

飛機电气設備

Д. Э. 布魯斯金 著



飞 机 电 气 設 备

Л. Д. 布魯斯金 著
孙治邦 刘曉民 譯



高等教育出版社



本書系根据苏联国立动力出版社 (Государственное энергетическое издательство) 1956 年出版的布魯斯金 (Д. Э. Брускин) 著“飞机电气设备” (Электрооборудование самолетов) 譯出。原書經苏联高等教育部多科性高等工业学校和机器制造高等学校总管理司审定为电气工程和动力工程高等学校和系的教學参考書。

本書主要是注重于闡明与飞机电气设备各个部分作用原理有关的理論問題, 說明物理过程, 研究航空技术的典型产品, 以及研究电气设备使用与維護的基本規則。

書中也闡述了目前在飞机上最广泛应用的直綫电气系統和电气设备的結構。

原書1948年版譯本上册已由我社出版, 考慮到原書1956年新版譯本的出版, 旧版譯本下册不再出版了, 請讀者原諒。

飞 机 电 气 設 备

Д. Э. 布魯斯金著

孙治邦 刘曉民譯

高等教育出版社出版 北京宣武門內承恩寺7号

(北京市書刊出版業營業許可証出字第054号)

京華印書局印刷 新华書店發行

統一書号 15010·36 開本 650×1168 1/32 印張 9 3/16

字數 216000 印數 0001—1800 定價 (7) ¥ 1.30

1959年5月第1版 1959年5月北京第1次印刷

前 言

編写本書的目的是想作为高等学校学生學習飞机电气設備課程所用的教学參考書。它是根据荣获列宁勳章的莫斯科动力学院的教学大綱編写而成的。

1948 年，国家动力出版社曾出版一本作者編著的“飞机电气設備”。在当时那是唯一的一本全篇叙述飞机电气設備的書。但从今天看来，那本書所載的航空技术在很大程度上已經陈旧了，因为它是以战时的飞机电气設備为基础的。在过去的年代里，飞机的电气化是现代航空技术的主要發展方向之一。所以在这次出版时不得不把个别章节进行全部改写或重写。

本書的对象是具备良好电工知識和学过基础課程（理論电工学基础，測量仪器，电机和电力傳动理論）的大学学生，所以本書对电工学上的一般問題，只是为了說明航空电气設備結構和工作上的一些特点才加以叙述。

本書主要是注重于闡明与飞机电气設備各个部分作用原理有关的理論問題，說明物理过程，研究航空技术的典型产品，以及研究电气設備使用与維護的基本規則。

書中也闡述了目前在飞机上最广泛应用的直流电气系統和电气設備的結構。交流电气系統和电气設備的結構在教学大綱的特殊章节中单独叙述，因此在本書中从略。

編写本書时的主要參考材料是 B. C. 庫列巴金院士的一些講稿，以及他在飞机电气化方面的巨著。

作者認為，向自己的良师 B. C. 庫列巴金院士表示衷心的感謝是自己的本分，因为他創立了航空电工学的理論和科学分支。

在編写本書时还利用了莫斯科动力学院中和作者共事的諸位教师的講稿大綱。

作者在此向莫斯科动力学院教研室的全体教师表示謝意。

莫斯科航空学院的全体教师为作者的手稿提出了宝贵的意見。

上校工程师 С. В. 克拉烏茲副教授在审閱手稿时提出了有益的批評,作者对此表示非常感激。

在整理手稿和繪制插圖方面,工程师 Л. Л. 布魯斯金娜給予作者很大的帮助。

Н. З. 馬斯提亞耶夫副教授在本書出版前的准备工作中作了很多工作,作者在此表示謝意。

作 者

Л. З. 布魯斯金

目 录

前言	1
緒論	1
1. 飞机电气设备的功用与作用	1
2. 飞机电气设备的分类	2
3. 飞机电气设备發展簡史	4
4. 机上电路網中的电流种类与电压值	7
5. 对飞机电气设备的基本战术技术要求	10
第一章 航空蓄电瓶	18
1-1. 机上蓄电瓶和机場蓄电瓶以及它們的功用	18
1-2. 鉛板蓄电瓶的作用原理	19
1-3. 航空蓄电瓶的电气性能	21
1-4. 蓄电瓶的主要故障	33
1-5. 航空蓄电瓶的結構与技术数据	35
1-6. 蓄电瓶的充电	39
1-7. 充电裝置	42
1-8. 航空蓄电瓶技术维护与使用的基本条例	45
第二章 飞机直流发电机	48
2-1. 对飞机直流发电机的要求	48
2-2. 航空发电机的傳动	50
2-3. 航空发电机的冷却系統	52
2-4. 航空发电机整流的特点	54
2-5. 航空发电机的主要数据及結構特点	57
2-6. 发电机的丙接綫圖	62
2-7. 航空发电机可能發生的故障及其排除方法以及使用規則	63
2-8. 航空直流发电机的电力特性和磁力特性	66
第三章 航空直流发电机电压的調节及对发电机的保护	71
3-1. 航空发电机电压的調节方法	71
3-2. 借助于振動接触点来調节电压	73
3-3. 振動式电压調节器的构造与作用原理	74
3-4. 装有加速电阻和均压綫卷的电压調节器的原理	77
3-5. 电压調节器接触点的工作条件	78
3-6. PK 型調节箱的电压調节器	80

3-7. 电阻均匀改变的可变电阻式电压调节器	81
3-8. 炭柱式电压调节器的原理图	83
3-9. 炭柱式电压调节器的构造	84
3-10. 电压调节器在过渡状态下提高工作稳定性的方法	89
3-11. 炭柱式电压调节器的技术维护	94
3-12. 航空发电机的保护	96
3-13. 航空发电机借助于过流继电器来防止超负荷	97
3-14. 航空发电机借助于欠压继电器来防止反向电流	100
3-15. 欠压-过流联合继电器	102
3-16. 调节箱	104
3-17. 防止大功率发电机的超负荷及短路	106
3-18. 接触式欠压继电器	106
3-19. 差动欠压继电器	108
3-20. 差动欠压继电器的技术维护	114
第四章 飞机电源的并联工作	116
4-1. 飞机发电机并联工作的特点	110
4-2. 发电机并联工作时电压调节器的连接	118
4-3. 装有振动式调节器的发电机的并联工作	120
4-4. 带有炭柱调节器的发电机的并联工作	122
4-5. 发电机与蓄电池的并联工作	128
第五章 飞机上的电能变换器	131
5-1. 将低压直流电变为高压直流电的变换器	131
5-2. 将直流变为交流的变换器	138
5-3. 电动机-发电机式变流机	139
5-4. 级联变流机	148
第六章 飞机上的电气传动装置	152
6-1. 飞机上电气传动装置的发展与应用	152
6-2. 飞机电气传动的特点	154
6-3. 飞机传动元件	159
6-4. 远距操纵机构	168
6-5. 起落架的电气传动	172
6-6. 起落架收放机构的电气液压传动	174
6-7. 起落架收放机构的电气机构传动	176
6-8. 航空活塞发动机的起动条件	181
6-9. 起动活塞式发动机用的直接动作电动起动机	183
6-10. 电动惯性起动机	184
6-11. 复合动作的起动机	186
6-12. 起动喷气式发动机用的电动起动机	187

6-13. 航空射击器械的电气传动装置	199
6-14. 縱橫激磁发电机的动作原理与主要特性	200
6-15. 远距操縱的迴轉炮塔的电气传动装置	202
第七章 航空发动机的电气点火	206
7-1. 电气点火的功用、种类与实质	206
7-2. 电咀火花隙的击穿过程和击穿电压的大小	208
7-3. 对点火系统的主要要求	212
7-4. 航空电咀	216
7-5. 航空磁电机	221
7-6. 磁电机的次级电压	226
7-7. 对无线电接收机的干扰与点火系统的屏蔽	229
7-8. 航空发动机的起动点火	230
7-9. 噴气式发动机的点火	233
7-10. 点火系统的定期检查	236
第八章 飞机照明装置和加热装置	236
8-1. 照明设备的用途和分类	236
8-2. 飞机光源	237
8-3. 起飞着陆照明设备	239
8-4. 机内照明设备	245
8-5. 信号照明设备	248
8-6. 电气加热装置	252
第九章 机上电能的分配	254
9-1. 机上电能的分配和傳送系統及其分配和傳送的方法	254
9-2. 集中配电法	257
9-3. 复合配电法	258
9-4. 分散配电法	259
9-5. 电路網元件	260
9-6. 飞机电路網的綫路圖	272
9-7. 飞机上电气装置干扰及其抑制方法	273
9-8. 电路網使用与技术维护的主要規則	276
9-9. 飞机电路網故障的發現与排除方法	277
第十章 飞机电气设备使用中的特殊問題	279
10-1. 概述	279
10-2. 飞行后和飞行前的准备	281
参考書目	

緒 論

1. 飞机电器设备的功用与作用

目前,任何一架飞机,特别是重型军用飞机和运输机,都有着極其大量的、复杂的设备,以保证飞机在不良的气象条件下和夜间能可靠地飞行,并保证盲目飞行和盲目着陆,以及保证完成各种复杂和重要的战斗任务。

航空学是一门在技术上进步極快的科学,举出这样的事实已足以说明,这就是在它問世以后的这短短的几十年内,飞机的飞行速度已达 2000 公里/小时,高度达 20000 公尺,而重量則达 200 吨。

对飞机的各种机构、发动机附件、軍械设备、通信设备等的操縱,要求飞机的乘务人員具有高度的注意力和工作的准确性。自然,飞机以及个别附件和装置的个别操縱过程的全部自动化或局部自动化,将大大減輕乘务人員的負担,可以使他們把精力集中到完成更重要的任务上去,从而增加飞行的可靠性和安全性,并可避免操縱上的錯誤。

显然,在飞机上为了带动复杂的装置及其操縱机构,必須消耗能量。飞机上的能源有:

1. 人体能;
2. 液体能;
3. 机械能;
4. 压缩空气能;
5. 电能;

如果說在航空發展的初期,利用人体能即可足以完成为保证

飞行所必需的各种操縱动作的話，那么很快即表明，只利用人体能是不够的，还必须利用上述的其它种能。飞机的尺寸和技术装备增加得愈快，利用的能量也就愈大。在現代的飞机上，有許多的动作通常是不能依靠人体能来完成的。例如，要使中型飞机起落架收起，必須在 20—25 秒鐘內大約做 3000 公斤·公尺的功，而要使着陆襟翼收起，在 5 秒鐘內要做 400~500 公斤·公尺的功。可是一个中年人在 30~60 秒鐘內所做的功总共才只有 125 公斤·公尺。

关于在每个具体情况下采用哪一种能的問題，是根据这种能在这种条件下使用的和要求是否能最合理地使用来决定的。

在每种情况下，通常只采用上述各种能中的某一些，而电能是最通用的一种，几乎在任何情况下都能应用。这点乃是在飞机上采用电能的主要优点之一，因为它可以减少在飞机上采用的能的种类。

电能的其它同样重要的优点是：

- a) 易于傳輸与分配給用电装置，易于轉換为其它种能；
- б) 便于使个别动作自动化；
- в) 重量小，占用空間小(不需要鋼索、軸和导管等)，并且配电装置和其它輔助零件的重量与尺寸也都小；
- г) 当飞机被子彈和彈片击中时致命性較小。

現代飞机(特别是运输机和重型轟炸机)的电气設備，乃是極其复杂的系統。因为它所起的作用很重要，所以对它提出了極高的要求。

2. 飞机电气设备的分类

根据航空工程部的条令(ПИАС-25)，飞机电气设备包括：

- 1) 初级电源及其保护和调整装置;
- 2) 机上电路网(其中包括保护装置, 配电与稳定装置及电源工作检查仪表);
- 3) 航空发动机工作状态电气自动调节器;
- 4) 各种机构与电动泵的电气传动装置及机上电路网中的其它用电装置, 但不包括机上无线电设备、照像设备、仪表设备及电气化军械设备;
- 5) 发动机的电气起动装置。

但是对一个飞机电气设备工程师来讲, 除了上述飞机电气设备之外, 还应当很好地了解不直接属于飞机电气设备的一些装置的功用、构造和使用条件。因为在必要时他有责任和有关机务人员共同研究消除这些装置在工作中可能发生的小故障。

●这些装置包括:

- 1) 航空发动机的电气点火系统;
- 2) 次级电源(变换器): 单电枢变换器(直流升压机)、反用变流机、振动子变流机、整流器、变压器和电动发电机;
- 3) 电气化军械设备的电气传动装置。

从单纯的电工观点来研究飞机上的全部电气设备, 根据工作性质和相互的联系, 可分为以下几类:

1. 电源。
2. 用电装置。
3. 机上电路网。
4. 电气点火系统。

1. 电源包括初级电源:

- a) 发电机(机上主要电源);
- b) 蓄电池;
- b) 在特殊装置中采用的原电池。

此外,电源还包括:

г) 变换器:直流升压机与变流机(变直流为交流);

д) 整流装置。

2. 用电装置包括:

а) 电动机,在大型飞机上可达 400 台或 400 台以上;

б) 照明装置,其规定功率可达 3 瓩;

в) 电气加热装置,在某些情况下其规定功率可达 10 瓩;

г) 通信设备;

д) 电气化机械设备;

е) 雷达装置;

ж) 信号装置;

з) 航空照象枪;

и) 检验仪表、保护装置和远距操纵设备。

3. 机上电路网包括一切能保证可靠地传输和分配电能的元件,即:

а) 带有各种绝缘层、机械层和屏蔽的导线;

б) 配电、控制机和保护装置;

в) 分电装置;

г) 测量仪表。

4. 电气点火系统:工作用和起动用磁电机、高压和低压导线、点火电门和起动线圈等。

3. 飞机电气设备发展简史

电能在飞机上的应用,大约是从 1928—1930 年间开始大力发展起来的,因为这段期间创造新型飞机和航空发动机方面获得了迅速的增長。这些成就,表现在苏联在第一个五年计划年代里建

立起强大的航空工业。这种情况引起了保证飞行可靠性的一些设备的体积的增大;同时随着军用飞机战斗力的日益增强,而使对整个飞机的操纵大大复杂化了。为了保证飞行的可靠性和顺利地完成任务,要求在操纵上消耗大量的能量,乘务人员集中精力和毫无错误地工作。

在飞机上采用电能的最初形式,是以电火花来进行航空发动机的点火。航空事业出世以来,在电气点火方面有很多重要的改进。这些改进保证了由于气缸数量的增加、压缩比的增大和飞行高度的增长等而对电气点火系统不断提出的要求得到了满意的解决。在这项工作中,В.С.庫列巴金(Кулебакин)院士的工作起了巨大作用,他首创高压磁电机工作过程的理论,以后又成功地解决了这方面的许多个别问题。目前对寻求新的电气点火原理方面(电子点火、低压点火、高频点火等)予以极大的注意,因为在高空采用高压磁电机碰到了一系列的严重困难。

早在第一次世界大战期间,电能便开始在飞机无线电信上应用。同时,根据夜航的需要,首先出现了飞机内部的电气照明灯。而后又出现了外部照明灯。到这次战争结束时,着陆专用的照明设备也出现了。

由于飞行高度的增加及冬季飞行,乘务人员的飞行衣需要加温,以后又有许多仪表以及近年来飞机的个别部分也需要加温,以防结冰。

由于需要更严格地检查发动机各附件的工作情况,从1925—1926年开始采用非电量的电气测量仪表(电气转速表、温度表、汽油量表、气体分析器等)。

大约从1930年开始,由于为了增加飞行速度,而出现了可以收放的起落架,这种起落架首先是液压电气传动的,后来又发展为完全电气传动的。同时为了改善着陆条件,开始采用机轮刹车装

置(减小滑跑距离)和机輪的迴轉子(减小着陆振动)。

航空發動機功率的增加,要求裝有特殊的裝置,以使活塞式發動機曲軸或噴氣式發動機渦輪軸在起動時能飛快地旋轉,所以發動機採用用直接作用式或間接作用式電氣起動機,作為起動裝置。

由於飛機製造業和發動機製造業取得了進一步的成就,出現了電氣化變距螺旋槳,飛機個別機件和發動機個別附件的電動遠距操縱機構及以自動俯沖儀、調溫器和渦輪壓縮機控制裝置等。

這裡應該提出在 А. А. 閔吉巴良(Енгибарян)工程師領導下的許多設計家的偉大功績,他們首創了各種極完善的電動遠距操縱機構。這些操縱機構在以後的航空中獲得了廣泛的應用。高空飛行時必須減輕乘員的體力勞動和增強飛機的戰鬥力,因此要求在軍械上採用電氣打火機、自動裝彈機、自動瞄準具、電動投彈器、子彈計算器和電動炮塔等。

噴氣式飛機的出現,要求了原有的某些電氣設備從根本上加以改變並創造一系列的新設備。

當然,隨著電氣設備數量的增加,飛機上的電源的功率也增大了。

由於規定功率的增大,不論在加大功率重量比方面,或保證在高空條件下的工作可靠性方面,對航空發動機的要求都提高了。

在創造完善的航空發電機結構方面的偉大功績,應當歸於下列一些人:В. И. 波倫斯基(Полонский)教授(研究第一批航空發電機的積極參加者)、К. И. 申費爾(шенфер)院士(在直流電機方面、特別是在整流問題方面所作的工作以及在解決設計直流航空發電機時所發生的特殊問題上,起了很大作用) А. П. 拉利奧諾夫(Ларионов)教授和 С. В. 克拉烏茲(Краузе)副教授一起是大功率交流航空發電機的創造者,當時這種發電機裝在“馬克西姆·高爾

基”号飞机上)和其他許多保証生产新型交直流發電机的工厂的设计师們。

最初航空發電机是交流的,对无綫电装置来講較為方便。但是不久即改为直流的了,因为这样不論在对新型电气设备供电方面,或与机上蓄电瓶共同使用方面,都更为方便。机上电路網的額定电压最初是 6 伏(这是机械地搬用了汽車制造业的經驗),后来由于功率的增大很快即改为 12 伏,以后又改为 24 伏。

当前有着进一步提高电压(达 120 伏)和重新改为頻率較高的交流电作为主要电流的趋势。

4. 机上电路網中的电流种类与电压值

直流电的主要优点是便于發電机与蓄电瓶的共同工作。这样即可提高整个电气系統工作的可靠性,并可使發電机具有較小的規定功率。

在飞机上只利用一些蓄电瓶作为电源是不可能的,因为此时蓄电瓶的重量和外廓尺寸都将很大。

直流电的另一个优点是便于使数台發電机并联工作。

交流电的主要优点有五个:

a) 变压容易,这点对長电路網中电能的傳輸和分配,以及使各种用电装置都能得到适当的电压方面来講特別重要;

b) 交流电机的结构和維護簡單;

b) 頻率較高的交流發電机和电动机比直流电机价格便宜、紧凑、輕便;

r) 沒有电解作用,因而当为單綫制电路網时,飞机的金屬零件不会腐蝕;

A) 利用固体整流器和二極整流管(为了得到高压直流电)变

为直流电很簡單。

在应用交流电的道路上最主要的障碍是：

а) 需要有保証發电机轉速一定的傳动裝置，以便得到頻率穩定的电流，因为航空發电机通常由航空發动机傳动，航空發動机的轉速却依飞行状态的不同而經常改变；

б) 保証由航空發动机傳动的發电机并联工作尚有困难；

в) 不能利用蓄电瓶作为备用电源；

г) 必須單獨裝有帶小發動机的輔助發电机，以便在航空發动机不工作时保証供电。

在选择主要电流問題时，必須考虑用电裝置的特性。

直流电对下列用电裝置較為方便：

а) 利用起动力矩大、轉速可以調整的电动机进行傳动的电动机；

б) 各种电磁鉄；

в) 指示仪表；

г) 各种操縱电路。

交流电对下列用电裝置較為方便：

а) 不用起动力矩大、轉速可以調整的电动机进行傳动的电动机；

б) 无綫电通信裝置(减少对无綫电接收的干扰，并可得到任意的所需电压)；

в) 同步的电气仪表(自动同步器)、远距罗盘与鉄共振式仪表；

г) 需要高压直流电的用电裝置(雷达、无綫电导航裝置与脉冲式着陆灯等)，这种电流由电气机械式变流机很难获得。

在这些情况下，交流电压由变压器来增高，而后用二極管整流。

目前最适当的交流电系統，是频率 400 赫茲、电压 208/120 伏的三相系統（即帶有接地中性線的星形綫路系統）。这种系統所用的銅導綫的总重量，与电压为 120 伏的电流單綫系統差不多。

关于机上电路網中最适宜的电压值的問題，基本上取决于發電机的規定功率和装在飞机上的用电裝置的数量与性質，也就是这个問題在很大程度上与飞机型別有关。

采用高电压有下列优点：

a) 可以减小導綫截面和重量，因为电压降百分比相同时，導綫截面和重量与电压平方成反比；

b) 直流电机容易制造，并且价格便宜。

而采用低电压有如下更多的优点：

a) 减少短路的戢然率；

b) 減輕接触机件的工作負担；

b) 换向器和炭刷在高空中的工作較為可靠；

r) 白熾灯泡單位光强所需要的电能較小、灯泡以及整个灯的廓尺寸也較小；

A) 低压灯泡較為結实，而小功率灯泡一般很难制成高压的，因为需要选用細長的灯絲；

e) 低压蓄电瓶的尺寸較小，重量較輕。

这样一来，在选择机上电路網的标准电压时，必須考虑到一系列的因素，尤其是维护人員的安全問題。在采用較高的电压时，无疑的会使这些問題复杂化。

目前飞机上主要采用發電机額定电压为 28.5 伏的直流电系統作为主要供电系統。对必需使用交流电的裝置，由变流机将直流电变为交流电来供电。而对需要高压直流的裝置，則由直流升压机将低压变为高压来供电。

但在保持机上电路網的額定电压为 27~28 伏情況下进一步