

# 食品包装塑料薄膜的机械性能及检测方法研究

郭霞<sup>1</sup>, 迟海<sup>1</sup>, 刘伟丽<sup>1,2\*</sup>, 高峡<sup>1,2</sup>

(1. 北京市理化分析测试中心, 有机材料检测技术与质量评价北京市重点实验室, 北京 100089;  
2. 北京市科学技术研究院分析测试技术重点实验室, 北京 100089)

**摘要:** 柔软的塑料薄膜适用于各种各样的包装, 食品包装材料的机械性能是产品在包装之后对产品进行保护的最基本性能, 可以防止包装的破损与泄漏。本文阐述了食品包装塑料薄膜的主要机械性能, 包括拉伸性能、剥离性能、热合性能、撕裂性能、冲击性能以及穿刺性能, 并介绍了主要的食品包装塑料薄膜的机械性能检测方法, 为食品包装技术的研究和新产品的开发提供参考。

**关键词:** 食品包装; 塑料薄膜; 机械性能; 拉伸性能; 撕裂性能; 热合性能

## Mechanical properties and test methods of food packaging plastic film

GUO Xia<sup>1</sup>, CHI Hai<sup>1</sup>, LIU Wei-Li<sup>1,2\*</sup>, GAO Xia<sup>1,2</sup>

(1. Beijing Centre for Physical and Chemical Analysis, Beijing Key Laboratory of Organic Materials Testing Technology & Quality Evaluation, Beijing 100089, China; 2. Beijing Academy of Science and Technology Key Laboratory of Analysis and Testing Technology, Beijing 100089, China)

**ABSTRACT:** Soft plastic films are suitable for a variety of packaging. The mechanical performances of food packaging materials are the most basic performance which can protect the packaging from damage and leakage. This paper expounded the main mechanical properties of food packaging plastic films, such as tensile property, peel strength, sealing strength, tear property, impact resistance and puncture performance, and summarized the main test methods of mechanical properties of the food packaging plastic films, so as to provide references for the research of food packaging technology and the development of new products.

**KEY WORDS:** food packaging; plastic film; mechanical properties; tensile property; tear property; heat sealing performance

## 1 引言

食品包装是指采用适当的材料、容器对生产出来的各种食品进行保护的技术措施, 在装卸、运输、保管、供应或销售的整个过程中使用到的所有材料可以保护食品的质量和使用寿命。食品包装的材料类型包括纸、金属、陶瓷、塑料、橡胶和玻璃等, 其中塑料包装是包装材料领域中应用最多的。塑料是一种可塑性很好的高分子材料, 与传统的包装材

料(纸、金属、玻璃等)相比, 其包装材料质轻, 对热、电具有良好绝缘性, 比强度、比刚度高、韧性强, 且具有粘弹性和优异的防腐耐蚀性<sup>[1]</sup>。在塑料包装材料中, 各种塑料薄膜、复合塑料薄膜具有不同的力学、阻隔、耐热及卫生性能<sup>[2]</sup>。

食品包装材料的安全性包括力学性能、阻隔性、生物安全性和化学安全性4个部分, 见图1。其中, 力学性能是保障食品在装卸、运输、保管、供应和销售的整个流通过程中顺利进行的最基本性能<sup>[3-7]</sup>。

\*通讯作者: 刘伟丽, 博士, 副研究员, 主要研究方向为材料分析。E-mail: liuweili@iccas.ac.cn

\*Corresponding author: LIU Wei-Li, Ph.D, Associate Researcher, Beijing Centre for Physical and Chemical Analysis, Beijing 100089, China. E-mail: liuweili@iccas.ac.cn

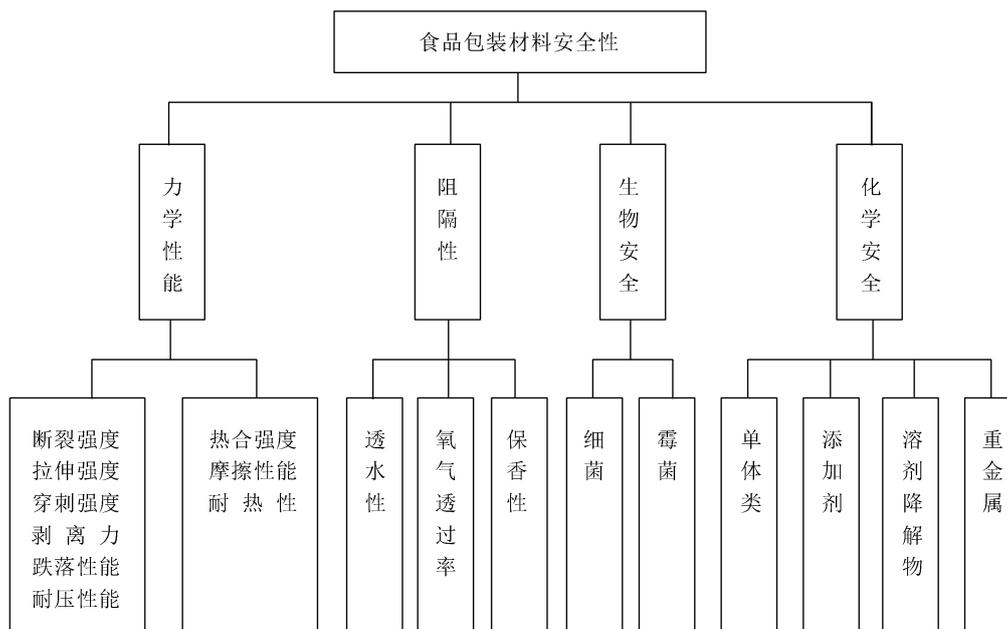
图 1 食品包装材料安全性的影响因素和指标<sup>[8]</sup>

Fig. 1 Influencing factors and indicators of food packaging safety

## 2 塑料薄膜的机械性能特点

包装用塑料薄膜的物理性能包括机械性能、光学性能、热性能和阻隔性能等<sup>[9]</sup>。塑料包装材料的机械性能<sup>[10]</sup>主要包括拉伸强度、断裂伸长率、剥离强度、热封强度、耐撕裂性能、耐冲击性能(落镖与摆锤)和抗穿刺性能等。

普通包装膜的性能主要取决于塑料的品种。常用的食品包装塑料单膜有: 聚乙烯、聚丙烯、聚氯乙烯、尼龙、玻璃纸、聚酯、聚偏二氯乙烯及聚碳酸酯等。由于各种塑料膜的性能不同, 因而应根据产品的不同包装要求, 合理选择塑料包装膜。

低密度聚乙烯伸长率大, 抗冲击性与耐低温性较优。聚丙烯膜拉伸膜的性能有所改善, 由于拉伸分子定向, 所以此薄膜的机械强度较高, 坚韧耐磨, 但是热封性差, 所以一般用做复合薄膜的外层薄膜。聚氯乙烯热收缩膜的收缩率强、易操作, 坚韧抗撕, 韧性好, 不易脆化, 抗撕裂性能好。尼龙薄膜较坚韧, 并具有良好的光泽, 抗张强度及拉伸强度较高, 还具有较好的耐热性、耐寒性、耐油性和耐有机溶剂性, 耐磨性、耐穿刺性优良, 且比较柔软, 阻氧性能优良, 适于包装硬性物品。玻璃纸的透明性好、刚挺, 不产生静电, 但撕裂强度差、热封性差。聚酯薄膜是一种无色透明、有光泽的薄膜, 其机械性能优良, 刚性、硬度及韧性高, 耐穿刺、摩擦、高温和低温, 常用做蒸煮包装的外层材料, 印刷适性较好。表 1 为常用单一薄膜的机械性能对比结果。

表 1 常用单一薄膜的机械性能对比结果

Table 1 Comparison results of mechanical properties of single film

	拉伸强度	延伸率	撕裂强度	热封合性
聚乙烯膜	差	优	差	差
拉伸聚丙烯膜	优	中	差	差
流延聚丙烯薄膜	良	优	优	良
聚氯乙烯膜(软)	良	优	优	良
聚氯乙烯膜(硬)	良	差	差	差
尼龙膜	优	良	优	良
玻璃纸	良	差	差	差
聚酯	优	良	良	差

## 3 食品包装塑料薄膜的机械性能测定方法

### 3.1 概述

食品包装塑料薄膜的机械性能是塑料机械性能中最重要、最基本的性能之一。包装材料在使用前必须对其机械性能进行严格的检测, 在经过一定的加工处理后, 也需再次检测其机械性能。塑料包装材料可靠的机械性能是产品在包装之后对产品保护的最基本指标, 可以防止因机械性能不足而导致的包装破损与泄漏。食品包装塑料薄膜的机械性能测定通常参考国家标准中规定的方法进行, 食品用塑料包装膜、袋产品的拉伸性能、剥离性能、冲击性能以及撕裂性能的测试标准参见表 2。

表2 食品用塑料包装膜、袋产品的机械性能测试标准  
Table 2 Mechanical performance test standards of food packaging plastic films and bags

标准号	标准名称
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 <sup>[11]</sup>
GB/T 8808-1988	软质复合塑料材料剥离试验方法 <sup>[12]</sup>
QB/T 2358-1998	塑料薄膜包装袋热合强度试验方法 <sup>[13]</sup>
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 <sup>[14]</sup>
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(Elmendorf)法 <sup>[15]</sup>
QB/T 1130-1991	塑料直角撕裂性能试验方法 <sup>[16]</sup>
GB/T 8809-1988	塑料薄膜抗摆锤冲击试验方法 <sup>[17]</sup>
GB/T 9639.1-2008	塑料薄膜和薄片 抗冲击性能试验方法 自由落镖法 第1部分: 梯级法 <sup>[18]</sup>
GB 10004-2008	包装用塑料复合膜袋、袋干法复合、挤出复合 <sup>[19]</sup>

### 3.2 食品用包装塑料薄膜机械性能检测方法

#### 3.2.1 拉伸性能测试

拉伸性能是塑料薄膜产品的重要物理力学性能,它能够直观反映薄膜的使用性能。该性能通常作为食品包装材料的出厂检验指标以及食品包装材料的产品质量检验指标。

通常针对不同产品会制定不同的拉伸性能测试标准,但是通常测试方法与 GB/T 1040.3-2006 中的测试方法基本一致,即将试样制成哑铃型或者长条形,通过合适的夹具夹持试样两端,以一定速度进行拉伸,直至载荷达到最大值。不同产品的拉伸性能测试标准会对试样尺寸及加载速率进行规定,针对不同拉伸强度的塑料薄膜选择合适摩擦力的夹持端面,并确保夹持过程中夹持面不会对塑料薄膜造成破坏。

杨金爽等<sup>[20]</sup>针对食品包装用塑料薄膜裁切方向对拉伸性能试验结果的影响进行了系统研究,发现试样的裁切方向是影响拉伸性能试验结果准确性的重要因素之一。韦苇<sup>[21]</sup>对塑料薄膜拉伸弹性模量的测定进行了分析研究,提出了分析拉伸试验数据的方法来计算弹性模量。

#### 3.2.2 剥离强度测试

复合薄膜是通过干式复合或共挤式复合将不同材料复合在一起的,材料间粘合质量的好坏直接影响复合膜的强度、阻隔性及使用寿命。剥离强度也被称作复合强度或复合牢度,用于检测复合膜中层与层间的粘接强度。如果粘合强度过低,则极易在包装使用中出现层间分离而产生泄露、阻隔性差等问题。

剥离强度的测试方法基本与 GB/T 8808-1988 中规定的方法一致,通常是裁剪一定宽度的长条形复合薄膜,沿试样长度方向将复合层与基材预先剥开一定长度,初剥开部分不得有明显损伤。将试样剥开部分的两端分别装夹在试验机上,使试样剥开部分的纵轴与上下夹具中心线重

合,并松紧适宜。试验时,未剥开部分与拉伸方向呈 T 型,按照一定的拉伸速率进行剥离。需要注意若复合层不能剥离或复合层断裂时,其剥离强度判为合格。但前提需要确保拉伸强度合格。

任清杰等<sup>[22]</sup>对干法复合薄膜剥离强度的影响因素进行了详细分析,从基材特性、粘合剂、油墨及印刷工艺、复合工艺和生产环境等 5 个方面阐述了影响复合膜剥离强度的因素,并总结了实际生产过程中应考虑的主要事项。干法复合薄膜各基材的剥离强度是其质量控制的关键,王子平等<sup>[23]</sup>针对 PET/VMCPP 复合膜剥离强度的影响因素进行了系统研究,详细分析了制造工艺对剥离强度的影响。

#### 3.2.3 热合性能测试

塑料薄膜作为包装材料,一般采用热压封合的方法将被包装物封装在内。包装的密封是否完好很大程度上取决于热合的质量。热合强度又称为热封强度,用于塑料热合在塑料或其它基材(如铝箔等)上的热合性能评定。在产品的保存和运输过程中,热封强度太低会导致热封处裂开、泄漏等问题。参考 QB/T 2358-1998 中的试验方法来确定薄膜适宜的热封合条件,满足生产工艺的需要:以热合部位为中心,打开呈 180°,把试样的两端夹在试验机的两个夹具上,试样轴线应与上下夹具中心线重合,并要求松紧适宜,热合强度为读取试样断裂时的最大载荷。

张红静等<sup>[24]</sup>对塑料包装袋热合强度的失效模式进行了分析,总结出了 5 种失效模式,即热封层剥离、热封边缘断裂、薄膜断裂、薄膜分层、先分离后撕裂,并对热合强度的试验过程进行了详细描述,采用的方法与国标一致。

#### 3.2.4 冲击性能

冲击强度是材料重要的机械力学性能之一,用来衡量材料在经受高速冲击状态下的韧性或对断裂的抵抗能力,也称冲击韧性。塑料软包装的冲击强度测定通常使用落镖冲击法和摆锤冲击法。摆锤冲击是利用半球形冲头在一定的速度下冲击并穿过薄膜试样,测量冲头所消耗的能量,

以此评价薄膜的抗摆锤冲击能力, 一般参考 GB/T 8809-1988 中的试验方法进行测试; 落镖冲击是在给定高度、一定落镖头的自由落镖冲击下, 塑料薄膜或薄片试样破坏数量达到 50% 时的能量, 以冲击破坏质量表示, 一般参考 GB/T 9639.1-2008 中的方法进行测定。

谢新芝等<sup>[25]</sup>对 GB/T 9639.1-2008 中的方法进行了分析与改进, 提高了计算结果的准确性, 更精确地测量了塑料薄膜与薄片的抗冲击性能。

### 3.2.5 撕裂度测试

抗撕裂性能一般有 3 种类型, 即裤型撕裂、摆锤撕裂和直角撕裂。

裤形撕裂法测定一般参照 GB/T 16578.1-2008 中的方法进行, 适用于软质和硬质材料的薄膜和薄片, 试验时材料不应发生脆性破坏, 或材料的不可逆变形引起的两裤腿变形所耗能量不应影响撕裂所耗能量。其测试原理是在试样长轴方向上切缝至 1/2 处, 使其切口所形成的两“裤腿”上经受拉伸试验, 测试沿长轴方向撕裂试样所需的平均力, 计算材料的撕裂强度。

摆锤撕裂即埃莱门多夫法, 一般参照 GB/T 16578.2-2009 中的方法进行, 适用于软塑料薄膜、复合薄膜、薄片, 不适用于聚氯乙烯和尼龙等较硬的材料。其测试原理是使具有规定切口的试样承受规定大小摆锤贮存的能量所产生的撕裂力, 以撕裂试样所消耗的能量计算试样的耐撕裂性。

直角撕裂性能测试一般参照 QB/T 1130-1991 中的方法进行, 适用于薄膜、薄片及其它类似的塑料材料。其测试原理是对标准试样施加拉伸负荷, 使试样在直角口处撕裂, 测定试样的撕裂负荷或撕裂强度。

孙重晓等<sup>[26]</sup>针对过氧化物交联改性聚丁二酸丁二醇酯薄膜的抗撕裂性进行了研究, 参考 GB/T 16578.1-2008 进行了塑料薄膜的裤形撕裂性能测定。实验发现在一定范围内, 交联度增大, 耐撕裂性能变强。

### 3.2.6 穿刺强度测试

针对塑料薄膜、复合膜、软质包装材料等进行穿刺力试验, 根据 GB 10004-2008 中关于穿刺强度试验仪器的要求设计制造, 通过穿刺强度试验反映复合膜性能。

蔡传伦等<sup>[27]</sup>研究了抗穿刺线型低密度聚乙烯薄膜的制备, 采用电子拉力试验机, 按 ASTM D4833-07<sup>[28]</sup>规定的方法对薄膜的抗穿刺性能进行测试, 该测试方法与国标中的测试原理没有本质差别, 仅对穿刺针的尺寸及加载速率有不同的规定。

## 3.3 食品用包装塑料薄膜的检测设备

塑料薄膜的检测设备主要分为 2 种, 分别是拉力试验机和冲击试验机。拉伸试验、剥离试验、撕裂试验、热封强度测定均可以在配备一定配件的拉力试验机上完成。冲击试验机包括落镖冲击和摆锤冲击 2 种。

### 3.3.1 拉力试验机

薄膜拉伸性能测试设备需要满足量程小于 5 kN, 在 100 N 左右能够保证一定的测量精度, 并能够提供稳定位移速率, 如果需要测定断裂伸长率及弹性模量, 则需要配备一定的变形测量设备。拉力试验机还可进行复合膜袋拉伸试验、断裂伸长率、剥离强度、直角撕裂、热封强度、粘合强度等性能测试。

### 3.3.2 摆锤冲击试验机

摆锤冲击试验机适用于塑料薄膜等材料抗摆锤冲击性能的精确测定。其测试原理是薄膜冲击试验仪的半球形冲头在一定的速度下冲击并穿过薄膜试样, 测量冲头所消耗的能量, 以此评价薄膜的抗摆锤冲击能力。仪器需要配备专用的薄膜夹具, 量程可调, 电子式测量能准确实现各种测试条件下的试验, 试样气动夹紧、摆锤气动释放以及水平调整辅助系统有效地避免了人为因素引起的系统误差。摆锤冲击试验和摆锤撕裂也就是埃莱门多夫 (Elmendorf) 法通常使用该设备进行测试。

### 3.3.3 落镖冲击试验机

一般适用于塑料薄膜或薄片在给定高度的自由落镖冲击下, 50% 试样破损时冲击质量和能量的测定。

## 4 结论与展望

为了满足日益增长的食品包装需求, 必须不断提高其加工技术, 利用新型材料改性使塑料薄膜包装材料向超薄、超轻、高性能和多功能方向发展。塑料薄膜的机械性能是最基本的性能, 也最能直接影响食品包装的效果, 改善及提高食品包装塑料薄膜的机械性能是塑料薄膜发展的必然方向, 因此, 针对塑料薄膜机械性能的研究分析也越来越受到重视。

### 参考文献

- [1] 郭晓沛. 食品包装薄膜的研究进展[J]. 塑料科技, 2016, 44(3): 103-106. Guo XP. Research progress in food packaging films [J]. Plast Sci Technol, 2016, 44(3): 103-106.
- [2] 康莉, 杨薇. 包装材料塑料薄膜性能的测试方法[J]. 出口商品包装: 软包装, 2004, 9: 43-45. Kang L, Yang W. Test methods of performance of plastic film packaging material [J]. Flex Packag Ind, 2004, 9: 43-45.
- [3] 陈锦瑶, 朱蕾, 张立实. 我国塑料食品包装材料及容器标准体系现状研究与问题分析[J]. 现代预防医学, 2011, 38(6): 1014-1019. Chen JY, Zhu L, Zhang LS. The analysis of status and problems of the standards system of plastic food packaging materials in China [J]. Mod Prev Med, 2011, 38(6): 1014-1019.
- [4] 龚桂丽. 食品包装的安全性设计研究[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2010. Dou GL. The research on safety design of food packaging [D]. Harbin: Northeast Forestry University, 2010.
- [5] 朱蕾, 张俭波, 樊永祥, 等. 国内外食品包装材料标准管理现状与问题

- 分析[J]. 中国食品学报, 2013, 13(5): 141-146.  
Zhu L, Zhang JB, Fan YX, *et al.* Analysis on current status and problems of food packaging material standards in china and some developed countries [J]. J Chin Inst Food Sci Technol, 2013, 13(5): 141-146.
- [6] Talja RA, Helen H, Roos YH, *et al.* Effect of type and content of binary polyol mixtures on physical and mechanical properties of starch-based edible films [J]. Carbohydr Polym, 2008, 71: 269-276.
- [7] Guichon O, S,guéu R, David L, *et al.* Influence of the molecular architecture of low-density polyethylene on the texture and mechanical properties of blown films [J]. J Polym Sci Part B: Polym Phys, 2003, 41(4): 327-340.
- [8] 周磊, 贾晓川, 李晶, 等. 食品包装材料用塑料国内外标准法规的对比分析[J]. 食品研究与开发, 2010, 31(10): 228-234.  
Zhou L, Jia XC, Li J, *et al.* Comparison and analyze on international standard and regulation on plastics used in food packaging materials [J]. Food Res Dev, 2010, 31(10): 228-234.
- [9] 程氢. 塑料软包装的应用性能及检测方法[J]. 塑料与包装, 2013, 4: 72-76.  
Cheng Q. Plastic flexible packaging application performance and test methods [J]. Plast Packag, 2013, 4: 72-76.
- [10] 梁世何, 应永伟. 软包装及塑料薄膜机械性能检测分析[J]. 软包装, 2016, 7: 42-44.  
Liang SH, Ying YW. Test analysis of mechanical properties of flexible packaging and plastic film [J]. Flex Packag, 2016, 7: 42-44.
- [11] 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].
- [12] GB 8808-1988 软质复合塑料材料剥离试验方法[S].  
GB 8808-1988 Flexible plastics film peel test method [S].
- [13] QB/T 2358-1998 塑料薄膜包装袋热合强度试验方法[S].  
QB/T 2358-1998 Plastics film packaging bag sealing strength test [S].
- [14] 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].
- [15] 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(Elmendorf)法[S].  
GB/T 16578.2-2009 Film and sheeting Determination of tear resistance Part 2: Elmendorf method [S].
- [16] QB/T 1130-1991 塑料直角撕裂性能试验方法[S].  
QB/T 1130-1991 Plastics rectangular tear properties test [S].
- [17] GB/T 8809-1988 塑料薄膜抗摆锤冲击试验方法[S].  
GB/T 8809-1988 Test method for pendulum impact resistance of plastic films [S].
- [18] GB/T 9639.1-2008 塑料薄膜和薄片 抗冲击性能试验方法 自由落镖法 第1部分: 梯级法[S].  
GB/T 9639.1-2008 Plastics film and sheeting Determination of impact resistance by the free Falling dart method Part 1: Staircase method [S].
- [19] GB 10004-2008 包装用塑料复合膜袋、袋干法复合、挤出复合[S].  
GB 10004-2008 Plastic laminated films and pouches for packaging Dry lamination and extrusion lamination [S].
- [20] 杨金爽. 食品包装用塑料薄膜裁切方向对拉伸性能试验结果的影响[J]. 中国包装, 2015, 6: 64-67.  
Yang JS. Test results of effect of cutting direction on tensile properties of food packaging plastic film [J]. China Packag, 2015, 6: 64-67.
- [21] 韦苇. 塑料薄膜拉伸弹性模量的测定[J]. 企业科技与发展, 2009, 20: 50-51.  
Wei W. The determination of plastic membrane tensile modulus[J]. Enterprise Sci Technol Dev, 2009, 20: 50-51.
- [22] 仁清杰. 干法复合薄膜剥离强度影响因素分析[J]. 塑料包装, 2010, 20(6): 37-40.  
Ren QJ. Influencing factors analysis of dry complex film peel strength [J]. Plast Packag, 2010, 20(6): 37-40.
- [23] 王子平, 陈红艳. PET\_VMCP 复合膜剥离强度影响因素的探讨[J]. 塑料包装, 2000, 10(2): 40-44.  
Wang ZP, Chen HY. Influencing factors analysis of PET/VMCP complex film peel strength [J]. Plast Packag, 2000, 10(2): 40-44.
- [24] 张红静, 张国庆, 王翠青. 塑料包装热合强度的失效模式分析[J]. 包装学报, 2015, 7(3): 27-31.  
Zhang HJ, Zhang GQ, Wang CQ. Failure mode analysis of plastics film packaging bag sealing strength test [J]. Packag J, 2015, 7(3): 27-31.
- [25] 谢新艺, 刘利频. 塑料薄膜抗冲击性能测试标准 GB/T 9639.1-2008 分析与改进[J]. 塑料包装, 2012, 22(4): 22-24.  
Xie XY, Liu LP. Analysis and improving of GB/T 9639.1-2008: Test standard for impact resistance of plastic film [J]. Plast Packag, 2012, 22(4): 22-24.
- [26] 孙重晓, 王克俭, 季军晖, 等. 过氧化物交联改性聚丁二酸丁二醇酯薄膜的抗撕裂性能[J]. 高分子材料科学与工程, 2011, 27(10): 78-80.  
Sun CX, Wang KJ, Ji JH, *et al.* Improving tear resistance of poly (butylene succinate) film by peroxide-crosslinking [J]. Polym Mater Sci Eng, 2011, 27(10): 78-80.
- [27] 蔡传伦, 张晓红, 赖金梅, 等. 抗穿刺线型低密度聚乙烯薄膜的制备[J]. 石油化工, 2014, 43(5): 566-570.  
Cai CL, Zhang XH, Lai JM, *et al.* Preparation and characterization of puncture-resistant linear low density polyethylene film [J]. Petrochem Technol, 2014, 43(5): 566-570.
- [28] ASTM D4833-07 Standard test method for index puncture resistance of geomembranes and related products [S].

(责任编辑: 刘丹)

## 作者简介



郭霞, 博士, 助理研究员, 主要研究方向为高分子材料力学性能, 复合材料力学性能及金属材料力学性能。  
E-mail: guoxialihua@163.com



刘伟丽, 副研究员, 主要研究方向为高分子材料的结构与性能检测以及相关新方法的研究和应用。  
E-mail: 106741122@qq.com