



目录 Contents

项目一	混合动力汽车的认识	1
任务一	混合动力汽车的定义及优缺点	2
任务二	混合动力汽车的发展	4
思考与练习		7
项目二	混合动力汽车的分类及结构	9
任务一	混合动力汽车的分类	10
任务二	混合动力汽车的结构	14
思考与练习		21
项目三	混合动力汽车的工作原理	23
任务一	串联式混合动力汽车的工作原理	24
任务二	并联式混合动力汽车的工作原理	28
任务三	混联式混合动力汽车的工作原理	33
思考与练习		36
项目四	混合动力汽车的动力电池	39
任务一	混合动力汽车的动力电池基础	40
任务二	铅酸蓄电池	45
任务三	镍氢电池	51





任务四 锂离子电池	55
任务五 动力电池组	61
任务六 动力电池的拆装及检测	65
思考与练习	67

项目五 混合动力汽车的驱动电动机 71

任务一 混合动力汽车的电动机驱动系统	72
任务二 直流电动机	81
任务三 感应电动机	92
任务四 永磁同步电动机	97
任务五 开关磁阻电动机	100
任务六 混合动力汽车的驱动电动机的拆装及检测	102
任务七 驱动电动机控制系统	110
思考与练习	115

项目六 混合动力汽车的充电系统 117

任务一 混合动力汽车充电系统的认识	118
任务二 汽车充电操作	129
思考与练习	134

项目七 混合动力汽车的高压相关系统 135

任务一 驱动电动机的电控原理与维修	136
任务二 DC-DC 转换器的控制原理与维修	146
任务三 高压互锁回路	150
任务四 混合动力汽车空调系统	154
任务五 电动压缩机的拆装及检修	157
思考与练习	160

参考文献 161





项目三

混合动力汽车的工作原理

学习目标

1. 了解串联、并联及混联式混合动力汽车的结构。
2. 掌握串联、并联及混联式混合动力汽车的工作原理。

能力目标

1. 能区分串联、并联及混联式混合动力汽车的结构特点。
2. 能识别混合动力汽车的各部件名称和功能。
3. 能分析混合动力汽车在不同模式下的能量路径。

内容导入

混合动力汽车采用的是一种结合了内燃机和电动机的动力系统，能够同时利用两种动力源进行驱动。它采用了先进的控制系统来协调内燃机和电动机的工作，以达到最佳的燃油效率和减少排放。



内燃机是混合动力汽车的主要动力来源之一。它通过燃烧燃料产生高温高压气体，然后利用这些气体的膨胀来驱动活塞运动，将化学能转化为机械能。内燃机通常使用汽油或柴油作为燃料，其中，汽油发动机采用点火式燃烧，柴油发动机则采用压燃式燃烧。电动机是混合动力汽车的另一个重要组成部分。它利用电能产生旋转力矩，将电能转化为机械能。根据工作方式不同，电动机分为直流电动机和交流电动机。在混合动力汽车中，通常采用交流异步电动机，其具有高效率、高功率密度和可调速等特点。混合动力汽车通过内燃机和电动机的工作互补，达到最佳的燃油效率，同时减少排放。当车辆需要加速时，电动机可以提供额外的动力，减轻内燃机的负荷；而在低负荷或停车等情况下，电动机可以单独驱动车辆，节约燃料和降低排放。

混合动力汽车按照动力系统的结构分类，主要分为串联式、并联式和混联式三种，这也是最常见的分类方式，本教材按此分类分别介绍各种混合动力系统的工作原理。在串联式混合动力系统中，内燃机仅用于发电，电动机负责驱动车辆，这种结构适合城市低速行驶，如丰田的 Prius；在并联式混合动力系统中，内燃机和电动机可以同时驱动车轮，适用于高速行驶，如本田的 Insight；混联式系统结合了串联和并联的特点，通过复杂的动力分配机制，实现更高效的能量利用，宝马 i8 就是混联式混合动力汽车的代表。



任务一 串联式混合动力汽车的工作原理



任务要求

1. 了解串联式混合动力系统的结构。
2. 掌握串联式混合动力系统的控制策略和工作模式。

一、串联式混合动力系统的结构

串联式混合动力汽车采用了发电装置与电动机串联形式的结构，发电装置常使用内燃机驱动发电机，发电机再将电能供给电动机来驱动车辆。这种结构使内燃机可以保持在最高效率工况下工作，如图 3-1 所示。发电装置也可以是燃料电池产生电能，再把电能供给电动机驱动车辆，如图 3-2 所示。本节主要介绍采用内燃机驱动发电机作为发电装置的情况。

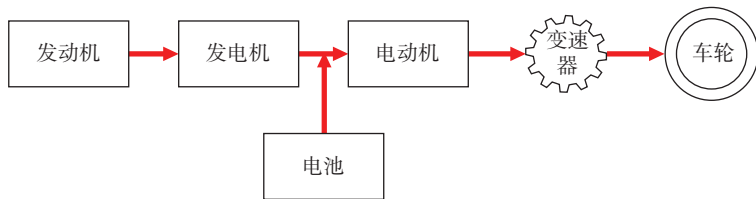


图 3-1 发动机与电动机组合的串联模式



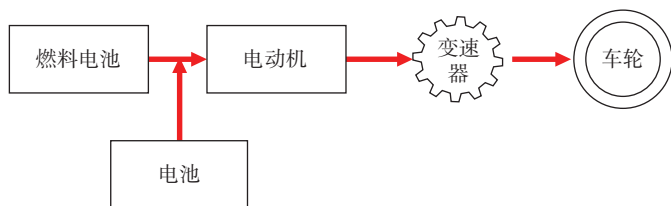


图 3-2 燃料电池与电动机组合的串联模式

发动机的机械能通过发电动机转化为电能，该电能再通过功率变换器为蓄电池充电，或者供给电动机来驱动汽车。发动机只用来发电，由发电动机给电动机供电，只使用电动机来直接驱动汽车。同时，发电动机提供的部分电能被存储到蓄电池里，在需要时给电动机供电，从而实现更大的功率。

串联式混合动力系统的优点是适合在城市运行。在城市中，车辆需要频繁起步、停车、加速和低速运行，在这些工况下，传统燃油车发动机的油耗高、排放性能差，而串联式混合动力汽车的发动机受行驶工况影响小或者不受影响，可工作于稳定、高效的最佳工况区域，并且发动机/发电动机组与机械传动装置无机械连接，布置较灵活，结构和工作原理比较简单，系统的设计和实现难度相对较低。

串联式混合动力系统的缺点是能量转换、传输环节多，能量转换效率比较低；电动机的额定功率要求比较大，相应的体积和质量也比较大。这是因为电动机是唯一直接驱动车辆的动力装置，需要满足最高车速、加速、爬坡等所有工况的功率要求。

二、串联式混合动力系统的控制策略

混合动力汽车系统控制器根据行驶工况、发动机和电动机的运行状态，以及电池电量状态来确定车辆的驱动模式。一个好的控制策略可以充分发挥各动力部件的效率潜力，尽量避免各部件低效率，优化混合驱动效率，从而达到最佳的整体效率。串联式混合动力系统控制策略有两种极端模式：发动机开关式和发动机功率跟随式，以及综合这两种模式的复合式控制策略。

（一）发动机开关式

1. 发动机开关式的控制逻辑

发动机开启时，汽车被设置在经济点稳定地运行，带动发电动机发电向电池充电；当电池 SOC 超过 SOC_{max} 时，发动机关闭，车辆以纯 EV 模式运行；当电池 SOC 小于 SOC_{min} 时，发动机开启，带动发电动机向电池充电。

2. 发动机开关式的特点

发动机处于经济点稳定地运行，燃烧充分，排放低，但动力的传递要经过电池充放电，增加了能量传递环节，目前电池的充放电循环效率较低，因而整个动力传动系统效率较低，油耗较高。

（二）发动机功率跟随式

1. 发动机功率跟随式的控制逻辑

发动机一直开启，其功率跟随着电动机的功率变化而变化；设定一个功率下限值，当行驶所需的发动机功率低于该值时，发动机/发电动机向电池充电；当发动机输出功率为最大但仍不能满足驱动要求时，电池输出电能补充；当电池电量不足而发动机又有后备动力时，发动机向电池充电。



2. 发动机功率跟随式的特点

尽量利用发电动机发出的电能驱动电动机、少用电池，以减少动力传递环节，避免电池低充放电循环效率的不良影响。设置发动机功率下限可避免发动机在低负荷工况下产生极高的油耗率。在该策略下，如果发动机匹配合理，运行于经济区域，可获得良好的燃油经济性。其缺点是发动机工况不断变化，排放性能不如开关式好。

（三）复合式控制策略

1. 复合式控制策略的控制逻辑

复合式控制策略综合了发动机开关式策略的低排放和发动机功率跟随式策略的低油耗的优点，具体控制逻辑见表 3-1 所列。

表 3-1 复合控制策略控制逻辑表

	$SOC \leq SOC_{min}$	$SOC_{min} < SOC < SOC_{max}$	$SOC \geq SOC_{max}$
$Pr \leq Pe_0$	APU 以下限功率运行向电动机供电，多余功率给电池充电 $Pe = Pe_0 = Pr + Pbc$	APU 以下限功率运行向电动机供电，多余功率给电池充电 $Pe = Pr + Pbc$ 或者，电池单独供电，APU 关闭 $Pbd = Pr$ $Pe = 0$	电池单独供电，APU 关闭 $Pbd = Pr$ $Pe = 0$
$Pe_0 < Pr < Pe_{max}$	APU 除了提供行驶功率，还向电池充电 $Pe = Pr + Pbe$	APU 除了提供行驶功率，还向电池充电 $P = Pr + Pb$ 或者，APU 只提供行驶功率 $Pe = Pr$ $Pbc = 0$	电池单独供电，APU 关闭 $Pbd = Pr$ $Pe = 0$
$Pr \geq Pe_{max}$	应避免出现此状况	APU 以最大功率运行，不足功率由电池放电提供 $Pe = Pe_{max}$ $Pbd = Pr - Pe_{max}$	APU 以最大功率运行，不足功率由电池放电提供 $Pe = Pe_{max}$ $Pbd = Pr - Pe_{max}$

注：Pe 为 APU 输出功率，Pr 为需求行驶功率， Pe_0 为 APU 下限功率， Pe_{max} 为 APU 最大功率，Pbc 为电池充电功率，Pbd 为电池放电功率。

2. 复合式控制策略的特点

复合式控制策略是两种极端模式的组合，在两模式之间存在一个优化点，在该点，发动机和电池合理分担路面载荷，发动机和电池混合驱动效率最高。

优化点的位置取决于发动机经济区的大小和电池的充放电效率。若发动机经济区扩大或电池效率降低，优化点向功率跟随式策略移动；反之，发动机经济区变窄或电池效率升高，优化点靠近开关式策略。

三、串联式混动系统的工作模式

（一）纯电模式

纯电模式下，当所需的驱动力较小而电池电量充足时（ $Pr \leq Pe_0$ ， $SOC \geq 80\%$ ），发动机和发电动





机都不工作，电动机靠电池提供电能驱动车辆行驶（图 3-3）。

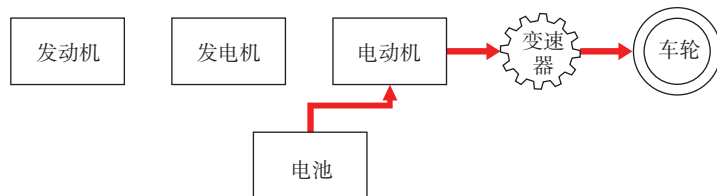


图 3-3 串联式混动系统的纯电模式

（二）联合工作模式

联合工作模式有两种情况。

（1）当所需的驱动力较大且电池电量充足时，发动机驱动发电机给电动机供电；同时，电池也给电动机供电，电动机获得较大的电能，驱动车辆行驶（图 3-4）。

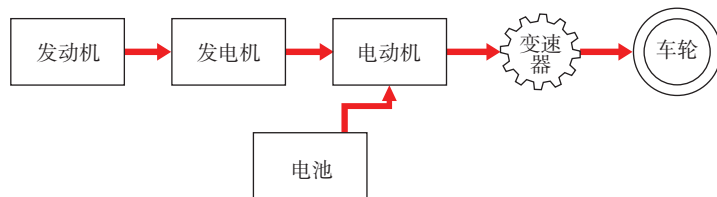


图 3-4 串联式混动系统的联合工作模式 1

（2）当电池电量不足时，发动机驱动发电机给电动机供电，电动机驱动车辆行驶，并且发电机在有多余能量的情况下给电池供电（图 3-5）。

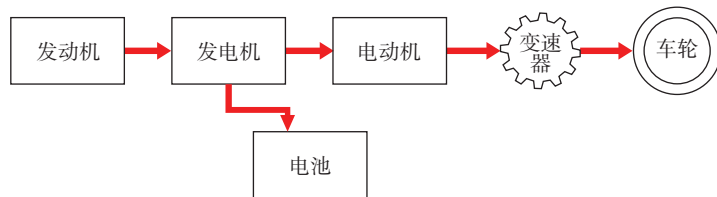


图 3-5 串联式混动系统的联合工作模式 2

（三）能量回收模式

能量回收模式是在车辆减速或下坡滑行时，发动机和发电机都不工作，利用车辆行驶时的动能通过电动机进行能量回收来给电池充电（图 3-6）。

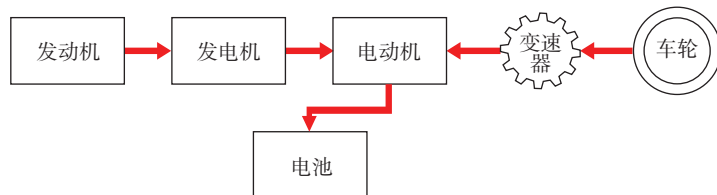


图 3-6 串联式混动系统的能量回收模式



(四) 停车充电模式

停车充电模式是在车辆停止并且电池电量不足的情况下，发动机工作带动发电机电发电给电池供电（图 3-7）。

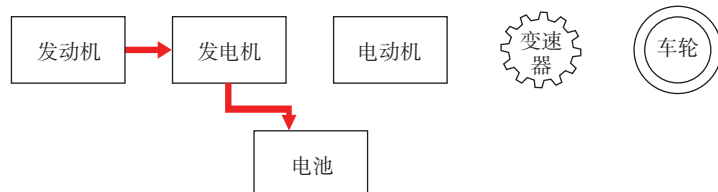


图 3-7 串联式混动系统的停车充电模式



课后习题

1. 串联式混合动力汽车工作模式有哪几种？
2. 串联式混合动力汽车的特点是什么？



任务二 并联式混合动力汽车的工作原理



任务要求

1. 了解并联式混合动力汽车的结构。
2. 掌握并联式混合动力汽车的工作模式。

一、并联式混合动力汽车的结构

并联式混合动力汽车有多个能量转换装置，可以同时给车辆提供驱动力。根据混合点的位置不同，并联构型又可细分为离合器前混合型（构型 1）、离合器后混合型（构型 2）、变速箱后混合型（构型 3）、双离合型（构型 4）和道路混合型（构型 5）。其中构型 1 结构多用于微混合和轻度混合系统。构型 2、构型 3、构型 4 和构型 5 多用于全混合系统。微混合动力中电动机功率很小，通常只具备快速启/停发动机和部分制动能量回收功能。轻度混合动力系统则在微混合动力系统的基础上增加了电动机助力和更强的制动回收能力。在全混合动力系统中电动机功率已经足够大，可以实现单独驱动车辆，从而使系统具备纯电动能力。

各构型图分别如图 3-8 至图 3-12 所示。



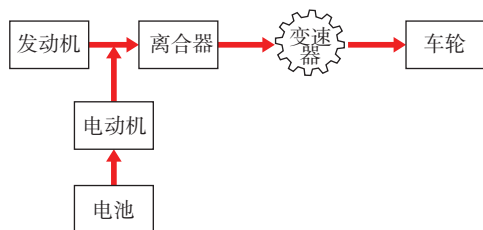


图 3-8 构型 1

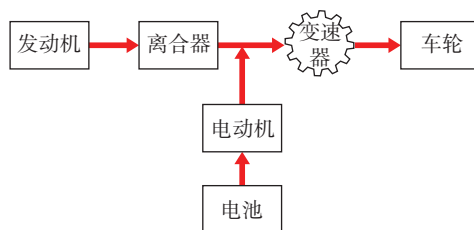


图 3-9 构型 2

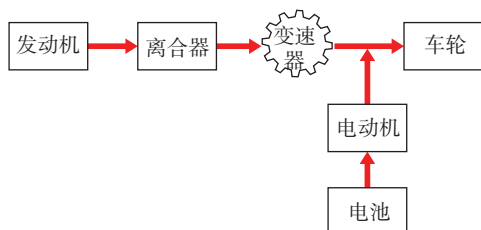


图 3-10 构型 3

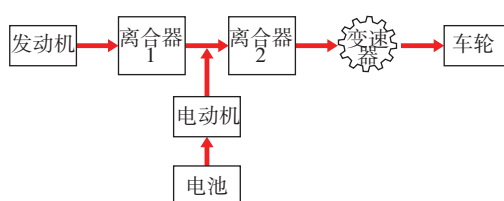


图 3-11 构型 4

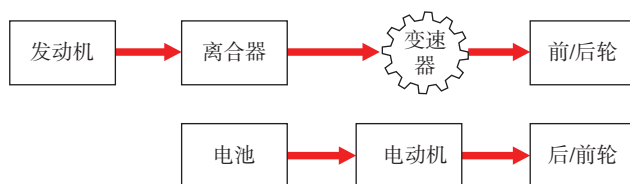


图 3-12 构型 5

双电动机四驱模式，理论上可以在构型 1~构型 4 的基础上增加一个驱动电动机 2 形成四驱模式，其四驱模式构型图如图 3-13~图 3-16 所示。

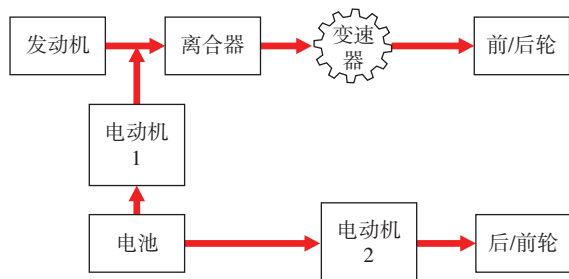


图 3-13 构型 1 四驱模式

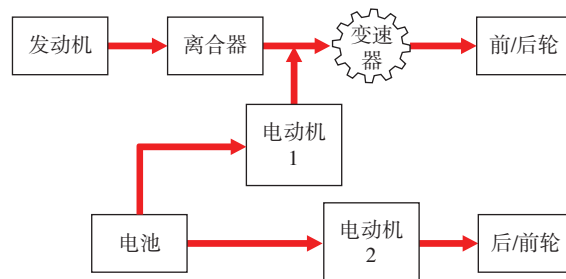


图 3-14 构型 2 四驱模式

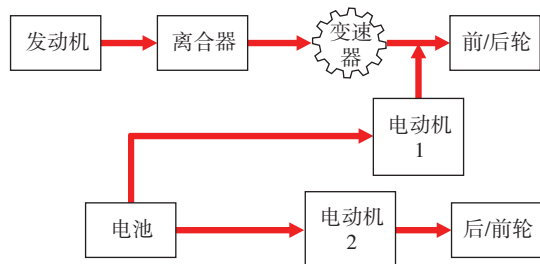


图 3-15 构型 3 四驱模式

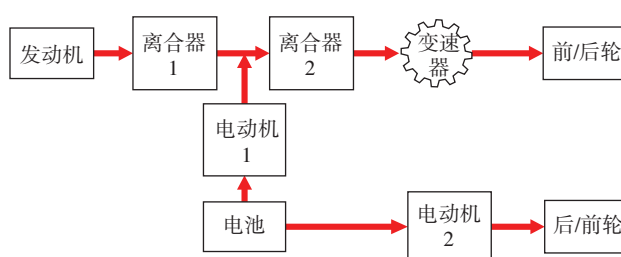


图 3-16 构型 4 四驱模式



并联式混合动力汽车的驱动力通常主要由发动机提供，电动机起辅助作用。并联式混合动力汽车既可以降低电动机、发动机功率，减小电池容量，也可以降低电池组重量，从而降低制造成本。对于混合点前没有离合器的构型（构型 1），离合器位于混合点后，发动机不能独立于电动机脱开。发动机起系统主要动力源的作用，电动机只起辅助作用，一般没有纯电动状态，系统通常为微混合或轻度混合动力系统。发动机和混合点之间存在离合器的构型（构型 2，构型 3，构型 4），发动机可以通过离合器分离实现与传动系脱离，车辆由电动机独立驱动。因此，此类构型通常也需要功率较大的电动机，系统多为深混合动力系统。对于混合点后有离合器的系统（构型 1，构型 4），可以通过发动机和车辆传动系脱开，采用电动机实现发动机迅速起动功能。

从能量平衡的角度看，车辆所需功率由电动机和发动机共同提供。因此电动机输出功率（或发动机输出功率）为自由变量，系统具有一个能量自由度。由于机械连接的限制，发动机和电动机的转速均由车速决定，系统不具有机械自由度。系统自由度体现在了扭矩变量的自由上，发动机和电动机的输出扭矩叠加后共同驱动车辆。

二、并联式混合动力汽车的工作模式

（一）并联式混合动力汽车工作模式的分类

1. 发动机起动/停止模式

发动机起动/停止的工作模式，是指发动机的起动是利用电动机来提供驱动力，这种模式只有构型 1 和构型 4，即在混合点后有离合器的情况下才能实现。如图 3-17 和图 3-18 所示。

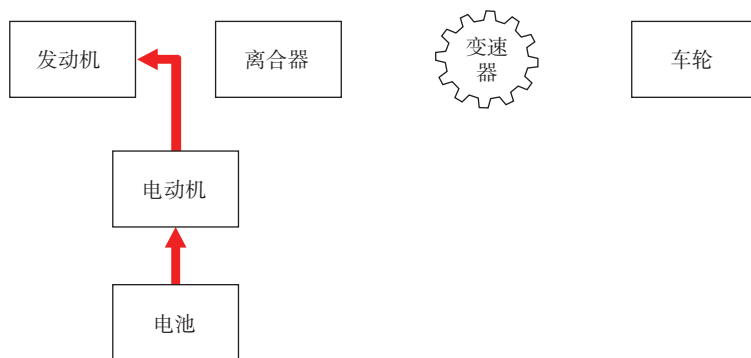


图 3-17 构型 1

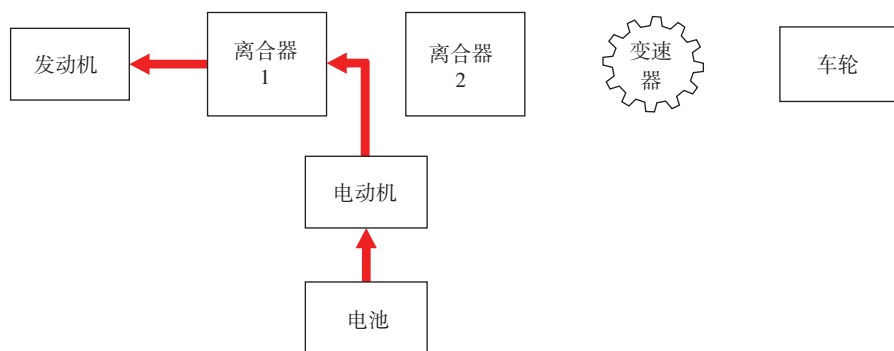


图 3-18 构型 4





2. 纯电模式

纯电模式是指发动机不起动，车辆依靠电动机单独驱动，主要在低速时或能量需求较低时使用。构型1一般使用在微混和轻混的车型上，不能直接驱动车辆，没有纯电模式。构型2~构型4的纯电模式构型图如图3-19~图3-22所示。

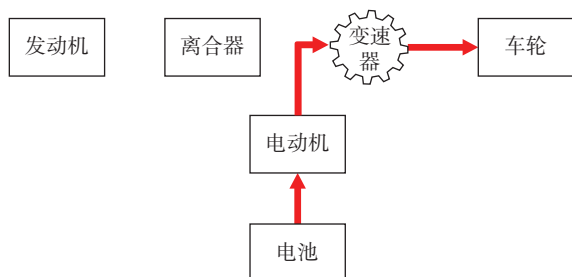


图 3-19 构型 2

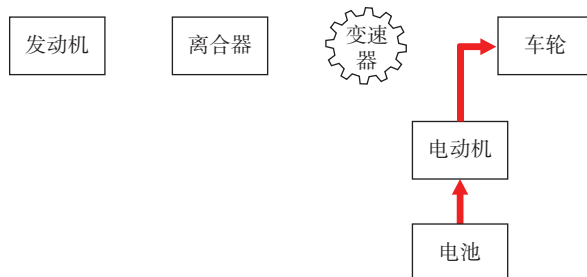


图 3-20 构型 3

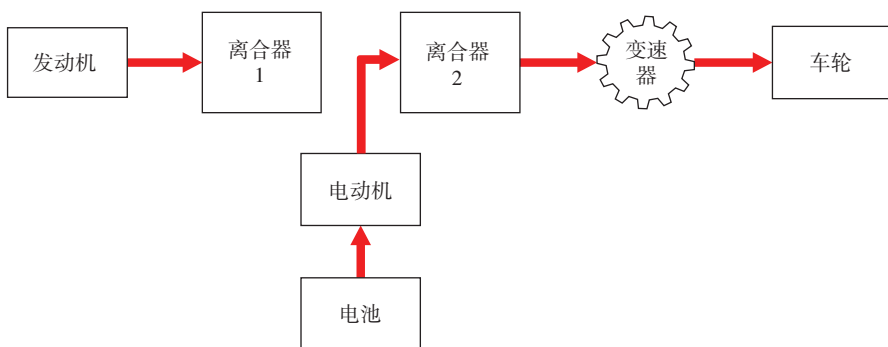


图 3-21 构型 4

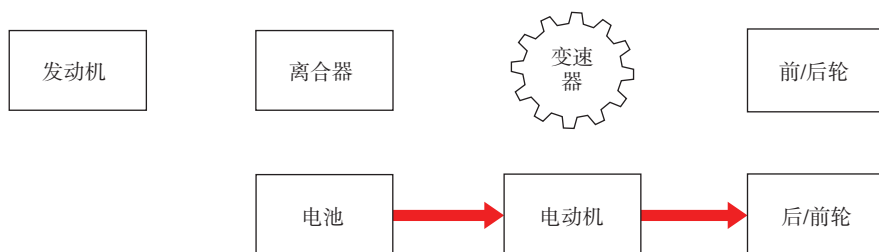


图 3-22 构型 5

3. 联合工作模式

联合工作模式如图3-8至图3-12。由发动机和电动机共同驱动车辆。

4. 能量回收模式

能量回收模式是在车辆减速刹车或下坡滑行时，利用电动机把车辆的动能进行能量回收。各种构型的能量回收模式示意图如图3-23~图3-27所示。



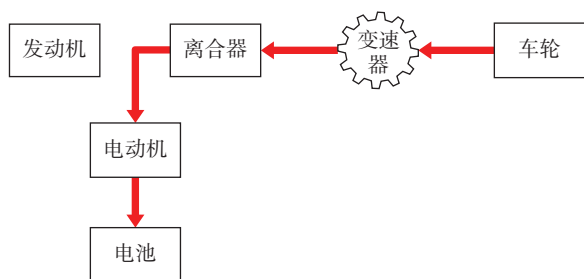


图 3-23 构型 1

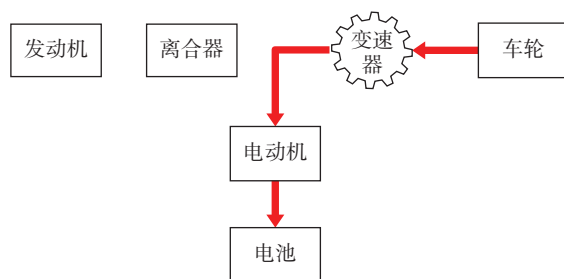


图 3-24 构型 2

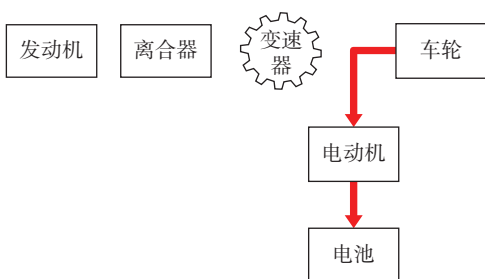


图 3-25 构型 3

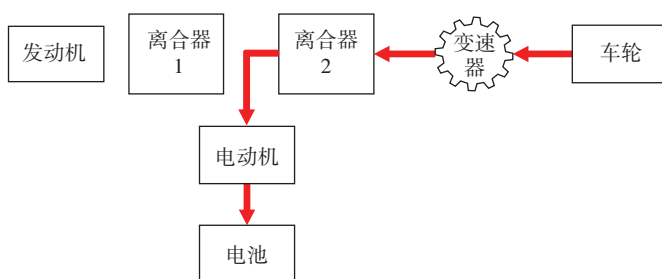


图 3-26 构型 4

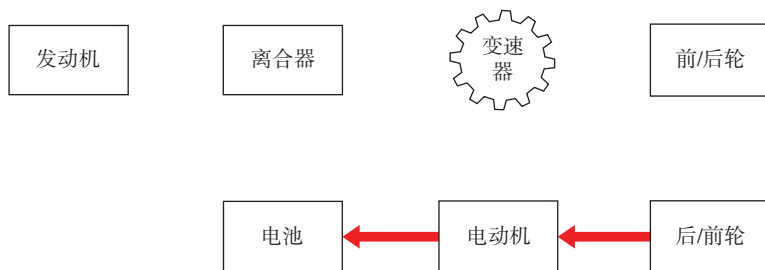


图 3-27 构型 5

(二) 并联式混合动力汽车的工作逻辑

并联式混合动力系统同时具有燃油发动机驱动系统和电动机驱动系统。发动机是主动力源，电动机在必要时辅助发动机驱动。某些并联式混合动力汽车，电动机具有单独驱动能力。下面将详细介绍并联式混合动力汽车的工作逻辑。

(1) 动力分配。并联式混合动力汽车可以根据驾驶条件 and 需求智能地分配燃油发动机和电动机的动力输出比例。在启动时或需要较大动力时，燃油发动机将提供主要动力；而在低速行驶或需要低功率输出时，电动机会发挥主要作用。

(2) 能量转换与储存。在行驶过程中，当汽车减速或制动时，电动机可以通过回馈制动系统将动能转化为电能，并储存在电池组中。这些储存的电能可以在需要时供电给电动机，减少对燃油发动机的依赖，提高燃油利用率。

(3) 动力传输。并联式混合动力汽车通过传动系统将燃油发动机和电动机的动力输出共同传递给车轮，从而驱动车辆。传动系统通常由变速器、齿轮和离合器等组成，它们协同工作以确保高效的动力传输。





(4) 能量管理控制。并联式混合动力汽车配备的能量管理系统可以根据车辆状态、驾驶模式和路况等因素来控制燃油发动机和电动机的工作模式和输出功率。通过智能的能量管理控制，可以最大限度地提高混合动力汽车的能源利用效率。

并联式混合动力汽车通过优化燃油发动机和电动机协同工作，实现更高效、更环保的出行方式。通过合理的动力分配、能量转换与储存、动力传输和能量管理控制等方面的技术，混合动力汽车可以在提供足够动力的同时，最大限度地降低对燃油的依赖，减少尾气排放，为环境保护作出贡献。



课后习题

1. 并联式混合动力汽车的工作特点是什么？
2. 并联式混合动力汽车的工作模式有哪几种？



任务三 混联式混合动力汽车的工作原理



任务要求

1. 了解混联式混合动力系统的结构。
2. 掌握混联式混合动力系统的工作模式。

一、混联式混合动力汽车的结构和特点

(一) 混联式混合动力汽车的结构

混联式混合动力汽车是一种结合了内燃机和电动机的汽车，它既可以使用燃油作为能源，也可以使用电力作为能源。这种汽车的最大特点是在不同工况下自动切换或同时使用两种能源，以达到最佳的燃油经济性和排放性能。混联式混合动力汽车的结构如图 3-28 所示。

(二) 混联式混合动力汽车的特点

混联式混合动力汽车是串联式混合动力汽车与并联式混合动力汽车的综合。该系统的主要特点

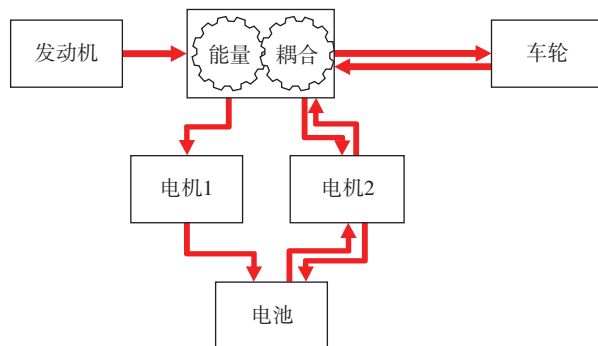


图 3-28 混联式混合动力系统结构





如下。

- (1) 至少包含两个电动机。
- (2) 系统能量混合方式同时具备并联混动和串联混动的特征。

混联式混合动力汽车兼具串联式和并联式的优点，具有更全面的混合动力工作模式，系统能量分配的灵活度更高，能更好地适应车辆复杂的行驶工况。对于频繁行驶/停车和蠕行的城市工况，汽车系统可以关闭发动机，通过电动机以纯电动方式行驶，充分利用了串联式混合动力的优势。对于持续中高负荷的高速路工况，发动机为车辆行驶提供主要能量，具有并联构型特征和优势。多数混联构型（如构型 1，构型 3）都利用了行星齿轮机构进行能量分配，在实现能量分配的同时，还实现了车辆的变速器功能，替代了传统车辆的手动或自动变速器。然而，混联式汽车的系统往往比较复杂，需要动力分配装置（如行星齿轮）和多个电动机，使得系统成本和复杂度大大增加。

二、混联式混合动力汽车的工作模式

（一）纯电模式

纯电模式下，发动机不工作，电池电量充足，通过电动机 2 驱动车轮，如图 3-29 所示。

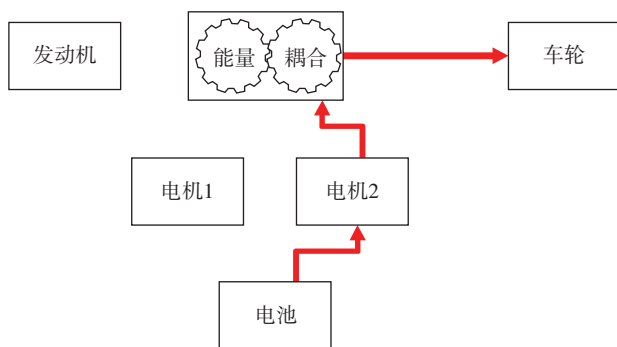


图 3-29 纯电模式

（二）联合工作模式

联合工作模式既可以是并联模式，也可以是串联模式。

- (1) 并联模式：发动机和电动机 2 既可以单独驱动车轮，也可以共同驱动车轮，如图 3-30 所示。

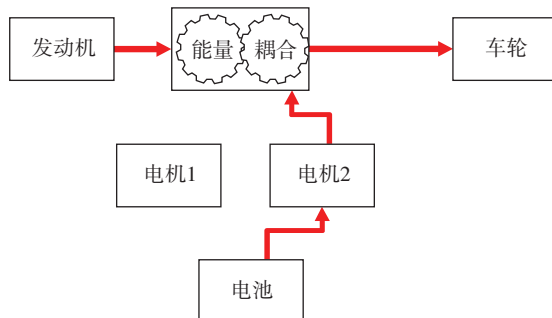


图 3-30 并联模式

- (2) 串联模式：电动机 2 可以单独驱动车轮，电量不足时，发动机带动电动机 1 发电给电动机 2





供电驱动车辆，有多余能量给电池充电，如图 3-31 所示。

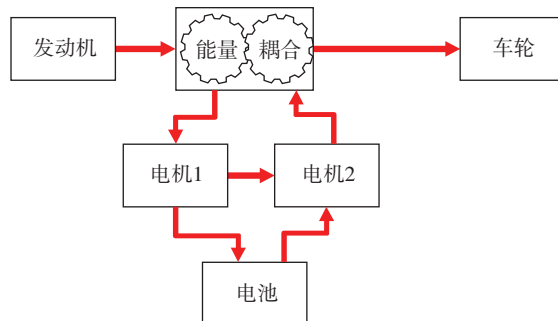


图 3-31 串联模式

(三) 能量回收模式

在减速刹车和下坡滑行时用车辆动能回收给电池充电。能量传递路径如图 3-32 所示。

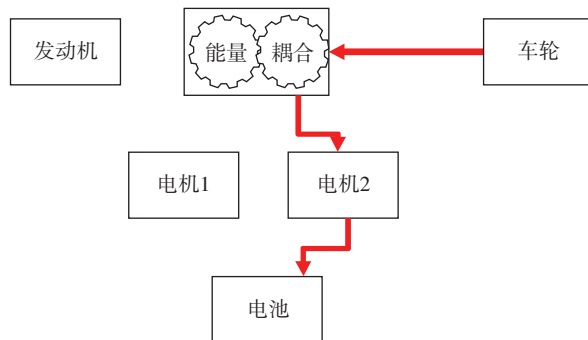


图 3-32 能量回收模式

(四) 停车充电模式

停车充电模式，在停车后，如果电池电量不足，则发动机持续工作带动电动机 1 发电，给电池充电，如图 3-33 所示。

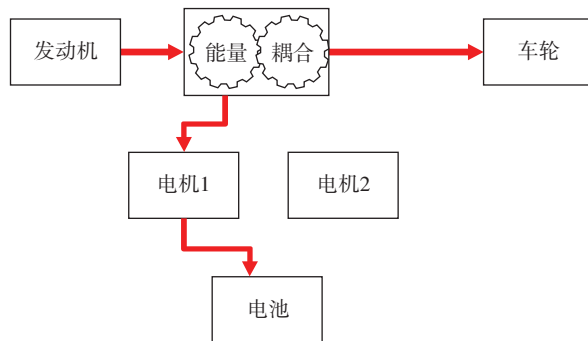


图 3-33 停车充电模式

混联式混合动力汽车的工作原理虽然看似复杂，但其实质是通过合理的能量管理，实现燃油经济性和排放性能的最佳平衡。这种汽车不仅可以减少对燃油的依赖，降低排放，而且还具有良好的驾驶性能和舒适性。然而，混联式混合动力汽车的发展也面临着一些挑战。例如，电池的能量密度和寿命、



电动机和内燃机的匹配、能量管理系统的控制策略等。这些问题需要通过不断的研究和创新来解决。



课后习题

1. 混联式混合动力汽车的特点是什么？
2. 混联式混合动力汽车的工作模式有哪几种？



思考与练习

一、名称解释

1. 混合动力汽车
2. 串联式混合动力汽车
3. 并联式混合动力汽车
4. 混联式混合动力汽车

二、填空题

1. 混合动力汽车的动力一般采用_____与_____, 能量储存装置一般采用_____或金属氢化物镍蓄电池。
2. 按照混合度数值的大小, 可以将混合动力汽车分为_____, _____与重度混合型混合动力汽车。
3. 串联式混合动力汽车的结构主要由_____, _____、_____, 驱动电动机和动力蓄电池等部件组成。
4. 串联式混合动力汽车的工作模式主要有_____, _____、_____, 行车充电模式、混合充电模式、再生制动模式与停车充电模式。





5. 并联式混合动力汽车的结构主要由_____、_____、电动机控制器、_____和动力耦合器等部件组成，有多种组合形式，可以根据使用要求进行设计。

6. 并联式混合动力汽车地工作模式主要有_____、_____、_____、行车充电模式、再生制动模式与停车充电模式。

7. 混联式混合动力汽车地结构主要由_____、_____、_____、电动机控制器、驱动电动机、动力耦合器、动力蓄电池系统等部件组成。

三、选择题

1. 混合动力汽车的混合动力系统主要包含（ ）。

- A. 发动机 B. 驱动电动机 C. 变速器 D. 动力蓄电池

2. 关于微混合型混合动力汽车，下列说法正确的是（ ）。

- A. 怠速时发动机关闭
B. 车辆起步时不起动发动机
C. 车辆加速时由发动机与驱动电动机联合提供动力
D. 发动机为主，驱动电动机为辅

3. 关于轻度混合型混合动力汽车，下列说法正确的是（ ）。

- A. 怠速时发动机关闭
B. 车辆起步时不起动发动机
C. 车辆加速时由发动机与驱动电动机联合提供动力
D. 下坡时回收制动能量

4. 关于重度混合型混合动力汽车，下列说法正确的是（ ）。

- A. 车辆起步时不起动发动机
B. 车辆低速行驶时不起动发动机
C. 车辆正常行驶时由发动机与驱动电动机联合提供动力
D. 车辆正常行驶时由电动机驱动

5. 丰田普锐斯混合动力汽车属于（ ）。

- A. 微混合型混合动力汽车 B. 轻度混合型混合动力汽车
C. 重度混合型混合动力汽车 D. 混联式混合动力汽车

6. 关于插电式混合动力汽车，下列说法正确的是（ ）。

- A. 属于新能源汽车 B. 可以对动力蓄电池充电
C. 可以在加油站给汽车加油 D. 属于节能汽车

7. 关于串联式混合动力汽车，下列说法正确的是（ ）。

- A. 电力驱动是唯一地驱动模式 B. 发动机直接参与驱动
C. 发动机不直接参与驱动 D. 发动机与驱动电动机可混合驱动

8. 关于并联式混合动力汽车，下列说法正确的是（ ）。

- A. 电力驱动是唯一地驱动模式 B. 发动机直接参与驱动
C. 发动机不直接参与驱动 D. 发动机与驱动电动机可混合驱动

9. 关于并联式混合动力汽车驱动电动机，下列说法正确的是（ ）。

- A. P0 表示电动机安装在发动机前端
B. P1 表示电动机位于发动机后与离合器前
C. P2 表示电动机位于发动机与变速器之间，位于离合器后





D. P4 表示电动机位于后桥上

10. 关于混联式混合动力汽车, 下列说法正确的是 ()。

- A. 行驶时优先使用纯电动模式
- B. 在混合动力模式下, 启动与低速时使用串联式系统
- C. 车辆正常行驶时由发动机驱动
- D. 加速, 爬坡, 高速时使用并联式系统

四、判断题

- 1. 混合动力汽车都属于新能源汽车。()
- 2. 并联式混合动力汽车有发动机与电动机两套驱动系统, 它们既可以分开工作, 也可以一起协调工作, 共同驱动。()
- 3. 混合动力汽车与纯电动汽车相比, 其动力蓄电池地容量较小。()
- 4. 混合动力汽车地发动机与驱动轮之间存在机械连接。()
- 5. 混合动力汽车地电动机安装位置不同, 其功能也不同。()
- 6. 48 V 启发电一体机主要实现功能在于快速起停, 制动能量回收与辅助转矩三个作用, 理论上它可以实现在部分巡航时速下停止发动机工作, 并保证快速需要动力地时候又能快速启动发动机地作用。()
- 7. 集成式启动发电电动机固连在发动机曲轴上, 取代了传统的飞轮。()
- 8. 混联式混合动力汽车通过动力耦合器对发动机、发电电动机与驱动电动机进行动力耦合, 整车在行驶过程中可通过控制策略实现多种工作模式的切换。()
- 9. 混合动力汽车的动力耦合器与动力耦合方式都是相同的。()
- 10. 串联式混合动力汽车一般采用发动机-发电机组与动力电池系统等两种形式的车载电源系统, 输出的电能通过电动机控制器输送给驱动电动机, 由驱动电动机将电能转化为机械能来驱动汽车行驶。()

五、简答题

- 1. 串联式混合动力汽车主要有哪些特点?
- 2. 并联式混合动力汽车主要有哪些特点?
- 3. 混联式混合动力汽车主要有哪些特点?
- 4. 混联式混合动力汽车工作模式有哪些?





项目四

混合动力汽车的动力电池

学习目标

1. 了解动力电池的分类和原理。
2. 掌握动力电池的结构和特点。

能力目标

1. 能分析不同电池的优缺点。
2. 能正确地使用和维护电池。
3. 能按操作流程拆装动力电池。
4. 能准确地测算动力电池参数。

内容导入

目前，混合动力汽车上应用最广泛的电源主要有铅酸电池、镍氢电池、锂离子电池等。



任务一 混合动力汽车的动力电池基础



任务要求

1. 了解动力电池的分类和原理。
2. 掌握动力电池的参数标准。

一、混合动力汽车动力电池的分类和原理

混合动力汽车使用的动力电池可以分为化学电池、物理电池和生物电池三大类。

(一) 化学电池

化学电池是将化学能直接转变为电能的装置，主要部分是正、负电极及电解质溶液等。化学电池有多种分类方式。按正、负极材料，可分为锌锰电池系列、镍镉镍氢系列、铅酸系列、锂电池系列等；按电池的特性，可分为高容量电池、高功率电池、密封电池、免维护蓄电池、防爆电池等；按电解质，可分为酸性电池、碱性电池、中性电池、有机电解质电池、非水无机电解质电池、固态电解质电池等；按工作性质，可分为原电池、蓄电池、燃料电池和储备电池。

1. 原电池

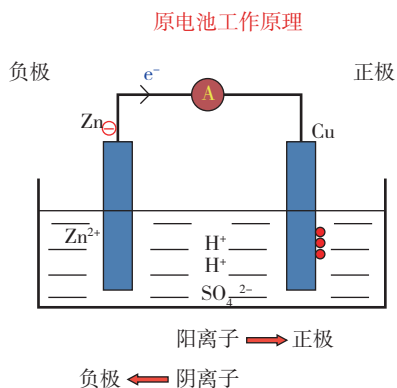


图 4-1 原电池的工作原理

电的方式使活性物质复原而得以继续使用的电池。蓄电池的充放电可以达到数十次乃至上千次，如铅酸蓄电池、镍镉电池、镍氢电池、锂离子电池等。

原电池是利用两个电极之间金属性的不同而产生电势差，从而使电子流动，最终产生电流（图 4-1）。原电池，又称为“非蓄电池”，是电化电池的一种。其电化反应不能逆转，即只能将化学能转换为电能，不能重新储存电能，这一特性与蓄电池相反。如锌-二氧化锰干电池、锂锰电池、锌空气电池、一次锌银电池等。

2. 蓄电池

蓄电池（图 4-2），又称为“二次电池”，是指电池在放电后可以通过充



图 4-2 蓄电池



3. 燃料电池

燃料电池是将燃料与氧化剂的化学能通过电化学反应直接转换成电能的一种发电装置。燃料电池理论上可以在接近 100% 的热效率下运行，具有很高的经济性。目前实际运行的各种燃料电池，由于种种技术因素的限制，再考虑到整个装置系统的耗能，总的转换效率多在 45%~60%，如考虑排热利用，转换效率可达 80% 以上。此外，燃料电池装置不含或含有很少的运动部件，工作可靠，维修率低，且比传统发电动机更安静。另外，燃料电池直接将化学能转化为电能，而不必经过热机过程，不受卡诺循环限制，因而能量转化效率高，且反应清洁、完全，很少产生有害物质，正在成为理想的能源利用方式。同时，随着燃料电池技术的不断成熟，以及西气东输工程提供充足天然气源，使得燃料电池被视作一种很有发展前途的能源动力装置，燃料电池的商业化应用存在着广阔的发展前景。

燃料电池是一种能量转化装置，遵循电化学原理，把贮存在燃料和氧化剂中的化学能直接转化为电能，实际是一种氧化还原反应。以质子交换膜燃料电池为例，其工作原理如下。

- (1) 氢气通过管道或气体导流板到达阳极。
- (2) 在阳极催化剂的作用下，1 个氢分子分解成 2 个氢质子，释放出 2 个电子。
- (3) 在电池的另一端，氧气（或空气）通过管道或气体导板到达阴极。在阴极催化剂的作用下，氧分子和氢离子与通过外电路到达阴极的电子反应生成水。

燃料电池工作原理如图 4-3 所示。

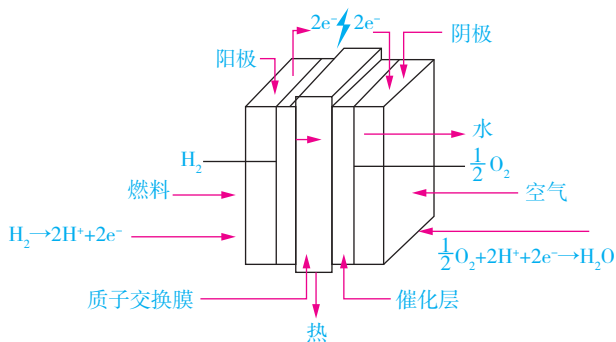


图 4-3 燃料电池工作原理

4. 储备电池

储备电池的正、负极与电解质在储存期间不直接接触，使用前注入电解液或者使用其他方法使电解液与正负极接触，此后电池进入待放电状态，如镁电池、热电池等。

(二) 物理电池

物理电池是利用光、热、物理吸附等物理能量发电的电池，如太阳能电池、超级电容器、飞轮电池等。

太阳能电池，又称为“太阳能芯片”或“光电池”，是通过光电效应或者光化学效应直接把光能转化成电能的装置。如图 4-4 所示是利用太阳光直接发电的光电半导体薄片。它只要被光照到，瞬间就可以输出电压及电流，在物理学上称为太阳能光伏，简称“光伏”。目前，光电效应工作的薄膜式太阳能电池是市场主流产品，而以光化学效应工作的湿式太阳能电池还处于萌芽阶段。



图 4-4 光电半导体薄片

（三）生物电池

生物电池是指将生物质能直接转化为电能的装置。生物质蕴涵的能量绝大部分来自太阳能，是绿色植物和光合细菌通过光合作用转化而来的。从原理上来讲，生物质能够直接转化为电能，主要是因为生物体内存在与能量代谢关系密切的氧化还原反应。这些氧化还原反应彼此影响，互相依存，形成网络，进行生物的能量代谢，如微生物电池、酶电池、生物太阳电池等。

二、混合动力汽车电池的参数指标

（一）电动势

电池的电动势，又称为“电池标准电压”或“理论电压”，是电池断路时正、负两极间的电位差。电池的电动势可以通过计算电池体系热力学函数自由能的变化而得到。

（二）额定电压

额定电压，又称为“公称电压”，是指该电池在工作时公认的标准电压。例如，锌锰干电池的额定电压为 1.5 V，镍镉电池的额定电压为 1.2 V，铅酸蓄电池的额定电压为 2 V，锂离子电池的额定电压为 3.7 V 或 3.2 V。

（三）开路电压

电池的开路电压是无负荷情况下的电池电压。必须指出，开路电压不等于电池的电动势，电池的电动势是从热力学函数计算得到的，而电池的开路电压则是通过实际测量得到的。

（四）工作电压

工作电压是指电池在某负载下实际的放电电压，通常是一个电压范围。例如，锂离子电池的工作电压是 4.2~2.75 V，镍氢电池的工作电压是 1.5~1.1 V，铅酸蓄电池的工作电压是 2~1.8 V。

（五）终止电压

终止电压是指放电终止时的电压值，根据负载和使用要求不同而不同。以铅酸蓄电池为例，其电动势为 2.1 V，额定电压为 2 V，开路电压接近 2.15 V，工作电压为 2~1.8 V，放电终止电压为 1.8





~1.5 V (放电率不同, 其终止电压也不同)。

(六) 充电电压

充电电压是指外电路直流电压对电池充电的电压, 通常在一定的范围内充电电压要大于电池的开路电压。例如, 镍镉电池的充电电压为 1.45~1.5 V, 锂离子电池的充电电压为 4.1~4.2 V, 铅酸蓄电池的充电电压在 2.25~2.5 V。

(七) 内阻

电池的内阻包括正、负极板的电阻, 电解液的电阻, 隔板的电阻和连接体的电阻等。

(八) 容量

电池的容量是指电池存储电荷的能力, 单位为库仑 (C) 或安时 (Ah)。表征电池容量特性的专用术语有三个。

1. 理论容量

理论容量是指根据参加电化学反应的活性物质电化学当量数计算得到的电量。理论上, 1 电化当量物质将放出 1 法拉第电量, 即 96 500 C 或 26.8 Ah (1 电化当量物质的量, 等于活性物质的原子量或分子量除以反应的电子数)。

2. 额定容量

额定容量是指在设计和生产电池时, 规定或保证在指定放电条件下电池应该放出的最低限度的电量。

3. 实际容量

实际容量是指在一定的放电条件下, 即在一定的放电电流和温度下, 电池在终止电压前所能放出的电量。

(九) 比能量

电池的输出能量是指在一定的放电条件下, 电池对外所能做的电功, 其数值等于电池的放电容量和电池平均工作电压的乘积, 常用单位为瓦时 (Wh)。

电池的比能量是衡量电池单位质量或单位体积储能能力的重要指标, 主要有两种: 一种叫重量比能量, 单位为瓦时/千克 (Wh/kg); 另一种叫体积比能量, 单位为瓦时/升 (Wh/L)。

必须指出, 单体电池和电池组的比能量是不一样的。由于电池组合时总要有连接条、外部容器和内包装层等, 故电池组的比能量总是小于单体电池的比能量。

(十) 贮存性能和自放电

电池经过干贮存 (不带电解液) 或湿贮存 (带电解液) 一定时间后, 其容量会自行降低, 这个现象称为自放电。所谓贮存性能, 是指电池开路时, 在一定的条件下 (如温度、湿度) 贮存一定时间后自放电的大小。

电池在贮存期间, 虽然没有放出电能量, 但是在电池内部总是存在着自放电现象。即使是干贮存,





也会由于密封不严,有水分、空气及二氧化碳等物质进入,使处于热力学不稳定状态的部分正极和负极活性物质构成微电池腐蚀机理,自行发生氧化还原反应而消耗掉电池能量。如果是湿贮存,更是如此。长期处在电解液中的活性物质是不稳定的,负极活性物质大多是活泼金属,都会发生阳极自溶。

(十一) 寿命

电池的寿命分为干贮存寿命和湿贮存寿命。电池的真正寿命是指电池实际使用的时间长短。

对一次电池而言,电池的寿命是表征给出额定容量的工作时间(与放电倍率大小有关),对二次电池而言,电池的寿命分为充放电循环寿命和湿搁置使用寿命。

充放电循环寿命是衡量二次电池性能的一个重要参数。经受一次充电和放电,称为一次循环(或一个周期)。在一定的充放电动机制下,电池容量降至某一规定值之前,电池能耐受的充放电次数,称为二次电池的充放电循环寿命。充放电循环寿命越长,电池的性能越好。二次电池的充放电循环寿命与放电深度、温度、充放电制式等条件有关。所谓放电深度是指电池放出的容量占额定容量的百分数。在目前常用的二次电池中,镉镍电池的充放电循环寿命为500~800次,铅酸电池的充放电循环寿命为200~500次,锂离子电池的充放电循环寿命为600~1000次,锌银电池的充放电循环寿命为100次左右。

湿搁置使用寿命,也是衡量二次电池性能的重要参数之一。它是指电池加入了电解液后开始进行充放电循环直至充放电循环寿命终止的时间(包括充放电循环过程中电池处于放电状态湿搁置的时间)。湿搁置使用寿命越长,电池性能越好。在目前常用的电池中,镉镍电池的湿搁置使用寿命为2~3年,铅酸电池的为3~5年,锂离子电池的为5~8年,锌银电池最短——只有1年左右。

三、混合动力汽车对动力电池的要求

作为电动汽车用的动力电池,必须满足下列要求。

- (1) 体积小、重量轻、贮存能量密度高。
- (2) 能量输出密度高。
- (3) 能够快速启动和运行,可靠性高。
- (4) 循环次数高,使用寿命长。
- (5) 环境适应性强,能在一定湿度下正常工作,抗振动冲击性能好。
- (6) 环保性能好,无二次污染,并有可再生利用性。
- (7) 维修方便,保养费用低。
- (8) 安全性好,能够有效防止因泄露或短路引起的起火或爆炸。
- (9) 价格低,经济性好。
- (10) 燃料储存、处理和输送方便,能够利用现有的燃油加油系统。



课后习题

1. 电池的结构和分类有哪些?
2. 电池的主要参数有哪些?

