

## 包装材料

# 淀粉基胶黏剂鸡毛纤维板的制备工艺优化

张慧敏<sup>1</sup>, 唐亚丽<sup>1,2</sup>, 卢立新<sup>1,2</sup>, 王军<sup>1,2</sup>, 丘晓琳<sup>1,2</sup>

(1.江南大学, 无锡 214100; 2.江苏省食品先进制造装备技术重点实验室, 无锡 214100)

**摘要:**目的 优化以可溶性淀粉为胶黏剂、羽毛纤维为基材的板材制备工艺, 并研究其性能特征。方法 通过正交实验等研究板材含水率、施胶量和热压温度对鸡毛纤维板力学性能的影响, 确定其优化制备工艺, 并通过傅里叶红外光谱研究其板材成型机理。结果 淀粉基胶黏剂鸡毛纤维板的优化制备工艺中施胶量为  $250 \text{ kg/m}^3$ , 鸡毛纤维板坯含水率为 15%, 热压温度为  $150^\circ\text{C}$ 。施胶量是最大影响因素, 随着施胶量的增加, 鸡毛纤维板的内结合强度、静曲强度、弹性模量和 24 h 吸水厚度膨胀率逐渐增大, 当施胶量为  $260 \text{ kg/m}^3$  时, 纤维板内结合强度、静曲强度、弹性模量和 24 h 吸水厚度膨胀率分别为 0.69 MPa, 20.48 MPa, 2675 MPa 和 10.23%。淀粉含量越高, 纤维板吸水性越强。涂布石蜡后其吸水性能显著降低, 由未涂布石蜡时的 109.89% 降低到 54.81%。结论 将羽毛制作作为轻质纤维板材料具有一定的可行性。

**关键词:** 可溶性淀粉; 鸡毛纤维; 石蜡; 力学性能

中图分类号: TB484.6 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2017)19-0052-05

## The Optimization of Preparation Technology of Starch-based Adhesive Feather Fiberboard

ZHANG Hui-min<sup>1</sup>, TANG Ya-li<sup>1,2</sup>, LU Li-xin<sup>1,2</sup>, WANG Jun<sup>1,2</sup>, QIU Xiao-lin<sup>1,2</sup>

(1.Jiangnan University, Wuxi 214100, China; 2.Jiangsu Key Laboratory of Advanced Food Manufacturing Equipment and Technology, Wuxi 214100, China)

**ABSTRACT:** The work aims to optimize the board preparation technology with the soluble starch as the adhesive and the feather fiber as the base material, and study its performance characteristics. The effect of board moisture content, adhesive consumption and hot-pressing temperature on the mechanical property of the feather fiberboard property was studied, and its optimized preparation technology was determined by orthogonal experiment and so on. Moreover, its board forming mechanism was studied through the Fourier infrared spectrum. In the optimized preparation technology of starch-based adhesive feather fiberboard, the adhesive consumption was  $250 \text{ kg/m}^3$ , the moisture content of feather fiberboard blank was 15% and the hot-pressing temperature was  $150^\circ\text{C}$ . The biggest influencing factor was adhesive consumption. With the increase in the adhesive consumption, the internal bonding strength, static bending intensity, elastic modulus and 24 h thickness swelling rate of water absorption of the feather fiberboard increased gradually. When the adhesive consumption was  $260 \text{ kg/m}^3$ , the internal bonding strength, static bending intensity, elastic modulus and 24 h thickness swelling rate of water absorption of the fiberboard were 0.69 MPa, 20.48 MPa, 2,675 MPa and 10.23%, respectively. The higher the starch content was, the stronger the fiberboard's water absorption was. After coating the paraffin, the water absorption was significantly reduced to 54.81% from 109.89% when uncoated with paraffin. The preparation of lightweight fiberboard with the feather is to certain extent feasible.

**KEY WORDS:** soluble starch; feather fiber; paraffin; mechanical property

收稿日期: 2017-02-15

基金项目: 国家自然科学基金 (31101376, 31671909)

作者简介: 张慧敏 (1991—), 女, 江南大学硕士生, 主攻食品包装。

通讯作者: 唐亚丽 (1982—), 女, 博士, 江南大学副教授, 主要研究方向为食品包装安全与技术。

随着生活水平的提高,人们对家禽肉类的需求量急剧增长,我国出现了家禽的大规模批量养殖,因而产生了大量的羽毛副产物,并且除了少部分羽毛通过简单加工后制作成装饰品<sup>[1]</sup>、鸡毛掸子<sup>[2]</sup>或提取角蛋白制成蛋白粉添加到动物饲料中<sup>[3]</sup>以外,大部分都会作为废弃物被掩埋或者丢弃,不仅造成资源的浪费,同时也会对环境造成一定的危害。目前对于羽毛材料的研究多集中在羽毛角蛋白的提取方法以及羽毛的应用方面,包括角蛋白膜包装材料<sup>[4—6]</sup>、铬鞣废水处理<sup>[7—9]</sup>、皮革填充材料<sup>[10]</sup>、织物改性以及复合材料等<sup>[11]</sup>,但是提取羽毛角蛋白的过程比较复杂,并且会产生一些有害的副产物,不利于对羽毛的再利用。

由于木质材料具有优良的强度承受冲击性能,所以在振动、重压下仍能保持良好的不变形性而被广泛应用,但树木生长周期长导致目前的木材资源紧缺,并且大量地取用木材不利于环境的改善<sup>[12]</sup>。由此人造板应运而生,但普通人造板在其制造生产过程中加入的脲醛树脂胶黏剂会产生一些对人体有害的气体,如甲醛等<sup>[13]</sup>。羽毛纤维质轻、柔软抗皱,抗拉性、耐磨性和防水性好,经研究表明,羽毛纤维长度和阔叶木浆纤维差不多<sup>[14]</sup>,美国农业部的 Gassner 等成功将羽毛纤维从家禽羽毛中分离出来<sup>[15]</sup>,目前我国对于利用羽毛纤维制备可降解纤维板的研究还较少。这里将鸡毛经过简单机械处理后,以淀粉作为胶黏剂,通过热压工艺,研究并制备一种新型的绿色可降解纤维板材,并研究涂布液体石蜡对鸡毛纤维板防水性能的影响,最终确定制造鸡毛可降解纤维板的优化制备工艺配方和生产流程,为其未来工业化生产提供参考,拓展其在木包装领域的应用。

目前木包装一般以木材为原料,制得的木包装力学性能优良、刚性好、抗冲击能力强,但木材生长周期长且树木有净化空气等作用,对其过度砍伐不利用环保,而淀粉基胶黏剂鸡毛纤维板原料是鸡毛,是废弃物的再利用,制作工艺简单,可缓解木材资源紧张的状况。由于鸡毛纤维板成本低、性能稳定,且本身具有一定的防水防霉性,可代替木材作为托盘、小型木包装的原材料。

## 1 实验

### 1.1 材料与仪器

主要材料: 鸡毛, 无锡养殖场集团有限公司; 可溶性淀粉 (BR), 甘油 (AR), 石蜡, 溴化钾 (AR), 国药集团化学试剂有限公司。主要仪器: JYL-Y96 数显恒速强力电动搅拌机, 九阳股份有限公司; DHG-9070A 电热恒温鼓风干燥箱, 上海精宏实验设备有限公司; SX<sub>2</sub>-4-10 平板硫化机, 上海博泰实验设备有限公司; ALPHA 鲁克红外光谱仪, 布鲁克光谱

仪器公司; LRXplus 万能电子材料实验机, 英国 LLOYD 公司; Q/ILBN2-2006CH-1-S 千分手式薄膜测厚仪, 上海六菱仪器厂。

### 1.2 方法

#### 1.2.1 鸡毛预处理

将从无锡养殖场收集来的鸡毛用清水洗涤,去除尘土、血渍及污垢等,放入恒温鼓风干燥箱中干燥至质量不变,挑选鸡毛,去除坚硬的羽根后,放入粉碎机中,粉碎几分钟后得到类似棉花的絮状纤维。

#### 1.2.2 鸡毛纤维板制备工艺

在烧杯中加入一定量的水和可溶性淀粉,将烧杯置于水浴锅中 60 ℃下搅拌 30 min,利用涂-4 杯法确定胶黏剂粘度,在 20 ℃下淀粉溶液从孔内全部流出的时间在 20 s 左右,然后调节 pH 值为 7.0 即可。

取一定量经过预处理的鸡毛纤维,喷洒水,放入打浆机中搅打 5 min 左右,使鸡毛纤维与水分充分混合均匀,然后按照一定的鸡毛纤维含水量对其进行烘干处理,添加淀粉基胶黏剂和甘油搅拌均匀,这是因为单独添加淀粉制得的纤维板比较脆,添加甘油后可以增加板材韧性,提高鸡毛纤维的弯曲强度。甘油可以削弱聚合物分子间的相互吸引力,从而增强聚合物分子间的移动性,降低聚合物分子链的结晶性,同时增加聚合物的塑性,从而使得材料的力学性能、柔韧性等有所提高。然后使用平板硫化机进行压板,先进行预压定型,预压压力小于热压压力,一般为 1.5 MPa,然后进行热压,设置热压压力为 3 MPa,热压时间 (60 ± 15) s,在此过程中要对模具进行石蜡涂抹处理,防止鸡毛纤维粘在模具上。

#### 1.2.3 正交实验

研究板坯含水率、施胶量和热压温度对鸡毛纤维板性能的影响,确定对淀粉基鸡毛纤维板力学性能影响最大的因素以及优化制备工艺,按照正交表设计试验方案,因素和水平见表 1。

表 1 因素水平  
Tab.1 Factor levels

水平	施胶量 A/(kg · m <sup>-3</sup> )	含水率 B/%	热压温度 C/℃
1	150	5	130
2	200	10	150
3	250	15	170

#### 1.2.4 单因素实验

通过正交试验得到影响因素的主次关系及最佳工艺参数后,进行单因素试验,即保持其余 2 个因素不变,通过改变最大影响因素的取值,制备不同最大影响因素值的鸡毛纤维板,测试板材的内结合强度、吸水厚度膨胀率、静曲强度、弹性模量。

### 1.2.5 傅里叶红外光谱的测试

将热压成型后的鸡毛纤维板通过粉碎机粉碎、过筛制得粉末，将粉末在70℃的烘箱内干燥4 h，采用KBr压片法，取少量试样和KBr至研钵研磨成粉末状，待其混合均匀后压片，通过傅里叶红外光谱仪检测纤维表面官能团的变化。

### 1.2.6 内结合强度、弹性模量和静曲强度的测试

依据GB/T 17657—2013《人造板及饰面人造板理化性能试验方法》进行实验，对鸡毛淀粉基胶黏剂纤维板的内结合强度、静曲强度、弹性模量进行测量。

### 1.2.7 吸水厚度膨胀率的测试

用千分尺测量纤维板不同位置的厚度，取平均值。将鸡毛纤维板放在(25±2)℃蒸馏水中，水位高出鸡毛纤维板顶端30 mm，使它的表面和水面垂直，不沉于水底，试件间应有一定间隙。浸泡24 h后取出，将纤维板表面的水分吸干，立即在原测量点测厚度。

### 1.2.8 防水处理实验方法

将鸡毛纤维板裁减成标准大小的方形板材，称量并纪录质量 $m_1$ ，放入盛有液体石蜡的烧杯中进行浸渍，30 s后取出，于60℃烘干箱中烘干至质量不变，将其浸入去离子水中，放置在室温条件下，24 h后取出，用纸巾轻轻吸附鸡毛纤维板表面的多余水分，称取并纪录质量为 $m_2$ ，设置空白对照组并取3个平行试样，按照式(1)计算鸡毛纤维板的吸水率 $Q$ ：

$$Q = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \times 100\% \quad (1)$$

## 2 结果与讨论

### 2.1 鸡毛纤维板材的表征

鸡毛纤维板照片见图1a，施胶量为250 kg/m<sup>3</sup>，此时纤维板表面平整光滑，强度也较好。可以看出，纤维板表面呈现出颜色不同的效果，这可能是由于鸡毛纤维和胶黏剂等混合不均匀所致，颜色较深的地方含胶黏剂较多，颜色发白的地方含胶黏剂较少。

通过红外光谱仪对鸡毛纤维板进行表征，见图1b。在官能团区，3415 cm<sup>-1</sup>处的峰形宽而钝，主要是鸡毛纤维O—H和N—H的特征峰；在2922和2901 cm<sup>-1</sup>处尖锐的峰分别为C—H的对称伸展振动和不对称伸展振动吸收峰；在1682 cm<sup>-1</sup>处的峰为肽键—CO—NH—中C=O的伸缩振动吸收峰；在1227 cm<sup>-1</sup>处尖且长的吸收峰为C—N的伸缩振动峰；在指纹区，1090和1009 cm<sup>-1</sup>处为一些单键(—S—S—，—SH，S—O)的伸缩振动。可以看出，鸡毛纤维成分是角蛋白，角蛋白可分为α角蛋白和β角蛋白，α角蛋白中含有较多半胱氨酸残基，形成大量二

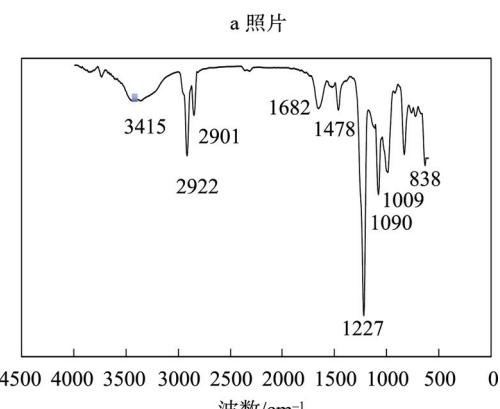


图1 鸡毛纤维板表征  
Fig.1 Characterization of chicken feather fiberboard

硫键，使得鸡毛纤维十分稳定，制得的纤维板具有较好的强度。

### 2.2 鸡毛纤维板的基本特征

目前我国纤维板企业多以生产中、高密度纤维板为主，低密度纤维板还鲜有生产<sup>[10]</sup>。鸡毛有质轻的特点，具有制造低密度纤维板的潜力。鸡毛纤维板的厚度和密度见表2，可以看出，淀粉基胶黏剂鸡毛纤维板厚度为(2.00±1) mm，较均匀，且纤维板基本属于中密度，这可能是因为胶黏剂为淀粉，具有较大的密度，从而使得鸡毛纤维板整体的密度上升。

表2 鸡毛纤维板的厚度和密度  
Tab.2 The thickness and density of chicken feather fiberboard

编号	水平			厚度/mm	密度/(g·cm <sup>-3</sup> )
	A	B	C		
1	1	1	1	2.14	0.85
2	1	2	2	2.83	0.66
3	1	3	3	2.75	0.71
4	2	1	2	2.46	0.89
5	2	2	3	2.66	0.74
6	2	3	1	2.74	0.72
7	3	1	3	2.01	0.81
8	3	2	1	2.60	0.73
9	3	3	2	2.89	0.65

### 2.3 正交实验结果

热压过程中的热量传递主要靠水分作为介质,水蒸气会促进鸡毛纤维成分的活化和氢键的形成,加快胶黏剂的胶合反应,使得纤维板快速固化,因此水分在纤维板中必不可少。水分不宜过多,水分多会降低纤维板尺寸稳定性,且在纤维板的制作工艺过程中,如果鸡毛纤维浆料水分太多,受压下水分会将胶黏剂带至浆料边缘,纤维板的中心部位胶黏剂含量下降,导致其各部分质量分布不均匀。由于鸡毛纤维主要成分是角蛋白,角蛋白分子通过二硫键、氢键和其他交联键作用后非常稳定,一般条件下不会发生反应,温度主要对胶黏剂产生影响。正交实验结果表明,各因素对纤维板的静曲强度和内结合强度的影响顺序为 $A > C > B$ ,此时最佳工艺分别为 $A_3B_3C_2$ 和 $A_3B_3C_3$ ,综合实际情况考虑,调整生产工艺为 $A_3B_3C_2$ ,即施胶量为250 kg/m<sup>3</sup>,鸡毛纤维板坯含水率为15%,热压温度为150 °C。对吸水厚度膨胀率和弹性模量影响的最大因素为施胶量,因而接下来主要对施胶量这一因素进行单因素实验研究。

### 2.4 单因素实验结果

设定鸡毛纤维板的板坯含水率为15%,热压温

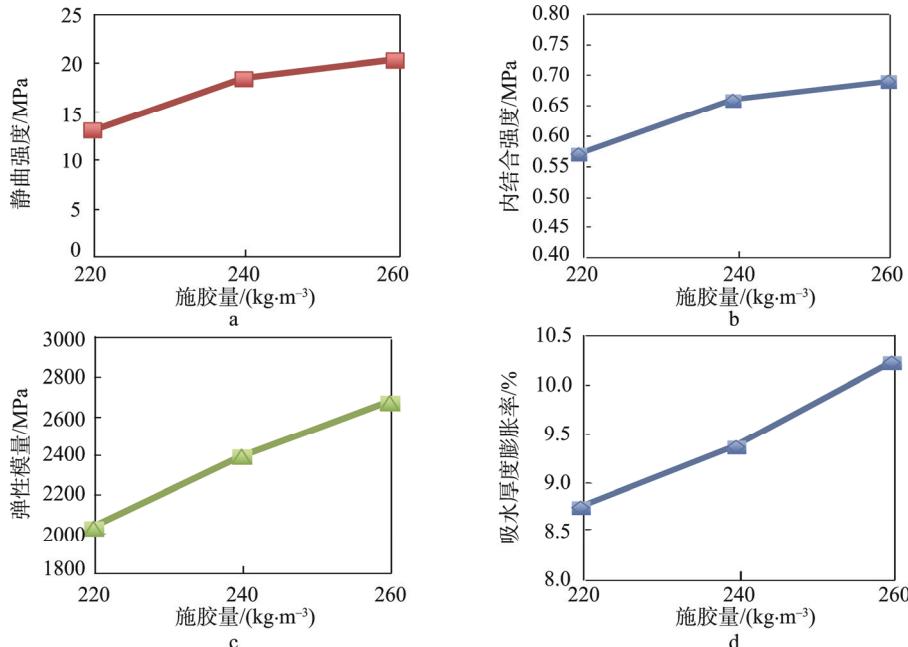


图2 施胶量对鸡毛纤维板的物理力学性能的影响

Fig.2 The effect of adhesive consumption on the physical and mechanical properties of chicken feather fiberboard

表3 未涂布石蜡与涂布石蜡纤维板吸水率对比

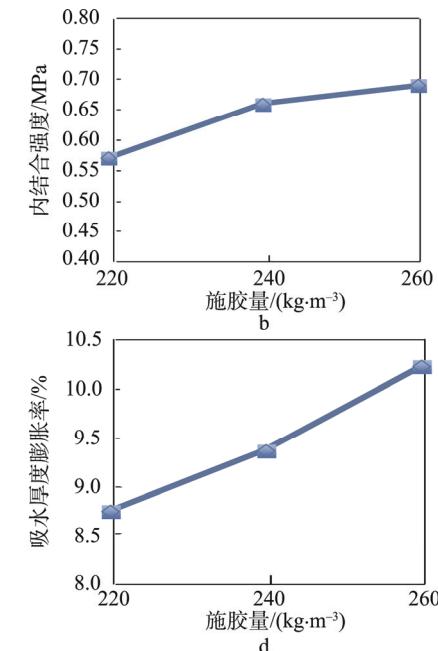
Tab.3 Water absorption contrast between fiberboards uncoated and coated with paraffin

组别	质量/g	吸水后质量/g	吸水量/g	吸水率/%
未涂布石蜡	3.66	7.68	4.02	109.89
涂布石蜡	3.37	5.22	1.85	54.81

度为150 °C,施胶量分别为220, 240, 260 kg/m<sup>3</sup>,淀粉基胶黏剂对鸡毛纤维板的物理力学性能的影响见图2。可以看出,随着施胶量的增加,纤维板的静曲强度、内结合强度、弹性模量以及吸水厚度膨胀率也在逐渐增大,其中由于淀粉基胶黏剂本身比较容易吸水,因而随着胶黏剂含量的增大,吸水厚度膨胀率也在逐渐增大。国产一级中密度纤维板技术GB/T 11718—2009中规定纤维板的吸水厚度膨胀率应不大于13%,综合考虑,鸡毛纤维板中淀粉基胶黏剂的施胶量可选为250 kg/m<sup>3</sup>左右,考虑到纤维板的防水性能较差,因此对鸡毛纤维板进行防水处理研究。

### 2.5 防水处理实验结果

石蜡是从石油中提炼出来的固体结晶物,属于一种性质极不活泼的多种碳氢化合物,即不同相对分子质量烃类的混合物。用液体石蜡作为防水剂,是由于其自身为有机溶液,与水不溶,主要通过封堵部分纤维之间的空隙与封涂纤维表面,来起到隔绝水的作用<sup>[17]</sup>。未涂布石蜡与涂布石蜡纤维板吸水率对比见表3,可以看出,鸡毛纤维板经石蜡涂布后的吸水率比未涂布石蜡时得到明显降低。



### 3 结语

充分利用了家禽业废弃物——鸡毛,通过简单的机械法压制成纤维板,整个过程操作简单、成本低且绿色环保,制成的纤维板表面平整且具有一定的强度。同时利用傅里叶红外光谱对鸡毛的内部分子结构

进行研究,可以看出,鸡毛纤维内部结构十分稳定,因而制得的纤维板具有较好的强度。

通过一系列实验分析得到淀粉基胶黏剂鸡毛纤维板的优化制备工艺,即施胶量为250 kg/m<sup>3</sup>,鸡毛纤维板坯含水率为15%,热压温度为150 ℃。考虑到纤维板材具有不防潮、见水易发胀的缺点,通过涂布液体石蜡后,纤维板的吸水率得到显著降低,由未涂布石蜡时的109.89%降低到54.81%。

从目前实验所得到的淀粉基鸡毛纤维板的性能数据来看,其力学性能还未达到中密度纤维板的要求,仍需提高。随着社会经济的发展,轻质板材行业也将面临迅速的发展,鸡毛纤维本身就具有质轻的特点,向轻质纤维板方向发展也具有一定的可行性。除此之外,鸡毛还有保温、柔软蓬松等优越性能,也可开发出板材的保温隔热、防震缓冲等性能,这些特点可用于一些特殊的包装材料中。鸡毛纤维板的用途是十分广泛且具有发展前景的。

#### 参考文献:

- [1] 佚名. 轻盈羽毛装饰[J]. 中国制衣, 2014(8): 20—21.  
Anon. Lightsome Feathers[J]. Chinese Garment Industry, 2014(8): 20—21.
- [2] 佚名. 鸡毛掸子加工方法[J]. 北京农业, 1994(10): 28.  
Anon. The Processing Method of Feather Duster[J]. Beijing Agriculture, 1994(10): 28.
- [3] VAN H E, KEMPEN T A. Growth Performance, Carcass Characteristics, Nutrient Digestibility and Fecal Odorous Compounds in Growing-finishing Pigs Fed Diets Containing Hydrolyzed Feather Meal[J]. Journal of Animal Science, 2002, 80(1): 7—9.
- [4] 王海洋. 羽毛角蛋白/羧甲基纤维素钠共混薄膜的性能及应用研究[D]. 广州: 仲恺农业工程学院, 2014.  
WANG Hai-yang. The Performance and Application of Blend Membrane of feather Keratin and CMCC[D]. Guangzhou: Zhongkai University of Agriculture and Engineering, 2014.
- [5] 邓湘文. 羽毛角蛋白膜的制备及其交联改性研究[D]. 广州: 仲恺农业工程学院, 2014.  
DENG Xiang-wen. The Preparation of Feather Keratin Membranes and Crosslinking Modification Research[D]. Guangzhou: Zhongkai University of Agriculture and Engineering, 2014.
- [6] 张鲁燕, 金恩琪, 李曼丽, 等. 热塑性接枝改性羽毛角蛋白膜材的制备及其拉伸断裂性能研究[J]. 化工新型材料, 2015(11): 111—113.  
ZHANG Lu-yan, JIN En-qi, LI Man-li, et al. Thermoplastic Grafting Modification of Feather Keratin Membrane Material Preparation and the Tensile Fracture Properties Research[J]. New Chemical Materials, 2015(11): 111—113.
- [7] 刘畅, 高品, 曹张军, 等. 羽毛角蛋白海绵材料对亚甲基蓝的吸附去除[J]. 环境工程学报, 2014(10): 4379—4385.  
LIU Chang, GAO Pin, CAO Zhang-jun, et al. Feather Keratin Sponge Material Adsorption Removal of Methylene Blue[J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2014(10): 4379—4385.
- [8] 刘路, 金雅雯, 刘畅, 等. 羽毛角蛋白残渣对水中重金属Cd~(2+)的去除特性研究[J]. 河北建筑工程学院学报, 2014(1): 60—64.  
LIU Lu, JIN Ya-wen, LIU Chang, et al. Feather Keratin Residue of Heavy Metal Cd~(2+) in Water Removal Characteristics Research[J]. Journal of Hebei Mining and Civil Engineering Institute, 2014(1): 60—64.
- [9] 庄媛, 吴小倩, 曹张军, 等. 羽毛不可溶角蛋白海绵膜对Cr(VI)的吸附性能[J]. 环境工程学报, 2013(11): 4264—4268.  
ZHUANG Yuan, WU Xiao-qian, CAO Zhang-jun, et al. Feather Unsolvble Keratin Sponge Membrane Adsorption Performance of Cr (VI)[J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2013(11): 4264—4268.
- [10] 魏鹏勃, 王鸿儒. 羽毛角蛋白的改性及其在皮革填充中的应用[J]. 中国皮革, 2006(3): 8—11.  
WEI Peng-bo, WANG Hong-ru. Modification of Feather Keratin and Its Application in the Leather Filling[J]. China Leather, 2006(3): 8—11.
- [11] 赵玲, 周华龙, 华坚. 羽毛角蛋白的资源化利用新进展[J]. 中国皮革, 2011(5): 36—40.  
ZHAO Ling, ZHOU Hua-long, HUA Jian. The Progress of Feather Keratin Resource-oriented Utilization[J]. China Leather, 2011(5): 36—40.
- [12] 顾炼百. 木材改性技术发展现状及应用前景[J]. 木材工业, 2012(3): 1—6.  
GU Lian-bai. Wood Modification Technology Development Present Situation and Application Prospect[J]. Wood Industry, 2012(3): 1—6.
- [13] 廖可军. 人造板甲醛释放量检测及影响因素探讨[J]. 贵州林业科技, 2006(2): 38—39.  
LIAO Ke-jun. Man-made Board Formaldehyde Release a Quantity to Test and Influencing Factors Discussed [J]. Guizhou Forestry Science and Technology, 2006 (2): 38—39.
- [14] 胡梦岩, 王高升, 刘春兰, 等. 羽毛纤维的形态分析及其造纸性能研究[J]. 中国造纸, 2014(10): 26—30.  
HU Meng-yan, WANG Gao-sheng, LIU Chun-lan, et al. Feather Fiber Morphological Analysis and Papermaking Performance Study[J]. Journal of China Papermaking, 2014(10): 26—30.
- [15] GASSNER G, LINE M, J, SCHMIDT W, et al. Fiber and Fiber Products Produced from Feathers: US, 5705030[P]. 1998-01-06.
- [16] 傅红梅. 羽毛粉水解制取可溶性蛋白的工艺研究[J]. 四川联合大学学报, 1997, 1(6): 65—71.  
FU Hong-mei. Preparing Soluble Protein was Hydrolyzed Feather Powder Technology Research[J]. Journal of Sichuan United University, 1997, 1(6): 65—71.
- [17] 丁可力. 乳化石蜡对中密度纤维板防水性能影响的研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2009.  
DING Ke-li. Research on the Effects of Emulsified Wax for Medium Density Fiberboard (MDF) Water-proof Performance[D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2009.