

目 录

项目一 新能源汽车空调系统检修	1
任务1 新能源汽车空调制冷系统	1
任务2 热泵式汽车空调系统	8
任务3 汽车空调控制系统	12
任务4 新能源汽车空调使用与维护	16
本章习题	25
项目二 新能源汽车制动系统检修	27
任务1 电动真空助力及再生制动系统	27
任务2 混合动力汽车线控系统	34
任务3 电子控制行驶稳定系统	43
任务4 电子驻车制动系统	51
本章习题	57
项目三 新能源汽车助力转向系统检修	59
任务1 电动助力转向系统	59
任务2 液压助力转向系统	69
任务3 驻车转向辅助系统	75
本章习题	82
项目四 新能源汽车空气悬架系统检修	84
任务1 电控空气悬架系统结构组成	84
任务2 空气悬架系统控制调节	100
本章习题	107
项目五 安全气囊系统检测维修	110
任务1 安全气囊作用与类型	110
任务2 安全气囊组成与原理	112
任务3 安全气囊检修	124
本章习题	129



项目六 新能源汽车主动巡航及胎压检测系统检修	131
任务1 主动巡航系统	131
任务2 轮胎压力监测系统	139
本章习题	148
项目七 新能源汽车车载网络与供电系统检修	150
任务1 CAN-BUS 数据传输系统	150
任务2 宝马 X6 供电系统	157
任务3 吉利 EV450 供电系统	161
任务4 常见 CAN 故障波形分析	172
本章习题	181
参考文献	184

项目一 新能源汽车空调系统检修

电动空调系统因其能效高、调节方便、舒适性好等优点，逐渐成为新能源汽车空调研发的热点和发展趋势，其主要优势如下。

1. 电动压缩机的空调系统可以采用全封闭的 HFC134a 系统和制冷剂回收技术，整体的高密封性可以减少制冷剂在正常运行和维修保养过程中的泄漏损失，从而减少环境污染。

2. 电动空调的压缩机由电机驱动，通过精确控制和在普通热负荷条件下的高效运行，可以降低空调系统的能耗，从而提高整车的经济性。

3. 电动驱动，噪音低，可靠性高，故障率低，使用寿命长。

4. 电动空调可在上车或下车前提前启动，车厢内的空气可提前调节，增加乘客的舒适度。然而，传统空调必须在启动空调之前启动发动机。

一个完善的汽车电动空调系统应由暖风系统/加热器单元、制冷系统、送风系统、空气净化过滤系统和控制系统组成。整体结构如图 1-1-1 所示。

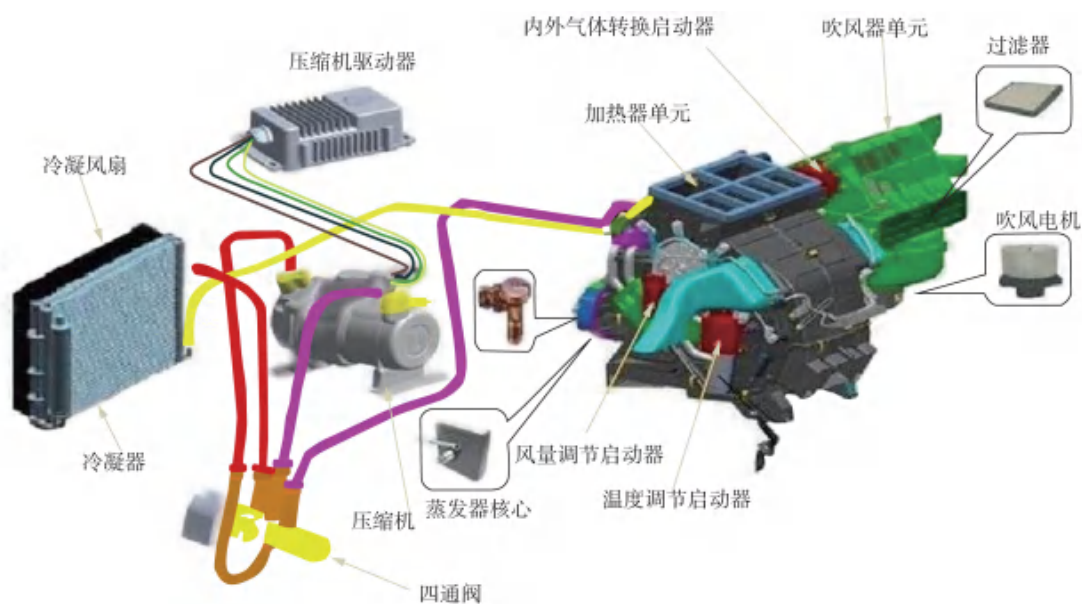


图 1-1-1 汽车电动空调系统的组成

任务 1 新能源汽车空调制冷系统



知识目标

1. 了解新能源汽车空调的功用。
2. 掌握新能源汽车空调制冷工作原理。



能力目标

1. 能够在汽车空调系统中找到压缩机。
2. 能够说出空调系统的主要零部件的名称。

基础知识

目前我国常见的新能源汽车主要包括纯电动汽车 EV 和混合动力电动汽车 HEV，电动空调除了压缩机和控制模式，其他主要零部件还是沿用传统燃油汽车空调的零部件，主要包括：压缩机、冷凝器、干燥过滤器、膨胀阀、蒸发器、鼓风机等。

一、压缩机

根据新能源汽车的类型不同，空调压缩机分类如表 1-1-1 所示。

表 1-1-1 空调压缩机分类

传统发动机驱动型	混合动力汽车空调压缩机，对于面向需要提高现有内燃机效率、实现小型化的汽车厂商，供应的是借助传统发动机传动带传动类型的压缩机
发动机和电动驱动的混合动力型	面向以发动机为主体、电动机为辅的车辆（混合动力汽车中的弱混、中混）一般采用带传动和电动机驱动兼顾的混合式压缩机
单纯使用变频电动机驱动型	对于以电动机为主体（强混、EV 电动）的车辆，一般则采用电动压缩机

（一）发动机驱动型压缩机

1. 斜盘式压缩机

斜盘式压缩机是一种轴向往复活塞式压缩机，斜盘式压缩机和摆盘压缩机都属于轴向往复活塞式压缩机。两者的区别在于摆盘的活塞运动是单向的，而斜盘的活塞运动是双向的。因此，它们有时分别被称为单向斜盘式压缩机和双向斜盘式压缩机。

斜盘式压缩机易于实现小型化和轻量化，并能实现高速运转。斜盘式压缩机结构紧凑，效率高，性能可靠。在实现变排量控制后，它现在更广泛地应用于汽车空调。

斜盘式压缩机结构如图 1-1-2 所示。斜盘式压缩机的主要零件有缸体，前后缸盖，前后阀板，活塞。它的斜盘固定在主轴上，钢球用滑靴和活塞的连接架固定。

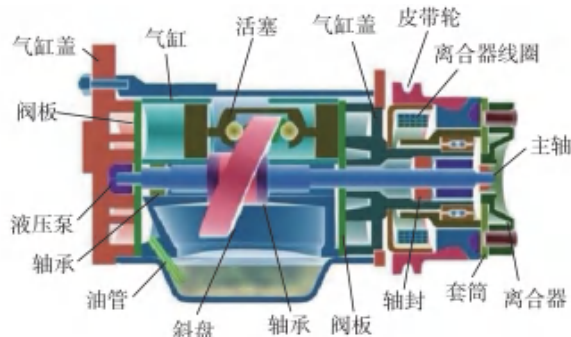


图 1-1-2 斜盘式压缩机的结构

2. 旋转叶片式压缩机

旋叶式压缩机有两种圆柱形状：圆形和椭圆形。在一个圆柱体中，转子的主轴与圆柱体的中心有一个偏心距，因此转子紧密地附着在圆柱体内表面的吸气孔和排气孔之间。在椭圆圆柱体中，转子的主轴与椭圆的中心重合。作为第三代压缩机，由于旋叶式压缩机的体积和重量可以很小，很容易布置在狭窄

的发动机舱内，并且具有低噪音、低振动、高容积效率等优点，因此也被应用在汽车空调系统中。然而，旋转叶片压缩机需要高加工精度和维护成本。

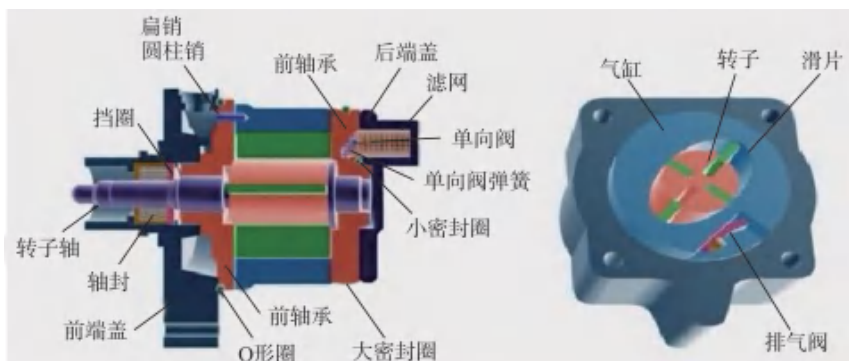


图 1-1-3 旋转叶片式压缩机结构

旋转叶片式压缩机的结构如图 1-1-3 所示，其转子上的叶片将气缸分为若干空间，当主轴带动转子转动时，这些空间的容积会不断变化，在这些空间中还会出现气态制冷剂的体积和温度的变化。旋叶式压缩机由于叶片可以完成对制冷剂的吸入和压缩任务，因此没有吸气阀。如有两片叶片，主轴转动一圈可产生两次排气行程。刀片越多，压缩机排气波动越小。

3. 旋涡压缩机

旋涡压缩机可以被称为第四级压缩机，它的结构如图 1-1-4 所示，主要由传动机构组件、旋涡组件、排气阀组件、离合器组件、前盖、万向推力轴承、气缸组件等组成。

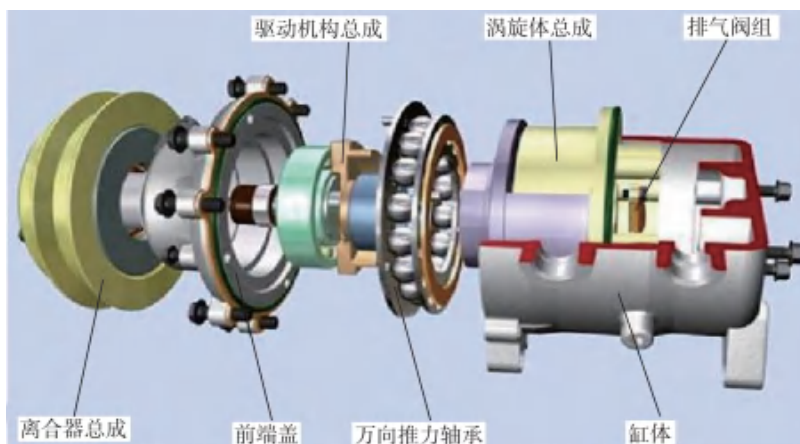


图 1-1-4 涡旋式压缩机结构

旋涡压缩机有许多优点，如体积小、重量轻、偏心轴能驱动旋涡运动而高速旋转等。无吸、排气阀，旋涡压缩机运行可靠，易于实现变速运动和变排量技术。多种压缩腔同时工作，相邻压缩腔之间的气体压力差小，气体泄漏少，提高了容积效率。旋涡压缩机具有结构紧凑、高效节能、微振低噪、工作可靠等优点，在小型化制冷领域得到了越来越广泛的应用，已成为当今汽车压缩机技术发展的主要方向之一。

(二) 电动变排量涡旋式制冷压缩机

丰田 Prius 上的 ES18 电动变频压缩机由内置电机驱动，空调变频器提供的交流（201.6V）电机变频器与混合动力系统的变频器集成，如图 1-1-5 所示。



图 1-1-5 ES18 电动压缩机及变频器

为确保压缩机及压缩机壳体内高压部分的绝缘性，新 Prius 使用具有高绝缘性的压缩机油（NDII）。所以，除了 ND11 型压缩机油或与其与 ND11 型相同的产品之外，绝对不要使用其他产品混合使用，如图 1-1-6 所示。

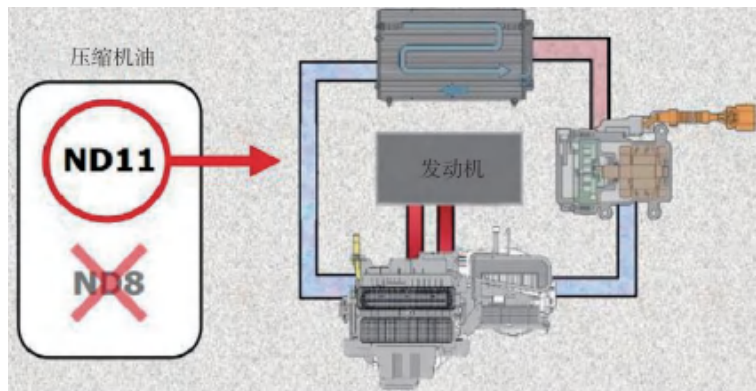


图 1-1-6 只能加注 NDII 压缩机油油

1. 电动变排量涡旋式制冷压缩机结构

电动变频压缩机，如图 1-1-7 所示，包括一对螺旋线缠绕的固定蜗管和可变蜗管，以及无刷电动机、油挡板和电动机轴。

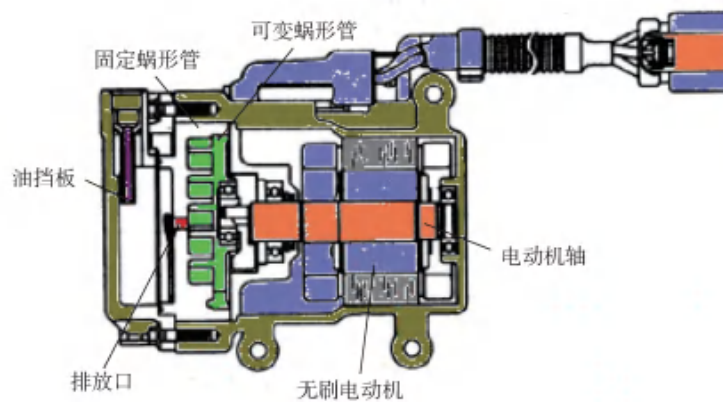


图 1-1-7 电动变频压缩机内部结构压缩

固定安装在壳体上的蜗形管，由于轴的旋转，使可变蜗形管在保持其原位不变的情况下发生转动，由此使蜗形管分隔开来的空间大小发生改变，实现制冷气体的吸、压、排等作用。直接把进气管放在蜗

形管上可以直接吸气，从而提高了进气效率。在压缩机内有一个内置式油挡，它能挡住制冷循环中与气态制冷剂混合的压缩机油，使气态制冷剂循环顺畅，从而降低机油循环速率。

2. 电动变排量涡旋式制冷压缩机工作原理

(1) 吸入过程

当空气制冷剂从进气口吸入时，固定蜗形管与可变蜗形管之间产生的压缩室容量随可变蜗形管的转动而增加。

(2) 压缩过程

在抽吸过程完成后，随着可变蜗管的持续旋转，压缩室容量逐渐减小。通过这种方式，吸入的空气制冷剂逐渐压缩并排向固定蜗形管的中心。在变形蜗管转动两周后，制冷剂压缩就完成了。

(3) 排放过程

当气体制冷剂压缩完成而压力较高时，通过按下排气阀，气体制冷剂通过固定蜗形管内的排气管排出。

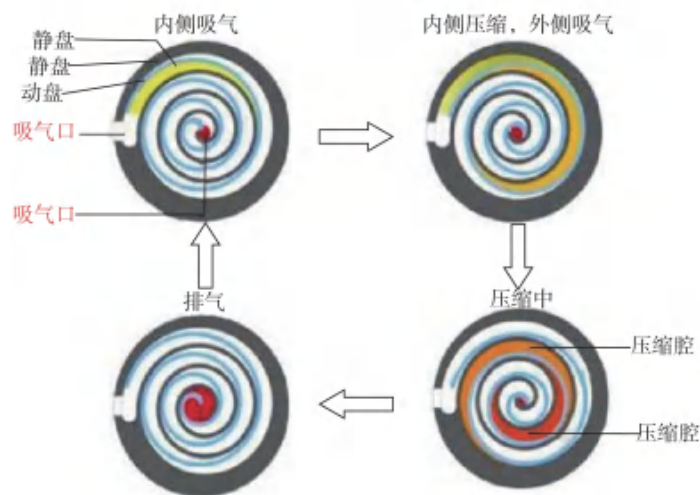


图 1-1-8 电动变频涡旋压缩机工作原理

二、冷凝器

冷凝器的作用是将高温高压气体制冷剂的热传递给大气，将其冷凝为液体。大多数冷凝器安装在头部散热器水箱前，由冷却系统风扇或冷凝器风扇或两者共同用于冷却汽车空调系统的冷凝器（包括蒸发器）是一种由管子和铝散热片结合起来的热交换设备。

这样做的效果是将压缩机排放的高温高压蒸汽进行冷却，使之凝结成液体，凝结时产生的热量被排放到大气中。冷凝器的材料可以是铜、钢、铝、现在大部分都是铝。将管道制成各种盘管状、片状，以增加冷凝器的散热面积，并可支撑盘管。

丰田 Prius 冷凝器冷却循环采用分级制冷循环，这样，如图 1-1-9 所示，分级制冷循环分为凝结式和超冷式，在两者之间有一个气液分离器。通过调整器的液体制冷剂在超冷区再次冷却，使其自身的冷却能力增大，可获得高效制冷性能。

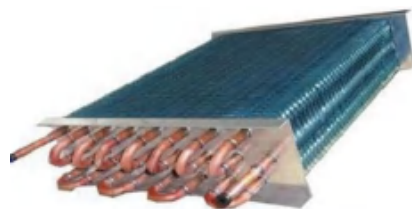


图 1-1-9 分级制冷冷凝器



三、蒸发器

蒸发器是将液体雾状制冷剂蒸发冷却的装置。汽车里的湿热空气通过蒸发器碰到冰冷的管芯和散热片，空气骤冷，湿气凝结成露珠沿着导流管排出汽车。通过风扇将冷干空气循环到车内，汽化器进气口设有过滤器，能净化车内空气，使车内空气舒适宜人，最终体现汽车空调的作用。

新车型采用 RS（改进型条形）蒸发器，如图 1-1-10 所示。在顶部和底部的蒸发器装置采用了微孔管结构，从而提高了热传导性，使散热更加集中，蒸发器变薄。为尽量减少异味和细菌的滋生，蒸发器体内涂了几层树脂，其中含有杀菌剂，这种树脂层的下方有一层铬离子保护层。

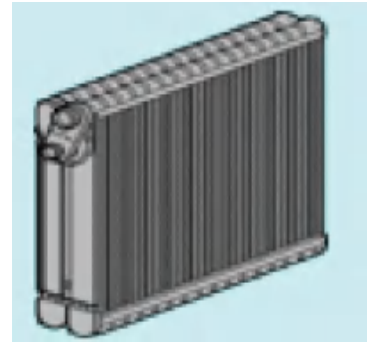


图 1-1-10 RS 蒸发器

四、膨胀节流装置

用于汽车空调系统的节流装置具有膨胀阀和节流孔管，其作用是：当高压高温液体制冷剂通过这种小孔径装置时，通过节流减少其流量。制冷剂流入流量减少，留出较大空间给蒸发器后，压力下降，制冷剂雾化成液体颗粒，温度随压力而降低。减压使制冷剂蒸发膨胀，同时吸收大量热量。车内的热空气通过蒸发器，通过蒸发后的制冷剂吸收，使车内温度降低。膨胀节流装置较常见的有内、外平衡式膨胀阀，H 型膨胀阀，固定孔径的节流孔管。

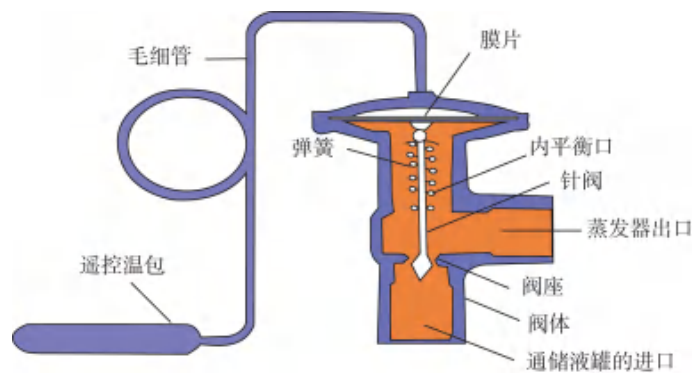


图 1-1-11 内平衡热力膨胀阀

图 1-1-11 所示为内平衡热力膨胀阀。遥控温包内装惰性液体或制冷剂液体，固定在回气管路上。随着蒸发器出口温度的升高，温包内的液体温度随之升高，从而压力也随之升高。压向膜片上方，当数值大于蒸发器入口压力和过热弹簧压力之和时，针阀离开阀座 FF0C 阀门打开，制冷剂流入蒸发器。开针后，制冷剂较多地进入蒸发器，使蒸发器内压力升高，回气温度下降，膜片下部压力升高，上部压力降低，阀门关闭。因为隔膜的上侧压力经常处于不平衡状态，所以阀门一直在进行开闭循环。

2. 外平衡热力膨胀

表 1-1-12 为外部平衡热膨胀阀的示意图。外动式平衡膨胀阀的结构和部件与内平衡式类似，只是向上施加到膜片上的压力由外动式平衡管蒸发器出口处引入，这样可以弥补蒸发器入口至出口端的内部压力损失，增加阀芯调整范围和精度，减少过热气体占据的通道，从而提高蒸发器的冷却能力。

该膨胀阀适用于制冷量较大，蒸发器通道较长，压力损失大的制冷系统，如大中型客车、旅游客车等，内平衡阀多用于经济型轿车、货车、后装车等。膨胀阀的调整螺丝分为外调整和内调整两种。内调

产品已在出厂时进行调整，不能随意调整。外部调整则需要经验丰富的维修人员来调整。

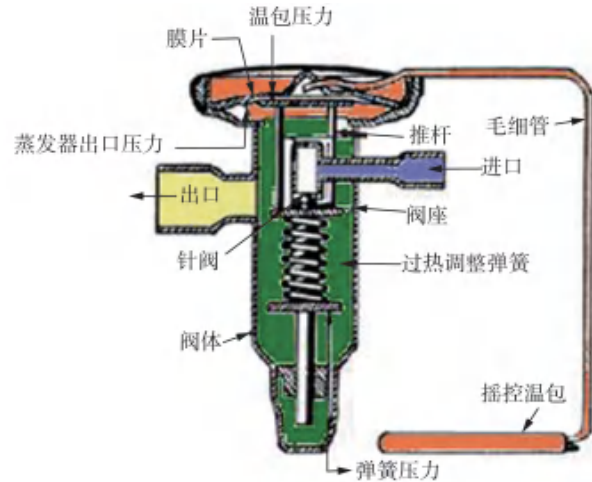


图 1-1-12 外平衡热力膨胀阀

3. H 型膨胀阀

H 型膨胀阀因其内部构造如字母 H 而得名，这种膨胀阀安装在蒸发器进气管与回气管之间，使温度传感器直接置于蒸发器出口处制冷剂中，反应快捷，不受环境及传感器位移、接触不实（内、外平衡式膨胀阀的缺点）的影响。

4. 孔管式节流装置

孔管式节流装置是一种阻尼元件，外观为管形件。制冷剂由进口经过滤器过滤，再经节流孔降低高压制冷剂液体压力，最后经过滤器流入蒸发器。

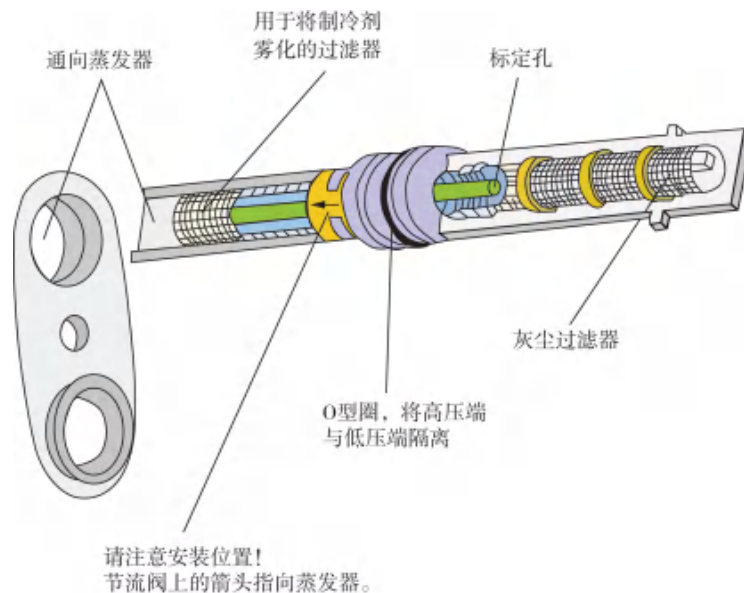


图 1-1-13 孔管式节流装置

因为制冷剂在通过该装置时只能节流，无法调制冷剂的流量，所以当蒸发器的温度降至一定值时，可以通过温控器对离合器进行通断控制，从而调制冷剂的流动。还有利用防冻液压力开关来控制离合



器的通断，这种孔管静力节流与离合器通断控制相结合的形式叫作“CCOT”系统。这款既节能又可靠的制冷系统被通用、福特、丰田、大众等汽车公司广泛采用。

五、储液干燥器和气液分离器

1. 储液干燥器（结构如图 1-1-14 所示）

储液干燥器一般都是密封焊死的钢质或铝质压力容器，一般不能拆装，修理工一般称为干燥罐。里面放有干燥剂、过滤网。从冷凝器来的高压液态制冷剂从上部进入罐中，经过过滤干燥后，从底部（液体制冷剂区域）由引管排出至膨胀阀。观察制冷剂流动情况的镜片正对着流出来的制冷剂，它的功能是储存液体、吸收水分、过滤脏物、观察制冷剂流动情况。

2. 气液分离器

气液分离器是里面装有干燥剂且把气液制冷剂分离开的容器。是与孔管节流方式配套的装置，装在蒸发器出口与压缩机进气管之间，结构如图 1-1-15 所示。

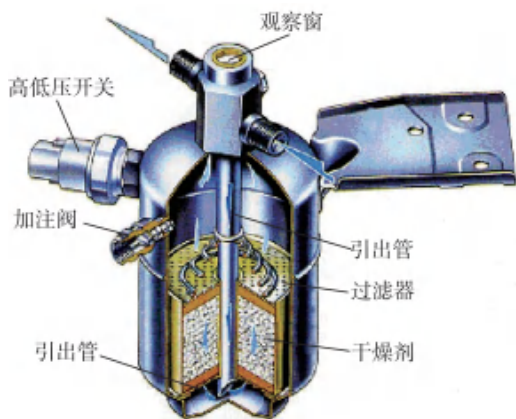


图 1-1-14 储液干燥器

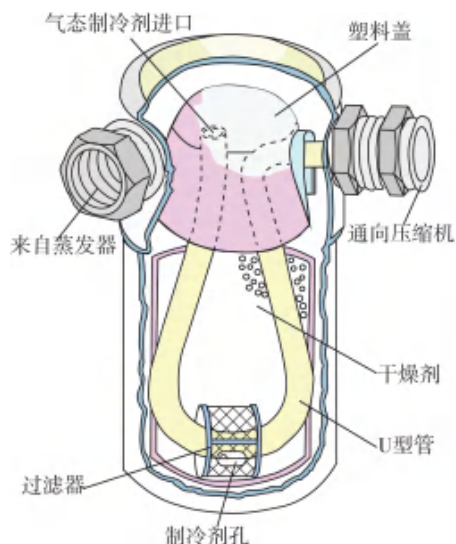


图 1-1-15

在系统工作时，制冷剂进入容器，液体下沉到容器底部，气体从顶部被吸回压缩机。罐底有小孔，可让少量液体制冷剂与润滑油一起进入压缩机，由于体积小，不会产生液积，润滑油则保证压缩机润滑冷却所需。这个容器做得更大，是因为它能容纳更多气态制冷剂。可与孔管配合使用，故本系统不带膨胀阀，且已具备过滤干燥功能，也不需要储液干燥器。

任务 2 热泵式汽车空调系统



知识目标

1. 了解新能源汽车空调的功用。
2. 掌握新能源汽车空调制热工作原理。



能力目标

1. 能够在汽车空调系统中找到制热泵体。
2. 能够说出空调制热系统的主要零部件的名称。



基础知识

在混合动力汽车中，混合动力（轻混）和空制冷、加热和除霜的能量都来自整车的动力电池。由于空调系统是电动汽车最耗电的辅助子系统，使用空调系统会大大降低续航里程。因此，通过优化空调系统的设计来提高续航里程，对于提高电动汽车的续航里程，促进电动汽车的应用具有重要意义。

作为冬季采暖用的热源的汽车空调，其发动机无余热可供加热，必须自身具备供暖功能，即要求制冷、制热双向运行的热泵空调系统。现有的技术路线主要包括：R134a 热泵空调系统，CO₂ 热泵空调系统，太阳能辅助热泵空调系统，电加热器混合调节空调系统。

一、R134a 热泵空调系统

R134a 是目前汽车空调系统中广泛使用的一种制冷剂，日本电装公司开发出的一套 R134a 热泵空调系统是具有代表性的电动汽车空调系统之一，其在风道中采用了车内冷凝器和蒸发器的结构，如图 1-2-16 所示。

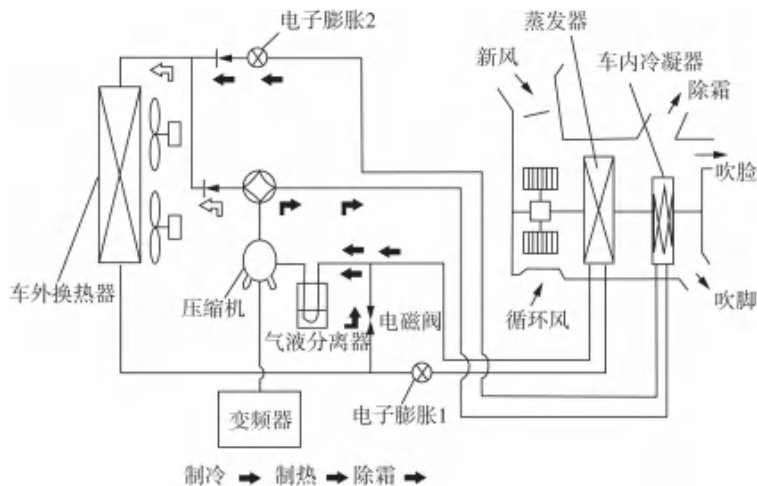


图 1-2-16 R134a 热泵空调系统结构

制冷工况循环为：压缩机→四通阀→车外换热器（此时用作冷凝器）→电子膨胀阀 1→蒸发器→压缩机。制热及除霜工况循环为：压缩机→四通阀→车内冷凝器→电子膨胀阀 2→车外换热器（此时用作蒸发器）→电磁阀→压缩机。

制冷剂在除霜/除湿状态下通过 3 个热交换器进行冷凝。利用内部蒸发器对空气进行除湿，使空气冷却至除霜所需的温度，再由车内冷凝器加热，再送至车室，解决了汽车安全驾驶的问题。本系统在制冷和制热两种运行条件下表现良好：环境温度 40℃，室温 27℃，相对湿度 50% 时，EER 可达 2.9；环境温度 -10℃，车内温度 25℃ 时，制热性能系数可达 2.3。

用热泵空调加热时，车辆性能更好，耗油更少。霍索兹和 Direk 测试了一台 R134a 热泵型汽车空调，



它通过室外温度和压缩机转速的变化，它的特点是利用四通阀实现制冷与制热模式的切换，并且在制冷与制热运行期间，R134a 制冷剂通过两个热力膨胀阀分别降低压力。

试验结果表明：系统制冷运行时，各部件的损失总量随着压缩机转速的增加而增加；切换到制热模式运行时，系统的损失总量随着压缩机转速的增加而减少；R134a 系统制热运行时，COP 比制热运行时高，单位质量损失比制热运行时低，但是当室外温度较低时系统制热不足。

二、CO₂ 热泵空调系统

从 1934 年研制出第一个蒸汽压缩式制冷循环以来，目前已有 50 多个制冷剂用于制冷和空调系统。当前汽车空调普遍使用 R134a 制冷剂，少数使用 R407C。近几年来，世界各国加快了减少温室气体排放的步伐，欧盟于 2006 年通过了禁氟法，规定从 2011 年 1 月 1 日起，所有新核准型号的汽车空调系统中禁止使用含 GWP>150 的氟化气体制冷剂，从 2017 年 1 月 18 日起，所有新生产的汽车空调系统中禁止使用含 GWP>150 的氟化气体制冷剂。R134a 的 GWP 值达到了 1300，这意味着 R134a 在不久的将来也将被彻底淘汰。

目前，汽车业正考虑以 CO₂、HF01234yf 和 R152a 三种主要成分取代汽车空调系统中的 R134a，并与表 1-2 所示的四种制冷剂的环境和安全性能进行比较，CO₂ 是一种天然工质，其来源广泛，成本低，安全无毒，不可燃，适用于各种润滑油常用机械零部件材料，即使在高温下也不会分解成有害气体。自 1992 年挪威工业大学 Lorentzen 教授提出 CO₂ 跨临界循环理论，研制出第一套 CO₂ 空调系统以来，CO₂ 又一次成为人们关注的焦点，其性能测试结果接近 R134a 系统。

表 1-2-17 不同制冷剂环保和安全性能比较

工质	ODP	GWP	毒性	可燃性
R134a	0	1300	无	不燃
CO ₂	0	1	无	不燃
R152a	0	约 120	无	微燃
HF01234y	0	4	有	可燃

CO₂ 汽车空调系统采用了微通道蒸发器和气冷器，而 R134a 系统则采用传统的管翅式换热器。与管翅式换热器相比，微通道蒸发器的迎风面积增大了 20%，微通道气冷器的外形体积和空气侧迎风面积则分别减少 23% 和 28%。

CO₂ 热泵型汽车空调系统能够利用车内的辅助换热器收集系统除霜时放出的热量来预热空气。他们还通过对比实验研究发现，在热泵/除霜工况下，CO₂ 系统性能更优。日本电装公司还专门为电动汽车开发了一套 CO₂ 热泵空调系统，系统也采用了在风道内设置 2 个换热器的方案，与 R134a 系统不同的是 CO₂ 系统各部件的承压均超过 10MPa，且制冷模式运行时，制冷剂同时流经内部冷凝器和外部冷凝器。

CO₂ 跨临界循环用于汽车热泵空调系统中不仅具有环保的优势，而且在系统效率方面也有提高的潜力。但相比传统的 R134a 系统而言，CO₂ 系统排气压力高、成本高且压缩机较为笨重，因而目前对 CO₂ 应用于汽车空调系统的研究发展缓慢。

三、太阳能辅助空调系统

太阳能辅助空调系统，就是把太阳能电池安装到车顶，为汽车空调系统提供部分能量的同时，也大大减少了车厢内的最大冷负荷。图 1-2-18 说明了电动汽车热泵空调系统的工作原理，它与普通的热泵空调系统没有什么不同，由于电动汽车的特殊性，它采用了结构简单、性能优良的双工作腔滑片式压缩机。

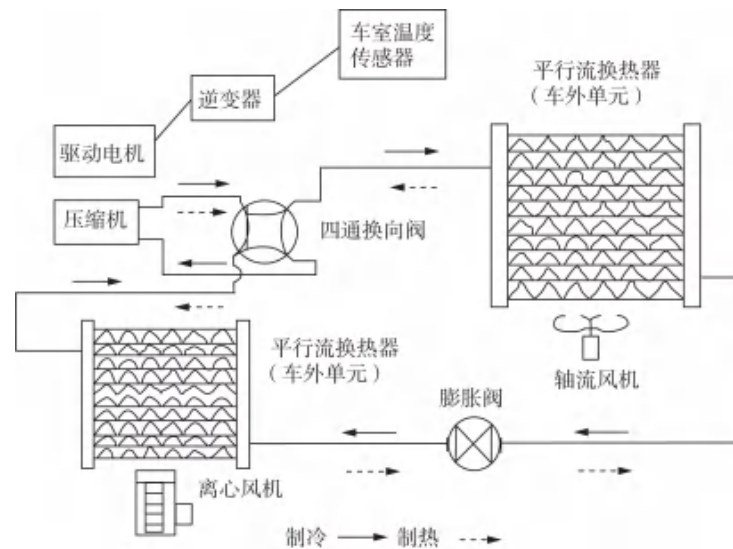


图 1-2-18 电动汽车热泵空调系统工作原理

随着压缩机转速的提高，制冷/制热模式下系统的制冷量/制热随着速度的增大而线性增大。在制冷工况下，压缩机转速较低（ $<1500\text{r/min}$ ）时，空调机组 COP 随转速的增加而增加，当转速上升到一定程度（ $<2000\text{r/min}$ ）时，空调机组 COP 随转速的提高而稳定，在太阳能电池装入车顶后，空调系统的制冷量增加 $6\% \sim 27\%$ 。尽管热电制冷效率太低，很难满足汽车空调的需求，但是利用太阳能辅助的方式实现热电制冷在汽车上的应用也是一个不错的选择。

四、电加热辅助系统

电动车热泵空调系统是一种室外环境温度极低的空调系统，它的制热性能将大大降低，常常不能满足车辆热负荷的需要，而电加热辅助式空调系统克服了热泵系统上述的不足之处。2009 年 7 月，三菱汽车的电动车也采用了电加热器（如图 1-19 所示）作为空调的热来源。加热炉由可利用电加热的 PTC 加热元件、将加热元件的热量传给散热剂（冷却水）的散热扇、散热剂流道和控制底板等组成，配置于驾驶席和副驾驶席之间的地板下，通过在驾驶席内部加热元件两侧通入冷却水，改善了供暖性能。

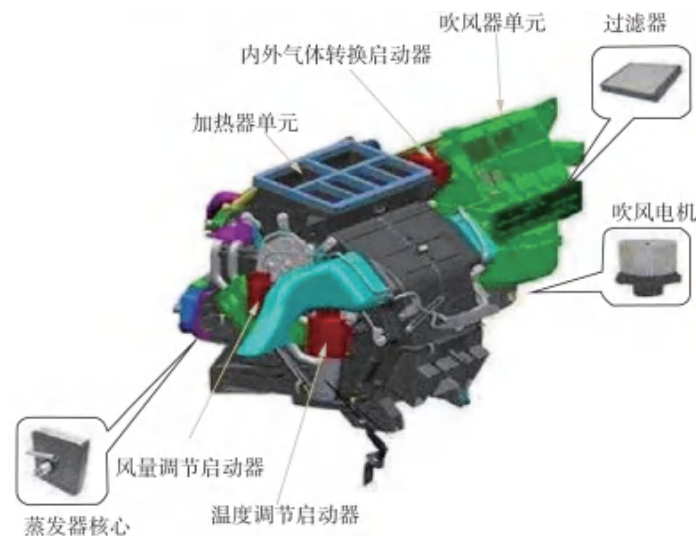


图 1-2-19 三菱电动汽车电加热辅助空调系统



任务3 汽车空调控制系统

知识目标

1. 了解新能源汽车空调的功用。
2. 掌握新能源汽车空调控制原理。

能力目标

1. 能够在汽车空调系统中找到控制器。
2. 能够说出空调系统的主要零部件的名称。

基础知识

轿车空调的种类很多，其电路形式各异，但其电气系统均有一定的规律性。以下是对空调系统典型控制电路的分析，以便更深入地了解空调系统的工作过程。电动空调中，变频器的作用十分重要，了解其控制原理，对电动空调的故障诊断和维修具有重要意义。

一、制冷系统控制电路（图 1-3-20 所示）

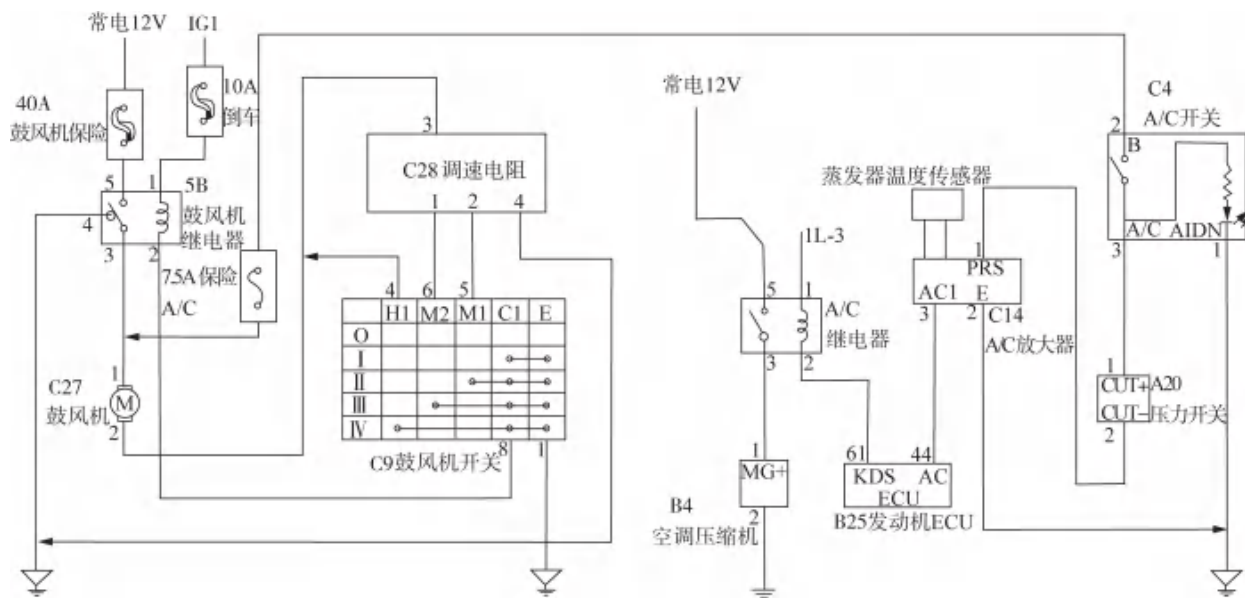


图 1-3-20 空调系统制冷系统控制电路

二、暖风控制电路（图 1-2-21 所示）

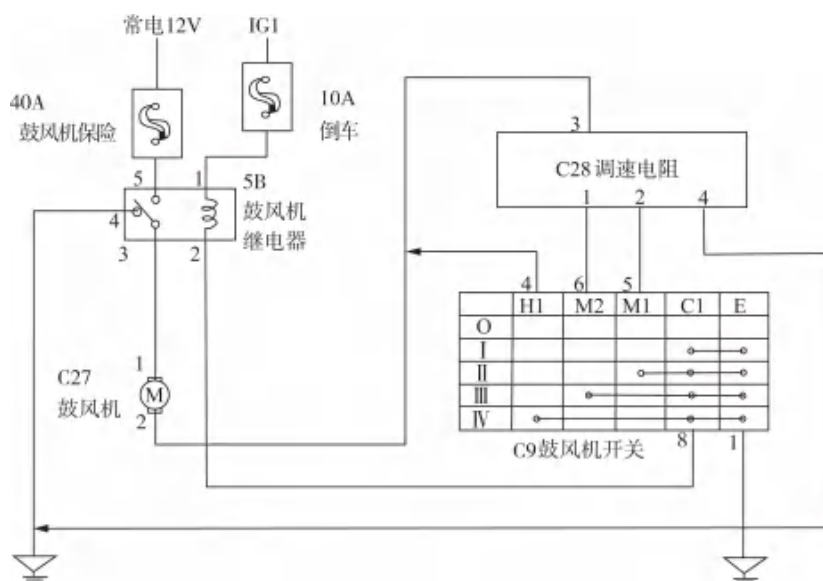


图 1-3-21 空调暖风系统控制电路

三、压缩机电磁离合器控制（图 1-3-22 所示）

根据控制开关的位置，压缩机的控制方式分为两种：即控制电源型和控制搭铁型。

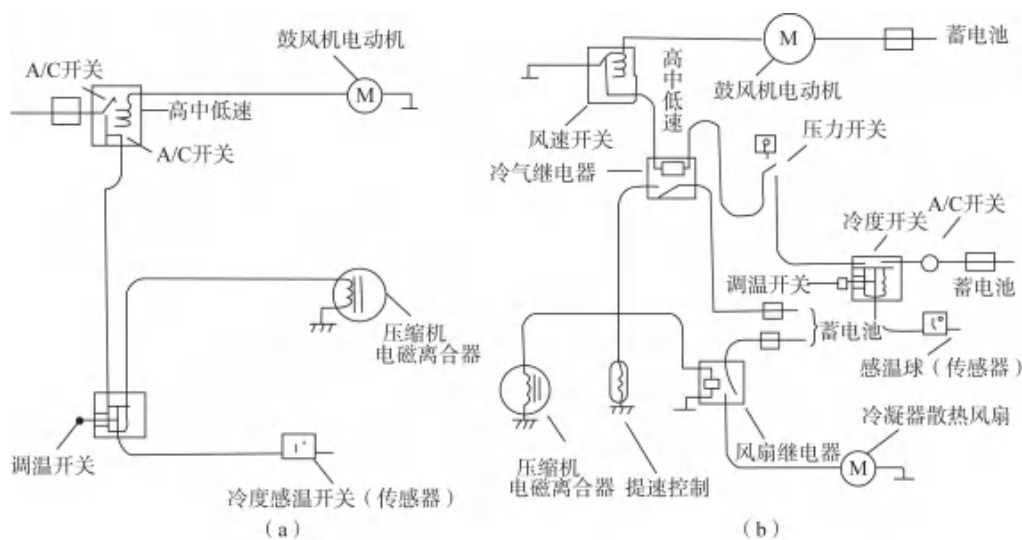


图 1-3-22

(a) 控制电源型 (b) 控制搭铁型

该电源的控制方式是由开关直接控制，当开关关闭时，大电流通过开关进入执行机构形成回路，长时间工作后易引起触点烧蚀，如图 1-3-22a。因此，目前大部分的汽车都不采用这种控制方式。搭接式控制，通过开关来控制继电器线圈的电路，这种控制方法的优点是可以通过小电流信号来控制大电流断路，从而有效地防止触点烧蚀，如图 1-3-22b。现在大部分汽车都采用这种控制方式。



四、空调变频器

如图 1-23 变频器总成中的空调变频器内部原理，变频器总成中的空调变频器为空调系统中电动变频压缩机供电，变频器将 HV 蓄电池的额定电压 DC201.6V 转换为 AC201.6V 来为空调系统中的压缩机供电。

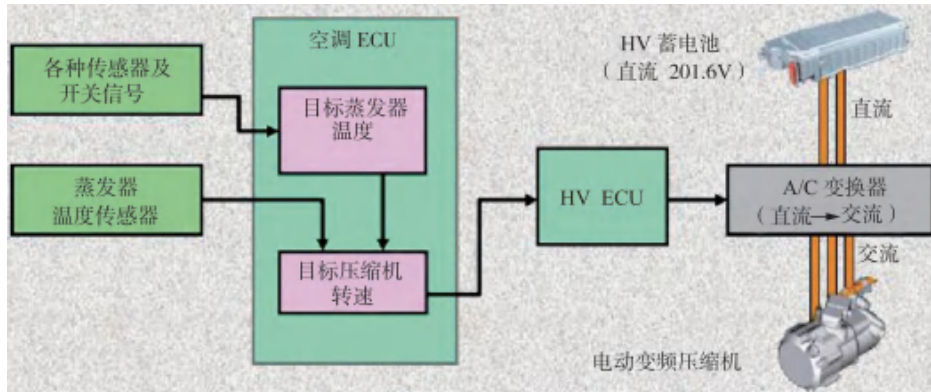


图 1-3-23 空调变频器内部原理

注：1mm² 通常 5A 电流，若 6kW 电动机 12V 则需要供电线 1001mm²，可以说这样的线又粗又硬，且根本无法绕成电动机内的绕组，因此电动汽车上的大功率设备全需高压供电。

具体工作原理可描述如下：HV-ECU 控制变频器总成中的 MCU（微控制器）对门驱动电路进行驱动，通过 6 个 IGBT 把直流电逆变成交流电，电动机的转速由变频控制信号的频率决定，而变频控制信号频率由空调 ECU 通过 HV-ECU 控制电动压缩机。

（一）电动变频压缩机转速控制

如图 1-3-24 所示电动变频压缩机转速控制。

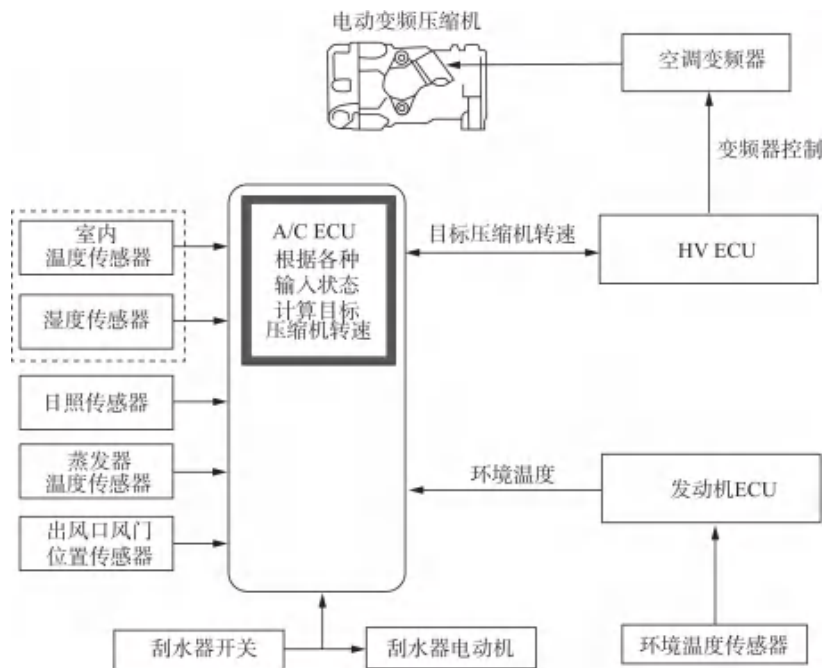


图 1-3-24 电动变频压缩机转速控制

(二) 新款 Prius 的空调系统的改进

1. 新系统采用的是 ES18 型电动频率转换压缩机。通过空调变频器提供交流电来驱动压缩机，并将其安装在混合动力系统的变频器上。那样，即使引擎停止工作，空调系统也可以工作。通过这种方式，可以达到良好的空气状态，同时降低油耗。
2. 所有车型均采用自动空调系统作为标准配置，该系统可自动改变出风口、出风口温度及出气量。
3. 新系统采用鼓风机脉冲控制装置。此控制器根据空调 ECU 提供的占空信号，控制风机电机的输出电压，从而调节风机电机的转速，见图 1-3-25。通过采用这种方式，可以减少传统风机线性控制器发热引起的功率损失，达到降低油耗的目的。

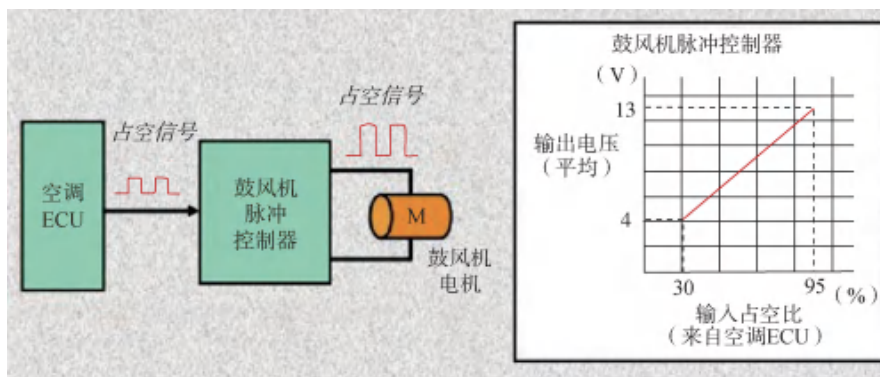


图 1-3-25 鼓风机脉冲控制器工作原理

4. 车内温度传感器增加了湿度传感器的功能，见图 1-3-26。通过空调系统的运行，大大优化了除湿性能。
5. 使用紧凑、轻便和高效的电动泵。如此，在发动机停止时，也可以保证适当的暖风机性能。
6. 利用模糊控制功能对要求的出口温度（TAO：出口温度）和自动空调控制系统的鼓风量进行计算。这样空调 ECU 就能计算出出风口的温度、风量及适合的运行环境。

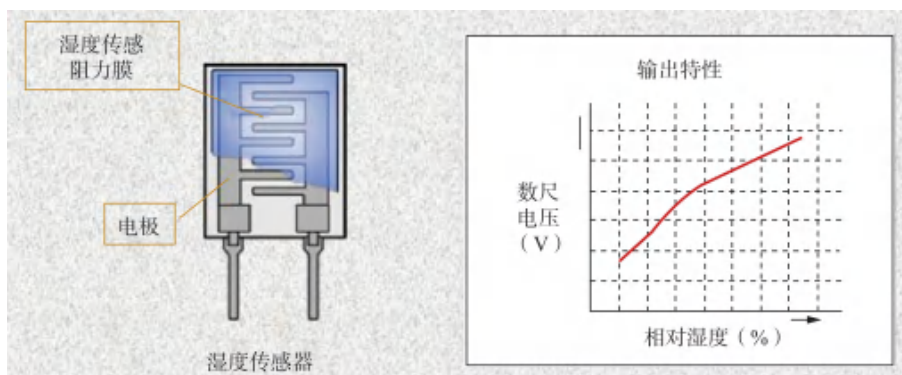


图 1-3-26 湿度传感器结构及输出特性

新的 Prius 采用了模糊控制（非线性控制），可以对系统进行微调。基于其各自的数学函数，模糊控制可以确定温度偏差、环境温度和太阳辐射符合度。另外，系统还采用模糊方法计算了所要求的出风温度（TAO）和送风流量。在此基础上，空调 ECU 实现了出风口温度、鼓风机鼓风量、压缩机和出风口的控制。

根据实际车内温度和设定温度，温度偏差符合度可以定义为 9 级；太阳辐射符合度可以定义为 4 级（低、中、中、高）；环境温度符合度可以定义为 5 级（隆冬、冬天、春秋、春夏和盛夏）。空调器的模糊控制功能所确定的风量见图 1-27。

备注：模糊控制体，控制方式为计算机上，用于仿真，人的模糊决策程序。该方法利用数学函数“IF—THEN”控制规则来确定一般计算无法处理的周围环境（如“稍大”或“特别大”），因此，这种控制采用了一种计算机语言，类似于人类语言，在计算机上模拟人类是如何处理大量信息的。

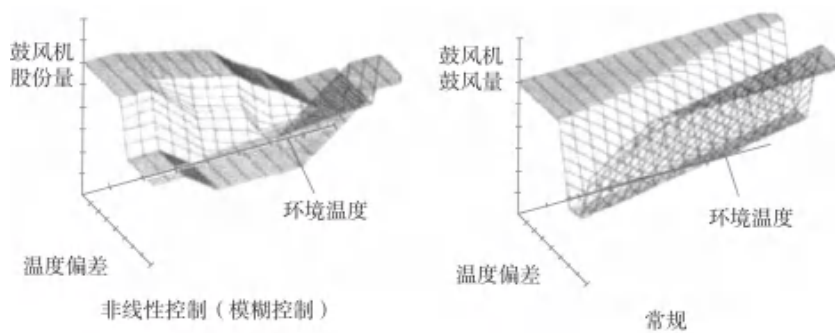


图 1-3-27 空调模糊控制功能确定的鼓风机鼓风量

任务 4 新能源汽车空调使用与维护



知识目标

1. 了解新能源汽车空调的功用。
2. 掌握新能源汽车空调工作原理。



能力目标

1. 能够在汽车空调系统中找到部件。
2. 能够检修空调系统。



基础知识

一、空调维护的内容

定期对空调系统进行定期保养，不仅能保证空调的最佳冷却效果，而且能延长机件的使用寿命，减少维修工作量，日常保养包括以下内容：

1. 经常检查清洗蒸发器的空气过滤器。过滤器堵塞将减少空气流量。如果发现堵塞，可拆下蝴蝶栓，打开蒸发器检查门，卸下滤网，然后用空气压缩机清洗，或用带有中性清洁剂的温水，再用水龙头冲洗滤网反面。还可以把过滤器浸入水中，用毛刷刷干净，干燥后即可使用。

2. 经常检查和清洗冷凝器、散热器和过冷器。这部分如有堵塞，会使制冷循环中高压侧的压力升高，用压缩空气吹净或用加压清水冲洗。

3. 经常检查各部皮带是否松紧。带子过紧会增加磨损，造成轴承损坏，过松则容易使转速降低，冷却不畅，甚至出现尖叫现象，故应经常检查调整。可将 98N 加载于皮带上，检查松紧是否适当，并检查其下垂变形是否在 11~12mm 之间。

4. 定期保养风扇，保证轴承内不缺油。

5. 经常检查冷却是否充分。以低速运行空调，从观察窗查看有无气泡出现，出现了气泡表明制冷剂不足，某一部位出现故障，应找专业人员检查维修。

6. 防止电路部件受潮，否则会导致空调失灵。

7. 冬季不使用空调时，还应开启一周左右的时间，以免油封胶圈与金属粘住，在夏天使用时会发生磨损，造成制冷剂泄漏。

8. 检查各连接螺栓和连接部位是否松动，传动机构是否正常工作。

9. 经常注意空调器在运行过程中是否存在不正常的噪音、振动或异味，如果存在，应立即停止运行进行检查维修。

二、空调系统加注制冷剂

(一) 制冷循环管路抽真空

1. 将蓝色软管一端旋入歧管压力表的低压表（左侧）下方管接头上（图 1-4-1 所示），软管的连接螺母用手旋紧即可，禁止使用工具旋紧，以免损伤连接螺母和管接头的螺纹。

2. 将快速接头安装到软管另一端（如图 1-4-2 所示）。

①快速接头安装到位时，应能够听到“咔哒”落座声响。

②快速接头用于连接软管和空调低压循环管路上的阀门。



图 1-4-1



图 1-4-2

3. 用手旋下空调低压循环筒路上的阀门盖帽（如图 1-4-3 所示）。空调循环管路上的阀门盖帽，起到防止尘埃和空气中的水分进入管路内的作用。

4. 将快速接头安装到空调低压循环管路的阀门上。这样通过软管将低压表与空调低压循环管路连接起来（如图 1-4-4 所示）。

将快速接头安装到空调低压循环管路阀门上之后，快速接头和循环管路上的阀门均打开，使空调低压管路与低压表管路相通。



图 1-4-3



图 1-4-4

5. 将红色软管的一端与高压表（右侧）下方的管接头连接起来（如图 1-4-5 所示）。

6. 旋下空调高压循环管路上的阀门盖帽后，通过快速接头将软管与空调高压循环管路上的阀门连接起来（如图 1-4-6 所示）。

将快速接头安装到空调高压循环管路阀门上之后，快速接头和循环管路上的阀门均打开，使空调高压管路与高压表管路相通。



图 1-4-5



图 1-4-6

7. 将中间软管的另一端接头安装到真空泵进气口接头上（如图 1-4-7 所示）。该软管将高、低压表管路与真空泵进气管路连接起来。即接通了真空泵与空调制冷循环管路。

8. 将管路连接完毕，打开高、低压表管路控制阀门，（如图 1-4-8 所示）。逆时针旋转阀门，以便开通阀门控制管路；反之，则关闭阀门控制管路。

9. 按下真空泵电源开关（如图 1-4-9 所示）。此时真空泵高速运转，开始抽出空调循环管路内的空气并排入大气中。

10. 观察低压表显示的真空值变化情况，空调循环管路内的真空值应不低于 750mmHg（如图 1-4-10 所示）。

空调循环管路内的真空值应符合规定要求。若真空值低于规定值，则循环管路内残留空气中的水分，在空调系统工作时因结冰而堵塞制冷管路，并且还会造成空调管路产生锈蚀。



图 1-4-7



图 1-4-8



图 1-4-9



图 1-4-10

11. 当真空值大于 750mmHg 时，关闭高、低压表的控制阀门（如图 1-4-11 所示）如果关闭真空泵时，高、低压表的控制阀门均处于开启状态，则空气会进入空调循环管路，使抽真空作业前功尽弃。

12. 关闭真空泵电源开关，真空泵停止运转（如图 1-4-12 所示）。



图 1-4-11



图 1-4-12



13. 约5min后,观察真空表显示效果值若保持不变,则说明空调系统密封性能良好(如图1-4-13所示)。

①如果真空表显示压力增大,则说明空气进入空调系统,制冷循环管路存在漏气现象。排除漏气故障后,方可加注制冷剂。否则,将导致制冷剂泄漏损失。

②如果空调制冷循环管路存在漏气,可将浓肥皂水涂抹于管路接头处,如有气泡产生,说明此处漏气。



图 1-4-13

(二) 加注制冷剂

制冷剂有两种加注方法:液态加注法和气态加注法。

液态加注制冷剂时,要保持空调压缩机不工作,制冷剂从高压管路注入,低压表侧管路关闭,制冷剂罐倒置;气态加注制冷剂时,要保持空调压缩机处于工作状态,制冷剂从低压管路注入,高压表侧管路关闭,制冷剂罐正置。

加注制冷剂注意事项:

(1) 由于目前汽车空调制冷系统所用制冷剂有 R12 和 R134a 两种,因此,加注前首先要查明系统所用制冷剂类型。

(2) 加注制冷剂前注意排空连接软管内的空气,特别是用小瓶罐加注时,每次换罐后都要对连接软管内空气进行排空。

(3) 加注后,拆卸软管时应注意防止软管内残留的制冷剂损伤眼睛及皮肤。

下面以气态加注法为例,说明制冷剂的加注方法及步骤。

1. 关闭高、低压阀门,取下真空泵进气口端的软管(如图1-4-14所示)。

2. 将软管接头旋紧在注入阀的管接头上(如图1-4-15所示)。注入阀用于连接软管和制冷剂罐。

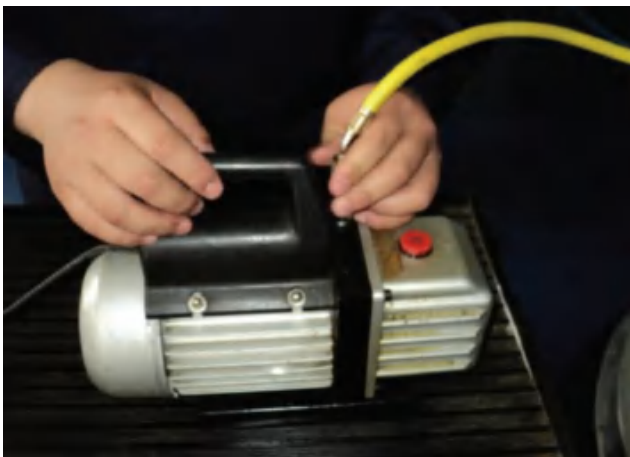


图 1-4-14



图 1-4-15

3. 逆时针旋转注入阀手柄,使针阀向上移动(如图1-4-16所示)。

①逆时针转动注入阀手柄,使针阀上移;反之,针阀下移。

②上移针阀,防止安装注入阀时针阀刺穿制冷剂罐。

4. 将注入阀的阀盘拧紧在制冷剂罐上（如图 1-4-17 所示）。注入阀的阀盘用手拧紧即可，禁止使用工具紧固阀盘，以免损伤注入阀。



图 1-4-16



图 1-4-17

5. 起动发动机，保持怠速运转 3—5min 之后，打开空调开关并旋至最冷档位（如图 1-4-18 所示）。

6. 将鼓风机开关旋至最高档位置，并打开所有车门（如图 1-4-19 所示）。



图 1-4-18



图 1-4-19

7. 顺时针旋转注入阀手柄，使针阀刺穿制冷剂罐封口，然后逆时针旋转手柄，退回针阀（如图 1-4-20 所示）。此时应保持高、低压表侧阀门均处于关闭状态。否则，中间软管中的空气将会进入空调循环管路内。

8. 使用螺丝刀压下放气阀门，将制冷剂高压阀门、低压阀门间的存留空气释放（如图 1-4-21 所示）。

①如果空气进入空调系统制冷循环管路，空气中的水分因结冰而堵塞管路，同时水分还会锈蚀管路内壁。

②禁止用手直接压下放气阀门排放管路中的空气，以避免制冷剂喷溅到皮肤上，造成伤害。另外，排气时应佩戴防护手套。

9. 打开低压侧阀门后，制冷剂注入空调系统低压管路中（如图 1-4-21 所示）。

①保持制冷剂罐正置，使制冷剂以气态进入空调系统低压管路中。否则，液态制冷剂将液积压缩机，造成压缩机损伤。

②保证高压侧阀门关闭，防止高压气体回流至制冷剂罐，导致制冷剂罐爆裂。

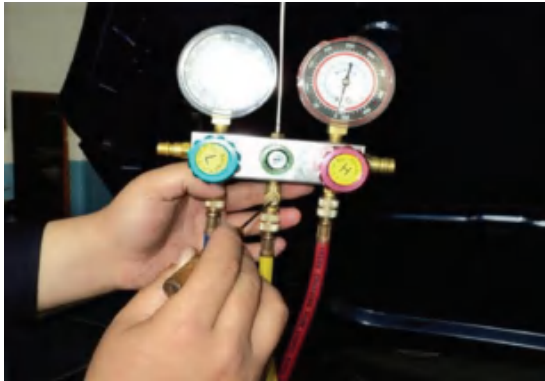


图 1-4-20



图 1-4-21

10. 观察高、低压表显示数值变化情况。当压力达到规定值时，关闭低压管路阀门，停止加注制冷剂（如图 1-4-22 所示）

①若制冷剂过量加注，将引起压缩机轴承及其传动皮带加速磨损；若制冷剂加注量不足，将导致空调制冷效果不佳。

②如果需要更换制冷剂罐，应首先关闭低压阀门，然后再取下制冷剂罐。重新加注制冷剂前，应排出管路中存留的空气。

11. 制冷剂加注完毕。旋紧低压阀门，停止制冷剂继续充注。关闭空调开关、鼓风机开关，然后关闭点火开关，停止发动机运转，（如图 1-4-23 所示）



图 1-4-22

12. 取下注入阀，传递制冷剂罐（如图 1-4-24 所示）



图 1-4-23



图 1-4-24

13. 分别取下制冷循环管路阀门上的连接软管（如图 1-4-25 所示）。

14. 将阀门盖帽旋入高、低压管路的阀门上（如图 1-4-26 所示）



图 1-4-25



图 1-4-26

(三) 空调管路泄漏检查

1. 使用检漏仪，检测空调系统制冷管路是否存在泄漏现象（如图 1-4-27 所示）。

① 泄漏部位多集中在管路接头处。由于制冷剂比重大于空气，因此检漏时应将检漏仪置于管路头下方。另外，也可将浓肥皂水涂抹在管路接头处，如有气泡产生，证明该处泄漏。

② 管路泄漏故障排除后，空凋制冷系统方可投入使用。

2. 起动发动机，并使空凋制冷系统工作。通过歧管压力表的指示数值，判断制冷剂的加注量是否适当（如图 1-4-28 所示）。



图 1-4-27



图 1-4-28

三、 空调系统冷冻机油的添加

(一) 压缩机冷冻机油油量的检查

压缩机冷冻机油油量的检查方法一般有两种：

1. 观察视镜通过压缩机上安装的视镜玻璃，可观察冷冻机油量，如果压缩机冷冻机油面达到观察高度 80% 的位置，一般认为是合适的，如果油面在这个界限之下，则应添加冷冻机油；如果在这个位置之上，则应放出多余的冷冻机油。

2. 观察油尺未装视镜玻璃的压缩机，可用量油尺检查其油量。这种压缩机有的只有一个油塞，油塞



下面有的装有油尺，有的没有油尺，需要另外用专用油尺插入检查。观察油面的位置是否在规定的上下限之间。

(二) 添加冷冻机油一般可在系统抽真空之前进行，添加方法有：

1. 直接加入法

将冷冻机油装入干净的量瓶里，从压缩机的旋塞口直接倒入即可，这种方法适合于更换蒸发器、冷凝器和贮液干燥器时采用。

2. 真空吸入法

- (1) 首先将系统抽真空到 100kPa。
- (2) 准备一带刻度的量杯并装入稍多于所添加量的冷冻机油。
- (3) 关闭高压手动阀及辅助阀门，将高压软管一端从歧管压力表组上卸下，并插入量杯中，如图 1-29 所示。
- (4) 打开辅助阀门，油从量杯内被吸入系统。
- (5) 当油面到达规定刻度时，立即关闭辅助阀门。
- (6) 将软管与歧管压力表组连接，打开高压手动阀，启动真空泵，先对高压软管抽真空，然后打开辅助阀门对系统抽真空。

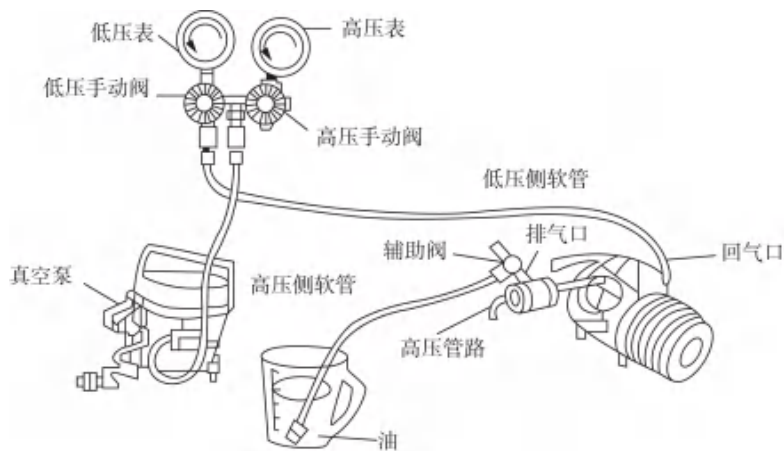


图 1-4-29 冷冻机油的加注

(三) 冷冻机油添加量

1. 系统新加油量

新装汽车空调系统中，只有压缩机内装有冷冻润滑油，油量一般为 280~350g。不同型号的压缩机内充油量也不同，具体可查看供应商手册。

2. 补充油量

维修当中，如果更换了系统部件或管路，由于这些部件中残存有冷冻机油，因此，更换的同时应当向系统内补充冷冻油，如果更换压缩机，新压缩机内原有油量应减去上述部件残存油量上限之和。

注意事项：

1. R12 与 R134a 制冷剂所用冷冻润滑油牌号不同，因此，添加冷冻机油时应注意防止混淆。



2. 添加时应保证容器的洁净，防止水分或杂物混入油中。
3. 当处理压缩机机油时，应戴防护手套。如果机油接触皮肤时，应立即用肥皂水冲洗。皮肤受刺激可能会发展成炎症或重复感染。

本章习题

一、填空题

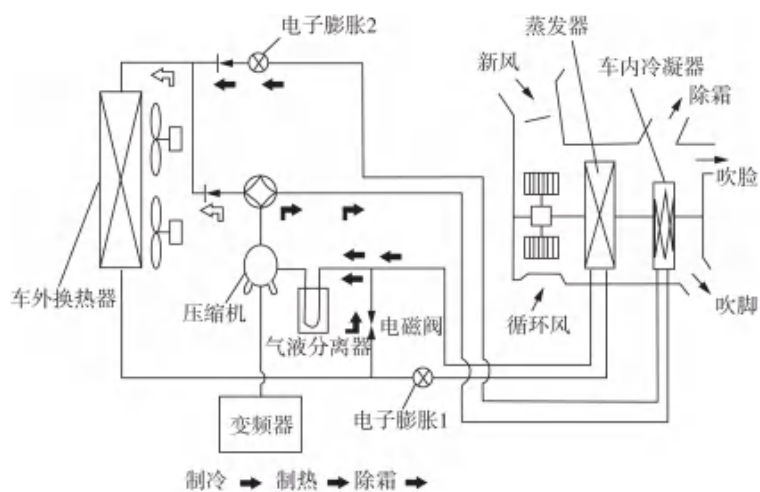
1. 传统燃油汽车空调的零部件，主要包括：_____、_____、_____、_____、_____、_____等。
2. 旋涡压缩机可以被称为第四级压缩机，主要由_____、_____、_____、_____、_____、_____等组成。
3. 旋转叶片式压缩机具有_____、_____、_____等优点。
4. 斜盘压缩机是一种轴向往复活塞式压缩机，斜盘压缩机和摆盘压缩机都属于轴向往复活塞式压缩机。两者的区别在于摆盘的活塞运动是_____的，而斜盘的活塞运动是_____的。因此，它们有时分别被称为单向斜盘式压缩机和双向斜盘式压缩机。
5. 冷凝器（包括蒸发器）是一种由_____和_____结合起来的热交换设备。
6. 冷凝器的作用是将_____气体制冷剂的热传递给大气。
7. 蒸发器是将_____制冷剂蒸发冷却的装置。
8. 膨胀节流装置较常见的有_____、_____和_____。
9. 储液干燥器功能是_____、_____、_____和_____。
10. 旋叶式压缩机有两种圆柱形状：_____和_____。

二、简答题

1. 电动空调系统因其能效高、调节方便、舒适性好等优点，逐渐成为新能源汽车空调研发的热点和发展趋势，其主要优势有哪些？
2. 简述电动变排量涡旋式制冷压缩机工作原理。
3. 简述冷凝器功用。
4. 简述蒸发器的功用。



5. 简述膨胀节流装置的功用。
6. H 型膨胀阀工作特点。
7. 简述气液分离器工作原理。
8. 简述下图制冷工况循环过程。



9. 简述 CO₂ 汽车空调系统和 R134a 空调系统的特点。
10. 简述汽车空调日常保养包括哪些内容。

项目二 新能源汽车制动系统检修

新型电动车制动系统在结构上一般采用电动真空助力再生制动系统来实现。电控方面，一般采用线控方式（ECB），可根据刹车时刹车踏板所受力刹车油压的大小，计算出电控所需的制动力。

液力制动力和再生制动力的分配随着速度和制动时间的变化而变化，通过控制液力制动力来实现制动力和再生制动力的总量与驾驶员所需要的制动力相一致。

任务1 电动真空助力及再生制动系统



知识目标

1. 了解新能源汽车制动系统功用。
2. 掌握新能源汽车真空助力制动工作原理。



能力目标

1. 能够在新能源汽车中找到制动系统部件。
2. 能够检修制动系统。



基础知识

常规汽车制动系统真空助力器的真空源来源于发动机进气歧管，其真空度负压一般在 $0.05 \sim 0.07 \text{MPa}$ 之间。对新能源电动汽车而言，由于无真空动力源，制动系统失去真空助力功能，仅靠人力产生的制动力不能满足行驶制动的需要，因此对制动系统真空增压装置进行改造，以获得足够的真空度，除电动真空泵有足够的排气量外，电动真空泵电机应设计适当的工作时间，以达到节能、可靠的目的。

当前电动汽车存在电池能量低、充电时间长等问题，电动汽车频繁启动和制动又会消耗大量能量。在汽车制动时，能量回馈制动系统能够将能量回馈给电池，从而提高整车的运行效率和电动车的续航里程。电动制动可由能量反馈制动系统实现。电能反馈制动控制技术是电动汽车的核心技术之一。

一、电动真空助力系统原理

普通的燃油车在 $4 \sim 5 \text{s}$ 内会产生超过 50kPa 的负空度，因此在使用电动制动系统的真空泵取代原引擎驱动的真​​空泵时，电动真空泵还需要在 $4 \sim 5 \text{s}$ 内产生超过 50kPa 的负空度。

车辆的制动系统一般采用真空或气压助力器，真空泵产生的真空度越大，制动性能就越好，司机踩踏时也更省力。所以，在设计或选择真空辅助制动电动真空泵时，应尽可能使真空度达到制动性能要求。



在制动踏板和制动主缸之间安装真空助力器，由踏板通过推杆直接操作。助力和踏板产生的力叠加在一起作用于制动主缸的推杆上，从而增加制动主缸的输出压力。普通常压室的真空度为 60~80kPa（即真空泵能够提供的真空度）。辅助真空增压装置可提供的功率大小取决于常压室和变压室的气压差。真空助力器可在变压室的真空度达到外部大气压时提供最大制动助力。在各种工况下，真空泵产生的真空度大小与速度之间的关系与真空助力器的工作状态有关，真空泵的容量大不大直接影响制动系统能否正常工作。

二、电动真空助力系统控制过程

电动真空助力制动系统控制如下：

1. 接通汽车 12V 电源，压力延时开关闭合，真空泵大约工作 30s 后开关断开，此时真空罐内压力大约为 -80kPa。

2. 当真空罐内压力增加到 -55kPa 时，压力延时开关再次闭合

3. 当真空罐内压力增加到大约 -34kPa 时，压力报警器发出信号。

如真空泵控制开关在很短的时间内开关机，说明发生了泄漏。按照这一控制策略，设计了一种间歇性真空发生系统，其基本工作原理是当驾驶员发动汽车时，12V 电源接通，启动压力延迟开关，启动压力报警器，进行压力自动检测，如果罐内真空度小于 55kPa，压力膜片将挤压触点，接通电源，真空泵开始工作。

当真空度上升到 5kPa，压力延迟开关断开，通过延迟继电器使真空泵在 30s 后停止工作；每次驾驶员有制动动作，压力延迟开关都会自动检测，以判断电动真空泵是否应该工作；如果真空罐的真空度低于 34kPa，真空助力器就不能提供有效的真空助力，这时压力报警器就会发出信号，提醒驾驶员注意行驶速度。

注意：电动真空泵控制也可采用电控单元控制，只要用绝对压力传感器代替压力开关，电动真空泵由控制单元控制继电器控制即可，国内一些纯电动汽车中，有一套由真空助力器、真空度传感器、电动真空泵工作继电器、电动真空泵电机组成的环式真空度控制系统，保证制动时真空助力器的正常工作。

三、再生制动基本原理

电动汽车制动可分为以下三种模式，不同模式应辅以不同的控制策略（如图 2-1-1 所示）。

1. 紧急制动：

对应于减速度大于 2m/s^2 的过程，出于安全考虑应以机械摩擦制动为主，电气制动仅起辅助作用。ABS 控制可以提供与紧急制动时的初始速度相适应的机械摩擦制动力。

2. 正常制动：

相当于车辆在正常情况下的制动过程，如遇红灯或靠站等，可分为减速制动和停车制动两种。电制动器负责减速过程，通过机械摩擦制动器完成减速过程。

3. 长下坡制动：

电动车长下坡一般发生在盘山公路下缓坡，当制动力要求不高时，可完全采用纯再生制动模式。

从上述三种制动方式可知，除紧急制动外，其他两种方式均可采用再生制动，将制动产生的能量回送至直流母线，为电池充电。

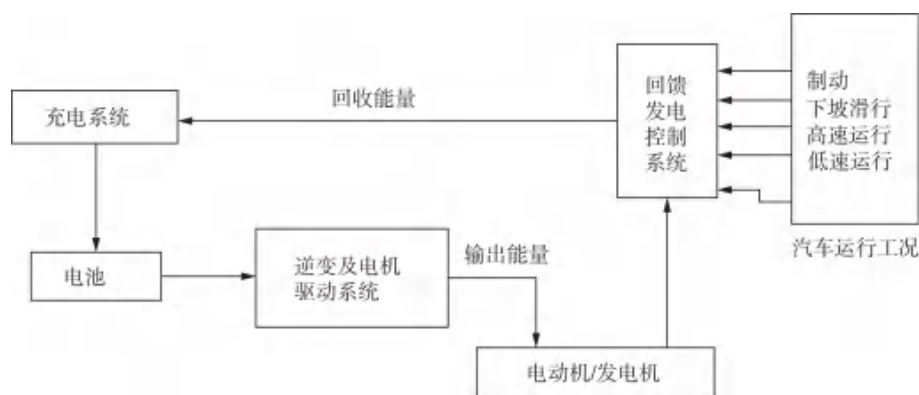


图 2-1-1

四、影响电动汽车再生制动能量回收的主要因素

刹车过程中，除去空气阻力和行驶阻力所消耗的能量，一般希望能最大限度地回收全部能量。但是，并非所有制动能量都可以回收。对于电动车来说，只有驱动轮的制动能量可以通过与之相连的驱动轴传递到能量储存系统，而其他部分的制动能量则会通过车轮上的摩擦制动以热的方式被消耗掉。在制动能量回收过程中，能量传递环节及能量储存系统的各个部分都会产生能量损失。

在再生制动过程中，电机将制动能量转化为电能，而电机对制动能量的吸收能力取决于电机的转速，从而影响制动能量的回收。当制动速度在额定转速范围内时，再生能与制动速度基本成正比。在需要的制动能量超过能量回收系统的范围时，电机能吸收的能量保持不变，摩擦制动系统会吸收制动能量的一部分。

另一方面，本点也说明了再生制动能够在驱动电机额定转速下提供较大的制动力矩，而当转速进一步升高时，再生制动所能提供的制动力则受到电机弱磁恒功率工作区特性的限制而减小。

五、采用无刷直流电动机驱动系统的回馈制动方法

1. 单相回馈制动的基本原理

无刷直流电动机回馈制动用于电动汽车，可分为两种情况，一种是电机转速超过基本速度，电能通过驱动直接输入电池，同时提供制动所需的电磁转矩，例如在下坡时。当车速未超过基本速度时，会出现更多的减速。

这个过程中，电动机产生电能，把电动车减速时产生的部分动能反馈给蓄电池。传动马达进入发电工作状态，其发电电压必须高于蓄电池电压才能输出电功率，因此需要有效的制动过程控制。

2. 三相能量回馈控制工作基本原理

上桥臂动力管在反馈控制阶段被关闭。基于位置传感器信号有规律地对下桥臂功率管进行 PWM 控制，可起到 Boost 变换器所起到的同样作用。无刷式直流电机的能量回馈控制过程与 Boost 变换器相似，在一个 PWM 开关周期内，其能量回馈控制过程也可分为两个阶段。

(1) 续流阶段

在续流阶段，无刷直流电动机的电流流向如图 2-1-2 所示 V2 导通为电流提供续流通路。在此阶段，电流将存储于三相绕组的电感之上。

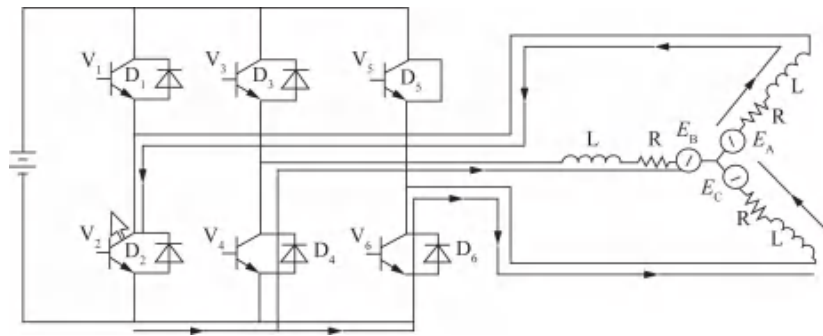


图 2-1-2

V2 关断期间，前存三相系统，在后存反电动势和三相绕组寄生电感共同作用下，组内能量和反电动势共同向蓄电池反馈。图 2-1-3 显示了这一阶段的电流流向，断开 V2，电流通过 D1 向蓄电池回馈，同样存在通过 D4 和 D6 向 B 相和 C 相流的电流路径。

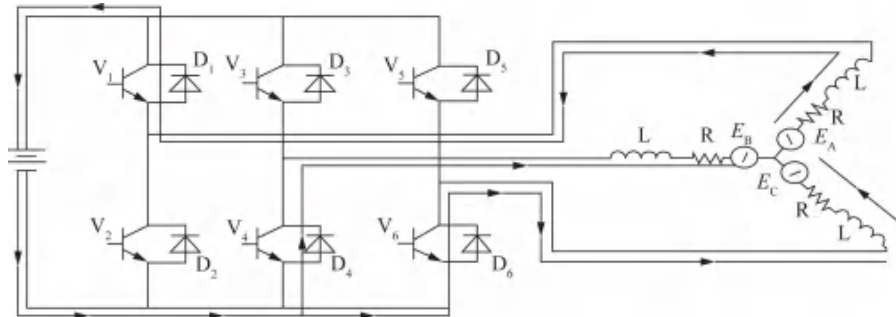


图 2-1-3

(2) 能量回馈阶段

无刷直流电机驱动电动汽车系统的能量回馈过程受车辆运行状态的限制。同时由于制动安全性、蓄电池充电安全性等因素，也限制了能量回馈过程。包括电池 SOC，电机的回馈能力和当前转速等。反馈制动控制策略需要紧密结合整车制动需求。回馈制动在实际应用中，必须满足一定的约束条件，并采取相应的控制策略。回馈制动过程中，对应的主要限制条件如下：

① 满足制动安全的要求

制动器的安全性是反馈制动的首要问题。因此，根据整车的制动要求，回馈制动系统应保持一定的制动力矩，以保证制动减速器、制动距离等制动性能。普通减速时，回馈制动可满足要求。在对制动器力矩要求大于系统回馈制动能力的情况下，还需采用传统机械制动。另外，在低速制动不能实现的情况下，还需要采用其他制动方式辅助制动运行。

② 电动机系统的回馈能力

回馈制动系统在工作时，需要考虑电机系统的工作特性和发电时的输出能力。为了电机系统的安全运行，有必要对回馈过程中的电流进行限制。

③ 电池组的充电安全

电动车常用的能量来源主要是铅酸蓄电池，锂电池，镍氢电池等。在充电过程中，要避免过度充电，损坏蓄电池。所以，除了电机系统的回馈能力外，回馈制动系统的容量也应该包括蓄电池的充电负荷。因为反馈制动过程时间有限，所以主要是限制充电电流的大小。

在一定转速条件下，回馈能量与回馈效率的关系和控制占空比之间的关系。对于制动回馈过程，常



用的控制策略有最大回馈功率控制、最大回馈效率控制、恒转矩控制等。采用恒转矩控制策略，通过降低整车的制动速度，实现了制动过程的完整，从而满足了制动对力矩的要求。当处于反馈制动状态时，由电机电磁转矩提供制动转矩。在永磁无刷直流电机中，电机的电磁转矩与电流是正比的，所以通过控制回馈电流的大小，就可以控制制动转矩的大小，从而达到控制制动过程的目的。

反馈制动器的控制周期分为续流期和能量回馈期。对于低速回馈状态，根据位置传感器信号，采用有规律的 PWM 方式实现功率管的通断，可起到 Boot 变换器的作用。在产生电压高于蓄电池时，电流可回馈给蓄电池，以实现能量回馈。

这一过程中还需要换相控制。在回馈制动过程中，采用单侧斩波控制，阻断上桥臂，仅对功率桥的下桥臂进行 PWM 控制。每个控制周期中，PWM 仅对其中一个功率管进行控制。PWM 控制在对反电势最大的相所对应桥臂的功率管上。

表 2-1-1 显示了控制相序表。在 6 个功率管的情况下，仅控制下桥臂的功率管，每个功率管有 120° 的电流。根据位置传感器信号，在控制过程中进行换相控制。本文详细推导了回馈制动过程中第一控制区之间的控制过程，其它控制区间也可得出类似结论。采用 PWM 占空比控制 PWM，可调节回馈电流，从而控制制动转矩的大小，达到控制制动转矩的目的。

表 2-1-1

	0°~60°	60°~120°	120°~180°	180°~240°	240°~300°	300°~360°
V1	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
V2	PWM 控制	PWM 控制	OFF	OFF	OFF	OFF
V3	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
V4	OFF	OFF	PWM 控制	PWM 控制	OFF	OFF
V5	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
V6	OFF	OFF	OFF	OFF	PWM 控制	PWM 控制
D1	回馈能量	回馈能量	OFF	OFF	OFF	OFF
D2	OFF	OFF	续流	续流	续流	续流
D3	OFF	OFF	回馈能量	回馈能量	OFF	OFF
D4	续流	续流	OFF	OFF	续流	续流
D5	OFF	OFF	OFF	OFF	回馈能量	回馈能量
D6	续流	续流	续流	续流	OFF	OFF

通常情况下，再生制动系统是在电动车减速、行驶中加速踏板巡航或刹车踏板停止时启动的。通常，再生制动所产生的力矩在正常减速时仍处于最大负载状态；电动车高速巡航时，其驱动电机一般为恒定功率状态，驱动力矩与驱动电机的转速或车辆速度成反比。

恒功率下驱动电机的转速越高，再生制动能力就越差。另外，当刹车踏板被踩下时，驱动电机通常处于低速运行状态。因为当车辆处于低速时，动能不足，无法向驱动电机提供产生最大制动力矩的能量，所以当车辆转速下降时，再生制动能力也会减小。

从图 2-1-4 可以看出，电动汽车再生制动力矩并不像传统燃油车那样能够提供足够的制动减速器，因此，再生制动力矩与液压制动力矩通常是共存的。但应

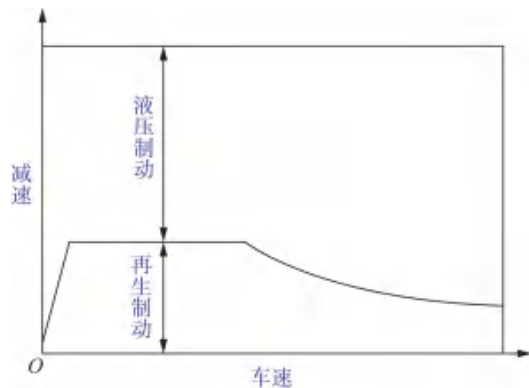


图 2-1-4



注意的是，只有在再生制动已达到最大制动能力，但仍不能满足制动要求时，液压制动才能正常工作（如图 2-1-4 所示）。

再生/液压混合制动系统是电动汽车特有的，回转制动和液压制动的配合是问题的关键，并且，应考虑以下特殊要求：

要让驾驶员在制动时感觉平稳，液压制动力矩应能随再生制动力矩的变化而跳跃控制，最终使驾驶员获得期望的总力矩。在控制液压制动时，不能使制动踏板受到冲击，这样就不会给驾驶员带来异常的感觉。

采用 ABS 扩展的 ESP 功能，实现电动泵的液压提升，这就要求 ABS/ESP 模块与整车控制系统通信，可将再生制动软件写入 ABS 模块中，用于驱动油泵、控制摩擦制动和控制制动助力源。可再生制动强度可由 ABS 与整车控制器通信控制。液力制动力矩通过电气控制，产生的液力传递给制动轮缸。因此，再生—液压制动系统需要防止机构发生制动失效，为提高系统可靠性，满足安全标准，系统一般采用两管制动，当一管失效时，另一管必须能够提供足够的制动力。

一种后轴驱动的新能源客车采用减速值限值再生制动方式。

①当减速小于 0.15g（注：g 为重力加速度，单位为 m/s^2 ）时，后轴进行再生制动能量回收，仅后轴有制动，为纯再生制动状态；

②当减速量在 0.15~0.4g 时，后轴制动能量回收，同时用 ABS 回油泵增大前轴的液压制动力，可实现合理分配制动力；

③当减速器在 0.4~0.7g 范围内时，利用 ABS 回油泵，近距离增加前轴的液压制动力，同时减少后轴的制动能量回收。

④当降速大于 0.7g 时情况非常少见，后轴制动能量回收电流太大，电池无法吸收，同时电动机剧烈振动，因此取消再生制动，全摩擦制动。

车辆动能不可能在再生制动过程中完全转化为蓄电池充电的电能。回收制动损失的能量包括：空气阻力损失、滚动阻力损失、制动系统损失、电机损失、转换器损失和充电损失。不过，现代电动车在采用再生制动后，可以节省约 20% 的能源。

为使车辆能平稳地制动，前后轮的制动力必须均衡地分布。另外，为防止车辆发生打滑，前后轮的最大制动力应小于允许的最大功率（主要取决于滚动阻力系数）。

为满足上述要求，图 2-1-5 显示了再生—液压混合制动系统的结构设计。司机踩刹车踏板后，电动泵将制动液加压，产生所需的制动力。制动器控制与电机控制共同决定电动车再生制动力矩和前后轮液压制动力。

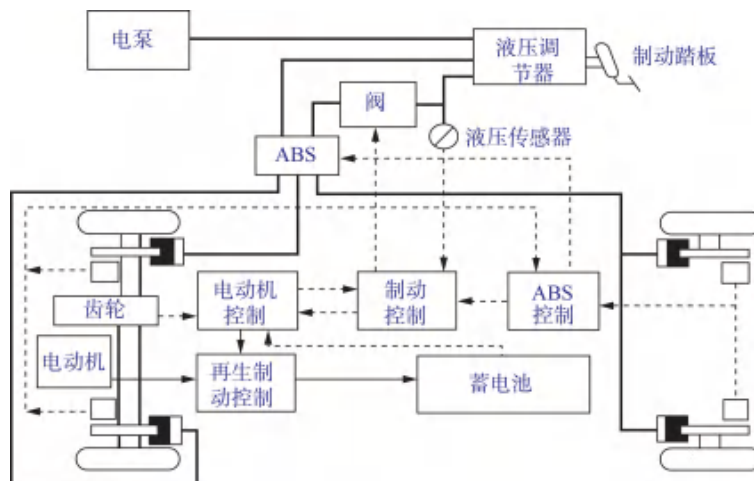


图 2-1-5

电动车上的 ABS 和它的制动比例控制阀的作用和传统燃油车一样，它的作用是产生最大的制动力。利用现有汽车 ABS 扩展功能中的 ESP 电子稳定器程序的电动供能泵作为压力源。

如前所述，电动汽车制动力总矩是再生制动力矩和液压制动力矩之和。图 2-1-6 中显示了它们之间的比例分配关系，旨在保持最大再生制动力矩，同时为驾驶员提供与燃油车相同的制动感。

在制动踏板力不大的情况下，驱动轮仅受再生制动力矩，与制动踏板力成正比。无传动轮的制动功由液压制动提供，液压制动力矩与制动踏板力也成正比。在制动踏板力大于某一值时，最大再生制动力矩将全部加到驱动轮轴上，而液压制动力矩也将作用于驱动轮轴以获得期望的制动力矩。这样，再生制动系统的最大力矩保持不变，以使车辆动能得到充分回收。

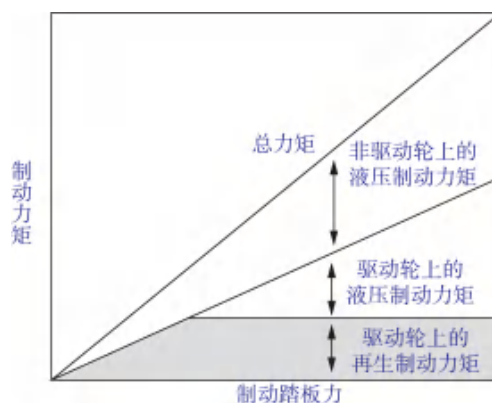


图 2-1-6

制动系因制动而产生的管路压力（或制动踏板越深踩得越深）越高，说明经驾驶员判断，所要的总制动力矩越大，非驱动轮的制动力矩不断增大。传动轮的总制动力矩也在增加，但是摩擦力矩增加了很多，而再生制动力矩却没有增加，甚至有所减少。它需要再生制动和 ABS 系统的协调工作。

七、典型新能源汽车再生制动系统

1. 宝马 X6 混合动力汽车制动能量回收系统

当混合动力系统识别出车辆在滑行时，内燃机的动力就会被切断。依据踏板踩下的程度，电机以发电机的形式运行，产生强磁场。为保持这种磁场，电机必须从自动变速器中获得更大的能量。

这样的话，自动变速器驱动汽车制动。其结果电压由电力电子设备中的交流/直流转换器转换而成，储存在高压蓄电池中。

如图 2-1-7 所示，宝马 X6 新能源汽车制动能量回收显示装置将显示高压蓄电池的充电状态。从轮子到电机的绿色动力线。绿框中的“充电中”表示高压蓄电池正在充电。这里也有一条蓝色的动力线，从马达流到高压蓄电池。

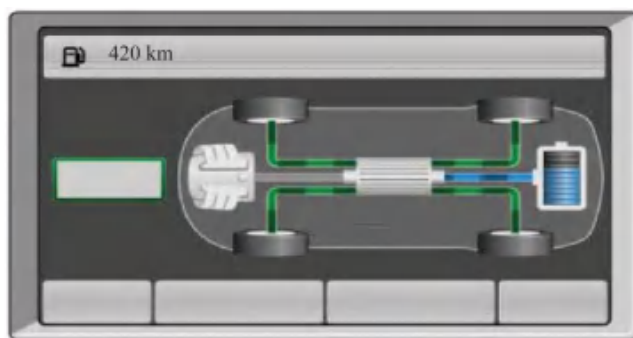


图 2-1-7 宝马 X6 新能源汽车制动能量回收显示装置

2. 丰田 Prius 再生制动系统

道路交通系统是由人、车、路组成的动态系统，为了满足整个系统安全、快速、经济、舒适的要求，三要素必须相互协调。各国专家学者通过对大量事故的深入研究，得出了结论。汽车技术性能不佳造成