

高等职业教育“十一五”规划教材  
21世纪高职高专机电类规划教材



# 电机与电气控制

倪涛 主编



华中科技大学出版社

<http://www.hustp.com>

高等职业教育“十一五”规划教材  
21世纪高职高专机电类规划教材



# 电机与电气控制

倪 涛 主 编

周小薇 杨 芳 副主编



华中科技大学出版社  
中国·武汉

图书在版编目(CIP)数据

电机与电气控制/倪 涛 主编. —武汉:华中科技大学出版社,2008 年 9 月  
ISBN 978-7-5609-4682-5

I. 电… II. 倪… III. ①电机学 ②电气控制 IV. TM3 TM921.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 096509 号

电机与电气控制

倪 涛 主编

策划编辑:张 毅

责任编辑:张 毅

责任校对:朱 霞

封面设计:刘 卉

责任监印:周治超

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)87557437

录 排:武汉佳年华科技有限公司

印 刷:仙桃市新华印务有限责任公司

开本:787 mm×1092 mm 1/16

印张:10.25 插页:2

字数:232 000

版次:2008 年 9 月第 1 版

印次:2008 年 9 月第 1 次印刷

定价:19.00 元

ISBN 978-7-5609-4682-5/TM·102

(本书若有印装质量问题,请向出版社发行部调换)

# 高等职业教育“十一五”规划教材 21世纪高职高专机电类规划教材 编审委员会

顾 问 陈吉红（教授，华中科技大学博导）

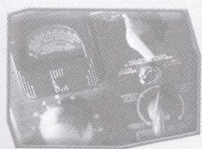
---

委 员 （以姓氏笔画为序）

丁原廉 王 瑞 尹玉珍 刘合群 牟应华 许小明  
李传军 李正峰 李振斌 余小燕 苏 明 吴水萍  
陆全龙 陈新耘 张晓娟 张 健 张安全 邱文萍  
杨继宏 杨晓光 林承全 明志新 周卫东 娄 琳  
洪 霞 贺 剑 郭建农 徐国洪 游英杰 崔梁萍  
盛国林 熊裕文 熊光荣 熊建云 管 剑

---

秘 书 张 毅



# 内 容 简 介

---

本书以 3 个模块将电机、电气控制、PLC 三部分内容有机结合,主要包括:变压器,直流电机及拖动,三相异步电动机及电力拖动,控制电机,电气控制系统中常用的低压电器,电气控制系统中基本的电气控制线路,电动机基本电气控制线路,PLC 的组成和原理,欧姆龙 C 系列 P 型机的内部资源,欧姆龙 C 系列 P 型机的指令系统,PLC 的简单应用举例等内容。

本书可作为高职高专电气自动化、机电应用、数控技术等专业的教材,也可供电气工程技术人员及初学者参考。



高等职业教育的根本任务是培养高技能人才,学生应重点掌握从事本专业领域实际工作所需的基本知识和职业技能。为适应高等职业教育的需要,根据高等职业教育的特点,编者参考大量国内外文献资料,并结合多年积累的教学与科研经验,特别是理论实践一体化教学经验,从培养学生的职业能力的角度出发,编写了本书。

与同类书籍相比较,本书具有以下特点:

(1) 以培养学生的职业能力为主线,适应理论实践一体化教学的需要,符合高职高专课程建设与改革的要求;

(2) 采用模块化、单元式结构,基本知识与实训项目合一的体例,以任务为载体,将基本理论与技能融入到各项工作任务中,学生在工作过程中掌握必要的理论知识和应用技能,即学即用,为实现“零距离”就业奠定基础;

(3) 本书采用提出任务→分析任务→学习相关知识→完成任务→归纳总结与技能拓展这样一种学习过程,从实践→理论→再实践循序渐进,逐步提高,符合认知规律。

建议采用任务驱动教学法。即以本书提供的实际任务为目标,整个教学过程围绕完成相关任务展开,以学生为主体,突出知识的应用性。

由于时间仓促和水平有限,书中难免存在错误与不妥之处,恳请广大读者批评指正。

编者

2008年3月



## 模块1 电 机

|                         |      |
|-------------------------|------|
| 项目1 认知电机 .....          | (3)  |
| 项目2 直流电机 .....          | (5)  |
| 工作任务1 直流电机的拆装 .....     | (5)  |
| 项目3 变压器 .....           | (18) |
| 工作任务1 变压器的认知 .....      | (18) |
| 工作任务2 三相变压器的认知 .....    | (28) |
| 工作任务3 其他用途的变压器的认知 ..... | (31) |
| 项目4 三相异步电动机 .....       | (35) |
| 工作任务1 三相异步电动机的拆装 .....  | (35) |
| 项目5 控制电机 .....          | (45) |
| 工作任务1 对常用控制电机的认知 .....  | (45) |

## 模块2 电气控制技术

|                                  |      |
|----------------------------------|------|
| 项目1 认知低压电器 .....                 | (53) |
| 工作任务1 刀开关的应用 .....               | (57) |
| 工作任务2 接触器的应用 .....               | (60) |
| 工作任务3 熔断器的应用 .....               | (64) |
| 工作任务4 继电器的应用 .....               | (66) |
| 工作任务5 主令电器的应用 .....              | (74) |
| 工作任务6 低压断路器的应用 .....             | (77) |
| 项目2 电气控制系统中基本的电气控制线路 .....       | (79) |
| 工作任务1 电气控制系统图的绘制规则和常用符号的认知 ..... | (79) |
| 工作任务2 点动、长动控制 .....              | (82) |
| 工作任务3 正转、反转控制 .....              | (84) |
| 工作任务4 顺序控制、时间控制 .....            | (86) |
| 工作任务5 行程控制、多点控制 .....            | (87) |

|                                 |              |
|---------------------------------|--------------|
| <b>项目 3 电动机基本电气控制线路 .....</b>   | <b>(90)</b>  |
| 工作任务 1 三相异步电动机启动控制线路 .....      | (90)         |
| 工作任务 2 三相异步电动机制动控制线路 .....      | (98)         |
| 工作任务 3 三相异步电动机调速控制线路 .....      | (103)        |
| <b>项目 4 典型机床的电气控制线路 .....</b>   | <b>(109)</b> |
| 工作任务 1 Z3040 型摇臂钻床电气控制电路 .....  | (109)        |
| 工作任务 2 X62W 型卧式万能铣床电气控制电路 ..... | (113)        |

### 模块 3 PLC 技术

|                                    |              |
|------------------------------------|--------------|
| <b>项目 1 PLC 的认知 .....</b>          | <b>(123)</b> |
| 工作任务 1 PLC 的拆装 .....               | (126)        |
| 工作任务 2 欧姆龙 C 系列 P 型机的内部资源的认知 ..... | (129)        |
| 工作任务 3 欧姆龙 C 系列 P 型机的指令系统 .....    | (134)        |
| <b>项目 2 PLC 的应用举例 .....</b>        | <b>(142)</b> |
| 工作任务 1 基本电气控制线路的 PLC 应用 .....      | (143)        |
| 工作任务 2 抢答显示控制线路 .....              | (146)        |
| 工作任务 3 交通灯控制 .....                 | (148)        |
| 工作任务 4 手持编程器的使用 .....              | (153)        |
| <b>参考文献 .....</b>                  | <b>(158)</b> |

# 模块 1 电 机



# 项目 / 认知电机

## 一、电机的作用及认识

电能是国民经济中应用最广泛的能源,而电能的生产、传输、分配以及使用都必须通过电机来实现。在电力、机械制造、冶金、石油、化工、纺织、建筑、交通运输、农业以及医疗等领域,电机都是不可缺少的工作或动力机械,随着科技的高速发展和自动化程度的提高,各种控制电机作为执行、检测、放大和运算元件应用于自动控制系统中。因此,电机是应用最广的机械设备,也是主要的用电设备。

## 二、电机的类型

### 1. 按运行状况分类

按运行状况分类,电机的类型如图 1.1.1 所示。

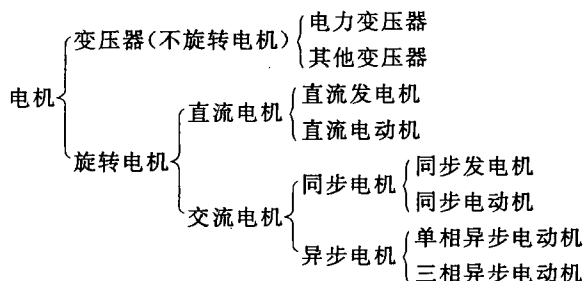


图 1.1.1 电机的类型分类一

### 2. 按功能作用分类

按功能作用分类,电机的类型如图 1.1.2 所示。

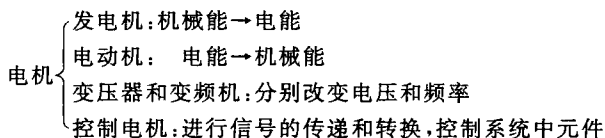


图 1.1.2 电机的类型分类二

## 三、电机中使用的材料

电机是运用电磁感应原理进行工作的设备,因此,电机包括磁路和电路两部分系统。电机中常使用以下材料。

- ① 电机的磁路采用导磁材料,为了增大导磁系数,常用硅钢片和铸钢;



② 电机的电路采用导电材料,为了减小电阻损耗,必须选用电阻率小、导电性能好的材料,常用铜线和铝线;

③ 绝缘材料要求介电强度高、耐热性能好;

④ 结构材料用于支撑各零部件,使电机成为一个整体,因此,要求其机械强度高,常用铸钢、钢板,小型的电机也采用铝合金或工程塑料。

#### 四、电机的发展

电机发明至今,已有近 200 年的历史。电机学已发展成为一个比较成熟的学科,电机工业已成为近代社会的支柱产业之一。电机工业的发展与国民经济和科学技术发展密切相关,随着生产力的发展,蒸汽动力在使用和管理上的不便,迫使人们去寻找新的能源和动力,此时电磁学得到了兴起和发展。

1820 年,奥斯特发现了电流的磁效应,从而揭开了研究电磁本质的序幕。

1821 年,法拉第成功进行了电流在磁场中受到电磁力的实验以后,出现了电动机的雏形。

1831 年,法拉第提出了电磁感应定律,同年 10 月他发明了世界上第一台发电机。

1889 年,俄国科学家设计制造了三相变压器和三相异步电动机。

1891 年,三相异步电动机开始使用,把社会生产力迅速推进到电气时代,在社会进步史上称为第二次技术革命。

1940 年,发达国家生产的同步电机单机容量达 20 万千瓦,目前大多为 120 万千瓦。

19 世纪后期正是世界电机工业迅猛发展时期,而我国却沦为半封建半殖民地国家,电机工业受到了严重的束缚。解放后,我国电机工业发展迅速。

1953 年,我国进行了中小型电动机统一设计,从而有了自己的产品。

1957 年,我国电机年产量达 145.5 万千瓦台,是 1949 年的 23 倍,自给率达 75% 以上。

1958 年,我国制造了世界上第一台 1.2 万千瓦双水内冷汽轮发电机,此举震动了国际电工界。

1964 年,我国制成了 12.5 万千瓦双水内冷汽轮发电机。

1972 年,我国制成了 30 万千瓦双水内冷汽轮发电机和水轮发电机。

1987 年,我国制成了 60 万千瓦定子水内冷、转子氢内冷大型汽轮发电机。

目前,我国正在研制 100 万千瓦水轮发电机。

我国从 20 世纪 50 年代开始研制电机,历经了产品仿制、自行设计和研制等阶段,逐步形成了自己的生产体系,现有 1200 多个品种。目前已大批量生产 Y2 系列,其设计水平达到国际同期先进水平。

#### 五、电力拖动系统

电力拖动是指用电动机作为原动机来拖动生产机械。电力拖动系统的组成如图 1.1.3 所示。

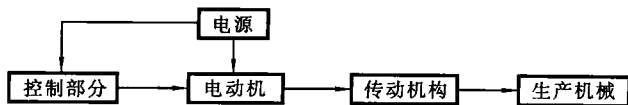


图 1.1.3 电力拖动系统的组成

## 项目2 直流电机

直流电机是实现直流电能与机械能相互转换的一种旋转电机,它包括直流发电机和直流电动机。将机械能转化为电能的是直流发电机,将电能转化为机械能的是直流电动机。与交流电机相比,直流电机结构复杂、成本高、维护麻烦,但直流电动机具有良好的调速性能、较大的启动转矩和过载能力强等优点,广泛应用于轧钢机、电力机车、大型机床拖动系统中。

### 工作任务1 直流电机的拆装

教学目的:

- ① 掌握直流电机的结构及各部分的材料和作用;
- ② 掌握直流电机的拆装顺序及注意事项;
- ③ 掌握直流电机的分类、铭牌意义;
- ④ 掌握直流电机的工作原理;
- ⑤ 掌握直流电机的机械特性;
- ⑥ 了解直流电机的平衡方程式;
- ⑦ 了解直流电机的电枢反应和换向。

### 【工作过程】

#### 一、直流电机的结构解析

直流电机的结构如图 1.2.1、图 1.2.2 所示。

##### 1. 定子

定子的作用是产生磁场和作为电机的机械支撑。

##### (1) 主磁极

如图 1.2.3 所示,主磁极铁心采用 0.5~1.5 mm 厚的低碳钢板冲片叠压而成。靠近气隙的较宽部分称为极靴,它既可以使气隙分布均匀,又便于固定励磁绕组;套励磁绕组的那部分铁心称为极身。励磁绕组采用绝缘铜线绕制而成,再经绝缘处理,然后套装在主磁极铁

心上,最后将整个主磁极用螺钉均匀地固定在机座的内圆上。励磁绕组一般串联起来,通过直流励磁电流  $I_f$ ,以保证主磁极 N、S 交替分布。主磁极的作用是产生主磁通,这个磁场称为主磁场。

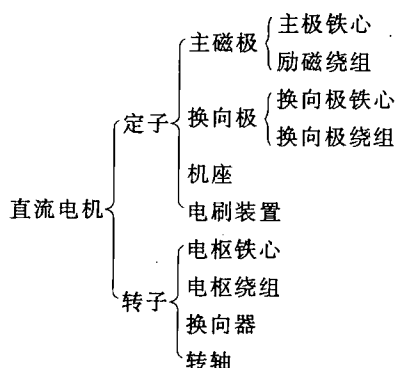


图 1.2.1 直流电机的结构图一

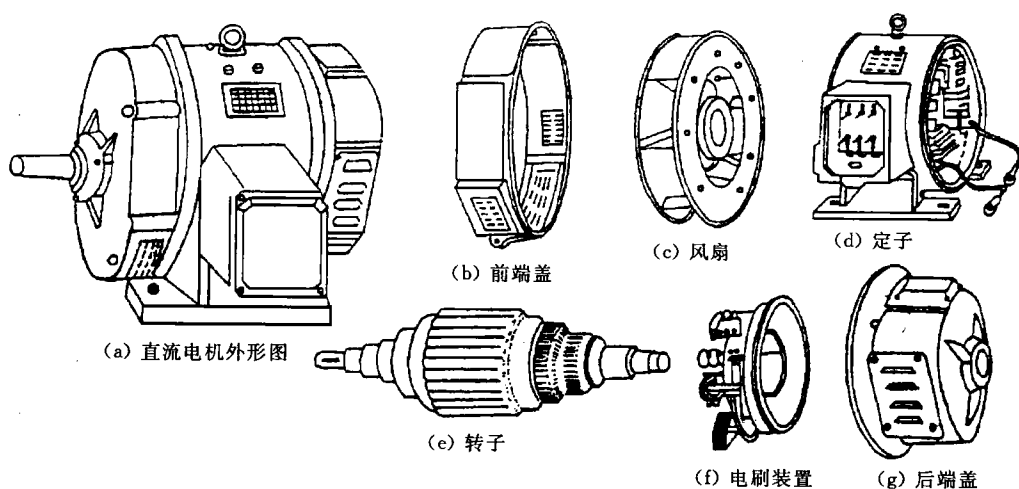


图 1.2.2 直流电机的结构图二

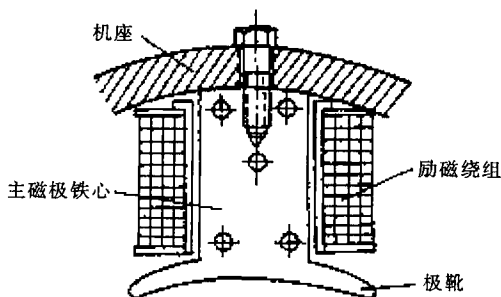


图 1.2.3 直流电机的主磁极

## (2) 换向极

如图 1.2.4 所示,换向极铁心一般采用整块钢或厚钢板叠成。换向极绕组采用较粗绝缘铜线绕成,匝数较少,且与电枢绕组串联。换向极安装在两主磁极之间的中心线上,且用螺钉固定于机座内圆上,其作用是改善换向。



### (3) 电刷装置

如图 1.2.5 所示,它的作用是使旋转的电枢绕组与固定不动的外电路相连接,引入或引出直流电流。电刷装置由电刷、刷握、刷杆座组成。

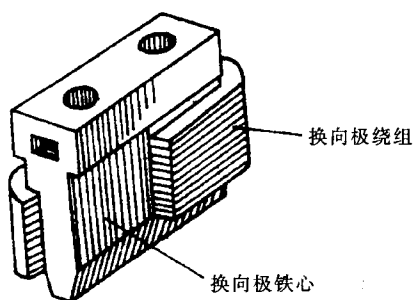


图 1.2.4 换向极

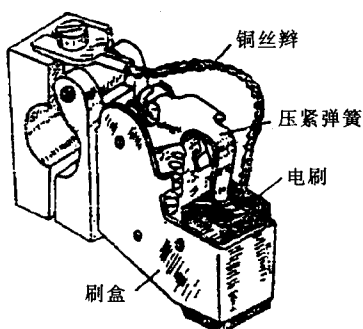


图 1.2.5 电刷装置

### (4) 机座

机座既是电机磁路的一部分,又用来固定主磁极、换向极、端盖等零部件,所以要求它有良好的导磁性能和机械强度,一般采用低碳钢浇注或钢板焊接而成。

## 2. 转子

### (1) 电枢铁心

电枢铁心是磁路的一部分,用来嵌放电枢绕组。常采用 0.35 mm 或 0.5 mm 厚的有齿、槽的硅钢片,且两面涂有绝缘漆叠压而成。电枢铁心上有轴向通风孔,如图 1.2.6(b)所示。

### (2) 电枢绕组

电枢绕组是电路的一部分,由绝缘铜线绕制而成的许多个线圈,嵌放在电枢铁心槽内,按一定规律经换向片连接成整体,如图 1.2.6(a)所示。它的作用是产生感应电动势和电磁转矩,从而实现能量转换,是电机的重要部件。

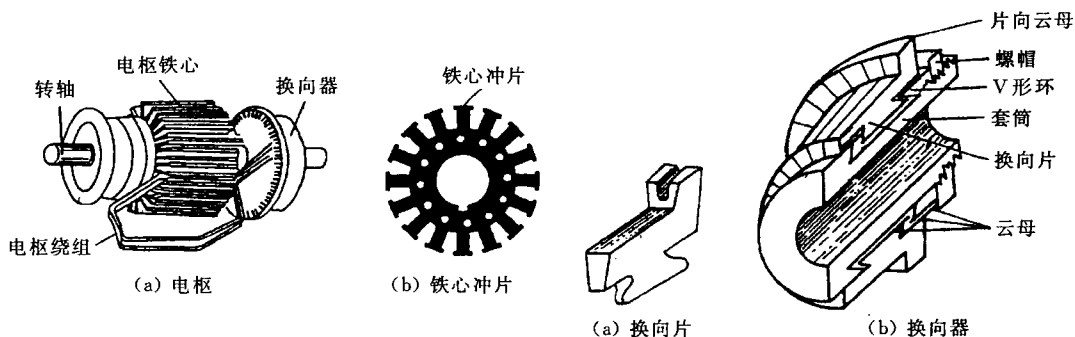


图 1.2.6 电枢及铁心冲片

图 1.2.7 换向片及换向器

### (3) 换向器

换向器是直流电机的关键部件。它是由许多楔形铜片(间隙 0.4~1.0 mm 的云母片)绝缘组装而成的圆柱体。每片换向片的一端有高出部分,上面铣有线槽供线圈引出端焊接用。换向片的下部做成燕尾形,然后用钢制的 V 形套筒和 V 形云母环固定,称为金属换向器,如图 1.2.7 所示。

## 二、直流电机的拆装

在拆装直流电机之前,要用仪器、仪表进行整机检查,查明绕组是否对地绝缘以及绕组间有无短路、断路或其他故障,以便针对问题进行处理。

直流电机的拆卸步骤如下:

- ① 拆除电机的外部连接线,并作好标记;
- ② 拆卸带轮或联轴器;
- ③ 拆卸换向器端的端盖螺钉和轴承盖螺钉,并取下轴承外盖;
- ④ 打开端盖的通风窗,从刷握中取出电刷,再拆卸接到刷杆上的连接线;
- ⑤ 拆卸换向器端的端盖,取出刷架;
- ⑥ 用厚纸或布将换向器包好,以保持清洁及避免碰伤;
- ⑦ 拆卸轴伸端的端盖螺钉,将电枢连同端盖一起抽出,并放在木架上;
- ⑧ 拆卸轴伸端的轴承盖螺钉,取下轴承外盖、端盖及轴承,若轴承无损坏则不必拆卸。

直流电机的装配可按拆卸时相反步骤进行,装配后应把刷杆座调整到标志位置。

直流电机拆装时注意事项如下:

- ① 一般拆卸时不拆换向器端端盖,只拆非换向器端端盖;在拆卸时必须先将电刷提起,以避免取出电刷时把电刷碰断,然后把电枢连同端盖一起取出;
- ② 电枢从定子中取出时,要防止碰毛换向器和碰坏绕组;
- ③ 拆风页时应注意事先作好标记,装配时按原位置装上;
- ④ 拆卸换向器和主极时,要注意还原磁极和机座之间的垫片,也就是电机修好后要将垫片如数垫上,否则将会造成气隙不对称,产生单面磁拉力或换向变坏。另外,换向极、主极及连接线要按原样安装,否则将会造成反转甚至电机不转及换向恶化等情况。

## 三、直流电机的铭牌

每台电机机座上都有一块铭牌,上面标有型号和一些数据,作为用户合理选择和正确使用电机的依据,图 1.2.8 所示为一直流电机铭牌。

| 型 号    | 22—72      | 励 磁 方 式 | 并 励     |
|--------|------------|---------|---------|
| 额定功率   | 22 kW      | 励磁电压    | 220 V   |
| 额定电压   | 220 V      | 励磁电流    | 2.06 A  |
| 额定电流   | 110 A      | 定额      | 连续      |
| 额定转速   | 1500 r/min | 温升      | 80 ℃    |
| 出品编号   | ××××××     | 出厂日期    | ××××年×月 |
| ×××电机厂 |            |         |         |

图 1.2.8 直流电机的铭牌

### 1. 电机的额定值

#### (1) 额定功率 $P_N$

它指在额定运行状态下,发电机向负载输出的电功率,且  $P_N = U_N I_N$ ,或指电动机轴上



输出的机械功率,且  $P_N = U_N I_N \eta_N$ ,单位为 W 或 kW。

(2) 额定电压  $U_N$

它指在额定运行状态下,发电机允许输出的最高电压或加在电动机电枢两端的电源电压,单位为 V。

(3) 额定电流  $I_N$

它指电机按规定的方式运行时,电枢绕组允许流过的最大安全电流,单位为 A。

(4) 额定转速  $n_N$

它指在额定运行状态时电机的转速,单位为 r/min。

(5) 额定励磁电压  $U_f$

它指在额定情况下,励磁绕组所加的电压,单位为 V。

(6) 额定励磁电流  $I_f$

它指在额定情况下,通过励磁绕组的电流,单位为 A。

若电机运行时,各物理量都与额定值一样,称额定运行状态。电机在实际运行时,由于负载的变化和生产工艺需要,经常不在额定状态下运行。电机只有在接近额定的状态下运行,才是经济的工作方式。

## 2. 直流电机的主要系列

直流电机的应用很广泛,型号很多,这里仅介绍部分常用系列产品。

(1)  $Z_2$  系列

一般用途的中小型直流电机。

(2) Z 和 ZF 系列

一般用途的中大型直流电机,其中“Z”为直流电动机系列,“ZF”为直流发电机系列。

(3) ZQ 系列

电力机车、工矿电机车和蓄电池供电的电车用的直流牵引电动机。

(4) ZZJ 系列

冶金辅助拖动机械用的冶金起重直流电动机,它具有启动快速和过载能力较大的特性。

(5) Z—H 系列

船舶上各种辅机用的船用直流电动机。

(6) ZT 系列

用于恒功率且调速范围较宽的宽调速直流电机。

(7) ZA 系列

用于矿井和易爆气体场合的防爆安全型直流电机。

(8) ZU 系列

用于龙门刨床的直流电动机。

(9) ZW 系列

无槽直流电动机,在快速响应的伺服系统中作为执行元件。

其他系列请参阅电机手册。