

# 汽车智能控制技术

主 编 王士星

副主编 兰光明 路 畅

主 审 李劲松



重庆大学出版社

# 汽车智能控制技术

主 编 王士星  
副主编 兰光明 路 畅  
参 编 曾昭炜 李文龙 武晓斌 徐思为  
主 审 李劲松

重庆大学出版社

## 内容提要

本书是对标国家“双高”建设标准,对标汽车产业发展规划,调研企业急需的关键工作岗位和职业能力要求,结合职业教育人才培养标准,以工作任务驱动,校企联合开发的智能汽车技术丛书系列。

本书共分为7章,第1章介绍汽车底盘线控技术概述;第2、3、4、5章分别介绍了汽车线控转向系统、线控制动系统的构造、原理、关键技术以及应用实例,线控转向系统性线控制动系统性能测试,相关的性能测试国家标准,测试用设备、测试内容、测试方法;第6章介绍了CAN通信线性控制原理;第7章介绍了与智能汽车路径跟踪与控制技术相关的概念、原理与控制算法实现。

本书可作为高等院校、职业院校与智能网联汽车相关专业的教材,也可作为汽车技术研发企业、汽车制造企业、汽车维修的参考用书及培训教材,还可作为广大对智能汽车感兴趣的各类人员的参考用书。

### 图书在版编目(CIP)数据

汽车智能控制技术 / 王士星主编. -- 重庆 : 重庆大学出版社, 2022. 3

ISBN 978-7-5689-3207-3

I. ①汽… II. ①王… III. ①汽车—智能控制 IV. ①U463

中国版本图书馆CIP数据核字(2022)第050730号

## 汽车智能控制技术

QICHE ZHINENG KONGZHI JISHU

主 编 王士星

副主编 兰光明 路 畅

参 编 曾昭炜 李文龙 武晓斌 徐思为

主 审 李劲松

策划编辑:杨粮菊

责任编辑:陈 力 版式设计:杨粮菊

责任校对:王 倩 责任印制:张 策

\*

重庆大学出版社出版发行

出版人:饶帮华

社址:重庆市沙坪坝区大学城西路21号

邮编:401331

电话:(023)88617190 88617185(中小学)

传真:(023)88617186 88617166

网址:<http://www.cqup.com.cn>

邮箱:[fxk@cqup.com.cn](mailto:fxk@cqup.com.cn) (营销中心)

全国新华书店经销

重庆市联谊印务有限公司印刷

\*

开本:787mm×1092mm 1/16 印张:14.25 字数:340千

2022年3月第1版 2022年3月第1次印刷

印数:1—1 500

ISBN 978-7-5689-3207-3 定价:49.00元

本书如有印刷、装订等质量问题,本社负责调换

版权所有,请勿擅自翻印和用本书

制作各类出版物及配套用书,违者必究

# 前言

2019年,中共中央、国务院发布《交通强国建设纲要》;2020年,国家发展改革委、中央网信办、科技部、工业和信息化部等11部委联合发布《智能汽车创新发展战略》,构建国家智能网联汽车顶层规划设计规划,提出建设中国标准智能汽车和实现智能汽车强国的战略目标;同年,国务院办公厅印发《新能源汽车产业发展规划(2021—2035年)》,编制发布《智能网联汽车技术路线图2.0》,制定了面向2035年的智能网联汽车技术发展的总体目标、愿景、里程碑与发展路径。

汽车行业科技变革趋势是向低碳化、电动化、智能化、网联化方向发展。与传统汽车是机电一体化产品相比,智能网联汽车是机电信息一体化产品,需要汽车、交通设施、信息通信基础设施(包括4G/5G、地图与定位、数据平台)等多个产业跨界融合。根据中国汽车工程学会发布的2021年《智能网联汽车人才需求预测报告》,2025年,汽车行业人才需求高达120万人,行业总体人才缺口103万人;智能网联汽车技术人才的存量预计仅为7.2万人,而学校教育滞后于人才需求,人才净缺口最高为3.7万人,缺口比例高达1/3。

智能网联汽车技术是一项庞大且复杂的系统工程,是集环境感知、规划决策和控制执行等功能于一体的现代运载工具和移动信息处理平台,具有典型的多学科和跨学科特点。同时智能网联汽车具有区域属性和社会属性的特点,在行驶过程中需要通信、地图、数据平台等本国属性的支撑和安全管理,每个国家都有自己的使用标准规范。

区别于现在的转向和制动系统,线控转向和线控制动技术取消了机械连接,采用电子控制的方式,通过传感器获取驾驶员的转向或制动意图,由电子控制单元控制执行器从而实现转向或制动,是未来汽车实现自动驾驶的主要技术途径。本教材共7章。第1章是汽车底盘线控技术概述,介绍线控技术在汽车上的应用情况、底盘线控技术包含的内容、关键技术以及国内外的研究与应用现状和发展趋势等。第2章是汽车线控转向系统的构造,介绍线控转向系统结构、原理、关键技术、应用实例以及实训内容等。第3章是线控转向系统性能测试,介绍与转向系统相关的性能测试国家标准,性能测试的设备、内容、方法等。第4章是汽车线控制

动系统的构造,介绍线控制动系统结构、原理、关键技术,应用实例以及实训内容等。第5章是线控制动系统性能测试,介绍与制动系统相关的性能测试国家标准,性能测试的设备、内容、方法等。第6章是CAN通信线性控制原理,介绍整车CAN通信原理、结构以及转向或制动系统与整车的通信等。第7章是智能汽车的路径跟踪与控制,介绍路径跟踪的概念、原理与实现,以及路径跟踪的控制算法、与线控技术的关系、智能汽车未来的发展趋势等。

本教材特点:

#### (1) 工作任务驱动

本教材对标国家“双高”建设标准,对标汽车产业发展规划,调研企业急需的关键工作岗位及所需要的职业能力,结合职业教育人才培养标准及学生的能力特点,打造校企产教深度融合课程体系。本教材配有基于企业实际岗位工作任务驱动的实训工单,充分体现了职业教育核心理念,具有较强的针对性和可操作性。

#### (2) 教学资源配套丰富

本教材是“互联网+”新形态教材,除纸质教材,还嵌入了习题、视频等数字资源,将教材、课堂、教学资源三者融合,实现线上线下相结合的教学模式。

#### (3) 校企研产联合开发

本教材由成都市技师学院、清研车联教育集团联合开发,并得到了重庆理工大学、清华大学苏州研究院、全国交通运输行业教学指导委员会智慧交通与智能网联汽车产教联盟及一些企业的大力支持。

成都市技师学院是国家级重点技工学校,是世界技能大赛国家级数控铣竞赛项目集训基地、国家高技能人才培养示范基地、国家级智能制造生产性实训基地、全国技工院校一体化师资培训基地、先后获得2020亚太职业院校影响力50强、全国教育系统先进集体、全国职业教育先进单位、国家技能人才培育突出贡献奖、四川省文明校园、四川省依法治校示范学校等荣誉。

清研车联教育集团是由清华大学苏州研究院投资的创新型科技教育企业。公司从汽车新型技术技能人才培养入手,致力于汽车数字化人才综合解决方案,为国内院校汽车相关专业、为汽车企业提供人才培养解决方案,是校企深度融合的立交桥和放大器。

本教材由成都市技师学院王土星担任主编,重庆理工大学李劲松担

任主审,重庆理工大学兰光明和成都技师学院刘畅担任副主编。

本教材适合作为高等院校、职业院校与智能网联汽车相关专业的教学用书,汽车技术研发企业、汽车制造企业、汽车维修的参考用书及培训教材,同时适合广大对智能汽车感兴趣的各类人员的参考用书。

在编写本教材的过程中,企业工程师和成都市技师学院相关人员也参加了编写工作,他们是:曾昭炜、李文龙、武晓斌;四川大学硕士研究生徐思为完成了数据的采集、分析和测试等工作;重庆理工大学学生罗思毅、高科、雷文冰、刘莉莉、陈广、潘黎、邹鹏程参与了资料收集、整理工作。在此表示衷心感谢。

由于智能网联汽车技术尚处发展阶段,且编者学识有限,书中有不足之处在所难免,敬请读者给予指正。如读者在使用本教材的过程中有其他意见或建议,恳请提出宝贵意见(电子邮箱:jsli0326@cqut.edu.cn)。

本书配套有实训工单、电子课件、课程标准、课堂实录、微课视频、习题及答案等教学资源,如有需要,可加微信(此处预留微信二维码)或发邮件至 jsli0326@cqut.edu.cn。

编者

2021年12月

# 目 录

<b>第 1 章 汽车底盘线控技术概述</b> .....	1
1.1 底盘线控技术初步认识 .....	2
1.1.1 底盘线控技术的概念 .....	3
1.1.2 底盘线控技术内容 .....	5
1.1.3 底盘线控技术特点 .....	12
1.2 底盘线控技术系统关键技术 .....	13
1.2.1 传感器技术 .....	13
1.2.2 容错控制技术 .....	14
1.2.3 总线通信技术 .....	14
1.2.4 其他关键技术 .....	16
1.3 底盘线控技术现状与发展趋势 .....	18
1.3.1 底盘线控技术现状 .....	18
1.3.2 底盘线控技术发展趋势 .....	26
本章小结 .....	29
课后习题 .....	29
<b>第 2 章 汽车线控转向系统的构造</b> .....	32
2.1 汽车线控转向系统的结构 .....	34
2.1.1 汽车线控转向系统组成 .....	34
2.1.2 汽车线控转向系统工作原理 .....	45
2.1.3 汽车线控转向系统特点分析 .....	47
2.2 汽车线控转向系统的关键技术 .....	48
2.2.1 线控转向系统的容错技术 .....	48
2.2.2 线控转向系统的路感反馈 .....	51
2.3 汽车线控转向系统实训项目 .....	52
2.3.1 线控转向系统应用实例 .....	52
2.3.2 线控转向系统的构造实训任务 .....	60
本章小结 .....	61
课后习题 .....	61

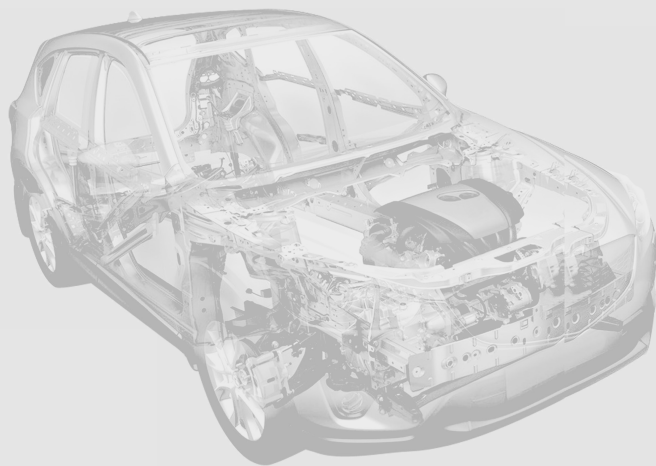
<b>第3章 线控转向系统性能测试</b> .....	64
3.1 线控转向系统性能测试概述 .....	65
3.1.1 汽车转向系统试验国家标准 .....	65
3.1.2 汽车的操纵稳定性 .....	66
3.1.3 性能测试条件与要求 .....	68
3.2 线控转向系统性能测试内容 .....	74
3.2.1 转向系统性能测试内容概述 .....	74
3.2.2 汽车操纵稳定性试验 .....	75
3.2.3 转向系统性能测试道路试验 .....	85
3.2.4 转向系统性能测试台架试验 .....	86
3.3 线控转向系统性能测试实训 .....	88
本章小结 .....	88
课后习题 .....	89
<b>第4章 汽车线控制动系统的构造</b> .....	92
4.1 汽车线控制动系统的结构 .....	93
4.1.1 汽车线控制动系统组成 .....	93
4.1.2 汽车线控制动系统工作原理 .....	102
4.1.3 汽车线控制动系统特点分析 .....	106
4.2 汽车线控制动系统的关键技术 .....	107
4.2.1 线控制动系统的系统安全与容错技术 .....	107
4.2.2 线控制动系统制动力最优分配策略 .....	112
4.2.3 新能源汽车的制动能量回收技术 .....	117
4.3 汽车线控制动系统构造实训 .....	119
4.3.1 线控制动系统实际应用 .....	119
4.3.2 线控制动系统构造实训任务 .....	126
本章小结 .....	126
课后习题 .....	126
<b>第5章 线控制动系统性能测试</b> .....	129
5.1 线控制动系统性能测试概述 .....	131

5.1.1 汽车制动系统试验国家标准 .....	131
5.1.2 汽车制动性评价指标 .....	132
5.1.3 制动系统测试评价 .....	134
5.1.4 性能测试的条件与要求 .....	135
5.2 线控制动系统性能测试内容 .....	140
5.2.1 汽车制动性的路试试验 .....	140
5.2.2 制动性的台架试验 .....	147
5.3 线控制动系统性能测试实训 .....	150
本章小结 .....	150
课后习题 .....	150
<b>第 6 章 CAN 通信线性控制原理</b> .....	<b>153</b>
6.1 CAN 总线技术概述 .....	155
6.1.1 CAN 总线的概念 .....	155
6.1.2 汽车总线类型与应用 .....	158
6.2 CAN 通信原理与实例分析 .....	164
6.2.1 CAN 通信结构 .....	164
6.2.2 CAN 通信原理 .....	169
6.2.3 CAN 通信实例分析 .....	176
6.3 CAN 通信实训项目 .....	183
本章小结 .....	183
课后习题 .....	183
<b>第 7 章 智能汽车的路径跟踪与控制</b> .....	<b>187</b>
7.1 智能汽车路径跟踪认知 .....	189
7.1.1 智能汽车路径跟踪概述 .....	189
7.1.2 智能汽车路径跟踪的实现与应用 .....	190
7.2 智能汽车路径跟踪控制技术 .....	198
7.2.1 路径跟踪控制技术概述 .....	198
7.2.2 路径跟踪控制算法 .....	200
7.3 智能汽车路径跟踪与底盘线控 .....	205

7.3.1 智能汽车与底盘线控 .....	205
7.3.2 智能汽车发展方向与趋势 .....	205
本章小结 .....	212
课后习题 .....	213
<b>参考文献</b> .....	216

# 第1章 汽车底盘线控技术概述

随着汽车产业智能化、网联化、电动化的不断发展,汽车线控技术作为汽车技术发展的重要方向之一,将对全球汽车制造业产生重大影响。汽车线控技术给汽车设计提供了新的思路,是实现自动驾驶的重要途径,在汽车电子技术、控制技术、网络技术等方面提出了新的课题,给汽车底盘结构带来了新的变革。



## 【教学目标】

通过本章的学习,学生能够了解汽车底盘线控技术是什么以及底盘线控技术包含哪些内容,并了解国内外底盘线控技术系统的发展现状与未来发展趋势。

## 【教学要求】

知识要点	能力要求
底盘线控技术初步认识	掌握底盘线控技术概念、包含的内容以及技术特点
底盘线控技术系统关键技术	了解底盘线控技术系统关键技术
底盘线控技术现状与发展趋势	了解底盘线控技术国内外现状与发展趋势

## 【案例导入】

目前几乎所有大型汽车制造商和零部件供应商都在开发线控系统雏形及其产品。美国通用汽车公司早在 2002 年 9 月的巴黎国际车展上首次发布的 HY-WIRE 概念车就采用了线控转向和线控制动技术。它融合了燃料电池技术和线传操控技术,通过电子控制实现汽车的启动、转向和制动等,是一种全新的概念车。如图 1.1 所示为其车内座舱的照片,传统汽车上的转向柱与转向盘,由一个彩色的小屏幕和两个手柄代替。

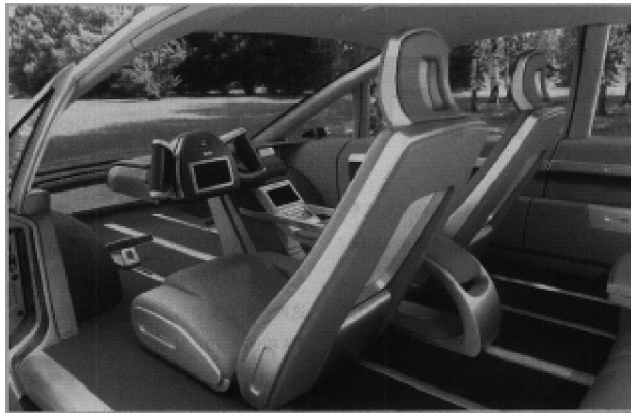


图 1.1 通用汽车公司的 HY-WIRE 概念车

## 1.1 底盘线控技术初步认识

汽车由发动机、底盘、车身和电器设备 4 个部分组成。底盘由传动系统、行驶系统、转向系统和制动系统组成。在汽车工业发展的 150 多年的时间里,底盘技术不断地创新与发展,随着电子技术、控制技术以及计算机技术等不断发展,越来越多的新技术被应用在汽车上,传统的底盘结构被新的底盘线控技术逐渐取代。

与底盘线控技术相比,传统的汽车底盘技术存在一些弊端,如液压转向系统、液控制动系统结构和控制复杂,均存在液压系统泄漏隐患;传统的油门控制系统在油门踏板和节气门

之间存在机械连接,机械式驻车制动系统在驻车制动操纵杆和车轮制动器之间存在机械连接,拉杆等机械构件容易摩擦磨损,导致控制不精确;传统的转向系统在转向盘和转向轮之间存在机械连接,不易解决转向轻便和转向灵敏之间的固有矛盾等。

### 1.1.1 底盘线控技术的概念

#### (1) 底盘线控技术起源

与制动防抱死等技术类似,汽车线控技术(X-By-Wire)起源于飞机的电传操纵系统(Fly-By-Wire)。飞行员不再通过传统的机械回路或液压回路来控制飞机的飞行姿态,而是通过安装在操纵杆处的传感器检测飞行员施加在其上的力和位移,并将其转换为电信号,在电子控制单元中将信号进行处理,然后传递到执行机构从而实现对飞机的控制。

如图1.2所示为老式飞机驾驶舱,那时的线控技术还没有应用在飞机上,所有操控部件均采用机械装置连接,驾驶员对飞机的操控需要依靠自身力量来完成,好在那时的飞机巡航速度都不高。

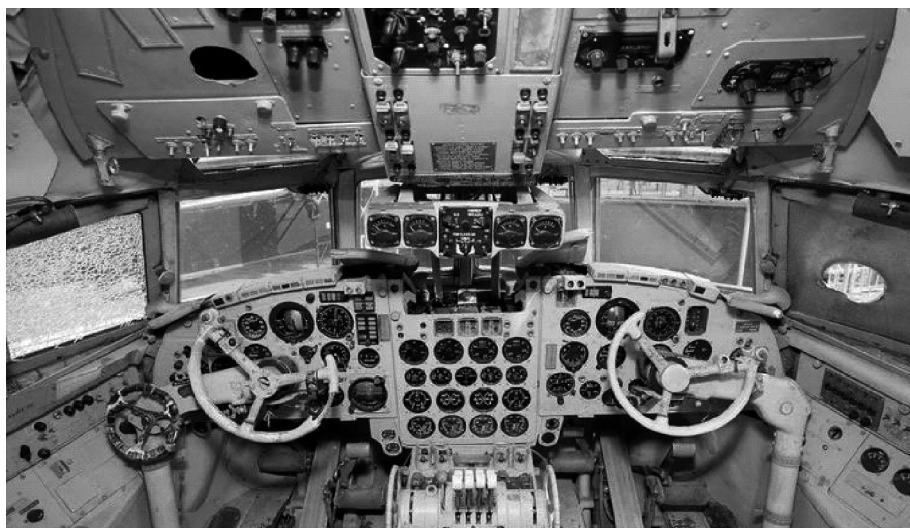


图 1.2 飞机内部机械式操纵装置

在1964年以前,飞机的操纵均采用的是机械式的操纵系统(最早为拉线式,后来出现了液压助力式)。机械操纵系统在操纵装置(操纵杆、脚蹬)和飞机的舵机之间存在着一套相当复杂的机械联动装置和液压管路,飞行员操纵操纵杆和脚蹬,通过上述联动装置控制舵机位置,从而使飞机达到期望的姿态和航向。

随着飞机尺寸的增加和性能的进一步提高,如何增强稳定性、如何帮助飞行员减轻操纵变得日益迫切,于是在液压助力控制系统的基础上,利用电动陀螺仪原理增加了增稳系统,如偏航增稳系统、俯仰增稳系统和横滚增稳系统。增稳系统通过传感器反馈的飞机状态,在程序控制下自动控制舵机偏转,以保证飞机的飞行稳定性。第一架采用电传操纵系统的飞机是1964年试飞的美军F111“土豚”战斗机,如图1.3所示。



图 1.3 美军 F111 “土豚” 战斗机

1972 年,美国国家航空航天局(NASA)推出了线控飞行技术(Fly-By-Wire)的飞机。1981 年 4 月 12 日首次发射的哥伦比亚号航天飞机上,也开始使用线控转向系统。目前,绝大部分军用飞机和大部分民用飞机都采用这项技术。相比于传统的机械或液压系统,线控系统显著提高了飞机的性能,给飞机的设计带来了革命性的变革。如图 1.4 所示为波音 777 客机驾驶舱内部的操纵机构,其采用了先进电传操纵技术。飞行员通过电传操作系统,将操作指令经 3 台主飞行计算机分析计算后使用电子信号控制,同时根据目前飞机性能和动力分析,通过控制电子设备传送到升降舵、方向舵、副翼和其他操纵面的液压执行装置上。



图 1.4 波音 777 客机驾驶舱内部的操纵机构

随着汽车电子技术、控制技术等相关技术的迅速发展,这一技术逐渐应用到汽车上。汽车线控技术(X-By-Wire, XBW)是指将驾驶员的操纵动作由传感器转变为电信号,通过导线直接传输,再经过电子控制单元的判断、处理,最终控制执行机构工作的一种技术。线控技术可理解为电控方式,这里的“X”代表着汽车中传统上由机械或液压控制的各个功能部件,如制动、转向、悬架、油门、离合器、门锁等。

## (2) 与传统底盘结构的主要区别

与传统的机械控制系统相比,底盘线控技术取消了驾驶员人机操纵机构,如转向盘、制动踏板、加速踏板、换挡杆等和相应的执行机构如转向轮、制动器、节气门、变速器等之间的机械或液压连接,而采用导线的方式柔性连接。

线控系统主要由传感器、ECU(电子控制单元)和执行器等组成。传感器采集驾驶员的操纵信息,如转向盘转角扭矩传感器采集转向盘的转角、转矩,制动踏板位移传感器采集制动踏板的位移等,节气门踏板位移传感器采集加速踏板位移,换挡杆传感器获得驾驶员选择的变速器挡位信息等。电子控制单元对传感器信息进行分析,获知驾驶员的转向、制动、加速、换挡等驾驶意图,通过调用储存的如转向控制算法、制动控制算法、加速控制算法、换挡控制算法等,分别控制各执行器,即转向电机、制动电机、节气门电机、换挡电机等实现期望的转向、制动、加速、换挡等操作。

### 1.1.2 底盘线控技术内容

随着汽车智能化、网联化和电动化的快速发展,智能网联汽车已成为全球汽车产业发展的战略方向,是国民经济发展和协同创新的重要载体。而智能网联汽车中的底盘线控技术正掀起了一股研发热潮。目前,按照各系统的功能不同,汽车底盘线控技术系统包括线控转向(Steering-By-Wire, SBW)系统、线控制动(Brake-By-Wire, BBW)系统、线控驱动(Drive-By-Wire, DBW)系统、线控悬架(Suspension-By-Wire)系统和线控换挡(Shift-By-Wire)

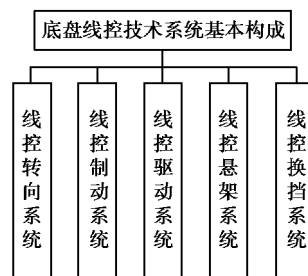


图 1.5 底盘线控技术系统的基本构成

系统 5 个子系统,如图 1.5 所示。底盘线控技术系统通过分布在汽车各处的传感器实时获取驾驶员的操作意图和汽车行驶过程中的各种参数信息传递给控制器,控制器将这此信息进行分析和处理得到合适的控制参数传递给各个执行机构从而实现对汽车的控制,以提高车辆的动力性、制动性、操纵稳定性和平顺性等性能。本书主要叙述线控转向系统和线控制动系统。

#### (1) 线控转向系统

汽车转向系统的功用是按照驾驶员的意愿控制汽车的行驶方向,改变或恢复汽车前进或倒退方向,其对汽车的操纵稳定性和主动安全性有重要影响。汽车转向系统的零件称为保安件。汽车转向系统的发展经历了机械转向系统、液压助力转向(Hydraulic Power Steering, HPS)系统、电子液压助力转向(Electronic Hydraulic Power Steering, EHPS)系统、电动助力转向(Electric Power Steering, EPS)系统和线控转向系统等阶段,随着线控技术的发展,线控转向技术逐渐出现在汽车的转向系统中。如图 1.6 所示为液压助力转向系统的构造。

线控转向系统取消了传统的机械式转向装置,转向器与转向柱之间无机械连接。整个系统主要由转向盘转角位置传感器、力反馈电动机、转向执行机构、转向 ECU 转向轮角度传感器等组成,其结构示意图如图 1.7 所示。

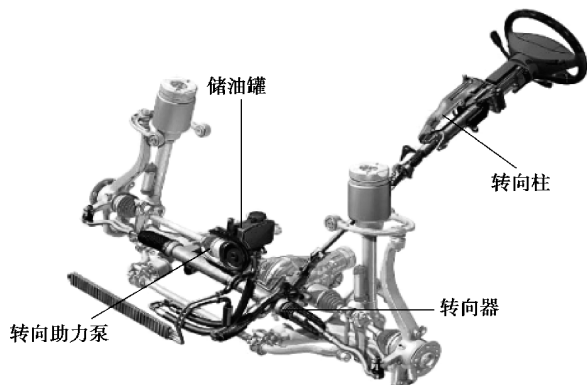


图 1.6 液压助力转向系统构造图

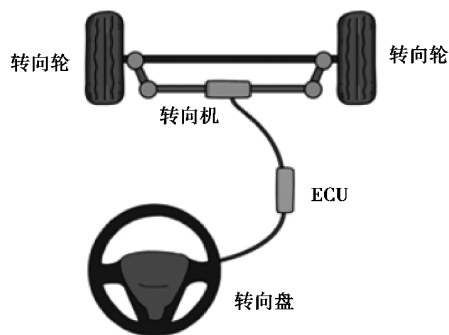


图 1.7 线控转向结构示意图

世界著名的整车及零部件厂商如宝马、奔驰、采埃孚、雪铁龙和捷太格特等都对线控转向技术进行了比较深入的研究,很多汽车公司都推出了搭载线控转向的概念车。最早将线控转向技术应用到量产车型的是英菲尼迪 Q50,如图 1.8 所示。随着线控技术的不断发展,未来搭载具有良好操控和响应性能的线控转向系统的汽车会越来越多地出现在人们的生活中。



图 1.8 英菲尼迪 Q50 线控转向系统

## (2) 线控制动系统

制动系统的作用是使行驶中的汽车按照驾驶员的要求进行强制减速甚至停车,即行车制动;使已停驶的汽车在各种道路条件下(包括在坡道上)稳定驻车,即驻车制动。

传统车辆制动系统的气体或液体传输管路长,阀类元件多。传统车辆制动系统主要由供能装置、控制装置、传动装置和制动器等部分组成。常见的制动器主要有鼓式制动器和盘式制动器,其工作原理是将汽车的动能通过摩擦转换成热能,对长轴距或多轴车辆及远距离控制车辆,其管路长、反应速度慢,易产生制动滞后现象,导致制动距离增加,安全性降低,而且制动系统的成本较高。如图 1.9 所示为传统液压制动系统的结构示意图。

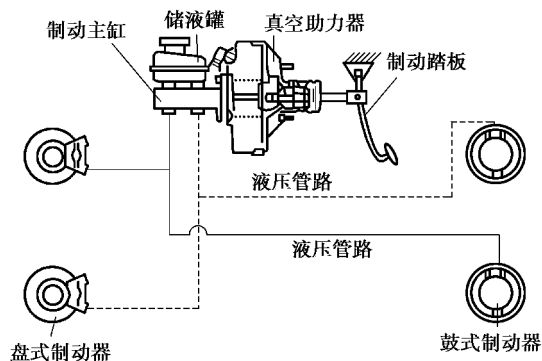


图 1.9 传统液压制动系统示意图

数字式电子技术和大规模集成电路迅速发展,为 ABS(Anti-locked Braking System 的缩写,译为“防抱死制动系统”)实用化发展奠定了技术基础。ABS 通过控制作用于车轮制动轮缸上的制动管路压力,使汽车在紧急刹车时车轮不会抱死,这样就能使汽车在紧急制动时仍能保持较好的方向稳定性。在没有装备 ABS 的汽车上,如果在雪地上刹车,汽车很容易因失去方向稳定性而发生侧滑等危险,对于装备了 ABS 的汽车,ABS 能自动向制动压力调节器发出控制指令,能更迅速、准确而有效地控制制动,保证行车安全。如图 1.10 所示为 ABS 系统结构示意图。

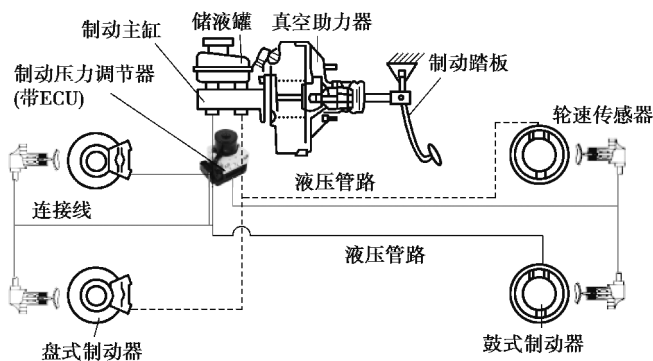


图 1.10 ABS 系统结构示意图

如今,在汽车防抱死制动系统(ABS)和牵引力控制系统(Traction Control System, TCS)基础上,通过增加横摆率传感器、侧向加速度传感器和转向盘转角传感器等不同类型的传感器的控制功能,ESC(Electronic Stability Controller 的简称,译为“车身电子稳定控制系统”)已经成为车辆的标准安全配置。美国国家公路交通安全管理局(NHTSA)要求从 2012 年起全部乘用车必须装备 ESC 系统,其研究称如果全部乘用车都装备了这套系统,每年可以减少 5 300~9 600 人的交通事故人员死亡数。欧盟从 2014 年 11 月起也作了硬性规定。

线控制动系统用电控取代部分或全部制动管路,可省去制动系统的很多阀类元件。在电子控制器中设计相应程序,操纵电控元件来控制制动力的大小及各轴制动力的分配,同时可完全实现使用传统阀类控制件所能达到的 ABS 及 TCS 等功能。

目前,线控制动系统主要分为 3 种类型:第一种是电子液压制动(Electronic Hydraulic