

基于人因工效原理纸包装拉链结构的 撕裂力学研究

doi:10.3969/j.issn.1674-7100.2018.01.002

肖颖喆 蒙惠文 杨大鹏

湖南工业大学
包装与材料工程学院
湖南 株洲 412007

摘要: 为了研究纸包装拉链不同材料、结构及尺寸对其开启过程中最大撕裂力 (F_{\max}) 和人因工效的影响, 选取以白卡纸和灰底白卡纸为材料, 制备折角型、圆弧型和倾斜型 3 种纸包装拉链结构, 并通过改变纸包装拉链单体前端倾斜部分的水平投影长度 (a)、垂直投影长度 (b)、圆弧半径 (R) 的尺寸, 测定它们与 F_{\max} 的关系; 固定其它变量通过改变纸包装拉链宽度, 测定消费者使用舒适度。结果表明: 开启白卡纸试样所需 F_{\max} 要大于灰底白卡纸试样; 倾斜型纸包装拉链的 F_{\max} 最大, 且开启效果不理想; 开启纸包装拉链所需的 F_{\max} 随着结构变量 a, b, R 增加而增大, a, b, R 过小会使纸包装拉链结构性能不稳定而自发断裂, 但超过一定数值会造成纸拉链开启不顺利; 在开启过程的人因工效测试中, 纸包装拉链宽度为 17 mm 时, 开启时舒适度最高。

关键词: 纸包装拉链结构; 最大撕裂力; 人因工效

中图分类号: TB482.2 **文献标志码:** A

文章编号: 1674-7100(2018)01-0008-07

0 引言

纸包装的拉链结构通常以隐蔽的易撕口方式存在于包装盒的侧面或顶部, 多见于饼干、咖啡等日常食品的外包装盒上^[1-2], 为消费者提供简单便捷的包装开启方式。近年来, 正是因为纸包装拉链结构的便捷性, 促进其迅速发展, 形式亦多样化^[3-4], 在日常生活中常见的纸包装拉链结构有折角型、圆弧型、倾斜型 3 种, 如图 1 所示。

纸包装拉链结构不但方便消费者开启包装盒, 还具有防伪防盗以及保持包装完好性等优点^[5]。但随着社会老龄化进程的加快, 老年消费者越来越多, 他们在使用此包装结构时, 会出现不易打开包装, 撕口不整齐等情况^[6]。关注消费者的需求, 提供更周到的服务是各生产厂家提高市场竞争力的手段之一, 因此包装的易开启性越来越受到重视^[7-8]。

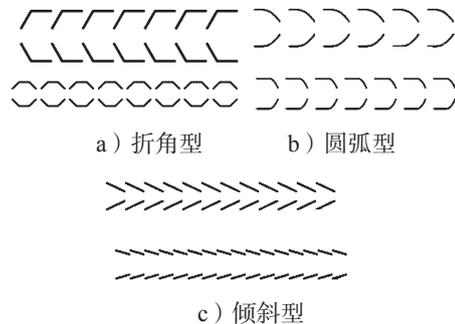


图 1 常见纸包装拉链结构

Fig. 1 Common paper packaging zipper structures

市场上出现带有撕裂带材的瓦楞纸箱, 该结构通过剪切力快速切割纸板径向纤维实现开启功能^[9-10]。朱海鸥等人^[11]通过控制易撕口结构的模切生产方法来提高打开率, 在保证模切生产效率的同时, 使包装纸盒糊盒成型后能够不借助任何工具实现完整打开,

收稿日期: 2017-10-12

作者简介: 肖颖喆 (1974-), 女, 湖北汉川人, 湖南工业大学教授, 主要从事包装结构设计与制造等方面的教学与研究, E-mail: 32260771@qq.com

而且降低了生产能耗。张珣等人^[12]提出纸包装开启方式的宜人性,利用纸的易裁易折的多变特性,结合纸包装多样的形态结构,巧妙设计开启部位和包装形态结构;同时,在开启结构的形态设计中注入更多的人文精神,满足消费者日益复杂化、多元化的精神需求,体现设计的人性化与个性化。董华等人^[13]研究了适合中老年消费者的包装开启方式,得出手部握力大小、手指灵活度、包装精细程度对开启时间具有显著影响,低精细度包装更适合中老年消费者。李飞^[14]探讨了老年人产品包装开启方式的设计原则,得出应根据他们的手指灵活度,手部开启姿势、动作和用力方向等进行结构设计。

本文通过改变纸包装拉链结构的包装材料、结构及尺寸,并运用人因工效原理探究在撕开过程中最大撕裂力(F_{\max})变化和舒适度体验,力求在保证包装强度的前提下,根据消费者需求选择适当的材料、结构和尺寸以降低开启力,提高消费者使用舒适性,以期期为包装生产商提供参考。

1 撕裂力学测试实验

1.1 材料和仪器

1) 材料

白卡纸(定量为 250 g/m^2 ,厚度为 $(335 \pm 10)\text{ }\mu\text{m}$,纵向挺度大于 $8.0\text{ mN}\cdot\text{m}$,横向挺度大于 $4.2\text{ mN}\cdot\text{m}$)、灰底白卡纸(定量为 230 g/m^2 ,厚度为 $(305 \pm 10)\text{ }\mu\text{m}$,纵向挺度大于 $6.5\text{ mN}\cdot\text{m}$,横向挺度大于 $3.2\text{ mN}\cdot\text{m}$),含水率为 $7.8\%\sim 8.4\%$,层间结合强度不低于 120 J/m^2 ,青州博大纸业贸易有限公司生产。

2) 仪器

平板切割机 GRAPHTEC, FCX2000-120VC 型,日本图技株式会社生产。

PC 型智能电子拉力试验机, XLW(L)-PC 型,济南赛成电子科技有限公司生产。

1.2 实验方法

1.2.1 试样制备方法

3种纸包装拉链结构的变量说明如图2所示。图a折角型结构中 a 为纸包装拉链单体前端倾斜部分的水平投影长度, b 为其垂直投影长度, c 为纸包装拉链单体的水平长度, H 为纸包装拉链的宽度, θ 为纸包装拉链单体前端倾斜部分与水平线的夹角,且满足 $a/b=\cot\theta$,试验中通过改变 θ 的值来控制 a, b 的变化。

折角型结构是以 a, b, θ, c 为变量进行平板切割制样。图b中圆弧型结构由水平线段和 $1/4$ 圆弧相切组成,取 θ 为 45° , $1/4$ 圆弧的半径为 R ,以 R, c 为变量进行平板切割制样。图c倾斜型结构中 c 为 0 mm ,以 a, b, θ 为变量进行平板切割制样。纸包装拉链试样分别用白卡纸和灰底白卡纸2种包装材料制取,同一变量制5个试样,测试结果取平均值。

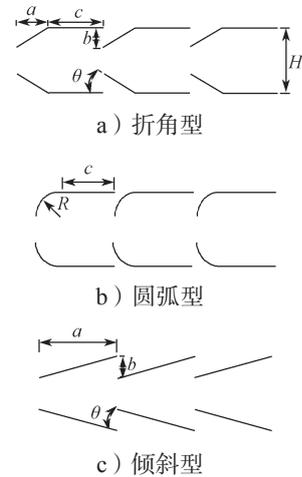


图2 纸包装拉链结构尺寸示意图

Fig. 2 Structure size diagram of paper packaging zipper

1.2.2 测试方法

为模拟纸包装拉链的实际使用情况,撕开纸包装拉链开口端,将纸包装拉链试样底板的一端夹于PC型智能电子拉力试验机的下夹头,另一端夹于与水平线成 60° 的固定架上,纸包装拉链开口端夹于拉力机的上夹头,如图3所示。两夹头间距为 10 mm ,设定实验速度为 200 mm/min ,记录纸包装拉链撕裂时的 F_{\max} 值。圆弧型纸包装拉链试样在试验前后的对比,如图4所示。



图3 实验设备图

Fig. 3 Laboratory equipment

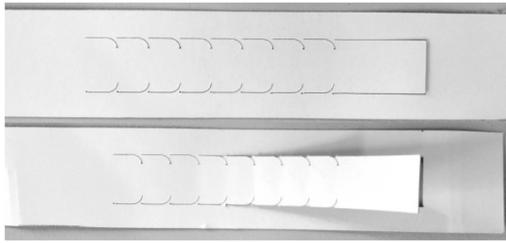


图4 实验试样

Fig. 4 Experimental sample diagram

1.3 实验结果与分析

1.3.1 折角型结构

在折角型纸包装拉链试样中,保持 c 值不变($c=10$ mm),其中 $a/b=\cot \theta$ 。试验中固定1个变量 a (或 b)值,通过改变 θ 值来控制另一变量 b (或 a)值的变化,分别测得最大撕裂力 F_{\max} ,得到 F_{\max} 与变量 a, b 的关系曲线如图5~6所示。

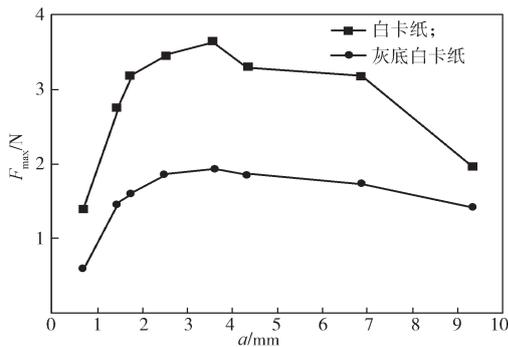


图5 $b=2.5$ mm 时,折角型结构 F_{\max} - a 关系曲线

Fig. 5 $b=2.5$ mm, angular structure F_{\max} - a curves

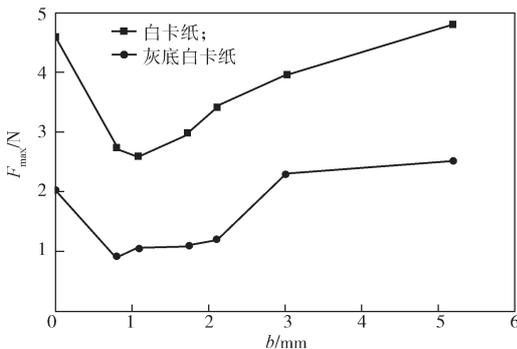


图6 $a=3$ mm 时,折角型结构 F_{\max} - b 关系曲线

Fig. 6 $a=3$ mm, angular structure F_{\max} - b curves

从图5可以看出,当 c 值不变且 $b=2.5$ mm时,开启折角型纸包装拉链所需 F_{\max} 随着 a 值的增大呈现先增大后减小的趋势。这是因为随着 a 值的增加,纸包装拉链2个单体间水平位置上的间隔越来越大,即前一单体结构水平线段的后端与后一单体结构倾

斜部分的后端水平距离越来越大,这两点作为应力集中点会降低纸张的撕裂强度,因此随着这两点距离的增加,应力相对分散故开启纸包装拉链所需 F_{\max} 增大。因此随着 a 值的增加, F_{\max} 逐渐增大。但后期 F_{\max} 值却不断减小,这是由于 a 值过大,开启纸包装拉链时所需 F_{\max} 大于纸张层间结合力,导致纸张分层撕裂而无法完整开启,使测得的 F_{\max} 减小。

从图6可以看出,当 c 值不变, $a=3$ mm时,开启折角型纸包装拉链所需 F_{\max} 随着 b 值的增大呈现先减小后增大的趋势。这是因为 b 值的增大使2个单体间的应力集中点分散从而使周围纸张强度增加,导致撕开同一长度的纸包装拉链所需 F_{\max} 增加。而当 $b=0$ mm时,纸包装拉链边缘切痕为虚线。当 b 值由0增大时 F_{\max} 开始突降,证明折角型纸包装拉链结构相较于单纯虚线结构,应力集中现象更明显,更有利于降低开启力。

比较图5~6中白卡纸和灰底白卡纸2种材料的曲线可知,二者的变化趋势相似,但灰底白卡纸材料所需最大撕裂力小,且整体变化平缓,这与纸张定量和工艺有关。

1.3.2 圆弧型结构

在圆弧型纸包装拉链试样中,保持 c 值不变($c=10$ mm),试验中以 R 为变量,分别取值为1.0, 2.5, 3.5, 5.0, 6.5 mm,并测得最大撕裂力 F_{\max} ,得到 F_{\max} 与变量 R 的关系曲线,如图7所示。

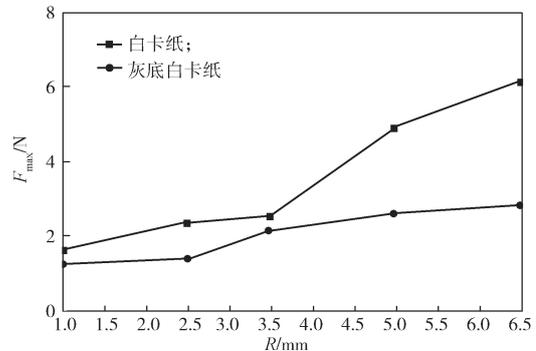


图7 圆弧型结构 F_{\max} - R 关系曲线

Fig. 7 Arc shaped structure F_{\max} - R curves

从图7可以看出,开启圆弧型纸包装拉链所需 F_{\max} 随着 R 值的增大呈现递增趋势。其原因与折角型纸包装拉链的 F_{\max} 随 a, b 变化的原因相似,随着变量值的增大,应力相对分散,相应 F_{\max} 亦增大。从材料角度分析,2种材料 F_{\max} 的变化趋势相似,但灰底白卡纸整体变化平缓,这与折角型结构变化一致。

1.3.3 倾斜型结构

在倾斜型纸包装拉链试样中, c 为 0 mm。当 $b=5$ mm, a 为变量, 测得 F_{\max} 与 a 的关系曲线如图 8 所示; 当 $a=10$ mm, b 为变量, 测得 F_{\max} 与 b 的关系曲线如图 9 所示。

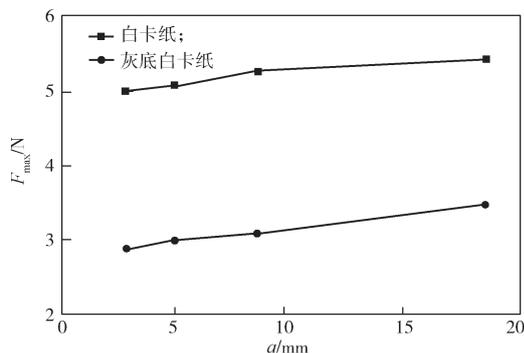


图 8 $b=5$ mm 时, 倾斜型结构 F_{\max} - a 关系曲线

Fig. 8 $b=5$ mm, sloping structure F_{\max} - a curves

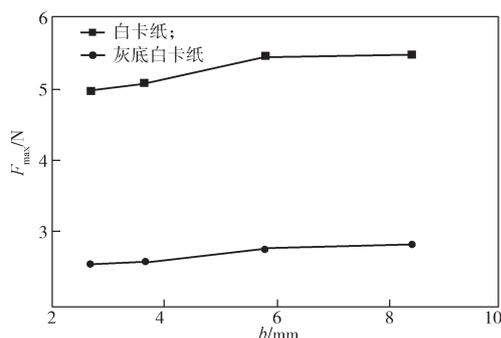


图 9 $a=10$ mm 时, 倾斜型结构 F_{\max} - b 关系曲线

Fig. 9 $a=10$ mm, sloping structure F_{\max} - b curves

结合图 8~9 可以看出, 开启倾斜型纸包装拉链所需 F_{\max} 随着 a, b 值的增大均呈递增趋势且变化较平缓, 相比前 2 种结构, 倾斜型纸包装拉链的 F_{\max} 总体较大, 且开启效果不理想。原因在于倾斜型拉链结构缺少水平切割线的导向作用, 使力沿倾斜切割线方向, 故在水平方向的分力比其他 2 种结构的小。因此需要较大的 F_{\max} 来撕裂倾斜型纸包装拉链。

1.3.4 3 种结构对比

1) 相同条件下 F_{\max} 分析

保持 c 值不变 ($c=10$ mm), 将折角型结构中 $a=b=2.5$ mm, $\theta=45^\circ$ 下测得的 F_{\max} 与圆弧型结构中 $R=2.5$ mm 测得的 F_{\max} 进行对比, 如表 1 所示。倾斜型结构没有水平线段 (即 c 为 0 mm), 条件不同故不参与对比。从表 1 可以看出, 折角型结构比圆弧型结构需更大的撕裂力。这是因为圆弧型切割线较折角

型倾斜部分切割线距前一单体更近, 且切割长度较倾斜型长, 即弧长大于弦长, 因此圆弧型纸包装拉链所需 F_{\max} 更小。

表 1 折角型结构与圆弧型结构 F_{\max} 对比

Table 1 Comparison of F_{\max} of arc shaped structure and angular structure

类型	F_{\max} /N	
	白卡纸	灰底白卡纸
折角型	3.65	1.94
圆弧型	2.35	1.41

2) F_{\max} - c 关系分析

在折角型纸包装拉链试样中, 使 $a=b=3$ mm; 在圆弧型纸包装拉链试样中, 使 $R=3$ mm; 以 c 为变量测得 F_{\max} 与 c 的关系曲线如图 10~11 所示。倾斜型纸包装拉链中 $c=0$ mm, 因此不参与对比。

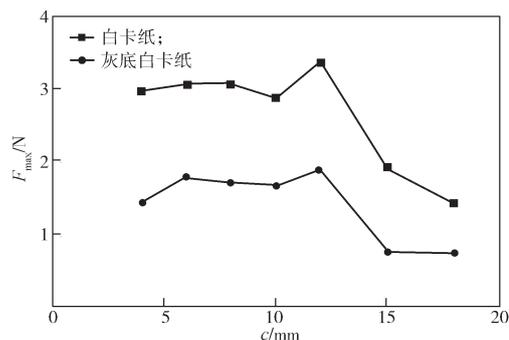


图 10 折角型结构 F_{\max} - c 关系曲线

Fig. 10 Angular structure F_{\max} - c curve

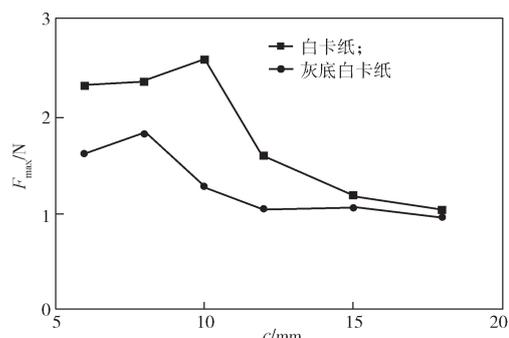


图 11 圆弧型结构 F_{\max} - c 关系曲线

Fig. 11 Arc shaped structure F_{\max} - c curves

结合图 10~11 可以看出, 折角型、圆弧型结构纸包装拉链的 F_{\max} 随 c 值增大先稳定在一定范围内, 但当 c 超过某一数值后呈现递减趋势。这是因为 c 值的增加虽然未使纸包装拉链单体结构的间距增大, 但 c 值达到一定数值后, 试样上切割部分长度与未切割

部分比例悬殊造成纸张性能下降, 纸包装拉链结构不稳定从而使 F_{max} 减小。

折角型结构中白卡纸和灰底白卡纸试样在 $c=12$ mm 前, F_{max} 值基本维持稳定, 当 c 从 12 mm 增大时, 2 种材料的 F_{max} 均大幅下降。圆弧型结构中白卡纸材料试样在 $c=10$ mm 之后 F_{max} 值开始下降, 而灰底白卡纸材料试样 F_{max} 值下降点为 $c=8$ mm。

2 种实验材料在上述测试中呈现出相似的变化趋势, 定量较低的灰底白卡纸相比于定量高的白卡纸所需 F_{max} 略低。这是因为纸张定量越高弹性模量也越高^[15], 故白卡纸的弹性模量高于灰底白卡纸, 其 F_{max} 也相应增大。

由图 5~11 可以看出, 开启纸包装拉链所需 F_{max} 与所设 a, b, R, c 等变量有明显关系。实验过程中当 a, b, R 值取较小时, 纸包装拉链强度过低而自发断裂, 取值较大时因最大撕裂力大于纸张本身强度导致纸包装拉链未撕开而发生纸张断裂。因此实际生产过程中需根据具体产品和消费人群进行材料、结构和尺寸的选定。

2 开启过程的人因工效讨论

消费者在打开纸包装拉链时需用食指与大拇指捏住纸包装拉链的开口端进行撕扯, 纸包装拉链的宽度 H 应根据人因学原理适合食指和大拇指尺寸, 以提供适宜的操作体验^[16]。 H 与 b, R 满足如下关系: $H > 2b, H > 2R$ 。本实验的样品设计如图 12 所示。 H 值可从提高消费者使用舒适度进行设置, 以扩大纸包装拉链的应用领域, 并为厂家提供纸包装拉链制造尺寸的参考。

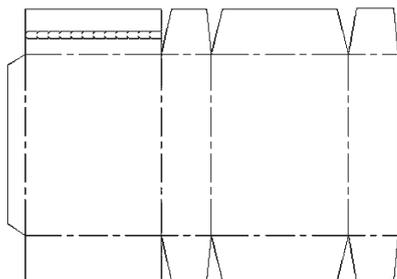


图 12 实验试样图

Fig. 12 Experimental sample diagram

2.1 测试方法

选取 50 名测试员, 其年龄为 18~24 周岁, 男女比例 1:1。50 名测试员对纸包装拉链的开启舒适度进

行评价, 并记录结果。

测试前, 先参照 GB/T 5703—2010《用于技术设计的人体测量基础项目》测量 50 名测试员, 发现其食指远位指关节宽在 14.0~19.5 mm 之间。故测试中纸包装拉链宽度 H 选取尺寸为 9, 14, 15, 17, 18, 19 mm 共 6 种; 纸包装拉链结构选择圆弧型结构, $R=2.5$ mm, $c=6$ mm。

测试时, 测试员一手拿住纸盒, 另一只手的食指和拇指捏住纸包装拉链开口端并撕开, 纸盒内部放置的产品忽略不计。

2.2 测试结果及分析

每位测试员对 6 种尺寸的纸包装拉链进行测试, 并将个人主观评价分为方便、一般、不方便 3 个等级记录结果。3 个等级的舒适度人数分布情况如图 13 所示。

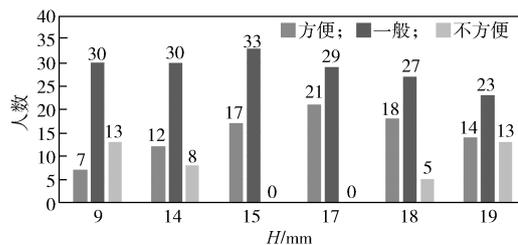


图 13 舒适度人数分布图

Fig. 13 Distribution of comfort figures

由上图及测试过程的体验可知: 纸包装拉链宽度影响测试员手撕拉链的舒适度。当纸包装拉链宽度较小时, 因不能舒适地容纳手指, 以致测试员不能较好地撕开纸包装拉链; 当纸包装拉链宽度为 17 mm 时, 舒适度最高。超过 17 mm 时, 撕开纸包装拉链所需要的力变大, 导致手部力量较小的测试员测试舒适度下降。

综上所述, 纸包装拉链宽度应适中, 对于本实验选取 17 mm 较合适, 绝大部分测试员可轻松捏住纸包装拉链端部并有舒适的撕开体验。

3 结语

本文运用人因工效原理, 研究开启纸包装拉链所需 F_{max} 及开启过程的舒适度体验与包装材料、结构及尺寸 3 个方面的关系, 得到如下结论。

1) 使用白卡纸和灰底白卡纸作为实验材料的纸包装拉链试样显示出相似的变化趋势, 遵循纸张自身的力学规律。白卡纸克重大于灰底白卡纸, 双面施胶使得其力学强度高于灰底白卡纸, 故其试样的 F_{max}

也较大。

2) 3种结构中, 开启倾斜型纸包装拉链所需 F_{\max} 最大, 且开启效果不理想。折角型与圆弧型的 F_{\max} 均会随纸包装拉链单体结构间距的增大而增加, 但当 a, b, R 值取较小值时, 纸包装拉链强度过低自发断裂, 当取值较大时因 F_{\max} 大于纸张本身强度, 会导致纸包装拉链未撕开而纸张分层断裂。相同条件下, 圆弧型纸包装拉链较折角型更省力。

3) 在开启过程的人因工效测试中, 以 18~24 岁身体健康, 手部无疾病青壮年人士为样本。结果显示纸包装拉链宽度为 17 mm 时, 舒适度最高。而对于老年消费者、患有手部疾病或出现手部力量下降的人来说, 手部尺寸会偏大, 因此面向此类消费者的产品若设置拉链开启结构, 应采用较大的宽度和最大撕裂力较小的结构。

纸包装拉链的 F_{\max} 与纸包装拉链的结构、各部分尺寸、包装材料定量密切相关。根据不同消费需求选择适当的材料、结构及尺寸, 能够在保持纸包装拉链结构稳定性的前提下降低开启力, 提高消费者使用舒适性, 为包装供应商提供生产数据参考, 同时提高企业市场竞争率。

参考文献:

- [1] 佚名. 食品纸盒开口流行易撕设计[J]. 上海包装, 2010(4): 59.
Anon. Easy-to-Tear Design is Popular in Food Carton Opening[J]. Shanghai Packaging, 2010(4): 59.
- [2] NETRAMAI S, KIJCHAVENGKUL T, KITTIPIN-YOVATH P. Use of Paper in Food Packaging Applications[M]// SMITHERS G. Reference Module in Food Sciences. [S. l.]: Elsevier, 2016: 96-138.
- [3] AUSNIT S. Reclosable Package Having Zipper with Hinged Flap and Related Methods of Manufacture: US7416338[P]. 2008-08-26.
- [4] KAWAI N. Easy-to-open "Smart-Cut" Package with Zipper[J]. Packaging Technology, 2013, 51(4): 312-315.
- [5] 赵小芳, 黄丹. 包装容器开启方式的宜人性设计探析[J]. 包装工程, 2009, 30(1): 210-212.
ZHAO Xiaofang, HUANG Dan. On Amenity Design of Container Opening Mode[J]. Packaging Engineering, 2009, 30(1): 210-212.
- [6] BELL A F, WALTON K L, TSAPSELL L C. Easy to Open Exploring the 'Openability' of Hospital Food and Beverage Packaging by Older Adults[J]. Appetite, 2016, 98: 125-132.
- [7] 赵江. 包装物易开启性分析[J]. 食品工业, 2006(1): 44-45.
ZHAO Jiang. Analysis of Openability of Packaging[J]. Food Industry, 2006(1): 44-45.
- [8] 王兴东, 赵江. 如何提高包装物的易开启性[J]. 包装工程, 2007, 28(2): 177-178.
WANG Xingdong, ZHAO Jiang. How to Improve the Openability of Packaging[J]. Packaging Engineering, 2007, 28(2): 177-178.
- [9] 刘末, 黄利强, 李昕. 易开启式瓦楞纸箱撕裂带材的发展概况[J]. 包装工程, 2010, 31(13): 17-20.
LIU Mo, HUANG Liqiang, LI Xin. Development Profile of Easy-Open Corrugated Box Tear Tape[J]. Packaging Engineering, 2010, 31(13): 17-20.
- [10] 黄利强, 刘末. 易开启式瓦楞纸箱撕裂带材的制备与性能研究[J]. 中国印刷与包装研究, 2010, 2(S1): 453-456.
HUANG Liqiang, LIU Mo. Research on Preparation and Characterization of Easy-to-Open Tear Tape for Corrugated Carton[J]. China Printing and Packaging Study, 2010, 2(S1): 453-456.
- [11] 朱海鸥, 季良. 打开率 100% 的隐蔽易撕口模切生产方法[J]. 中国包装工业, 2012(2): 50-52.
ZHU Haiou, JI Liang. The Hidden Easy to Tear Die Cutting Production Method with 100% Opening Rate[J]. China Packaging Industry, 2012(2): 50-52.
- [12] 张珣, 宋盼盼. 纸器包装开启方式的宜人性研究[J]. 包装世界, 2015(1): 27-29.
ZHANG Xun, SONG Panpan. A Study on Humanity in Opening of Paper Packaging[J]. Packaging World, 2015(1): 27-29.
- [13] 董华, 侯冠华, 宁维宁, 等. 包装精细度与中老年用户握力对包装开启时间的影响[J]. 人类工效学, 2016, 22(5): 7-12.
DONG Hua, HOU Guanhua, NING Weining, et al. Effect of Packaging Fineness Levels and Ageing Users' Hand Grip Strength on Packaging Opening Time[J]. Chinese Journal of Ergonomics, 2016, 22(5): 7-12.
- [14] 李飞. 老年产品包装开启方式的设计探索[J]. 产业与科技论坛, 2015, 14(21): 43-44.
LI Fei. Design and Exploration of Opening Mode of Product Packaging for Elderly People[J]. Industrial and Science Tribune, 2015, 14(21): 43-44.
- [15] 储信庆, 计宏伟. 灰底白板纸与白卡纸的弹性常数对比[J]. 包装工程, 2015, 36(23): 48-52.

CHU Xinqing, JI Hongwei. Comparison of the Elastic Constants between the Gray Manila Board and Ivory Board[J]. Packaging Engineering, 2015, 36 (23): 48-52.

[16] LEE K S, JUNG M C. Ergonomic Evaluation of Biomechanical Hand Function[J]. Safety and Health at Work, 2015, 6(1): 9-17.

Study on Tearing Mechanical Properties of Paper Packaging Zipper's Structure Based on Ergonomics

XIAO Yingzhe, MENG Huiwen, YANG Dapeng

(School of Packaging and Materials Engineering, Hunan University of Technology, Zhuzhou Hunan 412007, China)

Abstract: In order to investigate the effects of different materials, structures and sizes of paper packaging zippers on the maximum tearing force (F_{\max}) and the consumers' comfort level in opening process, the angular paper packaging zipper, the arc shaped paper packaging zipper and the sloping paper packaging zipper with white cardboard and gray cardboard as the wrapping materials were prepared by the flatbed cutting machine. The F_{\max} were tested by changing the size of horizontal projection (a), vertical projection (b) of the front tilt part of the zipper monomer and the circular arc radius (R). The consumers' comfort level in opening process was measured by changing the zipper width of paper packaging fixed other variables. The results showed that the F_{\max} required for white cardboard samples was larger than that of gray cardboard samples. The F_{\max} of the sloping paper packaging zipper was the largest and had poor opening effectiveness. The F_{\max} of the paper package zipper increased with the increase in the size of structure variable a, b, R . If the size of a, b, R was too small, the paper packaging zipper would break down, while the size exceeded a certain value, it would not open smoothly. In the ergonomic test, the width of 17 mm indicated the highest satisfaction value for people.

Keywords: paper packaging zipper's structure; maximum tearing strength; ergonomics