

智能温控床垫的设计与研究

郇晓飞^a, 周国平^a, 张宏玉^b, 陈俊杰^a

(南京林业大学 a.信息科学技术学院 b.家具与工业设计学院, 南京 210018)

摘要: **目的** 睡眠温度是影响睡眠的重要因素。设计一款基于睡眠温度曲线的三分区智能温控床垫, 通过分区、分时段调整睡眠温度, 有效改善用户睡眠质量。**方法** 通过温度记录仪, 记录并绘制人体不同部位的睡眠温度曲线。根据人体在睡眠期间不同时间段及不同部位的温度需求, 将床垫分为头肩、躯干和腿部三个区域, 通过分区、分时段进行温度控制, 使人体在睡眠期间各区域、各时间段均处于睡眠温度舒适域内。针对硬件、软件和结构三个方面, 以智能化和人性化为原则, 对智能温控床垫进行创新性设计。**结果** 实验结果显示, 该床垫实现了高精度的分区、分时段温度控制, 同时能够按照用户设定进行温控时段和制热制冷自适应调整。**结论** 该床垫温度控制精准、安全高效、智能化和人性化程度高, 能够有效改善用户睡眠质量。

关键词: 睡眠温度曲线; 智能床垫; 分区控制; 舒适域; 自适应调整

中图分类号: TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2022)24-0197-07

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2022.24.022

Design and Research of Three Zone Intelligent Temperature Control Mattress

LI Xiao-fei^a, ZHOU Guo-ping^a, ZHANG Hong-yu^b, CHEN Jun-jie^a

(a. College of Information Science and Technology, Nanjing Forestry University, Nanjing 210018, China;

b. College of Furnishings and Industrial Design, Nanjing Forestry University, Nanjing 210018, China)

ABSTRACT: Sleep temperature is an important factor affecting sleep. The paper aims to design a three zone intelligent temperature control mattress based on sleep temperature curve to effectively improve users' sleep quality by adjusting sleep temperature in zones and periods. With the temperature recorder, the sleep temperature curves of different parts of the human body are recorded and drawn. According to the temperature requirements of different time periods and different parts of the human body during sleep, the mattress is divided into three areas: head-shoulder, trunk, and leg. The temperature is controlled by zoning and time periods, so that each area of the human body in any period during sleep is in the sleep temperature comfort area. Aiming at the three aspects of hardware, software and structure, the intelligent temperature control mattress is innovatively designed based on the principle of intelligence and humanization. The experimental results show that the mattress realizes high-precision zoning and time-division temperature control, and can adjust the temperature control period or heating and cooling adaptively according to user settings and device independent learning. The temperature control of the mattress is accurate, safe and efficient, intelligent and user-friendly, and can effectively improve users' sleep quality.

KEY WORDS: sleep temperature curve; intelligent mattress; partition control; comfort zone; adaptive time adjustment

随着生活节奏的不断加快, 人们的精神压力越来越大, 睡眠质量问题也逐渐被大家所关注。相关研究

表明, 睡眠质量的好坏与温度密切相关^[1-2], 而被褥微环境温度相较于室内环境温度对人体热舒适的影

收稿日期: 2022-07-31

基金项目: 江苏省研究生科研创新计划 (KYCX21_0903)

作者简介: 郇晓飞 (1998—), 男, 硕士生, 主攻智能家具与控制。

通信作者: 周国平 (1963—), 男, 副教授, 主要研究方向为智能仪器仪表与控制。

响更加显著^[3-4]，将信息化技术与人体工程学理论相结合，营造一个舒适、智能的睡眠环境，对改善睡眠质量有着重要的实际意义^[5]。

目前关于智能床垫的研究方向主要集中于通过对睡眠数据和人体健康数据的采集与处理，以实现为用户身体状况的监测^[6-9]，同时也有少数研究人员致力于研究在医疗等方面具有特殊用途的智能床垫^[10]。然而，通过智能温度控制，改善用户睡眠质量的研究则相对较少。目前各类温控床垫的研究^[11-12]，均未能考虑人体不同部位随时间变化的温度需求，存在功能单一、温控精度不高、智能化不足等问题。针对这些问题，本文提出一种基于睡眠温度曲线的三分区智能温控床垫，创新地将床垫分为头肩区域、躯干区域和腿部区域，根据三个部位的人体睡眠温度曲线与不同时间段的睡眠温度需求，分区、分时段进行温度智能调节。通过水循环及相关算法，使床垫温控方式安全高效，温度控制精准稳定，能够自适应调整温控时段与制冷制热模式，实现了真正意义上的智能温度控制。

1 智能温控床垫的理论及算法

1.1 分区、分时段温控设计

智能温控床垫的设计目的为通过调整睡眠温度，有效改善用户睡眠质量，因此，必须了解人体在睡眠状态下的热舒适性。现有研究大多是基于清醒状态的热舒适性研究，而针对睡眠状态的热舒适性研究较少。通过人体热舒适性实验，进一步探究人体睡眠状态下热舒适性与身体部位、睡眠时间的关系，进而能够对温控床垫进行合理的分区设计和温控系统设计。

本次热舒适性实验，共有 10 名实验人员（男女各 5 名），平均年龄为 24.14 岁（ $SD=1.06$ 岁）；平均身高为 167.6 cm（ $SD=9.16$ cm）；平均体重为 55.8 kg（ $SD=8.11$ kg）； BMI 值均处于标准人群范围。为控制无关变量，减少误差，每位实验人员经检查均身体健康，通过匹兹堡睡眠质量指数问卷保证近一个月内无睡眠障碍，睡前 6 h 内无剧烈运动与精神刺激，当日未饮用咖啡等刺激性饮品，实验时均采用统一实验服装、被褥、床垫进行测试。所有实验人员需要提前进行一次实验测试，如有不适者，不予参加本次实验。

实验条件设定为室温 16 °C（人体所处环境的中性温度），湿度范围为 50%~65%，风速范围为 1.0~1.2 m/s。如图 1 所示，将 IBUTTON DS1922 型温度传感器贴在受试人员的头部、肩部、背部、上臂、下臂、臀部、大腿和小腿八个部位，记录各个皮肤温度测试点在整个睡眠过程中的温度变化。实验结束后对受试人员进行热舒适性问卷调查，以保证记录的温度为人体热舒适状态下的睡眠温度。

对实验所得的各部位睡眠温度数据进行整理分析后发现，头部和肩部在整个睡眠过程中的温度相

似，可将其归类为头肩区域；同理可将背部、大臂、小臂、臀部归类为躯干区域；将大腿、小腿归类为腿部区域。根据测试数据取均值分别绘制三个区域的人体睡眠温度变化曲线，见图 2。

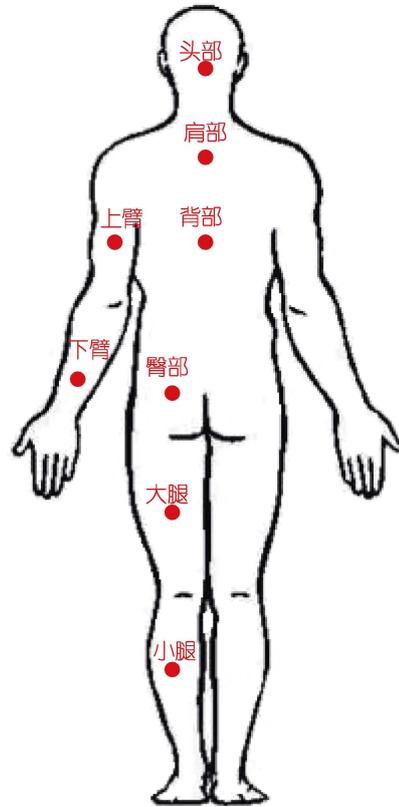


图 1 皮肤温度测试点

Fig.1 Sleep temperature curve of various parts of human body

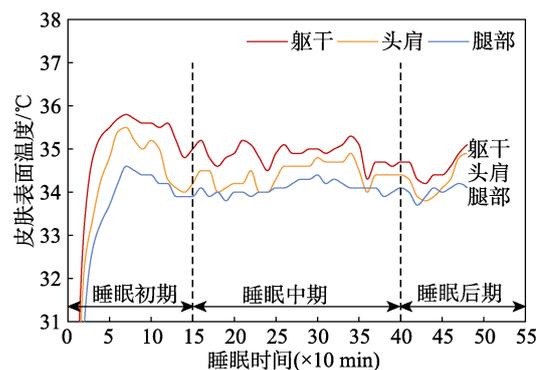


图 2 人体各区域睡眠温度曲线

Fig.2 Sleep temperature curve of various periods of human body

人体睡眠温度曲线随时间变化明显，按时间可将整个睡眠周期大致分为三个阶段——睡眠初期、睡眠中期和睡眠后期。睡眠初期，人体皮肤表面温度迅速上升至各部位睡眠温度最高点，然后出现稍许下降；睡眠中期，人体皮肤表面温度趋于稳定，出现稍许波动；睡眠后期，人体皮肤表面温度出现缓慢上升趋势。同一时间身体三个区域的温度也有明显差异，躯干区

域温度最高, 头肩区域次之, 腿部区域温度最低。

相关研究表明, 不同睡眠阶段人体不同部位的温度需求有所差异, 同时非均匀环境下通过局部温度的刺激, 能够有效改善人体的睡眠时间与睡眠质量^[13-14]。因此, 在实际设计中, 根据人体各部位睡眠温度需求的差异, 床垫的水平分区和垂直分层结构见图 3。

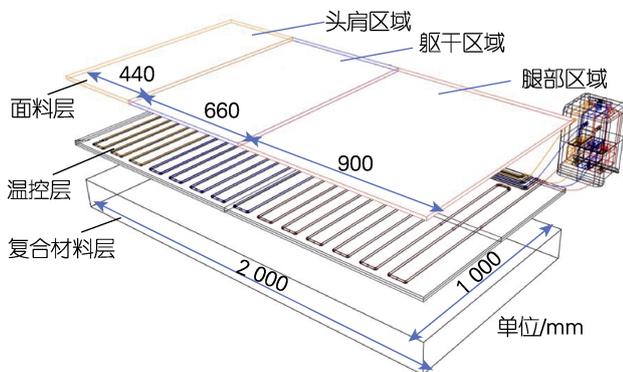


图 3 床垫结构图
Fig.3 Mattress structure

床垫尺寸为 2 000 mm×1 000 mm×150 mm, 总共包括三层: 面料层、温控层和复合材料层。按照国家标准人体尺寸数据, 根据长度将整个床垫分为三个区域——头肩区域 440 mm, 躯干区域 660 mm, 腿部区域 900 mm。床垫面料层选择 3D 透气面料加聚氨酯棉, 以保证床垫的柔软性、透气性, 并保证温度向上快速传递。在温控层中每个区域的水管均匀排布, 分三个水箱通过水循环对三个区域分别进行温度控制, 以求更好地满足人体睡眠温度的需求。复合材料层选择热阻较高的乳胶, 辅以海绵、袋装弹簧, 以保证床

垫良好的舒适性、支撑性, 同时有效阻止温度向下传递, 减少温度散失。

1.2 分区、分时段睡眠温度舒适域区间

相关研究表明, 睡眠质量与睡眠热舒适性大致呈正相关, 通过调整睡眠温度使人体处于睡眠温度舒适域内, 能够有效提高人体睡眠效率、改善人体睡眠结构、增加人体睡眠总时长^[1,5]。由于冬夏两季的睡眠环境不同, 睡眠热舒适性也存在明显区别^[15], 同时人体不同区域、不同睡眠时段的睡眠温度需求也有所不同, 因此本文针对冬夏两个季节, 分区、分时段探究人体睡眠温度舒适域区间。目前睡眠热舒适性评价标准大多采用主观评价的方式, 通过合理设计热舒适性问卷, 根据 ASHRAE 55-2013 标准对身体不同区域、不同温度下恒温睡眠环境的热舒适、热感觉进行 7 级评价, 对热可接受度进行 6 级评价^[1], 能够直接获取人体的热舒适感受。但该方法受主观影响较大, 且清醒后的实验人员, 对睡眠状态下的热舒适性记忆可能出现偏差, 因此需要辅以一种更客观的评价方式。研究表明, 心率、指尖血流量、血氧饱和度等客观人体参数在一定程度上能够反应睡眠热舒适性, 其中心率与睡眠热舒适性相关性最高, 能够较好地表征睡眠热舒适性(心率越低, 睡眠越平静越舒适, 即睡眠质量越好)^[15]。因此, 本次实验结合同课题组关于不同季节温控床垫对人体热舒适影响机理的研究^[1,16], 于夏季(7、8月)和冬季(12、1月), 利用热舒适性问卷和心率参数指标进行实验, 通过主客观结合的方式, 分别得出了冬夏两季人体三个区域的睡眠温度舒适域及中性温度见表 1。

表 1 冬夏两季各区域舒适域及中性温度

Tab.1 Comfort zone and neutral temperature of each area in winter and summer

季节	头肩区域		躯干区域		腿部区域	
	舒适域	中性温度	舒适域	中性温度	舒适域	中性温度
夏季	24.6~27.6 °C	26.1 °C	33.0~34.8 °C	33.9 °C	32.1~33.0 °C	32.6 °C
冬季	22.1~34.2 °C	28.1 °C	22.4~27.3 °C	24.8 °C	28.2~34.6 °C	31.4 °C

通过分区、分阶段改变温控床垫的温控值, 能够使整个睡眠过程的三个阶段, 以及人体各区域均处于睡眠温度舒适域内, 从而有效提高睡眠质量。采用控制变量法, 通过实验调整睡眠各区域、各阶段的温控值, 若在该温控值, 人体该区域该阶段的皮肤表面温度均处于睡眠温度舒适域内, 则认为该温控值为该区域该阶段的适宜温控值。实验得出的夏冬两季适宜温控范围和中性温控值见表 2—3。

理论上, 躯干部位各系统较为活跃, 温度需求不高; 而腿部区域血管稀疏, 温度需求较高。同时, 睡眠前期, 适当降低睡眠温度有助于用户快速入眠; 睡眠中期, 人体皮肤表面温度下降, 对周围温度感知降低, 适当地提高睡眠温度, 可以给予人体良性刺激;

睡眠后期, 适当提高睡眠温度, 可以起到唤醒用户的作用。由夏冬两季适宜温控范围的纵向对比可得: 腿部区域温控范围最高, 躯干区域次之, 头颈区域最低。由横向对比可得: 睡眠前期, 温控范围相对较低, 睡眠中期和睡眠后期相对较高, 符合相关理论。

表 2 夏季各区域适宜温控范围和中性温控值
Tab.2 Suitable temperature control range and neutral temperature control value of each area in summer

区域	睡眠前期		睡眠中期		睡眠后期	
	范围	中性	范围	中性	范围	中性
头肩区域	19~21 °C	20 °C	21~25 °C	23 °C	19~24 °C	23 °C
躯干区域	20~22 °C	21 °C	21~25 °C	23 °C	22~24 °C	23 °C
腿部区域	21~24 °C	22 °C	23~27 °C	25 °C	23~27 °C	25 °C

表3 冬季各区域适宜温控范围和中性温控值
Tab.3 Suitable temperature control range and neutral temperature control value of each area in winter

区域	睡眠前期		睡眠中期		睡眠后期	
	范围	中性	范围	中性	范围	中性
头肩区域	28~30 °C	29 °C	28~31 °C	30 °C	27~30 °C	29 °C
躯干区域	29~30 °C	29 °C	29~31 °C	30 °C	29~31 °C	30 °C
腿部区域	28~30 °C	29 °C	28~32 °C	30 °C	28~31 °C	29 °C

综合考虑空调睡眠环境的季节差异、温度等各项因素,智能温控床垫普通模式以各季节的中性温控值为默认温控值,能够较好地满足整体的睡眠热舒适性。同时从普适性和人性化角度出发,考虑地域差异与用户个体差异,床垫设有个性化模式。在该模式下,用户可根据自身所处地域与个人睡眠感受的不同,在工作范围内调节各区域各睡眠阶段的温控值,以求更好地满足不同地域与不同用户的睡眠温度需求。

1.3 自适应调整

1.3.1 温控时段自适应调整

因为各用户睡眠时长不同,所以对于不同用户在睡眠过程中三个时段的划分需进行调整。人体睡眠时间的长短因人而异,但睡眠初期、中期和后期所占睡眠总时长的比例却大致相等,依次大约为31%、52%和17%。用户可以自定义睡眠时长,同时床垫具有记忆功能,在长时间使用中自动记录用户的睡眠数据,按照睡眠时长和各睡眠时间段所占比例,自动调整不同的温度控制方案,满足用户睡眠的温度需求,实现温控时段自适应调整。同时考虑个体差异,用户也可以在个性化模式下,自主调节睡眠各阶段时长。

1.3.2 预冷预热自适应调整

为践行绿色高效的理念,达到节能的目的,床垫根据用户设定的工作时间,自适应调整预冷或预热时间。通过检测水箱温度,将该温度与床垫表面目标温度进行对比,自动实现床垫预冷预热模式的选择。当水箱温度高于目标温度时,床垫采用预冷模式,否则采用预热模式。同时根据两者的温差,自适应调整预冷预热时间,使预冷预热完成时间与用户设定的工作时间近似。制冷制热测试表明,在工作温度范围内,预热时间、预冷时间与温差,大致符合以下关系:

$$t_{\text{heat}} = 0.0025\Delta T_0^3 - 0.163\Delta T_0^2 + 3.91\Delta T_0 + 0.46 + \varepsilon \quad (1)$$

$$t_{\text{cold}} = 2.543\Delta T_0 + 3 + \varepsilon \quad (2)$$

式中: t_{heat} 为预热时间; t_{cold} 为预冷时间; ΔT_0 为水箱温度与目标温度的温差; ε 为预热预冷裕度(单位/min),可设置为1~10的整数,保证预热预冷效果。

通过预冷预热自适应调整,保证床垫从与用户接触开始,就达到目标温度,在有效改善用户体验的基础上,实现了节能的目标。

1.4 床垫表面温度-水箱温度变化关系模型

通过床垫表面温度的反馈实现闭环温度控制,能够实现高精度的温度控制。然而,温度传感器的使用,会降低床垫的舒适感,导致床垫表面线路复杂、漏电、传感器易损等潜在问题。因此,需要建立床垫表面温度与水箱温度的变化关系模型,通过检测水箱温度,以实现温度闭环控制。

温度损耗 ΔT_1 产生的主要原因为水流传输过程中与外界环境的热量交换,而热量交换的速度在水管表面积等条件相同的情况下,主要取决于水温与环境温度的温差 ΔT_2 。通过实验采集 ΔT_1 与 ΔT_2 的数据,在床垫温度控制范围内, ΔT_1 与 ΔT_2 的线性度较好。因此,根据测试数据,通过最小二乘法进行拟合,建立 ΔT_1 与 ΔT_2 的一次关系模型:

$$\Delta T_1 = 0.3754\Delta T_2 \quad (3)$$

该拟合函数拟合优度 R^2 为0.9957,表明该拟合曲线能够较好地表征原样本数据 ΔT_1 与 ΔT_2 的关系。根据式(3),建立床垫表面温度 T_{bed} 与水箱温度 T_{wx} 的变化关系模型:

$$T_{\text{bed}} = T_{\text{wx}} - 0.3754\Delta T_2 \quad (4)$$

检测水箱水温并带入模型,采用增量型PID算法,调整PWM占空比来控制设备的加热制冷功率和水泵功率,从而调整水箱水温和水循环速度,以实现对床垫温度的控制。

2 智能控床垫软硬件及结构设计

2.1 硬件设计

智能温控床垫总体设计框图见图4。

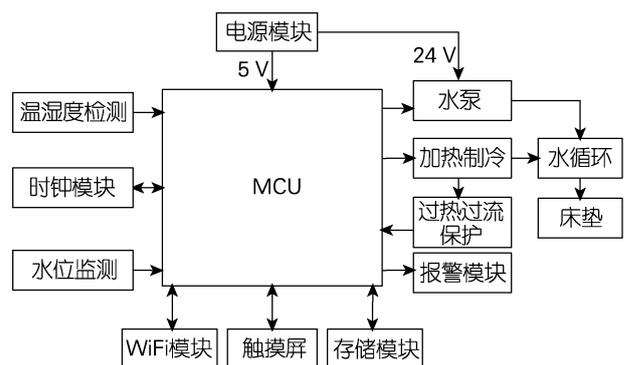


图4 总体设计框图
Fig.4 Overall design block diagram

整个床垫的硬件模块及功能如下,具体通过模块组合实现智能床垫的智能温度控制、用户信息设置保存和自适应调整等功能:

1) MCU模块: MCU模块是整个电路的核心部分,通过与各模块的通信以及对各模块的控制,实现床垫的智能控制。

2) 加热制冷模块: 加热采用PTC陶瓷加热管,

自动恒温、热效率高、安全性好; 制冷采用半导体制冷片, 体积小、无噪声、制冷速度快。

3) 过热保护模块: 采用常闭温控开关, 检测加热器温度和水箱温度, 实现加热器和水箱温度的双重保护。

4) 温湿度检测模块: 通过温湿度传感器, 实现对环境温度的监测。一方面用于床垫预冷预热自适应调整, 一方面用于校正床垫温度-水箱温度变化关系模型, 实现温度的精确控制。

5) 水位监测模块: 通过干簧管和磁环配合, 从而对水位进行监测, 防止干烧等事故的发生。

6) 触摸屏模块: 通过触摸屏与用户进行交互, 实现床垫个性化设置等功能。

7) WIFI 模块: 利用 WIFI 进行网络通信, 实现床垫的远程控制。

2.2 软件设计

整个装置采用模块化编程, 仅需通过函数接口就可完成各个模块的调用, 移植性好。智能温控床垫的温度控制主要流程图见图 5。

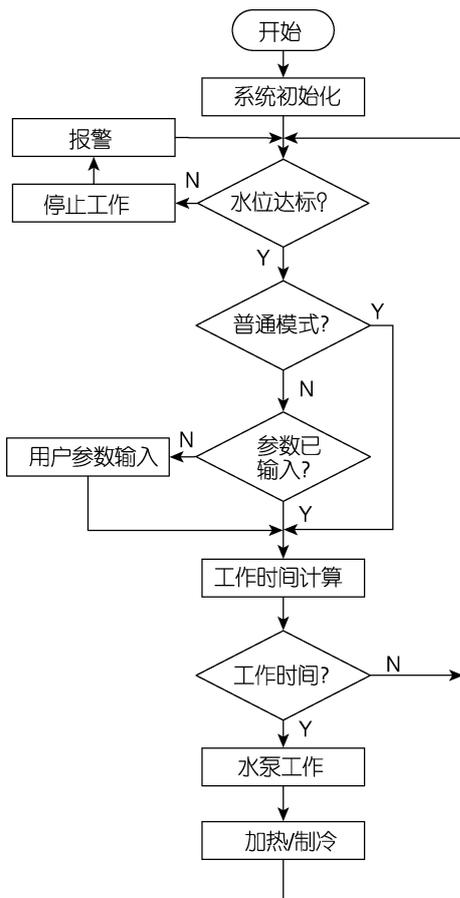


图 5 床垫温控主要流程

Fig.5 Main process of mattress temperature control

上电后, 装置自动初始化各模块, 之后依次判断水箱水位是否在安全范围内, 是否到达工作时间, 并

根据不同运行状况执行相应指令。装置有两种工作模式: 普通模式和个性化模式。若选择个性化模式, 还需在正式工作前通过触摸屏或 APP 进行用户参数输入。在开始工作后, 床垫会根据设定, 按照不同的模式进行工作, 根据环境温度对床垫进行预冷或预热, 在预冷或预热结束后, 系统按照用户设定的工作时间和工作模式开始运行, 直到工作时间结束。

2.3 结构设计

本次设计的水箱见图 6a, 在结构上充分考虑了温控床垫的实际需求, 创新性地进行了水箱设计。水仓与水箱注水口的长回廊设计, 一方面避免了水泵工作前后频繁缺水或溢水的问题, 另一方面能够保证水位平稳, 以便监测水位。水仓中的分区叶片与嵌入水仓中的散热片结合形成的栅栏式结构, 能够增大水流与散热片的接触面积, 保证水流与散热片充分接触, 有效提升水温冷却效果。水箱支柱内含干簧管, 水位浮子套在水箱支柱上, 两者结合, 能够简单可靠地对水位进行监测。水箱下部的两个出水口, 一个与床垫温控层相连, 一个与水泵和 PTC 加热器相连, 以实现水循环和加热功能。与市面上的水箱相比, 本次设计的水箱具有体积较小、功能完善、便于集成等优点。

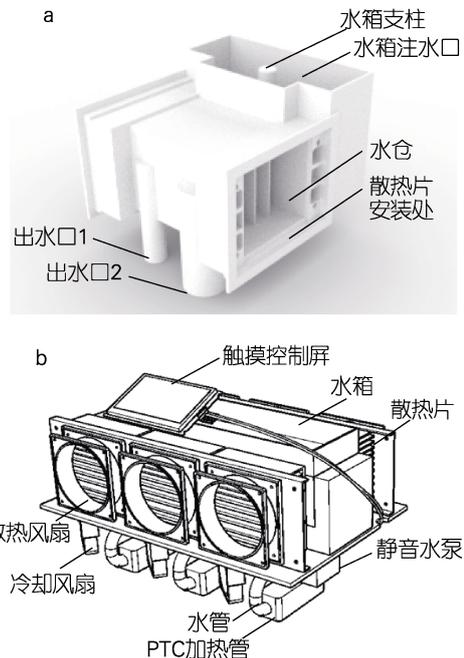


图 6 水箱与控制箱结构图

Fig.6 Structural drawing of water tank and control box

床垫控制箱的结构图见图 6b。控制箱通过触摸屏与用户完成交互, 通过三个水箱分别实现对头肩区域、躯干区域和腿部区域三个区域的温度控制。每个水箱通过散热片、制冷片 (安装于散热片中)、制冷风扇进行降温控制; 通过 PTC 加热管进行升温控制; 冷却风扇辅助电源散热, 避免电源出现过热故障; 静音水泵在完成水循环的基础上, 有效降低了装置

的噪音,改善了用户体验;同时水箱中还有水位监测、过热保护等装置,有效提升了整个装置的可靠性与安全性。

3 智能温控床垫实物与测试

3.1 实物

智能温控床垫控制箱部分与床垫部分的实物见图 7a 与 7b。床垫控制箱尺寸为 400 mm×250 mm×250 mm,体积较小,便于日常安装与使用。床垫通过三根水管,利用水循环,实现对床垫的分区温度控制。触摸屏日常工作界面见图 7c,显示信息包括各分区温度、时间、水位报警、温度报警等。整个界面操作简单、信息明了,方便老人、幼童操作,符合人性化设计原则。同时智能温控床垫自带 WIFI 模块,且开发了对应的手机 APP,能够通过移动设备进行远程控制。在万物互联的时代,将信息化技术与床垫相结合,符合智能家居全屋互联的发展趋势。

3.2 温控测试

对床垫的三个区域分别进行升降温测试,三个区域的升降温曲线基本一致。以躯干部分为例,在 2 cm 铺盖(100%棉),室温 10 °C,升温目标温度为 30 °C 的实验条件下,对躯干部位床垫进行升温测试;在 2 cm 铺盖(100%棉),室温 30 °C,降温目标温度为 23 °C 的实验条件下,对躯干部位床垫进行降温测试,两次测试的温度响应曲线见图 8a。在升温模式下,当设定温度与床垫表面温度温差大于 2 °C 时,

装置加热模块按最大功率运行;当温差缩小至 2 °C 以内时,装置采用 PID 算法进行温度控制。装置在升温温差为 20 °C 的实验条件下升温时间约为 35 min,稳定后床垫表面温度稳态误差小于 0.5 °C;在降温模式下,装置采用类似的控制模式控制制冷模块,在降温温差为 7 °C 的实验条件下降温时间约为 25 min,稳定后床垫表面温度稳态误差同样小于 0.5 °C。基于 PID 算法的温控方式使整个床垫温度控制速度快、精度高且超调量小。

基于对应的测试条件,在日常工作温度(20~35 °C)下对床垫的各温控值进行升降温测试,三次测试取误差最大值作为该温度的升降温床垫表面温度稳态误差,其测试结果见图 8b。测试数据表明,在常用温度范围内,床垫各温度的升降温稳态误差均小于 0.5 °C,能够精准调节人体各区域的睡眠温度。

3.3 用户测试

受试者一共 6 名(男女各 3 名),受试者受试要求与分区、分时段温控设计的热舒适性实验一致。在冬季环境温度(12 °C、14 °C、16 °C)和夏季环境温度(26 °C、28 °C、30 °C)六种工况下,利用热舒适性问卷对受试者睡眠感受进行主观测试,利用 e 睡眠多维健康检测垫对用户的睡眠质量进行客观测试。测试结果如下:

1) 在六种工况下,受试者在智能温控床垫使用前,睡眠热感觉由使用前的-1.5~+1.5 缩小至使用后的-0.5~+0.5,表明智能温控床垫能够有效改善受试者睡眠期间的热舒适性。

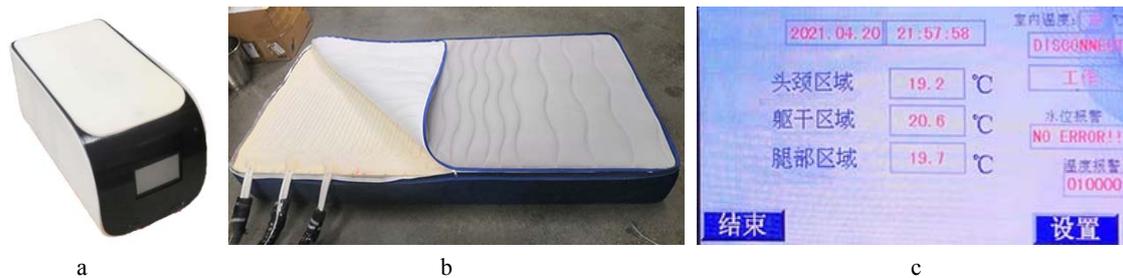


图 7 床垫控制箱实物图

Fig.7 Physical drawing of mattress control box

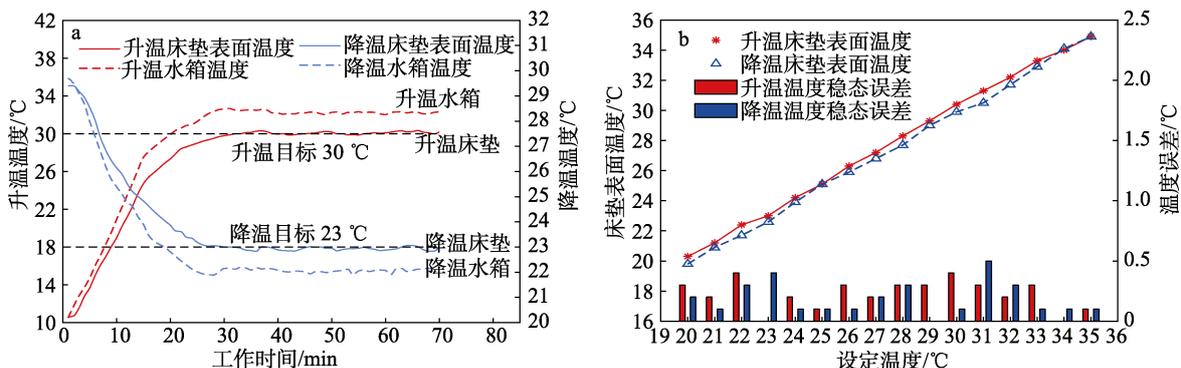


图 8 温度响应曲线与各温度稳态误差

Fig.8 Temperature response curve

2) 在六种工况下, 受试者在智能温控床垫使用前后, 深睡眠占整个睡眠时间的比例总体上增加约 2%; 睡眠效率总体上提高约 3%, 表明智能温控床垫能够有效改善受试者整体睡眠质量。

以上实物测试表明, 该装置能够较好地实现分区、分时段温度控制、自适应调整、用户个性化设置等预期功能。目前该智能温控床垫已通过企业验收, 经过长时间工作测试, 样机运行良好, 工作可靠, 能够智能调整睡眠环境温度, 有效改善测试人员的睡眠质量。

4 结语

根据人体不同区域的睡眠温度曲线, 对智能温控床垫进行了综合设计与开发。相对于市场上床垫的单一温控模式, 该床垫能够根据人体睡眠温度曲线进行分区、分时段温度控制, 使人体各个区域在整个睡眠过程中都处于睡眠温度舒适域中。床垫通过用户设定或自主学习, 自适应调整不同的温度控制方案, 同时根据床垫温度-水箱温度变化关系模型, 结合 PID 算法实现了温度的快速、准确响应。该装置的出现提升了温控床垫的智能化与人性化程度, 解决了常规温控床垫温度控制模式单一、精度低下等一系列问题。实验结果表明, 该床垫能够精准调整睡眠环境温度, 有效改善睡眠质量, 可广泛运用于生活之中, 具有较高的实用价值和经济价值。

参考文献:

- [1] 李霞霞, 申黎明, 高婧淑. 冬季温控床垫对人体热舒适的影响机理[J]. 林业工程学报, 2020, 5(3): 175-182. LI Xia-xia, SHEN Li-ming, GAO Jing-shu. Investigation of Influence Mechanism of Temperature-Controlled Mattress on Human Thermal Comfort in Winter[J]. Journal of Forestry Engineering, 2020, 5(3): 175-182.
- [2] 陈玉霞, 申黎明, 郭勇, 等. 床垫的人性化设计对睡眠健康的影响[J]. 包装工程, 2012, 33(12): 36-39, 71. CHEN Yu-xia, SHEN Li-ming, GUO Yong, et al. The Influences of Human Design of Mattress on Sleeping[J]. Packaging Engineering, 2012, 33(12): 36-39, 71.
- [3] WANG Ying-ying, et al. Appropriate Indoor Operative Temperature and Bedding Micro Climate Temperature that Satisfies the Requirements of Sleep Thermal Comfort[J]. Building and Environment, 2015, 92: 20-29.
- [4] 王兴卫, 刘艳峰, 宋聪, 等. 冬季室内热环境与被褥微气候的匹配[J]. 土木建筑与环境工程, 2016, 38(2): 91-96. WANG Xing-wei, LIU Yan-feng, SONG Cong, et al. Matching of Indoor Thermal Environment and Bed Climate in Winter[J]. Journal of Civil, Architectural & Environmental Engineering, 2016, 38(2): 91-96.
- [5] PAN Li, LIAN Zhi-wei, LAN Li. Investigation of Sleep Quality under Different Temperatures Based on Subjective and Physiological Measurements[J]. HVAC&R Research, 2012, 18(5): 1030-1043.
- [6] KE Chen-xi, CAI Yi-lun, ZHAO Tao, et al. Research on Intelligent Mattress Based on Improved SMS Structure Sensing Fiber[J]. Journal of Physics: Conference Series, 2021, 1802(2): 022023.
- [7] 吴健健, 陈韦晋, 章婷婷, 等. 基于智能床垫的心率检测系统[J]. 合肥工业大学学报(自然科学版), 2020, 43(3): 330-334, 388. WU Jian-jian, CHEN Wei-jin, ZHANG Ting-ting, et al. Heart Rate Detection System Based on Smart Mattress[J]. Journal of Hefei University of Technology (Natural Science), 2020, 43(3): 330-334, 388.
- [8] PENG Min, DING Zhi-zhong, WANG Lu-sheng, et al. Detection of Sleep Biosignals Using an Intelligent Mattress Based on Piezoelectric Ceramic Sensors[J]. Sensors (Basel, Switzerland), 2019, 19(18): 3843.
- [9] HUANG Yong-feng, XIAO Bo, LIANG Li-wei. Sleep Quality Assessment of the Elderly Based on Intelligent Mattress Monitoring Data[J]. Journal of Physics: Conference Series, 2019, 1237(2): 022156.
- [10] 刘文学, 李杰. 智能翻身医用床垫设计[J]. 机床与液压, 2019, 47(8): 53-56. LIU Wen-xue, LI Jie. Design of Intelligent Turning Medical Mattress[J]. Machine Tool & Hydraulics, 2019, 47(8): 53-56.
- [11] 刘书朋, 王雪涛, 李月梅, 等. 基于 STM32F103C8T6 的分布式温度传感碳纤维智能床垫的设计与实现[J]. 工业控制计算机, 2019, 32(7): 130-131. LIU Shu-peng, WANG Xue-tao, LI Yue-mei, et al. Smart Mattress with Distributed Temperature Sensing Based on STM32F103C8T6[J]. Industrial Control Computer, 2019, 32(7): 130-131.
- [12] RINCÓN-CASADO A. An Experimental and Computational Approach to Thermoelectric-Based Conditioned Mattresses[J]. Applied Thermal Engineering, 2018, 135: 472-482.
- [13] LAN L, QIAN X L, LIAN Z W, et al. Local Body Cooling to Improve Sleep Quality and Thermal Comfort in a Hot Environment[J]. Indoor Air, 2018, 28(1): 135-145.
- [14] QIAN Xiao-lei, et al. Effect of Local Cooling on Thermal Comfort of People in a Sleeping Posture[J]. Procedia Engineering, 2017, 205: 3277-3284.
- [15] 潘黎. 基于人体生理参数的清醒和睡眠状态的热舒适研究[D]. 上海: 上海交通大学, 2012. PAN Li. The Thermal Comfort Investigation of Awakening and Sleeping State Based on Physiological Parameters[D]. Shanghai: Shanghai Jiao Tong University, 2012.
- [16] 李霞霞, 申黎明, 晁焱. 夏季温控床垫与被褥微环境匹配舒适域[J]. 安徽农业大学学报, 2019, 46(2): 355-361. LI Xia-xia, SHEN Li-ming, CHAO Yao. Matching Comfort Zone between Temperature-Controlled Mattress and Bedding Microclimate in Summer[J]. Journal of Anhui Agricultural University, 2019, 46(2): 355-361.