

改性大豆蛋白用于轻质代木包装材料的制备

张哲源¹, 李博¹, 严欢¹, 孙昊^{1,2}, 王利强^{1,2}, 钱怡¹, 张新昌^{1,2}

(1.江南大学, 无锡 214122; 2.江苏省食品先进制造装备技术重点实验室, 无锡 214122)

摘要: **目的** 以大豆蛋白为胶粘剂, 制备轻质代木包装材料并研究其性能。**方法** 以不同形态和配比的废旧瓦楞纸板、小麦秸秆为基材, 以大豆分离蛋白(SPI)为胶粘剂, 通过热压工艺制备轻质代木包装材料并对材料性能进行测试, 从而确定最佳配方及工艺参数。**结果** 改性剂、复配剂、基材、工艺参数的选择与材料性能密切相关, 当 NaOH, Ca(OH)₂, CMCNa, Na₂B₄O₇·10H₂O, SPI, 水, 纸纤维和秸秆质量比为 0.01 : 0.01 : 0.2 : 0.06 : 1 : 10 : 7 : 3, 热压参数为热压温度 140 °C, 热压时间为 30 min 时, 方案最优, 微波预热能使热压时间减至 11 min, 最终制得的轻质代木包装材料密度为 550 kg/m³, 静曲强度为 18.38 MPa, 弹性模量为 1926.73 MPa, 符合相关标准。**结论** SPI 改性及复配能改善其胶粘性和防水性, 微波预热能提高热压效率与试样性能, 以制备满足一定性能要求的零甲醛释放轻质代木包装材料。

关键词: 轻质代木材料; 废纸纤维; 秸秆; 大豆蛋白; 改性剂; 复配剂

中图分类号: TB484.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2016)15-0072-06

Preparation of Lightweight Wood Substitute Packaging Material by Modified Soy Protein Adhesive

ZHANG Zhe-yuan¹, LI Bo¹, YAN Huan¹, SUN Hao^{1,2}, WANG Li-qiang^{1,2}, QIAN Yi¹, ZHANG Xin-chang^{1,2}

(1.Jiangnan University, Wuxi 214122, China;

2.Jiangsu Key Laboratory of Advanced Food Manufacturing Equipment & Technology, Wuxi 214122, China)

ABSTRACT: It aims to prepare a lightweight wood substitute packaging material using soy protein as the adhesive and study its properties. Lightweight wood packaging material was hot pressed by using different forms and proportions of waste corrugated cardboard and wheat straw as substrate and modified and mixed soy protein isolate (SPI) in different ways as adhesive. Then material properties were tested to determine the optimal formula and process parameters. Selection of modifiers, mixture, substrate and process parameters was closely related to the material properties. When the proportion of NaOH, Ca (OH)₂, CMCNa, Na₂B₄O₇·10H₂O, SPI, water, paper fiber and straw weight was 0.01 : 0.01 : 0.2 : 0.06 : 1 : 10 : 7 : 3, hot pressing parameters temperature at 140 °C and pressing time 30 min, the proposal was optimal. Microwave preheating could obviously shorten the hot pressing cycle and improve the sample performance. When the hot pressing time was reduced to 11 min, the density of light wood substitute packaging material was 550 kg/m³, bending strength 18.38 MPa, and elastic modulus 1926.73 MPa, which complied with relevant standards. In conclusion, the modification and compounding of SPI can improve its adhesion and water resistance; microwave heating can improve the thermal efficiency and the sample performance. Therefore, it can be used for the preparation of lightweight wood substitute packaging materials with zero formaldehyde release.

KEY WORDS: lightweight wood substitute material; waste paper fiber; straw; SPI; modifier; mixture

收稿日期: 2016-01-23

作者简介: 张哲源 (1991—), 女, 河北邢台人, 江南大学硕士生, 主攻包装材料与制品。

通讯作者: 张新昌 (1961—), 男, 河南人, 江南大学教授, 主要研究方向为产品包装技术、包装材料与制品。

我国木材资源短缺^[1], 秸秆资源丰富^[2], 开发代木材料已成为必然趋势^[3]。废纸在包装中的应用主要是纸浆模塑^[4], 生产效率低且模具复杂, 利用废纸制造代木材料是改善问题的有效措施^[5]。

国内外已对利用纤维原料制备代木材料进行了大量研究^[6], 但多加入含甲醛的树脂^[7], 不符合环保理念, 而利用大豆蛋白制备环保胶粘剂成为研究热点^[8-9], 其改性方法很多^[10], 邸明伟^[11]等研究了 NaOH 对 SPI 结构的影响, 张忠慧等^[12]研究了脲对 SPI 粘接强度和分子结构的影响, 周翠等^[13]研究了 KH560 改性碳酸钙晶须对 SPI 的影响。现有的轻质包装材料多利用发泡或湿法工艺达到轻质的目的, 发泡剂成本高、发气量难以控制^[14]; 湿法工艺存在生产废水的污染和处理成本问题。

基于上述情况, 文中以废弃瓦楞纸板和小麦秸秆为主要原料, 添加大豆蛋白胶粘剂, 制备一种可用于热压成型的轻质代木包装材料。在包装领域, 该材料可用于制作具有一定缓冲性能的支撑件、间隔件、填充件, 放置在包装容器内以保护产品; 还可以用来制作轻质包装构件、托盘等。根据相应标准^[15], 通过控制材料质量和厚度使试样密度为 550 kg/m³。

1 实验

1.1 材料

材料: OCC, 取自国产废旧瓦楞纸板; 小麦秸秆, 江苏地区小麦秸秆碎料; SPI (大豆分离蛋白, 粗蛋白含量≥90%, 水分含量≤7%), 谷神生物科技有限公司; 玉米淀粉, NaOH, Ca(OH)₂, 脲, Na₂B₄O₇·10H₂O, SDBS, 均为分析纯 AR, 国药集团化学试剂有限公司; CMCNa, 化学纯 CP, 国药集团化学试剂有限公司; PVA, 优级纯 GR, 国药集团化学试剂有限公司。

1.2 仪器与设备

仪器与设备: 电子天平, JCS-600, 凯丰集团有限公司; 电子分析天平, AB240-N, 梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司; 水力碎浆机, WF4030, 北京碧生源科技有限公司; 立式磨浆机, T07-PF1 型, 咸阳通达设备有限公司; 安锐迷你桌面型粒状电动碎纸机; 电热恒温鼓风干燥箱, DHG-9070A, 宁波市鄞州赛茵仪器有限公司; 数显恒温水浴锅, HH-4A, 常州恒隆仪器有限公司; 数显恒速强力电

动搅拌机, JB200-SH 型, 上海标本模型厂; 热压机, XLB400×400, 青岛鑫城-鸣橡胶机械有限公司; 恒温恒湿箱, THS-AOC-100AS, 庆声科技股份有限公司; 万能材料试验机, LRX PLUS, 英国 LLOYD 劳埃德公司; 金相显微镜, BMM-55E, 上海比目仪器有限公司; 格兰仕微波炉, WP800, 顺德市格兰仕电器实业有限公司。

1.3 方法

1) 基材制备。纸纤维: 将 OCC 在清水中浸泡并冲洗后用碎浆机打浆, 再用磨浆机精磨, 过滤至含水率 60% 左右备用。条状纸: 将 OCC 经碎纸机加工得 2 mm×10 mm 碎料。秸秆粉末: 江苏地区小麦秸秆粉碎后, 利用 100 目标准筛网进行筛选, 尺寸为 0.15~4 mm, 平均长度 2 mm。

2) 预处理。将 OCC 在 70 °C 的恒温水浴锅中加热 20 min; 将秸秆在 NaOH 溶液(10%)中浸泡 75 min, 用清水冲洗后晾干备用。

3) 基材混合。将 OCC 与秸秆粉末按一定比例混合, 使秸秆的质量分数分别为 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 并与空白组对照。

4) 胶粘剂制备。称取 SPI 溶解于蒸馏水中, 再取 NaOH 加入蒸馏水溶解后加入反应体系, 搅拌均匀后 40 °C 水浴 1 h, 其中 NaOH, SPI, 水的质量比为 0.02 : 1 : 10。

5) SPI 胶粘剂复配。取改性 SPI 胶粘剂, 加入 CMCNa 溶液, 然后称量 Na₂B₄O₇·10H₂O, 蒸馏水中溶解后加入反应体系, 其中 CMCNa, Na₂B₄O₇·10H₂O, SPI, 水的质量比为 0.2 : 0.06 : 1 : 10。

6) 试样制备。将胶粘剂喷涂于基材中并充分混合, 干燥至含水率 25% 左右备用, 其中 SPI 与基材质量比为 1 : 10, 将混合物料铺装于模具后热压成型。

1.4 试验方案设计

1) 基材形态与配比单因素试验。以 NaOH 改性 SPI 为胶粘剂, 在试验中, 固定胶粘剂配比, 研究不同基材形态与配比对试样静曲强度、弹性模量的影响。

2) 工艺参数正交试验。通过前期单因素试验大致确定材料组分、配比、工艺参数, 在此基础上设计正交试验, 研究不同工艺参数及改性剂种类对试样性能的影响, 正交试验设计见表 1, 其中 A 为施胶比, B 为热压温度, C 为热压时间, D 为改性剂。

表 1 工艺配方正交试验因素水平

Tab.1 Formulation and process factors and levels of orthogonal test form

水平	A	B/°C	C/min	D
1	1 : 20	120	20	NaOH+Ca(OH) ₂
2	2 : 20	140	30	脲
3	3 : 20	160	40	SDBS

注：施胶比为胶基与物料干重的比，其中 NaOH, Ca(OH)₂, SPI 的质量比为 0.01 : 0.01 : 1, 脲和 SPI 的质量比为 1.2 : 1, SDBS 和 SPI 的质量比为 0.1 : 1。

1.5 试样性能测试方法

按照 GB/T 17657—2013^[16]要求裁切制备试样, 并进行性能测试, 检测内容包括静曲强度(MOR)、弹性模量(MOE)、吸水厚度膨胀率(TS)、密度等, 其中试验数据均为每组试验 8 个试样的平均值。

2 结果与讨论

2.1 预处理对基材纤维形态的影响

将预处理前后的废纸纤维作为对比, 用显微镜观察其形态, 见图 1, 可以看出, 未经处理的废纸纤维表面较光滑, 经水浴处理后的纤维表面变得粗糙, 有利于胶粘剂的作用。碱液处理可以去除蜡质使秸秆表面变得粗糙, 使其对胶液的润湿性能增加。

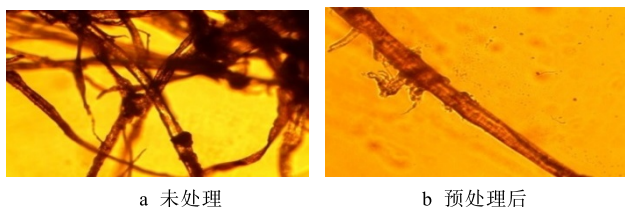


图 1 预处理前后纤维形态

Fig.1 Form of the Fiber before and after pretreatment

2.2 基材配比与形态对试样性能的影响

根据基材形态与配比单因素试验方案设计制备试样, 并检测其力学性能, 结果见图 2。由图 2 可知, 秸秆质量分数在 0~50% 范围内, 随着秸秆的增加, 材料的强度先增大后减小, 以 OCC 纤维制备的试样整体强度高于 OCC 条。以 OCC 条制备的试样在秸秆质量分数为 20% 时强度最大, 以 OCC 纤维制备的试样在秸秆质量分数为 30% 时强度最大, 说明在该比例下基材混合的均匀性较好, 基材间在热压条件下胶合或胶粘剂的固化效果较好。后续试验采用 OCC 纤维和质量分数为 30% 的秸秆进行材料试样制备。

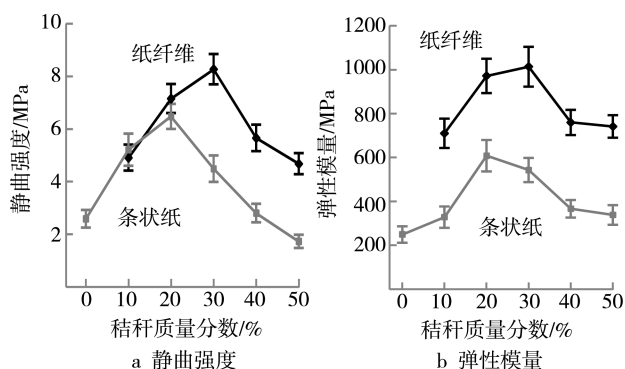


图 2 基材对材料性能的影响

Fig.2 The impact on the material properties of the substrate

2.3 工艺参数对试样性能的影响

以 CMCNa 复配 SPI 为胶粘剂, 按照表 1 进行正交试验, 所得结果见表 2。

对试样的静曲强度, 弹性模量和吸水厚度膨胀率进行极差分析, 结果见表 3。

表 2 工艺配方试验结果

Tab.2 Results of orthogonal test of formulation and process

试验号	试验方案				静曲强度/MPa	弹性模量/MPa	吸水厚度膨胀率/%
	A	B/°C	C/min	D			
1	1	1	1	1	4.60	544.96	13.8
2	1	2	2	2	6.96	799.78	12.1
3	1	3	3	3	8.07	883.08	9.0
4	2	1	2	3	7.98	837.97	5.2
5	2	2	3	1	12.32	1260.85	7.5
6	2	3	1	2	7.24	685.10	4.8
7	3	1	3	2	7.97	645.82	4.9
8	3	2	1	3	10.65	902.92	9.3
9	3	3	2	1	12.72	1294.68	6.5

表 3 MOR, MOE, TS 极差分析
Tab.3 The range analysis of MOR, MOE and TS

水平 均值	MOR 极差分析				MOE 极差分析				TS 极差分析			
	A	B/℃	C/min	D	A	B/℃	C/min	D	A	B/℃	C/min	D
k ₁	6.54	6.85	7.50	9.88	742.61	676.25	710.99	1033.50	11.63	7.97	9.27	9.28
k ₂	9.18	9.98	9.22	7.39	927.97	987.85	977.47	710.23	5.84	9.64	7.96	7.26
k ₃	10.45	9.34	9.45	8.90	947.80	954.29	929.92	874.66	6.89	6.75	7.13	7.82
R	3.91	3.13	1.95	2.49	205.19	311.60	266.48	323.27	5.78	2.89	2.13	2.02

由表 3 可知,施胶比为 3 : 20 时,试样静曲强度最大,胶粘剂较多时,施胶均匀性难以控制,力学性能提高不明显。温度为 140 ℃时,试样静曲强度最大,随着热压温度升高,表面胶层固化速度越快,力学性能提高;随着温度进一步升高,蛋白结构被严重破坏,使 SPI 粘结强度下降,导致力学性能降低。热压时间为 40 min 时,试样静曲强度最大,热压时间过短时热量未传递到芯层,试样静曲强度较低,热压时间 30 min 时,试样弹性模量最大,热压时间过长会导致纤维变性甚至焦化,导致弹性模量下降,从节约能源的角度考虑,选择热压时间为 30 min。改性剂为 NaOH+Ca(OH)₂ 时,试样强度最大,复合碱可促使 SPI 分子展开,形成更多的极性基团,增加分子间的作用力,提高试样的力学性能。试样力学性能可能较优的方案为施胶比 1 : 10,热压温度 140 ℃,热压时间 30 min,改性剂 NaOH+Ca(OH)₂,此为条件 1。

由表 3 可知,施胶比为 2 : 20 时,试样吸水厚度膨胀率最小。试样施胶量过多时,因 SPI 的吸水性较强,防水性下降。热压温度为 160 ℃时,试样吸水厚度膨胀率最小。在 120 ~ 140 ℃阶段,随温度升高,吸水厚度膨胀率增加,热压温度较高时,板坯厚度上的含水率梯度加大,各层碎料的应力大小不同,导致吸水厚度膨胀率增大。随温度进一步增加,材料芯层胶黏剂固化,防水性提高。热压时间 40 为 min 时,试样吸水厚度膨胀率最小。在热压过程中,热量从表面传递到芯层,胶才能固化充分,使吸水厚度膨胀率变小。改性剂为脲时,试样吸水厚度膨胀率最小。脲分子中的氧原子和氢原子与 SPI 中的羟基反应,结合 SPI 中的氢键,增强了胶黏剂的耐水性。SDBS 分子非极性的碳氢链与被吸附的非极性 SPI 侧链基团作用,使 SPI 的疏水基团外露,对试样防水性也具有一定的改善效果。若要吸水厚度膨胀率最低,可能较优的方案为为施胶

比 1 : 10,热压温度 160 ℃,热压时间 40 min,改性剂脲,此为条件 2。

2.4 对比试验结果分析

对上述可能较优的方案进行验证,在条件 1 的方案下测试得到静曲强度为 11.87 MPa,弹性模量为 1314.26 MPa,吸水厚度膨胀率为 7.97%;在条件 2 的方案下测试得到静曲强度为 9.63 MPa,弹性模量为 870.17 MPa,吸水厚度膨胀率为 4.26%。

从力学性能和节约能源角度考虑,条件 1 的方案较优,符合 LY/T 1718—2007^[17]对板材理化性能的要求,若考虑试样较好的防水效果,可采用条件 2 的方案,或在条件 1 的方案中添加适当的防水剂。

2.5 基于工业化生产的工艺优化

上述工艺制备的试样,热压需 30 min,不适合工业化生产,原因在于施胶后基材含水率较高。若直接干燥至较低含水率,则纤维易发生结团,因此分 3 次施胶,每次施胶后在 50 ℃条件下干燥,保证铺装前基材的分散性。

干法成型主要依靠胶粘剂的胶合作用,对试样力学性能的改善有限,因此考虑分段施胶后制备含水率为 35%的板坯,利用氢键结合作用增加板坯强度,再采用预热工艺降低其含水率并提高温度,改善热压过程的热量传递,提高生产效率。采用烘箱 50 ℃与微波 136 W (低火) 预热工艺,板坯达一定含水率后迅速移入热压模具进行热压。

3 种工艺所对应的板坯热压前含水率均定为 15%,热压温度 140 ℃,板材含水率达 8%时停止热压,试样性能见表 4。由表 4 可知,分段施胶和预热能缩短热压时间并改善试样性能,预热工艺效果更优,微波预热优于烘箱预热。

表 4 不同优化工艺的结果对比
Tab.4 Comparing the results of different optimization processes

工艺	热压时间/min	密度/(kg·m ⁻³)	静曲强度/MPa	弹性模量/MPa
分段施胶	16	550	14.29	1508.36
烘箱预热	12	550	15.52	1734.59
微波预热	11	550	18.38	1926.73
ISO 16895—2		550	18	

分段施胶干燥后的纸纤维束相对舒展,比表面积大,交织性能提高,同时含水率低有利于脱模,使试样力学性能提高。

烘箱与微波预热能够进一步缩短热压周期,改善试样性能,达到国际标准^[18],其中微波预热时间为 5 min,烘箱预热 30 min。板坯初始含水率较高,内部水分促进纤维间形成氢键实现自胶接^[19],明显提高试样力学性能。其中微波预热优于烘箱预热,烘箱预热依靠物料传热,板坯表面干燥固化而芯层含水率较高,而微波预热可以形成芯层温度高于表层的温度梯度,从而驱动水分迁移,降低芯层水分,提高表层水分,热量与水分间存在耦合关系,可用下式^[20]表示:

$$q = -ac\rho\left(\frac{\partial t}{\partial x} + \beta\frac{\partial \mu}{\partial x}\right) \quad (1)$$

$$i = -a'\rho\left(\delta\frac{\partial t}{\partial x} + \beta\frac{\partial \mu}{\partial x}\right) \quad (2)$$

式中: q 和 i 分别为单位时间面积上的热流和水分物质流; a 为导温系数; a' 为导湿系数; t 为温度; μ 为含水率; δ 为热湿传导系数; c 为材料比热容; ρ 为密度; x 为空间坐标。

可以看出,当表层含水率高于芯层时,有利于热量由表层向芯层传递,高含水率的表层在与热压板接触时水分蒸发带走热量,可降低表面固化程度^[21],未经过微波预热的板坯表面提前固化,芯层松软,剪切破坏先于表层,影响板材强度。

热压设备的复杂程度与功率远大于微波设备,微波加热的效率明显高于烘箱,因此通过微波预热缩短热压时间,可提高生产效率并降低成本。

3 结语

文中研究了制备轻质代木包装材料过程中,改性剂、复配剂、工艺参数、预热等对其性能的影响。碱类可较好地改善 SPI 的胶黏性,复合碱改性与

CMCNa 复配协同作用较大程度上提高了试样的力学性能,当 NaOH, Ca(OH)₂, CMCNa, Na₂B₄O₇·10H₂O, SPI 质量比为 0.01:0.01:0.2:0.06:1 时, SPI 获得最佳胶粘性,在此基础上选择微波预热及较优的热压工艺,较空白试样静曲强度提高了 122.25%,弹性模量提高了 90.09%。

参考文献:

- [1] 张新爱, 关润伶. 玉米秸秆包装材料的开发研究[J]. 包装工程, 2010, 31(11): 56—58.
ZHANG Xin-ai, GUAN Run-ling. Research on Development of Corn Straw Packaging Material[J]. Packaging Engineering, 2010, 31(11): 56—58.
- [2] 严永林, 李新功, 刘晓荣. 稻草碎料板热压工艺研究[J]. 中南林业科技大学学报, 2012, 32(1): 126—129.
YAN Yong-lin, LI Xin-gong, LIU Xiao-rong. Study on Hot-Pressing Process of Straw Particle Board[J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology, 2012, 32(1): 126—129.
- [3] 时君友, 汤芸芸. 改性生物质玉米淀粉压制稻秸秆人造板的研究[J]. 南京林业大学学报, 2011, 35(2): 127—130.
SHI Jun-you, TANG Yun-yun. Study on Preparation of Rice Straw Particleboard Using Modified Corn Starch Adhesive[J]. Journal of Nanjing Forestry University, 2011, 35(2): 127—130.
- [4] 胡英华, 康勇刚. 废纸纤维基包装材料的加工工艺与性能[J]. 包装工程, 2010, 31(5): 14—16.
HU Ying-hua, KANG Yong-gang. Study on Process and Properties of Wastepaper Based Packaging Materials[J]. Packaging Engineering, 2010, 31(5): 14—16.
- [5] 罗丽, 赵峰, 刘悦, 等. 用废纸与木片制备复合包装材料的热压工艺研究[J]. 包装学报, 2014, 6(1): 44—47.
LUO Li, ZHAO Feng, LIU Yue, et al. Study of Hot Pressing Process for Composite Packaging Material Made from Waste Paper and Wood[J]. Packaging Journal, 2014, 6(1): 44—47.
- [6] 张瑾, 王秀仑, 郑泉. 利用水稻秸秆制作可完全降解的生物质板材[J]. 安徽农业大学学报, 2013, 40(6): 1067—1070.
ZHANG Jin, WANG Xiu-lun, ZHENG Quan. Production of Biodegradable Biomass Board Using Rice Straw[J]. Journal of Anhui Agricultural University, 2013, 40(6): 1067—1070.
- [7] ZHU X D, WANG F H, LIU Y. Properties of Wheat-Straw Boards with FRW Based on Interface Treatment[J]. Physics Procedia, 2012, 32(23): 430—443.
- [8] CHENG E Z, SUN X Z, GREGGORY S, et al. Adhesive Properties of Modified Soybean Flour in Wheat Straw Particleboard[J]. Applied Science and Manufacturing, 2004, 35(3): 297—302.

- [9] ZHONG Z K, SUN X Z, FANG X H, et al. Adhesive Strength of Guanidine Hydrochloride Modified Soy Protein for Fiberboard Application[J]. International Journal of Adhesion & Adhesives, 2002, 22(4): 267—272.
- [10] 雷文. 国内大豆胶粘剂的改性研究进展[J]. 大豆科学, 2011, 30(2): 329—332.
LEI Wen. Domestic Research on Soybean Adhesives Modification[J]. Soybean Science, 2011, 30(2): 329—332.
- [11] 邸明伟, 刘杰, 张彦华, 等. 碱处理大豆蛋白胶粘剂的2级结构对胶接性能的影响[J]. 粘接, 201(8): 42—45.
DI Ming-wei, LIU Jie, ZHANG Yan-hua, et al. Effect of Secondary Structure on Adhesion Properties of Soybean Protein Adhesives Modified with Alkalies[J]. Adhesion, 2010(8): 42—45.
- [12] 张忠慧, 孟小波, 孟祥瑞, 等. 尿素变性对大豆分离蛋白粘接强度和分子结构的影响[J]. 中国胶粘剂, 2007, 16(12): 14—17.
ZHANG Zhong-hui, MENG Xiao-bo, MENG Xiang-rui, et al. Effect of Urea Modification on Adhesion Strength and Structure of Soy Protein Isolates[J]. China Adhesives, 2007, 16(12): 14—17.
- [13] 周翠, 白绘宇, 刘晓亚. 晶须与偶联剂改性大豆蛋白胶粘剂[J]. 大豆科学, 2009, 28(1): 130—135.
ZHOU Cui, BAI Hui-yu, LIU Xiao-ya. Modified SPI Adhesives with Whiskers and Silane Coupling Agent[J]. Soybean Science, 2009, 28(1): 130—135.
- [14] 巨杨妮, 张新昌. 基于复配发泡剂的纸纤维发泡缓冲包装材料制备工艺[J]. 包装工程, 2012, 33(5): 43—46.
JU Yang-ni, ZHANG Xin-chang. The Process of Paper Fiber Foaming Packaging Material Based on Composite Foaming Agent[J]. Packaging Engineering, 2012, 33(5): 43—46.
- [15] GB/T 11718—2009, 中密度纤维板[S].
GB/T 11718—2009, Medium Density Fibreboard[S].
- [16] GB/T 17657—2013, 人造板及饰面人造板理化性能试验方法[S].
GB/T 17657—2013, Test Methods of Evaluating the Properties of Wood-Based Panels and Surface Decorated Wood-Based Panels[S].
- [17] LY/T 1718—2007, 轻质纤维板[S].
LY/T 1718—2007, Ultra-low Density Fiberboard[S].
- [18] ISO 16895—2, Wood-Based Panels-Dry-Process Fibreboard: Part 2 Requirements[S].
- [19] 顾继友, 胡英成, 朱丽滨. 人造板生产技术与应用[M]. 北京: 化学工业出版社, 2009.
GU Ji-you, HU Ying-cheng, ZHU Lin-bin. Man-made Board Production Technology and Application[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2009.
- [20] 谢拥群, 陈瑞英, 杨庆贤, 等. 木材干燥过程的热质迁移及其耦合关系[J]. 林业科学, 2004, 40(1): 148—153.
XIE Yong-qun, CHEN Rui-ying, YANG Qing-xian, et al. Heat and Mass Transfer and Coupling Effect in Wood Drying[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2004, 40(1): 148—153.
- [21] 徐长研, 华毓坤. 喷蒸真空热压技术[J]. 林产工业, 1999, 26(2): 20—22.
XU Chang-yan, HUA Yu-kun. The Technique of Steam-vacuum Pressing[J]. China Forest Products Industry, 1999, 26(2): 20—22.