

高低温环境试验中的武器温升分析*

黄正祥, 高森烈, 陈惠武, 官 程

(南京理工大学机械学院, 南京 210094)

[摘要] 随着科技的发展, 武器的高低温试验变得越来越重要了, 但无论是固定式高低温试验系统还是机动式高低温试验系统, 当武器脱离高低温试验系统转入性能试验过程中, 武器本身的温度对周围环境温度存在突变, 而武器与周围环境的热量交换将影响武器性能试验。本文针对此问题以火炮炮管温升为例进行分析, 得到了火炮系统温升随时间变化的规律, 为试验反应时间确定提供了依据。

[关键词] 武器; 高低温; 环境试验

[中图分类号] TJ 306 [文献标识码] A

1 引言

随着科学技术的发展, 军事装备的复杂程度日益增加, 现代战争使复杂的武器系统面临严酷使用环境的考验, 它既要在 60 左右的高温环境下工作, 又要在- 40 左右的低温环境下工作; 既要在高原低气压和风沙条件下工作, 又要在海上和沼泽地中工作。这都要对武器系统的性能产生影响, 比如高温会引起老化, 使绝缘失效, 低温会引起零件体积缩小使机械强度降低等。因此, 环境试验是海、陆、空武器系统性能试验的一个重要组成部分。在国内, 目前高低温环境试验设备很多, 有固定式(土建结构或板拼结构)的高低温设备, 以及湿热、盐雾等多功能的环境试验室。试验条件要求当武器升降温到一定温度值时, 保温库体快速后撤, 武器立即进行射击等性能试验。无论是固定式的高低温设备还是机动式高低温系统, 武器须脱离高低温系统然后进行性能试验。在这一过程中, 武器本身的温度相对周围环境温度存在着突变, 因此在保温库体后撤过程中, 武器与周围环境进行热量交换, 引起武器表面温度的变化, 从而影响武器的性能试验。本文针对此问题以火炮炮管温升为例进行分析, 得到了火炮系统高低温试验的温升随时间的变化规律, 为不同武器系统试验反应时间的确定提供了依据。

2 模型的建立

以 140 口径火炮武器的身管为例, 火炮壁厚简化为 20mm 等壁厚, 并作如下假设:

- (1) 忽略身管长度对传热的影响;
- (2) 身管内表面与身管内空气也存在对流换热, 且一段封闭;
- (3) 忽略身管沿长度方向的厚度变化对温升的影响。

* 收稿日期: 2000-04-24

作者简介: 黄正祥(1967—), 男, 南京理工大学讲师, 在读博士生, 从事弹药测试技术和破甲技术的教学和科研工作。

因此该模型简化为一维非稳态导热问题。身管计算模型如图 1 所示。



图 1 身管计算模型

3 理论分析

由一维非稳态导热理论知, 炮管在柱标系下的导热微分方程及初值和边界条件为:

$$\frac{\partial}{\partial \tau} = \alpha \left(\frac{\partial^2}{\partial r^2} - \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial}{\partial r} \right) \tag{1}$$

$$-\lambda \frac{\partial}{\partial r} \Big|_{r=r_1} = \alpha_i (t_{f1} - t_{w1}) \tag{2}$$

$$-\lambda \frac{\partial}{\partial r} \Big|_{r=r_2} = \alpha_e (t_{w2} - t_{f2}) \tag{3}$$

$$t(r, 0) = t_\alpha \tag{4}$$

t_α —为炮管初值

λ —膛壁材料的导热系数, $\lambda= 46 \text{ W/m} \cdot \text{K}$

α —导温系数, 取 $\alpha= 1.240 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$

α_i —身管内表面对空气的换热系数

α_e —身管外表面对空气的换热系数

t_{f1} —身管内空气温度

t_{f2} —空气温度

t_{w1} —膛内温度

t_{w2} —身管外表面温度

3.1 内部结点的有限差分方程

这里采用显式中心差分格式, 用下标 i 表示节点的空间位置, 用上标 k 表示所处的时刻。

$$\frac{\partial^2}{\partial r^2} = \frac{t_{i+1}^k - 2t_i^k + t_{i-1}^k}{(\Delta r)^2} \tag{5}$$

$$\frac{\partial}{\partial r} = \frac{t_{i+1}^k - t_i^k}{\Delta r} \tag{6}$$

$$\frac{\partial}{\partial \tau} = \frac{t_{i+1}^k - t_i^k}{\Delta \tau} \tag{7}$$

式中 Δr 为距离步长

将(5)、(6)、(7)代入导热微分方程

$$\frac{t_{i+1}^{k+1} - t_i^{k+1}}{\Delta \tau} = \alpha \left(\frac{t_{i+1}^k - 2t_i^k + t_{i-1}^k}{(\Delta r)^2} - \frac{1}{r_i} \cdot \frac{t_{i+1}^k - t_i^k}{\Delta r} \right) \tag{8}$$

3.2 边界条件的有限差分方程

$$-\lambda \frac{t_i^k - t_0^k}{\Delta r} = \alpha_i (t_f - t_0^k) \tag{9}$$

$$-\lambda \frac{t_n^k - t_{n-1}^k}{\Delta r} = \alpha_e (t_n^k - t_{f2}) \tag{10}$$

3.3 稳定性条件分析

从第(8)式中可以看出 $k+1$ 时刻, 壁内各等温面上的温度为

$$t_i^{k+1} = \frac{\alpha \Delta \tau}{(\Delta r)^2} (1 - \frac{\Delta r}{2\Delta r_i}) t_{i+1}^k + \frac{\alpha \Delta \tau}{(\Delta r)^2} (1 + \frac{\Delta r}{2\Delta r_i}) t_{i-1}^k + [1 - \frac{2\alpha \Delta \tau}{(\Delta r)^2}] t_i^k \tag{11}$$

式中 $\alpha \Delta \tau / (\Delta r)^2 = F_0$ 代表以 $\Delta \tau$ 及 Δr 表示的傅立叶数, 同时令

$$A_1 = 1 - \frac{\Delta r}{2r_i}, \quad A_2 = 1 + \frac{\Delta r}{2r_i}$$

则
$$t_i^{k+1} - t_i^k = F_0 [A_1 t_{i-1}^k + A_2 t_{i+1}^k] + (1 - 2F_0) t_i^k \quad (12)$$

当 $F_0 > 1/2$ 时, 式(7)右边第二项将成为负值。这说明 t_{i+1}^k 和 t_{i-1}^k 在此条件下, t_i^{k+1} 反而愈低, 这是不符合实际情况, 也就是说这时的解是不稳定的。因此该模型有限差分分解的稳定性条件是 $F_0 < (1/2)$ 。

3.4 换热系数

若炮管外表面处于无风环境下且横放, 则

$$Nu = C (Gr \cdot Pr)^n \quad (13)$$

其中 $Gr = \frac{g \beta d^3 \Delta t}{\nu^2}$ $\alpha = \frac{Nu \cdot \lambda}{d}$

炮管内表面属于有限空间, 它的传热系数由下列公式计算。

$$Nu = 1 + [1 - \frac{1708}{Re}] \cdot [k_1 + 2(\frac{Re^{\frac{1}{4}}}{k_2})^{1-m(Re^{\frac{1}{3}}/k_2)}] + [(\frac{Re}{5830})^{\frac{1}{3}} - 1] \quad (14)$$

其中 $k_1 = \frac{1.44}{1 + \frac{0.018}{Pr} + \frac{0.00136}{Pr^2}}$ $k_2 = 75 \exp(1.5 Pr^{\frac{1}{2}})$ $\alpha = \frac{Nu \cdot \lambda}{l}$

4 计算结果及分析

将炮管壁沿半径方向分解成厚度为 Δr (距离步长)的 n 层, 每层编上号, 内表面编号为“0”号, 向外依次编号为 1, 2, 3, …… l, r, \dots, n (n 代表外表面)。时间步长取为 $\Delta \tau$, 采用显式差分格式, 取距离步长与时间步长使其满足稳定性条件, 计算结果如表 1。

表 1 数值计算数据

时间 $m \text{ in}$	节点 0	节点 1	节点 2	节点 3	节点 4	节点 5	节点 6
1	- 39 53	- 39 54	- 39 55	- 39 56	- 39 55	- 39 57	- 39 56
2	- 39 12	- 39 13	- 39 14	- 39 15	- 39 14	- 39 16	- 39 16
3	- 38 72	- 38 73	- 38 74	- 38 75	- 38 74	- 38 74	- 38 75
4	- 38 32	- 38 33	- 38 34	- 39 33	- 38 34	- 38 35	- 38 35
5	- 37 94	- 37 95	- 37 95	- 37 96	- 37 94	- 37 85	- 37 96
6	- 37 55	- 37 56	- 37 57	- 37 56	- 37 57	- 37 58	- 37 58
7	- 37 16	37 17	- 37 18	- 37 19	- 37 18	- 38 19	- 38 18
8	- 36 77	- 36 78	- 36 78	- 36 79	- 36 79	- 36 80	- 36 80
9	- 36 38	- 36 39	- 36 39	- 36 40	- 36 40	- 36 41	- 36 41
10	- 35 99	- 36 00	- 36 01	- 36 01	- 36 02	- 36 02	- 36 03

从上面计算的结果来看, 当库体后撤 5s 钟后, 炮管的温度上升了 2 多, 因此, 若要炮管保温温度控制在 ± 2 左右, 库体的后撤时间不大于 5s, 这样才能使炮管的性能试验不受影响。但在计算过程中未考虑库体后撤后, 由于炮管温度很低, 将使炮管表面结露, 这种现象

将会使外表面的放热系数发生变化。从而使计算的温度与实测温度有出入。由此可以看出在武器系统进行高低温试验后转入性能试验过程中,此过程的时间针对不同的武器系统有不同的要求,但不能太长,应控制在 5s 以内为宜,否则将影响武器性能试验。

南京理工大学和兵总 051 基地共同研制的一套机动式大型武器高低温环境试验系统能满足上述要求,该系统最大的特点是试验现场机动性强,可在较短时间内完成待试武器从保温库体内到试验状态的转换。

[参 考 文 献]

- [1] 杨世铭 传热学[M] 北京:高等教育出版社,1987
[2] W. M 罗森诺等编 传热学应用手册[M] 北京:科技出版社出版,1983

The analysis of Weapon's Temperature Rise in the Environmental Test of High-low Temperature

HUANG Zheng-xiang, GAO Shen-li, CHEN Huiwu, GUAN Cheng
(Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094 China)

Abstract With the developing of science technology. The test of high-low temperature of weapons become more important. Whether the stationary type test system of high and low temperature or movable type test system of high and low temperature. When the weapons abjuncted the test system and went to the process of service test. This is mutation the temperature of weapon itself and environmental temperature, it will influence the weapon service test. This paper discuss the problem and determined the rule of weapon's temperature rise with time change.

Key words: Weapon; High-Low temperature; Environmental test