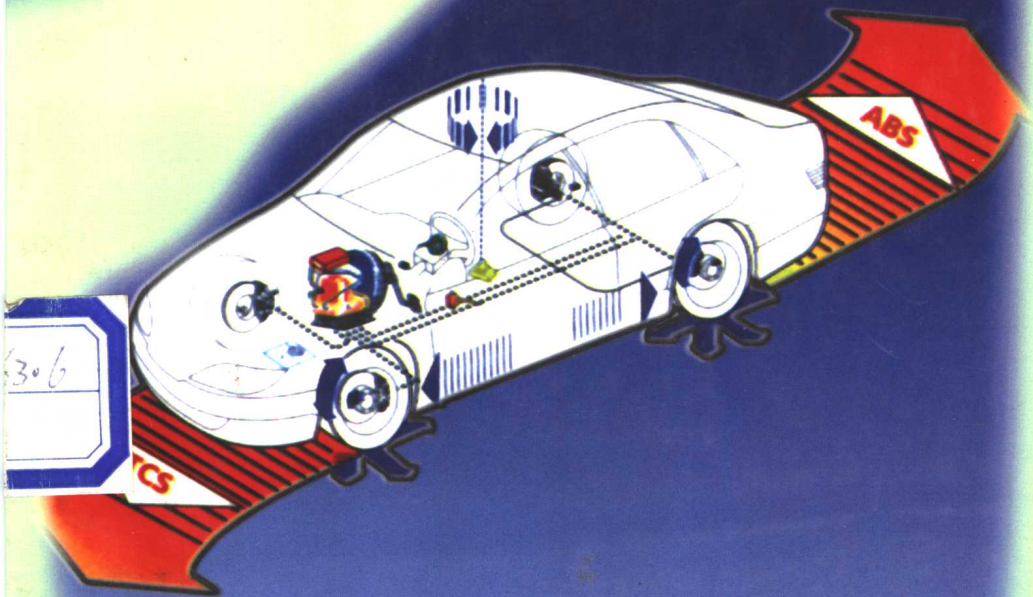


现代汽车电子控制系列丛书 (工程技术类)

# 现代汽车电子控制

孟嗣宗 庄一方 编著



北京理工大学出版社

现代汽车电子控制系列丛书(工程技术类)

# 现代汽车电子控制

孟嗣宗 庄一方 编著

北京理工大学出版社

## 内 容 简 介

本书结合一些车型,如福特、本田、五十铃等,介绍现代汽车电子控制技术,内容包括电控的方式、发动机燃油喷射电子控制、点火电子控制、爆震控制、废气再循环控制、加速和减速控制、怠速控制、电子控制自动变速器、主动式悬架、四轮转向系统、防抱死制动系统、安全气囊、防盗系统等。本书是在参考大量国内外最新资料和专利文献的基础上写成的。除了简要介绍各电控系统的构成外,还着重介绍了各电控系统的控制方法与控制程序流程,这是本书区别于其它同类书籍的最大特点。可供从事汽车设计、制造与研究的技术人员,以及有关专业大、中专学生和教师阅读参考。

## 图书在版编目(CIP)数据

现代汽车电子控制/孟嗣宗等编著. —北京:北京理工大学出版社,1997.7 (1998.5 重印)

(现代汽车电子控制系列丛书:工程技术类)

ISBN 7-81045-288-6

I. 现… II. 孟… III. 汽车-电子控制 IV. U463.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(97)第 10191 号

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

北京房山先锋印刷厂印刷

\*

850×1168 毫米 32 开本 5.25 印张 132 千字

1997 年 7 月第 1 版 1998 年 5 月第 2 次印刷

印数:5001—9000 册 定价:8.00 元

---

※图书印装有误,可随时与我社退换※

# 前 言

现代汽车广泛采用了电子技术,以适应日趋严格的关于汽车节能、排放和安全的法规要求,并满足人们对于汽车舒适、便利的追求。目前,在汽车的发动机控制,汽车底盘的传动、转向、制动、悬架控制,乘员保护,以及导航及安全防盗等系统中都越来越多地应用了电子控制技术。可以说,汽车电子化程度在逐年提高,这是汽车技术发展进程中的一次革命。汽车电子化程度已成为衡量一个国家汽车工业水平的重要标志。

近年来进口的大部分中、高级轿车都带有很多各式各样的电子控制系统。我国企业、高等院校及科研院所也积极开展各种汽车电子技术方面的研究工作。国产汽车正在逐步采用电子控制系统。为了普及汽车电子控制的知识,我们收集了国内外有关汽车电子控制技术的最新资料,特别是查阅了大量专利文献,经过挑选、整理和精简,编写了这本小册子,以适应技术培训、使用维修、科研教学等方面的需求。供从事汽车设计、制造及研究的技术人员,以及有关专业的大、中专学生和教师阅读参考。

由于作者水平有限,加之时间仓促,书中难免有错误和疏漏之处,恳请读者提出批评和建议。至于更详细的资料,可参阅本书后面所附的参考文献,或其它有关的文献。

作 者

1996. 12

# 目 录

|                           |      |
|---------------------------|------|
| 1 概 述 .....               | (1)  |
| 1.1 汽车电控的发展 .....         | (1)  |
| 1.2 汽车电控的方式 .....         | (2)  |
| 1.2.1 开环控制 .....          | (2)  |
| 1.2.2 闭环控制 .....          | (3)  |
| 1.2.3 自适应控制 .....         | (5)  |
| 1.2.4 学习控制 .....          | (7)  |
| 1.2.5 模糊控制 .....          | (8)  |
| 1.3 传感器 .....             | (10) |
| 1.3.1 空气流量传感器 .....       | (10) |
| 1.3.2 电子式温度传感器 .....      | (13) |
| 1.3.3 压力传感器 .....         | (15) |
| 1.3.4 节气门位置传感器 .....      | (16) |
| 1.3.5 车速、转速和曲轴位置传感器 ..... | (19) |
| 1.3.6 氧传感器 .....          | (21) |
| 1.3.7 爆燃传感器 .....         | (23) |
| 1.4 执行器 .....             | (25) |
| 1.4.1 直行式电磁线圈 .....       | (25) |
| 1.4.2 直行式电动机 .....        | (26) |
| 1.4.3 直行式压电执行器 .....      | (27) |
| 1.4.4 旋转式执行器 .....        | (27) |
| 2 发动机的控制系统 .....          | (32) |
| 2.1 燃油喷射的控制 .....         | (32) |
| 2.1.1 汽油喷射控制系统 .....      | (33) |
| 2.1.2 柴油喷射控制系统 .....      | (48) |
| 2.2 点火控制系统 .....          | (51) |

|       |                      |       |
|-------|----------------------|-------|
| 2.2.1 | 无触点电子点火控制器 .....     | (53)  |
| 2.2.2 | 无分电器的电子控制点火系统 .....  | (55)  |
| 2.3   | 爆震控制 .....           | (62)  |
| 2.4   | 废气再循环控制 .....        | (67)  |
| 2.5   | 加速和减速控制 .....        | (73)  |
| 2.6   | 怠速控制 .....           | (77)  |
| 2.7   | 发动机的诊断系统 .....       | (83)  |
| 3     | 汽车底盘的电子控制 .....      | (88)  |
| 3.1   | 电子控制自动变速器(ECT) ..... | (88)  |
| 3.1.1 | 自动变速器电控系统的构成 .....   | (89)  |
| 3.1.2 | 电控自动变速器的控制方法 .....   | (91)  |
| 3.2   | 主动式悬架 .....          | (100) |
| 3.2.1 | 主动式悬架的控制系统 .....     | (100) |
| 3.2.2 | 主动式悬架的控制方法 .....     | (103) |
| 3.3   | 四轮转向(4WS)系统 .....    | (108) |
| 3.3.1 | 电控四轮转向操纵系统 .....     | (108) |
| 3.3.2 | 四轮转向系统的电控 .....      | (112) |
| 3.4   | 防抱死制动系统(ABS) .....   | (119) |
| 3.4.1 | 防抱死制动系统的组成 .....     | (119) |
| 3.4.2 | 防抱死制动控制方法 .....      | (122) |
| 4     | 车身电子控制 .....         | (128) |
| 4.1   | 安全气囊 .....           | (128) |
| 4.1.1 | 气袋驱动部分 .....         | (129) |
| 4.1.2 | 安全气囊控制系统 .....       | (135) |
| 4.2   | 车辆防盗系统 .....         | (143) |
| 4.2.1 | 机械式防盗装置 .....        | (143) |
| 4.2.2 | 电子式防盗报警系统 .....      | (145) |
| 4.2.3 | 车辆定位系统 .....         | (155) |
|       | 参考文献 .....           | (161) |

# 1 概 述

## 1.1 汽车电控的发展

电子技术的发展为汽车技术电子化创造了有利的条件,从 50 年代就开始研究用晶体管控制点火系统的工作;60 年代初,硅元件整流的交流发电机取代了传统的直流发电机,以晶体管电压调节器代替了电磁振动式电压调节器,随后又发展成为集成电路调节器。自 70 年代以来,电子点火系统、电动汽油泵、晶体管闪光器开始广泛应用。后来又出现了以微型计算机控制点火正时、燃油喷射、防抱死制动和自动变速器等项先进的技术。

随着大规模集成电路技术的发展,使微型计算机的结构更简单,并具有体积小、质量轻以及可靠性高等优点,使之在汽车上的应用越来越多。电子技术已广泛用于汽车的发动机控制,汽车底盘的传动、转向、制动,悬架控制,汽车电子仪表,故障诊断以及音响、通讯、导航等方面,汽车各系统电子化的程度逐年增加。汽车技术电子化被认为是汽车技术发展进程中的一次革命,汽车技术电子化的程度已成为衡量一个国家汽车工业水平的重要标志之一。

汽车设计人员认为:电子技术在汽车上的应用已成为汽车设计研究部门考虑汽车结构革新的手段,90 年代汽车各方面的改进对电子技术的依赖将进一步加强,汽车制造商认为:增加汽车电子装备的数量,促进汽车技术电子化是夺取未来汽车市场的有效手段。

据悉,目前美国生产的汽车,平均每辆车中纯电子技术产品为 850 美元,约占整车成本的 10%;欧洲及日本为 425 美元,约占整车成本的 5%~6%。到本世纪末,电子技术产品所占整车成本将

达到 30%，个别车型甚至高达 70%。

## 1.2 汽车电控的方式

如果我们对电控系统的工作过程加以分析就可以看出，所有的控制系统都可以分为三个部分：第一部分是信号的拾取部分，它通常是由若干个具有相同或不同功能的传感器所组成；第二部分是对传感器的各种输入信号进行分析处理，向被控制装置输出控制信号的电控单元（简称 ECU）；第三部分则是根据 ECU 的输出信号具体完成对控制对象的操作的执行器。图 1-1 显示了控制系统的这三个主要部分。

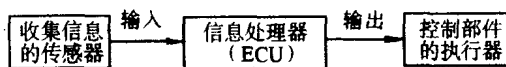


图 1-1 电子控制系统

在现代汽车的控制系统中，为进行同一种控制所设计的传感器和执行器并无实质性区别，但对于 ECU 的设计，各汽车公司却竭尽全力，各显其能。因为设计人员都清楚，在大致相同的硬件条件下，谁能构思出更好的控制方法，设计出更好的控制程序，谁就会在竞争中占有优势。

### 1.2.1 开环控制

在控制系统中，若系统的输出量对系统的控制作用没有影响，则叫做开环控制系统。在开环系统中，既不需要对输出量进行测量，也不需要将输出量反馈到系统输入端与输入量进行比较。图 1-2 表示了这类系统的输入量与输出量之间的关系。

在任何开环控制系统中，系统的输出量都不被用来与参考输入量进行比较。因此，对应于每一个参考输入量，便有一个相应的

固定工作状态与之对应。这样,系统控制的精度便决定于校准的精度。为了满足实际应用的需要,开环控制系统必须精确校准,并且在工作过程中设法保持该校准值不发生变化。当出现扰动时,开环控制系统就不能完成既定的控制任务了。如果输入量与输出量之间的关系已知,并且不存在内部干扰与外界干扰,则可以采用开环控制。显然,这种系统不是通常所说的反馈控制系统。

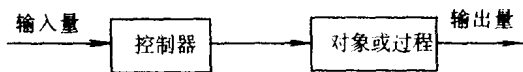


图 1-2 开环控制系统

### 1.2.2 闭环控制

如果我们考虑到人的操作对控制过程的影响,就会发现很难找到完全意义上的开环控制,而闭环控制系统正是一种利用系统本身的调节功能,使系统输出信号对控制产生直接影响的系统。

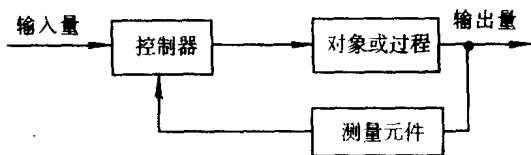


图 1-3 闭环控制系统

因此,闭环控制系统也就是反馈控制系统。输入信号和反馈信号之差,称为误差信号。误差信号加到控制器上,通过控制调节以减小系统的误差,使系统的输出量趋于所希望的值,亦即通过反馈作用来减小系统的误差。图 1-3 表示了闭环控制系统的输入量与输出量之间的关系。

在汽车的控制系统中,闭环控制的应用非常广泛。例如,在对

发动机的燃油喷射量进行控制时,通过设置在排气管中的氧传感器对废气中残留氧气含量的测量,可以确定上一循环中所喷入的燃油量是否适当,控制系统参考氧传感器的输入值,对喷射量进行调整,使之达到理想的控制要求(如图 1-4 所示)。

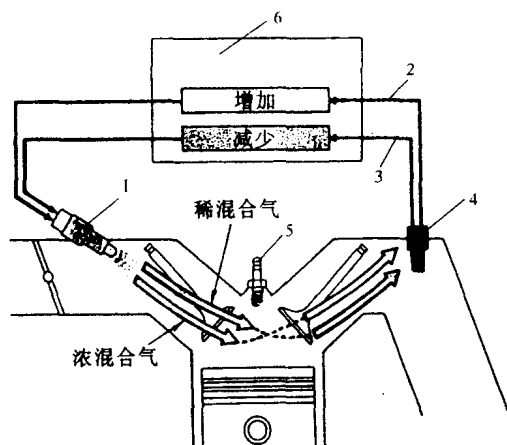


图 1-4 带氧传感器的发动机喷油控制系统

1—燃油喷射器 2—油稀信号 3—油浓信号 4—氧传感器

5—火花塞 6—发动机 ECU 对燃油喷射量的调节

闭环控制系统的优点是采用了反馈控制,因而使系统响应对外界干扰和内部系统参数变化很不敏感。这样,对于给定的控制系统,就有可能采用不太精密的成本低的元件,组成精确的控制系统,相反,在开环系统的情况下,则不可能做到这一点。

从稳定性的观点出发,开环控制系统比较容易建造,因为对开环系统来说,稳定性不是重要问题。而在闭环控制系统中,稳定性始终是一个重要的问题,因为闭环系统可能引起过调现象,从而造成系统作等幅振荡或变幅振荡。

### 1.2.3 自适应控制

由于种种因素的影响,大多数控制系统的动态特性不是恒定不变的。如系统元件随着使用时间的增加而老化,参数和环境的变化都会造成控制系统的动态特性变化。

虽然在反馈控制系统中,系统的微小变化对动态特性的影响可以被减弱,但是当系统的参数和环境变化比较显著时,只有采用具有一定适应能力的系统,才能够满足要求。所谓适应能力,就是系统本身能够随着环境条件或结构的不可预计的变化,自行调整或修改系统参数。这种本身具有适应能力的控制系统,叫做自适应式控制系统。按照其调节方式的不同,自适应控制系统可以分为两种基本形式。

1) 前馈自适应控制 如果通过可测信号能够观测到过程特性的改变,并且预先知道如何根据这些信号来调整控制器,那么就可以应用如图 1-5 所示的前馈自适应系统。这种系统也叫开环自适应,因为它没有从闭环内部引出信号反馈到控制器中。

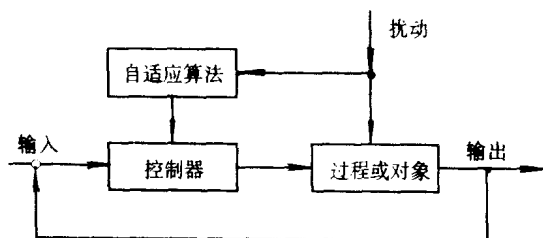


图 1-5 前馈自适应控制系统

在汽车的电控系统中,为适应海拔高度、工作温度等参数的变化,控制系统通常采用这种前馈自适应,因为利用气压表或温度计等即可测出这些参数的变化量,并且可在控制器中预先设定好系统随之所作的改变。

2) 反馈自适应控制 如果过程特性的变化不能直接观测到, 则必须采用反馈自适应。如图 1-6 所示, 根据系统的输入、输出信号等参数, 能够计算出输入控制器的参数, 使之适应过程。

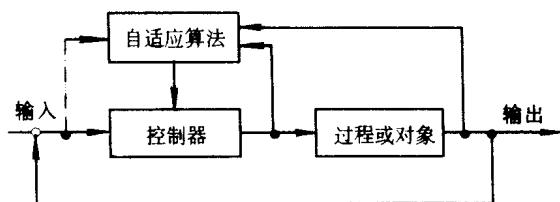


图 1-6 前馈自适应控制系统

反馈自适应系统又可分为两大类。图 1-7 所示为自寻最优自适应系统, 该系统总是试图达到最优的控制性能。它遵循这个设计准则, 并按所测到的过程信息不断修正参数。

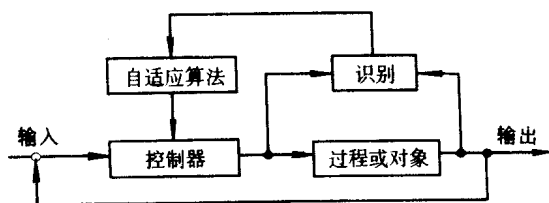


图 1-7 自寻最优自适应控制系统

另一类是模型参考自适应系统, 如图 1-8 所示, 对于给定的输入信号, 系统总是试图使闭环响应接近于参考模型的响应。这种自适应系统的优点是对于一种确定的输入, 它们能适应得很快。

自适应系统目前在汽车的电控中得到了广泛的应用, 如在发动机控制系统中, 氧传感器设置在排气管中, 它的工作温度较高, 而且废气中的颗粒物质很容易将其污染堵塞, 因此氧传感器的老化会引起空燃比的测量误差。采用自适应控制可以将氧传感器的

输出电压与预先储存在控制单元中的过量空气系统表相比较,以确定氧传感器是否老化和老化的程度,通过选用适当的修正系数对氧传感器的输出值进行校准,使其输出值接近器件老化前的正常情况,从而增加了控制系统的工作可靠性。

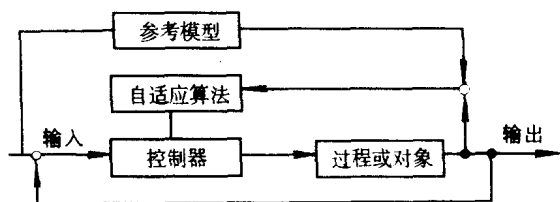


图 1-8 模型参考自适应控制系统

#### 1.2.4 学习控制

在控制系统中,如果把操作人员看作为控制器,他们对输入量与输出量作出比较,并且根据它们的差值(即误差)进行修正控制,那么许多开环系统都可以转化成闭环控制系统。

如果我们要对这种人工控制的闭环控制系统进行分析,我们就会碰到一个要求列出描述人的控制动作的微分方程式的困难问题。在这种情况下,操作人员的学习能力是许多复杂的因素之一。当操作者积累了丰富的经验后,他就会起一个较好的控制器的作用。如果设计的控制系统其自身便具有这种在控制过程中不断完善的学习能力,便称之为学习控制系统。

例如,在发动机的电控系统中,为了改善爆震或空燃比控制时的响应特性,从 80 年代中期开始,研究人员便尝试将学习控制用于控制系统中,将某一反馈值(如氧传感器的输出电压)与一个参考值的偏差数据存入一个存储变换表的一个特定区域中,该区域与执行反馈时的发动机工作条件相对应。当发动机进入了与上述工作条件相同的工况时,则使用已存储的数据去修正控制值,从而

很快将被控制参数控制到一个最佳值。

### 1.2.5 模糊控制

模糊控制是近 20 年才开始发展起来的一门新学科,它与以前的控制方法有着本质的区别。无论是在开环、闭环、适应或学习控制系统中,往往需要建立精确的数学模型(传递函数和状态方程),但是在对如汽车等复杂的对象进行控制时,研究人员发现,有些按照建立的数学模型进行控制所取得的效果却不如由人来控制做得更好。因此,研究人员很自然地就提出了“人是怎样来进行控制的”这个新的课题,这就导致了模糊控制理论的诞生。

研究表明,人的控制一般建立在直观和经验的基础上,这种方法可以看作是一组探索式的判定规则,它具有如下的特点:

第一,由于人脑在判定中,具有“不精确”这个固有的特性,人的控制动作往往是不稳定、不一致和主观的。因此也就很难精确解释操作人员的控制行为。

第二,操作人员不但能对温度、高度等简单的度量作出反应,而且也能对颜色、气味等复杂的度量模式和一些根本没法度量的量进行观察,并且作出迅速的反应。这些观察是具有主观性的,但是作出控制判定的,正是根据这一点。

一个有经验的控制工作者,通过对控制动作的观察以及跟操作人员的交谈讨论,就能把操作人员的控制方法描述出来,所得到的是一组用语言表达出来的定性的、不精确的判定规则,我们可以把它叫做“模糊算法”。如果采用一种模糊算法语言,就可以写出程序来,它便可被看成是一个“模糊控制器”。因此,模糊控制实际上是吸取了人脑识别和判断的特点,使之运用于计算机,让部分自然语言能够作为算法语言直接进入程序,多次重复这个程序,就可能趋近预期的控制目标,完成较过去更为复杂的控制任务。其过程如图 1-9 所示。

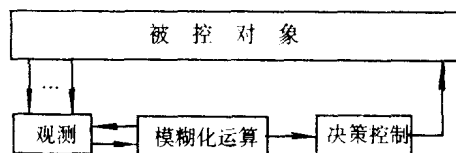


图 1-9 模糊控制系统

我们知道在对汽车的控制中,有些情况(如油气混合过程、缸内燃烧过程等)的过程很难找到其精确的模型,即使能找出模型,但通常会因模型过于复杂也很难被用于实时控制。而利用模糊控制方法,则不需要预先知道过程精确的数学模型。在控制过程中,首先要把由各种传感器测出的精确量转化成为适于模糊运算的模糊量,然后将这些量在模糊控制器中加以运算,最后再将运算结果中的模糊量转化为精确量,以便对各执行器进行具体的操作控制。

如上所述,在模糊控制中,存在着一个模糊量和精确量之间相互转化的问题。比如,控制车速的快慢时,车速客观上是一个精确量,但人脑对车速的判别却带有模糊特征,因此,我们要用模糊语言确定模糊控制规则:“如果”当“车速很高”、或“车速比较高”、或“车速略高”、或“车速适当”、或“车速略低”、或“车速比较低”、或“车速很低”等等,“那么”应怎么样控制,这样的模糊控制问题,常常要分成几级来处理,将模糊量转化为分成若干级的精确量的范围来处理。

对于车速是“高”还是“低”虽然是一个模糊量,但可以根据各种人的体会、经验和测试结果,运用模糊统计的方法得出车速对“高”或“低”的隶属程度,进而求出其隶属函数和隶属函数曲线。利用隶属函数建立模糊数学模型,实现模糊控制。

在控制过程中,条件语句常成组出现,如果用  $A$ 、 $B$  代表两个传感器信号,而  $Y$  代表某控制变量,则:

条件 1:若  $A$  小且  $B$  大,则  $Y$  大。

条件 2:若  $A$  小且  $B$  小,则  $Y$  小。

条件 3:若  $A$  大且  $B$  大,则  $Y$  略微减小。

条件 4:若  $A$  大且  $B$  很大,则转入语句  $N$  ( $N$  为另一控制过程)。

这些条件语句组成了多套控制策略。如图 1-10 所示,如果第一次决策落在目标集合  $G$  上,第二次观测后的决策输出落在子集  $S$  上,而  $S$  在  $G$  内,并且更接近目标值,则称效果比前一次更精细,重复此过程就可以使控制自动达到优化的目的。试验表明:模糊控制器的实际控制结果甚至比常用的一般控制器的控制质量更好。

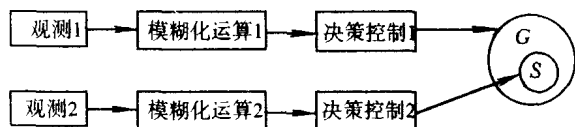


图 1-10 模糊控制的决策过程

与汽车 100 多年的发展历史相比,模糊控制论很年轻,还有很多工作要做。我们有理由相信,随着时代的发展,模糊控制在汽车技术方面的应用将会日臻完善。

## 1.3 传感器

### 1.3.1 空气流量传感器

空气流量传感器用来测定流入发动机的空气量,安装在进气管中,有机械式、卡门旋涡式等。

1) 机械式空气流量传感器 如图 1-11 所示,在矩形的进气管中,装有矩形测量片,测量片在流动空气的压力和复位弹簧的力矩综合作用下,可转过一定角度,其偏转角度与空气流量成正比。通过与测量片同轴联动的电位器将其变为电压信号输出,信号的

高低与测量片偏转角大小成正比,补偿片起阻尼作用,防止因进气歧管内的压力波动造成测量片的转过角度不稳定,以保证测量精度。

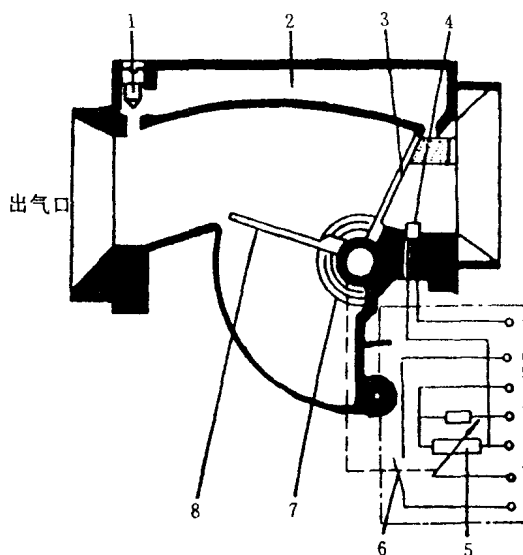


图 1-11 机械式空气流量传感器

- 1—调节螺钉 2—旁通道 3—测量片 4—空气温度传感器  
5—电位器 6—燃油泵开关 7—复位弹簧 8—补偿片

2) 卡门旋涡式空气流量传感器 如图 1-12 所示,这种传感器装在空气滤清器罩内,外壳由塑料制成,内部由卡门旋涡发生柱、超声波发生器和接收器等部件组成。

当空气流过发生柱时,在其后方发生两列并排的旋涡,称为卡门旋涡。由于产生的卡门旋涡的频率  $f$ 、空气流速  $V$  和旋涡发生器柱体直径  $d$  满足如下关系:

$$f = 0.2 \frac{V}{d}$$