

高等职业教育“十二五”规划教材
21世纪高等职业教育汽车类规划教材

QICHE DIANKONG
FADONGJI JISHU

汽车电控 发动机技术

(下册)

刘 军 赵 峰/主 编
苏 健/副主编



天津大学出版社
TIANJIN UNIVERSITY PUBLISHING HOUSE

高等职业教育“十二五”规划教材
21 世纪高等职业教育汽车类规划教材

汽车电控发动机技术(下册)

主 编 刘 军 赵 峰
副主编 苏 健

 天津大学出版社
TIANJIN UNIVERSITY PRESS

内容提要

本书系统地介绍了电喷发动机的知识和工作原理,在此基础上,对电喷发动机的维修设备、方法以及电喷发动机的故障诊断做了全面介绍,随后分别对电喷车的常见传感器工作原理和检测方法、执行器的工作过程和故障处理方法做了介绍。重点介绍了轿车的电喷发动机燃油供给系统、点火系统、怠速控制系统、排放控制系统的构造和原理以及常见故障的原因及诊断方法,使读者在了解构造、原理的基础上,学会快速诊断常见故障和疑难故障的方法,并在分析和解决各种疑难故障的过程中能够举一反三。

本书内容翔实、通俗易懂、实用性强,适合一般电喷发动机汽车维修人员阅读,也可作为相关院校汽车专业的辅导教材使用。

图书在版编目(CIP)数据

汽车电控发动机技术(下册)/刘军,陈礼编著. —天津:
天津大学出版社,2012. ?

ISBN 978-7-5618-? -?

I. ①汽… II. ①刘… ②陈… III. ①英语-词汇-自
学参考资料 IV. ①?

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第? 号

出版发行	天津大学出版社
出 版 人	杨欢
地 址	天津市卫津路 92 号天津大学内(邮编:300072)
电 话	发行部:022-27403647 邮购部:022-27402742
网 址	publish.tju.edu.cn
印 刷	昌黎太阳红彩色印刷有限责任公司
经 销	全国各地新华书店
开 本	140mm × 203mm
印 张	?
字 数	? 千
版 次	2012 年? 月第 1 版
印 次	2012 年? 月第 1 次
印 数	1 - ? 000
定 价	? .00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页等质量问题,烦请向我社发行部门联系调换

版权所有 侵权必究

前 言

汽车作为人类文明发展的标志,从 1886 年发明至今,已有 100 多年的历史。近几年,我国的汽车生产量和销售量都迅速增长,全国汽车拥有量大幅度上升。世界知名汽车企业进入国内汽车市场,促使了国内汽车技术的进步。汽车保有量的急剧增加,汽车技术又不断更新,使得汽车运用与维修行业的车源、车种、服务对象以及维修作业形式都发生了新的变化,使得技能型、应用型人才非常紧缺。

进入 21 世纪,轿车成为我国汽车大家庭的主体,已经快速进入家庭。国内大量新型轿车的问世,国外进口轿车大量的涌入,使车辆故障及其检测变得更加复杂。结合我院(四川科技职业学院)教学实情和国家对高职高专学生的具体要求,本书在简要介绍当代汽车发动机构造、原理的基础上,对汽车发动机控制技术常见和疑难故障进行概括、总结和归纳,从中找出故障的规律性,帮助维修人员提高故障诊断的技巧。书中特别对各种传感器及关键电控元件的位置和作用、彼此间的关系、应检测的数据、常见故障的原因、常见故障的诊断与检测方法等,做了详尽的阐述,使读者能举一反三,学会综合运用各种检测手段,对电喷发动机燃油系统、点火系统、怠速控制系统、控制单元以及各种综合性故障进行快速诊断与检测,以达到在最短的时间内准确诊断故障的目的。

本书注重系统性、实用性,涉及内容较深、范围较广,并将大量案例分析和理论探讨相结合,注重理论与实际相结合,注重故障的分析,在维修理论上力求有所突破,技能上与岗位要求紧密结合,全面提高学生的职业道德、职业能力和综合素质。根据我国汽车工业和汽车维修行业的客观需求及劳动力市场的特点,着力提高学生的操作技能和服务能力。本书可作为汽车维修人员的培训教材,也可供广大汽车维修工自学提高之用。

本书由刘军、赵峰任主编,苏健任副主编,李红梅、刘保媛子、陈礼参编。由于编者水平所限,书中难免有不妥和错误之处,恳请读者批评指正。

编者

2013 年 1 月

目 录

绪 论	(1)
0.1 发动机电控技术的发展	(1)
0.2 电控技术在发动机上的应用	(1)
0.3 发动机电控燃油喷射系统	(3)
第 1 章 电喷发动机分类	(6)
1.1 按空气计量分类	(6)
1.2 按喷射方式分类	(6)
1.3 按喷射位置分类	(7)
思考题	(8)
第 2 章 传感器及执行器	(9)
2.1 空气计量传感器	(9)
2.2 节气门开度传感器	(22)
2.3 节气门体	(27)
2.4 空气阀	(30)
2.5 怠速控制阀	(32)
2.6 水温传感器	(35)
2.7 氧传感器	(36)
2.8 转速传感器	(45)
2.9 附加传感器	(51)
2.10 电动汽油泵	(54)
2.11 燃油压力调节器和燃油压力脉动减振器	(59)
2.12 喷油器	(60)
2.13 冷启动喷油器	(63)
思考题	(66)
第 3 章 电控原理	(67)
3.1 电控系统的结构与功用	(67)
3.2 电控系统信息数据传输	(71)
思考题	(72)
第 4 章 辅助装置	(73)
4.1 进气增压装置	(73)
4.2 可变进气装置	(74)
4.3 可变配气相位装置	(75)
4.4 EGR 阀	(77)

4.5 燃油蒸气回收装置	(78)
4.6 二次空气喷射装置	(79)
思考题	(80)
第5章 电脑控制点火系统	(81)
5.1 电控点火系统的功能	(81)
5.2 传统点火系统的组成与工作原理	(81)
5.3 电控点火系统的类型、组成及工作原理	(87)
5.4 电子点火系统	(92)
5.5 电子点火系统的种类及组成	(95)
5.6 微机控制点火系统	(99)
5.7 电控点火系统主要元件的构造与检修	(104)
思考题	(109)
第6章 常见故障诊断与案例分析	(110)
6.1 组件测试及故障现象	(110)
6.2 喷油器电路检测	(111)
6.3 怠速控制阀电路检测	(114)
6.4 燃料泵继电器电路检测	(117)
6.5 系统波形分析	(119)
思考题	(143)
第7章 常见维修诊断设备的使用	(144)
7.1 汽车万用表	(144)
7.2 汽车示波器	(146)
思考题	(148)
附录	(149)
附录1 共轨系统技术	(149)
附录2 汽车英文缩略语	(160)
参考文献	(162)

绪 论

0.1 发动机电控技术的发展

汽车是当今社会最重要的交通工具之一。从 20 世纪 90 年代以来,汽车已步入了一个全新的电子时代,电子技术在现代汽车上的应用越来越广泛,汽车电子化程度越来越高。发动机的电子控制不仅从单一项目的控制发展到多项复合集中控制,而且涵盖汽油机、柴油机及近年来的混合动力等各种发动机。

汽车喷射技术早在 20 世纪 30 年代已应用于航空发动机上,第二次世界大战后,汽车喷射技术逐渐应用到汽车发动机上。

20 世纪 60 年代,德国博世(BOSCH) 公司成功研制出 K-Jetronic 机械式汽油喷射系统。后来,在 K-Jetronic 系统的基础上,经改进成为 KE-Jetronic 机电式汽油喷射系统。1957 年,德国博世公司研制开发了 D 型电子控制汽油喷射系统,开创了汽车喷射电子控制的新时代。

20 世纪 70 年代,美国通用(GM) 汽车公司采用了集成电路(IC) 点火装置和高能点火(HEI) 系统,并在分电器内装上点火控制线路,使点火系统成为一体。

1976 年,美国克莱斯勒汽车公司首创电子控制点火系统。系统中使用了模拟计算机,根据输入的空气温度、进气温度、水温、转速和负荷,计算出最佳点火时刻。1977 年,通用公司开始使用数字点火时刻控制系统。同年,福特公司将这种发动机上的电子控制系统扩展到同时控制废气循环和二次空气喷射上。

1979 年,德国博世公司开始生产集电子点火和电控汽油喷射系统于一体的 Motronic 发动机集中控制系统。与此同时,美国和日本各大汽车公司也相继开发出与各自车型配套的电控发动机汽油喷射系统。

0.2 电控技术在发动机上的应用

随着电子技术的飞速发展,运用在现代汽车中的新技术、新装置层出不穷。这些新装置由品种繁多的传感器、电子控制单元(ECU)、微处理器、存储器、I/O 接口、执行器、显示器和设计软件集合而成,可完成极其复杂的多元控制过程,以满足汽车技术性能要求。目前,在现代汽车发动机上,集中控制系统的应用最为广泛。在集中控制系统中,各种不同控制系统的传感器很多可以通用,控制功能集中,大大简化了系统结构,降低了生产成本,提高了控制效率。集中控制系统在不同形式的发动机上,其控制项目和组合形式各有异同,如大多数发动机点火控制系统均由发动机 ECU 统一控制,但有的发动机则单独由点火 ECU 控制,大多数发动机怠速控制系统由发动机 ECU 控制,但有的发动机则将定速、怠速、加速控制系统共同由一个 ECU 控制。表 0-1 列出了发动机上应用较多的电子控制系统。

表 0-1 发动机电子控制系统

汽油机电控系统	电控燃油喷射装置(EFI)	喷油量
		喷射正时
		汽油停供
	电控点火装置(ESA)	点火提前角
		闭合角与恒流
		爆震
	怠速控制(ISC)	
	排放控制	曲轴箱油气排放
		燃油蒸气排放
		排气再循环
	进气控制	动力阀控制
		涡流控制阀
	增压控制	
	警告提示	涡轮增压器指示灯
		催化剂过热报警
柴油机电控系统	燃油喷射控制	喷油量控制
		喷油正时控制
		喷油压力控制
	怠速控制	
	进气控制	
	增压控制	
	排放控制	
	启动控制	
	故障自诊断与失效保护	

上述各控制系统既独立地执行相应的控制功能,相互间又紧密地联系,快速地交换大量信息资料。所以发动机电子控制系统是一个非常复杂的综合控制系统,其配线也相当复杂。近年来汽车上已经开始应用 CAN 总线代替传统配线,它仅用一根光纤导线就可以使信息交换迅速进行,并且传递速度高、信息量大,且可同时提供与所有系统相关的许多信息,配线大大简化。

0.3 发动机电控燃油喷射系统

发动机电子控制应用非常普遍,它可以实现低油耗、低污染,减小动力传递系统的冲击,减轻驾驶员的疲劳,提高汽车的动力性、经济性和舒适性。现介绍目前汽油机上常用的电子控制装置及控制内容。

1. 电控燃油喷射装置(EFI)

电控燃油喷射装置的控制主要包括喷油量、喷油正时、燃油停供及燃油泵等方面。

1) 喷油量控制

电子控制单元(ECU) 将发动机转速和负荷信号作为主控信号,确定基本喷油量,并根据其他有关输入信号加以修正,最后确定总喷油量。

2) 喷油正时控制

在电控燃油喷射系统中,当采用与发动机转动同步的顺序独立喷射方式时,ECU 不仅要控制喷油量,还要根据发动机各缸的点火顺序,将喷油控制在一个最佳时刻。

3) 减速断油及限速断油控制

(1) 减速断油控制。汽车行驶中,驾驶员快速松开加速踏板时,ECU 将会切断燃油喷射控制电路,停止喷油,以降低减速时 HC 和 CO 的排放量。当发动机转速下降至一特定转速时,又恢复供油。

(2) 限速断油控制。发动机加速时,如发动机转速超过安全转速或汽车车速超过设定的最高车速,ECU 将会在临界转速时切断燃油喷射控制电路,停止喷油,防止超速。

4) 燃油泵控制

当接通点火开关后,ECU 将控制燃油泵工作 2 ~ 3 s,以建立必需的油压,此时若不启动发动机,ECU 将切断燃油泵控制电路,燃油泵停止工作。在发动机启动和运转过程中,ECU 控制燃油泵保持正常运转。

2. 电控点火装置(ESA)

电控点火装置的控制主要包括点火提前角、闭合角与恒流及爆震等方面。

1) 点火提前角控制

在 ECU 中,首先存储记忆发动机在各种工况及运行条件下最理想的点火提前角。发动机运转时,ECU 根据发动机的转速(N_e) 和负荷(VTA) 信号,确定基本点火提前角,并根据其他有关信号(爆震传感器、水温传感器等信号) 进行修正,最后确定点火提前角,并向电子点火控制器输出点火指示信号,以控制点火系统的工作。

2) 闭合角与恒流控制

为保证点火线圈初级电路有足够大的断开电流,以产生足够高的次级电压,同时也要防止通电时间过长使点火线圈过热而损坏,ECU 可根据蓄电池电压及转速等信号,控制点火线圈初级电路的通电时间。在高能点火装置中,还增加了恒流控制电路,以使初级电流在极短时间内迅速增长到额定值,减小转速对次级电压的影响,改善点火特性。

3) 爆震控制

当 ECU 根据爆震传感器输出的信号检测到爆震现象时,立即修正点火提前角,以避免爆震的发生。在检测到爆震时,立即把点火提前角滞后,以避免爆震的发生;在无爆震时,则

将点火时刻提前。

3. 怠速控制(ISC)

怠速控制通常是指发动机在无负荷情况下的稳定转速控制。发动机怠速转速过高,会增加发动机的燃油消耗量;发动机怠速转速过低,则发动机容易熄火。发动机怠速控制通常包括启动后的怠速控制、暖机过程的怠速控制、负荷变化时的怠速控制、减速时的怠速控制等。无论发动机处于哪种工况,都由 ECU 控制怠速控制阀,使发动机在最佳怠速转速下运转。

4. 排放控制系统

排放控制系统包括曲轴箱油气排放控制系统、燃油蒸气排放控制系统、排气再循环控制系统。

1) 曲轴箱油气控制系统

曲轴箱油气控制系统(图 0-4)用于防止窜缸混合气从曲轴箱泄漏出来进入大气。其中新鲜空气由空气滤清器经过通风软管送入,在曲轴箱内和窜缸混合气混合。曲轴箱内的窜缸混合气经过强制曲轴箱通风阀进入进气歧管。强制曲轴箱通风阀的柱塞升程由进气歧管的真空度决定,以调整窜缸混合气的流量。

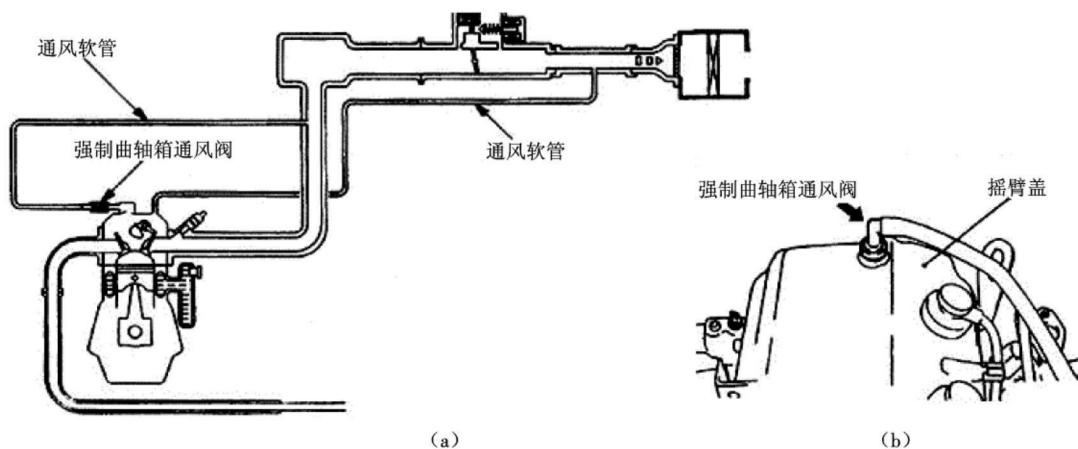


图 0-4 曲轴箱油气控制系统

(a) 曲轴箱强制通风原理图; (b) 曲轴箱强制通风位置图

2) 燃油蒸气排放控制系统

该系统用以防止燃油在燃油箱内蒸发并由此排入大气。燃油蒸气由燃油箱经过燃油箱控制阀和蒸气软管暂时流入碳罐储存。车辆运行时,在碳罐内的燃油蒸气流入进气歧管并进入燃烧室。

3) 排气再循环控制系统

该系统可降低 NO_x 的排放量。当空气和燃气混合燃烧温度高时,在燃烧室内,将产生大量的 NO_x 。因此,该再循环系统从汽缸盖排气口到燃烧室,经过进气歧管降低空气和燃油混合气温度,以减小 NO_x 的发生量。

5. 进气控制

1) 动力阀控制

发动机在不同负荷下,ECU 控制真空电磁阀,来改变进气量,从而改善发动机的输出转矩与动力。

2) 涡流控制阀

ECU 根据发动机的负荷和转速信号,控制真空电磁阀,以控制涡流控制阀的开闭,改善发动机大负荷下的充气效率,提高输出转矩和动力。

6. 增压控制

ECU 根据进气压力传感器(MAP) 检测的进气压力信号控制释压电磁阀,以控制排气通路切换阀,改变排气通路的走向,从而控制废气涡轮增压器进入工作或停止工作。

7. 警告提示

ECU 控制各种指示和警告装置,显示有关控制系统的工作状况,当控制系统出现如氧传感器失效、催化剂过热、冷却水温度过高等故障时,能及时发出警告信号。

8. 自我诊断与报警系统

当控制系统出现故障时,ECU 将会点亮仪表板上的“检查发动机”(CHECK ENGINE) 灯,提醒驾驶员注意发动机已出现故障,并将故障信息储存到 ECU 中,通过一定程序,能将故障码及有关信息资料调出,供检修用。

第 1 章 电喷发动机分类

1.1 按空气计量分类

1.1.1 空气速密式(D 式)

它是通过检测进气歧管的压力(真空度)和发动机的转速,推算发动机吸入的空气量,以计算燃油流量。D 式系统是最早的、典型的多点压力感应式喷射系统。由于空气在进气歧管中的压力波动,该方法的测量精度稍低。

1.1.2 空气流量式(L 式)

它是由空气流量传感器直接测量进入进气歧管的空气流量。它是由 D 式燃油喷射系统改进设计而来。所不同的是它以叶片式空气流量传感器取代 D 式系统的歧管压力传感器。它可以直接测量发动机的进气量,提高了喷油量的控制精度。

1.1.3 空气流速式(LE 式)

它是通过测量单位时间内空气涡流的数量,来计算空气气流的流速和流量的。其代表是卡门旋涡式空气流量计。

1.1.4 空气质量式(LH 式)

它是直接测量进入汽缸内空气的质量,将该空气的质量转换成电信号,输送给 ECU,由 ECU 根据空气的质量计算出与之相适应的喷油量,以控制混合气的空燃比在最佳值。现在常用的有热线式、热膜式等,它们能更精确地控制空燃比。

1.2 按喷射方式分类

1.2.1 同时断续喷射

所谓同时断续喷射是指在发动机运转期间,在同一个指令下由 ECU 控制各缸所有的喷油器同时开启并同时关闭的喷射方式。

1.2.2 分组喷射

所谓分组喷射是将喷油器分组,由 ECU 分别发出喷油指令控制各组喷油器喷射燃油,同一组喷油器同时喷油。目前大部分中低档轿车采用这种喷射方式,如丰田皇冠 3.0、起亚千里马等轿车。

1.3 按喷射位置分类

1.3.1 缸外喷射

缸外喷射又叫进气管喷射,是指将供油系统的燃油通过喷油器喷射在汽缸外面节气门或进气门附近进气管内的喷射。目前汽车燃油喷射系统大多采用的是进气管喷射,与缸内喷射相比较,进气管喷射对发动机机体的设计改动较小,喷油器不受燃烧的高温和高压的直接影响。

1.3.2 缸内喷射

缸内喷射又称为缸内直接喷射,是指将供油系统的燃油通过喷油器直接喷射到汽缸内部的喷射。缸内喷射系统均为多点喷射系统,这种系统将喷油器安装在汽缸盖上,并以较高的压力将汽油直接喷入汽缸。由于汽油的黏度低,故喷射压力较高。福特汽车公司研究表明:缸内喷射的优越性在于能够实现稀薄混合燃烧,有利于降低燃油消耗和控制排放。因此缸内喷射是发动机燃油喷射技术的发展方向,目前许多汽车公司正在致力于攻克喷油器工作寿命等关键技术问题。

1.3.3 高压分轨喷射

进入20世纪80年代以后,各种电子控制分配泵相继问世。电子控制分配泵都是在VE型分配泵的基础上实现电子控制的。电子控制分配泵由三大部分组成:传感器、计算机和执行器。

电子控制分配泵燃油系统是根据各种传感器的信息检测出发动机的实际运行状态,由计算机完成如下控制:喷油量控制、喷油时间控制、怠速转速控制、故障诊断功能、故障应急功能。

按喷油量、喷油时间的控制方法,高压分轨喷射系统可以分为位置控制式和时间控制式两类。

1.3.4 高压共轨喷射

高压共轨喷射系统将高压油的产生和喷油控制分别独立进行,高压油存储在一个可以控制压力的共轨管内,而喷油量、喷油时间等参数直接由装在各个汽缸上的喷油器控制。因此,共轨喷射系统的喷油压力、喷油正时、喷油速率都柔性可调。

在共轨式蓄压器喷射系统中,压力的产生和燃油的喷射是完全分开的。喷射压力的产生与发动机转速和喷油量毫不相干。燃油以一定的压力储存在高压蓄压器(即所谓的“共轨”)内,时刻准备着进行喷射。喷油量由驾车人确定,喷射起点、喷射持续时间和喷射压力由ECU计算出来。然后,ECU触发电磁阀,使每一个汽缸的喷油器(喷油单元)相应地进行喷射。高压共轨喷射的传感器组成见表1-1。

表 1-1 高压共轨喷射的传感器组成

传感器类型		传感器	形式
磁电式		曲轴转速传感器	数字量
		凸轮相位传感器	数字量
变阻式	热敏电阻	水温度、机油温度、燃油温度、进气温度传感器等	模拟量
	滑线变阻器	加速踏板位置传感器	模拟量
	应变片变阻器	轨压、机油压力、进气压力传感器等	模拟量

思 考 题

- (1) 简述电喷发动机的类型。
- (2) L 式电喷发动机与 D 式电喷发动机有什么不同？

第2章 传感器及执行器

2.1 空气计量传感器

空气流量计安装在空气滤清器和节气门之间,用来测量进入汽缸内空气量的多少,然后将进气量信号转换成电气信号输入电控单元,从而由电控单元计算出喷油量,控制喷油器向节气门室(进气管)喷入与进气量成最佳比例的燃油。

目前汽车上所用的空气流量计主要有叶片式空气流量计、卡门涡旋式空气流量计、真空度-转速(压感式)空气流量计、热线式空气流量计和热膜式空气流量计五种。其中真空度-转速空气流量计仅为一只进气歧管压力传感器。

2.1.1 空气流量式计量原理

图2-1所示是叶片式空气流量计的结构,图2-2所示是叶片式空气流量计的空气通道,图2-3所示是叶片式空气流量计的电位计部分结构。

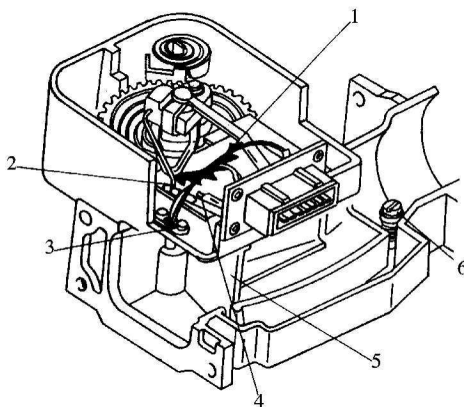


图2-1 叶片式空气流量计的结构

1—电位计;2—电动汽油泵可动触点;3—进气温度传感器;
4—电动汽油泵固定触点;5—测量板(叶片);6—怠速调整螺钉

叶片式空气流量计由测量板(叶片)、缓冲板、阻尼室、旁通气道、混合比调整螺钉、回位弹簧等组成,此外内部还设有电动汽油开关及进气温度传感器等。

在有的叶片式空气流量计中,还有一电动汽油泵开关,其作用是当点火接通而发动机不转动时,控制电动汽油泵不工作。一旦空气流量计中有空气流过,此开关即闭合,电动汽油泵便开始工作。这种有电动汽油泵开关的空气流量计的电插座一般为7脚。

叶片式空气流量计电位计是以电位变化检测空气量的装置,它与空气流量计测量板同轴安装,能把因测量板开度而产生的滑动电阻变化转换为电压信号,并送给电控单元,如图

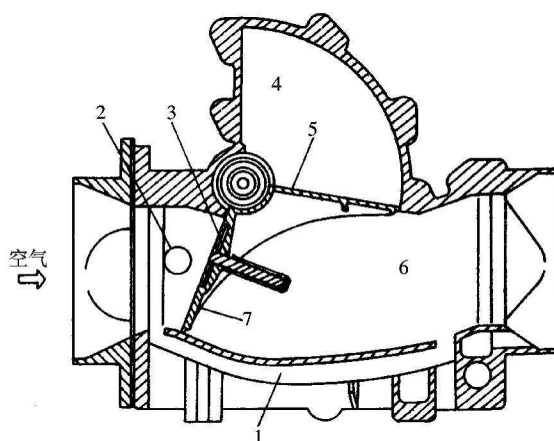


图 2-2 叶片式空气流量计的空气通道

1—旁通道; 2—进气温度传感器; 3—阀门; 4—阻尼室;
5—缓冲板; 6—主空气通道; 7—测量板(叶片)

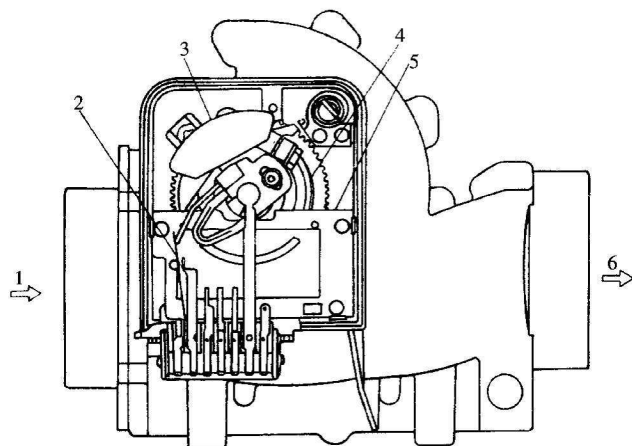


图 2-3 叶片式空气流量计的电位计部分结构

1—空气进口; 2—电动汽油泵接点; 3—平衡块; 4—回位弹簧;
5—电位计部分; 6—空气出口

2-4(a) 所示。图 2-4(b) 所示是其工作原理图, 在测量板的回转轴上, 装有一根螺旋回位弹簧, 当吸入空气推开测量板的力与弹簧变形后的回位力相平衡时, 测量板即停止转动。用电位计检测出测量板的转动角度, 即可得知空气流量。

叶片式空气流量计电位计的内部电路如图 2-5 所示, 电位计检测空气量有电压比与电压值两种方式。

在 VB 端子上加有蓄电池电压而形成电压 VC, 那么检测出来的是 VB—E2 与 VC—VS 的电压比。

电压值检测方法的原理是吸入空气量 $\propto$ 随电位计动作变化的电压值。当在 VC 端子加上一定的电压(+5 V) 时, 电位计滑动触头的动作随吸入空气量变化, VS—E2 间的电压变化直接作为吸入空气量信息, 把滑动触头电压送入电控单元并进行 A/D 变换, 即可以数字

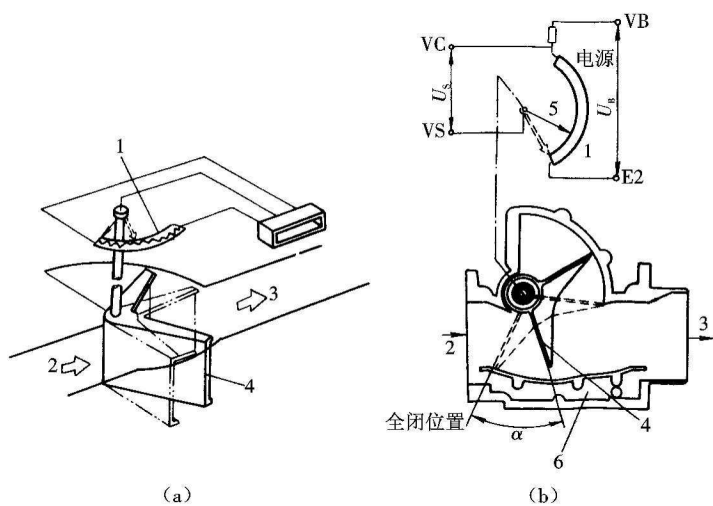


图 2-4 电位计与测量板的安装关系及叶片式空气流量计的工作原理
(a) 电位计与测量板的安装关系; (b) 叶片式空气流量计的工作原理
1—电位计; 2—来自空气滤清器的空气; 3—到发动机的空气; 4—测量板;
5—电位计滑动触头; 6—旁通气道

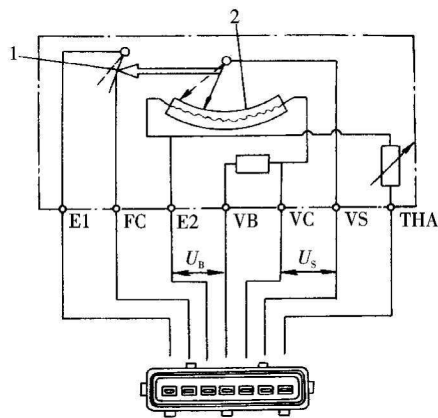


图 2-5 电位计内部电路
1—电动汽油泵开关; 2—电位计

信号输出检测结果。滑动触头电压与吸入空气量成正比, 呈线性关系。

表 2-1 为电压比与电压值两种检测方式的对比表。

由于电路设计上的不同, 叶片式空气流量计的电压输出形式有两种, 一种是电压值 U_s 随进气量的增加而升高; 另一种则是电压值 U_s 随进气量的增加而降低, 如图 2-6 所示。