

[研究·设计]

DOI:10.3969/j.issn.1005-2895.2018.04.001

混合植物纤维微波发泡缓冲材料的制备工艺研究

李 博¹, 张新昌^{1,2}, 曹景山¹, 赵 瑞¹

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

摘 要:为了探究瓦楞废纸混合纤维与秸秆微波发泡缓冲包装材料制备工艺的关键,以秸秆粉末和B型瓦楞废纸板为基材,通过微波发泡研制出了一种新型环保缓冲包装材料。通过秸秆与瓦楞废纸纤维质量比为变量的单因素试验研究,以及对发泡剂偶氮二甲酰胺(AC)用量、发泡剂碳酸氢铵(NH_4HCO_3)用量、成膜剂聚乙烯醇(PVA)用量3个参数的正交优化试验研究,制备了新型缓冲包装材料。并利用静态压缩试验的方法,对该新型缓冲材料的弹性比能的影响因素进行了分析。结果表明:以秸秆与瓦楞废纸纤维质量比为3/5(秸秆纤维15 g,瓦楞废纸纤维25 g)的原料为主,与约0.5 g的PVA,约3 g的 NH_4HCO_3 ,约1 g的AC进行混合,制成的包装材料的静态压缩缓冲性能较好,且泡孔较均匀。此配方制备的混合植物纤维微波发泡缓冲材料性能优良。

关 键 词:混合植物纤维微波发泡缓冲材料;秸秆;瓦楞废纸纤维;微波发泡;发泡剂;成膜剂;弹性比能

中图分类号:TB484

文献标志码:A

文章编号:1005-2895(2018)04-0001-06

Preparation Technology of Mixed Plant Fiber Cushion Packaging Material

LI Bo, ZHANG Xinchang^{1,2}, CAO Jingshan¹, ZHAO Rui

(1. School of Mechanical Engineering, Jiangnan University, Wuxi, Jiangsu 214122, China;

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

Abstract: The key of preparing technology for the waste corrugated paper combining fiber and straw microwave foaming buffer was explored. A new kind of environmental protection buffer packaging material was developed by microwave foaming with straw powder and corrugated board of type B. Through the study on the single-factor experiment of the ratio of straw and waste corrugated paper, and the orthogonal optimization test of the 3 parameters which were the dosage of the foaming agent azodicarbonamide (AC), ammonium bicarbonate (NH_4HCO_3) and PVA, a new type of buffer packaging material was prepared. The influence factors of the elastic ratio of the new buffer material were analyzed by means of static compression test. The research results show that when the quality ratio of the straw and corrugated waste paper fiber is 3/5 (straw fiber 15g, corrugated waste paper fiber 25 g), and mixing with 0.5 g of film-former PVA, about 3 g NH_4HCO_3 , as well as about 1 g of Azobisformamid foaming agent, the static compression buffer packaging material made of performance is good, and the bubble hole is relatively uniform. The performance of the mixed plant fiber microwave foaming material prepared by this formula is excellent.

Keywords: mixed plant fiber cushion packaging material; straw; waste corrugated paper fibre; microwave foaming; foaming agent; film former; elastic ratio

20世纪90年代始,泡沫塑料由于易携带、成本低等众多优势而被大量用于各类产品的包装中。由于循环利用难,降解耗时长等缺点,当前对其淘汰的呼声很高^[1-2]。现阶段亟需找寻和研发一种易降解,具备泡沫

塑料的众多优势,足以将其完全替代的缓冲包装材料,而这也是最近数年包装领域的研究热点^[3-5]。尽管已研发出由发泡后的植物纤维所制成的缓冲材料,但是现阶段其制备工艺还有待深入研究,各种性能还不太

收稿日期:2018-01-03;修回日期:2018-04-01

基金项目:中央高校基本科研业务费专项资金(JUSRP21115)。

第一作者简介:李博(1991),女,黑龙江哈尔滨人,硕士,主要研究方向为包装材料与制品。E-mail:1911775216@qq.com

理想,尚停留在实验室分析阶段,再加上配置比例、原料选用等方面都相对不太科学,还存在极大提升空间^[6]。

作者在前人研究基础上,基于微波加热发泡方法,以秸秆和瓦楞废纸纤维为主要原料,添加一定量的发泡剂、成膜剂等助剂,制备了一种混合植物纤维发泡缓冲包装材料。其发泡原理是 2 种物质在相互反应过程中,发泡剂受热分解,释放气体,从而使基体材料形成多孔的结构^[7]。发泡剂的用量直接决定了体系产生的气体的数量,进而影响发泡体的外观及微观结构及力学性能。笔者以静态压缩曲线为评价指标,研究发泡剂 AC 添加量、发泡剂 NH_4HCO_3 用量、成膜剂 PVA 用量及废纸与秸秆质量比 4 个因素分别对缓冲包装材料静态压缩性能的影响。研究的意义在于:可以提高瓦楞废纸纤维及秸秆的利用率;为研究各单因素对植物混合纤维发泡缓冲材料静态压缩性能的影响提供参考。

1 试验

1.1 制备材料的具体方法

试验所用原料:瓦楞废纸纤维、氢氧化钠(NaOH)、碳酸氢铵(NH_4HCO_3)、偶氮二甲酰胺(AC)、玉米淀粉、聚乙烯醇(PVA)、甘油、碳酸钙、硼砂等。

试验所用设备:TM-767 型水力碎浆机、AE200 型电子天平、YJ501 型超级恒温水浴锅、QZ77-105 型远红外干燥箱、美的 MM823EA6-PS 微波炉、THS-AOC-100AS 型恒温恒湿试验机及 LRX-PLUS 万能材料试验机等。

经充分浸泡 24 h 的废弃瓦楞 B 型纸板,其主要成分为纤维素、半纤维素及木素,纤维质量分数在 80% 左右。将瓦楞纸板在清水中反复搓洗,直至胶体全部洗净,成为无胶废弃瓦楞纸;分别将秸秆纤维和无胶纸纤维置于水力碎浆机中粉碎 10 s 至絮状,然后用纱布取出拧干,均匀搅拌于 5% NaOH 溶液中,再置于 60 $^{\circ}\text{C}$ 的水浴锅中,这个过程为碱化处理;30 min 后取出,用清水反复清洗至不再有褐色析出,放置备用。随后配置质量分数为 3% 的 PVA 胶黏剂溶液,环境为 90 $^{\circ}\text{C}$ 水浴锅;同时将可溶性淀粉置于水浴锅中进行均匀搅拌,并且保持锅内温度为 90 $^{\circ}\text{C}$,使淀粉熟化。

使用混合纤维制备缓冲发泡材料的具体方法为:将填料、水及复配发泡剂与含淀粉 0.9 g 的熟化淀粉溶液及成膜剂 PVA 混合,再添加 3 g 的 CaCO_3 , 4 g 甘油和 0.2 g 硼砂,搅拌均匀。之后将混合液倒入已彻底混合均匀的多种纤维中,再次搅拌直到纤维与混合液均匀混合,然后使用成型模具来盛放该混合物质并

置于微波炉内,借助微波进行发泡;最后取出发泡试样,使用恒湿恒温箱进行处理直到其质量保持恒定。

图 1 为本次试验的制备流程,图 2 为本次试验使用混合纤维制备而成的缓冲发泡包装材料。

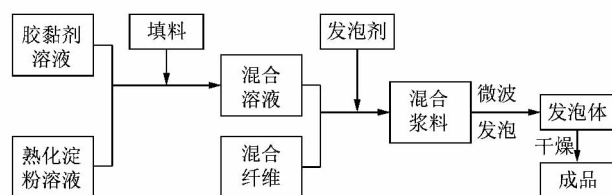


图 1 混合纤维缓冲包装材料制备流程

Figure 1 Preparation process of mixed fiber buffer packaging materials



图 2 制备的混合纤维发泡缓冲包装材料试样

Figure 2 Sample of mixed fiber foaming buffer packaging material prepared

1.2 试验方案设计

1.2.1 瓦楞废纸纤维与秸秆质量比例的影响

瓦楞废纸纤维与秸秆质量比例单因素试验:瓦楞纸板纤维与秸秆总质量为 40 g,设定瓦楞纸板纤维与秸秆质量比例分别为 3/5, 4/4, 5/3, 6/2, 7/1 和 8/0,以 AC 和 NH_4HCO_3 为发泡剂,固定其他试剂用量,研究不同质量比例的瓦楞纸板纤维与秸秆试样的弹性比能,选出在预实验发泡剂配方中的最佳瓦楞废纸纤维与秸秆质量配比。

1.2.1 发泡剂用量正交试验

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,研究不同发泡剂与成膜剂复配用量对试样性能的影响。正交试验设计见表 1,其中水平 A 为发泡剂 AC 用量, B 为 NH_4HCO_3 用量, C 为 PVA 用量。

1.3 试样性能测试

1.3.1 发泡倍率

该项性能指的是发泡前与发泡后试样在体积上的

表1 复配发泡剂用量正交试验因素水平表

Table 1 Factors of orthogonal test of compound foaming agent

水平	因素		
	AC 用量 A/g	NH ₄ HCO ₃ 用量 B/g	PVA 用量 C/g
1	0.5	2.5	0.4
2	1.0	3.0	0.5
3	1.5	3.5	0.6

比值。此次试验中是将试样置于圆形模具内使其半自由发泡,因为试样发泡时会不断膨胀,但在径向上由于模具壁的限制而无法突破,唯有沿着模具壁不断向上,也就是说此时其发泡倍率简化为发泡前与发泡后试样在厚度上的比值。因为发泡前其含水率极高,具备某种程度的流动性,所以必须在模具内来测量其实际厚度。

在硬度大于一定值的塑料薄片之上粘贴单层牛皮纸,再将该薄片插进试样中,牛皮纸变色说明已吸收部分试样,取出薄片;再使用精度为 0.02 mm 的直尺来测量变色区域的实际长度,这就是试样在发泡前的实际厚度;以此类推对试样进行 4 次测量,但每次测量时所选位置应相互分散,再计算出发泡前其厚度的平均值 T_1 。发泡后待其完全干燥后在其边缘区域选取同等间距的 4 个位置对其厚度进行测量,测量工具是精度为 0.02 mm 的游标卡尺,再计算出发泡后其厚度的平均值 T_2 。最终借助以下公式来求取其发泡倍率 α :

$$\alpha = \frac{T_1}{T_2} \quad (1)$$

1.3.2 密度

以 GB/T 8168—2008《包装用缓冲材料静态压缩试验方法》^[8]来测试试样的密度值,以下为其详细步骤:

1) 测量试样的长度与宽度。测量工具为游标卡尺,精度为 0.02 mm。先测量其两端距离,再在其中部选取 3 个位置来测量宽度,将结果记录下来再分别计算出试样在长度与宽度上的平均值 L_1 和 L_2 。

2) 测量试样厚度。将其静置在 (0.2 ± 0.02) kPa 的静载荷下,时间为 30 s,测量负载状态试样四角的厚度,测量工具为游标卡尺,0.02 mm 为其最小刻度值,再计算出试样的平均厚度 T_2 。

3) 试样称量。称量工具为电子天平,最小刻度值是 0.05 g,将结果记录下来用 m 表示。

4) 借助公式 $\rho = m / (L_1 \times L_2 \times T_2)$ 推导出试样的对应密度 ρ 。

1.3.3 弹性比能

采用 GB/T 8168—2008《包装用缓冲材料静态压缩试验方法》,测试发泡缓冲材料静态压缩性能^[9],测试结果可绘制成应力与应变曲线。首先预处理试样,该过程至少持续 24 h,其次将试样放置在万能材料试验机之上,压板以 (12 ± 3) mm/min 的低速朝试样厚度方向逐步进行加载,借助该压缩试验取得点数据,可绘制负载与伸长曲线。经计算推导出发泡材料对应的应力与应变曲线,能够对此材料在静态下的压缩缓冲性能进行客观描述。所谓弹性比能指的是压缩过程中应力对应变的累积功率。

首先计算出材料的应力、应变后,绘制材料的应力-应变曲线如图 3。压缩应变 ε (当 $\varepsilon > \varepsilon_k$ 时,试样断裂)可由公式(2)由得:

$$\varepsilon = \frac{T^0 - T'}{T^0} \times 100\% \quad (2)$$

式中: T^0 为压缩前试样厚度,mm; T' 为经受一定压力时试样厚度,mm。

材料的弹性比能即为压缩应力对压缩应变所做的功。因此,材料的弹性比能可由公式(3)计算得出。其中,将本次试验材料的应变值的 50% 作为最大应变 ε_m ,并用 ε_m 来计算弹性比能。

$$\mu = \int_0^{\varepsilon_m} \sigma(\varepsilon) d\varepsilon \quad (3)$$

式中: μ 为弹性比能, σ 为应力。

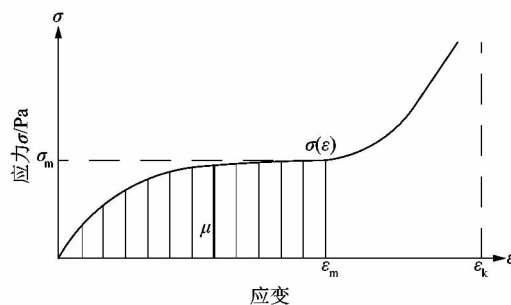


图3 应力-应变曲线

Figure 3 Stress-strain curve

2 试验结果与讨论

2.1 瓦楞废纸纤维与秸秆质量比例的影响

瓦楞废纸纤维与秸秆质量比例的试验数据如表 2 所示。

本次试验所制备的发泡材料的核心成分为瓦楞废纸纤维,其作为骨架帮助材料定型,因此其类型与均匀度等对材料在成型后具备的缓冲性能有很大影响。如果瓦楞废纸纤维在与秸秆质量比中所占比重持续下降,

表 2 瓦楞废纸纤维与秸秆质量比例单因素试验测试

Table 2 Single factor test of waste corrugated paper and straw proportion

试验号	瓦楞纸板纤维与秸秆质量比/(g·g ⁻¹)	弹性比能
1	8/0	1.26
2	7/1	1.27
3	6/2	1.32
4	5/3	1.38
5	4/4	1.36
6	3/5	1.31

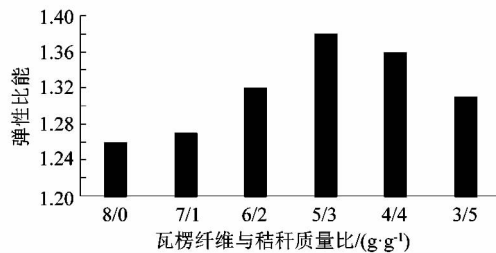


图 4 不同瓦楞废纸纤维和秸秆质量比的弹性比能

Figure 4 Elastic ratio of different quality ratios of waste corrugated paper fibers and straw

对材料而言其弹性比能将和图 4 一样呈现先升后降的趋势。这是因为,秸秆纤维在体系中也担负着骨架的作用,他的适量加入,与纸纤维紧密结合,增强弹性比能;但过多加入会引起纸纤维成分之间结合不够紧密。当 2 者纤维比例适当时,各种试剂将使纸与秸秆 2 种纤维之间发生极强的粘连作用,此时材料在结构上将形成稳定度极高的网络形状,其弹性比能将升至最高值。试验中得出瓦楞废纸与秸秆 2 种纤维的质量比大约为 5/3 时,泡孔的分布最均匀,详见表 2,此时材料具备最理想的静态缓冲性能。

2.2 发泡剂添加量和成膜剂添加量的影响

从大量的实验分析可知,发泡剂 AC、NH₄HCO₃ 的用量和成膜剂 PVA 用量均是影响发泡制品性能的主要因素。保持其他的工艺条件不变,以 AC 用量、NH₄HCO₃ 用量和 PVA 用量 3 个因素设计正交试验,正交试验设计表见表 1,正交试验结果见表 3。

因为在性能上对瓦楞废纸与秸秆 2 种纤维所制成的发泡材料展开评价需要设计多项指标,所以不但要单独分析实验中每项指标的对应数据,还应借助综合方法进行分析 and 描述^[10]。蠕变性、回弹性,对振动与冲击这 2 种能量的吸收性等^[11]都属于材料的评价指标,在查阅相关资料后发现尽管科研工作者在实际研究中采用了不同的指标,但哪些指标作为评定指标目

前在学术界尚未形成统一意见。本实验就静态压缩这项材料性能展开测试,因为评定指标较多,不能非常明确地发现最理想的制备配方,考虑到原材料的密度、发泡倍率、弹性比能均为制备发泡型缓冲材料的关键参数,因此选取密度、发泡倍率及弹性比能作为指标来评价材料性能^[12]。文中发泡倍率与弹性比能的权重因数赋值 0.4,而密度为次要性能,其权重因数赋值 0.2。借助极差分析得到最理想的制备配方,再计算出各试样的综合得分,最终正交试验结果见表 3。

表 3 复配发泡剂用量试验

Table 3 Test of dosage of compound foaming agent

水平	A	B	C	弹性比能/ (J·cm ⁻³)	密度/ (g·cm ⁻³)	发泡倍率	总分
1	1	1	1	0.129	0.200	1.243	48
2	2	2	2	0.145	0.196	1.292	84
3	3	3	3	0.126	0.201	1.298	62
4	1	2	3	0.125	0.206	1.359	62
5	2	3	1	0.133	0.204	1.255	52
6	3	1	2	0.140	0.190	1.264	72
7	1	3	2	0.143	0.206	1.285	64
8	2	1	3	0.122	0.199	1.324	62
9	3	2	1	0.120	0.192	1.235	34

1) 试样发泡倍率的影响因素

以表 3 为基础,借助极差分析各因素对发泡倍率的影响,其结果见表 4 和图 5。

表 4 发泡倍率影响因素分析

Table 4 Analysis of factors influencing foaming magnification

项目	水平 1 下发泡 倍率均值	水平 2 下发泡 倍率均值	水平 3 下发泡 倍率均值	极差 R
A	1.244	1.280	1.327	0.083
B	1.296	1.290	1.266	0.030
C	1.277	1.295	1.280	0.018
均值	1.272	1.289	1.291	0.018

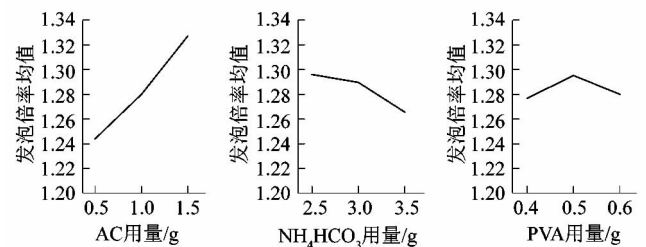


图 5 发泡倍率影响因素趋势变化

Figure 5 Trend change of influence factors on foaming ratio

借助极差分析不难发现决定混合纤维发泡缓冲包装材料的发泡倍率的影响排序为 $A > B > C$, 即 AC 用量 $> \text{NH}_4\text{HCO}_3$ 用量 $> \text{PVA}$ 用量。分析得知, 随着发泡剂用量的增加, 材料的发泡倍率不断增高。这是因为纤维在混合后将不断升温, 当到达一定值后发泡剂开始分解并逐步释放气体, 而且气体数量将随着温度升高而持续增加。升温还将导致体系内水分持续蒸发, 混合纤维的黏度持续增加, 加入胶黏剂和其他助剂后, 试样内将逐步表现为稳定度高, 泡孔均匀分布的多孔结构^[14]。显然发泡剂的用量将影响体系所释放的气量, 并最终决定发泡倍率。

2) 试样弹性比能的影响因素

以表 3 为基础, 借助极差分析研究各因素对弹性比能的影响, 其结果见表 5 和图 6。

表 5 弹性比能影响因素分析

Table 5 Analysis of factors influencing elastic ratio

项目	水平 1 下弹性 比能均值	水平 2 下弹性 比能均值	水平 3 下弹性 比能均值	极差 R
A	0.132 3	0.133 1	0.128 8	0.004 3
B	0.130 1	0.130 0	0.134 1	0.004 0
C	0.127 3	0.142 4	0.124 5	0.017 9
均值	0.129 9	0.135 2	0.129 1	0.006 1

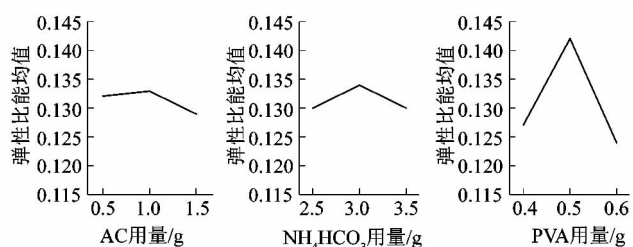


图 6 弹性比能影响因素趋势变化

Figure 6 Trend change of influence factors on elastic ratio

借助极差分析不难发现决定该材料弹性比能的重要性依次为 $C > A > B$, 即 PVA 用量 $>$ 发泡剂 AC 用量 $> \text{NH}_4\text{HCO}_3$ 用量。对混合纤维发泡缓冲材料的弹性比能影响最显著的因素是 PVA 用量。

加入 PVA 成膜剂旨在提升总体体系与气泡壁的黏弹度, 避免气泡壁因受到由发泡剂引发气泡过程中所释放的冲击而破损。也就是说成膜剂保证了气泡稳定膨胀, 且能在发泡进行时使气泡壁具备起码的黏弹度, 而且加入 PVA 后溶液若由于水分流失而固化, 还能够固化纤维成分, 增加材料强度^[15]。除此以外, 如果将 PVA 溶于水形成溶液, 搭配淀粉胶黏剂, 在胶黏剂糊化后 PVA 分子链将嵌入淀粉颗粒, 并紧密结合纤

维基材, 材料弹性将进一步提升。从图 6 可知, 在一定范围内随着 PVA 用量的增加, 体系的弹性比能增大。但当 PVA 用量增大到一定范围后, 随着气体不断产生, PVA 限制了空间增大, 气泡在体系中膨胀受到了限制, 体系结合过于紧密, 弹性反而逐渐降低。所以随着 PVA 用量的增加, 弹性比能先增加后减小。

制备而成的综合材料其回弹与静态压缩 2 项性能均表明: 如果能将 AC 发泡剂的质量维持为 1 g, 则材料将在这 2 项性能上具备最佳值; 如果再继续添加, 则其泡孔直径将持续增加直到出现不稳定状态, 数量则会呈现出先增后减的变化趋势。所以, 随着发泡剂用量的增加, 样品的弹性比能先增大后减小。

3) 试样密度的影响因素

以表 3 为基础, 借助极差分析研究各因素对试样密度的影响, 其结果见表 6 和图 7。

表 6 密度影响因素分析

Table 6 Analysis of factors influencing density

项目	水平 1 下 密度均值	水平 2 下 密度均值	水平 3 下 密度均值	极差 R
A	0.204	0.200	0.194	0.010
B	0.197	0.198	0.204	0.007
C	0.199	0.198	0.204	0.006
均值	0.200	0.199	0.200	0.002

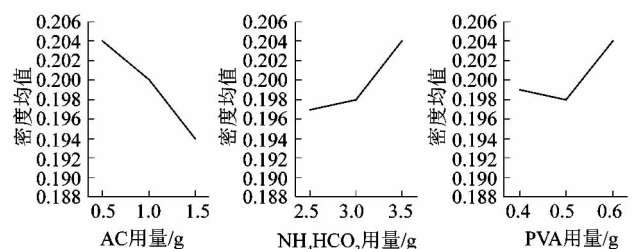


图 7 密度影响因素趋势变化

Figure 7 Trend change of influence factors on density

借助极差分析不难发现决定该材料密度的重要性依次为 $A > B > C$, 即 AC 用量 $> \text{NH}_4\text{HCO}_3$ 用量 $> \text{PVA}$ 用量。分析得知, 发泡剂的实际添加量将决定体系所释放的气量, 并最终影响材料的发泡水平。如果其添加量过少, 则体系所释放的气量也会偏少, 相对而言其发泡水平偏低, 体积偏小, 此时材料具备高密度; 随着添加量的不断增加, 体系内所释放的气量将不断增加, 材料将持续膨胀, 发泡水平持续上升, 此时材料密度会不断下降。因此, 发泡剂的添加量根本决定了体系的产气量, 决定了泡孔的密度和体系的膨胀程度, 最终影响体系的密度。密度影响因素趋势变化如图 7 所示。

4) 试样综合性能极差分析

试样总分影响因素如表7和图8所示。

表7 总分影响因素分析

Table 7 Analysis of factors influencing total score

项目	水平1下 总分均值	水平2下 总分均值	水平3下 总分均值	极差R
A	58.000	66.000	56.000	10.000
B	60.667	60.000	59.333	1.333
C	44.667	73.333	62.000	28.667
均值	54.444	66.444	59.111	12.000

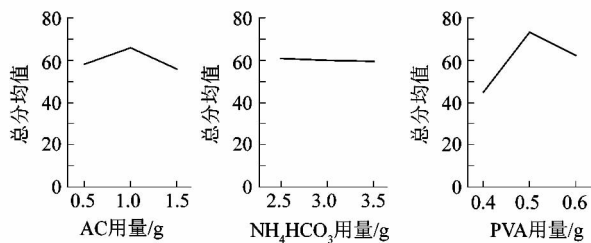


图8 总分影响因素趋势变化

Figure 8 Trend change of influence factors on total score

通过极差分析不难看出决定该材料静态压缩性能的重要性依次为 $C > A > B$, 即 PVA 用量 $>$ AC 用量 $>$ NH_4HCO_3 用量。总分影响因素趋势变化如图8所示。

在综合考虑产品的性能的前提下,由正交试验分析结果,可以确定本实验中,混合纤维材料的工艺配方中 AC 用量、 NH_4HCO_3 用量及 PVA 用量的比例为 1:3:0.5 为最佳方案。

2.3 验证试验

应用上述中最佳的配方结论,重新制备该材料,即当加入约 0.5 g 的成膜剂 PVA,约 3 g 的 NH_4HCO_3 ,约 1 g 的发泡剂 AC,将秸秆与瓦楞废纸纤维质量比按照约 3/5 (秸秆纤维 15 g, 瓦楞废纸纤维 25 g) 的比例进行混合,制备出的试样进行静态压缩缓冲性能试验,材料的静态压缩缓冲性能较好,泡孔较均匀。

3 结语

以微波发泡法为基础,以多种混合纤维为原料来试制一种全新的发泡型缓冲包装材料,同时针对其制备工艺所涉及的核心问题展开探讨,即分别探讨其制

备过程中 AC 用量、 NH_4HCO_3 用量、PVA 用量以及合适的瓦楞废纸和秸秆 2 种纤维的混合比对静态力学性能的影响。经作者大量实验研究表明,当使用无机发泡剂 NH_4HCO_3 和有机发泡剂 AC 以适当比例复配,结合适量成膜剂 PVA,可微波发泡出良好机械性能(静态压缩性能)的混合纤维材料。本实验还研制出新的发泡剂配方:0.5 g 的成膜剂 PVA、约 3 g 的 NH_4HCO_3 和约 1 g 的发泡剂 AC,同时秸秆与瓦楞废纸纤维质量比为 3/5。该配方下的试样的静态压缩缓冲性能优于实验室历史配方试样^[13-16]。

但本研究仍存在一些问題,如材料的吸湿性、防潮性有待改善,试验仍存在一定误差。若后人进一步探究此类课题,防潮吸湿性可作为研究重点。

参考文献:

- [1] 蒋燕.“白色污染”的危害与治理对策分析[J]. 环球市场信息导报,2012(1):117.
- [2] 侯树亭. 中国 EPS 泡沫塑料回收利用状况及技术进展[J]. 塑胶工业,2006(5):25-27.
- [3] KAMA A D A L. Sustainable growth, renewable resources and pollution[J]. Journal of economic dynamics and control,2001,25(12):1916-1918.
- [4] 胡志军. 绿色缓冲包装材料的现状及研究进展[J]. 浙江科技学院学报,2009,21(4):330-331.
- [5] 高德,周建伟,张萍,等. 植物秸秆绿色包装材料的研究现状与发展前景[J]. 包装工程,2008,29(12):33-34.
- [6] 孙中琦,王雅立,马真,等. 多糖类纳米可食性保鲜膜的研究进展[J]. 包装与食品机械,2015,33(2):57-58.
- [7] PUSHADASS H A, BABU G S, WEBER R W, et al. Extrusion of starch-based loose-fill packaging foams: effects of temperature, moisture and talc on physical properties[J]. Packaging technology and science,2010,21(3):176-177.
- [8] 曾广胜,林瑞珍,郑良杰,等. 废纸浆纤维增强淀粉复合发泡材料的制备及其性能[J]. 功能材料,2012(22):3054-3055.
- [9] 全国包装标准化技术委员会. 包装用缓冲材料静态压缩试验方法:GB/T 8168—2008[S]. 北京:中国标准出版社,2008.
- [10] 王沛,刘炼,魏志勇. 玉米秸秆缓冲包装材料的研制及性能测试[J]. 包装工程,2009,30(2):16-17.
- [11] 柴希娟,张加研,扈焕军. 微波辐照蔗渣制备可降解发泡材料的工艺研究[J]. 林产化学与工业,2009,29(增刊1):165-166.
- [12] 张惠莹,张晶,江兴亮,等. NaOH 预处理对废纸纤维发泡材料性能的影响[J]. 包装学报,2012(3):14-15.