

doi: 10.7690/bgzdh.2024.06.017

高射速自动机身管热容量分析

李睿¹, 华志坚¹, 宁春交², 陈文君²

(1. 海装广州局, 重庆 400021; 2. 重庆长安望江工业集团有限公司, 重庆 400021)

摘要: 针对自动机在连续射击条件下, 身管承受高频、高温冲击作用的特点, 建立自动机发射过程中身管的热传导有限元分析模型。采用热传导学理论与有限元方法相结合方法, 重点分析不同射弹数、不同身管壁厚和不同发射方式下, 身管内、外壁温度数据的变化规律。该分析可对自动机身管热容量设计提供一定的指导意义。

关键词: 身管; 有限元; 热传导; 尖峰温度; 瞬时温度

中图分类号: TJ303 **文献标志码:** A

Analysis of Heat Capacity for High-speed Automatic Gun Barrels

Li Rui¹, Hua Zhijian¹, Ning Chunjiao², Chen Wenjun²

(1. Guangzhou Military Representative Bureau of Navy Equipment Department, Chongqing 400021, China;
2. Chang'an Wangjiang Industrial Group Company, Chongqing 400021, China)

Abstract: The finite element analysis model of heat conduction of gun barrel in the process of automatic mechanism firing was established according to the characteristics of gun barrel subjected to high frequency and high temperature impact under the condition of continuous firing. Based on the combination of heat conduction theory and finite element method, the variation of the temperature data of the inner and outer wall of the barrel is analyzed under different projectile numbers, different barrel wall thicknesses and different launching modes. The analysis can provide some guidance for the thermal capacity design of the automatic fuselage tube.

Keywords: barrel; finite element; heat conduction; peak temperature; transient temperature

0 引言

火炮发射时, 身管内部火药气体燃烧的温度高达 2 500~3 200 °C; 高温的火药气体与身管内壁进行剧烈的热交换, 连续射击时, 这种周期性的热冲击使得身管内壁温度急剧升高, 热量向外壁传递, 使得整个身管温度升高^[1]。大量文献研究表明, 身管内壁温度升高后铬层与基体附着力降低, 弹带与身管摩擦以及热烧蚀导致铬层松动脱落, 身管材料的强度随着温度升高降低, 这都会影响身管的寿命。身管内壁的烧蚀磨损量与身管内壁的尖峰温度成指数关系, B.Lawton^[2]研究表明, 温度降低 10%, 最大磨损量减小约 300%。笔者以高射速自动炮身管为研究对象, 采用有限元分析方法, 以 APDL 语言进行编程, 结合实际射击时的测试数据, 对自动炮射击身管内外壁的温升进行计算, 研究了不同壁厚、不同射弹数情况下身管的温升。

1 身管有限元分析模型

因为分析的身管是圆柱体, 热载荷是对称的, 因此可以对结构进行简化。取一矩形截面来代表一段圆柱体身管(图 1), 并在内外壁上加载热载荷(图

2)。内外壁与外界边界条件可以参考文献[3-5]。文中采用 ANSYS11.0 有限元软件进行仿真, 该软件能通过 APDL 语言进行编程, 实现重复加载功能。

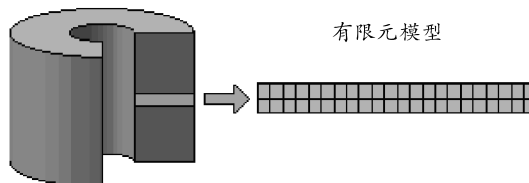


图 1 有限元分析模型

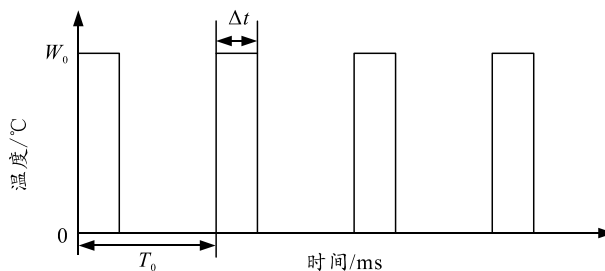


图 2 温度载荷模型

2 算例及结果分析

以 ANSYS 作为计算平台, 结合 APDL 语言进行编程, 建立有限元计算模型。沿身管轴向取多个截面对整个身管进行热容量分析, 这里只列出一个

截面的分析数据。仿真初始环境温度为 20 °C，身管材料物理参数如表 1 所示。

表 1 身管材料物理参数

密度/(kg/m ³)	泊松比	弹性模量/ p_a	导热系数/(K/m·K)	比热/(J/kg·K)
7 850	0.27	210×10^9	35.5	485

2.1 不同射弹数情况下身管热传导分析

为研究在一次连续射击中，每次射弹量不同，对身管内外壁温度变化的影响。按一次连续射击 10、20、30、40、50 和 60 发 6 种情况进行计算。6 种不同射弹量情况下，身管外壁最高温度值分别为 135.3、228.3、311.7、388.7、460.9 和 529 °C。

射击过程中，随着连发数的增加，内壁尖峰温度持续上升，但上升趋势变缓；射弹量到达一定数量后，热量开始传递到外壁，此时随射弹量增加外壁温度持续上升，但上升趋势变缓。射击结束后，身管外壁的最高温度随射弹量增加而升高，但上升趋势变缓。

2.2 不同身管壁厚情况下身管热传导分析

在一次连续射弹量相同的情况下，身管壁厚不同，身管内外壁的温度变化是不相同的。分析在一次连射 60 发，4 种不同的身管壁厚(分别为 8、11、14 和 17 mm)身管热传导的情况。4 种情况下身管外壁最高温度值分别为 666.8、528.9、394.0 和 308.4 °C。壁厚的增加会增加身管的热容量，通过外壁的最高温度可以反映出来。在本例中，壁厚 8、11 和 14 mm 的外壁温度是壁厚 17 mm 的 2.16、1.71 和 1.28 倍。

2.3 不同射击方式情况下身管热传导分析

本节分析在射弹量都为 60 发的情况下，射击方式不同对身管热传导的影响。3 种射击方式分别为：1) 一次连射 60 发；2) 分 6 次射击，每次 10 发，间隔 3 s；3) 分 6 次射击，每次 10 发，累计 30 发后间隔 30 s，其他间隔 3 s。身管外壁最高温度值分别为 528.97、591.61 和 591.66 °C。这里仍然对比内壁的尖峰温度 T_{10} 、弹丸通过该截面前的瞬间温度 T_{11} 以及外壁温度。

采用一次连射方式的内壁 T_{10} 、 T_{11} 温度比采用断续射击高，反映出方式 1) 的烧蚀、磨损都会比其他 2 种方式要严重；方式 2)、3) 外壁最高温度基本

相同，都比方式 1) 高 11.8%，说明方式 2)、3) 在射击间隔期，热量通过身管壁往外传递出来，所以温度较高，而间隔期采用 3 s 或 30 s 的影响不显著。

3 结论

在自动机的发射过程中，身管内壁的温度数据是决定自动机身管烧蚀的关键因素，从而决定了身管寿命。笔者通过对不同射弹量、不同壁厚和不同发射方式，身管热传导进行计算，以身管内壁温度为研究参数，可得出结论：

1) 一次连续射弹量的增加，身管内外壁温度会持续升高。

2) 增加身管壁厚，连续射击时，在一定射弹数后能降低身管内外壁的温度；当壁厚增加到一定程度，继续增加壁厚对降低身管内壁温升非常有限。

3) 断续射击时，在一定射弹数后，身管壁厚的增加对降低内壁温升效果明显；当壁厚增加到一定程度，继续增加壁厚对降低身管内壁温升的贡献越来越小。

4) 采用断续射击方式比连续射击方式能显著降低身管内壁温度，断续射击间隔时间长短对降低身管内壁温度影响不显著。

参考文献

- [1] 韩育礼. 圆筒及武器身管的热应力分析与计算[J]. 华东工学院学报, 1981, 14(2): 22-38.
- [2] LAWTON B. Thermal-chemical erosion in gun barrels[J]. Wear (S0043-1648), 2001, 251(9): 827-838.
- [3] 徐亚栋, 钱林方, 陈龙森. 复合材料身管非线性热弹性有限元分析[J]. 兵工学报, 2007, 28(12): 1428-1432.
- [4] 吴永海, 徐诚, 陆昌龙, 等. 某速射火炮身管系统热传导特性的数值仿真研究[J]. 系统仿真学报, 2007, 19(19), 4407-4410.
- [5] 胡振杰. 火炮发射过程中身管热弹耦合分析[D]. 南京: 南京理工大学, 2007.