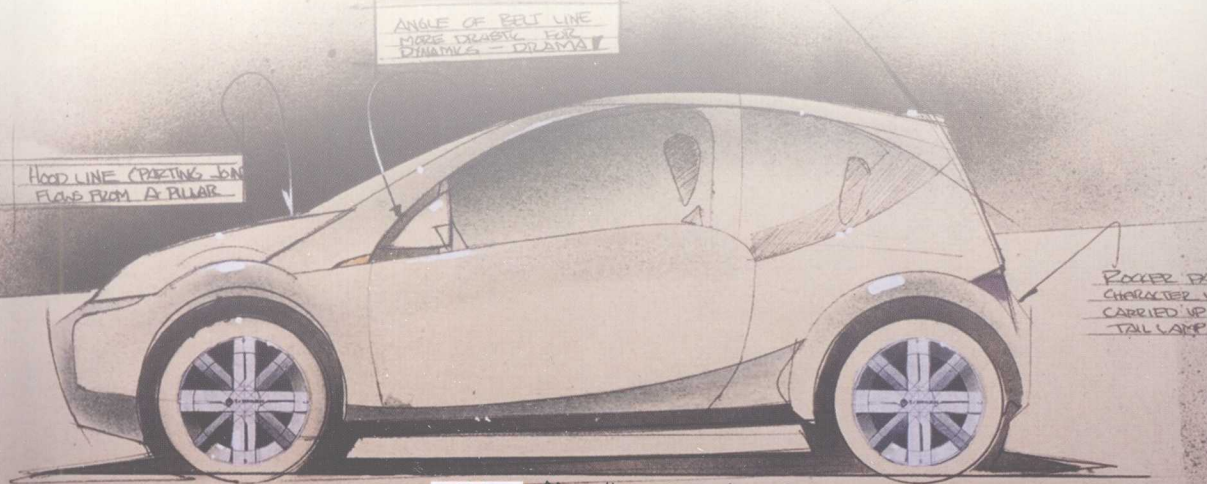


汽车电源的 42V化技术

〔日〕 电气学会·42V电源化调查专门委员会 编
贾要勤 译



科学出版社

www.sciencep.com

汽车电源的 42V 化技术

〔日〕电气学会・42V 电源化调查专门委员会 编
要勤 译

科学出版社

北 京

图字: 01-2007-4556 号

内 容 简 介

本书共 7 章。首先介绍了汽车 42V 电源的背景和技术动向,然后对汽车 42V 电源的配电系统、零部件、蓄电池、电容器、起动、发电机以及电力电子部件的相关技术进行了详细讲解。最后对电动机和电气零部件进行了重点介绍,并介绍了 42V 电源系统的规格化、标准化动向。本书将简洁明了的文字和清晰易懂的插图相结合,辅以实际应用举例和经验。因此,非常便于理解,是了解和掌握汽车电源 42V 化技术不可多得的好书。

本书可供从事汽车电力电子的技术人员参考,也可作为相关专业高校师生的学习参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

汽车电源的 42V 化技术/(日)电气学会·42V 电源化调查专门委员会编;
贾要勤译. —北京:科学出版社,2008

ISBN 978-7-03-022689-1

I. 汽… II. ①日…②贾… III. 汽车-电源-技术 IV. U 463.63

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 118164 号

责任编辑:赵方青 杨 凯 / 责任制作:魏 谨

责任印制:赵德静 / 封面设计:璩 佳

北京东方科龙图文有限公司 制作

<http://www.okbook.com.cn>

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

双青印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2008 年 9 月第 一 版 开本: B5(720×1000)

2008 年 9 月第一次印刷 印张: 11 1/2

印数: 1—4 000 字数: 214 000

定 价: 29.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈环伟〉)



前言

汽车从开始批量生产到 2003 年已有 100 年的历史了,其中,车辆电子化、电动化取得了惊人的进展,20 世纪 80 年代出现的微处理器使得车辆实现电子化,90 年代后期出现的混合动力汽车更加快了车辆的电动化进程。伴随着这种高速的电动化进程,汽车电源迫切需要“50 年一次的变革”。

进入 21 世纪以来,人们对环境和能源问题的关注空前高涨,今后对汽车在燃油消耗、尾气排放、动力性能和舒适性方面的要求会越来越高。为了实现这样的目标,提出了许多新的系统方案,其中多数是车辆动力系统的电动化,因此增加了车辆对电力的需求。今后由于车辆用电需求的增加,原来的 14V 供电系统(电池电压为 12V)已经无法完成发电和供电任务,因此就需要有新的电源系统和供电方案。

在今后可能的车载电气系统中,目前可以想到的用电需求有车辆动力系统的电磁吸排气阀门、电动四轮驱动、电动涡轮增压、怠速停机系统,在车辆底盘系统中有电动助力转向、线传控制(X-by-Wire),在车体方面有电动空调等。这些车辆电气零部件的功率需求都在 1kW 以上,因此发电机的输出电流需要考虑增加 3 倍以上。

如果在现有的 14V 电源系统中来实现,由于发电机的输出功率增加,供电时电压降低,因此需要采取措施来减小热损耗。如果不想将电流增加 3 倍以上,最有效的方法是不增加电流,而将车辆的电压尽量提高。但是,如果电压过高,就需要采取措施来防止人体触电事故的发生,这样就导致成本增加。因此,电压最好能在人体安全电压范围(DC60V)以下,通常将电压确定为 14V 的 3 倍,即 42V 是一种解决方法。

基于上述理由,将 42V 确定为车辆电源的标准电压,受到了全世界的汽车生产商和电气零部件生产商的广泛支持,大家都认为下一代的汽车电源电压应该为 42V。1998 年,美国麻省理工学院领导的 Industry Consortium on Advanced Automotive Electrical/Electronic Components and Systems(统称 MIT Consortium)和欧洲 Sciworx 领导的 Forum Bordnex 一起对技术问题、规格标准的讨论取得了一定的进展,现在日本、美国和欧洲对 ISO 标准的审议也在进展之中。

2001 年 8 月,日本有了世界上第一辆商品化的 42V 电源汽车(丰田的皇冠轻度混合动力车),并将其推向市场。2002 年 9 月,市场上出现了应用 42V 系统的汽车(March e. 4WD);2003 年,欧美的汽车制造商也上市了 42V 电源的汽车。

2001年4月,在日本由电气学会产业应用部门的自动化技术委员会成立的“42V电源化调查专门委员会”,通过由汽车制造商、零部件生产者和大学组成的委员调研了最新技术开发,交流和研究了日本国内外的动向,并进一步加深了和海外机构(MIT,SAE等)的合作。

在标准规格方面,也以该调查专门委员会成员为核心,于2002年1月在汽车技术学会的标准委员会成立了“42V分会”,主要来讨论和42V有关的规格和国际标准化(ISO),在国际上处于领先地位。

本书对21世纪新一代车辆电源的“42V化技术”最基本的现状和未来技术方面进行了论述。“42V化”并不仅仅是提高原有电源的功率,也有可能和将来的混合动力汽车、燃料电池汽车等新的电源结构有关。电源的基本结构的变化周期有可能是10~20年,或者时间更长为50年。如果这本书能对形成新一代电源体系结构有所帮助的话,那就太好不过了。

本书的出版,得到了许多汽车制造商、零部件制造商、电机制造商和大学的大力协助。特别是从成立的汽车技术委员会(委员长:名古屋大学,大熊繁教授)的各位大学老师那里得到了热情的指导。另外,在本书出版之际,也得到了日本欧姆出版社的大力协助。在此一并表示深深的谢意。

社团法人 电气学会·42V电源化调查专门委员会

委员长 寺谷 达夫

2003年9月

42V 电源化调查专门委员会

委员长	寺谷 达夫	(丰田汽车株式会社)
委员	赤木 泰文	(东京工业大学)
	大熊 繁	(名古屋大学)
	大前 孝夫	(日本电池株式会社)
	木下 繁则	(富士电机株式会社)
	古西 启一	(三菱电机株式会社)
	齐藤 雅之	(矢崎部品株式会社)
	坂元 哲朗	(日产汽车株式会社)
	坂本 光弘	(IC 精机株式会社)
	清水 敏久	(东京都立大学)
	神保 裕行	(松下电池工业株式会社)
	铃木 珠城	(株式会社 DENSO)
	高桥 广明	(株式会社东海理化)
	中冈 睦雄	(山口大学)
	中山 明	(株式会社 Auto Network 技术研究所)
	藤原 正	(株式会社本田技术研究所)
	榎 一郎	(松下电器产业株式会社)
	增野 敬一	(株式会社日立制作所)
	饼川 宏	(株式会社东芝)
	森 贞明	(光洋精工株式会社)
干事	天野 雅彦	(株式会社日立制作所)
	立花 武	(丰田汽车株式会社)
干事助理	市川 真士	(名古屋大学)

执笔者一览

天野 雅彦	株式会社日立制作所(全书汇总, 6.4)
安保 正治	丰田汽车株式会社(5.5)
池田 贞文	日产汽车株式会社(1.4)
上冈 浩二	松下电子部品株式会社(3.5)
大江 準三	丰田汽车株式会社(5.6)
大前 孝夫	日本电池株式会社(第3章汇总, 3.1, 3.2, 3.4)
木下 繁则	富士电机株式会社(5.1, 5.5)
仓持耕治郎	丰田汽车株式会社(1.3)
古西 启一	三菱电机株式会社(4.2)
齐藤 雅之	矢崎部品株式会社(第2章汇总, 2.1, 2.2, 2.3, 2.4)
坂元 哲郎	日产汽车株式会社(1.4)
坂本 光弘	IC精机株式会社(第6章汇总, 6.1, 6.2)
佐藤 博英	株式会社 DENSO(5.4)
清水 敏久	东京都立大学(5.6)
铃木 珠城	株式会社 DENSO(全书、第4章汇总, 4.3)
高桥 收	Panasonic EV Energy 株式会社(3.3)
高桥 广明	株式会社东海理化(2.2, 2.3)
立花 武	丰田汽车株式会社(1.3, 5.4)
寺谷 达夫	丰田汽车株式会社(全书、第1章汇总, 1.1, 1.2, 1.3, 1.5)
中尾 初男	丰田汽车株式会社(1.3)
中冈 睦雄	山口大学(5.5)
中山 明	株式会社 Auto Network 研究所(2.3)
新居良英	丰田汽车株式会社(5.4)
藤原 正	株式会社本田技术研究所(第7章汇总, 7.1, 7.2)
增野 敬一	株式会社日立制作所(第5章汇总, 4.1, 5.2)
饼川 宏	株式会社东芝(5.3)
森 贞明	光洋精机株式会社(6.3)

目 录

第 1 章 汽车电源 42V 化的背景和技术动向	1
1.1 汽车电源电压的历史	2
1.1.1 汽车电源电压的演变	2
1.1.2 42V 化的来由	2
1.2 42V 化的必要性和目标	4
1.2.1 42V 化的目标	4
1.2.2 车辆能源管理和高电压化	5
1.3 使用 42V 电源系统的车辆 (I) 皇冠轻度混合动力汽车	7
1.3.1 开发目标	7
1.3.2 系统构成	9
1.3.3 发动机停止, 辅机驱动, 再启动条件	12
1.3.4 减小发动机停机时的振动	13
1.3.5 发动机启动时的控制	15
1.3.6 回馈控制	16
1.3.7 坡道起步时的辅助功能	16
1.3.8 燃油经济性	17
1.3.9 轻度混合动力系统的展望	17
1.4 使用 42V 电源系统的车辆 (II) March e. 4 WD	17
1.4.1 电动式 4WD 开发的目标	17
1.4.2 e. 4WD 系统的概要	18
1.4.3 电机转矩控制	21
1.4.4 4WD 控制	22
1.4.5 4WD 性能的改善效果	23
1.4.6 燃油经济性的提高	25
1.5 42V 化的技术动向和将来的展望	26
1.5.1 42V 化需要解决的技术问题	26
1.5.2 42V 化的技术动向	27
1.5.3 42V 电源的未来展望	28
参考文献	32

第 2 章 42V 汽车的配电系统及其零部件	35
2.1 42V 车辆配电系统的构成	36
2.2 42V 化对配电系统的影响	37
2.2.1 采用 42V 对导线线束的影响	37
2.2.2 配电系统中的电弧问题	39
2.3 实现 42V 电源系统的技术	41
2.3.1 电源箱	41
2.3.2 导 线	42
2.3.3 安全器件	42
2.3.4 连接器	46
2.3.5 开关和继电器	50
2.4 42V 配电系统的展望	52
参考文献	53
第 3 章 蓄电池和电容器	55
3.1 车载蓄电池概述	56
3.1.1 蓄电池应该具有的特性	56
3.1.2 各种蓄电池的性能比较	56
3.1.3 今后的技术问题	57
3.2 铅酸蓄电池	58
3.2.1 基本原理	58
3.2.2 控制阀式铅酸蓄电池	59
3.2.3 42V 汽车用 36V 铅酸蓄电池	59
3.2.4 SOC, SOH 的检出	62
3.2.5 今后的展望	62
3.3 镍氢蓄电池	63
3.3.1 基本原理	63
3.3.2 特 征	64
3.3.3 HEV 用镍氢蓄电池	65
3.3.4 电池的控制	68
3.3.5 今后的课题	68
3.4 锂离子蓄电池	68
3.4.1 工作原理	68
3.4.2 锂离子蓄电池的构造	69
3.4.3 锂离子蓄电池的特性	70

3.4.4 锂离子蓄电池的控制	71
3.4.5 在 42V 系统中应用	72
3.5 电气双层电容器	72
3.5.1 工作原理	72
3.5.2 电气双层电容器的特征	73
3.5.3 结构及其材料	73
3.5.4 电气双层电容器的特性	74
3.5.5 目前的应用	75
3.5.6 今后的开发动向	75
参考文献	76
第 4 章 启动和充电系统电机	79
4.1 发电机	80
4.1.1 电动式 4WD 系统中交流发电机的开发背景	80
4.1.2 水冷发电机的开发目标	81
4.1.3 水冷发电机的构造	81
4.1.4 水冷方法	82
4.1.5 水路结构	83
4.1.6 定子绕组的冷却	83
4.1.7 半导体部件的冷却	83
4.1.8 交流发电机的展望	84
4.2 启动机	84
4.2.1 启动机的概念	84
4.2.2 电机的 36V 化	85
4.2.3 螺线管开关的 36V 化	87
4.2.4 启动机的 36V 化	88
4.3 电动发电机	88
4.3.1 电动发电机的分类	88
4.3.2 THS-M 和 MG 的概要	90
4.3.3 MG 的技术问题	90
4.3.4 电机形式的选择	90
4.3.5 小型和高功率化的研究	92
4.3.6 低噪音化	93
4.3.7 MG 的构造和规格	94
4.3.8 MG 的展望	95
参考文献	96

第 5 章 电力电子技术	97
5.1 汽车电力电子	98
5.1.1 汽车电力电子技术的现状	98
5.1.2 21 世纪汽车电力电子技术的功能	100
5.2 汽车功率器件	101
5.2.1 功率器件的构成	101
5.2.2 大电流驱动 MOSFET	103
5.2.3 前驱 IC	104
5.3 EV, HEV 逆变器	105
5.3.1 逆变器的控制技术	105
5.3.2 逆变器控制处理器的性能及其发展	108
5.4 电动发电机逆变器	108
5.4.1 逆变器的构成	109
5.4.2 发电控制	110
5.4.3 电机控制	110
5.4.4 保护功能	111
5.4.5 IPM	112
5.4.6 车辆使用效果	113
5.5 汽车 DC/DC 变换器	113
5.5.1 汽车 DC/DC 变换器的结构	114
5.5.2 DC/DC 变换器的技术现状	115
5.5.3 在 42V 电源系统中的应用实例	118
5.5.4 采用新型开关方式的 DC/DC 变换器	122
5.6 汽车用电力电子装置的 EMI 噪声	129
5.6.1 传导性电磁噪声	129
5.6.2 辐射性电磁噪声	134
5.6.3 电力电子装置 EMI 噪声对策的技术问题	134
参考文献	135
第 6 章 电动机和电气零部件	137
6.1 42V 电源驱动的 12V 白炽灯 PWM 控制	138
6.1.1 42V 化的要求	138
6.1.2 白炽灯 PWM 控制的优点	138
6.1.3 PWM 控制器的适用范围和性能要求	138
6.1.4 技术问题及其研究	140

6.1.5 PWM 车灯控制器的实用可能性	143
6.2 怠速停机用电动油泵	143
6.2.1 电动油泵的地位	143
6.2.2 电动油泵的功能和构成	144
6.2.3 42V 化的展望	144
6.3 电动助力转向	146
6.3.1 转向系统的概要	146
6.3.2 EPS 的燃油经济性	148
6.3.3 电动助力转向用电机	149
6.3.4 面向最优驾驶感觉的电机性能要求	150
6.3.5 电动助力转向的控制	152
6.3.6 EPS 的 42V 电源化	153
6.4 其他电动机器和电气零部件	154
6.4.1 小型直流电机	154
6.4.2 电动空调	155
6.4.3 电动制动	155
6.4.4 主动悬挂	156
6.4.5 电磁吸排气阀	156
6.4.6 电动涡轮和电动增压器	157
6.4.7 快速除霜	157
6.4.8 42V 化的影响	157
参考文献	158
第 7 章 规格化、标准化动向	161
7.1 ISO 的工作	162
7.2 其他标准化提案	164
7.2.1 42V 系统用蓄电池端子	164
7.2.2 微型保险丝	165
7.2.3 配线颜色	167
7.2.4 其 他	167
参考文献	167
后 记	169

汽车电源 42V 化的背景和技术动向 \ 第 1 章

当今的汽车正处于能源变革(由化石燃料向氢能等新能源的探索)和电源结构的变革(电动化、高电压化、混合动力化以及新型电池的开发)阶段。长期以来,汽车的电源以 14V 系统(12V 铅蓄电池)为主,由于电动化的发展、混合动力车、燃料电池车的出现,使得车辆电源系统朝着高压化的方向发展。

本章在论述汽车电源电压的历史演变和高电压化的必然性的同时,对于 42V 电源系统的必要性、需求和目标、技术背景以及将来如何有效利用 42V 电源系统等问题也作了详细的论述。另外,对日本世界领先的两辆采用 42V 技术的车辆(皇冠轻度混合动力车, March e. 4 WD)的技术也作了详细介绍。最后,论述了今后在普及 42V 化方面需要解决的技术问题,全世界的技术动向以及将来的发展和展望。

1.1 汽车电源电压的历史

1.1.1 汽车电源电压的演变^[1]

自从 19 世纪末汽车诞生以来,为了不断提高环保、安全和舒适性,在汽车上使用了各种各样的电气设备。另外,为了实现更先进的功能,开始研究使用相对较高的电压。图 1.1 为车辆电源电压的演变历史。

大约 50 年前,汽车的电源电压由 7V(电池电压 6V)变为现在的 14V(电池电压 12V)。在电源电压为 7V 的年代,车辆的电气系统主要是照明和点火这些必须的装置,这是车辆用电负载的最小限度。电源电压变为 14V 后,汽车上就开始使用发动机控制、空调、音响和导航等各种各样的电气设备。进入 21 世纪后,为了解决环保,提高燃油效率、满足排放法规限制等方面的问题,就会不可避免地需要通过提高汽车电源电压来增加其功率输出。

其中,42V(电池电压 36V)作为下一代的标准化电源而受到关注。如果 42V 电压的应用可以实现的话,它就会代替大约持续了 50 年的 14V 电源系统,因此可以说“50 年正好是一个变革周期”。

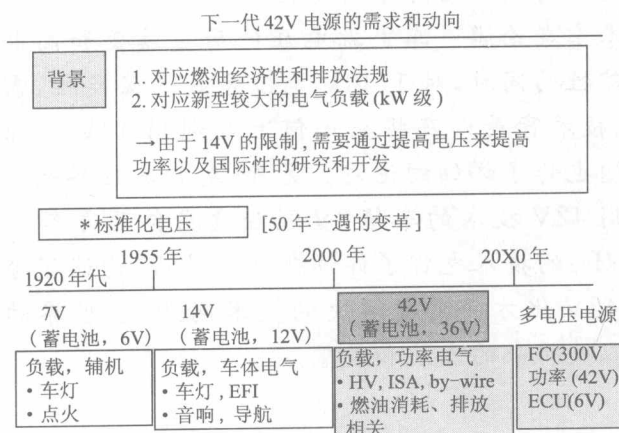


图 1.1 车辆电源电压的历史

1.1.2 42V 化的来由

将来的高电压化究竟应该采用多少伏? 国际上从 1994 年就开始讨论^[3], 1996 年以后, 德国的 Sciworx(原来的 Sican)开始有组织地进行电压变更的讨论^[4], 另外, 美国的 Massachusetts Institute of Technology (MIT) 领导的 Industry Consortium on Advanced Automotive Electrical/Electronic Components and Systems^[5] (统称 MIT Con-

sortium)也对“42V”的是非问题进行讨论,并同时启动了 42V 系统应用的基础研究^[6]。通过这些讨论,1998 年国际上一致同意将“42V”作为下一代汽车标准电源的方案。接着 Sciworx 的 Forum Bordnetz^[7]开始了对 42V 电源标准化的讨论^[8]。目前正在通过 ISO/TC22/SC3/WG14 组织,对 42V 的标准化问题展开研讨(图 1.2)。

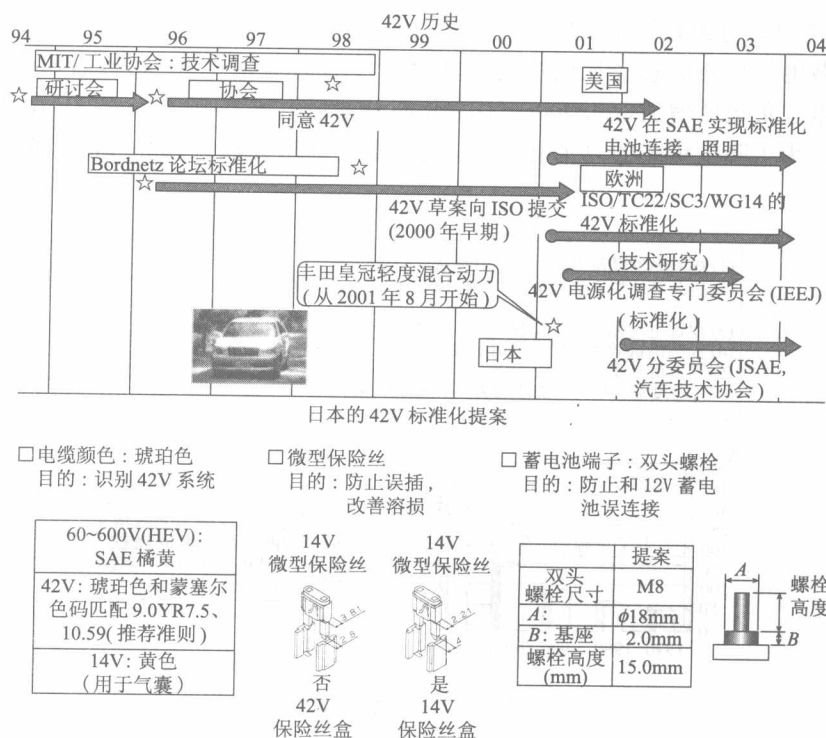


图 1.2 42V 的历史

采用 42V 的理由主要有以下五点^[9]:

- ① 处于安全电压范围(即使考虑电压波动,也不会超过 60V 直流安全电压)。
- ② 是现有电压的整数倍(可以组合使用现有的 12V 铅蓄电池)。
- ③ 可以直接使用现有耐压为 60V 的功率半导体器件(MOSFET)。
- ④ 不需要触电防护措施,因此可以沿用原来的配线。
- ⑤ 电机的输出功率从几千瓦到 10 千瓦。

根据上述理由,如果采用 56V(电池电压 48V),并考虑波动因素,就会超过 60V,因此是不合适的。另外,对于混合动力汽车,因为具有专门的接地措施,采用 288V 或者 144V 也不会有问题。如果采用车体接地的话,42V 就是电压的上限。

1.2 42V 化的必要性和目标

1.2.1 42V 化的目标

据说 14V 电源系统车辆的电气负载总电流的最大值为 180A。图 1.3 为高端车辆车载电气负载的总消耗电流的现状和对今后的预测^[3,10]。可以看出,今后由于车载电气负载的增加,在 2000—2010 年间总消耗电流将必定超过 14V 电源系统的上限。为了降低负载的总消耗电流,就需要将电压升高,因此 42V 化就是非常必要的。

- (1) 提高燃油经济性, 削减尾气排放
- (2) 提高舒适性(动力系统, 底盘控制, ITS 对策, 安全)
- (3) 通过电动化达到轻量化和降低成本
- (4) 提高电机效率, 配线采用细线
- (5) 增加商品卖点
(轻度混合动力, 加速助力, 快速除霜等)

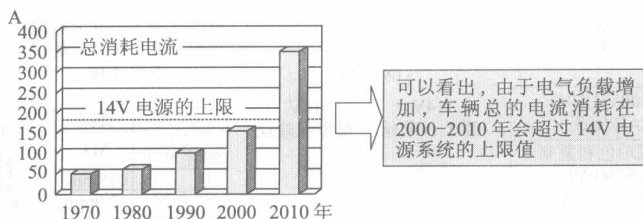


图 1.3 42V 的目标

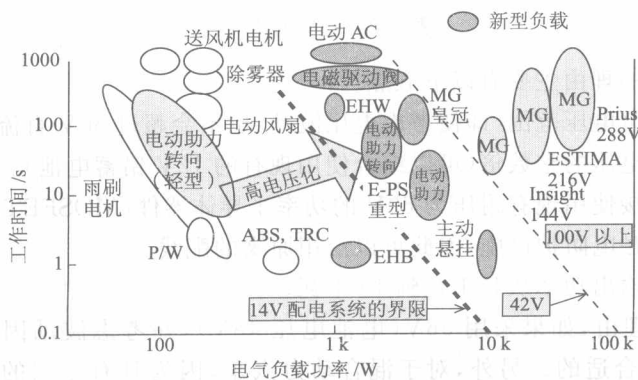


图 1.4 电气负载的功率和运行时间

42V 化的目标主要有以下几点:

① 42V 化可以提高电机的效率,可以使用更细的导线,车辆可以轻量化。

② 通过电动化,可以使得整车轻量化和低成本化。

③ 提高燃油效率,减少尾气排放(这本身就是最想达到的目标,并且是很早就想解决的问题)。

④ 提高舒适性,动力系统和底盘控制,对 ITS 和安全技术的解决方法。

⑤ 实现在 14V 系统中不能实现的新功能,从而提高商品的竞争力。

另外,今后也会出现新型的必须采用 42V 电源的独立负载系统。图 1.4 为汽车上各种电气负载的功率和运行时间。原来的电气负载功率主要分布在 100W 前后,而今后新出现的负载可能会分布在 1~10kW 左右。这样就超过了原来 14V 电源系统导线的最大限度,因此就可以理解为什么必须得采用 42V 电源系统。

1.2.2 车辆能源管理和高电压化

(1) 高电压化和燃油经济性的提高

如图 1.5 所示,提高车辆燃油经济性的基本要素有四项^[11]。混合动力汽车能将这四项内容有效利用,实现理想的车辆能源管理。另外图中③、④两个项目是利用电力电子技术来实现的,42V 系统就是通过此途径来提高车辆的燃油经济性的。

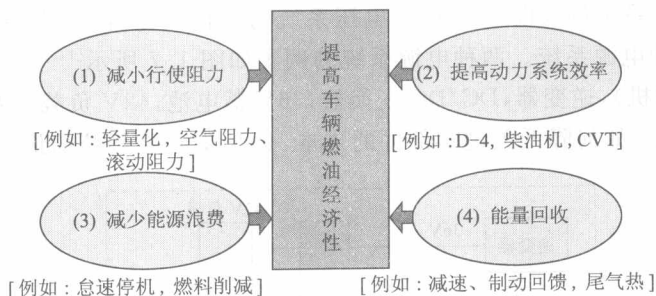


图 1.5 提高车辆燃油经济性的基本要素

目前像普锐斯(Prius)这样的重度混合动力车,具有和内燃机同等功率水平的驱动电机,因此采用远远高于 42V 的电源电压等级(如 288V)。

驱动电机的功率和电池电压,以及和导线中稳态电流之间的关系如图 1.6 所示。图中区域 I 为混合动力车,例如采用 30kW 电机的普锐斯的电池电压为 288V,区域 II 为采用原来 12V 电池,输出功率为 1kW 的怠速停机汽车,区域 III 为电池电压 36V,采用 42V 电源系统,电机功率为 2~10kW 的轻度混合动力汽车。另外,因为 36V 电池电压和原来的 12V 电池电压为同一绝缘等级,因此有利于简化系统,降低成本。