

基于 Matlab 的 FSAE 赛车常用轮胎数据处理方法研究

刘 泽, 张 新

(长沙理工大学 汽车与机械工程学院, 湖南 长沙 410000)

摘要:以 Hoosier 205×7-13 R25B 轮胎为例, 基于 Matlab 对 FSAE 赛车轮胎数据进行处理, 阐述了侧向和纵向力学特性试验得到的轮胎侧向、纵向以及混合工况数据的处理过程。该处理过程能够高效处理繁杂的轮胎原始数据, 有较好的通用性。数据处理对于缩短赛车研发周期、提升赛车性能有一定的意义。

关键词:FSAE 赛车; 轮胎; 数据处理; Matlab

中图分类号:TQ336.1 **文献标志码:**B **文章编号:**1006-8171(2015)05-0307-04

轮胎特性对于车辆的动力学表现极其重要^[1], 对于赛车来说也是如此。驾驶员的职责是将赛车推向极限, 工程师的职责则是加深对赛车使用轮胎的理解和认识^[2]。FSAE 赛车是中国大学生方程式汽车大赛的比赛用车, 要求在加速、制动和操控性能方面表现出色, 但研发周期和测试时间短制约着赛车性能的发挥。本工作所使用的轮胎数据来源于 The Formula SAE Tire Test Consortium (FSAE TTC), 该组织主要为全球 FSAE 车队有偿提供精确的轮胎数据, 应用于赛车的设计及装配^[3]。通过轮胎数据处理, 对 FSAE 赛车悬架系统与转向系统设计有很大帮助^[4-6], 可以使赛车拥有良好的操纵稳定性^[7]。

1 轮胎测试工况

FSAE TTC 轮胎测试已完成 5 轮。数据来自 TIRF(Calspan Tire Research Facility)用于针对 FSAE 赛车常用轮胎的测试平台。其技术参数如下: 额定负荷 $\leq 53\,400\text{ N}$; 额定负荷变化速率 $\leq 8\,900\text{ N}\cdot\text{s}^{-1}$; 轮胎垂直运动速率 $\leq 17.75\text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$; 底部输送带速率 $\leq 320\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$; 侧偏角 $\pm 30^\circ$, 最高可达 90° ; 侧偏角变化速率 $\leq 10^\circ\cdot\text{s}^{-1}$; 倾角 $\pm 30^\circ$, 最高可达 50° ; 倾角变化速率 $\leq 7^\circ\cdot\text{s}^{-1}$; 轮胎充气压力 可在测试中

瞬时变化或有规律的变化; 底部输送带表面 可得到不同的表面摩擦因数, 水层深度在 $0.125\sim 10.2\text{ mm}$ 之间选择; 最大轮胎外轮廓直径 119.4 cm , 最大轮胎胎面宽度 61 cm , 输送带带宽 71.1 cm 。

该平台输出的试验数据是按照 SAE 轮胎坐标系确定的。为了保证试验数据能够满足实际需要, 在试验开始前对轮胎工况进行了限定。本文举例的轮胎数据为第 5 轮数据, 在测试前都有一个暖胎阶段, 以保证轮胎试验的准确和实用性。

在侧向力学特性测试中, 按照充气压力 $82.74, 68.95$ 和 96.53 kPa 顺序进行, 外倾角分别为 $0^\circ, 2^\circ, 4^\circ, 1^\circ, 3^\circ$, 每个外倾角工况还包括 $1\,555.81, 666.78, 222.26, 1\,111.26, 444.52\text{ N}$ 五种垂直负荷工况。在测试中, 侧偏角按照 $4^\circ\cdot\text{s}^{-1}$ 速率从 $-4^\circ\sim +12^\circ$, 再到 -12° , 再到 $+3^\circ$ 的周期变化, 且轮胎为自由滚动状态, 速率为 $40.26\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ 。

在纵向力学特性测试中, 按照充气压力 $82.74, 68.95$ 和 96.53 kPa 顺序进行, 外倾角分别为 $0^\circ, 2^\circ, 4^\circ$, 每个外倾角工况还包括侧偏角 $0^\circ, -3^\circ$ 和 -6° 三种工况, 而每个侧偏角工况下又分别对垂直负荷为 $1\,555.81, 666.78, 1\,111.26, 222.26\text{ N}$ 工况进行测试。测试中, 滑移率始终保持从 $+0.20$ 到 -0.20 再到 $+0.20$, 呈周期变化。

侧向力学特性测试是为了模拟轮胎纯侧向、

作者简介:刘泽(1990—), 男, 黑龙江大庆人, 长沙理工大学在读硕士研究生, 主要从事轮胎建模与底盘动力学研究。

滑移率接近零时的工况;而纵向力学特性测试是为了模拟轮胎纯纵向、侧偏角为 0°时的工况,以及模拟混合工况,即侧偏角与滑移率都呈周期性变化时的工况。

为了能够建立 Pacejka 教授提出的 Magic Formula 数学模型,并且通过 ADAMS/Tire 模块查看特性曲线,从原始数据中获得上述 3 种工况的数据必不可少。

以上试验遵循的坐标系为 SAE 轮胎坐标系。而在 ADAMS 里应用魔术公式建立的数学模型遵循的坐标系为 TYDEX C-Axis 和 W-Axis 轮胎坐标系。

2 侧向力学特性数据处理

FSAE TTC 所提供的所有侧向力学特性数据的测试项目见表 1。

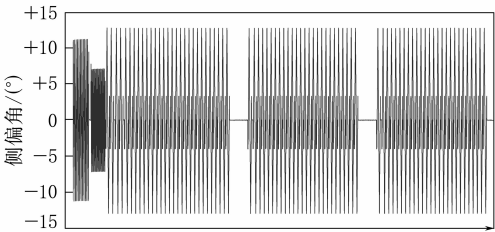
表 1 侧向力学特性包含的测试项目

代 号	单位	描述
ET(Elapsed Time)	s	试验的运行时间
V(Roadway Velocity)	km · h ⁻¹	输送带速度
N(Tire Rotational Velocity)	r · min ⁻¹	轮胎转速
SA(Slip Angle)	(°)	侧偏角
IA(Inclination Angle)	(°)	车轮倾角
RL(Loaded Radius)	cm	受载半径
RE(Effective Radius)	cm	有效半径
FX(Longitudinal Force)	N	纵向力
FY(Lateral Force)	N	侧向力
FZ(Normal Load)	N	垂直负荷
MX(Overturning Moment)	N · m	翻转力矩
MZ(Aligning Torque)	N · m	回正力矩
NFX	无量纲	FX/FZ
NFY	无量纲	FY/FZ
RST	℃	路面表面温度
TSTC	℃	轮胎中间胎面温度
TSTI	℃	轮胎内侧胎面温度
TSTO	℃	轮胎外侧胎面温度
P	kPa	轮胎充气压力
SR	无量纲	Calspan 标准的滑移率

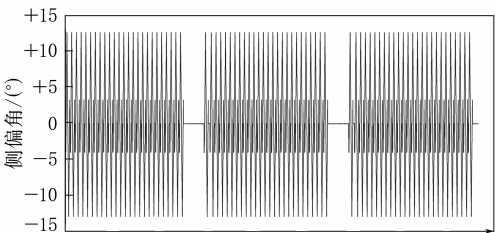
导入 ADAMS/Tire 模块的基础计算数据包括侧偏角、滑移率、外倾角、负荷、纵向力、侧向力、翻转力矩、回正力矩以及轮胎充气压力。

以 Hoosier 205 × 7 - 13 R25B 轮胎数据为例,在数据处理过程中,需查看暖胎阶段即查看侧偏角记录次数与侧偏角之间的关系,如图 1(a)所

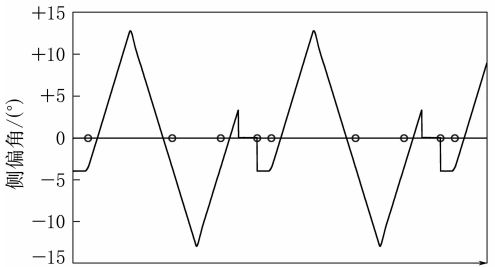
示,可以很清晰地看到前期记录的侧偏角是不稳定的,即暖胎阶段。由于测试用轮胎为热熔胎,通过暖胎使轮胎内侧、中部及外侧温度升高,加速轮胎表面的融化,提高轮胎附着力,发挥轮胎的最佳性能。除去暖胎阶段后如图 1(b)所示。由于在每个侧偏角变化的周期段之间都有侧偏角为 0°的间隔,从放大图像[如图 1(c)所示]中可以看出,每 4 个点为一个变化周期,但第 3 点与第 4 点之间的区域无用,为每个周期的间歇,故只需要第 1 点与第 3 点之间的数据。



(a)原图像



(b)删去暖胎阶段后图像



——试验数据;○—参考点。

(c)放大图像

图 1 侧向测试工况下侧偏角的变化曲线

纵向滑移率是非常重要的参数,计算纵向滑移率的公式如下:

$$S = \frac{\Omega R_e}{V \cos \alpha} - 1$$

(1)

式中 S ——纵向滑移率;
 Ω ——车轮角速度, $\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$;
 R_e ——有效半径, m ;
 V ——速率, $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$;
 α ——侧偏角, $(^\circ)$ 。

但对于纯侧向工况来说,纵向滑移率为零。对比表 2 所示的魔术轮胎模型所需参数单位和上述坐标系之间的区别,对垂直负荷、回正力矩、侧向力以及侧偏角数据进行正负变换,对侧偏角和倾角数据进行单位变换。

表 2 ADAMS/Tire 模块的基础计算数据列表

代 号	单位	描述
Alpha(Slip Angle)	rad	侧偏角
Kappa(Longitudinal Slip Ratio)	无量纲	纵向滑移率
Camber(Inclination Angle)	rad	倾角
FZ(Normal Load)	N	垂直负荷
FX(Longitudinal Force)	N	纵向力
FY(Lateral Force)	N	侧向力
MX(Overturning Moment)	$\text{N} \cdot \text{m}$	翻转力矩
MZ(Aligning Torque)	$\text{N} \cdot \text{m}$	回正力矩
V(Velocity)	$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	速率
N(Tire Rotational Velocity)	$\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$	轮胎角速度

ADAMS/Tire 模块除基础计算数据外,还建立一个包含上述数据的矩阵,同时对矩阵中倾角、负荷以及轮胎充气压力等数据进行圆整,以便于对轮胎纯侧向工况数据进行提取。程序流程如图 2 所示。

3 纵向力学特性与混合工况试验数据处理

FSAE TTC 所提供的所有纵向力学特性数据除侧向力学特性测试项目外,增加了 SL 无量纲项目数据,SL 项目数据是指 SAE 定义的滑移率。以 Hoosier 205×7-13 R25B 轮胎数据为例,在进行该试验时的暖胎阶段并没有与正常试验阶段连在一起,而是单独形成了一组数据,如图 3 所示。通过查看其他规格轮胎数据,试验条件基本一致。要从纵向力学特性试验数据中得到的同样是侧偏角、滑移率、外倾角、负荷、纵向力、侧向力、翻转力矩、回正力矩以及轮胎充气压力,具体流程如下。

查看侧偏角的变化曲线(如图 4 所示)。图像显示侧偏角的变化十分规律,故可直接应用式(1)

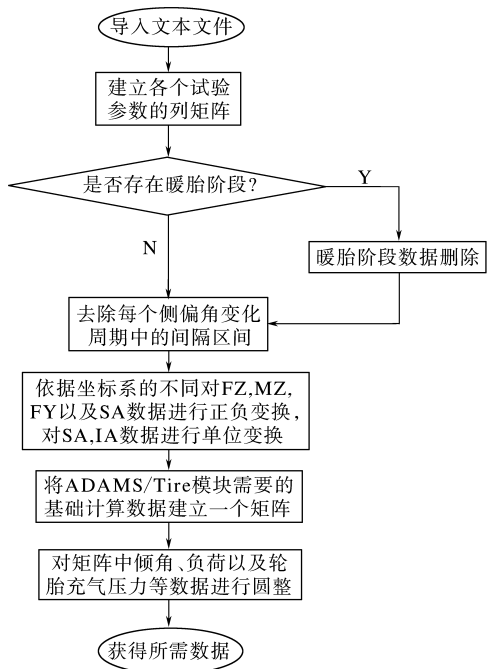


图 2 侧向力学特性分析程序流程

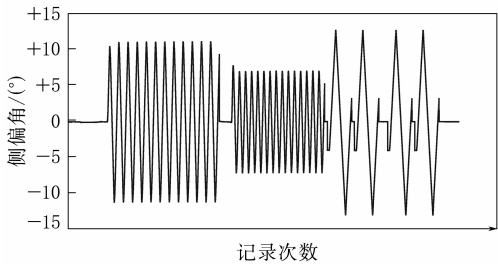


图 3 独立的暖胎阶段

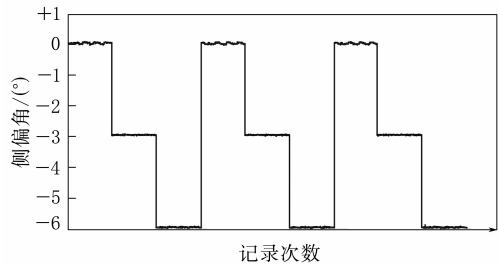


图 4 纵向测试工况下侧偏角的变化曲线

对纵向滑移率进行计算。然后对比魔术轮胎模型所需参数单位和坐标系的区别,对垂直负荷、回正力矩、侧向力以及侧偏角数据进行正负变换,对侧移角和倾角数据进行单位变换。

ADAMS/Tire 模块包含内容同侧向测试。

对于纯纵向数据的提取,只需要从处理好的数据中以侧偏角 0° 为前提即可。而对于混合工

况数据,提取侧偏角为 0° 、 3° 和 6° 为前提的数据。

还需要注意的是, R_e 为SAE标准即自由滚动状态下的有效半径,即滑移率为零时轮胎中心与接地印痕之间的距离。但在纵向力学特性与混合工况试验数据中 R_e 的数据却不符合SAE的定义,原因在于试验所使用的轮胎测试仪记录的 R_e 数据为实时记录数据,而此时轮胎有效半径受到滑移率变化的影响,如图5所示。程序流程如图6所示。

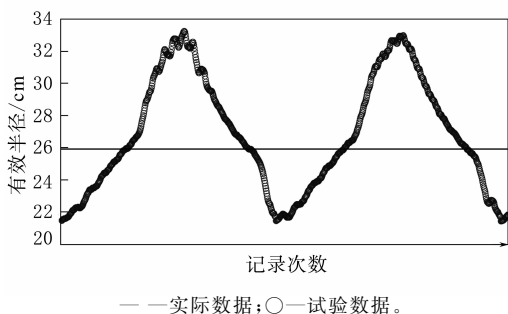


图5 有效半径试验数据记录

4 结语

以Hoosier 205×7-13 R25B轮胎为例,基于Matlab对FSAE赛车轮胎数据处理过程进行探究,并分别阐述了侧向力学特性和纵向力学特性试验中得到的轮胎侧向、纵向以及混合工况数据的处理过程。

该处理过程能够高效处理繁杂的轮胎原始数据,得到需要的轮胎数据,可应用于不同尺寸轮胎数据处理,有较好的通用性。

FSAE赛车轮胎的数据处理决定着轮胎数学模型建立的成败。数据处理可以加快赛车虚拟样

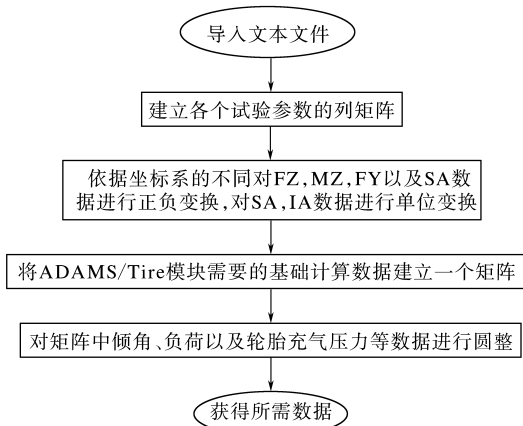


图6 纵向力学特性分析程序流程

机仿真进程、电子系统研发以及底盘设计,对于缩短赛车研发周期、提升赛车性能有一定的意义。

致谢:感谢 Doug. Milliken 和倪俊的帮助。

参考文献:

- [1] 郭孔辉. 汽车操纵动力学[M]. 长春:吉林科学技术出版社, 1993:96-178.
- [2] Milliken W F, Milliken D L. Race Car Vehicle Dynamics[M]. Warrendale; SAE, 1995:13-14.
- [3] Kasprzak E M, Gentz D. The Formula SAE Tire Test Consortium-Tire Testing and Data Handling[J]. SAE, 2006(1): 3606.
- [4] 倪俊, 徐彬. FSAE赛车双横臂前悬架运动学仿真及优化[J]. 车辆与动力技术, 2011(4): 51-54.
- [5] 陈思忠, 倪俊, 吴志成. 基于特定赛道的方程式赛车转向梯形优化与虚拟试验[J]. 机械传动, 2012(9): 67-70.
- [6] 陈思忠, 倪俊, 吴志成. 基于转向轻便性与回正性的方程式赛车主销内倾角优化[J]. 工程设计学报, 2012(1): 30-56.
- [7] 倪俊, 徐彬. 基于ADAMS的FSAE赛车建模与操纵稳定性仿真[J]. 工程设计学报, 2011, 18(5): 354-358.

收稿日期:2014-11-24

改善修边效果的轮胎修边装置及轮胎修边工艺

中图分类号:TQ330.4+91;TQ330.6+9 文献标志码:D

由江苏益尔机电有限公司申请的专利(公开号 CN 104260251A, 公开日期 2015-01-07)“改善修边效果的轮胎修边装置及轮胎修边工艺”,涉及的轮胎修边装置的机架设有升降台,升降台一侧设有托架;托架支撑驱动丝杠,驱动丝杠周向套设一组螺母,该组螺母包括分别与驱动丝杠形成螺旋移动副的两个第1螺母;托架还设有

两个第1固定座,以及位于第1固定座之间的第2固定座;第1固定座支撑第1修边刀具组件,第2固定座支撑第2修边刀具组件;第1、第2修边刀具组件分别装有刀片;两个第1螺母与对应的第1固定座和第1修边刀具连接。装置工作时,在第1、第2修边刀具的配合下,将轮胎毛边修除完全。本发明既可避免刀具之间发生碰撞,又可将轮胎毛边完全修除,且结构简单,无需复杂控制,成本较低。

(本刊编辑部 马 晓)