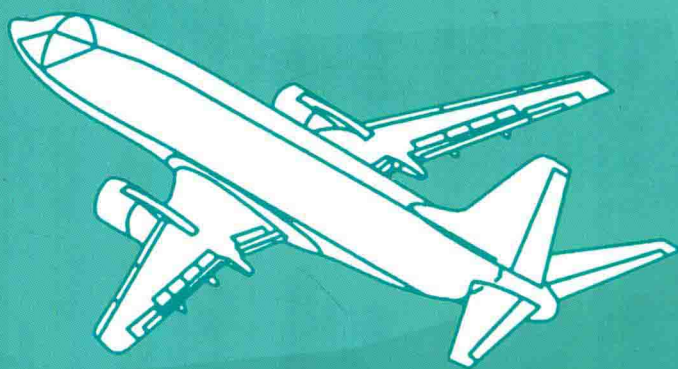


■ 民航商务运输专业核心教材 |

飞机载重与平衡

Aircraft Weight & Balance

程 诚◎编著



中国民航出版社

飞机载重与平衡

程 诚 编著

中国民航出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

飞机载重与平衡/程诚编著. —北京: 中国民航出版社, 2015. 11
ISBN 978-7-5128-0303-9

I. ①飞… II. ①程… III. ①飞机-载荷计算 IV. ①V217

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 271683 号

飞机载重与平衡
程 诚 编著

责任编辑 杨玉芹
出 版 中国民航出版社 (010) 64279457
地 址 北京市朝阳区光熙门北里甲 31 号楼 (100028)
排 版 中国民航出版社录排室
印 刷 北京华正印刷有限公司
发 行 中国民航出版社 (010) 64297307 64290477
开 本 787×1092 1/16
印 张 12.5
字 数 290 千字
版 印 次 2016 年 2 月第 1 版 2016 年 2 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-5128-0303-9

定 价 28.00 元

官方微博: <http://weibo.com/phcaac>

淘宝网店: <https://shop106992650.taobao.com>

E-mail: phcaac@sina.com

前 言

飞机载重与平衡工作是民航商务运输与飞行的衔接环节，直接关系到航空公司的飞行安全和经济效益。安全是民航业永恒的主题，而在安全的基础上追求效益是民航业优质高效发展的基础。本教材的目的是让民航商务运输专业的学生了解并掌握飞机载量控制与平衡的基本原理及工作技能，通过本课程的学习让学生能更好地胜任民航地面商务运输工作。

载重与平衡工作可分为两部分：载量控制和平衡。载量控制是解决装多少的问题，平衡是解决怎么装的问题。载重平衡工作人员的责任重大，因为他们直接关系到飞行安全。机长的飞行操作直接使用载重平衡工作提供的数据，平衡文件的不准确将导致严重的安全事故。这就要求工作人员有高度的工作责任心和强烈的安全意识；有比较全面的运输业务知识，通晓客运、货运、值机等专业知识；有良好的心理素质，遇到突发情况或者紧急情况时要求能够做到沉着冷静；有良好的服务意识，能够协调好与各相关部门的关系；有良好的经济意识，最大限度地为航空公司创造经济效益。

在本课程的学习过程中应该始终加强对学生安全意识、工作责任心的教育，使之养成严谨的作风。建议学生在学习了航空运输专业的客、货运及其他专业课程后再学习本课程。

本教材在编写过程中参考了大量工作现场的案例，力求做到理论知识简单够用、突出内容实用性，注重实际操作。

本教材第九章引用了中航信离港培训教材的内容，该章节的学习可以采用 DCS (Departure Control System) 实训的方式。

由于编者理论水平有限，本教材难免有疏漏之处，不足之处敬请指出。

编者

2015 年 12 月

目 录

前言

第一章 绪论	1
第二章 专业基础知识	4
第一节 民用飞机发展历程	4
第二节 飞机结构与机型	7
第三节 航空集装箱	20
第三章 飞机业务载重量的控制	32
第一节 飞机的最大可用业载	32
第二节 航段可用业载的分配	36
第三节 航班配载	41
第四章 飞机的重心与平衡	65
第一节 飞机的重心表示方法	65
第二节 飞机的平衡	69
第三节 飞机的稳定性和操纵性	73
第五章 飞机的重心计算与装载配平	80
第一节 飞机重心位置的计算	80
第二节 飞机的配平	86
第六章 载重平衡图表	89
第一节 载重表	89
第二节 平衡图填制	104
第三节 装机单	119

第七章 特种货物配载和装载限制.....	129
第八章 载重结算及随机业务文件.....	139
第一节 载重结算.....	139
第二节 运输业务文件.....	141
第九章 业务电报.....	144
第十章 计算机离港系统配载平衡.....	162
附录.....	174
参考文献.....	191

第一章 绪论

飞机的发明在一定程度上改变了 20 世纪的人类历史。飞机发明没多久，便开始广泛应用于军事领域，执行侦察、轰炸、运输等多项军事任务。如今，掌握制空权甚至成为左右战争全局的关键，军用飞机的分类也更细，如歼击机、截击机、强击机、轰炸机、反潜机、侦察机、预警机、电子干扰机、空中加油机、舰载飞机及军用运输机，等等。飞机也大量用于民用，已成为当今世界不可缺少的交通工具。此外，飞机还广泛应用于工业、农业、救护、体育等多种领域，如大地测绘、地质勘探、资源调查、播种施肥、森林防火等。

20 世纪 20 年代飞机开始载运旅客，第二次世界大战结束初期美国开始把大量的运输机改装成为客机。20 世纪 60 年代以来，世界上出现了一些大型运输机和超音速运输机，逐渐推广使用涡轮风扇发动机。著名的有苏联生产的安 22、伊尔 76，美国生产的 C-141、C-5A、B747，法国的空中客车等。超音速运输机有英法联合研制的“协和”式飞机和苏联的图-144。然而，超音速客机的发展并不乐观。“协和”式飞机由于售价过高，影响效益，已于 80 年代停止生产。苏联的图-144 也因为同样的原因在 80 年代停航。

自从飞机发明以后，飞机日益成为现代文明不可缺少的运载工具。它深刻地改变和影响人们的生活。由于发明了飞机，人类环球旅行的时间大大缩短了。世界上第一次环球旅行是在 16 世纪完成的。当时，葡萄牙人麦哲伦率领一支船队从西班牙出发，足足用了 3 年时间，才穿越大西洋、太平洋，环绕地球一周，回到西班牙。19 世纪末，一个法国人乘火车环球旅行一周，花费了 43 天的时间。飞机发明以后，人们在 1949 年又进行了一次环球旅行。一架 B-50 型轰炸机，经过 4 次漂亮的空中加油，仅仅用了 94 个小时，便绕地球一周，飞行 37700 公里。强中更有强中手。超音速飞机问世以后，人们飞得更高更快。1979 年，英国人普斯贝特只用了 14 个小时零 6 分钟，就飞行 36900 公里，环绕地球一周。在不到一天的时间里，就可以飞到地球的各个角落。

错综复杂的空中航线把世界各国连接起来，为人们提供了既方便又迅速的客运。早在 20 世纪 20 年代，航空运输就开设了定期航班，运送旅客和邮件。如今，空中航线更是四通八达，人们随时都会看见银色的飞机，如同一只大鸟，在蔚蓝的天空中一掠而过。对于现代人来说，早晨还在北京，下午已毫无倦意地出现在千里之外的另一座城市，这已经是十分平常的事了，而在 20 世纪以前则是不可思议的。从此，不同地区的

不同种族、不同肤色的人们紧密地联系起来。通过不断地交流，人们播种友谊，传达信息，达到相互沟通、相互理解和相互促进的目的，共同推进人类的文明。

飞机的发明也使航空运输业得到了空前发展，许多为工业发展所需的种种原料拥有了新的来源和渠道，大大减轻了人们对当地自然资源的依赖程度。特别是超音速飞机诞生以后，空中运输更加兴旺。那些不宜长时间运输的牲畜和难以长期保存的美味食品，也可以乘坐飞机而跨越五湖四海，使世界各地的人们能够共享。

经过 100 多年的发展，现代飞机已在外形、性能等多方面较莱特兄弟研制的飞机发生了重大改变，它集中应用了力学、热力学、喷气推进、计算机、真空技术等许多工程技术的新成就，不仅使飞行速度超过了音速，还使飞机的目标捕获、识别和跟踪、自动控制、全天候飞行及通信、导航等多方面性能大大增强。

飞机的载重与平衡的概念按照 FAA（美国联邦航空管理局）的 AC 120-27D 是这样描述的：Aircraft Weight and Balance Control。中国民用航空规章 121 部 A0099 称其为：重量与平衡控制程序。

载重平衡的实质是向机组、相关部门准确报告航班的装载信息，并使航班的装载满足本次飞行的各种限制条件，把业载重量以及飞机重心控制在规定范围内，达到安全、经济、高效的目的。载重平衡不仅仅是平衡计算，还包括为取得真实、合理的数据所做的相关工作；为保证结果正确所做的各种控制；为保证控制有效而进行的各种审查；为保证工作有序而制订的各种规范；是对影响载重平衡的各种因素所做的全过程监控。

载重与平衡工作是民航运输业务地面工作的最后环节，是商务活动与飞行的衔接环节，直接关系到航空公司的飞行安全和效益。它与地面商务工作中的客票销售部门、值机部门、旅客服务部门、货运部门、运行控制和调度部门、航行部门等有密切的联系，如图 1.1 所示。同时准确、及时的载重平衡工作可以保证飞行的正点、安全；良好的重心位置还可以使飞行更平稳、更省油，降低飞行成本，提高航空公司效益。

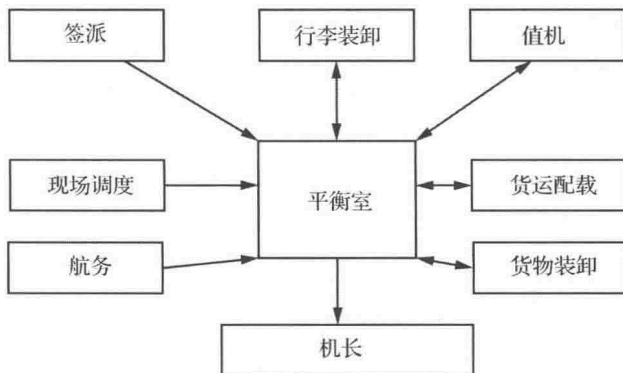


图 1.1 载重平衡与各部门的关系

载重与平衡工作可以分为两部分：载量控制和平衡。载量控制是解决装多少的问题，平衡是解决怎么装的问题。载量控制工作是根据执行航班任务飞机的有关性能数据和燃油重量，准确地计算出本次航班的载运能力，即最大可用业载；根据旅客、货物、行李、邮件的销售情况、待运情况，计算出本次航班的货邮的装载能力；根据飞机货舱的不同类型、布局，合理地选择准备装载的货物、邮件。平衡工作是根据旅客、行李、货物、邮件的实际装载数据，合理地安排装载的位置；将飞机重心控制在规定的范围内并

不同类型、布局，合理地选择准备装载的货物、邮件。平衡工作是根据旅客、行李、货物、邮件的实际装载数据，合理地安排装载的位置；将飞机重心控制在规定的范围内并

计算出飞机重心的位置。

载重平衡工作人员的责任重大，因为他们直接关系到飞行的安全。机长的飞行操作直接使用载重平衡工作提供的数据，平衡文件的不准确将导致严重的安全事故，相关工作人员也将承担法律责任。同时，载重平衡工作时间紧，特别是平衡工作要求在航班起飞前的 15 分钟内完成，并在航班起飞后 5 分钟内拍发载重电报（LDM）及货舱装载电报（CPM）。因此，载重平衡是一项责任重大、技术性很强的工作，对工作人员的要求也很高。这就要求工作人员有高度的工作责任心和强烈的安全意识；有比较全面的运输业务知识，通晓客运、货运、值机等专业知识；有良好的心理素质，遇到突发情况或者紧急情况时要求能够做到沉着冷静；有良好的服务意识，能够协调好与各相关部门的关系；有良好的经济意识，最大限度地为航空公司创造经济效益。

“确保安全！”是载重平衡工作人员必须始终牢记的准则，每一起安全事故都是对工作人员的警钟。荷兰国家航空航天研究所（NLR）最近对 1970—2005 年全球空难事故库进行了研究，发现 82 起有完整记录的事故和载重平衡有关。NLR 的研究指出，在由载重平衡引发的事故中，客运占 61%，货运占 39%。尤其是货运飞行，虽然仅占总飞行量的 7%，但 NLR 计算得出货运发生载重平衡问题的风险比客运高 8.5 倍。1997 年 8 月 7 日，芬兰航空公司一架 DC-8 货机在迈阿密机场起飞不久即失速坠毁，导致飞机坠毁的主要原因是载重平衡和飞机装载控制混乱。2001 年 7 月 4 日，国航 CA9009 货运航班在安克雷奇机场技术经停，地面人员提供了严重错误的载重平衡表，幸亏机组及时发现才避免了一场严重事故的发生。2002 年，南航引进一架价值 1.3 亿美元的 B747-400F 新货机，该公司两名员工发现波音公司提供的平衡图表至少存在 4 处影响飞行安全的重大缺陷。2004 年 10 月 14 日，英国 MK 航空公司一架 B747-200F 货机在加拿大哈利法克斯起飞时由于载重平衡问题导致坠毁。2007 年 4 月 21 日，中货航 MD-11/B2174 货机在厦门机场执行 CK247 货运航班任务，配载人员在计算实际无油及起飞重量时，共遗漏了货物 33.699 吨，造成飞机计算重量比飞机实际起飞重量少 33.699 吨，计算的 V_R 速度（抬前轮速度）比实际 V_R 速度少了 15 n mile/h，致使飞机起飞离地时速度小、仰角大而擦伤 3 号 VHF 天线，构成一起人为原因导致的飞行事故征候。各种事故提醒载重平衡工作人员在工作中要始终确保安全、准确，也有必要对载重平衡的安全问题进行专门的学习和研究。

思考题

1. 什么是飞机的载重与平衡？
2. 载重平衡工作的实质是什么？
3. 与载重平衡工作紧密相关的部门有哪些？
4. 从事载重平衡工作的人员应具备哪些方面的专业知识和素质？
5. 为什么要求载重平衡工作中工作人员要始终牢记安全第一的原则？

第二章 专业基础知识

载重与平衡工作的专业性非常强，要求工作人员具备全面的民航专业知识，通晓民航客运、货运、值机、行李等业务知识，特别要熟悉飞机的结构、类型、客舱布局、货舱布局、集装器等专业知识。

第一节 民用飞机发展历程

20 世纪最重大的发明之一，是飞机的诞生。人类自古以来就梦想着能像鸟一样在天空中飞翔。而 2000 多年前中国人发明的风筝，虽然不能把人带上天空，但它确实可以称为飞机的鼻祖。

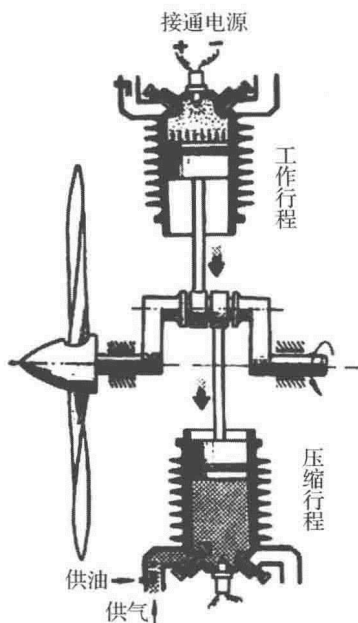


图 2.1 活塞发动机

20 世纪初在美国有一对兄弟在世界的飞机发展史上作出了重大的贡献，他们就是莱特兄弟。在当时大多数人认为飞机依靠自身动力的飞行完全不可能，而莱特兄弟却不相信这种结论，从 1900 年至 1902 年进行了 1000 多次滑翔试飞，终于在 1903 年把一台 4 缸、水平直列式水冷活塞式发动机改装之后，成功地用到“飞行者 1 号”飞机上进行飞行试验（见图 2.1）。他们制造出了第一架依靠自身动力进行载人飞行的飞机“飞行者 1 号”，并且获得试飞成功（见图 2.2）。他们因此于 1909 年获得美国国会荣誉奖；同年，创办了“莱特飞机公司”。这是人类在飞机发展历史上取得的巨大成功。

活塞式小型民用飞机如图 2.3 所示。

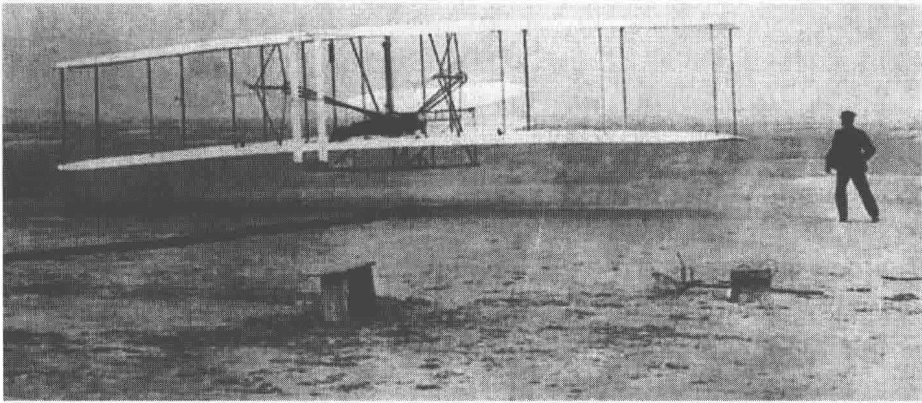


图 2.2 1903 年 12 月 17 日莱特兄弟制造的飞机进行首次持续有动力、可操纵的飞行



图 2.3 活塞式小型民用飞机

20 世纪 30 年代后期，活塞驱动的螺旋桨飞机的最大平飞时速已达到 700 km，俯冲时已接近音速。与此同时，音障的问题日益突出。苏、英、美、德、意等国大力开展喷气发动机的研究工作。德国设计师奥安在新型发动机研制上最早取得成功。1934 年，

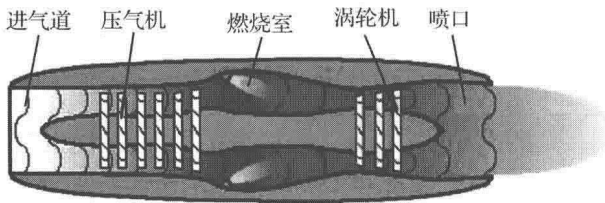


图 2.4 喷气发动机

奥安获得离心型涡轮喷气发动机专利（如图 2.4 所示）。1939 年 8 月 27 日，奥安使用他的发动机制成 He-178 喷气式飞机。喷气发动机研制出之后，科学家们就进一步让飞机进行突破音障的飞

行，经过 10 多年之后这项工作终于被美国人完成了。在第二次世界大战结束后，涡轮喷气发动机的发明开创了喷气时代，活塞式发动机逐步退出主要航空领域，但功率小于 370 kW 的水平对缸活塞式发动机仍广泛应用在轻型低速飞机和直升机上，如行政机、农林机、勘探机、体育运动机、私人飞机和各种无人机，旋转活塞发动机在无人机上崭露头角。涡轮喷气发动机由于高油耗，主要用于军用飞机，民用飞机很少使用，如 B737-100/200。

1942 年，英国开始研制世界上第一台涡桨发动机曼巴。以后，英国、美国和苏联陆续研制出多种涡桨发动机，这些涡桨发动机的耗油率低，起飞推力大，装备了一些重要的运输机和轰炸机（见图 2.5）。美国在 1956 年服役的涡桨发动机 T56/501，装于 C-130 运输机、P3-C 侦察机和 E-2C 预警机。因螺旋桨在吸收功率、尺寸和飞行速度方面的限制，在大型飞机上涡轮螺旋桨发动机逐步被涡轮风扇发动机所取代，但在中小型运输机和通用飞机上仍有一席之地（见图 2.6）。

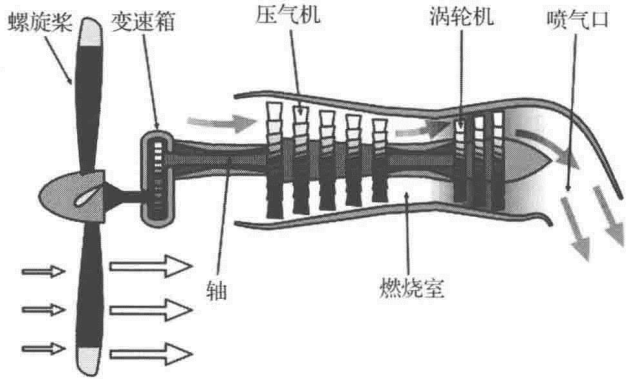


图 2.5 涡桨发动机



图 2.6 涡桨式支线客机国产新舟 60

涡扇发动机（见图 2.7）的发展是从民用发动机开始的。世界上第一台涡扇发动机是 1959 年定型的英国康维，用于 VC-10、DC-8 和 B707 客机。1960 年，美国在 JT3C 涡喷发动机的基础上改型研制成功 JT3D 涡扇发动机，用于 B707 和 DC-8 客机以及军用运

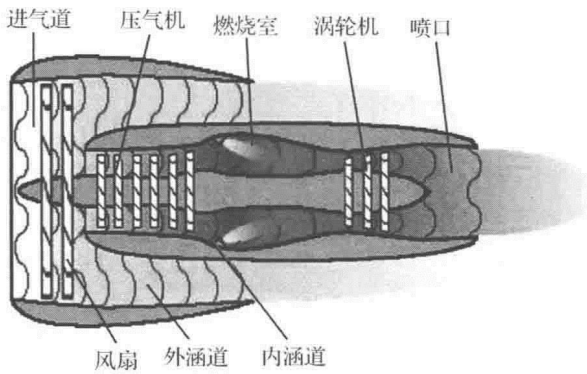


图 2.7 涡扇发动机

输机。涡扇发动机投入使用以来，开创了大型宽体客机的新时代。后来，又发展出小推力的高涵道比涡扇发动机，广泛用于各种干线和支线客机（见图 2.8）。



图 2.8 涡扇式支线客机国产 ARJ21

第二节 飞机结构与机型

一、飞机结构

自从世界上出现飞机以来，虽然飞机的结构形式在不断改进，飞机类型不断增多，但到目前为止，除了极少数特殊形式的飞机之外，大多数飞机都是由五个主要部分组成，即机翼、机身、尾翼、起落装置和动力装置。现代民用飞机的结构基本一样，各部位如图 2.9 所示。

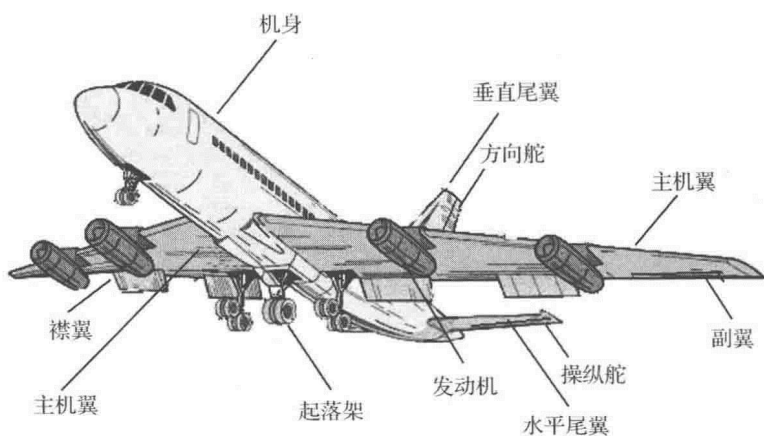


图 2.9 机体结构示意图

各部件都有其独特的功用，详细介绍如下：

1. 机翼

机翼的主要功用是产生升力，以支持飞机在空中飞行，也起到一定的稳定和操纵作用。在机翼上一般安装有副翼和襟翼。操纵副翼可使飞机滚转，放下襟翼能使机翼升力增大。另外，机翼上还可安装发动机、起落架和油箱等。

2. 机身

机身的主要功用是装载乘员、旅客、货物和各种设备，还可将飞机的其他部件如尾翼、机翼及发动机等连接成一个整体。

3. 尾翼

尾翼包括水平尾翼和垂直尾翼。水平尾翼由固定的水平安定面和可动的操纵舵组成，垂直尾翼则包括固定的垂直安定面和可动的方向舵。尾翼的主要功用是用来操纵飞机俯仰和偏转，并保证飞机能平稳地飞行。

4. 起落装置

起落装置是用来支持飞机并使它能在地面和水平面起落和停放。陆上飞机的起落装置，大都由减震支柱和机轮等组成。它用于起飞、着陆滑跑，在地面滑行和停放时支撑飞机。

5. 动力装置

动力装置主要用来产生拉力或推力，使飞机前进。其次还可以为飞机上的用电设备提供电源，为空调等用气设备提供气源。

飞机除了上述五个主要部分之外，根据飞行操纵和执行任务的需要，还装有各种仪表、通讯设备、领航设备、安全设备和其他设备等。

二、机型介绍

现在的民用飞机型号很多，各有各的特点和使用范围。航空公司根据各自航线的要求选择机型。我国的航空公司使用的机型特别多、杂，几乎包含世界所有机型。当然，机型杂有好的一面，可以根据不同航线灵活配置；也有不好的一面，每一种机型需要储备大量航材，占用大量资金，而且需要大量的维修人员和机组人员，增加大量人力成本。

占航空市场绝大部分份额的机型主要为两大飞机制造公司的产品，分别是波音公司及其兼并的麦道公司、空中客车公司。

波音公司旗下的机型在我国使用中的有：B737、B747、B757、B767、B777、B787。

1. B737 系列简介



图 2.10 B737

B737 系列飞机是波音公司生产的双发（动机）中短程运输机，被称为世界航空史上最成功的民航客机，也是民航业最大的飞机家族。B737 飞机基本型为 B737-100 型。传统型 B737 分为 100/200/300/400/500 型五种，其中 B737-100/200，属于第一代 B737。1981 年，波音公司决定为 B737 系列继续设计改进型号，逐步发展形成第二代 B737，共有-300/400/500 三个基本型号。传统型 B737 在 2000 年停止生产，共生产了 3000 多架。20 世纪 80 年代，空中客车公司推出 A320 与 B737 争夺市场，波音公司正式启动新一代 B737 项目，以应对 A320 的出现。新一代 B737 分为 600/700/800/900 四个基本型号，换装推力更大、性能更好的发动机，并装备新型电子仪表设备，1997 年底开始交付使用，由于继续保持着可靠性高、使用成本低的特点，深受各航空公司的青

睐，被称为卖得最快的民航客机，到目前为止新一代 B737 系列已交付 2000 多架。B737 飞机是民用航空史上产量最多的大型民用飞机。

1983 年，中国民航开始引进 B737。我国（未含港澳台地区，下同）正在运营的民航客机中，B737 系列占了很大的比例，总数已超过 800 架。



图 2.11 B747

2. B747 系列简介

B747 飞机是波音公司生产的四发（发动机）远程宽机身运输机，是一种研制与销售都很成功的宽机身客机。它的双层客舱及独特外形成为最易辨认的亚音速民航客机。自 B747 飞机投入运营以来，一直垄断着大型运输机的市场，这种情况一直到 2006 年 A380 的出现才有所改变。

B747 基本型为 B747-100。B747-200：B747-100 型的改进型，提高了商务载重，增加了航程，为标准全客运型号。B747-200B：增加起飞重量和航程，增大了载油量。B747-200C（Convertible）：B747-200 型的客货可转换型。B747-200M Combi：B747-200 型的客货混合型。B747-200F：B747-200 型的全货运型，是最常见的大型货机。可载货 90 t，航程 8300 km。B747SP（Special Performance，特殊性能）为 B747-100 型的缩短型，加大了航程。B747-300：B747-200 型的改进型，加长上层机舱，有利于稳定气流、降低阻力，进而减少油耗。B747-400：属于第二代 B747，在 B747-300 型的基础上安装了新型电子仪表设备，具有数字化驾驶舱。翼尖处加装翼梢小翼，也是其在外形上与 B747-300 型的一个明显区别。B747-400 系列是 B747 系列中最受欢迎的型号。B747-400D（Domestic）：B747-400 型的高客容量型，客舱可载客 568 名。B747-400 Combi：B747-400 型的客货混合型，可在全客机、客货混合之间进行转换。B747-400F：B747-400 型的全货机型，缩短了上层客舱，与 B747-200F 类似。

我国航空公司共运营 20 架 B747 系列。

3. B757 系列简介



图 2.12 B757

B757 飞机是波音公司生产的双发（动机）窄体中远程运输机。B757 飞机的主要设计目标是通过降低油耗、减轻机体重量来降低使用成本，提高经济性。B757 飞机拥有亚音速窄体客机中最大的航程。它只有两种型号：B757-200 和 B757-300。B757-200 的机身比 B757-300 短，但航程较长；B757-300 载客量增加 20%，货运空间增加 50%，但航程减少。

我国航空公司拥有 B757-200（F）飞机 37 架。

4. B767 系列简介



图 2.13 B767

B767 飞机是波音公司生产的双发（动机）半宽体中远程运输机。客舱采用双通道布局，且能装载集装箱和集装板。由于 B767 的机体内部直径只有 4.7 m，是宽体客机中最窄的，而且货舱容积也较小，所以只能容纳窄体机惯用的航空用 LD2 集装箱，而不能使用较大的宽体机常用的 LD3 集装箱。B767 系列包括三种基本型号，B767-200、B767-300 和 B767-400，区别主要在机身长度上，每种基本型号都对应着一种加大航程型（Extended Range, ER），在 B767-300ER 基础上还研制生产了货运机型。

我国航空公司运营着 7 架 B767 客机。