

校企合作新能源汽车专业精品教材  
互联网+活页式理念新形态教材

# 新能源

XINNENGYUAN  
QICHE GAILUN

# 汽车概论

主审 贾联合

主编 于贺宪

王宏力

苑江坤



 **综合在线平台，全方位教学支持**

**配套资源：**微课、课件、教案、题库等

**教师工具：**线上考试、布置作业、签到考勤等

**教学管理：**课程管理、学生管理、成绩管理等



上海交通大学出版社  
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY PRESS

## 内容提要

本书共七个项目，包括纯电动汽车概述、动力蓄电池系统、驱动电机系统、整车控制系统及汽车轻量化技术、充电及制动能量回收系统、混合动力电动汽车、燃料电池电动汽车。

本书突出应用性，注重对学生综合素质的提升和实用技能的培养，可作为中等职业院校新能源汽车相关专业的教材。

## 图书在版编目（C I P）数据

新能源汽车概论 / 于贺宪，王宏力，苑江坤主编

. -- 上海：上海交通大学出版社，2023.5

ISBN 978-7-313-27979-8

I . ①新… II . ①于… ②王… ③苑… III . ①新能源—汽车—中等专业学校—教材 IV . ①U469.7

中国版本图书馆CIP数据核字(2022)第222384号

## 新能源汽车概论

XINNENGYUAN QICHE GAILUN

主 编：于贺宪 王宏力 苑江坤

出版发行：上海交通大学出版社

邮政编码：200030

印 制：北京鑫益晖印刷有限公司

开 本：787mm×1092mm 1/16

字 数：192千字

版 次：2023年5月第1版

书 号：ISBN 978-7-313-27979-8

定 价：59.80元

地 址：上海市番禺路951号

电 话：021-64071208

经 销：全国新华书店

印 张：11.75

印 次：2023年5月第1次印刷

版权所有 侵权必究

告读者：如发现本书有印装质量问题请与发行部联系

联系电话：010-87300275



# 目 录

## Contents



<b>项目 1</b>	<b>纯电动汽车概述 .....</b>	<b>1</b>
✓任务 1.1	认识纯电动汽车 .....	2
任务引入 .....		2
任务工单——认识纯电动汽车 .....		3
1.1.1	动力蓄电池系统 .....	5
1.1.2	驱动电机系统 .....	7
1.1.3	整车控制系统 .....	7
1.1.4	辅助系统 .....	9
任务 1.2	分析纯电动汽车的特性 .....	12
任务引入 .....		12
任务工单——分析纯电动汽车的动力性和经济性 .....		13
1.2.1	纯电动汽车的技术条件 .....	15
1.2.2	纯电动汽车的动力性 .....	18
1.2.3	纯电动汽车的经济性 .....	20
综合测试 .....		22
学习成果评价 .....		23
<b>项目 2</b>	<b>动力蓄电池系统 .....</b>	<b>25</b>
任务 2.1	认识动力蓄电池 .....	26
任务引入 .....		26



任务工单——认识动力蓄电池 .....	27
2.1.1 锂离子电池的结构和分类 .....	29
2.1.2 锂离子电池的工作原理 .....	30
2.1.3 锂离子电池的特点 .....	31
2.1.4 锂离子电池的应用 .....	32
任务 2.2 分析 BMS 的特性 .....	34
任务引入 .....	34
任务工单——分析 BMS 的特性 .....	35
2.2.1 BMS 的基本功能 .....	37
2.2.2 BMS 的结构 .....	41
综合测试 .....	45
学习成果评价 .....	46

## 项目 3 驱动电机系统 ..... 47

✓任务 3.1 认识驱动电机 .....	48
任务引入 .....	48
任务工单——认识驱动电机 .....	49
3.1.1 三相异步电机 .....	51
3.1.2 永磁同步电机 .....	54
任务 3.2 认识电机控制系统 .....	58
任务引入 .....	58
任务工单——认识电机控制系统 .....	59
3.2.1 电机控制系统的基本功能 .....	61
3.2.2 电机控制系统的控制策略 .....	61
3.2.3 MCU 的基本结构 .....	63
3.2.4 多合一电驱动系统 .....	65
综合测试 .....	67
学习成果评价 .....	68





<b>项目 4</b>	<b>整车控制系统及汽车轻量化技术</b>	<b>69</b>
任务 4.1	认识整车控制系统	70
任务引入		70
任务工单——认识整车控制系统		71
4.1.1	整车控制策略	73
4.1.2	整车控制系统的基本结构	74
4.1.3	整车控制系统的基本功能	75
任务 4.2	分析汽车轻量化技术	82
任务引入		82
任务工单——分析汽车轻量化技术的应用情况		83
4.2.1	汽车轻量化技术的发展背景	85
4.2.2	汽车轻量化的实现途径	86
4.2.3	汽车轻量化技术的发展前景	88
综合测试		89
学习成果评价		90
<b>项目 5</b>	<b>充电及制动能量回收系统</b>	<b>91</b>
任务 5.1	认识充电系统	92
任务引入		92
任务工单——认识充电系统		93
5.1.1	交流充电系统	95
5.1.2	直流充电系统	100
5.1.3	高压安全防护及充电保护技术	104
任务 5.2	认识制动能量回收系统	106
任务引入		106
任务工单——认识制动能量回收系统		107
5.2.1	制动能量回收方法	109
5.2.2	制动能量回收系统的结构	110
5.2.3	制动能量回收的实现过程	111



5.2.4 制动能量回收的控制策略 .....	111
综合测试 .....	115
学习成果评价 .....	116
<b>项目6 混合动力电动汽车 .....</b>	<b>117</b>
任务 6.1 认识混合动力电动汽车 .....	118
任务引入 .....	118
任务工单——认识混合动力电动汽车 .....	119
6.1.1 混合动力电动汽车的组成 .....	121
6.1.2 混合动力电动汽车的分类 .....	122
6.1.3 混合动力电动汽车的特点 .....	125
任务 6.2 分析混合动力电动汽车的工作原理 .....	126
任务引入 .....	126
任务工单——分析混合动力电动汽车的工作原理 .....	127
6.2.1 串联式混合动力电动汽车 .....	129
6.2.2 并联式混合动力电动汽车 .....	131
6.2.3 混联式混合动力电动汽车 .....	134
6.2.4 混合动力电动汽车的关键技术 .....	137
综合测试 .....	143
学习成果评价 .....	144
<b>项目7 燃料电池电动汽车 .....</b>	<b>145</b>
任务 7.1 认识燃料电池 .....	146
任务引入 .....	146
任务工单——认识燃料电池 .....	147
7.1.1 燃料电池的性能指标 .....	149
7.1.2 燃料电池的结构和工作原理 .....	149
7.1.3 燃料电池的分类 .....	150
7.1.4 燃料电池的特点 .....	156



任务 7.2 认识燃料电池电动汽车 .....	158
任务引入 .....	158
任务工单——认识燃料电池电动汽车 .....	159
7.2.1 燃料电池电动汽车的结构 .....	161
7.2.2 燃料电池电动汽车的工作原理 .....	163
7.2.3 燃料电池电动汽车的分类 .....	163
7.2.4 燃料电池电动汽车的特点 .....	166
7.2.5 燃料电池电动汽车的关键技术 .....	167
综合测试 .....	171
学习成果评价 .....	172
参考文献 .....	173



## 任务3.1 认识驱动电机

## 任务引入

驱动电机有直流电机、三相异步电机、永磁同步电机、开关磁阻电机等类型。其中，直流电机成本低、易控制、调速性能好，但结构复杂、转速低、体积大、维护频繁，目前在纯电动汽车中已很少应用。三相异步电机结构简单、坚固耐用、成本低、转矩脉动低、噪声低、极限转速高、运行可靠，但功率密度低、效率低、调速性差，目前在部分车型中仍有小批量应用。永磁同步电机转矩密度高、效率高、功率密度高、调速范围宽、体积小，目前已大批量（市场份额达99%）应用。

本任务要求学生从三相异步电机、永磁同步电机的结构和工作原理等方面认识驱动电机，知识与技能要求如表3-1所示。

表3-1 知识与技能要求

任务内容	认识驱动电机	学习程度		
		识记	理解	应用
学习任务	三相异步电机的结构	●		
	三相异步电机的工作原理和性能特点	●		
	永磁同步电机的结构	●		
	永磁同步电机的性能特点和驱动特性	●		
实训任务	认识驱动电机的结构			●
	分析驱动电机的工作原理及性能特点			●
自我勉励				





## 任务工单——认识驱动电机

### 1. 任务描述

学生每3~5人为一组，各组根据实际情况，在实训车辆或整车实训平台上认识驱动电机的结构，分析驱动电机的工作原理及性能特点。

### 2. 任务准备

#### 1) 知识准备

驱动电机是将电能转换成机械能，为车辆行驶提供驱动力的电气装置，该装置也可具备将机械能转换成电能的功能。

纯电动汽车在不同的历史时期采用了不同的驱动电机，最早是采用了控制性能好、成本较低的直流电机。随着电子技术、机械制造技术和自动控制技术的发展，三相异步电机、永磁同步电机显示出比直流电机更加优越的性能，这些驱动电机就逐步取代了直流电机。

请查阅资料，熟悉三相异步电机和永磁同步电机的结构和工作原理，记录实训车辆所用驱动电机的类型和相关技术参数。

#### 2) 工具和器材准备

进行工作规划，将实训所需的工具和器材填入表3-2中。

表 3-2 工具和器材清单

序号	名称	型号与规格	单位	数量	备注



### 3. 制订方案

- (1) 小组成员针对工作规划展开讨论，制订实施方案。
- (2) 指导教师对各小组的实施方案给出评价。
- (3) 各小组成员根据指导教师的评价对实施方案进行调整。
- (4) 调整合格后的实施方案即最终实施方案。

### 4. 任务实施

按照最终实施方案，系统地认识驱动电机，将实施内容及完成情况记录在表3-3中。

表 3-3 实施内容及完成情况

班级		组号		日期	
姓名		学号		指导教师	
实施内容					完成情况
任务总结					





### 3.1.1 三相异步电机

交流电机可分为同步电机和异步电机两大类。异步电机又称感应电机，是通过气隙旋转磁场与转子绕组感应电流相互作用来产生电磁转矩，从而将电能转换为机械能的一种交流电机。

异步电机的种类很多，常按转子结构和定子绕组相数进行分类。按转子结构的不同，异步电机可分为笼型异步电机和绕线型异步电机；按定子绕组相数的不同，异步电机可分为单相异步电机、三相异步电机和多相异步电机。其中，笼型三相异步电机具有结构简单、制造成本低、结构坚固、维修方便等特点，曾广泛用于纯电动汽车中。

#### 1. 三相异步电机的结构

虽然三相异步电机的种类很多，但结构基本相同，都是由定子和转子两大部分组成，定子和转子之间的气隙。如图3-1所示为三相异步电机的基本结构。

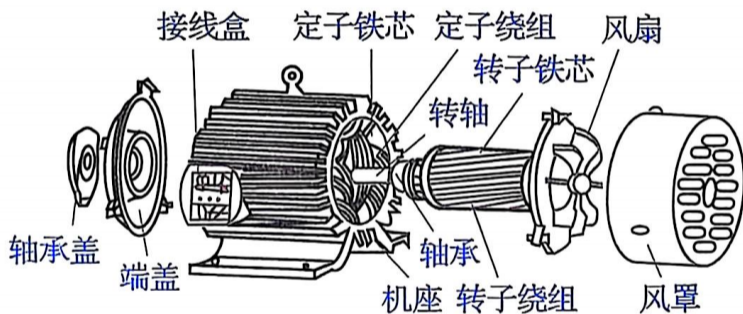


图3-1 三相异步电机的基本结构

##### 1) 定子

定子部分包含机座、定子铁芯、定子绕组等，主要用来产生旋转磁场。其中，机座的主要作用是固定定子铁芯和定子绕组。定子铁芯一般由0.35~0.5 mm厚的硅钢片叠压而成，装在机座内，是三相异步电机的磁路部分。定子铁芯的内圆上冲有均匀分布的凹槽，用于嵌放定子绕组，如图3-2所示。



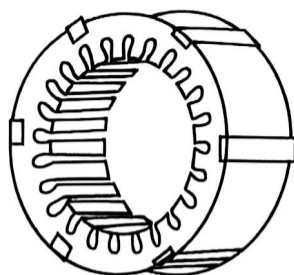


图3-2 三相异步电机的定子铁芯

定子绕组是三相异步电机的电路部分。定子绕组嵌放在定子铁芯的凹槽内，为其通入三相对称电流，就可产生旋转磁场。定子绕组的线圈由绝缘铜导线或者绝缘铝导线绕制而成，中小型三相异步电机的定子绕组一般采用圆漆包线，大中型三相异步电机的定子绕组则采用横截面积较大的扁铜线。

三相异步电机的三相定子绕组是相互独立的，各相绕组之间的空间电角度为 $120^\circ$ ，其结构完全对称，一般有六个出线端，即 $U_1$ 、 $U_2$ 、 $V_1$ 、 $V_2$ 、 $W_1$ 、 $W_2$ ，出线端均接在接线盒内。如图3-3所示，三相异步电机的定子绕组可以接成星形(Y)或三角形( $\Delta$ )。

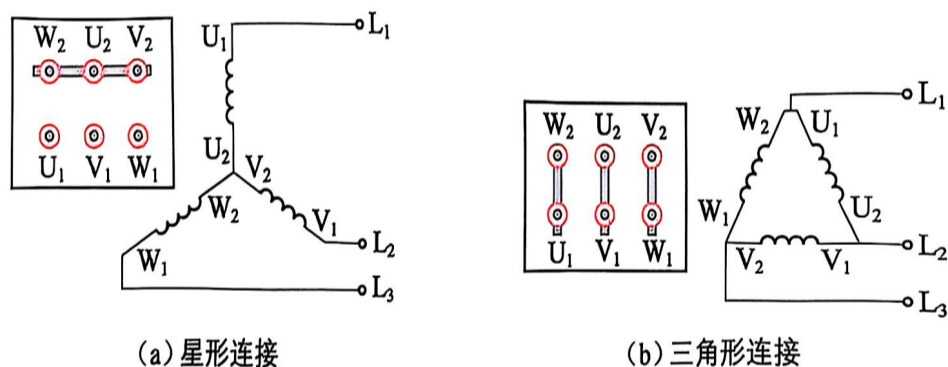


图3-3 三相异步电机定子绕组的连接方式

## 2) 转子

转子主要由转子铁芯和转子绕组构成，是电机的旋转部件。

转子铁芯一般由 $0.35\sim 0.5\text{ mm}$ 厚的硅钢片叠压而成，是三相异步电机的磁路部分，其外圆上也均匀分布着槽孔，用来安放转子绕组。一般小型异步电机的转子铁芯直接套压在转轴上，大、中型异步电机的转子铁芯先套压在转子支架上，然后再套装在转轴上。

转子绕组可以切割定子旋转磁场，产生感应电压及感应电流，并形成电







磁转矩，从而使电机旋转。根据绕组形式的不同，转子绕组可分为笼型转子绕组和绕线型转子绕组两种，笼型三相异步电机和绕线型三相异步电机的命名便由此而来。

## 2. 三相异步电机的工作原理

如图3-4所示为三相异步电机的工作原理。三相异步电机的三相定子绕组通入三相交流电后将产生一个旋转磁场，该旋转磁场切割转子绕组，从而在转子绕组中产生感应电压，感应电压的方向由右手定则来确定。由于转子绕组是闭合通路，因此转子中有感应电流产生，感应电流的方向与感应电压的方向相同，而载流的转子绕组在定子旋转磁场的作用下产生电磁力，电磁力的方向可用左手定则来确定。电磁力使转子绕组产生电磁转矩，驱动转子旋转，并且转子旋转的方向与旋转磁场的方向相同。

扫一扫



三相异步电机的工作原理

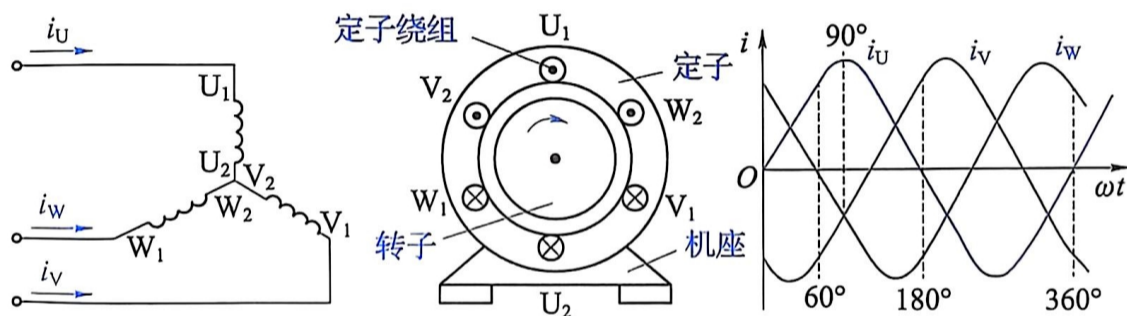


图3-4 三相异步电机的工作原理

三相异步电机转子的转速不等于同步转速（旋转磁场的转速），这是三相异步电机的主要特点。如果转轴上带有机机械负载，则负载将被拖动旋转。当负载发生变化时，转子的转速也随之发生变化，使转子绕组中的感应电压、感应电流和电磁转矩发生相应变化，以适应负载的需要。因此，三相异步电机转子的转速是随负载的变化而变化的。

三相异步电机转子的转速与同步转速之间存在转速差，它的大小决定着转子的感应电压及其频率的大小，直接影响三相异步电机的工作状态。通常将转速差与同步转速的比值用转差率 $s$ 表示，即





$$s = \frac{n_1 - n}{n_1}$$

式中:

$n_1$ ——同步转速;

$n$ ——转子转速。

转差率是三相异步电机运行时的一个重要物理量。三相异步电机转差率的取值范围为  $0 < s < 1$ , 在额定运行条件下一般为  $0.01 \sim 0.06$ 。

### 3. 纯电动汽车用三相异步电机的性能特点

纯电动汽车用三相异步电机主要具有以下特点。

- (1) 小型轻量化。
- (2) 易实现转速超过 1 000 r/min 的高速旋转。
- (3) 高速低转矩时运行效率高。
- (4) 低速时有高转矩, 并有宽泛的速度控制范围。
- (5) 可靠性高(结构坚固)。
- (6) 制造成本低。
- (7) 控制装置相对简单。

三相异步电机成本低且可靠性高, 即使纯电动汽车的逆变器产生短路, 三相异步电机的定子绕组也不会产生反向感应电压, 不会使车辆出现急速停车的现象。因此, 三相异步电机广泛应用于大型高速纯电动汽车中。三相异步电机可以采用空气冷却或液体冷却方式, 冷却自由度高, 对环境的适应性好, 并且能够实现制动能量回收。

#### 3.1.2 永磁同步电机

在各类驱动电机中, 永磁同步电机具有高效、高控制精度、高转矩密度、良好的转矩平稳性、较低的振动噪声等特点。通过合理设计永磁磁路结构, 可使永磁同步电机获得较高的弱磁性能, 具有较高的应用价值。因此, 永磁同步电机得到了各大汽车企业的高度重视。

永磁同步电机可分为单相永磁同步电机、三相永磁同步电机等类型, 目前国内纯电动汽车市场普遍采用三相永磁同步电机。





### 1. 永磁同步电机的结构

下面以三相永磁同步电机为例进行介绍。三相永磁同步电机具有三相定子绕组和带有永磁体的转子，可在磁路结构和绕组分布上保证感应电压的波形为正弦波。为了对磁场进行定向控制，输入到定子绕组的电压和电流也应为正弦波。根据永磁体在转子上位置的不同，永磁同步电机可分为内置式永磁同步电机和外置式永磁同步电机。

#### 1) 内置式永磁同步电机

按永磁体磁化方向的不同，内置式永磁同步电机的转子结构可分为径向式、切向式和混合式三种类型，如图3-5所示。由于内置式永磁同步电机在转子内部嵌入永磁体，因此转子具有凸极特性。



图3-5 内置式永磁同步电机的转子结构

#### 2) 外置式永磁同步电机

根据永磁体在转子铁芯上的布置形式，外置式永磁同步电机可分为面贴式和嵌入式两种类型，其转子结构如图3-6所示。

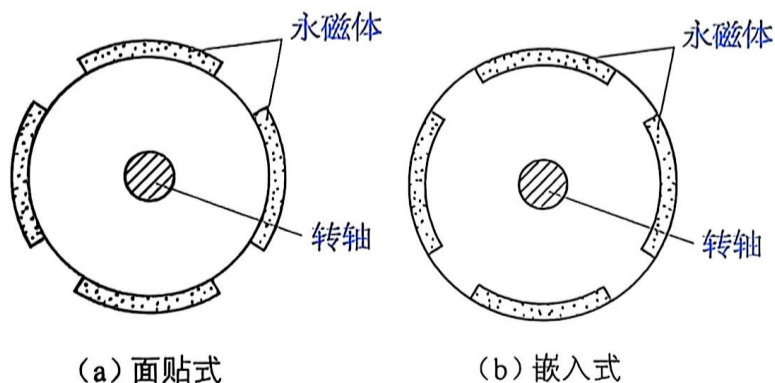


图3-6 外置式永磁同步电机的转子结构







面贴式永磁同步电机转子上的永磁体一般为瓦片形,通过合成胶黏附在转子铁芯表面。在功率稍大的面贴式永磁同步电机中,可在永磁体与气隙之间通过无纬玻璃丝带对永磁体进行捆绑保护,以防止永磁体因转子高速转动而脱落。

嵌入式永磁同步电机的永磁体嵌入转子铁芯中,两个永磁体之间的铁芯成为铁磁介质突出的部分。

由于永磁体的相对磁导率接近真空磁导率( $\mu=1.0$ ),且在面贴式永磁同步电机中,等效气隙基本均匀,因此面贴式永磁同步电机的交、直轴电感基本相同,是一种隐极式同步电机。嵌入式永磁同步电机在交轴方向上的气隙比直轴的小,交轴的电感也比直轴的大,是一种凸极式永磁同步电机。相对而言,由于永磁体的存在,面贴式永磁同步电机定子和转子之间的有效气隙较大,因此定子绕组的电感较小。

### 知识链接

外置式永磁同步电机比内置式永磁同步电机结构简单,且具有制造容易、成本低廉的优点,因此在工业上应用较多。面贴式永磁同步电机转子结构最为简单,与嵌入式永磁同步电机相比,它提高了转子表面的平均磁通密度,可以得到更大的电磁转矩。

## 2. 永磁同步电机的性能特点

永磁同步电机的功率因数大、效率高、功率密度大,是一种比较理想的驱动电机。目前,永磁同步电机的相关理论还不如异步电机完善,还有许多问题需要进一步研究,这主要体现在以下两个方面。

(1) 低速效率。永磁同步电机低速运行时的效率较低,如何通过设计来减小低速运行时的定子电流,提升效率,是目前研究的主要方向之一。

(2) 弱磁能力。永磁同步电机的转子采用永磁体励磁,随着转子转速的升高,定子绕组的输入电压会逐渐达到逆变器所能输出的电压极限,这时要想继续升高转速,只有靠调节定子电流的大小和相位、增加直轴去磁电流来等效弱磁控制。永磁同步电机的弱磁能力主要与直轴电抗和感应电压有关,但永磁体







串联在直轴磁路中，因此直轴磁路的磁阻一般较大，弱磁能力较小，且当感应电压较大时，永磁同步电机的最高转速也会降低。

由于永磁同步电机的转子上无绕组、无铜耗、磁通量小，在低负荷时铁损很小，因此，永磁同步电机具有较高的“功率质量比”，比其他类型的驱动电机有更大的输出转矩。此外，其转子的电磁时间常数较小，因此，永磁同步电机的动态特性好，极限转速和制动性能等都优于其他类型的驱动电机。永磁同步电机的定子绕组是主要的发热源，其冷却系统相对比较简单。

在纯电动汽车上，一般要求驱动电机的输出功率保持恒定，即驱动电机输出功率不随转速的增加而变化，这就要求在驱动电机转速增加时电压保持恒定。永磁同步电机磁场的磁通量调节比较困难，因此需要采用磁场控制技术来实现。这使得永磁同步电机的控制系统变得更复杂，而且成本更高。

### 3. 永磁同步电机的驱动特性

永磁同步电机的驱动特性如图3-7所示。

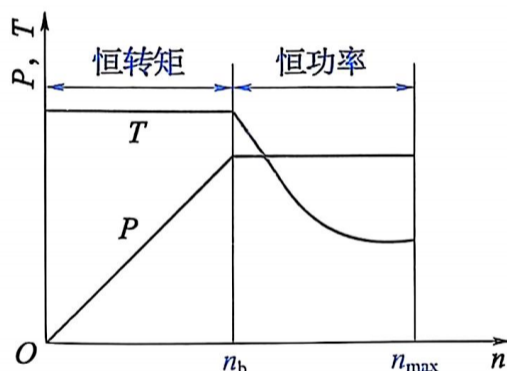


图3-7 永磁同步电机的驱动特性

由于永磁同步电机的磁场可产生恒定的磁通量，因此永磁同步电机的转矩 $T$ 与电流成正比。从图3-7中可以看出，永磁同步电机的恒转矩区比较长，一直延伸到电机最高转速的50%处左右，这对提高车辆的低速动力性能有很大帮助。永磁同步电机的最高转速较高，能达到10 000 r/min。永磁同步电机功率密度高、调速性能好，在宽转速范围内运行效率高（90%~95%），是理想的纯电动汽车驱动电机类型。随着稀土永磁材料的开发和应用，永磁同步电机的性能较以前有了很大的提升，是目前最有发展前景的驱动电机之一。



巍巍交大 百年书香  
www.jiaodapress.com.cn  
bookinfo@sjtu.edu.cn



责任编辑：朱一普  
封面设计：王雁南



如果您对本书有任何问题、建议或意见  
请发至邮箱 [book@wenjingketang.com](mailto:book@wenjingketang.com)

# 新能源 XINNENGYUAN 汽车概论 QICHE GAILUN



辅助学习及配套资源下载

[www.wenjingketang.com](http://www.wenjingketang.com)

服务热线电话：4001179835



扫描二维码  
关注上海交通大学出版社  
官方微信

ISBN 978-7-313-27979-8



9 787313 279798 >

定价：59.80 元