

Mask 在包装材料气体阻隔性能检测中的应用研究

郝文静*, 周伟芳, 陈曦, 石林, 王元明, 李忠明

(济南兰光机电技术有限公司, 济南 250031)

摘要: **目的** 研究和评价 mask 在材料气体阻隔性检测中的应用及其检测数据的重复性、准确性和数据稳定性。**方法** 选用覆盖高阻隔、中阻隔、低阻隔等阻隔性能范围的 5 种样品, 使用 3 种不同面积的 mask 和仪器测试腔原有面积对样品进行测试, 并对测试结果重复性、稳定性和准确性进行分析评价。**结果** 高阻隔材料 PET 硬片使用面积 12.56 cm² 的 mask 测试时, 可以得到较为稳定的检测结果, 而在使用更小面积 (1.77、5 cm²) 的 mask 时, 测试结果的相对标准偏差、相对极差和测试数据偏差都较差, 不推荐使用。KOP/PP 在使用 1.77 cm² 的 mask 测试时, 测试结果相对标准偏差和测试数据偏差都略大于 10%。PET/PP 在使用 1.77 cm² 的 mask 测试时, 其测试数据偏差略大于 10%。BOPE/LDPE 和 TPU 使用 1.77 cm² 的 mask 测试可以得到良好的检测结果。**结论** Mask 是解决试样材料特性、设备量程限制、试样尺寸等测试困难的优秀解决方案。对于中、低阻隔材料的透气性测试, 使用 mask 可获得具有良好可信度和稳定性的测试数据。而在进行氧气透过率的测试时应尽量选择大的测试面积。小面积 mask 不适用于高阻隔材料的气体阻隔性测试。

关键词: mask; 包装材料; 阻隔性; 气体渗透性; 氧气透过率; 等压法

中图分类号: TB484 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-3563(2024)11-0234-06

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2024.11.028

Application of Mask in the Gas Permeability Test of Packaging Materials

HAO Wenjing*, ZHOU Weifang, CHEN Xi, SHI Lin, WANG Yuanming, LI Zhongming

(Labthink Instruments Co., Ltd., Jinan 250031, China)

ABSTRACT: The work aims to study the application of mask in the gas permeability test of materials, and evaluate the repeatability, accuracy and data stability of the test data. Five kinds of samples covering the barrier performance range of high barrier, medium barrier and low barrier were selected and tested by three masks with different areas and the original area of the instrument testing cavity and the repeatability, stability and accuracy of the test results were analyzed and evaluated. When the mask of 12.56 cm² was used for the high barrier material PET sheet, relatively stable test results could be obtained, while when the masks of 1.77 cm² and 5 cm² were used, the relative standard deviation, relative range and test data deviation of the test results were poor. It was not recommended to use 1.77 cm² and 5 cm² masks for OTR test of the PET sheet. When KOP/PP was tested with the mask of 1.77 cm², both the relative standard deviation and the deviation of test data were slightly greater than 10%. When PET/PP was tested with the mask of 1.77 cm², the test data deviation was slightly greater than 10%. Good results could be obtained when BOPE/LDPE and TPU were tested with the mask of 1.77 cm². Therefore, it can be concluded that mask is an excellent solution to solve the test difficulties of sample material characteristics, equipment range limitations, sample size, etc. For the permeability test of medium and low barrier materials, the test data with good reliability and stability can be obtained through application of mask. When the oxygen transmission rate is tested, a large test area should be selected as far as possible. Small area mask is not suitable for

gas barrier test of high barrier materials.

KEY WORDS: mask; packaging materials; barrier performance; gas permeability; oxygen transmission rate; equal pressure method

材料的气体渗透性能指材料允许小分子气体、水蒸气、芳香分子等气体分子渗透通过的性能。根据材料的气体渗透性不同,一般可分为高阻隔材料、中阻隔材料和低阻隔材料。中、高阻隔性材料的应用目的—一般是阻隔材料两侧气体的交换与流通。例如食品、药品及日化产品、电子产品对氧气和水蒸气比较敏感,其所用包装材料起到阻隔外界气体向包装内的渗入、延长产品质量、提升产品安全的作用。而气调包装、飞艇囊体等则是防止产品内气体的外泄,确保气体保护作用的有效发挥。低阻隔材料(也称为透气性材料)的应用目的则是确保材料具有一定的透气性,例如医用防护服、医用敷料等医用产品、纸尿裤底膜及其他应用于建筑行业、电子行业、服装行业的防水透气膜等。因此,阻隔性材料应用范围极其广泛,且其气体渗透性覆盖高、中、低各范围,检测数据跨度极大^[1-3]。也正因此,如何对各类材料的阻隔性能进行准确测试是阻隔性能检测领域一直在研讨的重要话题。Mask 是在已有仪器条件下应对特殊试样、扩展仪器检测能力的有效工具,但行业内对其应用却并无太多数据资料考证。本文通过 3 种不同面积的 mask 分别测试高、中、低阻隔性能的样品来研究 mask 在材料气体阻隔性检测中的应用。

1 Mask 应用情况

1.1 Mask 的应用依据

Mask 是包装材料阻隔性能检测的有效辅助工具,在 ISO、ASTM 和国家标准中均有对 mask 使用的规定^[4-10],见表 1。例如,ISO 15105.2—2003 的 7.3.5 条规定可以通过在 2 个腔室之间放置一个 mask 来减小试样的有效渗透面积。ASTM D3985-17 的 14.11 条和 ASTM F2622-20 的 13.8 条规定在进行低阻隔材料

测试时可以使用合适的黏合剂(如黏合剂或环氧树脂),在试件的两侧用薄金属或铝箔遮住试样的测试部分来降低载气中的氧气浓度。我国 GB/T 1038.2—2022 和 GB/T 19789—2021 中也同样明确说明可通过在两腔之间放置高阻隔片材(mask)来缩小试样的有效透过面积。因此,mask 的应用是得到国际和行业认可的,是有据可依的。

1.2 Mask 应用现状与难题

Mask 一般由性能稳定、无针孔的高阻隔金属薄片或铝塑复合材料制成,其中心制有不同直径的圆孔,圆孔的面积即是该 mask 的有效测试面积。常见的 mask 面积有 12.56、5、1.77 cm² 等,可根据测试需求选择使用或自行制备其他面积。Mask 一般用于扩展现有设备的测试量程、测试小面积试样或者测试特殊试样,在科研单位、专业检测实验室、企业新材料研发中使用较多,常见使用场景有:

- 1) 样品阻隔性低时,扩大设备量程。在测试条件一定的情况下,测试面积越大,单位时间透过测试区域的气体量越大。当样品的阻隔性太低导致透过测试区域的气体量超过了设备的最大测试量程时,可采用 mask 将测试面积缩小,减少单位时间进入传感器的气体量,进而间接地扩大设备的测试量程,实现样品的测试。理论上来说,量程增加的大小与面积缩小的大小成正比。如 mask 的面积是设备原测试面积的十分之一,则相当于该 mask 将设备的量程扩大了 10 倍。这个扩展量是很可观的,大大提升了设备的检测范围。
- 2) 样品尺寸小时,缩小测试面积。当试样面积很小,无法满足设备对样品尺寸的要求时,可使用 mask“延伸”样品尺寸。在进行终端产品测试、成品检测、质量监管抽检时因产品尺寸固定,只能因材施教,常需使用 mask 来将试样面积“变大”,实现样品的测试。

表 1 Mask 应用依据
Tab.1 Standard for Mask application

标准	条目	mask 相关的内容描述
ISO 15105.2—2003	7.3.5	可以通过放置在 2 个腔室之间的 mask 来缩小试样的有效渗透面积
ASTM D3985-17	14.11	当测试低阻隔材料时,另一种降低载气中氧浓度的方法是使用合适的黏合剂(如接触式胶黏剂或环氧树脂)在试样两侧粘贴薄金属或铝箔 mask 来缩小测试面积
ASTM F2622-20	13.8	当测试低阻隔材料时,另一种降低载气中氧浓度的方法是使用合适的黏合剂(如接触式胶黏剂或环氧树脂)在试样两侧粘贴薄金属或铝箔 mask 来缩小测试面积
GB/T 1038.2—2022	7.3.5	可通过在两腔之间放置高阻隔片材(mask)来缩小试样的有效透过面积
GB/T 19789—2021	7.1.2.3	可通过在两腔之间放置 mask(可缩小测试面积的阻隔片)或采用小面积测试腔等方式减小有效透过面积

3) 样品易碎、样品表面不平整时, 确保测试可行性。当样品易碎时, 例如漆膜、淀粉膜等, 样品脆, 无法承受测试腔的夹持压力, 或者当样品表面粗糙、不平整时, 测试腔自身的密封圈等密封系统无法将样品有效密封。这2种情况下均可使用 mask 装夹样品, 将 mask 作为测试腔和样品的连接桥梁, 使得测试变得可行。这种情况一般需要使用胶水来加固 mask 和样品之间的密封性。

4) Mask 具有一定的使用局限性, 例如 mask 不适用于高阻隔材料, 不适用于与 mask 或者胶水黏结性差的样品测试。在使用时需要特别注意 mask 与试样间黏合密封性。

综上, mask 在实际测试中适用范围颇多, 但由于关于 mask 测试数据的资料较少, 实验人员对结果的准确性往往难以把握, 需要依靠仪器设备厂家的专业指导。甚至有些实验室在遇到超过现有仪器测试量程、样品尺寸小于设备要求、样品无法密封等问题时, 并不知晓可以通过 mask 来有效解决这些问题。本文将通过实验实际验证 mask 的使用效果, 为各行业实验室提供 mask 使用数据支撑。

2 实验

2.1 试样及设备

选用 PET 硬片、KOP/PP、PET/PP、BOPP/LDPE、TPU 5 种试样, 覆盖高阻隔、中阻隔和低阻隔材料。测试设备采用济南兰光机电技术有限公司 OX2/230 氧气透过率测试系统, 测试范围为 $0.01 \sim 6\,500 \text{ cm}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$, 分辨率为 $0.001 \text{ cm}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$, 测试面积为 50 cm^2 。在进行 mask 实验前所有样品均在 OX2/230 上进行均匀性检验, 样品均匀性良好。

测试气体选用氧气, 载气为氮气。

2.2 Mask 试样制备

在软铝箔胶带中心分别制作 12.56 、 5 、 1.77 cm^2 的圆孔, 作为实验用 mask, 见图 1。分别将 5 种试样安装在 mask 中间并完整覆盖圆孔。圆孔的面积便为 mask 中试样的实际测试面积。

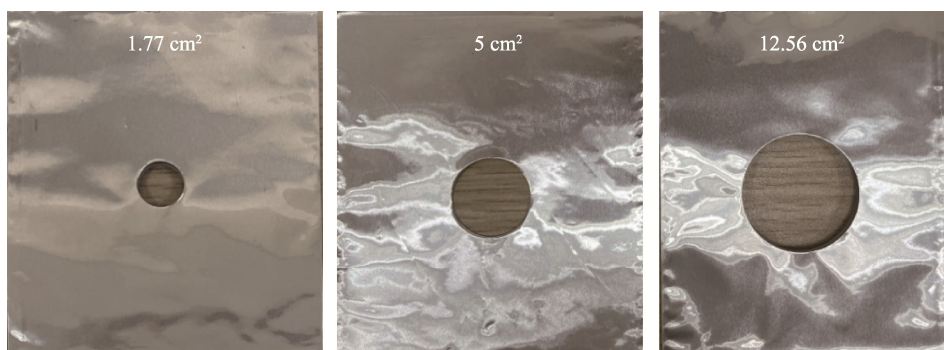


图 1 实验用 Mask
Fig.1 Masks for the test

2.3 方法

依据 GB/T 1038.2—2022《塑料制品 薄膜和薄片 气体透过性实验方法 第 2 部分: 等压法》, 采用等压法原理测试, 测试时将预先处理好的试样夹紧于测试腔之间, 氧气在试样的一侧流动, 高纯氮气在薄膜的另一侧流动。氧气分子穿过薄膜扩散到另一侧中的高纯氮气中, 被流动的氮气携带至传感器进行化学反应并产生电压。按照法拉第定律, 该电压与单位时间内通过传感器的氧气量成正比。通过对传感器测量到的氧气浓度进行分析即可计算出氧气透过率 (OTR) 等参数, 公式如下:

$$R_{OT} = \frac{k(U - U_0)}{A} \times \frac{p_a}{p_0} \quad (1)$$

式中: R_{OT} 为氧气透过率, $\text{cm}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d} \cdot 0.1 \text{ MPa})$; k 为仪器的标定常数; U 为试样的电压, V; U_0 为零点电压, V; A 为有效透过面积, m^2 ; p_a 为环境大气压, Pa; p_0 为实验气体中的氧气分压, Pa。

用国家二级标准物质 GBW (E) 130564 校准 OX2/230 的 3 个测试腔, 然后采用 3 种面积的 mask 和设备自有面积 50 cm^2 分别测试 5 种试样的氧气透过率 (OTR)。测试条件为温度 $23 \text{ }^\circ\text{C}$ 、相对湿度为 0%, 每次进行 3 个平行样的测试, 取 3 个平行样的算术平均值作为测试平均值, 并根据式 (2) 和式 (3) 计算测试结果极差与相对极差。

$$R = X_{\max} - X_{\min} \quad (2)$$

$$r = \frac{R}{\bar{x}} \times 100\% \quad (3)$$

式中: R 为测试结果极差; $X_{\max}$ 为测试结果最大值; $X_{\min}$ 为测试结果最小值; $\bar{x}$ 为测试结果的平均值; r 为测试结果相对极差, %。

3 结果与分析

3.1 实验结果

用国家二级标准物质 GBW (E) 130564 校准设备^[11]。测试时将仪器软件中测试面积修改为实际测试面积。将 mask 测试数据与设备正常测试面积的测试数据进行比较, 测试结果如表 2 所示。

表 2 试样检测结果
Tab.2 Test results of samples

试样	厚度/ μm	测试 面积/ cm^2	测试平均值/ [$\text{cm}^3\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}\cdot(0.1\text{ MPa})^{-1}$]	相对标准 偏差/%	测试结果极差/ [$\text{cm}^3\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}\cdot(0.1\text{ MPa})^{-1}$]	相对极差/%
PET 硬片	365	50	2.586	5.9	0.303	11.7
		12.56	2.848	7.3	0.409	14.4
		5	4.257	54.0	4.391	103.1
		1.77	6.577	53.5	6.679	101.6
KOP/ CPP	60	50	16.008	3.7	1.171	7.3
		12.56	17.088	8.1	2.755	16.1
		5	17.545	7.5	2.570	14.6
		1.77	17.759	12.4	3.989	22.5
PET/ CPP	60	50	60.324	1.8	2.185	3.6
		12.56	62.216	2.8	3.442	5.5
		5	64.094	1.3	1.639	2.6
		1.77	68.877	7.7	10.181	14.8
BOPP/ LDPE	90	50	448.247	1.1	8.637	1.9
		12.56	462.256	3.9	33.066	7.2
		5	479.739	2.7	25.445	5.3
		1.77	483.699	5.4	46.897	9.7
TPU	45	50	999.328	1.4	28.723	2.9
		12.56	1 009.547	2.0	40.732	4.0
		5	1 035.256	3.0	59.389	5.7
		1.77	1 097.597	2.4	52.288	4.8

3.2 讨论与分析

3.2.1 Mask 测试准确性

氧气透过率是在试样两侧单位分压差下单位时间内渗透过试样单位面积的氧气量。使用 mask 时, 将测试软件中的面积设置为样品实际面积, 试样的氧气透过率测试结果应与使用 50 cm² 测试面积时的结果一致。因此, 以 50 cm² 时的测试结果为基准, 采用式(4)计算使用 mask 时的测试结果与使用仪器自带的 50 cm² 测试面积时的测试结果之间的数据偏差, 以此来评价测试结果的准确性, 结果见表 3。

$$D = \frac{X - X_0}{X_0} \times 100\%$$

(4)

式中: D 为数据偏差; X 为使用 mask 时的测试结果; X₀ 为使用仪器自带的 50 cm² 测试面积时的测试结果。

一般情况下, 试样氧气透过率测试结果偏差可接受范围为±10%^[12-16]。从表 3 可以看出, 高阻隔 PET 硬片在采用 1.77 cm² 和 5 cm² 的 mask 测试时, 测试数据偏差大, 无法准确反映材料的氧气透过率, 仅具

有参考价值; 采用 12.56 cm² 的 mask 测试 PET 硬片、采用 1.77 cm² 的 mask 测试 KOP/ CPP 和 PET/ CPP 时, 测试结果偏差分别为 10.1%、10.9%和 14.2%, 稍大于 10%, 测试结果相对准确, 可作为材料氧气透过率的粗略测算。而中、低阻隔材料使用其他面积 mask 时, 测试结果数据偏差都小于 10%, 测试结果良好, 能获得具有使用价值的测试数据。

表 3 Mask 测试数据偏差
Tab.3 Deviation of Mask test data

试样	Mask 测试数据偏差/%		
	12.56 cm ²	5 cm ²	1.77 cm ²
PET 硬片	10.1	64.6	154.3
KOP/ CPP	6.7	9.6	10.9
PET/ CPP	3.1	6.2	14.2
BOPP/ LDPE	3.1	7.0	7.9
TPU	1.0	3.6	9.8

所用 3 种面积 mask 的测试数据偏差均为正值, 说明使用 mask 时的测试数据均比 50 cm² 测试面积时

的基准数值偏大,且随着测试面积的减小,数据偏差增大。分析其原因,一是 mask 与样品采用压敏胶黏结,在接触边缘可能存在肉眼无法察觉的密封不良,导致 mask 实际测试面积大于中心孔面积。另一个原因是 mask 中心孔面积越小,面积误差影响越明显,使得测试数据随 mask 中心孔面积减小而增大。

3.2.2 Mask 测试稳定性

仪器 3 个腔均采用国家二级标准物质标定,再进行样品的测试。考虑低阻隔材料 BOPP/LDPE、TPU 的 OTR 值较大,并明显高于中、高阻隔材料 PET/CPP、KOP/CPP 和 PET 硬片,因此采用 3 个检测结果的相对极差和相对标准偏差来评价测试结果的重复性和稳定性,并以直方图表示,见图 2 和图 3。由于 PET 硬片属于高阻隔材料,其结果不适宜用相对极差进行评价。因此, PET 硬片测试结果的相对极差仅做数据比对参考,图 2 中相对极差平均值未包括 PET 硬片的测试结果。

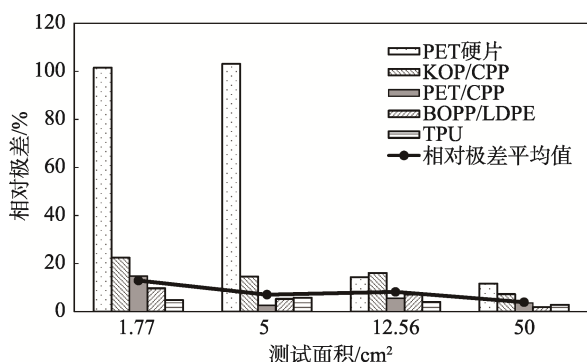


图2 不同测试面积的测试结果相对极差
Fig.2 Relative range of test results for different test areas

从表 2 和图 2 可以看出,测试面积越大,测试结果的相对标准偏差和相对极差越小,测试稳定性越好。在使用仪器本身的 50 cm^2 的测试面积和 12.56 cm^2 的 mask 时,5 种样品的测试结果相对标准偏差均小于 10%,测试结果重复性和稳定性良好,且 50 cm^2 测试面积的测试结果重复性和稳定性最为优异。因此,在条件允许的情况下,材料阻隔性能测试应尽可能使用大的测试面积,以获得更优异的测试结果稳定性。

从表 2 和图 3 来看,样品阻隔性越低,即 OTR 值越大,检测结果相对标准偏差越小,也就是说,样品阻隔性越低,测试结果的稳定性越好。本次实验中, PET 硬片采用 5 cm^2 mask、 1.77 cm^2 mask 测试时,由于其阻隔性高,且测试面积的减小放大了数据的波动,测试结果相对标准偏差达到了 50%以上。KOP/CPP 采用 1.77 cm^2 mask 的测试结果相对标准偏差大于 10%。以上这 3 组测试结果重复性差、离散性大。除这 3 组之外,其他测试结果的相对标准偏差均在 $\pm 10\%$ 之内,测试结果重复性较好。因此,在使用

mask 时,需要考虑待测试样的阻隔能力,阻隔性能越低的试样,mask 适用性越好。

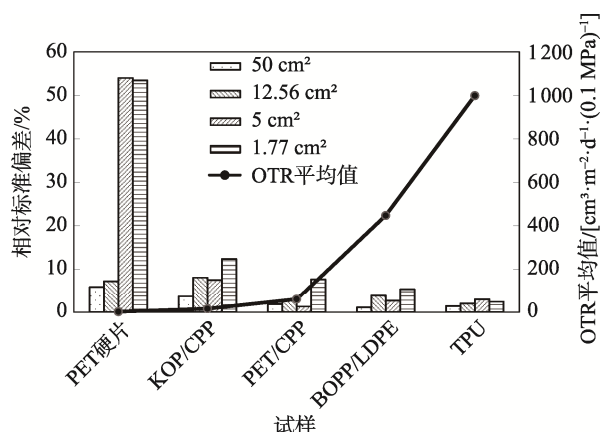


图3 各试样的测试结果相对标准偏差
Fig.3 Relative standard deviation of test results for the samples

4 结语

本研究采用 3 种不同的 mask 测试了覆盖高、中、低阻隔性能范围的 5 种不同材料,通过对测试数据的准确性与稳定性进行评价,验证 mask 在测试不同阻隔性能材料时的表现。本次实验中,高阻隔材料 PET 硬片使用 12.56 cm^2 的 mask 时,可以得到较为稳定的检测结果。而在使用更小面积的 1.77 、 5 cm^2 的 mask 时, PET 硬片测试结果的相对标准偏差、相对极差和测试结果偏差都较差,不推荐使用。KOP/CPP 在使用 1.77 cm^2 的 mask 测试时,测试结果相对标准偏差和测试数据偏差都略大于 10%,检测结果仅可作为对其氧气透过率的粗略估算。PET/CPP 在使用 1.77 cm^2 的 mask 测试时,其测试数据偏差略大于 10%,测试结果可作为对其氧气透过率的粗略估算。因此,高阻隔材料 PET 硬片不建议使用面积小于 5 cm^2 的 mask 进行测试, KOP/CPP、PET/CPP 可使用不小于 5 cm^2 的 mask 进行测试,而 BOPP/LDPE 和 TPU 使用 1.77 cm^2 的 mask 测试也可以得到良好的检测结果,在必要时,3 种面积的 mask 均可用于测试。

综上,mask 是气体阻隔性测试的重要辅助工具。随着包装技术的发展及新材料的不断涌现,生产企业、包装企业、监管机构材料阻隔性能的检测需求与要求日益更新。在实际应用中,因材料特性、应用目的不同,材料种类繁多且其阻隔性能范围跨度极大。实验室检测设备经常会遇到超过现有设备测试能力的测试需求。而 mask 是解决试样材料特性、设备量程限制、试样尺寸等测试困难的优秀解决方案,是扩展测试设备量程、检测适用范围的最简便方式,可为实验室提供了解决思路与切实可行的便捷操作方法。但是 mask (尤其是小面积 mask) 不适用于高阻隔材

料的测试。在使用 mask 时要注意待测材料的阻隔能力。阻隔性能越低材料, mask 的适用性越好, 并且 mask 测试面积越大, 测试结果重复性越好。因此, 在 mask 应用中, 应注意适用于试样的 mask 最小面积, 并尽量优先使用较大的测试面积进行样品测试。

参考文献:

- [1] 范强, 鲁远航. 浅谈高阻隔膜的应用与发展趋势[J]. 军民两用技术与产品, 2023(6): 36-39.
FAN Q, LU Y H. Application and Development Trend of High Barrier Film[J]. Dual Use Technologies & Products, 2023(6): 36-39.
- [2] 郝文静, 周伟芳. 塑料薄膜阻隔性能检测能力现状[J]. 中国包装, 2014, 34(9): 23-26.
HAO W J, ZHOU W F. Present Situation of Testing Ability of Plastic Film Barrier Performance[J]. China Packaging, 2014, 34(9): 23-26.
- [3] 刘丹. 高阻隔包装材料的研究进展[J]. 包装学报, 2014, 6(4): 24-30.
LIU D. Research Progress of High-Barrier Packaging Materials[J]. Packaging Journal, 2014, 6(4): 24-30.
- [4] Plastics - Film and Sheet - Determination of Gas-Transmission Rate - Part 1: Differential-Pressure Method: ISO 15105-1[S]. ISO, 2007.
- [5] Plastics Film and sheeting Determination of Gas-Transmission Rate Part 2: Equal-Pressure Method: ISO 15105-2[S]. ISO, 2003.
- [6] Standard Test Method for Oxygen Gas Transmission Rate Through Plastic Film and Sheet Using a Coulometric Sensor: ASTM D3985-17[S]. ASTM International, 2017.
- [7] Standard Test Method for Oxygen Gas Transmission Rate Through Plastic Film and Sheet Using Various Sensors: ASTM F2622-20[S]. ASTM International, 2020.
- [8] 国家市场监督管理总局, 国家标准化管理委员会. 塑料制品 薄膜和薄片 气体透过性试验方法 第1部分: 差压法: GB/T 1038.1—2022[S]. 北京: 中国标准出版社, 2023.
State Administration for Market Regulation, Standardization Administration of the People's Republic of China. Plastics—Film and Sheet—Determination of Gas-Transmission Rate: Part 1: Differential-Pressure Methods: GB/T 1038.1-2022[S]. Beijing: Standards Press of China, 2023.
- [9] 国家市场监督管理总局, 国家标准化管理委员会. 塑料制品 薄膜和薄片 气体透过性试验方法 第2部分: 等压法: GB/T 1038.2—2022[S]. 北京: 中国标准出版社, 2023.
State Administration for Market Regulation, Standardization Administration of the People's Republic of China. Plastics—Film and Sheet—Determination of Gas-Transmission Rate: Part 2: Equal-Pressure Methods: GB/T 1038.2-2022[S]. Beijing: Standards Press of China, 2023.
- [10] 国家市场监督管理总局, 国家标准化管理委员会. 包装材料 塑料薄膜和薄片氧气透过性试验 库仑计检测法: GB/T 19789—2021[S]. 北京: 中国标准出版社, 2021.
State Administration for Market Regulation, Standardization Administration of the People's Republic of China. Packaging Material—Test Method for Oxygen Gas Permeability Characteristics of Plastic Film and Sheet—Coulometric Sensor: GB/T 19789-2021[S]. Beijing: Standards Press of China, 2021.
- [11] 宁月辉, 郭丽娜, 邢宇, 等. 包装材料氧气透过性方法简述[J]. 黑龙江科学, 2018, 9(22): 42-43.
NING Y H, GUO L N, XING Y, et al. Brief Introduction of Oxygen Permeability of Packaging Materials[J]. Heilongjiang Science, 2018, 9(22): 42-43.
- [12] 于佳佳, 陈欣, 贺祥珂, 等. 基于压差与等压法研究包装材料耐揉搓性及阻氧性[J]. 包装工程, 2019, 40(7): 76-80.
YU J J, CHEN X, HE X K, et al. Flex Resistance and Oxygen Permeability of Packaging Materials with Differential-Pressure Method and Equal-Pressure Method[J]. Packaging Engineering, 2019, 40(7): 76-80.
- [13] SHAGUFTA I, SHAHINA N, JAWAAD A, et al. Barrier Properties Analysis of Polyethylene Terephthalate Films (PET) Coated with Natural Polyphenolic and Gelatin Mixture (PGM)[J]. Defect and Diffusion Forum, 2018, 4560: 38-53.
- [14] 陈欣, 于佳佳, 管善国, 等. 增重法与减重法在不同包装材料中的应用[J]. 包装工程, 2018, 39(1): 97-100.
CHEN X, YU J J, GUAN S G, et al. Application of Desiccant Method and Water Method in Different Packaging Materials[J]. Packaging Engineering, 2018, 39(1): 97-100.
- [15] 张晓雨, 魏星, 赵靓, 等. 高阻隔 HDPE 包装对 NFC 橙汁品质和货架期的影响[J]. 包装工程, 2021, 42(15): 72-84.
ZHANG X Y, WEI X, ZHAO J, et al. Effect of High Barrier HDPE Packaging on the Quality and Shelf Life of NFC Orange Juice[J]. Packaging Engineering, 2021, 42(15): 72-84.
- [16] 曹蕾, 余丽红, 邓子玄. 基于氧气透过率测试仪及相关数据比对分析的研究[J]. 现代信息科技, 2020, 4(18): 47-50.
CAO L, YU L H, DENG Z X. Research on the Comparison and Analysis of Oxygen Transmission Rate Tester and Related Data[J]. Modern Information Technology, 2020, 4(18): 47-50.