

山东科技大学学术著作出版基金资助出版

DUOZHOU ZHUANXIANG

多轴转向

CHELIANG CAOZONG WENDINGXING YANJIU

车辆操纵稳定性研究

王树凤 张俊友 著



哈尔滨工业大学出版社
HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

多轴转向车辆操纵稳定性研究

王树凤 张俊友 著

哈尔滨工业大学出版社

内 容 简 介

多轴转向技术可以有效提高重型车辆的操纵稳定性、减少轮胎磨损,在重型货车等领域具有广泛的应用前景。本书首先对传统的双前桥转向等进行分析优化仿真,然后对机械式动态转向机构进行设计分析。为进一步提高车辆的操纵稳定性能,基于动力学、控制理论、操纵稳定性理论等,以两轴、三轴车辆为研究对象,建立了多轴转向车辆的动力学模型,研究在不同转向工况下的控制策略,对其进行仿真分析、虚拟试验验证以及模型车试验验证,本书可为多轴转向车辆的设计研究提供理论参考。

本书可供汽车工程技术人员、相关专业师生和研究人员进行汽车设计研究和教学参考。

图书在版编目(CIP)数据

多轴转向车辆操纵稳定性研究/王树凤,张俊友著.

—哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2017.11

ISBN 978-7-5603-6799-6

I. ①多… II. ①王… ②张… III. ①重型载重汽车—
操纵稳定性—研究 IV. ①U469.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 179681 号

策划编辑 闻 竹
责任编辑 李长波 庞 雪
出版发行 哈尔滨工业大学出版社
社 址 哈尔滨市南岗区复华四道街 10 号 邮编 150006
传 真 0451-86414749
网 址 <http://hitpress.hit.edu.cn>
印 刷 哈尔滨圣铂印刷有限公司
开 本 787mm×1092mm 1/16 印张 14.25 字数 340 千字
版 次 2017 年 11 月第 1 版 2017 年 11 月第 1 次印刷
书 号 ISBN 978-7-5603-6799-6
定 价 38.00 元

(如因印装质量问题影响阅读,我社负责调换)

前 言

随着工程建设、基础设施建设的发展和公路条件的改善,由于重型车辆具有功率大、载量多等特点,能提高劳动生产率、降低成本,重型和超重型车辆发展较快,在交通运输领域日益显现出主导地位。一般情况下多轴汽车在转向行驶时,前后轮胎的运动轨迹不协调,轮胎磨损非常严重,低速时转向响应慢,转弯半径大,机动性很差;中高速时转向失真很严重,甚至在较低车速时也会产生方向失控(如甩尾),严重影响了车辆的行驶安全。为提高车辆转向的机动灵活性,其转向系统逐渐向多轴转向发展,四轮转向技术的快速发展,促进了多轴转向技术的发展,然而多轴转向汽车在理论研究和技术开发等方面,还远未得到应有的关注。因此撰写本书的部分目的,也在于呼吁有关学者和部门更加重视多轴汽车的开发研究。

本书共7章,第1章介绍了多轴转向技术的由来、类型以及发展现状;第2章介绍了理想转向与转向机构的优化设计;第3章介绍了机械式动态转向机构的设计与仿真分析;第4章介绍了四轮转向车辆的动态转向控制策略以及仿真分析;第5章介绍了三轴转向车辆的动态转向控制策略与仿真分析;第6章介绍了虚拟试验的搭建以及试验重现;第7章介绍了模型车的制作与试验验证。本书涵盖了多轴转向技术理论分析的主要内容,但是侧重于理论分析与仿真,在实车改装或者设计制造方面还有欠缺。本书可供汽车工程技术人员、相关专业师生和研究人员进行汽车设计研究和教学参考。

除封面署名作者外,车辆动力学实验室的李华师、贺翠华、巩建坡、郭冬雪、郝秀成等同学参与了本书部分章节内容的建模、仿真以及写作,张大伟参与排版和校对,在此一并表示感谢。本书的研究工作得到山东省自然科学基金项目(多轴转向汽车操纵稳定性的研究,Q2006F06)以及山东科技大学人才引进科研启动基金项目的资助。

本书内容是作者多年来针对多轴转向汽车操纵稳定性方面的研究总结,仅起到抛砖引玉的作用,多轴转向技术正处于不断发展之中,由于学识水平有限,对于文中的不完善以及疏漏之处,还望业内人士和广大读者批评指正。

作 者

2017年1月

目 录

第 1 章 多轴转向概述	1
1.1 多轴转向的由来	1
1.2 多轴转向介绍	2
1.3 多轴转向系统的类型	6
1.4 多轴转向技术发展现状	8
1.5 本书的内容安排	10
第 2 章 理想转向与转向机构的优化设计	11
2.1 理想转向关系	11
2.2 平面梯形机构的优化设计	17
2.3 空间梯形机构的优化设计	23
2.4 纵向传动机构的优化设计	28
2.5 基于 ADAMS 的五轴车辆转向机构优化分析	33
第 3 章 机械式动态转向机构	41
3.1 机械式动态转向机构	41
3.2 四轮转向汽车的理论分析	46
3.3 前轮转角与车速之间的安全关系	52
3.4 前后轮转角关系曲线及机构设计	57
3.5 基于 ADAMS 的四轮转向车辆操纵稳定性仿真分析	58
第 4 章 四轮转向动态转向策略与仿真	65
4.1 四轮转向车辆转角与横摆力矩联合控制	65
4.2 四轮转向车辆转角与横摆力矩非线性联合最优控制	74
4.3 基于联合仿真技术的四轮转向车辆模糊控制	97
第 5 章 三轴车辆动态仿真	120
5.1 三轴车辆全轮转向控制	120
5.2 三轴车辆全轮转向非线性模糊控制	133
5.3 基于虚拟样机技术的三轴全轮转向车辆模型的建立	149
5.4 三轴全轮转向车辆操纵稳定性仿真分析	159
第 6 章 虚拟试验中的运动展现	163
6.1 虚拟试验系统的搭建	163
6.2 虚拟试验场景建模	169
6.3 虚拟试验的实现及交互	175

6.4	真实性实现技术	183
6.5	虚拟试验展现系统的示例	187
第7章	模型车制作与试验验证	189
7.1	模型车辆的设计	189
7.2	模型车的硬件电路设计	193
7.3	模型车的软件系统设计	199
7.4	试验车辆的仿真分析与试验验证	213
参考文献	218

第 1 章 多轴转向概述

1.1 多轴转向的由来

随着工程建设、基础设施建设的发展和公路条件的改善,因重型车辆具有功率大、载量多等特点,能提高劳动生产率、降低成本,重型和超重型车辆发展较快,大马力、高承载能力的特种车辆得到了广泛的应用,在交通运输领域日益显现出主导地位。车辆对公路的破坏主要是由于长期的超载以及轮胎对路面的磨损产生的。随着公路运输的发展,国家对公路保护的意识会越来越强,国家对车辆的单轴承载限制会越来越严格,对车辆的转向性能要求会越来越高。在国外,多轴转向技术已经相当成熟,为了解决高运输效率与保护公路之间的矛盾,有的国家及地区甚至在法规中规定大载重车辆必须是多轴承载并具有多轴转向功能。

重型多轴车辆主要指重型货车(包括挂车)、国防与航天等领域的特种车辆以及其他超长车辆,如图 1.1 所示,其一般在三轴以上,由于车体长、吨位大、惯性矩大、质心高以及轴距大等特点。如果只有前轮转向,在转向行驶时,前后轮运动轨迹不协调,轮胎磨损非常严重,低速时转向响应慢,转弯半径急剧增加,机动性大大恶化;中高速时转向失真很严重,甚至在较低车速下(40 km/h 左右)也会产生方向失控(如甩尾),严重影响了车辆的行驶安全。

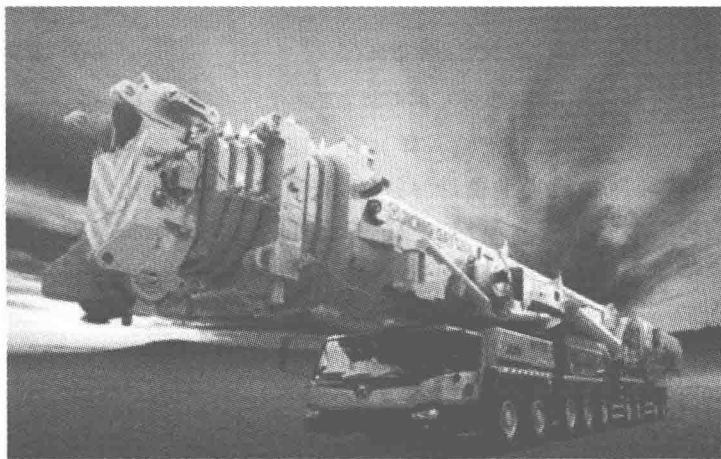


图 1.1 多轴车辆

为提高重型车辆转向的机动灵活性,其转向系统逐渐向多轴转向发展,常见的做法是使多个车轴同时参与转向,重型车辆普遍应用的是双前桥转向,一般采用机械摇臂式转向

传动机构。这种双前桥转向技术在车辆低速行驶时,能在一定程度上实现转向车轮在转向时大体绕同一瞬时转向中心旋转,提高车辆的机动灵活性,但是高速转向时其稳定性变差。少数军用特种车采用有别于双前桥转向的其他多轴转向技术,一般是前后轴参与转向,中间轴也可参与转向,如五轴重型车辆,其中一、二、五轴参与转向,采用这种方法,车身越长,机动性提高越大,但在中高速转向时稳定性恶化。为改善中高速的稳定性能,有的车上专门加装锁止机构,以防止高速时后轴的转向。以上都属于非动态转向技术的范畴,采用非动态多轴转向技术,提高了车辆的机动性,但中高速时的稳定性不能得到有效改善。

20世纪80年代以来,随着支持控制系统的计算机、传感器及执行机构的迅速发展,各种改善汽车操纵稳定性的电子控制系统相继出现。为解决传统两(前)轮转向(Two Wheel Steering, 2WS; Front Wheel Steering, FWS)汽车低速时转向响应慢、回转半径大、转向不灵活,高速时方向稳定性差的问题,四轮转向(Four Wheel Steering, 4WS)技术应运而生。使用四轮转向(4WS)技术,车辆在转向时具有低速机动性高、中高速稳定性好、轮胎磨损小等优点。鉴于四轮转向技术的诸多优点,近十几年来国外许多研究机构从不同的角度对四轮转向技术进行了大量研究,使这项技术日趋成熟。四轮转向技术的快速发展促进了多轴转向技术的发展,多轴动态转向技术大大改善了车辆的操纵稳定性,可以使车辆在低速大转角转向时后方车轴上的车轮和前方车轴上的车轮逆向转向,大大减小转弯半径,改善其操纵轻便性和机动灵活性;在车辆中高速转向行驶时,后方车轴上的车轮与前方车轴上的车轮同向转向,增强了车辆在中高速行驶状态下的行驶稳定性。多轴转向技术的发展对提高我国多轴转向车辆的自主设计和开发水平有着重要的理论意义和实际应用价值。

1.2 多轴转向介绍

1.2.1 四轮转向

所谓四轮转向是指后轮也和前轮一样具有一定的转向功能,在汽车低速行驶时,后轮和前轮反向转向,可以减小转弯半径,提高车辆的操纵轻便性和机动性。在汽车中高速行驶时,后轮与前轮同向转向,提高车辆的操纵稳定性。四轮转向技术的优越性使其一直作为有效改善汽车操纵稳定性的主动底盘控制技术而得到关注和重视。20世纪80年代,本田 Prelude 轿车(图 1.2)、马自达 602 轿车及 GMBlander XT-1 概念车都应用了四轮转向技术来提高车辆的性能。下面介绍一下四轮转向技术的优势(图 1.3):

(1)当汽车低速转弯时,惯性力小于轮胎与路面之间的摩擦力,不会产生侧滑或甩尾,4WS 车辆后轮与前轮反向转动一个转角,可大大减小转向半径,提高车辆的机动灵活性。

(2)当汽车中高速转弯时,惯性企图使 2WS 汽车的后轮继续直行,后轮将出现向外侧滑而远离前轮前进方向,4WS 由于后轮与前轮同向转动一个转角,减小了轮胎的侧滑角,减少了车辆甩尾现象,提高了汽车高速转向运行的稳定性。

(3)当汽车在变换车道行驶过程中,前轮转向时,后轮也相应同向转过一个较小的转



图 1.2 本田 Prelude 四轮转向轿车

角,致使汽车在变换车道行驶过程中车身既有平移又有转动,减小了轮胎的侧滑角,从而提高了后轮运动轨迹与前轮运动轨迹的重合度,减少了汽车在换道行驶过程中的甩尾现象,提高了汽车高速变换车道行驶过程的操纵稳定性。

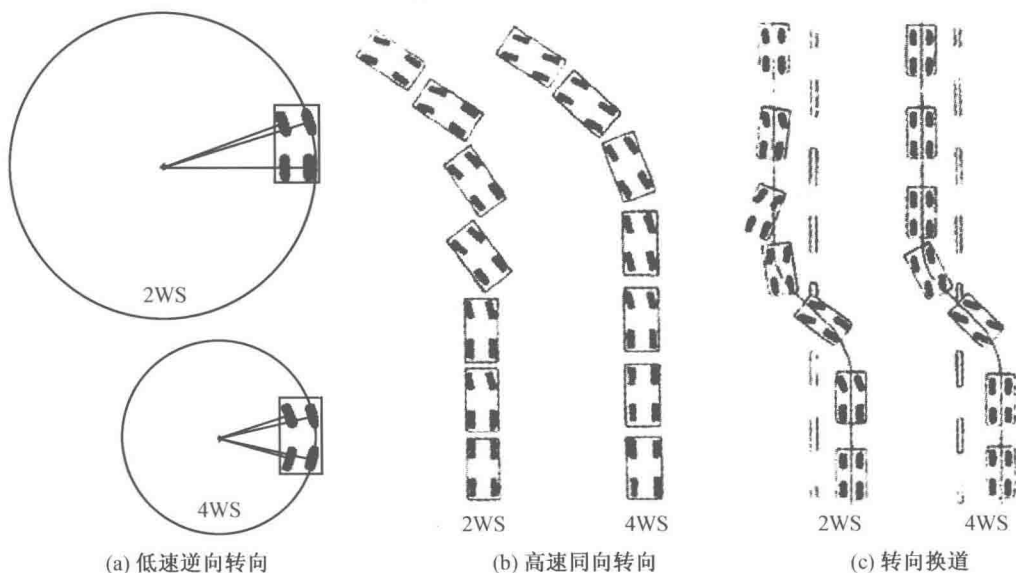


图 1.3 四轮转向车辆与前轮转向车辆的不同工况对比

1.2.2 多轴转向

多轴转向技术是指多个车轴参与转向,具体转向情况随车辆的行驶状况而变化,图 1.4 所示为四轴起重机的几种转向模式,其可以根据具体情况选择合适的转向模式。

一般来说,车辆在低速大转角转向时后方车轴上的车轮和前方车轴上的车轮逆向转向,可以大大减小转弯半径,使车辆容易就位,改善其操纵轻便性和机动灵活性;在车辆高速转向行驶时,后方车轴上的车轮与前方车轴上的车轮同向转向,有助于减少车辆侧滑或扭摆,对平衡车辆在超车、变道或躲避不平路面时的反应均有帮助,增强了车辆在中高速行驶状态下的操纵稳定性;在某些特定工况下,也可以所有车轮沿同一个方向转动,此时车辆的运动相当于平移,其转向轨迹大体如图 1.5 所示。因此,采用多轴转向的各种形式可以有效解决重型车辆在转向过程中的上述问题。

使用全轮转向系统技术的多轴车辆,当车辆转向时,全轮转向系统能够使每个车轮在

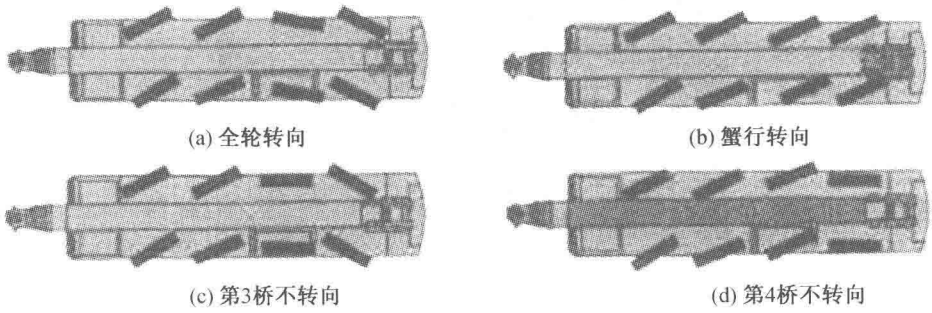


图 1.4 四轴起重机的几种转向模式

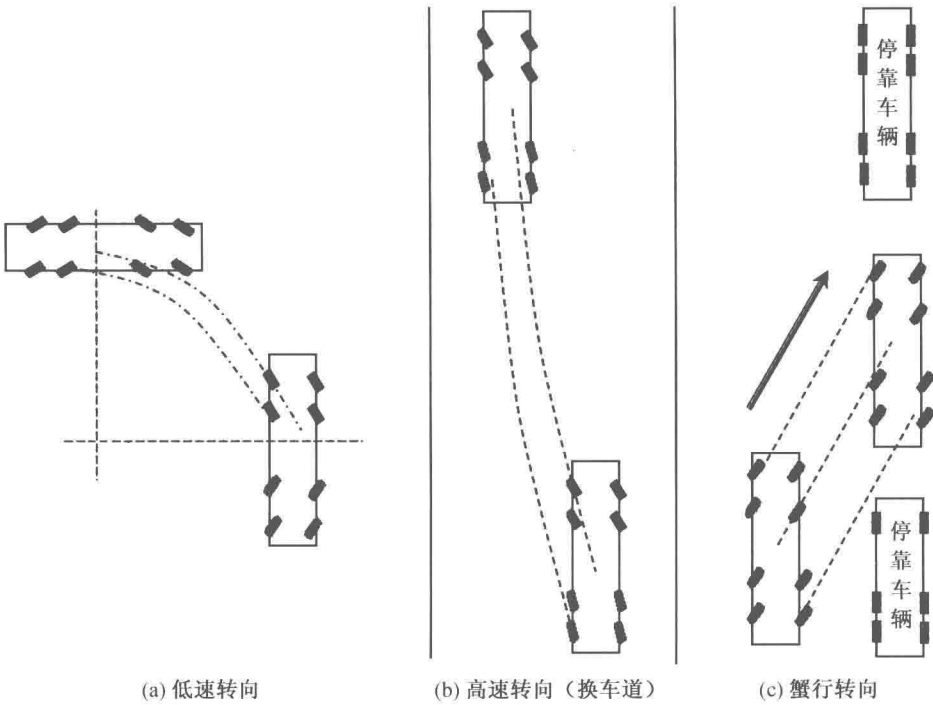


图 1.5 不同转向模式的转向轨迹示意图

车辆的全程转向过程中按照阿克曼转角理论中的转角值协调,从而使每个车轮在转向行驶的过程中都基本处于滚动状态,因此轮胎磨损少,燃油经济性好。而一般的车辆(包括不转向半挂车和具有随动转向系统的半挂车)在转向时,车轮转角均不能满足阿克曼转角理论中的值,所以在转向的过程中,车轮与地面之间存在着严重的摩擦,表现为较大的转弯半径和发生侧滑现象。

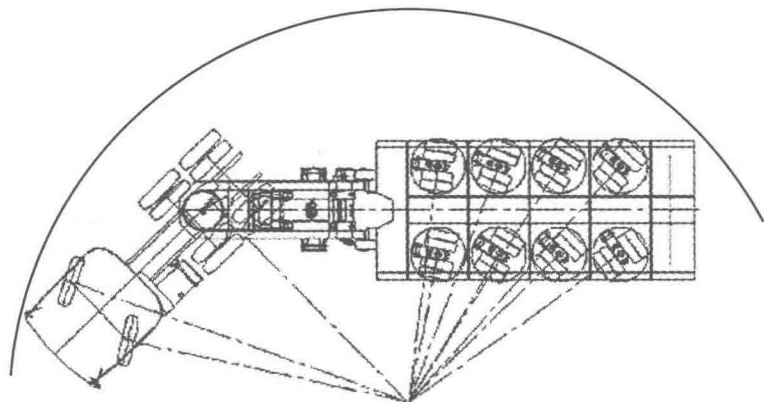
在应用方面,国外重型起重机行业技术巨头利勃海尔公司推出了动态转向技术,可实现直线、八字、蟹行、横行、原地(中心)等多种转向模式。国内由徐工集团重型机械有限公司自主研发的QAY800型和QAY1000型全地面起重机中的重载车辆多轴多模式转向控制技术、大型多轴车辆制动综合管理技术已达到国际领先水平。这些多轴转向模式中,如果是处于公路行驶转向模式,可根据车速按程序的控制要求转向,达到车辆低速行驶转向

灵活、高速行驶安全的目的。在小转弯行驶转向模式中,实现小转弯,使车辆能够适应狭小作业场地;可蟹行转向,实现车辆平行移动;可后轴独立转向,提高车辆倒车时快速到位能力;还可后轴锁定转向;不同转向模式只需轻松触摸按钮便可实现。

美国生产的 M1000 坦克装甲车辆运输车的半挂车,最初是西南机动系统公司考虑美国陆军可能有运输 M1 和 M1A1 主战坦克的需要,与德国索埃勒车辆制造有限公司联合投资研制的。该半挂车采用五轴线(每轴线有两个独立悬架组)和 40 个车轮,承载平台高度 1 050 mm,如图 1.6(a)所示。当汽车车辆转向时,其完全自动化的转向系统能控制 2~5 轴线上的每个车轮的自动转向,使车轮转向到与半挂车折角相适应的角度,从而显出其最大的机动性,如图 1.6(b)所示。



(a) M1000半挂车实物图



(b) 转向示意图

图 1.6 M1000 半挂车及其转向示意图

德国的欧洲卡车工厂(European Truck Factory,ETF)生产的 Mining Trucks MT-240 重型采矿卡车开发了一种独特的转向系统,如图 1.7 所示,采用多排轮胎的结构、全轮驱动和全轮转向的设计,可以获得更小的转弯半径,在矿山等复杂的道路环境下有更好的适应性。



图 1.7 Mining Trucks MT-240 各轴轮胎转向轨迹示意图

1.3 多轴转向系统的类型

多轴转向系统按照执行机构的不同可分为机械式多轴转向系统、液压式多轴转向系统、电控液压式多轴转向系统、电控电动式多轴转向系统等。目前,多轴转向装置已将机械、液压、电子、传感器及微处理器控制技术紧密结合在一起,在很大程度上改善了车辆的转向特性。

1.3.1 机械式多轴转向系统

机械式四轮转向系统中连接前后桥转向装置的机构形式有摇臂式、凸轮式、齿轮式等。它们多为前轮转角感应型,即在前轮齿轮齿条式转向器的齿条轴上,安装了后轮转向齿轮,其角位移通过中间传动轴传给后轮转向装置。后轮具有小转角同相转向和大转角逆相转向的功能。在微小转向高速行驶时,形成了同相转向,获得了行驶稳定性;在大转角转向极低速行驶时,变成逆相转向,获得了小半径转向性能。

在多轴车辆的机械式转向系统中常采用转向摇臂加转向梯形机构,如图 1.8 所示,多轴转向系统由摇臂机构和转向梯形机构组成,它需在各桥增设摇臂,由转向拉杆带动各转向梯形。

机械式多轴转向系统具有较好的耐用性和稳定性,传动效率高,受外界天气、碰撞及电磁干扰等因素的影响小,但其空间布置十分困难,控制精度难以保证,不仅给转向传动机构的设计带来了极大的困难,而且也影响到整车方案的成功。另外,转向拉杆的刚度对转向特性和操纵稳定性都有一定的影响。

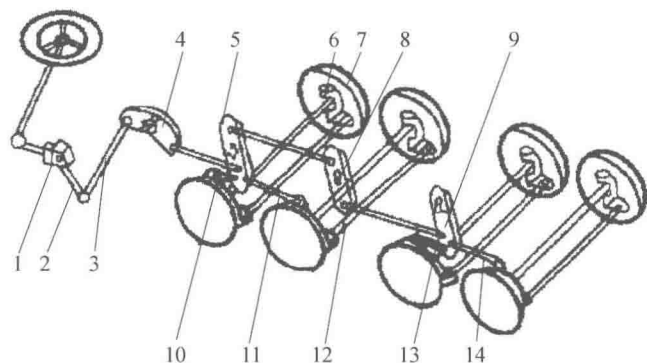


图 1.8 机械式多轴转向系统

1—转向器;2—转向摇臂;3—转向传动杆;4、5、8、9—摇臂 I;6—转向节;7—车轮;
10、11、13、14—转向拉杆;12—转向横拉杆

1.3.2 液压式与电控液压式多轴转向系统

随着液压技术的不断进步和转向元件的不断完善,全液压转向系统的结构和性能有了很大的改进和发展,机械转向系统已逐渐被全液压转向系统所代替。液压转向是通过各种液压阀(如流量控制阀)来控制普通液压缸的运动方向、速度和位置的,如图 1.9 所示。

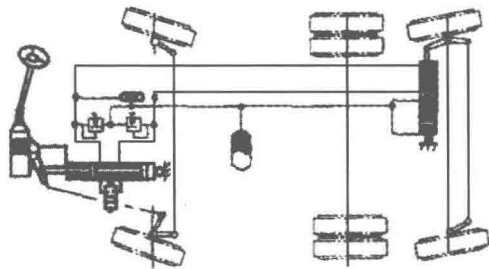


图 1.9 液压转向示意图

液压式多轴转向系统可提供较大的转向驱动力,但其运动精度难以保证,为获得精确的控制,随着电控技术的逐渐成熟,电控液压式多轴转向系统应运而生。

电控液压式多轴转向系统主要由传感器、电控单元、控制阀、动力液压缸等组成。典型的电控液压式多轴转向系统控制原理及方案如图 1.10 所示,在该系统中,从液压泵出来的油液经分配阀流入电磁阀,电控单元采集传感器的信号,根据预定的控制策略向电磁阀发出控制命令,电磁阀控制油液流入后轮动力液压缸驱动后轮实现转向。

电控液压式多轴转向系统由于其液压动力系统在结构、系统布置、密封性、能耗、效率等方面的不足,尤其是在转向过程中存在响应滞后的缺陷使其在对转向灵敏性、准确性有较高要求的现代四轮转向汽车上的应用受到了限制,不能满足现代汽车高速行驶稳定性的要求,主要适用于中低速行驶的多轴重型车辆,结构简单、工作平稳可靠,可提供较大的转向驱动力。但电控液压式多轴转向系统在工作时会受到电源和电磁辐射的干扰及遇到液压系统失效等各种问题,这些问题将导致信号混乱、程序失控、死机及转向失控等故障。

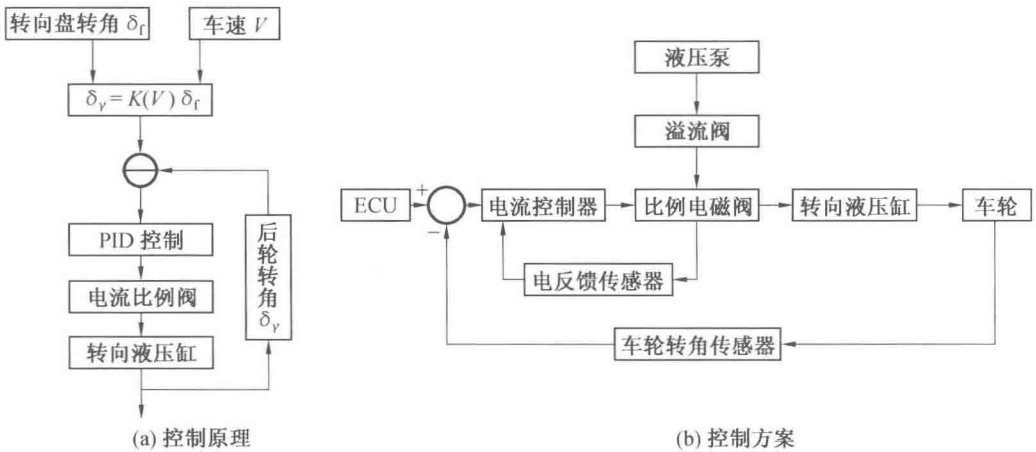


图 1.10 多轴转向电液比例控制原理与方案

因此必须采取抗干扰措施,并采用紧急回路和转向闭锁阀。

1.3.3 电控电动式多轴转向系统

电控电动式多轴转向系统是指采用电子控制、电机助力的多轴转向系统,在轿车上的四轮转向系统中应用较多,采用这种系统的汽车前后轮转向系统之间没有任何机械连接及油管路连接装置,结构上相互独立。典型的电控电动式四轮转向系统主要由传感器、电控单元、步进电机、减速器和后轮转向机构等组成。电控单元采集传感器信号,根据预定的控制策略向步进电机发出控制命令,步进电机通过后轮转向机构驱动后轮转过一定的角度,同时电控单元进行实时监控。

电控电动式四轮转向系统具有动态响应快、无累积误差、转向控制精度高、结构紧凑、体积小等优点,但其产生的驱动力较小,由于重型多轴车辆满载质量很大,需要的转向推力较大,因此其几乎没有采用这种转向方式。

1.4 多轴转向技术发展现状

国内外学者对多轴车辆技术的研究思路是一致的,首先建立车辆的转向模型,基于一定的控制策略提出转向控制方法,利用仿真软件分析车辆操纵稳定性评价指标的响应特性,然后进行实车试验验证可行性,如果实车试验证明此控制策略有效,则研究如何在实车上利用该转向技术。

1.4.1 四轮转向汽车控制技术

早在 20 世纪八九十年代,日本和美国的学者就对 4WS 系统进行了较深入的研究,提出了以质心侧偏角等参数为控制目标的控制策略,汽车模型的研究从简单的线性动力学方程开始分析,以车轮转角为控制量,采用质心侧偏角等转角控制策略,通过控制后轮转角来控制车辆的操纵稳定性。这在较小侧向加速度条件下能有效地改善车辆的操纵稳定性。

但是如果车辆侧向加速度较大,轮胎侧偏特性进入非线性区域,为了使控制系统能较

好地适应汽车本身的非线性或随机性变化(如轮胎的非线性侧偏特性、前后轮载荷变化的随机性等)和车辆一道路系统的非线性或随机性变化(如路面附着系数的变化等),许多研究者试图将各种先进的控制理论应用于4WS系统,如自适应控制、最优控制、基于 H_{∞} 理论和滑模变结构理论的鲁棒控制以及神经网络控制和模糊控制等智能控制方法。在非线性的状态下,仅对车辆施加转向控制以改善车辆的操纵稳定性存在一定的局限性。随着车辆底盘控制技术的发展,研究从单纯的4WS技术转入到底盘综合控制,4WS控制与直接横摆力矩控制(DYC)相结合,即主动转向系统与主动制动系统相结合,能够更好地提高车辆的性能。

1.4.2 多轴转向技术

目前针对机械式多轴转向车辆(非动态多轴转向技术),主要工作集中在多轴转向机构的优化设计上,其研究目标是减小转弯半径、降低轮胎磨损。它能提高重型车辆的低速机动性,但使车辆中高速时的操纵稳定性恶化。

而对于多轴动态转向技术,其研究重点是转向系统的控制策略及算法。合理的控制方法可以改善车辆行驶时的动态性能,增加车辆转向过程的稳定性,同时提高车辆的灵活性。一般而言,由于多轴车辆车身较长,在高速行驶工况的转向失真较严重,甚至在较低的车速下(40 km/h左右)也会产生方向失控,轮胎的磨损也较严重,影响了车辆的安全行驶。多轴转向系统正是为了满足车辆在以不同车速转弯时都能够具有稳定的转向性能,使后轮的转向相位根据车速而变化,以满足各种车速转向特性的要求,保证操纵稳定性和转向行驶的安全性。多轴转向系统的主要控制目标有:

- (1)汽车低速行驶时具有良好的机动性,高速行驶时具有良好的稳定性。
- (2)减小汽车质心处的侧偏角。
- (3)改善汽车的转向响应性能,减小侧向加速度和横摆角速度响应的相位滞后等。

这些控制目标并不孤立,而有紧密联系。部分科研院所(如吉林大学、上海交通大学、北京理工大学等)对多轴车辆的动态转向技术进行了分析研究,控制策略的研究一般都是以零质心侧偏角控制策略为基础开始的。比较有代表性的有吉林大学的李炎亮、高秀华等对车载式自行火炮的多桥动态转向系统进行了研究,建立了车载式火炮多桥转向二自由度模型动力学方程的普适公式,采用零质心侧偏角控制策略,分析了系统的转向中心位置、各桥转角比与车速的关系、最小转弯半径以及系统在时域和频域的响应。采用零质心侧偏角比例控制策略,可保证车辆在任意车速下的质心侧偏角稳态值均为0,使车辆在低速时具有较高的机动灵活性、高速时具有较高的稳定性,但这种方法会导致车辆高速时横摆角速度稳态增益减小,灵活性降低。随着研究的深入,在此基础上,学者们提出了横摆率跟踪的多轴转向最优控制策略、线性二次型最优控制策略、模糊控制等控制策略,由于多轴车辆结构复杂,轴数多,理论分析相对复杂,尤其是非线性状态下模型更加复杂,加上成本等各方面因素的制约,在借鉴4WS技术上还受到限制,控制方式相对简单。但是随着重型车辆车速的提高,对其高速稳定性,特别是各种操纵极限工况下的稳定性要求越来越高。考虑轮胎的非线性,对多轴转向车辆的非线性动力学进行研究,应用先进的控制理论提高其极限工况下的稳定性是非常必要的。随着控制理论和计算机技术的发展,各种新的控制理论和控制方法也将不断应用到多轴转向系统中,促进多轴转向车辆的应用。

由于重型车辆多轴转向的复杂性,多轴转向技术的研究与应用还不多。随着重型车

辆速度的提高,其中高速下的稳定性越来越重要,为兼顾重型车辆上的机动性、操作稳定性以及轮胎磨损,亟须把多轴转向技术应用到重型车辆上。

1.5 本书的内容安排

本书主要以山东省自然科学基金资助项目“多轴转向汽车操纵稳定性的研究”为依托,对改善车辆操纵稳定性的多轴转向系统控制策略进行研究。其总体思路是:通过对不同控制策略与控制算法的分析研究,确定多轴转向车辆在不同行驶工况下的控制策略与方法,然后进行控制算法推导与控制器设计,并利用数值仿真及虚拟样机与控制系统的联合仿真验证所设计控制器的有效性,最终实现改善多轴转向车辆在不同行驶工况下的操纵稳定性的研究目的。主要内容如下:

(1)第2章介绍了理想转向的概念,对机械式转向机构中的转向梯形、转向纵向传动机构进行优化分析。利用 ADAMS/View 建立五轴重型汽车多轴转向系统的动力学模型,对其转向机构进行了优化分析。

(2)第3章以四轮转向车辆的机械式动态转向机构为研究对象,分析了动态机械式转向机构的组成及原理。为同时兼顾低速和高速下的操纵稳定性,以零质心侧偏角的转角控制策略为目标,对机械式动态转向机构参数进行了调整。最后建立整车模型,分析不同速度下的操纵性能,验证是否能同时满足不同工况下的需求。

(3)第4章主要以四轮转向车辆极限转向下的性能为目标,建立了非线性整车动力学模型,以转角与横摆力矩联合控制,建立了最优控制系统并进行了仿真分析。为了更真实地反映车辆的动力学特性,利用 ADAMS/Car 建立 4WS 车辆整车多体动力学模型。以提高车辆极限工况下的稳定性为目的,设计后轮转角与横摆力矩非线性联合模糊控制系统,对车辆进行仿真试验,验证所设计模糊控制系统的有效性。

(4)第5章则以三轴转向车辆为研究对象,建立三轴全轮转向车辆的线性与非线性二自由度模型,设计全轮转向最优控制系统以及模糊控制系统,通过仿真验证所设计的控制系统的有效性。为了更真实地反映车辆的动力学特性,采用 ADAMS/Car 建立三轴全轮转向车辆的虚拟样机模型,对其进行操纵稳定性试验仿真分析,将仿真结果与三轴前轮转向汽车仿真结果进行对比,观察不同行驶条件下多轴转向技术对汽车操纵稳定性能的影响。

(5)第6章主要介绍车辆性能在虚拟试验环境下的运动展现,通过沉浸到虚拟环境中体验车辆性能,对性能进行主观评价,依次介绍了虚拟试验系统的搭建、试验场景和车辆的建模以及虚拟试验的实现,最后给出虚拟试验展现的具体实例。

(6)为验证仿真结果的正确性,第7章以飞思卡尔车模为基础,设计具体的相关电路,制作三轴转向模型车。采用模块化思想,编写各个模块的程序。对模型车进行试验验证,并与理论仿真分析结果进行比较。

第 2 章 理想转向与转向机构的优化设计

多轴车辆由于车身高、载重多,因而机动灵活性很差,为提高其机动性,最常见的是传统的前两轴转向。本章首先分析了多轴转向车辆理想的转向关系,建立了转向梯形、转向纵向传动机构的数学模型,对其进行优化分析。以多体系统动力学理论为基础,利用 ADAMS/View 建立五轴重型汽车多轴转向系统的动力学模型,并基于纯滚动的要求,对模型进行优化,比较优化前后车辆的转向性能。

2.1 理想转向关系

2.1.1 理想转向公式

在汽车转向时,理想情况下各个轮胎纯滚动,没有滑移和滑转,也即没有侧偏角,则转向中心一定在后车轴的延长线上。同样,每个前转向轮的垂线延长线也必须通过同一点,且该点在后轴延长线上,这个交点就是汽车的转向中心,如图 2.1 所示。

根据理论分析,外侧前轮的偏转角 β 和内侧前轮的偏转角 α 之间,应该满足以下的关系式(即阿克曼公式):

$$\cot \beta - \cot \alpha = \frac{K}{L} \quad (2.1)$$

式中, β 是外侧前轮的偏转角, ($^{\circ}$); α 是内侧前轮的偏转角, ($^{\circ}$); K 是两主销中心线与地面交点之间的距离, mm; L 是轴距, mm。

如果它们的延长线不经过同一点,则转向时两个前轮会彼此“干涉”,导致轮胎的滑移或滑转,加速轮胎的磨损,增加汽车的行驶阻力。

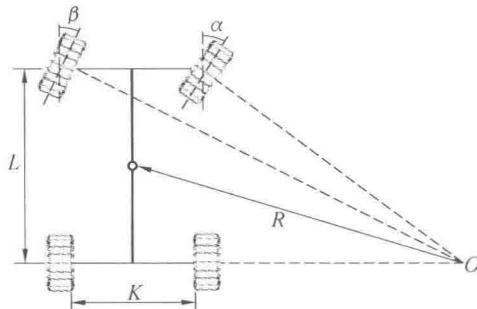


图 2.1 内、外车轮转角关系(汽车满足阿克曼转向时的几何关系)

对于多轴车辆来说,由于车身高、轴数多、质量大,其机动灵活性以及稳定性相对较差,为提高多轴车辆的性能,一般多个车轴参与转向,为降低轮胎磨损,要求各车轮在转向