

普通高等教育机电类规划教材

# 汽车电子控制技术

周云山 钟 勇 主编

 机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS



普通高等教育机电类规划教材

# 汽车电子控制技术

主 编 周云山 钟 勇  
参 编 宋晓琳 李 克 李 嫩  
主 审 李幼德



机械工业出版社

本书从系统的基本概念入手,介绍了有关汽车电子控制系统的工作原理、性能指标、系统的动态模型以及在满足动态模型的约束条件下,对给定的性能指标进行控制系统设计的方法和步骤。本书对发动机电子喷射、电子点火、电子控制悬架、防抱死制动、防滑驱动控制、汽车自动变速等常用电子控制装置作了详细介绍;对电子空调、安全气囊、刮水器与电控门窗、电子导航等汽车辅助功能的电子控制装置仅作一般性介绍。

本书为高等学校本科车辆工程专业教材,亦可供汽车行业工程技术人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

汽车电子控制技术/周云山,钟勇主编. —北京:机械工业出版社,2004.7

普通高等教育机电类规划教材

ISBN 7-111-14589-5

I. 汽... II. ①周...②钟... III. 汽车—电子控制—高等学校—教材 IV. U463.6

中国版本图书馆CIP数据核字(2004)第051311号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

责任编辑:赵爱宁 版式设计:霍永明 责任校对:张媛

封面设计:姚毅 责任印制:李妍

北京机工印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2004年8月第1版第1次印刷

787mm×1092mm<sup>1/16</sup>·20印张·491千字

定价:28.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话(010)68993821、88379646

封面无防伪标均为盗版

# 前 言

现代汽车技术的进步在很大的程度上归结为汽车电子技术的进步，汽车电子技术对汽车工业的促进作用已成为当今社会的共识。于是，汽车电子技术的教科书在不断涌现，从汽车电子控制的结构原理、使用与维修，到电子控制系统理论与设计，不仅数量多，而且门类齐全。但要编著一本用作高等学校车辆工程专业的教材，仍感难度较大。困难之一：教材的深度定位较难，内容太浅，可能成为科普性读物；太深又惟恐陷于专题研究之中。困难之二：汽车电子技术涉及较多学科领域，很难在各个方面都达到专业的水平。

为此，编者根据多年从事汽车电子控制技术研究的心得，对常用的几种电子控制装置，如发动机电子喷射、电子点火、电子控制悬架、防抱死制动、防滑驱动控制、汽车自动变速等装置作了较为详细的介绍。另外，本书第八章讲述了汽车辅助功能的电子装置，内容包括：电子空调、安全气囊、刮水器与电控门窗、电子导航等装置。由于这些辅助的电子装置涉及许多车辆工程专业以外的知识，以及受本门课程的学时限制，本书对辅助的电子控制装置仅作一般性介绍。

本书在编写过程中收集了大量国内外最新资料，从系统的基本概念入手，由浅入深地讲述了有关汽车电子控制系统的工作原理、性能指标、系统的动态模型，以及对给定的性能指标，在满足动态模型约束条件下进行控制系统设计的方法和步骤。

本书由周云山、钟勇任主编。第二章由湖南大学钟勇、宋晓琳编写，第三章由湖南大学钟勇、李克编写，第八章由湖南大学宋晓琳、钟勇、李嫩编写，其余各章由吉林大学周云山编写。

本书由吉林大学李幼德教授任主审。他仔细地阅读了全书的原稿，并提出了许多建设性的意见，在此表示最诚挚的谢意。

此书在撰稿过程中引用了一些国内外期刊、文献的资料，充实了本书的内容，借此机会向有关文章的作者表示感谢。

编 者

2003年12月

# 目 录

## 前言

## 第一章 绪论 ..... 1

- 第一节 汽车与电子技术发展的关系 ..... 1
- 第二节 汽车电子产品的特征 ..... 3
- 第三节 电子控制系统的共性问题 ..... 3
- 第四节 传感器 ..... 4
- 第五节 执行机构 ..... 6
- 第六节 系统模型 ..... 7

## 第二章 发动机燃油供给的电子控制系统 ..... 8

- 第一节 概述 ..... 8
- 第二节 汽油机电子控制 ..... 12
- 第三节 机械式汽油喷射系统 ..... 19
- 第四节 电子控制单点汽油喷射系统 ..... 26
- 第五节 电子控制多点汽油喷射系统 ..... 31
- 第六节 柴油机电子喷射系统 ..... 39
- 参考文献 ..... 46

## 第三章 电子点火控制系统 ..... 47

- 第一节 传统点火装置 ..... 47
- 第二节 电子点火装置 ..... 50
- 第三节 数字点火控制系统 ..... 61
- 参考文献 ..... 76

## 第四章 汽车防抱死制动系统 ..... 77

- 第一节 绪论 ..... 77
- 第二节 轮胎与路面间的相互关系 ..... 78
- 第三节 单轮车辆系统的数学模型 ..... 79
- 第四节 ABS 逻辑控制算法 ..... 82
- 第五节 防抱死制动逻辑的相平面分析 ..... 86
- 第六节 用庞加莱映射分析 P-R 控制规律 ..... 99
- 第七节 基于滑移率的控制系统 ..... 108
- 第八节 ABS 的整车控制技术 ..... 113

- 第九节 ABS 的驱动机构与电子控制装置 ..... 120
- 第十节 小结 ..... 126
- 参考文献 ..... 127

## 第五章 驱动控制 ..... 128

- 第一节 概述 ..... 128
- 第二节 ASR 的原理与控制方法 ..... 129
- 第三节 ASR 与 ABS 控制算法的比较 ..... 152
- 参考文献 ..... 153

## 第六章 电子控制悬架 ..... 154

- 第一节 绪论 ..... 154
- 第二节 悬架的力学模型 ..... 159
- 第三节 路面输入模型 ..... 164
- 第四节 悬架的性能评价 ..... 166
- 第五节 悬架的固有特性 ..... 171
- 第六节 主动悬架控制算法的设计 ..... 177
- 第七节 半主动悬架控制 ..... 195
- 第八节 主动悬架的整车控制方法 ..... 202
- 第九节 电子空气悬架 ..... 207
- 第十节 Nissan 主动悬架 ..... 217
- 参考文献 ..... 222

## 第七章 汽车自动变速传动 ..... 224

- 第一节 自动变速器概述 ..... 224
- 第二节 有级式机械自动变速器 ..... 225
- 第三节 液力机械传动自动变速器 ..... 228
- 第四节 金属带式无级自动变速器 ..... 249
- 第五节 CVT 的控制技术 ..... 266
- 第六节 CVT 的动态建模 ..... 276
- 参考文献 ..... 284

## 第八章 汽车辅助装置的电子控制系统 ..... 285

- 第一节 汽车电子空调 ..... 285

第二节	电子安全气囊 .....	297	第四节	电子导航系统 .....	309
第三节	刮水器及车窗玻璃电子控制 系统 .....	304	参考文献	.....	312





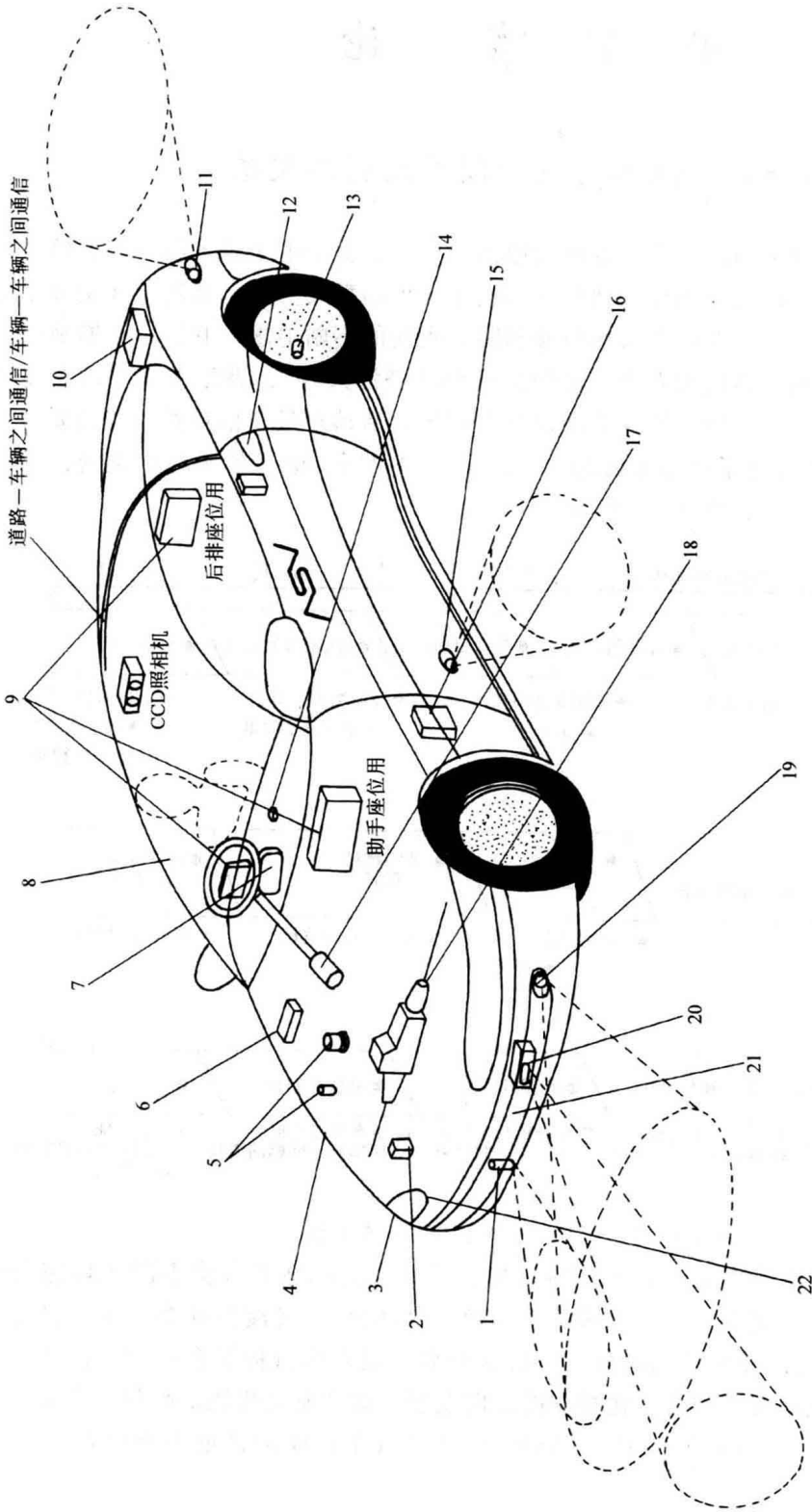


图 1-2 先进的安全车辆系统 (ASV) 概念

1—路面传感器 2—碰撞检测传感器 3—吸收步行者冲击的车身结构 4—安全气囊 5—车速传感器、加速度传感器 6—火灾检测传感器  
 7—各种信息显示板(导行系统) 8—防水挡风玻璃 9—安全气囊 10—车辆位置传感器 11、15、19—障碍物传感器(后方、侧边、前方) 12—车门内侧  
 锁定解除装置 13—空气压力传感器 14—驾驶员状态传感器 16—驱动记录器 17—转向角传感器 18—提高目视性和目视性的照明系统  
 21—步行者保护及防止碰撞前部结构 22—提高目视性和目视性的照明系统



最佳状态，并使汽车在弱附着路面条件下保持操纵稳定性。在此基础上，TRC + ABS<sup>⊙</sup> + 动力转向控制，则可使汽车在各种非稳态条件下（低附着系数或高速行驶）的不同工况（汽车加速或制动）实现操纵稳定性的精确控制。总的发展趋势是：汽车电子控制系统获取内部和外部的信息越来越多，功能越来越强，智能化程度越来越高，可靠性也越来越高。未来的先进安全车辆系统（Advanced Safety Vehicle——ASV，图 1-2）将包括主被动安全装置、自动驾驶装置以及车辆之间的通信装置。在紧要时刻，自动驾驶装置可以直接干预驾驶员的操作，确保人车的安全。

## 第二节 汽车电子产品的特征

汽车作为一种交通工具，行驶速度高，必须绝对安全可靠；普及率高，已进入家庭。因此，能在汽车上应用的电子产品必须具备图 1-3 所示的特征。首先，它在性能方面应能满足各种使用要求。在这一先决条件下，它必须是大量生产的，装车成本很低。例如 ABS 系统，目前仍广泛采用门限逻辑控制算法，而众所周知的优于门限逻辑的基于滑移率的控制算法并未得到应用。其主要原因就是采用非接触式测量车速的传感装置成本过高。又如主动悬架的最优预瞄控制，可以获得更好的性能，由于获取路面扰动的传感设备的价格较高，在现阶段也不具备实用价值。其次，所开发的产品能在较长的时间内保持结构形式的稳定性。例如 ABS 电子控制装置，一般可扩充为 ABS/ASR 控制装置。又如电控单元（ECU）和执行机构的驱动电路，都具有通用的结构形式。最后是汽车电子产品必须能胜任苛刻的工作环境，在各种条件下都能正常地工作，以保证汽车行驶的绝对安全和可靠性。所开发的汽车电子控制装置，都必须从生产成本、抗干扰能力、工作条件及可靠性等方面进行严格考核后，才能批量投入生产。

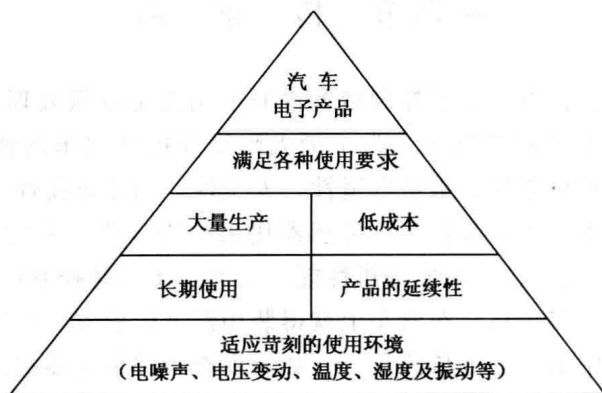


图 1-3 汽车电子产品的特征

## 第三节 电子控制系统的共性问题

汽车作为一种最为普及的交通工具，涉及相当多的性能指标。仅汽车本身的性能指标就

⊙ ABS—Anti-Lock Braking System，防抱死制动系统。

包括：燃油经济性、动力性、尾气排放、制动性、操纵稳定性、平顺性、安全性、弱附着路面的通过性等。为了满足人类多方面的需要，还有许多附加的功能，诸如自动空调、安全气囊、电话、自动门窗、防盗、通信、自动导航等各种其他自动装置。目前，这些附加电子装置的装车比例也在不断扩大。从控制的对象来看，这些系统是根本不同的；但从控制系统的设计方面看，这些系统又有共同的地方（图 1-4）。共性的问题是：

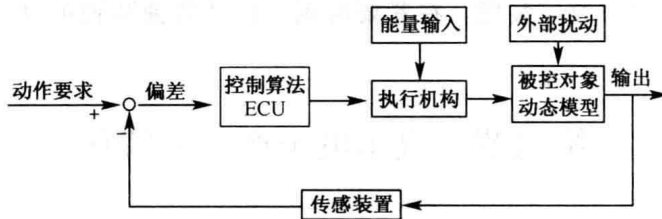


图 1-4 控制系统的一般结构框图

(1) 动态建模 对于要满足给定要求的电子控制系统，通常都需要建立控制系统的动态模型（或标定系统的数据模型）。

(2) 传感装置 为了实现对被控对象的精确控制，需要通过传感装置测量被控对象的变化信息。

(3) 执行机构 把期望的动作要求转化为准确的动作。

(4) 控制算法 根据测量信号（对象输出）和期望的动作要求（输入）之间的偏差，基于系统的动态模型，进行控制器的设计，满足系统在不同条件下的使用要求。

(5) 电子控制装置 又称作 ECU（Electronic Control Unit），是实现控制算法（软件或程序）的载体——硬件装置。

## 第四节 传 感 器

随着电子技术的发展，汽车电子控制装置普遍采用的是以微处理器为核心的数字系统，它具有很强功能的信息处理技术能力。为了最大限度地提高汽车的使用性能，如燃油经济性、动力性，系统工作的可靠性，乘员舒适性、安全性，操作方便性等，电子控制装置需要各种必要的信息，以实现各类精确控制。传感器用来提供这些必要的信息。在某些汽车上，传感器就多达 50 多个。例如，提高发动机性能，关键在于精确控制燃油喷射量和点火时间。确定这两个参数就需要许多信息，在汽车上就得装用温度传感器、空气流量传感器、曲轴位置传感器以及测定排气中氧气浓度传感器等。如果没有各类传感器提供发动机、汽车行驶的工作状态和外部环境条件，电子控制装置就失去了控制目标。可以说，汽车电子技术成功与否在很大程度上取决于传感器。汽车传感器与电子控制装置的使用情况见表 1-1。

车用传感器，按检测项目可分为：

1) 温度传感器；2) 压力传感器；3) 空气流量传感器；4) 位置、角度传感器；5) 气体浓度传感器；6) 转速传感器；7) 加速度传感器；8) 光量传感器；9) 液位传感器；10) 距离传感器；11) 电流传感器；12) 载荷传感器等。

设计或选用传感器时，除考虑传感器的测量范围、精度、分辨率、响应速度等基本因素应符合要求之外，还要考虑到参数的一致性、耐久性及经济性。如发动机控制时要测量几种

典型物理量，对传感器的特性要求见表 1-2。

表 1-1 车用传感器的种类与用途

系统	传 感 器	用 途
发动机	进气压力（或空气流量）、空燃比、曲轴转角、爆燃、发动机转速、进气温度、冷却液温度、冷却液负压阀、冷却液温度、冷却液温度开关	燃油喷射、EGR <sup>①</sup> 率、点火时间的程序控制、冷却液温调节、怠速稳定控制、空燃比修正反馈控制、爆燃区控制
变速器	挡位置开关、节气门开度、车速、制动开关、驻车制动开关、发动机转速	换挡控制、闭锁离合器控制、起步离合器控制
车身行驶	车速、车轮速度、车高、结露开关、车外开关、车内开关、车外温度、车内温度、日照量、湿度、冷却液温度开关	巡航控制、车身高度控制、防抱死制动、防结露车窗、悬架系统控制、车内空调（包括日照、湿度）、前照灯控制、防眩目后视镜、雨滴检测刮水器
显示诊断	发动机转速、车速、燃油剩余量、冷却液温度、机油油压、方位行车距离、进气压力、燃油流量、排气温度	车速、发动机转速、里程表、燃油剩余量显示、冷却液位、制动液位、排气温度报警

① EGR—Exhaust Gas Recirculation，废气再循环。

表 1-2 发动机控制的物理量测量与传感器特性要求

计量项目	测试范围	精度	分辨能力	响应时间	影响因素	
进气量	按发动机的种类及排气量等	2%	0.1%	2.5ms	脉动、量化误差、响应时间	
吸气管压力	10~160kPa	2%	0.1%	2.5ms	安装位置、响应时间	
发动机	转速	50~8000r/min	10r/min	—	2.5ms	安装位置、EGR
	旋转角度	0~720°	1°	1°	20μs	响应时间、分辨率
空燃比	检测理论空燃比	$\lambda = 1.0$	7.1%	0.1%	10ms	转速变化引起的误差
	线性	$\lambda = 0.6 \sim 1.6$	1%	1%	10ms	温度
爆震	无爆震~严重爆震	—	—	2.5ms	温度、压力、判断基准	
节气门开度	0~90°	0.2°	0.2°	10ms		
冷却液温度	-40~120°C	2°C	1°C	10s		

作为车用发动机传感器，工作环境非常苛刻，还得考虑它特定的工作环境。车用发动机的典型和特殊环境要求见表 1-3 和表 1-4。

表 1-3 典型工作环境要求

参 数	要 求
振动	15g、50~200Hz、3 维、无共振
冲击	距混凝土地面 90cm 的高处落下，100g，11ms，3 维
温度（工作）	-40~120°C
温度（存放）	-40~150°C
湿度	10%~100% RH，-40~120°C
盐雾、污浊	盐雾、污浊溶液及油中的浸渍
热冲击	-40~120°C，各温度下存放 30min，800 次循环

表 1-4 特殊环境要求

传感器	环境参数	要求
曲轴转角 冷却液温度	乙二醇中浸渍	24h, 100°C
空气流量 歧管绝对压力 歧管负压	反转	304kPa (3个大气压) 的气体脉冲
氧量	高温、热冲击	300~700°C 下工作, 30s 内承受 -50~70°C 的突变温度

除非特别的原因, 应该选用直接测量的传感器, 而不选用间接的。从数学上(如位移、速度和加速度)是可以相互表达的, 如从位移信号可推出速度和加速度信号。然而, 由于传感器的测量噪声, 一般很难由其中的一个信号重构其他的信号。尤其当信号的工作频率与测量噪声的频率在同一个范围或相隔很近时, 即使采用滤波技术, 也显得无能为力。如图 1-5a 是位移传感器的输出, 由位移信号构造速度、加速度信号产生的误差如图 1-5b、c 所示。因此, 对悬架控制必须直接采用加速度传感器。同时, 为了控制车体高度, 还得有位移传感器。

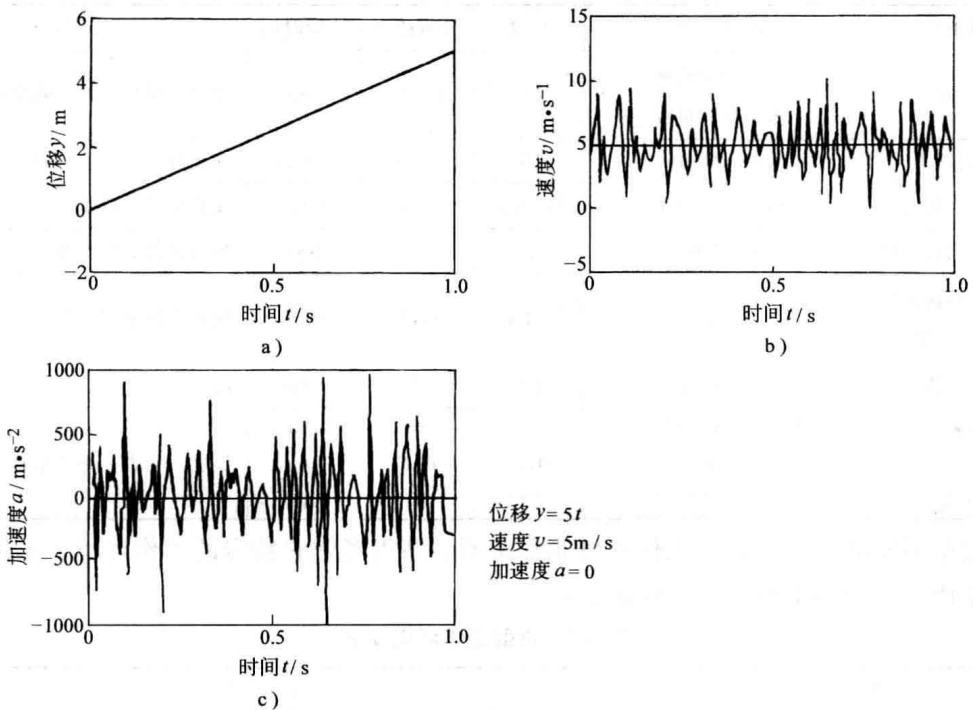


图 1-5 由位移信号构造速度、加速度信号的误差

## 第五节 执行机构

常用的执行机构根据驱动的能量不同可分为三类: 液压元件、气动元件和电气元件。但也有一些特殊的执行机构, 它们是利用材料的特殊性质来完成期望的动作, 如控制发动机冷却液循环的节温器, 是利用材料的热膨胀特性, 在冷却液温度超过规定的温度后, 自动打开

强制循环冷却液通道。对小功率和运动伺服系统，一般采用电气元件，如节气门开度控制、散热器冷却风扇等。对大功率系统，可采用液压和气动元件。如果结构尺寸要求很严，则采用液压传动（如轿车）；若结构尺寸要求不严，则多采用气动（如货车电子悬架、防抱死制动）。常用的几种执行机构见表 1-5。

表 1-5 常用的执行机构

名 称		驱动能源	应用举例
电动机	直流电动机	电能	刮水器
	伺服电动机	电能	节气门开度控制
	步进电动机	电能	节气门开度控制、电子悬架阻尼与刚度控制
控制阀	2/2 开关阀	液压/气动	防抱死制动、驱动控制、AT 变速器
	3/3 开关阀	液压/气动	防抱死制动、驱动控制、AT 变速器
	比例压力阀	液压/气动	起步离合器、CVT 金属带夹紧力控制
	比例流量阀	液压/气动	CVT 连续速比控制
继电器		电能	电磁阀驱动、电动机驱动
电磁铁	比例	电能	电磁离合器、比例液压阀
	开关	电能	开关电磁阀

## 第六节 系统模型

为了实现精确控制，系统模型在设计时是非常重要的。汽车电子控制系统的模型既包括动态模型，也包括静态模型。比较典型的动态模型，如汽车驱动控制的动态模型、汽车整车动力学模型、防抱死制动模型、驱动控制模型等。常用的静态模型，如发动机数据模型、各种液压阀控制电压（电流）与流量/压力输出特性模型。可通过三种不同的方法获得系统的模型，如理论推导、试验标定以及系统辨识。理论模型能准确而全面地描述系统的动态和稳态特性，是深入了解系统本质特性的钥匙。像悬架、ABS 及整车驱动的力学模型等，是建立在牛顿力学基础上的理论模型。然而，在许多场合，导出理论模型就非常困难，有时也是不可能的。如发动机，就很难用一个解析表达式来描述它的全部特性，所以无论发动机控制，还是传动系统与发动机的动态匹配控制，都是采用发动机在稳态工况下的标定数据模型。一般而言，静态数据模型可以解决任意复杂系统的定量描述问题；但如果系统的动态特性起主导作用时，用静态模型描述可能产生较大的误差。系统辨识可以提供包括动态特性在内的参数模型。在实际应用中，人们习惯把系统辨识的动态参数模型与稳态数据模型结合起来，以改善数据模型的精度。

## 第二章 发动机燃油供给的电子控制系统

发动机燃油供给系统的主要任务是根据发动机不同工况的要求，配制相应空燃比和数量的可燃混合气，并连续不断地供入发动机各气缸中，从而保证发动机的正常运转。目前，汽油发动机的燃油供给方式有化油器式和喷射式两种。

### 第一节 概 述

#### 一、传统供油方式

化油器式燃油供给系统是汽油发动机的传统供油方式，其工作原理如图 2-1 所示。化油器式的燃油配给过程是利用空气流经节气门上方喉管处产生的负压将燃油从浮子室中连续吸出，这部分燃油经与空气自行混合后，被吸入各气缸内燃烧做功使发动机运转。

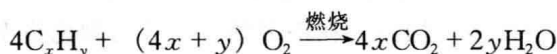
#### 二、可燃混合气的配制要求

通常用空燃比来表示可燃混合气的成分。空燃比对发动机的动力性、经济性及排放性均有较大的影响。下面着重讨论空燃比与发动机性能的关系。

##### 1. 空燃比对发动机性能的影响

通常把吸入发动机气缸的空气与燃油的质量比称作空燃比，一般用 A/F 表示。

燃油供给装置的作用就是向进气管提供一定量的燃油，经与进气管内的空气混合后形成可燃混合气。可燃混合气在气缸内的完全燃烧过程可以用下列化学反应式表示



式中， $C_xH_y$  表示汽油，它是多种碳氢化合物的混合物。

从理论上分析，1kg 汽油完全燃烧变成  $CO_2$  和  $H_2O$  时，需要 14.7kg 的空气，故此时的空燃比为 14.7，称为理论空燃比。在发动机气缸内的实际燃烧过程中，燃烧 1kg 汽油所消耗的空气量不一定正好就是理论所需求的空气量，也就是说系统所提供的实际空气量可能大于也可能小于理论空气量，这与发动机的结构与使用工况密切相关。通常把实际空气量与理论空气量的比值称为过量空气系数，用字母  $\alpha$  表示。当  $\alpha > 1$  时，混合气为稀混合气；当  $\alpha = 1$  时，混合气为理论空燃比混合气；当  $\alpha < 1$  时，混合气为浓混合气。

空燃比对发动机性能的影响如图 2-2a 所示。根据分析得知，当空燃比约为 12.5 ( $\alpha = 0.85$ ) 时，由于其燃烧速度最快，发动机发出的转矩最大，故发动机的动力性最好，所以又称其为功率空燃比。当空燃比约为 16 ( $\alpha = 1.09$ ) 时，由于混合气较稀，有利于汽油完全燃烧，故可降低发动机的油耗，因为此时发动机的经济性最好，故又称其为经济空燃比。

可燃混合气燃烧后排出的废气成分除  $CO_2$  和  $H_2O$  外，还有空气中没有参与燃烧的  $N_2$ ，

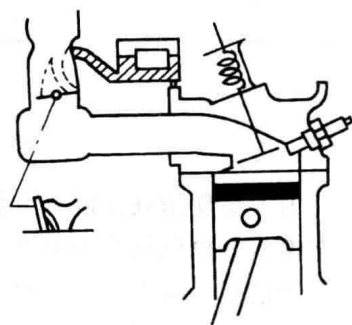


图 2-1 化油器供油方式



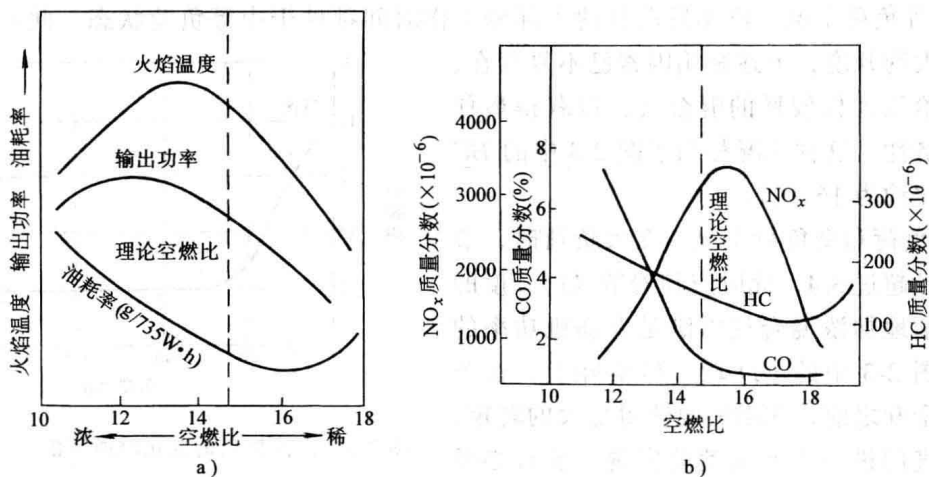


图 2-2 空燃比与发动机转矩、油耗率、有害排放物排放质量分数之间的关系

a) 空燃比与火焰温度、输出功率、油耗率的关系

b) 空燃比与有害排放物质量分数之间的关系

剩余的 O<sub>2</sub>，没有被完全燃烧的 HC，燃烧不完全的 CO 及高温富氧条件下燃烧生成的 NO<sub>x</sub>。此外，从图 2-2b 中还可看到 CO、HC 及 NO<sub>x</sub> 三种有害成分的质量分数随空燃比的变化趋势。其中，CO 和 HC 以理论空燃比为界，随着混合气变浓而逐渐上升，而在空燃比略大于理论空燃比的区域内，CO 及 HC 的质量分数均比较低。但由于 NO<sub>x</sub> 是高温富氧的产物，故在  $\alpha = 1.1$  左右时将出现最大值。

由此可见，发动机的性能与空燃比有着密切的关系，但影响的程度和变化规律各不相同。因此，如何精确控制混合气的空燃比是比较复杂而又非常重要的问题。

## 2. 发动机各种工况对混合气的要求

发动机在实际运行过程中，不同工况下发动机对可燃混合气空燃比的要求是不同的。即使是在同一工况下，由于其在工作范围内是不断变化的，发动机对空燃混合气空燃比的要求也是不同的。下面主要从稳定工况和过渡工况两种情况进行分析。

(1) 稳定工况对混合气的要求 发动机的稳定工况是指发动机已经完全预热，进入正常运转，且在一定时间内转速和负荷没有突然变化的情况。稳定工况又可分为怠速、小负荷、中等负荷、大负荷和全负荷等几种情况。

1) 怠速和小负荷工况。怠速工况是指发动机对外无功率输出且以最低稳定转速运转的情况。此时，混合气燃烧后所作的功，一方面用于克服发动机内部的阻力，另一方面用于保证由发动机驱动且此时需正常工作的设备（如空调压缩机、发电机等设备）的运作，并使发动机保持最低转速稳定运转。汽油机怠速转速一般为 300~1000r/min。在怠速工况下，节气门处于关闭状态，此时，吸入气缸内的可燃混合气不仅数量极少，而且汽油雾化蒸发也较差，进气管中的真空度很高，当进气门开启时，缸内压力仍高于进气管压力，结果使得气缸内的混合气废气率较大。此时，为保证混合气能正常燃烧，就必须提高其浓度，如图 2-3 中的 A 点。随着负荷的增加和节气门略开大而转入小负荷工况时，吸入混合气的品质逐渐改善，所以在小负荷工况时，发动机对混合气成分的要求如图 2-3 中的 AB 线段所示。也就是说，发动机在小负荷运行时，供给混合气也应加浓，但加浓的程度随负荷的增加而减小。



2) 中等负荷工况。汽车发动机的大部分工作时间都处于中等负荷状态。此时, 节气门已有足够大的开度, 上述影响因素已不复存在, 因此可供给发动机较稀的混合气, 以获得最佳的燃油经济性。这种工况相当于图 2-3 中的 BC 段, 空燃比约为 16~17。

3) 大负荷和全负荷工况。在大负荷时, 节气门开度已超过 3/4, 此时应随着节气门开度的增大而逐渐地加浓混合气以满足发动机功率的要求, 如图 2-3 中的 CD 段。但实际上, 在节气门尚未全开之前, 如果需要获得更大的转矩, 只要把节气门进一步开大就能实现, 没有必要

使用功率空燃比来提高功率, 而应当继续使用经济混合气来达到省油的目的。因此, 在节气门全开之前, 所有的部分负荷工况都应按经济混合气配给。只是在全负荷工况时, 节气门已经全开, 此时为了获得该工况下的最大功率而必须供给功率混合气, 如图 2-3 中的 D 点。在从大负荷过渡到全负荷工况的过程中, 混合气的加浓也是逐渐变化的。

(2) 过渡工况对混合气的要求 汽车在运行中的主要过渡工况可分为冷起动、暖机、加减速等三种形式。

1) 冷起动。冷机起动时, 发动机要求供给很浓的混合气, 以保证混合气中有足够的汽油蒸气, 使发动机能够顺利起动。但在冷起动时燃料和空气的温度很低, 汽油蒸发率很小, 为了保证冷起动顺利, 要求混合气的空燃比加浓到 2:1, 才能在气缸内形成可燃混合气。

2) 暖机。发动机冷机起动后, 各气缸开始依次点火而作功, 发动机温度逐渐上升, 即暖机。发动机在暖机过程中, 由于温度较低而燃油雾化较差, 因此也需要 A/F 较小的浓混合气, 而且随着发动机温度增加而空燃比逐渐增大, 直至达到正常工作温度时为止, 发动机进入怠速工况。

3) 加减速。发动机的加速是指发动机的转速突然迅速增加的过程。此时, 驾驶员猛踩加速踏板, 节气门开度突然加大, 进气管压力随之增加。由于汽油的流动惯性和进气管压力增大后汽油蒸发量的减少, 大量的汽油颗粒被沉积在进气管壁面上, 形成厚油膜, 而进入缸内的实际混合气则瞬时被稀释, 严重时会出现过稀, 使发动转速下降。为了避免这一现象发生, 在发动机加速时, 应向进气管喷入一些附加汽油以弥补加速时的暂时稀释, 以获得良好的加速性。

当汽车减速时, 驾驶员迅速松开加速踏板, 节气门突然关闭, 此时由于惯性作用发动机仍保持很高的转速, 因此进气管真空度急剧增高, 促使附着在进气管壁面上的汽油蒸发汽化, 并在空气量不足的情况下进入气缸内, 造成混合气过浓, 严重时甚至熄火。因此, 在发动机减速时, 应供给较稀的混合气, 以避免这一现象产生。

尽管汽车发动机的化油器可利用空气流经喉管时产生的负压, 将汽油连续吸出、雾化、蒸发, 与空气混合后形成可燃混合气, 同时还可通过一些辅助装置, 对不同工况下的混合气浓度进行校正, 可基本满足发动机的工作要求。但这种供油方式无法使发动机在燃烧过程中得到最佳空燃比的混合气。特别是在低温、低速状态下, 汽油的雾化效果较差, 使燃烧室内所获的混合气空燃比有较大的误差, 而且不能保证各缸供油均匀, 造成发动机冷起动性能较

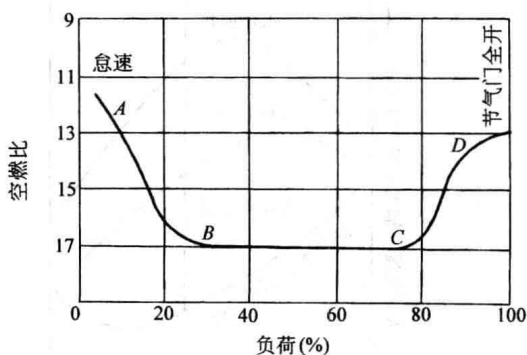


图 2-3 汽油机负荷变化时所需混合气空燃比

差。此外，由于传统化油器无法根据进气量对燃油进行精确计量和控制，因此无法达到现代汽车的设计标准，严重影响了汽油机性能的进一步提高。

根据以上分析，要对发动机的空燃比实现精确控制，以满足发动机在各种工况和条件下所需最佳空燃比的要求，采用化油器式的燃油供给系统是无法做到的。

### 三、供油方式的发展历史

汽油机燃油控制系统多年来一直用化油器。这种系统针对发动机的各种要求，进行过多项改进。针对发动机不同运行工况对空燃比进行准确控制，靠机械调整已经非常困难。在节油和排气净化两个主要因素的制约下，汽油发动机的燃油喷射系统经历了近半个世纪的不断完善和发展，才逐步形成当今性能卓越电子控制燃油喷射系统，并广泛应用于现代汽车的发动机上，如图 2-4 所示。

燃油喷射控制系统是根据直接或间接测量的空气进气量，确定燃烧所需的汽油量并通过控制喷油器开启时间来进行精确配制，使一定量的汽油以一定压力通过喷油器喷射到发动机的进气管或气缸内与吸入的空气形成可燃混合气。特别需要强调的是，由于燃油喷射式的燃油配给方式可以精确控制可燃混合气的空燃比，所以可有效提高和改善发动机的动力性、经济性，达到排气净化的目的。

纵观汽油发动机燃油喷射系统的发展过程，汽油喷射技术早在 20 世纪 30 年代就已应用于航空发动机上，当时是为了解决飞机飞行时位置变化而影响化油器工作的问题，德国 Wright 兄弟首先在他们制造的早期飞机上采用了向进气管连续喷射汽油的混合气制备方法。1934 年，德国研制成功第一架汽油喷射发动机的军用战斗机。二次大战后期，美国开始采用机械式喷射泵向气缸内直接喷射汽油的方法。二次大战后，汽油喷射技术逐渐应用到汽车发动机上。

1952 年，德国 Daimler-Benz 300L 型赛车装用了德国博世（Bosch）公司生产的第一台机械控制式汽油喷射装置。它采用气动式混合调节器控制空燃比，向气缸内直接喷射，喷油压力为 8.0MPa。1956 年，英国卢卡斯（Lucas）公司推出的机械式喷射系统，喷油压力为 0.7MPa，实现在进气管内喷射，装于考文垂·克里玛克斯（Coventry Climax）汽车发动机上。1958 年，德国 Bosch 公司和库格菲舍尔（Kugelfischer）公司共同研制和生产的带燃油量分配器的进气管汽油喷射装置，装备在批量生产的 Mercedes 220S 型轿车上。在 20 世纪 60 年代以前，车用汽油喷射装置大多采用机械式柱塞泵，其结构和工作原理与柴油机喷油泵十分相似，控制功能也是借助于机械装置实现的，其结构复杂、价格贵，因此发展缓慢，技术上无重大突破，应用范围仅局限于赛车和为数不多的豪华型轿车上。1967 年，德国 Bosch 公司研制开发了 K-Jectronic 机械式汽油喷射系统，由电动燃油泵提供 0.36MPa 低压燃油，经燃油量分配器输往各缸进气管上的机械式喷油器，向进气口连续喷射，采用浮板式空气流量计操纵燃油量分配器中的计量柱塞来控制空燃比。后来，在 K-Jectronic 系统的基础上，经改进成为机电组合式的 KE-Jectronic 汽油喷射系统。

电控汽油喷射（EFI）系统的最初设想是从 1953 年美国本迪克斯（Bendix）公司试制电

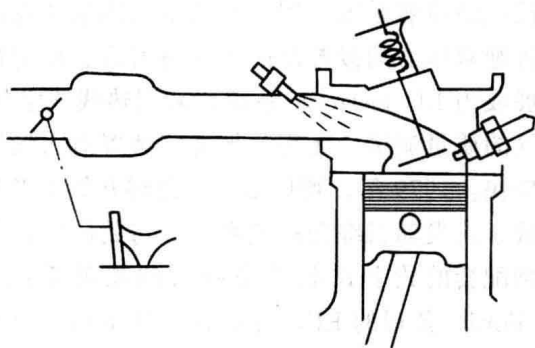


图 2-4 汽油喷射供油方式的构成