

服装用太阳能蓄电发热装置的研究与应用现状

赵尊强¹, 史慧^{1,*}, 郭晓芳²

(1. 内蒙古工业大学, 内蒙古 呼和浩特 010000;

2. 内蒙古师范大学, 内蒙古 呼和浩特 010000)

摘要:太阳能蓄电发热装置作为新型节能服装与其他御寒服装相比具有轻便保暖、节约资源、零污染、零排放的优势。通过查阅国内外文献资料,论述了当前服用太阳能蓄电发热装置中核心设备(太阳能光伏电池与发热体)的技术开发现状,分析了国内外太阳能蓄电发热装置在服装上的应用现状,探讨了太阳能蓄电发热服装的发展趋势。

关键词:太阳能蓄电;电发热;太阳能电池;发热体

中图分类号:TS941

文献标识码:A

文章编号:1673-0356(2022)01-0001-05

当寒冬到来的时候,人们通常通过改变着装的材质、转换或者增加着装的填充物、调整着装的层数等被动保暖方式实现御寒目的。随着我国经济社会的发展与生产方式的进一步变革,现代人们对于自身着装的舒适度、轻便感、功能化和美观性等都提出了更高的要求,传统的被动保暖型服装大多体积笨重、缺少美感、灵活性差、不便于躯体运动。对于那些在极寒气候区域和极端低温条件下进行工作的人们来说,传统的被动保暖型服装并没有能够很好满足他们对于服装的各种功能特点的要求,因此自身携带一定热源的积极产热保暖型服饰的开发与应用具有重大意义。积极产热型服装按照使用的热源品种主要可以划分为三类:即电热型服装、化学热型服装和太阳能热型服装。其中,太阳能蓄电加热服装作为一种新型太阳能加热服不仅是实现冬装轻便保暖的重要方式,也是清洁能源开发与利用的具体实践。随着太阳能技术的日益成熟、现代服装制造工艺的进步、设计理念的转变都为太阳能蓄电服装的发展提供更加强大的技术支撑与更光明的发展前景。

1 太阳能蓄电加热装置研究现状

太阳能蓄电发热装置是指利用光伏电池及配套器件将太阳能直接转化为电能并储存在移动电池中,然后通过加热装置将储存在移动电池中的电能以热能的形式释放出来的装备系统。因此,太阳能蓄电加热装

置主要涉及到光能转换为电能和电能转换为热能两个能量转换过程^[1]。以两个能量转换为分界点可以将太阳能蓄电加热装置分为太阳能蓄电装置和电加热装置。太阳能蓄电装置的核心设备是指太阳能光伏电池,发热装置的核心设备是指加热体。

1.1 太阳能光伏电池

目前在电池研究生产领域已经开发和正在研究的太阳能电池产品可以大致划分为以下两个大类:第一类为晶体硅太阳能电池,主要包括单晶硅太阳能电池与多晶硅太阳能电池两种;第二类为薄膜太阳能电池,主要包括硅基薄膜太阳能电池、化合物半导体太阳能电池及其他新型薄膜电池三种。具体分类如图1所示。

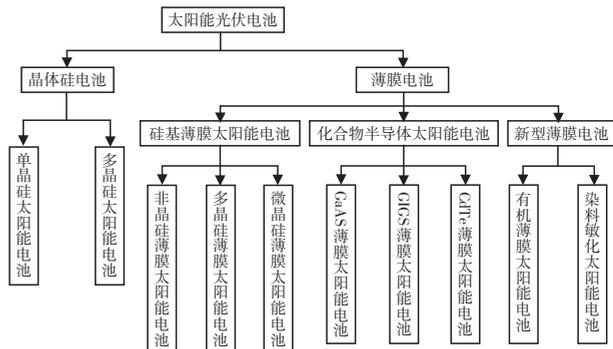


图1 太阳能光伏电池的分类示意图

目前,薄膜太阳能电池是从事太阳能服饰开发者们研究与应用的热门方向与主流品类,包括:非晶硅薄膜太阳能电池、CdTe(碲化镉)薄膜电池及GIGS(铜铟镓硒)薄膜太阳能电池^[2-3]。

薄膜太阳能电池(简称薄膜电池)指以硅、砷化镓及硫化镉等为原材料制备形成且能够利用光化学效应

收稿日期:2021-07-18;修回日期:2021-08-16

作者简介:赵尊强(1992-),男,汉族,硕士研究生,主要研究方向为服装舒适性及功能。

*通信作者:史慧(1979-),女,教授,博士,主要研究方向为先进服装制造技术,服装结构设计,蒙古族服饰设计,E-mail:1406896628@qq.com。

或光电效应将光能有效转化为电能的薄膜装置,其厚度仅为微米量级^[4]。薄膜电池拥有硅基电池无法比拟的生产成本低、硅材消耗少、光电转换效率高的强大优势,所以世界各国纷纷布局薄膜太阳能产业,催生了一大批太阳能电池的研发企业。全球主要薄膜太阳能电池企业见表1。

表1 全球主要薄膜太阳能电池企业

序号	企业	国别	类别
1	First Solar	美国	CdTe
2	Solar Frontier	日本	CIS
3	汉能	中国	CIGS
4	中建材凯盛科技	中国	CIGS
5	中建材 Avancis	德国、韩国	CIGS
6	汉能 Miasole	美国	CIGS
7	中山瑞科	中国	CdTe
8	汉能 Solibro	德国	CIGS
9	中建材 CTF Solar	德国	CdTe
10	汉能 GSE	美国	CIGS
11	杭州尚越光电	中国	CIGS
12	神华 Manz	德国	CIGS
13	杭州龙焱	中国	CdTe
14	Ascent solar	美国	CIGS
15	Midsummer	瑞典	CIGS

1.1.1 非晶硅薄膜太阳能电池

非晶硅薄膜太阳能电池一般又简称为 a-Si,它主要指的是一种以新型非晶硅化合物作为基础材料而进行构造的非晶硅薄膜太阳能电池^[5]。

最近几年,非晶硅薄膜太阳能的技术研究重点集中于如何有效提高光电转化的利用效率、如何进行各种大面积材料生产工艺试验以及低温制备与生产工艺试验三个主要方面。另外,转换效率偏低和光致衰减效应依然是当前非晶硅薄膜太阳能电池的主要问题^[6]。目前在技术上主要是通过制造双结、三结及多结结构以达到提高此类太阳能电池转换效率和稳定性的目的。日本中央研究院近年利用一系列的创新技术开发出了一款稳定转化效率达 13.6% 的三结结构非晶硅薄膜太阳能电池^[7];美国联合太阳能公司(vssc)自主开发出来的三带隙三叠层结构储能电池的最高能量转换效率大约为 13%;汉能公司近年通过对欧瑞康的创新技术成果进行优化整合,开发的非微晶硅基双结叠层结构电池组件的光电能量转换效率高达 10% 以上^[8]。同样是汉能公司多年攻关自主开发研制的三结结构电池使光的吸收范围有效扩大,初始的光致衰减效应在一定程度上被减小,规模化产品生产过程中光致衰减效应稳定后的光电转换效率依然可

以达到 8.2%^[9]。

非晶硅薄膜电池因其起步早、光吸收系数大、生产成本低、弱光效应好、适于规模化生产等优点^[10],使得其成为产业化程度最高的薄膜电池,备受光伏市场的青睐。另外非晶硅薄膜电池无毒无害、物美价廉,又具有较高的柔韧性和卷曲性,适用于规模较小、柔韧性较好的电子产品,因此不少太阳能服饰研究者选择将其作为研究服用太阳能装置的重要品类。

1.1.2 碲化镉薄膜太阳能电池

碲化镉薄膜太阳能电池通常被简称为 CdTe 电池,这是一种以 p 型 CdTe 和 n 型 CdS 的异质结为基础材料,在玻璃或其他柔性衬底上依次沉积多层薄膜而构成的光伏器件。标准化的 CdTe 电池由 5 层结构组成,首先是起到支撑作用的透明玻璃衬底,其次是透光和导电的 TCO 层,再次是 n 型半导体 CdS 窗口层,然后是起到吸收作用的核心层——CdTe 吸收层,最后是最大限度引出电流的背电极。

目前,研究人员和生产厂商在 CdTe 电池上的研究焦点依然是如何降低生产成本和如何提高光电能量转换效率。美国第一太阳能公司(First Solar)科研团队自主研发的核心产品 CdTe 电池的实验室光电能量转换效率高达 22.1%,其量化的商业化 CdTe 电池的光电能量转换效率达到了 16.4%^[11]。另外,我国龙焱公司生产的 CdTe 太阳能电池组件尺寸达到 1.2 m × 0.6 m,组件平均光电转化率超过 12.5%。2017 年 2 月,龙焱能源实验室测得 CdTe 太阳能电池的光电转换率达 17.33%^[12]。2018 年 1 月,中国建材集团生产的世界第一块面积 CdTe 薄膜弱光发电玻璃的实验室转化率为 17.8%^[13]。

一方面 CdTe 电池不仅具有较理想的禁带宽度、吸收系数及温度系数,而且它的弱光性较好、热斑效应小、电池性能稳定、电池结构与制备过程简单,同时兼具生产成本较低、大规模应用光电能量转化效率高的巨大优势^[14]。另一方面用于制造 CdTe 电池的主要原材料是镉,镉作为一种被公认的剧毒物质,其对人体的危害不亚于汞,直至目前研究人员还没有找到有效解决这一问题的方法。因此,CdTe 电池现阶段仍不符合服用安全无毒的服用理念,太阳能服饰开发者们对于在服饰上能否应用此品类电池都持较谨慎的态度。

1.1.3 铜铟镓硒薄膜太阳能电池

铜铟镓硒薄膜太阳能电池又称之为 CIGS 电池。

它是在 P 型半导体铜钢镓硒和 n 型半导体硫化镉 CdS 或硫化铜异质结基础上进而在玻璃材质背板上依照次序沉积多层薄膜构造的一种薄膜太阳能电池^[15]。CIGS 电池结构一般都包含金属或者塑料材质的柔性衬底、Mo 背电极、CIGS 吸收层、CdS n 型缓冲层以及 i-ZnO 与 ZnO:Al 薄膜导电窗口层,最后是 Ni/Ni/Al 栅电极,为了提高进入电池的光子数量,通常还会在最上面镀一层减反射膜。

CIGS 电池是目前发展最快、转换效率最高的薄膜太阳能品类,在其研发上各大厂商也不断取得新突破。目前,日本 solar frontier 公司自主创造的 CIGS 电池在实验室的最高工作效率已经可以达到 22.9%^[16];国内的汉能太阳能公司通过技术创新实现了在玻璃基板上 CIGS 电池 22.92% 的最高光电能量转换效率,此外,该公司在柔性基板上创造了 CIGS 电池 20.56% 的光电能量转换效率,这也是中国在此类电池上的最高效率^[17]。

CIGS 电池拥有的高效光电能量转化率与硅基太阳能电池旗鼓相当,不论是在大面积及超大面积组件发电,还是在电子航模器件的小面积应用上,CIGS 电池均表现出了优异的性能。同时在柔性基板上制造的铜钢镓硒电池片轻薄如纸,不仅具有良好的稳定性、抗辐射性、弱光性,而且优越的柔韧性与卷曲性是其他品类太阳能光伏电池所无法比拟的。CIGS 电池理论上比其他品类电池更容易满足太阳能服装的轻便、灵活、舒适、安全、绿色、节能、健康的服用要求。因此,CIGS 电池必将成为太阳能服饰研究学者们关注的主流。

1.2 电发热体

电发热保暖服装的发热体一般是指依靠电能来释放热量的发热装备,通常分布在前胸、前腹、后腰、后背、大腿、小腿和关节等对热比较敏感的部位^[18]。发热体作为电加热服装的核心部件,一般要符合人体穿着的服用要求,首先就是柔软透气,在使用时穿着者没有异物感;第二是在使用人体安全电压供电时具有较高的发热效率;第三是为了便于洗涤与更换,要可拆卸化^[19]。

常见的发热体包括金属发热体、电热膜和碳纤维发热体。

1.2.1 金属发热体

金属发热体因为质地相对较硬、手感较差、不易弯曲,与人的身体构造贴合程度不高,导致衣物穿着时的

舒适性低,使用时的环境条件受其本身材料的影响很大,不太适合于纺织或其他服装类产品^[20]。

1.2.2 电热膜发热体

电热膜材质的发热体虽然发热快、成本低、易于制备,但是它的手感硬、舒适性不高、持续长时间使用容易被氧化,而且它的薄膜不透气,容易导致使人体产生闷热感,因此多被应用于制作各种汽车内饰、发热地板和其他家纺产品^[21]。

1.2.3 碳纤维发热体

目前市场上电加热防寒服的主要发热体是碳纤维材料,其特点见表 2。按其发热方式和形态的不同,可以细分为两类:线型发热体和面型发热体^[22],其中,线型发热体的形态为线状,其发热面积相对于面型发热体来说,温度的分布均衡性远远不如面型发热体,但是线型发热体却能够很好地盘出各种形状的弯曲表面,并且线型发热体具有更高的单向拉伸强力、更好的弯曲强度及良好的耐用性。目前主要是通过将碳纤维长丝(或称碳素薄膜)包覆绝缘层后制成发热电缆线,然后盘绕在所需部位制成发热元件的方法制作出线型发热体。面型发热体多为平面(或平面的组合),对人体服装的三维裁剪适应性不如线型发热体。单向拉伸强力、强度和耐用性也均低于线型发热体。

表 2 碳纤维电发热体的主要特点

序号	特点	原因
1	发热高效性	碳纤维发热体的碳含量占比高达 99% 以上,其本身的有效发热面积大,远红外辐射效率可以高达 0.95。
2	使用安全性	碳纤维在 1.5~12 V 低电压运行时依然具有高的发热量。
3	移动发热性	碳纤维柔性发热体具有良好的低压工作性能、携带灵活方便。
4	控温精确性	碳纤维发热体与传统的电热丝发热体相比,具有升温迅速、降温快的特点。
5	穿着舒适性	碳纤维发热体与传统的电热丝式发热体不同,碳纤维发热体具有柔软、轻薄、透气、贴合度好的优良服用性。

2 太阳能蓄电加热装置应用现状

国外对于太阳能装置和电加热装置在服装上的单独应用研究较早且较成熟,但对太阳能蓄电加热装置的联合应用则少有先例。电加热服装,即以电能为能量来源,利用电加热装置,以热辐射的形式传导到人体皮肤表面以达到保暖、御寒作用的服装。上世纪 40 年代,Marickt 等^[23]就已将几乎可以覆盖全身的电加热

装置装配于面料和里料之间,设计出了最早的一款电加热服装,开辟了电加热装置与服装结合的新纪元。而后,各种电热服装产品也被设计和开发出来。在1996年至1997年秋冬高级时装系列中,美国人 lapidus 设计了一款专门用于为各种电子设备进行充电的太阳能连帽服,配备了微型锂电池并在其前胸、两臂上分别装配了单晶硅光伏太阳能电池。自此,配备太阳能蓄电装置的服装开始登上国际舞台。德国设计师拉皮迪斯曾经设计了一套太阳能光伏帽子和手套被称为“无尽温暖”,在手套和帽子上都装配了数块带有黑色雪花状的超薄太阳能光伏板,它们能够高效地吸收太阳光并将其转化成能量。再由其内部配备的传热引导线,将热量均匀传递开来^[24]。

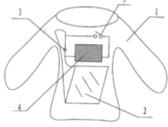
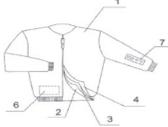
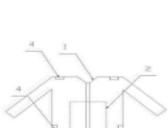
相对于国外而言,我国在太阳能蓄电加热服装的研究上虽然起步较晚,但是理论研究成果较多,甚至也有一些成衣出现。国内太阳能蓄电加热装置在服装上的应用案例见表3。

综上所述,太阳能蓄电加热装备在服装方面的应用主要表现为太阳能服装的设计与开发及实用新型专利。此类太阳能蓄电加热服装虽然结构简单、制作方便、成本低廉、保暖效果明显,但是安全性不高,后期服装保养和洗涤比较麻烦。以往研究者对如何提高太阳能蓄电加热装置的工作效率、穿着舒适性的研究较少;在太阳能加热装置的研究上,太阳能光伏电池和电加热元件多采用单一种类,缺乏系统优化;大多数的研究集中于上衣或者下装等简单的服装制式,对连体式袍类全覆盖型服装研究甚少;缺乏对太阳能蓄电发热装置在服装上运用的评价标准和行业规范。因此,太阳能蓄电装置在服装上的应用还有很大的研究空间。

3 结语

进入新世纪以来,太阳能服饰得到了很快的发展,但是当前依然属于起步阶段,将来必然具有广阔的发展空间。太阳能蓄电发热服装在冬季保暖服饰方面更具有优势,通过改造设计,这类服装不但能够保暖而且可以具有充电、照明、警示等功能,满足户外情境下的多种需求。另外,随着太阳能蓄电发热装置研究水平的进步以及柔性传感器技术的不断突破,必将大大提升太阳能蓄电发热服装的智能化水平和着装舒适性。

表3 国内太阳能蓄电发热系统在服装上应用案例

时间	研究者	名称	主要特点	样衣示意图
2008年	朱雅晨 ^[25]	太阳能保暖衣	服装外表面放置太阳能电池,在服装内部将蓄电、加热网和手动开关串联。	
2009年	陆建益 ^[26]	太阳能发热保暖衣	在服装左右前襟及后背表面放置多元化合物半导体薄膜电池,后背和左右前襟的内层放置发热体,口袋内配备控制装置。	
2011年	罗巨斌 ^[27]	太阳能保暖服装	夹层内配备电热丝,表面装配太阳能电池板和控制面板,里衬内放置胶状蓄电。	
2012年	李娅莉 ^[28]	柔性薄膜太阳能电池可调温发热服装	选取柔性太阳能电池片、微型单片机控制器、耐高温耐腐蚀导线、轻质柔软的碳纤维发热丝等。具备可拆卸性,采用不规则形状加热片。	
2015年	周剑 ^[29]	带自充电保暖服装	背后的太阳能电池板和服装内部的蓄电连接,服装夹层内的多个红外导热装置与蓄电池相连,正面设置有多个接口与蓄电池相连。	
2016年	夏怡 ^[30]	一种可均匀调节温度的保暖衣	可均匀调节温度的保暖衣中间层的网状金属丝可以使发热元件产生的热量迅速且均匀地传递到保暖衣的各处。	
2017年	沈雷 ^[31]	保暖充电老年服装	柔性太阳能板、多功能USB插口、智能温控装置及碳纤维共同组成一个电路平衡系统。	
2019年	周澳 ^[32]	蓄电发热太阳能服装	以多晶硅太阳能电池为主,柔性非晶硅太阳能电池为辅的搭配路线,加入心率检测和GPS定位功能,兼具发热充电和健康管理功能。	

参考文献:

- [1] 张小雪.基于太阳能利用的发热服装研究[J].国际纺织导报,2014,42(3):55-56,58-60,62.
- [2] 刘丹.CdTe薄膜太阳能电池的研究进展[J].海峡科技与产业,2018,(5):58-59.
- [3] 胡中华,苏润,夏育荣,等.薄膜太阳能电池的分类、发展与研究[J].河北能源职业技术学院学报,2013,13(2):44-47.
- [4] 周传水,董为勇,彭小波.薄膜太阳能电池的现状与发展前景[J].中国玻璃,2011,(6):33-35.
- [5] 林源.薄膜太阳能电池的研究与应用进展[J].化工新型材料,2018,46(6):57-60.
- [6] VILLAR F, ANTONY A, ESCARRE J, *et al.* Amorphous silicon thin film solar cells deposited entirely by hot-wire chemical vapour deposition at low temperature($<150\text{ }^{\circ}\text{C}$) [J]. *Thin Solid Films*, 2009, 517(12): 3 575-3 577.
- [7] STAEBLER D L, WRONSKI C R. Reversible conductivity changes in discharge-produced amorphous Si[J]. *Applied Physics Letters*, 1977, 31(4): 292-294.
- [8] 佚名.硅薄膜太阳能电池转化率世界纪录刷新[J].光学精密机械,2015,(2):14.
- [9] 荣翔,邓林龙,张美林.薄膜太阳能电池的进展和展望[J].材料导报,2018,32(S2):13-16.
- [10] 钟全.非晶硅薄膜太阳能电池激光刻线工艺研究及设备优化[D].成都:电子科技大学,2018.
- [11] MARTIN R. First solar's cells break efficiency record[EB/OL].[2016-03-03]. <https://www.technologyreview.com/2016/03/03/161753/first-solars-cells-break-efficiency-record/>.
- [12] 付英,杜英.碲化镉薄膜太阳能电池产业发展分析[J].甘肃科技,2019,35(19):93-94.
- [13] CHOUDHURY M S H, KISHI N, SOGA T. Compression of ZnO nanoparticle films at elevated temperature for flexible dye-sensitized solar cells[J]. *Journal of Alloys and Compounds*, 2016, 656: 476-480.
- [14] 张战战,叶华胜,吴佳铭,等.碲化镉薄膜电池在建筑中的应用[J].能源研究与管理,2020,(3):70-74.
- [15] 刘欣星,赵宇琪,宫俊波,等.柔性铜钢镓硒薄膜太阳能电池技术的发展及现状[J].真空与低温,2020,26(5):377-384.
- [16] Solar Frontier achieves world record 22.3% thin-film solar cell efficiency. <http://www.solar-frontier.com/eng/news/2017/1200-press.html>, 2017.
- [17] 佚名.2019年中国最高太阳能电池转换率. <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1649343032358049935&wfr=spider&for=pc>.
- [18] 任萍,刘静.可加热服装技术的研究进展[J].纺织科学研究,2008,(3):12-18.
- [19] 唐世君,郭诗琳.电加热服装的研制[J].中国个体防护装备,2013,(6):5-8.
- [20] 钟林新,张美云,刘正伟.碳纤维特性及其在功能纸中的应用[J].中国造纸,2007,26(11):50-53.
- [21] MONDAL S. Phase change materials for smart textiles—An overview[J]. *Applied Thermal Engineering*, 2008, 28(11-12): 1 536-1 550.
- [22] 李峻,李灵烁,曹霄洁,等.碳纤维发热服装设计的研究[J].江苏纺织,2007,(9):48-51.
- [23] MARICK L, FARMS G P. Electrically heated wearing apparel: US2277772[P]. 1942-03-31.
- [24] WOODCOCK A H. Moisture permeability index—A new index for describing evaporative heat transfer through fabric system[R]. Natick, 1961.
- [25] 朱雅晨.太阳能保暖衣:200820010743.7[P]. 2008-11-12.
- [26] 陆建益.太阳能发热保暖衣:200820181836.6[P]. 2008-12-15.
- [27] 罗巨斌.太阳能保温服装:201120267719.3[P]. 2011-07-27.
- [28] 李娅莉.柔性薄膜太阳能电池片可调温发热服的研发与评价[D].北京:北京服装学院,2012.
- [29] 周剑.一种自带充电功能的工作服:201510716738.2[P]. 2015-10-30.
- [30] 夏怡.一种可均匀调节温度的保暖衣:201620187590.8[P]. 2016-03-12.
- [31] 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):103-108.
- [32] 周澳.蓄电发热太阳能服装研发及测评[D].杭州:浙江理工大学,2019.

(下转第17页)

- 2 417.
- [7] 徐艺榕,孙颖,韩朝锋,等.复合材料用三维机织物成型性的研究进展[J].纺织学报,2014,35(9):165-172.
- [8] 邵明正.2.5 D结构筒状立体机织物细观分析及建模[J].山东纺织科技,2016,57(6):41-45.
- [9] 唐劫尧.2.5维机织复合材料层间性能研究[D].南京:南京航空航天大学,2013.
- [10] 谢婉晨.三维机织物复合材料头盔壳体的制备及成型[D].武汉:武汉纺织大学,2017.
- [11] 关天茹.2.5 D编织石英/SiO₂陶瓷基复合材料细观模型构建与实验验证[D].南京:南京航空航天大学,2012.
- [12] 周红涛,赵磊.2.5 D纺织结构复合材料预制件的设计及织造[J].纺织科技进展,2011,(3):46-48.
- [13] 高雄.基于不同三维机织结构的碳纤复合材料整体力学性能研究[D].上海:东华大学,2017.
- [14] 杨彩云,李嘉禄.三维机织复合材料力学性能的各向异性[J].复合材料学报,2006,(2):59-64.
- [15] 王晓菲,曹海建,黄晓梅.捆绑组织对三维正交机织复合材料拉伸性能的影响[J].产业用纺织品,2018,36(7):7-12.
- [16] 冯古雨,钱坤,曹海建,等.衬经结构对角联锁机织复合材料拉伸力学性能的影响[J].玻璃钢/复合材料,2017,(7):45-48,28.
- [17] 郭瑞彦,张国利,王志鹏,等.2.5 D织物增强复合材料结构与拉伸性能研究[J].天津纺织科技,2017,(1):18-21.
- [18] LABANIEH A R, LEGRAND X, KONCAR V, *et al.* Development in the multiaxis 3D weaving technology[J]. Textile Research Journal,2016,86(17):1 869-1 884.
- [19] BILISIK K. Multiaxis 3D woven preform and properties of multiaxis 3D woven and 3D orthogonal woven carbon/epoxy composites [J]. Journal of Reinforced Plastics and Composites,2010,29(8):1 173-1 186.
- [20] 陈利,张一帆,王心森,等.一种含斜向纱线的角联锁织物及其织造方法:CN106987979B[P].2019-02-12.

Study on Structure and Mechanical Properties of Multi-layer Woven Preforms

LIU Xi-yan

(Collaborative Innovation Center, Xi'an Polytechnic University, Xi'an 710048, China)

Abstract: 3D woven preforms had good interlaminar mechanical properties, structural stability and designability. It could realize multi-layer integral weaving and meet the application requirements of high thickness integration. It had been applied to the structural and functional integration components such as furnace-mounted samples for performance test of space weapon radome and tactical missile air rudder. At present, with the upgrading and higher performance requirements of weapon models in China, the mechanical properties in the in-plane 45 direction and the warp direction were required to be further strengthened. Therefore, several typical angle interlocking woven structures and their mechanical properties were analyzed, and their development status was studied, which provided theoretical guidance for the application research of multi-layer angle interlocking woven preforms.

Key words: angle interlocking structure; woven preform; tensile property; shear performance

(上接第5页)

Research and Application Status of Solar Energy Storage and Heating Device for Clothing

ZHAO Zun-qiang¹, SHI Hui^{1,*}, GUO Xiao-fang²

(1. Inner Mongolia University of Technology, Huhehot 010000, China;

2. Inner Mongolia Normal University, Huhehot 010000, China)

Abstract: As a new type of energy-saving clothing, solar energy storage heating device had the advantages of light weight, heat preservation, resource saving, zero pollution and zero emission. By consulting the domestic and foreign literature, the current technical development situation of the core equipment (photovoltaics battery and heater) used in the solar energy storage electric heating device was discussed. The present situation of the application of solar energy storage heating devices in clothing at home and abroad was analyzed. The development trend of the clothing using solar energy storage heating devices was discussed.

Key words: solar energy storage; electric heating; solar photovoltaic equipment; heating body