

红外传感器法设备改进对透湿性测试的影响

于佳佳¹, 陈欣¹, 李旭², 管善国³, 陈曦¹

(1. 济南兰光机电技术有限公司, 济南 250031; 2. 荆门市产品质量监督检验所, 荆门 448000;

3. 济南市计量检定测试院, 济南 250002)

摘要: **目的** 探究改进后的红外传感器法设备对包装材料透湿性测试的影响及应用性能的提升效果。**方法** 改进设备控温技术及夹样装置, 保证试验过程温度稳定, 可同时测试薄膜/片材、容器类试样, 以基础方法——杯式法设备测试为参考, 并分别采用改进前后的红外传感器法设备依次测试 1.2 mm 皮革、25 μm PET 薄膜、230 μm 太阳能背板片材、20 μm PP 薄膜、100 μm PET/AI/PA/PP 与 12 μm VMPET 薄膜这 6 种不同级别透湿性材料, 分别在温度为 23 $^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度为 90% 与温度为 38 $^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度为 90% 这 2 种试验条件下的水蒸气透过率。**结果** 改进后红外传感器法与杯式法设备在试验时引入的相对不确定度基本相同, 与改进前设备相比, 改进后红外传感器法设备的不确定度、与杯式法测试值间的相对偏差, 以及各组数据间相对偏差与相对标准偏差均得到了降低。**结论** 改进后红外传感器法设备测试不同性能包装材料水蒸气透过率的可靠性、准确性、重复性、稳定性均有提高。

关键词: 水蒸气透过率; 透湿性; 红外传感器法; 杯式法; 包装材料

中图分类号: TB487 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2017)21-0088-06

Influence of Infrared Sensor Method WVTR Tester Improvement on Moisture Permeability Test

YU Jia-jia¹, CHEN Xin¹, LI Xu², GUAN Shan-guo³, CHEN Xi¹

(1. Labthink Instruments Co., Ltd., Jinan 250031, China; 2. Jingmen Products Quality Supervision and Inspection Institute, Jingmen 448000, China; 3. Jinan Institute of Measurement and Verification, Jinan 250002, China)

ABSTRACT: The work aims to study the influence of the infrared sensor method WVTR tester improvement on the moisture permeability of packaging materials and the enhancing effect of the application performance. The temperature control technology and sample clamping device of the WVTR tester were improved so that the test temperature remained stable in testing process and the tester could test film/sheeting and container samples. By referring to the basic method (cup method) WVTR tester, the water vapor transmission rate of six different levels of permeable materials including 1.2 mm leather, 25 μm PET film, 230 μm solar back sheet, 20 μm PP film, 100 μm PET/AI/PA/PP film and 12 μm VMPET film were tested with the infrared sensor method WVTR testers before and after the improvement at 23 $^{\circ}\text{C}$, 90% and 38 $^{\circ}\text{C}$, 90%. The results showed that the relative uncertainty caused by the improved infrared sensor method tester and cup method tester was basically the same. Compared with the unimproved tester, the uncertainty of the improved infrared sensor method tester, the relative deviation of test results from the cup method, the relative deviation of each group of test data and the relative standard deviation were reduced. The reliability, accuracy, repeatability and stability of the improved infrared sensor method WVTR tester have been improved regarding the testing of water vapor transmission rate of packaging materials with different properties.

KEY WORDS: water vapor transmission rate; moisture permeability; infrared sensor method; cup method; packaging material

包装材料的透湿性用水蒸气透过率表示, 该性能的高低与材料的结构、厚度、结晶度、定向程度、表

收稿日期: 2017-05-05

作者简介: 于佳佳 (1988—), 女, 助理研究员, 主要研究方向为包装材料与内容物相容性。

面处理等因素有关^[1-3]。不同产品对材料透湿性的要求不尽相同^[4]，如纸尿裤的水蒸气透过率应较高，以保持皮肤干爽，但有机发光二极管对水蒸气极其敏感，要求封装材料的水蒸气透过率仅为 $10^{-6} \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ ^[5-6]，因此透湿性是材料研发及使用的重要参考指标。

目前，包装材料水蒸气透过率的测试方法主要分为杯式法、电解传感器法、湿度传感器法与红外传感器法。与其他 3 种方法相比，红外传感器法可测试的包装材料类型多，适用范围广，采用非消耗型传感器，使用寿命长，抗干扰性强，稳定性好，具有明显的优越性。这里拟改进以往红外传感器法设备，以基础方法——杯式法测试为参考，对比研究改进前后设备对材料透湿性测试的影响及应用性能的提升效果。

1 设备改进

红外传感器法水蒸气透过率检测设备主要包括渗透池和传感器^[7]，以水分子定量吸收特定红外光为原理^[8]，通过测试红外光的衰减程度计算材料的水蒸气透过率。原有的检测设备大多采用水浴控温装置对渗透池进行控温，控温精度低、耗时长、稳定性差、能耗高，且仅可单独测试薄膜/片材或容器类材料，试样形式比较单一。文中研究拟针对性地改进设备的控温装置及夹样装置。

1.1 控温装置

不同温度下材料的水蒸气透过率不同，试验温度控制的精度及稳定性是影响材料透湿性测试准确性、重复性的重要因素。传统水浴控温设备（见图 1）利用泵将恒温液体从配备的外置恒温槽供应到渗透池，液体在流动过程中难免会损失一定热量，影响控温精度及准确性，且仅限于高于室温时进行控温。这里在红外传感器法设备内部配置了包含加热元件、制冷元件、温控元件、感温元件等部件的控温装置，用于协



图 1 传统水浴控温设备

Fig.1 Traditional water-bath temperature control equipment

调控制渗透池的温度，温控元件根据温度设定值与测试值之间的差异，控制加热元件、制冷元件进行加热或制冷。通过比例-积分-微分技术调控整个控温过程，使测试腔内温度快速、稳定地达到设定温度，控温范围可低于室温。

1.2 夹样装置

容器类包装材料形状各异，质地较硬，片状试样难以获得，如采用与薄膜/薄片类材料相同的平面装夹结构，与平面结构贴合处易产生气泡或气孔，高湿侧水蒸气易从试样周边泄漏而非通过试样渗透到低湿侧，试验结果偏大。文中研究采用独立的，含有托架、进气口、出气口的支架结构作为容器夹样装置，通过对设备进、出气孔与托架下方进、出气口的独特设计，使之分别密封衔接，保证了容器与测试腔间的密封性。与原夹样装置相比，测试薄膜或薄片时，试样固定在平面装夹结构上，见图 2a，测试容器时，托架上方的进、出气口插入容器内部，下方的进、出气口分别与进、出气孔相连，进气口通入的干燥氮气可将渗透到容器内的水蒸气从出气口处带至传感器，见图 2b，从而实现同一台设备测试薄膜/薄片、容器类包装材料。

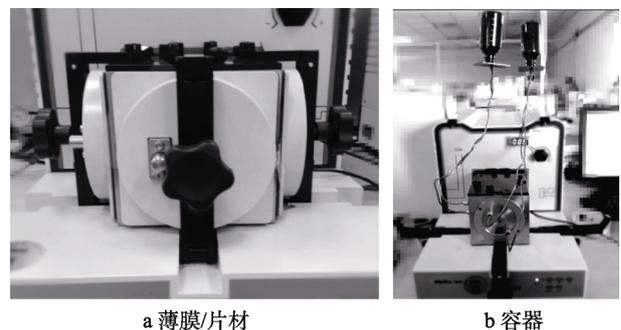


图 2 改进后的夹样装置

Fig.2 Improved sample clamping device

2 试验

2.1 方法

用校准温度计测试 2 种控温装置在设定温度为 23, 38 °C 下的实际控温情况。杯式法为透湿性检测的基础方法，是水蒸气透过率标准膜定值及校准用方法，应用时间最长，技术成熟，重复性与稳定性好，故分别采用杯式法与改进前、后红外传感器法设备测试几种不同材质、透湿性能处于不同范围的薄膜/片材的水蒸气透过率，试验分别依据 GB 1037—1988^[9]和 GB/T 26253—2010^[10]进行测试，因杯式法无法检测容器样品，所以该试验不进行容器测试的对比。试验前，分别用杯式法定值的同一种标准膜对 3 款设备进行校准。通过比较 3 款设备引入的不确定度，改进前、后红外传感器法测试值与杯式法的偏差等，验证

改进后红外传感器法设备应用的可靠与稳定性。

2.1.1 杯式法设备

杯式法设备测量的数学模型为:

$$R_{\text{WVT}} = \frac{24 \times \Delta m}{A_s \cdot t} \quad (1)$$

式中: R_{WVT} 为样品水蒸气透过率; t 为质量变化稳定后的间隔时间; Δm 为时间 t 内的质量变化量; A_s 为样品测试面积。

式(1)中各参数不相关, 根据不确定度传播律公式^[11], 并考虑标准膜引入的不确定度, 杯式法设备的不确定度 μ_1 为:

$$\mu_1 = \sqrt{\left[\frac{\partial R_{\text{WVT}}}{\partial \Delta m} \mu(\Delta m) \right]^2 + \left[\frac{\partial R_{\text{WVT}}}{\partial A_s} \mu(A_s) \right]^2 + \left[\frac{\partial R_{\text{WVT}}}{\partial t} \mu(t) \right]^2 + \mu(S)^2} \quad (2)$$

式中: S 为标准膜水蒸气透过率; $\mu(\Delta m)$, $\mu(A_s)$, $\mu(t)$, $\mu(S)$ 分别为 Δm , A_s , t , S 的不确定度。

相对不确定度 μ_{1r} 为:

$$\mu_{1r} = \frac{\mu_1}{R_{\text{WVT}}} = \sqrt{\left[\frac{\mu(\Delta m)}{\Delta m} \right]^2 + \left[\frac{\mu(A_s)}{A_s} \right]^2 + \left[\frac{\mu(t)}{t} \right]^2 + \left[\frac{\mu(S)}{R_{\text{WVT}}} \right]^2} \quad (3)$$

2.1.2 红外传感器设备

红外传感器法设备测量的数学模型为:

$$R_{\text{WVT}} = \frac{S(E_s - E_0)}{(E_R - E_0)} \times \frac{A_R}{A_s} \quad (4)$$

式中: E_s , E_R , E_0 分别为样品测试稳定时电压、标准膜测试稳定时电压、零点漂移值电压; A_R 为标准膜测试面积。

式(4)中各参数不相关, 样品与标准膜的测试面积相等, 根据不确定度传播公式, 红外法传感器设备的不确定度 μ_2 为:

$$\mu_2 = \sqrt{\left[\frac{\partial R_{\text{WVT}}}{\partial S} \mu(S) \right]^2 + \left[\frac{\partial R_{\text{WVT}}}{\partial E_s} \mu(E_s) \right]^2 + \left[\frac{\partial R_{\text{WVT}}}{\partial E_0} \mu(E_0) \right]^2 + \left[\frac{\partial R_{\text{WVT}}}{\partial E_R} \mu(E_R) \right]^2} \quad (5)$$

式中: $\mu(E_s)$, $\mu(E_0)$, $\mu(E_R)$ 分别为 E_s , E_0 , E_R 的不确定度。

相对不确定度 μ_{2r} 为:

$$\mu_{2r} = \frac{\mu_2}{R_{\text{WVT}}} = \sqrt{\left[\frac{\mu(S)}{S} \right]^2 + \left[\frac{\mu(E_s)}{E_s - E_0} \right]^2 + \left[\frac{(E_s - E_R)\mu(E_0)}{(E_R - E_0)(E_s - E_0)} \right]^2 + \left[\frac{\mu(E_R)}{(E_R - E_0)} \right]^2} \quad (6)$$

2.1.3 各参数不确定度

式(3)和(6)中 Δm , t , E 均为数显设备, 不确定度分别由校准不确定度与分辨率引入, 这3个参数引入的不确定度 $\mu(X)$ 为:

$$\mu(X) = \sqrt{\left(\frac{U}{k} \right)^2 + \left(\frac{x}{2\sqrt{3}} \right)^2} \quad (7)$$

式中: U 为校准不确定度, 分别为 0.10 mg, 1 s, 0.2 V; k 为扩展因子, 均为 2; x 为各参数显示设备的分辨率, 分别为 0.1 mg, 1 s, 0.1 V。

标准膜的不确定度 $\mu(S)$ 为:

$$\mu(S) = \frac{U}{k} \quad (8)$$

试样圆形测试面积 A_s 的不确定度 $\mu(A_s)$ 为:

$$\mu(A_s) = 3.1416 \times \frac{D}{2} \times \frac{U}{k} \quad (9)$$

式中: D 为测试面积的校准直径。

2.2 试样及设备

共选用 6 种验证试样, 分别为高水蒸气透过率材料 1.2 mm 皮革、25 μm PET 薄膜, 中等水蒸气透过率材料 230 μm 太阳能背板、20 μm PP 薄膜, 低水蒸气透过率材料 100 μm PET/Al/PA/PP 薄膜、12 μm VMPET 薄膜。每种试样均制成 18 片 108 mm×108 mm 样品。杯式法和改进前、后红外传感器法验证试验分别采用 W3/031 水蒸气透过率测试仪、i 系列透湿性测试仪、W3/230 水蒸气透过率测试系统。

2.3 条件

因高湿试验时水蒸气透过率易出现偏差, 同时为了验证温度对透过率的影响, 参考 GB 1037—1988 及 GB/T 26253—2010 中对试验条件的要求, 文中试验选定的试验条件为温度为 23 $^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度为 90% 与温度为 38 $^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度为 90%。

3 结果与讨论

3.1 控温精度

所测得的传统、新型控温装置的实际控温值见表 1, 环境相对湿度均为 90%。由表 1 可知, 传统、新型控温装置的控温偏差分别为 ± 0.5 和 ± 0.1 $^{\circ}\text{C}$, 均满足 GB/T 26253—2010 和 GB/T 31355—2014 对测试腔温度控制在 ± 0.5 $^{\circ}\text{C}$ 以内的要求^[12], 但两者相比, 新型控温装置对试验温度的控制更为精准, 温度的波动小, 重复性更好。

3.2 设备可靠性

根据 3 款设备参数, 通过式(7—9)计算 $\mu(\Delta m)$, $\mu(t)$, $\mu(E)$, $\mu(S)$, $\mu(A_s)$, 将上述各参数不确定度及 6 种试样试验中测得的数值代入式(3), (6), 得到杯式法、改进前、改进后红外传感器法设备在相对湿度均为 90%, 温度分别为 23, 38 $^{\circ}\text{C}$ 的试验条件下的相对不确定度, 见表 2。

表 1 不同设定温度下 2 种控温装置的温度测试值
Tab.1 Temperature test values of two temperature control devices at different setting temperatures

类型	23 °C			38 °C		
	测试值/°C	偏差/°C	相对标准偏差 /%	测试值/°C	偏差/°C	相对标准偏差/%
传统控温装置	23.4	0.4	1.0	37.9	-0.1	1.0
	22.9	-0.1		37.5	-0.5	
	23.2	0.2		38.3	0.3	
	23.0	0.0		38.5	0.5	
	23.3	0.3		37.8	-0.2	
	22.8	-0.2		37.6	-0.4	
新型控温装置	23.0	0.0	0.3	38.1	0.1	0.1
	23.0	0.0		38.0	0.0	
	23.1	0.1		38.0	0.0	
	23.0	0.0		38.0	0.0	
	22.9	-0.1		38.1	0.1	
	23.0	0.0		38.0	0.0	

表 2 设备引入的相对不确定度
Tab.2 The relative uncertainty introduced by testers %

试验方法	皮革		PET 薄膜		太阳能背板		PP 薄膜		PET/Al/PA/PP 薄膜		VMPET 薄膜		
	23 °C	38 °C	23 °C	38 °C	23 °C	38 °C	23 °C	38 °C	23 °C	38 °C	23 °C	38 °C	
杯式法	0.87	0.70	0.90	0.75	1.8	1.6	1.7	1.1	4.3	4.1	3.4	3.1	
红外 传感器 法	改进后	0.84	0.75	0.89	0.77	2.1	1.4	1.6	1.1	4.1	3.8	3.0	2.8
	改进前	0.91	0.78	0.91	0.83	2.5	2.1	2.7	1.6	4.9	4.6	3.7	3.4

不确定度是对测试结果不肯定程度的评价^[13]，从上述结果来看，杯式法、改进后红外传感器法设备的相对不确定度均低于改进前红外传感器法设备，而前两者的相对不确定度可保持在同一水平，可信赖程度相当。尤其是在测试高阻隔性的 PET/Al/PA/PP 薄膜、VMPET 薄膜样品时，改进后红外传感器法设备的不确定度最低。这表明相应机械结构的改变可提高红外传感器法检测设备在测试包装材料水蒸气透过率时的可靠性。

3.3 结果稳定性

每种试样 6 组平行试验测试结果的平均值见表

3。从 2 种试验条件下的测试结果来看，皮革、PET 薄膜的水蒸气透过率较高，在 7~30 g/(m²·d)之间，太阳能背板、PP 薄膜的水蒸气透过率居中，在 1~6 g/(m²·d)之间，PET/Al/PA/PP 和 VMPET 薄膜的水蒸气透过率低，小于 1 g/(m²·d)。这 6 种材料透湿性能的差异与其内部结构有关，比如取自汽车座椅的皮革样品内部含有一定的微孔，有利于水蒸气的渗透；PP 为非极性分子材料，与极性水分子的相容性较差，水蒸气透过率偏低；PET/Al/PA/PP 薄膜中因高阻隔性铝箔层的存在，水蒸气透过率极低。

表 3 6 种试样水蒸气透过率测试平均值
Tab.3 The average of water vapour transmission rate for the six samples

试验条件	试样	杯式法/(g·m ⁻² ·d ⁻¹)	改进后红外传感器法/(g·m ⁻² ·d ⁻¹)	改进前红外传感器法/(g·m ⁻² ·d ⁻¹)
温度为 23 °C， 相对湿度 为 90%	皮革	9.862	9.758	9.732
	PET 薄膜	7.806	8.020	8.478
	太阳能背板	1.041	1.044	1.005
	PP 薄膜	1.940	1.986	1.809
	PET/Al/PA/PP 薄膜	0.097	0.101	0.101
	VMPET 薄膜	0.245	0.232	0.221
温度为 38 °C， 相对湿度 为 90%	皮革	29.049	29.804	30.169
	PET 薄膜	16.191	15.548	15.387
	太阳能背板	2.381	2.216	2.557
	PP 薄膜	5.318	5.727	5.873
	PET/Al/PA/PP 薄膜	0.108	0.110	0.113
	VMPET 薄膜	0.447	0.436	0.470

每种试样用红外传感器法设备测得的6组平行值与其平均值间偏差见表4,在2种试验条件下,每种材料测试值的相对偏差在 $\pm 10\%$ 以内,相对标准偏差低于10%,其中改进后设备测试值相对偏差的最大

值及相对标准偏差均明显降低,测试值的分散程度减小,均匀性提高。这说明控温装置的改进使得红外传感器法设备测试不同透湿性能的包装材料时,水蒸气透过率的重复性与稳定性均得到明显提升。

表4 红外传感器法测试值与平均值偏差
Tab.4 The deviation of test vales and average vales tested by infrared detection sensor method

试验条件	试样	改进后红外传感器法		改进前红外传感器法	
		相对偏差最大值/%	相对标准偏差/%	相对偏差最大值/%	相对标准偏差/%
温度为 23 ℃, 相对湿度为 90%	皮革	-3.3	2.1	9.3	6.7
	PET 薄膜	-8.7	4.9	10	6.0
	太阳能背板	-6.2	5.0	10	6.0
	PP 薄膜	7.9	5.1	-9.4	6.0
	PET/Al/PA/PP 薄膜	-9.9	6.5	9.9	6.8
	VMPET 薄膜	6.7	5.3	-10	8.3
温度为 38 ℃, 相对湿度为 90%	皮革	5.3	3.2	-9.0	6.2
	PET 薄膜	8.1	4.3	10	7.3
	太阳能背板	5.8	3.9	-8.6	5.0
	PP 薄膜	-7.1	4.8	-9.4	6.9
	PET/Al/PA/PP 薄膜	-3.9	3.0	9.6	7.2
	VMPET 薄膜	5.9	4.5	-8.8	7.6

3.4 结果准确性

以杯式法设备测得的水蒸气透过率平均值为基准,计算其与改进前、后红外传感器法设备测试平均值间的相对偏差,见表5。24组数据相对偏差的最大值为10%,最小值为-9.8%,均未超过 $\pm 10\%$,根据GB 1037对测试结果允许偏差不超过 $\pm 10\%$ 的要求,红外传感器法与杯式法设备测试结果一致,各组测试数据均有效。改进后红外传感器法设备测试值的偏差均不高于改进前,说明红外传感器法设备控温装置的改进提高了测试不同阻隔性薄膜、片材水蒸气透过率的准确性。

表5 杯式法与红外传感器法测试值偏差
Tab.5 The relative deviation of cup method and infrared detection sensor method

试样	温度为 23 ℃, 相对湿度为 90%		温度为 38 ℃, 相对湿度为 90%	
	相对偏 差 e_1 /%	相对偏 差 e_2 /%	相对偏 差 e_1 /%	相对偏 差 e_2 /%
	皮革	-1.3	-1.1	3.9
PET 薄膜	8.6	2.7	-5.0	-4.0
太阳能背板片材	-3.5	0.3	7.4	-6.9
PP 薄膜	-6.8	2.4	10	7.7
PET/Al/PA/PP 薄膜	4.1	4.1	4.6	1.9
VMPET 薄膜	-9.8	-5.3	5.1	-2.5

注: e_1 , e_2 分别为改进前红外传感器法设备、改进后红外传感器法设备与杯式法设备间的相对偏差

3.5 温度对透湿性的影响

6种试样在温度为38℃,相对湿度为90%的环境下,其透湿量均高于温度为23℃,相对湿度为90%的环境下的透湿量,但增加的幅度不同,如表3。皮革、PET薄膜、太阳能背板、PP薄膜、PET/Al/PA/PP薄膜、VMPET薄膜样品的水蒸气透过率分别增加了约2, 1, 1.2, 1.8, 0.1, 0.8倍。这是因为温度升高,水分子与材料分子链运动加剧,材料内部自由体积增大,结晶度、分子定向程度降低,为水蒸气在材料中的扩散提供了更多的空间,使得水蒸气在材料中的渗透速度更快^[14-15]。在一般情况下,材料的水蒸气透过率随温度的升高而增大。水分子在不同材料中的运动情况随温度的变化并不相同,不同材料结构受温度的影响程度也不尽相同,因此当试验温度升高时,6种不同材质包装材料的水蒸气透过率增幅不一致。

4 结语

通过改进控温装置及试样装夹结构,新型的红外传感器法水蒸气透过率检测设备的控温精度及适用范围均有了较大提升,并能够可靠测试高、中、低不同透湿性材料的水蒸气透过率,提高了试验结果的重复性、稳定性与准确性。测试得到的材料水蒸气透过率随温度升高而增加的现象,印证了试验控温精准性对测试结果准确性的重要影响。

参考文献:

- [1] 郭彦峰, 颜钰, 刘谨, 等. PET 包装薄膜渗透性能的影响因素分析[J]. 中国塑料, 2011, 25(5): 60—64.
GUO Yan-feng, YAN Yu, LIU Jin, et al. Analysis of Factors Influencing Permeability of PET Packaging Films[J]. China Plastics, 2011, 25(5): 60—64.
- [2] 张晓燕, 王立立, 云雪艳, 等. 聚(L-乳酸)的包装特性研究进展[J]. 包装工程, 2014, 35(23): 121—126.
ZHANG Xiao-yan, WANG Li-li, YUN Xue-yan, et al. Research Progress on Packaging Characteristics of Poly(L-lactic Acid)[J]. Packaging Engineering, 2014, 35(23): 121—126.
- [3] 宋树鑫, 刘林林, 张晓燕, 等. PPC 表面沉积 SiO_x 工艺与其包装性能研究[J]. 包装工程, 2015, 36(13): 8—14.
SONG Shu-xin, LIU Lin-lin, ZHANG Xiao-yan, et al. Deposition Technique of SiO_x Layer on Poly(Propylene Carbonate) Surface and Its Packaging Characteristics[J]. Packaging Engineering, 2015, 36(13): 8—14.
- [4] 刘钊, 万富, 刘洋, 等. 不同材质食品包装用塑料袋阻透性研究[J]. 包装与食品机械, 2012, 30(6): 26—28.
LIU Zhao, WAN Fu, LIU Yang, et al. Study on Permeability of Plastics with Different Materials for Food Packaging[J]. Packaging and Food Machinery, 2012, 30(6): 26—28.
- [5] NISATO G, MUTSAERS C, BUIJK H. Flexible PLED Displays and Related Technologies[J]. Materials Research Society Symposium Proceeding, 2004, 814: 177—187.
- [6] 段玮, 李晟, 张浩, 等. 基于 Al_2O_3 封装薄膜的 OLED 水汽透过率测试方法及系统研究[J]. 发光学报, 2016, 37(1): 88—93.
DUAN Wei, LI Sheng, ZHANG Hao, et al. Test Method and System of Water Vapor Transmission Rate Based on Al_2O_3 Encapsulated Thin-film for OLEDs[J]. Chinese Journal of Luminescence, 2016, 37(1): 88—93.
- [7] 姜允中, 王元明, 齐洪刚, 等. 一种光检测气体湿度的装置: 中国, 201420075984.5[P]. 2014-07-09.
JIANG Yun-zhong, WANG Yuan-ming, QI Hong-gang, et al. An Optical Detection Device for Gas Humidity: China, 201420075984.5[P]. 2014-07-09.
- [8] MONACELLI E, ALAYLI Y, LOFASO F. Moisture Infrared Sensor for Medical Applications[J]. The International Society for Optical Engineering, 2003, 119: 156—159.
- [9] GB 1037—1988, 塑料薄膜和片材透水蒸气性试验方法 杯式法[S].
GB 1037—1988, Test Method for Water Vapor Transmission of Plastic Film and Sheet: Cup Method[S].
- [10] GB/T 26253—2010, 塑料薄膜和薄片水蒸气透过率的测定 红外检测器法[S].
GB/T 26253—2010, Determination of Water Vapour Transmission Rate for Plastics-film and Sheet: Infrared Detection Sensor Method[S].
- [11] CHEN Hung-chia, WU Pei-chen, HUANG Jing-ye, et al. Uncertainty Analysis for Measurement of Measurand[J]. Measurement, 2010, 43(9): 1250—1254.
- [12] GB/T 31355—2014, 包装件和容器水蒸气透过性测试方法 红外传感器法[S].
GB/T 31355—2014, Determination of Water Vapour Transmission Rate through Dry Packages: Modulated Infrared Sensor[S].
- [13] JJF 1059.1—2012, 测量不确定度评定与表示[S].
JJF 1059.1—2012, Evaluation and Expression of Uncertainty in Measurement[S].
- [14] 张忠良, 闫晓丽, 高舒, 等. 压强和温度对聚苯乙烯自由体积的影响[J]. 武汉大学学报(理学版), 2012, 58(5): 377—381.
ZHANG Zhong-liang, YAN Xiao-li, GAO Shu, et al. Influence of Pressure and Temperature on the Free Volume of Polystyrene Studied by Positron[J]. Journal of Wuhan University (Natural Science Edition), 2012, 58(5): 377—381.
- [15] 王兴, 张雅君, 宋利君. 不同温湿度对不同结构奶粉包装膜氧气透过率的影响[J]. 食品科技, 2015, 40(2): 69—71.
WANG Xing, ZHANG Ya-jun, SONG Li-jun. Effects of Different Temperature and Humidity on Oxygen Transmission Rate of Different Structure of the Milk Powder Packaging Film[J]. Food Science and Technology, 2015, 40(2): 69—71.