国防科工委“十五”规划教材.电气工程

航空航天器供电系统

沈颂华　主编

北京航空航天大学出版社

北京理工大学出版社　西北工业大学出版社
哈尔滨工业大学出版社　哈尔滨工程大学出版社

需要全本请访问 www.ertongbook.com

内容简介

本书主要论述航空航天器供电系统的基本概念与术语、结构组成与功能、运行原理与特性、技术现状与发展；同时，对航天器供电系统、飞机直流与交流电源系统、飞机配电系统、飞机供电系统技术要求和工程设计进行了较为系统的展开与讨论，并列举了不同类型航空航天器供电系统的一些实例。每章最后均列出了复习思考题。

本书为高等学校航空航天电气工程类相关课程教材，也可作为从事航空航天电气工程科学研究、技术设计、生产制造和使用维护工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

航空航天器供电系统/沈颂华主编. —北京：北京航空航天大学出版社，2005.9

ISBN 7-81077-665-7

Ⅰ.航… Ⅱ.沈… Ⅲ.航空航天器—供电 Ⅳ.V242

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 048494 号

航空航天器供电系统

沈颂华 主编

责任编辑 韩文礼

*

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(100083)

发行部电话：010-82317024 传真：010-82328026

http://www.buaapress.com.cn E-mail：bhpress@263.net

北京市松源印刷有限公司印装 各地书店经销

*

开本：787×960 1/16

印张：22.0 字数：493 千字

2005 年 9 月第 1 版 2005 年 9 月第 1 次印刷

印数：3 000 册

ISBN 7-81077-665-7 定价：30.00 元

国防科工委“十五”规划教材编委会

（按姓氏笔画排序）

主　任：张华祝

副主任：王泽山　陈懋章　屠森林

编　委：王　祁　王文生　王泽山　田　莳　史仪凯
乔少杰　仲顺安　张华祝　张近乐　张耀春
杨志宏　肖锦清　苏秀华　辛玖林　陈光[illegible]
陈国平　陈懋章　庞思勤　武博祎　金鸿章
贺安之　夏人伟　徐德民　聂　宏　贾宝山
郭黎利　屠森林　崔锐捷　黄文良　葛小春

总　　序

国防科技工业是国家战略性产业，是国防现代化的重要工业和技术基础，也是国民经济发展和科学技术现代化的重要推动力量。半个多世纪以来，在党中央、国务院的正确领导和亲切关怀下，国防科技工业广大干部职工在知识的传承、科技的攀登与时代的洗礼中，取得了举世瞩目的辉煌成就；研制、生产了大量武器装备，满足了我军由单一陆军，发展成为包括空军、海军、第二炮兵和其他技术兵种在内的合成军队的需要，特别是在尖端技术方面，成功地掌握了原子弹、氢弹、洲际导弹、人造卫星和核潜艇技术，使我军拥有了一批克敌制胜的高技术武器装备，使我国成为世界上少数几个独立掌握核技术和外层空间技术的国家之一。国防科技工业沿着独立自主、自力更生的发展道路，建立了专业门类基本齐全，科研、试验、生产手段基本配套的国防科技工业体系，奠定了进行国防现代化建设最重要的物质基础；掌握了大量新技术、新工艺，研制了许多新设备、新材料，以“两弹一星”、“神舟”号载人航天为代表的国防尖端技术，大大提高了国家的科技水平和竞争力，使中国在世界高科技领域占有了一席之地。十一届三中全会以来，伴随着改革开放的伟大实践，国防科技工业适时地实行战略转移，大量军工技术转向民用，为发展国民经济作出了重要贡献。

国防科技工业是知识密集型产业，国防科技工业发展中的一切问题归根到底都是人才问题。50 多年来，国防科技工业培养和造就了一支以“两弹一星”元勋为代表的优秀的科技人才队伍，他们具有强烈的爱国主义思想和艰苦奋斗、无私奉献的精神，勇挑重担，敢于攻关，为攀登国防科技高峰进行了创造性劳动，成为推动我国科技进步的重要力量。面向新世纪的机遇与挑战，高等院校在培养国防科技人才，传播国防科技新知识、新思想，攻克国防基础科研和高技术研究难题当中，具有不可替代的作用。国防科工委高度重视，积极探

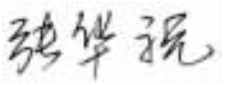
索，锐意改革，大力推进国防科技教育特别是高等教育事业的发展。

高等院校国防特色专业教材及专著是国防科技人才培养当中重要的知识载体和教学工具，但受种种客观因素的影响，现有的教材与专著整体上已落后于当今国防科技的发展水平，不适应国防现代化的形势要求，对国防科技高层次人才的培养造成了相当不利的影响。为尽快改变这种状况，建立起质量上乘、品种齐全、特点突出、适应当代国防科技发展的国防特色专业教材体系，国防科工委全额资助编写、出版 200 种国防特色专业重点教材和专著。为保证教材及专著的质量，在广泛动员全国相关专业领域的专家、学者竞投编著工作的基础上，以陈懋章、王泽山、陈一坚院士为代表的 100 多位专家、学者，对经各单位精选的近 550 种教材和专著进行了严格的评审，评选出近 200 种教材和学术专著，覆盖航空宇航科学与技术、控制科学与工程、仪器科学与技术、信息与通信技术、电子科学与技术、力学、材料科学与工程、机械工程、电气工程、兵器科学与技术、船舶与海洋工程、动力机械及工程热物理、光学工程、化学工程与技术、核科学与技术等学科领域。一批长期从事国防特色学科教学和科研工作的两院院士、资深专家和一线教师成为编著者，他们分别来自清华大学、北京航空航天大学、北京理工大学、华北工学院、沈阳航空工业学院、哈尔滨工业大学、哈尔滨工程大学、上海交通大学、南京航空航天大学、南京理工大学、苏州大学、华东船舶工业学院、东华理工学院、电子科技大学、西南交通大学、西北工业大学、西安交通大学等，具有较为广泛的代表性。在全面振兴国防科技工业的伟大事业中，国防特色专业重点教材和专著的出版，将为国防科技创新人才的培养起到积极的促进作用。

党的十六大提出，进入 21 世纪，我国进入了全面建设小康社会、加快推进社会主义现代化的新的发展阶段。全面建设小康社会的宏伟目标，对国防科技工业发展提出了新的更高的要求。推动经济与社会发展，提升国防实力，需要造就宏大的人才队伍，而教育是奠基的柱石。全面振兴国防科技工业必须始终把发展作为第一要务，落实科教兴国和人才强国战略，推动国防科技工业

需要全本请访问 www.ertongbook.com

走新型工业化道路，加快国防科技工业科技创新步伐。国防科技工业为有志青年展示才华，实现志向，提供了缤纷的舞台，希望广大青年学子刻苦学习科学文化知识，树立正确的世界观、人生观、价值观，努力担当起振兴国防科技工业、振兴中华的历史重任，创造出无愧于祖国和人民的业绩。祖国的未来无限美好，国防科技工业的明天将再创辉煌。



前　言

本书是国防科工委“十五”重点建设教材，根据 1990 年版《飞机供电系统》（国防工业出版社）和 1995 年版《航空航天器供电系统》（航空工业出版社）在实际教学中的使用情况和经验积累，由三校（西北工业大学、南京航空航天大学、北京航空航天大学）二所（原航空 603 所、航空 301 所）组成编写组，经过讨论，提出修改意见后统一撰写。本书针对工程类专业课程的特点，突出了工程观念和工程意识的建立，增设了工程设计章节；又按照航空航天器供电系统的课程定位，特别强调了系统的观念与概念，以当代现役武器装备型号中的供电系统为对象，展开了有关工程技术问题与相关理论的讨论。本书安排有一定比例的新技术与发展动态介绍，以开阔读者思路，跟踪相关学科与技术发展的前沿。

全书共分 8 章。第 1 章概论，主要介绍航空航天器供电系统的基本概念与定义，以及系统的组成、类型与参数；第 2 章航天器供电系统，主要介绍航天器供电系统的组成与特点，以及航空航天器用的化学电源与特种电源；第 3 章飞机直流电源系统，以低压直流系统为主，介绍系统及其组成环节的结构特点，控制保护，并联运行和起动发电，同时对高压直流系统也作了简要介绍；第 4 章飞机交流电源系统，以恒速恒频和变速恒频为主要内容，介绍其结构组成与原理，并联运行和控制保护等有关技术；第 5 章飞机配电系统，主要介绍飞机供电系统中配电与供电的相关技术与理论，并列入了电气系统综合控制管理的相关技术；第 6 章飞机供电的特性及其技术要求，从飞机供电系统的基本参数出发，对飞机供电特性要求和系统的相容性作了介绍；第 7 章飞机供电系统的工程设计，主要介绍飞机供电系统工程设计的要求、原则与程序；第 8 章航空航天器供电系统举例，具有手册类型性质，以有助于读者建立航空航天器供电系统的完整概念。

本书第 1 章由沈颂华编写，第 2 章由袁海文编写，第 3、5 章由张晓斌、吴小华编写，第 4 章由谢少军编写，第 6 章由王守芳编写，第 7 章由马述训编写，第 8 章由马齐爽编写，由沈颂华担任主编。空军工程大学严东超教授、南京航空航天大学严仰光教授和西北工业大学李颂伦教授审阅了全书，提出了极为宝贵意见，北京航空航天大学出版社蔡喆和韩文礼编辑也付出了很多心血，为提高本教材质量作

出了贡献，在此深表谢意。本书在编写过程中还得到了我国航空航天有关部门和厂、所专家的帮助与指导。付晓余、曹宇、何凯和邹勇等同志为成稿也做了大量工作，在此一并表示感谢。

由于水平有限，书中缺点错误敬请广大读者批评指正。

编　者

2005 年 6 月

目　　录

第 1 章　概　论

1.1　航空航天器能源与电气系统 …… 1

1.1.1　航空航天器能源 …… 1

1.1.2　航空航天器电气系统 …… 2

1.2　航空航天器供电系统基本类型及其基本参数 …… 3

1.2.1　基本类型 …… 3

1.2.2　直流供电系统基本参数 …… 4

1.2.3　交流供电系统基本参数 …… 4

1.3　飞机电源系统的功能与构成 …… 5

1.4　飞机配电系统的功能与构成 …… 6

1.5　航空航天器供电系统的工作环境和工作状态 …… 7

1.5.1　飞机供电系统工作环境条件 …… 7

1.5.2　飞机供电系统工作状态 …… 9

1.5.3　航天器供电系统的工作环境条件和工作状态 …… 10

1.6　航空航天器供电系统的技术发展 …… 11

1.6.1　飞机供电系统的技术发展 …… 11

1.6.2　航天器供电系统的技术发展 …… 18

复习思考题 …… 19

第 2 章　航天器供电系统

2.1　航天器供电系统的组成 …… 20

2.1.1　航天器供电系统组成 …… 20

2.1.2　电源与储能装置 …… 20

2.1.3　配电系统 …… 21

2.2　航天器供电系统中的电源 …… 22

2.2.1　航天器电源种类 …… 22

2.2.2　化学电池 …… 23

2.2.3　航天器用特种电源 …… 34

2.3　航天器电源系统 …… 43

2.3.1　航天器电源系统种类 …… 43

2.3.2　航天器电源系统的调节与控制 …… 47

2.4　火箭电源 …… 55

复习思考题 …… 57

需要全本请访问 www.ertongbook.com

第 3 章　飞机直流电源系统

3.1　概　述 …… 58
3.2　飞机直流发电机 …… 58
3.2.1　飞机直流发电机的特点 …… 58
3.2.2　飞机直流发电机的工作特性 …… 59
3.2.3　飞机直流发电机的种类 …… 61
3.2.4　飞机直流发电机的冷却 …… 63
3.3　飞机直流发电机的电压调节 …… 65
3.3.1　电压调节及其技术发展 …… 65
3.3.2　晶体管式电压调节器 …… 67
3.4　直流电源的并联运行 …… 73
3.4.1　并联条件和负载分配 …… 73
3.4.2　自动均衡电路 …… 74
3.4.3　发电机与蓄电池的并联运行 …… 75
3.5　飞机直流电源的控制与保护 …… 77
3.5.1　飞机直流发电机的控制与反流保护 …… 77
3.5.2　飞机直流发电机的过电压保护 …… 79
3.5.3　飞机直流发电机的短路保护 …… 80
3.6　起动发电系统 …… 80
3.6.1　航空发动机的起动特性及其起动要求 …… 80
3.6.2　航空发动机的电起动过程 …… 82
3.6.3　典型的喷气发动机起动发电系统 …… 82
3.7　飞机直流供电系统的二次电源 …… 84
3.8　高压直流供电系统 …… 85
3.8.1　高压直流电源发电机 …… 85
3.8.2　高压直流供电系统的构成 …… 86
3.8.3　高压直流供电系统的二次电源 …… 88
复习思考题 …… 88

第 4 章　飞机交流电源系统

4.1　概　述 …… 89
4.2　飞机恒速恒频交流电源系统 …… 90
4.2.1　齿轮差动式液压恒速传动装置 …… 90
4.2.2　飞机无刷交流发电机 …… 102
4.2.3　飞机无刷交流发电机的电压调节 …… 114
4.3　飞机变速恒频交流电源系统 …… 120
4.3.1　变速恒频电源 …… 120
4.3.2　交交型变速恒频电源 …… 122
4.3.3　阶梯波合成型交直交变速恒频电源 …… 127

4.3.4 脉宽调制型交直交变速恒频电源 …… 133
4.3.5 变速恒频无刷启动/发电系统 …… 150
4.3.6 交流励磁变速恒频发电机 …… 154
4.4 飞机交流电源的控制 …… 158
4.4.1 交流电源系统的并联和不并联运行 …… 158
4.4.2 并联交流电源系统的控制 …… 160
4.4.3 不并联交流电源的控制 …… 163
4.4.4 发电机控制器和汇流条控制器 …… 164
4.5 飞机交流发电机的并联运行 …… 165
4.5.1 发电机投入电网的条件 …… 165
4.5.2 并联发电机间的功率分配原理 …… 166
4.5.3 无功功率检测原理 …… 168
4.5.4 有功功率检测原理 …… 170
4.6 飞机交流电源的保护 …… 171
4.6.1 飞机交流电源的故障 …… 171
4.6.2 不并联交流电源的故障保护 …… 172
4.6.3 并联交流电源的故障保护 …… 174
4.6.4 飞机交流电源的故障分析、自检测与保护设置 …… 175
4.7 飞机交流电源系统的二次电源 …… 180
4.7.1 变压整流器 …… 180
4.7.2 电子式变压整流器 …… 182
4.7.3 蓄电池充电器 …… 183
复习思考题 …… 184

第 5 章 飞机配电系统

5.1 飞机配电系统布局 …… 187
5.1.1 对飞机配电系统的要求 …… 187
5.1.2 电网的线制 …… 187
5.1.3 配电方式 …… 189
5.1.4 供电电网的形式 …… 190
5.2 飞机配电系统的控制与保护 …… 194
5.2.1 配电系统的控制 …… 194
5.2.2 飞机电网的保护 …… 197
5.3 飞机电网计算 …… 200
5.3.1 电网计算 …… 200
5.3.2 电网导线截面计算和选择 …… 201
5.3.3 电网电压降及电压损失计算 …… 202
5.4 电网短路电流计算 …… 205
5.4.1 直流电网短路电流计算 …… 205

5.4.2 交流电网短路电流计算 …… 206
5.5 先进飞机电气系统综合控制管理技术 …… 224
5.5.1 电气系统综合控制 …… 224
5.5.2 数据通信基本原理 …… 225
5.5.3 1553B总线通信协议 …… 229
5.5.4 飞机电气综合控制系统结构 …… 234
5.5.5 飞机电气综合控制系统硬件 …… 236
5.5.6 飞机电气综合控制系统软件 …… 241
复习思考题 …… 243
第6章 飞机供电系统特性及其技术要求
6.1 概 述 …… 245
6.2 飞机供电系统特性参数 …… 246
6.2.1 飞机供电系统特性参数定义 …… 246
6.2.2 直流供电系统的供电特性参数 …… 246
6.2.3 交流供电系统的供电特性参数 …… 247
6.3 飞机直流供电特性要求 …… 248
6.3.1 飞机直流供电系统稳态特性要求 …… 248
6.3.2 飞机直流供电系统瞬态特性要求 …… 254
6.4 飞机交流供电特性要求 …… 256
6.4.1 飞机交流供电系统稳态特性要求 …… 256
6.4.2 飞机交流供电系统瞬态特性要求 …… 260
6.5 飞机供电系统的相容性 …… 263
6.5.1 飞机供电系统的瞬态与稳态 …… 263
6.5.2 飞机供电系统转换工作状态时的供电特性要求 …… 263
6.5.3 飞机供电系统相容性 …… 264
复习思考题 …… 265
第7章 飞机供电系统的工程设计
7.1 飞机供电系统的工程设计和技术要求 …… 266
7.1.1 工程设计依据和工程技术要求 …… 266
7.1.2 工程设计与研制 …… 267
7.2 电气负载和电源容量分析 …… 267
7.2.1 电气负载的分类与统计 …… 267
7.2.2 电气负载分析 …… 268
7.2.3 电源容量分析 …… 269
7.2.4 蓄电池分析 …… 271
7.3 供电系统方案设计 …… 271
7.3.1 供电系统方案设计的主要任务 …… 271
7.3.2 供电系统方案选择 …… 272

7.4 电源系统设计 …… 276
7.4.1 电源系统的接口关系和成品协调 …… 276
7.4.2 主电源系统设计 …… 278
7.4.3 二次电源、应急、辅助、地面和专用电源设计 …… 279
7.4.4 电源系统的控制、保护和自检测方案设计 …… 280
7.5 配电系统设计 …… 282
7.5.1 配电系统设计要求 …… 282
7.5.2 配电形式与布局方案设计 …… 283
7.5.3 电线、电缆选择与截面计算 …… 284
7.5.4 配电网路保护装置的配置 …… 285
7.6 飞机供电系统的可靠性设计 …… 285
7.6.1 可靠性设计准则 …… 285
7.6.2 系统的可靠性评估 …… 287
7.6.3 系统可靠性初步计算 …… 288
7.7 设计图样的绘制 …… 290
7.7.1 图样种类及其用途 …… 290
7.7.2 系统图的绘制原则与方法 …… 295
7.8 供电系统的验证试验 …… 295
复习思考题 …… 297
第 8 章 航空航天器供电系统举例
8.1 飞机直流供电系统举例 …… 298
8.1.1 单发低压直流供电系统 …… 298
8.1.2 并联低压直流供电系统 …… 299
8.1.3 高压 270 V 直流供电系统 …… 305
8.2 飞机交流供电系统举例 …… 308
8.2.1 不并联恒速恒频供电系统 …… 308
8.2.2 并联恒速恒频供电系统 …… 310
8.2.3 变速恒频供电系统 …… 316
8.3 飞机混合供电系统举例 …… 318
8.3.1 混合供电系统 …… 318
8.3.2 低压直流电源系统 …… 320
8.3.3 交流电源系统 …… 324
8.4 航天器供电系统举例 …… 326
8.4.1 太阳同步轨道卫星电源系统 …… 326
8.4.2 “阿波罗”飞船供电系统 …… 328
复习思考题 …… 332
参考文献

第1章　概　论

1.1　航空航天器能源与电气系统

1.1.1　航空航天器能源

在地球大气层内离开地面运动的物体被称作航空器；而在地球大气层外运动的物体则被称为航天器。航空器和航天器统称为航空航天器。它们离开地面，分别在大气层内和大气层外运动，这都需要做功，做功的能量则要由能源来提供。同时，航空航天器中装有诸多设备，各种设备都要完成一定功能，也都需要能量，这同样要由能源来提供。上述能源都要由航空航天器自身载有，称之为航空航天器能源。航空航天器上的动力装置，能利用所载有的蕴藏能量的物质（通常称为燃料）直接产生航空航天器所需的能量，这种动力装置就称为航空航天器的一次能源装置或设备。航空器中的飞机，装备有航空发动机，它是飞机的动力装置，通过消耗航空燃油使叶轮转动，产生飞机所需要的推力、拉力或升力，同时还可以满足机上设备对能量的某些需求，航空发动机就是飞机上的一次能源设备。航天器离开地面进入太空预定轨道，是由运载火箭（亦称导弹）实现的，导弹上装备有火箭发动机，通过消耗火箭燃料产生内部物质的喷射，形成反作用力，促使运载火箭连同航天器的飞行运动，火箭发动机就是航天器的一次能源装置。进入轨道后，航天器将与运载火箭脱离，其在外层空间的轨道运动基本上由天体力学规律确定，一般不需要其他能量的供给。然而，航空航天器上的设备装置，包括发动机，要完成其特定的功能，如发动机点火等，都需要一定能量，且所需能量类型可能与一次能源直接提供的能量类型不同。为此，航空航天器上还需配备其他类型的能源。根据具体情况，其他类型能源的种类可能需要有多种，如电能，液压能，气压能等。航空航天器上的其他能源统称为航空航天器的二次能源。在航天器上，其二次能源，除由变换一次能源设备提供的一次能源来获得之外，还可通过变换航天器外部能源来获得，如卫星上的太阳能电池，使卫星不必携带大量的能源设备，可大大减轻其质量。

飞机起落架的收放，舱门的启闭，飞机操纵面的控制，目前绝大部分都采用液压作动机构，需要液压能类型的二次能源。液压作动机构具有出力大，响应快，体积小和工作平稳等特点；而其正常工作须有高压液压源，蓄压器及其相应的输油管路和控制保护阀，以构成完整的液压能源系统。飞机机轮的刹车，弹药的传输则都用气压能，由机载气压能源提供；机翼的防冰，座舱的温度调节有不少是靠提取发动机压气机增压后的空气来实现，需要的也是机载气压能源。

飞机上还有大量设备靠电能工作，需要有机载电能类型的二次能源。所以，当代飞机上同时存在有三种二次能源，使飞机内部管路与电路纵横交叉，错综复杂，导致了飞机的工艺性、可维护性和可靠性的降低。

第二次世界大战期间，出现了一些大量使用电能的飞机，其起落架收放、舱门启闭、飞机舵面控制等都采用了电动机构。近 30 多年来，电工技术有突破性发展，新电工材料和电工器件不断涌现，微型计算机技术也迅速发展，使新型机电作动机构具有足够的技术支撑，以取代液压和气压作动机构。因此，飞机二次能源的统一问题已摆在航空电气工程技术人员面前。航天器进入大气层外的运行轨道后，不再需要一次能源，其所载设备必须要有专门的二次能源来提供能量，其中电源是航天器上常用的二次能源。早期的人造地球卫星都采用化学电池，即原电池或蓄电池；后来，则以应用太阳能电池作为卫星电源的居多；飞船和航天飞机上的电源，一般采用燃料电池和蓄电池；宇宙探测器和某些军用卫星，常采用核能电源。在航空航天器正常工作期间，直接供应其用电设备电能的装置称为主电源，组成的相应系统就称为主电源系统。

1.1.2 航空航天器电气系统

航空航天器电气系统由供电系统和用电设备组成。其中，供电系统要向用电设备提供电能，而用电设备则消耗供电系统所提供的电能，以完成其特定的功能。供电系统要向用电设备提供电能，必须具有电能产生与变换和电能传输与分配的功能。实现电能产生与变换功能的环节与设施称为电源系统；而实现电能传输与分配功能的环节与设施则称为输配电系统。航空航天器中的供电系统，其电能传输的路径短，一般将其输配电系统简称为配电系统。航空航天器的供电系统由电源系统和配电系统组成，它包含从电源到用电设备输入端的全部环节。其中，电源到电源汇流条之间的部分是电源系统，电源汇流条到用电设备输入端之间的部分是配电系统。航空航天器的用电设备是指航空航天器上所有使用电能的设备，装置和系统。

随着航空航天技术的不断发展，航空航天器用电设备的种类和数量也在不断增加。按照其所实现的特定功能，飞机上的用电设备有：

① 发动机和飞机的操纵控制设备，如发动机的起动、喷油、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、通信和燃油供给设备，起落架收放和舱门启闭设备等；

② 机上人员生活和工作所需设备，如座舱环境控制系统、照明与加温设备、氧气设备、安全与救生设备等；

③ 完成飞行任务所需的设备，这与飞机的类型、用途有关，如军用机有火力控制设备、投弹瞄准设备、照明侦察设备等，民用机有客舱照明设备和厨房设备等。

飞机上还有不少靠液压能和气压能工作的设备，前者称为液压设备，后者称为气压设备。航天器上的用电设备按功能分为：

① 动力装置的操纵控制设备；

② 导引、飞行控制、姿态控制和通信设备；



③ 定时引信设备；

④ 装载实验的用户设备等。

用电设备按用电种类可划分为直流用电设备和交流用电设备。例如，直流电动机只有在直流供电时才能工作，异步电动机只在交流供电时才能旋转，三相异步电动机则必须有三相对称交流供电才能正常运行。有的用电设备（例如白炽灯）既可在直流电源供电时工作，也可由交流电源供电，且对电源频率没有严格要求；但有的设备（如电动陀螺仪和某些电动仪表）要求提供频率十分稳定、波形为正弦的三相交流电。因此，用电设备可分为直流、交流和交直流两用三种类型。交流用电设备又可分为与频率无关或关系不大的设备、要求电源频率稳定的设备以及要求电源频率相当稳定的设备。从交流电相数来看，有的用单相交流电，有的则必须用三相交流电。

用电设备一般按照其实现功能的性质及其重要性进行分类，以确定其获得电能的质量要求和优先等级。例如，飞机上的用电设备分为三类，即一般用电设备、重要用电设备和关键用电设备。一般用电设备是指改善飞行条件而不影响飞行任务和安全的设备，如生活设施等；重要用电设备是指完成飞行任务所必需的设备，如火控等；关键用电设备是指安全飞行和着陆所必需的设备，如飞行控制、飞行指示、应急通信和着陆系统等。在航空航天器的电气系统中，用电设备对供电系统提供电能的质量有一定的要求；同样，供电系统，尤其是电源系统，对其用电设备也有一定的要求。对于飞机，已有国家军用标准 GJB 181A—2003《飞机供电特性》作出了规定，此标准也被航天器电气系统参照并应用。

1.2 航空航天器供电系统基本类型及其基本参数

1.2.1 基本类型

航空航天器供电系统的基本类型一般有两种划分方法：一是按照其主电源电能的形式与特性来划分；二是按照其主电源系统电能传输分配的电网络结构与特点来划分。由于电能形式有直流和交流两种基本类型，航空航天器供电系统也有直流供电系统和交流供电系统两大类型。对飞机而言，就目前航空领域电气工程技术的应用与发展现状，直流供电系统又按所应用直流电能电压参数的不同，分为低压直流供电系统和高压直流供电系统，其中低压系统的额定电压为 28 V，高压系统则为 270 V。

现有的交流供电系统，按照所应用交流电能产生机理与参数特点分为恒速恒频交流供电系统、变速恒频交流供电系统和变频交流供电系统。其中，恒速恒频系统输出交流电能的恒频是靠恒定发电机的转速来实现；变速恒频系统的发电机转速不恒定，发电机产生变频交流电能，系统输出的恒频交流由电子变换器实现；变频系统则输出变频交流电能，发电机不恒速，供电系统向用电负载直接提供的是发电机产生的变频交流电能。在某些飞机上，根据其用电设

备对电能类型及其用电量的具体需求，同时存在直流和交流电能形式的两种主电源，供电系统同时提供直流和交流两种形式的电能，这也是航空航天器供电系统中的一种基本类型，称为混合供电系统。

飞机上产生电能的主电源装置(即发电机)数量通常与飞机发动机数量相同，所以存在多台主电源装置同时给机载用电设备供电的状态。根据系统电能传输分配电网络的不同结构及其特点，有并联供电系统和非并联供电系统两种基本类型。其中，非并联供电系统，其主电源装置都有各自的汇流条，且通过此汇流条向各自的机载用电设备提供电能，整个系统分成多个供电网络分别供电，仅当系统处于非正常工作状态时，各个供电网络及其用电设备之间才会有供电关系的切换。至于并联供电系统，其供电网络中设置了所有主电源装置共同的汇流条，所有主电源装置产生的电能都输送至此，所有机载用电设备也都从此汇流条获取电能。当主电源装置数量较多时，一般大于或等于 4，系统的供电网络也采用分组并联的形式，各组都有大于或等于 2 台主电源装置并联运行，而组间不并联，整个系统分成两个或两个以上的供电网络给机载用电设备分别供电，这种系统称为分裂式并联供电系统。

1.2.2 直流供电系统基本参数

供电系统的基本参数是指系统的电气参数、结构及其连接方式等技术指标与形式，与供电系统以及用电设备的质量、体积、大小和性能有密切关系。直流供电系统最主要的基本电气参数是其额定电压值，选择时要考虑诸多因素，如馈电线的长度、配电系统的质量、传输功率大小、线路功率损耗、传输线机械强度、人员安全性、高空工作可靠性等，起主导作用的则是系统传输功率的大小与配电系统质量的合理性；其中受机械强度的限制，飞机供电系统中输电导线的最小截面为 0.2 mm^2；除这些技术因素之外，常常还与经济性和历史继承性等因素有关。

此外，直流供电系统的基本电气参数还有系统的额定容量和相应的额定电流。

目前，采用直流供电系统的飞机，绝大部分仍为低压直流供电系统，其额定电压值为 28 V。而已有少数飞机采用了高压直流供电系统，其额定电压值为 270 V。

飞机直流供电系统的供电线路连接方式，大多数都采用负线接地，即负线接飞机机身壳体的单线制，以有效减轻飞机电网质量。

1.2.3 交流供电系统基本参数

交流供电系统最主要的基本电气参数是额定电压与频率，相数和相位也是其基本电气参数。

飞机供电系统的额定电压值一直随航空技术的发展和机载设备与用电量的增加而不断提高。早期飞机采用直流供电系统，借用汽车电源技术，电压为 12 V。随后，由于飞机设备与用电量增多而采用了 28 V 电压。可飞机设备与用电量依然增长，迫使供电系统额定电压值必须提高。然而，100 V 以上直流开关的电弧与直流发电机换向问题制约了直流供电系统的应用，

需要全本请访问 www.ertongbook.com