



汽车先进技术译丛



Springer

汽车电子技术

——硬件、软件、 系统集成和项目管理



[德] Kai Borgeest 著
武震宇 译



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

014034961

U463.6
154

汽车先进技术译丛

汽车电子技术

——硬件、软件、系统集成和项目管理

(德) kai Borgeest 著

武震宇 译



机械工业出版社



北航

C1714550

U463.6
154

138530710

本书由浅入深地阐述了汽车电子系统的基本概念，产品开发的工艺和流程，产品开发过程中的分工与协作，尤其是研发团队对项目的管理和协调，以及对产品质量的控制和管理。本书作者有丰富的实践研发经验，书中有大量的举例、图例解释，便于读者了解书中内容。

本书的读者人群为有电子工程、汽车工程或者机械电子学实践经验的工程师和技术人员，高等院校电子工程、电气工程、车辆工程、机械电子或者计算机专业的老师和学生。

Translation from German language edition:

Elektronik in der Fahrzeugtechnik

by Kai Borgeest

Copyright©2010 Vieweg + Teubner | Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH.

Springer Fachmedien is a part of Springer Science + Business Media.

All Rights Reserved.

版权所有，侵权必究。

北京市版权局著作权合同登记号：01 - 2012 - 7577。

图书在版编目(CIP)数据

汽车电子技术：硬件、软件、系统集成和项目管理/(德)伯格斯特(Borgeest, K.)著；武震宇译. —北京：机械工业出版社，2014. 1
ISBN 978-7-111-45011-5

I. ①汽… II. ①伯… ②武… III. ①汽车—电子技术
IV. ①U463.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 289903 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：纪 敬

封面设计：鞠 杨 责任印制：乔 宇

北京铭成印刷有限公司印刷

2014 年 3 月第 1 版第 1 次印刷

169mm × 239mm · 20.25 印张 · 451 千字

0001—3000 册

标准书号：ISBN 978-7-111-45011-5

定价：85.00 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

原作者中文版序

在2006至2007年本书出版第1版时，主要目的是作为德国阿沙芬堡应用科技大学的《汽车电子学》这门课程的教材使用。当时系统地介绍汽车电子的文献资料还非常罕见。随着第2版的出版，本书已经逐渐成为德国工程师和技术人员参阅的标准图书。

随后作者也陆续收到将本书翻译成其他语言的请求，特别是中文版的出版令作者尤其欣喜。中国的汽车工业正在迅速发展，中国的汽车工程师和电子工程师也和欧洲的工程师一样不断推动科技创新。

尤其在一些超大城市，例如上海、北京或者香港，面临的一个挑战是如何既保证汽车工业的迅速发展，又避免越来越拥挤的交通状况对人们的生活质量产生负面的影响。在这方面，欧洲在工业化过程中曾经犯过很多错误，而中国有机会在一开始就借鉴这些经验，避免走弯路。除了建设公共交通网络之外，私人汽车的动力总成系统技术也在不断地更新。例如，中国正在大力发展电动汽车，并且有潜力在这方面成为技术的领跑者。又比如说，在城市车流密度不断增加的情况下，新的驾驶人辅助系统可以让驾驶变得更通畅、更安全。再比如说，在中国西部一些省份，暂时还没有成熟的汽修网络，两个汽修站之间往往相距很远，这时要求汽车有很高的耐用性和可靠性。

在此，我祝愿广大读者阅读愉快，并且在学习和工作中取得成功！

我还要特别感谢武震宇博士，谢谢他倡导和进行本书的翻译工作！

凯·伯格斯特博士，教授

德国阿沙芬堡

2013年7月

译者序

近十年来，随着客户对汽车安全性、舒适性、节能性要求的提高，汽车中电子部件也越来越多。如今，一辆新车中大概含有100个电控单元，特别是在一些中高档车型中，电子产品的硬件和软件成本甚至占到汽车总成本的30%~50%，在未来几年中甚至会增加到70%。

汽车技术的发展越来越依赖于电子技术的发展。与此同时，作为传统的汽车行业和电子行业的交叉点，汽车电子已经发展成了一个完善的行业。相关产品的开发和应用、项目进展的过程、产品的质量管理和可靠性等方面都有着鲜明的行业特点。和其他电子产品不同，汽车电子产品的设计寿命一般要求达到15~20年，并且在极端的温度、振动、电磁干扰的条件下仍然保证高的可靠性。与此同时，由于汽车行业的激烈竞争，也使得汽车电子产品从研发到生产、销售的整个过程都必须面对巨大的成本压力。

德国的汽车产品历经数次大的创新，产品质量长期以来具有良好的口碑。这一方面取决于成熟的工程基础，另一方面也和产品项目的管理流程密切相关。译者以参与项目开发的经验和体会为基础，阅读本书的德语版时，发现书中内容非常贴近实践，选取的例子代表性强，无论从技术方面还是项目管理方面，都具有指导意义。正逢国内汽车行业蓬勃发展，于是产生了将本书翻译成中文的想法，以便国内广大读者进行参考。

本书的内容主要针对德国汽车电子领域近几年的发展，以实例的形式介绍了行业发展的现状以及行业特点，内容深入浅出，适合广大汽车和电子专业的师生、汽车电子研发工程师、项目管理人员以及汽车维护和修理人员参阅。

原作者凯·伯格斯特教授对中文版的翻译工作一直给予关心和鼓励，在此表示感谢。

北京航空航天大学内燃机工程系的杨世春教授在百忙之中对全书进行审阅和修正，在此深表谢意。

感谢机械工业出版社汽车分社的徐巍副社长的协调和支持。

最后，译者感谢妻子一直以来对生活的精心照料和对翻译工作的默默支持。

译者在内容和专业术语方面反复斟酌，但由于译者的专业和语言水平所限，疏、误之处在所难免，恳请广大读者批评、指正。

武震宇博士

2013年7月于德国罗伊特林根

前 言

在2005年的夏季学期，我为阿沙芬堡应用科技大学机电专业和电子专业的学生首次开设了“汽车电子技术”这一课程，这两个专业均在第8学期开设此课程。此课程的教学目标是：能够掌握电子学和信息学的基础知识，能够成功完成汽车供应商或汽车制造商的工作任务。但需要掌握哪些知识呢？

人们现在已经可以详细解释每一个汽车上单个的电子系统，甚至可能会非常令人感兴趣，但这对工程师开发合乎汽车使用要求的可靠产品并无进一步的帮助。尽管工程师经常只是开发汽车上的分系统，但仍需了解和子系统有关的方方面面的知识（硬件、软件、总系统）。他必须清楚，既要在发动机舱的高温下工作又可以承受严寒霜冻的电子模块应如何布置。除了温度，还有其他要求，这些要求在其他电子设备的应用领域是不需要的。一个特别重要的要求是价格，还有更重要的一个是软件的区别。如果对个人电脑特别了解的话，马上就能意识到，汽车上的控制单元与个人电脑的运算器之间的区别。汽车领域的工程师也要具备可靠性方面的基础知识。

汽车电子系统在开发中出现问题时，绝大部分情况下根本不是技术方面的问题。开发不是一个人在阁楼里做的，而是在一个与汽车供应商和制造商紧密合作的团队中进行的。汽车供应商的开发工程师一定会经常与顾客联系，而汽车制造商的开发工程师就与他们的顾客（日后的购买者）没有什么联系了。除了纯粹的技术，开发流程也扮演着重要的角色。此外，还有巨大的时间压力，开发工程师必须理解“如何”正确开发。

因此，对于4周课时的课程有太多的内容要讲授了，但缺乏合适的教材。当然，也有一些很好的书从不同角度讲得很好，但对于课程不太合适，因此就有了本书。本书对于课程来讲可能有些厚，但包含了对于汽车电子系统开发来说必需的所有内容。

一个人单独完成一本书是很困难的。在这里我想首先感谢 Vieweg 出版社的德波尔先生，我们有非常好的合作。

我在书中阐述了对汽车上的技术系统进行测试的意义，本书本身也需要“测试”，以对其进行纠错和改进。在此，我想对从其他视角对本书进行审读的人们表示感谢，他们的名字是教授、工程学博士约克·阿比克先生、工程学硕士比约恩·阿诺德先生、工程学硕士马里安-彼得·波沃尔先生、工程学硕士哈拉尔德·沃基特克瓦克先生和工程学博士白明丽女士。

我还想感谢 Akkumulatorenfabrik Moll 的施莱尔先生，Robert Bosch Gmbh 的丹吉尔女士和第切尔先生，Sharp Technologies GmbH 的舍弗尔先生，VTI Technologies Oy 的图劳先生，他们在图片资料方面提供了支持。

凯·伯格斯特

2007年11月于阿沙芬堡

第 2 版前言

本书第 1 版出版以来,又有许多变化,在本书第 2 版中进行了修订。最令人高兴的是:在第 1 版导言中提到的德国每年的道路交通事故死亡人数约为 5000 人,到 2008 年减少为 4467 人,据初步估计,2009 年还要更少。此外,第 1 版出版以来,汽车技术也有了进一步发展,也出台了新的标准和规定。

电动汽车、混合动力汽车与 EMV(电磁兼容性)是读者关注的焦点,我很愿意着手研究,尤其这也是我进入汽车行业前所从事的最后一个领域。

由于其现实意义,本书也从电子技术的角度对废气后处理进行了探讨。

除了上述焦点问题,本书还有许多小的改进。一开始所有上述内容均有描述,在刚开始排版时,本书曾超过 420 页,但为了尽可能多地安插新内容,而不是扩大范围,本书有所删减。

在此,我想感谢 Fromm MediaDesign 的弗洛姆女士,她为本书第 1 版和第 2 版的印刷出版做了很多准备工作。关于本书第 2 版,我还想感谢教授、工程学博士约翰内斯·泰戈尔科特先生,他作为电动机专家,审读了本书的新章节,还提供了他的电动汽车的图片;感谢教授、工程学博士 U. 博和特勒,我在他的 EMV 实验室拍摄了一些照片,由于篇幅的原因,这些照片没有完全出现在书中。

凯·伯格斯特

2010 年 1 月于阿沙芬堡

目 录

原作者中文版序	
译者序	
前言	
第2版前言	
第1章 导论	1
第2章 汽车电气系统	3
2.1 汽车电气网络	3
2.1.1 导线和导线束	3
2.1.2 布线图	5
2.1.3 插接件	7
2.1.4 熔丝	8
2.2 能量存储装置	8
2.2.1 铅蓄电池	10
2.2.2 镍镉电池	11
2.2.3 镍氢电池	11
2.2.4 锂离子电池	11
2.2.5 钠硫电池	12
2.2.6 储能电容器	12
2.2.7 燃料电池	13
2.2.8 其他能量存储设备	15
2.3 多级电压电路网络	16
2.4 电能管理	17
第3章 混合动力驱动和纯电动驱动	19
3.1 电机	19
3.1.1 直流电机	20
3.1.2 同步电机	21
3.1.3 异步电机	22
3.1.4 变频器	23
3.2 发电机	24
3.3 起动机	26
3.4 起动机	27
3.5 混合动力汽车	28
3.6 纯电动汽车	31
3.6.1 燃料电池汽车	32
3.6.2 可在公共电网充电的电动汽车	32
3.6.3 太阳能汽车	33
第4章 柴油发动机电子控制单元示例	34
4.1 柴油发动机控制的任务	35
4.2 喷油系统	35
4.2.1 曲轴转角	36
4.2.2 计算喷油量	38
4.2.3 计算喷射起始时刻	39
4.2.4 喷射系统控制	40
4.2.5 喷油器控制	41
4.2.6 共轨压力控制	46
4.3 转速控制	47
4.4 进排气系统控制	47
4.4.1 废气再循环	48
4.4.2 增压装置	53
4.5 废气处理	54
4.5.1 微粒过滤器	55
4.5.2 氮氧化物过滤器	56
4.5.3 氧传感器	58
4.5.4 氮氧化物传感器	59
4.5.5 烟度传感器	60
4.6 热能管理	60
第5章 总线系统	62
5.1 设备功能的划分	62
5.2 组成局部网络的汽车电子部件	64
5.3 CAN总线	66
5.3.1 CAN总线的物理层	68
5.3.2 CAN总线的数据链路层	77
5.3.3 上层协议层示例	83
5.4 其他的总线系统	85
5.4.1 LIN总线	85
5.4.2 时间触发的总线系统(Byteflight, TTCAN, TTP, FlexRay)	86
5.4.3 乘员保护系统总线	90

5.4.4 多媒体应用总线	90	7.4.5 车载诊断系统	177
5.4.5 无线网络	92	7.4.6 通过诊断接口进行编程	180
5.5 实践方法	92	7.4.7 ODX	181
第6章 硬件	95	7.5 应用软件开发	181
6.1 控制系统构造	95	7.5.1 程序开发	181
6.1.1 核心运算器	97	7.5.2 旁路技术	183
6.1.2 传感器	104	7.5.3 数据和应用程序	184
6.1.3 传感器信号处理	107	7.5.4 软件测试	189
6.1.4 执行器控制	113	7.5.5 闪存程序写入	195
6.1.5 变压器	121	第8章 项目、流程和产品	197
6.2 电磁兼容性	123	8.1 汽车行业的特点	197
6.2.1 干扰源和潜在敏感装置	123	8.2 电子系统开发的步骤	199
6.2.2 干扰耦合机制	124	8.3 项目和流程	200
6.2.3 电磁兼容性法规	128	8.4 实践中的项目	202
6.2.4 确保电磁兼容性的措施	135	8.5 项目的阶段性	203
6.2.5 电磁兼容性模拟	138	8.5.1 获取阶段	203
6.2.6 电磁兼容性检测和测量方法	139	8.5.2 规划阶段	204
6.3 力学要求	141	8.5.3 开发阶段	218
6.4 散热要求	142	8.6 产品生命周期管理	221
6.5 化学要求以及密封性	146	8.7 基于架构的开发	222
6.6 环境保护要求	147	8.8 维护已投产产品	222
6.7 声学要求	148	8.8.1 开发部门对已投产产品的 支持	222
6.8 封装和连接技术	148	8.8.2 量产	223
第7章 软件	150	8.8.3 售后服务	225
7.1 电控单元软件架构	150	8.9 质量	225
7.2 实时操作系统	152	8.9.1 质量管理	226
7.2.1 实时操作系统的任务	152	8.9.2 质量标准	230
7.2.2 OSEK/VDX	154	第9章 安全性和可靠性	234
7.2.3 AUTOSAR	158	9.1 电子系统的失效	235
7.3 软件的控制和调节功能	159	9.2 软件的失效	240
7.3.1 控制功能	159	9.3 安全性和可靠性的分析方法	240
7.3.2 PI控制器和PID控制器	161	9.3.1 FMEA	241
7.3.3 基于模型的控制	164	9.3.2 故障树分析	243
7.4 软件的诊断功能	170	9.3.3 事件序列分析	244
7.4.1 故障的识别和处理	171	9.4 改进措施	245
7.4.2 故障信号的去抖和自愈	171	9.4.1 元件的品质验证	245
7.4.3 故障存储管理	172	9.4.2 监视和诊断	245
7.4.4 电控单元和测试仪之间的 通信	173	9.4.3 复杂度和冗余度	246

第 10 章 应用示例·····	248	10.5 驾驶辅助系统和信息系统·····	268
10.1 空调控制系统的功能开发·····	248	10.5.1 车道保持和换道辅助系统·····	269
10.1.1 空调控制的原理·····	248	10.5.2 停车辅助·····	269
10.1.2 空调控制系统的结构 (示例)·····	249	10.5.3 导航系统·····	270
10.1.3 空调电控单元的功能开发 (示例)·····	250	10.5.4 车载信息服务系统·····	272
10.2 动力总成系统·····	252	10.5.5 车窗清洁系统·····	274
10.2.1 发动机电控单元(汽油机)·····	252	10.5.6 照明系统·····	275
10.2.2 可变凸轮轴电控单元·····	254	10.5.7 夜视系统·····	276
10.2.3 变速器电控单元·····	256	10.6 人机接口·····	276
10.2.4 离合器电控单元·····	257	10.7 舒适性系统·····	279
10.2.5 电子差速器锁·····	257	10.8 娱乐性电子系统·····	279
10.3 汽车动力学和主动安全系统·····	258	10.9 防盗保护·····	280
10.3.1 纵向动力学和制动·····	259	第 11 章 汽车的个性定义与调整·····	282
10.3.2 横向动力学、转向系统和 电子稳定程序·····	262	第 12 章 未来的汽车科技·····	284
10.3.3 垂直动力学·····	264	12.1 自适应系统·····	284
10.3.4 轮胎气压监控·····	265	12.1.1 发动机悬置·····	284
10.4 被动安全系统·····	266	12.1.2 示例:采用记忆合金进行 框架强化·····	286
10.4.1 安全气囊·····	267	12.2 纳米技术·····	287
10.4.2 安全带预紧器·····	268	12.3 光电子技术·····	287
10.4.3 行人保护系统·····	268	12.4 其他的未来科技·····	288
		附录缩略语·····	289
		参考文献·····	298

第1章 导 论

20年前提到汽车,人们的印象停留在环境的污染、众多的在车祸死亡的人数、不舒适的长途旅行。如今,汽车仍然对环境造成污染,德国每年4467起车祸死亡事故(根据2008年德国统计局的数据[Destat09]),仍然不少。开车长途旅行与搭乘高速列车或者飞机相比,仍然不是很舒适。尽管这些都是事实,但在过去的20年中,技术的发展使汽车在环境保护、安全性和舒适性等方面都得到了大幅度的改善。如果说,在汽车的被动安全方面,最主要的改善还体现在底盘结构设计和车内陈设的话,那么与此同时,环境保护(发动机控制、废气处理)、主动安全(ABS、ESP)和舒适性方面的改善,都主要得益于电子技术的发展。另外,在被动安全方面的重要部件安全气囊中,电子技术也起到了关键性的作用。

上面列举的这几个例子,如今仍然在快速发展,并且对未来的工程师们提出了新的挑战。在轿车中新的驱动概念不断出现,例如,混合动力驱动已经被某些日系品牌量产。一些轿车中得到普及的新技术,还会被应用到商用车和摩托车中。目前,被动安全装备已经趋近完善,而在主动安全方面,尤其是主动安全和被动安全的交叉点仍然存在很多新的开发机会。随着越来越多的老年人驾驶汽车,可以为驾驶人提供信息支持、警告甚至参与驾驶的辅助系统越来越重要。产品开发工程师不应该仅仅专注于技术细节,同时还需要乐于观察客户的需求,这样才能为改善驾驶舒适性以及娱乐性获得越来越多的灵感。

与此同时,其他的技术也在不断进步。例如,提到柴油发动机,人们往往联想到噪声很大、体积庞大、行动缓慢的拖拉机。而如今,新式的柴油发动机甚至可以用于极速赛车,在2006年第一辆柴油机车就出现在法国勒芒24小时耐力赛上。当然,绝大多数人都不会去驾驶赛车,在普通轿车上,柴油发动机也完全可以胜任。另外,还涌现出了多种新式的内燃机,从技术方面进行归类的话,这些新式发动机介于柴油发动机和汽油发动机之间,大部分正处于研发当中。在这些发动机中,只有借助精确的电子自动控制方可运作。

汽车发生故障时,故障的诊断往往需要耗费很多时间和人力,而借助新式的电子诊断系统,此项工作会变得非常简便(在实际情况中却并不一定总是如此)。

另外一个技术更新,是车辆之间的彼此联网,以及与外部基础设施的通信。所以从长远来看,车辆与道路将发展为一个相互融合的统一系统。尤其是载货汽车,每辆车都将作为物流网络的一个组成部分。

汽车电子技术的发展所带来的一个利好，便是可以创造大量的工作机会。所以，德国的汽车工业面对新兴的技术，要始终保持敏感的嗅觉，而不要反应迟钝。

技术的发展对各方面带来改善的同时，人们也不应该忘记其缺点。

一个显著的缺点是复杂性的提高。对一个系统的可靠性要求高时，最基本的原则是尽可能地保持系统的设计简单、清晰。然而，正是由于大量使用电子元器件，汽车作为一个系统，构造变得越来越复杂。当一个人有过在寒冷的冬夜由于软件故障而抛锚的经历后，在他再次购买汽车的时候，他很可能会不选择这个品牌，同时把糟糕的经历讲给他的朋友和家人听，试图说服身边的人也不要购买这个品牌。当电子转向系统由于软件的漏洞发生撞到树上的事故，结果将会更糟糕。很可惜，数据表明，尤其在豪华车领域，汽车的可靠性变得越来越差。如果想要在复杂的系统中仍然保持高的可靠性，仅仅关注最终产品是远远不够的。产品研发的工艺和流程需要首先被开发出来，然后才可以依据明确的开发流程来进行产品研发。工程师也不能只关注研发项目的最终的结果，同时也要注意，在困难的研发条件下(时间压力、资金压力等)，如何以不降低产品的质量作为代价来达到既定目标。

同样，以前驾驶人自己可以做很多汽车的维护和修理工作，而随着电子元器件的增多和复杂性的提高，私人动手修车或者做维护变得不可能。尽管电子诊断系统有所帮助，但根据经验，很多工作不再可能自己去动手，而只能去修车厂找专业人员才能维修。大多数时候，这正是整车厂所希望的，因为售后服务占整车厂总体利润的一大部分。所以说，越来越多的电子元器件让制造商可以有可能会定制哪些功能必须去汽修厂或者品牌修理店做维护。这对于用户来说需要花费更多的时间，但对车厂来说则有利可图。所以，从消费者的角度来看，电子元器件对制造商提供利好，对客户却是利空。

第2章 汽车电气系统

电子控制单元在汽车上应用之前,简单的电气部件或者机电部件就已经应用到汽车中,例如照明系统以及电子点火装置。电气部件所需的电能,需要通过合适的能量存储装置存储以及传输导线来输运。汽车电气系统这个概念包括了经典的电气部件以及现代化的电子控制系统。本章将介绍车身电路网络、能量存储装置和电能管理,而电子控制系统将在后续几章中进行深入的讨论。混合动力驱动或者纯电动驱动可以看成汽车电能管理和汽车电机的进一步发展,所以原本应该属于本章的讨论范围。但是因为新式驱动越来越重要,所以它们分为独立的一章。由于点火系统已经完全采用电子控制,所以放在第10章来介绍。

2.1 汽车电气网络

车身电气网络是连接电能来源(蓄电池、发电机)并将电能传输到用电器的传导系统,另外,它 also 包括了电子信号和信息的传输,在个别情况下甚至光信号传输。车身电气网络总体示意图如图2-1所示。

在过去的几十年中,虽然各式各样的小型用电器的数量显著增加,但汽车电能的消耗并未发生根本的改变。相反,越来越多的电控单元之间的信息交换却爆炸性地增长,点对点的信息传输已经变得不再可能,如今,信息传输只能通过数据总线来实现,例如CAN总线,这方面我们将在第5章进行介绍。应对越来越多的走线的下一个解决方案是采用无线信号传输。可在实际中,由于车身的诸多金属结构会对无线信号产生屏蔽,以及无线信号在电磁兼容性上更加容易出现问题,无线信号传输至今不能得到广泛的应用。另外,一部分公众关心的话题是某些频率的电磁波可能对人体的健康产生影响,人们通常统称之为“电磁辐射”,这个词立刻让人产生负面的印象,影响了公众对无线技术的接受度。

2.1.1 导线和导线束

根据统计,汽车发生失火的最常见原因是由于导线起火,所以导线必须在通过大电流时仍然保证不会过热。必须通过加装熔丝来避免短路事故。用电器举例见表2-1。

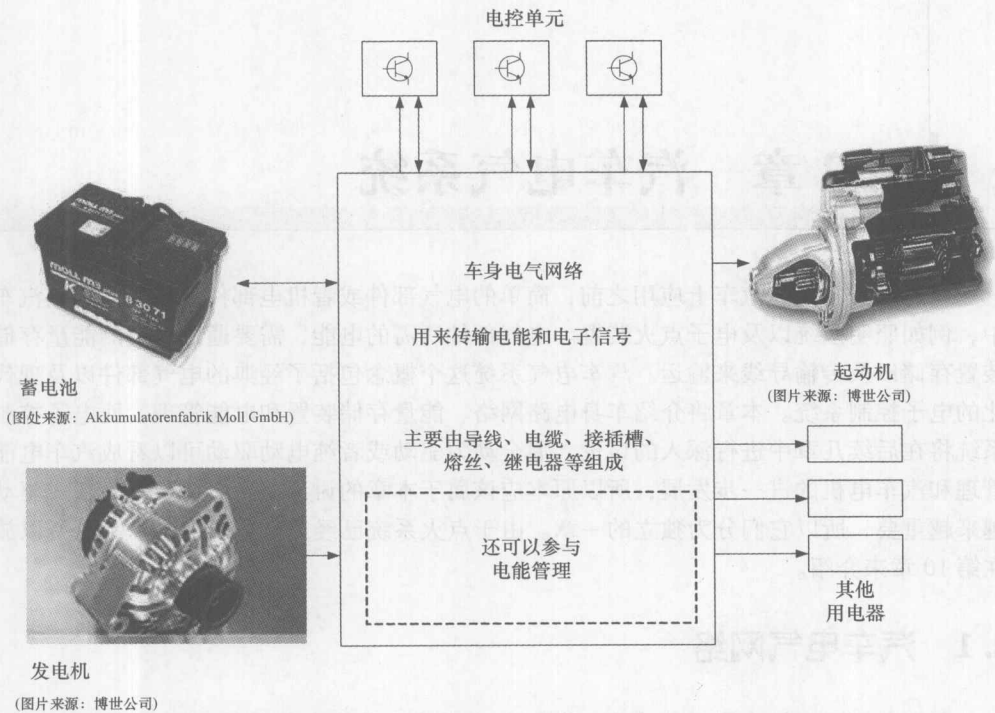


图 2-1 汽车电气网络总体示意图

表 2-1 用电器举例

用电器	功率 P	用电器	功率 P
电子燃油泵	250W	冷却风扇	120W
玻璃加热除霜器	200W	近光灯	110W
驾驶室风扇	120W	停车灯	8W

防止导线过热的方法是，电流密度不能超过允许界限 S 。在电流为 I ，导线面积为 A 的情况下

$$S = \frac{I}{A} \quad (2.1)$$

电流密度的允许界限取决于多种因素，比如导线是单股导线还是多股绞合线，导线的材料(一般只用铜导线)、导线的直径以及外包绝缘层材料的种类等。这里给出大概的参考值，连续工作时电流密度的临界值为 $5A/mm^2$ ，短时间电流密度脉冲的临界值为 $10A/mm^2$ 。如果超过了临界值，导线的功率损失 P_v 会产生热量，从而导致电线的熔化、分解，绝缘保护材料或者毗邻导线部件甚至会起火燃烧。电流为 I 时导线的功率损失为

$$P_V = I^2 R \quad (2.2)$$

其中

$$R = \frac{\rho l}{A} \quad (2.3)$$

式中, l 为导线的长度, ρ 为导线材料的电阻率(铜线大概为 $0.0185 \Omega \text{mm}^2/\text{m}$)。电流可以通过用电器的功率 P 和电压 U 来计算

$$I = \frac{P}{U} \quad (2.4)$$

在实际中, 计算出某个截面的电流之后, 可以为每种导线列个表。这也包括了需要选择的熔丝的额定值。在汽车中用到的导线 FLY 和 FLRY 的数据表格可以从导线供应商处获取。这两种导线类型在汽车中的应用有相应的规范[ISO6722]。

除了导线的功率损失之外, 也需要保证导线本身的电阻不能产生明显的电压损失。这可以通过欧姆定律来计算, 或者从数据表格中读取。

[DIN72552]规定了导线的颜色, 例如棕色为地线。通常情况下, 导线的标记为双色的。

只有在线路很短时采用单独的走线, 在长的线路中, 导线被集中成导线束的结构。这个名字来源于主线路的分支结构。主线路中含有很多平行导线, 其中有分支导线束, 而分支导线束又产生进一步的分支, 连接到独立的传感器、执行器、电控单元或者其他的电气设备上。导线束往往包裹在软的塑料管或者粗网眼的人造棉管中。在通常情况下, 现在的汽车往往有至少一条车身导线束和一条发动机导线束, 整车的布线通常采用多条导线束。如果将一辆轿车中的导线长度累加起来, 会有好几公里长。

传统的导线束由于体积原因, 越来越难放置在汽车中, 未来, 圆柱形的导线, 可能会被平的、有正方形截面的导线所取代, 以节省空间。在一些设备中, 例如在汽车的仪表板中, 方形导线已经逐渐取得了应用, 但是方形导线完全取代整个汽车的导线束还不太可能。提高车身电路网络的电压可以降低供电电流, 也有利于减小供电导线的截面积。

2.1.2 布线图

图 2-2 中是一个标准的布线图, 其规则基于[DIN72552]规范。其中元件(例如电阻为 R , 电容为 C)的标记在[DIN61346]中有详细的规定(DIN40719)。在示例图的上方列出了重要的引脚, 通过这些引脚对汽车中所有系统进行控制, 其中首先是有第 15、30 和 31 号卡槽的电源引脚(表 2-2)。灰色区域表示特定的区域为中央电气区, 在这些区域中除了所画的线路之外, 还有其他单独的元器件。在之前的汽车中, 中央电气区往往是熔丝箱, 位于仪表板附近、在行李箱或者发动机舱中; 在新式的汽车中, 中央电气区往往是独立的、有特定功能的智能电控单元(例如电能管理模块), 当然也可以通过外加熔丝箱来对其进行完善。示意图下方表示接地, 一部分通过和汽车车身相连来实现, 一部分通过接入总地线来实现。图中下部有两条地线, 第三条“导线”其实是车身。

在左右两侧边界之间，从左到右是编了号码的电气系统。另外，也对导线的截面积进行了标注。为了有效识别汽车中的导线，也可以标明导线的颜色（如果电路图并非彩色的）。由于一直在强调电路图的标准化，所以即使不同车型的设计图，也只需要稍加训练便可理解。有时，电子控制单元不能在设计图中标明，这时注明每条导线的功能就变得非常有帮助了。然而，功能的描述往往不清晰，即使有也仅仅是生产商内部的缩写，外部的人通常不能识别。

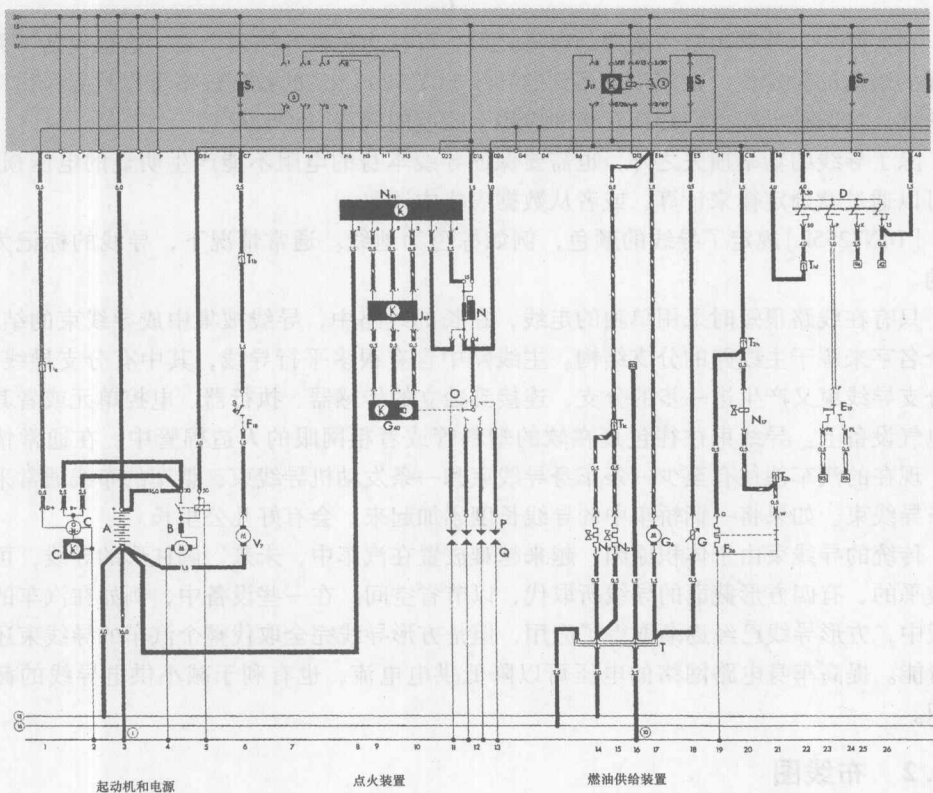


图 2-2 标准布线图的一部分，其中包括了电源、起动机、点火装置和燃油供给装置

接线槽在每辆车中都会用到，[DIN72552]的第2页也规定了对接线槽的标记，而且对某些接线槽做出了指数说明。表格 2-2 中是几个例子。这些缩写经常联合使用，比如说 K15 表示接线槽 15。

表 2-2 [DIN72552]中规定的接线槽标记方式

编号		编号	
1	点火线圈（共同接线槽）	15	电池正极电压、接点火开关
4	点火线圈（高压输出端）	30	蓄电池正极电压

(续)

编号		编号	
31	蓄电池负极	D +	发电机和控制器的正极接线槽
50	起动机	D -	发电机和控制器的负极接线槽
54 ~ 58	照明系统	DF	发动机和控制器的励磁线圈接线槽
B +	连接蓄电池的发电机正极接线槽	U、V、W	发电机的三相电压
B -	连接蓄电池的发电机负极接线槽		

2.1.3 插接件

无论是不同的分支导线束之间，还是导线束与电气部件之间的接口，都是通过可拆卸的插接件来连接的。一个例外情况是超大电流器件，例如起动机、蓄电池和发电机中，往往倾向于用螺纹旋紧的电缆接线头或者其他螺纹联接件进行连接。

汽车工业对插接件有很高的要求，因为它们经常需要在振动、极端温度和湿度条件下使用。插接件往往被人们忽视，可正是这个不起眼的部件，频繁地导致电路系统故障。插接件对于整车可靠性有着非常重要的意义。

在汽车中，插接件必须充分卡紧，来避免由于振动而松动。试过将插接件拔出的人都知道，这是一件非常费力的事情(有时候还会弄伤指甲)。所以电控单元的多路插接件都有集成在内的打开装置例如杠杆或者槽楔，用来简化插拔的过程，如图 2-3 所示。

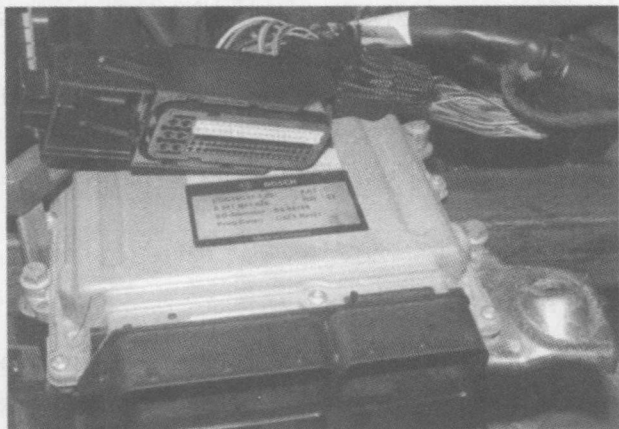


图 2-3 电控单元接插槽示例图。与插槽相符合的是左下角的插口。插槽左侧集成了打开辅助装置。插槽中含有很多小功率的信号接口以及几个大电流接口

防水防潮的功能通过密封件和防腐蚀的接触点来实现。使用金作为接触点是最理想最稳定的，但价格也是最贵。接点的两侧的金属必须是同一种材料，不然会由于接触电