# Fluent二次开发及轮胎花纹沟泵气噪声 流场分析方法

# 胡山凤, 束永平 (东华大学 机械工程学院, 上海 201620)

摘要:运用Abaqus对12.00R20全钢载重子午线轮胎进行纯滚动工况下的有限元分析,导出轮胎花纹块沟槽外表面 节点的位置、单元和速度文件,并对计算流体力学软件Fluent进行二次开发。结合有限元数据,运用Fluent对轮胎花纹沟 在纯滚动过程中产生的泵气噪声进行三维流场数值模拟,计算3种典型花纹沟的压力场,最后积分求解远场点噪声值,比 较3种轮胎模型的噪声特性。计算结果与实验和理论分析的结论相符合。

关键词:轮胎;泵气噪声;有限元分析 中图分类号:TQ336.1<sup>+</sup>1;O241.82

文献标志码:A 文章编号:1000-890X(2016)06-0352-04

当轮胎与路面接触时,花纹沟与路面形成的 空腔内的空气被压缩,部分空气从花纹沟槽侧面 被挤出;随着轮胎滚动,当该花纹槽逐渐离开路面 时,变形的花纹沟迅速恢复原状,空腔内气体压强 变小,产生一定的真空度,由于压差,外界空气被 吸入空腔,该过程称为轮胎的泵气效应<sup>[1]</sup>。由轮胎 花纹沟槽的空气泵气效应产生的噪声被称为轮胎 的泵气噪声。泵气噪声是轮胎噪声的主要声源之 一,车速越高,泵气噪声越明显。随着欧盟修订的 ECE R117法规于2009年10月1日实施<sup>[2]</sup>,研究泵气 噪声的有效计算方法显得更有必要。

# 1 计算方法

根据轮胎泵气噪声的形成特点及产生原理, 模拟泵气噪声必须对滚动过程中轮胎的外流场进 行研究,而其中的难点在于体现花纹沟槽随时间 变化的真实变形,即空腔内空气的压缩与释放过 程对压力场的影响是动态的。在外流场仿真中, 这属于动边界问题,且在每一时刻,花纹沟槽的每 一部位的运动速度及位移均不相同,无规律,无法 运用动网格的自定义函数(UDF)赋予花纹沟槽 边界真实的运动和变形。因此本研究运用的方法 是:结合有限元模拟仿真的轮胎纯滚动时各个时

**作者简介**:胡山凤(1987—),女,湖北黄冈人,东华大学硕士, 主要从事机械设计及理论研究。 刻花纹沟槽的节点位置、速度和单元信息,利用VC 生成Gambit的文本命令建立外流场模型及划分网格,再对Fluent进行二次开发,采用文本命令形式 对流场进行求解。

# 2 有限元计算

#### 2.1 建立有限元模型

为便于比较不同结构花纹沟槽的压力场特性,对12.00R20全钢载重子午线轮胎建立3种典型的花纹沟槽轮胎模型,包括纵沟模型、横沟模型和 混合沟模型,如图1所示。



纵沟模型可以先在Hypermesh中建立子午 面的二维网格模型,然后在Abaqus中使用\*SY- MMETRIC MODEL GENERATION命令旋转生 成三维网格模型。横沟和混合沟模型采用组合模 型技术,即轮胎主体和花纹部分分开建模,然后使 用约束将二者组合成一个完整的轮胎模型。这种 建模方法不仅能方便地建立带复杂花纹的轮胎模 型,而且可以选择区域划分粗细不同的网格,例如 对花纹沟部分划分加密网格,最终得到高质量的 完全六面体网格模型。混合沟模型参数是完全真 实的12.00R20全钢载重子午线轮胎的参数,且3种 模型花纹沟的体积相近。

#### 2.2 导出仿真结果

3种模型各部位的材料均相同,充气压力、载 荷均为标准静负荷工况(充气压力为830 kPa、载 荷为36.75 kN),路面为刚体理想平面。对建立的 3种模型进行纯滚动工况下的瞬态模拟,滚动速度 为70 km•h<sup>-1</sup>,模拟滚动时间长于一个周期。

如果对整个轮胎建立外流场模型,并使流场 充分发展,则模型规模非常庞大,受计算机资源的 限制,不便于划分较细的网格,而粗网格不能反映 花纹沟槽变形对流场的影响,因此只提取含有花 纹沟槽的一节轮胎花纹块,用于流场计算,保证3 种模型提取的花纹块对应的弧度相同<sup>[3]</sup>。提取的3 种花纹块模型如图2所示。



图2 花纹块模型

将提取出的花纹块滚过路面的过程划分为10 个小步,Python语言程序应用于Abaqus的后处理 中,导出相同间隔增量步对应的花纹块外表面节 点的x,y,z三个方向的位移和速度。由于瞬态纯滚 动过程是用显式求解器进行模拟,因此增量步对 应的是真实的时间,该时间可以用在Fluent瞬态求 解的时间步设置中。利用节点的初始坐标值加上 位移值,可以求得该时刻节点的坐标值,即节点位 置。导出花纹块外表面单元与节点的对应关系, 用于流场建模。

# 3 Fluent的二次开发

驱动Fluent运行的方法有两种:一种是菜单 驱动,就是点击菜单向Fluent发命令,即人们常用 的界面操作;另一种是文本命令驱动模式,在命令 行输入命令,Fluent收取命令并执行。事实上,每 一条菜单命令都有一条文本命令相对应。例如读 取.msh文件的命令为

File

Read

"D:\...\test. msh"

quit

Fluent支持的另一种语言为Scheme语言,运用 该语言写成的命令流文件,Fluent亦可以识别并执

行。例如检查网格命令为

(cx-gui-do cx-activate-item

"MenuBar\*GridMenu\*Check")

(cx-gui-do cx-activate-item

 $"MenuBar*GridMenu*Scale\cdots")$ 

由于本研究的计算方法中有大量的重复性操 作,因此采用文本命令形式,不仅可以简化操作, 提高效率,也为后续其他类似问题的研究打下基 础,使解决该类问题的自动化控制程度大大提高, 符合现代工业的发展趋势。

同样,Gambit也可以使用文本命令形式进行 建模、划分网格、定义边界条件,通过VC生成日志 文件,即jou文件,再调用Gambit执行日志文件里的 命令。本研究花纹块部分的位置10个不同时刻均 不一样,只能运用有限元导出的节点信息自下而 上建模,因此需要创建的点、线、面繁多,不适合界 面操作,只能通过文本命令来实现。

#### 4 计算模型及边界条件

根据花纹块的运动特点,确立计算域为椭球 形,长轴(运动方向和轴向)1 300 mm,短轴(径向) 500 mm<sup>[4]</sup>。由于花纹块外形复杂,采用分区域划 分非结构网格的方法,靠近花纹块的近流场区域 划分较密的四面体网格,网格尺寸为10 mm,远 离花纹块的区域划分较粗的网格,网格尺寸为50 mm,中间区域网格尺寸为25 mm,不仅保证网格大小达到计算要求,同时也可以控制计算域的总体 网格数量,最终生成的网格数量为90万左右,建立的计算模型如图3所示。



# 图3 计算网格模型

数值仿真是在有限区域上进行的,计算区 域必须给定边界条件。具体的边界条件信息如 下:椭球面 FAR-FIELD BOUNDARY;地面 STATIONARY WALL;分界面 INTERFACE。

花纹块外表面的运动通过UDF调用Define宏 将有限元中导出的花纹块位置、速度信息赋予该 表面。前后两个计算步的流场信息通过插值来 传递。速度为70 km • h<sup>-1</sup>时,花纹块滚过路面的 时间为1.65×10<sup>-2</sup> s,故每一步的模拟计算时间为 1.65×10<sup>-3</sup> s。第一步先进行稳态计算,再进行瞬 态计算,可以加快收敛速度。瞬态计算共100步, 时间步设置为1.65×10<sup>-5</sup> s。

为了验证该计算方法的合理性和准确性,建 立一个简单长方体,其中放置滑块,给予滑块平移 的速度,滑块的运动为刚体运动,对周边流场产 生影响,考察刚体对流体的影响情况。分别采用 Fluent软件自带的动网格算法和本研究的插值算 法对该模型进行模拟计算,比较滑块周围流场的 压力变化情况。滑块前进方向、尾部方向、侧边和 顶部的压力对比情况分别如表1~4所示。

由4个方向的压力数据对比可知,本研究所建 模型总体上是合理的,数值存在较小的误差,但在 合理的范围内。

表1	滑块前进方向压力对比
AC 1	// ···································

至滑块中心的距离/mm	插值算法	动网格算法
23	1.971	1.996
33	1.228	1.343
43	1.061	1.116
53	0.942	1.005
63	0.886	0.961
73	0.856	0.942
83	0.834	0.933
93	0.777	0.929

表2	滑块尾部方向压力对比		Ра
至滑块中心的距离/1	nm 插值算法	动网格算法	
-19	-0.115	-0.213	
-29	0.386	0.234	
-39	0.435	0.266	
-49	0.420	0.254	
-59	0.457	0.245	
-69	0.431	0.241	
-79	0.433	0.239	
-89	0.456	0.238	

表3	滑块侧边压力对比		Ра
至滑块中心的距离/mn	n 插值算法	动网格算法	
11	0.028	-0.034	
13	0.022	-0.043	
15	0.024	-0.038	
17	0.026	-0.035	
19	0.024	-0.031	
21	0.016	-0.029	
23	0.010	-0.025	

表4	滑块顶部压力对比	Ра	ı
至滑块中心的距离/mi	m 插值算法	动网格算法	
31	0.289	0.127	
34	0.298	0.135	
37	0.312	0.143	
40	0.328	0.150	
43	0.326	0.158	
46	0.334	0.165	
49	0.361	0.171	

#### 5 计算结果及分析

Pa

在轮胎噪声的测试方法中,整车远场噪声测 试法(即滑行法)比较适合于轮胎噪声的对比试 验,该测试方法是以某一初始速度在起始线开始 滑行,在距离汽车行驶中心线7.5 m、高1.2 m处安 装传声器来测量噪声。

本研究计算的是近场流场,根据Kirchhoff方 程,只要知道围绕非线性近场区域控制面表面的 信息,就可以获得相应远场噪声,而且Kirchhoff 方程包含流体非线性对总的湍流噪声的影响<sup>[5]</sup>。 为了求解远场噪声值,取模型中间区域的外椭球 面作为控制面,对该面上的流场值向远场点积分 求解远场点噪声。该远场点位置相对于轮胎的位 置与滑行法中传声器相对于轮胎的位置相同。最 终计算得该远场点的9个时间点的噪声值,如表5 所示。

	表5 3种模	型噪声评估	dB
时间/s	纵沟模型	横沟模型	混合沟模型
0.0037	80.71	88.26	84.73
0.005 5	80.34	88.17	84.51
0.007 3	80.66	88.53	84.73
0.009 1	80.05	88.59	84.50
0.0109	80.03	87.79	82.81
0.0127	79.89	87.07	82.84
0.014 4	79.91	87.48	83.03
0.016 2	78.64	87.70	83.84
0.018 0	78.88	87.71	83.81

由表5可知,3种轮胎模型的噪声值总体平稳, 某些时刻有轻微波动,但能明显分辨出3种轮胎模 型的远场噪声值的高低,横沟模型噪声值高于混 合沟模型,纵沟模型噪声值最低,这种趋势与各种 实验及理论分析的结论相符合。

# 6 结语

开发该计算方法的主要目的是比较不同结构 轮胎的泵气噪声值,区分不同轮胎的泵气噪声性 能,为低噪声轮胎的设计研发提供指导方向,从而 大量节省试验成本。该方法开发完成后,完全由 程序实现运行,自动化程度高,可以方便地改变轮 胎模型某个部位的材料、充气压力、帘线角度、载 荷和花纹沟结构等,既可以单独考虑某一项参数 对泵气噪声的影响,也可以同时改变多项参数,综 合考虑其对泵气噪声的影响。

为提高模拟计算的精度和效率及操作的简 便性和准确性,该方法的计算过程尚有待进一步 改进。

# 参考文献:

- [1] 李忠禹. 轮胎噪声数值分析及研究[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2012.
- [2] 苏梅,冷传刚,张宪忠.汽车轮胎噪声及其欧洲认证标准[J].汽车 工程师,2009(1):43-46.
- [3] 李福军,吴桂忠. 轮胎花纹沟的发声模拟计算[J]. 轮胎工业,2006, 26(4):203-207.
- [4] 王国华,高青,玄哲浩,等.车轮空气动力学外流场数值模拟模型研 究[J].热科学与技术,2009,8(1):25-28.
- [5] 王春旭. 水下湍射流及壁面湍流噪声预报方法[D]. 武汉:华中科技 大学,2009.

收稿日期:2015-12-16

# Secondary Development of Fluent Software and Analysis Method for Flow Field of Air Pumping Noise of Tire Tread Groove

HU Shanfeng, SHU Yongping

(Donghua University, Shanghai 201620, China)

Abstract: The finite element analysis (FEA) on 12. 00R20 all steel radial truck tire under the pure rolling condition was carried out by using Abaqus software, the node position, element and speed of the outer surface of tread groove were obtained, and a secondary development on Fluent software was carried out. Combined with the FEA data, the three-dimensional flow field of the air pumping noise of tread groove of the tire under the pure rolling process was simulated by using Fluent software to calculate the pressure field of three kinds of typical groove pattern. The noise of far field point was solved by integration method. Then, the noise characteristics of those three kinds of typical groove pattern were comparatively studied. The calculation results were in good agreement with the conclusion from tests and theoretical analysis.

Key words: tire; air pumping noise; finite element analysis

欢迎在《橡胶工业》《轮胎工业》《橡胶科技》杂志上刊登广告