

EPE 缓冲性能测试及缓冲包装设计方法

程玲, 曹国荣, 关元
(北京印刷学院, 北京 102600)

摘要: **目的** 建立缓冲材料性能数据库, 为缓冲包装设计提供数据支持, 获得科学的缓冲包装设计方

案。 **方法** 依据 GB/T 8167—2008《包装用缓冲材料动态压缩试验方法》对 EPE 的缓冲性能进行测试, 依据 GB/T 8169—2008《包装用缓冲材料振动传递特性试验方法》对 EPE 振动传递特性进行测试。 **结果** 获取了 EPE 最大加速度-静应力曲线和振动传递率-频率特性曲线, 建立了 EPE 缓冲包装设计流程, 编制了 EPE 缓冲包装设计软件。 **结论** 通过实例验证了软件的可行性, 提高了设计效率和质量, 为 EPE 材料的缓冲包装设计提供了依据。

关键词: EPE; 动态缓冲; 振动传递; 缓冲包装设计

中图分类号: TB485.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2016)23-0018-05

EPE Cushioning Performance Test and Cushioning Packaging Design Method

CHENG Ling, CAO Guo-rong, GUAN Yuan
(Beijing Institute of Graphic Communication, Beijing 102600, China)

ABSTRACT: The work aims to establish the cushioning material performance database to provide data support for cushioning packaging design and obtain scientific cushioning packaging design plan. EPE cushioning performance was tested according to GB/T 8167—2008 Dynamic Compression Test Method of Cushioning Materials for Packaging and the characteristics of vibration transmission of EPE were tested according to GB/T 8169—2008 Test Method for Vibration Transmission Characteristics of Cushioning Materials for Packaging. The maximum acceleration-static stress curve and vibration transmission rate-frequency characteristic curve of EPE were obtained. The design process of EPE cushioning packaging was established, and the software of EPE cushioning packaging design was worked out. The feasibility of the software is verified with examples, with which the design efficiency and quality are improved and a basis is provided for cushioning packaging design of EPE materials.

KEY WORDS: EPE; dynamic buffering; vibration transmission; cushioning packaging design

EPE 珠粒为非交联结构, 符合绿色包装的要求, 是目前包装设计中最为广泛的缓冲材料之一^[1]。很多企业在实际使用时, 只凭经验设计, 没有可参考的具体数据, 常导致过度包装, 并且传统的设计方法过程繁复, 方案选择较难^[2-3]。文中主

要通过动态压缩试验和振动传递率试验获取 6 种常用厚度的 EPE 最大加速度-静应力曲线和振动传递率-频率特性曲线^[4], 利用试验数据, 依据缓冲包装设计理论, 建立 EPE 缓冲材料数据库和缓冲包装设计流程, 编制 EPE 缓冲包装软件, 以解决传

收稿日期: 2016-07-20

基金项目: 包装工程专业教学团队(建设)(22150116006/017)

作者简介: 程玲(1992—), 女, 安徽人, 北京印刷学院硕士生, 主攻绿色包装材料。

通讯作者: 曹国荣(1963—), 女, 黑龙江人, 硕士, 北京印刷学院教授, 主要研究方向为环保包装材料与技术。

统 EPE 缓冲包装设计中存在的问题。

1 试验

1.1 样品制备及设备

试验样品为 EPE（企业提供），设备为落标冲击试验机(DY-2)、电动振动台(DLS3000)。样品实测密度为 26.8 ~ 28.2 kg/m³，样品尺寸为 100 mm×100 mm，200 mm×200 mm，样品厚度有 6 种，分别是 30，35，40，45，50 和 55 mm。

1.2 EPE 动态缓冲性能

用自由跌落的重锤对包装用缓冲材料施加冲击载荷，来模拟包装件跌落时缓冲材料受到的冲击作用，实验结果表示为一定厚度的缓冲材料在一定跌落高度下的静应力-最大加速度曲线^[5]。试样 A(100 mm×100 mm)参照 GB/T 8167—2008 试验方法进行试验^[6]。为了精确地描绘出最大加速度-静应力曲线，该试验根据实际产品质量情况选择了 7 种不同质量的重锤，静应力分别为 0.0092，0.0145，0.0258，0.0384，0.0580，0.0715，0.0865 kg/cm²。

1.3 EPE 振动传递性能

由质量块、EPE 缓冲材料、固定装置及振动台构成振动系统，来模拟包装件在正弦振动作用下缓冲材料对振动的吸收、传递特性，试验中记录振动状态下质量块和振动台上的加速度值，并将其表示成振动传递率-频率特性曲线。试样 B(200 mm×200 mm)参照 GB/T 8169—2008 试验方法进行试验^[7]。该试验根据实际产品质量情况选择了 5 种不同质量的质量块，获得了不同静应力下(0.035，0.050，0.065，0.080，0.100 kg/cm²)的振动传递率-频率特性曲线，并同时获得了共振频率、传递率与静应力的关系曲线。

2 结果与分析

2.1 EPE 动态缓冲性能

在跌落高度 $h=60$ cm 时，实验数据见表 1。根据表 1 的实验数据绘制出最大加速度-静应力曲线，见图 1，其中 G_m 为最大加速度， δ_{st} 为静应力。

表 1 动态冲击试验数据

Tab.1 Dynamic impact test data

g

静应力 /(kg·cm ⁻²)	厚度/mm					
	30	35	40	45	50	55
0.0092	107.11	95.24	78.38	—	—	—
0.0145	75.66	70.72	66.08	57.24	53.35	50.7
0.0258	73.07	60.92	59.66	51.23	48.04	45.75
0.0384	80.53	62.62	61.76	51.34	46.46	43.57
0.058	93.32	75.62	69.48	55.01	48.88	43.56
0.0715	105.09	90.8	87.07	60.09	53.49	47.31
0.0865	—	—	—	65.65	58.81	51.18

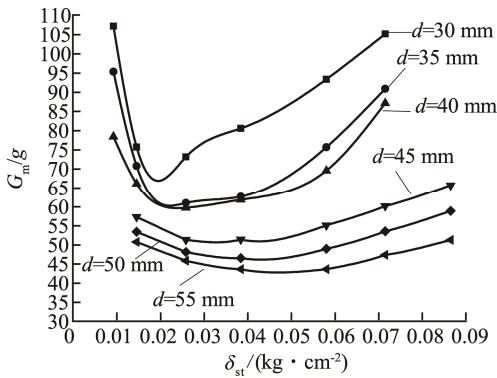


图 1 最大加速度-静应力曲线

Fig.1 Maximum acceleration static stress curve of each specimen

由图 1 可知，随着 EPE 厚度的增加，最大加速度-静应力曲线趋于平缓，弯曲度减小。说明 EPE 厚度越大，具有缓冲能力的负荷范围也越大，该材料在满足安全性的前提条件下具有较大的静应力选择范围，可以实现缓冲包装材料减量化的目的^[8-9]。不同厚度的材料所适应的内装物脆值也不同。厚度为 30 mm 的 EPE 适合脆值大于 67.01g 的内装物的缓冲包装；厚度为 35 mm 的 EPE 适合脆值大于 60.57g 的内装物的缓冲包装；厚度为 40 mm 的 EPE 适合脆值大于 59.73g 的内装物的缓冲包装；厚度为 45 mm 的 EPE 适合脆值大于 50.77g 的内装物的缓冲包装；厚度为 50 mm 的 EPE 适合脆值大于 46.58g 的内装物的缓冲包装；厚度为 55 mm 的 EPE 适合脆值大于 42.94g 的内装物的缓冲包装。

2.2 EPE 振动传递性能

2.2.1 传递率-频率曲线

试验频率从 3.0 Hz 开始增加，并使其通过系统的共振点，直到加速度传递率小于 0.2 为止，扫频速率为每分钟 1 个倍频程。每组至少使用 6 块试样，

取其平均共振频率及平均传递率为该组试样的共振频率和传递率。不同厚度和静应力的传递率-频

率曲线见图 2, 其中 T_r 为 EPE 的振动传递率, f_r 为频率。

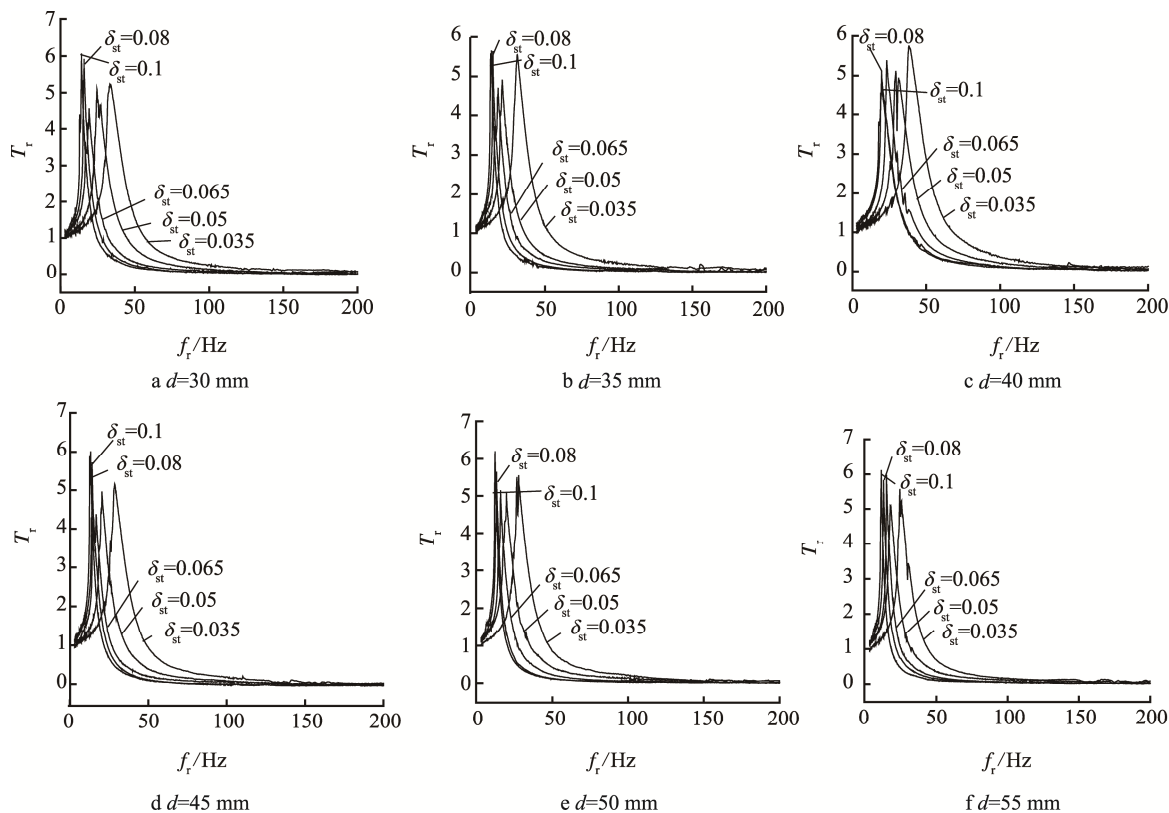


图 2 不同厚度和不同静应力的 EPE 传递率-频率曲线

Fig.2 EPE transfer rate frequency curve with different thickness and static stress

由图 2 可以看出, 传递率-频率曲线只有 1 个峰值频率, 其他的峰值对产品影响不大, 不予考虑^[10], 且曲线分为 3 个阶段^[11]: 当激振频率(f_r)较小时, 最大传递率 $T_r \approx 1$, 这种情况表明, 激振频率较低时, 振动等比例传递, 即激励振动完全传递到内装物上, EPE 没有起到缓冲作用; 当系统产生共振时, 最大传递率 $T_r > 1$, 这种情况表明, 激励振动将成倍地被放大传递到内装物上, 极有可能导致内装物的破损, 这种情况称为共振破损; 当激振频率较大时, 最大传递率 $T_r \leq 1$, 这种情况表明, 环境传到产品上的振动被缩小了, 缓冲包装系统具备了防振效果。

2.2.2 共振频率-静应力及传递率-静应力曲线

不同厚度 EPE 的共振频率-静应力和传递率-静应力曲线见图 3—4, 可以看出, 当 EPE 厚度为 45 mm 时, 共振频率最大。随着静应力的增加, 共振频率减小。最大传递率随着静应力的增加大体呈上升的趋势, 这与 EPE 为粘弹性材料有关^[12]。最大传递率与厚度的关系并不明显, 厚度对传递率的

影响不大。共振频率值集中在 10 ~ 40 Hz 之间, 最大传递率在 5 ~ 7.5 之间。

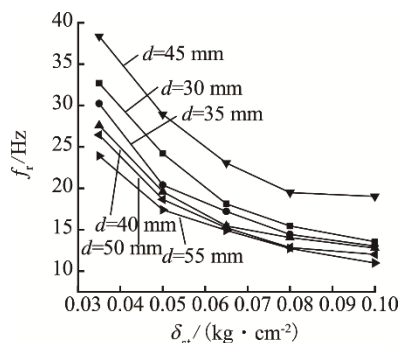


图 3 不同厚度 EPE 的共振频率-静应力曲线

Fig.3 Resonance frequency static stress curve of EPE with different thickness

2.3 缓冲包装设计软件

缓冲包装设计包括 2 个部分, 冲击防护设计和振动防护设计^[13]。根据试验所得曲线, 建立缓冲包装设计软件流程, 见图 5。图 5 中 W 为产品重量; A 为面积; d 为缓冲材料厚度; δ_{st} 为静应力; T_r 为

传递率; f_0 为共振频率; $G_{\max}$ 为最大响应加速度; G_0 为最大振动加速度; $[G]$ 为产品许用脆值。在设计过程中需根据实际情况考虑其他因素并进行适当的修正, 如产品可能受到角冲击时, 可通过试验验证对缓冲材料的尺寸进行修正; 由于不同温湿度条件下缓冲材料的缓冲性能存在差异, 应根据流通过程中可能出现的环境条件对缓冲材料的尺寸进行修正; 当产品上的最大响应加速度接近产品的许用脆值, 或由于振动加速度的反复作用可能导致产品疲劳损伤或缓冲材料的性能降低时, 应进行再设计。

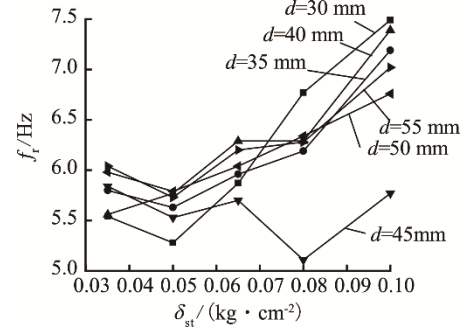


图 4 不同厚度 EPE 的传递率-静应力曲线

Fig.4 Transfer rate frequency static stress curve of EPE with different thickness

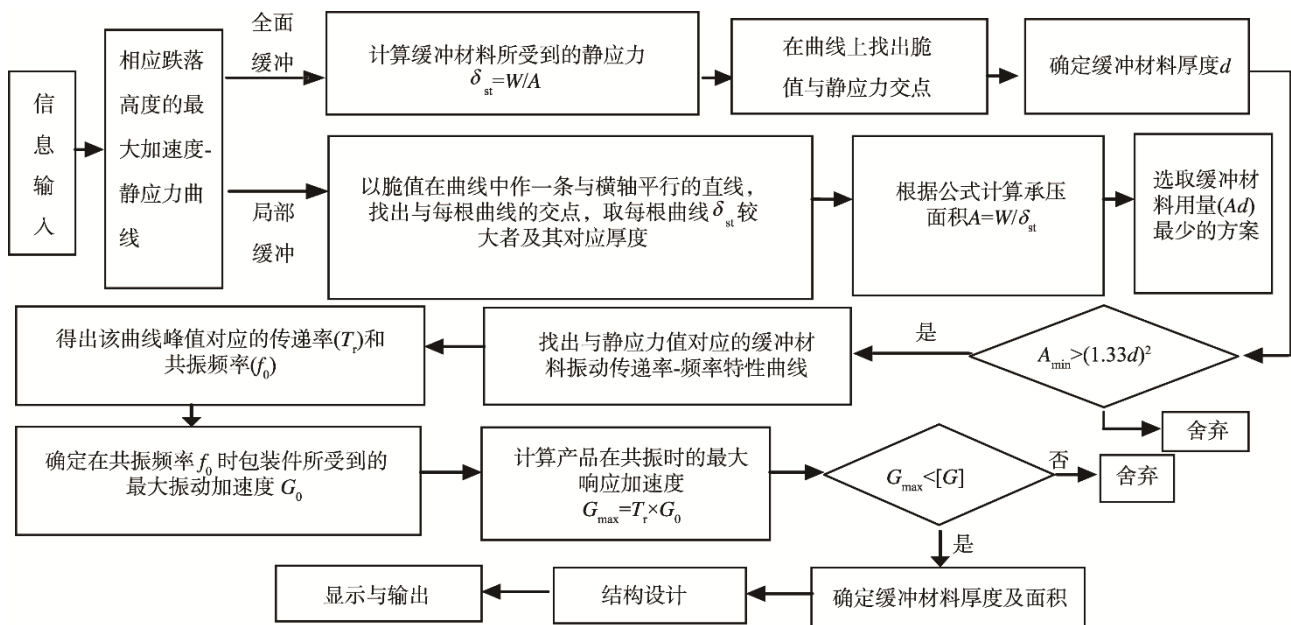


图 5 缓冲包装设计软件流程

Fig.5 The process of cushioning packaging design

软件主要步骤为信息输入、尺寸计算与校核、结构设计和显示与输出。信息输入主要分为产品信息输入 (如产品质量、尺寸、脆值等) 和跌落高度输入。缓冲衬垫尺寸计算与校核主要是依据动态特性曲线和振动传递特性曲线, 利用设计软件, 得出所有满足条件的缓冲包装的厚度及面积, 最后根据“体积最小”原则确定方案。根据尺寸和包装形式设计缓冲包装结构。显示与输出的内容主要是缓冲包装设计方案文字说明、三视图以及立体图等^[14]。

2.4 缓冲设计实例

以某品牌净水机为研究对象, 结构见图 6, 其信息输入主要为: 长 485 mm, 宽 175 mm, 高 485

mm, 质量为 25 kg, 通过查阅资料得到脆值为 $60g$ ^[15], 跌落高度为 60 cm。选择局部缓冲, 在图 1 上以脆值 $60g$ 作一条平行于横轴的线, 得到静应力值有 $\delta_{st1}=0.026 \text{ kg/cm}^2$, $\delta_{st2}=0.07 \text{ kg/cm}^2$, $\delta_{st3}=0.086 \text{ kg/cm}^2$, 则承压面积分别为 $A_1=942.3 \text{ cm}^2$, $A_2=350 \text{ cm}^2$, $A_3=284.9 \text{ cm}^2$, A_1 大于产品的底面积, 故舍去。 $V_2=1575 \text{ cm}^3$, $V_3=1424.5 \text{ cm}^3$ 。由此选择 $d=50 \text{ mm}$, $A=284.9 \text{ cm}^2$ 。由图 2e 可得, 曲线峰值对应的频率和传递率分别为 20 Hz, 5.8。然后根据频率 $f_r=20 \text{ Hz}$ 在运输频谱图^[12]上查出对应的加速度 $a_r=2g$, 即产品在共振时收到的振动输入为 $2g$, 则产品的最大相应加速度 $a_p=T_r \cdot a_r=11.6g < 60g$, 可通过防振校核。最终得到缓冲衬垫的厚度 $d=50 \text{ mm}$, 面积 $A=284.9 \text{ cm}^2$ 。衬垫结构见图 7。

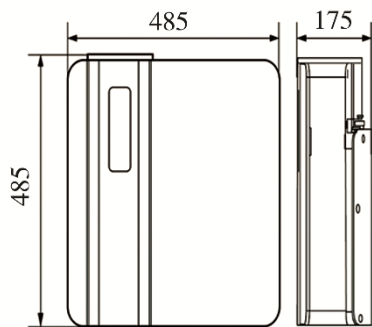


图6 净水机结构

Fig.6 Water purification machine of each specimen

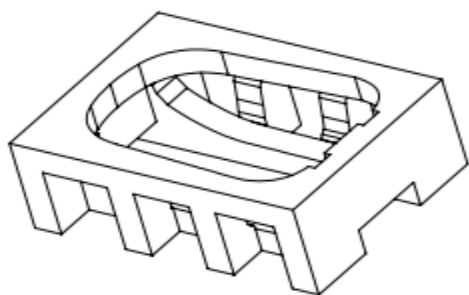


图7 缓冲衬垫结构

Fig.7 Buffer pad structure

3 结语

该试验研究了6种常用厚度的EPE在不同静应力下的动态冲击和振动传递性能,获得了最大加速度-静应力曲线和传递率-频率曲线,为EPE在缓冲包装设计中的应用提供了基本数据支持。通过建立EPE缓冲材料数据库和缓冲包装设计方法,编制了缓冲包装设计软件流程,并通过试验验证了软件的可行性。该软件缩短了设计周期,提高了设计灵活性,降低了设计成本。由于试验样品的局限性,缓冲材料数据库不够完善,在今后的研究过程中需要不断积累数据,完善数据库,为设计提供保障。

参考文献:

- [1] 郭鹏, 徐耀辉, 张师军, 等. 聚乙烯发泡材料的研究进展[J]. 石油化工, 2015, 44(2): 261—266.
GUO Peng, XU Yao-hui, ZHANG Shi-jun, et al. Research Progress of Polyethylene Foamed Materials[J]. Petrochemical Industry, 2015, 44(2): 261—266.
- [2] 程琳, 王伟. 常见缓冲包装材料的应用现状[J]. 上海包装, 2014(6): 53—54.
CHENG Lin, WANG Wei. Application Status of Common Cushioning Packaging Materials[J]. Shanghai Packaging, 2014(6): 53—54.
- [3] 卢杰, 薛进. 基于数据库与模型库的智能缓冲包装CAD系统[J]. 包装食品与机械, 2006, 24(1): 26—28.
LU Jie, XUE Jin. Intelligent Cushioning Packaging CAD System Based on Database and Model Base[J]. Packaged Food and Machinery, 2006, 24(1): 26—28.
- [4] 刘继飞. 缓冲包装材料性能的分析方法与研究进展[J]. 包装工程, 2014, 35(7): 149—153.
LIU Ji-fei. Analysis Method and Research Progress in Cushioning Performance of Cushion Packaging Materials[J]. Packaging Engineering, 2014, 35(7): 149—153.
- [5] 彭国勋. 物流运输包装设计第2版[M]. 北京: 印刷工业出版社, 2012.
PENG Guo-xun. Logistics and Transport Packaging Design Second Edition[M]. Beijing: Printing Industry Press, 2012.
- [6] GB/T 8167—2008, 包装用缓冲材料动态压缩试验方法[S].
GB/T 8167—2008, Test Method for Dynamic Compression of Cushioning Materials for Packaging[S].
- [7] GB/T 8169—2008, 包装用缓冲材料振动传递特性试验方法[S].
GB/T 8169—2008, Test Method for Vibration Transfer Characteristics of Cushioning Materials for Packaging[S].
- [8] 吴丽娟, 姜帅. 三种常见缓冲材料的动态压缩缓冲性能[J]. 中国水运, 2006, 6(11): 62—64.
WU Li-juan, JIANG Shuai. Dynamic Compression Buffer Performance of Three Kinds of Common Cushioning Materials[J]. China Water Transport, 2006, 6(11): 62—64.
- [9] 方婷. 缓冲包装材料缓冲性能的研究[D]. 天津: 天津科技大学, 2013.
FANG Ting. Study on Cushioning Properties of Cushioning Packaging Materials[D]. Tianjin: Tianjin University of Science and Technology, 2013.
- [10] 郑华明, 吴江渝, 曹国荣. 聚乙烯发泡塑料冲击能量的吸收及振动传递率的分析[J]. 包装工程, 2008, 29(3): 30—32.
ZHENG Hua-ming, WU Jiang-yu, CAO Guo-rong. Analysis of Impact Energy Absorption and Vibration Transfer rate of Polyethylene Foam Plastics[J]. Packaging Engineering, 2008, 29(3): 30—32.
- [11] 周健, 张丽, 王保升. 缓冲材料振动传递率的测试及非线性辨识[J]. 中国现代教育装备, 2010(7): 77—80.
ZHOU Jian, ZHANG Li, WANG Bao-sheng. Test and Nonlinear Identification of Vibration Transfer Rate of Cushioning Material[J]. China Modern Educational Equipment, 2010(7): 77—80.
- [12] 齐健. 蜂窝纸板组合构件缓冲性能研究[D]. 南京: 南京林业大学, 2008.
QI Jian. Research on the Cushion Properties of Honeycomb Cardboard Combination Structure[D]. Nanjing: Nanjing Forestry University, 2008.
- [13] GB/T 8166—2011, 缓冲包装设计[S].
GB/T 8166—2011, Cushioning Packaging Design[S].
- [14] 田丽, 苏祥静, 陈治勇, 等. 缓冲包装CAD系统[J]. 包装工程, 2016, 37(1): 69—73.
TIAN Li, SU Xiang-jing, CHEN Zhi-yong, et al. Cushioning Packaging CAD System[J]. Packaging Engineering, 2016, 37(1): 69—73.
- [15] 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. Logistics Transportation Packaging Design[M]. Beijing: Printing Industry Press, 2006.