

玻璃钢密封包装容器透湿度试验研究

李迪凡, 吴护林, 刘俊, 王晓辉, 魏小琴, 罗丹

(中国兵器工业第五九研究所, 重庆 400039)

摘要: **目的** 研究包装容器壁厚及是否夹有铝箔对玻璃钢密封包装容器试验样品透湿度的影响, 获得玻璃钢密封包装容器透湿度变化规律。**方法** 在某试验站棚下开展透湿测试试验, 用硅胶测试法来对试验样品进行测试。**结果** 研究表明, 包装容器壁厚对其透湿度有明显影响, 壁厚越厚则其透湿度越低; 试验周期对试验样品透湿度也有一定的影响, 在一定试验周期内, 试验时间越长则透湿度也越低, 同时相较于同壁厚的试验样品, 夹有铝箔对容器透湿度的影响尤为显著。**结论** 通过对试验结果进行分析, 获得了玻璃钢密封包装容器试验样品透湿度试验数据、壁厚和是否夹有铝箔对包装容器透湿度影响的变化趋势, 为完善军用密封包装整体防护性能评价体系和提升武器装备环境适应性提供帮助。

关键词: 密封包装; 包装容器; 透湿度; 硅胶测试法

中图分类号: TB482.2 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2018)23-0242-05

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2018.23.039

Moisture Penetration Test of the GFRP Sealed Packaging Containers

LI Di-fan, WU Hu-lin, LIU Jun, WANG Xiao-hui, WEI Xiao-qin, LUO Dan
(No.59 Institute of China Ordnance Industry, Chongqing 400039, China)

ABSTRACT: The work aims to study the effects of wall thickness and aluminum foil on the moisture penetration of GFRP sealed packaging container test samples to obtain the change law of moisture penetration of GFRP sealed packaging container. The test of moisture penetration was carried out in some test station shed, and the test sample was tested in the method of silica gel test. The study showed that the wall thickness of the packaging container had a significant effect on its moisture penetration. The thicker the wall was, the lower the moisture penetration was. The test period had certain effect on the moisture penetration of the test sample. In certain test period, the longer the test period was, the lower the moisture penetration was. At the same time, compared with the test sample of the same wall thickness, the influence of aluminum foil on the moisture penetration of the container was particularly significant. On the basis of analyzing the test results, the moisture penetration test data of test samples of the GFRP sealed packaging container as well as the change trend of influence of wall thickness and aluminum foil on the packaging container moisture penetration are obtained, so as to provide help for the improvement of overall protective performance evaluation system of the military sealed package and the enhancement of weaponry environmental adaptation.

KEY WORDS: sealed packaging; packaging container; moisture penetration; silica gel test method

随着材料科学和包装技术的发展,我国军用包装的改革也日趋活跃,不少新型军用包装相继出现。为了适应装备的长期贮存要求和轻量化发展趋势,一些新型高分子材料、复合材料等逐渐应用到我国的装备包装设计与生产中。玻璃钢材料由于具有质量轻、强度高、耐蚀性能、防潮性好以及可设计性好等特点,已在包装行业各个领域得到了广泛的应用。

在军用装备长期的贮存过程中,贮存环境中的水汽会通过包装容器壁进入容器微环境中,使微环境湿度增大,当达到一定程度时使容器内装备产生腐蚀、变质和破坏等现象,也会使弹药的点火具、发射药、引信等火工品受潮变质,甚至使装备中电子电路和仪器仪表因为湿度的增加而失效,严重影响装备战技性能的发挥。可见包装容器的透湿度对装备的影响非常

收稿日期: 2018-06-23

作者简介: 李迪凡(1976—),男,高级工程师,主要研究方向为自然环境试验技术和装备的环境适应性。

巨大,是评价包装容器防护效果的主要参数之一,同时也是弹药武器设计单位进行防潮包装设计的主要依据。对于具有密封或防潮要求的军品包装容器,通常都要进行透湿度的试验与测试,以确定透湿度满足设计技术要求,GBJ 1444—92 中明确规定弹药包装容器的透湿度必须小于 $3 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot 30 \text{ d})$ 才能满足结构上容易受潮、变质和失效弹药产品长期存储的性能要求。可见包装容器的透湿度对包装产品性能的稳定性和贮存寿命的长短有非常重要的关联。

由于玻璃钢材料固有的优点,近年来在军品包装行业中得到了大量的应用,特别是适用于一些高技术含量、高价值的军用产品,玻璃钢材料的自身优点有利于为装备产品创造一个以保证其性能的微环境,减少环境腐蚀介质和水气的侵蚀对装备的影响,满足产品长期贮存要求。针对装备特性,在正确选择包装材料的同时,如何合理选择容器的壁厚是许多使用者遇到的一个难题,壁厚过厚不仅造成了经济浪费而且给运输带来了许多困难,壁厚过薄则使容器微环境湿度增长过快,影响装备产品的性能和贮存寿命。目前我国国内许多军品包装容器内壁中普遍夹有一层铝箔,这些包装容器能有效的控制容器微环境的湿度,保护了产品质量,但由于铝箔的附着力不够容易使包装容器表面产生气泡和起壳等现象,影响产品外观,同时由于加入了铝箔使容器的壁厚相应地加厚,增加了加工成本,也增加了产品的质量,给搬运带来了困难^[1-5]。

文中装备常用玻璃钢密封包装容器为研究对象,研究壁厚和铝箔对包装容器的影响,为武器装备包装合理设计选材提供技术指导,为完善军用密封包装整体防护性能评价体系和提升武器装备环境适应性提供帮助。

1 试验

1.1 样品

试验样品以玻璃钢密封包装筒作为试验对象,其主要成分包括玻璃纤维布、不饱和聚酯树脂、短切毡、固化剂和促进剂等,树脂溶液配置时需按一定比例添加促进剂和固化剂。其工艺过程:材料准备—溶液配置—糊制成型—固化脱模—切割—机械加工—表面处理—喷漆共 8 道工序。加工完成后的样品外形为圆柱形,包装容器内径为 290 mm,长度为 1000 mm,容器的壁厚分别有 3, 4, 5, 6, 8 mm 共 5 种规格。为了测试铝箔对透湿度的影响,在试验样品壁厚的中间位置夹有 0.05 mm 铝箔,其内径和长度与其他样品相同,壁厚分别为 3 mm 和 5 mm 2 种规格。所有试验样品两端均采用玻璃钢端盖进行嵌入式密封,端盖的壁厚与筒体内壁基本一致,见图 1。

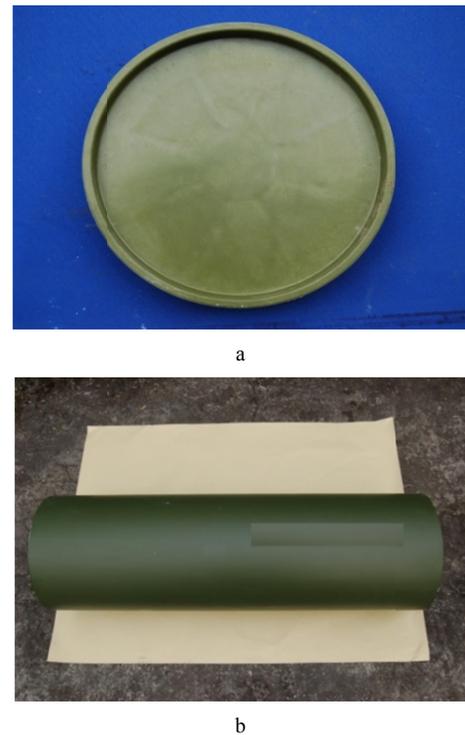


图 1 包装容器及端盖

Fig.1 Packaging container and end cover

1.2 自然环境试验

1) 试验地点位于某试验站棚下,其地理位置和气候类型见表 1。

表 1 试验站的地理位置及气候类型
Tab.1 Geographical location and climate type of the test station

地理位置			气候类型
东经	北纬	海拔/m	
106°15'	29°19'	208.6	亚热带湿热气候

2) 为准确计算玻璃钢密封包装容器的透湿度,确定试样的试验周期为 180, 365 d。

3) 试验方法。试验参照 GJB 1444—1992 弹药包装通用规范开展,将试验样品置于试验站棚下样品架上,离地高度不小于 0.3 m,保持试验样品周围空气流通,见图 2。通过称量硅胶袋在试验前后质量的变化获得包装容器的透湿度,其计算公式为:

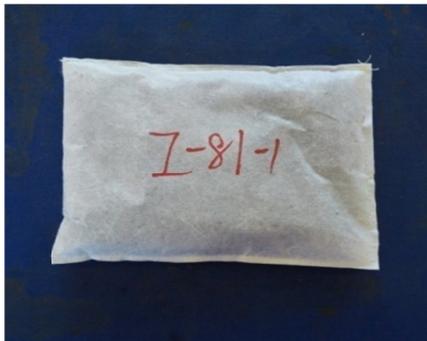
$$R_C = \frac{(m_1 - m_2) - (m_3 - m_4)}{A \times t} \times 720 \quad (1)$$

式中: m_1 为试验结束试验样品硅胶袋质量 (g); m_2 为试验样品内硅胶袋的初始质量 (g); m_3 为 2 d 后取出的 3 个空白试验样品内硅胶袋质量的平均值 (g); m_4 为 3 个空白试验试样内硅胶袋原始质量的平均值 (g); t 为 2 d 后,剩余试验样品继续试验时间 (h); A 为包装容器有效透湿面积 (m^2); R_C 为包装容器透湿度 ($\text{g}/(\text{m}^2 \cdot 30 \text{ d})$)。

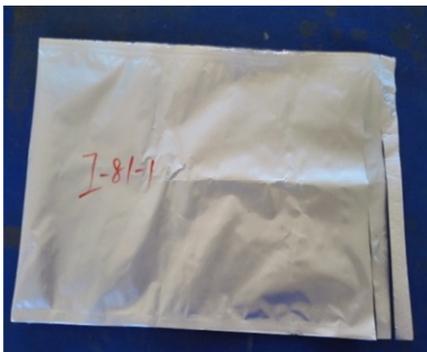


图2 棚下试验样品
Fig.2 Test samples under shed

4) 样品预处理。样品预处理是准确计算透湿度的关键步骤, 试验前按照相应程序将试验样品置于温度为 25 °C, 相对湿度为 40% 的实验室环境条件下时间不小于 24 h, 去除试验样品自身水份; 用易透湿的无纺布袋封装约 200 g 的含水量较少的细孔球形硅胶干燥剂, 无纺布袋的尺寸通常为 170 cm×140 cm, 并对每个袋子进行编号; 每袋硅胶在试验前均要脱水处理, 在试验烘箱中开展温度为 120 °C, 时间为约 3 h 的活化处理, 活化完成后将硅胶袋迅速装入铝塑薄膜袋后用电熨斗进行密封, 放入干燥器皿中冷却, 每袋细孔硅胶和铝塑薄膜袋都有一一对应的编号, 见图 3。用电子天平对装有硅胶袋铝塑薄膜袋进行称量并记录, 见图 4。



a



b

图3 细孔硅胶及铝塑密封袋
Fig.3 Fine hole silica gel and aluminum plastic seal bag



a



b

图4 试验烘箱和天平
Fig.4 Test oven and balance

预处理结束后, 在玻璃钢密封包装筒中装入经过处理后的细孔硅胶袋, 并用硅橡胶迅速进行密封, 在实验室条件下放置一定时间, 待硅橡胶完全凝固, 用刀片清除溢流的硅胶后再用聚氯乙烯胶带对接口进行密封。投样前有必要对试验样品的密封性进行抽样检查, 其方法是将试样浸入水下约 0.3 m, 保持约 10 min, 样品未冒水泡, 试样底部无水渍, 说明样品已经完全密封, 见图 5。



a



b

图5 样品密封试验
Fig.5 Sample seal test

5) 样品试验。将处理好的样品置于试验站棚下开展试验,投样时应轻摇样品尽量将硅胶袋置于包装筒的中心位置,经过 48 h 吸湿试验后,取初 3 个试验样品作为空白试样。取样称量时应在实验室条件下进行,打开样品后应迅速取出硅胶袋,放入对应的铝塑薄膜袋中并密封,逐个进行称量。经过一定周期的吸湿试验后,每次取出 3 个样品,按上述方法进行

称量。

2 结果与讨论

根据称量结果,按式(1)计算每阶段的透湿度,计算时应包含端盖面积并扣除聚氯乙烯胶带面积,计算结果见表 2,其中编号为 II 的样品中夹有 0.05 mm 的铝箔。

表 2 吸湿剂称量法试验结果
Tab.2 Test results for the weighing method of moisture absorption agent

序号	对应编号	壁厚/mm	样品数量/件	表面积/m ²	平均透湿度/(g·(m ² ·30 d) ⁻¹)		平均误差/%	
					180 d	365 d	180 d	365 d
1		8	9	1.069	1.68	1.48	0.46	0.26
2		6	9	1.055	2.12	1.98	0.37	0.20
3	I	5	9	1.047	2.51	2.33	0.32	0.17
4		4	9	1.043	2.75	2.56	0.29	0.15
5		3	9	1.036	2.94	2.8	0.27	0.14
6		3	9	1.039	1.26	1.17	0.64	0.34
7	II	5	9	1.050	1.02	0.93	0.78	0.42

利用硅胶测试法进行包装容器透湿度测试时,除了测量仪器误差之外,由于干燥状态下细孔硅胶干燥剂吸湿速率非常高,因此在吸湿剂袋的装取和称量过程中均会带来不可避免的人为误差影响,通过多次试验证明,在正常情况下这种误差约 50 mg 左右,采用格罗布斯准则或狄克松准则剔除粗大误差后,结合相应计算公式求出密封包装容器透湿度的平均误差,其结果见表 2,可见该试验误差较小,试验结果真实可靠。

从表 2 和图 6 分析可知,玻璃钢密封包装容器主要由高分子链交织而成,在试验过程中,链与链之间的搭接、分子支链或末端基因以及分子链的热运动作用,都会产生许多分子内或分子间空隙,水蒸气溶入包装容器材料,填充到分子内或分子间空隙中,由于包装容器内外环境差异较大,根据热力学平衡理论以及扩散原理,外环境高湿度向低湿度包装内侵入的趋势非常显著,故试验初期包装内相对湿度增长较为明显,随试验时间的增长,包装容器微环境的湿度不断上升,内外环境湿度差逐渐减小,外部湿度侵入的趋势逐渐降低,故后期变化减弱,透湿度随试验时间增长而逐步的变小,与分析结果相吻合。

根据费克气体扩散理论,影响包装容器透湿度的因素主要包括所选材料、厚度和湿度梯度直接相关,当包装材料确定后,透湿度与湿度梯度成正比关系,与厚度成反比关系。分析试验结果可知密封包装容器厚度对透湿度的影响明显,在一定的试验周期内壁厚越厚透湿度越低,而对于内壁中加有铝箔的包装容器,壁厚对透湿度的影响同样明显,这与实验室条件下的试验结果和理论分析结果基本一致,可见现有大

部分武器装备的包装筒加铝箔时,能有效抵抗湿气的透射,有利于保持容器微环境的湿度稳定^[6-17]。

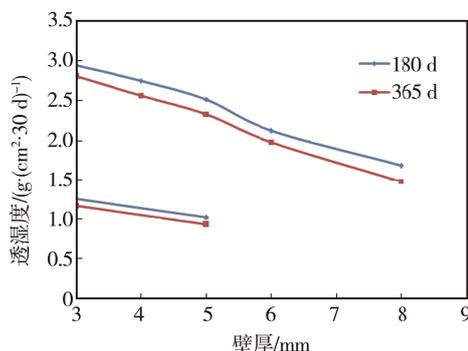


图 6 透湿度与壁厚的变化关系
Fig.6 Relation of change of moisture penetration and wall thickness

3 结语

文中通过对玻璃钢密封包装容器在某试验站棚下试验,研究了壁厚及铝箔对包装容器透湿度的影响,并对试验结果进行了误差分析,得出以下结论。

1) 在一定的贮存周期内,包装容器的透湿度随壁厚的增加而减少,对于具有防潮要求的弹药包装容器,壁厚为 3 mm 和 4 mm 玻璃钢密封包装筒的透湿度均小于 3 g/(m²·30 d),达到了一级防潮要求,能基本满足弹药产品贮存要求。

2) 玻璃钢密封包装容器内壁中铺设铝箔材料具有明显减缓空气中水分的透入的作用,因此,对于长贮存装备,为了减少水气的进入,可以在结构中设计铺放铝箔。

参考文献:

- [1] 杨万均, 魏小琴, 肖敏, 等. 基于传感技术的密封包装容器透湿度测试方法研究[J]. 包装工程, 2011, 32(11): 45—47.
YANG Wan-jun, WEI Xiao-qin, XIAO Min, et al. Study on the Moisture Permeability Test Method of Sealed Packaging Containers Based on Sensing Technology[J]. Packaging Engineering, 2011, 32(11): 45—47.
- [2] 李金龙, 杨万均, 虞健美, 等. 复合材料发射器透视率试验研究[J]. 弹箭与制导学报, 2014(3): 206—208.
LI Jin-long, YANG Wan-jun, YU Jian-mei, et al. Experimental Study on The Transmitters of Composite Launchers[J]. Journal of Missiles and Missiles, 2014(3): 206—208.
- [3] 安振涛, 胡君威. 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.
AN Zhen-tao, HU Jun-wei. Testing Study on The Internal Humidity Change of Ammunition Sealed Package[J]. Packaging Engineering, 1994, 15(1): 20—21.
- [4] 徐进欣, 王金柱, 范志锋. 某型末制导炮弹控制舱贮存加速寿命试验应力研究[J]. 装备环境工程, 2016, 13(5): 88—91.
XU Jin-xin, WANG Jin-zhu, FAN Zhi-feng. Study on Accelerated Storage Life Testing of Control-Capsule of Terminally Guided Projectile[J]. Equipment Environmental Engineering, 2016, 13(5): 88—91.
- [5] 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.
CHEN Xiao-li, ZHOU Shun-qi. Study on The Change of Humidity in Sealed Packaging Containers[J]. Packaging Engineering, 2004, 25(6): 21—23.
- [6] 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.
YANG Jian, LU Jun, SONG Guang-tao, et al. The current Situation and Development Trend of Ammunition Packaging in Our Army[J]. Packaging Engineering, 2006, 27(5): 265—267.
- [7] 高宝欣, 王波, 李天鹏, 等. 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.
GAO Bao-xin, WANG Bo, LI Tian-peng, et al. The Influence of Packaging on Ammunition Support Timeliness[J]. Journal of Ordnance Engineering College, 2006, 18(3): 28—30.
- [8] 王建成, 宋华文, 陆凯, 等. 弹药最优装载建模及其可视化仿真实现[J]. 装备指挥技术学院学报, 2000, 11(6): 39—43.
WANG Jian-cheng, SONG Hua-wen, LU Kai, et al. Optimal Loading Modeling of Ammunition and Its Visual Simulation[J]. Journal of Institute of Equipment
- Command Technology, 2000, 11(6): 39—43.
- [9] 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.
ZHANG Li, TIAN Chun-lei. The Mechanism and Application of Plastic Packaging for Moisture Permeability of Ammunition[J]. Journal of Ordnance Engineering College, 2006, 18(3): 8—10.
- [10] 黄彦良, 郑珉, 张琦超, 等. 核废料储罐近域环境中温湿度长期演变预测[J]. 装备环境工程, 2018, 15(10): 109—113.
HUANG Yan-liang, ZHENG Min, ZHANG Qi-chao, et al. Long Term Temperature and Humidity Evolution Forecast in Near Field of Nuclear Waste Container[J]. Equipment Environmental Engineering, 2018, 15(10): 109—113.
- [11] 彩霞. 高密度电子封装可靠性研究[D]. 上海: 中国科学院研究生院(上海微系统与信息技术研究所), 2002.
CHAI Xia. Reliability Study of High Density Electronic Packaging[D]. Shanghai: Graduate University of Chinese Academy of Sciences (Shanghai Institute of Microsystems and Information Technology), 2002.
- [12] 蔡建, 徐淑权, 秦旭锋. 基于轻量化目标的复合材料发射箱纤维增强材料铺层设计[C]// 2014 第四届全国军民融合包装发展论坛论文集, 2015(11): 249—251.
CAI Jian, XU Shu-quan, QIN Xu-feng. Design of Fiber Reinforced Material Paving of Composite Emitter Based on Lightweight Target[C]// 2014 Fourth National Civil Military Integration Packaging Development Forum, 2015(11): 249—251.
- [13] GALLOWAY J E, MILES B M. Moisture Absorption and Desorption Predictions for Plastic Ball Grid Array Packages[J]. Components Packaging & Manufacturing Technology Part A IEEE Transactions on, 1997, 20(3): 274—279.
- [14] FAN X J, TEE T Y, SHI X Q, et al. Modeling of Moisture Diffusion and Whole-Field Vapor Pressure in Plastic Packages of IC Devices[M]. Micro- and Opto-Electronic Materials, Structures, and Systems, 2010.
- [15] YAMAMOTO K. Development of Mechanical Stress Simulator for Surface-Mount Devices[J]. Japanese Journal of Applied Physics, 1995, 34(4A): 2043—2048.
- [16] LIU Y. Automated Simulation System of Moisture Diffusion and Hydrothermal Stress for Microelectronic Packaging[M]. Moisture Sensitivity of Plastic Packages of IC Devices, 2010.
- [17] JANG C, HAN B. Modeling of Moisture Diffusion and Moisture-Induced Stresses in Semiconductor and MEMS Packages[M]. Moisture Sensitivity of Plastic Packages of IC Devices, 2010.