



江苏省高等学校重点教材

航空特色专业系列教材

飞机电气系统

(第二版)

周洁敏 陶思钰 编著



科学出版社



“十三五”江苏省高等学校重点教材
民航特色专业系列教材

飞机电气系统

(第二版)

周洁敏 陶思钰 编著

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书是专门为民用航空专业的本科学位课编写的，是民航电子电气工程专业及机务维修人员的必读教材。

本书系统地介绍飞机电气系统的基础知识和电气系统的组成、结构，包括电气导线互联系统，交流电源系统，直流电源系统，外电源和辅助动力装置，电动机的工作原理，飞机操纵系统电气设备，发动机点火、启动与电气功率提取，燃油系统的电气控制，飞机结冰、防冰、除冰与防雾，飞机火警与烟雾探测及灭火系统，警告系统，灯光照明系统，最后一章还简单介绍电力电子技术在多电飞机上的应用。书中收集了 A380、B787 等多电飞机的电气系统的结构和原理，以引导读者继续学习和研究。

本书可作为高等学校民航电子电气工程、民航机务工程、飞行技术及民航维修技术等专业的教材，也可供相关专业的研究生、科研和生产部门的电子电气人员及相关科技人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

飞机电气系统/周洁敏,陶思钰编著. —2 版. —北京: 科学出版社, 2018.1

“十三五”江苏省高等学校重点教材(编号: 2016-1-038)·民航特色专业系列教材

ISBN 978-7-03-056027-8

I. ①飞… II. ①周… ②陶… III. ①飞机—航空电气设备—高等学校—教材 IV. ①V242

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 311503 号

责任编辑: 余 江 张丽花/责任校对: 郭瑞芝

责任印制: 霍 兵/封面设计: 迷底书装

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

北京市文林印务有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2010年11月第一版 开本: 787×1092 1/16

2018年1月第二版 印张: 20 3/4

2018年1月第11次印刷 字数: 531 000

定价: 59.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

前 言

由于电能具有清洁、安静、容易实现自动控制等特点，飞机上完成飞行任务的各个系统几乎都想用电能作为工作能源，因此飞机电气系统具有从飞机的“心脏”（发动机）获取新鲜的“血液”（电流）向飞机机身的各个部件和组件输送电能的功能，所以飞机电气系统的性能直接影响整个飞机的运行质量。

自1996年起，作者陆续为大学本科生开设了“飞机电气仪表与设备”“飞机电气系统”的学位课，于2003年编写了《民用飞机电气系统》校内讲义，2007年对该讲义进行修订；“民用飞机电气系统”于2004年列入校级百门精品课程网站建设，配套教材于2009年列入学校“十一五”教材建设规划。2010年《飞机电气系统》正式出版，该书出版后社会反响良好。随着航空技术的突飞猛进，根据用户几年的使用反馈以及专家的审查与指导意见，作者准备对《飞机电气系统》进行再版，并且第二版于2016年列入“十三五”江苏省高等学校重点教材立项建设项目。

航空公司在机务执照上岗前的培训工作中，是把电气和机械的机务维修工作结合在一起的，也就是说机械装置的动作几乎离不开电能的驱动。应运而生的“多电飞机”投入运行，典型的民用飞机有B787和空客A380，军用飞机有F-35。它们的电气系统已经采用了新的供电体制，其中有少量的低压28VDC、115VAC、230V变频交流电源和270V高压直流电源，输配电线路中大量采用了带微处理器控制的固态功率控制器SSPC，新型的负载管理系统对故障的检测、隔离、保护和监控有很好的实时性，作动系统已经逐步用电能驱动，采用液压作动的系统越来越少。鉴于这个情况，在编写过程中对章节安排进行重新考虑，使其更合理和顺畅。

考虑到各航空公司现役飞机的机种较多，本书以讲解原理为主，并举例说明，即使电子电气技术发展迅速，一旦清楚飞机电气系统的工作原理，工程技术人员就可以在工程应用维护领域进行深入研究。

作为教学用书，本书以讲解飞机电气系统的基本原理和组成结构为主，不可能穷尽某机型的各个电气部分的原理，所采取的分析例子摘自某些机型相应部分线路图，以说明工作原理，学习者掌握了基本原理，就应着力培养举一反三和融会贯通的能力。

书中所选的内容适应航空电气工程专业本科生的专业学位课的要求，书中涉及的一些电气和电子方面的名词术语、计量单位，力求与国际计量委员会、国家质量监督检验检疫总局、民航局机务工程部所颁发的文件相符。

考虑到目前大学生已经具备工科的数理基础，还具备电路分析基础、数字电路、模拟电路、自动控制原理、电器原理、磁场理论、电力电子技术、传感器原理和电机学等的基础和专业知识，涉及的有关定理和公式推导与证明本书不再详述，只对物理概念作简略讲述。本书在编著体系和叙述方法上除考虑教学要求外，还顾及自学的需要，便于读者掌握和运用所讲述的内容。本书编入了各种电路图例及分析，此外结合新技术手段，可通过扫描书中二维码阅读扩展材料。

本书由南京航空航天大学周洁敏教授等编著，部分内容是作者科研工作的总结。在编著过程中参考了上海航空公司浦东国际机场机务工程部吴跃刚同志无私提供的有关各种机型的光盘资料，还有南京航空航天大学民航学院同事郑罡副教授提供的来自国外电气专业教学的专业教材。关于最新型飞机的资料大都是基于各专家学者在杂志上公开发表的论文、各种相关的博士和硕士学位论文进行的整理和总结。陶思钰为本书作了大量的英文材料翻译和校对工作，研究生张红梅、赵乐迪、王玲玲、王佩、吴中豪、李涛、朱紫涵、张健康、周迪等进行了详细的文字校对与编排。南京航空航天大学严仰光教授为全书审稿，在审稿过程中提出非常宝贵的有建设性的建议，并对作者给予不断的鼓励和支持。科学出版社余江等编辑为本书的编写出谋划策，南京航空航天大学教材科吕勉哉老师在出版过程中给予了极大的帮助。作者在此一并向他们表示衷心的感谢。

本书适用 60~80 学时的专业课教学，如果有条件也可以开设相应的动手实验和观摩实验，以缩小书本理论学习与工程应用实践方面的差距。

本书得到江苏省第四批重点教材出版经费的资助，同时也得到南京航空航天大学民航学院领导的关心、鼓励 and 资助。由于经验和水平的局限，书中难免有不足之处，恳请读者批评指正。

周洁敏

2017 年 8 月于南京航空航天大学

目 录

第 1 章 概述	1
1.1 飞机电气系统的组成和作用	1
1.2 大型民用飞机电源系统的现状与发展	4
习题	7
第 2 章 电气导线互联系统	8
2.1 飞机导线和电缆	8
2.2 电路控制装置	25
习题	39
第 3 章 交流电源系统	42
3.1 交流电路的基本概念	42
3.2 飞机交流电源系统的发展概况	42
3.3 交流发电机	47
3.4 交流电源系统基本形式	57
3.5 电能变换装置	69
3.6 飞机交流发电机电压调节器	87
3.7 飞机交流电源并联供电和控制关系	92
3.8 飞机交流电源的保护	100
3.9 现代飞机电气系统	107
习题	117
第 4 章 直流电源系统	119
4.1 航空蓄电池	119
4.2 无刷直流发电机简介	140
4.3 静止变流器	140
4.4 机载直流电源技术要求	145
4.5 机载直流用电设备负载特性要求	149
4.6 飞机直流电源系统的应用举例	151
习题	157
第 5 章 外电源和辅助动力装置	159
5.1 外电源简述	159
5.2 辅助动力装置的功用和组成	163
5.3 B787 飞机地面电源	168
习题	170
第 6 章 电动机的工作原理	171
6.1 直流电动机	171

6.2	交流电动机	175
6.3	两相和单相异步电动机	180
6.4	电动机在飞机上的应用	183
	习题	184
第7章	飞机操纵系统电气设备	185
7.1	飞行控制概述	185
7.2	飞机襟翼操纵	187
7.3	水平安定面的操纵和起飞着陆不安全警告	189
7.4	起落架收放与刹车防滑系统	192
7.5	失速警告与保护	195
7.6	调整片的作用及其控制电路	201
7.7	飞控作动装置	204
	习题	204
第8章	发动机点火、启动与电气功率提取	206
8.1	发动机点火	206
8.2	发动机启动	213
8.3	发动机指示系统	217
8.4	多电飞机发动机的应用	223
	习题	228
第9章	燃油系统的电气控制	230
9.1	概述	230
9.2	燃油系统的组成	231
9.3	燃油油量的测量	233
9.4	燃油箱的安全性	238
	习题	239
第10章	飞机结冰、防冰、除冰与防雾	241
10.1	概述	241
10.2	风挡玻璃的防冰、防雨和防雾	242
10.3	发动机、空速管和攻角探测器的结冰、防冰/除冰	247
10.4	螺旋桨、机翼和尾翼的结冰、防冰/除冰	252
10.5	飞机结冰信号装置	255
10.6	飞机防冰系统举例	260
10.7	防冰与除冰技术展望	260
	习题	260
第11章	飞机火警与烟雾探测及灭火系统	262
11.1	概述	262
11.2	火警探测技术	265
11.3	火警探测系统举例	277
11.4	灭火系统	277

习题	281
第 12 章 警告系统	283
12.1 警告信号系统	283
12.2 EICAS 警告系统	287
习题	292
第 13 章 灯光照明系统	294
13.1 机内照明	294
13.2 机外照明	296
13.3 其他照明	301
13.4 B787 照明技术	302
13.5 飞机外部灯光使用的顺序	308
习题	308
第 14 章 电力电子技术在多电飞机上的应用	310
14.1 多电飞机对电力电子变换器的要求	310
14.2 SiC 器件及特性	313
14.3 SiC 器件在航空航天等领域的应用	313
习题	320
参考文献	321
附录	322
附录 1 中英文对照缩写表	322
附录 2 常用单位及换算关系	322
附录 3 主要变量符号注释表	323

第1章 概述

飞机是借助于空气飞行的装置，飞行功能需要众多设备在有机的协调工作下完成，如图 1.0.1 所示是通用飞机系统与设备简图，要完成飞行任务几乎每个分系统都要用到电源，另外为了提高经济效益和减轻飞行员的负担，几乎所有的设备都离不开电气自动化的控制，本书将以飞机电气系统的结构组成为单元向读者介绍各个系统的工作原理。

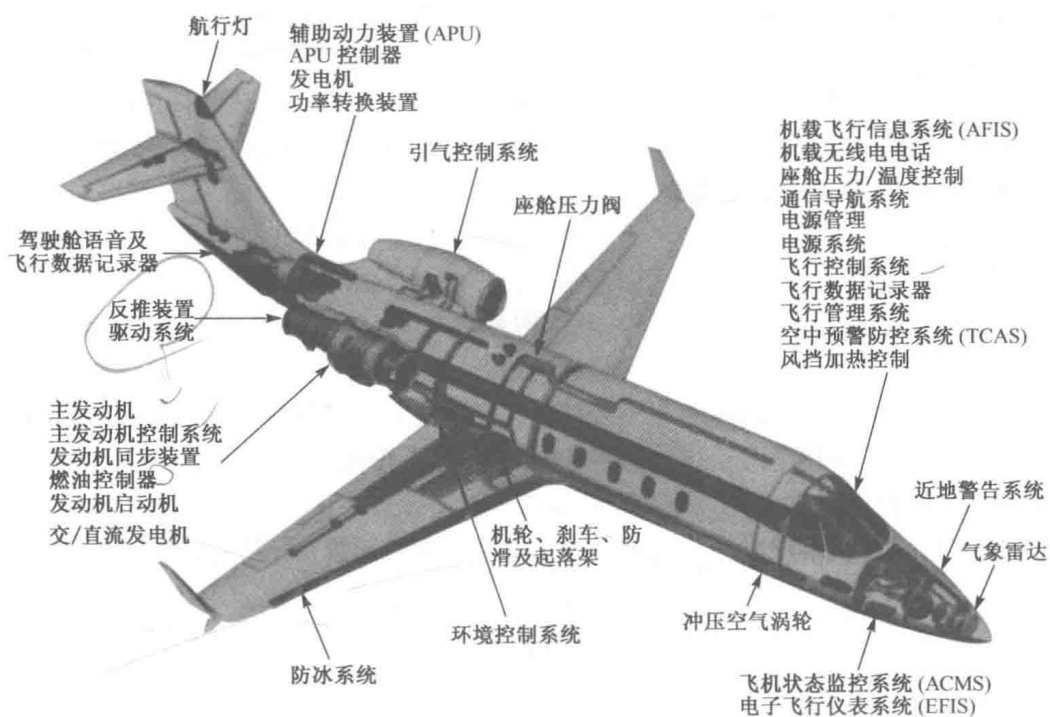


图 1.0.1 通用飞机系统与设备

从图 1.0.1 可以看出，飞机座舱、发动机及附件、环境控制、刹车、防冰系统、引气控制、座舱压力控制、飞行状态监控等几乎都需要电能工作，需要电气自动化的控制。

1.1 飞机电气系统的组成和作用

飞机电气系统是现代飞机的一个重要组成部分，它由供电系统和用电设备组成。供电系统指的是电能的产生、变换、调节和输配电的一整套装置所组成的一个完整系统，它又可以分为电源系统和输配电系统两大部分。

1.1.1 供电电源

飞机电源系统按其功用可分为主电源、二次电源和应急电源，中大型飞机上还包括辅助电源。主电源由航空发动机传动的发电机和电源的调节、控制、保护设备等构成，它是飞机上全部用电设备的能源。二次电源是指将主电源电能变换为另一种形式或规格的电能装置，用以满足不同用电设备的需要，也是飞机电源系统的重要组成部分。在低压直流电源系统中，有变流机、静止变流器、直流变换器等装置，将低压直流电变换成交流电或另一种或多种电压的直流电。在交流电源系统中，有变压器和变压整流器，将一种交流电变换成另一种电压的交流电或直流电。应急电源是一个独立的电源系统，飞行中当主电源失效时，飞机蓄电池或应急发电机(如冲压式空气涡轮(Ram Air Turbine, RAT)发电机)即成为应急电源，向机上重要设备供电。辅助电源是在航空发动机不运转时，由辅助动力装置驱动而发电，常用于地面检查机上用电设备和启动飞机发动机，在空中也可以用来给部分机上用电设备供电。此外，机上都备有地面电源插座，用以接通地面电源，以供在地面通电检查机上用电设备和启动发动机。

1.1.2 配电系统

飞机输配电系统又简称配电系统，其作用是将电源所产生或变换的电能传输并分配到各个飞机用电设备，该系统通常由下列各设备或装置构成。

- (1) 传输电能的导线或电缆的连接装置，包括汇流条、接线板、配电板、连接器等；
- (2) 控制用电设备和电源运行的电路控制装置(又称配电装置)，包括开关、继电器、接触器和固态功率控制器等；
- (3) 防止导线和设备遭受短路与过载危害的电路保险装置，包括各种保险丝、自动保险开关等；
- (4) 电路检测设备，包括各种指示、显示仪表及信号装置等；
- (5) 抗干扰装置，如各种滤波器、防波套及其他屏蔽装置等。

输电与配电系统所组成的网络通常称为电网。按电网形式分，飞机电网一般可分为集中式、分散式和混合式三种。采用集中式输配电电网时，所有电源产生的电能都输送到中央配电装置，然后再由该配电装置将电能分配到各用电设备。采用分散式电网时，各电源产生的电能分别输送到各自的配电装置，然后由各配电装置给其靠近的用电设备供电。采用混合式电网时，由电源所产生的电能都输到中央配电装置，除了中央配电装置外，还有若干二级配电装置，又叫分配电装置，它们安装在飞机的不同部位，各用电设备可分别由上述两种配电装置供电。按电网的控制方式，飞机电网又可分为常规式、遥控式和固态式三种。常规式的配电功率线全部引入座舱内的中央配电装置，早期和目前的小型飞机均采用此种控制方式；遥控式的汇流条靠近用电设备，由空勤人员或指令控制中心发出的遥控信号通过功率控制器(如接触器)对用电设备进行控制，座舱内只引入控制线，现代大、中型飞机均采用此类控制方式，以利减轻飞机电网的重量；固态式是由计算机控制的一条多路传输总线传递全部信息和控制信号，再由固态功率控制器对用电设备进行控制，这种控制方式取消了众多的控制线，具有遥控特点，因此可以减轻导线重量，提高供电的可靠性和自动化程度，目前正在发展中。此外，根据电压分类时，有低压电网和高压电网。根据

电流类型来分,则有直流电网和交流电网。就交流电网来说又有单相和三相之分。就电网的线制来分,则有单线、双线、三线、四线等几种。根据电网的用途来划分,则有主电网(即供电网)、配电网、辅助电网和应急电网等。

1.1.3 用电设备

用电设备(又称负载)是使用电能进行工作的设备。在用电设备中电能被转换成机械能、热能、光能、声能或化学能,以达到某种特定的目的。飞机用电设备是飞机电气系统的重要组成部分。随着航空事业日新月异的发展,飞机用电设备的数量和种类也越来越多。根据飞机的大小和类型以及所用系统是全部用电还是部分用电,飞机用电设备的研究可涉及很宽的领域。按照一般习惯,通常将飞机用电设备分为以下几类。

(1)飞机电力传动设备,如调整片电动机构、起落架收放和舱门启闭设备、电动泵和电磁活门等;

(2)发动机的启动、喷油和点火设备,如电力启动机、启动箱、启动自动定时器、高能点火装置和电嘴等;

(3)灯光系统和加温防冰设备,如各种照明灯、信号灯、电加温和防冰设备;

(4)电气仪表和控制设备,如电动地平仪、转弯仪、自动驾驶仪、火警探测与灭火设备以及由各种电力电子装置所构成的控制系统等;

(5)航空电子设备,如无线电通信、导航设备、雷达设备等;

(6)民用飞机厨房用电设备等。

如果按重要性划分,飞机用电设备还可分为重要负载、主要负载、次要负载。重要负载(又称应急负载)是确保飞机安全返航或就近降落(包括维持可操纵飞行)所必需的最低限度的用电设备,如甚高频电台、地平仪、火警探测器与灭火设备等。

重要负载一旦断电,将威胁飞机和机上人员的安全,为此,必须将其配置在重要的负载汇流条上。正常供电期间由主电源供电,当主电源失效转入应急供电时,应能自动或人工地转为由应急电源供电。主要负载是保证飞机安全飞行和完成特定任务所需要的用电设备,是机上电能的主要使用者。但在飞机应急供电时,为确保重要负载得到供电,将视故障程度,切除部分以至全部主要负载。次要负载是与飞行安全无关的负载,为完成某项任务或满足某项要求而设置的用电设备,如旅客机厨房中的某些用电设备。次要设备不工作时,并不危及飞行安全,故当主电源发生局部故障而提供的功率有限时,为确保对重要负载和主要负载的供电,根据故障的严重程度,将首先切除部分以至全部次要负载。此外,还常用到下列分类方法:按用电种类可分为直流用电设备和交流用电设备;按对电压精度的要求分可分为一、二、三类用电设备;按工作制还可分为连续工作(用电设备的接通时间足以达到稳定温升)、短时工作(用电设备的接通时间不足以达到稳定温升)、重复短时工作(用电设备多次接通和断开,而且它们的一次接通时间和接通之间的间隔时间都不足以达到稳定温升或完全冷却)的用电设备。

1.1.4 多电飞机用电负载

相关内容请扫描二维码查看。



多电飞机用电负载

1.2 大型民用飞机电源系统的现状与发展

1.2.1 飞机电源系统发展的历程

飞机电源系统经历了低压直流、交流、高压直流的发展过程，其中交流电源系统还经历了恒速恒频、变速恒频、变速变频交流电源系统几个过程。

1. 低压直流电源系统

自1914年飞机上第一次使用航空直流发电机以来，飞机直流电源系统经历了100余年的发展过程，其额定电压由6V、12V，逐步发展为28V的低压直流电源系统，一直沿用至今，28V低压直流电源系统主要由直流发电机、调压器、保护器、滤波器和蓄电池等组成。

2. 交流电源系统

随着机载电子设备和电力传动装置不断增加，机上用电量大大增加，而且对供电质量要求不断提高，低压直流电源系统已不能满足要求，促进了飞机交流电源系统的发展。交流电源系统有恒速恒频交流电源系统、变速恒频交流电源系统、变速变频交流电源系统3种。

(1) 恒速恒频交流电源系统。

恒速恒频交流电源系统是一种通过各种恒速传动装置(简称恒装)使发电机恒速运行以产生恒频交流电的系统。目前它是应用最为广泛的一种飞机电源系统。

(2) 变速恒频交流电源系统。

变速恒频交流电源系统是通过功率变换器把变频发电机输出的变频交流电变换为恒频交流电的系统。在变速恒频电源系统中，交流发电机由飞机发动机直接驱动，发电机所输出的交流电的频率随发动机转速的变化而变化，通过功率变换器将变频交流电变换为400Hz恒频交流电。

(3) 变频交流电源系统。

变频交流电源系统是最早在飞机上使用的交流电源系统。变频交流电源系统中，交流发电机是由发动机通过减速器直接驱动的，因而输出的交流电频率随发动机转速的变化而变化。它主要用于装有涡轮螺旋桨发动机和涡轮轴发动机的飞机或直升机上，并称为窄变频交流电源系统。新一代飞机A380和B787已使用360~800Hz宽变频交流电源。

3. 高压直流电源系统

270V电源系统由发电机和控制器构成，美国的F-14A战斗机、S-3A和P-3C反潜机等局部采用了高压直流供电技术，而F-22战斗机上已采用了65kW的270V高压直流电源系统，F-35战斗机则采用了250kW的270V高压直流启动发电系统。因此270V直流电源系统也将是今后飞机电源的发展方向之一。

1.2.2 各类电源系统技术特点

1. 低压直流电源系统特点

低压直流电源系统适合于中小型飞机使用。由于发电机的装机容量不断增加，如果继续使用低压直流电源系统，将使得配电系统的重量变得非常庞大，因此大中型飞机上已经

很少采用主电源为 28V 的低压直流系统。

2. 恒频交流电源系统特点

客机的主电源是 115V、三相、400Hz 的交流电。传统的恒频是通过恒速传动装置 (Constant Speed Device, CSD) 把发动机主齿轮箱的变速输出转变为恒定转速传动的交流发电机。

一段时间内产生恒频的最佳方法是使用组合传动发电机 (Integrated Driver Generator, IDG), 如图 1.2.1 所示。组合传动发电机把恒速传动装置和发电机电合二为一, 构成一个整体。组合传动发电机的结构简化、体积较小、重量较轻, 且维护较为简单。

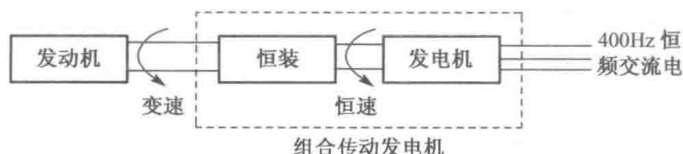


图 1.2.1 组合传动发电机示意图

虽然恒速恒频电源系统目前仍广泛用于各种军机及客机, 而且经过几十年的发展, 有了很大的改进, 但它在可靠性、维修性、重量、费用、战损生存能力等方面一直存在着不同程度的缺陷。

在过去 20 年中, 在若干民用飞机上试验并使用过一种产生恒频电源的替代方法, 即试图通过电子变频装置把由变速发动机附件齿轮箱直接驱动的一台发电机产生的变频电源转换为恒频电源。这就是所谓的变速恒频 (Vary Speed Constant Frequency, VSCF) 技术。如图 1.2.2 所示的变速恒频交流电源系统与恒速恒频交流电源系统相比, 具有电气性能好、效率高、可靠性高、维护费用低等优点, 因此曾一度受到很高的重视。但大功率变速恒频电源系统主要受到功率器件的限制。经过实践发现, 这一技术没有能够达到预期的可靠性要求。



图 1.2.2 变速恒频交流电源系统示意图

3. 变频交流电源系统特点

变频交流电源系统具有结构简单、能量转换效率高、功率密度高等优点。变频交流电源系统由交流发电机和控制器构成, 系统只有一次变换过程, 交流发电机直接由发动机附件传动机匣驱动, 没有恒速传动装置 (恒速恒频系统采用) 和二次变换装置 (变速恒频系统采用), 易于构成启动发电系统。因此单从电源系统本身来讲而不考虑配电系统、用电设备和发动机启动等因素, 在各种电源系统方案中, 变频交流发电系统具有结构最简单、可靠性最高、效率最高、费用最低等优点, 而且具有较小的重量和体积。但由于其输出频率取决于发动机输出转速, 尤其是多数飞机均采用涡喷发动机或涡扇发动机, 发动机转速变化范围大, 因此这种变频交流电源系统称为宽变频交流电源系统, 它具有频率变化大的缺点,

其发展曾一度受到限制。

随着电力电子技术的发展及其在飞机上的应用,变频交流电源系统更易于构成变频交流启动发电系统,在最新研制的大型民用飞机上也得到了应用,如 B787 飞机和 A380 飞机。如表 1.2.1 所列,使用变频电源的飞机主要有以下几种。

表 1.2.1 变频电源飞机列表

序号	飞机名称	生产国家或地区	生产年份	主发电机容量/(kV·A)	频率/Hz
1	贝尔法斯特	英国	1996	8×50	334~485
2	全球快车	加拿大	1994	4×40	324~596
3	新舟 60	中国	1997	2×20	325~528
4	B787	美国	2009	4×250	360~800
5	A380	欧洲	2008	4×150	360~800

由于交流发电机直接由发动机附件传动机匣驱动,其转速随着发动机的转速而变化,频率变化范围较大,一般为 2:1 左右。

4. 高压直流电源系统特点

270V 高压电源系统由发电机和控制器构成。恒速恒频交流电源效率在 68% 左右,高压直流电源的效率可达到 85% 以上。270V 高压电源系统具有结构简单、能量转换效率高、功率密度高、易实现不中断供电以及使用安全等优点。

1.2.3 飞机电源系统的发展方向



相关内容请扫描二维码查看。

飞机电源系统的发展方向

1.2.4 先进飞机电源系统状况

随着 B787 飞机项目的实现,多电飞机将成为现实。其特征是具有大容量的供电系统和广泛采用电力作动技术,具有飞机重量相对较轻、可靠性高、维修性好、营运成本低以及节能航空等优势。

1. 空客 A380 多电飞机

A380 飞机是一个典型的多电商用飞机,它完全按多电飞机电力系统来设计,总的发电容量是 910kV·A。其中,由发动机驱动 4 台 150kV·A 的变频交流发电机,发电容量共 600kV·A,频率为 370~770Hz;由辅助动力装置(Auxiliary Power Unit, APU)驱动两台 120kV·A 恒速发电机,共 240kV·A;空气冲压涡轮驱动一个 70kV·A 发电系统作为应急交流电源。A380 飞机大部分的备份作动装置采用电能供电作动,使设计更为简单,地面保障设备减少,性能大为提高。

2. B787 飞机

B787 飞机是一个典型的多电商用飞机,它与 A380 飞机相比,更接近全电飞机,B787 飞机完全按全电飞机来设计,总的发电容量是 1450kV·A。

B787 飞机的电源系统与以往的波音飞机有着很大的区别,飞机上的电源来自 4 个安装

在发动机上的 230V 交流 250kV·A 变频发电机和两个安装在 APU 上的 230V 交流 225kV·A 变频发电机组成,变频系统取代了传统的恒频系统,频率为 360~800Hz;空气冲压涡轮驱动一个 10kV·A 交流发电系统。电源经过变频、整流、变压分配后形成飞机的 4 种电源模式,即传统的 115V 交流、28V 直流和新的 230V 交流、270V 直流。其中 230V 交流和 270V 直流电源主要用于以往由液压源和气压源驱动的系统部件。

B787 飞机上取消了传统的气源系统。这样的设计优化了飞机能源的使用,提高了发动机的效率。由于取消了气源系统的各个部件(活门、管道等),大大降低了飞机的重量,系统的可靠性得到显著提高,飞机的维修成本也得到有效降低。

3. F-35 战斗机

F-35 战斗机是一个典型多电战斗机,技术更加先进,能携带更大的高能武器。它完全按多电飞机来设计,总的发电容量是 250kV·A。

F-35 战斗机采用固态配电技术,对飞机的电力系统进行了优化设计,一次配电和二次配电系统采用集中控制,飞机可靠性大为提高,飞机重量大大减轻,飞机性能更为优越,F-35 战斗机成为典型的第二代多电飞机。

F-35 战斗机的综合机载机电系统主要包括热/能量管理系统(T/EMM)、启动/发电系统和电静液作动器系统(Electro-Hydraulic Actuator, EHA),并由飞机管理系统控制,从而使机载机电系统在布局、能量利用和控制信息共享上实现了最优化,该飞机接近于全电飞机。

习 题

1. 飞机电气系统由哪几部分组成的?各部分的功用是什么?
2. 民用飞机的主电源是什么?
3. 多电飞机的主电源是什么?
4. 用电负载分成哪几类?各在什么情况下工作?
5. 多电飞机有哪些典型机型?请课外查阅资料,全面了解多电飞机电气系统。
6. 以 B787 为例,有哪些电源品种?其功率是多少?

第2章 电气导线互联系统

电气导线互联系统主要由导线、电缆、断路器、保险开关、保险丝、继电器和接触器等组成。大型客机的安全与经济飞行越来越取决于电气和电子系统。这些系统都用导线和电缆互相连在一起，电气导线和电缆必须看成飞机不可分割的一部分，需要仔细进行安装，然后是满足持续适航所不断进行的检查和维护。

导线和电缆及其他装置不是“安装好后就不用管了”，没有正确安装和维护的导线会对系统可靠性造成严重影响。有人建议在立法中引入新术语：电气导线互联系统 (Electricity Wire Interconnect System, EWIS)，认为导线将是安装在飞机上的部件之一。电气导线互联系统可以指任何导线、布线装置或它们的组合，包括终端装置。它们装在飞机上用于在两个或多个端点之间传送电能。

2.1 飞机导线和电缆

导线和电缆是组成电源和配电系统的重要装置，它连接在飞机电源和用电设备之间，以及用电设备之间的互联。如图 2.1.1 所示是一架飞机的发电机馈线图，导线和电缆一旦投入工作，必须防止过载的发生，过载会导致过热、释放有毒气体、引起火灾等隐患。

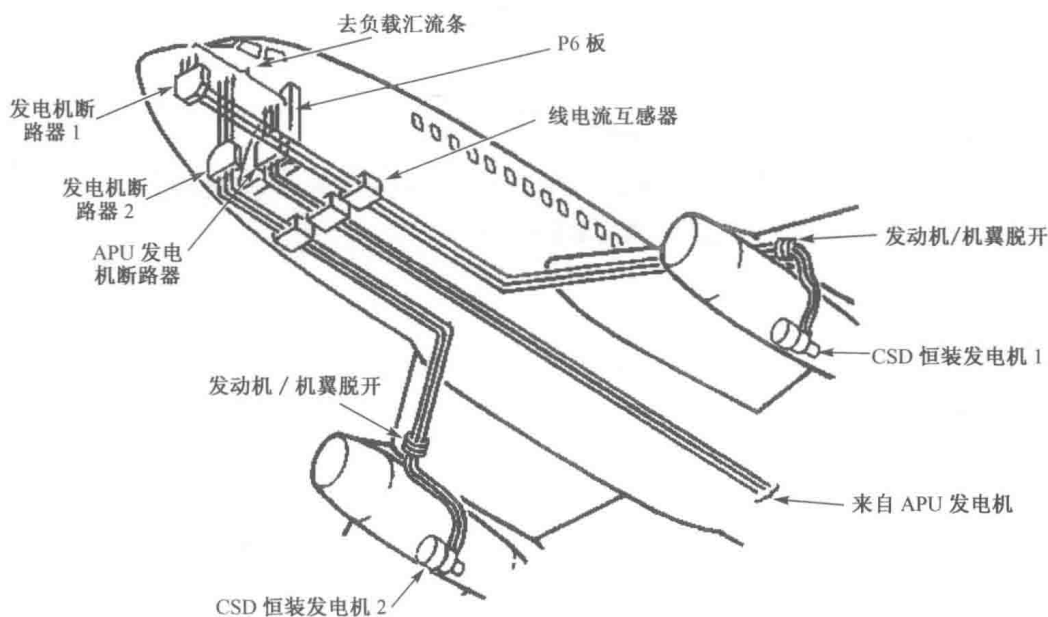


图 2.1.1 发电机馈线图

一架飞机使用的导线和电缆有很多种，按照用途和使用方式一般分为机身导线和电缆、设备导线和电缆、启动导线和电缆、热电偶电缆、数据总线电缆及射频 (Radio Frequency,

RF) 电缆等。导线和电缆的安装环境较为恶劣, 导线除了传输电流本身会发热温度升高外, 还会暴露在各种环境和工作条件下, 例如工作在发动机周围的导线就暴露在高温区(易发生火灾)、大的磨损及强的振动, 再如导线周围有强污染物, 如液压油、燃油和润滑油等。

导线和电缆由于通过不同频率和功率的信号, 其电磁干扰和电磁兼容问题十分重要, 要对传输功率高及高频导线和电缆要进行屏蔽, 防止产生电磁干扰。

2.1.1 导线

1. 导线的作用和特点

导线担负输送电能和传递电磁信号的重要任务, 是飞机电网的主要组成部分。飞机上通常用浸锡、镀锌、镀银和镀镍的铜线作导体(线芯)。额定工作温度分别为 135°C 、 200°C 和 260°C 。导体及其周围的绝缘层构成导线。

电压较低电路的导线, 绝缘比较薄, 其结构如图 2.1.2(a) 所示, 线芯由多股细铜丝绞合而成, 有的用强度大的铜合金丝绞合, 后者仅用于较细的导线。绝缘层则采用各种塑料管, 保护部分是涂有蜡克油的棉纱编织套或尼龙套。在发动机高压点火电路和无线电设备的高压电路中, 电压高达 10000V 以上, 导线绝缘层比较厚, 这种导线称为高压导线, 如图 2.1.2(b) 所示。其绝缘材料, 过去采用硫化橡胶, 现已改用耐高温塑料。

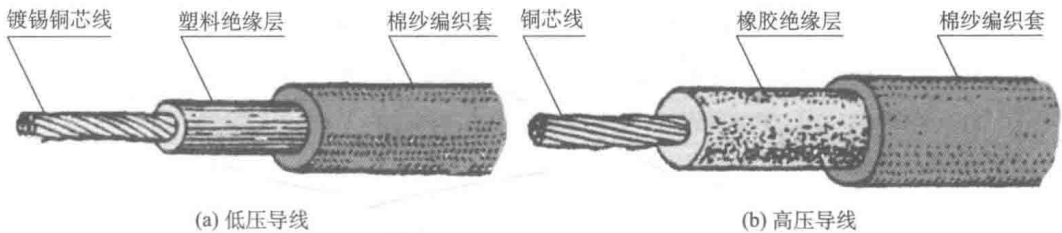


图 2.1.2 飞机导线

绝缘材料决定了导线的型别, 例如, 聚氯乙烯 PVC 型 PVL 塑料绝缘棉纱编织蜡克线, 它的外层是蜡克的棉纱编织套, 芯线外层涂锡, 这就决定这种线的使用环境温度为: $-60\sim+70^{\circ}\text{C}$, 标称芯线截面有 $0.35\sim 95\text{mm}^2$ 等 24 种。FVN 型聚氯乙烯绝缘尼龙护套导线, 外层绝缘为尼龙, 使用温度为 $-60\sim+80^{\circ}\text{C}$ 。AF-250 氟塑料绝缘线、TFBL-2 聚四氟乙烯薄膜绝缘玻璃编织涂漆导线的使用温度为 $-60\sim+250^{\circ}\text{C}$ 。国内研制的聚酰亚胺绝缘线, 它的芯线外包一层或两层聚酰亚胺绕带, 工作温度为 200°C 。因铝导线较轻, 截面积大, 部分采用铝导线, 但接头不易处理。无线电电子设备常用金属编织套的屏蔽导线。

高压导线为 FGF 型, 采用聚四氟乙烯 (Poly Tetra Fluoro Ethylene, PTFE) 塑料, 一种合成的含氟聚合物, 绝缘层较厚, 因此可以耐高压, 图 2.1.3 是几种常用的电线结构。

镀层和绝缘材料不同, 导线的耐压和使用的温度则不同, 用于导线和电缆的典型技术规范包含在美国军用标准 MIL-W-M22759 中。该规范包含了带含氟聚合物绝缘层, 用镀锡、镀银或镀镍的铜合金导体制成的单股导线。表 2.1.1 列出了常见的几种导线材料的使用特点。