

“十三五” 航空航天专业规划教材

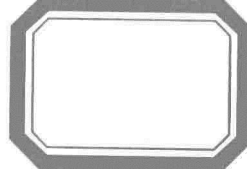
# 飞机电气系统

FEIJI DIANQI XITONG

秦 岩 主编

航空工业出版社

“十三五” 航空航天专业规划教材



# 飞机电气系统

秦 岩 主编

航空工业出版社

北 京

## 内 容 提 要

《飞机电气系统》(高职类)全书共分7章。第1章至第4章为飞机电源系统,分别讲述了飞机电源系统的组成和发展;飞机直流电源系统;飞机交流电源系统;二次电源、应急电源、地面电源和飞机电网等方面的基础理论知识和基本工作原理;第5章至第7章介绍飞机上典型的用电系统,分别讲述了飞机的灯光系统、防火系统、防冰和排雨系统等方面的基本工作原理及维修的理论知识。

本书可用作民航院校航空机电设备维修、航空电子设备维修等高职类民航机务维修相关专业的飞机电气系统课程教材,对民用航空器维修人员具有一定的参考价值。

### 图书在版编目(CIP)数据

飞机电气系统/秦岩主编. --北京:航空工业出版社,2016.1

“十三五”航空航天专业规划教材

ISBN 978-7-5165-0926-5

I. ①飞… II. ①秦… III. ①飞机—航空电气设备—  
高等教育—教材 IV. ①V242

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第270539号

## 飞机电气系统 Feiji Dianqi Xitong

航空工业出版社出版发行

(北京市朝阳区北苑2号院 100012)

发行部电话:010-84936597 010-84936343

三河市华骏印务包装有限公司印刷

全国各地新华书店经售

2016年1月第1版

2016年1月第1次印刷

开本:787×1092 1/16

印张:10

字数:238千字

印数:1—2000

定价:24.00元

# 总 前 言

经过几十年的快速发展，我国的制造业规模已跃居世界第一位，建立起门类齐全、独立完整的制造体系，成为支撑我国经济社会发展的重要基石。为完成中国制造由大变强的战略任务，党中央、国务院正式发布了《中国制造2025》规划。其中，航空航天作为装备制造业的重要组成部分和高精尖科学技术的重要代表，被列为国家大力推动发展的重点领域。

随着我国航空航天技术的迅猛发展，亟需大量高水平、高素质的科研与技能型人才，国内众多的高校、职业院校纷纷开设航空航天相关的院系和专业。但与教学配套的教材储备却相对薄弱，现有的航空航天教材多存在着版本老、案例少、知识体系与工程实际相脱节等问题，不能完全满足院校的教学需要。

鉴于此，中航出版传媒有限责任公司（航空工业出版社）广泛联系多所航空航天院校，密切沟通、深入交流、共同组织，计划在“中国制造2025”规划的指导下，在国家“十三五”规划期间，依托航空航天院校最新的教学、科研成果和我公司多年的出版经验积累，开发一套紧扣课改、内容充实、体例新颖、企业参与、配套丰富的新教材——“十三五”航空航天专业规划教材。

本套教材计划包含飞行器的原理基础、结构技术、材料技术、气动技术、推进技术，以及发动机、机载设备、航电系统等多方面的知识，覆盖航空航天的多个专业方向，在国家“十三五”期间陆续出齐。

衷心希望本套教材最终能达到服务院校教学需要、为祖国培养高素质航空航天专业人才、助力“中国制造2025”的目的。

# 前 言

航空公司机务维修岗位中设有电气岗位，需要专业的飞机电气维护和维修人员。航空院校的机务维修类专业如航空机电设备维修专业和航空电子设备维修专业都开设了飞机电气系统课程，且为主要的专业课程之一；飞机电气系统同时又是民用航空器维修基础执照考试大纲规定的内容，因此要求民航机务维修相关专业的学生必须深入、系统、全面地学习。

本书将岗位需求和行业标准融入到课程内容中，并考虑到高职民航机务维修类专业与相关本科专业的差异，针对高职专业的特点，编写适用于高职教育的飞机电气系统教材，使其能够联系基础，联系实际，突出应用，促进学生的学习能力，进而提高学生的专业技能，实现与就业岗位的对接并满足行业标准的需求。

随着科学技术的发展，先进的电子、电气技术广泛应用在飞机上，飞机电气系统逐步在更新、改进，要求维修人员不但要具备扎实的基础知识，还要与时俱进，随时了解新型电气系统的应用和发展状况，以便能适应新机型的需要，胜任岗位工作。因此，在前期的专业课的学习尤为重要。

飞机电气系统作为主要专业课程，要求高职民航机务维修类专业的学生掌握飞机电源系统的组成，了解其在飞机运行中的工作情况；掌握飞机发电机的结构和工作原理，发电机的调压，并联供电，控制与故障保护；熟悉灯光系统、防火系统、防冰排雨系统的组成及工作原理。这些都要求学生具备扎实的专业基础理论知识和专业知识，具有一定的理论联系实际的应用能力，为今后的工作提供相应的专业理论和实践知识。

全书由秦岩主编。中国民航大学航空自动化学院刘建英老师、彭若梅老师、赵迎春老师、董慧芬老师、朱继军老师以及中国民航大学工程技术训练中心阮睿飞老师、任励勇老师等为本书的编写提出了很多宝贵的意见和建议，在此一并表示感谢。

本书由中国民航大学盛乐山老师审阅，并提出了许多中肯的修改建议，对  
试读结束：需要全本请在线购买：[www.ertongbook.com](http://www.ertongbook.com)

此表示衷心的感谢!

本书在出版过程中得到了中国民航大学职业技术学院领导的大力支持,编者深表谢忱!感谢航空工业出版社为本书的编写提供的大量帮助。

由于理论水平和实践经验有限,书中难免存在许多错误和不足,敬请各位专家和读者指正,以便再版时加以纠正。

编者

2015年5月

# 目 录

<b>第 1 章 概述</b> .....	( 1 )
1.1 飞机电源系统的组成与发展 .....	( 1 )
1.2 飞机电源系统的主要类型及特点 .....	( 4 )
1.3 飞机电源系统的供电方式和主要参数 .....	( 9 )
<b>第 2 章 飞机直流电源系统</b> .....	( 12 )
2.1 航空蓄电池 .....	( 12 )
2.2 直流发电机的结构和基本原理 .....	( 22 )
2.3 直流发电机的电压调节 .....	( 30 )
2.4 直流电源的并联运行 .....	( 34 )
2.5 直流电源供电的控制与保护 .....	( 40 )
<b>第 3 章 飞机交流电源系统</b> .....	( 46 )
3.1 恒速传动装置 .....	( 46 )
3.2 交流发电机的原理和励磁方式 .....	( 59 )
3.3 交流发电机电压的自动调节 .....	( 66 )
3.4 飞机交流发电机的并联供电 .....	( 69 )
3.5 飞机交流电源的控制关系 .....	( 76 )
3.6 交流电源系统的故障保护 .....	( 80 )
<b>第 4 章 二次电源、应急电源、地面电源和飞机电网</b> .....	( 87 )
4.1 二次电源和应急电源设备 .....	( 87 )
4.2 航空器地面电源 .....	( 91 )
4.3 飞机供电网络 .....	( 93 )
<b>第 5 章 灯光系统</b> .....	( 100 )
5.1 机内灯光 .....	( 100 )
5.2 机外灯光 .....	( 105 )
5.3 应急灯光 .....	( 107 )
5.4 灯光系统维护注意事项 .....	( 109 )
<b>第 6 章 防火系统</b> .....	( 110 )
6.1 概述 .....	( 110 )

---

---

6.2	火警探测系统 .....	(112)
6.3	飞机灭火系统 .....	(122)
<b>第7章</b>	<b>防冰和排雨系统 .....</b>	<b>(131)</b>
7.1	防冰和排雨概述 .....	(131)
7.2	结冰探测器 .....	(133)
7.3	防冰和除冰 .....	(138)
7.4	风挡排雨系统 .....	(146)
7.5	飞机的地面除冰 .....	(149)
<b>参考文献</b>	<b>.....</b>	<b>(151)</b>



# 第1章 概述

飞机的电源系统和用电设备组成了飞机电气系统。飞机电源系统的作用是向飞机上的所有用电设备供电，即飞机上电能的生产、调节，电能的变换和传输过程中的控制与保护。飞机电源系统包含从发电机到用电设备输入端的全部环节，通常分为供电系统和输配电系统两大部分。飞机的用电系统主要包括飞机的灯光系统、防火系统、防冰和排雨系统等。

## 1.1 飞机电源系统的组成与发展

### 1.1.1 飞机电源系统的组成

飞机电源系统由主电源、辅助电源、应急电源、二次电源及外接电源插座等构成。典型双发飞机的电源系统部件位置如图 1-1 所示。

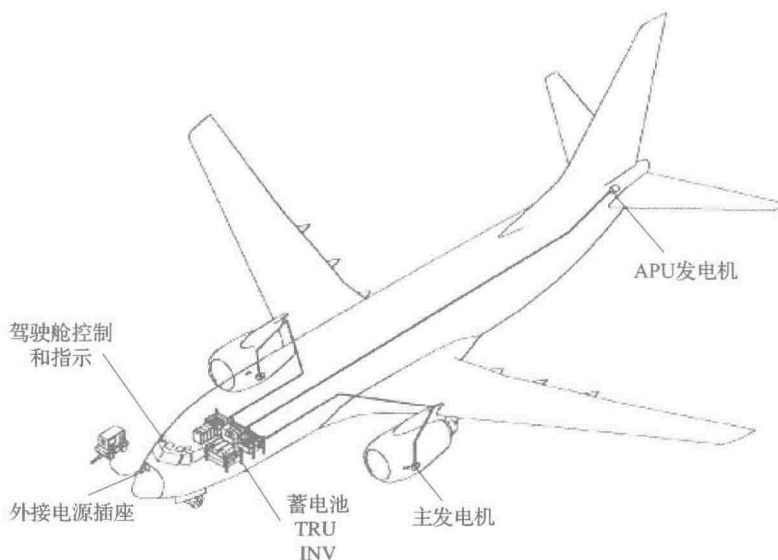


图 1-1 典型双发飞机的电源系统部件位置图

飞机主电源是指由飞机发动机直接或间接传动的发电系统，通常一台发动机传动一台或两台发电机。正常飞行时，飞机主电源是机上全部用电设备的能量来源。

飞机在地面时，主电源不工作，机上用电设备由辅助电源或机场专用电源通过机上的外接电源插座供电。辅助电源有航空蓄电池和辅助动力装置传动的发电机（APU.G）两种，小型飞机常用蓄电池，大型飞机多用辅助动力装置传动的发电机。辅助电源一般在地面工作，也可以在空中接替失效的主发电机向飞机供电。

飞行中若主电源和辅助电源全部失效，则由应急电源供电。应急电源通常指的是航空蓄电池，有些飞机选装有应急发电机，如冲压空气涡轮发电机、液压马达驱动发电机。由于航

空蓄电池及应急发电机的容量较小,因此只能向飞机上的重要用电设备供电,以保证飞机尽快选择机场着陆或返航。

飞机在机场作地面检查或起动航空发动机时,常由外接地面电源向机上供电。外接电源工作时,机上主电源一般不投入电网。

二次电源是将主电源电能变换为另一种形式或规格的电能,以满足不同用电设备的需要。在低压直流电源系统中,目前常用的二次电源是静止变流器,它可以将低压直流电变换为交流电。在交流主电源系统中,二次电源主要指变压整流器,可以将三相交流电变换为28V 低压直流电。

### 1.1.2 飞机上的用电设备及其分类

#### (1) 按用途分类

飞机上的电气负载按用途可以分为以下几类。

##### ①电动机机构

电动机机构主要用于飞机的操纵机构,如水平安定面、襟翼、舵面调整片、起落架收放装置,以及驱动油泵、阀门等的电动机,其功率占总负载的30%左右,包括直流电动机机构和交流异步电动机机构。

##### ②加热和防冰负载

厨房和防冰加温负载占大型运输机总负载的40%左右,这类负载对电能类型和质量无特殊要求,可以采用直流电、恒频交流电或变频交流电供电。

##### ③电子设备

电子设备一般采用恒频交流电供电,对电源质量要求高,其容量约占总负载的20%。

##### ④照明设备

直流电或变频交流电均可供电,一般要求电压稳定,约占总负载的8%。

飞机类型不同、飞行任务不同时,耗电量也不同。运输机的用电高峰应是冬季夜间飞行,这时的照明、加温防冰及生活用电设备用电量最大。此外,当飞机处于不同状态时,电气负载的用电量也不同。一般根据用电量的大小,将整个飞行过程分为几个主要阶段,如飞行前准备(包括地面维护、加油、设备预热等)、发动机起动、滑行、起飞和爬升、巡航、下降着陆和飞行后检查等。

图1-2所示为某型飞机不同飞行阶段的用电量曲线。其中航前和航后由地面电源或辅助电源供电。由图可见,飞机在起飞与爬升时的用电量最大,因此,电源的总容量应按最大用电量选取。

#### (2) 按重要程度分类

飞机上的电气负载按其重要程度,一般可以分成3类。

##### ①关键设备或最重要设备

它包括发动机和飞机操纵控制设备,如发动机的起动、喷油及点火设备;发动机推力或转速控制设备;飞机仪表、飞行控制、导航及通信设备;起落架收放和舱门启闭设备等。这些设备关系到飞机的安全,通常采用4余度供电,即两套独立的主电源,一套备用电源,一套应急电源。蓄电池应工作在充足电的状态,以便应急时有足够的电量。

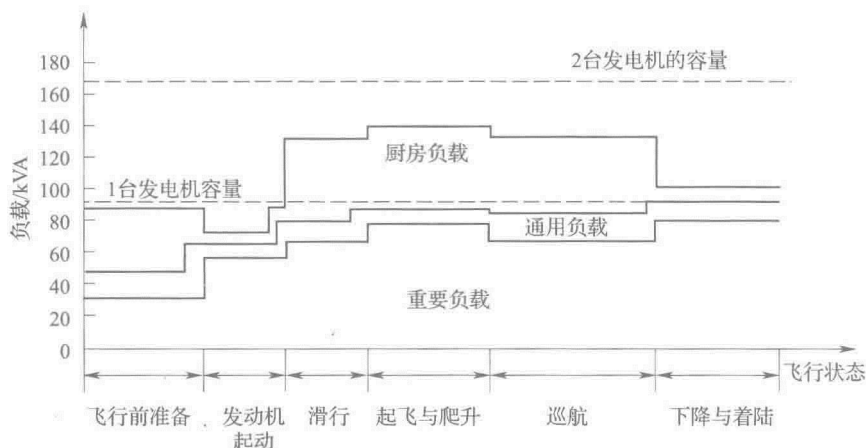


图 1-2 飞机负载分布图

## ②重要设备

重要设备是保障机上人员生活和工作所需的设备，如座舱环境控制系统、防冰除冰设备等。重要设备通常采用3余度供电方式，由两套主电源和一套备用电源供电，用电设备可有选择地工作。

## ③通用设备及厨房设备

通用用电设备如客舱照明设备、旅客娱乐设备、厨房设备等，通常由主电源供电，故障时若主电源容量不够，可以人工或自动卸去一些次要负载。

从图 1-2 中的曲线可以看出，飞机上的重要负载约占总负载的一半。用一台发电机就可以给整个重要负载供电。厨房的加热负载约占总负载的 40%，在起动发动机或一台主电源失效时，一般要卸去厨房负载和通用负载。

### 1.1.3 飞机电源系统的发展概况

图 1-3 所示为我国民航所使用的几个典型机种的电源安装容量示意图。由图可见，早期的中、小型飞机主电源以直流电为主，电源容量只有几千瓦到十几千瓦，如运 5 飞机只有一台 3kW 的直流发电机。这个时期的飞机采用的是活塞式发动机，二次电源由旋转变流机提供。与直流发电机配套使用的调压器为振动式调压器或炭片调压器，电源系统的控制由人工来完成。

中型涡轮螺旋桨飞机使飞机的升限和航程都加大，电源容量也相应增长。这些飞机的主电源出现了交、直流发电机共有的情况，如运 7、安-24、伊尔-18 等机型。这些飞机除保留 28V 低压直流电源系统外，还配备了变频交流电源系统，如容量最大的伊尔-18 飞机，配有 8 台 12kW 的直流发电机和 4 台 8kVA 的交流发电机。

在这一阶段的交流电源系统中，交流发电机多为有刷励磁方式，与之配套的调压器为交流磁炭式电压调节器，其控制方式以人工操作继电器控制为主。

现代大型喷气式运输机采用涡轮喷气发动机，其主电源大多采用恒频交流电源系统，而且其容量也大大增加，较早的涡轮喷气式客机如波音 707、“三叉戟”、图-154 等飞机上，采用恒速传动装置及两极式无刷交流发电机，电源总容量为 80~120kVA<sup>①</sup>，调压器为磁放

① 即  $kV \cdot A$ ，一般在设备铭牌上以 kVA 表示设备容量。

大器式或晶体管式。在波音 747、波音 757 及波音 767 等机型上，采用组合驱动发电机 (IDG)，由集成电路组成的调压器与以微处理器为中心的控制保护装置组合在一起，组成发电机控制组件 (GCU)。这些发展都使系统的可靠性大大提高，体积、重量下降。

图 1-3 中，波音 707 和波音 747 飞机分别是 4 台 30kVA 和 90kVA 的交流发电机实行并联供电。其余各机型都是单独供电。

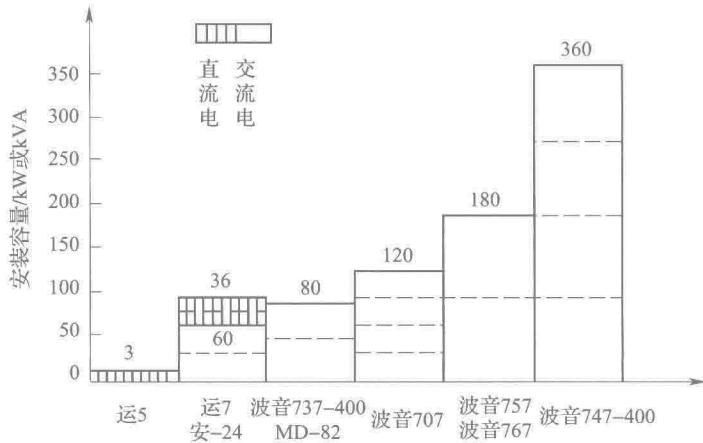


图 1-3 飞机电源容量的增长

## 1.2 飞机电源系统的主要类型及特点

飞机上采用的主电源类型随飞机类型及其性能要求、飞机的用途及用电设备的不同而有所不同。目前国内外正在使用的飞机主电源是多种多样的：有低压直流电源系统、变速变频交流电源系统、恒速恒频交流电源系统、变速恒频交流电源系统和高压直流电源系统，多电或全电飞机采用的新型恒压变频交流电源系统等。

### 1.2.1 低压直流电源系统

低压直流电源是飞机上最早采用的电源系统，20 世纪 40 年代趋于成熟。主电源由航空发动机直接传动的直流发电机和控制保护器等组成。电源的调定电压是 28.5V，发电机额定容量有 3kW、6kW、9kW、12kW 等几种，相应的额定电流分别为 100A、200A、300A 和 400A。二次电源是由旋转变流机或静变流器把低压直流电转变为单相或三相交流电，应急电源是航空蓄电池。大型飞机上有辅助动力装置传动的直流发电机作为辅助或备用电源。采用这种电源系统的机型有运 5、里-2、伊尔-14 及 C-46 等。

目前一般在 30 座以下的小型支线飞机上，普遍采用低压直流电源系统。这一方面是因为支线飞机的用电量不大，另一方面由于近年来逐步采用了新型的低压直流电源系统，其高转速 (6500 ~ 12000r/min) 和高性能导磁材料的使用使电机的体积重量大大减轻。如 9kW 的起动发电机重量从 28kg 降到 15.4kg，其重量功率比从 3.11 降低为 1.70。

同时，新型的直流起动发电机采用固态发电机控制保护装置，除了具有调压、故障保护及控制功能外，还具备机内自检等功能，使直流发电系统具有更优越的性能。因此，在小型

支线飞机和通用航空飞机上得到了广泛应用。

### 1.2.2 变速变频交流电源系统 (VSVF)

当交流同步发电机通过变速器直接由飞机发动机传动时,发出的交流电是变频交流电,其结构示意图如图1-4所示。

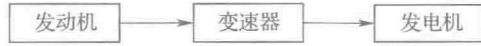


图 1-4 变速变频交流电源框图

变频电源系统不需要恒速传动装置,因而系统结构简单、重量轻、可靠性高。但由于喷气式发动机的转速变化范围可达3:1,其发出的交流电只能供加温、照明等对频率没有要求的设备使用,若要满足某些需要恒频交流电的设备,还需要另加变换装置,增加了设备重量。所以这种变频交流电源更适用于装有涡轮螺旋桨发动机的飞机,因为这种发动机的转速变化范围小,一般为1.15:1,所以交流电的频率变化范围也较小;同时,由于支线飞机上要求高质量供电的设备较少,因此,在支线飞机上单独采用变速变频交流电源系统具有很大的吸引力。

### 1.2.3 混合电源系统

由低压直流和变频交流电源组成的混合供电系统在支线飞机上得到了广泛应用。在较大的支线飞机上采用混合供电系统可以更经济。负载分析表明,支线飞机上加热和防冰负载占很大比例,由于这类负载对供电质量的要求较低,因而,用变频交流电来满足这类负载的供电要求既经济又有效。另外,这些支线飞机基本上都采用涡桨发动机,在巡航时发动机转速基本不变,从而为采用变频交流电源创造了良好的条件。

一般30座以上、80座以下的支线飞机往往采用混合供电系统。其中的低压直流电源系统单机容量一般在7.5~12kW之间。飞机上的重要负载也都接在低压直流电源系统上。

混合供电系统中的变频交流系统总容量不大,一般在15~40kVA之间。在大多数情况下,该系统由两台变频交流发电机及其控制保护装置组成,用来向加热和防冰负载供电,也可以向备用燃油泵和一些航空电子设备供电。

与大多数飞机一样,在支线飞机的混合供电系统中,低压直流部分和变频交流部分都各有各的发电机。但在有些支线飞机上,采用了双输出发电机,如肖特330等。在这种飞机上,一台发电机能同时提供低压直流电和变频交流电,并能用于起动发动机。

混合电源的发展方向是采用微处理器型的发电机控制保护装置和汇流条功率控制装置,从而实现电网的监控和保护,同时进一步减轻重量,降低维修费用。

### 1.2.4 恒速恒频交流电源系统 (CSCF)

恒速恒频交流电源系统的发电机通过恒速传动装置(CSD)由飞机发动机传动,可以发出频率为400Hz、电压为115/200V的恒频交流电,其传动示意图如图1-5所示。这是目前大型喷气式飞机上最常采用的形式。



图 1-5 恒速恒频交流电源系统框图

恒频交流发电机的额定容量有 30kVA、40kVA、60kVA、90kVA、120kVA 等数种。辅助电源为辅助动力装置驱动的交流发电机。应急电源有蓄电池、静变流器和冲压空气涡轮发电机。二次电源为变压整流器。

20 世纪 70 年代以来,恒速恒频交流电源系统采用了喷油冷却装置、组合驱动发电机和微型计算机控制装置,大大提高了系统的性能和可靠性,减轻了重量,是目前应用最多的一种飞机电源系统,如波音 747、波音 757、A320 等大型客机上采用的都是恒速恒频交流电源系统。

目前,这种电源主要采用了组合驱动发电机、微处理器式发电机控制保护组件及汇流条功率控制组件,使其具有重量轻、体积小、可靠性高等优点;此外,由于控制组件采用了模块式设计,并具有机内自检功能,使维修性得到改善。

从发展前途来看,恒速传动装置要再改进已很困难,因为要在飞机发动机很宽的转速范围内和加速条件下实现恒速输出是困难的;另外,高的赫兹应力(包括小体积、高速度机械液压部件的运行)也使恒速传动装置的发展更加困难。因而,恒速传动装置的采购费用和维修费用一直居高不下。

国外有飞机制造公司认为,在新型干线飞机上不适合采用恒速恒频电源系统,因为它比变速恒频系统重量重、效率低、供电质量差、寿命周期费用高。此外,可靠性和可维修性也较差。

但出于继承性的原因,恒速恒频电源系统还会在干线飞机上继续使用。就是一些由较老式的风冷无刷交流发电机和恒速传动装置构成的分离式恒速恒频系统,目前还在干线飞机上使用,如波音 737-400 和 MD-82 飞机。

### 1.2.5 变速恒频交流电源系统 (VSCF)

由于恒速恒频交流电源系统中的恒速传动装置(CSD)结构复杂、成本高、维护困难等原因,近年来,航空工业界把不采用恒速传动装置的恒频交流电源的研制作为重点研究课题。而电力电子技术的发展使变速恒频电源进入实用阶段,如 MD-90 型飞机即采用变速恒频电源作为主电源。

变速恒频电源的结构示意图如图 1-6 所示。交流发电机直接由发动机传动,发出的变频交流电经变频器变换为恒频交流电。常用的变频器结构有交—直—交型和交—交型两种。

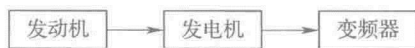


图 1-6 变速恒频交流电源系统示意图

变速恒频电源系统与恒速恒频电源系统可以互换,不需要改变配电和用电部分,如安装座、连接器和布线等都不需要改动,因而实用性强。

变速恒频电源系统没有高应力的机械/液压部件和易磨损部件,因而该系统具有可靠性高和寿命周期费用低的优点。变速恒频电源系统和组合电源装置式恒速恒频电源系统的采购费用大致相当,但维护费用低,因此寿命周期费用低。

变速恒频电源系统的供电质量比恒速恒频系统好,发电效率高也是变速恒频电源系统的主要优点。如对 90kVA 的发电通道来说,采用组合电源装置式恒速恒频方案时效率在

74% ~ 79% 之间, 而采用变速恒频方案则可在 82% ~ 86% 之间。对航空公司来说, 发电效率高意味着更高的经济效益。

### 1.2.6 270V 高压直流电源系统

与恒频交流电源系统相比, 采用 270V 高压直流电源系统具有发电效率高、发电和配电系统重量轻、航空电子设备的电源装置重量轻、可靠性高、易实现不中断供电及寿命周期费用低等优点。

根据美国对大型运输机供电系统的研究结果可知, 高压直流电源系统的综合性能、可靠性、维修性和重量指标都是最好的, 因而这是一种很有吸引力的电源系统。

但目前还不会在干线飞机上全面采用高压直流电源系统。因为这样做涉及到供电体制的改变问题, 将会出现一个大量更换用电设备或为现有用电设备添加许多功率变换器的局面。因而, 在干线飞机上首先考虑的方案是在一些必要的场合局部采用高压直流电, 如仅在飞行控制系统部分采用高压直流供电。

### 1.2.7 新型恒压变频交流电源

这是一种新的供电体制, 是多电或全电飞机采用的一种供电方案。当飞机采用多电方案后, 由于取消了液压和气源系统, 原来采用液压或气源作动的操纵系统被机电作动器取代, 环境控制系统、防冰除冰等系统更多地采用了电能, 因此, 对供电系统的容量、控制和保护等部分提出了更高的要求。由于发电容量大幅度增加, 为了解决热管理问题和减轻环境控制系统的负担, 必须提高发电效率, 降低供电系统的各种损耗。为此, 大容量的发电系统更适合采用直接驱动的发电机, 机载设备应大量采用这种“未加工”的恒压变频交流电。

在采用恒压变频交流电源系统的飞机上, 大部分用电设备, 包括环境控制系统中的电动压气机、电动液压泵、加热及防冰负载、照明和厨房负载等, 都可以采用恒压变频交流电供电。在大型运输机上, 这些可以采用变频交流电供电的负载, 其用电量约占总负载的 50% ~ 70%。飞行控制系统等机载电子设备所需要的恒频交流电和高压直流电由变流器和整流器等提供。

恒压变频交流电的频率范围可达 360 ~ 800Hz, 属于宽变频交流电源。提高电源频率可以有效减轻电磁设备的重量。同时, 采用 230V/400V 的标称电压, 可以减轻配电系统的重量。此外, 当发动机转速降低为正常值的 50% 时, 发电机输出电压仍可以达到 200V, 整流后仍然能够提供 270V 的高压直流电, 因此提高了供电系统的可靠性。

此外, 变频交流电源系统由于没有恒装, 因此可以很容易实现起动/发电, 有效减轻机载设备的重量, 降低发动机燃油消耗, 改善运营的经济性。

### 1.2.8 低压直流电源系统和交流电源系统的主要优缺点

低压直流电源系统和交流电源系统是目前飞机上采用的两种电源系统。低压直流电源系统在小飞机上广泛使用。随着机上用电设备的增多, 电源系统的容量也在成倍地增长。低压直流电源系统已不能满足容量及飞行性能的要求, 因此在大型运输机上采用交流电源系统, 目前采用较多的是带有恒速传动装置的恒速恒频交流电源系统。

### (1) 低压直流电源系统的主要优缺点

低压直流电源系统的优点：直流电源的控制、保护设备简单；易实现并联供电；可用作起动发电机，减轻机载设备的重量。

低压直流电源系统的缺点：

①随着电源容量的增加，低压直流电源系统的重量也在增大

现代大中型飞机上的电源容量增加了几百倍，如果仍采用低压直流电源系统，则发电系统和配电系统的重量将会增大很多。对发电机来说，由于受换向条件的限制，使得有电刷的直流发电机电压及转速都不能太高。因此只能以加大电枢电流的方式来提高容量，从而导致了发电机的体积和重量的增大。例如，功率为 18kW 的航空直流发电机重量为 41.5kg，而喷油冷却的 60kVA 航空交流发电机，其重量只有 17kg 左右。

②飞行高度和速度的不断提高，使低压直流电源系统的工作条件恶化

现代大型喷气式飞机的飞行高度达 10000m 以上。随着高度的增加，空气变得稀薄，水蒸气含量急剧减少，使直流发电机的电刷磨损加剧，换向条件恶化。同时，在高速飞行条件下，直流发电机的冷却问题也难以解决，因为直流发电机常采用迎面气流风冷，而当飞机高速飞行时，迎面气流温度高达 100 ~ 200℃，采用风冷会显著降低发电机的输出功率。直流发电机由于电刷与换向器的存在，不能采用油冷，所以其冷却问题较难解决。

③功率变换设备复杂、效率低

在以直流电为主电源的飞机上，需要把相当一部分低压直流电变换为不同电压等级的直流电及交流电，这就需要通过频率变换装置或变流机组进行变换，而这些装置的效率低，体积重量大。尤其是现代大型飞机上使用交流电的设备越来越多，若仍采用低压直流电源作为主电源，变换设备也将增多，会使电源设备重量大大增加。

### (2) 飞机交流电源系统的主要优缺点

交流电源系统的优点主要表现在：

①可以提高额定电压，使供电系统重量减轻

交流电源系统大多采用无刷交流发电机，没有换向问题，因而，发电机的额定电压可大大提高，从而使发电及配电系统的重量大大减轻。

②能适应高空、高速飞行的要求

无刷交流发电机没有电刷和换向器，因而在高空飞行时不存在电刷磨损问题。同时，无刷交流发电机可以采用喷油冷却方式，能够适应高速飞行的要求。

③交流电能容易变换

在交流电源系统中，利用变压器及变压整流器可以方便地得到不同等级的交流电和直流电。这些变换装置没有旋转部件，重量轻、体积小、效率高、工作可靠，而且现代飞机上的直流负载容量只占总容量的 5% ~ 10%，因此，所需的变换装置少、损耗小。

但交流电源系统也有缺点，主要表现在：

①恒速恒频交流电源系统中的恒速传动装置（CSD）结构复杂、造价高、故障多、维护困难，是交流电源系统中故障率较高的一个部件。

②交流电源系统的控制与保护设备复杂，特别是并联运行时的控制保护更为复杂。

③恒速恒频交流电源系统由于有恒速传动装置，无法用来起动发动机，必须另设启动设备。



## 1.3 飞机电源系统的供电方式和主要参数

### 1.3.1 飞机电源系统的供电方式

多电源直流供电系统一般都是采用并联供电方式，对于多电源的恒频交流电源系统，一般可以分为两种供电方式。

#### (1) 单独供电

这是大部分机型采用的供电方式。正常供电时，由各台发电机分别向各自的汇流条供电，故障时才相互转换。如波音 737、波音 767、MD-82、A320 等飞机的交流电源系统均采用单独供电方式。其特点是控制简单，但故障转换时存在供电瞬间中断的问题。

#### (2) 并联供电

将多台同频率的交流发电机并联起来，共同向机上负载供电的方式称为并联供电。如波音 707、波音 747 等飞机的电源就属于这种类型。并联供电的优点是供电质量高，系统工作可靠，当一台发电机因故障退出电网时，该发电机汇流条上的负载供电不会中断。并联供电系统的缺点是电源的控制及保护设备复杂。

### 1.3.2 飞机电网的连接方式

现代大中型飞机上普遍采用的是三相交流供电系统，其连接方式主要有两种。

#### (1) 以机体为中线的三相四线制

图 1-7 所示为以机体为中线的三相四线制交流电网示意图。以机体为中线，可以省去一根馈线，有利于减轻电网的重量。这种供电方式可以提供两种规格的电压，即相电压和线电压；同时机上人员也比较安全，因为馈线对飞机壳体的最大电压为相电压。这种形式是现代飞机普遍采用的供电方式。

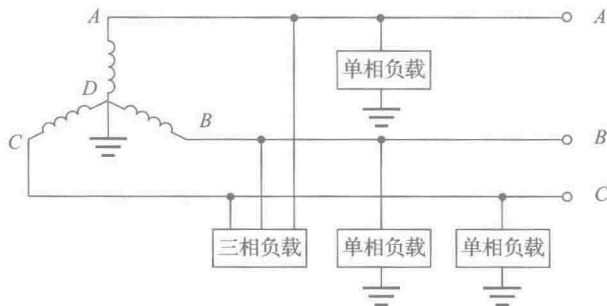


图 1-7 以机体为中线的三相四线制

#### (2) 中点不接地的三相三线制

图 1-8 所示为中点不接地的三相三线制供电示意图。在这种连接方式中，负载只能得到一种电压，即线电压。正常情况下比较安全，但若发生一相对机体的短路故障，其他两相对机体的最大电压为线电压，故对机上人员不够安全。