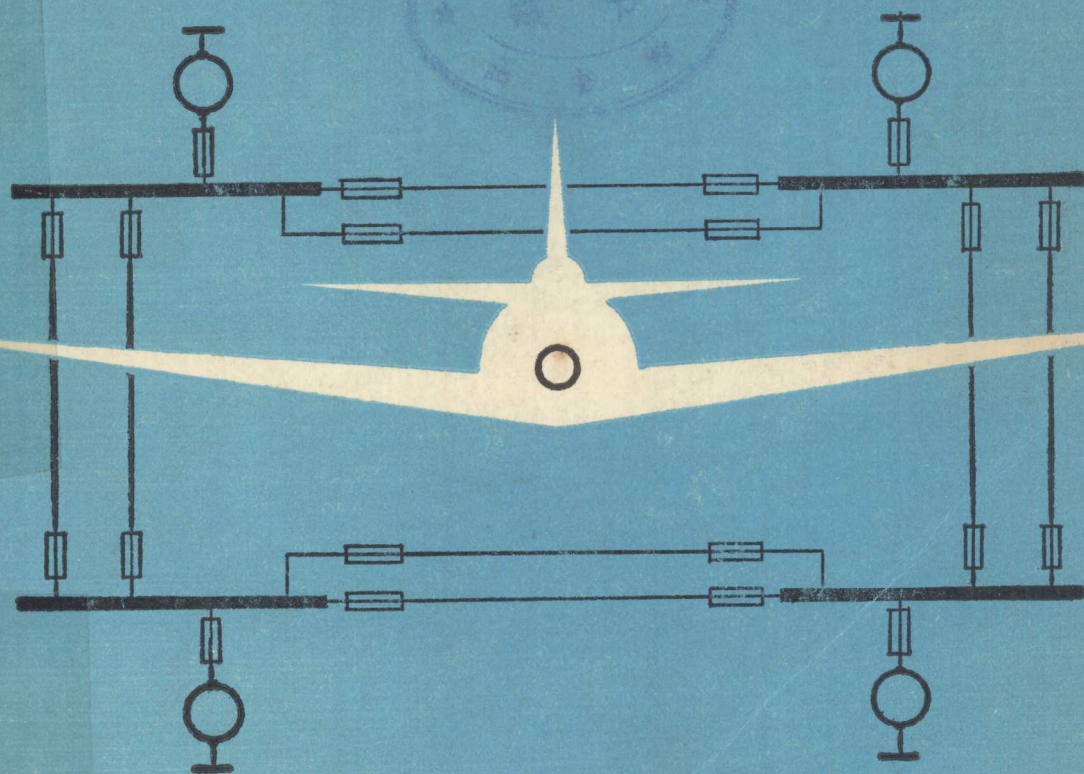


飞机供电系统设计

Г.Д. 佛拉索夫 著



六〇二所电气组译

V24-
1008

飞机供电系统设计

原著 Г·Д·ВЛАСОВ (苏)

电气组集体翻译



30272127

航空工业部第六〇二研究所出版

一九八四年六月

507792

译 者 的 话

“飞机供电系统设计”译自苏联1967年版Г.Д.ВЛАСОВ所著“ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ”。此书是一本全面论述飞机供电系统设计、计算、使用等方面问题的著作。

本书叙述了飞机供电系统设计原理和设计方法；论述了可靠性设计准则；研究了电网的形式及保护、调节器和保护器、恒速传动装置；阐述了主、次直流电源和主、次交流电源的各种方案，以及它们对供电可靠性和飞行安全性的影响。书中列举了飞机电气系统设计使用的曲线和图表，列举了飞机电气设备的结构特点和主要技术数据。本书插图203幅，参考文献27篇。

本书对于从事航空电气和自动化专业的工程技术人员、航空电气设备的使用和维护人员有较大的实用价值。本书也可作为高等航空院校的教学参考书。

此书原于1975年根据英译本AD697985翻译、按俄文本全文校对订正后油印出版。参加翻译者：叶文清、沈明追、陈圣斌、陈昱林、杨青达、顾秋沁、高君莹、袁隆芝、黄振鸿。校对者：邹书富、凌德麟、袁隆芝。插图绘制：方水根、程贵元等。应广大读者的要求，这次全文按俄文本再次校对出版，内部发行。第一、二、三篇由邹书富校对，第四篇由李东原校对，第五篇由陈圣斌校对，第六、七篇由凌德麟校对。全文由汤梅芝高级工程师审定。

由于译校水平有限，难免有不当和错误之处，请读者批评指正。

航空工业出版社二〇六第航空工业出版社

一九八四年六月

5877

前 言

现代飞机的设备是一系列组成完整系统的综合体。如果没有电能，没有各种电机、传动装置以及保护和调节装置，飞机的设备是不能工作的。目前飞行的速度和高度空前地提高，这给科学和工程技术人员在各种飞行状态（包括应急状态）下提供可靠性高，生命力强和工作稳定的高质量的电源方面提出了许多复杂的问题。

交流和直流电源系统日臻完善。并且在不采用恒速传动装置的交流发电机频率的稳定，在利用热电电源、电化学源和核电源来获取电能，在提高参数稳定的精度以及主电源和次电源的效率，提高电源系统在高温及亚音速飞行条件下工作的可靠性和稳定性方面继续开展工作。

本书试图在供电系统的设计、技术资料的绘编方法及其式样、重量和可靠性准则的确定，供电网最佳形式和保护的选择，以及最可靠的主、次交直流电源系统构成原理方面将理论问题与实际最佳方案和建议结合起来。

本书中系统整理了主、次电源系统的资料，研究了电能的传输和配电的最佳方案，电网的保护类型。并且对最佳供电系统的选择给予了比较和推荐。

本书收集的资料不仅对从事供电系统设计的设计师们是有益的，而且对参与研制新的供电系统设计的自动化和其它设备的专家们也是有益的。

本书主要注意叙述供电系统的设计、计算和使用维护方法。

作者对Н. Т. Коробан教授和М. А. Ермилов技术科学副博士表示感谢，他们在评价和校订中提出了宝贵的意见和建议，感谢技术科学博士В. Т. Морозовском和工程师Б. Л. Кербер、А. В. Шапошников、Н. ф. Макокин和Э. Н. Коршунов，他们在审查原稿时提出了有益的建议。感谢工程师В. П. Лабутина和Л. ф. Павлюкова，她们为本书绘制了大量的图表。对本书的批评意见请寄：Москва. К-51, Петровка, 24, издательство «Машиностроение»

(05)		第二章
(06)		第三章
(07)		第二章
(08)		第一章
(09)		第二章
(10)		第三章
(11)		第四章
(12)		第五章
(13)		第六章

目 录

前言

第一篇 飞机电气系统的设计

第一章 飞机电气化的一般问题	(1)
第一节 供电系统的作用和分类	(1)
第二节 飞机供电系统发展简史	(2)
第三节 供电系统的工作条件	(4)
第四节 飞机供电系统的基本要求	(4)
第二章 飞机电气系统的设计方法	(5)
第一节 电气设备按功能和舱的分类方法	(5)
第二节 电气原理图、部品和导线的编号方法	(7)
第三节 半安装图、安装图和结构安装图的编号方法	(9)
第四节 电气原理图的绘制方法	(11)
第五节 半安装图的绘制方法	(16)
第六节 安装图的绘制方法	(17)
第七节 馈电图的绘制方法	(19)
第三章 飞机电气系统的设计阶段	(19)
第一节 设计阶段	(19)
第二节 草图设计	(21)
第三节 样机设计	(24)
第四节 工程设计	(25)
第五节 试验样机的装配	(25)
第六节 试验样机的工厂试验	(25)
第七节 试验样机的国家试验	(26)
第八节 批生产	(26)

第二篇 飞机电气设备的重量和可靠性标准

第一章 电气设备的重量标准	(27)
第一节 电气设备的飞行重量	(27)

第二节	电气设备重量的确定	(29)
第三节	电气设备的相对重量	(30)
第二章	电气设备的可靠性	(32)
第一节	电气设备的可靠性问题	(32)
第二节	可靠性计算的基本概念和参数	(33)
第三节	用于可靠性计算的概率理论的简要知识	(37)
第四节	提高可靠性的方法	(41)
第五节	备份方法和方式	(43)
第六节	电源系统可靠性的初步计算	(44)

第三篇 飞机电网

第一章	电能的传输和分配系统	(51)
第一节	电网的主要元件和分类	(51)
第二节	电网的主要技术要求	(52)
第三节	直流电能传输系统	(54)
第四节	交流电能传输系统	(55)
第五节	电能的分配系统	(57)
第六节	供电网的形式	(61)
第二章	飞机电网的保护	(68)
第一节	电网保护的目、基本要求和分类	(68)
第二节	直流电网的最大电流保护装置	(69)
第三节	交流电网的最大电流保护装置	(74)
第四节	交流供电网的差动保护	(76)
第五节	三相电网用加法器的差动保护	(78)
第三章	飞机电网的计算	(81)
第一节	电网计算的特点	(81)
第二节	电网的品质和容许电压损失	(82)
第三节	按容许负载和容许电压损失计算导线截面	(83)
第四节	电压调节精度对供电网计算的影响	(88)
第五节	电网短路电流的计算	(92)

第四篇 主直流电源系统

第一章	直流电源系统概述	(95)
-----	----------	------

(81)	第一节 主直流电源系统的作用	(95)
(82)	第二节 直流电源系统的基本技术要求	(95)
(82)	第三节 直流发电机的冷却	(96)
	第二章 直流能源	(97)
(82)	第一节 航空蓄电池	(97)
(83)	第二节 直流发电机	(100)
(83)	第三节 无刷直流发电机	(101)
	第三章 直流发电机的电压调节和保护	(104)
(17)	第一节 直流发电机的电压调节	(104)
(17)	第二节 精确的电压调节系统和过压保护系统	(106)
(87)	第三节 直流发电机及其馈电线的保护	(109)
	第四章 直流电源的并联运行	(113)
(87)	第一节 直流发电机并联运行的特点	(113)
(87)	第二节 电压调节器的连接位置	(114)
(18)	第三节 两台相同功率发电机的并联运行	(116)
(88)	第四节 数台相同功率发电机的并联运行	(117)
(88)	第五节 发电机与蓄电池的并联运行	(119)
	第五章 主直流电源系统的线路	(121)
(88)	第一节 发电机汇流条和连接线的保护	(121)
(88)	第二节 辐射形供电网的直流电源系统	(122)
(88)	第三节 干线形供电网的直流电源系统	(123)
(89)	第四节 辐射式干线形有备用、有保护供电网的直流电源系统	(124)
(89)	第五节 混合形无保护供电网的直流电源系统	(126)
(89)	第六节 环形多路有保护供电网的直流电源系统	(128)

第五篇 主交流电源系统

	第一章 交流电源系统概述	(131)
(80)	第一节 交流电源系统的特点	(131)
(80)	第二节 交流电源系统的基本技术要求	(132)
(01)	第三节 交流电源系统主要参数的选择	(133)
(11)	第四节 交流发电机的分类	(137)
	第二章 恒速传动装置	(140)
	第一节 恒速传动装置的分类及基本技术要求	(140)
	第二节 传动装置转速的自动调节	(141)
	第三节 机械式恒速传动装置	(143)
(11)	第四节 筒式液压传动装置	(145)

(20) 第五节	液压差动式机械液压传动装置 (I 型)	(148)
(20) 第六节	液压差动式机械液压传动装置 (II 型)	(153)
(20) 第七节	行星差动式机械液压传动装置	(155)
(70) 第八节	筒式气压传动装置	(158)
(70) 第九节	气动涡轮差动式机械恒速传动装置	(158)
(00) 第十节	带有静力气压调节装置的气压机械差动恒速传动装置	(163)
(10) 第十一节	电气恒速传动装置	(165)
第三章 交流发电机的电压调节		(171)
(10) 第一节	电压调节的特点	(171)
(20) 第二节	电压调节器敏感元件的连接线路	(171)
(20) 第三节	同步发电机电压的自动调节	(173)
第四章 交流发电机的并联运行		(176)
(21) 第一节	同步发电机并联运行概述	(176)
(21) 第二节	同步发电机的容量	(178)
(01) 第三节	发电机的空载运行	(181)
(71) 第四节	在恒定激磁和可变有功功率情况下发电机与电网并联运行	(182)
(21) 第五节	在变激磁和有功功率恒定情况下发电机与电网并联运行	(183)
(18) 第六节	等容量发电机的并联运行	(184)
(18) 第七节	同步发电机并联运行时无功功率的分配	(185)
(88) 第八节	同步发电机并联运行时有功功率的分配	(188)
(88) 第九节	频率自动调节	(190)
(18) 第十节	投入并联工作时发电机的同步	(192)
(08) 第十一节	传动装置和自由行程离合器的作用故障时电源系统的状况	(194)
第五章 同步发电机的保护和控制		(194)
第一节	概 述	(194)
第二节	最大电流继电保护装置	(195)
第三节	纵向差动电流保护装置	(196)
第四节	电压和频率的故障保护	(198)
第五节	发电机保护和控制系统组成原理	(199)
第六章 主交流电源系统电路		(203)
(18) 第一节	电源系统控制和保护电路	(203)
(88) 第二节	变频交流电源系统	(206)
(88) 第三节	发电机单独运行的交流电源系统	(210)
(78) 第四节	发电机并联运行的交流电源系统	(211)
(01) 第五节	具有两个独立系统的交流电源系统	(212)
(01)		
(11)		
(81)		
第六篇 次级电源系统		
第一章 交流次级电源系统		(214)

第一节	交流次级电源系统的作用	(214)
第二节	直流变交流的变流机	(214)
第三节	变流机输出电压的自动调节	(218)
第四节	变流机频率的稳定	(220)
第五节	单相交流次级电源系统	(223)
第六节	三相交流次级电源系统	(226)
第二章	直流次级电源系统	(229)
第一节	直流次级电源系统的功用	(229)
第二节	整流器的连接线路	(229)
第三节	变压整流器(TBB)的线路	(232)
第四节	变压整流器(TBB)的单独工作	(237)
第五节	变压整流器(TBB)并联工作的特点	(238)
第六节	用于集中负载的变压整流器(TBB)的并联工作	(240)
第七节	用于分散负载的变压整流器(TBB)的并联工作	(241)
第八节	变压整流器(TBB)单独工作的直流次级电源系统	(243)
第九节	单独工作和有备用整流器的直流次级电源系统	(244)
第十节	变压整流器(TBB)并联工作的直流次级电源系统	(246)
第十一节	变压整流器(TBB)并联工作的环形直流次级电源系统	(248)

第七篇 飞机供电系统

第一章	供电系统概述	(250)
第一节	主配电汇流条的连接	(250)
第二节	主供电系统	(251)
第三节	供电系统的选择	(255)
第四节	电源系统的发展趋势	(256)
第二章	主直流系统的飞机供电	(258)
第一节	飞机由直流发电机供电	(258)
第二节	飞机由直流和交流发电机供电	(260)
第三章	主交流系统的飞机供电	(261)
第一节	变频交流发电机的飞机供电	(261)
第二节	恒频交流发电机单独运行的飞机供电	(263)
第三节	恒频交流发电机并联运行的飞机供电	(266)
第四节	飞机由两个独立的恒频交流系统供电	(268)
第五节	飞机由恒频交流发电机混合系统供电	(270)
附录:	旅客机草图设计实例	(273)

第一篇 飞机电气系统的设计

第一章 飞机电气化的一般问题

第一节 供电系统的作用和分类

为了给机上专用设备提供能量，飞机上使用不同形式的能量：如液压能、气压能、机械能和电能。电能最普遍和最广泛地使用在飞机设备的所有系统中。

电气设备和其它类型的设备相比较具有许多重要的优点：可靠性高、寿命长、不易损坏、重量轻、体积小、使用简单方便。

电能易远距离传输，并且容易分配给各用电器，容易转换成其它形式的能量。使用电能容易使许多操作自动化，减轻机务人员的工作强度，使他们集中注意力解决主要问题。

飞机系统的电气化和自动化大大增加了电气设备与飞机其它构件相比的比重。所安装的电源容量可达250千瓦，而电网长度可长达100公里以上。

飞机各种系统工作的可靠性和精确性首先取决于主、次直流和交流电源系统供电的可靠性、连续性和供电质量。

在所有的飞行状态中，高质量电能的连续供电对操纵和导航系统的用电器都有很重要的意义。尤其是在起飞和着陆时，有时连供电短时消失或供电质量的降低都可能导致机毁人亡事故。

为了提高飞行可靠性和安全性，必须有复式操纵和导航系统。这个问题可以采用在电源并联运行中复式系统的供电电路分开的方法来解决。在起飞和着陆过程中，复式电路宜由两个独立系统供电，这就保证当任一供电电路发生故障时，最重要系统另一电路供电的连续性和高的供电质量。

在起飞和着陆过程中，为了提供电源系统的独立性，需要把主、次电源系统分组（不少于两组），各组间是并联工作。这样单个电源的故障或一条电路电网部分的故障不影响其它部分正常工作。

由于飞机机型，用途和使用条件各不相同，不可能有一个统一的最佳的供电系统。因此，合理的供电系统的选择取决于具体的飞机机型和用途。

在所有情况下（与飞机的机型和用途无关）供电系统由主（基本）电源系统和次（辅助）电源系统组成。并按主电源系统取名。

主电源系统从主电源获得电能并直接给绝大部分用电器供电。

主电源是直接由发动机驱动或通过恒速传动装置驱动的发电机。辅助电源是蓄电池或者是由自备发动机或涡轮驱动的发电机，涡轮由迎面气流驱动。

主电源系统根据电流种类、频率分成三种基本类型：

1. 直流电源系统；

2. 三相变频交流电源系统;

3. 三相恒频交流电源系统;

次电源系统从变换了主电源的电压、频率和电流种类的次电源获取电能, 给相应的用电器供电。

要看主电源系统的类型来确定, 次电源系统的电源可能是旋转式或是静止式的直流变交流或相反的变流器。如果主交流电源系统和次交流电源系统的频率一致, 那末电压由变压器变换。

次电源系统根据频率和电流种类分成四种基本类型:

1. 单相恒频交流电源系统;

2. 三相恒频交流电源系统;

3. 具有精确频率的三相交流电源系统;

4. 直流电源系统。

主、次电源系统的主要参数列于表1.1。

表1.1 主次电源系统的主要参数

系 统	系 统 类 型	电 源 电 压 (V)	用 电 器 端 电 压 (V)	频 率 (HZ)	备 注
主 电 源	27伏直流电 源	$28.5 \pm 3\%$ 允许 $28.5 \pm 4\%$ $28.5 \pm 7\%$	$27 \pm 10\%$ 应急状态允许为20	——	精调时 $U = 28.5 \pm 2\%$ 波动为8%
	200/115伏三相变频交流电 源	$208/120 \pm 3\%$ $208 \pm 3\%$	$200/115 \pm 5\%$ $200 \pm 5\%$	300~900	如果由涡轮螺旋发动机驱动 $f = 400 \pm 5\%$ HZ
	200/115伏三相恒频交流电 源	$208/120 \pm 3\%$ $208 \pm 3\%$	$200/115 \pm 5\%$ $200 \pm 5\%$	$400 \pm 1\%$ 允许 $400 \pm 2\%$	精调时 $U = 208 \pm (0.1 \sim 1)\%$
次 电 源	115伏单相恒频交流电源	$115 \pm 3\%$	$115 \pm 5\%$	$400 \pm 5\%$	在某些变流机中 $f = 400^{+7}_{-5}\%$ HZ
	36伏三相恒频交流电源	$36 \pm 3\%$ 允许 $37 \pm 3\%$	$36 \pm 5\%$	$400 \pm 2\%$	在专用变流机中 $f = 400 \pm 1\%$ 或 $f = 400 \pm 0.1\%$
	36伏三相精调频交流电 源	$36 \pm 3\%$	$36 \pm 5\%$	$400 \pm 0.05\%$	也用500, 800, 1000, 1200, 2000, 4000和10000HZ的频率
	27伏直流电 源	$28.5^{+5}_{-9}\%$	$27 \pm 10\%$	——	电压波动8%

除了表1.1中所示的之外, 个别情况还采用112伏单相交流主电源系统及200伏和115伏单相交流主电源系统, 电压为47伏和12伏变频和恒频单相交流次电源系统。

第二节 飞机供电系统发展简史

飞机电气化发展的历史相当短, 它与航空技术和电工技术的进步有着密切的关系。

在1869年A·H·拉特津设计了世界上第一个比空气重的使用电发动机的飞行器，叫做“电气飞机”。电发动机由П·Н·亚博罗奇科夫发明的特种蓄电池供电。

在1912年，俄国制造了第一批轰炸机：“俄罗斯勇士”，“Илья Муромец”和“圣城”，在这些飞机上，电能用于点火、照明、加温和无线电通讯，能源是0.5~2千伏安的交流发电机，发电机由航空发动机或风车驱动。

第一批飞机装置了600~1000赫兹的交流电源。因为机上主要用电器——火花无线电发报装置需要交流电，而照明和加温对电流种类无特殊要求。

在1919年，航空部门改用8伏直流供电系统，其能源是蓄电池和由风力驱动的容量为36瓦的发电机。1923年电网电压增加到12伏，1930年达到24伏并保持到1939年。

1929年前，使用由风力驱动而容量不超过250瓦的直流发电机。

到1934年，出现了由主发动机驱动的发电机。在1936年发电机容量为500瓦，而到1939年为1000瓦。

1934年，在“马克西姆·高尔基”飞机上首先广泛地使用了120伏三相交流电和27伏直流电。能源是两台容量为3和5.5千伏安、电压为120伏的三相交流发电机及两台容量为3和5.8千瓦、电压为27伏的直流发电机。这些发电机由两台专用的内燃发动机驱动。

1939年制造成功别-2俯冲式轰炸机，是飞机电气化发展的转折点。在别-2上，首先广泛使用了电动机构，由这些电动机构来操纵起落架、安定面、襟翼、散热器、调整片和其它设备。这些用电器由两台容量各为一千瓦的发电机供给27伏的直流电。

从1939年开始，用电器的数目和功率、电网长度不断增加，用电器的特性按所用电流的种类、电压和频率而改变。电能的产生、变换、传输和配电大大地复杂了。供电系统不断更新，其作用日益显著。电能正成为飞机设备最重要的能源。

从1939年开始，27伏直流主电源系统有很大发展。主能源是由飞机发动机驱动的直流发电机，而备用电源是蓄电池。

在这段时期，飞行器上发电机的容量由1千瓦增加到18千瓦，其数量从1~2台增加到8~12台。电源容量增加100~200倍，到五十年代中期达到最高点。同时电能分配系统（集中、非集中、混合式）、供电网形式（开式、闭式）及保护均有变化。

到了五十年代中期，飞行的速度和高度都增加了，引起了能源、设备和供电网的质变。出现了无刷发电机、强制冷却系统、静止式电压调节器、和反流、过压、短路及其它故障的完善的保护装置。可靠性高、具有两边保护的环形多路供电网得到了推广。

许多仪表、自动同步传动，无线电和无线电定位设备及其它设备都需要高电压的直流电和恒频交流电。因此次电源系统与直流主电源系统同时发展。次电源系统的能源是旋转式变流机，11.5伏400赫兹容量为100至6000伏安的单相变流机或是36伏400赫兹容量为70至3000伏安的三相交流机。目前广泛地使用静止式变流器。

变流机单独工作的次电源系统得到了实际应用，在初期（直到1950年）变流机作为各用电器的个体电源。以后随着电源和用电器的数量及功率的增加，变流机开始作为用电器的组合电源。

由于用电器功率增加，以及为了提高可靠性和减轻电气设备的重量，在五十年代200/115伏变频或400赫兹恒频的主交流电源系统开始大力发展，出现了容量为7.5~120千伏安的发电机，而飞机电源系统的装机容量达250千瓦。

在初期发展单相变频电源系统，在以直流为主电源的飞机上作为次要设备（加温、生活设备和其它等）的电源。目前三相交流电源系统作为主电源系统正广泛使用，此电源系统中采用恒速传动装置，无刷发电机及静止式的调节和保护元件。

为了在三相交流主电源的总体中提供直流电，发展了电压为27伏的小功率直流次电源系统，该系统中使用了变交流为直流的静止式电源。

现在电源系统向两个方向发展——27伏直流主电源系统和200/115伏三相交流主电源系统，根据飞机机种和用途决定使用那一种主电源系统。

第三节 供电系统工作条件

飞机供电系统的工作条件大大地不同于地面工作条件。飞行高度、速度、机械过载及在空间的任意位置对供电系统的工作都有影响。

高空性由周围空气的各参数——温度、密度、压力、湿度、化学成份、抗电强度、比热和其它等参数来表征。

在对流层范围内（11公里以下）空气的温度随着高度增加均匀地降低，在11~30公里高度范围内，温度始终为常数，等于 -56.5°C 。继续升高至40公里，温度达 0°C 。

空气的压力和密度、水份和氧气随高度增加而减小，同时臭氧的百分比增加。

当周围空气温度为 $+20^{\circ}\text{C}$ 时，空气相对湿度可达98%。

随着压力下降，空气抗电强度也下降，在15公里的高度上，抗电强度减小了 $\frac{2}{3}$ ，结果使电弧燃烧延续时间增大。

周围空气参数的变化随高度的增加对电气系统的工作产生不利的影响。例如，冷却效果下降（尤其在同温层），电机换向条件恶化、火花等级和电刷磨损增加，由于润滑脂凝固引起机械起动力矩增加，换向器的工作由于电离和空气电导的增加而变坏；绝缘材料脆性增加，电介电容器和蓄电池由于内阻增加或电介液的冻结而使效能急剧降低。

飞行速度提高，使飞机附面层和骨架温度上升，这将导致冷却条件恶化，腐蚀增快，机械强度减小，绝缘材料的性能变坏和其它等等。

温度变化范围大，导致线圈电阻的变化，弹簧的弹性及线性尺寸等等的变化。从而改变了设备的调谐。

机械过载（振动、抖动、撞击、电动力）对电气设备的工作和强度都有重大的影响。

振动的频率和振幅由飞机的机种和主发动机的类型来决定。振动频率通常是0.5至500赫兹。过载达10g或更大些。

空间位置，飞机和机上所有电气设备可能处在空间任意位置，这对电气系统的结构有影响，也给设备设计和相应舱中设备的布置增加了困难。

第四节 飞机供电系统基本技术要求

飞机供电系统的技术要求是设计、安装及使用的主要依据。

由于供电系统所起作用的重要性和复杂性，以及工作条件的特殊性，而对供电系统提出

很高的要求。

基本要求如下：

1. 在任何飞行状态下，即在各种速度、加速度、过载、空间位置、高度、温度、压力、湿度及周围介质的化学成份下，系统工作可靠，不出故障。
2. 生命力强、易损性小，即系统受到破坏时继续工作的能力。
3. 有自备能力—即在地面准备和飞行状态中，在没有外电源，系统接入和保持正常状态的能力。
4. 在巡航工作状态中具有最大效率的最小飞行重量和最小体积。效率降低将导致多消耗燃油，增加主发动机的重量和功率，结果使整个飞机重量增加。
5. 高的电能质量。也就是恒定的电压和频率。电压和频率如超出允许范围，会破坏用电器的正常工作，或使用电器损坏。
6. 使用和维护的安全性。驾驶飞机的控制电路采用低压，使用密封的换向器和保护装置（尤其是靠近燃油、滑油和氧气的系统）。在部品、配电设备和其它设备的结构中采用较好的绝缘材料。
7. 在生产和使用中，安装、维护以及更换元件和组件简单方便。
8. 机械强度高，首先是抗振强度和抗振稳定性，系统元件在使用寿命内应能承受振动和过载而没有机械破坏，在机上安装处的频率范围不发生共振。
9. 化学稳定性好。即在湿气、海水、汽油蒸汽、煤油、滑油和其它腐蚀混合物的作用下，系统元件的绝缘和其它镀层没有锈蚀和破坏。

10. 抗电、抗热强度高。	11. 防火安全性，即有防止发生火灾的措施，并使用防火材料。	12. 防爆安全性，即设备内部可能的局部爆炸对邻近的部件无任何有害的后果。	13. 动作准备迅速。	14. 不存在由于发电机换向器电压和整流器输出电压的脉动、振动触点、以及由供电系统各部品和导线所建立的磁场而产生的对无线电设备、磁罗盘、测量仪表、极化继电器等的干扰。系统各元件间应互不干扰。	15. 各部件和零件有互换性，並标准化。	16. 使用寿命长，生产成本低，使用成本低，维修成本低。
上面所列的某些要求可能是相互矛盾的，设计时应考虑在具体情况下最根本的要求，求得折衷解决。	某些系统和元件的固有要求在相应章节中讨论。					

第二章 飞机电气系统的设计方法

第一节 电气设备按功能和舱的分类方法

在飞机电气系统的设计、实验室研究、制造、试验和使用维护过程中，技术资料绘制方

法和形式有重要的影响。

合理的方法能简化设计、技术资料的形成、基本参数的选择和检查的过程，能扩大工作面、缩短周期、降低成本、提高飞机设计、制造和使用维护各个阶段的工作质量。采用良好的绘制方法可以降低对设计员业务能力的要求。

飞机电气系统设计过程中要绘制下列技术资料：

1. 电气原理图。

2. 电气半安装图。

3. 电气安装图。

4. 馈电线路图。

5. 结构图。

电气设备按功能和舱划分的原则作为技术资料形成的基础，如表2.1所示。

每一种功能包括一个或几个电气系统，这些电气系统完成同样使命的规定的任务。

每种功能的电气原理图单独绘制，如果存在功能间的联系，还要表示出各功能相互联系，如果存在这样的原理图，这样就没有必要绘制飞机全部电气设备的庞大的总原理图。

飞机机种不同，有些功能系统可能没有。在此情况下，这些功能系统的编号保留，其余功能系统的编号按给定的划分保持不变。新的功能系统出现，给予后面的空余编号。各种飞的固定功能系统的编号应保持不变。

表2.1 电气设备按功能分类

编号	标记	名称	编号	标记	名称
1	Э	直流电源系统	10	О	照明
2	ЭП	交流电源系统	11	С	信号
3	ВП	轰炸军械	12	Ф	照相设备
4	ВС	射击军械	13	Р	无线电设备(电源)
5	Д	发动机系统	14	Б	生活设备
6	У	飞机操纵	15	Г	燃油系统
7	Т	加温系统	16	Н	防火系统
8	П	仪表设备	17	З	发动机起动
9	А	自动驾驶仪	18	И	起落架

每一功能系统还给予字母标记，由它名称的第一个字母组成。例如：Э—直流电源系统；П—仪表；Ф—照相设备等。

电气设备按功能分类的原则是原理图、部品、器件和导线的编号与绘制的基础。

* 1950年~1951年由作者提出。

根据结构、工艺和维护使用的要求，飞机分成几个部分：1—驾驶舱；2—领航舱；3—中央段；4—技术设备舱；5—尾舱；6—中央翼；7—机翼；8—发动机罩；9—发动机。

配置在飞机各舱中的操纵台、仪表板、配电装置和小配电盘都给予编号，编号中的第一个数字表示舱的编号，第二个数字为这个舱中操纵台的顺序号。例如，驾驶舱中操纵台的编号从11至19。配置在飞机主轴左侧的操纵台给予奇数编号。而右侧给予偶数编号。

图2.1表示电气设备按舱和操纵台的划分图。

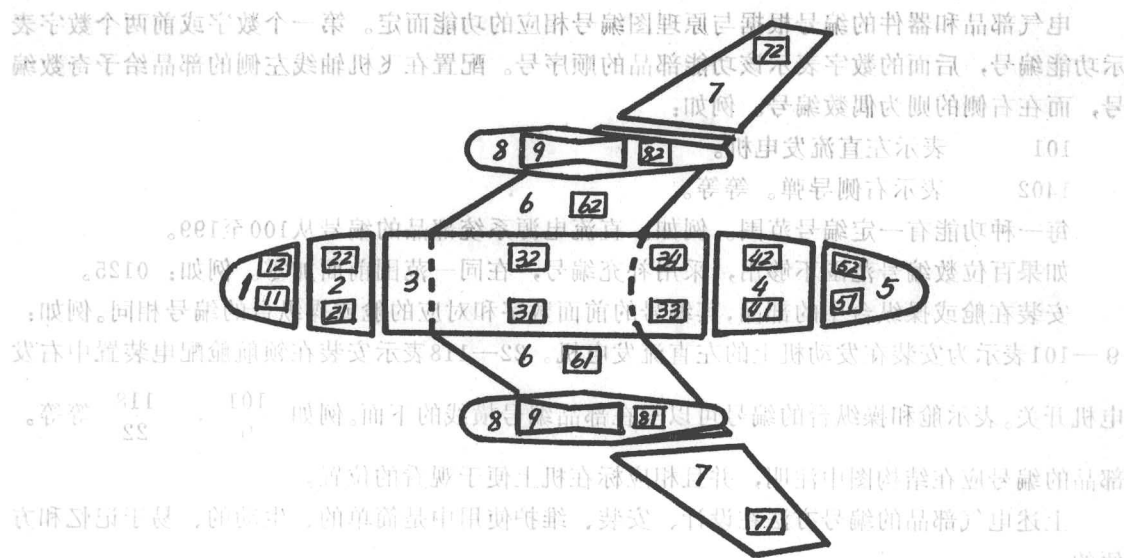


图2.1 飞机各舱和操纵台的编号图

根据舱和以相应舱的操纵台的编号来划分是飞机半安装图、总安装图、导线束、插头座和安装结构图的编号基础。

第二节 电气原理图、部品和导线的编号方法

原理图、部品和导线根据功能特征编号。

前两个数字表示分类号，根据苏联航空工业部（МАИ）标准，电气设备分类号是72。后二个数字表示分组号。

电气原理图分组号为00。

在原理图图号中，连接符号后面的数字表示功能的编号。例如，7200—1表示直流电气系统原理图，7200—2表示交流电气系统原理图，等等。

馈电图的编号由馈电图用途决定，并与对应的原理图图号相符合。由于一种功能的原理图由几部分馈电图组成，因此有附加标号，这标号由在该原理图中的馈电图的顺序号确定，例如：

7200—1—1 表示直流发电机的馈电图。
7200—1—2—8 表示蓄电池系统馈电图。等等。

负载图编号根据与电流种类相应的功能给出。

7200—21 表示直流负载图。

7200—22 表示交流负载图。

电气系统计算文件的编号根据与电流种类相应的功能给出。

7200—31 表示直流电气系统的计算。

7200—32 表示交流电气系统的计算。

电气部品和器件的编号根据与原理图编号相应的功能而定。第一个数字或前两个数字表示功能编号，后面的数字表示该功能部品的顺序号。配置在飞机轴线左侧的部品给予奇数编号，而在右侧的则为偶数编号。例如：

101 表示左直流发电机。

1402 表示右侧导弹。等等。

每一种功能有一定编号范围。例如：直流电源系统部品的编号从100至199。

如果百位数编号范围不够用，采用补充编号，在同一范围前面加零。例如：0125。

安装在舱或操纵台中的部品，其编号的前面数字和对应的舱或操纵台的编号相同。例如：

9—101表示为安装在发动机上的左直流发电机。22—118表示安装在领航舱配电装置中右发电机开关。表示舱和操纵台的编号可以写在部品编号横线的下面。例如 $\frac{101}{9}$ ， $\frac{118}{22}$ 等等。

部品的编号应在结构图中注明，并且相应标在机上便于观看的位置。

上述电气部品的编号方法在设计、安装、维护使用中是简单的、生动的、易于记忆和方便的。

导线标有字母—数字标记，第一个字母表示功能。

例如：O—照明；C—信号；等等。

第二个字母或有时包括第三个字母表示该功能中部品的名称。字母后面的数字标记表示该部品导线顺序号。例如：ЭГ1—表示左发电机导线。

如果部品在飞机轴线上，安置在飞机对称轴左侧或前面的导线则为奇数编号。在飞机对称轴右侧或靠近机尾的导线则用偶数表示。

部品之间导线的数字标记，在整个导线长度上有接线柱、插头座转换时仍保持不变。

进出部品的导线应有不同数字标记。这也适用于所有转换装置（开关、转换开关、按钮等）。

导线和插头座连接时，导线的编号应按插头接头号的大小对应排列。如图2.2所示。

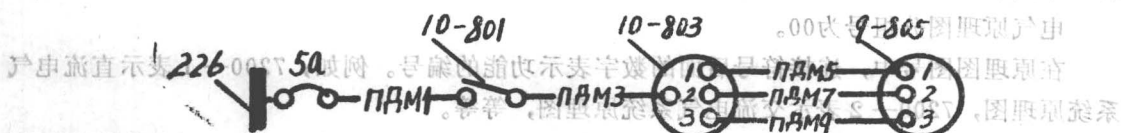


图2.2 导线和设备的连接图

如果该功能中由同一馈电线给不同的用电器供电，则相应用电器的开关后面的字母标记