改善室内环境、提高人员满意度具有重要的意义。

关键词: 偏好音乐; 温度; 热反应; 额头温度; 情绪

中图分类号: TU831

文献标志码: A

文章编号: 1673-4602(2025)05-0104-09

Study on the influence of different preferred music on human thermal response

LI Zhiqian, TONG Li*, ZHANG Xiaoxia, HU Songtao

(School of Environmental and Municipal Engineering, Qingdao University of Technology, Qingdao 266525, China)

Abstract: In order to investigate the effect of listening to different preferred music on human thermal response in different thermal environments, this study analyzed the changes of subjective evaluation, heart rate, blood pressure and skin temperature by controlling the two variables of ambient temperature and sound type, and then analyzed the correlation between subjective evaluation and physiological parameters. The results show that listening to preferred music in different temperature environments has a positive effect on indoor comfort, emotion and cardiovascular regulation; the temperature of forehead is affected by music, and the degree of influence gradually decreases with the increase of ambient temperature; in the thermoacoustic coupling environment, different music weaken the forehead's sensitivity to the thermal environment, and listening to unpreferred music weakens the sensitivity more than listening to preferred music does. The results of this study will provide a scientific basis for the better use of music as a tool for emotion regulation and thermal perception regulation, and it is of great significance to the improvement of indoor environment and personnel satisfaction.

收稿日期: 2024-03-11

基金项目: 山东省自然科学基金 (ZR2021ME186)

作者简介: 李志权 (1998—), 男, 山西朔州人。硕士, 研究方向为人体热舒适及室内热环境。E-mail: lzq024@foxmail.com。

* 通信作者: 童力 (1981—), 女, 宁夏石嘴山人。博士, 副教授, 主要从事人体热舒适、室内热环境与空气质量等方面的研究。
E-mail: tongli0220@163.com。

Key words: preferred music; temperature; thermal response; forehead temperature; emotions

人一生中约90%的时间是在室内度过^[1],因此良好的室内环境有利于保证人们的健康、提高人们的满意度。随着对室内环境的日益重视,对室内环境舒适性的研究也越来越多,从最初的单一环境因素研究逐渐发展到多种环境因素相互作用研究。

音乐通过影响室内人员的情绪直接影响人体的主观感受和生理参数。胡松涛等^[2]通过研究不同的音乐类型、节奏和声压级对人体舒适度的影响,发现利用较优的音乐因素组合能够改善偏热环境下人员的舒适度。陈晗^[3]通过在噪声环境中叠加乐音,发现叠加合适的乐音能够改善人员的主观感受。张璐^[4]通过研究热声复合因素对人体舒适度的影响,发现声音对热感觉、热舒适度有影响,乐音可以缓和高温热不适感,但会增加冷不适感。音乐除会对人体主观感受产生影响外,对人体生理参数也有一定影响,其中包括皮肤温度、心率、心率变异性、血压和脑电等参数。人体皮肤温度会受到声音种类和声压级大小的影响,但影响程度较小。同时乐音声压级对心率的影响也较小^[4],随着声压级增加,人体心率加快,血压变化不显著^[5]。乐音节奏对通过I波反应的听神经疲劳度的改善能力较强,而乐音声压级对通过III、V波反应的听神经疲劳度有更强的改善能力^[3]。与安静环境下人的平均心率相比,听90 dB的喜欢音乐时,平均心率显著升高^[6]。BERNARDI等发现,当患者听音乐时,呼吸频率、心率和血压都会增加,而这种增加与音乐的节奏成正比^[7]。TRAPPE指出,“音乐不仅可以提高生活质量,还可以影响心率和心率变异性”^[8]。

以上研究主要集中于音乐的不同要素对人体主观感受和生理参数的影响,缺乏根据个人主观喜好对音乐进行分类研究。因此,本文旨在探究不同偏好的音乐在不同热环境下对人体热反应的影响。希望进一步了解音乐与环境因素在人体心理和生理调节中的作用。同时也将更深入地了解音乐与环境因素相互作用的机制,为更好地利用音乐作为情绪调节和热感知调控的工具提供科学依据,并对营造舒适室内热、声环境,提高人员满意度和推动节能具有重要意义。

1 实验与研究方法

1.1 研究对象

招募了20名(13名男性,7名女性)身体健康的志愿者作为实验对象,并在实验开始前签署实验知情同意书。招募时使用听力计(AD 104, China)对受试者进行听力筛查测试,以确保所有参与者的听力正常。受试者的详细特征如表1所示。

表1 受试者信息

性别	年龄/岁	身高/m	体重/kg	BMI
男	24.3±0.6	1.77±0.07	73.1±7.49	21.4±0.86
女	23.9±0.7	1.64±0.02	58.6±8.8	21.7±3.00

要求受试者在实验前12 h内保持日常生活习惯,禁止吸烟、饮酒、服用神经刺激性饮料或药物等。在实验过程中,受试者穿着统一服装,服装热阻为0.81 clo(1 clo=0.155 m²·K/W)。

1.2 实验环境

实验在人工气候室进行,房间尺寸为5.0 m×3.0 m×2.6 m(长×宽×高)。室内的天花板和四周墙壁都采用了双层围护结构,其中外层为隔音钢板,内层为波峰吸音棉,提高了保温隔热效果的同时也减少了实验外其他噪音和混响产生的影响。房间布局如图1所示。

1.3 声环境和实验设计

本实验选择的音乐声压级和节奏控制在人体感觉舒适的范围内。最终声环境参数的选取结果为:声压级(60 dB)、节奏(70次/min)、音乐类型(流水声、纯鸟鸣声和雨声,古典音乐、流行音乐、摇滚音乐)。

音乐样本类型除选取流行音乐、古典音乐和摇滚音乐

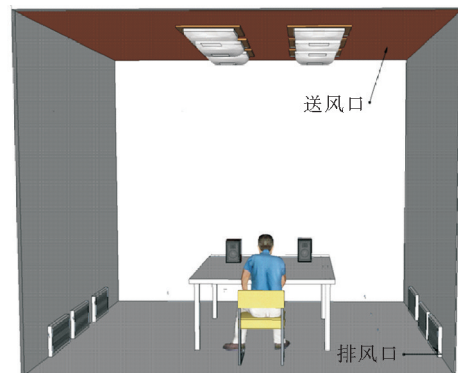


图1 人工气候室房间布局示意

3种主流音乐外,增加亲生物环境中的自然声音类型:流水声、鸟鸣声和雨声。在确定音乐声压级时,选择合适的音量大小对于受试者的声舒适度评价至关重要。中等强度音乐有利于放松和休息^[9]。与大音量的音乐相比,年轻人更倾向于选择柔和的音乐(60~70 dB)来达到放松的目的^[10]。从事户外声景研究的相关学者的经验表明,当声压级在65~70 dB时,声音舒适度评价与声压级无关,而与声音类型和用户特征等因素有关,因此将扬声器播放的声音控制在60~70 dB内^[11]。除此之外,在临床实践中音乐用于干预术后疼痛、焦虑和抑郁等方面,建议用于治疗的音乐最大音量应该在60 dB^[12]。根据以上研究,最终选取60 dB作为本实验的音量。根据相关的调研结果,音乐的节奏对人的综合影响显著^[3]。60~80次/min的音乐节奏与人体心率相似,与心脏有共振作用,是最受欢迎的声音^[13]。同时,60~80次/min的慢而流畅的音乐节奏对放松和缓解疼痛也有积极的效果^[12]。因此本实验的节奏选取70次/min。有背景的歌词会对人员的情绪和感受有很大影响,因此本次实验全部选用无歌词的音乐样本^[14]。

本实验设计了3种温度工况:偏冷(18℃,预测平均评价PMV为-1.88)、中性(24℃,PMV为-0.01)、和偏热(30℃,PMV为+1.88)。将给定的6种音乐按照受试者的喜好进行分类,实验期间要求受试者选出最喜欢的1首音乐和最不喜欢的1首音乐作为实验播放的2首音乐。

1.4 主观投票和生理参数

对受试者的热感觉(Thermal sensation vote, TSV)、热舒适(Thermal comfort vote, TCV)、整体舒适感(Overall comfort vote, OCV)和整体愉悦感进行了调查。如表2所示,采用ASHRAE七点投票量表^[15]来收集热感觉、热舒适和整体舒适感投票。如表3所示,采用五点法收集整体愉悦感投票。

表2 热感觉、热舒适和整体舒适感问卷调查的主观评价

评分标尺	热感觉	热舒适/整体舒适感
-3	冷	非常不舒适
-2	凉	不舒适
-1	稍凉	稍不舒适
0	不冷不热	无感觉
1	稍暖	稍舒适
2	暖	舒适
3	热	非常舒适

表3 整体愉悦感问卷调查的主观评价

评分标尺	整体愉悦感
0	不愉悦
1	稍不愉悦
2	比较愉悦
3	愉悦
4	非常愉悦

环境相对湿度设置为55%,空气流速小于0.1 m/s,平均辐射温度等于空气温度,桌面的平均照度水平为560 lx。为了能实时检测环境温湿度情况,根据ASHRAE Standard 55—2023^[15]中的推荐测量方法标准,在受试者附近0.8和1.2 m高度处设置温湿度自记录仪进行记录。使用声级计实时监测音乐声压级。立体声扬声器(索尼,日本)播放音乐。实验测量的生理参数包括额头温度、心率、血压。实验所用仪器详情如表4所示。

表4 实验仪器参数

参数	仪器	检测范围	精度
空气温度/℃	Testo 174H, Germany	-20~70	±0.5
相对湿度/%	Testo 174H, Germany	0~100	±3
空气流速/(m·s ⁻¹)	Model 6004, Japan	0.1~20	±(指示值5%+0.1)
照度计/lx	TES-136, China	0.1~99 990	±0.02
声压级计/dB	TES-1357, China	0~130	±1.5
额头温度/℃	iButton DS1923, USA	-40~+85	±0.5
血压/mmHg	Philips BP700X, China	0~260	±3
心率/(次·min ⁻¹)	Polar OH1, Finland	0~170	±3

注:1 mmHg=1.333 22×10² Pa。

1.5 实验流程

该实验于2023年4—6月在青岛理工大学进行。整个实验持续100 min。为了减少实验误差,保持心率和代谢稳定,要求受试者提前30 min^[16-18]进入实验气候室,佩戴心率监测器、贴体表温度测量传感器并换好统一的衣服进行环境适应。实验分为3个阶段:无声工况、实验工况1和实验工况2,无声工况作为对照组,实验工况1和实验工况2随机播放喜欢或不喜欢的音乐,如实验工况1播放了不喜欢音乐,实验工况2则播放喜欢音乐。中间休息10 min进行听力恢复。每个受试者在3种温度下进行3次实验,实验时间都安排在上9:00—10:10进行。

具体实验流程如图2所示。实验阶段全程采集额头温度和心率数据,每个实验工况时长20 min。无声工况前10 min保持静坐,10 min后完成主观问卷填写和血压测量。实验工况1和实验工况2全程听音乐,前10 min静坐状态下听音乐,10 min后完成主观问卷填写和血压测量。

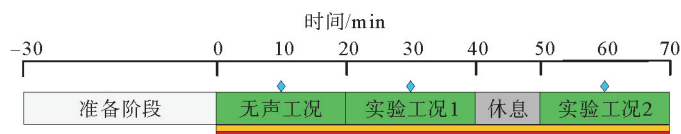


图2 实验流程

◆ 问卷、血压；■ 额头温度；■ 心率

1.6 数据处理方法

首先利用箱线图查看由于指标采集不当导致的数据异常值。数据统计分析时的正态性检验采取夏皮洛-威尔克检验法,样本间显著差异性分析采用单因素方差分析。使用Pearson相关系数法,或者Spearman秩相关法来分析主观评价和生理参数的相关性,所有显著性检验均基于双尾检验,显著性水平设定为0.05($p < 0.05$)。

2 数据处理与结果分析

2.1 主观投票

不同温度、声音条件下的热感觉(TSV)、热舒适(TCV)、整体舒适感(OCV)和整体愉悦感变化如图3所示。在不同温度工况下,与无声工况相比,听喜欢的音乐可以改善人体的主观感受,听不喜欢的音乐会使得主观感受变差。18℃下,与无声工况相比,听喜欢的音乐使人体TSV、TCV、OCV和整体愉悦感分别升高25.98%、39.36%、197.80%、8.90%,其中OCV改善效果显著($p = 0.01 < 0.05$);听不喜欢的音乐使TSV、TCV、OCV以及整体愉悦感分别下降19.12%、25.81%、136.26%、48.77%,其中OCV、整体愉悦感下降效果极显著($p = 0.000 < 0.001$)。24℃下,与无声工况相比,听喜欢的音乐TCV、整体愉悦感分别升高32.47%、15.74%,对TSV、OCV影响较小;听不喜欢的音乐TCV、OCV以及整体愉悦感分别下降47.62%、102.73%、38.07%,对TSV影响较小,其中OCV、整体愉悦感下降效果极显著($p = 0.000 < 0.001$)。30℃下,与无声工况相比,听喜欢的音乐TSV下降16.42%,有一定的改善效果,对TCV、OCV和整体愉悦感影响较小;听不喜欢的音乐OCV、整体愉悦感分别下降21.66%、38.16%,对TSV、TCV影响较小。

3个温度工况中,30℃下的TCV、OCV以及整体愉悦感是最差的,18℃次之,24℃下的TCV、OCV和整体愉悦感最佳。同时,随着温度的不断升高,听喜欢的音乐所能改善的主观投票个数越来越少(18℃4个,24℃2个,30℃1个)。由以上分析可知,在偏冷环境下听喜欢的音乐对人体舒适度改善效果最佳,而偏热环境人体的不适感最强,听音乐后的改善效果最小。

2.2 血压、心率

不同工况下血压、脉压变化如图4、图5所示。脉压是指收缩压与舒张压之间的差值,脉压的变化可以评估心血管系统的功能和健康状况,可以反映环境的变化对健康机体内部调节系统的影响。

由图4、图5可知,与无声工况相比,18℃偏冷环境听音乐会使得人体脉压降低,30℃偏热环境听音乐会使得人体脉压升高。18℃下,与无声环境下的脉压相比,听喜欢和不喜欢音乐的脉压分别下降了7、5 mmHg。由此说明在偏冷环境下听音乐可以降低人体的脉压,且听喜欢音乐脉压降低程度比听不喜欢音乐降低程度大。在偏冷环境中,人体血管收缩会增加外周血管的阻力,从而增加脉压。而听音乐能够使身

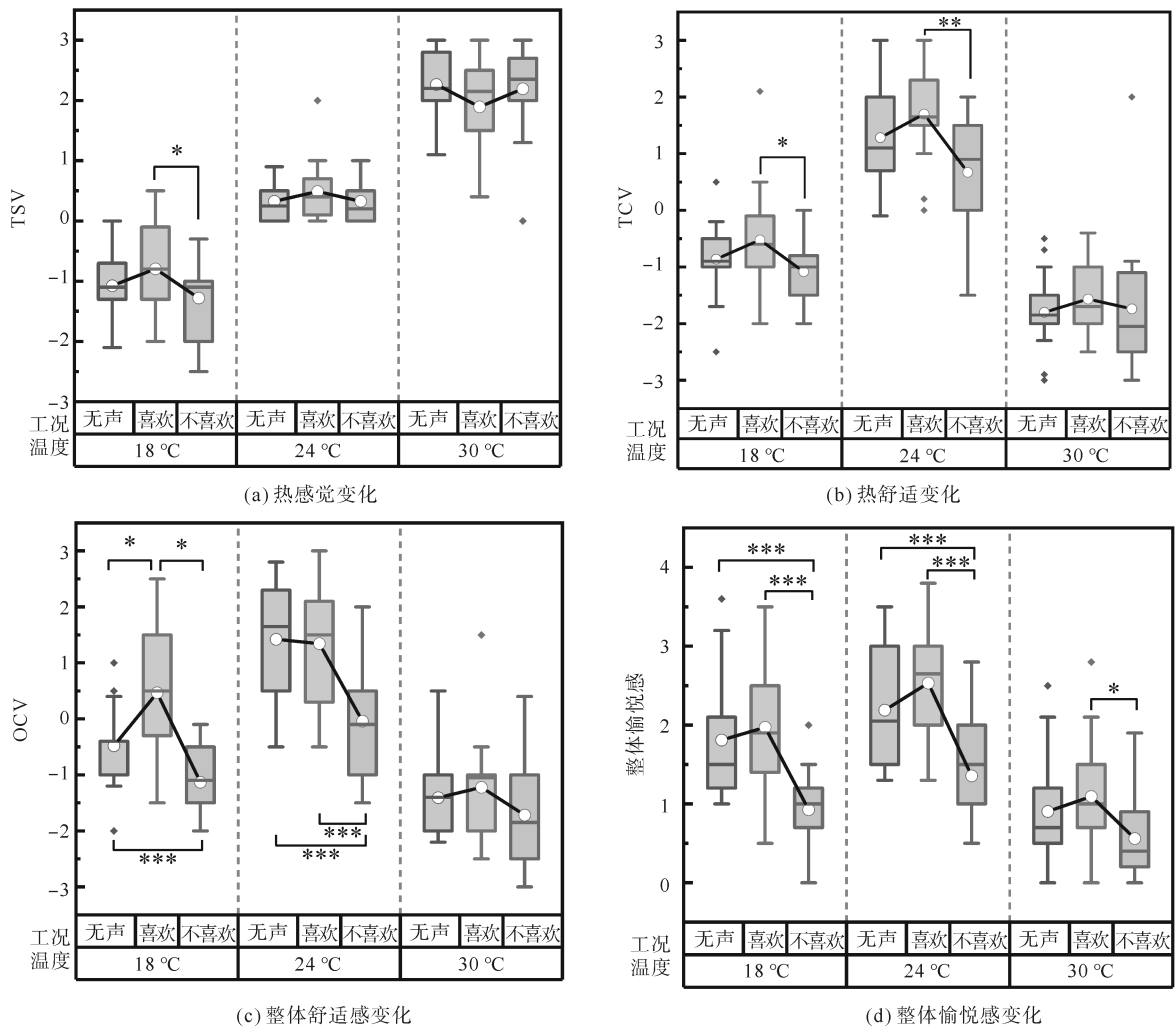


图3 不同工况下TSV、TCV、OCV和整体愉悦感变化

■ 25%~75%; I 1.5IQR内的范围; — 中位数; ○ 均值; ◆ 异常值

注: *代表显著性标签, $p < 0.05$ 表示为“*”; $p < 0.01$ 表示为“**”; $p < 0.001$ 表示为“***”。25%(第1四分位数, Q1): 数据中所有数值从小到大排列后, 处于前25%位置的数值; 75%(第3四分位数, Q3): 数据中所有数值从小到大排列后, 处于前75%位置的数值。IQR=Q3-Q1, 即第3四分位数与第1四分位数的差值, 它反映了数据中间50%的波动范围。

心放松, 这种放松有助于减轻压力和焦虑, 促进血管舒张和心率的降低, 使收缩压降低、舒张压升高, 从而导致脉压降低。听喜欢音乐所激发的积极情绪比听不喜欢音乐所激发的消极情绪对减缓心血管系统的紧张状态更有利。24℃下, 人体血管对温度的调节相对较平衡, 血管处于自然放松状态, 无收缩或扩张压力, 因此听音乐对脉压的影响也较小。30℃下, 与无声环境下的脉压相比, 听喜欢和不喜欢音乐的脉压分别上升 3.82、1.39 mmHg。由此说明偏热环境下听音乐可以升高人体脉压, 且听喜欢音乐脉压升高程度比听不喜欢音乐大。在偏热环境下, 身体通过血管扩张来降低体温, 促进散热, 血管扩张

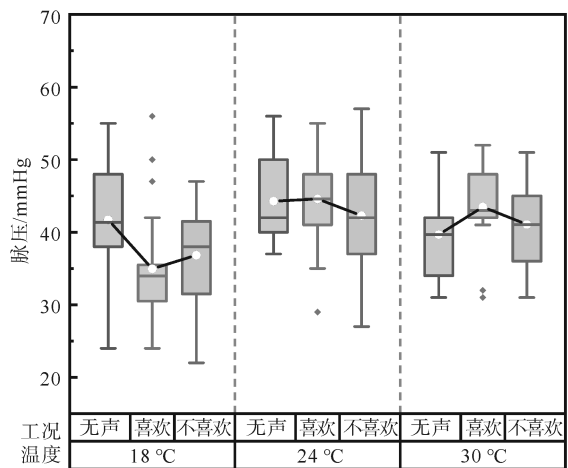


图4 不同工况下脉压变化

■ 25%~75%; I 1.5IQR内的范围; — 中位数; ○ 均值; ◆ 异常值

会导致外周血管的阻力降低,使脉压降低,而听音乐后收缩压升高、舒张压几乎保持不变,从而导致脉压升高。

综上所述,不管是偏冷环境导致人体脉压升高,还是偏热环境导致人体脉压降低,对人体心血管系统健康都有一定的影响,通过在不舒适热环境中播放音乐可以使脉压降低或者升高,对人体的心血管系统调节有一定的益处。

心率是指心脏每分钟跳动的次数,以次/min 为单位,它反映了心脏的节律和频率。不同工况下的心率变化如图 6 所示。无声环境下,与 24 °C 相比,18 和 30 °C 下的心率分别升高 4.9、7.3 次/min。这是由于偏冷、偏热环境下人体为了保持恒定体温,会加快血液流动来保持身体温暖或加快体表散热,导致心率的升高。与无声环境相比,在偏冷环境下听音乐使人体心率下降,有一定改善效果;中性环境听音乐心率变化较小;偏热环境下听音乐使人体心率升高,无改善效果。

偏热环境下听音乐对人体脉压有改善效果,对心率无改善效果。因此,建议在偏冷环境听不喜欢的音乐,对人体心血管系统调节更有益。

2.3 额头温度

额头温度与人体热感觉具有明显的相关性,在心理学研究中发现头部区域的感觉参与人体所有的情绪变化,情绪引发的思想内容都有头部区域的参与^[19]。本研究有温度和声音类型 2 个因素,额头温度会受到温度的影响,而不同偏好的音乐主要通过影响人员的情绪对人员舒适度产生影响^[20]。因此,本研究选择额头温度进行深入研究。

不同热、声环境下额头温度随时间的变化如图 7 所示。使用额头温度减去环境温度是为了减小环境温度的微小波动对额头温度的影响,减小误差,其不影响额头温度随时间的变化趋势。

不同温度下,听不同偏好的音乐对额头温度有一定的影响。18 °C 下,听喜欢和不喜欢音乐的额头温度 and 无声工况下的额头温度有明显差异,听喜欢和不喜欢的音乐会使额头温度升高。发生这一现象是因为听音乐产生愉悦或烦躁的情绪,情绪的变化可以通过神经系统的调节影响血液循环和热量分配,从而导致额头温度的变化。在 10 min 后趋势发生变化,听喜欢音乐的下降速率更快,这可能与听喜欢的音乐大脑更容易进入疲劳期有关。24 °C 下,听喜欢和不喜欢的音乐同样使额头温度升高,但听喜欢音乐时,额头温度开始下降的时间点比偏冷环境更早,大脑进入疲劳期的时间变快。30 °C 下,听喜欢和不喜欢的音乐都使额头温度降低,听喜欢的音乐比听不喜欢的音乐下降幅度更大。

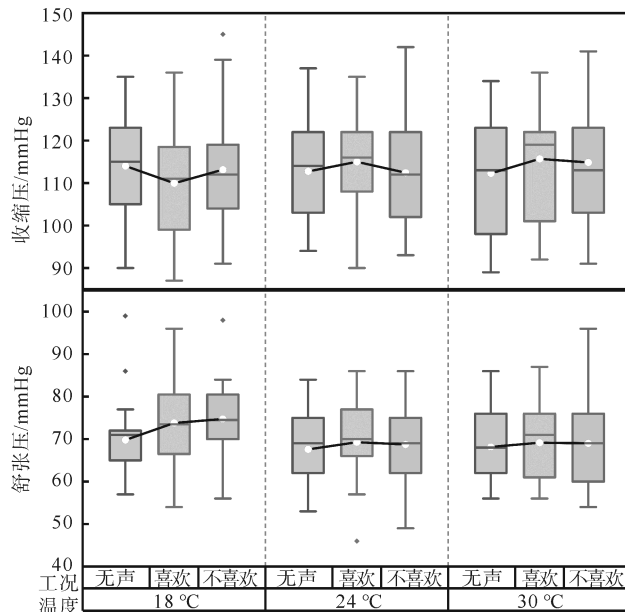


图 5 不同工况下血压变化

■ 25%~75%; I 1.5IQR 内的范围; — 中位线; ○ 均值; ◆ 异常值

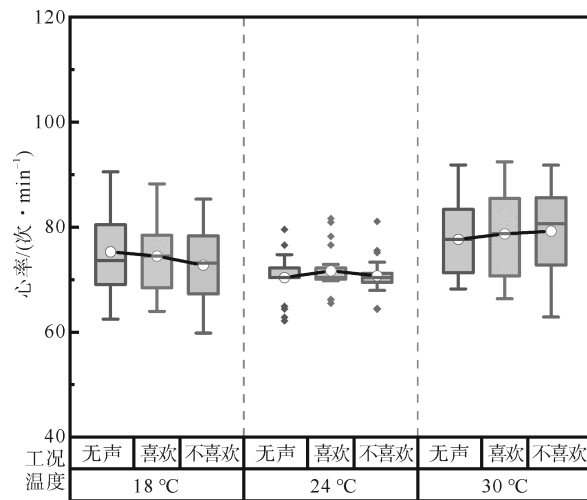


图 6 不同工况下心率变化

■ 25%~75%; I 1.5IQR 内的范围; — 中位线; ○ 均值; ◆ 异常值

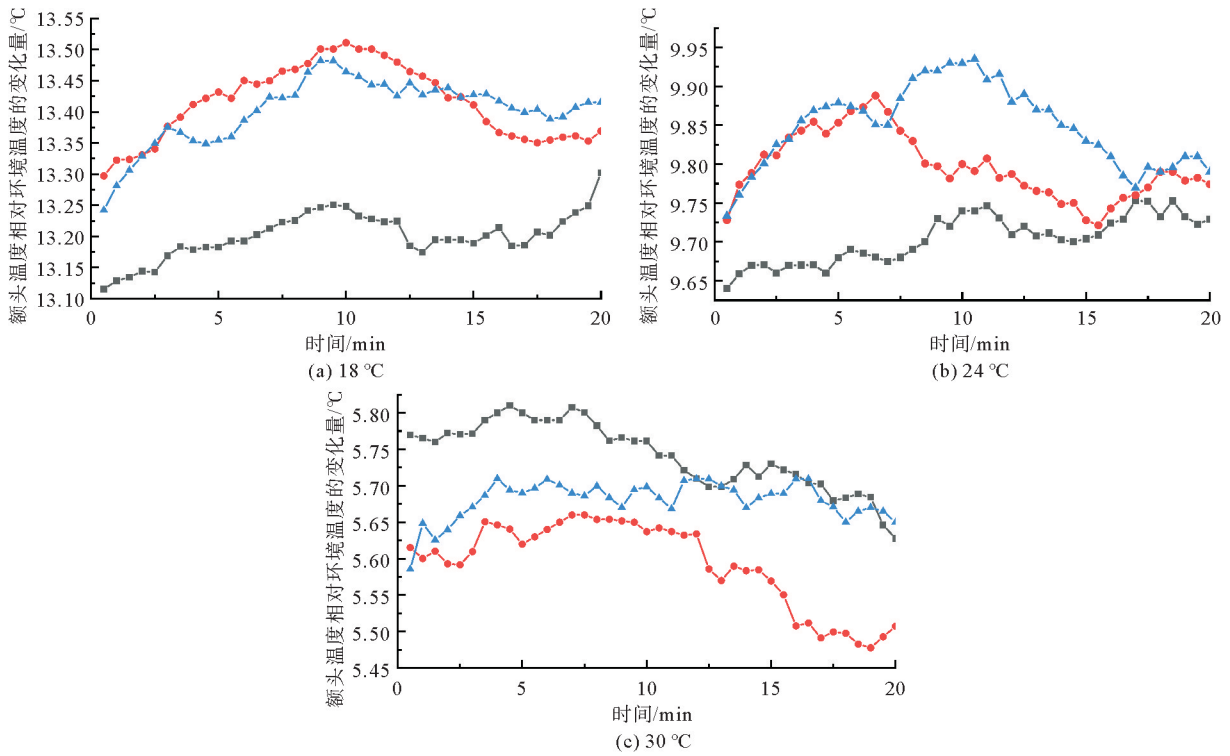


图 7 不同工况下额温随时间变化

—■— 无声；—●— 喜欢；—▲— 不喜欢

不同热环境下,听喜欢和不喜欢的音乐额头温度的变化量如图 8 所示。额头温度的变化量=额头温度-环境温度-无声环境下的额头温度。3 种温度环境下,偏冷环境下,听音乐对额头温度的影响最大,中性环境次之,偏热环境最小,这是因为偏热环境下热环境对人的影响较大,使音乐对人的影响效果变小,这与主观问卷的结果一致。

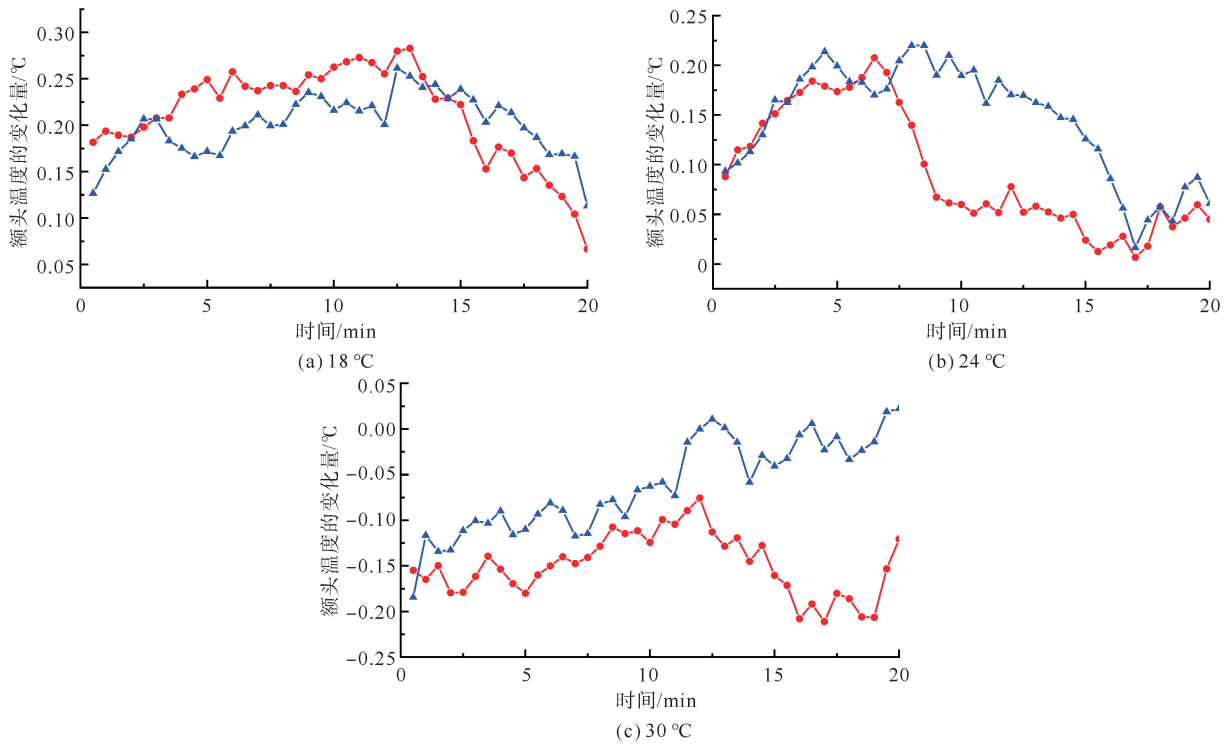


图 8 额头温度的变化量

—●— 喜欢；—▲— 不喜欢

2.4 主观投票与生理参数相关性分析

3 种声音环境下的主观投票与生理参数相关性分析结果如表 5 所示。表中数字编号 1 代表“无声环境”,2 代表“听喜欢的音乐环境”,3 代表“听不喜欢的音乐环境”。3 种声音工况下,只有受试者的 TSV 与额头温度具有相关性,且相关性尤其显著。

表 5 相关性分析

参数	相关系数 R								
	额温 1	额温 2	额温 3	脉压 1	脉压 2	脉压 3	心率 1	心率 2	心率 3
TSV	0.805**	0.788**	0.761**	-0.115	0.300*	0.355**	0.210	0.408**	0.443**
TCV	0.019	0.043	0.089	0.333**	0.208	-0.094	-0.497**	-0.336**	-0.239
OCV	-0.109	-0.043	-0.038	0.363**	0.051	-0.059	-0.534**	-0.318*	-0.175
整体愉悦感	-0.155	0.084	0.037	0.117	0.001	-0.108	-0.334**	-0.273*	-0.161

注: $p < 0.05$ 表示为“*”; $p < 0.01$ 表示为“**”。

对热感觉投票与额头温度进行线性拟合,拟合结果如图 9 所示。额头温度与 TSV 显著正相关,拟合曲线为一次线性关系。在 32~36 °C 额头温度范围内,同一额头温度值对应的热感觉投票值的大小排序为:无声>喜欢>不喜欢。说明热-音乐耦合环境下,不同偏好的音乐会削弱额头对热环境的感知敏感性,听不喜欢的音乐比听喜欢音乐削弱程度大。

人体额头温度会保持在一个恒定温度范围内,不论听喜欢的音乐还是不喜欢的音乐之后,额头的热感觉均降低,因此在偏热环境下可以将空调设定温度值适当提高,节省能源。

热感觉 $y=0$ (中性温度)时,对应的中性额头温度分别为,无声:33.78 °C,喜欢:33.90 °C,不喜欢:34.04 °C。中性温度环境下听音乐之后额头温度升高,因此在偏冷环境可以将空调温度设定值适当降低,节省能源。

3 结论

本文基于主观投票、血压、心率及额头温度指标,研究了不同温度环境下不同偏好的音乐对人体热反应的影响,并且对热感觉投票与额头温度之间进行相关性分析,得到以下结论:

- 1) 不同温度环境下,与无声环境相比,听喜欢音乐可以改善人体的主观感受,相反,听不喜欢音乐会使人主观感受变差。随着环境温度的升高,听喜欢音乐所能改善的主观感受投票个数逐渐变少。
- 2) 通过在热环境中播放音乐会改善因偏冷环境导致的人体脉压升高或者偏热环境导致的人体脉压降低问题,对人体心血管系统调节有一定益处。
- 3) 额头温度会受到音乐的影响,且随着环境温度的不断升高,听音乐对额头温度的影响逐渐减小,这与主观问卷的结果一致。
- 4) 热-音乐耦合环境下,不同偏好的音乐会削弱额头对热环境的感知敏感性,听不喜欢的音乐比听喜欢音乐削弱程度大。

因此,在室内热、声环境设计时,在不影响室内人员学习、生活、办公等日常行为活动的前提下,可以根

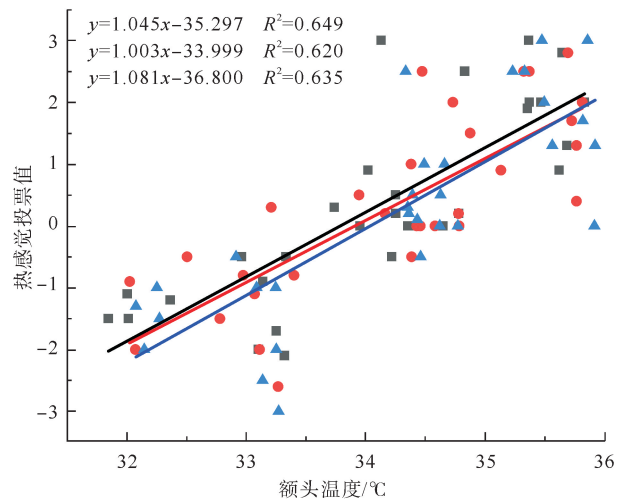


图 9 不同声音环境下额头温度与热感觉的关系
— 无声; — 喜欢; — 不喜欢

据个人主观喜好进行音乐播放。对室内人员舒适性、情绪和心血管系统调节有一定积极作用,同时也可以通过播放偏好音乐削弱冷热不适感,在保障室内舒适度的情况下进行室内空调系统的调控,有利于节省能源。

参考文献(References):

- [1] ALMUSAED A, ASAAD A. Sustainable buildings: Interaction between a holistic conceptual act and materials properties[M]. Rijeka: Books on Demand, 2018: 3-16.
- [2] 胡松涛, 陈晗, 尹晓燕, 等. 偏热环境下利用音乐改善人体舒适度及工作效率的试验研究[J]. 暖通空调, 2020, 50(2): 93-99.
HU Songtao, CHEN Han, YIN Xiaoyan, et al. Experimental study on improving human comfort and work efficiency with music in hot environment[J]. Heating Ventilating & Air Conditioning, 2020, 50(2): 93-99.
- [3] 陈晗. 噪声环境下音乐对人体舒适度及工作效率影响的研究[D]. 青岛: 青岛理工大学, 2018.
CHEN Han. Study on the effects of music on human comfort and work efficiency under noisy environment[D]. Qingdao: Qingdao University of Technology, 2018.
- [4] 张璐. 热声复合因素对人体舒适度的影响探究[D]. 青岛: 青岛理工大学, 2016.
ZHANG Lu. Study on the effects of thermal and acoustic on human comfort[D]. Qingdao: Qingdao University of Technology, 2016.
- [5] 尹晓燕. 暖不适工况背景音乐对人体舒适度及工作效率的影响研究[D]. 青岛: 青岛理工大学, 2018.
YIN Xiaoyan. Study on the effects of background music on human comfort and work efficiency under warm discomfort condition[D]. Qingdao: Qingdao University of Technology, 2018.
- [6] FERBER C, CABANAC M. Influence of noise on gustatory affective ratings and preference for sweet or salt[J]. Appetite, 1987, 8(3): 229-235.
- [7] BERNARDI L, PORTA C, SLEIGHT P. Cardiovascular, cerebrovascular, and respiratory changes induced by different types of music in musicians and non-musicians: The importance of silence[J]. Heart, 2006, 92(4): 445-452.
- [8] TRAPPE H J. The effects of music on the cardiovascular system and cardiovascular health[J]. Heart, 2010, 96(23): 1868-1871.
- [9] 胡媛, 张德乾, 仰和芝. 60 BPM 音乐音量大小对脑电功率谱的影响[C]//心理学与创新能力提升: 第十六届全国心理学学术会议论文集. 南京, 2013: 453.
HU Yuan, ZHANG Deqian, YANG Hezhi. Changes of EEG spectral power characteristics during music play in 3 levels of intensity[C]//Psychology and Innovation Ability Promotion: The 16th National Conference on Psychology. Nanjing, 2013: 453.
- [10] STAUM M J, BROTONS M. The effect of music amplitude on the relaxation response[J]. Journal of Music Therapy, 2000, 37(1): 22-39.
- [11] GENG Y, HONG B, DU M, et al. Combined effects of visual-acoustic-thermal comfort in campus open spaces: A pilot study in China's cold region[J]. Building and Environment, 2022, 209: 108658.
- [12] NILSSON U. The anxiety-and pain-reducing effects of music interventions: A systematic review[J]. Aorn Journal, 2008, 87(4): 780-807.
- [13] 范欣生. 音乐疗法[M]. 北京: 中国中医药出版社, 2002.
FAN Xincheng. Music therapy[M]. Beijing: China Traditional Chinese Medicine Press, 2002.
- [14] SALAMÉ P, BADDELEY A. Effects of background music on phonological short-term memory[J]. Quarterly Journal of Experimental Psychology, 1989, 41(1): 107-122.
- [15] ASHRAE Standard 55—2023, Thermal environmental conditions for human occupancy[S].
- [16] WU J S, HU Z Q, HAN Z X, et al. Human physiological responses of exposure to extremely cold environments[J]. Journal of Thermal Biology, 2021, 98: 102933.
- [17] HU Z Q, WU J S, YANG L, et al. Physiological and perceptual responses of exposure to different altitudes in extremely cold environment[J]. Energy and Buildings, 2021, 242: 110844.
- [18] JI W J, CAO B, GENG Y, et al. Study on human skin temperature and thermal evaluation in step change conditions: From non-neutrality to neutrality[J]. Energy and Buildings, 2017, 156: 29-39.
- [19] NUMMENMAA L, GLERAN E, HARI R, et al. Bodily maps of emotions[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences, 2014, 111(2): 646-651.
- [20] GUAN H Y, HU S T, LU M L, et al. People's subjective and physiological responses to the combined thermal-acoustic environments[J]. Building and Environment, 2020, 172: 106709.

(责任编辑 张晓靖; 英文校审 程文华)