

电

机

基

础

湖南银河电气有限公司

目录

1	电机发展史	3
1.1	电机的定义	3
1.1.1	全电流定律	3
1.1.2	磁路欧姆定律	3
1.1.3	电磁感应定律（右手定则）	3
1.1.4	电磁力定律（左手定则）	3
2	电机分类	4
2.1	按工作电源分类	4
2.2	按结构及工作原理分类	4
2.3	按起动与运行方式分类	4
2.4	按用途分类	4
2.5	按转子的结构分类	4
2.6	按运转速度分类	5
3	直流电机构造与原理	5
3.1	基本构造	5
3.2	工作原理	6
4	异步电机构造与原理	9
4.1	基本构造	9
4.1.1	定子	9
4.1.2	转子	10
5	同步电机构造与原理	11
5.1	基本构造	12
5.2	工作原理	12
5.3	几种同步电机简介	12
6	异步电机与同步电机的对比	13
7	异步电动机与直流电动机的对比	14

1 电机发展史

1.1 电机的定义

电机，英文为 **electric machinery**，泛指能使机械能转化为电能、电能转化为机械能的一切机器。特指发电机和电动机。

电动机俗称马达，在电路中用字母“M”表示。它的主要作用是产生驱动转矩，作为用电器或各种机械的动力源。

发电机在电路中用字母“G”表示。它的主要作用是利用机械能转化为电能，目前最常用的是，利用热能、水能等推动发电机转子来发电，随着风力发电技术的日趋成熟，风电也慢慢走进我们的生活。

由于电机是依据电磁感应定律实现电能的转换或传递，所以，也有人把变压器称为静止的电机。

有关电机的几个定律

1.1.1 全电流定律

1.1.2 磁路欧姆定律

1.1.3 电磁感应定律（右手定则）

1.1.4 电磁力定律（左手定则）

电机发展的历史

1800 年伏特发明电池，是电气出现的开端，电机的诞生和发展在这之后可以分成几个阶段。

从 19 世纪 20 年代至 19 世纪末叶，发现了电磁现象以及相关的各种法则，诞生了交流电机的原型，并确立了电机的工业运用。

从 20 世纪初至 20 世纪 70 年代，是电机的成长和成熟期，有刷直流电机、感应电机、同步电机和步进电机等各种电机相继诞生，半导体驱动技术和电力电子技术的发展，实现变频驱动的实用化。

从 20 世纪 70 年代至 20 世纪末期，电力电子技术和计算技术的高速发展为电机的高性能驱动带来了机会，随着设计、评价、测量、控制、功率半导体、轴承、磁性材料、绝缘材料、制造加工技术的不断进步，电机本体经历了轻量化、小型化、高效化、高力矩输出、低噪音振动、高可靠、低成本等一系列变革，相应的驱动和控制装置也更加智能化和程序化。

进入 21 世纪，在以多媒体和互联网为特征的信息时代，电机和驱动装置继续发挥支撑作用，向节约资源、环境友好、高效节能运行的方向发展。

2 电机分类

2.1 按工作电源分类

根据电机工作电源的不同，可分为直流电机和交流电机。其中交流电机还分为单相电机和三相电机。

2.2 按结构及工作原理分类

根据电机按结构及工作原理的不同，可分为直流电机，异步电机和同步电机。

同步电机还可分为永磁同步电机、磁阻同步电机和磁滞同步电机。

异步电机可分为感应电机、交流换向器电机和双馈异步电机。感应电机又分为三相异步电机、单相异步电机和罩极异步电机等。交流换向器电机又分为单相串励电机、交直流两用电机和推斥电机。

直流电机按结构及工作原理可分为无刷直流电机和有刷直流电机。有刷直流电机可分为永磁直流电机和电磁直流电机。电磁直流电机又分为串励直流电机、并励直流电机、他励直流电机和复励直流电机。永磁直流电机又分为稀土永磁直流电机、铁氧体永磁直流电机和铝镍钴永磁直流电机。

2.3 按起动与运行方式分类

根据电机按起动与运行方式不同，可分为电容起动式单相异步电机、电容运转式单相异步电机、电容起动运转式单相异步电机和分相式单相异步电机。

2.4 按用途分类

根据电机用途不同，可分为驱动用电机和控制用电机。

驱动用电机又分为电动工具（包括钻孔、抛光、磨光、开槽、切割、扩孔等工具）用电机、家电（包括洗衣机、电风扇、电冰箱、空调器、录音机、录像机、影碟机、吸尘器、照相机、电吹风、电动剃须刀等）用电机及其它通用小型机械设备（包括各种小型机床、小型机械、医疗器械、电子仪器等）用电机。

控制用电机又分为步进电机、伺服电机和测速电机等。

2.5 按转子的结构分类

根据电机按转子的结构不同，可分为笼型感应电机（旧标准称为鼠笼型异步电机）和绕线转子感应电机（旧标准称为绕线型异步电机）。

2.6 按运转速度分类

根据电机按运转速度不同，可分为高速电机、低速电机、恒速电机、调速电机。

低速电机又分为齿轮减速电机、电磁减速电机、力矩电机和爪极同步电机等。

调速电机除可分为有级变速电机和无级变速电机外，还可为电磁调速电机、直流调速电机、PWM 变频调速电机和开关磁阻调速电机。

异步电机的转子转速总是略低于旋转磁场的同步转速。

同步电机的转子转速与负载大小无关而始终保持为同步转速。

3 直流电机构造与原理

3.1 基本构造

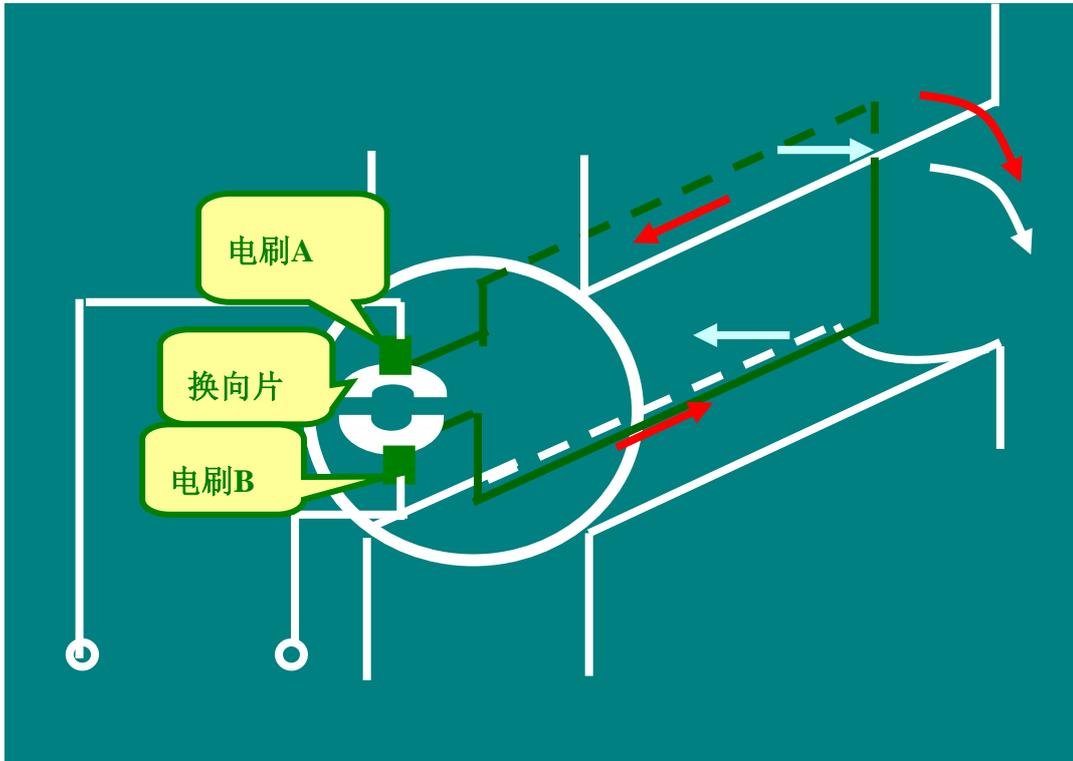
直流电机由定子和转子两部分组成，其间有一定的气隙。

直流电机的定子由机座、主磁极、换向磁极、前后端盖和刷架等部件组成。其中主磁极是产生直流电机气隙磁场的主要部件，由永磁体或带有直流励磁绕组的叠片铁心构成。

直流电机的转子则由电枢、换向器（又称整流子）和转轴等部件构成。其中电枢由电枢铁心和电枢绕组两部分组成。电枢铁心由硅钢片叠成，在其外圆处均匀分布着齿槽，电枢绕组则嵌置于这些槽中。

换向器是一种机械整流部件。由换向片叠成圆筒形后，以金属夹件或塑料成型为一个整体。各换向片间互相绝缘。换向器质量对运行可靠性有很大影响。

3.2 工作原理



如图，直流电从电刷 B 经半圆形换向片流入线圈（电枢绕组）c-d-b-a，根据左手定则，线圈 cd 段及 ab 段的受力情况如图中 F 所示，产生顺时针力矩 T，线圈以 n 的转速顺时针转动，无论线圈怎样转动，总是 S 极有效边的电流方向向里，N 极有效边的电流方向向外。电动机电枢绕组通电后按顺时针方向持续旋转。

当线圈不停地旋转时，虽然与两个电刷接触的线圈边不停的变化，电刷 A 始终是正电位，电刷 B 始终是负电位。当线圈的 ab 段在 N 极时，线圈的电流方向是 c-d-b-a，当 ab 段在 S 极时，线圈的电流方向是 a-b-d-c，即线圈 abcd 中的电流方向不断交变。这两个半圆形的铜片就叫做换向片，它们合在一起叫做换向器。

几种直流电机简介

直流电机是依靠直流工作电压运行的电机，广泛应用于收录机、录像机、影碟机、电动剃须刀、电吹风、电子表、玩具等。

电磁式直流电机由定子磁极、转子（电枢）、换向器、电刷、机壳、轴承等构成，电磁式直流电机的定子磁极（主磁极）由铁心和励磁绕组构成。根据其励磁（旧标准称为激磁）方式的不同又可分为串励直流电机、并励直流电机、他励直流电机和复励直流电机。因励磁方式不同，定子磁极磁通（由定子磁极的励磁线圈通电后产生）的规律也不同。

串励直流电机的励磁绕组与转子绕组之间通过电刷和换向器相串联，励磁电流与电枢电流成正比，定子的磁通量随着励磁电流的增大而增大，转矩近似与电枢电流的平方成正比，转速随转矩或电流的增加而迅速下降。其起动转矩可达额定转矩的 5 倍以上，短时间过载转矩可达额定转矩的 4 倍以上，转速变化率较大，空载转速甚高（一般不允

许其在空载下运行)。可通过用外用电阻器与串励绕组串联(或并联)、或将串励绕组并联换接来实现调速。

并励直流电机的励磁绕组与转子绕组相并联,其励磁电流较恒定,起动转矩与电枢电流成正比,起动电流约为额定电流的 2.5 倍左右。转速则随电流及转矩的增大而略有下降,短时过载转矩为额定转矩的 1.5 倍。转速变化率较小,为 5%~15%。可通过削弱磁场的恒功率来调速。

他励直流电机的励磁绕组接到独立的励磁电源供电,其励磁电流也较恒定,起动转矩与电枢电流成正比。转速变化也为 5%~15%。可以通过削弱磁场恒功率来提高转速或通过降低转子绕组的电压来使转速降低。

复励直流电机的定子磁极上除有并励绕组外,还装有与转子绕组串联的串励绕组(其匝数较少)。串联绕组产生磁通的方向与主绕组的磁通方向相同,起动转矩约为额定转矩的 4 倍左右,短时间过载转矩为额定转矩的 3.5 倍左右。转速变化率为 25%~30%(与串联绕组有关)。转速可通过削弱磁场强度来调整。

换向器的换向片使用银铜、镉铜等合金材料,用高强度塑料模压成。电刷与换向器滑动接触,为转子绕组提供电枢电流。电磁式直流电机的电刷一般采用金属石墨电刷或电化石墨电刷。转子的铁心采用硅钢片叠压而成,一般为 12 槽,内嵌 12 组电枢绕组,各绕组间串联接后,再分别与 12 片换向片连接。

永磁式直流电机也由定子磁极、转子、电刷、外壳等组成,定子磁极采用永磁体(永久磁钢),有铁氧体、铝镍钴、钕铁硼等材料。按其结构形式可分为圆筒型和瓦块型等几种。录放机中使用的磁极多数为圆筒型磁体,而电动工具及汽车用电器中使用的电机多数采用瓦块型磁体。

转子一般采用硅钢片叠压而成,较电磁式直流电机转子的槽数少。录放机中使用的小功率电机多数为 3 槽,较高档的为 5 槽或 7 槽。漆包线绕在转子铁心的两槽之间(三槽即有三个绕组),其各接头分别焊在换各器的金属片上。电刷是连接电源与转子绕组的导电部件,具备导电与耐磨两种性能。永磁电机的电刷使用单性金属片或金属石墨电刷、电化石墨电刷。

录放机中使用的永磁式直流电机,采用电子稳速电路或离心式稳速装置。

无刷直流电机是采用半导体开关器件来实现电子换向的,即用电子开关器件代替传统的接触式换向器和电刷。它具有可靠性高、无换向火花、机械噪声低等优点,广泛应用于高档录音座、录像机、电子仪器及自动化办公设备中。

无刷直流电机由永磁体转子、多极绕组定子、位置传感器等组成,如图 18-13 所示。位置传感按转子位置的变化,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切换)。定子绕组的工作电压由位置传感器输出控制的电子开关电路提供。

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机,其磁敏传感器件(例如霍尔元件、磁敏二极管、磁敏晶体管、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。

采用光电式位置传感器的无刷直流电机，在定子组件上按一定位置配置了光电传感器，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间生脉冲信号。

采用电磁式位置传感器的无刷直流电机，是在定子组件上安装有电磁传感器部件（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）。

4 异步电机构造与原理

异步电机因转子转速小于旋转磁场的转速而得名。

异步电机是一种交流电机，其负载时的转速与所接电网的频率之比不是恒定关系。还随着负载的大小发生变化。负载转矩越大，转子的转速越低。异步电机包括感应电机、双馈异步电机和交流换向器电机。感应电机应用最广，在不致引起误解或混淆的情况下，一般可称感应电机为异步电机。

普通异步电机的定子绕组接交流电网，转子绕组不需与其他电源连接。因此，它具有结构简单，制造、使用和维护方便，运行可靠以及质量较小，成本较低等优点。异步电机有较高的运行效率和较好的工作特性，从空载到满载范围内接近恒速运行，能满足大多数工农业生产机械的传动要求。异步电机还便于派生成各种防护型式，以适应不同环境条件的需要。**异步电机运行时，必须从电网吸取无功励磁功率，使电网的功率因数变坏。**因此，对驱动球磨机、压缩机等大功率、低转速的机械设备，常采用同步电机。由于异步电机的转速与其旋转磁场转速有一定的转差关系，其调速性能较差(交流换向器电动机除外)。对要求较宽广和平滑调速范围的交通运输机械、轧机、大型机床、印染及造纸机械等，采用直流电机较经济、方便。但随着大功率电子器件及交流调速系统的发展，目前适用于宽调速的异步电机的调速性能及经济性已可与直流电机的相媲美。

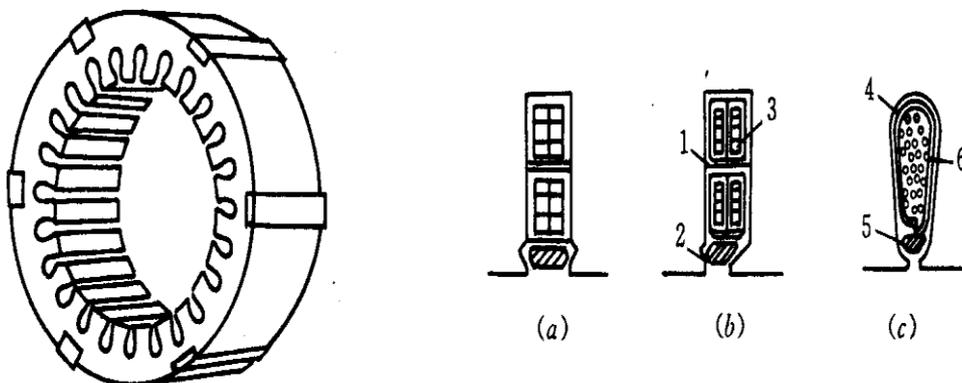
4.1 基本构造

三相异步电机的基本结构可以分为定子和转子两大部分。

4.1.1 定子

定子由机座、定子铁心和定子绕组三个部分组成的。

定子铁心是电动机磁路的一部分，装在机座里。为了降低定子铁心里的铁损耗，定子铁心用硅钢片叠压而成的，在硅钢片的两面还应涂上绝缘漆。下图所示为定子槽，其中(a)是开口槽，用于大、中型容量的高压异步电动机中；(b)是半开口槽，用于中型500V以下的异步电动机中；(c)是半闭口槽，用于低压小型异步电动机中。



定子绕组用绝缘的铜（或铝）导线绕成，嵌在定子槽内。

机座起固定和支撑作用

4.1.2 转子

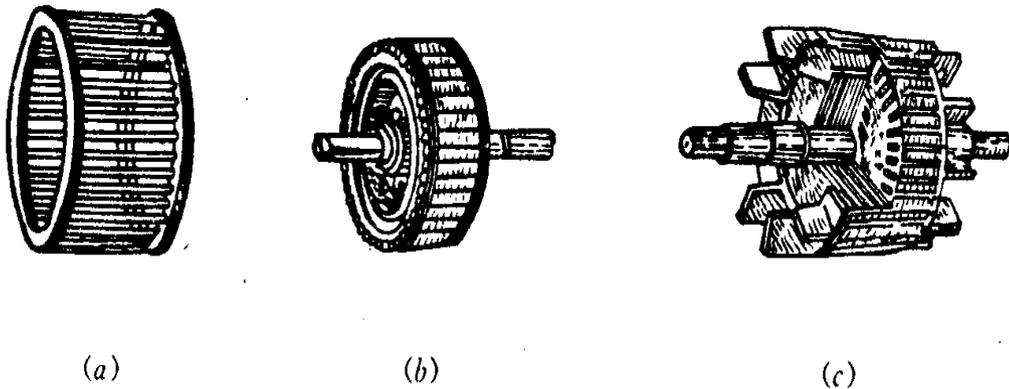
转子由转子铁心、转子绕组和转轴组成。

转子铁心是电动机磁路的一部分，它用硅钢片叠压而成。铁心固定在转轴或转子支架上，整个转子的外表呈圆柱形。

转子绕组分为笼型和绕线型两类。

笼型绕组是一个自己短路的绕组。在转子的每个槽里放上一根导体，在铁心的两端用端环连接起来，形成一个短路的绕组。如果把转子铁心拿掉，则可看出，剩下的绕组形状像个松鼠笼子，如图（a）所示，因此又叫鼠笼转子。导条的材料有用铜的，也有用铝的。

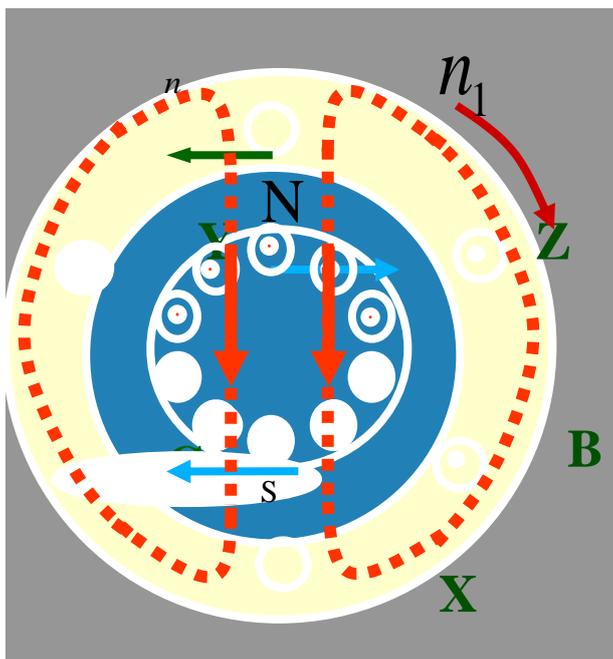
如果用的是铜料，就需要把事先做好的裸铜条插入转子铁心上的槽里，再用铜端环套在伸了两端的铜条上，最后焊在一起，如图(b)所示。如果用的是铸铝，就连同端环、风扇一次铸成，如图(c)所示。笼型转子结构简单、制造方便、是一种经济、耐用的电机，所以应用极广。



绕线型转子的槽内嵌放有用绝缘导线组成的三相绕组，一般都联接成 Y 形。转子绕组的三条引线分别接到三个滑环上，用一套电刷装置引出来，如图所示。这就可以把外接电阻串联到转子绕组回路里去，以改善电动机的启动性能或调节电动机的转速。

与笼型转子相比较，绕线型转子结构稍复杂，价格稍贵，因此只在要求起动电流小，起动转矩大，或需平滑调速的场合使用。

工作原理如下页图示：



当三相异步电机接入三相交流电源时，三相定子绕组流过三相对称电流产生的三相磁动势（定子旋转磁动势）并产生旋转磁场。

该旋转磁场与转子导体有相对切割运动,根据电磁感应原理,转子导体产生感应电动势并产生感应电流。

根据电磁力定律，载流的转子导体在磁场中受到电磁力作用，形成电磁转矩，驱动转子旋转，当电动机轴上带机械负载时，便向外输出机械能。

双馈异步发电机

交流励磁发电机又被人们称之为双馈发电机。交流励磁发电机由于转子方采用交流电压励磁，使其具有灵活的运行方式,在解决电站持续工频过电压、变速恒频发电、抽水蓄能电站电动-发电机组的调速等问题方面有着传统同步发电机无法比拟的优越性。交流励磁发电机主要的运行方式有以下三种:1) 运行于变速恒频方式;2) 运行于无功大范围调节的方式;3) 运行于发电-电动方式。

交流励磁调节通常采用变频器供电，即转子变频器。

5 同步电机构造与原理

同步电机因其转速恒等于同步转速而得名。同步电机主要用作发电机，也可用作电动机和调相机。

5.1 基本构造

同步电机的基本结构可以分为定子和转子两大部分。其定子与异步电机基本相同，由机座、定子铁心和定子绕组三个部分组成的。

同步电机的转子由铁心、转轴、励磁绕组、滑环等组成，铁心上绕有励磁绕组，励磁电流经滑环进入励磁绕组。

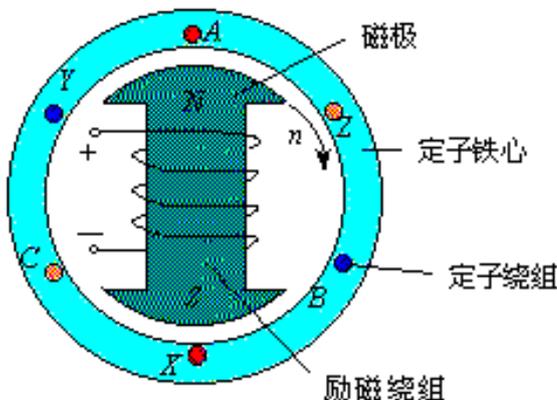
5.2 工作原理

同步电机主要作为发电机使用，其发电过程如下：

主磁场的建立：励磁绕组通以直流励磁电流，建立起励磁磁场(主磁场)。

切割运动：原动机拖动转子旋转（给电机输入机械能），励磁磁场随轴一起旋转并顺次切割定子各相绕组（载流导体）。

交变电势的产生：电枢绕组中将会感应出大小和方向按周期性变化的三相对称交变电势。通过引出线，即可提供交流电源。



5.3 几种同步电机简介

永磁同步电机属于异步启动永磁同步电机，其磁场系统由一个或多个永磁体组成，通常是在用铸铝或铜条焊接而成的笼型转子的内部，按所需的极数装镶有永磁体的磁极。定子结构与异步电机类似。当定子绕组接通电源后，电机以异步电机原理起转动转，加速运转至同步转速时，由转子永磁磁场和定子磁场产生的同步电磁转矩（由转子永磁磁场产生的电磁转矩与定子磁场产生的磁阻转矩合成）将转子牵入同步，电机进入同步运行。

磁阻同步电机也称反应式同步电机，是利用转子交轴和直轴磁阻不等而产生磁阻转矩的同步电机，其定子与异步电机的定子结构类似，只是转子结构不同。同笼型异步电机演变来的，为了使电机能产生异步起转动转，转子还设有笼型铸铝绕组。转子上开设有与定子极数相对应的反应槽（仅有凸极部分的作用，无励磁绕组和永久磁铁），用来产生磁阻同步转矩。根据转子上反应槽的结构的不同，可分为内反应式转子、外反应式转子和内外反应式转子，其中，外反应式转子反应槽开地转子外圆，使其直轴与交轴方

向气隙不等。内反应式转子的内部开有沟槽，使交轴方向磁通受阻，磁阻加大。内外反应式转子结合以上两种转子的结构特点，直轴与交轴差别较大，使电机的力能较大。磁阻同步电机也分为单相电容运转式、单相电容起动式、单相双值电容式等多种类型。

磁滞同步电机是利用磁滞材料产生磁滞转矩而工作的同步电机。它分为内转子式磁滞同步电机、外转子式磁滞同步电机和单相罩极式磁滞同步电机。内转子式磁滞同步电机的转子结构为隐极式，外观为光滑的圆柱体，转子上无绕组，但铁心外圆上有用磁滞材料制成的环状有效层。定子绕组接通电源后，产生的旋转磁场使磁滞转子产生异步转矩而起动旋转，随后自行牵入同步运转状态。在电机异步运行时，定子旋转磁场以转差频率反复地磁化转子；在同步运行时，转子上的磁滞材料被磁化而出现了永磁磁极，从而产生同步转矩。

6 异步电机与同步电机的对比

转速

异步电机是定子送入交流电,产生旋转磁场,而转子受感应而产生磁场,这样两磁场作用,使得转子跟着定子的旋转磁场而转动.其中转子比定子旋转磁场慢,有个转差,不同步所以称为异步机.

同步电机转子是人为加入直流电形成不变磁场,这样转子就跟着定子旋转磁场一起转而同步,始称同步电机。

结构与原理

同步电机和异步电机的定子绕组是相同的，主要区别在于转子的结构。

同步电机的转子上有直流励磁绕组，所以需要外加励磁电源，通过滑环引入电流；而异步电机的转子是短路的绕组，靠电磁感应产生电流。

异步电机简单,成本低.易于安装,使用和维护.所以受到广泛使用.缺点效率低,功率因数低对电网不利.而同步电机效率高是容性负载,可改善电网功率因数.多用工矿大型设备.

用途

同步电机大多用在大型发电机的场合。而异步电机则几乎全用在电动机场合。

同步电机可以通过励磁灵活调节功率因数；异步电机的功率因数不可调，因此在一些大的工厂，异步电机应用较多时，可附加一台同步电机做调相机用，用来调节工厂与电网接口处的功率因数。但是，由于同步电机造价高，维护工作量大，现在一般都采用电容补偿功率因数。

同步机因为有励磁绕组和滑环，需要操作者有较高的水平来控制励磁，另外，和异步机的免维护相比，维护工作量较大；所以，作为电动机时，现在大多选择异步电机。

7 异步电动机与直流电动机的对比

直流电动机的主要优点：

- 优良的调速性能
- 起动转矩也比较大

直流电动机的主要缺点：

- 生产成本较高
- 需要使用直流电源
- 维护要求较高

直流电机的应用

- 轧钢机、龙门刨床等主传动机构
- 某些电力牵引和起重设备
- 电车及电力机车

异步电动机的优点：

- 构造简单
- 价格便宜
- 工作可靠
- 使用维护方便
- 与变频器配套也能达到优良的调速性能

异步电动机的应用：

- 金属切削机床、起重机、传送带、功率不大的水泵、通风机；
- 在全国电动机总容量中有 85% 以上是三相异步电动机。