

高温高湿环境下弹药储运包装温湿度研究

潘文庚, 尹海平, 孔凡成, 巢虎, 张沿磊
(空军勤务学院, 徐州 221000)

摘要: **目的** 为确保弹药的储存质量与安全运输, 对高温高湿环境下的弹药储运包装进行研究。**方法** 采用温湿度理论分析和数据拟合, 从包装属性和环境湿度变化规律出发, 研究弹药储运质量和使用可靠性与环境温湿度的关系。**结果** 南方高温高湿地区弹药集装需考虑各种外部环境因素, 可得到其内部温度变化模型。通过计算可得箱体包装的内部温度达到 70.77 °C, 可将某地的弹药包装箱体内部最高温度定为 75 °C。**结论** 弹药储运环境温湿度过高或过低是促使弹药质量变化的主要因素, 环境温湿度过高或过低都会加速弹药各部件及材料老化。

关键词: 弹药; 箱体包装; 内部温度; 高温; 高湿

中图分类号: TB485.3; TJ450 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2016)23-0125-04

Temperature and Humidity for the Storage and Transportation Container of Ammunition in High-Temperature and High-Humidity Areas

PAN Wen-geng, YIN Hai-ping, KONG Fan-cheng, CAO Hu, ZHANG Yan-lei
(Air Force Logistics College, Xuzhou 221000, China)

ABSTRACT: The work aims to research the storage and transportation containers of ammunition in the high-temperature and high-humidity areas in order to ensure the storage quality and transportation safety of ammunition. The relationship between the storage quality and use reliability of ammunition and the temperature and humidity of environment was studied with temperature and humidity theoretical analysis and data fitting method, starting from packaging attributes and the change law of ambient temperature and humidity. Various kinds of external environmental influences should be considered for ammunition containers in southern areas with high temperature and high humidity, through which the internal temperature change model can be established. By means of calculation, the internal temperature of container packaging obtained could be up to 70.77 °C. The maximum internal temperature of ammunition containers in some place could be set as 75 °C. Excessively high or low ambient temperature and humidity for the storage and transportation of ammunition is the main factor that makes the ammunition quality change. Excessively high or low ambient temperature and humidity will accelerate the aging of all the components and materials of ammunition.

KEY WORDS: ammunition; container packaging; internal temperature; high temperature; high humidity

弹药从工厂生产到作战或训练使用要经过许多阶段, 如运输、储存、使用测试、维修保养、训练使用直至弹药报废等。每个阶段停留的时间和经历的环境各不相同, 导致最后弹药使用质量的差异较大, 其所处的环境包括温度、湿度、电磁环境、

盐雾、腐蚀性气体和微生物环境等。弹药运输环境改变大, 储存阶段经历时间长, 容易造成弹药性能变化或失效, 弹药储运质量和使用可靠性与储运环境状况紧密相关。炎热的夏季太阳的曝晒可以使包装箱体内温度迅速升高, 易导致弹药储运性能下

收稿日期: 2016-07-08

作者简介: 潘文庚 (1964—), 男, 江西宜春人, 博士, 空军勤务学院副教授, 主要研究方向为弹药工程。

降。在高湿地区采用集合包装储运时容易使箱体内部结露,使物品发霉、变质和生锈等。目前我军弹药保管中,一般要求弹药库房储存环境温度不超过30℃,环境的相对湿度控制在40%~70%,弹体内装药的含水量指标控制在0.3%~2.1%范围内,找出包装箱体内部的温度和湿度变化规律和影响因素,可为高温高湿地区的弹药储运与安全使用提供参考,具有重要的军事意义^[1-2]。

1 密封箱体内部湿度变化规律

环境温度的变化必然会导致湿度的变化,这种温湿度变化规律是相辅相成的。对于密封的箱体包装内部的湿度变化规律如下:对于静态的单层密封包装模型,从式(1)可知其内外部湿度达到平衡的时间 $t_{0.95}$ 与包装材料的时间常数 τ 成正比。由于它与箱体包装时间、内部吸湿材料成分密切相关,为此在包装设计时应最大限度地提高 τ 值。

$$\bar{t}_{0.95} \approx r_0 - \frac{r_0 - r(0)}{\ln[20 - 20r(0)/r_0]} \quad (1)$$

对于采用复合的多层材料密封包装,其等效的透湿系数与每层密封的包装材料相关。从密封包装的动态解式(2)中明显看出,弹药箱体内部的绝对湿度或相对湿度都会随外界环境的变化而变化;弹药箱体内部的湿度会随着外界湿度的变化频率 ω 或相位角 α 的变化而变化。一般频率 ω 或相位角 α 变化越大内部湿度的变化相对于外部湿度变化越慢,并且内部湿度的变化通常小于外部环境湿度的变化,内部湿度变化值总是随相应的相位角 α 增大而减小的,但弹药箱体内部的湿度变化是滞后外界环境湿度变化。

$$r(t) = \frac{B_1}{\sqrt{1 + (\omega\tau)^2}} \sin(\omega t - \alpha) \quad (2)$$

一般外部湿度变化并不是某个单一频率的周期变化,它是由多个离散的频率互相叠加组成,其动态的稳定解为:

$$r(t) = B_0 + \sum_{i=1}^n B_i |\cos \alpha_i| \sin(\omega_i t - \alpha_i) \quad (3)$$

式中: $\alpha_i = \arctan(\omega_i \tau)$, $i=1, 2, \dots, n$ 。从式(3)可知,箱体密封包装对高频部分起到滤波的作用,箱体内部湿度随外部湿度的高频滤波成分影响较小,而外部环境中的低频成分对密封包装的影响起关键作用^[3-4]。

无论采用何种包装材料制作的物品其都具有

包装透湿性的,只是透湿的程度不一。当包装箱体外界环境在不断变化时,密封包装的弹药其实是不绝对密封的,其透湿性能或作用与所选用的包装材料密切相关。相对而言,在弹药常用的包装材料中其透湿性最小的是玻璃钢包装,聚乙烯包装次之,而采用玻璃钢与铝箔材料制成的弹药箱体其透湿性是最小的。包装件的阻隔性是正面渗透、侧边渗透、正面“半泄漏”、热合处的“半泄漏”和泄漏的综合体现。铝箔复合材料作为一种极高阻隔性包装材料,其氧气透过率和水蒸汽透过率极小。

2 储存环境温湿度对弹药质量的影响

弹药质量影响因素较多,如弹药从工厂到作战训练使用过程中,要经历运输、储存等阶段。容易受各种地域、气候和季节影响。处于储运中的弹药,由于受温度环境影响必然引起湿度变化,而湿度变化通常是影响包装较大的因素。对于是短期的阵地存放或运输中的包装弹药,密封包装对其在高湿、下雨等侵蚀环境有极好的保护,箱体包装内部的绝对湿度随外界环境变化的影响较小。通常饱和水汽压随着温度的升高呈指数增加,相对湿度会随绝对温度升高而逐步降低^[5]。

2.1 温度的变化对储运弹药的影响

弹药储运环境通常将温度控制在30℃以下,过高的环境温度将加速弹体金属部分的锈蚀和其弹药内的相应附属配件如塑料、橡胶皮件、包装布纸等变质或老化,起不到良好的密封作用,造成弹体内的装药性能下降或变质,致使弹药中的黑火药吸湿受潮变质、弹药出现早炸或起爆困难等。对于胶质性火药会加速其溶剂挥发和分解,造成炮管中的膛压迅速升高,使弹丸初始速度增大,最后会使得武器的射击精度下降、膛炸或远弹。外界环境的温度变化都会对弹药及其组件造成不同程度地影响。过低的环境温度易导致皮革或塑料元件变脆变硬、强度下降、加速老化,或皮革纸布霉变和防护漆脱落受损,这也会影响到弹药的性能质量。剧烈地温度变化也会加速弹药性能变差,如导致弹药的无线电引信中的晶体管损坏等。温度对金属锈蚀的影响只有在相对湿度较高的情况下才会明显,温度越高锈蚀速度越快,因此必须在弹药储运时采取降温措施,使箱体包装内的温度保持相对稳定。

2.2 湿度的变化对储运弹药的影响

空气中的湿度与温度是随时变化并相互关联, 互相影响的。弹药储存的环境温湿度对弹药储存性能和使用可靠性有较大的影响, 环境湿度的改变必然会影响弹药本身性能的变化, 如导致其作用可靠性下降等。物质的吸湿性与包装材料属性密切相关, 如在常温和 40%~70% 的相对湿度下, 单基火药平衡吸湿量为 1.7% 左右, 双基火药为 0.58% 左右。环境湿度过高易导致弹药金属元件锈蚀、电子元件失效、非金属元件霉变和吸湿的装药潮解等。特别是吸湿潮解的引燃药或发射药, 使其点燃或燃烧困难, 燃速下降, 严重情况下不能点火。湿度过高或过低对于储存中的弹药性能都有不同程度的影响, 如过低的湿度易导致弹药中某些元件含水量不足, 会加速皮革元件变脆而断裂。药粒破碎使得燃速变大, 弹丸膛压过高、初速增大, 炮管承受强度变差, 最终导致武器使用寿命变短或威胁人身财产安全。

绝对湿度与气温、风速及蒸发面积有关, 相对湿度是影响吸湿的关键因素, 储运过程中应适当保持比较低的相对湿度。储存环境的相对湿度过低, 弹药自身所含水分会不断释放, 使得药柱所含水分变小而干燥, 或导致弹药中的机械元件性能下降。由于药柱颗粒变小导致燃烧速度加快, 增大弹丸膛压和初速增大, 从而影响其射击精度和射程, 产生远弹。相对湿度过大的发射药其吸湿性增强, 促使膛内完全燃烧的燃速过慢, 从而达不到弹头设计的初速和转速, 产生近弹; 弹药中含雷汞的击发药剂易受湿度的影响而使得灵敏度提高, 当药剂吸水率在 0.03% 及其以上时机械感度明显下降, 而导致“瞎火”或“迟发火”。对于起爆药和引燃药, 由于吸湿而导致其作用不可靠或失效, 也会加速弹药金属元件锈蚀。长期储存中的黑火药吸湿受潮将使含水率增大, 当含水率为 4% 及以上时点燃困难, 当含水率达到 15% 左右时则药剂点燃或燃烧困难^[6-9]。

2.3 温湿度对箱体密封包装弹药的影响

相对湿度会因温度的传导性能对开环或闭环系统有明显差异。开环系统中的温度高低与空气中的湿度成正比, 闭环系统中则更为复杂。箱体内存空气的含水率会因环境温度的升高使箱体内相对湿度下降, 也会因箱体内温度降低而使相对湿度升高, 但由于箱体内存木纸质部件材料的吸水性, 箱

体内的露点温度则会相应下降, 这与开环系统内的相对湿度规律变化不一致。同时密封箱体内压力会随其温度的变化而变化。环境温度的变化又会引起环境湿度的变化, 对密封箱体内存的压力变化起到较大的抑制效果。当箱体内存的相对湿度增大到箱体内存的结露温度时, 会以其结露温度为起点逐步向四周扩散出去, 对箱体内存环境温湿度产生影响, 从而影响弹体包装质量。

高温高湿的环境是造成弹药失效的主要因素, 也是弹药箱体包装容器产生霉变的适应条件。细菌和霉变会加速非金属材料组件老化, 因此, 在弹药箱体包装储运时选择其储存地及适应的气候非常关键^[11-12]。

3 弹药集装储运内部温度变化规律

弹药密封包装是一个较小的密封箱体。其内部药剂会随着温度变化而不断吸湿或释放水分, 其相对湿度也会随温度变化而变化, 通常相对湿度控制在 65%~70% 之间, 当气温降至 6℃ 时就会出现结露现象, 其露点温度与弹药包装时的空气相对湿度相关^[13-14]。

对于储运箱体包装弹药, 影响其内部温度变化的主要因素有: 弹药箱体包装内存的整体温度取决于大气温度高低变化, 大气温度升降将直接影响其包装箱体内存整体温度的大小; 弹药箱体包装内存温度的变化取决于太阳辐射强度, 由于太阳光直接照射在箱体包装的表面, 对其局部温度的影响相对较大; 空气环境中的风速对弹药箱表面的散热也有较大影响, 一般空气中的风速越大其包装表面的散热越好, 其内部温度越低, 反之, 其升温速率增大明显。

对南方某高温高湿地区弹药储运包装的温度变化规律可由试验数据获得。包装箱体内存空气温度模型为: $T = -0.2475t^2 + 19.7634t - 323.62$ 。当南方某地出现历史最高大气温度, 即当 $t = 39.2^\circ\text{C}$ 时, 代入前式得出其箱体内存空气的最高温度为 $T_{\max} = 70.77^\circ\text{C}$ 。

对于暴露在大阳中的弹药箱, 其内部顶层温度模型为 $T = -0.3095t^2 + 23.4903t - 372.29$, 代入公式则可以计算出某地弹药箱内存的每时刻的顶层温度值。当 $t = 39.2^\circ\text{C}$ 时, 其箱体内存的顶层最高温度为 $T_{\max} = 72.94^\circ\text{C}$ 。从上述模型可以预测弹药储运时箱体包装内存各部位温度和湿度变化状况^[10,15]。

4 结语

在弹药箱体储运过程中温度与湿度是相互依存,相互关联的,两者的协同作用效果明显。但环境温湿度是监控的重点因素。处于高温高湿的环境中的弹药容易导致其弹药元件失效,将加速弹药性能老化和储存寿命缩短。储运箱体的内部温度变化取决于大气环境温度的大小。对南方高温高湿地区弹药集装需考虑各种外部环境影响,可得到其内部温度变化模型。由于箱体包装的内部温度可达到 70.77℃,可将某地的弹药包装箱体内部最高温度等级定为 75℃。对于高温高湿地区弹药的包装运输具有参考意义。

夏天暴露在太阳中的堆放弹药箱,其箱体内顶层的温度最高,上层相对较高,中部次之,下部最低,外表面相对低些。在环境同等的条件下,半箱装弹药与满箱装弹药情况大不相同,与满箱装弹药相比,半箱装弹药温度低 1~5℃,与实际的客观规律相符,因此弹药装箱不能太满或接触到箱顶部,同时弹药集装箱体储运也可作为野战仓库使用。

为保证弹药质量,对于弹药储存中那些易受环境湿度影响较大的弹药,可以采用密封的箱体包装加以防护,主要的形式有:防潮包装、干燥空气封存包装等。由于夏季气候闷热、湿度大,应考虑避免夏季运输。如果集装运输也要有降温措施,可考虑采用保温、隔热包装箱或采取遮蔽措施。

参考文献:

- [1] GJB 3493—98, 军用物资运输环境条件[S].
GJB 3493—98, Military Goods Transport Conditions[S].
- [2] 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): 29.
AN Zhen-tao, HU Jun-wei, GONG Yong-xiao, et al. Test on Internal Humidity Change of Ammunition Sealed Packaging[J]. Packaging Engineering, 1994, 15(1): 29.
- [3] 赵世宜, 田润良, 李勤真, 等. 军用物资集装箱运输机械环境条件及防护要求[J]. 装备环境工程, 2005, 2(3): 19—21.
ZHAO Shi-yi, TIAN Run-liang, LI Qin-zhen, et al. Mechanical Environmental Condition and Protection Demands of Military Materials in Container Conveyance[J]. Equipment Environmental Engineering, 2005, 2(3): 19—21.
- [4] 罗天园, 吴波, 但渝霞. 弹药环境适应性设计需要考虑的几个问题[J]. 装备环境工程, 2007, 4(1): 63—66.
LUO Tian-yuan, WU Bo, DAN Yu-xia. Problems Needed to be Considered in Ammunition Environmental Worthiness Design[J]. Equipment Environmental Engineering, 2007, 4(1): 63—66.
- [5] 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, 1995(3): 20—22.
LIU Heng-chun, LIU Zhi-yang, DING Jun. Researched on Internal Humidity Change Rule of the Ammunition Seal Packing[J]. Journal of explosives & propellants, 1995(3): 20—22.
- [6] 安振涛. 军械储存与环境控制[M]. 天津: 兵器工业出版社, 1998.
AN Zhen-tao. Weapons Storage and Environmental Controls[M]. Tianjin: Weapons Industry Press, 1998.
- [7] 李金明, 高兴宝, 安振涛. 基于提高综合保障能力的弹药包装改进构想[J]. 包装工程, 2004, 25(3): 101—102.
LI Jin-ming, GAO Xin-bao, AN Zhen-tao. Idea of Ammunition Packaging Base on Improving Synthesis Ensure Ability[J]. Packaging Engineering, 2004, 25(3): 101—102.
- [8] 潘文庚. 温度和电磁环境对航弹失效影响分析[D]. 南京: 南京理工大学, 2008.
PAN Wen-geng. Study of the Temperature and Electromagnetic Environment on the Failure of Aerial Ammunition[D]. Nanjing: Nanjing University of Science and Technology, 2008.
- [9] 李奇志. 库房温湿度变化对密封盒内装弹药的影响[J]. 火炸药学报, 1994(1): 29—30.
LI Qi-zhi. Warehouse Temperature and Humidity Changes Impact on Sealing Box of Ammunition[J]. Chinese Journal of Explosives & Propellants, 1994(1): 29—30.
- [10] 田润良, 赵世宜, 周继强. 高温高湿地区集装箱内部温湿度环境条件研究[J]. 装备环境工程, 2005, 2(4): 29—30.
TIAN Run-liang, ZHAO Shi-yi, ZHOU Ji-qiang. Researched on Temperature and Humidity Environmental Conditions of Military Dangerous Materials in Container Transportation[J]. Equipment Environmental Engineering, 2005, 2(4): 29—30.
- [11] 侯丽霞. 有关火工品质量问题的几点思考[J]. 火工品, 2000(1): 52—56.
HOU Li-xia. Considerations on Quality Control of Initiating Explosive Devices[J]. Initiations & Pyrotechnics, 2000(1): 52—56.
- [12] 孙贵之, 张余清, 祁立雷, 等. 野战条件下弹药微环境温湿度控制技术研究[J]. 装备环境工程, 2005, 2(4): 46—50.
SUN Gui-zhi, ZHANG Yu-qing, QI Li-lei, et al. Research of the Temperature and Moisture Control Technique for Ammunition in Micro Environment under Field Condition[J]. Equipment Environmental Engineering, 2005, 2(4): 46—50.
- [13] 王武. 军用电子设备环境适应性研究[D]. 成都: 电子科技大学, 2005.
WANG Wu. Research on the Environment Adaptability for Military Electronic Equipment[D]. Chengdu: University of Electronic Science and Technology, 2005.
- [14] 张忆桥. 地面弹药库温度湿度管理浅析[J]. 山西科技, 2007(5): 41—42.
ZHANG Yi-qiao. Brief Analysis on the Management of the Temperature and Humidity of Ground Ammunition Depots[J]. Shanxi Science and Technology, 2007(5): 41—42.
- [15] 张勇, 刘刚. 弹药包装材料的发展[J]. 包装与食品机械, 2009, 27(6): 63—65.
ZHANG Yong, LIU Gang. The Development of Ammunition Packaging Materials[J]. Packaging and Food Machine, 2009, 27(6): 63—65.