

如何让汽车实现电控——汽车线控技术 PIX实训基地

目录

线控技术简介

1.1 简介与应用背景

CAN总线

2.1 CAN总线简介

2.2 CAN总线简介——CAN标准

2.3 CAN总线简介——物理层

2.4 CAN总线简介——数据链路层

2.5 USB-CAN——数据监听设备

线控转向系统

3.1线控转向系统简介

3.1 线控转向硬件组成

3.2 线控转向控制原理

线控制动系统

4.1线控制动系统简介

4.2 线控制动系统硬件组成

4.3 线控制动系统控制原理

线控动力系统

5.1 线控动力系统简介

5.2 线控动力硬件组成

5.2 线控动力控制原理

真车测试

6.1 找到CAN总线

6.2 监听CAN总线数据

6.3 找到线控转向CAN报文

6.4 找到制动系统CAN报文

6.5 找到速度与相关CAN消息

6.6 接管原车横向和纵向控制

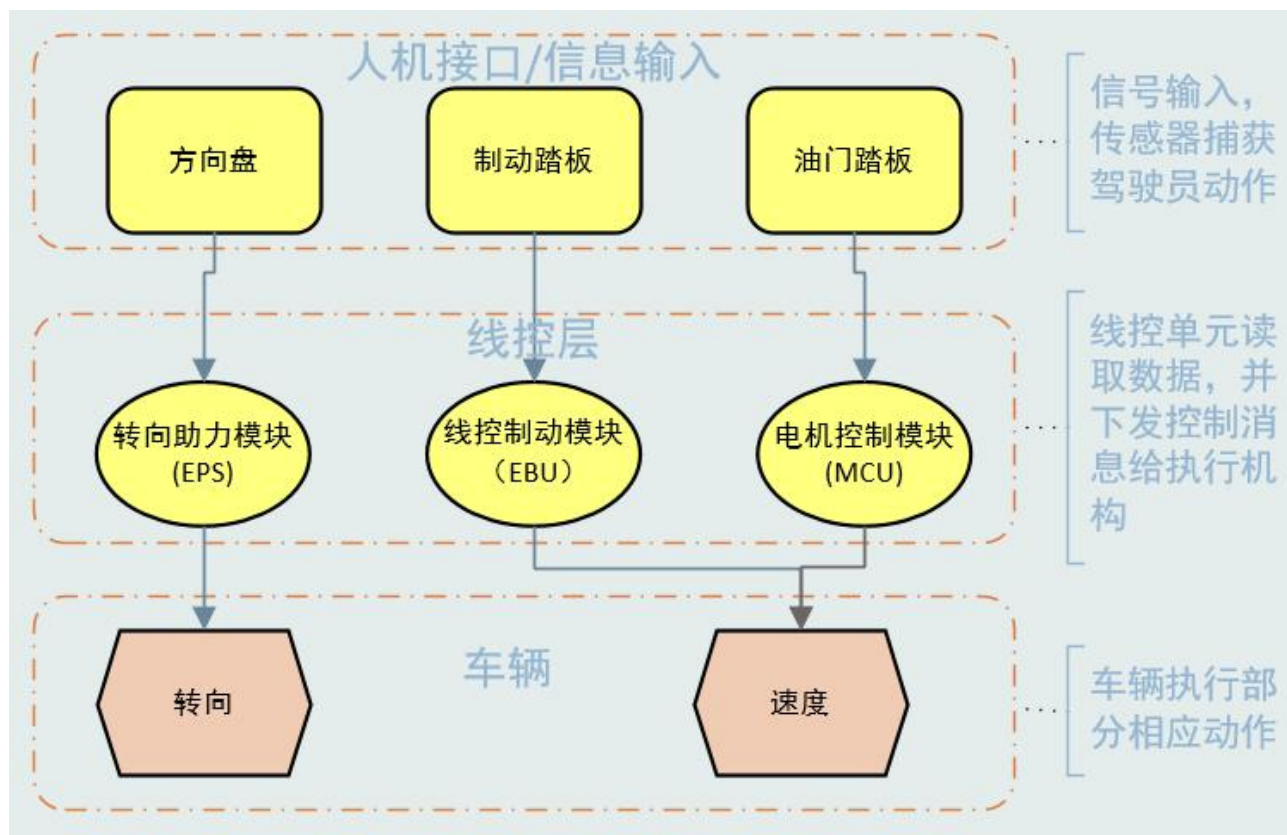
线控技术简介

1.1 简介与应用背景

线控技术(x-by-wire)最早应用在航空领域，源于飞行控制系统。它将飞行员执行的操作动作转变成弱电信号，再通过弱电信号控制强电执行机构的方式来实现相应的飞行控制。整个控制过程中增加了计算机控制环节。

线控系统的主要作用是减少复杂的机械传动机构，使整体质量更轻，降低油耗，降低制造成本，控制更简洁同时便于增加计算机辅助控制。

随着汽车领域不断发展，相应需求不断提高后引入了线控技术，该技术在车辆中主要解决了车辆空间率用了的问题和为现在正在飞速发展的自动驾驶提供了坚实的底层控制基础。线控技术包括很多部分，如线控转向，线控制动，线控油门和线控悬架等都属于线控技术范畴。



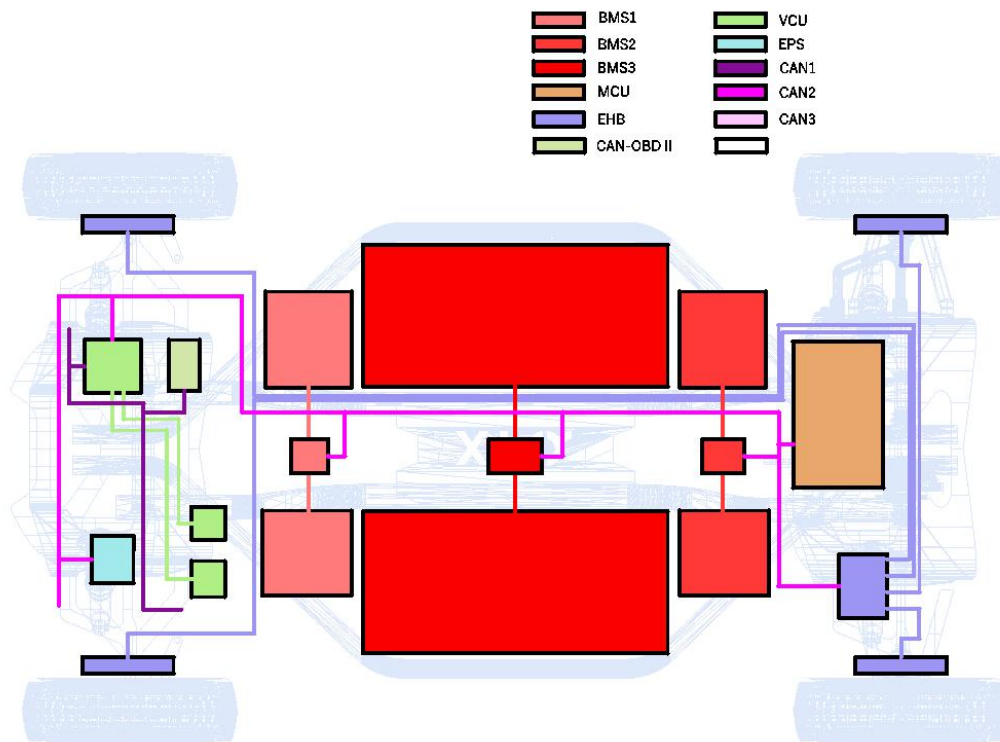
CAN总线

2.1 CAN总线简介

控制器局域网总线（**CAN**，**Controller Area Network**）是一种用于实时应用的串行通讯协议总线，它可以使用双绞线来传输信号，是世界上应用最广泛的现场总线之一。

在汽车领域中也大量使用了这一通讯方式，将车身上各个执行机构比作节点，那么这些节点大部分都将连接在**CAN**总线上，不断的向总线里发送消息和从中读取出自己需要的信息。**CAN**总线贯穿车身，但是车身上不止有一条**CAN**总线，按照各个模块的功能不同，一般把**CAN**总线分成几个速度，高速**CAN**主要负责传输关键消息，如发动机转速，转向角，油门踏板位置，油压等敏感信息。而向车门，车灯等非重要的设备会接到低速**CAN**中。

CAN 2.0 协议只定义了 **OSI** 七层模型中的最底两层——物理层和数据链路层，应用层需要用户自行定义或选择，比如**J1939**和**CANopen**等。



CAN总线

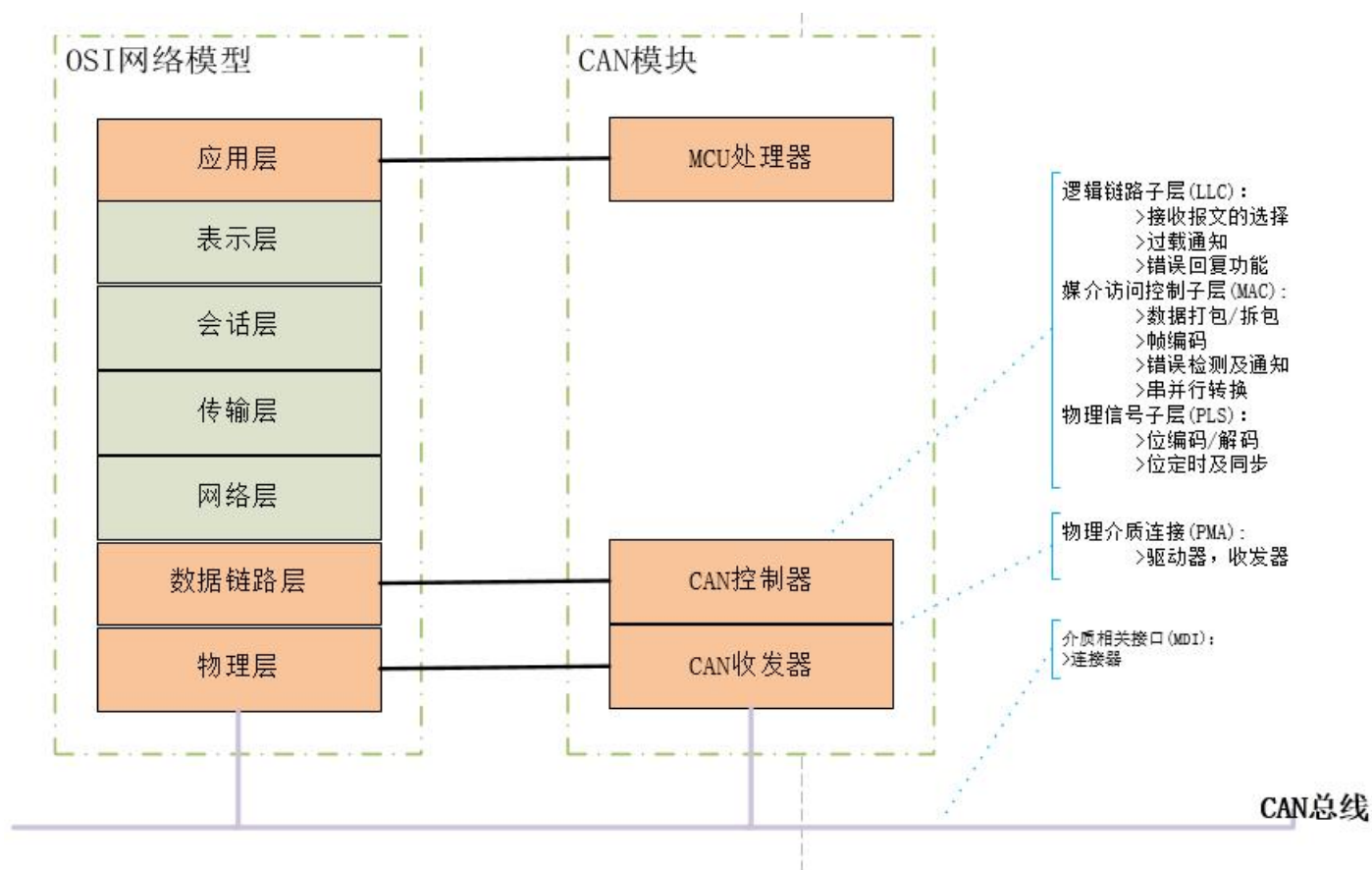
2.2 CAN总线简介——CAN标准

在国际标准中，CAN总线是唯一的一种现场总线，其底层标准遵循Bosch公司制定的CAN2.0A/B规范（其中CAN2.0A支持CAN标准报文格式，CAN2.0B支持CAN标准报文格式和扩展报文格式）和ISO11899国际标准。物理层定义了ISO11898和ISO11519两个标准。

从ISO/OSI网络模型来看，CAN拥有三层：物理层，数据链路层和应用层。其中应用层是由用户自定义的一层。

CAN控制器：接收控制单元中微处理器发出的数据，处理数据并传给CAN收发器

CAN收发器：将数据传到总线 或从总线接收数据给控制器

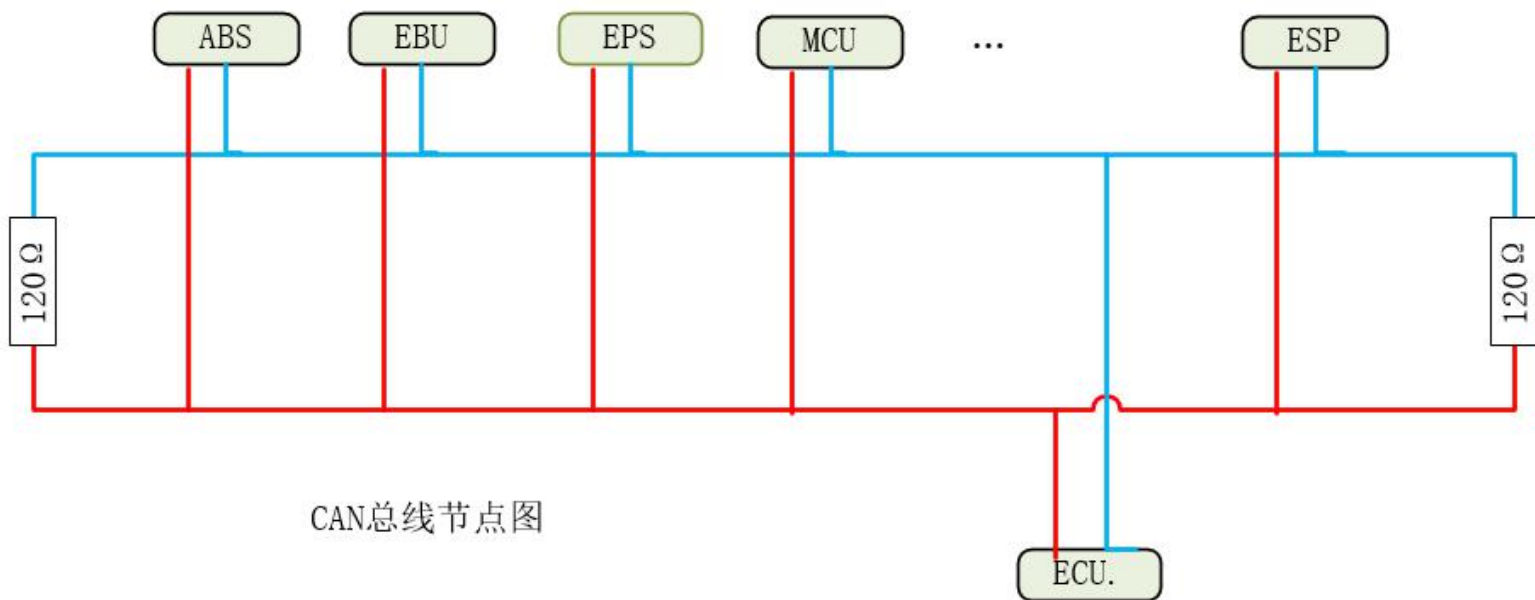


CAN总线

2.3 CAN总线简介——物理层

CAN总线物理层定义了汽车上各个节点的连接介质和硬件接口。每一个节点都配备了一个**CAN收发器芯片**，该芯片主要用于在微控制器和**CAN网络**之间的逻辑信号和差分信号的转换。

硬件连接：CAN总线由一条双绞线，收尾各连接一个 120Ω 电阻(标准ISO11898)组成，其中双绞线中的两根线分别称作**CAN_H**和**CAN_L**，设备节点通过连接到这两根线束上来实现差分信号的数据传输。



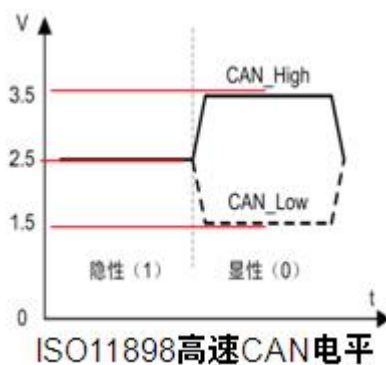
CAN总线

2.3 CAN总线简介——物理层

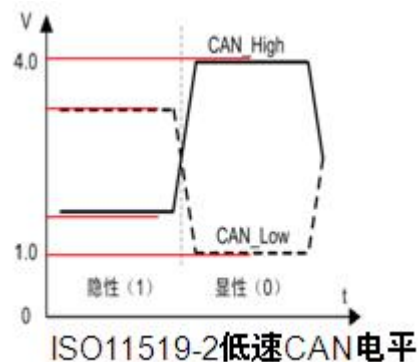
数据收发：每个节点都包含有**CAN**收发芯片，芯片主要作用是实现逻辑电平和数字电平之间转换。

信号表示：总线上分为显性电平和隐性电平，不同的标准有不同的规定。

IOS11898标准：



IOS11519标准：



物理层	IOS11898		IOS11519	
电平	显性	隐性	显性	隐性
CAN_H/V	3.5	3	4	1.75
CAN_L/V	1.3	3	1	3.25
电位差	2	0	3	-1.5

ISO11898 是通信速度为 125kbps-1Mbps 的 CAN 高速通信标准。

ISO11519 是通信速度为 125kbps以下的 CAN 低速通信标准。

CAN总线

2.3 CAN总线简介——物理层

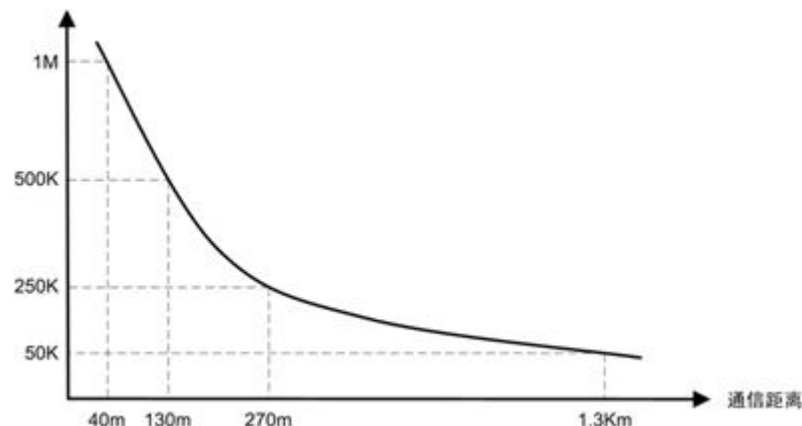
通讯速度：**CAN**的通讯速度最高可以达到1Mbit/s，根据不同标准有不同的通讯速度，一般

500Kbit/s,250Kbit/s和125Kbit/s较多。

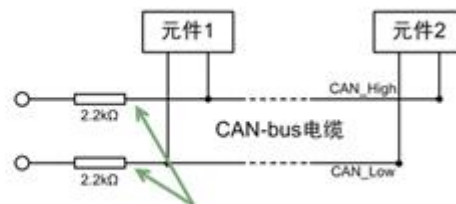
通讯距离：速度越高距离越短，一般500K为130m,250K为270m。通讯速度与通讯距离成反比。

电阻接法：由于两个标准针对的通讯速度不同，所以终端电阻接入网络的位置也不同，ISO11898 规定电阻接在双绞线两末端，两头电阻的两头分别接在CAN_H和CAN_L上。

ISO11519 规定将电阻分别接入CAN_H和CAN_L两条导向中。



低速CAN-bus
终端电阻接法



使线路阻抗连续，信号波形完整

高速CAN-bus
终端电阻接法



CAN总线

2.4 CAN总线简介——数据链路层

节点在接入**CAN**网络之后，可以接收来自网络的所有需要的信息。节点与节点之间通过**CAN**报文来实现通讯，**CAN**把报文分成了五种不同的数据帧：数据帧、远程帧、错误帧、过载帧和帧间隔

- >数据帧：收发数据（使用频率最高）
- >远程帧：请求某节点发送特定**ID**的数据帧
- >错误帧：某节点发现帧错误时用来向其他节点通知的帧
- >过载帧：接收节点用来向发送节点告知自身接收能力的帧
- >错误帧：数据帧、远程帧与前面帧隔离的帧

由于数据帧最重要，所着重讲解数据帧。

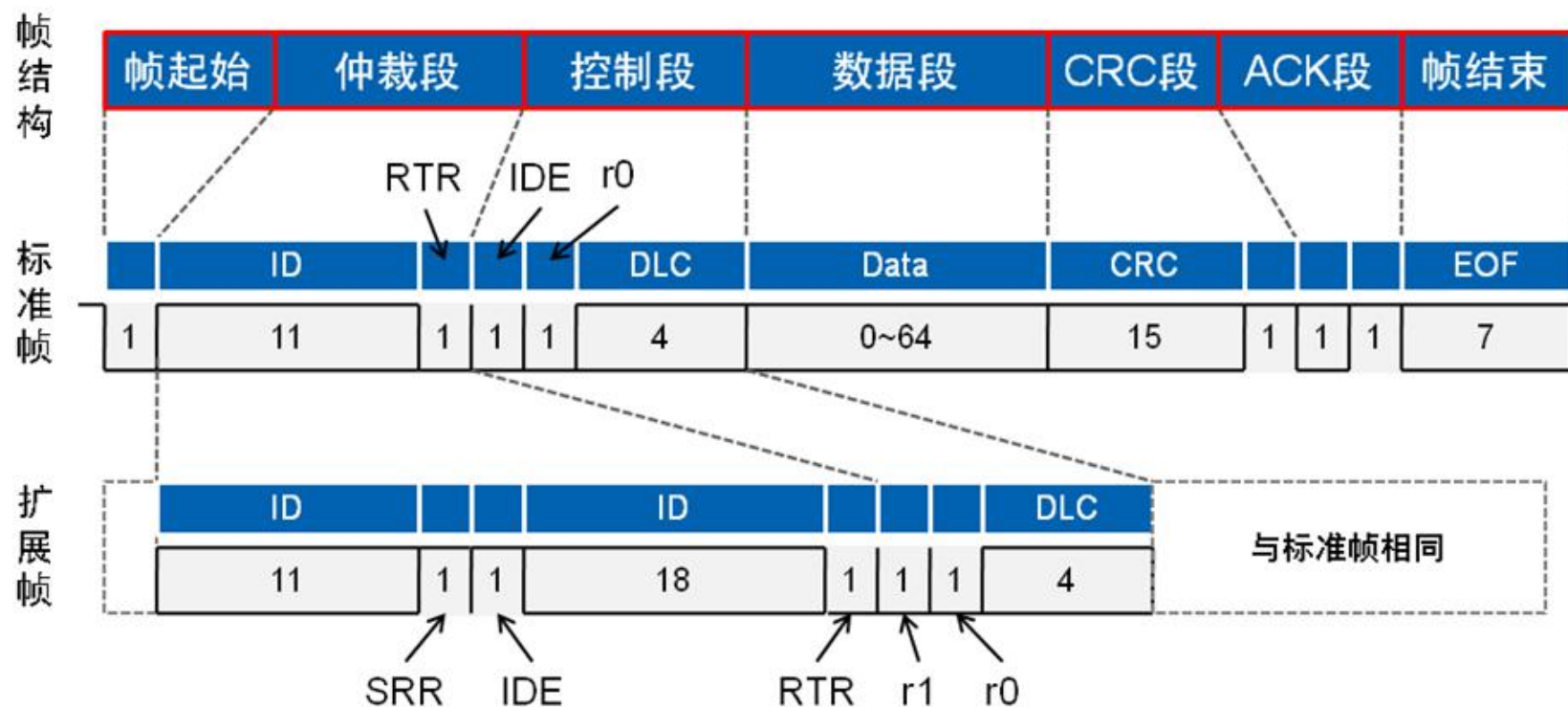
数据帧根据仲裁段(帧**ID**)的长度不同，可以分成标准帧和扩展帧两种。标准帧仲裁段长度为**12**位，扩展帧长度为**32**位。

CAN总线

2.4 CAN总线简介——数据链路层

数据帧根据仲裁段(帧ID)的长度不同，可以分成标准帧和扩展帧两种。标准帧仲裁段长度为12位，扩展帧长度为32位。

不管是标准帧还是扩展帧，数据帧结构都由：帧起始，仲裁段，控制段，数据段，CRC段，ACK段和帧结束7个部分组成。



CAN总线

2.4 CAN总线简介——数据链路层

➤**帧起始：**帧起始是发送一个帧开始的标志，它是一个显性位。

➤**仲裁段：**仲裁段可以理解为一个报文的ID标识，当CAN总线上的一个节点在接收报文时，通过该段来判断该数据是否为自己需要的数据。不同的帧标准仲裁段的长度不同，标准帧中，仲裁段的长度为12位。扩展帧中仲裁段的长度为32位。

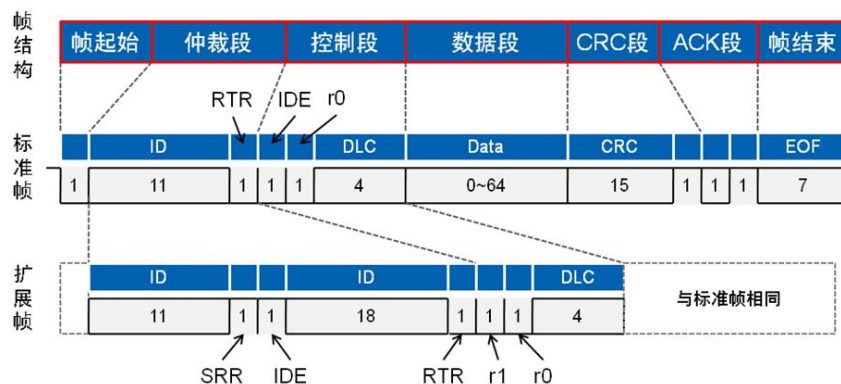
➤**RTR位：**远程请求位，当该位为显性时表示该帧为数据帧，隐性位远程帧。

➤**IDE位：**标识符扩展位，该位为显性时表示该帧为标准帧，反之为扩展帧。

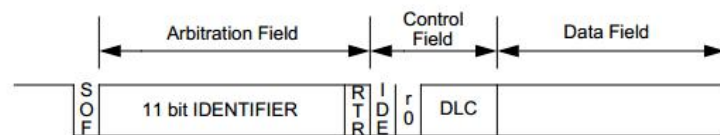
➤**SRR位：**代替远程请求位，在扩展帧中该位位于标准帧的RTR位上，为占位位，始终为隐性，因此一旦标准帧与扩展帧发生冲突，将以标准帧的优先级高于扩展帧而结束。

➤**r0, r1位：**保留位，必须以显性电平传送。

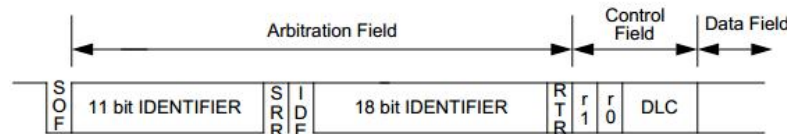
➤**DCL段：**数据长度代码段，最长不能超过8位。



Standard Format



Extended Format



数据帧长度代码DCL				
数据字节长度	DCL3	DCL2	DCL1	DCL0
0	显性	显性	显性	显性
1	显性	显性	显性	隐性
2	显性	显性	隐性	显性
3	显性	显性	隐性	隐性
4	显性	隐性	显性	显性
5	显性	隐性	显性	隐性
6	显性	隐性	隐性	显性
7	显性	隐性	隐性	隐性
8	隐性	显性	显性	显性

CAN总线

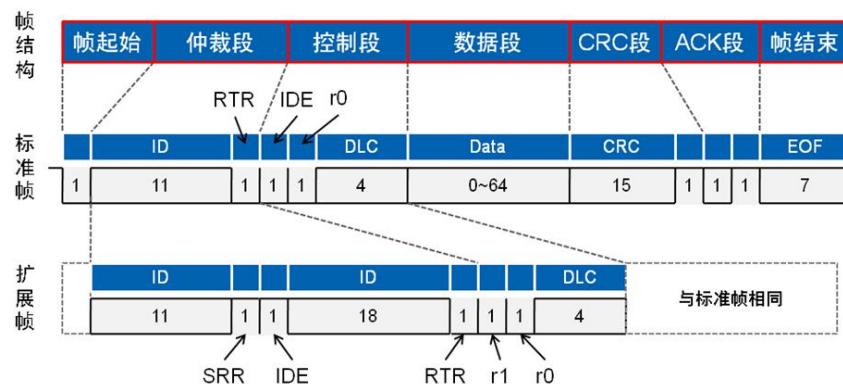
2.4 CAN总线简介——数据链路层

➤**数据段：**数据段为CAN报文中存放数据的地方，数据总长度不能超过8字节(64位)，前面的帧起始，仲裁段和控制段与之后的CRC段，ACK段和帧结束都是一个数据帧中的辅助段，真正的数据保存在了数据段中，同时也是需要真正去解析的。当然仲裁段也很重要，需要解析出ID和节点之间的匹配关系。

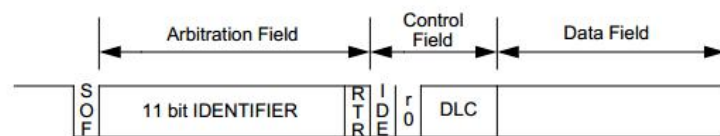
➤**CRC段：**该段主要用RCR进行数据校验，CRC校验值存放与此处。该段由15位CRC值和一位CRC界定符(隐性)组成。

➤**ACK段：**应答段，应答场长度为2个位，包含应答间隙和应答界定符。在应答场里，发送站发送两个“隐性”位。当接收器正确地接收到有效的报文，接收器就会在应答间隙期间向发送器发送一“显性”的位以示应答。

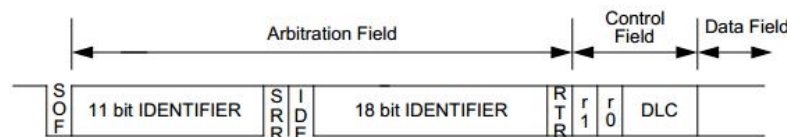
➤**帧结束：**为一位显性位，表示一个帧发送结束



Standard Format



Extended Format



CAN总线

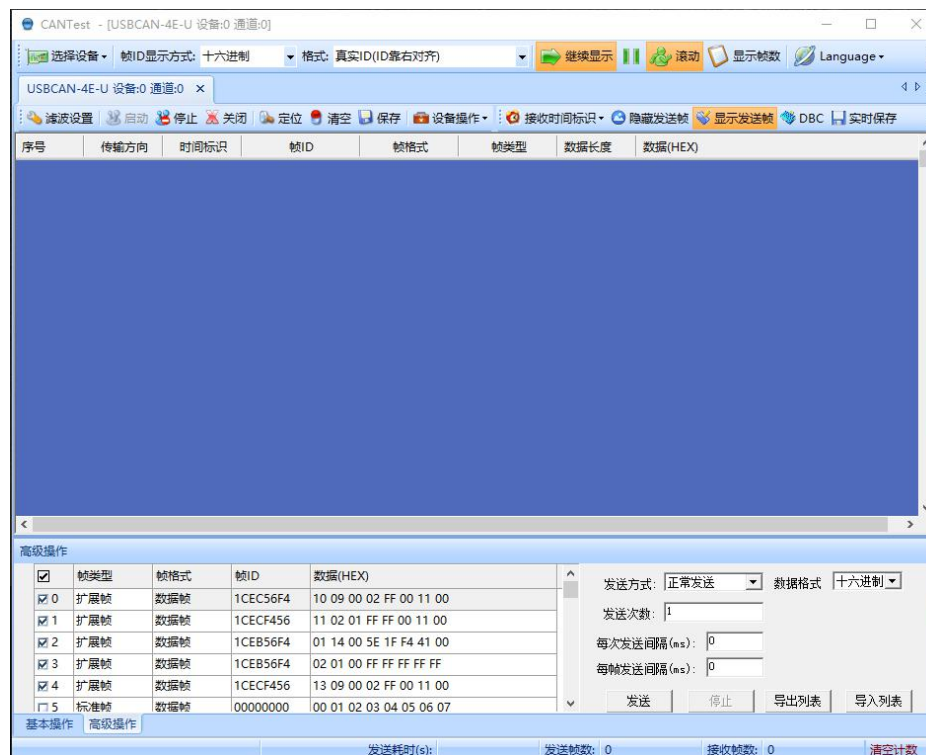
2.5 USB-CAN——数据监听设备

CAN总线上的帧可以通过设备读取出来的，USB-CAN便是一种CAN消息监听设备，将该设备接入CAN网络中，如果在已知的波特率的情况下可以通过与之配套的上位机软件检测CAN网络里面所有发送的数据，同时还可以实现二次开发，制作成针对性比较强的数据监听和分析设备。

USB-CAN一般由USB接口，CAN总线接口和终端电阻组成。PC通过USB将数据从USB-CAN模块发送或接收CAN消息。



USB-CAN硬件设备



CAN分析软件

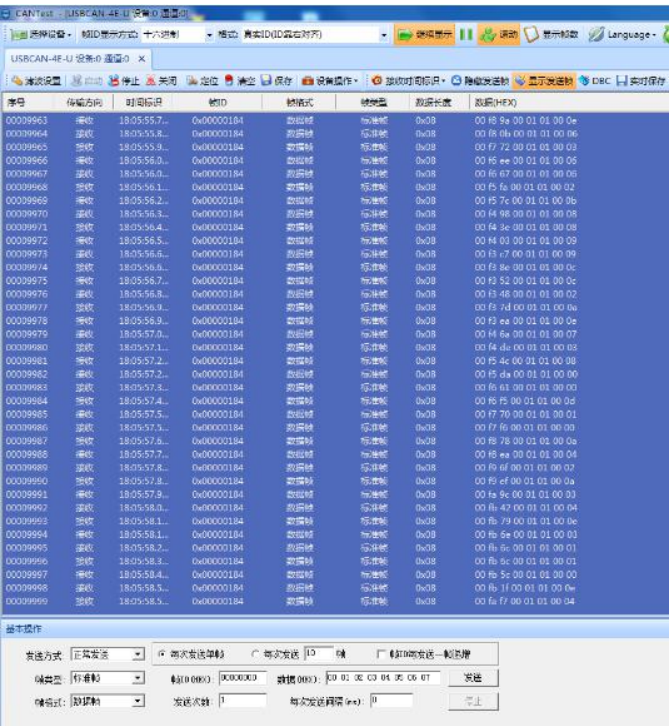
CAN总线

2.5 USB-CAN——数据监听设备

当设备正常连接到CAN网络之后便可以在软件视窗处看到接收到的所有CAN消息，此时如果需要具体查看某个特定ID帧，则可以设置过滤来实现单帧检测。

>如何查看数据：在配置正确的情况下，侦测软件上会有很多CAN消息出现，此时如果这些消息是需要的可以保存下来。分析软件已经将CAN报文分解出来了，不需要人工分解，此时会有帧ID和帧数据。

>如何分析数据：如果在已知数据协议的情况下可以结合DBC解析文件来分析帧和各个节点之间的关系，如果在不知到的情况下则需要通过CAN逆向工程来破解协议，将在最后一章节讲解如何利用CAN设备对CAN网络进行逆向工程。



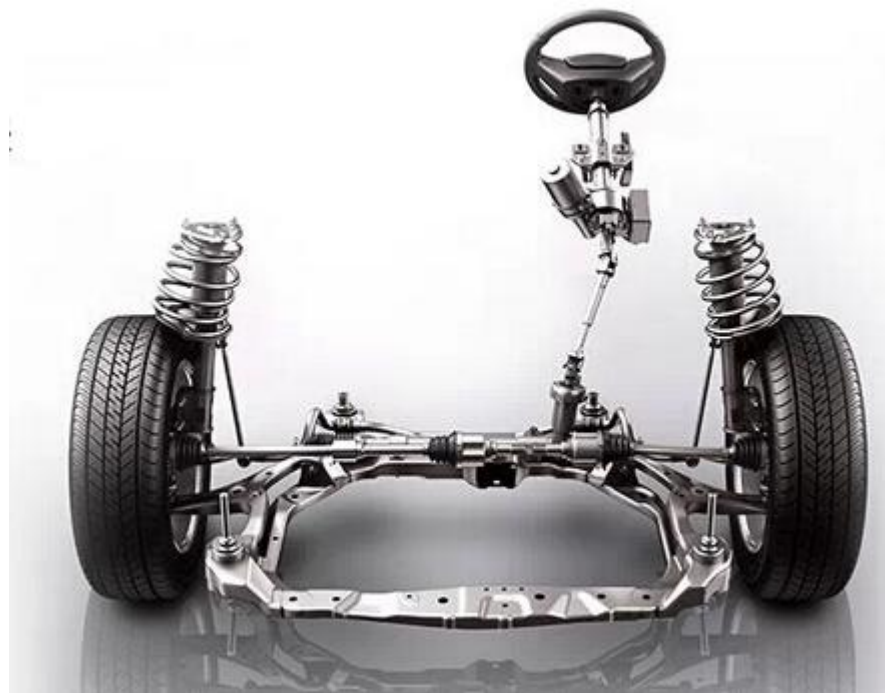
保存下来的CAN报文

线控转向系统

3.1 线控转向系统简介

随着汽车工业的不断发展和人们生活水平的不断提高，汽车不再只是一个交通工具，人们在购买车辆的同时更注重体验和与车辆的交互上。直接影响驾驶体验的就是方向和速度的控制，为了使驾驶体验更加让人满意，汽车公司将助力系统加入到了控制环节中，转向助力便是其中一种。

转向助力系统早在**1902**年便已经问世，最初的助力方式为机械液压助力，后来发展到液压助力转向系统(HPS)，再后来电动液压助力转向系统(EHPS)在日本问世，直到**1988**年电子转向助力(EPS)才成功登上历史舞台。整个发展过程长达**80**年之久，而今天EPS逐渐成为主流，同时也为电控技术奠基。



线控转向系统

3.2 线控转向硬件组成

>转向系统构成：在介绍EPS之前必须弄清楚汽车转向原理和组成部分，汽车的转向系统中包括方向机总成、万向节、方向柱总成和方向盘四个部分。在驾驶员转动方向盘时，方向盘的转动通过方向机转换成立轮胎的旋转，最后实现转弯的过程。

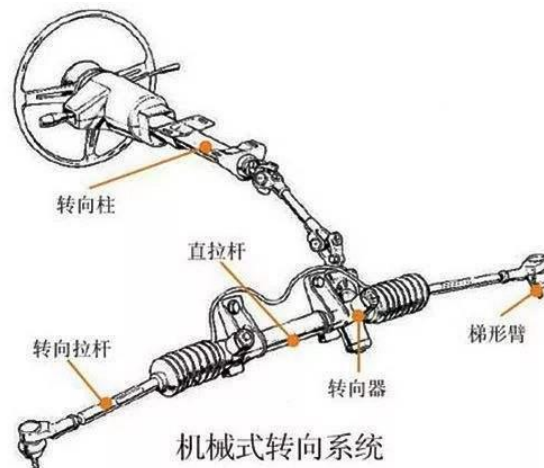
>EPS种类：由于每一种车型空间结构的不同，所以线控转向助力可根据电机所在位置分成不同的几个类型：

C-EPS:转向柱主力方式，助力电机安装在转向柱上面，这也是应用最为广泛的一种类型。

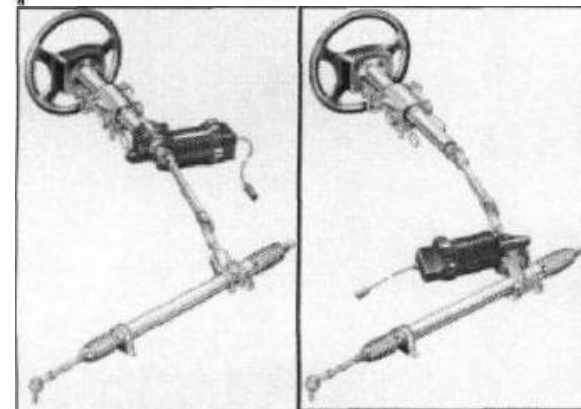
P-EPS:助力电机和立放大机构安装在小齿轮上(转向柱万向节和转向机连接处)，这种助力系统由于不安装在驾驶空间中，所以可以提供较大的转向力。

R-EPS:助力电机安装在转向机的直拉杆齿条上，直接驱动直拉杆进行转向。这种类型的EPS安装灵活，节省空间。

DD-EPS:将助力电机的主轴和转向机拉杆融合，这种转向机类型比较少见。

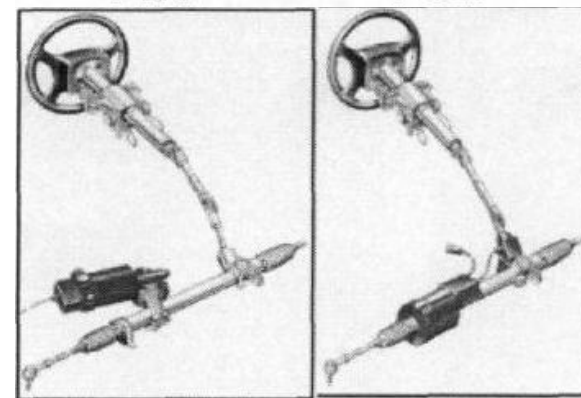


机械式转向系统



C-EPS

P-EPS



R-EPS

DD-EPS

线控转向系统

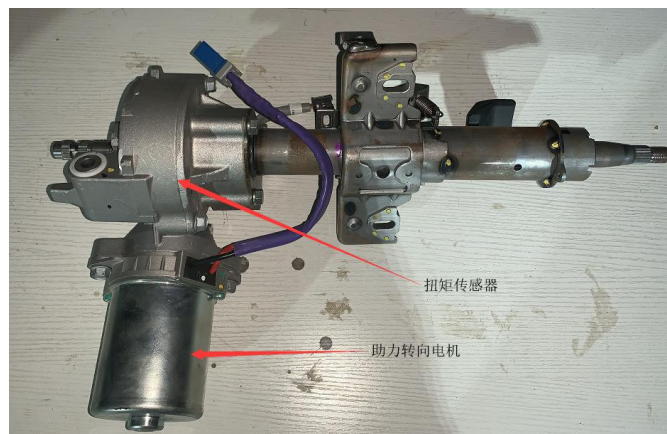
3.2 线控转向硬件组成

>EPS系统组成：EPS包括三个部分：1.用于获取转向角度和驾驶员方向盘扭矩的扭矩传感器，2.用于提供转向力的助力电机，这里电机会和车重进行匹配，电机转矩大部分能够提供独立转向的转向力，所以可以实现自动转向控制。3.用于控制电机转动和处理输入信息的中央处理器，EPS助力西东的ECU（电子控制单元）。

>扭矩转角传感器：扭矩转角传感器主要是用来检测驾驶员是否在转向和旋转的方向，当然一些车辆如果有一些如ESP等功能，则助力系统还会有一个转角传感器，扭矩和转角传感器被封装在转向柱上。有一种改装线控的方法便是通过自治的控制器向ECU发送假的扭矩信息，是让ECU以为驾驶员在转动方向盘促成ECU控制电机实现转动。

>控制电机：EPS转向系统的执行机构，该电机为一个12V的直流电机，ECU根据输入信号来控制电机正反转和电流，从而控制转矩。

>转向电机控制器：在EPS中该控制器为核心控制器，主要任务是将输入的转矩信号通过一定运算来输出对应的电机控制信号，当然该模块的解锁需要很多信息，如车速，上电信号等等。



EPS助力电机和扭矩传感器



EPS控制单元

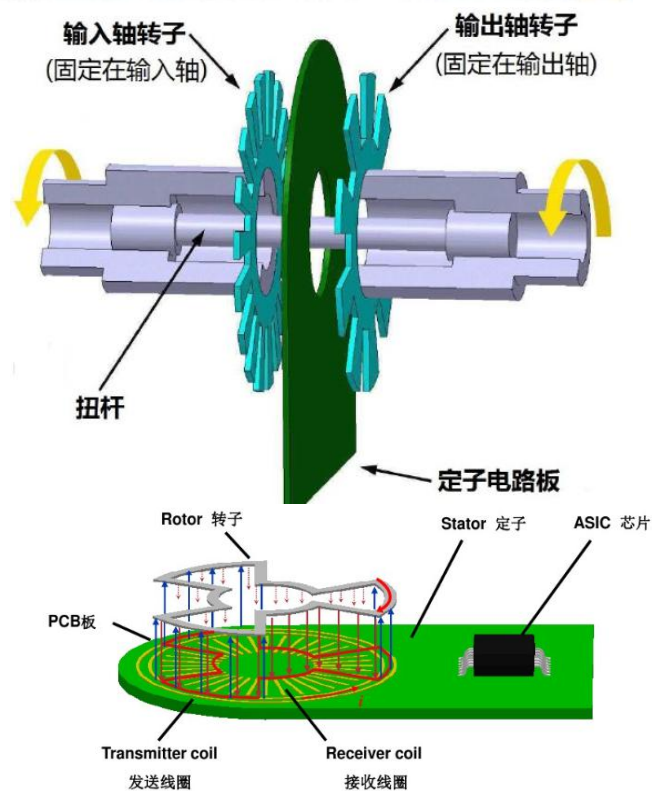
线控转向系统

3.3 线控转向控制原理

>线控转向的信号输入：判断一种车型是否具备线控转向的能力便是判断该车型是否具备**ESP**车身稳定系统或则车道保持等高级功能，因为如果具备这些功能则助力转向系统一定会输出转角信息。获得转角信息是使线控转向闭环控制的必要条件。

大部分车型的转矩转角传感器都采用非接触式转角转矩传感器，这种传感器内嵌在转向柱上，其原理是使用霍尔感应的方式来检测转向和转角信息。其主要组成部分为输入/输出轴转子（金属片），定子电路板和扭杆及部分组成。

传感器会输出两种基本信号到控制单元中，一种是扭矩一种是角度，一般信号波形为方波。在输入控制单元之后，控制单元对数据进行处理然后将转向角信息以**CAN**报文的方式发送出去。控制单元接口中一路为输入接口，这路接口包含了传感器输入的相关信息，一路为输出接口，这路包含了重要的**CAN**接口，转角信息从这里发出。



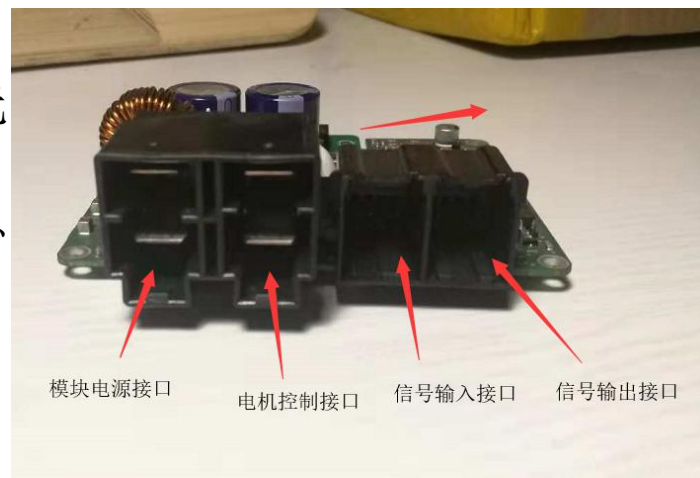
线控转向系统

3.3 线控转向控制原理

>线控转向信号输出：转向助力控制单元的启动需要“解锁”之后才能够正常工作。比如在转向助力控制单元正常供电和连接的情况下，需要给该模块固定引脚发送“钥匙”信号，此时模块才会正常的工作，发送和接收消息还有一些模块安全级别较高，可能需要正常的**CAN**消息输入才能启动。一般情况下转向助力系统无法从整车中独立出来使用，它必须要在整车环境或者是模拟的整车环境中才能正常工作。

在保证正常的工作情况下，要获得转向角数据必须先找到对应的**CAN**总线位置，由于**CAN**是差分信号，所以很容易便可以找到该总线的位置，因为**CAN**总线上的电平在非静默状态下电压会在**2.5V**上下跳动，有条件可以利用示波器进行侦测。

找到**CAN**总线的位置之后，便可以通过之前介绍的**USB-CAN**设备进行了，连接**USB-CAN**设备到**CAN**网络中，此时转动方向盘，与之对应发出的**CAN**消息数据会有规律变化，但是通常**CAN**数据量巨大，也许不止一个**ID**的数据帧在有规律的变化，所以这个筛选的过程很繁杂但是也是破解中最关键的一个环节。



转向控制单元

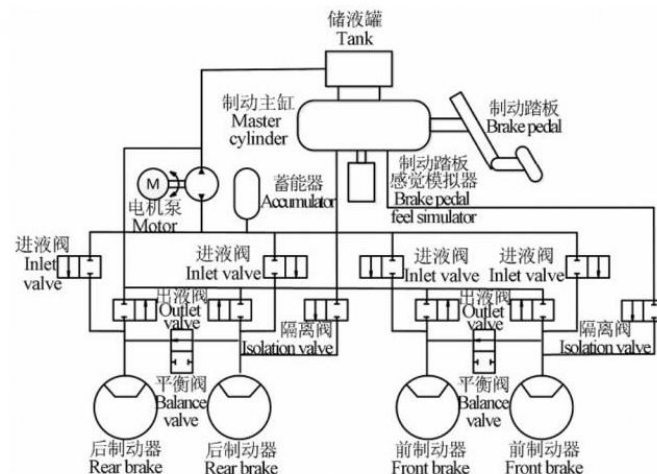
线控制动系统

4.1 线控制动系统简介

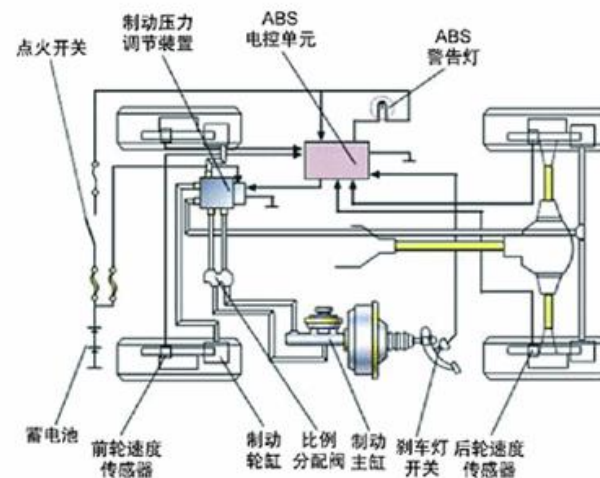
传统的制动系统采用的是液压制动，制动系统包括几个部分：制动踏板，主油泵，连接管路和制动器四部分组成，当踩下制动踏板时，与踏板连接的推杆会压缩主泵，主泵内部的油压会升高直接增加与之连接的油路内部的油压，压力增加之后制动钳会夹紧四个轮子上的刹车碟，通过制动钳上的摩擦片和刹车碟之间相互摩擦来降低车速，由于汽车制动需要在制动踏板之上施加很大的力，所以像真空助力，电子助力制动的系统也不断出现。

随着线控技术(x-by-wire)的不断发展，线控制动技术也应运而生，由于像ESP和ABS防抱死系统之类的高级辅助驾驶功能的需要，线控制动技术也得到了很大程度的发展。

线控制动系统是在传统制动的方式之上在制动踏板和主泵之间增加了一个电子液压控制单元(ABS)来实现对制动油压的调节，同时在制动管路中增加了对油压检测和对速度检测的传感器，实现压力和速度的闭环控制。需要注意的是电子防抱死系统(ABS)和线控制动系统(EHB)是分开的两个系统，但是工作原理类似。



线控制动系统



防抱死系统

线控制动系统

4.2 线控制动系统硬件组成

线控制动系统的主要部分有传统的制动液压系统和电子液压控制系统两部分组成。传统的液压控制系统包括制动踏板，总泵，油路，制动器和制动盘几个部分。在传统的液压制动回路中增加电子油压调节泵，电子线控制动控制单元，油压传感器和车速传感器(如果CAN总线中提供速度信息则可以兼容)等部分后边组成了线控制动系统。

>线控电子控制单元：主要作用是接收来自自动踏板的输入信号后经过该单元的处理后，以结果为目标值来驱动线控制动泵工作以此来达到制动减速。同时还接收制动回路油压，车速等信息来作为参考依据从而实现闭环控制。

>线控制动泵：线控制动泵是线控制动的执行部件，接收控制单元的控制信息后电机泵工作，油路压力增加。一些制动泵还会配备蓄能灌，将压力提前存储起来，以实现快速相应和增加制动压力的目的。



线控制动泵

线控制动系统

4.2 线控制动系统控制原理

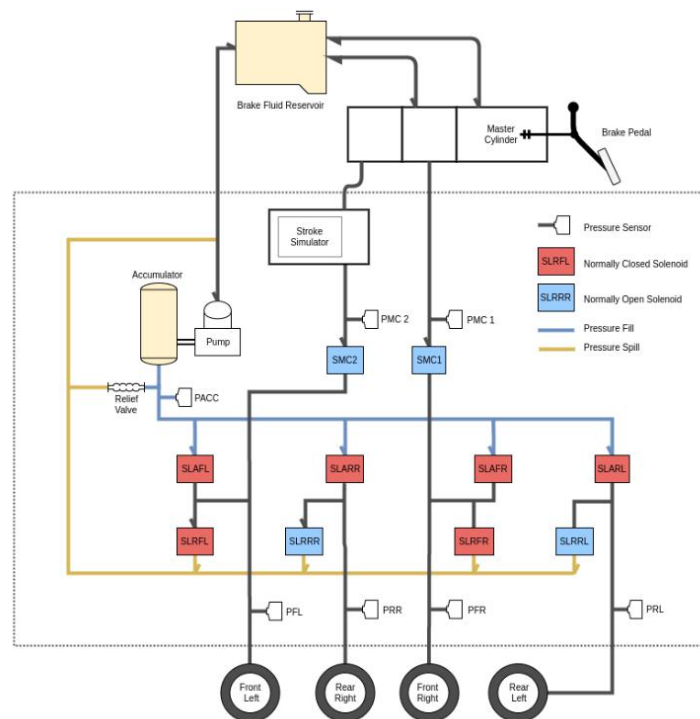
线控制动是线控技术中最困难的一部分，所以市面上绝大部分车型是不具备线控制制动能力的，只有一些高端车辆才携带了线控制制动的能力，大部分线控方案是通过外加硬件来实现线控制制的控制，**github**开源项目**OSCC**便是其中一个。

在普通车辆没有直接的线控制制动功能的情况下，为了保证原车本身系统的稳定(保留原有的**ABS**功能)，一般的方案是在该车制动系统的基础上外加制动泵可控制单元来实现线控制制。

在这种方案下，一般需要独自开发电子控制单元，从车身中获得速度和油压信息，并通过独立的制动泵来控制系统油压，最后实现线控制制功能。

>获得油压信息：油压信息需要压力传感器来检测，一些制动泵会提供压力传感器，集成在泵体中，一些没有则需要外加油压传感器。找到泵体的对应信号线便可取得。

>控制每路油压，压力的产生是通过驱动电机泵来实现的，但是控制压力则需要控制泵体中的电磁阀来实现。由于有四个轮子需要独立的控制（简化可以用俩来并联控制），每一路分路都



OSCC开源项目线控制制方案



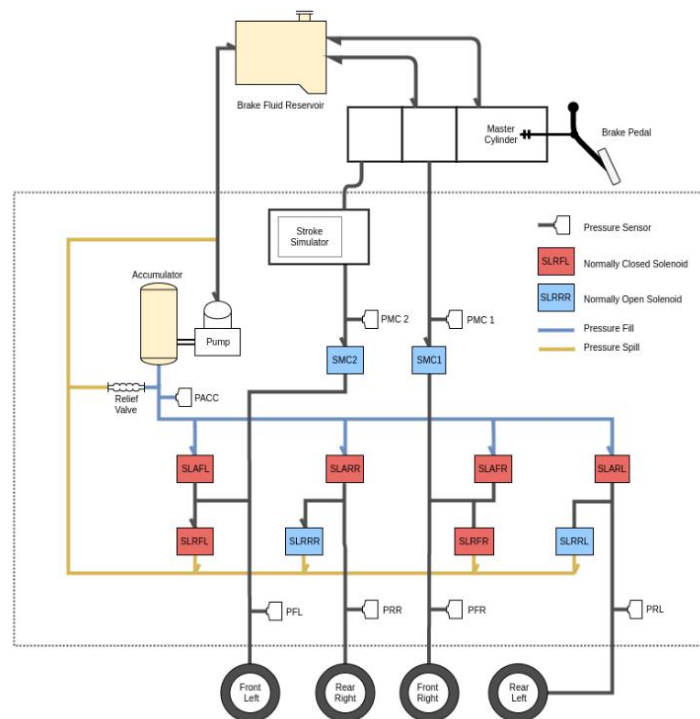
外加的制动泵

线控制动系统

4.2 线控制动系统控制原理

需要控制液压油的输入与输出，也就是增压和减压，所以总需要八个电磁阀来实现，再加上两路总回路的控制，所以一共需要十路电磁阀需要控制，同时再加上四路分油路各自的压力传感器和总油路的压力传感器，所以至少需要控制六个压力传感器，在控制器控制程序的编写上是线控制动改装最困难也是最核心的一部分，它直接影响了线控制动的质量。

为了和整车CAN网络同步，所以自制的线控制动控制器也需要连接到CAN网络中，同时应向总线中发送相关报文和接收来自总线的控制。注意报文ID应该避免和原车报文ID冲突，不然会造成网络的瘫痪。



OSCC开源项目线控制动方案



外加的制动泵

线控动力系统

5.1 线控动力系统简介

线控动力系统是汽车最基本的系统，由于现在新能源汽车的不断发展，所以动力源有很多种，但是最主要的动力还是来自发动机，当然也有电动机驱动的汽车，同时还有混合动力汽车，但是不管是那种动力系统，其在上层控制方式上都是大同小异的，但是对于线控技术讲，电动机驱动的新能源汽车是最理想的动力系统同时也是未来汽车发展的一个大趋势。

传统的发动机动力是通过拉线的机械方式来控制节气门的张合程度，从而来控制发动机转速的。随着线控技术的不断发展，现在大部分车型都采用电子踏板的方式取代了机械的拉线方式。判断一辆汽车是否具备线控动力系统最明显的方式便是判断该车是否采用了电子式的油门踏板。

除了控制速度的油门踏板，电控的挡位调节器也是一个衡量线控动力系统的重要标志。如果拥有了电控踏板但是不具备电控挡位调节，那么这种车型只能说具备了一部分线控动力，而没办法实现全面的动力控制。其中车辆是否为自动挡汽车是判断该车型是否为电控换挡的重要标志(但不是唯一标志)。



电控油门示意图



电控换挡开关

线控动力系统

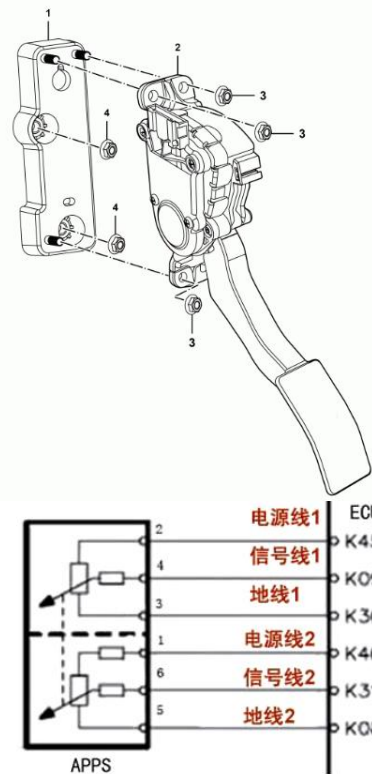
5.2 线控动力系统硬件组成

线控动力系统主要由：电子油门踏板、踏板位移传感器、**ECU**（电控单元）、伺服电动机和节气门执行机构组成，电驱动汽车则没有节气门执行机构和伺服电机，通过**ECU**处理之后的目标速度信息直接传送给**MCU**。

改造线控动力系统的两个关键在于电子油门踏板的改造和电子换挡器的改造，一般情况下如果一辆汽车具备了定速巡航功能，那些就可以说它是具备了一定线控动力系统了的，自动换挡还需要深入剖析。

>电控油门踏板：电控油门踏板主要部件是一个位置传感器，位置传感器采集到踏板输入值之后传给控制**ECU**进行数据处理。一般情况下油门踏板传感器是电压信号，随着踩踏行程不同会输出不同的电压信号(霍尔效应)。踏板一般会有六根线，但是一般三根为一组，实则为两套互相冗余的传感器系统。

>电控换挡器：电子换挡器普遍为多挡位的波动或旋钮开关，开关不同线制也有所不同，旋钮开关旋至不同的位置相应的线束会被联通。



电子加速踏板



电子换挡器

线控动力系统

5.2 线控动力系统控制原理

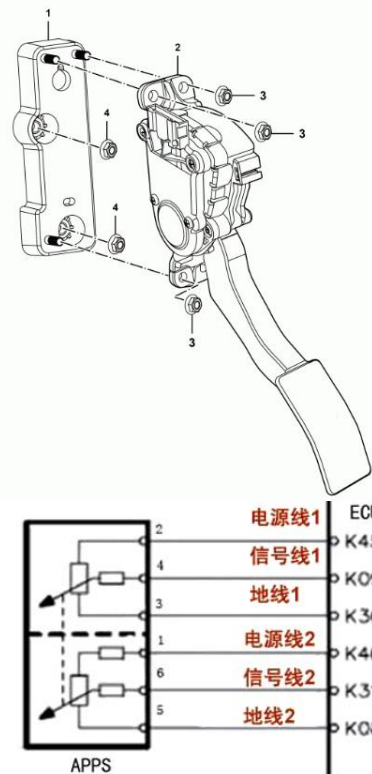
>控制油门踏板：对于电子油门踏板来说，由于油门踏板本身有一个**ECU**，且这个**ECU**是不能够重新烧写程序和修改控制代码的，所以一般情况下在改装线控动力系统的时候都是加装新的**ECU**在原**ECU**和油门踏板中间。

由于线控动力系统的两个控制都是通过传感器信号输入来进行相应控制的，所以一般情况在该车型具备了这两种控制方式的情况之下，都没有必要去修改太底层的电动机或者发动机的控制方式，这部分原厂会做得更好。

在**CAN**中**MCU**会实时的发送处发动机/电动机的当前转速，简单的修改方式是掐断油门踏板和原车控制器的连接，在中间加入我们自己设计的控制器，再通过自制的控制器去给原车**ECU**“喂”一个我们设定的模拟传感器输出值，并实时监控**CAN**中的发动机或电机的转速，然后反复调节该值来实现速度的闭环控制。

>控制挡位调节：在控制前进后退的挡位调节上，其实使用的方式可以和控制速度的方式类似，只不过是“喂”的数据变成相应的开关量。

在线控动力系统的改装中，对车速的敏感程度是此项修改的关键标准。



电子加速踏板



电子换挡器

后记

线控技术的不断成熟给自动驾驶奠定了坚实的基础，现在大部分整车厂都在向自动驾驶领域涉足，同时他们自己拥有了自己车辆的全部信息，处于种种原因，对于个人或者小团队来说想拿到他们汽车的协议是不可能的事情，因为这部分信息是汽车整车公司最核心也是最重要的一部分财产。通过学习线控和改造线控车不仅在经济上大大缩小了自动驾驶研发成本，同时更重要的是熟悉了汽车的每一个部件。

线控是自动驾驶最核心的技术之一，在开发自动驾驶的过程中不能不知道自己算法下面这套硬件的工作方式和“习性”。

以上全部旨在介绍自动驾驶部分的线控技术，了解汽车线控知识，不支持读者个人或非专业技术人员去修改汽车，这是非常危险的事情，很可能造成财产损失和人员伤害，应该找到专业团队协助进行。