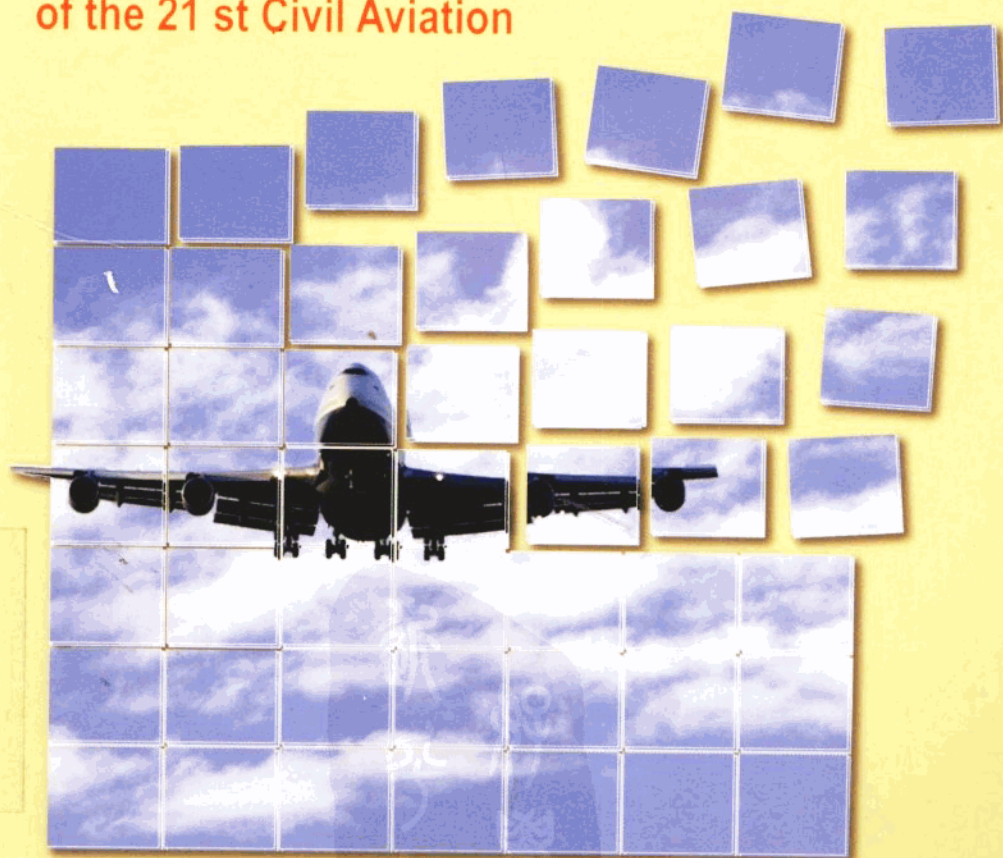


21 世纪民航高等教育系列教材

飞机电源系统

刘建英 杨建忠 编

Textbook Series of the Higher Education
of the 21 st Civil Aviation



兵器工业出版社

飞机电源系统

刘建英 杨建忠 编

兵器工业出版社

内 容 简 介

本书主要讨论民用航空飞机电源系统的组成及各部分的工作原理, 主要包括飞机直流电源、恒速传动装置、飞机交流电源的并联运行、调压及控制与保护。最后简要介绍了变压整流器和变速恒频交流电源系统的基本原理。每章后都附有复习思考题, 便于学生理解和掌握重点内容。

本书主要作为飞机电气专业本科生的教科书, 也可作为民航机务维修工程人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

飞机电源系统/刘建英, 杨建忠编. —北京: 兵器工业出版社, 2004.8

ISBN 7-80172-274-4

I. 飞... II. ①刘... ②杨... III. 航空电气设备—电源 IV. V242.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 072219 号

出版发行: 兵器工业出版社

责任编辑: 朱丽均

邮编社址: 100089 北京市海淀区车道沟 10 号

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京瑞达方舟印务有限公司

版 次: 2004 年 8 月第 1 版第 1 次印刷

印 数: 1—1050

封面设计: 底晓娟

责任校对: 郭 芳

责任印制: 王京华

开 本: 787×1092 1/16

印 张: 15

字 数: 342 千字

定 价: 35.00 元

(版权所有 翻印必究 印装有误 负责调换)

前 言

民用航空业是我国发展最快的行业之一。近几年来，随着民航事业的飞速发展，对机务维修人员从数量到质量的需求都提出了更高的要求。因此对直接影响教学质量的教材也提出了更高的要求，从而使学生接触到航空领域最新的技术和装备。《飞机电源系统》就是为适应这一需求而编写的。

本书共分九章。第一章介绍了飞机电源系统的组成、发展及各种电源系统的特点等。第二章介绍了飞机直流电源，主要讨论了航空蓄电池的原理及应用。第三章介绍了目前使用最多的机械液压式恒速传动装置的构造及原理。第四章介绍了无刷交流发电机的励磁方式及特点。第五章分析了发电机电压调节系统的工作原理，重点讨论调压系统的动态稳定性。第六章介绍了交流电源的并联运行。第七章叙述了飞机电源系统的控制及保护。第八章简要介绍了变压整流器和电瓶充电器的原理。第九章简略介绍了变速恒频交流电源的基本工作原理。通过学习本书，读者可以对飞机电源系统有较系统的了解。

本书由中国民航学院刘建英、杨建忠编写。其中第一章、第二章、第三章、第四章、第六章、第八章由刘建英编写，第五章、第七章、第九章由杨建忠编写。民航学院桂建勋副教授、GAMECO质控部的罗镇民高工审阅了全书，并提出了宝贵意见；在编写过程中得到了本院教材科的大力支持，在此一并表示感谢。本书为大学教材，考虑到行业的特殊性，书中有些单位仍保留了原单位的使用。

由于资料和水平有限，书中缺点和错误在所难免，敬请广大读者批评指正。

编 者

2004年5月

目 录

| | |
|-------------------------------|--------|
| 第一章 概 述 | (1) |
| 第一节 飞机电源系统的组成与发展 | (1) |
| 第二节 飞机电源系统的主要类型及特点 | (4) |
| 第三节 飞机电源系统的供电方式及主要参数 | (9) |
| 复习思考题 | (12) |
| 第二章 飞机直流电源 | (13) |
| 第一节 航空蓄电池 | (13) |
| 第二节 炭片调压器 | (21) |
| 第三节 直流发电机与蓄电池的并联运行 | (23) |
| 第四节 直流发电机的并联运行 | (26) |
| 第五节 直流电源的控制与保护 | (29) |
| 复习思考题 | (34) |
| 第三章 恒速传动装置 | (35) |
| 第一节 概 述 | (35) |
| 第二节 差动游星齿轮系的工作原理 | (36) |
| 第三节 液压泵—液压马达组件的工作原理 | (40) |
| 第四节 转速调节系统 | (47) |
| 第五节 恒装的滑油系统和故障保护 | (50) |
| 复习思考题 | (55) |
| 第四章 飞机交流发电机的励磁系统 | (56) |
| 第一节 同步发电机的励磁方式 | (56) |
| 第二节 旋转整流器的结构和工作原理 | (65) |
| 复习思考题 | (77) |
| 第五章 飞机发电机电压调节系统 | (78) |
| 第一节 概 述 | (78) |
| 第二节 飞机调压系统的组成与调压方式 | (79) |
| 第三节 PWM型晶体管调压器 | (84) |
| 第四节 交流发电机调压系统的稳定性 | (97) |

| | |
|---------------------------------|--------------|
| 复习思考题 | (115) |
| 第六章 飞机交流电源的并联运行 | (116) |
| 第一节 并联供电的特点及条件 | (116) |
| 第二节 有功功率和无功功率的调节原理 | (122) |
| 第三节 无功功率自动均衡线路 | (126) |
| 第四节 有功功率自动均衡线路 | (132) |
| 第五节 投入并联的自动控制 | (135) |
| 复习思考题 | (143) |
| 第七章 飞机交流电源系统的控制与保护 | (144) |
| 第一节 概 述 | (144) |
| 第二节 飞机电源系统的控制 | (145) |
| 第三节 飞机电源系统的电压故障及其保护 | (152) |
| 第四节 飞机电源系统的短路故障及其保护 | (159) |
| 第五节 电压不平衡保护及火警保护 | (168) |
| 第六节 转速(频率)故障及其保护 | (170) |
| 第七节 并联供电系统中的励磁故障及其保护 | (172) |
| 第八节 不稳定故障及其保护 | (178) |
| 复习思考题 | (183) |
| 第八章 变压整流器 | (184) |
| 第一节 对变压整流器的要求 | (184) |
| 第二节 变压整流器的结构及线路 | (187) |
| 第三节 电瓶充电器 | (192) |
| 复习思考题 | (194) |
| 第九章 飞机变速恒频交流电源简介 | (195) |
| 第一节 概 述 | (195) |
| 第二节 交—直—交型变速恒频电源系统 | (197) |
| 第三节 变速恒频电源系统的结构与配置 | (205) |
| 复习思考题 | (208) |
| 参考文献 | (209) |

第一章 概述

飞机电源系统是机载电气设备的一个重要组成部分，它的作用是向飞机上的所有用电设备供电。飞机的电源系统和用电设备组成了飞机电气系统。电源系统包括电能的产生、变换、输送及控制部分。它又可以分为电源系统（或发电系统）和输配电系统两部分。电源系统是发电机到电源汇流条之间的部分，输配电系统是从电源汇流条到用电输入端的部分。由于飞机机体较小，所以飞机电源系统主要是指发电机到电源汇流条之间的部分。

第一节 飞机电源系统的组成与发展

一、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。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。常用的应急电源有航空蓄电池、静变流器和冲压空气涡轮发电机。正常时，冲压空气涡轮发电机收在飞机机体内，应急供电时，靠迎面气流驱动涡轮，带动发电机工作。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启动航空发动机时，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，二次电源有旋转变流机、静止变流器、直流升压机和直流变换器等，可以将低压直流电变换为交流电或高压直流电。在交流电源系统中，二次电源主要指变压整流器，可以将三相交流电变换为 28V 的低压直流电。

二、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) 电动机构

电动机构主要用于飞机的操纵机构，如襟翼、舵面、力臂调节、起落架收放装置等，以及驱动油泵、阀门等的电动机，其功率约占总负载的 30% 左右，包括直流电动机构和交流异步电动机构。

(2) 加热和防冰负载

加热和防冰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% 左右。

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）、发动机启动、滑行、起飞和爬升、巡航、下降着陆和飞行后检查等。

图 1-1 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。

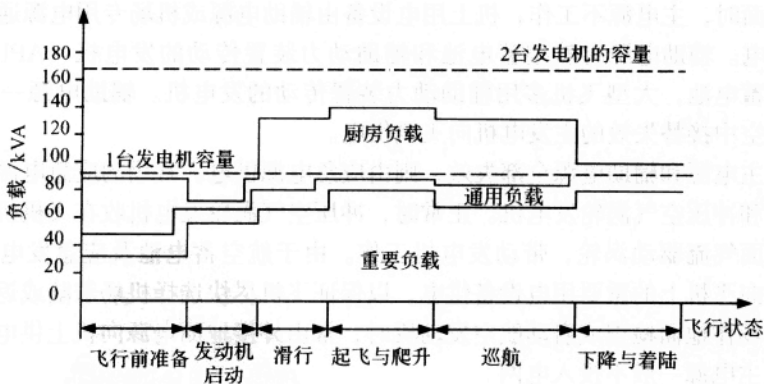


图 1-1 飞机负载分布图

2. 按重要程度分类

另外，飞机上的电气负载按其重要程度，一般可以分成三类：

(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,如发动机的启动、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、导航及通讯设备;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。应急蓄电池应工作在充足电的状态,以便有足够的电荷量。

(2) 重要设备

它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1-1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%左右,在启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。

三、飞机电源系统的发展概况

这里以我国民航所使用的几个典型机种为例,对飞机主电源系统的特点及安装容量的发展作简单介绍。

图1-2所示为几个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型飞机只有一台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。

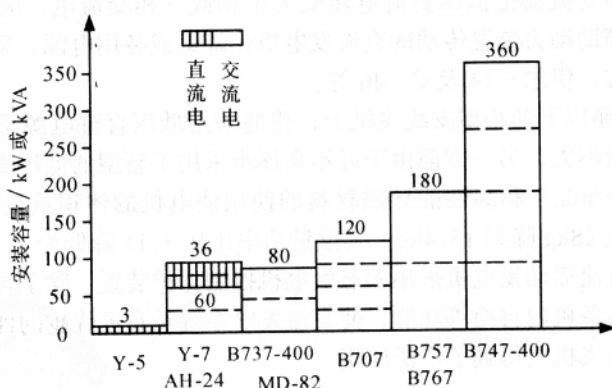


图 1-2 飞机电源容量的增长

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级式无刷交流发电机,电源总容量为 80~120kVA,调压器为磁放大器或晶体管式。在波音 747、757 及 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 1-2 中, B707 和 B747 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。

第二节 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及变速恒频交流电源系统和高压直流电源系统等。

一、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 3、6、9、12kW 等几种,相应的额定电流分别为 100、200、300 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辅助或备用电源。采用这种电源系统的机型有运-5、立-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 的启动发电机重量从 28kg 降到 15.4kg,其重量功率比从 3.11 降低为 1.70。

同时,新型的直流启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。

二、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 1-3 所示。

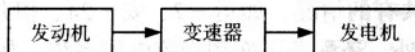


图 1-3 变速变频交流电源方块图

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。

三、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,并能用于启动发动机。

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。

四、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 1-4 所示。这是目前大型喷气式飞机上最常采用的型式。

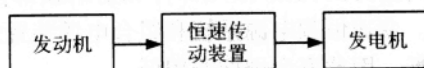


图 1-4 恒速恒频交流电源系统方块图

恒频交流发电机的额定容量有 30、40、60、90、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 B747、B757、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。

五、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 1-5 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。

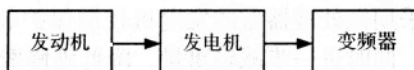


图 1-5 变速恒频交流电源系统示意图

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得多,实验结果如图 1-6 所示。

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。

目前采用的变速恒频电源系统的主要要求是进一步降低重量功率比,并降低未滤波电流的谐波分量。

只要增加一些部件就可以把变速恒频发电系统改为变速恒频启动/发电系统。采用变速恒频启动/发电系统,可以减轻飞机重量,降低营业费用,这些都是航空公司所希望的。

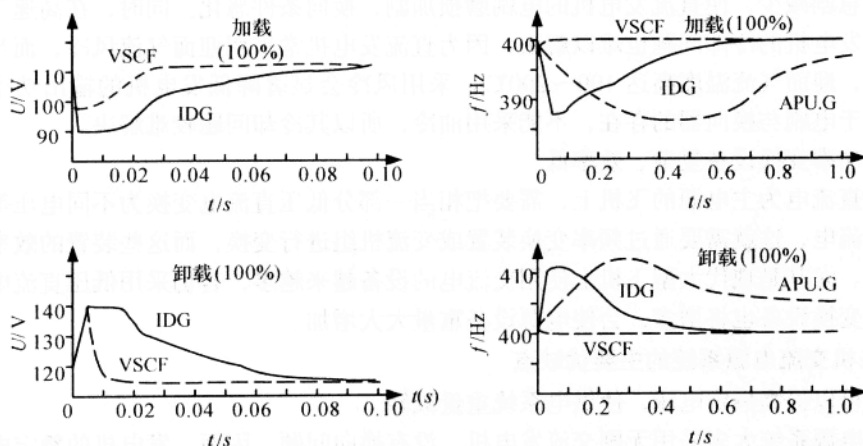


图 1-6 变速恒频与恒速恒频电源系统供电质量对比

六、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。

七、交流电源系统的主要优缺点

由前述可知,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,低压直流电源系统已逐步被交流电源系统所取代。

1. 低压直流电源系统存在的缺点

(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 $100\sim 200^{\circ}\text{C}$,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

(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 $5\sim 10\%$,因此,所需的变换装置少、损耗小。

总之,交流电源系统比低压直流电源系统更能适应现代大中型飞机的要求。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。

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,无法用来启动发动机,必须另设启动设备。

与交流电源相比,直流电源的控制、保护设备简单,且直流发电机可以用作启动发电机,从而减轻机载设备的重量。因此,低压直流电源系统在小型飞机上仍在广泛使用。目前正在研制的高压直流电源系统及变速恒频交流电源系统有望克服恒速恒频交流电源的缺点,成为飞机电源的发展方向。

第三节 飞机电源系统的供电方式及主要参数

一、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 B737、B767、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 B707、B747 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。

二、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。

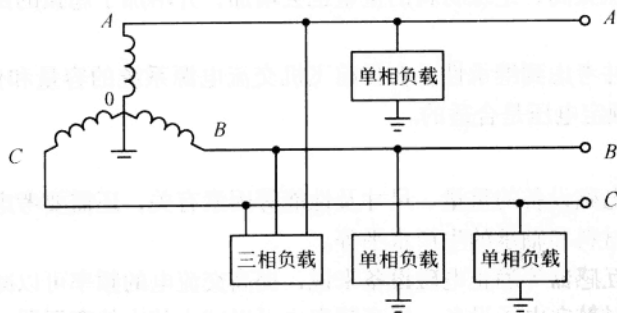


图 1-7 以机体为中线的三相四线制

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。

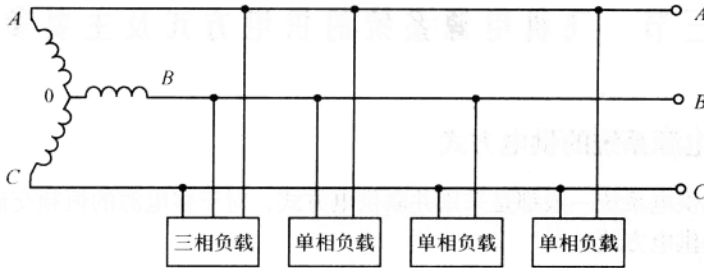


图 1-8 中点不接地的三相三线制

三、恒频交流电源系统的主要参数

交流电源系统的主要参数是电压、频率和相数。目前飞机上广泛采用的是 115/200V、400Hz 的三相交流电源系统。这些参数的选择与交流电源系统及用电设备的重量、体积及性能等有关。

1. 电压

额定电压值的选择与很多因素有关，要考虑发电设备及配电系统的重量，馈线的长度，电网允许的电压降，人员安全性，绝缘强度与熄弧时间等因素，其中电源功率的大小和电网的重量是确定电网电压的主要因素。

从功率表达式可知，在相同的传输功率下，提高电网电压，即可减少输电线路上的电流，从而减轻电网重量。但导线截面积受机械强度的限制，所以，电压也不能太高。

电网的重量与电压值及馈线长度也有关。研究表明，对于容量较小、传输距离较短（25m 以下）的飞机，提高电压对重量的影响很小，只有对容量大、传输距离长的飞机，提高电压才会使重量大大减轻。

另一方面，电压太高，绝缘材料的重量也会增加，并增加了熄弧的困难，同时还会影响机上人员的安全。

综合各种因素并考虑到继承性，在目前飞机交流电源系统的容量和传输距离的条件下，采用 115/200V 的额定电压是合适的。

2. 频率

频率的高低与电磁设备的重量、尺寸及性能等因素有关，还需要考虑目前材料和部件的生产水平，如磁性材料和轴承的生产水平等。

对于变压器、互感器等静止电磁设备来说，提高交流电的频率可以减小铁芯体积，从而减轻重量。同理，对航空电子设备，提高频率也可以减小其中的变压器、滤波器、电容器等元件的体积和重量。

对发电机、电动机等旋转电机，提高频率一方面可以减小铁芯体积，另一方面也使旋转电机的转速升高。但转速的升高受机械强度的限制，因此，只能提高电机的磁极对数来限制转速，这又会使电机的结构变复杂；同时，频率升高还会使铁芯的损耗加大，所以对旋转电机有一个最佳频率值。图 1-9 所示为频率 f 与部件重量功率比 G^* 的关系。由图可见，频

率取 400Hz 较为合适。飞机交流电源均采用正弦波，这样电磁元件的损耗小，电磁干扰小。

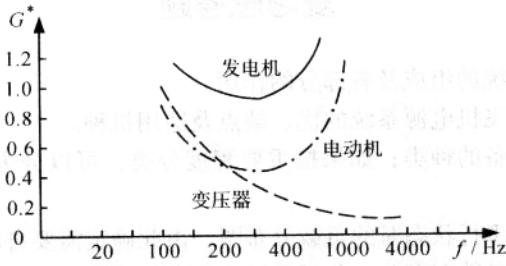


图 1-9 电磁元件重量功率比与频率的关系

3. 相数及波形

现代大中型飞机上普遍采用三相制。与单相制相比，三相制有很多优点：在输送相同功率的条件下，三相交流发电机的重量比单相交流发电机轻；三相电源有线、相两个电压值可供选择；三相供电系统可靠性较高，不会因为一相故障而使整个供电系统瘫痪；在用电设备中，三相异步电动机比单相异步机性能好等。

单相制的主要优点是配电系统简单，用机体作中线时，馈线只有一根，电网重量轻，在某些采用交、直流混合电源系统的飞机上，如安-24、伊尔-18 等飞机上曾采用单相交流电源。