

doi: 10.7690/bgzd.2019.05.021

基于模态分析的三脚架外摇架体优化设计

李博昊

(南京理工大学机械工程学院, 南京 210094)

摘要: 为解决重机枪三脚架外摇架体刚度薄弱的问题, 对三脚架外摇架体进行优化设计。根据改进后的简化模型, 对其进行自由模态分析和约束模态分析, 从轻量化设计的角度出发, 在外摇架体结构优化及壁厚改进的基础上, 给出一种既可以减轻外摇架体质量又可以提高三脚架整体固有频率的外摇架体设计方案。对比分析结果表明, 该设计方案使三脚架整体的固有频率明显提高。

关键词: 模态仿真; 固有频率; 结构优化

中图分类号: TP202 **文献标志码:** A

Optimal Design of External Shake Frame of Tripod Based on Modal Analysis

Li Bohao

(School of Mechanical Engineering, Nanjing University of Science & Technology, Nanjing 210094, China)

Abstract: In order to solve the problem of weak stiffness of the external cradle body of the heavy machine gun tripod, the external cradle body of the tripod is optimized. According to the improved simplified model, the free mode analysis and constrained modal analysis are carried out. From the light weight design point of view, the structure optimization and wall thickness improvement of the outer rocking frame are carried out. This paper presents a design scheme of external rocking frame which can not only reduce the mass of the external frame but also increase the integral natural frequency of the tripod. The results show that the natural frequency of tripod is improved obviously.

Keywords: modal simulation; natural frequency; structural optimization

0 引言

某型重机枪三脚架的外摇架体用于悬挂弹链盒, 辅助弹链供弹, 与耳轴连接在一起, 随摇架一起俯仰, 随托架一起旋转; 此外还用于调整高低射向, 是锁紧高低射向的受力部件之一。外摇架在较低振动频率下产生共振或大幅振动, 不利于稳定供弹, 会引起供弹停止, 造成无法连发射击, 甚至会导致高低射角锁紧不可靠; 因此, 提高外摇架体的固有频率对保证重机枪的可靠性是必要的。

冲压加工技术是利用金属的塑性变形性能, 通过冲压设备和模具对金属进行成型的工艺技术, 现已运用到我国国防生产领域^[1-2]。冲压加工出的零件具有质量高互换性好等特点, 并且生产精度与材料刚度强度均逐步提升^[3-5]。笔者将原外摇架体设计为冲压件, 从而实现外摇架体结构优化与改进。

1 原三脚架模态仿真分析

原三脚架模型如图 1 所示。首先进行三脚架模型的简化。固有频率和模态振型取决于结构的总体刚度分布和总体质量分布, 因此采取以下措施进行

模型简化: 适当合并和省略一些形状复杂但质量较小的零部件; 去除一些对结果影响不大但会增加网格划分难度的倒角、圆角、钣金件的凹坑弯折等; 将部分孔及其相配合的零件简化为一个整体等^[6]。简化之后的模型如图 2 所示。



图 1 三脚架模型



图 2 简化三脚架模型

在三脚架简化模型的基础上, 对三脚架进行模态分析。首先对三脚架进行自由模态分析, 分析结

收稿日期: 2018-12-11; 修回日期: 2019-01-20

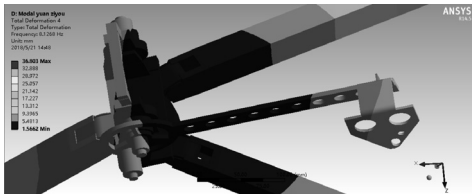
作者简介: 李博昊(1997—), 男, 山东人, 学士, 从事自动武器结构设计研究。

果中前三阶模态的固有频率数值接近于零，可认为是三脚架的刚体模态，因此以第 4 阶模态作为三脚架的初始模态^[7]。其次进行三脚架的约束模态分析，在三脚架三根架杆下端平面上添加可延水平面滑移的约束，分析结果中前二阶模态的固有频率数值接近于零，同理以第 3 阶模态作为三脚架的初始模态。结果如表 1 所示。

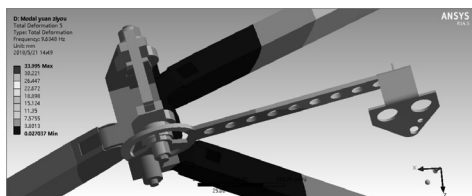
表 1 简化三脚架模型固有频率 Hz

序号	自由模态	约束模态
1	8.1	11.0
2	9.6	25.5
3	12.8	53.9
4	26.8	55.7
5	53.5	58.6
6	60.9	98.2

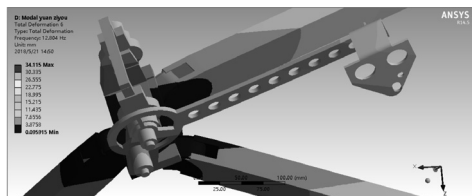
重机枪射速为 1 000 发/min，射频为 16.67 Hz。对简化三脚架模型在 33.34 Hz (2 倍射频) 以下的固有频率所对应的模态振型(自由模态前四阶振型、约束模态前两阶振型)进行分析可以得到：外摇架体随所受激振频率的升高刚度逐渐变差，在一定程度上说明了三脚架的外摇架体在受动载荷时容易失稳的情况。相应振型如图 3、图 4 所示。



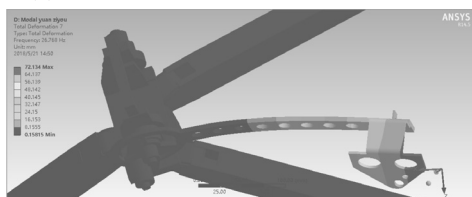
(a) 第 1 阶自由模态固有频率对应振型



(b) 第 2 阶自由模态固有频率对应振型

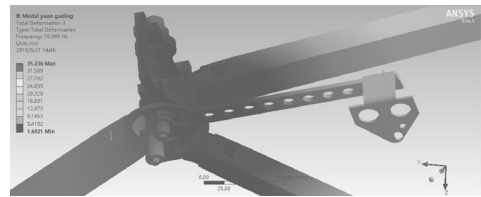


(c) 第 3 阶自由模态固有频率对应振型

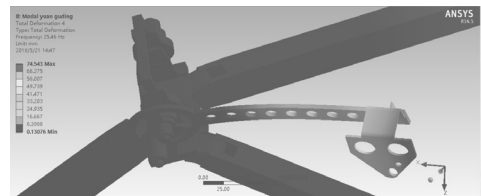


(d) 第 4 阶自由模态固有频率对应振型

图 3 前四阶自由模态固有频率对应振型



(a) 第 1 阶约束模态固有频率对应振型



(b) 第 2 阶约束模态固有频率对应振型

图 4 前二阶约束模态固有频率对应振型

综上所述，该重机枪三脚架的外摇架体容易因受到振动而发生较大的形变。外摇架体类似一个悬臂梁结构，首先应对悬臂部分进行优化加强，其次对处于悬臂和固定部位连接部分也需优化加强。

2 外摇架体结构改进及三脚架模态仿真

原三脚架外摇架体结构为实心结构，横向尺寸(厚度)为 5 mm，体积约为 50.8 cm³，质量约为 396.5 g。原三脚架的外摇架体如图 5 所示。

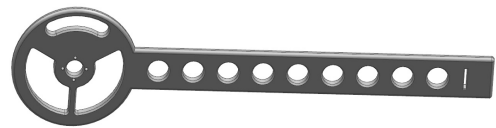


图 5 原外摇架体模型

考虑到这种情况下外摇架体较容易在振动载荷下变形，因此在方案 1 中，将外摇架体设计为中空结构，且增大外摇架体的横向尺寸。暂定外摇架体壁厚为 2 mm，横向尺寸(厚度)由 5 mm 增加到 10 mm。在外摇架体固定部分，设计局部凹坑，使固定外摇架体的轴长度仅增长 1 mm。另外，此时外摇架体固定部分的两侧板挤压在一起，不需要考虑压溃和因为挤压造成其他部分变形的情况。优化后的外摇架体如图 6 所示。



图 6 结构改进后外摇架体模型

将替换为新的外摇架体后的三脚架模型进行自由模态仿真分析和约束模态仿真分析，并把自由模态前四阶振型、约束模态前二阶振型与原三脚架对比，结果如表 2 所示。

表 2 方案 1 与原方案固有频率对比

序号	自由模态			约束模态		
	方案 1 三脚架 固有频率值/Hz	原方案三脚架 固有频率值/Hz	提高百分比/%	方案 1 三脚架 固有频率值/Hz	原方案三脚架 固有频率值/Hz	提高百分比/%
1	9.1	8.1	12.3	8.8	11.0	-20.0
2	10.0	9.6	4.2	46.7	25.5	83.1
3	13.4	12.8	4.7	-	-	-
4	50.2	26.8	87.3	-	-	-

由此可以看出：改进外摇架体后的三脚架自由模态和约束模态固有频率均有提高，尤其是自由模态第 4 阶固有频率和约束模态第 2 阶固有频率，提高幅度很大，效果显著。但是也存在着使约束模态第 1 阶固有频率下降的问题。

3 外摇架体壁厚优化及三脚架模态仿真

外摇架体优化设计后的体积为 64.5 cm³，质量约为 503.0 g，相比于原三脚架的外摇架体质量增长 26.9%。重机枪三脚架设计过程中，出于轻量化设计的考虑，需要严格设计每一部分的质量。如图 7 所示，方案 2 在外摇架体结构改进的基础上，将壁厚优化为 1 mm。此时，通过调整局部凹坑的尺寸，

使固定轴的长度不需要增加，减小了结构优化与改进的成本。另外，在两侧板之间增加垫片，可以避免因锁紧时挤压力造成的变形。



图 7 壁厚优化后外摇架体模型

使固定轴的长度不需要增加，减小了结构优化与改进的成本。另外，在两侧板之间增加垫片，可以避免因锁紧时挤压力造成的变形。外摇架体壁厚优化后体积为 33.5 cm³，相比原方案质量下降 34.2%，相比结构改进方案质量下降 48.1%。将装配有优化后的外摇架体三脚架模型进行自由模态仿真分析和约束模态仿真分析，并把自由模态前四阶振型、约束模态前二阶振型与原三脚架进行对比，结果如表 3 所示。

表 3 方案 2 与原方案固有频率对比

序号	自由模态			约束模态		
	方案 2 三脚架 固有频率值/Hz	原方案三脚架 固有频率值/Hz	提高百分比/%	方案 2 三脚架 固有频率值/Hz	原方案三脚架 固有频率值/Hz	提高百分比/%
1	10.4	8.1	27.8	34.6	11.0	214.5
2	13.7	9.6	42.0	47.9	25.5	87.8
3	16.9	12.8	31.7	-	-	-
4	43.3	26.8	61.7	-	-	-

由此可以看出：外摇架体壁厚优化后的三脚架自由模态前四阶固有频率和约束模态前二阶固有频率与原三脚架相比均有所提高。与方案 1 效果相比，方案 2 对外摇架体壁厚优化后，对自由模态下三脚架的前三阶固有频率提高较大，对约束模态下的固有频率提高更为明显，这样更有助于三脚架在射频下保持动态稳定性。整体比较来说，方案 2 的优化效果更为突出。

4 结束语

笔者提出的外摇架体结构改进方案(方案 1)与壁厚优化方案(方案 2)均有助于提高三脚架的固有频率。其中方案 2 的优化效果更为突出，并且方案 2 外摇架体的质量比原来外摇架体质量减少 34.2%。此外，外摇架体优化及改进对原三脚架其他结构的影响较小，降低了结构优化及改进的经济成本。在提高生产效率方面，优化及改进后的外摇架体可以

采用冲压和焊接的方式生产，便于批量化生产。

参考文献：

- [1] 阮楹妍. 军车车门总成柔性化冲压试制工艺研究及应用[J]. 锻压技术, 2017, 42(7): 24-30.
- [2] 王彬. 军车车架纵梁的柔性化冲压模具开发[J]. 锻压技术, 2017, 42(7): 102-106.
- [3] 童琳. 弧形板冲压成形及其精度控制研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2016.
- [4] 张磊. 高强度钢板热冲压过程的模具温度控制与数值模拟技术研究[D]. 济南: 山东大学, 2013.
- [5] 蔡玉俊, 王玉广, 李国和, 等. 超高强度钢板热冲压成形 CAE 技术的研究现状与发展趋势[J]. 锻压技术, 2011, 36(4): 7-11.
- [6] 朱家莹, 潘玉田, 孙明颜. 某型火炮摇架结构拓扑优化设计[J]. 兵工自动化, 2017, 36(6): 17-20.
- [7] 张健. 新型试验枪架设计与分析[D]. 南京: 南京理工大学, 2013.