

应用型本科汽车类专业“十二五”规划教材

汽车发动机 电控技术与维修

曹红兵 主编



 **机械工业出版社**
CHINA MACHINE PRESS

应用型本科汽车类专业“十二五”规划教材

汽车发动机 电控技术与维修

主 编 曹红兵

机械工业出版社

本书从汽车维修的工作实际出发,以比较典型的桑塔纳 GSi AJR 发动机、丰田 8A-FE 发动机为主(同时兼顾丰田系列等其他车型),系统阐述了发动机电子控制系统的结构组成、工作原理、控制过程以及故障诊断与排除方法。主要内容包括:发动机电子控制系统的基本组成与工作原理、故障自诊断系统及测试、电子控制燃油喷射系统、微机控制电子点火系统、辅助控制系统、缸内直接喷射系统、发动机电子控制系统的故障诊断与排除。重点突出系统的结构组成、工作原理及其在故障诊断与排除过程中的实际应用。为了便于组织教学,每章均有填空、判断、选择、问答等思考与练习题。为了突出实践能力的培养,使理论与实践能更紧密地结合起来,学以致用,重点章节都附有课程实践项目(任务工单),可操作性强,为实践环节的记录和考核提供了方便,可以更好地为培养应用型人才服务。

本书内容翔实、系统、全面,贴近实际,图文并茂,既可作为普通高等院校汽车类本科专业教材,也可供职业院校选用,还可供从事汽车使用、维修的技术人员阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

汽车发动机电控技术与维修/曹红兵主编. —北京:
机械工业出版社, 2014. 3

应用型本科汽车类专业“十二五”规划教材
ISBN 978-7-111-45743-5

I. ①汽… II. ①曹… III. ①汽车—发动机—电子系
统—控制系统—车辆修理—高等学校—教材 IV. ①U472. 43

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 023934 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:徐 巍 责任编辑:徐 巍

版式设计:霍永明 责任校对:张 征

封面设计:路恩中 责任印制:乔 宇

北京铭成印刷有限公司印刷

2014 年 5 月第 1 版第 1 次印刷

184mm × 260mm · 24. 75 印张 · 605 千字

0001—3000 册

标准书号: ISBN 978-7-111-45743-5

定价: 52. 00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心: (010)88361066 教材网: <http://www.cmpedu.com>

销售一部: (010)68326294 机工官网: <http://www.cmpbook.com>

销售二部: (010)88379649 机工官博: <http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线: (010)88379203 封面无防伪标均为盗版

车辆工程方向教材编审委员会

主任：	河南科技大学	张文春
副主任：	南昌工程学院	林谋友
	鲁东大学	于京诺
委员：	沈阳理工大学	赵海波
	上海电机学院	陆忠东
	金陵科技学院	智淑亚
	金陵科技学院	付香梅
	黑龙江工程学院	于春鹏
	哈尔滨理工大学	贾冬开
	九江学院	黄 强
	广西工学院	黄雄健
	沈阳大学	凌永成
	河南工业大学	吴心平

汽车服务工程方向教材编审委员会

主任：	上海建桥学院	陈永革
副主任：	武汉科技大学	赵英勋
	长春工业大学	刘兰俊
	北京运华天地科技有限公司	廖 明
委员：	江汉大学	李素华
	黑龙江工程学院	于春鹏
	吉林农业大学发展学院	吴 明
	金陵科技学院	付香梅
	浙江师范大学	曹红兵
	黑龙江东方学院	贾冬开
	九江学院	丁志华
	九江学院	代红梅
	九江学院	徐玉红
	上海建桥学院	裘文才
	同济大学	陈昌明
	同济大学	陈传灿
	上海大学	何忱予

交通运输方向教材编审委员会

主 任：	长安大学	陈焕江
副主任：	浙江师范大学	曹红兵
	鲁东大学	宋进桂
	山东交通学院	戴汝泉
委 员：	沈阳理工大学	赵海波
	上海建桥学院	朱 列
	吉林农业大学	吴 明
	黑龙江工程学院	于春鹏
	鲁东大学	陈 燕
	山东交通学院	李景芝

丛书序

进入 21 世纪,我国高等教育得到了迅猛发展,已经进入了大众化的发展阶段,全国高等教育的毛入学率已达到 20%,上海、北京等高等教育发达地区的毛入学率已经超过 50%,率先进入了高等教育大众化的发展阶段。

在高等教育大众化发展阶段,受教育者和社会对高等学校的要求趋向于多元化和复杂化,对人才的认识和评价标准趋向于多样化,它的发展必然要求高等教育理念、办学形式的多元化和高等学校办学层次、类型的多样化。我国传统的“精英式”高等教育理念、“研究型”高等学校办学模式和“学术性”人才培养模式在高等教育大众化阶段受到了严重挑战。也就是说,高等教育大众化在提高适龄青年接受高等教育比例的同时,使教育的对象、目标和教育结构发生了变化,接受高等教育的人具有了不同的类型和不同的特点,这就需要高等教育具有不同层次和不同类型,因此,产生了学校设置的不同类型和不同定位。应用型本科人才的培养正是在这种情况下,越来越得到社会的重视。

为适应社会对应用型人才的需求,对高等学校尤其是新建本科院校来说,应用型本科人才的培养工作重任在肩。应用型本科如何定位、分类和发展,是国内教育界非常关注的问题。定位于职业取向的应用型大学,既有普通本科教育的共性,又有区别于普通本科的自身特点,它更加注重的是实践性、应用性和技术性。有人认为,“后劲足、上手快”,即基础知识比高职高专学生深厚、实践能力比传统本科生强,是本科应用型人才最本质的特征,但是由于类型多而复杂,应用型本科院校之间缺乏横向交流和适用于应用型人才培养的针对性教材一直是制约院校发展的瓶颈。

2011 年 12 月,围绕应用型本科人才培养和教材开发,机械工业出版社牵头在上海建桥学院召开了“汽车类专业应用型本科示范教材”开发研讨会。上海建桥学院、上海电机学院、鲁东大学、九江学院、长安大学、河南科技大学、南昌工程学院、黑龙江工程学院、武汉科技大学、山东交通学院、河南工业大学、长春工业大学、哈尔滨理工大学、沈阳理工大学、浙江师范大学、吉林农业大学、金陵科技学院等来自全国 20 多所设有汽车类专业的应用型本科院校的 30 多位汽车专业系主任、骨干教师参加了此次会议。此次会议组建成立了“全国汽车类专业应用型本科院校联盟”,审议并通过了“全国汽车类专业应用型本科院校联盟”章程和联盟理事会工作细则,确定了教材联编共同的思路。

在此次会议上,与会代表对汽车类专业应用型本科的培养方案、专业建设、教材建设等问题进行了深入而广泛的探讨,并成立了教材编审专家委员会,对教材编例、内容组织、教材体系等多方面问题进行了探讨。

本套教材具有如下特点:

- 强调以知识为基础,以能力为重点,知识、能力、素质协调发展。具体培养目标强调学生综合素质和专业核心能力的培养。

- 内容组织和体现形式符合学生认知和技能养成规律，体现以应用为主线。
- 体现行业需求、职业要求和岗位规范，尤其是要注意紧跟技术更新。
- 注重学生分析能力、判断能力、创新能力和沟通能力的综合能力培养。
- 配套开发课程设计指导、实训教学指导书，配备多媒体教学课件，打造立体化教材。

本套教材附赠多媒体课件、练习题答案等教学资料供任课老师采用，可在机械工业出版社教材服务网（www.cmpedu.com）免费下载或拨打编辑热线获取（010-88379353）。

虽然本套教材的各参编院校在应用型本科人才培养和教学改革方面进行了有益的探索，但限于认识水平和工作经历，教材中难免仍有许多不足之处，恳请各位专家、同行和广大使用本套教材的师生给予批评指正。

应用型本科汽车类专业“十二五”规划教材编委会

前 言

目前,电子技术成为支撑现代汽车工程的技术基础之一,广泛应用于汽车发动机、传动、悬架、制动等各个系统,逐步融合而成现代汽车控制电子技术。在不同的汽车电子控制系统中,发动机电子控制系统的控制部件最多、控制参数最多、控制功能最强、控制过程最复杂。发动机电子控制系统的故障诊断与排除涉及的知识密集、综合性强,技术要求高,已成为应用型本科汽车类专业教学的一项重要内容,是培养学生专业实践能力的核心。只要掌握了发动机电子控制系统的结构原理、控制过程和故障诊断与排除方法,学习汽车其他电子控制系统就能迎刃而解。为此,我们编写了《汽车发动机电控技术与维修》一书。

多年的教学实践使我们深切地感受到,教材质量在汽车类专业应用型本科人才培养中占据了非常重要的地位。在教材内容的组织上,应贴近企业生产实际,学以致用。在学生能力的培养中,应注重理论与实际的有机结合。

本书从汽车维修的工作实际出发,以比较典型的桑塔纳 GSi AJR 发动机、丰田 8A-FE 发动机为主(同时兼顾丰田系列等其他车型),系统阐述了发动机电子控制系统的结构组成、工作原理、控制过程以及故障诊断与排除方法。主要内容包括:发动机电子控制系统的基本组成与工作原理、故障自诊断系统及测试、电子控制燃油喷射系统、微机控制电子点火系统、辅助控制系统、缸内直接喷射系统、发动机电子控制系统的故障诊断与排除。重点突出系统的结构组成、工作原理及其在故障诊断与排除过程中的实际应用。

从教材的编写内容和编写形式上来看,本书具有以下特点:

1. 注重理论与实际的有机结合,突出实践能力的培养。在详细阐述结构原理、控制过程的基础上,注重理论知识在故障诊断与排除实践过程中的实际运用,学以致用。为了扩展思维,重点章节安排有典型故障案例及分析点评,以进一步提升案例教学的实效性。此外,还附有课程实践项目(任务工单),以任务驱动引导学生进行知识的学习和专业实践能力的提高,可操作性强,也为实践环节的记录和考核提供了方便,以期通过理论和实践教学,提高学生的综合实践能力和职业素质,真正体现应用型本科人才培养的“实践性”。书中附有《桑塔纳 2000GSi AJR 发动机电子控制系统电路图》《丰田 8A-FE 发动机电子控制系统电路图》等技术文件,可以更好地为培养应用型专业人才服务。

2. 教学素材丰富。每一章都提出了明确的学习目标,包括具体的知识目标和能力目标。每章的课后思考与练习,有填空、判断、选择、问答等多种题型,既可用于学生自我测试、巩固所学知识,又可用于教师组合、编辑理论知识试卷,方便教师教学。有条件的学校可将理论知识考核与实践环节的考核相结合,行知合一,使教学效果得到进一步提高。此外,本书还配套有多媒体教学课件和思考与练习答案,可在教材服务网(www.cmpedu.com)免费下载。

本书由曹红兵任主编，参编人员有卢国东、王利利、吴定宜、齐飞林。在编写过程中，得到了陈汉生、黄石坚的大力支持和帮助，并提供了文字、图片等有关资料，在此向他们表示感谢。

在本书的编写过程中，编者参考了大量的书籍、论文等文献资料，在此，谨向原作者表示感谢。

由于编者水平有限，书中难免存在错误或疏漏之处，欢迎广大读者批评指正。

编者

2013 年 10 月

目 录

丛书序

前言

第1章 发动机电子控制系统的基本组成与工作原理	1
1.1 发动机电子控制系统的控制功能	1
1.1.1 燃油喷射控制	1
1.1.2 点火控制	2
1.1.3 辅助控制	2
1.2 发动机电子控制系统的基本组成	3
1.2.1 传感器	4
1.2.2 电子控制单元	6
1.2.3 执行器	9
1.3 发动机电子控制系统的控制方式	11
1.3.1 开环控制	12
1.3.2 闭环控制	12
思考与练习	13
第2章 故障自诊断系统及测试	15
2.1 故障自诊断系统	15
2.1.1 故障自诊断系统的功能	15
2.1.2 故障自诊断系统的组成与工作原理	17
2.1.3 第二代故障自诊断系统(OBD-Ⅱ)	19
2.2 故障自诊断测试	24
2.2.1 故障自诊断测试内容	24
2.2.2 故障诊断仪的使用	25
2.2.3 故障码的人工读取与清除	37
思考与练习	43
第3章 电子控制燃油喷射系统	45
3.1 电子控制燃油喷射系统的分类与基本组成	45
3.1.1 电子控制燃油喷射系统的分类	46

3.1.2 电子控制燃油喷射系统的基本组成	51
3.2 空气供给系统	52
3.2.1 空气流量传感器	53
3.2.2 进气歧管压力传感器	66
3.2.3 节气门位置传感器	70
3.2.4 怠速控制装置	80
3.2.5 温度传感器	91
3.3 燃油供给系统	96
3.3.1 电动燃油泵	97
3.3.2 燃油分配管总成	107
3.3.3 喷油器	111
3.4 燃油喷射控制过程	121
3.4.1 喷油正时的控制	121
3.4.2 喷油量的控制	123
3.4.3 断油控制	130
思考与练习	131
第4章 微机控制电子点火系统	139
4.1 对点火系统的基本要求	139
4.2 微机控制电子点火系统的组成及工作原理	141
4.2.1 微机控制电子点火系统的组成	141
4.2.2 曲轴转速与位置传感器和凸轮轴位置传感器	144
4.2.3 微机控制电子点火系统的点火电路	159
4.3 点火提前角与闭合角控制	169
4.3.1 点火提前角控制	169
4.3.2 闭合角控制	175
4.4 爆燃传感器与爆燃控制	175
4.4.1 爆燃控制方法	176
4.4.2 爆燃传感器	177
思考与练习	182
第5章 辅助控制系统	188
5.1 进气控制系统	188
5.1.1 进气惯性增压控制系统	188

5.1.2 废气涡轮增压系统	194
5.1.3 可变气门控制系统	201
5.1.4 电子节气门控制系统	218
5.2 排放控制系统	232
5.2.1 燃油蒸发排放控制系统	232
5.2.2 废气再循环控制系统	237
5.2.3 三元催化转化器与空燃比反馈控制系统	245
5.2.4 二次空气喷射系统	261
思考与练习	267
第6章 缸内直接喷射系统	274
6.1 工作原理及特点	274
6.1.1 稀薄燃烧	274
6.1.2 结构与性能特点	277
6.2 基本结构组成	279
6.2.1 进气系统	279
6.2.2 燃油喷射系统	280
6.2.3 点火系统	286
6.2.4 排气后处理系统	287
6.3 大众公司缸内直喷发动机	289
6.3.1 3.2L FSI 缸内直喷发动机	289
6.3.2 2.0 TFSI 缸内直喷发动机	294
6.3.3 1.4 TSI 缸内直喷发动机	296
思考与练习	298
第7章 发动机电子控制系统的故障诊断与排除	301
7.1 故障诊断的基本方法与注意事项	301
7.1.1 故障诊断的基本步骤和方法	301
7.1.2 故障诊断的注意事项	307
7.1.3 故障码的正确运用	308
7.2 主要元件的故障规律	313
7.2.1 主要元件的故障特征	313
7.2.2 主要元件与发动机故障之间的对应关系	315
7.3 常见故障的诊断与排除	318

7.3.1 发动机不能起动的故障诊断与排除	318
7.3.2 发动机怠速不良的故障诊断与排除	327
7.3.3 发动机加速不良的故障诊断与排除	333
7.3.4 发动机油耗过高、排放超标的故障诊断与排除	340
思考与练习	347
附录	352
附录 A 任务工单	352
附录 B 桑塔纳 2000GSi AJR 发动机电子控制系统电路图	376
附录 C 丰田 8A-FE 发动机电子控制系统电路图	378
参考文献	381

第1章 发动机电子控制系统的基本组成与工作原理

[学习目标]

1. 知识目标

- (1) 掌握发动机电子控制系统的控制功能。
- (2) 掌握发动机电子控制系统的基本组成。
- (3) 了解发动机电子控制系统的控制方式。

2. 能力目标

- (1) 能够识别发动机电子控制系统主要部件，熟悉各主要部件的安装位置和作用。
- (2) 熟悉发动机电子控制单元主要插座接线端子的位置。

安全、环保和节能是当今汽车技术发展的主要方向，采用电子技术是解决诸多技术难题的最佳方案。汽车电控发动机利用现代电子控制技术对传统发动机的两大机构和五大系统进行改进，增加了电子控制系统。发动机电子控制系统 EEC（又称发动机管理系统 EMS），能最大限度地提高发动机的动力性，改善发动机运转的经济性，同时尽可能降低汽车尾气中有害物质的排放量，它是现代电子控制技术在汽车上应用的主要部分。

1.1 发动机电子控制系统的控制功能

汽车发动机电子控制系统是一个综合控制系统，具有多种控制功能，而燃油喷射控制（控制喷油量和喷油正时）和点火控制（控制点火提前角、闭合角）是发动机电子控制系统的主要功能，进气控制、排放控制、故障自诊断与失效保护等均为辅助控制功能。

1.1.1 燃油喷射控制

燃油喷射控制主要包括喷油量控制、喷射正时控制。另外，燃油喷射控制还包括断油控制和燃油泵控制。

1. 喷油量控制

发动机电子控制系统根据空气流量传感器提供的进气量信号确定基本的喷油量，再根据其他传感器（如冷却液温度传感器、节气门位置传感器）信号对喷油量进行修正，能有效控制混合气空燃比，使发动机在各种工况下空燃比达到较佳值、在各种运行工况下均能获得最佳浓度的混合气，从而实现提高功率、降低油耗、减少排气污染等功效。

2. 喷射正时控制

当采用与发动机转动同步的顺序独立喷射方式时，发动机电子控制系统还要根据发动机各缸的点火顺序，将燃油喷射时间控制在一个最佳的时刻。

3. 断油控制

断油控制是发动机电子控制系统在某些特殊工况下（如驾驶人快速收回加速踏板、发动

机转速超过允许的极限转速等), 暂时中断燃油喷射, 以满足发动机运行时的特殊需要, 包括发动机超速断油控制、减速断油控制和清除溢流控制、减转矩断油控制等。

4. 燃油泵控制

燃油泵控制是指当点火开关打开后, 发动机电子控制系统将控制燃油泵工作 2~3s 以建立必需的油压, 此时若不起动发动机, 电子控制系统将切断燃油泵控制电路, 燃油泵停止工作。在发动机起动和运转过程中, 电子控制系统控制燃油泵保持正常运转。

1.1.2 点火控制

点火控制主要包括点火提前角控制、通电时间(闭合角)控制与恒流控制以及爆燃控制等。

1. 点火提前角控制

发动机电子控制系统可使发动机在不同转速、不同负荷条件下, 根据各相关传感器信号, 判断发动机的运行工况和运行条件, 选择最理想的点火提前角点燃可燃混合气。

2. 通电时间(闭合角)控制与恒流控制

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, 同时防止通电时间过长使点火线圈过热而损坏, 发动机电子控制系统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, 以满足发动机对点火系统在击穿电压和点火能量上的要求, 改善点火性能, 同时避免初级线圈过热和电能的有效损耗。

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的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. 爆燃控制

在发动机电子控制系统中, 当点火时刻采用闭环控制时, 就能把点火提前角控制在接近临界爆燃点或使发动机有轻微的爆燃, 以最大限度地发挥发动机的潜能, 提高动力性。

1.1.3 辅助控制

1. 进气控制

发动机电子控制系统根据转速和负荷的变化, 对发动机的进气进行控制, 以提高发动机的充气效率, 从而改善动力性。进气控制系统主要包括进气惯性增压控制系统、废气涡轮增压系统、可变气门控制系统等。

2. 排放控制

排放控制主要对发动机排放控制装置的工作实行电子控制, 排放控制系统主要包括燃油蒸发排放控制系统、废气再循环(EGR)控制系统、三元催化转化与空燃比反馈控制系统、二次空气喷射控制系统等。

3. 故障自诊断

发动机工作时, 故障自诊断系统对电子控制系统各部分的工作情况进行监测, 当传感器或传感器线路发生故障时, 立即点亮仪表板上的故障指示灯, 并将故障信息以设定的数码(故障码)形式储存在存储器中, 以帮助维修人员确定故障类型和范围。同时, 故障自诊断系统启动故障运行程序, 发挥失效保护功能, ECU 不再使用已发生故障的传感器及其电路输入的信号, 而是按照电子控制单元中预先设定的参考信号值工作, 使发动机能在有故障的情况下可以继续运转。当对发动机工作影响较大的传感器或电路发生故障时, 系统将会立即

采取强制措施(如切断燃油喷射等),停止发动机的工作。

具有故障自诊断功能的发动机电子控制系统一般同时具有备用集成电路。当 ECU 发生故障时,系统则自动启用备用集成电路,按设定的信号控制发动机转入强制运转状态,从而保证可以将汽车开回家或开到附近的修理厂进行维修,以防车辆停驶在路途中。备用集成电路只能维持发动机运转的基本功能,但不能保证发动机性能。因而,备用集成电路的这项功能又被称为“跛行回家”功能。

除了以上控制功能外,应用在发动机上的电子控制功能还有冷却风扇控制、发电机控制等。随着汽车技术和电子技术的发展,发动机电子控制系统的功能必将日益增加。

1.2 发动机电子控制系统的基本组成

从控制原理来看,发动机电子控制系统可以简化为传感器、电子控制单元(ECU)和执行器三大组成部分。传感器是感知信息的部件,功用是采集控制系统的信号输送给电子控制单元,以提供汽车运行状况和发动机工况等相关信息。电子控制单元接收来自传感器的信息,进行存储、计算和分析处理后发出相应的控制指令给执行器。执行器即执行元件,其功用是执行 ECU 的专项指令,从而完成控制目的。传感器、ECU 和执行器三部分相互间的工作关系如图 1-1 所示。图 1-2 为大众桑塔纳 2000 AJR 发

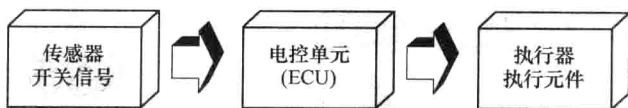


图 1-1 传感器、ECU 和执行器之间的工作关系

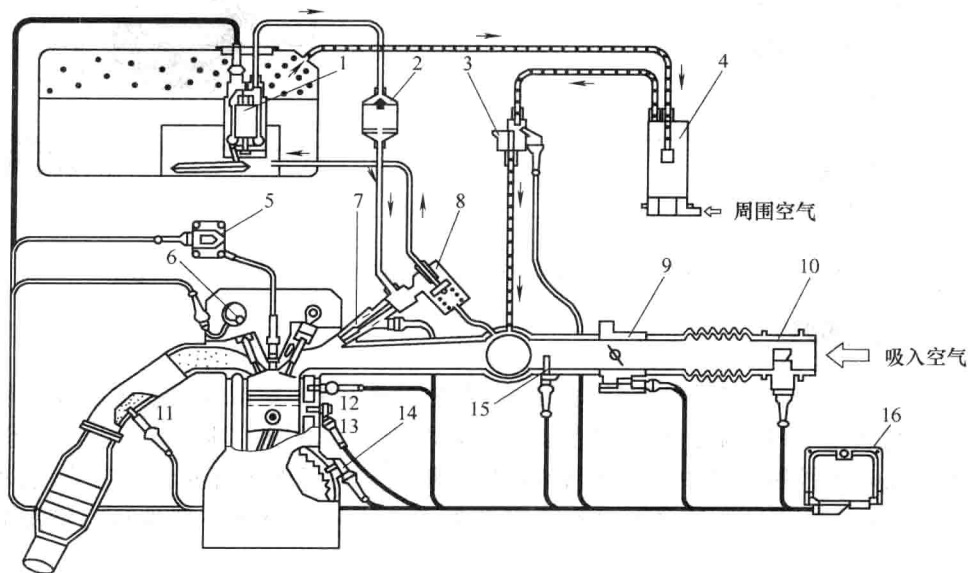


图 1-2 桑塔纳 2000 AJR 发动机 M3.8.2 电子控制系统结构组成简图

- 1—燃油泵 2—燃油滤清器 3—活性炭罐电磁阀(N80) 4—活性炭罐 5—点火线圈(N、N 128)与点火控制器(N152)总成 6—霍尔式凸轮轴位置传感器(G40) 7—1号、2号、3号、4号喷油器(N30-N33) 8—油压调节器 9—节气门控制组件(J338) 10—热膜式空气流量传感器(G70) 11—氧传感器(G39) 12—冷却液温度传感器(G62) 13—1号、2号爆燃传感器(G61、G66) 14—发动机转速与曲轴位置传感器(G28) 15—进气温度传感器(G72) 16—ECU(J220)