

轻型环保泡沫复合托盘力学性能研究

陈志强, 史岩

(中包包装研究院有限公司, 天津 300457)

摘要: **目的** 对一种轻型环保泡沫托盘进行力学性能测试, 以确定其额定载荷, 评估其各项工作性能, 为研究新型托盘性能提供方法和思路。**方法** 根据 ISO 8611—2011 托盘检测标准对轻型环保泡沫复合托盘进行力学性能检测, 结合不同试验项目的试验数据, 对不同用途的情况下这种复合托盘所体现的力学性能进行评估。**结果** 新型泡沫复合托盘在各项试验中均表现出了良好的力学性能, 托盘在不同用途下所表现的额定载荷不同。**结论** 为合理地设计托盘结构、科学地选择托盘以适于不同物流环境提供可靠的数据支持。

关键词: 轻型环保泡沫; 复合托盘; 力学性能; 检测标准

中图分类号: U294.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2017)17-0118-06

Mechanical Property of Light and Environmental Foam Composite Pallet

CHEN Zhi-qiang, SHI Yan

(China Packaging Research Institute Co., Ltd., Tianjin 300457, China)

ABSTRACT: The work aims to test the mechanical property of a light and environmental foam pallet for determining its rated load and evaluating its various working performances, so as to provide methods and thought for studying the performance of a new pallet. The mechanical property tests of light and environmental foam composite pallets were carried out according to ISO 8611—2011 pallet test standard. The mechanical property of this kind of composite pallet in the case of different uses was evaluated by combining the test data of different test items. The new foam composite pallet had good mechanical property in all tests. The rated loads of pallets were different in the case of different uses. The reliable data are provided for reasonably designing the pallet structure and scientifically choosing the pallet to be suitable for various logistics environments.

KEY WORDS: light and environmental foam; composite pallet; mechanical property; test standard

托盘是货物集装、堆放和运输时的负荷承载装置, 便于装卸、搬运单元物资和小数量的物资^[1-5]。托盘对于保护产品、方便储运起着相当大的作用, 可以说托盘是现代物流行业发展中必不可少的工具^[6-10]。托盘最初大都以木材作为主要材料, 但随着木材资源的减少、国际贸易对木质托盘的苛刻要求、托盘标准化和托盘共用系统的发展进程加快等原因, 塑料托盘开始被大规模地使用起来^[11-15]。国内不同企业对托盘的选用及性能要求各有不同。文中以一种由 EPS 和 ABS 复合模压而成的轻型环保泡沫复合托盘为研究对象, 运用托盘检测标准 ISO 8611—2011^[16-17]对

其进行弯曲强度、叉举、堆码、角跌落和静摩擦因数等试验, 对其力学性能进行检测, 并将其具体的试验和相关力学性能进行了比较, 以期对该类托盘性能有深入的了解。

1 新型泡沫复合托盘

新型泡沫复合托盘是由 EPS (聚苯乙烯) 与塑料 ABS 热成型制成的托盘。优点是可防水、防潮、防腐、自重轻、绿色环保、成本低, 生产安装方便, 可多次周转使用, 缓冲性能好, 原材料可回收再利用, 出口

收稿日期: 2017-02-13

作者简介: 陈志强 (1982—), 男, 硕士, 中国包装科研测试中心高级工程师, 主要研究方向为包装动力学及运输包装检测技术。

免熏蒸, 适合现代物流快递的货物包装运输和替代木材托盘及防水性能相对较差的纸托盘, 同时也可以用于普通塑料托盘所应用的一些场合。其不足是变形后较难恢复、承载能力不够强。

2 托盘性能试验与研究

2.1 试验准备

2.1.1 样品

试验所用托盘样品的尺寸为 1200 mm×1000 mm×150 mm($L\times W\times H$), 质量为 4.32 kg, 结构形式为单面使用, 双向自由叉孔, 三纵梁。样品外观见图 1。

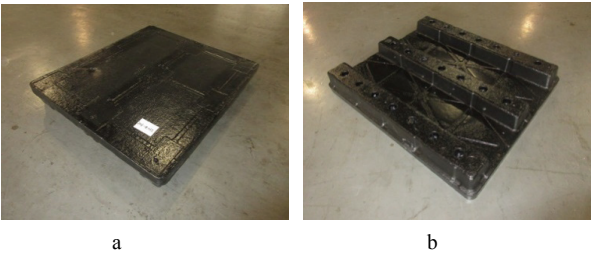


图 1 样品外观
Fig.1 Appearance of sample

2.1.2 试验设备

试验采用的主要设备仪器为美特斯工业系统(中国)有限公司生产的微机电子万能拉压试验机, 最大载荷为 100 kN。测量位移采用的量具为数显百分表, 量程为 0~25 mm, 精度为 0.01 mm。

2.1.3 试验项目

在 ISO 8611.2—2011 标准中规定, 确定托盘的额定载荷需要根据不同用途进行不同的试验项目, 考虑托盘将用于货架存取和堆码的情况, 根据表 1 规定, 将进行 8 项试验: 1a 为抗弯强度试验, 1b 为抗弯刚度试验, 2a 为叉举强度试验, 2b 为叉举刚度试验, 3a 为垫块或纵梁抗压强度试验, 3b 为垫块或纵梁抗压刚度试验, 4a 为堆码强度试验, 4b 为堆码刚度试验。

表 1 不同用途托盘所需进行的试验项目
Tab.1 Tests required for intended use

搬运方式	用于货架存取和堆码	仅用于堆码而不用于货架存取	既不用于货架存取也不用于堆码
货架存取	1a和1b ^a		
叉举	2a和2b ^b	2a和2b ^b	2a和2b ^b
压力	3a和3b ^c	3a和3b ^c	3a和3b ^c
堆码	4a和4b ^d	4a和4b ^d	

注: ^a表示抗弯试验; ^b表示叉举试验; ^c表示垫块或纵梁抗压试验; ^d表示堆码试验

2.2 托盘性能试验

对托盘进行的试验分为额定载荷试验和耐久性试验。由于托盘的结构, 额定载荷试验包括抗弯试验、叉举试验、纵梁抗压试验和堆码试验; 耐久性试验包括角跌落试验和静摩擦因数试验。为了考察托盘在实际运用中承受动态载荷的能力, 最后对托盘进行了动态载荷试验。

2.2.1 抗弯试验

抗弯试验包括抗弯强度试验和抗弯刚度试验。抗弯试验参照 ISO 8611—1—2011 中 8.1 所规定的方法, 该试验考查托盘在货架存取条件下的抗弯强度和刚度。

1) 抗弯强度试验。首先将一个托盘样品按长度方向顶铺板朝上置于支撑杠上, 按要求放置托盘及加载杠, 模拟货架托盘使用场景, 上压板下压速度为 12.7 mm/min, 逐渐加压至样品的挠度值达到 $6\%L_1=63\text{ mm}$ (L_1 为支撑杠内间距, 1050 mm) 或样品破损时为止, 记录此时的压力值, 即极限载荷值 F_1 , 作为托盘在货架存取条件下的抗弯强度, 见图 2。抗弯强度试验结果表明, 样品的压力值分别达到 8971 N 时, 托盘达到最大允许变形量, 终止试验, 因此样品的极限载荷 F_1 为 8971 N。



图 2 抗弯试验
Fig.2 Bending test

2) 抗弯刚度试验。将另一托盘样品按抗弯强度试验时样品放置方式放置, 下压速度为 12.7 mm/min, 增加载荷至预载荷(基准载荷)为 $1.5\%F_1=135\text{ N}$, 将位移清零; 继续施加载荷至满载 $50\%F_1=4486\text{ N}$, 记录满载时的挠度值; 保持满载载荷 24 h 之后记录挠度值; 卸载 2 h 后记录挠度值。根据支座位置, 在各 A 点处测量挠度值 y , 记录最大 y 值。挠度指结构构件的轴线或中面由于弯曲引起垂直于轴线或中面方向的线位移, 见图 2。其中作为模拟货架支撑中的支撑跨距 $L_1=L-150=1050\text{ mm}$, 加载头距支撑杠内侧的距离为 $0.18L_1=189\text{ mm}$ 。试验结果见表 2。

由此得出, 达到满载时最大变形量为 13.20 mm, 满载 24 h 后的最大变形量为 18.90 mm 和卸载后最大变形量为 6.25 mm。标准要求为满载允许最大变形量为 $2\%L_1=21\text{ mm}$, 卸载允许最大变形量为 $0.7\%L_1=7.35\text{ mm}$, 试验结果符合标准要求。

表 2 抗弯刚度试验结果
Tab.2 Result of bending stiffness test mm

载荷 时间	测试点		
	A_1	A_2	A_3
准载荷	0	0	0
满载	13.20	10.26	9.28
满载 24 h	18.90	16.12	15.45
卸载 2 h	5.97	5.62	6.25

2.2.2 叉举试验

叉举试验参照 ISO 8611—1—2011 中 8.2 所规定的方法, 该试验模拟叉车货叉在托盘顶铺板下方叉取时, 托盘的弯曲强度性能。

1) 叉举强度试验。将试样置于间距为 570 mm 的支撑杠上, 按要求放置托盘及加载杠, 试验为在托盘长度方向上模拟货叉叉举作业。上压板下压速度为 12.7 mm/min, 逐渐加压直至托盘的某个构件损坏, 记录此时的压力值, 即极限载荷值 F_2 , 见图 3。其中支撑间距 $a=570$ mm, 短方向上的钢管间距 $1/3L_1=1/3L=400$ mm, $1/3L_2=1/3W=333.3$ mm, 加载头间距 $1/2L_1=1/2L=600$ mm, $1/2L_2=1/2W=500$ mm。经过试验, 压力值达到 17 586 N 时, 托盘出现破损, 所以极限载荷 F_2 为 17 586 N。



图 3 叉举试验
Fig.3 Forklifting test

2) 叉举刚度试验。将另一托盘样品按上述样品放置方式放置, 下压速度为 12.7 mm/min, 增加载荷至预载荷(基准载荷)为 $1.5\%F_2=264$ N, 将位移清零; 继续施加载荷至满载 $50\%F_2=8793$ N, 记录满载时的挠度值; 保持满载载荷 30 min 之后记录挠度值; 卸载 30 min 后记录挠度值。根据支座位置, 同时在托盘各边的中间位置或在托盘各拐角处测量挠度值 y (记录 y 最大值)。试验结果见表 3

由此可得, 达到满载时的最大变形量为 13.02 mm, 满载 30 min 后的最大变形量为 18.25 mm 和卸载后最大变形量为 5.28 mm。标准要求为满载允许最大变形量为 20 mm, 卸载允许最大变形量为 7 mm, 试验结果符合标准要求。

2.2.3 纵梁或垫块抗压试验

纵梁或垫块抗压试验参照 ISO 8611—1—2011 中

表 3 叉举刚度试验结果
Tab.3 Result of bending stiffness test mm

测试点	载荷时间			
	准载	满载	满载 30 min	卸载 30 min
A	0	8.73	15.76	4.56
B	0	9.60	16.45	5.28
C	0	3.45	4.02	0.76
D	0	2.05	3.92	0.14
E	0	12.08	17.76	5.03
F	0	13.02	18.25	4.07
G	0	12.56	16.56	3.88
H	0	3.50	4.99	0.38
I	0	8.52	14.85	4.68

8.3 所规定的方法, 该试验主要对支撑上部结构或承受重型刚性负载的纵梁或垫块进行试验, 模拟压挤纵梁或垫块的任何作业(包括堆码), 考察托盘纵梁或垫块的抗压性能, 确定托盘纵梁或垫块的抗压强度和刚度。

1) 纵梁或垫块抗压强度试验。将试样置于下压板中心, 将 2 块尺寸为 $300\text{ mm}\times 300\text{ mm}\times 25\text{ mm}$ 的刚性加载头放置在待试纵梁或垫块的预定位置上, 上压板下压速度为 12.7 mm/min, 试验载荷集中施加在加载头上, 逐渐加压至托盘垫块或纵梁破坏或产生过度变形 $10\%H=15$ mm, 记录此时的压力值, 即极限载荷值 F_3 , 见图 4。经过试验可得, 压力值达到 10 580 N 时, 托盘产生过度变形为 15 mm, 试验终止。极限载荷 $F_3=10\ 580$ N。



图 4 纵梁或垫块抗压试验
Fig.4 Compression tests for blocks or stringers

2) 纵梁或垫块抗压刚度试验。将另一样品按照上一样品放置方式置于下压板中心, 将 2 块尺寸为 $300\text{ mm}\times 300\text{ mm}\times 25\text{ mm}$ 的刚性加载头放置在待试纵梁或垫块的预定位置上, 压力机上压板下压速度为 12.7 mm/min, 增加载荷至预载荷(基准载荷)为 $1.5\%F_3=159$ N, 将位移清零; 继续施加载荷至满载 $50\%F_3=5290$ N, 记录满载时的挠度值; 保持满载载荷 24 h 之后记录挠度值; 卸载 2 h 后记录挠度值。试验结果见表 4。

表 4 纵梁或垫块抗压刚度试验结果
Tab.4 Result of block or stringer stiffness test mm

载荷时间	测试点	
	A	B
准载荷	0	0
满载	2.51	2.58
满载 24 h	3.47	3.52
卸载 2 h	1.25	1.34

由此可得，达到满载时最大变形量为 2.58 mm，满载 24 h 后的最大变形量为 3.52 mm 和卸载后最大变形量为 1.34 mm。标准要求满载允许最大变形量为 4 mm；卸载允许最大变形量为 1.5 mm，试验结果符合标准要求。

2.2.4 堆码试验

堆码试验参照 ISO 8611—1—2011 中 8.4 中规定的方法进行试验，试验的目的是确定处于块状堆码状态且当横跨于垫块和纵梁之间的铺板上局部施加了在较大范围变化的有效载荷时，托盘顶铺板的承载能力。

1) 堆码强度试验。将样品沿长度方向顶铺板朝上放置于压力机的下压板中心，测试方向上叉孔宽度为 L_1 。在顶铺板上放置 4 个加载杠，加载杠中心应距垫块内侧 $0.18L_1$ 。加载杠应对称布置在托盘中心线的两侧。调整压力试验机的上压板下压速度为 12.7 mm/min。逐渐增加载荷，直至托盘破损或产生过度变形或挠曲，达到 $6\%L_1=15\text{ mm}$ (L_1 为叉孔宽度， $L_1=250\text{ mm}$)，记录此时的压力值，即极限载荷值 F_4 ，见图 5。试验表明，当载荷达到 27 080 N 时，托盘达到最大允许变形量，终止试验。极限载荷 $F_4=27\ 080\text{ N}$ 。



图 5 堆码试验
Fig.5 Stacking test

2) 堆码刚度试验。将另一托盘样品按上述样品放置方式放置，在长度方向上进行刚度试验，下压速度为 12.7 mm/min，增加载荷至预载荷(基准载荷)为 $1.5\%F_4=406\text{ N}$ ，将位移清零；继续施加载荷至满载 $50\%F_4=13\ 540\text{ N}$ ，记录满载时的挠度值。保持满载载荷 48 h 之后记录挠度值。卸载 2 h 后记录残余挠度值。试验结果见表 5。

表 5 堆码刚度试验结果
Tab.5 Result of deck stiffness test mm

载荷时间	测试点			
	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄
准载荷	0	0	0	0
满载	3.69	3.61	3.21	3.03
满载 24 h	4.30	4.02	4.31	3.97
卸载 2 h	1.12	1.45	1.25	1.06

由此可得，达到满载时的最大变形量为 3.69 mm，满载 24 h 后的最大变形量为 4.31 mm，卸载后最大变形量为 1.45 mm。标准要求满载允许最大变形量为 $2\%L_1=5\text{ mm}$ ，卸载允许最大变形量为 $0.7\%L_1=1.75\text{ mm}$ ，试验结果符合标准要求。

2.2.5 额定载荷的确定

1) 不同试验项目确定的额定载荷。通过各个试验项目的强度试验和刚度试验可以得到该类型托盘刚度试验 1b, 2b, 3b, 4b, 5b 和 6b 的试验载荷 P ，应等于极限载荷的 50% (载荷安全系数为 2) 或者是低于极限载荷 50% 的使得挠度达到极限的载荷值。由上述试验结果得出：抗弯刚度试验托盘试验载荷 $P_1=4486\text{ N}$ ，叉举刚度试验托盘试验载荷 $P_2=8793\text{ N}$ ，纵梁或垫块抗压试验刚度试验托盘试验载荷 $P_3=5290\text{ N}$ ，堆码刚度试验托盘试验载荷 $P_4=13\ 540\text{ N}$ 。

刚度试验中试验载荷 P 的最低值应为托盘的额定载荷 R 。

2) 不同用途情况下托盘的额定载荷。当用于货架存取和堆码时，托盘的额定载荷 $R=4486\text{ N}$ ；当仅用于堆码而不用于货架存取时，托盘的额定载荷 $R=5290\text{ N}$ ；当既不用于货架存取也不用于堆码时，托盘的额定载荷 $R=5290\text{ N}$ 。

2.2.6 角跌落试验

跌落试验参照 ISO 8611—1.2 中 8.9 中所规定的方法，该试验的目的是为了确定托盘顶铺板的对角线刚度和抗冲击性能，试验方法见图 6。在距托盘拐角约 50 mm 处标记 2 个测量点，2 个测量点之间的距离为对角线长度 y 。通过对角线长度 y 的变化来验证其性能，选取跌落高度 h 为 0.5 m，记录试验前对角



图 6 角跌落试验
Fig.6 Corner drop test

线长度 y_1 并把托盘沿对角线方向吊起。同一拐角在同一高度上跌落 3 次, 记录试验后的对角线长度 y_2 。3 次跌落后所测得的对角线的变化 Δy 最大不应超过 $0.04y_1$ 。试验得出, $y_1=1427\text{ mm}$, $y_2=1427\text{ mm}$, 结果表明, 托盘经过 3 次跌落后最大变形量 $\Delta y=0\text{ mm}<0.04y_1=57\text{ mm}$ 。3 次跌落后未发现托盘构件破损, 对角线相对变形也为 0, 稳定性非常好。

2.2.7 静摩擦因数测试

静摩擦因数测试参照 ISO 8611—1.2 中 8.13 中所规定的方法, 试验的目的是为了确定顶铺板底面与叉车货叉间的静摩擦因数。静摩擦因数影响着托盘使用的安全性。测试方法见图 7。

将空载托盘沿测试方向放入一水平放置、未涂润滑脂的干燥钢制货叉上。货叉宽度应为 100 mm 。逐渐增加对托盘的拉力至托盘开始移动, 记录此时的拉力值, 重复此过程 3 次。静摩擦因数计算公式见式(1)。

$$\mu_s = \frac{F_s}{W_s} \quad (1)$$

式中: μ_s 为静摩擦因数; F_s 为使托盘开始运动时所需要的拉力; W_s 为托盘重量。经过 3 次试验, 得到静摩擦因数 $\mu_s=0.26$ 。静摩擦因数达到了硬木-铸铁或钢($0.20 \sim 0.35$)的水平, 性能可靠。



图 7 静摩擦因数试验

Fig.7 Static coefficient of friction test

2.2.8 动态载荷试验

动态载荷试验是模拟托盘在实际使用过程中叉车搬运。在托盘上方均匀配质量 1200 kg , 用叉车运载 300 m , 见图 8。试验后, 托盘外观无异常, 无损坏。该试验说明此类型托盘的载重能力较好。



图 8 动态载荷试验

Fig.8 Dynamic load test

3 结语

新型泡沫复合托盘在各项试验中均表现出了良好的力学性能, 而且托盘的性能也相对很稳定, 在额定载荷范围内, 托盘能够多次循环使用。新型泡沫复合托盘上铺板下表面与叉车货叉的静摩擦因数能达到木托盘与叉车的水平, 表现出了良好的安全性能。新型泡沫复合托盘的动态载荷试验表明该类型托盘能够满足在实际运输中的运输要求。该类型托盘可以很好地用于需要满足食品安全要求的轻型货物物流运输和仓储如制药业、食品工业和冷链运输等。

参考文献:

- [1] 易振. 塑木复合托盘力学性能分析[D]. 广州: 暨南大学, 2009.
YI Zhen. The Mechanical Property Analysis of Wood-plastic Composite Pallet[D]. Guangzhou: Jinan University, 2009.
- [2] 魏占国, 王忠伟, 庞燕. 木塑托盘力学性能测试方法研究[J]. 中南林业科技大学学报, 2014, 34(10): 116—122.
WEI Zhan-guo, WANG Zhong-wei, PANG Yan. Test Method for Mechanical Property of Wood Plastic Pallet[J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology, 2014, 34(10): 116—122.
- [3] 金龙. HDPE 结构发泡材料性能分析及其托盘结构设计研究[D]. 陕西: 陕西科技大学, 2015.
JIN Long. A Study of Performance Analysis of HDPE Structural Foam Materials and Structural Design of Plastic Pallets[D]. Shaanxi: Shaanxi University of Science and Technology, 2015.
- [4] 郝洪艳, 王霖. 层叠式纸浆模塑平托盘结构设计与性能分析[J]. 包装工程, 2010, 31(21): 15—18.
HAO Hong-yan, WANG Lin. Design and Performance Analysis of Stack Molded Pulp Tray[J]. Packaging Engineering, 2010, 31(21): 15—18.
- [5] 潘建武, 辛军, 杨学春. 单面交错铺板带翼木托盘的力学性能及试验研究[J]. 森林工程, 2014, 30(1): 60—63.
PAN Jian-wu, XIN Jun, YANG Xue-chun. Study on Mechanical Properties and Experiments of Single Staggered Ceiling Winged Wooden Pallets[J]. Forest Engineering, 2014, 30(1): 60—63.
- [6] 陈满儒, 彭彪. 结构发泡塑料托盘性能的实验研究[J]. 包装工程, 2012, 33(21): 70—73.
CHEN Man-ru, PENG Biao. Experimental Study of Plastic Pallet by Structural Foaming Process[J]. Packaging Engineering, 2012, 33(21): 70—73.
- [7] 赵磊, 肖生苓. 木塑复合材料托盘的研究[J]. 物流技术, 2011, 30(7): 184—186.
ZHAO Lei, XIAO Sheng-ling. Study on Development Prospect of the Wood-Plastic-Composite Pallet [J].

- Logistics Technology, 2011, 30(7): 184—186.
- [8] 兰葱. 木塑托盘性能检测及标准建立[D]. 湖南: 中南林业科技大学, 2015.
LAN Cong. Performance Testing and Standard Establishment of Wood-Plastic Pallets[D]. Hunan: Central South University of Forestry And Technology, 2015.
- [9] 庞燕, 曾光, 李健林. 竹质托盘的开发与应用前景分析[J]. 物流技术, 2012, 31(7): 9—11.
PANG Yan, ZENG Guang, LI Jian-lin. Analysis of Prospect of Development and Application of Bamboo Pallets[J]. Logistics Technology, 2012, 31(7): 9—11.
- [10] 袁国娜. 瓦楞纸板托盘的结构及其性能研究[D]. 江苏: 江南大学, 2008.
YUAN Guo-na. Research on Structure and Property of Corrugated Pallet[D]. Jiangsu: Jiangnan University, 2008.
- [11] 杨世军, 杨学春, 尤浩田. 木托盘的发展前景及存在的问题研究[J]. 森林工程, 2013, 29(2): 135—138.
YANG Shi-jun, YANG Xue-chun, YOU Hao-tian. Study on the Development Prospects and Existing Problems of Wooden Pallets[J]. Forest Engineering, 2013, 29(2): 135—138.
- [12] 李玲, 李大纲, 诸学清, 等. 竹木复合材料托盘力学性能研究[J]. 包装工程, 2005, 26(3): 8—10.
LI Ling, LI Da-gang, ZHU Xue-qing, et al. Study on the Mechanical Properties of Wood -Bamboo Composite Pallets[J]. Packaging Engineering, 2005, 26(3): 8—10.
- [13] 朱兆朋. 竹质通用平托盘制作工艺与力学性能研究[D]. 湖南: 中南林业科技大学, 2014.
ZHU Zhao-peng. The Study of Bamboo Material Pallet's Making Process and Mechanical Property[D]. Hunan: Central South University of Forestry and Technology, 2014.
- [14] 汪志立, 王久龙, 陈志强. 联运通用平托盘试验方法标准研究[J]. 包装工程, 2014, 35(11): 139—144.
WANG Zhi-li, WANG Jiu-long, CHEN Zhi-qiang. Standard about Flat Pallets Test Methods[J]. Packaging Engineering, 2014, 35(11): 139—144.
- [15] 陈志强, 邸向辉. 现代物流中托盘选用及性能检测标准的探讨[J]. 印刷技术, 2015(9): 39—41.
CHEN Zhi-qiang, DI Xiang-hui. Study on Selection of Pallet in Modern Logistics and Performance Testing Standards[J]. Printing Technology, 2015(9): 39—41.
- [16] ISO 8611—1—2011, Pallets for Materials Handling-Flat Pallets-Part 1: Test Method[S].
- [17] ISO 8611—2—2011, Pallets for Materials Handling-Flat Pallets-Part 2: Performance Requirements and Selection of Tests[S].