

摘要

木/塑复合材料是利用木纤维或者木屑和废旧塑料或者热塑性纤维为主要原料，经过高温混炼、再经过成型加工而制得的一种新型复合材料。在全球森林资源日趋枯竭，社会环境意识日见高涨的今天，木/塑复合材料受到人们的广泛关注，在建筑、交通、军事、轻工等部门具有广阔的应用前景。但我国在这方面的研究、开发和应用还比较少。

通过调查研究发现，目前市场上流行的木/塑复合材料一般是木材与热塑性塑料结合，像传统的塑料产品加工那样，以挤出或者注射的方式成型。这样加工成型的材料，主要用作板材、托盘或者建筑和其他行业中所需求的硬性材料。而本文所尝试的是，将木纤维和合成纤维混合，然后运用气流铺网技术、非织造针刺加固工艺，制成木纤维/合成纤维复合的毡坯，再应用热压粘合工艺，制成木纤维/合成纤维的复合板，该材料可以用于制作轿车内饰板。制出的材料经过测试，其物理机械指标符合相关产品要求。

本文对合成纤维种类，胶粘剂以及原材料的配方进行了研究，找出了合适的配比方案。同时，通过红外光谱、扫描电镜分析发现，胶粘剂对于木纤维的酯化还是相当明显的。这证明，胶粘剂的加入对于木纤维与合成纤维材料的界面结合紧密程度有很大的影响。

除此之外，本课题还对木纤维/合成纤维复合材料相关的性能指标进行了测试，如密度、回潮率、吸水厚度膨胀率、静曲强度、力学性能以及阻燃性等。还对两类双组分纤维与木纤维配比进行了单因子对比分析，找出性能较佳的配比。再通过改变此类配方中木纤维、合成纤维以及胶粘剂的配比，按正交试验方案评价配比方案。试验内容和结果，可以为在这方面有兴趣的研究人员提供参考。

关键词：木塑复合材料；双组分纤维；胶粘剂；针刺；性能；纤维板

Abstract

Wood/plastic composite (WPC) is made from wood fiber (or wood powder) and plastics (or thermoplastic fiber), and formed a new kind of low-cost composite through drying, mixing and molding. At present, the forest resource is more and more scanty and the notion of protecting environment is more and more important, just so, wood/plastic composite is noticed by more and more people. It has been applied on architecture, traffic, light industry and other fields. However, few research works has been done in China.

According to the research, the WPC which prevail in market now is usually made by wood and plastics. Its producing processing is similar to that of plastic manufacture. It is molded by extruding or injection approach. Also, the material is used as boards, supporting frames or architecture and other stiff materials. We try to find a new way to make WPC. First, the wood fiber and synthetic fiber are mixed, then the wood fiber/synthetic fiber composite felt is manufactured by air-laid web and needle-punching bonding technology.

The material is applied to inner decoration of automobile. Testing the material, we find that its physic property index is consistent with the request of correlative products.

The sort of synthetic fiber, binder and ratio of the materials mixture are studied. Meanwhile, by testing the material with SEM and FTIR, we can find that the binder plays an important role in WPC for its interface-combined strength. The binder has a notable influence on the combining strength between wood fiber and synthetic fiber apparently.

Besides, we also test the properties of WPC, such as density, moisture-gain rate, thickness swelling ratio, flexibility and mechanic performance, burning resistance and etc.. Then, we compare two kind of bi-component fibers blended with wood fiber by the analysis of one-way ANOVA, to find out a better combination of factors. Then, we change the ratio of the wood fiber/bi-component fiber and the binder.

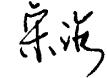
The prescription are evaluated through the analysis of orthogonal design. The paper and the result of the experiment will supply a reference for the interested researcher.

Keywords: wood/plastic composite; bi-component; binder; needle-punching; properties; fiber board

附件一：

东华大学学位论文原创性声明

本人郑重声明：我恪守学术道德，崇尚严谨学风。所呈交的学位论文，是本人在导师的指导下，独立进行研究工作所取得的成果。除文中已明确注明和引用的内容外，本论文不包含任何其他个人或集体已经发表或撰写过的作品及成果的内容。论文为本人亲自撰写，我对所写的内容负责，并完全意识到本声明的法律结果由本人承担。

学位论文作者签名：

日期：2005 年 12 月 20 日

附件二：

东华大学学位论文版权使用授权书

学位论文作者完全了解学校有关保留、使用学位论文的规定，同意学校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，允许论文被查阅或借阅。本人授权东华大学可以将本学位论文的全部或部分内容编入有关数据库进行检索，可以采用影印、缩印或扫描等复制手段保存和汇编本学位论文。

保密 ，在 三年 年解密后适用本版权书。

本学位论文属于

不保密 。

学位论文作者签名：单洪

指导教师签名：俞桂良

日期：2005年12月20日

日期：05年12月20日

第一章 绪论

木/塑复合材料(WPC)源于 Wood Plastic/Polymer Composite, 是一种新型的复合材料, 由于其有木材与塑料的双重性质, 被广泛应用于建筑、汽车和室内装修等行业^[1]。国内外许多学者已经对这种有发展前景的复合材料进行了一定的研究, 但目前还没有对“木/塑复合材料”进行过较准确的定义, 同时也未有关于“木/塑复合材料”的检测标准。参考国际标准化组织对复合材料的定义, 本人认为, 木/塑复合材料从广义上应定义为: 通过物理或化学的方法将木材(包括板材、单板、纤维、刨花等各种形态)与塑料(包括各种树脂、合成纤维等)改性、加工而成的复合材料。木/塑复合材料因其呈结晶态(木纤维或植物纤维)和无序态(树脂)的多相状态, 使其既具有木纤维或植物纤维的高强度和高弹性, 又具有聚合物基体的高韧性和耐疲劳等优点, 因此具有优良的综合性能, 是一种既似木材又优于木料的新型代木材料, 具有广泛的应用和发展前景。本文从木/塑复合材料的发展现状着手, 就木纤维/合成纤维复合材料进行相关的研究。

1.1 木/塑复合材料的国内外研究情况

从广义上说, 木/塑复合材料自从有人造板开始就出现了, 诸如胶合板、刨花板以及纤维板等, 随后出现了木材层积塑料、塑化胶合板和胶合木等^[2]。随着木材资源的短缺、废弃塑料垃圾的泛滥, 以及人们环保意识的增强, 对材料资源的回收利用有了更进一步的重视。越来越多的研究者、企业和公司也在努力的开发一些不仅可以减少环境危害, 提高材料利用率, 而且价格低廉、有着广泛的应用前景的新材料。

1.1.1 木/塑复合材料的国外研究情况

其实, 早在二战时期就出现了将木粉作为填料与塑料复合而成的

木/塑复合材料。综观木/塑复合材料的发展历史，国外制造木/塑复合材料根据木材与塑料的界面主要可以分为三种。

1.1.1.1 混合复合型 WPC 的研究

木/塑混合复合指的是木材与塑料之间的结合是通过适当的胶粘剂进行胶合，然后注入模具中挤出或压制成产品。木材和塑料在固化后仍然保持各自的状态。两种成型的方法如下图 1-1 和 1-2 所示^[3]。

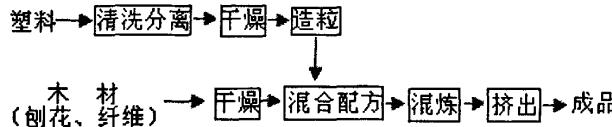


图 1-1 挤出成型工艺流程

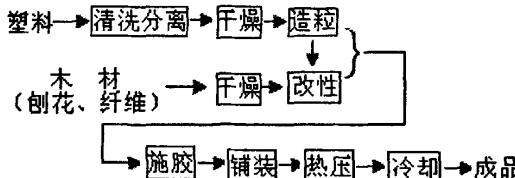


图 1-2 压制定型工艺流程

对于此类复合材，常用热塑性塑料，如聚乙烯、聚丙烯、聚乙烯对苯二甲酸盐、聚苯乙烯、高密度聚乙烯、聚酯等。其中压制法采用类似于普通刨花板或干法 MDF(中密度纤维板)的生产工艺^[4]。

20 世纪 70 年代末、80 年代初，国外就有将木材与废旧塑料进行复合而生产复合材料的历史。25 年前，一种被称为 woodstock® 的 WPC 在意大利兴起，它是使用 50% 的木粉和 50% 的聚丙烯(PP)混合而成，然后被挤塑成薄的单板，再加热模压成型，最后成为福特汽车的内衬板材。木/塑复合材料优异的性能以及其传统的塑料生产加工方法使得 woodstock® 产品具有价格低廉、强度好、硬度高等特点，所以 woodstock® 至今仍然被广泛使用^[5]。日本阿特隆公司于 1980 年就有了类似的专利并在世界推广。美国学者 Youngquist 等在 1989 年对木材与各种非木质材料包括塑料的复合情况进行了概述，并对其市场前景进行了讨论。Youngquist 等使用 3 种不同的木材纤维与合成纤维

配方(10%聚丙烯与90%铁杉；10%聚酯和90%铁杉；10%酚醛树脂、10%聚酯及80%铁杉)来制造非编织型的复合板，结果表明，复合板的抗弯强度、抗拉强度、内结合力以及吸水性得到全面提高^[6]。美国林务局林产品研究所为保护环境和充分利用木材资源，利用铁杉纤维(HF)、聚酯纤维(VPET)、废木材纤维(DF)、高密度聚乙烯(VHDPE)等废旧木质纤维与塑料，采用PET和HDPE两种方式加工AL系列木/塑复合薄板^[7]。Liang-BH等研究了木材纤维与聚苯乙烯的复合，初步的结果表明复合材料的性能受木材纤维的含量及偶联剂类型的影响。Meyer(1968年)可能是第一位将偶联剂(当时被称为横向联合剂)应用于木材纤维和塑料复合材料(WPC)中的学者。1972年Gaylord利用马来酸酐在自由基引发下使木粉和聚乙烯(PE)和聚氯乙烯(PVC)复合，并申请了专利^[8]。偶联剂的发展使木粉和高聚物的界面特性较以前有了很大的改善，复合材料的物理和力学性能有所提高。

1.1.1.2 以木材为基质的塑化复合型WPC的研究

这种方法主要是将塑料单体或者低聚合度树脂(酚醛树脂、脲醛树脂)浸入到实体木材中，通过加热或辐射引发塑料单体或者低聚合度树脂在木材中进行自由基聚合，所得复合材料称为塑合木(Wood Polymer Composite，简称WPC)。各种聚合物如甲基丙烯酸酯、苯乙烯、丙烯腈、氯乙烯以及环氧树脂等常用来做浸渍材料^[9]。这种材料的加工方法如下图1-3所示：

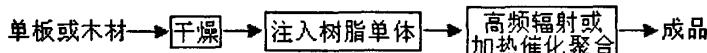


图1-3 注入单体聚合工艺过程

其实，早在二战时期就出现了将木粉作为填料与塑料复合而成的木/塑复合材料。美国林产品实验室成功的运用酚醛树脂浸渍单板制成层压复合材料作飞机螺旋桨，但是由于木粉和塑料的相容性差，所以当木粉的比例过大时所得复合材料的性能较差^[10]。改善材料的界面相容性一直成为后续研究的主要目标之一。美国的Teddy.V.Smith利用废旧的热塑性树脂与木粉混合制成墙板，Stocke及Liang利用

回收的木材纤维、聚苯乙烯在酚醛树脂或偶联剂的作用下制造各种木/塑复合材，结果提高了材料的尺寸稳定性^[4]。20世纪60年代以来，前苏联、美国、德国、意大利、波兰、日本、新西兰等国先后采用C-射线辐射引发浸渍于木材中的烯烃单体的聚合或热引发法制造木/塑复合材料，塑合木在世界范围内得到了广泛的发展^[11]。

1.1.1.3 木材/热塑性塑料复合材料的研究^[12~15]

这种材料是将木材以刨花、纤维、木粉的形态作为增强材料或填料添加到热塑性塑料中，并通过加热使木材与熔融状态的热塑性塑料进行复合而得到的一种新型复合材料，也称为木材/热塑性塑料复合材料（Wood and Thermoplastic Composites，亦有为数不少的文献忽略“热塑性”而称之为 Wood Plastic Composites，均缩写为 WPC）木材/热塑性塑料复合材料是近年来木/塑复合材研究的重点。

木材/热塑性塑料复合材料是一种新型的木材塑化技术制成品。在塑料工业中，经常将一种聚合物与另一种聚合物相融合，聚合物与聚合物间的连接是同性的。为了制造木材/热塑性塑料复合材料，木材或塑料的表面必须进行改性，使得添加到一起的木材纤维与塑料的界面相容。

1963年，Bridgeford发明了一种含有铁阳离子和过氧化氢的催化反应系统，将不饱和的单体接枝到木材纤维上，来改善木材纤维和塑料之间的相容性，其他研究者进一步研究和发展了此方法。从20世纪80年代开始，偶联剂成为WPC的研究热点。1980年到1990年间产生了一系列的偶联剂专利，其中包括异氰酸酯和马来酸(MA)，邻苯二甲酸酐，聚亚甲基聚苯基异氰酸酯(PMPPIC)，马来酸酐接枝聚丙烯(MAPP)，马来酸酐改性的苯乙烯—乙烯—丁烯(SEBS-MA)和硅酸盐类等40多种偶联剂。这些偶联剂可分为有机偶联剂、无机偶联剂、有机—无机偶联剂三大类。实验证明，有机类偶联剂效果较好。目前最为常用的有机偶联剂是MAPP和PMPPIC。

20世纪90年代，在保持WPC性能良好的情况下，如何降低偶联剂的成本成为此领域的热门话题。因为在WPC的生产成本中，偶联剂的成本大约占30%，这使得其难于被广大消费者接受。

在国外，木/塑复合材料的商业应用始于 20 世纪 50 年代中期。1973 年 Sonnesson Plast AB 公司销售商品名为 Son-wood® 的 PVC/木粉复合材料。它首先是由木粉和 PVC 复合制成片状，然后挤塑成型。

20 世纪 90 年代，WPC 制品蓬勃发展，美国市场对木/塑复合材料产品的需求迅速增长。据 1999 年《An Investigation of the Potential to Expand the Manufacture of Recycled Wood Plastic Composite Products in Massachusetts-Technical Report #19》报道，美国目前 WPC 产品销售量近 1.5×10^6 t/年，比两年前增加了两倍。主要的产品是地板块，盘子，汽车内衬板、窗框、栅栏和装饰材料。据 2001 年的《6th international conference on wood fiber-plastic composition》中报道，到 2005 年，美国对 WPC 材料的需求量会突破 1.5×10^6 t/年，这些材料的主要制品将是地板材料。新的应用领域，如墙体材料等，也将会占重要的比例。

目前，在国外比较有名的企业有 TIM TECHINC 公司和 DAVIS STANDARD 公司、奥地利辛辛那提公司、奥地利泰克帕斯公司、德国巴顿费尔德公司、日本爱因公司等，它们都有规模化木/塑材料制品生产设备，并进行相关产品的生产。但所用塑料原料分别为高纯度废旧塑料和新塑料，与中国市场的再生塑料情况差距较大。世界上已经开发出的木/塑复合材料主要有绿可木/塑材料和意大利保利木。绿可木/塑材料是通过科技创新，对废木再生利用而开发的可替代木材的新型产品。在节省天然资源的同时，绿可木/塑不但拥有天然木材的材性质感和木纹，更具有耐水、耐腐蚀、防火、防霉、不被虫蛀、无污染、加工方便、可回收利用等技术性能。“保利木”(polywood·复合材料)是为了满足各种特定的要求，采用不同的材料和配方复合而成的一种不同的产品。

环保型木/塑复合材料能够充分发挥材料中各成分的优势，克服单一材料的缺点，不仅改进了材料的物理力学性能和加工性能，降低了成本并扩大应用范围，还提高了材料的经济附加值。产品广泛适用于建筑业(如地板、垫板、柱子、各种装饰用线条等)、轻工业(如家具、工艺品和乐器等)、军事工业(如枪托、枪架和小型飞机螺旋桨等)

及木材工业等领域。同时由于通过不同的复合途径可赋予木/塑复合材料某些特殊性能,因而使其具有更为广泛的应用,如汽车、交通、机械、异型包装材料等。

1.1.2 木/塑复合材料的国内研究情况

中国对木/塑复合材料的研究发展比较缓慢,主要是在借鉴国外木/塑复合材料发展的基础上,立足于原材料的来源状况,经济成本问题,以及成品材料的应用及市场情况,发展适合于中国国情的木/塑复合材料工艺技术和设备。目前,国内研究的木/塑复合材料主要有以下三种:

1.1.2.1 混合复合型 WPC 的研究

20世纪80年代末,中国林科院王建军等就对木纤维聚乙烯混合复合型材料中的聚乙烯进行了改性研究,结果表明提高了塑料和木材界面之间的结合力^[16]。

90年代中后期,东北林业大学李坚等对木材的酯化进行了研究。岳翠银等将苯乙烯及顺丁橡胶与沙兰杨木粉混合,经加热聚合而成混合复合型木/塑复合材料。这种复合材在力学强度和尺寸稳定性等方面均较沙兰杨树材有所提高。而且,经此类方法改性后的木材与未改性木材相比,木/塑复合材料具有尺寸稳定性好、强度高、硬度大、耐磨、抗压性强等特点,然而,由于亲水性的木质材料与憎水性的塑料两相之间存在较高的界面能差,使得木纤维和合成纤维很难形成良好的“融合”体系^[17]。此外,木材表面的氢键作用也使得塑料成分熔融后在木纤维中不能均匀地分散,从而影响了木/塑复合材料的复合性能。

我国台北学者也同步开展了混合复合型 WPC 的研究,尤其是对木粉和废弃塑料复合材料的研究较早,力图通过这种 WPC 来解决台北的废旧塑料问题^[18]。

1.1.2.2 木材/热固性塑料的研究

这种复合材料主要是木材与热固性塑料(如酚醛树脂、PVC 等)混合,并添加胶粘剂及改性剂复合而成的材料。20世纪80年代初,福建林学院杨庆贤等开始对木粉和废旧塑料的复合进行了初步的探索

研究并开发了几种产品，迈出我国在木材/热固性塑料复合材料研究方面的第一步。它的研究结果表明，层压成型的硬质板材比其他成型工艺有较好的力学强度^[19, 20]。随后，中国林科院木工所、北京大学、北京光华木材厂等单位大量研究了用热引发法生产木/塑复合材料，而上海原子能研究所及上海科技大学等单位也对用 C-射线辐射法生产木/塑复合材料进行了研究。廖兵等以氢氧化钠和丙烯腈接枝改性木纤维对 PVC/木纤维复合材料的力学性能的影响进行了研究^[21, 22]。

1.1.2.3 木纤维/合成纤维的研究

随着木/塑复合材料在各个领域应用的拓展，合成纤维作为塑性成分，具有良好的粘合能力，柔韧性等特点这一情况被研究者纳入视野。早在 80 年代，中国林科院木材工业研究所就开始了对木材纤维和 PP 纤维复合材料的研究。研究的内容包括材料的机械性能改善、加工设备、生产工艺等。他们在木材纤维和聚丙烯纤维复合中采用酚醛胶 (PF) 作为胶粘剂，来提高材料的结合能力。对材料使用了处理剂进行预处理以改善材料间相容性。同时，中国林科院木工所木质纤维复合材料专题组使用红松纤维与聚丙烯纤维进行复合^[23]。结果表明，添加聚丙烯纤维虽然改善了材料的模压性能，但导致材料的各项物理力学性能下降，对聚丙烯进行预处理后的复合材料模压制品各项技术指标可以达到一汽大众 JL-VW94 标准。

除此之外，中国林科院吴健身、王正对木纤维/合成纤维复合材料组分中添加了聚丙烯纤维，并对聚丙烯纤维进行预处理，研究由此所引起的材料物理力学性能和模压性能的变化^[24]。随后，许多研究者通过对木纤维表面进行改性或者对合成纤维进行预处理，并进一步探讨改善后的复合材料的性能，发现复合后的木纤维/合成纤维复合材料的整体性能都有了较大幅度的提高，这标志着我国研究者在木纤维/合成纤维复合材料的研究方面取得了阶段性的显著成果^[25]。

在提高木纤维/合成纤维复合材料间的相容性方面，我国也进行了大量研究。中国林科院木材工业研究所对木材和聚丙烯接枝共聚过程中官能团和表面极性的变化进行了研究，使用顺丁烯二酸酐和丁二酸酐经过酯化反应来降低表面极性，效果良好。上海交通大学高分子

材料研究所用马来酸酐接枝聚丙烯作为偶联剂应用于木粉或纤维素填充的 PP 体系中，并对提高材料相容性的机理进行了分析^[26, 27]。

就目前国内情况看，木纤维/合成纤维复合材料的应用尤以汽车内衬材料的使用最为突出。它在国外汽车工业中的应用已有 20 多年的历史并且已经得到广泛应用，而在我国尚处于起步阶段。国外普遍采用的木纤维/合成纤维复合材料制作的轿车门衬板至今在国内还是空白。这是我国民族工业亟待开发的领域，也为木纤维/合成纤维复合材料的开发、推广、应用提供了广阔的市场^[28]。

在 WPC 产品商业化方面，加拿大未来技术有限公司于 1998 年将木/塑材料技术在我国出售；安徽蒙城县铝塑型材有限公司与蒙城县铝塑研究所合作，研究建设的木/塑材料生产线申请了国家专利；无锡南丰塑业有限公司研制的组合式木/塑托盘通过了由中国包装协会组织的技术鉴定，并申请了国家专利。北汽和北京化工大学对福田汽车进行了 WPC 产品专用设备的开发。此外，山东、浙江等也有企业对木/塑材料的生产工艺及专用设备进行研究开发^[29]。

我国在 WPC 材料回收和回收材料生产 WPC 的方面起步较晚，在这方面的研究较少。发达国家的大量实验研究表明：由回收塑料与木材复合成的 WPC 性能同新塑料所制得的 WPC 性能差别不大。木材纤维和 PP、PE 等热塑性塑料的复合材料不仅可以利用回收木纤维和回收塑料来生产，而且其自身可以回收利用，并具有和新原材料生产的复合材料相类似的强度和物理性质。生产设备不用经过改动或经过较小的改动即可生产回收材料的复合材料。但是利用回收塑料和回收木纤维生产的复合材料还面临很多的问题，需要进一步改善；尽量改进工艺以经济的模式生产回收材料的复合材料，降低原料的回收成本等，开辟新的回收塑料的市场。目前在美国已有专门利用回收材料生产 WPC 的公司，例如维吉尼亚州温彻斯特的 Trex 公司一直是 WPC 的主要生产厂家，其销售量 1997 年比 1993 年增加了 350 万美元。此公司主要利用回收塑料和粗糙的木材纤维来生产复合材料。此外还有 Mobile Oil 公司等其他公司，主要利用废弃阔叶材或者针叶材的剩余物（锯末）和废弃的杂货袋来生产 WPC，主要产品是室外地板块和花园围栏。

现在,在美国注册的 WPC 生产公司和技术出售公司还不断增加。WPC 材料回收和回收材料生产 WPC 都面临着良好的市场。在美国等发达国家更重视研究废弃木材和新塑料 WPC 性能改善的途径,由于木材资源匮乏,我国在 20 世纪 70 年代就提出用塑料替代部分木制材料。尤其是在包装材料方面,塑料已成为使用量最大的原料。丢弃的一次性餐盒、水杯、塑料袋、编织袋、食品袋等已造成资源的严重浪费和对环境的威胁。因此,我国利用回收材料制造 WPC 的主要研究方向,应当立足于如何提高木材和回收塑料复合材料的性能,不断拓展利用回收塑料制得的复合材料的应用领域^[30]。北京化工研究所早在 1988 年就已经着手废旧塑料的裂解工作,在长期的工作中发现,裂解还不能从根本上解决污染问题;目前东北林业大学正在研究利用回收塑料和热磨纤维制造 WPC 的配套技术。目前废弃材料的回收利用已成为我国关注的问题,WPC 良好的性能必将为我国废弃塑料回收利用开辟新的途径。

1.2 本课题的研究目标

本课题研究的是木/塑复合材料中的木纤维/合成纤维的复合材料,其中木纤维来源于桑树枝条,其产品主要应用背景是汽车工业当中的轿车内饰板。

1.2.1 本课题的社会意义

近年来,随着可持续发展、保护生态环境等问题在世界范围内的提出,各学科领域通过努力在这方面都取得了很大的进展。在纺织材料方面,许多满足这方面要求的新材料都已经涌现了出来。木纤维/合成纤维是其中一种很具潜力的新型材料,它的开发具有重要的社会意义,这主要表现在以下几个方面:首先,木纤维与合成纤维形成复合材料后,能充分的发挥各组成元素的优点,形成具有优良性能的复合材料。木纤维具有密度低、有弹性、在加工过程中对设备的磨损小等优点,制得的复合材料具有高的强重比和硬度。其次,本课题所

用的木纤维就是来自江南养蚕地区的桑树枝条。因为春、秋两季，农村都要进行桑树枝条的修剪，所剪下的枝条都是废弃物。它在自然界中可以再生，供应量大，同时还可以回收利用，有利于我国材料工业的可持续发展。再次，木纤维具有生物降解性，对于由木纤维/合成纤维复合材料制得的制品来说，由于木纤维降解，为处理塑性成分的垃圾，减少环境的污染提供了切实可行的办法，对于环境保护有利。而且木纤维与大量纺织用布废弃物中的合成纤维原料复合将为治理废旧纤维制品对于环境的危害和提高木材利用率开辟一条新的途径。对于我国的环保事业、资源可持续利用将做出巨大的贡献。同时，从我国的国情来看，木纤维与合成纤维复合的研究，可以有效的利用农村废弃资源，极大的促进我国农村经济的发展，在我国国民经济中起着重要的作用。

1.2.2 本课题的经济意义

近年来，利用木纤维与合成纤维复合制成具有某些新性能复合材料的研究正在成为材料行业以及我们纺织行业研究的新领域。这种材料在尺寸稳定性、模压成型、抗张和抗冲击方面都具有优势，国外已经实现工业化生产，例如在高级轿车工业中的应用等。西方工业发达国家在汽车工业上已经广泛的应用了木纤维/合成纤维复合材料，视为当代汽车工业“绿色革命”的重要内容，现在正在向其他工业领域不断的拓展。而国内在这方面的研究还比较少，基本上是空白的。近年来，我国汽车工业的蓬勃发展，为木纤维/合成纤维在汽车工业中的应用提供了广阔的市场前景。

与木材行业和塑料行业的研究相比，他们研究的木纤维/合成纤维复合材料强度比较高、模量较大，并且随着其中复合的塑料比重的增加，强度和其他性能有逐步上升的趋势，但是成本较高^[31]。而我们所研究的木纤维/合成纤维复合材料，是木材纤维和纺织上的合成纤维进行复合制造的木纤维/合成纤维复合材料，因为纺织纤维的柔性能比较好，而且这里是用具有热粘合性质的合成纤维，这样制出的木纤维/合成纤维复合材料，虽然其在强度和模量方面可能会略显不足，但由于其柔曲性能比较好，弹性好，在模压成型方面会优于前面所提

到的方法制备的木/塑复合材料，并且因为其中的木纤维占绝大部分比例，所以成本低廉。这种新型的非织造材料，还具有质量轻、可降解的特点，特别是当材料断裂时，其碎裂后不会形成坚硬的棱角伤害人，与前者相比，复合材料的使用安全性明显提高。作为汽车内饰板材料的开发，具有良好的市场前景。

除此之外，木纤维/合成纤维复合材料不怕虫咬，抗酸碱、耐老化、抗菌、不易吸水^[32]，而且复合材料成品性能优于其中的任一单一成分，在人们追求科技含量高，而且有高的经济附加值材料的今天，开发和应用木纤维/合成纤维复合材料，具有重要的现实意义。

1.3 本课题的技术路线、关键技术和创新点

1.3.1 本课题的技术路线

本方法是采用纺织用的合成纤维作为塑料原料，与木纤维进行复合，并用非织造成网技术制备坯料，采用的一定的加工工艺制成所需的复合材料。其主要加工工艺如下图 1-4 所示。

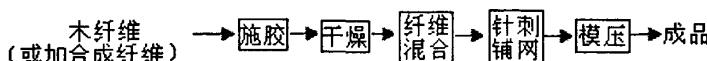


图 1-4 气流铺装成型工艺流程

1.3.2 关键技术和创新点

本课题的研究研究过程中，其中关键的技术和需要注意的一些问题有以下几个方面：

(1) 采用具有热粘合性质的合成纤维与木纤维复合，在粘合过程中，粘合部分软化熔融易于形成粘合。而且，粘合的温度可以适当调低，有效的节约了资源。热粘合后的纤网可以保持原纤网的特性。而且由于粘合纤维的熔融而使其与木纤维之间的交叉点有效的粘合，因而产品强度高，并且能适应一些最终产品的要求。

(2) 对木纤维和合成纤维进行人工预混和机器混合后，采用气

流成网技术，解决了的木纤维和合成纤维无法均匀混合的问题，然后对形成的纤网进行针刺加固，最后热压粘合成形。

(3) 将不同种类的合成纤维与木纤维以不同的配比复合制成的材料在结构、性能上加以对比，找出较佳的复合工艺。

(4) 试验过程中，注意木纤维/合成纤维复合材料中添加的改性胶粘剂在聚合物间的“桥连”作用、对复合材料界面相容性的改善以及它们对成品材料性能的影响；

(5) 在热压成形的过程中，不仅要防止热压过程中纤维中的合成纤维粘住热压板，还要注意周围环境的影响，以便进行适当的调节，达到预期的试验效果。

本课题在木纤维/合成纤维的复合中，主要的创新点就是，与以往研究者研制的木纤维与合成纤维中的热固性纤维复合相比，本课题所研究的是木纤维与合成纤维中的热塑性纤维进行复合。此外，本课题所研究的材料可以制成各种形状的材料，比如像前者所不能制备的各种曲面形状的材料，尤其是具有一定深度的弯曲材料。适合于制成形状复杂的汽车内饰板。而且，与以往制备的木纤维/合成纤维复合材料相比，由于本课题采用的是特殊的具有热粘合性质的合成纤维，其本身可以作为粘结成分，所以，复合材料的静曲强度在一定程度上会有一个较大的提高。

第二章 试验及结果分析

由于本课题也是在不同方向上对新材料的探索，因此，关于试验的整个过程，大体上规划为两大阶段来完成。第一阶段主要从原料中找出能与木纤维复合良好的热塑性合成纤维，并进行相关的性能测试，然后通过单因子分析找出其中木纤维与合成纤维复合较好的一组。第二阶段则是从前一个阶段的基础上再做整体规划，进行正交因子分析，处理相关的数据。下面整个试验过程做具体的阐述。

2.1 试验准备

2.1.1 原材料的准备

2.1.1.1 木纤维

本试验采用的是木纤维是桑木(mulberry)纤维，是桑木枝条加以热磨而制得。桑木枝条的热磨条件是：磨盘间隙 0.02mm，蒸汽压力 $4 \times 10^4 \sim 6.5 \times 10^4$ kgf，预热时间 4min，磨浆时间 5min。

然后用筛网筛选木纤维，使之长度在 5mm~20mm 之间，人工挑出其中的大梗和未切磨成丝的粗硬木块，使所用的木纤维长度和细度都比较匀整，便于气流成网时纤维分布均匀。这样，在针刺复合时就不会损伤刺针，而且做出的成品表面不会出现硬块，以期达到光滑的表面效果。

2.1.1.2 合成纤维

作为与木纤维复合的热塑性合成纤维，要求纤维具有优良的热粘合及物理机械性能。根据其分子结构、截面、细度、缩率、卷曲度、回弹性、光洁度的不同，纤维被赋予不同的熔融点、软化点、染色性、阻燃性等物理化学性质。根据热粘合纤维的粘合属性，可以分为：

①可溶解粘合纤维，这类纤维可溶解于温水或热水中，并引起主体纤维在干燥过程中黏附粘合，如 PVA。

②熔融粘合纤维，这种纤维熔融速度高，热收缩低，熔融范围小，要求其熔融温度低于被粘合温度。如聚酯类纤维，双组分纤维共聚酰胺类纤维等。

③自粘粘合纤维，这类纤维通过压力和温度相互粘结，而纤维本身的结构保持不变。在一个相对比较宽的温度范围内，纤维间的相互接触点上由于熔结而自相结合，如双组分纤维等。

热粘合纤维的主要技术要求使在降低熔点的同时，仍保持一定的强度和尺寸稳定性。常用的粘合纤维的分类如下表 2-1：

表 2-1 常用的粘合纤维

纤维品种	软化温度(℃)	熔融温度(℃)
聚乙烯	55~90	115
聚丙烯	150	160~170
聚氯乙稀	170~190	210~230
聚酯 (COPET/PET)	---- 230~240(芯层)	110~220(皮层) 245~260(芯层)
PE/ PET	55~90(皮层) 110~115(芯层)	115(皮层) 245~260(芯层)
PE/PP	55~90(皮层) 110~115(芯层)	130~135(芯层) 160~167(芯层)

我们可以看出采用双组分纤维做热粘合纤维，尤其采用皮层为低熔点的双组分纤维，粘合过程中，皮层先软化易于形成粘合。而且，粘合的温度可以适当调低，有效的节省了资源^[33]。热粘合后的纤网可保持原纤维的特性，而且由于皮层组分熔融而使纤维之间交叉点上有效的粘合，因而产品强度高而适应一些最终产品的要求。

前一阶段有研究者做出的木纤维/合成纤维复合材料的力学性能及静曲强度较低，估计其主要原因是界面结合的问题。因此，考虑到这种情况，本课题选用两种皮芯式双组分纤维 PE/PET 和 COPET/PET 纤维作为与木纤维复合的合成纤维。木纤维主要是由极性分子构成的，双组分纤维 PE/PET 的皮层为 PE，为聚烯烃纤维，其分子为非极

性分子，分子量非常大，而 COPET/PET 纤维中的皮层成分为含有极性的 COPET 成分。因此，本课题选用这两种不同的双组分纤维材料与木纤维进行混合，制备材料，以便进行对比分析，找出其中较为合适的一种双组分纤维与木纤维的配比。此外，两种双组分纤维的芯层成分都相同，这样在皮层熔融与木纤维粘合之后，剩下的芯层是同种成分和木纤维进行复合，这样更能说明皮层的构成不同对于整个材料的性能有何影响。

根据厂商提供的信息，得知双组分纤维 PE/PET 皮层 PE 熔点为 110℃ 左右，芯层 PET 熔点为 260℃ 左右。COPET /PET 纤维皮层 COPET 的熔点为 130℃ 左右，芯层 PET 熔点为 260℃ 左右，为了确认其准确性，对两种双组分纤维进行 DSC 曲线分析如下图 2-1 和图 2-2 所示：

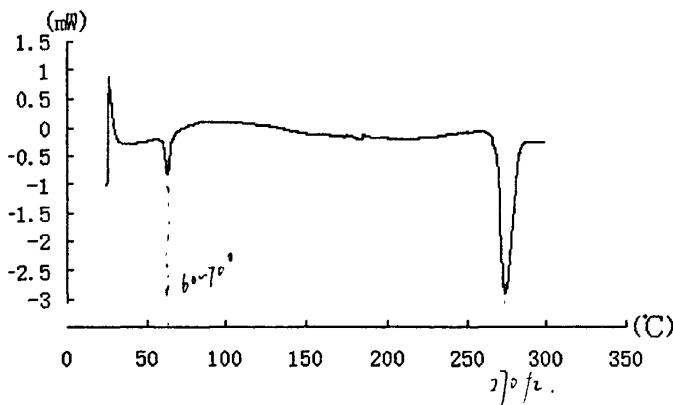


图 2-1 PE/PET 的 DSC 曲线图

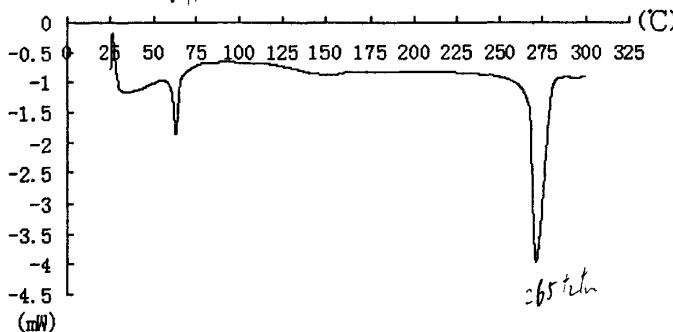


图 2-2 COPET/PET 的 DSC 曲线图

从上面的图形中可以看出，DSC 曲线图对于双组分的皮层上的温度不能正常的显示，分析其主要原因可能是由于两种组分在做熔点测

试时彼此会有影响，所以在温度较低的皮层熔化时不会出现明显的峰值来显示。鉴于此，在试验过程中我们采用的熔融温度就以厂家提供的温度为基准。

2.1.1.3 胶粘剂

根据翻译的相关资料，丙烯酸酯类胶粘剂在用于改善木纤维/合成纤维复合材料的复合性质，增强塑性纤维表面的拒水性，减小木纤维/合成纤维界面的不相容性等问题方面，具有良好的效果，且制备过程简单，在现有的实验室条件下可以完成，在理论和实践方面都具有可行性。作为改善木纤维/合成纤维界面不相容问题的一种解决方法，值得尝试。本课题所采用的聚丙烯酸酯乳液型胶粘剂，它是由丙烯酸酯类和醋酸乙烯酯共聚而成。其中丙烯酸酯类成分与合成纤维的粘结性能比较好，而醋酸乙烯酯成分极性强，和木纤维的粘结性能比较好。因此，希望在木纤维/合成纤维复合材料中充当连接木纤维和合成纤维之间的一个“桥梁”的作用。此外，该胶粘剂原料来源广泛，容易制备，粘接性能好、粘附力强、耐紫外光、耐老化、保色性能好、无毒、无气味，具有粘接面广的特点，广泛用于包装、涂料、建筑、纺织以及皮革等各行各业。

2.1.1.4 阻燃剂

本课题采用的阻燃剂是上海新力化学品有限公司提供的尼普威(NUPWELL)SFR阻燃剂。

尼普威(NUPWELL)SFR阻燃剂是一种使用十分方便的阻燃剂，适用于各类具有吸收性的材料。使用时，只需将其喷洒到需要整理的材料表面，晾干后即得到阻燃效果优良的整理品。

技术规格：

- (1) 外观 无色液体
- (2) PH 值 8 左右
- (3) 溶解性能 常温下能与水以任何比例进行互溶
- (4) 储存稳定性 常温下能稳定储存 12 月以上

适用范围：

- (1) 尼普威 SFR 的整理过程及整理品无毒性、无污染、对人体健康

没有损害

- (2) 尼普威 SFR 易溶于水。
- (3) 尼普威 SFR 使用方便、快速而且效果优良。
- (4) 使用尼普威 SFR 工艺简单，节约能源。
- (5) 尼普威 SFR 特别适用于家庭对阻燃的需要，只需直接喷洒到家用的沙发、窗帘等织物上，即刻得到阻燃效果。

喷洒的方法：

取一份尼普威 SFR 液体，加一份水，摇匀后直接喷洒或浸渍或浸轧到待处理的棉织物上，带液量一般控制在 80~90%，烘干或晾干即可。如果是化学纤维及混纺织物，或其他材料，加水量可以进行调节，也可不加水进行处理。

2.1.2 主要试验设备

气流成网机：本科题采用的是美国生产的 Rando 气流成网机。该机是由美国 Rando 机器公司生产的，属世界上最早投入生产的气流成网机之一。它由喂给机、开松机、喂给机和成网机组成一条生产流水线。预喂给机采用角钉帘对纤维进行预开松，接着由表面包缠金属针布的三刺辊装置进行开松，再由锡林对纤维进行梳理。锡林下方配置三个梳理单元，分梳后的纤维由一毛刷辊高速回转将纤维从齿尖剥离，并借助于毛刷辊产生的气流，将纤维送入喂给机。为避免分梳纤维重新凝聚成团，喂给机中配置角钉帘给予扯松。靠喂给机上方的抽吸风机将纤维吸附在喂给机尘笼表面形成筵棉，抽吸管道装有自调匀整装置，通过一个气压传感器，使抽吸管道中的负压在生产过程中处于事先设定的范围内，以保证喂入筵棉的均匀性。筵棉在给棉辊和给棉板握持下由高速回转刺辊进一步分梳。成网时采用压入抽吸封闭循环形式或压入抽吸结合形式，使纤维经文丘利管道凝聚在成网尘笼表面形成纤网^[34]。

采用气流成网的铺网方式主要是由木纤维的性质决定。木纤维长度较短，无法用机械的办法铺网，由于木纤维/合成纤维纤维的密度形状差异较大，以及最终产品的用途要求，用湿法成网既不现实，成本又太高，同样不可以取。

气流成网应用文丘利管原理(变截面管)，风道管采用前小后大的截面，由于流经不同截面的空气量是相同的，所以，混合的木纤维和热塑性纤维喂入高速回转的锡林，在锡林和气流的联合作用下从锯齿上脱落，纤维流经风道管时，纤维尾端流速快，头端速度慢，纤维因此受到推挤作用而改变方向，形成杂乱的纤维网，纤网上纤维各个方向的排列都比较均匀。

这种成网方法尤其适合木纤维这样的粗短纤维及含杂较多的短纤维，运用这种方法从一定程度上解决了木纤维与合成纤维无法混合均匀的问题，具有很高的科研价值和实际应用价值。

针刺机：本课题因为试验条件的限制，采用的是 80 年代国产的 115 型单针板型向下刺式的单台针刺机。这台针刺机虽然型号比较老，设备比较简陋，但是作为试验用针刺加固还是可以的。

非织造的加固方法有：针刺机械加固、水刺加固、热粘合加固、化学粘合加固等几种。为什么本课题采用针刺加固的方法呢。主要的原因是：

水刺加固是通过水刺力使纤网发生柔性缠结，纤维间缠结抱合压紧，以达到固结纤网的作用。适宜纤网较轻薄，卫生条件较高、吸湿透气性好的产品^[34]。根据我们最终产品的要求，水刺加固的方法对于本课题是不适合的。

化学粘合加固需要专门的设备，违背了当初希望利用现有设备进行汽车内饰板制造的愿望，所以不予考虑。

针刺加固的原理是：带倒钩的刺针刺入到纤网的同时，带动一束纤维同时刺入，这样，表层纤维发生位移，进入纤网内部，与内部纤维发生缠结，刺针抬起离开纤维网时，由于勾刺顺着抬起方向，勾刺与纤维束分离，原来表面被带入内部的纤维束留在内部，形成固结纤维的纤维销钉^[34]。同时，这样的加固方式，有利于长的双组分纤维包覆短的木纤维，形成均匀的材料。经过多次针刺，原来蓬松的纤网被压缩，并且使得纤网内纤维互相缠结，纤维网被加固。

针刺加固适合各种纤维，且针刺后不损伤纤维的原有性质，工艺简单，成本低，刺后纤网具有良好的尺寸稳定性，表面平整，耐磨性

好，对环境没有污染，边角料也可以回收再利用，十分适合加固木纤维/合成纤维纤维网。

平板热压机：本课题采用型号为 QLB-■ 350x350x2 的 25 吨平板硫化机 (25 Ton Vulcanizing press)，主要是利用一对加热钢板对纤维毡板进行加热，同时加以一定的压力使坯料毡板得到热粘合。由于所要压制的材料为厚型非织造毡坯材料，因此，采用平板面粘合方式进行粘合比较合适。

热粘合加固也是无纺布的一种加固方法，它是利用合成纤维高分子聚合物的热塑性 (加热到一定的温度会软化熔融，变成具有一定流动性的粘流，冷却后又重新固化，并保持热冷却前的形状)，使纤网受热后部分纤维或热熔粉末软化熔融，然后纤维间产生缠结，冷却后纤网得到加固的一种方法。

除此之外，本次试验还用到一些辅助的试验用具，如聚四氟乙烯膜；电子秤；托盘天平；直尺；游标卡尺；纸制样板 (30x30cm²)；记号笔；美工刀；剪刀；钢锯；锉刀；砂纸等。

2.1.3 主要测试内容

(1) 回潮率

回潮率用来表示在一定湿度条件下的重量与绝干重量之差值再与绝干重量的比值。本课题制备的木纤维/合成纤维复合材料的回潮率测试方法如下，首先，将试样置于恒温恒湿实验室中 (温度为 20℃，相对湿度为 65%)，24 小时之后，用电子天平称取它的重量，然后置于 100~105℃ 的烘箱中烘至恒重 (约两个小时) 再用电子天平称取它的重量。以下列公式 2-1 计算其回潮率^[35]，并记录相关的数据。

$$\text{回潮率 } I \cdot (\%) = \frac{W_1 - W_0}{W_0} \times 100\% \quad (\text{式 2-1})$$

— W_1 ……一定的湿度条件下样条的重量；

— W_0 ……样条的绝干重量

(2) 密度

本课题所制备的最终材料为硬质的木纤维/合成纤维复合材料

板，所以可以用常规的测试方法进行密度的测量。本课题所制备的材料的密度按照国标 GB-4899-85 来测定，将试样用美工刀具裁成精准的 $10 \times 10 \text{cm}^2$ 的样板，如下图 2-3 所示。

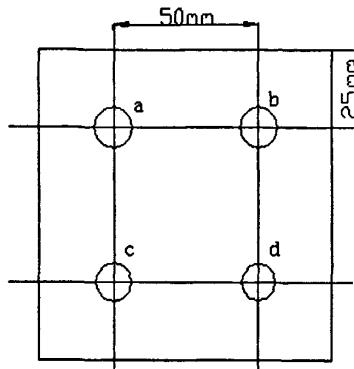


图 2-3 密度测量试样示意图

按照上面的试样示意图所示，首先用电子天平称出样板的质量 m ，然后在 a、b、c、d 四个点处用游标卡尺分别测量厚度，并记录相关的数据，算出平均厚度，接下来，计算出样板的体积 v 。然后再按照下面的公式 2-2 进行计算木纤维/合成纤维复合材料的密度：

$$\rho = m/v \quad (\text{式 2-2})$$

(3) 吸水厚度膨胀率

吸水厚度膨胀率是指试样吸水后厚度的增加量与试样吸水前厚度的比值。本课题采用的测试方法为：预先在各试样中线部分分别用游标卡尺测定厚度 h_1 ，并精确至 0.02mm ，水平放在 25°C 的水中，使小样板悬浮在水中，浸渍 24 小时之后，再用游标卡尺测定其厚度 h_2 ，以下列公式 2-3 计算其吸水厚度膨胀率^[36]，并记录相关数据。

$$\text{吸水厚度膨胀率} = \frac{h_2 - h_1}{h_1} \times 100\% \quad (\text{式 2-3})$$

— h_1 ……吸湿前试样的厚度 (mm)；

— h_2 ……吸湿后试样的厚度 (mm)

(4) 吸水后的尺寸稳定性

为了进一步分析制成的木纤维/双组分纤维的复合材料在各个方向（长度、宽度和厚度）上吸水后的尺寸变化情况^[37]，从热压后的两种双组分纤维和木纤维复合的成型材料中取一个样品，然后从其上锯制出 $25\text{mm} \times 25\text{mm} \times 2.5\text{mm}$ 立方体的小试件，在室温条件下进行浸泡试验。浸泡后的试件，每隔一定的时间，直接将其取出经擦拭后，用游标卡尺进行长度、宽度、厚度三个方向的尺寸测定，然后记录下相关的数据，最后绘制时间—尺寸变化曲线图。

(5) 力学性能

本课题所研究的材料的力学性能主要是指复合材料的拉伸性能。试验按照国标 GB1040-79^[38]，使用上海华龙测试仪器有限公司生产的型号为 WDW-20 的强力仪器对试样施加静态的拉伸负荷，以测定拉伸强度、断裂伸长以及最大断裂强度等。使用美工刀将试样加工成下图中 2-4 所示的形状，制样过程中要注意尽可能的做到精确。将加工后的材料边缘用砂纸打磨平整，其具体的尺寸见图下的标注：

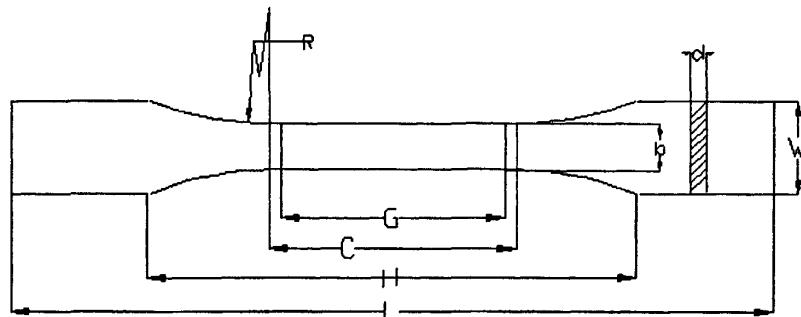


图 2-4 强力试样

尺寸 (mm): L—总长 170; C—平行部分 长度 55 ± 0.5 ; b—平行部分宽度 10 ± 0.2 ; w—端部宽度 20 ± 0.2 ; R = 75; d—厚度 2.5 左右; H—夹具间的距离 110; G—标距 50 ± 0.5

试验条件：试验速度为 5mm/min ，标距为 50mm 。

(6) 静曲强度

静曲强度是指材料在最大载荷作用时的弯矩和抗弯截面模量之比，是木纤维/合成纤维复合材料的一项重要的性能指标^[39]。由于试

验条件的限制,我校现有的设备不能对这种新的材料做出精确的定量测试,所以我们在上海硅酸盐研究所对此项指标进行了定性的测量,使用的仪器是英国 INSTRON 公司生产的型号为 5566 的万能材料试验机,本文测试静曲强度参照的是国标 GB4903-85,采用三点弯曲模式,其测试卡示意图见下图 2-5 所示。由于本课题所制备的木纤维/合成纤维的复合板,其试样的平均厚度大约是 2.5mm 左右,因此,根据以往研究者的对于木纤维/合成纤维的研究,我们选用的试验条件为:跨距:试样厚度 = 20:1。所以,将试样切割成长 \times 宽 = 20cm \times 5cm 的长方体,进行相关的测量。

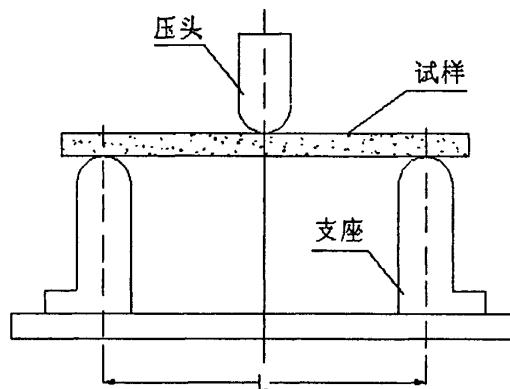


图 2-5 静曲强度测试卡示意图

最后,根据测得的力学指标和试样的尺寸大小,按照下面的公式 2-4 进行相关计算,并记录有关的数据。

$$\text{静曲强度 } \sigma = \frac{3PL}{2bh^2} \quad (\text{式 2-4})$$

式中: P 试件的破坏力,单位: N; L 支座距离,单位: mm;
b 试件的宽度,单位: mm; h 试件的厚度,单位: mm;

(7) 阻燃性能

根据汽车内饰板对抗燃烧性能的要求,本课题还进行了阻燃性能的测试。对比两种不同双组分纤维与木纤维复合后形成的复合材料,以及添加了阻燃剂以后木纤维/合成纤维复合材料和未添加阻燃剂的木纤维/合成纤维材料,分析其在抗燃烧性能上各自有什么变化,选

出其中有代表性的试样进行对比分析,找出其中符合要求且阻燃性能较好的材料。具体的操作步骤如下:

首先,选取有代表性的三种配方,从它们的成型复合材料板中锯出 $20\text{mm}\times 2\text{mm}\times 2.5\text{mm}$ 长方体的小试件,作为测试阻燃性能的试样。这里选取了木纤维/(COPET/PET)复合,未添加阻燃剂制成的复合材料试样(T_1)、木纤维/(PE/PET)复合,未添加阻燃剂制成的复合材料试样(T_2)和木纤维/双组分纤维复合,添加阻燃剂制成的复合材料试样(T_3)作为分析对象。

测试的具体步骤如下:酒精灯放在木纤维/合成纤维复合材料的下方,点燃酒精灯,让酒精灯的外焰与样品的端部接触,然后点火30s,使得试样端部完全起火时,开始计算各个相应的燃烧时间,记录下来。等到燃烧完全结束以后,再用尺子量出各试样的损毁长度,然后记录下相关的数据,最后进行分析。

2.1.4 主要测试仪器

电子天平:用来称取试验过程中材料的重量,在回潮率的测试中,主要称量成品材料的湿重和绝干重量,以备计算回潮率。

游标卡尺:主要用来试验各个环节中的所要测量的材料的厚度尺寸,以便求出试样的平均厚度,尤其在吸水厚度膨胀率的测量中有着重要的作用。

强力测试仪器:使用的是上海华龙测试仪器有限公司生产的型号为WDW-20的强力仪器,用来测试成品材料的力学性能指标。

静曲强度测试仪器:由于试验条件的限制,我校现有的设备不能对木纤维/合成纤维的新材料做出精确的、定性的测试,所以本课题是在上海硅酸盐研究所对此项指标进行了测量,使用的仪器是英国INSTRON公司生产的型号为5566的万能材料试验机。

阻燃性能的测试仪器:由于试验条件的限制,就本课题而言,对于阻燃性能的测试,只能自己设计试验,在同等条件下,对测试的结果进行对比,然后确定哪种材料的阻燃性能相对比较好。所以使用的设备比较简单,主要有点火器、酒精灯以及夹持器等。

2.1.5 实验方案

2.1.5.1 试验的工艺路线

筛选木纤维 → 根据方案制备原料配方 → 均匀喷洒胶粘剂于木纤维上 → 预开松双组分纤维 → 手工预混木纤维与双组分纤维 → 机械混料 → 铺网 → 针刺 → 计算单位克重 → 修剪成 $30 \times 30 \text{ cm}^2$ → 切割成三块试样 → 在烘箱里面预烘 → 用平板热压机热压 → 分别进行各项性能测试 → 数据分析

2.1.5.2 试验方案的确立

按照木纤维/合成纤维中纤维配比度的不同，使用双组分纤维的不同，添加含量为 5% 的胶粘剂设计 6 个配方，进行单因子对比试验。根据 Randon 气流成网机的定量标准，每次喂入成网机的纤维重量至少为 2kg，因此设定每个配方的纤维总重量为 2kg。使用两类不同的双组分纤维 PE/PET 和 COPET/PET 与木纤维复合，进行单因子对比试验。

单因子试验中主要进行对比的变量有以下几项性能指标：回潮率、吸水厚度膨胀率、静曲强度以及相应的力学性能指标。希望通过几项性能指标的单因子对比分析，在两种双组分纤维与木纤维的复合材料中，找出其中能和木纤维较好复合的一种双组分纤维，然后将这种双组分纤维与木纤维以不同的配比进行复合，再改变其中胶粘剂的含量，进行两因子正交试验方案，找出此类双组分纤维与木纤维复合时，各个成分的最佳配比。

2.1.6 试验过程中的几个实施要点

2.1.6.1 原料的配备

(1) 木纤维

因为木材中含有一定的水分，所以在按照具体方案计算配比的时候，要考虑到木纤维的含水率的问题，我们在配方中所说的木纤维的重量，指的是木纤维的绝干重量，因此在计算每一种配方中需要多少克重的木纤维时，必须要考虑木纤维本身的含水率。所以，在试验前，要先测试木纤维中的含水量。

在五个相同的烧杯中分别放 100g 木纤维，在 110°C 恒温的烘箱内烘 4 个小时后，直到重量不再改变为止，然后取出，计算平均含水量，即为木纤维的含水量，其含水量的测定数据见下表 2-2。

表 2-2 木纤维含水率的测定

烘前总重量(g)	烘后的总重量(g)	水分的重量(g)
560	550	10
560	549	11
560	551	9
560	550	10
560	550	10

最后得到木纤维的含水率是：

$$m = [(w_1 - w_0 / w_1) \times 100\%] = \frac{(10 + 11 + 9 + 10 + 10) / 5}{100} = 10\%$$

然后，按照含水率，设配方中所需绝干的木纤维克重为 G_0 ，根据下式 2-5，折合计算所需的木纤维的重量 G ：

$$G = \frac{G_0}{1 - m} \dots \dots \dots \dots \dots \dots \quad (式 2-5)$$

例如，75%的木纤维用考虑含水率进行折合计算为：

$$G = G_0 / (1 - m) = 1500 / (1 - 10\%) = 1666.7 \text{ (g)}$$

(2) 胶粘剂

试验中具体配方中丙烯酸酯胶粘剂的质量也指的是它的含固量，即为 $2000 \text{ g} \times 5\% = 100 \text{ g}$ 。我们配置的是浓度为 45% 的丙烯酸酯胶粘剂，要稀释到 10% 才有利于喷枪的喷洒，所以还要进行换算，然后在相应的溶液中添加蒸馏水进行稀释。具体配置如下：

需要浓度为 45% 的胶粘剂的总量： $100 / 45\% = 222.2 \text{ g}$

需要浓度为 10% 的胶粘剂的总量： $100 / 10\% = 1000 \text{ g}$

需要添加蒸馏水： $1000 - 222.2 = 777.8 \text{ g}$

即向 222.2 g 浓度为 45% 的胶粘剂 222.2 g 中添加 777.8 g 的蒸馏水，就可以配置成含固量为 100g，且浓度为 10% 的胶粘剂。

各原料称量和配备完毕以后，就要开始对木纤维表面进行改性处理了，本课题采用一边喷洒胶粘剂，一边对木纤维进行翻搅的方式，以便胶粘剂的喷洒能够达到均匀。具体的步骤如下：

- A、称取 45% 浓度的聚丙烯酸酯乳液型胶粘剂；
- B、加水将胶粘剂稀释到浓度 10%，以便能够用喷壶进行均匀的喷洒；
- C、将喷洒后的木纤维，在室外放置 2~3 日，自然风干。

（3）双组分纤维原料

在进行成网之前，双组分纤维必须进行预开松，其主要的目的是为了能与木纤维均匀地混合。木纤维的密度在 1.5 g/cm^3 左右，纤维形状粗短，而双组分纤维的密度要远远小于这个值，且未开松的纤维呈絮片状，缠绕在一起，若直接将木纤维与之混合，在气流成网机的风道内由于两种纤维自由下落的速度不同造成两者的分离，无法混合均匀，使后道工艺无法顺利进行，制成的成品也不会达到想要的效果。

（4）混料与开松

人工预混：用手将木纤维与双组分纤维互相扯动，互相缠绕，使两种成分混合尽量达到均匀状态，这样做的理由同样是为了混合均匀。另外，手工混合可以使双组分纤维部分缠绕在木纤维上，有效的防止木纤维在开松过程中出现“掉渣”的现象。

机器混合：将手工预混后的木纤维和双组分纤维的混合体置入给棉机中，使纤维在开松机中充分开松，这样双组分纤维就能更加均匀的与木纤维混合，以达到铺网的要求。

总之，混合与开松工艺是将木纤维和双组分原料的混合成分进行松解，使大的纤维块、纤维团离解，同时使原料中的木纤维和双组分纤维能够获得均匀的混合。

2.1.6.2 成网

在开松机中均匀混合后的纤维最后堆积在针刺机的给棉箱内，检查开松机的四周和集尘箱，将落在开松机外的纤维扫出，全部放入到给棉箱，调节给棉箱内纤维的分布情况，使纤维比较均匀的堆在靠近斜帘的水平帘上。然后关好给棉箱门，准备成网。调节铺网参数，根据类似的纤维铺网经验，设定成网参数为：

输入罗拉：72；输出罗拉：134；斜网输出：362；刺辊转速：1884

转/分。

然后打开控制开关，开始铺网。为了增加纤维网针刺时候的强力，在铺网过程中，在纤网的底布铺上一层薄的熔喷非织造底布。纤网输出过程中，控制底布的卷出速度，使之与输出速度相适应，以免速度过慢，造成纤网堆积成团，速度过快，容易扯开或者撕裂纤网。

2.1.6.3 针刺加固与成形

将铺成的纤维网打卷并根据不同的配方做上标记。然后对成网后的单层纤维网进行预针刺，在预针刺后的纤网上用取样器量取 $10 \times 10 \text{cm}^2$ 大小的正方形块料进行称重，算出平均单位克重。按照以前用废品做的试样来看，要做成的样品要求每平方米克重要在 $2300 \sim 2500 \text{g/m}^2$ ，一次成型目前实验室的针刺机无法针刺，这就需要将单层纤网一层一层叠加起来进行复合针刺，每次进行复合针刺时，先倒卷纤维网，从铺成的纤维网中较为均匀的一头开始，剪去端部不规整的纤网，然后从厚度均匀的地方，用 $30 \times 30 \text{cm}^2$ 的纸板度量，并用记号笔在其边缘做好线条标记。从纤网上剪去 $30 \times 30 \text{cm}^2$ 的方形纤网，在不拉伸纤网的前提下，从底布上小心的剥离它们，准备进行复合针刺。

复合过程中，可以根据每单层的纤维网的重量，推测需要叠加铺网针刺数，按照下面的式子进行推测：

$$\text{针刺道数 (纤网的层数)} = \text{样品板规定的克重} / \text{单层纤维网的克重}$$

计算出需要针刺的道数之后，对单层纤网进行反复叠加针刺，直到形成的毡坯达到每平方米克重为 $2300 \sim 2500 \text{g/m}^2$ 为止。在复合多次后，接近规定克重时，每针刺一遍，都在电子天平上称量，计算其单位克重，根据实际情况，调节针刺频率及纤网的输出速度，以尽快达到规定的克重范围。值得注意的是，在针刺过程中，反复叠加针刺的前几层，即 $2 \sim 5$ 层时的针刺频率相对较低，大约为200转/分，针刺时的拉伸速度要慢，这样一方面可以防止拉伸力过大，造成纤网撕裂，另一方面，可以使的纤网针刺效果良好，加固均匀。但是，随着

厚度的增加，牵拉就变得困难了，为了防止针刺过度引起的针刺后的毡坯克重减小过度，降低刺针损伤的可能性，5层以上时，针刺频率可以进行适当的调节，控制在250~300转/分之间。

复合针刺制成的毡坯在达到规定的克重后，用记号笔对每块毡坯进行编号。因为毡坯在复合过程中会变形，所以其尺寸已不再是原来的 $30 \times 30\text{cm}^2$ 的方形毡坯，所以需要对其具体尺寸重新度量，并计算具体的克重数值，记录相关数据，为接下来的预烘做准备。

对于试验中相关配方的针刺道数及其有关数据参见附录一中的附表1—附表6。

2.1.6.4 预烘

在针刺制成毡坯之后，热压粘合之前，要对纤维板进行预烘，预烘的主要目的是去除纤维板中多余的水分，提高热压过程的效率和效果。另外，预烘也可以提高热压用毡坯的尺寸稳定性。

根据两种双组分纤维皮层的熔点，分别设定烘箱的温度，然后对烘箱升温，调节烘箱内的温度，约45分钟后，箱内的温度即可达到设定值，然后将试验方案中的同种配方的三块试样平铺放入烘箱中，烘20~30分钟后取出，待到其恢复至常温时，称量其质量和尺寸。然后用同样的方法预烘另一种配方的试样。

对于试样中个别方案在预烘过程中的具体参数见附录一中附表7的数据记录。

2.1.6.5 热压成形

根据本课题的最终产品要求，需要得到的是类似塑料板结构的纤维板，原来较为厚重的毡坯需要经过热压，变成厚度为2.5~5mm厚的薄板。其主要操作是将纤维板置于具有一定温度的平板热压机上、下板之间，移动上、下压板，压缩毡坯材料成硬板。

这里采用型号为QLB-■350x350x2的25吨平板硫化机(25 Ton Vulcanizing press)对复合针刺后的纤维板进行热压粘合，采用平板压，控制好中压板和下压板的温度，根据以往对相关材料研究的经验，试验过程中预定的热压压力与热压的时间之间的关系见图2-6所示的热压曲线图。热压过程中要给针刺的复合纤维板上下两面都垫上聚

四氟乙烯膜，以防材料与灼热的钢平板表面粘连在一起。根据试验配方中不同双组分的皮层熔点不同，确定相应的热压温度。

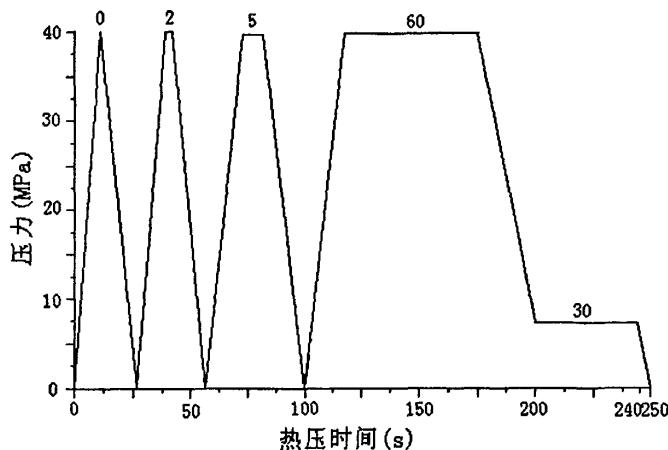


图 2-6 热压工艺曲线图

试验前先将热压机打开预热两个小时，等到热压板达到设定的温度后，将上、下表面垫有聚四氟乙烯膜的、预烘过的毡坯试样水平地放入两块平热压板之间。为了期望能够达到设定的纤维板厚度，在毡坯材料的两边垫上 2.5mm 厚度的钢条，这样在热压机热压板向下热压时，一旦接触到钢条，就没有办法再向下继续压了，理论上，压制而成的纤维板可以达到规定的厚度。

在热压过程中，由于周围环境的影响，尽管经过预烘去除部分水分，但是在潮湿的天气里面，仍然会有大量的水汽从纤维板中溢出，出现这种情况时，应该打开热压板控制闸，放出水汽，然后再压。

热压后的纤维板应该及时地进行有关数据测量和记录，切割成规定的尺寸，以备测试之用。

试验中个别方案在热压过程中的具体参数详见附录一中附表 8。

2.2 单因子试验

单因子方差分析是一种最简单的方差分析模型。它只需将因子效应与误差效应分离开，并通过比较均方来判断因子效应的显著性。由

于其简单，因此对试验的“均衡性”要求不高。因此，可以用于对比考察不同的双组分纤维与木纤维复合对于单个性能指标的影响。本课题采用 SPSS 统计分析软件中的 One-way ANOVA 对其方差进行统计处理，然后分析结果。

2.2.1 单因子试验设计方案

两种皮芯式双组分纤维 PE/PET、COPET/PET 与木纤维复合进行试验的原料配方如下表 2-3 所示

表 2-3：原料配方

配方序号	成分	木纤维质量(g)	双组分纤维			胶粘剂质量(g)
			成分	规格 熔点 细度和 长度	质量 (g)	
	木纤维(75%) A ₁ 双组分纤维(20%) 胶粘剂(5%)	1666.7	皮层:PE 芯层:PET	135℃ 267℃	3D×51mm	400 100
1	木纤维(70%) A ₂ 双组分纤维(25%) 胶粘剂(5%)	1555.6	皮层: PE 芯层: PET	135℃ 267℃	3D×51mm	500 100
	木纤维(65%) A ₃ 双组分纤维(30%) 胶粘剂(5%)	1444.4	皮层: PE 芯层: PET	135℃ 267℃	3D×51mm	600 100
	木纤维(75%) B ₁ 双组分纤维(20%) 胶粘剂(5%)	1666.7	皮层: COPET 芯层: PET	115℃ 267℃	4D×51mm	400 100
2	木纤维(70%) B ₂ 双组分纤维(25%) 胶粘剂(5%)	1555.6	皮层: COPET 芯层: PET	115℃ 267℃	4D×51mm	500 100
	木纤维(65%) B ₃ 双组分纤维(30%) 胶粘剂(5%)	1444.4	皮层: COPET 芯层: PET	115℃ 267℃	4D×51mm	600 100

表中的 A_i 和 B_i (i=1, 2, 3) 的代表的意义分别如下所示，后面的表中的 A_i 和 B_i 与此含义相同：

A₁——木纤维含量:双组分纤维 PE/PET:胶粘剂=75:20:5;

A₂——木纤维含量:双组分纤维 PE/PET:胶粘剂=70:25:5;

A₃——木纤维含量:双组分纤维 PE/PET:胶粘剂=65:30:5;

B₁——木纤维含量:双组分纤维 COPET/PET:胶粘剂=75:20:5;

B₂——木纤维含量:双组分纤维 COPET/PET:胶粘剂=70:25:5;

B₃——木纤维含量:双组分纤维 COPET/PET:胶粘剂=65:30:5;

2.2.2 材料性能指标的测试

(1) 回潮率的测定

相关的测试数据参考见下表 2-4:

表 2-4 木纤维/合成纤维复合材料的回潮率的测定

试 样	湿重				绝干重量				回潮率 (%)
	第 1 块	第 2 块	第 3 块	平均	第 1 块	第 2 块	第 3 块	平均	
A ₁	202.8	197.2	184.9	198.3	183.3	185.2	178.7	182.4	5.70
A ₂	184.9	187.5	185.0	185.8	173.5	178.1	176.1	175.9	5.40
A ₃	196.3	195.4	194.5	195.4	182.8	187.5	187.1	185.8	5.14
B ₁	189.7	192.3	189.9	190.8	180.4	181.8	179.5	180.7	5.59
B ₂	180.5	178.9	178.4	179.3	171.1	170.2	171.0	170.8	4.98
B ₃	196.8	198.5	194.2	196.0	187.9	190.2	186.5	188.2	4.41

从上表 2-4 中可以看出, 同一种双组分纤维与木纤维复合的配比中, 随着木纤维含量的增多, 其回潮率(吸水率)增大, 这说明木纤维/合成纤维复合材料的含水率是随着木纤维的增加而增加的。同时, 两种不同的双组分纤维与木纤维的复合材料中, 相同配比的材料相比, 双组分纤维 COPET/PET 与木纤维复合制成的复合材料明显要比双组分纤维 PE/PET 与木纤维复合制成的材料回潮率要小, 这说明前者在机构上要比后者结合的较为紧密, 不易吸水。分析认为, 重要可能是 COPET/PET 中的皮层熔融较为容易与木纤维进行粘合, 使得水分子不易渗入。

(2) 密度的测定

相关的数据记录及计算如表 2-5 所示。

表 2-5 木纤维/合成纤维复合材料密度的测定

试 样	厚度 (mm)					体积 (cm ³)	质量 (g)	密度 (g/cm ³)
	A 点	B 点	C 点	D 点	平均			
A ₁	2.76	2.83	2.74	2.83	2.79	27.9	25.12	0.9004
A ₂	2.52	2.62	2.58	2.56	2.57	25.7	23.89	0.9296
A ₃	2.66	2.59	2.70	2.65	2.65	26.5	25.88	0.9766
B ₁	2.69	2.68	2.54	2.69	2.65	26.5	24.16	0.9117
B ₂	2.50	2.49	2.52	2.53	2.51	25.1	24.81	0.9884
B ₃	2.52	2.50	2.50	2.52	2.51	25.1	26.95	1.078

从表中的试验测定数据及计算的木纤维/合成纤维复合材料的密度来看，木纤维/合成纤维复合材料的密度随着配方种类和各配比中纤维含量的不同而不同，但从总体上来看，各成品材料的密度都较为接近，没有明显的差异。而且与一般的木纤维/合成纤维复合材料相比，其在数值上也没有太大的差异。他们之间的微小差别，与加工过程中的工艺密切相关。由此可见，密度在本课题的试验当中对与两种木纤维/双组分纤维复合来说，是一个不敏感的性能指标，在进行相关的分析时，只要能达到一定的要求，在一定的程度上，可以不作为分析的要点。

(3) 吸水厚度膨胀率的测定

吸水厚度膨胀率是木纤维/合成纤维主要的性能指标。它的大小在一定程度上，对于木纤维/合成纤维的性能有着举足轻重的影响作用。是衡量轿车内装饰板好坏的重要标准。吸水厚度膨胀率测定的具体数据参见下表 2-6 所示：

表 2-6 木纤维/合成纤维复合材料的吸水厚度膨胀率的测定

样 品 品 编	块	浸前厚度 (mm)			吸湿厚度 膨胀率 (%)
		浸后厚度 (mm)	膨胀厚度 (mm)	膨胀率 (%)	
	A	2.5	3.04	0.54	
A ₁	B	2.5	3.00	0.50	20.8%
	C	2.5	3.02	0.52	

(续前页表 2-6)

	A	2.5	2.90	0.40	
A ₂	B	2.5	2.95	0.46	17.5%
	C	2.5	2.96	0.46	
	A	2.5	2.91	0.42	
A ₃	B	2.5	2.86	0.36	15.3%
	C	2.5	2.88	0.38	
	A	2.5	2.82	0.32	
B ₁	B	2.5	2.89	0.39	14.5%
	C	2.5	2.88	0.38	
	A	2.5	2.81	0.30	
B ₂	B	2.5	2.75	0.25	10.9%
	C	2.5	2.76	0.26	
	A	2.5	2.74	0.24	
B ₃	B	2.5	2.67	0.18	8.5%
	C	2.5	2.72	0.22	

从上表 2-6 可以看出, 用两种双组分纤维和木纤维复合制成的两类复合材料在吸水厚度膨胀率这个指标上都满足一汽大众 JL-VW494 的标准 ($\leq 35\%$), 但是, 他们之间仍然存在着较大的差异, 所以有一定的可比性。首先, 对于同一种双组分纤维与木纤维复合的复合材料中, 随着木纤维含量的增多, 其吸水厚度膨胀率增大, 这说明木纤维/双组分纤维复合材料的吸水厚度膨胀率是随着木纤维的增加而增加的。其次, 两种不同的双组分纤维与木纤维的复合材料中, 相同配比的材料相比, 双组分纤维 COPET/PET 与木纤维复合制成的复合材料明显要比双组分纤维 PE/PET 与木纤维复合制成的材料吸水厚度膨胀率要小。我们都应该知道, PE/PET 纤维的皮层组分 PE 的回潮率要比 COPET/PET 纤维的皮层成分 COPET 略小, 但是从整体来看, 为什么前者的各类配比材料要比后者的各类配比材料的抗吸水性能要好的多。分析其主要原因, 是由于 COPET/PET 中的皮层熔融后较为容易与木纤维进行粘合, 使得水分子不易渗入到复合材料的间隙当中去; 而 PE/PET 中皮层为非极性的烯烃大分子, 与极性木纤维的融合性没有前者

好,因此,使得复合材料之间的微孔增大,容易吸水膨胀。

(4) 吸水后的尺寸稳定性

根据前面所提到的测试方法,然后绘制时间与吸水厚度膨胀率的关系曲线如下图 2-7 所示。

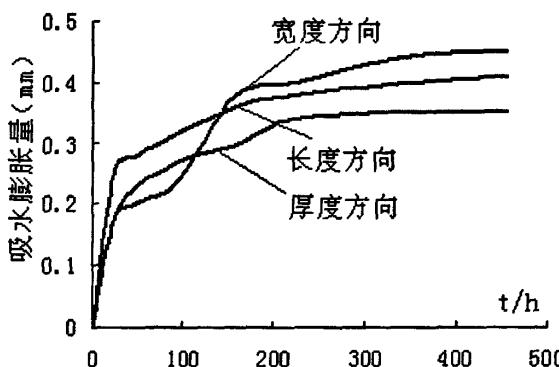


图 2-7 木纤维/合成纤维复合材料的吸水膨胀图

上图 2-7 为木纤维/合成纤维复合材在室温条件下浸泡处理后各个方向上的吸水膨胀率图。在室温下,木纤维/合成纤维复合材料各个方向上的吸水膨胀率都随浸泡时间的增加而增加,但每个方向的变化是不尽相同的(见图 4-2)。经过 456 小时(19 天)的室温浸泡,试样长度方向的变化最小,平均达 1.64%左右,而宽度方向的变化最大,达到了 14%左右,比长度方向增长好多,试样宽度方向居中,达 1.80%左右,比长度方向增长 0.16%。而一般刨花板类的材料在 24 小时后的厚度吸水膨胀率就达到了 10%左右,由此可以看出,我们所制作的木纤维/合成纤维复合材的抗湿胀性能还是比较好的。

同时,由上图还可以看出,当试样开始浸入水中时,各个方向迅速吸水膨胀,宏观上表现出尺寸增加,但随后在长度方向上这种变化相对于宽度和厚度方向趋于缓和,这主要是由于试样在宽度方向和厚度方向的变化对长度方向的变化起到了抑制作用,换言之,这就是试样的泊松效应在起作用。

木纤维/合成纤维复合材料的吸湿长度变化率,是指材料在室温条件下,经过 24 小时的水中浸泡后,测得长度方向上的膨胀量与浸泡

前长度的比值。本课题所开发的复合材料在长度方向上的膨胀率仅为0.008%，符合一汽大众JL-VW494标准(≤ 0.5)，而且要比这个标准的值更为优良很多。

(5) 力学性能测试

运用拉伸试验机测试的数据如下表所示：

表 2-7 木纤维/合成纤维复合材料力学性能的测定

样 试 方 向	尺寸(mm)		最 大力 (N)	断 裂力 (N)	断 裂伸 长 (mm)	最 大 力伸 长 (mm)	最 大 强 度 (KPa)	断 裂 强 度 (KPa)	断 裂 伸 长 率 (%)	
	宽 度	厚 度								
A ₁	顺 纹	10	3.13	295.7	217.6	2.625	2.256	9447.28	6952.08	5.25
	横 纹	10	3.07	235.8	197.3	2.133	2.155	7680.78	6426.71	4.27
A ₂	顺 纹	10	2.74	340.8	305.9	3.763	3.516	12437.96	11114.23	7.53
	横 纹	10	2.74	320.5	296.8	3.585	3.156	11697.08	10832.12	7.17
A ₃	顺 纹	10	2.82	472.4	382	3.951	3.701	16751.77	13546.10	7.90
	横 纹	10	2.75	446.1	332.1	3.829	3.446	16221.82	12076.36	7.66
B ₁	顺 纹	10	2.65	289.4	269.7	3.268	3.017	10920.75	10177.36	6.54
	横 纹	10	2.66	238.2	183.8	1.709	1.601	8954.89	6909.77	3.42
B ₂	顺 纹	10	2.60	421.0	335.9	4.031	3.726	16192.31	12919.23	8.06
	横 纹	10	2.54	253.2	202.9	3.207	2.907	9968.50	7988.19	6.41
B ₃	顺 纹	10	3.08	485.5	404.2	4.549	4.319	15762.99	13123.38	9.10
	横 纹	10	3.09	451.0	385.7	3.980	3.598	14595.47	12482.20	7.96

从上表 2-7 可以看出，各种配方的材料，其顺纹强度要比横纹强度大，而对于同种双组分纤维与木纤维复合的、不同配比的材料来说，木纤维含量多的木纤维/双组分纤维复合材料要比木纤维含量少的力学性能相比较为弱，这主要是双组分纤维相应的增加，促使复合材料的强力增大；而在伸长率方面，木纤维含量多的木纤维/合成纤维复合材料反而较木纤维含量少的为低，分析这主要可能是木纤维含量虽然少了，而复合材料中柔性的双组分纤维含量却相应增加了，因而伸

长增大。从总体来看，两类复合材料 A_i 和 B_i 在顺纹及横纹强度方面也存在一定的差异， B_i 类材料在顺纹断裂强度和横纹断裂强度上都较 A_i 类材料较为优良，分析认为，主要是 COPET/PET 纤维与木纤维复合的更好的缘故；在断裂伸长方面， B_i 类材料的断裂伸长较小，估计主要是因为 COPET/PET 与木纤维两相纤维之间粘合更加紧密，因而木纤维与合成纤维之间在受到外力作用时很难发生较大的变形。作为木纤维/合成纤维的一个重要性能指标，木纤维/合成纤维复合材料的力学性能会在单因子试验中进行进一步的分析。

接下来，在强力的试验中随机抽出一例比较显著的试样，做出其顺纹和横纹的强力曲线图如下图 2-8 所示，其他的试样的强力图和此类似，因此就对其中的一例做一简单的分析。

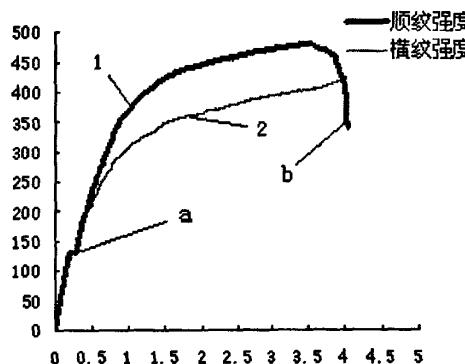


图 2-8 木纤维/合成纤维复合材料的拉伸应力曲线

如上图 2-8 所示，从图中的曲线来看，也可以知道顺纹的强力大于横纹的强力，而且从曲线刚开始一段的趋势来看，木纤维/合成纤维复合材料也有种相当大的弹性模量。我们从图中可以发现，顺纹强力曲线在上升过程中，在 a 点出现一个拐点，对于这种现象，我们分析可能是拉伸过程中，纤维和纤维之间互相缠结而产生了相对自锁，因此，纤维与纤维之间在受力时出现了相对的滑移现象，这个时候，伸长就会增加，因此在力学曲线图上会产生一个拐点。在强力达到最大后，开始下降的现象，如图中 b 段部分所示，那是因为木纤维/合成纤维复合材料中含有的皮芯式双组分纤维，经过热压后与木纤维粘

合在一起，因此，在达到最大力后，其中的粘合部分先断裂，然后脆性部分再断，因此受力突然下降，断裂力降低，而伸长保持不变。就会出现图中 b 段所示的现象。

(6) 静曲强度

试验的整个数据及计算结果参见下表 2-8：

表 2-8 木纤维/合成纤维复合材料静曲强度的测试

试 块		尺寸 (mm)		支座距离	压力	强度 N/mm ²	
样	块	宽度	厚度	(mm)	(N)	试件	平均
A ₁	A	50	3.06	50	269.2	43.12	
	B	50	3.08	50	230.6	36.47	38.89
	C	50	3.18	50	250.0	37.08	
A ₂	A	50	2.58	50	189.0	42.58	
	B	50	2.58	50	163.1	41.25	40.35
	C	50	2.83	50	198.7	37.22	
A ₃	A	50	2.88	50	257.6	46.59	
	B	50	2.82	50	261.0	49.23	47.59
	C	50	2.75	50	236.7	46.95	
B ₁	A	50	2.66	50	185.1	39.23	
	B	50	2.63	50	193.9	42.05	40.31
	C	50	2.67	50	188.4	39.64	
B ₂	A	50	2.52	50	212.2	50.12	
	B	50	2.56	50	202.6	46.37	48.01
	C	50	2.60	50	214.3	47.55	
B ₃	A	50	3.30	50	369.5	50.90	
	B	50	3.09	50	348.8	54.79	52.11
	C	50	3.19	50	343.6	50.65	

从上表 2-8 中可以看出，对于同一种双组分纤维与木纤维的复合材料中，随着木纤维含量的增多，其静曲强度反而减小。总体来看，两类复合材料 A_i 和 B_i 的静曲强度在一定程度上都复合一汽大众 JL-VW49 标准 ($\geq 40 \text{ MPa}$)，但是它们之间依然存在明显的可比性。A_i 类材料与 B_i 类材料相比，在配比相同的情况下，后者要比前者的静

曲强度更大，这证明 B_i 类材料是更为优良的材料，这正是我们所期待的。出现这种情况，分析其主要的原因还是其中的双组分纤维 COPET/PET 能够更好的与木纤维结合的缘故。

除此之外，木纤维/合成纤维复合材料的静曲强度还与其中的木纤维、胶粘剂以及成型工艺都有密切的联系。

2.2.3 试验结果的单因子分析

根据上面对各项测试指标的分析，选取了其中具有标志性的性能指标：回潮率、静曲强度、吸水厚度膨胀率和力学强度做单因子方差分析。

首先，参见两种双组分纤维与木纤维复合材料的对比试验结果，如下页表 2-9 所示。

表 2-9 两种双组分纤维与木纤维复合板对比试验结果

类别	序号	密度 (g/cm ³)	回潮率 (%)	吸水厚度 (mm)	静曲 强度 (N/mm ²)	最大强度 (KPa)	最大力伸长 (mm)	断裂强度 (KPa)			断裂伸长率 (%)
								横纹	顺纹	横纹	
木纤维与 PE/PET	A ₁	0.9004	8.72	20.8	38.89	9447.28	7680.78	2.256	2.155	6952.08	6426.71
双组分纤 维复合	A ₂	0.9296	5.64	17.5	40.35	12437.96	11697.08	3.516	3.156	11114.23	10832.12
	A ₃	0.9766	5.14	15.3	47.59	16751.77	16221.82	3.701	3.446	13546.10	12076.36
木纤维与 PET/PET	B ₁	0.9117	5.59	14.5	40.31	10920.75	8954.89	3.017	1.601	10177.36	6909.77
双组分纤 维复合	B ₂	0.9884	4.98	10.9	48.01	16192.31	9968.50	3.726	2.907	12919.23	7988.19
	B ₃	1.078	4.41	8.5	52.11	15762.99	14595.47	4.319	3.598	13123.38	12482.20

表 2-9 中两类原料配比的试验方差分析见下表群 2-10。表 2-10 中各性能指标的单因子分析都是借助统计分析软件 SPSS 中的来完成的^[40]。

表 2-10 两种双组分纤维与木纤维复合板的性能对比试验方差分析

回潮率单因子方差分析

变源	平方和	自由度	均方	F
组间	3.713	1	3.713	1.881
组内	7.897	4	1.974	
总和	11.610	5		

注: 显著水平 $\alpha = 0.25$, $F_{\alpha=0.25}(1, 4) = 1.81$

吸水厚度膨胀率单因子分析

变源	平方和	自由度	均方	F
组间	64.682	1	64.682	7.708
组内	33.567	4	8.392	
总和	98.248	5		

注: 显著水平 $\alpha = 0.10$, $F_{\alpha=0.10}(1, 4) = 4.54$

静曲强度单因子分析

变源	平方和	自由度	均方	F
组间	35.527	1	35.527	
组内	67.660	4	16.915	2.100
总和	103.186	5		

注: 显著水平 $\alpha = 0.25$, $F_{\alpha=0.25}(1, 4) = 1.81$

顺纹断裂强度单因子分析

变源	平方和	自由度	均方	F
组间	3579857.732	1	3579857.732	0.514
组内	27846479.140	4	6961619.785	
总和	31426336.872	5		

注: 显著水平 $\alpha = 0.25$

顺纹断裂强度单因子分析

变源	平方和	自由度	均方	F
组间	637023.717	1	637023.717	0.073
组内	35095135.750	4	8773783.937	
总和	35732159.467	5		

注：显著水平 $\alpha = 0.25$

表 2-9 和表 2-10 进一步表明，木纤维与皮芯式双组分纤维 COPET/PET 的复合材料板在静曲强度方面高于木纤维与皮芯式双组分纤维 PE/PET 复合而成的材料板，而其吸水厚度膨胀率和回潮率却低于后者。在一定程度上，我们已经可以看出哪一类材料的优良性。同时，从表 2-10 可以看出，静曲强度的方差分析 $F=2.100 > F_{\alpha=0.25}(1, 4) = 1.81$ ，说明双组分纤维的不同对静曲强度有着显著的影响，再由回潮率和吸水厚度膨胀率的方差分析 $F=1.881 > F_{\alpha=0.25}(1, 4) = 1.81$ 和 $F=7.708 > F_{\alpha=0.10}(1, 4) = 4.54$ ，也同样可以看出配比原料中的双组分纤维的不同，导致它们与木纤维的结合机理也存在较大的差异，因此制成的复合材料板的回潮率和吸水厚度膨胀率都有着很显著的影响。我们再看看顺纹断裂强度和横纹断裂强度的方差分析，可以看出虽然它们的 F 值都小于 $F_{\alpha=0.25}(1, 4) = 1.81$ ，表明在之间的相差不大，但是我们从表 2-9 中可以看出，不同类配比的同种配方间还是有很大差异的，总体上来说，还是木纤维与皮芯式双组分纤维 COPET/PET 复合所制成的复合材料板性能占优。

因此，在下面要进行的二因子正交实验设计中，我们选用木纤维与皮芯式双组分纤维 COPET/PET 的复合这一类配比作为第二阶段的主要研究对象。

2.3 正交试验设计

2.3.1 正交试验的前期试验准备

正交试验的前期工艺路线和单因子试验的工艺路线是一致的。不同的是，试验的配方不一样：我们通过对单因子试验的结果对比分析找出较为合适的一组，然后利用正交试验方案来设计和评价配比方案。

2.3.2 正交试验的主要工作

按照 COPET/PET 双组分纤维与木纤维配方中的原料配比不同，

以及是否添加胶粘剂及添加的胶粘胶的比例不同,一共策划了9个试验方案,并按照前面章节中所描述的试验步骤,做出产品,然后进行性能测试。最后,利用性能指标的测试结果,进行两因子正交试验设计,通过对数据进行处理和优化,找出原料配比及复合工艺与木纤维/合成纤维复合材料性能之间的关系。

前面第一阶段中,对于COPET/PET双组分纤维与木纤维复合的材料中我们已经做过了胶粘剂含量为5%的几个配方,现在只要补作没有添加胶粘剂和添加的胶粘剂为2.5%时的几个配方,与前面的综合起来,就可以形成一个两因子正交试验方案。因此,两因子正交设计方案总的结构如下框图2-9所示:

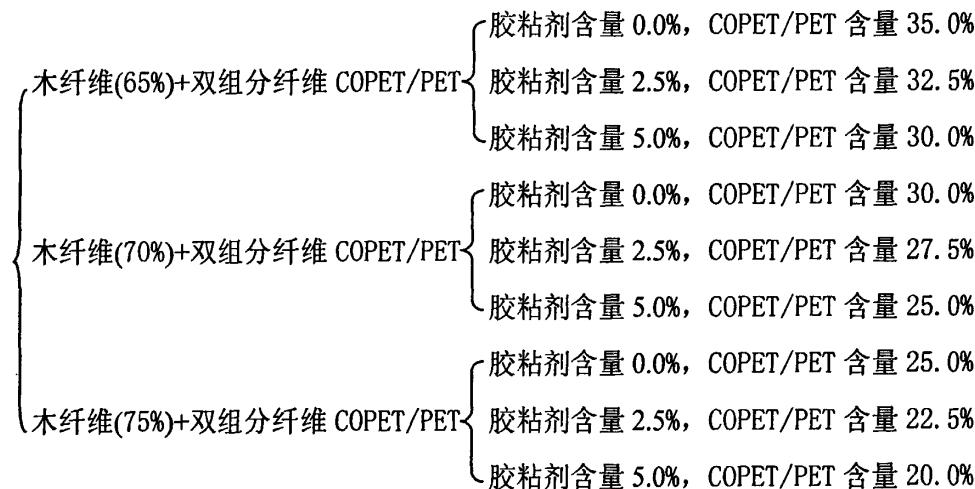


图 2-9 正交试验设计框图

由上面的框图可以看出,两因子正交试验中复合材料的试样的制备步骤、工艺和单因子试验中样品的制备步骤及工艺都相似,不同的只是在改变配方中原料的含量、丙烯酸酯胶粘剂的含量和具体操作时的一些参数,由于前面已经详细的叙述了样品制备步骤,这里就不在赘述。

此外,我们还需要在所实际的试样中添加阻燃剂,以便同没有添加阻燃剂的材料进行比较,分析添加阻燃性后的木纤维/合成纤维的抗燃烧性能。添加阻燃剂的环节是上述所有的配方在针刺制成毡坯之后。

考虑到坯料本身的因素和性质，我们所添加的阻燃剂带液量，不能够达到 80~90%，这样会使坯料的吸湿处于饱和状态，没有办法继续吸收多余的阻燃剂，还会因此不停的滴液，最后可能导致成品的强力损失。因此，这里用的阻燃剂的带液量处于 40% 即可。这样既可以使喷洒在毡坯表面的阻燃剂完全吸收，起到阻燃效果，又不影响成品的各项性能指标。毡坯上喷洒胶粘剂的含量根据下式进行计算：

$$\text{针刺毡坯上喷洒的胶粘剂量} = \text{针刺毡坯的质量} \times 40\%$$

喷洒好阻燃剂后，将毡坯放在通风的地方自然晾干，并进行预烘，然后就可以热压成型了。接下来，要做的就是，将压制好的成品样本裁剪到要测试的各指标所规定的尺寸，再进行相关的性能测试，记录相关的数据(详见附录二中的附表 9-12)。最后，进行数据的处理分析。

2.3.3 所选配方的正交试验设计^[41, 42]

而第二阶段的试验主要就是要看原料配比的变化以及是否添加胶粘剂和添加胶粘剂的多少对木纤维/合成纤维复合板的各项性能的影响关系。

1) 编码及制定因素水平表

确定木纤维的含量(%)S 在 65 到 75 之间变化。丙烯酸酯胶粘剂的含量 P 在 0 到 5 之间变化，其编码公式可以写成为：

$$x_1 = \frac{2(S - 70)}{75 - 65}, \quad x_2 = \frac{2(P - 2.5)}{5 - 0} \quad (\text{式 2-6})$$

由式 2-6 可知，当 S=75, 70, 65 时，x₁=1, 0, -1；

同理，当 P=5, 2.5, 0 时候，x₂=1, 0, -1，见下表 2-11 因子水平编码表。

表 2-11 因子水平编码表

因素	木纤维含量 (%)	胶粘剂含量 (%)
编码记号	x_1	x_2
基准水平 (0)	70	2.5
变化间距	5	2.5
上水平	75	5
下水平	65	0

2) 试验结果

首先对原数据进行剔除异常值处理、正态性检验以及方差一致性检验。检验结果表明, 剔除异常值后的每个方案各指标数据均在不同程度上满足正态性, 方案间相应指标数据也都在不同程度上满足方差一致性, 然后分别求取各方案指标数据的平均值, 结果如下表 2-12 所示:

表 2-12 试验结果

试验序号	回潮率	吸水厚度 膨胀率	静曲强度	断裂强度 (MPa)	
				顺纹	横纹
1	4.50	18.9	50.42	15.35	10.43
2	6.28	22.4	48.04	9.85	7.85
3	9.62	21.9	39.77	7.75	7.04
4	4.82	13.6	51.45	12.96	9.54
5	5.74	9.8	41.59	10.34	8.35
6	6.34	17.3	42.34	8.58	6.65
7	4.41	8.5	52.11	13.12	12.48
8	4.98	10.9	48.01	12.92	7.99
9	5.59	14.5	40.31	10.18	6.91

3) 试验方案及求解回归方程

根据前面所述, 认为木纤维可以通过胶粘剂改性, 则认为木纤维的含量 S 与 烯酸酯胶粘剂含量 P 之间可能存在交互作用, 故将 x_1 和 x_2 分别放在 $L_9(3^4)$ 中的第 2 列和第 1 列上(并把表中的 1、2 和 3, 改写成 -1, 0 和 1) 为估计常数项在第 1 列前面添加 x_0 列, 取值皆为 1, 试验设计方案和计算结果如下页表 2-13 所示。

表 2-13 试验方案及数据处理

试验号	设计矩阵		自变量系数矩阵		试验数据		平方值	
	X_1	X_2	X_0	X_1	X_2	$X_3 = 3(X_1^2 - \frac{2}{3})$	$X_4 = 3(X_2^2 - \frac{2}{3})$	
1	-1	-1	1	-1	-1	1	1	50.42
2	0	-1	1	0	-1	-2	1	48.04
3	1	-1	1	1	-1	1	1	2542.1764
4	-1	0	1	-1	0	1	-2	2307.8416
5	0	0	1	0	0	-2	-2	1581.6529
6	1	0	1	1	0	1	-2	2647.1025
7	-1	1	1	-1	1	1	-2	1729.7281
8	0	1	1	0	1	-2	1	41.59
9	1	1	1	1	1	1	-1	42.34
B_j	414.04	-31.56	2.2	1.12	7.9	-1.15	1792.6756	
d_j	9	6	6	18	18	4	2715.4521	
b_j	46.0	-5.26	0.37	0.06	0.44	-0.29	1624.8961	
B_j^2	171429.1216	996.0336	4.84	1.2544	62.41	1.3225	2304.9601	
Q_j	19047.6802	166.0056	0.81	0.07	3.4672	0.3306	19246.4854	
							$(j=0, 1, 2, 3, 4, 5)$	

在上表 2-13 中为了消除 x_0 与 x_j^2 (下标 $j=1, 2, \dots, 9$ 已省略) 的相关性, 可以使相关矩阵用“中心化方法”化为对角阵, 即用 x_3 及 x_4 来代替 x_j^2 , 在本试验中, 将

$$x_3 = x_1^2 - \frac{1}{9} [(-1)^2 + 0^2 + \dots + 1^2] = x_1^2 - \frac{2}{3}$$

再分别扩大 3 倍

$$x_3 = 3(x_1^2 - \frac{2}{3}), \quad x_4 = 3(x_2^2 - \frac{2}{3})$$

下面用回归分析的矩阵表达式, 说明表 2-13 中的回归系数中的回归系数的计算方法的基本原理。

$$X' Y = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ -1 & 0 & 1 & -1 & 0 & 1 & -1 & 0 & 1 \\ -1 & -1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & -2 & 1 & 1 & -2 & 1 & 1 & -2 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & -2 & -2 & -2 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \\ y_4 \\ y_5 \\ y_6 \\ y_7 \\ y_8 \\ y_9 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^9 x_{0i} y_i \\ \sum_{i=1}^9 x_{1i} y_i \\ \sum_{i=1}^9 x_{2i} y_i \\ \sum_{i=1}^9 x_{3i} y_i \\ \sum_{i=1}^9 x_{4i} y_i \\ \sum_{i=1}^9 x_{5i} y_i \end{bmatrix}$$

又

$$X' X = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ -1 & 0 & 1 & -1 & 0 & 1 & -1 & 0 & 1 \\ -1 & -1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & -2 & 1 & 1 & -2 & 1 & 1 & -2 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & -2 & -2 & -2 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & -1 & -2 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 \\ 1 & -1 & 0 & 1 & -2 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & -2 & -2 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & -2 & 0 \\ 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 \\ 1 & 0 & 1 & -2 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} 9 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 6 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 6 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 18 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 18 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 4 \end{bmatrix}, \text{故 } (X' X)^{-1} = \begin{bmatrix} \frac{1}{9} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{6} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{6} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{18} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{18} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{4} \end{bmatrix}$$

所以，

$$b = \begin{bmatrix} b_0 \\ b_1 \\ b_2 \\ b_3 \\ b_4 \\ b_5 \\ b_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{9} \sum_{i=1}^9 x_{0i} y_i \\ \frac{1}{6} \sum_{i=1}^9 x_{1i} y_i \\ \frac{1}{6} \sum_{i=1}^9 x_{2i} y_i \\ \frac{1}{18} \sum_{i=1}^9 x_{3i} y_i \\ \frac{1}{18} \sum_{i=1}^9 x_{4i} y_i \\ \frac{1}{4} \sum_{i=1}^9 x_{5i} y_i \end{bmatrix}$$

其中 y_i ($i=1, 2, \dots, 9$) 是试验结果，为了使得计算表格化，在表 2-13 中，令

$$B_j = \sum_{i=1}^9 x_{ji} y_i$$

$$d_j = \sum_{i=1}^9 x_{ji}^2 \quad (j=0, 1, 2, 3, 4, 5)$$

由此，得回归系数得计算公式如下

$$b_j = \frac{B_j}{d_j} \quad (j=0, 1, 2, 3, 4, 5)$$

此外，为了下面对回归公式的统计分析，设偏回归系数为

$$Q_j = \frac{B_j^2}{d_j} \quad (j=0, 1, 2, 3, 4, 5)$$

具体的计算结果详见表 2-13。在表 2-13 中, B_j 这一行的每个数是相应的列与试验数据 y 这一列的乘积之和, 如

$$B_0 = 1 \times 49.42 + 1 \times 48.04 + \dots + 1 \times 43.31 = 414.04$$

$$B_1 = (-1) \times 49.42 + 0 \times 48.04 + \dots + 1 \times 43.31 = -31.56$$

...

$$B_5 = (-1) \times 49.42 + 0 \times 48.04 + \dots + 1 \times 43.31 = -1.15$$

d_j 这一行的每个数是相应的所在列上各个数平方的和, 如

$$d_0 = 1^2 + 1^2 + \dots + 1^2 = 9;$$

$$d_1 = (-1)^2 + 0^2 + \dots + 1^2 = 6$$

...

$$d_5 = 1^2 + 0^2 + \dots + 1^2 = 4$$

通过 B_j 和 d_j 可以很方便的计算 b_j , 详见表 2-13, 由此可得回归方程如下式 2-7:

$$\hat{y} = 46 - 5.26x_1 + 0.37x_2 + 0.06[3(x_1^2 - \frac{2}{3})] + 0.44[3(x_2^2 - \frac{2}{3})] - 0.29x_1x_2 \quad (式 2-7)$$

使用同样的方法, 求得各个评定指标的回归方程如表 2-14 所示,

表 2-14 回归方程

指标	回归方程
回潮率	$\hat{y} = 5.81 + 1.30x_1 - 0.9x_2 + 0.08[3(x_1^2 - \frac{2}{3})] + 0.09[3(x_2^2 - \frac{2}{3})] - 1.31x_1x_2$
吸水厚度膨胀率	$\hat{y} = 15.31 + 2.12x_1 - 4.88x_2 + 0.47[3(x_1^2 - \frac{2}{3})] + 0.87[3(x_2^2 - \frac{2}{3})] + 0.75x_1x_2$
静曲强度	$\hat{y} = 46 - 5.26x_1 + 0.37x_2 + 0.06[3(x_1^2 - \frac{2}{3})] + 0.44[3(x_2^2 - \frac{2}{3})] - 0.29x_1x_2$
顺纹断裂强度	$\hat{y} = 11.23 - 2.49x_1 + 0.55x_2 + 0.10[3(x_1^2 - \frac{2}{3})] + 0.3[3(x_2^2 - \frac{2}{3})] + 1.17x_1x_2$
横纹断裂强度	$\hat{y} = 8.58 - 1.98x_1 + 0.34x_2 + 0.26[3(x_1^2 - \frac{2}{3})] + 0.2[3(x_2^2 - \frac{2}{3})] - 0.55x_1x_2$

4) 回归方程的方差分析

对回归方程做如下分析, 见下表 2-15。

表 2-15 回归方程的显著性检验

指标	平方和	自由度	统计量 F。	显著性
回潮率	$S_a = 20.415$	8		
	$S_{\text{回}} = 19.230$	5	$F = 9.74$	$F > F_{a=0.05}(5, 3) = 9.01$
	$S_{\text{剩}} = 1.185$	3		
吸水厚度	$S_a = 210.31$	8		
	$S_{\text{回}} = 189.91$	5	$F = 5.59$	$F > F_{a=0.10}(5, 3) = 5.31$
	$S_{\text{剩}} = 20.4$	3		
静曲强度	$S_a = 198.8052$	8		
	$S_{\text{回}} = 170.6834$	5	$F = 3.64$	$F > F_{a=0.25}(5, 3) = 2.41$
	$S_{\text{剩}} = 28.1218$	3		
顺纹断	$S_a = 49.33$	8		
	$S_{\text{回}} = 46.10$	5	$F = 8.56$	$F > F_{a=0.10}(5, 3) = 5.31$
	$S_{\text{剩}} = 3.23$	3		
横纹断	$S_a = 29.3742$	8		
	$S_{\text{回}} = 27.24$	5	$F = 7.67$	$F > F_{a=0.10}(5, 3) = 5.31$
	$S_{\text{剩}} = 2.1342$	3		

依然以静曲强度为例:

$$S_a = \sum_{i=1}^9 y_i^2 - \frac{B_0^2}{N} = 19246.4854 - 19047.6802 = 198.8052$$

回归平方和等于各偏回归系数之和, 即

$$S_{\text{回}} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots + Q_5 = 170.6834, \quad f_{\text{回}} = C_{p+2}^2 - 1 = 5$$

所以, 剩余平方和为

$$S_{\text{剩}} = S_a - S_{\text{回}} = 198.8052 - 170.6834 = 28.1218$$

F 比为

$$F = \frac{S_{\text{回}}/f_{\text{回}}}{S_{\text{剩}}/(N-f_{\text{回}}-1)} = \frac{34.1367}{9.3739} = 3.64$$

查 F 分布表, $F_{a=0.25}(5, 3) = 2.41$, 则 $F = 3.64 > F_{a=0.25}(5, 3) = 2.41$, 说明回归方程在 $a = 0.25$ 水平上显著。

对表 2-14 进行简单的整理和运算, 得到下表 2-16 的有效回归方

程形式：

表 2-16 有效回归方程

指标	回归方程
回潮率	$\hat{y}_{\text{回潮率}} = 5.47 + 1.30x_1 - 0.9x_2 + 0.24x_1^2 + 0.27x_2^2 - 1.31x_1x_2$
吸水厚度膨胀率	$\hat{y}_{\text{吸水厚度膨胀率}} = 12.63 + 2.12x_1 - 4.88x_2 + 1.41x_1^2 + 2.61x_2^2 + 0.75x_1x_2$
静曲强度	$\hat{y}_{\text{静曲强度}} = 45 - 5.26x_1 + 0.37x_2 + 0.18x_1^2 - 1.32x_2^2 - 0.29x_1x_2$
顺纹断裂强度	$\hat{y}_{\text{顺纹}} = 10.43 - 2.49x_1 + 0.55x_2 + 0.3x_1^2 + 0.9x_2^2 + 1.17x_1x_2$
横纹断裂强度	$\hat{y}_{\text{横纹}} = 7.66 - 1.98x_1 + 0.34x_2 + 0.78x_1^2 + 0.6x_2^2 - 0.55x_1x_2$

5) 参数优化的数学模型及求解

(1) 数学模型

通过最优化试验设计求得的变量因子与考察指标之间的回归方程，用目标规划法建立如下的优化数学模型：

目标函数：选取回潮率 $f_1(x) = \hat{y}_{\text{回潮率}}$ 、吸水厚度膨胀率 $f_2(x) = \hat{y}_{\text{吸水厚度膨胀率}}$ 和静曲强度 $f_3(x) = \hat{y}_{\text{静曲强度}}$ 为目标函数。

约束函数：其他两个回归方程则为约束函数。

求 $x = [x_1, x_2]^T \in \mathbb{R}^2$ ，使得

\min

$$f(x) = \min \{ [f_1(x)/f_1^{(0)} - 1]^2 + [f_2(x)/f_2^{(0)} - 1]^2 + [f_3(x)/f_3^{(0)} - 1]^2 \}$$

受约束于

$$g_1 = 1 + x_1 \geq 0 \quad g_2 = 1 - x_1 \geq 0$$

$$g_3 = 1 + x_2 \geq 0 \quad g_4 = 1 - x_2 \geq 0$$

$$g_5 = 1 - x_2 \geq \hat{y}_{\text{顺纹}}(x) - \hat{y}_{\text{顺纹}}(x_0) \geq 0$$

$$g_6 = 1 - x_2 \geq \hat{y}_{\text{横纹}}(x) - \hat{y}_{\text{横纹}}(x_0) \geq 0$$

其中， $f_i^{(0)}$ 为试验范围内相应指标的理想最优值，在此分别取回潮率：4.45%；静曲强度：51.60MPa；吸水厚度膨胀率：9.0%。

极限值的选取：

$$\hat{y}_{\text{顺纹}}(x_0) = 15.35 \text{ MPa}$$

$$\hat{y}_{\text{横纹}}(x_0) = 12.48 \text{ MPa}$$

(2) 优化模型的求解

采用随机方向搜索法进行求解, 为求全域最优解, 选择了多个不同可行初始点进行求解, 并进行比较, 求解得:

$x_1 = -0.972$ 解码得: 木纤维含量: 65.14%

$x_2 = 0.736$ 胶粘剂含量: 4.34%

6) 优化结果验证 (略)

有关各性能指标与因子之间关系的曲面图请参见附录三。

通过对所制得的木纤维/合成纤维复合板的各项性能指标进行单因子和正交试验分析, 综上所述, 我们先简单的讨论一下木纤维/合成纤维复合材料生产配方与工艺对其各项性能指标的影响。

2.3.4 工艺与性能的关系

2.3.4.1 原料配比与性能的关系^[43, 44]

2.3.4.1.1 木纤维含量对材料性能的影响

通过前面章节中的分析, 我们知道, 木纤维/合成纤维复合材料的静曲强度和断裂强度随木纤维含量的增加而降低。这是因为木纤维含量的增加, 导致应力集中的几率增大, 结果静曲强度和断裂强度下降。同时, 从各性能指标的测试结果数据表中也可以看出, 材料的吸水性随木纤维的含量的增大而增大, 这是由于木纤维本身就具有较好的吸水性能所致。

木纤维具有较高的机械强度和弹性; 木素具有较好的硬度和刚性, 它们在复合材料中都可以起到增强复合材料硬度的作用。木纤维的比表面积和空隙率都很大, 使得木纤维与热塑性材料及胶粘剂之间存在很大的接触面积。由于界面之间存在有偶极定向力、诱导偶极力和色散力, 异向的复合过程便是依靠这种电场的界面结合力而牢固结合。

2.3.4.1.2 双组分纤维对复合材料性能的影响

本课题研究的木纤维/合成纤维复合材料的塑性成分是皮芯式双组分纤维, 我们都知道皮芯式双组分纤维的特征: 因为皮芯式双组分纤维的皮层和芯层之间存在着温度差, 因此, 皮芯式双组分纤维的皮

层在温度较高的时候(低于芯层组分的温度)就会熔融,在木纤维/合成纤维复合材料中,作为一种粘结成分,从而比较节省资源;同时,在材料热压过程中,双组分成分还能保留另一种组分(芯层),这部分对复合材料的强度和伸长有着重要的作用^[45]。与单组分相比,后者在纤维熔融以后,无法保证完整纤维的确切比例,而本课题使用的双组分纤维可以保留完整的纤维比例达到50%。芯层部分与木纤维通过介质粘合在一起。这样,既可以增强复合材料的界面复合力,增加所压制成品的力学强度,同时因为热塑熔融机质渗透到木纤维分子中,使得界面之间的结合更加紧密,所以降低了成品材料的吸水性。

从本课题做的试验来看,皮芯式双组分纤维PE/PET与木纤维复合制成的材料在性能上相比皮芯式双组分纤维COPET/PET与木纤维复合制成的材料在有些性能指标上虽然都符合相关的要求,都有一定的价值。但是在优良的程度上它们之间仍然存在一定的差距,有着极性皮层组分的COPET/PET纤维显然与木纤维复合的更好一些。

不仅不同的双组分纤维与木纤维形成的木纤维/合成纤维复合材料,其在性能上也有很大的差异,同一种双组分纤维,采用不同配比和木纤维复合时,其性能也有显著的差异。这一点可以从上面的试验结果中我们都已经看出来了。

除此之外,双组分纤维作为一种软质的纤维,在与木纤维复合的过程中,可以增加复合材料的韧性以及增加材料的延伸性,同一种双组分纤维与木纤维复合时,双组分纤维越多,其强度和伸长也就越大就能很好的说明这一点。因为复合材料种有双组分纤维的存在,使得制成的材料比较容易弯曲、有韧性,所以可以因形而异,制作用途不同的各种曲面材料,特别是具有深度弯曲的一些曲面材料。

2.3.4.1.3 助剂对材料性能影响

助剂包括增塑剂、稳定剂、润滑剂和加工改性剂等等。他们对材料的影响当然是有的,但是,助剂的组分与用量跟废旧塑料的性质、老化程度及其在配方中的用量直接相关。因此,复合材料性能与助剂组分、用量的关系难于一概而论^[46]。本课题研究的木纤维/合成纤维复合材料,由于试验条件的限制,除了使用丙烯酸酯胶粘剂以外,没

有使用其他任何助剂。因为材料购买困难，不易寻求。所以，这里也不再赘述。至于胶粘剂的作用，本课题主要是用作偶联剂，来改善木纤维与合成纤之间的界面相容性，这一点会在后面的 2.3.5 节中详细的论述。

2.3.4.2 成型工艺对材料性能的影响

木纤维/合成纤维复合材料根据用途不同可以加工成不同的型材，本课题采用的直接压制成型技术的关键在于控制好热压过程中的压力及时间，掌握好要压制成型材料的厚度。由于木纤维/合成纤维复合材料在成型前是较厚实的柔性毡坯材料，要压制出一定厚度的浓缩硬质板。因此，在材料的成型过程中应确保施加足够大的压力、压制足够长的时间。此外，由于木纤维中含有一定量的水分，还要适时的开闸放出水汽。为此，我们在设计过程中，通过用废料做试验，总结出来一个热压曲线图(图 2-6)。结果证明，这样的压制方法可以压制出接近要求厚度的木纤维/合成纤维复合材料板。

2.3.5 胶粘剂对界面相容性的影响

2.3.5.1 使用胶粘剂的原因

在木纤维/合成纤维复合材料中，亲水的极性木纤维表面与憎水的热塑性材料表面的复合界面之间的粘合性是极为重要的影响因素，它直接影响所得到的复合材料的品质。由于木纤维在木纤维/合成纤维复合的过程中并不会产生熔化现象，所以在木纤维与热塑性纤维之间相容性的优劣即可反映木纤维/合成纤维复合性能的优劣。为了使木纤维/合成纤维复合材料具有最佳的综合性能，必须通过对作为基体的木纤维表面进行改性或对热塑性合成纤维进行改性或引入某种界面偶合剂，使之在复合过程中有利于异质材料之间表面容易融合和分散，使所得复合材料的界面具有适当的粘结性和均匀的分散性，以形成稳定、牢固、均匀的界面层。

复合材料的力学性质可以间接地提供复合界面行为的信息，如果在纤维与热塑性合成纤维之间没有充分的粘合，他们之间的界面层就容易受到水分的破坏，从而使强度降低，所以，复合材料的强度性质最好在干燥和浸湿两种条件下测定来进行比较。本课题因为试验时间

和相关条件的制约，只就干燥时候的强力进行了测量。

木纤维/合成纤维复合材料的韧性通常随着界面粘合性能的增加而增加。界面结合的薄弱点可能就是复合材料最容易断裂的部位。根据研究资料表明，在木纤维/合成纤维复合材料中加入偶联剂可以改善木纤维/合成纤维两种材料界面的融合效果，提高复合材料的抗张强度、抗冲击强度合弹性模量等力学性质^[47]。但偶联剂的加入并不能使木纤维和热塑性合成纤维两相界面之间达到完全、均匀的融合，因此，研制出的复合材料在一定程度上存在差异性，但是这种差异不会太大。

由于我们采用的热塑性纤维是皮芯式的双组分纤维，皮层在温度较高时会熔化，所以本课题决定采用改性木纤维的试验方法，对木纤维表面进行改性处理，使得两种材料表面的极性和溶解度相近，在复合过程中使两界面实现分子间的融合，从而改善两界面间的粘合性能。我们选用丙烯酸酯乳液型胶粘剂作为偶联剂，对木材表面进行酯化处理。这样既可以消除在木纤维表面与热塑性纤维表面的相斥性，又可以消除在木材表面之间的氢键效应，增加木纤维在热塑性材料中的分散性^[48]。但如何使木纤维表面达到最佳的酯化处理程度，还需对在不同处理过程中木纤维表面各化学组分的酯化程度和结构稳定性以及处理后的界面特征进行研究以确定采用何种处理方法。

综上所述，改善木纤维与热塑性合成纤维复合界面的相容性是研制质量稳定的木纤维/热塑性合成纤维复合材料的最终解决办法。但是由于构成木纤维材料的各化学组分在分布和结构上的差异，他们在化学反应活性和稳定性的方面也各不相同，因而在进行木纤维材料表面的酯化处理上，所表现出的化学性质也各不相同。

本课题通过对木纤维改性前和改型后的红外光谱图分析，从而更深层次的讨论丙烯酸酯胶粘剂对木纤维/合成纤维复合材料的性能影响情况。

2.3.5.2 红外光谱分析

对未改性的木纤维和改性的木纤维，使用美国 Nicolet NEXUS-670 型傅立叶红外光谱仪 (FTIR)，采用 KBr 压片法测定。首先用

哈氏切片器将经过处理的两种纤维切成粉末状,称取 2mg 与 250mg KBr 充分混合,经反复研磨后转于模具中,抽成真空并加 13Tons 的压力,制成透明压片。测试条件:光谱范围 $4000\sim400\text{cm}^{-1}$, 分辨率 4cm^{-1} , 重复扫描次数 32 次。其测试图谱如下图 2-10 所示。

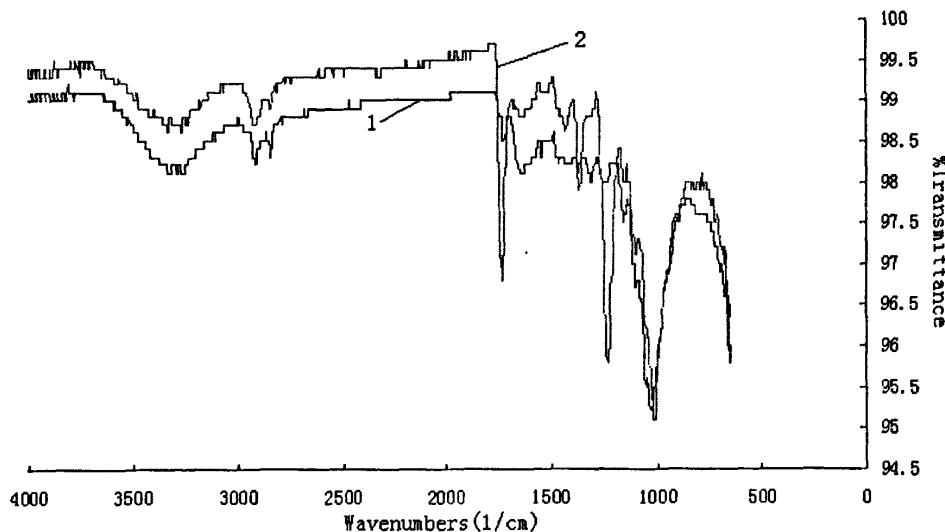


图 2-10 改性木纤维及未改性木纤维的红外光谱图

谱线 1 为改性前的木纤维的红外光谱图形, 谱线 2 为使用丙烯酸酯胶粘剂改性后的木纤维的红外光谱图形。相比之下, 谱线 2 在 1731cm^{-1} 、 1368cm^{-1} 和 1230cm^{-1} 处分别出现了较强的吸收峰, 在 1731cm^{-1} 处的吸收峰来自饱和脂肪酸酯的羰基 $\text{C}=\text{O}$ 的振动。表明改性后木纤维中有大量的羰基增加, 说明木纤维发生了酯化反应; 在 1368cm^{-1} 处的吸收峰来自叔丁基 $\text{C}(\text{CH}_3)_3$ 的振动, 这是在木纤维酯化过程中发生取代反应而生成的基团产物; 在 1230cm^{-1} 处的发生的吸收峰估计来自酚中的羟基取代反应中 $\text{C}-\text{O}$ 的伸缩引起的振动, 可能是木纤维酯化后的附加生成物。

经过以上的光谱研究表明, 木纤维与丙烯酸酯胶粘剂的酯化反应分别如下图 2-11 所示的为可能的化学反应过程。

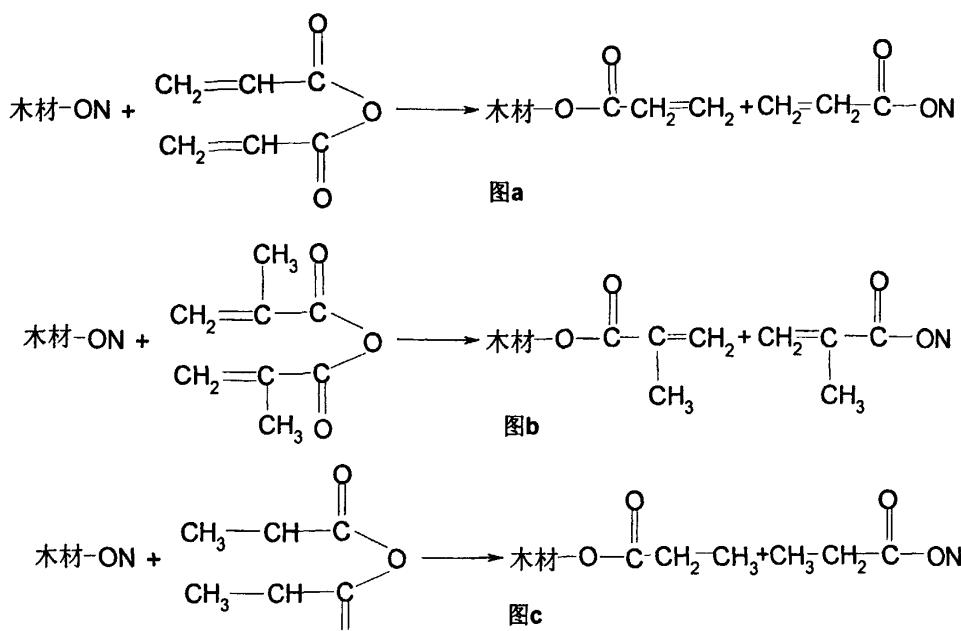


图 2-11 木纤维与胶粘剂成分可能的反应方程式

由上面的红外光谱图和相关的分析可以看出,木纤维表面的羟基官能团被丙稀基官能团以醚键方式取代,这种醚化反应不但在木纤维上,还反映在木质素上。胶粘剂对木纤维进行了改性处理,经过改性的木纤维才能更好的和合成纤维进行粘合,增强整个复合材料的内部联结机理,使材料从宏观上表现出良好的性能。这个结论,我们已经通过试验得到了证明。

木纤维表面经过丙稀基接枝处理后,即具有粘合性和热流动性。表面和表面之间可以直接热压成型。而且经过测试后,其性能指标符合轿车用内饰板材料的相关标准,这证明本课题使用胶粘剂作为粘合剂对与木纤维表面的改性是成功的。

结合正交试验设计中分析的复合材料试样,我们还可以知道,对于木纤维添加胶粘剂进行改性后,胶粘剂中的极性醋酸乙烯酯成分能与木纤维表面进行很好的粘合,而丙烯酸酯成分又能与合成纤维实现良好的粘合,这样胶粘剂就起到一个“桥连”的作用,促使木纤维和合成纤维之间的结合紧密程度增强,从而有助于提高复合材料的物理机械性能。

木纤维/合成纤维复合材料界面特征等方面还需要进一步系统的研究。除了使用红外吸收光谱以外，还需要采用化学分析电子能谱(ESCA)、电子自旋共振波谱仪(ESR)、扫描电镜(SEM)和高压液相色谱仪(HPLC)等现代测试手段，对组成材料的各组分进行研究，并探明木纤维材料中各化学成分在处理过程中的稳定性，以及处理后的表面特征，从而寻求最佳的界面处理途径和方法^[49]。

2.3.6 表面微观形态分析

为了更进一步分析木纤维与双组分纤维的复合情况以及它们之间界面的结合紧密程度，还有成品材料中粘结组分的粘结情况。下面就材料的表面部分分别进行了三维视频显微镜观测和扫描电镜(SEM)分析。

2.3.6.1 三维视频显微镜下的观测

利用三维视频显微镜，在放大 60 倍的情况下，观测复合材料板的表面形态如下：



图 a 木纤维/(PE/PET)复合材 (A₁)



图 b 木纤维/(PE/PET)复合材 (A₂)

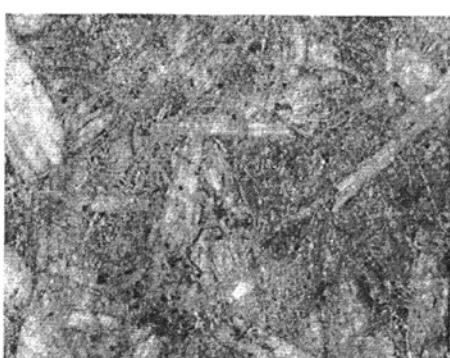


图 c 木纤维/(PE/PET)复合材 (A₃)

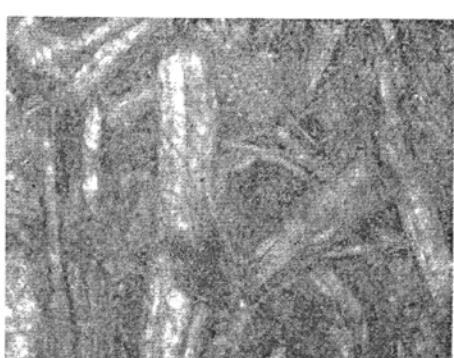


图 d 木纤维/(COPET/PET)复合材 (B₁)

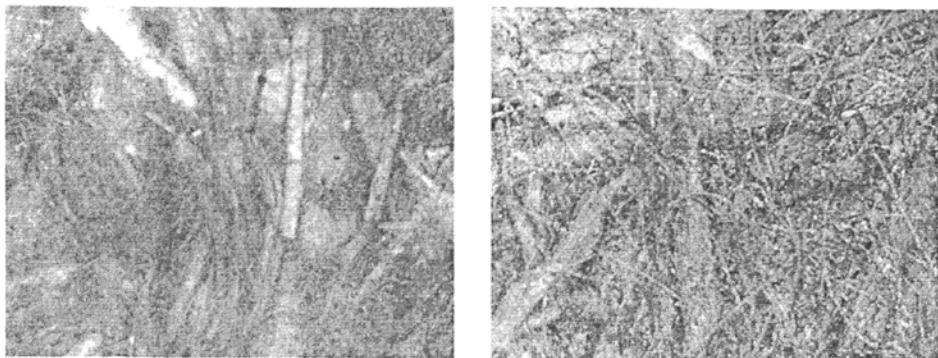
图 e 木纤维/(COPET/PET)复合材(B₂) 图 f 木纤维/(COPET/PET)复合材(B₃)

图 2-12 木纤维/合成纤维复板表面的显微构造图

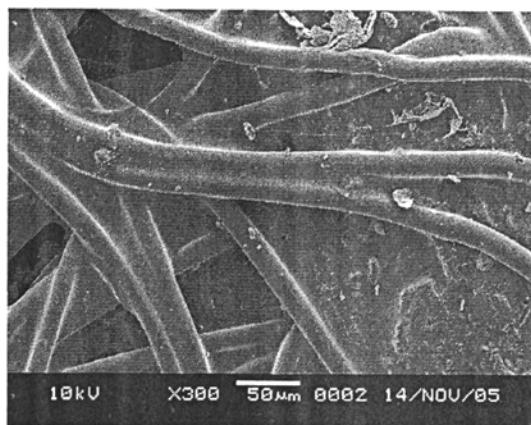
为了更加深入地了解木纤维/合成纤维复合的机理,利用三维视频显微分析技术对试样的微观构造进行了分析(见图 2-12)。图中呈粗条状的为木纤维原料,而与木纤维之间连接的褐色成分可能为粘结组分,白色细丝状为双组分纤维的芯层部分,与木纤维互相缠绕在一起。从上图的显微照片中可以看出,木纤维含量为 65%的复合板结构明显比木纤维含量为 75%和 70%的致密,而且空隙也少,纤维分布较为均匀。从整体来看,木纤维/(COPET/PET)复合材料表面的空隙相对于木纤维/(PE/PET)复合材料要少,致密性优于后者,这样的话,在宏观表现为前者不易吸水、强度高、力学性能较好。

图中大多数木纤维排列的方向为宏观下板材的长度方向,而与此方向垂直的方向为实际板材的宽度方向或厚度方向。从图 2-10 中可以看出,木纤维组分不全是按照纵向或者横向排列,这是由于针刺和热压制造工艺而形成复合材料特殊结构。正是基于这种结构,木纤维/合成纤维复合材料在纵向和横向上的力学性能存在显著的差别,同时,当极性的水分子进入,迅速被木纤维所吸收,从而使粗的木纤维产生吸水膨胀,水分子在大分子链之间以分子内和分子间氢键与大分子相连,这样当水分子进入链长度上增加甚少,从而在较粗的木纤维宽度方向产生了较大的膨胀变形,这样大量的木纤维膨胀累积的效果便能从板材宽度的宏观上反映出来。板厚方向的变形机理与板宽相似,之所以在宏观上表现出不同,这是因为在板宽方向和板厚方向上木纤维的分布不一致,并且木纤维含量的多少也有一定的差异,这主

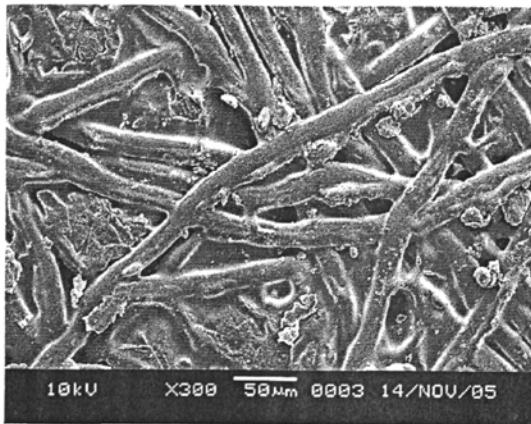
要是木纤维/合成纤维复合材料制造工艺所造成的。如果在板宽和板厚方面能做到原料的分布、含量均匀一致，那么这两个方向的变形就能达到较好的统一，从而可以认为宽度和厚度方向的吸水膨胀效应基本相同。

2.3.6.2 扫描电镜

用双面刀片在复合板表层取一小样，将其分别粘在直径为1cm的铝制样品台上，然后在真空镀膜机中用旋转法喷镀一层100Å厚的碳膜，再喷镀一层200Å厚的金膜，即可进行扫描电子显微镜观察和摄制显微照片。所用仪器为日本电子株式会社(JEDL)生产的型号为JSM5600LV扫描电子显微镜，观察时电镜电压为10kV，束斑为50μm，倾斜角为15°。



A图 木纤维(65%)与双组分纤维PE/PET(30%)复合,添加胶粘剂(5%)制成的复合材料的扫描电镜图



B图 木纤维(65%)与双组分纤维CoPE/PET(30%)

复合,添加胶粘剂(5%)制成的复合材料的扫描电镜图



C图 木纤维(65%)与双组分纤维 COPET/PET(35%)
复合,未添加胶粘剂制成的复合材料的扫描电镜图

图 2-13 不同制板条件压制板材的扫描电镜照片

由图 2-13 中三种不同板材的扫描电镜观察图可以看出, 未改性的木纤维压制的复合材料纤维表面结构清晰, 纤维的界面相对比较分明, 纤维间的结合松散; 而改性木纤维压制的复合材料板表面合成纤维熔融相对比较多, 纤维的边界比较模糊, 与粗的木纤维结合比较紧密。其中 B 图、C 图中的复合板和 A 图中的复合板材相比, A 图中的 PE/PET 双组分纤维的熔融相对比较少, 而且皮层的熔融成分没有完全的渗透到其芯层与木纤维的交叉空隙当中, 纤维之间的结合相对比较疏松, 从另一个侧面反应了, 虽然用两种双组分纤维制成的复合材料在一定程度上都能符合相关的标准, 但是非极性的聚烯烃大分子与极性木纤维表面的粘合性不如极性 COPET 与木纤维之间的粘合性那么好。而 B 图、C 图中熔融相对比较多, 而且皮层的熔融成分完全的渗透到其芯层与木纤维的交叉空隙当中, 纤维之间的结合相对紧密。然后对比 B 图和 C 图, 我们可以看出, B 图中由于添加了具有偶合性能的丙烯酸胶粘剂, 其合成纤维和木纤维之间的粘结相比之下, 更加紧密, 几乎没有空隙, 而且两种材料分布均匀, 交叉粘结, 结构紧凑。C 图中未添加胶粘剂, 可以看到, 在有些点及部分区域还存在一些微小的空隙, 而且整个复合板材料的整体结构也没有 B 图中显示的那样

均匀。可见，胶粘剂对于改善两种成分之间的界面粘合具有显著的作用。由以上的扫描电镜图，通过对复合材料的内在结构的说明，从微观结构上，说明了，选用合适的合成纤维，以及通过使用经过塑化改性的胶粘剂对木纤维表面进行酯化处理都有利于复合材料纤维间的结合。同时，胶粘剂和热塑熔融机质可以渗透到复合材料各组分的间隙当中去，进一步提高复合材料的强度和硬度。

还有相关的成品的 SEM 图像请参见附录四。

2.3.7 阻燃性能的测试

此外，对于木纤维/双组分纤维复合材料中加入了阻燃剂以后其抗燃烧性能的有怎样的改观，就其阻燃性能设计试验，做了相关的讨论和分析。阻燃性能的测试结果如下表中 2-17 所示：

表 2-17 木纤维/合成纤维复合材料阻燃性能的对比试验

燃烧指标		D	E	F
续燃时间 (s)	垂直	120	108	35
	水平	112	103	22
阴燃时间 (s)	垂直	----	----	625
	水平	570	403.5	165
损毁长度 (mm)	垂直	完全	完全	22
	水平	20.4	25.5	4.5

表 2-17 中，各字母所代表的意义分别分：

D—木纤维/(COPET/PET)复合，未添加阻燃剂制成的复合材料

E—木纤维/(PE/PET)复合，未添加阻燃剂制成的复合材料

F—木纤维/(COPET/PET)复合，添加阻燃剂制成的复合材料

由上表 2-17 中可以看出，添加有阻燃剂的木纤维/合成纤维复合板，其抗燃烧性能无论在水平方向还是垂直方向上都远远优于不添加阻燃剂的复合材料板。一般情况下，作为轿车内饰板的木纤维/合成纤维复合材料，考虑到安全方面的因素，在制备过程中都要在其中加入一定量的阻燃剂，以提高材料的抗燃烧性能。

2.3.8 与相关标准材料的对比

根据正交试验结果,我们选取做过的试验当中接近最优值的一组配方(木纤维(65%)与双组分纤维 COPET/PET(30%)复合,添加胶粘剂(5%))与一汽大众 JL-VW494 的木质纤维复合材料进行对比,看本课题研制的木纤维/合成纤维材料是否符合其有关数据。其具体的对比如下图 2-18 所示。

2-18 木质纤维复合材料对比检测结果

序号	技术指标	单位	一汽大众 JL-VW494	本课题制 作的材料
1	密度	g/m ³	1.05 ± ^{0.15} _{0.10}	1.078
2	含水率	%	5~8	4.22
3	静曲强度	Mpa	≥ 40	52.11
4	吸水率	%	≤ 30	没测
5	吸水厚度膨胀率	%	≤ 35	8.5
6	吸湿长度变化率	%	≤ 0.5	0.008
7	形稳定性		无明显可见变形	无明显可见变形
8	耐热性		≤ 90℃ 无变化	没测
9	耐寒性		-30℃ 无变化	没测
10	燃烧速率	mm/ min	60 秒内自熄且燃烧 距离不大于 50mm	35 秒内熄灭, 且燃烧 损毁长度仅为 4.5mm

由上表 2-18 我们可以看出,除了个别的性能指标我们由于试验时间和试验条件的限制没有进行测量以外,本课题所研制的木/塑复合材料在各主要性能指标上均符合一汽大众 JL-VW494 的相关标准,这证明本课题的试验是成功的,这样制出的材料具有实际应用价值。

2.3.9 小结

本节通过两因子正交试验设计,研究了木纤维与双组分纤维 COPET/PET 复合时的配比不同,以及胶粘剂百分含量的不同对复合材料的几项性能指标—回潮率、吸水厚度膨胀率、静曲强度和断裂强度的影响。经过大量的试验验证和分析,得出如下结论:

(1)木纤维与双组分纤维 COPET/PET 复合时的配比不同对各项性

能指标都有影响，从有效的回归方程可以看出，不同的参数对性能指标的影响程度各不相同。

(2) 经过优化试验并加以检验得到最优化参数：

木纤维含量：65.14%

胶粘剂含量：4.34%

在优化条件下，制成的复合材料，各方面性能有望达到较为理想的数值，更进一步符合轿车内饰板材料的相关要求。

(3) 通过微观结构和机理分析，可以看出复合材料中的具有热粘合性质的双组分纤维和丙烯酸胶粘剂在改善木纤维/合成纤维复合材料的物理力学性能和复合材料界面之间的粘合性能有着重要的作用。

(4) 阻燃剂的加入，从根本上提高了复合材料的抗燃烧性能，具有重要的现实应用价值。

(5) 通过将本课题研制的木纤维/合成纤维材料同一汽大众JL-VW494 标准进行对比，证明本次试验的成功性，说明用非织造加工工艺可以制出汽车工业中的轿车内饰板材料。

第三章 结 论

本课题采用非织造加工工艺,尝试运用不同的配方来制作木纤维/合成纤维复合材料。然后对木纤维/合成纤维复合材料进行了性能测试,并通过单因子分析和正交试验设计,处理数据。最后,得出以下结论:

1、非织造加工工艺生产木纤维/合成纤维复合材料的可行性,与一般的加工工艺相比,非织造加工工艺流程简单,容易操作,获得的木纤维/合成纤维复合材料在各方面性能上与其他工艺加工的木纤维/合成纤维复合材料相比较,有过之而无不及。

2、非织造加工木纤维/合成纤维复合材料的一般工艺过程为:



3、本课题采用的双组分纤维不仅在试验中容易加工,而且由于其本身的特殊构造,皮层在较低的温度下就可熔融,节省能源。试验结果表明,双组分纤维的加入,在保证复合材料强度和良好的延伸率同时,确保了复合材料中主体纤维的含量,保障了复合材料的物理机械性能。

4、本课题研制的木纤维/合成纤维复合材料采用合成纤维作为增强材料,试验表明,两种双组分纤维与木纤维复合制成的材料,都符合一汽大众 JL-VW494 的相关标准。但是,极性的木纤维材料与皮层具有极性的双组分纤维 COPET/PET 之间的复合优于极性的木纤维材料与具有非极性皮层的双组分纤维 PE/PET 之间的复合。

5、丙烯酸酯乳液型胶粘剂作为偶联剂,能够有效地解决木纤维/合成纤维复合材料的界面间的相容性问题,它在木纤维/合成纤维中的作用非常重要,通过电镜照片和红外光谱图分析发现,偶联剂对于改善木纤维/(PE/PET)和木纤维/(COPET/PET)的复合都有好处,但是

在改善木纤维/(COPET/PET)的界面结合紧密程度上更好一些。从而优化了整个木纤维/合成纤维的综合性能指标。

6、通过两因子正交试验设计认为，在本课题讨论的范围内，木纤维的含量、双组分纤维和胶粘剂的配比对各项性能指标，包括回潮率、静曲强度、吸水厚度膨胀率以及力学性能等都存在明显的影响，通过分析找出两种配比的最优值如下：

木纤维含量：65.14%

胶粘剂含量：4.34%

7、本试验所研究的木纤维/合成纤维复合材料都符合一汽大众JL-VW494对于木质纤维复合材料的相关检测标准，因此，本课题研究的木纤维/合成纤维具有重要的实用价值。

就本课题研究的目的而言，以木纤维/双组分纤维制造的木纤维/合成纤维复合材料既具有可持续发展、保护环境的社会意义，而且在汽车工业蓬勃发展的大背景下，可大量地应用于汽车内饰板，有其可行性，不论在静曲强度、尺寸稳定性等方面皆有其正面意义。因此，具有广阔的市场和发展前景。

参考文献

- [1] Kenji Umemura . Akio Inoue . Shuichi Kawai, Development of new natural polymer-based wood adhesives I :dry bond strength and water resistance of konjac glucomannan, chitosan, and their composites.J Wood Sci (2003)49:221-226.
- [2] 任玉坤,木/塑复合材料的研究、生产及发展概述,木材工业,1995年第9卷第6期.
- [3] 唐辉,木/塑复合材料的生产及应用,中国塑料,1997年7月.
- [4] Craig Clemons,美国木/塑复合材料的历史、现状和展望,人造板通讯,2002年11月 .
- [5] 刘玉春,苑志伟,张国立,陈志达,木粉填充改性多组分废旧塑料专用相融剂的研究,化工新型材料,第29卷第9期.
- [6] 木材与非木质材料的复合,王伟宏译(原作者:John Youngquist),BUILDING ARTIFICIAL BOARDS,NO.3,2001.
- [7] 国外木/塑复合材料研究概况,郭万良,林业勘查设计,2002年第3期.
- [8] 赵丹,白永平,刘立洵. 新型木/塑复合材料成型工艺的研究, 森林工程, 第19卷第6期, 2003年11月.
- [9] 朱玮,郭风平. 塑合木研究的新动态, 西北林学院学报, 1998, 13(4): 82 ~ 91.
- [10] 薛平,张明珠,何亚东,何继敏. 木/塑复合材料及挤出成型特性的研究. 中国塑料, 第15卷第8期, 2001年8月.
- [11] 张冰,江波,许澍华,朱晓群. 废旧塑料/木质纤维复合材料的一步法生产技术与装备,塑料, 2002年第4期(31卷).
- [12] Carmen Albano . Miren Ichao . Jeanette Gonzalez Maria Delgado . Rebeca Poleo. Effects of filler treatments on the mechanical and morphological behavior of PP+sisal fiber. Mat Res Innavat(2001)4:284-293.
- [13] A.A.Hann,Y.M.Abu.Ayana,S.M.Ahmed, Phosphogypsum Utilization,Part III:As adhensive filler and Composite Materials. J.Mater.Sci, Technol Vol.16,No.4,2000.
- [14] H.Rave, M.Schemken,A.Beck Neumag 公司(德国), 双组分短纤生产的工艺现状, 国际化纤 2002年第1期. 25 ~ 26.

- [15] Marja-leena Kosonen, Bo wang, Gerard T. Caneba, Douglas J. Gardner, Tim G Rials. Polystyrene composites and hydrophobic wood coatings from water-based hydrophilic-hydrophobic block copolymers, clean products and process 2(2000)117 ~ 123.
- [16] 塑料, 2004 年第 4 期(31 卷), 29.
- [17] 张明珠, 薛平, 周甫萍, 木粉/再生热塑性塑料复合材料性能的研究, 塑料, 2000 年第 5 期(29 卷).
- [18] 杨文斌, 刘一星, 李坚, 张显权. 木刨花与再生塑料复合材的物理力学性能, 福建林学院学报, 2002, 22(4): 299 ~ 303.
- [19] 贺德留, 马小琦. 杨木木/塑复合材料制作地板的研究, 河南林业科技, Vol. 21, No. 1, 2001 年 3 月.
- [20] 秦特夫, 木粉加入量对木/塑复合材料性能影响的研究, 木材工业, 2002, 9, 17 ~ 20.
- [21] 杨庆贤, 木/塑复合材料的生产配方与工艺研究, 复合材料学报, 1994 年第 11 卷, 第 4 期.
- [22] 杨文斌, 刘一星, 李坚. 再生木/塑复合材料的研究进展, 世界林业研究, 2001 年 10 月, 第 14 卷, 第 5 期.
- [23] 聚丙烯纤维对木/塑纤维复合材料性能影响的初步研究, 中国林科院木工所木质纤维复合材料专题组, 木材工业, 1997 年 11 月, 5 ~ 7.
- [24] 王建军, 吴健身, 添加丙纶纤维及其改性处理对木/塑复合材料性能的影响, 林产工业, 1998 年第 25 卷第 4 期.
- [25] 姜晓冰, 许民, 王克奇. 聚乙烯、聚丙烯与木纤维复合制板工艺, 东北林业大学学报第 31 卷第 2 期, 2003 年 3 月.
- [26] 林铭等, 木/塑复合材料的研究现状及发展趋势, 林业机械与木工设备, 2004 年第 6 期.
- [27] 许民, 姜晓冰等, 木/塑复合材料的研究现状与应用前景, 林业科技, 2004 年 5 月.
- [28] 中国林科院木材工业研究所木质纤维复合材料专题组, 木/塑纤维复合材料在轿车工业中的应用前景, 木材工业.
- [29] 张国立, 苑志伟, 环保新材料木/塑制品的技术发展和市场前景, 再生资源

- 研究, 2000 年第 6 期.
- [30] 廖建平, 抓住机遇加速木/塑复合材料产业的发展, 建材工业信息, 2003 年第 10 期
- [31] 肖泽芳等, 木材—热塑性塑料复合材料的进展, 东北林业大学学报, 2003 年 1 月.
- [32] 闫昊鹏, 王建军. 木纤维-合成纤维复合的研究, 木材工业, 2001 年 7 月.
- [33] 郭大生, 王文科译, 赵元磊校. 高速熔纺皮芯双组分 PET, 纤维的成纤机理, 聚酯工业, 1998 年, 第 2 期. 38 ~ 39.
- [34] 柯勤飞, 靳向煜等. 非织造学, 2004 年 10 月.
- [35] 姚穆等. 纺织材料学, 中国纺织出版社, 2000 年 7 月.
- [36] 孙占英等, 木/塑复合材料吸水膨胀率的研究, 福州大学学报, 2005 年第 3 期.
- [37] 木/塑复合刨花板的密度与吸水厚度膨胀率的关系, 刘镇波, 张族财, 杨文斌, BUILDING ARTIFICIAL BAODS, NO.1, 2002.
- [38] 中华人民共和国国家标准 (GB1040 - 79), 木材物理力学试验方法 [S]. 北京: 技术标准出版社, 1991.
- [39] Marc H.Schneider,Svetlana Vasic,Stig Lande,Jonathan G.Philips. Static bending and toughness of wood polymer composites(yellow birch and basswood), wood sci technol 37(2003)165~176.
- [40] 张文彤, SPSS11 教程, 2002 年 08 月 05 日.
- [41] 郁崇文等, 工程参数最优化设计, 东华大学出版社, 2003. 9
- [42] 姜健飞, 胡良剑等编著, 数值分析, 东华大学, 2004. 1
- [43] 喻云水, 申明倩, 李本贵. 配料比对木/塑复合刨花板性能影响的探讨. 木材加工机械, 2002 年第 6 期.
- [44] 杨庆贤, 木/塑复合材料性能与相关因素的研究, 福建林学院学报, 1997, 17 (3): 273 ~ 277.
- [45] 卢福民, 双组分纤维技术对纺丝性能与纺粘法, 非织造布结构及特性的影响, 产业用纺织品, 第 18 卷总第 112 期. 16 ~ 20.
- [46] XU Min, CAI Zhi, Effects of different modifiers on the properties of wood-polymer composites, Journal of Forestry Research, 15(1): 77-79 (2004).

- [47] 秦特夫, 改善木/塑复合材料界面相容性的途径, 世界林业研究, 1998, 3.
- [48] 王志玲等, 木/塑复合材料界面增容研究的进展, 木材工业, 2005 年 5 月.
- [49] 殷小春, 任鸿烈, 对改善木/塑复合材料表面相容性因素的探讨, 塑料, 2002 年, 第 4 期 (31) 卷.

附录

附录一：几个不同的配方的针刺道数及有关的数据

1) 木纤维(75%)与双组分纤维PE/PET(20%)加胶粘剂(5%)经过针刺加固后分割成A、B、C三块，有关的数据见附表1(a)。

附表1(a) 坯料分块数据表

编号	尺寸规格	层数	质量	平方米克重(g/m ²)
A	30×30cm ²	6层	220.5g	2450
B	30×30cm ²	6层	219.9g	2443.3
C	30×30cm ²	6层	221.4g	2460.0

在针刺加固过程中，选取其中编号为A的纤维板的尺寸与克重的变化关系，有关数据见下表附表1(b)：

附表1(b) 针刺加固道数数据表

层数	尺寸(长×宽)(mm)		质量(g)		平方米克重(g/m ²)	
	针刺前	针刺后	针刺前	裁剪后	针刺前	针刺后
2	30×30	31.2×30.8	92.6	90.3	1028.8	1003.3
3	30×30	31.2×30.4	136.3	134.5	1514.4	1494.4
4	30×30	32.1×31.1	179.4	176.6	1993.3	1962.2
5	30×30	31.4×31.1	222.9	220.5	2476.7	2450.0

2) 木纤维(70%)与双组分纤维PE/PET(25%)加胶粘剂(5%)经过针刺加固后分割成A、B、C三块，有关的数据见下附表2(a)。

表3-8(a) 坯料分块数据表

编号	尺寸规格	层数	质量	平方米克重(g/m ²)
A	30×30cm ²	7层	224g	2488.9
B	30×30cm ²	7层	225.8g	2508.9
C	30×30cm ²	7层	219.8g	2442.2

在针刺加固过程中,选取其中编号为B的纤维板的尺寸与克重的变化关系,有关数据见下附表2(b):

附表2(b) 针刺加固道数数据表

层 数	尺寸(长×宽)(mm)		质量(g)		平方米克重(g/m ²)	
	针刺前	针刺后	针刺前	裁剪后	针刺前	针刺后
2	30×30	31.3×31.1	77.9	76.2	865.6	846.7
3	30×30	30.8×30.5	117.3	115.5	1303.3	1283.3
4	30×30	31.7×30.5	155.9	151.5	1732.2	1683.3
5	30×30	32.2×31.3	190.2	188.7	2113.3	2096.7
6	30×30	30.6×30.4	227.6	225.8	2528.9	2508.9

3) 木纤维(65%)与双组分纤维PE/PET(30%)加胶粘剂(5%)经过针刺加固后分割成A、B、C三块,有关的数据见下附表3(a)。

附表3(a) 坯料分块数据表

编号	尺寸规格	层数	质量	平方米克重(g/m ²)
A	30×30cm ²	8层	224.1g	2490.0
B	30×30cm ²	8层	219.8g	2442.2
C	30×30cm ²	8层	217.4g	2415.6

在针刺加固过程中,选取其中编号为C的纤维板的尺寸与克重的变化关系,有关数据见下附表3(b):

附表3(b) 针刺加固道数数据表

层 数	尺寸(长×宽)(mm)		质量(g)		平方米克重(g/m ²)	
	针刺前	针刺后	针刺前	裁剪后	针刺前	针刺后
2	30×30	31.4×32.1	77.2	74.5	857.8	827.8
3	30×30	30.8×30.6	110.5	107.1	1227.8	1190
4	30×30	31.7×31.2	146.3	144.5	1625.6	1605.6
5	30×30	31×31.7	183.6	180.2	2040	2002.2
6	30×30	31×30.9	219.8	217.4	2442.2	2415.6

4) 木纤维(75%)与双组分纤维 COPET/PET(20%)加胶粘剂(5%)经过针刺加固后分割成A、B、C三块, 有关的数据见下附表4(a)。

附表4(a) 坯料分块数据表

编号	尺寸规格	层数	质量	平方米克重(g/m ²)
A	30x30cm ²	9层	221g	2455.6 g/m ²
B	30x30cm ²	9层	223g	2477.8 g/m ²
C	30x30cm ²	9层	224g	2488.9 g/m ²

在针刺加固过程中, 选取其中编号为C的纤维板的尺寸与克重的变化关系, 有关数据见下附表4(b):

附表4(b) 针刺加固道数数据表

层数	尺寸(长×宽) (mm)		质量(g)		平方米克重(g/m ²)	
	针刺前	针刺后	针刺前	裁剪后	针刺前	针刺后
2	30×30	30.5×32.1	58.9	56.0	654.4	622.2
3	30×30	30.5×30.4	83.3	81.5	925.6	905.6
4	30×30	30.7×31.3	107.4	105.5	1193.3	1172.2
5	30×30	31.3×32.2	132.6	130.0	1473.3	1444.4
6	30×30	30.8×30.5	156.8	153.8	1742.2	1708.9
7	30×30	31.7×31.3	178.7	174.9	1985.6	1943.3
8	30×30	31.3×31.8	203.4	199.2	2260	2213.3
9	30×30	30.2×30.4	225.5	224.0	2505.6	2488.9

5) 木纤维(70%)与双组分纤维 COPET/PET(25%)加胶粘剂(5%)经过针刺加固后分割成A、B、C三块, 有关的数据见下附表5(a)。

表3-4(a) 坯料分块数据表

编号	尺寸规格	层数	质量	平方米克重(g/m ²)
A	30x30cm ²	8层	219.6g	2433.3
B	30x30cm ²	8层	220.3g	2447.8
C	30x30cm ²	8层	220.0g	2444.4

在针刺加固过程中,选取其中编号为B的纤维板的尺寸与克重的变化关系,有关数据见下表附表5(b):

附表5(b) 针刺加固道数数据表

层 数	尺寸(长×宽) (mm)		质量(g)		平方米克重(g/m ²)	
	针刺前	针刺后	针刺前	裁剪后	针刺前	针刺后
2	30×30	31.5×30.3	56.4	54.8	626.7	608.9
3	30×30	31.4×31.2	82.6	81.5	917.8	905.6
4	30×30	31.3×31	108.9	105.3	1210	1170.0
5	30×30	31.3×31	132.5	130.1	1472.2	1445.6
6	30×30	30.2×30.9	156.7	155.4	1741.1	1726.7
7	30×30	31.3×31.3	180.6	176.0	2006.7	1955.6
8	30×30	30.8×31.5	202.3	199.1	2247.8	2212.2
9	30×30	30.1×30.6	224.1	220.3	2490	2447.8

6) 木纤维(65%)与双组分纤维COPET/PET(30%)加胶粘剂(5%)经过针刺加固后分割成A、B、C三块,有关的数据见下附表6(a)。

附表6(a) 坯料分块数据表

编号	尺寸规格	层数	质量	平方米克重(g/m ²)
A	30×30cm ²	7层	225g	2500
B	30×30cm ²	7层	223g	2477.8
C	30×30cm ²	7层	224g	2488.9

在针刺加固过程中,选取其中编号为A的纤维板的尺寸与克重的变化关系,有关数据见下附表6(b):

附表6(b) 针刺加固道数数据表

层 数	尺寸(长×宽) (mm)		质量(g)		平方米克重(g/m ²)	
	针刺前	针刺后	针刺前	裁剪后	针刺前	针刺后
2	30×30	31.6×31.4	62.4	61.7	693.3	685.6
3	30×30	30.6×31	92.8	91.3	1031.1	1014.4

(续上页表)

4	30×30	30.8×31.2	152.7	140.2	1696.7	1557.8
5	30×30	31.3×31.2	174.5	166.3	1938.9	1847.8
6	30×30	32.1×30.5	195.8	190.6	2175.6	2117.8
7	30×30	31.7×31.3	229.8	225.0	2553.3	2500

附表 7 单因子试验方案中各配方复合材料预烘数据测试表

编号		规格尺寸(cm)		质量(g)		平方米克重(g/m ²)	
配方	块号	烘前	烘后	烘前	烘后	烘前	烘后
A ₁	A	30×30	29.6×29.2	220.5	212.3	2450.0	2456.3
	B	30×30	29.5×29.8	219.9	211.1	2443.3	2401.3
	C	30×30	29.4×29.6	221.4	213.9	2460	2457.9
A ₂	A	30×30	29.5×29.5	224	212.4	2488.9	2440.7
	B	30×30	29.6×29.3	225.8	214.8	2508.9	2476.8
	C	30×30	29.3×29	219.8	210.7	2442.2	2479.7
A ₃	A	30×30	29.5×29	217.4	207.5	2415.6	2425.5
	B	30×30	29.3×28.8	219.8	209.1	2442.2	2477.9
	C	30×30	29.8×29.6	224.1	213.5	2490	2420.4
B ₁	A	30×30	29.6×28.8	221	206.5	2455.6	2422.3
	B	30×30	28.9×29.5	223	209.5	2477.8	2457.3
	C	30×30	29.1×29.3	224	213.2	2488.9	2500.5
B ₂	A	30×30	28.9×28.5	219.6	204.2	2440	2479.2
	B	30×30	28.5×28.9	220.3	205.8	2447.8	2498.6
	C	30×30	28.6×29.4	220.0	205.4	2444.4	2442.8
B ₃	A	30×30	29.2×29.5	225	207.2	2500	2405.4
	B	30×30	29.7×29.8	223	209.5	2477.8	2367.1
	C	30×30	29.3×29.6	224	214.3	2488.9	2470.9

附表 8 单因子试验方案中各试样热压粘合数据表

编号		温度 (℃)		质量 (g)		厚度 (mm)		备注
配方	块号	中热板	下热板	压前	压后	期望	实际	
	C	155	155	214.3	212.3	2.5	3.05	
	A	148	156	212.3	210.6	2.5	3.08	
A ₁	B	148	155	211.1	209.7	2.5	3.09	热压过程中，有 大量的水汽溢 出，要注意隔 1~ 2 分钟就开闸放 水汽，防止压制 的试样上下表面 发粘。尽量多压 几次，以期获得 想要到达的厚度 度。
	C	150	160	213.9	210.9	2.5	3.14	
A ₂	A	150	155	212.4	209.5	2.5	2.60	热压过程中，有 大量的水汽溢 出，要注意隔 1~ 2 分钟就开闸放 水汽，防止压制 的试样上下表面 发粘。尽量多压 几次，以期获得 想要到达的厚度 度。
	B	158	160	214.8	211.3	2.5	2.54	
	C	154	165	210.7	207.6	2.5	2.56	
A ₃	A	145	155	207.5	205.3	2.5	2.65	热压过程中，有 大量的水汽溢 出，要注意隔 1~ 2 分钟就开闸放 水汽，防止压制 的试样上下表面 发粘。尽量多压 几次，以期获得 想要到达的厚度 度。
	B	150	155	209.1	207.0	2.5	2.66	
	C	155	160	213.5	211.0	2.5	2.60	
B ₁	A	155	165	206.5	204.7	2.5	2.82	热压过程中，有 大量的水汽溢 出，要注意隔 1~ 2 分钟就开闸放 水汽，防止压制 的试样上下表面 发粘。尽量多压 几次，以期获得 想要到达的厚度 度。
	B	150	155	209.5	208.3	2.5	2.75	
	C	155	165	213.2	211.0	2.5	2.76	
B ₂	A	150	160	204.2	202.1	2.5	2.74	热压过程中，有 大量的水汽溢 出，要注意隔 1~ 2 分钟就开闸放 水汽，防止压制 的试样上下表面 发粘。尽量多压 几次，以期获得 想要到达的厚度 度。
	B	155	160	205.8	203.6	2.5	2.74	
	C	155	160	205.4	203.0	2.5	2.70	
B ₃	A	150	155	207.2	205.4	2.5	3.13	热压过程中，有 大量的水汽溢 出，要注意隔 1~ 2 分钟就开闸放 水汽，防止压制 的试样上下表面 发粘。尽量多压 几次，以期获得 想要到达的厚度 度。
	B	155	160	209.5	207.5	2.5	3.07	

附录二：正交试验方案中各因子的测试数据表群

附表 9 不同配比下复合材料的回潮率

试验 序号	湿重				绝干重量				回潮率 (%)
	第1块	第2块	第3块	平均	第1块	第2块	第3块	平均	
1	180.5	182.3	184.0	182.3	176.2	170.6	176.4	174.4	4.50
2	190.1	192.6	190.3	191.0	180.6	179.8	178.7	179.7	6.28
3	185.6	180.3	187.9	184.6	167.4	167.2	170.6	168.4	9.62
4	195.7	190.5	192.3	192.8	180.6	185.3	185.8	183.9	4.82
5	182.6	184.5	180.6	182.6	170.8	174.6	172.7	172.7	5.74
6	179.6	184.1	185.3	183.0	168.7	173.2	174.4	172.1	6.34
7	196.8	198.5	194.2	196.0	187.9	190.2	186.5	188.2	4.41
8	180.5	178.9	178.4	179.3	171.1	170.2	171.0	170.8	4.98
9	189.7	192.3	189.9	190.8	180.4	181.8	179.5	180.7	5.59

附表 10 不同配比下复合材料的吸水厚度膨胀率

试验 序号	浸后与浸前的厚度差量				吸水厚度膨 胀率(%)
	第1块	第2块	第3块	平均	
1	0.46	0.44	0.50	0.47	18.9
2	0.58	0.56	0.55	0.56	22.4
3	0.54	0.60	0.51	0.55	21.9
4	0.30	0.37	0.36	0.34	13.6
5	0.27	0.23	0.25	0.25	9.8
6	0.41	0.42	0.45	0.43	17.3
7	0.24	0.18	0.22	0.21	8.5
8	0.30	0.25	0.26	0.27	10.9
9	0.32	0.39	0.38	0.36	14.5

注：浸渍前的材料厚度均为 2.5mm

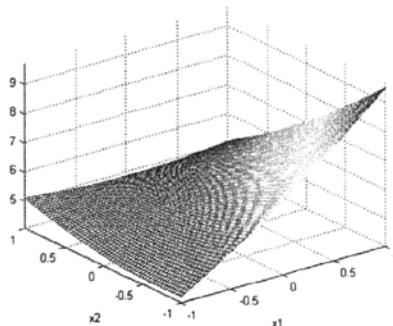
附表 11 不同配比下复合材料的静曲强度

序号	厚度			强度 N/mm ²			平均
	第 1 块	第 2 块	第 3 块	第 1 块	第 2 块	第 3 块	
1	3.09	3.08	3.16	49.17	51.12	50.98	50.42
2	2.56	2.60	2.64	50.22	45.95	47.94	48.04
3	2.66	2.72	2.68	35.89	40.66	42.76	39.77
4	2.70	2.80	2.56	48.61	54.21	51.52	51.45
5	2.58	86	2.90	42.05	40.13	43.60	41.59
6	2.60	2.50	2.76	38.54	40.16	48.31	42.34
7	3.30	2.60	3.19	50.90	54.79	50.65	52.11
8	2.52	2.56	3.08	50.12	46.37	47.55	48.01
9	2.66	2.63	2.60	39.23	42.05	39.64	40.31

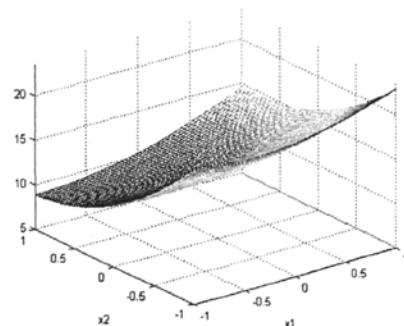
附表 12 不同配比下复合材料的静曲强度

序号	尺寸 (mm)		顺纹断裂		强度 (KPa)	强度 (KPa)		
	宽度	厚度	强度	强度				
1	10	2.61	15.35	10.43				
2	10	2.54	9.85	7.85				
3	10	2.58	7.75	7.04				
4	10	2.62	12.96	9.54				
5	10	2.55	10.34	8.35				
6	10	2.50	8.58	6.65				
7	10	3.08	13.12	12.48				
8	10	2.57	12.92	7.99				
9	10	2.66	10.18	6.91				

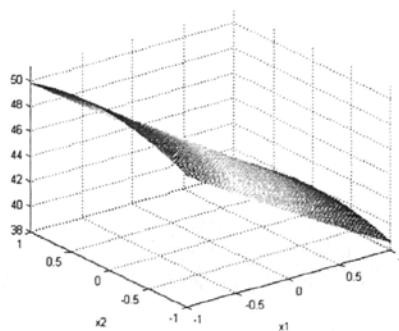
附录三 各性能指标与因子之间的关系曲面图



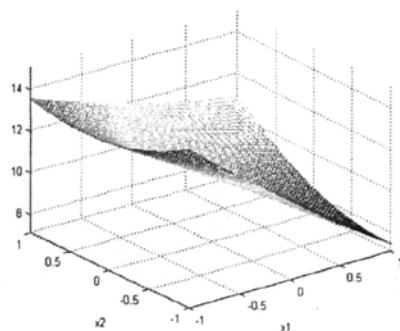
附图 4 原料含量与回潮率的关系



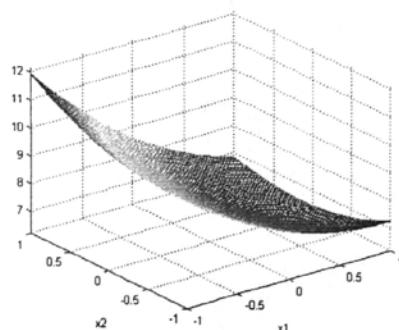
附图 5 原料含量与厚度膨胀率的关系



附图 6 原料含量与静曲强度的关系

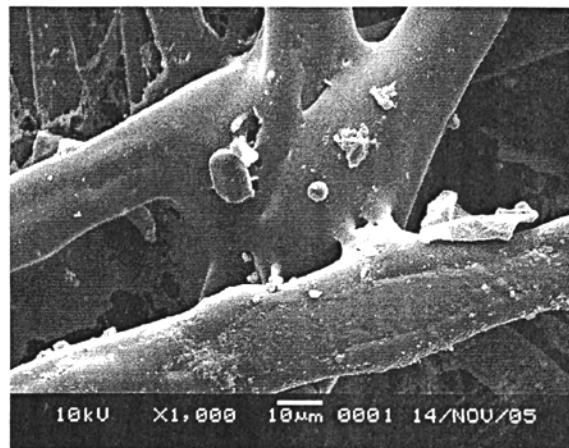


附图 7 原料含量与顺纹强度的关系

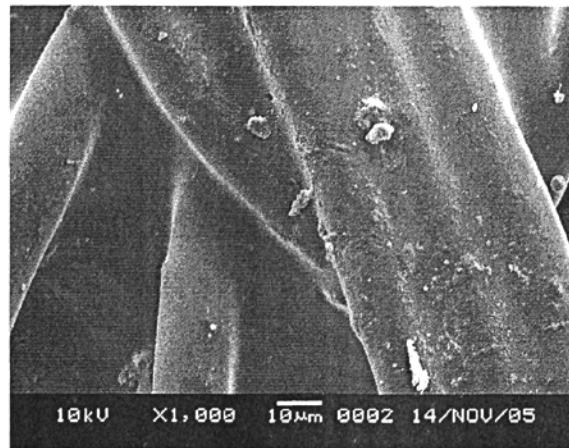


附图 8 原料含量与横纹强度的关系

附录四 成品 SEM 图像



附图 1 添加胶粘剂且含有双组分纤维 PE/PET 的复合板电镜照片



附图 2 未添加胶粘剂的 COPET/PET 的复合板电镜照片



附图 3 添加胶粘剂且含有双组分纤维 COPET/PET 的复合板电镜照片

致 谢

本论文是在我导师东华大学俞镇慌教授的悉心指导下完成的。俞老师对我的生活和学习给予了无微不至的关怀,自课题选题开始更是给予我极大的帮助,严格要求和敦促我查阅资料、查看国外先进研究成果和专利、思考研究的方向和内容,安排课题试验的进展和数据的处理和分析;并且在论文的撰写阶段不厌其烦地帮我分析结论和修改细节。在课题研究过程中,俞老师这种认真的治学精神和严谨的科研作风,不仅使我在本课题及相关项目的研究和论文的写作中受益匪浅,而且对我以后的人生道路也有深远的影响。在此,要对俞老师表示衷心的感谢。

在本课题的试验研究过程中,还得到了东华大学许多其他老师的帮助。尤其是纺织实验室的老师们,不仅提供试验设备和仪器,还热心地帮助我、耐心的指导我,在此,也要真诚地感谢他们!同时,还要感谢材料学院实验室的老师给我提供的测试方便。同时,我还要感谢研究生阶段的同学,谢谢你们在我进行试验和论文的写作阶段给予我的很多帮助!

附：论文发表情况

- 1 宋强, 王红, 靳向煜, 以秸秆纤维为基体的木质陶瓷材料的制备,《非织造布》, 2005 年 12 月。
- 2 宋强, 俞镇慌, 汽车用非织造布地毯及其发展趋势, 《纺织科技进展》, 2006 年 1 月。
- 3 夏兆鹏, 宋强, 马会英, 无捻纱纬编针织物的性能实验与分析, 《天津纺织科技》第 42 卷第 2 期。
- 4 田彩虹, 俞镇慌, 宋强, 非织造膜复合材料的应用与发展, 2005 年上海国际产业用纺织品和非织造布研讨会暨第四届高新技术在产业用纺织品领域推广应用研讨会论文集, 2005 年 6 月。

木纤维/合成纤维复合板静曲强度测试报告

送样单位：东华大学

送样人：宋强

送样时间：2005年10月17日

测试内容：静曲强度

测试条件：跨距：板厚度=20

测试设备：INSTRON(英斯特朗)生产的型号为5566的弯曲试验机
数 据：

样品	A	B	C	均值
S ₁	43.12	36.47	37.08	38.89
S ₂	42.58	41.25	37.22	40.35
S ₃	46.59	49.23	46.95	47.59
S ₄	39.23	42.05	39.64	40.31
S ₅	50.12	46.37	47.55	48.01
S ₆	50.90	54.79	50.65	52.11
S ₇	38.54	40.16	48.31	42.34
S ₈	42.05	40.13	43.60	41.59
S ₉	48.61	54.21	51.52	51.45
S ₁₀	35.89	40.66	42.76	39.77
S ₁₁	50.22	45.95	47.94	48.04
S ₁₂	49.17	51.12	50.98	50.42

S₁——木纤维含量：双组分纤维 PE/PET:胶粘剂=75:20:5;

S₂——木纤维含量：双组分纤维 PE/PET:胶粘剂=70:25:5;

S₃——木纤维含量：双组分纤维 PE/PET:胶粘剂=65:30:5;

S₄——木纤维含量：双组分纤维 CoPET/PET:胶粘剂=75:20:5;

S₅——木纤维含量:双组分纤维 CoPET/PET:胶粘剂=70:25:5;
S₆——木纤维含量:双组分纤维 CoPET/PET:胶粘剂=65:30:5;
S₇——木纤维含量:双组分纤维 CoPET/PET:胶粘剂=75:22.5:2.5;
S₈——木纤维含量:双组分纤维 CoPET/PET:胶粘剂=70:27.5:2.5;
S₉——木纤维含量:双组分纤维 CoPET/PET:胶粘剂=65:32.5:2.5;
S₁₀——木纤维含量:双组分纤维 CoPET/PET=75:25;
S₁₁——木纤维含量:双组分纤维 CoPET/PET=70:30;
S₁₂——木纤维含量:双组分纤维 CoPET/PET=65:25;

本报告仅对来样负责

测试员: 朱卫兰
校核员: 牛国强

中国科学院上海硅酸盐研究所

