

# 基于 Matlab/Fluent 的协同仿真技术

张晓东, 张培林, 傅建平, 王成

(军械工程学院一系, 石家庄 050003)

**摘要:** 基于一维理论的火炮后坐运动仿真将液压阻力系数取为常数, 导致液压阻力计算值与实际相差较大。针对该问题, 提出基于 Matlab/Fluent 的协同仿真技术进行后坐运动计算, 弥补一维理论的不足。在建立符合实际结构的制退机二维模型基础上, 利用 Matlab 计算火炮运动参数, 用 Fluent 计算流体压力参数, 通过外部文件接口实现数据交换, 达到准确模拟火炮后坐动态过程的目的。以某型火炮为例进行后坐仿真计算和射击试验验证, 结果证明该方法是可行和有效的。

**关键词:** 火炮; 后坐运动; 液压阻力系数; 协同仿真

## Collaborative Simulation Technology Based on Matlab/Fluent

ZHANG Xiao-dong, ZHANG Pei-lin, FU Jian-ping, WANG Cheng

(1st Department, Ordnance Engineering College, Shijiazhuang 050003, China)

**【Abstract】** The gun recoil simulation based on one-dimensional theory simplifies the hydraulic resistance coefficient as a fixed value. The method of handling makes the hydraulic resistance not accord with the actual conditions. Aiming at this problem, a new method of collaborative simulation based on Matlab/Fluent is proposed. The method can correct the mistake of one-dimensional model. The two-dimensional model of recoil brake which is accord with the actual structure is built. Gun recoil movement is calculated with Matlab and fluid pressure is calculated with Fluent. Through data exchange mechanism based on external file interfaces, the simulation of gun recoil dynamic process is realized. Comparing a calculation example with the firing test, the results prove this method is feasible and valid.

**【Key words】** gun; recoil movement; hydraulic resistance coefficient; collaborative simulation

### 1 概述

制退机是控制后坐过程火炮受力与运动规律的关键部件, 其内部液压阻力模型在火炮后坐运动计算中具有重要的作用<sup>[1-2]</sup>。目前, 火炮制退机液压阻力计算主要基于一维不可压定常流假设, 利用 Bernoulli 方程建立液体压力与后坐速度间的耦合关系, 引入液压阻力系数修正能量损耗和各种假设带来的误差。但制退机工作时, 内部流体呈三维非定常湍流流动, 具有运动界面, 并存在真空中的射流, 流动现象极为复杂。因此, 一维理论将液压阻力系数处理为常数, 是一种不完善的方法<sup>[2]</sup>。

火炮后坐运动计算属于机械内部流体动力载荷与运动状态紧密耦合且互为条件的一类问题。基于此, 考虑在不同仿真环境下分别建立后坐运动与流体压力计算子系统模型, 利用软件间的接口进行参数和数据的交互, 最终完成整体系统的仿真计算, 即实现协同仿真<sup>[3]</sup>。

本文针对火炮后坐计算中液压阻力系数难以准确取值的问题, 提出基于制退机二维模型, 构建基于 Matlab/Fluent 的协同仿真平台, 进行火炮后坐计算。通过对比计算结果和试验测试结果, 证明了该方法的可行性和有效性。

### 2 协同仿真可行性分析

Matlab 是一种基于 C 编写的优秀编程语言和科学计算软件, 通过 Matlab 与 C 的接口函数可实现两者的混合编程。Fluent 可通过用户自定义函数(UDF)扩展其功能, 在其提供的宏内用 C 语言编写代码, 以实现特定的功能。2 种软件都可实现与 C 的交互, 从而具备协同仿真的可行性。

#### 2.1 Matlab Compiler

Matlab 凭借其良好的开放性与运行的可靠性, 已成为一个集概念设计、算法开发、建模仿真、实时实现为一体的集成环境, 它拥有许多衍生的子集工具。Matlab 主要由 C 编写而成, 编程简单, 具有比其他任何计算机高级语言更高的编程效率、更好的代码可读性和可移植性, 被誉为“第 4 代”计算机语言。Matlab 既支持通过 Compiler 将 M 函数进行编译处理, 又支持外部语言通过 Engine 技术后台调用 Matlab。

Matlab Compiler 是 Matlab 提供的编译器。在 Matlab 中编写的 M 函数文件通过 Compiler 工具可以产生能重新分配并独立运行的应用程序或软件组件, 如独立运行程序、C 和 C++ 共享库(在 Windows 操作系统中为动态链接库)<sup>[4-5]</sup>。这为用户利用 Matlab 丰富的算法资源、实现与其他软件的接口提供了可能。

#### 2.2 Fluent UDF

Fluent 是目前功能最全、适用性最广的 CFD 软件之一, 它具有丰富的物理模型、先进的数值方法, 提供了灵活的网格特性, 允许用户定义多种边界条件, 可实现动态内存分配及高效数据结构。Fluent 软件针对各种复杂流动的物理现象, 采用不同的离散格式和数值方法, 以期在特定的领域内使计

**基金项目:** 国家部委基金资助重点项目

**作者简介:** 张晓东(1977 -), 男, 博士研究生, 主研方向: 武器装备仿真计算, 故障诊断理论与技术; 张培林, 教授、博士生导师; 傅建平, 副教授; 王成, 博士

**收稿日期:** 2010-03-28      **E-mail:** ladiiz@sina.com

算速度、稳定性和精度等达到最佳组合，从而高效地解决各个领域的复杂流动计算问题。

复杂的边界条件或用户自定义方程源项难以直接输入给 Fluent，需要通过 UDF 扩展 Fluent 功能。UDF 是一个在 C 语言基础上扩展了 Fluent 特定功能的编程接口。其编译型 UDF 支持任何 ANSI-compliant C 编译器，不存在 C 语言上的限制，且比解释型运行更快。借助编译型 UDF，用户可使用 C 语言编写扩展 Fluent 的程序代码，然后动态加载到 Fluent 环境中，供 Fluent 使用<sup>[6]</sup>。Fluent 的 UDF 扩展编程可以通过 C 语言程序与 Matlab 进行交互，调用 Matlab Compiler 编译生成的独立运行程序、C 共享库，为实现 Matlab/Fluent 协同仿真提供了可行的技术条件。

### 2.3 数据交换机制

Matlab 与 Fluent 之间没有直接的数据交换接口，但 Matlab 支持多种标准文件格式和用户定义的文件格式，而 Matlab 提供的数据库文件导入、导出功能使其能够与其他应用程序进行数据交换。Fluent UDF 支持 C 语言编程，而 C 语言提供了标准库函数实现对数据库文件的读写操作。因此，两者之间的数据交换接口可以通过各自的文件 I/O 函数访问计算进程中生成的数据库文件来实现，以达到参数传递的目的。

## 3 协同仿真实现方案

协同仿真方案的主要步骤如下：

- (1)根据火炮后坐运动方程编写后坐运动 Matlab 计算程序，其中液压阻力计算使用由 Fluent 得出的制退机压力数据。
- (2)利用 Matlab Compiler 将火炮后坐运动程序生成打包器代码，创建 CTF 文档，经 C/C++ 编译器编译为结果代码，并链接生成的结果文件和必要的 Matlab 库。
- (3)在 Fluent UDF 提供的 DEFINE 宏中，编写 C 语言代码调用后坐运动程序，通过 Fluent 设置将火炮后坐过程制退机内各腔室压力的实时计算结果保存在观测文件中。
- (4)在 Matlab 与 Fluent 交互运行过程中，分别通过各自的文件 I/O 函数读写由 Matlab 计算的火炮后坐运动参数和由 Fluent 计算的制退机压力数据，完成火炮后坐运动计算。

图 1 为 Matlab/Fluent 协同仿真实现流程。

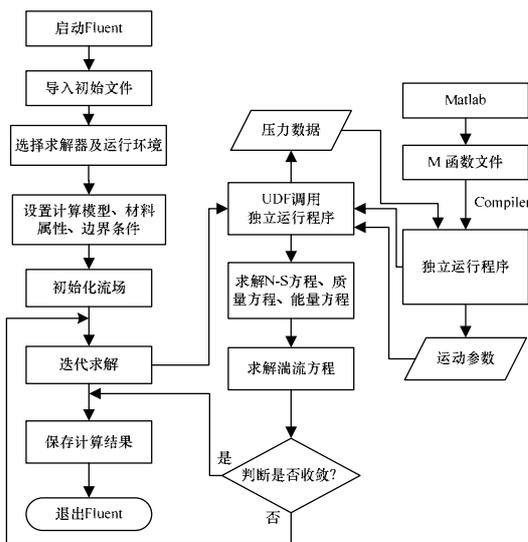


图 1 Matlab/Fluent 协同仿真流程

## 4 计算实例与试验验证

为验证本文提出的协同仿真方法的有效性，对某型火炮

后坐运动问题进行了仿真计算，并与该型火炮的实弹射击结果进行了对比。

### 4.1 计算模型建立及网格划分

由于制退机内的流动非常复杂，在保证计算精度、保留真实结构的前提下，对制退机进行了必要的简化。制退机内流体流动问题属于轴对称空间流动，根据其流动特点，将其简化为二维平面流动，由于是平面对称流动，因此计算区域取为一半。利用 Gambit 软件进行网格划分，得到图 2 所示的网格模型。

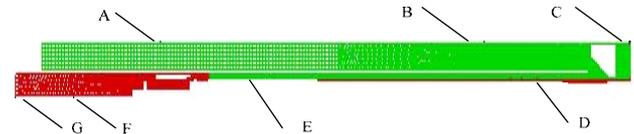


图 2 制退机内计算区域网格

A, C, E, G 为 4 个包含边界的网格运动区域(A, C, E 区域一侧边界速度定义为 0，仅发生网格增减)，采用四边形结构网格划分，B 为网格整体运动区域，不涉及网格变形，D, F 为 2 个网格静止区域，且 B, D, F 3 个区域的形状比较复杂，因此，采用三角形非结构网格划分。B, G 区域的运动由 Fluent UDF 驱动，A, F 区域内分别设置压力测点  $p_1, p_2$ ，通过观测器实时记录  $p_1, p_2$  的压力变化，压力数据实时写入观测文件，供 Matlab 调用。

### 4.2 结果分析

笔者利用某型火炮进行了多发实弹射击试验。射击条件：气温 15℃，2#减装药，射角 10°。通过安装在火炮摇架与炮尾间的高精度拉线式位移传感器和高速数据采集设备测得后坐复进位移如图 3 所示。在相同射击条件下用基于 Matlab/Fluent 的协同仿真方法计算了火炮后坐运动，得到后坐位移及速度。

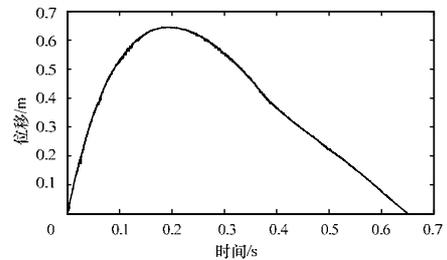


图 3 射击条件下火炮后坐复进位移曲线

对 8 次火炮射击测试结果进行降噪处理，计算 8 次结果的后坐位移方差为 0.015 5，说明试验结果具有较高稳定性，将多次试验平均后的数据作为最终试验结果与仿真结果对比，见表 1。

表 1 火炮射击试验结果和协同仿真计算结果

后坐运动参数	试验测试值	协同仿真计算值	相对误差/(%)
时间 $t/s$	0.171 3	0.173 0	0.99
最大位移 $L/m$	0.644 4	0.642 5	0.30
最大速度 $V/(m \cdot s^{-1})$	9.413 0	9.465 0	0.50

图 4、图 5 分别是实测及仿真得到的后坐位移与速度曲线。对比位移、速度的特征点<sup>[7]</sup>，即后坐最大位移和后坐最大速度，协同仿真结果与实测结果的相对误差均小于 1%，表明仿真结果与火炮实际运动具有良好的一致性。

(下转第 224 页)