

Fluent 软件的二次开发及其在轮胎流场分析中的应用

刘臣才,程冬冬,束永平
(东华大学 机械学院,上海 201620)

摘要:通过 VC++ 平台对 Fluent 相关软件进行二次开发,实现对轮胎花纹块流体动力学分析的整体控制,并发出一个图形界面,简化了操作过程。轮胎花纹块在路面滚动时的流场情况模拟结果表明,气动性能随花纹块结构的变化而改变。

关键词:轮胎;Fluent 软件;二次开发;流场;花纹块

中图分类号:U463.341;O241.82

文献标志码:B

文章编号:1000-890X(2015)04-0227-04

Fluent 软件可针对各种复杂流动和物理现象,采用不同的离散格式和数值方法进行数值分析。因此可采用 Fluent 软件实现对轮胎流体的数值模拟。然而 Fluent 公司并没有提供可向 Fluent 软件发送命令的 UDF。在需要轮胎固液耦合求解流场的情况下,批量处理有限元数据、自动生成模型数据及流程的动态控制等问题都无法解决。本工作在轮胎流场分析中通过 Gambit, Fluent 和 VC++ 相结合,实现了 Fluent 的二次开发,达到了轮胎有限元数据的批量处理及其参数化建模与求解的目的。

1 Fluent 软件的开发环境与研究背景

1.1 开发环境

Visual C++6.0 是微软公司推出的目前广泛使用的可视化程序开发环境。C++ 语言是一种面向对象的计算机程序设计语言^[1],有良好的封装性、继承性和多态性。MFC (Microsoft Foundation Classes)是微软公司提供的一个类库(class libraries)。MFC 对程序设计起到辅助作用,提高了程序开发的效率。本工作基于 Visual C++6.0 平台,将 C++ 语言和 MFC 类库相结合,对 Abaqus 有限元数据处理、Fluent 软件、后台运行数据处理和 Gambit 软件进行了后台封

装,并开发出图形用户界面。

1.2 研究背景

Fluent 软件由 C 语言编写,可实现动态内存分配和高效数据结构。高级用户可以通过写菜单宏和菜单函数自定义及优化界面,还可以使用基于 C 语言的用户自定义函数功能对 Fluent 进行扩展。采用面向对象的方法用 C++ 程序及 MFC 类库对软件进行封装,可以实现需要的功能。

Fluent 软件的前处理器 Gambit 有完整的模型生成和网格划分功能。在大多数情况下,Gambit 都采用用户界面 GUI 来接受用户输入,而对于需批量分类处理的数据却无法适应。通过其命令流(journal)文件的编辑和修改,可以实现对模型建立和网格划分的自动控制,为 Gambit 软件封装和控制其自动化运行提供了可能。

2 程序设计

2.1 方案研究

通过基本参数和方案的输入,将有限元数据进行整合,并开始控制 Gambit 软件的自动运行和文件的输出;完成网格文件输出后驱动 Fluent 软件,实现 Fluent 软件的自动运行,逐步分析并导出结果数据。整个运行过程中,需调用辅助性的插值程序、数据预处理、文件处理及转移和循环扫描等程序,以实现整个计算过程的数据处理及程序运行的连贯性。其程序框架如图 1 所示。

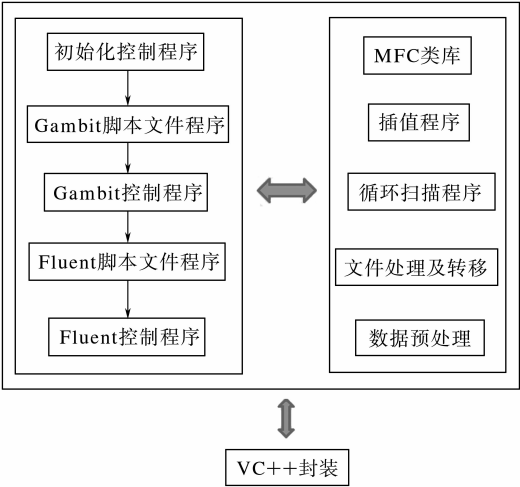


图1 Fluent 软件的程序框架

2.2 实现方式

(1)Abaqus 软件导出相关的结果数据,如节点、单元及其相关的速度等信息文件,这些数据是参数化建模的基础,由 C++输入输出流,实现数据处理。

(2)TUI 是 Gambit 自带的一种解释性脚本语言,可通过 JOU 文档实现,以 TUI 命令流的形式记录在模型建立过程中的每一步操作,将 TUI 命令进行整合后,以如下方式封装调用:

E:\GAMBIT\Fluent. Inc\ntbin\ntx86\gambit. exe-id e:\temp\gambit\model1-inp e:\temp\gambit\model1. jou

JOU 文档内部构成分为模型建立(点、线、面与体)、网格划分、边界条件的定义和文件导出 4 个部分。例如模型建立的相关 TUI 命令为

创建点: vertex create "vertex. 1" coordinates 0 0 0

创建线: edge create "edge. 1" straight "vertex. x" "vertex. y"

创建面: face create "face. 1" wireframe "edge. x" "edge. y" "edge. z" "edge. 4901374. 1"

(3)Fluent 的控制可以通过 TUI 和 GUI 的方式来实现,GUI 与 TUI 命令各有特点。本工作以两者相结合的方式对 Fluent 进行操纵。Fluent 的分析过程为:读取文件、网格检查、选择求解器与求解方程、确定材料属性、定义边界、调整计算参数、初始化、求解和保存结果。

例如,GUI 网格检查命令为

```
(cx-gui-do cx-activate-item " MenuBar * Grid-Menu * Check")  
(cx-gui-do cx-activate-item " MenuBar * Grid-Menu * Scale. . .")
```

Fluent 的后台调用命令为
E:\Fluent\Fluent. Inc\ntbin\ntx86\Fluent. exe-r6. 3. 26 3d-g-ig-i E:\Temp\Fluent\1. jounary

(4)VC++ 将所有程序在后台封装后,可对程序实行控制和管理。

计算流程和二次开发软件主操作界面分别如图 2 和 3 所示。

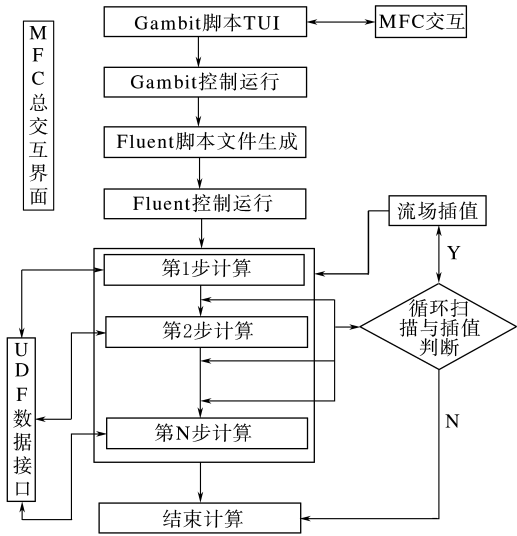


图2 计算流程示意

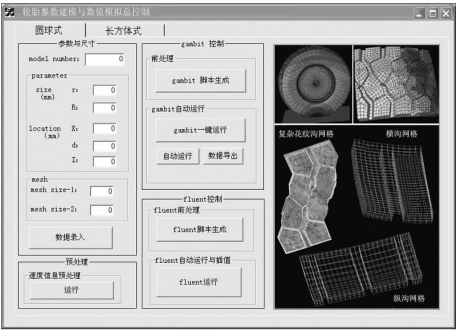


图3 二次开发软件主操作界面

3 案例分析

流体流动受到物理守恒定律的支配,满足质量、动量和能量守恒方程,对于湍流状态,还需要遵循附加的湍流输运方程。其计算模型如下^[2]:

连续方程:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial (\rho u_i)}{\partial x_i} = 0 \quad (1)$$

动量方程:

$$\frac{\partial (\rho u_i)}{\partial t} + \frac{\partial (\rho u_i u_j)}{\partial x_j} = \frac{\partial \rho}{\partial x_j} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\mu \frac{\partial u_i}{\partial x_j} - \rho \overline{u'_i u'_j} \right) + S_i \quad (2)$$

能量守恒方程:

$$\frac{\partial (\rho h)}{\partial t} + \frac{\partial (\rho u_i h)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_j} (k + k_i) \frac{\partial T}{\partial x_i} + S_h \quad (3)$$

式中, ρ 为流体密度, t 为流动时间, μ 为时均速度, x_i 和 x_j 为张量指标符号 [i, j 范围均为 (1, 2, 3)], k 为湍动能, h 为温度, S_h 为粘性耗散项。

标准 $k-\epsilon$ 模型对于时均应变特别大的情形, 有可能导致负的正应力。因此采用可以进行正应力约束的 Realizable $k-\epsilon$ 模型。

湍动能 k 方程:

$$\frac{\partial (\rho k)}{\partial t} + \frac{\partial (\rho k u_i)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k - \rho \epsilon \quad (4)$$

湍动能耗散率 ϵ 方程:

$$\frac{\partial (\rho \epsilon)}{\partial t} + \frac{\partial (\rho \epsilon u_i)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} \right] + \rho C_1 E \epsilon - \rho C_2 \frac{\epsilon^2}{k + \sqrt{\nu \epsilon}} \quad (5)$$

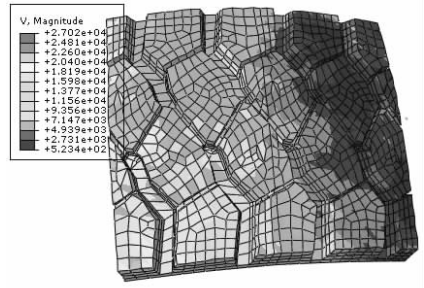
式中, ϵ 为耗散率, μ_t 为湍动粘度, G_k 为由于平均速度引起的湍动能 k 的产生项, C_1 和 C_2 为经验常数, E 为反映主流的时均应变, σ_k 和 σ_ϵ 分别为 k 和 ϵ 对应的 Prandtl 数, 是 lauder 在 $k-\epsilon$ 模型中的推荐经验常数, ν 为运动粘度。

分别对 3 种花纹块和整胎进行参数化建模, 并将 3 种花纹块进行流体动力学分析。整个参数化建模过程稳定, 有一定的适应性, 花纹块流场分析的控制过程简单可靠。

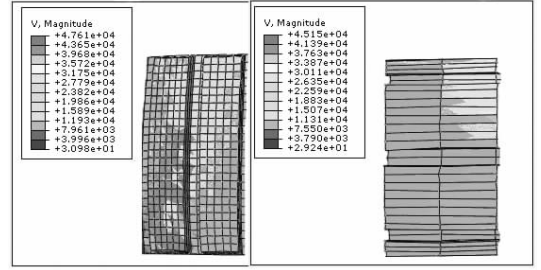
3.1 参数化建模

3 种不同花纹块有限元分析结果如图 4 所示。通过 VC++ 编译出的操作平台进行有限元数据处理, 并结合输入的相关参数图, 可自动调用 Gambit 生成花纹块流场模型。Gambit 生成的不同花纹块滚过路面流场区域的网格模型如图 5 所示。

该操作平台同样适应于整体轮胎模型的建模



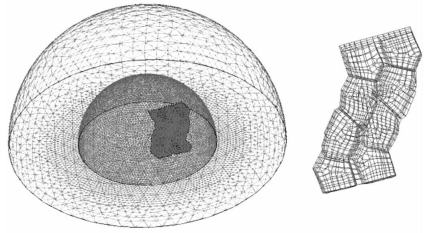
(a) 复杂花纹块



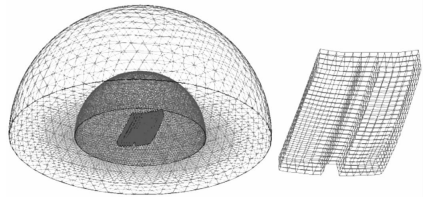
(b) 横沟花纹块

(c) 纵沟花纹块

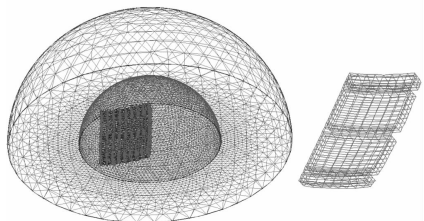
图 4 3 种不同花纹块有限元速度分布



(a) 复杂花纹块



(b) 横沟花纹块



(c) 纵沟花纹块

图 5 不同花纹块及其流体区域网格

和流场数值模拟, 有限元数据和流体区域网格分别如图 6 和 7 所示。

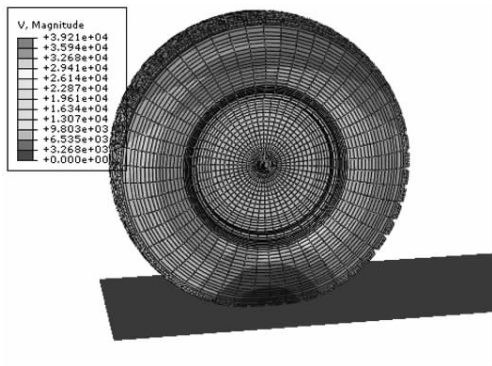


图6 轮胎有限元数据

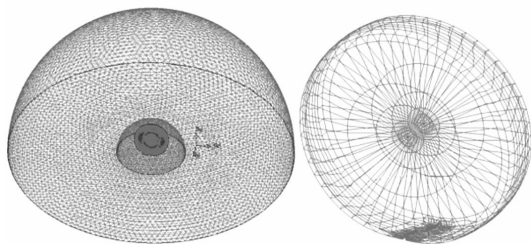
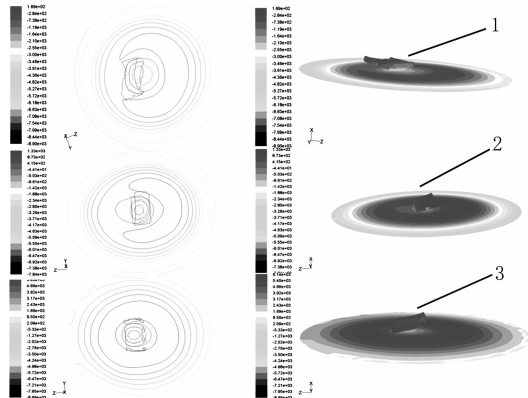


图7 轮胎及其流体区域网格

3.2 气动性能数值模拟

通过编译的控制平台,可实现花纹块流场区域气动性能的数值模拟。3种花纹块与地面接触时的压力云图如图8所示。由图8可以看出,3种不同花纹块滚过路面时影响了周边流场的压强。在花纹块与路面接触时,不同花纹块中流场区域的压强整体趋势看似一致,但仍然存在着一一定的差异。因此花纹块的结构改变,其滚动时气动性能也随之改变。



1—复杂花纹块;2—横沟花纹块;3—纵沟花纹块。

图8 不同花纹块压力云图

4 结语

在计算流体力学 Fluent 相关软件的基础上进行二次开发。实现了对 Abaqus 有限元数据的整合、模型的参数化和流体数值模拟自动化,提高了整个流场数值模拟的效率。轮胎花纹块在路面滚动时的流场情况模拟结果表明,气动性能随花纹块结构的改变而改变。本研究为轮胎花纹块耦合流场分析及气动性能的研究提供了基础。

参考文献:

- [1] 郑军红. Visual C++面向对象程序设计教程[M]. 武汉:武汉大学出版社,2007:115,125.
- [2] 王福军. 计算流体力学分析——CFD 软件原理与应用[M]. 北京:清华大学出版社,2004:1.

收稿日期:2014-10-14

再生剂、再生橡胶及其制备方法

中图分类号 TQ335;TQ330.38⁺7 文献标志码 D

由中胶橡胶资源再生(青岛)有限公司申请的专利(公开号 CN 103435842A,公开日期 2013-12-11)“再生剂、再生橡胶及其制备方法”,涉及的再生剂是由再生活化剂(0.1~1份)、再生软化剂(5~30份)和加工助剂(0~5份)均匀混合而成的。该再生剂成分简单,环保无毒,且不含水,中温再生时无挥发,生产过程中不产生废气和废水,保证生产过程的环保性及再生胶品质的稳定性。利用该发明可实现再生胶的常压、连续化、自动化生产。

(本刊编辑部 赵敏)

一种高性能阻燃导电橡胶配方

中图分类号 TQ336.4⁺2/3 文献标志码 D

由青岛承天伟业机械制造有限公司申请的专利(公开号 CN 103436021A,公开日期 2013-12-11)“一种高性能阻燃导电橡胶配方”,涉及的高性能阻燃导电橡胶配方为:硅橡胶 30~60,氯丁橡胶 20~30,炭黑 10~20,铜粉 5~8,硬脂酸 3~6,无机阻燃剂 5~10,硫黄 5~10,促进剂 4~12。该导电橡胶在使用过程中不会因为臭氧老化而开裂,即使暴露在火焰中也不会延燃,无论在空气中和地下都不会被腐蚀,同时可以承受瞬时大电流冲击,起到多点连续接地作用。

(本刊编辑部 赵敏)