

# 弹药保温时间试验研究\*

齐杏林<sup>1</sup>, 姜波<sup>1</sup>, 贾波<sup>2</sup>, 崔亮<sup>1</sup>, 程玉川<sup>3</sup>

(1 解放军军械工程学院, 石家庄 050003; 2 总装驻西安军代局, 西安 710054;

3 总装 31 试验基地, 吉林白城 137001)

**摘要:** 鉴于我军弹药保温时间过长, 为了准确得到弹药保透所需时间, 对弹药保温展开试验研究。利用传热学理论对弹药保温过程中的传热特性进行分析, 建立弹药保温传热学模型, 通过试验得到弹药温度场分布与保温时间的关系及弹药保透所需时间。结果证明了现行军标规定保温时间确有很大压缩空间。

**关键词:** 弹药保温; 弹药储存; 试验研究

中图分类号: TJ410 文献标志码: A

## The Experiment Study of Heat Preservation Time of Ammunition

QI Xinglin<sup>1</sup>, JIANG Bo<sup>1</sup>, JIA Bo<sup>2</sup>, CUI Liang<sup>1</sup>, CHENG Yuchuan<sup>3</sup>

(1 Ordnance Engineering College, Shijiazhuang 050003, China;

2 Military Representative Bureau, Xi'an 710054, China; 3 No. 31 Proving Ground, Jilin Baicheng 137001, China)

**Abstract:** In view of long heat preservation time of ammunition, in order to gain accurate time to condition fullness, the experiment study of heat preservation time of ammunition was carried out. In the paper, the process of the ammunition's temperature conditioning was analyzed based on the theory of transmit heat. The model of heat preservation of ammunition was established. The relation of the distribution of ammunition's temperature field with the time of heat preservation and the time of heat preservation were got. The result approves the time of the ammunition temperature conditioning can be compressed a lot. The study provides scientific basis for improvement.

**Keywords:** ammunition heat preservation; ammunition storage; test study

### 0 引言

关于弹药保温时间国军标和美军标相比过长, 约为它们的 2~3 倍<sup>[1-2]</sup>。GJB 349.21-89 常规兵器定型试验方法炮用发射装药中关于弹药保温时间规定发射装药 57mm 口径以下保温时间不小于 24h; 57~100mm 口径保温时间不小于 36h; 100~155mm 口径保温时间不小于 48h; 155mm 口径以上保温时间不小于 72h。而美国常规弹药保温时间基本都在 24h 以内。我科研人员对弹药进行试验时, 都在弹药保温上耗费了大量的时间, 浪费了大量的人力物力, 使研究成本提高。为此, 开展弹药保温时间研究, 在保证弹药内部温度符合试验要求、不影响射击精度的情况下, 适当缩短保温时间, 具有重大意义。

### 1 弹药传热过程分析

对于弹药结构都可简化为如图 1 所示。弹药放入保温箱(房)后, 它与环境发生热交换。此过程的传

热问题可简化为一个非稳态、无源、轴对称导热模型。

对弹药模型做以下假设:

1) 发射药挥发份及颗粒表层微孔内气体吐纳忽略不计。通常, 因加工工艺需要发射药制成品中含有少量或微量的挥发份, 在贮存和运输过程中, 会随时间缓慢析出。

此外, 发射药表层可能分布有微形孔隙, 随温度变化, 其中气体可能发生吐纳。但这些均属于微量, 与药粒间空隙中气体存量相比, 均可忽略不计。保温过程是一个无源的瞬态导热问题<sup>[3]</sup>。

2) 材料导热性能各向同性。

3) 不考虑化学反应和相变。

4) 气体和固体的热物性值均视为常量。

5) 弹药内部的温度分布是二维的, 即在应用柱坐标时, 温度函数  $T$  只是关于空间坐标以及时间的函

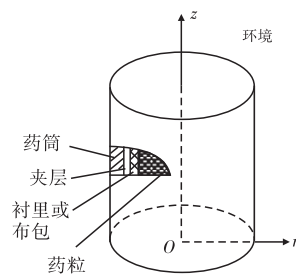


图 1 弹药结构示意图

\* 收稿日期: 2011-12-22

作者简介: 齐杏林(1964-), 男, 河北保定人, 教授, 博士, 研究方向: 弹载机电系统检测技术。

数。

6) 由于研究的温度范围不是太大,辐射换热可忽略不计。

7) 不考虑装药床气体空隙内的对流。文中研究的装药传热问题,由于药床温度变化速率不大,空隙率为中等数值,药床内部气流通道弯曲,因此空隙内气体速度很小,可不考虑对流换热。

控制热传导的微分方程式将坐标变换为圆柱坐标,可以得到研究对象为圆柱时的温度场微分方程<sup>[4]</sup>:

$$\lambda_r \frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{\lambda_r}{r} \frac{\partial T}{\partial r} + \frac{\lambda_\theta}{\theta^2} \frac{\partial^2 T}{\partial \theta^2} + \lambda_z \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + \dot{q} = 0$$

对轴对称问题,由于温度  $T$  的分布与  $\theta$  无关,所以,上述方程可简化为:

$$\lambda_r \frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{\lambda_r}{r} \frac{\partial T}{\partial r} + \lambda_z \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + \dot{q} = 0$$

通过分析弹药保温过程,该问题边界条件为传热学第三类边界条件。

边界条件:  $q = h(T_w - T_f)$

其中:  $h$  是换热系数,  $T_w$  是环境温度,  $T_f$  是壁面温度。药筒壁上满足牛顿冷却公式。

初始条件:  $T(t, z, r)|_{t=0} = T(0, z, r)$  表示弹药初始温度为定值。

## 2 弹药保温试验研究

### 2.1 弹药改装方法

弹药热力学中心是弹药最后一个达到场温度的点。通过数学建模,对根据弹药的结构尺寸建立的实体进行保温过程的数值计算,得到了弹丸装药和发射装药的热力学中心点位置。

在发射装药的底火中心打孔,用于传感器信号线引出,并用密封胶做密封处理,如图2所示。在尺寸允许的情况下将传感器探头插入药粒中心,尺寸不满足的需要适当扩孔,图3为药粒改装图。将插有传感器探头的发射药粒置于发射装药热力学中心处,使传感器探头处于发射装药热力学中心处。



图2 底火改装

每发药筒布置一到两个温度传感器探头,其中一个置于药筒外壁,距药筒底部大于药筒的最大半径处;发射装药布置一到两个温度传感器探头,其中一个置于药筒热力学中心点处。



图3 药粒改装

### 2.2 测温传感器及仪器的选择

1) 对温度传感器的要求

测量温度范围:  $-100^\circ\text{C} \sim +80^\circ\text{C}$ ;

测量精度:  $\pm 0.1^\circ\text{C}$ ;

显示分辨率:  $0.1^\circ\text{C}$ ;

传感探头尺寸: 小于  $\Phi 3\text{mm} \times 10\text{mm}$ 。

2) 传感器选择

在温度测试中,选用T型热电偶传感器。热电偶温度传感器的测温原理为当两种不同金属的导线连接一起时,会产生电动势,该电动势为温度的函数,当温度变化时,电动势也随之变化,因此热电偶的电压和温度一一对应。T型热电偶的温度测试范围为  $-200^\circ\text{C} \sim 400^\circ\text{C}$ ,测试精度为  $0.1^\circ\text{C}$ ,能够满足测试过程中温度范围和精度的要求;而且其探头尺寸较小,仅2mm左右,可以较好的满足测试中的尺寸要求。为此,选择T型热电偶传感器用于测试温度值。

2700多功能测试仪(图4所示)是美国吉时利仪器公司生产的6 1/2高性能数字多用表/数据采集系统,可以实时自动采集并存储测量温度,测量精度高,可以测量直流、交流电压/电流、2线/4线电阻、热电偶、热敏电阻和4线RTD测温 and 频率。该测试仪可选用热电偶、热敏电阻和4线RTD进行温度测量。热电偶测温最方便,热敏电阻是最灵敏的,4线RTD是最稳定的。温度试验箱为某型低温试验箱,湿热试验箱,如图5所示。



图4 2700多功能测试仪



图5 温度试验箱内部图

### 2.3 实验室测试及结果

本次测试弹药口径为35mm、37mm、57mm、100mm、122mm和155mm。测出温度随时间变化曲线,得出弹药保温所需要的最小时间,具体步骤为:

1) 测试弹药改装,如图6;

2) 测试仪器高、低温试验箱的准备;

3) 被测试弹药放入试验箱,如图 7;

4) 测试仪器的连接、准备、调试;

5) 待弹药达到温度平衡状态,记录环境温度、时间、各测试点温度及保温箱显示温度,如图 8;

6) 设定弹药保温的标称温度,高温 +50℃,低温 -40℃,开始升/降温;

7) 每隔 30min 记录一次温度;

8) 从设备第一次达到标称温度开始计时,连续记录 30h 的测试数据;

9) 停机,对试验结果进行整理。

注意事项:

1) 试验箱(室)中应装有传感器,用于监控试验条件;

2) 为保持试验条件的均匀性,试验箱内采用强迫空气循环,但试验样品周围的空气速度不应超过 1.7m/s,以防止试验样品内产生不符合实际的冷或热传导;

3) 试验箱(室)内的绝对湿度不超过 20g/m<sup>3</sup>,相当于 35℃时 50%的相对湿度;

4) 温度变化速率不应超过 10℃/min。

图 9 为某 35mm 口径弹药保温过程,弹药热力学中心点温度随时间变化图。



图 6 传感器的固定



图 7 将弹药放入保温箱



图 8 数据记录

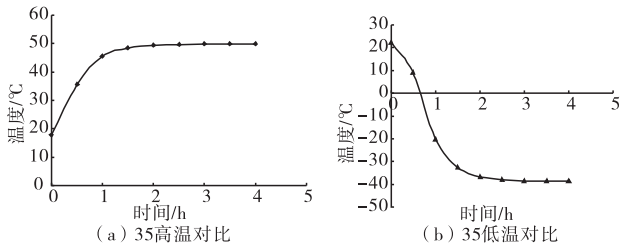


图 9 某 35mm 口径弹药保高、低温过程热力学中心点温度随时间变化

图 10 为某 122mm 口径弹药保温过程弹药热力学中心点温度随时间变化图。

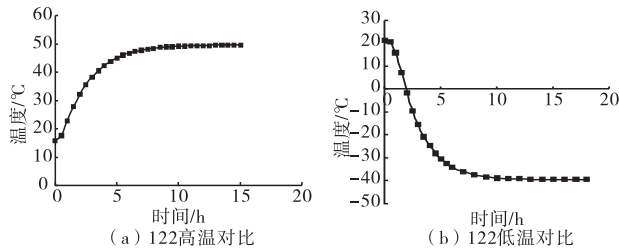


图 10 某 122mm 口径弹药发射装药保高、低温过程热力学中心点温度随时间变化

### 3 结果

试验结果得出:35mm 和 37mm 口径弹药在 3h 内都可保透,100mm 口径弹药需要 16h;122mm、130mm 口径弹药需要 22h、155mm 口径弹药需要 34h。考虑浸泡余量和工作时间的问题可将 130mm 以下口径规定为可在 24h 内保温完成,130mm 以上口径规定为可在 36h 内保温完成。

### 4 结论

通过对弹药保温过程分析找出适合数值计算的合理模型,并通过实际试验验证了模型的正确性。试验结果显示我军标规定的保温时间远远超过了弹药保透所需时间,应按照试验结果合理缩短。

#### 参考文献:

- [1] Francis DJ. Final Report of research study of ammunition temperature conditioning time requirements, DSP - 1665 [R]. 1965.
- [2] 张建伟. 发射装药温度场变化规律初探[J]. 兵器试验, 2006 (2):67 - 72.
- [3] 李杰. 箭炮发射装药非稳态传热性能研究[D]. 南京: 南京理工大学, 2008.
- [4] 赵镇南. 传热学[M]. 2 版. 北京: 高等教育出版社, 2008.