滑托盘力学性能测试方法及验证

温时宝[1]，褚晓珂[1]，姜淑芸[1]，杨德龙[2]
（1.青岛科技大学，青岛 266042；2.青岛原彩工贸有限公司，青岛 266216）

摘要：目的 简化滑托盘力学性能的测试方法。**方法** 考察滑托盘的使用特点，并参照相关国家标准，提出滑托盘材料应进行拉伸和撕裂力学性能测试，确定试样的制备形状、尺寸以及测试方式和条件，对纸和塑料这 2 种滑托盘材料进行测试验证。**结果** 拉伸性能的试验中，纵向试样大于横向试样的强度，横向有压痕试样的强度最低；撕裂性能的试验中，横向试样大于纵向试样的强度，纵向有压痕试样的强度最低。**结论** 考察滑托盘材料的力学性能时，只需要分别考察横向有压痕试样的拉伸强度和纵向有压痕试样的撕裂强度，即可快速得到滑托盘材料的最低强度，进而计算得到滑托盘的承载能力。

关键词： 滑托盘；力学性能；拉伸强度；撕裂强度；测试方法
中图分类号： TB485.3 **文献标识码：** A **文章编号：** 1001-3563(2016)23-0023-06

Test Method and Verification for Mechanical Property of Slip Sheet

WEN Shi-bao[1], *CHU Xiao-ke*[1], *JIANG Shu-yun*[1], *YANG De-long*[2]
(1.Qingdao University of Science & Technology, Qingdao 266042, China;
2.Qingdao Ori-Color Industry and Commerce Co., Ltd., Qingdao 266216, China)

ABSTRACT: The work aims to simplify the test methods of mechanical property of slip sheet. By investigating the application characteristics of slip sheet and referring to the relevant Chinese national standards, it was proposed that the materials of slip sheet should be tested regarding such mechanical properties as tension and tearing strengths. The shape and size of the sample prepared and the test methods and conditions were determined. On the basis of that, paper and plastic (two kinds of materials of slip sheet) were tested and verified. During the test of tensile property, the strength of longitudinal test sample was greater than that of the transverse test sample, and the strength of the transverse test sample with indentation was the lowest. During the test of tearing property, the strength of transverse test sample was greater than that of the longitudinal test sample, and the strength of the longitudinal test sample with indentation was the lowest. When the mechanical properties of slip sheet's material are investigated, only the tension strength of transverse test sample with indentation and the tearing strength of longitudinal test sample with indentation should be considered respectively. By doing so, the minimum strength of slip sheet's material can be obtained rapidly, so as to calculate the carrying capacity of slip sheet.

KEY WORDS: slip sheet; mechanical property; tension strength; tearing strength; test methods

滑托盘(slip sheet)是由厚度约 1 mm 的塑料片材或层合牛皮纸经模切压痕而成，有单舌边和多舌边 2 种形式，需要与带有推拉器的叉车配套使用，用于代替传统的托盘作为商业运输集装器具[1—3]。与其他材料托盘[4]相比，滑托盘具有节约运输空间、质量轻、便于回收循环利用等优点，适应于目

收稿日期： 2016-07-26
作者简介： 温时宝（1976—），男，山西平遥人，博士，青岛科技大学副教授，主要研究方向为运输包装力学与结构设计。

前可持续发展的要求[5—7]，对于包装物流战略和供应链管理[8—10]具有很重要的意义。木托盘、塑料托盘等都有专门的测试标准、成熟的模拟测试设计软件及方法[11—13]，与此相比，滑托盘目前还未发现有专用的测试标准，只能通过实际使用情况测试其可靠性。文中针对滑托盘的测试方法和影响其使用性能的力学特性进行研究，参照相关的测试标准，编制一套滑托盘性能测试方法，再分别对纸滑托盘和塑料滑托盘采用上述方法进行测试，以验证测试方法的可靠性，供制造和应用滑托盘的相关企业参考。

1 滑托盘测试方法的确定

滑托盘需要与带有推拉器的叉车配合使用，应用时其舌边被推拉器夹座和夹头夹持压紧，而后推拉器托板滑动插入滑托盘底面即可搬运堆码滑托盘上的货物，因此滑托盘的使用性能中最重要的是其拉伸和撕裂性能。滑托盘的舌边是由模切压痕形成的，压痕会对滑托盘材料造成一定的影响，因此还需要考虑滑托盘压痕部位的拉伸及撕裂性能。根据上述滑托盘的使用特点，滑托盘的性能测试除了实际载货使用外，还可以通过测试其拉伸和撕裂性能验证其应用可靠性，这 2 个性能的测试可以在实验室进行。

对塑料片材和纸板进行拉伸性能测试主要依据 GB/T 1040.3[14]《塑料 拉伸性能的测定 第 3 部分：薄膜和薄片的试验条件》（简称标准 1）和 GB/T 22898[15]《纸和纸板 抗张强度的测定 恒速拉伸法(100 mm/min)》（简称标准 2）。综合这 2 个标准确定材料拉伸试验的试样形式为 5 型试样[14]，总长为 115 mm，标距为 25 mm，中间平行部分宽度为 6 mm，试验速度为 100 mm/min；分别按照 2 个方向（纵向和横向）以及有无压痕进行测试和对比。

对塑料片材和纸板的撕裂进行性能测试主要依据 GB/T 16578.1[16]《塑料薄膜和薄片 耐撕裂性能的测定 第 1 部分：裤形撕裂法》（简称标准 3）、GB/T 16578.2[17]《塑料 薄膜和薄片 耐撕裂性能的测定 第 2 部分：埃莱门多夫(Elmendor)法》（简称标准 4）、GB/T 455[18]《纸和纸板撕裂度的测定》（简称标准 5）。其中标准 3 和 4 主要适合于厚度在 1 mm 以下的塑料薄膜和薄片的耐撕裂性能测试，而很多滑托盘材料的厚度在 1 mm 以上，标准 5[18]实际也是埃莱门多夫法，通过实际测试发现实验室现有的兰光 PARAM 博每 SLY-S1 撕裂度仪（埃莱门多夫法）无法完成滑托盘试样的撕裂测试。借鉴 GB/T 529[19]《硫化橡胶或热塑性橡胶撕裂强度的测定（裤形、直角形和新月形试样）》（简称标准 6）选择直角形试样测试滑托盘材料的耐撕裂性能，该试样形状也与滑托盘压痕部位的撕裂情形接近，可以反映滑托盘的耐撕裂性能。

2 滑托盘的测试方法验证

为了验证上述测试方法的可靠性，分别对塑料和纸滑托盘进行拉伸和撕裂性能测试，并将测试结果与企业对滑托盘的性能要求进行对比。

2.1 实验仪器装置及测试样品制备

实验仪器：GT-TCS-2000 电脑伺服拉力试验机，高铁检测仪器有限公司；YP202N 电子天平（精确度为 0.01 g），上海精密科学仪器有限公司；ZH-4 型纸与纸板厚度测定仪（量程为 0 ~ 5 mm，分度值为 0.01 mm），长春市纸张试验机厂。实验材料：滑托盘材料由青岛原彩工贸有限公司提供，其中塑料滑托盘的厚度为 1.0 mm，纸滑托盘的厚度为 1.50 mm。拉伸试样的制备：5 型试样，总长为 115 mm，标距为 25 mm，中间平行部分宽度为 6 mm；分别按照 2 个方向（纵向和横向）进行测试，见图 1；制备有无压痕线的 2 种试样，压痕试样压痕线位于标距线内，每组至少 5 个有效试样。撕裂试样的制备：直角试样（无割口）[19]，总长为 100 mm，直角部位宽度为 12.7 mm；分别按照 2 个方向（纵向和横向）进行测试，见图 2；制备有、无压痕线 2 种试样，压痕试样的压痕线位于直角尖部，每组至少 5 个有效试样。

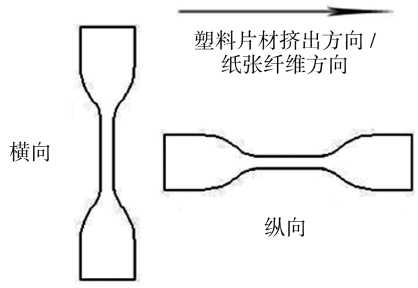


图 1 拉伸试样方向

Fig.1 Sample direction of tensile test

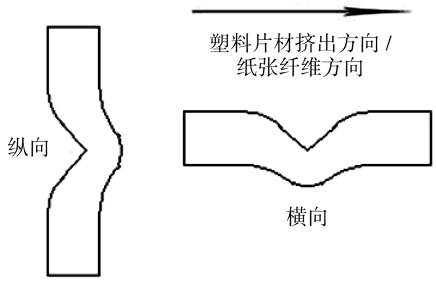


图 2　撕裂试样方向
Fig.2 Sample direction of tearing test

2.2　拉伸和撕裂实验

拉伸和撕裂试验在测试时的环境温度为 23 ℃，相对湿度为 50%，材料测试前经恒温恒湿预处理。

2.2.1　拉伸实验

拉伸实验测试方法参照标准 1 和 2。实验夹具及测试过程见图 3，试验拉伸速度为 100 mm/min，拉伸直至试样断裂。标准 2 中，纸张的抗张力采用 N 来表示（样品宽度为 15 mm），抗张强度采用单位长度上的力来表示，即 kN/m；标准 1 中，塑料的拉伸强度用应力(MPa)来表示。由此说明 2 种材料的强度测试表达方式不同，为了便于 2 种材料的对比研究，同时为了便于不同材料的滑托盘有统一的测试和数据分析方式，在采用同一样品形状（5 型试样）的基础上，实验分析时直接采用该试样（样品宽度为 6 mm）对应的最大拉伸力(N)作为 2 种材料样品的拉伸强度数据，不进行单位长度力或者应力换算，应用时更加直观。

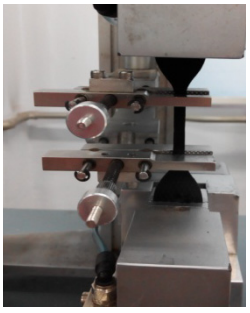


图 3　拉伸实验
Fig.3 Tensile test

2.2.2　撕裂实验

撕裂实验的测试方法参照标准 6。将裁制的直角撕裂试样夹在拉力机夹头上，在和撕裂方向相垂直的拉力作用下试样被撕裂，将试样撕裂所需的最大力除以试样的厚度，即试样的撕裂强度。撕裂试验中的撕裂夹具及测试过程见图 4，试验速度为 200 mm/min。

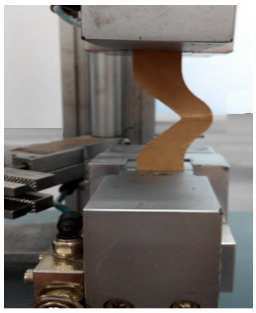


图 4　撕裂实验
Fig.4 Tearing test

2.3　结果与讨论

对 2 种滑托盘材料的测试结果从拉伸和撕裂性能 2 方面分别进行讨论，在每个性能中还分别考虑材料纵横向、有无压痕对性能的影响以及与实际应用强度要求的对比。

2.3.1　拉伸性能比较

纸滑托盘材料试样的拉伸载荷-变形曲线见图 5。纸滑托盘材料拉伸曲线表现出明显的脆性材料特点，断裂伸长率小，纵横向断裂伸长基本相同，都小于 0.035 mm；无论材料有无压痕，纸滑托盘材料的纵向拉伸强度总是大于横向。另外，无压痕材料纵横向的最大值分别为 383.5 和 186.9 N，纵

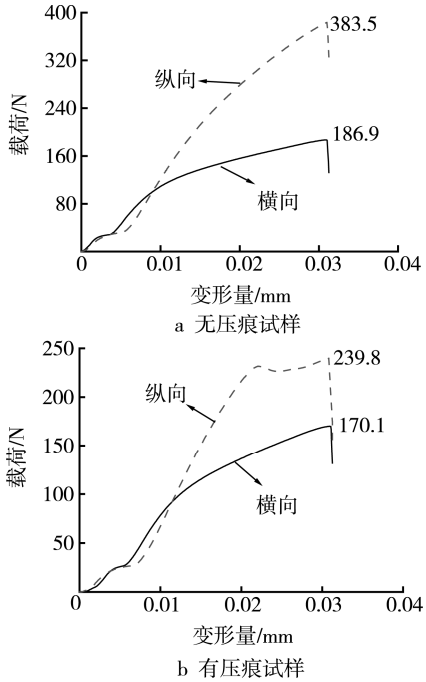


图 5　纸滑托盘材料拉伸负荷-变形曲线
Fig.5 Load-deformation curve of paper slip sheet in tension test

向拉伸强度比横向大 1 倍；有压痕材料纵横向的最大值分别为 239.8 和 170.1 N，纵向拉伸强度比横向高 41%。纸滑托盘材料横向有压痕试样的拉伸强度最低。

塑料滑托盘材料试样的拉伸载荷-变形曲线见图 6。与纸滑托盘材料相比，塑料滑托盘材料拉伸曲线表现出明显的塑性材料特点，断裂伸长率大，曲线分为线弹性段和平台段 2 部分，而后断裂。塑料滑托盘材料的纵向拉伸屈服强度与横向相当，只是纵向拉伸断裂伸长率远大于横向；压痕只是影响了材料的拉伸断裂伸长率，对拉伸强度没有明显的影响，即压痕不影响塑料滑托盘材料的使用性能。另外，无压痕材料纵横向的屈服值分别为 45.2 和 44.1 N，纵向拉伸强度与横向拉伸强度没有明显差别；有压痕材料纵横向的最大值分别为 45.8 和 44.1 N。塑料滑托盘材料有无压痕和纵横向拉伸强度无明显差别，但可认为横向有压痕试样的拉伸强度最低。

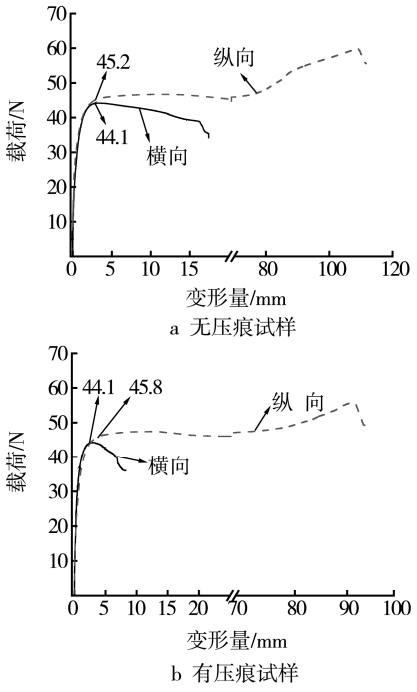


图 6　塑料滑托盘材料拉伸负荷-变形曲线

Fig.6 Load-deformation curve of plastic slip sheet in tension test

由于滑托盘必须有压痕才可以形成舌边，使用时推拉器只能在舌边上施加拉力，因此只需要考察有压痕试样的拉伸能力。滑托盘在应用时，除单舌边结构外，多舌边结构通常在 2 个互相垂直的方向上都有舌边，因此如果强度较弱方向上的拉伸强度可以满足要求，其他方向就可以不再考虑。按照这种方式计算，假设滑托盘受力舌边的长度为 1000 mm（大部分滑托盘的规格接近这个尺寸），则纸滑托盘理论上可以承受的最小拉伸承载能力为 2892.9 kg，塑料滑托盘理论上可以承受的最小拉伸承载能力为 750 kg。根据这 2 种滑托盘的使用要求，纸滑托盘的承载能力为 1500 kg，塑料滑托盘的承载能力为 600 kg，按照上述得到的数据可知其大于所需的承载能力，因此这 2 种材料的滑托盘完全可以满足要求，采用横向有压痕试样的拉伸强度作为计算数据是完全可靠的。

2.3.2　撕裂性能比较

纸滑托盘材料试样的撕裂载荷-变形曲线见图 7。纸滑托盘材料拉伸曲线表现为线性特性，即载荷随变形量的增加而增加，而后断裂，断裂伸长率小；无论有无压痕，材料的横向撕裂强度总是大于其纵向强度，纵向强度约为横向强度的 2/3；压痕会造成材料撕裂强度的降低，使纵向撕裂强度从 131.3 N 降低到 120.4 N，降低量约为 8%。纸滑托盘材料纵向有压痕试样的撕裂强度最低。

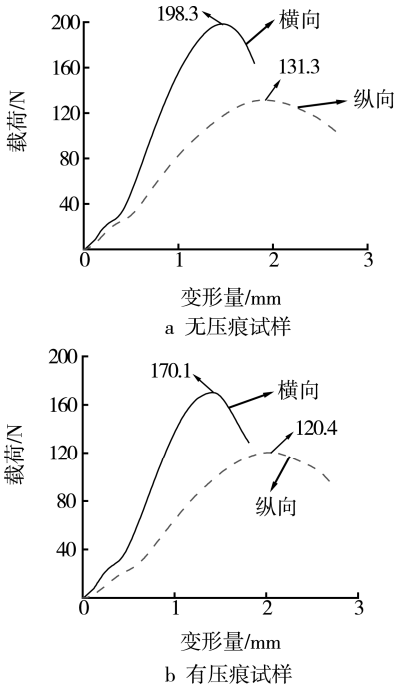


图 7　纸滑托盘试样撕裂负荷-变形曲线

Fig.7 Load-deformation curve of paper slip sheet in tear test

塑料滑托盘材料试样的撕裂载荷-变形曲线见图 8。与纸滑托盘材料相比，塑料滑托盘材料撕裂断裂变形量较大，撕裂断裂伸长率大，表现出典型的塑性材料特征。无论有无压痕，材料的横向撕裂强度总是大于纵向强度，纵向强度为横向强度的

1/2 ~ 2/3；压痕会造成材料撕裂强度的降低，使纵向撕裂强度从 46.8 N 降到 34.8 N，降低量约为 25%。塑料滑托盘材料纵向有压痕试样的撕裂强度最低。

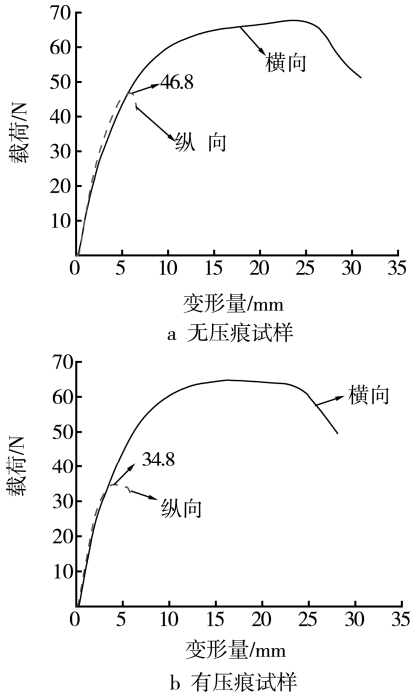


图 8　塑料滑托盘试样撕裂负荷-变形曲线

Fig.8 Load-deformation curve of plastic slip sheet in tear test

参照标准 6 撕裂强度的计算方法，可得纸滑托盘材料和塑料滑托盘材料的撕裂强度分别为 80.3 和 34.8 kN/m。虽然尚未得到材料的撕裂强度与拉伸强度之间的数据关系，但纸和塑料滑托盘材料的 2 个撕裂值都分别大于各自的理论拉伸承载能力，即在理论拉伸载荷内，可以认为 2 种滑托盘材料都不会出现由于材料撕裂强度不足而拉伸断裂的问题。

3　结语

针对目前的滑托盘材料无专门测试标准，测试时需要参照相关国家标准，考察了滑托盘的使用特点并参照相关国家标准提出了滑托盘应进行拉伸和撕裂力学性能测试，据此确定了试样的制备标准和测试标准，然后对 2 种滑托盘材料进行了测试。2 种材料的测试结果表明，材料的纵横向以及有无压痕对其拉伸和撕裂性能有较大影响，根据测试结果可知，在考察滑托盘材料的力学性能时，只需要考察横向有压痕试样的拉伸强度和纵向有压痕试样的撕裂强度，即可快速得到滑托盘材料的最低强度，进而计算得到滑托盘的承载能力，提高滑托盘材料的测试效率。

参考文献：

[1] 林郁, 徐仰高, 黄许立. 纸滑托盘在卷烟带板运输中的应用探索[J]. 物流技术与应用, 2015(5): 124—127.
LIN Yu, XU Yang-gao, HUANG Xu-li. Application Exploration of Paper Slip Sheet in Cigarette Assembly Transport[J]. Logistics & Material Handling, 2015(5): 124—127.

[2] ELIA V, GNONI M G. Designing an Effective Closed Loop System for Pallet Management[J]. International Journal of Production Economics, 2015(7): 730—740.

[3] 陈镜波. 谈谈滑片托盘[J]. 商场现代化, 1981(5): 5—6.
CHEN Jing-bo. Discussion Slip Sheet[J]. Market Modernization, 1981(5): 5—6.

[4] 吴清一. 中国托盘手册[M]. 北京: 中国财富出版社, 2014.
WU Qing-yi. China Pallet Handbook[M]. Beijing: China Fortune Press, 2014.

[5] HAAPALA K R, ZHAO F, CAMELIO J, et al. A Review of Engineering Research in Sustainable Manufacturing[J]. Journal of Manufacturing Science & Engineering, 2013, 135(4): 1—16.

[6] MOLINA-BESCH K, PALSSON H. A Supply Chain Perspective on Green Packaging Development: Theory Versus Practice[J]. Packaging Technology and Science, 2016, 29(1): 45—63.

[7] TORNESE F, CARRANO A L, THORN B K, et al. Carbon Footprint Analysis of Pallet Remanufacturing[J]. Journal of Cleaner Production, 2016(6): 630—642.

[8] GARCIA-ARCA J, PRADO-PRADO J C. Strategic Packaging Logistics: A Case Study from a Supply Chain Perspective[M]. London: Springer, 2014.

[9] WEN O, QING M. Model of Reverse Logistics Network about Rental Pallet Recycling Considering Site Transport Capacity[C]// Shenyang: International Conference of Logistics Engineering and Management, 2012.

[10] SOHRABPOUR V, OGHAZI P, OLSSON A. An Improved Supplier Driven Packaging Design and Development Method for Supply Chain Efficiency[J]. Packaging Technology and Science, 2016, 29(3): 161—173.

[11] 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.

[12] 王久龙, 李华, 韩雪山. 塑料平托盘的研究进展[J]. 包装工程, 2015, 36(3): 140—146.
WANG Jiu-long, LI Hua, HAN Xue-shan. Research

Progress in Plastic Pallets[J]. Packaging Engineering, 2015, 36(3): 140—146.

[13] 王梅. 包装托盘结构设计软件的开发[J]. 包装工程, 2013, 34(1): 56—59.
WANG Mei. Development of Structural Design Software of Packaging Pallet[J]. Packaging Engineering, 2013, 34(1): 56—59.

[14] GB/T 1040.3—2006, 塑料 拉伸性能的测定 第 3 部分: 薄膜和薄片的试验条件[S].
GB/T 1040.3—2006, Plastics, Determination of Tensile Properties, Part 3: Test Conditions for Films and Sheets[S].

[15] GB/T 22898—2008, 纸和纸板 抗张强度的测定 恒速拉伸法(100 mm/min)[S].
GB/T 22898—2008, Paper and Board, Determination of Tensile Properties, Constant Rate of Elongation Method (100 mm/min)[S].

[16] GB/T 16578.1—2008, 塑料薄膜和薄片 耐撕裂性能的测定 第 1 部分: 裤形撕裂法[S].
GB/T 16578.1—2008, Plastics, Film and Sheeting, Determination of Tear Resistance, Part 1: Trouser Tear Method[S].

[17] GB/T 16578.2—2009, 塑料 薄膜和薄片 耐撕裂性能的测定 第 2 部分: 埃莱门多夫(Elmendor)法[S].
GB/T 16578.2—2009, Plastics, Film and Sheeting, Determination of Tear Resistance, Part 2: Elmendorf Method[S].

[18] GB/T 455—2002, 纸和纸板撕裂度的测定[S].
GB/T 455—2002, Paper and Board Determination of Tearing Resistance[S].

[19] GB/T 529—2008, 硫化橡胶或热塑性橡胶撕裂强度的测定(裤形、直角形和新月形试样)[S].
GB/T 529—2008, Rubber, Vulcanized or Thermoplastic, Determination of Tear Strength (Trouser, Angle and Crescent Test Pieces)[S].