



民用航空应用型人才培养特色教材



民航飞机电子电气 系统与仪表

马文来 术守喜 主编



北京航空航天大学出版社
BEIHANG UNIVERSITY PRESS



民用航空应用型人才培养特色教材

民航飞机电子电气系统与仪表

马文来 术守喜 主编

北京航空航天大学出版社

内 容 简 介

本书系统介绍了民航飞机电气、电子、通信及仪表的基本概念、原理与应用。电气系统部分主要介绍典型飞机的电气系统,飞机的导线、电缆、控制和保险装置等电气电路设备,直流发电机、交流发电机、蓄电池等飞机电源系统,飞机输配电系统、飞机电源并联运行控制及保护、电力传动、电力启动、灯光照明等飞机用电设备;航空仪表部分主要介绍仪表基础知识,如大气数据仪表、姿态仪表、航向仪表、发动机仪表等;电子系统主要包括大气数据系统、姿态系统、航向系统、飞行管理及控制系统、彩色气象雷达、风切变探测及预警系统、空中交通警戒与防撞系统、近地警告系统、增强型近地警告系统等;通信系统部分主要介绍通信的基本概念、无线电传播属性及收发原理、卫星通信系统以及典型飞机机载通信系统。书中每章后附有章节重要知识点及思考题,便于学习使用。

本书可作为高等院校飞行技术、空中交通管理、飞行签派等专业的教材,也可作为民用航空相关专业学生的选修课用书,还可作为航空企事业单位、民航局及其下属管理局相关工作人员、航空爱好者的培训学习资料。

图书在版编目(CIP)数据

民航飞机电子电气系统与仪表 / 马文来, 术守喜主编. -- 北京: 北京航空航天大学出版社, 2015. 8
ISBN 978-7-5124-1858-5

I. ①民… II. ①马… ②术… III. ①民用飞机—电子系统 ②民用飞机—电气系统 ③民用飞机—飞行仪表
IV. ①V271

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 176743 号

版权所有,侵权必究。

民航飞机电子电气系统与仪表

马文来 术守喜 主编

责任编辑 梅栾芳

*

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市海淀区学院路 37 号(邮编 100191) <http://www.buaapress.com.cn>

发行部电话:(010)82317024 传真:(010)82328026

读者信箱:goodtextbook@126.com 邮购电话:(010)82316936

涿州市新华印刷有限公司印装 各地书店经销

*

开本:710×1 000 1/16 印张:22.75 字数:485 千字

2015 年 9 月第 1 版 2015 年 9 月第 1 次印刷 印数:2 000 册

ISBN 978-7-5124-1858-5 定价:48.00 元

编委会

主任：胡 波 张凤仪

编委：(按姓氏笔画排序)

马文来	马倩倩	王海军	毛国强	术守喜	石向阳
邢琳琳	朱 林	任传永	刘俊华	孙翠玲	杜玉杰
李 华	李明娟	张凤仪	胡 波	柳 明	袁 伟
桂晓亮	索向兴	高 斌	高培新	郭庆叶	韩佳佳
Roland	Gaetan				

项目支持：

- 国家级专业综合改革试点项目
- 山东省卓越工程师教育培养计划试点专业项目
- 山东省高等学校特色专业建设项目
- 滨州学院航空工程重点学科建设项目

序

近年来,随着我国民航事业的迅猛发展,对专业人才培养质量提出了更高的要求。无论从政治素质、规章意识、责任意识,还是从专业知识、专业素质、技术能力等多个方面,均需要更高的培养标准。反观目前我国民航专业教材,较普遍存在着知识相对陈旧,体系架构不甚合理,呈现形式较为单一,适应性针对性不强,国际化开放性偏低等问题,难以适应我国民航业快速发展的实际情况,从而影响从业人员的培养质量,已成为阻碍我国民航快速发展的不利因素。

滨州学院飞行学院是经教育部、民航局批准的以本科教育为主体的二级学院。2006年,其率先在全国地方普通高校设置了第一个飞行技术本科专业,目前设有飞行技术、飞行安全、民航机务工程、空中交通管理与签派、机场运行与管理5个专业方向。学院始终坚持“服务民航,就业民航”的办学方针,依托国家级专业综合改革试点专业、国家级大学生校外实践教育基地建设项目、山东省特色专业、卓越工程师培养计划以及高等学校人才培养模式创新实验区建设项目,依靠航空工程重点学科建设以及承担的国家级、省部级教科研项目等,全力打造具有民航特色的教学体系,大力培养民航发展所需要的高层次专业技术人才。

在多年教学实践、探索与总结的基础上,为适应我国民航对专业人才的需求,及时反映最新的研究与实践成果,更好地服务于民航专业人才培养,我们组织编写了“民用航空应用型人才培养特色教材”丛书。丛书注重“专业建设融合行业标准,学历教育对接岗位技能”,突出民航行业标准性、规范性、国际性以及民航专业人才高素质、严要求、强技能;注重于对专业建设多年来的探索与实践,汲取专业教师的实际教学经验、成果和大量学生的反馈意见;注重紧密联系民航技术的新发展、新变化,大量吸收和借鉴国内外的研究资料和成果;注重知识结构的基础性、系统性和全面性,内容充实,覆盖面广,力求充分反映当前的民航实际,便于多层次读者的学习需求。

人才培养是民航事业的重要组成部分,也必将随着民航事业的发展而发展。与人才培养密切相关的教材编撰只有不断适应新技术、新要求,着眼当下,放眼未来,才能真正服务于民航专业人才培养。本丛书的编写正是在民航专业人才培养教材建设方面的尝试和探索,试图推广专业教学经验和教学成果,促进民航专业的教学改革,提高民航专业人才培养质量,以更好地服务于我国民航事业的发展。

编委会

2015年8月

前 言

现代民航飞机装备了越来越多的电气、电子、通信系统及仪表设备,已经成为保障飞行安全、提高飞行效益不可或缺的设备,也是提高飞机技术、性能的重要因素,同时,装备的水平也标志着一个国家的民航技术水平。

本书是根据中国民用航空局关于对飞行技术专业的指导性专业规范文件要求,紧密结合飞行技术专业建设标准及专业培养目标,为全面培养高素质民航飞行人才编写的专业教材。

本书的编写源于对飞行技术专业多年的探索与实践,编写过程汲取了任课教师多年的教学经验和成果,参考了诸多国内外航空院校的资料,融合了多年来学生对该课程内容的反馈;紧密联系民航飞机电气电子系统、通信系统及航空仪表等领域的新发展、新变化,大量吸收和借鉴了国内外的研究资料和成果,对现代民航飞机所配备的电气电子系统、通信系统和航空仪表的基本概念、原理与应用进行了较为全面的阐述;同时在结构安排上注重各设备和系统之间的联系与综合,力求内容充实,覆盖面广,充分反映了当前的民航实际,便于学生学习。

为方便组织教学,本书将相关内容进行了分类介绍。第一部分为飞机电气系统的内容(第1~6章),主要包括典型飞机的电气系统、飞机电气电路设备、飞机电源系统及并联运行的控制保护、飞机输配电系统、飞机用电设备;第二部分为电子系统与航空仪表的内容(第7~12章),主要包括大气数据仪表系统、姿态与航向仪表系统、发动机仪表系统、自动飞行及管理系统、雷达系统及其在多方面的应用;第三部分为飞机通信系统(第13章),主要包括通信的基本概念、无线电收发原理、卫星通信系统以及典型飞机通信系统。鉴于民航飞机设备的特殊需要,书中保留了部分英美制单位,未统一为国际标准单位。

本书由马文来和术守喜共同完成。在编写过程中得到了学院领导的大力支持,各位同事也为本书的编写提出了许多建设性的意见和建议,多位毕业学生针对课程和教材提供了诸多有意义的反馈信息,在此表示诚

挚的谢意!另外,本书的编写参考了相关研究资料、国外相关专著、国内其他民航院校的相关教材、国家民航局相关规章、航空企事业单位及国外航校的培训教材及行业标准等,在此一并表示感谢!

本书注重科学性、系统性、实用性和前沿性,与其他同类教材相比,各章增加了知识结构及重要知识点内容,有助于自主学习及对本书知识的系统掌握。可以作为高等院校飞行技术、空中交通管理、飞行签派等专业的教材,也可以作为民用航空相关专业学生的选修课用书,还可作为航空企事业单位、民航局及其下属管理局相关工作人员、航空爱好者的培训学习资料。

鉴于编者水平以及时间的紧迫性,书中难免存在错误和不足,恳请广大读者批评指正。

编者
2015年4月

目 录

第 1 章 飞机电气系统概述	1
1.1 飞机电气系统基本构成	1
1.1.1 飞机供电系统	1
1.1.2 飞机用电设备	5
1.2 飞机电源系统的发展	8
1.2.1 发展趋势	8
1.2.2 典型发展阶段	8
1.3 先进飞机的电气系统	10
1.3.1 空客 A380 多电飞机	10
1.3.2 波音 787 多电飞机	10
1.3.3 F35 战斗机	11
1.3.4 飞机电气系统的发展趋势	11
本章重要知识点	12
思考题	13
第 2 章 飞机电气电路设备	14
2.1 飞机导线和电缆	14
2.1.1 飞机导线	14
2.1.2 飞机电缆	15
2.1.3 连接装置	16
2.2 电路控制装置	18
2.2.1 手动开关	18
2.2.2 机械开关	20
2.2.3 电磁控制装置	22
2.3 电路保险装置	27
2.3.1 熔断器	27
2.3.2 断路器	29
本章重要知识点	30
思考题	31
第 3 章 飞机电源系统	32
3.1 常见飞机电源类型	32
3.1.1 低压直流电源	32
3.1.2 交流电源系统	32
3.1.3 高压直流电源	36

3.1.4	混合电源	37
3.1.5	其他电源类型	37
3.2	飞机直流发电机	38
3.2.1	预备知识	38
3.2.2	有刷直流发电机	39
3.2.3	整流式直流发电机	42
3.3	飞机交流发电机	44
3.3.1	交流电机的类型	44
3.3.2	三级式无刷交流同步发电机	44
3.3.3	二级式无刷交流同步发电机	46
3.3.4	交流供电的主要参数	47
3.3.5	恒速传动装置	48
3.4	发电机的电压调节	51
3.4.1	碳片式调压器	51
3.4.2	晶体管电压调节器	52
3.5	航空蓄电池	54
3.5.1	铅酸蓄电池	54
3.5.2	镍镉蓄电池	58
3.5.3	锌银蓄电池	59
3.5.4	其他蓄电池	59
3.5.5	蓄电池的安装及排气	60
3.6	飞机电能变换设备	61
3.6.1	旋转变流机	61
3.6.2	静变流机	62
3.6.3	变压整流器	64
	本章重要知识点	66
	思考题	67
第4章	飞机输配电系统	68
4.1	飞机电网构成形式	68
4.1.1	直流电网	68
4.1.2	交流电网	68
4.1.3	对飞机电网的要求	69
4.2	飞机输配电方式	70
4.2.1	概述	70
4.2.2	飞机配电方式	71
4.2.3	先进飞机的配电方式	72
4.3	供电系统的电磁兼容问题	75
4.3.1	概述	75

4.3.2 飞机的主要电磁干扰源	77
4.3.3 供电系统的电磁兼容性	78
本章重要知识点	79
思考题	79
第5章 飞机电源的并联运行及控制与保护	80
5.1 概 述	80
5.2 直流电源并联运行及控制与保护	81
5.2.1 并联运行条件与负载均衡	81
5.2.2 自动均衡电路	82
5.2.3 发电机与蓄电池的并联运行	82
5.2.4 直流电源的控制与保护	83
5.3 交流电源并联运行及控制与保护	85
5.3.1 交流电源的并联和非并联运行	85
5.3.2 交流电源的控制	87
5.3.3 交流电源的故障及保护	89
本章重要知识点	91
思考题	92
第6章 飞机用电设备	93
6.1 电力传动设备	93
6.1.1 直流电动机	93
6.1.2 交流电动机	94
6.2 飞机发动机电力启动设备	94
6.2.1 活塞式发动机的电力启动设备	95
6.2.2 涡桨发动机的电力启动设备	96
6.2.3 涡轮或涡扇发动机的启动设备	97
6.3 灯光照明设备	98
6.3.1 机外照明灯	99
6.3.2 机内照明灯	101
6.3.3 应急照明灯	102
本章重要知识点	103
思考题	103
第7章 航空仪表系统	104
7.1 航空仪表的发展历史	104
7.2 航空仪表的分类	105
7.2.1 按照发展演变分类	106
7.2.2 按照仪表功用分类	109
7.2.3 按照工作原理分类	109
7.3 航空仪表的基本布局	110

7.3.1 分立式仪表的 T 形布局	112
7.3.2 电子式仪表显示数据的 T 形布局	112
7.3.3 模拟/数字仪表的特点	113
7.4 电子仪表系统	113
7.4.1 概 述	113
7.4.2 电子飞行仪表系统	115
7.4.3 电子中央监控系统	121
本章重要知识点	125
思考题	125
第 8 章 大气数据仪表系统	126
8.1 大气的基本特性	126
8.1.1 气压的概念及其测量单位	126
8.1.2 大气密度	126
8.1.3 大气温度	126
8.1.4 大气湿度	127
8.1.5 国际标准大气	127
8.1.6 气压高度	129
8.2 气压式高度表	130
8.2.1 高度的种类	130
8.2.2 工作原理	132
8.2.3 基本构造	132
8.2.4 使用方法	134
8.2.5 测量误差	136
8.3 空速表	138
8.3.1 空速的基本概念	138
8.3.2 空速与大气参数的关系	139
8.3.3 指示空速表	141
8.3.4 真空速表	142
8.3.5 基本结构	144
8.3.6 空速表的误差	146
8.4 马赫数表	147
8.4.1 工作原理	148
8.4.2 基本结构	148
8.4.3 显示方法	149
8.5 升降速度表	150
8.5.1 工作原理	150
8.5.2 基本结构	152
8.5.3 使用误差	152
8.6 全静压系统	153

8.6.1	系统概述	153
8.6.2	组成结构	154
8.6.3	基本故障	157
8.6.4	使用方法	160
8.7	大气数据系统	161
8.7.1	系统概述	161
8.7.2	模拟式大气数据计算机	162
8.7.3	数字式大气数据计算机	164
8.7.4	大气数据计算机指示仪表	165
8.7.5	使用方式	168
8.8	大气数据惯性基准系统	168
	本章重要知识点	169
	思考题	170
第9章	姿态及航向仪表系统	171
9.1	陀螺的基本知识	171
9.1.1	陀螺概述	171
9.1.2	单自由度陀螺的特性	172
9.1.3	两自由度陀螺的特性	172
9.1.4	表观运动	175
9.1.5	激光陀螺	176
9.2	姿态仪表与姿态系统	179
9.2.1	转弯侧滑仪	179
9.2.2	航空地平仪	185
9.2.3	姿态基准系统	195
9.3	航向仪表与航向系统	199
9.3.1	地磁与航向	199
9.3.2	磁罗盘	203
9.3.3	陀螺半罗盘	207
9.3.4	陀螺磁罗盘	210
9.3.5	同位器及随动系统	214
9.3.6	罗盘系统	219
	本章重要知识点	224
	思考题	225
第10章	发动机仪表系统	226
10.1	测量压力的仪表	226
10.1.1	进气压力表	226
10.1.2	电动压力表	227
10.2	测量推力的仪表	230

10.3	测量温度的仪表	232
10.3.1	电阻式温度表	232
10.3.2	热电偶式温度表	233
10.4	测量转速的仪表	235
10.4.1	磁转速表	235
10.4.2	磁电式转速表	236
10.5	测量油量的仪表	237
10.5.1	浮子式油量表	237
10.5.2	电容式油量表	238
10.6	测量流量的仪表	239
10.6.1	叶轮式流量表	239
10.6.2	角动量式流量表	241
10.7	测量振动的仪表	242
10.8	全权限数字电子控制系统	244
10.8.1	系统概述	244
10.8.2	组成结构	245
10.8.3	工作原理	245
	本章重要知识点	246
	思考题	247
第 11 章	自动飞行及管理系统	248
11.1	飞行管理系统	248
11.1.1	功能分析	248
11.1.2	FMS 主要功能	249
11.1.3	FMS 系统构成	250
11.2	主飞行控制系统	250
11.2.1	组成结构	250
11.2.2	系统功能	252
11.3	自动飞行控制系统	253
11.3.1	基本概念	253
11.3.2	自动驾驶仪	255
11.3.3	飞行指引仪	260
11.3.4	自动飞行指引系统	264
11.3.5	偏航阻尼系统	265
11.3.6	自动俯仰配平系统	267
11.3.7	自动油门控制系统	268
11.4	飞机状态监控系统	271
11.4.1	系统功用	271
11.4.2	磁带式	272

11.4.3 数字式	273
11.4.4 使用方式	274
本章重要知识点	274
思考题	275
第 12 章 雷达系统及应用	276
12.1 雷达基础知识	276
12.1.1 雷达的分类	276
12.1.2 雷达的工作原理	277
12.1.3 组成结构	277
12.1.4 雷达在民航中的应用	278
12.2 无线电高度表	278
12.2.1 工作原理	279
12.2.2 组成结构	279
12.2.3 使用方法	282
12.3 彩色气象雷达	282
12.3.1 基本原理	282
12.3.2 气象雷达的工作方式	285
12.3.3 组成结构及显示	286
12.3.4 操作方式及注意事项	288
12.4 风切变探测及预警系统	288
12.4.1 多普勒效应	289
12.4.2 工作原理	289
12.4.3 报警显示	290
12.4.4 使用方法	292
12.5 空中交通管制应答机	292
12.5.1 航管雷达信标系统	293
12.5.2 机载 ATC A/C 模式应答机	295
12.5.3 离散选址信标系统	296
12.6 空中交通警戒与防撞系统	298
12.6.1 TCAS2 概述	299
12.6.2 组成结构	300
12.6.3 工作原理	300
12.6.4 TCAS2 显示与控制	302
12.6.5 S 模式应答机控制	305
12.6.6 TCAS 的运行抑制	306
12.7 近地警告系统	306
12.7.1 组成及功能	307
12.7.2 工作原理	307

12.7.3 系统报警方式及使用测试	308
12.8 增强型近地警告系统	314
12.8.1 基本原理	314
12.8.2 前视警戒	315
12.8.3 地形显示	316
12.8.4 驾驶舱报警	317
本章重要知识点	318
思考题	319
第 13 章 飞机通信系统	320
13.1 通信的基本知识	320
13.1.1 通信概述	320
13.1.2 无线电波的传播特性	324
13.2 无线电收发原理	326
13.2.1 无线通信系统的组成	326
13.2.2 调制和解调	327
13.3 卫星通信系统	328
13.3.1 移动卫星通信系统	328
13.3.2 卫星通信系统的组成	330
13.3.3 航空卫星通信系统	332
13.4 典型飞机通信系统	334
13.4.1 高频通信系统	334
13.4.2 甚高频通信系统	336
13.4.3 选择呼叫系统	338
13.4.4 音频选择与内话系统	339
13.4.5 旅客广播系统	342
13.4.6 座舱话音记录器	343
13.4.7 飞机通信寻址报告系统	343
本章重要知识点	345
思考题	346
参考文献	347

第 1 章 飞机电气系统概述

1.1 飞机电气系统基本构成

飞机的电气系统是指飞机的供电系统和用电设备,包括电源系统、输配电系统和用电设备三个部分。早期的飞机用电量很少,主要供给无线电收发机、灯光照明和发动机电力启动使用。现代飞机使用了大量电动机构,加上各种机载设备的用电量,如通信、导航、自动驾驶等,使电气系统成为现代飞机上不可缺少的部分。典型的飞机电气系统如图 1-1 所示。

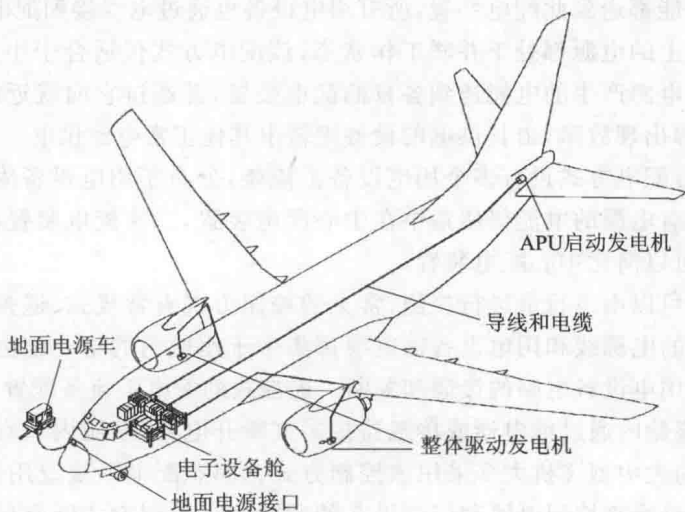


图 1-1 典型飞机电气系统

1.1.1 飞机供电系统

飞机供电系统是飞机上电能产生、调节、控制、变换和传输分配系统的统称,包括从产生电能一直到用电设备端的部分,可以分为飞机电源系统和飞机输配电系统两部分。

1. 飞机电源系统

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,包含飞机电源及到电源汇流条间的部分。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。