
DEVELOPEMENT AND PROPERTY
STUDY ON THE COMPOSITE THERMAL INSULATION
INTERLINING OF FEATHER

Abstract

Through the analysis of market research and reading regards ,this paper have the conclusion that more and more composite thermal insulation interining becomeing the major warmth material in the market.The feather fiber have the biggest warmth in the natural warmth material .but the price of feather is very high and it is a kind of furniture all the time. So those disadvantage limited feather's development. Melt-blown fabric is developing so fast and it's function is very widely.Owing to melt-blown fabric through internal viscosity netting. The composite of feather and melt-blown fabric can solve many disadvantage of feather as the furniture, such as,the fuzz is easily ran out of the clothes and so on. To promote wear behaviour of melt-blown fabric.decrease the price of feather when it was became insulation interlining .

To make the interlining, to promote the equipment of new composite and the mixing ratio is decided through the orthogonal layout .for such two factors as the content of feather fiber, the content of melt-blown fiber,very factor is matched with two levels,without regard to interaction. Some main properties such as breaking strength, heat retention, compressibility, permeability are measured.The conclusion shows that the new interlining upgrading 15% of the insulation of Polyacrylonitrile melt-blown fabric. The content of feather fiber and melt-blown fiber both have infection in the new interlining's ability , but the content of feather fiber is more imporant .

Through comparing the product with the other thermal insulation felts , it can be seen that the heat retention of the product is very good, while the compressibility is placed in the middle . Through comparing the workmanship, we knew that our technology can protect environment and promote the efficiency of the composite equipment. The results indicates that our goods has a good outlook.

Key words: Feather;Polyacrylonitrile melt-blown fiber;;onwoven;;Composite;Interlining

原创性声明

本人郑重声明：所呈交的学术论文是本人在导师的指导下独立进行研究工作所取得的成果，论文中有关资料和数据是实事求是的。除文中已经注明引用的内容外，本论文不含任何其他个人或集体已经发表或撰写过的作品成果。对本文的研究做出重要贡献的个人和集体，均以文中以明确方式标明。

若有不实之处，本人愿意承担相关法律责任。

学位论文作者签名：杜康

日期：2008年 12月 13日

学位论文版权使用授权书

学位论文作者完全了解北京服装学院有关保留和使用学位论文的规定，即：研究生在校攻读学位期间论文工作的知识产权单位属北京服装学院。学校有权保留并向国家有关部门或机构送交论文的复印件和电子版，允许学位论文被查阅、借阅和复印；学校可以将学位论文的全部或部分内容公开或编入有关数据库进行检索，可以允许采用影印、缩印或其它复制手段保存、汇编学位论文。

保密的学位论文在解密后适用本授权书。

学位论文作者签名：杜康

日期：2008年 12月 13日

导师签名：郭凤芝

日期：2008年 12月 13日

第1章 绪论

1.1 保暖材料的定义和作用

1.1.1 保暖材料的定义

保暖材料是指构成保暖絮料的原材料,常以絮片或絮料的形式作用于服装,被褥,睡袋等,其最大的特点是轻而蓬松保暖。在新型保暖絮料的纤维原料中,一般都含有中空或高卷曲涤纶,腈纶短纤维,超细纤维经过不同的生产工艺制成保暖材料。

1.1.2 保暖材料的作用

保暖材料的作用是御寒保暖,在各种环境中,人体通过服装,褥垫,睡袋等与环境进行热交换,从而达到人体的热舒适感。热舒适最基本的条件是维持人体的热平衡,即人体自身产生的热量和向环境散失人体的热量之间的能量交换达到相对平衡。人体产生的热量取决于体内的生理生化过程,人体散热的主要方式是通过对流、传导、辐射及体液蒸发等途径进行的。保暖材料的作用就是使散热途径得到加强或减弱,从而使能量交换达到相对平衡,使人体产生温暖舒适感。特别是在低温环境中,保暖材料可在一定程度上减少人体热量的散失,其保暖功能是由三个部分产生的综合效应:

$$R_t=R_c+R_i+R_e$$

式(1-1)

式中: R_t ——服装总热阻;

R_c ——服装自身热阻,它取决于服装材料(包括保暖材料——絮料)的热阻;

R_i ——人体与服装间空气层的热阻;

R_e ——服装表面滞留的空气层热阻。

其中 R_c 即服装材料的热阻是服装保暖能力的主体,也是最能主观调节的服装功效因素。服装材料是由一种或几种纤维与空气共同组成的集合体,实际上,保暖材料的保暖力即为该集合体的综合热阻^[1]。

1.2 保暖材料的发展过程及分类

1.2.1 发展过程

在原始社会初期,纺织技术发明以前的漫长岁月里,人们用来作御寒蔽羞的衣物不外

是狩猎所得的兽皮,羽毛,或是采集所得的树叶,茅草。追溯历史,最原始的保暖材料应是各种树叶和兽皮,时至今日,毛皮仍是人们最爱的保暖材料之一。随着社会进步和人类对生存环境的了解逐步加强。自纺织技术发明以来,从原始社会开始,人们就开始采集野生的葛,麻,蚕丝等天然纤维,并利用猎获的鸟兽羽毛,用搓,绩,编,织等方法制成粗陋的衣服,以取代蔽体御寒的树叶,草叶和兽皮。在严寒的气候条件下,人类对服装最基本的要求是御寒保暖。虽然人类懂得穿衣遮体避寒已有数万年的历史,但是对服装隔热防寒原理的研究则始于19世纪末。在第二次世界大战期间,由于冬季服装装备不良,参战各国士兵都受到严寒气候的威胁,冻伤总人数超过200万人,导致士兵战斗力下降,令各国有关部门认识到服装对作战取胜的重要性,从而开始进行防寒服装的研制工作。1940年,生理学者塞泊尔(P. Siple)等人发表了《选择寒冷气候服装的原则》的论文,作者在论文中总结了当时从生理学和气候学方面得到的许多新知识,在此基础上提出了服装防寒隔热的原理,对服装的选材和设计起到了重要的指导作用。翌年,生理学家格杰等人提出了服装热阻定量单位——克罗,用来衡量服装热阻的大小,为服装的热舒适性和保暖材料的评价提供了统一的测试和评价指标。

以美国为代表的工业发达国家,从第二次世界大战后开始对防寒服装进行了系统的研究和改进工作,普遍经历了3-4代产品。第一代是第二次世界大战后至20世纪60年代直接使用的旧式寒衣。絮填材料大多采用棉等天然纤维,不仅笨重,而且由于吸湿强,受潮后保暖效果下降,极易板结成团。在20世纪60年代,各国陆续开发出第二代防寒服装,大多使用聚酯絮料取代天然棉絮为主保温层。以日本1965年定型的防寒服为例,全套服装分为防寒内衣,防寒中衣和防寒外衣3个层次:防寒内衣比传统的绒衣薄,比衬衣厚,里,面料均为锦纶针织布,其间夹有薄薄的涤纶絮片;防寒中衣的里,面料均为锦纶长丝针织布,中间絮的料为涤纶短纤维絮片,相当于传统的棉衣;防寒外衣为白,绿两色,材料是高密度,细纤度的涤纶和粘胶丝混合织物,面料经氟素树脂处理,防水防风。20世纪80年代中期以后,各国在第二代产品的基础上,先后开发研制出新一代或两代防寒服,共同特点为解决气候调节性和普遍适应性,导致防寒服体系向“多层组合结构配套”的方向发展^[1]。

1.2.2 分类

对于保暖材料,按照保暖材料所使用的纤维来源进行分类可以把保暖材料分为:天然保暖材料、合成保暖材料和混合型保暖材料。天然保暖材料主要是羊毛保暖材料、羊绒保暖材料、棉保暖材料和羽绒保暖材料。在天然保暖材料中,保暖性最好的当属羽绒保暖材

料,其次是羊绒保暖材料,第三是羊毛保暖材料,棉保暖材料在天然保暖材料中保暖性是最差的。合成保暖材料的种类很多,一般是按照原料的性质进行分类,用作保暖材料的合成纤维主要是涤纶和丙纶。根据加工设备和加工方法的不同又分为普通型保暖材料和超细型保暖材料。目前这类新产品主要是超细型保暖材料^[2]。

按照保暖方式的不同也可分为积极保暖材料和消极保暖材料。消极的保暖材料,通过单纯阻止或减少人体热量向外散失来达到保暖的目的,就如我们沿用已久的天然棉絮、羽绒、裘皮以及各种天然纤维、化纤絮片等都是这种传统保暖理论的代表;另一类是积极的保暖材料,不仅遵循传统的保暖理论,更能吸收外界热量,储存并向人体传递来产生热效应,常用的外界能量有电能、化学能、生物能及太阳能等等^[3]。

对于通过阻止热量散失来保暖的经典保暖理论而言,增加静止空气层是一种有效途径。大量研究表明,纤维间的静止空气和纤维内的死腔空气的含量是决定保暖量的关键因素。一般而言,保暖材料越蓬松,静止空气含量越多,则保暖效果越好。人们在日常生活中也有这样的经验,即蓬松的新棉衣、新被子保暖性相对较好^[4]。

1.3 各种保暖材料的性能特点

随着纺织技术的不断发展,各类絮片在保暖材料中的比例日益增加。作为保暖材料,絮片是一种由纺织纤维构成的蓬松柔软而富有弹性的片状材料,属于非织造布类。非织造絮片具有原材料丰富,规格参数容易控制,易裁剪、易缝制、易保养并且物美价廉等特点,因其用量大幅度地增加,国家已制定了相关的规定和专门的国家级标准,以规范絮片类保暖材料的生产,经营并指导消费。而各种非织造絮片保暖材料却具有不同的特点。

1.3.1 天然保暖材料

羊毛绒絮片以其蓬松柔软、保暖性强、透湿性好的特点,成为天然保暖制品中的杰出代表。但羊毛绒制品的不耐虫蛀、有异味、易滋生细菌、成型度较差等弱点,多年来使其无较大范围推广普及。王国振等人从破除其薄弱环节入手,首先采用无毒高效防虫蛀剂以先进的技术对羊毛原料进行防蛀处理,经过多道工序处理,实现了无毒、无味、防蛀,防霉、除菌的实用条件,再经过绒化、梳理、成型制作成的羊毛绒絮片,洁白均匀,手感松软顺滑,并具有一定的成型抗拉性。用其制作的保暖制品,蓬松且不臃肿,保暖且不燥热闷涨,柔软而挺括。既保持轻、软、暖的特色,又具备了很强的实用性,为羊毛绒的发展提供了广阔的前景。羊毛绒价格高,而且长期使用会逐渐产生毡缩现象而影响其弹性。为改善其性能,在羊毛中混入涤纶制成毛涤混合絮。羊毛选用毛纺厂的回毛,涤纶选用中空涤纶,试样在梳毛机上制作。涤纶和羊毛分别通过预梳理,然后按混合比混合后经过两次

梳理即制得混合絮片。通过实验得出,毛/涤混合絮以混入 30%左右的涤纶纤维即(毛 70/涤 30)为宜。这样,不仅降低了成本,保持了羊毛絮原有的保温性能,提高了絮料的压缩弹性,而且柔软性(压缩率)也不致于降低太多^[5]。

羽绒作为絮料具有轻柔保暖富有弹性等特点,且在使用日久后经过日晒及拍打又可部分地恢复其原有性能,但羽绒由于其强度差,在长期使用后易折断形成粉末,另外还有易从面料透绒的缺点且资源有限,价格昂贵。经过进一步改进出现了羽绒涤纶混合絮料,它是在羽绒中掺入少量保温性优良的中空涤纶纤维,在基本不降低其原有优良性能的基础上,降低羽绒制品的成本,甚至改善其某些性能。二十世纪六、七十年代,非织造布工业异军突起,原来不能用在纺织工业中的纤维原料可以通过非织造的方式来加工制作,非织造设备对原料的适应性强,使得长度在 20mm 以内的纤维也能够成毡。为了解决羽绒制品的臃肿及不能有效阻止空气对流性,出现了将羽绒絮毡与 PTFE(聚四氟乙烯)薄膜层压织物结合的保暖材料。制备如下:通过喷雾,将抗静电剂和某些粘合剂的混合液体喷在洗净的羽绒上,密闭 2h,然后与羊毛、聚丙烯腈、聚酯、粘胶等短纤混合,开松后梳理成网,最后经过针刺成毡。将羽绒絮毡与 PTFE 薄膜层压织物叠合或通过粘合剂粘合制备而成^[6]。

1.3.2 合成保暖材料

羊毛复合絮片是利用毛纺织厂或毛条厂制条工序中精梳工序梳下来的短毛俗称精梳短毛制做的。用精梳短毛与涤纶纤维或其他化学纤维采用无纺布加工设备喷洒粘合工艺。通过混合一成网一喷粘合剂一热定型一非织造布成卷,即成为厚薄均匀的羊毛复合絮片。由于毛纺织厂的下脚料产量相当大,即羊毛复合絮片的原料来源也相当充足,且其生产制造工艺流程短,不复杂。应用无纺布机连续化生产,一次成型出产品。近几年来已形成生产规模^[7]。

喷胶棉又称喷浆絮棉,是一种新型保暖材料,它是利用喷洒粘合法生产的一种高蓬松、多孔性的非织造布。喷胶棉选用中空或高卷曲涤纶、腈纶为原料,经过开松、混和、成网、喷洒粘合剂和烘干等工序制得。粘合剂一般选用具有内胶链的丙烯酸酯或丙烯酸与醋酸乙烯共聚乳液。喷胶棉蓬松度高、弹性好、手感柔软、重量轻,具有防腐、不蛀、不烂、不受潮、耐水洗等特点,特别是具有优良的保暖性,这使得其市场领域不断扩展,生产发展十分迅速^[8]。

太空棉是一种超轻、超薄、高效保暖、保温、隔热和防辐射的材料,也称宇航棉、金属棉,由五层构成。太空棉的基层是涤花弹力绒絮片,金属膜表层是由非织造布、聚乙烯

薄膜、铝钛合金反射层和表面保护层四部分组成。金属膜表层与絮片基层用针刺法复合成为太空棉。太空棉厚度为 2~5mm, 成品重量为每平方米 80~260g, 成品门幅一般为 1m, 1.5m 和 2m^[9]。

仿丝棉也是一种高性能的服用保暖材料, 它采用“三明治”式的复合结构, 表面层的主体纤维为普通细旦涤纶, 用 ES (聚烯烃系纤维) 纤维粘结; 弹性层中的主体纤维采用粗旦涤纶和三维卷曲中空粗旦涤纶及部分粘结纤维。实验证明, 这种材料蓬松度高, 压缩回弹性好, 表面柔软如丝棉, 并具有一定强度^[10]。

1.3.3 具有积极性的保暖材料

随着时代的发展, 一类科技含量较高的积极保暖材料发展越来越迅速。这类保暖材料不仅遵循传统的隔热保暖原理, 而且可以通过一些其他的形式, 例如吸收外界热量, 储存并且向人体传递来产生热效应, 或者将太阳能、电能和化学能等转化成热能来达到隔热保暖的目的。下面是国内外服装市场上这一类新型保暖材料的性能特点。

远红外材料具有吸收太阳光的大部分能量, 并将其储存, 然后以远红外线形式向人体辐射的能力: 一方面, 通过对流和传导将本身的热量传递给人体; 另一方面, 人体细胞受远红外线辐射产生共振吸收, 从而加速本身分子的运动, 达到从人体内部加热的目的。这两方面都会使人体表面有升温的感觉^[11]。

阳光蓄热纤维材料可吸收太阳辐射中的可见光与近红外线, 而且可以反射人体热辐射, 具有良好的保温功能。它以添加 IV 族过渡金属碳化物为主。当阳光照射时, 该碳化物能将 0.6 V 以上的阳光电磁波辐射线中的高能辐射线吸收并转化成热能, 能量低于 0.6 V 的辐射线则被反射不吸收。它将光能转化为热能, 具有较好的储热和保暖功能^[12]。

介质相变调温材料这是一种通过纺织品表面或纤维内含有的相变材料遇冷或热后发生固—液可逆相变而吸收、放出热量, 从而具有温度调节功能的新型材料。这类材料能够根据外界环境的变化, 在一定的温度范围内自由调节纺织品的温度, 比一般常规织物更具舒适性^[13]。

介质溶解析出调温纤维材料早在 20 世纪 70 年代初, 美国人 Hansen 就发明将二氧化碳等气体溶解在溶剂中, 然后充填到纤维的中空部分并封闭起来的方法。当温度降低时, 纤维中空部分的液体固化, 气体在其中的溶解度降低, 从而使纤维的有效体积增大, 织物的绝热性能提高; 反之, 温度升高时绝热性能降低。由于这种材料在使用过程中极易造成气体逸出, 所以其耐用性稍差^[14]。

1.4 保暖材料的研究现状

1.4.1 国内外保暖纤维的发展现状

人们不但大力开发具有良好舒适性的各种保暖絮片,也致力于研究各种保暖纤维,它更多的是利用高科技手段,研究新型纤维,开发保暖型功能纤维,来提高保暖材料的保暖性^[16]。

1.4.1.1 国内:

超细纤维是发展最早的保暖纤维,其单位体积内纤维的比表面积比普通纤维高几倍到十几倍,大量微细空隙使非织造布内含大量空气,对热量流散的阻滞作用明显高于普通纤维,因而形成更好的保暖效果。同时由于材料本身的超细纤维和高孔隙率,使材料具有更好的柔软度、透气、透湿性能。天津泰达股份有限公司和总后勤部军需装备研究所联合研制开发的新型泰达生态棉就是一种超微细聚丙烯熔喷纤维保暖材料,该材料具有轻、薄、软、暖、透气、透湿等特性。我国自上世纪年代初开始蓄热调温纺织材料的研究,现已取得了很大成绩。中科院研究了“暖卡”保暖纤维,不仅保暖性好,而且导湿排汗、透气性、健康性、亲肤性以及弹性方面也大大提高。

1.4.1.2 国外:

20世纪末,日本尤尼吉卡公司和东丽公司开发了保暖陶瓷纤维,该陶瓷纤维的特点是有发射远红外线的功能,故也称为远红外纤维。远红外纤维中使用最多的陶瓷粉是金属氧化物,其中以氧化铝、氧化镁较好。碳化锆是在太阳能利用中使用的一种重要材料,它存在于纤维之中,有可以直接将可见光转化为热能红外线的作用。当这部分热量被释放到服装内空间并和人体发出的热远红外线一起,在生理饱和压差的驱使下,随同小气候环境中的空气向服装外散发时,又会因含碳化锆的纤维材料对高波长的红外线与远红外线有很高的反射能力,而把空气中这一部分热量重新反射到人体上,从而起到保温的作用。

美国Acordis公司研究生产了Outlast纤维,它是一种皮芯复合纤维,芯层为含碳化锆的聚酯,皮层为普通成纤高聚物,由双螺杆挤出机熔融纺丝而成。相变材料(PCM)最初由美国航天部门研制和发展,由它研制出蓄热调温纺织品,这种相变物质的相变温度通常在0-50℃,利用相变物质的吸放热特性将其加工到纺织材料上可以获得特殊的调温效果。

1.4.2 国内外保暖絮片的发展现状

1.4.2.1 国内:

国内絮片的发展非常迅速,原料上已经由最初的羊毛胎、棉絮、羽绒等天然原料向腈纶絮片、涤纶弹力絮片等合成原料扩展。特别是自80年代以来我国开始大批量生产喷胶棉,给保暖材料市场带来了新的活力。近年来仿丝棉、超级羽绒棉,金属镀膜复合絮片,远红外保暖织物,羽绒化纤保暖絮片,化纤混合保暖絮片,羽绒喷胶棉复合保暖絮片,抗菌负离子保暖絮片、负离子无纺棉续篇,亚麻絮片、麻纤维无纺棉絮片,大豆纤维絮片,大豆纤维无纺棉絮片,竹纤维絮片,竹纤维无纺棉絮片,玉米纤维絮片,玉米纤维无纺棉絮片,碳纤维絮片,碳纤维针刺棉絮片,加炭无纺棉絮片,珍珠棉絮片等新型保暖材料不断问世。其中更是以非织造保暖絮片为主要产业,非织造保暖絮片按照工艺不同分为纺粘、针刺、水刺、熔喷等多种方式。这些新型材料无论是在纤维或是工艺上都在不断完善过程中,他们以其质轻、保暖、透气性好、防风、防霉、防蛀、耐酸碱、可直接洗涤等优点大量代替了羊毛胎、棉絮等天然纤维絮料被广泛应用于生产。

1.4.2.2 国外:

目前欧美国家以开发中空纤维和超细纤维絮片以及防风层压织物为主。俄罗斯研制出采用生态的水刺工艺的非织造布保暖材料。这种保暖材料由聚酯纤维网组成,纤维网上有水流喷射作用形成的一排排水针,水针在一定角度 α ($45^{\circ}\text{C}\sim 89^{\circ}\text{C}$)范围内以对角线形状分布,材料上还穿有孔眼,有规律的孔眼使材料具有良好的透气性和散热性。该类保暖材料不采用粘合剂和复合层,却同样具有高强度和高保暖性。

美国研制出双层保暖非织造布,它是由水刺聚酯纤维材料层与另一层连续聚酯长丝材料复合而成。美国杜邦公司为满足各层次服装设计和不同价格的需要,开发了5种絮层保暖材料:新型细旦仿羽绒 Micro-loftcM、重复洗涤保形性好的 ThermoloftcM、潮湿状态下耐穿性能良好的 ThermolitecM、四孔结构纤维 Hollofil 和蓬松度很好的七孔结构纤维 QuallofilcM。Hollofil 系列使用了单孔、四孔中空纤维,宣称比同等克重的实心聚酯短纤保温材料要保暖20%。Quallofil 使用七孔中空纤维系列使用细旦纤维、单孔中空纤维和三孔三维卷曲纤维或它们的混配。在滑雪服、登山服、猎装、野外高级睡袋等方面广泛应用。3M公司的 Thinsulate 保温材料,具有轻质保暖、防潮的特性。

日本东洋纺、可乐丽、尤尼吉卡等公司相继推出的新型蓄热材料,一方面将 ZrC 等陶瓷粒子填充到絮料中,产生温热效果,另一方面调整保暖材料成品的结构,取长补短,

达到多功能的目的^[15]。

如今的保温材料，已经不是传统意义上的保温材料，而是作为一种积极的保温形式，能够吸收外界热量、提高保暖效果的新型材料。目前较新的纤维品种是美国公司 Getway 生产的 Qutlast 相变纤维和日本几家公司生产的吸湿放热纤维。但像这样的积极保温材料生产成本较高，现在还无法投入大批量生产。而像棉、羊绒等天然纤维由于其吸湿性强，在服用过程中极易板结成团从而使其保温性和压缩回弹性变差，羽绒则吸湿以后保暖效果下降，而且来源紧张、比重偏大、易虫蛀，应用受到很大限制。纯化纤絮片虽然具有较好的可裁性、可缝性、耐穿性和可洗性，但吸湿性和透气性较差，穿着有闷热感。而随着人们环境意识的不断增强，实现无污染生产并解决纺织品对环境的二次污染，也成为研究人员共同面临的重大课题。

1.5 保暖材料的发展前景

随着各种高新技术的发展和在纺织工业中应用日益推广，使保暖材料日益向着复合型多功能方向发展。所谓复合型是指各种天然纤维、合成纤维及功能性纤维等不同纤维之间的复合及保暖材料与其他织物之间的复合。其目的在于调整保暖材料成品的结构，吸取各类材料的特点，除基本的力学性能以外，还具有某些特定的、优异的物理或化学性能，如具有某些电学性能、磁学性能、热学性能、压缩弹性、水洗性能、透气性能和透湿性能等，以达到多功能的目的，更加符合消费者对保暖材料各方面的需求。随着人们环境意识的不断增强，绿色环保的材料也为保暖材料的发展提供了更广阔的空间。

1.6 课题开发研究的目的、内容与意义

1.6.1 研究目的

本课题将会开发一种保暖性更高并且较环保的新型复合保暖絮片。该复合保暖絮片采用的是资源丰富且保暖性能较好的羽绒与聚丙烯（PP）熔喷非织造布进行复合。羽绒作为最好的保暖材料，一直以来只是一种填充物，使羽绒在缝合处很容易钻绒，穿着不方便。众所周知，羽绒的价格是比较昂贵的，其制作的保暖服装不能被广泛的普及，不能更好的为消费者提供优良的保暖性。聚丙烯熔喷非织造布具有非常低的价格与羽绒的复合可以大大降低羽绒作为原料的成本。羽绒与 PP 熔喷非织造布的复合，将会发挥二者优良的服用性能和抵消相互的缺点，使其复合的保暖絮片具有最佳的保暖效果和服用性能。开发的保暖絮片可以在以下几个方面有所突破：（1）实现羽绒作为保暖材料的可裁剪性；（2）避免羽绒在缝合处的钻绒；（3）复合原材料成本的降低；（4）与聚丙烯非织造布相比，絮片各种服

用性能的提高特别是保暖性的提高。

1.6.2 研究内容

传统羽绒加工业由于准入门槛低,加工企业量扩张非常快,低水平重复建设现象严重,产品加工方法单一,科技含量不高,面对高端羽绒制品的有限市场,低价竞销。据统计我国羽绒原料的出口数量逐年增加,但平均价格却从12054美元/吨降到6145美元/吨。在日本市场上羽绒单价比其它国家低很多,主要原因是含绒量、蓬松度不合格,特别是实际含绒量低于标准含绒量现象相当突出。而同时,国外则对这一高端产品还在提高标准。如韩国2003年通过的新标准要求标签标注值为实际最低朵绒含量,考虑实际加工存在的允许误差,该标准实际上提高了5个百分点。蓬松度也提高了一个档次。新标准还对禽种类、羽绒成分、耗氧量、透明度、油脂、气味等卫生指标作出了限量。由此可看出对于羽毛中的羽绒材料,由于价格昂贵,市场趋势是提高标准,维持其高端产品的地位,尤其是国际市场,这一导向非常明确。由于羽绒在国际标准中指的是朵绒,在羽毛中占的比例很小,同时羽毛作为养殖业的产品,其发展规模还受到不少制约,在量上还难以大幅度增长。我国尽管是个毛绒资源大国,但十年来,产量也只增加了二万吨左右。由于其中的朵绒资源有限,国际市场将其制品定位于极品档次,进行经营是有其合理性的。

鉴于这个原因,本实验将研发一条羽绒与化纤复合的新途径,制备成羽绒与聚丙烯复合的新型羽绒保暖絮片来解决羽绒价格偏高,聚丙烯熔喷非织造布服用性差等问题。内容包括研究制备新型的充绒仪器,对新型絮片进行复合及对新型絮片的各种服用性能主要包括保暖性、透湿性、透气性、压缩弹性率、断裂强力等的测试,通过方差分析羽绒和聚丙烯这两种原料对絮片各种性能的影响和新型絮片在服用性能方面和工艺设备方面还存在哪些方面的缺点,以求在以后的试验中不断改进。

1.6.3 研究意义

在我国,羽绒作为保暖填充材料虽是保暖性最好的但由于其昂贵的价格限制了其广泛的应用。国内外对羽绒及其制品的研究开发也还停留在原材料粗加工的水平上,并没有在纺织领域进行深入的开发利用。本课题进行的复合羽绒保暖絮片开发研究具有如下的意义:第一,可以发挥羽绒本身的性能特点,极大的提高其保暖性,克服羽绒作为填充材料所具有的臃肿,笨拙,易钻绒,不能随意裁剪等缺点。并且将会加大对羽绒纤维的利用率。也将带动水禽养殖业的飞速发展,对国民经济的发展将起到重要的促进作用。第二,虽说我国的羽绒资源非常丰富,但与其他保暖材料相比,价格仍比较昂贵,基于这个原因利用羽绒与熔喷非制造布的复合将会极大降低其成本,使其成为性能优良但价格又非常适中的

保暖材料。所以本课题的开发更加具有重要的实际应用价值。第三，新型絮片的开发非常符合环保的要求，因为原料的来源，生产过程及废料的回收是非常环保的，对人体和环境没有任何的污染，符合现代社会对保护自身生存环境的要求。第四，由于羽绒保暖絮片实现了可任意裁剪的特性，所以比作为填充材料制备保暖服装时更能节省生产时间，提高生产效率，降低成本，具有现实的经济意义。

第 2 章 原料的性能特点与设计思路

2.1 羽绒的性能特点

2.1.1 资源特点

我国羽绒资源包括野生禽类羽绒和家禽羽绒两大部分。由于我国幅员辽阔,地形地势复杂,自然环境和气候多样化,适宜各种鸟类繁衍栖息,如各种野鸡、野鸭、鹭类、鹤类和雕类,共达十几种,约占世界鸟类总数的八分之一,因此我国野生羽绒资源极为丰富,各种野生鸟类羽绒品种据全。同时,家禽饲养业是我国广大农村的主要副业之一,我国农民历来有饲养家禽的传统习惯,他们采取集中饲养或野外放牧的方式大批饲养鸡、鸭、鹅,少者几十只、几百只,多者上千只、上万只。农村家禽饲养业的广泛而迅速的发展,为我国提供了数量极大的家禽羽绒资源^[17]。我国家禽羽绒资源主要包括白鹅绒、白鸭绒、灰鹅绒和灰鸭绒,主要产于四川成都和重庆、湖北洪湖、福建长乐、江苏扬州和安徽六安等地^[16]。

鹅鸭羽绒具有柔软、轻松、防寒、保暖性强等特点,是一种高级天然填充原料,其制品用途十分广泛,成为国内外市场上价格昂贵的畅销品。我国是世界水禽生产大国,羽绒是中国传统的出口商品,始于 1870 年,距今已有 120 多年的历史。据最近几年统计,我国羽绒年产量约为 60 万吨,占全世界羽绒产量的三分之二,羽绒质量居世界首位。2001 年我国鸭存栏量达到 6.36 亿只,占全球存栏总量 9.15 亿只的 69.5%,鹅存栏量为 4.54 亿只,占全球存栏总量 5.02 亿只的 90.39%。1991 年产羽毛绒 8-10.9 万吨,其中绒毛 0.6-0.8 万吨。2003 年羽毛绒产量 12 万吨,占世界羽毛绒产量的 60%。2005 年我国生产可作羽绒制品的羽毛绒约 9 万 t,占世界产量的 2/3。“十一 五”期间,国家将继续发展鹅鸭工程,我国的羽绒资源将更加丰富,为我国羽绒工业的发展提供雄厚的资源条件。同时,我国是羽绒制品生产大国,每年出口量约 2500 万件,占全世界羽绒制品总出口量 80%,为国家创造外汇近 10 亿美元。近年来国内对羽绒服的需求量也在不断扩大,羽毛绒资源已有一定程度的开发利用。2007 年产量达六十多万吨,占世界总产量的 60%^[17]。

2.1.2 组成成分

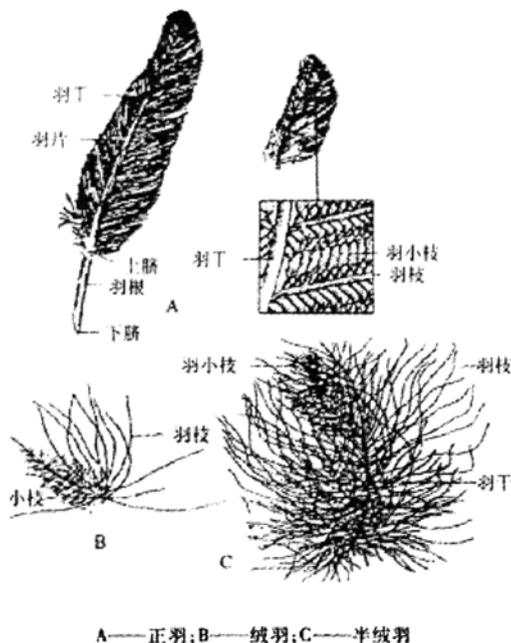
羽绒属蛋白质类纤维。其化学组成和羊毛相似,由 20 种 α -氨基酸组成。鹅、鸭绒各种氨基酸含量基本相同,由这些氨基酸为主缩合组成的羽阮大分子之间,将产生多种形式的横向联接。有盐式键连接,酰胺键连接,酯键连接,二硫键连接,氢键连接。羽绒纤维的最表面是一层细胞膜。它是由与三磷酸酯的双分子层膜组成的。甾醇是指环戊烷骈全

氢化菲类化合物，难溶于水。三磷酸酯是指有机醇类与三分子磷酸缩合而成的酯类化合物，是一种难溶于水的有机物。这层双分子膜占整根羽绒纤维重量的 10%以下，故而羽绒纤维的防水性能较好。薄膜的单层是组成羽绒纤维羽肌，由多种氨基酸缩合而成。在羽绒纤维的蛋白质分子中个氨基酸相互结合成多肽链，成为羽肌的初级结构；在同一个多肽链中 2 个半胱氨酸结构之间生成-s-s-键，是多肽链的一部分成环状，同一多肽链中 C=O 基和-NH₂ 基之间还可以生成氢键，使多肽链的构象为右螺旋形，称为 α -螺旋或 α -氨基酸，这叫做羽肌的二级结构；多肽链之间也可以生成氢键，使它们按一定形状排列起来。在羽肌中，几个多肽链扭成一股，几股又扭在一起，形成绳索状结构。由它们为主缩合组成的羽肌大分子之间，将产生多种形式的横向联接。有盐式键连接，酰胺键连接，酯键连接，二硫键连接，氢键连接^[16]。

2.1.3 形态结构

按动物学分类，羽毛可简略分成 6 大类：正羽(或体羽)、绒羽、半绒羽、粉绒羽、毛羽和须羽，如图 1 所示：正羽或体羽是羽毛的主要类型，覆盖于鸟禽的整个体表，由羽轴和两侧的羽毛组成；绒羽密集分布于正羽下面，羽干细短或缺失，羽枝成簇地从羽柄顶端散发，呈半球状；半绒羽结构介于正羽与绒羽之间，由羽柄、羽干、羽枝和羽小枝组成，通常也分布于正羽之下；毛羽由羽柄、羽干和羽小枝组成，其羽干纤长柔软，状如毛发，散布于正羽和绒羽之间；粉绒羽属特化的绒羽，端部的羽枝和羽小枝不断生长，又不断破碎，细小如粉状颗粒，散布于鸟禽全身；羽须属特殊羽毛类型，形状如须、鬃毛，仅分布于口裂、鼻孔周围闭^[17]。

半羽绒在扫描电子显微镜下观察羽绒如图 2 所示：羽绒会呈现出一幅巨大的树状画面，绒核成树枝状，该“树”以绒丝为“树干”，绒小枝为“树枝”，在绒小枝上分布着大小不同的丫形和三角形的赘合物，丫形的称为隆节，三角形的称为菱节。两节之间具有一定的节距。有菱节的绒小枝往往生长在绒丝的末端部分，绒丝梢端的绒小枝往往不生菱节。带菱节的绒丝往往生长在绒根下半部，也就是说，菱节生长在绒核周围绒丝的绒小枝上。绒小枝的梢端部分有丫形的隆节存在，小于菱节^[18]。



A——正羽; B——绒羽; C——半绒羽

图1 正羽、绒羽和半绒羽结构示意图

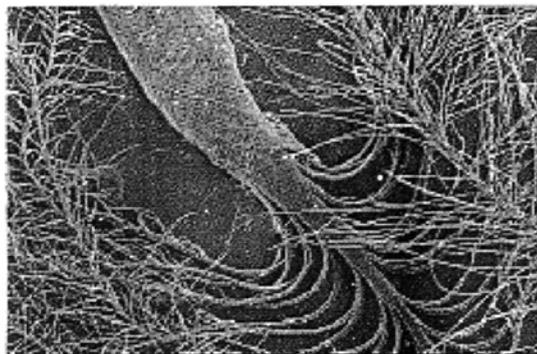


图2 羽绒形态图

2.1.4 性能特点

羽绒是由许多细胞聚集构成。它可分为两个组成部分：包覆在毛干外部的细胞膜；组成羽绒实体主要部分的蛋白质。从羽绒纤维中尺寸比超分子结构更大一些单元的敛集特征来分析，羽绒纤维也是又多重原纤组成的。羽绒纤维的临界表面张力是所有蛋白质纤维中最小的。常温下干净羽绒不能被纯水所润湿，羽绒纤维与其它蛋白质棒状纤维不同，它是以绒朵形式存在，在每一绒朵里包含着十几根以至几十根内部结构基本相同的纤维。显然，每根纤维之间都会产生一定的斥力并使其距离保持最大，这样就使羽绒具有很高的蓬松性。羽绒具有良好的回弹性，无论从哪个方向揪下去，纤维都迅速恢复原样，保证纤维与

纤维之间保持一定的距离。

由于羽绒纤维具有的优良的蓬松性和回弹性,使得纤维与纤维之间有着数不清的孔隙和空洞,含蓄着大量的静止空气,而空气是热的不良导体,充分阻止热向四周扩散,并且天然中空纤维,使羽绒本身富含大量静止空气;立体多级羽状结构,将羽绒产品自然地分成若干均匀的立体小空间;在羽绒絮毡的三维空间中数百万根轻细的绒丝交叠在一起形成数百万只静止空气储存器;而法国的科研机构公布的研究结果认为:目前世界上还没有任何保暖材料超过羽绒的保暖性能,因为羽绒是呈朵状结构,每根绒丝在放大镜下均可以看出是呈鱼鳞状,有数不清的微小孔隙,含蓄着大量的静止空气,由于空气的传导系数最低,形成了羽绒良好的保暖性。羽绒的绒毛带电,其静电容量极小,只要极少量电荷,绒毛间就互相排斥,彼此分立开来,使羽绒产品的立体结构更加充盈至极。产品中形成的立体静止空气“储存器”更加稳定,这些“储存器”不会因使用或其他外界因素而急剧减少。羽绒的这些特点是任何其他保暖材料无法比拟的。

羽绒是天然环保的,被称为“绿色材料”。绿色材料有三个方面的含义:材料来源的绿色性、材料加工过程的绿色性、材料使用过程和回收利用的绿色性。获取羽绒的方法有两种即烫褪法和活拔法,不用任何的化学试剂,是非常环保的。收购来的羽毛绒的加工分为两种:一种是未水洗羽毛绒的加工,此过程的处理全是人工的且无须加任何助剂;另外一种为水洗羽毛绒的加工,在加工过程中所加试剂是有规定的,不会用一些对人体或环境有害的试剂,因此是环保的。羽毛绒一般作为一种填料,不直接和消费者的肌肤接触,除了钻出的毛绒可能会引起皮肤的不适,但对使用者不会造成危害。失去使用价值的羽毛绒,因其化学成分是蛋白质,可完全生物降解,对周围的环境不会造成危害^[19]。

羽绒还具有其他保暖材料所不具备的吸湿发散的良好性能。据测定,人在睡眠时身体不断向外发散汗气,一个成年人一夜散发出的汗水约100克左右,羽绒能不断吸收并排放人的释放出的汗水,使身体没有潮湿和闷热感。此外羽绒还具有保健功能欧洲人一向把羽绒作为治疗关节痛、神经痛、高血压等疾病的保健用品。法国、德国的科研机构则把羽绒被誉为最理想的寝具。我国的大医学家李时珍在《本草纲目》中也曾提到:“选鹅腹绒毛为衣,被絮,柔软而新性寒,尤宜解婴儿之惊痛”^[20]。

2.1.5 羽绒纤维的研究现状

2.1.5.1 国内

20世纪70年代之前,羽绒一直被作为填充材料,填充到羽绒服,羽绒被等羽绒制品中。20世纪70年代中期,我国开始研制高密羽绒布,逐渐制成服装,被褥等羽绒制品。1998年金

阳首次以羽绒、羊毛为主要原料纺成了羽绒纱。到了 21 世纪, 使用含羽绒的混纺纱生产机织物, 针织物, 无纺织物及加工成印染产品, 为制衣厂提供服装面料。再后来就是用羽绒和化纤混合制成保暖絮料, 蒋培清在 1998 年研究过羽绒/涤纶混合絮料的性能, 认为在羽绒中掺混少量中空涤纶, 不仅可以降低成本, 而且提高了絮料的回弹性。张建春等通过针刺的方式, 将羽绒和其他纤维加工成絮毡, 既保留了羽绒保暖的特点, 又克服了制品臃肿的缺点^[21]。在 2006 年 9 月上海世贸城举办的中国服装跨国采购交易会上, 广东佛山神羽纺织有限公司联手上海优乃特进出口公司, 推出了一种全新的保暖填充物絮片——羽毛绒, 在世界上率先攻克了“羽毛不可纺”的技术难题, 大大地提高了羽毛在纺织领域中的使用价值、拓宽了应用领域。由李震京和杨保华共同研发的新型羽绒片材也成功问世。该产品与传统羽绒制品相比具有: 重量轻、厚度均匀、透气性好、回弹性稳定、原料利用率高和不需专用充绒设备等明显优点。

2.1.5.2 国外:

国外关于羽毛羽绒利用的研究不多。日本京都女子大学教授古贺城一郎依据羽毛中含有大量的角质蛋白, 具有高吸湿性和吸油性, 不容易导热, 把羽毛粉碎成为微米大小的粉末, 用 160℃ 的温度加热, 结果就得到和塑料一样坚硬的固体材料^[21]。Hamoush 等提出将羽毛用于混凝土中增强强度和牢度。实验表明混凝土中有一羽毛时, 抗弯刚度较高, 但羽毛含量超过时, 抗弯刚度下降^[22]。美国的 Agricultural Research Service 建立了将羽毛转变成增强纤维用于复合材料的再循环的工艺过程^[23]。Evazynajad 等曾探讨过火鸡毛用于纺织工业的可行性^[24]。Kawada-Y 将羽绒羽毛和短纤混合作为填料, 短纤和羽绒羽毛的羽枝缠结在一起, 这样填料就会拥有羽绒羽毛和短纤的特性^[25]。

2.2 聚丙烯熔喷非织造布

非织造布是一种不经过传统的织布方法, 而使用机械的、化学的、热力的或其他的方法, 使纤维网固结在一起而形成的纤维结构材料。非织造布的制造工艺可分为纤维准备、成网、粘合、烘干、后整理及卷装等 6 个过程, 生产主要有干法、湿法、纺络法、针刺法、缝编法、纺粘法、熔喷法、裂膜法和静电法等 9 种^[26]。熔喷法非织造布是由聚合物熔喷直接成网技术制得, 它是 20 世纪 50 年代美国海军实验室为收集上层大气中的放射性微粒而开发的^[27]。本实验采用的是熔喷法非织造布作为复合保暖絮片的基布。

2.2.1 聚丙烯熔喷非织造布的特点

聚丙烯熔喷非织造布的纤维细度一般在 $2\mu\text{m}\sim 5\mu\text{m}$ 之间属于超细旦纤维织物^[28]。聚丙烯纤维由于具有原料丰富、生产成本低、质轻、强度高、耐腐蚀、耐磨、弹性回复性

好、不起球及独特的芯吸效应和保暖、透气、轻爽、价廉等的优点。聚丙烯熔喷非织造布中纤维互相缠结，纤网通过纤维之间自身的热熔粘合和纤维超细而具有较好表面吸引力，主要具有以下性能特点^[29]：熔喷非织造布中纤维排列是随机分布的，具有一定的杂乱性，纤维粗细差异相对较大。这种随机分布提供了纤维间更多的粘合机会，这与传统织物和梳理成网非织造物中的纤维分布截然不同，使熔喷法非织造布具有更大的比表面积，更高的孔隙率，更细微的空隙的特点，以致具有优异的过滤性能；由于熔喷非织造布中纤维直径很细，所以非织造布手感柔软，且具有良好的深加工性能，应用灵活、多变、能通过对各工艺参数的调节、组合获得满足各种过滤操作要求，形成不同形式的过滤产品；聚丙烯熔喷非织造布丰富的孔隙度以及极好的亲油性使其具有吸油快、吸油量大、能快速而有效地吸收高于自身重量一倍左右油液的特性；聚丙烯熔喷非织造布耐酸碱、耐有机溶剂、耐虫蛀，耐霉烂和无毒等特点；聚丙烯熔喷非织造布由自身纤维热粘合而成没有污染，是一种适合于回收的材料。材料的回收意味着新的聚丙烯产品的生产可以应用旧的聚丙烯产品或工艺中废弃的产品，有利于对环境的保护^[30]。

2.2.2 聚丙烯非织造布的用途

熔喷非织造布中纤维极细，且具有多孔性和一定强度，早期打开市场的主要产品为电池隔板。Riegel Products 公司的 Roy Volkman 在 70 年代工业化生产出了一种铅酸免保养电池用聚丙烯熔喷非织造布隔板；熔喷纤网在其它更常规的空气与液体过滤用途上已取得较大成功。金佰利公司的 shipp 等取得了有关剃度滤料的专利，Pall 公司取得了是用于血液过滤的熔喷滤料专利，JNIL 获得了直接把聚合物加工成成品管状滤料的专利；熔喷絮材的优势在于它是超细纤维结构、孔径小、能透气，但不易散热、保暖性能好，特制的絮材松软、轻便但不显得单薄，极适合制作登山服、滑雪衫、睡袋、保暖内衣、外衣、被褥等御寒材料；聚丙烯熔喷非织造布是近年来发展起来的一种新型高效无污染吸油材料，目前已受到发达国家的广泛重视和开发应用。聚丙烯纤网的多微孔性与疏水性使得它成为吸油材料与揩布的最佳候选者。聚丙烯熔喷非织造布可开发的吸油产品主要有下列品种：吸油片、吸油毡、吸油卷、吸油索、吸油棉、吸油枕等等^[31]。

2.2.3 熔喷非织造布的发展过程

熔喷非织造布是聚合物纺丝成网非织造布中的一种，它起始于 20 世纪 50 年代初。当时美国海军实验室在政府的资助下，为了收集上层大气中的放射性微粒而开发的一种具有超细过滤效果的过滤材料。经过几年的努力研究小组终于成功的发明了堪称当今熔喷法非织造布技术先驱的一种工艺，可以生产超细过滤材料。作为一种快速、高效、产品性能独

特的非织造生产方法,熔喷技术引起人们越来越浓厚的兴趣。20世纪60年代中期,Exxon公司也开始对熔喷非织造布技术进行研究,5年之后成功地生产出了超细纤维。早在1987年,Milligan就研究发现纤维振动形成的阻力在熔喷过程中对熔体的拉伸细化起着非常重要的用。以后的几年中,他又与其他研究者对此进行了深入的研究。结果表明,利用横吹气流使纤维振动能制成更细的纤维,并且纤网质量更好。Chhabra和Shambaugh利用激光多普勒测速仪和多幅频闪仪对熔喷过程中纤维的振动现象,且振幅和频率与工艺有关。根据共振能产生巨大作用的原理,在熔喷过程中加入脉动气流后,可以得到更细的纤维,并且节约生产成本。福来司拿公司正在研究一种新的熔喷技术,他们设计了熔体经过负空腔,该技术像负压纺粘工艺应用负压,与此同时还结合冷空气的作用,使喷出后的熔体分离,所得纤维可达0.01d(约 $0.5\mu\text{m}$)。Nordson公司和Biax-fiberfilm公司分别采用侧吹冷风和侧向喷水的方法,使喷丝孔中挤出的熔体冷却,进而改变纤维的内在结构,达到提高纤网强力、改善品质的目的。其他一些公司也开发成功各自的熔喷非织造布技术,如美国3M、德国Freudenberg、日本的旭化成、NKK等公司。

我国早在20世纪70年代中期就由上海市纺织科学研究院开始了熔喷非织造布技术的研究,仅用了两年时间就试验成功聚丙烯熔喷非织造布,几年后熔喷非织造技术在我国一些地区得到推广和应用,有数十条简易的国产熔喷非织造布生产线投入应用。2003年非典爆发后,熔喷非织造布发展极为迅速。目前全国连续生产线13条,其中进口的或用进口部件组装的有5条,国产的有8条。间歇式的生产线有300条左右,2003年生产量约1.5万吨,增长率达50%,估计今后发展的速度会越来越快^{[31][32]}。

2.3 材料的保暖原理

保暖主要是防止人体自身热量的散失。热量散失主要通过以下三个途径:传导、对流和辐射。在寒冷有风的环境中,热传导和热对流起决定作用。空气是热的不良导体,水是热的良导体,导热系数越小保暖性就越好。各种纤维材料的导热系数见表1^[33]:

导热系数越小,保暖性越好。要达到良好的保暖效果,一是有效防止保暖材料与人体构成的微气候环境中的空气形成对流,保证该环境中的静止空气含量最大;二是尽量加快人体产生的汗气排出微气候环境以外,避免水传导热量;三是选用导热系数较小的材料,且能有效地容纳静止空气并对空气分割成较小的群体,增加空气对流的阻力;四是在达到同样保暖效果的条件下,减小保暖材料的体积、重量,达到最佳舒适效果。

表 1 纺织材料的导热系数

材料	导热系数 (W/m·°C)
羽绒	0.048-0.054
羊毛	0.052-0.055
蚕丝	0.05-0.055
棉	0.071-0.073
涤纶	0.084

2.4 设计思路

2.4.1 原料上的选择

要制备保暖性能优良的絮片首先应该选取高保暖性的复合材料，根据以上的保暖原理的表 2 中我们得知，羽绒的导热系数是最小的，其保暖性是最好的。一直以来羽绒作为一种绿色材料，以其所具有的其他材料所不能替代的轻、柔、软的特性而受到许多纺织品生产厂家的青睐；以羽毛绒材料作为填充物的纺织制品也越来越受到消费者的欢迎。但羽绒却只能作为填充物，用于服装和寝具的保暖上。羽绒作为填充材料存在很多缺点，如：羽绒在针缝及针眼处较容易外钻且不易填充；若面料和里料都采用高密度布料也会导致吸湿性和透气性差别非常差；由于羽绒高的蓬松度，整件服装非常臃肿笨重，穿着不方便；而羽绒与其它化纤混合的絮片存在严重的飞毛现象，给生产带来不便。羽绒的价格比较昂贵；以含绒量是 60%的羽绒价格为参考，如表 2 所示。熔喷纤维在被吸附在成网帘上时，由于丝条没有经过冷却仍能保持较高的温度，使其熔喷纤维具有很高的粘性。可以使羽绒粘在聚丙烯熔喷非织造布上，克服羽绒作为填充材料的缺点及降低羽绒飞毛的现象。我们的设计思路是利用聚丙烯熔喷纤维的粘性，同过一定的风力使羽绒可以粘附在上面形成复合保暖絮片，研究分析复合的絮片各项服用性能。

表 2 各种羽绒的价格 (¥/Kg)

名称	国标	欧标	美标	日标
白鹅绒	288.00	276.00	288.00	297.60
白鸭绒	162.00	150.00	162.00	168.00
灰鸭绒	156.00	144.00	156.00	162.00

2.4.2 方案的确定

羽绒与聚丙烯熔喷非织造布复合试验是与安徽奥宏非织造布有限公司合作, 经过市场调查和初步摸索, 我们确定采用四种不同克重的熔喷棉作为复合保暖絮片的基布。再分别与不同质量的羽绒进行复合, 制成不同克重和厚度的样品, 用 S_n ($n=1, 2, 3 \dots 10$) 来表示所做的试验样品, 用 M_n ($n=1, 2, 3, 4$) 来表示所用聚丙烯非织造布的种类如表 3 (1) 所示, 通过检测含有不同克重羽绒和不同克重聚丙烯熔喷棉的新型复合保暖絮片的各项性能, 分析两种成分对新型复合保暖絮片的影响, 最终确定开发品种。

由于目前市场上没有现成的用于加工复合保暖絮片的设备, 我们根据充制羽绒服的充绒机的充绒原理自行设计改装充绒的设备, 由于改装设备的精度的限制, 对充喷的羽绒质量无法很精确的控制。且通过多次试验分析我们发现由于用于进行复合的聚丙烯熔喷非织造布的厚度不同, 所吸附的羽绒含量会有所不同, 即越薄的聚丙烯熔喷棉所吸附的羽绒越少, 反之会越多。这是由于越厚的聚丙烯非织造布所含的聚丙烯熔喷纤维就会越多, 它所具有的粘性就会越强, 就会有更多的羽绒粘附在非织造布上。试验需要制备不同混合比例的絮片, 通过对其主要性能的测试, 研究分析复合了羽绒后聚丙烯熔喷非织造布在哪些性能方面有所提高, 哪种因素对试验结果的数据影响较显著, 与各种因素含量之间的关系。实验方案采用正交实验法来设计并制备试样。

本实验中选取羽绒纤维含量、聚丙烯纤维含量这两个因素, 对羽绒纤维含量选取 9 个水平大小, 对聚丙烯纤维选取 4 个水平大小, 见表 3 (2) 所示^[31]:

表 3 (1) 熔喷非制造布试样规格一览表

试样	M_1	M_2	M_3	M_4
克重 g/m^2	40	80	84	120

表3(2) 不同因子的水平分布表

水平	A	B
	羽绒含量/g	聚丙烯熔喷纤维含量/g
1	75	122
2	55	84
3	50	80
4	30	40
5	20	
6	17	
7	13	
8	10	
9	5	

不考虑交互作用，正交方案如表4所示：

表4(1) 正交试验表

试验样品名称	A	B
	羽绒含量	聚丙烯熔喷纤维含量
S ₁	3	2
S ₂	4	2
S ₃	5	2
S ₄	5	3
S ₅	8	3
S ₆	1	1
S ₇	2	1
S ₈	7	1
S ₉	6	4
S ₁₀	9	4

表4(2) 复合试样规格一览表

复合试样	S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	S ₅	S ₆	S ₇	S ₈	S ₉	S ₁₀
羽绒含量/g	50	30	20	20	10	75	55	13	17	5
PP含量/g	84	84	84	100	80	120	120	120	40	40

第3章 实验工艺原理与试样性能测试

3.1 试验工艺原理

3.1.1 熔喷工艺原理

熔喷法属于聚合物直接成网法非织造布加工工艺，是指将聚合物切片喂入到螺杆挤压机中，经过加热、熔融和挤压，使熔体从喷头的喷丝孔中挤出，当受到喷丝孔两侧及熔体喷出方向呈一定角度的高压热气流的喷吹时，熔体被拉伸，形成超细长丝，或被吹断成具有一定长度的微细纤维，在受到外侧冷却空气的冷却固化作用后，凝聚于滚筒式纤维接收器或循环式网帘上，形成熔喷纤网。熔喷纤网大多以自粘合形成布^[34]。

其生产工艺流程包括以下的基础设备：(1)喂料系统，通常由料斗喂入螺杆挤出机；(2)计量泵系统；(3)熔喷模头(纺丝组件)；(4)空气供应系统；(5)收集装置；(6)卷绕系统。在所有基础单元中，熔喷模头(纺丝组件)对熔喷产品的幅宽和产品质量有着决定性的影响，能够代表整个设备的水平。其具体工艺流程如下图3所示：

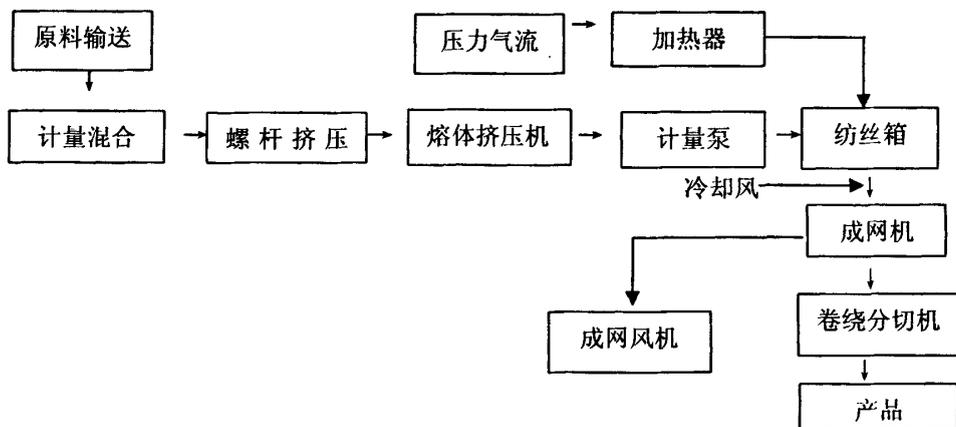


图3 熔喷法工艺流程图

其工作原理为：聚合物(PP 切片)由输送装置送入计量混合装置，经过计量、混合后，进入螺杆挤压机加热熔融成为熔体。再经过过滤除去杂质，进入纺丝泵(计量泵)计量加压后，即成为压力稳定、流量稳定、分布均匀的熔体，这些高温熔体进入纺丝箱后，由其内部的熔体通道均匀分配至纺丝组件(熔喷头)。另一方面，由空气压缩机或风机产生的压力气体进入空气加热器后，便成为高温的牵伸气流，由管道送入纺丝箱内的牵伸气流通道，然后

由布置在喷丝板组件两侧的通道对着从熔喷头喷出的熔体喷射,熔体在这种高温、高速气流的作用下被牵伸成细度仅为 $1\sim 5\mu\text{m}$ (实际上纤维的细度呈现对数正态分布,其范围一般在 $0.3\sim 7\mu\text{m}$ 之间)的细丝。与此同时,这些超细尺寸的纤维被牵伸气流拉断为长度约 $40\sim 75\text{mm}$ 的短纤维^[36]。

熔喷法主要的生产工艺参数是:熔融指数,熔融指数的高低不仅反映了高聚物本身的流动性,而且与其制成纤维及纤维网的物理机械性能密切相关。螺杆挤压机各区的温度,螺杆挤压机各区的温度设置,不仅会影响纺丝过程是否顺利进行,而且对最终产品的手感及机械性能有很大的影响。热气流速度,它对纤维细度和产品的物理特性有直接影响。热空气喷射角度,会显著影响拉伸效果和纤维形态。接受距离,一般情况下,随接收距离的增加,布的纵横向强度和弯曲刚度降低,纤维直径略有增加,手感变得蓬松、柔软,过滤效率和过滤阻力下降。螺杆挤出速度,在温度不变的条件下,熔喷布的强度随着挤出量的增加而增大,到达一个峰值后便趋于减少。熔喷法生产工艺区别与其它非织造布生产工艺最大的优点是:工艺流程短,生产效率高。

3.1.2 充绒工艺及原理

充绒设备包含以下几个基础设备:(1)混绒箱;(2)进绒管道;(3)主箱;(4)进风口;(5)出绒口;

其工艺流程如图4所示:

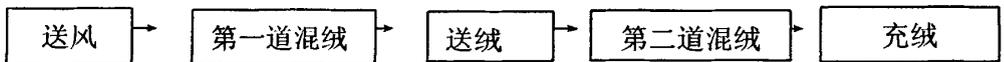


图4 充绒工艺流程图

充绒设备的工作流程是:将羽绒在A箱筒里通过由B风口进入的风力使其充分混匀并用风力使其通过管道C进入主箱D,在D中有E、F和G三个进风口,使主箱内有足够的风力使羽绒混的更加均匀并可以通过H端口充到聚丙烯非织造布中。影响充绒工艺的因素在于风力的大小和风速是否等速,这都影响到羽绒是否更加均匀的充到聚丙烯熔喷非织造布中。

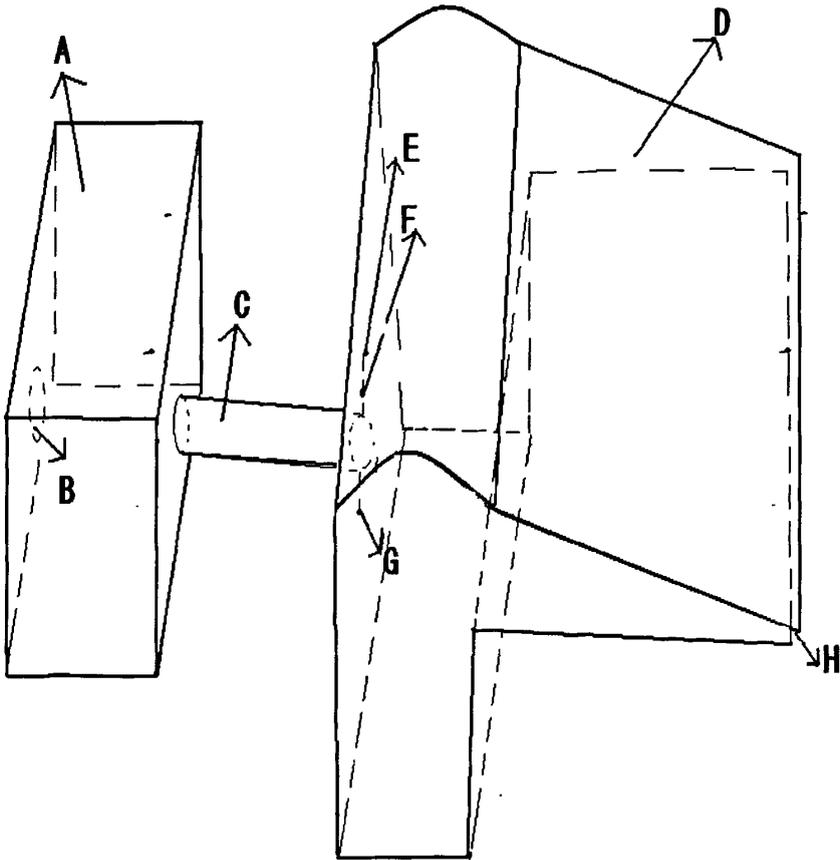


图 5 充绒设备

A-混绒箱；B-进风口；C-出绒管；D-主箱；E、F、G-进风口；H-出绒口；

我们根据充制羽绒服的充绒机的原理经过多次的试验自行研究装置的充喷羽绒的设备如图 5 所示。其工作原理是：在充绒仪器的主体箱 D 中再一次的将羽绒充分混匀，并通过进风口 E、F 和 G 中的风力把羽绒从出绒口 H 均匀的吹到熔喷设备的喷丝区域，通过熔喷设备中的接收装置到后道工序，最终形成新型复合絮片片。

3.1.3 整个复合设备的工作原理

以上的两种设备组成了我们试验的复合设备，其生产工艺原理如下图 6 示：

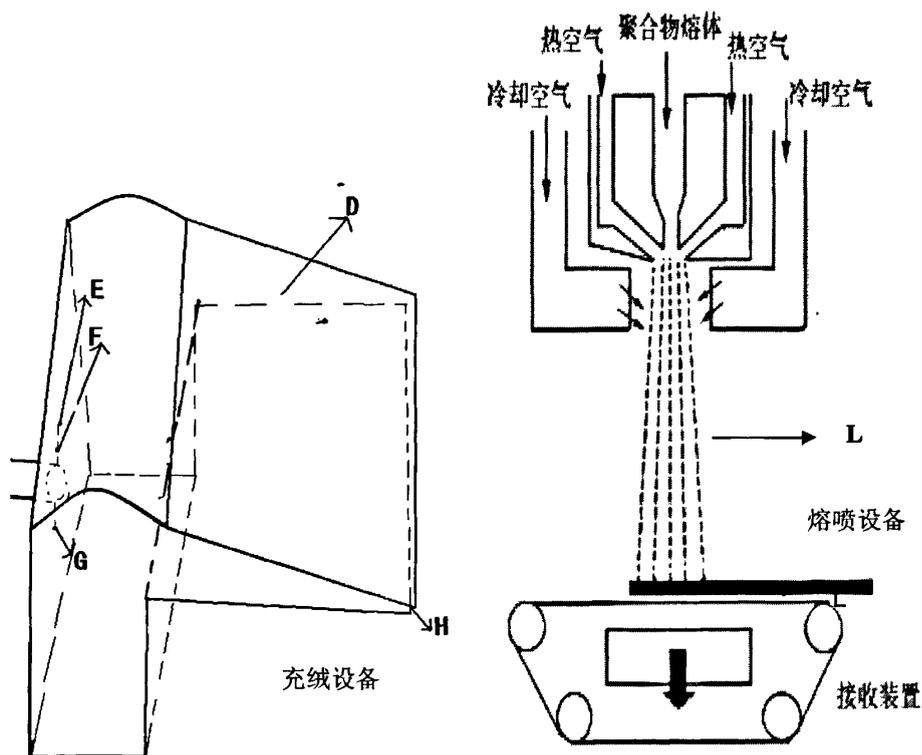


图6 复合设备工艺原理图

D-充绒设备的主箱；E、F、G-充绒设备的进风口；H-充绒设备的出绒口；L-熔喷设备的喷丝区域；

整个复合设备的工作原理为：羽绒在充绒设备的主箱D充分混绒后通过进风口E、F和G进入的风力使羽绒均匀的充到熔喷设备的L中，通过接受装置成网。

3.2 絮片的性能测试

为了更准确的从理论上对所研究的非织造絮片的工艺与性能之间的关系进行分析，我们对保暖材料的基本结构参数及各方面性能做了如下测试：

3.2.1 单位面积的质量测试

材料重量是材料品质的一项综合指标，与材料性能有密切的关系。材料重量是指单位面积的重量，以 g/m^2 表示。

参照标准:FZ/T 60003-91；《非织造布单位面积质量的测定》

试样准备：将试样裁成 $25\text{ cm} \times 20\text{ cm}$ 的5块小样，在标准大气压下调湿24h；

试样原理：计算5块试样称量的平均数，再乘20即得以 g/m^2 表示的单位面积质量，计算时取小数点后三位，试样的计算数值如下表5所示：

表 5 单位面积质量的测试数据

试样	S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	S ₅	S ₆	S ₇	S ₈	S ₉	S ₁₀
测试数据 g/m ²	138.8	110	103.2	108	96.4	208.4	186.8	129.2	65.6	50

3.2.2 厚度测试

絮片厚度是确定非织造布压缩弹性、产品用途及进一步加工的依据。纺织品的厚度是指对纺织品施加规定压力的两参考板间的垂直距离。以 mm 为单位。

参照标准:FZ/T 60004-91《纺织品和纺织制品厚度的测定》;

试验仪器:YG(B)141D 型织物厚度仪,压脚面积 20000mm²,压力为 0.2KPa。

测试方法:取试样面积为 30×30cm²的正方形,在试样上沿对角线方向连续测 10 处,每次压盘停留 30s,读出厚度值。

试验结果:如下表 6 所示:

表 6 厚度测试数据

试样	S ₁	S ₂	S ₃	M ₂	S ₄	S ₅	M ₃
测试数据 mm	7.263	5.98	5.402	2.431	5.98	5.721	2.106
试样	S ₆	S ₇	S ₈	M ₄	S ₉	S ₁₀	M ₁
测试数据 mm	35	22	4.446	3.514	3.245	2.291	0.683

3.2.3 保暖性测试

保暖性是指试样能保持被包覆体温度的程度,可以说是保暖服装填料最重要的性能。通常用导热系数、克罗值、保暖率三个指标来衡量。导热系数表示样品导热量的大小,克罗值则表示热量通过织物时所遇到的热阻,保暖率以无试样时的散热量和有试样时的散热量之比的百分率表示。

纺织材料是多孔性物体,纤维内部和纤维之间有很多孔隙,孔隙内充满着空气。热在其中的传导,不但有纤维自身的热传导,也有热的对流与辐射。一般测得的纺织材料的导热系数,是纤维、空气和水分混合物的导热系数。导热系数与克罗值之间的换算关系如下:

$$CLO=1/0.155 \lambda$$

式 (3-1)

参照标准:GB 11048--89 《纺织品保温性能测试标准》;

实验仪器：YG606 型织物保暖仪；

工作原理：将试样覆盖于 30cm×30cm 的试验板上，试样板和周围的保护板及底板均以电热控制在相同温度，并以通断电的方式保持恒温，使试验板的热量只能通过试样的方向散发，测定试验板在一定时间内保持恒温所需要的加热时间，按公式计算试样的保温率 Q (单位：%)、传热系数 λ (单位： $W/(m \cdot ^\circ C)$) 和克罗值 (CLO)。

试样准备：每种样品取试样 3 块，试样尺寸为 30cm×30cm，要求平整，无折痕，并置于规定的标准大气条件下调湿。

实验结果如下表 7 所示：

表 7 保暖性测试数据

试样	S ₁	S ₂	S ₃	M ₂	S ₄	S ₅	M ₃
保温率 (%)	83.2	80.43	78.67	63.37	79.63	79.03	68.4
克罗值	1.9	1.567	1.377	0.633	1.437	1.38	0.76
保暖系数	3.38	4.117	3.001	10.18	4.47	4.653	8.18
试样	S ₆	S ₇	S ₈	M ₄	S ₉	S ₁₀	M ₁
保温率 (%)	89.57	83.33	78.92	70.3	69.8	61.73	51.1
克罗值	2.573	2.121	1.223	1	0.887	0.66	0.46
保暖系数	2.73	4.913	5.277	6.4	7.25	13.847	15.39

3.2.4 透湿性测试

水份透过织物的性能称为织物的透湿性，它是评价织物舒适性的一个重要指标，与织物的保暖性有一定的关系，通常以透湿量表示，是指在织物两面分别存在恒定的水蒸汽压的条件下，规定时间内通过单位面积织物的水蒸气质量。

参照标准：GB/T 12704—91《织物透湿量测定方法 透湿杯法》；

试验仪器：YG 型 601 I II 型电脑式织物透湿仪

试验准备：试样在标准大气条件下平衡 24h；

试验条件：温度 38℃，相对湿度 90%，气流速度 0.3—0.5m/s. 试验直径为 70mm.

实验原理：把盛有吸湿剂或水，并封以织物试样的透湿杯放置于规定温度和湿度的密封环境中，根据一定时间内透湿杯（包括试样和吸湿剂或水）质量的变化计算出透湿量。该试验采用氯化钙作为透湿剂的吸湿法。试样透湿量按下式计算：

$$WVT=24 \cdot \Delta m/s \cdot t$$

式 (3-2)

式中: WVT—每平方米每天的透湿量, $g/(m^2 \cdot d)$;

Δm —同一试验组合体两次称量之差, g;

t—试验时间, h。

样品透湿量为三个试样透湿量的算术平均值。

通过上述公式我们测得的样品试验结果数据如下表 8 所示:

表 8 透湿性测试数据

试样	S ₁	S ₂	S ₃	M ₂	S ₄	S ₅	M ₃
测试数据 g/(m ² ·d)	5758	5808	5651	6887	6335	5715	5639
试样	S ₆	S ₇	S ₈	M ₄	S ₉	S ₁₀	M ₁
测试数据 g/(m ² ·d)	4815	4738	6199	7176	6284	7337	7006

3.2.5 透气性测试

气体通过织物的性能称为织物的透气性,它是织物舒适性的一个重要指标,与织物的保暖性也有一定的关系。通常以透气率表示,它是指絮片两边维持一定压力差条件下,在单位时间内通过絮片单位面积的气体量。

参照标准:GB/T 5453--1997《纺织品 织物透气性的测定》;

实验仪器:YG 型织物透气性测试仪;

试样准备:试样裁成 20cm² 小块在标准大气条件下平衡 24h;

实验条件:温度 20℃,相对湿度 64%,试验面积 20cm²,压降 100Pa;

实验原理:该实验采用定压式透气性测定方法。在规定压差的条件下,测定一定时间内垂直通过试样给定面积的气流流量,计算出透气率,气流速率可直接测出,也可通过测定流量孔径两面的压差换算而得。计算公式如下:

$$R=q_v/A \times 0.167$$

式 (3-3)

式中: q_v —平均气流量, $\text{dm}^3/\text{min}(\text{L}/\text{min})$;

A —试验面积, cm^2 ;

通过上述公式我们换算得到的试验样品的透气性数据如下表9所示:

表9 透气性测试数据

试样	S_1	S_2	S_3	M_2	S_4	S_5	M_3
测试数据	3.076	2.572	3.103	3.082	4.2	3.781	3.136
m/s							
试样	S_6	S_7	S_8	M_4	S_9	S_{10}	M_1
测试数据	1.546	1.772	2.217	2.043	6.724	7.67	7.027
m/s							

3.2.6 压缩性能测试

絮片的压缩性能是絮片受到垂直于絮片平面的作用力后的表现, 它也是服装填料的重要性能之一。絮片在使用过程中, 由于外力的反复作用, 其体积重量逐渐变大, 甚至变成薄而硬的絮片, 从而丧失其良好的保温性及其它服用性能, 因而有必要测试其压缩性能。通常我们用压缩弹性率、压缩率、表观厚度、蓬松度等指标来衡量, 压缩率反映絮片的柔软性, 压缩弹性率反映其回弹能力, 蓬松度则反映其含气量的大小。

试验标准: FZ/T 64003—93 《喷胶棉絮片》;

实验仪器: 自制仪器;

试样准备: 将试样剪成面积为 $10\text{cm} \times 10\text{cm}$ 的 10 块小样, 称约 10g, 试验时需放在标准大气条件下平衡 4h。

试验原理: (1) 整齐叠好试样, 在试样上压一平板, 中间加上 500g 重锤, 30s 后除去重锤, 静置 30s, 重复三次后, 测定试样的四角的高度(精确至 0.5mm), 求其平均值 h_0 , (2) 在平板中间加上重锤 1000g, 30s 时测四角高度计算其平均值 h_1 , 除去重锤 4000g, 3min 时再测四角高度, 计算其平均值 h_2 。通过一定的公式计算 h_0, h_1 和 h_2 的数值来求得压缩性, 弹性回复率和蓬松度, 计算公式如下所示:

$$\text{蓬松度} (\text{cm}^3/\text{g}) = \frac{20 \times \frac{20h_0}{10}}{W}$$

式 (3-4)

$$\text{压缩率 (\%)} = \frac{h_0 - h_1}{h_0} \times 100\%$$

式 (3-5)

$$\text{压缩弹性率 (\%)} = \frac{h_2 - h_1}{h_0 - h_1} \times 100\%$$

式 (3-6)

计算结果如下表 10, 11, 12 所示:

表 10 压缩率测试数据

试样	S ₁	S ₂	S ₃	M ₂	S ₄	S ₅	M ₃
测试数据 (%)	31	53	64	32	60	58	30
试样	S ₆	S ₇	S ₈	M ₄	S ₉	S ₁₀	M ₁
测试数据 (%)	55	49	41	37	53	38	26

表 11 蓬松度测试数据

试样	S ₁	S ₂	S ₃	M ₂	S ₄	S ₅	M ₃
测试数据 g/cm ³	21.6	22.8	24.4	1.86	19.2	18	1.68
试样	S ₆	S ₇	S ₈	M ₄	S ₉	S ₁₀	M ₁
测试数据 g/cm ³	16.8	24.8	12.8	12.4	4.61	3.71	0.69

表 12 压缩弹性率测试数据

试样	S ₁	S ₂	S ₃	M ₂	S ₄	S ₅	M ₃
测试数据 (%)	91	93	95	83	97	92	85
试样	S ₆	S ₇	S ₈	M ₄	S ₉	S ₁₀	M ₁
测试数据 (%)	87	90	85	91	89	75	70

3.2.7 力学性能测试

织物包括（机织物、针织物、非织造布等）的损坏因素很多，机械力拉伸造成的损坏是最基本的一种，织物的拉伸性能与所用的纤维有关，也和织物本身的结构特征有关。织物的拉伸性能的好坏将直接影响到产品的服用性能及其它性能，因此也是测定产品质量的主要内容。我们采用断裂强力（单位：N）来衡量。

参照标准：FZ/T 60006--91；

实验仪器：YG065 型电子织物强力仪

试样准备：将试样按纵向和横向各裁成 10 小块，尺寸是 20 cm 宽×30 cm 长；

实验原理：本实验采用等速伸长法，将裁剪的试样夹在仪器的上下两个夹持器之间，在试验的最下面夹一重锤，重锤的重量根据絮片重量的不同而改变。对样品施加一定的力，使其在某一处断裂，所测得的数据就是断裂强力。

测试结果如下表 13 所示：

表 13 断裂强力测试数据

试样		S ₁	S ₂	S ₃	M ₂	S ₄	S ₅	M ₃
测试数据	纵向	2.15	2.6	3.4	7.4	2.666	3.666	3.133
	横向	14.48	12.079	14.54	10.18	7.48	8.019	5.82
试样		S ₆	S ₇	S ₈	M ₄	S ₉	S ₁₀	M ₁
测试数据	纵向	3.3	3.2	5.566	7	2.5	2.8	1.8
	横向	17.64	17.24	22.139	18.02	3.12	3.125	7.966

3.2.8 耐洗性测试

耐洗性也是评价絮料服用性能的重要指标，也是评价絮料本身力学性能的重要因素。

参照标准：FZ/T 64003-93 《喷胶棉絮片》；

试样准备：将试样裁成 30 cm×30 cm 的三块小样；

实验操作：取 30 cm X30 cm 的试样 3 块，用 11076 涤棉布将试样两面包住，四周用线缝合，放入盛有 15 ± 1L, 40 ± 2℃ 水的洗衣机中，使用溶液浓度为 0.1% 的中性皂液，浴比 1:40, 洗涤 10min, 甩干 1min, 用常温清水漂洗二次，第一次漂洗 3min, 甩干 1min, 第

二次漂洗 2min, 甩干 1min, 摊平烘干(40 ± 2℃)。上述程序重复三次, 然后除去涤棉布, 观察外观。结果如下表 14 所示:

表 14 耐洗性测试结果

洗涤次数 试样	第一次	第二次	第三次
S ₁	没有变化	没有变化	没有变化
S ₂	没有变化	没有变化	强力有所降低
S ₃	没有变化	没有变化	强力有所降低
S ₄	没有变化	没有变化	强力有所降低
S ₅	没有变化	没有变化	强力有所降低
S ₆	没有变化	没有变化	没有变化
S ₇	没有变化	没有变化	没有变化
S ₈	没有变化	没有变化	强力有所降低
S ₉	没有变化	强力有所降低	破损
S ₁₀	没有变化	强力有所降低	破损

3.3 数据分析方法和期望结果

3.3.1 数据分析方法

对于正交试验结果的分析, 通常采用两种方法一种是直观分析法或称极差分析法, 另一种是方差分析法。极差分析方法的优点是方法简单、直观, 计算较少, 便于普及和推广, 对于生产实际中的一般问题用极差分析方法能够得到很好的解决。但极差分析法不能估计试验过程中以及试验结果测定中必然存在的误差的大小, 因而不能真正区分某因素各水平对应的试验结果的差异究竟是由于水平的改变所引起的, 还是由于试验误差引起的。而且, 对影响试验结果的各因素的重要程度, 极差分析法也不能给精确的数量估计, 也不能提供一个标准弥补直观分析法的这些不足, 因此本试验选择方差分析法。

为了考察某个因素对指标的作用, 必须将总误差分解为条件误差和试验误差, 并比较之, 作出因素对指标的作用是否显著的结论, 这种分析方法称为方差分析法^{[14][36]}。

正交试验结果方差分析用正交表 $L_{10}(2^9)$ 安排试验, 试验结果为 y_1, y_2, \dots, y_{10} , 则 K_{ij} =第 $j(j=1, 2, \dots, 9)$ 列上水平号为 $i(i=1, 2, \dots, 9)$ 的各试验结果之和;

试验结果的总和:

$$T = \sum_{j=1}^a y_j$$

式 (3-7)

试验结果的总平均:

$$\bar{y} = T/n = \bar{T}/A$$

式 (3-8)

任一列的偏差平方和 S_j 与自由度 f_j 为:

$$S_j = \frac{r}{n} \sum_{i=1}^r K_{ij}^2 - \frac{T^2}{n} \quad (\text{其中 } r=2, n=9) \quad f_j=r-1$$

式 (3-9)

总的偏差平方和 S_T 为:

$$S_T = \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^9 (X_{ij})^2 - \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^9 (X_{ij}) \right)^2 = Q_T - \frac{T^2}{n} = Q_T - C_T$$

式 (3-10)

式中: $Q_T = \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^9 (X_{ij})^2$ 称为各数据平方和; $C_T = \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^9 X_{ij} \right)^2 = \frac{T^2}{n}$ 称修正项;

因素的偏差平方和 (如因素 A) 为:

$$S_A = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^2 \left(\sum_{j=1}^9 X_{ij} \right)^2 - \frac{T^2}{n} = Q_A - C_T$$

式 (3-11)

误差的偏差平方和 S_e 为

$$S_e = \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^9 (X_{ij})^2 - \frac{1}{r} \sum_{i=1}^2 \left(\sum_{j=1}^9 X_{ij} \right)^2 = Q_T - Q_A$$

式 (3-12)

将各偏差平方和分别除以各自相应的自由度, 即得到各因素的平均偏差平方和及误差的平均偏差平方和

$$\text{即 } V_A = S_A/f_A, \quad V_B = S_B/f_B, \quad V_C = S_C/f_C, \quad V_e = S_e/f_e.$$

式 (3-13)

对于 $S_T = S_A + S_B + S_C + S_e$

式 (3-14)

可有 $f_T = f_A + f_B + f_C + f_e$

式 (3-15)

其中, f_T = 总的试验次数 - 1

f_A = 因素 A 的水平数 - 1

f_B = 因素 B 的水平数 - 1

f_C = 因素 C 的水平数 - 1

当所有因子的偏差均方和 \bar{S}_a 大于误差均方和 \bar{S}_e 时, 用式 (3-14) 去检验某因子对试验结果影响的显著性

$$F_A = \frac{s_a / f_a}{s_e / f_e} = \frac{\bar{S}_a}{\bar{S}_e} \sim F(f_A, f_e)$$

式 (3-16)

式中, S_a 为 a 中因子的偏差平方和, f_a 为 a 中因子的自由度。

当 a 中有因子的偏差均方和 \bar{S}_a 小于误差的偏差均方和 \bar{S}_e 时, 则应该把这些 S_a 并入误差平方和中而成 S_e^A , 然后用式 (3-15) 去检验没有并入 S_e 之中因子 (S_a) 影响的显著性, 就可以得出个各因素对试验结果影响是否显著的结论。

$$F_A = \frac{\bar{S} / f}{S_e^A / f_e} \sim F(f, f_e^A)$$

式 (3-17)

式中, \bar{S} 为偏差均方和大于误差的偏差均方和 \bar{S}_e 的因子, f 为因子的自由度。

于是对于给定的显著水平 α , 由样本值 y_1, y_2, \dots, y_{10} , 算的统计量的观察值 F_A , 检验 H_0 的法则为:

若 $F_A \geq F_{1-\alpha}(f_A, f_e)$, 则拒绝 H_0 , 认为在显著性水平 α 下, 因素 A 对试验结果的影响显著。

若 $F_A \leq F_{1-\alpha}(f_A, f_e)$, 则接受 H_0 , 认为在显著性水平 α 下; 因素 A 对试验结果的影响不显著;

3.3.2 多指标试验结果的分析方法

多指标试验设计问题在实际工作中是大量存在的，对其试验结果的分析比单指标试验要复杂，在多指标试验设计中，各指标的最优方案之间可能存在一定的矛盾，必须兼顾各指标，找出使每个指标尽可能好的方案，本试验通过综合平衡法分析。

3.3.3 期望结果

本实验通过对羽绒含量和聚丙烯含量的组合来找到使复合絮片的服用性能最优且利润成本最低的最佳复合工艺，在目标中，要使絮片的保暖率达到最大，且要比复合原料聚丙烯熔喷非织造布的保温率提高 15%，其它各种性能如透湿性、透气性和压缩弹性率要适中。

3.4 试验结果分析

3.4.1 保暖性的分析

根据式 (1-1) 我们知道絮片的保暖性取决于复合材料的综合热阻。材料的导热系数越小，其克罗值就会越大絮片的保暖性就会越好。絮片的保暖性还取决于纤维层中所包含的静止空气的含量，静止空气含量越高，其保暖率也会很高。

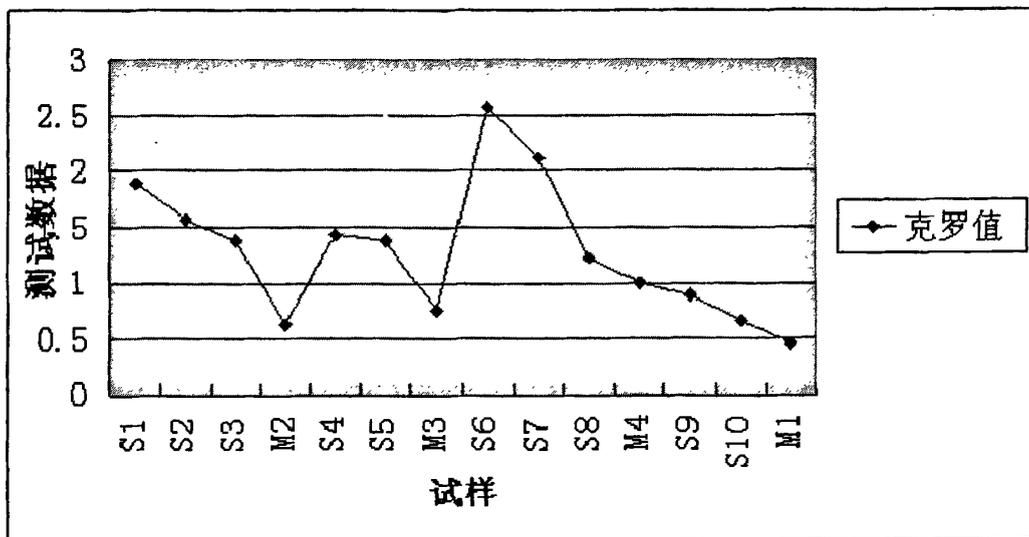


图7 复合絮片的保暖性与PP非织造布保暖性的对比

从图7中我们可以看出复合后的新型保暖絮片的克罗值比聚丙烯熔喷棉的保暖性有了很大提高，通过对保温率的计算，复合后絮片的保温率已经比PP熔喷非织造布的保温率

提高了 15%，达到了我们预计的结果。在图 8 中复合絮片的保暖性随着厚度的增加而不断增加。这是因为对同种试样而言，随着厚度的增加，絮片体积密度变小，空气容纳量增大保暖率就会提高。

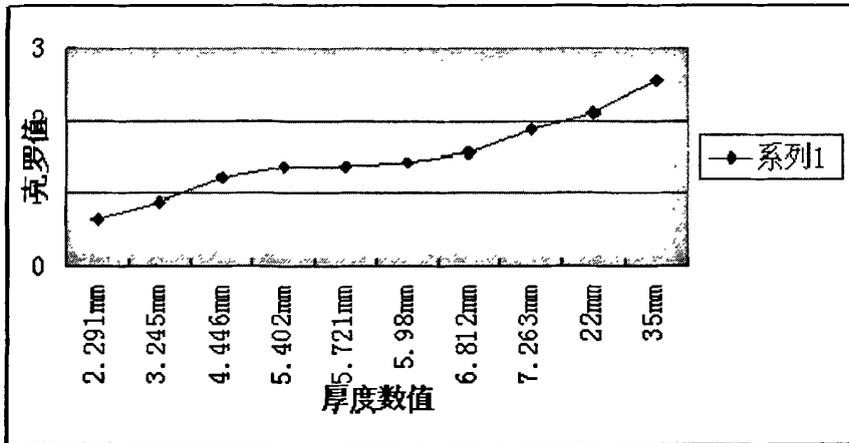


图 8 厚度与保暖性的关系变化

为了分析复合絮片中各种原料对新型复合絮片保暖性的影响，我们对复合絮片保暖性的试验数据进行方差分析。

表 15 试样保暖性方差分析表

方差来源	平方和 S	自由度 f	F 比值	$F_{1,9}(9, 2)$	显著性
羽绒纤维含量 A	20.299	1	13.561	10	*
聚丙烯纤维含量 B	15.063	1	2.034	10	
误差 e ^a	9.898	1			

从表 15 及图 9 中，我们可以得出这样的结论絮片的保暖性主要受羽绒含量的影响，且保暖性随着羽绒含量的增加而逐渐增加。这是因为羽绒是天然的中空纤维（如图 10），正是这种特殊的内部结构可以使絮片本身含有大量的静止空气，而空气是热的不良导体，具有极好的保暖性。且随着羽绒含量的增大，所含静止空气就会越多，保暖性就会越好。羽绒纤维在复合过程中本身的形态结构并没有发生太大的变化，这都有助于新型絮片的保暖效果。于是在图 8 中絮片的保暖性随着厚度的增加而提高。

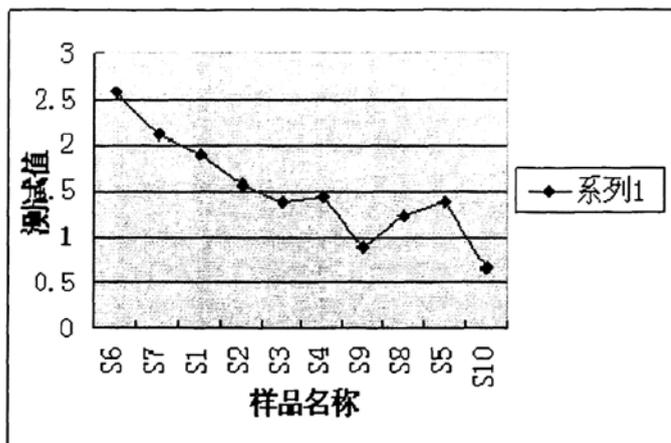


图9 羽绒含量与保暖性的关系

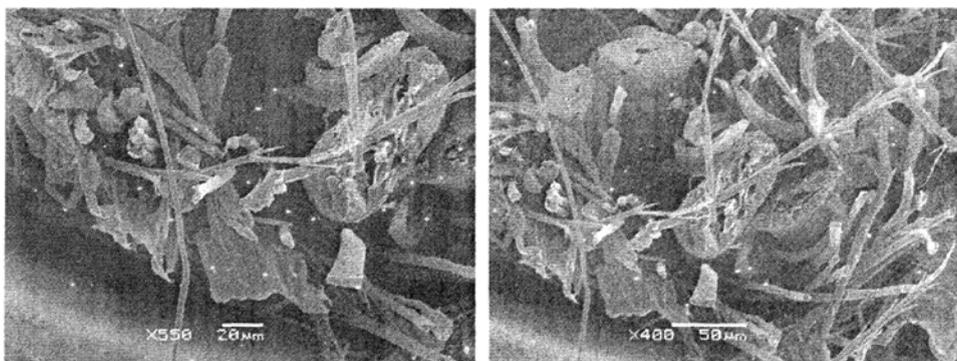


图10 复合絮片在电子显微镜下的结构形态

3.4.2 对试样纵横向断裂强力的实验结果分析

从下面的图 11 中，我们可以看出絮片的横向强力大于纵向强力，且复合之前的聚丙烯熔喷非织造布的横向强力也是大于纵向强力，熔喷法非织造布的强力在众多非织造布中的强力是偏低的，这就大大限制了其的利用用途，其强力是随着厚度的增加而增大的，熔喷法非织造布的强力低是由于其纤维杂乱的排列顺序决定的，由下面的电镜图 12 中我们可以看出熔喷法非织造布的纤维的确是纵向和横向很杂乱无章的排列在一起，使得其具有较差的断裂强力。

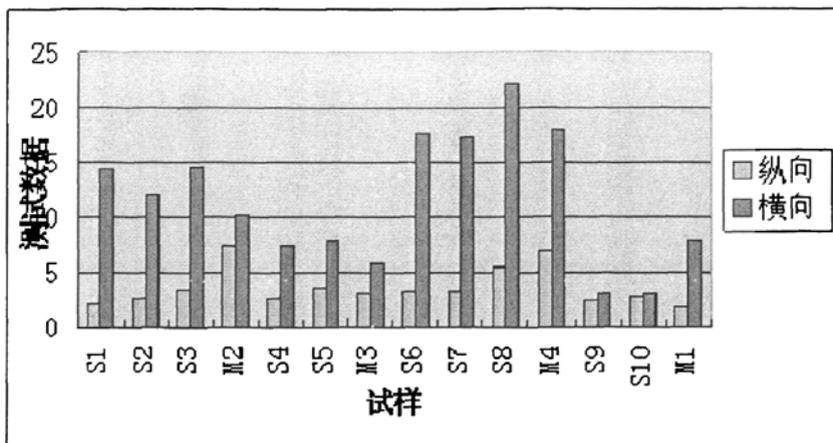


图 11 纵横向强力对比

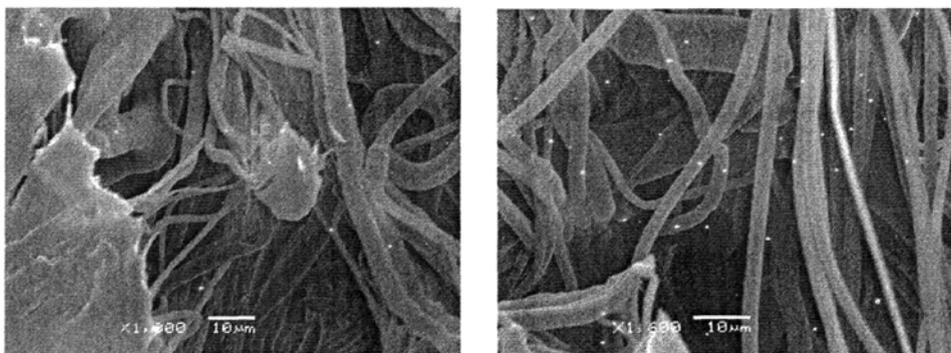


图 12 聚丙烯非织造布的横截面结构形状

从下面的折线图 13 中我们可以看出复合絮片的强力随着羽绒含量多少的变化的大体趋势是基本相同的，先降低后突然增到再降低。这说明羽绒纤维和聚丙烯纤维对复合絮片的强力都有一定的影响。羽绒含量增多时，纤维的粘合点就会很多，这都有利于强力的增大。当羽绒含量减少时聚丙烯纤维开始起作用，其强力（如图 12 所示， $M_4 > M_3 > M_2 > M_1$ ）是随着聚丙烯熔喷纤维含量的增大而增大。

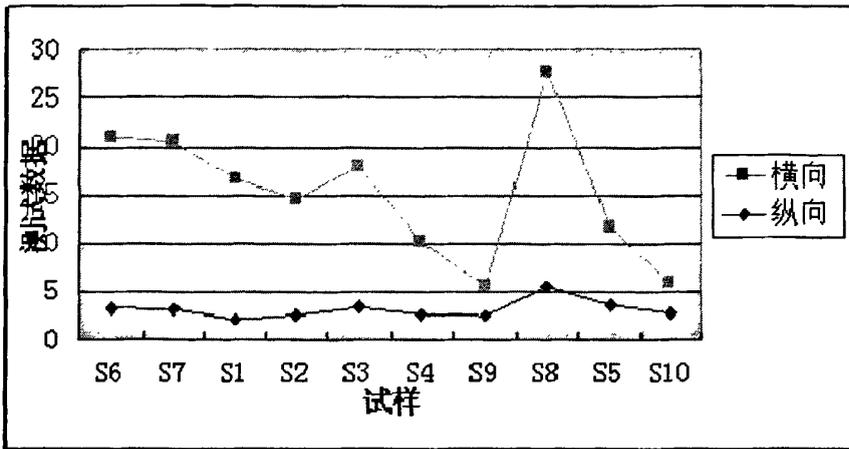


图 13 羽绒含量与复合絮片的强力对比关系

3.4.3 对试样透湿性实验结果的分析

透湿性的优良程度直接关系到絮片的保暖性，从下图中我们可以看出在复合了羽绒后絮片的透湿性有的改善有的反而降低了，这与羽绒的含量和聚丙烯纤维的含量有着密切关系，我们用试验数据的方差表进行分析看一下哪个因素对结果的影响比较显著。

表 16 试样透湿性方差分析表

方差来源	平方和 S	自由度 f	F 比值	$F_{1-\alpha}(9, 2)$	显著性
羽绒纤维含量 A	10299	1	213.561	78	**
聚丙烯纤维含 量 B	9063	1	92.152	78	*
误差 e ^A	78	1			

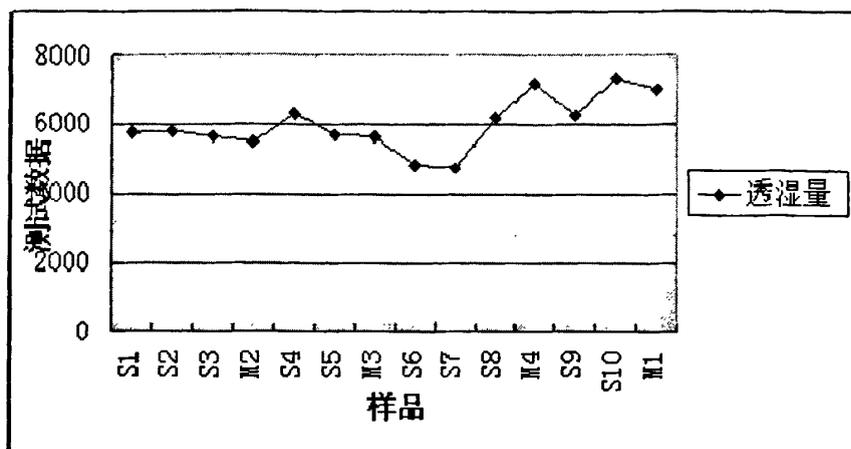


图 14 复合絮片的透湿量与聚丙烯非织造布透湿量的关系

从试样方差表 16 中我们得出羽绒纤维和聚丙烯纤维对试验结果都有一定的影响，只是羽绒对结果的影响比起聚丙烯更为显著。从折线图 14 中我们知道 M_1 , M_2 , M_3 与羽绒复合后絮片的透湿量有所改善，但 M_4 与羽绒复合后的絮片透湿量却有所下降。如图 15 所示：絮片的透湿量随着羽绒含量的减少呈逐渐增大的趋势。综合图 14 和图 15 我们得出羽绒含量过多时会阻碍复合絮片的透湿性。出现这种原因是因为：羽绒纤维含有酰胺基、羟基等亲水基团，其绒枝呈放射状排列，细度沿轴向由粗变细，加上绒小枝的细密排列，增大了羽绒纤维的比表面积，这些特点有利于羽绒纤维的透湿性。随着羽绒含量的增多，各种纤维更杂乱无章的排列在一起，使得絮片的透湿量有所下降^[17]。

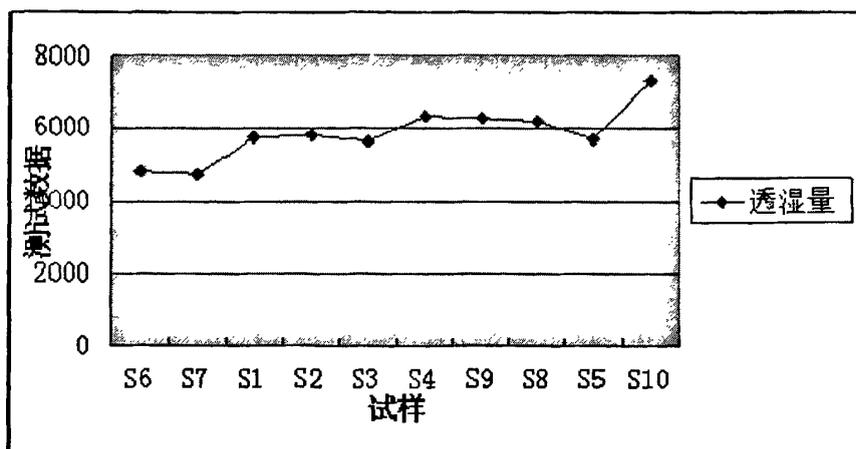


图 15 羽绒含量与絮片透湿量的关系

3.4.4 对试样透气性实验结果的分析

透气性和透湿性一样都是絮片服用性能的重要指标，对絮片的保暖性也起到很大的作用。透气性过大，纤维集合体中空气流动量大，空气对流传热增加，使纤维集合体保暖性降低。透气性过小，会使服装穿着时有闷热感，舒适性降低。

经研究发现透气性大于等于 0.25 保暖絮片都属于合格的服装用絮片，在 0.6 到 2 之间属于优等的保暖絮片，由表 11 中的数据我们得知本实验所做的新型絮片都具有优良的透气性能。从下面折线图 16 中我们可以得知在复合了羽绒后絮片的透气性有所改善。我们用试验数据的方差表进行分析比较一下哪个因素对试验结果的影响比较显著。从方差分析表 17 中，我们得出羽绒纤维的含量对试验结果的显著性大于聚丙烯纤维的含量对试验结果的显著性。本试验所用的聚丙烯纤维是超细旦纤维使其具有良好的透气性，而羽绒纤维因其本身独特的形状结构使其也具有良好的透气性，但随着羽绒含量的增多其透气性会越低，因为羽绒含量的过多会阻碍絮片的透气性是因为羽绒含量越多，絮片厚度越大，纤维的杂乱程度大，所以透气率要低。如下图 17 所示透气性随着羽绒含量的降低而增大后降低又增到最大，这说明虽然羽绒含量减少了但聚丙烯纤维 (M_4) 的含量却对复合絮片透气性有一定的影响。聚丙烯含量大，其内部的纤维也是更加杂乱无章的排列，也会阻碍复合絮片的透气性。

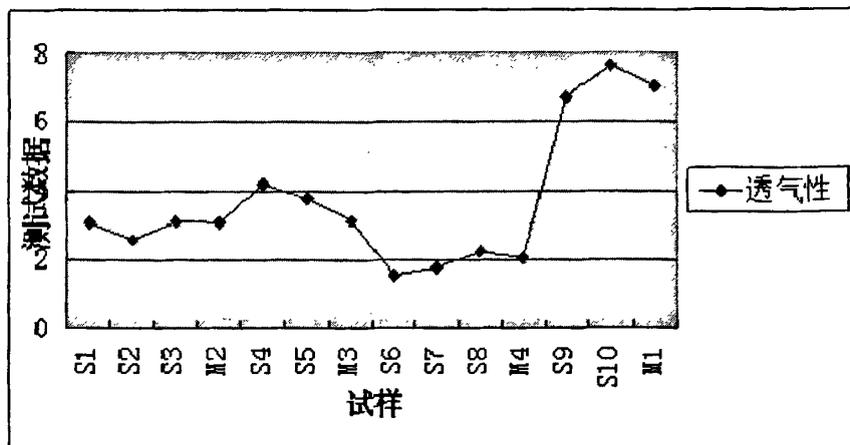


图 16 复合絮片与聚丙烯熔喷非织造布透气性的对比

表 17 试样透气性方差分析表

方差来源	平方和 S	自由度 f	F 比值	$F_{1-\alpha}(9, 2)$	显著性
羽绒纤维含量 A	29.9	1	15,561	8	*
聚丙烯纤维含 量 B	16.3	1	9.162	8	*
误差 e^A	5.8	1			

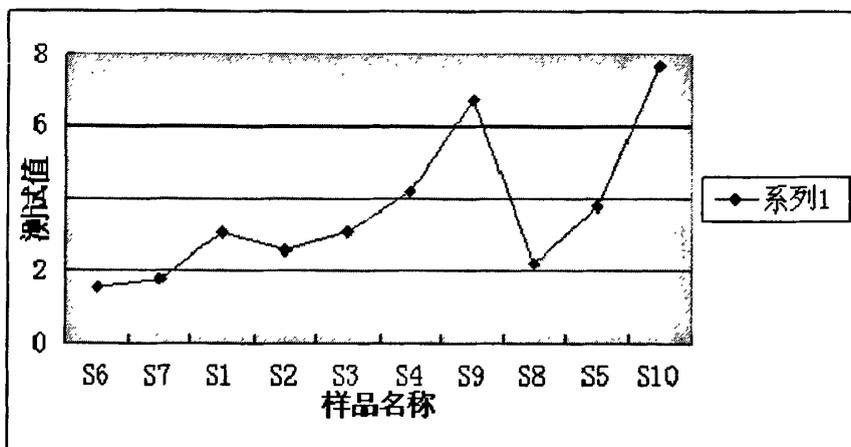


图 17 羽绒含量与透气性的关系

3.4.5 对试样压缩弹性率的分析

压缩弹性好, 服装的压缩变形小, 絮片密度稳定, 能始终保持相当数量的纤维间隙, 从而具有优良的持久保暖性, 所以我们选用压缩弹性率来考察絮片的压缩性能。从图 19 中我们得知在复合了羽绒后絮片的压缩弹性率比没有复合羽绒的聚丙烯熔喷非织造布的性能有了很大改善。

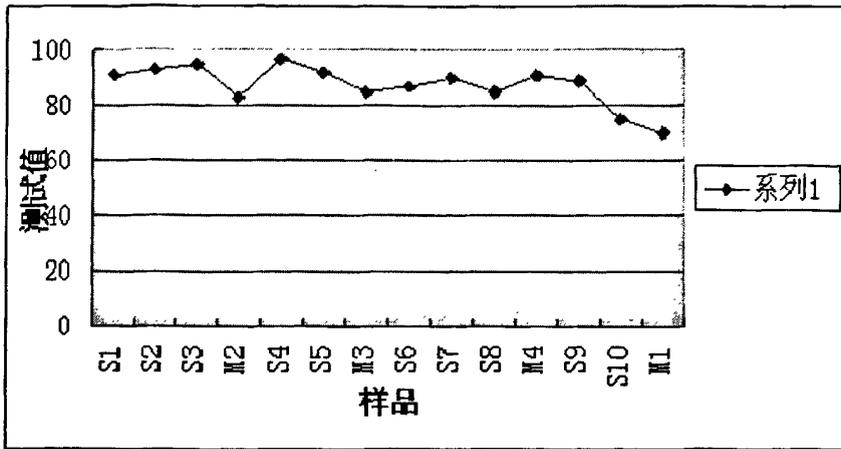


图 18 复合絮片与聚丙烯非织造布的压缩弹性率的对比

表 18 试样压缩弹性率方差分析表

方差来源	平方和 S	自由度 f	F 比值	$F_{1-\alpha}(9, 2)$	显著性
羽绒纤维含量 A	327.5	1	45.761	23	**
聚丙烯纤维含 量 B	216.3	1	36.362	23	*
误差 e ^A	8.9	1			

从试样方差表 18 我们得知羽绒纤维含量对试验结果的显著性大于聚丙烯纤维含量对结果的显著性。这是由于羽绒的每根纤维之间都会产生一定的斥力并使其距离保持最大，无论从哪个方向揪下去，纤维都迅速恢复原样，使纤维与纤维之间保持一定的距离。使其具有较高的蓬松度，而其较高的蓬松度使集合体内部存在大量的孔洞和缝隙，为羽绒提供了主要变形来源。其次就是羽绒纤维本身较小的弯曲刚度，在较小外力作用下容易弯曲变形，由纤维产生的抵抗外力变形的能力较弱，集合体更容易被压缩变形。基于以上几点使羽绒具备了优良的压缩弹性率。

从下面的折线图 19 中我们还得出压缩弹性率随着羽绒含量的减少而增大后降低。从整体上看，絮片中的纤维分布是随机的，纤维相互间有许多接触点，絮片受到压缩时，纤维的变形主要是相邻接触点之间纤维段的弯曲变形。对同种试样，絮片厚度大即羽绒含量增多时，纤维多，接触点多，参与变形的纤维段多，所以受压时容易变形，压缩率大，压缩弹性率大，但随着羽绒含量的增多，压缩率和压缩弹性率增大的速度变慢。基于这个原

因随着羽绒含量的增多，絮片的压缩弹性率会变小。出现压缩弹性率减少后增大有降低是因为当羽绒含量少的时候聚丙烯纤维的含量开始对絮片的压缩弹性率起作用。聚丙烯熔喷非织造布由于是自身粘合而成的，纤维之间具有一定的粘合力，使其具有较差的压缩弹性率，因此当其对絮片的压缩弹性率起作用的时候，絮片的性能会有所下降。

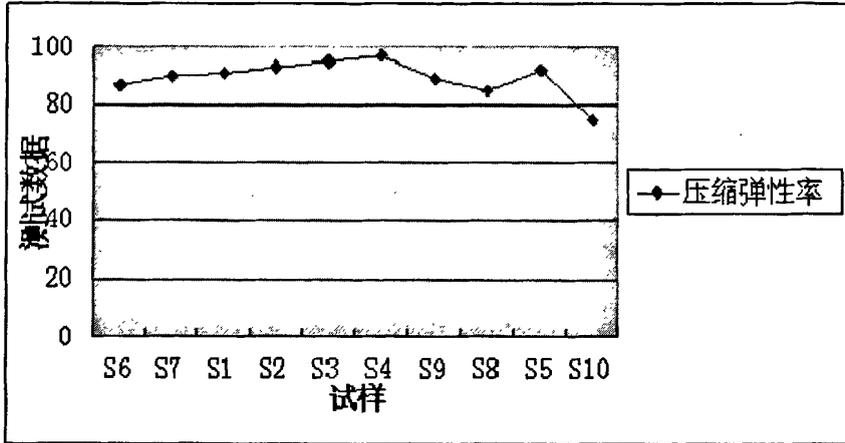


图 19 羽绒含量与复合絮片压缩弹性率的关系

3.4.6 试样数据分析结论

通过对以上各种性能测试数据的分析，本次试验的结果符合我们预期的设计思路。保暖性方面，新型絮片的保温率都超过了聚丙烯熔喷棉保温率的 15%，改善了原熔喷非织造布的保暖性。断裂强力方面，在复合了羽绒后纵横向强力有一定的提高但提高的程度不是很高。透湿性，透气性，压缩弹性率方面，在复合了羽绒后压缩率和压缩弹性率都比熔喷非织造布有了很大改善，符合我们的开发要求。

3.5 与其它保暖絮片的对比

3.5.1 与其它保暖絮片性能的比较

我们采用 80g 的熔喷棉和 20g 的羽绒复合成的 100g 新型羽绒保暖絮片 S₄ 与其它类型的保暖絮片进行性能方面的比较，选取的絮片如下表 19 所示：

表 19 对比试样试验结果

数据 样品	克重 g/m ²	克罗值	透气性 m/s	透湿性 g/ (m ² .d)	压缩弹性率 %
新型絮片(S)	100	1.437	4.2	6335	93
纺丝棉(F)	100	1.17	23.788	6226	95
海岛绒(A)	100	0.507	1.974	6912	79
T-Microsoft (T)	150	1.847	11.439	5647	96
羽绒蓬松胎 (G)	120	1.686	19.941	4954	91
针刺羊驼绒 (Z ₁)	100	0.745	17.683	6802	80
针刺马海毛 (Z ₂)	100	0.72	24.8	6878	81

由于试样的单位面积质量均有所不同，很难直接进行对比分析，所以根据试样的单位面积质量折算到相同质量时的热阻值，即为质量折算热阻。如下表 22 所示：

表 20 试样的热阻折算

样品名称	质量折算热阻
T-Microsoft	1.23
羽绒蓬松胎	1.41

将这几种絮片与试样的质量折算的热阻、透湿性、透气性以及压缩弹性率分别比较如下：

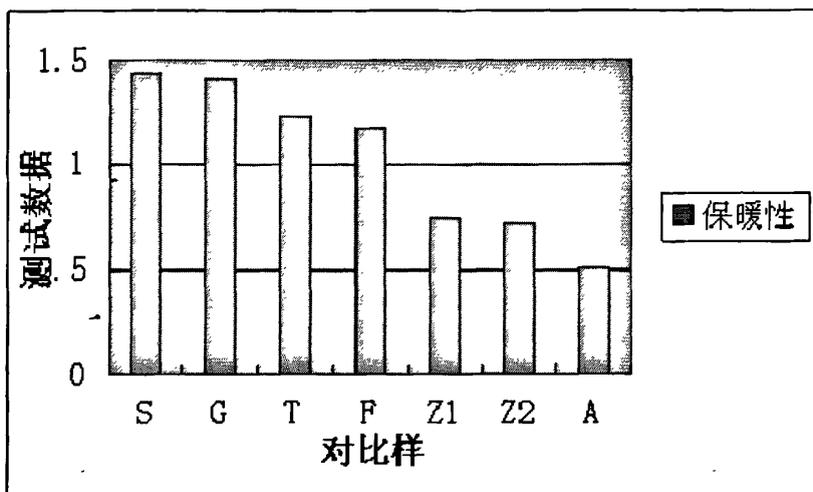


图 20 絮片热阻的比较

如图 20，试样 S₄ 的热阻最高即试样的保暖性最好。

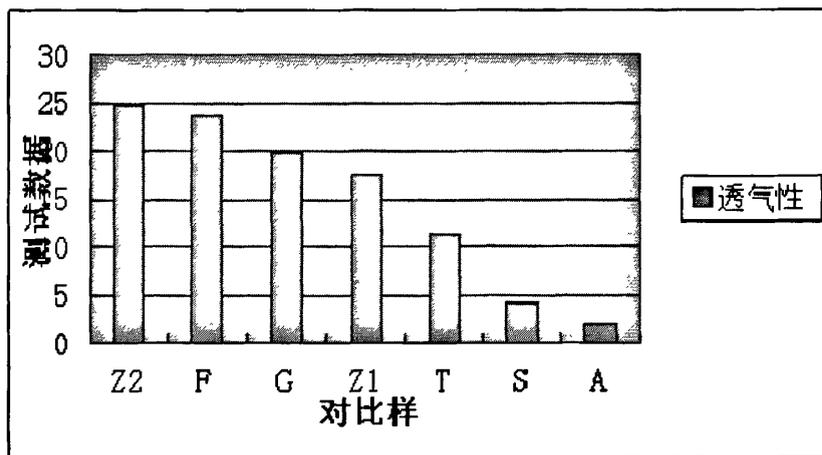


图 21 絮片透气性的比较

如图 21，试样 S₄ 的透气性偏低。

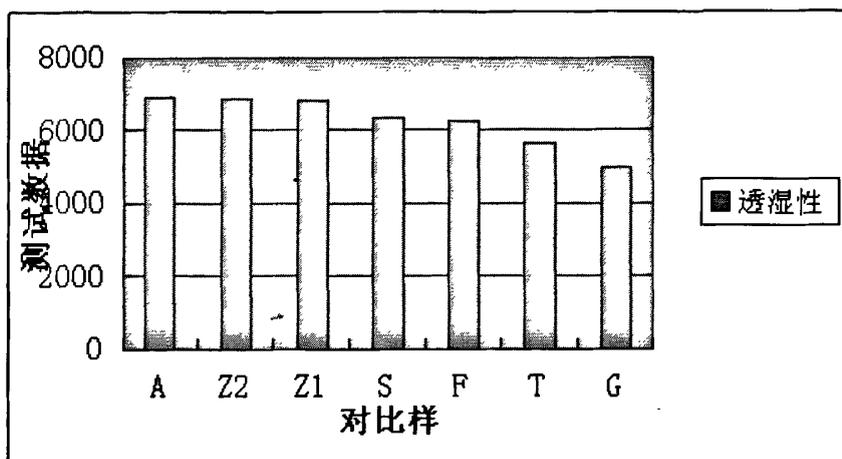


图 22 絮片透湿性的对比

如图 22，对比试样 S，透湿性处于中间水平。

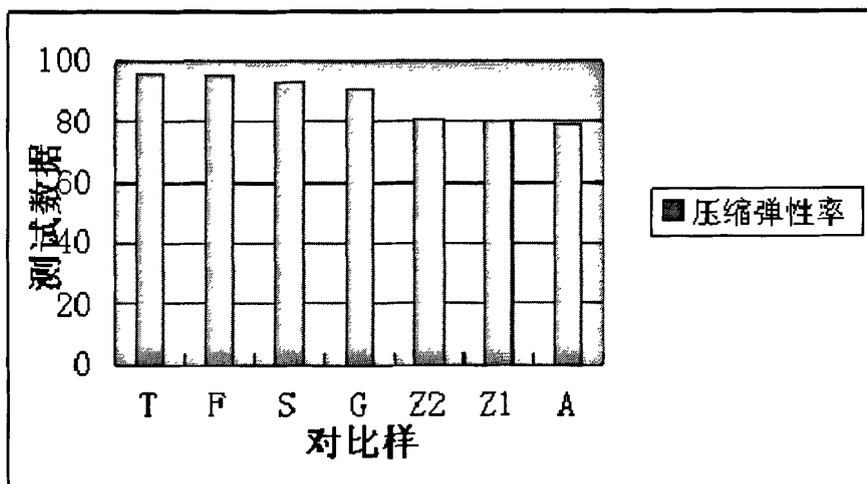


图 23 絮片压缩弹性率的对比

如图 23，对比试样 S，的压缩弹性率适中。

通过以上比较可以看出：新型羽绒复合非织造絮片与其它保暖絮片相比具有相当高的保暖性，优良的压缩弹性率，透湿性和透气性适中。

3.5.2 与其它保暖絮片工艺的比较

我们用浸胶型羽毛纤维片材和卷曲的纤维状羽绒非织造布这两中生产工艺与本实验的工艺进行比较。

3.5.2.1 浸胶型羽毛纤维片材的生产工艺

此生产工艺采用如下技术方案：该浸胶片材为纯羽毛纤维、羽毛纤维与天然纤维或化学纤维混配。混配后的原料经无纺工艺制成边材，再经浸胶、烘干定型后成为最终产品^[37]。

制造浸胶型羽毛片材的工艺流程图如下所示：

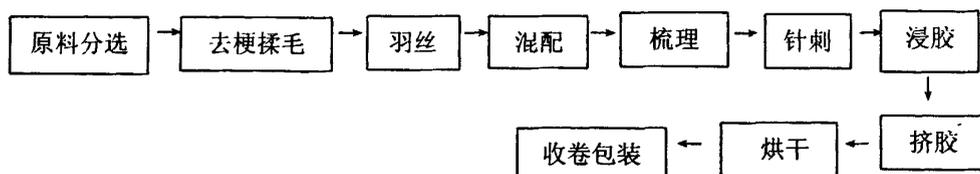


图 24 浸胶型羽毛纤维片材工艺流程图

如图 24 所示，此发明的制作方法采用如下流程：将原料去掉杂质选出可用部分，将可用部分去梗揉制，以达到软化目的，将上述原料制成单丝状纤维，将单丝状纤维与天然纤维或化学纤维混配。将混配后的纤维进行梳理、针刺后浸胶，将浸胶后的片材进行挤胶、烘干、最后收卷包装。

3.5.2.2 卷曲的纤维状羽毛绒非织造布的生产工艺

该纤维状的羽毛绒是通过其卷曲状的羽枝主杆、羽枝主杆上的羽小枝、羽小枝上的结节和刺相互之间缠绕抱合粘接构成的；其生产工艺流程图如下所示：

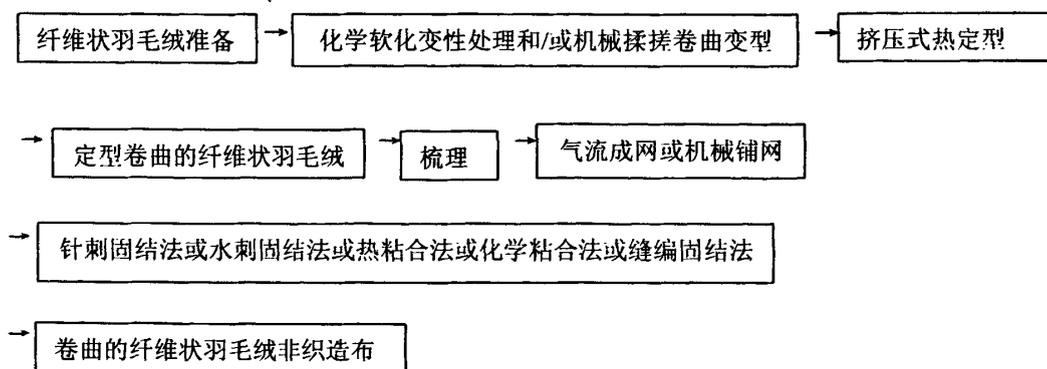


图 26 卷曲的纤维状羽毛绒非织造布工艺流程图

具体实施方案为：非织造布由柔软纤细的纤维状羽毛绒丝羽枝构成，该纤维状与毛绒是由卷曲的羽枝主杆、羽枝主杆上的羽小枝、羽小枝上的结节和刺构成相互之间缠绕抱

合在一起的片状结构。纤维状羽绒绒丝经机械揉搓使该绒丝羽枝卷曲，再填入挤压热烘箱内封口，抑制已形成卷曲形态的绒丝羽枝变形，将该温度箱温度调至 140℃ 进行加热定型，加热定型时间设定为 3 分钟，使该绒丝羽枝形成的卷曲度定型，形成互相自然抱合状，通过梳理、气流成网再进行水刺固结，形成非织造布^[38]。

通过对以上两种羽绒类絮片生产工艺的阐述，再和本实验所采用的生产工艺本章第一节中所讲的生产工艺进行对比，我们可以得出本实验所用的工艺与以上两种生产工艺最大的不同在与羽绒与化纤的粘合方式。本实验用的是聚丙烯熔喷纤维自身的粘合性来粘附羽绒，而以上两种工艺是通过机械的方法或者化学试剂进行粘合，这就增加了生产成本。在制备原料方面，本实验所用的羽绒不需要进行任何的预处理，但以上两种工艺需要对羽绒进行预处理比如去梗揉毛、化学软化变性处理或机械揉搓卷曲变形，这就延长了生产时间，同时增加了生产成本。

3.5.3 价格对比

如第二章的表 4 所示，羽绒的价格是比较高的。通过本实验的复合，可以在保留了羽绒的高保暖性后而降低其价格。本实验所用的羽绒价格是 150 元/公斤左右，聚丙烯熔喷非织造布为 3 万/吨左右，我们以 80g 的聚丙烯熔喷非织造复合 20g 的羽绒为例，通过计算我们得知复合的新型絮片的价格在 5 万/吨左右。比起本实验所用的羽绒价格降低了 48%。由表 4 得知：含绒量为 60% 的白鹅绒，白鸭绒和灰鸭绒的价格分别为：28 万元/吨，16 万元/吨和 15 万元/吨。于是我们得出，复合的新型羽绒絮片的价格相当与白鹅绒的 17%，白鸭绒的 31%，灰鸭绒的 33%。价格低廉。

3.6 本章小结

本章对所用试验工艺进行了详细介绍，利用正交设计试验所制备的羽绒与聚丙烯非织造布复合的新型絮片所测试的各种性能数据用方差分析的方法，讨论了各参数即羽绒纤维含量和聚丙烯熔喷纤维含量对絮片主要性能如断裂强力、保暖性、压缩性及透气性的影响及影响的原因，并与收集的保暖絮片在性能和工艺方面进行了对比。得出如下结论：

a、新型羽绒复合保暖絮片的保暖性，受羽绒含量的影响最为显著，且随着羽绒含量的增大保暖性不断的提高。复合羽绒后的新型絮片比原聚丙烯熔喷非织造布的保温率提高了 15%，达到了试验的开发要求。

b、新型羽绒复合保暖絮片的断裂强力，即受羽绒含量的影响也受聚丙烯熔喷纤维含量的影响。在复合了羽绒后絮片的断裂强力比聚丙烯熔喷非织造布的断裂强力有所改善。且强力随着羽绒含量的增加而逐渐增大，当羽绒含量降低时，聚丙烯熔喷纤维的含量开始

对絮片的强力起作用。其作用的趋势也是随着聚丙烯熔喷纤维含量的增多而逐渐增强。

c、新型羽绒复合保暖絮片的透湿性、透气性，也受羽绒和聚丙烯熔喷纤维含量的影响，这两方面的性能随着羽绒含量的减少而增大，但减少到一定程度时，聚丙烯熔喷纤维开始起作用，随着聚丙烯熔喷纤维含量的减少透湿性开始增大。且在复合了羽绒后的透湿性和透气性比起聚丙烯熔喷非织造布的性能都有所改善。

d、新型羽绒复合保暖絮片的压缩弹性率，同上面相同受到羽绒和聚丙烯熔喷纤维含量的影响。在复合了羽绒后，聚丙烯非织造布的压缩弹性率有了很大的提高，压缩弹性率也同时受羽绒含量和聚丙烯熔喷纤维含量的影响。压缩弹性率随着羽绒含量的增多开始下降，当羽绒含量较少时，聚丙烯熔喷纤维的含量开始起主要作用，随着聚丙烯熔喷纤维含量的增多压缩弹性率增大。

e、在与其它保暖絮片的对比方面，新型的羽绒复合絮片的保暖性是最高的，压缩弹性率、透湿性居中，透气性偏低。在与其它复合羽绒的工艺方面，本实验所采用的工艺可以降低生产成本，提高生产效率。

f、在价格方面，絮片的复合大大降低了羽绒的价格，节约了生产成本。

第4章 结论

本文通过利用羽绒和聚丙烯非织造布两种材料进行复合，研制“羽绒复合保暖絮片”的实验，得到的新型复合保暖絮片。同时通过对新型复合保暖絮片各种服用性能的测试，证明新开发的羽绒复合保暖絮片能克服羽绒钻绒，臃肿，不易裁剪，价格高等缺点。其工艺是合理的具体结论如下：

a、由于聚丙烯熔喷纤维自身的粘性可以使羽绒紧紧的粘附在熔喷非织造布上，实现了羽绒作为保暖材料可以随意裁剪的可能。与收集的其它的羽绒复合絮片都存在严重的飞毛现象相比，本实验所制备的复合絮片的飞毛现象有了很大程度的降低；

b、在絮片的服用性方面，复合保暖絮片，其絮片的保暖性、透湿性、透气性、压缩性和断裂强力方面的性能都比聚丙烯熔喷非织造布的各项性能有了很大的改善。絮片的保暖性和断裂强力都是随着羽绒含量的增多而逐渐增大，羽绒对这两个方面性能的影响是起主要作用的；

c、在复合保暖絮片与其它类型保暖絮片的性能比较方面，复合保暖絮片保暖性是最好的，透湿性和压缩性适中，透气性偏低；

d、在生产复合保暖絮片工艺方面；由于羽绒原料是天然的没有污染，与聚丙烯熔喷纤维复合时不需要加任何粘合剂，其生产和加工可以是环保的。因为其它保暖絮片都需要通过一定的方式进行粘合加固，比如通过化学试剂或者机械的方法，这些方法对环境都有一定的污染。工艺流程短，原料不需要任何的预处理，这就节省了大量的时间，提高了工作效率，节约了生产成本；

e、在价格成本方面，与各种羽毛绒的价格相比新型絮片的价格非常低廉，如果投入生产可以极大的降低生产成本。符合各阶层的经济需求；

通过上述结论，可以看出羽绒与聚丙烯的复合能充分发挥羽绒优良的保暖性，同时新型的羽绒复合保暖絮片符合了“绿色产品”的潮流，可以在高端羽绒保暖材料和化纤保暖材料之间形成一个新的产品带，在巨大保暖制品市场中可以占据一定的空间。而且从天然资源利用和满足消费市场需求方面来看，也具有很大的现实意义。希望在以后的试验中使充绒设备更加完善，能够精确地控制羽绒数量，使絮片的各项服用性能更加优良。

参 考 文 献

- [1] 孔繁慧, 姬力生. 中国服装辅料大全[M]. 北京: 纺织出版社, 2008: 140-143.
- [2] 岳素娟, 郝新敏, 张建春, 郭玉海. 几种新型保暖絮材性能之比较[J]. 产业用纺织品. 2005年第2期.
- [3] 刘维. 军服保暖新材料的开发与性能研究[D]. 天津: 天津工业大学, 2004.
- [4] 曹俊周, 吴春英. 复合保暖材料的性能及发展趋向[EB]. 中国知网. 2001年第2期.
- [5] 王国振. 充分开发利用羊毛绒保暖制品[J]. 中国纤检, 1998(1): 39
- 蒋培清等. 毛涤混合絮的开发与研究[J]. 上海纺织科技, 1997(4): 7-8.
- [6] 蒋培清, 徐卫林. 羽绒涤纶混合絮料的性能研究[J]. 毛纺科技, 1998(1): 39-41.
- [7] 张建春等. 羽绒絮毡及其与聚四氟乙烯薄膜层压保暖新材料的研究与开发[J]. 国际化纤, 2002(2): 65-67.
- [8] 赵新民, 马腊梅. 羊毛复合絮片的开发与生产[J]. 中国纤检, 2000(2): 5-6.
- [9] 李建强, 陈益人. 喷胶棉保暖性研究[J]. 广西纺织科技, 1995(1): 14-16.
- [10] 太空棉项目可行性研究报告[R]. 天津市长青太空棉技术联合公司.
- [11] 钱军, 储才元等. 高性能仿丝绵材料的开发和性能[J]. 纺织学报, 1995(2): 43-45.
- [12] 徐莫娇. 远红外纺织品及功能评价[J]. 纺织标准与质量, 1996, (4): 15-18.
- [13] 贾娟, 王革辉. 冬服保暖功效学原理及保暖材料的发展现状与前景[J]. 国外纺织技术. 2004年第7期.
- [14] 王利伟. 羽毛化纤混合保暖絮片的开发及其性能的研究[D]. 天津: 天津工业大学, 2004.
- [15] 张兴祥, 朱民儒. 新型保温、调温功能纤维和纺织品[J]. 产业用纺织品, 2002(5): 14.
- [16] 毕红军. 复合保暖材料及性能研究[D]. 苏州: 苏州大学, 2006.
- [17] 高晶. 羽绒纤维及其集合体[D]. 上海: 东华大学, 2006.
- [18] 俞镇慌, 王利伟, 丁国沪. 羽毛纤维和化纤混纺保暖絮片[J]. 产业用纺织品, 2004.
- [19] 肖红, 周璐瑛. 绿色材料—羽绒[J]. 北京纺织, 2002, 23: 37.
- [20] 胡轶群. 冬季保暖佳品羽绒[N]. 健康产品检测报告, 2008-1.
- [21] 高晶, 于伟东, 潘东. 羽绒结构和性能的研究[J]. 纺织信息周刊, 2003, 05
- [22] 江镇海. 日本开发利用废羊毛和羽毛[J]. 中国资源综合利用, 2002, (2).

- [23] Hamoush, Sameer, et al. Feather Fiber Reinforced Concrete [J]. Concrete International, 1994, (6): 33-35.
- [24] Schmidt-w. Researchers Hatch a Plant to Make Fibers from Feathers [J]. Advanced Composites Bulletin, 2000. 5-8.
- [25] Evazynajad, Alimohammad, et al. Production and Characterization of Yarns and Fabrics Utilizing Turkey Feather Fibers [J]. Materials Research Society Symposium Proceedings, 2002, (702): 5-16.
- [26] 杨汝揖. 非织造布概论 [M]. 北京: 中国纺织出版社, 2001, 1-81.
- [27] 马良海. 聚丙烯在熔喷非织造布中应用 [J]. 现代塑料加工应用, 2007, 第 4 期.
- [28] 赵春保. 聚丙烯纤维的开发与应用情况 [J]. 化工文摘, 2007 年 4 期.
- [29] 刘越. 聚丙烯纤维在服装领域中的应用展望 [J]. 山东纺织经济, 2003, 第 4 期.
- [30] 康为民. 复合驻极熔喷非织造布的开发 [D]. 天津: 天津工业大学, 2004.
- [31] B. Schmenk. 聚丙烯纤维的发展: 性能、应用与回收 [J]. 国外纺织技术, 2003, 222.
- [32] 郭秉臣. 非织造布学 [M]. 北京: 中国纺织出版社, 2006, 385.
- [33] 姚穆, 周锦芳等. 纺织材料学 [M]. 北京: 中国纺织出版社, 1980: 438.
- [34] 刘伟时. 熔喷非织造布技术发展概况及应用 [J]. 化纤与纺织技术, 2007, 33.
- [35] 柯勤飞, 靳向煜. 非织造布学 [M]. 上海: 东华大学出版社, 2004, 271-282
- [36] 吴贵生. 试验设计与数据处理 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 1997: 23-35.
- [37] 李震京, 杨保华. 浸胶型羽毛纤维片材及其加工方法 [S]. 中国专利: 02123867, 2002-12-18.
- [38] 张立文. 一种卷曲的纤维状羽毛绒非织造布及其加工方法 [S]. 中国专利: 02115362, 2002-12-11.

攻读硕士学位期间发表的学术论文

1. 杜康, 郭凤芝. 花式纱线扮靓人们的服装和生活[J]. 山东纺织经济 (已录用)

致 谢

本论文是在导师郭凤芝老师和人民解放军总后勤军需装备所唐士君高级工程师的亲切关怀和精心指导下完成的。感谢郭老师在我研究生学习期间给予我学习上的指导和生活上的关心和帮助，感谢郭老师和唐工在我实验上的严格要求和悉心教导。两位老师严谨的治学态度、平易近人的工作作风、对科学孜孜不倦的追求和无私奉献的精神给我留下了深刻的印象，使我受益匪浅，将对我以后的工作和学习有很大帮助。

在论文完成过程中，服装材料实验室的宫秀老师，电子显微镜实验室的付中玉老师，服装工效学实验和总后服装舒适性实验室在实验测试工作中给予了极大的方便，付出了艰辛的劳动，在此表示特别的感谢。

同时，感谢同实验室的吕明霞同学和已经毕业的张枫悦同学给予的帮助。

最后，再次向所有在论文期间给予关心和帮助的老师 and 同学表示衷心的感谢！