



主编:	廖毅鸣 刘健聪 唐友名
定价:	¥36.0元
印张:	8.25
书号:	978-7-5684-0911-7
出版社:	江苏大学出版社

内容简介

本书主要介绍了新能源汽车电机及控制技术的各部分原理、结构与检测方法,通过列举不同的案例,由浅入深地剖析理论内容。全书内容通俗易懂、图文并茂,便于读者理解与掌握。

全书共分为三个项目。项目一是新能源汽车的概述,介绍了新能源汽车的发展史与发展的趋势;项目二是电机的认识,介绍了现常用的电机类型、原理、特点与应用等,有针对性地指出新能源汽车电机

应用的要求;项目三是新能源汽车电机驱动控制系统与检测,介绍了新能源电机的控制和检查方法等,并结合了实际操作中真实案例的应用。

本书可作为职业院校新能源汽车电机方面课程的教材,也可作为有关技术人员的参考、学习、培训资料。

目录

项目一 新能源汽车的概述	任务 5 开关磁阻电机	任务 1 纯电动汽车电机驱动
任务 1 新能源汽车的发展	任务 6 轮毂电机	控制系统
历史	驱动电机系统拆装(以北汽	任务 2 混合动力汽车电机驱
任务 2 新能源汽车的发展	EV 1 6 0 为例)	动控制系统
前景	任务 7 电机参数检测(以直	电机考核细则
	流无刷电机为例)	电机测试
项目二 电机的认识	任务 8 电机安装前检查	参考文献
任务 1 直流电机	电机考核	
任务 2 无刷直流电机		
任务 3 异步电机	项目三 新能源汽车电机驱动控制	
任务 4 同步电机	系统与检测	

项目二 电机的认识

任务描述

前期维护保养后的共享新能源汽车因故障被拖车送到维修厂，车主反映该车充完电后在行驶中出现行驶无力的现象。修理工对该车使用解码器检查，从解码器显示的数据分析可能是电机出现问题，于是修理工便通过查阅相关维修资料，根据驱动电机的参数查出了电机内部存在故障问题，因此对电机总成进行拆解检查。

学习目标

1. 能正确说出新能源汽车驱动系统中常见电机的类型。
2. 能完整描述主流类型的驱动电机结构。
3. 能够阐述驱动电机的原理。
4. 会拆装电机并能列出电机拆装的步骤。
5. 能使用检测设备对电机的参数进行检测。

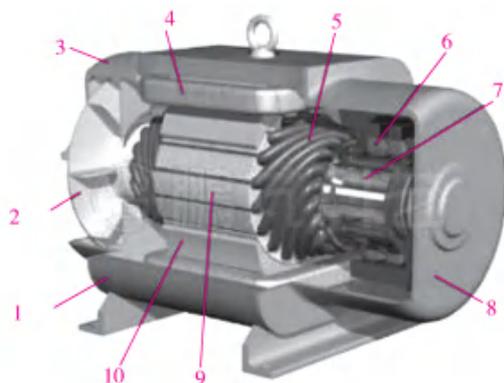
任务1 直流电机

直流电机因为具有调速性能好、过载能力强、控制简单等优势，曾经在调速电动机领域中独占鳌头，可以说在 20 世纪 70 年代以前，大部分对调速性能要求较高的场合使用的都是直流电动机。直流电动机也是电动车辆中应用最早且较广泛的电动机。由于直流电动机存在换向火花、电刷磨损及电动机本身结构复杂等问题，随着交流变频调速技术的发展，交流调速电动机后来居上。但目前直流电机仍在较多场合被使用，如城市中的无轨电车和电动叉车多采用直流驱动系统，特别是对于由蓄电池提供电源的车辆，可直接利用直流电。

一、电机的结构

直流电动机由定子（固定不动）与转子（旋转）两大部分组成。定子与转子之间的空

隙称为气隙。直流电机的整体结构如图 2-1 所示。



1—机座；2—风扇；3—前端盖；4—励磁绕组；5—电枢绕组
6—电刷；7—换向器；8—后端盖；9—电枢铁芯；10—磁极

图 2-1 直流电动机的整体结构

1. 定子

定子由机座、主磁极、电刷装置和端盖组成。

(1) 机座

机座是用来固定主磁极电刷架和端盖等部件的，起支撑、保护作用，是由铸铁、铸钢或钢板制成的。机座与主磁极铁芯、磁轭、电枢铁芯一起构成电动机的磁路。磁通通过整个磁路的情形，如图 2-2 所示的虚线。

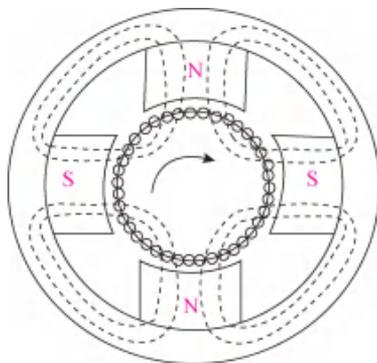
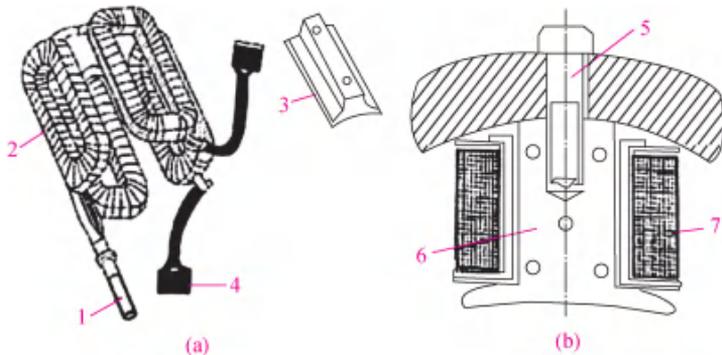


图 2-2 磁通通过整个磁路的情形

(2) 主磁极

主磁极的作用是产生气隙磁场。主磁极由主磁极铁芯和励磁绕组两部分组成。铁芯一般由 0.5~1.5 mm 厚的硅钢板片叠压铆紧而成，分为极身和极掌两部分，上面套励磁绕组的部分称为极身，下面扩宽的部分称为极掌，极掌宽于极身，既可以调整气隙中磁场的分布，又便于固定励磁绕组。励磁绕组用绝缘铜线绕制而成，套在主磁极铁芯上。整个主

磁极用螺钉固定在机座上，如图 2-3 所示。

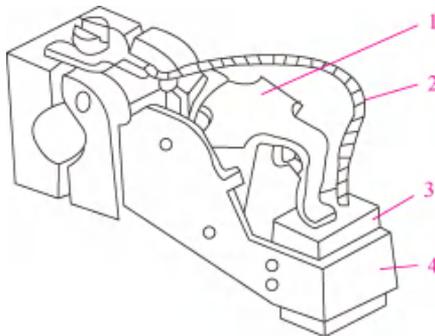


1—接线柱；2—电子绕组；3—电子铁芯；4—绝缘电阻；
5—固定主磁极的螺钉；6—主磁铁芯；7—励磁绕组

图 2-3 主磁极的结构示意

(3) 电刷装置

电磁装置用来引入或引出直流电压和直流电流，它由压力弹簧、刷辫、电刷和刷握组成，如图 2-4 所示。电刷放在刷握内，用弹簧压紧，以使电刷与换向器之间有良好的滑动接触。电刷盒固定在刷杠上，刷杠装在圆环形的刷杠座上，相互之间必须绝缘，常常将若干个电刷盒装在同一绝缘刷杠上，在连接电路时，把同一个绝缘刷杠上的电刷盒并联起来，称为一组电刷。在一般的直流电动机中，电刷盒的数目可以用电刷杆数表示，电刷杆数与电动机的主磁极数相等。



1—压力弹簧；2—刷辫；3—电刷；4—刷握

图 2-4 电磁装置的结构

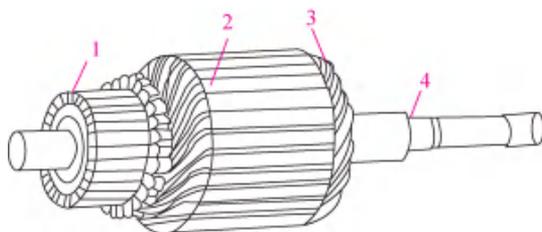
电刷杆在转换器外表面上沿圆周方向均匀分布，转换器正常运行时，电刷杆相对于转换器表面有一个正确的位置，如果电刷杆的位置放置不合理，将直接影响电动机的性能。刷杠座装在端盖或轴承内盖上，圆周位置可以调整，调好以后加以固定。图 2-5 所示为电刷架总成。



图 2-5 电刷架总成

2. 转子

直流电动机的转子（电枢）主要由电枢铁芯、电枢绕组、换向器等组成，结构如图 2-6 所示。



1—换向器；2—电枢铁芯；3—电枢绕组；4—转轴

图 2-6 转子总成结构

(1) 电枢铁芯

电枢铁芯的作用有两个：一个是作为主磁路的主要部分；另一个是嵌放电磁绕组。由于电枢铁芯和主磁场之间的相对运动会在铁芯中引起涡流损耗和磁滞损耗（这两部分损耗合在一起称为铁芯损耗，简称铁耗），为了减少铁耗，电枢铁芯通常用 0.5 mm 厚的涂有绝缘漆的硅钢片叠压而成，并固定在转轴上。电枢铁芯沿圆周有分布均匀的槽，里面可嵌入电枢绕组，如图 2-7 所示。

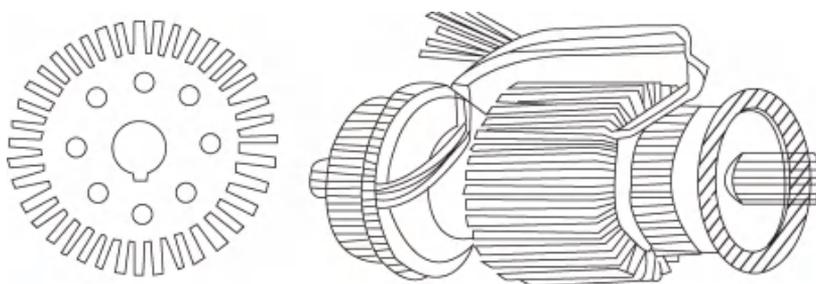


图 2-7 电枢铁芯的结构图

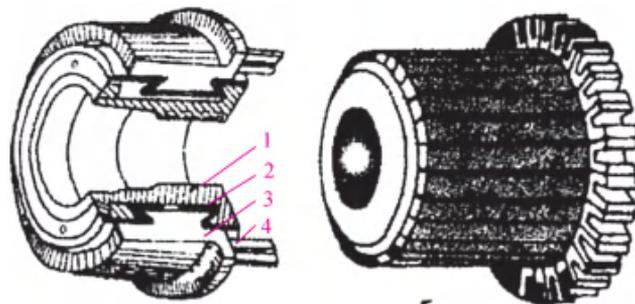
(2) 电枢绕组

电枢绕组由许多按一定规律排列和连接的线圈组成，它是直流电动机中主要的电路部分，是通过电流和感应产生电动势，以实现机电能量转换的关键性部件。

线圈是用包有绝缘的圆形和矩形截面的导线绕制而成，亦被称为“元件”，每个元件有两个出线端。电枢线圈嵌放在电枢铁芯的槽中，每个元件的两个出线端以一定的规律与换向器的换向片相连，构成电枢绕组。

(3) 换向器

换向器也是直流电动机的重要部件。在直流电动机中，换向器将电刷上所通过的直流电流转换为绕组内的交变电流。换向器安装在转轴上，与转轴过盈配合，主要由许多换向片组成，片与片之间用云母绝缘，换向片数与元件数相等，如图 2-8 所示。

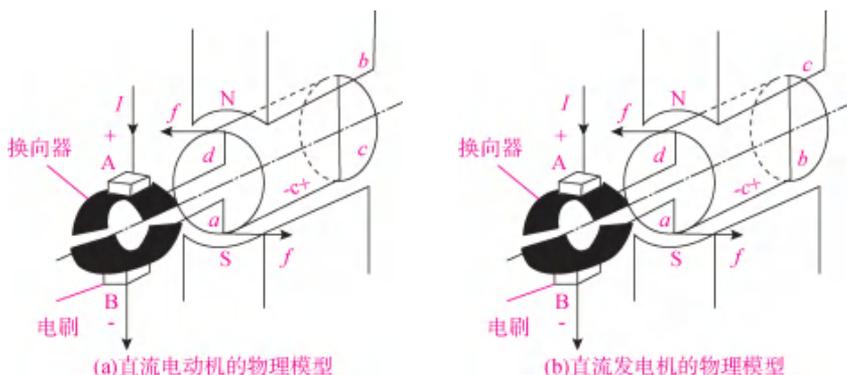


1—V形套筒；2—云母环；3—换向片；4—连接片

图 2-8 换向器结构图

二、工作原理

从理论上说，一台直流电动机既可作电动机使用，也可作发电机使用，其原理分别建立在电磁力和电磁感应的基础上。如图 2-9 所示为直流电机的物理模型，其中图 2-9a 为直流电动机的物理模型，图 2-9b 为直流发电机的物理模型。



(a)直流电动机的物理模型

(b)直流发电机的物理模型

图 2-9 直流电机的物理模型

1. 直流电动机的工作原理

直流电动机将直流电能转换成机械能，带动轴上的生产机械做功。如果将电刷 A、B 接到一个直流电源上，电刷 A 接电源的正极，电刷 B 接电源的负极，此时在电枢线圈中将有电流流过。位于 N 极下线圈的 ab 边和位于 S 极下线圈的 cd 边通以直流电流 I ，根据安培电磁力定律可知，导体中产生电磁力 F 的大小应为

$$F = BIl \sin \theta$$

式中 l ——线圈导体 ab 的长度，m；

B ——磁感应强度，T；

I ——电流，A；

θ —— B 、 I 在空间的夹角，($^{\circ}$)。

直流电动机由于有换向器和电刷，保证了 B 与 I 空间上相互垂直， $\theta = 90^{\circ}$ 。在图 2-9a 的情况下，位于 N 极下的导体 ab 受力方向为从右向左，而位于 S 极下的导体 cd 受力方向为从左向右。该电磁力与转子半径之积即为电磁转矩，该转矩的方向为逆时针。当电磁转矩大于阻转矩时，线圈按逆时针方向旋转。当电枢旋转到如图 2-9b 所示位置时，原位于 S 极下的导体 cd 转到 N 极下，其受力方向变为从右向左；而原位于 N 极下的导体 ab 转到 S 极下，导体 ab 受力方向变为从左向右，该转矩的方向仍为逆时针方向，线圈在此转矩作用下继续按逆时针方向旋转。这样虽然导体中流通的电流为交变的，但 N 极下的导体受力方向和 S 极下导体的受力方向并未发生变化，电动机在此方向不变的转矩作用下转动。电刷的作用是将直流电变成线圈中的交变电流。

2. 直流发电机的工作原理

直流发电机是把机械能转换为直流电能。如图 2-9b 所示，由原动机拖动电枢沿逆时针方向旋转，当转子转到如图 2-9b 所示位置时，导体 cd 段正好在 N 极下，而导体 a 上段正好在 S 极下。如果这时导体所处的磁通密度为 B ，导体有效长度为 l ，导体的线速度为 v ，则根据法拉第电磁感应定律，每根导体感应电动势瞬时值为 $e = Blv$ 。其方向用右手定则决定，N 极下的 cd 导体电动势方向由 c 到 d ，而 S 极上的 ab 导体电动势方向由 a 到 b 。

线圈 $abcd$ 的电动势大小恰好是 cd 导体电动势（或 ab 导体电动势）的 2 倍，方向为 d 端为正， c 端为负。此时电刷 A 极性为正，电刷 B 极性为负。当转子转过 180° 时，导体的 ab 段与 cd 段正好对换，这时导体 ab 段在 N 极下，导体 cd 段在 S 极上，导体 ab 电动势方向由 b 到 a ，导体 cd 电动势方向由 d 到 c 。此时线圈 $abcd$ 的电动势方向是 a 端为正， b 端为负。但由于电刷不随换向片转动，电刷 A 极性仍然为正，电刷 B 极性为负。可见转子连续旋转时，电刷 A 引出的总是 N 极下导体的正电动势，而电刷 B 引出的总是 S 极上导体的负电动势。经过电刷和换向器，即把电枢绕组内的感应交变电动势变成了由电刷 A、B 间输出的直流电动势。

在实际电动机中，电枢不只是一个线圈，而是由许多按一定规律连接起来的线圈组成的。这样电动势的脉动程度也会减少。由上述分析可知，同一台直流电动机，只要改变外

界的条件，既可作直流电动机使用，也可当直流发电机运行。这种用同一台电动机在外界条件不同的情况下，既可用作电动机，也可作发电机运行的原理，不仅适用于直流电动机，同样也可适用于交流电动机，这是电动机理论中的普遍原理。

三、有刷串励直流电机的应用与特点

此类电机适用于蓄电池供电的各种电动车辆，如电动车、叉车、搬运车、电动摩托车等。优点是起动转矩大、过载能力强；缺点是需要换电刷、高速有环火，不适宜高速行驶、效率低、体积大、防护能力差、能量回馈差，主要用在电动三轮车和电动车上。有刷串励直流电动机外形，如图 2-10 所示。



图 2-10 有刷串励直流电动机外形

四、电机的基本参数

北汽 EV160 驱动电机、电池技术参数，见表 2-1。

表 2-1 北汽 EV160 驱动电机、电池技术参数

产品配置		EV160	
适用销售类型		轻快版（舒适版）	轻秀版（高配版）
车身形式		两厢	两厢
整备质量/kg		1 295	1 295
驱动电机	功率（额定/峰值）/kW	30/53	30/53
	扭矩（额定/峰值）/（N·m）	102/180	102/180
	最高车速/（km/h）	125	125
	0~50 km/h 加速时间/s	4.7	4.7
	0~80 km/h 加速时间/s	9.7	9.7
	最大爬坡度/%	≥25	≥25

续表

产品配置		EV160	
电池系统	电池品牌	ALT 普莱德	ALT 普莱德
	电池材料	磷酸铁锂	磷酸铁锂
	电量/(kW·h)	25.6	25.6
	电池系统循环寿命(90%DOD)	≥3 000	≥3 000
	工况续航里程(NEDC)	160	160

任务2 无刷直流电机

电池储存电能，电能是以直流电的方式从电池输出经过转换器传至电动机。直流电动机按有刷直流电动机和无刷直流电动机区分，有刷直流电动机因维护不方便被无刷直流电动机取代，无刷直流电动机已成为入门级电动车所使用的最为普遍的一种类型。

在技术特性上，无刷直流电动机可分为具有直流电动机特性的无刷直流电动机及具有交流电动机特性的无刷直流电动机。我们所讨论的范畴仅限较为主流的直流电动机特性的无刷直流电动机。根据电动车对电动机的技术要求，直流电动机能够满足电动车运行的基本需求。另外，无刷直流电动机也不需要用户在用车期间去考虑它的维护问题，基于这样的特性，无刷直流电动机成为入门级电动车的首选。

一、无刷直流电机的结构

如图 2-11 所示，无刷直流电动机主要由永磁转子、多极绕组定子等组成。



1—高压线接口；2—后端盖；3—永磁转子；4—多极绕组定子；5—离合器

图 2-11 无刷直流电动机结构

无刷直流电机（见图 2-12）的特点是无刷，它采用半导体开关器件（如霍尔元件）来实现电子换向，即用电子开关器件代替传统的接触式换向器和电刷。这款电机具有可靠性高、无换向火花、机械噪声低等优点。

位置传感器按转子位置的变化，沿着一定次序对定子绕组的电流进行换流（即检测转子磁极相对定子绕组的位置，并在确定的位置处产生位置传感信号，经信号转换电路处理后去控制功率开关电路，按一定的逻辑关系进行绕组电流的切换）。其中，位置传感器有磁敏式、光电式和电磁式三种类型。

采用磁敏式位置传感器的无刷直流电动机，其磁敏传感器件（例如霍尔元件、磁敏二极管、磁敏三极管、磁敏电阻器或专用集成电路等）装在定子组件上，用来检测永磁体转子旋转时产生的磁场变化。电动汽车多用的是霍尔元件。

采用光电式位置传感器的无刷直流电动机，在定子组件上按一定位置配置了光电传感器件，转子上装有遮光板，光源为发光二极管或小灯泡。转子旋转时，由于遮光板的作用，定子上的光敏元器件将会按一定频率间歇产生脉冲信号。

采用电磁式位置传感器的无刷直流电动机，是在定子组件上安装电磁传感器部件（例如耦合变压器、接近开关、LC 谐振电路等），当永磁体转子位置发生变化时，电磁效应将使电磁传感器产生高频调制信号（其幅值随转子位置而变化）。但对于定子绕组的工作电压，则是由位置传感器输出控制的电子开关电路来进行提供的。



图 2-12 无刷直流电机结构

二、无刷直流电机工作原理

无刷直流电动机的工作过程如下：蓄电池电压经内部稳压电源后作为提供控制器内部电子元器件的工作电压向主处理芯片 PWM 提供电压，PWM 根据无刷电动机的霍尔信号对 3 路 MOS 管驱动电路给出有选择性的打开与关闭信号，以完成对电动机的换相。同时，PWM 根据转把的输入电压大小，将相应脉冲宽度的方波信号与 3 路 MOS 管导通信号混合，以达到控制电动机速度的目的。无刷直流电动机控制系统的工作原理框图如图 2-13 所示。

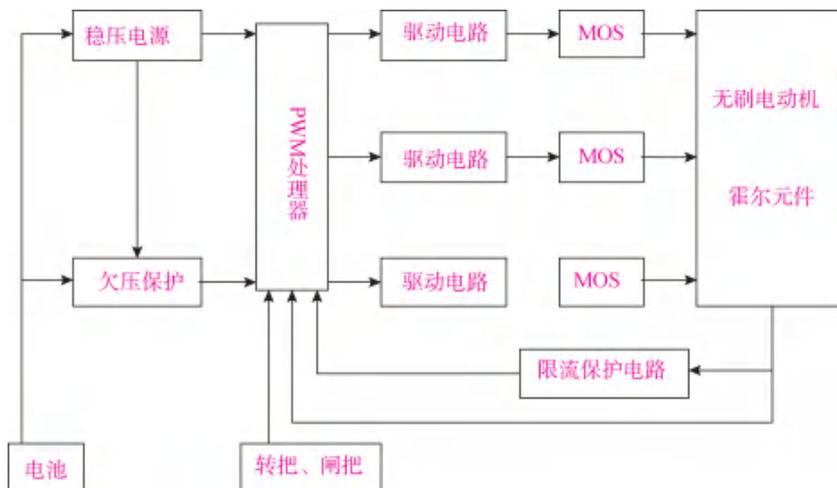


图 2-13 无刷直流电动机控制系统的工作原理框图

三、无刷直流电机的应用

无刷直流电动机之所以被广泛应用于电动车，是因为它与传统的有刷直流电动机相比具有以下两方面的优势。

1. 寿命长、免维护、可靠性高

在有刷直流电动机中，由于电机转速较高，电刷和换向器磨损较快，一般工作 1 000 h 左右就需更换电刷。另外，有刷直流电动机减速齿轮箱的技术难度较大，特别是传动齿轮的润滑问题，是目前有刷方案中比较大的难题。由于有刷电机存在噪声大、效率低、易产生故障等问题，因此无刷直流电动机的优势很明显。

2. 效率高、节能

一般而言，因无刷直流电动机没有机械换向的摩擦损耗、齿轮箱的消耗和调速电路损耗问题，效率通常可达到 85% 以上，但考虑到实际设计中的最高性价比，为减少材料消耗，一般效率设计为 76%。而有刷直流电动机的效率由于齿轮箱和超越离合器的消耗，通常在 70% 左右。

四、无刷直流电机的特点

无刷直流电机具有以下 8 个特点：

①无刷直流电动机外特性好，非常符合电动车的负载特性，尤其是电动机具有低速大转矩的特性，能够提供大的起动转矩，满足车辆的加速要求。

②速度范围宽。无刷直流电动机可以在高、中、低三个速度范围内运行，而有刷电动机由于受机械换向的影响，只能在中低速下运行。

③无刷直流电动机效率高，耗电少，尤其是在轻载车况下仍能保持较高的效率。

④过载能力强。

④再生制动效果好。因为无刷直流电动机转子具有很高的永久磁场，在汽车下坡或制动时电动机可完全进入发电机状态，给蓄电池充电。同时起到电制动作用，减轻机械制动的负担。

⑥无刷直流电动机体积小、重量轻、比功率大，可有效地减轻重量、节省空间。

⑦无刷直流电动机无机械换向器，采用全封闭式结构，防止尘土进入电动机内部，可靠性高。

⑧无刷直流电动机的缺点是电动机结构比交流电动机复杂，控制器比有刷直流电动机复杂，引出线较多。

无刷直流电动机外形，如图 2-14 所示。



图 2-14 无刷直流电动机外形

五、无刷直流电机的基本参数（见表 2-2）

表 2-2 无刷直流电机的基本参数

序号	电动机参数											
	型号	额定功率/ kW	额定转速/ (r/min)	最高转速/ (r/min)	额定转矩/ (N·m)	额定相电 流/A	扭矩 过载 倍数	功率 过载 倍数	额定 电压 VDC	效率/ %	外形 尺寸/ mm	重量/ kg
1	BS120-3000/320	120	3 000	3 750	382	612	3	2	320	96.8	φ450×757	230
2	BS60-3000/320	60	3 000	4 300	191	334	3	2	320	96	φ390×590	119
3	BS35-2000/320	35	3 000	3 720	167	219	3	2	320	96	φ344×570	123
4	BS15-3000/320	15	3 000	4 870	47.8	84	3	2	320	95.7	φ250×363	37.3
5	BS13-3000/320	13	3 000	4 870	41	75	3	2	320	95.5	φ250×363	36.5
6	BS8-2600/320	8	2 600	5 000	29.4	45	2	1.5	320	95	φ212×364	28.5
7	BS4.5-3000/320	4.5	3 000	5 000	14.3	18.6	2	1.5	320	95	φ215×281	17
8	BS2-2500/320	2	1 250	2 000	15.28	9.9	2	1.5	320	95	φ188×292	19

任务3 异步电机

异步电机（见图 2-15）也可被归纳到交流电动机范畴。变频调速是电动机首先要具备的功能，因为，纯电动车的车轮由电动机和差速器组成的传动机构进行驱动。电动机本身的转速范围即可满足车辆的行驶需求，因此，从技术结构来看，变速箱不再是整个动力系统的必要装置。但是，在变频调速的性能方面，还是对电动机提出了较高的要求。另外，倒车也是日常驾驶时经常遇到的问题，所以，还需要电动机能够自如地在正反转状态间切换。

异步电动机实现动能回收也更为容易。车辆在滑行或制动时，车轮反拖电动机转动，在这个工况下，电动机可进行发电并将电能回收到电池中，以此延长车辆的续航里程。功能上能够满足电动车的技术需求，但其自身结构并不复杂，由此带来的是坚固耐用、工作状态稳定、成本易控等优势。



图 2-15 异步电机

一、异步电机的结构

异步电机由定子和转子这两大基本部分组成，在定子和转子之间具有一定的气隙。此外，还有端盖、轴承、风扇、风扇罩、接线盒、吊环等其他附件，如图 2-16 所示。



1—前端盖；2—转子铁芯；3—转子绕组；4—转子部分；5—定子铁芯；
6—吊环；7—后端盖；8—风扇罩；9—风扇；10—接线盒；11—机座；12—定子绕组

图 2-16 三相异步电机的结构

1. 定子

定子是用来产生旋转磁场的，三相交流异步感应电动机的定子主要由外壳、定子铁芯、定子绕组组成。

(1) 外壳

外壳是三相异步电动机机械结构的重要组成部分，它由端盖、轴承盖、接线盒和吊环等组成。通常，外壳的外表面都铸有散热片，以扩大散热面积，有利于电动机散热，从而降低绝缘等级和制造成本。轴承盖是由铸铁和铸钢浇铸成型，它的作用是不让转子有过大的轴向转动。另外，它还起存储润滑脂和保护轴承的作用，防止微尘和脏物进入轴承而加速轴承的磨损，从而延长电动机的使用寿命。接线盒一般是铸铁浇铸，其作用是保护固定绕组的引出线端。吊环一般是铸钢制造，安装在机座的上端，用来起吊、搬抬三相异步电动机。

(2) 定子铁芯

交流异步感应电动机的定子铁芯是电动磁路的一部分，由 0.35~0.5 mm 厚的表面涂有绝缘漆的硅钢片叠压而成。图 2-17 所示为定子铁芯与冲片。由于硅钢片较薄且片与片之间是绝缘的，由此减少了交变磁通通过而引起的铁芯涡流损耗，铁芯内圆有均匀分布的槽口，用来嵌放定子绕组。

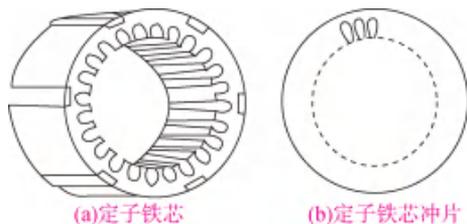


图 2-17 定子铁芯与冲片

(3) 定子绕组

定子绕组是三相异步电动机的电路部分。三相异步电动机有三相绕组，通入三个相对称交流电流时，就会产生旋转磁场。

三相绕组由三个彼此独立的绕组组成，且每个绕组又由若干个线圈连接而成。每个绕组称为一相，三个绕组在空间互相间隔 120°。线圈由绝缘铜导线或绝缘铝导线绕制。中小型三相异步电动机多采用圆漆包线，大中型三相异步电动机的定子线圈则用较大截面的绝缘扁铜线或扁铝线绕制后，再按一定规律嵌入定子铁芯线槽内。定子三相绕组的 6 个出线端都引至接线盒上，首端分

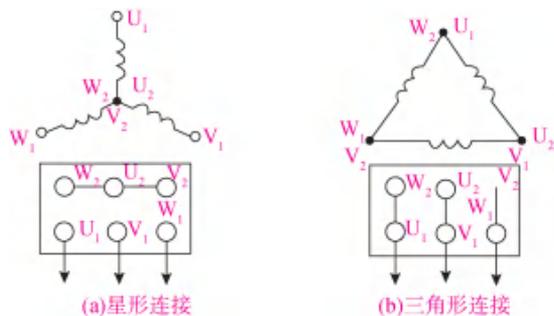


图 2-18 6 个出线端在接线盒里的排列

别标为 U_1 、 V_1 、 W_1 ，末端分别标为 U_2 、 V_2 、 W_2 。这 6 个出线端在接线盒里的排列如图 2-18 所示，可以接成星形或三角形。

2. 转子

异步电动机的转子分为绕线形与笼形两种，对应的电动机分别称为绕线形异步感应电动机和笼形异步感应电动机。

(1) 绕线形异步感应电动机转子

绕线形异步感应电动机转子是用 0.5 mm 的硅钢片叠压而成，套在转轴上，作用和定子铁芯相同，一方面作为电动机磁路的一部分，一方面用来安装转子绕组。绕线异步感应电动机与定子绕组一样，也有一个三相绕组，一般接成星形，三相引出线分别接到转轴上的集电环，通过电刷装置与外电路相连，这就有可能在转子电路中串联电阻或电动势，以改善电动机的运行性能，如图 2-19 所示。

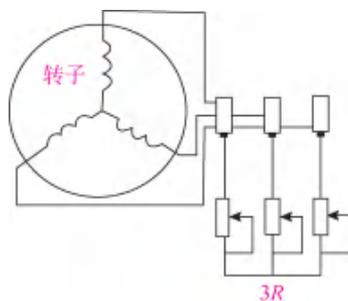


图 2-19 绕线形转子与外接变阻器调速

(2) 笼形异步感应电动机转子

在转子铁芯的每一个槽中插入一根铜条，在铜条两端各用一个铜环（称为端环）把导条连接起来，称为铜排转子，如图 2-20a 所示，也可用浇铸的方法，把转子导条和端环风扇叶片用铝液一次浇铸而成，称为铸铝转子，如图 2-20b 所示。一般 100 kW 以下的异步电动机都采用铸铝转子。

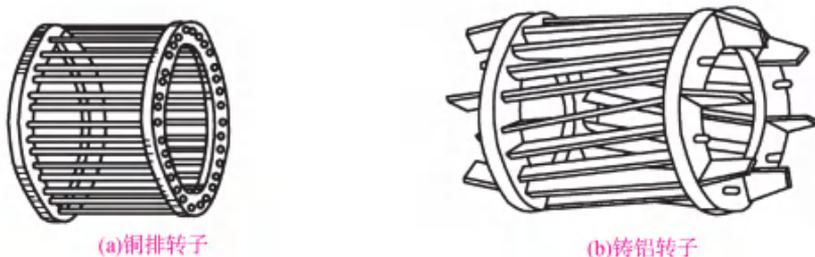


图 2-20 笼形转子

(3) 其他部分

其他部分包括端盖、风扇等。风扇是用来通风冷却电动机的。三相异步电动机的定子和

转子之间的气隙一般仅为 0.2~1.5 mm，气隙不能太大，气隙大时产生的气隙转矩小，会使电动机运行时的功率降低；也不能太小，气隙太小时会引起装配困难，如果内有异物或转轴有径向窜动时容易卡堵，运行不可靠，高次谐波磁场增强，引起附加损耗及起动性能变差。

二、异步电机工作原理

将定子三相绕组连成星形接法，三相绕组的首端 U_1 、 V_1 、 W_1 分别与三相交流电的线 A、B、C 相连接。为了讨论方便，选定交流电在正半周时，电流从绕组的首端流入，从未端流出；反之，在负半周时，电流流向相反。定子绕组在三相交流电不同相位时合成旋转磁场。当 $\omega t = 0^\circ$ 时，A 相电流为零；B 相电流为负，电流由 U_2 端流入，由 U_1 端流出；C 相电流为正，电流由 W_1 端流入，由 W_2 端流出，根据右手螺旋法则，可以判定出此时定子三相绕组电流产生的合成磁场方向。当 $\omega t = 90^\circ$ 时，A 相电流为正，电流由 U_1 端流入，由 U_2 端流出；B 相为负，电流由 U_2 端流入，由 U_1 端流出；C 相为负，电流由 W_2 端流入，由 W_1 端流出，这一时刻合成磁场已沿顺时针方向在空间转过了 90° 。同理，可分别得出 $\omega t = 180^\circ$ 、 $\omega t = 270^\circ$ 和 $\omega t = 360^\circ$ 时定子三相绕组电流产生的合成磁场方向，其中 $\omega t = 360^\circ$ 时与 $\omega t = 0^\circ$ 时的合成磁场方向相同。由此可见，电流变化一个周期，合成磁场在空间也旋转了一周。电流继续变化，磁场也不断地旋转。

从上述分析可知，三相电流通过定子绕组所产生的合成磁场是随电流的交变而在空间旋转的磁场。这种旋转磁场与蹄形磁铁在空间旋转所起的作用是相同的。

在交流异步电动机中，定子绕组流过依次相差 120° 相位角的三相交流电时，将产生旋转磁场。该旋转磁场在转子绕组中产生感应电动势，因为绕组是闭合回路，所以将产生感应电流，有电流的绕组导体在旋转磁场中产生电磁力，对转轴形成电磁转矩带动转轴转动。

图 2-21 所示为交流电动机一对磁极 ($p=1$) 在三相交流电的作用下，在定子上形成的旋转磁场。

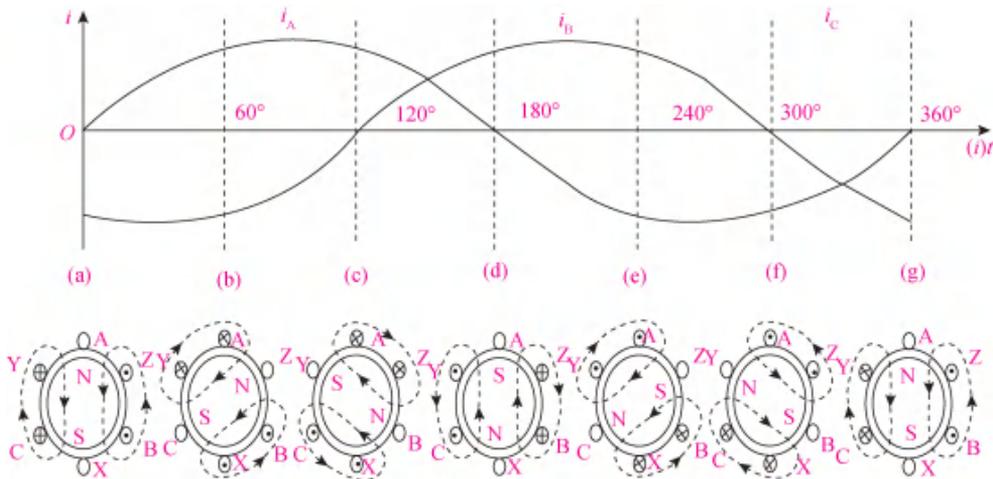


图 2-21 三相异步电动机旋转磁场的产生

三、异步电机的应用

这类电机通常应用在大功率、低速的车辆上，因调速范围大、矢量能通过变频进行控制，从而缩小与同步电机的差距。当电动机在 10 000 r/min 以上高速运转时，采用一级齿轮减速便可。因此，该电机常应用于如驱动系统功率需求较大的大型电动客车，也曾应用于北汽 EC180 的纯电动汽车。

四、异步电机的特点

交流异步电机的特点如下：

①效率较高。交流异步电机的效率高于直流电机，这一特点对于车载能量有限的电动汽车来说格外重要。

②结构简单、体积较小、质量轻。相比于直流电机，交流异步电机转子的结构简单，尺寸小、质量轻。

③工作可靠、使用寿命长。交流异步电机无电刷和换向器，不存在换向火花问题，因而工作可靠性较高，使用寿命也较长。

④免维护。不存在换向火花问题，无电刷磨损问题，因而在使用中无须维护。

交流异步电机的缺点有以下两点：

①调速性能相对较差。由于转子的转速与定子旋转磁场的旋转速度存在转差率，因而调速性能较差。

②配用的控制器成本较高。交流异步电机的控制相对较为复杂，配用的控制器成本较高。

五、异步电机的基本参数

北汽 EC180 动力部分搭载了最大功率为 30 kW，峰值扭矩 140 N·m 的高性能交流异步电机，并配备了容量为 20.3 kW·h 的高科技三元锂电池组，以及支持北汽新能源超级电驱技术。该车等速续航 200 km，综合工况为 156 km。特斯拉 Model S（2017 款）交流异步电机的参数见表 2-3。

表 2-3 特斯拉 Model S（2017 款）交流异步电机的参数

电动机最大功率/kW	386	386	386	386
电动机最大扭矩/（N·m）	525	660	660	967
前电动机最大功率/kW	193	193	193	193
前电动机最大扭矩/（N·m）	—	—	—	—
后电动机最大功率/kW	193	193	193	375
后电动机最大扭矩/（N·m）	—	—	—	—

任务4 同步电机

以荣威 E50 电驱系统中的永磁同步电机为例，永磁同步电机在起动时因为转子静止，定子磁场和转子磁场不能保持相对静止，所以不能产生定向的稳定转矩。从理论上说，永磁同步电动机无自起动转矩，需在转子上附加笼型绕组（导条）或磁滞环来产生起动转矩。为防止永磁体漏磁过大，笼形绕组不装在一个整体圆环上，而是装在极靴上，磁滞环则装于磁极外圈。当电动机的极数很多、转子惯量很小时，在定子磁场建立的第一个半波之内，由于转子的轻微抖动即可跃入同步。这类电动机无须附加装置，故称为自起动永磁同步电动机。永磁同步电动机的优点是具有较高的效率，能量回馈好，缺点是低速时转矩无法提升，有失步问题，因此应用很少。永磁同步电动机外形如图 2-22 所示。



图 2-22 永磁同步电机外形

一、永磁同步电机的结构

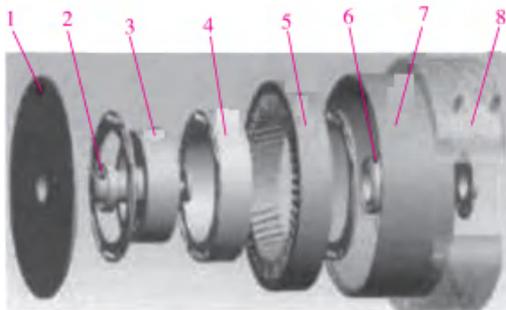
永磁同步电机主要由永磁同步电机、旋转变压器（转速传感器）、温度传感器等组成，如图 2-23 所示。永磁式同步电机组件是驱动电动汽车行驶的动力装置，是动力总成的核心部件，承担着电能转化和充电的双重功能。



图 2-23 永磁同步电机组件

1. 永磁同步电机

永磁同步电机是以磁场为媒介进行动能和电能相互转换的电磁装置，主要由螺盖、转子轴、转子支撑、转子、定子、轴承、水套内圈、机座组成，如图 2-24 所示。



1—螺盖；2—转子轴；3—转子支撑；4—转子；5—定子；6—轴承；7—水套内圈；8—机座；

图 2-24 永磁同步电机结构

荣威 E50 搭载了一款高功率密度、高效率的永磁同步电机，该电机采用内嵌式永磁体及高激磁能力转子，转子采用分段等效斜槽设计、螺旋水道冷却，拥有全球领先的绝缘体系及全方面密封防护设计：精校核动平衡；内置热/高压断电保护元件，如图 2-25 所示。

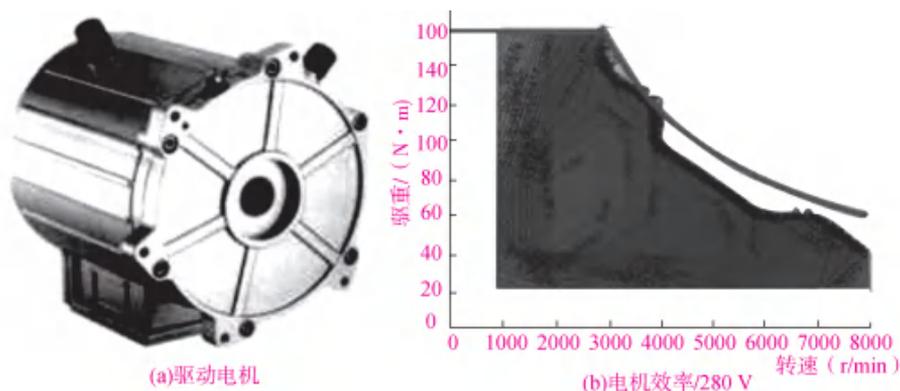


图 2-25 永磁同步电机及电机效率

电机是电动力系统的重要执行机构，是电能与机械能转化的部件，自身的运行状态等信息可以被采集到电机控制器上，依靠内置传感器来提供电机的工作信息。荣威 E50 永磁同步电机具有电动机和发电机双重功能。

永磁同步电动机的工作原理：在电动机的定子绕组中通入三相电流，会在电动机的定子绕组中形成旋转磁场。由于在转子上安装了永磁体，永磁体的磁极是固定的。根据磁极的同性相吸、异性相斥的原理，在定子中产生的旋转磁场会带动转子旋转，最终达到转子的转速与定子中产生的旋转磁极的转速相等。换句话说，就是 ECU 分别控制 U 相、V 相和 W 相绕组，或者相连绕组的通电或断电，便会在相应的绕组或者相邻绕组中产生磁场。

永磁转子在磁场的作用下同步旋转，如图 2-26 所示。

设转子的转速为 n ，旋转磁场的转速为 n_s ， f 是电源频率， p 是电机磁极对数，则有

$$n = n_s = 60 f / p。$$

当永磁磁阻同步电动机的磁极对数 p 一定时，旋转磁场的转速变化取决于三相正弦波电压频率 f 的变化。

ECU 通过控制 U、V、W 相绕组或者相邻绕组的通电或断电的频率来控制永磁转子的转速，从而控制通电或断电的顺序，来改变转子的转动方向。

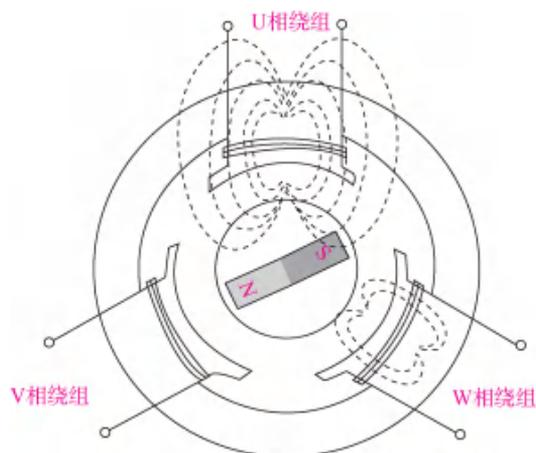


图 2-26 永磁同步电动机工作原理

在车辆减速时，永磁同步电机起到发动机的作用，车轮通过传动装置反向拖动永磁同步电机转子运转，旋转的永磁转子磁场分别切割 U 相、V 相、W 相的定子绕组且产生 U、V、W 三相交流电，如图 2-27 所示。

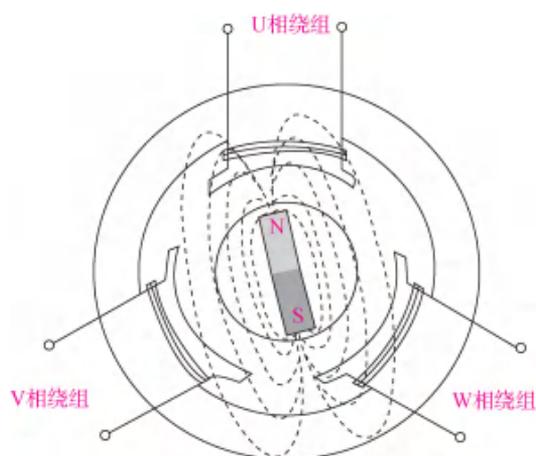


图 2-27 永磁同步电机—发电机工作原理

2. 旋转变压器

旋转变压器简称旋变（也可称为“转速传感器”），是一种输出电压随转子角度变化的信号元件，用来检测电机转子位置，控制器解码后可以获知电机转速。

作为信号电机，旋转变压器与电机类似，主要由定子和转子构成，如图 2-28 所示。定子和转子铁芯由导磁性能良好的材料制作而成，定子铁芯内层和转子铁芯外层上分布齿槽。



图 2-28 旋转变压器转子、定子

在定子槽中分别布置两个空间互为 90° 的结构完全相同的绕组，一个是定子励磁绕组，一个是定子补偿绕组。在转子槽中分别布置有两个空间互为 90° 的结构完全相同的绕组，一个是正弦输出绕组，一个是余弦输出绕组。定、转子间的气隙是均匀的，气隙磁场一般为两极。定子绕组引出线可直接引出或接到固定的接线板上，而转子绕组引出线则通过滑环和电刷引出。

荣威 E50 使用的是正余弦旋转变压器，S1、S3 为原边励磁绕组，S2、S4 为原边交轴补偿绕组，R1、R2 为副边正弦绕组，R2、R4 为副边余弦绕组，如图 2-29 所示。

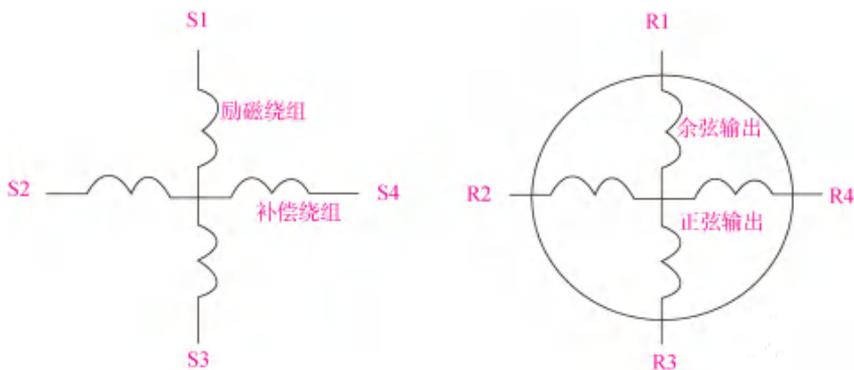


图 2-29 正余弦旋转变压器电气原理图

当励磁绕组以一定频率的交流电电压励磁时，输出绕组的电压幅值与转子转角成正弦、余弦函数关系，如图 2-30 所示。

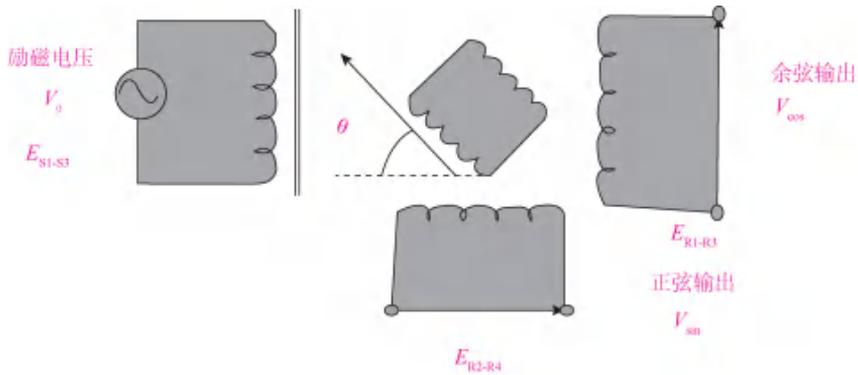


图 2-30 正余弦旋转变压器工作原理

3. 温度传感器

温度传感器用来检测电机的绕组温度，控制器可以保护电机避免过热。

当控制器监测到驱动电机温度传感器显示 $120^{\circ}\text{C} \leq \text{温度} < 140^{\circ}\text{C}$ 时，降功率运行；温度 $\geq 140^{\circ}\text{C}$ 时，降功率至 0，即停机。

当控制器监测到驱动电机温度传感器显示 $45^{\circ}\text{C} \leq \text{温度} < 50^{\circ}\text{C}$ 时，冷却风扇低速运转；温度 $\geq 50^{\circ}\text{C}$ 时，冷却风扇高速运转；温度降至 40°C 时，冷却风扇停止工作。

二、同步电机工作原理

在电机组件中，电力电子箱中的电机控制器将来自旋转变压器、温度传感器等的信号发给 ECU，ECU 再发指令给电机控制器。电机的输出动作主要是靠电力电子箱中的电机控制器给定命令执行，即电机控制器输出命令，如图 2-31 所示。

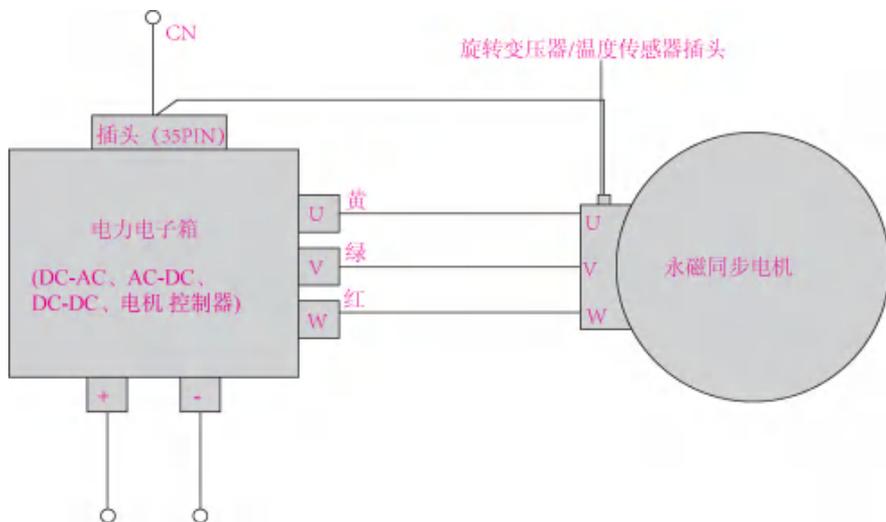


图 2-31 同步电机工作原理图

当汽车正常行驶时，高压电池包的电源通过电力电子箱中的 DC-AC 转换器将直流电逆变成交流电供永磁同步电机使用，驱动汽车行驶。当汽车处于制动或减速时，ECU 发送指令给电机控制器使电机处于发电的运行状态。再通过电力电子箱中的 AC-DC 变换器将交流电转变成直流电给高压电池包充电。

1. 电力电子箱功用

在保证车辆的安全、节能、环保、舒适和通信等功能的基础上，作为电动汽车中实现能量转换的控制机构，通过它可以实现交直流电的相互转变和高低压的切换，以及对包括电动机在内的车载电力系统的精细控制。

2. 电力电子箱结构组成

电力电子箱组件是电动汽车动力控制系统的主要部件（见图 2-32），集成了 DC-AC 变换器、DC-DC 变换器、AC-DC 变换器、电机控制器等元件。荣威 E50 有两套冷却系统：一个是电池冷却系统；另一个是电力电子箱与永磁同步电机共用的冷却系统。



图 2-32 电力电子箱在车上的位置

电力电子箱上 U、V、W 三个接口的橙色高压线分别与永磁同步电机 W 极、V 极、U 极连接，箱体上另外两根橙色高压线分别与高压配电单元正负极相连，如图 2-33 所示。



图 2-33 电力电子箱外部连接口