

汽车 拖拉机 摩托车

交流发电机结构原理与检修

胡明义 编著

北京理工大学出版社

目 录

绪论	(1)
第一章 交流发电机的基础知识	(4)
第一节 电生磁	(4)
一、磁的概念	(4)
二、电流的磁场	(6)
第二节 磁生电	(8)
一、电磁感应的原理	(8)
二、交流发电机发电原理	(9)
第三节 交流电与整流电路	(10)
一、单相交流电	(10)
二、三相交流电	(11)
三、直流电的获得——整流电路	(14)
第二章 有刷交流发电机	(22)
第一节 有刷交流发电机的外形、规格参数与安装	(22)
第二节 有刷交流发电机的构造与基本原理	(40)
一、有刷交流发电机的基本构造	(40)
二、有刷交流发电机的基本工作原理	(49)
第三节 带真空泵的有刷交流发电机	(55)
第四节 双爪极式有刷交流发电机	(56)
第五节 整体式有刷交流发电机	(58)
一、概述	(58)
二、外风扇型整体式有刷交流发电机	(60)
三、双内风扇双风道型整体式有刷交流发电机	(62)
第六节 有刷交流发电机的特性	(66)
一、交流发电机特性术语及代号	(66)

二、自激条件与激磁方式	(67)
三、试验电路及要求	(69)
四、电流输出特性	(70)
第七节 硅整流元件与硅整流器	(73)
一、什么是半导体	(73)
二、半导体的特性	(74)
三、半导体的导电方式	(74)
四、P 型半导体和 N 型半导体	(76)
五、PN 结的形成及单向导电性	(78)
六、硅整流元件的结构、外形及类型	(80)
七、硅整流元件的伏安特性	(82)
八、硅整流元件代号和性能参数	(83)
九、硅整流元件的选用	(84)
十、硅整流器的组成	(86)
第八节 电压调节器	(87)
一、电压调节器的功用与种类	(87)
二、双触点式电压调节器	(88)
三、带灭弧系统的单级式电压调节器	(93)
四、晶体管式电压调节器	(94)
五、集成电路式电压调节器	(103)
第九节 带中性点抽头的交流发电机电路分析	(108)
一、交流发电机中性点抽头的概念	(108)
二、磁场继电器控制电路的分析	(109)
三、充电指示灯继电器控制电路分析	(110)
第十节 8 管交流发电机电路分析	(113)
第十一节 9 管交流发电机电路分析	(119)
一、三只激磁二极管的功用	(119)
二、与触点式电压调节器配套的 9 管交流发电机电路	(120)
三、与集成电路式调节器配套的 9 管交流发电机电路	(121)
第十二节 11 管交流发电机电路分析	(124)

一、上海桑塔纳轿车用 11 管交流发电机电路	(124)
二、丰田 RB20 微型客车用 11 管交流发电机电路	(125)
第三章 永磁激磁无刷交流发电机	(128)
第一节 永磁发电机的定义及其特点	(128)
第二节 磁化与磁滞回线	(128)
第三节 简单的永磁磁路及其回复直线	(129)
第四节 永磁材料	(133)
第五节 摩托车用永磁交流发电机	(134)
一、飞轮式永磁交流发电机(即飞轮磁电机)	(135)
二、凸极式与爪极式永磁交流发电机	(151)
第六节 拖拉机永磁交流发电机	(165)
一、飞轮式永磁交流发电机	(165)
二、凸极式永磁交流发电机	(170)
三、爪极式永磁交流发电机	(174)
第七节 汽车永磁交流发电机	(179)
第四章 电磁激磁的无刷交流发电机	(186)
第一节 汽车用电磁激磁的无刷交流发电机	(186)
一、悬臂爪极式无刷交流发电机	(186)
二、激磁线圈通过支架固定在定子上的爪极式 无刷交流发电机	(191)
第二节 拖接机电磁激磁的无刷交流发电机	(193)
第三节 摩托车用电磁激磁的无刷交流发电机	(197)
第五章 永磁与电磁组合激磁的无刷交流发电机	(200)
第一节 汽车用永磁与电磁组合激磁的无刷交流发电机	(200)
一、基本结构和磁路分析	(200)
二、电压调节原理	(203)
三、发电机的性能	(204)
第二节 拖拉机用永磁与电磁组合激磁的 无刷交流发电机	(206)
一、基本结构	(206)

二、发电机的性能	(207)
第六章 交流发电机的使用和检修	(214)
第一节 带硅整流器的交流发电机的使用和检修	(214)
一、电磁激磁的交流发电机的使用和检修	(214)
(一) 使用注意事项	(214)
(二) 在车上判断发电机或调节器故障	(216)
(三) 充电系常见故障和排除方法	(218)
(四) 上海桑塔纳轿车充电系的故障诊断和排除方法	(220)
(五) 富康轿车充电系故障诊断和排除方法	(223)
(六) 北京切诺基汽车充电系故障诊断和排除方法	(226)
(七) 发电机总成不解体的检验方法	(228)
(八) 发电机总成的解体方法	(232)
(九) 有刷交流发电机解体后的检修	(234)
(十) 无刷交流发电机解体后的检修	(251)
(十一) 发电机装复注意事项	(252)
(十二) 触点式调节器的使用和检修	(253)
(十三) 晶体管式调节器的使用和检修	(259)
(十四) 集成电路调节器的使用和检查	(272)
(十五) 急救与代换	(279)
二、永磁激磁交流发电机的使用和检修	(281)
(一) 使用注意事项	(281)
(二) 发电机的检修	(282)
(三) 发电机的试验	(283)
(四) 带断电器的发电机点火正时检查	(284)
第二节 不带整流器的永磁交流发电机的使用和检修	(286)
一、使用注意事项	(286)
二、发电机的检修	(287)
三、发电机的试验	(288)
四、磁钢的充磁	(290)
主要参考文献	(293)

附表 1	我国市场流行的汽车、拖拉机交流发电机 规格参数	(294)
附表 2	我国市场流行的摩托车交流发电机规格参数	(297)

绪 论

在现代汽车、拖拉机、摩托车上供启动、点火、照明、仪表、空调等电气设备所需要的电能是由发电机和蓄电池提供的。蓄电池虽具有储存电能和向外供电的功能(如供启动时用电,以及当发动机不运转或低速时发电机电压低于蓄电池情况下向用电器供电),但它如不经常充电,电能就会很快耗尽。发电机由发动机带动而发电。发电机除向用电设备供电外,还将剩余的电能向蓄电池充电。所以发电机是主电源,蓄电池是辅电源。发电机的功率取决于汽车、拖拉机、摩托车上电气设备的功率和蓄电池容量。由于汽车、拖拉机、摩托车上电气设备是在发动机转速和负载变动范围很大的情况下工作的,因此由发动机带动的发电机也是在转速和负载变动很大的状态下工作。

当今,汽车、拖拉机、摩托车发电机品种和结构较多,名称也较多。按发电机是否带电刷装置来分,可分为有刷发电机和无刷发电机。按发电机发出的是直流电还是交流电,有刷发电机又可分为直流发电机和有刷交流发电机。按激磁方式分,无刷交流发电机又可分为永磁激磁的无刷交流发电机、电磁激磁的无刷交流发电机、永磁与电磁组合激磁的无刷交流发电机。按发电机采用的电子元件特征来命名,带硅整流器的交流发电机称为硅整流交流发电机。除内装硅整流器外,还有内装电子式电压调节器的交流发电机,称为整体式交流发电机。对于整体式交流发电机,为区别其是有刷的还是无刷的,可分为整体式有刷交流发电机和整体式无刷交流发电机。按发电机

转子结构的特征来命名,交流发电机采用爪极转子结构的,称为爪极式交流发电机;交流发电机采用感应子结构的,称为感应子式交流发电机。

直流发电机最早问世于 1832 年,由法国皮克西(Hippolyte Pixii)兄弟根据法拉弟电磁感应原理制成。1905 年直流发电机开始被应用于汽车上。从本世纪 60 年代起世界发达国家的汽车显著增加,城市低速行驶时间较多、启动次数频繁、蓄电池放电量大。在这种情况下,直流发电机既要提高输出功率又要能满足汽车低速时向蓄电池充电,就必然要增大发电机的体积和质量,从而导致在发动机上安装困难。此外,现代汽车的发展,要求发动机转速变动范围很大,如果直流发电机在低速范围达到充电要求,那么当发动机高速时其转速会很高,致使其换向困难,电刷与换向器之间的火花很大,甚至使发电机不能正常工作。因此,传统的直流发电机不能适应现代汽车发展的需要,而逐渐被交流发电机所替代。

本世纪 60 年代早期出现的内装硅整流器、采用爪极转子的三相交流发电机,即爪极式硅整流有刷交流发电机,它与直流发电机相比较,体积小、质量轻、低速充电性能好、火花小、比功率大、使用寿命较长,从而迅速获得广泛应用。

近 30 年来随着汽车、拖拉机、摩托车的蓬勃发展,交流发电机结构、功能、品种又有了很大的发展。例如,原先采用的触点式电压调节器和晶体管电压调节器,体积较大,与发电机只能分离配套使用。而集成电路电压调节器的发展和采用,使电压调节器小型化,电压调节器和交流发电机组装成一体。又如,随着普通的 6 管硅整流交流发电机的广泛应用,8 管硅整流交流发电机、9 管硅整流交流发电机、11 管硅整流交流发电机又陆续出现。近几年来。双内风扇双风道式硅整流交流发

电机崛起,它依靠转速的提高和冷却的改善,使发电机的体积大大缩小。这种交流发电机有可能成为当今世界交流发电机主流。无刷交流发电机,由于其电路上根除了滑动接触装置和旋转绕组,工作可靠性和使用寿命大为提高,在高振动、多尘、严寒等场合,获得广泛应用。随着磁性材料和电子元件的性能、可靠性和经济性的提高,永磁激磁的无刷交流发电机已在摩托车上获得广泛应用,汽车用永磁激磁的无刷交流发电机、汽车拖拉机用永磁与电磁组合激磁的无刷交流发电机正在进入新的发展阶段。

在汽车、拖拉机、摩托车上电气设备通常是单线制,标称电压为 6 V、12 V 和 24 V,所以发电机也通常为单线制。交流发电机一般还采用负极接地制。由于考虑到发电机至汽车、拖拉机、摩托车其它电气设备线路上有电压降,因此交流发电机标称电压规定为 7 V、14 V 和 28 V。在某些汽车、拖拉机、摩托车上电气设备也有采用双线制的,其交流发电机也相应采用双线制。

对于合格的发电机,其技术数据和要求应符合汽车、拖拉机、摩托车有关标准。产品包装箱和合格证上应标有与产品相符的标准代号、检验员代号、出厂日期等。在每台产品的明显部位上应具有产品标志,如产品名称、产品型号、技术数据、制造厂或商标、制造日期或代号等。在遵守发电机安装和使用规则的前提下,在质量保证期内,产品因制造不良而不能正常工作时,制造厂应无偿为用户修理或更换。

第一章 交流发电机的基础知识

第一节 电生磁

一、磁的概念

大家知道,我国最先发现磁铁和应用磁铁。早在公元前,我们祖先就发现了“磁石召铁”的现象,并在 11 世纪利用磁铁制成指南针应用于航海事业,对世界科学技术的发展作出了贡献。

磁铁(俗称磁石)具有吸铁的性质即磁性。磁铁有条形磁铁、马蹄形磁铁、环形磁铁等(图 1-1)。

磁铁两端磁性最强,称做磁极。磁针或条形磁铁具有指地球南北方向的性质。如果将一根磁针或条形磁铁的中心支撑或悬挂起来,并能自由转动,则它将停止在南北方向上,如图 1-2 所示。指南的一个极,称南极,用 S 表示;指北的一个极称北极,用 N 表示。两块磁铁的磁极之间的互相作用力叫做磁力。磁极间具有同性相排斥、异性相吸引。磁铁周围存在一种特殊形态的物质,叫做磁场。磁极间的互相作用力就是通过它来传递的。可以用小磁针是否受磁力作用来检验磁场的存在。磁铁周围的磁场

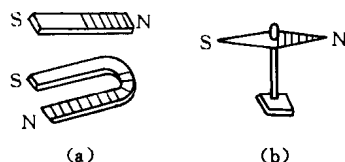


图 1-1 磁铁的形状

(a) 条形磁铁和马蹄形磁铁; (b) 磁针

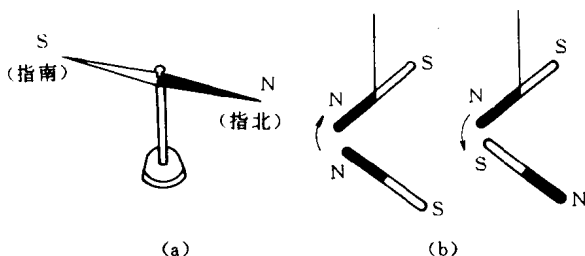


图 1-2 磁的性质

(a) 磁针具有指南北性质；(b) 同名磁极相斥，异名磁极相吸

各点强弱不同，并具有方向性。把磁场中物体单位面积上所受磁力的大小，叫做磁场强度。下面通过一个实验来观察和分析磁铁周围空间各点磁场强度的分布情况：将磁铁放在玻璃板下，在玻璃板上撒细铁屑，轻敲玻璃板，细铁屑就会在磁场作用下，排成线状，分布在磁铁周围的空问，如图 1-3。为了形象地表示磁场和分析问题的方便，用假想的磁力线来表

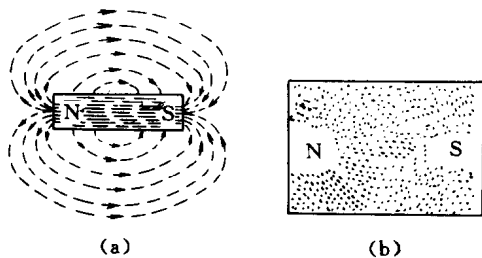


图 1-3 条形磁铁的磁力线

示磁场。用磁力线的密疏来表示磁场强度的大小，磁力线的方向表示磁场强度的方向。磁力线有三个特点：(1) 磁力线是有方向性的，它总是形成封闭曲线。(2) 磁力线总是互不相交。(3) 磁力线总是力图缩短其长度的方向。将穿过一定面积的

磁力线数目,叫做磁通量,简称磁通。

二、电流的磁场

实验证明,通过电流的导线,在导线周围即产生磁场;如果导线中电流中断,则其周围的磁场也就消失。这种现象叫做电流的磁效应。电流的磁效应反映电流和磁场的不可分割的内在联系。磁场总是伴随电流而存在,而电流则永远被磁场所

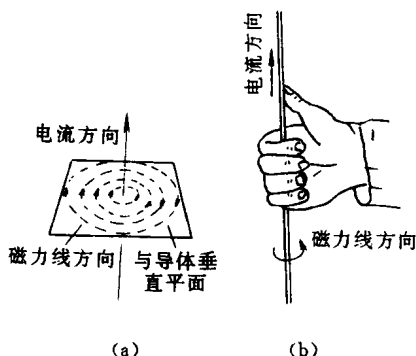


图 1-4 通电直导体的磁场

(a) 通电直导体周围的磁力线;(b) 通电直导体磁力线方向的确定

包围(图 1-4)。通电导线周围所产生的磁场中,其磁力线的方向,决定于电流的方向,可用右手定则来判定。如图 1-4 所示,假想以右手握住导线,使拇指指向与电流方向相同,则其余弯曲的四指的方向就是磁力线的方向。

电流通过螺管状线圈时,线圈周围也会产生磁场。通电线圈周围的磁力线方向,决定于电流的方向,用右手定则来判定。如图 1-5 所示,假想以右手握住螺管状线圈,四指指电流方向,则伸直的拇指所指的方向就是线圈磁力线的 N 极(北极)方向。通电螺管线圈内的磁场强弱,跟线圈内电流大小、线

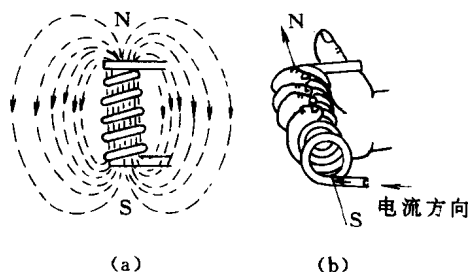


图 1-5 通电线圈的磁场

(a) 通电线圈的磁力线；(b) 通电线圈磁力线方向的确定

圈圈数以及有无导磁铁心有关。

但永久磁铁并没有外加电流，那么它的磁场是怎样产生的呢？

原来组成物质的分子中，由于电子环绕原子核运动和本身自转运动而形成分子电流，分子电流也要产生磁场，每个分子相当于一个基本小磁铁，称磁分子。但磁性物质的磁单位不是磁分子，而是由许多磁分子组成的磁性区域。这些天然的磁性区域称作磁畴。在每个磁畴内的磁分子的磁场方向是一致的，所以具有一定的磁性，当外磁场不存在时，在一块磁性物

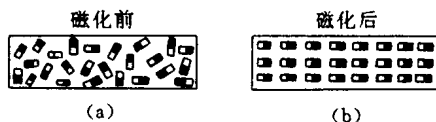


图 1-6 磁畴排列与磁性的关系

(a) 磁畴排列混乱，显示不出磁性；(b) 磁畴排列整齐，显示磁性

质中，由于磁畴方向紊乱，对外不呈现磁性。如图 1-6(a)所示。当外磁场作用时，各个磁畴的方向及其范围发生变化，从

而产生附加磁场。由于附加磁场的方向与外磁场的方向一致，故总的磁场大大增加，如图 1-6(b)。对铁磁性材料而言，此值可比外磁场强数百倍，甚至数千倍以上。例如，在电机和变压器等的线圈中以 10 号钢、硅钢等磁性材料作为铁心，在这种具有铁心的线圈中通入不大的激磁电流，铁心内的磁通就将极大增加，从而满足发电机和电器既要磁通大、又要激磁电流小的要求。物质受磁力作用而产生磁性的现象，称作磁化。当铁心外线圈中的电流被切断时，铁心的磁性将消失。这时铁心中残留磁性或称剩磁很小。如果铁磁性材料去掉外磁场时，磁畴的排列并不紊乱，仍基本上保持了一致性，因此对外仍显示了磁性，这就是永久磁铁磁场形成的原理。

对于非铁磁性材料，例如铜、铝、陶瓷等，它们没有磁畴的结构，在外磁场的作用下，它们的附加磁场极小。所以这些物质不具有磁化的特性。

第二节 磁生电

一、电磁感应的原理

由上所述可知磁场是电流产生的，电流周围存在着磁场。在电荷运动的条件下，电转化为磁，所谓“电生磁”；同样，在一定条件下，磁又能转化为电，即所谓“磁生电”。

当导体在磁场中相对磁场作运动时(见图 1-7)，导体将会切割磁力线。导体相对磁场运动有两种方式：磁场不动，导体移动；导体不动，磁场移动。导体切割磁力线后，导体中就会有电动势产生，这个电动势叫做感应电动势，这种现象称为电磁感应。如果导体是闭合电路，导体在感应电动势的作用下就有电流产生，这个电流叫做感应电流。发电机就是根据上述原

理制成的。感应电流的方向,可用右手定则来判定:假想伸出右手放在磁场中,使大拇指与其余四指垂直,并且在手掌同一平面里,让磁力线从手心穿过,用大拇指表示导体切割磁力线运动的方向,则其余四指所指的方向就是感应电流的方向。导体中感应电流的大小,主要取决于磁场的强弱、导体的长短和切割磁力线的速度(或磁力线变化速度)。

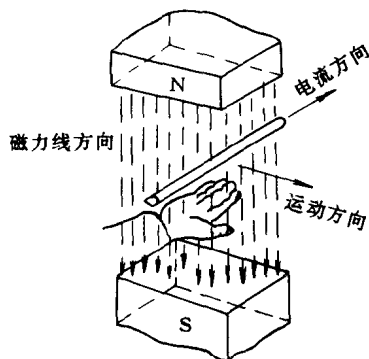


图 1-7 右手定则

二、交流发电机发电原理

图 1-8 是一个最简单的交流发电机装置:一个在磁场中旋转的单匝线圈,线圈的两端分别连接两个彼此绝缘的铜环,

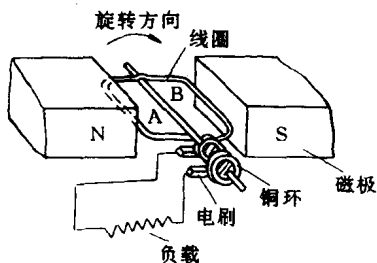


图 1-8 最简单的交流发电机

铜环上装有一对连接外电路的电刷。当线圈的 A 边在 N 极切割磁力线时,另一个 B 边同时在 S 极切割磁力线。根据右手定则,我们知道线圈两边感应电势的方向是相反的。线圈两个边在 N、S 极间旋转一

个整周,则线圈两个边感应的电流就将交变一次。所以其发出的是交流电。通过电刷与铜环的滑动接触,就能将电能引出到外电路。

第三节 交流电与整流电路

一、单相交流电

上面讲到的发电装置,磁场是固定的,线圈在磁场内转动而产生交流电。如果将一组线圈固定在定子铁心内,磁铁或电磁激磁铁心作为转子在定子内转动,那么同样可以发出交流电。下面按图 1-9 分析。设转子均匀转动, a 、 d 为线圈的输出端,转子转一周是 360° ,选四个位置进行讨论,并把转子在各

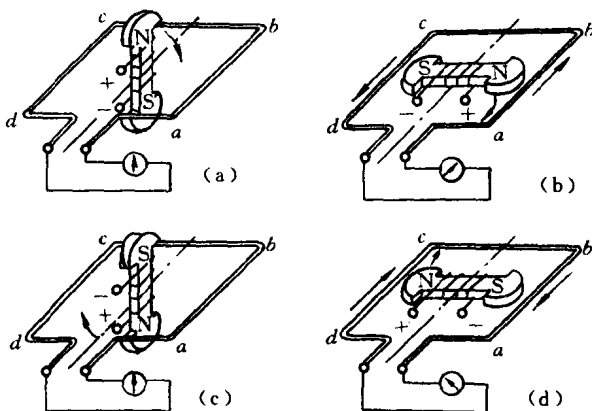


图 1-9 交流电的产生

位置时定子线圈内感应电流大小、方向用图 1-10 表示。

在图 1-9(a)位置时,线圈没有切割磁力线,所以感应电流为零;在(b)位置时转子转过 90° ,线圈切割磁力线最多,感

应电流也最大,感应电流的方向是 $a \rightarrow b \rightarrow c \rightarrow d$; 在(c)位置时,转子转过 180° ,线圈又没有切割磁力线,所以感应电流又为零;在(d)位置时,转子转过 270° ,此时线圈切割磁力线又达到最多,感应电流也达

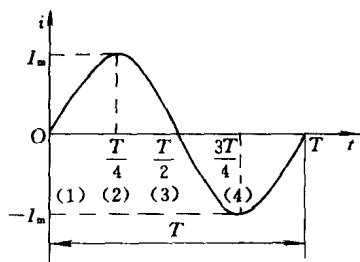


图 1-10 交流电的变化

到最大。但感应电流方向相反,为 $d \rightarrow c \rightarrow b \rightarrow a$ 。转子转过 360° ,又回复到位置(a),感应电流也回复到零。由上面的分析知道,转子转动一周,定子线圈中感应电流大小、方向的变化完成一次循环。所以这种大小、方向随时间作有规律变化的电流称为交流电。

电流变化一周(即完成一次循环)所需的时间叫周期,用 T 表示,单位是秒(s)。在单位时间(1 s)内,交流电变动的周数叫做频率,用字母 f 表示,单位是赫兹(Hz)(简称赫,1 Hz 就是每秒变动 1 周)。根据以上定义,周期和频率互为倒数,即

$$T = \frac{1}{f} \text{ 或 } f = \frac{1}{T}$$

二、三相交流电

在发电机的定子上,如果只有一组线圈,则只能产生单相交流电。这样的发电机称作单相交流发电机。它所发出的电流就是如上所述的单相交流电。

图 1-11 是最简单的三相交流发电机。其发电原理与单相交流发电机相同,但它的定子里不是一组线圈,而是有形