
飞机电气系统

〔英〕EHJ·帕利特 著

韩世杰 徐荣林 译



国防工业出版社

V242
1009

飞机电气系统

[英] E.H.J. 帕利特 著

韩世杰 徐荣林 译



国防工业出版社

562462

系 内 容 简 介

本书简明扼要地叙述了飞机电气系统中所用的直流发电机、交流发电机、配电系统以及各种开关、继电器、电动机和电子系统的工作原理与基本结构。可供具有中等技术水平的航空电气专业广大技术人员、工人以及飞机电气设备维修人员阅读。

著 林 莱 特 著 译

AIRCRAFT ELECTRICAL SYSTEMS

EHJ Pallett

Pitman 1979

*

飞 机 电 气 系 统

[英] EHJ·帕利特 著

韩世杰 徐荣林 译

责任编辑 米德友

*

国防工业出版社出版

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

*

850×1168¹/₃₂ 印张 8¹/₈ 214千字

1985年10月第一版 1985年10月第一次印刷 印数：001—920册

统一书号：15034·2870 定价：1.85元

前 言

随着飞机的发展，航空电气设备的发展也是日新月异的。特别是电子技术的迅速发展和在航空电气设备中的应用，使航空电气设备的面貌大为改观。新材料、新器件、新的设计思想不断地涌现，推动了航空电气设备的发展。

为了使航空电气专业的有关同志对迅速发展的航空电气设备有一个比较全面的了解，我们翻译了本书，目的是介绍国际上航空电气设备的应用现况，以供开阔眼界，启发思路。此外，本书还简要地介绍了航空电气系统的各个方面，只要具有中等以上文化水平的专业人员都可以看懂，并可从中了解航空电气系统的基本知识。本书避免了数学推导，用介绍结构的办法说明各种器件和系统的基本原理和功用。对于初学者来说，本书可当作一本教科书来阅读。每章后面都有习题，可供读者自己测验学得的知识，为学习提供了方便。

本书介绍的内容较全，如其中叙述了静止变流器、无刷交流发电机与恒速传动装置等。有些电路是根据新型的巨型喷气客机，如波音 747 等的电路加以简化绘制的。另外，本书关于飞机静电屏蔽、搭铁、照明设备以及发动机起动系统、点火系统、防冰系统、起落架控制系统等方面的内容都有较完整的论述，这在其他书中还不多见。

本书的不足之处是没有包括国外最近的发展动向，对设计时要考虑的一些问题也很少涉及。

限于译者的水平，书中一定有不少错误和不够妥当的地方，欢迎读者批评指正。

—译者—

目 录

第一章	电源——直流发电机	1
第二章	电源——蓄电池	22
第三章	交流电源	39
第四章	功率变换设备	74
第五章	地面电源	102
第六章	测量仪表、告警指示器及告警灯	110
第七章	配电	127
第八章	电路控制器件	156
第九章	电路保护器件	174
第十章	用电部件	189
第十一章	用电系统	216
	术语表和基本电路	248

第一章 电源——直流发电机

一、引言

飞机上大多数用电设备是由发电机供电的，它可以是直流发电机也可以是交流发电机。本章介绍作为飞机电气设备主电源的直流发电机，在论述某些典型发电机的构造和运行细节之前，先重温一下产生电流的基本原理。

二、基本原理

根据电磁感应原理发电机是将机械能转换成电能。直流发电机和交流发电机都感应交流电压，其主要区别在于电能的收集和与外部电路的连接方法。

图 1.1(a) 示出了一个最简单的发电机，即单匝线圈“AB”在两磁极之间旋转，导线端部通过滑环、电刷与外部负载连接成一个电路。当线圈平面与磁场成直角时（图 1.1(b) 位置 1），线圈没有感应电压；当线圈旋转了 90° 时，导线垂直切割磁力线，在位置 2 时感应的电压最大；当线圈接近垂直位置时，因为导线切割的磁力线减少了，故电压减小；在位置 3 时，感应的电压为零。如继续旋转，切割的磁力线数逐渐增加，直到 270° （位置 4）时，电压再次到最大，但由于是反方向切割，故感应的电压方向也相反。如再继续旋转则切割的磁力线数又减少，感应电压也减小，当线圈转到位置 1 时，电压为零。画出整周的感应电压就得到图示的正弦曲线。

把交流转换成直流，有必要用一个叫做换向器的集电装置来代替滑环，如图 1.2(a) 所示。由图可见，它是由互相绝缘并与线圈两端连接的两个换向器片构成的。电刷的安置应使得每一换

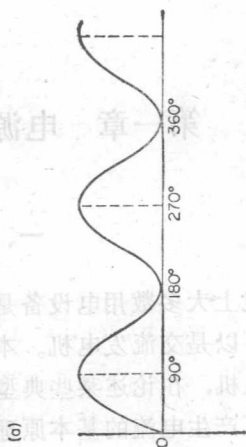
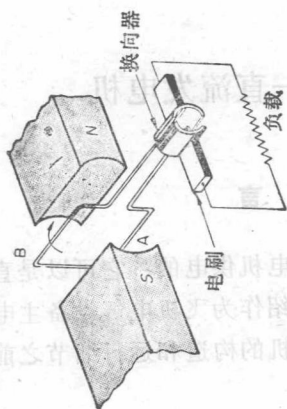


图1.2 发电机原理图
(a) 换向器的使用; (b) 电流波形。

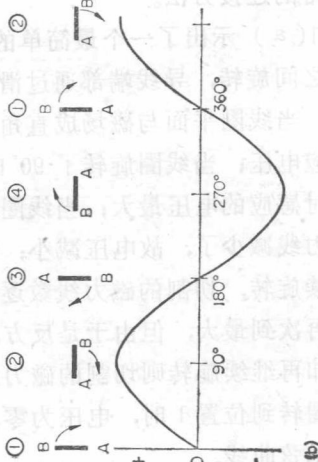
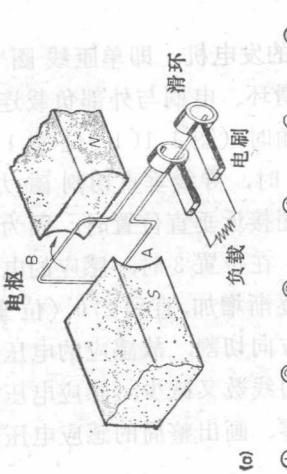


图1.1 交流发电机原理图
(a) 交流发电机模型; (b) 感应电压曲线。

向器片与电刷脱离接触而与另一电刷接触的时刻，刚好是在线圈经过感应电压为最小的位置。换句话说，就是只产生单方向的脉动电流，如图 1.2(b) 的曲线所示。

为了减少电压脉动，使输出更加恒定，需要更多的线圈和换向器片。它们的互相连接和空间位置，使得总有几个线圈处在最大作用位置上，使脉动的输出成为波纹输出，如图 1.3 所示。

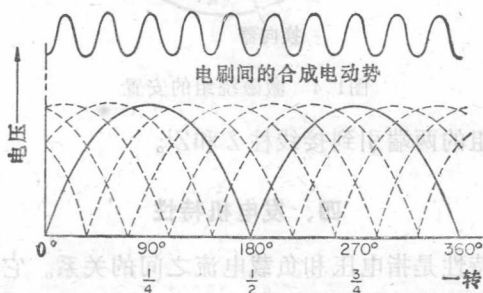


图 1.3 多线圈对输出的影响

三、发电机类别

发电机是根据磁场的激励方法分类的，通常可分为下述三类：

- (1) 永磁发电机；
- (2) 他激发电机，其磁极由单独的直流电源的电流来激励；
- (3) 自激发电机，其磁极由发电机本身产生的电流来激励。

这些电机可通过激磁绕组与电枢绕组的连接方法进一步加以分类。

在飞机直流电源系统中，均使用自激的并激发电机，因此，下面将详述这种型式的发电机。

图 1.4 示出了四极自激发电机激磁绕组的安置。电枢电路的静止部分由四个电刷、连接同极性电刷的连线以及将电刷接到接线柱 A 和 A' 的电缆组成。四个激磁线圈的电阻很大，互相串联形成激磁绕组。它们的绕制和连接方式应保证交错产生 N 极和 S

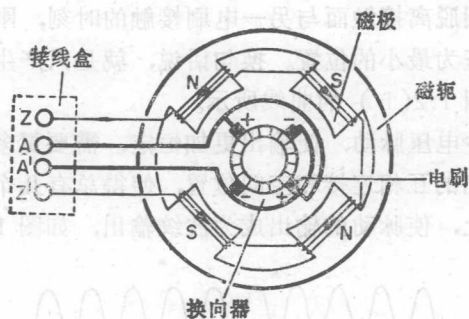


图1.4 激磁绕组的安置

极。激磁绕组的两端引到接线柱 Z 和 Z¹。

四、发电机特性

发电机特性是指电压和负载电流之间的关系。它有两种，即：外特性：是指端电压与负载电流之间的关系；内特性：是指电动势与负载电流之间的关系。这些关系一般用曲线表示，而且曲线是在发电机一个特定的转速下绘制的。

五、并激发电机

并激发电机是三种自激发电机中的一种，而且如前所述，已应用于飞机直流电源系统。“并激”这一术语意味着高电阻的激磁绕组与电枢并联，如图 1.5 所示。电枢电流分为两路，一路流过激磁绕组，另一路流过外电路。由于激磁绕组的电阻大，因而流过外电路的电流很大，可避免在发电机中消耗过多的电能。

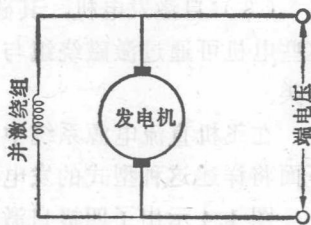


图1.5 并激绕组的连接

1. 工作原理和特性

当电枢旋转时，导线切割磁极剩磁产生的微弱磁场，在电枢绕组中感应出一个小的电动势并施加于激磁绕组，在其中产生电流，从而磁通增加，这又引起感应

电动势和激磁电流逐渐增加,直到端电压达到最大稳定空载电压为止。

并发电机的特性曲线如图 1.6 所示。

由图可以看出,端电压随着负载电流的增大而逐渐下降。这是由于电枢绕组中的电压降 (IR 压降) 和电枢反应削弱主磁通所引起的。端电压的下降减小了激磁电流,主磁通进一步减弱因此使端电压进一步下降。

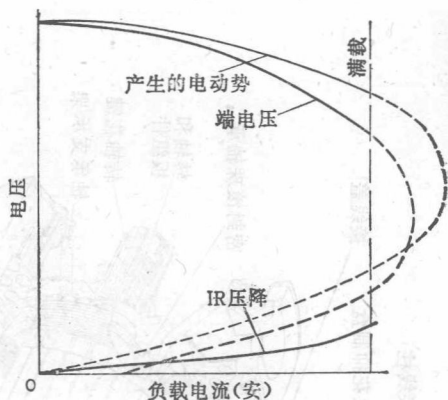


图1.6 并发电机的特性曲线

如果在发电机达到满载后,继续增大负载,则端电压下降的速率增加,直到再也不能支持负载电流为止,最后端电压和电流都降到零。随着激磁的减小,并发电机的外特性非常迅速地下降到负载电流很小的短路点。实际上可通过后面叙述的电压调节器来调节激磁电流,使电压在所有负载状态下保持恒定。

有时由于发热、冲击或瞬时反向电流会使发电机失去剩磁或极性相反。这可以用电流瞬时地通过激磁绕组(从正接线柱到负接线柱)的方法重新获得所需极性的剩磁,这一步骤称“闪磁”。

2. 发电机结构

目前在涡轮螺旋桨发动机的民用运输机中,使用的一种典型并激四极发电机如图1.7所示。这种发电机设计成在4500~8500转/分的转速范围内,以300安连续工作电流提供9千瓦的输出功率。这种电机的基本结构,包括五个主要部件:磁轭、电枢、两个端盖和电刷组件。

磁轭 磁轭是发电机的机壳,用来安装四个磁极和激磁绕组,它还起连接端盖的作用。激磁绕组是由一定安匝数的各预制线圈组成,安装在磁极上时,其串联方式要使线圈电流在磁极上产生

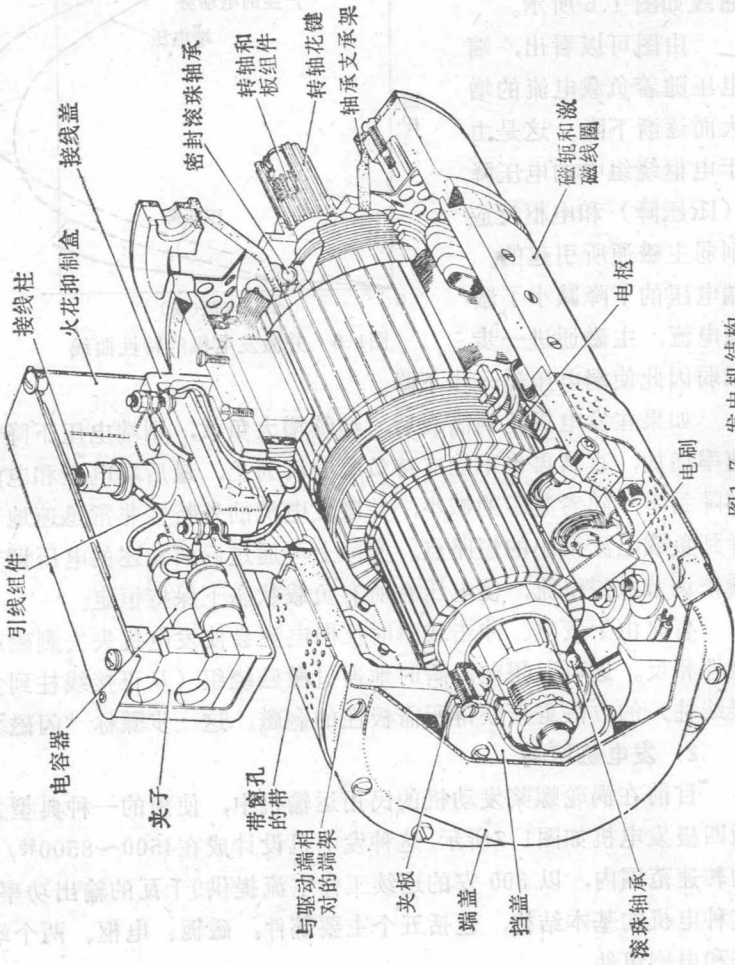


图1.7 发电机结构

的磁场极性是N、S极交错的（见图1.4）。

激磁绕组有合适的绝缘，紧密地安装在磁极上，后者又用螺栓与磁轭固定。磁极的表面受电枢旋转所引起的变动磁场的影响，要产生感应电动势，在磁极表面产生涡流，磁极为叠片结构，将薄的软铁片氧化处理以相互绝缘，从而使涡流回路具有高电阻。

换向极和补偿绕组 在负载工作时，流过发电机电枢绕组的电流产生磁场，它叠加到激磁绕组电流所产生的主磁场上。由于磁力线不能交叉，故电枢磁场使主磁场畸变，畸变的程度随负载大小而变化，这种畸变效应称为电枢反应。如果不予补偿，电枢反应会产生另外两个不利的影 响：（1）使物理中性线偏离几何中性线，在换向器上产生电抗性火花；（2）减弱主磁场，使感应电动势减小。在负载变化的条件下，可通过改变电刷的位置，尽可能地减少上述影响，但更有效的方法是在电磁系统中附加一些绕组，这些绕组称为换向极绕组和补偿绕组。

换向极绕组放在位于两主极之间的换向极上，其极面较窄。换向极的极性与顺旋转方向下一个主极的极性相同，因为换向极磁通与电枢磁通的方向相反，所以只要换向极绕组具有一定的匝数，它们在所有负载下都能平衡。

为了完全补偿电枢反应，必须对换向极产生的影响再加以补充，因为仅有换向极是不能完全消除主极表面出现的所有畸变，因此还放置了与换向极绕组和电枢绕组串联的补偿绕组。补偿绕组位于主极极靴表面的槽中，这样补偿绕组的线圈边与电枢绕组的线圈边平行。补偿绕组的安匝数等于电枢绕组的安匝数，而它所产生的磁通的方向却与电枢磁通的方向相反。

辅助换向极绕组 换向极在减小电抗火花中的效果受电枢转速限制，因而把换向极作为场绕组系统的独立部件使用会把发电机工作转速限制在一个狭窄的范围内，即图1.7所示发电机的设计转速范围。对转速范围较宽的发电机（例如由2850转/分至10000转/分），当发电机速度从最大减到最小时单独使用换向极会

产生副作用，造成电抗火花。为了克服这个缺点，对给定负载的发电机有必要减小换向极的磁动势，可在换向极线圈上缠绕辅助线圈并将辅助线圈与发电机的并激绕组串联以获得所要求的效果。这样，当每一辅助线圈由并激电路电流激励时，所产生的磁动势极性与同一极上的换向极线圈产生的磁动势相反。电抗电动势和换向电动势在发电机转速的整个范围内保持严格的平衡有助于获得无火花换向。

电枢组件 由电枢组件轴（实心的或空心的）、电枢铁芯、电枢绕组、换向器和轴承组成。整个组件经过静平衡和动平衡试验，在图 1-7 所示的发电机中，电枢轴是空心的，其内腔花键与驱动轴的花键相配，而驱动轴贯穿整个空心轴。

电枢绕组由许多个相同的线圈组成。这些线圈由铜条制成，并嵌放在电枢铁芯的槽中。为了防止由于离心力引起的位移，用钢丝（某些情况用钢带）捆扎电枢外圆。每一线圈的两端连接到换向器，并用银钎焊焊在互相绝缘换向器片上。一个线圈的末端与另一线圈的始端连接在同一换向器片上，这样整个绕组形成一个闭合电路。常常用硅清漆对这些绕组进行真空浸漆，以便在所有情况下保持绝缘电阻。

大多数飞机发电机的换向器直径较小，以尽可能减小离心力的影响，换向器由一些狭长的换向片（铜片）组成，其数目等于电枢线圈数（典型的数值是 51 个线圈）。在换向片上成对安装（通常装四对）窄长电刷，并保证每一换向片与电刷间的接触面积，这是有效换向的一个必要条件。

所有飞机发电机的电枢都由滚珠轴承或滚柱轴承支承或者由这两种轴承组合支承。在单个发电机中使用组合支承，滚珠轴承常常安装在电枢轴的驱动端，滚柱轴承安装在换向器端。这种安排允许电枢轴由于发电机温升而引起横向膨胀，以免轴承损坏。轴承用规定的高熔点润滑脂或润滑油来润滑，可以是密封式或非密封式的。密封的油脂润滑轴承由制造厂预先封装好，在轴承寿

命期间不再需要加润滑剂。非密封式油脂润滑的轴承带有足够的润滑剂，以便发电机在使用期间能持续地工作。一般来说，油润滑轴承的润滑剂通过浸油毡垫引入轴承，并有密封圈以防止润滑油流入发电机内部。

端盖组件 这些组件用螺栓固定在磁轭的两端，并装有轴承。驱动侧端盖把发电机连接到发动机安装座或齿轮箱传动装置上；换向器侧的端盖安装电刷组件，在大多数情况下还与冷却空气导管相接。可卸下通常盖住换向器侧端盖上观察孔的防护带来检查或更换电刷。

电刷组件 电刷组件包括电刷和将电刷保持在正确位置并与几何中性线成规定角度的设备。

用于飞机发电机的电刷由用人造的电化石墨制成。取几种天然碳，碾碎成粉末，混合在一起并在电炉中加热到很高的温度之后靠机械压力把混合物压成所要求的形状，这种电化石墨电刷具有碳的坚实性和石墨的润滑性。另外，它遇火花不燃烧，对换向器磨损极少以及它的导热性能足以经受过载。

如前所述，有效换向的基本条件是每个换向片与电刷的接触面积应得到保证，为此在刷握上往往安装几对电刷，在图 1.7 所示发电机中采用了四对电刷。刷盒两端是开口的，其内表面经机械加工到电刷尺寸，要稍有间隙，使电刷能自由滑动而不会倾斜或摇动。电刷与换向器间的接触是靠固定在刷握销柱上的可调弹簧的压力保持的。为使弹簧不受电流的影响，通常将弹簧靠在电刷预部表面的这一端安装一个绝缘垫或绝缘滚子。

刷握或者用螺栓固定到摇杆上，而摇杆用螺栓固定到换向器侧端上，或者如图示发电机那样，直接用螺栓将刷握固定到端盖上。为了换向良好，摇杆或端盖可旋转一个小的角度以改变电刷相对于几何中性线的位置。在每一台发电机上都有表示正常工作位置的标志。

当有四个或更多刷握时，它们均径向相对设置，电刷正负交错排列，相同极性的电刷由导条和软导线连接在一起。

电刷上装有在制造期间模压在电刷中的短引线或柔软的铜编织线，短编织线的自由端接在接线片上，接线片再经由刷握和各连接线与发电机相应的主接线柱连接。

接线板 电刷组件和激磁绕组的引线连接到固定于接线板的接线柱上，此接线板装在换向器侧端盖上，或（如某些发电机那样）装在机壳上（见图 1.7）。接线柱和接线板在接线盒内并用盖子盖住，接线盒则装在端盖上。配电系统的输出供电电缆的入口穿过橡胶夹子。通常规定当从电机驱动端观察时电枢是反时针方向旋转。在其中的两个接线柱之间连有可卸连线，如果要使发电机改变旋转方向，可以在另一处连接接线柱。

火花的抑制 不管发电机的电刷火花多么微弱，会对无线电信号产生干扰。这种干扰可通过屏蔽和抑制来消除。屏蔽是把发电机装在金属盒内并将输出供电电缆套在金属管内，以防止直接辐射。为了防止干扰沿配电电缆系统传导，屏蔽的输出供电电缆端接滤波器或抑制装置。它由扼流圈和电容器组成并装在离发电机非常近的金属盒中，这种独立的抑制装置比较笨重，因此现在把它与发电机合并，它一般没有扼流圈，只有适当计算过的电容器（见图 1.7）。电容器接在电机壳体（地）和接线柱之间。使用这种内部抑制后，就不需要把输出供电电缆装在金属套管中了，因此发电机的总重量大大减轻。

电刷磨损 制造电化石墨电刷的碳是多孔性的，因而它有吸收其他物质并把它们保留的能力。湿气就是这些物质中的一种，人们早就知道大气中的湿气能够提供很好的润滑而在电刷接触功能中起重要作用。湿气是在不规则的电刷接触面吸入的，而且在换向器上形成一层薄膜，电刷正是与此薄膜接触的。可是在飞机高空飞行之前还不能完全认识到湿气所起的作用是多么重要，在高空情况下产生了电刷迅速磨损的问题，从研究这个问题中发现，其根源是高空大气太干燥，从而产生三个不良影响：（1）由于润滑膜不能形成，电刷与换向器间产生摩擦；（2）接触电阻变得可以忽略不计，引起严重的电抗火花，加速电刷的腐蚀；（3）由

于摩擦形成的静电荷造成电刷分子的分解。

采用具有化学添加剂的电刷已在很大程度上消除了这些影响，这种化学添加剂起着代替大气湿气形成表面层的功能。一般使用两类有明显区别的电刷：一类电刷在换向器上形成电阻恒定的半润滑薄膜；而另一类实际上是自润滑电刷，不形成薄膜。

形成薄膜电刷的成分含有化合物（例如氟化钡），以便在换向器表面逐渐形成电阻值恒定的半润滑膜，只要安装电刷的发电机事先已在试验台上运转了数小时，已形成了保护膜，那么这种电刷在高达 60000 英尺的高空也不会不正常的磨损。这种保护膜一旦形成，颜色很深，常常给人以换向器脏的印象。

不形成薄膜的这类电刷含有润滑成分，例如二硫化钼，它常纵向地填充在电刷芯内。因为这类电刷是自润滑的，因而发电机在进入使用前就不必安装这类电刷预先运转数小时。但与形成薄膜的电刷相比，它的缺点是：磨损快、寿命短。

六、发电机与发动机的连接

发电机电枢经齿轮驱动的轴连接到原动机即飞机发动机上，该齿轮为附件齿轮箱的一部分，所需传动比取决于发电机的额定输出和飞机电气系统的负载要求，因而是变化的。

驱动轴（称为空心轴驱动）是一端或两端带有细齿或花键（阴的或者是阳的）的金属轴。这些细齿或花键与发电机电枢轴上相应结构的配合，传输驱动齿轮所给的力矩。空心轴驱动要满足的一个要求是在发电机电枢卡住的情况下，必须有效地断开驱动力矩的传递。这一点可设计驱动轴使其某一截面的直径比其余截面小来实现，这样轴在过大力矩的作用下薄弱部位就会被剪断。

空心轴驱动常常是短距的刚性传动，但在某些场合，可以要求一端与电枢空心轴中切得很深的细齿耦合的长传动。这种安排可使传动吸收大部分的机械振动，这种振动是以其他途径经附属齿轮箱传到发电机的。

把发电机固定到发动机或附件齿轮箱上可采用不同的方法，

但通常安装不是采用法兰盘就是用夹紧环。若采用安装法兰盘，则电机驱动端端盖的直径通常要扩展到比磁轭大，因此形成一个凸缘，法兰盘上的孔能容纳位于发动机或齿轮箱安装垫上的螺柱，发电机最后用螺母锁紧垫圈等固定。法兰盘安装的另一种形式基于具有两种直径的发电机端盖。较大的直径不大于磁轭的直径而且靠在安装垫上，而较小的直径部分在磁轭和端盖较大直径处之间提供一个沟槽，安装螺柱伸在其中。这种安装形成的另一种结构用在图 1.7 中所示的发电机中。

用夹紧环安装发电机时，发电机驱动端端盖有一个延伸部分，在传动装置的安装面上有一个凹槽。当发电机延伸部分完全与这凹槽接触时，端盖上的凸缘与传动装置安装面上形成的耦合凸缘相靠，然后这两个凸缘用夹紧环夹在一起。在夹紧环放到两个凸缘上后，用一张力螺钉拧紧。通常还包括插销，把发电机定位在传动装置上，并吸收发电机工作时的反作用力矩。

七、发电机的冷却

如果输入机械功率不受限制，发电机的最大输出功率在很大程度上由散热的难易程度确定，而热是由磁滞损耗和电流在绕组中热效应等原因产生的。容积大输出较小的发电机利用壳体的大表面自然热辐射的过程，可以充分的冷却。但这种自然冷却方法

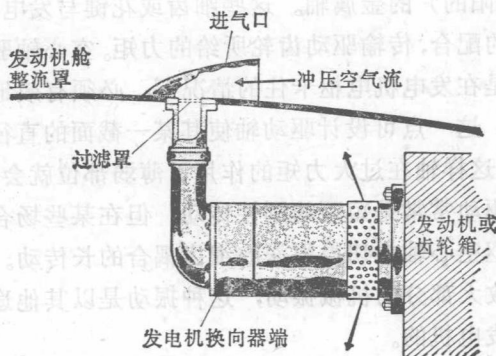


图1.8 典型冷却系统