

环境温度对聚乙烯发泡材料动态缓冲性能的影响

方婷, 康勇刚, 杨帅

(天津科技大学, 天津 300222)

摘要: 实验研究了环境温度变化对聚乙烯发泡材料动态缓冲性能的影响, 在参考相关温度试验标准及实际包装件流通环境温度统计分析的基础上, 分别进行了常温、40 °C 和 60 °C 等 3 种温度条件下聚乙烯发泡材料的动态冲击试验。研究表明, 环境温度上升使聚乙烯发泡材料的动态载荷能力下降, 冲击加速度升高, 缓冲保护性能下降。

关键词: 发泡聚乙烯; 温度变化; 动态缓冲性能

中图分类号: TB484.3; TB487 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2012)21-0041-04

Effect of Environmental Temperature on Dynamic Cushioning Performance of EPE

FANG Ting, KANG Yong-gang, YANG Shuai

(Tianjin University of Science and Technology, Tianjin 300222, China)

Abstract: Dynamic compression tests of EPE samples were carried out at ambient temperature, 40 °C and 60 °C referring to temperature test standard and statistics of package temperature during practical circulation. The results indicated that when the temperature increases from ambient temperature to 40 °C and 60 °C, the dynamic loading ability of EPE decreases, the impact acceleration increases, and the cushioning protection performance degrades.

Key words: EPE; temperature change; dynamic cushioning performance

发泡聚乙烯(EPE)密度小、易加工、可回收再利用,具有优良的抗静电性能、防潮性、缓冲性能及适用性广的特点,被广泛用于小型家电、精密仪器、工艺品、酒类等较贵重和易碎产品的缓冲包装中^[1-2]。缓冲包装材料动态冲击试验中获得的最大冲击加速度-静应力曲线可用于直接表征缓冲包装材料动态缓冲性能,能够反映该材料最适合包装的产品类型和在最佳动态缓冲性能附近所能承受的重量,这是用于产品缓冲包装设计的主要依据。缓冲包装设计则是以包装件的质量、形状及自身的易损程度和在流通过程中经受的振动及跌落高度为基础数据,根据缓冲材料动态冲击条件下的缓冲性能,来设计出需要的材料厚度和接触面积等缓冲包装技术参数^[3]。

常温条件下跌落高度,材料自身厚度、密度,泡孔大小、形状、结构,加载方向的变化、冲击次数等,对EPE动态冲击性能的影响已得到充分的研究^[4-9]。

实际流通环境的温度会因光照、地域、季节的差异而发生较大改变,静态曝晒时铁路运输内装物温度可达到40.7~51.3 °C之间^[10];太阳辐射下停放1 h车内的平均气温为51~55 °C^[11];夏季车辆曝晒后内部温度可达62 °C^[12];联邦快递(Fedex)对产品运输过程中经历的环境温度进行了统计,结果得到环境温度变化范围约在-51~60 °C^[13]。环境温度的变化会对流通中包装件内的缓冲包装材料性能造成较大影响,甚至会影响到整个缓冲包装的有效性及可靠性^[14-15]。

1 试验

1.1 样品

平均密度为20 kg/m³ EPE实验样品由天津中天塑料制品有限公司提供,用于试验的每个试样尺寸规

收稿日期: 2012-09-11

作者简介: 方婷(1987-),女,安徽人,天津科技大学硕士生,主攻运输包装材料及技术应用。

格为 100 mm×100 mm×50 mm(长×宽×厚),由单层厚度为 5 mm 的 EPE 经表面加热熔融的方式层合而成,样品的结构形式及试验中动态冲击的受力方向分别表达为垂直于 EPE 热合层方向(Vertical)及平行于 EPE 热合层方向(Parallel)2 种,见图 1。

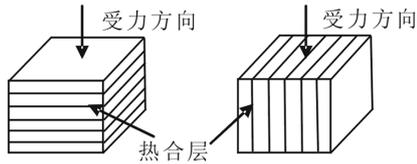


图 1 EPE 两类受力方向示意

Fig. 1 Diagram of impact force on EPE in two directions

试验样品按受力方向分别为 V 方向及 P 方向 2 组,在确定温度环境条件下每组 5 个试样。

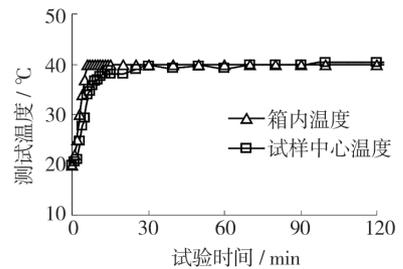
1.2 测试方法

参照 GB 8167—87《包装用缓冲材料动态压缩试验方法》及 ISTA-1A 进行常温及高温条件下的动态冲击试验。采用冲击试验机(DY-2,陕西科技大学);动态测试及信号分析系统(TDNC-SD150,天大精益数控技术有限公司),以 76 cm 的跌落高度对各组 EPE 试验样品在恒温测试箱(自制设备)内完成动态冲击测试过程并记录测试数据。参考物流过程中产品可能经受的环境温度、军用设备环境试验方法高温试验标准 GJB 150.3—86 和军用设备环境试验方法温度冲击试验 GJB 150.5—86,将试样温度分别确定为常温、40 ℃和 60 ℃。文中采用动态冲击测试与性能表征方法研究环境温度变化条件下对发泡塑料缓冲包装保护作用的影响,因材料本身不是湿敏感性材料,所以未对实验的湿度环境进行控制。

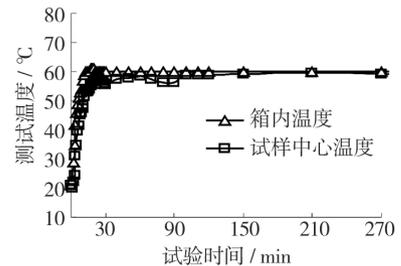
高温动态冲击试验由四壁缠绕加热带的预处理恒温箱及测试用恒温箱,分别对 EPE 试样在试验前进行温度预处理并保证试验过程中温度的恒定;测试用恒温箱置于冲击试验台面上,底部放置了 13 mm 厚胶木板、板上方是 20 cm×20 cm,壁厚 2 mm 的矩形截面空心钢管,由钢管内部缠绕加热带与温控器一起获得设定温度值的同时,保证冲击地面的刚度。测试时将预处理用恒温箱中的试样在 2 s 内放入带保温盖的测试用恒温箱内,经恒温后进行测试。

对预处理恒温箱分别在 40 ℃及 60 ℃温度条件下加热约 7 h,其温度环境标定的结果表明,当预处理恒温箱箱内同时放置 12 个样品时,恒温箱在 40

℃设定条件下加热约 10 min 后达到预定值,试样中心温度则在加热 30 min 后达到预定值,并与预定值一直保持在 0~0.5 ℃的偏差;在 60 ℃设定条件下加热约 30 min 后达到预定值,试样中心温度则在加热 2 h 以后达到预定值,并与预定值一直保持在 0~1 ℃的偏差。预处理恒温箱及试样中心温度稳定性测试结果见图 2。测试前试样在预设环境温度条件下放置 24 h。



a 40 ℃



b 60 ℃

图 2 预处理恒温箱及试样中心温度稳定性测试结果

Fig. 2 Stability testing result of pre-conditioning thermal box and EPE sample center

动态冲击测试用恒温箱箱内每次试验只放置一个试样,分别对 40 ℃和 60 ℃2 个温度下的恒温箱进行稳定性测试,结果表明箱内温度在 30 min 内能够稳定地保持到设定的测试温度环境。

1.3 主要步骤

1) 从 V 方向和 P 受力方向 50 mm 厚度规格 EPE 中随机抽取试验所需的试样,按照 GB 8167—87 对试样进行编号、称重、尺寸测量,计算表观密度。

2) 实验前将装有在常温、40 和 60 ℃预处理 24 h 以上样品的恒温箱置于冲击试验机旁。

3) 40 ℃及 60 ℃动态冲击试验时,将试样从置于冲击试验机旁的预处理恒温箱内取出后迅速放置到温度已经稳定的测试用恒温箱内,封闭并等温度平衡后打开上盖开始冲击试验,每次冲击试验后迅速封闭上盖并确认温度稳定后继续下次动态冲击试验。高温动态冲击试验装置的示意图见图 3。

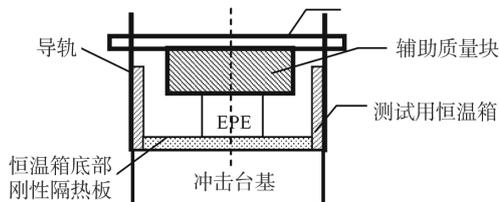


图3 高温动态冲击试验装置示意

Fig. 3 Diagram of high temperature dynamic compression test device

2 结果与分析

50 mm 厚 EPE 试样在冲击高度为 76 cm, 常温、40 °C 和 60 °C 的试验环境条件下, 其动态冲击试验结果见图 4 和 5。

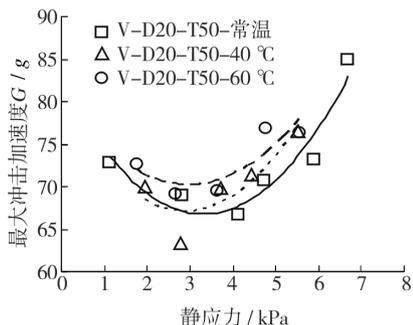


图4 V 方向 EPE 最大冲击加速度-静应力曲线

Fig. 4 Peak acceleration-static stress curve of EPE with force on vertical direction

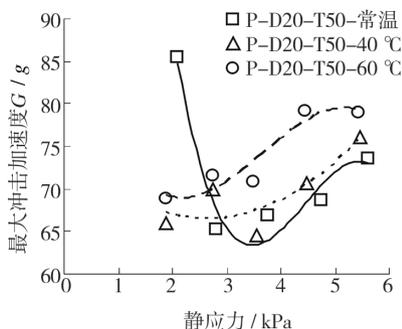


图5 P 方向 EPE 最大冲击加速度-静应力曲线

Fig. 5 Peak acceleration-static stress curve of EPE with force on parallel direction

图 4 中当冲击力垂直于试样的热合层时, 在相同静应力条件下, 同类试验样品其峰值冲击加速度随着试验环境温度的升高呈上升的趋势, EPE 缓冲性能会有所下降。60 °C 高温条件下冲击加速度值较常温条

件下的冲击加速度值最大才高出 6 g, 40 °C 高温条件下冲击加速度值较常温条件下的冲击加速度值最大才高出 3 g, 说明这一受力方向的试样在试验环境温度由常温分别升至 40 °C 和 60 °C 时, 动态缓冲性能虽然有所下降, 但变化并不大。高温条件下 EPE 发泡材料的动态载荷能力下降与热塑性发泡塑料在高温条件下材料软化、载荷能力及吸收冲击能量的能力降低有一定的关系。

图 5 中当冲击力平行于试样的热合层时, 在静应力低于 3.8 kPa 的范围内, 其常温条件下的冲击加速度值较 60 °C 下的加速度值高出近 15 g; 但相反, 在静应力高于 3.8 kPa 的范围内, 与常温条件下的冲击加速度相比, 60 °C 下样品的加速度值增加近 10 g。一方面由于在 P 方向的 EPE 样品沿受冲击的方向, 其材料热合层界面处的材料局部密度增加, 材料有各向异性特征。常温时由于热合层部位的局部密度高, 材料抗载荷能力相对强, 使低应力条件下的材料变形小, 吸收冲击能量少, 表现出较高的加速度测试值。另一方面, 当温度升高后材料的发泡体及层间界面部分均发生高温变软, 随着静应力的增加, 较高载荷条件下在样品上形成的冲击能量逐渐超出样品材料变形能够吸收的冲击能量, 表现为冲击加速度值的增加。

在各种测试温度条件下层叠热合后的 EPE 发泡材料存在明显的各向异性特征, 层间界面处因热合造成局部高密度影响了材料的载荷及对能量吸收的作用。

3 结论

环境温度变化影响着 EPE 动态缓冲性能, 在温度由常温升高至 40 °C 和 60 °C 时, 材料的载荷能力下降, 冲击加速度升高, 缓冲保护性能下降。

实际采用 EPE 进行产品的缓冲包装设计时, 除了考虑产品自身形状、质量、尺寸、自身易损程度、流通环境中的跌落高度、路况等因素, 还应考虑产品在流通过程中可能经历的温度变化, 及温度变化对缓冲包装材料性能的影响程度。

参考文献:

- [1] 彭国勋. 物流运输包装设计[M]. 北京: 印刷工业出版社, 2006.
PENG Guo-xun. Transportation Package Design [M]. Beijing: Printing Industry Press, 2006.

- [2] 刘乘,任亚东. 几种常用缓冲材料性能的研究[J]. 包装工程,2010,31(7):117-119.
LIU Cheng,REN Ya-dong. Research on Properties of Several Cushion Materials[J]. Packaging Engineering,2010,31(7):117-119.
- [3] BRANDENBURG R K,LEE J J L. Fundamentals of Packaging Dynamics[M]. USA:MTS System Corporation,1985.
- [4] 罗兰. 常用缓冲材料动态压缩特性研究[J]. 包装工程,1996,17(5):10-13.
LUO Lan. Research on Dynamic Compression Properties of Cushioning Materials[J]. Packaging Engineering,1996,17(5):10-13.
- [5] 冯勇. EPE 缓冲材料双向性能比较分析[J]. 中国包装工业,2007(10):47-48.
FENG Yong. Comparison and Analysis for Double Direction Performances of Cushioning Materials[J]. China Packaging Industry,2007(10):47-48.
- [6] 霍银磊. 低密度泡沫塑料的结构及其力学行为[D]. 无锡:江南大学,2008.
HUO Yin-lei. The Study of Structure and Mechanics Behavior of Low Density Foamed Plastics[D]. Wuxi:Jiangnan University,2008.
- [7] 高德,卢富德. 聚乙烯缓冲材料多自由度跌落包装系统优化设计[J]. 振动与冲击,2012,31(3):69-72.
GAO De,LU Fu-de. Optimization Design of MD of Package Cushioning System Made of Polyethylene[J]. Vibration and Shock,2012,31(3):69-72.
- [8] 计宏伟,王怀文. 基于高速图像测量技术的缓冲材料缓冲性能表征[J]. 振动与冲击,2011,30(9):216-220.
JI Hong-wei,WANG Huai-wen. Characterization of Dynamic Cushioning Property of Cushioning Material Based on High-speed Image Measurement Technology[J]. Vibration and Shock,2011,30(9):216-220.
- [9] MILLS N J, MASSO-MOREU Y. Finite Element Analysis (FEA) Applied to Polyethylene Foam Cushions in Package Drop Tests[J]. Packaging Technology and Science,2005,18(1):29-38.
- [10] 徐开启. 基于 CFdesign 的军用爆炸品铁路运输温度仿真研究[J]. 军事交通学院学报,2010,12(5):9-12.
XU Kai-qi. Temperature Simulating of Military Explosives Through Railway Transportation Based on CFdesign[J]. Journal of Academy of Military Transportation,2010,12(5):9-12.
- [11] 龙恩深. 太阳辐射下汽车的停放实验及安全警示[J]. 学术论坛,2003:14-16.
LONG En-shen. Parking Test and Safety Warning of Cars under Sun Radiation[J]. Research Forums,2003:14-16.
- [12] 林红茵. 经过暴晒的车内温度最高是多少? [EB/OL] (2010-07-31). http://www.jhnews.com.cn/zzxb/2010-07/31/content_1152297.htm.
LIN Hong-yin. What's the highest temperature in the car exposed to sunlight? [EB/OL] (2010-07-31). http://www.jhnews.com.cn/zzxb/2010-07/31/content_1152297.htm.
- [13] FedEx. Packaging Pointers-Perishable Shipments[EB/OL] (2012). http://www.themailcenteretc.com/pdf/pointers_perishable.pdf.
- [14] AVALLE M, BELINGARDI G, MONTANINI R. Characterization of Polymeric Structural Foams under Compressive Impact Loading by Means of Energy-absorption Diagram [J]. International Journal of Impact Engineering,2001.
- [15] MARCONDES J, HATTON K, GRAHAM J, et al. Effect of Temperature on the Cushioning Properties of Some Foamed Plastic Materials [J]. Packaging Technology and Science,2003.

(上接第 26 页)

- [2] 王伟,杨伟,赵美英. 大展弦比飞翼结构拓扑、形状与尺寸综合优化设计[J]. 机械强度,2008,30(4):596-600.
WANG Wei,YANG Wei,ZHAO Mei-ying. Intergrate Topology/shape/size Optimization into High Aspect-ratio Wing Design[J]. Mechanical Strength,2008,30(4):596-600.
- [3] 李民,舒歌群,卫海桥. 基于拓扑优化和形状优化的低噪声齿轮室罩盖设计[J]. 内燃机工程,2008,29(6):55-59.
LI Min,SHU Ge-qun,WEI Hai-qiao. Design of a Low Noise Engine Gear Cover Based on Topology and Shape Optimization[J]. Chinese Internal Combustion Engine Engineering,2008,29(6):55-59.
- [4] 李凌飞. 基于变密度法的结构拓扑优化研究[D]. 长春:吉林大学,2007.
LI Ling-fei. The Research of Structure Topology Optimization Based on Variable Density Method[D]. Changchun:Jilin University,2007.
- [5] BENDSOE M P, KIKUCHI N. Generating Optimal Topologies in Structural Design Using a Homogenization Method [J]. Comput Methods Appl Mech Engrg,1988,71:197-224.
- [6] ROZVANY G I N, BENDSOE M P, KIRSCH U. Layout Output Optimization of Structures [J]. Appl Mech Rev,1996,48:41-118.
- [7] RIETZ A. Sufficiency of a Finite Exponent in SIMP Power Law Method [J]. Structural and Multidiscipline Optimization,2001,21:159-163.