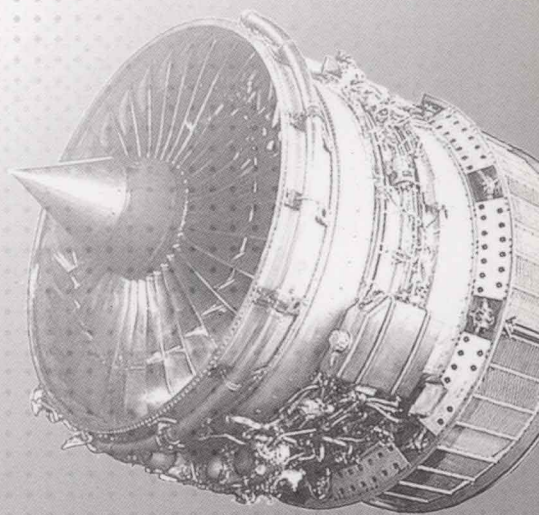


民航特色专业系列教材

飞机电气系统

周洁敏 编著



科学出版社

www.sciencep.com

内 容 简 介

本书是南京航空航天大学组织的“民航特色专业系列教材”之一,专门为民航和航空高校电子电气工程学士学位课程而编写。本书系统地介绍了飞机电气系统的基础知识和电气系统工作的基本概念与原理,包括飞机电气路设备、直流电源系统、交流电源系统、发动机起动与点火系统、飞机操纵系统电气设备、飞机防冰与防雾系统、火警与烟雾探测及灭火系统、警告信号和灯光照明系统、燃油油量和流量测量系统、外电源和辅助动力装置等,在最后一章还简单介绍了新一代飞机 A380、波音 787 中所采用的多电飞机的有关概念,以引导读者继续学习和研究的专业方向。

本书可供从事航空机务、飞行技术、通信导航与电子技术、飞机电气设备制造与维修的工程技术人员和工程管理人员,以及民航和航空高等院校的师生阅读和参考。

图书在版编目(CIP)数据

飞机电气系统/周洁敏编著. —北京:科学出版社,2010

民航特色专业系列教材

ISBN 978-7-03-029196-7

I. ①飞… II. ①周… III. ①飞机-航空电气设备-教材

IV. ①V242

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 197751 号

责任编辑:贾瑞娜 唐保军/责任校对:刘亚琦

责任印制:张克忠/封面设计:耕者设计工作室

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>

北京市安泰印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2010 年 11 月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2010 年 11 月第一次印刷 印张:23 1/4

印数:1—3 000 字数:450 000

定价:40.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

丛 书 序

改革开放以来,我国民航事业获得了持续、快速、健康的发展。2010年,我国民用航空发展的主要预期指标是:航空运输总周转量493亿吨千米、旅客运输量2.6亿人次、货邮运输量498万吨。30年来上述指标年均增速均达到两位数字,大约是中国国民经济发展速度的两倍,是世界民航业发展速度的四倍。从2005年至今,中国民航没有发生运输飞行事故,创造了中国民航历史上安全运营时间最长的记录,安全、生产、效益形势喜人。按照我国国民经济发展中长期规划和国际通用方法预测,中国民航的持续快速增长还会有较长一段时间。

近年来,中国民航总局党组提出了全面推进建设民航强国的战略构想,因此,对民航各层次管理和专业技术人才的培养提出了更高的要求。民用航空教育必须把培养知识面广、专业素质高、动手能力强、责任心强的专业人才作为自己的奋斗目标,以适应整个行业发展的需要。但是目前民航专业教材体系建设相对滞后,长期以来多数教材源于国外,不能完全符合中国实际;教材出版时间较早,知识相对陈旧,学生难以据此掌握当前民航的高新科学技术。教材问题已经客观地影响到教学效果和质量。

南京航空航天大学民航学院成立于1993年,由原中国民用航空总局和中国航空工业总公司正式联合创办,已形成具有培养本科、硕士、博士、博士后多层次人才的办学格局。目前设有交通管理与签派、民航运输管理、民航机务工程、民航电子电气工程、机场运行与管理、飞行技术6个专业。依托国家级、江苏省特色专业建设点,依靠国防科工委重点学科建设,以及承担国家级、省部级科研项目等多方雄厚的科研实力,形成了集市场营销、运营管理和维修保障为一体的全方位的人才培养体系,成为我国民用航空领域的重要教学和科研基地。

通过对近17年教学与科研成果的凝练与总结,为适应教学改革和民航发展的需要,及时反映现代民航科技领域的研究成果,保证教材建设与教学改革同步进行,我们出版了《民航特色专业系列教材》丛书。本套丛书在组织编写中,重点体现了以下几个方面特色:

1. 突出民航和航空制造专业特色。教材编写过程中充分考虑到专业的交叉性、综合性和国际性强的特点,在要求学生掌握知识的同时,以培养技术与管理结合、适应性强、综合素质高、能在航空制造企业和民航企事业单位服务的复合型人才为目标,丰富和完善教材内容。

2. 面向民航应用,注重实践能力的培养。适当拓宽专业基础知识的范围,以增强学生的适应性;面向民航工程实际,注重实践环节,强化在民航系统就业所必需的职业技能培养内容,以促进对学生的实际动手能力和创新能力的培养。

3. 强化专业素质教育。在专业所应具备的基本知识基础上,拓宽和延伸专业课内容,及时反映民航科技的最新成果,提升学生的专业素质和学习能力。

4. 兼顾学历教育和执照教育。由于民航专业的特殊性,获取专业执照是从业的必要条件,本套教材在编写过程中,注重学历教育和执照教育的有机结合,为学生顺利走上工作岗位创造条件。

5. 满足多层面的需求。针对同一类课程,根据不同的教学层次和学时要求,编写适合不同层次需求的教材,涵盖不同范围的拓展知识单元,注重与先修课程、后续课程的有机衔接,每本教材在重视系统性和完整性的基础上,尽量减少内容重复。

本套教材注重知识的系统性与全面性,突出民航专业特色;兼顾学生专业能力和综合素养的全面培养,力图提高民航专业人才的培养质量和完善人才培养的模式;着力推广民航专业教学经验和教学成果,推进民航专业教学改革。本套教材的编写出版为提高民航专业教学的整体水平做了有益的探索。

温家宝总理指出:“教育寄托着亿万家庭对美好生活的期盼,关系着民族素质和国家未来。不普及和提高教育,国家不可能强盛”。为了不断促进民航院校学生素质的提高以适应我国民航事业的持续、快速、健康发展,我们在教材编辑与创新上做了一些尝试,迈出了可喜的一步。作为一名老航空工作者,我为此鼓与呼。在丛书编写过程中,南京航空航天大学民航学院还得到众多相关学校与学院各方教授、专家、学者的帮助与指正,在此一并感谢。

王 知
2010年7月

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选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”向飞机的机身等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好坏直接影响到整个飞机的运行质量。

航空公司在机务执照上岗前培训工作中,将电气和机械的机务维修工作结合在一起,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,典型的民用飞机有波音 787 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 28V DC、115V AC、230V AC 和高压 270V DC 电,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。

作者自 1996 年起陆续为南京航空航天大学本科生开设了“飞机电气仪表与设备”、“飞机电气系统”学位课,并于 2003 年刊印了“民用飞机电气系统”校内自编讲义,2007 年修订后重新刊印。于 2004 年建设了本课程网站,并入选校级百门精品课程网站。2009 年本书入选校“十一五”教材建设规划,作为“民航特色专业系列”教材之一,专为民航与航空高等院校的民航电子电气专业学生编写。

本书是在自编讲义的基础上补充、修改、整理与完善而成的。考虑到各航空公司现役飞机的机种较多,书中以讲解原理为主,并列举一些例子说明,虽然电子电气技术发展很迅速,但只要飞机电气系统的工作原理清楚,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,不可能穷尽某机型飞机的各个电气部分,分析举例时采用某些机型相应部分线路图,以说明工作原理,读者掌握了基本原理,可举一反三和融会贯通。

书中所选的内容适应目前本科生专业学位课时数的要求,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、国家技术监督局、民航总局机务工程部所颁发的文件相符。

考虑到目前大学生除已经具备工科的数理基础外,还已具备电路分析基础、数字电路、模拟电路、自动控制原理、电器原理、磁场理论、电力电子技术和电机学等的基础和专业知识,涉及的有关定理和公式的推导与证明不再详述,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,还顾及到自学的需要,为便于读者掌握和运用所讲述的内容,编入了各种电路图例及分析。

本书可作为高等院校民航和航空电子电气专业、民航机务工程、飞行技术及航空器应用专业的本科生、研究生教材,也可供从事相关专业的工程技术人员和工程管理人员参考。

本书由南京航空航天大学周洁敏教授编著,部分内容是作者科研工作的总结。在本书编著过程中,上海航空公司浦东国际机场机务工程部吴跃刚同志提供了各种机型的光盘资料,南京航空航天大学民航学院郑罡博士提供了国外电气专业教材。书中最新型飞机的资料大都来自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的整理和总结。浙江大学的陶思钰在文字录入和图表制作方面做了大量的工作,作者的研究生孙乐、关姗姗对书稿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对全书进行了审读并提出非常宝贵的、有建设性的建议,给予作者不断的鼓励和支持。在此一并向他们致以衷心的感谢!

本书适用于 60~80 学时的专业课教学,可安排在本科生第四学年上学期开设,如果有条件可以开设相应的动手实验和观摩实验,以缩小理论学习与工程应用实践方面的差距。

本书得到南京航空航天大学“十一五”教材建设规划的出版资助,感谢民航学院的领导在出版经费及出版组织方面提供的极大帮助。

由于作者经验和水平的局限,书中难免有不足之处,恳请读者批评指正。

周洁敏

2010年7月于南京航空航天大学

目 录

丛书序

前言

第1章 绪论	1
1.1 概述	1
1.2 飞机电气系统的作用和组成	1
1.3 大型民用飞机电源系统的现状与发展	4
1.3.1 飞机电源系统发展的历程	4
1.3.2 各类电源系统技术特点	5
1.3.3 飞机电源系统的发展方向	6
1.3.4 先进飞机电源系统状况	7
第2章 电气电路设备	9
2.1 飞机导线和电缆	9
2.1.1 飞机导线	9
2.1.2 电缆	12
2.1.3 连接装置	14
2.2 电路控制装置	19
2.2.1 手动控制装置	19
2.2.2 机械控制装置	21
2.2.3 电磁控制装置	24
2.2.4 电路保险装置	33
复习思考题	39
第3章 直流电源系统	40
3.1 飞机蓄电池	40
3.1.1 铅蓄电池	40
3.1.2 银锌蓄电池	53
3.1.3 镍镉蓄电池	57
3.2 飞机直流发电机	60
3.3 直流电压调节器	65
3.3.1 振动式电压调节器	66

3.3.2	炭片调压器	67
3.3.3	晶体管电压调节器	68
3.3.4	飞机高压直流电源数字式调压器简介	73
3.4	飞机直流发电机的并联、反流、过励磁与过电压保护	75
3.4.1	飞机直流发电机的并联	75
3.4.2	飞机直流发电机的控制和保护	77
3.5	直流发电机与蓄电池并联	83
3.5.1	发电机与蓄电池并联工作	83
3.5.2	发电机和蓄电池并联时负载分配	83
3.5.3	蓄电池对电网电压的稳定作用	86
3.5.4	蓄电池在飞机上的使用	87
3.6	静止变流器	89
3.6.1	旋转变流机	90
3.6.2	静止变流器	91
3.7	飞机直流配电和电磁干扰的抑制	93
3.7.1	飞机直流电网的配置	93
3.7.2	飞机的直流配电方式	94
3.7.3	电磁干扰的抑制	95
	复习思考题	97
第4章	交流电源系统	98
4.1	交流电路的基本概念	98
4.1.1	周期和频率的定义	98
4.1.2	瞬时值、幅值和有效值(均方根值)的表示	98
4.1.3	交流电压相位和负载性质的关系	99
4.1.4	有功功率(平均功率)、无功功率、视在功率和功率因数	100
4.1.5	三相交流电源系统	101
4.2	飞机交流电源系统的发展概况	102
4.2.1	飞机交流电源系统的发展	102
4.2.2	交流电源作为主电源的必然性	104
4.3	航空同步发电机	106
4.3.1	航空同步发电机的结构与基本原理	106
4.3.2	航空同步发电机的冷却方式	109
4.3.3	航空同步发电机的型号、额定数据和技术指标	112
4.4	交流电源系统的基本形式及主要参数	113
4.4.1	飞机交流电源系统的基本形式	113

4.4.2	交流电网供电馈线的连接方式	116
4.4.3	飞机交流电源系统的主要参数	117
4.5	电能变换装置	119
4.5.1	变压器	119
4.5.2	测量变压器(电流互感器)	122
4.5.3	变压整流电路	124
4.5.4	波音飞机变压整流器的原理电路	129
4.5.5	飞机变压整流器的技术要求	129
4.6	飞机交流发电机的结构形式和励磁方式	131
4.6.1	有刷交流发电机	131
4.6.2	无刷交流发电机的基本形式	133
4.6.3	交流发电机的相复励电路	135
4.7	飞机交流发电机电压调节器	137
4.8	飞机交流电源的并联供电与控制关系	143
4.8.1	飞机交流电源的并联供电及其功率平衡的有关问题	143
4.8.2	飞机交流电源的控制关系	147
4.8.3	主要控制逻辑关系的控制原理	153
4.8.4	飞机交流电源供电形式应用实例	157
4.9	飞机交流电源的保护	165
4.9.1	交流电源系统的故障及保护中的一般问题	165
4.9.2	短路故障与差动保护	166
4.9.3	励磁故障及保护	168
4.9.4	不稳定故障保护的概念	171
4.9.5	同步汇流条短路故障与逆序保护	171
	复习思考题	173
第5章	电动机的工作原理	174
5.1	直流电动机	174
5.1.1	直流电动机的结构	174
5.1.2	直流电动机励磁方式	175
5.1.3	直流电动机的运行特性	176
5.2	交流电动机	178
5.2.1	交流电动机的结构	178
5.2.2	交流电动机励磁方式	179
5.2.3	三相异步电动机的工作原理	180
5.2.4	异步电动机运行状态	181

5.2.5	三相异步电动机的运行原理	182
5.2.6	电磁转矩公式和机械特性	185
5.2.7	三相异步电动机的起动和调速	185
5.3	两相和单相异步电动机	186
5.3.1	交流伺服电动机的工作原理	187
5.3.2	单相异步电动机的工作原理	188
	复习思考题	190
第6章	发动机起动与点火系统	191
6.1	概述	191
6.1.1	活塞式发动机的起动和点火系统	191
6.1.2	涡轮螺旋桨发动机的起动和点火系统	192
6.1.3	涡轮风扇发动机的起动和点火系统	194
6.2	起动系统的主要机件及其工作原理	195
6.2.1	起动机	195
6.2.2	点火装置	199
6.2.3	起动点火线圈	205
6.2.4	高能点火器	206
6.2.5	发动机的起动种类	208
	复习思考题	212
第7章	飞机操纵系统电气设备	213
7.1	飞机操纵系统概况	213
7.2	飞机襟翼收放电路	215
7.3	水平安定面的操纵和起飞不安全警告	218
7.3.1	水平安定面的操纵	218
7.3.2	起飞不安全警告	219
7.4	起落架收放与刹车防滑系统	220
7.4.1	起落架收放操纵电路	221
7.4.2	起落架收放手柄锁控制电路	222
7.4.3	刹车防滑系统	224
7.5	失速警告系统	226
7.5.1	概述	226
7.5.2	失速警告系统工作原理	226
7.6	调整片的作用及其控制电路	228
7.6.1	概述	228
7.6.2	调整片的作用	229

7.6.3 调整片操纵电路举例	230
7.7 缝翼和扰流板的操纵	232
7.7.1 前缘缝翼的操纵	232
7.7.2 扰流板的操纵	232
7.8 数字式飞行控制器简述	233
复习思考题	235
第8章 飞机防冰与防雾系统	236
8.1 概述	236
8.2 飞机防冰的一般方法	237
8.3 风挡玻璃的防冰与防雾	241
8.4 发动机进气部件及螺旋桨结冰的影响	242
8.5 飞机结冰信号装置	244
8.5.1 探冰棒和探冰灯	244
8.5.2 压差式结冰信号器	244
8.5.3 金属导电环式结冰信号器	245
8.5.4 放射性同位素结冰信号器	247
8.5.5 探冰马达	248
8.6 飞机防冰系统防冰举例	248
8.7 飞机防冰与除冰的技术展望	250
复习思考题	251
第9章 飞机火警与烟雾探测及灭火系统	252
9.1 概述	252
9.2 火警探测系统的组成	253
9.2.1 火警传感器	254
9.2.2 火警信号处理与控制单元	254
9.2.3 火警信号装置	255
9.2.4 气体感温线式火警与过热探测系统	262
9.2.5 双金属片火警探测系统	263
9.2.6 热敏电门式过热探测系统	264
9.3 烟雾探测系统的工作原理	265
9.3.1 光电式烟雾探测器的结构及工作特性	266
9.3.2 空客 A380 火灾与烟雾保护	266
9.4 灭火系统	268
9.4.1 概述	268
9.4.2 典型飞机灭火系统举例	270

9.4.3 波音 707 飞机发动机灭火系统	272
复习思考题	276
第 10 章 警告信号和灯光照明系统	277
10.1 警告信号系统	277
10.1.1 警告信号系统主要组成	277
10.1.2 飞机紧急状态信号概述	278
10.1.3 飞机起落架和襟翼位置信号指示	279
10.2 发动机指示和机组警告系统	282
10.2.1 EICAS 产生的历史背景	282
10.2.2 波音 757、767 型飞机的发动机指示和机组警戒系统	283
10.3 飞机照明系统	287
10.3.1 机内照明	287
10.3.2 机外照明及机外灯光使用方法说明	290
复习思考题	296
第 11 章 燃油油量和流量测量系统	297
11.1 燃油油量的测量	297
11.1.1 浮子式油量测量系统	297
11.1.2 电容式油量测量技术	298
11.1.3 电感式油量测量技术	300
11.2 磁致伸缩液位测量系统概述	301
11.3 燃油流量的测量	306
11.4 飞机油量计算及误差分析	307
复习思考题	315
第 12 章 外电源和辅助动力装置	316
12.1 外电源简述	316
12.1.1 地面电源车应用概况	316
12.1.2 外电源供电线路	317
12.2 辅助动力装置的功用和组成	318
12.2.1 辅助动力装置的功用	318
12.2.2 辅助动力装置的结构组成	319
12.2.3 辅助动力装置的显示与控制	321
12.2.4 辅助动力装置的起动系统	323
第 13 章 多电飞机电气系统简述	328
13.1 新一代飞机电气系统发展状况	328

13.2 多电飞机的供电系统	329
13.2.1 多电飞机电气系统体系结构	329
13.2.2 机载电源技术	330
13.3 多电飞机的配电系统	333
13.3.1 PSP 供电处理机	334
13.3.2 RPDU 远程电源管理系统	338
13.3.3 固态功率控制器的工作原理	338
13.3.4 BIT 技术与容错供电技术	339
13.4 多电飞机机电作动技术	340
13.4.1 多电飞机组合动力装置	341
13.4.2 飞机热管理和发电系统综合	341
13.4.3 主飞行控制电作动技术	343
13.4.4 机载机电系统电机驱动技术	343
主要变量符号注释表	345
常用单位及换算关系	347
中英文对照缩写表	349
参考文献	354
后记	356

第 1 章 绪 论

1.1 概 述

飞机是借助于空气飞行的装置,飞行功能需要众多的设备在有机的协调工作下完成,图 1.1.1 所示为通用飞机系统与设备简图,要完成飞机的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。

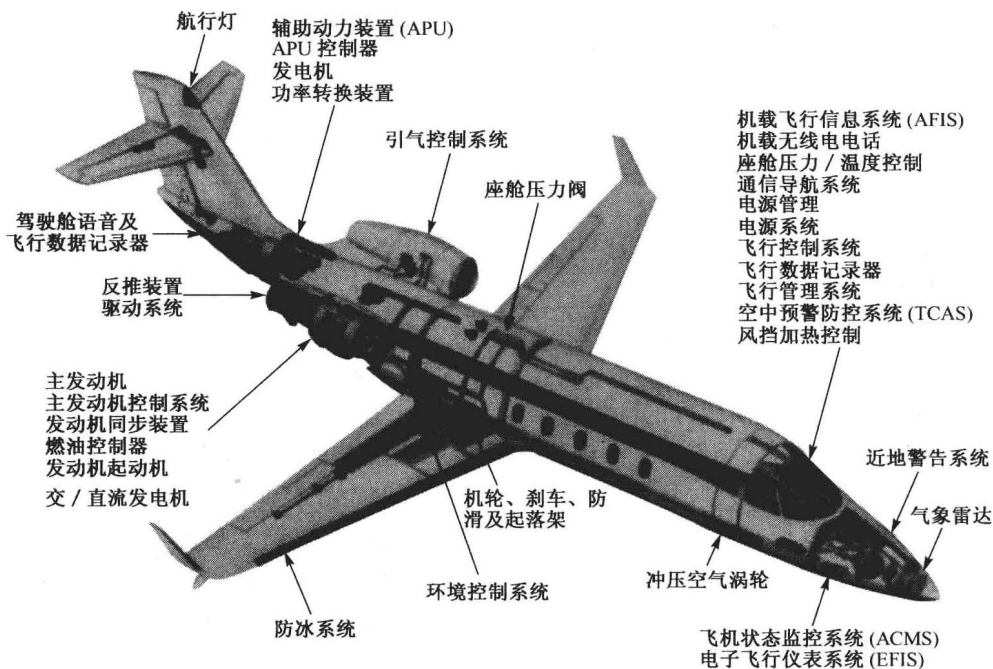


图 1.1.1 通用飞机系统及设备

1.2 飞机电气系统的作用和组成

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。供电系统是指电能的产生、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。

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,中型和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,它们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,它们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(如冲压空气涡轮发电机)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,常用于在地面检查机上用电设备和起动飞机发动机,在空中也可以用来给部分机上用电设备供电。此外,飞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起动发动机。

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所构成。

(1) 传输电能的导线或电缆的连接装置,包括汇流条、接线板、配电板和连接器等。

(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,包括各种熔丝、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。按电网形式分类,飞机电网一般可分为集中式、分散式和混合式3种。采用集中式输配电网时,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3种。常规控制方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,以利于减轻飞机电网的重量。固态配电方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,按电压分类,有低压和高压电网两种。按电流类型来分类,则有直流电网和交流电网;交流电网又有单相和三相之分。按电网的线制分类,则有单线、双线、三线、四线等几种。按电网的用途分类,则有主电网(即供电网)、配电网、辅助电网和应急电网等。

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、类型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) 发动机的起动、喷油和点火设备,如电力起动机、起动箱、起动自动定时器、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。

1.3 大型民用飞机电源系统的现状与发展

1.3.1 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90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

随着飞机的不断发展,机载电子设备和电力传动装置不断增多,机上用电量大大增加,而且对供电质量要求有所提高,低压直流电源系统已不能满足飞机的用电需要,从而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和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一种通过电子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) 变速变频交流电源系统

变速变频交流电源系统是最早在飞机上使用的交流电源系统。在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,并称之为窄变频交流电源系统。新一代民航飞机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直流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高压直流起动发电系统。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。