



节能 EV 技术专辑



第 2 辑

电动汽车

〔日〕晶体管技术编辑部 编 EV编辑部 译

可发电汽车中的电子技术

EV 中的电力电子器件

不断进化的可发电汽车电源系统

汽车 / 摩托车中发电机的结构与原理

DC-DC 变换器的零电压开关技术 (ZVS)

蓝牙监测日志系统的制作

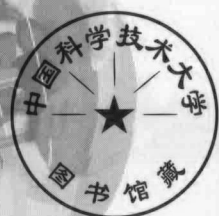
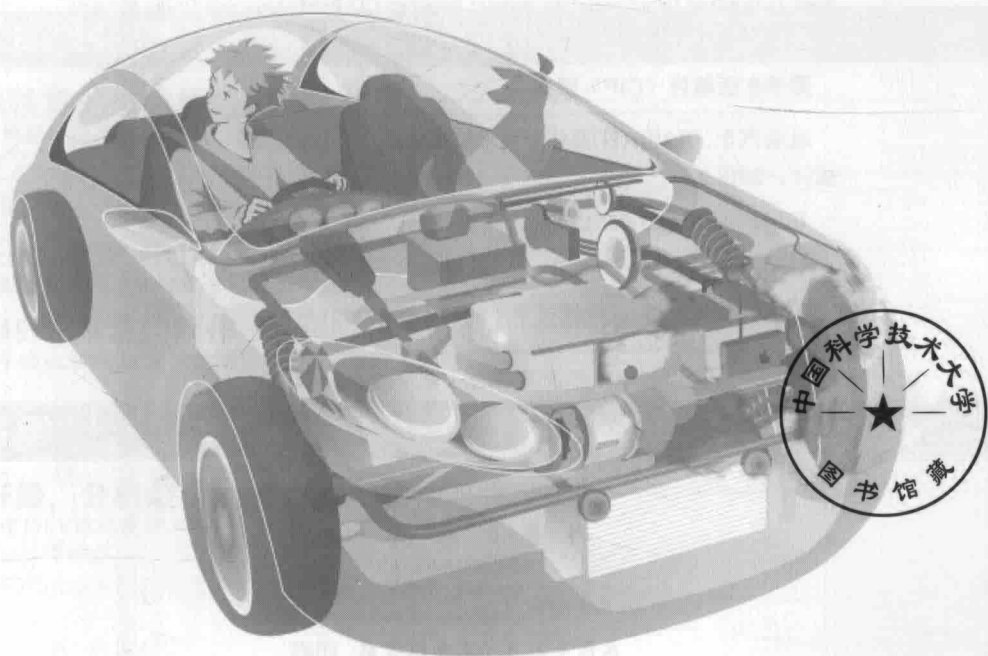


科学出版社

电动汽车

第2辑

〔日〕晶体管技术编辑部 编
EV编辑部 译



科学出版社

北京

内 容 简 介

本书是《电动汽车》技术专辑的第2辑, 主要介绍EV中的电力电子器件、可发电汽车电源系统、发电机的结构与原理、DC-DC变换器的零电压开关技术、汽车EMC标准及测试方法、3kW交错式临界模式PFC模块等, 以及自制EV电机的理想漆包线、用拨码开关制作10级限速器、制作蓝牙监测系统以提高EV性能的策略和方法, 并通过连载讲座讲解“结构与强度”。

本书可用于本科、高职高专院校的电机、电子、汽车相关专业的教学, 可用于电动车行业的入职培训, 也可用作创客、创新比赛的参考书。

MOTOR エレクトロニクス / MOTOR Electronics No.2

Copyright © 2015/2017 by CQ Publishing all rights reserved.

“MOTOR エレクトロニクス”(MOTOR ELECTRONICS) is Registered Trademark of CQ publishing (at Japan Patent Office). Its use in the title of this book is licensed by a special agreement between CQ Publishing and China Science Publishing and Media Ltd.

图书在版编目(CIP)数据

电动汽车. 第2辑/(日)晶体管技术编辑部编; EV编辑部译.—北京: 科学出版社, 2018.2

ISBN 978-7-03-055199-3

I.电… II.①晶… ②E… III.电动汽车—研究 IV.U469.72

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第272381号

责任编辑: 张莉莉 杨 凯 / 责任制作: 魏 谨

责任印制: 张克忠 / 封面设计: MATHRAX 稚 梓

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>

三河市骏杰印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2018年2月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2018年2月第一次印刷 印张: 9

字数: 270 000

定价: 48.00元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

目 录

专题 可发电汽车中的电力电子技术

EV中的电力电子器件.....	001
——动力总成与电气设备的电源组成	
不断进化的可发电汽车电源系统.....	009
——电机/发电机、电池/电容、DC-DC变换器、48V电源.....	
汽车/摩托车中发电机的结构与原理.....	028
——电机与发电机的原理相同,特性却不一样	
DC-DC变换器的零电压开关技术(ZVS).....	042
——当汽车消耗功率增加时,寻求高效率化	
汽车EMC标准及测试方法——CISPR、ISO、JASO.....	059
——实车及零部件噪声排放与抗噪性测试的标准	
3kW交错式临界模式PFC模块的设计与工作原理.....	078
——使用复合型电感实现世界最小	

特记 EV制作挑战

开发导热性好的绕组线提高电机效率.....	093
——自制EV电机的理想漆包线的开发	
用拨码开关制作CQ EV卡丁车限速器.....	100
——10级输出限速器的软硬件实现	
“2015 Ene-1GP SUZUKA”冠军!.....	107
——节能&恒流驾驶技术和能量管理的成功	
蓝牙监测日志系统的制作.....	111
——用智能手机收集、监测行驶时的电机参数	

连载讲座

从轮胎开始,分析载荷的流动——结构与强度.....	129
——电气工程师EV结构设计入门	

专题 可发电汽车中的电力电子技术



EV 中的电力电子器件

——动力总成与电气设备的电源组成

〔日〕西岛仁浩 执笔 | 叶明 译

无论是燃油汽车，还是 EV（电动汽车），都配备了许多电气设备。这些设备消耗着大量的电能。为了节约汽车的燃料费用，用于电能传输的电力电子技术将扮演重要的角色。在 EV 或者混合动力车中，动力总成（将发动机或电机的能量传递给车轮的机构）也需要消耗电能，电力电子部分会更加复杂。本文将商业化的 EV 为例，对其电力电子部分进行概述。

（编者按）

引言——汽车中的电力电子技术

● 汽车也能发电吗？

本书专题是：“汽车发电……”提到“发电”，很多读者都会联想到 EV 或混合动力车在刹车时的“再生制动发电”。的确，EV 的再生制动也能够发电。另外，也有人提议，在发生自然灾害的时候，EV 内存储的电能可以供家庭使用，想必也有读者联想到了这一点。

然而，我们想说的是，包括燃油汽车，甚至是摩托车，市面上所有的车都可以用来发电。

● 车载电气设备的供电问题

现如今，一般所谓的“汽车”中，都配备了大量的电气设备。比如，用来辅助发动机启动的启动电机、车前灯、雨刮器、喇叭、空调、收音机/音响、车载导航系统、转向助力器、自动车窗……不仅如此，众所周知，现在每台汽车上还安装了几十个 ECU（电子控制单元），以及几十个大小不一的电机。

因此，不仅是 EV 与混合动力车，普通汽车上

也安装有大量的电气设备。这些电气设备，自然是由电能驱动的。

那么，这些电能是以怎样的形式供应的呢？很多人会认为，电能是由汽车上安装的 12V（或 24V）铅酸蓄电池供应的。然而，仅凭蓄电池，真的能够驱动如此多的电气设备吗？仅凭铅酸蓄电池的话，电能很快就会耗尽。

● 电力电子技术的进化，有助于节省燃料费、电费

事实上，汽车行驶过程中一直在“发电”，并以此电能一边为电池充电，一边为电气设备供电。所以，汽车中会配备发电机。无论是 EV、混合动力车，还是燃油汽车，电力电子技术都是一项与燃料费、电费直接相关的关键技术。

EV 或者混合动力车，一般使用最大功率 10kW 左右的电机，因此对应的电力电子器件更加重要。再加上配备了减速时的再生制动发电系统，对电池进行充电，整个系统会更加复杂。本文聚焦商业化 EV（包括混合动力车）的发电系统，对此进行详细讲解。

● EV 中的电力电子技术概览

EV 与混合动力车中，究竟使用了什么样的电力电子技术？最近又有哪些技术得到了发展？首先，我们以“纯电动”日产聆风（LEAF）系列为例，进行介绍。

图 1 展示了早期日产聆风系列（2010~2012 年）中的电力电子系统相关部件。

EV 中的电力电子系统如图 1 所示，有 7 个车内的与 1 个车外的重要组成单元。

下面对各功能单元进行详细介绍。



图1 日产聆风系列（早期型）中的电力电子系统相关部件

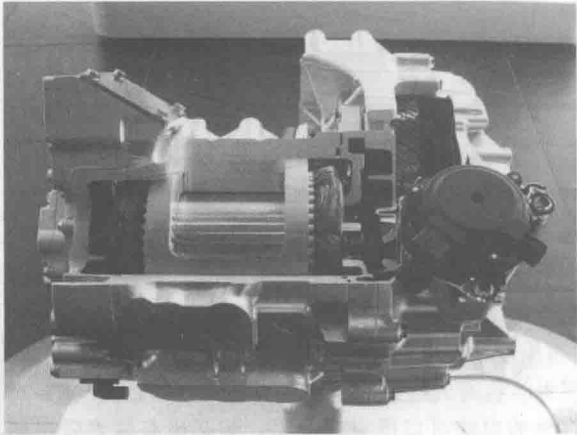
驱动用电机

● EV 驱动电机为无刷直流电机

如前文所述，现在许多汽车中都配置了数量惊人的电机。这里所说的 EV 驱动电机，是指驱动汽车行驶的动力电机。

聆风系列使用了一台最大功率为 80kW（109PS^①）的永磁同步电机（一般为无刷直流电机）（照片 1）。其驱动电压为 360V，因此最大电流约为 200A。

不仅是日产，日本各家公司的 EV 和混合动力车中，都使用了无刷直流电机。不过，一些国外公司也有使用感应电机（异步电机）的先例。无论如何，电机的选型都要遵循能量转换效率高、便于逆变器驱动的原则。



照片 1 聆风的电机（剖开模型）

锂离子电池

● 为了在 EV 上使用，需要能够提供大电流

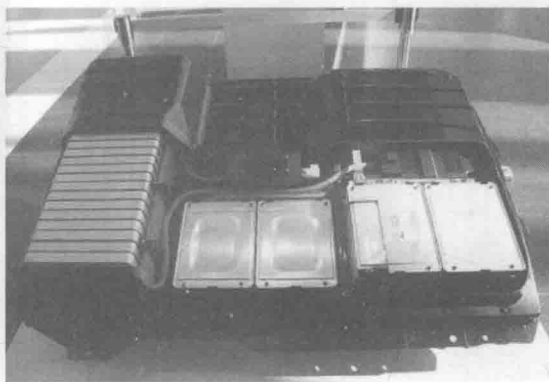
为了匹配聆风的驱动用电机，EV 中使用的主电池，必须具备提供 360V/200A 以上电能的能力。如果采用铅酸蓄电池，至少需要 100 个以上，其质量将超过 1000kg。

因此，基本上所有的 EV 都采用了质量较小的锂离子电池。

聆风的锂离子电池规格为 360V/24kW·h（照片 2），一列共有 96 个电池串联（共 2 列，192 个电池）。电池组总质量比起铅酸蓄电池来要小很多，即便如此，也达到了 300kg。

聆风不仅搭载了锂离子电池，也安装了一般汽车上用的 12V 铅酸蓄电池。这一点将会在后续的 DC-DC 变换电路中进行说明。

① 1PS=0.74kW。



照片 2 日产聆风的锂离子电池组



照片 3 日产聆风的逆变器模块

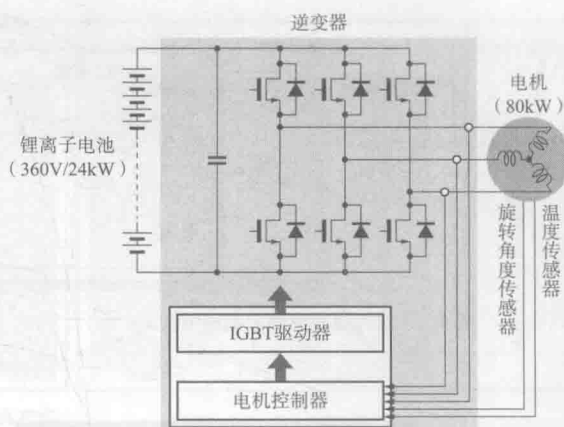


图 2 日产聆风 (EV) 的动力总成

直流电。聆风的逆变器模块如照片 3 所示。

逆变器模块中包含了如下结构：6 个用作开关器件的半导体模块，由 IGBT（绝缘栅双极晶体管）与二极管组成，用于滤波的大容量薄膜电容器，还有读取电机的电流、旋转角度、温度等信息进行控制的电路板。

另外，逆变器产生的大量热量，通过水冷装置进行冷却。商业化的 EV 中，为了冷却电机与逆变器，一般都装有水冷散热片。

● 带有升压电路（DC-DC 变换器）的逆变器

混合动力车中，如丰田 AQUA 系列，其电池电压只有 144V。通过图 3 所示的升压电路，电压被提高到 520V，然后输入逆变器中。普锐斯也是同样的机制。

逆变器

● 为电机提供动力的交流电生成器

无刷直流电机的电机本身，是由交流电（AC）驱动的。通过改变交流电的波形，进而对电机进行控制。在电机与电池之间，有图 2 所示的逆变器电路，用于实时产生驱动电机的交流电。另外，在汽车减速时的能量回馈中，逆变器能将交流电变换为

车载普通充电器

● EV 搭载的充电器

EV 或者插电式混合动力车的内部，都搭载了车

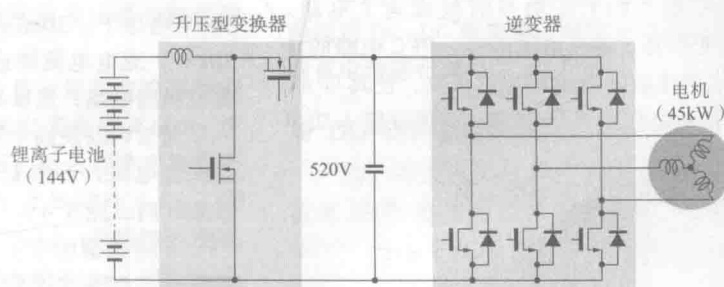


图 3 丰田 AQUA（混合动力车）的动力总成

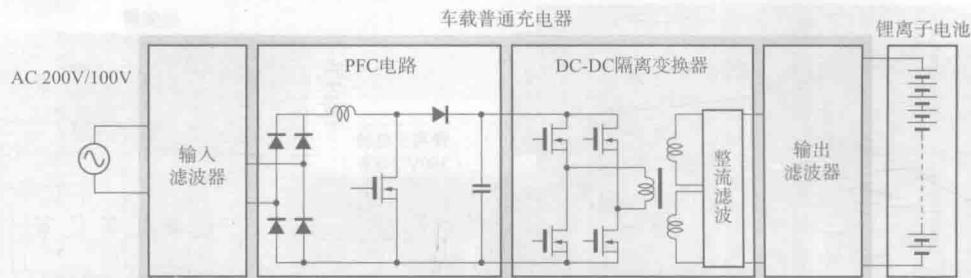


图 4 车载普通充电器的电路结构



(a) 高速公路服务区设置的 EV 充电桩



(b) 传统快速充电桩



(c) 采用矩阵变换器的快速充电桩

照片 4 EV 用快速充电设备

立式充电桩

● 为 EV 进行必要的快速充电并不容易

正如普通汽车需要加油站，EV 也同样需要能够进行快速充电的充电站。

例如，聆风系列的电池容量约为 $24\text{kW}\cdot\text{h}$ ，从 0 电量开始（虽然实际中并不会用到 0 电量），在 360V 电压下，30min 内完全充满，所需充电功率为 50kW，充电电流将达 130A。如此巨大的电流，需要很粗的电缆，连接器和配电装置也会相应变大。

为 EV 以及插电式混合动力车提供快速充电的立式充电桩，一般安装在汽车专卖店或者高速公路服务区（照片 4）。

不同类型的车，电池电压也不尽相同。因此，充电桩与汽车之间需要相互通信，以决定合适的输出直流电压。日本采用的名为 CHAdeMO 的标准，

载普通充电器（Onboard Charger），可使用家用 AC 200V 或 AC 100V 对电池进行充电。聆风系列在使用 AC 200V 进行充电时，额定输入为 15A/3kW，约 8h 可以充满。

聆风系列升级之前，曾经用过尼吉康（NICHICON）公司生产的充电器，其尺寸为 $410\text{mm} \times 250\text{mm} \times 130\text{mm}$ ，与光伏逆变器的大小相近。

车载普通充电器的内部结构如图 4 所示，包含了输入滤波器、PFC（功率因数校正）电路、DC-DC 隔离变换器、输出滤波器等。PFC 电路的作用是，将输入电流的波形校正为正弦波，使其与 AC 200V/100V 正弦电压的波形相同，即保证输入功率因数接近 1。

电路结构中使用了升压型变换器。

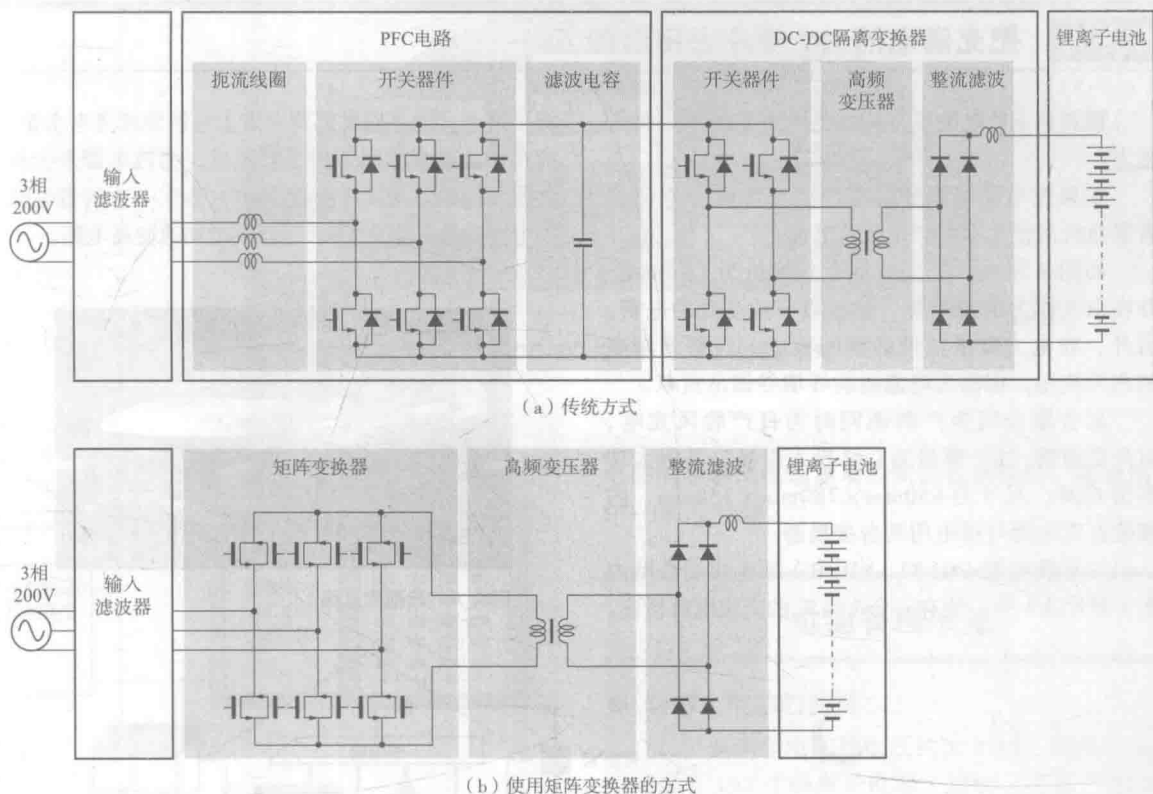


图5 快速充电桩的电路结构

规定了连接器与通信协议，并在2014年被采纳为国际标准。

输出电压为DC 50~500V的宽幅电压，最大功率从10~50kW不等。以50kW功率为日产聆风系列充电时，充入80%的电量需要约30min。

● 快速充电桩的电路结构

快速充电桩的电路结构与车载普通充电器基本类似。首先，如图5(a)所示，使用输入滤波器与PFC电路，将三相或单相200V转换为直流电压；接着，利用DC-DC隔离变换器内的开关电路，变换为高频交流电压；最后，通过隔离变压器与整流滤波电路，得到直流电压。

最近几年，使用图5(b)所示矩阵变换器的方法得到了广泛应用。三相低频交流电压(60Hz或50Hz)不经过转换为直流电压，而是直接变换为高频交流电压。以往充电器的尺寸如照片4(b)所示，为750mm×640mm×1700mm。采用矩阵变换器后，尺寸可以缩小至380mm×665mm×1840mm，如照片4(c)所示，小了近40%。

DC-DC 变换器

● EV 中没有交流发电机

如图6所示，普通汽车中，为了给音响、车载导航、前大灯、雨刮器等各式电气设备供电，安装有12V铅酸蓄电池(充满电时的电压约为14V)。如上文所述，聆风系列也安装有12V铅酸蓄电池。发动机驱动的汽车，利用发动机带动交流发电机发电，对蓄电池充电。

EV没有发动机，无法使用发电机进行发电，而是通过DC-DC变换器，利用电压较高的主电池对铅酸蓄电池进行充电。

● DC-DC 隔离变换器

日产聆风系列使用了DC-DC隔离变换器，将直流360V电压变换为直流12V。早期型号的聆风系列，使用了电装公司(DENSO)生产的隔离变换器。

另一方面，对于即将投入市场的48V轻混合动力

专栏 A 把充满电的 EV 变成家用电源

能否将 EV 电池里存储的电能用在汽车以外的地方？

如果充电器可以双向充电，就能在停电时或者紧急时刻使用 EV 中存储的电能了。

如图 A 所示，利用夜间低谷电价为 EV 充电，并在白天作为家用电源，就可以节约可观的电费。另外，在电力需求较低的夜间充电，在需求较高的白天使用，也能为电能的削峰填谷做出贡献。

尼吉康公司生产的能同时为日产聆风充电、对外供电的“EV 能量站”已投入市场。其最大功率为 6kW，尺寸为 650mm×780mm×350mm，内部装有充电用与供电用两台变换器。

三菱欧蓝德（OUTLANDER）插电式混合动力车（照片 A）中，装有一个 1.5kW 的交流电源插座。

有了这个，就可以在露营时带上电饭煲或者电水壶，能在海边或者泳池旁用上吹风机，为汽车带来全新的附加价值。为了将直流 300V/12kW·h 大容量电池的电能变换为交流 100V，需要增加逆变器电路。



照片 A 三菱欧蓝德

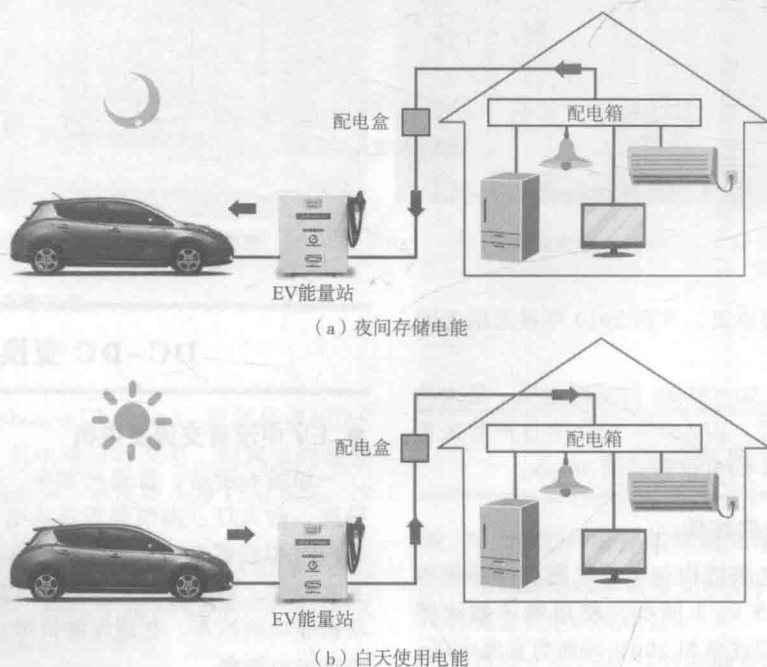


图 A EV 能量站简介（摘自日产汽车的资料）

力车^①，只需要将直流 48V 电压变换为直流 12V 即可，DC-DC 变换器也可以采用非隔离的形式。由于

48V 无须进行隔离，所以 DC-DC 变换器的价格更加便宜。

① 混合动力车，是指同时装有发动机+汽油、电机+电池两套动力源的汽车，缺点是系统较复杂，成本与车重也会增加。高速行驶时，汽油发动机的效率较高；在城市道路等起停频繁、速度较低场合，电机效率较高。轻混合动力车，是指电机并不在低速时运行，而仅在加速时辅助发动机。电机的驱动电压统一为 48V，由于采用了小型电机与小容量电池，电气设备也得到了简化，性价比较高，被称为“48V 轻混合动力系统”。自 2016 年起，一部分汽车厂商开始将其投入市场。

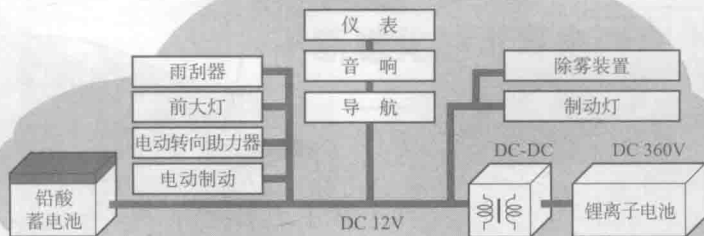


图6 用于EV车载辅助电机的DC-DC变换器与12V铅酸蓄电池

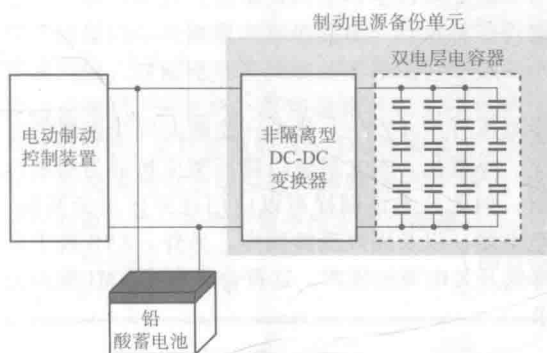


图7 制动电源备份单元

电池管理单元

● 对每个电芯的监视

每个锂离子电芯的电压约为3.6V。聆风的电池组中含有192个锂离子电芯。然而，为每个电芯施加相同的电压进行充电，并不是一件容易的事情。如果各电芯的充电电压无法均衡，某个特定电芯充电的功率过大，就会产生严重发热，甚至导致电池自燃或爆炸。在电池放电时，同样有可能出现上述问题。

电池管理单元（BMU或BMS）可以防止这类事故发生。通过监视电芯的电压与温度，防止个别电芯出现过充电、过放电。也可以对串联电池组，进行各电芯电压的均等化调整。

结束语：以技术进步实现小型化与一体化

如前文所述，EV内部不仅包括电机与电池，还搭载有逆变器、车载普通充电器、DC-DC变换器的电力电子电路等。此外，还需要制动电源备份单元、电池管理单元等。早期型号的日产聆风中，没有将这些动力单元一体化，如图1所示，车载普通充电器与制动电源备份单元都安装在后座背面，占用了汽车的储物空间。

为了解决这一问题，2012年的改进型聆风将主要动力单元一体化，实现小型、轻量化，如图8所示。如照片5所示，动力单元实现了DC-DC变换器、车载普通充电器、配电箱（将电压分配至各单

制动电源备份单元

● 为了避免EV制动时失去电源

EV减速时，一般不使用摩擦制动（将动能转换为摩擦热），而是把电机当做发电机，将动能转换为电能，反向对电池进行充电，以提高能量效率。然而，这种再生制动发电，在电池充满电的时候是无法有效制动的，制动效果受充电情况的影响。虽然通过电气上的方法可以对此进行改善，然而，一旦电气系统出现问题，制动系统将无法工作，其危险性比摩擦制动还要大得多。

● 使用双电层电容器

制动电源备份单元的作用是，即使出现异常情况，电动制动控制装置失去供电，仍可以保证正常制动。

如图7所示，备份储电元件采用双电层电容器（EDLC）。铅酸蓄电池为双电层电容器充电，以及双

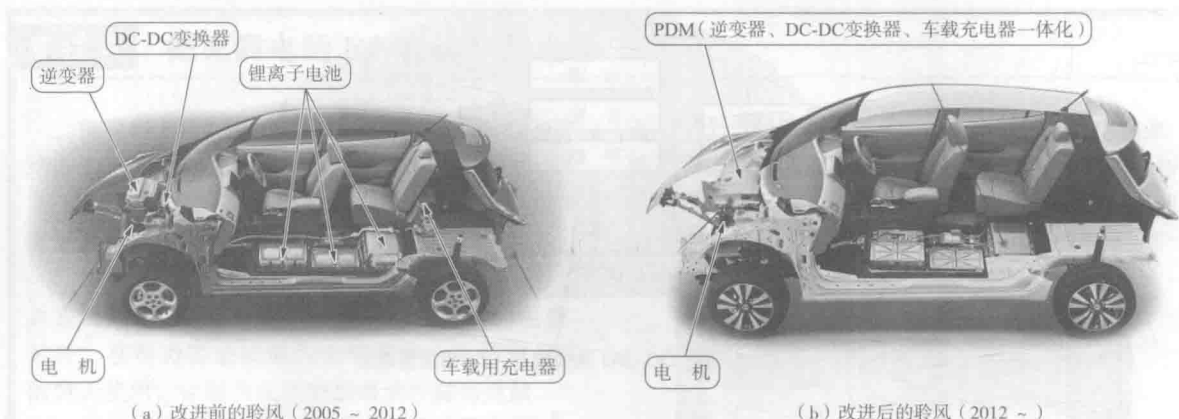
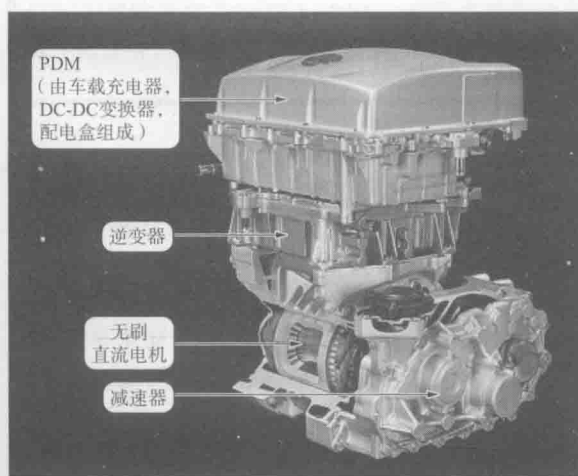


图8 聆风的动力单元 (早期型与改进型的对比, 摘自日产汽车的资料)



照片5 聆风 (改进后) 的动力总成

元, 并在出现电气故障时切断电路) 3 种功能, 被称作 PDM (Power Delivery Module, 动力输出模块)。另外, 电机、逆变器、减速机也实现了一体化, 比起早期的聆风, 动力总成的体积减小了 30%, 质量减小了 10%。

PDM 由日产汽车与松下汽车电子开发有限公司 (Panasonic Automotive & Industrial Systems Company) 共同开发, 车载普通充电器对应宽幅电压 (AC 100 ~ 240V) 充电能力为 3.6kW, DC-DC 变换器的额定输出功率为 1.8kW。

在汽车中, 电能的应用十分广泛, 而电力电子技术也被应用在了各个方面。随着新型器件的不断出现, 其也向着小型、轻量化与高效率化的方向不断发展。

本书后续内容将介绍汽车发电机。后面介绍

的零电压开关 (ZVS) 技术, 能够实现变换器的高效化、小型化。本文虽然以降压型变换器为例进行介绍, 但此技术也同样可以应用在升压型变换器、PFC 电路, 以及隔离变换器中。另外, ZVS 技术可以降低开关电源的噪声, 这符合汽车中 EMI 噪声的要求。

笔者介绍

西岛仁浩 博士 (工学)

大分大学工学部 电气电子工学科 助教

2002 年 3 月, 在崇城大学研究生院工学研究科, 完成能源电子技术专业博士后期课程的学习, 成为崇城大学嘱托教务职员。2003 年 4 月, 在大分大学担任助手, 2007 年至今担任助教。

主要从事开关电源电路小型、高效化, 电池均压电路的研究。

电子信息通信学会电子通信能源技术 (EE) 研究专门委员会委员、电气学会汽车电源系统应用调查专门委员会委员、电气学会新材料电力半导体变换器应用 (WBGA) 技术协同研究委员会委员、日本学术振兴会新一代开关电源系统第 173 委员会干事。



不断进化的可发电汽车电源系统

——电机 / 发电机、电池 / 电容、
DC-DC 变换器、48V 电源……

[日] 西岛仁浩 执笔 | 叶 明 译

当今的汽车，在不降低行驶性能的前提下，为了降低油耗，正在不断引入各种先进技术。特别是最近，在不降低行驶性能，并不产生额外成本的前提下，各汽车公司竞相引入各种电力电子技术，以降低轻型汽车与微型汽车的油耗。针对发动机辅助行驶系统，目前已有多种崭新的思路，如搭载小型多用途电机 / 发电机、采用最新的锂离子电池或双电层电容器、采用新型的 DC-DC 变换器等。另外，各厂商采用的电池电压也将逐渐统一为 48V。本文将针对最近的汽车电力电子技术进行概述。

(编者按)

引言

正如前文所述，所有的汽车都能够发电。即使是燃油汽车，也安装有大量的电气设备，需要消耗大量的电能。因此，汽车上都安装有铅酸蓄电池，以及和发动机相连的专用交流发电机。

EV 上并没有安装交流发电机，而是使用存储在大容量充电电池中的电能，通过再生制动减速，利用驱动电机发电以回收电能，来提高续航里程。

丰田普锐斯、Aqua 等混合动力车，分别安装了交流发电机和驱动 / 再生两用电机，目的就是改善汽车的燃油经济性。而且，近年来，作为降低油耗的手段，配置专用的再生发电用电机（不用于驱动）的燃油汽车也多起来了。

为了实现环保的汽车系统，许许多多的电力电子技术被应用在汽车中。本文将针对目前市场上节能型汽车中使用的电力电子技术进行介绍。

另外，本文不会介绍传统燃油汽车中使用的电力电子技术。

可发电汽车的种类

● 根据发电形式与使用形态可分为 3 类

本文提到的可发电汽车大体可分为 3 类，如图 1 所示，以下分别进行介绍。

■ 强混合动力型

● 最普及的混合动力类型

为混合动力车的普及做出巨大贡献的丰田普锐斯便属于这种类型。顺便一提，自从 1997 年发售以来，已经拥有 18 年历史的普锐斯，如今仍在不断进行技术创新。这种类型的汽车，同时搭载了发动机与电机两种动力源。在汽车起动与加速时，发动机的效率较低，因此采用电机进行驱动。由于采用了大功率电机，也可以在短时间内和 EV 一样，仅靠电机行驶。因此，这种类型被称为强混合动力（或全混合动力）。

● 不仅环保，加速性能也同样优越

与同样排量的汽油车相比，强混合动力车的油耗可以降低约 50%。然而，整车价格一般要高 40 万日元。因此，虽然其有利于保护环境，但为了从

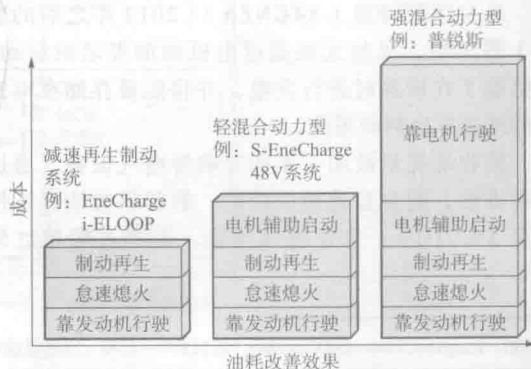


图 1 可发电汽车的种类

油耗中赚回差价,至少需要行驶 10 万千米以上。或许会有很多人认为“混合动力车根本没用”,不过,混合动力车不仅可以降低油耗,通过电机的辅助驱动,汽车可以获得更好的加速性能,行驶中也更加安静。

因此,我们将混合动力车与拥有相似加速性能的汽油车进行比较,可以认为其燃油经济性能能够提高大约 100% (即行驶路程达到 2 倍)。并且,这两种车的价格差仅为约 10 万日元,再算上环保汽车的减税政策 (依据车种有所不同,但基本在 10 万日元左右)、汽车税费等,两者的价格相差无几,甚至混合动力车会更加便宜。

然而,由于同时搭载了燃油汽车的发动机驱动系统和油箱,以及 EV 的电机驱动系统和电池,强混合动力车的整车系统更加复杂,也更加沉重。

■ 轻混合动力型

● 搭载的电机并非用于驱动,而是辅助发动机运转

采用轻混合动力方式的车,包括铃木公司的“WagonR” (2014 年版以后)、“Sorio” (2015 年版),以及计划在 2016 年投入市场,搭载了 48V 系统的汽车。与强混合动力车不同,轻混合动力车并不能仅依靠电机驱动,而是在启动发动机的时候,通过电机进行辅助。铃木公司将这种电机称为 ISG^① (具有电机功能的发电机)。

与上文中提到的全混合动力车相比,这种车的电机驱动部分及电池得以小型化、轻量化,因此可以在降低制造成本的同时,起到降低油耗的作用。与相同排气量的汽油车相比,其价格高出 10 万~15 万日元,但燃油经济性可以提高 10%~15%。

■ 减速再生制动系统型

● 将减速时再生制动产生的能量用于车载电气设备

马自达阿特兹 (ATENZA) (2012 年之后的版本) 等车型,虽然无法通过电机辅助发动机启动,但搭载了在减速时进行发电,并将能量存储在电池中的减速再生制动系统。

回收的能量被用于车载音响等电气设备,通过这种方法,配合怠速熄火功能,能够将燃油经济性提高 5%~10%。怠速熄火功能,是指在等待红绿

灯的时候,自动关闭发动机。仅增加这一项功能,汽车成本上升 3 万~5 万日元,燃油经济性能提高 3%~5%。

减速再生制动系统

下面,针对减速再生制动系统进行详细讲解。下文中提到的汽车,均为燃油汽车。

● 燃油汽车的电气设备最大功率为 2~3kW

车载电气设备消耗的电能越多,汽车的油耗就越大,电能消耗大约占总体油耗的 10%。读者或许会有疑问,电气设备怎么会消耗这么多电能? 车载电气设备包括空调、导航/音响、车灯、雨刮器、电动转向助力器、电热除雾装置、泵类 (冷却泵、燃料泵、CVT 泵等)、ECU (发动机控制单元) 等,最大功率可达 2~3kW。

它们是由位于发动机旁的铅酸蓄电池 (14V),以及为蓄电池充电的发电机供电的。也就是说,汽车使用汽油进行低效率发电,为这些电气设备供电。

● 铅酸蓄电池不适用于再生制动

减速再生制动系统,是将汽车刹车时以“热”的形式浪费掉的汽车动能转换为电能,对电池进行充电,再为电气设备供电。原本汽车上已经安装了向电气设备、发动机启动机供电的铅酸蓄电池,如果能将再生能量存储于铅酸蓄电池内,便可大大降低成本。不过可惜的是,铅酸蓄电池的容量一般仅有 12V, 30~40A·h,无法充分回收汽车减速动能。

提高蓄电池电压,相对减小再生电流,可以增加再生电量。但作为车载电气设备的电源,12V 是标准电压,蓄电池电压不能随意改变。因此,为了尽可能多地回收再生电能,除了使用铅酸蓄电池,实际中常使用双层电容器和锂离子电池。它们是与铅酸蓄电池是分开的,不受标准的限制,可以设定较高的电压。另外,这些电池的内阻比铅酸蓄电池小,有利于大电流充放电,因此能量回收效率要高出很多。

① ISG: Integrated Starter and Generator, 启动发电一体机,直接集成在发动机主軸上,在起步阶段短时替代发动机驱动汽车,并同时启动发动机,以减少发动机的怠速损耗和污染;正常行驶时,改由发动机驱动,电机断开或者起到发电机的作用。这是一种介于混合动力和传统汽车之间的成本低廉的节能方案。

■ 使用锂离子电池的“EneCharge”系统

下面介绍使用锂离子电池的再生制动蓄能系统。

● 使用减速时发电机发出的电能

铃木公司的轻型汽车“aruto”“rapan”（2014年以后的版本）如照片1所示，虽然是燃油汽车，但其搭载了名为“EneCharge”的减速再生制动系统，燃油经济性能提高约3%（2015年8月数据）。这个系统使用了12V/36W·h锂离子电池组、额定功率为1.2kW的发电机，如图2所示。汽车减速时带动发电机发电，为铅酸蓄电池与锂离子电池充电，并向电气设备供电。



照片1 搭载了EneCharge的铃木公司轻型汽车（“aruto”）

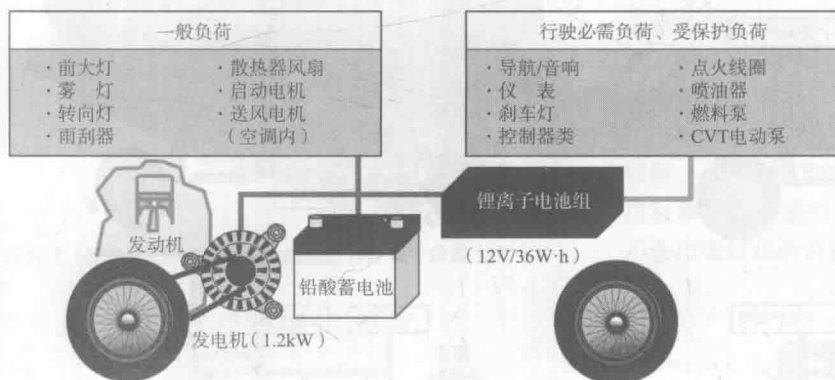


图2 EneCharge的系统组成

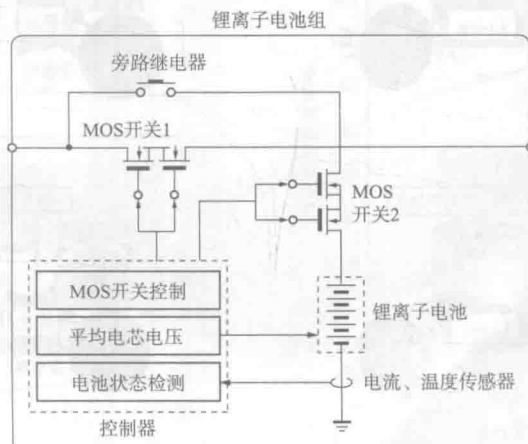


图3 锂离子电池组的电路结构

除了较长的下坡，汽车减速的持续时间都比较短，为了尽可能完全回收减速能量，需要注意以下几点。

① 实现动能与电能转换的发电机，其发电容量与发电电流要能满足需求。也就是说，为了满足车体很重的车辆的急刹车能量回收需要，发电机要有足够大的容量。另外，发电机发出的电为交流电，将交流电变为直流电的电路，也同样需要满足容量需求。

② 电池的充电功率允许值，要与发电机的发电容量相对应，如上文所述，这要求电池的内阻较低。

● 如果锂离子电池也为12~14V……

将电压为3.7V的锂离子电芯进行串联，可以组成电压很高的电池。为了与铅酸蓄电池共同使用，可以将锂离子电池电压调整为与铅酸蓄电池充放电电压特性相近的12~14V附近。这样一来，2组电池之间便无需DC-DC变换器。仅需图3所示的切换开关，便可以以较低的成本达到改善燃油经济性的

目的。

锂离子电池组中的切换开关, 包括 2 个 MOS 开关、1 个旁路继电器, 决定了发电机的发电输出路径。

● “EneCharge” 系统的工作原理

图 4 中说明了“EneCharge”系统在各行驶状态下的工作原理。

· 停车、首次启动

即使在停车及故障保护时, 遥控门锁等部分电气设备也需要工作。这时只有旁路继电器保持导通状态, 使用铅酸蓄电池对电气设备供电。这与普通汽车的形式相同。

首次启动发动机时, 也由铅酸蓄电池为启动机供电, 以启动发动机。

· 加速

汽车加速时, 发电机须停止发电, 以减轻发动机的负担。在保证加速性能的同时, 减少油耗。此

时, 由铅酸蓄电池与锂离子电池共同为电气设备供电。需要注意的是, 此时只有 2 号 MOS 开关保持导通, 故铅酸蓄电池与锂离子电池之间是相互隔离的。

· 减速 (13km/h 以上)

汽车减速时, 增加发电机的发电量。此时, 1 号与 2 号 MOS 开关都保持导通。虽然此时发电机同时与 2 组电池相连, 但大部分电能都会流向内阻较低的锂离子电池。

· 减速 (13km/h 以下)

减速到 13km/h 以下时, 发动机将自动停止运转, 以减少油耗。此阶段与减速时 (13km/h 以上) 相同, 发电机发电, 为 2 组电池充电。

· 暂时停车 (等待红绿灯)

当汽车因等待红绿灯而停车时, 发电机停止发电。这时, 只有 2 号 MOS 开关保持导通, 电气设备由铅酸蓄电池或锂离子电池供电。

· 重新启动

与加速时、暂时停车时相同, 只有 2 号 MOS 开

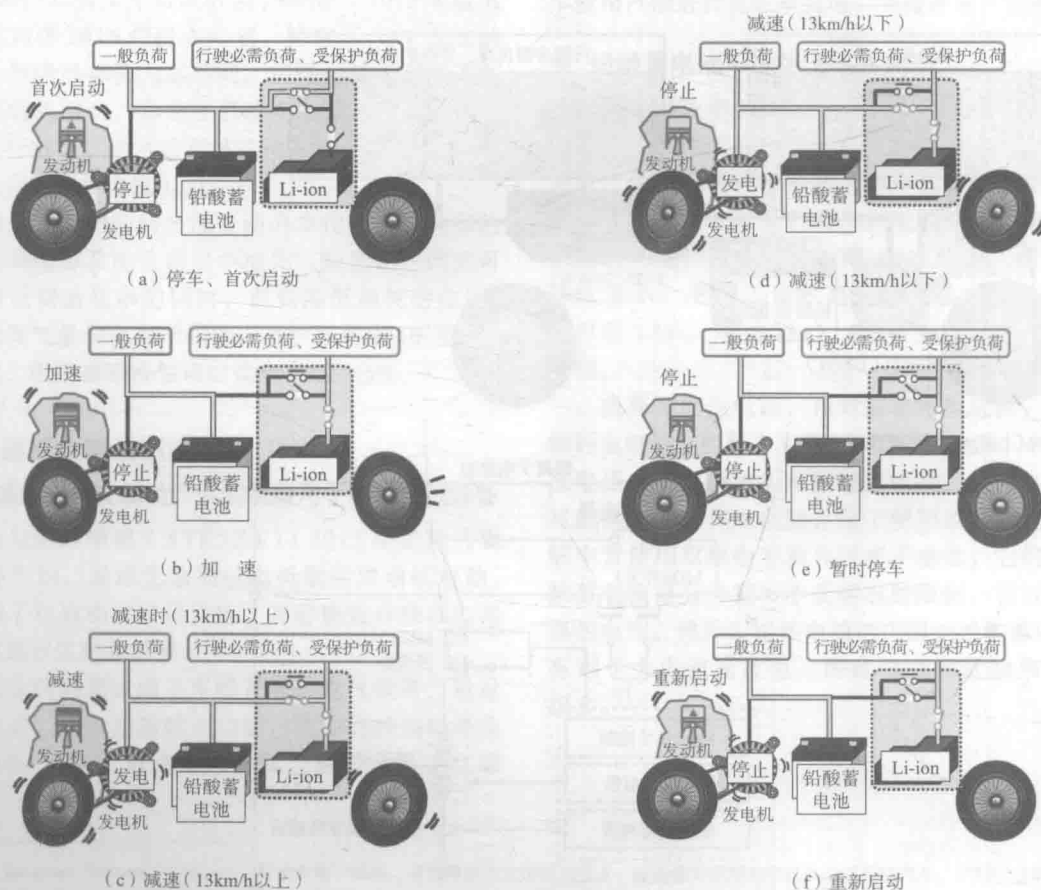


图 4 “EneCharge”系统在各行驶状态下的工作原理

关保持导通，部分电气设备由锂离子电池供电。这样，可以减轻为启动机供电的铅酸蓄电池的负荷。

● 对应怠速熄火电池的容量为 $36\text{W} \cdot \text{h}$

“EneCharge”系统采用适用于怠速熄火系统的锂离子电池组（电装公司开发），安装在副驾驶座下面。电池组（照片2）的尺寸为 $178\text{mm} \times 200\text{mm} \times 70\text{mm}$ ，质量为 2.5kg ，内部包含切换开关、控制电路、锂离子电池，锂离子电池采用5节 $2.4\text{V}/3\text{A} \cdot \text{h}$ 电芯串联。

此电池的容量为 $36\text{W} \cdot \text{h}$ ，大约是轻型汽车的铅酸蓄电池的 $1/10$ 。与普锐斯的 $1.3\text{kW} \cdot \text{h}$ 镍氢电池相比，只有其约3%的容量。然而，在怠速熄火2min后，电池的SOC^①大约下降了10%。此处，假设怠

速熄火时电气设备的平均功率为 100W 。

将 $36\text{W} \cdot \text{h}$ 换算成瓦特·秒，约为 $130\text{kW} \cdot \text{s}$ 。 100W 在 2min （ 120s ）内消耗的电能为 $12\text{kW} \cdot \text{s}$ ，大约是总容量的10%。

另一方面，再生制动时能够回收的能量，也是发电机的最大发电量，约为 1.2kW 。这意味着，每秒钟大约能充电1%。一般来说，锂离子电池的充放电区间，大约是总容量的30%~80%。

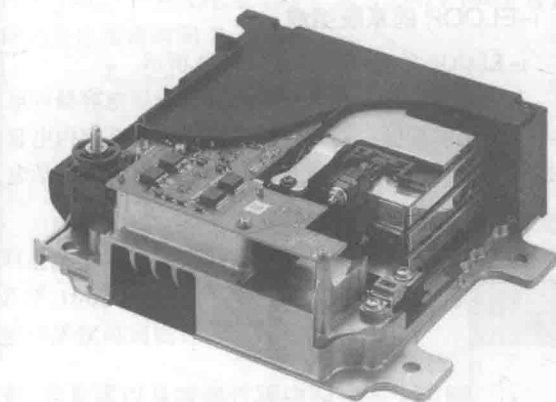
● 电池组中使用了 SCiB 电芯

上述电池组中的锂离子电池，使用了东芝公司生产的 SCiB 电芯。SCiB 电芯使用了钛酸锂，比起传统锂离子电池，具有充电速度快、寿命长、充放电范围广等优点。

铅酸蓄电池充电时的内阻约为 $60\text{m}\Omega$ ，与之相比，5节 SCiB 串联后的内阻仅为 $14\text{m}\Omega$ ，仅为铅酸蓄电池的 $1/4$ 。在电池容量30%~80%内，允许充电功率为 $1.3\sim 2\text{kW}$ ，可以充分吸收 1.2kW 发电机的发电功率。

另外，SCiB 电芯的寿命很长，1万次充放电后仍具有80%以上的容量（图5）。因此，汽车厂商对电池的保险理赔期限长达5年，或10万千米以内。在 -20°C 的环境中，其仍能保持80%的容量，低温性能优良（图6），可以在严寒地区使用。

过去，手机锂离子电池经常发生过热、起火等事故，人们对其安全性持怀疑态度。SCiB 电池的阴极材料使用钛酸锂，即使强制令电池内部短路，也不会出现过热的情况。



照片2 配备“EneCharge”电池组的外观（电装公司）

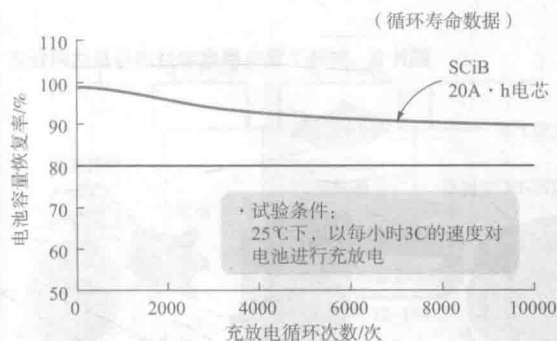


图5 SCiB 充放电循环次数与电池容量的关系

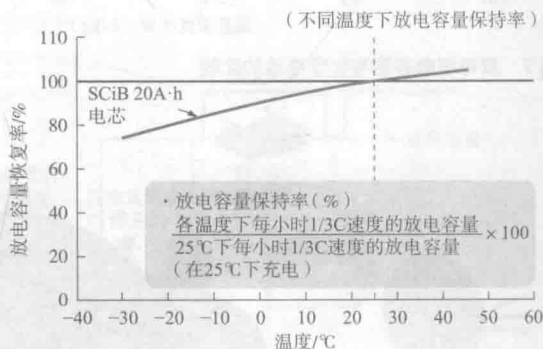


图6 SCiB 电池温度特性

① State of Charge, 剩余电量。——译者注