

朱新宇 王有隆 胡焱◎编

中国民航飞行学院
飞行技术与空中交通管理系列教材

MINHANG FEIJI DIANQI YIBIAO JI TONGXIN XITONG

民航飞机电气仪表及通信系统



西南交通大学出版社
[Http://press.swjtu.edu.cn](http://press.swjtu.edu.cn)

飞行技术与空中交通管理系列教材

民航飞机电气仪表 及通信系统

朱新宇 王有隆 胡焱 编

西南交通大学出版社
· 成都 ·

内 容 提 要

本书介绍了民航飞机电气、仪表及通信系统的基本概念、基本原理与特性。第一编介绍飞机电气系统,主要内容包括:蓄电池、直流发电机、直流供电的控制与保护、恒速传动装置、交流发电机的控制与保护、变速恒频交流电源及不中断供电的实现、电能变换装置、常见电路装置及用电设备,最后介绍了电磁干扰的概念及防护措施。第二编介绍飞机通信系统,主要介绍了无线电波传输的基本知识、通信机的收发原理、卫星通信的实现过程以及典型的飞机通信系统。第三编介绍了航空仪表的基本知识,包括航空仪表基础、发动机仪表、测量高度速度的仪表、测量飞机姿态的仪表、测量飞机航向的仪表和其他辅助仪表。书中每章后附有思考练习题,便于学习使用。书中打“*”号的章节可以根据实际情况选学。

本书为飞行技术专业的专用教材,也可以作为民用航空相关专业学生的选修课用书,或供民用航空管理、航空技术实施部门的工程技术人员以及航空爱好者参考。

图书在版编目(CIP)数据

民航飞机电气仪表及通信系统 / 朱新宇, 王有隆, 胡焱编. — 成都: 西南交通大学出版社, 2006.6

飞行技术与空中交通管理系列教材

ISBN 7-81104-378-5

I. 民... II. ①朱...②王...③胡... III. ①民用飞机—航空电气设备②民用飞机—飞行仪表③民用飞机—航空通信—通信系统 IV. V24

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 068387 号

飞行技术与空中交通管理系列教材
民航飞机电气仪表及通信系统

朱新宇 王有隆 胡焱 编

*

责任编辑 唐元宁 李晓辉

责任校对 韩松云

封面设计 朱开文

西南交通大学出版社出版发行

(成都二环路北一段 111 号 邮政编码: 610031 发行部电话: 028-87600564)

<http://press.swjtu.edu.cn>

E-mail: cbsxx@swjtu.edu.cn

四川森林印务有限责任公司印刷

*

成品尺寸: 185 mm × 260 mm 印张: 18.25

字数: 440 千字 印数: 1—3 500 册

2006 年 7 月第 1 版 2006 年 7 月第 1 次印刷

ISBN 7-81104-378-5

定价: 19.69 元

图书如有印装问题 本社负责退换
版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

前 言

本书是根据飞行技术专业培养目标及培养全面素质飞行人才的要求编写的。为了便于学生学习使用，将原有《民航飞机电气及通信系统》和《航空仪表》两书内容合二为一，并对原教材进行了全面改编和更新，在此基础上编写了《民航飞机电气仪表及通信系统》。

在编写过程中，汲取各任课教师多年的教学经验，结合原书在使用过程中的反馈信息，紧密联系民用飞机电气系统、航空仪表、通信系统的应用实际和发展趋势，对原有内容进行了较大幅度的修改与补充，删去了已经较少使用或不用的设备，增加了不间断供电、电磁干扰及其抑制、变速恒频交流电、蓄电池充电器、电子变压整流器等新内容，对卫星通信、机载通信设备、气压式高度表的使用方法进行了全面的更新。本书力求内容充实，覆盖面广，充分反映当前的民航实际，便于学生学习。

本书分为三编，第一编为飞机电气系统，主要介绍了飞机直流电源、交流电源及其调压、控制保护设备的基本原理和基础理论知识；对常用的飞机电路设备、电能变换设备以及飞机电源的并联供电、不间断供电、输配电知识也进行了较为详尽的阐述；此外，还简要介绍了飞机电力传动装置、发动机电力启动方法、灯光照明及警告设备。第二编为飞机通信的基本知识，重点介绍了通信机的收发原理和常用通信设备的使用方法，还介绍了无线电波的传输、干扰及抑制措施等内容。第三编介绍了航空仪表的基础知识和飞机的基本仪表设备。因飞行系统需要，书中保留了部分英美制单位，未统一为国际标准单位。

本书由民航飞行学院航空工程学院朱新宇担任主编，第一编由朱新宇编写，第二编由胡焱编写，第三编由王有隆编写。本书编写过程中得到了飞行学院教务处、飞行技术学院和航空工程学院领导的大力支持，他们为提高教材质量付出了大量心血；电子信息工程教研室的任课教师对全书内容进行了初审，并提出了中肯的建议，在此一并感谢。

由于资料 and 水平所限，书中缺点和错误在所难免，敬请广大读者批评指正。

中国民航飞行学院

编 者

2006年5月

目 录

第一编 飞机电气系统

第一章 飞机电气系统概述	3
第一节 飞机供电系统的功用和构成	3
第二节 用电设备	6
第三节 未来先进飞机的电源系统	8
思考练习题	10
第二章 飞机电路控制保护装置	11
第一节 导线及其连接装置	11
第二节 电路控制装置	14
第三节 电路保护装置	21
思考练习题	25
第三章 飞机电源系统	26
第一节 飞机供电系统类型	26
第二节 航空蓄电池	29
第三节 飞机直流发电机	34
第四节 飞机无刷交流发电机	39
第五节 发电机的电压调节	42
第六节 恒速恒频交流电源	47
第七节 变速恒频交流电源	50
*第八节 混合供电系统	53
第九节 飞机电能变换设备	56
思考练习题	64
第四章 飞机输配电系统的控制及保护	65
第一节 电网的构造形式	65
第二节 飞机配电方式	66
第三节 并联供电	70
第四节 飞机交流电源的控制	75
第五节 直流电源的故障与保护	81
第六节 飞机交流发电机的故障及其保护	83

思考练习题	86
第五章 飞机用电设备	87
第一节 电动机械	87
第二节 飞机发动机的电力起动设备	88
第三节 灯光照明设备	93
第四节 测量仪表与告警指示设备	97
思考练习题	100
第六章 电磁干扰及防护	102
第一节 电磁干扰及其危害	102
第二节 电磁干扰的控制	105
第三节 静电及防护技术	112
*第四节 典型飞机系统的电磁干扰源分析	115
思考练习题	118

第二编 飞机通信系统

第七章 通信的基本知识	121
第一节 通信概述	121
第二节 无线电波的传播规律	126
第三节 各波段无线电波的传播特点	132
思考练习题	136
第八章 无线电收发原理	137
第一节 无线电收发原理概述	137
第二节 幅度调制	141
第三节 卫星通信原理	144
思考练习题	152
第九章 典型民航飞机通信系统	153
第一节 音频选择系统	153
第二节 高频通信系统	155
第三节 甚高频通信系统	157
第四节 选择呼叫系统	157
第五节 座舱话音记录器	158
第六节 内话系统	159
第七节 旅客广播系统	160
思考练习题	161

第三编 航空仪表

第十章 航空仪表基础	165
第一节 概述.....	165
第二节 同位器及随动系统.....	169
第三节 陀螺基本知识.....	175
思考练习题.....	183
*第十一章 发动机仪表	185
第一节 进气压力表.....	186
第二节 电动压力表.....	187
第三节 推力表.....	190
第四节 温度表.....	192
第五节 转速表.....	195
第六节 油量表.....	197
第七节 流量表.....	200
第八节 振动指示器.....	204
思考练习题.....	207
第十二章 测量飞机高度、速度的仪表	208
第一节 气压式高度表.....	208
第二节 空速表.....	218
第三节 马赫数表.....	224
第四节 升降速度表.....	226
第五节 全静压系统.....	228
思考练习题.....	231
第十三章 测量飞机姿态的仪表	233
第一节 转弯侧滑仪.....	233
第二节 航空地平仪.....	239
思考练习题.....	252
第十四章 测量飞机航向的仪表	254
第一节 磁罗盘.....	254
第二节 陀螺半罗盘.....	263
第三节 陀螺磁罗盘.....	267
思考练习题.....	274

*第十五章 其他仪表	275
第一节 航空时钟.....	275
第二节 指位表.....	277
第三节 弹簧管压力表.....	278
思考练习题.....	279
附录 1 缩略语词汇表	280
附录 2 频谱分配图	283
参考文献	284

第一编

飞机电气系统

第一章 飞机电气系统概述

第一节 飞机供电系统的功用和构成

一、电源系统的组成和功用

飞机上电能的产生、调节、控制、变换和传输分配系统统称为飞机供电系统，包括从电能产生一直到用电设备端的部分，它又可分为飞机电源系统和飞机输配电系统两部分。

飞机电源系统是飞机上电能产生、调节、控制和电能变换部分的总称。通常飞机电源系统由主电源、辅助电源、应急电源、二次电源和地面电源及其连接与监控部分组成，飞机电源系统组成如图 1.1 所示。主电源由航空发动机直接或间接传动的发电机及其变换调节、控制保护设备等构成，飞机正常飞行时向全机提供足够数量和一定质量的电能，满足用电设备的需要。辅助电源是飞机发动机未工作或部分主电源发生故障时向飞机供电的电源。应急

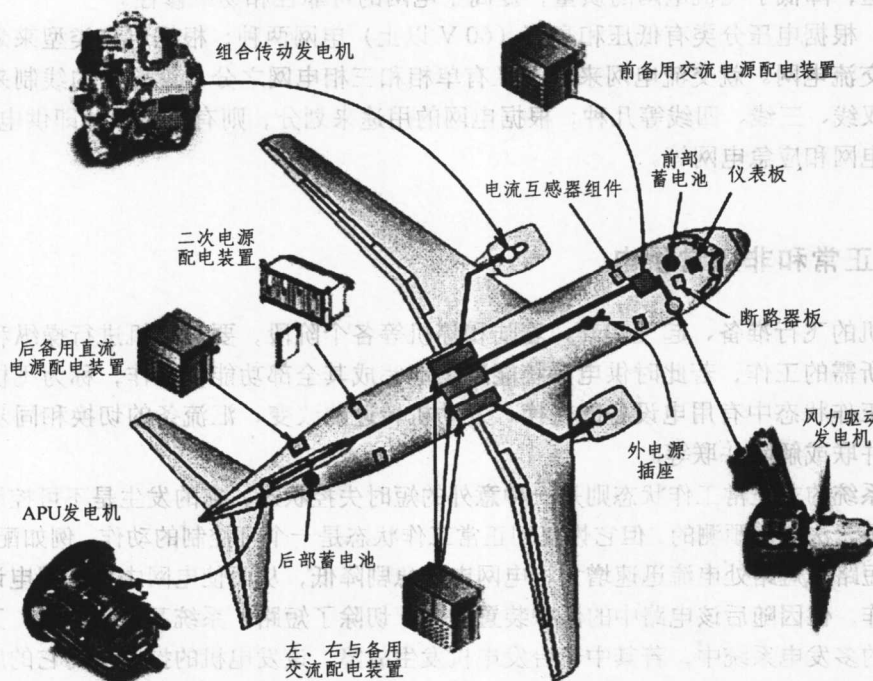


图 1.1 飞机电源系统组成示意图

电源是主电源故障后向飞机飞行必需的用电设备供电的电源，由于应急电源容量小、储能有限，此时飞机必须在就近机场着陆。二次电源由电能变换器构成，用于将主电源产生的一种形式的电能转变为另一种或多种形式的电能，以适应不同用电设备的需要。飞机停于机场时，最好由机场的地面电源供电，地面电源通过电缆和机身的插头插座向飞机供电，以供在地面通电检查机上用电设备和启动发动机之用。

飞机电源系统是指由飞机电源到电源汇流条间的部分，飞机输配电系统则是指由电源汇流条到用电设备端的部分。飞机输配电系统又称飞机电网，由电线、配电装置和保护元件等构成。

飞机输配电系统根据配电方式的不同分为集中式、分散式和混合式3种。集中式配电系统设有中心配电装置，所有电源的电能都送到此配电装置，所有用电设备也通过导线连接到配电装置，所以飞机上的电源都处于并联工作状态。这种配电方式仅适合于小型飞机。分散式配电系统是各电源产生的电能送到各自的配电装置，并通过它向就近的用电设备供电，一旦某电源故障，由它供电的设备转由正常电源供电，这种配电方式比较简单可靠。混合配电方式设有多个用电设备汇流条，分布于用电设备附近，称为二次配电装置。此时所有电源的电能仍集中在中心配电装置，二次配电装置由中心配电装置供电，这样可以使中心配电装置简化。

输配电系统的控制方式有：常规式、遥控式和固态式。常规控制方式的电源线和用电设备输电线都集中于座舱内的中心配电装置中，由飞行员控制电源和用电设备电路的接通或断开。遥控式的配电汇流条设于用电设备附近，飞行员在座舱内通过继电器或接触器接通或断开电路，故座舱内只有控制线，没有电力线。固态式配电系统应用微型计算机和分时多路传输总线来控制电源和用电设备的通或断，既有遥控式的特点，又简化了控制线，减轻了飞行人员的负担，降低了飞机电网的质量，提高了电网的可靠性和易维修性。

此外，根据电压分类有低压和高压（60 V 以上）电网两种；根据电流类型来划分则有直流电网和交流电网。就交流电网来说，又有单相和三相电网之分。就电网的线制来划分，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。

二、正常和非正常供电

在飞机的飞行准备、起飞爬升、着陆和停机等各个阶段，要对飞机进行操纵和完成执行飞行任务所需的工作，若此时供电系统能连续地完成其全部功能性工作，称为飞机正常供电状态。该工作状态中有用电设备的转换、发动机转速的改变、汇流条的切换和同步，多发电机系统的并联或解除并联等。

供电系统的非正常工作状态则是一种意外的短时失控状态，它的发生是不可控制的，发生的时刻也是无法精确预测的，但它恢复到正常工作状态是一个可控制的动作。例如配电线短路，一旦发生短路则短路处电流迅速增大，电网电压急剧降低，从而使电网中别的用电设备可能不能正常工作，但因随后该电路中的保护装置动作，切除了短路，系统又恢复正常。又如，在不并联运行的多发电系统中，若其中一台发电机发生故障，该发电机的控制器将它的励磁电路切断，并将发电机输出的馈电线中的接触器断开，于是由该电机供电的所有用电设备都失去了电能供应，但随后供电系统将这些用电设备转换到正常工作的发电通道，则它们又恢复了正常工作。

若飞行中飞机主电源不能提供足够的或符合规定要求的电功率, 要求使用应急电源的工作状态, 称为供电系统的应急工作。由于应急电源容量小, 只能向飞行和降落所必需的设备供电, 且供电时间有限。

应急电源有两种类型: 应急蓄电池和应急发电机。前者因储能有限, 属于短期供电应急电源, 一般规定应急供电时间为 30 min。后者属于长期供电电源。蓄电池供电时, 供电电压将随供电时间的增加而降低, 甚至低到 18~20 V, 应急设备必须在这样低的电压下正常工作。

对于在国内航线使用的飞机, 应急供电时可到就近机场或备降机场着陆, 且所用通信和着陆仪表设备用电量不大, 应急电源容量可以小些。对于跨洋飞行的飞机, 在到达任一机场前, 必须进行长时间飞行, 飞机上除安装有国内飞行所需用电设备外, 还有短波通信和无线电测向器等用电设备, 此时, 用增大蓄电池容量来满足应急供电要求是不现实的, 宜采用应急发电机, 利用液压或气压能发电。

应急电源必须具有独立性, 它应不依赖于主电源或别的电源而能自行工作。

三、电源容量的选取

飞机电源系统的容量是指主电源的容量, 等于飞机上主发电系统的台数与单台发电系统额定容量的乘积。直流电源容量单位为千瓦 (kW), 交流电源为千伏安 (kVA)。

发电系统的额定容量是在电源质量指标符合技术要求的长期连续工作时的最大容量。发电系统的工作状态要受环境因素的影响: 当它在地面工作时, 因只能靠内装风扇冷却, 允许输出功率较小; 在高空时, 尽管进气温度降低了, 但大气密度也同时降低, 导致散热效果变差; 飞机低速飞行时, 进风量小; 超音速飞行后进气温度因绝热压缩而急剧升高, 也会使发电机最大允许容量降低。变速工作的直流发电机低速时的功率极限受励磁绕组热的限制, 高速时受摩擦损耗和换向条件的限制。喷油冷却交流发电机的最大允许工作容量受飞行高度及速度的影响较小, 但变速交流发电机的低速最大允许工作容量也受励磁过大的限制。

电源系统的容量不仅取决于发电机和变换器 (对于 VSCF 电源), 还与从电源到电源汇流条的主馈线容量有关, 馈电线的容量应等于电源的额定容量。

飞机低压直流发电机的额定容量有 3、6、9、12、18 kW 等数种。交流电源的额定容量有 15、20、30、40、60、90、120、150 kVA 等数种。

飞机交流发电机允许在 150% 额定负载下工作 2 min, 在 200% 额定负载下工作 5 s。VSCF 电源发电通道的过载能力要低些。

在多发电机电源系统中, 一个发电通道出现故障, 不应卸去用电设备; 仅在两个或两个以上发电通道故障时才需要卸去次要用电设备。在没有负载自动管理系统的飞机上, 卸载工作由飞行员人工完成, 由于人工操作会有滞后, 这种情况下往往导致电源过载。2 min 过载要求是为了满足电源故障时人工监控负载的需要和短时工作用电设备的需要; 5 s 过载是为了满足电动机起动和配电路导线接地短路排除故障的需要。

飞机电源的容量取决于用电设备的用电量大小, 如果电源还有起动航空发动机的功能, 则还应满足起动的需求。飞机用电设备决定于飞机的类型及其任务, 大型飞机的用电设备比小飞机多得多, 而旅客机的设备与货运机又有很大的不同, 即使同一飞机在不同飞行阶段, 使用的用电设备也不同。

第二节 用电设备

广义地说，飞机电气系统是飞机供电系统和飞机用电设备的总称。狭义的飞机电气系统是指飞机供电系统、电气照明与灯光信号系统、电气防冰和加温系统、发动机起动和电点火系统、飞机电力传动系统的总和。

飞机用电设备按其重要性可分为3类：飞行关键设备，如仪表、飞行控制系统、仪表着陆系统和通信电台等，它们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。它们一旦供电中断，将威胁飞机和机上人员的安全，为此，必须将其配置在重要负载汇流条上。正常供电期间由主电源供电，当主电源失效需要转入应急供电时，应能自动或人工地转为由应急电源供电。任务关键设备是完成飞行任务所必需的设备，如民用飞机中的座舱增压和空调设备等。在飞机应急供电时，为确保重要负载得到供电，将视故障的严重程度，切除部分乃至全部任务关键设备。一般用电设备，如座舱照明和厨房炊具等，它们正常工作与否并不危及飞行安全，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一般用电设备。

根据机载设备重要性的不同，供电系统将采用不同的供电余度，如图 1.2 所示。普通负载由主发电机供电；重要负载可由主发电机为主蓄电池供电，而飞行关键负载则可由主发电机、应急发电机、主蓄电池、飞控蓄电池和主发电机及应急发电机的永磁机供电，构成了六余度供电。应急发电机可由发动机引气或液压马达二余度驱动。

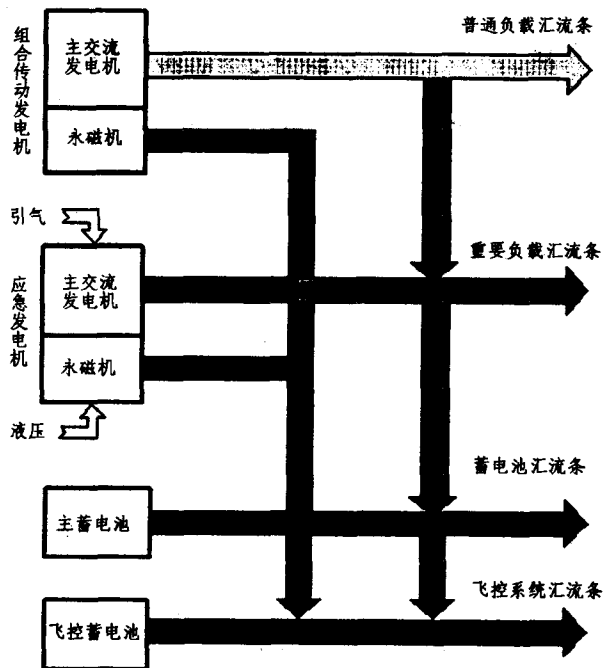


图 1.2 机载设备的余度供电

飞机用电设备类型很多,对供电也有不同的要求,下面进行简单的论述。

1. 用电设备的供电频率特性

有些飞机用电设备必须使用直流电,有的必须使用交流电,有的则二者均可。有的在使用交流电时必须使用恒频交流电,有的也可以使用变频交流电。直流电磁铁、接触器和继电器、直流电动机只能使用直流电。集成电路、微机芯片不仅应供给直流电,而且要求直流电压较稳定。变压器、磁放大器和交流电动机只能供交流电,通常希望供给频率较稳定的交流电。白炽灯和电加温设备既可供交流电,也可供给直流电,它们对交流电的频率也没有要求,可由变频交流电源供电。

2. 用电设备的起动特性

白炽灯点燃前后的灯丝电阻相差数十倍,故接通电源时的电流要比正常工作电流大得多,但因灯丝的热惯性很小,故一般不计及初始接通电源的过程。电动机则不同,它的起动电流大,起动时间长,有明显的起动过程。若飞机供电系统发生故障,导致供电短暂中断,从而使电网中的电动机停转,则当一旦恢复供电时,这些电机同时启动,将会给电网带来很大的冲击。实际上,任何用电设备都有一个从起动到稳态的工作过程,但多数设备这个过程都较短,一般可以忽略不计。

3. 用电设备的输入电压特性

不同用电设备的工作电压是不同的。集成电路、计算机芯片的工作电压为 $\pm 15\text{ V}$ 和 5 V ,并可以进一步减小;飞机用白炽灯工作电压有很多种,一般功率越小工作电压越低;雷达发射机的功率管工作电压则达数千伏。多数交流电动机的额定电压为 $115/200\text{ V}$,直流电动机的额定电压为 27 V 或 270 V 。电源电压变化范围对用电设备的影响很大。

供电电压的变化有两种:稳态电压变化和瞬态电压变化。稳态电压不稳定是由于飞机使用过程中工作环境变化、发电机转速或负载大小变化所造成的,是一种缓慢的变化。瞬态电压变化是由供电系统突加或突卸负荷、电源或汇流条切换或系统故障引起的短时电压变化,持续时间从几个毫秒至上百毫秒的电压瞬变常称为电压浪涌,持续时间 $10\text{ }\mu\text{s}$ 左右的电压瞬变称电压尖峰。集成电路、微机芯片、电子元件对电压的稳态和瞬态变化很敏感,电压变化过大会导致永久性损坏。

4. 用电设备对供电系统的影响

用电设备运行的数量和功率,用电设备的投入与切除,直接影响到供电系统的工作,对供电电压大小、频率、电压波形和供电系统的发热状态、机械应力、电应力等都有影响。用电设备性质的不同,影响的程度也不同。对于线性负载,总的影晌较小,但是在三相系统中,三相负载配置的不对称,会导致三相电压的不平衡和使三相电机损耗加大。电动机是一种特殊用电设备,它的起动特性和稳态运行特性差别很大,直接启动时起动电流很大且有较低的功率因数,对电网电压、电流和频率都有影响。直流电机的特性和工作状态直接与供电电压有关,当电压大于电动势时,为电动机工作;当电压约等于电动势时,电机空载工作,基本上不吸取电源功率;当电压小于电动势时,为发电机工作状态,电机向电网提供功率,即储存于电机内的机械能向电能转化。故大型电动机在电网突然短路、电网电压降低时,工作于发电机状态,也向短路点输送电流。

电子设备增多,使交流供电系统的波形发生畸变。因为电子设备内部电源首先将输入 400 Hz 交流电通过二极管整流电路整流成直流电,经电容滤波后送稳压电路。整流滤波电路是一种典型非线性电路,使交流电源输入电流中出现高次谐波,该高次谐波在电源内阻抗上

产生高次电压降，从而使电源电压波形畸变，损耗加大，并对电网上其他用电设备产生不良影响。通信电台发射机、雷达和电子对抗设备发射机往往还是一种脉冲工作负载，发射期间消耗功率很大，不发射时则较小，从而使供电电源长期处于瞬变状态，使供电质量降低。

供电系统分成正常、非正常和应急工作 3 种状态。在供电系统正常时，一般用电设备应具有设计要求的全部技术性能。除非有专门的规定，在供电特性的一定范围内设备的某些性能可以降低，在电源或汇流条转换出现供电中断时，对用电设备的性能不作要求，但恢复供电后，设备性能应全部恢复。在供电系统非正常期间，除非另有规定，一般对设备性能不作要求，但必须保证安全，一旦供电恢复正常，用电设备也应全部恢复其特性。应急供电时，由于应急电源的电气特性一般低于主电源的特性，应急状态工作的电气设备必须在这种条件下仍具有规定的特性，并保证安全可靠。

第三节 未来先进飞机的电源系统

现代飞机二次能源有液压、气压和电能等，每种辅助能源包括能量的产生、转换、调节、控制、保护、传输和分配等环节，是一个完整的系统。这些系统都以发动机为原动力，其中，液压和供电系统均遍布整个飞机。多种二次能源的使用，使得飞机结构布局上显得重复和复杂，因此使用同一种二次能源——电源将是一种趋势。

传统飞机发动机的动力主要用于满足环控系统、机械系统、液压系统、电力系统这 4 大系统的需要。由于系统越来越复杂，发动机能量利用率很低，于是在 20 世纪 70 年代初出现了全电飞机 (AEA) 的概念。所谓全电飞机是一种用电力供电系统取代原来的液压、气压和机械系统的飞机，即所有的次级功率均用电的形式分配，实现所有机载设备和操纵系统的电气化。而多电飞机是全电飞机发展的一个过渡过程，是用电力系统部分取代次级功率系统的飞机。这是一个逐渐发展的过程，在一定时期内，以电能部分地取代液压能、气压能是比较现实的，因而波音公司在 20 世纪 80 年代末提出了多电飞机 (MEA) 的计划，其中的一些技术已经应用在了波音公司的 7E7 和空客的 A380 上，图 1.3 给出了 A380 多电飞机的方案。

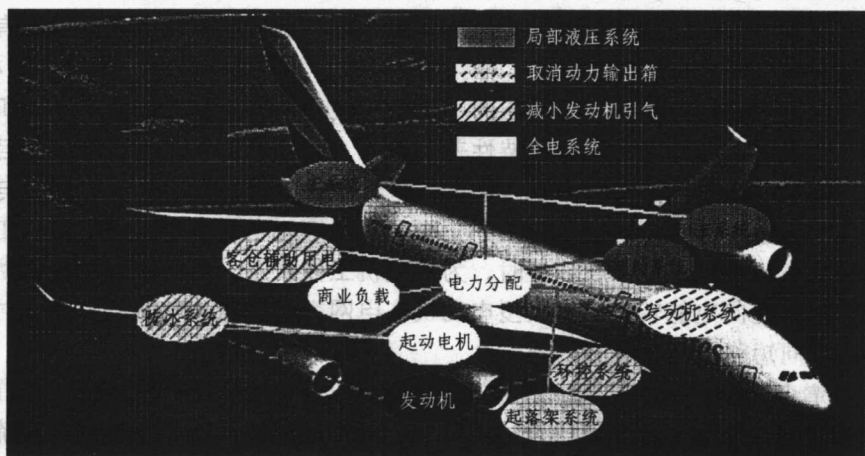


图 1.3 A380 多电飞机方案

多电飞机计划是一项按技术可用性分阶段实施的研究、发展和验证计划,引出三代不同的多电飞机。第一代多电飞机的发电容量,足以取代飞机上的液压系统,在供电系统方面将可靠性提高 9 倍,系统功率密度提高 1 倍。在第二代多电飞机上,发电容量更大,从而有能力为新增的功能(如定向能武器、雷达等)提供电力,且供电系统比第一代的轻 43%,在供电系统方面系统可靠性提高 14~19 倍,系统功率密度提高 2 倍。第三代多电飞机代表了供电技术的长远设想,其技术可用期为 2012 年。欧盟的“电传动力项目”,美国空军实验室开展的“多电飞机”项目,都取得了许多的研究成果,包括:① 发动机电力系统从发动机的起动机产生高压直流电,同时为发动机的燃油系统、滑油系统、助力系统和磁性轴承提供能源;② 飞机电力系统为机电舵机和混合动力舵机提供能源,用于起落架收放、刹车,喷口控制和平尾控制等;③ 环控系统将采用多电环控技术。

无论是过渡性的 MEA,还是最终将要实现的 AEA,其电源系统都将具有以下特点:① 电源容量大。现代高性能飞机的电源系统已达 100 kVA 以上;② 多余度不中断供电;③ 电源系统应能提供多种形式的电能。电能的多样性可以简化用电设备结构,减小其体积与质量;④ 电源系统应具有计算机检测、监控、管理和保护系统,并接受飞机自动管理中心的管理;⑤ 节省燃油,使用费用低,性能价格比高。

在目前运营中的民航客机中采用较多的恒频交流电源不再适用于多电飞机或全电飞机发展的需要,主要是由于:① 恒频交流电源的效率较低,不适应大容量的需要。通常 CSCF 电源效率在 70% 以下,VSFC 电源效率能达到 80% 以上,但仍较低;② 115 V 三相四线制交流电网限制了电源系统容量的进一步提高,随着电源容量的增长,馈电线的质量又成为问题;③ 交流电源只有在满足一定条件时才能投入并联工作,交流电网实现不间断供电也比较复杂;④ 现代飞机上机载设备形式日趋多样化,恒频交流电并不一定是设备所需的理想电源。

虽然高压直流电源系统只在美国空军的 F-22 飞机上得以采用,尚未应用于民航客机,但研究表明高压直流电源具有较大的发展前途,它主要具有以下特点:① 效率较高,可以达到 90% 左右,且电能质量较高;② 容易实现不间断供电,可靠性较高;③ 配电电网质量较小;④ 同交流电源相比,高压直流电源可以减小机电作动器、雷达、开关电源等内部的交流/直流变换环节,从而可以减小设备的体积与质量。

电源供电体制决定了飞机主电源系统发电设备本身的质量,也决定了配电装置和用电设备的质量,而且使飞机燃料从化学能转化为电能的效率也有很大区别,如高压直流电源系统的效率可以达到 90%,变频电源系统的效率可高达 95%,而变速恒频、恒速恒频、低压直流电源系统的效率分别为 82%~86%、74%~79% 和 40%~56%。

在总结高压直流和恒频交流电源的研究成果的基础上,美国胜德斯特兰公司分析了未来飞机电气负载的特性,针对 MEA 的需要,提出了 270 V 直流/115 V 交流混合电源系统方案,它具有效率高、可靠性高、容错能力强、质量小、价格低、研制风险小等特点。无刷发电机、高性能电能变换器、固态功率控制器和固态配电技术三项关键技术均已得到了部分解决或取得了突破,在不远的将来,高压直流混合供电系统将成为先进飞机的首选电源系统。

270 V 直流/115 V 交流电源系统的组成如图 1.4 所示,主要由无刷交流发电机、整流器、逆变器、固态功率控制器和发电机/系统控制保护器等构成。由飞机发动机直接传动的无刷交流发电机输出恒压变频交流电,经整流后得到电压恒定的直流电,该直流电经两条汇流条向用电设备供电:一条提供 270 V 直流电,另一条经过逆变器转换后提供恒频交流电。重要用