

doi:10.3969/j.issn.1674-7100.2015.01.009

# 基于侦测技术的新型瓦楞纸箱戳穿试验仪研发

万旺军<sup>1</sup>, 白广宇<sup>2</sup>, 徐福伟<sup>1</sup>, 王广宇<sup>1</sup>, 徐 慧<sup>2</sup>

(1. 浙江出入境检验检疫局 包装检测实验室, 浙江 杭州 310016;  
2. 杭州唐研科技有限公司, 浙江 杭州 310018)

**摘要:** 为解决传统瓦楞纸箱戳穿试验仪所存在的检测精度低、可靠性差、自动化程度低和安全防护不足等弊端, 利用现代控制与侦测技术, 研制了一种精度高、易操作、使用安全的新型瓦楞纸箱戳穿试验仪。该设备由能量迸发与传递、戳穿能量侦测、导向运动、安全保护和自动控制等模块组成, 其控制系统程序采用LabVIEW编写。测试验证结果表明, 该设备的检测稳定性能好, 精确度达0.6%以下, 完全能满足现行检测标准要求。同时, 该设备可实现对试验过程的自动化控制, 具有自动校对功能, 且设计有角锥限位与遥控启动双重安全措施, 可保障操作人员的安全。

**关键词:** 瓦楞纸箱; 戳穿强度; 试验仪; 侦测技术

**中图分类号:** TB486+.3

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1674-7100(2015)01-0045-04

## Research and Development of New Corrugated Carton Puncture Tester Based on Detection Technology

Wan Wangjun<sup>1</sup>, Bai Guangyu<sup>2</sup>, Xu Fuwei<sup>1</sup>, Wang Guangyu<sup>1</sup>, Xu Hui<sup>2</sup>

(1. Packaging Testing Laboratory, Zhejiang Entry-Exit Inspection and Quarantine Bureau, Hangzhou 310016, China;  
2. Hangzhou Tangyan Technology Co. Ltd, Hangzhou 310018, China)

**Abstract:** To overcome the shortcomings of the traditional corrugated carton puncture tester, which is of low detection accuracy, poor reliability, low automation and insufficient safety protection etc, a new corrugated carton puncture tester of high detection accuracy, easy operation and safety in use was developed by utilizing the modern control and detection technology. The equipment was composed of modules of energy bursting and transfer, detection of exposing energy, guiding movement, safety protection and automatic control with its controlling software adopting the LabVIEW. The testing verification result showed the new equipment had good stability and testing accuracy below 0.6 percent, which fully met the testing standard. At the same time, it could realize the automatic controlling on testing process, and had the function of automatic proofreading. Moreover, the double safety measures of pyramid limit and remote start could guarantee the safety of operators.

**Key words:** corrugated carton; puncture strength; tester; detection technology

收稿日期: 2014-09-29

基金项目: 国家质量监督检验检疫总局科技计划基金资助项目(2013IK216), 浙江出入境检验检疫局科技计划基金资助项目(ZK201256)

作者简介: 万旺军(1979-), 男, 江西南昌人, 浙江出入境检验检疫局高级工程师, 主要从事危险货物及包装的测试研究,  
E-mail: wwjjie@sina.com

## 0 引言

瓦楞纸箱具有较好的抗压、缓冲、防震、耐戳穿、抗撕裂等性能,且其质量较轻,易加工成型,同时还具有良好的装潢印刷适性,能够循环再利用,因此,瓦楞纸箱作为包装材料广泛应用于产品包装领域<sup>[1-2]</sup>。目前,我国包装工业总产值已跃居世界之首,包装工业每年承担了全国30 000多亿元人民币的工农业产品包装和6 000多亿元人民币的出口商品包装配套需求,其中,纸制品包装产值占包装工业总产值的40%,在国民经济中发挥了重要作用<sup>[3]</sup>。

瓦楞纸板的戳穿强度指以特定形状的角锥戳穿头穿过纸板所需的功,属于动态强度,是瓦楞纸板受到碰撞、挤压而发生破损的重要性能指标。目前,进出口瓦楞纸箱包装的戳穿性能检测,主要依据现行中国国家标准GB/T 2679.7—2005《纸板戳穿强度的测定》和我国检验检疫行业标准SN/T 0262—1993《出口商品运输包装瓦楞纸箱检验规程》执行。戳穿试验时,角锥戳穿头穿透纸板试样的过程由3个连续动作组成,即刺穿、撕裂和弯折<sup>[4]</sup>。如戳穿强度测试数据低于标准值,即判定此项目不合格,则此批抽样产品质量判定为不合格。所采用的纸板戳穿强度测试仪一般由摆系试样夹持装置、指针刻度盘、角锥体(戳穿头)、操作系统等部分组成,根据其功能原理,在一个特殊形状的摆体上,安装一个按标准几何体设计生产的三角棱形角锥,借助于摆体的能量,测试使三角锥体穿透试样时所需的能量。

自20世纪90年代至今,传统瓦楞纸箱戳穿强度测试仪已沿用多年,在检测过程中存在检测精度低、稳定性能差、受人为因素影响大、自动化程度低、安全防护不足等缺点,而目前在国内外相关文献中尚未见关于瓦楞纸箱新型戳穿检测仪的研发报道。为此,研究组利用现代控制和侦测技术,并根据实际检测需要<sup>[5]</sup>,对传统瓦楞纸箱戳穿强度测试仪进行重新设计及改进,研发了一种新型瓦楞纸箱戳穿仪,以提高瓦楞纸箱戳穿性能检测的精度和稳定性能,实现检测结果的客观化,避免人工读数的误差,为检测机构提供更稳定、准确、可靠的检测数据,同时增强操作人员的安全防护。

## 1 工作原理与总体设计

在设计方案中,研究组设计了一个杆状角锥,该角锥在2个高速反向旋转的摩擦轮的挤压下作加速运动,沿导轨导向迅速射向待测瓦楞纸箱。在角锥运动方向上,于待测纸箱的两端,分别安装2对激光

对射传感器,自动侦测角锥的速度,从而获得角锥戳穿纸箱前、后的能量,并通过数据传感系统,实现戳穿能量的数字化显示。由此可检测出瓦楞纸箱的戳穿强度值。

该试验仪能实现对角锥运动能量的自动化控制,自动记录、分析戳穿能量,直接计算单次试验戳穿能量的大小及多次试验的标准差,同时支持角锥限位与遥控启动双重安全措施,保障操作人员的安全。整个系统由能量迸发与传递、戳穿能量侦测、导向运动、安全保护和自动控制等部分组成。其具体研发设计原理见图1,总体结构见图2。



图1 新型瓦楞纸箱戳穿测试仪设计原理

Fig. 1 Schematic diagram of the new corrugated carton puncture tester

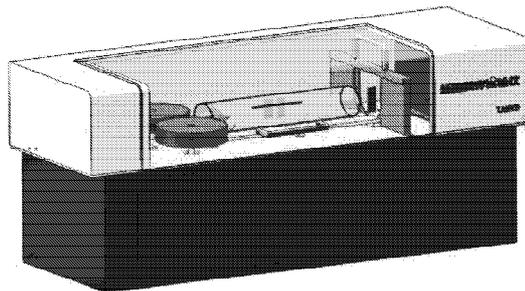


图2 新型瓦楞纸箱戳穿测试仪总体结构

Fig. 2 The overall structure diagram of the new corrugated carton puncture tester

## 2 功能模块的设计

### 2.1 硬件部分

#### 1) 能量迸发与传递模块

瓦楞纸箱的戳穿是由角锥戳穿头的高速运动来实现的。角锥的能量迸发系统由1FT6084-1AF71高速直流无刷伺服电机(德国西门子股份公司生产)、摩擦轮(实验室自制)和BE1822SM58-N011KIR7-XBDZJ同步运动反馈器(法国贝恩公司生产)组成,实现角锥初始动能的迸发与传递。直流无刷电机轴向旋转带动摩擦轮实现最高转速达3 000 rpm、最大扭矩达50 N的高速运动。摩擦轮与角锥接触后,将旋转运动变换为直线运动,角锥初始速度与摩擦轮的线速度相等,角锥在导轨的导向下迅速向待测纸板射出。同步运动反馈器采用霍尔效应磁敏式传感器,主

要侦测 2 个摩擦轮运动速度的一致性, 用于保障角锥初始射出方向与目标保持垂直, 减少滑轨两侧阻力差异带来的动能损失。在此模块中, 戳穿能量的大小可通过软件设置直接完成, 并提供最高 60 J 的初始动能, 完全满足最高 48 J 的检测标准要求, 步距为 0.1 J, 精度为 1 J。

2) 戳穿能量侦测模块

戳穿强度由角锥戳穿待测纸箱瞬间能量的损失计算得到。该模块主要用于实现角锥在接触待测纸板前瞬时能量值和戳穿纸板后瞬时能量值的非接触测量, 由 4 个激光对射传感器组成。传感器在间距为 1.0 cm 的定值长度内实现 1 000 Hz 的连续扫描, 不断侦测角锥的实时位移变化, 确保能量测量的精确性。通过测量纸板同侧 2 个传感器的信号时间差, 测量出角锥的运动速度。由于角锥的质量是固定的, 从而可计算出角锥的瞬时能量值。

3) 导向运动模块

此模块主要用于实现角锥水平运动的导向, 由防尘不锈钢润滑导轨和安全限位卡钩组成, 确保角锥锥头轴向与纸板平面始终呈垂直角度, 以保证戳穿效果。

选用的导轨摩擦系数优于 0.000 2, 静态安全系数预留 2 倍余量, 以保证角锥在弹射过程中尽量不受导向影响, 且可防止由于意外失速造成的脱轨。安全限位卡钩隐藏在导轨内侧, 与角锥尾部的倒钩配合, 保证角锥在戳穿纸板后立即停止运动, 并在导轨末端安置防护板, 作为第二道安全防护措施, 增强了检测操作过程的安全性。不锈钢导轨结构示意图 3。

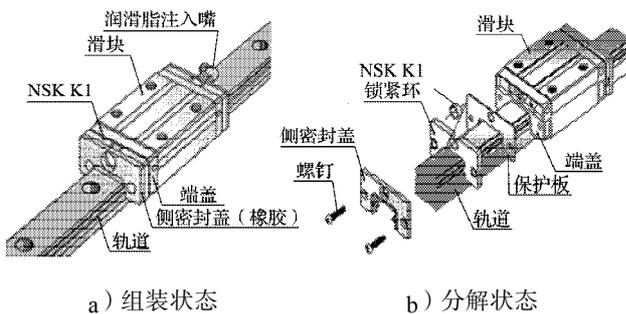


图 3 不锈钢导轨结构示意图

Fig. 3 The structural representation of the stainless steel rails

2.2 软件部分

本试验仪的控制系统程序采用 LabVIEW 编写, 该程序稳定性能较高, 且使用方便灵活。LabVIEW 广泛被工业界、学术界和研究实验室所运用, 被视为一个标准的数据采集和仪器控制软件, 其集成了满足 GPIB、VXI、RS-232 和 RS-485 协议的硬件及数据

采集卡通讯的全部功能。同时, 其还内置了便于应用 TCP/IP、ActiveX 等软件标准的库函数, 是一款功能强大的开发测量或控制系统的开发工具。试验过程中, 软件系统能自动采集角锥速度和戳穿能量, 并实现对检测过程的实时记录, 包括操作人员、测试环境、参数设置、结果计算和数据存储等记录, 所有试验数据自动形成试验报表。同时, 还能实时描绘角锥能量损失的动态变化曲线及不同试验次数的结果比对, 便于研究人员对数据进行分析。LabVIEW 的参数设置界面如图 4 所示。

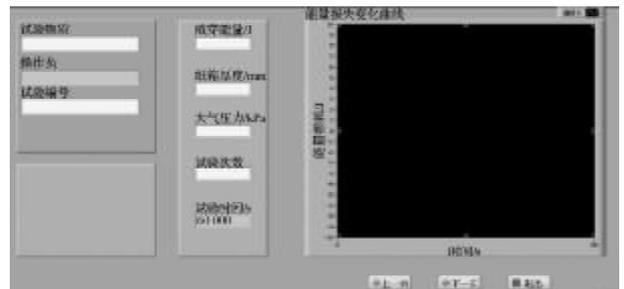


图 4 LabVIEW 的参数设置界面

Fig. 4 The parameter setting interface of LabVIEW

3 关键技术的设计

3.1 电机与同步传动系统

与传统瓦楞纸箱戳穿仪相比, 本戳穿试验仪的角锥戳穿头采用水平运动路径, 实现对待测纸板的戳穿, 即将传统的势能转换为动能的过程变为直接的动能碰撞, 通过角锥能量的损失, 计算得出瓦楞纸箱的戳穿能量, 减少了人为因素的干扰, 检测结果也更为准确。试验仪选用高速直流无刷电机, 最高转速可达 2 000~3 000 rpm, 最大扭矩达 50~80 N, 完全能满足检测标准的要求。

无刷电机通过齿轮组成的同步机构, 同时驱动 2 个相同的摩擦轮反方向转动, 以保证其速度同步。摩擦轮表面包裹橡胶, 彼此间隙略小于角锥杆部的直径。操作时, 首先将角锥杆部置于摩擦轮之间, 并固定在导轨滑块

上, 然后启动电机。同步运动反馈器能侦测 2 个摩擦轮的速度是否一致, 如摩擦轮发生错位, 设备自动停止运转, 并发出声光报警。齿轮同步结构示意如图 5 所示。

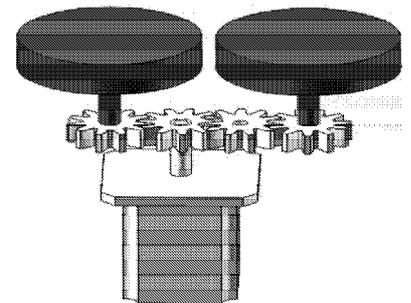


图 5 齿轮同步结构示意图

Fig. 5 The structural representation of synchronous gears

### 3.2 激光对射传感器测速

对角锥运动速度的准确测量是计算待测纸板戳穿性能值的关键。试验仪选择KEYENCE LV-NH110激光对射传感器(日本基恩士公司生产),来测量角锥的运动速度。试验仪安装了4对激光对射传感器,2对安装在角锥射入纸箱端,2对安放在角锥穿过纸箱端,实时侦测角锥的位移变化,通过测量纸板同侧2个传感器的信号时间差,计算出角锥的运动速度。激光对射传感器采用面检测方式,反应速度可达80  $\mu\text{s}$ ,有效保证了检测的准确性。

### 3.3 安全防护措施

整个戳穿仪器检测装置完全封装在不锈钢壳体中,正面安装夹丝玻璃观察窗,能有效防止角锥脱轨伤人;角锥运动方向正面安装防护板,吸收角锥的剩余能量;同时,设备支持遥控启动,检测人员无需抵近操作。这些措施都能有效保证检测过程中操作人员的安全。

## 4 性能试验及分析

在戳穿试验仪样机研制完成后,研究组对该试验仪进行了15组测试验证,评估设备检测的准确性和稳定性。测试方法为:在设定电机固定转速值和不安装纸板的情况下,校正由摩擦轮夹持角锥的速度,计算角锥动能能量,分别用角锥1、角锥2表示。这不仅可验证设备检测的一致性,还可评估导轨摩擦对角锥能量的影响。测试验证结果见表1。

表1 角锥与设定能量偏差比对

Table 1 Difference comparison of the pyramidal energy J

组别	设定能量	角锥 1	角锥 2	角锥 1 与 设定值偏差	角锥间 相对偏差
1	10	9.94	9.92	-0.06	-0.02
2	10	9.95	9.93	-0.05	-0.02
3	10	9.88	9.86	-0.12	-0.02
4	10	9.83	9.80	-0.17	-0.03
5	10	9.90	9.90	-0.10	0
6	20	19.83	19.82	-0.17	-0.01
7	20	19.50	19.45	-0.50	-0.05
8	20	19.85	19.83	-0.15	-0.02
9	20	19.94	19.92	-0.06	-0.02
10	20	19.94	19.91	-0.06	-0.03
11	30	29.90	29.88	-0.10	-0.02
12	30	29.92	29.90	-0.08	-0.02
13	30	29.92	29.88	-0.08	-0.04
14	30	29.82	29.88	-0.18	-0.06
15	30	29.90	29.88	-0.10	-0.02

由表1中的数据可知,该设备检测的一致性较好,角锥1与设定能量的最大差值不超过0.6%,角锥间能量最大差值不超过0.2%,这说明导轨摩擦系

数极小,摩擦对能量影响很微弱。

## 5 结论

针对传统瓦楞纸箱戳穿试验仪的诸多不足,本研究设计开发了一种精度高、易操作、使用安全的新型瓦楞纸箱戳穿试验仪。该仪器具有以下优势:

1) 设计新型能量传递机构,可实现对角锥运动能量的自动化控制,且具有自动校对功能;

2) 设置末端能量侦测装置,可实现对穿刺、撕裂和弯折成孔瞬态过程能量衰减的数字化测量;

3) 增加角锥限位与遥控启动双重安全措施,可保障操作人员的安全;

4) 试验结果实时显示,能量控制精确,检测稳定性好,结果可靠。

综上所述,所设计的瓦楞纸箱戳穿试验仪具有良好的精度和稳定性能,能够完成对瓦楞纸箱戳穿性能的准确测试,操作界面更加人性化,且增强了对检测人员的安全防护。

### 参考文献:

- 胡亚萍,谢勇.瓦楞纸箱提手孔位置对抗压强度的影响[J].包装学报,2013,5(1):35-38.  
Hu Yaping, Xie Yong. Effect of Location of Handle Holes on the Compressive Strength of Corrugated Boxes[J]. Packaging Journal, 2013, 5(1): 35-38.
- 王志伟,方艳平.湿度对瓦楞纸箱抗压强度的影响[J].包装学报,2012,4(1):1-4.  
Wang Zhiwei, Fang Yanping. Effect of Humidity on Compression Strength of Corrugated Box[J]. Packaging Journal, 2012, 4(1): 1-4.
- 韩家增,陈希荣.我国瓦楞工业发展现状与趋势[J].全球瓦楞工业,2007(12):32-35.  
Han Jiazeng, Chen Xirong. Experts View Status Quo & Future Trend of China's Corrugated Industry[J]. The Global Corrugated Industry, 2007(12): 32-35.
- 联合国.关于危险货物运输的建议书:试验和标准手册[M].纽约:联合国出版社,2009:143.  
United Nations. Recommendations on the Transport of Dangerous Goods: Manual of Tests and Criteria[M]. New York: United Nations Publication, 2009: 143.
- 戴晓莉,王艳丽.瓦楞纸箱强度的静态仿真分析及试验研究[J].包装学报,2013,5(4):20-24.  
Dai Xiaoli, Wang Yanli. Static Finite Element Analysis and Experiment Research on the Strength of Corrugated Boxes [J]. Packaging Journal, 2013, 5(4): 20-24.

(责任编辑:徐海燕)