

基于粒子群算法的火炮振动响应优化研究

谢欢, 段誉

(陆军装甲兵学院车辆工程系, 北京 100072)

摘要:为改善火炮的振动响应, 采用仿真计算、试验设计、近似模型与优化算法相结合的方法进行火炮振动响应优化研究。首先将炮塔及火炮考虑成柔性体, 建立了履带车辆刚柔耦合模型。其次以悬挂弹簧扭转刚度、减振器阻尼系数、悬置刚度、3个系统参数为设计变量, 采用最优拉丁超试验设计对设计变量进行抽样, 建立以火炮炮口垂直角位移为目标函数的二阶多项式响应面近似模型, 并检验了其拟合精度。最后基于粒子群算法对火炮振动响应进行了优化, 结果表明优化效果明显。

关键词:履带车辆; 近似模型; 火炮振动; 粒子群算法

DOI: 10.16640/j.cnki.37-1222/t.2018.24.098

火炮振动对其射击精度有重要影响, 引起火炮振动的因素有很多, 近年来国内外许多研究者广泛研究了系统参数对火炮振动响应的影响。葛建立通过灵敏度分析筛选出对炮口扰动较大的结构参数, 并对其进行了多目标优化分析^[1]。张俊飞建立了弹炮耦合的牵引火炮动力学有限元模型, 通过灵敏度分析筛选出对火炮振动影响较大的系统参数, 建立其近似模型, 并基于多岛遗传算法进行优化^[2]。

本文通过试验设计对履带车辆刚柔耦合模型进行仿真计算, 采用二阶多项式响应面法建立其近似模型, 并基于粒子群算法对火炮振动进行优化。

1 履带车辆刚柔耦合动力学建模

1.1 履带车辆多刚体模型

履带车辆是复杂的多自由度机械系统, 建模前需对其作一定的假设。不考虑传动单元等的作用, 同时将车体内的座椅等部件作为集中质量集成在车体上, 并将行动系统为简化主动轮、负重轮、托带轮、诱导轮、履带张紧机构、两侧履带以及弹簧阻尼元件。根据以上假设, 以某型履带车辆为例, 在 ADAMS/ATV 中建立其多刚体动力学模型。

1.2 履带车辆刚柔耦合模型

将炮塔及火炮考虑成柔性体, 首先建立其有限元模型, 然后采用模态综合法建立其柔性体, 在 ADAMS 中, 采用模态中性文件表征柔性体, 模态中性文件包含了柔性体的模态等信息。建立柔性体的主要步骤如图 1 所示。在 ADAMS 中生成柔性体后, 将其导入多刚体模型中, 并添加相应的约束建立刚柔耦合模型。

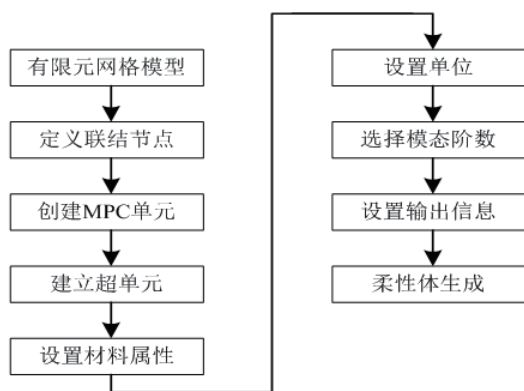


图 1 柔性体生成步骤

2 近似模型构建

2.1 试验设计

试验设计是一种通过合理安排试验方案减少试验次数的方法。本文以悬挂弹簧扭转刚度、减振器阻尼系数、悬置刚度为设计变量, 炮口垂向角位移为目标函数, 采用最优拉丁超试验设计方法对设计变量抽取 30 组样本点, 并将抽样结果代入刚柔耦合模型中进行仿真计算, 得到目标函数响应量, 为下一步近似模型的建立提供样本点。

2.2 建立近似模型

选择二阶多项式响应面近似模型对样本点进行拟合。多项式响应面模型的原理是用一组多项式来拟合设计变量与目标函数之间的关系, 多项式可以是二阶、三阶甚至更高阶, 阶数越高拟合精度越好。建立的二阶响应面近似模型。

2.3 拟合精度检验

工程上一般用复相关系数 R^2 来表征近似模型拟合的效果。当 R^2 大于 0.9 时, 精度才能满足要求。

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^m (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^m (y_i - \bar{y})^2} \quad (1)$$

式中, y_i 为样本点的真实值, \hat{y}_i 为近似模型在样本点处的预测值; \bar{y} 为样本点真实值的均值; m 为用于拟合检验的样本点的个数。经计算所拟合的二阶响应面近似模型的复相关系数 $R^2=0.964 > 0.9$, 因此可用该近似模型代替原刚柔耦合模型进行优化分析。

3 基于粒子群算法的火炮振动优化

3.1 火炮振动响应优化分析

粒子群算法是从鸟类的合作捕食行为中受到启发而发展起来的一种智能算法。该方法通过更新种群来搜寻最优解。根据前文理论分析, 优化目标函数的数学关系式可表示为:

$$\begin{cases} \text{Minimize} & f_{obj} \\ \text{Subject to} & k_r^{(L)} < k_r < k_r^{(U)} \\ & c_r^{(L)} < c_r < c_r^{(U)} \\ & k_t^{(L)} < k_t < k_t^{(U)} \\ & k_y^{(L)} < k_y < k_y^{(U)} \\ & I_y^{(L)} < I_y < I_y^{(U)} \end{cases} \quad (2)$$

式中, f_{obj} 为优化目标函数; 优化设计变量的上标 (L) 和 (U) 分别代表变量取值的上限和下限。在 Isight 软件中经过 1153 次迭代计算后得到设计变量最优解。

4 结论

本文以悬挂弹簧扭转刚度、减振器阻尼系数、悬置刚度为设计变量, 炮口垂向角位移为目标函数, 通过建立二阶响应面近似模型, 结合粒子群算法对火炮振动响应进行优化, 结果表明优化效果明显。

参考文献:

- [1] 徐志远, 葛建立, 杨国来. 影响炮口扰动的火炮总体结构参数灵敏度分析与优化 [J]. 兵器装备工程学报, 2016, 37 (06): 45-48.
- [2] 张俊飞. 某火炮结构参数灵敏度分析与优化研究 [D]. 南京理工大学, 2014.

作者简介: 谢欢 (1993-), 男, 广东韶关人, 研究生, 研究方向: 车辆仿真。