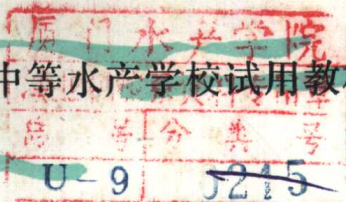


全国中等水产学校试用教材



渔船电气设备

山东省水产学校主编

渔船轮机专业用

农业出版社



全国中等水产学校试用教材

渔 船 电 气 设 备

山东省水产学校主编

渔船轮机管理专业用

农 业 出 版 社

主 编 山东省水产学校 王仁夫
编 者 河北水产学校 范恩圻
山东省水产学校 苗福本
福建水产学校 辜瓦金

全国中等水产学校试用教材

渔 船 电 气 设 备

山东省水产学校主编

农业出版社出版 (北京朝内大街130号)

新华书店北京发行所发行 农业出版社印刷厂印刷

787×1092毫米16开本 15.25印张 4插页 331千字

1980年7月第1版 1981年12月北京第2次印刷

印数 3,101—5,000册

统一书号 15144·598 定价 1.70元

说 明

本教材共分十一章。由山东省水产学校王仁夫编写第一、二、三章；苗福本编写第四、五、九章；河北省水产学校范恩圻编写第六、七、八章；福建省水产学校辜瓦金编写第十、十一章。

本书根据循序渐进的原则，由基础理论、电路分析、故障分析和维修管理等部分组成。供中等水产专业学校轮机管理专业作试用教材，也可供渔船轮机管理人员和有关技术人员参考。

本教材在编写过程中，得到山东海洋学院彭其祥、广东水产学校朱俊贤、上海海洋渔业公司七·二一大学杨美荣、大连水产学院朱庭海、烟台海洋渔业公司宗怀祥、广州市水产学校徐德新、旅大市水产学校吕迎新、山东省水产学校迟秉金、黄继德、汪人文等同志大力协助审定，致以深切的感谢。

由于我们水平有限，再加上时间仓促和资料不全，所以反映在教材上难免有疏漏和错误的地方，希望同志们提出批评和指导意见。

编 者

目 录

绪言	1
第一章 直流发电机	2
§ 1—1 直流发电机的分类和换向	2
§ 1—2 直流并激发电机	6
§ 1—3 直流复激发电机	9
§ 1—4 直流发电机的并联运行	11
§ 1—5 直流电机的维护保养	14
§ 1—6 直流电机大修后应做的检验	18
§ 1—7 直流发电机的故障分析和处理方法	20
复习思考题	23
第二章 直流电机的控制与保护设备	25
§ 2—1 概述及符号表示法	25
§ 2—2 开关、直流接触器与可控硅开关电路	31
§ 2—3 直流继电器与过压、过流保护	34
§ 2—4 自动空气断路器	37
§ 2—5 逆流保护与逆流继电器	40
§ 2—6 直流发电机稳压器	41
复习思考题	50
第三章 直流配电盘	51
§ 3—1 配电盘的作用与电路图	51
§ 3—2 600马力渔轮主配电盘	52
§ 3—3 蓄电池充放电配电板	61
§ 3—4 250马力渔船主配电盘	69
§ 3—5 灯光船和围网船主配电盘	71
§ 3—6 渔船电力网	79
复习思考题	82
第四章 直流电力拖动基础	83
§ 4—1 直流电动机的运行特性	83
§ 4—2 直流电动机的起动、反转、制动与调速	87
§ 4—3 电动机的选择	92
§ 4—4 柴油机的附属电气设备	95
复习思考题	104

第五章 直流电力拖动与自动控制	105
§ 5—1 控制器	105
§ 5—2 电动机起动控制箱	106
§ 5—3 电动锚机的控制	111
§ 5—4 电动网机的控制	116
§ 5—5 舵机的电力拖动	129
§ 5—6 船首转向的电力拖动	124
§ 5—7 直流电力拖动设备常见故障分析	126
复习思考题	130
第六章 交流同步发电机	131
§ 6—1 同步发电机的构造	132
§ 6—2 同步发电机的工作原理和电枢反应	133
§ 6—3 同步发电机的特性	135
§ 6—4 同步发电机的励磁装置	137
§ 6—5 同步发电机的并联运行	147
附: 交流发电机的故障及处理方法	151
复习思考题	152
第七章 发电机的保护设备和测量仪表	153
§ 7—1 万能式自动空气断路器	153
§ 7—2 逆功率继电器	158
§ 7—3 功率因数表	159
§ 7—4 频率表与绝缘电阻的测量	161
复习思考题	164
第八章 交流配电盘	165
§ 8—1 8003型主配电盘	165
§ 8—2 8103型主配电盘	172
§ 8—3 低压配电盘	178
复习思考题	183
第九章 交流电力拖动与自动控制	184
§ 9—1 泵和风机的电力拖动	184
§ 9—2 冷冻系统的电气控制	186
§ 9—3 空调设备的电气控制	193
§ 9—4 锚机的电力拖动	196
§ 9—5 3T—M油压舵机的电气控制	202
§ 9—6 交流电力拖动的常见故障分析	208
复习思考题	210
第十章 渔船讯号系统与电照	211
§ 10—1 航行灯控制箱	211
§ 10—2 信号灯开关箱	213
§ 10—3 主机油压油温水温报警器	214
§ 10—4 警铃控制箱	215

§ 10—5	交流电动式舵角指示器	216
§ 10—6	仪表式直流舵角指示器	218
§ 10—7	OD-110ZF型直流舵角指示器	220
§ 10—8	灯光传令钟	222
§ 10—9	渔船灯具	225
	复习思考题	227
第十一章	铅蓄电池	228
§ 11—1	铅蓄电池的构造和工作原理	228
§ 11—2	铅蓄电池的主要参数	229
§ 11—3	铅蓄电池充放电特性	231
§ 11—4	铅蓄电池的充电	233
§ 11—5	铅蓄电池的维护管理	234
§ 11—6	铅蓄电池常见故障与处理方法	236
	复习思考题	238

绪 言

随着电气设备在渔船上的广泛应用，已使其在航行、生产、通讯和生活等诸方面显示出越来越重要的作用。在向四个现代化迈进的道路上，渔船电气设备必然会进一步发展，作为轮机管理人员，应能担负对其维护管理的全部工作。因此，赋予“渔船电气设备”课程的任务是：在学习普通电工学的基础上，着重讲述渔船上应用的各种电机电器的工作原理，介绍一定的生产实践技能，以适应渔船日益电气化的需要。

解放前，我国的渔业生产是极端落后的，根本谈不上应用电气设备。解放后，在中国共产党的正确领导下，首先是机动渔船有了很大的发展，电气照明和对内燃机的电力起动出现了。1958年我国自行设计制造的250马力钢壳渔轮上已有了直流电力拖动和灯志讯号。到60年代，我国又相继造出了400马力和600马力渔轮。伴随着大功率渔轮的出现，70年代初期，交流电系统也在渔船上配置。尽管我国渔船的电气设备从无到有，发展迅速，但与世界先进水平相比，差距还是很大的。我们应该在新的长征道路上，发奋图强，急起直追，迎头赶上世界先进水平，使我国的渔业生产迅速达到现代化的要求。

渔轮上对电的日趋广泛的应用所显示出的优越性主要表现在以下几个方面：

用电力拖动锚机、网机和风机、水泵等，使之具有起动迅速、工作可靠，进而能实现远距离操纵和自动控制。这就能极大提高生产能力，减轻体力劳动。

通讯、导航、灯志等是对电的应用的另一个重要方面。它不但确保安全生产，而且使用助渔助航仪器能更多地提高捕获量。

空调、电视和冷冻、冷藏的设置，既给船上生活提供方便，又能提高续航能力和产品质量。

电力推进是船舶电气设备运用的新发展。利用电子计算机对动力机舱和航行的遥测和遥控，既能提高管理水平，又能使各种设备达到最经济的指标。

“渔船电气设备”是实践性较强，技术范围较广，并且涉及到电工、电子理论的一门课程。因而在学习时，要重视基础理论，同时又要密切联系实际。这样既能打下稳固的基础，掌握现代技术，又能看清科技发展的方向，跟上时代前进的步伐。因此在教学过程中，在加强基础理论讲授的同时，必须加强实验、实习，从实践中学会实际生产的技能。在学习方法上，不但要理论联系实际，还要勤于思考，善于总结。这样才能更好地巩固和加深理论知识，逐步掌握生产技能，提高学习效果。

我国海岸线很长，南、北方渔船的设备和图纸又不统一，因而在教学中，为了密切联系生产实际，对课本的内容，根据实际情况可有所侧重或增减。

第一章 直流发电机

渔船是一个独立单位，它有一套完整的电气设备，以使渔船在航行、通讯、生产和生活上有可靠的保证。

渔船发电机是全船的电源设备。目前在东海和北方是采用直流电制，由群众渔业的机帆船到国营渔业公司的 600 马力渔轮，直流发电机的容量由 300 瓦到 56 千瓦不等。供电电压有 12 伏、24 伏、110 伏和 220 伏。在南海已采用交流电制。交流电制在电气设备的经济性和维护管理等方面都比直流电制优越，是渔船电气设备的发展方向。交流发电机的容量在 40—75 千瓦之间，供电电压有 28 伏、230 伏和 400 伏。渔船通常由一台发电机供电，有的渔船需要两台发电机并联供电，这在理论上、操作技术和维护管理方面又提出了更高的要求。

§ 1—1 直流发电机的分类和换向

一、直流发电机的分类 直流发电机的电动势是电枢绕组旋转时切割磁极磁通产生的。磁极磁通是由在激磁绕组通以激磁电流产生的（激磁电流又称励磁电流）。直流发电机的性能与它的激磁方式有密切的关系，一般按激磁方式来分类可分为：

（一）他激发电机 这类发电机的激磁电流由其他电源供给（如另一台发电机或蓄电池供给）。如图 1—1（a）所示。

（二）自激发电机 这类发电机用本机发出电能的一部分来激磁，依据激磁绕组和电枢绕组的连接方法不同又分为：

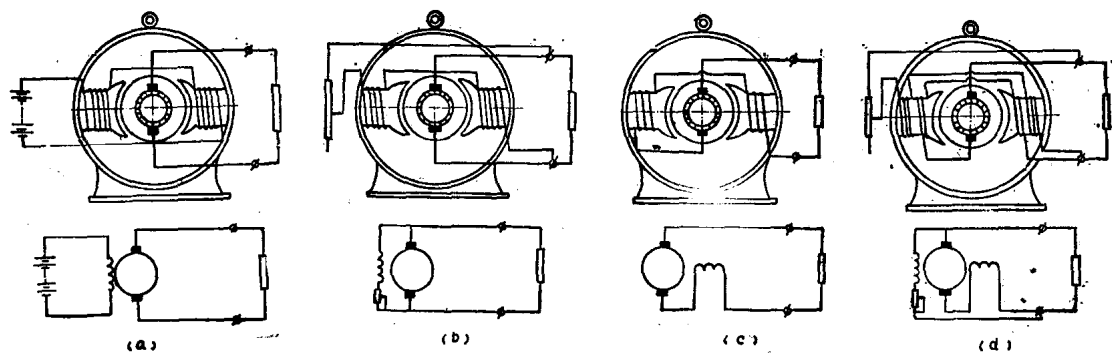


图 1—1 直流发电机的激磁方式

1. 并激发电机——其激磁绕组与电枢绕组并联，然后与负载相联，如图 1—1(b) 所示；

2. 串激发电机——其激磁绕组与电枢绕组串联，然后与负载相联，如图 1—1(c) 所示；

3. 复激发电机——该电机有两个激磁绕组，一个与电枢绕组并联，另一个与电枢绕组串联，然后与负载相联，如图 1—1(d) 所示。

直流电机有其可逆性。直流电动机的构造和直流发电机一样，其激磁方式也和直流发电机的分类一样，只是他激电动机是指其激磁电流和电枢电流是由两组电源供给的。

二、电枢反应及换向 激磁电流在激磁绕组所产生的磁通称磁极磁通，又称主磁通，磁极磁通的轴线和磁极的轴线一致，如图 1—2(a) 所示。在接通负载时电枢电流也产生磁通，此磁通称为电枢磁通。电枢磁通独自分布的情况如图 1—2(b) 所示，其轴线是与磁极轴线垂直的。当发电机发电时，激磁电流和电枢电流同时存在，由于磁力线不能交叉的原理，因而使主磁通发生扭斜，如图 1—2(c) 所示。

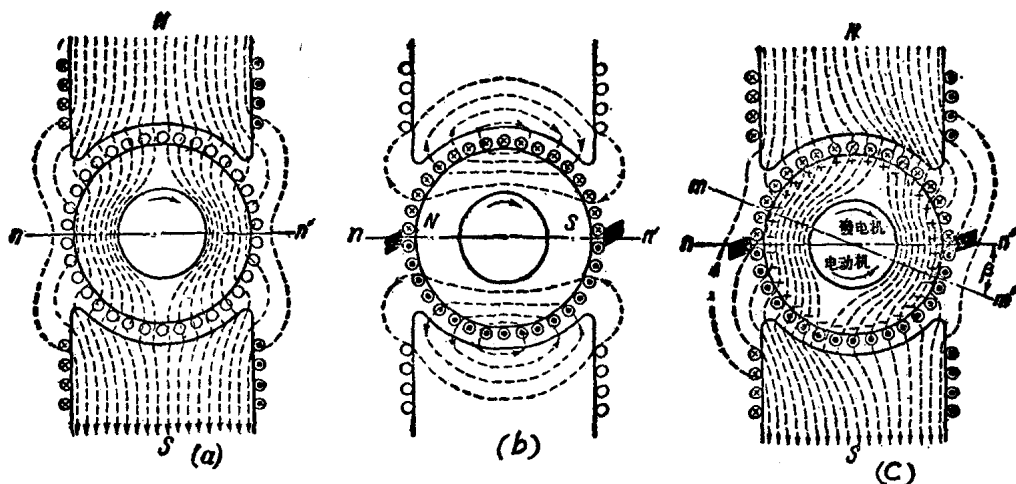


图 1—2 电枢反应中磁场的分布情况
(a) 磁极磁场 (b) 电枢磁场 (c) 发电机的合成磁场

这种由于电枢磁通对于主磁通的影响，称为电枢反应。电枢反应的结果：

(一) 使总磁通量减少 从图 1—2(c) 中可看出：由于磁通发生扭斜，使发电机磁极的前趾尖（电枢绕组先切割的部分）磁通减少，后趾尖的磁通增多。从表面看似乎是减少的数量与增多的数量应相等其总数不变。但由于磁极铁芯正常工作时处于半饱和状态，所以磁极的磁通在前趾尖减少的数量如数减少了，而在磁极后趾尖增加的数量因磁饱和原因不能如数增加，结果使总磁通量减少了。

(二) 因主磁通发生扭斜使电刷与换向器之间产生火花 发电机的电刷安放在换向器

的位置总是使电枢旋转时被电刷所短接的元件内的电动势为零，亦即安放在中性面上。在主磁通未发生扭斜时，其物理中性面与几何中性面重合。而在主磁通发生扭斜时，其物理中性面离开几何中性面而顺着电枢旋转的方向转动了一个 β 角度（ β 角的大小与电枢电流的大小有关）。此时由于电刷的位置未动，结果电刷所短接的元件内产生电动势，因而在电刷和换向器间产生火花。

当电枢旋转时，绕组的每个元件轮流不断地从一个并联支路换接到另一个并联支路。在元件从一个支路换接到另一个支路时所发生的整个现象，称做换向过程。如图1—3所示。

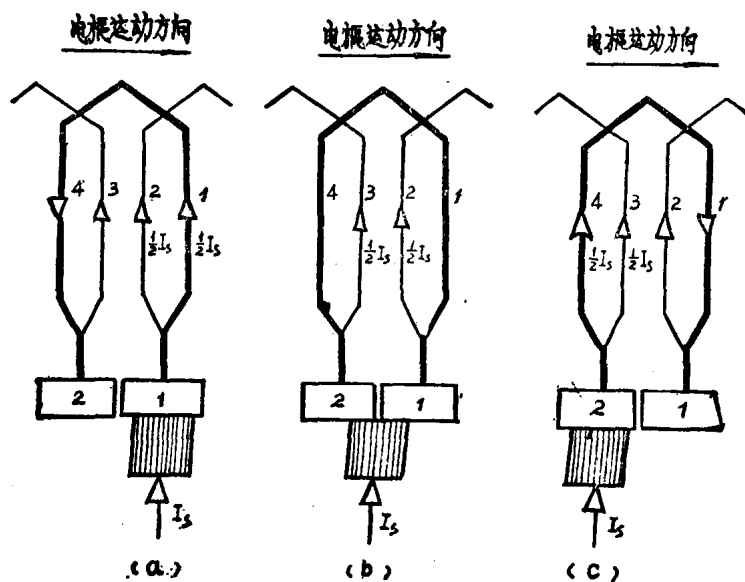


图1—3 换向过程

由导体1和4所构成的元件处在绕组的左面支路内并从左向右运动。外电路的电流经过电刷和换向片1后分做两路，一半电流（ $\frac{1}{2} I_s$ ）流向左面一支路（导体1—4—3等），另一半则流向右面一支路（导体2）。

从换向片2和电刷开始接触的时候起，元件1—4就被电刷短接（如图1—3b）。在整个换向期内，导体2和3的电流方向保持不变且其数值等于 $\frac{1}{2} I_s$ ，因为在这全段期间内，导

体2留在右面一支路，而导体3留在左面一支路，可是元件1和4内的电流是有改变的。

最初，元件1—4内的电流开始减小，等到换向片1和2各与电刷接触的面积相等时，这元件内的电流就减到零。这是因为在电刷同时和两个换向片接触时，通过这两片的电流与电刷到换向片的过渡层的电阻（过渡电阻或接触电阻）成反比，而这电阻又与电刷和换向片的接触面积成反比。当绕组继续向前运动时，元件内电流反转方向并开始增加，等到

电刷和换向片 1 脱离，也就是在换向期的末了时，它增到 $\frac{1}{2} I_a$ ，从这时刻起，元件 1—4 已经处在电枢绕组的右面一支路（如图 1—3c）。由此可知，在整个换向期内，被短接的元件内电流是从 $+\frac{1}{2} I_a$ 变到零，然后又从零变到 $-\frac{1}{2} I_a$ 。在前面所讨论的情况下，如果转速很低，而元件内电流改变很慢，电刷下的电流密度保持恒定，因此电刷发热均匀正常，换向器上没有火花。可是在正常转速之下，被短接的元件内电流的改变引起自感应磁通的迅速改变和在这元件内出现自感应电动势（这电动势称做反电势）。该电势的方向和上半个换向期内元件中所通过的电流方向一致。

当电刷和换向片 1 脱离（图 1—3c），其短接的元件被开断时，电刷和换向器之间就发生火花。这是由于自感应磁场的能量在元件开断时转变为热能量而有火花同时发生。

为了改善换向就应减小自感电势所产生的电流，这可采用电刷使过渡（接触）电阻增大来实现。硬碳刷产生的过渡电阻比软碳刷高，因此高压电机采用硬碳刷而低压电机采用软碳刷。

为了改善换向及电枢反应，通常在电机内装有换向磁极。换向磁极装置在电机主磁极之间的几何中性的位置上，所以又叫中间磁极。换向磁极的极性应和电枢电流所产生的磁通大小相等方向相反，使换向元件在旋转时，最后不感应电势。为此，把换向磁极的绕组和电枢绕组接成串联。其实际接线如图 1—4 所示，即自电刷的输出线是先串接到换向磁极绕组，而后再接到机壳外的接线盒中去。

为了得到和电枢磁通方向相反的换向磁极，在发电机内必须顺沿电枢旋转方向，在主磁极前面放置极性和它相同的换向磁极，如图 1—5 所示。

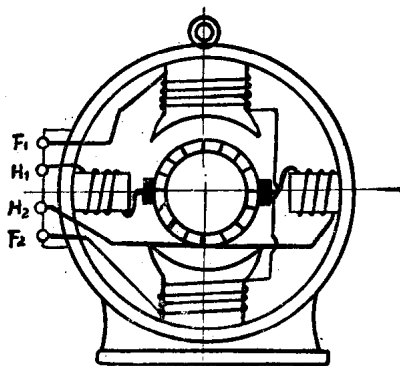
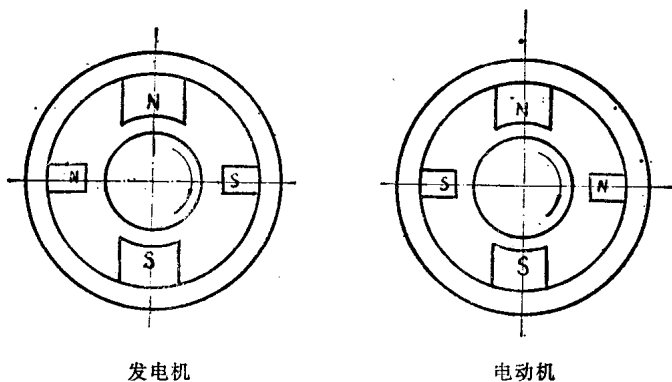


图 1—4 换向磁极的接线



发电机

电动机

图 1—5 主磁极和换向磁极的位置

如果把发电机做为电动机应用，那末，当旋转方向不变时，电枢电流的方向就必须改变。根据发电机分析的原理，电动机的换向磁极的极性和发电机相反，如图 1—5 所示。

§ 1—2 直流并激发电机

直流并发电机的电路如图 1—6 所示。在正常运转时的端电压由下式决定：

$$U = E - I_a r_a \quad (1-1)$$

式中 I_a 为电枢电流， r_a 为电枢内电阻。电枢电流不仅供给外电路的负载，而且还要供给其本身的激磁电路，即

$$I_a = I + I_L \quad (1-2)$$

式中 I 为外电路的负载电流， I_L 为激磁电路的电流。根据电路图可看出，激磁电流可按式求得：

$$I_L = \frac{U}{R_L + r_L} \quad (1-3)$$

式中 U 为发电机的端电压， r_L 为激磁绕组的电阻， R_L 为激磁电路中磁场变阻器的电阻 (R_L 在不加另外说明时，通常又作为激磁电路的总电阻)。激磁电流一般很小，只有额定电流的 5% 左右。为了要用较小的电流获得较多的磁通，故并激绕组的匝数较多，且线径较细。

一、并发电机电势的建立过程 这种发电机的电势建立是靠电机的自激作用来实现的。

剩磁的存在为自激的先决条件。当电枢以一定转速 n 旋转时，剩磁磁通能使电枢绕组产生很小的感应电动势 E_0 。这电势又能在激磁绕组中形成很小的激磁电流。如果激磁绕组的接法正确，即它所产生的磁通与剩磁磁通方向相同，结果使磁极的磁通增加，于是使电枢绕组产生较大的电势。此电势又使激磁绕组内产生较大的激磁电流，激磁电流再次增加磁通，磁通再次增加电枢中的电势，如此反复，电势就建立起来了。

二、并发电机的空载特性 表示发电机电势和激磁电流之间关系的曲线称为空载特性曲线。并发电机的空载特性曲线如图 1—7 中的 1 所示。因为空载时电枢电流等于激磁电流，是很小的，电机内部压降也很小，所以可以认为空载时的端电压近似等于电势。这种发电机的空载特性曲线开始部分近似为直线，这是由于磁路尚未饱和的缘故。曲线中段的弯曲部

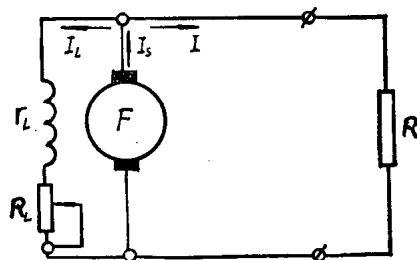


图 1—6 直流并激发电机电路图

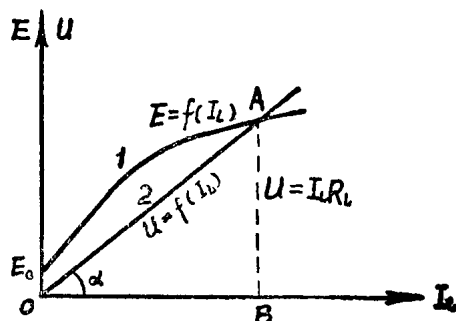


图 1—7 并发电机的空载特性曲线和激磁电路的电阻直线

分称为曲线的膝部，这时，电机磁路处于半饱和状态，即 I_L 仍按原速率增加，但磁通增加的速率减慢了。曲线的以后部分较平直，这时电机磁路已近于饱和，虽然 I_L 还在按原速率增加，但磁通增加很少，所以电势升高不多。通常电机的工作点是选在膝部以后部分，如图中A点。这样既可以通过调整激磁来调整电势，而且运行也较稳定。

根据欧姆定律，激磁电流 $I_L = \frac{E}{r_s + R_L} \approx \frac{E}{R_L} \approx \frac{U}{R_L}$ （因为 $R_L \gg r_s$ ）。当激磁电路的

电阻 R_L 为定值时，则激磁电流 I_L 和端电压 U 之间为一直线关系，这直线称为激磁电路的电阻直线或场阻线，如图 1—7 中的直线 2 所示。

此直线与空载特性曲线的交点 A 决定了激磁电路的电阻为 R_L 时建立起来的电势的大小。因为只有在交点 A 处才能同时满足 $E = f(I_L)$ 和 $U = f(I_L)$ 两个关系式。

因为激磁电路的电阻直线与横轴的夹角

$$\alpha = \arctg \frac{\overline{AB}}{\overline{OB}} = \arctg \frac{U}{I_L} = \arctg R_L \quad (1-4)$$

显然当 R_L 改变时， α 角也将改变，交点 A 的位置及其对应的发电机电势也就改变，这样就可以达到调节发电机电压的目的。由图中可以看出 R_L 越大，交点 A 越向左移，当 R_L 大到使电阻直线与空载特性曲线相切时，发电机将不可能得到稳定电势，这时的电阻值叫临界电阻。当 R_L 大于临界电阻时，发电机就根本不可能建立起所需的电势。因此，我们可以得出并激发电机建立电势的必要条件有四个：

- (一) 磁极有剩磁；
- (二) 激磁绕组接法正确；
- (三) R_L 小于临界电阻；
- (四) 转速符合规定。

他发电机的激磁电流由于是另外一电源供给，所以电势的建立比较容易，不必考虑剩磁和激磁绕组的接法。但在应用时考虑到正负极的接线，所以还要注意其激磁电流的方向和电枢的转向。

他发电机的空载特性和并激发电机相似，不再另述。

三、并激发电机的外特性 发电机端电压 U 和负载电流 I 之间关系的曲线称为发电机的外特性曲线。当 $n = \text{常数}$ 和 R_L 不变时，并发电机的外特性 $U = f(I)$ 如图 1—8 中曲线 1 所示。发电机的端电压是随着负载的增加而逐渐下降的。使端电压下降的原因有三个：

- (一) 电枢反应使发电机磁极的磁通减小，所以

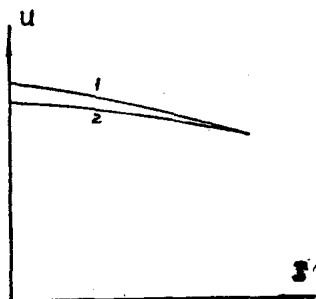


图 1—8 并、他发电机的外特性曲线

电势随之减小，电压因而降低；

(二) 因为 $U = E - I_a r_a$ ，当负载增加时， $I_a r_a$ 增加，所以端电压降低；

(三) 端电压因上述两原因减低后，由于激磁电路的电阻未变，所以激磁电流也因之减小，磁极磁通又减弱，使端电压进一步降低。

上述三种原因的互相影响，发电机的端电压似乎有下降到零的趋势，但实际上由于电机工作点在接近饱和之处，当负载增加时，端电压下降的数值是有限度的。

负载从零增到额定值时，电压降落约为额定电压的 10—15%。

他激发电机的外特性如图 1—8 中曲线 2 所示。其端电压也是随着负载的增加而有所下降，只是其下降的幅度比并激发电机略低。其下降的原因和并激发电机比较是没有其第(三)条，因而不象并激发电机下降那么大。

四、并发电机的调节特性 要使发电机的端电压在负载变化时而保持稳定，可以随着负载的大小而随时调节激磁电流。调节特性曲线就是表明在端电压等于常数下，激磁电流 I_L 随着负载电流 I 的变化应该如何调节，如图 1—9 所示。这条特性曲线之所以略带上升，是因为在负载增加时，如果不增加激磁电流以补偿电枢反应的去磁作用及电枢的内阻压降，则不能保持端电压的恒定。

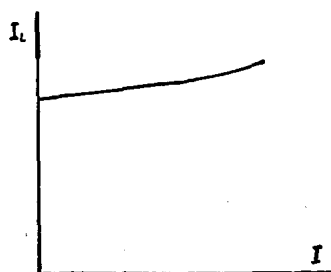


图 1—9 并发电机的调节特性曲线

他发电机的调节特性和并发电机的调节特性相似。

当并激发电机短路时，端电压 U 为零，于是激磁电流 I_L 也为零，所以短路时电枢电流并不很大，不象其他电源因短路电流过大而能烧毁电源设备。这是并激发电机的主要优点。但是在发电机运行时，外电路的突然短路，因为激磁绕组有很大的电感，激磁电流不能突变，即在短时间内电机的主磁通不会立即减少，电枢电动势不能立即降低，所以其电流值有一短时间大大超过额定值，从而引起严重火花。这对电机特别是对换向器的维护很不利，虽然说电机不会因此而烧毁，但也不可掉以轻心。

并激发电机有电枢和激磁两个电路共四个接线端，在接线盒的各接线端都标有符号。国产直流电机出线标记：

F_1 、 F_2 ——并激绕组线端（亦有用 B_1 、 B_2 来表示的，旧的电机亦有用 π 表示的）；

S_1 、 S_2 ——电枢绕组线端（亦有用 A_1 、 A_2 来表示的，旧的电机亦有用 Π 表示的）；

H_1 、 H_2 ——换向极绕组线端。

在应用中通常电枢和换向极为同一支路，如图

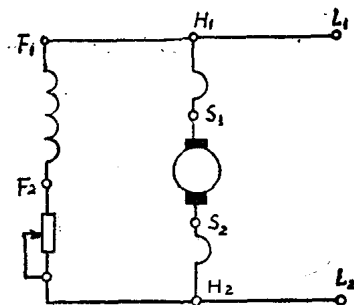


图 1—10 并激电机的接线端符号

1—10 所示, 所以又常把接线端标出的 H_1 、 H_2 看做是电枢线端。

§ 1—3 直流复激发电机

一、串激发电机原理 激磁绕组和电枢串联的发电机称为串激发电机。图 1—11 为串激发电机的连接简图。

在串激发电机中, 激磁电流就是流过电枢的电流, 也是负载的电流。即

$$I = I_s = I_L \quad (1-5)$$

根据原理图可知发电机的端电压

$$U = E - I(r_s + r_c) \quad (1-6)$$

式中的 r_c 为串激绕组的电阻。

因为通过串激绕组的电流很大, 所以串激绕组的导线较粗, 并且圈数不多。因此, 激磁绕组的电阻很小, 其阻值与电枢电阻值相近。

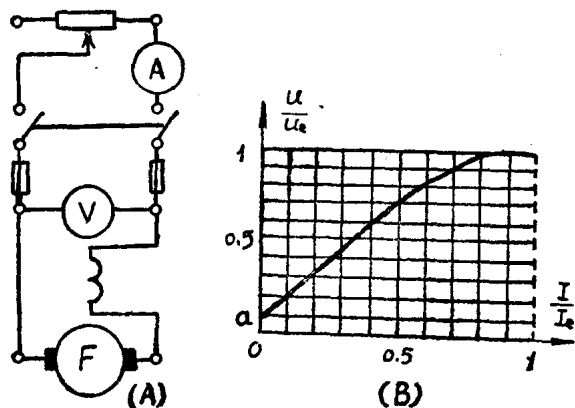


图 1—11 串激发电机
(A) 原理图 (B) 外特性曲线

发电机空载时, 电枢和激磁绕组中都无电流, 电枢中只能产生由剩磁形成的电势。因此这种发电机的空载特性曲线只能在激磁绕组由另外电源供电时才能做出来, 它的结果与并发电机的空载特性曲线相同。

串激发电机的外特性与其他类型发电机的外特性大不相同。当负载增加时, 因为激磁绕组内的电流 (和电枢电流相同) 以及由它形成的磁通都和负载电流 (或电枢电流) 同时增长, 所以电势随着负载的加大而上升。

图 1—11 B 所示的串激发电机外特性曲线, 线段 Oa 代表因剩磁而产生的电势。

串激发电机短路时电流将很大。

串激发电机的端电压随着负载的变化而变化很大, 极不稳定, 所以除了特殊用途外, 很少应用。

二、复激发电机 复激发电机的每个磁极上有两个激磁绕组 (并激绕组与串激绕组), 其原理图如图 1—12 所示。

由图可知, 发电机的端电压

$$U = E - I_s r_s - I r_c$$

因为在空载时, 串激绕组的电流等于零, 所以它的空载特性曲线与并发电机的相同。

图 1—13 为复激发电机的外特性曲线。

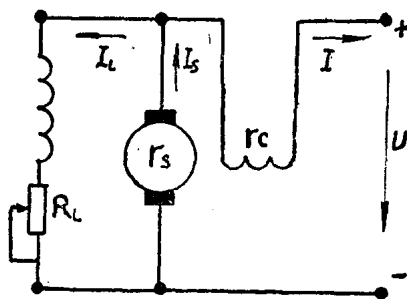


图 1—12 复激发电机原理图

因为在复发电机里，当负载增加时，除了具有和并发电机相同的使端电压下降的三个因素外，尚有串激绕组使发电机的电势随着负载的增加而增大的因素，它可以补偿电压的降低。由于串激磁场的强弱不同，所以复发电机有不同的外特性曲线。若发电机到满载时，串激特性的上升恰好弥补了并激特性的下降，仍可达到额定电压，称为平复激（如图中曲线1所示）。若串激绕组匝数增多，串激特性即增强，发电机的端电压随着负载的增加而升高，称为过复激（如图中曲线2所示）。这是为了在较远距离输电时，除了线路上的损失，在用电器端仍可得到额定电压。若串激磁场较弱，则串激特性不明显，即发电机随着负载的增加，端电压仍然下降，和并激电机相似但下降程度比并激电机小些。如图中曲线3所示，称为欠复激。以上串激绕组所产生的磁通和并激绕组所产生的磁通方向一致，统称为积复激。若串激绕组所产生的磁通和并激绕组所产生的磁通方向相反，称为差复激，其特性如图中曲线4所示。差复激电机通常不作为发电机应用，其原理常用到电焊机中。

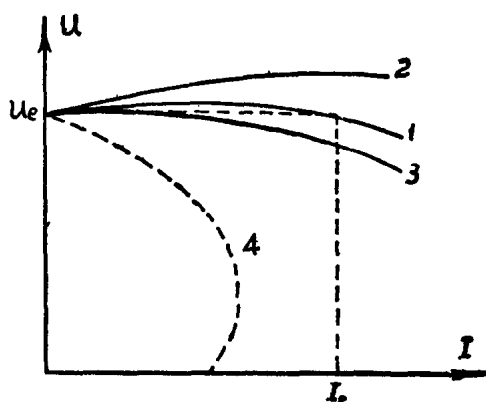


图 1—13 复发电机的外特性曲线

直流复发电机的电势建立过程和并发电机完全一样，这是因为在未加负载时串激绕组不起作用（或者其作用极微弱，不影响其本质的变化）的缘故。

复发电机的接线盒内有六个接线端，除电枢和并激绕组的四个接线端外，尚有串激绕组的两个接线端，常用 C_1 、 C_2 表示。在接线时，可以先将并激绕组和电枢支路并联起来再和串激绕组串联（又叫内并式或短并式），如图 1—14（A）所示；也可以先将串激绕组和电枢支路串联起来再和并激绕组并联（又叫外并式或长并式），如图 1—14（B）所示。这两种接线法在应用上和特性上没有多大区别。

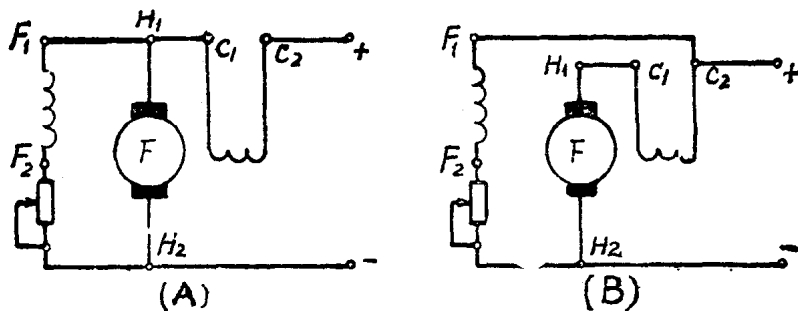


图 1—14 复发电机的接线
(A) 先并后串式 (B) 先串后并式