

doi: 10.7690/bgzd.2013.04.027

某型机枪枪管的结构优化设计

张军挪, 康小勇, 尚利民, 范文奇
(军械工程学院火炮工程系, 石家庄 050003)

摘要: 为了提高武器的射击精度, 以某型机枪枪管为研究对象, 建立枪管的有限元分析模型和以刚度与重量为目标的枪管多目标优化模型。该模型基于对枪管结构优化的分析以及枪管设计时的多目标要求, 采用多目标遗传算法与有限元计算相结合的优化算法对枪管进行多目标优化, 获得了枪管结构优化方案。实验结果表明: 优化后枪管的固有频率提高了 12.9%, 最大应变变量则减小了 19.59%, 枪管的综合性能有所提高。

关键词: 枪管; 有限元; 结构设计; 多目标优化

中图分类号: TP203 **文献标志码:** A

Structure Optimization Design of Certain Type Machine Gun Barrel

Zhang Junnuo, Kang Xiaoyong, Shang Limin, Fan Wenqi

(Department of Artillery Engineering, Ordnance Engineering College, Shijiazhuang 050003, China)

Abstract: In order to improve the fire accuracy of machine gun, taking the certain type machine gun barrel as research objective, the finite element modeling of the barrel was established, at the same time the barrel multi-object optimization model was established which taking intensity and weight as optimum target. On the basis of structure optimization and multi-object design demand of the barrel, the multi-object optimization design on the barrel was done by the method combined with finite element and multi-object genetic algorithm, and the structural optimization design is achieved. The test results show that the inherent frequency of the barrel increased 12.9 percent and the most dependent variable was decreased 19.59 percent after optimization, the combination property of barrel is increased obviously.

Key words: barrel; finite element; structure design; multi-object optimization

0 引言

为提高部队作战的机动性和灵活性, 世界各国都在减轻武器的重量, 并要求武器具有较好的射击散布精度和较高的杀伤威力。但随着重量的减轻, 机枪系统的振动加剧, 必然对射击精度造成不利的影 响。我国装备的某型机枪是世界上同口径重机枪中重量最轻的, 但武器装备部队以后, 部队普遍反映该枪的射击精度较差, 需要进一步提高武器的射击精度^[1]。枪管是机枪的重要部件, 也是决定武器射击精度好坏的核心部件。为了减小某型机枪的枪管重量, 研究人员采取了减小枪管壁厚和在枪管上开槽等方式, 在减小枪管重量的同时也大大减小了枪管的刚度, 射击时枪管弯曲变形比较严重, 严重影响了武器的射击精度^[1-3]。为了提高武器的射击精度, 笔者对该枪管的结构参数进行优化。

1 枪管结构优化分析

机枪在射击过程中, 高温高压的火药气体在枪管内急剧变化, 膛压的作用引起枪管的结构变形并使身管产生振动; 高温气体使得枪管内壁温度急剧上升, 在枪管内壁产生较大的热应力, 引起枪管的热变形; 枪管的温度变化引起枪管材料物性参数发

生变化, 从而影响枪管的强度和固有频率; 因此, 枪管设计是一个包括结构、热、物理等多个学科的综合设计。枪管设计包括: 结构设计、材料力学参数计算、温度场计算、热-结构应力计算、刚度强度计算、模态计算和重量计算等多方面内容, 是一个包括多学科的多目标综合优化过程^[2]。枪管的结构设计决定枪管的外形和材料的选择, 从而决定枪管力学性能参数、应力分布、模态特性和重量; 枪管力学性能参数的计算是进行温度场分析、应力计算、模态计算以及重量计算的基础; 同时, 结构设计参数的调整也依赖结构应力计算结果、模态计算结果和重量计算结果。

2 枪管有限元模型的建立

笔者首先利用 Pro/E 软件建立枪管的三维实体模型, 然后把枪管三维模型导入有限元软件中, 并根据枪管的结构特点划分有限元单元, 在建立枪管的有限元模型时, 抑制掉了对武器动态特性影响不大的零部件的微小特征, 如: 螺纹、小导角等, 并对一些对发射特性影响不大的零部件进行了简化处理, 保留了枪管的实际结构形状特征。所建立的枪管的有限元模型如图 1 所示; 为缩短计算时间和划

收稿日期: 2012-10-12; 修回日期: 2012-11-19

作者简介: 张军挪(1978—), 男, 河南人, 博士, 讲师, 从事武器结构力学仿真研究。

分有限单元方便, 可以进一步将模型简化为 1/4 圆环截面, 其有限元模型如图 2 所示。



图 1 枪管的有限元模型

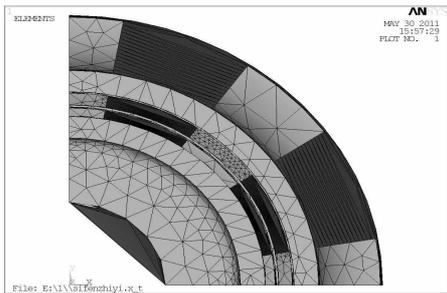


图 2 枪管 1/4 的有限元模型剖视图

3 枪管多目标优化模型的建立

进行枪管结构优化的目的是通过综合考虑枪管的结构性能及其他物理性能, 设计出综合性能好的枪管。笔者确定的优化目标为枪管的刚度特性和重量特性, 设计约束为枪管强度和结构几何约束, 设计变量包括枪管前端面的外径尺寸、枪管尾端面的外径尺寸、枪管开槽的深度等, 计算采用的有限元模型为前文所建立的模型。即笔者所建立的优化模型为基于有限元计算的带约束多目标优化模型, 通过对多目标的线性加权, 可将多目标优化问题转化为单目标优化问题, 所建立优化模型的数学描述为

$$\text{Minimize: } F(X) = \left(-\frac{w_1 f_1}{s_1} \right) + \frac{w_2 f_2}{s_2}$$

其中,

$$f_1 = f(X), f_2 = m(X),$$

$$X = (x_1, x_2, x_3)^T = (d_1, d_2, h_1, h_2, h_3)^T$$

subject to:

$$d_{\min} \leq d_i \leq d_{\max} \quad (i=1,2)$$

$$h_{\min} \leq h \leq h_{\max}$$

$$c(X) \geq 1.0$$

式中: $f(X)$ 表示枪管的第一阶固有频率, 是衡量枪管刚度特性的指标, 值越大, 刚度特性越好; $m(X)$ 表示枪管的重量特性, 值越小, 枪管的重量越小, 全枪的机动性越好。 $w_i (i=1,2)$ 为目标的权重因子, 用于控制 3 个目标的重要程度; $s_i (i=1,2)$ 为目标的

放大因子, 用于调整目标值的数值量级, 使 3 个目标值处于同一水平。 $c(X)$ 为枪管在膛压作用时的安全系数, 可以通过有限元计算求得, d_1, d_2 分别为枪管前端面 (枪口) 和枪管尾端面的外径尺寸, $h_i (i=1,2,3)$ 为分别为枪管前、中、后 3 段开槽的平均深度。

4 优化过程及优化结果

4.1 基于改进遗传算法和有限元计算相结合的优化算法的实现过程优化过程

步骤 1: 按设计要求输入确定的数据;

步骤 2: 生成初始群体, 并对初始群体进行适应度计算和统计;

步骤 3: 通过选择、交叉和变异等遗传算子操作对群体更新, 给新群体译码, 计算适应度并统计群体信息;

步骤 4: 新旧两代群体个体相比较, 保留适应度最大者;

步骤 5: 进入世代更新进化循环, 判断新群体是否满足优化终止条件, 满足则执行步骤 6, 否则跳至步骤 3;

步骤 6: 得到最优方案, 退出迭代优化, 参数优化结束, 输出优化结果。

改进遗传算法和有限元计算相结合的优化算法优化过程如图 3^[3]所示。

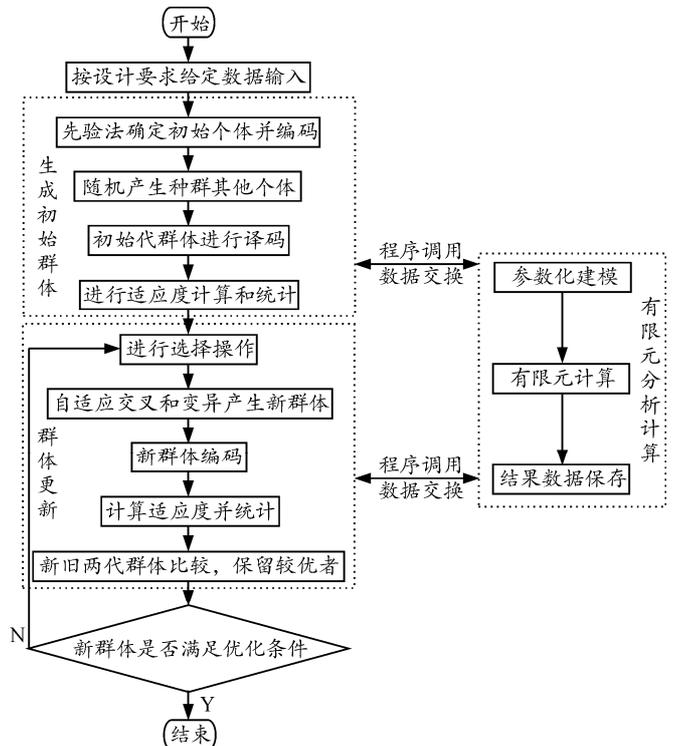


图 3 优化的实现过程

4.2 优化结果

根据前文所建立的枪管多目标优化模型和确定的优化求解过程，笔者对某口径枪管进行了优化：采用前文建立的枪管有限元模型，在优化算法的遗传控制参数中，选择群体大小 M 为 10，交叉概率为 0.9，变异率为 0.05，最大运行代数为 200 代，指标权重因子分别选取 $w_1=2$ ， $w_2=1$ ，图 4 为优化过程综合目标的进程曲线。

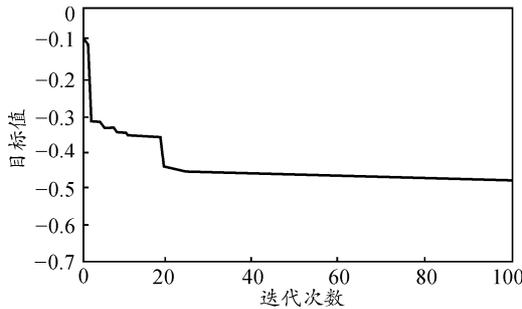


图 4 综合优化进程曲线

表 1 列出了最终的优化结果，以及初始方案的结果。通过对比优化前后方案的结果可以看出，优化后枪管的固有频率提高了 12.9%，枪管的重量增

加了 8.3%，枪管的最大应变变量则减小了 19.59%，说明枪管的综合性能有所提高。

表 1 优化前后的方案对比结果

方案	d_1/mm	d_2/mm	h_1/mm	h_2/mm	h_3/mm	f/Hz	m/kg
初始方案	27.5	44.0	0.3	0.25	0.55	37.34	4.08
优化后方案	28.2	45.4	0.2	0.25	0.46	42.16	4.42

5 结论

笔者在建立枪管有限元模型的基础上，针对枪管设计时多个性能指标的要求，建立了枪管的多目标优化模型，并采用多目标遗传算法与有限元计算相结合的优化算法进行求解，获得了多个目标下的枪管结构最优解。该研究可为武器结构改进，提高武器的射击精度提供参考。

参考文献：

- [1] 张军挪, 王瑞林. 结构振动特性对机枪射击精度的影响研究[J]. 兵工学报, 2006, 27(6A): 5-7.
- [2] 徐亚栋. 复合材料身管结构分析与优化研究[D]. 南京: 南京理工大学, 2006.
- [3] 张军挪. 某型重机枪结构动力学仿真与参数优化[D]. 石家庄: 军械工程学院, 2007.

(上接第 83 页)

表 1 基准棱镜方位角为 1 280 527.2"时，准直误差 $\mu(1)$ 和 $\mu(2)$ 补偿前后对比

组别	第 1 位置准直误差 $\mu(1)$	第 2 位置准直误差 $\mu(2)$	补偿前方位角	补偿前误差	补偿后方位角	补偿后误差
1	20	10	1 280 510.8	16.4	1 280 515.8	11.4
2	-15	5	1 280 509.9	17.3	1 280 519.9	7.3
3	18	-8	1 280 507.0	20.2	1 280 520.0	7.2
4	-20	-40	1 280 512.9	14.3	1 280 522.9	4.3
5	15	35	1 280 510.7	16.5	1 280 520.7	6.5

3 结论

通过放宽准直范围，允许陀螺主轴与自准直系统光电传感器输出为 0 时所代表的光轴有一定的夹角，从而不必消耗时间对敏感元件做精细调整，只要在一定的范围内精确测量出这个夹角即准直误差的大小，根据上面的公式进行补偿，就可以消除准直误差引起的寻北误差，这样既保证了寻北精度，又避免了精确准直消耗时间造成寻北时间延长的问题，提高了寻北仪的快速寻北能力。

参考文献：

- [1] 刘思伟, 白云超, 田育民, 等. 一种磁悬浮陀螺寻北仪的研究[J]. 测绘技术装备, 2008, 10(3): 41-44.
- [2] 卜继军, 魏贵玲, 李勇建, 等. 寻北仪二位置寻北方案[J]. 中国惯性技术学报, 2002, 10(3): 46-49.
- [3] 王立冬, 王夏霄, 张春熹. 光纤陀螺寻北仪多位置寻北误差分析[J]. 压电与声光, 2007, 29(1): 42-44.
- [4] 高茂林, 赵忠, 张钧. 二位置陀螺寻北仪及转位误差分析[J]. 计算机测量与控制, 2006, 14(1): 70-71.

(上接第 88 页)

- [32] 孟海燕, 杨征. 核磁共振波谱在药物依赖性研究中的应用[J]. 中国药物依赖性杂志, 2005, 14(3): 173-177.
- [33] 滕万钟, 胡瑞霏, 赵海峰. 核磁共振波谱学及其在医学检验中的应用[J]. 宁夏医学杂志, 1994, 16(6): 399-401.
- [34] 赵桂生. 核磁共振技术在医学临床的应用[J]. 中国卫生产业, 2011, 10: 84.
- [35] 杨淑琴. 核磁共振在膝关节损伤诊断中的应用[J]. 吉林医学, 2011, 32(24): 4967-4968.

- [36] 曹小燕, 林宝虎, 叶青, 等. 早期类风湿关节炎核磁共振改变 49 例分析[J]. 西部医学, 2011, 23(10): 1951-1953.
- [37] Lyoo I K, Lee H K, Jung J H, et al. White matter hyperintensities on magnetic resonance imaging of the brain in children with psychiatric disorders[J]. Compr Psychiatry, 2002, 43 (5): 361-368.
- [38] Yildiz Y A, Ankerst D P. Review of 1H magnetic resonance spectroscopy findings in major depressive disorder: a meta-analysis[J]. Psychiatry Research, 2006, 147(1): 1-25.