

# 汽车发动机控制系统及诊断维修

行文凯 编



化学工业出版社

· 北京 ·

本书从最一般的系统出发,详细介绍包括电子系统在内的汽车发动机控制原理、结构和故障诊断。第1章~第6章讲述发动机控制系统原理和结构,第7章~第10章重点讲述故障诊断。模块化的组织安排和由浅入深的内容讲述,极大地方便了读者和教学。书中大量的插图和配备的动画课件使本来十分抽象的内容变得形象生动和容易理解。本书能够满足汽车维修专业的高职高专及中职学生和在职者及自学者的需要。

### 图书在版编目(CIP)数据

汽车发动机控制系统及诊断维修/行文凯编. —北京:  
化学工业出版社, 2007. 8  
ISBN 978-7-122-00861-9

I. 汽… II. 行… III. ①汽车-发动机-控制系统-  
理论②汽车-发动机-控制系统-维修 IV. U472.43

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第110001号

---

责任编辑:周红

文字编辑:陈喆

责任校对:李林

装帧设计:韩飞

---

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印刷:大厂聚鑫印刷有限责任公司

装订:三河市延风装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张12 $\frac{1}{4}$  字数298千字 2007年9月北京第1版第1次印刷

---

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

---

定 价:30.00元(配光盘)

版权所有 违者必究

# 前 言

本书前言较长，是因为我从正文中提炼出了一些最重要的信息，希望读者能耐下心来阅读。

## (1) 为何要写这本书

汽车控制技术为汽车带来根本性变革的同时，也成为困扰汽车维修者的重要故障源。而对汽车维修业这一巨大的就业机会，人们竞相学习汽车控制技术，此类书籍也层出不穷。但是，作为多年的汽车技术教育者，每当我与学生为找不到合适的图书资料而无奈时，就会有写作本书的冲动。

① 我要以“发动机控制”概念代替现代普遍使用的“发动机电子控制”概念，重新梳理这门技术的内容和体系。因为真实的发动机控制系统是典型的机电一体化系统，单独强调电子控制不利于对发动机实际控制原理的理解和故障的诊断维修。

尽管汽车发动机的电子系统越来越复杂，但许多权威部门多年来统计的资料分析结果表明，在所有发动机故障中，真正属于电子系统的故障只占很小的比例。许多本属于真空、液压、机械方面的故障被误判了。在原理、结构和诊断方面，如果不把电子部件放在发动机各个实际系统中，连同其他相关部件一起进行研究和阐述，结果很容易造成认识上的以偏概全，或无法正确说明诊断思路和方法，甚至导致错误的结果。

② 发动机控制技术一日千里，发展很快。作为基本内容，我要从维修角度讲述发动机控制技术，教会读者如何以科学的思路和规范的程序对发动机控制系统的故障进行正确的诊断和维修，在尽可能长的时间内，以不变应万变。

③ 我要把发动机控制系统分成一些子系统，每个子系统由原理结构和诊断维修两个模块组成。教师可以根据需要选择教授的内容和顺序。诊断维修模块可以结合实验、实操、学习讲授。

④ 每个原理结构性模块的内容按难易程度，递进介绍，教师可以按学生基础和需要进行取舍。

⑤ 尽量采用图示方法表达或辅助表达要说明的对象。配以 Flash 动画光盘课件，尽可能帮助所有对汽车控制技术感兴趣者，多理解一些实质性问题。

## (2) 这本书讲些什么

本书第 1 章~第 6 章讲述发动机控制系统及其部件的结构和工作原理，第 7 章~第 10 章讲述对应的诊断维修。这完全是考虑目前大多数培训（教学），由于硬件缺乏等原因，不得不把课堂教学和实际操作分开进行的现实。如果有条件，当然应该边学理论边实践。本书的安排便于在实践过程中随时回过头来矫正或加深对理论的理解和认识。

和某些维修工作不同，对于发动机控制系统，千万不要笼统地认为过多地学习理论没有什么用处。涉及系统工作原理、控制关系和零部件的外部特性等，学习掌握的内容越广泛、越透彻，越好。当进入本书的实践环节后，读者会更深刻地体会到这一点。

本书按发动机各个系统讲述原理、结构和故障诊断，是因为如何诊断出存在于这些系统中的具体故障源，是困扰发动机控制系统故障诊断的主要问题。基本的故障诊断方法是分系

统按步骤进行的，但在深入了解控制部件在系统中所起作用的同时，也不要忘记它们的故障也可能影响到其他系统的正常工作。如曲轴（凸轮轴）位置传感器故障直接影响点火系统，同时也可能影响进气门前燃油喷射系统的喷油正时。

### （3）如何读这本书

其实，人人都有自己的读书方法，有效就行。下面谈一谈本书的一项主要内容：故障诊断思路。我相信：当真的面对客户时，读者会重新翻看这些内容。

人们常常习惯于根据症状来试着检测或判断故障，靠猜想并通过零部件替代来进行所谓故障的快速推定。就一般而言，这是不正确的诊断方式，其结果常常导致较低的维修效率和较高的维修成本。

本书第7章~第10章虽然介绍的是发动机具体系统故障的诊断，但是仔细品味一下，不难找出一些对任何系统、任何故障都适用的诊断程序和检测方法。在诊断具体的故障前，应该遵循以下步骤或工作标准。

① 与顾客沟通。善于倾听顾客的描述，不要忽视细节。分辨哪些是事实，哪些是误解。应该预先设定顾客询问表，在提问中可以获得一些顾客不能主动告知的信息。同时，应当避免被顾客误导，或根据片面的经验和发生的事实做出判断。要了解故障发生时的气候、时间、距离和车速等汽车工况。如症状是出现在冷启动时，还是在运行了一段时间或距离以后；间隔多长时间发生一次；症状发生在停车、加速、减速、怠速、转向、爬坡，还是满载等；故障发生前后是否做过其他的维修、安装或更换。在对故障症状充分了解的基础上，就故障诊断检测程序与顾客沟通，以取得顾客的理解和帮助。

② 验证故障。在不加重故障的前提下，尽可能通过故障重现来证实故障确实存在并且符合描述。除了常规检查，通常还需要与顾客一起试驾车来重现故障。不要试图简化这一过程，尽管重现故障有时需要花费很长时间。

③ 资源利用。任何时候，不要忘记利用周围可以利用的资源。维修手册可能有所需要的检测程序；有关这个车型或制造厂的公告期刊（包括电子版）可能已经有处理这个故障的办法；求助于同事、网友或网络论坛等都可能带来意外的启发和帮助。使用检测维修工具和设备是必需的，良好的人际关系和规范的使用习惯，有助于保证及时得到并正确使用这些资源。

④ 判定故障出在哪个系统。为了隔离系统，锁定故障范围，需要对所有可能导致故障的系统进行最直接的检测。如不能启动发动机，可以直接检测汽缸火花或燃油喷射，判断故障是否出自点火系统或燃油系统，还可以直接检测汽缸压力和进气真空，判断是机械还是泄漏方面的问题。切记不要片面，也许看起来似乎不相干的系统，正是导致故障的原因。如某些车型，油箱盖松动或遗失可能造成发动机进气歧管绝对压力失常或引起故障码。要进行最广泛的测试，最终的目的就是排除所有与故障无关的系统。

⑤ 将注意力集中在锁定的系统上，进一步缩小故障范围。尽量从导致故障的因果关系上，将系统分为若干组成部分或子系统，用隔离法和（或）替代法排除那些与故障无关的部分或子系统。如点火系统由初级电路和次级电路组成，初级电路故障一般导致所有的汽缸点火都不正常，而次级电路故障多数情况下只会使特定的汽缸点火异常。进一步，如果初级电路没有问题，而所有的汽缸点火都不正常，那一定是共用的点火线圈坏了。应特别注意在做出缩小范围的诊断时，应再次检查故障因果关系的唯一性。

⑥ 零部件测试，最后确定故障源。无论目的是缩小故障范围，还是自认为已经找到了

故障源，都需要进行这种精确测试。根据条件，零部件测试可以随车测量，也可以把它们从汽车上拆下来，进行独立检测。随车测量又可以分为静态测量（不启动发动机）和动态测量（在发动机运转时测量）。即使经过验证证实某个零部件有故障，也应该尽可能找到导致这一故障的原因。

⑦ 再次和顾客沟通。在确定了故障之后，应尽早告知顾客维修所需的费用，解释需要更换什么以及更换的原因，在取得顾客同意后进行维修。如果在维修中出现涉及顾客利益的变化，也需要提前和顾客沟通。

⑧ 检验并确认维修结果。这是为了证实故障确实被排除。维修后应该使汽车达到正常使用的性能水平，这包括恢复设置和必要的保养。总之不要埋下再次发生同样故障的隐患。也不要把专业工作或认为无关紧要的琐事，如清扫车内的地板，留给顾客去做。即使没有直接与顾客接触，仍旧需要同有关人员沟通，以便能将信息清楚地传递给顾客。

本书虽然讲的是发动机控制系统，但是有句话说：在诊断发动机故障时，应该把发动机当作没有控制系统去诊断。这话听起来虽然有些偏激，但读者确实不要以为熟悉了控制系统，就一定能解决复杂的发动机故障。要做到这一点，还必须具备以下发动机常规诊断检测技能。

① 发动机泄漏。包括进排气、机油、冷却液、燃油、汽缸内燃烧物。

② 发动机噪声。包括主轴承、连杆轴承、活塞、活塞销、活塞环、配气机构、凸轮轴、燃烧、飞轮和减振器。

③ 消耗。包括机油、燃油、冷却液。

④ 机油压力。

⑤ 冷却液温度。

⑥ 发动机排气分析。

⑦ 冷却系统。包括阀、冷却风扇、电机电路等。

⑧ 汽缸真空度。

⑨ 汽缸压缩压力。

⑩ 气门间隙。

⑪ 配气正时。

⑫ 基本点火正时。

⑬ 汽缸动力平衡。

⑭ 发电、蓄电、启动及其继电器等常规电器部件。

读者或许注意到了，前言中没有对知识体系做出圈定和概括。对于像发动机控制这样的应用技术在我国还是新领域，人们都还在讨论和探索，不符合界定的条件；技术本身发展也很快；任何教育形式都应该为学习者留有足够的讨论和想象空间，而不要人为地加条条框框去束缚。

最后热烈欢迎读者就本书的所有部分进行讨论。

编者

2007年8月

# 目 录

<b>第 1 章 点火系统</b> .....	1	2.1.1 燃油喷射系统的基本功能 .....	31
1.1 点火系统的发展及其类型 .....	1	2.1.2 燃油喷射系统的组成 .....	32
1.2 点火系统的功能 .....	3	2.2 燃油喷射系统的发展 .....	35
1.3 点火提前角的控制 .....	4	2.2.1 早期的燃油喷射系统 .....	35
1.3.1 影响点火提前角的主要因素 .....	4	2.2.2 现代燃油喷射系统 .....	37
1.3.2 点火提前角的确定 .....	4	2.3 燃油喷射系统的分类和主要特点 .....	41
1.4 爆燃传感器 (KS) .....	7	2.4 喷油量 (喷油脉宽) 的控制 .....	42
1.4.1 半导体压电型爆燃传感器 .....	7	2.4.1 启动过程中喷油脉宽的控制 .....	43
1.4.2 磁致伸缩式爆燃传感器 .....	7	2.4.2 启动后喷油脉宽的确定 .....	44
1.5 点火线圈初级通电时间 (通电闭合角) 的控制 .....	8	2.4.3 启动后某些稳定工况下喷油脉宽 的控制方法 .....	47
1.6 曲轴 (凸轮轴) 位置与转速传感器 .....	9	2.4.4 断油控制 .....	48
1.6.1 电磁式曲轴 (凸轮轴) 位置与转 速传感器工作原理 .....	10	2.5 喷油正时控制 .....	49
1.6.2 电磁式曲轴 (凸轮轴) 位置与转 速传感器的应用 .....	11	2.5.1 同时喷射 .....	49
1.6.3 霍尔式曲轴 (凸轮轴) 位置与转 速传感器原理 .....	12	2.5.2 分组喷射 .....	50
1.6.4 霍尔式曲轴 (凸轮轴) 位置与转 速传感器的应用 .....	13	2.5.3 顺序喷射 .....	51
1.6.5 光电式曲轴 (凸轮轴) 位置与转 速传感器工作原理 .....	16	2.6 发动机点火与燃油喷射集成控制 系统 .....	51
1.6.6 光电式曲轴 (凸轮轴) 位置与转 速传感器的应用 .....	17	2.7 喷油器 .....	52
1.7 无分电器点火系统的火花分配 .....	20	2.7.1 喷油器分类和结构 .....	53
1.8 无分电器点火系统 .....	23	2.7.2 喷油器的工作特性 .....	57
1.8.1 使用凸轮轴位置传感器和双缸同 时点火方式的无分电器点火 系统 .....	23	2.7.3 喷油器的燃油喷射量特性 .....	58
1.8.2 使用两个曲轴位置传感器和双缸 同时点火方式的无分电器点火 系统 .....	27	2.7.4 喷油器的驱动方式 .....	58
1.8.3 使用凸轮轴位置传感器和单独点 火方式的无分电器点火系统 .....	28	2.7.5 冷启动喷油器与温度时间开关 .....	59
<b>第 2 章 燃油喷射系统</b> .....	31	2.8 电动燃油泵 .....	60
2.1 概述 .....	31	2.8.1 电动燃油泵的分类与结构 .....	60
		2.8.2 无回油供油系统 .....	62
		2.8.3 燃油泵的控制 .....	63
		2.9 典型的节气门体喷射系统 .....	67
		2.10 进气门前燃油喷射系统 (多点燃油 喷射系统) .....	69
		2.10.1 进气门前燃油喷射系统的结构 特点 .....	69
		2.10.2 进气门前燃油喷射系统的控制 .....	71
		2.10.3 典型的顺序燃油喷射系统 .....	73
<b>第 3 章 进气控制系统</b> .....	77		
3.1 怠速控制系统 .....	77		

3.1.1 用附加空气阀实现冷启动和快速暖车 .....	79	模式 .....	110
3.1.2 步进电机式怠速空气阀 (IACV) .....	80	4.5.3 脉冲式二次空气喷射系统 .....	111
3.1.3 旋转滑阀式怠速空气阀 (IACV) .....	81	<b>第5章 自诊断系统</b> .....	112
3.1.4 占空比控制阀式怠速空气阀 (IACV) .....	83	5.1 OBD II 的基本要求 .....	112
3.1.5 电磁阀控制真空阀式怠速空气阀 .....	83	5.2 OBD II 的监控功能 .....	113
3.1.6 IACV 阀、附加空气阀和启动空气阀一起使用的怠速控制系统 .....	83	5.3 OBD II 的行程和行驶周期 .....	117
3.1.7 节气门直动式怠速控制系统 .....	84	5.4 OBD II 的诊断插座 .....	118
3.2 电子节气门 .....	85	5.5 OBD II 的故障码 .....	119
3.3 巡航控制系统 .....	85	5.6 OBD II 的测试模式 .....	121
3.3.1 概述 .....	85	5.7 常用的 OBD II 术语 .....	121
3.3.2 巡航控制系统的其他部件 .....	86	5.8 自诊断系统的局限性 .....	122
3.3.3 巡航控制操作 .....	87	5.9 自诊断系统的备用功能 .....	123
3.3.4 自适应巡航控制 .....	87	<b>第6章 电子控制系统</b> .....	124
3.4 谐波进气控制系统 .....	88	6.1 电子控制系统的组成和工作原理 .....	124
3.4.1 概述 .....	88	6.2 电压信号 .....	126
3.4.2 常见的谐波进气方式及其控制 .....	88	6.3 传感器 .....	127
3.5 进气增压控制系统 .....	90	6.4 电子控制单元 (ECU) .....	127
3.5.1 概述 .....	90	6.5 ECU 的学习功能 .....	129
3.5.2 进气增压控制系统 .....	91	6.6 执行器 .....	129
3.6 进气可变凸轮控制 (VTEC) .....	93	6.7 空气流量传感器 .....	130
<b>第4章 排放控制系统</b> .....	96	6.7.1 叶片式空气流量传感器 .....	131
4.1 燃油蒸发控制 (EVAP) 系统 .....	97	6.7.2 卡门涡旋式空气流量传感器 .....	132
4.1.1 早期的炭罐燃油蒸发控制系统 .....	97	6.7.3 热线式空气流量传感器 .....	133
4.1.2 炭罐电磁阀燃油蒸发控制系统 .....	98	6.7.4 热膜式空气流量传感器 .....	135
4.2 曲轴箱强制通风 (PCV) 系统 .....	99	6.8 进气歧管绝对压力传感器 (MAP) .....	135
4.3 废气再循环 (EGR) 控制系统 .....	100	6.8.1 半导体压敏电阻式进气歧管绝对压力传感器 .....	135
4.3.1 早期的 EGR 控制 .....	101	6.8.2 电容式进气歧管绝对压力传感器 .....	135
4.3.2 EGR 系统的电子控制 .....	101	6.9 发动机冷却液温度 (ECT) 传感器 .....	136
4.3.3 常见的 EGR 阀 .....	103	6.10 进气温度 (IAT) 传感器 .....	137
4.4 催化转化器及其氧传感器反馈 (闭环) 控制系统 .....	105	6.11 节气门位置传感器 (TPS) .....	137
4.4.1 催化转化器 .....	106	6.11.1 线性输出型节气门位置传感器 .....	137
4.4.2 氧传感器 .....	107	6.11.2 开关量输出型节气门位置传感器 .....	138
4.4.3 氧传感器反馈 (闭环) 控制 .....	108	6.12 车速传感器 (VSS) .....	139
4.5 二次空气喷射系统 .....	109	6.13 空挡开关 (NDS) .....	139
4.5.1 泵式二次空气喷射系统 .....	109	6.14 制动开关 .....	139
4.5.2 泵式二次空气喷射系统的工作		6.15 空调 (A/C) 开关 .....	139
		6.16 动力转向 (PS) 开关 .....	140
		6.17 发电机输出电压监控 .....	140

<b>第 7 章 点火系统的诊断与维修</b> .....	141	9.4.3 数字式 EGR 阀测试 .....	165
7.1 故障诊断概述 .....	141	9.4.4 线性 EGR 阀的测试 .....	165
7.2 直观检查 .....	141	9.4.5 EGR 真空调节电磁阀检测 .....	166
7.3 分电器点火系统的快速诊断 .....	143	9.5 催化转换器 .....	166
7.4 用示波器测试次级和初级电压并分析故障 .....	144	9.6 氧传感器的检测 .....	167
7.5 由爆燃传感器引起的发动机故障检查 .....	146	9.7 二次空气喷射系统 (AIR) 诊断维修 .....	168
7.6 用模拟环境测试诊断间断点火故障 ..	147	<b>第 10 章 电子控制系统的诊断维修</b> .....	170
7.7 有关部件的检测 .....	148	10.1 诊断思路 .....	170
7.8 无分电器点火系统故障诊断特点 .....	150	10.2 维修注意事项 .....	170
<b>第 8 章 燃油喷射及其进气系统的诊断维修</b> .....	152	10.3 电路故障诊断 .....	171
8.1 进气系统的基本检查 .....	153	10.3.1 故障形式和原因 .....	171
8.2 怠速控制系统检测 .....	153	10.3.2 电子控制单元 (ECU) 电源线 and 地线的诊断 .....	172
8.2.1 步进电机式怠速旁通空气控制阀 (IACV) 的测试 .....	154	10.4 自诊断 .....	173
8.2.2 旋转滑阀式怠速空气控制阀 (IACV) 的测试 .....	154	10.5 自诊断举例 .....	173
8.3 燃油供给系统的基本检查 .....	155	10.5.1 通用汽车 .....	173
8.4 喷油器的检查和测试 .....	156	10.5.2 福特汽车 .....	176
8.4.1 泄漏检查 .....	156	10.5.3 克莱斯勒汽车 .....	177
8.4.2 电压和电阻检测 .....	157	10.5.4 丰田汽车 .....	178
8.4.3 平衡测试 .....	157	10.5.5 日产汽车 .....	178
8.4.4 示波器检查 .....	159	10.6 空气流量传感器的检测 .....	179
<b>第 9 章 排放控制系统的诊断维修</b> .....	161	10.6.1 叶片式空气流量传感器 .....	179
9.1 排放测试 (I/M240) .....	161	10.6.2 卡门涡旋式空气流量传感器 .....	180
9.1.1 尾气测试 .....	161	10.6.3 热线式空气流量传感器 .....	181
9.1.2 其他测试检查 .....	162	10.6.4 热膜式空气流量传感器 .....	182
9.2 蒸发排放控制 (EVAP) 系统的诊断和维修 .....	162	10.7 进气歧管绝对压力 (MAP) 传感器的检测 .....	182
9.3 曲轴箱强制通风 (PCV) 系统的诊断和维修 .....	163	10.7.1 压敏电阻式进气歧管绝对压力传感器 .....	182
9.4 EGR 系统故障的诊断维修 .....	164	10.7.2 电容式进气歧管绝对压力传感器 .....	183
9.4.1 故障现象及初步诊断 .....	164	10.8 发动机进气温度和冷却液 (ECT) 温度传感器的检测 .....	183
9.4.2 EGR 阀测试 .....	165	10.9 节气门位置传感器检测 .....	184
		<b>参考文献</b> .....	186

# 第1章 点火系统

## 1.1 点火系统的发展及其类型

点火系统是发动机上较早采用计算机控制的系统之一。从20世纪20~70年代的50年间,如图1-1所示,发动机都装备触点断电分电器式点火系统,一直变化不大。20世纪70年代,如图1-2所示,推出由传感器触发电火模块(电子触点断电)的分电器式点火系统,但仍采用分电器调整和控制点火提前。20世纪70年代末至80年代初,开始采用由计算机

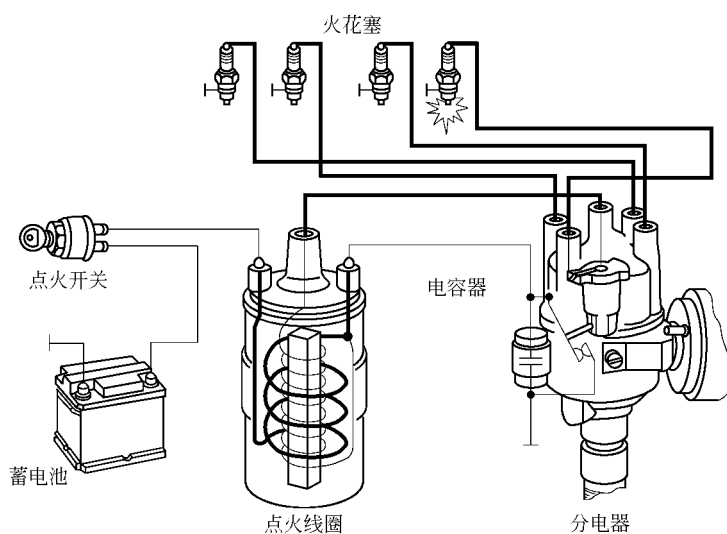


图 1-1 触点断电分电器式点火系统

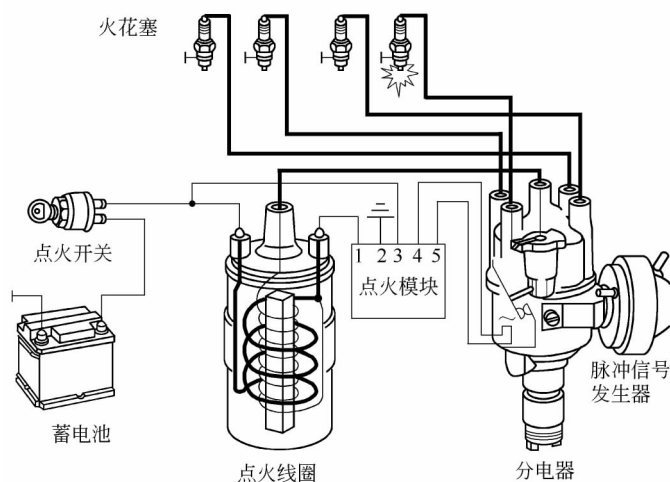


图 1-2 由传感器触发电火模块(电子断电触点)的分电器式点火系统

控制的点火系统。分电器在计算机点火系统中，主要用于分火和安置传感器，所以称为分电器式计算机点火系统，如图 1-3 所示。20 世纪 80 年代中期，开始采用不用分电器的计算机点火系统，即无分电器点火系统，如图 1-4 所示。无分电器点火系统每一个或两个火花塞就有一个点火线圈，由计算机根据曲轴（凸轮轴）位置信号按既定的点火顺序控制这些点火初级线圈的通断，消除了分电器触点和传动件磨损对点火性能的影响，点火正时控制精度和点火能量都得到较大提高，是对点火系统的一次重大改进。随着人们对无分电器点火技术的深

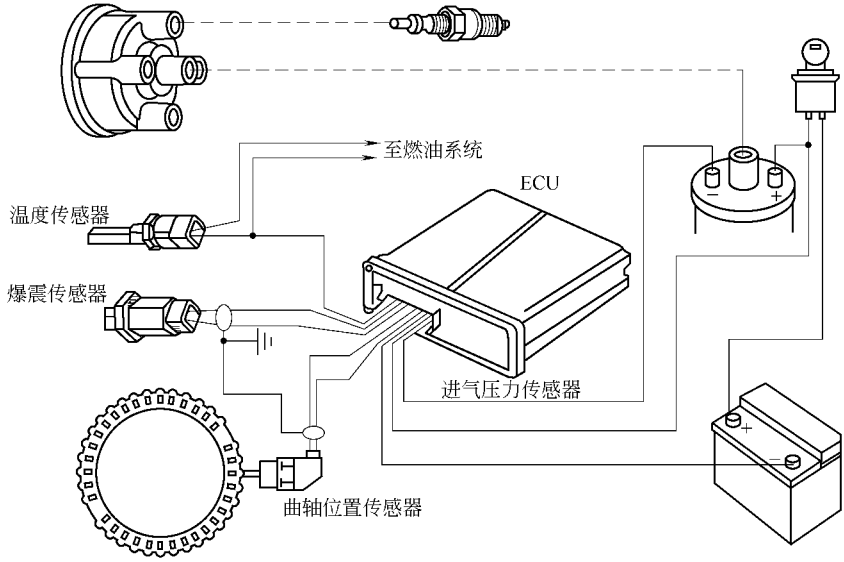


图 1-3 分电器式计算机点火系统

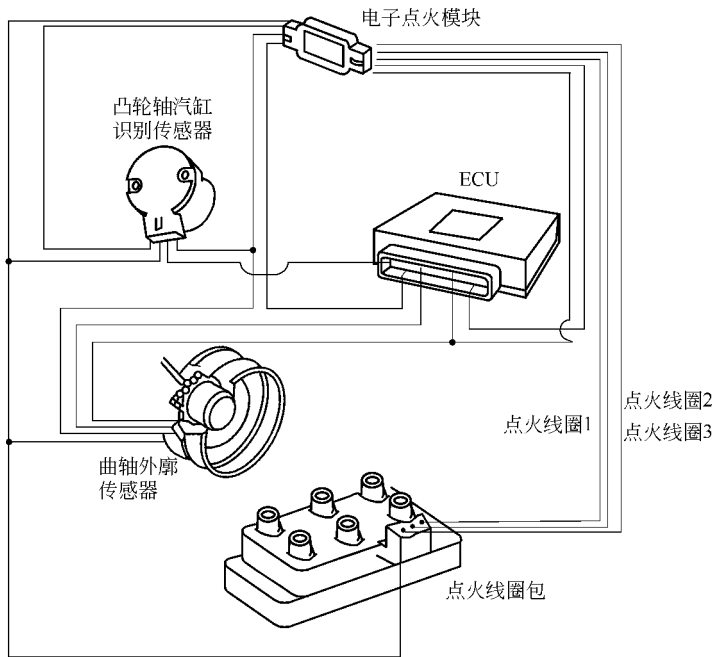


图 1-4 无分电器点火系统

入研究,又开发出适合某些发动机结构的点火方式,如将点火线圈和火花塞做成一体,如图1-5所示,取消了火花塞导线,减少了能量损失和电磁干扰,称为无分电器直接点火系统。又如将计算机嵌入点火模块,增大点火模块的控制作用,有利于改善启动性能,提高点火系统的可靠性。进入20世纪90年代,随着越来越多的发动机开始采用无分电器点火系统,计算机技术也越来越深入、广泛地应用于发动机点火系统。本书主要讲述计算机点火系统。对于发动机控制用的计算机,有时也称为电子控制单元或简称为ECU。

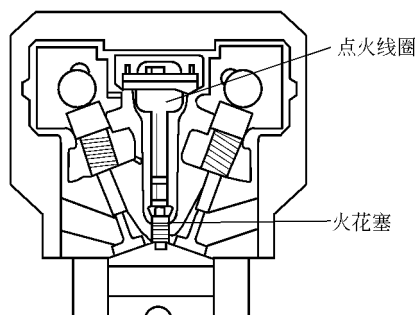


图 1-5 无分电器直接点火系统点火线圈、火花塞总成及其布置

## 1.2 点火系统的功能

尽管现在使用的计算机点火系统从外表上看与其他点火系统不同,但是对它们的功能要求是相同的,只是计算机点火系统的功能更完善些,这些功能如下。

(1) 产生火花 点火系统必须能够产生足以点燃混合气的高压电,并能够维持满足完全燃烧所需要的火花持续时间。实现这一功能的关键在于提供足够的点火初级线圈通电时间(通电闭合角)。虽然在一定条件下,点燃混合气所需电压是一定的,但多余的能量可以延长火花持续时间。

(2) 控制点火提前角 点火系统必须能随发动机转速和负荷的变化以及特殊工况(如启动时、发生爆燃时)的需求改变点火提前角。

(3) 分配火花 点火系统必须按设定的点火顺序,在压缩行程的适当时刻向确定的汽缸输送火花。本功能与第(2)项功能都要求系统能够及时获得尽可能精确的曲轴位置与转速信号。

发动机不论在哪个工况下工作,点火系统必须都能在适当的时刻,在火花塞的两个电极之间产生火花即电流。这听起来似乎很简单,但如果考虑到火花塞需要点火的次数以及发动机工况的变化范围极大时,理解为什么要采用计算机去控制点火系统就容易多了。

假如一台六缸发动机,正以3000r/min的速度运转,那么点火系统每分钟必须产生9000次以上的火花,或者说每分钟将12V的蓄电池电压转换成8~20kV的点火电压9000次以上而不缺火。而且火花塞的点火时刻必须精确,以保证燃烧产生的最大压力出现在上止点以后(ATDC)15°~20°左右。如果点火系统做不到这些,对发动机的动力性、燃油经济性和排放性都会产生不利的影

综上所述,计算机点火系统一般应具备如下功能。

- (1) 点火提前角控制。
- (2) 点火线圈初级通电时间(通电闭合角)控制。
- (3) 按照点火顺序向各汽缸分配火花。

## 1.3 点火提前角的控制

### 1.3.1 影响点火提前角的主要因素

控制点火提前角的目的是在各种工况下都能使发动机发出最大的功率，获得最好的燃油经济性和最少的有害排放物。要想获得最佳的发动机性能，发动机的点火时刻必须随发动机工况的变化而变化。所有的不同工况都会影响到发动机转速及作用在发动机上的负荷，当这两个基本因素变化时，所有的点火时刻都要随之变化。

(1) 发动机转速 发动机转速提高后，在给定的时间内曲轴转过的角度会更大，而燃烧速度却不会跟随变化，如果想使燃烧在上止点后（ATDC） $10^{\circ}\sim 25^{\circ}$ 左右完成的话，那么必须使点火时刻提前。如某红旗发动机在 850r/min 的怠速时，点火提前角为  $6^{\circ}\sim 12^{\circ}$ ，而转速增加到 4000r/min 时，点火提前角增大到  $28^{\circ}$ 。但当转速继续增加时，由于混合气压力与温度的提高及进气扰流的增强，会使燃烧速度加快，为避免发生爆燃，最佳点火提前角的增加速度减慢。

(2) 发动机负荷 作用在发动机上的负荷是与发动机必须完成的功相关的。爬坡或者牵引更大的重量会使发动机的负荷增加。在负荷作用下，活塞运动速度减慢，发动机运行效率下降。表示发动机负荷的一个很好的指标是进气管内在进气行程中形成的真空度。

在轻载和节气门部分开度时，进气管内的真空度较高，吸进进气管和汽缸内的空燃混合气的数量少。这些稀薄的混合气在压缩终了的压力较低，燃烧速度较慢，为了在上止点后（ATDC） $10^{\circ}\sim 25^{\circ}$ 左右完成燃烧，点火时刻必须提前。

在大负荷时，节气门全开，大量的空燃混合气被吸入汽缸，并且进气管的真空度低，这就会导致燃烧压力增高，燃烧速度加快。在这样的情况下，必须推迟点火提前角，以防止气体在上止点后（ATDC） $10^{\circ}\sim 25^{\circ}$ 以前全部燃烧完毕。

(3) 辛烷值 汽油的辛烷值越高，抗爆性越好，点火提前角可适当增大；辛烷值越低，抗爆性越差，点火提前角则相应减小，否则容易产生爆燃。

(4) 影响点火提前角的其他因素 除以上因素外，最佳点火提前角还与发动机燃烧室结构、燃烧室内温度、空燃比、大气压力、冷却液温度等有关。

### 1.3.2 点火提前角的确定

点火提前角的确定是很复杂的，需要通过反复大量的实验才能确定。不同型号的发动机可能装备不同的计算机点火系统，因此确定点火提前角的方法可能也不同。以下是某些发动机计算机点火系统在不同工况下，确定点火提前角的方法。

(1) 在正常工况下，计算机（ECU）首先根据发动机的某些参数，如转速、负荷（由进气歧管绝对压力或进气流量表示）在其存储器中查出基本点火提前角，如图 1-6 所示。然后再根据节气门位置、发动机冷却液温度、大气压力等传感器信号查出其存储器内对应的数据，对基本点火提前角进行修正，得到最佳的点火提前角。

(2) 启动时，由于进气歧管绝对压力或进气流量信号和发动机转速信号都不稳定，点火提前角通常固定为初始点火提前角。即计算机对大多数传感器信号不响应，点火发生在某一固定的曲轴转角。如在有些 6 缸发动机中，如图 1-7 所示，设计者把对应 6 缸或 1 缸上止点的曲轴位置信号  $G_1$  或  $G_2$  后的第一个曲轴转速信号  $N$ 。过零点处，设置在压缩行程上止点前  $10^{\circ}$ ，并令计算机把这一点作为参考点来计算点火正时，那么此发动机的初始点火提前角就

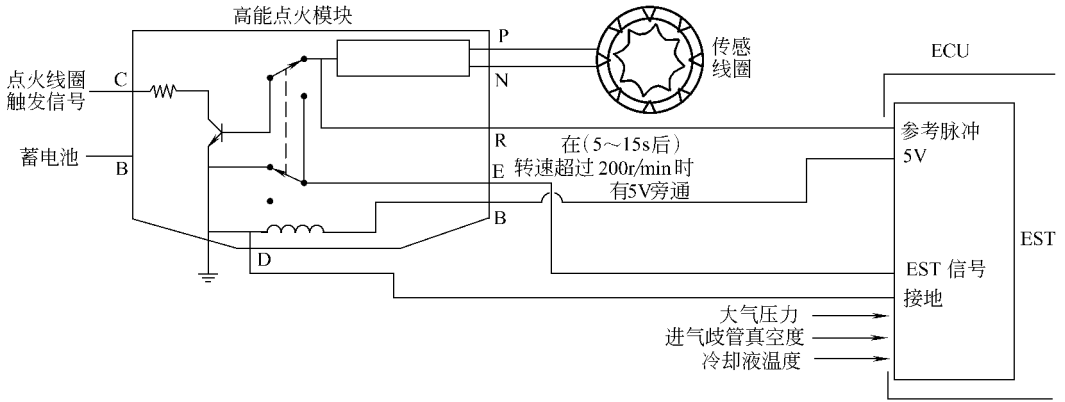


图 1-6 存储在计算机中的基本点火提前角

是  $10^\circ$ 。

有些发动机初始点火提前角可以通过程序进行设置或通过分电器、曲轴位置传感器进行调整。

(3) 暖机期间，特别是发动机冷车启动后，需要更大的点火提前角。暖机过程中，随着冷却液温度的升高，点火提前角应逐渐减小，如图 1-8 所示。

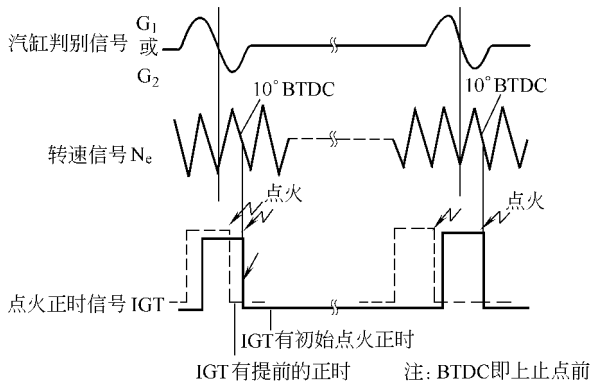


图 1-7 有些 6 缸发动机的初始点火提前角

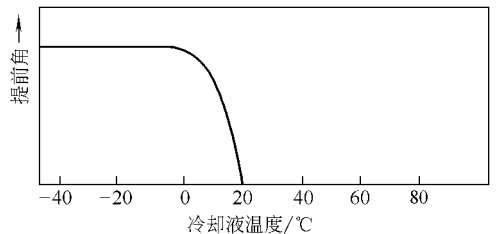


图 1-8 暖机过程中点火提前角的确定

(4) 特殊的点火提前角。这是为了改善稳定车速工况下的燃油经济性而使用的。在发动机速度和负荷都不变时，使用大的点火提前角将使发动机效率更高。

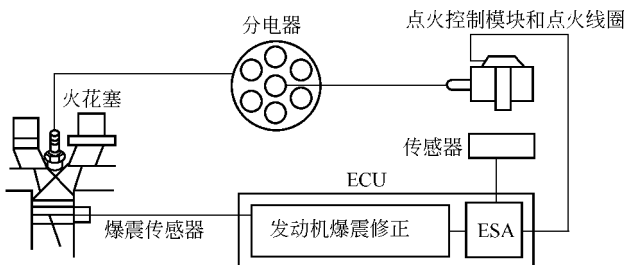


图 1-9 装备有爆震传感器的发动机点火系统

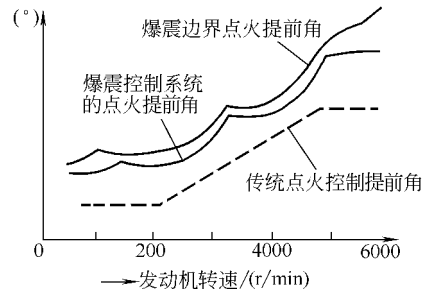


图 1-10 装备有爆震传感器的发动机允许有较大的点火提前角

装备有爆燃传感器的计算机点火系统，如图 1-9 所示，能把点火提前角控制在爆燃即将发生的附近，如图 1-10 所示，此时发动机将有最大的功率输出。一旦计算机检测到爆燃信号

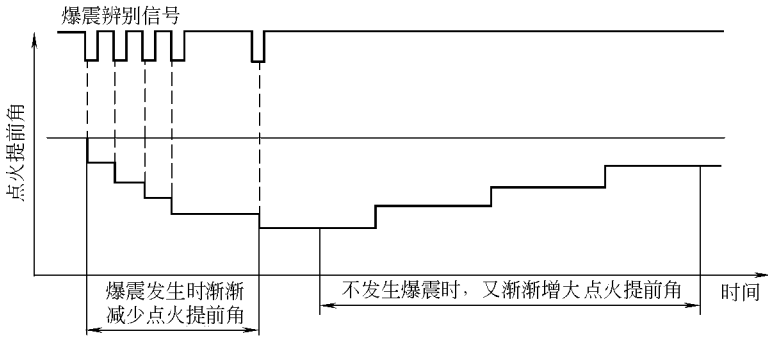


图 1-11 爆震时的点火提前角控制

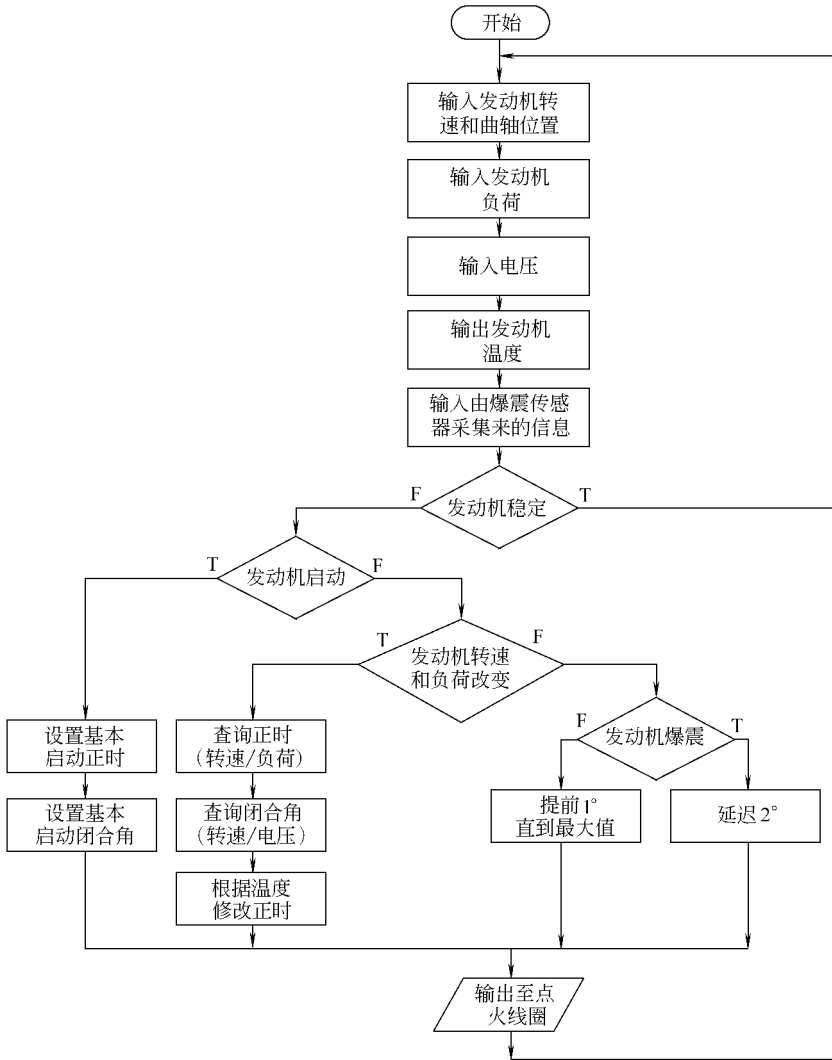


图 1-12 某发动机暖车时点火提前角的控制程序

号,就以一定的角度依次减小点火提前角,直到爆燃消失。然后再以一定角度依次增加点火提前角直到爆燃再次即将发生,如图 1-11 所示。

(5) 为适应大气压力变化,设置有大气压力传感器,以便计算机对点火提前角进行修正。

(6) 为了适应不同辛烷值的燃油的燃烧需要,有的发动机在计算机中存储了两张点火提前角数据图,在实际使用中,驾驶员可根据使用燃油的辛烷值,通过发动机控制单元(ECU)的燃油选择开关或插头进行选择。在出厂时,一般开关设定在无铅优质汽油的位置上。

图 1-12 是某发动机点火系统在发动机暖机工况下,点火提前角的控制程序。

## 1.4 爆燃传感器 (KS)

1.3 节 (4) 中介绍的爆燃控制方法,是一种基于改变点火提前角的闭环控制系统,这种控制系统中起反馈作用的元件是爆燃传感器。检测发动机爆燃有三种方法。一是直接检测汽缸内的压力,二是检测发动机的燃烧噪声,此两种方法目前尚未达到实用程度。第三种方法是通过检测发动机机体振动,来判断是否发生爆燃,也是目前最常用的方法。

爆燃传感器 (KS) 用螺纹固定在发动机汽缸体、进气歧管或汽缸盖上。在汽缸较多的情况下还要装两个爆燃传感器,以便更好地检测爆燃。爆燃传感器有磁致伸缩型和半导体压电型两种类型,其中应用较多的是半导体压电型爆燃传感器。

### 1.4.1 半导体压电型爆燃传感器

如图 1-13 所示,在半导体压电型爆燃传感器内部,半导体压电晶体与电阻并联,半导体压电晶体将作用于其上的发动机机体的机械振动转变为电压信号,并送给 ECU。当发动机发生爆燃时,爆燃传感器产生的电压信号在  $0.3\sim 0.5\text{V}$  之间,具体大小取决于爆燃强度,如图 1-14 所示。当 ECU 接收到这个信号后,将推迟点火提前角以消除爆燃。

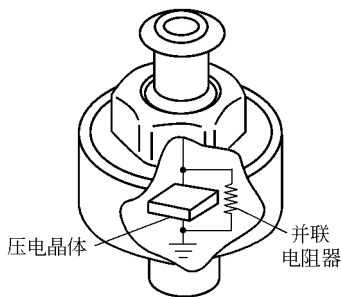


图 1-13 装有压电传感元件和并联电阻的爆燃传感器

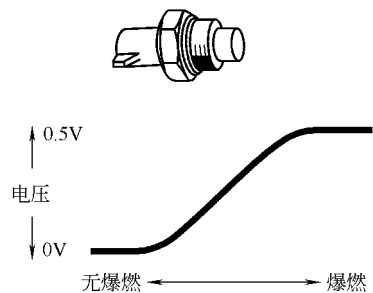


图 1-14 爆燃传感器及其电压信号

### 1.4.2 磁致伸缩式爆燃传感器

在磁致伸缩式爆燃传感器内,如图 1-15 所示,允许有一定位移的磁芯外侧设有永久磁铁,周围缠绕着感应线圈,磁芯跟随发动机机体振动而上下振动,致使感应线圈内磁力线发生变化,而产生感应电动势,此电动势即为爆燃传感器的输出电压信号。输出电压信号的大小与发动机振动的频率有关,当传感器固有振荡频率与设定爆燃强度时发动机的振动频率产

生谐振时，传感器将输出最大电压信号，如图 1-16 所示。ECU 一旦检测到这个信号，即会启动点火提前角控制。

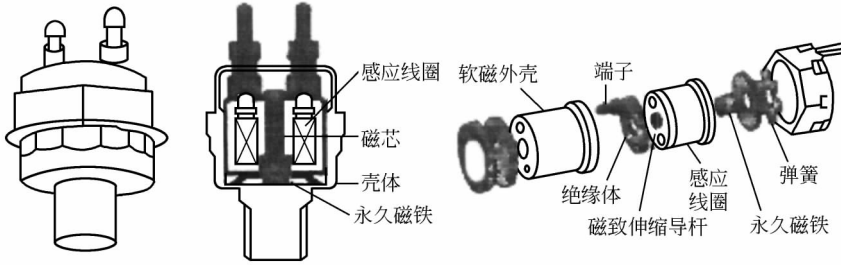


图 1-15 磁致伸缩式爆燃传感器

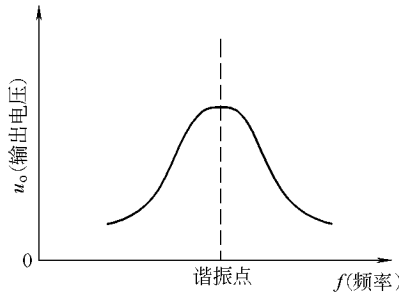


图 1-16 爆燃时磁致伸缩式爆燃传感器的输出电压

## 1.5 点火线圈初级通电时间（通电闭合角）的控制

对于点火系统来说，当点火线圈的初级电路被接通后一段时间，初级线圈的电流才能达到饱和（最大的初级电流），此时断开初级电路，才能得到最大的次级电压。由于通电时间随发动机转速的升高而减少，为保证高速时有足够的初级电流，应增加通电闭合角。如某 8 缸发动机，怠速时，点火模块使初级电路通电闭合  $15^\circ$  曲轴转角，而高速时增加到  $32^\circ$  曲轴转角。在有些点火装置中，为了减小转速对次级电压的影响，提高点火能量，采用了初级线圈

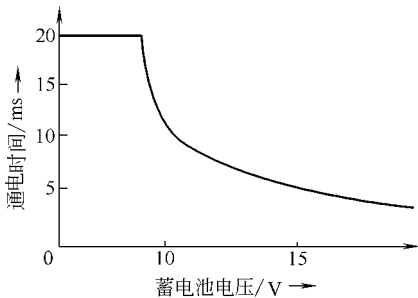


图 1-17 蓄电池电压对通电时间的修正

电阻很小的高能点火线圈，其饱和电流可以达到 30A 以上。但如果通电时间过长，不但过多消耗电能，而且由于过热可能损坏点火线圈。因此要控制一个最佳的通电时间或通电闭合角。可以在点火控制电路中增加恒流控制电路，保证在任何转速下初级电流都能达到规定值 7A，这样既改善了点火性能，又能防止初级电流过大而烧坏点火线圈。

当蓄电池的电压变化时，也将影响初级电流的大小。如蓄电池电压下降时，在相同的通电时间里初级电流所达到的值将会减小，因此应该增大通电时间。如图 1-17 所示，蓄电池电压越低，通电时间越长。

## 1.6 曲轴（凸轮轴）位置与转速传感器

点火提前角和通电闭合角确定后，计算机是靠曲轴（凸轮轴）位置与转速传感器的信号来识别汽缸点火顺序，计量点火提前角和通电闭合角，从而保证向确定的汽缸在通电时刻和点火时刻向点火模块发出初级电路通断信号的。还有些发动机在启动时，由曲轴（凸轮轴）位置传感器信号直接触发电火模块，启动后再切换至计算机控制。曲轴（凸轮轴）位置传感器的精度和采集信号的方式直接影响发动机的启动速度。

在电控燃油喷射系统中，曲轴（凸轮轴）转速信号用来将空气流量传感器检测的单位时间的空气流量，转换成每个工作循环吸入的空气量；当采用顺序喷射和分组喷射时，曲轴（凸轮轴）位置与转速传感器信号还用来判定汽缸喷油时刻和顺序。曲轴（凸轮轴）位置与转速传感器信号还用于喷油量的修正、怠速控制和电动燃油泵的运行控制等。

常用的曲轴（凸轮轴）位置与转速传感器有以下几种。

- (1) 按照工作原理不同，有电磁式、霍尔式和光电式三类测量转角的传感器。
- (2) 按照采集信号的方式和精度不同，有些传感器可以用于发动机的快速启动点火系统，有些则只能用于一般启动点火系统。
- (3) 有些传感器自带信号处理电路，有些则不带，需要到 ECU 中去处理。
- (4) 某些传感器嵌入了计算机，可以代替 ECU 做一部分工作。

曲轴（凸轮轴）位置与转速传感器在发动机上常见的安装方式有以下几种。

- (1) 安装在分电器内，如图 1-18、图 1-19 所示。
- (2) 安装在飞轮上，如图 1-20 所示。
- (3) 安装在曲轴前端，如图 1-21 所示。
- (4) 安装在曲轴箱上，如图 1-22 所示。
- (5) 安装在凸轮轴上，如图 1-23 所示。

安装在凸轮轴传动链上的通常又称为凸轮轴位置传感器。

有些发动机同时装有曲轴位置与转速传感器和凸轮轴位置传感器，如图 1-24 所示。一些 V 形发动机左右两列汽缸各装有一套凸轮轴位置传感器。

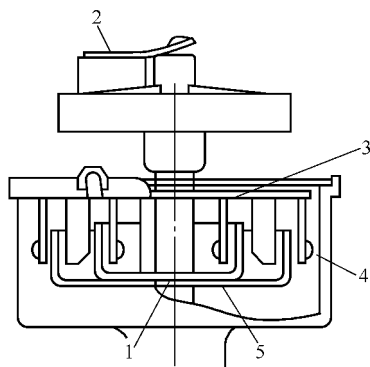


图 1-18 分电器内的两个霍尔式传感器

1—具有四个叶片的触发轮；2—分火头；3—霍尔元件  
(参考信号)；4—霍尔元件（同步信号）；5—具有  
一个叶片的触发轮

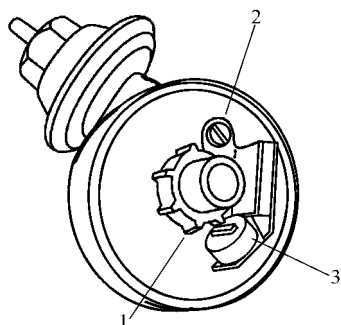


图 1-19 分电器内的电磁式传感器

1—触发轮；2—传感线圈调节装置；  
3—传感线圈总成