

运用MATLAB分析基于阿克曼转向梯形的转向模型

卞家杰, 赵强, 戚基艳, 金嘉琦, 邹姗姗

(沈阳工业大学 机械工程学院, 沈阳 110870)

摘要: 为了研究运用于舰载机牵引车差速转向, 基于国际通用的阿克曼转向梯形, 建立差速转向的物理分析公式及数学模型, 运用MATLAB/Simulink建立仿真模型, 结合实际运行的速度及转角工况进行仿真差速转向运行, 论证轮速与电动机转速的控制关系。

关键词: 轮毂电动机; 差速转向; MATLAB; 仿真

中图分类号: TP 391.7

文献标志码: A

文章编号: 1002-2333(2019)09-0063-03

Analysis of Ackermann Steering Geometry Model Based on Matlab

BIAN Jiajie, ZHAO Qiang, QI Jiyang, JIN Jiaqi, ZOU Shanshan

(School of Mechanical Engineering, Shenyang University of Technology, Shenyang 110870, China)

Abstract: In order to study the differential steering of aircraft carrier tractor, this paper establishes a physical analysis formula and a mathematical model of the differential steering based on the internationally accepted Ackermann steering trapezoid, and builds a simulation model using Matlab/Simulink. Combined with actual running speed and cornering conditions, differential steering operation is simulated. The control relationship between wheel speed and motor speed is demonstrated.

Keywords: differential steering; wheel motor; Matlab; simulation

0 引言

电动汽车作为时下最热门的汽车产业一直受到市场及消费者的广泛关注, 并且电动汽车技术日趋成熟, 例如特斯拉电动汽车更是迎来了广大消费者的热情, 国产品牌也是加快了进军电动车行业的脚步, 各大汽车商频频推出旗下电动汽车产品。但是不同于仅更换了动力源的传统电动汽车, 采用轮毂电动机的电动汽车可能引领行业的新发展。

轮毂电动机是未来电动车产业重要的技术发展方向之一, 轮毂电动机所具有的经济性、较好的整车控制性等特点, 都优于常规电动汽车^[1]。轮毂电动机驱动的电动汽车直接将电动机安装在轮毂内, 简化了整车结构, 没有了发动机、变速箱、差速器后桥等大型部件, 整车的质量分布以及整车操控性得到了提升。在轮毂电动机电动车研究中, 转向系统是重要的一个部分, 轮毂电动机的电动车采用的是差速转向方式, 差速转向的好坏影响着电动车操纵稳定性和行驶平顺性。通过对研究对象的物理简化分析, 简化出受力分析模型, 根据最直接的力学关系推导出数学公式, 通过MATLAB仿真功能建立数学模型, 完成物理模型到数学模型的转化, 进而进行动态仿真分析得出转向时一系列的数据结果^[2]。

1 差速转向模型

对四轮车低速转向的分析中, 阿克曼转向模型被广泛认可并且运用于研究低速转向的控制策略。运用阿克曼模型需满足几个假设条件: 1) 保证车体的刚性; 2) 不考虑整车质心偏移、整车行驶过程中受到的侧向力、横摆角速度变化和不规律变化的路况; 3) 车辆在正常工况下直行

或者转向时, 如果每个车轮的运行路线都可以完全遵循它的自然运动路线, 来保证轮胎与地面间处于纯滚动而没有出现滑移或者滑移的趋势^[3]。在满足此条件基础上, 车辆转向行驶时, 以车外的某一点作为圆心, 整车的转向以此点作圆周运动。这类理想化模型虽然排除考虑了许多外界不确定因素, 但该模型对四轮驱动电动汽车差速转向的研究具有参考价值。

我们对四轮牵引车做一个平面二维的简化图, 并且简化出受力示意图以及运动方向等, 如图1所示。四轮车的宽度为 C , 长度为 L , 旋转中心为 O_1 。左前轮标为 L_1 , 右前轮标记为 r_1 , 同理左右后轮分别为 L_2 与 r_2 , O 为车辆质心, V 为车速, V_{L1} 与 V_{r1} 分别为左右前轮车速, V_{L2} 与 V_{r2} 分别为左右后轮速度, δ 为车辆转向角, δ_L 与 δ_r 分别为左右前轮转向角, R_0 为车辆质心的转向半径, R_{L1} 与 R_{r1} 为左右前轮转向半径, R_{L2} 、 R_{r2} 分别为左右后轮转向半径, a 为车辆质心到前轴距离, b 为车辆质心到后轴距离。

2 物理模型的建立

根据三角函数以及数学几何关系得出下列函数关系。

各轮转向半径与车身尺寸以及整车转向半径转向角数学关系:

$$R_{L1}^2 = L^2 + (L \tan \delta - L/2)^2;$$

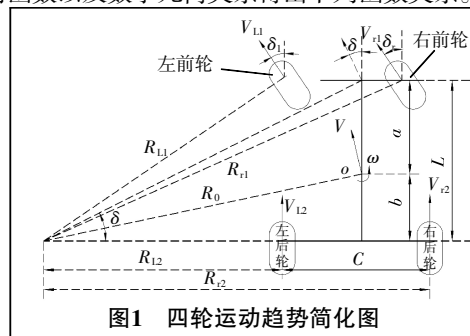


图1 四轮运动趋势简化图

$$R_{r1}^2 = L^2 + (L/\tan\delta + L/2)^2;$$

$$R_{l2} = L/\tan\delta - C/2; \tan\delta_l = L/R_{l2};$$

$$R_{r2} = L/\tan\delta + C/2; \tan\delta_r = L/R_{r2}.$$

左右转向轮转角与车辆转角关系:

$$\tan\delta_l = \frac{L}{L/\tan\delta - C/2} = \frac{2L \cdot \tan\delta}{2L - C \tan\delta};$$

$$\tan\delta_r = \frac{2L \tan\delta}{2L + C \tan\delta}.$$

根据瞬心定理得到各轮速与各轮转弯半径关系为

$$\frac{V}{R_0} = \frac{V_{l1}}{R_{l1}} = \frac{V_{r1}}{R_{r1}} = \frac{V_{l2}}{R_{l2}} = \frac{V_{r2}}{R_{r2}}.$$

经过公式变换得各轮车速公式:

$$V_{l1} = V \cdot R_{l1} / R_0;$$

$$V_{r1} = V \cdot R_{r1} / R_0;$$

$$V_{l2} = V \cdot R_{l2} / R_0;$$

$$V_{r2} = V \cdot R_{r2} / R_0.$$

又 $R_0^2 = b^2 + (L/\tan\delta)^2$ 代入公式重新整理得各轮轮速最终表达式:

$$V_{l1} = V \sqrt{L^2 + (L/\tan\delta - C/2)^2} / \sqrt{b^2 + (L/\tan\delta)^2};$$

$$V_{r1} = V \sqrt{L^2 + (L/\tan\delta + C/2)^2} / \sqrt{b^2 + (L/\tan\delta)^2};$$

$$V_{l2} = V (L/\tan\delta - C/2) / \sqrt{b^2 + (L/\tan\delta)^2};$$

$$V_{r2} = V (L/\tan\delta + C/2) / \sqrt{b^2 + (L/\tan\delta)^2}.$$

3 MATLAB建模过程

通过MATLAB/Simulation 现有的模块建立起基于阿克曼转向梯形得出的数学模型如图2所示,其中 L 、 B 、 C 都为已知参数,需要输入的参数为车速 V 及汽车转向角 δ 。

在该模型进行论证时,发现当转向角 δ 为 0° ,即当车辆运行工况为直行的时候,该模型不成立,所以当车辆由左转向右转时需要进行一个工况选择,即加入一个if-

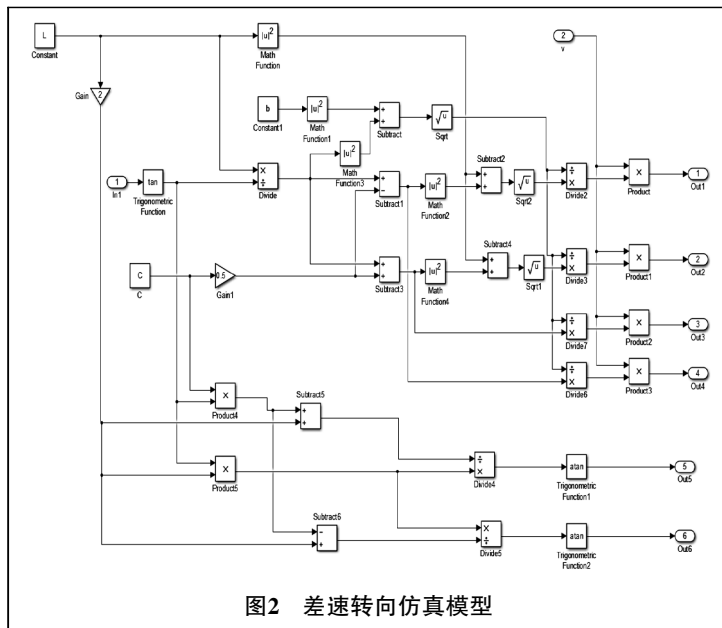


图2 差速转向仿真模型

else选择语句来完善该模,运用MATLAB加入一个选择模块,首先将差速仿真模型打包成一个单独执行action模块,再加入一个if选择模块,这样就弥补了先前差速仿真模块中,转角 δ 正负变化带来的不正确影响,完善了模块的补充与改进^[4]。选用if和if action模块进行建模。如图3所示,加入一个选择模块,输入为车速 V 与转向角 δ 。

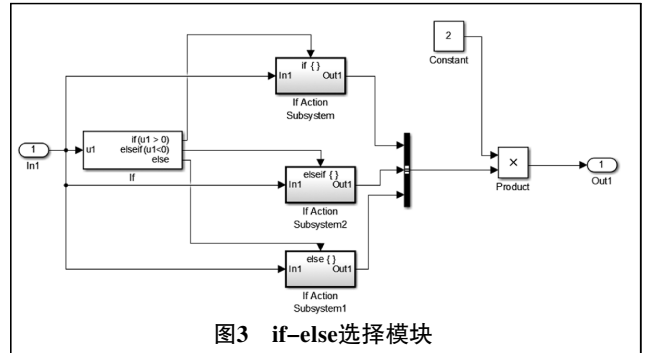


图3 if-else选择模块

4 仿真结果

永磁无刷直流电动机作为轮毂电动机电动车的驱动执行单元,由上述阿克曼差速仿真模型,通过输入得出四轮的各自目标转速^[5]。根据 V 和 δ ,由阿克曼转向差速模型计算出4个电动机的转向角速度 ω_{l1} 、 ω_{r1} 、 ω_{l2} 、 ω_{r2} 。Simulink中输入

我们所需要的尺寸参数及控制参数。 $L=2.00\text{ m}$, $B=0.50\text{ m}$, $C=0.50\text{ m}$, 以及目标车速,得到响应转角仿真结果如图4所示。

5 结论
通过上述仿真结果可以

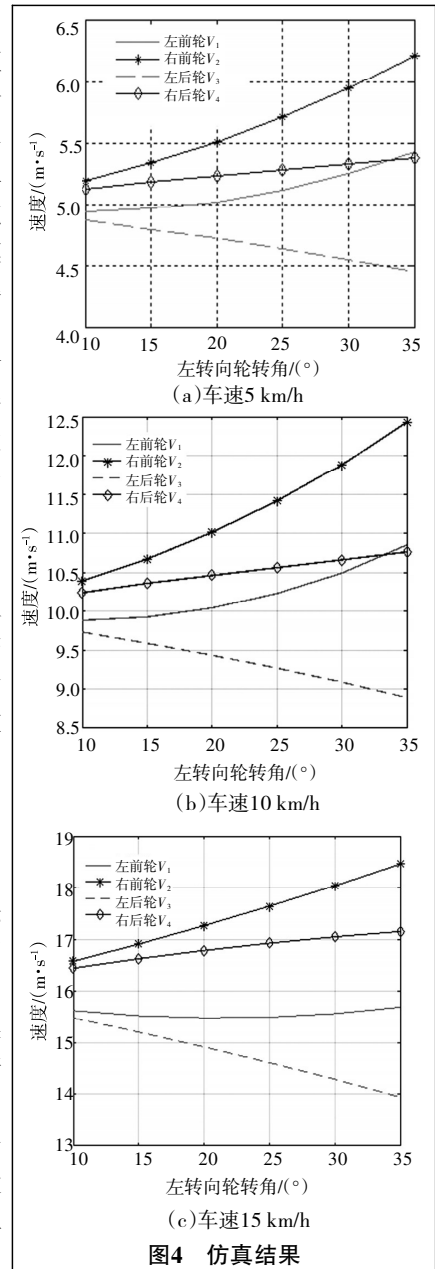


图4 仿真结果

(下转第73页)

- [6] 李博睿,王静.大规模多级压裂用全通径导喷封隔器[J].石油钻采工艺,2016,38(5):705-708.
- [7] 王继良,伊伟锴.可逐级解封的管内分段压裂管柱设计[J].石油机械,2017,45(5):107-110.
- [8] 李丹.多段分层注水井逐级解封封隔器研制与应用[J].大庆石油地质与开发,2016,35(4):113-116.
- [9] 肖国华,王金忠,黄坚毅,等.冀东油田深斜井分层压裂管柱研究与应用[J].石油机械,2016,44(2):63-67.
- [10] 程智远,骆劲羽,孙晓飞,等.K344型可控封隔器及压裂滑套研制

[J].石油矿场机械,2016,45(8):77-80.

- [11] 詹鸿运,程智远,刘志斌,等.新型气井三层分压合采无阻生产压裂管柱[J].石油钻采工艺,2012,34(6):82-84.
- [12] 马洪芬,吴浩,王炳,等.苏里格气藏两层分压合采无阻生产压裂管柱[J].石油钻采工艺,2010,32(6):77-79.

(责任编辑 邵明涛)

(上接第64页)

发现,阿克曼转向模型适用于研究低速转向时车速与转向之间的仿真实验,并且精确可靠。同时通过曲线可以发现,当车速越大的时候对应的轮速误差范围也越来越大,当车速输入为15 km/h时,仿真响应的车速已经趋于16 km/h,这就大大增加了滑移的可能性。所以运用阿克曼转向模型研究更高车速的意义不大,论证了阿克曼转向模型适用于低速、静态的仿真实验。

[参考文献]

- [1] 卓晴,黄开胜.学做智能车[M].北京:北京航空航天大学出版社,2007.
- [2] 李科尧,赫玉莹,范恒超.后轮双电动机差速与前轮转向协调控制在智能车模上的应用[J].科学与财富,2014(4):46-47.
- [3] 姜明国,陆波.阿克曼原理与矩形化转向梯形设计[J].汽车技术,

1994(5):16-19.

- [4] 杨其华,张乃标.双电动机独立驱动电动汽车的电子差速自调节功能的分析研究[J].北京汽车,2008(5):28-37.
- [5] 许晓夏,夏培容.智能车速度的模糊控制最优循迹策略研究[J].北京信息科技大学学报(自然科学版),2009,24(3):85-86.

(责任编辑 张立明)

作者简介:卞家杰(1993—),男,硕士研究生,研究方向为舰载机牵引车驱动;

金嘉琦(1955—),男,教授,研究方向为精密加工与精密测量的理论与技术。

收稿日期:2018-12-11

(上接第66页)

象,又由于可倾瓦轴承的影响,转子的失稳幅值较小。针对可倾瓦支撑下转子的振动分析,还应考虑转子的自激振动及可倾瓦的油膜支撑等问题。

[参考文献]

- [1] JUNG D Y, DESMIDT H A. Limit-Cycle Analysis of Planar Rotor/Autobalancer System Influenced by Alford's Force[J].Journal of Vibration and Acoustics, 2016, 138(2):021018.
- [2] KIM H S, CHO M, SONG S J. Stability analysis of a turbine rotor system with Alford forces[J].Journal of Sound and Vibration, 2002, 258(4):777-790.
- [3] 成玫,孟光. Alford力和滚动轴承对转子系统动力特性的影响[J].振动与冲击,2011,30(12):164-168.
- [4] 成玫,孟光.含Alford力的非线性转子-滚动轴承系统动力分析[J].中国机械工程,2011,22(23):2806-2812.
- [5] 柴山,张耀明,曲庆文,等.汽轮机扭叶片级间隙气流激振力分析

[J].中国电机工程学报,2001,21(5):11-16.

- [6] 马辉,戴继双,孟磊,等.离心压缩机转子系统不平衡响应分析[J].机械工程学报,2010,8(2):127-131.
- [7] NICHOLAS J C, GUNTER E J, ALLAIRE P E. Stiffness and Damping Coefficients for the Five-Pad Tilting-Pad Bearing[J].ASLE Transactions, 1979, 22(2):113-124.
- [8] LUND J W. Spring and Damping Coefficients for the Tilting-Pad Journal Bearing[J].ASLE Transactions, 1964, 7(4):342-352.

(责任编辑 张立明)

作者简介:门志平(1991—),男,硕士研究生,研究方向为离心压缩机流体激振特性分析;

陈长征(1964—),男,教授,博士生导师,研究方向为振动噪声。

收稿日期:2019-02-27

(上接第69页)

样本对失效概率的影响,得到单失效数据情形下,各个时刻失效概率的合理估计值及其变化情况。本文的研究拓展了无失效数据情形失效概率多层Bayes方法的应用范围,对其进一步拓展应用到2个或多个失效数据的场合,是值得进一步研究的课题。

[参考文献]

- [1] 菲诗松,王玲玲,濮晓龙.威布尔分布场合无失效数据的可靠性分析[J].应用概率统计,1996,12(1):95-107.
- [2] LINDLEY D V, SMITH A F M. Bayes Estimates for the Linear Model[J].Journal of the Royal Statistical Society, 1972, 34(1):1-41.
- [3] MARTZ H F, WALLER R A. A Bayesian zero-failure reliability demonstration testing procedure[J].Journal of Quality Technology, 1979, 11(3):128-137.
- [4] 菲诗松.轴承寿命试验中无失效数据的处理[J].应用概率统计,

1993,9(3):328-331.

- [5] 陈文华.单失效数据的可靠性统计分析[J].机械工程学报,2003,39(9):45-48.
- [6] 傅惠民,岳晓蕊,张勇波.极少失效数据的可靠性评估和寿命预测[J].航空动力学报,2010,25(8):1855-1859.
- [7] 韩明.多层先验分布的构造及其应用[J].运筹与管理,1997,6(3):31-40.
- [8] BERGER J O. Statistical Decision Theory and Bayesian Analysis[M].New York:Springer-Verlag, 1985.

(责任编辑 马忠臣)

作者简介:王璨(1995—),男,硕士研究生,研究方向为机械产品可靠性;

董玉革(1967—),男,教授,研究方向为机械设计、机械产品可靠性和机械产品开发等。

收稿日期:2019-01-23