

# 大豆蛋白胶与纤维素胶合机理研究

韩敏, 杨光, 卢晶昌

(上海理工大学, 上海 200093)

**摘要:** **目的** 研究大豆蛋白胶的胶合机理, 为进一步提高大豆蛋白胶的胶粘性能提供理论依据。 **方法** 通过实验, 对大豆蛋白胶的基本理化性质进行分析, 利用差示扫描量热法(DSC)和傅里叶变换红外光谱分析(FTIR), 对大豆蛋白胶与纤维素的胶合机理进行了研究。 **结果** 在150℃左右大豆蛋白胶发生吸热反应, 亲水性基团减少, 酰胺键增加; 大豆蛋白胶与纤维素混合固化时, 吸热反应温度降低, 焓变增加, 固化后—COOH和C—OH吸收峰减弱。 **结论** 大豆蛋白胶与纤维素的固化过程存在交联反应, 大豆蛋白胶与纤维素之间发生吸热反应生成高聚物。

**关键词:** 大豆蛋白胶; 纤维素; 差示扫描量热法; 傅里叶变换红外光谱分析

**中图分类号:** TB484.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2015)05-0048-05

## Mechanism of Adhesive Bonding between Soy Protein-based Adhesive and Cellulose

HAN Min, YANG Guang, LU Jing-chang

(University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

**ABSTRACT:** To investigate the mechanism of adhesive bonding between soy protein adhesive and cellulose, and to provide theoretical basis for further improvement of the adhesive properties of the soy protein adhesive. The physical and chemical properties of the soy protein adhesive were tested and analyzed. The soy protein-based adhesive and the cellulose were characterized using DSC and FTIR to examine the bonding mechanism. Endothermic reaction occurred for soy protein adhesive at about 150℃, resulting in decreased number of hydrophilic groups and increased number of amide bonds. During the curing process of the mixture of soy protein adhesive and cellulose, the endothermic reaction temperature decreased, and the enthalpy increased. The absorption of —COOH and C—OH decreased after curing. There was cross-linkage during the curing process of soy protein adhesive and cellulose, and polymers were formed during the endothermic reactions between soy protein adhesive and cellulose.

**KEY WORDS:** soy protein adhesive; cellulose; DSC; FTIR

据《2013—2017年中国人造板制造行业产销需求与投资预测分析报告》数据显示, 自2004年开始, 我国人造板行业进入了飞速发展阶段, 人造板的需求量逐年增高。现阶段用于人造板生产的胶粘剂使用最多的是三醛胶, 即脲醛胶、酚醛胶和三聚氰胺醛胶, 这3种胶是人造板甲醛含量超标的最主要来源, 同时, 在加工过程中也可能存在空气、废弃物及水污

染等问题, 对环境和人类的健康造成了严重威胁<sup>[1]</sup>。近年来, 绿色环保型胶粘剂大豆蛋白胶的使用很好地解决了石油资源紧缺及环境污染等问题, 逐渐被重视和推广<sup>[2-3]</sup>。

大豆蛋白胶是以脱脂豆粉、大豆分离蛋白等为原料, 经过改性处理得到的生物基环境友好型胶粘剂。其原料来源广泛, 不含苯酚甲醛等有害物质, 从源头

收稿日期: 2014-06-20

基金项目: 浙江省重大科技专项重点农业项目(2011C12050); 浙江省院合作林业科技项目(2010SY04)

作者简介: 韩敏(1990—), 女, 山东邹平县人, 上海理工大学硕士生, 主攻大豆蛋白胶。

通讯作者: 杨光(1965—), 男, 山东招远人, 上海理工大学副教授、硕士生导师, 主要研究方向为大豆蛋白胶。

杜绝了危害,已被应用于胶合板、纤维板和刨花板等人造板的加工制造中<sup>[4]</sup>。人造板常以木材、竹材等为原料,其主要成分包括纤维素、半纤维素和木质素等,其中,纤维素含量最高<sup>[5]</sup>。在人造板加工过程中,胶粘剂与被粘物之间,会通过化学反应获得高强度的共价键结合,有利于提高粘结强度<sup>[6]</sup>。在此,利用差示扫描量热法(DSC)和傅里叶变换红外光谱分析(FTIR),对大豆蛋白胶与纤维素的胶合机理进行了研究,了解大豆蛋白胶在固化过程中的焓变,分析了固化前后蛋白胶与纤维素中各活性基团的变化,为进一步提高大豆蛋白胶胶粘性能提供理论依据。

## 1 实验

### 1.1 材料与仪器

材料:大豆蛋白胶,上海泓涵化工科技有限公司;微晶纤维素,分析纯,国药集团化学试剂有限公司;大豆分离蛋白,纯度约95%,市售。

仪器:电子天平FA2104,上海舜宇恒平科学仪器有限公司;电热恒温鼓风干燥箱101-2-S型,上海跃进医疗器械厂;旋转黏度计NDJ-5S,上海昌吉地质仪器有限公司;冷冻干燥机LGJ-10D型,北京四环科学仪器厂;差示扫描量热仪Q2000型,美国TA公司;红外光谱仪FTLA2000-104型,加拿大ABB公司。

### 1.2 方法

1)大豆蛋白胶固含量测定。根据GB/T 2793—1995,对蛋白胶中的固含量进行测定。

2)大豆蛋白胶黏度测定。采用NDJ-5S型旋转式黏度计测定黏度。估计样品的黏度范围,选用合适的转子(使读数在刻度盘的20%~80%),将待测样品倒入高型烧杯,容器中的试样和转子用水浴恒温至25℃,最后直接读出黏度。

3)DSC热分析。取大豆蛋白胶和大豆蛋白胶与纤维素(质量比10:1)混合物分别进行真空冷冻干燥处理,所得样品加入一定比例的去离子水,得到含水率为15%的粉末试样。将适量试样放入铝皿中,通入N<sub>2</sub>,用差示扫描量热仪进行如下试验,试验1:在10℃/min的速率下,将大豆蛋白胶样品从50℃升温至220℃;试验2:在10℃/min的速率下,将大豆蛋白胶样品从50℃升温至140℃,在140℃保持10min,再以10℃/min的速率升温至220℃;试验3:在10℃/min的速率下,将混合物(大豆蛋白胶与纤维素质量比10:1)样品从50℃升

温至220℃。

试验得到相应的热反应曲线,对不同样品的热反应特征进行分析。

4)红外光谱分析。取大豆分离蛋白,将大豆蛋白胶和大豆蛋白胶与纤维素(质量比10:1)的混合物分别进行真空冷冻干燥,然后分别在140℃下进行固化、干燥后制得粉末试样。采用傅里叶变换红外光谱仪,以KBr压片法,波数从500~4000cm<sup>-1</sup>进行红外扫描。

## 2 结果与分析

### 2.1 大豆蛋白胶理化性质

大豆蛋白胶是一种红褐色黏稠状的液体,与未改性的大豆蛋白相比,大豆蛋白胶的各种理化性质都有明显变化。了解大豆蛋白胶粘剂的各项指标(固含量为23.57%,黏度为690mPa·s),有助于更好地分析大豆蛋白胶的胶粘性能。

大豆蛋白经变性处理后,蛋白质的构造发生变化,形成了比天然大豆蛋白更加有序的结构。有研究表明:与固含量相同的大豆分离蛋白溶液相比,蛋白胶的蛋白含量和黏度都明显变小,这是因为在改性过程中蛋白质在熵变驱动下,伴随自聚集循环形成蛋白聚集颗粒,蛋白聚集微粒刚性较大、构象力大、构象更紧密<sup>[7]</sup>。较低的黏度(690mPa·s)有利于胶的流动、传递、渗透和浸润,从而能够增加固化过程中的粘结强度<sup>[9]</sup>。常用的脲醛树脂胶为乳白色黏液,黏度为250~400mPa·s,该胶游离甲醛含量低,在现阶段人造板生产中性能良好,应用也较为广泛,与之相比,大豆蛋白胶从原料到生产加工更加无毒无害,性能也在不断改进中,大豆蛋白胶低黏度的特性已经可以与脲醛树脂胶媲美。

降低大豆蛋白胶的含水率,能够有效地降低热压温度、节约成本。由于固含量过高会对施胶以及胶粘剂在单板之间的传递和渗透过程造成影响,因此胶粘剂的含水率不宜过低。实验中选用的大豆蛋白胶含水率较高,在实际生产热压过程之前采取热预压的办法蒸发水分,能够提高产品的质量,同时降低生产成本。

### 2.2 大豆蛋白胶的DSC热分析

了解大豆蛋白胶自身的受热过程是研究大豆蛋白胶与纤维素混合物固化过程的前提。由此,有必要利用差示扫描量热法(DSC),先对大豆蛋白胶受热过程中发生的焓变进行分析。

含水率为15%的大豆蛋白胶,以10 °C/min的速率由50 °C升温至220 °C的DSC图谱见图1a。

在升温过程中,大豆蛋白胶只出现了1个吸热峰。当温度上升到142.19 °C时,大豆蛋白胶出现吸热现象,该吸热峰在153.55 °C时达到顶峰,到175.22 °C时该曲线趋于平缓。通过对吸热峰的面积积分,可得该吸热峰吸收的热量为200.4 J/g。这表明在升温速率为10 °C/min时,大豆蛋白胶会产生较大的吸热反应,直到175.22 °C左右结束。大豆蛋白胶的含水率对其固化温度有重要影响,含水率越低固化温度越高<sup>[8]</sup>。实验证明,升温速率的大小对DSC曲线的形状、固化温度和反应热均有明显影响<sup>[9]</sup>。实验选取试样含水率为15%,升温速率为10 °C/min,大豆蛋白胶的固化温度在153.55 °C附近,在实际生产工艺中选取的热压温度为140 °C左右,大豆蛋白胶的热反应曲线见图1b。

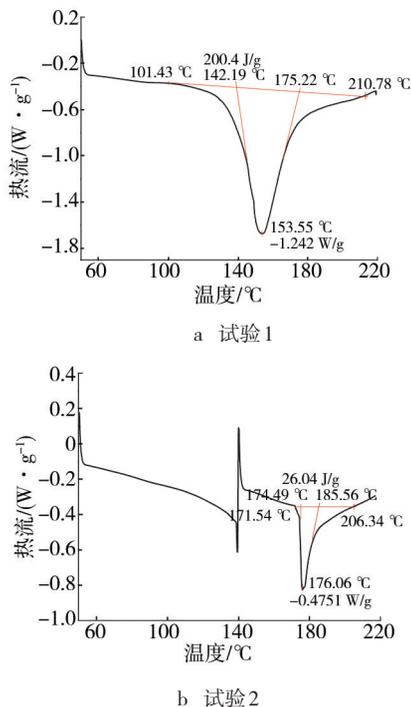


图1 大豆蛋白胶的热反应曲线

Fig.1 The thermal reaction curve of soy protein adhesive

从图1b中可见,当大豆蛋白胶经过140 °C、10 min固化后,在174.49 °C出现吸热峰,该吸热峰在176.06 °C时达到顶峰,到185.56 °C时该曲线趋于平缓,该吸热峰吸收的热量仅为26.04 J/g,与图1a中吸热峰吸收的热量相比明显减少,减少了174.36 J/g,这表明大豆蛋白胶在140 °C时完成了大部分的固化反应。由于大豆蛋白胶是多肽高聚物,结构极其复杂,其受热交联固化过程不是从一种结构转变为另一种结构,而是由一批复杂结构的多肽物质经过分子间和分子内官能团的交联,氨基酸之间发生化学反应,使

其凝胶成以次价键(如氢键)为主要结合键的网络结构。同时,在固化过程中的各个活性基团(如羧基、氨基)与水之间有可能形成氢键(或范德华力),这是一个连续的过程,且粘结强度随着固化时间的延长而增加<sup>[10]</sup>。此外,大豆蛋白胶中添加的交联剂(如多环氧化物等)能与大豆蛋白中的多种官能团(如羟基、氨基、羧基和巯基等)发生交联反应,提高了大豆蛋白胶的耐水性<sup>[11-12]</sup>。

在各类人造板的实际生产中,大豆蛋白胶施胶量与各类木材纤维的质量比约为10:1,且在一定范围内不同的比例对其热反应特征曲线的影响差别不大<sup>[8]</sup>。大豆蛋白胶与纤维素(质量比10:1)混合物的热反应曲线见图2,可以看出,当温度上升到119.19 °C时,大豆蛋白胶突然出现吸热的现象,吸热峰在119.20 °C时达到顶峰,到126.13 °C时该曲线趋于平缓,该吸热峰吸收的热量为222.0 J/g。与图1a相比峰形变尖,吸热峰起始温差明显减少,由33.03 °C减少为6.93 °C;吸热量从200.4增加到222.0 J/g,增加了21.6 J/g,这表明在固化过程中,蛋白胶与纤维素之间发生了吸热反应,且反应迅速。与图1a相比,混合物的固化温度降低至119.20 °C左右,这说明大豆蛋白胶与纤维素之间的固化反应要比大豆蛋白胶自身固化更容易。纤维素是一种以1,4葡萄糖糖苷键结合的直连式多糖,与大豆蛋白胶混合后,纤维素与蛋白质、水之间易形成氢键,随着温度的升高,氢键断裂,除了蛋白胶自身的交联固化,纤维素和蛋白质的官能团之间很有可能发生化学反应,形成高聚物<sup>[13]</sup>。此外,实验选用的微晶纤维素表面多孔、结构疏松,蛋白胶更易渗透,这也加快了反应速度。在水性高分子异氰酸酯胶粘剂与木材间反应的研究中,研究人员也发现,胶粘剂与被粘物之间通过发生化学反应能获得较好的胶接强度<sup>[6]</sup>。

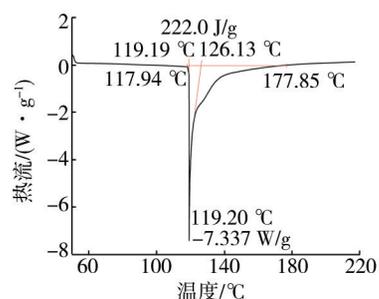


图2 大豆蛋白胶与纤维素混合物的热反应曲线

Fig.2 The thermal reaction curve of the mixture of soy protein adhesive and cellulose

### 2.3 傅里叶变换红外光谱分析

红外光谱和核磁共振光谱、质谱、紫外光谱一

样,是确定分子组成和结构的有力工具<sup>[14]</sup>。根据傅里叶变换红外(FTIR)光谱图中各特征吸收峰的强度、位置和形状,得出试验样品中不同活性基团的变化,在已有研究的基础上,推断出固化过程中可能发生的化学变化。

大豆分离蛋白和固化前后的大豆蛋白胶的红外光谱图比较见图3—4。

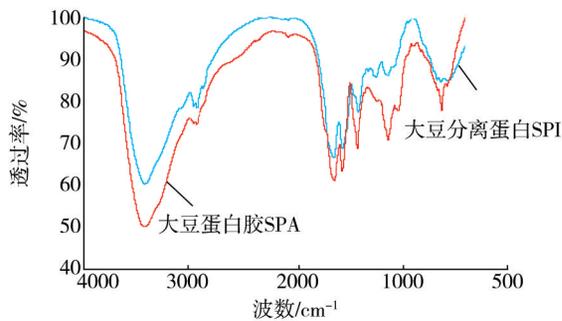


图3 大豆分离蛋白与大豆蛋白胶样品的红外光谱

Fig.3 The infrared spectra of soy protein isolate and soy protein adhesive samples

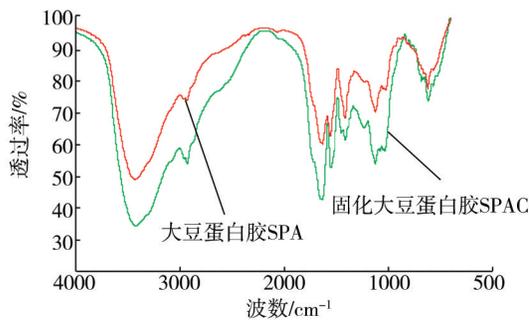


图4 大豆蛋白胶固化前后的红外光谱图

Fig.4 The infrared spectrum of soy protein adhesive before and after curing

一般蛋白质的IR光谱图分为几组特征吸收谱带,酰胺I、酰胺II和酰胺III的波长分别对应 $1600\sim 1700\text{ cm}^{-1}$ ,  $1530\sim 1550\text{ cm}^{-1}$ 和 $1260\sim 1300\text{ cm}^{-1}$ <sup>[15]</sup>。从图3—4可以看出,所有样品中都含有蛋白质的典型酰胺吸收光谱带。

SPI的红外光谱中O—H和N—H基团的伸缩振动频率( $3000\sim 3500\text{ cm}^{-1}$ )表明,羟基与羟基、氨基与氨基和羟基与氨基之间极有可能存在分子间氢键,这些官能团之间彼此相互关联。羧酸中C=O的吸收峰一般在 $1700\sim 1750\text{ cm}^{-1}$ ,SPI的红外曲线中没有出现,表明可能存在—NH—CO—,但没有—COOH。—NH的伸缩振动和酰胺II的吸收峰表明,大豆分离蛋白中—NH<sub>2</sub>的存在。SPA与SPI相比,酰胺I的吸收谱带波数右移并且吸收峰变宽,说明大豆蛋白胶中蛋白质的3级结构

被打开,内部基团暴露;在 $1700\sim 1750\text{ cm}^{-1}$ 区间内出现了—COOH中C=O的吸收峰,这表明在大豆蛋白改性过程中,C=O和—OH被释放或酰胺键水解,形成了—COOH。羧基和氨基等官能团的红外吸收强度显著变化是大豆蛋白胶粘结性形成的化学基础<sup>[16]</sup>。对比曲线SPA与SPAC, $3300\sim 3400\text{ cm}^{-1}$ 是O—H和N—H伸缩振动吸收峰; $2927\text{ cm}^{-1}$ 是甲基中C—H的伸缩振动吸收峰; $1630\text{ cm}^{-1}$ 是酰胺键中C=O的吸收峰; $1450\text{ cm}^{-1}$ 是羧基—OH的变形振动吸收峰; $1230\text{ cm}^{-1}$ 是醚键—C—O—的吸收峰,在 $1072\text{ cm}^{-1}$ 处出现的是伯醇中C—O伸缩振动吸收峰。SPAC在 $1630\text{ cm}^{-1}$ 处吸收峰增强,表明聚合物之间可能形成分子内氢键,从而导致C=O伸缩频率的变化,在 $1230\text{ cm}^{-1}$ 左右吸收峰变尖,在 $1549\text{ cm}^{-1}$ 处酰胺谱带II的吸收峰变宽,均表示固化后的大豆蛋白胶亲水性基团减少,酰胺键有所增加。说明大豆蛋白胶固化过程中内部基团发生化学反应,形成交联<sup>[17]</sup>。

在人造板的生产中,原料的化学组成是评价原料质量的重要指标,也是指定生产工艺的重要依据,通常原料的纤维素含量越高,得到的产品强度性能越好<sup>[9]</sup>。在现阶段的研究中,国内外研究人员已经证实大豆蛋白胶中的活性基团能够与木质基材之间发生固化反应,图2中的DSC曲线证实了大豆蛋白胶与纤维素之间存在吸热反应。对固化前后的大豆蛋白胶与纤维素混合物的红外光谱曲线进行对比,分析固化中蛋白胶与纤维素之间的化学基团变化,见图5—6。

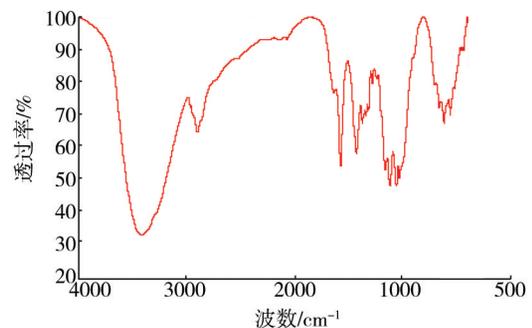


图5 微晶纤维素样品的红外光谱

Fig.5 The infrared spectrum of cellulose

木材纤维素的吸收峰一般在 $2900, 1425, 1370, 895\text{ cm}^{-1}$ 等波数附近,多糖类物质在 $1100\sim 1000\text{ cm}^{-1}$ 附近会出现多个C—OH的伸缩振动吸收峰。在图5—6中,MCC的曲线中包含以上特征<sup>[14, 18]</sup>。与纤维素(MCC)的红外光谱曲线相比,大豆蛋白胶与纤维素的混合物(SPA—MCC)在 $1720\text{ cm}^{-1}$ 附近出现了—COOH中—C=O的特征峰,而固化后的混合物(SPA+

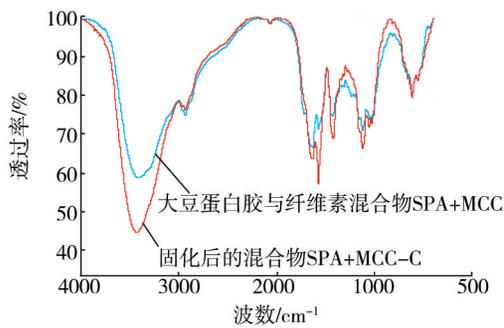


图6 固化前后大豆蛋白胶与纤维素混合物的红外光谱

Fig.6 The infrared spectrum of before and after cured mixture of soy protein adhesive and cellulose

MCC-C)在 $1720\text{ cm}^{-1}$ 处特征峰明显减弱;在图3—4中,蛋白胶固化前后—COOH中的—C=O无明显变化,同时 $1100\sim 1000\text{ cm}^{-1}$ 附近C—OH的吸收峰减弱,说明蛋白胶中的羧基可能与纤维素中的羟基发生化学反应,这与DSC分析中得出的结论一致。由此,可以证明大豆蛋白胶和纤维素在一定温度下发生了聚合反应,形成了新的聚合物。对于聚合物的具体结构形态,还需要利用其他试验进一步的分析研究。

### 3 结语

1) 较高的含水率和较低的黏度有利于大豆蛋白胶的流动、传递、渗透和浸润过程,增强了固化后的粘结强度;大豆蛋白胶作为环保型生物基胶粘剂各项性能良好。

2) 大豆蛋白胶与纤维素间反应与大豆蛋白胶自身反应相比,所需的固化温度更低。

3) 在一定温度下,大豆蛋白胶自身会发生固化交联,反应吸收一定的热量;大豆蛋白胶与纤维素之间发生吸热反应,形成新的聚合物。

4) 在人造板生产中,可以通过蛋白改性进一步增强大豆蛋白胶中的活性基团,以及通过对木质基材进行预处理的方法,促进板材热压过程中的交联固化,从而提高人造板产品的性能。

### 参考文献:

[1] 常亮,郭文静,陈勇平,等.人造板用无醛胶粘剂的研究进展及应用现状[J].林产工业,2014,41(1):3—6.  
CHANG Liang, GUO Wen-jing, CHEN Yong-ping, et al. Review of Research and Application of Non-Formaldehyde Adhesives for Producing Wood-Based Panels[J]. China Forest Products Industry, 2014, 41(1): 3—6.

[2] LI Kai-chang, PESHKOVA S, GENG Xing-lian. Investigation

of Soy Protein-Kymene Adhesive Systems for Wood Composites[J]. J Am Oil Chem Soc, 2004, 81: 487—91.

- [3] 梁向晖,付时雨,林荣斌,等.大豆蛋白胶粘剂的化学改性研究进展[J].中国胶粘剂,2007,16(3):37—40.  
LIANG Xiang-hui, FU Shi-yu, LIN Rong-bin, et al. Research Progress of Adhesives Made from Chemical Modification of Soy Protein[J]. China Adhesive, 2007, 16(3): 37—40.
- [4] LIU Yuan, LI Kai-chang. Development and Characterization of Adhesives from Soy Protein for Bonding Wood[J]. International Journal of Adhesion and Adhesives, 2005, 27: 59—67.
- [5] 周定国.农作物秸秆人造板的研究[J].中国工程科学, 2009, 11(10): 115—121.  
ZHOU Ding-guo. The Development of Straw-based Panel[J]. Engineering Sciences, 2009, 11(10): 115—121.
- [6] 顾继友,程瑞香.采用DSC和FTIR对木材和API胶粘剂间反应的研究[J].中国胶粘剂,2005,14(4):10—13.  
GU Ji-you, CHENG Rui-xiang. Study on Gluing Mechanism between Wood and API Adhesive by Means of DSC and FTIR [J]. China Adhesive, 2005, 14(4): 10—13.
- [7] 石晶玉,孙国恩,何镇明,等.动物蛋白质胶型的固化工艺及机理[J].铸造,1998(10):35—37.  
SHI Jing-yu, SUN Guo-en, HE Zhen-ming, et al. The Curing Process and Mechanism of Animal Protein Glue Type[J]. China Foundry, 1998(10): 35—37.
- [8] 袁超.中密度纤维板用纤维板性能的研究[D].上海:上海理工大学,2010.  
YUAN Chao. Research on the Properties of Medium Density Fiberboard[D]. Shanghai: University of Shanghai for Science and Technology, 2010.
- [9] 毛如增,冀克俭,张银生,等. DSC法测定环氧树脂固化反应温度和反应热[J].工程塑料应用,2002,30(11):36—39.  
MAO Ru-zeng, JI Ke-jian, ZHANG Yin-sheng, et al. Determination of Cure Reaction Temperature and Reaction Heat for Epoxy Resins by DSC[J]. Engineering Plastics Application, 2002, 30(11): 36—39.
- [10] 程瑞香.木材胶接时胶合强度的形成过程[J].木材加工机械,2004(6):32—34.  
CHENG Rui-xiang. Formation Process of Bonding Strength during Wood Gluing Operation[J]. Wood Processing Machinery, 2004(6): 32—34.
- [11] LEI H, DU G, WU Z, et al. Cross-linked Soy-based Wood Adhesives for Plywood[J]. International Journal of Adhesion & Adhesives. 2014, 50: 199—203.
- [12] HUANG Jian, LI Chun-hong, LI Kai-chang. A New Soy Flour-polyepoxide Adhesive System for Making Interior Ply

- HE Nan-zhi, JIANG De-fu. Consideration of Food and Packaging Machinery Development in China[J]. Packaging World, 2009(1): 28—29.
- [9] 钟纪宝. 包装机械产业的四大发展趋势[J]. 中国包装工业, 2006(2): 28.  
ZHONG Ji-bao. Four Development Trends of Packaging Machinery Production[J]. China Packaging Industry, 2006(2): 28.
- [10] 陈润洁, 王红军, 边玉鸾. 真空包装机技术标准与检测方法的研究[J]. 农业机械学报, 2006, 37(8): 205—207.  
CHEN Run-jie, WANG Hong-jun, BIAN Yu-luan. Study on Standard and Inspection Method of Vacuum Packaging Machine[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2006, 37(8): 205—207.
- [11] 杨传民, 刘铭宇, 汪浩, 等. 给袋式包装机取袋机构的运动学分析[J]. 农业机械学报, 2013, 44(S2): 161—166.  
YANG Chuan-min, LIU Ming-yu, WANG Hao, et al. Kinematic Analysis of Bag-picking Mechanism in Automatic Bag-delivering Packaging Machine[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, 44(S2): 161—166.
- [12] 杨传民, 汪浩, 刘铭宇, 等. 给袋式包装机撑袋空间组合机构的运动分析[J]. 包装工程, 2014, 35(5): 35—40.  
YANG Chuan-min, WANG Hao, LIU Ming-yu, et al. Kinematic Analysis of Spatial Combined Mechanism for Bag Opening in Automatic Bag Packaging Machine[J]. Packaging Engineering, 2014, 35(5): 35—40.
- [13] 侯红红, 杨传民, 汪浩, 等. 茴香及芹菜基可食性包装纸热封性能的研究[J]. 包装工程, 2013, 34(15): 23—27.  
HOU Hong-hong, YANG Chuan-min, WANG Hao, et al. Heat Sealing Performance of Fennel and Celery Based Edible Wrapping Paper[J]. Packaging Engineering, 2013, 34(15): 23—27.
- [14] 彭智松. 全自动立式充填真空包装机的研制[J]. 广东科技, 2010(18): 29—32.  
PENG Zhi-song. Fully Automatic Vacuum Packaging Machine with Vertical Feed[J]. Guangdong Science and Technology, 2010(18): 29—32.
- [15] 彭智松. 智能型全自动真空茶叶包装机: 中国, ZL200910131897.0[P]. 2009—10—13.  
PENG Zhi-song. Intelligent Automatic Tea Vacuum Packaging Machine: China, ZL200910131897.0[P]. 2009—10—13.

(上接第52页)

- wood[J]. Holzforschung. 2012, 66(4): 427—431.
- [13] 刘振海, 陆立明, 唐远旺. 热分析简明教程[M]. 北京: 科学出版社, 2012.  
LIU Zhen-hai, LU Li-ming, TANG Yuan-wang. Thermal Analysis Tutorial[M]. Beijing: Science Press, 2012.
- [14] 翁诗甫. 傅里叶变换红外光谱分析[M]. 第2版. 北京: 化学工业出版社, 2010.  
WENG Shi-fu. Fourier Translation Infrared Spectroscopy[M]. The Second Edition. Beijing: Chemical Industry Press, 2010.
- [15] MENG G T, MA C Y. Fourier-transform Spectroscopic Study of Globulin from Phaseolus Angularis[J]. Inter. J. Biol. Macromolecules, 2001, 29: 287—294.
- [16] CHEN Nai-rong, LIN Qiao-jia, RAO Jiu-ping. Water Resistances and Bonding Strengths of Soy-based Adhesives Containing Different Carbohydrates[J]. Industrial Crops and Products, 2013, 50: 40—49.
- [17] 陈奶荣, 林巧佳, 卞丽萍. 改性豆胶胶合板热压工艺优化及固化机理分析[J]. 农业工程学报, 2012, 28(11): 248—253.  
CHEN Nai-rong, LIN Qiao-jia, BIAN Li-ping. Curing Mechanism of Modified Soy-based Adhesive and Optimized Plywood Hot-pressing Technology[J]. Transaction of Chinese Society of Agricultural Engineering, 2012, 28(11): 248—253.
- [18] 林贤福. 现代波谱分析方法[M]. 上海: 华东理工大学出版社, 2009.  
LIN Xian-fu. Modern Spectrum Analysis Method[M]. Shanghai: East China University of Science and Technology Press, 2009.

(上接第78页)

- (3): 32—34.
- [15] 马国鹭, 刘丽贤, 曾国英. 长虹某型电视机包装的跌落冲击响应分析[J]. 包装工程, 2008, 29(9): 6—7.  
MA Guo-lu, LIU Li-xian, ZENG Guo-ying. Dropping Impact Analysis of the Packaging Structure of Changhong Television [J]. Packaging Engineering, 2008, 29(9): 6—7.
- [16] 马国鹭, 刘丽贤, 曾国英. 长虹某型电视机的跌落仿真分析[J]. 噪声与振动控制, 2008(6): 168—170.  
MA Guo-lu, LIU Li-xian, ZENG Guo-ying. Dropping Emulation Analysis of Changhong TV Set[J]. Noise and Vibration Control, 2008(6): 168—170.