

# 汽车电子控制 系统工程

庄继德 著

北京理工大学出版社

责任编辑：倪福卿  
封面设计：王允华

ISBN 7-81045-384-X



9 787810 453844 > ISBN 7-81045-384-X/U · 83 定价：27.50元

# 汽车电子控制系统工程

庄继德 著

北京理工大学出版社

## 内 容 简 介

本书把系统工程具体应用到汽车电子控制中,主要内容有:汽车电子系统和控制概要,汽车系统动力学、模型和控制,控制理论在汽车电子系统中的应用,车辆综合控制,人一车—环境系统控制,车身电子控制系统合成,汽车微机控制系统结构及要素分析,汽车微机控制系统设计。

本书系统总结了国内外有关汽车电子控制的最新资料,并且结合作者本人的研究成果,初步建立了“汽车电子控制系统工程”分支学科的基本框架和体系。

本书内容新颖,涉及多种学科,为便于读者阅读,本书对汽车电子系统的控制理论、系统分析的数学方法和实现控制系统的微电子技术也提供了一些必要的基础知识。

本书可供从事汽车电子工程的技术人员参考,也可作为高等学校汽车专业的教学用书。

## 图书在版编目(CIP)数据

汽车电子控制系统工程/庄继德著. —北京:北京理工大学出版社,1998.5

ISBN 7-81045-384-X

I. 汽… II. 庄… III. 汽车-电子控制-控制系统 IV. U463.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(98)第 05142 号

责任印制:刘京凤 责任校对:陈玉梅

北京理工大学出版社出版发行

(北京市海淀区白石桥路7号)

邮政编码:100081 电话:(010)68912824

各地新华书店经售

国防科工委印刷厂印刷

\*

850×1168 32开本 17.75印张 452千字

1998年5月第1版 1998年5月第1次印刷

印数:1-4000册 定价:27.50元

※图书印装有误,可随时与我社退换※

# 前 言

目前,电子控制技术在汽车上的应用越来越多,其副作用是造成汽车上的电子线路复杂,布局混乱,不仅使汽车成本上升,而且引起车辆的重量增加,故有必要从系统工程的角度对汽车电子控制系统进行重新考虑。

系统工程中的一个基本观点是各个子系统的性能简单相加并不能达到优化整体性能的目的,这对汽车电子控制系统也是如此。

另外从系统工程的观点来看,任何事物都是相互联系的,因此必须研究汽车各电子系统间的相互制约和相互影响,也就是说要从整体性、相关性上解决汽车的电子控制问题。

基于以上几点,有必要把系统工程引入汽车电子控制领域,建立一门新的系统工程分支学科,这就是本书编写的目的。

“汽车电子控制系统工程”分支学科的研究目标应该是从系统工程观点出发,以数学方法和工程方法为工具,综合运用汽车和微电子技术以及自动控制理论,并使三者有机结合,实现汽车电子控制系统的最优化。

据此,本书的内容编排力求符合系统工程的方法步骤,例如先对汽车各个分系统建立模型,并利用模型来分析系统,从而确定分系统的控制目标;接着根据各个分系统的控制目的,利用控制理论选择最佳控制方式;最后协调各个系统的关系,实现综合控制,以保证汽车总体的性能水平。

本书的内容新颖,例如详细论述了车辆的综合控制以及汽车与驾驶员和环境的关系,深入探讨了人一车—环境系统控制方法,这在目前已出版的同类著作中很少见到。本书收集的资料比较全面,例如对车身电子控制系统和车用传感器及执行元件等都作了

很有条理的总结归纳。

本书贯彻理论联系实际的原则,既讨论了汽车微机控制系统设计的一般方法、步骤,又给出了具体例子。

本书内容涉及多种学科,为了便于读者阅读,书中对系统理论和电子控制中的基础知识专门进行了介绍。

本书反映了国内外学者关于汽车电子控制的最新研究结果,其中也包括吉林工业大学汽车学院博士研究生的科研成果,在此谨对他们为本书撰写提供各种文献资料深表谢意。

本书也总结了作者在汽车电子控制和系统工程方面的长期研究结果和一些心得体会。

由于本书的编写是一种探索,特别是其内容涉及面广,限于作者水平,难免有错误或不当之处,恳切地希望读者批评指正。

# 目 录

## 第一章 汽车电子系统和控制概要

第一节 系统和系统工程的基本概念 .....	( 1 )
一、关于系统 .....	( 1 )
二、关于系统工程 .....	( 4 )
第二节 汽车电子控制系统的发展 .....	( 7 )
一、电子技术在汽车上的应用历程 .....	( 7 )
二、汽车电子控制的发展阶段 .....	( 9 )
三、汽车电子控制的发展趋势 .....	( 10 )
第三节 汽车电子控制系统分类 .....	( 12 )
第四节 汽车电子控制系统特征 .....	( 15 )
第五节 汽车电子控制系统工程的基本原则 .....	( 17 )
第六节 汽车用电子产品面临新挑战 .....	( 19 )

## 第二章 系统理论和电子控制的基础知识

第一节 数学基础 .....	( 22 )
一、变量和向量 .....	( 22 )
二、行列式和矩阵 .....	( 25 )
三、线性微分方程和拉普拉斯变换 .....	( 31 )
四、传递函数及其方框图 .....	( 34 )
五、时间响应和频率特性 .....	( 41 )
第二节 微电子学基础 .....	( 44 )
一、半导体 .....	( 44 )
二、基本电子电路 .....	( 56 )
三、门电路 .....	( 60 )

## 第三章 汽车系统动力学、模型和控制

第一节 动力传动系统模型和控制 .....	( 67 )
-----------------------	--------

一、发动机理论模型、系统辨识和控制方式 .....	( 68 )
二、液力变矩器数学模型、闭锁规律和控制系统 .....	( 91 )
三、机械式变速器计算模型和换挡控制 .....	( 98 )
四、差速器结构模型和防滑控制 .....	(105)
五、车轮模型和牵引控制 .....	(110)
<b>第二节 悬架系统动力学分析和控制技术 .....</b>	<b>(114)</b>
一、悬架系统的评价指标 .....	(115)
二、传统的悬架系统模型和被动控制 .....	(118)
三、悬架系统的主动控制技术 .....	(122)
<b>第三节 转向系统动特性分析和控制方法 .....</b>	<b>(137)</b>
一、两轮转向汽车模型和动特性分析 .....	(137)
二、对转向系统控制的要求 .....	(150)
三、四轮转向系统动特性分析和控制方法 .....	(154)
<b>第四节 制动系统模型和电子控制 .....</b>	<b>(171)</b>
一、总制动力模型和控制 .....	(171)
二、制动力分配模型和控制 .....	(173)
三、单轮制动模型和防抱死控制 .....	(177)

## **第四章 控制理论在汽车电子系统中的应用**

<b>第一节 PID 控制 .....</b>	<b>(187)</b>
一、微机 PID 控制系统原理 .....	(187)
二、数据采集和信号恢复 .....	(188)
三、PID 控制规律 .....	(190)
四、PID 参数寻优 .....	(192)
五、变参数 PID 控制 .....	(194)
六、PID 控制在汽车动力传动系统中的应用 .....	(194)
<b>第二节 最优控制 .....</b>	<b>(199)</b>
一、最优控制法的基本概念 .....	(199)
二、最优控制在汽车悬架系统中的应用 .....	(200)
<b>第三节 自适应控制 .....</b>	<b>(207)</b>
一、自适应控制系统原理 .....	(209)
二、自适应控制在半主动悬架系统中的应用 .....	(211)



<b>第四节 滑模控制</b> .....	(214)
一、滑模控制方法 .....	(215)
二、滑模控制在车轮防抱死制动系统中的应用 .....	(216)
<b>第五节 模糊控制</b> .....	(221)
一、模糊数学的基础知识 .....	(221)
二、模糊控制的工作原理 .....	(227)
三、双模控制和带修正因子的模糊控制 .....	(230)
四、模糊控制在汽车离合器电子控制系统中的应用 .....	(232)
<b>第六节 神经网络控制</b> .....	(238)
一、BP 神经网络 .....	(238)
二、人工神经网络在四轮转向控制中的应用 .....	(242)
<b>第七节 预测控制</b> .....	(247)
一、预测控制理论 .....	(247)
二、预测控制在汽车上应用实例 .....	(250)

## **第五章 车辆综合控制**

<b>第一节 综合控制的缘由和分类</b> .....	(255)
一、综合控制的缘由 .....	(255)
二、综合控制的分类 .....	(257)
<b>第二节 综合控制原则</b> .....	(259)
一、改善性能 .....	(259)
二、消除干扰 .....	(261)
三、增加功能 .....	(261)
四、相辅相成 .....	(264)
五、共同使用 .....	(265)
<b>第三节 综合控制用模型</b> .....	(267)
<b>第四节 综合控制规律</b> .....	(271)
一、控制方法选择 .....	(272)
二、动力传动系统建模 .....	(273)
三、控制器设计 .....	(276)
<b>第五节 综合控制系统技术动向</b> .....	(279)
一、动力传动系统综合控制 .....	(280)

二、底盘系统综合控制 .....	(283)
三、整车综合控制 .....	(291)

## 第六章 人—车—环境系统控制

<b>第一节 人—车—环境系统研究动向</b> .....	(300)
一、研究的主要内容 .....	(300)
二、目前进行的重要研究项目 .....	(301)
三、国外最近的研究动向 .....	(303)
<b>第二节 智能驾驶辅助系统</b> .....	(304)
一、汽车驾驶三要素 .....	(304)
二、认识车辆环境的传感器 .....	(305)
三、汽车驾驶辅助装置 .....	(309)
四、先进安全汽车(ASV) .....	(315)
<b>第三节 智能车辆公路系统</b> .....	(318)
一、交通信息和车辆驾驶系统 .....	(318)
二、交通控制和道路安全系统 .....	(320)
三、全球定位和卫星导航系统 .....	(324)
四、自动收费系统 .....	(328)
<b>第四节 人—车系统控制原理</b> .....	(330)
一、人—车系统研究 .....	(330)
二、人对车的模糊控制原则 .....	(331)
三、模糊逻辑与神经网络在人—车系统控制中的应用 .....	(335)
<b>第五节 驾驶辅助系统中的模糊推断结合自学习方法</b> .....	(338)
一、组合方法 .....	(338)
二、具体例子 .....	(339)

## 第七章 车身电子控制系统合成

<b>第一节 车身电子控制系统合成原则</b> .....	(346)
一、围绕总目标,形成层次结构 .....	(347)
二、按功能分组,实现最优结合 .....	(347)
三、强调综合性,注重相互联系 .....	(348)
<b>第二节 舒适娱乐系统</b> .....	(350)

一、环境控制系统 .....	(350)
二、轻便操纵系统 .....	(356)
三、视听娱乐系统 .....	(365)
<b>第三节 安全保护系统 .....</b>	<b>(375)</b>
一、碰撞安全系统 .....	(375)
二、预防安全系统 .....	(377)
三、视野安全系统 .....	(383)
<b>第四节 信息通讯系统 .....</b>	<b>(391)</b>
一、仪表板信息显示系统 .....	(391)
二、故障信息系统 .....	(398)
三、汽车通讯系统 .....	(400)

## **第八章 汽车微机控制系统结构及要素分析**

<b>第一节 汽车微机控制系统结构 .....</b>	<b>(403)</b>
一、基本组成 .....	(403)
二、典型实例 .....	(404)
<b>第二节 车用计算机 .....</b>	<b>(418)</b>
一、微型计算机的基本组成 .....	(418)
二、单片机简介 .....	(419)
<b>第三节 汽车控制用传感器 .....</b>	<b>(421)</b>
一、汽车用传感器种类和要求 .....	(422)
二、发动机控制用传感器 .....	(424)
三、底盘控制用传感器 .....	(435)
四、车身控制用传感器 .....	(445)
五、车用传感器的研究和开发趋向 .....	(449)
<b>第四节 汽车电子系统中的执行元件 .....</b>	<b>(451)</b>
一、电磁线圈在汽车上的应用 .....	(452)
二、电动机在汽车上的应用 .....	(461)
三、电控液压和气压式执行元件在汽车上应用实例 .....	(477)
<b>第五节 输入输出通道 .....</b>	<b>(480)</b>
一、A/D 转换及 D/A 转换 .....	(481)
二、输入通道 .....	(483)

三、输出通道 ..... (486)

## **第九章 汽车微机控制系统设计**

**第一节 汽车微机控制系统设计的一般步骤和方法** ..... (490)

**第二节 汽车微机控制系统可靠性设计** ..... (500)

一、汽车电子装置的特殊工作环境 ..... (500)

二、系统的整体可靠性设计 ..... (502)

三、硬件可靠性设计 ..... (503)

四、软件可靠性设计 ..... (512)

**第三节 汽车微机控制系统设计实例** ..... (515)

一、汽车发动机电子控制系统设计 ..... (515)

二、液力机械变速器电子控制系统设计 ..... (543)

### **主要参考文献**

# 第一章 汽车电子系统 和控制概要

## 第一节 系统和系统工程的基本概念

### 一、关于系统

#### 1. 系统

系统是由相互作用和相互依赖的若干组成部分结合成具有特定功能的有机整体。具体地说,不管什么系统,它都必须满足以下几个条件:

①由两个以上的部件(元素)组成。例如一般的汽车电子系统是由机构、计算机、动力源、传感器和执行机构等五个部件组成。

②元素之间存在着互相制约的有机联系,保持某种功能。实际上系统总是把具有不同性质、不同功能的部件合成,从而产生更高价值的功能。以汽车为例,它本身是由动力传动装置、底盘、车身等多种部件(元素)构成的。将它们组合就可发挥个别部件所不能发挥的功能,而且组合方式又是多种多样。在众多组合中有最佳组合,为了达到最佳组合,就要考虑汽车的使用条件,综合考虑各种功能,并从这点出发进行功能分解,求得各部件的最佳功能(输出、性能、尺寸、强度、重量等)。

③由人工构造的系统必须具有某种目的,例如目前在汽车上广泛采用的 ABS 就是为了防止汽车制动时车轮滑移,其目的是保证汽车行驶安全。

④系统都由三个因素组成:输入、处理及输出。系统的作用就在于由给定的输入经过处理得到一组最优的输出结果。例如对运输车辆系统来说,系统的输入是各种原材料和燃料、润滑油等,系

统的输出是完成任务的作业量,而车辆本身是系统的处理机构。除了系统三因素外,还应该有系统的反馈(图 1-1)。对运输车辆来说,系统的反馈就是对作业质量和各种车辆使用性能的测定。

图 1-2 举例说明车辆悬架系统的三个因素。这里输入是地面功率谱密度,而输出是振动加速度。依靠悬架系统的优化设计或控制就可为给定的地面环境给出最佳的车辆平顺性能。

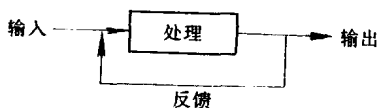


图 1-1 系统三因素和反馈

通常,系统的输入和输出都是物理变量。

## 2. 控制系统

控制就是按照预先给定的目标,改变系统行为或性能的方法学。

控制系统是依靠调节能量输入的方法使某些物理量受到控制的系统。通常,控制系统由控制器、受控对象、反馈测量装置等部分组成。控制器是按预定的控制规律调节能量输入,以使系统产生所希望的输出。

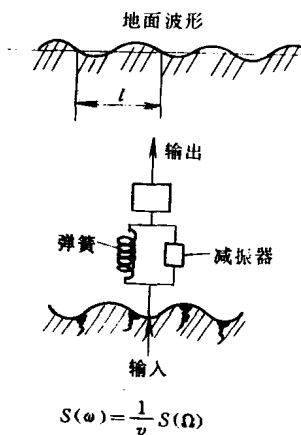


图 1-2 车辆悬架系统三因素

在一般情况下,受控对象包括功率放大器、执行机构等。反馈装置是某种传感器测量单元,它检测输出变量,并将其转换为电信号反馈到系统的输入端。

按照有无反馈测量装置分类,控制系统可分为开环控制系统和闭环(反馈)控制系统。开环控制系统是没有输出反馈的控制系统,如图 1-3(a)所示,这种系统的输入直接供给控制器,并通过控制器对受控对象产生控制作用,反馈控制系统如图 1-3(b)所

示,其输出的全部或部分被反馈到输入端。输入与反馈信号比较后的差值(称做误差信号)加到控制器,再调节受控对象的输出,从而形成了闭环控制回路。因此,反馈控制系统亦称为闭环控制系统。

开环控制系统的主要缺点是精度低,对环境变化和干扰十分敏感。而反馈控制系统与开环控制系统比较,具有一定的优点。例如,精度高,动态性能好,以及抗干扰能力强等。因此在汽车应用领域,绝大多数控制系统的基本结构方案都是由反馈原理组成的。

为了进一步提高反馈控制系统的性能,有些控制系统在反馈控制的基础上,还附加有前馈控制器,如图 1-3(c)所示。这类控制系统称为复合控制系统,其目的是克服系统的动态误差。

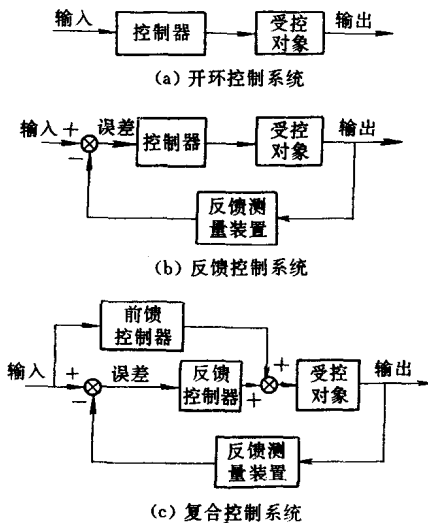


图 1-3 控制系统类型

随着微处理机技术的发展,现在有许多控制系统直接采用微处理机作为控制器,负责采集信号和处理控制规律以及产生控制信号等。这类控制器有的用于开环控制,有的用于闭环控制。采用微处理机作为控制器的控制系统称为计算机控制系统。

评价一个控制系统的好坏,其指标是多种多样的,对每一个具体系统,由于控制对象不同、工作方式不同、完成任务不同,因此对系统性能的要求往往也不完全一样,甚至差异很大。但是,对控制系统的基本要求(即控制系统所具备的基本性能)一般可归纳为:稳定性、快速性、准确性。

(1) **系统的稳定性** 稳定性的要求乃是控制系统正常工作的首要条件,而且是最重要的条件,一个系统如果不稳定或失稳,它的行为便不受预定的约束,受控量将忽大忽小,波动不定,或者使运动发散,以致不能达到原定的工作状态。因此,任何一个控制系统,要想完成令人满意的工作,首先应该是稳定的,也就是说应该具有这样的性质,对给定的输入量,输出量的偏离应该随着时间增长逐渐趋近于零。

(2) **响应的快速性** 快速性是指当系统的输出量与给定的输入量(或同给定输入量相应的稳态输出量)之间产生偏差时,消除这种偏差的快慢程度。

(3) **响应的准确性** 准确性是指在过渡过程结束后的输出量与给定的输入量(或同给定输入量相应的稳态输出量)的偏差。它又称为静态偏差或稳态精度,这是衡量系统工作性能的重要指标。当由一个稳态过渡到另一稳态时,希望输出量尽量接近或复现给定的输入量,或者说要求稳态精度尽可能高。

综上所述,人们要求控制系统中被控对象的行为(响应、输出、动态历程)应尽可能迅速而准确地实现它所应遵循的变化规律。

### 3. 汽车电子控制系统

在汽车工程领域中,存在着大量以动力传动装置、底盘或车身为控制对象,以电子装置(包括微处理机)为控制器的各式各样的控制系统,我们将统称这类控制系统为汽车电子控制系统。

## 二、关于系统工程

### 1. 系统工程



系统工程是系统科学的一个工作领域,而系统科学本身是一门关于“针对目的要求而进行合理的方法学处理”的边缘科学。系统工程的概念不仅包括上面所说的“系统”,也包括“工程”,即产生一定效能的方法。1978年,钱学森就曾指出:“系统工程是组织管理系统的规划、研究、设计、制造、试验和使用的科学方法,是一种对所有系统都具有普遍意义的科学方法”。

也可以说,系统工程是以系统为对象,应用现代数学和电子计算机等工具,对系统的构成要素、组织结构、信息交换和反馈控制等功能进行分析研究,从而达到最优设计、最优控制和最优管理的目标,是为更加合理地研制和运用系统而采取的各种组织管理技术的总称,归根结底是一种工程学的方法论。

概括起来讲,系统工程的本质就是用系统的观点解决最优化问题。所谓系统的观点就是把一个系统内部的各个环节、各个部分看作是互相联系、互相影响、互相制约的;把一个系统的内部和外部环境也看成是互相联系、互相影响、互相制约的。

我们知道,做任何一件事,解决任何一个问题,达到任何一个目的,完成任何一个任务,一般总有不止一种互不相同的方法、途径、办法。而这些方法、途径、办法中又总会有一种或几种是最好的或较好的。这样一个寻找最佳途径的观点和思想,正是系统工程的最基本的精神。

为了使系统达到预定的目的,或者说最佳化,就需要对系统进行分析,而我们在分析一个系统时,总是首先建立它的模型,然后利用这个模型来研究系统。这就是模拟,也可以称作“思考实验”。有了模型,并进行模拟以后,下一步才是最佳化。

除了系统思考和最佳化外,系统工程中还强调可靠性问题和费用效果分析。

可靠性是决定一个系统能否运用的关键指标。大一点的系统如果分解成最基本的元件,可能有成千上万个,其中某些元件性能发生变化或出了毛病,系统的性能就可能降低,甚至完全失灵,这