

Study on Intelligent Air-Conditioning Garment Based on Thermoelectric Cooler

Xu Ran, Qinlu Huang, Fanglinke Yuan, Haosong Chen, Honghuo Li

Chengdu Textile College, Chengdu Sichuan
Email: 364016534@qq.com

Received: Dec. 27th, 2018; accepted: Jan. 10th, 2019; published: Jan. 17th, 2019

Abstract

In this paper, a kind of intelligent air conditioning garment is studied. Combined with sensors and control circuit, it can automatically adjust the temperature by using semiconductor cooler as the core refrigeration device. Thermoelectric cooler is very suitable for air-conditioning garment for the advantages of low power consumption, small volume, and high reliability and so on. The test results show that the garment sample can be cooled quickly and has good temperature stability, which is of high practical value.

Keywords

Thermoelectric Cooler, Intelligent, Air Conditioning, Garment

基于半导体制冷器的智能空调服装研究

冉 煦, 黄勤陆, 袁方琳珂, 陈浩松, 李红火

成都纺织高等专科学校, 四川 成都
Email: 364016534@qq.com

收稿日期: 2018年12月27日; 录用日期: 2019年1月10日; 发布日期: 2019年1月17日

摘 要

本文研究一种采用半导体制冷器作为核心制冷器件, 结合传感器与控制电路, 能够自动调节温度的智能空调服装。半导体制冷器具有功耗低, 体积小, 可靠性高等优点, 十分适合应用于空调服装。经测试, 该服装样品制冷速度快, 且温度稳定性良好, 有较高的实用价值。

文章引用: 冉煦, 黄勤陆, 袁方琳珂, 陈浩松, 李红火. 基于半导体制冷器的智能空调服装研究[J]. 计算机科学与应用, 2019, 9(1): 70-77. DOI: 10.12677/csa.2019.91009

关键词

半导体制冷器, 智能, 空调, 服装

Copyright © 2019 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

空调服的概念始于二十世纪五十年代美国航空航天局对宇航服内部温度控制的研究, 提出了宇航服的换气 - 冷却系统。目前空调服的发展主要有两类, 其一是利用压缩机等传统制冷设备将冷却后的空气或液体输送到空调服的各个部位从而达到降温的效果。如 2015 年由孙晓阳等人研究的一款高校环保空调服装[1]; 2018 年由王伟等人提出的用于配电网带电作业的空调服装[2]。其二是采用相变材料作为服装面料, 通过物质在相变过程中吸热、放热的特性, 达到保持温度的效果。如 1999 年美国 Natick 研究中心对蓄热调温纺织品进行研究, 开发出用于海军航空兵飞行员执行秋冬海上飞行任务时的飞行服保温内衬[3]; 王冬云研究了一种智能调温内衣, 通过相变微胶囊达到智能调温的效果[4]。张岑岑等人以微胶囊技术开发的新型功能面料, 在功能衬衫领域具有广阔的应用前景[5]。

上述两类空调服装各有千秋, 但缺点也较明显, 第一类体积大, 功耗高, 不方便携带; 第二类调温范围有限, 且无法自主设定温度。因此, 研究一种体积小、功耗低、方便穿戴、能自动调节温度的空调服装十分有意义。现阶段该类型空调服装的研究较少, 李帅兵等人提出了此类型空调服装的一些技术解决方案[6], 但尚未制作出实物; 某企业有少量生产但尚未形成规模, 由此可见, 该类空调服装尚有许多函待研究之处。

2. 空调服装散热原理

2.1. 人体散热机制

人体既是一个发热体, 又是一个散热体。根据红外热辐射原理, 任何有温度的物体都将向外界辐射红外线。人体皮肤的平均温度为 33°C , 因此其会向外发射红外线从而散发热量, 故辐射散热是人体散热机制之一。然而人体大部分热量是通过血液循环被带到皮肤表面后经微气候与服装向外界散发的。当人体温度与外界温度不同时, 皮肤与环境之间将形成温度梯度, 若皮肤温度高于外界温度, 热量将经过微气候区及服装材料传递到服装表面, 再通过热传导及对流的方式散发到环境中。

在理想状态下, 人体从皮肤散发热量到环境中的过程可分为三个阶段来讨论[7], 见图 1。

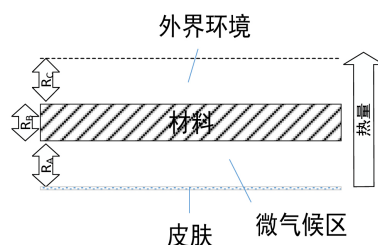


Figure 1. Skin heat dissipation process

图 1. 皮肤热量散发过程

第一阶段：热量从皮肤散发，经由皮肤表面及皮肤表面和材料内表面之间的空气间隙构成的微气候区传递到服装材料内表面，设微气候区的热阻为 R_A ，则传递的热量为：

$$Q_A = \frac{F_A(T_s - T_0)}{R_A} \quad (1)$$

式中 F_A 为人体皮肤表面积， T_s 为皮肤表面温度， T_0 为服装内表面温度。

第二阶段：热量从服装材料内表面传递到服装材料外表面，此过程中传递的能量为：

$$Q_B = \frac{F_B(T_1 - T_0)}{R_B} \quad (2)$$

其中， F_B 为服装材料内表面面积， T_1 为服装材料外表面温度， T_0 为服装材料内表面温度， R_B 为材料热阻。

第三阶段：热量由服装材料外表面传递到与其相接触的外界空气中，此过程中传递的能量为：

$$Q_C = \frac{F_C(T_1 - T_r)}{R_C} \quad (3)$$

其中， F_C 为服装材料外表面面积， T_r 为外界环境温度， T_1 为服装材料外表面温度， R_C 为材料外表面周围空气平均热阻。

由能量守恒定律可知，从皮肤表面散发出的能量等于外界空气得到的能量，综上三式可得

$$Q = \frac{F_A(T_s - T_r)}{R} \quad (4)$$

其中， Q 为皮肤表面散发的热量，同时也等于外界空气得到的能量， $R = R_A + R_B + R_C$ ， F_A 为皮肤表面面积， T_s 为皮肤表面温度， T_r 为外界空气平均温度。

由式(4)可知，若降低与服装材料外表面相接触的环境温度 T_r ，将能增加皮肤表面散发的热量 Q ，从而达到给人体降温的目的。

2.2. 半导体制冷器

1834年，法国物理学家帕尔贴发现，在铜丝的两头各接一根铋丝，然后将这两根铋丝接到直流电源的两端，通电后其中一个接头变热，另一个变冷。这种现象被称为“帕尔贴效应”，其物理原理为：自由电子在导体中运动形成电流，由于自由电子在不同的材料中处于不同的能级，当它从高能级向低能级运动时，就会释放出多余的热量。反之，就需要从外界吸收热量(即表现为制冷)。随着研究的不断深入，最终定义了由帕尔贴效应、塞贝克效应、焦耳热效应等效应综合作用导致的热电效应。然而由于金属中参与导电的自由电子能量差很小，因此热电效应在金属上表现不佳。

随着半导体技术的发展，热电效应的研究有了长足的进步。由特殊半导体材料制成的制冷片也得到了广泛的应用。将碲化铋等半导体材料制作为热电偶，当直流电流由P型半导体流向N型半导体时，P-N结的界面成为发热端，反之，当直流电流由N型半导体流向P型半导体时，P-N结界面成为吸热端。该过程中发热及吸热量的大小，由串、并联热电偶的数量以及通过电流的大小决定[8]。制冷器的工作示意如图2所示。

半导体制冷器相较于传统制冷技术有很多优点。首先，它不需要制冷剂，有效控制了对环境的污染；其次，它由电子电路构成，体积小，寿命长，可靠性高；再次，制冷方便，制冷速度快，只需要改变电流方向就可以改变制冷、制热端；最后，可以通过改变热电偶对的数量来改变其功率。这些特性非常有利于半导体制冷器在空调服装上的应用。

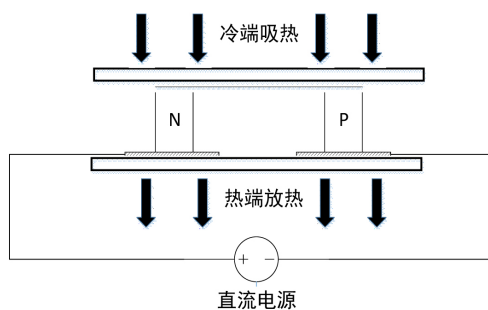


Figure 2. Working principle of semiconductor refrigerator
图 2. 半导体制冷器的工作原理图

3. 空调服装的设计

该智能空调服装主要由三个系统构成。一是制冷系统，主要包括泵循环系统、冷却液管道、空气出口、半导体制冷器、排气风扇及散热风扇；二是控制系统，主要包括温度传感器、信号处理单元、微处理器、电源、控制面板及显示器；三是辅助系统，主要包括空调服内层、中层、外层服装材料及由其构成的内、外两个空间，其中内空间又被称为微气候区，系统整体示意如图 3。

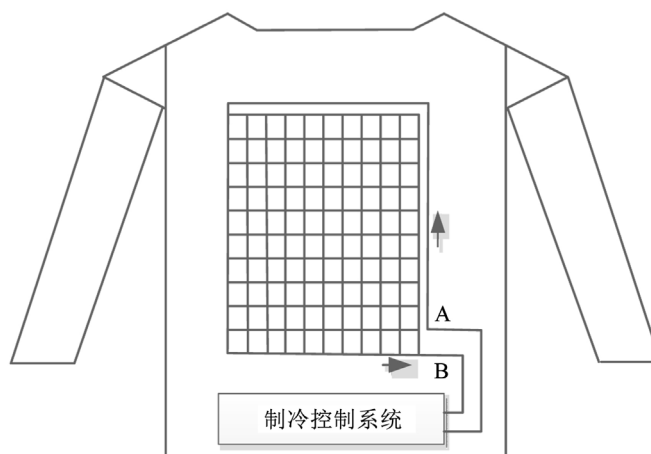


Figure 3. Schematic diagram of the intelligent air conditioning garment
图 3. 空调服整体结构示意图

3.1. 制冷系统

制冷系统是该智能服装的核心部分，主要由泵循环系统、半导体制冷器、排气风扇及散热风扇等组成。使用小型直流水泵经冷却液管道将冷却液送往空调服各处，其工作电压为 12 V，质量为 190 g，功率为 10 W；采用 TEC1-12706 半导体制冷器作为该空调服的制冷核心，其工作电压为 12 V，最大制冷功率为 58 W。冷却液管道采用网状结构排布在空调服的后背和前胸，如图 3 所示；冷却液容器采用凹形结构，用以嵌入半导体制冷器的冷端；冷却液流经半导体制冷器的冷端后被降温，在水泵作用下，由 A 口进入管道网，循环后由 B 口流回。半导体制冷器热端与空气出口连接，并安装有散热风扇。同时，服装腰部安装有排气风扇与微气候区连通，开启后可加速微气候区空气对流，达到辅助散热的效果。

3.2. 控制系统

控制系统由温度传感器、微处理器、电源、人机交互界面(控制按钮，显示器等)组成。以 STM32 作

为核心微处理器,温度传感器采用 WD3703 全数字可编程温度传感器贴片,与微处理器的 GPIO 口相连,如图 4 所示。WD3703 仅有三个接口,能够十分方便地与微处理器相连接,其准确度与精度都非常高:在 $-10^{\circ}\text{C}\sim+85^{\circ}\text{C}$ 范围内精度为 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$;13 位分辨率,可达 0.03125°C 。将其安装于空调服装的微气候区,该传感器能够实时监测服装内微气候区温度并适时将温度信号传送到微处理器;微处理器将据此启停制冷系统,进而调节智能空调服装内微气候区温度至设定状态。温度控制系统框图如图 5 所示。

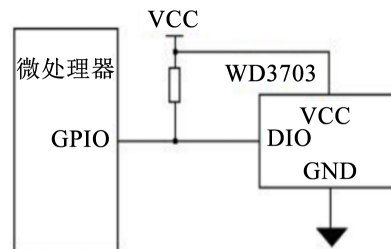


Figure 4. WD3703 circuit diagram

图 4. WD3703 电路图

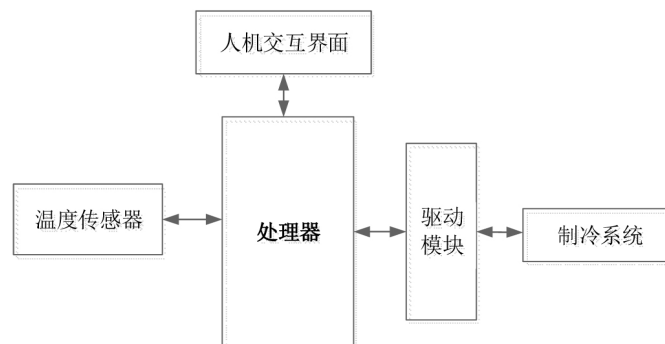


Figure 5. Block diagram of the Temperature control system

图 5. 温度控制系统框图

3.3. 辅助系统

辅助系统主要由空调服的内中外三层服装面料组成,其中内层和中层服装面料组成空调服的内空间,温度传感器和冷却液管道就分布在这一层;中层和外层组成空调服的外空间,该空间分布有空气出口、半导体制冷器、排气风扇、散热风扇、控制系统和电源等。

3.4. 工作过程

当穿着者通过控制面板选择制冷模式,并设定好温度后,智能空调服装将通过温度传感器自动采集到的温度信号经处理后送往微处理器;微处理器将其与设置温度对比后,决定是否启动制冷系统。制冷系统启动后,温度传感器会继续适时采集微气候区温度信号,以确保温度维持在设定值。微气候区的温度会实时地显示在液晶屏上。工作过程如图 6。

4. 性能测试

4.1. 静态测试

测试的智能空调服装样机采用 12 V 8400 mAh 锂电池供电,在环境温度为 30°C 的条件下,空调服装的温度范围可控制在 15°C 至 30°C 之间。为保证人体舒适度,宜将温度设置为 26°C 左右[9]。静态测试时,

若采用 12V 8400 mAh 锂电池供电, 可持续工作约 1.5 小时; 若改用 12 V 16,800 mAh 锂电池, 工作时间可达 3 小时。由此可知空调服装工作时的整体功耗为 70 W 左右。经市场调查后的直流水泵、半导体制冷器及直流压缩机对比如表 1。

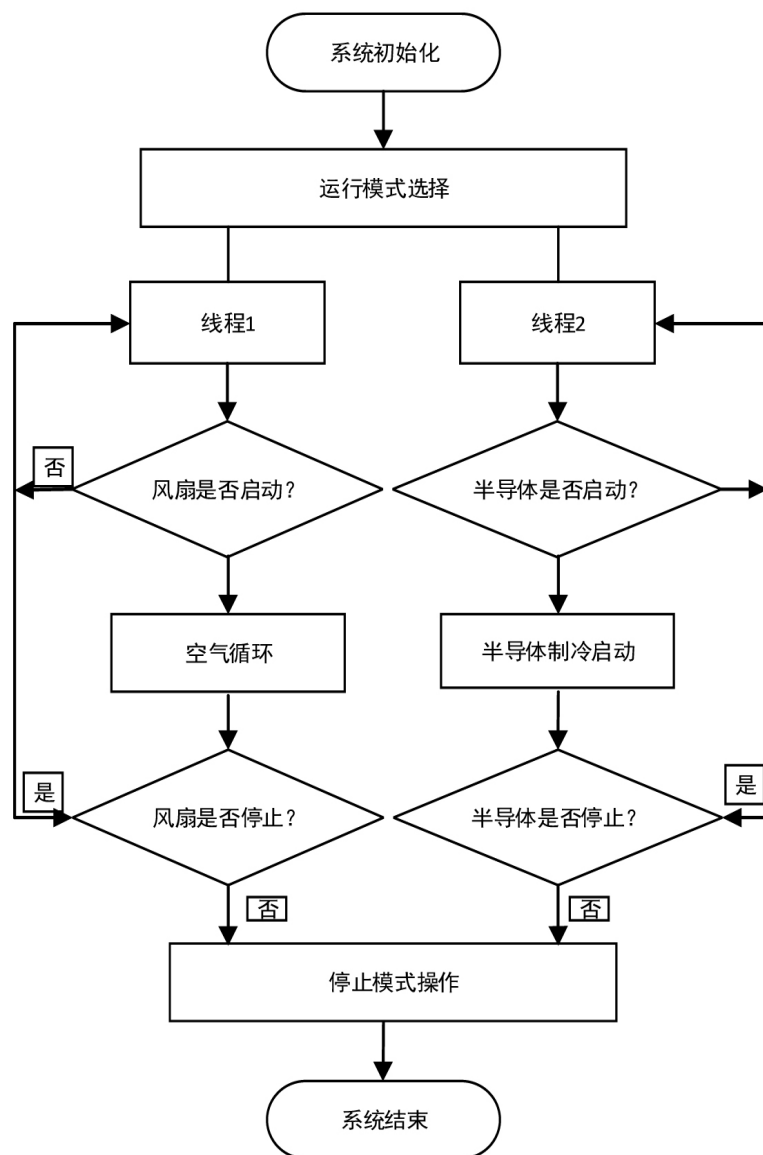


Figure 6. Working process of the intelligent air-conditioning garment
图 6. 智能空调服装工作过程图

Table 1. Comparison of DC pump and DC Compressor
表 1. 直流水泵与直流压缩机对比

名称	质量	功率	价格
直流水泵	190 g	10 W	160 元
半导体制冷器	30 g	58 W	10 元
直流压缩机 1	950 g	80 W	680 元
直流压缩机 2	1 kg	80 W	780 元

由表 1 知，直流水泵与半导体制冷器在质量、功耗以及价格上有明显的优势。

4.2. 动态测试

通过真人穿着测试了两个指标，一是相同时间不同散热方式的散热速率。

选择正常成年人 30 名，每 3 人一组完成一轮测试，3 人中一人穿空调服样品，另一人采用风扇降温，剩下一人不采用任何降温措施，各人员均在相同的环境温度下进行一定量的运动，确保所有人员测试时的体温高于正常体温，运动后立即采用标准且精准的电子体温表于腋下测量体温的变化；测量中每隔 3 min 记录一次，待全部人员测完之后，将所有时间间隔点的数据取均值。被测人员的平均体温变化趋势如图 7 所示。

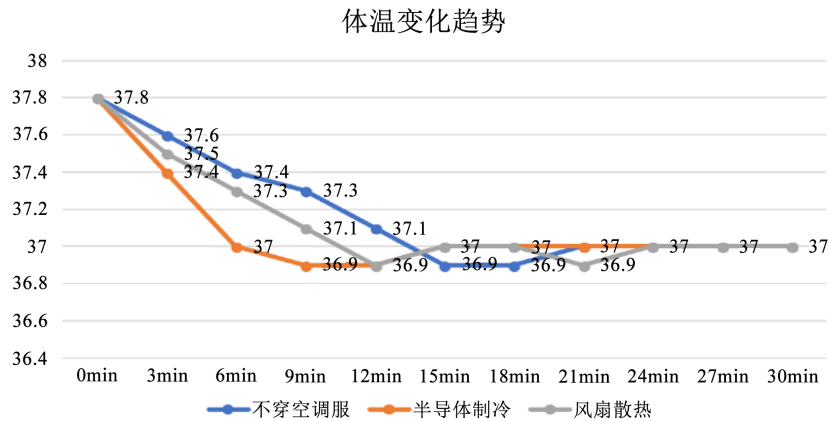


Figure 7. The trend of body temperature change
图 7. 体温变化趋势

由图 7 见，穿着空调服的人员在运动后 6 分钟体温降至正常水平，而另外两种方式将花费 11 分钟及 14 分钟。空调服的降温效果优于其他方式一倍左右。

测试的另一个指标为空调服达到设置的制冷温度所需时间以及温度稳定程度。测量时空调服微气候区的初始温度为 28.1℃，设定温度为 25℃。制冷器启动后，每三分钟测量一次，直到微气候区温度达到 25℃；此后继续每三分钟测量一次，持续 8 次。记录数据后重复该过程 10 次，得到平均温度变化趋势如图 8 所示。可见微气候区达到设定温度平均耗时 6 分钟，此后的 30 分钟内，温度稳定性良好。

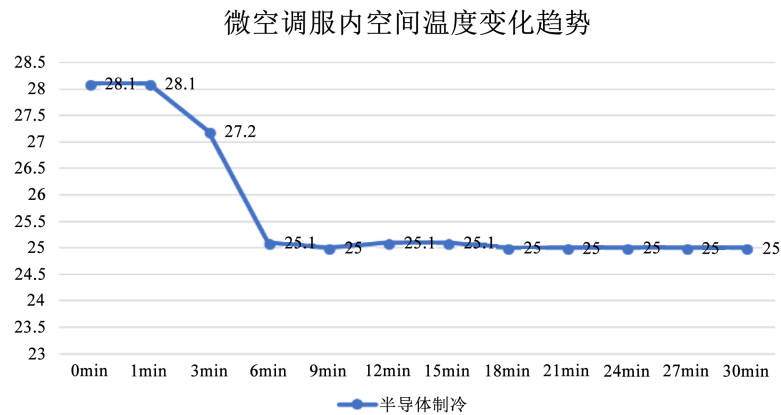


Figure 8. Stability of refrigeration
图 8. 制冷的稳定性

5. 总结

高温环境下易导致人体大量出汗、中暑,严重时甚至会造成人员伤亡。该智能空调服装很好地解决了特殊环境和热环境下工作人员由于热应激效应造成的体能消耗过快、作业能力下降的问题。本文阐释了人体散热机制及半导体制冷器的工作原理,重点对温度控制系统设计、冷却系统设计及工作过程进行了介绍。通过对产品原型的测试,该空调服装具有较好的制冷效果,适合在高温工作场所和领域推广应用;通过工程化产品改造设计后,在改善工作环境、提高工作效率、提高人们生活工作品质等方面具有广泛的应用前景。

基金项目

四川省科技计划重点研发项目(2018GZ0380),四川省教育厅重点研发项目(18ZA0007),校级项目(CDFZTDLK201601,2016FZLKB04)。

参考文献

- [1] 孙晓阳. 一种新型高效环保空调服的提出[J]. 应用能源技术, 2015(4): 34-35.
- [2] 王伟, 刘飞, 李成龙. 一种用于配电网带电作业的空调服装置[J]. 电子测量技术, 2017, 17(41): 32-36.
- [3] 郝新敏. 功能纺织材料和防护服装[M]. 北京: 中国纺织出版社, 2010.
- [4] 王冬云. 智能调温内衣: 中国, CN201110043567.3 [P]. 2012-8-29.
- [5] 张岑岑, 黄海涛, 甘润生, 等. 调温衬衣面料的服用性能测试分析[J]. 河南工程学院学报(自然科学版), 2017, 29(1): 17-21.
- [6] 李帅兵, 徐欣, 邢书琳, 等. 智能终端控温空调服装的研发[J]. 山东纺织科技, 2018(3): 10-12.
- [7] 刘丽英. 人体微气候热湿传递数值模拟及着装人体热舒适感觉模型的建立[D]: [博士学位论文]. 上海: 东华大学, 2002: 16-18.
- [8] Mohammed, R.K. and Chao, T.W. (2013) TEC Cracking in Temperature Margining Liquid-Cooled Thermal Tools in Post-Silicon Validation. *29th Annual IEEE Semiconductor Thermal Measurement and Management Symposium (SEMI-THERM)*, San Jose, CA, 17-21 March 2013, 85-92. <https://doi.org/10.1109/SEMI-THERM.2013.6526810>
- [9] 潘黎, 连之伟, 兰丽. 不同温度环境下的睡眠质量评价[C]//上海市制冷学会. 上海制冷学会 2011 年学术年会论文集: 2011 年卷. 上海, 2011.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2161-8801, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: csa@hanspub.org