

【武器装备】

某火炮制退机散热分析

张洪挺,何永,饶越

(南京理工大学,南京 210094)

摘要:火炮的连续发射使制退机内液体温度不断升高,当温度达到制退液的沸点时,会导致后坐部分复进不到位,从而造成火炮的故障和损坏。针对这个问题建立了某火炮制退机简化模型,运用 Ansys/Flotran 软件对火炮的制退机进行散热分析,得出制退机的散热规律及温度分布。结果表明,该方法简单可行,构思新颖,为以后选取有较好散热性能的制退机材料提供依据。

关键词:制退机;散热分析;散热性能

中图分类号:TJ303.4

文献标识码:A

文章编号:1006-0707(2011)09-0021-03

Heat Dissipation Analysis of Gun Recoil Absorber

ZHANG Hong-ting, HE Yong, RAO Yue

(Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China)

Abstract: As the temperature of gun recoil fluid rising continually through gun firing, the gun recoil fluid would reach to the boiling point. It might cause recoil parts failure of counter recoil to go forward, and made the gun in trouble or great damage. Aimed at this puzzle, the paper built a gun recoil absorber predigestion model, then made the simulation of heat dissipation analysis by ansys/flotran, and finally tried to know the recoil heat dissipation law and distribution of temperature. The result of heat dissipation analysis shows that it is feasible in simplification, and novel in design, and provides a method while choose the material of recoil absorber owned a better heat dissipating performance.

Key words: recoil absorber; heat dissipation analysis; heat dissipating performance

近年来,火炮的射击速度不断地提高,从第3代最大射速4~6发/min发展到第4代最大射速8~12发/min,火炮射速的提高具有典型性。然而火炮的身管、制退机温升也加剧了,因此了解火炮制退机的散热规律,以保障火炮的正常工作显得尤为必要。针对火炮制退机的温升散热问题,国内外学者主要通过数值计算和实验的方法得出火炮的温升。首先根据火炮后坐吸收的能量算出火炮制退机单发温升,然后依据火炮的温升限值和每发的温升便可求得火炮持续射击的发数,保障火炮的可靠运行和人员安全。本文主要从研究火炮制退机散热规律的角度,运用 Ansys/Flotran 热分析功能对模型进行仿真,得出制退液的散热规律和温度分布,在未达到温升限值的前提下,为以后选取有较好散热性能的制退机材料提供依据。

1 制退机原理及模型简化

在火炮发射时,制退机产生一定规律的阻力,消耗火炮后坐能量,限制后坐长度,控制后坐和复进运动的规律。

火炮后坐时,活塞挤压工作腔内的一部分液体,使这部分液体通过流液孔进入非工作腔,另一部分液体流入复进节制腔,此时液体压力对制退机活塞的合力,构成后坐时液压阻力的主要部分。复进时,复进节制腔内的液体经过复进制流液孔流出。当后坐非工作腔的真空消失后,其腔内液体沿后坐流液孔流回工作腔。复进节制腔及后坐非工作腔液体压力对制退杆连同活塞的作用,构成复进时的液压阻力。

收稿日期:2011-07-14

作者简介:张洪挺(1987—),男,硕士研究生,主要从事火炮、自动武器与弹药工程研究。

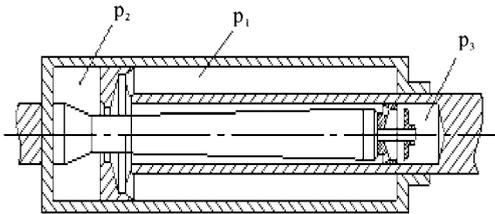


图1 制退机结构原理

火炮后坐部分的能量大部分被液压阻力所做的功抵消,并最终被制退机吸收转化为热能。当火炮连续发射时,制退机的温度会不断升高。因此,短时间内火炮发射的数量是相对固定的。

由于制退机的结构比较复杂,对其进行热分析也有些困难。因此在保持其主要结构特征的前提下,对制退机结构做一些简化:

- 1) 把三维传热模型简化为二维轴对称传热模型;
- 2) 将各个倾斜的边界简化为水平或垂直的边界;
- 3) 考虑到活塞对整体散热的影响很小,将内部结构简化为实心杆。

简化后的模型如图2所示。



图2 简化模型

2 传热数值模型建立

热量的传递有3种基本方式:热传导、热对流、和热辐射。制退机的冷却同时包含了3种基本传热方式。本文制退机冷却的传热方式主要考虑热传导和热对流,热辐射将以适当增大传热系数的方式考虑到模型中。

其传热过程的热流量可以用式(1)表示。

$$\Phi = \left(\frac{\lambda}{\delta} + h \right) \Delta t \quad (1)$$

制退机的冷却过程没有内热源,其导热微分方程为

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = \frac{\lambda}{\rho c} \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) \quad (2)$$

制退液的自然对流传热微分方程组如下:

连续性方程

$$\frac{\partial \rho}{\partial \tau} + \rho \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right) = 0 \quad (3)$$

动量守恒方程

$$\frac{\partial u}{\partial \tau} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = g\alpha\theta + \nu \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \quad (4)$$

能量守恒方程

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} + u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} = a \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \quad (5)$$

其中: α 是体积膨胀系数, $\alpha = -\frac{1}{\rho} \frac{\rho_{\infty} - \rho}{T_{\infty} - T}$; a 是热扩散率,

$$a = \frac{\lambda}{\rho c}; \theta \text{ 是过余温度 } \theta = T_{\infty} - T.$$

对流传热微分方程

$$h_x = - \frac{\lambda_f}{(T_w - T_f)_x} \left(\frac{\partial T_x}{\partial y} \right)_{y=0} \quad (6)$$

建立以上微分方程加上定解条件,便可对制退机的传热模型进行求解。

3 仿真及结果分析

3.1 初始条件和材料参数确定

制退机散热分析的初始条件:环境温度恒为15℃,制退机初始温度为80℃。仿真中的温度用开氏温度计算,与摄氏度的换算公式是 $^{\circ}\text{C} = \text{K} - 273$ 。制退机长为310mm,半径68mm。仿真中用到的材料是水和碳钢。碳钢选用0.5%的中碳钢,其材料参数:密度7840 kg/m^3 ,导热系数48.9 $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$,比热465 $\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ 。制退液的材料用水代替。由于本次仿真考虑制退液的自然对流,因此必须考虑液体的密度随温度变化,又因水的黏度随温度变化比较快,所以也按变量处理。至于比热和导热系数,随温度变化很小,可以按常量处理。导热系数 λ 为0.648 $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$,比热 C 为4174 $\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ 。

液体的密度将使用一个以温度为函数的二次多项式

$$\rho = \rho_0 + k_1(T - T_0) + k_2(T - T_0)^2 \quad (1)$$

液体的黏度

$$\eta = \eta_0 \exp \left[c_1 \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right) + c_2 \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right)^2 \right] \quad (2)$$

要得到液体的密度和黏度,必须先得到它们各自的系数 K_1 、 K_2 、 C_1 、 C_2 ,其值可以根据表1中的数据求得。

表1 水的材料参数

$T/^{\circ}\text{C}$	$\rho/(\text{kg} \cdot \text{m}^{-3})$	$\eta/(\text{Pa} \cdot \text{s})$
20	971.8	355.1×10^{-6}
30	977.7	406.1×10^{-6}
40	983.2	469.9×10^{-6}
50	988.0	549.4×10^{-6}
60	992.2	653.3×10^{-6}
70	995.6	801.5×10^{-6}
80	998.2	$1\,004 \times 10^{-6}$

根据表1中的数据,可以得出式(1)和(2)中的系数,其中: $K_1 = -0.632$, $K_2 = -2.87 \times 10^{-3}$, $C_1 = 1\,570$, $C_2 = 5.941 \times 10^5$ 。

3.2 网格模型的建立及结果分析

由于制退液的自然对流受到重力的影响,而本次采用的是轴对称模型,所以考虑将模型竖直放置,并取纵向截面的一半作为研究对象。网格划分好后的模型如图3所示,网格模型包含了754个单元,网格数为13×58。求解器选择三对

角矩阵法(TDMA),重力 g 取 9.81 m/s^2 。为了查看方便,显示了在水平方向上放大了2倍的网格模型,但是不影响计算过程。

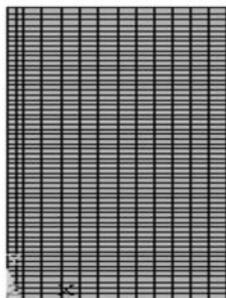


图3 网格模型

对上面的模型加载求解,得出制退机自然冷却的散热情况。图4是经过25 min冷却后制退机的温度分布。由图4可知,制退机固体部分由上往下温度逐层递减,有明显的分层现象。由于制退液存在自然对流,它的温度分布跟液体流动相关联。但总体来说,上层流体的温度要比下层的高。

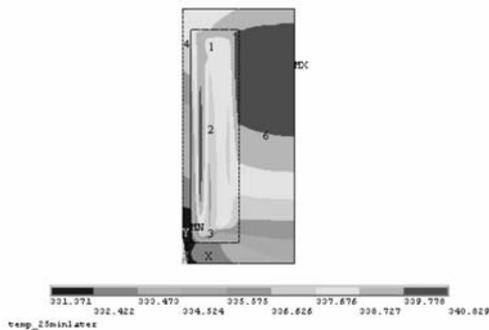


图4 25 min后制退机内的温度分布

为了得到制退机的温度冷却规律,选取模型中的6个节点做为研究对象,研究它们的温度冷却情况。

图5是制退液内3个节点的温度随时间变化的分布规律。从图5中可以看到,位置1、2、3的散热规律相似,只是在每个时刻的温度按位置1、2、3的秩序递减。这符合制退液自然对流的温度分布规律:靠近左侧的液体经左壁冷却,温度下降,密度变大下沉,同时右侧液体源源不断地补充到左壁,使制退液总体上按逆时针方向流动。最终上层液体的密度相对较小,温度较高,下层液体密度较大,温度也较低。从图4中还可以看出经过25 min的冷却后,节点的温度从最初的353 K冷却到338 K左右,即从 $80\text{ }^\circ\text{C}$ 冷却到 $65\text{ }^\circ\text{C}$ 左右。

图6是制退机的制退筒壁和制退杆内3个节点的温度变化规律。从随时间冷却的温度变化图中可以看出,制退筒壁上两点的温度变化,即4和5点处的冷却速度明显比制退杆内6点处的冷却速度快。冷却最快的是靠近左侧底端的地方,比如4点处经过25 min后温度冷却到 $59\text{ }^\circ\text{C}$ 。温度变化较慢的制退杆,比如6点处,温度只冷却到 $67\text{ }^\circ\text{C}$ 。

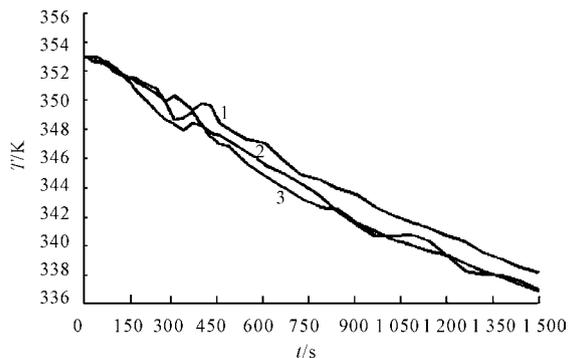


图5 制退液内三点的温度变化规律

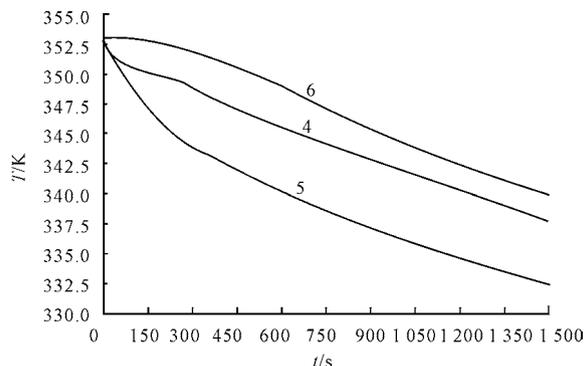


图6 制退筒和制退杆内三点的温度变化规律

4 结束语

通过上述仿真和结果分析可以看出,本次研究的方案可行,得出的结果也有一定的研究价值。本文从有限元仿真这一方面得出在火炮发射完后,制退机内各点的温度变化规律,为制退机的热分析研究提供了思路。但是本文研究基于某中口径火炮的制退机以及一些特定的条件,加上模型进行了较大的简化,所以其结果有一定的局限性。今后将针对各具体的条件,建立接近制退机实际结构的模型,对其进行相关的热分析,得出更加普遍适用的规律。

参考文献:

- [1] 高树滋,陈运生. 火炮反后坐装置设计[M]. 北京:兵器工业出版社,1995.
- [2] 戴锅生. 传热学[M]. 2版. 北京:高等教育出版社,1999.
- [3] 谈乐斌,张相炎,管红根,等. 火炮概论[M]. 北京:北京理工大学出版社,2005.
- [4] 陈龙森. 复合材料身管热学性能研究[D]. 南京:南京理工大学,2005.
- [5] 孙宝岩,万国新,冉节约. 驻退机温升机理分析与控制对策[J]. 四川兵工学报,2008,29(6):47-48.
- [6] 陈桂东,周彦煌. 火炮身管报警温度的确定[J]. 兵工学报,2008,29(1):19-22.
- [7] 李小雷,周克栋,苏铁熊. 一般轴对称非正常热传导问题的有限元分析[J]. 华北工学院学报,1999,20(1):14-20.

(责任编辑 陈松)