

泵 手 册

第 二 分 册

泵的原动机、传动装置
和监控仪表

〔美〕I.J.卡拉西克等编著

机 械 工 业 出 版 社

泵 手 册

第 二 分 册

泵的原动机、传动装置
和监控仪表

〔美〕 I. J. 卡拉西克等编著

丁成伟、石 水 译

王培楠 校



机 械 工 业 出 版 社

本手册共分三分册。本书为第二分册,主要讲述泵的原动机,泵的传动装置,泵的控制与阀门以及监测仪表等内容。

本书内容丰富,附有大量图表,可供从事泵设计、使用、试验的人员参考。亦可作为与泵有关专业的教学参考书。

本分册第九章第一节至第十章第二节由石水同志翻译,其余各章由丁成伟同志译出。本分册由王培楠同志统一整理并校订。全书(包括一、三分册)并经西安交通大学吴达人同志审阅。

Pump Handbook
IGOR J. KARASSIK
WILLIAM C. KRUTZSCH
WARREN H. FRASER
JOSEPH P. MESSINA
McGRAW-HILL BOOK COMPANY
1 9 7 6

* * *

泵 手 册

第二分册

泵的原动机、传动装置和监控仪表

〔美〕 I. J. 卡拉西克等 编著

丁成伟、石 水 译

王培楠 校

*

机械工业出版社出版 (北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第 117 号)

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 $850 \times 1168^{1/32}$ ·印张 $9^{1/4}$ ·字数 241 千字

1985 年 9 月北京第一版·1985 年 9 月北京第一次印刷

印数 00,001—12,500·定价 2.70 元

*

统一书号: 15033·5700

译 者 序

泵的应用很广。目前世界上泵的产量仅次于电机，所消耗的电量大约为总发电量的四分之一。随着科学技术的发展，泵的应用范围不断扩大。除农田排灌、城市给水、热电厂、石油炼厂、油田、输油管线、化工厂、钢铁厂、采矿和造船工业等部门都要使用各种类型的泵外，在原子能发电、舰艇喷水推进、液体火箭燃料供给等方面亦得到重要的应用。可以说凡是使液体流动之处，就有泵在工作。泵抽送的介质除水外，还有油、酸、碱类……，直到低温液化气体和高温熔融金属等。而且，目前已成功地用泵对固体如煤等进行长距离输送。毫无疑问，泵在实现我国四个现代化的进程中，必将起十分重要的作用。

为了学习外国先进技术，促进我国泵制造业更迅速地发展，甘肃工业大学、沈阳水泵研究所、一机部通用机械研究所等单位的八位同志，将美国 1976 年出版的《泵手册》一书全文译出，供从事泵设计、使用、试验的人员参考。

本手册是最近国外的几本泵手册中比较好的一本。其主要特点是内容相当丰富，虽属使用性的手册，但对泵的理论、设计、试验等问题也作了比较系统的叙述；虽以离心泵为主，但对往复泵、螺杆泵、转子泵、射流泵等也作了较详细的介绍。书中有不少内容是其它有关书籍很少或未曾提到的，因此，这本手册是目前世界上关于泵的内容最全的综合性著作。但是，由于原书由二十六名作者编写，所以内容显得庞杂。

因为原书篇幅较长，为方便侧重面不同的读者使用，我们对原书章节的次序作了适当的变动，分三个分册出版。第一分册（泵的理论、性能、结构、使用、试验），由原书第一、二、三、四、五、九、十四章以及技术资料组成，主要讲述泵的理论（包括

IV

设计)、性能、结构、材料、运转特性和试验。第二分册(泵的原动机、传动装置和监控仪表),由原书第六、七、八章组成,主要讲述泵用的各种原动机、传动装置、阀门和仪表。第三分册(泵的应用),由原书第十、十一、十二和十三章组成,主要讲述泵在各方面的应用以及泵的安装和维护问题。

原书所用的单位制未作改变,本书正文前特列有单位换算表,可供读者使用。

由于我们的水平有限,译文中难免有不少的缺点和错误,敬请读者批评指正。

英制、米制单位换算表

	中文符号	换算关系
长度		
ft	英尺	1 ft = 0.3048m
in	英寸	1 in = 0.0254m
yd	码	1 yd = 0.9144m
面积		
ft ²	英尺 ²	1 ft ² = 0.0929m ²
in ²	英寸 ²	1 in ² = 6.4516 × 10 ⁻⁴ m ²
yd ²	码 ²	1 yd ² = 0.8361m ²
体积		
ft ³	英尺 ³	1 ft ³ = 0.0283m ³
in ³	英寸 ³	1 in ³ = 1.6387 × 10 ⁻⁵ m ³
yd ³	码 ³	1 yd ³ = 0.7646m ³
Imp.gal	英加仑	1 Imp.gal = 0.0045m ³
U.S.gal	美加仑	1 U.S.gal = 0.0038m ³
质量		
lb	磅	1 lb = 0.4536kg
tn	英吨	1 tn = 1016.05kg
Sh tn	美吨	1 Sh tn = 907.19kg
密度		
lb/in ³	磅/英寸 ³	1 lb/in ³ = 27680kg/m ³
lb/ft ³	磅/英尺 ³	1 lb/ft ³ = 16.02kg/m ³
速度		
ft/min	英尺/分	1 ft/min = 0.3048m/min
ft/s	英尺/秒	1 ft/s = 0.3048m/s
力		
dyn	达因	1 dyn = 1.02 × 10 ⁻⁶ kgf = 10 ⁻⁵ N

lbf	磅力	$1 \text{ lbf} = 0.4536 \text{ kgf}$ $= 4.448 \text{ N}$
-----	----	---

力矩和转矩

dyn·cm	达因·厘米	$1 \text{ dyn} \cdot \text{cm} = 1.020 \times 10^{-8} \text{ kgf} \cdot \text{m}$ $= 10^{-7} \text{ N} \cdot \text{m}$
--------	-------	---

lbf·ft	磅(力)·英尺	$1 \text{ lbf} \cdot \text{ft} = 0.1383 \text{ kgf} \cdot \text{m}$ $= 1.356 \text{ N} \cdot \text{m}$
--------	---------	---

压力和应力

lb(f)/ft ²	磅(力)/英尺 ²	$1 \text{ lb(f)}/\text{ft}^2 = 4.882 \times 10^{-6} \text{ kgf}/\text{m}^2$ $= 47.88 \text{ N}/\text{m}^2$
-----------------------	----------------------	---

lb(f)/in ²	磅(力)/英寸 ²	$1 \text{ lb(f)}/\text{in}^2 = 7.03 \times 10^{-4} \text{ kgf}/\text{m}^2$ $= 0.06895 \text{ bar}$
-----------------------	----------------------	---

功率

HP	英制马力	$1 \text{ HP} = 76.04 \text{ kgf} \cdot \text{m}/\text{s}$ $= 7.457 \times 10^8 \text{ erg}/\text{s}$ $= 0.7457 \text{ kW}$
----	------	---

运动粘度

yd ² /s	码 ² /秒	$1 \text{ yd}^2/\text{s} = 8.36 \times 10^3 \text{ St}$
--------------------	-------------------	---

ft ² /s	英尺 ² /秒	$1 \text{ ft}^2/\text{s} = 929 \text{ St}$
--------------------	--------------------	--

ft ² /h	英尺 ² /时	$1 \text{ ft}^2/\text{h} = 0.258 \text{ St}$
--------------------	--------------------	--

动力粘度

lb(f)·s/ft ²	磅(力)·秒/英尺 ²	$1 \text{ lb(f)} \cdot \text{s}/\text{ft}^2 = 13.3 \times 10^{-8} \text{ N} \cdot \text{h}/\text{m}^2$ $= 1.356 \times 10^{-3}$ $\text{kgf} \cdot \text{h}/\text{m}^2$ $= 47.88 \text{ N} \cdot \text{s}/\text{m}^2$
-------------------------	------------------------	---

目 次

第九章 泵的原动机	1
第一节 电动机与电动机控制	1
第二节 汽轮机	30
第三节 发动机	53
第四节 水轮机	78
第五节 燃气轮机	90
第十章 泵的传动装置	102
第一节 涡流联轴器	102
第二节 单机变速电力驱动装置	115
第三节 液体联轴器	137
第四节 齿轮	156
第五节 变速皮带传动	179
第六节 离合器	188
第七节 泵的联轴器和中间轴	199
第十一章 泵的控制与阀门以及监测仪表	214
第一节 泵的控制与阀门	214
第二节 监测仪表	277
附录 本书与原书章节对照表	287

第九章 泵的原动机

第一节 电动机与电动机控制

A. A. 第沃纳

A. J. 多 兰

电动机的类型

交流电动机

鼠笼式异步电动机：鼠笼式异步电动机是普遍用于驱动泵的电动机。这种电动机由一个普通的定子和转子组成。定子按规定的极数和相数绕制而成，而转子导条用铸造或钎焊的办法嵌入在转子内。鼠笼式异步电动机总是在低于同步转速下运行，用转差率或每分钟转数来表示。

同步转速由下式确定：

$$n_0 = \frac{f \times 60 \times 2}{p}$$

式中 p ——极数

f ——电源频率，赫兹

n_0 ——同步转速，转/分

百分比转差率由下式确定：

$$s = \frac{(n_0 - n) \times 100}{n_0}$$

式中 s ——转差率，%

鼠笼式异步电动机的定子绕组与相应的电源接通后，电动机转子和定子的空隙间便产生磁力线，磁力线沿空隙的周边旋转并在转子的导条中产生异步电动势。因为转子的导条被两端的两个

端环相互短路，所以电流就在转子导条中循环，该电流与空隙的磁力线相互作用，就使电动机产生转矩。图 1 所表示的是一种典型的鼠笼式异步电动机的剖面图。

鼠笼式异步电动机显示出一种特有的转速转矩关系，这种关系取决于转子导条的阻抗。在设计和制造电动机的转子时，导条可以选用不同阻抗值的金属来制作，便能得到所要求的转速转矩特性曲线。

图 2 推荐了几种典型的转速转矩特性曲线。这些曲线已由全国电气制造商协会（美国）(NEMA) 标准化，包括电动机机座号从 143T 到 449T。机座号大于 449T 的电动机，可能不再符合这些数据，但通常具有相同的特性曲线。此外，单相电动机可能不符合这些特性曲线，然而 NEMA 根据不同的数据专门确定了它的特性。

大多数泵用具有 NEMA 给出的 B 设计特性的三相电动机来驱动。

线绕式异步电动机 线绕式异步电动机各方面与鼠笼式电动

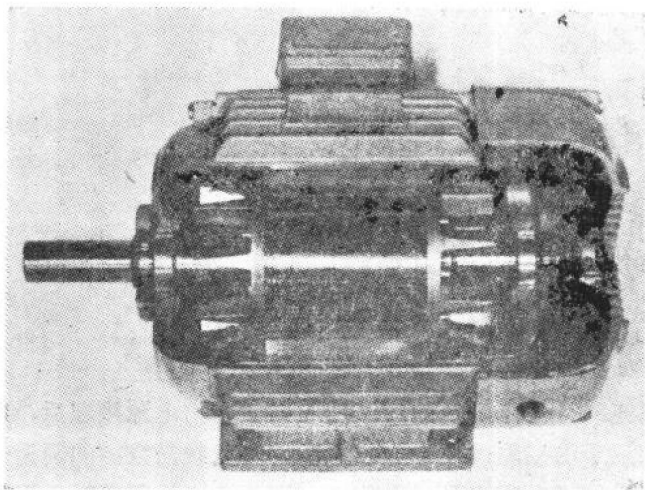


图 1 典型的鼠笼式异步电动机的剖面图（西屋电气公司）

机相类似。不同之处在于：线绕式转子是由绝缘导线绕制而成，同时这些绕组的终端接在转子轴上的一组滑环上。滑环通过电刷与外部变阻器相连接，后者的欧姆值是可调节的，因而能够使电动机的转速转矩特性曲线得以改变。

图3所示为几种不同变阻器阻值的线绕式异步电动机的转速转矩特性曲线。可以看到，增加外部变阻器的阻值，会使电动机

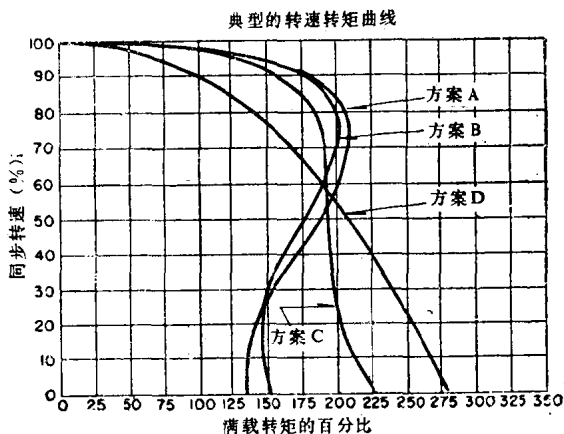
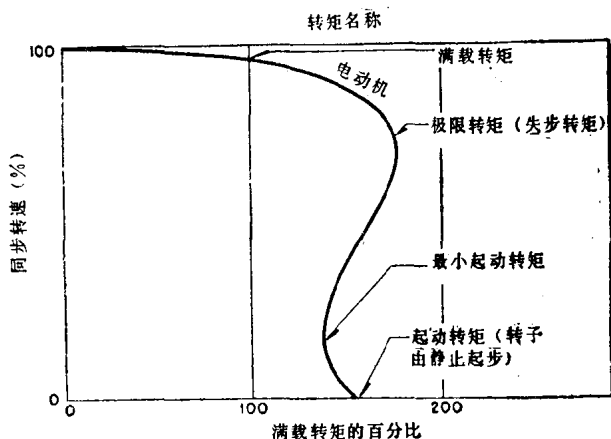


图2 典型的NEMA标准鼠笼式异步电动机的转速转矩特性曲线
(西屋电气公司)

的转矩峰值向低转速方向移动,直到转矩峰值出现在零转速为止。当电阻增加到超过该数值后,电动机产生的转矩会受到一定的限制,如曲线4、5或6所示。这类电动机能够用在转矩要求控制或者需要变速的场合。变速时要对转子的电阻加以调整,以便在特定的转速下电动机产生的转矩能够与负载转矩相匹配。

同步电动机: 像线绕式异步电动机那样,同步电动机也类似于鼠笼式异步电动机。不同之处在于:它是在同步转速下运转的,转子由一定数量的凸极构成,凸极上绕有励磁线圈并与直流励磁电源相接。最普通的同步电机的结构是在转子轴上装有滑环,以连接直流励磁电源和励磁线圈。

将直流电供给滑环的方法有如下几种:

1. **固定励磁** 电动机轴上的滑环电刷与电动机外部的一个变压器和整流器的组合供电装置相接,从而得到直流电。

2. **直联励磁机** 这种结构是由直流发电机直接与同步电动机的轴相接(图4)。直流发电机发出的直流电通过电刷提供给同步电动机的滑环。

3. **电动机发电机组励磁机** 同步电动机励磁用的直流电是由一台依靠常规交流电源拖动的电动机发电机组产生的。直流

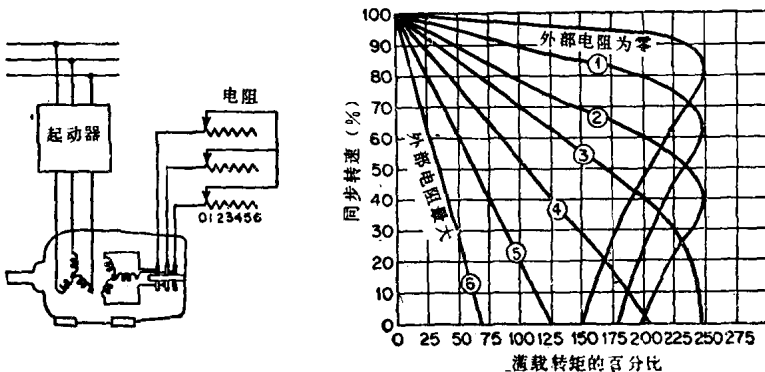


图3 线绕式异步电动机的典型转速转矩特性曲线
(西屋电气公司)

电源接在同步电动机的滑环电刷上。

无电刷同步电动机是我们所熟悉的另一种形式的同步电动机(图5)。顾名思义,这种电动机的旋转磁场的励磁,没有采用滑环来连接外部直流电源和电动机励磁线圈。这种电动机的结构包括一台同轴连接的交流发电机。从物理的角度来说,交流发电机的磁场是固定的,并与直流稳压电源相连。交流发电机的转子通过一个安装在同步电动机转子上的固态控制的整流器,依次与同步电动机的绕组相连接。这种结构布置使得外部励磁电源和同步电动机的旋转绕组之间,通过同轴联结的交流发电机的空隙,连接起来更为方便。无电刷同步电动机和常见的滑环式同步电动机相比有许多优点:省去了电刷和滑环,简化了电器维护保养;避免了火花的产生,而打火花在某些场合下是不允许的;应用固定绕组来控制磁场,比通常采用的电磁控制办法更为可靠。

同步电动机可用于驱动低速运转而且额定功率较大的泵,如图6所示。此外,这类电动机还用于要求功率因数较高或要求有一定功率因数校正能力之处。同步电动机的特性曲线不那么重

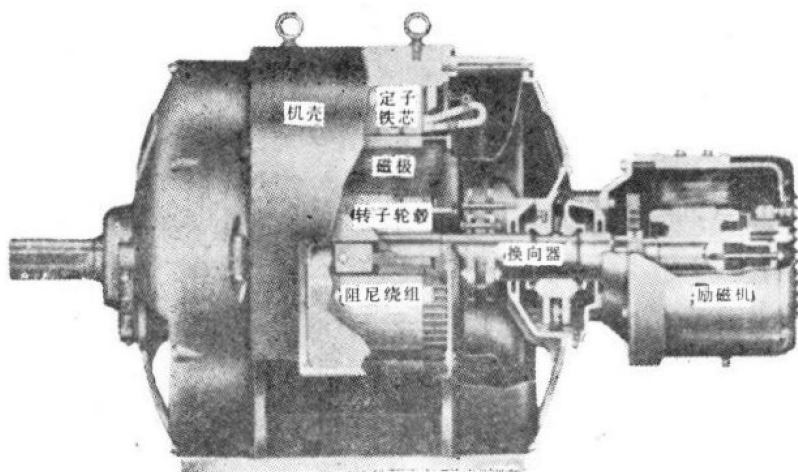


图4 带同轴直联励磁机的同步电动机(密格电机公司)

要，不管负载如何，电动机总是以同步转速运转，不存在转差。同步电动机依靠自身的阻尼绕组来起动（鼠笼式异步电动机也是这样），而且当电动机被加速到同步转速的 5% 时，就开始激励磁场，然后电动机再加速到同步转速（图 7）。图 8 所示是这种电动机的典型特性曲线。

直流电动机 直流电动机偶而被用来驱动泵，即当直流电成了唯一可供使用电源的情况下，例如船舶、铁路机车、飞机及航天器、以及依靠事故备用电池组供电的设备等才被采用。

通常采用的直流电动机有三种形式（图 9）：并励、串励和复励。额定功率较大的并联绕组直流电动机，往往被称为“稳定并绕”电动机。它如同一个复绕式电动机那样与一个串联绕组结合在一起。必须对并绕式电动机的控制加以调整，使之不产生上升的转速转矩特性曲线。用直流电动机来驱动泵，必须知道直流电动机的实际转速，因为要保证泵的特性。

运行中直流电压恒定不变时，而又特定要求调速的场合，则可使用一只励磁变阻器，这时电动机的调速范围可以达到 4:1。一台直流电动机，由不同方法产生可变的直流电压。可以采用各种各样的调速装置来控制。其中有可调压的电动机发电机组，固

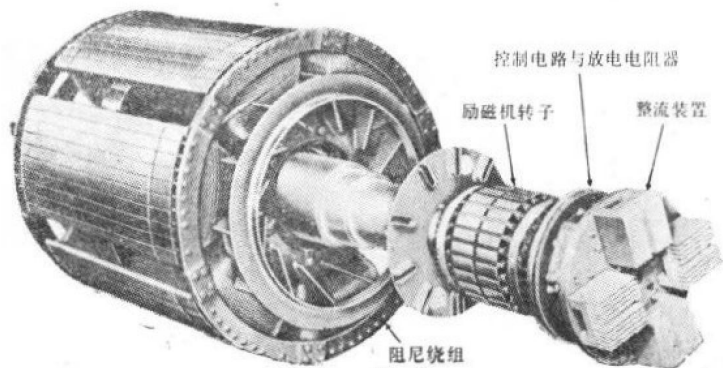


图 5 无刷同步电动机。同轴装有交流发电机，整流器和控制器

态可控硅整流装置，以及带有整流器的调压变压器等。图10所示为上述几种直流电动机的典型特性曲线。

电动机的机壳 电动机具有各式各样的机壳，机械封装的特点也不同，其目的在于在某些特殊环境条件下使电动机的零、部件得到保护。尽管这些机壳业已分类，但是由于经济上的原因，并不能通用于所有规格的电动机。电动机制造业方面已合并了一批中小型电动机的专用机壳，并加以分类成为标准设计。

这些电动机专用机壳分类如下：

敞开式：这种机壳允许外部冷却空气在电动机绕组或转子的上部或周围通过。

通常除了对电动机的零、部件作某些固有限制外，对通风并不加以特别限制。

敞开防滴式：这是一种敞开式机壳。通风孔设计成液体或固体降落物以任意角度下落到机壳上（甚至与铅垂线呈 15° 角）也能保证电动机正常运行。这种结构中含有机械式折流板，能在一定范围内防止东西进入机壳内。

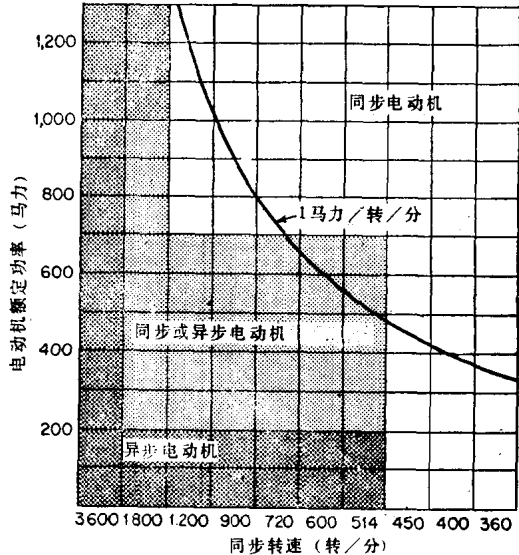


图6 转速低于514转/分，或功率除以每分钟转数后的马力值略大于1时，选择同步电动机比选择鼠笼式异步电动机好，因为同步电动机的成本虽然稍微高一点，但通常可由较高的功率因数和较高的效率中得到补偿

防溅式：这是一种有通风孔的敞开式机壳。通风孔设计成液体或固体降落物直接落到机壳上，或者以任何角度飞向电动机，

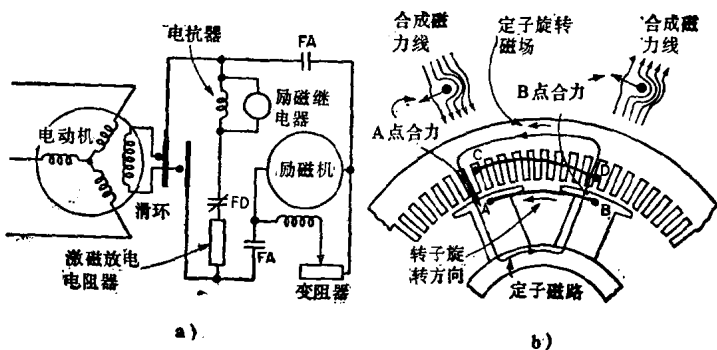


图 7 · 同步电动机的起动方式

(1) 典型的绕组控制 (电刷型)。当电动机取得一定转速后, 激励直流磁场来推动转子使之达到同步。电动机的升速所引起的频率变化, 可在励磁继电器中得到反应。(2) 阻尼绕组与鼠笼式转子的绕组相类似, 该绕组可以产生绝大部分的起动转矩, 同时同步电动机的起动特性曲线基本上与异步电动机相似。

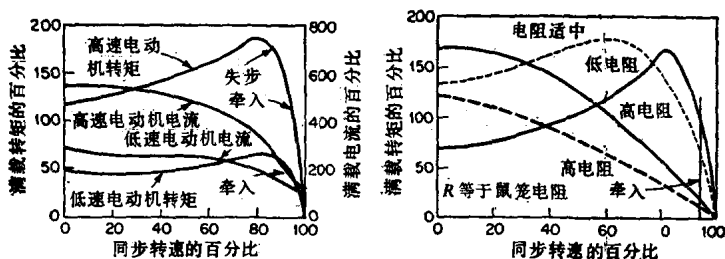


图 8 同步电动机的特性曲线与转子的设计有关, 转矩和电流的关系受到同步转速的影响。高阻抗鼠笼产生大的起动转矩, 然而牵入同步时的转矩低

均能保证电动机正常运行，与铅垂线的夹角甚至可达 100° 。

防护式：这种机壳限定了通风孔道的尺寸大小，除了电动机轴以外，防止外界人员或东西与电动机的运转零、部件偶而发生接触。

半防护式：这是一种敞开式结构，部分通风孔加以防护，而其余通风孔则任其敞开着。

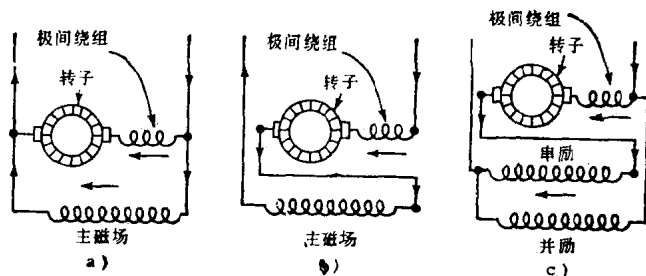


图9 直流电动机的种类

(1) 并励电动机的励磁绕组由很多高质量的导线绕制而成，与电枢回路并联连接。换向极绕组则起辅助换向作用。(2) 串励电动机的励磁绕组与电枢回路是串联的。励磁绕组只是几匝重型导线，它可以承受流入电枢中的满载电流。(3) 复励电动机兼有并励和串励两种励磁，因而在同一台电动机中将并励型电动机和串励型电动机二者的特性结合起来

敞开外部通风式：这种电动机的通风依靠一套单独的电动机驱动的风机。风机安装在电动机的机壳上，即背负式结构。

敞开管道通风式：这种电动机装有空气进口导管或管道，用来接受远离电动机的地方来的冷却空气。空气在电动机中循环是依靠装在电动机内部的风机部件，或者外部的风机来完成的。这种电动机称为强制通风型电动机。

风雨防护式(I)：这是一种敞开式结构的电动机，可以将进入电动机电气部件的雨、雪以及空气中携带的颗粒限制到最少程度。而且通风孔的安排也足以防止直径为 $3/4$ 英寸的圆棒进入电动机内。

风雨防护式(II)：这种机壳结构与上述风雨防护式(I)相似，所不同的是通风的进入和排出通道的设计，能使由于暴风雨而进入机壳的高速气流和空气携带物得以排出，而避免进入电动机的内部通风道，不致影响电动机的电气部件。在导向电动机电气部件的风道上，装有折流板或其它部件，使得空气至少有三次方向上的突然改变，变化的角度至少为 90° 。进气通道和开孔有适当的比例，以维持最大进气速度为 600 英尺/分。

全封闭式：这种电动机没有设置通风孔，因而制止了电动机