



汽车电子技术

(系统篇)

日本电装汽车电子技术研究会
日经汽车
(日)加藤光治

编著

张艳辉

译



化学工业出版社



汽车电子技术

(系统篇)

日本电装汽车电子技术研究会
日经汽车
(日)加藤光治

编著

张艳辉

译



化学工业出版社

· 北京 ·

本书详细介绍了汽车各大控制系统的电子技术、发展趋势、零部件设计要点,主要包括传动系统控制、混合动力系统控制、行驶安全控制、车身控制、车载导航系统控制以及通信等。书中利用简洁清晰的插图,完整系统地解析了汽车电子技术,叙述简明扼要,内容丰富实用,专业性强。

本书可供高等院校汽车专业师生、汽车整车制造企业汽车电气与电子系统集成设计工程师、汽车电子与电器相关企业与科研院所工程技术人员、汽车维修技术人员以及汽车行业汽车技术与产品相关管理人员学习参考。

ZUKAI CAR ELECTRONICS ZOHOBAN JYO SYSTEM HEN written by DENSO Car Electronics Association, editorial content supervised by Mitsuharu Kato, edited by Nikkei Automotive.

Copyright © 2014 by Mitsuharu Kato. All rights reserved.

Originally published in Japan by Nikkei Business Publications, Inc.

Simplified Chinese translation rights arranged with Nikkei Business Publications, Inc. through Tuttle-Mori Agency, Inc., Tokyo and Beijing Kareka Consultation Center, China.

本书中文简体字版由株式会社日经BP授权化学工业出版社独家出版发行。

本版仅限在中国内地(不包括中国台湾地区和香港、澳门特别行政区)销售,不得销往中国以外的其他地区。未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书的任何部分,违者必究。

北京市版权局著作权合同登记号:01-2018-5814

图书在版编目(CIP)数据

图解汽车电子技术. 系统篇/日本电装汽车电子技术研究会,日经汽车,(日)加藤光治编著;张艳辉译. —北京:化学工业出版社,2019.1

ISBN 978-7-122-33209-7

I. ①图… II. ①日…②日…③加…④张… III. ①汽车-电子技术-图解 IV. ①U463.6-64

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第242146号

责任编辑:辛田 陈景薇

装帧设计:王晓宇

责任校对:王静

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:三河市延风印装有限公司

装订:三河市宇新装订厂

710mm×1000mm 1/16 印张13 $\frac{3}{4}$ 字数256千字 2019年7月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888 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: 68.00 元

版权所有 违者必究

2010年6月,由电装公司(日本汽车配件公司)技术人员组织的汽车电子技术研究会执笔完成本书《图解汽车电子技术》的初版。在此之前,电装公司的志贺扩、水谷集治已经主编并出版了《汽车电子技术》(1987年)及《新汽车电子技术》(1992年)。此后,汽车电子技术经历了翻天覆地的变化,延续之前著作的精华且内容更加全面充实的《图解汽车电子技术》得以问世。

如今的发动机控制、底盘控制、空调控制、车身控制、车辆导航系统等,无一不是通过高度的电子控制得以实现的。电子技术使汽车能够正常运转,为汽车的发展做出贡献。

近年来,电子控制越发复杂化,各种功能并不是独立运转,而是与其他系统相互配合,追求性能提升。今后,这种发展趋势必将越发明显。但是,现在的系统功能极其复杂,单独一个技术人员难以详细掌握,全面理解汽车电子技术更是不容易。因此,接受了日经BP社的委托,将汽车电子系统相关知识及其中使用的重要技术编辑成书,旨在帮助技术人员分类学习汽车的电子系统,掌握重要技术的动向,全面理解电子系统,并思考今后发展的趋势及技术方向。

本书的初版中,详细描述了混合动力系统控制、安全预防、信息通信等技术领域。重要技术方面,特别重视软件、车载互联网、ECU(电子控制单元)的整合化、车载电脑、半导体传感器等。如此涵盖内容广泛的汽车电子技术并未合成一册,而是分为两篇。

系统篇主要介绍了构成系统的相关电子产品,包括发动机控制、混合动力控制、行驶安全控制、车身控制、导航系统、通信等涉及多领域的系统功能和ECU、传感器、执行器的功能。关键技术篇涉及了ECU概要,ECU的硬件、软件及制造技术,传感器,执行器,半导体元件,车辆电子系统,设计辅助工具,故障诊断,EMC(Electro Magnetic Compatibility),可靠性技术,信息通信等广泛话题。设计方面的主要内容为ECU内部的硬件构成、与传感器及执行器的关系、车载电脑的趋势和车载系统所需车载电脑的种类、软件的构成和注意点、车内网络、通信的数字化及宽带化等。此外,生产方面包括制造、品质保证等一系列知识。

汽车电子技术实现了行驶、转向、驻车的汽车基本条件,同时为追求节能、安全性、舒适性及方便性的汽车发展做出贡献。今后,随着信息通信的普及、识别技术的发展,汽车电子技术会应用到节能驾驶、驾驶辅助及安全预防(预警)等多个领域。因此,电子系统的作用愈发重要。另一方面,初版之后经过

的4年里，混合动力、ISS（Idling Stop System）等在电动汽车及燃料电池汽车中实用化，电动化越来越重要。自动制动器的普及、车车通信和路车协同、信息安全及无人驾驶等成为行业热门话题。本增补版全面补充了相关内容。

在分工化持续发展的当今时代，整体掌握汽车电子技术极其关键。考虑整体，同时深度挖掘个别重要技术是顺应时代趋势的必要条件。相对于系统技术，重要技术容易被视为是“中流砥柱”。“重要技术没有升级，系统技术的升级无从谈起。”所以，希望本书不仅可供汽车产业人员参考学习，还能给电机及电子部件产业的相关人员、涉及跨领域产业的相关人员提供参考。

最后，对百忙之中参与本书编辑的相关人员、整理汇总本书的日经BP社的林达彦、美研创意中心的铃木祐司等表示衷心的感谢。参与执笔人员的介绍见篇尾，烦请参考。

加藤光治

第 1 章 汽车电子技术的发展	1
1.1 汽车和汽车电子技术的历史	1
1.1.1 汽车的历史	1
1.1.2 汽车电子技术的历史	2
1.2 半导体的技术发展和 ECU 的变化	3
1.2.1 半导体技术的发展	3
1.2.2 ECU 的变化	4
1.3 支撑汽车电子技术的主要技术	5
第 2 章 传动系统控制	14
2.1 汽油发动机控制	14
2.1.1 汽油发动机控制的概要	14
2.1.2 燃油喷射控制	16
2.1.3 点火控制	20
2.1.4 可变气门正时控制	25
2.1.5 电子节气门控制	27
2.1.6 可变排量控制	30
2.1.7 HCCI 控制	30
2.2 柴油发动机控制	31
2.2.1 柴油发动机控制的概要	31
2.2.2 共轨系统	34
2.2.3 进气系统及 EGR 系统	38
2.2.4 燃烧辅助控制系统	40
2.2.5 排气后处理系统	40
2.2.6 ECU	41
2.2.7 柴油发动机控制系统的发展	43
2.3 变速器控制	43
2.3.1 变速器的种类	43
2.3.2 变矩器式 AT 控制	44
2.3.3 CVT 控制	46
2.3.4 DCT 控制	46

参考文献	47
小知识 可用指尖举起大象的共轨压力	48
第 3 章 混合动力系统控制	49
3.1 混合动力系统的概念	49
3.1.1 混合动力系统的历史	49
3.1.2 EV 的构成	50
3.1.3 EV 的行驶控制	50
3.2 混合动力系统的概要	51
3.2.1 混合动力系统的分类	51
3.2.2 微混合动力	52
3.2.3 并联式混合动力	52
3.2.4 串联式混合动力	53
3.2.5 混联式混合动力	54
3.2.6 混联式混合动力系统控制	55
3.2.7 EV、HEV 的应用系统	58
3.2.8 EV 普及的努力	59
3.3 混合动力系统的主要部件	60
3.3.1 电机	60
3.3.2 逆变器	62
3.3.3 电源系统	67
3.3.4 高电压辅机系统	70
3.3.5 混合动力系统控制的课题	71
参考文献	71
小知识 汽油发动机汽车的能效约为 12%	72

第 4 章 行驶安全控制 **73**

4.1 行驶安全控制的概要	73
4.2 驾驶辅助系统	74
4.2.1 驾驶辅助系统的概要	74
4.2.2 仅提示信息的驾驶辅助系统	75
4.2.3 车辆控制相关的驾驶辅助系统	77
4.2.4 驾驶辅助系统的传感器	78
4.2.5 驾驶辅助系统的 ECU	84
4.2.6 从驾驶辅助到无人驾驶	84

4.3	制动器控制	89
4.3.1	制动器控制的概要	89
4.3.2	防抱死制动系统	89
4.3.3	牵引力控制系统	94
4.3.4	汽车电子稳定控制系统	95
4.3.5	车辆综合控制系统	100
4.3.6	未来的制动控制	101
4.4	转向控制	102
4.4.1	转向控制的概要	102
4.4.2	电动助力转向系统	102
4.4.3	其他转向控制系统	110
4.4.4	转向控制的应用	111
4.5	碰撞安全控制	112
4.5.1	碰撞安全控制的概要	112
4.5.2	安全带	113
4.5.3	安全气囊	114
	参考文献	125
	小知识 如果 50 年前的汽车和现在的汽车相撞, 结果会是如何?	126

第 5 章 车身控制 127

5.1	车身控制的概要	127
5.1.1	车身控制的概念	127
5.1.2	车身 ECU 的主要功能	128
5.2	遥控门锁	129
5.3	智能钥匙系统	130
5.3.1	智能钥匙系统的概要	130
5.3.2	智能钥匙系统的功能	131
5.3.3	智能钥匙系统的构成	132
5.3.4	智能钥匙系统的组成部件	133
5.3.5	智能钥匙系统的感应范围	134
5.3.6	智能无钥匙控制	134
5.3.7	一键式发动机启动的控制	134
5.4	空调	137
5.4.1	空调的概要	137
5.4.2	自动空调 ECU	138

5.4.3	自动空调的控制	139
5.4.4	空调的构成部件	142
5.4.5	混合动力汽车及电动汽车的应对措施	144
5.5	组合仪表	146
5.5.1	组合仪表的概要	146
5.5.2	组合仪表的主要功能和工作原理	146
5.5.3	其他显示系统	150
5.6	车内照明	151
5.6.1	车内照明的概要	151
5.6.2	车内灯	151
5.7	前照灯	152
5.7.1	前照灯的概要	152
5.7.2	HID	152
5.7.3	AFS	153
5.8	刮水器	154
5.8.1	刮水器的概要	154
5.8.2	雨滴感应自动刮水器	155
5.8.3	雨量传感器	155
5.9	声呐系统	156
5.9.1	声呐系统的概要	156
5.9.2	声呐系统的感应原理	156
5.9.3	声呐系统的感应范围控制	157
5.9.4	超声波传感器	158
5.10	行车记录仪系统	158
5.10.1	行车记录仪系统的概要	158
5.10.2	行车记录仪系统的示例	159
5.10.3	未来的行车记录仪系统	161
5.11	远程防盗系统	161
5.11.1	远程防盗系统的概要	161
5.11.2	远程防盗系统的主要功能	162
5.12	轮胎气压监测系统	163
5.12.1	轮胎气压监测系统的概要	163
5.12.2	轮胎气压监测系统的类型	163
小知识	区分使用电场和磁场的智能钥匙系统	165

第 6 章 车载导航系统	166
6.1 车载导航系统的技术	166
6.1.1 车载导航系统的概要	166
6.1.2 车载导航系统的基础技术	167
6.1.3 车载导航系统的发展	173
6.2 车载导航仪的开发流程	177
6.3 车载导航仪的未来	179
6.3.1 放心、安全、准确的车载导航仪	179
6.3.2 信息交换车载导航仪	179
6.3.3 数字地图的更新速度提升	180
6.3.4 街景信息提供系统	182
6.3.5 用途广泛的车载导航仪	183
6.3.6 解决城市问题的车载导航仪	184
6.4 车载导航系统需要解决的课题	184
参考文献	184
小知识 过快的通信导航仪和 PND	185
第 7 章 通信	186
7.1 通信的概要	186
7.2 蓝牙	187
7.2.1 蓝牙的概念	187
7.2.2 通过蓝牙实现的服务	187
7.3 DSRC	189
7.3.1 DSRC 的概念	189
7.3.2 ETC 的概要	189
7.3.3 ETC 的技术	190
7.3.4 DSRC 应用系统	191
7.3.5 DSRC 的技术	191
7.4 智能交通安全系统	193
7.4.1 汽车安全系统的定位	193
7.4.2 服务	193
7.4.3 系统构成	194
7.4.4 系统上线的动向	195
7.4.5 通信协议的制定	195
7.4.6 未来的课题	197

7.5 手机网络	197
7.5.1 移动通信领域的发展	197
7.5.2 手机的通信方式	198
7.5.3 无线电频率	198
7.5.4 通信方式的发展	199
7.5.5 手机网络提供的服务	200
索引	204
执笔者简介	208

第 1 章

汽车电子技术的发展

1.1 汽车和汽车电子技术的历史

1.1.1 汽车的历史

为了更好地理解汽车电子技术，要先全面掌握 20 世纪的两项伟大技术——汽车和电子技术。图 1-1 为汽车技术和电子技术的历史概要。1886 年，戈特利布·戴姆勒发明了世界上第一辆四轮汽油车，实现了人类长久以来想要随时随地自由移动的梦想。

20 多年之后，美国福特汽车公司的 T 型车（通称 T 型福特）将汽车从工艺品转变为工业产品，其生产线采用传送带方式，提升了生产效率，在当时具有划时代意义。由此，从 19 世纪末开始的汽车历史，自 1908 年销售的 T 型福特开始进入了真正的普及期。这款 T 型福特在约 20 年间的生产量为 1500 万辆；此后德国大众汽车公司的 1 型车（通称甲壳虫）的生产量为 2100 万辆以上，是单一车型中最畅销的车。

汽车的实用化，也是工业发展历史的综合体现。也就是说，外燃机的发明加速了产业革命发展，并引发了能源革命，与内燃机的发明等技术发展密切相关。自 T 型福特生产以来，1960 年之前支撑汽车技术进步的是机械技术和制造技术。综合机械加工、内燃机的关键技术，实现了发动机性能的提升，同时机械技术的发展对“行驶、转向、驻车”的相关性能贡献巨大。

另一项伟大技术——电子技术起步于 1947 年晶体管的发明，并在当时已经发展成熟的固体物理学及量子力学的理论背景支持下，在 1960 年之后得到迅猛发展。从晶体管到 IC（集成电路），以及微处理器的发明，促进了软件技术的发展。电子技术的应用涉及产业广泛，在汽车电子技术领域的发展同样从未落后。

从电子控制燃油喷射系统的实用化考虑，汽车电子技术成为 1970 年之后为应对排气法规限制而陷入瓶颈的汽车产业的“救世主”。超越了之前机械控制的

(年)	1880	90	1900	10	20	30	40	50	60	70	80	90	2000	10	
汽车	86 发明汽车		08 T型福特		内燃机发展 ----- 汽车技术发展						73 通用微控制器点火 各厂商模拟EFI	80 数字仪表 各厂商微控制器EFI		97 丰田普锐斯	09 三菱I-MIEV
电子部件			12 前照灯式	20 启动电机					60 交流发电						
汽车电子技术									60 硅整流元件	61 晶体管式点火	73 首次采用微控制器	80 微控制器普及	87 首次采用车载导航仪	97 电力电子技术时代	02 AUTOSAR起步
电子技术								47 发明晶体管	58 基尔比专利	71 发明微处理器		----- 软件的 升级发展		96 通信的数字化	

图 1-1 汽车技术和电子技术的历史

极限，在不牺牲输出功率及燃油经济性的前提下，成功实现了排气净化。汽车电子技术的发展引起了机械技术的创新，在电子技术和机械技术的相互作用下，汽车得以进一步发展。其应用领域不仅限于发动机控制，而且还扩展至数字仪表、安全气囊、ABS（制动防抱死系统）、车载导航仪系统等。

四轮汽油车的发明距今约 130 年，晶体管距今约 70 年，T 型福特距今约 110 年，微处理器距今约 50 年。

1.1.2 汽车电子技术的历史

汽车电子技术的真正发展是在 20 世纪 70 年代的电子式燃油喷射发明之后，电子部件另当别论。汽车电子技术最先应用于发动机控制中具有代表性的传动系统控制，随后其应用产品扩大至车身系统、行驶安全系统、信息系统，如图 1-2 所示。

传动系统中，先是实现了排放降低及节能技术，目前已朝着混合动力车及电动车的驱动控制方向发展。车身系统中，开发了车门上锁等提升方便性的机构，之后对安全气囊、ABS 等安全性能的提升做出了贡献。目前，随着车辆外部通

信功能的发展，紧急通信、远程服务等已实用化。20 世纪 90 年代开始真正普及的车载导航系统的发展也对通信功能起到重要作用，最近与 ETC（Electronic Toll Collection System，不停车电子收费系统）等基础技术的关联也在逐步强化。图 1-2 仅为概要，汽车电子技术应用产品的详细年表参照本章最后的汽车电子技术年表。

今后，应用产品将继续扩展至降低油耗及保证安全所需的技术，还将不断开发新产品，以满足汽车在环保性能、安全性、便利性、高度信息化等各领域的需求。

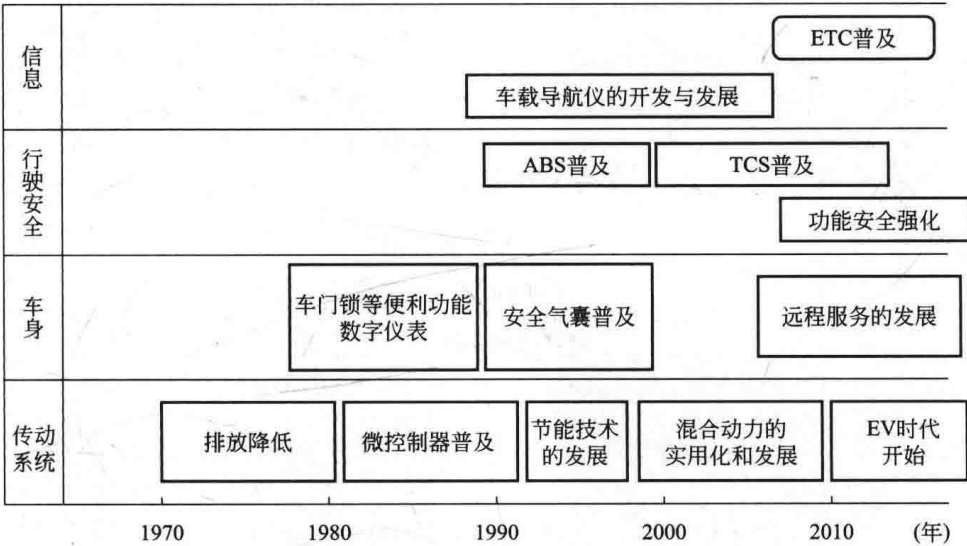


图 1-2 汽车电子技术应用产品的扩大

1.2 半导体的技术发展和 ECU 的变化

1.2.1 半导体技术的发展

电子技术的进步依托半导体集成度的提升。图 1-3 为集成于一个集成电路中的元件数量的年份变化与技术进步的关系，其元件的数量呈几何级数递增。

量子力学是起步于 20 世纪 20 年代的固体物理学的研究成果，1947 年，在量子力学的实际应用达到一定高度的基础上，威廉·肖克利等发明了晶体管。仅凭一个晶体管就从点接触型转变为面接触型，开发出以多个晶体管集成于一个元件中的基尔比专利为代表的集成电路，之后更是发明了微控制器。

美国英特尔公司创始人之一戈登·摩尔提出：“半导体的集成度每隔 18~24 个月便会增加一倍。”依据此摩尔定律，集成电路产品实现了持续的飞跃发展。

在开发出双极型集成电路、MOS（金属氧化膜半导体）集成电路、存储器等元件之后，实现了微控制器的单芯片化，迎来了半导体技术的巨大飞跃阶段（图 1-3）。目前，全世界数量庞大的电子技术研究人员竞相进行技术开发的时代已到来。同时，精细化技术助力这些微控制器的性能提升，推动软件产业的蓬勃发展，从而促进现代电子技术产业的进步。当然，汽车也是在现代电子技术产业的影响下得以快速发展的领域之一。

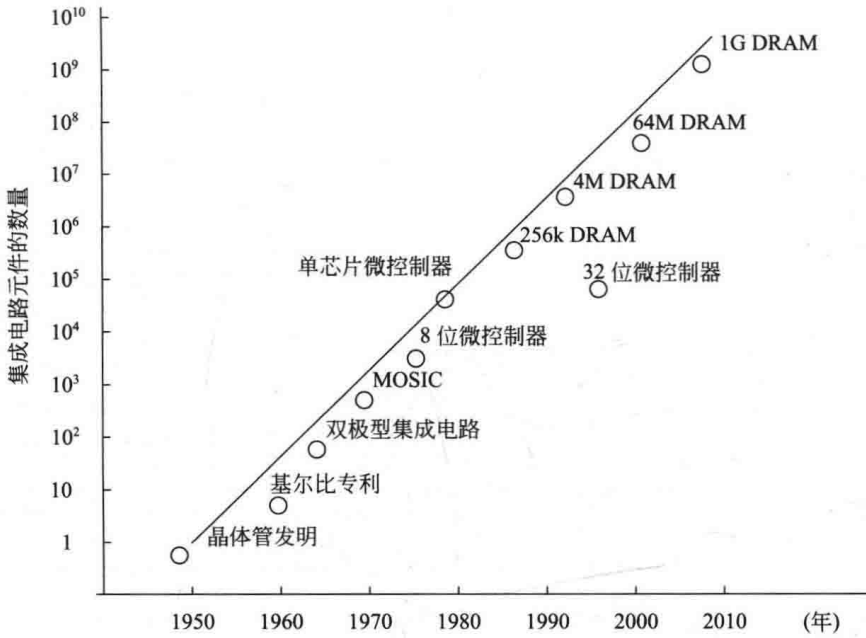


图 1-3 半导体集成度提升的变化

1.2.2 ECU 的变化

图 1-4 为汽车中使用的 ECU（电子控制单元）的发展。

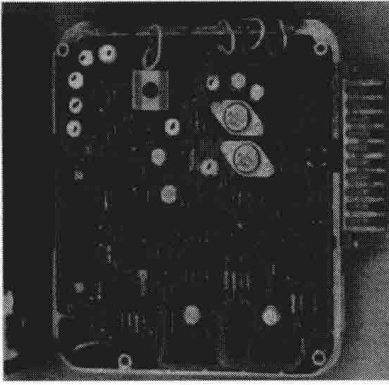
图 1-4(a) 为微控制器实用化之前使用的由模拟电路构成的电子控制燃油喷射系统 ECU。该 ECU 的控制方式为 1973 年采用的离散元件所构成的模拟方式，之后发展为图 1-4(b) 所示的由模拟集成电路构成的 ECU。当时，集成电路的封装处于 DIP（Dual Inline Package，双列直插式封装技术）时代。

图 1-4(c) 是以微控制器为主体的数字方式发动机 ECU。1978 年，这种 ECU 采用的定制微控制器为 12 位，使用汇编语言编写软件。程序存储器采用 MASK ROM（只读专用存储器），在微控制器生产过程中以晶圆状态嵌入。图 1-4(c) 中的 1983 年模板是当时最复杂的发动机 ECU。

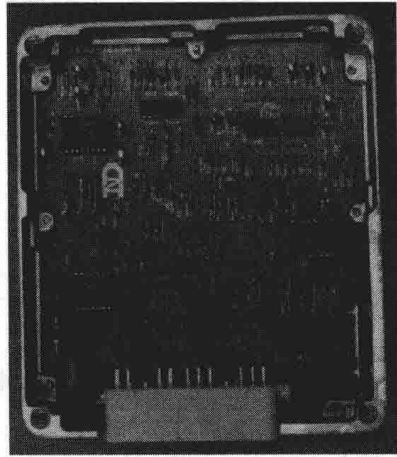
图 1-4(d) 为由两个 32 位微控制器构成的传动系统 ECU。到了 2007 年采用的这种 ECU 中使用的部件均为表面安装件，软件使用 C 语言描述，程序存储器

可通过闪存从 ECU 的外部端子中读入。

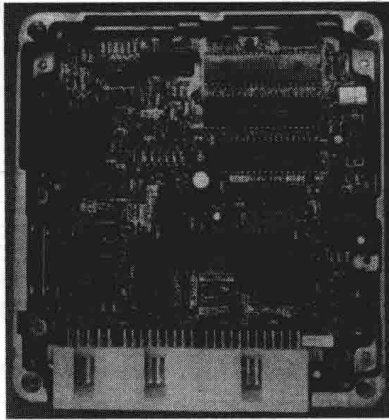
综上所述，ECU 不仅在规模上有大的变化，所用的部件、封装形状、软件描述语言等也随着时代而发展。



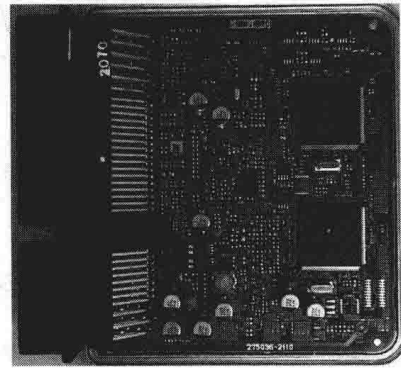
(a) 离散元件构成的模拟方式(1973年模板)



(b) 定制集成电路构成的模拟方式



(c) 12位微控制器构成的数字方式(1983年模板)



(d) 32位微控制器构成的数字方式(2006年模板)

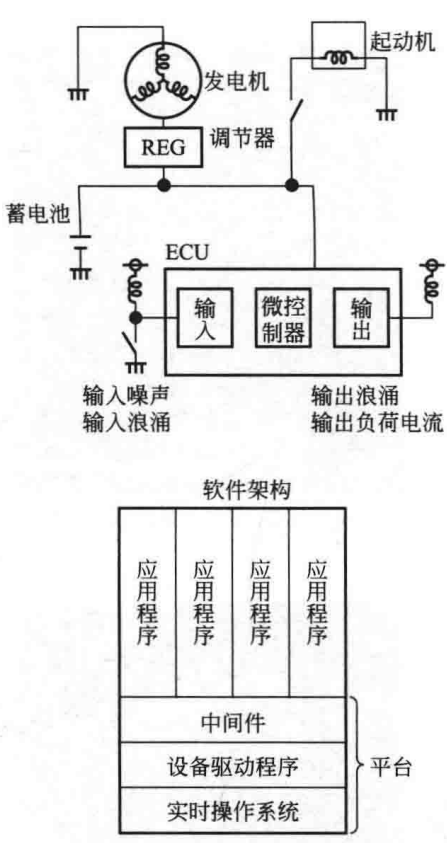
图 1-4 ECU 的发展

1.3 支撑汽车电子技术的主要技术

由于构成 ECU 的各种重要技术的进步，汽车电子技术得以发展。具体体现在微控制器、I/O（输入及输出）功能、传感器、执行器、软件、ECU 的评价方法等方面。

今后为了应对油耗降低、排放降低、安全性及便利性提升等多样化的需求，具有代表性的半导体为主的安装技术、软件评价技术等各种主要技术的发展是必备条件。从这方面考虑，全面掌握汽车电子技术基础的重要技术的现状和发展动

向至关重要（图 1-5）。甚至可以说，这是能否应对今后系统需求的决定因素。重要技术的详细内容将在《图解汽车电子技术（关键技术篇）》中介绍。



- ECU的主要技术
- I. 噪声和浪涌
 - ①电源变动(起动机工作时)
 - ②电源高电压(蓄电池拆下时)
 - ③EMC/EMI
 - ④输入及输出L负荷电流的注入(L负荷关闭时)
 - ⑤静电
 - II. ECU的工作环境
 - ①高温、低温
 - ②自身发热导致高温
 - ③湿度
 - ④振动
 - III. ECU的构造
 - ①散热方式
 - ②电路板方式(印制电路板、陶瓷电路板)
 - ③IC封装(模板、裸芯片)
 - IV. IC的种类
 - ①模拟IC
 - ②数字IC
 - ③微控制器
 - ④功率元件
 - V. 微控制器
 - ①位数
 - ②封装形状
 - VI. 软件架构
 - ①OS
 - ②描述语言
 - VII. 控制运算法则
 - ①容错
 - ②功能安全
 - VIII. 多路通信
 - ①通信方式(CAN、FlexRay)
 - ②有线、电力线、无线
 - IX. 设计方法
 - X. 生产制造

图 1-5 ECU 所需的重要技术

汽车电子技术年表

年份		传动系统控制	车辆控制	车身控制	信息通信
一般动向	技术动向				
1950	<ul style="list-style-type: none"> • 晶体管发明(1948) 				
	<ul style="list-style-type: none"> • 第1次日本车展(1954) 	<ul style="list-style-type: none"> • 日本各公司开始制造晶体管(1952) • 晶体管收音机(1954) • 集成电路基本专利发布(1959~) 	<ul style="list-style-type: none"> • 真空管式燃油喷射控制(克莱斯勒,1957) 		