

太阳能服装的开发与功能测试

周 澳^{a,b}, 刘成霞^{a,b}, 董 艺^a, 郭 怡^a, 李 昊^a

(浙江理工大学 a. 服装学院; b. “服装数字化技术”浙江省工程实验室, 杭州 310018)

摘要: 针对太阳能在服装上的应用有待深入且利用率较低的问题, 文章利用人台为载体, 在非稳态环境中对太阳能电池板安装位置进行探索, 进而将研究结果与服装面料和结构及电子器件进行综合优化设计, 制作出一款太阳能蓄电发热服, 最后对其发热能力进行测试研究。研究表明: 太阳能电池板位于前胸处时输出功率最高; 用红外热像仪测得该服装最高发热温度 42.62 °C, 平均温度 35.99 °C; 180 min 后在距离加热片 10 cm 处, 服装的表面温度尚有 26 °C; 测得该服装的实际发热时长为 2.74 h, 可为手机充电 2 次以上。研究结果显示该服装的蓄电发热性能良好, 太阳能可以在服装上得到有效利用。

关键词: 服装; 多晶硅太阳能电池板; 非稳态环境; 安装位置; 太阳能蓄电发热

中图分类号: TS941.731 文献标志码: B 文章编号: 1001-7003(2019)02-0063-08 引用页码: 021202

Development and functional test of solar clothing

ZHOU Ao^{a,b}, LIU Chengxia^{a,b}, DONG Yi^a, GUO Yi^a, LI Hao^a

(a. Fashion Design Academy; b. Zhejiang Province Engineering Laboratory of Clothing Digital Technology, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China)

Abstract: Considering that the application of solar energy in clothing needs to be deepened and the utilization rate is low, this study explored the installation location of solar panels in unsteady environment with mannequin as carrier, then optimized the research results with clothing fabrics, structures and electronic devices to produce a solar storage heating clothing, and researched the heating capacity of the solar storage heating clothing. Results showed that the output power of the solar panels was highest if the solar panels were located in the front chest; the highest temperature and average temperature of the clothing tested with infrared thermal imager were 42.62 °C and 35.99 °C respectively; the surface temperature of clothing was 26 °C in a place 10 cm away from the heater after 180 min; the heating time of the clothing could last 2.74 h, and could charge a mobile phone for over 2 times. It was proved that the heating performance of the clothing was fairly good and solar energy can be effectively used in clothing.

Key words: clothing; polycrystalline silicon solar panel; unsteady environment; installation location; solar energy storage and heating

地球能源稀缺越来越受到人们的关注, 节约能源已成为共识。太阳能具有清洁、环保的优点, 是国际公认的理想新能源^[1]。如何利用太阳能对人类服

务成为科研工作者的一个热点研究领域, 目前国内外对太阳能在服装上的运用和研究主要集中在太阳能发热和太阳能蓄电发电两个方面, 如拉皮迪斯等^[2]设计了一款太阳能连帽衣, 荷兰服装设计师 Pauline van Dongen^[3]设计了一款未来风格的太阳能充电服装, 德州学院和中原工学院^[4-5]各研发了一款太阳能服装, 这些服装主要利用太阳能来蓄电发电^[6]。此外, 郭富饶等^[7]设计开发了一款太阳能测压服, 沈雷等^[8]设计开发了一款专门面向老年人的太阳能发热服装。

收稿日期: 2018-05-08; 修回日期: 2018-12-13

基金项目: 浙江省大学生科技创新活动计划暨新苗人才计划项目(2017R406076); 浙江理工大学研究生创新研究项目(YCX16017)

作者简介: 周澳(1994—), 女, 硕士研究生, 研究方向为功能性太阳能服装的开发与测试。通信作者: 刘成霞, 教授, gloriol_liu@hotmail.com。

综上,虽然众多设计师和科研工作者设计开发了不同的太阳能服装^[9-10],但大多只是文字性描述其设计过程,缺少对太阳能服装功效进行较深入的实验研究^[11],其发热性能如何也尚未可知。针对这一现状,本文首先利用人台和多晶硅太阳能电池板在非稳态环境中对太阳能电池板的安装位置进行模拟研究,然后将研究结果运用到服装设计中,制作出一款利用太阳能电池蓄电发热的太阳能服装,最后利用红外热像仪和电子温度计对服装表面发热温度进行测试研究。

1 太阳能电池板安装位置实验

为更好地提高太阳能电池板在服装上的利用率,本文对太阳能电池板的安装位置进行探究,用人台对太阳能电池板在服装上的安装位置进行模拟,从而确定太阳能电池板的最佳安装位置。太阳能电池板的实际功率可通过测电流、电压来计算得出,将太阳能电池板安装在人台不同位置,并测试其在非稳态环境下的电流、电压来得到太阳能电池板的实际功率。对比市面常见的三种太阳能电池板,本文选择 160/84A 女装人台,多晶硅太阳能电池板(工作电流 160 mA,工作电压 5 V,尺寸 82 mm × 82 mm)进行模拟实验,其兼具转换效率较高、与服装配伍性较好且成本低廉的特点。实验地点选择在采光好、地势高的空旷天台上进行,测试时间选择在春季的白天 8:30 ~ 17:30,实验跨度为一个月。

1.1 仪器

PM8233C 万用表(北京美特途环保仪器有限公司);JTBQ-2 太阳总辐射表(锦州天诺环能仪器有限公司)。

1.2 位置

由于太阳能电池板应安装在活动量较少又能够较好地接受阳光的部位,如背部、前胸等,因此在人台上选择 8 个具有代表性的位置安装太阳能电池板(图 1),分别将这 8 个点记作 a_1 (左肩线与胸围线二分之一处于左公主线交叉点)、 a_2 (右肩线与胸围线二分之一处于右公主线交叉点)、 b (腰围线与前中心线交叉点)、 c_1 (腰围线与臀围线二分之一处于左公主线交叉点)、 c_2 (腰围线与臀围线二分之一处于右公主线交叉点)、 d (后颈点下方于后中心线交叉点)、 e (胸围线与后中心线交叉点)、 f (腰围线与后中心线交叉点)。



图 1 人台上选取的 8 个实验点

Fig. 1 8 points selected from mannequin

1.3 测试方法

1) 将人台朝正南方向放置在实验地点并固定,在每次实验过程中保持方位不变。并将 JTBQ-2 太阳总辐射表放置在无遮挡物的高处。

2) 把太阳能电池板安装在所选取的 8 个实验点上,在实验时间内,每隔一个小时用 PM8233C 万用表对电流、电压进行测试,具体为直接接触太阳能电池板两极测试一组太阳能电池在人台不同的 8 个位置点的电压、电流并记录数据,每组测试读数 3 次取中间值,测试时测试人员不要遮挡阳光。

3) 在测试时间内,每隔一个小时由测试人员进行一组测试并记录数据,每次测试读数 3 次取中间值。测试人员需同时记录当前的太阳能辐射量。

4) 将所得的电压与电流相乘,即可得到功率。

2 输出功率分析

测得一个月内 8 个实验点的电流电压,根据气象条件和测得的太阳能总辐射量将数据分为晴天(太阳能辐射强度 $700 \sim 1000 \text{ W/m}^2$)、多云(太阳能辐射强度 $100 \sim 400 \text{ W/m}^2$)、阵雨(太阳能辐射强度 $50 \sim 300 \text{ W/m}^2$)、阴天(太阳能辐射强度 $400 \sim 600 \text{ W/m}^2$) 4 种天气。因一个月内 4 种天气情况分布不均,所以每种天气状况随机抽取 3 天的实验数据取平均值进行绘图,图 2 分别显示了 4 种不同天气状况下 8 个点的输出功率。

从图 2(a)可以看出,晴天时 a_1 和 a_2 处太阳能电池板功率明显高于其他位置, d 次之,随后是 c_2 、 c_1 、 b 、 f 位置的功率相近, e 最弱。8 个位置的功率从 9:30 开始有所下降,到 11:30 后开始回升,至 14:30 又开始下降,总体变化趋势相近,可能是由于实验时

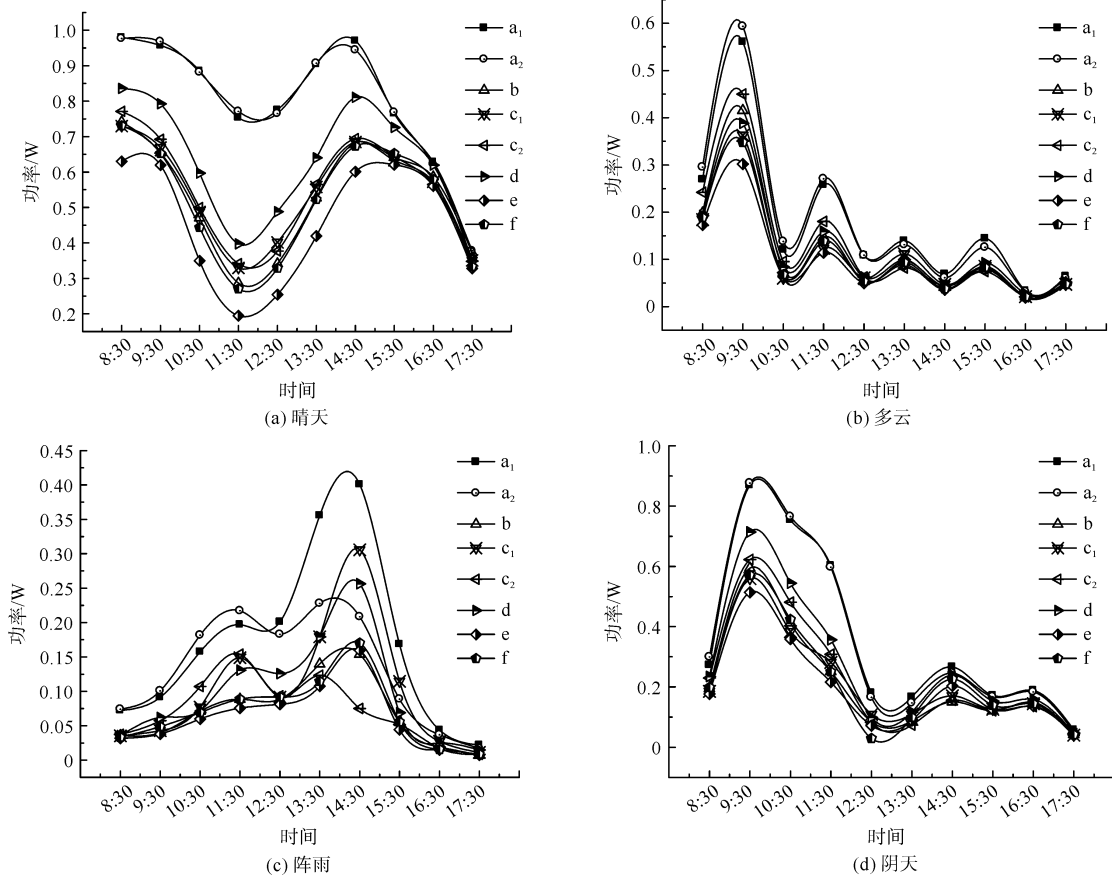


图 2 4 种天气情况下不同位置的功率曲线

Fig.2 Power curves at different locations in 4 weather conditions

间跨度较大且杭州春季雨水较多,所取值的 4 个晴天相互之间跨度较大,但 a_1 和 a_2 处太阳能电池板功率受这种影响较小。图 2(b) 显示,多云时 8 个位置的功率高低顺序与晴天一致,受云层变化影响,8 个位置功率曲线呈波浪形波动,且波动趋势基本一致,9:30 整体功率最高。图 2(c) 显示,阵雨时 8 个位置的功率曲线波动趋势与晴天和多云时有了明显不同,10:30~15:30 时 c_1 和 d 的功率出现了大幅度的变化且在 14:30 功率高于 a_2 位置,可能是受阵雨影响,但总体趋势还是 a_1 的功率高于其他位置。图 2(d) 表明,阴天时 8 个位置的功率曲线排序与晴天和多云一致,8 个位置的功率在 9:30 达到高峰然后开始下降,至 12:30 后整体变化趋于平稳,可能是由于阴天光照强度不够,中午过后基本没有光照。

4 种天气情况下晴天太阳能电池板功率最好,其次是阴天,多云和阵雨相差不大,主要原因是太阳能电池板功率受太阳辐射强度影响最大,其次是温度、环境湿度等。从上述实验结果可以看出,该实验方法对天气情况变化反应灵敏且能较准确反映不同天

气情况的太阳能电池板功率变化。

但上述结果仅能反映 8 个位置的功率变化趋势及天气对其影响,为进一步分析 8 个位置的功率差异,确定后续研究中太阳能电池板在服装上的安装位置,用 SPSS17.0 软件分别对 4 种天气情况下不同安装位置对功率的影响做显著性检验 ($P < 0.05$),如图 3 所示, a_1 和 a_2 处的功率与其他位置功率具有显著性差异且高于其他位置。

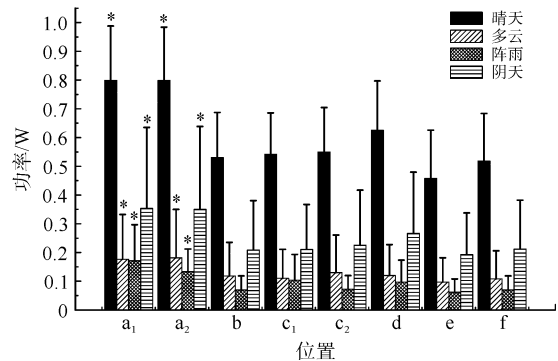


图 3 4 种天气情况下安装位置对功率的影响

Fig.3 Influence of installation position on power in 4 weather conditions

综上,在 4 种不同的天气状况下, a_1 和 a_2 处的输出功率都较大且具有显著性,可能由于这两点位置较高且处于人体凸面,在人体上没有遮挡,因此在后续的服装制作中,选择在 a_1 、 a_2 处安装太阳能电池。

3 服装设计制作

3.1 电路设计

为更好地提高太阳能电池板的利用率,按图 4 所示对电路进行优化设计减少损耗。电路设计图由 4 大

模块组成,分别是稳压电路、锂电池充电管理电路、升压电路、电池过放电保护电路。其主要特征是:所述充电接口(P1)正极与肖特基二极管(D3)连接,多晶硅太阳能电池板(J2)正极与肖特基二极管(D3)连接;稳压芯片(U1)GND 端与地相连接,稳压芯片(U1)BOOT 端与电容器(C1)一端连接,稳压芯片(U1)PH 端与电容器(C1)、二极管(D2)、电感(L1)连接,稳压芯片(U1)VSENSE 与电阻(R4)、电阻(R7)连接,其中电阻(R7)一端与电阻(R4)连接另一端接地。

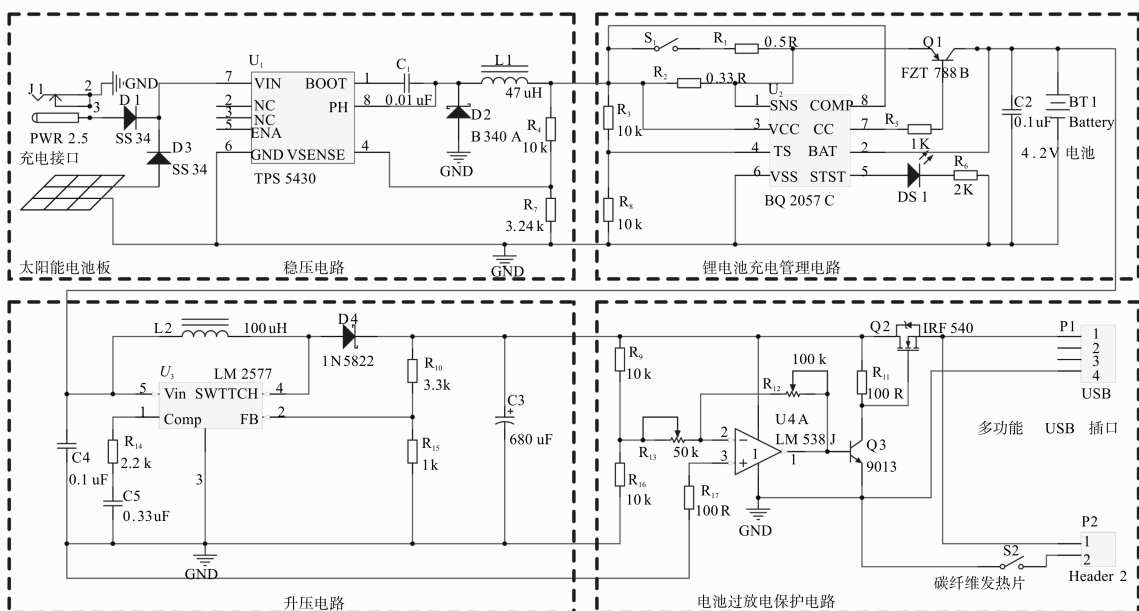


图 4 电路设计

Fig. 4 Circuit design

锂电池充电管理芯片(U2)VCC 端与 COMP 端连接在一起,开关(S1)一端与电阻(R1)连接并且电阻(R1)与电阻(R2)、锂电池充电管理芯片(U2)SNS 端、三极管(Q1)连接在一起,锂电池充电管理芯片(U2)TS 端与电阻(R3)、电阻(R8)连接在一起,锂电池充电管理芯片(U2)VSS 端与地连接,锂电池充电管理芯片(U2)端与电阻(R5)连接并与三极管(Q1)连接,锂电池充电管理芯片(U2)STAT 端与发光二极管(DS1)连接并通过电阻(R6)接地,锂电池充电管理芯片(U2)BAT 端与电容器(C2)连接并与锂电池(BT1)正极连接,运算放大器(U4A)4 管脚与三极管(Q3)、开关(S2)、多功能 USB 插口并与地连接在一起,运算放大器(U4A)1 管脚与滑动变阻器(R12)、三极管(Q3)连接。

3.2 面料的选择

服装在户外应用较多,需要充分考虑户外服装

的防雨防风 and 保暖保护需求,太阳能服装内含导线和电子元件连接,遇水易发生漏电、短路、电路受损老化等情况,因此在面料选择方面,防水性是极其重要的衡量指标。

本文选取了 3 款 100% 涤纶机织面料进行比较,其基本规格参数如表 1 所示。由表 1 可知,面料 1 的防水性最差,因此首先排除面料 1;面料 2 的透气性和透湿性都优于面料 3,且厚度居中,因此选择面料 2 制作太阳能服装。

表 1 面料规格参数

Tab. 1 Fabric Specification parameters

面料编号	成分	组织结构	厚度平均 值/mm	透气率/ ($\text{mm} \cdot \text{s}^{-1}$)	透湿率/ ($\text{m}^2 \cdot 24\text{h}$)	防水等级
1	涤纶	斜纹	0.254	125.00	4 616.3	ISO1
2	涤纶	斜纹	0.258	66.57	4 695.4	ISO3
3	涤纶	斜纹	0.328	2.86	4 217.7	ISO3

3.3 服装设计

根据上文的实验结果设计出一款太阳能蓄电发热服装,由带帽子和袖子的外层和无袖的马甲两部分组成。外层和马甲通过银色铜质四合扣衔接在一起。图 5 是此款服装的正面结构,其中 A 为镂空口袋,用于安放太阳能电池板;B 为口袋中间的细带,用于防止太阳能电池板在活动过程中脱落;C 为用于连接内部马甲的银色铜质四合扣。



图 5 太阳能蓄电发热服装

Fig. 5 Solar energy storage heating clothing

镂空口袋后有一条分割线,用于太阳能电池板的拆卸和导线的通过。口袋上端略高过分割线 0.8 cm,用于遮盖开口,避免服装穿着过程中豁开。镂空口袋的反面设计了一个尺寸略大于太阳能电池板的小口袋,在外出活动中遇到下雨或其他突发状况,可将太阳能电池通过上述分割线从外套表面移动到外套反面,放置在小口袋内。

内部无袖马甲设计为双层,将电路组件等安装在两层之间,便于服装拆洗。图 6 是马甲的正面结构,其中 1 为太阳能电池板,从外套镂空口袋分割线处掏出;2 为与图 5 中 C 位置对应的铜质银色四合扣;3 所指的方框内为碳纤维发热片(18 mm × 10 mm),位于马甲的夹层之中,左右对称,可在需要时提供热量;4 为集成了图 4 电路中的电子元件连接处;5 为锂电池。从 1 处收集的电能通过 4 处的稳压电路将电压稳定,然后到达 5 处锂电池进行储存,需要的时候可经由 5 放电到达 4 处升压,然后利用电池过放电保护电路供电给发热片或 USB 外接设备;电能还可以通过 4 处的充电接口进入 5,其余工作原理与上述类同,以此来完成太阳能服装的蓄电发热功能。

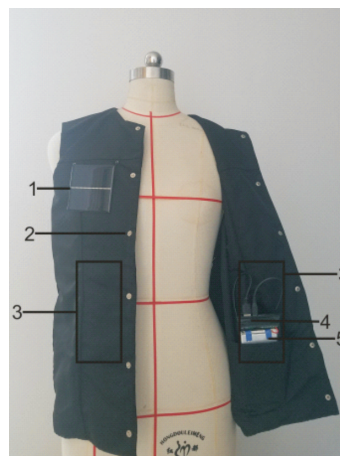


图 6 内层马甲正面

Fig. 6 Front side of inner waistcoat

马甲前片与外套位置对应的分割线处,安装有内径 3 mm 的银色铜质气眼,左右衣片各两个,用于导线的穿过,连接太阳能电池板与马甲内的电路组件。底摆处缝制了一段尼龙搭扣,日常穿着时搭扣粘合,需要修理电路或拆下电路组件将马甲进行清洗时,可通过开启这段尼龙搭扣进行操作。整套太阳能系统的质量约为(625 ± 10) g,整件太阳能服装的质量约为 1.5 kg,一件冬季上装的质量约为 1 ~ 2 kg,服装没有过重,比较符合穿着习惯。

4 服装的充电时间及发热性能测试

4.1 服装上蓄电池充电时间

在室内温度 19 ~ 26 °C、湿度 30% ~ 50%、室外温度 23 ~ 37 °C、湿度 25% ~ 41%、太阳辐射强度 271 ~ 998 W/m² 时,分别用 EP-TA20CBC 充电器和太阳能电池板为蓄电池(电压 3.7 V,容量 10 000 mah)充电,每种方式进行 3 组实验,蓄电池从无电状态到完全充满所需时间如图 7 所示。

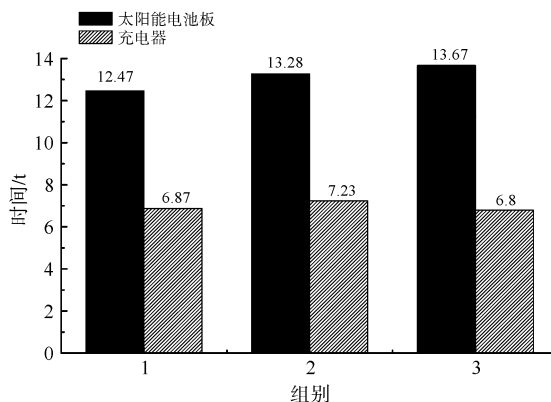


图 7 服装上蓄电池充电时间测试结果

Fig. 7 Test results of battery charging time on clothing

从图 7 可以看出,太阳能电池板充电时长约为充电器充电时长 2 倍,计算得太阳能电池板为蓄电池充电时长平均值为 13.14 h,充电器充电时长平均值为 6.97 h。受太阳能电池板自身性能影响,完全充满所需时间较长。

4.2 太阳能服装的加热性能

4.2.1 实验条件和仪器

在温度 19 ~ 26 °C、湿度 30% ~ 65% 条件下,采用 DM60M 红外热像仪(大立科技股份有限公司)、DM6801A 电子温度计(台湾泰仕电子工业股份有限公司),对太阳能服装的加热性能进行测试研究。

4.2.2 发热片的发热温度

发热片安置在服装后背中部、前片两侧位置,利用蓄电池进行服装发热实验,并用 DM60M 红外热像

仪测得服装发热 2 h 时的温度。图 8(a)(b)为服装前片温度变化范围,可以看出前片左右两边发热温度范围不一致,可能是右边同时放置有电子元件且电子元件在工作过程中也会产生热量引起。整体温度变化较均匀且覆盖较全面,通过对测得的温度进行统计计算可得,服装前片的最高温度为 42.62 °C,平均温度为 37.02 °C。图 8(c)(d)为服装后片温度变化范围,可以看出后片温度变化呈中心最高向外扩散,与实际发热片安装位置相吻合,且温度变化较均匀,覆盖较全面,最高温度为 39.42 °C,平均温度为 34.96 °C。综合图例和温度的统计计算可知服装整体发热性能良好,但红外热像仪难以对发热范围做出较具体的分析,因此还需用电子温度计对服装上不同点进行定点分析。

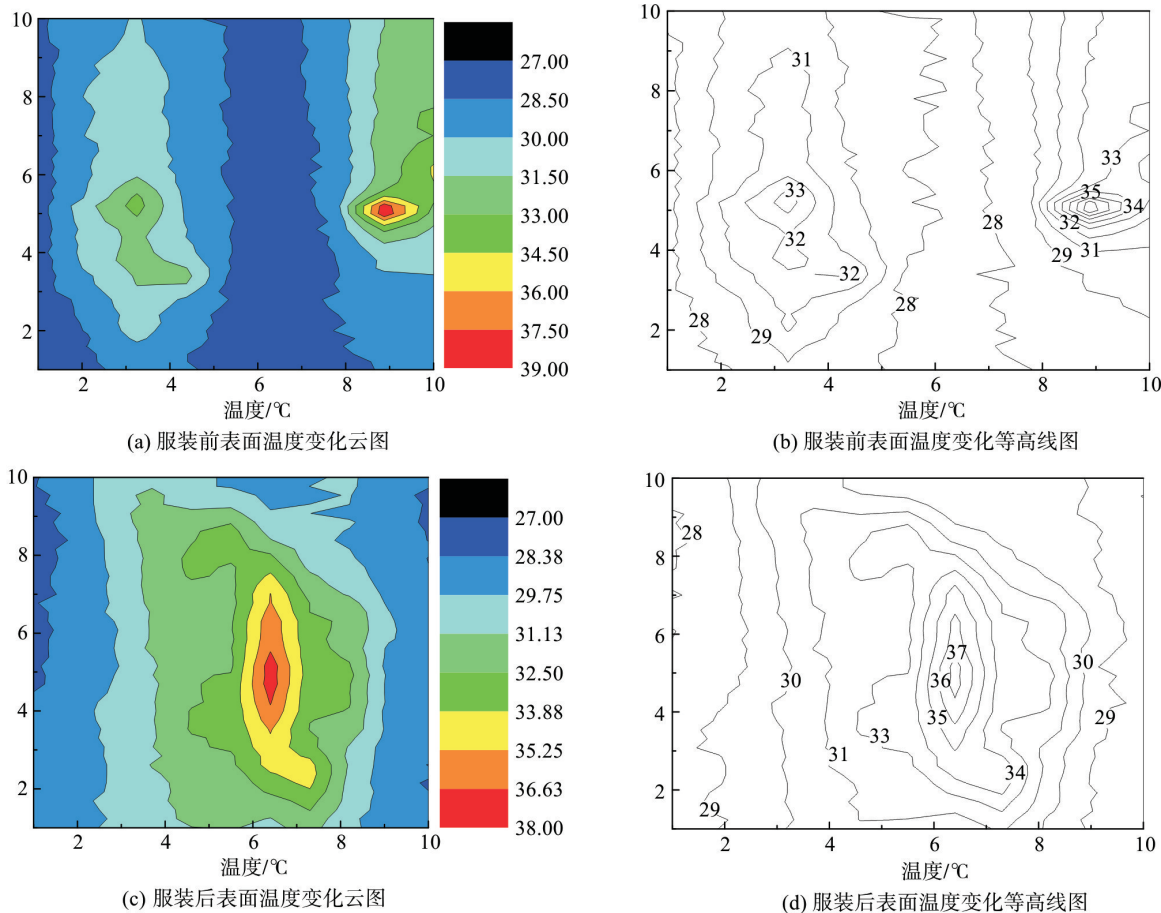


图 8 服装前后表面温度变化范围

Fig. 8 Temperature change range of front and rear surface of clothing

用电子温度计分别测量距离前后发热片不同位置时服装的表面温度,测温点离开发热片的距离分别取 0、5、10 cm,服装初始温度皆为 24 °C,测试结果如图 9 所示。根据测试过程及图 9 可知,发热片发热

速度较快,打开开关 10 min 后就能明显感觉到热度,持续发热 30 min 后温度有小幅度上升后趋于平稳,距离发热片越远温度越早趋于平稳,是因为距离越远受发热片温度变化影响越小。电子温度计所测得

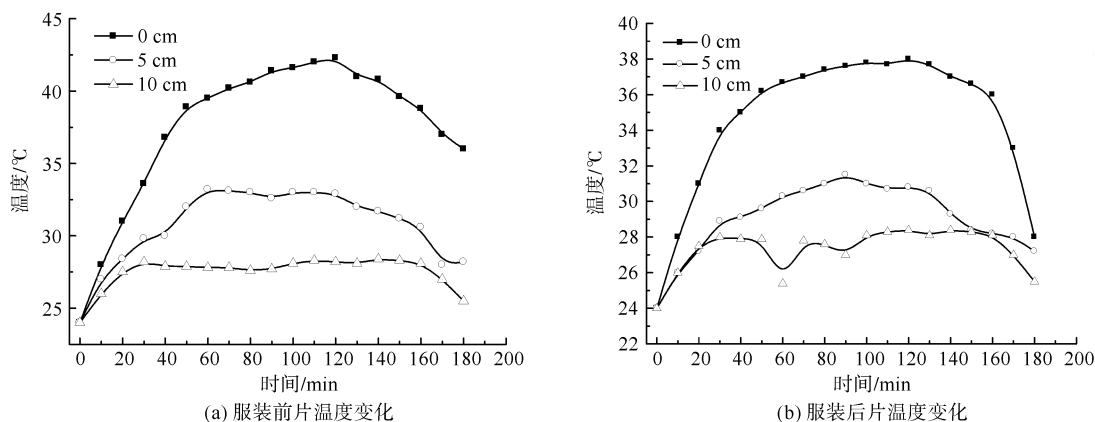


图9 服装表面温度随加热片距离变化趋势

Fig. 9 Changing trend of clothing surface temperature with the distance from heating plate

的最高温度为 42.3 °C 与 DM60M 红外热像仪测得基本一致。180 min 后在距离发热片 10 cm 的位置, 服装的表面温度尚有 26 °C, 持续时间较长, 发热效果良好。

4.3 蓄电池可供发热时长和手机充电次数

电路中蓄电池的电压 3.7 V, 容量 10 000 mah, 利用率约 75%, 理论上来说蓄电池可供功率为 10 W 的电子设备使用 3.75 h, 供功率为 5 W 的电子设备使用 7 h 左右。实际测得平均发热时长为 2.74 h, 与电子温度计测得的服装表面温度变化趋势相近。经过实际充电实验, 可以将手机(三星 G9300, 容量 3 000 mah, 使用时长 1 年)电量从 0 充至 100% 2~3 次。虽然进行了电路优化, 但在实际工作过程中电路仍损耗一部分能量, 导致理论使用时间与实际有偏差。

5 结论

通过实验测得在人体胸点上方安装太阳能电池板时, 工作效率最高, 将此研究结果应用于太阳能服装的设计与制作, 并对设计的太阳能服装进行充电时间及发热性能测试, 得到以下结论:

1) 本文实验方法对天气情况变化反应灵敏且能较准确反应不同天气情况的太阳能电池板功率变化, 不论何种天气, a_1 和 a_2 处的输出功率都较大且具有显著性。

2) 服装前后表面的最高温度为 42.62 °C, 平均温度为 35.99 °C, 发热性能良好, 且温度范围分布较均匀。服装前后表面发热片持续发热 30 min 后温度仍有小幅度上升, 后趋于平稳, 距离发热片越远温度越早趋于平稳。180 min 后在距离加热片 10 cm 的位

置, 服装的表面温度尚有 26 °C, 持续时间较长, 发热效果良好。

3) 使用太阳能电池为该款服装的蓄电池充电时长平均值为 13.14 h, 长于充电器的充电时长(平均值为 6.97 h)。电路中的蓄电池实际可供碳纤维发热片发热平均时长为 2.74 h, 可为手机(三星 G9300, 使用时长 1 年)至少充 2 次电。

参考文献:

- [1] 李春鹏, 张廷元, 周封. 太阳能光伏发电综述[J]. 电工材料, 2006(3): 45-48.
LI Chunpeng, ZHANG Tingyuan, ZHOU Feng. Summarization of solar energy PV generation [J]. Electrical Engineering Materials, 2006(3): 45-48.
- [2] FREDERIK C Krebs Matteo Biancardo, WINTHER Jensen, HOLGER Spanggard, et al. Strategies for incorporation of polymer photovoltaics into garments and textiles [J]. Solar Energy Materials & Solar Cells, 2006, 90: 1058-1067.
- [3] KREBS F C, NIELSEM T D, FYENBO J, et al. Manufacture, integration and demonstration of polymer solar cells in a lamp for the lighting Africa' initiative [J]. Energy Environ, 2010, 3(5): 512-525.
- [4] 孟秀丽. 一种功能性太阳能服装的设计与开发[J]. 上海纺织科技, 2011, 39(6): 39-41.
MENG Xiuli. The design and development of a functional solar costume [J]. Shanghai Textile Science & Technology, 2011, 39(6): 39-41.
- [5] LIU Zhe, WANG Xiucheng. Manufacture and performance evaluation of solar garment [J]. Journal of Cleaner Production, 2012, 42(3): 96-102.
- [6] ZOU D, WANG D, CHU Z, et al. Fibe shaped flexible solar cells [J]. Coordination Chemistry Reviews, 2010, 254(9): 1169-1178.
- [7] 郭富饶, 徐军. 一种太阳能测压服的设计与开发[J]. 上

- 海纺织科技, 2015, 43(11): 12-18.
- GUO Furao, XU Jun. The design and development of a solar energy blood pressure garment [J]. Shanghai Textile Science and Technology, 2015, 43(11): 12-18.
- [8] 沈雷, 任祥放, 刘皆希, 等. 保暖充电老年服装的设计与开发[J]. 纺织学报, 2017, 38(4): 104-108.
- SHEN Lei, REN Xiangfang, LIU Jiexi, et al. Design and development of warm clothing for the elderly [J]. Journal of Textile Research, 2017, 38(4): 104 -108.
- [9] 孙诺. 柔性太阳能电池供电服装: ZL201420597438. 8 [P]. 2015-02-04.
- SUN Nuo. Flexible solar battery power supply garment: ZL201420597438. 8 [P]. 2015-02-04.
- [10] 谢吉平. 太阳能板充电功能的服装结构: ZL201310357783. 4 [P]. 2013-12-11.
- XIE Jiping. Solar panel charging function garment structure: ZL201310357783. 4 [P]. 2013-12-11.
- [11] 颜英超, 刘咏梅. 太阳能电池及其在服饰设计上的应用[J]. 国际纺织导报, 2015, 43(9): 70-75.
- YAN Yingchao, LIU Yongmei. Solar cell and its application in fashion design [J]. Melliand China, 2015, 43(9): 70-75.