



高等学校“十二五”精品规划教材

汽车电子技术

主 编 韩进玉 张 永
副主编 辛海升 侯占峰



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn



高等学校“十二五”精品规划教材

汽车电子技术

主 编 韩进玉 张 永

副主编 辛海升 侯占峰



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本教材为高等学校“十二五”精品规划教材之一，主要内容有：汽车电子控制技术基础、发动机电子控制系统、自动变速器、汽车制动系统控制、汽车行驶系统及控制、动力转向控制系统和其他电子控制系统。本教材内容充实，知识面宽、注重应用。

本教材可供高等院校车辆工程、交通工程、汽车修理、汽车运用工程、机械制造及其自动化和农业机械化及其自动化等相关专业的师生使用，也可供从事汽车设计制造、汽车维修管理的工程技术人员及管理人员学习参考。

图书在版编目（C I P）数据

汽车电子技术 / 韩进玉, 张永主编. — 北京 : 中国水利水电出版社, 2011. 4
高等学校“十二五”精品规划教材
ISBN 978-7-5084-8597-3

I. ①汽… II. ①韩… ②张… III. ①汽车—电子技术—高等学校—教材 IV. ①U463.6

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第084734号

书 名	高等学校“十二五”精品规划教材 汽车电子技术
作 者	主编 韩进玉 张永 副主编 辛海升 侯占峰
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京纪元彩艺印刷有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 16.5印张 391千字
版 次	2011年4月第1版 2011年4月第1次印刷
印 数	0001—3000册
定 价	35.00元

凡购买我社图书，如有缺页、倒页、脱页的，本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究



前言

当今世界，汽车电子化的程度已被看做是衡量一个国家汽车工业水平的重要标志。在国外，平均每辆汽车上的电子装置在整车成本中占 20%~25%，有一些豪华轿车装有 40 多个微处理器，电子装置甚至占到整车成本的 50% 以上。汽车电子技术的迅猛发展和广泛应用，极大地改善了汽车的各项性能，提高了汽车的安全性、动力性、经济性、舒适性，减少了有害气体的排放。相关研究表明，目前汽车约 70% 的创新来源于汽车电子技术。

汽车电子技术的广泛应用，汽车电子技术的发展趋势对车辆工程专业的学生提出了更高的理论和技术要求。因此，通过对涉及多学科领域的汽车电子技术知识的系统学习，了解和掌握机电液、机电光、机电热等方面的综合知识，对于将车辆工程专业的学生培养成为复合型人才具有重要意义。

本教材收集了大量汽车电子技术的最新理论和研究成果，在编写体系和内容方面本着拓宽知识面、内容充实、注重应用的原则，力求做到既方便理论教学和自学，也可供其他专业学生或从事科研、设计的工程技术人员参考借鉴。

全书分为七章，主要包括汽车电子控制技术基础、发动机电子控制系统、自动变速器、汽车制动系统控制、汽车行驶系统及控制、动力转向控制系统和其他电子控制系统。

本教材由内蒙古农业大学韩进玉、张永任主编，辛海升、侯占峰任副主编。绪论、第一章、第二章第九节和第十节由江苏联合职业技术学院无锡交通分院石松伟编写；第二章第一节~第四节由辛海升编写；第二章第五节由毕玉革编写；第二章第六节~第八节由韩进玉编写；第三章由侯占峰编写；第四章由沈阳农大杨德旭编写；第五章、第六章由华南农大李君编写；第七章由张永编写。

本教材编写过程中得到了同行的大力支持，在此谨向他们致以深切的谢意。由于编写的时间较短、资料不足和水平有限，不足之处，恳切希望同行和读者批评指正。

作者

2011 年 3 月



目 录

前言

绪论	1
第一章 汽车电子控制技术基础	5
第一节 汽车电子控制系统概述	5
第二节 汽车常用传感器	6
第二章 发动机电子控制系统	25
第一节 概述	25
第二节 电子控制汽油喷射系统的类型	32
第三节 电子控制汽油喷射系统的结构和工作原理	40
第四节 燃油喷射系统控制原理	56
第五节 怠速控制	65
第六节 点火控制系统	72
第七节 发动机的排放污染物	96
第八节 发动机排放污染物的净化技术	99
第九节 柴油机电控技术	108
第十节 发动机其他电子控制技术	120
第三章 自动变速器	125
第一节 概述	125
第二节 液力传动装置	127
第三节 变速齿轮机构	135
第四节 电子控制系统	142
第五节 机械式无级变速器	151
第四章 汽车制动系统控制	156
第一节 防抱死制动系统 ABS	156
第二节 驱动防滑系统 ASR	168
第五章 汽车行驶系统及控制	177
第一节 电控悬架系统	177
第二节 巡航控制系统	185
第三节 导航系统	193

第六章 动力转向控制系统..... 197

第一节 液压式 EPS 197

第二节 电动液压式 EPS 202

第三节 电动式 EPS 203

第四节 EPS 传感器 207

第五节 四轮转向系统..... 209

第七章 其他电子控制系统..... 215

第一节 安全气囊系统..... 215

第二节 汽车空调系统..... 220

第三节 车载网络技术..... 233

参考文献 258

绪 论

一、汽车电子技术概述

汽车经过 100 多年的发展,在机械结构方面已经日趋完善,单纯靠改变机械结构来提升汽车的性能已临近极限。另一方面,由于用户日益增强的安全、节能与环保要求和激烈的市场竞争,汽车工业还需不断进步和提升。要解决这个矛盾,主要还是靠现代电子技术。

汽车已经由单纯的机械产品发展成为高级的机电一体化产品,汽车电子技术的迅猛发展极大地改善了汽车的各项性能,从早期用电子点火系统代替机械式点火断电器触点,到现在采用氧传感器的电子调节系统对内燃机有害气体排放进行有效控制;采用车内气候调节系统、汽车行驶导航调节系统等来满足驾乘人员对汽车舒适性的严格要求;采用防抱死制动系统和安全气囊来保障乘客安全。相关研究表明,目前汽车上约 70% 的创新来源于汽车电子技术。

二、汽车电子技术发展趋势

21 世纪汽车产品发展的趋势是:安全性、节能性、环保性和舒适性。其中安全性则主要体现在 ABS、TCS、VDC、4WS、TPMS 等核心电子控制技术的发展上;环保与节能性主要体现在发动机与底盘传动系的电子控制和以大容量电池组、CAN 总线为代表的电动汽车、整车电子控制技术等方面。舒适性主要有电控主动悬架系统、全自动空调系统等。

现代汽车电子技术可以分为以下几大类:发动机电子控制技术、底盘电子控制技术、车身电子控制技术、主被动安全技术、智能汽车与智能交通(ITS)技术、整车控制技术、车载通信娱乐系统等。

(一) 发动机电子控制系统

汽油发动机电子控制技术随着一系列新技术如电控缸内直喷、ODB II、电控配气正时等的运用日趋完善。

1. 电控缸内直接喷射技术

在火花塞附近供给浓混合气,以利着火;在其他区域供给稀混合气,进行分段喷油。达到分层燃烧的目的,该技术可节约燃料 1/3 以上。

2. ODB II 技术

如图 0-1 所示,该技术具有系统监测、部件保护、应急反应、信息存储、超标显示和信息读取等功能。其中系统监测:监测所有与排放相关的部件和系统;部件保护:防止关键部件的损坏(如三元催化器);应急反应:设置故障传感器的代用值方式;信息存储:存储故障发生时的有关信息;超标显示:当废气排放超过限定标准时给出显示;信息读

取：在维修时利用检测设备读取故障。

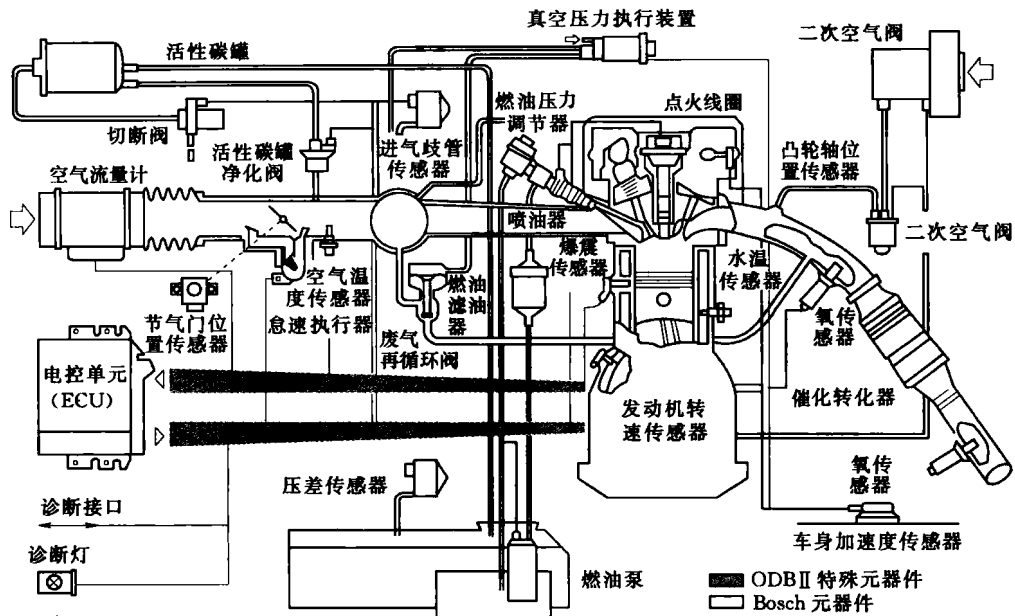


图 0-1 带有 OBD II 的发动机电子控制系统

3. 电控配气正时技术

配气机构精确地控制发动机的工作正时和性能输出。双变位或连续可变相位凸轮轴调整装置精确地控制着凸轮的定时或用电磁阀直接驱动气门的方法，可优化发动机的废气排放性能和燃油经济性。

(二) 底盘电子控制系统

1. 自动变速器电子控制系统

采用自动变速器，可以有效地提高驾驶方便性。目前得到广泛采用的自动变速器主要有三种类型：液力机械式自动变速器（AT）、电控机械式自动变速器（AMT）和电控机械式无级变速器（CVT）。自动变速控制需要采用传感器、电子控制单元和电控驱动装置。

2. 电控悬架

目前，汽车的悬架系统一般是弹簧刚度和减振器阻尼特性不能改变的被动悬架，它不能根据使用工况和路面输入的变化进行控制和调整，故难以满足汽车平顺性和操纵稳定性的更高要求。近年来，随着电控和随动液压技术的发展，弹簧刚度和减振器阻尼特性参数可调的电控主动和半主动悬架，在汽车上逐步得到应用和发展。

(三) 汽车主被动安全系统

1. 操纵稳定性的电子控制系统

过去一直局限于通过改进轮胎、悬架、转向与传动系的性能来提高汽车的操纵稳定性。随着计算机、传感器和执行机构的发展，研发出各种显著改善操纵稳定性和安全性的电子控制系统，如防抱死制动系统（ABS）、牵引力控制系统（TCS，也称 ASR）、四轮

转向系统（4WS）、车辆动力学控制系统（VDC，也称 VSC）。其中，VDC 是在 ABS 和 TCS 的基础上，增加汽车转向行驶时横摆运动的角速度传感器，通过 ECU 控制各个车轮的驱动力和制动力，确保汽车行驶的横向稳定性，防止转向时车辆被推离弯道或从弯道甩出。操纵稳定性电子控制系统之间的关系如图 0-2 所示。

2. 轮胎压力检测系统

轮胎压力监测系统（TPMS）是在每一个轮胎上安装高灵敏度的传感器，在行车状态下实时监测轮胎的各种数据，通过无线方式发射到接收器，并在显示器上显示各种数据，任何原因等导致的轮胎漏气、温度升高，系统都会自动报警，从而确保汽车行驶中的安全，延长轮胎的使用寿命。

3. 汽车安全气囊

汽车安全气囊（SRS）是座椅安全带的辅助装置，只有在使用安全带的条件下，才能充分发挥作用。当汽车遭受碰撞导致减速度急剧变化时，气囊迅速膨胀，在驾驶员、乘员与车内构件之间迅速铺垫一个气垫，利用气囊排气节流的阻尼作用来吸收人体惯性力产生的动能，从而减轻人体遭受伤害的程度。

（四）车身电子控制系统

车身电控设备主要包括照明系统、自动座椅系统（如存储式座椅）、自动空调系统、自动雨刮和车窗系统、多媒体系统等。

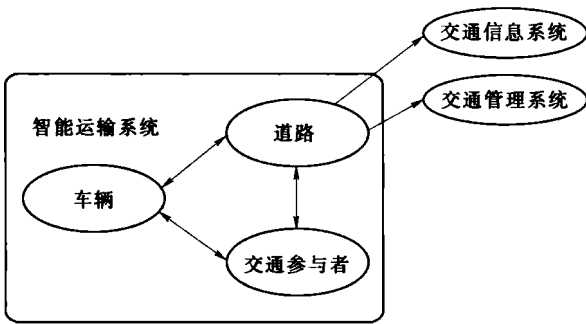


图 0-3 智能交通系统

收费、无人驾驶等功能。智能汽车是今后国内外汽车发展的热点领域，是未来汽车发展的必由之路。

（六）整车控制技术

（1）汽车 CAN/LIN 通信系统（CAN，Controller Area Network），即控制器局域网络，是国际上应用最广泛的现场总线之一。CAN 总线被设计作为汽车环境中的微控制器通信，在车载各电子控制装置 ECU 之间交换信息，形成汽车电子控制网络。

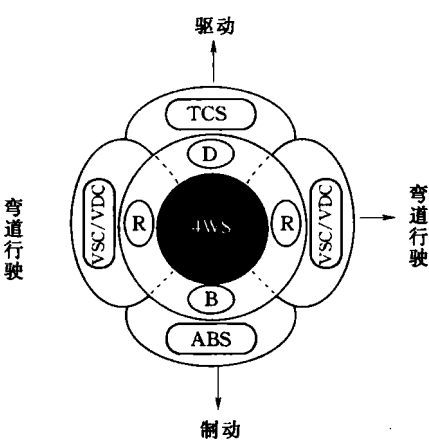


图 0-2 操纵稳定性电子控制系统之间的关系
D—驱动力分配控制；R—侧倾刚度分配控制；
B—制动力分配控制

（五）智能交通系统

智能交通系统（ITS），如图 0-3 所示，是指将先进的电子技术、通信技术、传感技术、运筹学等有效地综合用于“道路—车辆—行人”系统中，以形成统一、高效的汽车智能系统。它具有自动控制车速、自主寻路、自动导航、主动避撞、自动电子

LIN (Local Interconnect Network) 总线是一种低成本的串行通信网络, 用于实现汽车中的分布式电子系统控制。LIN 的目标是为现有汽车网络 (如 CAN 总线) 提供辅助功能。

(2) 电控驱动系统 (X-by-wire)。该系统实际上是一种控制方式, 即将操作指令转换成电信号, 利用计算机控制汽车运行。如 Steering-by-wire 系统, 即电脑控制转向系统, Brake-by-wire 系统, 即电脑控制制动系统。广义上讲, X-by-wire 系统是指在动力传输系统中, 根据不同用途并经过专门处理的车载局域网 (LAN)。

电控驱动系统主要由三部分组成: 控制系统、执行系统、通信系统。控制系统的功能是根据驾驶员的意图和车辆行驶状况, 对执行器给出执行的设定值。执行系统的功能是在控制系统的控制下, 完成具体的执行动作 (转向、制动等)。

(七) 车载电子通信和导航系统

随着信息时代和信息高速公路的发展, 汽车的通信功能已不只限于收听广播和用车载电话通话, 还能显示信息和日程表, 能阅读或发送电子邮件和传真, 收看天气预报和股市行情, 访问互联网络。人们在车内将能使用数据库、电话号码、通讯录、约会记录、笔记本、参考资料、寻呼机、计算器以及银行业务等。

汽车导航系统是指车辆道路交通信息通信系统, 包括微机及显示屏、同步卫星定位系统、雷达等。它在微机内存储有大量的与道路相关的系统资料, 用安装在道路上的雷达测定车辆间距及数量等交通信息, 传输到电脑控制中心并发射到通信卫星上, 卫星把交通信号发回汽车接收器, 驾驶员便可从车内显示屏上掌握交通信息。

第一章 汽车电子控制技术基础

第一节 汽车电子控制系统概述

一、汽车电子控制系统的分类

现代轿车和载重汽车等都是具有许多电子控制系统的综合装置。部分电子控制系统已成套地作为标准配置预装到每辆出厂的新车上,另外一些则只出现在高档轿车上。

按使用范围分类,这些电子控制系统可分为以下4大类:

- (1) 动力与传动装置(动力装置)。
- (2) 安全性系统。
- (3) 舒适性系统。
- (4) 通信和多媒体系统。

按功能分类,则可分为以下5大类:

- (1) 传感器和开关控制信号。
- (2) 控制单元。
- (3) 执行器。
- (4) 各控制单元的通信与连接(网络)。
- (5) 电子诊断系统。

(一) 传感器和开关控制信号

传感器用于检测汽车工况,如发动机转速、进气温度、废气中含氧浓度等重要参数。传感器就是一种将各种非电量(物理量、化学量、生物量等)按一定规律转换为便于传输和处理的另一种物理量,一般为电信号的装置。开关控制信号则用于向控制单元发送某一设备的即时状态信号,如点火开关信号等。

(二) 控制单元

控制单元(ECU)是按一定的数学计算方法,如调节和控制算法,处理由传感器采集的输入信息并通过控制单元的输出信号去控制各类执行器完成具体动作的一种电子装置。更进一步讲,控制单元也是连接其他控制单元和汽车故障诊断装置(TDCL)的接口。

(三) 执行器

执行器将来自控制单元的输出信号转换为机械参量。下面为执行器的一些实例:

- (1) 汽油机喷油嘴。
- (2) ABS制动系统用电磁阀驱动模块。
- (3) 汽车燃油泵及其继电器。
- (4) 驱动电机(如驱动风窗玻璃的电机)。

(5) 发动机散热风扇。

(四) 网络

汽车电子系统数量的增多,增加了连接导线的费用。中档轿车线束的平均长度目前已达 1600m,多达 300 个插头约 2000 个插针,各个电子系统的网络连接可以减少导线的总长度。采用双线的公共总线,如 CAN 总线,可以传输大量的数据和信息。网络连接的各个电子系统可以共享这些数据和信息。按要求也可将总线分为动力与传动装置总线、舒适性系统总线和通信总线。

(五) 电子诊断系统

电子诊断系统的功能是不断监视汽车行驶时各系统和部件的工作状况,并将出现的所有故障,如导线短路、传感器失效等,以故障码的形式存放在控制单元的故障存储器中。在修理车间检修时,可用汽车系统诊断仪来连接控制单元的故障接口(TDCL)来读出故障码,然后通过查阅维修手册来定位故障位置。

二、汽车电子控制系统的要求

由于汽车运行在户外和道路上,面对的环境比较恶劣,因此对汽车电子控制系统有很高的要求,如极端的温差、复杂的气候、恶劣的路况和遭受侵蚀性物质的影响等。为使汽车电子控制系统能在合理的规定时间内能可靠、无故障地工作,必须满足以下要求:

(1) 耐温范围为 $-40\sim+125^{\circ}\text{C}$ 。

(2) 防电磁干扰,不易受外部辐射(如移动无线电话)的影响,本身没有电磁干扰的辐射。

(3) 耐振。

(4) 耐湿气和潮湿。

(5) 耐侵蚀性液体,如机油、盐雾。

(6) 质量轻。

(7) 生产成本低廉。

(8) 安装可靠。

第二节 汽车常用传感器

一、传感器的定义

传感器是将各种非电量(物理量、化学量、生物量等)按一定规律转换成便于传输和处理的另一物理量(一般为电量)的装置。

传感器一般由敏感元件、转换元件和测量电路三部分组成,必要时还需要辅助电源电路,组成框图如图 1-1 所示。

敏感元件是指能够完成预变换的器件,又称为预变换器。在将非电量变换成电量的过程并非所有的非电量都能利用现有手段直接变换为电量,往往需要先将被测非电量预先变换成另一种易于变换成电量的非电量,然后再变换为电量。因此在传感器中,各种类型的弹性元被称为敏感元件,并统称为弹性敏感元件。

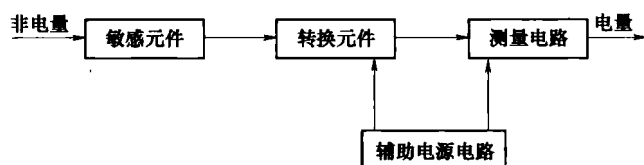


图 1-1 传感器组成框图

转换元件是指将感受到的非电量直接转换为电量的器件。例如，压电晶体、热电偶等。需要指出的是，并非所有的传感器都包括敏感元件和转换元件。

测量电路是指将转换元件输出的电量转变成便于显示、记录、控制和处理等电信号的电路。测量电路的类型取决于转换元件的类型。常用的有电桥电路、脉冲调制电路、振荡电路和高阻抗输入电路等。

汽车上常用的传感器主要有：空气流量传感器、进气歧管绝对压力传感器、节气门位置传感器、进气温度传感器、冷却液温度传感器、曲轴位置传感器、凸轮轴位置传感器、氧传感器等。

二、空气流量传感器

空气流量传感器（MAF，Mass Air Flow）又称为空气流量计，其作用是检测发动机进气量的大小，并将空气流量信号转换成电信号输入电控单元（ECU），作为确定喷油量和点火时间的主要参考信号。空气流量传感器的安装位置在空气滤清器与节气门体之间。

按测量原理可分为叶片式空气流量计、热丝式空气流量计和卡门涡旋式空气流量计 3 种常见形式。

（一）叶片式空气流量计

叶片式空气流量计是一种利用力矩平衡原理开发的流量传感器。该传感器具有结构简单、价格便宜、可靠性较高的特点，应用较为广泛。

1. 构造

叶片式空气流量计的结构如图 1-2 所示。其输出信号类型为电压信号。

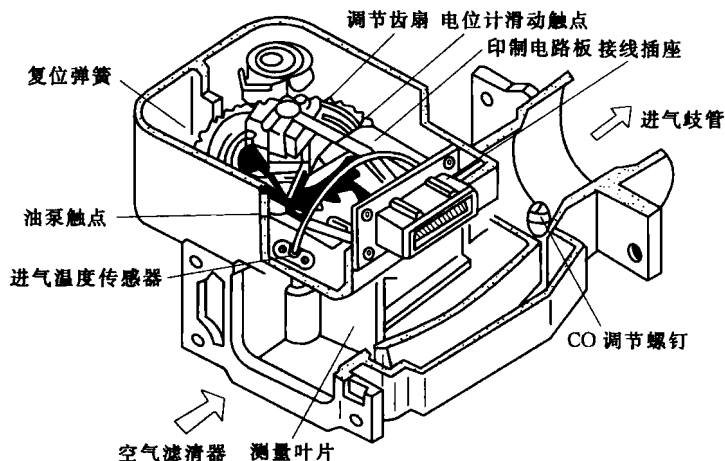


图 1-2 叶片式空气流量计的结构

2. 工作原理

图 1-3 为叶片式空气流量计工作原理图，当吸入发动机的空气流过传感器主进气道时，传感器叶片就会受到空气气流压力产生的推力矩和复位弹簧弹力力矩的作用。当空气流量增大时，气流压力对叶片产生的推力力矩增大，推力力矩克服弹力力矩使叶片偏转角度增大，直到推力力矩与弹力力矩平衡为止。进气量越大，叶片偏转角度也越大。因为叶片总成和电位计的滑臂均固定在转轴上，所以在叶片偏转的同时，滑臂也随之偏转。

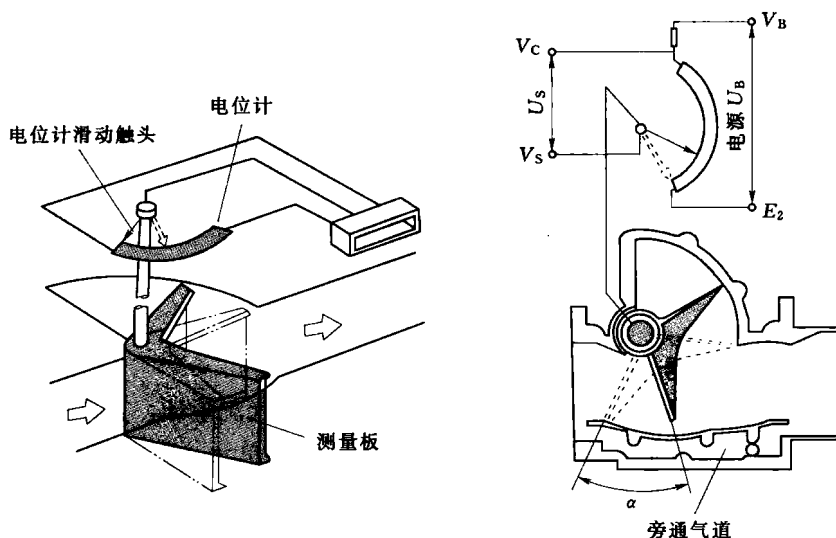


图 1-3 叶片式空气流量计工作原理

当空气流量增大时，端子 V_c 和 V_s 之间的电阻阻值减小，两端子之间输出的信号电压 U_s 降低。当空气流量减小时，气流压力对叶片产生的推力力矩减小，叶片偏转角度也减小，端子 V_c 和 V_s 之间的电阻阻值增大，两端子之间输出的信号电压 U_s 增大。

3. 外部电路及其检测

图 1-4，为凌志 ES300 空气流量计电路。其检修方法如下：拆开线束连接器，在空

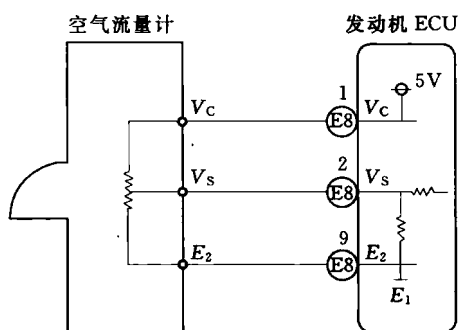


图 1-4 凌志 ES300 空气流量计电路

气流量计一侧测量相应端子之间 (V_c 与 E_2 、 V_s 与 E_2 、 THA 与 E_2) 的电阻应符合原车标准，否则应更换空气流量计。检查电源电压和信号电压，以确定空气流量计是否正常。

(二) 热丝式空气流量计

1. 概述

热丝式与热膜式空气流量传感器都是直接检测发动机吸入空气的质量流量的传感器。两种传感器的检测原理完全相同，热丝式空气流量传感器的检测元件是铂金属丝，热膜式空气流量传感器的检测元件是铂金属膜。铂金属检测元件的响应速度很快，能在几毫秒内反映出空气流量的变化，因此测量精度不受进气流脉动的影响。此外还具有进气阻力小、无磨损部件

等优点。目前大多数中高档轿车都采用了这种传感器。

2. 分类

热式空气流量计分为：热线式和热膜式两种。热线式空气流量计的测量元件为铂丝热线，热线缠绕在陶瓷管上；热膜式空气流量计的测量元件镀在陶瓷片上，称为热膜。

热线式空气流量计按测量位置又可分为：主流测量方式、旁通测量方式。其中主流测量式是将热线电阻安装在主进气道中；而旁通测量式则将热线安装在旁通风道中。

3. 输出电信号类型

输出信号既有电压信号，也有频率信号。电压信号，随着进气量的增大，输出信号的电压值随之增大。频率信号，随着进气量的增大，输出信号的频率随之增大。

4. 热膜式空气流量计

热膜式空气流量计发热元件采用的是平面形铂金属薄膜电阻，厚度约为 200nm，也称为热膜电阻。捷达 AT、GTX 和桑塔纳 2000GSI、3000 型轿车采用的热膜式空气流量传感器的结构如图 1-5 所示。

在传感器内部的进气通道上设有一个矩形护套（相当于取样管），热膜电阻设在护套内。为了防止污物沉积到热膜电阻上影响测量精度，在护套的空气入口一侧设有空气过滤层，用以过滤空气中的污物。为了防止进气温度变化使测量精度受到影响，在热膜电阻附近的气流上游设有铂金属膜式温度补偿电阻，如图 1-6 所示。温度补偿电阻和热膜电阻与传感器内部控制电路连接，控制电路与线束连接器插座连接。

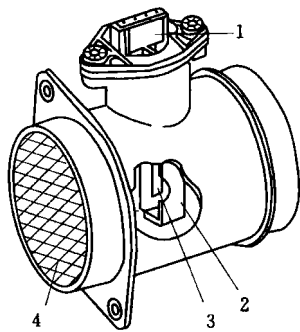


图 1-5 热膜式空气流量传感器的结构
1—接线插座；2—护套；3—铂金属膜；4—防护网

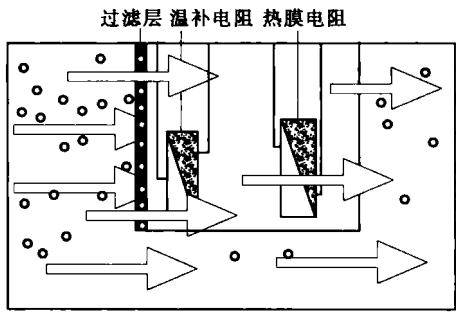


图 1-6 热膜式空气流量传感器内部元件示意图

热膜式流量传感器与热丝式相比；因为热膜电阻的阻值较大，所以消耗电流较小，使用寿命较长。但是，由于其发热元件表面制作有一层绝缘保护膜，存在辐射热传导作用，因此响应特性略低于热丝式流量传感器。

5. 工作原理

利用热丝或热膜作为发热元件的空气流量传感器，其测量原理完全相同，并与日常生活中使用的电吹风机的的工作原理相似。为了叙述方便，下面将热丝与热膜统称为发热元件。

在强制气流的冷却作用下，发热元件在单位时间内的散热量 H 跟发热元件的温度 T_H

与气流温度 T_G 之差成正比。

如果将 T_H 与 T_G 之差控制在一个恒定值，就可根据发热元件的加热电流 I 求得空气气流的质量流量 Q_M 。为此在热丝式与热膜式流量传感器中，采用了图 1-7 所示的恒温差控制电路来实现流量检测。

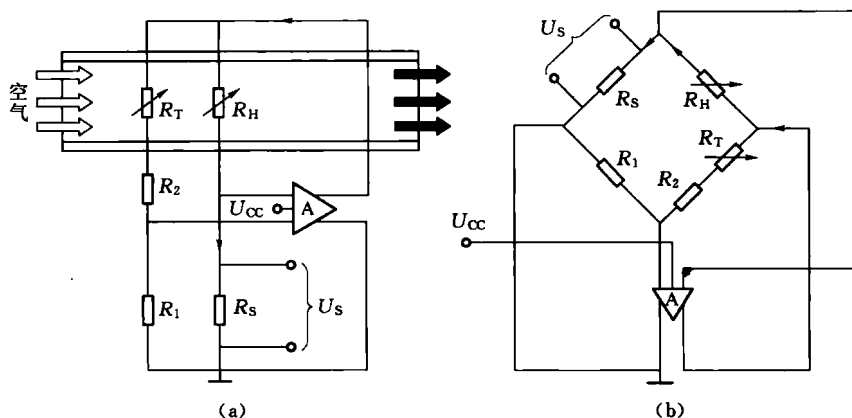


图 1-7 热丝式与热膜式流量计的原理电路

(a) 电路连接；(b) 电桥电路

R_T —温度补偿电阻（进气温度传感器）； R_H —发热元件（热丝或热膜）电阻； R_S —信号取样电阻；

R_1 、 R_2 —精密电阻； U_{CC} —电源电压； U_S —信号电压；A—控制电路

在恒温差控制电路中， R_H 和 R_T 分别连接在惠斯登电桥电路的两个臂上。当发热元件的温度高于进气温度时，电桥电压才能达到平衡。加热电流（50~120mA）由具有电流放大作用的控制电路 A 进行控制，其目的是使发热 T_H 与 T_T 之差保持恒定，即 $T_H - T_T = 120^\circ\text{C}$ 。

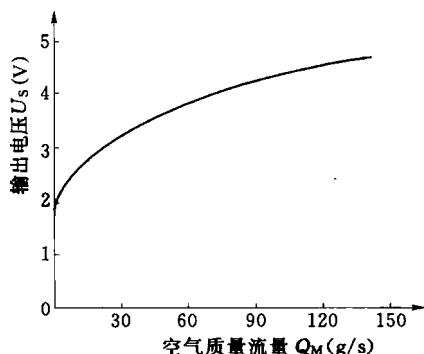


图 1-8 热丝式与热膜式空气流量传感器输出特性曲线

当空气气流流经发热元件使其受到冷却时，发热元件温度降低，阻值减小，电桥电压失去平衡，控制电路将增大供给发热元件的电流，使其温度高于温度补偿电阻 120°C 。电流增量的大小，取决于发热元件受到冷却的程度，即取决于流过传感器的空气量。

当电桥电流增大时，取样电阻 R_S 上的电压就会升高，从而将空气流量的变化转换为电压信号 U_S 的变化。输出电压与空气流量之间近似于 4 次方根的关系，特性曲线如图 1-8 所示。信号电压输入 ECU 后，ECU 便可根据信号电压的高低计算出空气质量流量 Q_M 的大小。

当发动机怠速或空气为热空气（如夏季行车）时，因为怠速时节气门全闭或接近全闭，所以空气量很小；又因空气温度越高，空气密度越小，所以在体积相同的情况下，热空气的质量小，因此发热元件受到冷却的程度小，阻值减小幅度小，保持电桥平衡需要的

加热电流小，如图 1-9 (a) 所示，故取样电阻上的信号电压低。ECU 根据信号电压即可计算出空气量。

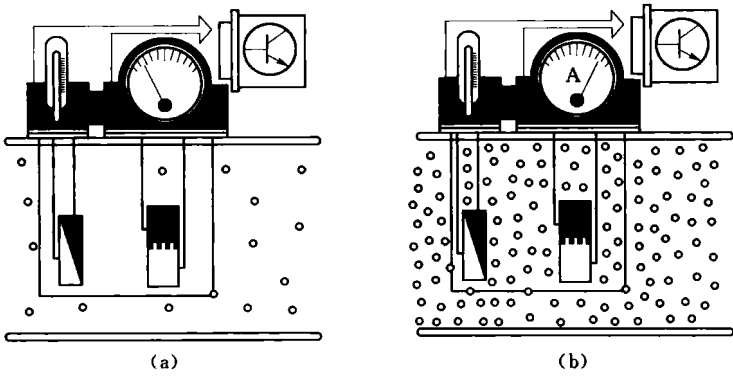


图 1-9 热膜式与热丝式空气流量传感器测量原理示意图
(a) 怠速或热空气时；(b) 负荷增大或冷空气时

当发动机负荷增大或空气为冷空气时，因为节气门开度增大空气流速加快使空气流量增大；而冷空气密度大，在体积相同的情况下冷空气质量大，所以发热元件受到冷却的程度增大，阻值减小幅度大，保持电桥平衡需要的加热电流增大，如图 1-9 (b) 所示，因此当发动机负荷增大时，信号电压升高。

(三) 卡门涡旋式空气流量计

在气流通道中放一个柱体，气体通过时在柱体后产生许多涡旋。按其检测方式，分为光学检测方式和超声波检测方式两种类型。

1. 光学检测方式卡门涡旋式传感器的结构特点

光电检测涡流式空气流量传感器的结构如图 1-10 所示。

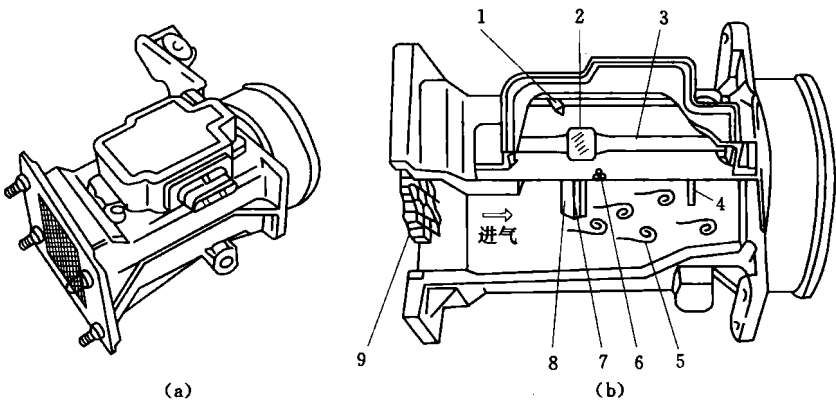


图 1-10 光电检测涡流式空气流量传感器结构图
(a) 外形结构 (b) 内部结构

- 1—发光二极管；2—反光镜；3—张紧带；4—进气温度传感器；5—涡流；
6—光敏三极管；7—导压孔；8—涡流发生器；9—整流网栅