

基于传感技术的密封包装容器透湿度测试方法研究

杨万均^{1,2,3}, 魏小琴^{1,2,3}, 肖敏^{1,2,3}, 张世艳^{1,2,3}

(1. 中国兵器工业第五九研究所, 重庆 400039; 2. 国防科技工业自然环境试验研究中心, 重庆 400039 3. 重庆市环境腐蚀与防护工程技术研究中心, 重庆 400039)

摘要: 针对吸湿剂称重法测试密封包装容器透湿度的缺点, 提出了基于传感技术的密封包装容器透湿度测试方法, 并设计了相应的试验, 通过对某弹药包装箱的透湿度测试结果, 验证了基于传感技术的包装容器透湿度测试方法的有效性。

关键词: 包装容器; 透湿度; 传感技术; 测试方法

中图分类号: TB487 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2011)11-0045-03

Moisture Penetration Measurement of Sealed Package Based on Sensor

YANG Wan-jun^{1,2,3}, WEI Xiao-qin^{1,2,3}, XIAO Min^{1,2,3}, ZHANG Shi-yan^{1,2,3}

(1. No. 59 Institute of China Ordnance Industry, Chongqing 400039, China; 2. Natural Environmental Test and Research Center of Science, Chongqing 400039, China; 3. Chongqing Engineering Research Center for Environmental Corrosion and Protection, Chongqing 400039, China)

Abstract: A moisture penetration test method based on sensor technology was put forward to solve the demerits of traditional moisture penetration measurement of sealed package. Corresponding experiments were designed and carried out. The validity of the moisture penetration measurement based on sensor was validated by moisture transmission test results of an ammunition sealed weapon's package.

Key words: sealed package; moisture penetration; sensor; measurement

包装容器的透湿度作为评价军用包装容器防护效果的主要参数之一, 是军用包装设计单位进行防潮包装设计时计算吸湿剂用量的主要依据^[1]。现代战争对军用包装的要求越来越高, 军用包装亦在不断改进, 为了降低成本、减轻装备重量, 工程塑料、玻璃钢、碳纤维复合材料等开始大量应用到新型军用包装容器的制造中, 一些新的包装理念和包装结构也在军用包装容器的设计中得到应用^[2-3]。在军用产品密封包装中, 水汽的进入将导致湿度增高, 是造成内装产品腐蚀、降解、变质、破坏和丧失使用功能的主要原因, 特别是火药、炸药、起爆药等敏感材料及由其组合而成的弹药极易受潮变质, 电子仪器及芯板、精密枪械、仪器仪表等受潮也易生锈或发生霉菌侵蚀。这些环境问题都与所采用包装容器的透湿度密切相关。在国军标 GJB 2605 中明确规定, 军品包装材料水蒸

汽渗透率(透湿度)小于 $3 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot 30 \text{ d})$ 才能满足军工产品长期存储的性能要求。军用包装容器的透湿度不但关系到所包装产品性能的稳定性, 还将会影响包装内产品的贮存寿命^[4-5]。对于有密封或防潮要求的军用包装容器, 一般都要进行透湿度试验与测试, 以确定其是否满足包装设计要求, 因此开展军用密封包装容器的透湿度测试方法的研究有着重要的实际意义。

1 密封包装容器透湿测试方法现状

对于包装容器的透湿度测试方法, 不管是 GB/T 6981—2003 硬包装容器透湿度试验方法, GB/T 6982—2003 软包装容器透湿度试验方法, 还是国军标 GJB 1444—1992 弹药包装通用规范中规定的试验与

收稿日期: 2011-04-10

作者简介: 杨万均(1971—), 男, 四川绵竹人, 中国兵器工业第 59 研究所高级工程师, 主要从事自然环境试验技术和装备环境适应性研究。

测试方法都没有大的发展,多年来,一直沿用传统的吸湿剂称重法,虽然操作简单,但是很有可能会出现以下几个问题:(1)吸湿剂在装取和称量过程中,很容易造成人为误差,造成测试值不准确;(2)这种测试方法是“盲目”的,不能明确的了解整个透湿过程,对于试验过程中的误操作需要等到试验结束时才能发现,这就很容易造成时间和资源的浪费;(3)这种方法都要求连续进行 30 d 的湿热试验,试验周期过长,对试验设备和辅助条件提出了较高的要求;(4)对于透湿度较大的包装容器很容易造成试验未结束,而吸湿剂已饱和的情况,从而得到错误的测试结果。

随着电子技术的飞速发展,温湿度传感器的测试精度已大大提高,国外高精度、小体积温湿度传感器在我国也十分容易获得,设计制作能用于实时监测军用包装容器内部温湿度变化的测试仪器已成为可能,也使利用传感器技术测定包装容器透湿度的方法变得可行。利用传感技术来测定包装容器的透湿度,既可以克服传统方法的人为误差,还可以使包装容器透湿过程可视化,获得军用包装容器的透湿规律,同时还能有效缩短试验周期,及时剔除无效试验。

2 基于传感技术的包装容器透湿度测试方法

2.1 方法原理

当密封包装容器处于比其内部水蒸气压高(即容器内部湿度低于外部环境湿度)的环境中时,水汽分子会从高湿度的环境中逐渐向容器内部扩散。首先高湿度环境中的水分子吸附于包装容器表面,通过包装材料的分子间隙,由高水蒸气压一侧向低水蒸气压一侧扩散、传输,最后从低湿度一侧蒸发,实现了水蒸气向包装容器内部的透过^[6]。包装容器透湿度是在规定的湿热试验大气条件下,单位时间内,单位表面积透过的水蒸气量,可用式(1)来表示:

$$R_C = \frac{\Delta Q}{At} \quad (1)$$

式中: R_C 为包装容器透湿度; A 为包装容器的表面积; t 为试验测试时间; ΔQ 为透入包装容器的水汽量。

由于一定温度下大气的相对湿度就是该温度下单位体积大气中的含水量与饱和湿度的百分比。因此,当温度一定时,式(1)可用式(2)来代替:

$$R_C = \frac{(H_{R_2} - H_{R_1})R_S V}{At} \quad (2)$$

式中: H_{R_1} 为透湿前包装容器内的相对湿度; H_{R_2} 为透湿后包装容器内的相对湿度; R_S 为一定温度下空气中的饱和湿度; V 为包装容器的容积。

从式中可以看出,要测试包装容器的透湿度, R_S 可以通过查表获得, V 和 A 可以通过尺寸测量计算,因此只需要测量试验前后包装容器内部的相对湿度,并记录试验时间就可以获得包装容器的透湿度值。基于传感技术的包装容器透湿度测试方法,就是通过测试一定温度下包装容器内部相对湿度的变化,计算透入包装容器内部水汽质量,从而获得密封包装容器透湿度的一种方法。

2.2 试验设计

2.2.1 试验条件的选择

在 GJB 1444-1992 附录 A 中,给出了透湿度试验的条件,为了测试结果能与现行标准有可比性,因此本方法选择相同的试验条件:温度 $(40 \pm 1)^\circ\text{C}$,相对湿度 $90\% \pm 2\%$ 。

2.2.2 样品预处理

对于密封包装容器,在恒定温度下引起内部相对湿度变化的主要水分来源一般包括^[7-8]:装配密封时滞留在容器空间内水分;容器内各零部件在装配前和装配过程中自由表面吸附的水分;装配前和装配过程中渗入或溶解于有机材料中的水分;外部环境气氛通过容器表面及密封界面泄漏或渗透进入容器内的水分。

在这 4 项影响包装容器内部相对湿度的水分来源中,第 1 和第 4 种是可以测试计算获得的,另外 2 种的影响必须通过预处理尽量减小,预处理方法通常选择在温度 30°C 、相对湿度 40% 的环境中放置 24 h。

2.2.3 确定有效试验周期

从式(2)中可以看出,试验测试时间即有效的试验周期,与透湿度密切相关,要准确计算密封包装容器的透湿度,必须确定出有效的试验周期。

从热力学观点来看,水蒸气分子的透过过程是单分子扩散过程,符合气体扩散定律,即单位时间、单位面积的水蒸气渗透量与浓度梯度(相对湿度差)成正比^[6]。而水蒸气的浓度(相对湿度)又与温度密切相关,单位体积内,同质量的水蒸气,温度越高相对湿度示值越低。因此,为了剔出温度引起的相对湿度梯度误差,要选择包装容器内外温度达到平衡时的时间作为透湿度试验的开始时间。

包装容器内部的相对湿度变化与透湿试验时间并不成线形关系,而是成一定的对数关系,前期变化

快,后期变化慢,见图 1。随着时间的增加,包装容器

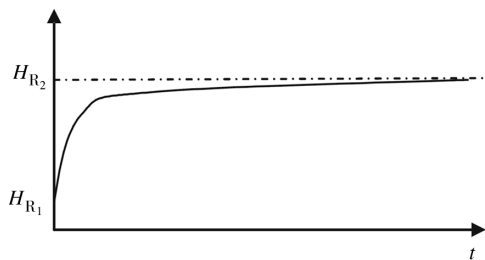


图 1 密封容器内相对湿度的变化趋势

Fig. 1 The changing trend of relative humidity in sealed packages

内部相对湿度逐渐趋于外部环境湿度,因此选择包装容器内外相对湿度达到平衡时的时间作为试验结束时间,可以更加准确的反映包装容器平均透湿度。研究表明^[9],当包装容器内部相对湿度达到外部环境相对湿度的 95%即认为达到平衡,根据试验条件,包装箱体内部相对湿度达到 85%时,即可作为试验结束时间。开始到结束的这一个时间段就是有效试验周期。

3 试验与验证

3.1 试验

为了验证所建立方法的有效性,选取了某弹药包装箱,开展 GJB 1444—1992 附录 A 规定的透湿度测试方法(即吸湿剂称重法)与基于传感技术的密封包装容器透湿度测试方法(即传感器法)的对比试验。试验条件选择温度(40±1)℃,相对湿度 90%±2%;试验设备采用湿热试验箱,电子天平(吸湿剂称重法),TH-III 型温湿度记录仪(传感器法)。试验预处理 2 种测试方法一致,均在温度 30℃、相对湿度 40%的环境中放置 24 h。

3.2 试验结果对比

利用吸湿剂法共进行了 720 h 的湿热试验。48 h 后,取出 3 个试样样品称得吸湿剂平均增重为 0.285 g,试验结束时,称得剩下的 3 个试验样品的平均增重为 1.847 g,根据 GJB 1444—92 附录 A 提供的式(3)计算公式:

$$R_c = \frac{(m_1 - m_2) - (m_3 - m_4)}{At} \quad (3)$$

式中:($m_1 - m_2$)为剩下 3 个试验样品的平均增

重;($m_3 - m_4$)为 48 h 后,取出 3 个试验样品的平均增重; t 为 48 h 后,剩下 3 个试验样品继续试验的时间。

包装箱的表面积为 0.596 m²,将获得的数据代入式(3),得到透湿度为 2.808 g/(m²·30d)。

利用传感器法开展试验,当包装箱内外温度平衡,即包装箱内部温度稳定在 40℃时,记录的相对湿度变化见表 1。

表 1 包装箱内部相对湿度变化情况

Tab. 1 Recorded relative humidity in sealed packages

相对湿度/%	28	29	31	36	40	50	60	70	80	85
试验时间/h	0	1	6.5	12.8	16.5	26	37	83.5	193.7	298.6

从表 1 的结果来看,包装箱内的透湿度符合图 1 所示的对数关系,已知包装箱内部容积为 0.024 36 m³,查饱和湿度表 40℃时, R_s 为 51.09 g/m³,将试验结果代入式(2)计算得到透湿度为 2.869 g/(m²·30 d),与吸湿剂法称重法获得透湿度测试结果相比,误差仅为 2.17%。

4 结论

吸湿剂称重法是我国目前应用最广泛的一种包装容器透湿度测试方法,但是随着温湿度传感器测试精度的提高,利用传感器测试包装容器透湿度已经变得可行,该方法可以有效克服吸湿剂称重法的一些缺点,使包装容器透湿过程可视化,有效地缩短试验周期,在测试透湿度的同时还可以了解透湿规律。从验证试验结果来看,2 种方法获得的测试结果误差仅为 2.17%,可见,所建立的基于传感技术的密封包装容器透湿度测试方法用于密封包装容器透湿测试是可行的。

参考文献:

- [1] 张晓东,陈红,陈愚. 高价值弹药防潮控湿包装设计[J]. 包装工程,2008,29(6):104—105.
- [2] 姚恺,吴雪艳,高欣宝,等. 弹药包装对保障能力的影响分析研究[J]. 包装工程,2007,28(3):112—114.
- [3] 杨健,陆军,宋广涛,等. 我军弹药包装现状分析及发展趋势探讨[J]. 包装工程,2006,27(5):265—267.
- [4] 高宝欣,王波,李天鹏. 包装对弹药保障时效的影响[J]. 军械工程学院学报,2006,18(3):28—30.

小调整网点的透射率是十分必要的,这样可以增加预测的准确性。如果不根据墨滴大小调整网点的透射率,则需要给出网点透射率的固定数值,不妨设网点的透射率为墨滴大小为 7×10^{12} L 时的透射率,则无论采用哪个墨滴尺寸,反射率预测曲线始终是图 4 中的点线曲线。现在,模型根据墨滴大小的变化修正网点的透射率,得到较大墨滴网点和较小墨滴网点的反射率(图 4 中的虚线曲线和实线曲线),提高了较大墨滴网点和较小墨滴网点反射率预测的准确性。

模拟实验说明了根据墨滴大小变化修正网点透射率的必要性。根据油墨叠印时的透射率计算式(11),在已知三原色油墨的墨滴体积、油墨的颜料浓度和光谱吸收率的情况下,就可以修正可变墨滴三色打印各种叠印色的透射率,从而提高反射率预测的准确性。

在实际打印时,可变墨滴喷墨打印机可以根据色彩区域的不同调整每种颜色油墨的墨滴大小。墨滴大小扩展的 Clapper-Yule 模型从调频网点透射率变化和单个网点大小变化 2 个方面对模型进行了修正,这一修正方法把握住了墨滴大小变化对调频网点的影响,比 Roger D. Hersch 提出的油墨厚度扩展的 Clapper-Yule 模型更全面,因此,墨滴大小扩展的 Clapper-Yule 模型能很好地预测可变墨滴喷墨打印印刷品的光谱反射率。

6 结论

与传统打印机相比,可变墨滴打印机可以通过墨滴大小的变化实现更多的色调,因此可变墨滴打印印刷品色调变化的连续性有了较大的提高,与此同时,也给此类印刷品网点反射率的预测带来了麻烦。根据墨滴大小变化引起的调频网点透射率变化和网点大小变化,用墨滴大小扩展分程式 Clapper-Yule 模型,得到了可变墨滴喷墨打印印刷品的光谱预测模型,这一模型的建立有助于探索出如何用墨滴大小可

变的打印机得到更高质量的印刷品。

参考文献:

- [1] 胡成发. 印刷色彩与色度学[M]. 北京:印刷工业出版社, 1993.
- [2] 臧冬娟,张逸新,刘春林. Clapper-Yule 光谱预测模型[J]. 包装工程,2007,28(4):51-53.
- [3] 杜艳君,张逸新. 经典彩色预测模型[J]. 包装工程,2006, 27(2):99-101.
- [4] 景翠宁,张二虎. 基于 Clapper-Yule 模型的半色调印品颜色预测[J]. 包装工程,2008,29(7):75-77.
- [5] 张逸新,臧冬娟,葛惊寰. 半色调双面图像的 Clapper-Yule 色彩预测分程模型[J]. 光学学报,2008(1):2124-2127.
- [6] 张逸新,易丽芳. 荧光基半色调彩色图像的 Clapper-Yule 光学反射率[J]. 光子学报,2007(12):2386-2389.
- [7] ROUSSELLE F,BUGNON T,HERSCH R D. Spectral Prediction Model for Variable Dot-size Printers[C]. Color Imaging Conference,2008:73-78.
- [8] HERSCH R D,EMMEL P,COLLAUD F,et al. Spectral Reflection and Dot Surface Prediction Models for Color Halftone Prints[J]. Journal of Electronic Imaging,2005, 14(3):1-12.
- [9] HERSCH R D,COLLAUD F,CRÉTÉ F,et al. Spectral Prediction and Dot Surface Estimation Models for Halftone Prints[J]. SPIE,2003,5293:356.
- [10] HERSCH R D,CRÉTÉ F. Improving the Yule-Nielsen Modified Spectral Neugebauer Model by Dot Surface Coverages Depending on the Ink Superposition Conditions[J]. SPIE,2005,5667:434-447.
- [11] BALASUBRAMANIAN R. Optimization of the Spectral Neugebauer Model for Printer characterization[J]. Journal of Electronic Imaging,1999,8(2):156-166.
- [12] HERSCH R D,BRICHON M,BUGNON T,et al. Deducing Ink Thickness Variations by a Spectral Prediction Model[J]. Color Research and Applications,2009, 34(6):432-442.

(上接第 47 页)

- [5] 袁玮. 正交试验设计法研究弹药密封包装内部湿度变化规律[J]. 包装工程,2007,28(2):50-51.
- [6] 张力,田春雷. 弹药塑料包装透湿机理与应用研究[J]. 军械工程学院学报,2006,18(3):8-10.
- [7] 安振涛,胡君威,巩永校,等. 弹药密封包装内部湿度变

化规律测试研究[J]. 包装工程,1994,15(1):20-21.

- [8] 陈晓丽,周顺期. 密封包装容器内湿度变化规律研究[J]. 包装工程,2004,25(6):21-23.
- [9] 刘恒春,刘志阳,丁军. 弹药密封包装内部湿度变化规律探讨[J]. 火炸药学报,1995(3):19-22.